



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

เทคโนโลยีการบรรจุ

ภาควิชา

เรื่อง การเสริมประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเชื้อทางใบปาล์มน้ำมัน
เพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

Enhancing Efficacy of Ethylene Scavenger Adhered to Paper from Oil Palm Frond Pulp
to Decelerate Ripeness of *Mangifera indica*

نامผู้วิจัย นายธนา ธนเดชากุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเสริมประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเชื้อทางใบปาล์มน้ำมัน
เพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

Enhancing Efficacy of Ethylene Scavenger Adhered to Paper from Oil Palm Frond Pulp to
Decelerate Ripeness of *Mangifera indica*

โดย

นายธนา ฐนเดชากุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2552

ธนา ธนเดชากุล 2552: การเสริมประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเชื้อทางใบ
ปาล์มน้ำมันเพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ ปริณญูวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการ
บรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D. 123 หน้า

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ
หายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ระหว่างการขนส่ง เพื่อลดปัญหาการเน่าเสียของผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บ
เกี่ยว โดยการผสมค้ำกับฟิล์มด้วยวัสดุพาหะที่เป็นอินทรีย์สารควบคุมการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานบน
แผ่นกระดาษจากเชื้อสกัดจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เหลือทิ้งจากกิจกรรมทางการเกษตร จากผลการศึกษา
พบว่า สารกำจัดเอทิลีนที่ประกอบด้วยสารค้ำกับฟิล์มผสมกับวัสดุพาหะที่ลดมีความสามารถในการรักษาความ
เข้มข้นของสารค้ำกับฟิล์มสูงกว่าวัสดุพาหะชนิดอื่นๆ ซึ่งได้แก่ดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนต คือเท่ากับร้อยละ
0.0562 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน
ฟิล์มไคโทแซนพบว่ามีความต่ำกว่าฟิล์มไฮโดรฟอบิกสตาร์ชและฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 784.07
ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารค้ำกับฟิล์มได้ ส่งผล
ให้การเคลือบด้วยฟิล์มไคโทแซนบนแผ่นกำจัดเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่ง
สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเอทิลีนของสารกำจัดเอทิลีนได้ โดยแผ่นกำจัดเอทิลีนที่เคลือบด้วย
ฟิล์มไคโทแซนสามารถกำจัดเอทิลีน ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษาเท่ากับร้อยละ 55.45 ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ
25 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 65% และร้อยละ 61.03 ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 98.7% อย่างไรก็ตามปริมาณ
แก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 15 วัน ซึ่งสามารถกำจัดเอทิลีนเท่ากับร้อยละ
20.13 ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 25 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 65% และร้อยละ 25.59 ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์
98.7% เมื่อทดสอบการประยุกต์กับมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าแผ่นกำจัดเอทิลีนที่
เคลือบด้วยฟิล์มไคโทแซนสามารถยืดอายุการสุกของมะม่วงได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L^*) สี
เหลือง (b^*) และสีแดง (a^*) ของผิวเปลือกและผิวเนื้อ ปริมาณกรด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลาย
ได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วง จะให้ค่าที่แตกต่างกันเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงที่ไม่มีแผ่นกำจัดเอทิลีน
บรรจุร่วมด้วย ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ สภาวะการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ไม่รวมกับแผ่นกำจัดเอทิลีนภายใต้
สภาวะที่มีอุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 98.7% สามารถส่งเสริมให้การกำจัดเอทิลีนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า
ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 25 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 65% ส่งผลให้ชะลอการสุกของมะม่วงที่เก็บรักษาได้นาน 15 วัน

Thana Thanadechakul 2009: Enhancing Efficacy of Ethylene Scavenger Adhered to Paper from Oil Palm Frond Pulp to Decelerate Ripeness of *Mangifera indica*. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Mr. Lerpong Jarupan, Ph.D. 123 pages.

The present research aims to seek ways for enhancing scavenging efficacy of ethylene that released from the respiratory process from mangos (*Mangifera indica*), in order to decelerate the ripeness during transportation. The methodology investigated effects on scavenged ethylene by the mixture of potassium permanganate (KMnO_4) and organic supporting materials in harmony to the coating with bio-based films on paper substrate produced from sulfate pulp of oil palm frond (*Elaeis guineensis*). The results showed that ethylene scavenger KMnO_4 combined with talcum as a supporting material on the oil palm pulp sheet was contained the highest KMnO_4 content of 0.0562% (w/v) after stored 15 days ($p \leq 0.05$). Then the coating with chitosan film exhibited low oxygen transmission rate as 784.07 ($\text{cc/m}^2/\text{day}$) to prevent the deterioration of ethylene scavenger from being oxidized. Percentage of scavenged ethylene on oil palm sheet coated with chitosan film was 55.45% and 61.03% under a room temperature (25 °C) 65 %RH and 10 °C 98.7 %RH, respectively within the first day. However, it can be seen that the ability of scavenging ethylene of KMnO_4 /talcum solid on oil palm sheet tended to reduce gradually after 15 days, that was 20.13% and 25.59% under room temperature 65 %RH and 10 °C 98.7 %RH respectively. Consequently, ethylene scavenger on oil palm pulp sheets stored simultaneously with mangoes under 10 °C 98.7 %RH outperformed those under the room temperature with 65 %RH. To this end, it can be concluded that ethylene scavenger was capable of prolonging shelf life by decelerating the ripeness of mangoes. The study highlights the potentiality of using oil palm pulp sheet combined with KMnO_4 /talcum coated with chitosan film in order to perform as an ethylene scavenger sheet for delaying the ripeness of other climacteric produce.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความกรุณารับหน้าที่เป็นที่ปรึกษางานวิจัย วางแผนงาน ตลอดจนให้คำแนะนำ ปรึกษา และพิจารณาแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. งามทิพย์ ภู่วโรดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีในทุกๆ เรื่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่เครื่องมือในการทำวิจัยและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน คุณรัตนพรรัช ทรัพย์อุดมและคุณอรุณรณ พล ภูษณะพงษ์ ที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่าน โดยเฉพาะมีจากกล่าวนามในที่นี้ได้ทั้งหมด ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย คุณอดิษฐ์ นาคเสวก และพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดมาโดยตลอดเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ธนา ธนเดชากุล

มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	27
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุป	55
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณสารเคมีสำหรับการต้มเชื้อและการผลิตกระดาษ จากทางใบปาล์มน้ำมัน	66
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของเยื่อและกระดาษ	68
ภาคผนวก ค การวัดปริมาณความเข้มข้นของด่างทับทิมและผลการทดสอบ	84
ภาคผนวก ง การศึกษาพื้นที่ผิววัสดุพาหะ	87
ภาคผนวก จ ตารางผลการศึกษาปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้น ต่อสารกำจัดเห็บสัตว์	89
ภาคผนวก ฉ การเตรียมฟิล์มชีวฐาน	91
ภาคผนวก ช วิธีทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน	94
ภาคผนวก ซ การวัดค่าการกำจัดเห็บสัตว์ของแผ่นกระดาษกำจัดเห็บสัตว์เคลือบ ฟิล์มชีวฐานและผลการทดสอบ	97

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฅ การตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้	
และผลการทดสอบ	114
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางกายภาพของค้างทับทิม	6
2	สมบัติทางกายภาพของดินขาว	8
3	สมบัติทางกายภาพของทัลคัม	8
4	สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต	9
5	สมบัติทางกายภาพของไขผึ้ง	10
6	สมบัติด้านกายภาพและเคมีของเยื่อทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหลังกระบวนการต้มด้วยวิธีกราฟท์	27
7	สมบัติของกระดาษจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมัน	29
8	เปรียบเทียบพื้นที่ผิวของวัสดุพาหะทั้ง 3 ชนิด	30
9	แสดงค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐานต่างๆ	33
10	ค่ากรด-เบสของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ แยกตามสถานะการเก็บรักษา	46
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณสารเคมีที่ใช้	68
ข1	ค่าแฟคเตอร์ f สำหรับปรับค่าร้อยละความแตกต่างของเปอร์แมงแกนดที่ใช้	74
ค1	ความเข้มข้นของสารละลายค้างทับทิมในวัสดุพาหะ (% w/v) ต่อวันที่เก็บรักษา	86
จ1	ปริมาณร้อยละของแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดในแต่ละสถานะการทดสอบ	90
ช1	ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์มพอลิโพรพิลีน	95
ช2	ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้นที่ประกอบด้วยฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช	96
ช3	ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้นที่ประกอบด้วยฟิล์มไคโทแซน	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ซ4 ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้นที่ประกอบด้วยฟิล์ม เซลลูลอสอีเทอร์	96
ซ1 ค่าพื้นที่ใต้กราฟของแก๊สเอทิลีนที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ	99
ซ2 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	100
ซ3 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	101
ซ4 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	102
ซ5 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	103
ซ6 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	104
ซ7 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	105
ซ8 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	106
ซ9 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	107
ซ10 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	108
ซ11 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	109
ซ12 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาศ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ช13 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	111
ช14 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	112
ช15 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	113
ฌ1 ค่า L^* a^* และค่า b^* ผิวเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศา เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	117
ฌ2 ค่า L^* a^* และค่า b^* เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	118
ฌ3 ความต้านทานแรงกด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	119
ฌ4 ค่า L^* a^* และค่า b^* ผิวเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศา เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	120
ฌ5 ค่า L^* a^* และค่า b^* เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	121
ฌ6 ความต้านทานแรงกด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีน	4
2 โครงสร้างทางเคมีของไคโทแซน	10
3 โครงสร้างโมเลกุลของ OSA สตาร์ช	12
4 โครงสร้างเมทิลเซลลูโลส	13
5 โครงสร้างไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส	14
6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิม (%w/v) ในวัสดุพาหะแต่ละชนิด หลังการเก็บรักษาไว้นาน 15 วัน	30
7 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัด ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) และสภาวะห้องเย็น (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7)	32
8 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนสูงสุดที่เวลาทดสอบ 720 นาที บนแผ่นกำจัดเอทิลีนที่มีการเคลือบฟิล์มชีวฐานที่แตกต่างกัน เทียบกับเวลาที่เก็บรักษา ภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	35
9 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนสูงสุดที่เวลาทดสอบ 720 นาที บนแผ่นกำจัดเอทิลีนที่มีการเคลือบฟิล์มชีวฐานที่แตกต่างกัน เทียบกับเวลาที่เก็บรักษา ภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	36
10 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา เปรียบเทียบที่สภาวะทดสอบ (ก) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 และ (ข) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	38
11 ค่าความสว่าง (L*) ของผิวเปลือกมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	40
12 ค่าสีแดง (a*) ของผิวเปลือกมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	41
13 ค่าสีเหลือง (b*) ของผิวเปลือก แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	42
14 ค่าความสว่าง (L*) ของผิวเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	44
15 ค่าสีแดง (a*) ของผิวเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	44
16 ค่าสีเหลือง (b*) ของผิวเนื้อ แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ค่าปริมาณกรดจากน้ำคั้นของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	47
18	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	48
19	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกดของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา	50
20	ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างควบคุมตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	51
21	ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างศึกษาตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	52
22	ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างควบคุมตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	53
23	ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างศึกษาตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7	54
ภาพผนวกที่		
ซ1	กราฟมาตรฐานของแก๊สเอทิลีน	99

การเสริมประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน เพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

Enhancing Efficacy of Ethylene Scavenger Adhered to Paper from Oil Palm Frond Pulp to Decelerate Ripeness of *Mangifera indica*

คำนำ

จากปัญหาที่พบโดยมากระหว่างการขนส่งผลผลิตทางการเกษตรจำพวกผลไม้ประเภท “โคลแมกเทริก” คือ การเน่าเสียอันเนื่องมาจากการบวนการหายใจและฮอร์โมนเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้น ซึ่งแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาการเน่าเสียและช่วยยืดอายุของผลไม้ดังกล่าวคือ การใช้สารกำจัดแก๊สเอทิลีน เช่น ค่างทับทิม (potassium permanganate: KMnO_4) และผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) (สุมาลี, 2536) อย่างไรก็ตามพบว่า ค่างทับทิมได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แม้ว่าค่างทับทิมได้ถูกผลิตออกมาในรูปแบบสำเร็จรูปเพื่อให้พร้อมใช้งานได้ทันที แต่การใช้ค่างทับทิมในกรณีนี้ไม่อาจใช้ในรูปแบบผลิตภัณฑ์โดยตรง เนื่องจากไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้สะดวก จึงจำเป็นต้องนำมาละลายน้ำก่อน นอกจากนี้ การใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุพาหนะในการดูดซับสารละลายค่างทับทิมไว้ จะช่วยเสริมประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ดีอีกด้วย สารอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุพาหนะร่วมกับสารค่างทับทิมได้ เช่น ทัลคัม (talcum) ดินขาว (kaolin) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม อีกหนึ่งปัญหาที่พบได้โดยมากเมื่อใช้สารค่างทับทิมเป็นสารกำจัดแก๊สเอทิลีนคือ การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากการถูกออกซิไดซ์ด้วยแก๊สออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นกระบวนการป้องกันการเสื่อมสภาพของค่างทับทิมจากกระบวนการออกซิเดชันดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งวิธีการเคลือบทับด้วยฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น แป้ง และไคโทแซน ที่มีคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่ดี (Kjellgren *et al.*, 2006) จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลจากการเคลือบสารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผลิตร่วมกับวัสดุพาหะที่เหมาะสม และตรวจสอบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนหลังการปรับปรุงสมบัติด้านการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยวิธีการเคลือบด้วยฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพ โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการสกัดเยื่อด้วยวิธีซัลเฟตหรือคราฟท์ โดยมุ่งหวังที่จะประยุกต์วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการปลูกปาล์มน้ำมัน ให้เกิดประโยชน์ในรูปของวัสดุทดแทนสำหรับการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าเศษเหลือปาล์มน้ำมัน และเป็นการเพิ่มผลผลิตของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

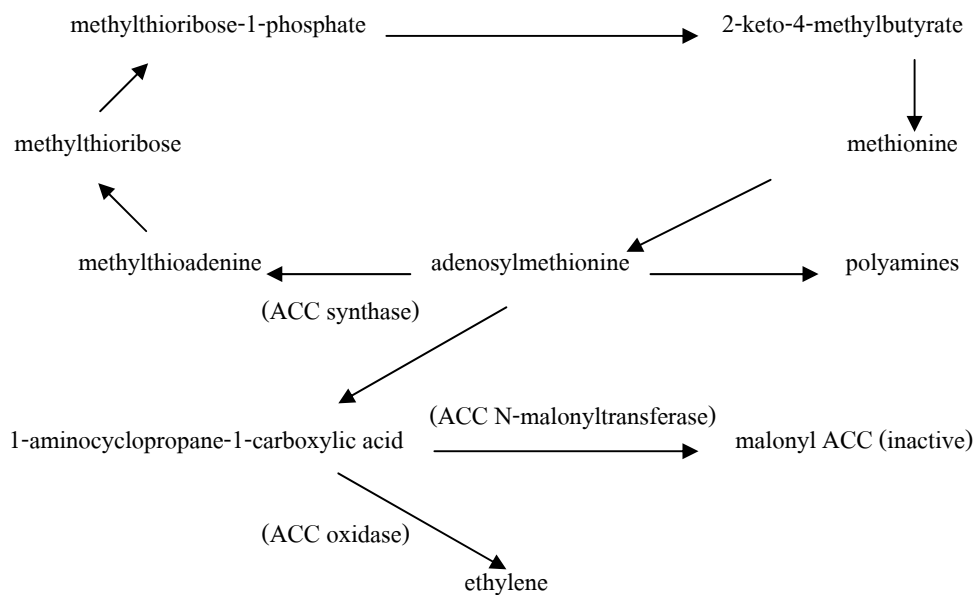
วัตถุประสงค์

1. หาวัสดุพาหะที่เหมาะสมกับต่างประเทศเพื่อเสริมประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อสกัดทางใบปาล์มน้ำมัน
2. ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีน
3. หาสารชีวฐานที่เหมาะสมเพื่อเคลือบแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีน เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของสารกำจัดเอทิลีนจากกระบวนการออกซิเดชัน
4. ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐาน
5. ประเมินความสามารถในการชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐาน

การตรวจเอกสาร

1. ผลของเอทิลีนต่อการสุกของผลไม้ที่มีเนื้อ (Freshy fruits)

เอทิลีน เป็นฮอร์โมนพืชตัวเดียวที่อยู่ในรูปแก๊สที่ไม่มีสี ควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนา
ส่วนต่างๆ เช่น การออกดอก และการสุกของผล (Buchanan *et al.*, 2000) โดยสารตั้งต้นกำเนิดของเอ
ทิลีนในพืชคือ เมทไธโอนีน (methionine) จะถูกสังเคราะห์เป็นอะดีโนซิลเมไทโอนีน
(adenosylmethionine) โดยมีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และฟลาวินมอ
โนนิวคลีโอไทด์ (flavin mononucleotide) และไอออนของโลหะเป็นปัจจัยเกิดร่วม (co-factor) เมท
ไธโอนีน ส่วนหนึ่งของอะดีโนซิลเมไทโอนีนนั้นจะเข้าสู่จรวดตามลำดับจนจบสิ้นกระบวนการได้
แก๊สเอทิลีน (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีน

ที่มา: ดัดแปลงจาก นรินาม (2547)

เอทิลีนมีบทบาทสำคัญต่อการสุกของผลไม้ที่มีเนื้อซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

(1) ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสม่ำเสมอในระยะสุกแก่ เช่น ส้ม และมะนาว เป็นต้น จะมีการสร้างแก๊สเอทิลีนน้อยมากและไม่ชักนำให้เกิดการสุกแก่ และผลไม้ที่มีอัตราการหายใจลดลงตลอดในระยะสุกแก่ เช่น พริกไทย เป็นต้น

(2) ผลไม้ที่หายใจแบบไคลแมกเทริก เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจลดลงเมื่อมีการเจริญเติบโตเต็มที่หรือสะสมอาหารเต็มที่แล้วเนื่องจากเซลล์แก่ตัวหรือกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ลดลง แต่เมื่อผลไม้ใกล้สุก อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้งเมื่อผลไม้สุก ตัวอย่างของผลไม้ในกลุ่มนี้ เช่น กล้วย มะม่วง ท้อ และแอปเปิล เป็นต้น

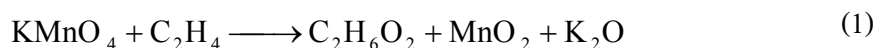
2. การยับยั้งการสร้างและการกำจัดเอทิลีนในผลไม้

เอทิลีนที่เกิดจากการหายใจของผลไม้จะถูกยับยั้งหรือกำจัดได้โดยการเพิ่ม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้สารดูดซับและสารกำจัดเอทิลีน และการเก็บผลไม้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะทำให้พืชหายใจได้น้อยลง ส่งผลให้อัตราการสร้างเอทิลีนลดลงด้วย Chevery *et al.* (2008) พบว่า การเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสร้างแก๊สเอทิลีนของแอปเปิลได้ ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับเอทิลีน จึงสามารถเข้าไปครอบคลุมส่วนต่างๆ ของผลไม้ ส่งผลให้ผลไม้สุกช้ากว่าปกติ สามารถเก็บรักษาผลไม้ไว้ได้ยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตาม นกคด (2537) รายงานว่า หากผลไม้ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือเกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ขึ้น ทำให้สูญเสียคุณภาพและรสชาติของผลไม้ไปในที่สุด

การใช้สารดูดซับเอทิลีนก็เป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการยับยั้งหรือกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ Ki-Yeong *et al.*, (1998) พบว่า พงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งถือว่าเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีสมบัติในการดูดซับแก๊สเอทิลีนได้นั้นจะไม่ทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีน แต่จะเก็บกักแก๊สไว้ในรูพรุน Brasquet and Le Cloirec (1997) พบว่าเมื่อใช้พองถ่านกัมมันต์ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ไอน้ำในสภาวะแวดล้อมจะถูกดูดซับเข้าสู่รูพรุนของพองถ่าน ส่งผลให้พื้นที่ผิวของพองถ่านลดลงและทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนต่ำลง

ดังนั้นการใช้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแก๊สเอทิลีนให้เกิดเป็นสารใหม่จึงเป็นอีกทางเลือกที่ดีกว่า เช่น การใช้ด่างทับทิม (potassium permanganate: KMnO_4) ให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับเอทิลีน และเกิดเป็นสารใหม่คือแมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) และเอทิลีน ไกลคอล (ethylene glycol) ซึ่งไม่สามารถผันกลับไปเป็นเอทิลีนได้ ดังสมการที่ 1



ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของด่างทับทิม

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
ชื่อทางเคมี	Potassium permanganate
สูตรโมเลกุล	KMnO_4
น้ำหนักโมเลกุล	158.03
ลักษณะปรากฏ	ของแข็งสีขาว
จุดหลอมเหลว	240°C
ความหนาแน่น	2.703 g/cm^3

ที่มา: ดัดแปลงจาก Environmental Health & Safety (2009)

แม้ว่าผลึกด่างทับทิมจะถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ระหว่างการขนส่ง แต่ด่างทับทิมในลักษณะนี้จะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องนำมาละลายน้ำก่อนใช้วัสดุพาหะที่มีความพรุนสูง เช่น ดินขาว ทดกัม หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นตัวดูดซับสารละลายด่างทับทิมไว้จนอิ่มตัว และทำให้แห้งก่อนบรรจุในของกระดาศหรือวัสดุห่อหุ้มอื่นๆ

วุฒิรัตน์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของการกำจัดเอทิลีนโดยใช้ดินสอพองและด่างทับทิมพบว่า สารกำจัดเอทิลีนที่ใช้ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนในอัตราที่ใกล้เคียงกับสารกำจัดเอทิลีนในท้องตลาด แต่สารด่างทับทิมจะเสียสภาพและสูญเสียคุณสมบัติการกำจัดได้เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยแก๊สออกซิเจนในสภาวะแวดล้อม จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาสารกำจัดเอทิลีนไว้ในที่เย็นและห่างจากแสง เนื่องจากสารด่างทับทิมสามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรุนแรง (สุมาลี, 2536) Knee *et al.* (1983) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการผลิตแก๊ส

เอทิลีนของลูกแพร์และแอปเปิล พบว่าที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ทั้งลูกแพร์และแอปเปิลมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนที่ต่ำกว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ทั้งลูกแพร์และแอปเปิลสุกช้ากว่าปกติ

Johnston *et al.* (2002) รายงานว่า เมื่อเก็บรักษาแอปเปิลที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณการสร้างแก๊สเอทิลีนเท่ากับ 100 ไมโครลิตร ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของแอปเปิลอ่อนนุ่มลง ดังนั้นการเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสร้างเอทิลีนได้ เนื่องจากผลไม้ชะลอการหายใจ เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในอย่างไรก็ตาม นกคัล (2537) พบว่า อุณหภูมิของห้องเย็นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลไม้แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันไป ผลไม้เขตร้อนเช่น แอปเปิล สาลี่ ท้อ สามารถเก็บไว้ได้ในระดับอุณหภูมิต่ำถึง 0-5 องศาเซลเซียสโดยไม่เกิดความเสียหาย ในขณะที่ผลไม้เขตร้อนเช่น มะม่วง ทูเรียน เงาะ หรือกล้วย จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าคือ 10-15 องศาเซลเซียส

นอกจากปัจจัยต่างๆข้างต้นแล้ว กระบวนการผลิตแผ่นดูดซับจากเยื่อกระดาษก็มีผลต่ออัตราการยับยั้งและกำจัดแก๊สเอทิลีนเช่นกัน ชัยพร และคณะ (2005) รายงานว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษจากฟางข้าวและทำการขึ้นแผ่นดูดซับแก๊สเอทิลีนโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีนของวัสดุที่แตกต่างกันพบว่า ก้อนอิฐมอญชุบด้วยด่างทับทิมสามารถดูดซับปริมาณแก๊สเอทิลีนจนหมดภายในระยะเวลา 6 ชั่วโมง ในขณะที่กระดาษฟางข้าวผสมผงถ่านกัมมันต์และผงซีโอไลต์ (zeolite) มีผลให้ความเข้มข้นของเอทิลีนลดลงจาก 1 ppm เป็น 0.773 และ 0.981 ppm ตามลำดับในระยะเวลา 7 ชั่วโมง

3. การประยุกต์อินทรียสารเป็นวัสดุพาหะ

Sen *et al.* (2002) อาศัยคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่มีความเป็นรูพรุนสูงเช่นดินขาว (kaolin, china clay) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับประจุโลหะหนัก พบว่าพื้นที่ผิวของดินขาวที่ค่าเท่ากับ 33.50 ตารางเมตรต่อกรัม และสามารถดูดซับประจุโลหะหนักออกจากดินและน้ำได้เป็นอย่างดี ต่อมา Linares *et al.* (2004) พบว่า ดินขาวสามารถดูดซับกรดไฮโดรคลอริกและเปปซินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกรดในกระเพาะอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโครงสร้างของดินขาวมีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับสารละลายและอนุภาคขนาดเล็กได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของดินขาว

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
สูตรโมเลกุล	$\text{AlO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
ลักษณะปรากฏ	ของแข็งสีขาว
ความหนาแน่นจำเพาะ	2.16 - 2.68

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anonymous (2000)

