



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ประเภท
Climacteric

Applications of Zeolite-based Ethylene Absorbers for Prolonging Shelf Life of
Climacteric Fruits

นามผู้วิจัย นางสาววีรยา เพ็ญผล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อำพร เสน่ห์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อศิรา เฟื่องฟูชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชฎาภรณ์ จิฎาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ประเภท Climacteric

Applications of Zeolite-based Ethylene Absorbers for Prolonging Shelf Life of Climacteric Fruits

โดย

นางสาววิริยา เพ็ญผล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2552

วีรยา เพี้ยนผล 2552: การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้
ประเภท Climacteric ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการ
บรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D. 157 หน้า

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชรวมทั้งการ
เสื่อมสภาพของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว การวิจัยนี้นำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับเอทิลีนแทนสารดูด
ซับเอทิลีนทางการค้า (Ethyl-gone[®]) จากการศึกษาปริมาณการดูดซับเอทิลีนที่สภาวะห้อง (30 °C, 75 %RH) พบว่า
ปริมาณการดูดซับเอทิลีนสูงสุดได้แก่ Ethyl-gone[®] (1.7861 µg/g) ซึ่งเป็นสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ซีโอไลต์
ชนิด CaA (1.7357 µg/g) ซีโอไลต์ชนิด NaA (0.8820 µg/g) และซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 (0.9316 µg/g) ตามลำดับ
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับเอทิลีนที่ 5 10 และ 30 °C พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการ
ดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ในขณะที่มีผลน้อยมากในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA NaA และ
ZSM-5 จากการศึกษาผลของความชื้นต่อการดูดซับเอทิลีนพบว่าที่สภาวะความชื้นอิ่มตัวในบรรยากาศ (100
%RH) ที่ 30 °C ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (1.7903 µg/g) แต่ปริมาณการ
ดูดซับเอทิลีนลดลงอย่างมากในซีโอไลต์ชนิด CaA (0.0185 µg/g) NaA (0.2892 µg/g) และ ZSM-5 (0.6814 µg/g)
จึงนำซีโอไลต์มาบรรจุในถุงขนาดเล็กที่ทำจากพลาสติกที่สามารถป้องกันไอน้ำได้ดี ได้แก่ LDPE PE-1 PE-2
และ SEBS ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของแก๊สสูงขึ้นตามลำดับ พบว่าซีโอไลต์ที่บรรจุในถุง PE-1 และ PE-2 มี
ความสามารถในการดูดซับเอทิลีนสูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำซีโอไลต์ CaA ซึ่งไวต่อความชื้นมาบรรจุใน
ถุงขนาดเล็กชนิด PE-2 เพื่อใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีนในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอม
ร่วมกับการบรรจุในถุงพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สสูง PE-1 จากการศึกษาพบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วง
น้ำดอกไม้ได้นาน 30 วันที่อุณหภูมิ 12 °C และ 15 วันที่อุณหภูมิห้อง (29±2 °C) ในขณะที่สามารถเก็บรักษากล้วย
หอมได้นานกว่า 45 วันที่อุณหภูมิ 12 °C และ 12 วันที่อุณหภูมิห้อง (29±2 °C) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษามะม่วง
น้ำดอกไม้และกล้วยหอมในถุง PE-1 ร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนชนิด CaA และ Ethyl-gone[®] ให้ผลการทดลองไม่
แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่ได้ใช้สารดูดซับเอทิลีน เนื่องจากการบรรจุภายใต้บรรยากาศ
ดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สสูง (PE-1) สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับ
มะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอมซึ่งช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้

Weraya Phianphon 2009: Applications of Zeolite-based Ethylene Absorbers for Prolonging Shelf Life of Climacteric Fruits. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Vanee Chonhenchob, Ph.D. 157 pages.

Ethylene is a plant hormone involving plant growth and development including deterioration after harvest. This research was aimed to use zeolites as ethylene absorbing agents. Ethylene absorption at room condition (30 °C, 75% RH) were highest in Ethyl-gone[®] (1.7861 µg/g), which is a commercial ethylene absorber, CaA (1.7357 µg/g), NaA (0.8820 µg/g), and ZSM-5 (0.9316 µg/g), respectively. Temperature had a strong effect on ethylene absorption in Ethyl-gone[®] (1.7903 µg/g), but had a slight effect in CaA (0.0185 µg/g), NaA (0.2892 µg/g), and ZSM-5 (0.6814 µg/g). Zeolites were packaged in sachets made of plastics with high barrier to moisture; LDPE, PE-1, PE-2, and SEBS, with increasing gas permeability, respectively. Zeolites packaged in PE-1 and PE-2 had the highest ethylene characteristics. Therefore, CaA in PE-2 sachet was chosen as an ethylene absorber to be use with high gas permeable packaging materials (PE-1) in extending shelf life of Namdokmai mangoes and Hom bananas. Shelf lives of mangoes were 30 and 15 days at 12 °C and room temperature (29±2 °C), respectively. Bananas could be maintained for more than 45 days at 12 °C and 12 days at room temperature (29±2 °C). However, the results were not different in CaA and Ethyl-gone[®], which were not different from control (without ethylene absorbers). High gas permeable packaging material (PE-1) could create the optimum modified atmospheres for Namdokmai mangoes and Hom bananas resulting in maintaining quality and extending shelf life of the fruits.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์วราณี
ชนเห็นชอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์อำพร เสน่ห์ และอาจารย์อศิรา เพ็ญฟูชาติ
ประธานการสอบ อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์สุพจน์ ประทีปถิ่น
ทอง ซึ่งได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นการ
ทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุขเกษม สิทธิพจน์ และคณาจารย์ประจำภาควิชา
เทคโนโลยีการบรรจุที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำงานวิจัย
ทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก
สะดวกและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณคุณสุรภาส สิทธิสา คุณเกศวดี อังชะวิสิทธิ์
คุณอัจฉริยา นพวิญญวงษ์ คุณฟูชัย วรอดุลย์และพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่มีไต่เอ่ย ณ ที่นี้สำหรับความ
ช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีเสมอมาในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และ
ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและฟิล์มพลาสติกใน
การทำวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ไทยซิลิเกตเคมีคัล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ซีโอโลด์เพื่อนำมาใช้
ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ แม่คุณ ป้า น้าและพี่ชาย สำหรับการสนับสนุนใน
การศึกษา ความรักและความเป็นห่วง รวมทั้งกำลังใจที่มีให้เสมอมา

วีรยา เพ็ญผล

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	135
สรุป	135
ข้อเสนอแนะ	136
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	137
ภาคผนวก	152
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก	153
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์แก๊ส	155
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การนำสารดูดซับมาใช้ในการแยกแก๊สชนิดต่างๆ	20
2	ตัวอย่างของสารเคมีที่มีการบรรจุแบบแอคทีฟ	24
3	ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	32
4	สมบัติของซีโอไลต์ที่ใช้ในการวิจัย	37
5	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และความหนาของถุงสำหรับบรรจุสารดูดซับเอทิลีน และบรรจุมะม่วง น้ำดอกไม้และกล้วยหอม	38
6	ค่าคงที่ของอัตราการดูดซับเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 10 และ 30 องศาเซลเซียส	57
7	สมการอาร์เรเนียสและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ที่อุณหภูมิ 278 283 และ 303 องศาเคลวิน	58
8	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	69
9	การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	71
10	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	75
11	ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	76
12	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของมะม่วง ระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และความเป็นกรดต่างของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	78
14	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	83
15	การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	86
16	ความความแน่นเนื้อ (นิเวศน์) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	93
17	ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	94
18	ค่าสีแดง (a*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	95
19	ค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	96
20	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	97
21	สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และความเป็นกรดต่าง (pH) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	98
22	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับกล้วยหอมระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	103
23	ประเมินอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของเปลือกกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	110
25	ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของเนื้อมีกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	111
26	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และความเป็นกรด-ด่างของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	112
27	สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	113
28	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับกล้วยหอมระดับความบิรุรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	118
29	การเสื่อมเสียของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	123
30	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	128
31	ความความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	129
32	ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกและเนื้อมีกล้วยหอมในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	130
33	ค่าสีแดง (a^*) ของเปลือกและเนื้อมีกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	131
34	ค่าสีแดง (b^*) ของเปลือกและเนื้อมีกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	132
35	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
36	สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	134

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน	7
2 โครงสร้างทรงสี่หน้า (a) $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ (b) $[\text{AlO}_4]^{5-}$ และ (c) การจัดเรียงตัวในผลึกของซีโอไลต์	16
3 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์	17
4 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์	17
5 สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbers)	42
6 ดัชนีคุณภาพเพื่อใช้ในการประเมินระดับการเกิดโรคแอนแทรกโนส	46
7 ดัชนีคุณภาพเพื่อใช้ในการประเมินระดับการเสื่อมเสียของกล้วยหอม	49
8 ร้อยละของการดูดซับเอทิลีนบน Ethyl-gone [®] , ซีโอไลต์ตระกูล A ได้แก่ CaA และ NaA และ ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 ppm อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นในบรรยากาศ	53
9 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone [®] ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	54
10 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	55
11 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด NaA ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	55
12 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	56
13 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งของสารดูดซับเอทิลีนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone [®] (ก) ซีโอไลต์ชนิด CaA (ข) NaA (ค) และ ZSM-5 (ง) ที่อุณหภูมิต่างๆ	57
14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ (K^{-1}) ของเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ	58
15 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ethyl-gone [®] ที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	59
16 ปริมาณดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ethyl-gone [®] ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone [®] ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	62
18	ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone [®] ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ 30 องศาเซลเซียส	63
19	ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	63
20	ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	64
21	อัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ระดับความบริสุทธิ์ 80-85% ในระบบเปิด ที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง	65
22	อัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ระดับความบริสุทธิ์ 80-85% ในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง	66
23	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	67
24	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	67
25	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	68
26	ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ลักษณะปรากฏของเปลือก (ก) และเนื้อมะม่วง (ข) ระยะความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุใน ถูพลาสติก PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	72
28	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	80
29	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	81
30	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	81
31	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	82
32	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	82
33	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	83
34	ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	85
35	ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	85
36	ลักษณะปรากฏของมะม่วงระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ห้อง	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	ลักษณะปรากฏของเนื้อมะม่วงระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone [®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ห้อง	88
38	ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	90
39	อัตราการหายใจของกล้วยหอมที่ระดับความบริบูรณ์ 80-85% ในระบบเปิดที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง	100
40	อัตราการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมที่ระดับความบริบูรณ์ 80-85% ในระบบเปิดที่ อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	100
41	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	101
42	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	102
43	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	102
44	ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่ มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	104
45	ลักษณะปรากฏของกล้วยหอมระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ถุงพลาสติก PE-1 ทั้งที่ ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone [®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	105
46	ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone [®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของก๊วยฮอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	109
48	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	115
49	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	115
50	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	116
51	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	116
52	ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	117
53	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊วยฮอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	117
54	ปริมาณเอทิลีนของก๊วยฮอมภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	119
55	ปริมาณเอทิลีนของก๊วยฮอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	119
56	ลักษณะปรากฏของก๊วยฮอมระยะความบริสุทธิ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีการดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 57 ลักษณะปรากฏของเนื้อมวลหอยหอยระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุใน
ถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอ
ทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone[®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง

122

การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ผลไม้ประเภท Climacteric

Applications of Zeolite-based Ethylene Absorbers for Prolonging Shelf Life of Climacteric Fruits

คำนำ

เอทิลีนก็เป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊สและสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งพืชสร้างขึ้นเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาต่างๆ เช่น การออกดอก การสุกของผลไม้ และมีผลต่อการเหลืองและร่วงของใบพืช ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วฮอร์โมนชนิดนี้จะเริ่มมีอิทธิพลเมื่อผลผลิตนั้นเข้าสู่อาการวาย (senescence) มากกว่าการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแล้วเอทิลีนจะไปเร่งให้ใบพืชเกิดการหลุดร่วง ดอกไม้ไม่เหี่ยวหรือไม่บาน ส่วนในผลไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ประเภท climacteric จะมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้การหายใจสูงขึ้น ตลอดจนการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตเกิดอัตราการเสื่อมเสียเร็วขึ้น โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น เร่งอาการชราภาพ และเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำหรือกรด เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาสารยับยั้งหรือกำจัดเอทิลีนมาใช้ในการควบคุมปริมาณเอทิลีนหรือกำจัดเอทิลีนที่เกิดจากการผลิตของผลผลิตเพื่อชะลอการเสื่อมเสียที่มีสาเหตุมาจากเอทิลีน โดยสารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ สารดูดซับเอทิลีนที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate: KMnO_4) ซึ่งจัดเป็นสารออกซิไดส์ที่รุนแรง จึงสามารถกำจัดเอทิลีนผ่านกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ข้อจำกัดของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตก็มีหลายประการ เช่น ปัญหาวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด และอาจก่อให้เกิดมลพิษได้จากเมงกานีสที่เป็นโลหะหนัก (จริงแท้, 2539) นอกจากนี้ยังเป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงในการเก็บรักษาผลผลิต ทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่ผลผลิตได้ง่าย เนื่องจากผลผลิตบางชนิดมีอัตราการคายน้ำสูง ทำให้ในระหว่างที่เก็บรักษาหรือขนส่งมีน้ำเกิดขึ้นภายในภาชนะบรรจุ ทำให้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเกิดการละลายและปนเปื้อนสู่ผลผลิต

ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีการนำเอชีโอไลต์ซึ่งเป็นผลึกที่ประกอบด้วยสารประกอบจำพวก อลูมิโนซิลิเกต มาเชื่อมต่อกันเกิดเป็นโครงสร้างชีโอไลต์ที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและมีขนาดช่องว่างสม่ำเสมอ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 3-10 อังสตรอม ทำให้มีสมบัติเป็นตะแกรง ร่อนโมเลกุล กล่าวคือ ขอมให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าผ่านเข้าไปในโครงสร้าง ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านได้ (Bhatia, 1990) ด้วยเหตุนี้ชีโอไลต์จึงมีความเหมาะสมแก่การนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีนแทนสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นองค์ประกอบ ร่วมกับการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรในถุงที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านสูง (high permeable film) เพื่อควบคุมปริมาณเอทิลีนและชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพตลอดจนยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลที่่วงไวต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับเอทิลีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตผลในประเภท climacteric ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อตอบสนองความต้องการในการบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศที่พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้แทนสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ในกลุ่ม climacteric ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ และกล้วยหอม ซึ่งเป็นผลผลิตที่มีการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากฮอร์โมนเอทิลีน โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA, NaA และ ZSM-5 และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นองค์ประกอบ
2. ศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีน สำหรับผลิตผลประเภท climacteric ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ และกล้วยหอม ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (12 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส) ภายใต้การบรรจุในถุงพลาสติกที่ขอมให้แก๊สซึมผ่านสูง

การตรวจเอกสาร

1. เอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่อยู่ในรูปของแก๊ส โดยที่พืชและจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตเอทิลีนได้ นอกจากนี้มนุษย์ยังสามารถทำให้เกิดเอทิลีนได้จากกระบวนการเผาไหม้อีกด้วย นอกจากนี้เอทิลีนยังมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพตลอดจนการเสื่อมเสียของผลิตผลหลายชนิดภายหลังการเก็บเกี่ยว (Abeles, 1973) ซึ่งพืชสร้างขึ้นเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาต่างๆ เช่น การออกดอก การสุกของผลิตผล และมีผลต่ออาการเหี่ยวและการร่วงของใบพืช หรือการสุกของผลไม้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วฮอร์โมนชนิดนี้จะเริ่มมีอิทธิพลเมื่อผลิตผลนั้นๆ เข้าสู่การวาย (senescence) มากกว่าการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแล้วเอทิลีนจะไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนจะไปกระตุ้นให้เนื้อเยื่อมีอัตราการหายใจการหายใจที่สูงขึ้น (จริงแท้, 2538) ในใบพืชพบว่าโดยส่วนใหญ่ การสร้างเอทิลีนในใบนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งใบนั้นเริ่มต้นแก่ชราและหลุดร่วงไป (นพดล, 2537) ดังกรณีของใบฝ้าย พบว่าอัตราการเกิดเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นระหว่างที่เกิดอาการวาย (Morgan, 1992) ส่วนในใบยาสูบเอทิลีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเกิดอาการวาย และปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (Karaivazoglou, 2004) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเอทิลีนจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและเหนี่ยวนำให้เกิดอาการหลุดร่วงในที่สุด ในพืชดอก พบว่าเอทิลีนทำให้ดอกไม้หลายชนิดเกิดอาการเสื่อมสภาพ เหี่ยวเร็วขึ้น หรือไม่บาน (Abeles, 1973) โดยเฉพาะในช่วงก่อนที่จะเหี่ยวและร่วงโรยไป ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ชราร่วงโรยของดอก (นพดล, 2537) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Mayak *et al.*, 1977 รายงานว่าเอทิลีนที่สะสมในระดับสูงเป็นอันตรายต่อดอกไม้ ทำให้ดอกไม้เสื่อมคุณภาพเร็ว มีผลทำให้โครงสร้างทางกายภาพของเซลล์และเอนไซม์เปลี่ยนแปลง เมื่อเซลล์ได้รับเอทิลีนมากขึ้นซึ่งจะทำให้เยื่อหุ้มแวคิวโอลมีความสามารถในการซึมผ่านของสารเพิ่มมากขึ้น จึงมีสารจากแวคิวโอลผ่านออกมาสู่ไซโทพลาสซึมมากขึ้น และเกิดการสะสมของสารประกอบต่างๆ จนทำให้เซลล์เสื่อมสภาพ การดูดน้ำของเซลล์ลดลง ทำให้ดอกขาดน้ำและเหี่ยวในที่สุด และจากงานวิจัยของ Abeles (1973) พบว่าดอกคาร์เนชันเมื่อได้รับเอทิลีนในปริมาณสูงจะทำให้ดอกไม้บาน (sleepiness) ส่วนดอกกล้วยไม้เมื่อได้รับเอทิลีนในปริมาณสูง พบว่าบริเวณกลีบเลี้ยงแห้งและสีจาง โดยเกิดที่ปลายกลีบก่อนแล้วแพร่มาที่โคนกลีบ มีอาการโค้งงอของดอกย่อย เกิดเส้นเวนบนกลีบดอกและกลีบดอกง้ำน้ำ (อภิญา, 2544) ส่วนในผลไม้เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสุกเร็วขึ้น โดยส่วนใหญ่ผลไม้หลายชนิดมีการสร้างเอทิลีนปริมาณเล็กน้อย จนกระทั่ง

ช่วงก่อนถึงระยะที่มีการหายใจแบบ climacteric ซึ่งเป็นสัญญาณบอกถึงการสุก เมื่อปริมาณของเอทิลีนในช่องว่างระหว่างเซลล์สูงขึ้นอย่างมากจากปริมาณที่ไม่สามารถตรวจพบได้ จนสูงถึง 0.1-1 ppm ความเข้มข้นดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปจะกระตุ้นการสุกของผลไม้ประเภท climacteric กล่าวคือเมื่อผลไม้เริ่มพัฒนาจนสมบูรณ์แล้ว จะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงมาก (นพดล, 2537) โดยที่กระบวนการสุกจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีเอทิลีน (Lelievre *et al.*, 1997) และระหว่างการสุกก็ยังจำเป็นต้องมีเอทิลีนมีจะนั้นแล้วการสุกจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ (Ayub *et al.*, 1996; Guis *et al.*, 1997)

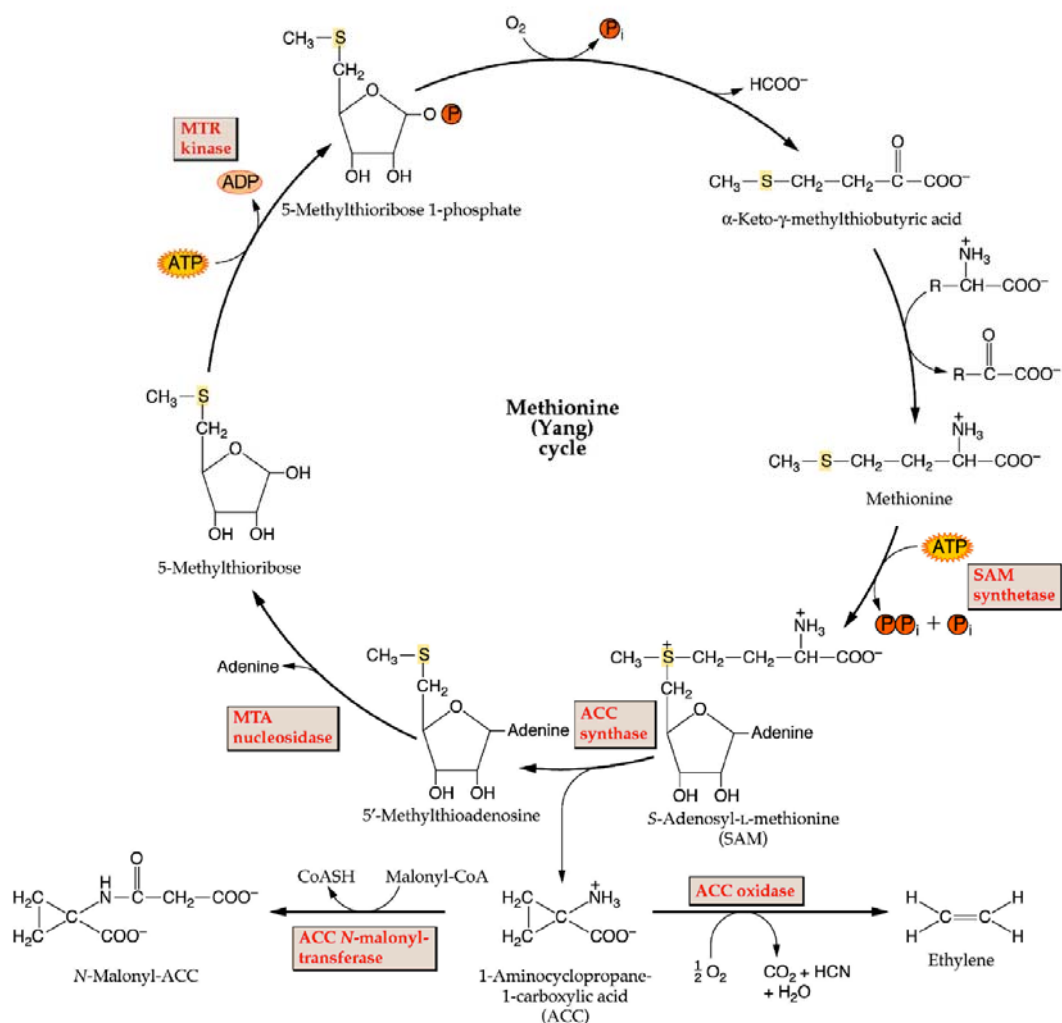
สำหรับการผลิตเอทิลีนของมะม่วงในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก มีการผลิตเอทิลีนจัดอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-10.0 ไมโครลิตรเอทิลีนต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและมีการสร้างเอทิลีนสูงขึ้นในระหว่างการสุกจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง ซึ่งคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ (จริงแท้, 2549) ในระหว่างการสุกของผลิตผลประเภท climacteric จะมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มมากขึ้นและกระตุ้นการหายใจและการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยที่การเพิ่มขึ้นของการผลิตเอทิลีนในผลิตผลจะเป็นสัญญาณ (signal) ของจุดเริ่มต้นของระยะ climacteric และเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จากการศึกษพบว่า ส่วนของเนื้อจะเป็นส่วนที่มีการสร้างเอทิลีนขึ้นก่อนและกระตุ้นให้เปลือกสร้างเอทิลีนขึ้นตามลำดับ (Dominguez and Vendrell, 1993; Lopez-Gomez *et al.*, 1997) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของเสาวภา (2547) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และน้ำดอกไม้สีทอง ในระยะแรกมีอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 วัน จากงานวิจัยของวันดี (2539) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองคำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25.6 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดสูงสุด (ethylene peak หรือ EP) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของศรบุปผา (2533) ซึ่งได้ศึกษาการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับอัตราการผลิตเอทิลีนเฉลี่ยของผลกล้วยหอมช่วงแรกหลังจากการเก็บเกี่ยวมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 5 หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 7 ภายหลังการเก็บเกี่ยว (สมชาย, 2539)

จากที่ได้กล่าวไปแล้วเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับการหายใจ กล่าวคือ ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำในช่วงที่ผลไม้มิสุก แต่เมื่อผลเริ่มสุกการหายใจกลับสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด และหลังจากนั้นจะลดลง ผลไม้ที่มีการหายใจแบบนี้มักพบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกค่อนข้างชัดเจน และเมื่อผลไม้ประเภท climacteric ได้รับเอทิลีนจะถูกกระตุ้นให้มีการหายใจเร็วขึ้น

กว่าปกติ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเร็วกว่าปกติ แต่อัตราการหายใจที่จุดสูงสุดนั้น ไม่แตกต่างจากปกติมากนัก ซึ่งผลิตผลประเภทนี้ ได้แก่ กล้วย ทุเรียน มะเขือเทศ เมล่อน มะละกอ มะม่วง ละมุด แอปเปิ้ล ฯลฯ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Bower *et al.* (2002) พบว่าผลเมล่อนเมื่อเก็บเกี่ยวออกมาจากต้น อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์กับอัตราการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่สูงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส สีและกลิ่นของเมล่อน

1.1 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน

ในพืชหรือผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยส่วนใหญ่ ฮอร์โมนเอทิลีนถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโนซึ่งมีชื่อว่า L-methionine ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์จากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเซลล์ โดยที่ methionine จะถูกกระตุ้นจาก ATP เกิดเป็น S-adenosyl methionine (AdoMet หรือ SAM) โดยเกิดผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา S-adenosylmethionine synthetase ในลำดับต่อมา SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยเกิดผ่านเอนไซม์ที่ชื่อ ACC synthase ซึ่งอยู่ในไซโทพลาสซึมร่วมกับ pyridoxal phosphate ในขั้นตอนของการเกิด ACC ถือเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการผลิตเอทิลีน เนื่องจากเอนไซม์ ACC oxidase มักมีอยู่ในปริมาณมากกว่าเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งกำกับการเปลี่ยน SAM ไปเป็น ACC (จริงแท้, 2549) จากนั้น ACC ถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ที่เรียกว่า ethylene forming enzyme (EFE) หรือ ACC oxidase และอาจถูกเปลี่ยนไปเป็น malonyl ACC (MACC) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างเสถียรและไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็น ACC หรือเอทิลีนได้ (จริงแท้, 2538) ซึ่งเอทิลีนที่สร้างขึ้นเองภายในหรือเอทิลีนจากภายนอกสามารถชักนำให้กิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase และ ACC oxidase เพิ่มขึ้น และเกิดการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นได้ เรียกลักษณะการสร้างเอทิลีนแบบนี้ว่า autocatalysis (Borochoy and Woodson, 1989)



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน

ที่มา: Crozier *et al.* (2000)

ผลไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่แตกต่างกัน เช่น ผลมะม่วงมีอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำ และพบว่ามีปริมาณเอทิลีนในผลเพียง 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น ในขณะที่ผลสาลี่มีอัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงและมีปริมาณเอทิลีนในผลสูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความแตกต่างนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของเอทิลีนผ่านเนื้อเยื่อต่างๆ ออกมาด้วย โดยผลไม้ที่มีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก และมีโครงสร้างที่ผิวปิดไม่สนิท เช่น มีปากใบ หรือช่องเปิดอื่นๆ มากก็จะทำให้ตรวจพบได้ว่าปลดปล่อยเอทิลีนออกมามาก (จรัสแท้, 2549)

1.2 การทำงานของเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวกระตุ้นโดยมิได้ถูกรวมเข้าไปเป็นองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งของเซลล์พืช เอทิลีนทำงานหรือแสดงอิทธิพลโดยผ่านตัวกลางหรือตัวรับ (Receptor) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง มีอะตอมของโลหะบางชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยาของพืช โดยที่การทำงานของเอทิลีนมักเกิดร่วมกับการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งชนิดของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เป้าหมายโดยเมื่อเอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการร่วงของใบนั้น จะพบเซลล์ลูโลสและเอนไซม์อื่นๆ ในการสลายผนังเซลล์จะปรากฏขึ้นที่ abscission layer หรือเมื่อมีการสุกเกิดขึ้น เอนไซม์ที่จำเป็นก็จะถูกสร้างขึ้นในเซลล์นั้นๆ (นพดล, 2537)

การตอบสนองต่อการทำงานของเอทิลีนไม่ได้ขึ้นกับการจับตัวของเอทิลีนกับตัวรับโดยตรงไปตรงมาเท่านั้น แต่การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนมีความแตกต่างกันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ชนิดของพืช พบว่าพืชต่างชนิดกันมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่แตกต่างกันไป เนื่องจากสรีรวิทยาของพืชแต่ละชนิดมีความต่างกัน

2. อายุทางสรีรวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว ผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวบางชนิดมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าผลผลิตที่เก็บเกี่ยวขณะเป็นผลอ่อนมีอัตราการผลิตเอทิลีนในปริมาณต่ำกว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่แก่ ซึ่งจากงานวิจัยของ Atta-Aly *et al.* (1992) พบว่ามะเขือเทศในช่วงที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ มีอัตราการเกิดเอทิลีนในปริมาณต่ำ เนื่องจากมีปริมาณ ACC เกิดขึ้นน้อย สำหรับการตอบสนองที่ว่องไวต่อเอทิลีนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลผลิต และพันธุ์ปลูก ดังจะเห็นได้จากกรณีของดอกคาร์เนชัน เมื่อได้รับเอทิลีน 1 ส่วนในล้านส่วน ภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงจะมีการตอบสนองเกิดขึ้น ในขณะที่ดอกไม้บางชนิดจะตอบสนองต่อเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ เท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ไม่ตอบสนองต่อเอทิลีน ตัวอย่างเช่น ดอกเบญจมาศ เมื่ออายุดอกยังน้อยจะมีการตอบสนองน้อย (ไม่ไว) ต่อเอทิลีนและค่อยๆ ตอบสนองมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงภายในซึ่งทำให้ไวต่อเอทิลีนภายนอกหรือต่อ regulative action ของฮอร์โมนภายใน

3. อุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สารทุกอย่างมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกริยาต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูงขึ้น (จริงแท้, 2538) รวมถึงอัตราการผลิตเอทิลีนก็จะเกิดได้สูงเช่นกัน

4. ปริมาณออกซิเจน ทั้งนี้เนื่องจากในการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชต้องใช้ออกซิเจนในลำดับขั้นตอนของการเปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีน (Beaudry, 1999) ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนจะสามารถยับยั้งหรือลดการผลิตเอทิลีนลงได้

5. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่แก๊สชนิดนี้มีความสามารถในการชะลอกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน ทั้งนี้เนื่องจากมีความสามารถในการแย่งที่กับเอทิลีนในการเข้าจับในตำแหน่ง binding site ของ receptor ส่งผลให้เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลง (Beaudry, 1999)

6. ปริมาณเอทิลีนในบรรยากาศก็เป็นอีกสาเหตุที่กระตุ้นให้ผลิตผลมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่สูงขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ในการเก็บรักษาผลิตผลต่างๆ จึงควรกำจัดเอทิลีนออกไป ทั้งนี้เพื่อช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา (จริงแท้, 2538)

7. ความเครียดต่างๆ เช่น การเกิดบาดแผล การเกิดโรค การรมควัน การฉายรังสี การขาดน้ำ เป็นต้น ในกรณีของการเกิดบาดแผลในมะเขือเทศสามารถพบได้จากวิธีการเก็บเกี่ยวผลิตผลไม่มีความเหมาะสมหรือขาดความระมัดระวัง ทำให้เกิดบาดแผลและอาการช้ำ เหนียวน้ำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน (Atta-Aly *et al.*, 1987; Atta-Aly *et al.*, 1992) นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในกรณีของผลไม้ตัดแต่ง โดยจะมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณสูง และเกิดการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุ (Pelayo *et al.*, 2003) ส่วนกล้วยไม้ พบว่าเกิดการสะสมของสารประกอบต่างๆ ภายในไซโทพลาสซึมมากขึ้นจนทำให้เซลล์เสื่อมสภาพ มีผลทำให้ดอกขาดน้ำเนื่องจากการดูดน้ำของเซลล์ลดลงและเหี่ยวในที่สุด (Mayak *et al.*, 1977)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลิตผลที่มีสาเหตุมาจากเอทิลีน พบว่าในผลไม้ประเภท climacteric นั้น กระบวนการสุกขึ้นอยู่กับเอทิลีน ยิ่งให้เอทิลีนจากภายนอกแก่ผลไม้ประเภทนี้มากขึ้น การสุกก็เกิดได้เร็วขึ้น และตัวผลไม้เองก็สร้างเอทิลีนขึ้นมากกระตุ้นกระบวนการ

ลูกต่างๆ เกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม อายุของผลไม้มีผลต่ออิทธิพลของเอทิลินที่ได้รับ ผลไม้ที่มีอายุน้อยต้องใช้ความเข้มข้นของเอทิลินสูง ในขณะที่ผลที่มีอายุมากขึ้นต้องการเอทิลินใน ปริมาณต่ำ แต่อย่างไรก็ตามหากได้รับเอทิลินในปริมาณมาก ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาของพืช เช่น การหายใจเพิ่มมากขึ้นแล้วลดลง ความเข้มข้นของเอทิลินภายในผลและการ ผลิตเอทิลินมากขึ้น สามารถตอบสนองต่อเอทิลินได้ง่ายขึ้น องค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบพวกเพกตินเปลี่ยนไปทำให้ผลไม้เกิดการอ่อนตัว การควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร ต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ลดน้อยลง โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ถูก สร้างขึ้น RNA และ DNA เปลี่ยนไปจากเดิม (Hoeberichts, 2002) คลอโรฟิลล์เกิดการเสื่อมสลาย แอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้น โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้ง เปลี่ยนเป็นน้ำตาล หรือน้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอีกชนิดหนึ่ง กรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ระ กอบเปลี่ยนไป สารระเหยที่ให้กลิ่นและรสถูกสร้างขึ้นมา สารพวกแทนนินรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ ทำให้ความฝาดลดลง เกิดการสะสมของไขมันผิวของผล เมล็ดพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ เกิดการ หลุดร่วง (abscission) พืชใบมีสีเขียว ลำต้นเกิดอาการ โค้งงอ (Cantwell, 1993) เป็นต้น

ดังนั้นจึงควรป้องกันความเสียหายของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยการหลีกเลี่ยง การสัมผัสกับเอทิลินที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม ซึ่งการยับยั้งหรือกำจัดเอทิลินในผลิตผลสามารถทำ ได้หลายวิธี ดังจะกล่าวในส่วนต่อไป

2. การยับยั้ง และกำจัดเอทิลิน

2.1 การยับยั้งเอทิลินด้วยวิธีการลดอุณหภูมิเบื้องต้น (precooling)

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการหายใจของดอกไม้ ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุ การใช้งานและอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าดอกไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำ เนื่องจากอาหารที่สะสมไว้จะ ถูกใช้ไปกับการหายใจ ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวให้ต่ำลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้ผลิตผลอยู่ในสภาพสดและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น อุณหภูมิยังมีผลต่อการสร้างเอทิลิน เช่นกัน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้พืชสร้างเอทิลินสูงขึ้นด้วย และพืชจะสร้างเอทิลินน้อยเมื่อ อุณหภูมิต่ำ (สายชล, 2531) ดังนั้นจึงมีการลดอุณหภูมิเบื้องต้น (precooling) ของผลิตผลให้มี อุณหภูมิต่ำลงเพื่อลดการสร้างเอทิลิน ลดการหายใจ ลดการคายน้ำ และลดการเน่าเสียจากเชื้อ โรค (Nowak and Rudnicki, 1990) การลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยห้องเย็น (room cooling) ของดอก

กล้วยไม้หวายก่อนการบรรจุทำให้ดอกกล้วยไม้หวายมีการสร้างเอทิลีนลดลงได้อย่างชัดเจน ดอกกล้วยไม้หวายลดอุณหภูมิเบื้องต้นที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที มีแนวโน้มลดอัตราการสร้างเอทิลีนได้ดีที่สุดและให้อายุการปักแจกันนานที่สุด (สายชล และคณะ, 2542)

2.2 สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากระดับเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถทำได้โดยการใช้สารยับยั้งการสร้างหรือการทำงานของเอทิลีน ตลอดจนใช้สารดูดซับเอทิลีนต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ไอออนของสารอนินทรีย์ (inorganic ions)

ไอออนของสารอนินทรีย์ เช่น Ag^+ , Co^{2+} และ Ni^{2+} เป็นโลหะหนักที่มีสมบัติยับยั้งการผลิตเอทิลีนในลำดับการเปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีนของพืชดอกเป็นส่วนใหญ่ (Beyer, 1979) โดยที่ไอออนของโลหะจะเข้าไปแทนที่โลหะที่บริเวณ active site ของเอทิลีน ทำให้ตัวรับเปลี่ยนรูปเมื่อเอทิลีนไม่สามารถรวมตัวกับตัวรับได้ ก็จะไม่สามารถทำงานได้ (Hanson and Kende, 1976) แต่ปัญหาของการนำสารประกอบของโลหะหนักมาใช้ เช่น Ag^+ , Co^{2+} และ Ni^{2+} จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการทิ้งของเสียลงแหล่งน้ำธรรมชาติ

2.2.2 α -Aminoisobutyric acid (AIB)

AIB เป็นกรดอะมิโนสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับ ACC (ACC analog) จึงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ได้แบบ competitive inhibitor (Charng *et al.*, 2001) มีประสิทธิภาพมากในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในขั้นตอนของการเปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีน ทำให้มีการสะสมของ ACC ในเนื้อเยื่อของพืช (Abeles *et al.*, 1992)

2.2.3 1-methylcyclopropene (1-MCP)

เกิดจากการค้นพบของ Serek *et al.* (1994) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีสูตรทางเคมี คือ C_4H_6 มีสมบัติในการ

ยับยั้งการทำงานของเอทิลีนทั้งในผัก ผลไม้ และไม้ออกไม้ประดับได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ในระดับความเข้มข้นต่ำเพียง 2.5 นาโนลิตรต่อลิตร ถึง 1 ไมโครลิตรต่อลิตร สำหรับการทำงานของ 1-MCP สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อสารชนิดนี้อยู่ในรูปของสารระเหย โดยที่สารนี้มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในลำดับขั้นตอนของ ACC synthase โดยมีความสามารถในการแย่งจับกับตัวรับเอทิลีนมากกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า ทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ 1-MCP ยังอาจมีผลต่อการสร้างเอทิลีนโดยการยับยั้งแบบย้อนกลับ (feedback inhibition) ในพืชบางชนิดอีกด้วย (Blankenship and Dole, 2003) ซึ่งจะส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลนานยิ่งขึ้น ดังเช่นกรณีของกล้วย เมื่อรมด้วย 1-MCP พบว่ากลิ่นและการเปลี่ยนแปลงขณะที่เกิดกระบวนการสุกจะเกิดได้ช้าลงและลดการสูญเสียคุณภาพ (Sisler *et al.*, 1996b; Wylie *et al.*, 1997) นอกจากนี้เมื่อนำ 1-MCP มาประยุกต์ใช้กับมะเขือเทศ พบว่าสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของ ACC synthase และ ACC oxidase ซึ่งมีผลทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนน้อยลง (Nakatsuka *et al.*, 1997) และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับแอปเปิ้ลตัดแต่ง พบว่าอัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและสี ตลอดจนการสังเคราะห์ประกอบของกลีโคไซด์ลดลง (Vilas-Boas and Keder, 2006)

2.2.4 2, 5-norbornadiene (NBD)

NBD เป็นสารที่ได้รับความสนใจเนื่องจาก NBD สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้องและสามารถเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ทันที (Peiser, 1989) ทำให้เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้เป็นอย่างดี โดยการแข่งที่กับเอทิลีนในการเข้าจับในตำแหน่ง binding site ของตัวรับ (receptor)

2.2.5 สารดูดซับเอทิลีน

การใช้สารดูดซับเอทิลีนก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่มีอยู่ในบรรยากาศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยสารดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

ก. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ หรือ activated carbon มีลักษณะเป็นของแข็งที่มีสีดำ และจัดเป็นสารที่มีพื้นที่ผิวสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีความสามารถในการดูดซับแก๊สชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเกิดการดูดซับด้วยแรงวาลเดอร์วาลส์ ถ่านกัมมันต์เกิดจากการสลายประกอบอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในธรรมชาติที่นำมาผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 กระบวนการดังนี้

1. กระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่สารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นถ่านกัมมันต์เมื่อใช้แก๊ส โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนของการคาร์บอนในเซชัน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่วัตถุดิบที่ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนถูกไพโรไลส์ที่อุณหภูมิ 600-900 องศาเซลเซียส ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน (โดยทั่วไปจะเตรียมในสถานะของแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน เป็นต้น) ส่วนอีกขั้นตอนหนึ่งเป็นกระบวนการกระตุ้น หรือออกซิเดชัน ในขั้นตอนนี้วัตถุดิบหรือสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน จะถูกออกซิไดส์ในอากาศ (ที่ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน หรือไอน้ำ) ที่อุณหภูมิมากกว่า 250 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 600-1200 องศาเซลเซียส สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยอาศัยกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพอาจเกิดผ่านทั้งกระบวนการคาร์บอนในเซชันหรือออกซิเดชัน หรือเกิดผ่านแค่กระบวนการใดกระบวนการหนึ่งก็ได้

2. กระบวนการกระตุ้นทางเคมี เป็นกระบวนการที่อาศัยวิธีการต่างๆ ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งอาจเตรียมโดยการใช้กรด เช่น กรดฟอสฟอริก หรือเบส เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือเกลือของซิงค์คลอไรด์ จากนั้นจะเกิดผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 450-900 องศาเซลเซียส โดยที่กระบวนการคาร์บอนในเซชันและออกซิเดชันจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีของกรด หรือเบส แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มักเกิดปัญหา เช่น เกิดการตกค้างของซิงค์ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ก็มีข้อดีคือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการกระตุ้นทางเคมีน้อยกว่ากระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ

