



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

เทคโนโลยีการบรรจุ

ภาควิชา

เรื่อง ผลการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง
ต่อคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียว

Effects of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging on
Quality of Okra

นางผู้วิจัย นางสาวฟูชีชัย วรอดุลย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อศิรา เฟื่องฟูชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญรัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง
ต่อคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียว

Effects of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging
on Quality of Okra

โดย

นางสาวฟูซี่ช วรรณกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2552

พุฒิชัย วรอดุ้ย 2552: ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศ
ดัดแปลงต่อคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียว ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขา
เทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D. 131 หน้า

กระเจี๊ยบเขียวเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (ประมาณ 5-7 วัน
ที่ 10 องศาเซลเซียส) โดยหลังการเก็บเกี่ยวผักจะเกิดสีน้ำตาล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา
กระเจี๊ยบเขียวด้วยการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มี
สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง พบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีความสามารถในการทนต่อ
แก๊สออกซิเจนต่ำสุดร้อยละ 2 (สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน) และมีความสามารถในการทนต่อแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 5 (สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน) การเก็บรักษาฝักกระเจี๊ยบเขียวที่
ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา (CO_2 injury)
คือฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดรอยนูนสีน้ำตาล บรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาฝักกระเจี๊ยบเขียวคือ
ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ถึง 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 7.5 ในการศึกษาการ
บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงทำการบรรจุฝักกระเจี๊ยบเขียวน้ำหนักประมาณ 150 กรัม ลงในถาดพลาสติกปิด
ผนึกด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง 3 ชนิด คือ PE-1 ($\text{OTR} = 8,700 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$), PE-2 ($\text{OTR} =$
 $19,000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) และ PE-3 ($\text{OTR} = 23,000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) เปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ($\text{OTR} = 4,100$
 $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) และ PVC ($\text{OTR} = 15,000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) ที่ใช้ทั่วไป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส
พบว่าฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศา
เซลเซียส ฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PVC มีปริมาณแก๊ส ณ บรรยากาศดัดแปลงสมดุลภายใน
ภาชนะบรรจุเท่ากับ $2\% \text{ O}_2 + 5.4\% \text{ CO}_2$ และ $2.2\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ ตามลำดับ มีอายุการเก็บรักษา 15-17 วัน
คุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับหลัง 17 วัน เนื่องจากเกิดการสะสมของน้ำและฝักเปลี่ยนจากสี
เขียวเป็นสีน้ำตาล กระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE ไม่เข้าสู่สมดุลบรรยากาศและมีการสะสม
ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีอายุการเก็บรักษา 9-11 วัน และ 6-8 วัน ตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10
องศาเซลเซียส พบว่าฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2 และ PVC ปริมาณแก๊ส ณ บรรยากาศ
ดัดแปลงสมดุลภายในภาชนะบรรจุเท่ากับ $3.4\% \text{ O}_2 + 4.3\% \text{ CO}_2$, $2.4\% \text{ O}_2 + 4.9\% \text{ CO}_2$ และ $2.3\% \text{ O}_2 + 2.8\% \text{ CO}_2$
ตามลำดับ มีอายุการเก็บรักษา 15-17 วัน โดยฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 สามารถชะลอปฏิกิริยา
การเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด ฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE ไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลและมีการ
สะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงร้อยละ 20 และร้อยละ 31 ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มี
อายุการเก็บรักษาเพียง 12-14 วัน และ 9-11 วัน ตามลำดับ

Fusiyah Worraadul 2009: Effects of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging on Quality of Okra. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Vanee Chonhenchob, Ph.D. 131 pages.

Okra (*Abelmoschus esculentus* Moench.) is a rich source of valuable nutrients. Nevertheless, okra has short shelf life (5-7 days at 10°C). It readily turns brown after harvest. The objective of this study was to extend the shelf life of okra by controlled atmosphere storage and modified atmosphere packaging using high gas permeable films. Oxygen tolerance limit of okras stored at 10°C was 2%O₂ (with Nitrogen balance), while carbon dioxide tolerance limit was 5% CO₂ (with air balance). Storage of okra in 10, 15, and 20%CO₂ caused carbon dioxide injury. The optimum controlled atmospheres of okras were 2-5%O₂+5-7.5% CO₂. Okras (150 g) were packed in the plastic trays sealed with three types of high gas permeable films (PE-1, PE-2, and PE-3) with various oxygen transmission rates (OTR = 8,700, 19,000 and 23,000 cm³/m².day, respectively) and were compared with LDPE film and PVC wrapped film (OTR = 4,100 and 15,000 cm³/m².day), commonly being used, and stored at 5°C and 10°C. Okras in PVC packages had highest weight loss. At 5°C, equilibrium modified atmosphere in the PE-3 and PVC packages were 2% O₂ + 5.4% CO₂ and 2.2% O₂ + 5% CO₂ respectively. PE-3 and PVC could maintain the quality of okras for 15-17 days. After 17 days of storage, okras showed chilling injury symptom with water soaking and discoloration. At 10°C, the equilibrium modified atmospheres in the PE-3, PE-2, and PVC packages were 3.4% O₂ + 4.3% CO₂, 2.4% O₂ + 4.9% CO₂ and 2.3% O₂ + 2.8% CO₂ respectively. Shelf life of okras in the PE-3, PE-2, and PVC packages were 15-17 days. Okras in PE-3 showed the least browning at the end of storage. Gas concentration in the PE-1 and LDPE packages did not reach equilibrium, while carbon dioxide reached 20% and 31% at the end of storage and had the shelf life of 12-14 days and 9-11 days, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยพระนามของอัลลอฮ์ผู้ทรงเมตตากรุณา มวลการสรรเสริญนั้นเป็นของพระองค์ผู้ทรงสร้างสรรพและเป็นเจ้าของความรู้ทั้งปวง ด้วยกับความเมตตาของพระองค์ ที่ทำให้ข้าพระองค์ผ่านพ้นอุปสรรคนานับประการ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วาณี ชนเห็นชอบ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทางด้านวิชาการต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณอาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี และอาจารย์อศิรา เฟื่องฟูชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.งามทิพย์ ภู่วโรคม ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์วรรณิ์ ฉินศิริกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนคณาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านที่เป็นผู้ประสาทความรู้ทั้งหลายแก่ผู้วิจัย ที่มอบให้ด้วยการสละเวลาอันมีค่ายิ่งนัก

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในการที่ให้การสนับสนุนเงินทุนและสนับสนุนตัวอย่างฟิล์มพลาสติกในการทำวิจัย และเพื่อนๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ โดยเฉพาะ คุณเกศวดี อัสชะวิสิทธิ์ คุณวิรยา เพี้ยนผล คุณอัจฉริยา นพวิญญูวงศ์ และนิติติปริญญา โททุกท่านที่มีได้กล่าวนามในที่นี้ รวมถึงคุณกรอชิยะห์ ยามิรุเต็ง และคุณธีระศักดิ์ พลิบัตร์ ที่ช่วยแก้ไขในสิ่งที่ขัดข้องให้คลี่คลายลงไปได้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวผู้ให้ทั้งกำลังใจ และสนับสนุนเงินทุนอย่างล้นเหลือ ทั้งบิดา มารดา คุณน้า และขอบคุณพี่สาว น้องชายและน้องสาว ที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา

สุดท้ายหากสิ่งที่ข้าพระองค์ทำไป เป็นประโยชน์โดยที่พอพระทัยของพระองค์แล้ว ขอทรงโปรดทำให้ตราหิ้งของความคิดของข้าพระองค์หนักขึ้นด้วยเถิด แต่หากผิดพลาดประการใดผู้เขียนขอรับไว้ ณ ที่นี้ และขอพระองค์ทรงโปรดอภัยให้ข้าพระองค์ด้วยเถิด

ฟูชัยฮ์ วรอดุลย์

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก การตรวจวัดคุณภาพของฝักกระเจี๊ยบเขียว	106
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	110
ภาคผนวก ค การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก	129
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มูลค่าการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวปี 2547-2551 (ปริมาณ: ต้น; มูลค่า: ล้านบาท)	5
2	ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ผลิตสามารถทนได้	18
3	ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลิตสามารถทนได้	18
4	บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ชนิดต่างๆ	21
5	สภาพให้ซึมผ่านได้และพลังงานก่อกัมมันต์ของสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพอลิเมอร์ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	26
6	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของฟิล์มพอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1), พอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2), พอลิเอทิลีนรหัส 3 (PE-3), พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	30
7	อัตราการหายใจเฉลี่ยของผักกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 5 10 และ 20 องศาเซลเซียส	40
8	ค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ของผักกระเจี๊ยบเขียวในช่วงอุณหภูมิ 5-20 องศาเซลเซียส	41
9	อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของผักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	45
10	การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของผักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	46
11	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาลและค่าสี ($L^* a^* b$) ของผักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
12 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	55
13 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	56
14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาลและค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	57
15 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	63
16 ค่า $L^* a^* b^*$ ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	64
17 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (EMA) อายุการเก็บรักษาและสาเหตุของการเสื่อมเสียของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	72
18 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (EMA) อายุการเก็บรักษาและสาเหตุของการเสื่อมเสียของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	73
19 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
20	ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของฝักระเจียบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	81
 ตารางผนวกที่	
ข1	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	111
ข2	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	112
ข3	ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	113
ข4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	113
ข5	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	114
ข6	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	115
ข7	ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	116
ข9 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	117
ข10 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางและปลายฝักของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	118
ข11 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	119
ข12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	119
ข13 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	120
ข14 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	121
ข15 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	121
ข16 การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	122
ข17 การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข18 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลง ถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	123
ข19 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลง ถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	124
ข20 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิด ผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	125
ข21 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิด ผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	125
ข22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	126
ข23 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	126
ข24 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลง ถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	127
ข25 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลง ถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	128

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ลักษณะของต้น (ซ้าย) ดอก (กลาง) และฝัก (ขวา) ของกระเจี๊ยบเขียว
2	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์
3	กระบวนการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์
4	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมกับผักชนิดต่างๆ
5	การเปรียบเทียบค่า β ของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูงที่พัฒนาได้จากการวิจัย กับฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม
6	การเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 1-5
7	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
8	ฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) และ ค) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา, ง) ถึง จ) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา
9	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และบริเวณปลายฝัก (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
10	ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
11	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
12	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	ฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) ถึง จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา	54
14	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และบริเวณปลายฝัก (B) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	58
15	ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	59
16	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	59
17	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	61
18	ฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 20 ของการเก็บรักษา, ค) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 24 ของการเก็บรักษา, ง) คือฝักระเจี๊ยบเขียว วันที่ 20 ของการเก็บรักษา, จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา	62
19	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และปลายฝัก (B) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ปริมาณเส้นใยหยาบ (A) และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (B) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	67
21	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (B) ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	68
22	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1, PE-2, PE-3, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (A) และ 10 องศาเซลเซียส (B)	71
23	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	75
24	ฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ค) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 15 ของการเก็บรักษา, ง) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา, จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 9 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา	76
25	ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	77
26	ฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ค) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ง) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 15 ของการเก็บรักษา, จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	82
28	การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	82
29	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	84
30	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	84
31	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	85
32	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	85
33	ปริมาณเส้นใยของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	86
34	ปริมาณเส้นใยของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	86
35	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	87
36	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	87
37	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	89
38	ปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	90
39	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- | | | |
|----|---|----|
| 40 | ปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจียบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส | 91 |
|----|---|----|

ภาพผนวกที่

- | | | |
|----|---|-----|
| ก1 | กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร และความเข้มข้นของกรดแกลลิก | 108 |
| ก2 | กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และความเข้มข้นของคาเทชิน | 109 |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

β	=	อัตราส่วนสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจน
CO_2	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
O_2	=	แก๊สออกซิเจน
F	=	อัตราการไหลแก๊ส (ml./hr.)
L	=	ความหนาของฟิล์ม (mm.)
PE-1	=	พอลิเอทิลีนรหัส 1
PE-2	=	พอลิเอทิลีนรหัส 2
PE-3	=	พอลิเอทิลีนรหัส 3
LDPE	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
PVC	=	พอลิไวนิลคลอไรด์
PP	=	พอลิพรอพิลีน
P_{CO_2}	=	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$)
P_{O_2}	=	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$)
Q_{10}	=	อัตราส่วนระหว่างอัตราของกระบวนการหนึ่งที่ถูกอุณหภูมิหนึ่งหารด้วย อัตราของกระบวนการนั้นที่ถูกอุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ 10 องศาเซลเซียส

ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง ต่อคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียว

Effects of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging on Quality of Okra

คำนำ

กระเจี๊ยบเขียวหรือกระเจี๊ยบมอญ (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) เป็นผักที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดอื่นๆ อาทิ วิตามินเอ แคลเซียมและเส้นใยอาหาร (Lamont, 1999) การบริโภคจึงมีทั้งรับประทานสด แปรรูปเป็นอาหารกระป๋อง หรือทำแห้ง แต่ทั้งนี้การบริโภคภายในประเทศก็ยังไม่นิยมแพร่หลายนัก อาจเนื่องมาจากการปลูกกระเจี๊ยบเขียวในประเทศส่วนใหญ่ปลูกเพื่อการส่งออกทั้งสิ้น โดยญี่ปุ่นเป็นตลาดหลักในการรับซื้อ ในปี 2551 มีปริมาณการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวสดหรือแช่แข็ง 254 ตัน คิดเป็นมูลค่า 15 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, 2555) ลักษณะและคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก คือ ฝักควรมี 5 เหลี่ยม ไม่คดงอ ฝักอ่อนสด เส้นใยน้อย ความยาวฝัก 5 - 10 เซนติเมตร มีสีเขียวสม่ำเสมอทั้งฝัก ปราศจากโรคแมลง และรอยตำหนิ (ฉันทนา, 2544)

ปัญหาสำคัญของการส่งออกฝักกระเจี๊ยบเขียว คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นเนื่องจากเก็บเกี่ยวในระยะฝักอ่อน (กองส่งเสริมพืชสวน, 2538) ซึ่งมีอัตราการหายใจสูง ทำให้สูญเสียคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยฝักจะเหี่ยว เหนียว บอบช้ำง่าย เกิดสีน้ำตาลและมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Baxter and Waters, 1990) นอกจากนี้ยังไวต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) (Perkins-Veazie, 1992) โดยฝักจะมีลักษณะฉ่ำน้ำ ขอบฝักมีสีดำ และเกิดรอยบวมบริเวณผิวฝัก ลักษณะที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere) เป็นการควบคุมบรรยากาศการเก็บรักษาผลิตผลที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ โดยมีการควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 21 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และแก๊สไนโตรเจนร้อยละ 78 (Kader, 1995) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล เช่น สามารถลดอัตราการหายใจ ชะลอปฏิกิริยาสีน้ำตาล และชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีงานวิจัยในผัก

หลายชนิด เช่น พริกหยวก (Ozden and Bayindirli, 2002) มันฝรั่ง (Angos *et al*, 2007) และบรอกโคลี (McKenzie *et al*, 2004)

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging) เป็นการบรรจุที่ภายในภาชนะบรรจุมีองค์ประกอบของแก๊สแตกต่างจากบรรยากาศปกติ ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าในบรรยากาศปกติ (น้อยกว่า 21%) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่าในบรรยากาศปกติ (มากกว่า 0.03%) (Gorny, 2003) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ได้ และมีความสะดวกในการขนส่ง กระจายสินค้า เช่น แดงกวา (Wang and Qi, 1997) แครอท (Carlin *et al*, 1990) ผักโขม (Allende *et al*, 2004) และ บรอกโคลี (Barth *et al*, 1993) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุขึ้นอยู่กับสภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability) ของแก๊สของฟิล์ม (Fonseca *et al*, 2002) แต่ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในทางการค้าส่วนใหญ่จะมีข้อจำกัดด้านสภาพให้ซึมผ่านได้ที่ยังไม่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของผลิตผลหลายชนิดทำให้ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ ต้องใช้ฟิล์มที่มีสมบัติเฉพาะประเภท ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูง (high gas permeable film) ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้มีราคาสูงทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ดังนั้นทางศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ จึงได้พัฒนาฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูงที่มีสภาพให้ซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลากหลาย ทำให้สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) ขึ้นภายในภาชนะบรรจุ ให้เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลสดหลายชนิด

ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงของผักกระเจียวยังมีไม่มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง เพื่อนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผักกระเจียว เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการลดการสูญเสียและรักษาคุณภาพของผักกระเจียวช่วยเพิ่มโอกาสในการจัดจำหน่ายและส่งออกกระเจียวได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อคุณภาพของฝักระเจี๊ยบเขียว และหาความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ทนได้ (O_2 tolerance) และความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ทนได้ (CO_2 tolerance) ของฝักระเจี๊ยบเขียว
2. ศึกษาผลของบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere) ต่อคุณภาพของฝักระเจี๊ยบเขียว
3. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝักระเจี๊ยบเขียว
4. ศึกษาผลของสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่อการสร้างบรรยากาศดัดแปลงและการเปลี่ยนแปลงของฝักระเจี๊ยบเขียวในระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

กระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Abelmoschus esculentus* L. Moench จัดอยู่ในสกุล Malvaceas (Camciuc *et al*, 1996) ซึ่งพืชในวงศ์นี้ที่รู้จักกันเช่น ฝ้าย (*Gossypium* spp.) ปอแก้ว (*Hibiscus cannabinus* L.) และกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa*) เป็นต้น (Geal *et al.*, 1988) มีชื่อสามัญว่า Okra และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ในประเทศฝรั่งเศสเรียกกระเจี๊ยบเขียวว่า gumbo แอฟริกาเรียกว่า quimbamto อินเดียเรียกว่า bhindi ประเทศในแถบอาหรับเรียก bamiah (Lamont, 1999) ส่วนในประเทศไทยจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปในแต่ละภาค ในบางแห่งของภาคกลางจะเรียกว่า มะเขือมอญ แถบจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรปราการเรียกกระต๊าด ในภาคกลางบางแห่งเรียกมะเขือมอญ ภาคเหนือเรียกมะเขือมัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกถั่วแระ (สุกานดา, 2545) กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักส่งออกที่สำคัญโดยส่งออกในรูปแบบฝักสดมากที่สุด รองลงมาจะส่งออกในรูปแบบของแช่แข็ง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวแต่ละปีฝักกระเจี๊ยบเขียวจะกลายเป็นพืชทองที่มีการส่งออกต่างประเทศ โดยมีตลาดหลักที่สำคัญคือประเทศญี่ปุ่น โดยประมาณ 95% ของการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวเป็นการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นเนื่องจากญี่ปุ่นมีความต้องการในการบริโภคฝักกระเจี๊ยบเขียวมาก แต่ในช่วงฤดูหนาวไม่สามารถปลูกได้เนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นเกินไป จึงต้องนำเข้าจากประเทศอื่น เช่นประเทศไทยซึ่งปลูกได้ตลอดปี (จีนขวัญ, 2545) และยังส่งออกไปยังประเทศอื่นๆ ในเอเชีย ได้แก่ ประเทศฮ่องกง ประเทศสิงคโปร์ นอกจากนี้ยังมีการส่งออกไปยังประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เยอรมนี เดนมาร์ก ฝรั่งเศส และสหรัฐอเมริกา ฝักกระเจี๊ยบเขียวสามารถส่งออกได้เกือบตลอดทั้งปี แต่เมื่ออากาศอบอุ่นขึ้นปริมาณการส่งออกจะลดลง เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นที่นำเข้ากระเจี๊ยบเขียวสามารถปลูกเพื่อใช้บริโภคได้เอง โดยการปลูกเพื่อการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นจะมีความต้องการในเดือน พฤษภาคมถึงเดือนกันยายน (สุกานดา, 2545) ประเทศคู่แข่งของไทยในการส่งออกกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ ประเทศเวียดนาม ฟิลิปปินส์ จีน และ สหรัฐอเมริกา (น้ำเพชรและปรารธนา, 2547)

ปริมาณและมูลค่าการส่งออกฝักกระเจี๊ยบเขียว ระหว่างปี 2547-2551 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวปี 2547-2551 (ปริมาณ: ตัน; มูลค่า: ล้านบาท)

รายการ	2547		2548		2549		2550		2551	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
กระเจี๊ยบเขียว	4,191	422	3,580	378	3,092	323	235	16	254	15

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, 2552

ในปี พ.ศ. 2550 กระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณการส่งออกลดลงเนื่องจากประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นประเทศหลักที่มีการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากประเทศไทยได้ตรวจพบสารตกค้าง คือ สาร Dimofuran ซึ่งเป็นสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัดแมลงในกระเจี๊ยบเขียวที่นำเข้าจากประเทศไทยเกินมาตรฐาน ทำให้ประเทศญี่ปุ่นระงับการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากประเทศไทย (หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2550) แหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ อำเภอกำแพงแสน อำเภอบางเลน อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม อำเภอเมือง อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอโพธาราม อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี อำเภอเมือง อำเภอด่านมะขามเตี้ย อำเภอลำไญ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภออุ้มทอง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี อำเภอไชโย อำเภอวิเศษชัยชาญ อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง (นวลนภา, 2548; สุขสันต์, 2543)

กระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกตามคุณภาพขั้นต่ำของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติปี 2548 มีลักษณะดังนี้

1. สด สีเขียว รูปร่างสมบูรณ์ตรงตามพันธุ์
2. มีก้านติดขั้วฝัก
3. ปราศจากรอยชำ รอยฉีกที่เด่นชัด หรือมีสภาพไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภค
4. สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
5. ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณะทั่วไปของผลิตผล
6. ไม่มีความเสียหายของผลิตผลเนื่องจากศัตรูพืช
7. รอยตัดที่ขั้วฝัก สะอาดเรียบร้อย
8. ไม่มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ
9. ปราศจากความชื้นภายนอกที่ผิดปกติ ยกเว้นหยดน้ำที่เกิดหลังการนำออกจากห้องเย็น
10. ความยาวขนาดฝักไม่รวมก้าน ประมาณ 10-12 เซนติเมตร

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชล้มลุก ลำต้นของกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะตั้งตรงและแข็งแรงมีความสูงประมาณ 0.9 - 1.8 เมตร (Lamont, 1999) ในต้นเดียวกันจะมีการออกดอกไม่พร้อมกัน ทำให้ต้องทำการเก็บเกี่ยวหลายครั้ง มีการสร้างใบ สร้างข้อ เพิ่มขึ้นไปพร้อมๆ กับการออกดอกและสร้างฝัก (เบญจวรรณ, 2534) มีรากเป็นระบบรากแก้ว (ธงชัย และคณะ, 2543) ใบเป็นใบเดี่ยว การจัดเรียงของใบเป็นแบบสลับ (alternate) เส้นใบแตกแบบนิ้วมือ (palmate) ปลายใบแหลม (acute) โคนใบเป็นรูปหัวใจ ใบมีขนปกคลุมทั้งด้านหน้าใบและหลังใบเนื้อใบหนาหยาบ ด้านบนใบมีสีเขียวเข้มกว่าด้านใต้ใบ (ธัญญรัตน์, 2546) ขอบใบคลื่นเล็กน้อยหรืออาจเป็นหยักลึก โดยมากเป็น 5 หยัก มีหูใบขนาดเล็ก ดอกเป็นดอกเดี่ยว กลีบดอกสีเหลืองอ่อน มี 5 กลีบ มีแฉกสีม่วงเป็นฐาน (ญาวดี, 2545) ปกติกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผสมตัวเอง (self-pollinated) แต่มีการผสมข้ามได้บ้างโดยผึ้งและแมลง ฝักเป็นฝักเดี่ยว รูปทรงกระบอกหรือรูปยาวรียาวประมาณ 5 - 25 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 3 เซนติเมตร ฝักสีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ ขาวหรือแดง ปกติจะมี 5-8 เหลี่ยม เมื่อเริ่มแก่เนื้อแข็งและเป็นเส้น (ธวัชชัย, 2544) เมื่อแห้งเป็นสีน้ำตาลอาจจะแตกตามยาวได้ ผิวฝักมีทั้งแบบเรียบมันหรือแบบเป็นขน เมล็ดกลมสีเทา กระเจี๊ยบเขียวจะออกดอกประมาณ 40 - 90 วันหลังจากเริ่มเพาะเมล็ด (Salunkhe and Kadam, 1998; Siemonsma and Piluek, 1993) ลักษณะของต้น ดอก และฝักกระเจี๊ยบเขียวแสดงดังภาพที่ 1

กระเจี๊ยบเขียวเป็นผักที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและกึ่งร้อน สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีในประเทศไทย (สุกานดา, 2545) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 35°C และอุณหภูมิต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 18°C จะเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต (ธวัชชัย, 2544) การเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียวขึ้นอยู่กับปริมาณแสงและอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำการเจริญเติบโตจะช้าลง การปลูกในฤดูหนาวจะมีช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและกิ่งก้านสั้น และมีผลไปเร่งหรือกระตุ้นออกดอกเร็วขึ้นกว่าการปลูกในฤดูร้อน (เบญจวรรณ, 2534) สภาพดินที่เหมาะสมในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว คือ ดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี ความเป็นกรดค่าอยู่ระหว่าง 6.0 - 6.8 (ธงชัยและคณะ, 2545)



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้น (ซ้าย) ดอก (กลาง) และฝัก (ขวา) ของกระเจียบเขียว

กระเจียบเขียวเป็นพืชที่โตเร็ว เมื่อปลูกอายุได้ 30 - 40 วัน ต้นจะเริ่มสร้างดอกที่บริเวณซอกใบ ตำแหน่งข้อที่ 6 - 8 หลังจากนั้นประมาณ 10 วัน ดอกจะบานและใช้เวลา 1 วัน กลีบดอกจึงเหี่ยวและร่วงหลุดไป หลังดอกบาน 5 วัน ฝักจะมีขนาดยาว 6 - 10 เซนติเมตร ซึ่งฝักในช่วงอายุนี้อาจมีคุณภาพดีที่สุด ปริมาณเส้นใยน้อยทำให้ไม่มีเสี้ยน ปริมาณวิตามินซีและเพกทิน (pectin) ในรูปของแคลเซียมเพกเตต (calcium pectate) ก่อนข้างสูง ทำให้ฝักกรอบไม่เหนียว ในช่วงอากาศร้อนฝักกระเจียบเขียวจะโตเร็วมาก โดยจะเติบโตได้ถึงวันละ 2.3 เซนติเมตร ทำให้เกษตรกรต้องเก็บเกี่ยวฝักกระเจียบเขียวทุกวัน เกษตรกรสามารถเก็บฝักได้จนกระทั่ง 1½ - 2 เดือน การเก็บเกี่ยวฝักกระเจียบเขียวจะทำในช่วงเช้าเวลา 6.00 - 10.00 น. เก็บเกี่ยวโดยจะใช้มีดหรือกรรไกรที่คมตัดฝักกระเจียบเขียวที่ละฝัก มีก้านติดไม่เกิน 1 เซนติเมตร จะตัดตรงข้อต้องตัดให้ตรง ไม่ตัดเฉียงเพื่อป้องกันไม่ให้ปลาลาตามขีดข่วนฝักอื่นทำให้ฝักอื่นเสียหายเมื่ออยู่ในภาชนะบรรจุ และหลีกเลี่ยงการโยนในภาชนะ ฝักที่เก็บแล้วให้นำเข้าที่ร่มทันที ไม่พรมน้ำ หรือรดฝักกระเจียบเขียว ภายหลังเก็บเกี่ยวแล้วควรขนส่งโดยเร็ว (นวลนภา, 2548)

2. พันธุ์และแหล่งพันธุ์

พันธุ์ของกระเจียบเขียวที่นิยมปลูกในประเทศไทย (วรรณภา, 2544) ได้แก่

2.1 พันธุ์ Hit 9701 เป็นพันธุ์นำเข้ามาจากประเทศอินเดีย เกษตรกรในภาคกลางนิยมปลูกพันธุ์นี้มาก เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีความต้านทานโรคใบด่างไวรัส (yellow vein mosaic virus) ฝักมี 5 เหลี่ยม สีเขียวเข้มสม่ำเสมอ ฝักมีเส้นใยน้อย ผิวมันละเอียด ไม่มีหนาม ออกดอกเร็ว ผลผลิตสูง

น้ำหนักดี เก็บได้นาน เป็นที่ยอมรับของบริษัทผู้ส่งออกและตลาดต่างประเทศ เหมาะสำหรับส่งออกสดและแช่แข็ง

2.2 พันธุ์ลูกผสมรุ่นที่ 1 จากประเทศญี่ปุ่นและประเทศอินเดีย เป็นพันธุ์ที่ตลาดญี่ปุ่นนิยมมาก มีลักษณะฝักสีเขียวเข้ม ฝักมี 5 เหลี่ยมชัดเจน ต้นแข็งแรง ผลผลิตสูง

2.3 พันธุ์ผสมเปิดจากต่างประเทศ เช่น พันธุ์ ‘Clemson’ และพันธุ์ ‘Spineless’ ลักษณะฝักกลมป้อม พันธุ์ ‘Dwarf Green’ ลักษณะฝักเรียวยาว เป็นพันธุ์ที่มี 8 เหลี่ยม สีเขียวปานกลาง นิยมใช้ในการบรรจุกระป๋อง

3. คุณค่าทางอาหาร

กระเจี๊ยบเขียว เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดอื่น เช่น มะเขือเทศ มะเขือม่วง โดยกระเจี๊ยบเขียวอุดมไปด้วยวิตามินซีและแคลเซียม (Salunkhe and Kadam, 1998) นอกจากนั้นยังประกอบไปด้วยสารจำพวกกัม (gum) และเพกทิน ในปริมาณสูงทำให้อาหารประกอบขึ้นจากฝักกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะเป็นเมือก จากการวิเคราะห์ฝักกระเจี๊ยบเขียวในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารดังนี้ (Lamont, 1999)

น้ำ	90	เปอร์เซ็นต์	พลังงาน	38	กิโลแคลอรี
โปรตีน	2.0	กรัม	ไขมัน	0.1	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.6	กรัม	เส้นใย	0.9	กรัม
แคลเซียม	81	มิลลิกรัม	ฟอสฟอรัส	63	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8	มิลลิกรัม	ซเดียม	8	มิลลิกรัม
โปแตสเซียม	303	มิลลิกรัม	วิตามิน เอ	660	หน่วยสากล
ไทอามิน	0.20	มิลลิกรัม	ไรโบฟลาวิน	0.06	มิลลิกรัม
ไนอาซิน	1.00	มิลลิกรัม	วิตามิน ซี	21.1	มิลลิกรัม
วิตามิน บี 6	0.22	มิลลิกรัม			

นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังมีสารที่มีคุณสมบัติทางยา เช่น แก๊พยาริตัวจี๊ด เคลือบกระเพาะอาหาร ในต่างประเทศพบว่ากระเจี๊ยบเขียวรักษาโรคกระเพาะได้ดี เนื่องจากมีสารเมือกมาก ซึ่งเป็น

สารพวกเพกทินป้องกันแผลในกระเพาะไม่ให้ลุกลาม (ชินขวัญ, 2545) โดยเมือกกลืนนี้จะช่วยหล่อลื่น ฉาบ เคลือบ และบรรเทาอาการระคายเคืองของเนื้อเยื่อที่อักเสบ จึงใช้เป็นยาบรรเทาอาการปวดท้องได้ในผู้ป่วยที่เจ็บกระเพาะและลำไส้อักเสบ มีการนำมาทำเป็นยาทั้งยาผงและแคปซูล (เฉลิมเกียรติ, 2537) นอกจากนี้ยังบรรเทาแผลเปื่อย และริดสีดวงทวาร (Salunkhe and Kadam, 1998) ป้องกันอาการหลอดเลือดตีบตัน ช่วยรักษาระดับความดันโลหิตให้เป็นปกติ บำรุงสมอง ทั้งยังเป็นยาระบายที่ดี

กระเจี๊ยบเขียวนิยมนำมาปลูกเพื่อบริโภคฝักอ่อน ทั้งเป็นผักสด หรือปรุงสุก เป็นส่วนประกอบของซूप ทอด ทำแฉ่งเป็นผง หรือคอง ใบอ่อน ยอดอ่อนและดอกอ่อน รับประทานเหมือนผักโขม หรือเป็นอาหารสัตว์ เมล็ดมีน้ำมันและโปรตีนปริมาณสูงพอสมควร ใช้แต่งกลิ่นอาหาร เมล็ดแฉ่งบดใช้แทนกาแฟมีกลิ่นหอมแต่ไม่มีคาเฟอีน (Siemonsma and Piluek, 1993)

4. การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของกระเจี๊ยบเขียว

เนื่องจากฝักและผลไม้เป็นผลิตผลทางพืชสวน หลังการเก็บเกี่ยวยังมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาจึงทำให้เสื่อมสภาพได้เร็วและเน่าเสียหาได้ง่าย ฝักที่บริโภคฝักอ่อน เช่น แตงกวา ถั่ว และกระเจี๊ยบเขียว จัดเป็นผลิตผลที่อยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโตทำให้ยังมีอัตราเมแทบอลิซึมสูงอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญ ได้แก่

4.1 การหายใจ

การเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเก็บเกี่ยวขณะที่ฝักกระเจี๊ยบเขียวยังเป็นฝักอ่อน ทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีอัตราการหายใจที่สูง อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงการเก็บรักษามาก เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการหายใจจะกระตุ้นให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เกิดขึ้น ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพ และมีผลถึงอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามอัตราการหายใจของผลิตผลสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม ระยะการเก็บเกี่ยวของผลิตผล และแหล่งที่เพาะปลูก เป็นต้น สำหรับปัจจัยภายนอกที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลิตผล ได้แก่ องค์ประกอบของบรรยากาศ ความเครียดทางกายภาพ และอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สารทุกอย่างมี

พลังงานสูงขึ้น ปฏิกริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจ (Thompson, 1996)

