



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Fresh Cut Durian

นามผู้วิจัย นางสาวสุรัชชา บุระมาน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อำพร เสน่ห์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญรัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Fresh Cut Durian

โดย

นางสาวสุธิชา นุระมาน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุธิชชา บุระมาน 2554: ผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D. 121 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง ทุเรียนตัดแต่งมีความสามารถในการทนแก๊สออกซิเจน (O_2) ได้ต่ำสุด 10 kPa และมีความสามารถในการทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้สูงสุด 10 kPa โดยไม่ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และความผิดปกติทางสรีรวิทยา ส่วนบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง คือ $10\text{ kPa } O_2 + 10\text{ kPa } CO_2$ จากการศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง พบว่า การบรรจุทุเรียนตัดแต่งในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนปิดผนึกด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPEA-15 และ NPPE-17) เปรียบเทียบกับฟิล์มที่ใช้ทั่วไปทางการค้า (NPPE-05) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษา 20, 24 และ 12 วัน ตามลำดับ โดยฟิล์ม NPPE-05 มีบรรยากาศดัดแปลงเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล คือ $1\text{ kPa } O_2 + 31\text{ kPa } CO_2$ ส่วนฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 มีบรรยากาศดัดแปลงเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล เท่ากับ $3\text{ kPa } O_2 + 13\text{ kPa } CO_2$ และ $5\text{ kPa } O_2 + 11\text{ kPa } CO_2$ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง โดยทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุด้วยฟิล์ม NPPE-17 มีค่าความแน่นเนื้อสูงสุด มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด และปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าสี น้ำหนักแห้ง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่บรรจุในฟิล์มต่างชนิดกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

Suthiachar Buraman 2011: Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Fresh Cut Durian. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging and Materials Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Vane Chonhenchob, Ph.D. 121 pages.

Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of fresh cut durian stored 5 °C was studied. The oxygen (O₂) and carbon dioxide (CO₂) tolerances of fresh cut durian were 10 kPaO₂ and 10 kPaCO₂, respectively. The optimum controlled atmosphere (CA) condition for fresh cut durian was 10 kPaO₂+10 kPaCO₂. Fresh cut durian was packed in the polypropylene (pp) tray, sealed with high gas permeable films (NPEA-15 and NPPE-17) compared with the commercially available film (NPPE-05) and stored at 5 °C. The results showed that fresh cut durian packed in NPEA-15, NPPE-17 and NPPE-05 could maintain the acceptable quality for 20, 24 and 12 days, respectively. In-package gas composition of NPPE-05, NPEA-15 and NPPE-17 packs at equilibrium were 1 kPaO₂+31 kPaCO₂, 3 kPaO₂+13 kPaCO₂ and 5 kPaO₂+11 kPaCO₂, respectively. Low O₂ and high CO₂ levels in the NPEA-15 and NPPE-17 were appropriate for the storage of fresh cut durian. Fresh cut durian in the NPPE-17 pack had the highest firmness, the lowest weight loss and the lowest ethanol in juice throughout the storage. Changes in color, dry matter, total soluble solids, titratable acidity and total phenolic compounds were not significantly (P > 0.05) different among all treatments.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์วาทินี ชนเห็นชอบ กรรมการ
วิชาเอก อาจารย์อำพร เสน่ห์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิรภาคย์กุล กรรมการวิชาการ ที่กรุณา
ให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมถึงข้อคิดและช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้น
ทำงานวิจัย จนกระทั่งแก้ไขวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ
ภายนอก อาจารย์ยอศิรา เฟื่องฟูชาติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิฎกานัญจน์ ประธานการสอบ
วิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกคนในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุที่คอย
ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชา
เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการศึกษาและทำงาน
วิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องทุกคน สำหรับความรักและการ
สนับสนุนในการศึกษา รวมทั้งกำลังใจที่มีให้กันเสมอมาในระหว่างการศึกษาและการทำ
วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบ
แด่คุณพ่อ คุณแม่ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนและหากมีข้อผิดพลาด
ประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

สุรัชชา บุระมาน

กันยายน 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	115
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก	116
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพของทุเรียนตัดแต่ง	118
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การจัดกลุ่มผลิตผลตามการผลิตเอทิลีน	9
2 คุณค่าทางอาหารของทุเรียน (เนื้อทุเรียนสด 100 กรัม)	14
3 การเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับ ผักและผลไม้ตัดแต่งบางชนิด	23
4 การนำสารดูดซับมาใช้ในการแยกแก๊สชนิดต่าง ๆ	29
5 คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	46
6 คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	46
7 ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	49
8 ค่า a^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	50
9 ค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	50
10 คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศ ที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	57
11 คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศ ที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	57
12 ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มี แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	60
13 ค่า a^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มี แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	60
14 ค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มี แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	69
16	คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	69
17	ค่า L* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	74
18	ค่า a* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	75
19	ค่า b* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	76
20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	80
21	สมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (NPPE-05) ฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15) และฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPPE-17)	84
22	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ ทุเรียนตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	86
23	ค่า L* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึก ด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	92
24	ค่า a* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึก ด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	92
25	ค่า b* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึก ด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
26	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษา ในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
	97

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกทุเรียนสดแช่เย็น แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์แปรรูปในปี 2549 – 2553	4
2 ลักษณะการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric	7
3 ลักษณะปรากฏของทุเรียนตัดแต่งพันธุ์หมอนทองที่ระดับคะแนน 1-5	35
4 ลักษณะการบรรจุทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลงในการทดลอง	40
5 อัตราการหายใจของทุเรียนตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	44
6 อัตราการผลิตเอทิลีนของทุเรียนตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	45
7 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	47
8 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	48
9 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	51
10 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	51
11 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	52
12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	53
13 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	54
14 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	55
15 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	59
17	ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	61
18	ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	62
19	ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	63
20	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	64
21	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	65
22	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	66
23	เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมที่สภาวะต่าง ๆ ในวันที่ 1 และวันที่ 24 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	68
24	การสูญน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	70
25	น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	71
26	ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	72
27	ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	73
28	ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
29 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	78
30 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	79
31 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	81
32 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	85
33 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	87
34 คะแนนลักษณะปรากฏ และคะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งเก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	88
35 ภาชนะบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 1 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา	89
36 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	90
37 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	91
38 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	93
39 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
40 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	95
41 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	96
42 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	96
43 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	99

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CO_2	= แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
O_2	= แก๊สออกซิเจน
PP	= พอลิพรอพิลีน
NPPE-05	= फिल्मพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
NPEA-15	= फिल्मดูดซับเอทิลีน
NPPE-17	= फिल्मที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง
L	= ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)
WVTR	= อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ($\text{kg/m}^2 \cdot 24\text{hr}$)
OTR	= อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$)
CO_2TR	= อัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$)
P	= สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้
P_{CO_2}	= สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr} \cdot \text{Pa}$)
P_{O_2}	= สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr} \cdot \text{Pa}$)
β	= อัตราส่วนสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน ($P_{\text{CO}_2}/P_{\text{O}_2}$)
W	= น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (kg)
F	= อัตราการไหลของแก๊ส (ml/min)
R_{CO_2}	= อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{mg CO}_2/\text{kg} \cdot \text{hr}$)
Patm	= ความดันที่ 1 atm (atm)

ผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา ทุเรียนตัดแต่ง

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Fresh Cut Durian

คำนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตและส่งออกผลไม้เมืองร้อนที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ผลไม้ไทยที่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศ ได้แก่ สับปะรด ลำไย ทุเรียน มังคุด ส้มโอ มะม่วง โดยตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ตลาดที่มีกำลังซื้อสูง เช่น สหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น ไต้หวันฮ่องกง แต่ในระยะหลังมีการกระจายไปยังตลาดจีนและอาเซียนมากขึ้น โดยเฉพาะตลาดจีนซึ่งเป็นตลาดใหญ่และมีศักยภาพในการขยายตลาดค่อนข้างสูง (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2542) แต่เนื่องจากผลไม้เป็นสินค้าที่บอบช้ำและเน่าเสียง่ายจึงทำให้เกิดความเสียหายในระหว่างการขนส่ง บรรจุภัณฑ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่นอกจากจะช่วยป้องกันความเสียหายแล้วยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดต้องการการบรรจุในลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลนั้น ๆ และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ราคา ระยะทางในการขนส่ง และความต้องการของตลาด เป็นต้น

ทุเรียนถือว่าเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกทุเรียนที่สำคัญของโลก ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปแบบทุเรียนสดประมาณร้อยละ 90 ของการส่งออกทั้งหมด โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (2549-2553) การส่งออกทุเรียนสดและผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปริมาณ 154,898 ตัน มูลค่า 3,151 ล้านบาทในปี 2549 เป็นปริมาณ 226,728 ตัน มูลค่า 4,628 ล้านบาทในปี 2553 หรือเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 14.92 และ 15.66 ต่อปี ตามลำดับ ทุเรียนเป็นผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก(climacteric) ที่มีอัตราการหายใจประมาณ 80-450 mg.CO₂/ kg⁻¹.hr⁻¹ และมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดถึง 40 µl C₂H₄/kg⁻¹.hr⁻¹ เมื่อเข้าสู่ระยะการสุก (Tongdee *et al.*, 1987a; 1987b) ทำให้ผลิตผลเกิดความสูญเสียเมื่อถึงปลายทาง ประกอบกับทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ เปลือกหนา และมีหนามแหลม ซึ่งทำให้ยากต่อการแกะ การขนส่ง และการเก็บรักษา ดังนั้นการจำหน่ายทุเรียนในรูปแบบการแกะเนื้อพร้อมรับประทานจึงเป็นอีก

ทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคและการขยายตลาดการส่งออกทุเรียน แต่เนื่องจากผลไม้ตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น และเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย จึงมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้รักษาคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง เช่น การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม (controlled atmospheres) โดยการลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน (O_2) และเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศ และการเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลง (modified atmospheres) ด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านเข้าออก (permeability) ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่ออัตราการหายใจของผลิตผล เช่น ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงหลายระดับ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) เพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการหายใจของผลิตผลหลายชนิด โดยเฉพาะทุเรียนที่มีอัตราการหายใจสูง นอกจากนี้แก๊สเอทิลีน (C_2H_4) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก โดยเฉพาะผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก (climacteric) ที่มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ดังนั้นศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) จึงพัฒนาฟิล์มกำจัดแก๊สเอทิลีนสำหรับบรรจุผลิตผลที่ไวต่อแก๊สเอทิลีนขึ้นพบว่า สามารถลดการสะสมของแก๊สเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ลงได้มากกว่า 2 เท่า ส่งผลให้สามารถชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้นานขึ้น 2-3 เท่า สารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) (นิยมใช้ทางการค้า) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และซีโอไลต์ (zeolites) เป็นต้น

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง เพื่อให้ได้บรรยากาศที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง

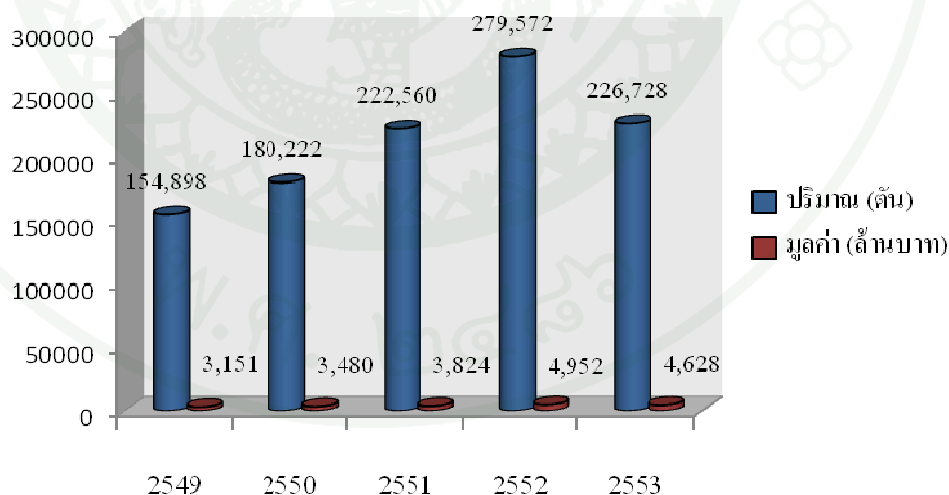
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีเอ็นของทุเรียนตัดแต่ง
2. ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่งและหาขีดจำกัดความทนต่อแก๊สออกซิเจน
3. ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่งและหาขีดจำกัดความทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
4. ศึกษาผลของบรรยากาศควบคุม และหาบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง
5. ศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

การตรวจเอกสาร

1. ทูเรียน

ทูเรียน (*Durio zibethinus* Murr) เป็นผลไม้เขตร้อนที่ถือว่าเป็นราชาแห่งผลไม้ จัดอยู่ในอันดับ Males วงศ์ Bombacaceae (Martin, 1980) มีถิ่นกำเนิดในประเทศมาเลเซียและแถบเกาะบอร์เนียว (Morton, 1987) ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีตามฤดูกาลและมีความสำคัญมากชนิดหนึ่งในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีคุณภาพทางด้านรสชาติและเอกลักษณ์ในด้านรูปร่างและกลิ่นเฉพาะตัว โดยแหล่งปลูกทูเรียนที่สำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย และฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทยทูเรียนถือว่าเป็นผลไม้ที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะขยายการส่งออกได้อีกมาก เนื่องจากทูเรียนเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ สำหรับการส่งออกทูเรียนไปจำหน่ายต่างประเทศนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ทูเรียนสดแช่เย็น ทูเรียนสดแช่แข็ง และผลิตภัณฑ์แปรรูป เป็นต้น ซึ่งตลาดหลักในการส่งออกทูเรียนที่สำคัญ ได้แก่ สหราชอาณาจักร ไต้หวัน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน อินโดนีเซีย และสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกทูเรียนสดแช่เย็น แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์แปรรูป ในปี 2549-2553

ที่มา: สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

ทุเรียนในประเทศไทยมีมากกว่า 200 พันธุ์ แต่มีเพียงไม่กี่พันธุ์ที่นิยมนำมาปลูกเป็นพันธุ์การค้า โดยพันธุ์ทุเรียนที่นิยมปลูกเป็นการค้า ประกอบด้วย 4 พันธุ์ คือ พันธุ์กระดุม ชะนี ก้านยาว และหมอนทอง โดยพันธุ์หมอนทองเป็นพันธุ์ที่นิยมรับประทานและมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุเรียนพันธุ์อื่น ๆ ทั้งนี้เพราะทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณเนื้อมาก เมล็ดลีบ กลิ่นน้อย และมีคุณภาพเนื้อที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป เช่น กวน แช่แข็ง เป็นต้น แหล่งผลิตทุเรียนที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นต้น (วันทนา, 2550)

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ เปลือกหนาและมีหนามแหลม ซึ่งทำให้ยากต่อการแกะ การขนส่ง และการเก็บรักษา เมื่อสุกจะมีเนื้อสีเหลืองอ่อน นุ่ม กิ่งอ่อนกึ่งแข็ง มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม เมล็ดกลมรี เปลือกหุ้มสีน้ำตาล ผิวเรียบเนื้อในเมล็ดสีขาว มีรสฝาด (Nanthachai, 1994) ดังนั้น การจำหน่ายทุเรียนในรูปแบบการแกะเนื้อพร้อมรับประทานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค และการขยายตลาดการส่งออกทุเรียน

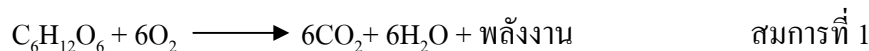
2. การเปลี่ยนแปลงของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยว

ผลผลิตสดเป็นสิ่งมีชีวิต ดังนั้นภายหลังจากเก็บเกี่ยวจึงมีกระบวนการหายใจ การสร้างความร้อน การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน การสุก การชราภาพ ตลอดจนกระบวนการป้องกันตนเองเกิดขึ้น (Harrod and Salunkhe, 1975) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และสภาพแวดล้อม ดังนั้นกระบวนการต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในผลผลิตหลังการตัดแต่นั้นล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวทั้งสิ้น การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สำคัญของผลผลิตสดหลังการตัดแต่ง ได้แก่ การหายใจ

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

การหายใจ หมายถึง กระบวนการทางเมตาบอลิซึม (metabolism) ที่ผลิตผลนำเอาพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของอาหารสะสมซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น แป้ง น้ำตาล ไขมัน โปรตีน มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีสำหรับทำกิจกรรมต่าง ๆ กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่อาหารถูกออกซิไดซ์ไปเป็น

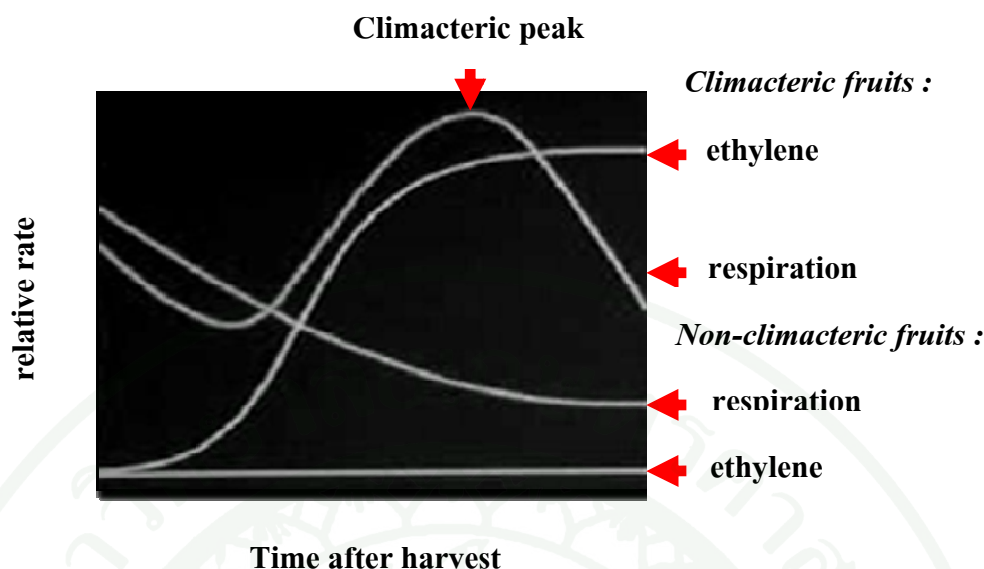
คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนออกซิเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาได้เป็นน้ำออกมา ดังแสดงในสมการการหายใจที่ใช้กลูโคสเป็น substrates (จริงแท้, 2549) ดังนี้



ผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีอาหารสะสมอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้อีก ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผลผลิตรวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (จริงแท้, 2549) กระบวนการตัดแต่งผลผลิตสดเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดบาดแผลบนตัวผลผลิตได้ง่ายซึ่งบาดแผลดังกล่าวส่งผลให้ผลผลิตมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น (Laties, 1978) และทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักและผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการตัดแต่ง จากการศึกษาของ Booncherm and Siriphanich (1991) พบว่า เนื้อทุเรียนมีกระบวนการทางเมตาโบลิซึม (อัตราการหายใจ) ต่ำกว่าเปลือก ดังนั้นการจำหน่ายทุเรียนในรูปแบบของทุเรียนตัดแต่งโดยการแกะเปลือกพร้อมรับประทานจะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนได้นานขึ้น

ในทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวสามารถจำแนกลักษณะของผลไม้ตามพฤติกรรมการหายใจและการผลิตเอทิลีนได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก (climacteric) เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ตัวอย่างผลไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ มะม่วง กัลย ขนุน ฝรั่ง ทุเรียน มังคุด พีช อะโวคาโด แอปเปิ้ล และกีวี เป็นต้น (Day, 1993) เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่สองเป็นผลไม้ประเภทนอนไคลแมคเทอริก (non-climacteric) ที่มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำเมื่อเข้าสู่ระยะการสุกหรืออีกนัยหนึ่งคือ เอทิลีนไม่มีผลต่อการสุกของผลผลิต (Kader, 2002) ตัวอย่างผลไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ องุ่น ส้ม สับปะรด แตงโม สตอเบอรี่ มะนาว ลำไย และลิ้นจี่ เป็นต้น

ทุเรียนจัดเป็นผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก (climacteric) ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและองค์ประกอบเคมีอย่างชัดเจนหลังการเก็บเกี่ยว คือ เมื่อทำการเก็บเกี่ยวขณะผลไม้ยังดิบจะมีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนไม่มาก แต่เมื่อเข้าสู่ระยะการสุกอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (climacteric peak) และกลับลดลง (Tongdee *et al.*, 1990; Booncherm and Siriphanich 1991) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric

ที่มา: Tongdee *et al.* (1990); Booncherm and Siriphanich (1991)

การสุกเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในผลไม้ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิต ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. เอทิลีน (ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นแก๊ส สามารถสังเคราะห์และปลดปล่อยออกมาโดยผลิตผลสุก (Wills and Warton, 2000) เป็นปัจจัยสำคัญในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีส่วนเร่งการเกิดผลเสีย การวาย รวมทั้งทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลต่าง ๆ ลดลง (Reid, 2002) บางครั้งเรียกเอทิลีนว่า ripening gas หรือ ripening hormone เพราะถึงแม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ppm ก็สามารถกระตุ้นให้ผลิตผลเกิดการสุกได้ (จริงแท้, 2549) โดยเฉพาะผลไม้ประเภทโคลแมกเทอริกที่มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก (ภาพที่ 1) ทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง (Reid, 2002) นอกจากนี้เอทิลีนยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ได้อีก เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) กลิ่น (aroma) รสชาติ (flavor) เป็นต้น (Salunkhe and Desai 1984; Nanthachai 1994) ซึ่งก็รวมไปถึงการสูญเสีย

คลอโรฟิลล์ การหลุดร่วงของส่วนต่าง ๆ และการอ่อนนุ่มของเนื้อสัมผัสในระหว่างการสุกของ
ผลิตผลด้วย

จากงานวิจัยของ Palapol *et al.* (2009) พบว่า มังคุดซึ่งเป็นผลไม้ประเภทไคโตแมค
เทอริก มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้มีระยะเวลาในการเก็บรักษา
และวางจำหน่ายสั้น โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของก้านผลและกลีบเลี้ยงเป็นสีน้ำตาล สีของ
เปลือกจะเริ่มเพิ่มความเข้มของสีแดงสายเลือดจนกระทั่งมีสีชมพูแดงเต็มผล และทำให้เปลือกเริ่ม
อ่อนตัว ระดับความหวานของผลเพิ่มขึ้น และปริมาณกรดลดลง ส่วนงานวิจัยของ Harvey (1925)
พบว่า กล้วยเมื่อได้รับเอทิลีนในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ สีของเปลือก
จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองขึ้นมาแทน และเนื้อสัมผัสเริ่มมีการอ่อนตัวโดยส่วนของเนื้อจะเป็นส่วนที่มี
การสร้างเอทิลีนขึ้นก่อนและกระตุ้นให้เปลือกสร้างเอทิลีนขึ้น ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลง
ดังที่กล่าวมานั้นเกิดกับพืชชนิดอื่น ๆ ด้วย เช่น มะม่วง เป็นต้น ส่วนกลิ่นและรสชาติของผลิตผลสุก
ที่เกิดจากการได้รับเอทิลีนในปริมาณที่สูงจะช่วยกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การลดลง
ของปริมาณกรด ทำให้รสชาติของผลไม้ดีขึ้น เกิดกลิ่นเฉพาะของผลไม้ซึ่งมีไม่ก่ขึ้นจากสารระเหย
ทั้งหมด (Watada, 1986) นอกจากอิทธิพลในการควบคุมการสุกของผลไม้แล้ว เอทิลีนยังมีผลต่อการ
พัฒนาของพืชในลักษณะอื่น ๆ อีกมากทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อายุทาง
สรีรวิทยาของผลิตผล ความเข้มข้นของเอทิลีน และระยะเวลาที่สัมผัสกับเอทิลีนด้วย (จริงแท้,
2549) กระบวนการตัดแต่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลิตผลได้รับความบอบช้ำจนเกิดความเครียดและ
มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นจึงควรมีป้องกันความเสียหาย
ของผลิตผล โดยการหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับเอทิลีนที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถทำได้หลาย
วิธี เช่น การลดอุณหภูมิ การใช้สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน และการใช้สารดูดซับ
เอทิลีน เป็นต้น จากพฤติกรรมการผลิตเอทิลีนของผลิตผลสดชนิดต่าง ๆ สามารถจำแนกออกได้
เป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มผลิตผลตามการผลิตเอทิลีน

กลุ่ม	อัตราที่ 20 องศาเซลเซียส	ชนิดพืช
	$\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{hr}$	
ต่ำมาก	0.01-0.1	ส้ม, องุ่น, สตรอเบอรี่ ฯลฯ
ต่ำ	0.1-1.0	เงาะ, ข้าวโพดฝักอ่อน, หน่อไม้ฝรั่ง ฯลฯ
ปานกลาง	1.0-10	กล้วยหอม, มะม่วง, ทูเรียน มังคุด ฯลฯ
สูง	10-100	แอปเปิ้ล, มะละกอ ฯลฯ
สูงมาก	>100	แพชชั่นฟรุท, ละมุด ฯลฯ

ที่มา: Smith *et al.* (2009)

สำหรับทุเรียนจัดว่ามีการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-10.0 ไมโครลิตรเอทิลีนต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) และมีการสร้างเอทิลีนสูงขึ้นในระหว่างการสุกจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง ซึ่งคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ (จริงแท้, 2549) ในระหว่างการสุกผลไม้ประเภทไคลแมทเทอริกจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มมากขึ้น กระตุ้นการหายใจและการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนในผลิตผลจะเป็นสัญญาณ (signal) เริ่มต้นของระยะ climacteric ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณิ (2552) พบว่า แถบตรวจวัดระดับการสุกของทุเรียนแบบทั้งผลโดยอาศัยหลักการทำงานของปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สเอทิลีนหรือฮอร์โมนกระตุ้นการสุกที่หลั่งจากผลทุเรียน และสารเปลี่ยนสีที่เคลือบบนสติ๊กเกอร์สามารถตรวจวัดระดับการสุกได้ 3 ระดับ คือ ดิบ สุกกรอบ สุกนึ่ง ซึ่งแปรผันตามระดับการผลิตแก๊สเอทิลีน คือ 0-1.5, 1.5-3.0 และ 3.0-8.0 ppm เอทิลีนต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยการแปรผลสอดคล้องกับการเปลี่ยนสีของสติ๊กเกอร์ คือ ขาว ฟ้า และน้ำเงิน ตามลำดับ แต่แปรผกผันกับค่าความแน่นเนื้อที่ระดับการสุกมากของทุเรียน

2. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นผลทำให้ปฏิกิริยาทางชีวเคมีเพิ่มสูงขึ้นและจะลดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง โดยทั่วไปปฏิกิริยาทางเคมีจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็จะเป็นสาเหตุให้เอนไซม์ซึ่งเป็นสารประกอบพวกโปรตีนเสื่อมสภาพ (denaturation) ไม่สามารถทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการเมตาบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับการสุกได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงอาจเกี่ยวข้องกับการสร้างเอทิลีน โดยอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนในผลิตผลชะงักลงซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดการสุกที่ผิดปกติได้ ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้ผักและผลไม้ในเขตร้อนเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) และมีการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไป เพื่อให้เหมาะสมต่อการสุกของผลไม้ นั้น ๆ Booncherm and Siriphanich (1991) ทดลองเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งพร้อมบริโกล ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เนื้อทุเรียนสามารถเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำได้นานกว่าเปลือกทุเรียน โดยจะมีอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นหลังจากทำการเก็บรักษาไปแล้ว 4 สัปดาห์ ดังนั้น การเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งพร้อมบริโกลที่อุณหภูมิต่ำ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนให้นานขึ้นได้ โดยเนื้อทุเรียนที่ผ่านการเก็บรักษาดังกล่าวยังคงมีการพัฒนาการสุกและให้คุณภาพเช่นเดียวกับเนื้อที่ติดอยู่กับผลทุกประการ

3. คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3-10 สามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์อาจเป็นตัวยับยั้ง (competitive inhibitor) และเข้าไปแข่งขันกับเอทิลีนในการยึดเกาะกับโลหะที่เป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ (Beyer, 1978)

4. ออกซิเจน มีความจำเป็นต่อการสร้างและการทำงานของเอทิลีน โดยบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1-2 สามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้หลายชนิด (Beyer, 1978)

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

ผักและผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตที่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งเนื้อเยื่อและเซลล์จะถูกทำลายเป็นสาเหตุให้เอนไซม์และชั้นสเตรทเกิดการรั่วไหลออกจากเซลล์และทำปฏิกิริยากันจนมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้นกับผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีที่สำคัญในผักและผลไม้ตัดแต่ง ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase: PPO) การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การสูญเสียแคโรทีนอยด์ การสูญเสียความแน่นเนื้อ การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ เป็นต้น (Wiley, 1994)

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญในผักและผลไม้ตัดแต่ง ได้แก่

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงสารสี

สีต่าง ๆ ของผลิตผลเกิดมาจากสารสีต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (เป็นสารสีเขียว) แคโรทีนอยด์ (สารสีเหลือง-แดง) และแอนโทไซยานิน (สารสีแดง-น้ำเงิน) สารสีเหล่านี้มักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามการวัยของผลิตผล เช่น ในเนื้อทุเรียนสด 100 กรัม มีปริมาณเบต้า-แคโรทีน เท่ากับ 24 และ 41 IU ขณะผลอายุ 118 และ 125 วันหลังดอกบาน และเมื่อสุกจะมีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา เป็นต้น (สุดารัตน์, 2536) กระบวนการตัดแต่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์ของผลไม้ถูกทำลาย ซึ่งสารต่าง ๆ ที่รั่วไหลออกมาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติของสารสีชนิดต่าง ๆ เช่น

การสูญเสียแคโรทีนอยด์ (carotenoids) แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวแต่เป็นสารสีที่ค่อนข้างจะเสถียรอยู่ภายในเซลล์ของผลิตผลภายใต้การเก็บรักษาต่าง ๆ เช่น การเก็บรักษาแครอท พบว่า เวลาและสภาวะการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์น้อยมาก (Hulme, 1971) แต่ในกรณีที่ถูกสับ หั่น ปั่น จนละเอียด แคโรทีนอยด์จะไม่เสถียรและถูกทำลายได้ง่ายด้วยแสง ออกซิเจน และความร้อน (จริงแท้, 2550) เช่น การสูญเสียแคโรทีนอยด์ในแครอทตัดแต่งที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ lipoxidase (Wiley, 1994) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้ตัดแต่งที่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ อีก เช่น การเกิดอาการสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase: PPO) โดยมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ดังกล่าว นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับรสชาติของพืชด้วย เช่น ความฝาด และความขม (จริงแท้, 2550) ส่วนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ chlorophyllase, Mg-dechelataase, pheophorbide a oxygenase และ red chlorophyll catabolite reductase (RCC reductase) (Takamiya et al., 2000) ซึ่งการสูญเสียคลอโรฟิลล์ดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการสีน้ำตาล และบ่งบอกถึงความชราภาพของผักและผลไม้ตัดแต่งได้ (Heaton and Marangoni 1996; Heaton *et al.*, 1996) ดังนั้นจึงควรมีการป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์โดยการลดอุณหภูมิของผลผลิตลง และเนื่องจากคลอโรฟิลล์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน การเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำจึงสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ (จริงแท้, 2549)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ

ความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อหลังการเก็บเกี่ยวนับว่าเป็นปัญหาสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อดังกล่าว อาจมีสาเหตุมาจากโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงจากเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble protopectin) มาเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ (soluble pectin) หรือการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่สะสมไปเป็นน้ำตาล (Mattoo *et al.*, 1975) การนิ่มและการอ่อนตัวของผลไม้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของ middle lamella และผนังเซลล์ชั้นต้น โดยการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ดังนี้ polygalacturonase, pectin methylesterase, cellulase และ cell wall hydrolase อื่น ๆ (Huber, 1983) จากการศึกษาของ Zauberman *et al.* (1972) พบว่า การนิ่มและการอ่อนตัวของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของเพกตินที่ละลายน้ำและเอนไซม์ pectolytic ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยเพกตินได้ นอกจากนี้กระบวนการตัดแต่งอาจทำให้ผลิตผลเกิดการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นได้ (จริงแท้, 2549) ซึ่งเอทิลีนจะไปเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ เช่น pectinase, cellulase, polyphenol oxidase และ polygalacturonase (Mattoo *et al.*, 1975) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนนุ่มของผลไม้ และบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งยังทำให้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น (Wiley, 1994)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่สำคัญ

ผักและผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ เป็นต้น ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมาก ทั้งในด้านไขมันที่ให้พลังงาน ความร้อน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่างชนิด ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกายอย่างมาก ในตารางที่ 2 แต่เนื่องจากผักและผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย และส่วนมากเปลี่ยนไปในทางที่ทำให้คุณภาพลดลง (จริงแท้, 2549)

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เป็นองค์ประกอบสำคัญในผักและผลไม้ที่ทำให้ทั้งรสชาติ คุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้มักอยู่ในรูปของอาหารสะสม เช่น แป้ง และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ (จริงแท้, 2538) และยังอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง เช่น เซลลูโลส และสารพวกลิกนินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ทูเรียนมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากที่สุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ (Morton, 1978) ซึ่งเพ็ญศิริ และคณะ (2531) พบว่าเมื่อทูเรียนเริ่มสุกจะมีรสหวานเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะแป้งจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล แต่จะเปลี่ยนไปเพียงบางส่วนเท่านั้นไม่เหมือนกับกล้วยหอมที่แป้งแทบทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลไม้มีรสชาติต่างกันไป เช่น ทูเรียนพันธุ์หอมทองที่มีแป้งอยู่มากกว่าพันธุ์ชะนี เมื่อสุกจึงทำให้มีรสชาติที่หวานมันกว่าจนกลายเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน

กรดอินทรีย์ (organic acid) เป็นแหล่งอาหารสะสมที่ใช้ในการหายใจ โดยกรดที่พบในผลไม้ส่วนใหญ่จะเป็นกรดซิตริก (citric) และกรดมาลิก (malic) กรดอินทรีย์จะถูกสะสมอยู่ในภายในแวคิวโอลในปริมาณมาก และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการรับประทาน แต่เมื่อผลไม้สุกปริมาณกรดจะลดต่ำลงทำให้รสชาติดีขึ้น แต่บางกรณีปริมาณกรดอาจเพิ่มสูงขึ้น เช่น การเก็บเกี่ยวทูเรียนในระยะ post-climacteric (90 วันหลังดอกบาน) เป็นต้น (จริงแท้, 2549)

วิตามิน (vitamins) ผักและผลไม้เป็นแหล่งวิตามินที่สำคัญ โดยเฉพาะวิตามินเอ และวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างมากในผักและผลไม้ วิตามินเอในผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแคโรทีน มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงมากนักหลัง

การเก็บเกี่ยว แต่อาจสูญเสียได้มากหากมีการสูญเสียที่ออกจากผลผลิตในปริมาณที่สูง ส่วนวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียรและถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid แต่วิตามินซีส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid (90%) มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะผักรับประทานใบและช่อดอกแต่จะมีน้อยมากในผลไม้ นอกจากนี้การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลผลิต หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีโลหะหนัก เช่น ทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ดังนั้นจึงควรมีการยับยั้งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก โดยใช้กรดซิตริก และกรดมาลิก ซึ่งมีคุณสมบัติในการจับไอออนของโลหะเอาไว้ (จริงแท้, 2549)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของทุเรียน (เนื้อทุเรียนสด 100 กรัม)

องค์ประกอบที่พบในเนื้อทุเรียน	ปริมาณต่อน้ำหนักสด 100 กรัม
พลังงาน	156 กิโลแคลอรี
ความชื้น	62.5 กรัม
โปรตีน	2.1 กรัม
ไขมัน	3.3 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	29.6 กรัม
เส้นใย	1.4 กรัม
แคลเซียม	29 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	34 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.1 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 1	0.16 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 2	0.23 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 3	2.5 มิลลิกรัม
วิตามินซี	35 มิลลิกรัม

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2550)

2.2.4 การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ

การเกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสตามธรรมชาติได้ (Watada and Qi, 1999) สาเหตุหนึ่งที่ทำให้กลิ่นเฉพาะตัวของผักและผลไม้จัดเป็นคุณภาพด้านหนึ่งของผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจตัดสินใจซื้อผักและผลไม้ที่ตัดแต่ง ซึ่งการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติในผักและผลไม้ที่ตัดแต่งนั้น มีสาเหตุมาจากการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีเอนไซม์ lipoxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารระเหยพวกกลีโตนและแอลดีไฮด์ (Ahvenainen, 1996) นอกจากนี้การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติในผักและผลไม้ที่ตัดแต่งอาจเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน การเกิดอาการสะท้านหนาว สภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาไม่เหมาะสม การบรรจุที่ไม่เหมาะสม อุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่เหมาะสม และการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด ทำให้เกิดการหมักและการสะสมของเอทานอลในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงสารระเหย

ผักและผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่กว่า 70% ส่วนที่เหลือมักจะเป็นกรด น้ำตาล หรือแป้ง ซึ่งให้รสชาติของผักและผลไม้ แต่สำหรับกลิ่นซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะของผักและผลไม้เกิดจากสารระเหย (volatiles) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมีอยู่มากมายหลายชนิดในผักและผลไม้ ปริมาณและชนิดของสารระเหยในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของผลไม้จะมีอยู่ไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปกลิ่นในผลไม้มีทั้งสารประกอบไขมันเป็นสารตั้งต้นที่ผ่านกระบวนการแตกตัวเป็นกรดไขมันในขั้นตอน isoprenoid pathways (Gholap and Bandyopadhyay, 1980) องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในกลิ่นของผลไม้เป็นสาร oxygenated compounds (คณัย, 2540) เช่น alcohol, aldehyde, ester และ hydrocarbon (Malundo *et al.*, 1997; Valpuesta 2000) เป็นต้น โดยปกติเมื่อผลไม้สุกจะมีปริมาณและชนิดของระเหยมากขึ้นแต่ตัวสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะของผลไม้มีเพียงไม่กี่ชนิด เช่น ในกล้วยหอม มีจำนวนสารระเหยมากกว่า 300 ชนิด แต่สารที่ให้กลิ่นของกล้วยที่สำคัญ (Nursten, 1970) ได้แก่ 2-hexenal ในกล้วยที่ยังเขียวอยู่ และ eugenol ในกล้วยสุก และ isopentanol ในกล้วยที่งอมแล้ว เป็นต้น

ส่วนทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเฉพาะตัวรุนแรง และมีสารที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นในปริมาณมาก แต่กลิ่นที่รุนแรงของทุเรียนเกิดจากสารประกอบไทออล (thiol compounds) และกลิ่นหอมของทุเรียนเกิดจากสารประกอบพวงเอสเทอร์ (ester) นอกจากนี้ในผลทุเรียนยังมีกลิ่นของสารประกอบเพนเทน (C_5H_{12}) โดยในเพนเทนมีสารประกอบกำมะถัน สารประกอบที่พบในทุเรียน คือ dialky di- และ trisulfides, 3-(alkylthio)-และ 3-(alkyldithio)-butan-1-ols, 1,1-bis(alkylthio)alkanes และ 1-(alkylthio)-1-(alkylthio) alkanes, trithiolanes, tetrathiolanes และ S-alkyl thioesters ethyl (Z,Z)-, (E,Z)- และ (E,E)-deca-2,4-dienoates, ethyl (3Z,6Z)-decadienoate และ ethyl (E,Z,Z)- และ (E,E,Z)-decatrienoates โดยสารประกอบเหล่านี้มีกลิ่นรุนแรง ทำให้ในผลทุเรียนมีกลิ่นรุนแรงกว่าผลไม้ชนิดอื่น ๆ (Naf and Velluz, 1996) Moser *et al.* (1980) ศึกษาทุเรียนที่เก็บผลผลิตมาจากจังหวัดจันทบุรี, ปราจีนบุรี และระยอง โดยพบว่า สารประกอบให้กลิ่นที่สำคัญของเนื้อทุเรียน ได้แก่ hydrogen sulfide, ethyl hydrodisulfide และ dialkyl polysulfides สารระเหยในทุเรียนที่ให้กลิ่นคล้ายผลไม้ คือ ethyl acetate, 1,1-diethoxyethane และ ethyl 2-methyl butanoate

องค์ประกอบของกลิ่นในผลไม้เป็นสารอินทรีย์ที่ถูกดัดแปลงขึ้น ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีปริมาณน้อยจึงทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือในการตรวจสอบกลิ่นที่มีประสิทธิภาพในการแยกองค์ประกอบของกลิ่น เช่น เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (gas chromatography-mass spectrometry: GC-MS) จากงานวิจัยของ Trainok *et al.* (2007) ศึกษาสารที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าสามารถแยกสารที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นทุเรียนได้ 10 ชนิด ได้แก่ acetaldehyde (2.83%), ethylene(34.23%), ethanethiol (5.99%), ethyl acetate (25.84%), ethyl propanoic acid (13.15%), 2-methylethyl propanoic acid (1.28%), s-ethyl ethanethioate (2.43%), ethyl butanoic acid (4.05%) propyl propanoic acid (0.62%) 2-methyl ethyl butanoic acid (5.39%) และ ethyl hexanoic acid (4.20%) ส่วน Laohakunjit *et al.* (2006) ได้วิเคราะห์สารหอมระเหยในทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า ทุเรียนประกอบไปด้วยสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ diethyl trisulfide, diethyl disulfide, dithiolane, dimethyl sulfide และ 3-methyl-thiozolidine และมีสารหอมระเหยในทุเรียนที่ไม่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบแต่พบในปริมาณมาก ได้แก่ 2-methyl butanoate, butanedioic acid และ propyl-2-ethylbutanoate

3. การเก็บรักษาทุเรียนและทุเรียนตัดแต่ง

การเก็บรักษาคุณภาพและลดปริมาณการสูญเสียของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เพราะผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เช่น การหายใจ การคายน้ำ การสุก การชราภาพ ตลอดจนการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตไว้ได้นาน ดังนั้นการเก็บรักษาให้ผลผลิตอยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติเพื่อชะลอกระบวนการเมตาบอลิซึมของผลผลิตและชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้ คือ

3.1 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในผลผลิต ตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งมีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง (จริงแท้, 2549) โดยเฉพาะผลไม้ตัดแต่งที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น และเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ดังนั้นการเก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษา โดยสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ในขณะที่เดียวกันก็เป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และชะลอการเน่าเสียได้ แต่ต้องเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา เพราะถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ได้

ดังงานวิจัยของคณัย และคณะ (2553) ทดลองเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ดอ (ใช้สาร $KClO_3$) พันธุ์สีชมพู และพันธุ์เขียวที่อุณหภูมิ 1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน พบว่าผลลำไยทุกพันธุ์จะแสดงอาการสะท้านหนาวโดยที่เปลือกด้านในมีสีเข้มขึ้น และมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกมากขึ้นที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ผลลำไยมีลักษณะเหมือนกัน และไม่แสดงอาการสะท้านหนาว เช่นเดียวกับการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิ 14-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% พบว่า สามารถเก็บรักษาทุเรียนได้นาน 10-16 วัน โดยไม่แสดงอาการสะท้านหนาว แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ผลทุเรียนจะแสดงอาการสะท้านหนาว โดยผิวผลจะเป็นสีดำหรือสีน้ำตาลบริเวณร่องหนามและแผ่กระจายจนทั่วผล เนื้อไม่สุก และมีอาการยุบตัวของเนื้อ (จริงแท้, 2538)

ปัจจุบันการผลิตผลไม้พร้อมบริโภคกำลังเป็นที่นิยมของตลาดมากขึ้น เบญจมาศ และคณะ (2550) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาทุเรียนคัดแต่งพร้อมบริโภค ที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride: PVC) มีการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณวิตามินซีใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิ โดยปริมาณวิตามินซีและคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนมีแนวโน้มลดลงตามระยะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเก็บได้นาน 10, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ ส่วนเพชรรัตน์ และจรัสแท้ (2533) พบว่า การเก็บรักษาเนื้อทุเรียนทั้งพูซึ่งยังดิบอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride: PVC) หนา 20 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ เมื่อนำออกมาไว้ที่สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิปกติก็ยังสามารถพัฒนาการสุกและให้คุณภาพเช่นเดียวกับเนื้อที่ติดอยู่กับผลทุกระการ ดังงานวิจัยของ Voon *et al.* (2006) ได้เก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์ D24 ในถาดโฟมและห่อหุ้มด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) หนา 20 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถเก็บรักษาคุณภาพทุเรียนได้นาน 21 วัน โดยยังเป็นที่ยอมรับในเรื่องกลิ่นหืนและไม่เกิดการพัฒนากลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-odour) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อทุเรียนมีการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการเมแทบอลิซึมต่ำกว่าเปลือก จึงทำให้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้นานกว่าทุเรียนที่เป็นผลสด โดยที่ไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ (Booncheram and Siriphanich, 1991)

3.2 การเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere)

การเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว การควบคุมบรรยากาศเป็นวิธีหนึ่งในการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ ในแง่ของสัดส่วนของแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ โดยควบคุมความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 21 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และคงความเข้มข้นของแก๊สตลอดอายุการเก็บรักษา (Kader, 1994) ปัจจุบันการเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมนิยมใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อช่วยเพิ่มอายุในการเก็บรักษาและสามารถลดความรุนแรงจากอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำในผลิตผลได้ (Wang, 1991) การเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมทำให้ผลิตผลมีกระบวนการเมตาบอลิซึมลดลง จึงลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพได้ (จรัสแท้, 2549) จากการศึกษาของ Devon and Kader 1988;

Noguchi *et al.* (1998) พบว่า สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารตัวกลางในกระบวนการ glycolysis ได้ โดยการลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทีเอ็น การเกิดอาการสีน้ำตาล และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ส่วนสภาวะที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ใน Krebs's cycle ทำให้กระบวนการหายใจไม่เป็นไปตามปกติ (จริงแท้, 2538) ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล สาลี่ ท้อ เงาะ และหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ การสูญเสียปริมาณกรด การเน่าของผล รวมทั้งยับยั้งการผลิตเอทีเอ็นและกระบวนการหายใจของผลิตภัณฑ์ได้ (Kader, 1989) แต่อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ และความบริบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ด้วย

จากงานวิจัยของ Saeed *et al.* (2006) ศึกษาผลของการเก็บรักษากล้วยในบรรยากาศควบคุม พบว่า การลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน และเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถลดอัตราการผลิตเอทีเอ็น และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพ เช่น การสุก ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และ 10 พบว่า สามารถชะลออัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และการสุกของสับปะรดได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเก็บรักษาสับปะรดที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ (Tongrak *et al.*, 2003) ส่วนงานวิจัยของ Kanyarat *et al.* (2003) ศึกษาผลของสภาวะบรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่า สภาวะบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 สามารถลดอัตราการหายใจ การผลิตเอทีเอ็น และชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและเนื้อได้ โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 30 วัน ส่วนการศึกษาผลของการปรับสภาวะบรรยากาศต่อคุณภาพทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบว่า การเก็บรักษาทุเรียนพันธุ์หมอนทองในบรรยากาศซึ่งมีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5-7.5 ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาทุเรียนได้เป็นเวลา 21 วัน ซึ่งนานกว่าในสภาวะบรรยากาศปกติที่เก็บรักษาได้เพียง 14 วัน (เจริญ และคณะ, 2538) Kader (1994) พบว่า การเก็บรักษาทุเรียนในบรรยากาศควบคุมที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-20 สามารถชะลอการสุกได้ ถ้าใช้ร่วมกับการลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนเหลือประมาณร้อยละ 10 หรือต่ำกว่า ส่วนปริมาณแก๊สออกซิเจนควรมีความเข้มข้นร้อยละ 3-5 สามารถลดอัตราการหายใจ การผลิตเอทีเอ็น และชะลอการสุกได้

3.3 การบรรจุในบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging)

เป็นการสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดและผลิตผลตัดแต่ง โดยการปิดล้อมรอบด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านเข้าออก (permeability) ของความชื้นหรือไอน้ำ แก๊สออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ จนทำให้สภาวะบรรยากาศภายในแตกต่างจากสภาวะบรรยากาศปกติ คือ มีระดับแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศ (Gomy, 2003) อัตราส่วนผสมของแก๊สชนิดต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผลิตผลซึ่งผันแปรตามอุณหภูมิ อัตราส่วนผสมของแก๊สเริ่มแรก และชนิดฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุ (Mir and Beaudry, 2004) จากการศึกษาของ Kader (2002) พบว่า การเก็บรักษาผลิตผลในบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสม สามารถชะลออัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ลดการสูญเสียทางด้านกลืนรส การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงปริมาณแก๊สที่เหมาะสมด้วย เพราะถ้าความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 2 จะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เนื่องจากการสะสมเอทานอลและแอซิโตลดีไฮด์ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 จะทำให้ผลิตผลได้รับความเสียหายเป็นอันตรายต่อสรีระของผลิตผล (Jacxsens *et al.*, 2001)

Somrithai (2007) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งด้วยวิธีการดัดแปลงสภาวะบรรยากาศ โดยใช้สารต้านจุลินทรีย์ล้างผลทุเรียนเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในถาดพลาสติกปิดด้วยฟิล์ม 3 ชนิด คือ ฟิล์ม 2 ชั้นจาก polyethylene terephthalate (PET) หนา 12 μm +linear low density polyethylene (LLDPE) หนา 65 μm (จากบริษัทอักษราสน์ จำกัด) ฟิล์ม 2 ชั้น จาก PET+LLDPE หนา 26 μm (จากบริษัท Amcor) และ high density polyethylene (HDPE) (จากบริษัททานตะวัน จำกัด) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 7 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่า ทุเรียนตัดแต่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต้านจุลินทรีย์ชนิด Tsunami ที่ความเข้มข้น 450 ppm มีจำนวนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ และราต่ำสุด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ส่วนฟิล์มที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง คือ ฟิล์ม 2 ชั้น จาก PET+LLDPE หนา 26 μm (จากบริษัท Amcor) เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ให้มีปริมาณไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ไม่มีไอน้ำเกาะภายในบรรจุภัณฑ์ และเนื้อทุเรียนยังคงมีคุณภาพดีภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ส่วนอุมาภรณ์ (2548) ศึกษาอิทธิพลของการปรับ

สภาวะบรรยากาศที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพอลิไวนิลคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3, 6, 9 และ 21 พบว่า สภาวะบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 9 สามารถเก็บรักษาเนื้อทุเรียนได้ 24 วัน ส่วนสภาวะบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และ 6 สามารถเก็บรักษาได้เพียง 12 วัน หากเก็บนานกว่านั้นจะเกิดกลิ่นรสผิดปกติ ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติจะเก็บได้ 16 วัน เบญจมาศ และคณะ (2551) ศึกษาการปรับสภาวะบรรยากาศต่ออายุการเก็บรักษาของเนื้อทุเรียนพร้อมบริโภครอบ โดยบรรจุเนื้อทุเรียนในถาดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์หุ้มด้วยถุงพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) ปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่ $10\%O_2+2\%CO_2$, $10\%O_2+5\%CO_2$ และ $10\%O_2+10\%CO_2$ เปรียบเทียบกับทุเรียนที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า คุณภาพทางเคมีของเนื้อทุเรียนทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนคุณภาพการรับประทานจะลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเนื้อทุเรียนมีกลิ่นจืด เนื้อนุ่มและ และมีรสชาติขม

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปลงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ ดังการบรรจุผักคะน้าในถุงพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สสูงสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสภาวะสมดุล (equilibrium modified atmosphere: EMA) ได้โดยมีองค์ประกอบของแก๊สเป็น $11.5\%O_2$ และ $3.5\%CO_2$ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 24-36 วัน ที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส โดยแทบไม่สูญเสียน้ำหนักเลย (อศิรา และคณะ, 2549) แต่เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไปจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพของถุงพลาสติกที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพพร้อมคุณค่าทางอาหารที่มีอยู่ได้อย่างครบถ้วน ดังงานวิจัยของ Pornchai and Duangjai (2008) ศึกษาผลของการบรรจุในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของสตอเบอรี่ โดยบรรจุในถุง 4 ชนิด ได้แก่ ถุงพอลิพรอพิลีน (polypropylene: PP) ถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนปานกลาง ($7,600-8,500 \text{ cc.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$) ถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูง ($11,000 \text{ cc.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$) และถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูงมาก ($14,500 \text{ cc.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้บรรจุถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่า ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 วัน เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำหนัก ส่วนการบรรจุสตอเบอรี่ในถุงพอลิพรอพิลีน (polypropylene: PP) มีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 6 วัน เท่ากับชุดควบคุม เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ สำหรับการบรรจุ

สตอร์เบอร์ในถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนปานกลาง (moderate OTR), ถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูง (high OTR) และถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูงมาก (very high OTR) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาจาก 6 วัน (ชุดควบคุม) ได้นาน 15, 15 และ 9 วันตามลำดับ และสาเหตุที่ทำให้การบรรจุสตอร์เบอร์ในถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูงมาก มีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 9 วัน เนื่องจากการมีปริมาณแก๊สออกซิเจนที่จุดสมดุลสูงส่งผลให้เกิดเชื้อราเร็วกว่าถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนปานกลาง และถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนสูง ดังนั้นการเลือกใช้ถุงควรมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงตัดแต่ง โดยทำการบรรจุมะม่วงตัดแต่งในถุงที่ทำจากฟิล์มพลาสติก 3 ชนิด ได้แก่ linear low density polyethylene (LLDPE), polypropylene (PP) และ oriented polypropylene (OPP) ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปลงซึ่งมีสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 5:5 และ 5:10 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่ามะม่วงตัดแต่งที่บรรจุในถุงพลาสติก oriented polypropylene (OPP) ในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่มีสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 5:10 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษามะม่วงตัดแต่งได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 13 วัน (Sopacha *et al.*, 2005) สำหรับบรรยากาศดัดแปลงและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ตัดแต่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3

นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถชะลอการเกิดอาการสีน้ำตาลจากเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในผักกาดหอมหั่นได้ดี และยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผักและผลไม้ตัดแต่งที่เกิดจากฮอร์โมนเอทิลินที่ผักและผลไม้สร้างขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจากการตัดแต่ง หั่น หรือรอยขีด ผู้ประกอบการหลายรายนิยมใส่สารดูดซับเอทิลินเข้าไปในภาชนะบรรจุดัดแปลงบรรยากาศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ตัดแต่งแต่ก็ไม่มีประโยชน์เท่าที่ควร เพราะการดัดแปลงสภาวะบรรยากาศมีส่วนช่วยในการลดการผลิตเอทิลินและผลที่เกิดขึ้นกับผักและผลไม้จากเอทิลินแล้วในระดับสูง (Gorny, 1997)

ตารางที่ 3 การเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ตัดแต่งบางชนิด

ผลิตผล	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	บรรยากาศดัดแปลง (ร้อยละ)		ประสิทธิภาพ
		ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์	
ผัก				
มะเขือเทศ	0-5	3	3	ปานกลาง
บรอกโคลี	0-5	2-3	6-7	ดี
กะหล่ำปลี	0-5	5-7.5	15	ดี
แครอท	0-5	2-5	15-20	ดี
ต้นหอม	0-5	5	5	ปานกลาง
ผักกาดหอม	0-5	0.5-3	5-10	ดี
หัวหอม	0-5	2-5	10-15	ดี
มันฝรั่ง	0-5	1-3	6-9	ดี
ผลไม้				
แอปเปิ้ล	0-5	<1	-	ปานกลาง
แคนตาลูป	0-5	3-5	6-15	ดี
กีวี	0-5	2-4	5-10	ดี
ส้ม	0-5	14-21	7-10	ปานกลาง
พีช	0-5	1-2	5-12	ไม่ค่อยดี
สตอเบอรี่	0-5	1-2	5-10	ดี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Farber *et al.* (2003)

ประเภทของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงได้ 2 ลักษณะ คือ active modified atmosphere packaging (การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแอ็กทีฟ) และ passive modified atmosphere packaging (การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบพาสซีฟ) ซึ่งทั้ง 2 แบบ มีรายละเอียด ดังนี้ (Kader and Watkins, 2002)

1. การบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงแบบแอคทีฟ (active modification) คือ การสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด โดยการเติมแก๊สที่ทราบชนิดและความเข้มข้นแก๊สเพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สตามที่ต้องการ และช่วยให้แก๊สเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว แต่เป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง (Mir and Beaudry, 2004) นอกจากนี้ฟิล์มที่ใช้ต้องมีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สดำเพื่อให้สามารถรักษาสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ได้ยาวนานขึ้น (Yahia and Gonzalez-Aguilar, 1997)

2. การบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงแบบพาสซีฟ (passive modification) คือ การสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด โดยอาศัยคุณสมบัติในการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของพืชที่ระดับอุณหภูมิที่เก็บรักษา ในการเก็บรักษาผลิตผลสดด้วยฟิล์มพลาสติกสามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวยังคงเป็นสิ่งมีชีวิต และมีการใช้ปริมาณแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ในการหายใจ ความแตกต่างระหว่างความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์จะทำให้เกิดการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่อยู่ภายนอกเข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลสร้างและสะสมไว้ในบรรจุภัณฑ์ก็จะเกิดการซึมผ่านออกจากภายในบรรจุภัณฑ์ออกสู่บรรยากาศภายนอก กิจกรรมนี้จะเกิดจนกระทั่งเกิดสมดุลที่เรียกว่า equilibrium modified atmosphere (EMA) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ ประกอบไปด้วย สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพลาสติก อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (Al-Ati and Hotchkiss, 2002)

ปัจจุบันเริ่มมีการนำการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปลง และสภาวะบรรยากาศควบคุมมาใช้เก็บรักษาผลิตผลในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมปริมาณของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อหลีกเลี่ยงกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ โดยการพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และยอมให้มีการซึมผ่านเข้าออก (permeability) ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่ออัตราการหายใจของผลิตผล ซึ่งก็คือ การบรรจุแบบแอคทีฟ (active packaging)

4. การบรรจุแบบแอคทีฟ (active packaging)

การบรรจุแบบแอคทีฟ (active packaging) มีคุณสมบัติในการปกป้องอาหารและขณะเดียวกันก็ควบคุมสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอมหรือสกัดกั้นการแพร่ของแก๊สต่าง ๆ ผ่านเข้าออกจากภาชนะบรรจุให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพ ด้วยการใช้สารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเพียงอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป สารเหล่านี้จะควบคุมหรือทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ โดยการบรรจุในซองขนาดเล็กและเป็นส่วนหนึ่งของฟิล์มหรือตัวบรรจุภัณฑ์ เช่น ป้ายติดด้านในหรือผสมเป็นเนื้อเดียวกับตัวบรรจุภัณฑ์ก็ได้ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ ได้แก่ สารดูดความชื้น (desiccants), สารดูดซับแก๊สออกซิเจน/คาร์บอนไดออกไซด์ (O_2/CO_2 scavenger) สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbers), สารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) และสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (antimicrobials) เป็นต้น (Rooney, 1995) บรรจุภัณฑ์แอคทีฟสามารถแบ่งตามลักษณะเทคโนโลยีได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การบรรจุในซองขนาดเล็ก (sachet) เป็นการบรรจุสารดูดหรือคายแก๊สในซองเล็ก ๆ (packet หรือ sachet) ก่อนนำไปบรรจุในบรรจุภัณฑ์หลัก เพื่อให้สารดังกล่าวดูดหรือคายแก๊สบางชนิด เช่น สารดูดซับแก๊สออกซิเจน สารคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สารควบคุมความชื้น สารดูดซับเอทิลีน สารดูดกลิ่นหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น

2. ฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ดูดซับแก๊ส (scavenger films /packages) เป็นการผสมสารที่มีสมบัติดูดซับแก๊สเข้าไปเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มหรือตัวบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อช่วยป้องกันการซึมผ่านของแก๊สจากภายนอกเข้าสู่ตัวบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ฟิล์มที่มีสารผสมเพื่อยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ แบคทีเรียในอาหาร หรือการใช้ฟิล์มผสมด้วยสารดูดซับเอทิลีนกำจัดแก๊สเอทิลีนสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ไวต่อแก๊สเอทิลีน เป็นต้น นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภทนี้ยังช่วยลดขั้นตอนการบรรจุของหรือแผ่นป้ายดูดซับแก๊สลงในบรรจุภัณฑ์ได้อีกด้วย

ผลิตผลส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับการปลดปล่อยแก๊สเอทิลีน โดยเฉพาะผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก (climacteric) ที่มีอัตราการหายใจและการอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ดังนั้นจึงควรมีการป้องกันความเสียหายของผลิตผลอันเกิดจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับเอทิลีน โดยการใช้สารยับยั้งการสร้างหรือการทำงานของแก๊สเอทิลีนตลอดจนการใช้สารดูดซับเอทิลีนต่าง ๆ เป็นต้น

สารดูดซับเอทิลีน (ethylene scavengers)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งให้เกิดกระบวนการสุกและการชราภาพ ซึ่งจะไปเพิ่มอัตราการหายใจของผลิตผลทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง ดังนั้นการกำจัดเอทิลีนออกจากบรรจุภัณฑ์ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยการชะลอกระบวนการสุก และการเสื่อมสภาพที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งออกไป สารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) (นิยมใช้ทางการค้า) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซีโอไลต์ (Zeolites) เป็นต้น

Hatton and Reeder (1972) เก็บรักษาผลิตผลร่วมกับการใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ทำหน้าที่เป็นสารดูดซับเอทิลีน พบว่า ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลผลิต แต่อย่างไรก็ตามโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตค่อนข้างเป็นพิษจึงไม่ควรสัมผัสกับอาหารโดยตรง ทำให้ต้องบรรจุไว้ในซองหรือถุงขนาดเล็ก (sachet) ที่มีสมบัติในการแพร่ผ่านของแก๊สเอทิลีนได้สูง โดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเอทิลีนที่ผลิตผลผลิตขึ้น จากงานวิจัยของ Noichinda *et al.* (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะบรรยากาศระหว่างการเก็บรักษาผลกล้วยในถุงโพลีเอทิลีนร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน (แคลเซียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ดจุ่มในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอิ่มตัว) บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน (PE) ขนาด 4×6 เซนติเมตร ซึ่งมีการเจาะรู 5 รู ที่ด้านข้างของถุงทั้งสองข้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่า ผลกล้วยในถุงพอลิเอทิลีนที่ปราศจากสารดูดซับเอทิลีนมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่สูงถึงร้อยละ 6 ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ส่วนผลกล้วยในที่เก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีนร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าร้อยละ 5 และมีระดับความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนต่ำกว่า 0.5 ppm ตลอดการทดลอง ส่งผลให้กล้วยในที่เก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีนร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนมีอายุ

การเก็บรักษามากกว่ากล้วยไข่ในถุงพอลิเอทิลีนที่ปราศจากสารดูดซับเอทิลีน เมื่อนำออกมาบ่มให้สุกด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

Suphat (2007) ทำการปรับปรุงและประเมินประสิทธิภาพของกระดาษถ่านกัมมันต์ ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เศรษฐกิจในกลุ่มของผลไม้บ่มสุก ได้แก่ กล้วยหอมทอง และมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยศึกษาผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่า เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระดับความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 5\%$ พบว่า อัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง คือ 25% สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้นาน 21 วัน และที่อัตราส่วนผงถ่านที่เท่ากันสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้นาน 18 วัน โดยมีลักษณะภายในและภายนอก รวมทั้งคุณภาพในการรับประทานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วน Smith *et al.* (2009) ศึกษาการใช้ palladium-based ethylene scavenger ในการควบคุมเอทิลีนซึ่งมีผลต่อการสุกของผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก (climacteric) พบว่า พาเลเดียม (palladium) ผสมซีโอไลต์ (zeolites) สามารถกำจัดเอทิลีนได้โดยการทำให้ออกไซด์เอทิลีนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืชในระดับต่ำ เช่น การสุก และการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผล เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ palladium (Pd) promoted material เป็นสารดูดซับเอทิลีนยังมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้อีกด้วย Phianphon (2009) ศึกษาการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ชนิด CaA เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ร่วมกับการบรรจุในถุงพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง ที่อุณหภูมิ 12 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และกล้วยหอมในถุงพลาสติกที่ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีนสามารถชะลอการเสื่อมเสียที่มีสาเหตุมาจากเอทิลีนได้ และยังมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลให้นานขึ้นด้วย

นอกจากนี้ยังมีการใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟในรูปแบบของฟิล์ม โดย Patricia *et al.* (2009) ทำการผสมสารดูดซับเอทิลีนลงไปในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol: PVA) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลสด ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส พบว่า การผสมสารดูดซับเอทิลีนลงไปในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลสดได้มากขึ้นกว่าปกติ 10 วัน จากปกติแอปเปิ้ลสดมีอายุเพียง 20 วัน แต่เมื่อนำมาเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับลดปริมาณเอทิลีน (PVA + ethylene absorber หรือ PVA-AE) ก็จะสามารถยืดอายุได้ถึง 30 วัน เช่นเดียวกับ Asira *et al.* (2010) พัฒนาฟิล์มกำจัดแก๊สเอทิลีนสำหรับบรรจุ

ผลิตผลที่ไวต่อแก๊สเอทิลีน โดยอาศัยหลักการของ “Mixed Matrix Membrane” ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการพัฒนาเมมเบรนกรองแยกสารที่อาศัยการเป็นตัวกรองระดับโมเลกุลของสาร ซีโอไลต์ร่วมกับการยอมให้แก๊สซึมผ่านได้ของวัสดุพอลิเมอร์ทำให้เมมเบรนนั้นมีค่าการเลือกซึมผ่านของแก๊สหนึ่ง ๆ สูง พบว่า สารซีโอไลต์ (zeolites) ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร มีความไม่ชอบน้ำสูง ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 > 25$) และมีรูพรุนกว้างกว่าขนาดโมเลกุลของแก๊สเอทิลีน (0.39 นาโนเมตร) เมื่อกระจายตัวในเนื้อฟิล์มที่มีสไตรีนิก บล็อกโค-โพลิเมอร์เป็นองค์ประกอบ จะให้ค่าการซึมผ่านแก๊สเอทิลีนสูง (ethylene-TR) (63,000-74,000 ลบ.ซม./ตารางเมตร.วัน) ขณะที่ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน (OTR) และค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 -TR) อยู่ในช่วง 8,500-15,000 และ 13,200-60,000 ลบ.ซม./ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตผลสด ซึ่งการกระจายตัวของสารซีโอไลต์ ลักษณะบริเวณสัมผัส (interface) และสมบัติการซึมผ่านของเนื้อพลาสติกมีผลโดยตรงต่อการเลือกซึมผ่านแก๊สของฟิล์มดังกล่าว และเมื่อนำฟิล์มดังกล่าวมาบรรจุผลิตผลสด พบว่า ฟิล์มกักเก็บแก๊สเอทิลีนที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความสามารถในการลดการสะสมของแก๊สเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ลงได้มากกว่า 2 เท่า ส่งผลให้สามารถชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลสดได้นานขึ้น 2-3 เท่า สำหรับสารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับหรือเป็นตัวกรองแก๊ส สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การนำสารดูดซับมาใช้ในการแยกแก๊สชนิดต่าง ๆ

Gas Bulk Separations (a)	
Separations (a)	Adsorbent
Normal paraffins, Iso paraffins, Aromatics	Zeolites
N ₂ /O ₂	Zeolites
O ₂ /N ₂	Carbon molecular
sieve	
CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ , A, NH ₃ /H ₂	Zeolites, Activated
carbon	
Acetone/Vent streams	Activated carbon
Gas Bulk Separations (b)	
C ₂ H ₄ /Vent stream	Activated carbon
H ₂ O/Ethanol	Zeolites
Gas Bulk Separations (c)	
CO ₂ /C ₂ H ₄ , Natural gas, etc.	Zeolites
Sulfur compounds/ natural gas, Hydrogen, Liquefied petroleum	
gas (LPG), etc.	Zeolites
Odors/Air	Activated carbon

ที่มา: รานี (2544)

สารดูดซับเอทิลีนมักนำไปใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลสด เช่น ผลกีวี ถั่วลิสง อะโวคาโด และ ลูกพลับ เป็นต้น (Sacharow, 1998) จากงานวิจัยของ Abe and Watada (1991) พบว่า ผลกีวีที่ตัดแต่ง และถั่วลิสงที่ใช้ถ่านกัมมันต์ผสมกับพาเลเดียมคลอไรด์เป็นสารดูดซับเอทิลีนจะช่วยลดอัตราการความเน่าเนื่อได้ ส่วนการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งพร้อมบริโภคร โดยการใช้หรือไม่ใช้สารดูดซับ ออกซิเจนและการใช้ร่วมกันระหว่างสารดูดซับออกซิเจนกับสารดูดซับเอทิลีน พบว่า สามารถลด ปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ลงในช่วง 1-2 วันแรกของการเก็บรักษา และทำให้ปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Somrithai, 2007)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุคิบ

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*Durio zibethinus* Murr.) จากสวนเกษตรกรจังหวัดจันทบุรีและชุมพร โดยเฉลี่ยอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง คือ 120-135 วัน (นับตั้งแต่ดอกบาน) หรือมีน้ำหนักแห้งอย่างน้อย 32%

2. ภาชนะบรรจุ

2.1 ถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene) ขนาด 12 ซม.×18 ซม.×6 ซม.

2.2 พลาสติก

2.2.1 พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (density polyethylene, NPPE-05)

2.2.2 พลาสติกดูดซับเอทิลีน (ethylene scavenging films, NPEA-15) ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

2.2.3 พลาสติกที่มีสถานะให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (high gas permeability, NPPE-17) ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

3. สารเคมี

3.1 เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH) ยี่ห้อ Merck บริษัท Merck ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ยี่ห้อ Merck บริษัท Merck ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.3 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein, $C_{20}H_{14}O_4$) ยี่ห้อ Labchem laboratory chemical บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย

3.4 ไนโตรเจนเหลว บริษัท BIG

3.5 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite, NaOCl) บริษัท Carlo ebrareageni ประเทศฝรั่งเศส

3.6 โฟลิน-ซีเคาทุรีเอเจนท์ (Folin-Ciocalteu reagent) ยี่ห้อ Fluka บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.7 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, NaCO_3) ความเข้มข้น 7% ยี่ห้อ Merck บริษัท Merck ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.8 กรดแกลลิก (Gallic acid, $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{H}$) ยี่ห้อ Fluka บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

4. อุปกรณ์และเครื่องมือ

4.1 อุปกรณ์พื้นฐานในการปอกเปลือกและเนื้อทุเรียน เช่น ไม้เคาะทุเรียน มีด ถูมือ หนั่ง และเปียง

4.2 ขวดโหลแก้วขนาด 3,450 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางกันรั่วซึม

4.3 แผงควบคุมการไหลของอากาศ (Flow board)

4.4 ชุดเครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับทำการทดลอง

4.5 กระบอกฉีดยาทุเบอร์คูลิน ขนาดความจุ 1 ml และ 5 ml บริษัท นิโปร (ประเทศไทย) จำกัด

4.6 ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร พร้อมยางกันรั่วซึมและฝาปิดอูมิเนียม

4.7 ไมโครปีเปตขนาด 200-1000 ไมโครลิตร

4.8 ไมโครปีเปตขนาด 20-100 ไมโครลิตร

4.9 ระบบควบคุมสภาวะบรรยากาศ (Controlled atmosphere system) รุ่น ICA 61 บริษัท International Controlled Atmosphere Ltd. ประเทศอังกฤษ

4.10 ห้องสะอาด (Clean room) หมายถึง ห้องหรือบริเวณปิดที่มีการควบคุมอากาศภายในให้มีจำนวนและขนาดอนุภาคที่มีได้ในอากาศประมาณไม่เกิน 5000 (Class 5000) บริษัท Dwyer Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.11 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas chromatograph) รุ่น 6820 บริษัท Agilent Technology ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 4.12 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas chromatograph) รุ่น 6890N บริษัท Agilent Technology ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4.13 เครื่องวัดสี (Minolta chroma meter) รุ่น CR – 310 บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น
- 4.14 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) รุ่น Testometric Micro 350 บริษัท The Testometric., Ltd. ประเทศอังกฤษ
- 4.15 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical balances) รุ่น BP3100S บริษัท Satorius ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 4.16 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand Refractometer) ยี่ห้อ ATAGO N-10A (0-32 ° Brix) บริษัท อะทาโก (ประเทศไทย) จำกัด ประเทศญี่ปุ่น
- 4.17 ห้องควบคุมอุณหภูมิ 5, 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส
- 4.18 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) รุ่น OXTRAN® 2/21 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4.19 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C® 4/41 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4.20 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ รุ่น PERMATRAN-W model 398 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4.21 ตู้แช่เยือกแข็ง (Freezer) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส รุ่น SF-C995 (GYN) บริษัท Sanyo (ประเทศไทย)
- 4.22 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและควบคุมชื้น (Precision environmental chamber) บริษัท Contherm ประเทศนิวซีแลนด์
- 4.23 เครื่องวัดความหนา (Digimatic thickness gage) รุ่น ID-C112BS บริษัท Mitutoyo Corp. ประเทศญี่ปุ่น
- 4.24 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น DIN EN 60529-IP 20 บริษัท Memmert ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 4.25 เครื่องแกว่งแยกตะกอนแบบปรับอุณหภูมิ (Refrigerated centrifuge) รุ่น 6500 บริษัท Kubota ประเทศญี่ปุ่น
- 4.26 เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (Small centrifuge) ยี่ห้อ HATTICH รุ่น EBA 20 บริษัท ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 4.27 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) รุ่น T10 บริษัท IKA ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

4.28 เครื่องผสมของเหลว (Vortex mixer) รุ่น CTL 107 บริษัท CL laboratory

4.39 ตู้อบความร้อน (Hot air oven)

4.30 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงในระดับมองเห็นได้จนถึงอุลตราไวโอเล็ต

(UV-visible spectrophotometer) รุ่น GENESYS 10 Series บริษัท Thermo Spectronic ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

การเตรียมทุเรียนตัดแต่ง

ทำความสะอาดผลทุเรียนโดยการแช่ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ ปล่อยให้แห้งก่อนทำการขนส่งมาห้องปฏิบัติการ ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมทุเรียนตัดแต่งต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้ผ้าสะอาดเช็ดจนแห้ง โดยผ้าที่ใช้ในกระบวนการตัดแต่งต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำอุปกรณ์ที่ทำสะอาดแล้วไปในห้องปลอดเชื้อฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีประมาณ 20 นาที ก่อนทำการทดลองและปิดหลอดไฟกำเนิดแสงยูวีเมื่อเริ่มกระบวนการตัดแต่ง

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของทุเรียนตัดแต่ง

บรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่มีน้ำหนัก 250-350 กรัม ลงในขวดโหลแก้วขนาด 3,450 มิลลิลิตร วัดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนในระบบเปิด ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 5, 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ด้วยการปิดโหลแก้วให้สนิทด้วยจุกยางกันรั่วซึมแล้วต่อเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งควบคุมโดยท่อแคปปีลารีที่มีอัตราการไหลของอากาศ ประมาณ 150 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างแก๊ส 5 มิลลิลิตร ทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 15 วัน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) และนำมาคำนวณหาอัตราการหายใจ (สมการที่ 2) และอัตราการผลิตเอทิลีน (สมการที่ 3) ของทุเรียนตัดแต่ง

1.1 อัตราการหายใจ

สุ่มเก็บแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งอย่างละ 5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) โดย CO₂ ใช้คอลัมน์ Heysep Q 100/200 (1.8 m × 0.32 mm) และ O₂ ใช้คอลัมน์ Molecular Sieve 5A 80/100 (1.8 m × 0.32 mm) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และ detector ชนิด TCD (Thermal conductivity detector) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แปลผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน นำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการหายใจเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง ตามวิธีการของ Claypool and Keefer (1942) ดังสมการที่ 2

$$\text{อัตราการหายใจ} = \frac{\% \text{CO}_2 \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 60 \text{ (min/hr)}}{100 \times \text{Weight (kg)}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

1.2 อัตราการผลิตเอทิลีน

สุ่มเก็บแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งอย่างละ 5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) โดยใช้คอลัมน์ Heysep-S 100/120 (2 m × 0.75 mm) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ detector ชนิด FID (flame ionization detector) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส แปลผลเป็นปริมาณของแก๊สเอทิลีน (ส่วนในล้านส่วน) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการผลิตเอทิลีนเป็นไมโครลิตรเอทิลีนต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง ตามวิธีการของ Claypool and Keefer (1942) ดังสมการที่ 3

$$\text{อัตราการผลิตเอทิลีน} = \frac{\text{C}_2\text{H}_4 \text{ (ppm)} \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 60 \text{ (min/hr)}}{1000 \times \text{Weight (kg)}} \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่ %CO₂ หมายถึง ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

C₂H₄ (ppm) หมายถึง ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ
Weight หมายถึง น้ำหนักของตัวอย่าง (หน่วยกิโลกรัม)

Flow rate หมายถึง ความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นควบคุมการไหลของอากาศ

mL/min หมายถึง มิลลิลิตรต่อนาที, min/hr หมายถึง นาทีต่อชั่วโมง

2. ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของทุเรียนตัดแต่ง

2.1 ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

เตรียมเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่มีน้ำหนักบรรจุ 250-350 กรัม เชื่อมต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ปรับระดับแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศ 5 ระดับ คือ 2, 5, 10, 15 และ 20 kPa สมดุลด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 kPa และแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ ของทุเรียนตัดแต่งทุก ๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 24 วัน ของการเก็บรักษา ดังนี้

2.1.1 การประเมินลักษณะปรากฏของทุเรียนตัดแต่ง ทำการประเมินคุณภาพ โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏ 1-5 ตามภาพที่ 3 ดังนี้



5 คะแนน

4 คะแนน

3 คะแนน

2 คะแนน

1 คะแนน

ภาพที่ 3 ลักษณะปรากฏของทุเรียนตัดแต่งพันธุ์หมอนทองที่ระดับคะแนน 1-5

เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏในแต่ละระดับคะแนน ดังนี้

- 5 คะแนน = เนื้อมีลักษณะแข็ง
- 4 คะแนน = เนื้อมีลักษณะนิ่มปนแข็ง
- 3 คะแนน = เนื้อมีลักษณะนิ่มพอดี
- 2 คะแนน = เนื้อมีลักษณะนิ่มเริ่มละ
- 1 คะแนน = เนื้อมีลักษณะละ

2.1.2 การประเมินระดับการเกิดกลิ่นหมัก ทำการประเมินคุณภาพตามระดับความรุนแรงของการเกิดกลิ่นหมัก (1-5) โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

- 1 คะแนน = ไม่มีกลิ่นหมักเกิดขึ้น
- 2 คะแนน = เกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อย
- 3 คะแนน = เกิดกลิ่นหมักปานกลาง
- 4 คะแนน = เกิดกลิ่นหมักรุนแรง
- 5 คะแนน = เกิดกลิ่นหมักรุนแรงมาก

2.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อทุเรียน

1. การสูญเสียน้ำหนัก ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อทุเรียนทุก ๆ 4 วัน ของการเก็บรักษาและนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (น้ำหนักทุเรียนที่เก็บในวันที่ 0) คำนวณการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการที่ 4

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4}$$

2. น้ำหนักแห้ง ทำการสุมเนื้อทุเรียนภายในพูมา 3 จุด หั่นเนื้อทุเรียนเป็นชิ้นเล็ก ๆ บดให้ละเอียดแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก 20 กรัม ใส่ลงบนถ้วยที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบในเครื่อง hot air oven ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งจนค่าคงที่ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ดังสมการที่ 5

$$\text{น้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง} - \text{น้ำหนักถ้วย}}{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักถ้วย}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 5}$$

3. ค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี chroma meter model CR-310 รายงานค่าสีเนื้อในระบบ L^* a^* และ b^* โดยที่ค่า L^* เป็นค่าของความสว่าง เมื่อ L^* มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีดำ หาก L^* มีค่าเท่ากับ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาว ส่วนค่า a^* ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีสีแดง หากมีค่าเป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีสีเขียว และค่า b^* ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง หากมีค่าเป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน โดยวัดบริเวณแก้มผลของเนื้อทุเรียนทั้ง 2 ข้าง ของส่วนกลางพูบริเวณที่ไม่มีรอยขีดและรอยแยกระหว่างเนื้อทุเรียน จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณเป็นค่า hue angle และค่า chroma ดังสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ตามวิธีการของ Voon *et al.* (2006)

$$\text{hue angle } (\theta) = \arctangent(b^*/a^*) + 180^\circ \quad \text{เมื่อ } a^* < 0 \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$\text{chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{สมการที่ 7}$$