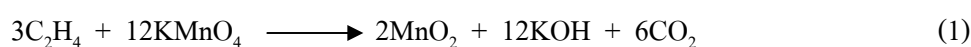
สำหรับการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ในการสกัดโลหะ ใช้ในการแยกน้ำให้บริสุทธิ์ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ใช้เป็นตัวกรองอากาศ และใช้ในการดูด

ชั้นแก๊สชนิดต่างๆ ฯลฯ ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีการนำเอาถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับเอทิลีนที่เกิดจากการปลดปล่อยของผลิตภัณฑ์นี้เพื่อช่วยชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพหรือช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Gloria *et al.* (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular-activated carbon; GAC) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 626 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่มีการผสมกับแพลลาเดียมอะซิเตด (GAC-Pd) ต่อคุณภาพของมะเขือเทศร่วมกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่สะสมภายในถุง ส่งผลให้การสุกของผลมะเขือเทศมีการเปลี่ยนแปลงช้า อีกทั้งยังสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีผิว ความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อ และการสูญเสียน้ำหนัก

ข. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate; KMnO_4)

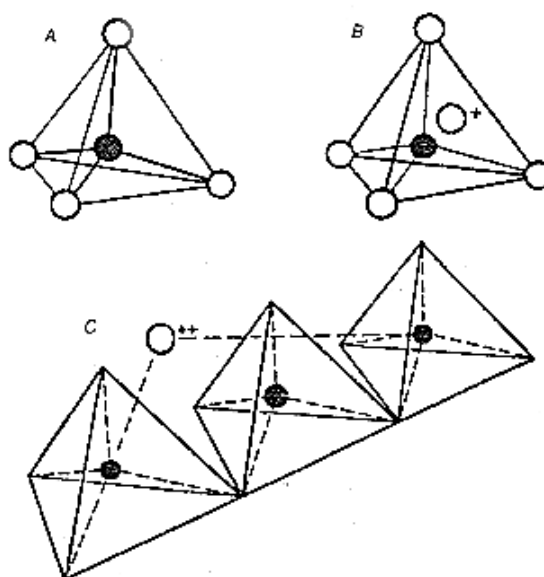
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate; KMnO_4) หรือ ด่างทับทิม จัดเป็นสารประกอบเคมีที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีม่วง มีรสหวานและไม่มีกลิ่น และเมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบสีชมพูเข้ม มีความสามารถในการออกซิไดซ์ที่รุนแรง ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับเอทิลีนที่มีอยู่ในบรรยากาศ หรือลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่เกิดจากการสังเคราะห์ของผลิตผล ทั้งนี้เพื่อชะลอการสูญเสียคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตผล เช่น ถั่วลิสง มะม่วง ผลกีวี ร่วมกับการใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Hatton and Reeder, 1972) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารดูดซับเอทิลีน พบว่าผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผล เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงทำปฏิกิริยากับเอทิลีนที่มีในสภาวะบรรยากาศ จะเกิดเป็นสารประกอบของแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1 ซึ่งจะช่วยลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่มีอยู่ในบรรยากาศได้ (ธีรนุต และคณะ, 2549)



แต่อย่างไรก็ตามโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการดูดซับเอทิลีนที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถในการทำลายเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง นอกจากนี้ เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนไปใช้ร่วมกับการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรที่มีอัตราการคายน้ำสูง พบว่า โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย เกิดการปนเปื้อนในผลิตผล ทำให้ลักษณะภายนอกที่ปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับต่อการบริโภค

ก. ซีโอไลต์ (Zeolites)

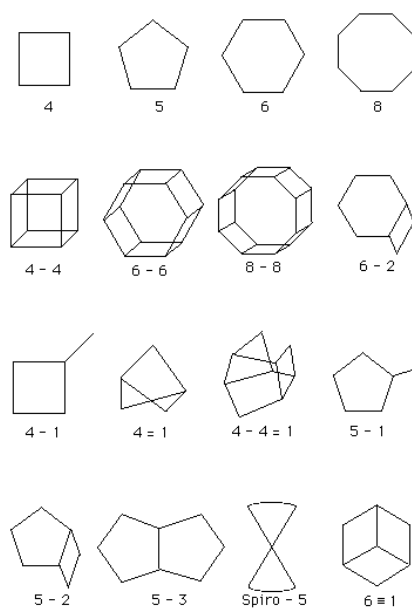
ซีโอไลต์เป็นผลึกที่ประกอบด้วยสารประกอบจำพวกอลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicate) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างซิลิกอนเตตระออกไซด์ ($[\text{SiO}_4]^{4-}$) และอลูมิเนียมเตตระออกไซด์ ($[\text{AlO}_4]^{3-}$) เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติขนาดใหญ่ (three dimensional) ที่มีลักษณะเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedral) ที่เชื่อมต่อกันด้วยอะตอมของออกซิเจน ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยมีช่องว่างภายในเกิดขึ้น ซึ่งภายในช่องว่างนี้มีโมเลกุลของน้ำ และไอออนบวกของหมู่แอลคาไลน์ (เช่น โซเดียม โพแทสเซียม เป็นต้น) และหมู่แอลคาไลน์เอิร์ธ (เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น) (Davis, 2003; Szostak, 1998) และเนื่องจากโครงสร้างของซีโอไลต์มีขนาดของช่องว่างที่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 3-10 อังสตรอม ทำให้มีสมบัติเป็นตะแกรงร่อนโมเลกุล (molecular sieve) กล่าวคือ ขอมให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าผ่านเข้าไปในโครงสร้าง ในขณะที่โมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านได้ ซึ่งสมบัติของซีโอไลต์ขึ้นกับโครงสร้าง ขนาด รูปร่าง และช่องว่างภายในผลึก รวมไปถึงตำแหน่งของประจุและขนาดไอออนบวกที่อยู่ในโครงสร้าง (Bhatia, 1990)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทรงสี่หน้า (a) $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ (b) $[\text{AlO}_4]^{5-}$ และ (c) การจัดเรียงตัวในผลึกของซีโอไลต์

ที่มา: Dyer (1988)

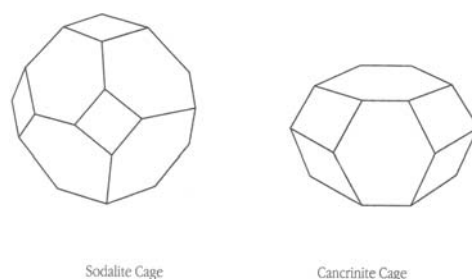
การจัดเรียงโครงสร้างของซีโอไลต์เริ่มจากโครงสร้างปฐมภูมิ (primary unit) ที่มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้าที่มีออกซิเจนสี่ตัวล้อมรอบ โครงสร้างปฐมภูมิประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si), อลูมิเนียม (Al) และออกซิเจน (O_2) จะเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายสามมิติ เกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Units; SBUs) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์

ที่มา: Herreros (1995)

โครงสร้างทุติยภูมิลำดับนี้เชื่อมต่อกันโดยการสร้างพันธะต่อกันระหว่างโครงสร้างทุติยภูมิด้วยกันเอง เรียกโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ว่า โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary building unit หรือ polyhedral unit) โครงสร้างตติยภูมิสามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างผลึกซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน เช่น รูปทรงเหลี่ยมแปดหน้ามุมตัด (truncated octahedral type) รูปทรงสิบแปดหน้า (18-hedron) และรูปทรงสิบเอ็ดหน้า (11-hedron) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4

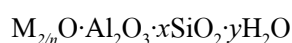


ภาพที่ 4 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์

ที่มา: ตะวัน (2543)

หน่วยย่อยของซิลิกาไม่มีประจุ แต่หน่วยย่อยของอลูมินามีประจุเท่ากับลบหนึ่ง ทำให้ประจุสุทธิของโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าเป็นลบ โดยมีไอออนบวกของโลหะหมู่แอลคาไลน์หรือหมู่แอลคาไลน์เอิร์ทที่อยู่ในโครงสร้าง ทำหน้าที่ดุลประจุสุทธิในตำแหน่งของหน่วยอลูมินาในโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดนั้นๆ

ซีโอไลต์มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



เมื่อ

M คือจำนวนไอออนบวกที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ n

x จำนวนโมลของซิลิกอนภายใน โครงสร้าง ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2

y จำนวนโมลของน้ำภายในโครงสร้าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 10-200

อัตราส่วนซิลิกาต่ออลูมินา (Si/Al) โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1-5 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ลักษณะทางโครงสร้างของซีโอไลต์มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ซีโอไลต์มีสมบัติที่แตกต่างกัน (Breck, 1974) ดังนี้

1. สามารถเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้สูง มีพฤติกรรมของ zeolitic material
2. มีความหนาแน่นต่ำและมีปริมาตรช่องว่างมาก เมื่อคั่งน้ำออกจากโครงสร้าง
3. มีความเสถียร เมื่อคั่งน้ำออกจากโครงสร้าง
4. มีขนาดช่องว่างที่เท่ากันสม่ำเสมอ เมื่อคั่งน้ำออกจากโครงสร้าง
5. ขนาดและรูปร่างของช่องว่างจะควบคุมการผ่านเข้าออกของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดและรูปร่างเหมาะสมจะสามารถผ่านไปมาในช่องและถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างได้ ซึ่ง

ลักษณะดังกล่าวทำให้มีการนำซีโอไลต์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านตะแกรงร่อน โมเลกุลและการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ได้เป็นอย่างดี

6. การมีช่องว่างในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส จึงนิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ในด้านต่างๆ

ซีโอไลต์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประเภทด้วยกัน แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. การเป็นตัวดูดซับและเป็นตัวกรอง (adsorption and separation)

ในโครงสร้างของซีโอไลต์ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่าง เมื่อนำน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างของโครงสร้างซีโอไลต์ระเหยออกไป จะเกิดช่องว่างขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการดูดซับ โมเลกุลหรือไอออนอื่นๆ ที่เล็กพอที่จะสามารถผ่านเข้าไปในช่องว่าง ทำให้สามารถแยกของผสมหรือโมเลกุลต่างๆ ออกจากกันได้ โมเลกุลหรือไอออนที่ถูกดูดซับจะสามารถแยกออกจากซีโอไลต์ได้โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การลดความดัน การเพิ่มอุณหภูมิ การแทนที่โดยตัวถูกดูดซับ โมเลกุลหรือไอออนอื่นหรือทั้ง 3 วิธีรวมกัน

สำหรับสารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับหรือเป็นตัวกรองแก๊ส สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การนำสารดูดซับมาใช้ในการแยกแก๊สชนิดต่างๆ

Gas Bulk Separations (a)	
Separation (a)	Adsorbent
Normal paraffins, Isoparaffins, 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)	
Separation (a)	Adsorbent
C ₂ H ₄ /Vent stream	Activated carbon
H ₂ O/Ethanol	Zeolites
Gas Bulk Separations (c)	
Separation (a)	Adsorbent
H ₂ O/Olefin-containing cracked gas, Natural	
Gas, Air, Synthesis gas, etc.	Silica, Alimina, Zeolies
CO ₂ /C ₂ H ₄ , Natural gas, etc.	Zeolites
Organics/Vent streams	Activated carbon, Other
Sulfur compounds/natural gas, Hydrogen, Liquified petroleam	
gas (LPG), etc.	Zeolites
Odors/Air	Activated carbon, Other
NO _x /N ₂	Zeolites
SO ₂ /Vent streams	Zeolites

a Adsorbates listed first

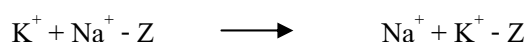
b Adsorbates concentration of about 10 %wt. or higher in the feed

c Adsorbated concentration generally less than about 3 %wt. in the feed

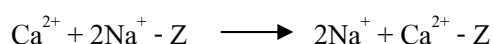
ที่มา: ธานี (2544)

2. การเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

การใช้งานของซีโอไลต์ส่วนใหญ่จะใช้งานในลักษณะที่เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในหมู่ของแอลคาไลน์ และหมู่ของแอลคาไลน์เอิร์ธ หรือที่เรียกว่า “cationic ion exchange” โดยมีหลักการสำคัญคือ ไอออนบวกที่อยู่ภายในโครงสร้างสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยไอออนบวกชนิดอื่นๆ เช่น



หรือ



(เมื่อ $\text{Z} = \text{zeolites}$)

โดยที่การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ โดยให้ประจุที่เข้าและออกจากโครงสร้างเท่ากัน

3. การใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซีโอไลต์ที่ถูกใช้งานด้านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

3.1 bifunctional catalyst

การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้เป็นตัวพุง (support) ให้กับโลหะทรานสิชั่น เช่น Fe, Pt, Pd เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ทำให้สามารถนำ ซีโอไลต์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำ ได้ 2 หน้าที่ คือ เป็นทั้งตัวเร่งปฏิกิริยานั้นๆ และเป็นตัวพุงโลหะทรานสิชั่น

3.2 ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรง

การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นประโยชน์มากที่สุด คือ ใช้ในกระบวนการ catalytic cracking พบว่า 99 % ของน้ำมันเบนซินทั่วโลกได้มาจากกระบวนการ catalytic cracking ที่ใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4. การประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture) โดยใช้ซีโอไลต์เพื่อลดแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงต่างๆ การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (water treatment) กล่าวคือ ใช้ซีโอไลต์ในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับโลหะหนัก สำหรับทางการเกษตรก็มีการนำซีโอไลต์มาใช้ในการปรับปรุงดิน โดยอาศัยความแตกต่างของช่องว่างที่อยู่ภายในโครงสร้าง นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในการดูดซับแก๊สและความชื้น (gas adsorption and desiccation) เช่น SO_2 , CO_2 และดูดความชื้น เป็นต้น

สำหรับการนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้งาน ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Triebe *et al.* (1996) ได้ศึกษาถึงการดูดซับของแก๊สมิเทน อีเทน และเอทิลีนบริสุทธิ์บนซีโอไลต์ โดยการวัดแก๊สดังกล่าวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ซึ่งซีโอไลต์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ H-mordenite และซีโอไลต์ชนิด 13X, CaX, 4A, 5A พบว่าแก๊สทั้ง 3 ชนิดจะดูดซับได้ดีบนซีโอไลต์ชนิด 4A และ 5A ส่วนมิเทนและเอทิลีนจะดูดซับบนซีโอไลต์ชนิด CaX, 13X และ H-mordenite ได้ดี แต่จากการศึกษา พบว่าซีโอไลต์ชนิด 5A และ CaX จะใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการดูดซับ เนื่องจากต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้ไคววเลนต์แคปไฮดรอกซิลเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับพันธะ π (π -bond) และในปีเดียวกัน Choudhary and Mayadevi (1996) ได้ศึกษาการดูดซับของมิเทน อีเทน เอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์บนซิลิกาไลต์ (silicalite-I) พบว่าลำดับความสามารถในการดูดซับของแก๊สดังกล่าวบนซิลิกาไลต์เป็นดังนี้ $\text{CH}_4 < \text{CO}_2 < \text{C}_2\text{H}_4 \leq \text{C}_2\text{H}_6$ ในปีต่อมา Peiser and Suslow (1998) ได้ศึกษาถึงผลของการดูดซับเอทิลีนโดยใช้ซีโอไลต์ชนิด chabazite และ clinoptilolite ซึ่งพบว่า clinoptilolite ไม่สามารถดูดซับเอทิลีนได้ในขณะที่ Chabazite จะแสดงสมบัติในการดูดซับเอทิลีนได้เป็นอย่างดี และจากงานวิจัยของ Limtrakul (2001) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสมบัติในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ประเภท H-faujasite (H-FAU) และ H-ZSM-5 พบว่าความสามารถในการดูดซับเอทิลีนของ H-FAU เกิดขึ้นได้ดีกว่า H-ZSM-5 ทั้งนี้เนื่องมาจาก H-ZSM-5 มีความเป็นกรดมากกว่า FAU

3. การบรรจุแบบแอคทีฟ (active packaging)

การบรรจุแบบแอคทีฟ (active packaging) มีความหมายครอบคลุมถึงบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่พื้นฐานของการบรรจุภัณฑ์เท่านั้น ขณะเดียวกันก็มีการควบคุมองค์ประกอบภายในของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอม หรือสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่างๆ ผ่านเข้าออกจากภาชนะบรรจุให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพ โดยมีการใช้สารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเพียงอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป สารเหล่านี้จะควบคุมหรือทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ หรือสิ่งแวดล้อมรอบตัวผลิตภัณฑ์โดยการบรรจุในช่องขนาดเล็ก และเป็นส่วนหนึ่งของฟิล์มหรือตัวบรรจุภัณฑ์ เช่น ป้ายติดด้านในหรือผสมเป็นเนื้อเดียวกับตัวบรรจุภัณฑ์ก็ได้ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ ได้แก่ สารดูดความชื้น (desiccants), สารดูดออกซิเจน / คาร์บอนไดออกไซด์ (O_2/CO_2 scavenger) สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbers), สารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) และสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (antimicrobials) เป็นต้น

3.1 ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสามารถแบ่งตามลักษณะเทคโนโลยีได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การบรรจุในช่องขนาดเล็ก (sachets) การใช้สารดูดหรือคายก๊าซ โดยบรรจุในช่องเล็กๆ (packet หรือ sachet) แล้วนำไปบรรจุไว้ในบรรจุภัณฑ์หลักเพื่อให้สารในช่องดูดหรือคายก๊าซบางชนิด เช่น สารดูดซับออกซิเจน สารคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สารควบคุมความชื้น สารดูดซับแก๊สเอทิลีน สารดูดซับกลิ่นหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น

2. แผ่นป้ายขนาดเล็ก (adhesive labels) เป็นวิวัฒนาการของซองบรรจุสารดูดซับแก๊สที่นำมาทำเป็นแผ่นบางๆ หรือฉลากที่มีกาวในตัว โดยมีสารดูดซับแก๊สเป็นองค์ประกอบอยู่ภายใน ซึ่งจะใช้ติดโดยตรงที่ตัวบรรจุภัณฑ์ เช่น ที่ตัวหรือฝาภาชนะ เป็นต้น

- 3 ฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ดูดซับแก๊ส (scavenger films / packages) เป็นการผสมสารที่มีสมบัติดูดซับแก๊สเข้าไปเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มหรือตัวบรรจุภัณฑ์นั้นๆ ช่วยป้องกันการซึมผ่านของแก๊สจากภายนอกเข้าสู่ตัวบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ฟิล์มที่มีสารผสมเพื่อยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์

แบคทีเรียในอาหารหรือการใช้ฟิล์มพลาสติกผสมด้วยสารดูดออกซิเจนเป็นซีล (seal) ด้านในของฟลิวอิดเบียร์ นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภทนี้ยังช่วยลดขั้นตอนการบรรจุของหรือแผ่นป้ายดูดซับแก๊สลงในบรรจุภัณฑ์ได้อีกด้วย

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามสารเคมีที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้การใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟต้องเลือกให้เหมาะสมกับอาหารหรือผลผลิตที่บรรจุ ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของสารเคมีที่มีการบรรจุแบบแอคทีฟ

Active packaging system	Mechanisms	Actual and potential food applications
O ₂ scavengers	1. Iron based	Bread, cakes, cooked rice,
	2. Metal / acid	biscuits, pizza, pasta,
	3. Metal (e.g. platinum) catalyst	cheese, cured meats and
	4. Ascorbate / metallic salts	fish, coffee, snack foods,
	5. Enzyme based	dried foods and beverages
CO ₂ scavengers / emitters	1. Iron oxide / calcium hydroxide	Coffee, fresh meats and
	2. Ferrous carbonate / metal halide	fish, nuts and other snack
	3. Calcium oxide / activated charcoal	food products and sponge
	4. Ascorbate / sodium bicarbonate	cakes
Ethylene scavengers	1. Potassium permanganate	
	2. Activated carbon	Fruit, vegetables and other
	3. Activated clays / zeolites	horticultural products
Preservative releasers	1. Organic acids	
	2. Silver zeolite	Cereals, meats, fish, bread,
	3. Spice and herb extracts	cheese, snack foods, fruit
	4. BHA / BHT antioxidants	and vegetables

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Active packaging system	Mechanisms	Actual and potential food applications
Ethanol emitters	1. Encapsulated ethanol	Pizza crusts, caked, bread, biscuit, fish and bakery products
Moisture absorbers	1. Polyvinylalcohol blanket 2. Activated clays and minerals 3. Silica gel	Fish, meats, poultry, snack foods, cereals, dried foods, sandwiches, fruit and vegetables
Flavour / odor Adsorbers	1. Cellulose triacetate 2. Acetylated paper 3. Citric acid 4. Ferrous salt / ascorbate 5. Activated carbon / clays / zeolites	Fruit juices, fried snack foods, fish, cereals, poultry, dairy products and fruit

ที่มา: Stringer and Dennis (2000)

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการบรรจุแบบแอคทีฟ ครอบคลุมการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งรูปแบบของระบบการบรรจุแบบแอคทีฟที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่

1. สารดูดซับออกซิเจน (oxygen scavengers)

ผลของออกซิเจนที่ช่วยเร่งการเสื่อมเสียของอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร การเกิดกลิ่นหืน การเปลี่ยนสี การเปลี่ยนรสชาติของอาหาร นอกจากนี้ ออกซิเจนยังจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึง

นำไปสู่การพัฒนาการบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum packaging) ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เพื่อช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากการดูดอากาศทั้งหมดออกจากบรรจุภัณฑ์ เช่น ออกซิเจนและไนโตรเจน ทำให้บรรจุภัณฑ์แนบชิดกับตัวผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้อาหารเกาะติดกัน ไม่สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้เครื่องบรรจุสุญญากาศยังมีราคาค่อนข้างสูง การใช้สารดูดซับออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์

สารดูดซับออกซิเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายในตัวบรรจุภัณฑ์ หรือออกซิเจนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ลดลงหรือหมดไป สารเคมีที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ ส่วนผสมที่มีส่วนประกอบหลักจากสารประกอบเหล็ก (reducing ferrous compounds) กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนตกับกรดแอสคอร์บิก ถ้าต้องการดูดออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะเดียวกัน หรือใช้สารประกอบเหล็กผสมกับแคลเซียมออกไซด์เพื่อดูดซับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะเดียวกัน ตลอดจนการใช้สารประกอบเหล็กและเอทานอลร่วมกันเพื่อดูดออกซิเจนและช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เป็นต้น นอกจากนี้ส่วนผสมของสารดูดซับออกซิเจนยังแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิและความชื้นขณะใช้งานด้วย ตัวอย่างของสารดูดซับออกซิเจนที่มีใช้งานทั่วไป ได้แก่ การบรรจุในซองขนาดเล็ก (sachets) แผ่นป้ายขนาดเล็ก (adhesive labels) และฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ดูดซับออกซิเจน (oxygen scavenger films / packages)

2. สารดูดซับ/ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide scavengers and emitters)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงจะช่วยชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเนื้อและสัตว์ปีก และยังช่วยชะลออัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงมีการใช้สารปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับสารดูดซับออกซิเจน เพื่อให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณออกซิเจน ในทางตรงกันข้าม กาแฟที่ผ่านการคั่วเมื่อบรรจุในกระป๋องหรืออลูมิเนียมฟอยด์ทันที จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบรรจุสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อป้องกันการระเบิดที่จะเกิดขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้อยู่ในรูปแบบของซองขนาดเล็กที่บรรจุด้วยแคลเซียมออกไซด์ และสารกันความชื้น เช่น ซิลิกาเจล เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งน้ำจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Ozdemir and Floros, 2004)

3. สารดูดซับเอทิลีน (ethylene scavengers)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งให้เกิดกระบวนการสุกและอาการชราภาพ ซึ่งจะไปเพิ่มอัตราการหายใจของผลิตผลสดทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง ดังนั้นการกำจัดเอทิลีนออกจากบรรจุภัณฑ์ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ โดยอาศัยสารดูดซับเอทิลีนที่มีการผสมของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตบนซิลิกาที่บรรจุในถุงขนาดเล็ก (sachet) ที่มีสมบัติในการแพร่ผ่านของแก๊สเอทิลีนได้สูง โดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเอทิลีนที่ผลิตผลผลิตขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำเอาซีโอไลต์มาผสมกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และมีการเคลือบด้วยแอมโมเนียมไอออน เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับเอทิลีนและยังสามารถดูดซับสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้ เช่น เบนซีน โทลูอิน และไซลีน เป็นต้น (Ozdemir and Floros, 2004) แต่อย่างไรก็ตามโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตค่อนข้างเป็นพิษจึงไม่ควรสัมผัสโดยตรงกับอาหาร (Zagory, 1995)

สารดูดซับเอทิลีนมักนำไปใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลสด เช่น ผลกีว กล้วย อโวคาโด และลูกพลับ เป็นต้น (Sacharow, 1998) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Abe and Watada, 1991 พบว่า ผลกีวที่ตัดแต่งและกล้วยที่ใช้ถ่านกัมมันต์ผสมกับพัลลาเดียมคลอไรด์เป็นสารดูดซับเอทิลีนจะช่วยลดอัตราการความเน่าเนื่อย และเมื่อเก็บรักษาผักขมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า สารดูดซับเอทิลีน ช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้

4. สารดูดซับความชื้น (moisture scavengers)

การควบคุมความชื้นในบรรจุภัณฑ์อาหารมีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดไอน้ำบนแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตามถ้าบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ จะเกิดการสะสมเกิดเป็นหยดน้ำเกิดขึ้น ซึ่งไอน้ำที่เกิดขึ้นอาจจะมาจากการหายใจของผลิตผลสด อุณหภูมิที่แปรปรวนของอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ หรือเกิดจากการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพและลดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีการนำเอาสารดูดซับความชื้น ได้แก่ ซิลิกาเจล โมเลกุลขนาดตะแกรงร่อน (molecular sieves) ดินธรรมชาติ (ได้แก่ montmorillonite) แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ และแป้งที่มีการปรับปรุงสมบัติ หรือสารดูดซับความชื้นชนิดอื่นๆ เป็นต้น มาใช้เป็นสารดูดซับความชื้น แต่ซิลิ

กาเจลก็เป็นสารหนึ่งที่นิยมนำมาใช้มาก เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษและสารกัดกร่อน นอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุที่ประกอบด้วยสารดูดซับความชื้นพันรอบอาหาร (ได้แก่ เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก ปลาและหอย) หรือฟิล์มที่มีการผสมกับสารดูดซับน้ำ ซึ่งสารดูดซับความชื้นนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น บรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง และขนมขบเคี้ยว (Ozdemir and Floros, 2004)

5. สารปลดปล่อยเอทานอล (ethanol emitters)

การสเปรย์เอทานอลลงบนขนมปัง และผลิตภัณฑ์ขนมอบจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา โดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งสารปลดปล่อยเอทานอลมักอยู่ในรูปของถุงขนาดเล็กหรือฟิล์ม โดยถุงขนาดเล็กจะประกอบด้วยเอทานอลที่สามารถใช้กับอาหารได้ หรือการ encapsulated ในวัสดุ โดยจะเกิดการปลดปล่อยของเอทานอลเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ โดยทั่วไปแล้วการปลดปล่อยเอทานอลจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของตัววัสดุที่เอทานอลเข้าจับ ปริมาณเอทานอลบนพื้นผิววัสดุ ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและเอทานอลของถุงขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามเอทานอลที่อยู่ในรูปของถุงขนาดเล็กไม่ค่อยนิยมใช้เท่าใดนัก เนื่องจากยากแก่การควบคุมการปลดปล่อยเอทานอลเข้าสู่ภายในตัวบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้อาหารยังสามารถดูดซับเอทานอล ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติกับอาหารได้

6. สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Antimicrobials)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราโดยสเปรย์หรือเคลือบบนผิวผลไม้ หรือการจุ่มผักหรือผลไม้ในน้ำยาฆ่าเชื้อต่างๆ เพื่อชะลอการเน่าเสียและยืดอายุผลิตภัณฑ์นั้นๆ และการห่อเนยแข็งด้วยฟิล์มที่มีกรดแอสคอร์บิกเป็นส่วนประกอบเพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์ นำไปสู่การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial packaging) ซึ่งเป็นการนำสารเคมี เอนไซม์ สารสกัดจากธรรมชาติ ฯลฯ ที่มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อราและแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียมาผสมกับวัสดุฉนวนในการผลิตฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ชนิดนั้นๆ เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถควบคุมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารได้ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

6.1 บรรจุภัณฑ์ที่มีสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นต่อเมื่อเกิดการแพร่กระจายของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังผลิตภัณฑ์อาหาร ปฏิกริยาจะเกิดเมื่อไอระเหยของสารสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อาหาร

6.2 บรรจุภัณฑ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยไม่เกิดการแพร่กระจายของสารไปยังผลิตภัณฑ์อาหาร วิธีนี้อาหารและบรรจุภัณฑ์จะสัมผัสกันโดยตรง เช่น การบรรจุแบบแนบติดผิว (skin packaging)

7. ระบบบรรจุภัณฑ์แอคทีฟอื่นๆ

การประยุกต์ของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟอื่นๆ ที่เริ่มได้รับความสนใจในอนาคต เช่น ฟิล์มที่มีการปลดปล่อยของสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อนำมาใช้ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน ซึ่งจากงานวิจัยของ Han *et al.*, 1987 พบว่าฟิล์มที่ประกอบด้วยสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถป้องกันการเหม็นหืนของข้าวโอ๊ตได้ นอกจากนี้ยังมีศึกษาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟอื่นอีก เช่น สารดูดซับแสงซึ่งป้องกันอาหารที่ไวต่อแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงยูวี โดยจะช่วยลดการแพร่ผ่านของรังสี ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการสลายตัวของเอนไซม์ลดลง ฟิล์มที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูงซึ่งสอดคล้องกับการหายใจของพืช ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในบรรจุภัณฑ์กับภายนอก อีกทั้งยังควบคุมปริมาณแก๊สให้เหมาะสมกล่าวคือ มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ขณะเดียวกันก็มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้

4. การดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารบริเวณผิวหน้า (interface) โดยการถ่ายโอนมวลสารของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งตามหลักโดยทั่วไปของสสารจะมีสมบัติพื้นฐาน คือการดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล สนามแรงดึงดูดอย่างอ่อนของพื้นผิวตัวดูดซับจะมีผลต่อโมเลกุลที่อยู่ใกล้ๆ กับพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น และแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลของแก๊สที่อยู่ใกล้พื้นผิวจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สด้วยกันเอง โดยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับ

โมเลกุลของแก๊สจะทำให้โมเลกุลของแก๊สที่จะเป็นตัวถูกดูดซับ เคลื่อนที่ไปชนกับพื้นผิวของตัวดูดซับและโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะคายพลังงานออกมาเท่ากับพลังงานการดูดซับ (adsorption energy) และเกาะติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับ หากโมเลกุลที่ชนกับพื้นผิวตัวดูดซับคายพลังงานออกมาน้อยเกินไปก็จะไม่เกิดการดูดซับ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีในการดูดซับและการคืนสภาพตัวดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก แต่อย่างไรก็ตามหากการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบถาวร ก็ไม่สามารถนำสารดูดซับดังกล่าวกลับมาใช้งานได้อีก

ปัจจัยที่สำคัญของการเลือกดูดซับของตัวดูดซับมีหลายปัจจัย เช่น ขนาดรูพรุนและความมีขรุขระของตัวดูดซับ เป็นต้น การที่ตัวดูดซับเลือกดูดซับสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน ทำให้มีการนำเอาสารดูดซับมาใช้ในการดูดซับตัวถูกดูดซับต่างชนิดกัน

สำหรับกลไกการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (adsorbate) ในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปเกาะที่ผิวด้านนอกของสารดูดซับ (adsorbent)

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะแพร่กระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิวของสารดูดซับ

4.1 ลักษณะของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) อย่างไรก็ตามการดูดซับจะเป็นแบบใดนั้น จะขึ้นกับลักษณะของแรงระหว่างพื้นผิวของตัวดูดซับกับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals forces) เป็นแรงที่เหนี่ยวนำระหว่างขั้วต่อขั้ว ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (london dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) (Eckenfelder, 1989) ซึ่งความแข็งแรงของพันธะจะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งการดึงดูดด้วยแรงที่อ่อน ทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย นอกจากนี้ Cheremisinoff and Ellerbusch กล่าวว่าไว้ว่า สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) กล่าวคือ ในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

4.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้มีหลักการสำคัญ คือการถ่ายโอนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างพื้นที่ผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลที่ถูกดูดซับ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวที่ถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวที่ถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายประการดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. พลังงานความร้อนจากการดูดซับ	น้อยกว่า 2 หรือ 3 เท่าของพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	มากกว่า 2 หรือ 3 เท่าของพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
2. ค่าความร้อนของการขับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
3. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
4. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงวาลเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
5. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
6. การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
7. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการดูดซับ	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
8. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ดูดซับแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น	ดูดซับแบบชั้นเดียว

ที่มา: ธิยา (2542)

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

4.2.1 โครงสร้างของรูพรุนและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

โดยทั่วไปหากแยกตามลักษณะโครงสร้าง สามารถแยกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบอสัณฐานกับแบบผลึก หากแยกตามขนาดของรูพรุนจะแยกได้ 3 แบบ คือ รูพรุนขนาดไมโคร รูพรุนขนาดเมโซ และแบบรูพรุนขนาดแมโคร และหากแบ่งตามลักษณะของพื้นที่ผิวจะแยกได้เป็นแบบมีขั้ว แบบไม่มีขั้ว และแบบกึ่งมีขั้ว ลักษณะเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเลือกใช้ตัวดูดซับให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยทั่วไปมักจะพิจารณาค่าขนาดของรูพรุนเป็นอันดับแรกในการเลือกใช้ตัวดูดซับ เพราะโมเลกุลที่จะถูกดูดซับจะต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุน โดยการเลือกใช้ตัวดูดซับ ต้องเลือกตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าโมเลกุลตัวถูกดูดซับและโมเลกุลที่

ใหญ่กว่ารูพรุนของตัวดูดซับจะไม่ถูกดูดซับ ลักษณะสำคัญนี้ทำให้สามารถใช้ตัวดูดซับในกระบวนการดูดซับเพื่อแยกแก๊สได้

ขนาดรูพรุนกับปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับก็เป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ กล่าวคือความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของสารดูดซับมากขึ้น อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของสารดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากถ้ารูพรุนของตัวดูดซับมีขนาดเล็กจะทำให้ตัวดูดซับมีปริมาณพื้นที่ผิวสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของสารถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าสารดูดซับ จะไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ ทำให้ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง (ศิริโรจน์, 2543)

4.2.2 ขนาดของสารดูดซับ

ในกรณีที่สารดูดซับไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าสารดูดซับมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ

4.2.3 เคมิที่ผิวหน้าของสารดูดซับ

หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ จะมีสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลง แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นหมู่คาร์บอนิล ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น

4.2.4 ผลของสภาพความมีขั้ว (polarity)

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้น ขึ้นอยู่กับความมีขั้วของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ กล่าวคือ หากสารดูดซับชนิดนั้นมีสภาพขั้ว ก็จะสามารถดูดซับสารถูกดูดซับที่มีขั้วได้ดีเช่นเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม หากสารดูดซับมีสภาพขั้วสูง แต่สารถูกดูดซับมี

สภาพข้าวต่ำ การดูดซับก็จะเกิดได้ไม่ดี ด้วยเหตุนี้ในการเลือกสารดูดซับมาใช้ ต้องพิจารณาถึงสภาพความชื้นที่สามารถเข้ากันได้ของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ

4.2.5 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic) (มันสิน, 2542)

รัตน (2542) กล่าวว่า การพิจารณาเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายใต้สภาวะหนึ่ง ๆ จำเป็นต้องพิจารณาจากสมคุณการดูดซับ และอัตราการดูดซับ เนื่องจากการดูดซับเป็นการใช้ประโยชน์บนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นของแข็ง การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมควรมีพื้นที่ผิวและรูพรุนมาก สามารถดูดซับสารที่ต้องการออกจากของผสมได้ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับทั้งในขั้นตอนการดูดซับและการฟื้นฟูสภาพ โครงสร้างมีความคงตัวและมีราคาไม่แพง ซึ่งสมบัติเหล่านี้ยากที่จะพบในตัวดูดซับชนิดใดชนิดหนึ่ง ดังนั้นการเลือกตัวดูดซับจึงต้องพิจารณาตามความเหมาะสมต่อการแยกสารชนิดต่าง ๆ เพื่อให้การแยกมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

5. ผลิตผลทางการเกษตร

5.1 ลักษณะทั่วไปของมะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงเป็นไม้ผลเขตร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลำต้นตรง มีกิ่งก้านแผ่ออกเป็นทรงพุ่มที่แน่นทึบ ไม่ผลัดใบ มีอายุยืนมากกว่า 100 ปี พืชที่อยู่ในวงศ์นี้ นอกจากมะม่วงแล้วยังมีมะปราง มะกอก และมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ มีท่อน้ำยางอยู่ในทุกส่วนของพืช (เฉลิมชัย, 2539) มะม่วงมีถิ่นกำเนิดในแถบอินเดียถึงพม่า โดยมีศูนย์กระจายพันธุ์อยู่ในอินโดจีน มาเลเซีย และอินโดนีเซีย การกระจายพันธุ์เป็นไปอย่างช้าๆ ก่อนที่จะขยายไปสู่ส่วนต่างๆ ของโลก

มะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย สามารถขึ้นได้ดีในสภาพดินแทบทุกชนิด ประกอบกับผลมีรสชาติอร่อย สามารถรับประทานได้ทั้งผลดิบและผลสุก สามารถเก็บไว้รับประทานนอกฤดูกาลได้ นอกจากการใช้ผลบริโภคเป็นส่วนใหญ่แล้ว ยังนิยมใช้ยอดอ่อน ช่ออ่อน ผลอ่อน และผลดิบมาประกอบเป็นอาหารประเภทผักได้ ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันความต้องการผลสดของมะม่วงทั้งตลาดภายในและต่างประเทศจึงมีปริมาณสูงขึ้น ทำให้มะม่วงกลายเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการส่งออกมะม่วงไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เช่น สิงคโปร์ ฮองกง และญี่ปุ่น ชาวต่างชาติเริ่มรู้จักมะม่วงไทยซึ่งมีรสชาติดี กลิ่นหอมและชวนรับประทาน (วิจิตร, 2529)

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันทั่วไป เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย ออกดอกทุกปี แต่ติดผลปานกลาง ระยะเวลาในการออกดอกจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 115 วัน ทรงผลค่อนข้างกลมยาว มีขนาดปานกลาง ขนาดผลเฉลี่ยยาว 16 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร และหนา 6.9 เซนติเมตร น้ำหนักต่อผลประมาณ 330 กรัม (เฉลิมชัย, 2539) ด้านข้อผลอุมค่อๆ สอบเข้าสู่ปลายผล ปลายผลแหลม ใหล่ผลด้านท้องมน ใหล่ผลด้านหลังลาดลง จงอยผลเล็กมาก ใสน่สตั้นมากจนถึงไม่มี ผิวผลเรียบ ผลแก่มีผิวสีเขียวอ่อนนวล เนื้อแน่น หนา สีขาว รสเปรี้ยวจัด เมื่อแก่มีรสมัน เห็นท่อน้ำยางบริเวณผิวชัดเจน เมื่อผลสุกเปลือกมีสีเหลืองอมเขียวจนถึงเหลือง เปลือกค่อนข้างบางทำให้บอบช้ำง่าย เนื้อแน่น หนา ละเอียด สีเหลืองส้ม ฉ่ำน้ำ ไม่มีเส้นใย รสหวานไม่จัด กลิ่นหอมอร่อยมาก เมล็ดแบน มีเนื้อในเมล็ดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามมะม่วงพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนส ทำให้เกิดแผลหรือเน่าได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษาหรือการขนส่ง (เฉลิมชัย, 2539)

5.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วย

กล้วย (banana: *Musa* sp.) ถูกจัดให้เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากกล้วยสามารถให้ผลิตผลได้ตลอดทั้งปีและให้ผลเร็วภายหลังจากการปลูก ดังจะเห็นได้จากในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยประมาณ 6,754 ตัน รวมมูลค่ากว่า 89.7 ล้านบาท (สมชาย, 2549)

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่นิยมปลูกกล้วยเพื่อการค้า โดยพันธุ์ที่ได้รับความนิยมได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยหอมทองและกล้วยน้ำว้า (สมชาย, 2543; เบนจุมาศ, 2538) แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมปลูกกล้วยหอมทองเพื่อการค้าและส่งเป็นสินค้าออกไปยังประเทศญี่ปุ่น ฮองกง

สิงคโปร์และยุโรป เนื่องจากกล้วยหอมทองมักให้ผลผลิตประมาณ 4-6 หน่อต่อเครือ โดย 1 เครือ จะมี กล้วย 12-16 ผลต่อหวี กล้วยหอมโดยทั่วไปจะมีเนื้อละเอียด สีส้มอ่อน กลิ่นหอม รสหวาน แต่เปลือกบาง ทำให้คุณภาพในการขนส่งไม่ดี ทำให้การส่งออกอยู่ในวงจำกัด แต่ปัจจุบันมีการส่งออกยังประเทศญี่ปุ่นมากขึ้น ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2531 ได้มีการคัดเลือกพันธุ์กล้วยที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อใช้ปลูกเป็นการค้าและการส่งออก พบว่า กล้วยหอมแกรนด์เนน (Grand Nain) สามารถเจริญได้ดีและมีสมบัติที่ดีให้ผลผลิตสูง เปลือกหนา ขั้วเหนียว รสหวานคล้ายกับกล้วยหอมทองและมีความเหมาะสมต่อการส่งออกมากกว่า (เบญจมาศ, 2538)