ทัลคัม (talcum) มักถูกใช้เป็นสารตัวเติมและสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เนื่องจากคุณสมบัติที่ช่วยเพิ่มเนื้อสารในกระดาษ ความสว่าง และความขาว อีกทั้งสามารถลดจุดด่างดำที่อาจเกิดขึ้นบนผิวกระดาษได้ จากคุณลักษณะทางกายภาพของทัลคัมที่มีรูพรุนเหมือนดินขาว ทำให้สามารถใช้ทัลคัมเป็นวัสดุพาหะได้

Yang *et al.* (2006) ใช้ทัลคัมเป็นวัสดุพาหะสำหรับสารประกอบทินออกไซด์เพื่อตรวจจับแก๊สพิษในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสารประกอบทินออกไซด์จะแทรกตัวในรูพรุนของทัลคัม ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สพิษได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการลดปริมาณแก๊สพิษที่จะกระจายออกสู่สภาวะแวดล้อม

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของทัลคัม

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
สูตรโมเลกุล	$\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})$
ลักษณะปรากฏ	ผงสีขาวหรือสีเทา
ความหนาแน่นจำเพาะ	2.5-2.8

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anonymous (2008)

แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) มีลักษณะคล้ายคลึงกับดินขาวและทัลคัม คือมีรูพรุนอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมากเช่นกัน Abanades (2002) นำแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้เป็นวัสดุดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมจากอุตสาหกรรม นอกจากนี้ Sukhorukov *et al.* (2004) และ Petrov *et al.* (2008) พบว่ารูพรุนของแคลเซียม

คาร์บอนเนตสามารถห่อหุ้ม (encapsulate) สารโปรตีนซึ่งเป็นสารประกอบขนาดเล็กที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของสภาวะแวดล้อมได้อีกด้วย

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
สูตรโมเลกุล	CaCO_3
ลักษณะปรากฏ	ผงสีขาว
ความหนาแน่นจำเพาะ	2.71

ที่มา: ดัดแปลงจาก สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2548)

4. สารเคลือบชีวฐาน

การเสื่อมสภาพของค้างทับทิมเป็นปัญหาที่พบโดยมากเนื่องจากค้างทับทิมสามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรุนแรงจากสภาวะแวดล้อม ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถป้องกันได้คือการใช้สารเคลือบชีวฐานที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ แต่สารชีวฐานมักย่อยสลายและเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความชื้นในบรรยากาศ ทำให้กระบวนการปลดปล่อยสารกำจัดเห็ดที่ขึ้นเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

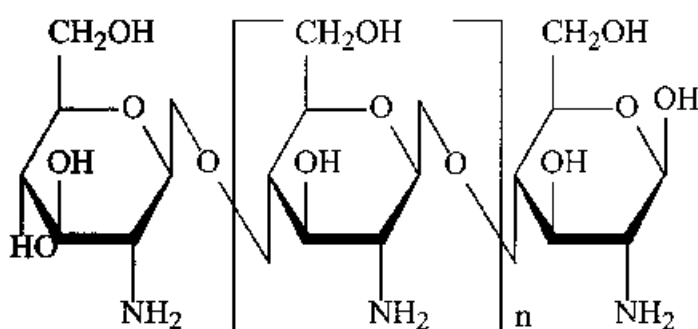
ไขผึ้ง (bee wax) มักถูกนำมาใช้สำหรับการเคลือบผิวกระดาษในอุตสาหกรรม เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นคือ ไม่ละลายน้ำ และมีความยืดหยุ่นได้ดี เมื่อเคลือบอยู่บนผิวจะทำให้กระดาษมีค่าการต้านทานน้ำสูงขึ้น อีกทั้งไขผึ้งยังมีสมบัติในการยึดติดที่ดี Sridach *et al.* (2007) ใช้ไขผึ้งเคลือบผิวกระดาษขึ้นรูปจากชานอ้อยเพื่อเพิ่มสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และช่วยในการยึดติดกันของเยื่อชานอ้อย Sothornvit (2009) พบว่าไขผึ้งยังสามารถใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ชีวภาพอื่นๆ เช่น ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส เพื่อเสริมสมบัติด้านความยืดหยุ่นของกระดาษได้อีกด้วย

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพของไคซิง

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
จุดหลอมเหลว	62 – 64 °C
จุดเดือด	ไม่มีแต่ถูกเป็นไฟที่ 120 °C
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	0.958 - 0.970 g/cm ³

ที่มา: ดัดแปลงจาก Brown (1981)

ไคโทแซน (chitosan) เป็นพอลิเมอร์ชีวฐานที่มีแหล่งกำเนิดจากสิ่งมีชีวิต สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่เป็นพิษ และมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี การขึ้นรูปฟิล์มไคโทแซนสามารถทำได้โดยการนำไคโทแซนมาละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) หรือกรดฟอร์มิก (formic acid) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการคุณภาพของแผ่นฟิล์มที่ได้ขึ้นอยู่กับการใช้เตรียมไคโทแซน ชนิดของวัตถุดิบ และขั้นตอนในการกำจัดหมู่อะซิติล (acetyl) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญต่อคุณภาพของไคโทแซน เพราะการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ การเกิดแผ่นฟิล์มของไคโทแซนที่เร็วเกินไปจะทำให้โซ่ของพอลิเมอร์สั้นลง ส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณภาพต่ำลง (วิกิเอนทร, 2535) นอกจากนี้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของไคโทแซนจะส่งผลให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงในการยึดออกมีการเปลี่ยนแปลงได้ (Technical Insights Inc., 1989)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของไคโทแซน

ที่มา: ดัดแปลงจาก วิไล (2532)

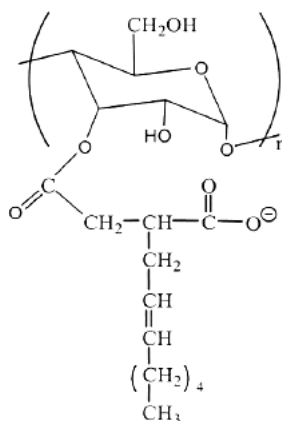
ฟิล์มที่ผลิตจากไคโทแซนจะมีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่นได้ (Krochta and Mulder-Johnston, 1997) และยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปได้ต่ำกว่าฟิล์มพอลิเมอร์บางชนิด เช่น พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน Butler *et al.* (1996) พบว่าฟิล์มไคโทแซนที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์มีค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 0 แต่เมื่อปริมาณของพลาสติกไซเซอร์เพิ่มขึ้นพบว่าค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มมากขึ้น

Kjellgren *et al.* (2006) รายงานว่า ค่าต้านทานแรงดึงของกระดาษทนน้ำมัน (greaseproof paper) ที่เคลือบด้วยไคโทแซนไม่มีความแตกต่างกันเมื่อแปรผันน้ำหนักของสารเคลือบระหว่าง 0-5.2 กรัมต่อตารางเมตร แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักของสารเคลือบเป็น 2.4 กรัมต่อตารางเมตรจะสามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ และเมื่อน้ำหนักของสารเคลือบเพิ่มเป็น 5.2 กรัมต่อตารางเมตร จะสามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่เมื่อฟิล์มทำการดูดซับความชื้นเข้าสู่โครงสร้างแล้วจะทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ซึ่งฟิล์มไคโทแซนไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้

Ham-Pichavant *et al.* (2005) รายงานความสามารถในการต้านทานไขมันของกระดาษที่เคลือบด้วยไคโทแซนแทนการเคลือบด้วยสารจำพวกฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon treatment) โดยศึกษาอันตรกิริยาระหว่างไคโทแซนและกรดไขมัน เช่น กรดไขมันโอเลอิก (oleic acid) และกรดไขมันอื่นๆ พบว่า ในสภาวะที่เป็นกรด ไคโทแซนจะแสดงประจุบวกที่สามารถจับกับโมเลกุลไขมันที่แสดงประจุลบกลายเป็นอิมัลชันโอเลอิกของกรดไขมันที่เสถียร โดยสามารถตรวจวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโอเลอิกอิสระที่เหลืออยู่ (residual free oleic acid) เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จะส่งผลกระทบต่ออันตรกิริยาระหว่างไคโทแซนและแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ที่ทำให้คุณค่าของผลิตภัณฑ์อาหารลดลง อย่างไรก็ตาม ไคโทแซนมีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับเรซินฟลูออโรคาร์บอน จึงได้มีการผสมโมเลกุลธรรมชาติอื่นๆ ลงไปด้วย เช่น เซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether) และ อัลจิเนต (alginates) เป็นต้น

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch) เป็นสตาร์ชที่ถูกดัดแปรทางเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ได้แก่ สตาร์ชที่ผลิตได้จากกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ด้วยสารออกทีโนลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride : OSA) เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ จะเกิดขึ้นที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคส และเกิดขึ้นในบริเวณออสันฐานของสตาร์ช

(ดังภาพที่ 3) ข้อดีของการมีหมู่ออกทีโนลส์ซักซิเนต (octenyl succinate) คือ ช่วยรักษาสมบัติชอบน้ำของสตาร์ชไว้ในขณะที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับสตาร์ช ทำให้ OSA สตาร์ชมีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดี และยังมีคุณสมบัติในการเป็นฟิล์มที่ดี (Viswanathan, 1999)



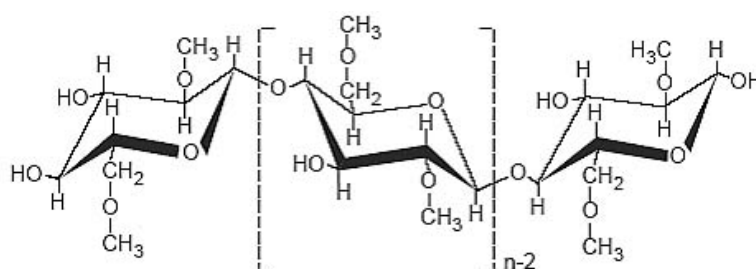
ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของ OSA สตาร์ช

ที่มา: คัดแปลงจาก ดวงทิพย์ (2550)

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชมีสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี Jonhed *et al.* (2007) พบว่า ฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ตัดแปรจากแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 7.2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

เซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยเมทิล (methyl) คาร์บอกซีเมทิล (carboxy methyl) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล (hydroxypropylmethyl) ได้เป็นเมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose) ตามลำดับ ซึ่งอนุพันธ์เหล่านี้สามารถละลายได้ในน้ำ ความยาวของสายเซลลูโลสอีเทอร์ยังคงเท่ากับของเซลลูโลส แต่ชนิดของหมู่อีเทอร์และระดับของการแทนที่ (degree of substitution: DS) จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) จะมีอิทธิพลต่อสมบัติในการดูดน้ำ การเกิดเจล และการเพิ่มความหนืดของอนุพันธ์เซลลูโลสที่ต่างชนิดกัน (Guilbert, 1986)

เมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่สามารถเตรียมได้โดยใช้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ถึง 60 น้ำหนักต่อปริมาตรซึ่งจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ตามหน่วยต่อแอนไฮโดรกลูโคสหนึ่งหน่วยในโมเลกุลของเซลลูโลส ได้เป็นสารละลายเซลลูโลสในด่าง แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับเมทิลคลอไรด์ (methyl chloride) ได้เป็นเมทิลเซลลูโลสอีเทอร์ ถ้าเมทิลเซลลูโลสมี DS สูงมากจะกระจายตัวได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เท่านั้น เมทิลเซลลูโลสไม่กระจายตัวในน้ำร้อน แต่กระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น และไม่มีประจุ โดยเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตทางการค้าจะมีระดับของการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization) แตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติการกระจายตัวและการให้ความหนืดที่แตกต่างกันด้วยการเกิดปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (methylation) ที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลเซลลูโลสจะทำให้สายของโมเลกุลเซลลูโลสแยกตัวออกจากกัน น้ำจึงสามารถแทรกตัวเข้าไปได้ง่าย การกระจายตัวจึงดีขึ้น เมทิลเซลลูโลสจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อน และจะแปรสภาพเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็นลง ซึ่งความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายได้รับความร้อน และจะเกิดเป็นเจลได้ระหว่างอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส หากมีการปนของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) น้ำตาลซูโครส (sucrose) กลีเซอรอล (glycerol) และ ซอร์บิทอล (sorbitol) อยู่ด้วย จะทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลดลง แต่เมื่อเติมเอทานอลหรือโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ลงไป อุณหภูมิในการเกิดเจลจะสูงขึ้น และถ้าให้หมู่ไฮดรอกซีโพรพิลแทนที่หมู่เมทิลในโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสบางส่วน จะทำให้เกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 85 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหมู่เมทิลและไฮดรอกซีโพรพิล (นิธิยา, 2545)

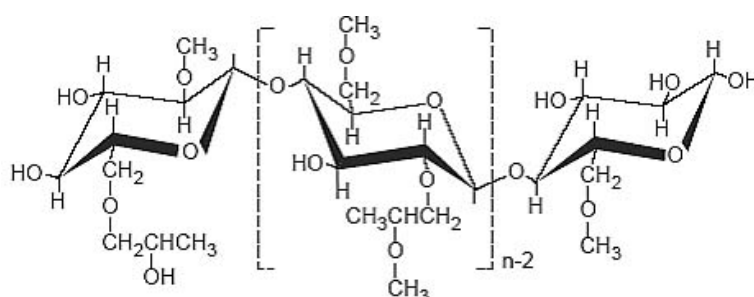


ภาพที่ 4 โครงสร้างเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Stephen (1995)

การเกิดฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลสสามารถอธิบายได้ว่า เมทิลเซลลูโลสจะเกิดการพองตัวเมื่อละลายในตัวทำละลาย เนื่องจากมีโมเลกุลของตัวทำละลายเข้าไปแทรกอยู่ ขณะเดียวกันความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนพันธะระหว่างสายพอลิเมอร์จะถูกทำลาย ทำให้สายโซ่เริ่มกระจายตัว ความหนืดลดลง และคงที่เมื่อการกระจายของโมเลกุลเกิดอย่างสมบูรณ์ สายโซ่จะเชื่อมต่อกันใหม่ในระหว่างการระเหยของตัวทำละลายได้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส หากมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไป สารดังกล่าวจะไปแทรกอยู่ระหว่างสายพอลิเมอร์ ทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นขึ้น

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล (ภาพที่ 5) และจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อน และเมื่อปล่อยให้เย็นลง ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะกลับเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นหนืด



ภาพที่ 5 โครงสร้างไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Stephen (1995)

ทั้งเมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ และจะกลายเป็นเจลที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้ช่วยทำให้มีผลิตภัณฑ์น้ำมันในน้ำมีความคงตัวดีที่อุณหภูมิต่ำ การนำเมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมากระจายตัวในน้ำร้อน จะช่วยชะลอการพองตัวและการคุดน้ำของสารเหล่านี้ และเมื่อปล่อยให้เย็นลงจะทำให้ได้อิมัลชันที่มีความหนืดสูงและอนุภาคน้ำมันมีขนาดเล็ก (นิธิยา, 2545) ดังนั้นสารทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถเกิดเป็นฟิล์ม มีลักษณะโปร่งใส เหนียว และยืดตัวได้ดี ละลายได้ในน้ำ ไม่ละลายในไขมันและน้ำมัน หากเติมพลาสติกไซเซอร์มีผลต่อหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลที่ถูกแทนที่ในไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Debeaufort and Voilley, 1997)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ทางใบปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) (จังหวัดชลบุรี)
- 1.2 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica*) (อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี)

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับการสกัดเชื้อและทดสอบกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

- 2.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ Analytical Grade (sodium hydroxide, NaOH) (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.1.2 โซเดียมซัลไฟด์ Analytical Grade (sodium sulfide, Na₂S) (Saturn Chemical LTD., ประเทศไทย)
- 2.1.3 กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 น้ำหนักต่อปริมาตร (hydrochloric acid, HCl) (Merck, เยอรมนี)
- 2.1.4 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 97 น้ำหนักต่อปริมาตร (sulfuric acid, H₂SO₄) (Merck, เยอรมนี)
- 2.1.5 แบเรียมคลอไรด์ Analytical Grade (barium chloride, BaCl₂) (Merck, เยอรมนี)
- 2.1.6 โซเดียมคาร์บอเนต Analytical Grade (sodium carbonate, Na₂CO₃) (Merck, เยอรมนี)
- 2.1.7 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต Analytical Grade (potassium hydrogen phthalate, KHC₈H₄O₄) (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.1.8 เมทิลออเรนจ์ Analytical Grade (methyl orange) (Fisher Chemical, สหรัฐอเมริกา)

2.2 สารเคมีสำหรับการเตรียมสารกำจัดเห็บที่สิน

2.2.1 ค่างทับทิม Analytical Grade (potassium permanganate, KMnO_4) (Carlo Erba, อิตาลี)

2.2.2 ดินขาว (kaolin) (BDH Chemical, อังกฤษ)

2.2.3 แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) (Quality Minerals Public Co., Ltd., ประเทศไทย)

2.2.4 ทัลคัม (talcum) (Lorwattana Co. LTD., ประเทศไทย)

2.3 สารเคมีสำหรับทดสอบวัสดุพาหะ

2.3.1 โซเดียมออกซาเลต Analytical Grade (sodium oxalate, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) (QREC, นิวซีแลนด์)

2.4 สารชีวฐานสำหรับการใช้เป็นสารเคลือบผิวกระดาษกำจัดแก๊สเอทีสิน

2.4.1 ไขผึ้ง (bee wax) (Thailanna Apiculture Co. LTD., ประเทศไทย)

2.4.2 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch) (Siam Modified Starch Co. LTD., ประเทศไทย)

2.4.3 ไคโทแซน (chitosan) (AK Chitosan Biotech Ltd., สาธารณรัฐประชาชนจีน)

2.4.4 ไฮดรอกซีพรอพิลเมทิลเซลลูโลส (Methocel E15 Premium) (Dow Chemical company, สหรัฐอเมริกา)

2.4.5 เมทิลเซลลูโลส (Methocel A15 Premium) (Dow Chemical company, สหรัฐอเมริกา)

2.4.6 TWEEN 60 (ACROS Organics, สหรัฐอเมริกา)

2.4.7 กรดแลคติก ความเข้มข้นร้อยละ 85 น้ำหนักต่อปริมาตร (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.4.8 กลีเซอรอล (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.5 สารเคมีสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

2.7.1 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaHOCl) ความเข้มข้น 200 ppm (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.7.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.7.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลินความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร (Merck, เยอรมนี)

3. อุปกรณ์

3.1 มีดสแตนเลสและเขียง

3.2 ถาดและกะละมังพลาสติก

3.3 ซิลิโคนชนิดใสและเทปกาว

3.4 เข็มฉีดยา

3.5 ไมโครปิเปต ขนาด 200-1000 ไมโครลิตร

3.6 ขวด duran ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.7 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)

3.8 ภาชนะใช้ทำแห้ง (dessicator)

3.9 กระดาษกรอง (whatman NO. 42)

3.10 ชุดเครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

4. เครื่องมือ

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ

4.1.1 เครื่องต้มเยื่อระบบปิด

4.1.2 เครื่องตีกระจายเยื่อ (Pulp disintegrator) (Herman Manufacturing Co., Inc., สหรัฐอเมริกา)

4.1.3 เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน (Handsheet forming machine) (Mavis Engineering, Ltd., สหรัฐอเมริกา)

4.1.4 เครื่องวัดการร่อนน้ำ (Freeness tester) (Tokyo Senki Seisaku Sho, Ltd., ญี่ปุ่น)

4.1.5 เครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) (Model HR 73, Mettler Toledo, Ltd., ประเทศไทย)

4.1.6 เครื่องคัดแยกเยื่อ (Flat screening machine) (Valley Laboratory Equipment., สหรัฐอเมริกา)

4.1.7 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Model AT400, Mettler Toledo, Ltd., ประเทศไทย)

4.1.8 เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง (Model AT400, Sartorius, เยอรมนี)

4.1.9 เครื่องกดรีดน้ำ (Hydraulic pressing) (Tokyo Senki Seisaku Sho, Ltd., ญี่ปุ่น)

4.1.10 เครื่องเซนตริฟิว (Centrifugal separator) (Neng Shin Machinery Works Co., Ltd., ไต้หวัน)

4.1.11 เตาอบ (Stabil-therm gravity oven) (Blue M Electric Company, สหรัฐอเมริกา)

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเยื่อกระดาษ

4.2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile tester) (Toyo Seisaku-sho, ญี่ปุ่น)

4.2.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Burst tester) (TMI, สหรัฐอเมริกา)

4.2.3 เครื่องทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness tester) (Model ID-C 112BS, Mitutoyo, ญี่ปุ่น)

4.2.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Elemendorf tear test) (Model 83-11-01-002, TMI, สหรัฐอเมริกา)

4.2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) (Model JSM-5600LV, JEOL, ญี่ปุ่น)

4.2.6 กล้องวัดขนาดเส้นใย (Image analyzer) (Model BHM, Olympus, สหรัฐอเมริกา)

4.3 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของวัสดุพาหะ

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface area analyzer) (Model ASAP 2020, Micromeritics, สหรัฐอเมริกา)

4.4 เครื่องมือสำหรับการทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

4.4.1 เครื่องทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) (Model Illinois 8500, Illinois Instruments, Inc., สหรัฐอเมริกา)

4.5 เครื่องมือสำหรับการผลิตแผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีน

4.5.1 เครื่องเคลือบกระดาษ (Film coater) (Model PI-1210, Tester Sangyo Co., Ltd., ญี่ปุ่น)

4.5.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) (Model HP 6890, Hewlett-Packard Development Company, สหรัฐอเมริกา)

4.5.3 แผ่นให้ความร้อน (Hot plate and magnetic stirrer) (Model HTS-1003 Harmony LMS, ญี่ปุ่น)

4.5.4 เครื่องดูดด้วยความดันอากาศ (Model 1HAE-25-M104X, MFG Corp., สหรัฐอเมริกา)

4.5.5 ตู้อบลมร้อนแบบควบคุมอุณหภูมิ (Model Series Five, Contherm Scientific, นิวซีแลนด์)

4.4.6 เครื่องมือวัดความสูงของเครื่องปาดฟิล์ม (Thickness Gauge)

4.6 เครื่องมือสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้

4.6.1 เครื่องวัดสี (Model CM-310, Konica Minolta Holdings, Inc., ญี่ปุ่น)

4.6.2 มาตรฐานความเป็นกรด-เบส (pH-meter) (Model HI-8424, HANNA instruments, สหรัฐอเมริกา)

4.6.3 มาตรฐานหักเหด้วยมือ (Hand refractometer) (Model ATAGON-a (0-32°Brix), ATAGO Co., Ltd., ญี่ปุ่น)

4.6.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (Testometric) (Model micro 350, อังกฤษ)

วิธีการ

1. เตรียมกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1.1 ตัดทางใบปาล์มน้ำมันเป็นชิ้นขนาดความยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร ตากให้แห้ง จากนั้นวัดปริมาณความชื้นเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำในเนื้อไม้ทั้งหมด

1.2 ต้มทางใบปาล์มน้ำมันโดยวิธีกราฟท์ โดยใช้ค่าแอกทิฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 ซัลฟิติกร้อยละ 25 อัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบ (liquid : material) เท่ากับ 5 : 1 (ดูภาคผนวก ก)

1.3 ต้มทางใบปาล์มน้ำมันในสารละลายที่ได้จากข้อ 1.2 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาล้างเพื่อกำจัดสารเคมีออก

1.4 ร่อนเยื่อเพื่อคัดขนาดที่สม่ำเสมอ

1.5 วัดความยาวของเส้นใย (TAPPI 233 cm-82, ภาคผนวก ข)

1.6 วัดค่าแคปปาจากเยื่อที่ผลิตได้ (TAPPI T 236 cm-85, ภาคผนวก ข) เพื่อศึกษาถึงปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในเส้นใย

1.7 วัดค่าการร่อนน้ำของเยื่อ (freeness) ด้วยวิธี canadian standard freeness (CSF) แสดงถึงความสามารถในการให้น้ำไหลผ่านเยื่อว่าช้าหรือเร็วเพียงใด

1.8 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันให้น้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร (ภาคผนวก ก) จากนั้นตากแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ในสภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.9 วิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพของกระดาษ (physical properties) ดังนี้

1.9.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ตามมาตรฐาน ISO 536:1995 (ภาคผนวก ข)

1.9.2 ความหนา (thickness) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 (ภาคผนวก ข)

1.9.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 (ภาคผนวก ข)

1.10 วิเคราะห์สมบัติเชิงกลของกระดาษ (mechanical properties) ดังนี้

1.10.1 การต้านทานแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน ISO 1924-2:1994 (ภาคผนวก ข)

1.10.2 การต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) ตามมาตรฐาน ISO 1974:1990 (ภาคผนวก ข)

1.10.3 การต้านทานแรงดันทะลุ (bursting resistance) ตามมาตรฐาน ISO 2758:2001 (ภาคผนวก ข)

1.10.4 การดูดซึมน้ำ (water absorption) ตามมาตรฐาน มอก.321:2522 (ภาคผนวก ข)

2. เตรียมสารกำจัดแก๊สเอทิลีน

2.1 วัดพื้นที่ผิววัสดุพาหะได้แก่ ทัลคัม ดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต โดยวิธี Brunauer–Emmett–Teller (BET) ตามมาตรฐาน ASTM C 819–77 (รายละเอียดในภาคผนวก ง)

2.2 เตรียมสารละลายต่างทับทิมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ดัดแปลงวิธีของ วุฒิรัตน์ และคณะ (2549))