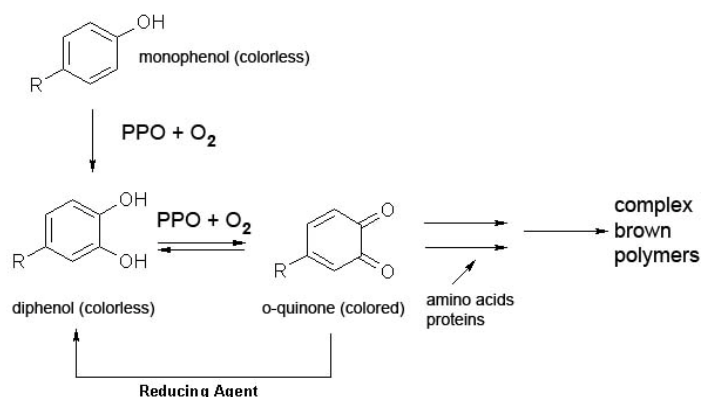
4.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำเป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่จากตัวผลิตผลไปสู่อากาศภายนอก ซึ่งการสูญเสียน้ำในผลิตผลทางพืชสวนเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำหนัก เกิดการเหี่ยว เพราะ มีการเปลี่ยนแปลงของสีและมีรสชาติที่เปลี่ยนไป คุณค่าทางอาหารและความน่ารับประทาน (Schlimme, 1995; Wills *et al.*, 1998) นอกจากนั้นยังอาจมีรูปร่างลักษณะเปลี่ยนไปในทางที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ซึ่งทำให้มีมูลค่าทางการค้าลดลงด้วย การสูญเสียน้ำหนักเป็นปัญหาหลักในการขนส่งมีความสัมพันธ์กับราคาผลิตผลและยังส่งผลต่อคุณภาพด้านอื่นๆ (Weiss, 2002) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล มีทั้งปัจจัยภายใน เช่น ขนาดของผลิตผล (พื้นที่ผิว) คิวติเคิล (cuticle) และลักษณะของผลิตผล เป็นต้น และปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ การเคลื่อนไหวของอากาศ เป็นต้น โดยปกติในอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100% จึงมีโอกาที่จะรับน้ำได้อีกมาก ส่วนในผลิตผลโดยส่วนใหญ่จะมีน้ำสูงกว่า 90% จึงมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลาขึ้นกับว่าบรรยากาศภายนอกจะมีน้ำอยู่มากหรือน้อย แม้ว่าบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ แต่ก็ยังมีการสูญเสียน้ำหนักออกมาจากผลิตผลได้เนื่องผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมีความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงสูญเสียน้ำหนักออกสู่อากาศภายนอก (จริงแท้, 2546) ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผลิตผลจะขึ้นอยู่กับ พันธุ์ และอายุของผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยว เช่น ความแตกต่างของพันธุ์พริกมีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา พริก New Mexican-type มีอัตราการสูญเสียน้ำเร็วเป็น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพริกหวาน และพริก Jalapeno (Lownds *et al.*, 1994)

4.3 การเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวหลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดบริเวณข้อผักซึ่งเป็นบาดแผลที่เกิดจากรอยตัดจากการเก็บเกี่ยว และเมื่อเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียวได้ระยะเวลาหนึ่ง ก็เกิดสีน้ำตาลบนเนื้อผัก และบนผิวผักกระเจี๊ยบเขียว ผักกระเจี๊ยบเขียวที่มีลักษณะการเกิดสีน้ำตาลจะไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (Baxter and Waters, 1990) โดยการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีเอนไซม์เป็นตัวกระตุ้น

โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องทำให้เกิดสีน้ำตาลคือ พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO), ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia lyase, PAL) และ เพอร์ออกซิเดส (peroxidase, POD) พบมากในพืช เช่น มันฝรั่ง ผักกาดหอม องุ่น มะม่วง สาลี่ โกโก้ (Martinez and Whitaker, 1995) การเกิดสีน้ำตาลมักเกิดขึ้นบริเวณแผลหรือรอยตัดของผลผลิต โดยเฉพาะในผลผลิตที่มีสารประกอบฟีนอลในปริมาณสูง (Heimdal *et al.*, 1995) โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบจำพวกฟีนอล (phenol) ให้เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำตาล (complex brown polymer) สารตั้งต้น (substrate) ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส คือสารประกอบฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ขึ้นไป (Mayer and Harel, 1991) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส มีอยู่ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinones) ขั้นตอนที่สองเป็นการทำปฏิกิริยาสารออร์โท-ควิโนนที่เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมาก โดยจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อนดังภาพที่ 2 ส่งผลให้ผลผลิตไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Saper, 1993) การปอกหรือตัดผลผลิตเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากทำให้เซลล์ของผลผลิตแตกออก ทำให้สารตั้งต้น ได้แก่ สารประกอบจำพวกโมโน หรือไดฟีนอล (mono- or diphenolic compound) และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ได้สารสีน้ำตาลขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์ต้องการองค์ประกอบ 4 อย่างด้วยกัน คือ แก๊สออกซิเจน ธาตุทองแดง เอนไซม์ และสารตั้งต้น การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถทำได้โดยนำองค์ประกอบเหล่านี้อย่างใดอย่างหนึ่งออกไปจากระบบหรือใช้ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์ สารออร์โท-ควิโนนให้กลับไปเป็นสารออร์โท-ไดฟีนอล หรือตัวต้านการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning agents) ตัวต้านการเกิดสีน้ำตาลจะไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ และ/หรือสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (McEvily *et al.*, 1992)



ภาพที่ 2 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ที่มา: Bramen *et al.* (1996)

จากการศึกษาของ Degl'Innocenti *et al.* (2006) พบว่า เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของผักกาดหอม โดยเมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมตัดแต่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ผักกาดหอมมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ PAL และเอนไซม์ PPO พบว่าเอนไซม์ PAL มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้นถึงชั่วโมงที่ 3 ของการเก็บรักษา และลดลงอย่างต่อเนื่องและการทำงานของเอนไซม์ PPO มีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ของการเก็บรักษา

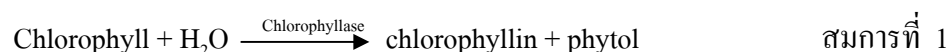
4.4 การสูญเสียคลอโรฟิลล์

การสูญเสียคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ทำให้พืชเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีที่มองเห็นเกิดจากการสลายตัวของสารสี (pigment) ต่างๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แครโทีนอยด์ ไลโคปีน และแอนโทไซยานิน (จริงแท้, 2546) พืชเกือบทุกชนิดมักจะมีสีเขียวเป็นผลมาจากคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ทำหน้าที่เป็นตัวจับแสงตัวแรกในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยจะทำการตรึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์ไว้และปล่อยออกซิเจนออกมา คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี เป็นต้น ซึ่งคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีโครงสร้างและคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดแสงช่วงคลื่นต่างๆ ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดต่างกันด้วย ในพืชชั้นสูงจะพบคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี โดยทั่วไปพบในอัตราส่วน 3:1 คลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ แอซี

โตน และอีเทอร์ เป็นต้น (สมบุญ, 2544) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ถูกสร้างและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในระหว่างการเสื่อมสภาพ (senescence) การสลายตัวจะเกิดขึ้นมากกว่าทำให้คลอโรฟิลล์หมดไป กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อาจเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังต่อไปนี้เพียงปฏิกิริยาเดียวหรือร่วมกัน (Wills *et al*, 1998) คือ

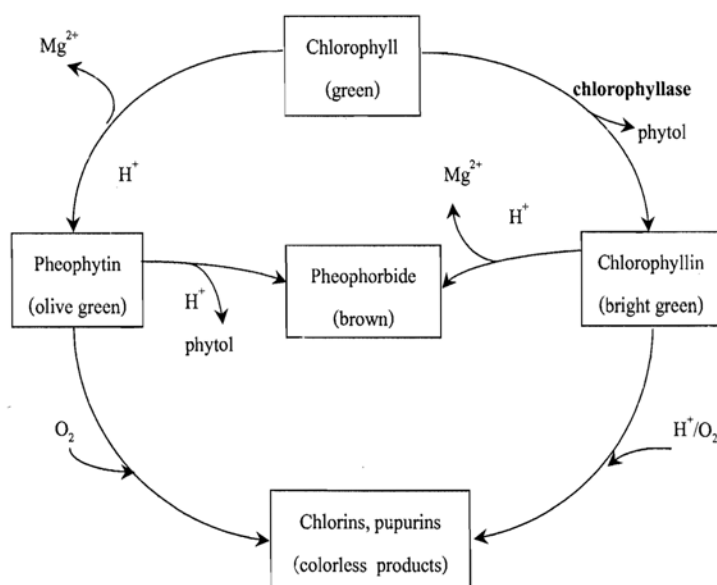
4.4.1 สภาพที่เป็นกรด ทำให้อะตอมของแมกนีเซียม (Mg-atom) หลุดออกไปจากส่วนหัวทำให้เกิดโมเลกุลของฟีโอไฟดิน (pheophytin) ซึ่งมีสีเขียวมะกอก

4.4.2 การทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) โดยการแยกส่วนหัวและส่วนหางของโมเลกุลออกจากกัน ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของคลอโรฟิลลิน (chlorophyllin) มีสีเขียวสว่าง ดังสมการที่ 1



4.4.3 เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ทำให้ได้สารประกอบที่ปราศจากสี

กระบวนการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์

ที่มา : Wills *et al*. (1998)

เทคโนโลยีในการเก็บรักษาผลิตผลสด

ผลิตผลทางการเกษตรหลังจากเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ การคายน้ำ การหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การพัฒนาและการเจริญเติบโตของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และองค์ประกอบของบรรยากาศ ทำให้การสูญเสียคุณภาพและเสื่อมสภาพของผลิตผลสามารถเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันจึงได้มีเทคโนโลยีต่างๆ ที่ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตผล ดังนี้

1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature storage)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเก็บรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพราะการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผลตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตที่สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาลง (Kader, 2002) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นกรรมวิธีเบื้องต้นสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมของผลิตผลและชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องเหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลด้วย โดยกระเจียบเขียวอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือ ที่อุณหภูมิ 7 - 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 - 95% สามารถเก็บได้นาน 7 - 10 วัน (จริงแท้, 2546) ถ้าเก็บที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ฝักเหี่ยว ฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเน่าได้ นอกจากนี้กระเจียบเขียวยังมีความไวต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยฝักจะมีลักษณะน้ำน้ำ ขอบฝักมีสีดำ และเกิดรอยบวมบริเวณผิวฝัก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (Lamont, 1999; Perkins-Veazie and Collins, 1992) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำและชนิดของพืช

2. การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere storage, CA)

การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม เป็นการควบคุมบรรยากาศการเก็บรักษาผลิตผล โดยจะมีการควบคุมระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 21 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และแก๊สไนโตรเจนร้อยละ 78 และควบคุมความเข้มข้นของแก๊สในระดับที่ต้องการตลอดอายุการเก็บรักษา การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับรักษาคุณภาพของ

ผลิตผลชนิดนั้นๆ (Kader, 1993) การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถลดอัตรา การหายใจของผลิตผลและกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งมีผลต่อการชราภาพ และการเปลี่ยนแปลง องค์ประกอบทางเคมีภายใน เช่น การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การเกิดกลิ่นรสที่ ผิดปกติ (Volz *et al.*, 1998) ชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่ผลต่อการเกิดสี น้ำตาล ชะลอการสุก และยืดอายุการเก็บรักษา (Thompson, 1996) แต่การตอบสนองของผลิตผลต่อ บรรยากาศควบคุมจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลนั้นๆ ผลิตผลบางชนิดเมื่อเก็บรักษาที่ระดับความ เข้มข้นของออกซิเจนต่ำมากๆ อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนส่งผลให้เกิด กระบวนการหมักทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ (Beaudry, 1999)

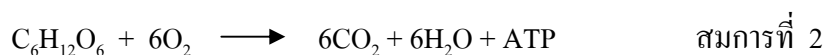
ผลของบรรยากาศควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลิตผลมีดังนี้

2.1 ชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

เมื่อผลิตผลถูกกระทบกระเทือนหรือเกิดบาดแผลจากการเก็บเกี่ยว เช่น การตัดที่ซ้ำ ของฝักกระเจี๊ยบเขียวขณะเก็บเกี่ยว เมื่อทิ้งไว้สักพักตรงบริเวณรอยตัดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สี น้ำตาลที่เกิดขึ้นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจะออกซิไดส์สารประกอบ พวกลิกนินในสภาพที่มีออกซิเจนทำให้เกิดสารออร์โท-ไดฟีนอล ซึ่งจะถูกลูกออกซิโดซ์ต่อไปเป็นออร์ โท-ควิโนน แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ขึ้นและมีสีน้ำตาล (complex brown polymers) การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำ ทำให้ปริมาณแก๊ส ออกซิเจนในผลต่ำลงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากมีผลต่อการลดการทำงานของ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้ (Day, 1996) จากการศึกษาของ Angos *et al.* (2007) ได้ทำการเก็บ รักษามันฝรั่งตัดแต่งในบรรยากาศควบคุม ที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 80 ร่วมกับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 - 20 พบว่าสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลผลผิวหน้าของมัน ฝรั่งได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ

2.2 ลดอัตราการหายใจ

กระบวนการหายใจของพืชเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน หรือโปรตีน ที่สะสมภายในเซลล์พืช เพื่อสร้างพลังงานที่จำเป็นต่อการ ดำรงชีวิต น้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งโดยเอนไซม์ จะถูกลูกออกซิโดซ์ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ พลังงาน ดังสมการดังนี้



การหายใจของสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนในขั้นสุดท้ายเพื่อรับอิเล็กตรอนจาก cytochrome a/a3 ถ้าหากในบรรยากาศขาดออกซิเจนจะทำให้การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก NADH เกิดขึ้นไม่ได้ ในขณะที่เดียวกันการสร้าง ATP ก็ไม่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการหายใจทั้งกระบวนการ ถูกยับยั้งเพราะ NAD^+ ถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป NADH หมด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใต้บรรยากาศที่ขาดออกซิเจนจึงจำเป็นต้องหาทางออกทางอื่นเพื่อให้ได้พลังงาน (ATP) มา ในขณะเดียวกันก็ต้องหมุนเวียน NADH กลับมาเป็น NAD^+ ทั้งนี้อาจทำได้โดยการหันไปใช้กระบวนการหมัก (fermentation) น้ำตาลเมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จนได้กรดไพรูวิก (pyruvic acid) แล้วถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นแอซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และเอทานอล (ethanol) (จริงแท้, 2546) การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 ร่วมกับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3 สามารถช่วยลดอัตราการหายใจของพริกไทยได้ (Ozden and Bayindirli, 2002) เมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 80 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 - 20 สามารถลดอัตราการหายใจของ มันฝรั่งได้ (Angos *et al.*, 2007) และเมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 สามารถลดอัตราการหายใจของ บรอกโคลีได้ถึง 10 เท่า (Zagory and Kader, 1988)

2.3 อัตราการผลิตเอทิลีน

ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีผลต่อการสร้างเอทิลีนของพืช โดยแก๊สออกซิเจนจะมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์เอทิลีนในพืชเนื่องจากในกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนพืชจำเป็นต้องใช้แก๊สออกซิเจน เอทิลีนถือเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊สที่ผลิตผลผลิตขึ้น มีผลกระตุ้นให้ผลิตผลเสื่อมสภาพและมีอัตราการหายใจสูงขึ้น โดยผลิตผลแต่ละชนิดจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่แตกต่างกันออกไป เอทิลีนมีส่วนสำคัญในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีส่วนเร่งการเกิดผลเสีย การวาย รวมทั้งทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลต่างๆ ลดลง (Reid, 2002) เมื่อเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศควบคุมที่ลดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าบรรยากาศปกติ จะทำให้การผลิตเอทิลีนของผลิตผลลดลง ทำให้สามารถชะลอกระบวนการสุกของไคลแมกทีริก (climacteric fruit) ได้ (Beaudry, 2000) ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากกว่าบรรยากาศปกติจะขัดขวางการทำงานของเอทิลีน โดยแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ โดยขึ้นอยู่กับการจับกับชนิดของพืช อุณหภูมิ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และ

ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ในบรรยากาศนั้น ดังนั้นการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงและแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าบรรยากาศปกติจึงเป็นวิธีการที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ เนื่องจากช่วยชะลออัตราการผลิตเอทิลีน (El-Kazzaz *et al.*, 1983; Ke and Kader, 1990)

2.4 การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ

การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นต่ำพืชอาจตอบสนองต่อสภาพดังกล่าวในทางลบ อาจทำให้ผักและผลไม้เกิดกลิ่นรสผิดปกติได้ เนื่องจากการเกิดกระบวนการหมัก (fermentation) สารประกอบคาร์บอนในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จะเปลี่ยนเป็นเอซีตอลดีไฮด์, เอทานอลและ แลกเตส (lactate) (Yearsley *et al.*, 1996) นอกจากนี้ภายใต้บรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงมีผลในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซิเลส (pyruvate decarboxylase, PDC) และเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮด์โคโรจีเนส (alcohol dehydrogenase, ADH) ทำให้เกิดการสะสมของเอซีตอลดีไฮด์และเอทานอลเพิ่มขึ้น นำไปสู่การเกิดกลิ่นผิดปกติ เนื่องจากเกิดการสะสมเอซีตอลดีไฮด์, เอทานอลและ แลกเตส จากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Kader, 1995)

ผลิตผลแต่ละชนิดจะมีความต้องการความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดแตกต่างกันดังตารางที่ 2 และ 3 การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศควบคุมควรจะต้องทราบถึงความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลิตผลทนได้เพื่อป้องกันการเกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการบาดเจ็บจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury) โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตผลแต่ละชนิด ผลิตผลที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะมีบทบาททั้งการกระตุ้นและยับยั้งการหายใจ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ได้รับ ชนิดของผลิตผล สภาพทางสรีรวิทยาของผลิตผล ความไวของผลิตผลต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้

ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน (ร้อยละ)	ชนิดพืช
≤ 0.05	เห็ด, ผักโขม, แพร่สไลด์, บรอกโคลี
1.0	แอปเปิ้ลสไลด์, แคนตาลูป, แตงกวา, อะโวคาโด, องุ่น, กีวี่ ลิ้นจี่, เงาะ, กล้วย
1.5	แอปเปิ้ล, แพร่
2.0	แครอทหั่นเป็นชิ้น, พริกหวาน, ผักกาด, กะหล่ำดอก, พริก, ข้าวโพดหวาน, มะเขือเทศ, แบลคเบอร์รี่, ทูเรียน, มะม่วง, มะกอก, มะละกอ, สับปะรด
2.5	ผักกาดหั่น, บลูเบอร์รี่
3.0	แคนตาลูปตัดแต่ง, เกรพฟรุ๊ต
4.0	เห็ดสไลด์
5.0	มะนาว, ไลม์, ส้ม
10.0	หน่อไม้ฝรั่ง
14.0	ส้มที่ปอกเปลือก

ที่มา: Beaudry (2000); Mir and Beaudry (2004)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้

ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)	ชนิดพืช
2	ผักกาดหอมห่อ, แพร่
3	อาร์คติกไช้ค, มะเขือเทศ
5	แอปเปิ้ล, แอปริคอต, กะหล่ำดอก, แตงกวา, องุ่น, มะกอก, ส้ม, มันฝรั่ง,
7	พริกหวาน
8	กล้วย

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)		ชนิดพืช
10	กล้วย มะละกอ หน่อไม้ฝรั่ง, กะหล่ำปลี, ถั่วงอก, แครอท, มะนาว, มะม่วง,	
15	แคนทารีน, ลูกพลับ, สับปะรด, ข้าวโพดหวาน	
20	อะโวคาโด, บรอกโคลี, ถั่วลิสง, พริก, หน่อไม้ฝรั่ง, สวิสชาร์ด	
25	แคนตาลูป, ทูเรียน, เห็ด, เงาะ	
30	แบล็คเบอร์รี่, บลูเบอร์รี่, มะเดื่อ, ราสเบอร์รี่, สตรอเบอร์รี่ น้อยหน่า	

ที่มา: Watkins (2000); Mir and Beaudry (2004)

3. การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere storage, MA)

การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง เป็นการบรรจุผลิตผลภายในภาชนะบรรจุที่บรรยากาศมีองค์ประกอบแก๊สแตกต่างจากบรรยากาศปกติซึ่งประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่มีระดับความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนที่ต่ำลง และระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่สูงขึ้น (Gorny, 2003) โดยการปรับหรือควบคุมบรรยากาศควรทำไปควบคู่กับการจัดการอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม สำหรับศักยภาพของระบบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างทั้งชนิดสายพันธุ์ ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบของบรรยากาศ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Kader, 2002) กระบวนการเปลี่ยนแปลงด้านชีวเคมีและด้านสรีรวิทยาของผลิตผลยังคงดำเนินไปภายในภาชนะบรรจุที่บรรจุผลิตผล ขณะที่ผลิตผลถูกเก็บไว้ในภาชนะบรรจุผลิตผลมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตลอดเวลา ทำให้บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุรอบๆ ผลิตผลมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนลดลงจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (Kader, 1986) เช่น การเก็บรักษาผักและผลไม้ในถุงพลาสติกปิดปากถุงแน่น ปริมาณของออกซิเจนในถุงพลาสติกจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปโดยการหายใจของผักและผลไม้และปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจ

ปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกควบคุมโดยคุณสมบัติในการยอมให้แก๊สซึมผ่านได้ ของพลาสติกฟิล์มซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและอุณหภูมินั้น (สายชล, 2528) การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมกับผลิตผล ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหรือรักษาคุณภาพของผลิตผลได้ (Kader, 1995)

Barth *et al.* (1993) ได้ทำการทดลองเก็บรักษาบร็อกโคลี่พันธุ์ Green Belt ภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยบรรจุบร็อกโคลี่น้ำหนัก 400 g ลงถาดและปิดผนึกด้วยฟิล์ม VF-71 ที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ $1200 \text{ cc}/100 \text{ in}^2 \cdot \text{day}$ ค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ $1100 \text{ cc}/100 \text{ in}^2 \cdot \text{day}$ และอัตราการซึมผ่านได้ของไอน้ำ เท่ากับ $30 \text{ g}/100 \text{ in}^2 \cdot \text{day}$ เปรียบเทียบกับบร็อกโคลี่ที่ไม่ได้บรรจุในถาดแต่ไม่ได้ปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า บร็อกโคลี่ที่เก็บรักษาในถาดและปิดผนึกด้วยฟิล์ม VF-71 สามารถลดการสูญเสียกรดแอสคอบิก, ลดการสูญเสียน้ำหนัก, รักษาปริมาณคลอโรฟิลล์และมีลักษณะสี ที่ดีกว่าบร็อกโคลี่ที่บรรจุและไม่ได้ปิดผนึกด้วยฟิล์ม

Carlin *et al.* (1990) ได้ทำการทดลองบรรจุแครอทตัดแตงน้ำหนักประมาณ 250 g ในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ OPP ที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มแตกต่างกัน แครอทตัดแตงที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 950-22,000 $\text{cc}/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 6 หรือ 10 องศาเซลเซียส เก็บรักษา 10 วัน พบว่า มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในถุงพลาสติกต่ำ ทำให้แครอทเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนแครอทตัดแตงที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูง ระหว่าง 10,000 และ 20,000 $\text{cc}/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าแครอทตัดแตงมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และมีปริมาณแคโรทีนอยด์และน้ำตาลซูโครสสูงกว่าแครอทตัดแตงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนต่ำ

Piagentini *et al.* (2002) พบว่าการเก็บรักษาผักโขมในถุงโพลิโพรพิลีน (monooriented polypropylene, OPP) หนา $30 \mu\text{m}$ และถุง LDPE หนา $40 \mu\text{m}$ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ปิดถุงพลาสติกสนิท สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ การสูญเสียน้ำหนัก และมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ แต่ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเกิดกลิ่นผิดปกติ โดยผักโขมที่บรรจุในถุง OPP มีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้นเร็วกว่าถุง LDPE

ผลิตผลแต่ละชนิดต้องการบรรยากาศเปลี่ยนแปลงภายในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการรวบรวมสภาพที่เหมาะสมทั้งช่วงอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊สออกซิเจน และการบอบไดออกไซด์ที่เหมาะสมไว้ดังตารางที่ 4 นอกจากนี้สามารถแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนดังภาพที่ 4 การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศต้องมีการคำนึงถึงความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊ส เพราะเป็นความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ควบคุมให้ผลิตผลหายใจแบบใช้ออกซิเจน ป้องกันการเกิดกลิ่นผิดปกติ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตผลต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันการถูกทำลายของเซลล์ การสูญเสียกลิ่นรส (Yam and Lee, 1995) ชะลอการเสื่อมสภาพและรักษาคุณภาพของผลิตผล โดยปกติการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลิตผลเก็บรักษานาน แต่ถ้าวัดเกินไปผลิตผลที่พบในเขตร้อนจะเกิดการสะสมน้ำตาล

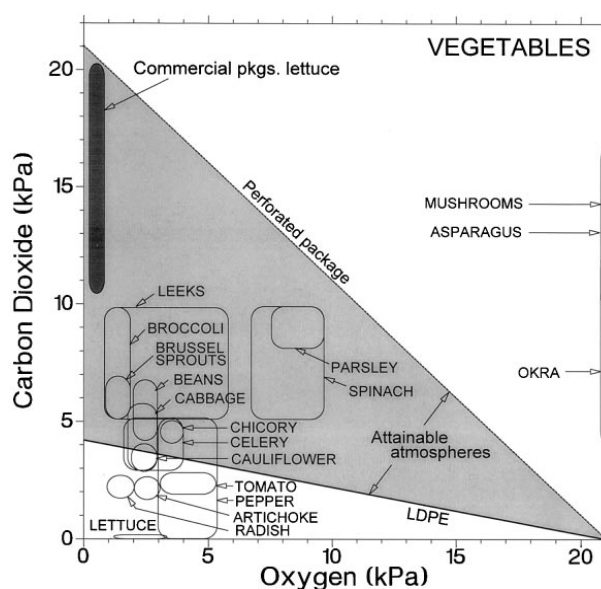
ตารางที่ 4 บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลิตผล	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	บรรยากาศดัดแปลง (เปอร์เซ็นต์)	
			ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
ผัก				
หน่อไม้ฝรั่ง	0-5	95	อากาศ	5-10
บรอกโคลี	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
ผักโขม	0-5	95	อากาศ	10-20
มะเขือเทศ	8-12	85-90	3-5	0

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ช่วงอุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	บรรยากาศดัดแปลง (เปอร์เซ็นต์)	
	(องศาเซลเซียส)	(เปอร์เซ็นต์)	ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
ผลไม้				
แอปเปิ้ล	0-5	90	2-3	1-2
กล้วย	12-15	85-95	2-5	2-5
บลูเบอร์รี่	0-5	90-95	0-10	11-20
เชอร์รี่	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
สตอเบอรี่	0-5	90-95	10	15-20

ที่มา: Yam and Lee (1995)



ภาพที่ 4 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมกับผักชนิดต่างๆ

ที่มา: Mir and Beaudry (2004)

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

องค์ประกอบของปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเป็นผลมาจากปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ได้แก่ สภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability) ของภาชนะบรรจุ อัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์ และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และความชื้น การเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกและสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ และส่งผลต่อการสร้างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

3.1.1 การหายใจของผลิตภัณฑ์

การหายใจของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการย่อยสลายที่ให้อพลังงานสำหรับกระบวนการทางชีวเคมีของพืช (Fonseca *et al.*, 2002) ส่วนหนึ่งนำไปใช้ในเซลล์พืช อีกส่วนจะปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งหากไม่มีการกำจัดออกไป จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเสียต่อคุณภาพของผักและผลไม้ที่เก็บรักษาไว้ โดยการหายใจทำให้พืชสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 3 - 5 อัตราการหายใจสูงสุดของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเป็น 4 - 6 เท่าที่อุณหภูมิ 0 - 15 องศาเซลเซียส ซึ่งเพิ่มมากกว่าสภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability) ของฟิล์ม LDPE 2 - 3 เท่า และมากกว่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มเจาะรูถึง 30 เท่า (Mir and Beaudry, 2004) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้องการแก๊สออกซิเจนของผลิตภัณฑ์จะมีมากกว่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพลาสติก ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะลดลงและอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการใช้การบรรจุในสภาวะบรรยากาศดัดแปลง (Kader and Watkins, 2000; Mir and Beaudry, 2004)

3.1.2 สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม (permeability)

สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มคือการเคลื่อนที่ของแก๊ส ไอและของเหลว (ตัวซึมผ่าน) ผ่านวัสดุบรรจุที่ไม่รวมการซึมผ่านรูหรือรอยรั่ว (Hernandez *et al.*, 2000) สภาพให้ซึมผ่านได้เป็นสมบัติที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบแก๊สภายในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง โดยแก๊สที่ซึมผ่านฟิล์มจะเกิดการเคลื่อนที่ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกคือการควบแน่นและการผสม (การละลาย) ของตัวซึมผ่านลงในพื้นผิวฟิล์ม ขั้นต่อมาเป็นการแพร่ผ่านไปยังพื้นผิวฝั่งตรงข้ามของฟิล์มภายใต้ความแตกต่างของความเข้มข้น และขั้นสุดท้าย คือการระเหย

จากพื้นผิวไปสู่บรรยากาศโดยรอบ (Al-Ati and Hotchkiss, 2003) โดยปัจจัยที่มีผลต่อสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม ได้แก่

ก. โครงสร้างทางเคมีของฟิล์ม ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของหน่วยย่อยของพอลิเมอร์ (chemical composition) ความเป็นขั้ว (polarity) สภาพมีขั้วที่เพิ่มขึ้นทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นทำให้การซึมผ่านลดลง ความแข็งของสายพอลิเมอร์ (stiffness of the polymer) ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ลดลงทำให้ปริมาตรอิสระมากส่งผลให้สภาพซึมผ่านสูง ความเกะกะของกลุ่มบนสายโซ่ข้างและสายโซ่หลัก (bulkiness of side and backbone chain groups) ถ้ามีขนาดใหญ่จะขัดขวางการเคลื่อนที่และการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของพอลิเมอร์ และความเป็นผลึก (degree of crystallinity) มีผลต่อการแพร่และการละลายของสารที่จะเคลื่อนที่ผ่าน ถ้ามีสภาพเป็นผลึกสูงจะทำให้มีสภาพให้ซึมผ่านได้ต่ำ

ข. โครงสร้างทางกายภาพของพอลิเมอร์ สภาพเป็นผลึก การจัดเรียงตัวและการปรับทิศทางของพอลิเมอร์มีผลต่อโครงสร้างทางกายภาพซึ่งส่งผลต่อสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม คือถ้ามีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกสูง บริเวณอสัณฐานจะลดลง จะทำให้มีสภาพให้ซึมผ่านได้ต่ำ เนื่องจากบริเวณที่จัดเรียงตัวเป็นผลึกจะมีความหนาแน่นมากกว่าโครงสร้างที่เป็นอสัณฐาน การเกาะกันอย่างใกล้ชิดของอะตอมทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนไม่สามารถผ่านไปได้ ดังนั้นแก๊สและไอน้ำมักถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์แล้วจึงสามารถแพร่ในโครงสร้างที่เป็นอสัณฐานของพอลิเมอร์ ในขณะที่โครงสร้างที่เป็นผลึกจะไม่ยอมให้โมเลกุลแพร่ผ่านได้

ค. โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของสารที่ซึมผ่าน สารที่ซึมผ่านที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการแพร่ต่ำกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก แต่โมเลกุลขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจากเมื่อสารซึมผ่านมีขนาดโมเลกุลใหญ่ต้องใช้พลังงานในการทำให้โมเลกุลกลายเป็นไอมีค่าเพิ่มขึ้น ความดันไอของสารจะมีค่าลดลงทำให้แก๊สมีแนวโน้มที่จะละลายได้ในของเหลวสูงกว่าเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊สทำให้สภาพการละลายเพิ่มขึ้น

ง. อุณหภูมิ สภาพให้ซึมผ่านได้ขึ้นกับอุณหภูมิตามความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการของอาร์เรเนียส (สมการที่ 3) และสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น 2 เท่าและลดลง 0.5 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลง 10 องศาเซลเซียสตามลำดับ

$$P = P_0 \exp(-E_p / R * T)$$

สมการที่ 3

จ. ความแตกต่างของความเข้มข้นแก๊สที่ซึมผ่านฟิล์ม แก๊สจะสามารถซึมผ่านฟิล์มได้สูงขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของความเข้มข้นแก๊สระหว่างภายในและภายนอกภาชนะบรรจุมากขึ้น (Hernandez *et al.*, 2000)

ฉ. ความชื้นสัมพัทธ์ การมีไอน้ำอยู่ในพอลิเมอร์จะมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอระเหยอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปอัตราการซึมผ่านมักเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ และเพิ่มปริมาตรอิสระในพอลิเมอร์ ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้สภาพให้ซึมผ่านได้ของออกซิเจนของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

3.2 ภาชนะบรรจุ

วัสดุบรรจุที่นิยมใช้กับผักและผลไม้สดในการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง ได้แก่ ฟิล์มพลาสติก จากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ทำให้ฟิล์มที่ต้องการสำหรับการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต้องมีช่วงสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สที่กว้าง โดยตัวอย่างของสภาพให้ซึมผ่านได้ ค่าเพอร์มซีเล็คทีวิตี (permselectivity, β) และพลังงานก่อกัมมันต์ของสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มบางชนิดแสดงไว้ดังแสดงในตารางที่ 5 การเกิดบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุเกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างแก๊สภายในกับภายนอกภาชนะบรรจุจากกระบวนการหายใจของผลผลิต ผลผลิตหายใจโดยใช้แก๊สออกซิเจนที่มีอยู่ภายในและปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และมีการแลกเปลี่ยนเคลื่อนย้ายโดยการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุผ่านฟิล์มสู่สิ่งแวดล้อมและจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ภายในภาชนะบรรจุจนเข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลง (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) คือ ที่ระดับแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาเท่ากับแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซึมผ่านได้ เมื่อบรรยากาศเข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมจะช่วยชะลอการหายใจ การคายน้ำ ลดการเสื่อมสภาพ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตสดได้ (Mir and Beaudry, 2004)