ในปัจจุบันพันธุ์กล้วยที่เป็นพันธุ์การค้าในตลาดโลก ได้แก่ กล้วยในกลุ่ม AAA กลุ่มย่อย cavendish กล้วยในกลุ่มย่อยนี้มีสมบัติดี เปลือกหนา ผลผลิตสูง ทนทานต่อโรคและแมลง สภาพแวดล้อมและการขนส่ง นอกจากนี้ยังมีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตในเชิงการค้าขนาดใหญ่ เช่น ลักษณะต้นเดี่ยว ทำให้สามารถด้านทานลมได้ดี ตัวอย่างของสายพันธุ์กล้วยในกลุ่มย่อยนี้ เช่น Williams, Valery, Tudok, Mons Mari, Ho Chu Chu, Hsien Jen Chiao, Grand Nain เป็นต้น สำหรับประเทศไทยมีกล้วยพันธุ์พื้นเมืองในกลุ่มย่อยนี้เช่นกัน ได้แก่ กล้วยหอมเขียว และกล้วยหอมค่อม อย่างไรก็ตามผลกล้วยในกลุ่มย่อยนี้มักจะพบปัญหาในการเปลี่ยนสีของเปลือกในระหว่างการสุกที่อุณหภูมิห้องในเขตร้อน ทำให้ไม่สามารถสังเกตการสุกของผลได้ชัดเจนและสีส้มไม่สวยงามไม่เป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ผลิตผลทางการเกษตร (ได้แก่ กล้วยหอมและมะม่วงน้ำดอกไม้) จากบริษัท ไชน์โฟร์ท จำกัด ขนส่งในตระกร้าพลาสติก โดยรถที่มีการควบคุมอุณหภูมิ เมื่อขนส่งมาถึงภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากนั้นนำมาคัดเลือกผลกล้วยหอมและมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่สมบูรณ์ออกก่อนนำไปเข้าสู่ชุดทดลอง

2. สารเคมี

2.1 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทศฝรั่งเศส)

2.2 สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2

2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (บริษัท Merck, ประเทศเยอรมนี)

2.4 สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 (บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals limited, ประเทศออสเตรเลีย)

2.5 ซีโอไลต์ 3 ชนิด ได้แก่ CaA, NaA (บริษัท ไทยซิลิเกต จำกัด, ประเทศไทย) และ ZSM-5 (บริษัท Zeolyst, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติของซีโอไลต์ที่ใช้ในการวิจัย

Zeolites	Si/Al ratio	Polarity	Pore size(Å)
CaA	1	hydrophilic	4.6-5.0
NaA	1	hydrophilic	3.5-4.0
ZSM-5	280	hydrophobic	5.5-6.0

2.6 สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าชื่อ Ethyl-gone® (บริษัท ไบโอ เซฟเฟอร์ จำกัด, ประเทศไทย) ซึ่งผลิตจากซีโอไลต์ที่ผสมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยบรรจุในถุง non-woven

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 ถุงพลาสติกบรรจุกล้วยหอมและมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้แก่ ถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านแก๊สสูง (high gas permeable film) คือ ถุงพลาสติกชนิด PE-1 ซึ่งผลิตจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) ซึ่งสมบัติของถุงได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3

3.2 ถุงที่ใช้ในการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ได้แก่ ถุงที่มีสภาพให้ซึมผ่านแก๊สสูง (high gas permeable film) 3 ชนิด ได้แก่ PE-1, PE-2 และ SEBS ซึ่งผลิตจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) และถุงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ได้แก่ LDPE ซึ่งมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีนและความหนาของถุงสำหรับบรรจุสารดูดซับเอทิลีน และบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอม

Sachet materials	Thickness (mm)	WVTR (g/m ² .h)	P(O ₂) (ml.mm/m ² .day.atm)	P(CO ₂) (ml.mm/m ² .day.atm)	P(C ₂ H ₄) (ml.mm/m ² .day.atm)
LDPE	0.050	3.54	308	530.25	-
PE-1	0.024	11.90	406	875.45	1,587
PE-2	0.028	14.26	460	1,358	3,772
SEBS	0.029	14.49	800	1,560	4,764

3.3 ตาข่ายโพลีเอทิลีนสำหรับห่อหุ้มมะม่วงน้ำดอกไม้

3.4 กล่องกระดาษสำหรับบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้

3.5 ขวดโหลแก้วสำหรับวัดอัตราการหายใจ

3.6 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BP2100S (ประเทศเยอรมัน)

3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น Shimadzu BX300 (ประเทศญี่ปุ่น)

3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BP110S (ประเทศเยอรมัน)

3.10 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (gas chromatograph) Agilent รุ่น 6890N (บริษัท Agilent, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

- 3.11 เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) รุ่น 8500 (บริษัท Illinois Instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.12 เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) รุ่น OXTRAN[®] 2/21 (บริษัท MOCON, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.13 เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C[®] 4/41 (บริษัท MOCON, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.14 เครื่องวัดความหนา (Digimatic thickness gage) รุ่น ID-C112BS (บริษัท Mitutoyo Corp., ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.15 เครื่องวัดสี (minolta chroma meter) รุ่น Minolta CR-310 (บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.16 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น Testometric Micro 350 (ประเทศอังกฤษ)
- 3.17 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (refractro meter) รุ่น ATAGON- α (0 -32 %Brix) (บริษัท ATAGO, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.18 มาตรฐานความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น pH-Tester 30 (บริษัท OAKION)
- 3.19 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (บริษัท Crown brand, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.20 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมนี)
- 3.21 ห้องควบคุมอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส
- 3.22 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (บริษัท Contherm, ประเทศนิวซีแลนด์)

วิธีการ

1. ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีน

1.1 ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า (Ethyl-gone[®])

นำสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA, NaA และ ZSM-5 มาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดและ Ethyl-gone[®] ชนิดละ 1 กรัม มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกยางที่หุ้มด้วยฟิล์มเมทอลไลซ์เพื่อป้องกันการดูดซึม เอทิลีนของจุกยาง แล้วพันด้วยพาราฟิล์มบริเวณปากขวดรูปชมพู่ จากนั้นฉีดเอทิลีนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 ด้วยปริมาตร 1.7 μL เพื่อให้ภายในขวดมีความเข้มข้นเท่ากับ 3 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นำขวดรูปชมพู่ที่ทดลองมาเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นในบรรยากาศ วัดเอทิลีนภายในขวดรูปชมพู่ที่เวลาเริ่มต้นด้วยปริมาตร 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งเอทิลีนเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดซับ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6890N ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent Technology ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สเอทิลีน ดังแสดงในภาคผนวก ข

จากนั้นคำนวณหาร้อยละการดูดซับของเอทิลีนที่เวลาใดๆ จากสมการที่ 2

$$\% \text{Ethylene adsorption} = \frac{([C_2H_4]_0 - [C_2H_4]_t) \times 100}{[C_2H_4]_0} \quad (2)$$

เมื่อ $[C_2H_4]_0$ = ความเข้มข้นของเอทิลีนที่เวลาเริ่มต้น (ppm)
 $[C_2H_4]_t$ = ความเข้มข้นของเอทิลีนที่เวลาใดๆ (ppm)

1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ

1.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีน

นำสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA, NaA และ ZSM-5 มาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดและ Ethyl-gone[®] ชนิดละ 1 กรัม มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกยางที่หุ้มด้วยฟิล์มเมทอลไลซ์เพื่อป้องกันการดูดซึมเอทิลีนของจุกยาง แล้วพันด้วยพาราฟิล์มบริเวณปากขวดรูปชมพู่ จากนั้นฉีดเอทิลีนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 ด้วยปริมาตร 1.7 μL เพื่อให้ภายในขวดมีความเข้มข้นเท่ากับ 3 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นำขวดรูปชมพู่ที่ทดลองมาเก็บที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นในบรรยากาศ วัดเอทิลีนภายในขวดรูปชมพู่ที่เวลาเริ่มต้นด้วยปริมาตร 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งเอทิลีนเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดซับ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6890N ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent Technology โดยสภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงในภาคผนวก ข จากนั้นคำนวณหาร้อยละการดูดซับของเอทิลีนที่เวลาใดๆ จากสมการที่ 2

1.2.2 ผลของความชื้นต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีน

นำสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA, NaA และ ZSM-5 มาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดและ Ethyl-gone[®] ชนิดละ 1 กรัม มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งภายในประกอบด้วยความชื้นในสภาวะบรรยากาศและที่ภายในประกอบด้วยความชื้นที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำบริสุทธิ์โดยทำให้ภายในขวดรูปชมพู่มีไอน้ำเกิดขึ้น จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางที่หุ้มด้วยฟิล์มเมทอลไลซ์เพื่อป้องกันการดูดซึมเอทิลีนของจุกยาง แล้วพันด้วยพาราฟิล์มบริเวณปากขวดรูปชมพู่ จากนั้นฉีดเอทิลีนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 ด้วยปริมาตร 1.7 μL เพื่อให้ภายในขวดมีความเข้มข้นเท่ากับ 3 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นำขวดรูปชมพู่ที่ทดลองมาเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วัดเอทิลีนภายในขวดรูปชมพู่ที่เวลาเริ่มต้นด้วยปริมาตร 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งเอทิลีนเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดซับ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6890 ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent Technology โดยสภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงในภาคผนวก ข จากนั้นคำนวณหาร้อยละการดูดซับของเอทิลีนที่เวลาใดๆ จากสมการที่ 2

2. ผลของวัสดุบรรจุแบบแอทฟต่อการดูดซับเอทิลีน

นำซีโอไลต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองในตอนต้นที่ 1.1 มาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำซีโอไลต์ชนิดดังกล่าวและ Ethyl-gone[®] ชนิดละ 1 กรัม มาบรรจุในถุง LDPE และถุงที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง ได้แก่ PE-1, PE-2 และ SEBS โดยที่ถุงดูดซับที่ใช้ในการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีขนาดเท่ากับ 5 cm. × 5 cm. จากนั้นนำสารดูดซับเอทิลีนดังกล่าวมาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกยางที่หุ้มด้วยฟิล์มเมทอลไลซ์เพื่อป้องกันการดูดซึมเอทิลีนของจุกยาง แล้วพันด้วยพาราฟิล์มบริเวณปากขวดรูปชมพู่ จัดเอทิลีนให้ภายในขวดมีความเข้มข้นเท่ากับ 3 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นำขวดรูปชมพู่ที่ทดลองมาเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งภายในประกอบด้วยความชื้นในสภาวะบรรยากาศและที่ภายในประกอบด้วยความชื้นที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำบริสุทธิ์โดยทำให้ภายในขวดรูปชมพู่มีไอน้ำเกิดขึ้น วัดปริมาณเอทิลีนภายในขวดรูปชมพู่ที่เวลาเริ่มต้น จนกระทั่งเอทิลีนเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดซับ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6890 ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent Technology โดยสภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีน ดังแสดงในภาคผนวก ข จากนั้นคำนวณหาร้อยละการดูดซับของเอทิลีนที่เวลาใดๆ จากสมการที่ 2

จากนั้นเลือกถุงที่มีความเหมาะสมแก่การบรรจุสารดูดซับเอทิลีนมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbers) ดังแสดงในภาพที่ 5 เพื่อยึดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ที่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องมาจากเอทิลีน



ภาพที่ 5 สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbers)

3. ผลของสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอม

3.1 มะม่วงน้ำดอกไม้

3.1.1 การเตรียมและบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้

คัดเลือกเลือกมะม่วงที่ระดับความแก่ร้อยละ 80-85 (ลายนํ้าเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 2) ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) 200 ppm และนำมะม่วงจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำมะม่วงที่มีน้ำหนักต่อลูกประมาณ 350-400 กรัมมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และถุงพลาสติกชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ได้แก่ ถุง PE-1 ที่มีขนาดเท่ากับ 18 cm. × 30 cm. พร้อมกับบรรจุสารดูดซับเอทิลีนชนิดซีโอไลต์ CaA, Ethyl-gone® และที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ชุดควบคุม) ในแต่ละสิ่งทดลอง จากนั้นปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกทางความร้อน นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส)

3.1.2 อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้

บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ น้ำหนักประมาณ 350-400 กรัม ในขวดโหลแก้ว ปริมาตร 3200 มิลลิลิตร เพื่อวัดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนในระบบเปิด โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส) สำหรับการวัดอัตราการหายใจแบบระบบเปิด โดยต่อขวดโหลแก้วที่ปิดสนิทเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยท่อแคปิลารีมีอัตราประมาณ 150 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างแก๊ส 3 มิลลิลิตร ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent รุ่น 6890 แปรผลเป็นร้อยละของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6890N ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent Technology ดังแสดงในภาพผนวก ข

สำหรับการวัดความเข้มข้นของเอทิลีนที่เกิดขึ้นโดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 1 มิลลิลิตร ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่ผลิตโดยบริษัท Agilent รุ่น 6890 โดยสภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงใน

ภาคผนวก ข แปลผลเป็นปริมาณของเอทิลีน (ส่วนในล้านส่วน) นำค่าที่ได้คำนวณอัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม.ชั่วโมง) และอัตราการผลิตเอทิลีน (ไมโครลิตรเอทิลีน/กิโลกรัม.ชั่วโมง) ดังสมการที่ 3 และ 4

$$R_{CO_2} = \frac{[CO_2] \times F \times 60(\text{min/hr})}{100 \times W} \quad (3)$$

$$R_{C_2H_4} = \frac{[C_2H_4] \times F \times 60(\text{min/hr})}{100 \times W} \quad \dots(4)$$

เมื่อ	R_{CO_2}	=	อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{mlCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)
	$R_{C_2H_4}$	=	อัตราการผลิตแก๊สเอทิลีน ($\mu\text{LC}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)
	$[CO_2]$	=	ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
	$[C_2H_4]$	=	ความเข้มข้นแก๊สเอทิลีน (ppm)
	F	=	อัตราการไหลแก๊ส (ml/min)
	W	=	น้ำหนักผลิตผล (kg)

3.1.3 ปริมาณของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน ภายในถุง

ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ ตรวจวัด ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ในถุงพลาสติกที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 3 มิลลิลิตร สำหรับวัดแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีรุ่น 6890N (Agilent, U.S.A.) โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการ วิเคราะห์ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงในภาคผนวก ข

ปริมาณเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุ ตรวจวัดความเข้มข้นของเอทิลีนใน ถุงพลาสติกที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 1 มิลลิลิตร สำหรับวัดเอทิลีน จากนั้น นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีรุ่น 6890N (Agilent, U.S.A.) โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงในภาคผนวก ข

3.1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

ก. เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

ประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนส โดยเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของมะม่วงที่เกิดขึ้นกับดัชนีคุณภาพของมะม่วงคือ การเกิดโรคแอนแทรคโนส ที่กำหนด 5 ระดับคะแนน ซึ่งได้จากการถ่ายภาพลักษณะปรากฏของมะม่วงจากการทดลองของชนิด (2551) ดังภาพที่ 6 แต่ละระดับคะแนนมีรายละเอียดดังนี้

- 1 คะแนน เท่ากับ เกิดโรคแอนแทรคโนสน้อยกว่าร้อยละ 5
- 2 คะแนน เท่ากับ เกิดโรคแอนแทรคโนสร้อยละ 6-10
- 3 คะแนน เท่ากับ เกิดโรคแอนแทรคโนสร้อยละ 11-25
- 4 คะแนน เท่ากับ เกิดโรคแอนแทรคโนสร้อยละ 26-50
- 5 คะแนน เท่ากับ เกิดโรคแอนแทรคโนสร้อยละ 51 ขึ้นไป

ระดับการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่ผู้บริโภคนิยมไม่ยอมรับ ซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณภาพของมะม่วงในการทดลองนี้คือ 3 คะแนน ในส่วนของระดับ 1 และ 2 คะแนนนั้นเป็นเพียงภาพที่ต้องการแสดงให้เห็นลักษณะการเกิดโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น

ร้อยละ 0 ร้อยละ 1-5 ร้อยละ 10-25 ร้อยละ 25-50 ร้อยละ 50 ขึ้นไป



5 คะแนน

4 คะแนน

3 คะแนน

2 คะแนน

1 คะแนน

ภาพที่ 6 ดัชนีคุณภาพเพื่อใช้ในการประเมินระดับการเกิดโรคแอนแทรคโนส

ข. การหมัก (fermentation)

ประเมินคุณภาพโดยให้ผู้ทดสอบ 5 คน ประเมินการเกิดกลิ่นหมักของมะม่วง โดยกำหนดให้การเกิดขึ้นของกลิ่นหมักเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

ค. ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก

นำมะม่วงมาชั่งน้ำหนักสดก่อนการเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษา รายงานการสูญเสียน้ำหนักเป็นร้อยละ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (5)$$

ง. ค่าสีเปลือกและเนื้อ

ใช้เครื่องวัดสี Chroma meter Model Minolta CR-310 ในระบบ $L^* a^* b^*$ โดยจะใช้หัววัดแนบให้สัมผัสกับผิวของเปลือกและเนื้อของมะม่วงมากที่สุด ประกอบด้วยค่าสี L^* เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L^* สูง หมายถึงมีความสว่างมาก แต่ถ้าค่า L^* ต่ำ หมายถึง มีสีเข้มมาก ค่าสี a^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีแดง ในกรณีที่ค่า a^* มีค่าเป็นบวก และช่วงสีเขียวในกรณีที่ค่า a^* เป็นลบ และค่าสี b^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเหลืองในกรณีที่ค่า b^* มีค่าเป็นบวก และช่วงสีน้ำเงินในกรณีที่ค่า b^* มีค่าเป็นลบ

จ. ความแน่นเนื้อ (firmness)

วัดค่าความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Testometric Model 350 โดยใช้ load cell 50 kg ใช้หัวกดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร กดมะม่วงที่มีขนาด 8 ลูกบาศก์ เซนติเมตร บริเวณตรงกลางของชั้นมะม่วงที่ปอกเปลือกออก โดยกดด้วยความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ให้ลงลึก 0.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ตำแหน่งต่อชิ้น อ่านค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (newtons)

ฉ. ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS)

นำน้ำคั้นที่ได้จากบริเวณกลางผลมะม่วง วัดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง hand refractometer รายงานผลเป็นค่าองศาบริกซ์ (°Brix)

ช. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้วัดจากน้ำคั้นของมะม่วงตามวิธีการของ AOAC (2000) โดยนำน้ำคั้นที่ได้จำนวน 5 มิลลิลิตรมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH) โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (เทียบกับกรดซิตริก ซึ่งมีกรัมสมมูล เท่ากับ 0.064) ดังสมการที่ 6

$$\%TA = \frac{(ml.NaOH)(N.NaOH)(meq. of acid)}{ml. of sample} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ $ml.NaOH$ = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต
 $N.NaOH$ = normality ของ NaOH เท่ากับ 0.1 นอร์มัล
 $meq. of acid$ = ค่าสมมูลของกรด
 $ml. of sample$ = จำนวนมิลลิลิตรของน้ำคั้น

ซ. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัด pH ของน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้มือ โดยใช้ pH meter

3.2 กล้วยหอม

3.2.1 การเตรียมและบรรจุกล้วยหอม

คัดเลือกเลือกกล้วยหอมที่ระดับความแก่ประมาณร้อยละ 80 (โดยสังเกตจากเปลือกของผล) ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 200 ppm และนำกล้วยหอมจุ่ม

ในสารละลายเบนโนมิล (benomyl) 500 ppm เป็นเวลานาน 1-2 นาที ตามลำดับ วางผังลมให้แห้ง จากนั้นนำกล้วยหอมน้ำหนักประมาณ 350-400 กรัมประมาณ 2 ผล มาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และถุงพลาสติกชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ได้แก่ ถุง PE-1 ที่มีขนาดเท่ากับ 18 cm. × 30 cm. พร้อมกับบรรจุสารดูดซับเอทิลีนชนิดซีโอไลต์ CaA, Ethyl-gone® และที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ชุดควบคุม) ในแต่ละสิ่งทดลอง จากนั้นปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกทางความร้อน นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (29±2 องศาเซลเซียส)

3.2.2 อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอม

บรรจุกล้วยหอมน้ำหนักประมาณ 350-400 กรัม ในขวดโหลแก้วปริมาตร 3200 มิลลิลิตร เพื่อวัดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนในระบบเปิด โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (29±2 องศาเซลเซียส) สำหรับการวัดอัตราการหายใจแบบระบบเปิด โดยต่อขวดโหลแก้วที่ปิดสนิทเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยท่อแคปิลารีมีอัตราประมาณ 150 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างแก๊ส 3 มิลลิลิตร ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ที่ผลิตโดยบริษัท Agilent รุ่น 6890 แปลผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงในภาคผนวก ข

สำหรับการวัดความเข้มข้นของเอทิลีนที่เกิดขึ้นโดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 1 มิลลิลิตร ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่ผลิตโดยบริษัท Agilent รุ่น 6890 โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงในภาคผนวก ข แปลผลเป็นปริมาณของเอทิลีน (ส่วนในล้านส่วน) นำค่าที่ได้คำนวณอัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม.ชั่วโมง) และอัตราการผลิตเอทิลีน (ไมโครลิตรเอทิลีน/กิโลกรัม.ชั่วโมง) โดยวิธีของ Claypool and Keefer (วรภัทร, 2544) ดังสมการที่ 3 และ 4

3.2.3 ปริมาณของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน ภายในถุง

ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ ตรวจวัด ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ในถุงพลาสติกที่บรรจุกล้วยหอม โดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 3 มิลลิลิตร สำหรับวัดแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย

เครื่อง gas chromatograph รุ่น 6890N (Agilent, U.S.A.) โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงในภาคผนวก ข

ปริมาณเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุ ตรวจวัดความเข้มข้นของเอทิลีนในถุงพลาสติกที่บรรจุกล้วยหอม โดยเก็บตัวอย่างแก๊ส 1 มิลลิลิตร สำหรับวัดเอทิลีน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph รุ่น 6890N (Agilent, U.S.A.) โดยสถานะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์เอทิลีนดังแสดงในภาคผนวก ข

3.2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอม

ก. การประเมินคุณภาพ

ประเมินคุณภาพของกล้วยหอม โดยให้ผู้ทดสอบ 5 คนพิจารณาจากสีเปลือกที่ผิดปกติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยหอม โดยให้คะแนนหลังจากการเก็บรักษากล้วยหอมทันที ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ลักษณะอื่นๆ ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนเป็นดังภาพที่ 7

- | | |
|---------|--|
| 5 คะแนน | เปลือกมีสีเขียวเข้ม หรือเนื้อสัมผัสแข็ง |
| 4 คะแนน | เปลือกมีสีเขียวอมเหลือง หรือเนื้อสัมผัสเริ่มนิ่ม |
| 3 คะแนน | เปลือกมีสีเหลือง หรือเนื้อสัมผัสนิ่ม |
| 2 คะแนน | เปลือกมีสีเหลืองปนสีดำ หรือเนื้อสัมผัสนิ่มมาก (ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค) |
| 1 คะแนน | เปลือกมีสีดำเป็นส่วนใหญ่ หรือเนื้อสัมผัสเละ |



5 คะแนน

4 คะแนน

3 คะแนน

2 คะแนน

1 คะแนน

ภาพที่ 7 ดัชนีคุณภาพเพื่อใช้ในการประเมินระดับการเสื่อมเสียของกล้วยหอม

ข. ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก

นำกล้วยหอมมาชั่งน้ำหนักสดก่อนการเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษา รายงานการสูญเสียน้ำหนักเป็นร้อยละ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

ค. ค่าสีเปลือกและเนื้อ

ใช้เครื่องวัดสี Chroma meter Model Minolta CR-310 ในระบบ $L^* a^* b^*$ โดยจะใช้หัววัดแบบให้สัมผัสกับผิวของเปลือกและเนื้อของกล้วยหอมมากที่สุด ประกอบด้วยค่าสี L^* เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L^* สูง หมายถึงมีความสว่างมาก แต่ถ้าค่า L^* ต่ำ หมายถึง มีสีเข้มมาก ค่าสี a^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีแดง ในกรณีที่ค่า a มีค่าเป็นบวก และช่วงสีเขียวในกรณีที่ค่า a^* เป็นลบ และค่าสี b^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเหลืองในกรณีที่ค่า b^* มีค่าเป็นบวก และช่วงสีน้ำเงินในกรณีที่ค่า b^* มีค่าเป็นลบ

ง. ความแน่นเนื้อ (firmness)

วัดค่าความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Testometric Model 350 โดยใช้ load cell 50 kg ใช้หัวกดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร กดเนื้อกล้วยหอมบริเวณกลางชิ้น กล้วยหอมที่ปอกเปลือกออก โดยกดด้วยความเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ให้ลงลึก 0.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ตำแหน่งต่อชิ้น อ่านค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (newtons)

จ. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วัดจากน้ำคั้นของกล้วยหอมด้วย hand refractometer ตามวิธีการของสุจริต (2548) โดยการนำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการบดเนื้อกล้วยหอมและน้ำคั้นในอัตราส่วน 1:3 จากนั้นนำน้ำคั้นที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง hand refractometer รายงานผลเป็นค่าองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) ดังสมการที่ 7

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้} = \text{ค่าองศาบริกซ์ } (^{\circ}\text{Brix}) \text{ ที่วัดได้} \times 3 \quad (7)$$

ฉ. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA)

โดยวัดจากน้ำคั้นของกล้วยหอมตามวิธีการของ AOAC (2000) โดยนำสารละลายส่วนสไลต์ได้จากการบดเนื้อกล้วยหอมและน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 จากนั้นนำน้ำคั้นที่ได้จำนวน 5 มิลลิลิตรมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH) โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (เทียบกับกรดซิตริก ซึ่งมีกรัมสมมูลเท่ากับ 0.0067) ดังสมการที่ 6

ช. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

4. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

5.1 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

5.2 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนมกราคม 2550 – เดือนตุลาคม 2551 เป็นระยะเวลา 1 ปี 5 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีน

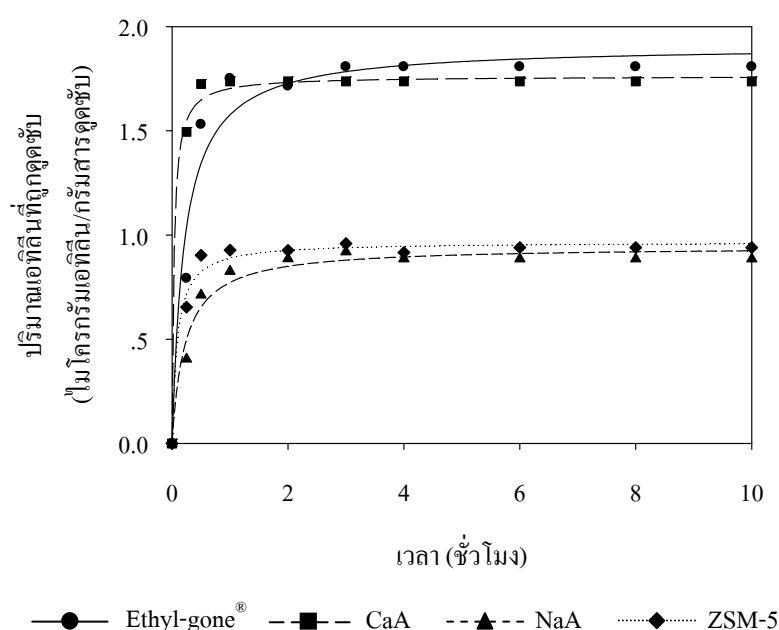
1.1 ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า (Ethyl-gone®)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ได้แก่ Ethyl-gone® ซีโอไลต์ตระกูล A ได้แก่ CaA และ NaA ซึ่งเป็นซีโอไลต์ในกลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และ ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ซึ่งเป็นซีโอไลต์ในกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยศึกษาที่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะบรรยากาศ (ภาพที่ 8) พบว่า Ethyl-gone® มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับสูงสุด คือ 1.7861 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนชนิดอื่น ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA, NaA และ ZSM-5 มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 1.7357 0.8820 และ 0.9316 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Ethyl-gone® ประกอบด้วยซีโอไลต์ที่มีการผสมกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง ด้วยเหตุนี้ Ethyl-gone® จึงเกิดการดูดซับแบบเคมีผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

อย่างไรก็ตามซีโอไลต์ตระกูล A มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับ Ethyl-gone® โดยเฉพาะอย่างยิ่งซีโอไลต์ชนิด CaA ที่มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 1.7357 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ โดยเอทิลีนสามารถเกิดการดูดซับได้ดี เนื่องจากภายในโครงสร้างผลึก (framework) ของซีโอไลต์ชนิด CaA ประกอบด้วยไอออนบวกที่มีประจุสองบวก (Ca^{2+}) ซึ่งมีความสามารถในการยึดติดได้ดีในตำแหน่งพันธะคู่ เช่นเดียวกันกับเอทิลีนที่อยู่ในโครงสร้างมีสมบัติของความเป็นโมเมนต์สี่ขั้ว (quadrupole moment) ซึ่งภายในประกอบด้วยพันธะไพน์ (π -bond) ทำให้เอทิลีนเกิดอันตรกิริยา (interaction) ได้ดีบนซีโอไลต์ชนิด CaA นอกจากนี้ขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ชนิด CaA ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 4.5-5.0 อังสตรอม ทำให้ซีโอไลต์ชนิดนี้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมแก่การผ่านเข้าไปในช่องและถูกกักกันของเอทิลีนซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทางจลนพลศาสตร์ (kinetic diameter) เท่ากับ 3.9 อังสตรอม และมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าจึงสามารถอยู่ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ได้ ทำให้ซีโอไลต์ชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับเอทิลีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด NaA ซึ่งมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 0.8820 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งมี

ค่าต่ำกว่าซีโอไลต์ชนิด CaA ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากภายในโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ชนิด NaA ประกอบด้วยโมโนวาเลนต์ไอออน (Na^+) ซึ่งเกิดอันตรกิริยากับเอทิลีนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับซีโอไลต์ชนิด CaA (Triebe *et al.*, 1996) แต่ที่ปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับของซีโอไลต์ชนิด NaA ต่ำใกล้เคียงกับซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 อาจเป็นเพราะขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ชนิด NaA มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทางจลนพลศาสตร์ของเอทิลีนทำให้ยากแก่การผ่านเข้าไปและถูกกักกันไว้ภายในโครงสร้าง

ในกรณีของซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่มีสมบัติของความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) (Adnadjevic *et al.*, 1997) ในขณะเดียวกันเอทิลีนก็เป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non-polar) ดังนั้นอันตรกิริยาของซีโอไลต์ชนิดนี้กับเอทิลีนจึงเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารไม่มีขั้วกับสารไม่มีขั้วที่เกิดขึ้นด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (van der waals force) (Eckenfelder, 1989) ทำให้สารดูดซับชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับเอทิลีนได้น้อย คือมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 0.9316 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบกับซีโอไลต์ตระกูล A

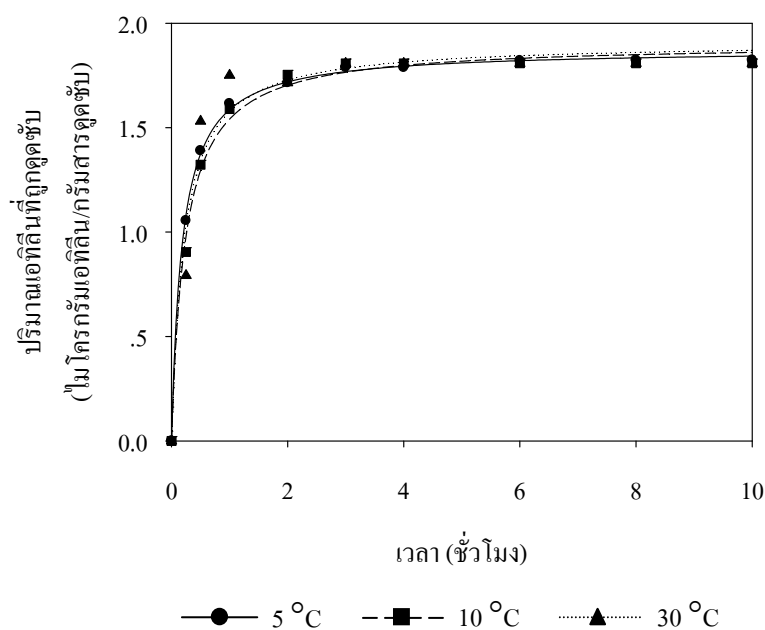


ภาพที่ 8 ร้อยละของการดูดซับเอทิลีนบน Ethyl-gone®, ซีโอไลต์ตระกูล A ได้แก่ CaA และ NaA และ ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 ppm อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นในบรรยากาศ

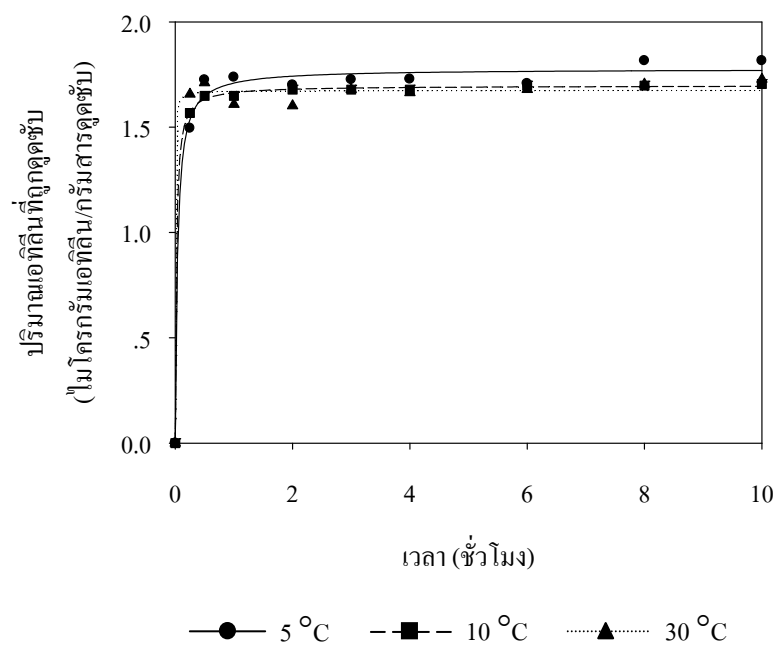
1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณในการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ

1.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีน

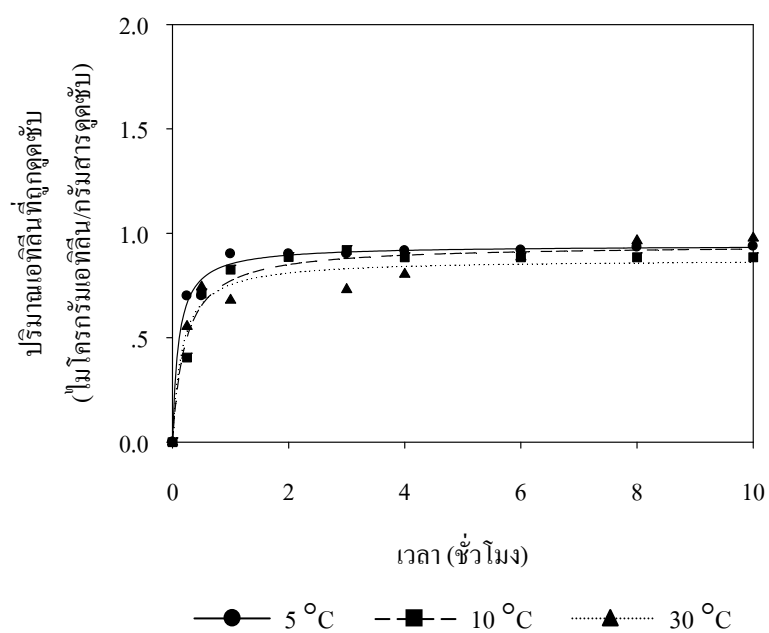
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับของ Ethyl-gone[®] ทั้ง 3 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 1.70 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ (ภาพที่ 9) ในขณะที่ซีโอไลต์ตระกูล A ได้แก่ CaA และ NaA มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับทั้ง 3 สภาวะอยู่ในช่วง 1.6704-1.7444 และ 0.8157-0.9158 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ (ภาพที่ 10 และ 11) ส่วนซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับทั้ง 3 สภาวะอยู่ในช่วง 0.7920-1.0637 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ (ภาพที่ 12)



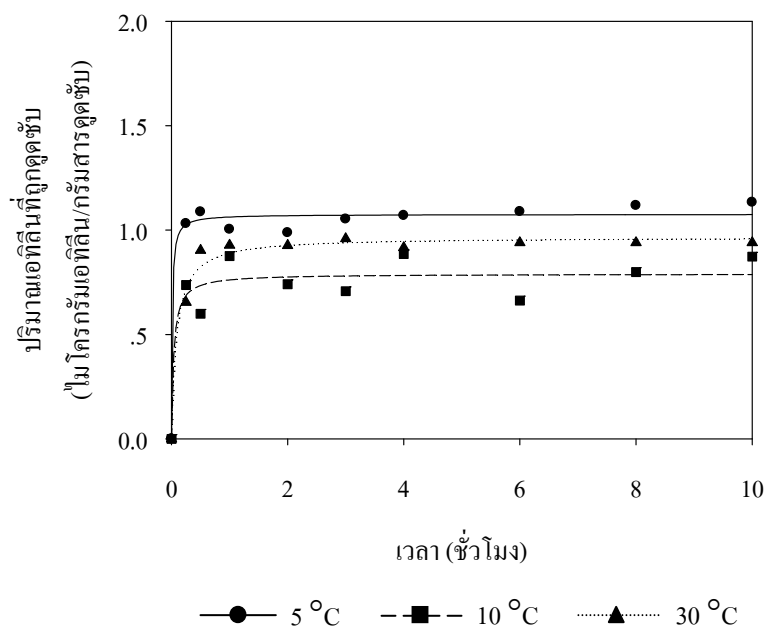
ภาพที่ 9 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส

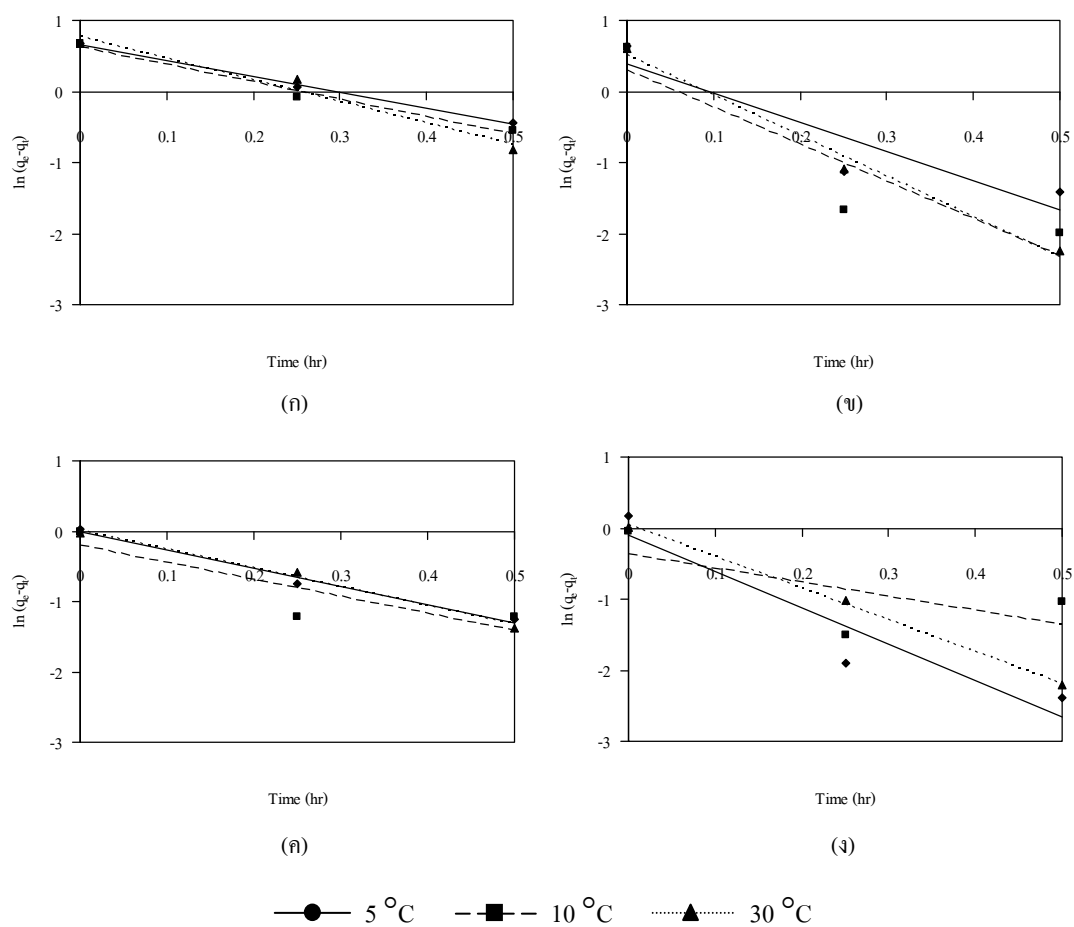


ภาพที่ 11 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด NaA ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 ปริมาณการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส

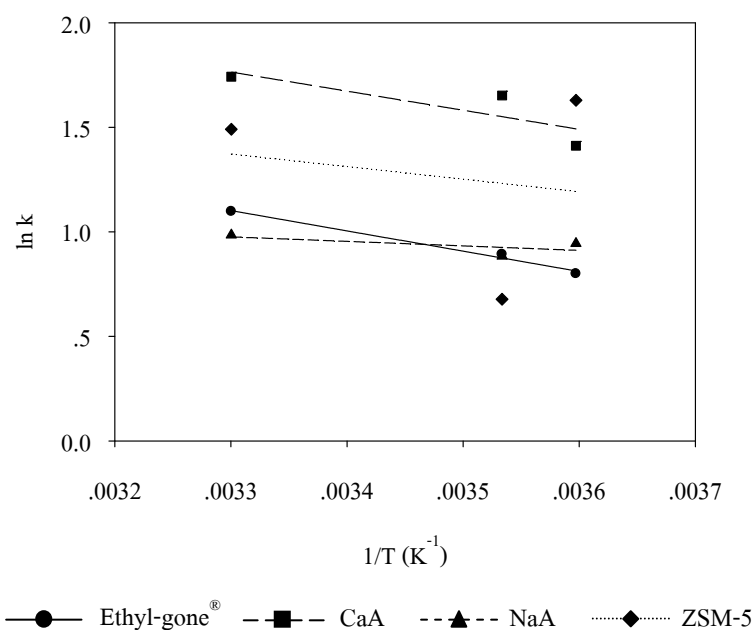
จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งของการดูดซับเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 30 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 13 และตารางที่ 6 และจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ (K^{-1}) ของเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางที่ 7 พบว่า Ethyl-gone[®] มีแนวโน้มปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ดังจะเห็นได้จากอัตราการดูดซับเอทิลีน (k) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทิลีนกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตได้ดี ทำให้ปริมาณเอทิลีนลดลง ในขณะที่ซีโอไลต์ชนิด CaA NaA และ ZSM-5 พบว่าปริมาณการดูดซับเอทิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการทดลองนี้ ช่วงอุณหภูมิที่เลือกมาศึกษาไม่กว้างมากพอที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณากำหนด (R^2) ของความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ (K^{-1}) ของ Ethyl-gone[®] ซึ่งมีค่าสูงประมาณ 0.9888 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ในทางตรงกันข้ามค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณากำหนด (R^2) ของความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ (K^{-1}) ของซีโอไลต์ชนิด CaA NaA และ ZSM-5 มีค่าต่ำประมาณ 0.7024 0.4430 และ 0.0333 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อกระบวนการดูดซับเอทิลีน