2.3 ผสมสารละลายต่างทับทิมที่เตรียมได้กับวัสดุพาหะแต่ละชนิดได้แก่ ทัลคัม ดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนของวัสดุพาหะต่อปริมาตรสารละลายเท่ากับ 10 : 90 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (Potes and Naivikul., 2007) คนให้ทั่วกันบนแผ่นให้ความร้อนที่ระดับ 6 เป็นเวลา 10 นาที

2.4 กรองสารผสมที่ได้ด้วยกระดาษกรอง whatman NO. 42 จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ให้ได้ค่าความชื้นประมาณร้อยละ 10

2.5 นำสารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เตรียมได้ใส่ลงถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด เก็บในภาชนะใช้ทำแห้ง (desiccator)

2.6 หาความเข้มข้นของต่างทับทิมในแต่ละวัสดุพาหะด้วยวิธีไทเทรต (ดูภาคผนวก ค) โดยสุ่มตรวจ ณ วันที่ 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 ของการเก็บรักษา

2.7 คัดเลือกวัสดุพาหะที่ดีที่สุด โดยเลือกจากปริมาณค่าความเข้มข้นของสารต่างทับทิมสูงสุด ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา

3. ศึกษาปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นต่อสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน

3.1 เคลือบสารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ได้จากข้อ 2 ลงบนแผ่นกระดาษที่เตรียมได้จากข้อ 1 ที่มีขนาด 8 x 8 ตารางเซนติเมตร ปาดสารกำจัดแก๊สเอทิลีนน้ำหนัก 1 กรัม ให้มีความสม่ำเสมอทั่วบริเวณให้มีพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร โดยห่างจากขอบกระดาษด้านละ 3 เซนติเมตร

3.2 บรรจุแผ่นกระดาษที่เตรียมได้ในขวดรูปชมพู่ เติมแก๊สเอทิลีนเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 1 ppm (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

3.3 เก็บแผ่นตัวอย่างภายใต้ 2 สภาพที่แตกต่างกันคือ (1) สภาพปกติ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และ (2) สภาพจำลองห้องเย็น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

3.4 สุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 สภาพเพื่อทดสอบปริมาณของแก๊สเอทิลีนที่หายไปด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.5 วิเคราะห์หาความสามารถของการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ได้ ณ เวลาเริ่มต้นของการทดสอบ คำนวณปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดโดยนำค่าพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างแก๊สเอทิลีนที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนโดยสมการมาตรฐาน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) จากนั้นนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณตามสมการที่ 2

$$ES = \frac{C_0 - C_x}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

โดย	ES	=	ปริมาณเอทิลีนที่ถูกกำจัด (ร้อยละ)
	C_0	=	ค่าความเข้มข้นแก๊สเอทิลีน ณ เวลาเริ่มต้น
	C_x	=	ค่าความเข้มข้นแก๊สเอทิลีน ณ เวลาทดสอบที่ x นาที

3.6 ทำซ้ำข้อ 3.4 และ 3.5 โดยสุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 สภาพที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720, 1080 และ 1320 นาที ตามลำดับ

4. เคลือบแผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยฟิล์มชีวฐาน

4.1 เตรียมสารชีวฐานที่ต้องการศึกษา 3 ชนิดได้แก่ ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช เซลลูโลสอีเทอร์ และไคโทแซน และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) จากนั้น ทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนตามมาตรฐาน ASTM D 3985-02 (ภาคผนวก ข)

4.2 ไรยสารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ประกอบด้วยต่างปั๊มผสมกับวัสดุพาหะที่ได้จากข้อ 2 น้ำหนัก 1 กรัม บนแผ่นกระดาษขนาด 64 ตารางเซนติเมตร ปาดสารกำจัดแก๊สเอทิลีนให้มีความสม่ำเสมอทั่วบริเวณภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ 4 ตารางเซนติเมตร โดยห่างจากขอบกระดาษด้านละ 3 เซนติเมตร

4.3 เคลือบสารไขผึ้งปริมาตร 2 มิลลิลิตรที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียสลงบนสารกำจัดแก๊สเอทิลีน ความหนาของไขผึ้งเท่ากับ 0.03 มิลลิเมตร

4.4 เคลือบทับอีกครั้งด้วยสารชีวฐานที่เตรียมได้ในข้อ 4.1 โดยใช้ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ความหนาของสารชีวฐานเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

4.5 เก็บแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ได้ในภาชนะใช้ทำแห้ง เพื่อรอการทดสอบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนในขั้นตอนต่อไป

5. ประเมินความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนเคลือบฟิล์มชีวฐาน

5.1 นำตัวอย่างแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนออกจากภาชนะทำแห้ง ณ วันเริ่มต้นของการเก็บรักษา มาบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ เติมแก๊สเอทิลีนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1 ppm และเก็บไว้ภายใต้สภาวะทดสอบที่แตกต่างกันคือ สภาวะปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และสภาวะจำลองห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

5.2 ทดสอบการกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ณ เวลาที่กำหนดดังนี้ 0, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600 และ 720 นาที

5.3 วิเคราะห์ความสามารถของการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกระดาษที่เคลือบในสภาวะที่แตกต่างกัน รายงานปริมาณของแก๊สเอทิลีนที่หายไป(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ)

5.4 ทำซ้ำข้อ 5.1 ถึง 5.3 โดยสุ่มแผ่นตัวอย่างมาทดสอบหลังการเก็บรักษานาน 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ

5.5 คัดเลือกแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณเอทิลีนที่ถูกกำจัดมากที่สุดที่ระยะเวลาทดสอบ 720 นาที

6. ประยุกต์แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

6.1 คัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยวิธีการลอยน้ำเกลือ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ญ)

6.2 เก็บกล่องกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ภายใต้อุณหภูมิเท่ากับ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อปรับค่าความชื้นของกล่องกระดาษให้มีค่าใกล้เคียงกันก่อนทดสอบ

6.3 บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในกล่องกระดาษโดยแบ่งตัวอย่างทดสอบเป็น 2 ชุด ดังนี้

6.3.1 ชุดตัวอย่างควบคุม บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในกล่องกระดาษ โดยไม่ใส่แผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีน

6.3.2 ชุดตัวอย่างศึกษา บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ 8 ผลลงในกล่องกระดาษ โดยวางเรียง 2 แถวขนานกันแถวละ 4 ผล โดยบรรจุแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ได้จากข้อ 5.5

6.4 เก็บชุดตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาภายใต้ 2 สภาพที่แตกต่างกันคือ แบ่งสภาพสภาวะปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และสภาวะจำลองห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

6.5 สุ่มผลมะม่วงทั้งสองชุดตัวอย่าง มาทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี หลังการเก็บรักษานาน 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ

6.6 วัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ฅ) โดยมีการทดสอบดังนี้

- 6.6.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก
- 6.6.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ
- 6.6.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส
- 6.6.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด
- 6.6.5 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS)
- 6.6.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกด

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

8. สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน และหน่วยงานย่อยกระดาษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

9. ระยะเวลาทำงานวิจัย

ระยะเวลาทำงานวิจัยตั้งแต่ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 รวม
ระยะเวลาทั้งสิ้น 1 ปี 2 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยและแผ่นกระดาษขึ้นรูปจากเยื่อสกัดทางใบปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่สกัดจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีกราฟท์ โดยใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นเทียบได้เท่ากับค่าแอกทิฟแอลคาไลร้อยละ 16 ต้มที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาทีนั้นจะให้ผลผลิตของเยื่อ (yield) เท่ากับร้อยละ 29.19

ตารางที่ 6 สมบัติด้านกายภาพและเคมีของเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันหลังกระบวนการต้มด้วยวิธีกราฟท์

สมบัติของเยื่อ	วิธีทดสอบ	ข้อมูลจำเพาะ
ค่าแคปปา	TAPPI T 236 cm-85	81.72
ค่าการอนน้ำของเยื่อ (มิลลิลิตร)	TAPPI T 227 om-94	467.50
ความยาว (มิลลิเมตร)	TAPPI 233 cm-82	1.80
ความกว้าง (ไมโครเมตร)	TAPPI 233 cm-82	23.40
ขนาดลูเมน (ไมโครเมตร)	TAPPI 233 cm-82	14.40
ความหนาผนังเซลล์ (ไมโครเมตร)	TAPPI 233 cm-82	4.50
สัดส่วนของ Runkel	-	0.63
ความอ่อนตัว	-	0.62
สัดส่วนความชะลูด (สัดส่วนของ ความยาวต่อความกว้าง)	-	76.92

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันกับเส้นใยของเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า และลำต้นปาล์มน้ำมัน พบว่า เยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าความยาวของเส้นใยมากกว่าเยื่อที่ได้จากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมัน แต่ค่าความกว้างของเส้นใยกลับต่ำกว่า โดยอ้างอิงจาก Khoo and Lee (1991) ที่รายงานว่า ความยาวเส้นใยของเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมันเท่ากับ 0.82 มิลลิเมตรและ 0.96 มิลลิเมตร ตามลำดับ และความกว้างมีค่าเท่ากับ 27.00 มิลลิเมตรและ 29.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ เยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าสัดส่วนความชะลูดเท่ากับ 76.92 ซึ่งสูงกว่าทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า และลำต้นปาล์มน้ำมันที่มีค่าสัดส่วนความชะลูดสูงเท่ากับ 30.30 และ 32.50 ตามลำดับ โดยค่า

สัดส่วนความชะลูดที่สูงนั้นส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีสมบัติด้านความต้านทานแรงฉีกขาดสูงขึ้นตามไปด้วย (Bublitz, 1980)

ค่าสัดส่วนของ runkel ซึ่งแสดงถึงความฟาม (bulk) ของเส้นใยที่สูง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\text{ค่าสัดส่วน runkel} = \frac{2 (\text{ความหนาผนังเซลล์})}{\text{ขนาดลูเมน}} \quad (3)$$

ผลการศึกษาพบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าสัดส่วนของ runkel มากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้น โดยอ้างอิงจาก Khoo and Lee (1991) ที่รายงานว่า ค่าสัดส่วนของ runkel ของเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมันเท่ากับ 0.32 และ 0.48 ตามลำดับ ดังนั้นเส้นใยที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันจึงมีความฟาม (bulk) ของเส้นใยที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้การประสานตัวของเส้นใยในการผลิตกระดาษดีขึ้น

ค่าความอ่อนตัวของเส้นใย (flexibility coefficient) แสดงถึงความอ่อนตัวของเส้นใยเป็นสมบัติที่มีผลต่อความสามารถในการรับและกระจายแรงของเส้นใยเมื่อได้รับแรงกระทำหรือสมบัติเชิงกลในด้านความต้านทานแรงดึงขาดและความต้านทานแรงดันทะลุ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$\text{ค่าความอ่อนตัวของเส้นใย} = \frac{\text{ขนาดลูเมน}}{\text{ค่าความกว้างของเส้นใย}} \quad (4)$$

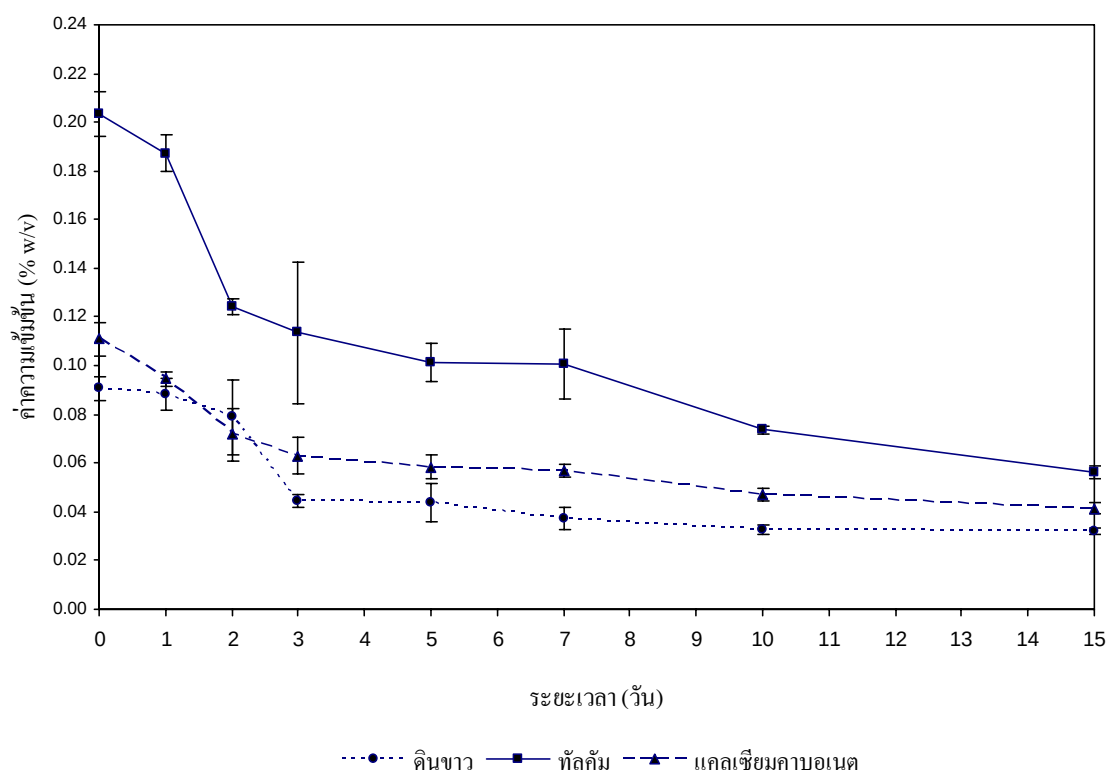
สมบัติทางกายภาพและทางกลของกระดาษขึ้นรูปจากเยื่อสกัดทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้โดยวิธีกราฟท์แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นกระดาษขึ้นรูปจากเชื้อสัปดาห์ทางใบปาล์มน้ำมัน

สมบัติของกระดาษ	ข้อมูลจำเพาะ
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	64.30 ± 1.42
ความหนา (mm)	0.0975 ± 0.01
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	659.49
การดูดซึมน้ำ (s)	90.73 ± 11.51
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	63.044 ± 6.17
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด ($\text{mN.m}^2/\text{g}$)	10.4355 ± 1.02
ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)	3.2415 ± 0.12

2. วัสดุพาหะที่เหมาะสมกับสารต่างัณฑัณฑิ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายต่างัณฑัณฑิเมื่อผสมกับวัสดุพาหะต่างัณฑัณฑิได้แก่ ดินขาว ทลัณฑัณฑิ และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นเวลา 15 วัน พบว่าทลัณฑัณฑิเป็นวัสดุพาหะที่เหมาะสมกับต่างัณฑัณฑิมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากสามารถดูดซับสารละลายต่างัณฑัณฑิไว้ได้สูงถึง 0.2036 (% w/v) ณ วันเริ่มต้นของการทดสอบ ในขณะที่ดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถดูดซับสารละลายต่างัณฑัณฑิไว้ได้เพียง 0.0908 (% w/v) และ 0.1109 (% w/v) ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 6) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของทลัณฑัณฑิมีลักษณะเป็นรูพรุนสูง ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนต (ดังแสดงในตารางที่ 8)



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิม (%w/v) ในวัสดุพาหะแต่ละชนิด หลังการเก็บรักษาไว้นาน 15 วัน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวของวัสดุพาหะทั้ง 3 ชนิด

วัสดุพาหะ	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)
ดินขาว	8.8
ทัลคัม	76.8
แคลเซียมคาร์บอเนต	33.5

ทัลคัมมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการเกาะกลุ่ม (agglomeration) ได้ดี (Eroglu, 2007) โดยอนุภาคของทัลคัมจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มกับอนุภาคของต่างทับทิมที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ อีกทั้งทัลคัมยังสามารถยึดเกาะสสารอนุภาคเล็กดังเช่นอนุภาคของต่างทับทิมได้ดีอีกด้วย (Hubbe, 2008) ส่งผลให้ความเข้มข้นของต่างทับทิมหลังการเก็บรักษาไว้นาน 15 วันมีค่าสูงที่สุดคือเท่ากับ 0.0562 (% w/v) ซึ่งแตกต่างกับวัสดุพาหะชนิดอื่น โดยดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนตมีความเข้มข้นของต่างทับทิมหลังการเก็บรักษานาน 15 วันเท่ากับ 0.0318 (% w/v) และ

0.0414 (% w/v) ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงการความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิม ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิมที่ผสมกับวัสดุพาหะแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา (1-3 วัน) และจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม จะพบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิมที่ผสมกับทัลคัมอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันเริ่มต้นถึงวันที่ 2 ของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิมจะเริ่มเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการยึดเกาะอนุภาคเล็กที่ผิวของทัลคัมจะส่งผลให้ต่างทับทิมสามารถแทรกตัวเข้าสู่โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของทัลคัมได้แล้ว ยังสามารถเกาะติดอยู่บริเวณผิวนอกของทัลคัมด้วย จึงทำให้ต่างทับทิมที่อยู่บริเวณผิวนอกของทัลคัมถูกออกซิไดซ์ในสภาพแวดล้อมได้ง่าย ทำให้ความเข้มข้นของต่างทับทิมที่ทดสอบได้ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ส่วนต่างทับทิมที่แทรกตามรูพรุนของทัลคัมได้นั้นมีโอกาสถูกออกซิไดซ์ต่ำกว่า จึงหลงเหลืออยู่ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 15 ของการศึกษา

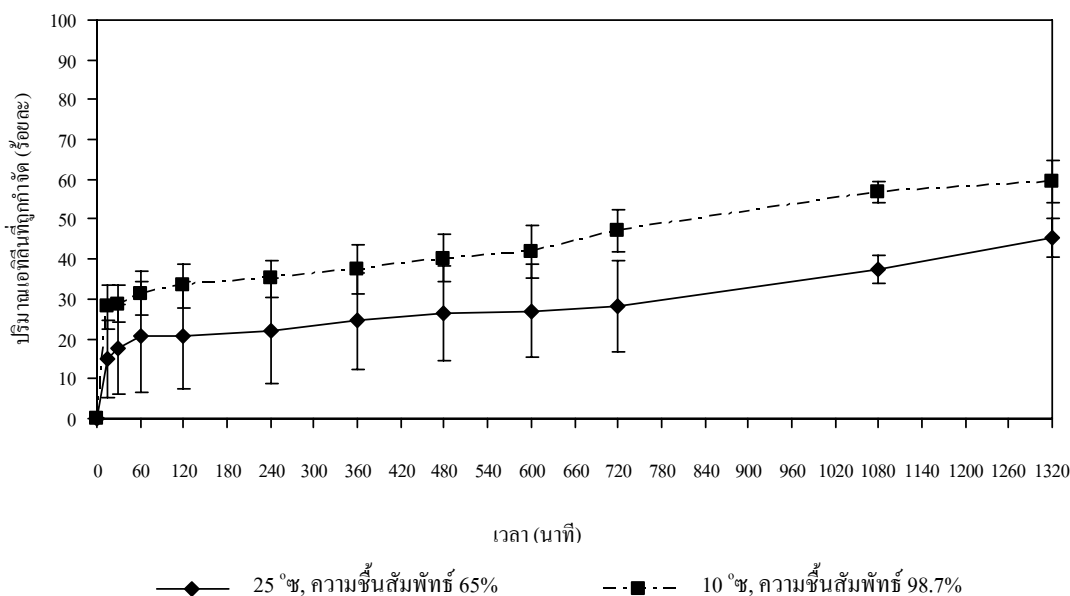
จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงว่า วัสดุพาหะที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตสารกำจัดแก๊สเอทิลีนร่วมกับสารต่างทับทิมคือ ทัลคัม เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับและรักษาความเข้มข้นของสารต่างทับทิมได้ดีที่สุด

3. ปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นต่อสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน

การศึกษาปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนซึ่งประกอบด้วยต่างทับทิมและวัสดุพาหะทัลคัม โดยเติมแก๊สเอทิลีนที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1 ppm และเก็บรักษาภายใต้ 2 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) และสภาวะห้องเย็น (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7 พบว่า แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บไว้ภายใต้สภาวะปกติเป็นระยะเวลา 15 นาทีนั้นสามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ร้อยละ 14.93 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลา โดยเมื่อเวลาผ่านไป 1,320 นาทีแผ่นทดสอบสามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ร้อยละ 45.33 เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกำจัดแก๊สเอ

ฟิล์มที่เก็บไว้ภายใต้สภาวะห้องเย็น สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ร้อยละ 28.02 เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที และร้อยละ 59.52 เมื่อเวลาผ่านไป 1,320 นาที



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัด ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) และสภาวะห้องเย็น (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7)

ความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนภายใต้ 2 สภาวะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน นั่นคือเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาของการทดสอบ โดยแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บไว้ภายใต้สภาวะห้องเย็นสามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้สูงกว่าแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิห้องปกติ ในทุกๆเวลาที่ทำการทดสอบ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจมาจากสาเหตุที่สภาวะห้องเย็นนั้นมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า ส่งผลให้มีปริมาณไอน้ำในสภาวะแวดล้อมมากกว่า ซึ่งไอน้ำจะมีผลต่อการปลดปล่อยสารต่างทับทมที่อยู่ในสถานะผลึก เมื่อต่างทับทมสัมผัสกับไอน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นสารละลาย เกิดการแตกตัวของอนุภาคโพแทสเซียมไอออน (K^+) และแมงกานีส (IV) ออกไซด์ไอออน หรือ เปอแมงกานेटไอออน (MnO_4^-) (นิรนาม, 2549) ซึ่งเปอแมงกานेटไอออนนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแก๊สเอทิลีนได้ง่ายกว่าต่างทับทมที่อยู่ในรูปของผลึก (ชิปไต้ย, 2550) ดังนั้น ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษได้ดีกว่าภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิปกติ

4. ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน

ตารางที่ 9 แสดงค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทดสอบ 3 ชนิดได้แก่ ฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ฟิล์มไคโทแซน และฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์ ที่มีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกฟิล์มชีวฐานที่เหมาะสมสำหรับเคลือบผิวสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษปาล์มน้ำมัน เพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์จากแก๊สออกซิเจน พบว่า ค่าการซึมผ่านของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มไคโทแซนให้ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 784.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมาคือ ฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช และฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์ ซึ่งค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1443.07 และ 1852.92 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ แสดงว่าฟิล์มไคโทแซนมีคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ดีที่สุด เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของไคโทแซนประกอบด้วยกลุ่มไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จำนวนมาก กลุ่มไฮโดรฟิลิกมีคุณสมบัติสภาพการให้ละลายได้ (solubility) ที่ดีต่อสารที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว แต่แก๊สออกซิเจนโครงสร้างของโมเลกุลนั้นไม่มีขั้ว ดังนั้นความสามารถของแก๊สออกซิเจนที่จะละลายได้บนฟิล์มไคโทแซนจึงต่ำ ส่งผลต่อค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ทำให้ฟิล์มไคโทแซนยอมให้แก๊สออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ (ขวัญใจ, 2541)

ตารางที่ 9 แสดงค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐานต่างๆ

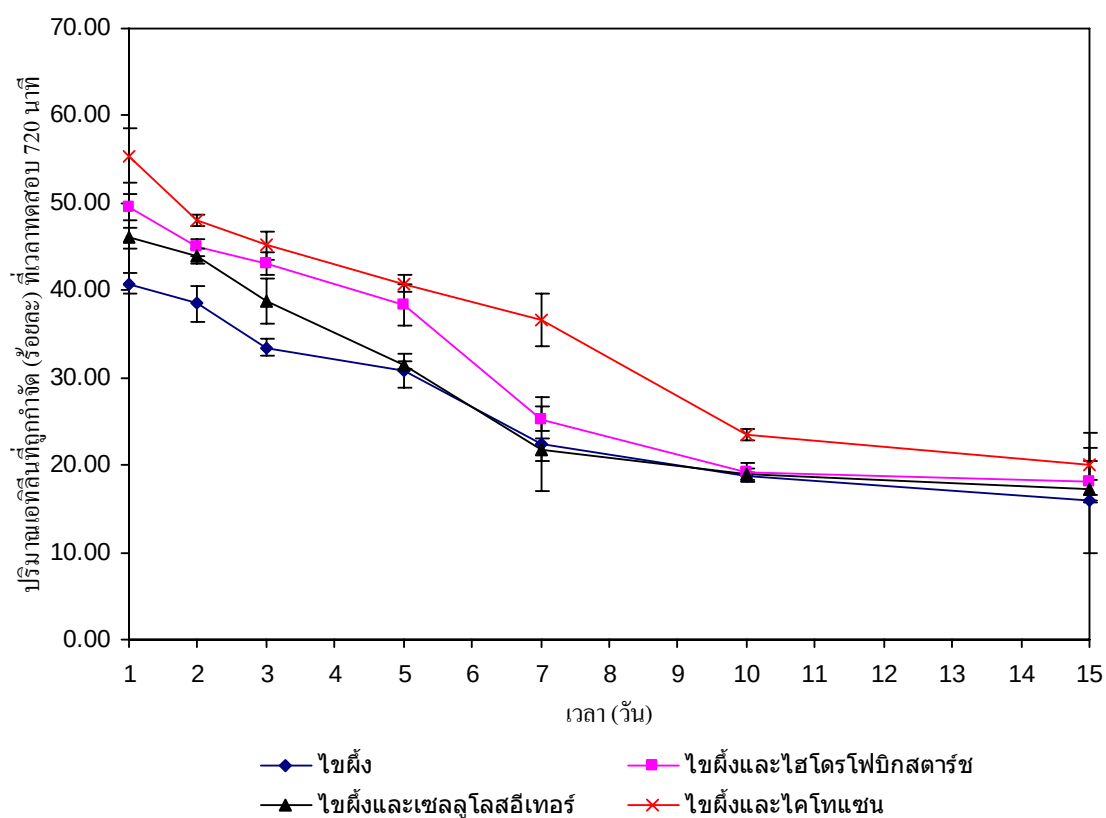
ชนิดฟิล์มชีวฐาน	ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
ฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช	1443.07 ^b ±34.22
ฟิล์มไคโทแซน	784.07 ^c ±31.02
ฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์	1852.92 ^a ±7.94