โดยที่ ค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา)
มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

ค่า Hue angle แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา คือ

0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง	180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน
45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง	225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว	270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง
135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว	315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

4. ค่าความแน่นเนื้อ ทำการตรวจวัดโดยการทดสอบค่าแรงกด ด้วยเครื่อง Testometric Model 350 โดยใช้ load cell 5 กิโลกรัม หัวกดทรงกระบอกแบบหัวตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดลึก 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ 50 ของความสูงเนื้อทุเรียน) บริเวณแก้มผลของเนื้อทุเรียนทั้ง 2 ข้าง ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที รายงานค่าในหน่วยนิวตัน (N) ตามวิธีการของ Voon *et al.* (2006)

5. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด คัดแปลงจากวิธีการของ Booncherm and Siriphanich (1991) โดยปั่นผสมเนื้อทุเรียนกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 นำไปปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 6,000 ×g เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง hand refractometer รายงานค่าในหน่วยของศาบริกซ์ (° Brix) ดังสมการที่ 8

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด} = \text{ค่าที่อ่านได้} \times \text{dilution factor}^*$$

$$\text{dilution factor}^* = 4$$

สมการที่ 8

6. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ คัดแปลงจากวิธีการของ Voon *et al.* (2006) โดยนำน้ำคั้นจากเนื้อทุเรียนในข้อ 5 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาหยดฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1-2 หยด (เป็นอินดิเคเตอร์) จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ รายงานค่าในหน่วยร้อยละของปริมาณกรดมาลิก ดังสมการที่ 9

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml NaOH} \times \text{meq.wt.malic acid}}{\text{ml sample}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 9}$$

โดย	N NaOH	=	Sodium hydroxide concentration (0.1 N)
	ml NaOH	=	ปริมาณของสารละลายต่างมาตรฐาน (มิลลิลิตร)
	meq.wt	=	0.067
	ml sample	=	5 มิลลิลิตร

7. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คัดแปลงจากวิธีการของ Singleton *et al.* (1999) โดยทำการดูดสารละลายตัวอย่างที่สกัดแล้ว 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 6.5 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างเจือจาง 1 มิลลิลิตร เติมโพลี-ซีเตทรีเอเจนท์ 5 มิลลิลิตร และ 7% โซเดียมคาร์บอเนต 4 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปแช่น้ำแข็ง 30 นาที ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนหายเย็น นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 0-100 ส่วนในล้านส่วน รายงานค่าในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสดของตัวอย่าง

8. ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น คัดแปลงจากวิธีการของ Larsen and Watkins (1995) โดยนำน้ำทุเรียนปั่นที่ได้จากข้อ 5 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยยางซิลิโคนกันการรั่วซึมและปิดทับด้วยฟอลูมิเนียมเก็บรักษาขวดทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาวิเคราะห์ ระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน เมื่อต้องการวิเคราะห์นำขวดทดสอบมาละลายน้ำแข็ง จากนั้นอุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำกระบอกเก็บแก๊สมาเก็บแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Model Chrompack CP9002) คำนวณปริมาณเอทานอลโดยเทียบกับสารมาตรฐานเอทานอล รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

2.2 ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

เตรียมเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่มีน้ำหนักบรรจุ 250-350 กรัม เชื่อมต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ปรับระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 5 ระดับ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 kPa สมดุลด้วยแก๊สออกซิเจน 14-15 kPa และแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจวัดคุณภาพด้านต่าง ๆ ของทุเรียนตัดแต่งทุก ๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 24 วันของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

3. ศึกษาผลของบรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

นำผลการทดลองจากการทดลองที่ 2 มาใช้ในการกำหนดสภาวะบรรยากาศควบคุมที่ต้องการศึกษา

เตรียมเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่มีน้ำหนักบรรจุ 250-350 กรัม เชื่อมต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ปรับระดับแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 5 ระดับ คือ $5 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$, $5 \text{ kPaO}_2 + 15 \text{ kPaCO}_2$, $10 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$, $10 \text{ kPaO}_2 + 15 \text{ kPaCO}_2$ และสภาวะบรรยากาศปกติที่มีแก๊สออกซิเจน 20 kPa ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 kPa เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจสอบวัดคุณภาพด้านต่าง ๆ ของทุเรียนตัดแต่งทุก ๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 24 วันของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

4. ศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

เตรียมเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่มีน้ำหนักบรรจุ 250-350 กรัม ในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (PP) ขนาด $12 \times 18 \times 6$ เซนติเมตร ปิดผนึกด้านบนถาดพลาสติกที่บรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งแล้วด้วยแผ่นฟิล์ม 3 ชนิด คือ ฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15), ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPPE-17) และฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ใช้ทั่วไปทางการค้า (NPPE-05) เป็นสิ่งทดลองควบคุม (ภาพที่ 4) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจสอบวัดคุณภาพของทุเรียนตัดแต่งทุก ๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 28 วันของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และมีการตรวจสอบวัดคุณภาพเพิ่มเติม ดังนี้



ภาพที่ 4 ลักษณะการบรรจุทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลงในการทดลอง

4.1 ศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม

4.1.1 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ วัดโดยใช้เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ รุ่น PERMATRAN-W model 398 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา ตามมาตรฐาน ASTM F1249-06 (ASTM, 2008)

4.1.2 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน วัดโดยใช้เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeation analyzer) รุ่น OXTRAN® 2/21 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.1.3 อัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ วัดโดยใช้เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C® 4/41 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.1.4 ความหนาของแผ่นฟิล์ม วัดโดยใช้เครื่องวัดความหนา (digimatic thickness gage) รุ่น ID-C112BS บริษัท Mitutoyo Corp. ประเทศญี่ปุ่น

4.2 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่ง 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

4.3 ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่ง 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สเอทิลีน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) รายงานค่าในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm)

การวิเคราะห์ข้อมูล

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

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

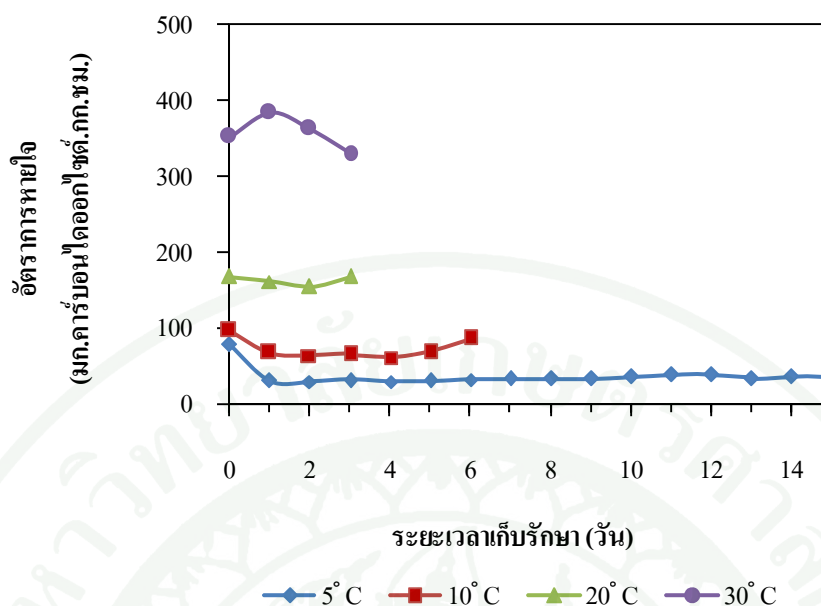
ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนกรกฎาคม 2553 ถึง เดือนสิงหาคม 2554 เป็นระยะเวลา 1 ปี 1 เดือน

ผลและวิจารณ์

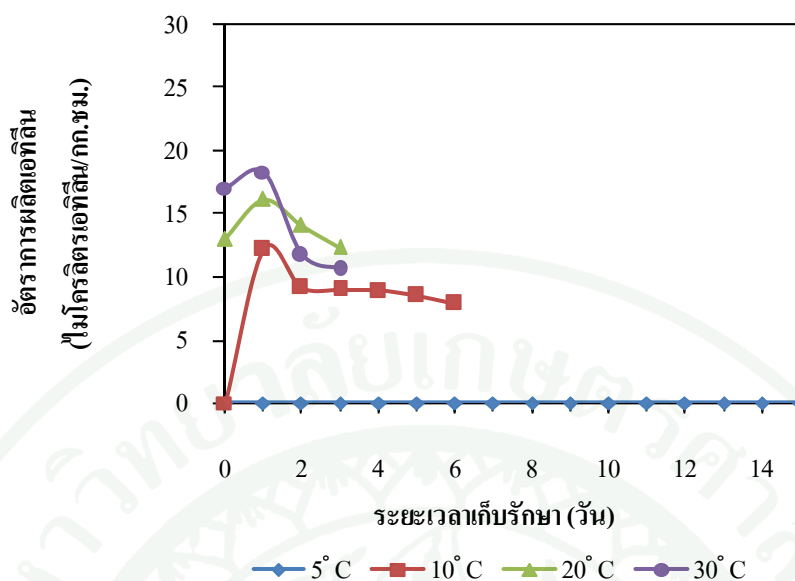
1. ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีลินของทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีลินของทุเรียนตัดแต่ง ที่อุณหภูมิ 5, 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลิตผลตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งมีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราปฏิกิริยาและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง โดยเฉพาะผลไม้ตัดแต่งที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น และเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย (จริงแท้, 2549) จากการทดลอง พบว่า ทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจต่ำสุด สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยยังเป็นที่ยอมรับในเรื่องจุลินทรีย์และไม่เกิดการพัฒนาของกลิ่นรสที่ผิดปกติ ส่วนทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการหายใจและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ทุเรียนตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง โดยมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6, 4 และ 4 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Voon *et al.* (2006) พบว่า เนื้อทุเรียนพันธุ์ D24 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 21 วัน โดยคุณภาพยังเป็นที่ยอมรับ ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้เพียง 3 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการทดลองของ ชนิด และคณะ (2550) พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลออัตราการหายใจ และมีคุณภาพดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษา ลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยา ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และชะลอการเน่าเสียได้



ภาพที่ 5 อัตราการหายใจของทุเรียนตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมีการตรวจพบการปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมาจากทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งให้เกิดกระบวนการสุกและการชราภาพ ส่งผลให้ทุเรียนตัดแต่งมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสเริ่มมีการอ่อนตัว และมีอายุการเก็บรักษาลดลง (ภาพที่ 6) อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ได้อีก เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรด, กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น ดังการทดลองของ Palapol *et al.* (2009) พบว่า มังคุดซึ่งเป็นผลไม้ประเภทไคลแมเทอริกมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของก้านผลและกลีบเลี้ยงเป็นสีน้ำตาล สีของเปลือกจะเริ่มเพิ่มความเข้มของสีแดง สายเลือดจนกระทั่งมีสีชมพูแดงเต็มผล เปลือกเริ่มอ่อนตัว ระดับความหวานของผลเพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Harvey, (1925) พบว่า กล้วยเมื่อได้รับเอทิลีนในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ สีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเนื้อสัมผัสเริ่มมีการอ่อนตัว ดังนั้นจึงควรมีการป้องกันการปลดปล่อยแก๊สเอทิลีน โดยการลดอุณหภูมิ การใช้สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน และการใช้สารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล



ภาพที่ 6 อัตราการผลิตเอทิลีนของทุเรียนตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

2. ผลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของทุเรียนตัดแต่ง

2.1 ผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

2.1.1 ลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง โดยการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2, 5, 10, 15 และ 20 kPa (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 0.03 kPa) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 kPa มีลักษณะนุ่มเริ่มและ ส่วนเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2, 5, 15 และ 20 kPa มีลักษณะและ (ตารางที่ 5) สำหรับคะแนนการเกิดกลิ่นหมัก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 kPa มีคะแนนการเกิดกลิ่นหมักน้อยที่สุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนลักษณะปรากฏ						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2 kPaO ₂	5±1	4±1	4 ^b ±0	4 ^b ±1	4±1	3±1	2±1
5 kPaO ₂	5±1	4±1	4 ^b ±0	3 ^a ±0	3±1	3±1	2±1
10 kPaO ₂	5±1	4±0	4 ^b ±0	4 ^b ±0	4±1	4±1	3±1
15 kPaO ₂	5±1	4±1	4 ^b ±1	3 ^a ±0	3±0	3±0	2±0
20 kPaO ₂	5±1	4±1	3 ^a ±0	3 ^a ±0	3±0	3±1	2±0
F-test	ns	ns	*	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ*, ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

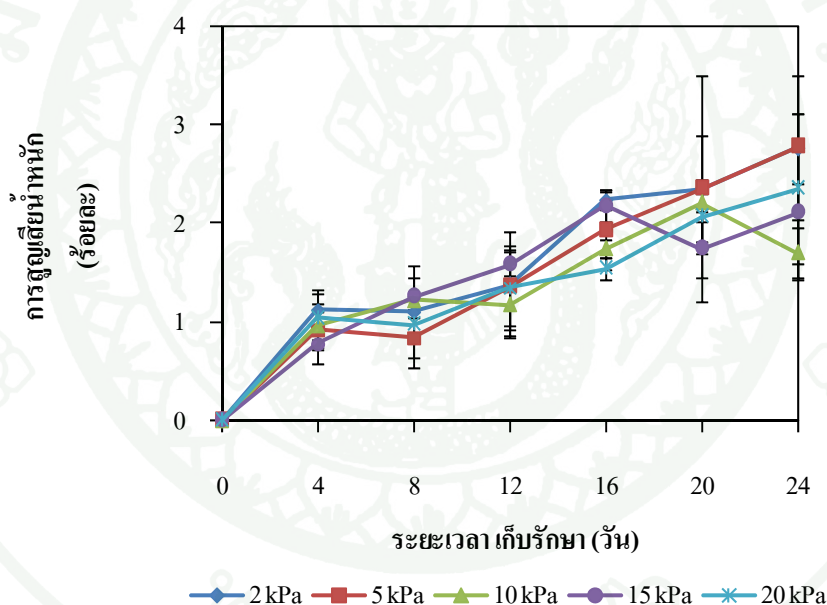
ตารางที่ 6 คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนการเกิดกลิ่นหมัก						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2 kPaO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	2±0	4±1	5±1
5 kPaO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	2±1	5±1	5±1
10 kPaO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	2±1	4±0	4±1
15 kPaO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	2±1	5±1	5±1
20 kPaO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	2±0	5±0	5±0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

2.1.2 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

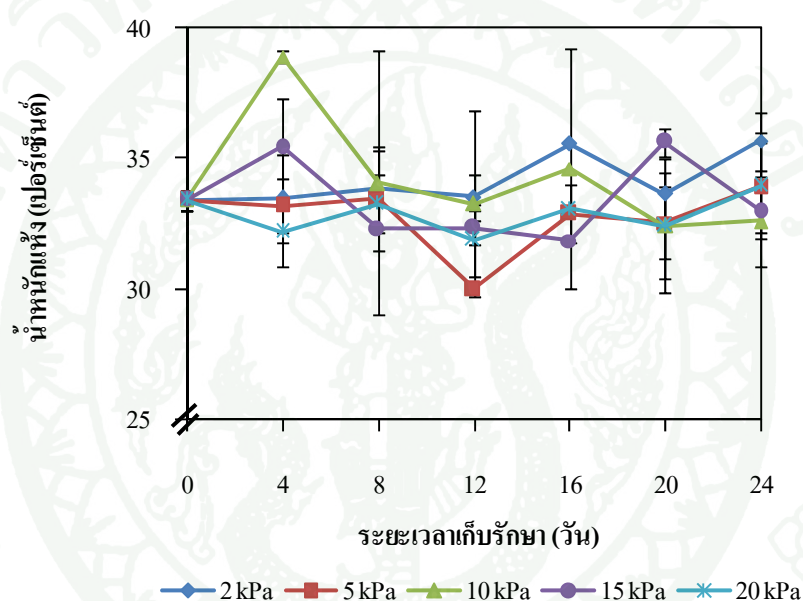
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 7) การสูญเสียน้ำหนักอาจมีสาเหตุมาจากการคายน้ำของผลิตภัณฑ์ เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ประกอบกับปริมาณความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มักมีอยู่สูงมากกว่าความชื้นของอากาศภายนอก ส่งผลให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียออกมายุ่งตลอดเวลา ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และมีรสชาติของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส เพราะทำให้ผิวเหี่ยวแห้ง ไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค (Harrod and Salunkhe, 1975)



ภาพที่ 7 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.3 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.77-34.19 เปอร์เซนต์ (ภาพที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่จะส่งออกได้ต้องมีน้ำหนักแห้งอย่างน้อย 32%



ภาพที่ 8 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 7) ส่วนปริมาณแก๊สออกซิเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า a^* และ b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา พบว่า เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศ

ที่มีแก๊สออกซิเจน 2 kPa มีค่า a^* น้อยกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 8) ส่งผลให้ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2 kPa มีค่าลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 9) ส่วนค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 15 kPa มีค่าน้อยกว่าเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 9) ซึ่งกระบวนการตัดแต่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เซลล์ผลไม้มักถูกทำลายจนเกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ ออกมาทำปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น การสูญเสียแคโรทีนอยด์ในแครอทตัดแต่งที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ lipoxidase เป็นต้น (Wiley, 1994) จากการศึกษาของ Hulme (1971) พบว่า แคโรทีนอยด์ (สารสีเหลือง-แดง) เป็นสารสีที่ค่อนข้างเสถียรอยู่ภายในเซลล์ ซึ่งเวลาและสภาวะการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์น้อยมาก แต่เมื่อถูกสับ หั่น ปั่นจนละเอียด แคโรทีนอยด์จะไม่เสถียรและถูกทำลายได้ง่ายด้วยแสง ออกซิเจน และความร้อน ส่งผลให้ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 15 kPa มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 10)

ตารางที่ 7 ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า L^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2 kPaO ₂	81.89±1.37	81.26±0.29	83.93±3.03	81.21±1.94	83.68±0.40	80.15±0.94	83.09±0.77
5 kPaO ₂	81.89±1.37	83.96±1.44	82.60±1.94	81.93±1.78	81.49±3.14	82.19±3.33	83.07±2.62
10 kPaO ₂	81.89±1.37	80.97±2.11	82.86±1.07	81.00±1.96	81.05±1.33	83.11±1.44	82.73±0.13
15 kPaO ₂	81.89±1.37	81.85±2.05	84.45±1.08	80.46±4.22	81.88±2.80	82.40±1.83	80.14±0.00
20 kPaO ₂	81.89±1.37	81.47±5.86	84.36±0.69	80.83±2.86	84.63±0.92	84.89±1.12	82.02±2.40
F-test		ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

ตารางที่ 8 ค่า a^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

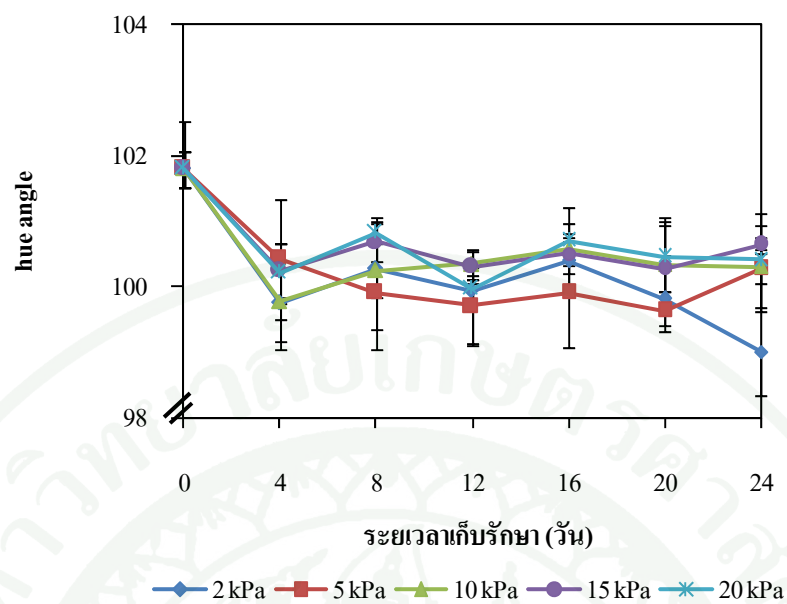
สภาวะ	ค่า a^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2 kPaO ₂	-6.66±0.19	-6.17±0.32	-6.55±0.57	-6.06±0.28	-6.32±0.24	-6.35±0.37	-5.69 ^a ±0.50
5 kPaO ₂	-6.66±0.19	-6.13±0.51	-6.10±0.77	-5.60±0.62	-6.12±0.37	-6.43±0.71	-6.38 ^{bc} ±0.34
10 kPaO ₂	-6.66±0.19	-5.93±1.01	-6.16±0.06	-6.23±0.70	-5.83±0.19	-6.71±0.09	-6.52 ^{bc} ±0.28
15 kPaO ₂	-6.66±0.19	-6.50±0.63	-6.40±0.69	-5.98±0.56	-6.00±0.19	-6.58±0.44	-6.01 ^{ab} ±0.14
20 kPaO ₂	-6.66±0.19	-6.09±0.63	-6.79±0.40	-6.23±0.23	-6.33±0.53	-6.60±0.63	-6.79 ^c ±0.29
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ns ไม่แตกต่าง
กันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

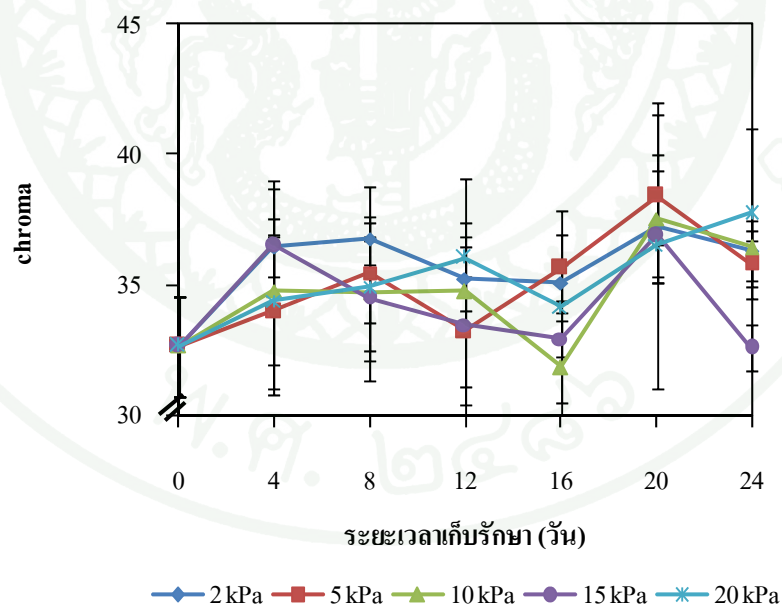
ตารางที่ 9 ค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า b^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
2 kPaO ₂	31.96±1.12	35.92±1.17	36.17±0.12	34.70±1.31	34.49±0.70	36.69±2.14	35.86 ^b ±1.13
5 kPaO ₂	31.96±1.12	33.41±2.93	34.92±3.31	32.73±2.04	35.09±1.32	37.86±3.03	35.24 ^b ±0.92
10 kPaO ₂	31.96±1.12	34.25±3.86	34.13±1.16	34.18±4.26	31.29±2.14	36.92±2.52	35.85 ^b ±0.59
15 kPaO ₂	31.96±1.12	35.93±2.42	33.87±3.10	32.92±3.37	32.37±0.66	36.30±0.29	32.03 ^a ±0.91
20 kPaO ₂	31.96±1.12	33.83±2.41	35.55±2.40	35.48±1.37	33.55±3.67	35.92±5.45	37.12 ^b ±3.25
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ns ไม่แตกต่าง
กันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน



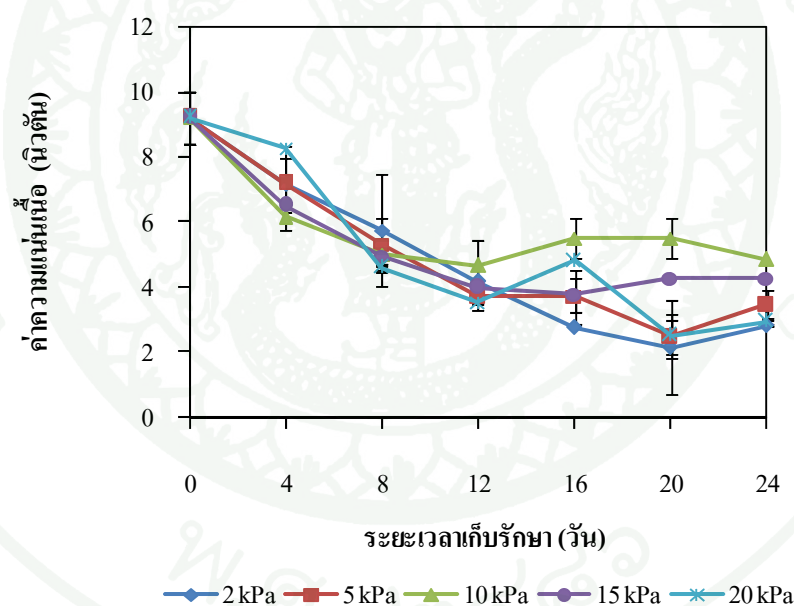
ภาพที่ 9 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.5 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

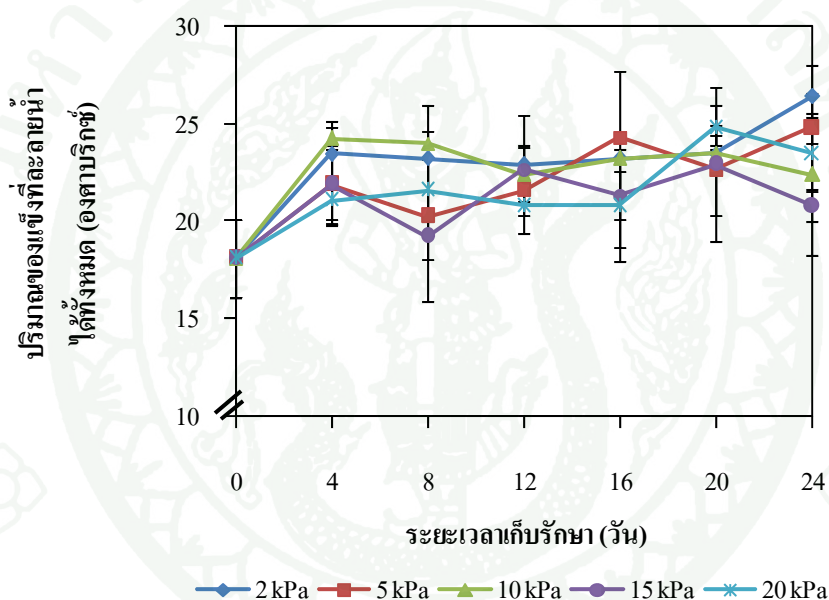
จากการศึกษาความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 kPa มีค่าความแน่นเนื้อสูงสุด ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 11) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน จากการศึกษาของ Noguchi *et al.* (1998) พบว่า สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารตัวกลางในกระบวนการ glycolysis ได้ โดยการลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทีเอ็น การเกิดอาการสีน้ำตาล และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kader (1994) พบว่า สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจน 3-5 kPa สามารถลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทีเอ็น และชะลอการสุกได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องคำนึงถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ และความบริบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ด้วย