ภาพที่ 13 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งของสารดูดซับเอทิลีนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone® (ก)
ซีโอไลต์ชนิด CaA (ข) NaA (ค) และ ZSM-5 (ง) ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 6 ค่าคงที่ของอัตราการดูดซับเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 10 และ 30 องศาเซลเซียส

สารดูดซับ เอทิลีน	จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (first-order kinetic model)					
	5 องศาเซลเซียส		10 องศาเซลเซียส		30 องศาเซลเซียส	
	k (h ⁻¹)	R ²	k (h ⁻¹)	R ²	k (h ⁻¹)	R ²
Ethyl-gone®	2.2243	0.9963	2.4419	0.9787	2.9970	0.9681
CaA	4.1056	0.8529	5.2205	0.8447	5.7090	0.9882
NaA	2.5713	0.9860	2.4207	0.7523	2.6772	0.9885
ZSM-5	5.1016	0.8846	1.9688	0.4323	4.4410	0.9985



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ (K⁻¹) ของเอทิลีนบนสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ

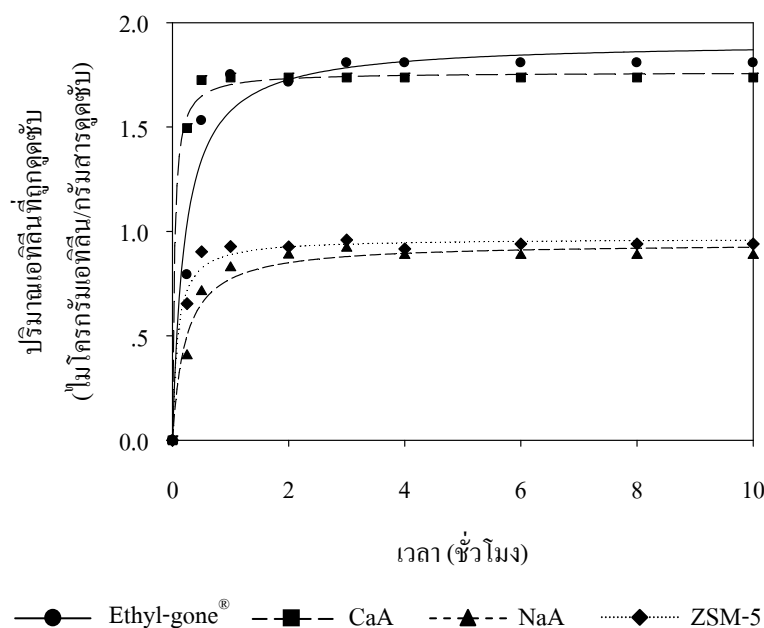
ตารางที่ 7 สมการอาร์เรเนียสและสัมประสิทธิ์การพิจารณากำหนด (coefficient of determination: R^2) ที่อุณหภูมิ 278 283 และ 303 องศาเซลวิน

สารดูดซับเอทิลีน	สมการอาร์เรเนียส	R^2
Ethyl-gone [®]	$y = -970.49 + 4.3044x$	0.9888
CaA	$y = -914.39 + 4.7817x$	0.7024
NaA	$y = -215.89 + 1.6884x$	0.4430
ZSM-5	$y = -600.99 + 3.3556x$	0.0333

1.2.2 ผลของความชื้นต่อปริมาณการดูดซับเอทิลีน

เนื่องจากในกระบวนการหายใจของผลิตผลสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง มีน้ำเกิดขึ้นภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีน ด้วยเหตุนี้ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีการทดสอบผลของความชื้นต่อความสามารถในการดูดซับของเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ภายใต้ความชื้นในสภาวะบรรยากาศและความชื้นที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ โดยพบว่าซีโอไลต์ชนิด CaA มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูด

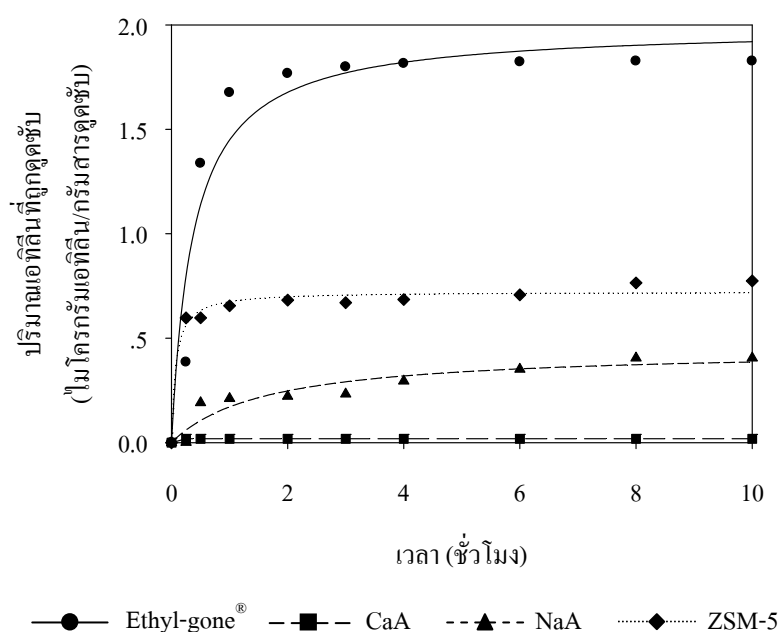
ซับเท่ากับ 1.7357 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Ethyl-gone[®] ที่มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 1.7861 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ในขณะที่ซีโอไลต์ชนิด NaA และ ZSM-5 มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 0.8820 และ 0.9316 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ethyl-gone[®] ที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาผลของความชื้นต่อความสามารถในการดูดซับของเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีนชนิดต่างๆ ที่สภาวะความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (ภาพที่ 16) พบว่า Ethyl-gone[®] ที่สภาวะสมดุลมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 1.7903 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่สภาวะความชื้นในสภาวะบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ที่สภาวะความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ พบว่าปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับของ Ethyl-gone[®] มีอัตราที่ลดลงในช่วงเวลาแรก เนื่องจากน้ำจะไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ส่วนปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับของซีโอไลต์ตระกูล A ทั้งชนิด CaA และ NaA เมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้น พบว่ามีค่าลดลงอย่างชัดเจนประมาณ 1.7172 และ 0.5928 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ เนื่องจากซีโอไลต์ในกลุ่มนี้มีสมบัติชอบน้ำ เป็นผลทำให้น้ำสามารถเกิดการดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ตระกูล A ได้เร็วกว่าโมเลกุลของเอทิลีน ในทางตรงกันข้าม เห็นได้

ว่าซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่สภาวะความชื้นอิ่มตัว มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นที่อยู่ในสภาวะบรรยากาศ อย่างไรก็ตามการลดลงที่เกิดขึ้นไม่มากเท่ากับซีโอไลต์ตระกูล A คือมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับลดลง 0.2502 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ เนื่องจากน้ำดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับ โมเลกุลของเอทิลีน เนื่องจากซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 มีสมบัติของความไม่ชอบน้ำ จึงสามารถเกิดการดูดซับทางกายภาพได้ดีกับเอทิลีนซึ่งเป็นจัดเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว



ภาพที่ 16 ปริมาณดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ethyl-gone® ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

2. ผลของวัสดุบรรจุแบบแอคทีฟต่อการดูดซับเอทิลีน

จากการทดลองข้างต้น เห็นได้ว่าซีโอไลต์ชนิด CaA มีความสามารถในการดูดซับเอทิลีนได้ใกล้เคียงกับ Ethyl-gone® และดีกว่าซีโอไลต์ชนิด NaA และ ZSM-5 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกซีโอไลต์ชนิด CaA เพียงชนิดเดียวมาศึกษาเพิ่มเติม โดยใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีน แต่อย่างไรก็ตามจากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าซีโอไลต์ชนิด CaA จัดเป็นสารที่มีสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นน้ำจึงเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับซีโอไลต์ชนิดนี้ ด้วยเหตุนี้ในการนำสารดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการบรรจุผลผลิตสดในถุงที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูงจำเป็นต้องใช้ถุงที่มีสมบัติในการผ่านเข้าออกของแก๊ส

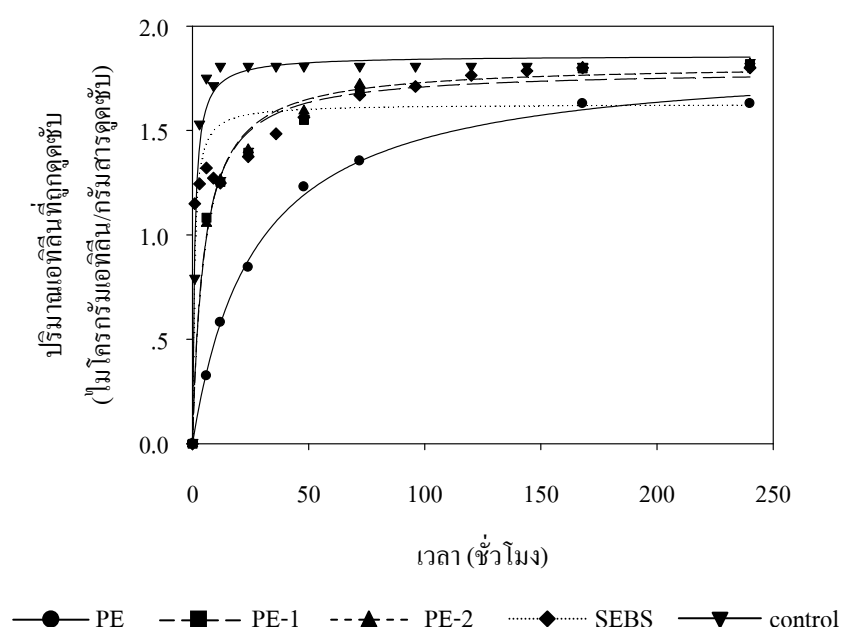
ได้ดี ในขณะที่เดียวกันต้องมีสมบัติในการป้องกันน้ำได้ดีเช่นเดียวกัน โดยถุงที่เลือกนำมาใช้เพื่อบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ได้แก่ ถุงชนิด LDPE และถุงชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ได้แก่ ถุง PE-1 PE-2 และ SEBS

การศึกษาผลของถุงชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ที่ใช้ในการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ (ภาพที่ 17) พบว่า ถุงชนิด LDPE ที่บรรจุ Ethyl-gone® มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับต่ำที่สุดเท่ากับ 1.4603 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สดังแสดงในตารางที่ 4 แต่อย่างไรก็ตามถุงชนิด PE-1 PE-2 และ SEBS ที่นำมาบรรจุ Ethyl-gone® จัดเป็นถุงที่มีสภาพให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ทำให้แก๊สสามารถผ่านถุงทั้ง 3 ชนิดนี้ได้ง่ายกว่าถุงชนิด LDPE จึงให้ค่าปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับที่ค่อนข้างสูง โดยมีค่าประมาณ 1.7172 1.7336 และ 1.7275 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก ซึ่งมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 1.7950 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ เช่นเดียวกันพบว่าถุงที่ใช้ในการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับใกล้เคียงกับการเก็บรักษาที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ คือ มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับอยู่ในช่วง 1.5536-1.8170 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ (ภาพที่ 18)

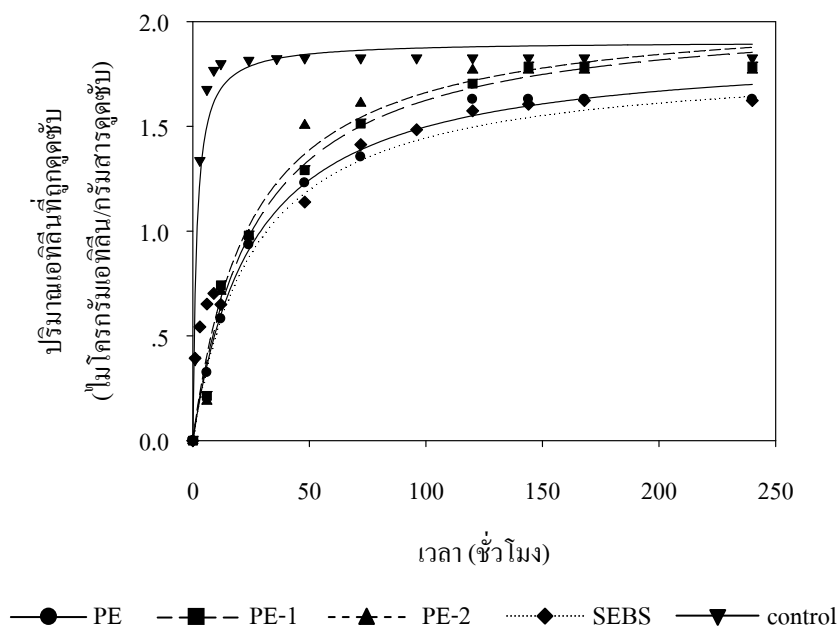
สำหรับผลของถุงชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง เมื่อนำมาทำเป็นถุงที่ใช้ในการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ซีโอไลต์ชนิด CaA) เมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ พบว่า ถุง LDPE ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA มีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับต่ำที่สุดเท่ากับ 1.4930 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ (ภาพที่ 19) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สที่แสดงในตารางที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามถุง PE-1, PE-2 และ SEBS ที่นำมาบรรจุสารซีโอไลต์ชนิด CaA จัดเป็นถุงที่มีสภาพให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ทำให้แก๊สสามารถผ่านถุงทั้ง 3 ชนิดนี้ได้ง่ายกว่าถุง LDPE ซึ่งมีปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับที่ค่อนข้างสูงประมาณ 1.6786 1.6829 และ 1.7499 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าสารดูดซับที่ไม่ได้บรรจุในถุงชนิดที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ประมาณ 1.7363 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ แต่เมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำดังแสดงในภาพที่ 20 พบว่า ซีโอไลต์ชนิด CaA ที่บรรจุในถุงทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ LDPE PE-1 PE-2 และ SEBS สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับมีค่าเท่ากับ 1.5208 1.5091 1.4681 และ 1.4634 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับซีโอไลต์ชนิด CaA

ที่ไม่ได้บรรจุในถุงชนิดที่ขอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูงโดยปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับเท่ากับ 0.0185 ไมโครกรัมเอทิลีนต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งพบว่าไม่สามารถดูดซับเอทิลีนได้ เนื่องจากน้ำสามารถดูดซึมเข้าไปภายในโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ชนิด CaA ได้เร็วกว่าโมเลกุลของเอทิลีน

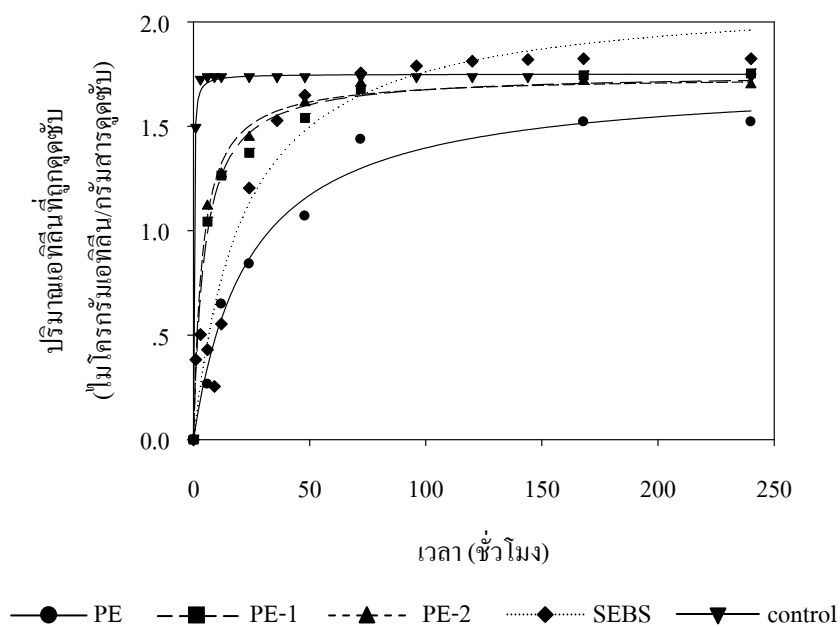
จากการทดลองข้างต้น เห็นได้ว่าสารที่มีความเหมาะสมแก่การนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีน ได้แก่ ซีโอไลต์ชนิด CaA และเลือกใช้ถุงชนิด PE-2 สำหรับบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เนื่องจากถุง PE-2 มีสมบัติในการซึมผ่านของแก๊สสูงกว่าถุงชนิด PE-1 ทำให้แก๊สสามารถแพร่ผ่านถุงชนิดนี้ได้ง่ายกว่า



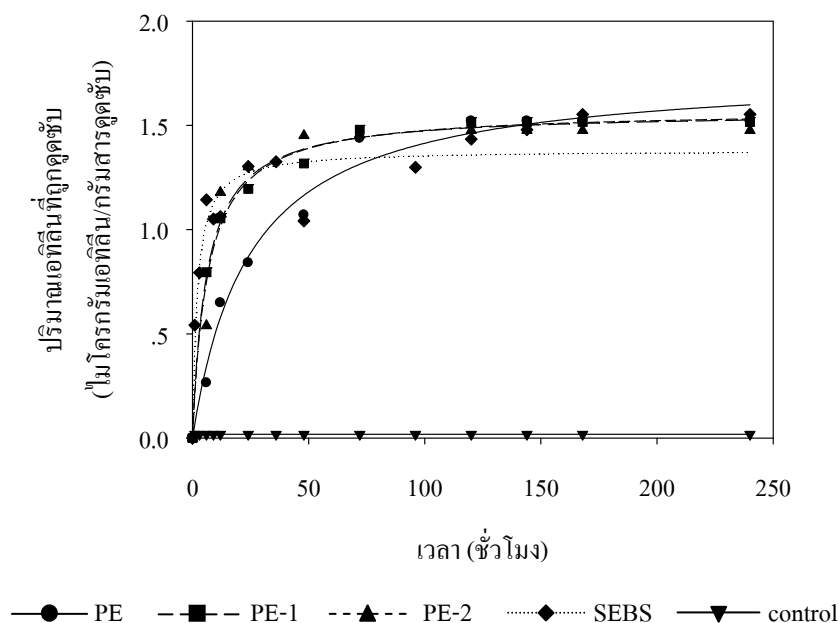
ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของ Ethyl-gone[®] ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



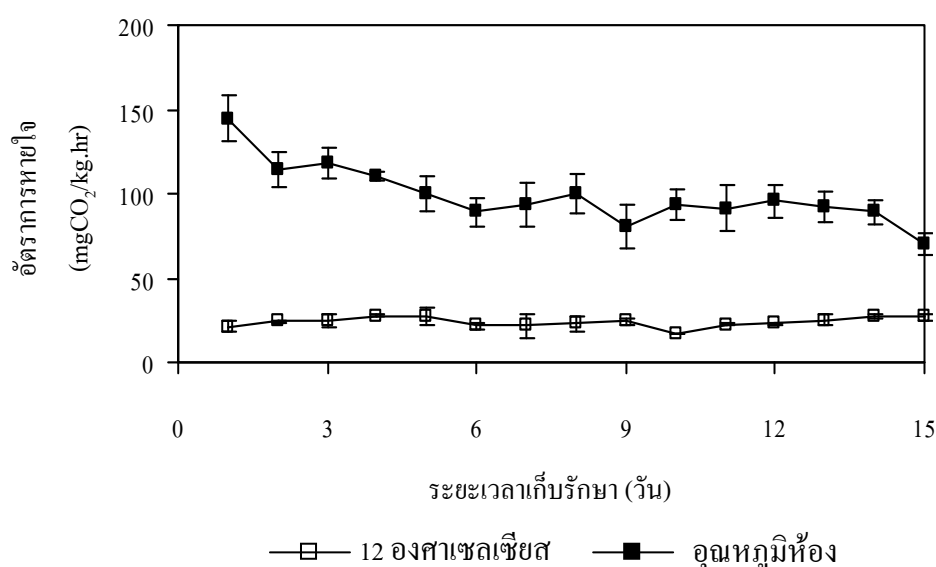
ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ชนิด CaA ที่บรรจุในถุง LDPE, PE-1, PE-2, SEBS และที่ไม่ได้บรรจุในถุง (control) ที่ความชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3. ผลของสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้

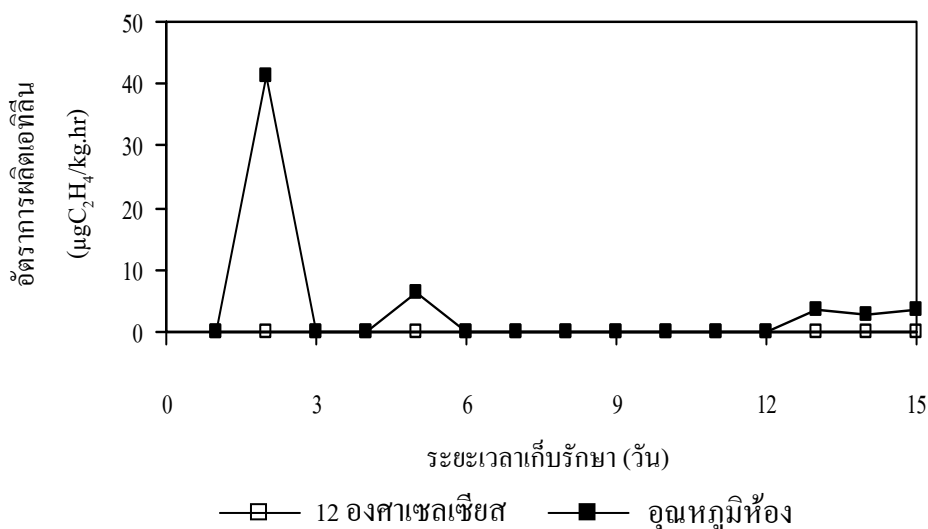
3.1 อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้

วัดอัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีระดับความสุก 80-85% ด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการหายใจมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีค่าประมาณ 98.89 และ $23.89 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน (ภาพที่ 21) เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการหายใจ ทำให้สสารมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูงขึ้นเช่นเดียวกับการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ทำให้การหายใจลดต่ำลงซึ่งช่วยชะลอการใช้อาหารที่สะสมในผลผลิตเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานต่างๆ ได้ช้าลง ทำให้คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลผลิตนานขึ้น (จริงแท้, 2539)

มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนในระดับปานกลาง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.0-10.0 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Lopez-Gomez *et al.*, 1997) สำหรับการวัดอัตราการการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส) เมื่อเก็บรักษาตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน พบว่า มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุด (ethylene peak) เกิดขึ้นในวันที่ 2 มีค่าเท่ากับ $41.23 \mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งสามารถบอกได้ว่ามะม่วงเริ่มเข้าสู่ระยะ climacteric ในขณะที่อัตราการการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า มะม่วงมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่ต่ำมาก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน (ภาพที่ 22) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันดี (2539) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ไม่มีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ทำให้มะม่วงเกิดความเครียดทางกายภาพและมีผลต่อการกระตุ้นเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง มะม่วงมีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น และเริ่มมีการเข้าทำลายของเชื้อราเกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ตรวจพบเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Martinez-Romero *et al.*, 2009 พบว่า มะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีการสะสมของเอทิลีนภายในห้องเย็น ขณะเดียวกันพบเอทิลีนที่เกิดจากการผลิตของเชื้อรา *Botrytis cinerea*



ภาพที่ 21 อัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ระดับความบริบูรณ์ 80-85% ในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง

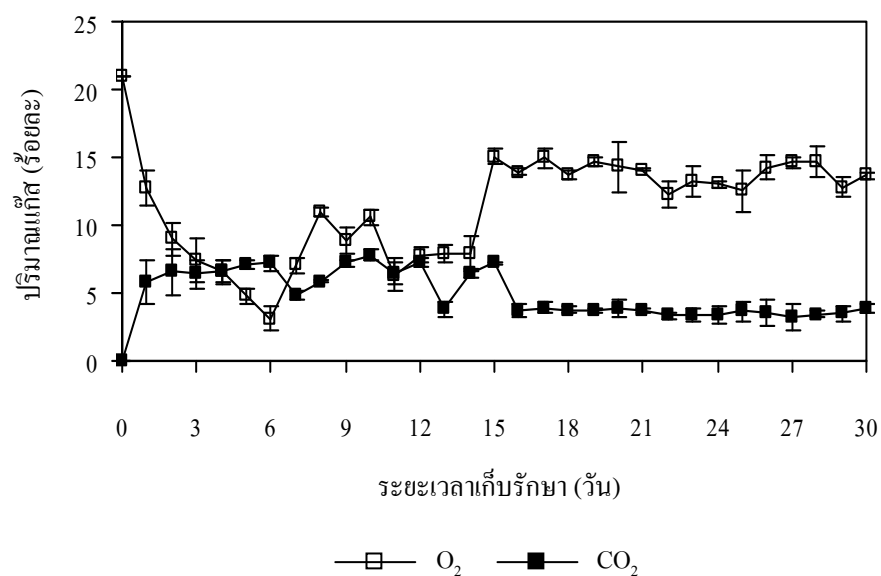


ภาพที่ 22 อัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ระดับความบริสุทธิ์ 80-85% ในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง

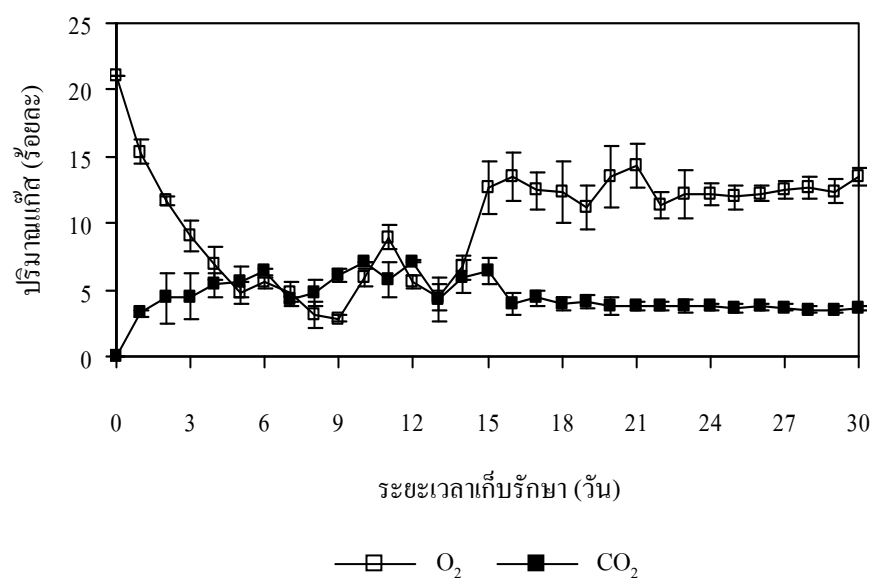
3.2 เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

3.2.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในถุง

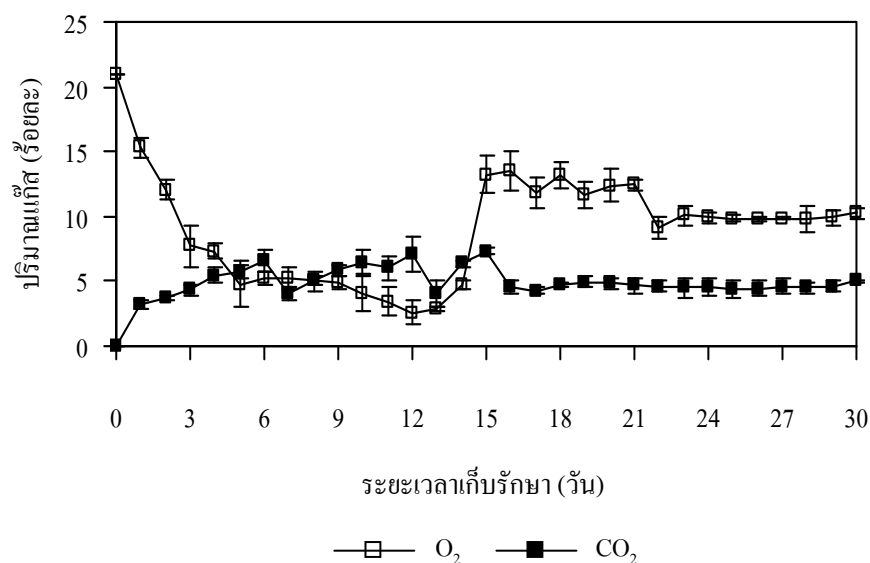
ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 23 และ 24) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 25) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า มีปริมาณของแก๊สออกซิเจนลดลง ในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกสิ่งทดลอง แต่จากการทดลองสังเกตได้ว่า ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ถุงที่บรรจุมะม่วงฟิบบแนบติดกับผิวมะม่วง ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนในถุง PE-1 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมะม่วงใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในถุงลดลง ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศเกิดการแพร่ผ่านถุง PE-1 ได้ง่ายเนื่องจากเป็นถุงที่มีสภาพยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุง PE-1 ก็ลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจภายในถุงมีปริมาณสูงกว่าบรรยากาศภายนอกถุง จึงทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านถุง PE-1 ออกสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 23 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 25 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส

ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ซึ่งทุกสิ่งทดลองใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลประมาณ 5 วัน โดยมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน และที่เก็บร่วมกับการใช้ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 8.46 11.43 และ 9.75 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5.15 4.82 และ 4.63 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลทดลองใกล้เคียงกับชนิด (2551) โดยมะม่วงที่เก็บรักษาในถุงที่มีสมบัติในการซึมผ่านของแก๊สได้สูง ทำให้อัตราการหายใจลดลง การผลิตเอทิลีนลดลง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวลดลง (Rodov *et al.*, 1997; Srinivasa *et al.*, 2002; Tefera *et al.*, 2007) เนื่องจากสอดคล้องกับการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบควบคุม ที่มีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 3-5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2-5 ซึ่งสามารถชะลอการเสื่อมเสียของผลผลิตได้ (Kader, 1992) ดังแสดงในตารางที่ 8

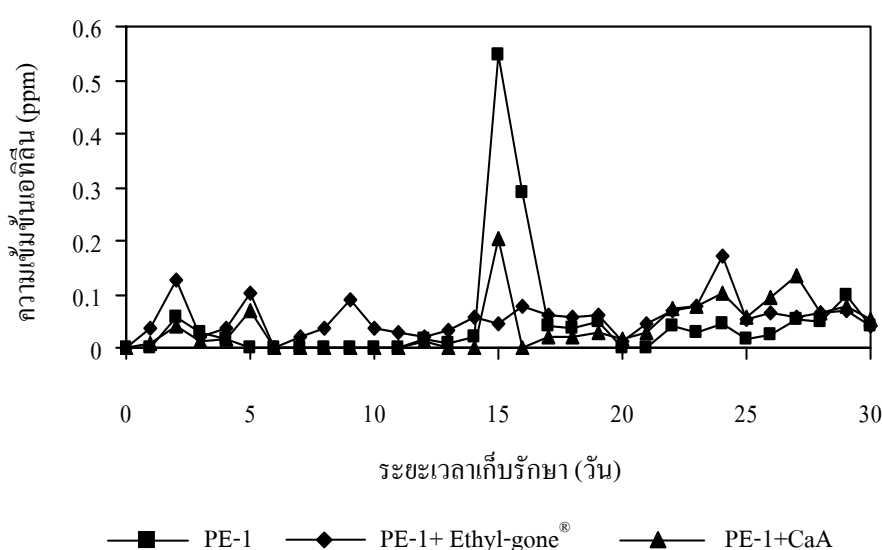
ตารางที่ 8 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะ
บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่
อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA)		
	แก๊สออกซิเจน	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	เวลาเข้าสู่ EMA
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(วัน)
PE-1	8.46	5.15	5
PE-1+Ethyl-gone [®]	11.43	4.82	5
PE-1+CaA	9.75	4.63	5

ปริมาณเอทิลีนภายในถุง PE-1 พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บในถุงพลาสติกที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน และถุงที่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนชนิดซีโอไลต์ CaA มีความเข้มข้นของเอทิลีนเกิดสูงสุดในวันที่ 15 มีค่าประมาณ 0.55 และ 0.20 ppm ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก มะม่วงมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการหายใจและการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยที่การเพิ่มขึ้นของเอทิลีนในผลิตผลจะเป็นสัญญาณ (signal) ของจุดเริ่มต้นของระยะ climacteric และเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จากการศึกษพบว่า ส่วนของเนื้อจะเป็นส่วนที่มีการสร้างเอทิลีนขึ้นก่อนและกระตุ้นให้เปลือกสร้างเอทิลีนขึ้นตามลำดับ (Dominguez and Vendrell, 1993; Lopez-Gomez et al., 1997) นอกจากนี้ยังพบว่า ในการสังเคราะห์เอทิลีนของผลิตผลต้องใช้ออกซิเจนในลำดับขั้นตอนของการเปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีน ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน เนื่องจากมีความสามารถในการแย่งที่กับเอทิลีนในการเข้าจับตำแหน่ง binding site ของ receptor ทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น (Beaudry, 1999) ซึ่งจากการทดลอง พบว่าออกซิเจนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 15 เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามถุงมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] มีปริมาณเอทิลีนภายในถุงต่ำที่สุด โดยพบความเข้มข้นของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 24 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.17 ppm (ภาพที่ 26) เนื่องจาก Ethyl-gone[®] มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนได้ดีซึ่งมีส่วนช่วยในการลด

ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุง นอกจากนี้พบว่าในวันที่ 27 ของการเก็บรักษามีเชื้อราแอนแทรคโนสเกิดขึ้น ซึ่งเอทิลีนที่ตรวจพบในช่วงเวลานี้อาจเป็นผลมาจากการผลิตของเชื้อรา

(Martinez-Romero *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่ามะม่วงที่บรรจุในถุง PE-1 ร่วมกับการใช้และไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีนให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากถุง PE-1 เป็นถุงที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูงและมีพื้นที่ในการแพร่ผ่านของแก๊สสูง ทำให้เอทิลีนแพร่ออกจากถุงสู่บรรยากาศได้ง่ายกว่าที่จะแพร่เข้าสู่ถุงขนาดเล็กที่บรรจุสารดูดซับเอทิลีนและเกิดการดูดซับกับสารดูดซับเอทิลีน



ภาพที่ 26 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

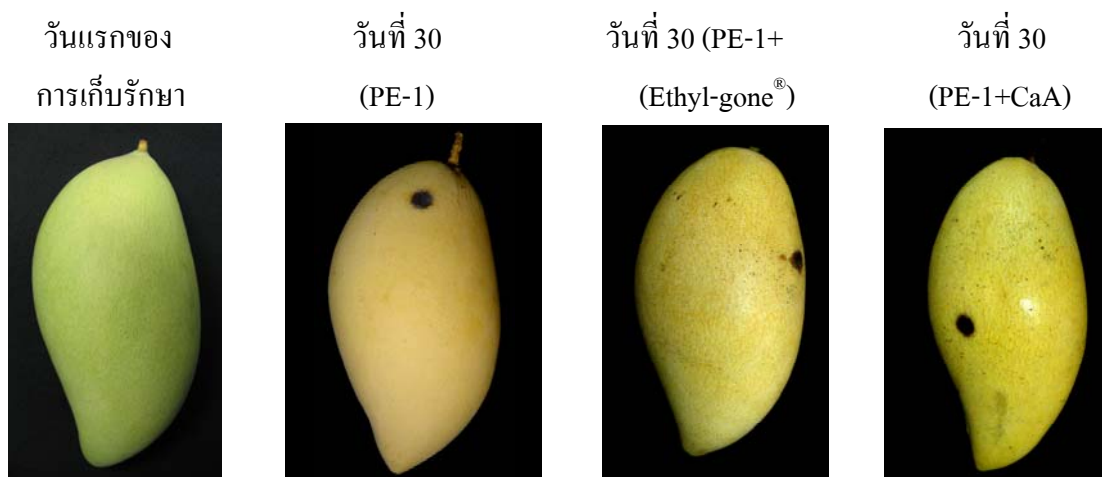
3.2.2 การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้

อายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะปรากฏของมะม่วงเป็นดังภาพที่ 27 โดยมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุง PE-1 ทั้งที่ไม่ได้เก็บรักษาร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีนและใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีอายุการเก็บรักษานาน 30 วัน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีระดับการเกิดโรคแอนแทรคโนสเท่ากับ 3 ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ และใช้

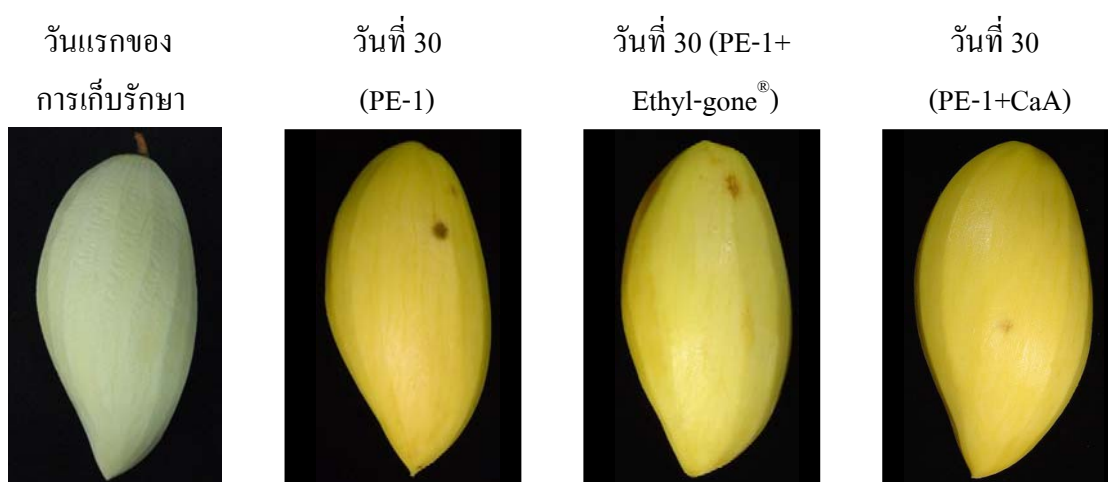
เป็นดัชนีชี้วัดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงดังแสดงในตารางที่ 9 อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่า การเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นผลมาจากเอทิลีน

ตารางที่ 9 การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา	ลักษณะการเสื่อมคุณภาพ
PE-1	30	เกิดโรคแอนแทรคโนส
PE-1+ Ethyl-gone [®]	30	เกิดโรคแอนแทรคโนส
PE-1+CaA	30	เกิดโรคแอนแทรคโนส



(ก) เปลือกมะม่วง



(ข) เนื้อมะม่วง

ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏของเปลือก (ก) และเนื้อมะม่วง (ข) ระยะความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ทั้งที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละสิ่งทดลอง ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10) เนื่องจากมะม่วงที่บรรจุในถุงพลาสติกเป็นการบรรจุแบบสภาวะบรรยากาศตัดแปลง ทำให้อัตราการหายใจผลิตผลลดลงซึ่งจะช่วยรักษาการสูญเสียน้ำหนัก (Rodov *et al.*, 1997; Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) นอกจากนี้ถุงพลาสติกชนิดนี้มีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำได้เป็นอย่างดี จึงทำให้น้ำในตัวผลิตผลเกิดการเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศได้ยาก (ชนิด, 2551; Tefera *et al.*, 2007)

การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อลดลง ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10) อย่างรวดเร็วในวันที่ 9 วัน และภายหลังจากการเก็บรักษานาน 15 วัน ค่าความแน่นเนื้อลดลงและเริ่มคงที่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณเอทิลีนที่เพิ่มสูงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาจะไปเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนนุ่มของมะม่วง (Toivonen and Brummell, 2008) หรืออาจเนื่องมาจากผนังเซลล์ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์ที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์และเนื้อเยื่อโดยรวม หรือการยึดตัวระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่อยู่ติดกันอ่อนแอลง ทำให้เกิดการอ่อนนุ่มของผลไม้ขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำออกจากผลไม้ทำให้ความดันเต่งภายในเซลล์ลดลงและทำให้เซลล์อ่อนนุ่มลงได้เช่นกัน (จริงแท้, 2549) นอกจากนั้นมะม่วงซึ่งมีการสะสมของแป้งภายในเซลล์ เมื่อเกิดกระบวนการสุกแป้งก็จะถูกเปลี่ยนจากโมเลกุลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และละลายน้ำได้น้อยไปเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กและละลายน้ำได้ดี (จริงแท้, 2549; Rathore *et al.*, 2007)

ค่าสีเปลือกและเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่า ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน (ตารางที่ 11) เป็นผลมาจากมะม่วงที่บรรจุในถุง PE-1 ในทุกสิ่งทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงจากสีเขียวอมเหลืองเป็นสีเหลืองที่เข้มขึ้นกว่าก่อนการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของเปลือกและเนื้อมะม่วงที่พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บ

รักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ในขณะเดียวกันก็มีการสร้างแคโรทีนอยด์เกิดขึ้น (Wills *et al.*, 1982) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Doreyappa-Gowda and Huddar (2001) พบว่าเนื้อของมะม่วงเกิดการเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้ม เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์จาก 498 เป็น 8,071 $\mu\text{g}/100\text{g}$ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18-34 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส มีส่วนช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (Tefera *et al.*, 2007) เนื่องจากเกิดการสูญเสีย น้ำหนักน้อยกว่าทำให้ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ภายในเนื้อเยื่อไม่สูงมากขณะเดียวกันกระบวนการไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลก็เกิดขึ้นได้ช้ากว่า (Wasker *et al.*, 1999, Tefera *et al.*, 2007)