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวดังหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

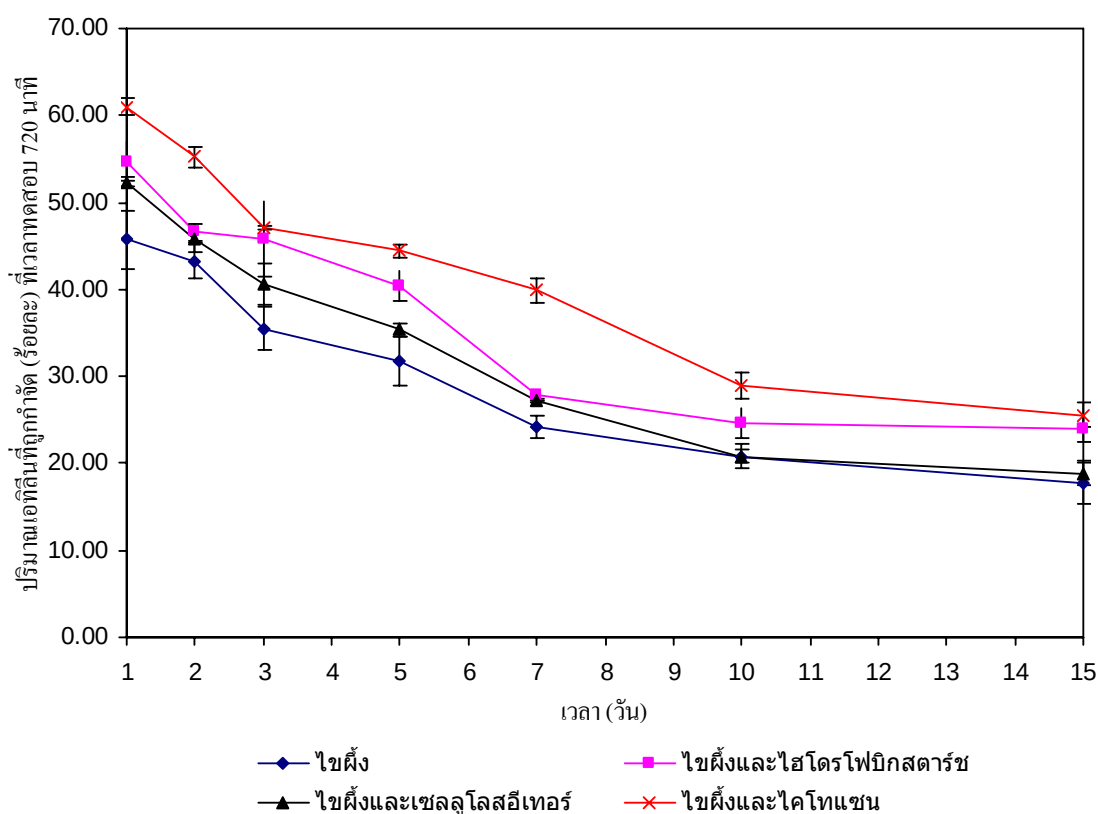
5. फिल्मชีวฐานที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน

ผลการประเมินความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐาน ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และสภาวะห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากผลการทดสอบปริมาณสูงสุดของแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีน ภายใต้สภาวะปกติและสภาวะห้องเย็นพบว่า ความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดสูงสุดบนแผ่นกำจัดที่เคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานทุกชนิด จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่ 720 นาที และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ดังภาพที่ 8 และ 9) ทั้งนี้ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของต่างทับทิมตามธรรมชาติ โดยความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนสูงสุดที่ระยะเวลาทดสอบ 720 นาทีของแผ่นกำจัดเอทิลีนที่มีการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานต่างชนิดกันเรียงจากน้อยไปมาก ดังนี้ แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยไผ่เพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา เพราะแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยไผ่เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของสารต่างทับทิมได้ เนื่องด้วยฟิล์มไผ่มีคุณสมบัติยอมให้แก๊สออกซิเจนซึมผ่านที่สูง (Mannheim and Soffer, 1996) ส่งผลให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านและเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับต่างทับทิมบนแผ่นกระดาษจนเกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้ประสิทธิภาพของต่างทับทิมในการกำจัดแก๊สเอทิลีนมีค่าต่ำลงด้วย ในขณะที่แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยไผ่และไคโทแซนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนดีที่สุด ทั้งนี้พบว่าผลการทดสอบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลของค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน ซึ่งรายงานว่ฟิล์มไคโทแซนมีค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวฐานชนิดอื่นๆ ซึ่งค่าการซึมผ่านของออกซิเจนส่งผลให้ฟิล์มไคโทแซนที่เคลือบบนผิวของแผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีนมีประสิทธิภาพในการป้องกันแก๊สออกซิเจนจากสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ ส่งผลให้อัตราการเสื่อมสภาพของต่างทับทิมที่เคลือบอยู่บนแผ่นกระดาษนั้นต่ำลง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้ากว่า ทำให้แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยฟิล์มไคโทแซนสามารถรักษาความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ดีเมื่อต้องการใช้งาน



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนสูงสุดที่เวลาทดสอบ 720 นาที บนแผ่นกำจัดเอทิลีนที่มีการเคลือบฟิล์มชีวฐานที่แตกต่างกัน เทียบกับเวลาที่เก็บรักษา ภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



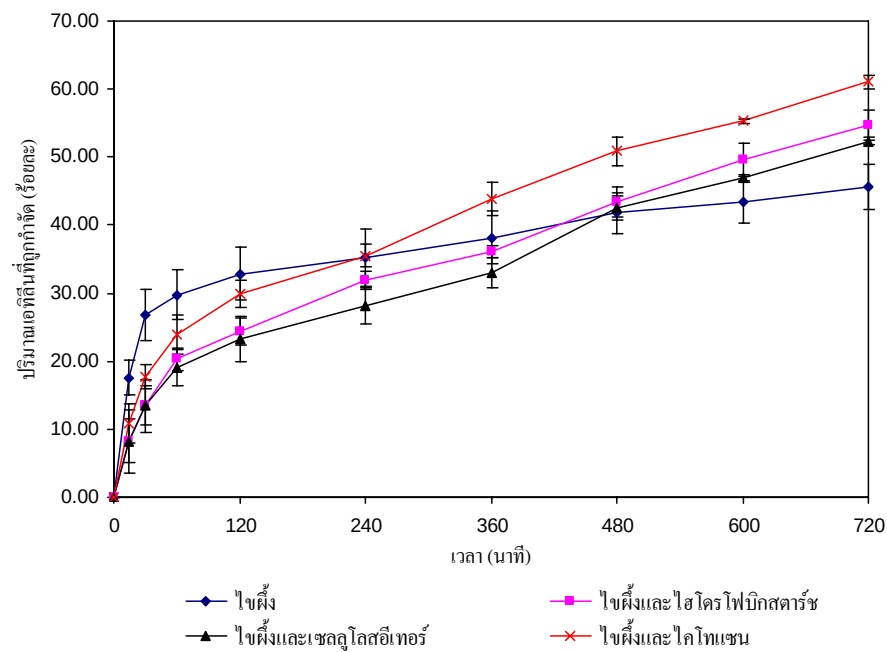
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนสูงสุดที่เวลาทดสอบ 720 นาที บนแผ่นกำจัดเอทิลีนที่มีการเคลือบฟิล์มชีวฐานที่แตกต่างกัน เทียบกับเวลาที่เก็บรักษา ภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

เมื่อพิจารณาแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บเป็นระยะเวลา 1 วันทดสอบภายใต้สภาวะห้องเย็น เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดไป พบว่า สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ในอัตราที่เร็วกว่าที่สภาวะปกติ ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกำจัดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน ภายใต้ 2 สภาวะที่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรกตั้งแต่เวลา 0 ถึง 120 นาทีนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกระดาษที่เคลือบสารกำจัดด้วยไช้ผึ่งเพียงอย่างเดียวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแก๊สเอทิลีนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเห็นได้ชัดจากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สเอทิลีนที่อยู่ในสภาพแวดล้อมสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนได้สะดวกกว่า เพราะแก๊สเอทิลีนมีสภาพขี้ที่จำเพาะต่อสารเคลือบไช้ผึ่ง จึงส่งผลให้มีอัตราการซึมผ่านที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานซึ่งแก๊สเอทิลีนถูกกำจัดในอัตราที่ช้ากว่า เพราะแก๊สเอทิลีนเข้าทำปฏิกิริยาได้ไม่สะดวก เนื่องจากฟิล์มชีวฐานที่เคลือบอยู่นั้นป้องกันการซึมผ่านทั้งออกซิเจนและเอทิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนในนาที่ที่ 360 เป็นต้นไปพบว่า ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษที่

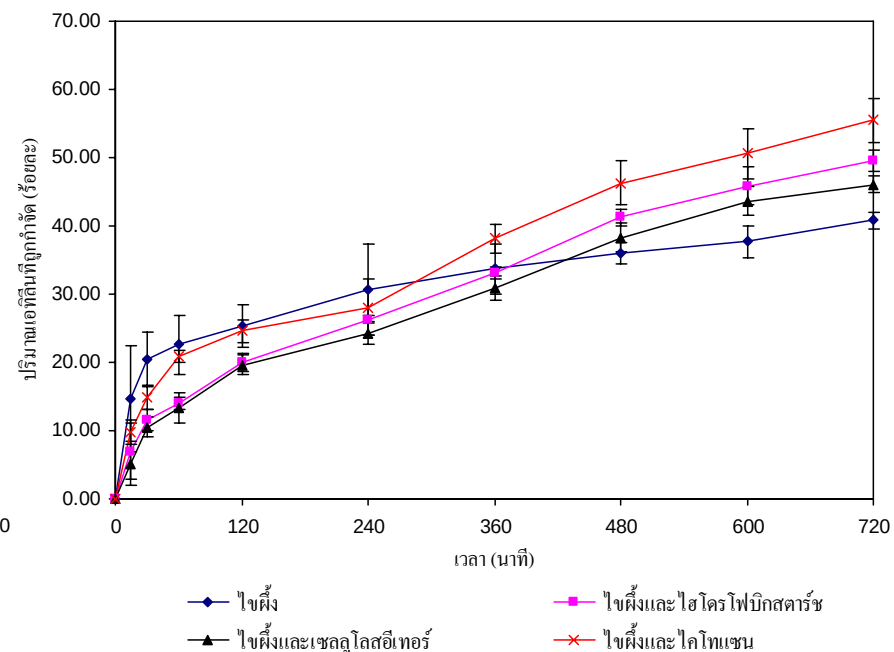
เคลือบด้วยฟิล์มชีวฐานนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากเส้นกราฟที่มีค่าความชันเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษที่เคลือบเฉพาะไขผึ้งนั้นจะเห็นได้ว่ามีความชันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟิล์มชีวฐานทั้ง 3 ชนิด ได้สะสมปริมาณไอน้ำเข้าสู่ตัวฟิล์ม ซึ่งส่งผลให้สมบัติการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สลดลง แก๊สเอทิลีนจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับด่างทับทิมได้สะดวกขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกำจัดที่ทดสอบภายใต้สภาวะห้องเย็นพบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าแผ่นกำจัดที่ทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องปกติ โดยที่เวลา 360 นาที พบว่าภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องปกติ นั้น ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกระดาษที่เคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 33.67 แผ่นกระดาษที่เคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ชมี่มีค่าเท่ากับร้อยละ 33.06 แผ่นกระดาษที่เคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสไฮดรอกซีมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.98 และแผ่นกระดาษที่เคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซนมีค่าเท่ากับร้อยละ 38.19 แต่เมื่อพิจารณาที่สภาวะห้องเย็นนั้น ระยะเวลาที่ปริมาณแก๊สเอทิลีนจะถูกกำจัดในช่วงร้อยละใกล้เคียงกันคือที่เวลาเท่ากับ 240 นาที ซึ่งปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดคือ ร้อยละ 35.21, 31.88, 28.07 และ 35.54 ตามลำดับของชนิดฟิล์มชีวฐาน นั้นแสดงว่า ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนของกำจัดแก๊สเอทิลีนเกิดขึ้นได้ดีที่สภาวะห้องเย็น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะห้องเย็นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าสภาวะอุณหภูมิปกติ ส่งผลต่อฟิล์มชีวฐานสามารถดูดซึมไอน้ำซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติเป็นพลาสติกไฮเซอรซ์ชนิดหนึ่ง (Forssell, 2002) เมื่อปริมาณพลาสติกไฮเซอรซ์เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ฟิล์มเสียสภาพการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ ทำให้ด่างทับทิมสามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนได้สะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้ จะเห็นว่าที่นาที่ 240 นั้นจะเป็นช่วงเวลาที่ฟิล์มชีวฐานสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปมากเพียงพอที่จะทำให้คุณสมบัติด้านการป้องกันแก๊สเสื่อมลง ส่งผลให้แผ่นกระดาษกำจัดเอทิลีนใช้ระยะเวลาในการกำจัดแก๊สเอทิลีนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บรักษาในวันที่ 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 (ดูภาคผนวก ข) เพียงแต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ต่ำลงตามลำดับ

ดังนั้นจากผลการศึกษา จึงสามารถเลือกฟิล์มชีวฐานที่เหมาะสม โดยเลือกใช้แผ่นกระดาษกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยไขผึ้งและไคโทแซนไปใช้ในกระบวนการศึกษาขั้นต่อไป



ก



ข

ภาพที่ 10 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษาเปรียบเทียบที่สภาวะทดสอบ (ก) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 และ (ข) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

6. การประเมินประสิทธิภาพของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบฟิล์มชีวฐานเพื่อการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

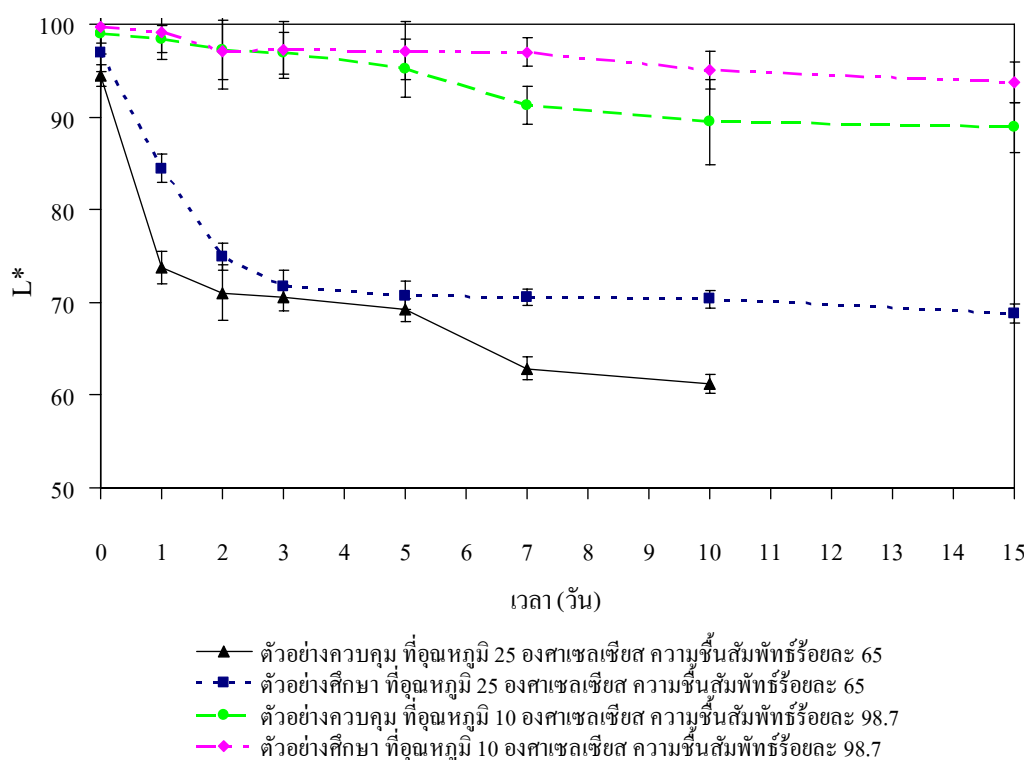
การคัดเลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สายพันธุ์ที่เลือกไว้เพื่อทดสอบน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อคัดเลือกผลมะม่วงที่มีความแก่ใกล้เคียงกัน โดยประมาณ 95 วัน นับจากวันที่ดอกบาน (Lizada, 1991)

ดังที่กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบฟิล์มชีวฐานเพื่อการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้แบ่งตัวอย่างทดสอบเป็น 2 ชุด ได้แก่ (1) ชุดตัวอย่างควบคุม ซึ่งบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในกล่องกระดาษ โดยไม่ใส่แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีน และ (2) ชุดตัวอย่างศึกษาซึ่งบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนลงในกล่องกระดาษ

6.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก

การเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกใช้การทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ ดังภาพที่ 11 พบว่า ค่า L^* ของมะม่วงที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่า L^* เริ่มต้นเท่ากับ 94.43 และ 96.92 ($p \leq 0.05$) และค่า L^* ต่ำสุดที่สามารถวัดได้เท่ากับ 61.20 และ 68.87 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า L^* ของตัวอย่างที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่าค่า L^* มีแนวโน้มลดลงจากค่า มีค่า L^* เริ่มต้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแต่อัตราการลดลงของค่า L^* ช้ากว่า โดยค่า L^* ต่ำสุดที่สามารถทดสอบได้มีค่าเท่ากับ 88.88 และ 93.78 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

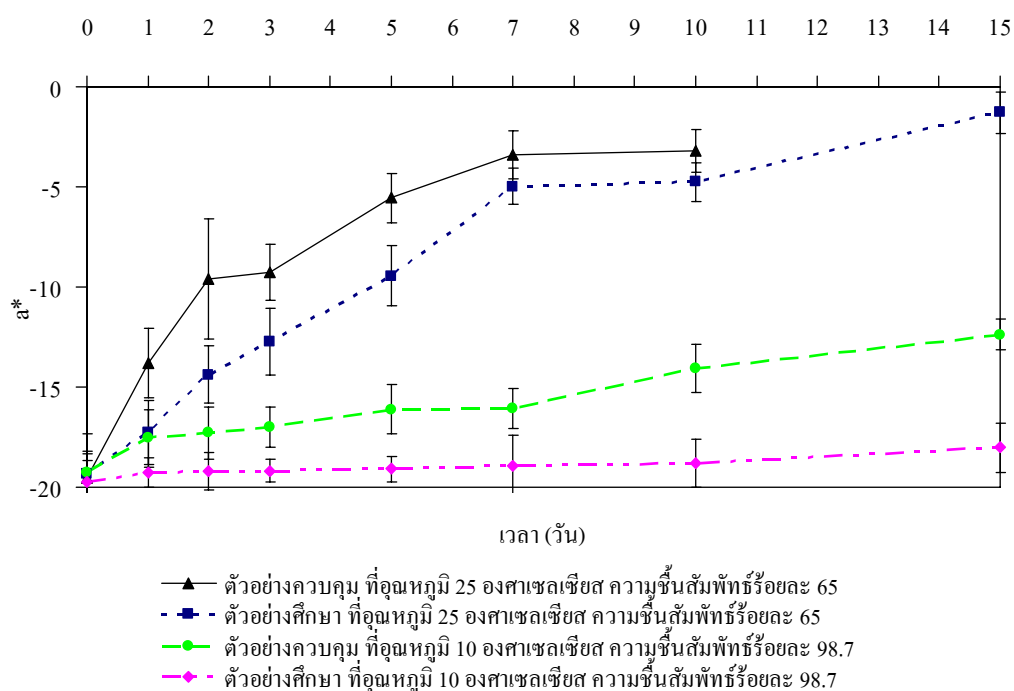
สาเหตุที่ผิวของเปลือกมะม่วงมีค่าความสว่างลดลงนั้นเนื่องจาก เมื่อผลมะม่วงมีความแก่มากขึ้น การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของมะม่วงจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสีน้ำตาลนี้จะลดค่า L^* ของผิวเปลือกมะม่วง (Guerrero-Beltrana et al., 2004) แต่สำหรับชุดตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 นั้นมีอัตราการเกิดเป็นสีน้ำตาลบนผิวเปลือกที่ช้ากว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีน (นภดล, 2537) อีกทั้งค่าความชื้นที่สูงช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของแผ่นกำจัดเอทิลีนให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น จึงช่วยชะลอการสุกของผลมะม่วงได้



ภาพที่ 11 ค่าความสว่าง (L^*) ของผิวเปลือกมะม่วง แยกตามสถานะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นำเสีย จึงไม่สามารถทดสอบในวันที่ 15 ได้

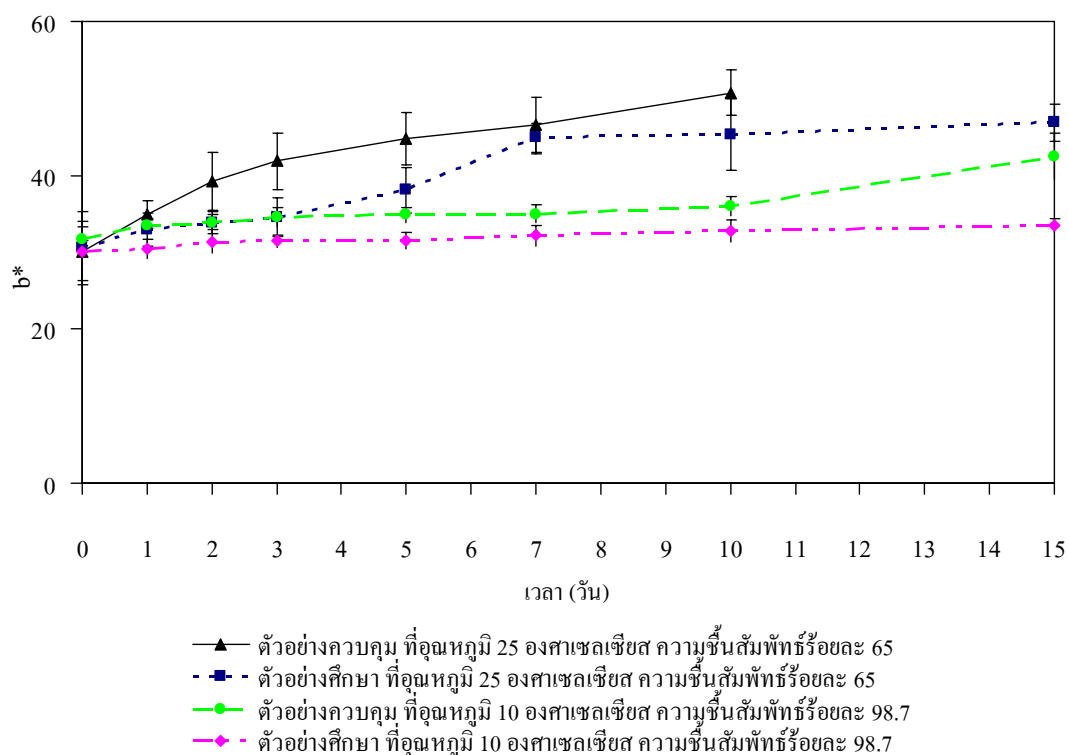
ภาพที่ 12 แสดงค่าสีแดง (a^*) บนผิวเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ เทียบกับเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ค่า a^* ของมะม่วงทั้งในชุดตัวอย่างควบคุมและชุดตัวอย่างทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีการเพิ่มค่า a^* รวดเร็วที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -3.19 ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า a^* ของตัวอย่างศึกษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า a^* เกิดขึ้นช้ากว่า โดยที่ค่า a^* สูงสุดที่ทดสอบได้มีค่าเท่ากับ -18.03 ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ค่า a^* ที่เพิ่มขึ้นนั้นมีสาเหตุจากมะม่วงที่แก่มากขึ้นมีการสร้างเม็ดสีจำนวนมากจึงส่งผลให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Medlicott et al., 1986) ซึ่งแสดงว่าแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่บรรจุในกล่องกระดาษร่วมกับมะม่วงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้นสามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ดี



ภาพที่ 12 ค่าสีแดง (a^*) ของผิวเปลือกมะม่วง แยกตามสถานะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นำเสีย
จึงไม่สามารถทดสอบในวันที่ 15 ได้

ภาพที่ 13 แสดงค่าสีเหลือง (b^*) บนผิวเปลือกมะม่วงนำดอกไม้ เทียบกับเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ค่า b^* ที่ทดสอบได้ของมะม่วงทั้งในชุดตัวอย่างควบคุมและชุดตัวอย่างทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยชุดตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาภายใต้ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่า b^* ที่สูงสุดเท่ากับ 50.77 ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) การที่ค่า b^* ของผิวมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องมาจากมะม่วงมีความแก่มากขึ้น คลอโรฟิลล์ซึ่งมีสีเขียวจำนวนมากในเปลือกมะม่วงจะเกิดการสลายตัวและเกิดการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่มีสีส้มขึ้นทดแทน ส่งผลให้ลักษณะปรากฏของเปลือกมะม่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (Simpson et al., 1976) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่า b^* ของตัวอย่างศึกษาที่เก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* เพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าหรือแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลย โดยที่ค่า b^* ที่ทดสอบได้มีค่าเท่ากับ 33.45 ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) นั้นแสดงว่าแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่บรรจุในกล่องกระดาษร่วมกับมะม่วงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงสามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ดี