ภาพที่ 11 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 12) การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งอาจเกิดจากการที่แป้งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล เมื่อทุเรียนเริ่มสุกจะรสหวานเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากทุเรียนมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากที่สุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ (Morton, 1978)

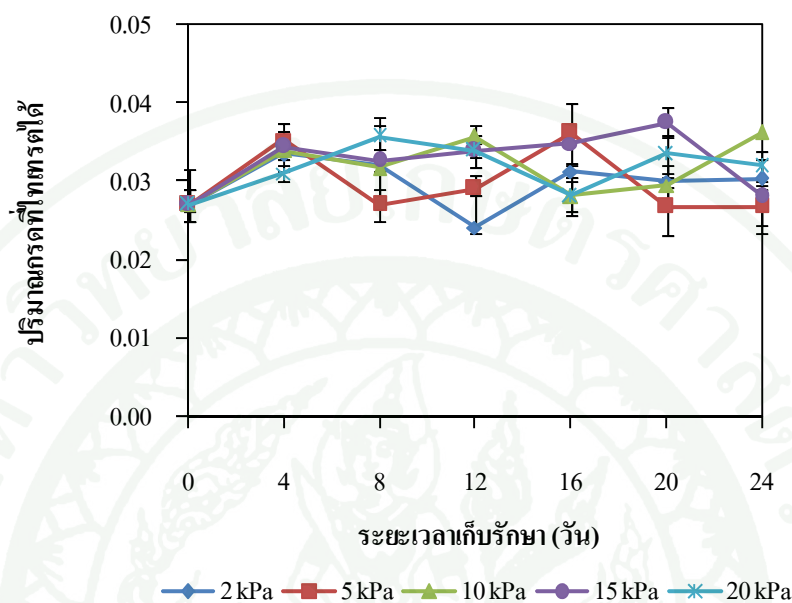


ภาพที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 kPa มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

มากที่สุด ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 13) โดยทั่วไปผลไม้ที่ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูง แต่เมื่อผลไม้สุก ปริมาณกรดจะลดลงทำให้รสชาติดีขึ้น



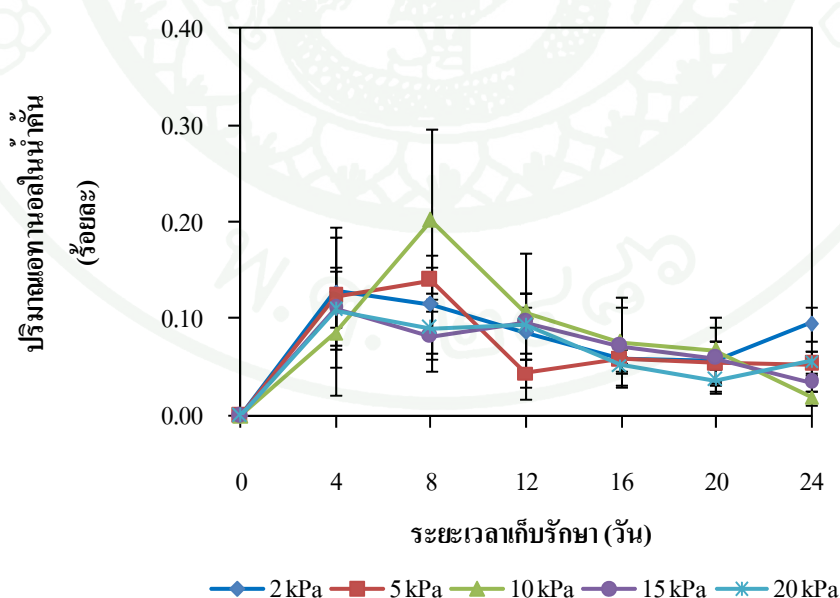
ภาพที่ 13 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.1.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด จากการศึกษาของจิ้งแท้ (2550) พบว่า อาการสีน้ำตาลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ดังนั้นการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำจึงสามารถลดการเกิดอาการสีน้ำตาลได้ (Noguchi *et al.*, 1998)

2.1.9 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2 kPa มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 14) จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยความสามารถในการทนแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อุณหภูมิที่เก็บรักษา และระยะเวลาที่อยู่ในสภาวะบรรยากาศนั้น ๆ (Pesis, 2005) จากการศึกษาของ Singh and Pal (2008) พบว่า สภาวะบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกว่า 5 kPaO₂ สามารถชักนำให้เกิดกระบวนการหมักในผลไม้ได้ ส่วน Jacxsens *et al.* (2001) พบว่า สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกว่า 2 kPaO₂ จะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เนื่องจากการสะสมเอทานอลและแอซิโตลดีไฮด์ นอกจากนี้การเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำเป็นเวลานานเป็นสาเหตุของการสูญเสียกลิ่นรสในผลไม้ได้ เช่น สตรอเบอร์รี่ (Ke *et al.*, 1991) มะละกอ (Yahia *et al.*, 1992) และมะม่วง (Bender *et al.*, 2000)



ภาพที่ 14 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2, 5, 10, 15 และ 20 kPa ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า แก๊สออกซิเจนมีผลต่อปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งมากกว่าคุณภาพด้านอื่น ๆ โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งมีความสามารถในการทนแก๊สออกซิเจนได้ต่ำสุด 10 kPa ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ทำให้เกิดการหมักและการสะสมเอทานอลในเนื้อเยื่อ อีกทั้งยังคงคุณภาพในด้านความแน่นเนื้อ และปริมาณกรดที่ไคเตรดได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งได้ดีกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศอื่น ๆ

2.2 ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

2.2.1 ลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง โดย การเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0, 5, 10, 15 และ 20 kPa (แก๊สออกซิเจนในบรรยากาศ 14-15 kPa) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0, 5 และ 10 kPa มีลักษณะนิ่มเริ่มและ ส่วนเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 15 และ 20 kPa มีลักษณะละ (ตารางที่ 10) สำหรับคะแนนการเกิดกลิ่นหมักพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPa มีคะแนนการเกิดกลิ่นหมักน้อยที่สุด (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนลักษณะปรากฏ						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
0 kPaCO ₂	5±0	4±1	3±1	2±1	2±0	2±0	2±0
5 kPaCO ₂	5±0	4±1	3±1	3±1	3±0	2±0	2±1
10 kPaCO ₂	5±0	4±0	3±1	3±1	3±1	2±0	2±0
15 kPaCO ₂	5±0	3±0	3±1	3±1	2±1	2±0	1±1
20 kPaCO ₂	5±0	4±1	3±1	3±1	2±1	1±0	1±1
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

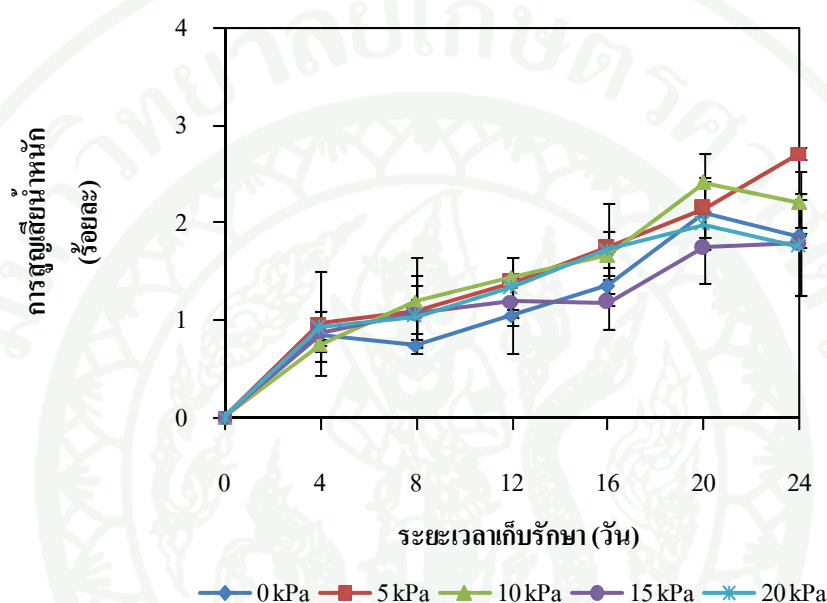
ตารางที่ 11 คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนการเกิดกลิ่นหมัก						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
0 kPaCO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	3±1	5±0	5±0
5 kPaCO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	3±0	4±0	5±0
10 kPaCO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	3±1	4±1	4±0
15 kPaCO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	3±1	4±0	5±0
20 kPaCO ₂	1±0	1±0	1±0	1±0	3±1	4±1	5±0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

2.2.2 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

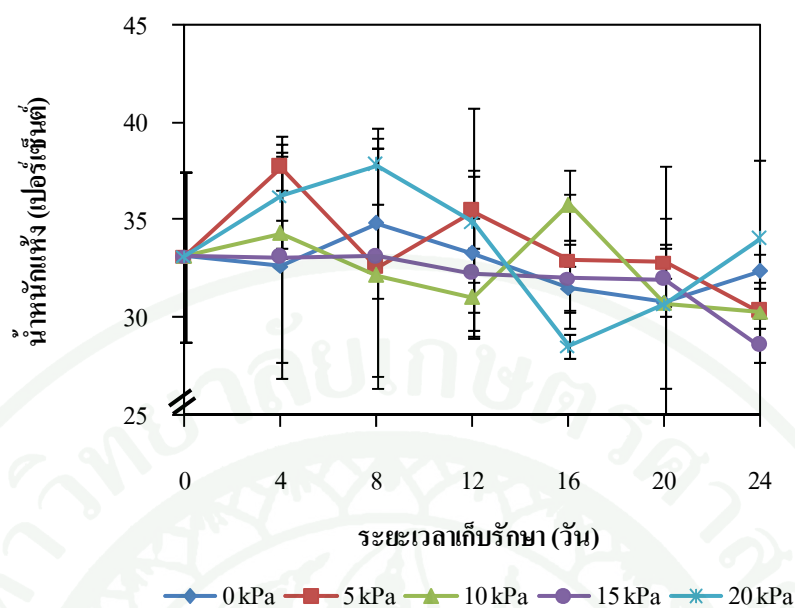
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.3 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 16) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.03-33.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่จะส่งออกได้ต้องมีน้ำหนักแห้งอย่างน้อย 32%



ภาพที่ 16 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 12, 13 และ 14) ส่งผลให้ค่า hue angle และค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 100.01-100.22 และ 35.62-36.15 ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และ 18)

ตารางที่ 12 ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า L^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
0 kPaCO ₂	83.93±1.30	84.91±0.78	81.07±0.14	81.93±1.67	81.14±1.01	83.99±2.96	84.84±0.28
5 kPaCO ₂	83.93±1.30	82.79±0.57	83.46±2.41	81.99±0.65	83.91±2.33	83.81±1.72	84.37±2.67
10 kPaCO ₂	83.93±1.30	84.61±1.80	83.42±1.28	84.18±2.59	83.66±1.98	83.13±1.20	83.48±1.27
15 kPaCO ₂	83.93±1.30	82.79±0.12	81.36±0.63	82.40±0.65	83.95±2.33	84.46±0.13	84.45±4.24
20 kPaCO ₂	83.93±1.30	82.81±1.24	81.72±1.52	82.45±0.12	84.49±1.90	84.60±2.51	83.90±2.86
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

ตารางที่ 13 ค่า a^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

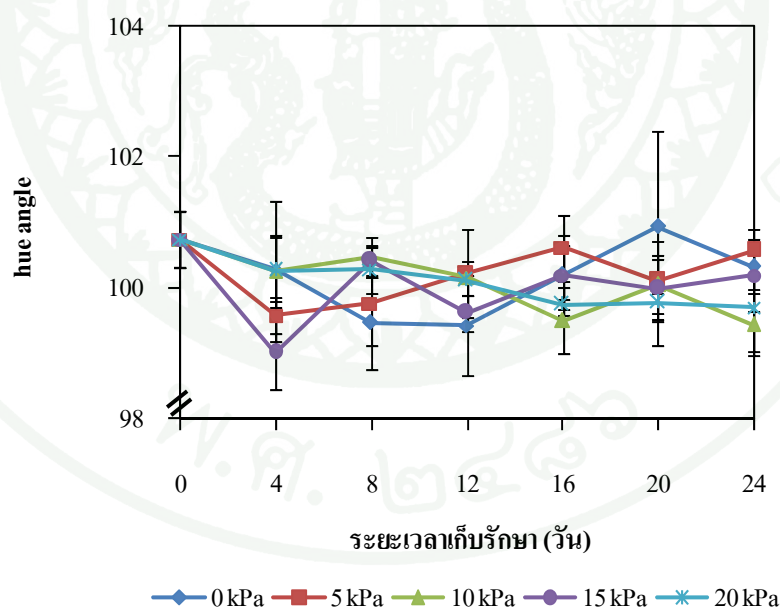
สภาวะ	ค่า a^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
0 kPaCO ₂	-6.91±0.27	-6.49±0.38	-6.03±0.12	-6.40±0.52	-5.98±0.27	-6.26±0.37	-6.88±0.09
5 kPaCO ₂	-6.91±0.27	-6.38±0.22	-6.04±0.25	-6.55±0.47	-6.57±0.32	-6.74±0.39	-6.34±0.55
10 kPaCO ₂	-6.91±0.27	-6.63±0.22	-6.10±0.13	-6.15±0.13	-5.94±0.42	-6.46±0.14	-6.11±0.36
15 kPaCO ₂	-6.91±0.27	-6.13±0.29	-6.14±0.56	-6.08±0.27	-6.36±0.13	-6.33±0.40	-6.05±0.63
20 kPaCO ₂	-6.91±0.27	-6.49±0.27	-6.83±0.32	-6.35±0.40	-5.73±0.37	-5.98±0.22	-6.36±0.29
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน

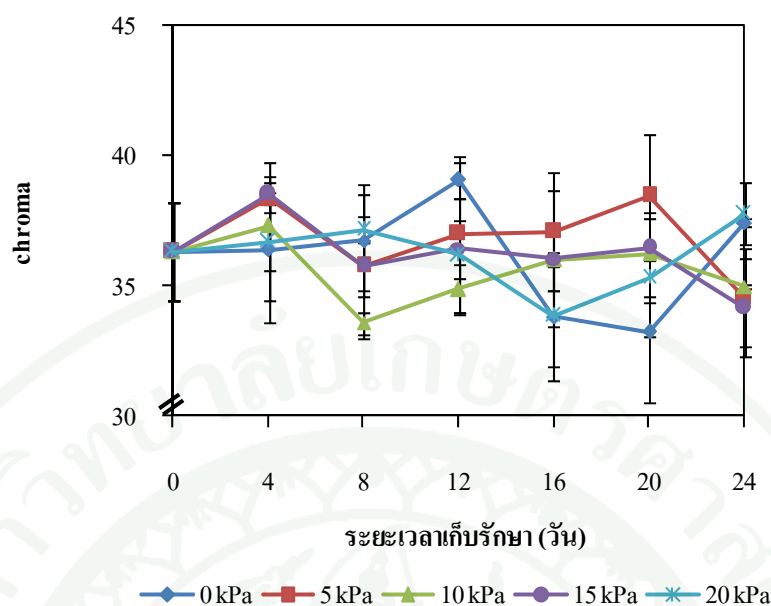
ตารางที่ 14 ค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า b^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
0 kPaCO ₂	36.57±2.43	35.80±1.95	36.24±2.21	38.56±0.71	33.30±1.89	32.64±2.71	37.78±1.69
5 kPaCO ₂	36.57±2.43	37.84±0.20	35.25±2.78	36.43±2.98	36.47±2.21	37.89±2.38	33.97±1.81
10 kPaCO ₂	36.57±2.43	36.72±1.71	33.03±0.45	34.34±0.98	35.51±1.16	35.66±1.63	36.92±4.21
15 kPaCO ₂	36.57±2.43	38.72±1.24	35.25±0.89	35.92±1.10	35.50±2.65	35.93±2.07	33.64±1.78
20 kPaCO ₂	36.57±2.43	36.10±3.13	37.68±1.98	35.63±2.14	33.37±2.43	34.82±2.32	37.25±1.26
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปรับสมดุลด้วยอากาศปกติ และแก๊สไนโตรเจน



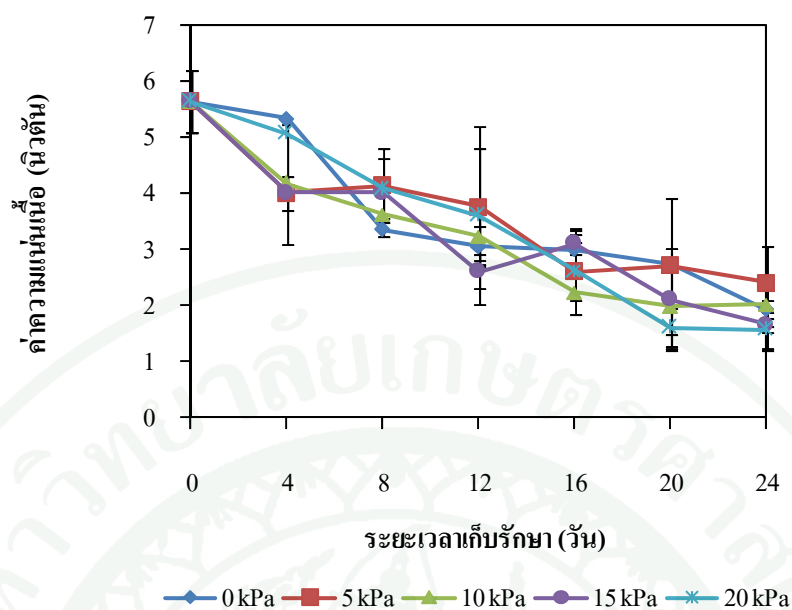
ภาพที่ 17 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.5 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

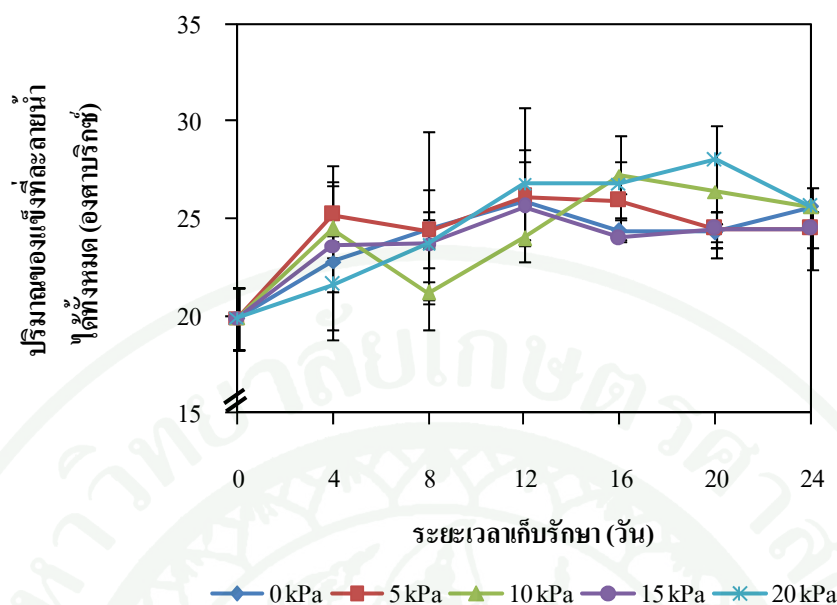
จากการศึกษาความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 19) โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ ($p > 0.05$) ความอ่อนนุ่มของเนื้อเชื่อดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงจากเพกตินที่ไม่ละลายน้ำมาเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ หรือการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่สะสมไปเป็นน้ำตาล (Mattoo *et al.*, 1975) นอกจากนี้การนึ่งและการอ่อนตัวของผลไม้ อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของ middle lamella และผนังเซลล์ชั้นต้น โดยการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนนุ่มของผลไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zauberman *et al.* (1972) พบว่า การนึ่งและการอ่อนตัวของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของเพกตินที่ละลายน้ำและเอนไซม์ pectolytic ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยเพกตินได้ และจากการศึกษา พบว่า กระบวนการตัดแต่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการผลิเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ง่าย (Wiley, 1994) ดังนั้นจึงเก็บรักษาเนื้อทุเรียนตัดแต่งในที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดปฏิกิริยาทางชีวเคมีลงและยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น



ภาพที่ 19 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

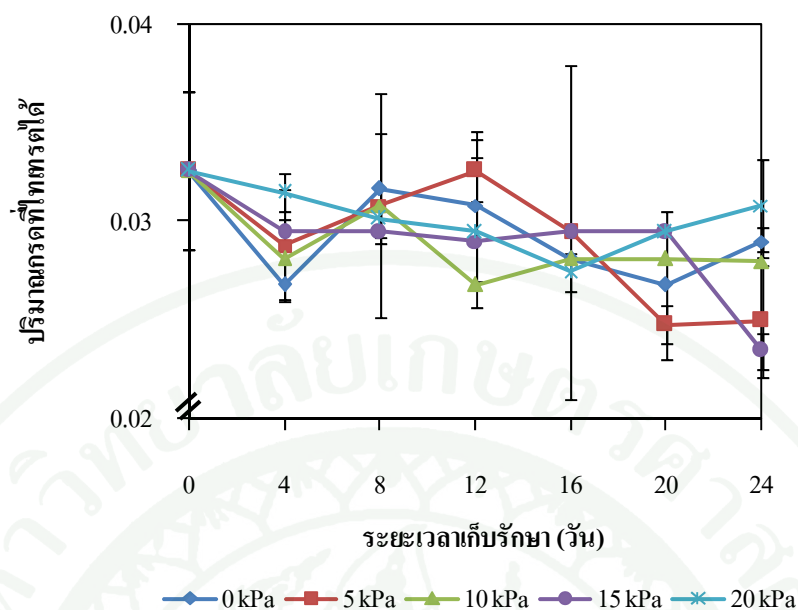
จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 20) จากการศึกษาของ Artes-Hernandez *et al.* (2007) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เก็บรักษา และจากการศึกษาของ Singh and Pal (2008) พบว่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของฝรั่ง



ภาพที่ 20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 20 kPa มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากที่สุด ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 21) จากการศึกษาของ Kader (1989) พบว่า การเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ การสูญเสียปริมาณกรด การเน่าของผล อีกทั้งยังสามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีนและกระบวนการหายใจของผลผลิตได้ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ได้ ทำให้กระบวนการหายใจไม่เป็นไปตามปกติ ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้หลายชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Holcroft and Kader (1999) พบว่า ปริมาณกรดซิตริกและกรดมาลิกในสตรอเบอรี่พันธุ์ Selva ลดลง เมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง แต่อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงชนิดของผลผลิต ภัยและความบริบูรณ์ของผลด้วย



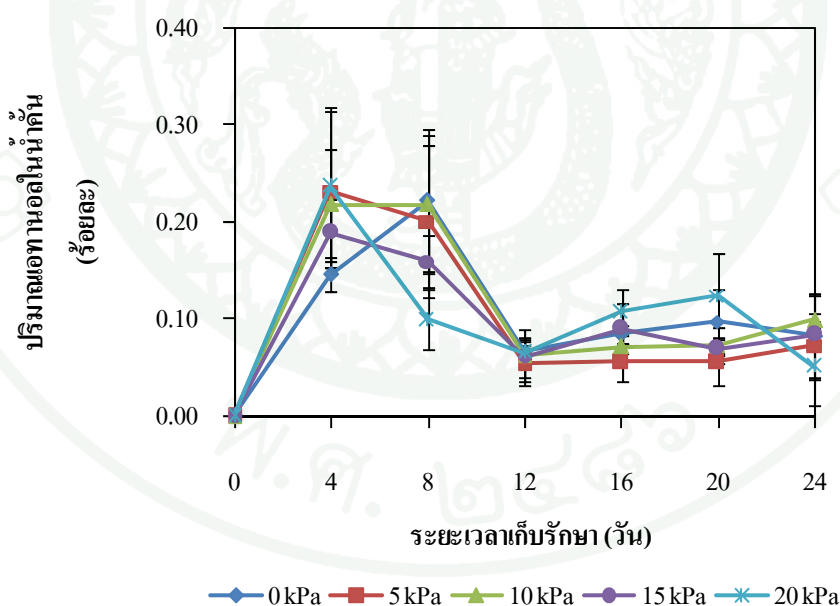
ภาพที่ 21 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.2.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด จากการศึกษาก่อนของ Takamiya *et al.* (2000) พบว่า การสูญเสียคลอโรฟิลล์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการสีน้ำตาล นอกจากนี้บาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการสีน้ำตาลและทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้น (จรัสแท้, 2550)

2.2.9 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีปริมาณเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง ($p > 0.05$) (ภาพที่ 22) จากการศึกษาของ Watada and Qi (1999); Kader (1997) พบว่า बादผลจากการะบวนการตัดแต่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการหมักและการสะสมของเอทานอลในเนื้อเยื่อส่งผลให้ผักและผลไม้ตัดแต่งเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Pe'rez and Sanz 2001; Wszelaki and Mitcham 2000) นอกจากนี้การเกิดกระบวนการหมักยังอาจเกิดได้จากสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดอาการสะท้านหนาว อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม หรือสภาวะบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม และอาจมีสาเหตุจากเชื้อจุลินทรีย์หรือจากปัจจัยภายในต่าง ๆ เช่น การสุกและการเสื่อมสภาพของผลไม้ (Purvis, 1997) ซึ่งก็สอดคล้องกับการทดลองดังกล่าว



ภาพที่ 22 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0, 5, 10, 15 และ 20 kPa ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ทุเรียนตัดแต่งมีความสามารถในการทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด 10 kPa มีอายุการเก็บรักษา 16 วัน โดยที่คุณภาพด้านลักษณะปรากฏและการเกิดกลิ่นหมักยังคงเป็นที่ยอมรับ แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานคุณภาพการรับประทานจะลดลง โดยเนื้อทุเรียนจะมีลักษณะนุ่มเริ่มและ และมีกลิ่นหมักรุนแรง ส่วนคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นในการศึกษาผลของการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศควบคุมจึงได้นำผลการทดลองจากข้อ 2.1 และ 2.2 มาใช้ในการเลือกบรรยากาศควบคุมที่จะศึกษาเพื่อให้ได้บรรยากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง

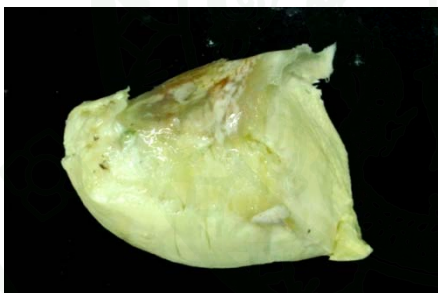
3. ผลของบรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