ร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายใน PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่าร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงเนื่องจากการสลายตัวของกรดซิตริก ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ citric acid glyoxylase ที่เกิดขึ้นระหว่างที่มะม่วงเกิดกระบวนการสุก (Rathore *et al.*, 2007) นอกจากนั้นการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ยังเป็นผลมาจากกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้, 2549; Rathore *et al.*, 2007)

สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่าสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 13) ซึ่งให้ผลการทดลอง

สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่มีค่าสูงกับค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่มีค่าต่ำ

ค่ากรด-ด่างของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่ากรด-ด่างมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา เนื่องจากในระหว่างการสุก การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดซิตริก กรดมาลิกและกรดอะซิติกในมะม่วงลดลง (ตารางที่ 13) ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น (Tefera *et al.*, 2007)

ตารางที่ 10 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของมะม่วงระดับความบิบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก			ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)		
	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone [®]	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone [®]	CaA
0	0.00 ^{ns} ± 0.00	0.00 ^{ns} ± 0.00	0.00 ^{ns} ± 0.00	75.06 ^{ns} ± 2.49	75.06 ^{ns} ± 2.49	75.06 ^{ns} ± 2.49
3	0.16 ^b ± 0.20	0.46 ^a ± 0.10	0.47 ^a ± 0.10	64.57 ^a ± 4.24	46.90 ^b ± 4.67	65.30 ^a ± 7.45
6	0.40 ^{ns} ± 0.04	0.45 ^{ns} ± 0.11	0.43 ^{ns} ± 0.06	36.72 ^{ns} ± 6.21	43.40 ^{ns} ± 2.73	37.06 ^{ns} ± 9.79
9	0.48 ^{ns} ± 0.18	0.60 ^{ns} ± 0.03	0.43 ^{ns} ± 0.04	57.50 ^a ± 5.66	10.29 ^c ± 5.71	39.81 ^b ± 5.91
12	0.52 ^{ns} ± 0.06	0.45 ^{ns} ± 0.11	0.49 ^{ns} ± 0.05	6.78 ^{ns} ± 4.02	15.28 ^{ns} ± 11.58	7.10 ^{ns} ± 3.54
15	0.51 ^{ns} ± 0.05	0.50 ^{ns} ± 0.11	0.52 ^{ns} ± 0.09	3.68 ^{ns} ± 4.48	0.80 ^{ns} ± 0.36	1.13 ^{ns} ± 0.84
18	0.59 ^{ns} ± 0.05	0.56 ^{ns} ± 0.13	0.70 ^{ns} ± 0.06	0.62 ^{ns} ± 0.10	2.23 ^{ns} ± 2.72	0.93 ^{ns} ± 0.91
21	0.62 ^b ± 0.04	0.70 ^b ± 0.05	0.79 ^a ± 0.11	0.43 ^{ns} ± 0.07	0.38 ^{ns} ± 0.07	0.38 ^{ns} ± 0.03
24	0.56 ^{ns} ± 0.19	0.70 ^{ns} ± 0.11	0.70 ^{ns} ± 0.06	0.38 ^{ns} ± 0.05	0.51 ^{ns} ± 0.23	0.35 ^{ns} ± 0.03
27	0.72 ^{ns} ± 0.11	0.72 ^{ns} ± 0.15	0.87 ^{ns} ± 0.03	0.31 ^b ± 0.06	0.46 ^a ± 0.07	0.33 ^b ± 0.06
30	0.76 ^b ± 0.02	0.73 ^b ± 0.05	0.91 ^a ± 0.04	0.25 ^{ns} ± 0.06	0.26 ^{ns} ± 0.04	0.25 ^{ns} ± 0.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	ค่าสีแดง (a*) ของเปลือกมะม่วง			ค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกมะม่วง		
	ไม่ใช้สารดูด	Ethyl-gone [®]	CaA	ไม่ใช้สารดูด	Ethyl-gone [®]	CaA
	ซับ			ซับ		
0	-10.83 ^{ns} ±1.04	-10.83 ^{ns} ±1.04	-10.83 ^{ns} ±1.04	31.68 ^{ns} ±0.58	31.68 ^{ns} ±0.58	31.68 ^{ns} ±0.58
3	-10.42 ^b ±1.50	-7.19 ^a ±2.16	-8.92 ^{ab} ±3.00	32.37 ^{ab} ±1.22	31.16 ^b ±1.19	34.02 ^a ±2.18
6	-8.76 ^{ns} ±2.44	-7.90 ^{ns} ±3.79	-8.79 ^{ns} ±0.41	35.31 ^{ns} ±2.38	34.11 ^{ns} ±1.16	34.22 ^{ns} ±1.08
9	-9.36 ^{ns} ±1.88	-10.30 ^{ns} ±0.70	-9.53 ^{ns} ±1.22	34.20 ^{ns} ±0.38	36.30 ^{ns} ±1.29	34.02 ^{ns} ±0.57
12	-7.12 ^{ns} ±1.59	-8.40 ^{ns} ±2.01	-8.88 ^{ns} ±1.44	35.25 ^a ±1.69	32.13 ^b ±1.90	32.01 ^b ±2.39
15	-8.35 ^{ns} ±2.77	-7.06 ^{ns} ±.61	-8.79 ^{ns} ±1.40	34.90 ^{ns} ±2.16	36.25 ^{ns} ±1.97	33.38 ^{ns} ±2.90
18	-9.06 ^{ns} ±1.51	-9.34 ^{ns} ±0.61	-10.60 ^{ns} ±1.54	32.34 ^{ns} ±2.15	34.55 ^{ns} ±2.17	34.58 ^{ns} ±1.61
21	-9.16 ^{ns} ±1.65	-9.68 ^{ns} ±1.80	-8.01 ^{ns} ±1.37	35.10 ^{ab} ±1.55	34.19 ^b ±1.23	36.52 ^a ±1.11
24	-6.16 ^{ns} ±3.22	-8.83 ^{ns} ±0.76	-6.69 ^{ns} ±1.45	35.60 ^a ±4.20	31.34 ^b ±1.72	36.05 ^a ±1.68
27	-9.92 ^b ±1.51	-9.58 ^b ±0.78	-6.99 ^a ±1.79	34.33 ^b ±3.09	34.59 ^b ±2.21	38.11 ^a ±2.20
30	-6.98 ^{ns} ±0.51	-7.72 ^{ns} ±0.88	-7.50 ^{ns} ±0.71	34.98 ^{ns} ±2.15	34.52 ^{ns} ±2.10	35.14 ^{ns} ±2.44
ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อมะม่วง			ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อมะม่วง		
	ไม่ใช้สารดูด	Ethyl-gone [®]	CaA	ไม่ใช้สารดูด	Ethyl-gone [®]	CaA
	ซับ			ซับ		
0	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.36 ^{ns} ±0.65	31.16 ^{ns} ±1.24	31.16 ^{ns} ±1.24	31.16 ^{ns} ±1.24
3	-8.08 ^{ns} ±0.88	-7.98 ^{ns} ±0.18	-7.49 ^{ns} ±1.29	48.03 ^a ±4.21	46.88 ^a ±12.11	30.95 ^b ±2.47
6	-7.98 ^{ns} ±1.11	-8.71 ^{ns} ±0.85	-8.29 ^{ns} ±0.81	34.79 ^{ns} ±2.07	34.82 ^{ns} ±3.45	36.90 ^{ns} ±1.83
9	-8.32 ^{ns} ±0.59	-8.82 ^{ns} ±0.35	-8.78 ^{ns} ±0.91	41.30 ^{ns} ±9.36	39.36 ^{ns} ±4.96	37.05 ^{ns} ±3.27
12	-8.00 ^a ±1.10	-9.05 ^b ±0.36	-8.43 ^{ab} ±0.73	47.74 ^{ns} ±7.73	40.61 ^{ns} ±2.95	45.49 ^{ns} ±5.03
15	-9.49 ^{ns} ±0.80	-9.35 ^{ns} ±1.02	-8.49 ^{ns} ±0.75	45.30 ^{ns} ±1.41	44.73 ^{ns} ±4.80	41.19 ^{ns} ±4.73
18	-9.07 ^{ns} ±0.55	-9.61 ^{ns} ±0.76	-9.46 ^{ns} ±0.83	44.24 ^{ns} ±1.74	43.66 ^{ns} ±7.32	42.02 ^{ns} ±1.14
21	-8.90 ^{ns} ±0.34	-8.63 ^{ns} ±0.82	-8.06 ^{ns} ±0.75	44.25 ^b ±2.45	44.27 ^b ±1.87	48.47 ^a ±3.15
24	-8.52 ^{ns} ±1.32	-8.91 ^{ns} ±1.14	-7.81 ^{ns} ±0.62	46.31 ^{ns} ±1.69	46.13 ^{ns} ±4.78	47.44 ^{ns} ±2.05
27	-7.24 ^a ±0.62	-8.57 ^b ±1.09	-7.86 ^{ab} ±0.90	47.00 ^{ns} ±2.74	44.96 ^{ns} ±3.19	47.08 ^{ns} ±3.69
30	-6.65 ^a ±0.76	-7.98 ^b ±0.71	-7.87 ^b ±0.75	46.91 ^{ns} ±1.96	45.43 ^{ns} ±1.18	48.17 ^{ns} ±4.56

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของมะม่วง
ระดับความบริสุทธิ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12
องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บ รักษา (วัน)	TSS (°Brix)			%TA		
	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA
0	11.80 ^{ns} ±0.00	11.80 ^{ns} ±0.00	11.80 ^{ns} ±0.00	1.46 ^{ns} ±0.02	1.46 ^{ns} ±0.02	1.46 ^{ns} ±0.02
3	10.40 ^c ±0.00	12.57 ^a ±0.06	11.00 ^b ±0.00	1.81 ^a ±0.05	1.22 ^c ±0.00	1.39 ^b ±0.02
6	12.20 ^b ±0.00	11.80 ^c ±0.00	12.80 ^a ±0.00	0.86 ^{ns} ±0.03	0.91 ^{ns} ±0.03	0.88 ^{ns} ±0.02
9	13.40 ^c ±0.00	14.80 ^a ±0.00	13.60 ^b ±0.00	1.04 ^b ±0.01	1.03 ^b ±0.01	1.10 ^a ±0.02
12	15.00 ^a ±0.00	14.20 ^b ±0.00	15.00 ^a ±0.00	0.75 ^c ±0.01	0.98 ^b ±0.02	1.08 ^a ±0.02
15	14.40 ^{ns} ±0.00	14.40 ^{ns} ±0.00	14.50 ^{ns} ±0.00	1.12 ^c ±0.00	1.18 ^b ±0.03	1.31 ^a ±0.00
18	15.00 ^a ±0.00	14.80 ^b ±0.00	14.40 ^c ±0.00	1.18 ^b ±0.03	1.45 ^a ±0.02	1.08 ^c ±0.02
21	14.60 ^c ±0.00	15.20 ^a ±0.00	14.80 ^b ±0.00	1.29 ^a ±0.02	1.27 ^a ±0.02	0.83 ^b ±0.00
24	16.60 ^a ±0.00	15.60 ^b ±0.00	15.60 ^b ±0.00	0.99 ^b ±0.03	1.06 ^a ±0.03	0.88 ^c ±0.02
27	15.60 ^a ±0.00	15.40 ^b ±0.00	15.60 ^a ±0.00	0.82 ^b ±0.02	0.98 ^a ±0.02	0.97 ^a ±0.02
30	17.00 ^a ±0.00	15.80 ^c ±0.00	16.00 ^b ±0.00	0.75 ^b ±0.02	0.95 ^a ±0.02	0.94 ^a ±0.02

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 13 สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และ
ความเป็นกรดต่างของมะม่วงระดับความบริสุทธิ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด
PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บ รักษา (วัน)	TSS/TA			pH		
	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone [®]	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone [®]	CaA
0	8.19 ^{ns} ±0.00	8.19 ^{ns} ±0.00	8.19 ^{ns} ±0.00	0.06 ^{ns} ±0.00	0.06 ^{ns} ±0.00	0.06 ^{ns} ±0.00
3	5.73 ^c ±0.16	10.33 ^a ±0.05	7.93 ^b ±0.10	3.12 ^c ±0.01	3.34 ^a ±0.01	3.29 ^b ±0.01
6	14.12 ^a ±0.52	12.94 ^b ±0.45	14.63 ^a ±0.41	3.19 ^b ±0.01	3.19 ^b ±0.01	3.33 ^a ±0.01
9	12.88 ^b ±0.20	14.37 ^a ±0.13	12.37 ^c ±0.21	3.45 ^a ±0.01	3.43 ^b ±0.00	3.23 ^c ±0.01
12	20.08 ^a ±0.25	14.46 ^b ±0.28	13.92 ^c ±0.24	3.60 ^c ±0.01	3.50 ^b ±0.01	3.44 ^a ±0.01
15	12.85 ^a ±0.00	12.16 ^b ±0.33	11.04 ^c ±0.00	3.41 ^c ±0.01	3.33 ^b ±0.00	3.40 ^a ±0.00
18	12.67 ^b ±0.34	10.20 ^c ±0.13	13.36 ^a ±0.23	3.54 ^b ±0.01	3.26 ^a ±0.00	3.39 ^c ±0.00
21	11.31 ^c ±0.16	11.97 ^b ±0.18	17.78 ^a ±0.00	3.26 ^c ±0.00	3.34 ^b ±0.01	3.59 ^a ±0.00
24	16.74 ^b ±0.54	14.77 ^c ±0.45	17.83 ^a ±0.37	3.57 ^b ±0.00	3.50 ^a ±0.00	3.59 ^c ±0.01
27	19.11 ^a ±0.37	15.69 ^b ±0.30	16.07 ^b ±0.30	3.69 ^a ±0.00	3.60 ^b ±0.00	3.51 ^c ±0.00
30	22.76 ^a ±0.56	16.64 ^b ±0.33	17.04 ^b ±0.33	3.70 ^a ±0.01	3.62 ^b ±0.00	3.56 ^c ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

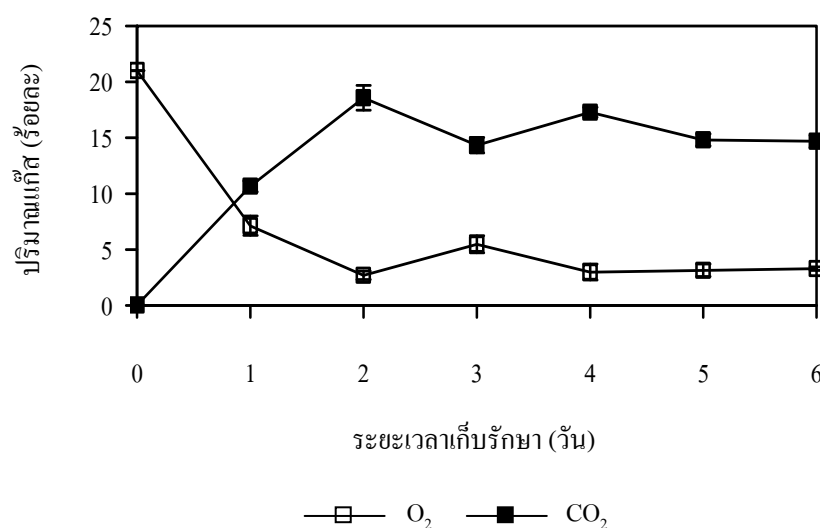
3.3 เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส)

3.3.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในถุง

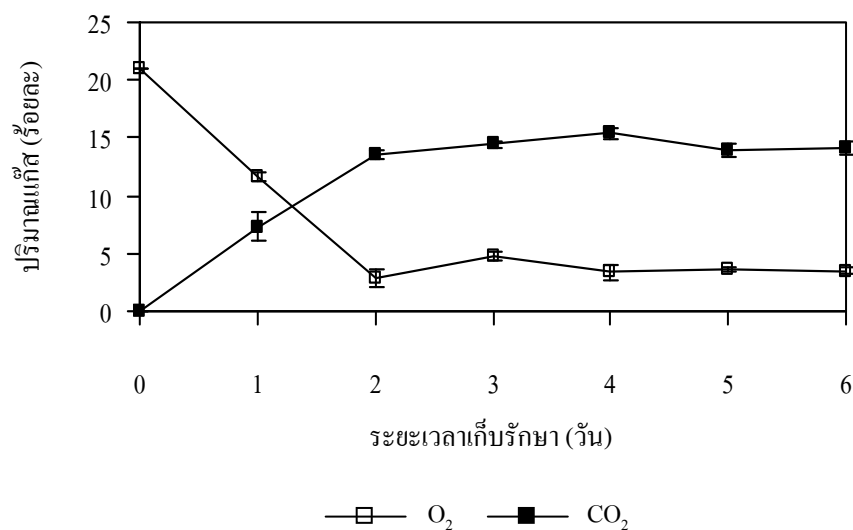
ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติก LDPE ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 28 และ 29) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 30) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ใช้เวลาประมาณ 2 วัน โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงร้อยละ 3.37 3.52 และ 3.63 ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.10 15.94 และ 14.25 ตามลำดับ จากการทดลองเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นและแก๊สออกซิเจนที่ต่ำกว่าร้อยละ 3 ทำให้มีการสะสมของปริมาณอะเซทิลดีไฮด์และเอทานอลในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น (ชนิด, 2551) เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นผิดปกติที่เป็นผลมาจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเหนียวทำให้ผลิตผลมีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (Gorny *et al.*, 1999) สอดคล้องกับ Poubol *et al.* (2008) พบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสในปริมาณออกซิเจนที่ต่ำกว่าร้อยละ 3 เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหมักในมะม่วงน้ำดอกไม้

ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 31 และ 32) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 33) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ใช้เวลาประมาณ 4 วัน โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงร้อยละ 5.77 5.14 และ 6.63 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.59 5.69 และ 6.03 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) เห็นได้ว่าการลดลงของออกซิเจนร้อยละ 3-5 และการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้นานขึ้น (Kader, 1999) เนื่องจากเป็นสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษามะม่วง ซึ่งจะชะลอกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ภายในผลิตผล เช่น ลดอัตราการหายใจและ การผลิตเอทิลีน ความแน่นเนื้อลดลง และลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ เป็นต้น (จริงแท้, 2539; Rathore *et al.*, 2007; Yahia and Hernandez, 1993)

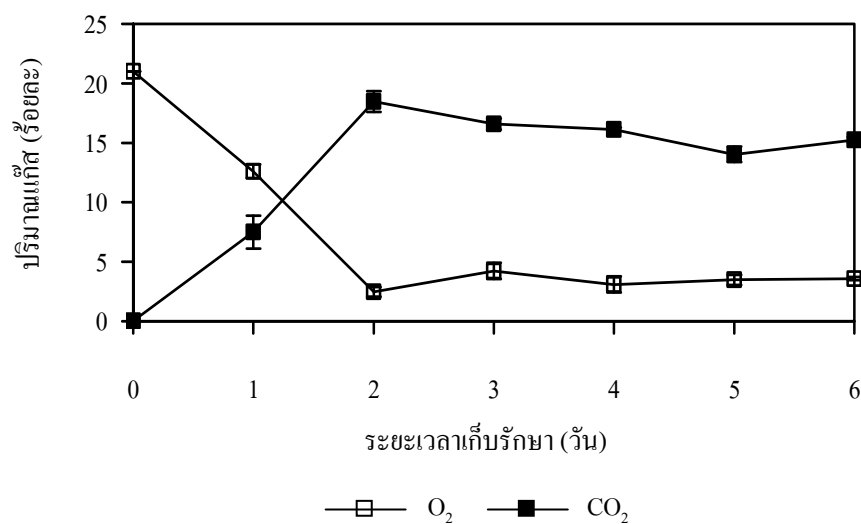
อย่างไรก็ตาม ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในถุง LDPE จะมีค่าต่ำกว่าภายในถุง PE-1 ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุง LDPE มีค่าสูงกว่ามะม่วงที่บรรจุในถุง PE-1 เนื่องจากถุง LDPE มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถุง PE-1 ทำให้ออกซิเจนภายในถุงลดลง และเกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ชนิต, 2551; Yahia and Hernandez, 1993) เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหมักที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน



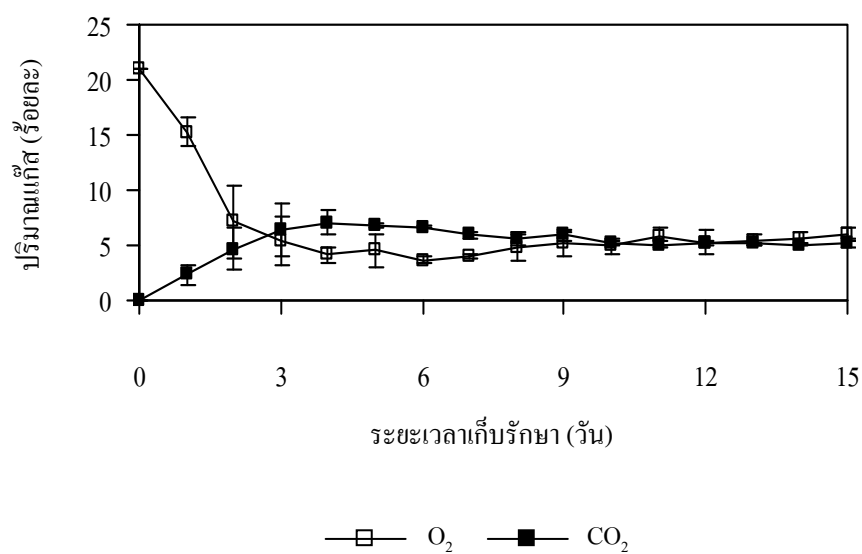
ภาพที่ 28 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



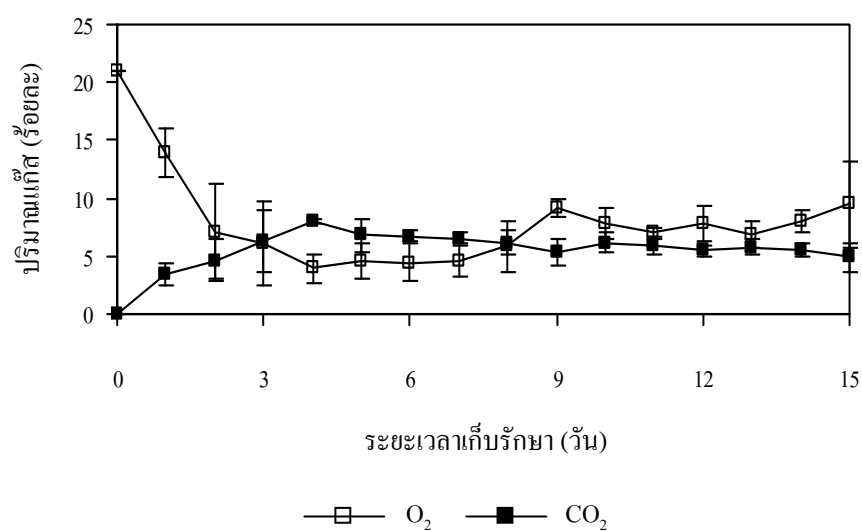
ภาพที่ 29 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



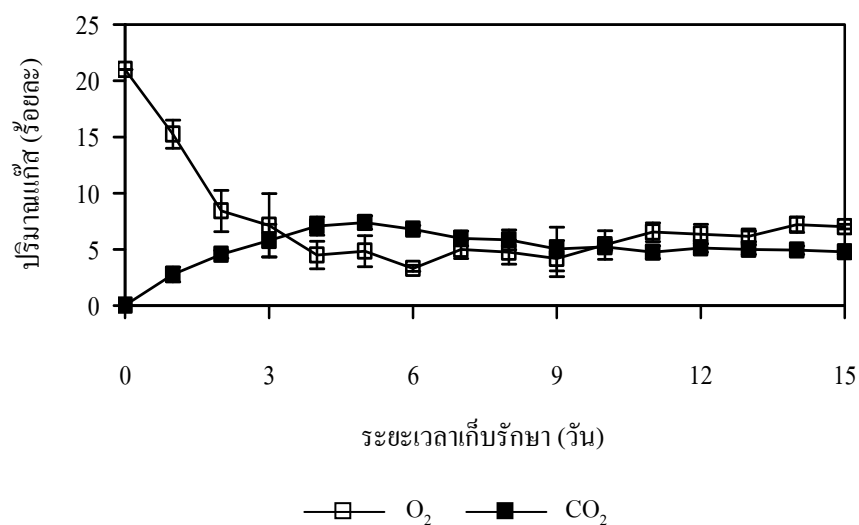
ภาพที่ 30 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 31 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 32 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ ซีไอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



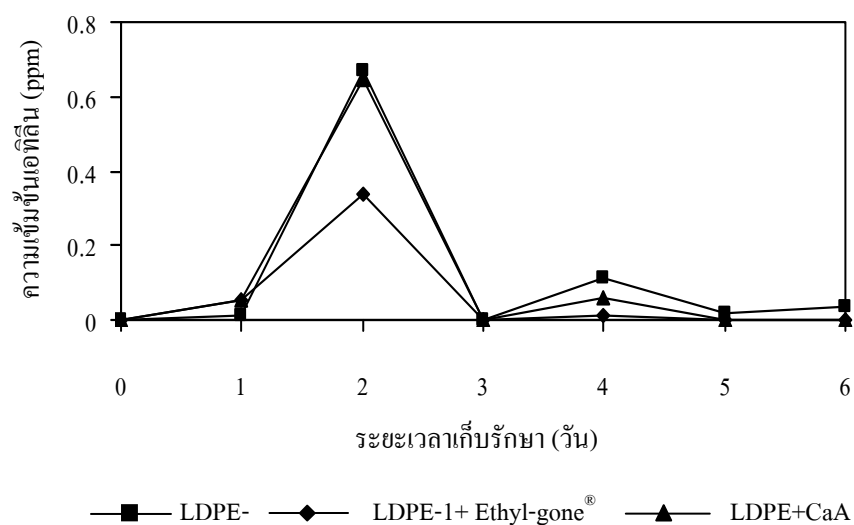
ภาพที่ 33 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 14 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

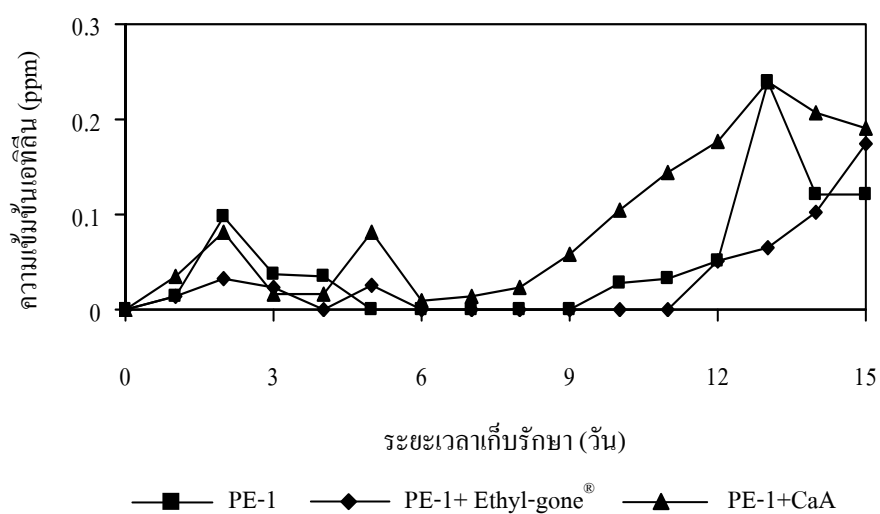
สิ่งทดลอง	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA)		
	แก๊สออกซิเจน	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	เวลาเข้าสู่ EMA
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(วัน)
LDPE	3.37	16.10	2
LDPE+Ethyl-gone [®]	3.52	15.94	2
LDPE+CaA	3.63	14.25	2
PE-1	5.77	5.59	4
PE-1+Ethyl-gone [®]	5.14	5.69	4
PE-1+CaA	6.63	6.03	4

ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุง LDPE ดังแสดงในภาพที่ 34 พบว่าถุงมะม่วง น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษา ร่วมกับการบรรจุสารซีโอไลต์ และที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับ มีความเข้มข้นของเอทิลีนเกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.60 ppm ส่วนถุงมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษา ร่วมกับการบรรจุ Ethyl-gone[®] มีค่าความเข้มข้นของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.34 ppm อย่างไรก็ตามภายหลังจากวันที่ 2 พบว่าไม่มีการสะสมของเอทิลีนภายในถุงของทุกสิ่งทดลอง เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric โดยจะมีการผลิตเอทิลีนต่ำในระหว่างที่ยังเป็นผลอ่อน จนกระทั่งเมื่อมะม่วงเริ่มสุก เอทิลีนจะมีการผลิตเพิ่มสูงขึ้นแล้วจึงลดลง คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของการหายใจ (จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับเสาวภา (2539) พบว่ามะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้และน้ำดอกไม้สีทอง ในระยะแรกมีการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วจึงลดลง หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 วัน

ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุง PE-1 ดังแสดงในภาพที่ 35 พบว่ามะม่วง น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษา ร่วมกับการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด และที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับ มีค่าความเข้มข้นของเอทิลีนเกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 2 และ 5 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 และ 0.08 ppm ตามลำดับ แต่ภายหลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง พบว่าเริ่มมีการสะสมของเอทิลีนเกิดขึ้นภายในถุง โดยมีค่าความเข้มข้นของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 13 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.24 ppm เนื่องจากภายหลังจากการเก็บรักษาในวันที่ 9 ของการทดลองมะม่วงเริ่มเกิดความเสียหายเนื่องจากถุง PE-1 แนบติดผิวมะม่วง ทำให้เกิดบาดแผลเนื่องจากอาการซ้ำ เป็นสาเหตุของการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเอทิลีนมากนัก อาจเป็นผลมาจากถุง PE-1 เป็นถุงที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูงและมีพื้นที่ในการแพร่ผ่านของแก๊สสูง ทำให้เอทิลีนแพร่ออกจากถุงสู่บรรยากาศได้ง่ายกว่าที่จะแพร่เข้าสู่ถุงขนาดเล็กที่บรรจุสารดูดซับเอทิลีนและเกิดการดูดซับกับสารดูดซับเอทิลีนนั้น ด้วยเหตุนี้มะม่วงที่เก็บรักษาในถุง PE-1 ร่วมกับการใช้และไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีนจึงให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 34 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



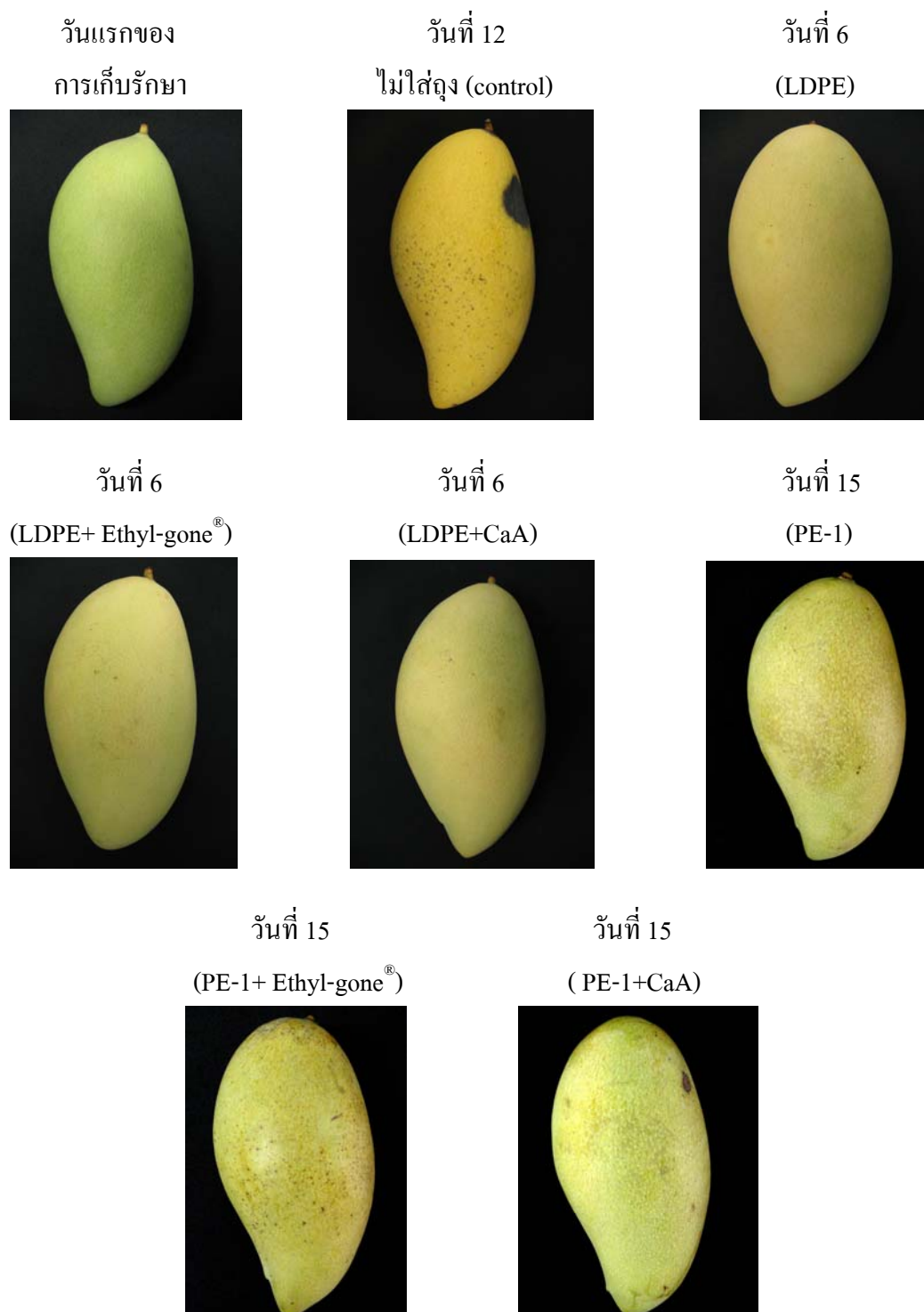
ภาพที่ 35 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.3.2 การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้

อายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลักษณะปรากฏของมะม่วงและเนื้อมะม่วงเป็นดังภาพที่ 36 และ 37 ตามลำดับ โดยมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้บรรจุถุงพลาสติกมีอายุเก็บรักษานาน 12 วัน ซึ่งต่อมาภายหลังการเก็บรักษาพบว่าเนื้อมะม่วงและเปลือกมีการช้ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ รวมถึงการหายใจและการผลิตเอทิลีน (จริงแท้, 2549) ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE ในทุกสิ่งทดลองมีอายุเก็บรักษานาน 6 วัน ซึ่งการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดกลิ่นหมักและรสที่ผิดปกติ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสะสมของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง ในขณะที่เดียวกันมีการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ ซึ่งจากรายงานของ Cantwell (2001) พบว่ามะม่วงที่เก็บในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลที่เหมาะสมคือมีปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 และคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 (Morrelli and Kader, 2002; Cantwell, 2001) โดยแก๊สออกซิเจนที่ต่ำกว่าร้อยละ 3 จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ (ชนิด, 2551; Kader, 2002) ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุง PE-1 ในทุกสิ่งทดลองมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 15 วัน ภายหลังจากนั้นถุงพลาสติกจะแนบติดกับผิวของมะม่วง ทำให้มะม่วงเกิดการช้ำและสูญเสียคุณภาพในที่สุด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 การเสื่อมเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา	ลักษณะการเสื่อมคุณภาพ
ไม่ใส่ถุง	12	เนื่อและและช้ำ
LDPE	6	เกิดกลิ่นหมัก
LDPE + สารดูดซับเอทิลีน	6	เกิดกลิ่นหมัก
LDPE + CaA	6	เกิดกลิ่นหมัก
PE-1	15	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื่อและและช้ำ
PE-1 + สารดูดซับเอทิลีน	15	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื่อและและช้ำ
PE-1 + CaA	15	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื่อและและช้ำ



ภาพที่ 36 ลักษณะปรากฏของมะม่วงระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone[®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ห้อง

วันแรกของ
การเก็บรักษา



วันที่ 12
ไม่ใส่ถุง (control)



วันที่ 6
(LDPE)



วันที่ 6
(LDPE+ Ethyl-gone[®])



วันที่ 6
(LDPE +CaA)



วันที่ 15
(PE-1)



วันที่ 15
(PE-1+ Ethyl-gone[®])



วันที่ 15
(PE-1+CaA)

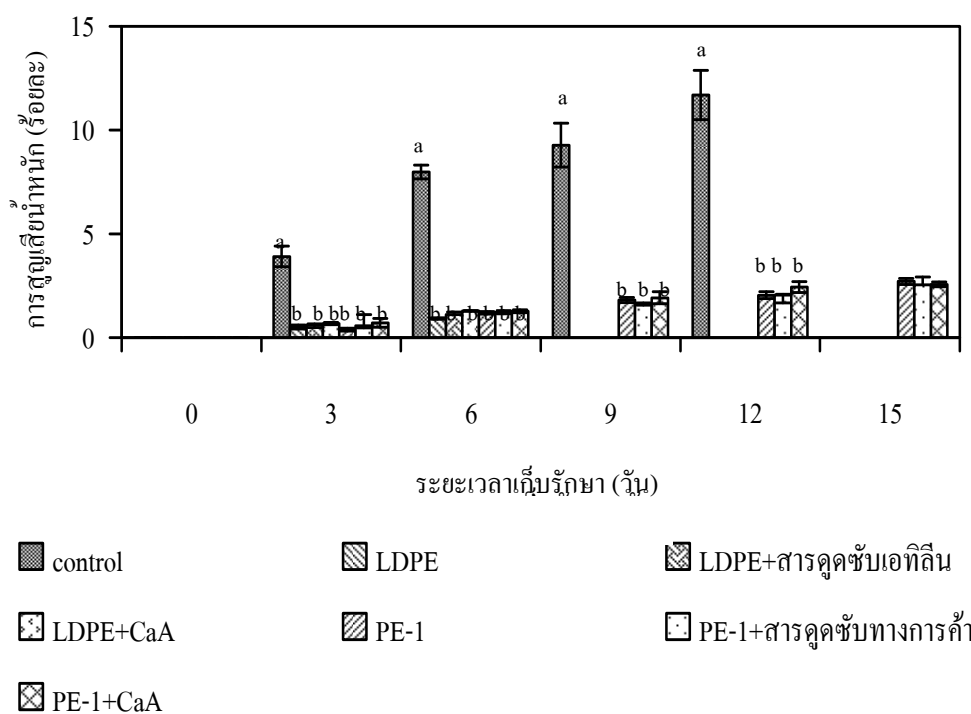


ภาพที่ 37 ลักษณะปรากฏของเนื้อมะม่วงระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone[®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ห้อง

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุง LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในทุกสิ่งทดลอง ($p \leq 0.05$) ส่วนมะม่วงที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วและมีการเพิ่มขึ้นมากกว่ากล้วยหอมที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกภายหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 38) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง มะม่วงที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ภายในผลิตผลผ่านเปลือกได้ง่าย อีกทั้งผลิตผลยังเกิดการคายน้ำเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปอันเกิดเนื่องมาจากการหายใจของผลิตผลเอง (จริงแท้, 2539; Rathore *et al.*, 2007) และเมื่อพิจารณามะม่วงที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด LDPE และ PE-1 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก เนื่องจากมะม่วงที่บรรจุในถุงพลาสติกเกิดการบรรจุแบบสภาวะบรรยากาศดัดแปลง ทำให้อัตราการหายใจผลิตผลลดลงซึ่งจะช่วยรักษาการสูญเสียน้ำหนัก (Rodov *et al.*, 1997; Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) นอกจากนี้ถุงพลาสติกทั้งสองชนิดมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้เป็นอย่างดี จึงทำให้น้ำในผลิตผลเกิดการเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศได้ยาก (ชนิด, 2551; Tefera *et al.*, 2007)

ค่าความแน่นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่มีการบรรจุในถุงพลาสติก และที่มีการบรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่าค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 16) โดยความแน่นเนื้อเริ่มต้นเฉลี่ย 66.92 นิวตัน ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 3 วัน พบว่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.10 นิวตัน เนื่องจากเมื่อมะม่วงเกิดการสุก แป้งจะถูกเปลี่ยนจากโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และละลายน้ำได้น้อยไปเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและละลายน้ำได้ดีส่งผลให้ความแน่นเนื้อลดลง นอกจากนี้ยังเกิดจากการอ่อนตัวของเนื้อและเปลือกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายในผนังเซลล์ที่มีการย่อยสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์โดยเอนไซม์ชนิดต่างๆ (จริงแท้, 2549; Weichmann, 1987; Rathore *et al.*, 2007)



ภาพที่ 38 ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ค่าสีเปลือกและเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 17) เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก พบว่า ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลาเก็บรักษา (ตารางที่ 18 และ 19)

จากการทดลองพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกอย่างเห็นได้ชัด คือ มะม่วงเกิดการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง มีผลทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่สูงขึ้นซึ่งจะไปเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549) ในขณะเดียวกันแคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้นมามากขึ้นในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก ซึ่งปัจจัยที่มีผล

ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ได้แก่ ปฏิกริยาในการสลายตัว ค่าความเป็นกรด-ด่างและเอนไซม์ Chlorophyllases (Wills *et al.*, 1982) และจากงานวิจัยของ Doreyappa-Gowda and Huddar (2001) พบว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในมะม่วงหลายพันธุ์จะเพิ่มขึ้นในระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี โดยเปลือกของมะม่วงจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เช่นเดียวกันเนื้อของมะม่วงก็จะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้ม เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์จาก 498 เป็น 8,071 $\mu\text{g}/100\text{g}$ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18-34 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับกระบวนการในสภาวะบรรยากาศตัดแปลง (Rodov *et al.*, 1997; Srinivasa *et al.*, 2002) และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา (Carrillo *et al.*, 2000; Malik *et al.*, 2003) ซึ่งจากการทดลองพบว่ามะม่วงที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ เนื่องจากการเก็บรักษาที่ไม่ได้เป็นแบบการบรรจุในสภาวะบรรยากาศตัดแปลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีสูง (Yahia and Hernandez, 1993)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 20) ภายหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษาและภายหลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งมะม่วงมีการสุกเต็มที่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับ Bustamante *et al.*, 1997 พบว่ามะม่วงมีแนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่กระบวนการสุก จากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะลดลงเมื่อมะม่วงเข้าสู่การชราภาพ และยังพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำที่เป็นองค์ประกอบในตัวผลผลิต ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลมีค่าสูงขึ้น (Tefera *et al.*, 2007) ซึ่งขณะที่มะม่วงเกิดกระบวนการสุก แป้งจะถูกไฮโดรไลซิสเปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่อยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส (Vazquez-Salinas and Lakshminarayana, 1985; Selvaraj *et al.*, 1989; Castrillo *et al.*, 1992) โดยจะพบน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ เมื่อมะม่วงเกิดการสุก (Fuchs *et al.*, 1980; Tandon and Kalra, 1983)