ภาพที่ 13 ค่าสีเหลือง (b^*) ของผิวเปลือก แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 น่าเสีย จึงไม่สามารถทดสอบในวันที่ 15 ได้

จากผลการเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) บนผิวเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้ทั้งในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการทดสอบของชุดตัวอย่างศึกษาหรือมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 นั้นมีค่า L^* ที่สูงกว่า แต่ค่า a^* และ b^* ต่ำกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ซึ่งค่าทั้ง 3 นั้นสามารถบ่งบอกถึงความสุกแก่ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ โดยมะม่วงที่เข้าสู่ระยะสุกมากขึ้นจะมีค่า L^* ของผิวเปลือกต่ำ แต่ค่า a^* และ b^* จะสูงขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดจากมะม่วงในชุดตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ หากพิจารณาที่เวลาที่เก็บรักษาเดียวกันในตัวอย่างศึกษาจะสามารถเห็นได้ชัดว่ามะม่วงที่บรรจุร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนและเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 นั้นให้ค่า L^*

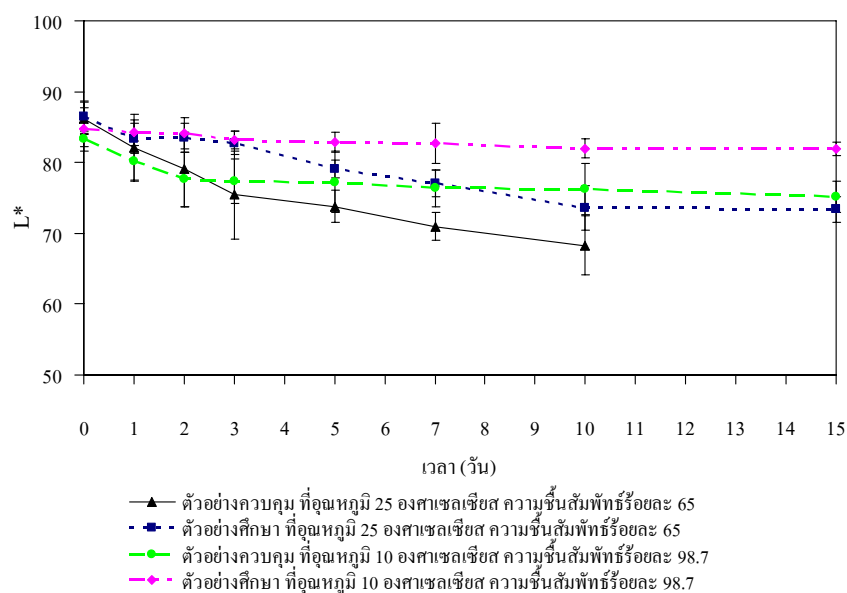
สูงกว่าในขณะที่ค่า a^* และ b^* ต่ำกว่าชุดตัวอย่างอื่นๆ อีกทั้งค่า L^* , a^* และ b^* นั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในลักษณะที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าการเก็บรักษามะม่วงร่วมกับการบรรจุแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบฟิล์มไคโตแซนภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 นั้นสามารถชะลอการสุกได้ ทั้งนี้มะม่วงจะมีการปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนเป็นปกติและสุกได้ในระยะเวลาภายใน 4-5 วัน ที่อุณหภูมิ 35 ± 0.1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 1\%$ (Yantarasi et al., 1994)

6.2 การเปลี่ยนแปลงสีผิวเนื้อ

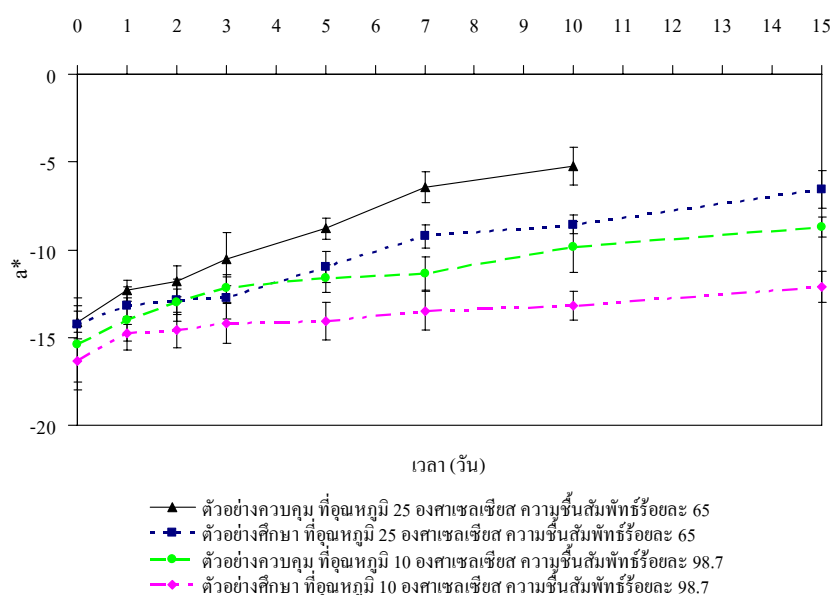
จากการศึกษาค่า L^* , a^* และ b^* ของผิวเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับค่าสีผิวเปลือกของมะม่วง ภาพที่ 14 แสดงค่า L^* มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า L^* ของชุดตัวอย่างควบคุมที่เก็บภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 68.27 ภาพที่ 15 แสดงค่า a^* สูงสุดเท่ากับ -5.25 และ ภาพที่ 16 แสดงค่า b^* สูงสุดที่สามารถวัดค่าได้เท่ากับ 72.40 ที่ระยะเวลาเก็บรักษา 10 วัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างศึกษาที่เก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า มีแนวโน้มในทางเดียวกัน โดยที่ค่า L^* ต่ำสุดที่ทดสอบได้มีค่าเท่ากับ 81.89 ค่า a^* มีค่าสูงสุดเท่ากับ -12.11 และค่า b^* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 27.03 ที่ระยะเวลาเก็บ 15 วัน

จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า L^* , a^* และ b^* ของผิวเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้มีแนวโน้มเดียวกับค่าที่ผิวเปลือก คือ ค่า L^* ลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า b^* ที่ทดสอบได้จากผิวเนื้อมะม่วงในชุดตัวอย่างควบคุมจากทั้งสองสภาวะการเก็บรักษานั้นมีค่าสูงกว่า และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* สูงกว่าค่าที่ได้จากผิวเปลือกเนื่องจากเมื่อผลมะม่วงแก่มากขึ้น ส่วนผนังของผลชั้นกลาง (mesocarp) ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของเนื้อมะม่วงและเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับเมล็ดจะเกิดการสะสมของแก๊สเอทิลีนภายใน ส่งผลให้เนื้อมะม่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ได้มากกว่าบริเวณผิวเปลือก และจากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบว่า การเก็บรักษามะม่วงร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊ส

เอทีเอ็นที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสูงสามารถชะลอการสุกของมะม่วง ได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสีของผิวเปลือกมะม่วงที่ได้แสดงก่อนหน้านี้

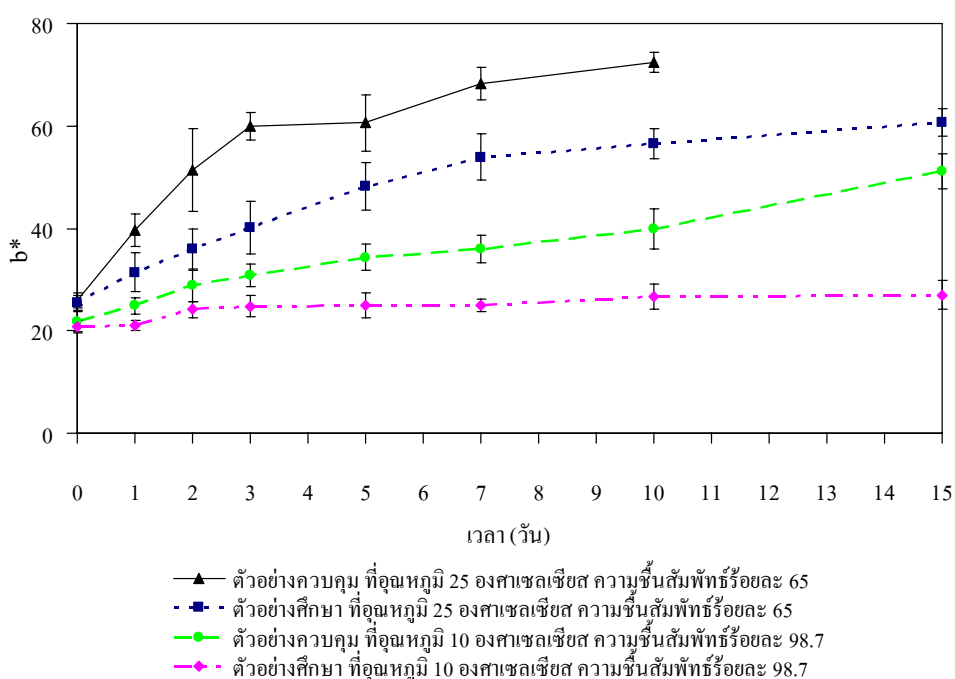


ภาพที่ 14 ค่าความสว่าง (L^*) ของผิวเนื้อมะม่วง แยกตามสถานะการเก็บรักษา



ภาพที่ 15 ค่าสีแดง (a^*) ของผิวเนื้อมะม่วง แยกตามสถานะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 น่าเสีย จึงไม่สามารถทดสอบในวันที่ 15 ได้



ภาพที่ 16 ค่าสีเหลือง (b^*) ของผิวหนัง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นำเสีย จึงไม่สามารถทดสอบในวันที่ 15 ได้

6.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำที่คั้นได้จากเนื้อของผลมะม่วงในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาที่เก็บไว้ภายใต้ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่าเท่ากับ 2.94 และ 2.90 ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ความเป็นกรด-เบสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่ากรด-เบสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าสูงสุดเท่ากับ 5.25 ที่ระยะเวลา 10 วัน และ 5.59 ที่ระยะเวลา 15 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า ค่ากรด-เบสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ซึ่งค่ากรด-เบสที่ทดสอบได้นั้น สอดคล้องกับค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 10 ค่ากรด-เบสของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

ระยะเวลา (วัน)	ตัวอย่างทดสอบ			
	25 °C, 65 %RH		10 °C, 98.7 %RH	
	ควบคุม	ศึกษา	ควบคุม	ศึกษา
วันที่ 0	2.94 ^{aG} ±0.04	2.90 ^{aG} ±0.01	2.95 ^{aE} ±0.04	2.88 ^{aE} ±0.06
วันที่ 1	2.99 ^{bF} ±0.03	2.94 ^{cF} ±0.01	3.02 ^{aD} ±0.03	2.92 ^{dD} ±0.03
วันที่ 2	3.29 ^{aE} ±0.01	2.96 ^{cEF} ±0.01	3.06 ^{bC} ±0.04	2.92 ^{dD} ±0.02
วันที่ 3	3.40 ^{aD} ±0.02	2.98 ^{cE} ±0.02	3.07 ^{bC} ±0.02	2.95 ^{dD} ±0.03
วันที่ 5	4.10 ^{aC} ±0.01	3.05 ^{cD} ±0.01	3.10 ^{bBC} ±0.06	3.00 ^{dC} ±0.05
วันที่ 7	4.93 ^{aB} ±0.03	4.74 ^{bC} ±0.07	3.13 ^{cB} ±0.07	3.02 ^{dC} ±0.02
วันที่ 10	5.25 ^{aA} ±0.03	4.95 ^{bB} ±0.18	3.17 ^{cB} ±0.02	3.09 ^{dB} ±0.01
วันที่ 15	*	5.59 ^{aA} ±0.09	3.41 ^{bA} ±0.10	3.12 ^{cA} ±0.10

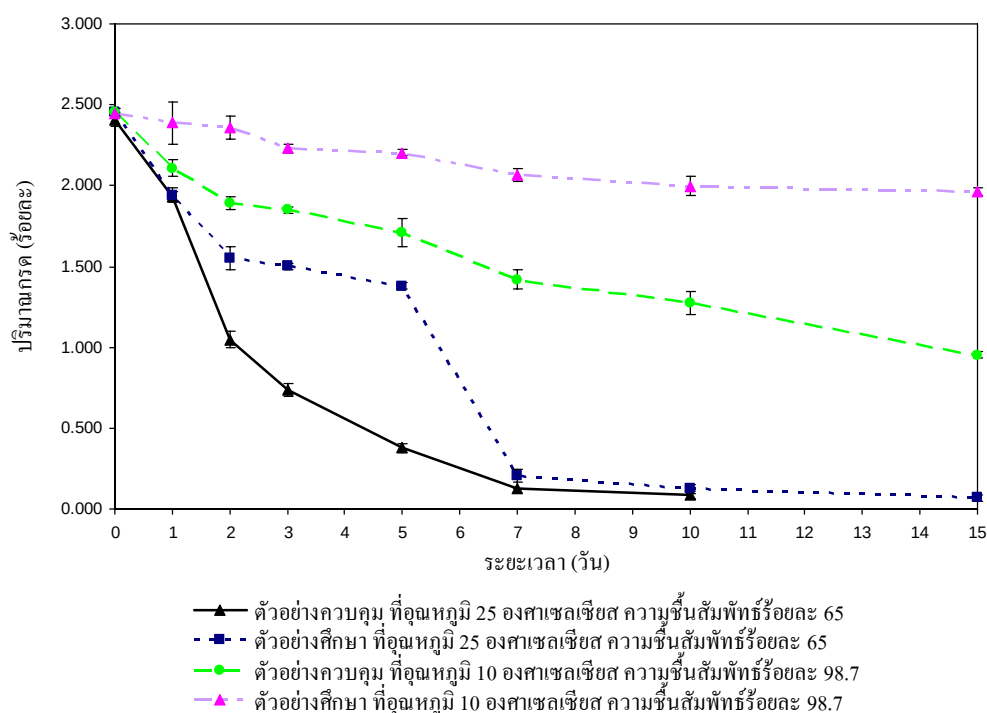
หมายเหตุ * ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เน่าเสีย จึงไม่สามารถทดสอบได้ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-G} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวดิ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

6.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดจากน้ำคั้นของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ค่าปริมาณกรดจากน้ำคั้นของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

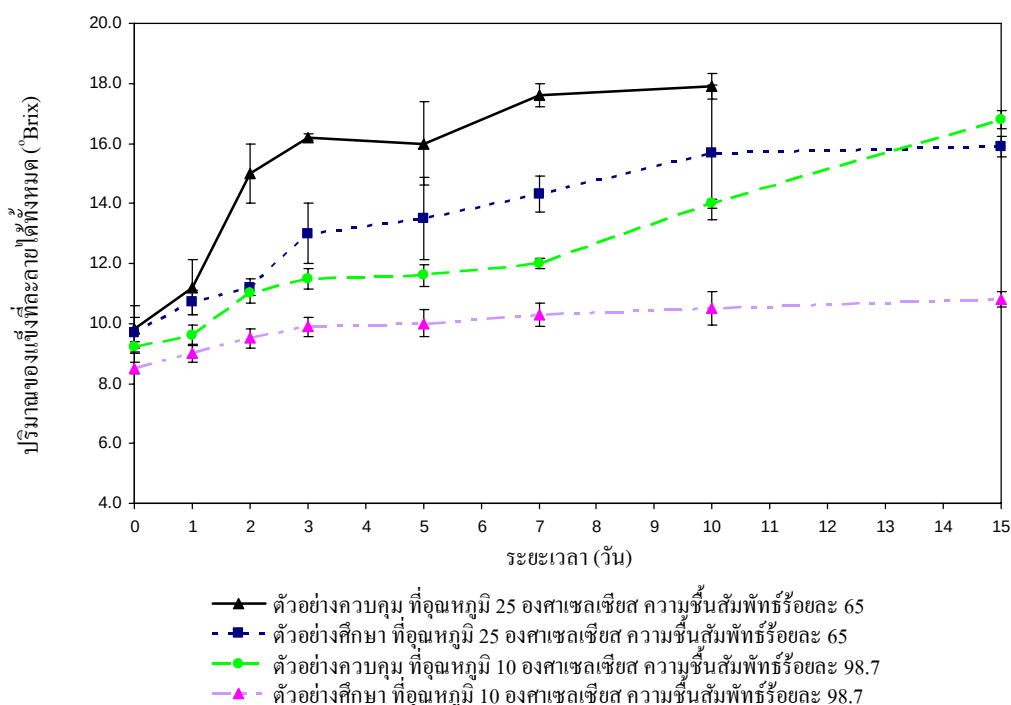
หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เน่าเสีย จึงไม่สามารถทดสอบได้ในวันที่ 15

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดจากน้ำคั้นเนื้อมะม่วงแยกตามชุดตัวอย่างทดสอบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของน้ำคั้นเนื้อมะม่วงจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษา ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่าเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 2.404 และ 2.450 ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณกรด-เบส นั่นคือค่ากรด-เบสจะสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณกรดในน้ำคั้นจากเนื้อมะม่วงลดลง การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในตัวอย่างควบคุมมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.087 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน และร้อยละ 0.069 สำหรับตัวอย่างศึกษาที่ระยะเวลา 15 วัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วงนั้นมีสาเหตุมาจาก เมื่อผลมะม่วงมีความแก่มากขึ้น กรดซิตริกที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเนื้อมะม่วงจะเสื่อมสภาพเนื่องจากเอนไซม์ที่ตัวมะม่วงผลิตขึ้นเอง (Medlicott and Thompson, 1985) ส่งผลให้ปริมาณกรดลดลงและค่ากรด-เบสมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเนื้อมะม่วงที่เก็บภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า ปริมาณกรดจะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 25 องศา

เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอปฏิกิริยาทางเคมีภายในผลไม้ ทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของกรดซิตริกช้าลง ดังนั้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตจึงมีค่าสูง (นภค, 2537)

6.5 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS)

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) จากน้ำหนักของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

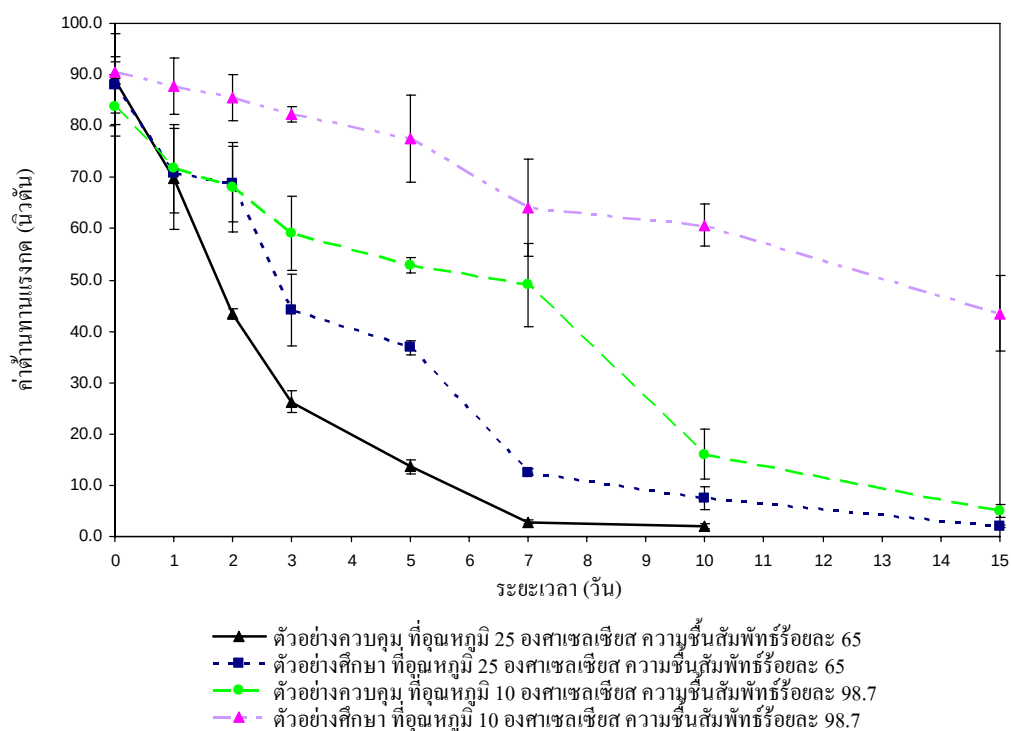
หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 น่าเสีย จึงไม่สามารถทดสอบได้ในวันที่ 15

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) จากน้ำคั้นเนื้อมะม่วง จากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่าเท่ากับ 9.8 °Brix และ 9.7 °Brix ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยปกติผลมะม่วงเมื่อเริ่มสุกหรือแก่มากขึ้น สารประกอบประเภทแป้งที่มีอยู่มากในเนื้อมะม่วงจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นน้ำตาลหลายชนิด ซึ่งได้แก่ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส ส่งผลให้ค่า TSS มีปริมาณสูงขึ้น (Brown *et al.*, 1985) ค่า TSS ในตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 17.9 °Brix ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน และ 15.9 °Brix สำหรับตัวอย่างศึกษาที่ระยะเวลา 15 วัน ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตัวอย่างมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า ค่า TSS เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 โดยเฉพาะตัวอย่างศึกษาจะพบว่าค่า TSS จะสูงสุดเท่ากับ 10.8 °Brix ที่ระยะการเก็บรักษา 15 วัน เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของสารประกอบจำพวกแป้งภายในผลมะม่วงที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำตาลได้ดี ดังนั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจึงมีค่าต่ำ (นภคณ, 2537)

6.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกด

ภาพที่ 19 แสดงค่าความต้านทานแรงกดของชิ้นมะม่วง โดยตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 มีค่าความต้านทานแรงกดของชิ้นมะม่วงเท่ากับ 89.15 นิวตัน และ 88.02 นิวตัน ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยปกติผลมะม่วงเมื่อเริ่มสุกหรือแก่มากขึ้น ลักษณะสภาพของเนื้อจะอ่อนนุ่มลง เนื่องจากผลมะม่วงเกิดการสะสมของน้ำและเอทานอล รวมถึงเกิดการย่อยสลายของสารประเภทเพกตินด้วยเอนไซม์พอลิกลาเลคทูโรเนส กระบวนการทางเคมีประเภทนี้จะเกิดที่บริเวณเนื้อโดยรอบเมล็ดของมะม่วง และแพร่ขยายเป็นบริเวณกว้างจนถึงเนื้อที่ผิวเปลือก (Lazan *et al.*, 1985) ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้ส่งผลทำให้การต้านทานแรงกดมีค่าลดลง โดยค่าการต้านทานแรงกดต่ำที่สุดในตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับ 1.94 นิวตันที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน และ 1.98 นิวตันสำหรับตัวอย่างศึกษาที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า ค่าการต้านทานแรงกดเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 โดยเฉพาะตัวอย่างศึกษามีค่าความต้านทานแรงกดของชิ้นมะม่วงต่ำที่สุดเท่ากับ 43.50 นิวตันที่ระยะการเก็บรักษา 15 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเก็บรักษาที่

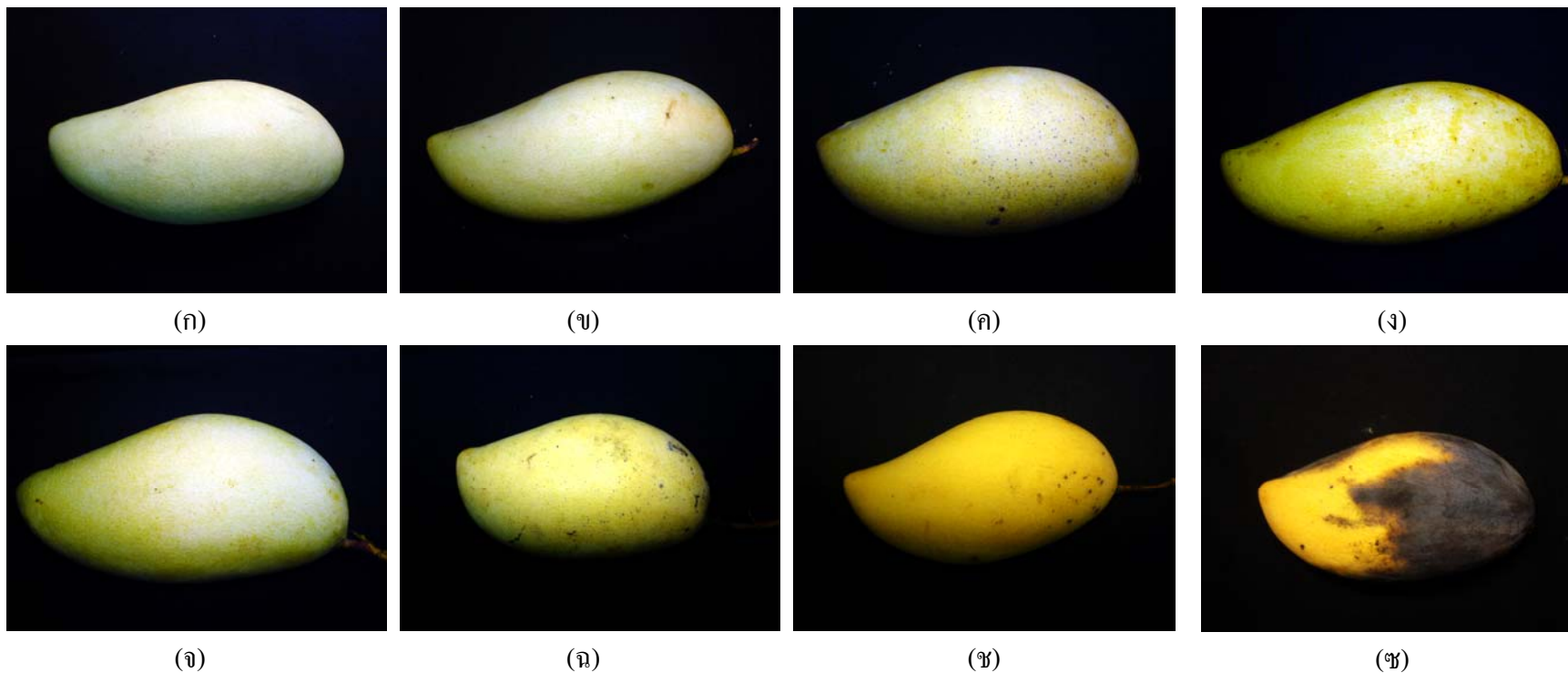
อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสะสมของน้ำและเอทานอลของเนื้อเยื่อในผลมะม่วงได้ อีกทั้งช่วยชะลอปฏิกิริยาการย่อยสลายสารเพคตินอันเนื่องจากเอนไซม์ (นภคล, 2537) ดังนั้นค่าการต้านทานแรงกดจึงมีค่าสูงกว่าในตัวอย่างมะม่วงชุดอื่นๆ