3.1 ลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า คะแนนลักษณะปรากฏมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส 10 kPaO₂+10 kPaCO₂ มีคะแนนลักษณะปรากฏมากที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานคุณภาพการรับประทานจะลดลง (ตารางที่ 15) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส 5 kPaO₂+10 kPaCO₂, 5 kPaO₂+15 kPaCO₂ และ 10 kPaO₂+10 kPaCO₂ มีลักษณะนุ่มเริ่มและ ส่วนเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส 10 kPaO₂+15 kPaCO₂ และบรรยากาศปกติ มีลักษณะและ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 23) สำหรับคะแนนการเกิดกลิ่นหมัก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส 10 kPaO₂+10 kPaCO₂ มีคะแนนการเกิดกลิ่นหมักน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 16)



วันแรกของการเก็บรักษา

วันที่ 24 ของการเก็บรักษาที่ $5 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$ วันที่ 24 ของการเก็บรักษาที่ $5 \text{ kPaO}_2 + 15 \text{ kPaCO}_2$ วันที่ 24 ของการเก็บรักษาที่ $10 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$ วันที่ 24 ของการเก็บรักษาที่ $10 \text{ kPaO}_2 + 15 \text{ kPaCO}_2$ 

Air

ภาพที่ 23 เนื้อเยื่อไตตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมที่สภาวะต่าง ๆ ในวันที่ 1 และวันที่ 24 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 15 คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนลักษณะปรากฏ						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	5±0	4±1	4±1	3±0	2 ^a ±1	2±1	2±1
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	5±0	4±1	3±1	3±1	2 ^a ±0	2±0	2±1
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	5±0	4±0	4±1	4±1	4 ^c ±1	3±1	2±0
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	5±0	4±1	4±1	3±1	3 ^b ±0	2±1	1±0
Air	5±0	3±0	3±1	3±0	2 ^a ±0	2±1	1±0
F-test		ns	ns	ns	**	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, **, ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99,
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

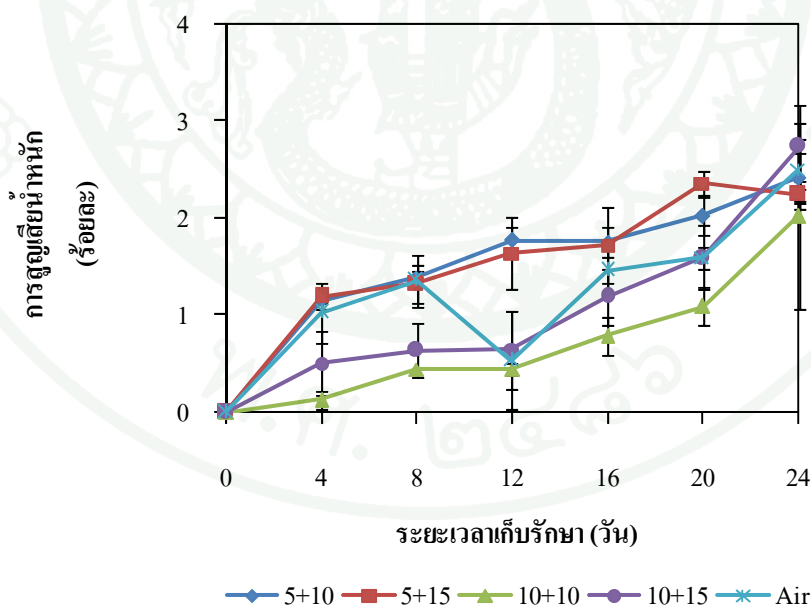
ตารางที่ 16 คะแนนการเกิดกลิ่นหมักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	คะแนนการเกิดกลิ่นหมัก						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	1±0	1±0	1 ^a ±0	1±1	2±1	3 ^a ±1	3 ^a ±1
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	1±0	1±0	1 ^a ±0	2±1	2±0	3 ^a ±1	5 ^b ±1
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	1±0	1±0	1 ^a ±0	1±0	2±1	2 ^a ±1	3 ^a ±1
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	1±0	1±0	1 ^a ±0	1±1	3±2	4 ^b ±1	5 ^b ±0
Air	1±0	1±0	2 ^b ±1	2±1	4±0	5 ^b ±0	5 ^b ±0
F-test		ns	*	ns	ns	*	**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, *, **, ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99
ตามลำดับ, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

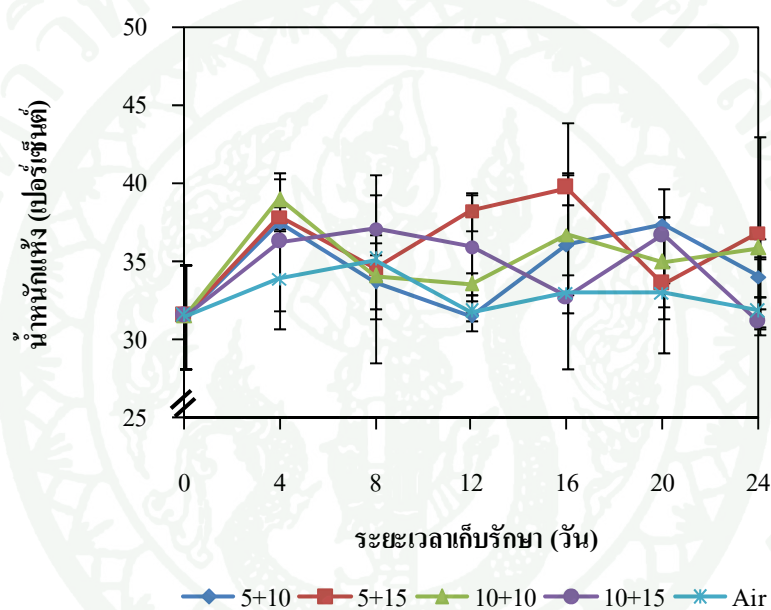
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส $10 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 24) จากการศึกษาของ Kader (2002) พบว่า การเก็บรักษาผลผลิตในบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตได้ เนื่องจากการเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมทำให้ผลผลิตมีกระบวนการเมตาบอลิซึมลดลง และลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพได้ (จริงแท้, 2549) จากการทดลองของ Saeed *et al.* (2006) พบว่า การเก็บรักษากลับในบรรยากาศควบคุม สามารถลดอัตราการผลิตเอทิลิน และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพ เช่น การสุก ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ ส่วนการทดลองของ Kanyarat *et al.* (2003) พบว่า การเก็บรักษามะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในบรรยากาศควบคุม สามารถลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลิน และชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อได้



ภาพที่ 24 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ $5 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$

3.3 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

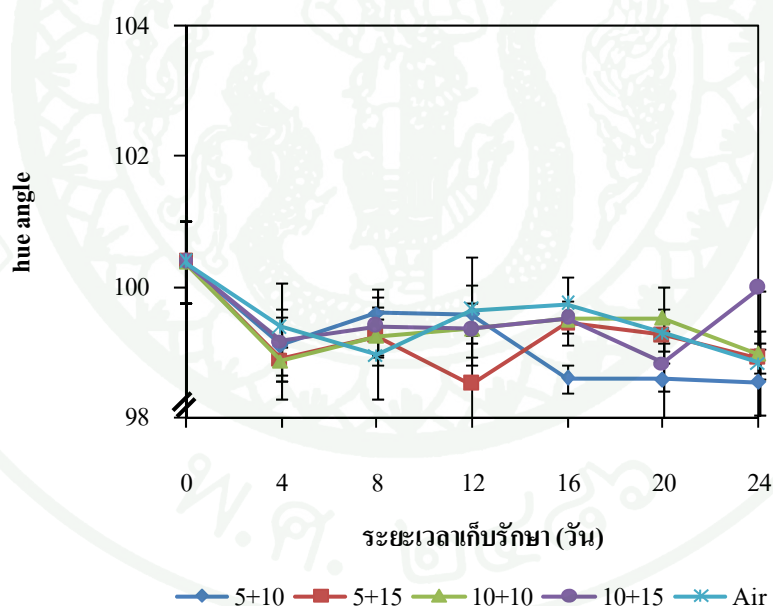
จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 25) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.84-36.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่จะส่งออกต้องมีน้ำหนักแห้งอย่างน้อย 32%



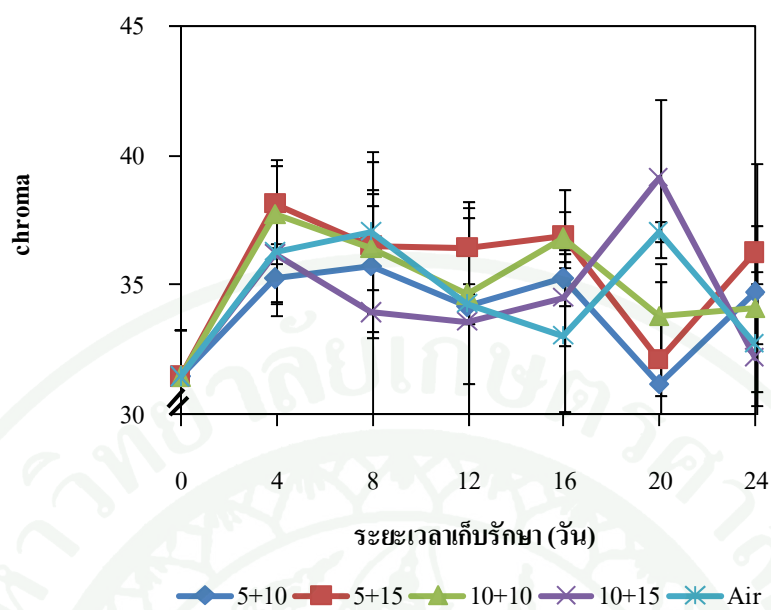
ภาพที่ 25 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂

3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 17, 18 และ 19) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน เช่นเดียวกับค่า hue angle และค่า chroma ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 99.19-99.51 และ 33.96-35.40 ตามลำดับ (ภาพที่ 26 และ 27) จากการทดลองของ Kader (1994) พบว่า การเก็บรักษาทุเรียนในบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5-20 kPa และแก๊สออกซิเจน 10 kPa หรือต่ำกว่า สามารถชะลอการสุกได้ ส่วนการทดลองของ Kanyarat *et al.* (2003) พบว่า การเก็บรักษามะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPa สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและเนื้อได้ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงชนิด วัช และความบริสุทธิ์ของผลิตผลด้วย



ภาพที่ 26 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂



ภาพที่ 27 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂

ตารางที่ 17 ค่า L* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า L*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	85.40±2.30	83.26±3.13	82.80±1.55	84.12±0.59	84.59±3.93	81.45±1.59	85.02±1.68
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	85.40±2.30	82.84±1.90	82.35±0.89	80.89±0.82	83.98±1.20	82.68±0.78	84.19±1.64
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	85.40±2.30	84.49±1.10	82.91±0.98	82.61±1.72	84.36±0.63	82.30±1.09	84.78±2.27
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	85.40±2.30	82.62±2.65	83.02±1.84	84.08±2.60	83.82±0.53	81.60±1.30	83.23±0.10
Air	85.40±2.30	81.85±1.49	82.52±0.57	83.22±1.04	83.36±1.44	83.80±0.81	82.36±0.85
F-test		ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 18 ค่า a* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า a*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	-5.65±0.35	-5.58±0.47	-5.94±0.24	-5.69±0.37	-5.26±0.27	-4.62 ^a ±0.53	-5.15±0.27
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	-5.65±0.35	-5.89±0.35	-5.85±0.51	-5.38±0.58	-6.04±0.09	-5.15 ^{ab} ±0.26	-5.60±0.50
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	-5.65±0.35	-5.80±0.23	-5.84±0.19	-5.60±0.34	-6.07±0.12	-5.58 ^{bc} ±0.40	-5.30±0.31
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	-5.65±0.35	-5.74±0.24	-5.53±0.74	-5.45±0.65	-5.70±0.36	-5.99 ^c ±0.20	-5.71±0.35
Air	-5.65±0.35	-5.90±0.32	-5.74±0.07	-5.73±0.41	-5.58±0.49	-5.98 ^c ±0.15	-4.99±0.38
F-test		ns	ns	ns	ns	**	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

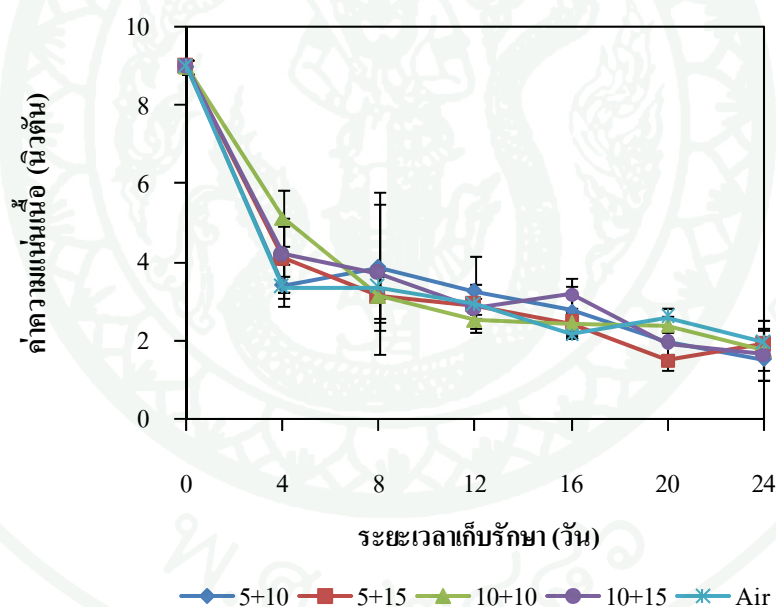
ตารางที่ 19 ค่า b* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สภาวะ	ค่า b*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	30.93±1.88	34.80±1.32	35.25±2.79	33.68±0.56	34.84±0.99	30.85 ^a ±4.63	34.32±0.86
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	30.93±1.88	37.67±1.68	36.05±3.24	36.04±1.77	36.41±1.83	31.70 ^{ab} ±1.37	35.79±3.47
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	30.93±1.88	37.29±1.88	35.97±1.65	34.16±3.41	36.29±1.06	33.34 ^{ab} ±1.33	33.69±3.19
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	30.93±1.88	35.75±2.00	33.48±4.70	33.14±3.96	34.05±1.83	38.69 ^c ±3.07	31.69±2.44
Air	30.93±1.88	35.82±1.90	36.59±3.17	33.79±0.82	32.58±2.86	36.59 ^{bc} ±0.34	32.33±2.44
F-test		ns	ns	ns	ns	*	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.5 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

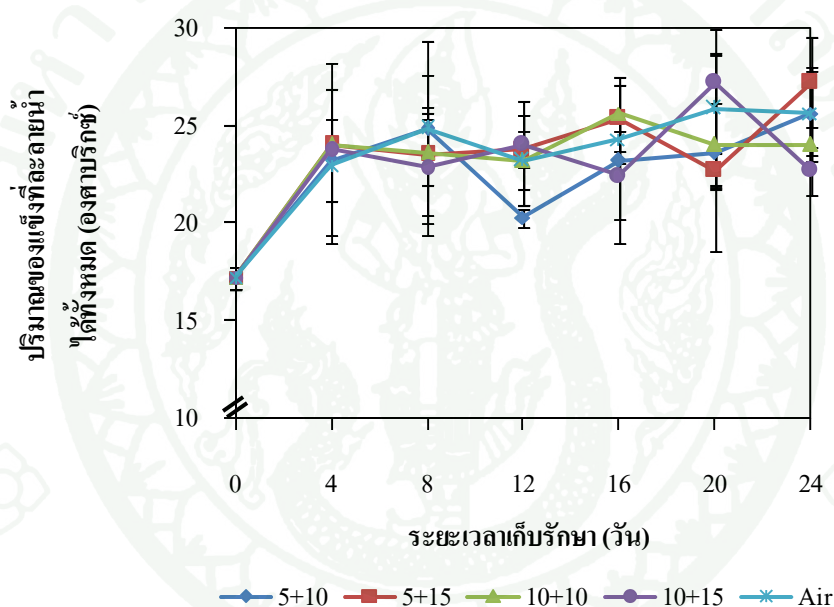
จากการศึกษาค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 28) ความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงจากเพกตินที่ไม่ละลายน้ำมาเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของ middle lamella และผนังเซลล์ชั้นต้น โดยการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของผลไม้ (Mattoo *et al.*, 1975; Huber 1983) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zauberman *et al.* (1972) พบว่า การนึ่งและการอ่อนตัวของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของเพกตินที่ละลายน้ำและเอนไซม์ pectolytic ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยเพกตินได้



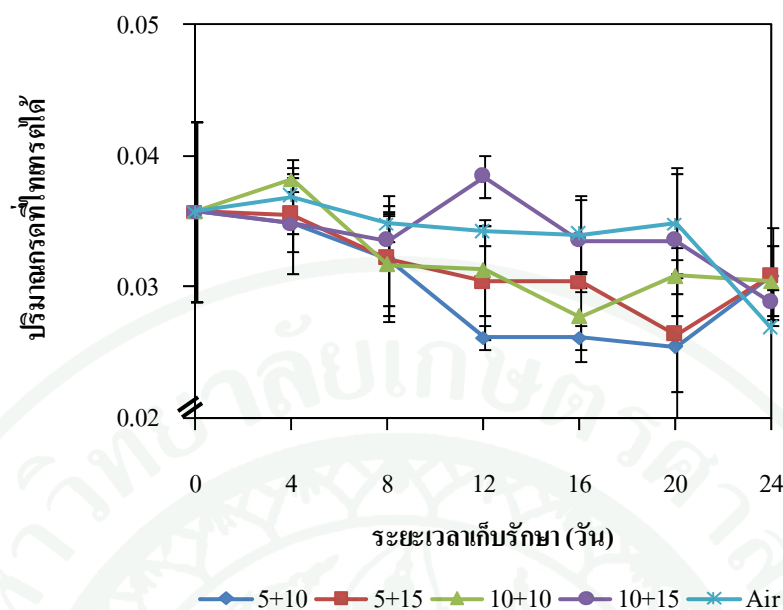
ภาพที่ 28 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂

3.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 29) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง พบว่า มีแนวโน้มลดลง และไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน ($p > 0.05$) (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 29 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂



ภาพที่ 30 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 5+10 คือ 5 kPaO₂+10 kPaCO₂

3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 20) การเพิ่มสูงขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอาจมีสาเหตุมาจากการพัฒนาจากระยะบิรูรณ์เข้าสู่ระยะสุก ดังการศึกษาของ Kulkarni and Aradhya (2005) พบว่า สารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเมื่อผลิตผลเข้าสู่ระยะสุก เช่น กล้วย ฝรั่ง ทับทิม เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Takamiya *et al.* (2000) พบว่า การสูญเสียคลอโรฟิลล์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการสีน้ำตาล นอกจากนี้การเกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งก็เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการสีน้ำตาล และทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นได้ (จริงแท้, 2550) ดังการทดลองของ Artes-Hernandes *et al.* (2007) พบว่า เลมอนผ่าซีกมีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ซึ่งมีสาเหตุมาจากบาดแผลที่พืชได้รับจากกระบวนการตัดแต่ง

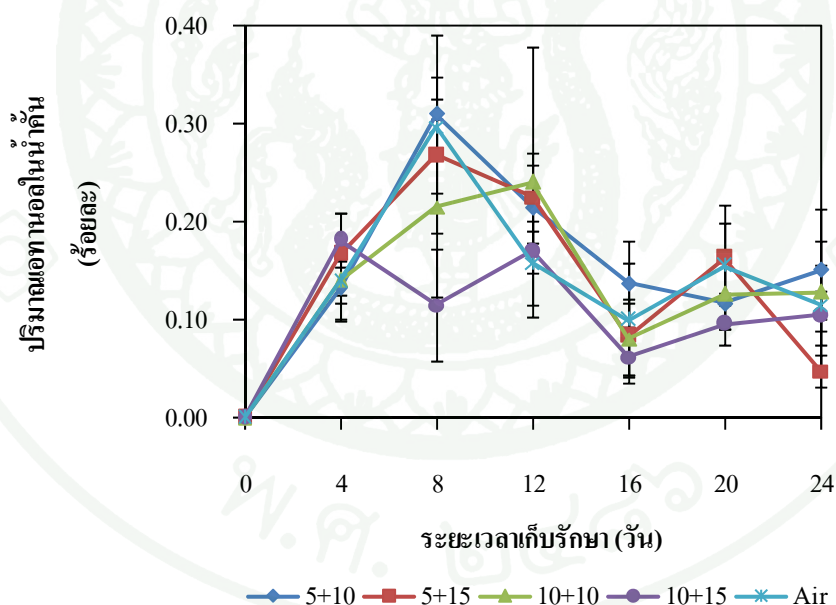
ตารางที่ 20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด)						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
5 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	2.71±0.11	3.84±0.61	0.94±0.63	0.32±0.10	0.89±0.89	0.30±0.00	0.22±0.00
5 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	2.71±0.11	4.35±0.83	0.61±0.32	0.73±0.89	N/A	0.15±0.00	0.04±0.00
10 kPaO ₂ +10 kPaCO ₂	2.71±0.11	4.37±0.17	0.23±0.32	1.04±0.54	0.35±0.17	0.37±0.26	N/A
10 kPaO ₂ +15 kPaCO ₂	2.71±0.11	4.23±0.93	0.25±0.12	0.82±0.51	N/A	0.19±0.13	N/A
Air	2.71±0.11	4.37±0.48	0.46±0.39	1.40±0.30	0.42±0.56	N/A	N/A
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

3.8 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา โดยวันที่ 8 ของการเก็บรักษา เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส $5 \text{ kPaO}_2 + 10 \text{ kPaCO}_2$ มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากที่สุด ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 31) จากการศึกษาของ Pesis (2005) พบว่า การเก็บรักษาผลิตผลในบรรยากาศควบคุมที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดกระบวนการหมักและเกิดการสะสมของปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติและไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากการศึกษาของ Golias and Bottcher (2002) พบว่า แอปเปิ้ลที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 8 kPa ร่วมกับแก๊สออกซิเจน 1 kPa มีการสะสมของปริมาณอะเซทัลดีไฮด์มากกว่าในแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 1 kPa โดยไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 31 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 kPaO₂ ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPaCO₂ มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาคุณภาพของทุเรียนตัดแต่งได้ดีที่สุด โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีแก๊ส 10 kPaO₂+10 kPaCO₂ มีคะแนนการเกิดกลิ่นหมักน้อยที่สุด และยังคงมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 16 วัน รวมทั้งยังสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลได้ การเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าสภาวะบรรยากาศปกติ สามารถชะลอการเสื่อมและคงคุณภาพทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น (Huxsoll and Bolin, 1989; Beaudry, 1999) จากการศึกษาของ Kader (1994) พบว่า การเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5-20 kPa สามารถชะลอการสุกได้ ถ้าใช้ร่วมกับแก๊สออกซิเจน 10 kPa หรือต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมนี้จะต้องคำนึงถึงชนิดของผลิตผล วัช และความบริบูรณ์ของผลิตผลด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3

4. ผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพทุเรียนตัดแต่ง

4.1 ศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม

จากการศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (NPPE-05) ฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15) และฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPPE-17) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 21

4.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สภายในภาชนะบรรจุ

จากการศึกษาผลของการบรรจุทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลง โดยบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแตงน้ำหนัก 250–350 กรัม (1 พู/ถาด) ลงในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (PP) ปิดผนึกด้านบนถาดด้วยฟิล์มที่มีสมบัติแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 32) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สดังกล่าวเป็นการสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในภาชนะบรรจุให้แตกต่างจากบรรยากาศปกติเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง ด้วยฟิล์มซึ่งยอมให้มีการซึมผ่านเข้าออกของ

แก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่ออัตราการหายใจของ
ผลิตผล จนกระทั่งเกิดสมดุลที่เรียกว่า equilibrium modified atmosphere (EMA) ปัจจัยสำคัญที่ทำให้
ให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ ประกอบไปด้วย สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม
พลาสติก อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (Al-Ati and
Hotchkiss, 2002) จากการศึกษาของ Kader (2002) พบว่า การเก็บรักษาผลิตผลในบรรยากาศ
ดัดแปลงที่เหมาะสมสามารถชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลง
ทางสรีรวิทยา ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ลดการสูญเสียทางด้านกลิ่นรส การสูญเสีย
น้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงปริมาณแก๊สที่
เหมาะสมด้วย

จากการทดลอง พบว่า ภาชนะบรรจุทุเรียนดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05 มีปริมาณ
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นสูงสุด รองลงมาเป็นฟิล์มชนิด NPEA-15 และ NPPE-17 ตามลำดับ
และมีปริมาณแก๊สออกซิเจนลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 ซึ่ง
สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด พบว่า ฟิล์ม NPPE-05 มีสภาพให้ซึม
ผ่านได้ของแก๊สน้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่น ๆ ทำให้ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์สูง และมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ จนเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น
ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีผลต่ออายุการเก็บ
รักษาด้วย ส่วนฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 พบว่า มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สใกล้เคียงกัน
และยอมให้มีการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนที่
เหมาะสมต่ออัตราการหายใจของเนื้อทุเรียนดัดแต่ง จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยในฟิล์ม
NPPE-05 มีปริมาณแก๊สออกซิเจน 1 kPaO_2 และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 31 kPaCO_2 ,
ฟิล์ม NPEA-15 มีปริมาณแก๊สออกซิเจน 3 kPaO_2 และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 13 kPaCO_2
และฟิล์ม NPPE-17 มีปริมาณแก๊สออกซิเจน 5 kPaO_2 และมีปริมาณแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์ 11 kPaCO_2 (ตารางที่ 22)