ตารางที่ 5 สภาพให้ซึมผ่านได้และพลังงานก่อกัมมันต์ของสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพอลิเมอร์
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ฟิล์มพอลิเมอร์	สภาพให้ซึมผ่านได้ ของแก๊สของฟิล์ม (ml.mil/m ² .h.atm)			พลังงานก่อกัมมันต์ (kJ/mol)	
	P _{O₂}	P _{CO₂}	P _{CO₂} /P _{O₂}	E _{PO₂}	E _{PCO₂}
Polybutadiene	1,118	9,892	8.8	29.7	21.8
Low-density polyethylene	110	366	3.3	30.2	31.1
Ceramic-filled LDPE	199	882	4.4	36.8	28.4
Linear low-density polyethylene	257	1,002	3.9	-	-
High-density polyethylene	2.1	9.8	4.6	35.1	30.1
Cast polypropylene	53	151	2.9	-	-
Oriented polypropylene	34	105	3.1	-	-
Polyethylene terephthalate	1.8	6.1	3.3	26.8	25.9
Nylon laminated multilayer flim	1.7	6.0	3.5	52.5	50.0
Ethylene vinyl acetate	166	985	5.9	48.4	37.0
Ceramic-filled polystyrene	116	630	5.4	34.5	26.2
Silicone rubber	11,170	71,300	6.4	8.4	0.0
Perforation (air)	2.44 x 10 ⁹	1.89 x 10 ⁹	0.8	3.6	3.6
Microporous flim	3.81 x 10 ⁷	3.81 x 10 ⁷	1.0	13.0	3.7

ที่มา: Yam and Lee (1995)

สำหรับการเลือกฟิล์มพลาสติกเพื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุที่นำมาใช้กับผักและผลไม้
จะต้องคำนึงถึงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่ผักและผลไม้ต้องการโดย
อาศัยค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และ
สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนหรือที่เรียกว่า ค่าเพอร์มซีเล็คทีวิตี
(permselectivity, β) ของฟิล์มดังสมการที่ 4

$$\beta = P_{CO_2} / P_{O_2}$$

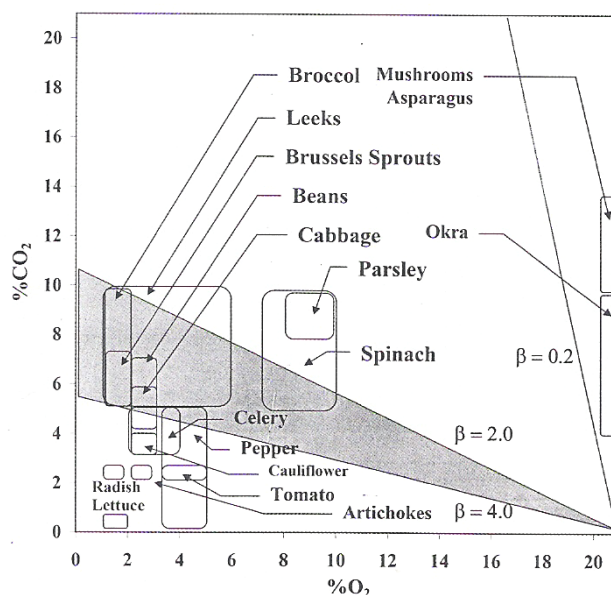
สมการที่ 4

ในการออกแบบการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (MAP) สามารถใช้ค่าเพอร์เมซีเบิลทิวีที ในการทำนายปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนในภาชนะบรรจุในสภาพสมดุลของบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุได้และเมื่อทราบค่าอัตราการหายใจของผักและผลไม้ ในทำนองเดียวกันสามารถนำอัตราการหายใจของผักและผลไม้มาทำนายปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สมดุลได้

การสร้างบรรยากาศสมดุลดัดแปลง (Equilibrium modified atmosphere, EMA) โดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง

การบรรจุแบบสร้างบรรยากาศสมดุลดัดแปลงเป็นกลไกที่ภาชนะบรรจุสามารถควบคุมบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ โดยการยอมหรือสกัดกั้นการแพร่ของแก๊สต่างๆ ให้ผ่านเข้าหรือออกจากภาชนะบรรจุให้เหมาะสมตามความต้องการของอาหารหรือผลิตผลนั้นๆ สภาพบรรยากาศสมดุลดัดแปลงในภาชนะบรรจุนี้จะส่งผลต่อการชะลออัตราการหายใจ การคายน้ำ และลดการเสื่อมสภาพของผลิตผล เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ ซึ่งความสามารถในการเลือกแก๊สแต่ละชนิดให้แพร่ผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกันของฟิล์ม EMA โดยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่พัฒนาได้จากการวิจัยในประเทศ โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) เป็นฟิล์มที่มีสมบัติยอมให้แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สเอทิลีน และความชื้น แพร่ผ่านสูงด้วยอัตราที่เหมาะสม สอดคล้องกับอัตราการหายใจของผลิตผล โดยสามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสภาวะสมดุลได้ ซึ่งฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงเป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารเติมแต่ง (additives) เพื่อปรับโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส ซึ่งมีผลต่อการผ่านของแก๊สในฟิล์มที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อสมบัติการควบคุมความสามารถในการเลือกให้แก๊สผ่าน (permselectivity) จากการศึกษาโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตผลสดหลายชนิด ได้แก่ กะเพรา (ทศพล, 2550), พริก (ญาดา, 2549) ข้าวโพดฝักอ่อน (ภัทรินทร์, 2550) มะม่วงน้ำดอกไม้ (ชนิด, 2551) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในผลไม้ดัดแปลง เช่น ส้มโอตัดแต่ง (ปิติรัตน์, 2551) และสับปะรดตัดแต่ง (สุภารัตน์, 2551) เป็นต้น

จากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ข้างต้น ทำให้ฟิล์ม EMA ที่ได้พัฒนานี้มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแก๊สออกซิเจน (permeability ratio, P_{CO_2}/P_{O_2} (β)) ครอบคลุมค่าในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 2 - 4 และอีกกลุ่มที่มีค่า β ประมาณ 0.2 ซึ่งเป็นคุณสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลสดที่มีอัตราการหายใจสูง เน้นเสียเร็ว อายุการเก็บรักษาสั้นมาก เช่น เห็ด กระเจี๊ยบเขียว และหน่อไม้ฝรั่ง ดังภาพที่ 5 แสดงค่า β ของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูงที่พัฒนาได้จากงานวิจัย ($\beta \sim 2-4$: พื้นที่แรเงา และ $\beta \sim 0.2$) เปรียบเทียบกับค่า β ของฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมไทย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่แคบมาก ($\beta \sim 2$) (วรรณิและคณะ, 2548)



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่า β ของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูงที่พัฒนาได้จากงานวิจัย กับฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม

ที่มา: ดัดแปลง Mir and Beaudry (2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ผักกระเจียวเขียว ที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาด จากบริษัท ไชน์โพรท จำกัด มีลักษณะคุณภาพเพื่อการส่งออกตามคุณภาพขั้นต่ำของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติปี 2548 คือ มีความยาวผัก 10-12 เซนติเมตร สด สีเขียว รูปร่างสมบูรณ์ ไม่มีตำหนิ ปราศจากรอยชำรุด ปราศจากสิ่งแปลกปลอม ไม่กลั่นและรสชาติผิดปกติ

2. ภาชนะบรรจุ

2.1 พลาสติก 5 ชนิด

2.1.1 ถุงเย็นชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) และฟิล์มถนอมอาหาร เอ็มเรป ชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride, PVC) ที่ใช้ทั่วไป มีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความหนา ดังแสดงในตารางที่ 6

2.1.2 ฟิล์มที่มีสภาพให้แก๊สซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มสูง 3 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1) พอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2) และพอลิเอทิลีนรหัส 3 (PE-3) ซึ่งผลิตจากศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน (PO_2) สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (PCO_2) สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ (WVP) และความหนา ดังแสดงในตารางที่ 6

2.2 ถาดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) ขนาด 11 x 17 x 4.5 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

ตารางที่ 6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของฟิล์มพอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1), พอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2), พอลิเอทิลีนรหัส 3 (PE-3), พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

ค่า	ฟิล์ม				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
ความหนา (μm)	28.3 $\pm$ 1.84 ¹	24.4 $\pm$ 0.57	26.1 $\pm$ 1.56	49.1 $\pm$ 3.82	9.8 $\pm$ 0.00
WVTR ² ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{day}$)	14.3 $\pm$ 0.87	12.0 $\pm$ 0.60	6.0 $\pm$ 0.40	3.5 $\pm$ 0.20	68.0 $\pm$ 1.40
WVP ² ($\times 10^{-2}$) ($\text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{day}$)	39.0 $\pm$ 2.00	29.0 $\pm$ 2.90	15.0 $\pm$ 1.00	17.0 $\pm$ 1.00	67.0 $\pm$ 1.00
OTR ³ ($\times 10^2$) ($\text{cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$)	230 $\pm$ 2.60	190 $\pm$ 3.60	87 $\pm$ 0.23	41 $\pm$ 0.90	150 $\pm$ 8.00
P_{O_2} ³ ($\times 10^2$) ($\text{cm}^3\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{kPa}$)	7.5 $\pm$ 0.07	4.6 $\pm$ 0.09	2.3 $\pm$ 0.01	2.0 $\pm$ 0.04	1.5 $\pm$ 0.08
CO_2TR ³ ($\times 10^2$) ($\text{cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$)	480 $\pm$ 3.90	380 $\pm$ 10.70	210 $\pm$ 16.71	110 $\pm$ 10.96	520 $\pm$ 23.56
P_{CO_2} ³ ($\times 10^2$) ($\text{cm}^3\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{kPa}$)	13.6 $\pm$ 0.11	9.3 $\pm$ 0.26	5.5 $\pm$ 0.43	5.3 $\pm$ 0.54	5.1 $\pm$ 0.23
β ($\text{P}_{\text{CO}_2}/\text{P}_{\text{O}_2}$)	1.82 $\pm$ 0.03	2.03 $\pm$ 0.10	2.45 $\pm$ 0.20	2.66 $\pm$ 0.33	3.45 $\pm$ 0.03

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

²ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

³ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

3. สารเคมี

3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ของ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.2 สารละลายแอซิโตน ของ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.3 แมกนีเซียมออกไซด์ไลท์ (Magnesium oxide light, MgO) ของ บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

3.4 โฟลิน-ซีเกาตูรีฟีนอลเอเจนท์ (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) ของ บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี

3.5 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, NaHCO_3) ของ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.6 กรดแกลลิก (Gallic acid, $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{H}$) ของ บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี

3.7 โซเดียมไนไตรต์ (Sodium nitrite, NaNO_2) ของ บริษัท Ajax finechem ประเทศออสเตรเลีย

3.8 อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride, AlCl_3) ของ บริษัท Ajax finechem ประเทศออสเตรเลีย

3.9 คาเทชิน (Catechin) ของ บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี

3.10 เมทานอล (Methanol, CH_3OH) ของ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.11 น้ำกลั่น

4. เครื่องมือ

4.1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ

4.2 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C[®] 4/41 ของ MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.3 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) รุ่น OTRAN[®] บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4 เครื่องวัดความหนา (digimatic thickness guage) รุ่น ID-C112BS ของ Mitutoyo Corp ประเทศญี่ปุ่น

4.5 เครื่องวัดสี (minolta chroma meter) รุ่น CR 310 ของ Minolta ประเทศญี่ปุ่น

4.6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น Testometric Micro 350 ของ The testometric., Ltd. ประเทศอังกฤษ

4.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น BP3100S ของ Satorius ประเทศเยอรมนี

4.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น BX300 ของ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

4.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น BP110S ของ Satorius ประเทศเยอรมนี

4.10 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี รุ่น 6890N ของ Agilent ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.11 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GENESYS 10UV ของ Thermo Spectronic ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 4.12 เครื่องแกว่งแยกตะกอน (refrigerate centrifuge) รุ่น D-78532 Tuttlingen ของ Hettich zentrifugen ประเทศเยอรมนี
- 4.13 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน ของ TOPPACK
- 4.14 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ รุ่น B-60 Schutzart ของ Memmert ประเทศเยอรมนี
- 4.15 เครื่องบด (Blender) รุ่น HA-3229 ของ MARA ประเทศญี่ปุ่น
- 4.16 ตะแกรงร่อน 30 mesh และ 25 mesh (sieve) ของ Endecotts Ltd. ประเทศอังกฤษ
- 4.17 ขวดแก้วขนาด 750 มิลลิลิตร
- 4.18 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Flow board)
- 4.19 ห้องควบคุมอุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส
- 4.20 ระบบควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere system) รุ่น ICA61 International Controlled Atmosphere Ltd. ประเทศอังกฤษ
- 4.21 โกร่งบดยา
- 4.22 ไมโครปิเปตต์ (micropipette) ของ BOECO
- 4.23 กระบอกฉีดยา (syringe) ขนาด 3 มิลลิลิตร
- 4.24 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
- 4.25 อุปกรณ์งานครัว

วิธีการ

1. ศึกษาอัตราการหายใจของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิต่างๆ

วัดอัตราการหายใจของฝักกระเจี๊ยบด้วยระบบที่มีอากาศไหลผ่านตลอด โดยบรรจุฝักกระเจี๊ยบเขียว 8 ฝัก (ประมาณ 100 กรัม) ลงในโหลแก้วปริมาตร 750 มิลลิลิตรปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศ นำไปต่อเข้ากับแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งควบคุมให้มีอัตราการไหลเข้าของอากาศเท่ากับ 145 - 155 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บแก๊สตัวอย่างภายในขวดโหลดแก้ว 3 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่มีสถานะสำหรับวิเคราะห์แก๊สตามภาคผนวก ก1. คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นร้อยละและคำนวณอัตราการหายใจเป็นมิลลิลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม. ชั่วโมง ($\text{ml CO}_2/\text{kg.hr.}$) ตามสมการที่ 5

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

สมการที่ 5

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

พิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของฝักระเจี๊ยบเขียวจากค่า temperature quotient (Q_{10}) โดยใช้สมการที่ 6 ในการคำนวณ

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

สมการที่ 6

R_{T_2} คือ อัตราการหายใจที่อุณหภูมิสูงกว่า (T_2)

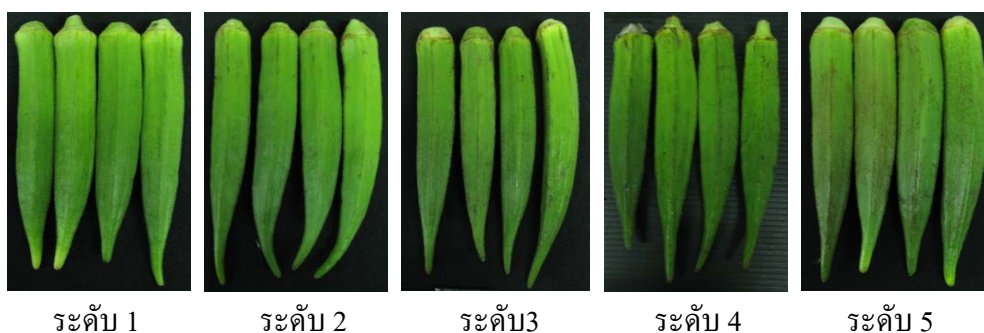
R_{T_1} คือ อัตราการหายใจที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T_1)

2. ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของฝักระเจี๊ยบเขียว และหาความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ทนได้ (O_2 tolerance) และความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ทนได้ (CO_2 tolerance)

2.1 ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝักระเจี๊ยบเขียว

นำฝักระเจี๊ยบเขียวจำนวน 10 ฟัก ใส่ในโหลแก้วปริมาตร 750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศต่อกับแผงควบคุมการไหลของอากาศ ที่มีการควบคุมอากาศให้มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับความเข้มข้น 5 ระดับคือ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 0.03 (อากาศปกติ) โดยปริมาตร สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 - 95 ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ของฝักระเจี๊ยบเขียว ทุกวันที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 ของการเก็บรักษา ดังนี้

2.1.1 ระดับการเกิดสีน้ำตาล สร้างเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของฝักระเจียบเขียวที่ใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพ โดยการใช้การเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวในการกำหนดระดับการเกิดสีน้ำตาล เพื่อให้ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวจากการทดลองทั้งหมดอยู่ในหลักเกณฑ์เดียวกัน โดยการประเมินการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวแต่ละฝักตามระดับการเกิดสีน้ำตาล 5 ระดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยการเกิดสีน้ำตาลเกินระดับ 3 เป็นระดับที่ไม่ยอมรับ



ภาพที่ 6 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่ระดับ 1-5

ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก
 ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก
 ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก
 ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก
 ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก

คำนวณระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียว ตามสมการดังนี้

$$= \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับการเกิดสีน้ำตาลของกระเจียบเขียว x จำนวนกระเจียบเขียวในระดับนั้น)}}{\text{จำนวนกระเจียบเขียวทั้งหมดแต่ละสิ่งทดลอง}}$$

2.1.2 ค่าสี วัดสีของฝักระเจียบเขียวด้วยเครื่องวัดสี colorimeter Model CR-300 (Minolta Inc., Japan) โดยวัดค่าสีของฝักระเจียบเขียว 3 จุด คือ บริเวณหัวฝัก, กลางฝัก และปลายฝักของกระเจียบเขียว ถือเป็น 1 ซ้ำของการวัด ใช้ 5 ฝัก ต่อการวัด 1 ซ้ำ และสลับฝักระเจียบเขียวเมื่อวัดค่าสีในแต่ละซ้ำ โดยวัดค่าสีทั้งหมด 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่า คือ L^* a^* b^*

- ค่า L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)
- ค่า a^* แสดงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีเขียวในกรณีที่ค่า a มีค่าเป็นลบและช่วงสีแดงในกรณีที่ค่า a มีค่าเป็นบวก
- ค่า b^* แสดงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีน้ำเงินในกรณีที่ค่า b มีค่าเป็นลบและช่วงสีเหลืองในกรณีที่ค่า b มีค่าเป็นบวก

2.1.3 ความแน่นเนื้อ วัดความแน่นเนื้อของฝักกระเจี๊ยบเขียวด้วยแรงเฉือน ขนาดมุม 70 องศา ที่อัตราเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที่ ตัดฝักกระเจี๊ยบเขียวให้ขาดออกจากกันโดยวัดความแน่นเนื้อ 2 จุด คือ บริเวณห่างจากหัวฝักกระเจี๊ยบเขียวระยะประมาณ 3 เซนติเมตร (กลางฝัก) และบริเวณห่างจากหัวฝักกระเจี๊ยบเขียวระยะประมาณ 7 เซนติเมตร (ปลายฝัก) จำนวน 5 ฝักต่อ 1 ซ้ำ รายงานในหน่วยนิวตัน (N)

2.1.4 ปริมาณเส้นใยหยาบ คัดแปลงวิธีจาก Gould (1977) โดยใช้น้ำหนักสดของตัวอย่างฝักกระเจี๊ยบเขียวประมาณ 10 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง บดตัวอย่างเพื่อลดขนาดของตัวอย่าง ล้างเนื้อเยื่อลงในบีกเกอร์ด้วยน้ำเดือด 40 มิลลิลิตร เติมนโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 50 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร คนและต้มให้เดือดเป็นเวลา 5 นาที เทสารละลายเนื้อเยื่อที่ได้ลงในตะแกรง 30 mesh ล้างด้วยน้ำไหลประมาณ 5 นาที นำเส้นใยหยาบใส่ถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณเส้นใยจากสมการที่ 7

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใย} \times 100}{\text{น้ำหนักสดของตัวอย่างฝัก}} \quad \text{สมการที่ 7}$$

2.1.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ตามวิธีของ Wrolstad (2005) โดยใช้มีดปาดผิวฝักกระเจี๊ยบเขียวมาชั่งประมาณ 0.8 กรัมและแมกนีเซียมออกไซด์จำนวน 200 มิลลิกรัม จากนั้นบดด้วยโกร่งบดยา นำส่วนที่บดได้มาสกัดในสารละลายเอซิโตนเข้มข้นร้อยละ 99.99 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายแขวนลอยที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องแก้วแยกตะกอนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์บีที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร โดยค่าที่วัดได้จากการดูดกลืนแสงสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดได้ดังสมการที่ 8-10

$$\begin{aligned}
 C_a \text{ (}\mu\text{g/ml)} &= 11.24 A_{662} - 2.04 A_{645} && \text{สมการที่ 8} \\
 C_b \text{ (}\mu\text{g/ml)} &= 20.13 A_{645} - 4.19 A_{662} && \text{สมการที่ 9} \\
 C_{\text{total}} \text{ (}\mu\text{g/ml)} &= C_a + C_b && \text{สมการที่ 10}
 \end{aligned}$$

เมื่อ C_a = ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
 C_b = ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
 C_{total} = ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
 A_{662} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร
 A_{645} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร

2.2 ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝักระเจียบเขียวในระหว่างการเก็บรักษา

นำฝักระเจียบเขียวจำนวน 10 ฝัก ใส่ในโหลแก้วปริมาตร 750 มิลลิลิตร ต่อกับแผงควบคุมการไหลของอากาศเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 ที่มีการควบคุมอากาศให้มีปริมาณแก๊สออกซิเจนในระดับความเข้มข้น 5 ระดับคือ ร้อยละ 2, 5, 10, 15 และ 20 (อากาศปกติ) โดยปริมาตร สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 - 95 ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

3. ศึกษาผลของบรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

นำผลการทดลองจากการทดลองที่ 2 มาใช้ในการกำหนดบรรยากาศควบคุมที่ต้องการศึกษา โดยเตรียมฝักระเจียบเขียวเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 ดังนี้

ทริทเมนต์ที่ 1 2% O₂ + 5% CO₂
 ทริทเมนต์ที่ 2 5% O₂ + 5% CO₂
 ทริทเมนต์ที่ 3 2% O₂ + 7.5% CO₂
 ทริทเมนต์ที่ 4 21% O₂ + 0.03% CO₂ (ชุดควบคุม)

ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 ของการเก็บรักษา โดยตรวจวัดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และมีการตรวจวัดคุณภาพเพิ่มเติมดังนี้

3.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content)

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยอบแห้งด้วยตู้ควบคุมอุณหภูมิ ดัดแปลงจากวิธีของ Juntachote *et al.* (2006) โดยหั่นฝักกระเจี๊ยบเขียวให้มีขนาดเล็กหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง บดตัวอย่างอบแห้งด้วยเครื่องบด จากนั้นร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรง 25 mesh นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์

3.1.2 การสกัดสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยนำตัวอย่างจากข้อ 3.1.1 มาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม เติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร โดยปริมาตร 20 มิลลิลิตร บดด้วยเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันนาน 1 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างสารสกัด 2 มิลลิลิตร ไปแยกตะกอนด้วยเครื่องแก้วแยกตะกอนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที

3.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) โดยดัดแปลงวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ตามวิธีของ Wolfe *et al.* (2003) โดยนำสารสกัดส่วนใสตามข้อ 3.1.2 มา 125 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 500 ไมโครลิตร แล้วเติม Folin-Ciocalteu reagent 125 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 6 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7 ปริมาตร 1250 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 1000 ไมโครลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยวัดค่าจำนวน 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (ภาพผนวกที่ ก1)

3.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Wolfe *et al.* (2003) โดยนำสารสกัดตามข้อ 3.1.2 มา 250 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 1250 ไมโครลิตร ตามด้วยโซเดียมไนเตรดร้อยละ 5 ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 6 นาที เติมน้ำกลั่น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 275 ไมโครลิตร

นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยวัดค่าจำนวน 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของคาเทคิน (ภาพผนวกที่ ก2)

4. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

นำฝักระเจียบเขียวจำนวน 10 ฟัก น้ำหนักประมาณ 150 กรัม บรรจุลงในภาชนะพลาสติกพอลิพรอพิลีน ขนาด 11x17x4.5 เซนติเมตร ปิดผนึกด้านบนภาชนะด้วยฟิล์มพลาสติก 5 ชนิด คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1), ฟิล์มพอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2), ฟิล์มพอลิเอทิลีนรหัส 3 (PE-3), ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 6 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส

ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 และ 24 ของการเก็บรักษา โดยตรวจวัดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และมีการตรวจวัดเพิ่มเติมดังนี้

4.1 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุฝักระเจียบเขียว 3 มิลลิเมตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่มีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊สตามภาคผนวก ก1. คำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยเทียบกับแก๊สมาตรฐานคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

4.2 การสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งตัวอย่างฝักระเจียบเขียวพร้อมถาด จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อวัดการสูญเสียน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักและนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นคำนวณจากสมการที่ 11 ดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 11}$$

4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content) เช่นเดียวกับข้อ 3.1

5. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลและวิจารณ์

1. อัตราการหายใจของฝักระเจียบเขียวที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการวัดอัตราการหายใจของฝักระเจียบเขียวด้วยระบบอากาศผ่านตลอดที่ 3 อุณหภูมิ คือ 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการหายใจโดยแสดงดังตารางที่ 7 ที่อุณหภูมิ 20 และ 10 องศาเซลเซียสจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของฝักระเจียบเขียว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการหายใจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะกระตุ้นให้สสารทุกอย่างมีพลังงานเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ สามารถเกิดได้ในอัตราที่สูงขึ้นรวมทั้งการหายใจ ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีหลายอย่างเกิดต่อเนื่องหรือเกิดพร้อมกัน (จริงแท้, 2546) เอนไซม์หลายชนิดในผลิตผลจะเป็นตัวควบคุมกระบวนการหายใจและกระบวนการสร้างและสลายต่างๆ ในผลิตผล และเอนไซม์เหล่านี้จะถูกควบคุมการทำงานจากอุณหภูมิ อุณหภูมิจึงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่ออัตราการหายใจของผลิตผล (Rooney, 1995)

ตารางที่ 7 อัตราการหายใจเฉลี่ยของฝักระเจียบเขียวที่อุณหภูมิ 5 10 และ 20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (มล.คาร์บอนไดออกไซด์/กก.ชม.)
5	62.93
10	86.75
20	192.28

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของฝักระเจียบเขียวจากค่า Q_{10} ซึ่งแสดงผลอัตราส่วนระหว่างอัตราของกระบวนการหนึ่งที่อุณหภูมิหนึ่งหารด้วยอัตราของกระบวนการนั้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ 10 องศาเซลเซียส พบว่า จากค่า Q_{10} ที่แสดงดังตารางที่ 8 ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในช่วงอุณหภูมิต่ำ คือ ในช่วงอุณหภูมิ 5 - 10 องศาเซลเซียสมีค่า Q_{10} ต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิสูง คือ ช่วงอุณหภูมิ 10 - 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อเก็บฝักระเจียบเขียวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ฝักระเจียบเขียวจะมีลักษณะฉ่ำน้ำ ผิวของฝักระเจียบเขียวจะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีคล้ำหรือสีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดอาการสะท้อนหนาว (chilling injury) ดังที่ Lamont (1999) รายงานว่าการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส ทำ

ให้ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดอาการสะท้านหนาว โดยอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดจากฟอสโฟลิปิดที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนสภาพทางกายภาพ จากลักษณะของเหลว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะเจลของแข็ง (solid gel) ส่งผลให้เนื้อเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของสารภายในเซลล์ได้ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์รวมทั้งมีอัตราการหายใจสูงผิดปกติ (จริงแท้, 2546) ให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษากะเพราที่ค่า Q_{10} ของกะเพราในช่วงอุณหภูมิ 5 - 10 องศาเซลเซียส จะต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 10 - 25 องศาเซลเซียส มีค่า Q_{10} เท่ากับ 0.52 และ 1.55 (ทศพล, 2550) มะเขือเทศจะเกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ มีค่า Q_{10} ในช่วงอุณหภูมิ 0.5 - 10 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 10 - 24 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.0 และ 2.3 ตามลำดับ (Platenius, 1942) ดอกกะหล่ำค่า Q_{10} ในช่วงอุณหภูมิ 0 - 5 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 5 - 10 องศาเซลเซียส มีค่า Q_{10} เท่ากับ 1.3 และ 2.7 ตามลำดับ และผักกาดหอม มีค่า Q_{10} ในช่วงอุณหภูมิ 5 - 10 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 10 - 15 องศาเซลเซียส มีค่า Q_{10} เท่ากับ 1.7 และ 2.6 ตามลำดับ (Kader and Saltveit, 2003)

ตารางที่ 8 ค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ของฝักระเจี๊ยบเขียวในช่วงอุณหภูมิ 5-20 องศาเซลเซียส

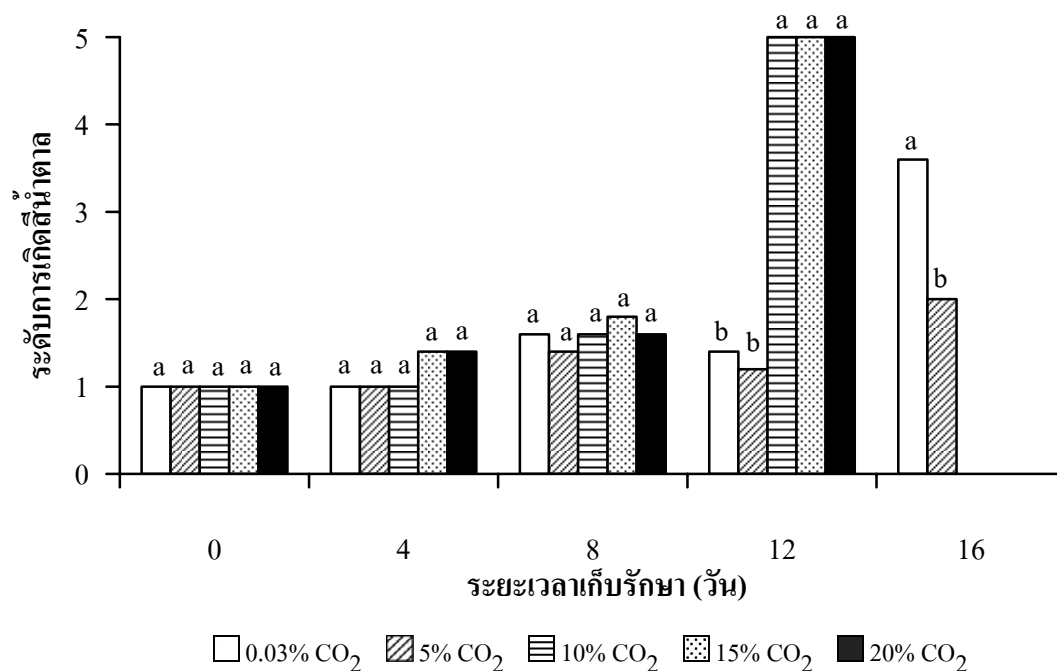
ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า Q_{10}
5 - 10	1.88
10 - 20	2.21

เมื่อพิจารณาในเรื่องอุณหภูมิและค่า Q_{10} ในการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียว พบว่า ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียว เนื่องจากเมื่อเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ฝักระเจี๊ยบเขียวจะเกิดอาการสะท้านหนาว และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ฝักระเจี๊ยบเขียวจะมีอัตราการหายใจสูงที่สุดทำให้ฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เสื่อมเสียได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียว

2. ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

2.1 ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

เมื่อประเมินคุณภาพของฝักระเจียบเขียวจากระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษา พบว่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏของฝักระเจียบเขียว ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยมีระดับการเกิดสีน้ำตาลถึงระดับ 5 (ภาพที่ 7) คือ ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81 - 100 ของพื้นที่ฝัก การเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 จะเกิดบาดแผลที่เป็นรอยบุ๋มและมีสีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วฝัก โดยที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 15 จะเกิดรอยบุ๋มสีน้ำตาลกระจายทั่วฝักระเจียบเขียวมากที่สุด (ภาพที่ 8ง), 8จ) และ 8ค)) ซึ่งลักษณะการเกิดรอยบุ๋มสีน้ำตาลเป็นลักษณะอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดจากการเก็บรักษาผลิตผลในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงๆ (CO_2 injury) โดยการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงทำให้เกิดสะสมของซัคซิเนต (succinate) ใน TCA cycle โดยที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซัคซิเนตดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase, SDH) ใน TCA cycle ทำให้เกิดการสะสมของซัคซิเนตซึ่งเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืช (Watkins, 2000) ทำให้มีลักษณะปรากฏของฝักระเจียบเขียวในบรรยากาศความเข้มข้นของแก๊สร้อยละ 10, 15 และ 20 ไม่เป็นที่ยอมรับ ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นสุดที่ 12 วัน ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และบรรยากาศปกติ ($0.03\% \text{CO}_2$) ไม่เกิดอาการดังกล่าว ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) จนกระทั่งวันที่ 16 ของการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและเก็บรักษาในสภาพที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ระดับการเกิดสีน้ำตาลมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีลักษณะปรากฏดีที่สุด (ภาพที่ 8ข) และ 8ค)) จากผลการทดลองสามารถประเมินอายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของฝักระเจียบได้ดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 7 ระดับการเกิดสึบน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสึบน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก



ก)

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

ภาพที่ 8 ฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) และ ค) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา, ง) ถึง ฉ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 9 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของผักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย
0.30% CO ₂	13 - 15	เกิดสีน้ำตาลบนผัก (browning)
5% CO ₂	13 - 15	เกิดสีน้ำตาลบนผัก (browning)
10% CO ₂	9 - 11	รอยบวมสีน้ำตาล (CO ₂ injury)
15% CO ₂	9 - 11	รอยบวมสีน้ำตาล (CO ₂ injury)
20% CO ₂	9 - 11	รอยบวมสีน้ำตาล (CO ₂ injury)

จากการเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) พบว่าในระยะ 8 วันแรกของการเก็บรักษา ผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* เล็กน้อย แต่ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* อย่างชัดเจน โดยค่า L^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง และค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 10) แสดงว่าค่าความเป็นสีเขียวลดลงและมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น โดยให้ผลสอดคล้องกับระดับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 ที่ผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลบนผิวผักอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ของค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยถ้าค่าสูงเข้าใกล้ 1 มากจะแสดงว่าความสัมพันธ์ของทั้งสองค่ามีความน่าเชื่อถือสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือ 0.01 พบว่า ระดับการเกิดสีน้ำตาลกับค่า L^* , a^* และ b^* มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงแสดงให้เห็นว่าระดับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวแล้ว การเปลี่ยนแปลงของค่า L^* , a^* และ b^* สามารถใช้เป็นตัวประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียว ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผักกระเจี๊ยบเขียวได้ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้น
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ
10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ค่า L^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	39.64±2.76 ^{ns}	39.46±1.84 ^{bc}	41.52±1.4 ^{ns}	42.63±1.56 ^a	37.11±0.22 ^b
5% CO ₂	39.64±2.76 ^{ns}	42.00±1.33 ^{ab}	40.22±1.71 ^{ns}	40.96±0.89 ^a	40.87±1.23 ^a
10% CO ₂	39.64±2.76 ^{ns}	43.18±1.24 ^a	39.80±1.58 ^{ns}	36.04±0.75 ^b	N/A
15% CO ₂	39.64±2.76 ^{ns}	39.07±0.49 ^c	40.99±1.74 ^{ns}	34.54±1.12 ^b	N/A
20% CO ₂	39.64±2.76 ^{ns}	40.19±1.56 ^{bc}	40.35±1.26 ^{ns}	36.37±0.55 ^b	N/A
ความเข้มข้น	ค่า a^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-15.30±1.63 ^{ns}	-15.20±0.93 ^{ns}	-16.88 ^c ±0.38 ^{bc}	-14.91±0.61 ^{ns}
5% CO ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-16.11±0.89 ^{ns}	-14.92±0.72 ^{ns}	-15.94 ^c ±0.79 ^{bc}	-15.33±0.95 ^{ns}
10% CO ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-16.15±0.08 ^{ns}	-14.36±0.82 ^{ns}	-10.68 ^b ±0.15 ^{bc}	N/A
15% CO ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-14.45±1.32 ^{ns}	-15.35±0.50 ^{ns}	-9.46 ^a ±0.69 ^{bc}	N/A
20% CO ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-15.35±1.45 ^{ns}	-15.14±0.56 ^{ns}	-11.01 ^b ±0.50 ^{bc}	N/A
ความเข้มข้น	ค่า b^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	18.09±3.17 ^{ns}	19.27±3.31 ^{ns}	20.02±2.06 ^{ns}	24.97±0.65 ^a	21.47±0.67 ^{ns}
5% CO ₂	18.09±3.17 ^{ns}	20.97±1.70 ^{ns}	19.37±1.58 ^{ns}	23.38±1.23 ^a	21.38±2.24 ^{ns}
10% CO ₂	18.09±3.17 ^{ns}	22.64±0.94 ^{ns}	18.22±1.48 ^{ns}	14.04±0.85 ^{bc}	N/A
15% CO ₂	18.09±3.17 ^{ns}	18.42±1.09 ^{ns}	20.26±1.30 ^{ns}	11.92±1.43 ^c	N/A
20% CO ₂	18.09±3.17 ^{ns}	19.19±2.85 ^{ns}	20.52±1.39 ^{ns}	15.64±0.37 ^b	N/A

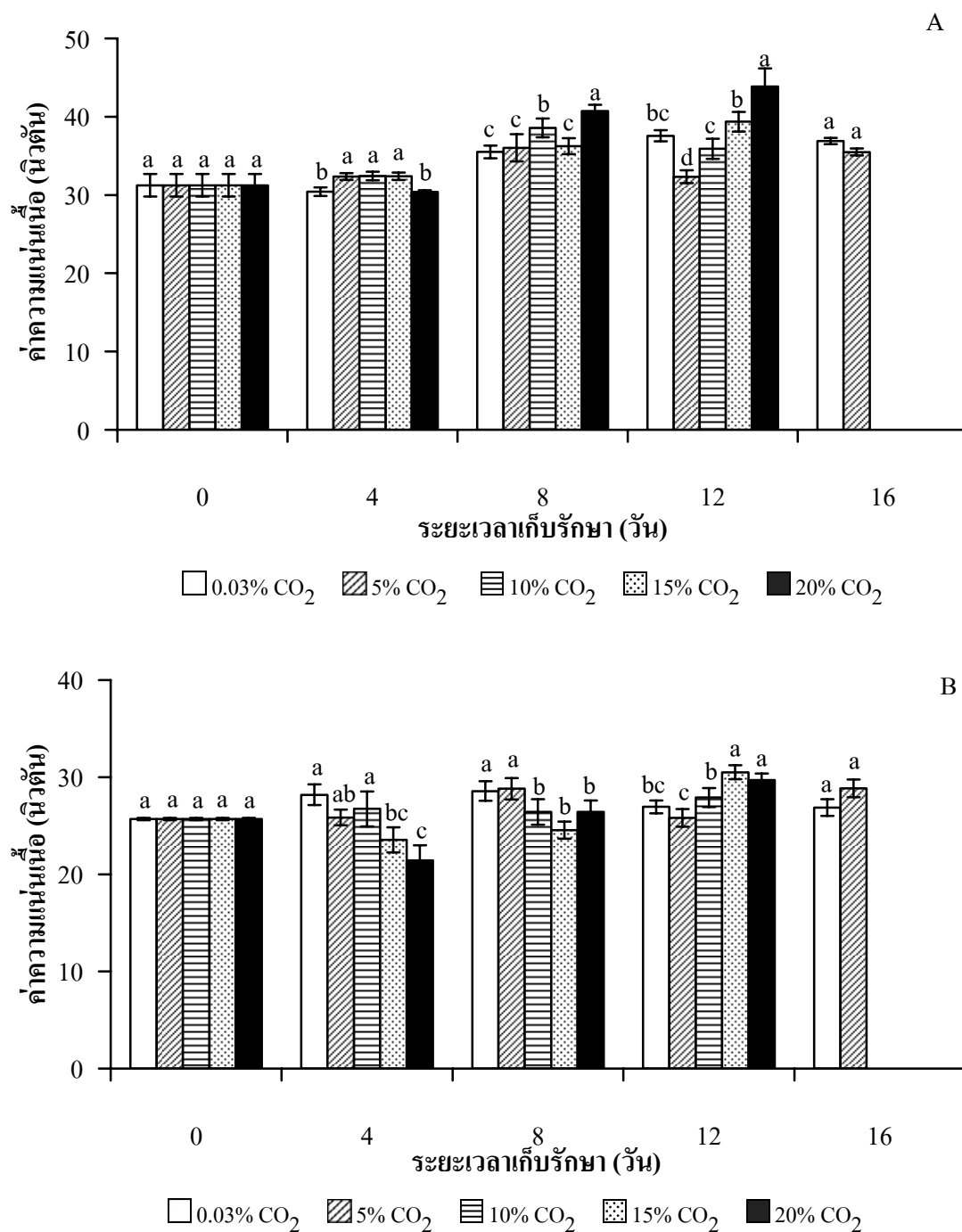
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 9) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันตาม
แนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ,
N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจียบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาล และค่า L^* , a^* , b^* ของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของฝักระเจียบเขียว			
	ระดับการเกิดสีน้ำตาล	ค่า L^*	ค่า a^*	ค่า b^*
ระดับการเกิดสีน้ำตาล	1.00	-0.82**	0.91**	-0.79**
ค่า L^*	-0.82**	1.00	-0.89**	-0.85**
ค่า a^*	0.91**	-0.89**	1.00	-0.93**
ค่า b^*	-0.79**	0.85**	-0.93**	1.00

** มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01, *มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากผลการวัดความแน่นเนื้อของฝักระเจียบเขียว โดยวัดค่าแรงเหวี่ยงบริเวณกลางฝัก และปลายฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าความแน่นเนื้อของฝักระเจียบเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักจะมีค่ามากกว่าบริเวณปลายฝัก (ภาพที่ 9) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักมากที่สุดเท่ากับ 43.87 นิวตัน ขณะที่ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 มีความแน่นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 32.33 นิวตัน และในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



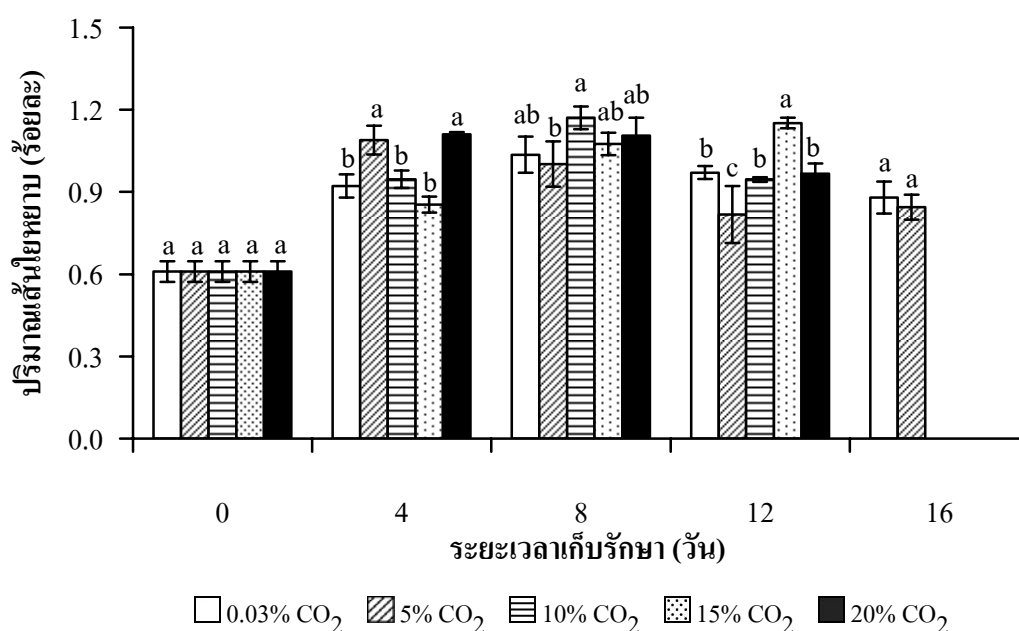
ภาพที่ 9 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และบริเวณปลายฝัก (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหยาบที่ได้จากการทดลอง พบว่าฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03, 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณเส้นใยหยาบเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา กระเจียบเขียวที่เก็บไว้นานจะเกิดการเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้เหนียว ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (จิรา, 2531) แสดงว่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหยาบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 10) โดยปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยหยาบให้ผลสอดคล้องกับความแน่นเนื้อ เมื่อความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยหยาบก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหยาบมากกว่า เก็บรักษาในระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และ 5 ซึ่งจะให้ผลการทดลองที่แตกต่างกับการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่ง จานงค์และคณะ (2529) ได้ทดลองเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 และ 20 พบว่าสามารถชะลอการเกิดเส้นใยในหน่อไม้ฝรั่งได้ โดยการเกิดเส้นใยในหน่อไม้ฝรั่งจะเกิดจากระบวนการลิกนิฟิเคชัน (lignification) และจะเกี่ยวข้องกับสร้างเอทิลินที่ถูกสร้างขึ้นจากบาดแผลที่ถูกตัดจากการเก็บเกี่ยว และเอทิลินที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไอโซเพอออกซิเดส (isoperoxidase) ในกระบวนการลิกนิฟิเคชัน ทำให้เร่งอัตราการเกิดเส้นใยให้เร็วขึ้นปริมาณเส้นใยจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลิน ทำให้เอนไซม์ไอโซเพอออกซิเดสเกิดปฏิกิริยาน้อยลง (Sharma *et al*, 1975) ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 อาจเนื่องมาจากฝักระเจียบเขียวเกิดการเสื่อมเสียจึงทำให้อัตราเมแทบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพและเคมีของในฝักระเจียบเขียวเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างจากการเก็บรักษาของหน่อไม้ฝรั่ง

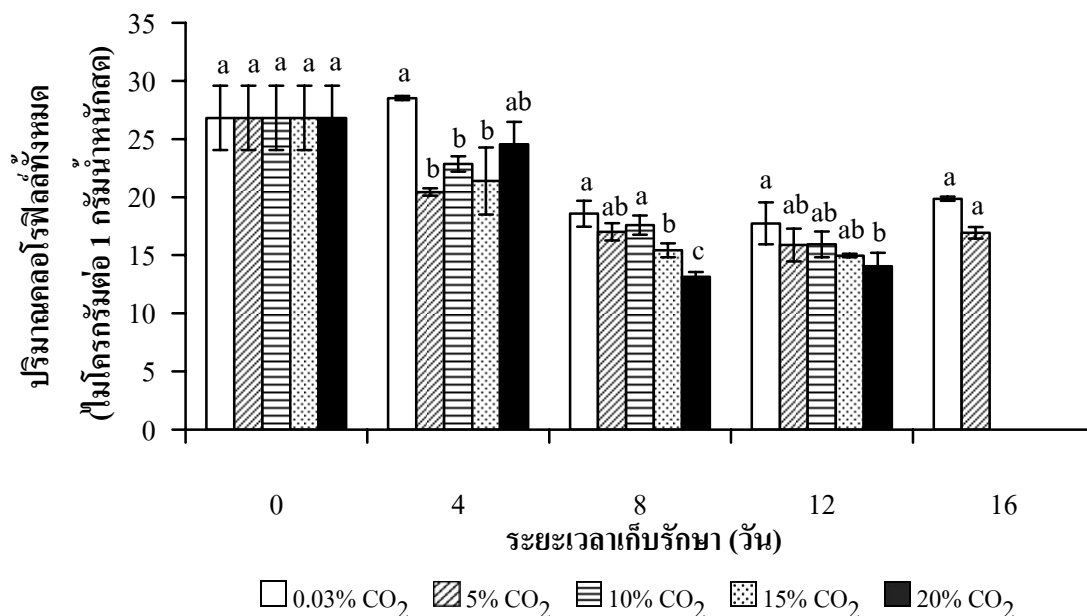
การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง พบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษาของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 11) โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงน้อยที่สุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 17.74 ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด และฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากที่สุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

เท่ากับ 14.05 ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ลดลงเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เนื่องจากคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวตลอดเวลา (Wrolstad, 2550) ส่วนฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 ฝักระเจียบเขียวเกิด CO₂ injury ทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจียบเขียวลดลง



ภาพที่ 10 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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



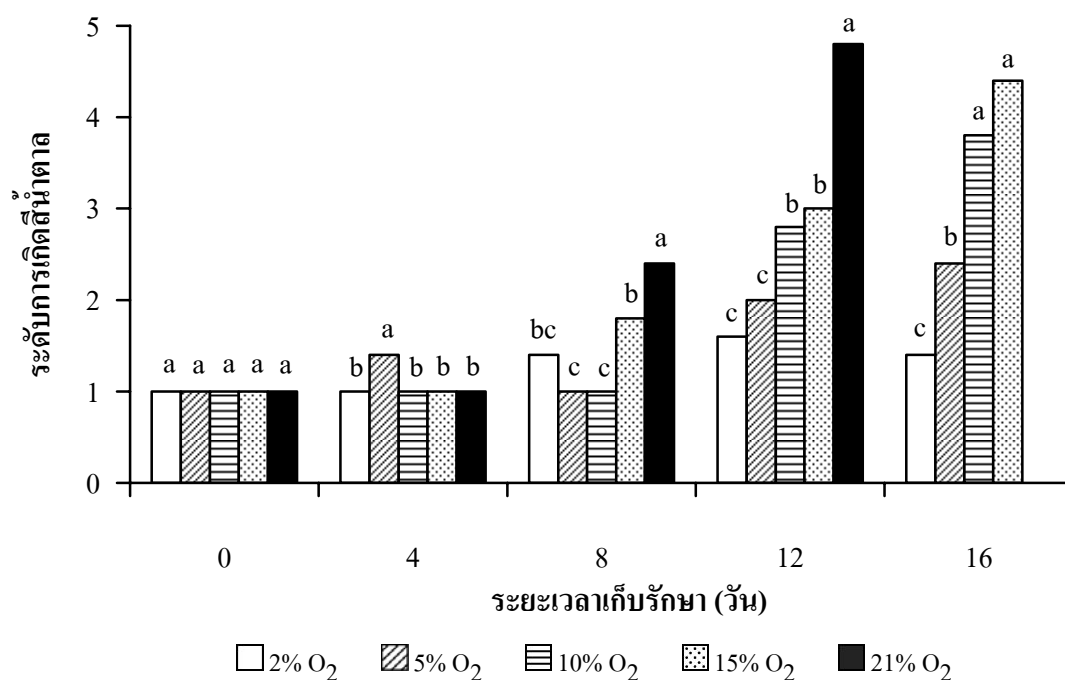
ภาพที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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

จากการทดลอง พบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.03, 5, 10, 15, และ 20 มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของฝักระเจี๊ยบเขียวมากกว่าคุณภาพด้านอื่นๆ และจากการทดลองสามารถหาความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ฝักระเจี๊ยบเขียวทนได้ โดยพบว่า ฝักระเจี๊ยบเขียวสามารถทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 5 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาของฝักระเจี๊ยบเขียวได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ

2.2 ผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพฝักระเจียบเขียว

เมื่อประเมินคุณภาพฝักระเจียบเขียวจากการระดับเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวพบว่าระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียว เมื่ออายุการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียวนานขึ้นการเกิดสีน้ำตาลก็จะเพิ่มขึ้น แต่ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันจะมีลักษณะการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างและไม่รุนแรงเท่ากับฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันจะเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลเล็กๆ กระจายทั่วฝักระเจียบเขียว โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ฝักระเจียบที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 ซึ่งเป็นความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศปกติ มีระดับการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด คือ ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลในระดับ 5 ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81 - 100 ของพื้นที่ฝัก (ภาพที่ 12 และภาพที่ 13ข)) นอกจากนี้บริเวณข้อฝักและหัวฝักจะมีเชื้อราเกิดขึ้นทำให้ลักษณะของฝักระเจียบเขียวไม่เป็นที่ยอมรับ ทำให้ฝักระเจียบเขียวมีอายุการเก็บรักษา 9 – 11 วัน (ตารางที่ 12) และในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 10 และ 15 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลเกินระดับ 3 คือ ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ผิว ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับ เมื่อเปรียบเทียบกับฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 ซึ่งมีระดับการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าระดับ 3 (ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ฝัก) (ภาพที่ 12) ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 จึงมีลักษณะปรากฏดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฝักระเจียบเขียวที่การเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนระดับอื่นๆ (ภาพที่ 13ข ถึงภาพที่ 13จ)) มีอายุการเก็บรักษา 13 – 15 วัน (ตารางที่ 12) การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เกิดจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสไปกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล (phenol) เปลี่ยนไปเป็นควิโนน (quinone) และ ควิโนนจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ที่กลายเป็นสารสีน้ำตาล (Saper, 1993) ดังนั้นการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำจึงมีผลสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากแก๊สออกซิเจนมีผลต่อการลดการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Day, 1996)



ภาพที่ 12 ระดับการเกิดสึบน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ระดับ 1 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสึบน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 2 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 3 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 4 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 5 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสึบน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก



ก)

ข) 2% O₂ค) 5% O₂ง) 10% O₂จ) 15% O₂ฉ) 21% O₂

ภาพที่ 13 ฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) ถึง จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 12 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย
2% O ₂	13 - 15	เกิดจุดเล็กๆ สีน้ำตาลกระจายบนผัก (browning)
5% O ₂	13 - 15	เกิดจุดเล็กๆ สีน้ำตาลกระจายบนผัก (browning)
10% O ₂	13 - 15	เกิดสีน้ำตาลบนผัก (browning)
15% O ₂	13 - 15	เกิดสีน้ำตาลบนผัก (browning)
20% O ₂	9 - 11	เกิดสีน้ำตาลบนผัก (browning) และเกิดเชื้อราบริเวณผิวผักและขั้วผัก

ค่า L* ของผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 10 และ 15 มีค่า a* และ ค่า b* ต่างกัน ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 มีค่า a* และค่า b* ไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างกับผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 10 และ 15 ($p > 0.05$) (ตารางที่ 13) การประเมินการเกิดสีน้ำตาลเมื่อประเมินด้วยตา พบว่าสามารถสังเกตเห็นการเกิดสีน้ำตาลที่กระจายบนผักกระเจียวได้อย่างชัดเจน แต่ไม่สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าสีด้วยค่า L* a* b* อาจเนื่องมาจากลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนผักกระเจียวมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาลเล็กๆ กระจายบนผัก จึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องวัดค่าสี ซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นค่าที่ใช้ประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกระเจียวกับค่า L* a* และ b* รายงานผลโดยการนำเสนอความสัมพันธ์ที่มีค่าสูง (ประมาณ 0.80 ขึ้นไป) ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า ค่า L* มีความสัมพันธ์ต่อค่า a* มากที่สุด ค่า a* มีความสัมพันธ์ต่อค่า L* และ ค่า b* และค่า b* มีความสัมพันธ์ต่อค่า a* เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการเกิดสีน้ำตาลกับค่า L* a* b* ที่มีค่าความสัมพันธ์น้อยกว่า 0.80

ตารางที่ 13 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ค่า L^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	39.64±2.76 ^{ns}	40.89±1.19 ^{ns}	42.01±1.49 ^{ns}	41.58±2.34 ^{ns}	42.25±2.44 ^{ns}
5% O ₂	39.64±2.76 ^{ns}	41.77±1.99 ^{ns}	41.64±1.9 ^{ns}	40.14±1.41 ^{ns}	39.69±1.01 ^{ns}
10% O ₂	39.64±2.76 ^{ns}	39.88±1.57 ^{ns}	40.88±1.53 ^{ns}	40.27±2.22 ^{ns}	41.88±0.32 ^{ns}
15% O ₂	39.64±2.76 ^{ns}	41.15±1.32 ^{ns}	42.56±2.56 ^{ns}	41.68±2.36 ^{ns}	40.64±0.96 ^{ns}
21% O ₂	39.64±2.76 ^{ns}	39.57±0.88 ^{ns}	42.45±1.48 ^{ns}	42.22±1.94 ^{ns}	N/A
ความเข้มข้น	ค่า a^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-16.07±1.34 ^{ns}	-16.75±0.53 ^{ns}	-16.80±1.49 ^{ns}	-16.17±1.24 ^{ab}
5% O ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-16.37±1.26 ^{ns}	-15.97±0.90 ^{ns}	-16.17±0.77 ^{ns}	-15.64±0.42 ^{ab}
10% O ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-14.65±0.55 ^{ns}	-15.76±0.47 ^{ns}	-16.15±0.64 ^{ns}	-16.94±0.32 ^b
15% O ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-15.37±0.75 ^{ns}	-17.20±1.02 ^{ns}	-16.64±1.83 ^{ns}	-14.90±0.57 ^a
21% O ₂	-15.38±1.79 ^{ns}	-14.91±0.24 ^{ns}	-17.08±0.58 ^{ns}	-17.08±1.17 ^{ns}	N/A
ความเข้มข้น	ค่า b^*				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	18.09±3.17 ^{ns}	19.86±0.20 ^{ns}	22.07±1.37 ^{ns}	23.71±3.21 ^{ns}	21.91±2.24 ^{ab}
5% O ₂	18.09±3.17 ^{ns}	20.71±2.64 ^{ns}	21.05±1.92 ^{ns}	22.41±2.51 ^{ns}	22.62±2.08 ^{ab}
10% O ₂	18.09±3.17 ^{ns}	18.86±1.54 ^{ns}	20.77±1.15 ^{ns}	23.02±0.70 ^{ns}	24.44±1.31 ^a
15% O ₂	18.09±3.17 ^{ns}	19.31±1.72 ^{ns}	22.57±2.41 ^{ns}	23.98±3.28 ^{ns}	20.67±1.66 ^b
21% O ₂	18.09±3.17 ^{ns}	18.66±1.02 ^{ns}	22.79±1.60 ^{ns}	25.50±1.37 ^{ns}	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 9) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจียบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

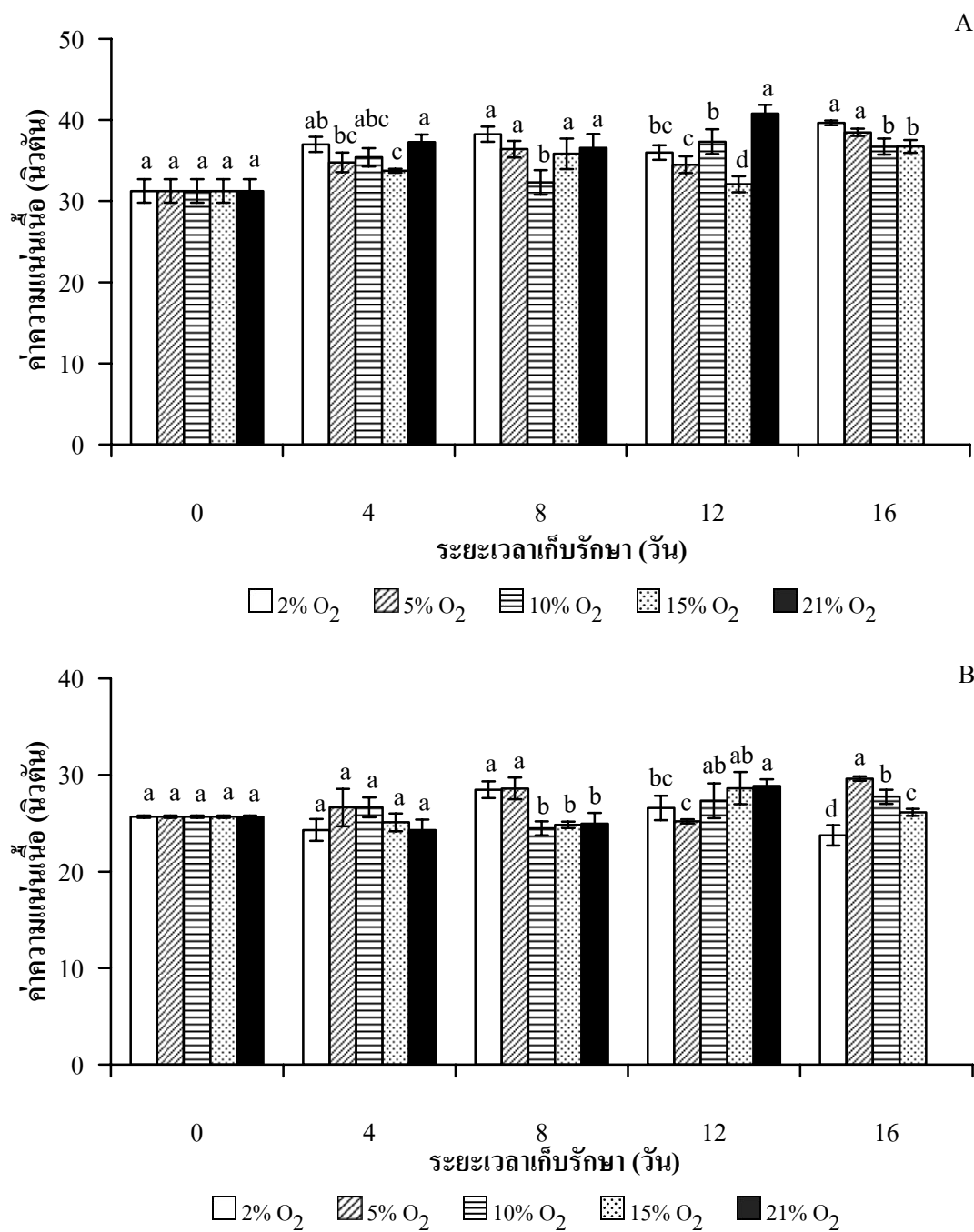
ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาล และค่า L^* (a^* b^*) ของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน ต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของฝักระเจียบเขียว			
	ระดับการเกิดสีน้ำตาล	ค่า L^*	ค่า a^*	ค่า b^*
ระดับการเกิดสีน้ำตาล	1.00	-0.63	-0.08	0.39**
ค่า L^*	-0.06	1.00	-0.84**	0.69**
ค่า a^*	-0.08	-0.84**	1.00	-0.85**
ค่า b^*	-0.40**	0.69**	-0.85**	1.00

** มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01, *มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

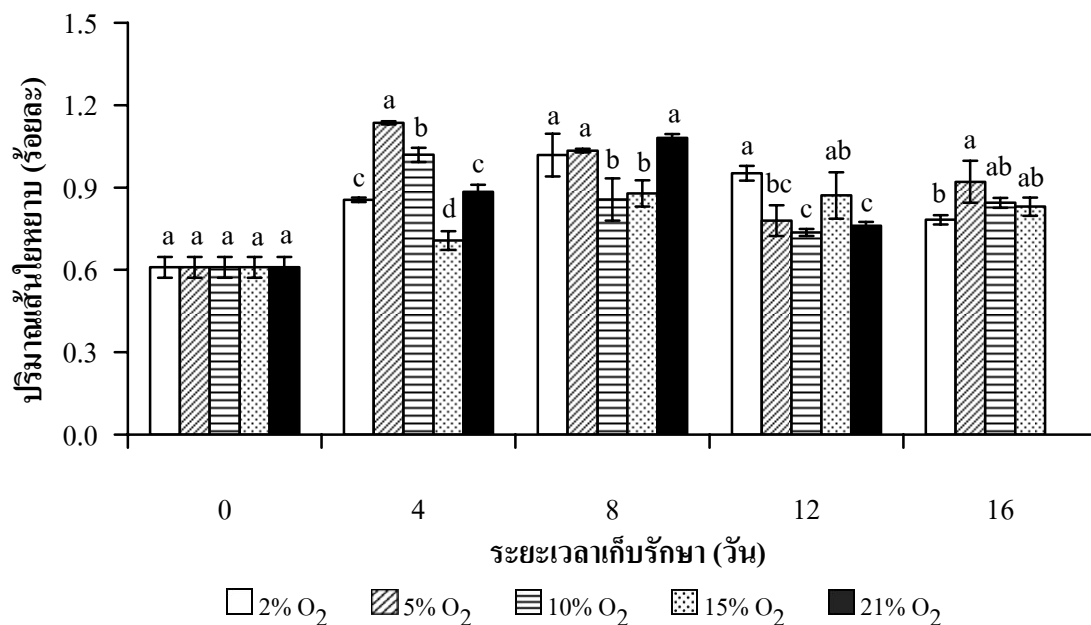
ค่าความแน่นเนื้อของฝักระเจียบเขียวบริเวณกลางฝักและปลายฝักในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (ภาพที่ 14) ให้ผลสอดคล้องกับปริมาณเส้นใยหยาบของ ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันปริมาณเส้นใยหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 15)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ในวันที่ 12 และวันที่ 16 (วันสุดท้ายของการเก็บรักษา) พบว่าฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยกว่าฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนอื่นๆ (ภาพที่ 16) ที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลิตผลได้ (Beaudry, 2000) เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เมทิลคลอโรฟิลล์ไลด์ (methychlorophyllide) ที่มีสีเขียวสดเปลี่ยนไปเป็นคลอโรอินเพอพูริน (chlorines pupurins) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี (Wills *et al.*, 1998) ดังนั้นที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำจึงมีผลทำให้ชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้

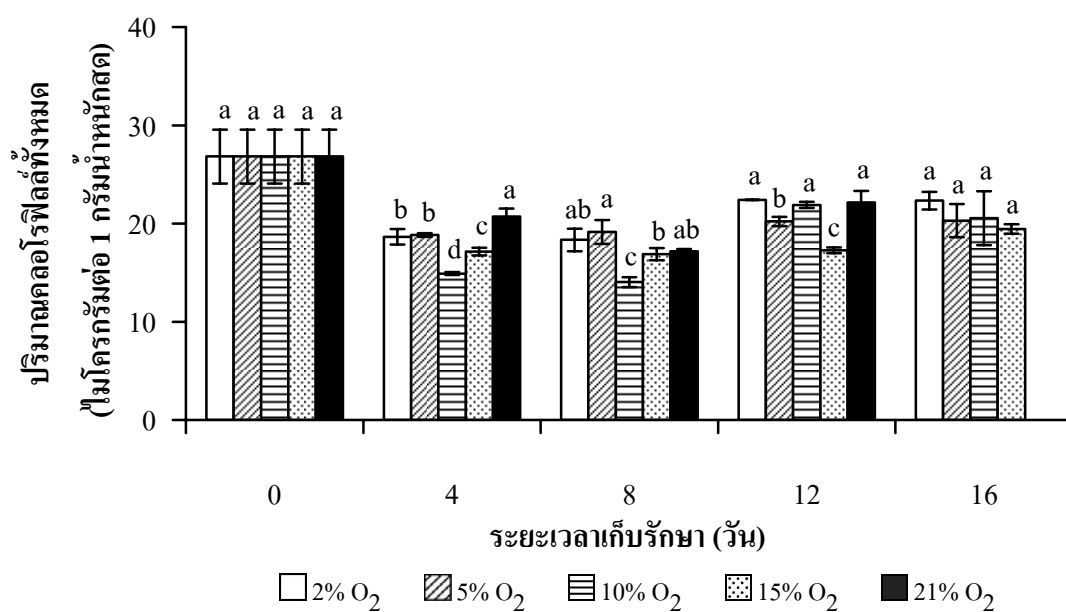


ภาพที่ 14 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และบริเวณปลายฝัก (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา



ภาพที่ 15 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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

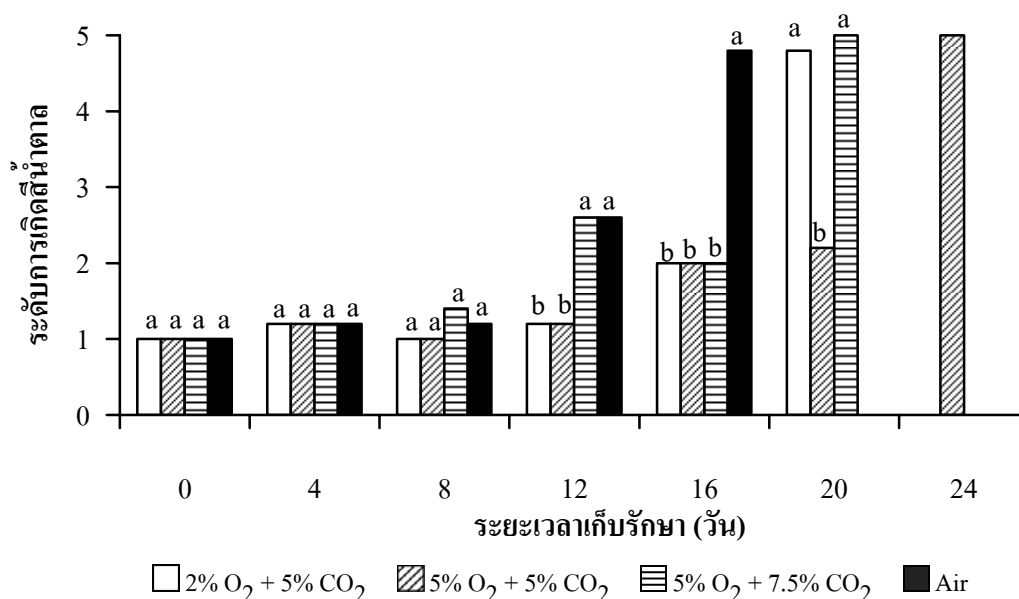
จากการทดลอง พบว่า แก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2, 5, 10, 15, และ 21 มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวมากกว่าคุณภาพด้านอื่นๆ เนื่องจากที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนสามารถหาความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ฝักระเจียบเขียวทนได้ โดยพบว่า ฝักระเจียบเขียวสามารถทนต่อแก๊สออกซิเจนต่ำสุดร้อยละ 2 และ 5 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาของฝักระเจียบเขียวได้ดีกว่าบรรยากาศอื่นๆ และเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด

3. ศึกษาผลของบรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

จากข้อมูลในการทดลองที่ 2 จะสามารถเลือกปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ที่ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาในฝักระเจียบเขียว เพื่อใช้ในการกำหนดบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียว ซึ่งในการศึกษาการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียวในบรรยากาศควบคุมจะกำหนดระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร้อยละ 5 และ 7.5 กำหนดระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ร้อยละ 2 และ 5 โดยมีบรรยากาศปกติที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 เป็นชุดควบคุม

ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะเกิดสีน้ำตาลบนผิวเร็วที่สุด โดยระดับการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 17) นอกจากนี้ยังเกิดเชื้อราบนผิวและขั้วฝักร่วมด้วย (ภาพที่ 18จ)) และในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม 5% O₂+5% CO₂ มีระดับการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ผิว เมื่อเปรียบเทียบกับฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม 2% O₂+5% CO₂ และ 2% O₂+7.5% CO₂ ที่มีระดับการเกิดสีน้ำตาลบนผิวร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ผิว (ภาพที่ 17) ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติเกิดแตกต่างจากฝักระเจียบเขียวในการทดลองที่ 2 ที่ศึกษาหาความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ทนได้และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ทนได้ของฝักระเจียบเขียว ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติจะเกิดสีน้ำตาลเป็นเส้นบริเวณเหลี่ยมผิวและกระจายบนผิวฝัก ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวในลักษณะนี้น่าจะเกิดจากการเสื่อมสภาพ (senescence)

ของฝักระเจียบเขียว นอกจากนี้ยังเกิดเชื้อราบนผิวฝักและขั้วฝักร่วมด้วย (ภาพที่ 18ข) ถึงภาพที่ 18 ง)) เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติสามารถประเมินอายุการเก็บรักษาของฝักระเจียบเขียวได้ดังนี้ ฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม 5% O₂+5% CO₂ จะมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 21-23 วัน รองลงมาคือ 2% O₂+5% CO₂ และ 5% O₂+5% CO₂ มีอายุการเก็บรักษา 17-19 วัน ส่วนการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะมีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด คือ 13-15 วัน (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 17 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจียบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก



ก)

ข) 2% O₂ + 5% CO₂ค) 2% O₂ + 5% CO₂ง) 2% O₂ + 7.5% CO₂

จ) บรรยากาศปกติ

ภาพที่ 18 ฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 20 ของการเก็บรักษา, ค) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 24 ของการเก็บรักษา, ง) คือฝักระเจี๊ยบเขียว วันที่ 20 ของการเก็บรักษา, จ) คือฝักระเจี๊ยบเขียววันที่ 16 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 15 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

บรรยากาศควบคุม	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย
2% O ₂ + 5% CO ₂	17 - 19	เกิดสีน้ำตาล (browning)
5% O ₂ + 5% CO ₂	21 - 23	เกิดสีน้ำตาล (browning)
2% O ₂ + 7.5% CO ₂	17 - 19	เกิดสีน้ำตาล (browning)
Air	13 - 15	เกิดสีน้ำตาล (browning)

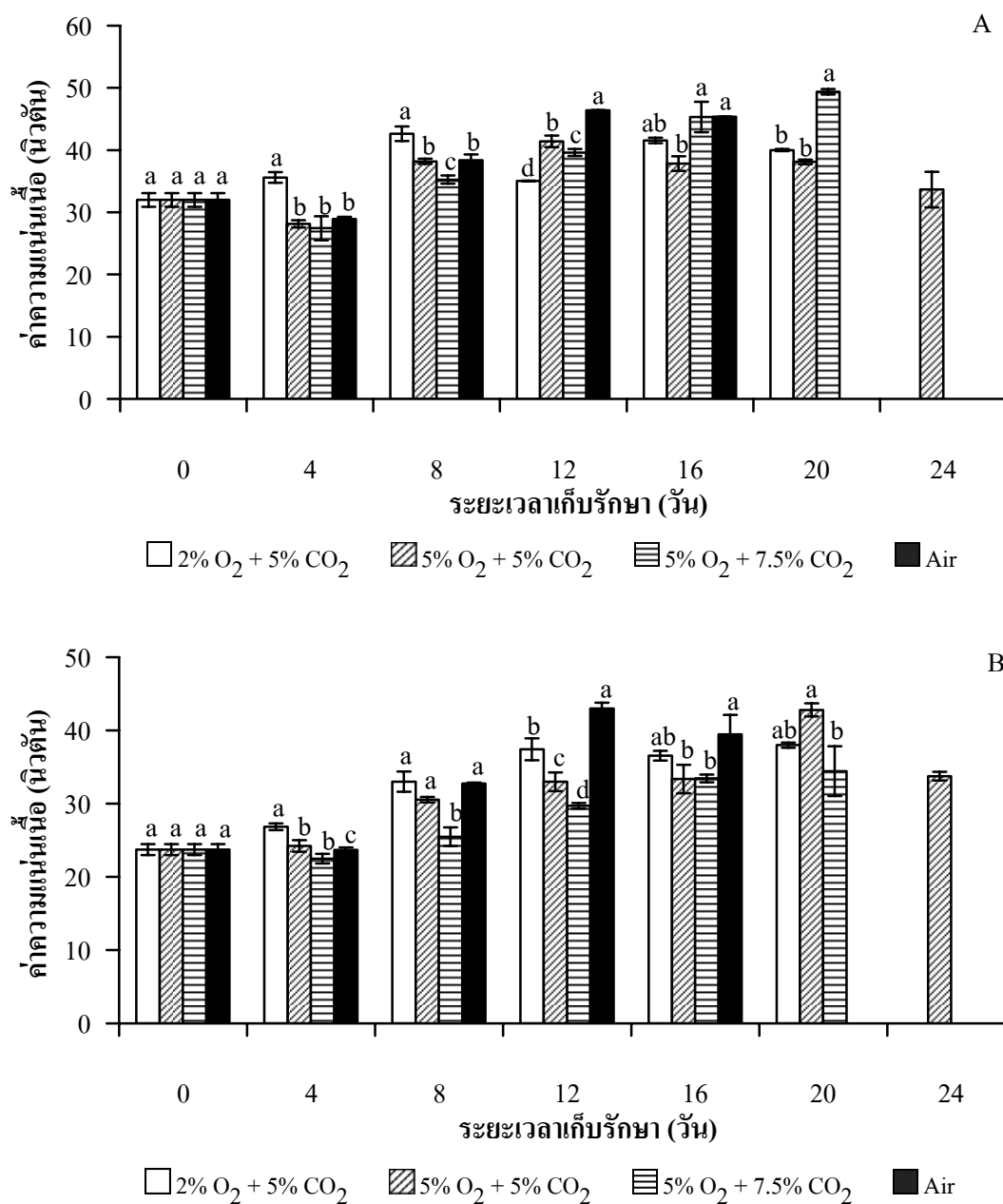
ค่าสี (L^* a^* b^*) ของผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่แตกต่างกัน พบว่าในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา ผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติมีการเปลี่ยนแปลง ค่า L^* a^* และ b^* มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมอื่นๆ ซึ่งให้ค่าสีที่ได้สอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติมีระดับเกิดสีน้ำตาลที่ระดับ 4.8 ซึ่งผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 80-100 ของพื้นที่ผักในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ค่า L^* ของผักกระเจี๊ยบเขียวในบรรยากาศควบคุมมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a^* และค่า b^* ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 16) สีเขียวของผักกระเจี๊ยบเขียวถือเป็นปัจจัยสำคัญของผักกระเจี๊ยบเขียวสดเนื่องจากผักกระเจี๊ยบเขียวที่มีลักษณะการเกิดสีน้ำตาลจะไม่ได้มีการยอมรับจากผู้บริโภค (Baxter and Waters, 1990)

ค่าความแน่นเนื้อของผักกระเจี๊ยบในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและพบว่าในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ผักกระเจี๊ยบที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม 2% O₂+7.5% CO₂ มีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมอื่นๆ ($p \leq 0.05$) คือมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 49.37 นิวตัน และตลอดอายุการเก็บรักษา 24 วัน ผักกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม 5% O₂+5% CO₂ มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด คือ 33.66 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพที่ 19)

ตารางที่ 16 ค่า L* a* b* ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจน ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ค่า L*			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	38.28±0.88 ^{ns}	38.28±0.88 ^{ns}	38.28±0.88 ^{ns}	38.28±0.88 ^{ns}
วันที่ 4	39.74±1.29 ^{ns}	39.15±0.75 ^{ns}	39.45±1.26 ^{ns}	39.16±1.52 ^{ns}
วันที่ 8	40.06±2.59 ^{ns}	37.85±1.18 ^{ns}	41.00±2.52 ^{ns}	38.26±2.93 ^{ns}
วันที่ 12	39.81±1.62 ^{ns}	37.86±1.50 ^{ns}	38.76±1.64 ^{ns}	41.03±1.71 ^{ns}
วันที่ 16	39.40±1.98 ^a	40.28±1.51 ^a	38.72±0.74 ^{ab}	36.25±0.48 ^b
วันที่ 20	42.78±1.84 ^c	42.61±1.28 ^a	39.79±1.01 ^b	N/A
วันที่ 24	N/A	39.46±0.77	N/A	N/A
วันที่เก็บรักษา	ค่า a*			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	-15.41±0.64 ^{ns}	-15.41±0.64 ^{ns}	-15.41±0.64 ^{ns}	-15.41±0.64 ^{ns}
วันที่ 4	-15.35±0.87 ^{ns}	-13.62±1.00 ^{ns}	-14.25±0.73 ^{ns}	-14.83±1.10 ^{ns}
วันที่ 8	-14.59±2.22 ^{ns}	-14.13±1.54 ^{ns}	-13.49±1.78 ^{ns}	-14.60±1.52 ^{ns}
วันที่ 12	-14.86±1.05 ^{ns}	-12.98±1.38 ^{ns}	-13.95±1.40 ^{ns}	-14.79±1.09 ^{ns}
วันที่ 16	-14.84±1.40 ^b	-15.19±1.05 ^b	-13.74±1.58 ^{ab}	-12.78±0.64 ^a
วันที่ 20	-13.25±0.76 ^{ns}	-14.51±2.02 ^{ns}	-12.32±0.69 ^{ns}	N/A
วันที่ 24	N/A	-13.85±1.55	N/A	N/A
วันที่เก็บรักษา	ค่า b*			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	19.43±1.28 ^{ns}	19.43±1.28 ^{ns}	19.43±1.28 ^{ns}	19.43±1.28 ^{ns}
วันที่ 4	18.92±1.55 ^{ns}	15.83±1.36 ^{ns}	18.03±1.43 ^{ns}	18.73±2.01 ^{ns}
วันที่ 8	18.13±3.93 ^{ns}	17.32±2.65 ^{ns}	17.52±3.29 ^{ns}	18.21±2.82 ^{ns}
วันที่ 12	18.40±1.93 ^{ns}	15.90±2.48 ^{ns}	16.99±1.32 ^{ns}	19.69±2.40 ^{ns}
วันที่ 16	18.74±2.20 ^{ab}	20.05±2.51 ^a	17.44±2.90 ^{ab}	14.70±0.69 ^b
วันที่ 20	17.56±0.43 ^{ns}	18.36±3.95 ^{ns}	14.49±1.06 ^{ns}	N/A
วันที่ 24	N/A	19.06±2.94	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 9) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตาม แนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย



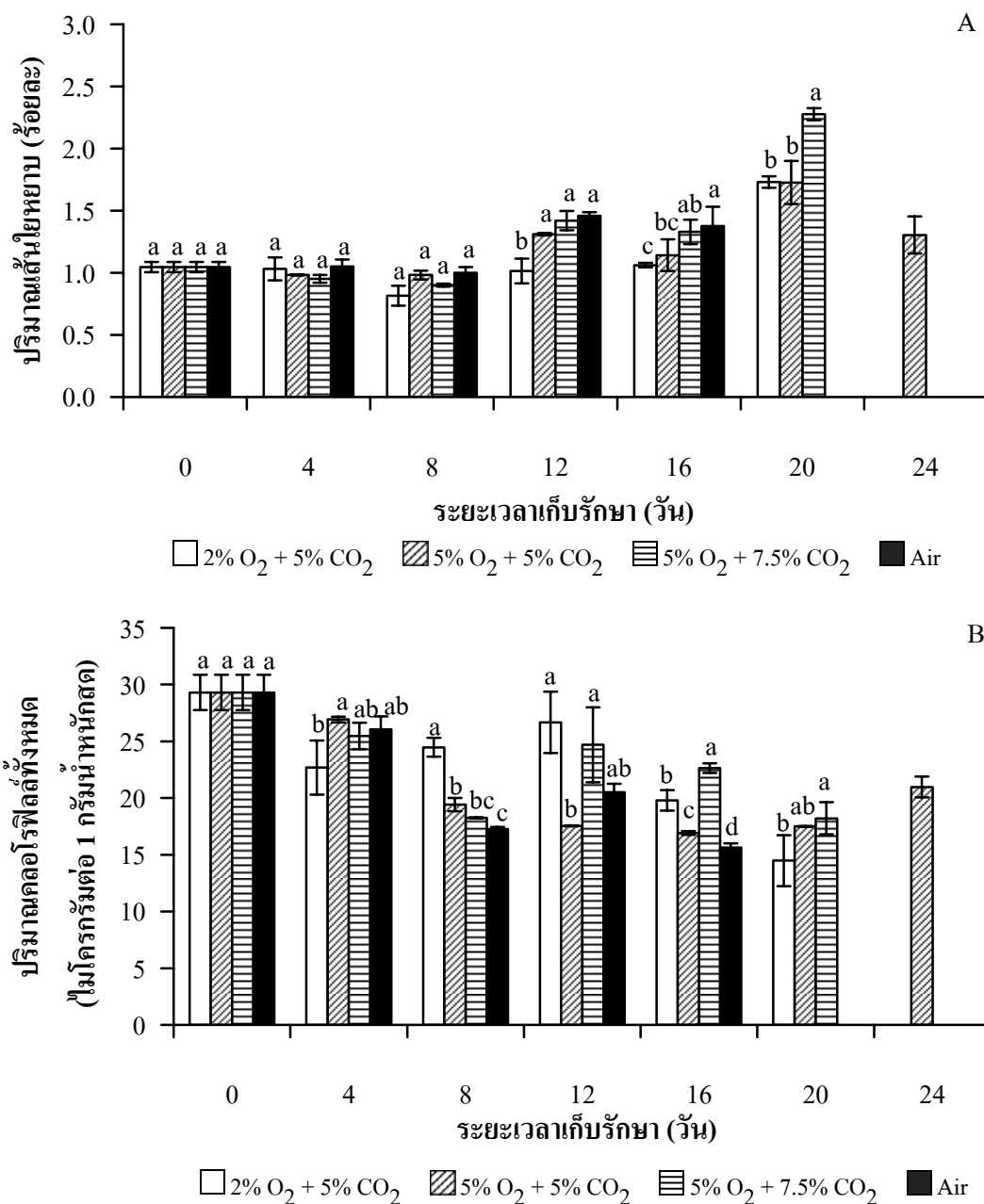
ภาพที่ 19 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (A) และปลายฝัก (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมและบรรยากาศปกติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 7.5\% \text{ CO}_2$ มีปริมาณเส้นใยหยาบสูงที่สุด (ภาพที่ 20A) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื้อของฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 7.5\% \text{ CO}_2$ มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ปริมาณเส้นใยถือเป็นคุณภาพที่สำคัญของฝักระเจี๊ยบเขียว เนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวที่มีค่าเนื้อสัมผัสสูงจะทำให้ฝักระเจี๊ยบเขียวมีความเหนียวทำให้ฝักระเจี๊ยบเขียวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ธงชัยและคณะ, 2545) การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศควบคุมที่มีระดับแก๊สออกซิเจนต่ำและระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติ สามารถชะลอการเกิดเส้นใยได้ เนื่องจากการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมจะลดการสร้างเอทิลีน (Barth *et al.*, 1993; Kader *et al.*, 1989) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไอโซเพนออกซิเดสทำให้ผลิตผลสร้างเส้นใยเพิ่มขึ้น

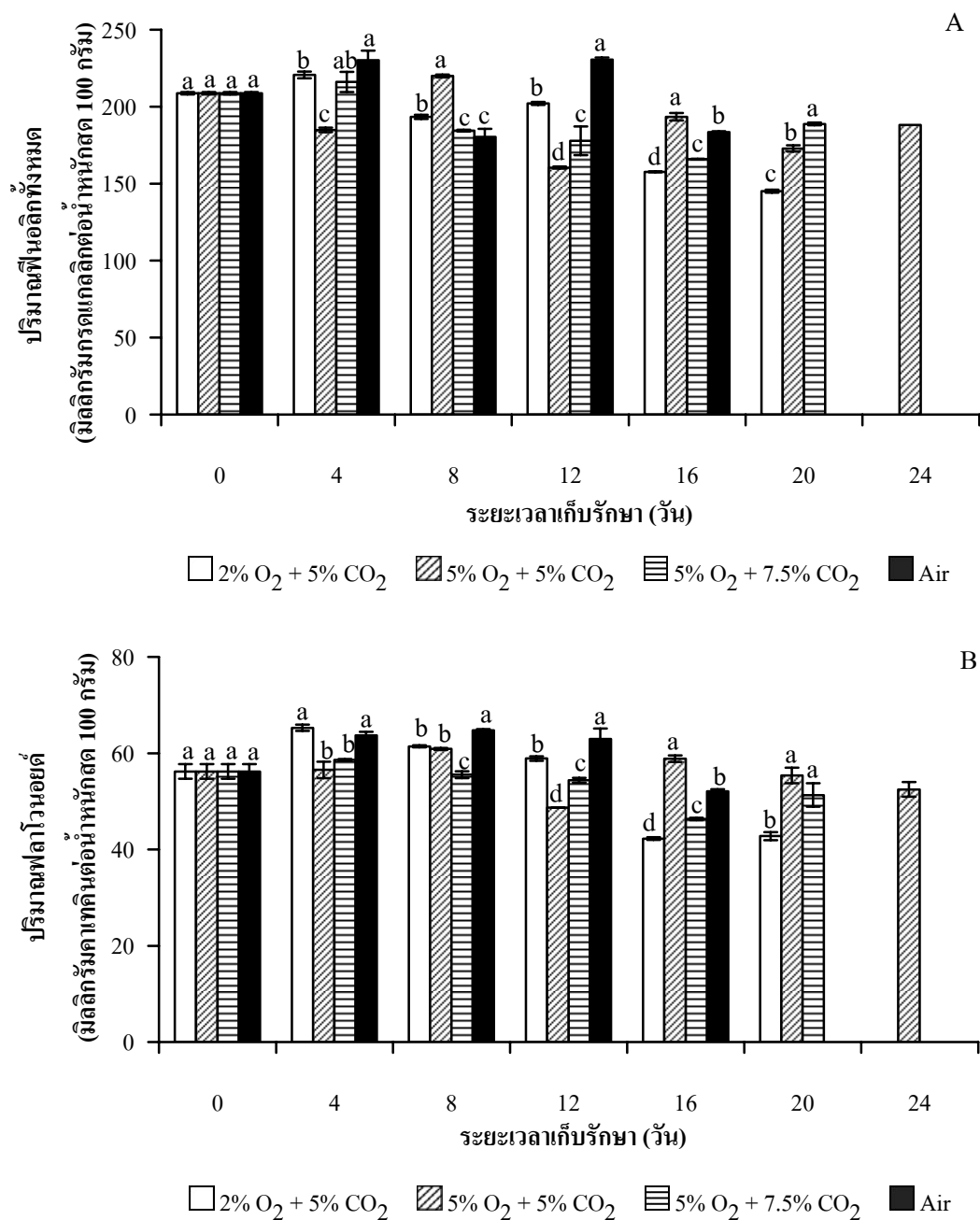
ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา ฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$, $5\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ และ $2\% \text{ O}_2 + 7.5\% \text{ CO}_2$ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่าฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ (ภาพที่ 20B) ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Baxter and Waters (1990) ที่เก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ 'Clemson spineless' ในบรรยากาศควบคุมที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 กับระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 พบว่าสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในฝักระเจี๊ยบเขียวได้ดีกว่าฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้จากการทดลองพบว่าฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในทุกบรรยากาศมีแนวโน้มลดลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ฝักระเจี๊ยบที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ ฝักระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์มีแนวโน้มลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบรรยากาศอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง (ภาพที่ 21) ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 7.5\% \text{ CO}_2$ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 21A) และฝักระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $5\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (ภาพที่ 21B) การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของผลิตผลจะขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช สายพันธุ์ อุณหภูมิและสภาพที่ใช้เก็บรักษา (Cordenunsi *et al.*, 2005)



ภาพที่ 20 ปริมาณเส้นใยหยาบ (A) และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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



ภาพที่ 21 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (B) ของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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

จากผลการทดลอง เมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมต่างๆ พบว่า การเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวถือเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพของฝักระเจียบเขียว เนื่องจากเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคจะเห็นเป็นอย่างแรก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาฝักระเจียบเขียวการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจียบเขียวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ ($20\% \text{ O}_2 + 0.03\% \text{ CO}_2$) เกิดสีน้ำตาลบนผิวฝักระเจียบเขียวเร็วกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $2\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$, $5\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ และ $2\% \text{ O}_2 + 7.5\% \text{ CO}_2$ และมีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าฝักระเจียบเขียวที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม คือมีอายุการเก็บรักษา 13-15 วัน และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา ฝักระเจียบเขียวเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม $5\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 21-23 วัน ดังนั้นบรรยากาศควบคุมจึงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าบรรยากาศปกติ

4. ศึกษาผลของบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพของฝักระเจียบเขียว

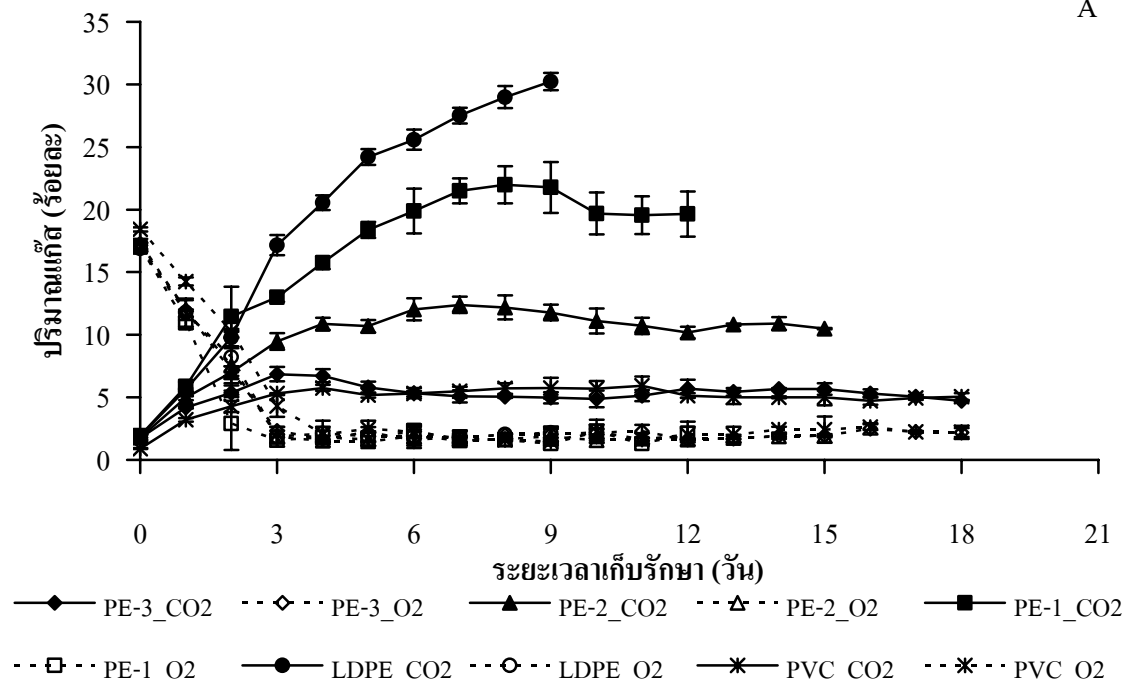
จากการศึกษาผลของการบรรจุฝักระเจียบเขียวภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สสูง 3 ชนิด ได้แก่ PE-3, PE-2 และ PE-1 และฟิล์มที่ใช้ทั่วไป คือ LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุมีแนวโน้มลดลงในทุกทริทเมนต์ (ภาพที่ 22A และ 22B)

เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าฝักระเจียบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2 และ PVC มีปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณแก๊ส $2\% \text{ O}_2 + 5.4\% \text{ CO}_2$, $1.9\% \text{ O}_2 + 10.7\% \text{ CO}_2$ และ $2.2\% \text{ O}_2 + 5\% \text{ CO}_2$ ตามลำดับ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนเริ่มเข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลง คือ ระดับแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลผลิตปลดปล่อยออกมาเท่ากับแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซึมผ่านเข้าไป (Al-Ati and Hotchkiss, 2003) ในวันที่ 3, 5 และ 4 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ (ตารางที่ 17) ส่วนฝักระเจียบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากมีการสะสมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 22A) ฝักระเจียบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE จะมีการสะสมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด คือ ร้อยละ 27.5 (ตารางที่ 17)

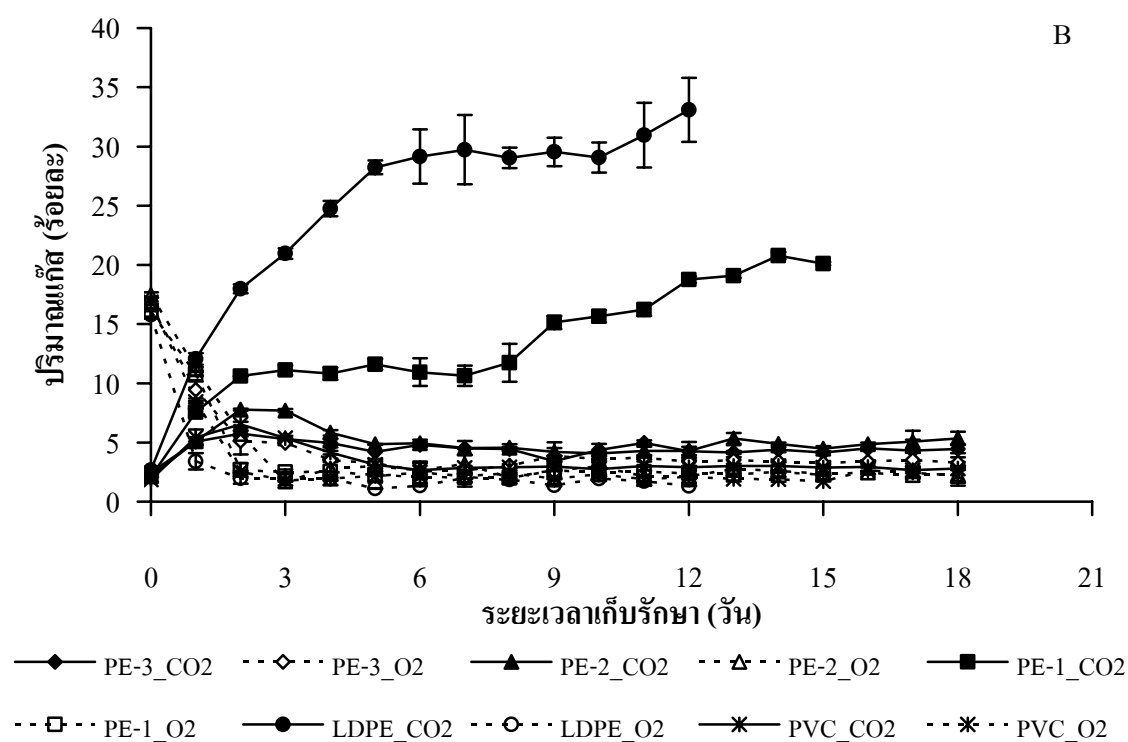
เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PE-2 มีปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลงพร้อมกัน ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา มีปริมาณแก๊ส 3.4% O₂+4.3% CO₂ และ 2.4% O₂+4.9% CO₂ ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ EMA ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา มีปริมาณแก๊ส 2.3% O₂+2.8% CO₂ (ตารางที่ 18) ส่วนผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่เข้าสู่สมดุลของบรรยากาศดัดแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่มีการสะสมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 21B) โดยผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE จะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด คือร้อยละ 31 และมีปริมาณแก๊สออกซิเจนน้อยที่สุด คือร้อยละ 1.6 (ตารางที่ 18)

เมื่อพิจารณาจากสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของฟิล์มแต่ละชนิด พบว่า ฟิล์ม PE-1 และ LDPE มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ซึ่งฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มต่ำสามารถป้องกันกั้นการซึมผ่านได้ดี จึงทำให้ผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE มีการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่น ฟิล์มที่ยอมให้แก๊สผ่านน้อยเกินไปจะทำให้บรรยากาศดัดแปลงมีปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป อาจจะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ (off-odour and off-flavour) ได้ (วรรณิและคณะ, 2548) สภาพการซึมผ่านได้ของแก๊สจึงมีความสำคัญในการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยต้องสามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้เข้าสู่สมดุลบรรยากาศดัดแปลง โดยบรรยากาศแบบสมดุลบรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลออัตราการหายใจ ลดการเสื่อมสภาพและสามารถรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ (Rooney, 1995) ดังนั้นควรเลือกฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์

A



B



ภาพที่ 22 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของผักกระเจียวเขียวที่บรรจุลง
 ถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1, PE-2, PE-3, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่
 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (A) และ 10 องศาเซลเซียส (B)

ตารางที่ 17 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่บรรยากาศดัดแปลงแบบ สมดุล (EMA) อายุการเก็บรักษาและสาเหตุของการเสื่อมเสียของผักกระเจี๊ยบเขียวที่ บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม พลาสติก	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล		เข้าสู่ EMA (วัน)	อายุการ เก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย
	O ₂	CO ₂			
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)			
PE-3	2	5.4	3	16-17	ผักมีลักษณะฉ่ำน้ำ, สีผัก เป็นสีน้ำตาล (อาการ สะท้อนหนาว)
PE-2	1.9	10.7	4	13-14	ผักมีลักษณะฉ่ำน้ำ, สีผัก เป็นสีน้ำตาล (อาการ สะท้อนหนาว)
PE-1	1.8	20.5	N/A	10-11	ผักมีลักษณะฉ่ำน้ำ, สีผัก เป็นสีน้ำตาล (อาการ สะท้อนหนาว)
LDPE	1.9	27.5	N/A	7-8	ผักมีลักษณะฉ่ำน้ำ, สีผัก เป็นสีน้ำตาล (อาการ สะท้อนหนาว)
PVC	2.2	5	4	16-17	ผักมีลักษณะฉ่ำน้ำ, สีผัก เป็นสีน้ำตาล (อาการ สะท้อนหนาว)

หมายเหตุ N/A หมายถึง ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เข้าสู่สมดุลตลอด อายุการเก็บรักษา, PE-3 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 23,000 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$, PE-2 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 19,000 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$, PE-1 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 8,700 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$, LEPE มีอัตรา ให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 4,100 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$ และ PVC มีอัตราการให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 15,000 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$

ตารางที่ 18 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่บรรยากาศดัดแปลงแบบ
 สมดุล (EMA) อายุการเก็บรักษาและสาเหตุของการเสื่อมเสียของผักกระเจียวเขียวที่
 บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ
 10 องศาเซลเซียส

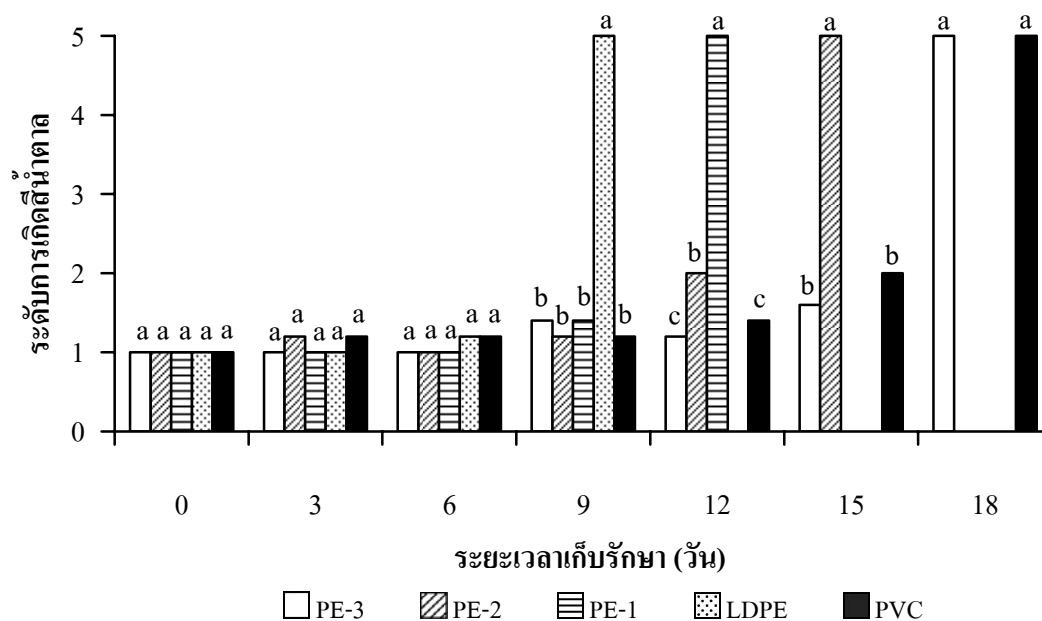
ฟิล์ม พลาสติก	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล		เข้าสู่ EMA (วัน)	อายุการ เก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย
	O ₂	CO ₂			
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)			
PE-3	3.4	4.3	4	16-17	เกิดสีน้ำตาลบนผิวผัก เหี่ยวผักและหัวผัก
PE-2	2.4	4.9	4	16-17	เกิดสีน้ำตาลกระจายบน ผิวผัก
PE-1	2.4	20	N/A	13-14	รอยบวมสีน้ำตาล (CO ₂ injury)
LDPE	1.6	31	N/A	10-11	รอยบวมสีน้ำตาล (CO ₂ injury)
PVC	2.3	2.8	5	16-17	เกิดจุดสีน้ำตาลบนผิวผัก , เกิดเชื้อราบริเวณหัวผัก