ภาพที่ 19 ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกดของเนื้อมะม่วง แยกตามสภาวะการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นำเสีย จึงไม่สามารถทดสอบได้ในวันที่ 15

ลักษณะปรากฏของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นเก็บรักษาจนถึงวันที่ 15 ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 แสดงดังภาพที่ 20-23



ภาพที่ 20 ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างควบคุมตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 21 ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างศึกษาดังแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 22 ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างควบคุมตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 23 ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นตัวอย่างศึกษาดังแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ภายใต้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาหาวัสดุพาหะที่เหมาะสมกับค้างทับทิมเพื่อเสริมประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนบนแผ่นกระดาษจากเยื่อสกัดทางใบปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุพาหะที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายค้างทับทิมสูงที่สุดคือ ทดกัม โดยมีความเข้มข้นของสารละลายค้างทับทิมเท่ากับร้อยละ 0.2036 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ณ วันเริ่มต้นและร้อยละ 0.0562 ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากทอดกัมเป็นวัสดุพาหะที่มีพื้นที่ผิวสูงคือเท่ากับ 76.8 ตารางเมตรต่อกรัม จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายค้างทับทิม

2. จากการศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนพบว่า อุณหภูมิและความชื้นมีผลต่อการกำจัดแก๊สเอทิลีน โดยที่สารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เก็บภายใต้ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้สูงกว่าที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 โดยปริมาณแก๊สเอทิลีนที่กำจัดได้สูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 59.5161 ที่ระยะเวลาทดสอบ 1,320 นาที

3. จากการศึกษาค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน พบว่า ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเท่ากับ 1,443.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ฟิล์มไคโทแซนมีค่าเท่ากับ 784.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน และฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์มีค่าเท่ากับ 1,852.92 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

4. จากการศึกษาเพื่อหาสารชีวฐานที่เหมาะสมสำหรับเคลือบแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีน เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของสารกำจัดเอทิลีนจากกระบวนการออกซิเดชัน อีกทั้งศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกันได้แก่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่า แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบทับด้วยไข่ผึ้งและไคโทแซนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้เท่ากับร้อยละ 20.13 ที่เวลา 720 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกำจัดเอทิลีนที่เคลือบทับด้วยไข่ผึ้งเพียงอย่างเดียว แผ่นกำจัดเอทิลีนที่เคลือบทับด้วยไข่ผึ้งและไฮโดรโฟบิกสตาร์ช และแผ่นกำจัดเอทิลีนที่เคลือบทับด้วยไข่ผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ พบว่าปริมาณแก๊สเอทิลีนที่

ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 105.90, 18.10 และ 17.21 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สเอทิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 พบว่ามีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ที่ระยะเวลา 720 นาที ($p \leq 0.05$)

5. จากการประเมินความสามารถในการชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ของแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มชีวฐาน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ในระยะเวลา 15 วัน แยกตามสถานะการเก็บรักษา พบว่า ที่สถานะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7 มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในกล่องกระดาษร่วมกับแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เคลือบด้วยไขผึ้งและไคโทแซนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก สีเนื้อ ความต้านทานแรงกด การความเป็นกรด-เบส ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ช้าที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซนสามารถยืดอายุการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีที่สุดเมื่อเก็บรักษาไว้ที่สถานะห้องเย็น

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยนี้ใช้แผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่พัฒนาขึ้นในรูปของแผ่นกระดาษเท่านั้น ดังนั้น ควรมีการพัฒนาการใช้งานกับบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีนให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. 2541. การนำไคโตแซนไปใช้ประโยชน์ทางด้านบรรจุภัณฑ์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยพร สามพุ่มพวง และ รังสิณี โสธรวิทย์. 2550. กระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวเพื่อดูดซับแก๊ส
เอทิลีน. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 38 (5): 283-286.

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย. 2550. ผลการเคลือบสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษ
กราฟที่ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธิปไตย ไตรโคก. 2550. การศึกษาผลของสารดูดซับเอทิลีน(ต่างทับทิม)และความชื้นต่อการต่ง
ขนุนแบบผ่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.

นภดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอโมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. สำนักพิมพ์
เจียว. กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทโอเอสพรีนติ้งเฮาส์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2547. เอทิลีน (Ethylene). ชุดการเรียนรู้ที่เป็นการสรุปเนื้อหาวิชาในแบบสื่อ
อิเล็กทรอนิกส์โดยผู้เรียน. แหล่งที่มา:
<http://mylesson.swu.ac.th/bi456/Plant%20hormone/lesson5.html#top>, 15 มิถุนายน 2551.

_____. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี. แหล่งที่มา:
[http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/nongkhai/kudbongphittayakarn/
p04.htm](http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/nongkhai/kudbongphittayakarn/p04.htm), 26 เมษายน 2552.

วิคนตร พระพุทธ. 2535. การยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตแซน.
ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สงขลานครินทร์.

วุฒิรัตน์ พัฒนบุญย์, พรชัย ราชชนะพันธุ์ และ พิชญา บุญประสม. 2549. การศึกษาเบื้องต้นของการ
ผลิตสารดูดซับเอทิลีน. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 37 (5): 54-57.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2548. การผลิตปูนไลม์ (Lime)
และแคลเซียมคาร์บอเนต. แหล่งที่มา:
http://siweb.dss.go.th/Information/search_option2.asp?sub_RF_ID=14, 15 มิถุนายน
2551.

สุมาลี ต้นศิริยากุล. 2536. บทบาทของเอทิลีนต่อผลผลิตพืชสวน. วารสารอาหาร 23 (3): 161-164.

Abanades, J. C. 2002. The Maximum Capture Efficiency of CO₂ Using a
Carbonation/Calcination Cycle of CaO/CaCO₃. **Chemical Engineering Journal** 90:
303–306.

Anonymous. 2000. **KAOLIN**. Available Source:
<http://www.chemicalland21.com/industrialchem/inorganic/KAOLIN.htm>, June 15, 2008.

_____. 2008. **What is Talc**. Available Source:
<http://www.specialtyminerals.com/our-minerals/what-is-talc/>, June 19, 2008.

ASTM. 2002. Standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and
sheeting using a coulometric sensor. ASTM D 3985-02. **Annual Book of ASTM
Standards**. 15.09.

Brasquet, C. and P. Le Cloirec. 1997. Adsorption onto activated carbon fibers: application to
water and air treatments. **Carbon** 35 (9): 1307-1313.

- Brown, B. T., B. C. Peacock and L. S. Wong. 1985. Physiological, chemical and quality changes in mangoes during postharvest ripening, pp. 278-289. **Proceeding of the First Australian Mango Research Workshop**. Australia.
- Brown , R. H. 1981. **Beeswax**. 2nd ed. Bee Books New and Old, Burrowbridge, Somerset UK.
- Bublitz, W. J. 1980. **Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology Vol. 1**. 3rd ed. A Wiley Interscience Publication, New York.
- Buchanan, B. B., W. Gruissem and R. L. Jones. 2000. **Biochemistry and molecular biology of plants**. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland. 895-901, 946.
- Butler, B. L., P. J. Vergano, R. F. Testin, J. M. Bunn and J. L. Wiles. 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. **Journal of Food Sciences** 61: 953-955, 961.
- Cheverry, J. L., M. O. Sy, J. Pouliqueen and P. Marcellin. 2008. Regulation by CO₂ of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid conversion to ethylene in climacteric fruits. **Physiologia Plantarum** 72 (3): 535-540.
- Debeaufort, F. and A. Voilley. 1997. Methylcellulose-based edible films and coatings: mechanical and thermal properties as a function of plasticizer content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 45: 685-689.
- Environmental Health & Safety. 2009. **Potassium permanganate**. Available Source: <http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/p6005.htm>, April 8, 2009.
- Eroglu, M. 2007. Effect of talc and heat treatment on the properties of polypropylene/EVA composite. **International Journal of Science and Technology** 2 (1): 63-73.

- Forssell, P., R. Lahtinen, M. Lahelin and P. Myllarinen. 2002. oxygen permeability of amylose and amylopectin films. **Carbohydrate polymers** (47): 125-129.
- Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films, pp. 371-394. *In* M. Mathlouthi, ed. **Food Packaging and Preservation-Theory and Practice**. Elsevier Applied Science Publishers Co., London, England.
- Guerrero-Beltrana, J. A., B. G. Swansonb and G. V. Barbosa-Canovasa. 2004. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. **LWT- Food Science and Technology** 38: 625-630.
- Ham-Pichavanta, F., G. Sebeb, P. Pardona and V. Coma. 2005. Fat resistance properties of chitosan-based paper packaging for food applications. **Carbohydrate Polymers** 61: 259-265.
- Hubbe, M. 2008. **TALC**. Available Source: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/TALC.htm>, February 25, 2009.
- Johnston, J. W., E. W. Hewett, M. L. A. T. M. Hertog and F. R. Harker. 2002. Temperature and ethylene affect induction of rapid softening in 'Granny Smith' and 'Pacific Rose' apple cultivars. **Postharvest Biology and Technology** 25 (3): 257-264.
- Jonhed A., C. Andersson and L. Jarnstrom. 2007. Effects of film forming and hydrophobic properties of starches on surface sized packaging paper. **Packaging Technology and Science**. 783.
- Khoo, K. C. and T. W. Lee. 1991. Pulp and paper from the oil palm. **Appita Journal** 44 (6): 385-391.
- Ki-Yeong, K., K. Jae-Heon and Y. Jae-Eui. 1998. Adsorption of ethylene on activated carbon at controlled atmosphere storage. **Applied Chemistry** 2 (1): 258-261.

- Kjellgren, H., M. Gallstedt, G. Engstrom and L. Jarnstrom. 2006. Barrier and surface properties of chitosan-coated greaseproof paper. **Carbohydrate Polymers** (65): 453-460.
- Knee, M., N. E. Looney, S. G. S. Hatfield and S. M. Smith. 1983. Initiation of Rapid Ethylene Synthesis by Apple and Pear Fruits in Relation to Storage Temperature. **Journal of Experimental Botany** 34 (9): 1207-1212.
- Krochta, J. M. and C. De, Mulder-Johnston. 1997. Wdible and biodegradable polymer film: challenges and opportunities. **Food Technology** 51 (2): 61-74.
- Lazan, H., Z. M. A. Ali, K. W. Lee, J. Voon and G. R. Chaplin. 1985. The potential role of polygalacturonase in pectin degradation and softening of mango fruit. **ASEAN Food Journal** 2: 93-95.
- Linares, C. F., L. Afonso and M. Rosa-russin. 2004. Modified venezuelan kaolin as possible antacid drug. **Journal of Applied Science** 4 (3): 472-476.
- Lizada, M. C. 1991. Postharvest physiology of the mango - A REVIEW. **III International Mango Symposium**: 437-453.
- Mannheim., C. H. and T. Soffer. 1996. Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44 (3): 919-923.
- Medlicott, A. P. and A. K. Thompson. 1985. Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 36: 561-566.
- Medlicott, A. P., M. Bhogol and S. B. Reynolds. 1986. Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). **Annals of Applied Biology** 109: 651-656.

- Petrov, A. I., D. V. Volodkin, G. B. Sukhorukov. 2008. Protein-calcium carbonate coprecipitation: a tool for protein encapsulation. **Biotechnology Progress** 21 (3): 918-925.
- Potes, N. and O. Naivikul. 2007. Antioxidant activity of encapsulated cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) using maltodextrins and a modified-starch as carrier substances. **The 4th International Conference on Starch Technology**: 287-292.
- Sen, T. K., S. P. Mahajan and K. C. Khilar. 2002. Adsorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} on iron oxide and kaolin and its importance on Ni^{2+} transport in porous media. **Colloids and Surfaces** 211: 91-102.
- Simpson, K. L., T. Lee, D. B. Rodriguez and C. O. Chichester. 1976. **In: Chemistry and biochemistry of plant pigments, T. W. Goodwin, ed. Vol. 1.** Academic Press, New York, 779-843.
- Sothornvit, R. 2009. Effect of hydroxypropyl methylcellulose and lipid on mechanical properties and water vapor permeability of coated paper. **Food Research International** 42: 307-311.
- Sridach, W., R. Wungmuang and S. Boonlerd. 2007. Moulded Pulp Packaging from Bagasse. **The 9th Agro-Industrial Conference.** Bangkok, Thailand.
- Stephen, A. M. 1995. **Food Polysaccharides and their Application.** Marcel, Inc., New York.
- Sukhorukov, G. B., D. V. Volodkin, A. M. Gunther, A. I. Petrov, D. B. Shenoy and H. Mohwald. 2004. Porous calcium carbonate microparticles as templates for encapsulation of bioactive compounds. **Journal of Materials Chemistry** 14: 2073-2081.
- Technical Insights, Inc. 1989. **Chitin and Chitosan: Specially Biopolymers for Food, Medicine and Industry.** Eaglewood/Fort Lee, New Jersey.

- Viswanathan, A. 1999. Effect of degree of substitution of octenyl succinate starch on the emulsification activity on different oil phases. **Journal of Environmental Polymer Degradation** 7 (4): 191-196.
- Yang H., C. Du, S. Jin and A. Tang. 2006. Preparation and characterization of SnO₂ nanoparticles incorporated into talc porous materials (TPM). **Materials Letters** 61: 3736-3739.
- Yantarasri, T., J. Uthaibutra, J. Sornsrivichai, W. Kumpuan, V. Sardsud and N. Kana-Thum. 1994. Modified atmosphere packing by perforated polymeric film and its effect on physical properties of mango fruit. **ACIAR Proceedings** 50: 438-440.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณสารเคมีสำหรับการต้มเชื้อและการผลิตกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อ

การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต โดยปริมาณร้อยละ แอคทีฟแอลคาไล ได้แก่ 15, 16 และ 17 ค่าซัลฟิตีร้อยละ 25 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารเคมีตามสภาวะดังกล่าว ได้แก่

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ปริมาณแอคทีฟแอลคาไลร้อยละ 15 และค่าซัลฟิตีร้อยละ 25

$$\text{แอฟเฟคทีฟแอลคาไล} = (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{N}_2\text{S}) \quad (5)$$

$$\text{ซัลฟิตี} = [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100 \quad (6)$$

แอคทีฟแอลคาไลร้อยละ 15 มีค่าเท่ากับแอฟเฟคทีฟแอลคาไล 150 กรัมต่อกิโลกรัมไม้ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ซัลฟิตี} &= [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100 \\ 25 &= [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 100\text{Na}_2\text{S} &= 25\text{NaOH} + 25\text{Na}_2\text{S} \\ \text{NaOH} &= 3\text{Na}_2\text{S} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{แอฟเฟคทีฟแอลคาไล} &= (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{N}_2\text{S}) \\ 150 &= (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{N}_2\text{S}) \\ 150 &= (3\text{Na}_2\text{S} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}) \\ 300 &= 7\text{Na}_2\text{S} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Na}_2\text{S} = 300/7 = 42.86 \text{ กรัมต่อกิโลกรัมไม้}$$

$$\text{NaOH} = 3 \times 42.86 = 128.58 \text{ กรัมต่อกิโลกรัมไม้}$$

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้

ร้อยละแอคทีฟแอลคาไล	ปริมาณสารเคมี (กรัมต่อกิโลกรัมไม้)	
	โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
16	45.71	137.13

การผลิตกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1. เตรียมน้ำเชื้อสำหรับทำแผ่นกระดาษโดยเชื้อ 1.5 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร เพื่อขึ้นรูปแผ่นกระดาษจากเชื้อทางใบปาล์มน้ำมัน ขนาด 60 กรัมต่อตารางเมตร
 2. ทำแผ่นกระดาษด้วยเครื่องทำแผ่นกระดาษทดสอบมาตรฐาน ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ น้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร มีขั้นตอนดังนี้
 - 2.1 ล้างเครื่องมือทำแผ่นทดสอบมาตรฐานให้สะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งตกค้างบนตะแกรงขึ้นแผ่น
 - 2.2 ตักน้ำเชื้อปริมาณ 800 มิลลิลิตรต่อการขึ้นรูปแผ่นกระดาษหนึ่งแผ่นเทลงในท่อโลหะทรงกระบอกที่อยู่บนตะแกรง
 - 2.3 เปิดวาล์วน้ำออกเชื้อจะตกค้างอยู่บนตะแกรง
 - 2.4 ใช้น้ำออกจากเชื้อที่อยู่บนตะแกรงด้วยกระดาษซับน้ำ จากนั้นวางแผ่นเหล็กเรียบและให้ลูกกลิ้งเหล็กกดทับเพื่อกดรีดน้ำและทำให้กระดาษเรียบ
 - 2.5 นำแผ่นกระดาษมาตากให้แห้ง ในสภาวะอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นกระดาษออกเพื่อทำการทดสอบต่อไป

ภาคผนวก ข

วิธีการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของเยื่อและกระดาษ

ค่าแคลปา

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T 236 cm-85

2. คำจำกัดความ

ค่าแคลปา คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น 0.1 N ที่ใช้ไปต่อเยื่อ 1 กรัม น้ำหนักแห้ง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

3. อุปกรณ์และสารเคมี

3.1 เครื่องตีกระจายเยื่อ

3.2 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ

3.3 ปีเปต

3.4 บิวเรต

3.5 กระบอกตวง

3.6 นาฬิกาจับเวลา

3.7 เครื่องชั่ง

3.8 สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น $0.1000 \pm 0.0005 \text{ N}$

3.9 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น $0.2 \pm 0.0005 \text{ N}$

3.10 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดค์ ความเข้มข้น 0.1 N

3.11 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 4.0 N

3.12 น้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 0.2

3.13 น้ำกลั่น

4. วิธีการเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบค่าแคลปา ตามมาตรฐาน TAPPI USEFUL METHOD 246 สูตรที่ใช้คำนวณน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่าออร์มาลิตี (สุกชัย, 2539) ดังสมการที่ 10

$$\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)} = \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \quad (10)$$

โดย น้ำหนักสมมูล คือ มวลโมเลกุลของสารหารด้วยจำนวนครั้งการแตกตัวของอิเล็กตรอน

4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มัลลิตี เตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เมื่อ KMnO_4 มีมวลโมเลกุล 158.04 แยกตัว 5 ครั้ง ดังนั้น สามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังสมการที่ 11

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 0.1 \times 1.0 \times (158.04/5) \\ &= 3.16 \text{ กรัม} \end{aligned} \quad (11)$$

ดังนั้น ชั่งสาร KMnO_4 จำนวน 3.16 กรัม และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเทใส่ขวดสีชาเนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวได้

4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4.0 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มัลลิตี เตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 เข้มข้น 4.0 N ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เมื่อ H_2SO_4 มีมวลโมเลกุล 98 แยกตัว 2 ครั้ง ดังนั้น สามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังสมการที่ 12

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 4.0 \times 1.0 \times (98/2) \\ &= 196 \text{ กรัม} \end{aligned} \quad (12)$$

การเตรียม H_2SO_4 จากสารละลายเข้มข้นร้อยละ 97 สามารถคำนวณปริมาณสารที่ต้องใช้โดยจากน้ำ 100 กรัมมี H_2SO_4 97 กรัม ถ้าต้องการ H_2SO_4 196 กรัม ต้องใช้ H_2SO_4

$(196 \times 100)/97 = 202.06$ กรัม สาร H_2SO_4 มีความหนาแน่น 1.84 เพราะฉะนั้น ต้องใช้ในปริมาณเท่ากับ $202.06/1.84$ ซึ่งค่าที่ได้จะเท่ากับ 109.82 มิลลิลิตร

ดังนั้น การเตรียม H_2SO_4 จากสารละลาย เข้มข้นร้อยละ 97 สามารถทำได้โดย ผสมสารละลาย H_2SO_4 จำนวน 109.82 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน KI ความเข้มข้น 1.0 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มาลิตี เตรียมสารละลายมาตรฐาน KI ความเข้มข้น 1.0 N ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เมื่อ KI มีมวลโมเลกุล 166 แยกตัว 1 ครั้ง ดังนั้น สามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังสมการที่ 13

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่านอร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 1.0 \times 1.0 \times 166 \\ &= 166 \text{ กรัม}\end{aligned} \quad (13)$$

ดังนั้น ต้องชั่งสาร KI จำนวน 166 กรัม และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

4.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มาลิตี ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เมื่อ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มีมวลโมเลกุล 248.18 แยกตัว 2 ครั้ง ดังนั้น สามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังสมการที่ 14

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่านอร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 0.2 \times 0.5 \times (248.18/2) \\ &= 12.4 \text{ กรัม}\end{aligned} \quad (14)$$

ดังนั้น ต้องชั่งสาร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จำนวน 12.4 กรัม และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร

5. วิธีการทดสอบ

5.1 ชั่งน้ำหนักเชื้อตัวอย่างอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.001 กรัม

5.2 ปั่นแยกเชื้อตัวอย่างในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นเทเชื้อที่ปั่นกระจายแล้วลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

5.3 ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 50 ± 0.1 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟิวริก 50 ± 0.1 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์เชื้อตัวอย่างพร้อมๆ กัน และพร้อมกับการปั่นกวนตลอดเวลา จากนั้นจับเวลา 10 นาที โดยก่อนการทดสอบต้องปรับสภาวะของสารละลายให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

5.4 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เติมสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์เพื่อหยุดปฏิกิริยา

5.5 ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อเข้าใกล้จุดยุติ (สารละลายมีสีเหลืองอ่อน) เติมน้ำเบี่ยงเล็กน้อยเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ จะได้สารละลายสีน้ำเงิน จากนั้นไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาณของสารละลายโปแตสเซียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

5.6 สำหรับ Blank ใช้ น้ำกลั่นทดสอบด้วยวิธีเช่นเดียวกัน โดยไม่ต้องเติมเชื้อตัวอย่างลงไป

6. การคำนวณค่าแคปปา

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ย} \quad (K) &= (p \times f) / w \\ p &= (b-a)N / 0.1 \end{aligned} \quad (15)$$

ความยาวเส้นใย

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI 233 cm-82

2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องกระจายเชื้อ
- 2.2 เครื่องแยกขนาดเส้นใย Bauer-Mcnett
- 2.3 ตะแกรงขนาด 200 mesh
- 2.4 เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.5 เครื่อง Image Analyzer
- 2.6 สไลด์
- 2.7 นาฬิกาจับเวลา

3. วิธีการทดสอบ

- 3.1 ชั่งเชื้อตัวอย่าง 5 กรัมน้ำหนักแห้ง แช่เชื้อทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- 3.2 กระจายเชื้อด้วยเครื่องกระจายเชื้อที่ 3,000 รอบ แล้วเติมน้ำให้ได้ 3,333 มิลลิลิตร
- 3.3 แยกขนาดเชื้อด้วยเครื่อง Bauer-Mcnett ดังวิธีต่อไปนี้

- 3.3.1 ทำความสะอาดตะแกรงให้สะอาด
- 3.3.2 เติมน้ำให้ไหล overflow ผ่านเครื่องด้วยอัตราการไหล 11.335 ลิตรต่อนาที

เปิดมอเตอร์

- 3.3.3 เมื่อได้อัตราไหลของน้ำตามต้องการแล้ว เทเชื้อ 3,333 มิลลิลิตร ลงใน fraction

ส่วนแรก

- 3.3.4 จับเวลาเท่ากับ 20 นาที $\pm$ 10 นาที
- 3.3.5 หลังจากนั้นปิดน้ำและมอเตอร์ แล้วดึงจุกยางออก เก็บเชื้อที่ได้ในแต่ละ fraction

(fraction 1 = 50 mesh, fraction 2 = 100 mesh, fraction 3 = 140 mesh, fraction 4 = 200 mesh, fraction 5 = 250 mesh)

3.4 นำเยื่อที่ได้จากข้อ 3.3.5 ไปกระจายแล้วกรองด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh

3.5 นำเยื่อที่ล้างบนตะแกรง 200 mesh ไปทำแผ่นสไลด์โดยใช้แถบกาพลาสติกทาบบนตะแกรง เส้นใยจะติดแถบกาขึ้นมาแล้วนำแถบกาที่มีเยื่อติดอยู่ไปเข้ากรอบสไลด์