ร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 20)

อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่ามะม่วงที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการลดลงของค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากที่สุด โดยลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นคงที่จนถึงวันเก็บรักษาวันสุดท้าย ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงเนื่องจากการสลายตัวของกรดซิตริก ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ citric acid glyoxylase ที่เกิดขึ้นระหว่างที่มะม่วงเกิดกระบวนการสุก นอกจากนั้นการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ยังเป็นผลมาจากกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้, 2549; Rathore *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการทดลองของ Doreyappa-Gowda and Hudder (2001) ที่พบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18-34 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี โดยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก เช่นเดียวกับการทดลองของ Srinivasa *et al.* (2002) ที่พบว่ามะม่วงพันธุ์ Alphonso ที่บรรจุและไม่ได้บรรจุในกล่องกระดาษ มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงในวันที่ 12 ของการทดลองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส

สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 21) อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่ามะม่วงที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นคงที่จนถึงวันเก็บรักษาวันสุดท้าย

ค่ากรด-ด่างของมะม่วงน้ำดอกไม้มัที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่ากรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 21) อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มัที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเพิ่มขึ้นของค่ากรด-ด่างมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นคงที่จนถึงวันเก็บรักษาวันสุดท้าย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่พบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง ค่าความกรด-ด่างจะเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Doreyappa-Gowda and Hudder (2001) ที่พบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18-34 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี

โดยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก

ตารางที่ 16 ความความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	75.06 ^{ns} ±2.49	3.69 ^b ±0.38	2.77 ^c ±0.12	1.17 ^c ±0.13	1.16 ^b ±0.13	N/A
LDPE	75.06 ^{ns} ±2.49	6.57 ^a ±1.90	3.36 ^b ±0.96	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl-gone [®]	75.06 ^{ns} ±2.49	4.55 ^b ±1.23	4.25 ^a ±0.36	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	75.06 ^{ns} ±2.49	4.15 ^b ±1.09	3.68 ^b ±0.59	N/A	N/A	N/A
PE-1	75.06 ^{ns} ±2.49	3.68 ^b ±1.05	2.56 ^c ±0.18	2.33 ^b ±0.38	2.11 ^a ±0.50	0.22 ^a ±0.01
PE-1+Ethyl-gone [®]	75.06 ^{ns} ±2.49	4.10 ^b ±1.38	2.74 ^c ±0.20	2.72 ^a ±0.25	2.03 ^a ±0.19	0.21 ^{ab} ±0.02
PE-1+CaA	75.06 ^{ns} ±2.49	3.12 ^b ±0.58	2.64 ^c ±0.35	2.30 ^b ±0.30	2.36 ^a ±0.23	0.20 ^b ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 17 ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	71.31 ^{ns} ±0.59	76.52 ^a ±1.96	72.57 ^a ±0.63	73.14 ^a ±0.74	70.68 ^a ±0.82	N/A
LDPE	71.31 ^{ns} ±0.59	75.41 ^a ±1.36	74.01 ^a ±0.94	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl-gone [®]	71.31 ^{ns} ±0.59	74.93 ^{ab} ±1.27	74.67 ^a ±0.92	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	71.31 ^{ns} ±0.59	75.89 ^a ±2.00	72.78 ^a ±0.56	N/A	N/A	N/A
PE-1	71.31 ^{ns} ±0.59	72.89 ^{bc} ±2.05	69.77 ^b ±2.33	69.82 ^b ±1.36	65.64 ^b ±0.98	65.49 ^{ns} ±1.27
PE-1+Ethyl-gone [®]	71.31 ^{ns} ±0.59	70.93 ^c ±1.89	70.15 ^b ±2.59	69.42 ^b ±2.32	67.65 ^b ±1.74	64.78 ^{ns} ±3.43
PE-1+CaA	71.31 ^{ns} ±0.59	72.91 ^{bc} ±2.03	68.82 ^b ±2.63	68.49 ^b ±2.42	63.42 ^c ±2.72	64.92 ^{ns} ±3.22
สิ่งทดลอง	เนื้อมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	71.31 ^{ns} ±0.59	84.37 ^{abc} ±2.10	78.30 ^c ±1.00	75.98 ^{ns} ±0.80	71.92 ^{ns} ±0.63	N/A
LDPE	71.31 ^{ns} ±0.59	85.66 ^a ±1.01	83.27 ^a ±1.71	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl-gone [®]	71.31 ^{ns} ±0.59	85.79 ^a ±1.14	83.04 ^a ±1.82	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	71.31 ^{ns} ±0.59	85.17 ^{ab} ±1.34	82.43 ^a ±1.15	N/A	N/A	N/A
PE-1	71.31 ^{ns} ±0.59	85.04 ^{ab} ±1.04	81.30 ^{ab} ±0.52	74.59 ^{ns} ±4.02	69.85 ^{ns} ±5.07	63.55 ^b ±3.14
PE-1+Ethyl-gone [®]	71.31 ^{ns} ±0.59	82.94 ^c ±1.56	79.55 ^{bc} ±1.08	74.71 ^{ns} ±3.19	71.58 ^{ns} ±4.72	71.34 ^a ±2.94
PE-1+CaA	71.31 ^{ns} ±0.59	83.45 ^{bc} ±1.12	80.05 ^{bc} ±2.55	75.43 ^{ns} ±1.62	68.91 ^{ns} ±3.22	70.23 ^a ±3.89

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 18 ค่าสีแดง (a*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุใน
ถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ได้ถู	-10.83 ^{ns} ±1.04	-2.78 ^a ±1.81	3.41 ^a ±0.54	4.01 ^a ±0.46	4.95 ^a ±0.14	N/A
LDPE	-10.83 ^{ns} ±1.04	-5.95 ^b ±1.81	-7.53 ^b ±2.39	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	-10.83 ^{ns} ±1.04	-6.53 ^b ±1.98	-5.89 ^b ±1.82	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	-10.83 ^{ns} ±1.04	-6.02 ^b ±2.05	-6.37 ^b ±2.63	N/A	N/A	N/A
PE-1	-10.83 ^{ns} ±1.04	-8.89 ^c ±1.81	-8.50 ^b ±2.18	-6.11 ^b ±1.56	-7.11 ^b ±0.30	-7.39 ^{ns} ±1.72
PE-1+Ethyl- gone [®]	-10.83 ^{ns} ±1.04	-9.92 ^c ±1.98	-8.22 ^b ±1.77	-8.94 ^c ±0.68	-5.60 ^b ±3.59	-6.74 ^{ns} ±3.25
PE-1+CaA	-10.83 ^{ns} ±1.04	-8.31 ^{bc} ±2.05	-6.17 ^b ±1.64	-7.51 ^{bc} ±2.64	-7.15 ^b ±2.96	-5.99 ^{ns} ±0.93
สิ่งทดลอง	เนื้อมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ได้ถู	-8.36 ^{ns} ±0.65	-7.17 ^a ±0.65	-1.22 ^a ±0.62	0.40 ^a ±0.34	1.46 ^a ±0.32	N/A
LDPE	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.87 ^b ±0.29	-6.86 ^c ±1.42	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.46 ^{ab} ±0.47	-7.30 ^c ±0.79	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.79 ^{ab} ±0.30	-6.38 ^c ±0.66	N/A	N/A	N/A
PE-1	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.21 ^{ab} ±0.64	-4.31 ^b ±0.40	0.91 ^a ±1.15	2.69 ^a ±1.49	5.32 ^{ns} ±1.82
PE-1+Ethyl- gone [®]	-8.36 ^{ns} ±0.65	-7.95 ^{ab} ±2.20	-3.82 ^b ±0.72	-2.62 ^b ±3.01	0.55 ^b ±0.94	3.34 ^{ns} ±2.26
PE-1+CaA	-8.36 ^{ns} ±0.65	-8.79 ^b ±1.59	-2.12 ^a ±1.46	-0.69 ^{ab} ±0.86	1.93 ^{ab} ±1.66	4.54 ^{ns} ±1.99

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 ค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุใน
ถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	31.68 ^{ns} ±0.58	40.17 ^a ±2.18	43.88 ^a ±2.13	46.12 ^a ±0.65	47.77 ^a ±0.37	N/A
LDPE	31.68 ^{ns} ±0.58	34.50 ^b ±1.44	35.05 ^{bc} ±1.98	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	31.68 ^{ns} ±0.58	34.89 ^b ±2.89	35.85 ^b ±1.35	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	31.68 ^{ns} ±0.58	34.15 ^b ±2.32	36.24 ^b ±0.66	N/A	N/A	N/A
PE-1	31.68 ^{ns} ±0.58	31.49 ^c ±0.99	33.55 ^{bc} ±2.14	34.47 ^b ±2.77	30.13 ^c ±1.51	35.39 ^{ns} ±1.21
PE-1+Ethyl- gone [®]	31.68 ^{ns} ±0.58	31.01 ^c ±1.29	32.98 ^c ±1.67	33.43 ^b ±1.76	33.75 ^b ±3.75	35.86 ^{ns} ±3.32
PE-1+CaA	31.68 ^{ns} ±0.58	31.65 ^c ±1.20	33.73 ^{bc} ±3.91	34.57 ^b ±2.42	32.23 ^{bc} ±3.93	34.02 ^{ns} ±3.46
สิ่งทดลอง	เนื้อมะม่วง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	31.16 ^{ns} ±1.24	51.17 ^{ns} ±6.53	64.56 ^a ±2.66	66.77 ^a ±2.45	71.73 ^a ±1.88	N/A
LDPE	31.16 ^{ns} ±1.24	43.38 ^{ns} ±4.68	59.74 ^{ab} ±4.98	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	31.16 ^{ns} ±1.24	47.03 ^{ns} ±1.76	55.39 ^b ±4.28	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	31.16 ^{ns} ±1.24	48.26 ^{ns} ±2.35	58.74 ^{ab} ±4.18	N/A	N/A	N/A
PE-1	31.16 ^{ns} ±1.24	48.03 ^{ns} ±4.21	62.25 ^a ±1.06	64.32 ^{ab} ±2.79	55.63 ^c ±3.30	65.74 ^{ns} ±4.87
PE-1+Ethyl- gone [®]	31.16 ^{ns} ±1.24	46.88 ^{ns} ±12.11	64.12 ^a ±2.85	61.52 ^b ±2.22	60.99 ^b ±3.82	63.85 ^{ns} ±4.05
PE-1+CaA	31.16 ^{ns} ±1.24	47.84 ^{ns} ±7.24	64.77 ^a ±2.87	62.72 ^b ±2.04	61.83 ^b ±2.23	62.41 ^{ns} ±2.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของมะม่วง
ระดับความบริสุทธิ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	TSS (°Brix)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	11.80 ^{ns} ±0.00	15.20 ^a ±0.00	15.80 ^c ±0.00	15.80 ^d ±0.00	16.00 ^b ±0.00	N/A
LDPE	11.80 ^{ns} ±0.00	13.20 ^g ±0.00	13.50 ^g ±0.00	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl-gone [®]	11.80 ^{ns} ±0.00	13.73 ^c ±0.00	14.00 ^f ±0.00	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	11.80 ^{ns} ±0.00	13.60 ^f ±0.00	14.60 ^c ±0.00	N/A	N/A	N/A
PE-1	11.80 ^{ns} ±0.00	14.60 ^c ±0.00	16.20 ^b ±0.00	16.60 ^a ±0.00	16.00 ^b ±0.00	14.80 ^c ±0.00
PE-1+Ethyl-gone [®]	11.80 ^{ns} ±0.00	14.70 ^b ±0.00	15.80 ^d ±0.00	16.20 ^b ±0.00	15.60 ^c ±0.00	15.60 ^a ±0.00
PE-1+CaA	11.80 ^{ns} ±0.00	14.40 ^d ±0.00	16.60 ^a ±0.00	15.60 ^c ±0.00	16.40 ^a ±0.00	15.40 ^b ±0.00
สิ่งทดลอง	%TA					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	1.46 ^{ns} ±0.02	0.72 ^g ±0.02	0.13 ^d ±0.00	0.13 ^d ±0.00	0.13 ^c ±0.00	N/A
LDPE	1.46 ^{ns} ±0.02	1.34 ^c ±0.00	1.50 ^a ±0.03	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl-gone [®]	1.46 ^{ns} ±0.02	1.49 ^a ±0.02	1.44 ^b ±0.03	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	1.46 ^{ns} ±0.02	1.44 ^b ±0.03	1.49 ^a ±0.02	N/A	N/A	N/A
PE-1	1.46 ^{ns} ±0.02	1.05 ^e ±0.02	1.41 ^b ±0.03	0.59 ^c ±0.02	0.68 ^a ±0.02	0.38 ^a ±0.00
PE-1+Ethyl-gone [®]	1.46 ^{ns} ±0.02	0.97 ^f ±0.02	1.52 ^a ±0.00	0.73 ^a ±0.02	0.62 ^b ±0.01	0.30 ^b ±0.02
PE-1+CaA	1.46 ^{ns} ±0.02	1.15 ^d ±0.03	1.31 ^c ±0.01	0.65 ^b ±0.02	0.67 ^a ±0.01	0.38 ^a ±0.03

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 21 สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของมะม่วงระดับความบริบูรณ์ 80% ที่บรรจุในถุงพลาสติก
ชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	TSS/TA					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	8.19 ^{ns} ±0.00	21.26 ^a ±0.54	123.36 ^a ±0.00	123.36 ^a ±0.00	124.92 ^a ±0.00	N/A
LDPE	8.19 ^{ns} ±0.00	9.82 ^c ±0.00	8.97 ^f ±0.19	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	8.19 ^{ns} ±0.00	9.19 ^f ±0.17	9.72 ^e ±0.22	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	8.19 ^{ns} ±0.00	9.44 ^{ef} ±0.21	9.77 ^e ±0.12	N/A	N/A	N/A
PE-1	8.19 ^{ns} ±0.00	13.96 ^c ±0.25	11.50 ^c ±0.23	28.04 ^b ±0.76	23.43 ^c ±0.62	38.52 ^b ±0.00
PE-1+Ethyl- gone [®]	8.19 ^{ns} ±0.00	15.14 ^b ±0.29	10.39 ^d ±0.00	22.33 ^d ±0.58	25.20 ^b ±0.38	52.33 ^a ±3.13
PE-1+CaA	8.19 ^{ns} ±0.00	12.50 ^d ±0.35	12.70 ^b ±0.09	23.97 ^c ±0.67	24.59 ^b ±0.34	40.27 ^b ±3.37
สิ่งทดลอง	pH					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
ไม่ใส่ถุง	0.60 ^{ns} ±0.00	0.80 ^g ±0.00	5.22 ^a ±0.00	5.26 ^a ±0.00	5.28 ^a ±0.00	N/A
LDPE	0.60 ^{ns} ±0.00	1.40 ^d ±0.00	3.25 ^g ±0.01	N/A	N/A	N/A
LDPE+ Ethyl- gone [®]	0.60 ^{ns} ±0.00	1.00 ^f ±0.00	3.33 ^g ±0.01	N/A	N/A	N/A
LDPE+CaA	0.60 ^{ns} ±0.00	1.20 ^e ±0.00	3.28 ^f ±0.01	N/A	N/A	N/A
PE-1	0.60 ^{ns} ±0.00	3.42 ^b ±0.00	3.65 ^f ±0.01	3.94 ^b ±0.01	3.92 ^b ±0.01	4.26 ^b ±0.01
PE-1+Ethyl- gone [®]	0.60 ^{ns} ±0.00	3.56 ^a ±0.01	3.68 ^e ±0.01	3.80 ^d ±0.01	3.91 ^c ±0.00	4.51 ^a ±0.01
PE-1+CaA	0.60 ^{ns} ±0.00	3.41 ^c ±0.00	3.76 ^b ±0.01	3.87 ^c ±0.00	3.92 ^b ±0.01	4.15 ^c ±0.00

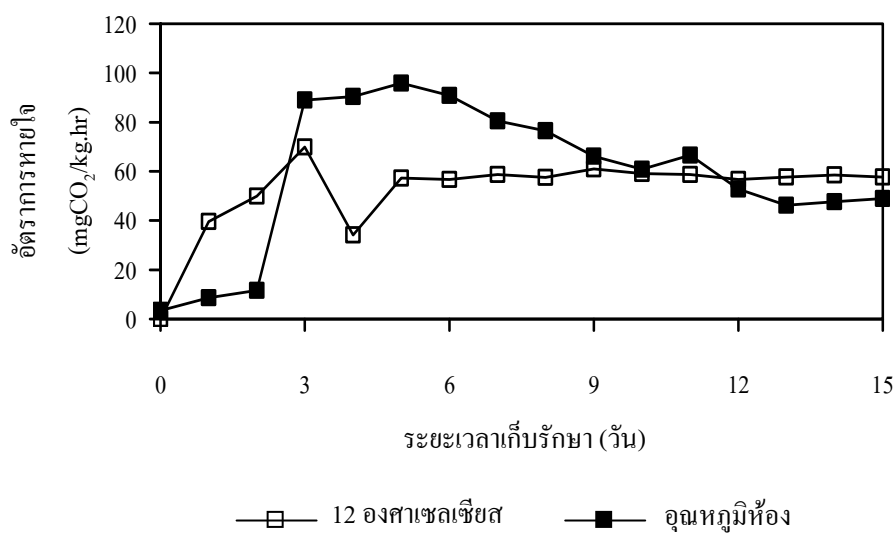
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย
 ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging: MAP) ร่วมกับการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม

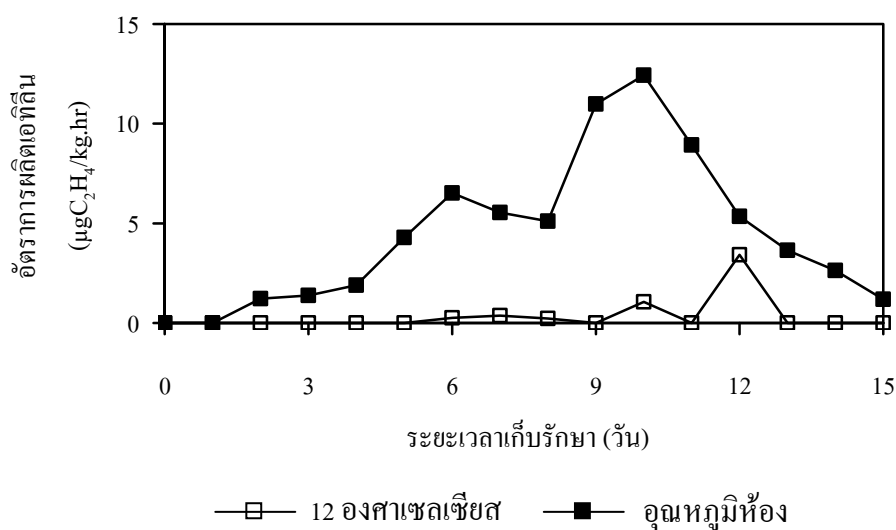
4.1 อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอม

อัตราการหายใจของกล้วยหอมที่มีระดับความบริบูรณ์ 80-85% ด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูง อัตราการหายใจมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีค่าประมาณ 70.19 และ $58.15 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน (ภาพที่ 39) เนื่องจากกล้วยหอมเป็นผลไม้ประเภท climacteric พบว่าในช่วงที่ผลไม่ยังไม่สุก มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเข้าสู่ระยะสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นอย่างชัดเจน และอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่ออัตราการหายใจ เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการหายใจของผลไม้มักจะสูงขึ้น สอดคล้องกับ Zhang *et al.*, 1993 พบว่ากล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีการหายใจสูงกว่ากล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

อัตราการการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน พบว่า มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุด (ethylene peak) เกิดขึ้นในวันที่ 6 และ 10 มีค่าเท่ากับ 6.52 และ $12.42 \text{ }\mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมด้วยระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน พบว่ากล้วยหอมมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 12 ซึ่งมีค่าประมาณ $3.42 \text{ }\mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน (ภาพที่ 40) ซึ่งเวลาที่กล้วยหอมมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุด สามารถบอกได้ว่ากล้วยหอมเริ่มเข้าสู่ระยะของการสุก อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่ากล้วยหอมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดความเครียดทางกายภาพและมีผลต่อการกระตุ้นเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 39 อัตราการหายใจของกล้วยหอมที่ระดับความบริบูรณ์ 80-85% ในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง

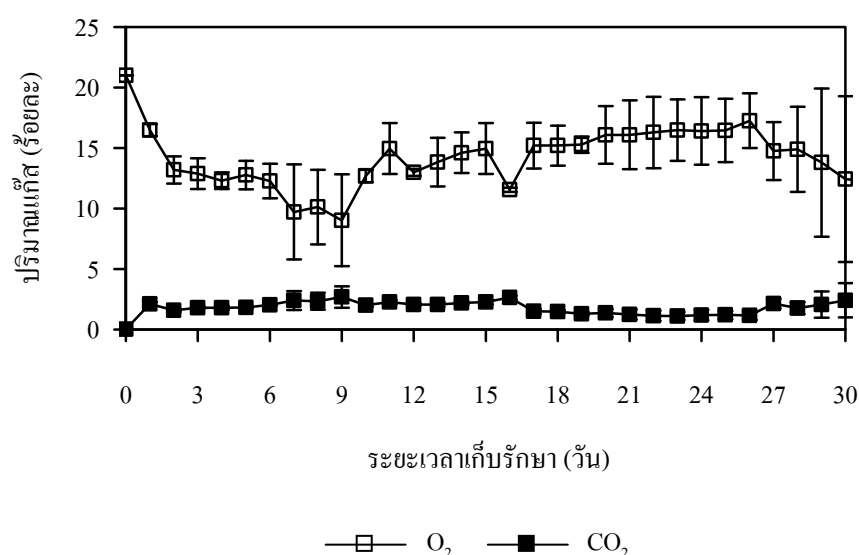


ภาพที่ 40 อัตราการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมที่ระดับความบริบูรณ์ 80-85% ในระบบเปิดที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

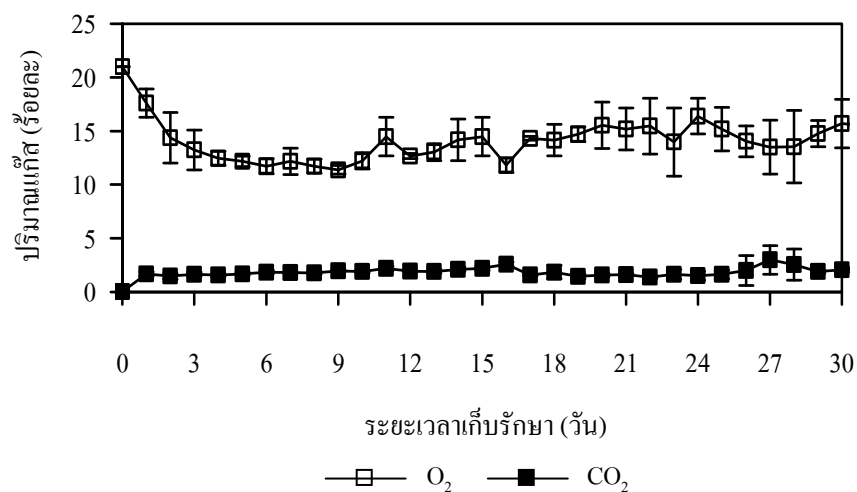
4.2 เก็บรักษากล้วยหอมที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

4.2.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในถุง

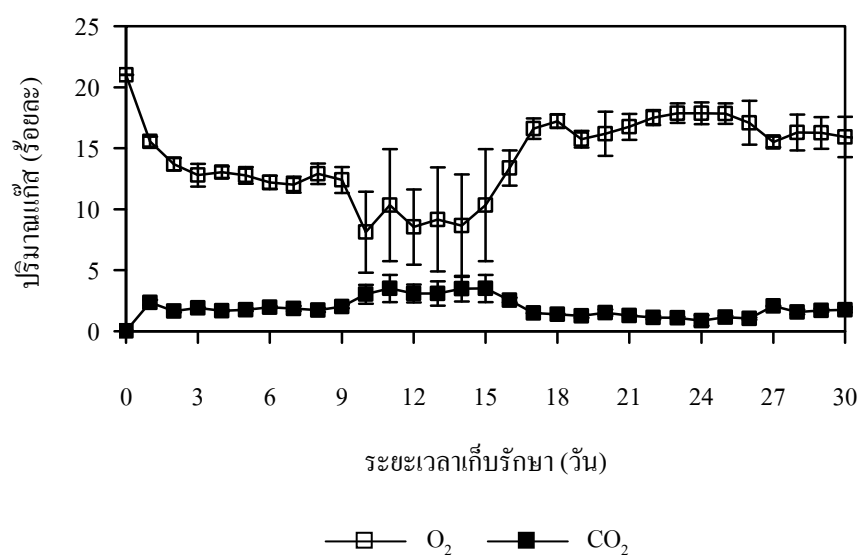
ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ กล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 41 และ 42) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 43) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ใช้เวลาประมาณ 3 วัน โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลง ร้อยละ 14.02 14.03 และ 13.87 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1.95 1.84 และ 1.87 ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง ซึ่งจะชะลอการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของผลิตผล และรักษาการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ (Thompson, 1998) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Chamara *et al.* (2000) พบว่ากล้วยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน จะช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมได้



ภาพที่ 41 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 42 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกลัวยหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส



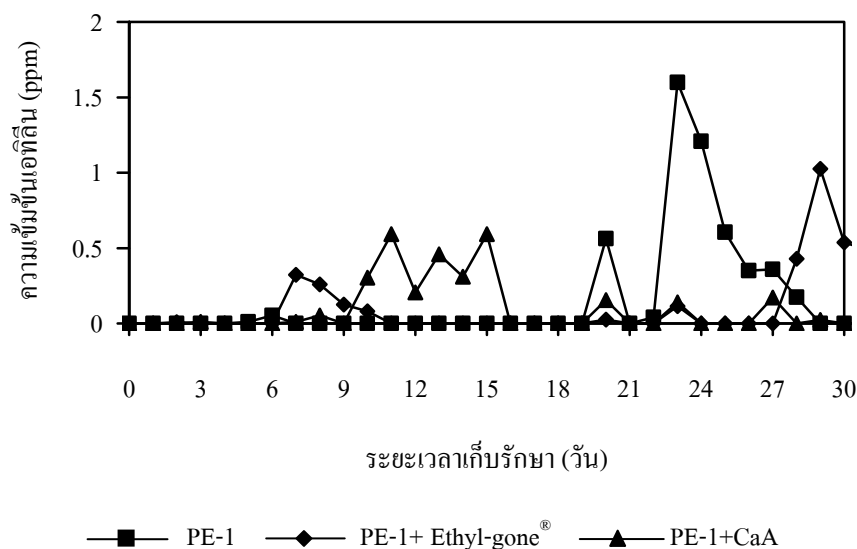
ภาพที่ 43 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกลัวยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 22 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะ
บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับกล้วยหอมระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA)		
	แก๊สออกซิเจน	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	เวลาเข้าสู่ EMA
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(วัน)
PE-1	14.02	1.95	3
PE-1+Ethyl-gone®	14.03	1.84	3
PE-1+CaA	13.87	1.87	3

ปริมาณเอทิลีนภายในถุง PE-1 พบว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุงที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® พบการสะสมของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 29 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.03 ppm ส่วนสารดูดซับเอทิลีนชนิดซีโอไลต์ CaA มีการสะสมของเอทิลีนในระหว่างวันที่ 10 ถึงวันที่ 15 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.21-0.59 ppm ในขณะที่กล้วยหอมที่บรรจุในถุงที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีค่าความเข้มข้นของเอทิลีนเกิดสูงสุดในวันที่ 23 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.60 ppm (ภาพที่ 44) เนื่องจากในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก กล้วยหอมมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการหายใจและการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยที่การเพิ่มขึ้นของเอทิลีนในผลิตภัณฑ์จะเป็นสัญญาณของจุดเริ่มต้นของระยะการสุก นอกจากนี้ยังพบว่า ในการสังเคราะห์เอทิลีนของผลิตภัณฑ์ต้องใช้ออกซิเจนในลำดับขั้นตอนของการเปลี่ยน ACC เป็นเอทิลีน ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน เนื่องจากมีความสามารถในการแย่งที่กับเอทิลีนในการเข้าจับตำแหน่ง binding site ของ receptor ทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น (Beaudry, 1999) ซึ่งจากการทดลอง พบว่าออกซิเจนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกล้วยหอมที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีปริมาณเอทิลีนภายในถุงต่ำที่สุด เนื่องจาก Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนได้ดีซึ่งมีส่วนช่วยในการลดความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุง มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม เช่นเดียวกับการทดลองของ Chamara *et al.* (2000) ที่พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่

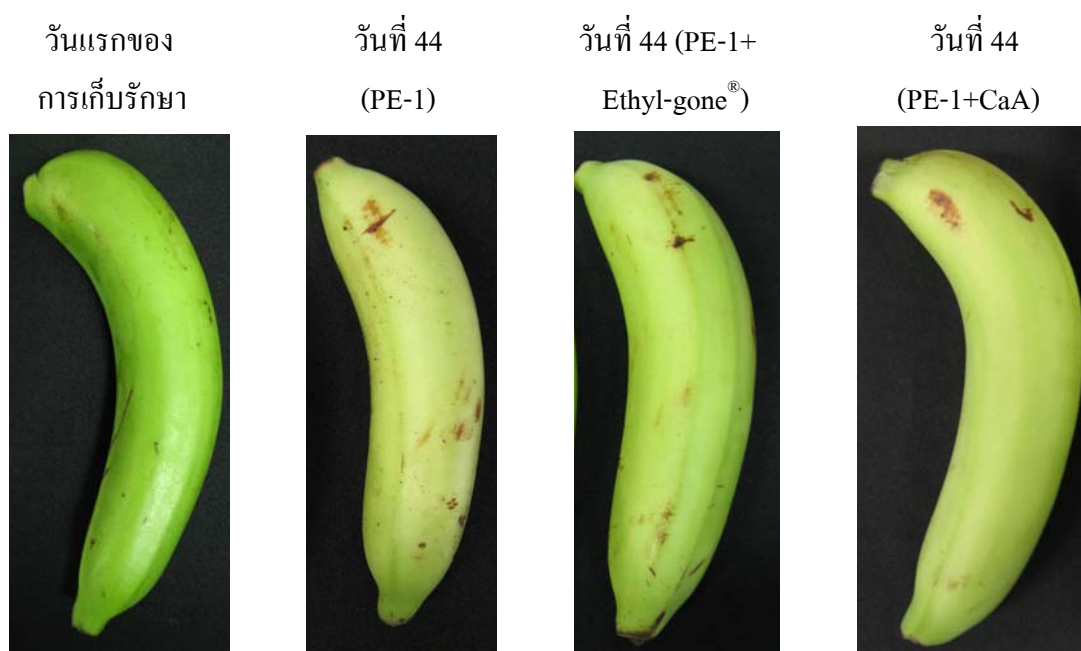
มีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นองค์ประกอบ จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วย เนื่องจากมีความสามารถในการออกซิไดซ์เอทิลีนที่กล้วยผลิตขึ้น



ภาพที่ 44 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

4.2.2 ประเมินอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม

อายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า กล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 ในทุกสิ่งทดลองมีอายุเก็บรักษานานมากกว่า 44 วัน (ตารางที่ 23) โดยลักษณะปรากฏของเปลือกกล้วยยังคงมีสีเขียว ในขณะที่เนื้อกล้วยก็ยังคงแข็ง (ภาพที่ 45) ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการบรรจุกล้วยหอมในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ทำให้การเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของกล้วยหอมลดต่ำลง มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วย (จริงแท้, 2549; Salvador *et al.*, 2007)



ภาพที่ 45 ลักษณะปรากฏของกล้วยหอมระยะความบิรุณ 80% ที่ถุงพลาสติก PE-1 ทั้งที่ไม่มีการดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 23 ประเมินอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ
PE-1	มากกว่า 44 วัน	เนื้อกล้วยแข็ง เปลือกยังมีสีเขียว
PE-1+Ethyl-gone®	มากกว่า 44 วัน	เนื้อกล้วยแข็ง เปลือกยังมีสีเขียว
PE-1+CaA	มากกว่า 44 วัน	เนื้อกล้วยแข็ง เปลือกยังมีสีเขียว

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอม

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 ทั้งที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และซีโอไลต์ชนิด CaA มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนัก ($p > 0.05$) (ตารางที่ 27) แต่พบว่ากล้วยที่บรรจุในถุง PE-1 ที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีนซึ่งสาเหตุของการสูญเสียน้ำหนักเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำออกจากผลไม่ทำให้ความดัน

เต่งภายในเซลล์ลดลง (จริงแท้, 2549) อีกทั้งการคายน้ำของผลผลิตยังช่วยระบายความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการหายใจไม่ให้สูงเกินไป

ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้ออย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 46) เนื่องจากภายในถุงกล้วยหอมมีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ทำให้ลดการสะสมของเอทิลีนภายในถุง (Thuy-Nguyen *et al.*, 2004) สอดคล้องกับ Chamara *et al.* (2000) พบว่ากล้วยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน จะช่วยลดความแน่นเนื้อของกล้วยได้ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนภายหลังจากการเก็บรักษานาน 9 วัน พบว่ามีการลดลงของความแน่นเนื้ออย่างรวดเร็ว ภายหลังจากนั้นคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา เนื่องจากภายในถุงมีการสะสมของเอทิลีนซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดการหายใจเพิ่มขึ้น ตลอดจนกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุให้ความแน่นเนื้อลดลง (Thompson, 1998)

ค่าสีของเปลือกกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่า ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) โดยมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา (ตารางที่ 24) ในขณะที่ค่าสีของเนื้อกล้วยหอมในทุกสิ่งทดลอง พบว่าค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) (ตารางที่ 25)

จากการทดลอง พบว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 ในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มค่าสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ในขณะที่เดียวก็มีการสร้างแคโรทีนอยด์เกิดขึ้น (Wills *et al.*, 1982) แต่อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิต่ำค่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Salvador *et al.* (2007) ที่พบว่ากล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ซึ่งสามารถบอกได้ว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสกล้วยเกิดกระบวนการสุกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีของกิจกรรมต่างๆ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวของผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งลดการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549; Carrillo *et al.*, 2000; Malik *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังพบว่า กล้วยที่บรรจุในถุงพลาสติกจะ

ช่วยลดกิจกรรมต่างๆ ของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วย (Thuy-Nguyen *et al.*, 2004)

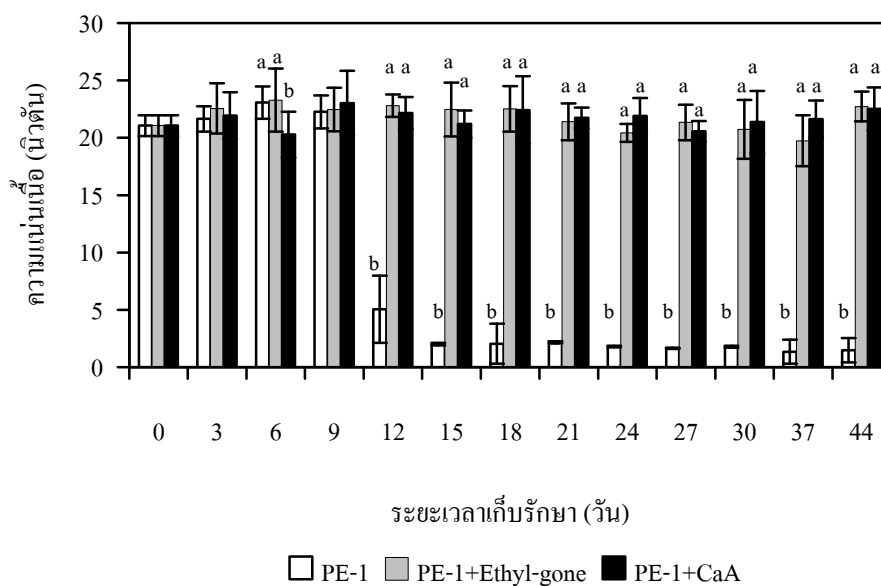
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 47) ในขณะที่กล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างรวดเร็วภายหลังจากเก็บรักษาวันที่ 6 ทั้งนี้เนื่องจากถุงกล้วยที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีการสะสมของเอทิลีนภายใน มีผลทำให้เอทิลีนที่เกิดจากการผลิตของกล้วย กระตุ้นให้การหายใจและเกิดกระบวนการสุกสูงขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ระหว่างการสุก เช่น การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การลดลงของกรดอินทรีย์ เป็นต้น (จริงแท้, 2549)

ร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุงพลาสติก PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 26) เนื่องจากในขณะที่ยังเป็นผลอ่อนอยู่ มีปริมาณกรดค่อนข้างสูง ได้แก่ กรดมาลิกและกรดซิตริก ซึ่งกรดเหล่านี้เป็นตัวกลางสำคัญในวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ แต่หลังจากที่กล้วยสุกมีปริมาณของกรดลดลง เนื่องจากกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้, 2549)

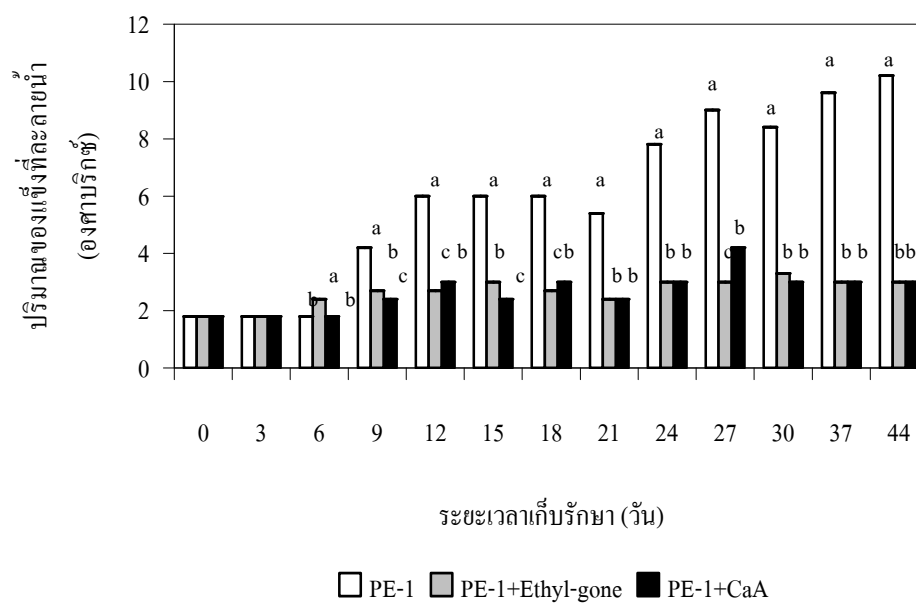
สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในขณะที่กล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ตารางที่ 27) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลง

ค่ากรด-ด่างของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซิโอล์ชนิด CaA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 26) ในขณะที่กล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน พบว่าค่ากรด-ด่าง มี

การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในขณะที่ยังเป็นผลอ่อนอยู่จะมีปริมาณกรดค่อนข้างสูง ได้แก่ กรดมาลิกและกรดซิตริก ซึ่งกรดเหล่านี้เป็นตัวกลางสำคัญในวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ (จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 46 ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 47 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 24 ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บ รักษา (วัน)	ค่าสีแดง (a*)			ค่าสีเหลือง (b*)		
	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA
0	-20.09 ^{ns} ±0.61	-20.09 ^{ns} ±0.61	-20.09 ^{ns} ±0.61	30.15 ^{ns} ±0.85	30.15 ^{ns} ±0.85	30.15 ^{ns} ±0.85
3	-20.39 ^{ns} ±0.40	-20.39 ^{ns} ±0.65	-20.70 ^{ns} ±0.44	31.10 ^{ns} ±0.51	30.89 ^{ns} ±0.38	31.06 ^{ns} ±0.81
6	-19.15 ^{ns} ±1.25	-19.83 ^{ns} ±0.45	-19.54 ^{ns} ±0.12	30.44 ^{ns} ±0.40	30.07 ^{ns} ±0.45	30.67 ^{ns} ±0.22
9	-20.39 ^{ns} ±0.75	-19.78 ^{ns} ±1.02	-20.53 ^{ns} ±0.42	31.86 ^{ns} ±0.47	30.22 ^{ns} ±0.33	30.84 ^{ns} ±1.11
12	-19.35 ^{ns} ±0.86	-19.56 ^{ns} ±0.79	-19.72 ^{ns} ±0.80	30.62 ^{ns} ±0.59	30.53 ^{ns} ±0.89	30.16 ^{ns} ±1.04
15	-19.62 ^{ns} ±0.74	-19.43 ^{ns} ±0.80	-19.56 ^{ns} ±0.77	31.76 ^{ns} ±1.77	30.34 ^{ns} ±0.99	29.94 ^{ns} ±1.06
18	-20.12 ^{ab} ±0.34	-20.32 ^b ±0.34	-19.71 ^a ±0.45	32.19 ^{ns} ±0.93	30.07 ^{ns} ±1.11	31.22 ^{ns} ±0.41
21	-19.34 ^a ±0.53	-19.56 ^{ab} ±0.53	-20.14 ^{ns} ±0.76	32.61 ^{ns} ±1.89	30.88 ^{ns} ±0.81	31.63 ^{ns} ±1.25
24	-17.95 ^{ns} ±1.56	-19.16 ^{ns} ±0.13	-18.92 ^b ±1.00	33.95 ^{ns} ±4.67	31.25 ^{ns} ±0.44	30.28 ^{ns} ±1.43
27	-18.79 ^a ±0.50	-19.75 ^b ±0.65	-19.14 ^{ab} ±0.34	30.96 ^{ns} ±0.64	31.30 ^{ns} ±1.37	31.28 ^{ns} ±1.04
30	-18.31 ^{ns} ±0.92	-18.72 ^{ns} ±0.85	-19.68 ^{ns} ±0.71	30.37 ^{ns} ±1.84	31.15 ^{ns} ±1.14	30.48 ^{ns} ±0.95
37	-17.64 ^{ns} ±0.62	-18.66 ^{ns} ±1.03	-17.90 ^{ns} ±0.31	30.37 ^b ±0.60	34.24 ^a ±0.75	28.26 ^c ±0.74
44	-18.10 ^{ns} ±1.07	-17.40 ^{ns} ±1.03	-17.96 ^{ns} ±0.56	30.32 ^{ns} ±0.58	30.78 ^{ns} ±0.03	30.18 ^{ns} ±0.43