หมายเหตุ N/A หมายถึง ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เข้าสู่สมดุลตลอด
 อายุการเก็บรักษา, PE-3 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 23,000
 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$, PE-2 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 19,000 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$,
 PE-1 มีอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 8,700 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$, LEPE มีอัตรา
 ให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 4,100 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$ และ PVC มีอัตราการให้ซึม
 ผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 15,000 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$

เมื่อประเมินลักษณะปรากฏของผักกระเจียวเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2,
 PE-1, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียสจากระดับการเกิดสีน้ำตาล
 พบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระดับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจียวเขียวเป็นดังภาพที่ 23
 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจียวเขียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดจากอาการ
 สะท้อนหนาว ผักกระเจียวเขียวจะมีลักษณะนํ้าบนผิวผัก และสีผักกระเจียวเขียวเปลี่ยนจากสี
 เขียวเป็นสีคล้ำและสีน้ำตาล (ภาพที่ 24ข) ถึงภาพที่ 24ค)) โดยเกิดอาการสะท้อนหนาวในวันสุดท้าย

ของการเก็บรักษา คือ วันที่ 18, 15, 12, 9 และ 18 ในฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ จากการทดลองของ Wang and Qi (1996) พบว่าเมื่อเก็บรักษาแตงกวาในถุง LDPE ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแตงกวาที่ไม่ได้บรรจุในถุง โดยผลการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง เป็นการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำจะไปลดการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งทำให้ผลิตผลไม่แสดงอาการสีน้ำตาลออกมาให้เห็น ส่วนปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นกรด-เบสของผลิตผลเปลี่ยนแปลงไปจนมีผลต่อการทำของเอนไซม์ต่างๆ และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสส่งผลทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยลง (จริงแท้, 2549)

ส่วนฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวเป็นดังภาพที่ 25 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2 และ PVC จะเกิดสีน้ำตาลบริเวณเหลี่ยมฝัก, หัวฝัก และเป็นจุดสีน้ำตาลกระจายทั่วผิวฝัก (ภาพที่ 26ข), ภาพที่ 26ค) และภาพที่ 26ง)) ส่วนฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลเป็นรอยบวมสีน้ำตาลกระจายบนผิวฝักและบริเวณเหลี่ยมของฝักระเจี๊ยบเขียว (ภาพที่ 26ง) และภาพที่ 26จ)) ซึ่งป็นลักษณะอาการผิดปกติที่เกิดจาก CO₂ injury เนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE มีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุสูง แต่รอยบวมสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะไม่รุนแรงเท่ากับการทดลองหาความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ฝักระเจี๊ยบเขียวทนได้ในการทดลองที่ 2.1 Shen *et al.* (2006) ได้ทำการเปรียบเทียบหน่อไม้บรรจุในถุง LDPE ที่ปิดปากถุงกับหน่อไม้บรรจุในถุง LDPE ที่ไม่ได้ปิดปากถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ระดับการเกิดสีน้ำตาลของหน่อไม้บรรจุในถุง LDPE ที่ไม่ปิดปากถุงจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาได้ 4 วัน เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ระดับการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้นเช่นกัน ส่วนหน่อไม้บรรจุในถุง LDPE ที่ปิดปากถุง เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 10 พบว่า ระดับการสีน้ำตาลอยู่ที่ 1.2 คือ หน่อไม้เกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติจึงสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้



ภาพที่ 23 ระดับการเกิดสื่อน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ระดับ 1 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสื่อน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 2 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสื่อน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 3 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสื่อน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 4 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสื่อน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 5 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสื่อน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก



ก)



ข) PE-3



ค) PE-2



ง) PE-1

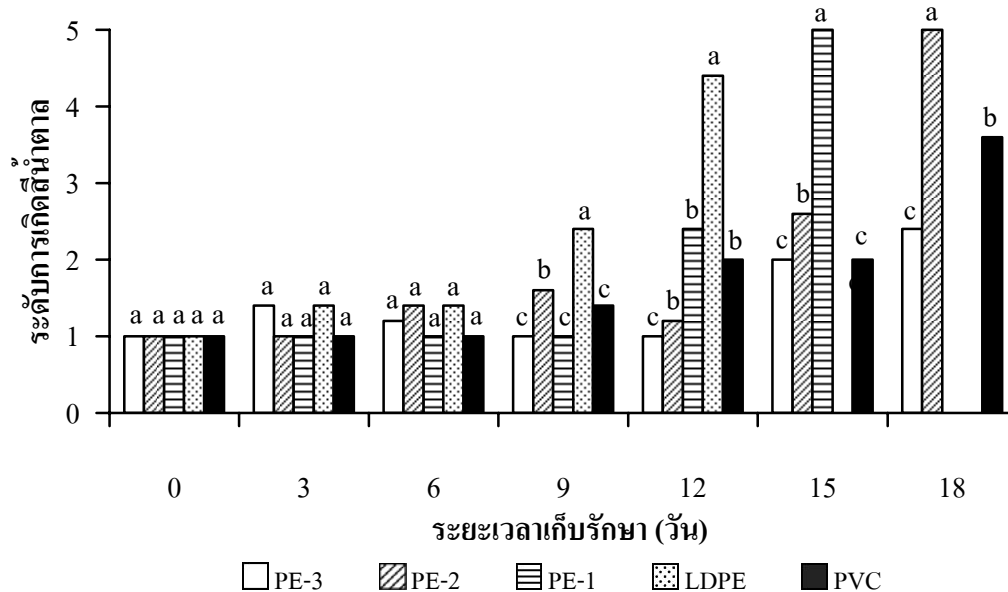


จ) LDPE



ฉ) PVC

ภาพที่ 24 ฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ค) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 15 ของการเก็บรักษา, ง) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา, จ) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 9 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฝักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 25 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ระดับ 1 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 2 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 3 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 4 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,

ระดับ 5 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก



ก)



ข) PE-3



ค) PE-2



ง) PE-1



จ) LDPE



ฉ) PVC

ภาพที่ 26 ฟักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ก) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 0 ของการเก็บรักษา, ข) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ค) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา, ง) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 15 ของการเก็บรักษา, จ) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 12 ของการเก็บรักษา, ฉ) คือฟักกระเจี๊ยบเขียววันที่ 18 ของการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* ของผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC คือ วันที่ 18, 15, 12, 9 และ 18 ตามลำดับ ค่า a^* ของผักกระเจี๊ยบเขียวมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่าค่า L^* และ b^* โดยค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 19) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับระดับการเกิดสีน้ำตาลของผักกระเจี๊ยบเขียวที่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการเกิดอาการสะท้อนขาว และการเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่า a^* ของผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ LDPE มีค่า a^* เพิ่มขึ้นมากที่สุด (ตารางที่ 20) เนื่องจากผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสียจาก CO_2 injury ผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดรอยบวมสีน้ำตาลบนผักกระเจี๊ยบเขียว ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับระดับการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน

การสูญเสียน้ำหนักของผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่แตกต่างกันมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผักกระเจี๊ยบเขียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดร้อยละ 0.28 และ 0.25 ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดร้อยละ 1.37 และ 4.43 ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 27 และภาพที่ 28) เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่า ฟิล์ม PVC มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักได้ง่ายกว่าฟิล์มชนิดอื่น และด้วยโครงสร้างของ PVC ที่มีโมเลกุลของคลอไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลของน้ำก็มีโมเลกุลที่มีขั้วเช่นกัน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถละลายในโครงสร้างของ PVC และสามารถซึมผ่านฟิล์ม PVC ได้ง่าย ผลการทดลองสอดคล้องกับการเก็บรักษา มะเฟืองตัดแต่งที่บรรจุในถาดพอลิสไตรีนและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงสุดร้อยละ 22.04 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดอื่น (Teixeira *et al*, 2007) และผักกระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากสมบัติของฟิล์มพลาสติกจะมีสภาพให้ซึมผ่านได้ไอน้ำสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Hernandez *et al*, 2000)

ตารางที่ 19 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของฝักระเจียบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

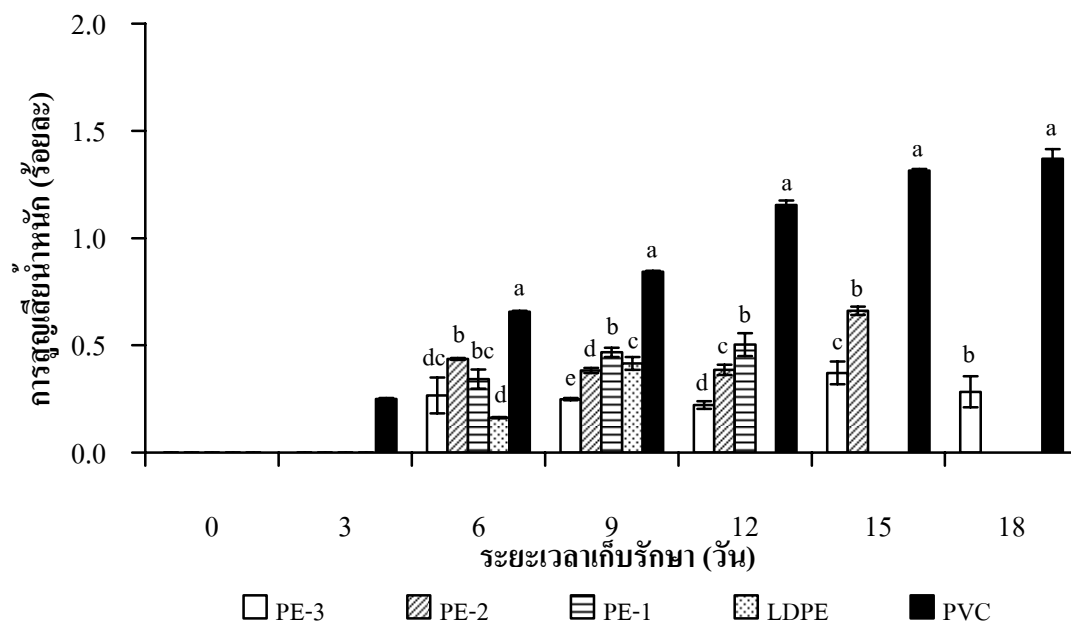
วันที่เก็บ รักษา	ค่า L^*				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	36.68±1.19 ^{ns}	36.68±1.19 ^{ns}	36.68±1.19 ^{ns}	36.68±1.19 ^{ns}	36.68±1.19 ^{ns}
วันที่ 3	38.69±1.19 ^{ns}	39.11±1.46 ^{ns}	39.41±1.18 ^{ns}	38.86±1.16 ^{ns}	37.74±1.17 ^{ns}
วันที่ 6	39.33±1.04 ^{ns}	37.61±1.83 ^{ns}	38.04±1.99 ^{ns}	39.09±1.87 ^{ns}	36.69±0.74 ^{ns}
วันที่ 9	38.56±1.97 ^{ns}	37.93±2.60 ^{ns}	38.22±1.91 ^{ns}	36.23±1.44 ^{ns}	37.80±2.06
วันที่ 12	39.84±0.96 ^a	39.49±1.63 ^a	34.72±1.06 ^b	N/A	38.65±1.45 ^a
วันที่ 15	38.19±1.07 ^{ns}	37.44±1.41 ^{ns}	N/A	N/A	38.21±1.81 ^{ns}
วันที่ 18	39.00±0.54 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	37.32±1.14 ^{ns}
ค่า a^*					
วันที่ 0	-13.02±0.34 ^{ns}	-13.02±0.34 ^{ns}	-13.02±0.34 ^{ns}	-13.02±0.34 ^{ns}	-13.02±0.34 ^{ns}
วันที่ 3	-12.76±1.26 ^{ns}	-13.03±1.58 ^{ns}	-13.02±1.20 ^{ns}	-11.57±1.50 ^{ns}	-12.27±1.54 ^{ns}
วันที่ 6	-13.12±2.01 ^{ns}	-13.22±0.47 ^{ns}	-13.60±1.33 ^{ns}	-14.11±1.28 ^{ns}	-12.59±1.67 ^{ns}
วันที่ 9	-15.24±1.27 ^b	-13.39±1.62 ^b	-13.70±1.06 ^b	-9.31±0.14 ^a	-13.41±1.54 ^b
วันที่ 12	-12.99±1.68 ^b	-13.93±0.80 ^b	-9.48±0.50 ^a	N/A	-13.87±1.71 ^b
วันที่ 15	-13.78±1.07 ^b	-11.13±0.18 ^a	N/A	N/A	-13.42±1.13 ^b
วันที่ 18	-11.38±0.36 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	-10.50±0.12 ^{ns}
ค่า b^*					
วันที่ 0	14.92±1.51 ^{ns}	14.92±1.51 ^{ns}	14.92±1.51 ^{ns}	14.92±1.51 ^{ns}	14.92±1.51 ^{ns}
วันที่ 3	15.61±2.31 ^{ns}	15.81±2.88 ^{ns}	15.95±2.26 ^{ns}	13.74±2.77 ^{ns}	14.83±2.54 ^{ns}
วันที่ 6	16.26±3.43 ^{ns}	15.86±3.22 ^{ns}	16.57±2.37 ^{ns}	17.29±2.15 ^{ns}	15.32±2.76 ^{ns}
วันที่ 9	19.45±2.67 ^a	16.68±3.10 ^{ab}	17.43±2.27 ^{ab}	14.10±2.13 ^b	16.56±2.92 ^{ab}
วันที่ 12	16.37±3.09 ^{ns}	17.68±1.89 ^{ns}	14.68±1.04 ^{ns}	N/A	17.87±3.06 ^{ns}
วันที่ 15	17.89±1.66 ^{ns}	16.10±1.05 ^{ns}	N/A	N/A	17.29±2.01 ^{ns}
วันที่ 18	15.63±0.55 ^a	N/A	N/A	N/A	13.63±0.72 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 9) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจียบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

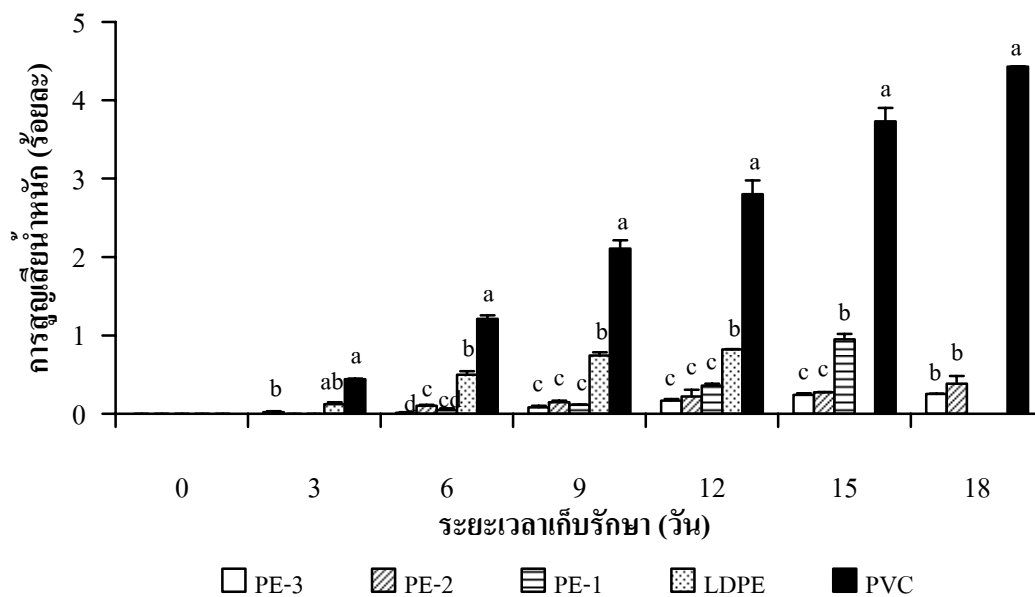
ตารางที่ 20 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ค่า L^*				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	36.20±0.49 ^{ns}	36.20±0.49 ^{ns}	36.20±0.49 ^{ns}	36.20±0.49 ^{ns}	36.20±0.49 ^{ns}
วันที่ 3	37.97±0.92 ^{ns}	38.95±0.67 ^{ns}	39.00±0.26 ^{ns}	37.83±0.93 ^{ns}	40.32±1.44 ^{ns}
วันที่ 6	38.04±0.86 ^{ab}	36.30±0.88 ^a	37.12±0.10 ^{ab}	39.21±0.71 ^b	37.37±1.98 ^{ab}
วันที่ 9	37.24±0.62 ^{ns}	38.32±0.62 ^{ns}	38.13±0.94 ^{ns}	39.47±1.48 ^{ns}	38.96±1.64 ^{ns}
วันที่ 12	37.33±0.49 ^{ns}	39.01±0.38 ^{ns}	37.22±0.89 ^{ns}	37.20±0.49 ^{ns}	38.51±0.80 ^{ns}
วันที่ 15	37.90±0.79 ^c	41.02±0.49 ^a	38.41±0.27 ^{bc}	N/A	40.57±1.63 ^{ab}
วันที่ 18	39.73±0.83 ^{ns}	40.45±0.77 ^{ns}	N/A	N/A	39.90±1.92 ^{ns}
ค่า a^*					
วันที่ 0	-14.70±0.46 ^{ns}	-14.70±0.46 ^{ns}	-14.70±0.46 ^{ns}	-14.70±0.46 ^{ns}	-14.70±0.46 ^{ns}
วันที่ 3	-14.32±0.74 ^b	-14.32±0.64 ^b	-14.02±1.05 ^b	-11.67±1.16 ^a	-12.97±1.69 ^{ab}
วันที่ 6	-14.02±0.82 ^{ns}	-13.82±0.99 ^{ns}	-14.17±0.92 ^{ns}	-12.43±1.34 ^{ns}	-12.76±1.54 ^{ns}
วันที่ 9	-14.82±0.78 ^{ns}	-14.10±0.49 ^{ns}	-13.81±0.36 ^{ns}	-12.53±1.22 ^{ns}	-13.62±2.22 ^{ns}
วันที่ 12	-13.83±0.85 ^{bc}	-15.45±0.56 ^c	-13.53±1.14 ^b	-9.47±0.18 ^a	-13.78±1.24 ^{bc}
วันที่ 15	-13.82±0.45 ^{ns}	-13.84±1.00 ^{ns}	-12.59±0.90 ^{ns}	N/A	-14.05±1.82 ^{ns}
วันที่ 18	-14.95±0.68 ^{ns}	-14.79±0.72 ^{ns}	N/A	N/A	-13.73±1.93 ^{ns}
ค่า b^*					
วันที่ 0	17.25±0.45 ^{ns}	17.25±0.45 ^{ns}	17.25±0.45 ^{ns}	17.25±0.45 ^{ns}	17.25±0.45 ^{ns}
วันที่ 3	17.88±1.06 ^{ab}	18.66±1.00 ^a	17.18±1.21 ^{ab}	14.25±1.95 ^b	16.30±3.21 ^{ab}
วันที่ 6	17.59±1.46 ^{ns}	17.69±1.61 ^{ns}	17.85±1.37 ^{ns}	15.55±2.22 ^{ns}	15.66±2.63 ^{ns}
วันที่ 9	18.41±1.43 ^{ns}	17.58±1.27 ^{ns}	16.79±1.00 ^{ns}	15.50±2.11 ^{ns}	16.52±3.25 ^{ns}
วันที่ 12	16.87±1.66 ^{ns}	19.77±1.19 ^{ns}	16.45±1.87 ^{ns}	16.75±1.37 ^{ns}	18.10±2.43 ^{ns}
วันที่ 15	17.52±0.76 ^{ns}	17.63±1.30 ^{ns}	16.74±1.77 ^{ns}	N/A	18.61±3.46 ^{ns}
วันที่ 18	19.21±1.34 ^{ns}	19.53±1.58 ^{ns}	N/A	N/A	17.32±3.29 ^{ns}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 9) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย



ภาพที่ 27 การสูญเสียน้ำหนักของผักกระเจียนเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

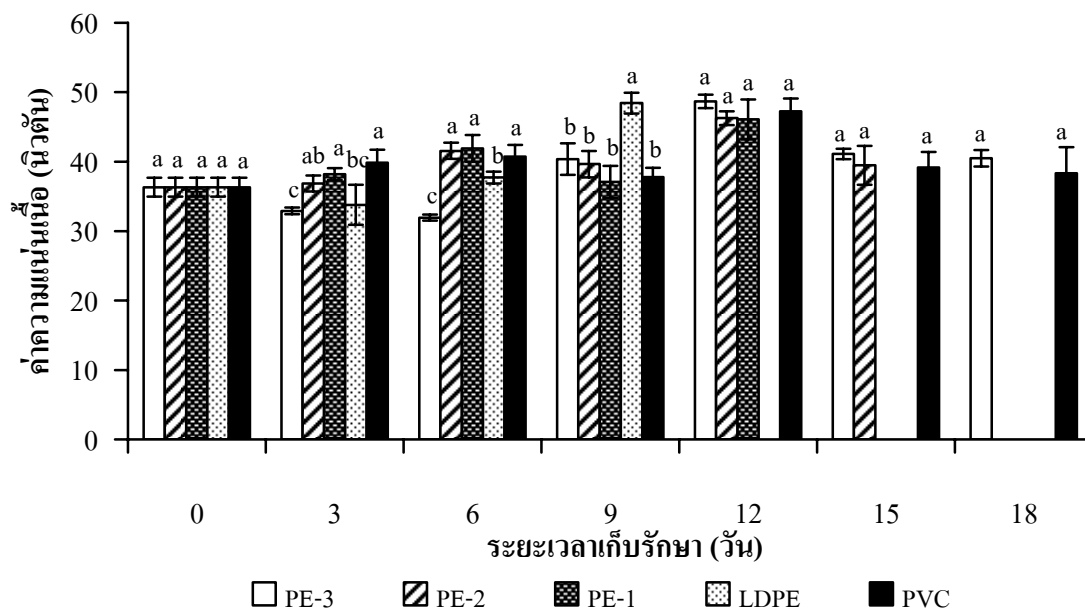


ภาพที่ 28 การสูญเสียน้ำหนักของผักกระเจียนเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

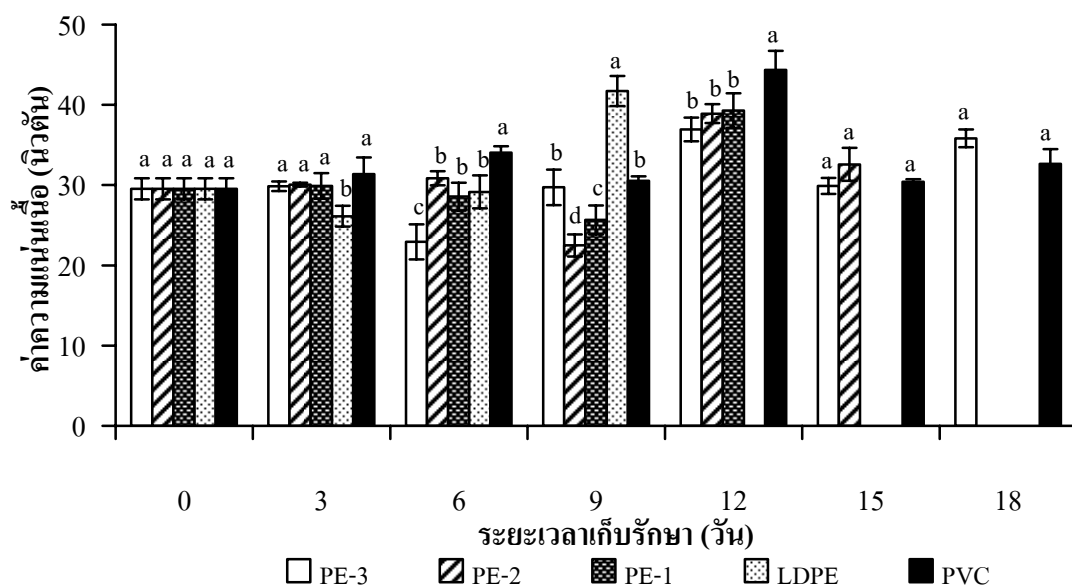
หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ค่าความแน่นเนื้อของฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุปิดผนึกด้วยฟิล์มต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 29 และภาพที่ 30) และ 10 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 31 และภาพที่ 32) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ลดลงและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบที่เพิ่มขึ้น เมื่อเนื้อเยื่อถูกดึงน้ำออกจะส่งผลให้ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและเนื้อเยื่อจะมีเส้นใยเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าแรงเฉือนของเส้นลำตัวสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Serrano *et al*, 2006) และปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 33 และภาพที่ 34) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับความแน่นเนื้อของฝักระเจี๊ยบเขียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง โดยฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE-1 และ PE-2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากที่สุดในวันที่ 9, 12 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งเป็นวันสุดท้ายในการเก็บรักษาของฝักระเจี๊ยบเขียวในฟิล์มแต่ละชนิด โดยฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสียจากการสะสมของสารพิษจากคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวเปลี่ยนไปเป็นสารสีน้ำตาล ทำให้เกิดสีน้ำตาลบนฝักระเจี๊ยบเขียวขึ้น และในวันที่ 18 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PVC ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ภาพที่ 35) ส่วนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 มีปริมาณการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากที่สุด และฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 จะมีปริมาณการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยที่สุด (ภาพที่ 36) ทั้งนี้จากการทดลองของ Barth *et al*, (1993) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาบรอกโคลีภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ โดยได้ทำการทดลองเก็บรักษา บรอกโคลีในฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ $1,200 \text{ cc}/100 \text{ in}^2 \cdot \text{day}$ และมีค่าการซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ $1,100 \text{ cc}/\text{in}^2 \cdot \text{day}$ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9 สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าบรอกโคลีที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ไม่มีการผนึกฟิล์ม

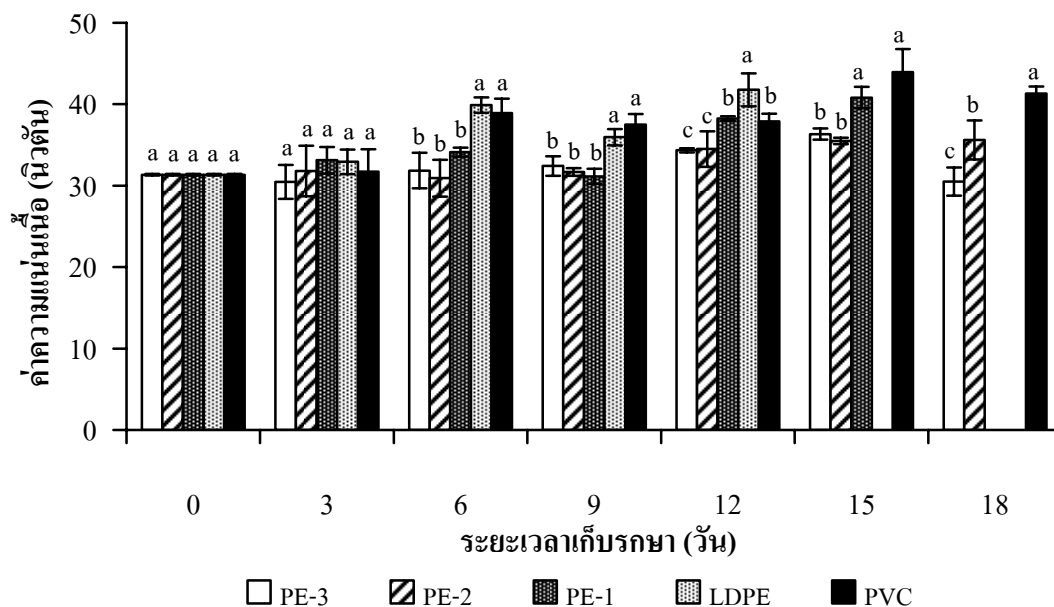


ภาพที่ 29 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

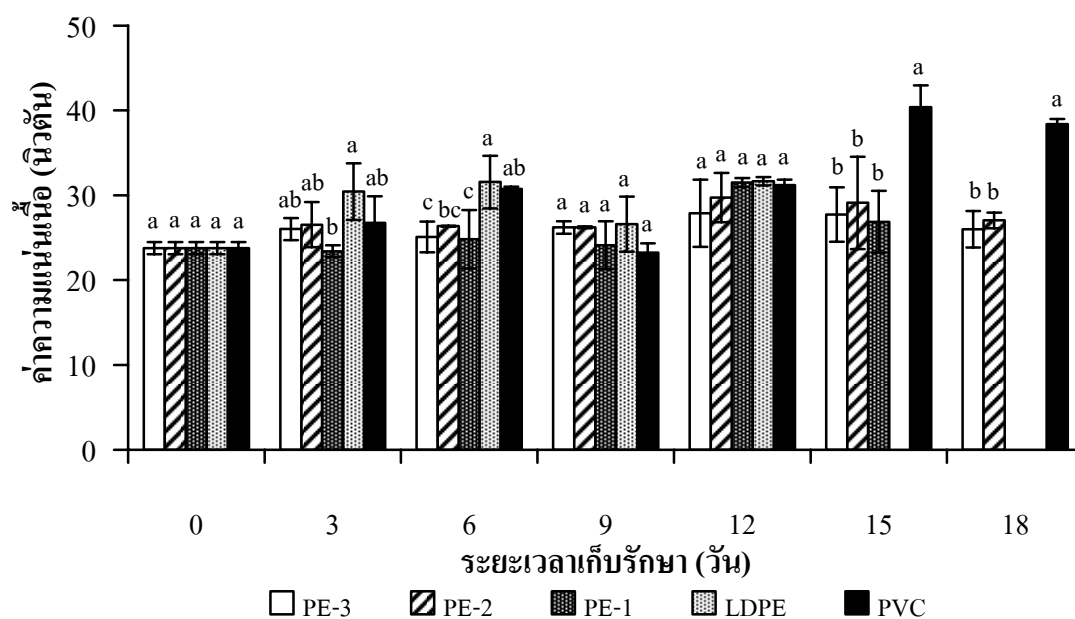


ภาพที่ 30 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

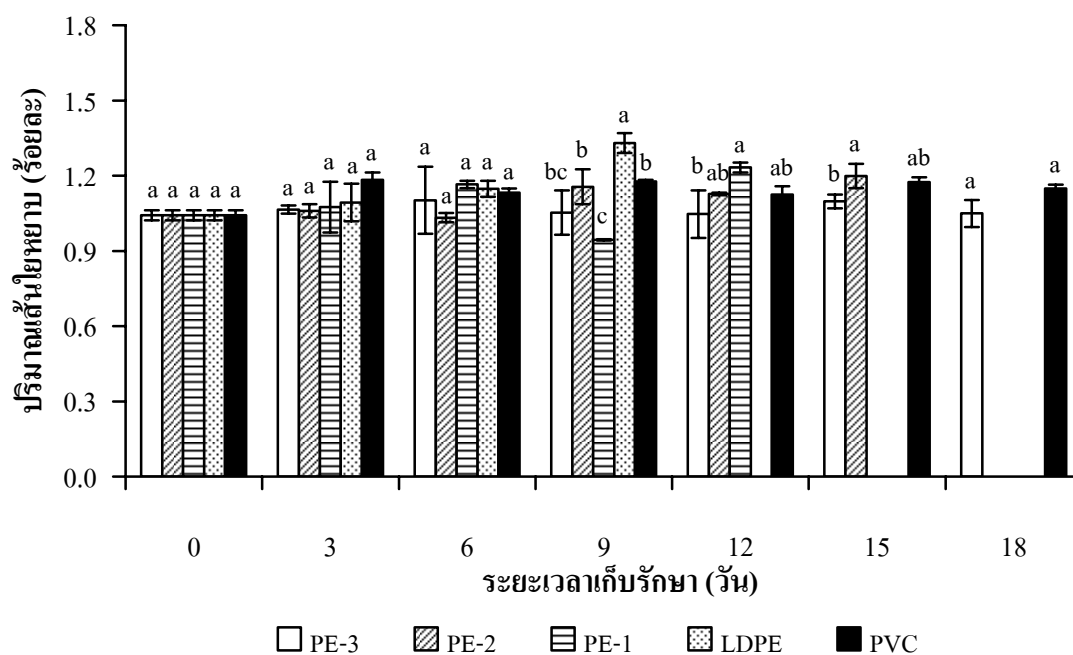


ภาพที่ 31 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

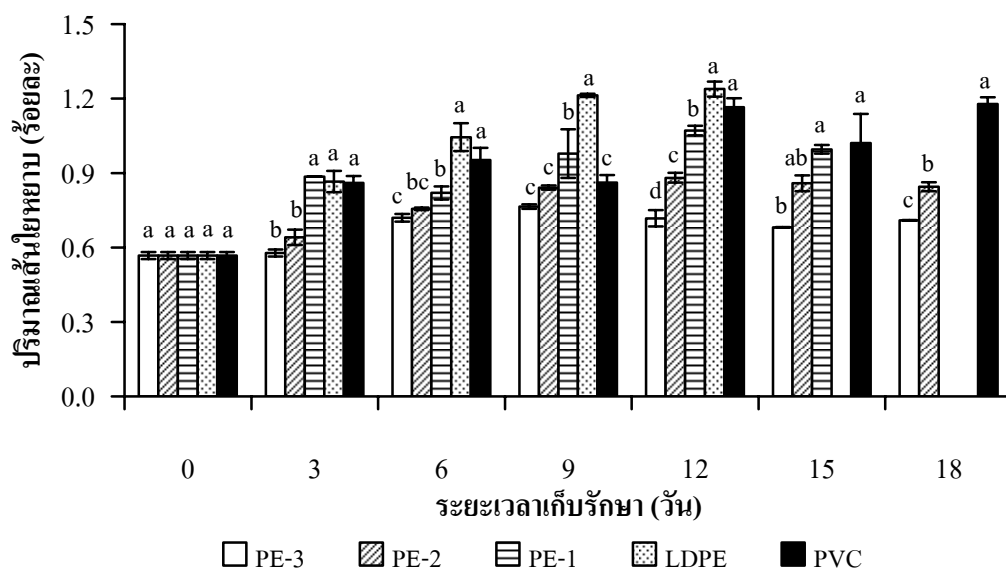


ภาพที่ 32 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 5$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