3.6 ทำตามขั้นตอนที่ 3.1 ถึง 3.5 อีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนักเยื่อที่เก็บได้ในแต่ละ fraction โดยนำเยื่อที่ได้ในแต่ละ fraction ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่แล้วชั่งหาน้ำหนักแห้งที่ได้ ดังนั้นจะได้น้ำหนักเยื่อที่ล้างบนตะแกรงในแต่ละ fraction

3.7 นำสไลด์ที่ได้จากข้อ 3.5 ไปเข้าเครื่อง Image Analyzer เพื่อวัดขนาดของเส้นใยและนับจำนวนเส้นใยในแต่ละระดับความยาวที่กำหนด เพื่อคำนวณหาปริมาณเส้นใยในแต่ละระดับของแต่ละ fraction

4. การคำนวณ

Weight average length by length ของแต่ละ fraction, l_l

$$l_l = \sum nl^2 / \sum nl \quad (16)$$

Weight average length by weight ของแต่ละ fraction, l_w

$$l_w = \sum w_i l_i / \sum w \quad (17)$$

โดย	W_i	=	น้ำหนักเยื่อที่ล้างบนตะแกรงในแต่ละ fraction
	W	=	น้ำหนักเยื่อเริ่มต้น
	l	=	ความยาวเส้นใย
	n	=	จำนวนเส้นใย
	l_l	=	Weight average length by length
	l_w	=	Weight average length by weight

น้ำหนักมาตรฐาน

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 536:1995

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาด 10×10 เซนติเมตร

3.2 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานไปชั่งน้ำหนักที่ละแผ่น โดยใช้เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3 บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน} = \text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)} / \text{พื้นที่กระดาษ (ตารางเมตร)} \quad (18)$$

ความหนาของกระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดความหนา

3. วิธีการทดสอบ

3.1 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา ครั้งละ 5 แผ่น
แผ่นละ 5 จุด โดยแต่ละจุดไม่ซ้อนทับกัน

3.2 บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{ความหนาต่อหนึ่งแผ่นทดสอบ} = \text{ค่าความหนาที่วัดได้} / 5 \quad (19)$$

ความหนาแน่นปรากฏ

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ} = \frac{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}{\text{ความหนา (mm)}} \quad (20)$$

ความต้านทานแรงดึง

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 1924-2:1994

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.2 เปิดเครื่องทดสอบแล้วปรับระยะที่หนีบกระดาด้านบนให้อยู่ที่ระยะ 100 มิลลิเมตร

3.3 ใส่แผ่นทดสอบในเครื่องทดสอบ ปรับสกรูให้แน่น

3.4 ปรับค่าแรงดึงและค่าการคลาดเคลื่อนของ crosshead ให้เท่ากับศูนย์

3.5 กดปุ่มเพื่อเริ่มทดสอบ

3.6 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วยกิโลกรัมแรง (kgf)

4. การคำนวณ

$$\text{ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง} = \frac{\text{ค่าแรงดึง (N/15 mm)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}} \quad (21)$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม (Nm/g)

ความต้านทานแรงฉีกขาด

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 1974:1990

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความยาวอย่างน้อย 53 มิลลิเมตร ความกว้าง 63 มิลลิเมตร

3.2 ทดสอบแผ่นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด โดยทำการ calibrate weight ของ pendulum ขนาด 1,600 กรัม

3.3 เริ่มการทดสอบแต่ละชิ้นทดสอบ โดยมีระยะฉีกนำเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร

3.4 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วย piv

4. การคำนวณ

$$\text{ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด} = \frac{\text{ความต้านทานแรงฉีกขาด (piv)} \times 68.8 \text{ gcm/piv} \times 9.81 \text{ mN}}{4.3 \text{ cm} \times 4 \times 2 \times \text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}} \quad (22)$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม (mNm²/g)

ความต้านทานแรงดันทะลุ

1. มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐาน ISO 2758:2001

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

3. วิธีการทดสอบ

3.1 นำแผ่นทดสอบมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

3.2 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วยกิโลพาสกาล (kPa)

4. การคำนวณ

$$\text{ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ} = \frac{\text{ความต้านทานแรงดันทะลุเฉลี่ย (kPa)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}} \quad (23)$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกิโลพาสกาลตารางเมตรต่อกรัม (kPa.m²/g)

วิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ

1. มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐาน มอก.321:2522

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 ไมโครปิเปต

2.2 นาฬิกาจับเวลา

2.3 กระจกนาฬิกา

2.4 น้ำกลั่น

3. วิธีการทดสอบ

3.1 หยดน้ำกลั่นขนาดหยด 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงบนแผ่นทดสอบ จำนวน 1 หยด

3.2 จับเวลาทันทีเมื่อน้ำกลั่นกระทบผิวแผ่นทดสอบ จนกระทั่งแผ่นทดสอบดูดซึมน้ำจนหมด ในกรณีที่ใช้เวลามากกว่า 2 นาที ให้ใช้กระจกนาฬิกาครอบหยดน้ำไว้

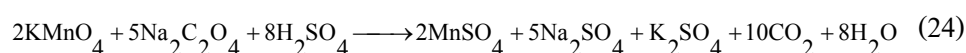
3.3 บันทึกผลในหน่วยวินาที

ภาคผนวก ค

การวัดปริมาณความเข้มข้นของค้างทับทิมและผลการทดสอบ

การวัดปริมาณความเข้มข้นของด่างทับทิม

1. ละลายสารกำจัดแก๊สเอทิลีนที่เตรียมได้ด้วยน้ำกลั่น
2. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง whatman NO. 42
3. ไทเทรตสารละลายที่ได้กับสารละลายโซเดียมออกซาเลต ดังสมการที่ 24



4. ในการไทเทรตใช้สารโซเดียมออกซาเลตเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งจะถูกลูกออกซิไดซ์โดยใช้สารละลายของด่างทับทิมเป็นไทแตรนต์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในสารละลายกรดซัลฟิวริก เพื่อให้ไอออนของสาร ออกซาเลตถูกลูกออกซิไดซ์เป็นการรับอิเล็กตรอนไดออกไซด์ และตัดสินจุดยุติจากสีชมพูจางๆ ของด่างทับทิมที่มากเกินไป

5. คำนวณหาความเข้มข้นของด่างทับทิมที่มีอยู่ในวัสดุพาหะแต่ละชนิด ดังสมการที่ 25 เพื่อคัดเลือกวัสดุพาหะที่เหมาะสมที่สุด

$$\frac{N_1 V_1}{a} = \frac{N_2 V_2}{b} \quad (25)$$

โดย	N_1	=	ความเข้มข้นของด่างทับทิม
	V_1	=	ปริมาตรของด่างทับทิม
	N_2	=	ความเข้มข้นของโซเดียมออกซาเลต
	V_2	=	ปริมาตรของโซเดียมออกซาเลต
	a	=	เลขสัมประสิทธิ์ของด่างทับทิมมีค่าเท่ากับ 2
	b	=	เลขสัมประสิทธิ์ของโซเดียมออกซาเลตมีค่าเท่ากับ 5

ตารางผนวกที่ ค1 ความเข้มข้นของสารละลายต่างทับทิมในวัสดุพาหะ (% w/v) ต่อวันที่เก็บรักษา

วัสดุพาหะ	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	7	10	15
ดินขาว	0.0908 ^{ca} ±0.005	0.0885 ^{ba} ±0.007	0.0790 ^{ba} ±0.015	0.0446 ^{bb} ±0.002	0.0438 ^{cb} ±0.008	0.0372 ^{cb} ±0.005	0.0327 ^{cb} ±0.002	0.0318 ^{cb} ±0.001
ทลั้ม	0.2036 ^{aa} ±0.009	0.1872 ^{aa} ±0.007	0.1243 ^{ab} ±0.003	0.1136 ^{abc} ±0.029	0.1014 ^{ac} ±0.008	0.1007 ^{ac} ±0.014	0.0738 ^{ad} ±0.002	0.0562 ^{ad} ±0.002
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.1109 ^{ba} ±0.007	0.0946 ^{bb} ±0.003	0.0718 ^{bc} ±0.011	0.0631 ^{bcd} ±0.007	0.0585 ^{bd} ±0.005	0.0569 ^{bde} ±0.003	0.0472 ^{bef} ±0.003	0.0414 ^{bf} ±0.002

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{A-F} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ง
การศึกษาพื้นที่ผิววัสดุพาหะ

พื้นที่ผิววัสดุพาหะ

ทำการศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุพาหะ ตามมาตรฐาน ASTM C 819–77 คำนวณพื้นที่ผิวตามวิธีคำนวณดังสมการที่ 26

$$\Sigma = 4.35 \frac{V_m}{W} \quad (26)$$

โดย	Σ	=	ค่าพื้นที่ผิว (m^2/g)
	V_m	=	ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (m^3)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่างวัสดุพาหะ (g)

ภาคผนวก จ

ตารางผลการศึกษาปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นต่อสารกำจัดศัตรูพืช

ตารางผนวกที่ จ1 ปริมาณร้อยละของแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดในแต่ละสภาวะการทดสอบ

เวลา (นาทึ่)	สภาวะการทดสอบ	
	25 °C, 65 %RH	10 °C, 98.7 %RH
0	0.0000	0.0000
15	14.9325 ^{bD} ±9.66	28.0245 ^{aC} ±5.39
30	17.4268 ^{bD} ±11.24	28.8005 ^{aC} ±4.71
60	20.5047 ^{bD} ±13.91	31.4421 ^{aC} ±5.40
120	20.8338 ^{bD} ±13.52	33.3713 ^{aC} ±5.54
240	22.1776 ^{bC} ±13.28	35.0847 ^{aC} ±4.75
360	24.5280 ^{bC} ±12.16	37.4985 ^{aC} ±6.27
480	26.5555 ^{bC} ±11.90	40.2895 ^{aB} ±5.99
600	27.0892 ^{bC} ±11.82	41.8903 ^{aB} ±6.43
720	28.0892 ^{bC} ±11.48	47.1273 ^{aB} ±5.49
1080	37.5056 ^{bB} ±3.59	56.8226 ^{aA} ±2.56
1320	45.3279 ^{bA} ±4.81	59.5161 ^{aA} ±5.32

หมายเหตุ ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-D} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวดิ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก จ
การเตรียมฟิล์มชีวฐาน

การเตรียมฟิล์มชีวฐาน

1. ฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช

เตรียมสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 (โดยน้ำหนักแห้งของ ออกซิไดซ์สตาร์ชต่อน้ำหนักน้ำกลั่น) ให้ความร้อนและกวนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายมีลักษณะใส เติมสารละลาย TWEEN 60 ในอัตราส่วน ร้อยละ 10 ของปริมาตรสารละลายไขผึ้ง (Bravin, 2004) จากนั้นลดอุณหภูมิของสารละลายสตาร์ช ให้เหลือ 65 ± 5 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มโดยกำหนด ความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตรด้วยเครื่องมือวัดความสูงของฟิล์ม (Thickness Gauge) จากนั้นปาด ฟิล์มและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดสอบค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนต่อไป

2. ฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์

เตรียมสารละลายโดยดัดแปลงวิธีของ Franklin *et al.* (2004) ซึ่งเตรียมสารละลายโดย ละลายเซลลูโลสอีเทอร์ (เมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีพروพิลเมทิลเซลลูโลส) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมเอทานอล 200 มิลลิลิตรและพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 ปริมาณ 6 มิลลิลิตร แล้วผสมด้วย เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ด้วยความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้ฟองอากาศแตกตัว หลังจากนั้นเติมสารละลาย TWEEN 60 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของปริมาตรสารละลายไขผึ้ง จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มโดยกำหนดความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตรด้วยเครื่องมือวัดความสูงของฟิล์ม (Thickness Gauge) จากนั้นปาดฟิล์มและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดสอบค่าการซึมผ่านแก๊ส ออกซิเจนต่อไป

3. फिल्मไคโทเซน

เตรียมสารละลายโดยดัดแปลงวิธีของ Casariego *et al.* (2007) ซึ่งเตรียมสารละลายโดยละลายไคโทเซนร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตรสารทำละลาย ในกรดแลคติก เข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตรต่อปริมาตร กวนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เติมสารละลายกลีเซอรอลปริมาณ 0.25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลาย TWEEN 60 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของปริมาตรสารละลายไขผึ้ง จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มโดยกำหนดความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตรด้วยเครื่องมือวัดความสูงของฟิล์ม (Thickness Gauge) จากนั้นปาดฟิล์มและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดสอบค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนต่อไป

ภาคผนวก ข

วิธีทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน

ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐาน

วัดค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มชีวฐานตามมาตรฐาน ASTM D 3985-02 ซึ่ง
ดัดแปลงวิธีคำนวณดังสมการที่ 27

$$TR_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{TR_A}\right) + \left(\frac{1}{TR_B}\right) + \left(\frac{1}{TR_A}\right)} \quad (27)$$

โดย TR_T = ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนทั้งหมด ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
 TR_A = ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์ม A ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
 TR_B = ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์ม B ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)

ทดสอบโดยวัดค่าฟิล์มที่ประกอบด้วยฟิล์ม 3 ชั้น ซึ่งที่ชั้นบนและล่างเป็นฟิล์มพลาสติก
พอลิโพรพิลีน (ฟิล์ม A) และชั้นตรงกลางเป็นฟิล์มชีวฐานที่ต้องการทดสอบ (ฟิล์ม B) ค่าการ
ซึมผ่านของฟิล์มพอลิโพรพิลีนแสดงดังตารางผนวกที่ ข1 และค่าการซึมผ่านของฟิล์ม 3 ชั้นที่
ประกอบด้วยฟิล์มชีวฐานแตกต่างกันแสดงผลดังตารางผนวกที่ ข2-ข4

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์มพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่างที่	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
1	2470
2	2477
3	2460

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้น ที่ประกอบด้วยฟิล์มไฮโดรโฟบิกสตาร์ช

ตัวอย่างที่	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
1	625
2	689
3	678

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้น ที่ประกอบด้วยฟิล์มไคโทแซน

ตัวอย่างที่	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
1	509
2	447
3	480

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$) ของฟิล์ม 3 ชั้น ที่ประกอบด้วยฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์

ตัวอย่างที่	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$)
1	731
2	743
3	728

ภาคผนวก ข

การวัดค่าการกำจัดเอทิลีนของแผ่นกระดาษกำจัดเอทิลีนเคลือบฟิล์มชีวฐานและผลการทดสอบ

หาปริมาณแก๊สเอทิลีนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

การประเมินความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของแผ่นกระดาษ ทดสอบโดยการบรรจุตัวอย่างลงในคอนโทวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยฝาจุกยาง เพื่อสร้างสถานะทดสอบแบบปิด ทำการฉีดแก๊สเอทิลีนบริสุทธิ์ลงในขวดให้ได้ค่าความเข้มข้น 1 ppm เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (syringe) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph (HP 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column:	Hayesep-S 100/120 (2 m × 0.75 mm)
Volume inject:	1.0 ml
Carrier gas:	He, Flow rate = 5 ml/min
Oven temperature:	40°C ; (2 min)
Detector temperature:	Thermal conduct detector (FID) 250 °C
H ₂ flow:	35 ml/min
Air flow:	350 ml/min

เก็บตัวอย่างเพื่อมาทดสอบในระยะเวลาที่ 0, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600 และ 720 นาที ตามลำดับ

1. การคำนวณความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีน 1 ppm

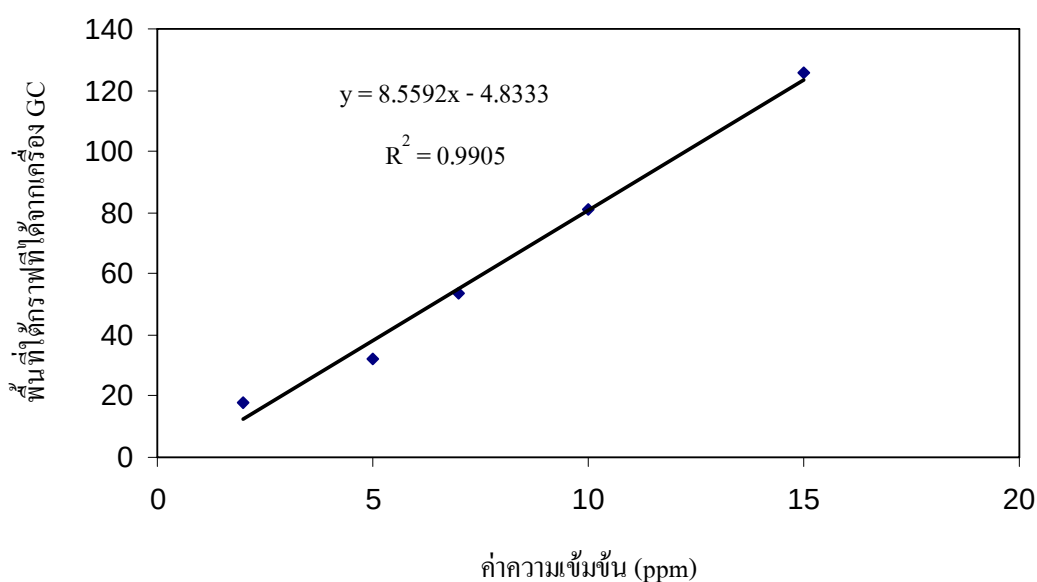
$$\frac{1 \times A}{10^6} = B \quad (28)$$

โดย	A	=	ปริมาตรของคอนโทวัดปริมาตร (มิลลิลิตร)
	B	=	ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ใช้จากแก๊สเอทิลีนบริสุทธิ์ (ไมโครลิตร)

2. การคำนวณหาค่าร้อยละอัตราการกำจัดแก๊สเอทิลีน

2.1 สร้างกราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีน

ข้อมูลค่าพื้นที่ใต้กราฟ (R) ที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ นำมาคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของแก๊สเอทิลีน โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางภาพผนวกที่ น1 และผลทดสอบพื้นที่ใต้กราฟสมการเส้นตรง คือ $y = 0.85592x - 4.8333$ และค่า $R^2 = 0.9905$ ซึ่งใช้เป็นสมการมาตรฐาน ดังแสดงในภาพผนวกที่ น1



ภาพผนวกที่ น1 กราฟมาตรฐานของแก๊สเอทิลีน

ตารางผนวกที่ น1 ค่าพื้นที่ใต้กราฟของแก๊สเอทิลีนที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ

ค่าความเข้มข้น (ppm)	ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ 1	ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ 2	ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ 3
2	17.89710	15.57831	19.71153
5	33.05301	29.73635	33.77649
7	57.64955	50.09617	52.22348
10	79.93817	79.04195	83.91236
15	122.37975	125.80244	128.12587

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาทีก)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	14.70 ^{aF} ±7.73	20.55 ^{aE} ±3.88	22.57 ^{aE} ±4.28	25.40 ^{aD} ±3.10	30.66 ^{aC} ±6.68	33.67 ^{bC} ±3.66	36.02 ^{dB} ±1.47	37.69 ^{dB} ±2.30	40.79 ^{dA} ±1.21
2	0.00 ^{aI}	7.00 ^{cH} ±4.12	11.52 ^{cG} ±1.49	14.00 ^{bG} ±0.79	20.00 ^{bF} ±0.42	26.33 ^{cE} ±10.57	33.06 ^{bD} ±0.90	41.32 ^{bC} ±1.21	45.86 ^{bB} ±2.82	49.57 ^{bA} ±1.56
3	0.00 ^{aH}	5.20 ^{dG} ±3.27	10.54 ^{cF} ±1.38	13.41 ^{bF} ±2.21	19.66 ^{bE} ±1.39	24.32 ^{dD} ±1.59	30.98 ^{cC} ±1.77	38.29 ^{cB} ±2.12	43.58 ^{cA} ±2.10	46.04 ^{cA} ±1.22
4	0.00 ^{aI}	9.73 ^{bH} ±1.72	14.86 ^{bG} ±1.65	20.88 ^{aF} ±0.94	24.60 ^{aF} ±1.60	28.11 ^{bE} ±4.01	38.19 ^{aD} ±2.12	46.27 ^{aC} ±3.22	50.60 ^{aB} ±3.61	55.45 ^{aA} ±3.20

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข3 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	16.15 ^{aF} ±4.53	19.87 ^{aE} ±0.74	21.10 ^{aE} ±1.58	25.05 ^{aD} ±3.59	28.55 ^{aD} ±1.28	29.35 ^{aD} ±2.22	31.94 ^{dC} ±2.68	35.0 ^{dB} ±1.40	38.48 ^{cA} ±2.00
2	0.00 ^{aH}	3.73 ^{bG} ±1.90	5.21 ^{cF} ±3.51	11.39 ^{cE} ±3.17	13.91 ^{cE} ±3.55	20.83 ^{dD} ±3.10	27.52 ^{dC} ±1.67	34.45 ^{cB} ±2.20	38.46 ^{cB} ±1.28	44.99 ^{bA} ±0.99
3	0.00 ^{aJ}	4.55 ^{bI} ±1.69	12.46 ^{bH} ±0.88	19.38 ^{bG} ±0.72	23.87 ^{bF} ±0.76	28.50 ^{bE} ±1.01	35.35 ^{bD} ±0.76	38.16 ^{aC} ±0.11	41.11 ^{bB} ±0.48	43.85 ^{bA} ±0.88
4	0.00 ^{aJ}	6.46 ^{bI} ±1.98	13.40 ^{bH} ±1.15	16.32 ^{bG} ±0.58	19.62 ^{bF} ±0.74	25.18 ^{bE} ±1.67	31.28 ^{dD} ±1.18	36.89 ^{bC} ±1.34	43.11 ^{aB} ±0.49	48.01 ^{aA} ±0.66

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-J} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข4 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาทีก)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	5.25 ^{Af} ±3.55	9.51 ^{cEF} ±2.93	13.90 ^{bDE} ±4.57	17.52 ^{bCD} ±3.15	22.10 ^{bBC} ±2.37	23.40 ^{aB} ±1.51	29.67 ^{cA} ±2.72	32.03 ^{dA} ±2.19	33.42 ^{dA} ±0.98
2	0.00 ^{aH}	4.68 ^{aG} ±1.02	6.16 ^{dG} ±3.61	10.46 ^{cF} ±4.20	17.51 ^{bDE} ±3.41	20.79 ^{bD} ±2.14	30.32 ^{bC} ±0.88	36.84 ^{bB} ±0.17	41.96 ^{bA} ±1.28	43.03 ^{bA} ±1.26
3	0.00 ^{aG}	8.37 ^{Af} ±3.59	10.78 ^{bF} ±4.36	13.92 ^{bF} ±4.35	17.57 ^{bE} ±3.11	21.13 ^{bD} ±4.17	21.97 ^{cC} ±3.47	28.95 ^{cB} ±2.59	35.13 ^{cA} ±4.33	38.86 ^{cA} ±2.60
4	0.00 ^{aI}	6.30 ^{aH} ±4.45	12.76 ^{aG} ±2.88	16.19 ^{aF} ±3.08	19.17 ^{aE} ±3.10	23.69 ^{aD} ±3.91	30.49 ^{aC} ±3.95	36.85 ^{aB} ±2.31	42.87 ^{aA} ±1.41	45.17 ^{aA} ±1.58

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข5 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาที)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aA}	6.86 ^{bB} ±3.36	11.33 ^{dC} ±2.17	13.98 ^{CD} ±1.63b	14.67 ^{bCD} ±2.48	15.58 ^{bD} ±3.02	23.13 ^{bE} ±1.71	25.54 ^{aEF} ±1.41	27.03 ^{aEF} ±1.19	30.77 ^{aG} ±1.91
2	0.00 ^{aA}	9.23 ^{cB} ±3.96	9.82 ^{cB} ±3.81	12.82 ^{bBC} ±4.37	15.89 ^{cCD} ±3.77	19.10 ^{cDE} ±3.22	23.31 ^{bEF} ±3.27	34.74 ^{bG} ±3.66	36.42 ^{bG} ±3.16	38.29 ^{bG} ±2.35
3	0.00 ^{aA}	4.07 ^{aB} ±3.52	4.85 ^{aB} ±4.23	5.11 ^{aB} ±3.93	8.26 ^{aB} ±2.87	11.93 ^{aC} ±2.99	17.56 ^{aD} ±1.88	23.27 ^{aE} ±0.08	27.92 ^{aF} ±1.53	31.44 ^{aF} ±0.33
4	0.00 ^{aA}	4.56 ^{aB} ±0.53	7.64 ^{bC} ±1.02	13.70 ^{bD} ±0.44	17.37 ^{dE} ±1.04	21.55 ^{dF} ±2.16	29.30 ^{cG} ±2.04	34.96 ^{bH} ±1.04	38.02 ^{cI} ±1.32	40.79 ^{cJ} ±1.05

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข6 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาทีก)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aD}	2.83 ^{bC} ±1.83	7.61 ^{cC} ±5.22	12.15 ^{bC} ±6.03	13.82 ^{bB} ±6.11	15.44 ^{cB} ±6.74	18.73 ^{cB} ±7.47	20.69 ^{cB} ±6.20	21.93 ^{cA} ±7.92	22.39 ^{cA} ±5.47
2	0.00 ^{aF}	4.29 ^{aE} ±1.32	9.53 ^{aD} ±2.24	13.22 ^{aC} ±1.59	17.95 ^{aB} ±1.65	22.32 ^{aA} ±2.51	23.94 ^{bA} ±1.57	24.47 ^{bA} ±1.49	24.92 ^{bA} ±1.51	25.22 ^{bA} ±1.39
3	0.00 ^{aG}	2.51 ^{bF} ±1.96	8.46 ^{bE} ±2.26	12.72 ^{bE} ±1.88	13.59 ^{bE} ±1.82	15.13 ^{cD} ±1.82	18.88 ^{cC} ±1.86	19.95 ^{dC} ±1.42	20.86 ^{dB} ±1.43	21.77 ^{dA} ±1.33
4	0.00 ^{aI}	4.15 ^{aH} ±1.86	7.03 ^{cG} ±0.92	10.61 ^{cF} ±1.82	13.93 ^{bE} ±2.22	18.91 ^{bD} ±2.33	25.36 ^{aC} ±3.76	31.33 ^{aB} ±1.28	34.42 ^{aA} ±2.23	36.58 ^{aA} ±3.03