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 25 ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บ รักษา (วัน)	ค่าสีแดง (a*)			ค่าสีเหลือง (b*)		
	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl-gone®	CaA
0	-3.97 ^{ns} ±0.31	-3.97 ^{ns} ±0.31	-3.97 ^{ns} ±0.31	25.58 ^{ns} ±1.27	25.58 ^{ns} ±1.27	25.58 ^{ns} ±1.27
3	-4.32 ^{ns} ±0.42	-3.78 ^{ns} ±0.77	-4.11 ^{ns} ±0.82	25.66 ^{ns} ±0.45	25.80 ^{ns} ±1.41	25.29 ^{ns} ±1.30
6	-4.05 ^{ab} ±0.20	-4.33 ^b ±0.13	-3.89 ^a ±0.18	25.33 ^{ns} ±0.59	25.33 ^{ns} ±0.81	24.36 ^{ns} ±1.16
9	-4.34 ^{ns} ±0.53	-4.07 ^{ns} ±0.05	-4.26 ^{ns} ±0.72	26.62 ^{ns} ±1.11	25.68 ^{ns} ±0.46	26.65 ^{ns} ±2.59
12	-4.08 ^{ns} ±0.26	-3.95 ^{ns} ±0.38	-4.40 ^{ns} ±0.61	25.45 ^{ns} ±0.77	24.79 ^{ns} ±1.15	26.34 ^{ns} ±1.64
15	-4.23 ^{ns} ±0.13	-4.13 ^{ns} ±0.35	-4.48 ^{ns} ±0.47	25.87 ^b ±0.40	26.19 ^{ab} ±0.42	28.16 ^a ±1.67
18	-4.22 ^{ns} ±0.30	-4.12 ^{ns} ±0.12	-4.72 ^{ns} ±0.46	26.98 ^{ns} ±0.54	26.54 ^{ns} ±0.25	27.84 ^{ns} ±1.94
21	-4.77 ^{ns} ±0.23	-4.08 ^{ns} ±0.24	-4.91 ^{ns} ±0.79	27.54 ^{ns} ±1.67	25.87 ^{ns} ±1.27	26.41 ^{ns} ±1.16
24	-4.11 ^{ns} ±0.06	-4.36 ^{ns} ±0.18	-4.58 ^{ns} ±0.27	27.71 ^{ns} ±1.27	27.40 ^{ns} ±0.05	27.90 ^{ns} ±1.63
27	-4.39 ^{ns} ±0.13	-4.49 ^{ns} ±0.25	-4.48 ^{ns} ±0.75	28.67 ^a ±0.34	28.64 ^a ±0.66	27.32 ^b ±0.75
30	-4.31 ^a ±0.09	-4.43 ^a ±0.34	-5.22 ^b ±0.44	27.56 ^{ns} ±0.21	27.79 ^{ns} ±1.51	28.90 ^{ns} ±0.65
37	-4.29 ^{ns} ±0.51	-4.14 ^{ns} ±0.01	-4.05 ^{ns} ±0.28	27.81 ^{ns} ±0.25	26.26 ^{ns} ±0.80	26.71 ^{ns} ±3.14
44	-4.36 ^{ns} ±0.25	-3.97 ^{ns} ±0.10	-4.39 ^{ns} ±0.48	28.78 ^{ns} ±1.01	27.68 ^{ns} ±0.70	29.43 ^{ns} ±1.39

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 26 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และความเป็นกรด-ด่างของกล้วยหอมที่บรรจุใน
ถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	%TA			pH		
	ไม่ใช้สารดูดซับ	Ethyl-gone [®]	CaA	ไม่ใช้สาร ดูดซับ	Ethyl- gone [®]	CaA
0	0.0094 ^{ns} ±0.0023	0.0094 ^{ns} ±0.0023	0.0094 ^{ns} ±0.0023	5.82 ^{ns} ±0.01	5.82 ^{ns} ±0.01	5.82 ^{ns} ±0.01
3	0.004 ^{ns} ±0.0008	0.004 ^{ns} ±0.0000	0.004 ^{ns} ±0.0008	5.81 ^{ab} ±0.01	5.80 ^b ±0.01	5.82 ^a ±0.00
6	0.004 ^{ns} ±0.0000	0.005 ^{ns} ±0.0008	0.004 ^{ns} ±0.0000	5.98 ^a ±0.00	5.81 ^c ±0.01	5.82 ^b ±0.00
9	0.005 ^{ns} ±0.0010	0.005 ^{ns} ±0.0000	0.004 ^{ns} ±0.0008	5.44 ^c ±0.01	5.77 ^a ±0.01	5.74 ^b ±0.00
12	0.006 ^a ±0.0008	0.005 ^{ab} ±0.0000	0.004 ^a ±0.0008	5.39 ^c ±0.00	5.89 ^a ±0.00	5.84 ^b ±0.01
15	0.006 ^{ns} ±0.0010	0.005 ^{ns} ±0.0000	0.005 ^{ns} ±0.0004	5.50 ^c ±0.01	5.97 ^b ±0.00	6.01 ^a ±0.00
18	0.004 ^b ±0.0008	0.006 ^a ±0.0008	0.005 ^{ab} ±0.0000	5.94 ^b ±0.01	5.97 ^a ±0.00	5.83 ^c ±0.01
21	0.006 ^{ns} ±0.0008	0.006 ^{ns} ±0.0008	0.006 ^{ns} ±0.0008	5.60 ^c ±0.00	5.95 ^a ±0.01	5.93 ^b ±0.01
24	0.006 ^a ±0.0008	0.005 ^{ab} ±0.0000	0.005 ^b ±0.0008	5.55 ^b ±0.00	5.91 ^a ±0.01	5.91 ^a ±0.01
27	0.005 ^{ns} ±0.0008	0.006 ^{ns} ±0.0008	0.006 ^{ns} ±0.0008	5.95 ^a ±0.01	5.92 ^b ±0.01	5.78 ^c ±0.01
30	0.005 ^{ns} ±0.0000	0.006 ^{ns} ±0.0008	0.006 ^{ns} ±0.0008	6.10 ^a ±0.00	5.91 ^c ±0.00	5.92 ^b ±0.00
37	0.006 ^{ns} ±0.0020	0.005 ^{ns} ±0.0010	0.006 ^{ns} ±0.0008	5.90 ^c ±0.00	5.95 ^a ±0.01	5.94 ^b ±0.00
44	0.005 ^{ns} ±0.0000	0.005 ^{ns} ±0.0004	0.005 ^{ns} ±0.0008	5.90 ^{ns} ±0.01	5.90 ^{ns} ±0.01	5.89 ^{ns} ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 27 สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บ รักษา (วัน)	TSS/TA			ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก		
	ไม่ใช้สารดูดซับ	Ethyl-gone®	CaA	ไม่ใช้สารดูด ซับ	Ethyl- gone®	CaA
0	597.01 ^{ns} ±129.26	597.01 ^{ns} ±129.26	597.01 ^b ±129.26	0.00 ^{ns} ±0.00	0.00 ^{ns} ±0.00	0.00 ^{ns} ±0.00
3	552.39 ^{ns} ±129.26	447.76 ^b ±0.00	522.39 ^b ±129.26	0.04 ^{ns} ±0.04	0.08 ^{ns} ±0.02	0.09 ^{ns} ±0.02
6	447.46 ^{ns} ±0.00	497.51 ^b ±86.17	447.76 ^b ±0.00	0.02 ^b ±0.01	0.14 ^a ±0.01	0.12 ^a ±0.02
9	818.41 ^a ±211.12	503.73 ^b ±0.00	547.26 ^b ±86.17	0.13 ^{ns} ±0.02	0.16 ^{ns} ±0.02	0.16 ^{ns} ±0.01
12	970.15 ^a ±129.26	503.73 ^b ±0.00	684.08 ^b ±107.71	0.11 ^b ±0.03	0.19 ^a ±0.02	0.22 ^a ±0.03
15	1098.08 ^a ±192.78	559.70 ^b ±0.00	469.08 ^b ±36.93	0.23 ^{ns} ±0.07	0.29 ^{ns} ±0.02	0.30 ^{ns} ±0.02
18	1368.16 ^a ±215.43	436.57 ^b ±58.17	559.70 ^b ±0.00	0.27 ^{ab} ±0.03	0.24 ^b ±0.06	0.34 ^a ±0.01
21	940.30 ^a ±116.33	338.06 ^b ±51.70	338.06 ^b ±51.70	0.29 ^{ns} ±0.11	0.35 ^{ns} ±0.02	0.41 ^{ns} ±0.07
24	1261.19 ^a ±168.03	559.70 ^b ±0.00	621.89 ^b ±107.71	0.35 ^{ns} ±0.09	0.40 ^{ns} ±0.01	0.45 ^{ns} ±0.00
27	497.51 ^a ±86.17	522.39 ^b ±64.63	731.34 ^b ±90.48	0.32 ^{ns} ±0.03	0.41 ^{ns} ±0.02	0.42 ^{ns} ±0.06
30	335.82 ^a ±0.00	574.63 ^b ±71.09	522.39 ^b ±64.63	0.36 ^{ns} ±0.06	0.56 ^{ns} ±0.09	0.55 ^{ns} ±0.02
37	547.26 ^a ±172.34	1402.99 ^b ±361.92	522.39 ^b ±64.63	0.42	0.56	0.57
44	447.76 ^a ±0.00	586.35 ^b ±46.16	621.89 ^b ±107.71	0.55±0.04	0.62	0.74±0.05

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

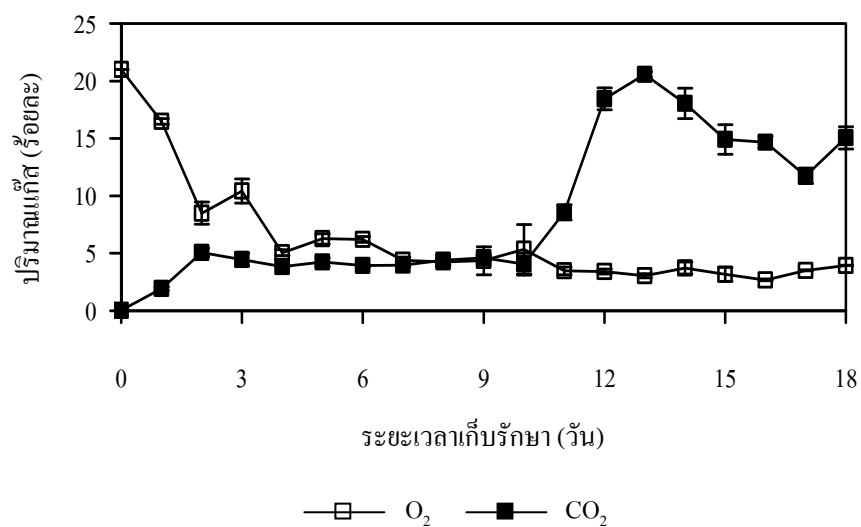
ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

4.3 เก็บรักษากล้วยหอมที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 2 องศาเซลเซียส)

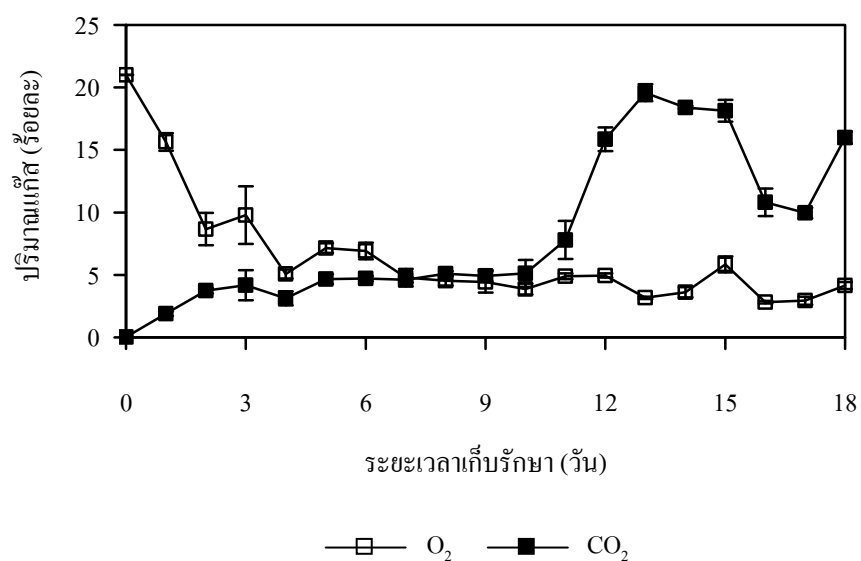
4.3.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในถุง

ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติก LDPE ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 48 และ 49) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 50) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ใช้เวลาประมาณ 2 วัน โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงร้อยละ 5.69 4.81 และ 5.15 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.45 9.45 และ 9.22 ตามลำดับ แต่จากการทดลองจะสังเกตได้ว่า ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ปริมาณออกซิเจนในถุง LDPE เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกล้วยหอมใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในถุงมีปริมาณลดลง ในขณะที่เดียวกันปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศเกิดการแพร่ผ่านถุง LDPE ได้ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุง LDPE ก็ลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจภายในถุงมีปริมาณสูงกว่าบรรยากาศภายนอกถุง จึงทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านถุง LDPE ออกสู่บรรยากาศ

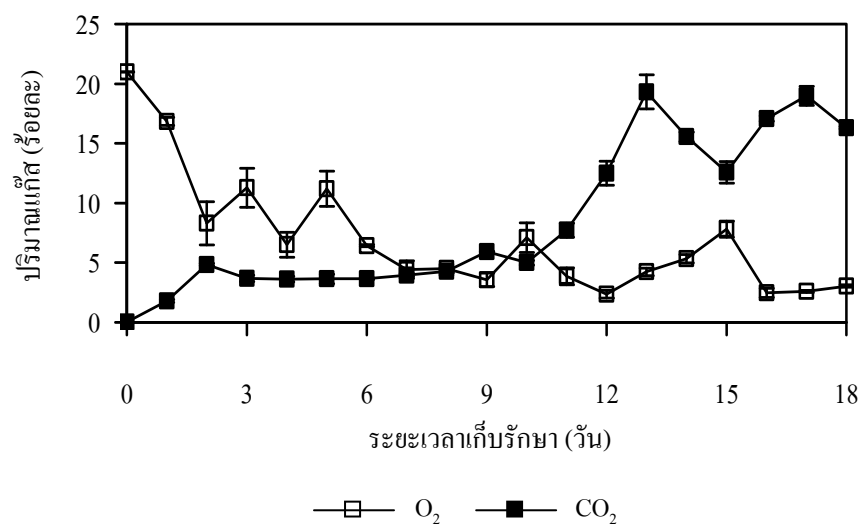
ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติก PE-1 ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA (ภาพที่ 51 และ 52) และที่ไม่ได้มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 53) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA) ใช้เวลาประมาณ 3 วัน โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงร้อยละ 9.09 10.08 และ 9.88 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.34 4.81 และ 4.67ตามลำดับ (ตารางที่ 28) มีผลทำให้เกิดการลดลงของอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน ซึ่งจะไปยังยังหรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ ลดความผิดปกติของลักษณะทางกายภาพ และรักษาผลผลิตจากการสูญเสียคุณภาพ (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) แต่อย่างไรก็ตามภายหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 6 พบว่าถุง PE-1 เริ่มแนบติดกับผิวของกล้วยหอม เป็นสาเหตุทำให้กล้วยหอมเกิดการช้ำ และสูญเสียคุณภาพในที่สุด



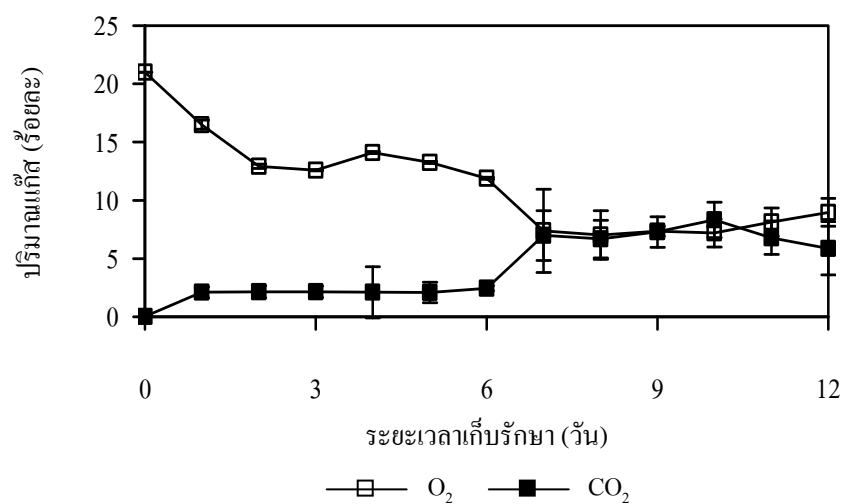
ภาพที่ 48 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



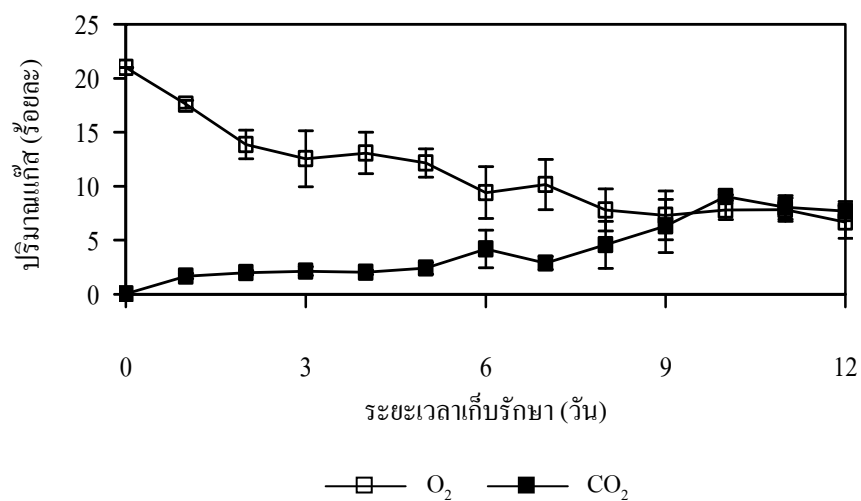
ภาพที่ 49 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง LDPE ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



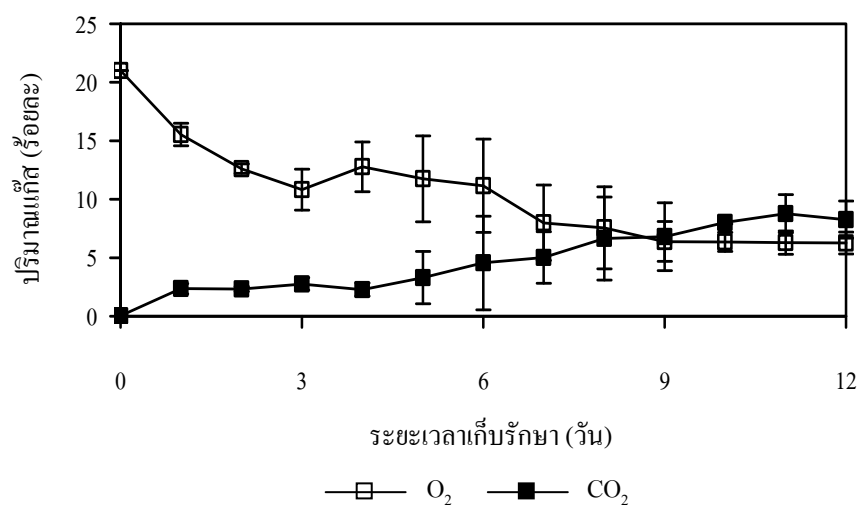
ภาพที่ 50 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้ายหอมภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 51 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้ายหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 52 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



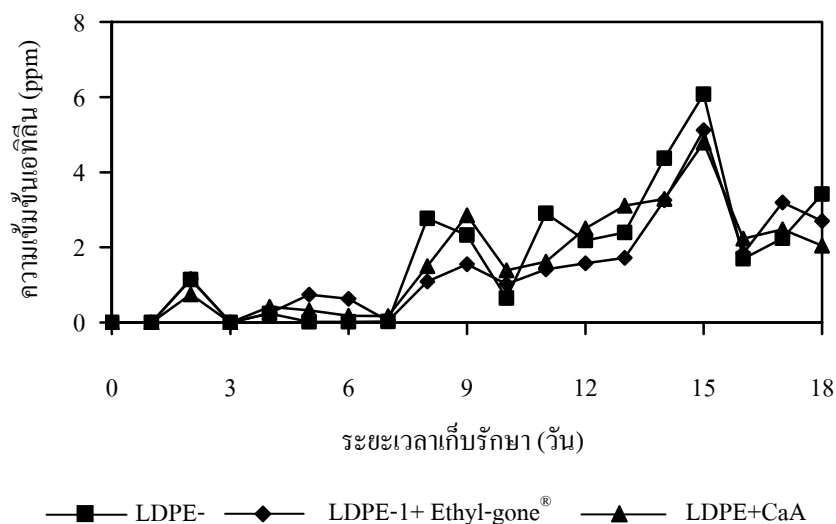
ภาพที่ 53 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 28 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะ
บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลสำหรับกล้วยหอมระดับความบริบูรณ์ 80-85% เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิห้อง

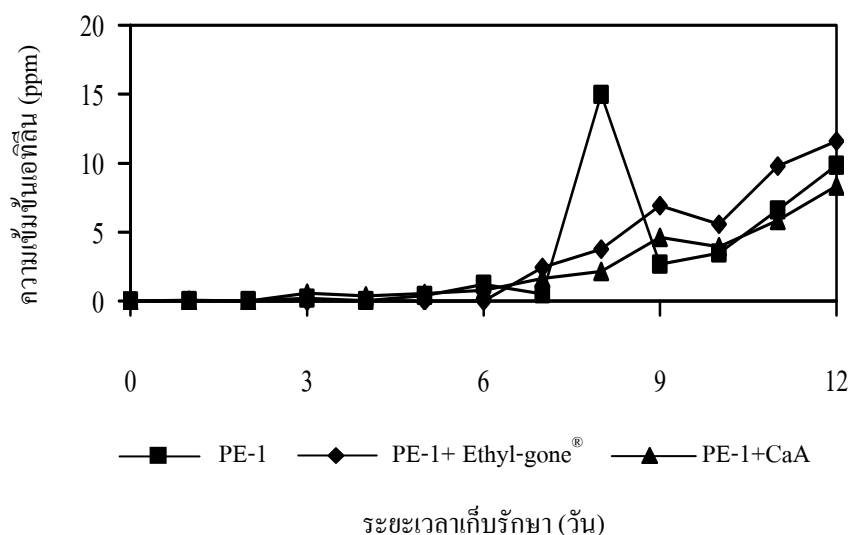
สิ่งทดลอง	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA)		
	แก๊สออกซิเจน	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	เวลาเข้าสู่ EMA
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(วัน)
LDPE	5.69	9.45	2
LDPE+Ethyl-gone [®]	4.81	9.45	2
LDPE+CaA	5.15	9.22	2
PE-1	9.09	5.34	2
PE-1+Ethyl-gone [®]	10.08	4.81	2
PE-1+CaA	9.88	4.67	2

ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุงพลาสติก LDPE (ภาพที่ 54) พบว่ากล้วยหอมที่เก็บในถุงพลาสติกที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่บรรจุ Ethyl-gone[®] และที่บรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เริ่มมีการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุตั้งแต่วันที่ 7 ของการเก็บรักษา โดยมีเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 15 โดยมีค่าประมาณ 6.07 5.12 และ 4.79 ppm ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของเอทิลีนภายในถุง PE-1 (ภาพที่ 55) พบว่ากล้วยหอมที่เก็บในถุงพลาสติกที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่บรรจุ Ethyl-gone[®] และที่บรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA มีการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุเพิ่มสูงขึ้นภายหลังจากวันที่ 6 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเก็บรักษากล้วยหอมจนกระทั่งถึงวันที่ 12 คือมีความเข้มข้นของเอทิลีนประมาณ 9.85 11.60 และ 8.35 ppm ตามลำดับ สำหรับกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีนมีการสะสมของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 14.97 ppm แต่อย่างไรก็ตามกล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE และ PE-1 ในทุกสิ่งทดลองภายหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 7 และวันที่ 6 ตามลำดับ พบว่าถุงแนบติดกับผิวของกล้วยหอม ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพที่ไม่ได้เป็นผลมาจากเอทิลีน ซึ่งการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกล้วยหอมเกิดอาการช้ำ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลิตผล เช่น ความแน่นเนื้อลดลง การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณกรดลดลง เป็นต้น



ภาพที่ 54 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมภายในถุง LDPE ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



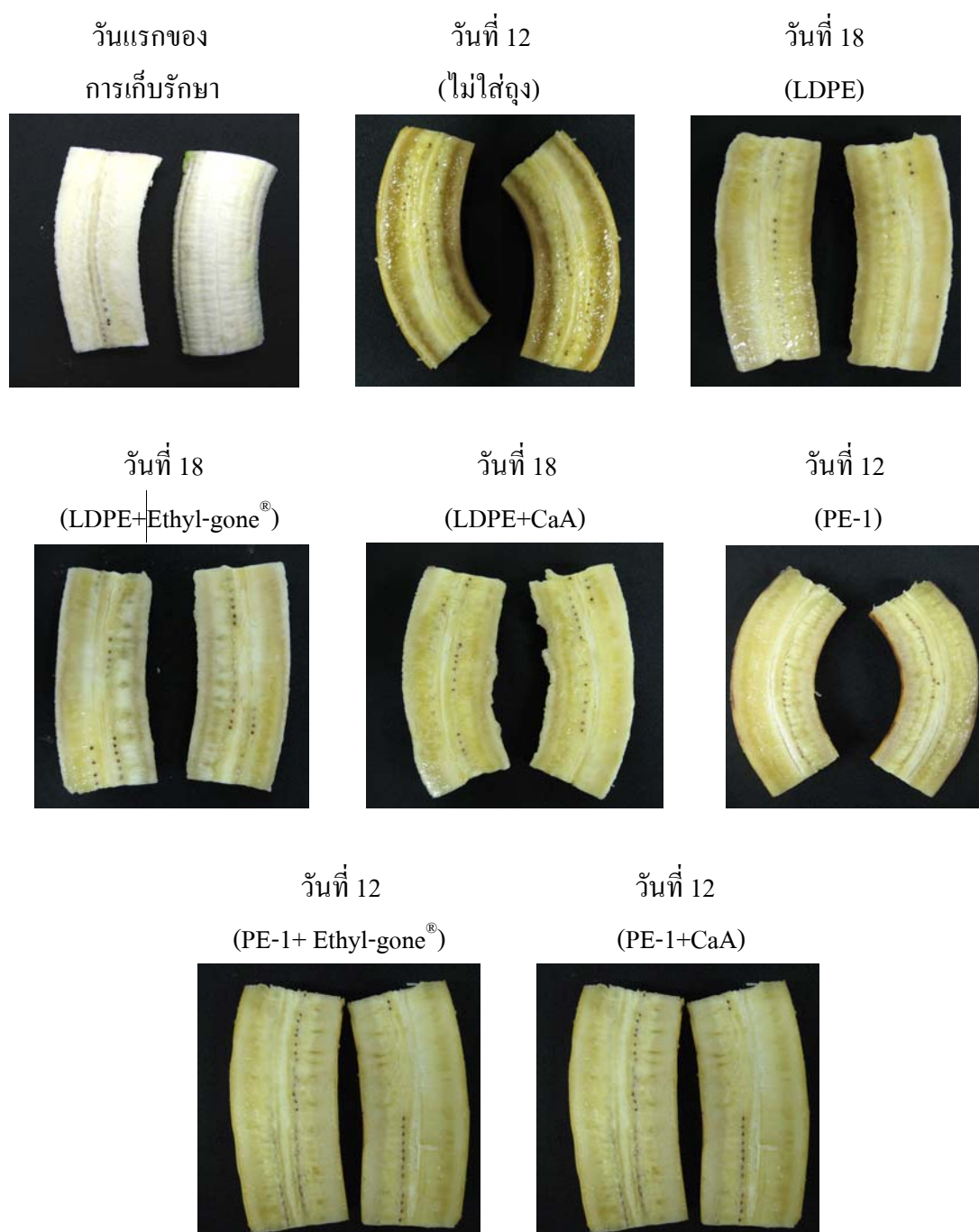
ภาพที่ 55 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมภายในถุง PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

4.3.2 การเสื่อมเสียของกล้วยหอม

อายุการเก็บรักษาของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า กล้วยหอม มีลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพที่ 56 และ 57 โดยกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุถุงพลาสติกและกล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 ในทุกสิ่งทดลองมีอายุเก็บรักษานาน 12 วัน ส่วนกล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE ในทุกสิ่งทดลองมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 18 วัน (ตารางที่ 29) แต่ภายหลังจากนั้นถุงจะแนบติดกับกล้วย ทำให้เกิดอาการช้ำและเกิดการสูญเสียคุณภาพในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามกล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE ในทุกสิ่งทดลองพบว่า ขณะที่กล้วยเกิดการสุกพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นคือ เปลือกกล้วยยังคงมีสีเขียวในขณะที่ความแน่นเนื้อของกล้วยลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากภายในถุงพลาสติกมีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงคือประมาณร้อยละ 9 สอดคล้องกับการทดลองของ Kader (1993) ที่พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากกว่าร้อยละ 6-8 เป็นสาเหตุที่ทำให้เนื้อกล้วยนิ่มกล้วยในขณะที่เปลือกยังคงเป็นสีเขียว ส่วนกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกซึ่งมีอายุการเก็บรักษานาน 12 วัน ภายหลังจากนั้นเนื้อกล้วยช้ำ และเปลือกกล้วยมีสีน้ำตาล เนื่องจากปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีเอนไซม์เป็นตัวกระตุ้น (จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 56 ลักษณะปรากฏของกล้วยหอมระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลิน ที่มีการใส่ Ethyl-gone® และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 57 ลักษณะปรากฏของเนื้อกล้วยหอมระยะความบริบูรณ์ 80% ที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในถุงพลาสติก LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการใส่ Ethyl-gone[®] และที่มีการใส่ซีโอไลต์ชนิด CaA เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 29 การเสื่อมเสียของกล้วยหอม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา	ลักษณะการเสื่อมคุณภาพ
ไม่ใส่ถุง	12	เนื้อและ มีอาการช้ำ เปลือกมีสีดำ
LDPE	18	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ เปลือกมีสีดำเป็นส่วนใหญ่ และคงยังมีสีเขียวปน เหลือง
LDPE+Ethyl-gone [®]	18	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ เปลือกมีสีดำเป็นส่วนใหญ่ และคงยังมีสีเขียวปน เหลือง
LDPE+CaA	18	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ เปลือกมีสีดำเป็นส่วนใหญ่ และคงยังมีสีเขียวปน เหลือง
PE-1	12	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ แต่เปลือก ยังคงมีสีเขียว
PE-1+Ethyl-gone [®]	12	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ แต่เปลือก ยังคงมีสีเขียว
PE-1+CaA	12	ถุงแนบติดผล ทำให้เนื้อและ มีอาการช้ำ แต่เปลือก ยังคงมีสีเขียว

หมายเหตุ ภายหลังจากการทดลองในแต่ละวันของการวิเคราะห์ได้นำมาเก็บไว้เพื่อดูความสุกปกติของกล้วยหอมโดยวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า กล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่ได้บรรจุสารดูดซับเอทิลีน และที่บรรจุสารดูดซับเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ Ethyl-gone[®] และซีโอไลต์ชนิด CaA มีการสุกปกติภายใน 3 วัน ภายหลังจากการวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอม

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE และ PE-1 ทั้งที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุสารซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนัก ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 30) ส่วนกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วและมีการเพิ่มขึ้นมากกว่ากล้วยหอมที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลผลิตสดมีการคายน้ำเพื่อช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจ นอกจากนั้นน้ำในผลผลิตสดเกิดการเคลื่อนที่จากตัวผลผลิตออกไปสู่อากาศข้างนอก (จริงแท้, 2538) แต่อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่ากล้วยหอมที่มีการบรรจุในถุงพลาสติกมีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นไม่มากเท่ากับที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก เนื่องจากการบรรจุในถุงพลาสติกเป็นการบรรจุแบบสภาวะบรรยากาศดัดแปลง ทำให้อัตราการหายใจผลผลิตลดลงซึ่งจะช่วยรักษาการสูญเสียน้ำหนัก (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) นอกจากนี้ถุงพลาสติกซึ่งผลิตมาจากพอลิเอทิลีนมีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำ ดังนั้นจึงป้องกันไอน้ำจากผลผลิตแพร่ออกสู่บรรยากาศได้เป็นอย่างดี (Mandelkern and Alamo, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE เกิดการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-1 ทั้งนี้เนื่องจากถุงพลาสติกชนิด PE-1 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าถุงพลาสติกชนิด LDPE ซึ่งเป็นถุงที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่าเช่นเดียวกับการทดลองของ ชนิด (2551) ที่เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง พบว่า ถุงที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงมากกว่ามะม่วงที่บรรจุในถุงที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่า

ค่าความแน่นเนื้อกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 31) และเห็นได้ว่ากล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก มีการลดลงของความแน่นเนื้ออย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการสุก หลังจากการเก็บรักษาวันที่ 0 เนื่องจากกล้วยหอมเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง มีอัตราการหายใจของผลผลิตสูง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย (จริงแท้, 2538) นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษากล้วยหอมนานขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของแป้งไปเป็นน้ำตาล หรือเกิดจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์หรือของสารที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริเวณของ

ลามเลาชั้นกลาง (middle lamella) และสุดท้ายเกิดจากการเคลื่อนย้ายของน้ำจากผิวไปยังเนื้อกล้วย ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการออสโมซิส (osmosis) (Salvador *et al.*, 2007) เมื่อพิจารณากล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 ในทุกสิ่งทดลอง พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมมีการลดลงแต่ไม่มากเท่ากับกล้วยหอมที่ไม่ได้มีบรรจุในถุง ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยหอมที่มีการบรรจุในถุงพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก

ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกกล้วยหอมภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก (ตารางที่ 32) ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของเปลือกกล้วยหอมในทุกสิ่งทดลอง พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 33) และค่าสีเหลือง (b^*) ของเปลือกกล้วยหอมภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่าสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) แต่ภายหลังมีค่าลดลง ขณะที่กล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก พบว่า ค่าสีเหลืองมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าสิ่งทดลองอื่นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา แต่ภายหลังจากนั้นเห็นได้ว่าค่าสีเหลืองมีค่าลดลง (ตารางที่ 34)

ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อกล้วยหอมภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก (ตารางที่ 32) ในตรงข้ามค่าสีแดง (a^*) ของเนื้อกล้วยหอมในทุกสิ่งทดลอง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 33) แต่อย่างไรก็ตามค่าสีเหลือง (b^*) ของเนื้อกล้วยหอมในทุกสิ่งทดลองการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 34)

จากการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาเก็บรักษากล้วยหอมนานขึ้น พบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกอย่างเห็นได้ชัด คือ กล้วยหอมเกิดการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง มีผลทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์บริเวณเปลือกกล้วยหอม (Salvador *et al.*, 2007) ในขณะเดียวกันก็มีการสังเคราะห์สารต่างๆ เช่น แคโรทีนอยด์ ซึ่งให้สารสีแดงและสีเหลืองเกิดขึ้น (จริงแท้, 2549) และเมื่อพิจารณาที่ค่าความสว่าง พบว่า มีค่าเพิ่มและลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นกล้วยเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจาก

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งจะกระตุ้นให้สารประกอบฟีนอล เปลี่ยนเป็นสารควิโนนที่เกิดขึ้นบริเวณเปลือก ทำให้ค่าความสว่างมีค่าลดลง (จริงแท้, 2549) อย่างไรก็ตามกลิ่นหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกจะช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วย เนื่องจากกล้วยที่บรรจุในถุงช่วยลดกิจกรรมต่างๆ ของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วย (Thuy-Nguyen *et al.*, 2004)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของกล้วยหอม พบว่าเมื่อเปลือกกล้วยหอม เกิดการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ก็ส่งผลให้เนื้อของกล้วยหอมเกิดการเปลี่ยนสีเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เนื้อกล้วยเปลี่ยนจากสีขาวทึบซึ่งเป็นสีของแป้ง เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากแป้งเกิด กระบวนการไฮโดรไลซิสไปเป็นน้ำตาล มีผลทำให้สีขาวทึบที่เป็นสีของแป้งลดลง (Salvador *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการทดลองที่พบว่า ค่าสีแดงและสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงภายหลังจากวันที่ 15 เนื่องจากเนื้อกล้วยเริ่มมีสีน้ำตาลซึ่งเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอล ประกอบกับกล้วยมีอายุการชำรุดเกิดขึ้น ทำให้เนื้อกล้วยมีสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษาและภายหลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 35) อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่า กล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด เนื่องจากเนื้อของกล้วยดิบที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแป้งถูกเปลี่ยนไป เป็นน้ำตาลในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก (Marriot *et al.* 1981) ทำให้ผลที่สุกมีแป้งลดลงพร้อมกับมีน้ำตาลเกิดขึ้น (จริงแท้, 2549)

ร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone® และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่าค่าร้อยละของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 12 วัน โดยมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นและลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 35) เนื่องจากในขณะที่ยังเป็นผลอ่อนอยู่ มีปริมาณกรดค่อนข้างสูง ได้แก่ กรดมาลิกและกรดซิตริก ซึ่งกรดเหล่านี้เป็นตัวกลางสำคัญในวัฏจักรเครปส์

(Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ แต่หลังจากที่กล้วยสุกมีปริมาณของกรดลดลง เนื่องจากกรดที่ลดลงถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้, 2549)

สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA พบว่า สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 12 วัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 36) อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่ากล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังจากวันที่ 3 สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ค่ากรด-ด่างของกล้วยหอมที่บรรจุภายในถุง LDPE และ PE-1 ที่ไม่มีการบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ที่มีการบรรจุ Ethyl-gone[®] และที่มีการบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA รวมทั้งกล้วยหอมที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก พบว่าค่ากรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 36) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยพบว่าเมื่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง ค่าความเป็นกรด-ด่างก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 30 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	0.00 ^{ns} ±	2.55 ^a ±	6.38 ^a ±	8.87 ^a ±	12.43 ^a ±		
	0.00	0.34	0.70	0.98	0.13	N/A	N/A
LDPE	0.00 ^{ns} ±	0.21 ^{cd} ±	0.33 ^c ±	0.53 ^d ±	0.94 ^d ±	1.91 ^{ab} ±	2.61 ^b ±
	0.00	0.06	0.00	0.06	0.32	0.37	0.22
LDPE+Ethyl-gone [®]	0.00 ^{ns} ±	0.18 ^d ±	0.43 ^c ±	0.57 ^d ±	1.07 ^d ±	1.79 ^b ±	2.72 ^b ±
	0.00	0.00	0.10	0.05	0.39	0.30	0.01
LDPE+CaA	0.00 ^{ns} ±	0.29 ^{bcd} ±	0.66 ^{bc} ±	1.04 ^{cd} ±	1.65 ^c ±	2.52 ^a ±	3.36 ^a ±
	0.00	0.01	0.06	0.06	0.45	0.34	0.08
PE-1	0.00 ^{ns} ±	0.40 ^{bcd} ±	1.08 ^b ±	1.62 ^{bc} ±	2.51 ^b ±		
	0.00	0.04	0.29	0.33	0.09	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	0.00 ^{ns} ±	0.45 ^{bc} ±	0.89 ^{bc} ±	1.95 ^b ±	2.78 ^b ±		
	0.00	0.02	0.01	0.33	0.17	N/A	N/A
PE-1+CaA	0.00 ^{ns} ±	0.50 ^b ±	1.09 ^b ±	1.55 ^{bc} ±	2.71 ^b ±		
	0.00	0.02	0.13	0.09	0.12	N/A	N/A