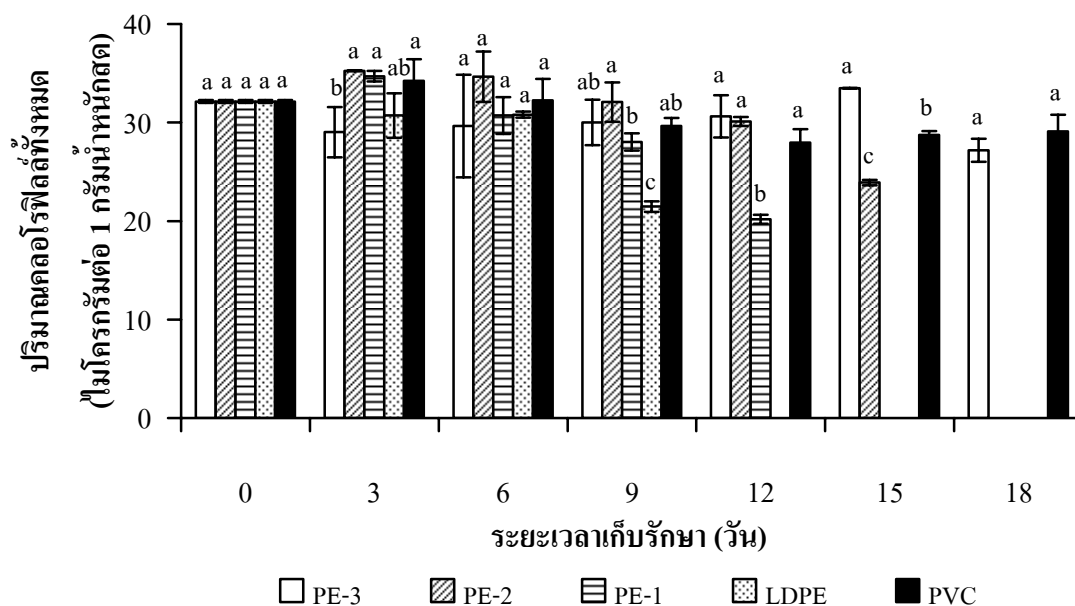


ภาพที่ 33 ปริมาณเส้นใยของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

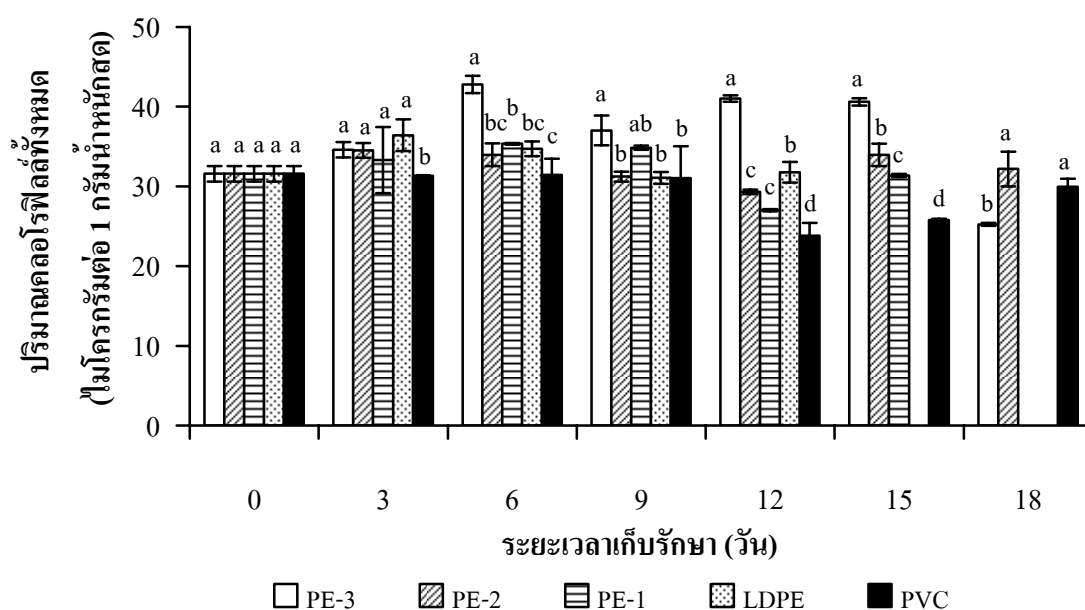


ภาพที่ 34 ปริมาณเส้นใยของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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



ภาพที่ 35 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกระเจียวเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 36 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกระเจียวเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

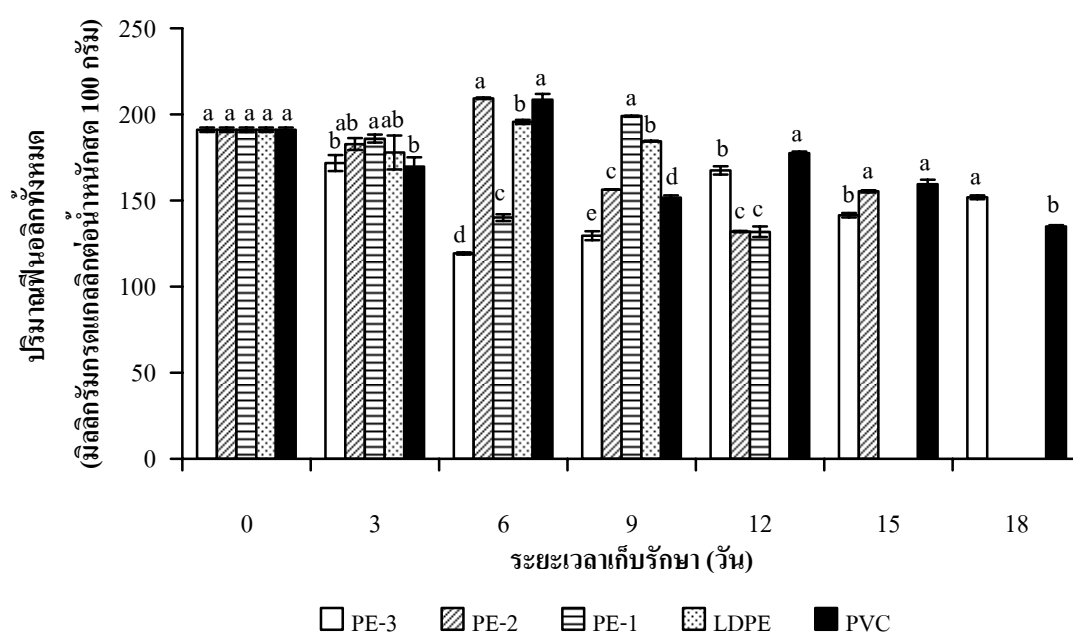
หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

จากการทดลองหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ พบว่าฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2, PE-1, LDPE และ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง หลังจากการเก็บรักษา 6 วันและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ ของฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 จะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 37 และภาพที่ 38) และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด (ภาพที่ 39 และภาพที่ 40) สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ถือเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (นิธิยา, 2551) ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่ลดลง อาจเกิดจากถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Gil-Izquierdo *et al.*, 2002) จากทดลองของ Gil *et al.* (1998) พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลอการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ได้

จากการทดลองศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต่อการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียว ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดอาการสะท้านหนาว พบว่าการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PVC มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 16-17 วัน ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในด้านระดับการเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงค่าสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณเส้นใยหยาบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แต่มีความแตกต่างกันใน การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC ดังนั้นฟิล์ม PE-3 จึงมีความเหมาะสมในการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

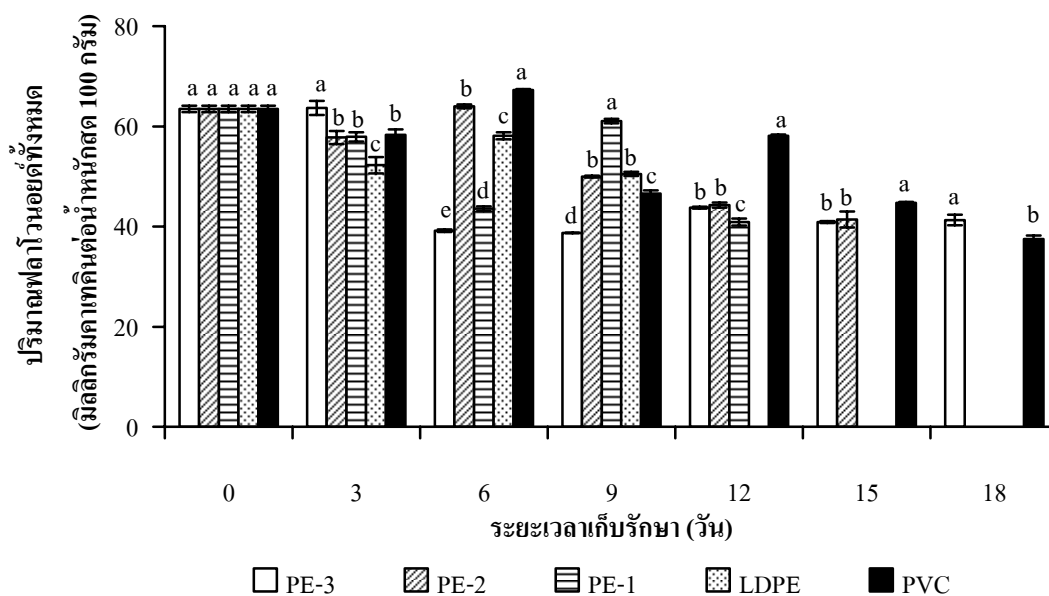
จากการทดลองศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต่อการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียว ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3, PE-2 และ PVC มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 16-17 วัน ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างในด้านการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านระดับการเกิดสีน้ำตาล การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณเส้นใยหยาบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เมื่อ

พิจารณาการสูญเสียน้ำหนัก พบว่าฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PE-2 นอกจากนี้ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC มีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณเส้นใยหยาบมากกว่าฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 และ PE-2 แต่เมื่อพิจารณาระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียว พบว่า ฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-3 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฝักระเจี๊ยบเขียวบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ดังนั้นฟิล์ม PE-3 จึงมีความเหมาะสมในการเก็บรักษาฝักระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

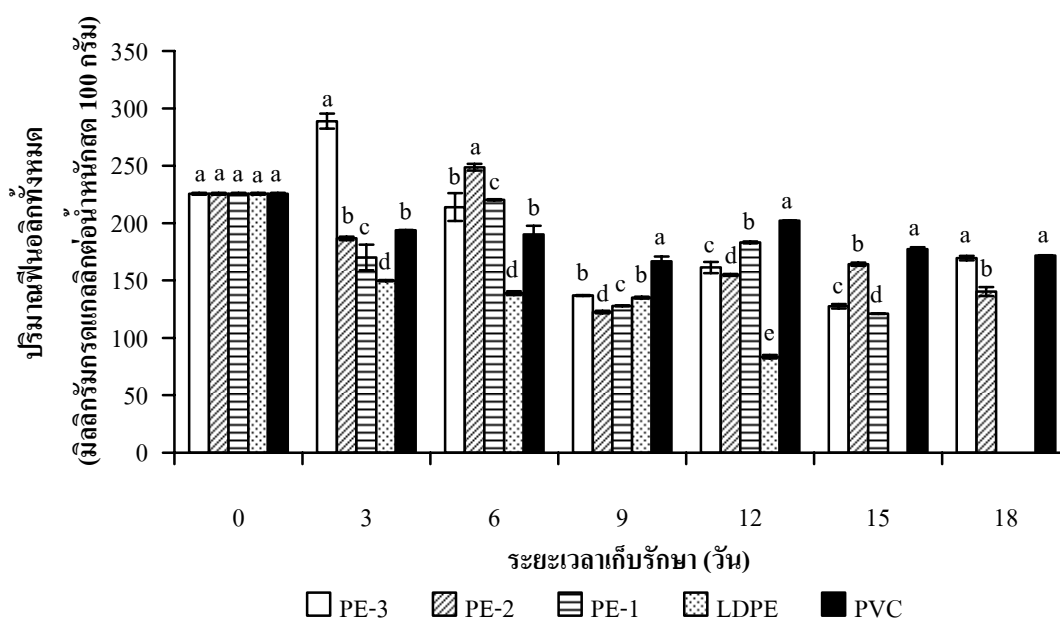


ภาพที่ 37 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

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

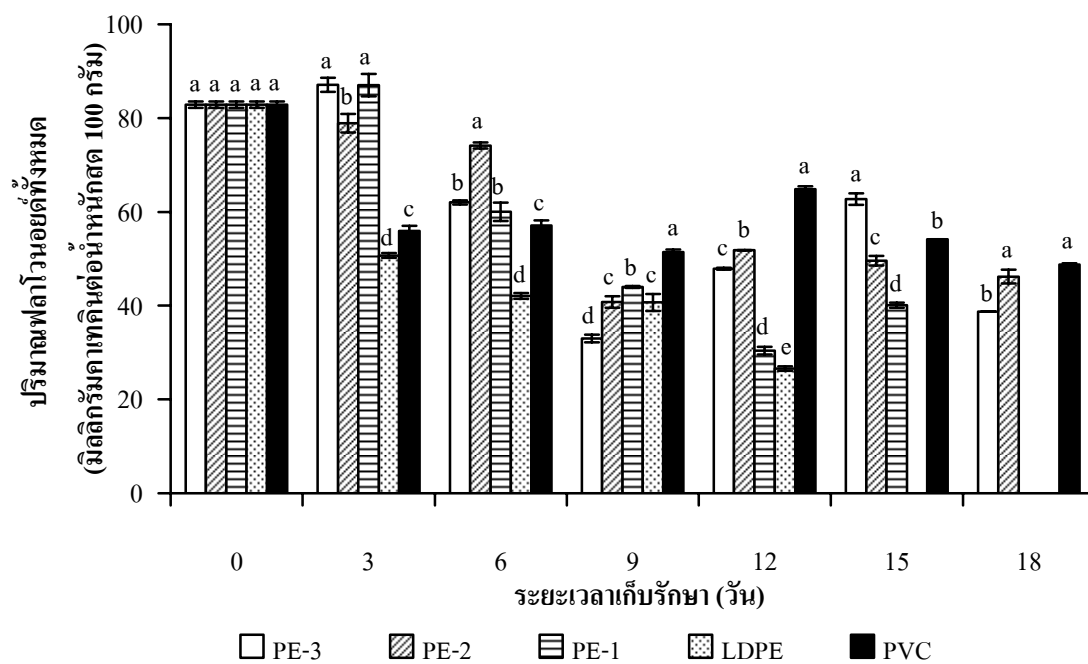


ภาพที่ 38 ปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 39 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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



ภาพที่ 40 ปริมาณพลาสติกของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

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

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษา การเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียวภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ไม่ทำให้ผักกระเจี๊ยบเขียวเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา คือ แก๊สออกซิเจนต่ำสุดไม่เกินร้อยละ 2 (สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดไม่เกินร้อยละ 5 (สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน)

2. บรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียว คือ ที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่วงร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 5 และระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และร้อยละ 7.5

3. ผลของสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียว สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้อนหนาว (chilling injury) และยืดอายุการเก็บรักษาของผักกระเจี๊ยบเขียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลและยืดอายุการเก็บรักษาของผักกระเจี๊ยบเขียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4. फिल्मที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่มีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุผักกระเจี๊ยบในบรรยากาศดัดแปลง ณ อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ควรมีค่าอัตราการซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนอยู่ในช่วง $18,000 - 24,000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ (β อยู่ในช่วง 1.80 ถึง 2.2)

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองหาระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ฝักกระเจี๊ยบสามารถทนได้ โดยไม่ทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยา ควรมีการศึกษาในช่วงระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 เนื่องจากการทดลองได้ทำการศึกษาเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 เท่านั้น
2. ควรมีศึกษาผลการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ เนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเป็นผักที่มีคุณภาพทางโภชนาการสูง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองส่งเสริมพืชสวน. 2538. กระเจี๊ยบเขียว. วารสารเกษตรก้าวหน้า. 10: 1-32.

คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ. 2547. กระเจี๊ยบเขียว. มกอช. 1501-2547.

จิรา ณ หนองคาย. 2531. เทคโนโลยีและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. แม่สลับลิขซึ่ง, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ สิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

จันงค์ อุทัยบุตร, สายชล เกตุษา, สุรพงษ์ โกลิยะจินดาและ สมพร ทรัพย์สาร. 2529. ผลของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเพิ่มของเส้นใย และอายุการเก็บรักษาในนอຍไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* L.) หลังการเก็บเกี่ยว. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.). 20: 249-255.

เฉลิมเกียรติ โกภาวัฒนา. 2537. อาหารจากกระเจี๊ยบเขียว. กลุ่มพืชผัก กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

ฉันทนา สีผึ้ง. 2544. มารูจักกระเจี๊ยบเขียวเพิ่มอีกชนิดเถอะ. นิตยสารแม่ใจปริทัศน์. 2: 18-21.

ชนิด วานิกานุกูล. 2551. การพัฒนากระบวนการบรรจุและขนส่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชื่นขวัญ บุญทวี. 2545. กระเจี๊ยบเขียว. ครว. 9: 60-67.

ญาคา จันทรสมบุญ. 2549. ผลของการบรรจุที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกชี้หนูสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ญาวดี ศรีเมฆ. 2545. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะฝัก การเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับการใช้ฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ในการเก็บรักษาฝักกระเจี๊ยบเขียว *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทศพล เนียมทอง. 2550. การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับสาร 1-Methylcyclopropane เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากระเพราสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย สถาพรวรศักดิ์, จิราภา จอมไธสง และ ทรงพล สุโพธิ์. 2545. กระเจี๊ยบเขียว. กลุ่มส่งเสริมการผลิตผัก ส่วนส่งเสริมการผลิตผักไม้ดอกไม้ประดับและสมุนไพร สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้า กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

ธวัชชัย เจริญชัยไพบูลย์. 2544. อิทธิพลของวันปลูก ระยะปลูกและตำแหน่งของฝักที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธัญญรัตน์ พอสม. 2546. การควบคุม *Fusarium asysporum* สาเหตุโรคโคนเน่าและรากเน่าในระยะต้นกล้าของกระเจี๊ยบเขียวโดยชีววิธีและสารเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นวลนภา เจริญรว. 2548. ผลของเคลือบขี้ผึ้งและไคโตซานต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียว *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิยา รัตนานนท์. 2551. เหมื่ออาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์โอเอสพรี้นติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

น้ำเพชร วินิจัยกุล และ ปราบธนา ยศสุข. 2546. รายงานผลงานวิจัยเรื่องการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนบน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เบญจวรรณ ชูติชูเดช. 2534. การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยว การทำ precooling การบรรจุและการเก็บรักษาผักกระเจี๊ยบเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิตรีตน์ กลิ่นธรรม. 2551. การบรรจุส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภค ในสภาพบรรยากาศตัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรินทร์ ลีลาภีวัฒน์. 2550. การออกแบบระบบการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศตัดแปลงสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณภา. 2544. กระเจี๊ยบเขียวผักเพื่อการส่งออก. วารสารเคหะการเกษตร. 25: 140-147.

วรรณิ ฉินศิริกุล, อสิรา เฟื่องฟูชาติ และวาณี ชนเห็นชอบ. 2548. การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับยืดอายุผักและผลไม้สดของไทย. เคหการเกษตร. 29: 105-108.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุกานดา ศรีวันทนาสกุล. 2545. อิทธิพลของภาชนะบรรจุ อัตราการไหลของก๊าซ $O_2:CO_2$ และปริมาณสารดูดซับเอทิลีน ต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษากระเจี๊ยบเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์. 2543. กระเจี๊ยบเขียวส่งออก. ผู้ส่งออก. 14: 33-37.

- สุภารัตน์ ตัญเจริญสุขจิต. 2551. การรักษาคุณภาพสับปะรดตัดแต่งพันธุ์ที่เกิดโดยใช้สารป้องกัน
การเกิดสีน้ำตาลและสภาพบรรยากาศควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร. 2552. กระเจี๊ยบเขียว : ส่งออก
กระเจี๊ยบเขียว สดหรือแช่แข็ง. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร รายเดือน.
แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/export>. 15 มกราคม 2552.
- หนังสือพิมพ์แนวหน้า. 2550. ญี่ปุ่นสั่งแบนกระเจี๊ยบเขียวไทย เกษตรฯ เตือนถกหาทางออกด่วน.
แหล่งที่มา: <http://www.phtnet.org/news/view-news.asp?nID=340>. 23 เมษายน 2552.
- Angos, I., P. Virseda and T. Fernandez. 2007. Control of respiration and color modification on
minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres.
Postharvest Biol. Tech. 48: 422-430.
- Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to
fresh-cut fruits, pp. 305-338. In O. Lamikanra, eds. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables:
Science, Technology, and Market**. CRC Press. Washington, D.C.
- Allende, A., Y. Luo and J.L. McEvoy. 2004. Microbial and quality changes in minimally
processed baby spinach leaves stored under superatmospheric oxygen and modified
atmosphere conditions. **Postharvest Biol. Tech.** 33: 51-59.
- Barth, A.A., E.L. Kerbel, A.K. Perry and S.J. Schmidt. 1993. Modified Atmosphere Packaging
Affect Ascorbic Acid, Enzyme Activity and Market Quality of Broccoli. **J.FoodSci.**
58: 140-143.
- Baxter, L. and L., Jr. Waters. 1990. Controlled Atmosphere Effects on Physical Changes and
Ethylene Evolution in Harvested Okra. **HortScience**. 1: 92-95.

- Beaudry, R. M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ 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. **HortTechnology.** 10: 491-500.
- Ben-Yehoshua, S.B. Shapiro, Z.E. Chen and S. Lurie. 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell peppers by alleviation of water stress. **Plant Physiol.** 73: 87-93.
- Bramen, A.L., D.P. Michael, S. Seppo and H.T. John. 1996. **Food Additive.** American Chemical Society. Washington, D.C.
- Camciuc, M., M. Deplagne, G. Vilarem and A. Gaset. 1998. Okra—*Abelmoschus esculentus* L. (Moench.) a crop with economic potential for set aside acreage in France. **Industrial Crops and Products.** 7: 257-264.
- Carlin, F., C. Nguryen-THE, G. Hilbert and Y. Chambroy. 1990. Modified Atmosphere Packaging of Fresh, “Ready-to-use” Grated Carrots in Polymeric Films. **J. Food Sci.** 55: 1033-1038.
- Cordenunsi, B.R., M.I. Genovese, J.R.O. Nescimento, N.M.A. Hassimotto, R.J. Santos and F.M. Lajolo. 2005. Effect of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. **Food Chem.** 91: 113-121.
- Day, B.P.E. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. **Postharvest News Inf.** 7: 31-34.
- Degl’Innocenti, E., Pardossi, A., Tognoin, F. and Guidi, L. 2006. Phesiological basis of sensitive to enzymatic browning in “lettuce”, “escarole” and “rocket salad” when stored as fresh-cut products. **Food Chem.** 34: 32-39.

- El-Kazzaz, M.K., N.F. Sommer and R.J. Fortlage. 1983. Effect of different atmospheres on postharvest decay and quality of fresh strawberries. **Phytopathol.** 73: 282-285.
- Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira, J.M. Frias, J.K. Brecht and J.K. Chau. 2002. Modelling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. **J. Food Eng.** 54:299-307.
- Geal, G.G., K. Ratapana and C.Y. Yang. 1988. Home Gardening (A Technoguide), pp. 38-39. *In* AVRDC Thailand Regional Training and Outreach Program. Kasetsart Univ., Bangkok.
- Gil-Izquierdo, A., M. Angeles, C.F. Ferreres and M.I. Gil. 2002. Influence of modified atmosphere packaging on quality, vitamin C and phenolic content of artichokes (*Cynara scolymus* L.). **Eur Food Res Technol.** 215: 21–27.
- Gil, M., M. Castaner, F. Ferreres, F. Artes And F.A. Tomas-Barberan. 1998. Modified-atmosphere packaging of minimally processed “Lollo Rosso” (*Lactuca sativa*) Phenolic metabolites and quality changes. **Z Lebensm Unters Forsch A.** 206: 350-354.
- Gorney, J. R. and A. A. Kader. 1996. Relation of Ethylene Biosynthesis in Climacteric Apple Fruit by Elevated CO₂ and Reduced O₂ Atmosphere. **Postharvest Biol. Tech.** 9: 311-323.
- _____. 2003. **Packaging Design for Fresh-Cut Produce.** International Fresh-cut Produce Association. P.28
- Gould, W. A. 1977. **Food Quality Assurance.** The AVI. Westport, Conn. US.
- Gran, C.D. and R.M. Beaudry. 1993. Determination of low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint. **Postharvest Biol. Tech.** 3: 259-267.

- Haytowitz, D.B. and R.H. Matthews. 1984. Composition of foods, vegetables and vegetables product—Raw, processed, prepared. pp. 8-11. *In* W.L. Lamont Jr. 1999. Okra-A Versatile Vegetable Corp. **Hort Technology**. 2: 179-184.
- Heimdal, H., B.F. Kuhn, L. Poll and L.M. Larsen. 1995. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA packaged iceberg lettuce. **J.Food Sci.** 60: 1265-1268.
- Hernandez, R.J., S.E.M. Selke and J.D. Culter. 2000. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations**. Hanser Gardner Publ. Inc., Cincinnati.
- Juntachote, T., E. Berghofer, S. Siebenhandl and F. Bauer. 2006. The antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork. **MeatScience**. 72: 446-456.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basic for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**,. 40: 99-104.
- _____. 1993. Modified and Controlled Atmosphere Storage of Tropical Fruits, pp. 239-249. **Proceedings of an International Conference in Postharvest Handling of Tropical Fruits**. 19-23 July 1993. Chiang Mai. Thailand.
- _____. 1995. Regulation of Fruit Physiology by Controlled/Modified Atmosphere. **ActaHorticulturae**. 398: 59-70.
- _____. and B.C. Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. **HortTechnology**. 10: 501-506.
- _____. 2002. Modified atmosphere during transport and storage, pp. 135-144. *In* A.A. Kader, eds. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3rd ed. Univ. of California Agricultural and National Resource Publ., California.

- _____ and M.E. Saltveit. 2003. Respiration and Gas Exchange, pp. 7-29. *In* J.A. Bartz and J.K. Brecht. **Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables**.
- Ke, D. and A.A. Kader. 1990. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 115: 779-783.
- Lamont, W. J., Jr. 1999. Okra-A Versatile Vegetable Crop. **Hort Technology**. 2: 179-184.
- Lownds N.K., M. Banaras and P.W. Bosland. 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (capsicum) cultivars. **HortScience** 29: 191-193.
- Martinez, M.V. and J.R. Whitaker. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends Food Science Technology** 6: 195-200.
- Mayer, A.M. and E. Harel. 1991. Phenoloxidases and their significance in fruit and vegetables, pp. 373-398. *In* P.F. Fox, ed. **Food Enzymology I**. Elsevier Applied Science, London.
- McEvily, 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.
- McKenzie, M.J., L.A. Greer, J.A. Heyes and P.L. Hurst. 2004. Sugar metabolism and compartmentation in asparagus and broccoli during controlled atmosphere storage. **Postharvest Biol. Tech.** 32: 45-56.
- 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>, December 15, 2007.

- Ozden, C. and L. Bayindirli. 2002. Effect of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green pepper. **Eur Food Res Technol.** 214: 320-326.
- Perkins-Veazie, P. and J. K. Collins. 1992. Cultivar, Packaging, and Storage Temperature Differences in Postharvest Shelf Life of Okra. **Hort Technology.** 3 : 350-352.
- Piagentini, A.M., D.R. Guemes and M.E. Pirovani. 2002. Sensory Characteristics of Fresh-Cut Spinach Preserved by Combined Factors Methodology. **J. Food Sci.** 67: 1544-1549.
- Platenius, H. 1942. Effect of temperature on the respiration rate and respiration quotient of some vegetables. **Plant Physiol.** 17: 179 – 198.
- Reid, M.S. 2002. Ethylene in postharvest technology, pp. 149-162. *In* A.A. Kader, eds. **Postharvest Technology of Horticultural Crops.** 3rd ed. Univ. of California Agricultural and National Resource Publ., California.
- Rooney, M.L. 1995. Overview of active food packaging, pp. 1-33. *In* M.L. Rooney, ed. **Active Food Packaging.** Blackie Academic & Professional, UK.
- Salunkhe, D. K. and S. S. Kadam. 1998. **Handbook of Vegetable Science and Technology.** Marcel Dekker. New York.
- Saper, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants and other means. **Food Technology** 47 (10): 75-84.
- Schlimme, D. V. 1995. Marketing Lightly Processed of Fruits and Vegetables. **HortScience.** 1: 15-17

- 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.
- Sharma, S.C., R.R. Wolfe and S.S. Wang. 1975. Kinetic analysis of post-harvest texture changes in asparagus. **J. Food Sci.** 40: 1147-1151.
- Shen, Q., F. Kong and Q. Wang. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the browning and lignification of bamboo shoots. **J. Food Eng.** 77: 348-354.
- Siemonsma, J. S. and K. Piluek. 1993. **Prosea No.8 Vegetables**. PudocDLO. Netherlands.
- Teixeira, G.H.A., J.F. Durigan, R.E. Alves and T.J. O'Hare. 2007. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. Fwang Tung). **Postharvest Biol. Tech.** 44: 80-85.
- Thompson, A. K. 1996. **Postharvest Technology of Fruits and Vegetables**. Great Britain. Hartnolls.
- 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.
- Wang, C.Y. and L. Qi. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumber. **Postharvest Biol. Tech.** 10: 195-200.
- Watkins, C.B. 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. **HortTechnology**. 10: 501-505.
- Weiss, E.A. 2002. **Spice crops**. CABI Publishing, New York, USA.