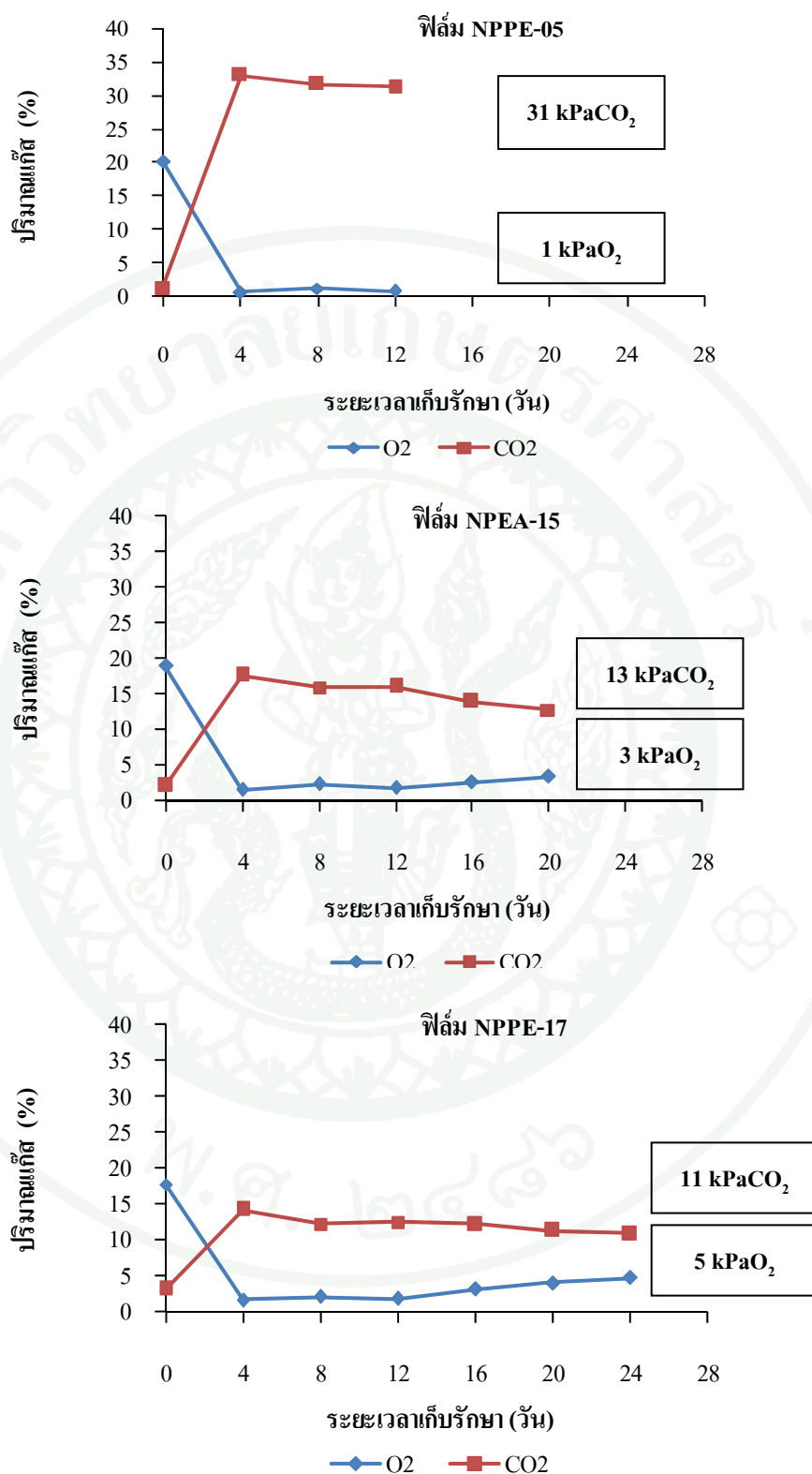
ตารางที่ 21 สมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (NPPE-05), ฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15) และฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPPE-17)

ฟิล์ม	ความหนา (μm) ($\times 10^{-3}$)	² WVTR $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ ($\times 10^{-3}$)	¹ OTR $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ ($\times 10^2$)	¹ P _{O₂} $\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr} \cdot \text{Pa}$ ($\times 10^2$)	¹ CO ₂ TR $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ ($\times 10^2$)	¹ P _{CO₂} $\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr} \cdot \text{Pa}$ ($\times 10^2$)	B (P _{CO₂} / P _{O₂})
NPPE-05	38±0	7±0.2	52±0.3	2.1±0.01	173±5.4	5.5±0.1	2.64±0.06
NPEA-15	29±0	17±0.2	154±12.8	4.5±0.66	479±6.5	14.7±0.6	3.27±0.34
NPPE-17	28±0	19±0.2	166±10.1	4.7±0.35	497±6.6	14.4±0.3	3.07±0.29

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

¹ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

²ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90



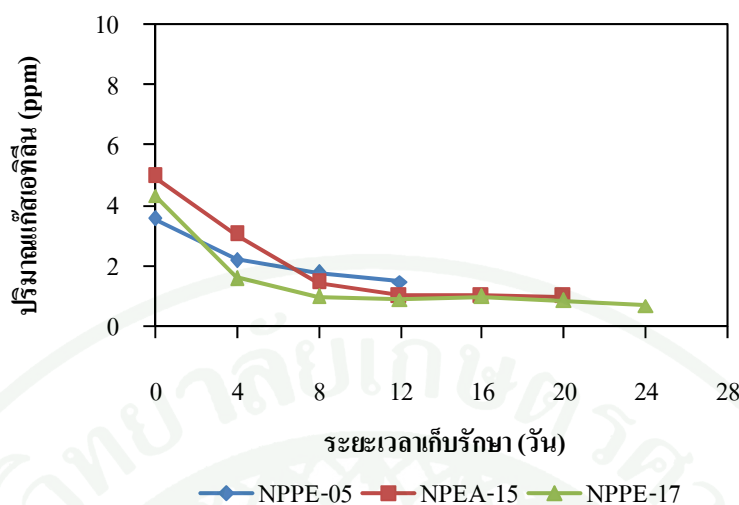
ภาพที่ 32 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่ง ปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 22 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่ง
ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม	ความเข้มข้นของแก๊ส (kPa)		อายุการเก็บรักษา (วัน)	ลักษณะ การเสื่อมคุณภาพ
	ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์		
NPPE-05	1	31	12	เนื้อไม้ลักษณะนุ่มและ
NPEA-15	3	13	20	เนื้อไม้ลักษณะนุ่มและ
NPPE-17	5	11	24	เนื้อไม้ลักษณะนุ่มและ

หมายเหตุ NPPE-05 คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
NPEA-15 คือ ฟิล์มดูดซับเอทิลีน
NPPE-17 คือ ฟิล์มที่มีสภาวะให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง

ส่วนปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 พบว่า มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยภาชนะบรรจุทุเรียนตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05 มีปริมาณแก๊สเอทิลีนสูงสุด รองลงมา คือ ฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 ตามลำดับ (ภาพที่ 33) การลดลงของปริมาณแก๊สเอทิลีนอาจมีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในผลผลิต โดยฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15) ไม่มีบทบาทต่อการลดแก๊สเอทิลีน ทั้งนี้เนื่องจากการตัดแปลงสภาวะบรรยากาศมีส่วนช่วยในการลดการผลิตเอทิลีนของผลผลิตอยู่แล้วในระดับสูง (Gorny, 1997)

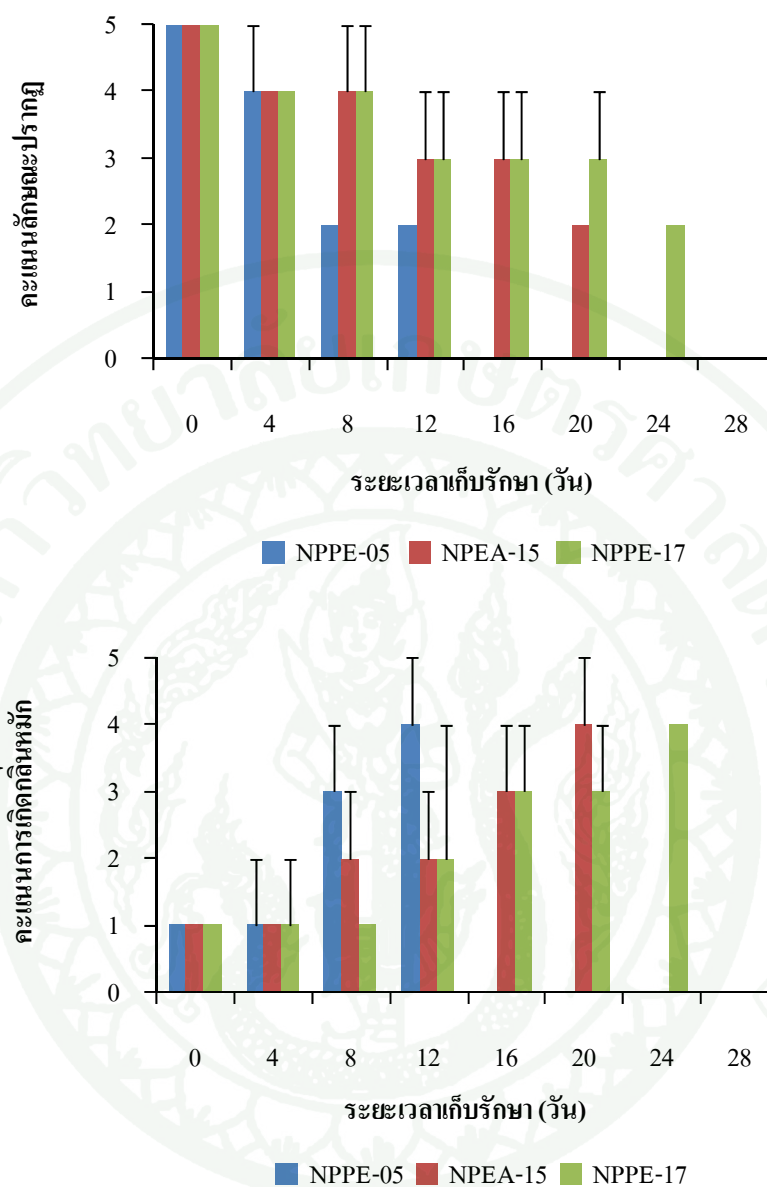


ภาพที่ 33 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

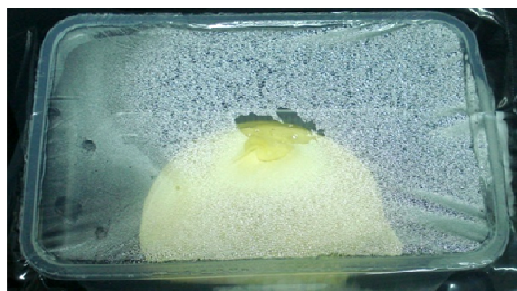
4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของทุเรียนตัดแต่ง

4.3.1 ลักษณะปรากฏของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาผลของการบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 มีคะแนนลักษณะปรากฏลดลง และมีคะแนนการเกิดกลิ่นหมักเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน ($P > 0.05$) โดยมีอายุการเก็บ 12, 20 และ 24 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 34) ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์ม NPPE-05 มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สและไอน้ำต่ำ ส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการสะสมของไอน้ำบริเวณแผ่นฟิล์มที่ปิดผนึก จนทำให้เกิดผลเกิดการเสื่อมเสียและมีอายุการเก็บรักษาลดลง ส่วนฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 พบว่า มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สและไอน้ำสูง ทำให้ไม่เกิดการหมักและการสะสมเอทานอลในเนื้อเชื้อ และมีการสะสมของไอน้ำบริเวณแผ่นฟิล์มต่ำ ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาลดลง และมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่า การสะสมของไอน้ำบริเวณแผ่นฟิล์มที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05 ทำให้การมองเห็นเนื้อทุเรียนตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุลดลงมากที่สุด รองลงมา คือ ฟิล์ม NPEA-15 และ NPPE-17 ตามลำดับ (ภาพที่ 35)



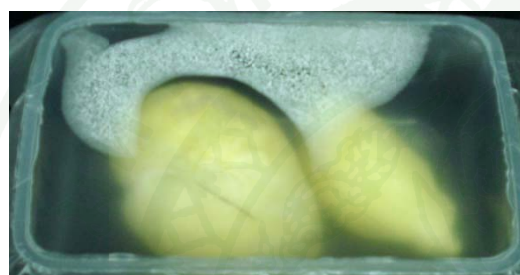
ภาพที่ 34 คะแนนลักษณะปรากฏ และคะแนนการเกิดกลืนหมึกของเนื้อทุเรียนดัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



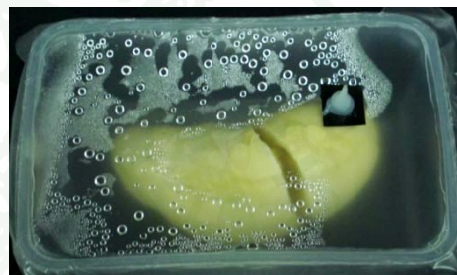
วันแรกของการเก็บรักษา NPPE-05



วันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 12) NPPE-05



วันแรกของการเก็บรักษา NPEA-15



วันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 20) NPEA-15



วันแรกของการเก็บรักษา NPPE-17

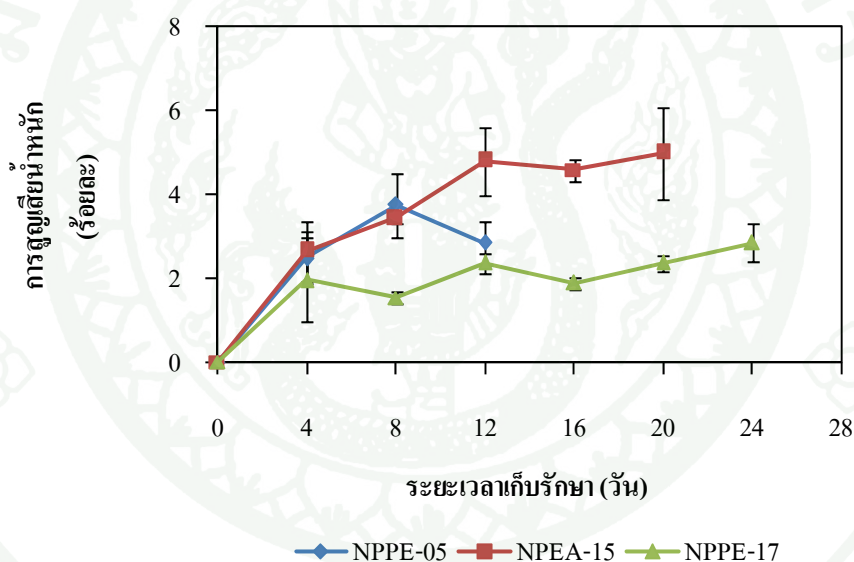


วันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 24) NPPE-17

ภาพที่ 35 ภาพระบบบรรจุเนื้อเยื่อเรียนตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 1 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

4.3.2 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

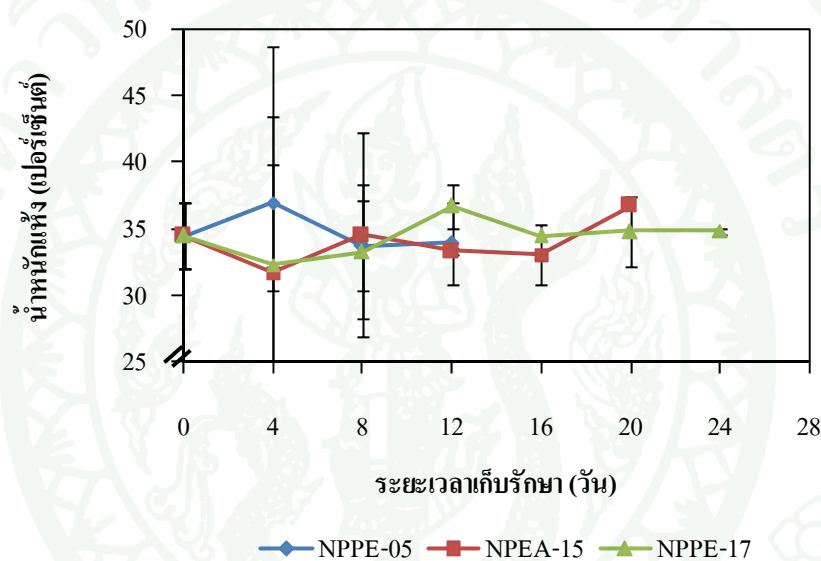
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศตัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-17 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยสุด ($P \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน (ภาพที่ 36) จากการศึกษาของ Kader (2002) พบว่า การเก็บรักษาผลิตผลในบรรยากาศตัดแปลงที่เหมาะสมสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลได้ โดยไปกำจัดการแพร่ของไอน้ำ ส่งผลให้เกิดความดันภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นผลของภาชนะบรรจุในบรรยากาศตัดแปลงที่เกิดกับผักและผลไม้ เช่น แดงกวา เชอร์รี่ และ องุ่น เป็นต้น (Serrano *et al.*, 2006)



ภาพที่ 36 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.3 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 34.34-34.38 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลอง พบว่า การบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง (ภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่า L^* , a^* และ b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 23, 24 และ 25) เช่นเดียวกับค่า hue angle และค่า chroma ($p > 0.05$) (ภาพที่ 38 และ 39)

ตารางที่ 23 ค่า L^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม	ค่า L^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
NPPE-05	83.47±1.47	82.61±1.09	82.89±3.45	81.18±1.33	N/A	N/A	N/A
NPEA-15	83.47±1.47	82.94±0.57	82.08±2.97	81.29±0.23	82.98±0.87	84.46±0.82	N/A
NPPE-17	83.47±1.47	84.25±0.41	81.94±1.10	80.88±2.36	82.78±3.56	83.91±1.88	82.23±1.73

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากทุเรียนตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย โดยเฉพาะวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เกิดการเสื่อมเสียทั้งหมด

ตารางที่ 24 ค่า a^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

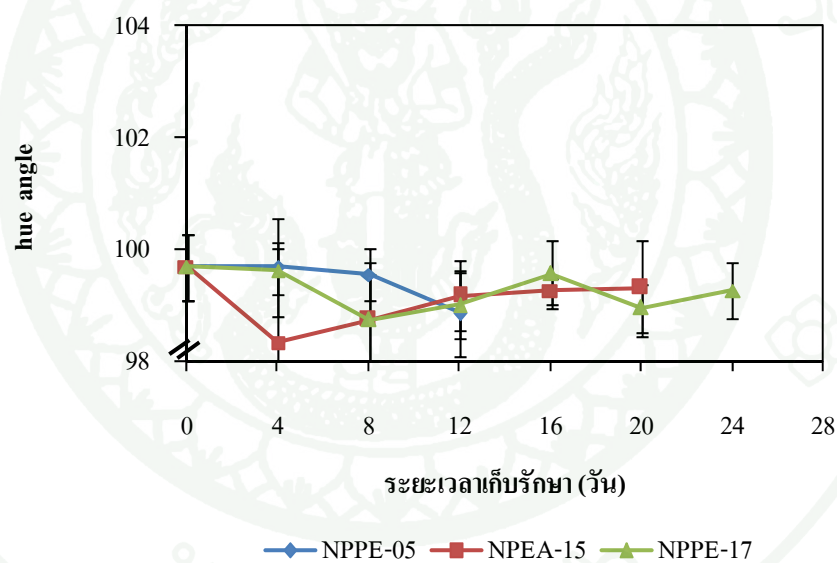
ฟิล์ม	ค่า a^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
NPPE-05	-5.53±0.80	-5.75±0.44	-5.55±0.81	-5.06±0.48	N/A	N/A	N/A
NPEA-15	-5.53±0.80	-4.92±0.90	-5.27±1.08	-5.42±0.22	-5.21±0.27	-5.24±0.60	N/A
NPPE-17	-5.53±0.80	-6.01±0.18	-5.04±0.58	-5.21±0.99	-6.01±0.81	-5.56±0.23	-5.23±0.62

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากทุเรียนตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย โดยเฉพาะวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เกิดการเสื่อมเสียทั้งหมด

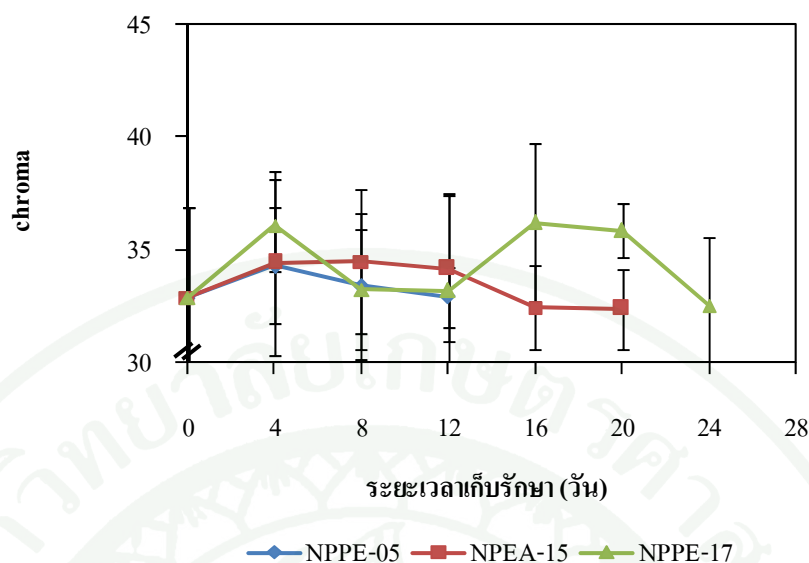
ตารางที่ 25 ค่า b^* ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม	ค่า b^*						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
NPPE-05	32.40±3.93	33.78±2.59	32.92±3.16	32.51±1.33	N/A	N/A	N/A
NPEA-15	32.40±3.93	34.04±4.15	34.07±3.08	33.72±3.27	32.00±1.87	31.95±1.74	N/A
NPPE-17	32.40±3.93	35.57±2.08	32.84±2.64	32.74±4.25	35.70±3.43	35.41±1.22	32.07±2.98

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากทุเรียนตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย โดยเฉพาะวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เกิดการเสื่อมเสียทั้งหมด



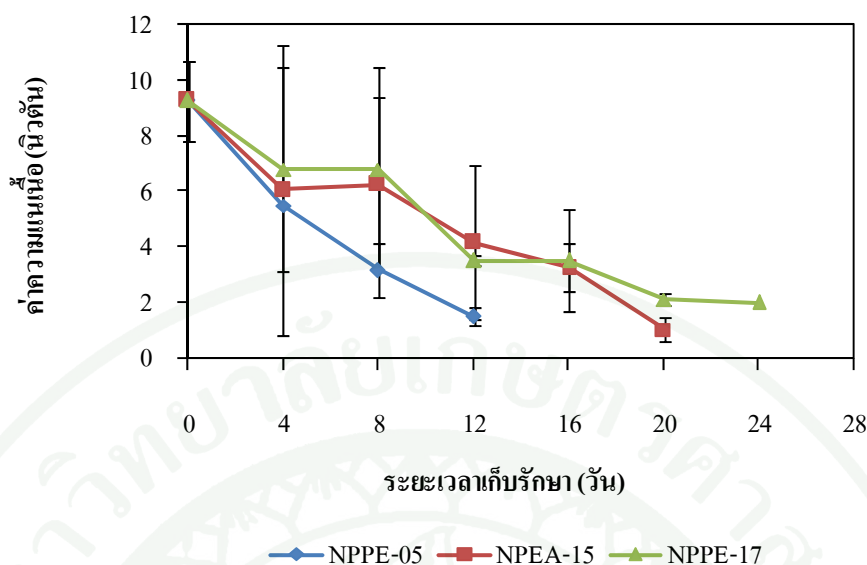
ภาพที่ 38 ค่า hue angle ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 39 ค่า chroma ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.5 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

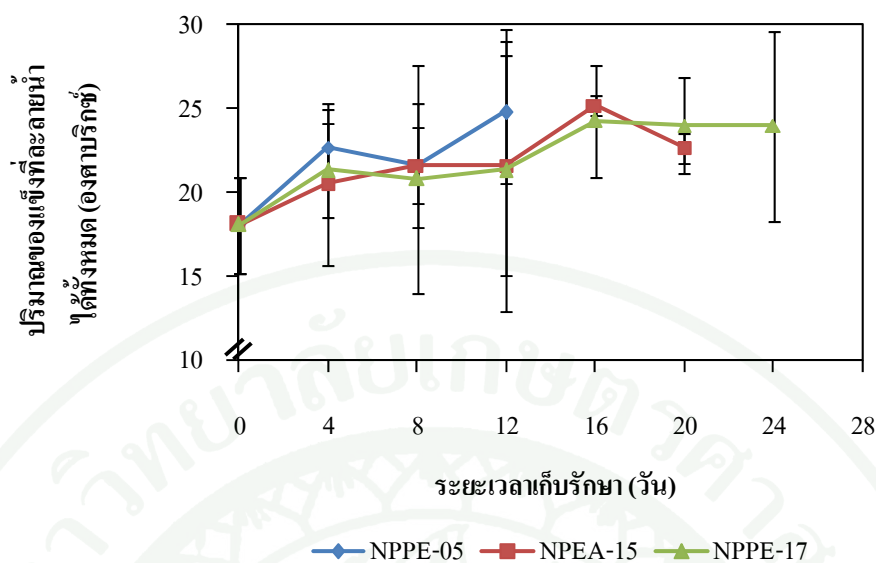
จากการศึกษาค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศตัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-17 มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 40) การอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์จากเพกตินที่ไม่ละลายน้ำมาเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ (Mattoo et al., 1975) ซึ่งการเก็บรักษาในบรรยากาศตัดแปลงที่เหมาะสมสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลิตผลได้ (Kader, 2002) ดังการศึกษาของ Larsen and Watkins (1995b) พบว่า การเก็บรักษาสตรอเบอรี่ในบรรยากาศตัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้สตรอเบอรี่มีค่าเนื้อสัมผัสสูงขึ้น



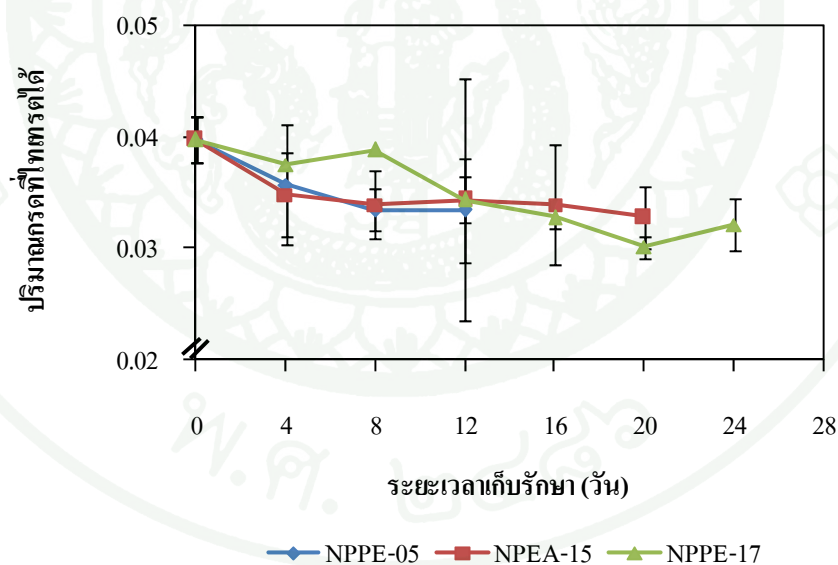
ภาพที่ 40 ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($P > 0.05$) (ภาพที่ 41) การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งอาจเกิดจากการที่แป้งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล ดังการศึกษาของเพ็ญศิริ และคณะ (2531) พบว่า เมื่อทุเรียนเริ่มสุกจะมีรสหวานเกิดขึ้น ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน (ภาพที่ 42)



ภาพที่ 41 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 42 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา และลดลงในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 26) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 วัน การเพิ่มสูงขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอาจมีสาเหตุมาจากการพัฒนาจากระยะบิรูรณ์เข้าสู่ระยะสุก ดังการศึกษาของ Kulkarni and Aradhya (2005) พบว่า สารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเมื่อผลิตผลเข้าสู่ระยะสุก เช่น กล้วย ฝรั่ง ทับทิม เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Takamiya *et al.* (2000) พบว่า การสูญเสียคลอโรฟิลล์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการสีน้ำตาล นอกจากนี้การเกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งก็เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการสีน้ำตาล และทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นได้ (จริงแท้, 2550) จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ซึ่งการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถลดการเกิดอาการสีน้ำตาลได้ (Noguchi *et al.*, 1998)