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 31 ความความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	19.43 ^{ns} ±	4.17 ^c ±	1.72 ^d ±	3.01 ^c ±	2.49 ^b ±		
	1.59	1.85	0.38	1.46	0.59	N/A	N/A
LDPE	19.43 ^{ns} ±	20.38 ^{bc} ±	13.05 ^c ±	5.21 ^b ±	4.36 ^a ±	3.92 ^{ns} ±	1.08 ^{ns} ±
	1.59	2.42	2.38	0.49	0.98	0.25	0.31
LDPE+ Ethyl-gone [®]	19.43 ^{ns} ±	22.86 ^a ±	16.48 ^{abc} ±	6.46 ^{ab} ±	4.60 ^a ±	4.55 ^{ns} ±	1.33 ^{ns} ±
	1.59	1.30	1.94	1.27	1.03	0.37	0.25
LDPE+CaA	19.43 ^{ns} ±	22.50 ^{ab} ±	14.05 ^{bc} ±	7.48 ^a ±	4.27 ^a ±	4.27 ^{ns} ±	1.14 ^{ns} ±
	1.59	0.90	1.12	1.95	0.36	0.86	0.47
PE-1	19.43 ^{ns} ±	17.46 ^d ±	18.68 ^a ±	1.21 ^d ±	1.27 ^c ±		
	1.59	0.47	2.84	0.39	0.15	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	19.43 ^{ns} ±	19.01 ^{cd} ±	17.56 ^{ab} ±	1.31 ^d ±	1.12 ^c ±		
	1.59	0.94	2.83	0.24	0.27	N/A	N/A
PE-1+CaA	19.43 ^{ns} ±	20.92 ^{abc} ±	16.70 ^{ab} ±	1.78 ^{cd} ±	1.46 ^c ±		
	1.59	1.94	0.64	0.38	0.36	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 32 ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกกล้วยหอม						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	52.52 ^{ns} ±0.33	48.09 ^{bc} ±1.65	67.26 ^a ±1.44	65.25 ^a ±1.29	60.19 ^a ±1.64	N/A	N/A
LDPE	52.52 ^{ns} ±0.33	46.96 ^c ±1.84	48.85 ^c ±2.11	44.63 ^d ±0.95	50.18 ^c ±1.90	48.75 ^{ab} ±0.74	41.54 ^{ns} ±4.94
LDPE+ Ethyl-gone [®]	52.52 ^{ns} ±0.33	47.71 ^{bc} ±2.31	46.57 ^c ±1.50	46.87 ^c ±0.92	48.66 ^c ±1.53	47.81 ^b ±0.59	38.18 ^{ns} ±2.33
LDPE+CaA	52.52 ^{ns} ±0.33	46.36 ^c ±2.26	48.41 ^c ±1.43	47.94 ^c ±1.64	48.67 ^c ±1.82	49.46 ^a ±1.65	38.34 ^{ns} ±2.28
PE-1	52.52 ^{ns} ±0.33	50.42 ^{ab} ±1.35	52.50 ^b ±2.74	52.92 ^b ±2.65	57.69 ^{ab} ±1.98	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	52.52 ^{ns} ±0.33	52.03 ^a ±2.08	47.91 ^c ±1.59	50.99 ^b ±2.85	57.18 ^b ±3.20	N/A	N/A
PE-1+CaA	52.52 ^{ns} ±0.33	52.06 ^a ±1.41	52.76 ^b ±2.60	53.09 ^b ±0.83	57.96 ^{ab} ±2.52	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	เนื้อกล้วยหอม						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	81.77 ^{ns} ±0.30	81.71 ^{ns} ±1.26	77.03 ^b ±1.67	76.57 ^d ±1.18	75.81 ^c ±0.27	N/A	N/A
LDPE	81.77 ^{ns} ±0.30	80.67 ^{ns} ±1.82	81.49 ^a ±0.26	81.43 ^a ±0.20	78.63 ^a ±0.88	77.25 ^{ns} ±0.14	63.02 ^{ns} ±0.81
LDPE+ Ethyl-gone [®]	81.77 ^{ns} ±0.30	81.60 ^{ns} ±0.97	80.22 ^a ±1.16	80.88 ^a ±1.01	78.56 ^a ±0.92	77.71 ^{ns} ±1.34	65.01 ^{ns} ±4.16
LDPE+CaA	81.77 ^{ns} ±0.30	81.61 ^{ns} ±0.97	79.96 ^a ±1.41	80.23 ^{ab} ±0.55	77.17 ^{abc} ±0.93	78.65 ^{ns} ±0.33	62.74 ^{ns} ±0.55
PE-1	81.77 ^{ns} ±0.30	80.37 ^{ns} ±0.67	79.65 ^a ±1.51	77.38 ^{cd} ±1.84	76.79 ^{abc} ±3.01	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	81.77 ^{ns} ±0.30	80.52 ^{ns} ±1.55	79.91 ^a ±0.47	76.97 ^d ±2.59	76.26 ^{bc} ±0.04	N/A	N/A
PE-1+CaA	81.77 ^{ns} ±0.30	81.98 ^{ns} ±0.26	79.99 ^a ±0.63	78.75 ^{bc} ±1.25	77.57 ^{ab} ±1.04	N/A	N/A

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 33 ค่าสีแดง (a*) ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกกล้วยหอม						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	-20.09 ^{ns} ±0.61	-20.16 ^c ± 0.48	-4.00 ^a ± 0.66	-1.76 ^a ± 0.72	0.46 ^{ns} ± 0.59	N/A	N/A
LDPE	-20.09 ^a ± 0.61	-19.46 ^{ab} ± 0.30	-19.33 ^c ± 0.36	-19.20 ^c ± 0.13	-19.26 ^{ns} ± 0.30	-19.03 ^b ± 0.20	-9.45 ^{ns} ± 3.61
LDPE+ Ethyl- gone [®]	-20.09 ^{ns} ± 0.61	-19.85 ^{bc} ± 0.41	-19.28 ^c ± 0.49	-19.55 ^c ± 0.23	-19.06 ^{ns} ± 0.20	-17.92 ^a ± 1.00	-8.12 ^{ns} ± 1.63
LDPE+CaA	-20.09 ^{ns} ± 0.61	-19.96 ^{bc} ± 0.10	-19.46 ^c ± 0.14	-19.16 ^c ± 0.53	-18.86 ^{ns} ± 0.65	-18.05 ^a ± 0.89	-7.06 ^{ns} ± 2.33
PE-1	-20.09 ^{ns} ± 0.61	-19.63 ^{bc} ± 0.29	-18.44 ^b ± 0.55	-17.03 ^b ± 2.08	-14.33 ^{ns} ± 2.45	N/A	N/A
PE-1+Ethyl- gone [®]	-20.09 ^{ns} ± 0.61	-19.00 ^a ± 0.12	-19.37 ^c ± 0.42	-16.40 ^b ± 2.75	-13.32 ^{ns} ± 2.25	N/A	N/A
PE-1+CaA	-20.09 ^{ns} ± 0.61	-19.02 ^a ± 0.74	-18.28 ^b ± 0.52	-17.36 ^b ± 1.20	-12.79 ^{ns} ± 1.89	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	เนื้อกล้วยหอม						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	-3.97 ^{ns} ±0.31	-3.90 ^{ns} ±0.29	-3.74 ^a ±0.22	-3.62 ^a ±0.28	-3.32 ^a ±0.11	N/A	N/A
LDPE	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.01 ^{ns} ±0.47	-4.30 ^{ab} ±0.27	-4.43 ^c ±0.15	-3.93 ^c ±0.18	-3.70 ^{ns} ±0.07	0.32 ^{ns} ±0.31
LDPE+ Ethyl- gone [®]	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.19 ^{ns} ±0.36	-4.57 ^b ±0.42	-4.02 ^{abc} ±0.41	-3.90 ^{bc} ±0.39	-3.67 ^{ns} ±0.33	0.22 ^{ns} ±1.45
LDPE+CaA	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.27 ^{ns} ±0.26	-4.61 ^b ±0.26	-4.31 ^{bc} ±0.43	-3.67 ^{abc} ±0.28	-3.64 ^{ns} ±0.02	0.62 ^{ns} ±0.28
PE-1	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.28 ^{ns} ±0.17	-4.28 ^{ab} ±0.44	-3.76 ^{ab} ±0.15	-3.45 ^{ab} ±0.46	N/A	N/A
PE-1+Ethyl- gone [®]	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.12 ^{ns} ±0.05	-4.46 ^b ±0.46	-3.88 ^{abc} ±0.73	-3.31 ^{ab} ±0.01	N/A	N/A
PE-1+CaA	-3.97 ^{ns} ±0.31	-4.08 ^{ns} ±0.54	-4.28 ^{ab} ±0.41	-4.00 ^{abc} ±0.29	-3.86 ^{bc} ±0.15	N/A	N/A

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 34 ค่าสีแดง (b*) ของเปลือกและเนื้อมากั่วหอยที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	เปลือกกล้วยหอม						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	30.15 ^{ns} ±0.85	30.15 ^a ±1.04	50.68 ^a ±1.98	46.03 ^a ±1.94	43.38 ^a ±1.16	N/A	N/A
LDPE	30.15 ^{ns} ±0.85	28.05 ^c ±0.73	28.98 ^{bc} ±0.90	26.48 ^c ±0.56	30.31 ^d ±0.89	30.26 ^{ns} ±0.66	22.95 ^{ns} ±4.06
LDPE+ Ethyl-gone [®]	30.15 ^{ns} ±0.85	28.31 ^{bc} ±0.98	27.70 ^c ±1.68	28.13 ^c ±0.89	28.67 ^d ±1.18	29.15 ^{ns} ±1.49	19.41 ^{ns} ±1.64
LDPE+CaA	30.15 ^{ns} ±0.85	28.26 ^{bc} ±1.15	28.76 ^{bc} ±0.70	28.24 ^c ±0.93	28.61 ^d ±1.46	29.49 ^{ns} ±0.81	19.27 ^{ns} ±2.28
PE-1	30.15 ^{ns} ±0.85	29.07 ^{abc} ±0.34	29.86 ^b ±0.83	32.86 ^b ±1.92	37.61 ^b ±3.46	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	30.15 ^{ns} ±0.85	29.68 ^{ab} ±0.95	28.68 ^{bc} ±0.36	31.64 ^b ±3.10	34.87 ^c ±0.83	N/A	N/A
PE-1+CaA	30.15 ^{ns} ±0.85	30.30 ^a ±1.41	30.15 ^b ±1.05	26.43 ^c ±5.99	36.13 ^{bc} ±1.57	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	เนื้อมากั่วหอย						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	25.58 ^{ns} ±1.27	25.12 ^b ±1.52	27.15 ^{ns} ±2.09	27.64 ^a ±1.36	27.93 ^{ns} ±0.66	N/A	N/A
LDPE	25.58 ^{ns} ±1.27	25.05 ^b ±0.88	26.45 ^{ns} ±0.96	25.42 ^{ab} ±0.73	26.00 ^{ns} ±0.19	26.22 ^a ±0.42	26.63 ^a ±0.53
LDPE+ Ethyl-gone [®]	25.58 ^{ns} ±1.27	25.89 ^{ab} ±1.59	27.38 ^{ns} ±0.62	23.89 ^b ±2.34	25.58 ^{ns} ±2.20	26.08 ^a ±0.65	23.41 ^c ±0.57
LDPE+CaA	25.58 ^{ns} ±1.27	26.05 ^{ab} ±1.37	27.06 ^{ns} ±1.97	25.94 ^{ab} ±2.10	25.23 ^{ns} ±1.73	25.22 ^b ±0.19	24.44 ^b ±0.43
PE-1	25.58 ^{ns} ±1.27	27.45 ^a ±0.58	27.44 ^{ns} ±1.07	25.54 ^{ab} ±2.15	26.76 ^{ns} ±0.86	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	25.58 ^{ns} ±1.27	25.46 ^b ±0.69	26.61 ^{ns} ±2.02	26.91 ^a ±1.33	25.41 ^{ns} ±0.45	N/A	N/A
PE-1+CaA	25.58 ^{ns} ±1.27	24.92 ^b ±0.92	26.69 ^{ns} ±0.35	26.53 ^{bc} ±1.05	25.90 ^{ns} ±0.18	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 35 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	TSS (°Brix)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	1.80 ^{ns} ±0.00	2.40 ^c ±0.00	16.80 ^a ±0.00	18.60 ^a ±0.00	19.20 ^a ±0.00	N/A	N/A
LDPE	1.80 ^{ns} ±0.00	4.20 ^a ±0.00	3.20 ^f ±0.00	6.60 ^f ±0.00	11.40 ^c ±0.00	13.20 ^{ns} ±0.00	13.50 ^{ns} ±0.00
LDPE+ Ethyl-gone [®]	1.80 ^{ns} ±0.00	3.00 ^c ±0.00	7.80 ^d ±0.00	9.00 ^e ±0.00	12.30 ^c ±0.00	13.20 ^{ns} ±0.00	13.50 ^{ns} ±0.00
LDPE+CaA	1.80 ^{ns} ±0.00	3.60 ^b ±0.00	9.00 ^c ±0.00	10.20 ^c ±0.00	13.20 ^b ±0.00	13.20 ^{ns} ±0.00	13.50 ^{ns} ±0.00
PE-1	1.80 ^{ns} ±0.00	4.20 ^a ±0.00	9.60 ^b ±0.00	10.20 ^c ±0.00	12.00 ^d ±0.00	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	1.80 ^{ns} ±0.00	2.40 ^d ±0.00	3.00 ^g ±0.00	12.00 ^b ±0.00	10.80 ^f ±0.00	N/A	N/A
PE-1+CaA	1.80 ^{ns} ±0.00	2.40 ^d ±0.00	6.00 ^e ±0.00	9.60 ^d ±0.00	10.20 ^g ±0.00	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	%TA						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม่ใส่ถุง	0.0094 ^{ns} ±	0.0168 ^{bc} ±	0.0369 ^a ±	0.0268 ^{ns} ±	0.0134 ^c ±	N/A	N/A
	0.0023	0.0029	0.0058	0.0058	0.0029		
LDPE	0.0094 ^{ns} ±	0.0201 ^a ±	0.0235 ^{bc} ±	0.0268 ^{ns} ±	0.0201 ^{ab} ±	0.0168 ^{ns} ±	0.0168 ^{ns} ±
	0.0023	0.0000	0.0058	0.0058	0.0000	0.0058	0.0058
LDPE+ Ethyl-gone [®]	0.0094 ^{ns} ±	0.0151 ^c ±	0.0235 ^{bc} ±	0.0302 ^{ns} ±	0.0235 ^a ±	0.0201 ^{ns} ±	0.0101 ^{ns} ±
	0.0023	0.0000	0.0058	0.0000	0.0029	0.0000	0.0000
LDPE+CaA	0.0094 ^{ns} ±	0.0201 ^a ±	0.0302 ^{ab} ±	0.0302 ^{ns} ±	0.0235 ^a ±	0.0151 ^{ns} ±	0.0168 ^{ns} ±
	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.0000	0.0058
PE-1	0.0094 ^{ns} ±	0.0188 ^{ab} ±	0.0228 ^{bc} ±	0.0241 ^{ns} ±	0.0188 ^{abc} ±	N/A	N/A
	0.0023	0.0023	0.0023	0.0000	0.0023		
PE-1+Ethyl-gone [®]	0.0094 ^{ns} ±	0.0147 ^c ±	0.0147 ^d ±	0.0268 ^{ns} ±	0.0214 ^{ab} ±	N/A	N/A
	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023		
PE-1+CaA	0.0094 ^{ns} ±	0.0161 ^{bc} ±	0.0201 ^{cd} ±	0.0295 ^{ns} ±	0.0174 ^{bc} ±	N/A	N/A
	0.0023	0.0000	0.0000	0.0023	0.0023		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย
 ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 36 สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และ PE-1
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลอง	TSS/TA						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	199.01 ^{ns} ±	145.94 ^c ±	464.34 ^a ±	719.73 ^a ±	1485.90 ^a ±	N/A	N/A
	43.09	22.98	80.43	178.09	367.67		
LDPE	199.01 ^{ns} ±	208.96 ^{ab} ±	140.96 ^d ±	255.39 ^d ±	567.16 ^b ±	875.62 ^{ns} ±	895.52 ^{ns} ±
	43.09	0.00	28.29	63.19	0.00	379.16	387.77
LDPE+Ethyl-gone [®]	199.01 ^{ns} ±	199.00 ^{ab} ±	344.94 ^{bc} ±	298.51 ^{cd} ±	530.35 ^b ±	656.72 ^{ns} ±	1343.28 ^{ns} ±
	43.09	0.00	74.68	0.00	70.66	0.00	0.00
LDPE+CaA	199.01 ^{ns} ±	179.10 ^{bc} ±	298.51 ^c ±	338.31 ^{bcd} ±	583.75 ^b ±	875.62 ^{ns} ±	895.52 ^{ns} ±
	43.09	0.00	0.00	0.00	126.39	0.00	387.77
PE-1	199.01 ^{ns} ±	226.37 ^a ±	424.54 ^{ab} ±	422.89 ^{bc} ±	646.77 ^b ±	N/A	N/A
	43.09	30.16	45.96	0.00	86.17		
PE-1+Ethyl-gone [®]	199.01 ^{ns} ±	165.83 ^c ±	207.30 ^d ±	450.13 ^b ±	507.46 ^b ±	N/A	N/A
	43.09	28.72	35.90	41.03	51.70		
PE-1+CaA	199.01 ^{ns} ±	149.25 ^c ±	298.51 ^c ±	326.94 ^{bcd} ±	592.04 ^b ±	N/A	N/A
	43.09	0.00	0.00	24.62	73.25		
สิ่งทดลอง	pH						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
ไม้ใส่ถุง	5.82 ^{ns} ±0.01	5.55 ^c ±0.01	4.88 ^g ±0.01	5.16 ^b ±0.01	5.57 ^a ±0.01	N/A	N/A
LDPE	5.82 ^{ns} ±0.01	5.32 ^e ±0.01	5.52 ^a ±0.00	5.22 ^a ±0.00	5.25 ^f ±0.01	5.61 ^b ±0.01	6.25 ^b ±0.01
LDPE+Ethyl-gone [®]	5.82 ^{ns} ±0.01	5.61 ^b ±0.01	5.21 ^c ±0.00	5.04 ^f ±0.00	5.22 ^e ±0.00	5.43 ^c ±0.00	6.19 ^c ±0.00
LDPE+CaA	5.82 ^{ns} ±0.01	5.36 ^d ±0.00	5.00 ^f ±0.01	5.07 ^e ±0.00	5.25 ^e ±0.01	5.82 ^a ±0.00	6.34 ^a ±0.00
PE-1	5.82 ^{ns} ±0.01	5.35 ^d ±0.01	5.11 ^e ±0.01	5.15 ^c ±0.01	5.30 ^d ±0.00	N/A	N/A
PE-1+Ethyl-gone [®]	5.82 ^{ns} ±0.01	5.64 ^a ±0.01	5.25 ^b ±0.01	5.12 ^d ±0.01	5.47 ^b ±0.00	N/A	N/A
PE-1+CaA	5.82 ^{ns} ±0.01	5.55 ^c ±0.01	5.19 ^d ±0.01	4.96 ^g ±0.01	5.38 ^c ±0.00	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงเกิดการเสื่อมเสีย

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ผลผลิตทางการเกษตรที่ตอบสนองต่อฮอร์โมนเอทิลีน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ซีโอไลต์ชนิด CaA มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับ Ethyl-gone® และมีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ความชื้นในสภาวะบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับซีโอไลต์ชนิด NaA และ ZSM-5

2. เมื่อเก็บซีโอไลต์ไว้ในสภาวะที่มีไอน้ำอิ่มตัว พบว่าประสิทธิภาพในการดูดเอทิลีนของ ซีโอไลต์ชนิด CaA ลดลงมากกว่าซีโอไลต์ชนิดอื่น ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในการดูดซับเอทิลีนของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความชื้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจ จึงจำเป็นต้องมีการนำถุงที่มีความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สได้สูง แต่มีความสามารถในการป้องกันน้ำได้สูง มาบรรจุซีโอไลต์ชนิด CaA ดังกล่าว โดยถุงที่มีสมบัติและความเหมาะสมที่สุดใน การนำไปบรรจุสารดูดซับเอทิลีน ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิด PE-2

3. การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอมไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพรวมทั้งการพัฒนารสของโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29±2 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)

4. การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในถุงพลาสติกร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน พบว่ามะม่วงที่บรรจุในถุง PE-1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 30 วัน โดยการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดโรคแอนแทรกโนส ส่วนมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29±2 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 15 วัน โดยการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการซ้ำที่ถุงพลาสติกแนบติดกับมะม่วง

5. การเก็บรักษากล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน พบว่ากล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานมากกว่า 45 วัน เมื่อเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่อุณหภูมิห้อง กล้วยหอมที่บรรจุในถุง LDPE สามารถเก็บรักษาได้นาน 18 วัน ในขณะที่กล้วยหอมที่บรรจุในถุง PE-1 เก็บรักษาได้นาน 12 วัน ซึ่งการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากอาการซ้ำที่ถุงพลาสติกแนบติดกับกล้วย

6. การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอมที่บรรจุในถุงพลาสติกร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน จะช่วยชะลอการเสื่อมเสียที่มีสาเหตุมาจากเอทิลีน ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลนานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้มีข้อจำกัดเกิดขึ้น กล่าวคือมะม่วงและกล้วยหอมเกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งไม่ได้เป็นผลมาจากเอทิลีนโดยตรง แต่เป็นผลมาจากอิทธิพลอื่น เช่น มะม่วงเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดกลิ่นหมัก และอาการซ้ำ ส่วนกล้วยหอมเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากอาการซ้ำ

ข้อเสนอแนะ

มะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอม เมื่อนำมาทดลองโดยบรรจุในถุงที่มีสภาพซึมผ่านของแก๊สสูงร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน อาจมีอายุการเก็บรักษาที่น้อยหรือมากกว่าในการทดลองได้ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิเช่น สายพันธุ์ ฤดูกาล อายุของมะม่วงและกล้วยหอม ที่แตกต่างกัน อีกทั้งถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนอาจมีความเหมาะสมไม่พอ เนื่องจากน้ำที่ผลิตผลผลิตขึ้นจากกระบวนการหายใจ สามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้ง่าย ซึ่งจะไปขัดขวางการดูดซับเอทิลีนของซีโอไลต์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนที่สะสมภายในถุงที่บรรจุมะม่วงและกล้วยหอมลดลง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2547. การส่งออกสินค้าสำคัญของประเทศไทยปี 2543-2547 (ม.ค.-ก.พ.).

แหล่งที่มา : <http://www.ops2.moc.co.th/meeting/bb.xls>, 20 เมษายน 2549.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. แก๊สกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์สำนัก
ส่งเสริมและฝึกอบรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

_____. 2550. การบรรจุอาหาร (Food Packaging). บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด,
กรุงเทพฯ.

ตะวัน สุขน้อย. 2543. **Zeolites and Related Microporous Materials**. คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. (อัคราณา)

จรัสแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์
ส่งเสริมการเกษตรแห่งชาติ กำแพงแสน, นครปฐม.

จรัสแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช (Postharvest Biology and
Plant Senescence)**. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรแห่งชาติ กำแพงแสน, นครปฐม.

เฉลิมชัย แก้วราชชาติ. 2539. การปลูกมะม่วง. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ชนิด วานิกานุกูล. 2551. การพัฒนากระบวนการบรรจุและขนส่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธิดา ชนะศักดิ์. 2542. การดูดซับของฟอสเฟตบนถ่านกัมมันต์เคลือบผิว. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธีรนุต รมโพธิ์ภักดิ์, เจริญ ขุนพรม, สมนึก ทองบ่อ, ยุพิน อ่อนศิริ, พรรณี ศรีสวัสดิ์. 2549. ผลของ
อุณหภูมิต่ำและการใช้สารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์
โชคอนันต์. วารสารข่าวศูนย์ฯ ปีที่ 20 ฉบับที่ 1. 9-13 หน้า.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอโมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. กล้วย. บริษัทประชาชน จำกัด, กรุงเทพฯ 290 น.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

รัตนา มหาชัย. 2542. รายงานผลการวิจัย เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโลหะหนักบางตัว
บนวัสดุดูดซับถ่านแกลบ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รานี อุฬารวิริยากุล. 2544. ระบบทำความเย็นแบบดูดซับโดยใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันดี ภักัดมงคล. 2539. ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีผิวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และ
พันธุ์ทองดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. ศรีสมบัติการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ศรบุปผา วงศกรวุฒิ. 2533. การสุกของผลมะม่วง (MANGIFERA INDICA L.) พันธุ์หนังกกลางวัน
และการเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

ศิริรัตน์ ศรีเกษเพ็ชร. 2543. การดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยดินเหนียวและดินเหนียว
ปรับปรุง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมชาย เล่ห์เหลี่ยม. 2539. สรีรวิทยา คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลกล้วยหอมในกลุ่มคาว
เวนดิชที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย สุคนธ์สิงห์. 2543. นโยบายการผลิตกล้วยเพื่อการส่งออก. การประชุมสัมมนากล้วย
นานาชาติ ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 5-8 พฤศจิกายน 2543 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์
กรุงเทพฯ.

สุจริต ส่วนไพโรจน์. 2548. บทบาทของอุณหภูมิและเอทิลฟอนต่อการสุกและการสลายตัวของ
คลอโรฟิลล์ในเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยหอมแกรนด์เนน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายชล เกตุษา. 2531. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้. สารมวลชน, กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุษา, ฟองจันทร์ ธรรมพิทักษ์กร, จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส และวชิรญา อิมสบาย.
2542. การศึกษาควบคุมการสร้างและการทำงานของเอทิลีนที่มีผลต่อคุณภาพและ
อายุการปักแจกันของกล้วยไม้หวายเพื่อการส่งออก. รายงานการวิจัยสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

เสาวภา ไชยวงศ์. 2547. ความแตกต่างทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และ
น้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

อภิญา วิสุทธอมรกุล. 2544. บทบาทของเอทิลีนที่มีต่อการเจริญเติบโตของรังไข่ระยะเริ่มต้นใน
ดอกกล้วยไม้หวายพันธุ์ 'โซเนีย บอม # 28' หลังการผสมเกสร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

Abeles, F.B. 1973. **Ethylene in plant Biology.** Academic Press, New York.

Abeles, F.B., P.W. Morgan and M.E. Saltveit, Jr. 1992. **Ethylene in Plant Biology (2nd Ed.)**, Academic Press Inc., San Diego, CA.

Adnadjevic, B., J. Jovanovic and S. Gajnov. 1997. Effect of different physicochemical properties of hydrophobic zeolites on the pervaporation properties of PDMS-membranes. **Journal of membrane science**. 136: 173-179.

Agravante, J. U., T. Mutsui and H. Kitawa. 1991. Changes in pectin methylesterase polygalacturonase and pectic substances of ethanol treated and ethylene treated banana during ripening. **J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.** 38: 527-532.

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

Atta-Aly, M.A., 1992. Ethylene production by different tomato fruit tissues at different ripening stages. **Egypt. J. Hort.** 19: 137-147.

Atta-Aly, M. A., M.E. Saltveit and G. E. Hobson. 1987. Effect of silvers ions on ethylene biosynthesis by tomato fruit tissue. **Plant Physiol.** 83: 44-48.

Ayub, R., M. Guis, M. Ben-Amor, L. Gillot, J. P. Roustan, A. Latche, M. Bouzayen and J.-C. Pech. 1996. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupemelon fruits. **Nat. Biotechnol.** 14: 862-866.

Bailen, G., F. Guillen, S. Castillo, M. Serrano, D. Valero and D. Martinez-Romero. 2006. Use of Activated Carbon inside Modified Atmosphere Packages to Maintain Tomato Fruit Quality during Cold Storage. **J. Agric. Food Chem.** 54: 2229-2235.

- Beaudry, R. M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. **Postharvest Biology and Technology**. 15: 293-303.
- Beyer, Jr., E. M. 1976. A potent inhibitor of ethylene action in plants. **Plant Physiol**. 58: 268-271.
- Bhatia, S. 1990. **Zeolite catalysis: Principles and Applications**. Boca Roton, Fla: CRC Press , Inc., United States.
- Blankenship, S. M. and J. M. Dole. 2003. 1-methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biol. Technol.** 28: 1-25.
- Borochoy, A. and W. R. Woodson. 1989. Physiology and biochemistry of flower petal senescence. **Hort. Rev.** 11: 15-43.
- Bower, J., P. Holford, A. Latche and J.-C. Pech. 2002. Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of melon. **Postharvest Biology and Technology**. 26: 135-146.
- Brackett, R.E. 1999. Incidence, contributing factor and control of bacterial pathogens in produce. **Postharvest Biol. Technol.** (15): 305-311.
- Breck, D.W. 1974. **Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Cameron, A.C., P.C. Talasila and D.W. Joles. 1995. Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**. (30): 25-34.

Cantwell, M. I. and M. S. Reid. 1993. Postharvest physiology and handling of fresh culinary herbs. **Journal of Herbs, Spices and Medicinal plants.** 1: 93-127.

_____, 2001. **Properties and Recommended Conditions for Long-term Storage of Fresh Fruits and Vegetables.** University of California.

Carrillo, L.A., F. Ramirez-Bustamante, J.B. Valdez-Torres, R. Rojas-Villegas and E.M. Yahia. 2000. Ripening and quality changes in mango fruit as affected by coating with an edible film. **J. Food Qlty.** 23: 479-486.

Castrillo, M., N.J. Kruger and F.R. Whatley. 1992. Sucrose metabolism in mango fruit during ripening. **Plant Sci.** 84: 45-51.

Chamara, D., K. Illeperuma and P.T. Galappatty. 2000. Effect of MA and ethylene absorbers on extension of storage life Kolikuttu banana at ambient temperature. **Fruit.** 55: 361–388.

Charnng, Y. Y., S. J. Chou, W. T. Jiaang, S. T. Chen and S. F. Yang. 2001. The catalytic mechanism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase. **Arch. Biochem. Biophys.** 385: 179-185.

Cheremisnoff, P.N. and F. Ellerbusch. 1978. **Carbon Adsorption Handbook.** Ann Arbor Science Publishers, Michigan.

Choudhary, V. R. and S. Mayadevi. 1996. Adsorption of methane, ethane, ethylene, and carbon dioxide on silicalite-I. **J. of catalyst.** n.p.

Clendenen, S. K. and G. D. May. 1997. Differential gene expression in ripening banana fruit. **Plant Physiol.** 115 (2): 463-469.

- Crozier, A., Y. Kamiya, G. Bishop and T. Yokota. 2000. Biosynthesis of hormones and elicitor molecules, pp. 850-929. *In* B. B. Buchanan, W. Gruissem and R. L. Jones (eds.). Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville.
- Davis, R. J. 2003. New perspectives on basic zeolites as catalysts and catalyst supports. **Journal of Catalysis**. 216: 396–405.
- Dominguez, M. and M. Vendrell. 1993. Ethylene biosynthesis in banana fruit: evolution of EFE activity and ACC levels in peel and pulp during ripening. **J. Hort. Sci.** 68: 63-70.
- Doreyaappy-Gowda, I.N.D. and A.G. Huddar. 2001. Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica* L.) fruits. **J. Food Sci. Tec. Mysore**. 38: 135-137.
- Drazkiewicz, M. and S. Krupa. 1991. The participation of chlorophyllase in chlorophyll metabolism. cited by M. Drazkiewicz. 1994. Chlorophyllase: Occurrence, function, mechanism of action, effect of external factors. **Photosynthetica**. 30 : 321 -331.
- _____. 1994. Chlorophyllase: occurrence, functions, mechanism of action, effect of external factors. **Photosynthetica** 30 (3): 321-331.
- Drury, R., S. Hortensteiner, I. Donnison, C. R. Bird and G. B. Seymour. 1999. Chlorophyll catabolism and gene expression in the peel of ripening banana fruit. **Physiol. Plant**. 107: 32-38.
- Dyer A. 1988. **An Introduction to Zeolite Molecular Sieves**. John Wiley & Sons Inc., New York. 149 p.
- Eckenfelder, W.W. 1989. **Industrial Water Pollution Control**. 2 nd ed. McGraw-Hill, Inc., New York.

- Fuchs, Y., E. Pesis and G. Zauberman. 1980. Changes in amylase activity, starch and sugar contents in mango fruit pulp. **Sci. Hort.** 13:155-160.
- Goodwin, T.W. and E.I. Mercer. 1983. **Introduction in Plant Biochemistry**. Pergamon Press, London. pp 667.
- Gorny, J. R., B. Hess-Pierce and A.A. Kader. 1999. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. **Journal of Food Science**. 64: 429–432.
- Gorny, J.R. 2003. **Packaging Design for Fresh-Cut Produce**. International Fresh-cut Produce Association. P.28
- Guis, M., R. Botondi, M. Ben-Amor , R. Ayub, M. Bouzayen, J.-C. Pech and A. Latche. 1997. Ripening-associated biochemical traits of cantaloupe charentais melons expressing an antisense ACC oxidase transgene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 122: 748–751.
- Han, J.K., J., Miltz, B.R., Harte and J.R. Giaein. 1987. Loss of 2-tertiary-butyl-4-methoxy phenol (BHA) from high density polyethylene film. **Polym. Eng. Sci.** 27: 934-938.
- 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.
- Hernandez, R.J., S.E.M. Selke and J.D. Culter. 2000. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations**. Hanser Gardner Publ. Inc., Cincinnati.
- Herreros, B. 1995. **Introduction to Zeolites. X-Ray Diffraction Zeolite Database**. Available Source: <http://chemmac1.usc.edu/bruno/zeodat/Intro.html>, October 13, 2005.

- Hoeberichts, F. A., L. H. W. van der Plas and E. J. Woltering. 2002. Ethylene perception is required for the expression of tomato ripening-related genes and associated physiological changes even at advanced stages of ripening. **Postharvest Biology and Technology**. 26: 125-133.
- Kader, A.A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage, pp. 85-92. In A.A. Kader (ed.). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 2nd ed. Publication 3311. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland.
- _____. 1993. **Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits**. In: *Postharvest handling of tropical fruits*. Proc. Intl.Conf., Chiang Mai, Thailand, July 1993. 239-249.
- _____. 2002. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Third Edition. The Regents of University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311. 535.
- Kader, A.A. and B.C. Watkins. 2000. modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. **HortTechnology**. 10(3): 501-506.
- Karaivazoglou, N. A., D. K. Papakosta, E. M. Sfaciotakis and S. D. Koutroubas. 2004. Ethylene biosynthesis, ripening and senescence behavior of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. (in press)
- Lange, D.L. 2000. New film technologies for horticultural products. **HortTechnology**. 10(3): 487-490.
- Lelievre, J.-M., A. Latche, B. Jones, M. Bouzayan and J.-C. Pech. 1997. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**. 101: 727-739.

- Limtrakul, J., T. Nanok, S. Jungsuttiwong, P. Khongpracha and T. N. Truong. 2001. Adsorption of unsaturated hydrocarbons on zeolites: the effects of the zeolite framework on adsorption properties of ethylene. **J. Chemical physics letter**. 394: 161-166
- Lopez-Gomez, R., A. Champbell, J. G. Dong, S. F. Yang and M. A. Gomez-Lim. 1997. Ethylenebiosynthesis in banana fruit: isolation of genomic clone to ACC oxidase and expression studies. **Plant Sci**. 123: 123-131.
- Malik, A.U., Z. Singh and S.S. Dhaliwal. 2003. Exogenous applications of putrescine affects mango fruit quality and shelf life. **Acta Hort**. 628: 121-127.
- Mandelkern, L. and R.G. Alamo. 1999. **Polymer Data Handbook**. Oxford University.
- Marriot, J., M. Robinson, and S.K Karikari. 1981. Starch and sugar transformation during ripening of plantains and bananas. **Trop. Sci**. 32: 1021–1026.
- Matile, P. and S. Hortensteiner. 1999. Chlorophyll degradation. **Ann. Rev. Plant Physiol**. 50: 67-95.
- Mattoo, A.K., T. Murata, Er.B. Pantastico, K. Chachin, K. Ogata and C.T. Phan. 1975. Chemical change during ripening and senescence, pp. 103-107. *In* Er.B. Pantastico (ed.). Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetable. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut.
- Mayak, S., Y. Vaadia and D.R. Dilley. 1977. Regulation of senescence in carnation (*Dianthus caryophyllus*) by ethylene. **Plant Physiol**. 59: 591-593.
- Morgan, P. W., C. J. He and M. C. Drew. 1992. Intact leaves exhibit a climacteric-like rise in ethylene production before abscission. **Plant Physiology**. 100: 1587-1590.

- Morrelli, K.L. and A.A. Kader. 2002. **Produce Facts Plantain Recommendations for Maintaining Postharvest Quality**. University of California, Davis.
- Martinez-Romero, D., F. Guillen., S. Castillo, P.J. Zapata, D. Valero and M. Serrano. 2009. Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber. **Postharvest Biology and Technology**. 51: 206-211.
- Nakatsuka, A., S. Shiomi, Y. Kubo and A. Inaba. 1997. Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. **Plant Cell Physiol**. 38: 1103–1110.
- Nowak, J., and R. M. Rudnicki. 1990. **Postharvest Handling and Storage of Cut Flowers, Florist Greens, and Potted Plants**. Timber Press Inc., Oregon. 210 p.
- Ozdemir, M. and J.H. Floros. 2004. Active Food Packaging Technologies. **Food Science and Nutrition** (44): 185-193.
- Peiser, G. 1989. Effect of 2, 5-norbornadiene upon ethylene biosynthesis in midclimacteric carnation flower. **Plant Physiol**. 90: 21-24.
- Peiser, G. and T.V. Suslow. 1998. **Factors Affecting Ethylene Adsorption by Zeolite: The Last Word (from us)**. Perishables Handling Quarterly Issue No. 95. Available Source: <http://www.google.ac.th/ethylene/adorption.pdf>, October 13, 2005.
- Pelayo, C., Eduardo V. de B. Vilas-Boas. 2003. Mohamed Benichou, Adel A. Kader. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**. 28: 75-85.

- Rathore, H.A., T. Masud, S. Sammi and A.H. Soomro. 2007. Effect of Storage on Physico-Chemical Composition and Sensory Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Variety Dosehari. **Pakistan Journal of Nutrition**. 6(2): 143-148.
- Rodov, V., S. Fishman, R.D. Asuncion, J. Peretz and S.B. Yehoshua. 1997. Modified atmosphere packaging (MAP) of Tommy Atkins mango in perforated film. **Acta. Hort.** 455: 654-661.
- Sacharow, S. 1998. Freshness enhancers: The control in controlled atmosphere packaging. **Prepared Foods** (157): 121-122.
- Salvador, A. T. Sanz and S.M. Fiszman. 2007. Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. **Postharvest Biology and Technology**. 43: 319–325.
- Selvaraj, Y., R. Kumar and D.K. Pal. 1989. Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **J. Food Sci. Technol.** 26: 308-313.
- Serek, M., E. C. Sisler and M. S. Reid. 1994. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 119: 1230-1233.
- Seyoum, T. and K. Woldetsadik. 2000. Natural ventilation evaporative cooling of mango. **Journal of Agriculture Biotechnology Environment**. 2: 1-2.
- Sisler, E. C., M. Serek and E. Dupille. 1996b. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. **Plant Growth Regul.** 18: 169–174.

- Soliva-Fortuny, R.C. and O. Martin-Belloso. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**. 14: 341-353.
- Spurr, A.R. 1970. Morphological changes in ripening fruit. **HortSci**. 5: 33-35.
- Srinivasa, P.C., R. Baskaran, M.N. Ramesh. K.V.H. Prashanth and R.N. Tharanathan. 2002. Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. **Eur. Food Res. Tech.** 215: 504-508.
- Stringer, M and C. Dennis. 2000. Chilles foods : A comprehensive guide. Boca Raton : Woodhead Publishing.
- Subramanyam, H., S. Krishnamurthy and H.A.B. Parpia. 1975. Physiology and biochemistry of mango fruit. **Adv. Food Res.** 21: 223-305.
- Szostak, R. 1998. **Molecular Sieves: Principle of Synthesis and Identification**. 2th ed. London: Blackie Academic & Professional, UK. 359 p.
- Takamiya, K., T. Tsuchiya and H. Ohta. 2000. Degradation pathway(s) of chlorophyll: what has gene cloning revealed? **Trends in Plant Science** 5: 426-431.
- Tandon, D.K. and S.K. Kalra. Changes in sugar, starch and amylase activity during development of mango fruit cv. Dashehari. **J. Hort. Sci.** 58: 449-453.
- Tefera, A., T. Seyoum and K. Woldetsadik. 2007. Effect of Disinfection, Packaging and Storage Environmental on the Shelf life of Mango. **Biosystems Engineering**. 96(2): 201-212.
- Thomas, P. and M. T. Janave. 1992. Effect of temperature on chlorophyllase activity, chlorophyll degradation and carotenoids of Cavendish bananas during ripening. **Int. J. Food Sci. Tech.** 27(1): 57-63.

- Thompson, A.K. 1998. **Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables**. CAB Intl., Wallingford, U.K.
- Toivonen P.M.A. and D.A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biol. Technol.** 48: 1-14.
- Thuy-Nguyen, T.B., S. Ketsa and W.G. van Doorn. 2004. Effect of modified atmosphere packaging on chilling-induced peel browning in banana. **Postharvest Biology and Technology**. 31: 313-317.
- Triebe, R.W., F.H. Tezel and K.C. Khulbe. 1996. Adsorption of methane, ethane and ethylene on molecular sieve zeolites. **Gas. Sep. Purif.** 10(1): 81-84
- Tucker, G.A. and G.B. Seymour. 1991. Cell wall degradation during the ripening of mango fruit. **Acta Hort.** 291: 454-460.
- VaZquez-Salinas, C. and S. Lakshnimarayana. 1985. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperature, **J. Food Sci.** 50: 1646-1648.
- Vilas-Boas, E.V. de B., and A. A. Kader. 2006. Effect of atmospheric modification, 1-MCP and chemicals on quality of fresh-cut banana. **Postharvest Biol. Technol.** 39: 155–162.
- Waskar, D P, R.M. Khedlar and V.K. Garande. 1999. Effect of postharvest treatment on shelf life and quality of pomegranate in evaporative cool chamber and ambient conditions. **Journal of Food Science and Technology**., 2 (36):114–117.
- Weichmann, J. 1987. **Post Harvest Physiology of Vegetables**. Marcel Bekker, Inc, New York.

Will, R.B., T.H. Lee, D. Graham, W.B. Glasson and E.G. Hall. 1982. **Post harvest: An introduction to the phys. And Handling of Fruits and Vegetables**. AVI Publishing Co., Westport. 34-35.

Wyllie, S. G., J. B. Golding, W. B. McGlasson and M. Williams. 1997. The relationship between ethylene and aroma volatiles production in climacteric ripening fruit. In: Proceedings of the 9th International Flavor Conference. Division of Agricultural and Food Chemistry, American Chemical Society (in press). Available Source: www.swu.ac.th/royalbook5b5c3t1_2.html.lnk, October 13, 2005.

Yam, K.L. and D.S. Lee. 2002. Design of modified atmosphere packaging for fresh produce, pp. 55-73. In M.L. Rooney, eds. **Active Food Packaging**. Chapman & Hall. G64 2NZ, United Kingdom.

Yahia, E.M. and M.T. Hernandez. 1993. Tolerance and responses of harvested mango to insecticide low oxygen atmosphere. **Hort Sci.** 28: 1031-1033.

Zhang, D., B. Y. Huang and K. J. Scott. 1993. Some physiological and biochemical changes of "green ripe" bananas at relative high storage temperatures. **Acta Hort.** 343: 81-85.

Zhang, D. 1995. Ethylene-removing packaging. In: **Active Food Packaging**. pp. 38-54. Ed. Rooney. M.L. Blankie Academic and Professional. London.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

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

1. วัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

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

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

2. วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygen transmission rate, O₂TR and Carbondioxide transmission rate, CO₂TR)

วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่อง Oxygen permeation analyzer (MOCON OXTRAN[®] รุ่น 2/21 ประเทศสหรัฐอเมริกา และ Illinois รุ่น 8500 ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวัดอัตราการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Carbon dioxide permeation analyzer (MOCON PERMATRAN-C[®] รุ่น 4/41 ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบ และเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อหาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึง และพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่น แล้วเริ่มทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น ml/m².day ที่อุณหภูมิ 13 และ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์แก๊ส

การวิเคราะห์แก๊ส

1. การวิเคราะห์แก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

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

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

Volume inject: 3.0 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. การวิเคราะห์แก๊สเอทิลีน

เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 1 มิลลิลิตร และนำมาฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

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

Volume inject: 1.0 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

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววีรยา เพ็ญผล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-