- Wills, R.B.H., Lee, T.H., Graham, D., McGlasson, W.B. and Hall, E.G. 1998. **Postharvest : An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables, Connecticut.** AVI Publishing, Westport.
- Wolfe, K., X. Wu and R. H. Liu. 2003. Antioxidant activity of apple peels. **J. Agric. Food Chem.** 51: 609-614.
- Wrolstad, R.E. 2005. **Handbook of food analytical chemistry.** Wiley Interscience, England.
- 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.** Blackie Academic & Professional, Glasgow G64 2NZ.
- Yearsley, C. W., N. H. Banks., S. Ganesh and D. J. Cheland. 1996. Determination of Lower Oxygen Limits for Apple Fruit. **Postharvest Biol. Tech.** 8: 95-109.
- Zagory, D. and A.A. Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Technol.** 42: 70-77.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจวัดคุณภาพของฝักกระเจี๊ยบเขียว

การตรวจวัดคุณภาพของผักกระเจี๊ยบเขียว

ก1. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ

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

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

ก2. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content)

2.1 วิธีการวิเคราะห์

2.1.1 สร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร (แกน Y) และความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) โดยความเข้มข้นของกรดแกลลิกอยู่ในช่วง 30-150 ไมโครกรัม ได้กราฟมาตรฐานดังภาพผนวกที่ ก1

2.1.2 บีบสารสกัด 125 ไมโครลิตรลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 500 ไมโครลิตร

2.1.3 เติมน้ำฟอสฟอริก-ซีโอเคาบูล 125 ไมโครลิตร ปล่อยให้ 6 นาที

2.1.4 เติมน้ำละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1250 ไมโครลิตร

2.1.5 เติมน้ำกลั่น 1000 ไมโครลิตร

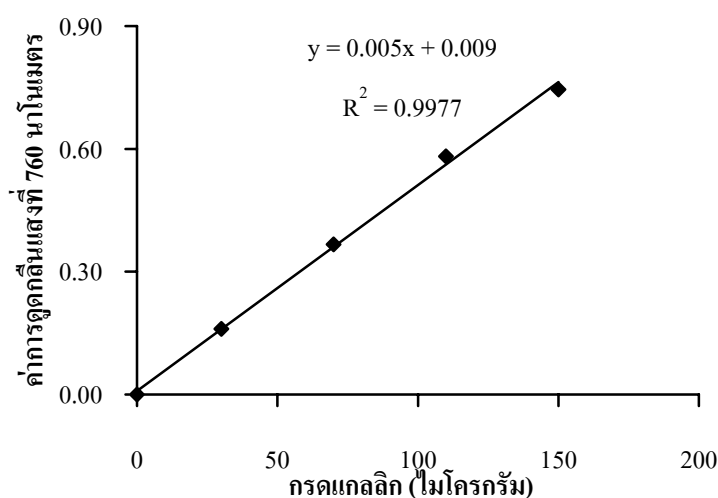
2.1.6 วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงทันที ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

2.1.7 วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงควบคุมโดยทำตามขั้นตอน 2.1.2.2-2.1.6 แต่ใช้

น้ำกลั่นแทนสารสกัด

2.2 วิธีการคำนวณ

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคำนวณได้โดยแทนค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ลงในสมการจากกราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร และความเข้มข้นของกรดแกลลิก

ก3. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (Flavonoid content)

3.1 วิธีการวิเคราะห์

3.1.1 สร้างกราฟมาตรฐานแคเทคินระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (แกน Y) และความเข้มข้นของแคเทคิน (แกน X) โดยความเข้มข้นของแคเทคินอยู่ในช่วง 10-120 ไมโครกรัม ได้กราฟมาตรฐานดังภาพผนวกที่ ก2

3.1.2 ปิเปตสารสกัด 250 ไมโครลิตร ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น 1250 ไมโครลิตร

3.1.3 เติมน้ำละลายโซเดียมไนไตรท์เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ปั่นไว้นาน 5 นาที

3.1.4 เดิมสารละลายโซเดียมไนไตรท์เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร
ปล่อยทิ้งไว้ 6 นาที

3.1.5 เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500
ไมโครลิตร

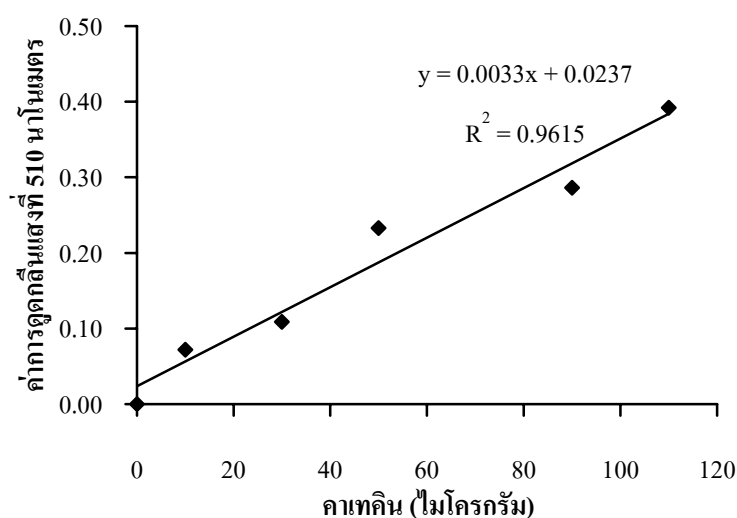
3.1.6 เติมน้ำกลั่น 275 ไมโครลิตร

3.1.7 วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงทันที ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

3.1.8 วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงควบคุมโดยทำตามขั้นตอน 3.1.2-3.1.7 แต่ใช้น้ำ
กลั่นแทนสารสกัด

3.2 วิธีการคำนวณ

ปริมาณฟลาโวนอยด์คำนวณได้โดยแทนค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ลงในสมการจาก
กราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
และความเข้มข้นของคาเทชิน

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ระดับการเกิดสีน้ำตาล				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.6 ^{ns}	1.4 ^c	2.4 ^{ns}
5% CO ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.2 ^c	1.6 ^{ns}
10% CO ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.6 ^{ns}	4.8 ^a	N/A
15% CO ₂	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.8 ^{ns}	5.0 ^a	N/A
20% CO ₂	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.6 ^{ns}	3.8 ^b	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (นิวตัน)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	31.24±1.45 ^{ns}	30.43±0.54 ^b	35.50±0.83 ^c	37.24±2.53 ^{bc}	36.93±0.07 ^{ns}
5% CO ₂	31.24±1.45 ^{ns}	32.35±0.45 ^a	36.03±1.74 ^c	32.33±0.82 ^d	35.76±0.45 ^{ns}
10% CO ₂	31.24±1.45 ^{ns}	32.42±0.54 ^a	38.58±1.19 ^b	35.90±1.30 ^c	N/A
15% CO ₂	31.24±1.45 ^{ns}	32.38±0.47 ^a	36.25±1.01 ^c	39.36±1.24 ^b	N/A
20% CO ₂	31.24±1.45 ^{ns}	30.40±0.19 ^b	40.73±0.77 ^a	43.87±2.31 ^a	N/A
ความเข้มข้น	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝัก (นิวตัน)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	25.69±0.12 ^{ns}	28.19±1.08 ^a	28.58±1.00 ^a	26.94±0.66 ^{bc}	26.18±0.07 ^{ns}
5% CO ₂	25.69±0.12 ^{ns}	25.85±0.80 ^{ab}	28.81±1.10 ^a	25.81±0.91 ^c	28.71±0.91 ^{ns}
10% CO ₂	25.69±0.12 ^{ns}	26.73±1.80 ^a	26.43±1.32 ^b	27.90±0.99 ^b	N/A
15% CO ₂	25.69±0.12 ^{ns}	23.55±1.28 ^{bc}	24.54±0.88 ^b	30.51±0.73 ^a	N/A
20% CO ₂	25.69±0.12 ^{ns}	21.43±1.57 ^c	26.43±1.17 ^b	29.71±0.66 ^a	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข3 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.92±0.04 ^b	1.04±0.07 ^{ab}	0.99±0.02 ^b	0.87±0.06 ^{ns}
5% CO ₂	0.61±0.03 ^{ns}	1.09±0.05 ^a	1.00±0.08 ^b	0.82±0.10 ^c	0.85±0.05 ^{ns}
10% CO ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.95±0.03 ^b	1.17±0.04 ^a	0.95±0.01 ^b	N/A
15% CO ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.86±0.03 ^b	1.09±0.04 ^{ab}	1.15±0.02 ^a	N/A
20% CO ₂	0.61±0.03 ^{ns}	1.11±0.01 ^a	1.11±0.07 ^{ab}	0.97±0.04 ^b	N/A

ตารางผนวกที่ ข4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
0.03% CO ₂	26.81±2.76 ^{ns}	28.52±0.18 ^a	18.58±1.11 ^a	17.74±0.16 ^a	19.86±0.17 ^{ns}
5% CO ₂	26.81±2.76 ^{ns}	20.44±0.32 ^b	17.02±0.43 ^{ab}	15.89±1.15 ^{ab}	16.93±0.50 ^{ns}
10% CO ₂	26.81±2.76 ^{ns}	22.85±0.65 ^b	17.61±0.82 ^a	15.94±1.11 ^{ab}	N/A
15% CO ₂	26.81±2.76 ^{ns}	21.39±2.89 ^b	15.43±0.61 ^b	14.97±1.81 ^{ab}	N/A
20% CO ₂	26.81±2.76 ^{ns}	24.54±1.93 ^{ab}	13.14±0.75 ^c	14.05±1.42 ^b	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข5 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ระดับการเกิดสีน้ำตาล				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^b	1.4 ^{bc}	1.6 ^c	1.4 ^c
5% O ₂	1.0 ^{ns}	1.4 ^a	1.0 ^c	2.0 ^c	3.4 ^b
10% O ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^b	1.0 ^c	2.8 ^b	3.8 ^a
15% O ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^b	1.8 ^b	3.0 ^b	4.4 ^a
20% O ₂	1.0 ^{ns}	1.0 ^b	2.4 ^a	4.8 ^a	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ระดับ 1 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 2 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 3 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 4 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก,
 ระดับ 5 หมายถึง ฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (นิวตัน)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	31.24±1.45 ^{ns}	37.00±0.94 ^{ab}	38.26±0.93 ^a	35.99±0.90 ^{bc}	39.64±0.28 ^a
5% O ₂	31.24±1.45 ^{ns}	34.79±1.12 ^{bc}	36.42±1.02 ^a	34.48±1.04 ^c	38.48±0.45 ^a
10% O ₂	31.24±1.45 ^{ns}	35.41±1.14 ^{abc}	32.31±1.50 ^b	37.33±1.53 ^b	36.72±0.98 ^b
15% O ₂	31.24±1.45 ^{ns}	33.75±0.26 ^c	35.84±1.88 ^a	32.08±0.99 ^d	36.74±0.78 ^b
20% O ₂	31.24±1.45 ^{ns}	37.29±0.95 ^a	36.59±1.69 ^a	40.80±1.07 ^a	N/A
ความเข้มข้น	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝัก (นิวตัน)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	25.69±0.12 ^{ns}	24.30±1.13 ^{ns}	28.47±0.87 ^a	26.57±1.26 ^{bc}	23.74±1.05 ^d
5% O ₂	25.69±0.12 ^{ns}	26.63±1.94 ^{ns}	28.61±1.13 ^a	25.20±0.21 ^c	29.63±0.22 ^a
10% O ₂	25.69±0.12 ^{ns}	26.64±1.02 ^{ns}	24.47±0.72 ^b	27.33±1.80 ^{ab}	27.74±0.74 ^b
15% O ₂	25.69±0.12 ^{ns}	25.10±0.92 ^{ns}	24.83±0.32 ^b	28.63±1.67 ^{ab}	26.13±0.36 ^c
20% O ₂	25.69±0.12 ^{ns}	24.30±1.07 ^{ns}	24.95±1.12 ^b	28.85±0.69 ^a	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข7 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้นออกซิเจน
ต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.85±0.01 ^c	1.02±0.08 ^a	0.95±0.03 ^a	0.78±0.02 ^b
5% O ₂	0.61±0.03 ^{ns}	1.14±0.01 ^a	1.03±0.01 ^a	0.78±0.06 ^{bc}	0.92±0.03 ^a
10% O ₂	0.61±0.03 ^{ns}	1.02±0.03 ^b	0.86±0.08 ^b	0.74±0.01 ^c	0.84±0.02 ^{ab}
15% O ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.71±0.03 ^d	0.84±0.05 ^b	0.87±0.09 ^{ab}	0.83±0.08 ^{ab}
20% O ₂	0.61±0.03 ^{ns}	0.88±0.03 ^c	1.08±0.01 ^a	0.76±0.01 ^c	N/A

ตารางผนวกที่ ข8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาที่ความเข้มข้น
แก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด)				
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16
2% O ₂	26.81±2.76 ^{ns}	18.64±0.80 ^b	18.33±1.15 ^{ab}	22.41±0.00 ^a	22.33±0.89 ^{ns}
5% O ₂	26.81±2.76 ^{ns}	18.82±0.20 ^b	19.15±1.22 ^a	20.21±0.46 ^b	20.28±1.68 ^{ns}
10% O ₂	26.81±2.76 ^{ns}	14.90±0.14 ^d	14.04±0.50 ^c	21.89±0.31 ^a	20.54±2.75 ^{ns}
15% O ₂	26.81±2.76 ^{ns}	17.15±0.40 ^c	16.88±0.63 ^b	17.27±0.30 ^c	19.45±0.49 ^{ns}
20% O ₂	26.81±2.76 ^{ns}	20.70±0.83 ^a	17.17±0.23 ^{ab}	22.14±1.17 ^a	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตาม
แนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ,
N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข9 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

บรรยากาศ ควบคุม	ระดับการเกิดสีน้ำตาล						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2%O ₂ +5%CO ₂	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.2 ^b	2.0 ^b	4.8 ^a	N/A
5%O ₂ +5%CO ₂	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.2 ^b	2.0 ^b	2.2 ^b	5.0
2%O ₂ +7.5%CO ₂	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.4 ^{ns}	2.6 ^a	2.0 ^b	5.0 ^a	N/A
Air	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.2 ^{ns}	2.6 ^a	5.0 ^a	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก

ตารางผนวกที่ ข10 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (นิวตัน)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	31.98±1.11 ^{ns}	31.98±1.11 ^{ns}	31.98±1.11 ^{ns}	31.98±1.11 ^{ns}
วันที่ 4	35.59±0.85 ^a	28.15±0.59 ^b	27.44±1.92 ^b	28.92±0.35 ^b
วันที่ 8	38.35±0.93 ^b	38.19±0.41 ^b	35.26±0.65 ^c	42.64±1.18 ^a
วันที่ 12	35.05±0.06 ^d	41.40±0.93 ^b	39.61±0.56 ^c	46.38±0.08 ^a
วันที่ 16	41.55±0.44 ^{ab}	37.84±1.18 ^b	45.32±2.45 ^a	45.35±0.04 ^a
วันที่ 20	38.21±0.18 ^b	38.11±0.36 ^b	49.37±0.45 ^a	N/A
วันที่ 24	N/A	33.66±2.86	N/A	N/A
วันที่เก็บรักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝัก (นิวตัน)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	23.74±0.76 ^{ns}	23.74±0.76 ^{ns}	23.74±0.76 ^{ns}	23.74±0.76 ^{ns}
วันที่ 4	26.83±0.46 ^a	24.22±0.79 ^b	23.69±0.66 ^b	22.50±0.31 ^c
วันที่ 8	33.00±1.39 ^a	30.56±0.37 ^a	32.73±0.13 ^a	25.49±1.26 ^b
วันที่ 12	37.43±1.51 ^b	33.00±1.29 ^c	29.71±0.36 ^d	42.66±0.79 ^a
วันที่ 16	36.56±0.66 ^{ab}	34.34±1.95 ^b	33.43±0.53 ^b	39.48±2.62 ^a
วันที่ 20	38.00±0.35 ^{ab}	42.80±0.89 ^a	34.46±3.40 ^b	N/A
วันที่ 24	N/A	33.76±0.59	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข11 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	1.05±0.04 ^{ns}	1.05±0.04 ^{ns}	1.05±0.04 ^{ns}	1.05±0.04 ^{ns}
วันที่ 4	1.03±0.09 ^{ns}	0.98±0.01 ^{ns}	0.95±0.03 ^{ns}	1.05±0.06 ^{ns}
วันที่ 8	0.81±0.08 ^b	0.98±0.04 ^a	0.90±0.01 ^{ab}	0.10±0.05 ^a
วันที่ 12	1.01±0.10 ^b	1.42±0.08 ^a	1.31±0.01 ^a	1.46±0.03 ^a
วันที่ 16	1.06±0.02 ^c	1.14±0.05 ^{bc}	1.33±0.10 ^{ab}	1.38±0.10 ^a
วันที่ 20	1.73±0.05 ^b	1.73±0.17 ^b	2.28±0.05 ^a	N/A
วันที่ 24	N/A	1.30±0.15	N/A	N/A

ตารางผนวกที่ ข12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	29.30±1.56 ^{ns}	29.30±1.56 ^{ns}	29.30±1.56 ^{ns}	29.30±1.56 ^{ns}
วันที่ 4	22.68±2.39 ^b	26.92±0.25 ^a	25.47±1.16 ^{ab}	26.05±1.13 ^{ab}
วันที่ 8	24.47±0.84 ^a	19.42±0.59 ^b	18.25±0.06 ^{bc}	17.29±0.17 ^c
วันที่ 12	26.66±2.71 ^a	17.55±0.04 ^b	24.70±3.30 ^a	20.51±0.74 ^{ab}
วันที่ 16	19.79±0.90 ^b	16.91±0.18 ^c	22.64±0.43 ^a	15.64±0.37 ^d
วันที่ 20	14.48±2.25 ^b	17.51±0.04 ^{ab}	18.21±1.42 ^a	N/A
วันที่ 24	N/A	20.97±0.98	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข13 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	208.65±0.82 ^{ns}	208.65±0.82 ^{ns}	208.65±0.82 ^{ns}	208.65±0.82 ^{ns}
วันที่ 4	220.65±2.20 ^{ab}	184.92±1.41 ^c	206.41±6.92 ^b	210.29±5.70 ^a
วันที่ 8	193.43±1.35 ^b	219.88±1.00 ^a	184.41±0.62 ^c	180.34±5.18 ^c
วันที่ 12	202.12±1.02 ^b	160.49±0.76 ^d	177.85±9.23 ^c	169.56±1.44 ^a
วันที่ 16	192.15±2.52 ^d	179.21±0.00 ^a	166.01±0.20 ^c	150.67±0.15 ^b
วันที่ 20	145.00±0.96 ^c	171.84±1.51 ^b	146.79±0.62 ^a	N/A
วันที่ 24	N/A	188.22±1.74	N/A	N/A
วันที่เก็บรักษา	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัมคาเท킨ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)			
	2% O ₂ + 5% CO ₂	5% O ₂ + 5% CO ₂	2% O ₂ + 7.5% CO ₂	Air
วันที่ 0	56.21±1.51 ^{ns}	56.21±1.51 ^{ns}	56.21±1.51 ^{ns}	56.21±1.51 ^{ns}
วันที่ 4	65.26±0.67 ^a	58.43±1.76 ^b	58.73±0.00 ^b	63.71±0.73 ^a
วันที่ 8	61.41±0.23 ^b	60.87±0.22 ^b	55.55±0.70 ^c	64.78±0.25 ^a
วันที่ 12	58.89±0.44 ^b	48.70±0.00 ^d	54.40±0.51 ^c	56.44±2.18 ^a
วันที่ 16	42.25±0.28 ^d	58.87±0.67 ^a	46.34±0.24 ^c	52.10±0.46 ^b
วันที่ 20	42.76±0.86 ^b	55.38±1.60 ^a	51.32±2.48 ^a	N/A
วันที่ 24	N/A	52.48±1.50	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ข14 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และ ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม พลาสติก	ระดับการเกิดสีน้ำตาล						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-3	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.4 ^b	1.2 ^c	1.6 ^b	5.0 ^{ns}
PE-2	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.2 ^b	2.0 ^b	5.0 ^a	N/A
PE-1	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.4 ^b	5.0 ^a	N/A	N/A
LDPE	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	5.0 ^a	N/A	N/A	N/A
PVC	1.0 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.2	1.4 ^c	2.0 ^b	5.0 ^{ns}

ตารางผนวกที่ ข15 ระดับการเกิดสีน้ำตาลของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และ ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม พลาสติก	ระดับการเกิดสีน้ำตาล						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-3	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1.0 ^c	1.0 ^c	2.0 ^b	3.0 ^b
PE-2	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.6 ^b	1.2 ^{bc}	2.4 ^b	5.0 ^a
PE-1	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^c	1.8 ^b	5.0 ^a	N/A
LDPE	1.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.4 ^{ns}	2.0 ^a	4.4 ^a	N/A	N/A
PVC	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.0 ^c	1.6 ^{bc}	1.4 ^c	4.6 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย ระดับ 1 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 2 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 5-20 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 3 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 21-50 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 4 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 51-80 ของพื้นที่ฝัก, ระดับ 5 หมายถึง ฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดสีน้ำตาลร้อยละ 81-100 ของพื้นที่ฝัก

ตารางผนวกที่ ข16 การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}
วันที่ 3	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.25±0.00 ^a
วันที่ 6	0.27±0.08 ^{dc}	0.44±0.00 ^{bs}	0.34±0.04 ^{bc}	0.16±0.00 ^d	0.66±0.02 ^a
วันที่ 9	0.25±0.01 ^c	0.38±0.01 ^d	0.47±0.02 ^b	0.42±0.03 ^c	0.84±0.01 ^a
วันที่ 12	0.22±0.02 ^d	0.39±0.02 ^c	0.50±0.05 ^b	N/A	1.15±0.04 ^a
วันที่ 15	0.37±0.05 ^c	0.66±0.02 ^b	N/A	N/A	1.31±0.03 ^a
วันที่ 18	0.28±0.07 ^b	N/A	N/A	N/A	1.37±0.20 ^a

ตารางผนวกที่ ข17 การสูญเสียน้ำหนักของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}	0.00±0.00 ^{ns}
วันที่ 3	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.12±0.02 ^{ab}	0.44±0.01 ^a
วันที่ 6	0.01±0.01 ^d	0.10±0.01 ^c	0.05±0.02 ^{cd}	0.50±0.05 ^b	1.21±0.05 ^a
วันที่ 9	0.08±0.02 ^c	0.15±0.02 ^c	0.11±0.01 ^c	0.74±0.04 ^b	2.11±0.10 ^a
วันที่ 12	0.17±0.02 ^c	0.22±0.09 ^c	0.36±0.03 ^c	0.82±0.00 ^b	2.80±0.18 ^a
วันที่ 15	0.24±0.02 ^c	0.27±0.01 ^c	0.95±0.07 ^b	N/A	3.73±0.17 ^a
วันที่ 18	0.25±0.00 ^b	0.38±0.10 ^b	N/A	N/A	4.43±0.00 ^a

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

ตารางผนวกที่ ข18 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่
บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
5 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (นิวตัน)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	36.32±1.35 ^{ns}	36.32±1.35 ^{ns}	36.32±1.35 ^{ns}	36.32±1.35 ^{ns}	36.32±1.35 ^{ns}
วันที่ 3	32.91±0.49 ^c	36.84±1.15 ^{ab}	38.21±0.84 ^a	33.78±2.87 ^{bc}	39.83±1.89 ^a
วันที่ 6	31.95±0.45 ^c	41.56±1.17 ^a	41.91±1.93 ^a	37.71±0.85 ^b	40.72±1.70 ^a
วันที่ 9	40.36±2.27 ^b	39.63±1.92 ^b	37.07±2.30 ^b	48.43±1.50 ^a	37.76±1.37 ^b
วันที่ 12	48.67±0.96 ^{ns}	46.27±0.98 ^{ns}	46.09±2.88 ^{ns}	N/A	47.23±1.86 ^{ns}
วันที่ 15	41.12±0.77 ^{ns}	39.48±2.80 ^{ns}	N/A	N/A	39.17±2.26 ^{ns}
วันที่ 18	40.50±1.19 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	38.33±3.77 ^{ns}
วันที่เก็บ รักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝัก (นิวตัน)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	29.54±1.31 ^{ns}	29.54±1.31 ^{ns}	29.54±1.31 ^{ns}	29.54±1.31 ^{ns}	29.54±1.31 ^{ns}
วันที่ 3	29.86±0.60 ^a	30.07±0.24 ^a	29.91±1.59 ^a	24.34±1.30 ^b	31.36±2.07 ^a
วันที่ 6	29.73±2.21 ^b	30.84±0.87 ^b	28.56±1.74 ^b	30.31±2.06 ^b	34.05±0.77 ^a
วันที่ 9	29.73±2.21 ^b	22.47±1.36 ^c	25.66±1.81 ^c	41.72±1.87 ^a	30.52±0.56 ^b
วันที่ 12	36.96±1.48 ^b	38.91±1.17 ^b	39.30±2.17 ^b	N/A	44.33±2.39 ^a
วันที่ 15	29.89±0.99 ^{ns}	32.58±2.06 ^{ns}	N/A	N/A	30.41±0.31 ^{ns}
วันที่ 18	35.83±3.77 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	31.83±0.95 ^{ns}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตาม
แนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ,
N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข19 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝักและปลายฝักของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่
บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางฝัก (นิวตัน)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	31.35±0.09 ^{ns}	31.35±0.09 ^{ns}	31.35±0.09 ^{ns}	31.35±0.09 ^{ns}	31.35±0.09 ^{ns}
วันที่ 3	30.47±2.10 ^{ns}	31.81±3.11 ^{ns}	33.12±1.63 ^{ns}	32.91±1.51 ^{ns}	31.58±2.77 ^{ns}
วันที่ 6	31.85±2.17 ^b	30.92±2.25 ^b	34.13±0.55 ^b	39.90±0.93 ^a	38.92±1.76 ^a
วันที่ 9	32.42±1.19 ^b	31.69±0.48 ^b	31.15±0.92 ^b	35.96±1.01 ^a	37.49±1.32 ^a
วันที่ 12	34.34±0.25 ^c	34.50±2.18 ^c	38.26±0.28 ^b	41.77±2.03 ^a	37.88±0.97 ^b
วันที่ 15	36.33±0.68 ^b	35.48±0.40 ^b	40.82±1.32 ^a	N/A	43.95±2.81 ^a
วันที่ 18	30.51±1.73 ^c	35.61±2.40 ^b	N/A	N/A	41.31±0.86 ^a
วันที่เก็บ รักษา	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายฝัก (นิวตัน)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	23.78±0.70 ^{ns}	23.78±0.70 ^{ns}	23.78±0.70 ^{ns}	23.78±0.70 ^{ns}	23.78±0.70 ^{ns}
วันที่ 3	26.02±1.30 ^{ab}	26.54±2.66 ^{ab}	23.41±0.71 ^b	30.44±3.33 ^a	26.73±3.15 ^{ab}
วันที่ 6	25.08±1.81 ^c	26.36±0.06 ^{bc}	24.82±3.45 ^c	31.56±3.12 ^a	30.76±0.26 ^{ab}
วันที่ 9	26.22±0.74 ^{ns}	26.22±0.10 ^{ns}	24.12±2.82 ^{ns}	26.59±3.24 ^{ns}	23.23±1.12 ^s
วันที่ 12	27.87±3.95 ^{ns}	29.73±2.92 ^{ns}	31.49±0.53 ^{ns}	31.65±0.49 ^{ns}	31.22±0.64 ^{ns}
วันที่ 15	27.73±3.19 ^b	29.11±5.44 ^b	26.88±3.65 ^b	N/A	40.41±2.57 ^a
วันที่ 18	26.00±2.15 ^b	27.04±0.91 ^b	N/A	N/A	38.39±0.61 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตาม
แนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ,
N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข20 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	1.04±0.02 ^{ns}	1.04±0.02 ^{ns}	1.04±0.02 ^{ns}	1.04±0.02 ^{ns}	1.04±0.02 ^{ns}
วันที่ 3	1.06±0.02 ^{ns}	1.06±0.02 ^{ns}	1.07±0.10 ^{ns}	1.09±0.07 ^{ns}	1.18±0.03 ^{ns}
วันที่ 6	1.10±0.13 ^{ns}	1.03±0.02 ^{ns}	1.17±0.01 ^{ns}	1.15±0.03 ^{ns}	1.13±0.02 ^{ns}
วันที่ 9	1.05±0.09 ^{bc}	1.16±0.07 ^b	0.94±0.00 ^c	1.32±0.04 ^a	1.18±0.01 ^b
วันที่ 12	1.05±0.09 ^b	1.13±0.01 ^{ab}	1.23±0.02 ^a	N/A	1.13±0.03 ^{ab}
วันที่ 15	1.10±0.03 ^b	1.20±0.05 ^a	N/A	N/A	1.17±0.02 ^{ab}
วันที่ 18	1.05±0.05 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	1.15±0.01 ^{ns}

ตารางผนวกที่ ข21 ปริมาณเส้นใยหยาบของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ PVC เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	0.57±0.01 ^{ns}	0.57±0.01 ^{ns}	0.57±0.01 ^{ns}	0.57±0.01 ^{ns}	0.57±0.01 ^{ns}
วันที่ 3	0.58±0.01 ^b	0.64±0.03 ^b	0.89±0.00 ^a	0.87±0.04 ^a	0.86±0.03 ^a
วันที่ 6	0.72±0.02 ^c	0.76±0.01 ^{bc}	0.82±0.03 ^b	1.06±0.06 ^a	0.95±0.05 ^a
วันที่ 9	0.76±0.01 ^c	0.84±0.01 ^c	0.98±0.10 ^b	1.21±0.01 ^a	0.86±0.03 ^c
วันที่ 12	0.72±0.03 ^d	0.88±0.02 ^c	1.07±0.02 ^b	1.24±0.03 ^a	1.16±0.04 ^a
วันที่ 15	0.68±0.00 ^b	0.86±0.03 ^{ab}	1.00±0.02 ^a	N/A	0.95±0.12 ^a
วันที่ 18	0.71±0.00 ^c	0.84±0.02 ^b	N/A	N/A	1.18±0.03 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากฝักระเจี๊ยบเขียวเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ข22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	32.13±0.13 ^{ns}	32.13±0.13 ^{ns}	32.13±0.13 ^{ns}	32.13±0.13 ^{ns}	32.13±0.13 ^{ns}
วันที่ 3	29.02±2.54 ^b	35.24±0.05 ^a	34.69±0.53 ^a	30.71±2.25 ^{ab}	34.22±2.20 ^a
วันที่ 6	29.64±5.20 ^{ns}	34.65±2.60 ^{ns}	30.71±1.87 ^{ns}	30.80±0.30 ^{ns}	32.25±2.18 ^{ns}
วันที่ 9	30.02±2.31 ^{ab}	32.07±2.01 ^a	28.04±0.89 ^b	21.46±0.54 ^c	29.67±0.78 ^{ab}
วันที่ 12	30.63±2.14 ^a	30.10±0.45 ^a	20.19±0.45 ^b	N/A	27.96±1.38 ^a
วันที่ 15	33.47±0.06 ^a	23.90±0.27 ^c	N/A	N/A	28.74±0.40 ^b
วันที่ 18	27.18±1.16 ^{ns}	N/A	N/A	N/A	29.09±1.70 ^{ns}

ตารางผนวกที่ ข23 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของฝักกระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	31.58±0.97 ^{ns}	31.58±0.97 ^{ns}	31.58±0.97 ^{ns}	31.58±0.97 ^{ns}	31.58±0.97 ^{ns}
วันที่ 3	34.61±0.96 ^{ns}	34.54±0.92 ^{ns}	33.31±4.15 ^{ns}	36.42±1.97 ^{ns}	31.30±0.09 ^{ns}
วันที่ 6	42.78±1.09 ^a	33.97±1.43 ^{bc}	35.35±0.10 ^b	34.74±0.92 ^{bc}	31.43±2.06 ^c
วันที่ 9	37.03±1.86 ^b	31.22±0.62 ^b	34.85±0.27 ^{ab}	31.07±0.74 ^b	31.02±4.04 ^b
วันที่ 12	41.03±0.40 ^a	29.31±0.29 ^c	27.01±0.14 ^c	31.07±1.31 ^b	23.81±1.59 ^d
วันที่ 15	40.61±0.46 ^a	33.97±1.40 ^b	31.37±0.21 ^c	N/A	25.78±0.17 ^d
วันที่ 18	25.23±0.17 ^b	32.18±2.20 ^a	N/A	N/A	29.97±0.99 ^a

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

ตารางผนวกที่ ข24 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุ
ลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
5 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	191.06±1.34 ^{ns}	191.06±1.34 ^{ns}	191.06±1.34 ^{ns}	191.06±1.34 ^{ns}	191.06±1.34 ^{ns}
วันที่ 3	171.73±4.66 ^b	182.78±3.46 ^{ab}	185.90±2.31 ^a	177.89±9.92 ^{ab}	169.77±5.42 ^b
วันที่ 6	119.27±0.66 ^d	209.30±0.46 ^a	140.07±1.97 ^c	195.63±1.23 ^b	208.63±3.28 ^a
วันที่ 9	129.53±2.58 ^c	156.25±0.00 ^c	199.01±0.28 ^a	184.47±0.28 ^b	151.65±1.25 ^d
วันที่ 12	167.43±2.41 ^b	132.06±0.37 ^c	131.84±3.11 ^c	N/A	177.59±0.93 ^a
วันที่ 15	141.48±1.31 ^b	155.36±0.66 ^a	N/A	N/A	159.50±2.65 ^a
วันที่ 18	151.92±1.10 ^a	N/A	N/A	N/A	135.01±0.60 ^b
วันที่เก็บ รักษา	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัมคาเท킨ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)				
	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	63.48±0.62 ^{ns}	63.48±0.62 ^{ns}	63.48±0.62 ^{ns}	63.48±0.62 ^{ns}	63.48±0.62 ^{ns}
วันที่ 3	63.65±1.41 ^a	57.79±1.31 ^b	57.92±0.93 ^b	52.24±1.62 ^c	58.33±1.04 ^b
วันที่ 6	39.18±0.25 ^c	63.97±0.38 ^b	43.54±0.46 ^d	58.09±0.70 ^c	67.23±0.22 ^a
วันที่ 9	38.73±0.00 ^d	49.94±0.43 ^b	61.06±0.19 ^a	50.47±0.42 ^b	46.58±0.63 ^c
วันที่ 12	43.77±0.22 ^b	44.30±0.51 ^b	40.91±0.71 ^c	N/A	58.11±0.23 ^a
วันที่ 15	40.91±0.20 ^b	41.42±1.60 ^b	N/A	N/A	44.69±0.24 ^a
วันที่ 18	41.31±1.04 ^a	N/A	N/A	N/A	37.51±0.68 ^b

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

ตารางผนวกที่ ข25 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของฝักระเจี๊ยบเขียวที่บรรจุ
ลงถาดพลาสติก PP และปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
10 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)				
รักษา	PE-3	PE-2	PE-1	LDPE	PVC
วันที่ 0	225.52±0.88 ^{ns}	225.52±0.88 ^{ns}	225.52±0.88 ^{ns}	225.52±0.88 ^{ns}	225.52±0.88 ^{ns}
วันที่ 3	288.84±6.46 ^a	186.70±1.64 ^b	170.11±11.23 ^c	149.82±0.58 ^d	193.81±0.35 ^b
วันที่ 6	213.94±12.13 ^b	248.78±3.00 ^a	220.31±0.48 ^b	138.96±1.57 ^d	190.08±7.50 ^c
วันที่ 9	136.93±0.40 ^b	122.52±1.20 ^d	127.92±0.44 ^c	135.16±0.85 ^b	166.73±4.11 ^a
วันที่ 12	161.45±4.91 ^c	154.70±0.83 ^d	183.19±0.87 ^b	83.59±1.49 ^e	202.02±0.15 ^a
วันที่ 15	127.50±1.94 ^c	164.30±1.46 ^b	121.02±0.24 ^d	N/A	177.46±1.62 ^a
วันที่ 18	169.57±2.02 ^a	140.28±3.87 ^b	N/A	N/A	171.71±0.34 ^a
ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัมคาเทคินต่อน้ำหนักสด 100 กรัม)					
วันที่ 0	82.85±0.67 ^{ns}	82.85±0.67 ^{ns}	82.85±0.67 ^{ns}	82.85±0.67 ^{ns}	82.85±0.67 ^{ns}
วันที่ 3	87.10±1.51 ^a	78.92±1.99 ^b	87.01±2.36 ^a	50.71±0.54 ^d	55.96±1.07 ^c
วันที่ 6	62.01±0.45 ^b	74.13±0.65 ^a	60.02±1.93 ^b	42.06±0.61 ^d	57.10±1.09 ^c
วันที่ 9	32.98±0.80 ^d	40.80±1.22 ^c	43.98±0.22 ^b	40.69±1.79 ^c	51.45±0.52 ^a
วันที่ 12	47.87±0.21 ^c	51.85±0.00 ^b	30.38±0.83 ^d	26.58±0.45 ^e	64.85±0.57 ^a
วันที่ 15	62.70±1.26 ^a	49.59±1.00 ^c	40.11±0.54 ^d	N/A	54.16±0.00 ^b
วันที่ 18	38.71±0.00 ^b	46.18±1.47 ^a	N/A	N/A	48.80±0.25 ^a

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

ภาคผนวก ค

การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

นำฟิล์มพลาสติกมาปรับสภาพในการทดลอง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30+2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 90+5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มพลาสติกไปทดสอบสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆ ดังนี้

1. วัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

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

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

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

วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่อง oxygen permeation analyzer (MOCON OXTRAN[®] รุ่น 2/21 ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวัดอัตราการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง carbon dioxide permeation analyzer (MOCON PERMATRAN-C[®] รุ่น 4/41 ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบ และเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อหาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึงและพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่น แล้วเริ่มทำการทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น ml/m².day ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวฟูซี่ฮ์ วรอดุลย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	17 กันยายน 2523
สถานที่เกิด	ยะลา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์) ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-