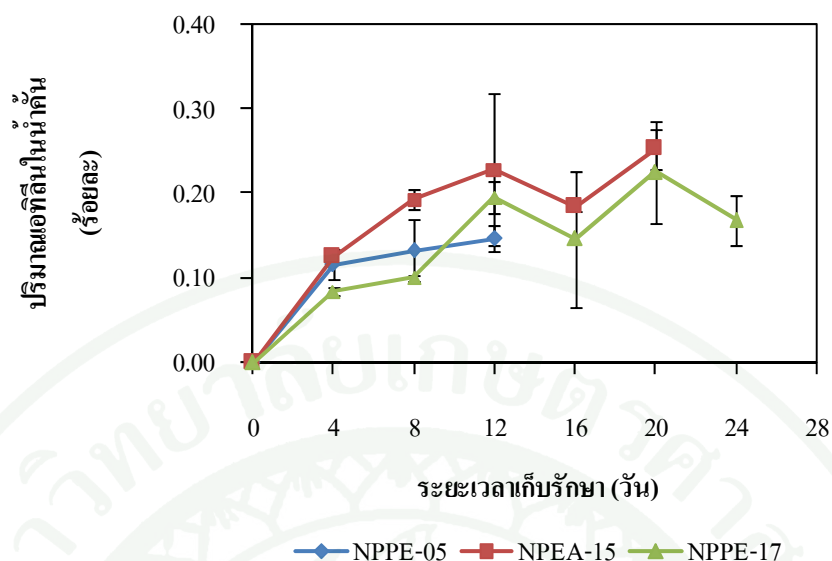
ตารางที่ 26 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด)						
	วันที่ 0	วันที่ 4	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24
NPPE-05	3.42±0.61	4.13±1.70	0.67±0.39	1.13±0.16	N/A	N/A	N/A
NPEA-15	3.42±0.61	4.47±1.24	1.06±0.86	0.45±0.36	0.86±0.04	0.97±0.00	N/A
NPPE-17	3.42±0.61	4.56±0.94	0.42±0.00	1.47±1.87	0.27±0.15	0.62±0.49	1.27±0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากทุเรียนตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย โดยเฉพาะวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เกิดการเสื่อมเสียทั้งหมด

4.3.8 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่ง

จากการศึกษาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่บรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงด้วยฟิล์ม NPPE-17 มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งน้อยที่สุดและอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของปริมาณเอทานอลน้อยกว่าร้อยละ 0.1 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะ 24 วัน (ภาพที่ 43) และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) จากการศึกษาของ Ke and Kader (1990) พบว่า ปริมาณเอทานอลที่มากกว่า 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$ หรือประมาณร้อยละ 0.1 จะเกิดการสูญเสียกลิ่นรสในส้ม Valencia ซึ่งปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งอาจเกิดจากการสะสมพวก fermentative volatiles (Kader, 1997) และขาดผลจากกระบวนการตัดแต่ง (Watada and Qi, 1999) นอกจากนี้อาจเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน การเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานาน อุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด เป็นต้น (Pesis, 2005) จากการศึกษาของ Kader (2002) พบว่า การเก็บรักษาผลผลิตภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสม สามารถลดการสูญเสียทางด้านกลิ่นรสได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงปริมาณแก๊สที่เหมาะสมด้วย เพราะถ้ามีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่า 2 kPa O_2 จะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เนื่องจากการสะสมเอทานอลและแอซิโตลดีไฮด์ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 ก็จะทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหายเป็นอันตรายต่อสรีรวิทยาของผลผลิต (Jacxsens *et al.*, 2001)



ภาพที่ 43 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อทุเรียนตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของการบรรจุทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ฟิล์ม NPPE-17 สามารถสร้างสภาวะบรรยากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งได้ โดยสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การสุก ชะลออัตราการหายใจ ลดการสูญเสียกลิ่นรสของผักและผลไม้ และลดการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการสูญเสียความชื้นได้ ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการซึมผ่านสอดคล้องกับอัตราการหายใจและสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีอัตราส่วนระหว่างแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมาะสมกับผลิตผล สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ (Tian *et al.*, 2002)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลของการบรรจุในบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง โดยสามารถลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และชะลอการเน่าเสียได้
2. ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดไม่น้อยกว่า 10 kPa และระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดไม่เกิน 10 kPa เป็นระดับที่ไม่ทำให้เนื้อทุเรียนตัดแต่งเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการผิดปกติทางสรีรวิทยา
3. สภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาทุเรียนตัดแต่ง คือ ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่วง 10 kPa และระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPa
4. फिल्मที่มีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุเนื้อทุเรียนตัดแต่งในบรรยากาศดัดแปลง คือ फिल्म NPPE-17 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสม คือ $5 \text{ kPaO}_2 + 11 \text{ kPaCO}_2$

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม พบว่า ฟิล์มดูดซับเอทิลีน (NPEA-15) และฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (NPPE-17) มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มใกล้เคียงกันทุกประการ แต่เนื่องจากฟิล์มดูดซับเอทิลีนมีการสะสมของไอน้ำที่บริเวณแผ่นฟิล์มที่ปิดผนึกเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน ทำให้สภาพการซึมผ่านได้ของฟิล์มลดลงและไม่สามารถมองเห็นผลผลิตภายในได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวให้ดีขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปในอนาคต

นอกจากนี้ควรมีการสร้างแผนภาพเพื่อทำนายฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาทุเรียน ตัดแต่ง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาทุเรียน ตัดแต่งกับสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม NPPE-05, NPEA-15 และ NPPE-17 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคต และควรมีการเพิ่มค่าการซึมผ่านของแก๊สเอทิลีนด้วย (ethylene-TR) เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ผลิตภัณฑ์ทุเรียน, น.8. ใน เอกสาร

เผยแพร่กรมวิทยาศาสตร์บริการ. มิถุนายน 2544. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ
สิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

เจริญ ขุนพรม, สมนึก ทองบ่อ และ จริงแท้ ศิริพานิช. 2538 ผลของการปรับสภาวะบรรยากาศต่อ

คุณภาพทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. รายงานฉบับสมบูรณ์ รหัสโครงการ ม.พ.82.38

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนิด วานิกานุกูล, ศศิธร จันทนวรานุกูล และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2550. ผลของอุณหภูมิในการเก็บ

รักษา (5 และ 10 C°) ต่อคุณภาพของข้างโพดฝักอ่อนในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของ
แก๊สสูง. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45:

สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, 273-280.

ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

_____, นิธิยา รัตนพานนท์ และ ทองใหม่ แพทย์ไชโย. 2553. การเก็บรักษาผลลำไยที่

อุณหภูมิต่ำ. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2542. ข้อมูลการส่งออกและนำเข้าของปี

2542. ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ รัตนชินกร, คมจันทร์ สรงจันทร์, ปรานค์ทอง กวานห้อง, ศิริกานต์ ศรีชัยรัตน์,

วิชา ชาติประเสริฐ และ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2550. ผลของอุณหภูมิต่ออายุการเก็บรักษา
ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและ
แปรรูปผลิตผลเกษตร.

เพ็ชรรัตน์ บุญเจิม และ จริ่งแท้ ศรีพานิช. 2533. สรีรวิทยาของเปลือกและเนื้อผลทุเรียนหลังการ
เก็บเกี่ยว. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 1 วันที่ 12
ตุลาคม 2533 ณ ดิक्ศูนย์วิจัยการอารักขาข้าว กองโรคพืชและจุลชีววิทยาการ
เกษตร.

เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, วิบูลย์เกียรติ โมฬีรตานนท์, พรภัทรา ปฏิทัศน์, อัจฉริยา จารยะพันธ์ และ
อินทราวุธ จัตรเกษ. 2531. การวิจัยและพัฒนาวิธีการแช่เย็นทุเรียนสด. ใน เอกสาร
ประกอบการสัมมนาเรื่องทุเรียน. วันที่ 25-26 กุมภาพันธ์ 2531. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

มลศิริ วิโรทัย และ ปาริฉัตร หงสประภาส. 2541. อุตสาหกรรมแปรรูปขนาดและขนาดย่อม.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

รานี อุฬารวิริยากุล. 2544. ระบบทำความเย็นแบบดูดซับโดยใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับ.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2544. บทปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปทุมธานี.

วรรณิ์ ฉินศิริกุล. 2552. แถบตรวจวัดระดับการสุกของทุเรียน, น. 11-12. ใน เอกสารการ

ประชุมวิชาการของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติประจำปี 2552.

กรุงเทพฯ.

สุดารัตน์ สุตพันธ์. 2536. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีและพันธุ์หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติส่งออก-นำเข้า สินค้าที่สำคัญของไทย. กรมศุลกากร, กรุงเทพฯ.

อสิรา เพื่องฟูชาติ, วรณี นินศิริกุล, นพเกิด ดอกแฝก, ตติยา ตรงสถิตกุล, สรญา พิบูลกุลสัมฤทธิ์, เสาวภา ไชยวงศ์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. การสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย. วารสารเกษตร (วิทยาศาสตร์) 37: 62-65.

Abe, K. and A.E. Watada. 1991. Ethylene Absorbents to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. **J. Food Sci.** 56: 1589-1592.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Food Sci. Tech.** 7: 179-187.

Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to freshcut fruits, pp. 305-338. In: O. Lamikanra, eds. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market**. CRC Press. Washington, D.C.

Artés-Hernández, F., F. Rivera-Cabrera and A.A. Kader. 2007. Quality retention and potential shelf-life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. **Postharvest Biol. Tech.** 43: 245-254.

ASTM. 2010. Standard Test method for Water Vapor Transmission of Materials ASTM F1249-06. **Annual Books of ASTM Standards**. 15.10.

- Asira, F., Dounghorn S., Suchitra A., Chonlada R., Tawan S., 2009. Development of Ethylene-removing Film for Ethylene-sensitive Fresh Produces. *In: National Postharvest Technology Conference*. Carol Ann Patterson, Ph.D., 2008. **Active Packaging**. *In: Technology Watch*, vol. 4. Canada, pp. 2-6.
- BNPEA-15udry, R.M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. **Postharvest Biol. Tech.** 15: 293-303.
- Bender, R.J., J.K. Brecht, S.A. Sargent and D.J. Huber. 2000. Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 125: 707-713.
- Beyer, E.M. 1978. Effect of Ag₊, CO₂ and O₂ on ethylene action and metabolism. **Plant Physiol** 61: 896-899.
- Booncherm, P. and J. Siriphanich. 1991. Postharvest physiology of durian pulp and husk. **Kasetsart J** 25: 119-125.
- Claypool, L.L. and R.M. Keefer. 1942. A method for CO₂ determination in respiration studies. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 40: 177-186.
- Day, B.P.F. 1993. Fruit and vegetables. *In: Principle and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*. R.T. Parry(Ed.), pp. 114-133.
- Devon, Z. and Kader, A.A., 1988. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce, **Food Technology**, 42: 70-77.
- Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorney, J.R., Garrett, E. H. and Busta, F. F., 2003. **Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fresh-Cut Produce**. Vol. 2: 142-160.

- Gran, C.D. and R.M. BNPEA-15udry. 1993. Determination of low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient brNPEA-15kpoint. **Postharvest Biol. Tech.** 3: 259-267.
- Gholap, A.S., C. Bandyopadhyay. 1980. Fatty Acid Biogenesis in Ripening Mango (*Mangifera indica* L. var Alphonso). **Journal of Agriculture Food Chemistry**. 28: 839-841.
- Golias, J. and H. Bottcher. 2002. Postharvest response of apple fruits after storage in extreme gas concentrations II. The occurrence of anaerobic metabolites. **Gartenbauwissenschaft**. 67: 72-77.
- Gorny, J. R., 1997. **Modified Atmospheres Packaging and the Fresh-cut Revolution**. Perishables Handling Newsletter Issue: No. 90: 4-5.
- Harrd, N.F. and D.K., Salunkhe. 1975. Perspectives in Postharvest Physiology, p. 1 – 4. In: N.F. Harrd and D.K. Salunkhe (eds.), Symposium : **Postharvest Biology and Handling of Fruits and Vegetables**. The Avl Publ. Co. Westport.
- Harvey, E.M., 1925. Blanching celery. Minn. Agr. Expt. Sta. Vul. 222.
- Hatton, T. T. and W. F. Reeder. 1972. Development of 'Lula' avocados stored in controlled atmospheres with or without ethylene. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 97, 339-343.
- HNPEA-15ton, J.W. and A.G. Marangoni. 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends Food Sci. Tech.** 7: 8-15.
- _____, R.Y. Yada and A.G. Marangoni. 1996. Discoloration of coleslaw is caused by chlorophyll degradation. **J. Agric. Food Chem.** 22: 395-398. Huber, D.J. 1983. The role of cell wall hydrolase in fruit softening. Hort. Rev. 5: 169-219.

- Holcroft, D.M. and A.A Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. **Postharvest Biol. Tech.** 17: 19-32.
- Hulme, A.C. 1971. **Biochemistry of Fruits and their Products**. Vol. II. Academic Press, New York. 788 p.
- Huxsoll, C.C. and H.R. Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives of minimally processed fruits and vegetables. **Food Tech.** 43(2): 124-128.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Van der Steen, C. & Debevere, J. 2001. Effect of high oxygen atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce. **International Journal of Food Microbiology**, 71, 197–210.
- Kader, A.A. 1989. A Summary of CA Requirements and Recommendation of Fruit Other than Pome Fruit: Vol. 2 Other Commodities and Storage Recommendations. pp. 303-328. **Proceeding of the 5th International CA conference. 14-16 June 1989**. Wenatchee. Washington. USA.
- _____. 1994. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits, p. 239-249, *In*: Champ, B.R. et al. (editors). Postharvest handling of tropical fruits: **proceeding of an international conference held at Chiang Mai**, Thailand, 19-23 july 1993. ACIAR Proceedings No. 50, ACIAR, Canberra, Australia.
- _____. 1997. Biological bases of O₂ and CO₂ effects on postharvest life of horticultural perishables, pp. 160-163. *In* **Proceedings Seventh International Controlled Atmosphere ResNPEA-15rch Conference, Vol. 4**. Vegetables and Ornamentals, Davis, CA.

- _____. 2002. **Postharvest technology of horticultural crops**, Third Edition. The Regents of University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311, 227-281.
- _____. and C.B. Watkins. 2002. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. **HortTech**. 10(3): 483-486.
- Kanyarat Wimonwat, Songsin Photchanachai, Orapin Kerdchoechuen, Wissanu Niyomloa¹ and Sirichai Kanlayanarat. 2003. Quality and Storage Life of 'Chok Anan' mangoes under Controlled Atmosphere. **Agricultural Sci. J.** 34 : 4-6 (Suppl.) : 41-44.
- Ke, D., L. Rodriguez-Sinobas and A.A. Kader. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 116: 253-260.
- Kulkarni, A.P. and S.M. Aradhya. 2005. Chemical change and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. **Food Chem.** 93: 319-324.
- Laohakunjit, N., O. Kerdchoechuen., F.B. Matta., J. L. Silva., and W.E. Holmes. 2006. Postharvest survey of volatile compound in five tropical fruits using hNPEA-15dspace-solid phase microextraction (HS-SPME). **Hort science**. 42: 309-314.
- Larsen, M. and C.B. Watkins. 1995a. Firmness and aroma composition following short-term high carbon dioxide trNPEA-15tments. **Hort Sci.** 30: 303-305.
- Larsen, M., and C.B. Watkins. 1995b. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**. 5: 39-50.

- Laties, G.G. 1978. The development and control of respiratory pathways in slices of plant storage tissues, pp. 421-466. *In*: G. Kahl, ed. **Biochemistry of wounded plant tissues**. Berlin: Walter de Gruyter.
- Martin, F.W., 1980. Durian and mangoesteen. *In*: Nagy, S., Shaw, P.E. (Eds.), **Tropical and Subtropical Fruits**. AVI Publishers, Westport, Connecticut, pp. 407–414.
- Mattoo, A.K., T. Murata, Er.B. Pantastico, K. Chachin, K. Ogata and C.T. Phan. 1975. Chemical change during ripening and senescence, pp. 103-127. *In*: Er.B. Pantastice, ed. **Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits & Vegetables**. The AVI publishing company, Inc, U.S.A.
- Mir, N. and R.M. BNPEA-15udry. 2004. **Modified atmosphere packaging. Agriculture handbook 66 (USDA-ARS (Agricultural ResNPEA-15rch Service))**. Available Source: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/015map.pdf>, March 10, 2008
- Morton, J. F. 1987. BombacacNPEA-15e: Durian. Pp 287-291. *In*: C. F. Dewling (eds.). **Fruit of Warm Climates CrNPEA-15tive Resource**. System. Inc, Winterville.
- Moser, R., Duvel, D. and Greve, R. 1980. Volatile constituents and fatty acid composition of lipids in *Durio zibethius*. **Phytochem**. 19:79-81.
- Naf, R.; Velluz, A. 1996. Sulphur compounds and some uncommon ester in durian (*Durio zibethinus* Murr.). **Flavour and Fragrance Journal**. 11 :5, 295 - 303.
- Nanthachai, S., 1994. **Durian: Fruit Development, Postharvest Physiology, Handling and Marketing in ASNPEA-15N**. ASNPEA-15N Food Handling BurNPEA-15u, Kuala Lumpur, Malaysia.

- Noichinda, S., Bodhipadma, K. and Leung, D.W.M. 2006. Modified Atmosphere during Storage of 'Khai' Bananas in Polyethylene Bags: Implications for Export and Nationwide Transportation. **The Journal of KMITNB.**, Vol. 16, No. 2, Apr. – Jun. 2006.
- Noguchi, H. K., A. E. Watada and L. Qi. 1998. **Glycolysis of Carrot Shreds under Low O₂ Atmosphere.** Acta Horticulturae. 464: 243-247.
- Nursten, H.E. 1970. Volatile compounds : The aroma of fruits, pp. 239-268. In: A.C. Hulme (ed.). **The Biochemistry of Fruits and their Products.** Vol. I. Academic Press, London.
- Palapol, Y., S. Ketsa, D. Stevenson, J.M. Cooney, A.C. Allan and I.B. Ferguson. 2009. "Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit during ripening and after harvest". **Postharvest Biology and Technology.** 51: 349-353.
- Patricia Ponce, Guilherme L., R. Carbonari, Ademar B. Lugao, 2009. **Active Packaging using Ethylene Absorber to Extend Shelf-Life.** In: International Nuclear Atlantic Conference.
- Pe'rez, A.G. and C. Sanz. 2001. Effect of high-oxygen and high-carbondioxide atmospheres on strawberry flavour and other quality traits. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2370-2375.
- Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: Review. **Postharvest Biol. Tech.** 37: 1-19.
- Phianphon, W., 2009. **Applications of Zeolite-based ethylene Absorbers for Prolonging Shelf Life of Fruits.** M.E. Thesis, Kasetsart University.

- Pornchai Rachtanapun and Duangjai Noiwan. 2008. **Effect of equilibrium modified atmosphere packaging on storage life of strawberry**. 46. Kasetsart University Annual Conference, Bangkok (Thailand), 29 Jan - 1 Feb 2008.
- Purvis, A.C. 1997. The role of adaptive enzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing plant tissue. **HortSci**. 32: 1165-1168.
- Ranganna, S. 1978. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products**. Tata McGraw – Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi.
- 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 Natural Resource Publ., California.
- Rooney, M.L., 1995. Overview of active food packaging. *In*: **Active Food Packaging**, pp. 1-37.
- Sacharow, S. 1998. Freshness enhancers: **The control in controlled atmosphere packaging**. Prepared Foods (157): 121-122.
- Saeed Ahmad, M.A. Perviez, A.K. Thompson and Hammed Ullah. Effects of storage of bananas in controlled atmosphere before ethylene treatment on its ripening and quality. **J. Agric. Res.** 2006, 44(3): 219-229.
- Salunkhe, D.K., Desai, B.B., 1984. **Postharvest Biotechnology**. Fruits, vol. II. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 123–125.
- 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 Biology and Technology**. 39: 61–68.

Smith, A. W., J. Stephen Poulston, Liz Rowsell, 2009. Ethylene Production by Fresh Produce.

In: A New Palladium-Based Ethylene Scavenger to Control Ethylene-Induced Ripening of Climacteric Fruit. 53, 112-122.

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

Singleton, V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by mNPEA-15ns of Folin-Ciocalteu rNPEA-15gent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.

Somrithai Laisirikun. 2007. **Shelf-extension of fresh-cut durian by modified atmosphere packaging (MAP).** M.E. Thesis, Silpakorn University.

Takamiya, K., T. Tsuchiya and H. Ohta. 2000. Degradation pathway(s) of chlorophyll: what has gene cloning ravNPEA-15led? **Trends in Plant Science** 5: 426-431.

Tian S, Y. Xu, A. Jiang and Q. Gong. 2002. Physiological and quality responses of longan fruit to high O₂ or high CO₂ atmospheres in storage. **Postharvest Biol. Tech.** 24: 335-40.

Tongdee, S.C., A. Chayasombat, and S. NNPEA-15mprem. 1987a. Effects of harvest maturity on respiration, ethylene production, and composition of internal atmospheres of Durian (*Durio zibethinus*, Murray). **Proc. Durian Conf.**, Bangkok, Thailand, pp. 31-36.

Tongdee, S.C., S. NNPEA-15mprem and A. Chayasombat. 1987b. Control of postharvest infection of *Phytophthora* fruit rot in durian with fosetyl-Al and residue levels in fruit. **Proc. Durian Conf.**, Bangkok, Thailand, pp. 55-66.

- Tongdee, S.C., Suwanagul, A., NNPEA-15mprem, S., Bunruengsri, U., 1990. Effect of surface coatings on weight loss and internal atmosphere of durian (*Durio zibethinus* Murray) fruit. **ASNPEA-15N Food J.** 5, 103–107.
- Tongrak Bantaotook, Wissanu Niyomlao and Sirichai Kanlayanarat. 2003. Quality and Storage Llife of PinNPEA-15pple cv. Trad-seethong under Controlled Atmosphere. **Agricultural Sci. J.** 34 : 4-6 (Suppl.) : 108-111.
- Trainoak U., Plainsirichai, M., Srisaad, K., Mung-ngam A. and Chottanoam, P. 2007. Study on aroma components of durian (*Durio zibethinus* Murr.) cv. Monthong using GC-MS. **Agri. Sci. J.** 38(5): 52-54.
- Valpuesta, V. 2000. **Fruit and Vegetable Biotechnology.** Wood HNPEA-15d Publishing Limited. New York.
- Voon, Y.Y., Sheikh Abdul Hamid, N., Rusul, G., Osman, A., 2006. Physicochemical, microbial and sensorial changes of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) during storage at 4 °C and 28 °C. **Postharvest Biol. Technol.** 42, 168–175.
- Wang, C.Y., 1991. “**Reduction of chilling injury in fruits and vegetables**”. Postharvest New and information, Vol. 2, No. 3, pp. 165-168.
- Watada, A.E., 1986. Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. **Food Technol.** 40, 82–85.
- Watada, A.E., Qi, L., 1999. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biol. Technol.** 15, 201–205.

Wills, R.B.H., and M.A. Warton, 2000. "A new rating scale for ethylene action on postharvest fruit and vegetables". *In*: Artes, F., Gil, M.I., Conisa, M.A. (Eds.), **Improving Postharvest Technologies of Fruit, Vegetables and Ornamentals**. Institute International of Refrigeration, Murcia, Spain.

Wiley, R.C. 1994. **Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables**. U.S.A., Chapman and Hall.

Wszelaki, A.L. and E.J. Mitcham. 2000. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. **Postharvest Biol. Tech.** 20: 125-133.

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

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

Zauberman, G. and M.S. Nadel. 1972. Pectin methylase and polygalacturonase in avocado fruit at various stages of development. **J. Plant Physiol.** 49: 864-865.





การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

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

1. วัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

วัดอัตราการซึมผ่านไอน้ำด้วยเครื่อง PERMATRAN-W Model 398, Mocon, U.S.A ตามมาตรฐาน ASTM F1249-06 โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบ และเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อทาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึงและพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่นแล้วเริ่มทำการทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น $\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90

2. วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygen transmission rate, OTR and Carbondioxide tranmission rate, CO_2TR)

วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่อง Oxygen permNPEA-15tion analyzer (MOCON OXTRAN® Model 2/21, U.S.A.) และวัดอัตราการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Carbon dioxide permNPEA-15tion analyzer (MOCON PERMATRAN-C® Model 4/41, U.S.A.) โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบ และเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อทาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึงและพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่น แล้วเริ่มทำการทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น $\text{cc/m}^2 \cdot \text{d}$ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0



การวิเคราะห์คุณภาพของทุเรียนตัดแต่ง

1. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ

เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column: HAYESEP Q 100/200 (1.8 m. x 1/8 in) และ MOLECULAR SIEVE 5A 80/100 (1.8 m. x 1/8 in)

Volume inject: 5.0 ml

Mobile phase: He, Flow rate = 80 ml/min

Oven temperature: 100°C ; CO₂ (Method CO₂.M, 2 min)

60°C ; CO₂ and O₂ (Method MIX.M, 4.5 min)

Detector temperature: Thermal conduct detector (TCD) 200 °C

Reference flow: 20 ml/min

Make up flow: 5 ml/min

2. ปริมาณเอทิลีน

เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column: Hayesep-S 100/120 (2 m. x 0.75 mm.)

Volume inject: 5.0 ml

Mobile phase: He, Flow rate = 80 ml/min

Oven temperature: 40°C; C₂H₄ (Method C₂H₄.M, 2 min)

Detector temperature: Flame ionize detector (FID) 250 °C

Reference flow: 20 ml/min

Make up flow: 5 ml/min

3. ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นและภายในภาชนะบรรจุ

ดัดแปลงตามวิธีการของ Larsen and Watkins (1995) โดยนำน้ำคั้นทุเรียน 5 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยยางซิลิโคนกันการรั่วซึมและปิดทับด้วยฟอลูมิเนียมเก็บรักษาขวดทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาวิเคราะห์ เมื่อต้องการวิเคราะห์นำขวดทดสอบมาอุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำกระบอกเก็บแก๊สมาเก็บแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร และนำไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Model Chrompack, CP9002) ของประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้

Column: DB-1 300/320 (15 m. x 0.53 mm.)

Volume inject: 10 μ l

Mobile phase: He, Flow rate = 80 ml/min

Oven temperature: 50 °C

Detector temperature: Flame ionize detector (FID) 150 °C

Injection temperature: 100 °C

4. วิธีการสกัดตัวอย่างเนื้อทุเรียนตัดแต่งเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

แช่แข็งทุเรียนสดด้วยไนโตรเจนเหลวจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดเป็นผง ใช้ผงทุเรียนสดแช่แข็ง 2 กรัม เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร จำนวน 8 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากันด้วยความเร็ว นาน 2 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 12,000 xg นาน 15 นาที ดูดส่วนใสใส่หลอดทดลอง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่เหลือมาสกัดอีกรอบ โดยเติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร จำนวน 8 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 12,000 xg นาน 15 นาที จากนั้นดูดส่วนใสใส่รวมกับครั้งแรก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุรัชชา บุระมาน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 1 พฤศจิกายน 2528
สถานที่เกิด	สมุทรสงคราม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยว 2. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)