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข7 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาทีก)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	2.14 ^{bF} ±1.22	4.93 ^{bE} ±3.33	6.45 ^{bD} ±2.45	10.84 ^{bC} ±3.65	13.24 ^{bB} ±1.92	15.39 ^{aA} ±1.59	16.65 ^{aA} ±2.75	18.61 ^{bA} ±1.30	18.65 ^{bA} ±0.50
2	0.00 ^{aI}	5.12 ^{aH} ±1.14	9.89 ^{aG} ±1.29	12.85 ^{aF} ±1.04	14.56 ^{aE} ±1.14	14.97 ^{aD} ±0.99	16.57 ^{aC} ±0.98	17.54 ^{aB} ±1.11	18.39 ^{bA} ±1.11	19.16 ^{bA} ±1.05
3	0.00 ^{aH}	1.77 ^{cG} ±0.73	2.82 ^{cG} ±0.38	6.05 ^{bF} ±1.31	9.16 ^{cE} ±0.15	13.86 ^{bD} ±0.62	15.13 ^{aC} ±0.56	16.95 ^{aB} ±0.38	17.96 ^{bA} ±0.50	18.92 ^{bA} ±0.66
4	0.00 ^{aH}	2.32 ^{bG} ±1.05	2.93 ^{cG} ±2.03	5.56 ^{cF} ±1.66	7.04 ^{dE} ±1.68	8.68 ^{cD} ±1.45	15.19 ^{aC} ±1.18	17.89 ^{aB} ±1.13	21.64 ^{aA} ±1.78	23.41 ^{aA} ±0.63

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข8 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aF}	2.12 ^{bE} ±0.40	2.52 ^{cE} ±0.10	3.93 ^{cE} ±0.84	6.56 ^{cD} ±2.91	8.75 ^{dC} ±2.98	10.49 ^{dB} ±3.49	13.91 ^{cA} ±5.40	15.16 ^{cA} ±6.02	15.90 ^{dA} ±6.07
2	0.00 ^{aE}	7.72 ^{aD} ±1.26	9.73 ^{aC} ±0.87	14.34 ^{aB} ±2.58	15.00 ^{aB} ±2.27	15.32 ^{aB} ±2.27	15.78 ^{aB} ±2.37	16.53 ^{aB} ±2.36	17.39 ^{aA} ±2.41	18.10 ^{bA} ±2.37
3	0.00 ^{aF}	3.34 ^{bE} ±0.38	5.79 ^{bD} ±1.58	7.05 ^{bC} ±0.72	8.89 ^{bC} ±1.82	11.34 ^{bB} ±1.21	13.80 ^{bB} ±1.36	14.96 ^{bB} ±1.25	16.26 ^{bA} ±1.03	17.21 ^{cA} ±1.17
4	0.00 ^{aG}	4.66 ^{bF} ±5.58	6.28 ^{bF} ±4.08	7.99 ^{bF} ±3.85	8.91 ^{bF} ±4.19	9.78 ^{cE} ±4.22	11.86 ^{cD} ±3.88	14.21 ^{bC} ±3.46	17.98 ^{aB} ±3.66	20.13 ^{aA} ±3.52

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข9 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	17.57 ^{aF} ±2.48	26.80 ^{aE} ±3.74	29.74 ^{aE} ±3.65	32.82 ^{aD} ±3.91	35.21 ^{aD} ±4.28	38.21 ^{bC} ±3.97	41.80 ^{dB} ±3.03	43.42 ^{dB} ±3.17	45.72 ^{dA} ±3.30
2	0.00 ^{aG}	8.28 ^{cF} ±4.65	13.41 ^{cF} ±3.96	20.28 ^{cE} ±1.69	24.45 ^{cE} ±2.05	31.88 ^{bD} ±1.33	36.09 ^{cD} ±0.92	43.42 ^{bC} ±2.13	49.59 ^{bB} ±2.39	54.77 ^{bA} ±2.20
3	0.00 ^{aJ}	8.23 ^{cI} ±3.23	13.50 ^{cH} ±2.91	19.04 ^{dG} ±2.65	23.22 ^{dF} ±3.25	28.07 ^{cE} ±2.66	33.01 ^{dD} ±2.23	42.46 ^{cC} ±1.81	46.89 ^{cB} ±0.56	52.38 ^{cA} ±0.49
4	0.00 ^{aJ}	10.80 ^{bI} ±2.92	17.73 ^{bH} ±1.70	23.95 ^{bG} ±2.80	29.96 ^{bF} ±1.95	35.54 ^{aE} ±1.61	43.87 ^{aD} ±2.47	50.90 ^{aC} ±2.08	55.33 ^{aB} ±0.30	61.03 ^{aA} ±0.94

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข10 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aH}	15.18 ^{aG} ±1.35	23.76 ^{aF} ±1.58	29.47 ^{aE} ±1.86	32.21 ^{aD} ±0.75	34.80 ^{cD} ±1.99	36.90 ^{bC} ±2.18	39.15 ^{bB} ±2.34	42.04 ^{bA} ±1.91	43.31 ^{cA} ±2.09
2	0.00 ^{aJ}	4.92 ^{dI} ±1.06	10.85 ^{cH} ±2.08	19.01 ^{cG} ±1.34	24.03 ^{cF} ±1.27	30.52 ^{bE} ±1.69	35.40 ^{bD} ±1.27	38.61 ^{bC} ±1.22	43.02 ^{bB} ±1.60	46.62 ^{bA} ±0.94
3	0.00 ^{aJ}	6.19 ^{cI} ±0.78	13.29 ^{bH} ±0.96	19.94 ^{cG} ±0.60	24.09 ^{cF} ±0.99	28.89 ^{bE} ±1.61	35.79 ^{bD} ±0.64	40.00 ^{bC} ±1.03	43.31 ^{bB} ±1.33	45.85 ^{bA} ±1.64
4	0.00 ^{aJ}	7.34 ^{bI} ±2.24	13.94 ^{bH} ±1.93	22.95 ^{bG} ±3.07	28.43 ^{bF} ±2.89	34.21 ^{cE} ±2.36	41.20 ^{aD} ±1.76	48.80 ^{aC} ±1.33	52.10 ^{aB} ±1.42	55.20 ^{aA} ±1.14

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข11 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aH}	5.23 ^{cG} ±0.56	10.66 ^{cF} ±3.67	17.18 ^{bE} ±5.43	22.38 ^{bD} ±4.78	25.01 ^{bC} ±4.67	26.98 ^{dC} ±3.13	30.53 ^{dB} ±3.21	32.82 ^{dB} ±3.06	35.53 ^{dA} ±2.43
2	0.00 ^{aI}	4.93 ^{cH} ±0.50	7.53 ^{dG} ±3.26	16.54 ^{bF} ±1.58	21.78 ^{bE} ±2.62	25.43 ^{bD} ±1.99	32.08 ^{bC} ±1.24	37.91 ^{BB} ±1.73	42.55 ^{bA} ±2.49	45.78 ^{bA} ±4.34
3	0.00 ^{aI}	9.39 ^{aH} ±2.61	11.36 ^{bH} ±3.28	16.60 ^{bG} ±2.75	21.93 ^{bF} ±3.44	25.54 ^{bE} ±3.31	29.64 ^{cD} ±3.03	33.22 ^{cC} ±2.66	36.60 ^{cB} ±2.98	40.57 ^{cA} ±2.39
4	0.00 ^{aJ}	7.31 ^{bI} ±0.65	13.42 ^{aH} ±0.75	19.36 ^{aG} ±0.06	25.70 ^{aF} ±0.99	30.61 ^{aE} ±2.29	35.51 ^{aD} ±1.43	41.86 ^{aC} ±1.39	45.20 ^{aB} ±0.26	47.11 ^{aA} ±0.19

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข12 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aG}	10.22 ^{aF} ±2.28	15.41 ^{aE} ±3.19	19.01 ^{aD} ±2.86	20.57 ^{aD} ±2.71	23.11 ^{bC} ±1.89	26.58 ^{bB} ±1.28	29.43 ^{bA} ±1.60	30.00 ^{dA} ±1.38	31.78 ^{dA} ±2.75
2	0.00 ^{aJ}	3.70 ^{cI} ±0.40	10.80 ^{cH} ±2.15	17.70 ^{cG} ±1.31	22.28 ^{aF} ±0.39	24.74 ^{bE} ±0.72	28.53 ^{bD} ±1.08	32.93 ^{bC} ±0.90	37.42 ^{bB} ±2.05	40.39 ^{bA} ±1.68
3	0.00 ^{aJ}	6.85 ^{bI} ±1.13	10.44 ^{cH} ±1.79	16.38 ^{dG} ±1.63	20.02 ^{aF} ±1.11	23.48 ^{bE} ±0.46	27.09 ^{bD} ±0.73	29.34 ^{bC} ±0.43	32.00 ^{cB} ±0.76	35.35 ^{cA} ±0.77
4	0.00 ^{aI}	6.86 ^{bH} ±2.39	13.34 ^{bG} ±1.62	18.69 ^{bF} ±1.79	23.61 ^{aE} ±0.82	27.68 ^{aD} ±0.89	33.02 ^{aC} ±1.57	37.99 ^{aB} ±1.46	42.71 ^{aA} ±1.04	44.44 ^{aA} ±0.80

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข13 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 7 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาที่)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aH}	4.50 ^{cG} ±0.97	8.37 ^{cF} ±1.14	13.24 ^{cE} ±0.96	16.48 ^{cD} ±1.74	18.57 ^{bC} ±2.58	19.55 ^{dB} ±2.53	22.63 ^{cA} ±1.86	23.46 ^{dA} ±1.79	24.15 ^{cA} ±1.33
2	0.00 ^{aE}	10.51 ^{aD} ±1.18	20.83 ^{aC} ±1.98	24.27 ^{aB} ±0.79	25.04 ^{aB} ±0.86	25.63 ^{aB} ±0.82	26.38 ^{bB} ±0.68	26.93 ^{bB} ±0.65	27.47 ^{bAB} ±0.36	27.88 ^{bA} ±0.52
3	0.00 ^{aI}	3.28 ^{cH} ±0.33	8.63 ^{cG} ±0.89	12.96 ^{cF} ±1.11	16.98 ^{cE} ±2.07	20.00 ^{bD} ±1.28	21.98 ^{cC} ±0.62	23.59 ^{cC} ±0.87	25.47 ^{cB} ±0.78	27.17 ^{bA} ±0.09
4	0.00 ^{aJ}	6.58 ^{bI} ±1.40	12.26 ^{bH} ±1.52	16.85 ^{bG} ±0.99	22.74 ^{bF} ±2.21	26.64 ^{aE} ±1.30	31.27 ^{aD} ±1.18	34.49 ^{aC} ±1.15	37.17 ^{aB} ±1.47	39.89 ^{aA} ±1.45

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข14 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาท)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aF}	2.50 ^{dE} ±0.16	5.06 ^{cD} ±0.90	7.76 ^{cC} ±1.90	11.24 ^{cB} ±2.90	14.17 ^{dB} ±2.61	17.77 ^{cA} ±2.42	19.11 ^{cA} ±1.95	19.41 ^{cA} ±1.60	19.91 ^{cA} ±1.44
2	0.00 ^{aG}	8.80 ^{aF} ±2.22	14.37 ^{aE} ±2.08	19.75 ^{aD} ±0.94	20.88 ^{aC} ±0.88	22.16 ^{bB} ±1.08	22.87 ^{bB} ±1.17	23.52 ^{bB} ±1.32	24.15 ^{bA} ±1.59	24.60 ^{bA} ±1.70
3	0.00 ^{aI}	3.24 ^{cH} ±0.91	9.18 ^{bG} ±0.65	12.65 ^{bF} ±0.54	14.28 ^{bE} ±0.94	16.51 ^{cD} ±0.65	17.44 ^{cC} ±0.86	18.82 ^{cB} ±0.95	19.68 ^{cA} ±1.03	20.84 ^{cA} ±0.83
4	0.00 ^{aH}	4.30 ^{bG} ±2.96	8.89 ^{bF} ±1.65	13.60 ^{bE} ±3.22	20.59 ^{aD} ±0.90	24.36 ^{aC} ±1.06	26.38 ^{aB} ±1.43	27.69 ^{aA} ±1.67	28.22 ^{aA} ±1.73	28.97 ^{aA} ±1.51

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบทับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ตารางผนวกที่ ข15 ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกกำจัดด้วยแผ่นกระดาษ ณ วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างที่	ระยะเวลา (นาทีก)									
	0	15	30	60	120	240	360	480	600	720
1	0.00 ^{aI}	3.02 ^{bH} ±0.69	4.45 ^{cG} ±1.59	6.24 ^{cF} ±2.05	7.84 ^{dE} ±1.81	9.51 ^{dD} ±1.22	11.44 ^{cC} ±0.71	14.92 ^{cB} ±1.87	16.38 ^{cA} ±1.79	17.46 ^{dA} ±2.40
2	0.00 ^{aF}	7.74 ^{aE} ±1.23	14.20 ^{aD} ±1.83	19.41 ^{aC} ±2.32	20.45 ^{aBC} ±2.20	21.44 ^{aB} ±1.94	22.20 ^{aAB} ±1.85	23.08 ^{aA} ±1.85	23.56 ^{aA} ±1.56	24.05 ^{bA} ±1.49
3	0.00 ^{aF}	3.83 ^{bE} ±0.41	7.97 ^{bD} ±1.52	12.23 ^{bC} ±2.90	14.00 ^{cB} ±1.67	16.29 ^{cA} ±1.34	16.93 ^{bA} ±1.51	17.57 ^{bA} ±1.63	18.29 ^{bA} ±1.56	18.87 ^{cA} ±1.43
4	0.00 ^{aH}	3.78 ^{bG} ±0.74	7.97 ^{bF} ±1.64	11.63 ^{bE} ±1.50	17.64 ^{bD} ±1.40	19.27 ^{bC} ±1.40	21.07 ^{aB} ±1.24	22.39 ^{aB} ±1.23	24.23 ^{aA} ±1.26	25.59 ^{aA} ±1.39

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้ง (ตัวอย่างที่ 1)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวอย่างที่ 2)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและเซลลูโลสอีเทอร์ (ตัวอย่างที่ 3)

แผ่นกระดาษเคลือบยับสารกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยไขผึ้งและไคโทแซน (ตัวอย่างที่ 4)

ภาคผนวก ฅ

การตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้และผลการทดสอบ

การตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

1. การตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

1.1 การศึกษาการคัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยวิธีการลอยน้ำเกลือ

แบ่งมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นกลุ่มตามความบริบูรณ์ของผลิตผล โดยการลอยน้ำ และการลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 น้ำหนักต่อปริมาตรตามลำดับ คัดเลือกมะม่วงในกลุ่มความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร มาศึกษา

1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกและผิวเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ วัดด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter Model Minolta CM – 310 ในระบบ Hunter lab รายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^*

ก. ค่า L^* ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ข. ค่า a^* คือ ค่าสีแดงเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีเขียวเมื่อเป็นค่า (-)

ค. ค่า b^* คือ ค่าสีเหลืองเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีน้ำเงินเมื่อเป็นค่า (-)

1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกด

วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกด โดยเตรียมตัวอย่างขึ้นมะม่วงให้มีขนาดประมาณ $2 \times 2 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้หั่วกดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.33 มิลลิเมตร กดบริเวณเนื้อตรงกลางของขึ้นมะม่วงสดตัดแต่ง โดยกดลงไปบนเนื้อด้านในของมะม่วงสดตัดแต่งลึกร้อยละ 60 ของความสูงของขึ้นมะม่วงสดตัดแต่ง ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงสูงสุดเป็นค่าความแน่นเนื้อ หน่วยเป็นนิวตัน (N) วัด 3 ซ้ำ อ่านค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดในหน่วย นิวตัน

1.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส

วัดค่ากรด-เบส จากน้ำคั้นผลไม้ ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช รุ่น HI-8424

1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS)

วัดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer Model ATAGO N - α (0-32 %Brix)

1.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

หาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยเจือจางน้ำคั้นจากผลไม้ 2 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ใช้ สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดทั้งหมด ดังสมการที่ 29

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml. NaOH} \times \text{meq. wt. ของกรด} \times 100}{\text{ml. ของน้ำคั้นที่ใช้}} \quad (29)$$

โดย meq. wt. ของกรดซิตริก = 0.064

ตารางผนวกที่ ๑๑ ค่า L* a* และค่า b* ผิวเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างทดสอบ	L*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	94.43 ^{aA} ±3.45	73.71 ^{bB} ±2.00	71.04 ^{bC} ±2.73	70.54 ^{bD} ±2.87	69.19 ^{bE} ±2.07	62.89 ^{bF} ±2.40	61.20 ^{bG} ±2.25	*
ศึกษา	96.92 ^{aA} ±2.44	84.46 ^{aB} ±3.33	74.94 ^{aC} ±2.93	71.74 ^{aD} ±2.33	70.77 ^{aD} ±2.85	70.57 ^{aD} ±1.99	70.34 ^{aD} ±2.42	68.87 ^E ±2.12
ตัวอย่างทดสอบ	a*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	-19.56 ^{aG} ±1.20	-13.80 ^{aF} ±1.75	-9.62 ^{aE} ±3.00	-9.26 ^{aD} ±1.39	-5.54 ^{aC} ±1.23	-3.41 ^{aB} ±1.21	-3.19 ^{aA} ±1.06	*
ศึกษา	-19.32 ^{aF} ±2.02	-17.27 ^{bF} ±1.58	-14.39 ^{bE} ±1.44	-12.74 ^{bD} ±1.66	-9.45 ^{bC} ±1.51	-4.98 ^{bB} ±0.90	-4.76 ^{bB} ±0.97	-1.29 ^A ±1.02
ตัวอย่างทดสอบ	b*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	30.14 ^{aG} ±3.81	34.88 ^{aF} ±1.80	39.22 ^{aE} ±3.70	41.87 ^{aD} ±3.69	44.78 ^{aC} ±3.47	46.49 ^{aB} ±3.71	50.77 ^{aA} ±3.01	*
ศึกษา	30.56 ^{aG} ±4.81	32.96 ^{bF} ±2.19	33.84 ^{bEF} ±1.49	34.58 ^{bE} ±2.44	38.10 ^{bD} ±2.93	44.94 ^{bC} ±1.89	45.31 ^{bB} ±4.72	46.89 ^A ±2.42

หมายเหตุ * ตัวอย่างเน่าเสียไม่สามารถทดสอบได้

^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-G} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๗2 ค่า L* a* และค่า b* เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างทดสอบ	L*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	86.22 ^{aA} ±2.27	82.11 ^{aB} ±4.66	79.03 ^{bC} ±5.31	75.42 ^{bD} ±6.25	73.82 ^{bE} ±2.23	70.95 ^{bF} ±1.99	68.27 ^{bG} ±4.15	*
ศึกษา	86.41 ^{aA} ±2.32	83.37 ^{aB} ±2.14	83.43 ^{aB} ±2.05	82.75 ^{aC} ±1.67	79.11 ^{aD} ±1.21	77.04 ^{aE} ±1.92	73.58 ^{aF} ±3.12	73.39 ^F ±1.83
ตัวอย่างทดสอบ	a*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	-14.12 ^{aG} ±0.61	-12.31 ^{aF} ±0.60	-11.82 ^{aE} ±0.89	-10.55 ^{aD} ±1.50	-8.79 ^{aC} ±0.61	-6.44 ^{aB} ±0.88	-5.25 ^{aA} ±1.09	*
ศึกษา	-14.24 ^{aG} ±1.04	-13.19 ^{bF} ±1.07	-12.87 ^{bE} ±1.19	-12.74 ^{bE} ±1.22	-11.00 ^{bD} ±0.89	-9.24 ^{bC} ±0.67	-8.55 ^{bB} ±0.51	-6.56 ^A ±1.05
ตัวอย่างทดสอบ	b*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	25.93 ^{aG} ±1.52	39.52 ^{aF} ±3.18	51.32 ^{aE} ±8.04	59.97 ^{aD} ±2.71	60.59 ^{aC} ±5.55	68.18 ^{aB} ±3.18	72.40 ^{aA} ±1.90	*
ศึกษา	25.36 ^{aH} ±1.46	31.33 ^{bG} ±3.78	36.05 ^{bF} ±3.90	40.16 ^{bE} ±5.16	48.29 ^{bD} ±4.67	53.91 ^{bC} ±4.61	56.55 ^{bB} ±2.88	60.71 ^A ±2.61

หมายเหตุ * ตัวอย่างเน่าเสียไม่สามารถทดสอบได้

^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวดิ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-G} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๓3 ความต้านทานแรงกด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วง
น้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตัน)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	89.15 ^{aA} ±28.79	69.75 ^{bB} ±39.92	43.36 ^{bC} ±10.99	26.27 ^{bD} ±2.10	13.61 ^{bE} ±1.37	2.86 ^{bF} ±0.39	1.94 ^{bG} ±0.44	*
ศึกษา	88.02 ^{aA} ±5.51	70.81 ^{aB} ±30.41	68.76 ^{aC} ±17.29	44.04 ^{aD} ±6.99	36.88 ^{aE} ±1.38	12.53 ^{aF} ±0.61	7.50 ^{aG} ±2.26	1.98 ^H ±0.33
ตัวอย่างทดสอบ	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) (°brix)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	9.8 ^{aE} ±0.17	11.2 ^{aD} ±0.31	15.0 ^{aC} ±0.22	16.2 ^{aB} ±0.19	16.0 ^{aB} ±0.33	17.6 ^{aA} ±0.24	17.9 ^{aA} ±0.20	*
ศึกษา	9.7 ^{aF} ±0.24	10.7 ^{aE} ±0.41	11.2 ^{bD} ±0.14	13.0 ^{bC} ±0.47	13.5 ^{bC} ±0.54	14.3 ^{bB} ±0.28	15.7 ^{bA} ±0.33	15.9 ^A ±0.21
ตัวอย่างทดสอบ	ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด (ร้อยละ)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	2.404 ^{aA} ±0.04	1.931 ^{bB} ±0.03	1.048 ^{bC} ±0.05	0.735 ^{bD} ±0.04	0.377 ^{bE} ±0.03	0.124 ^{bF} ±0.01	0.087 ^{bG} ±0.02	*
ศึกษา	2.450 ^{aA} ±0.03	1.943 ^{aA} ±0.04	1.553 ^{aB} ±0.07	1.503 ^{aB} ±0.02	1.380 ^{aC} ±0.02	0.204 ^{aD} ±0.04	0.123 ^{aE} ±0.03	0.069 ^F ±0.02

หมายเหตุ * ตัวอย่างเน่าเสียไม่สามารถทดสอบได้

^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-G} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๓4 ค่า L* a* และค่า b* ผิวเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างทดสอบ	L*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	99.01 ^{aA} ±2.22	98.44 ^{bB} ±1.44	97.20 ^{aC} ±3.21	96.87 ^{bD} ±2.30	95.23 ^{bE} ±3.16	91.24 ^{bF} ±2.09	89.44 ^{bG} ±4.55	88.88 ^{bH} ±2.68
ศึกษา	99.76 ^{aA} ±1.86	99.06 ^{aA} ±2.78	97.19 ^{aB} ±2.00	97.12 ^{aB} ±3.04	97.01 ^{aB} ±3.11	95.06 ^{aC} ±1.58	94.11 ^{aD} ±4.15	93.78 ^{aE} ±2.17
ตัวอย่างทดสอบ	a*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	-19.29 ^{aE} ±1.09	-17.56 ^{aD} ±1.44	-17.28 ^{aD} ±1.30	-16.99 ^{aD} ±1.00	-16.12 ^{aC} ±1.23	-16.07 ^{aC} ±1.02	-14.06 ^{aB} ±1.22	-12.37 ^{aA} ±0.74
ศึกษา	-19.71 ^{aC} ±1.05	-19.26 ^{bC} ±0.72	-19.21 ^{bC} ±0.93	-19.17 ^{bC} ±0.54	-19.09 ^{bC} ±0.62	-18.94 ^{bB} ±1.52	-18.81 ^{bB} ±1.18	-18.03 ^{bA} ±1.26
ตัวอย่างทดสอบ	b*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	31.74 ^{aE} ±1.59	33.41 ^{aD} ±0.96	33.84 ^{aD} ±1.16	34.58 ^{aC} ±1.18	34.88 ^{aC} ±0.99	34.98 ^{aC} ±1.15	36.06 ^{aB} ±1.23	42.49 ^{aA} ±3.08
ศึกษา	30.01 ^{aD} ±1.49	30.46 ^{bD} ±1.27	31.43 ^{bC} ±1.58	31.46 ^{bC} ±0.76	31.51 ^{bC} ±1.10	32.16 ^{bC} ±1.28	32.81 ^{bB} ±1.42	33.45 ^{bA} ±0.91

หมายเหตุ ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวดิ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-H} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๗5 ค่า L* a* และค่า b* เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างทดสอบ	L*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	83.35 ^{aA} ±1.15	80.23 ^{bB} ±2.84	77.64 ^{bC} ±3.83	77.39 ^{bC} ±3.12	77.23 ^{bC} ±4.29	76.35 ^{bD} ±2.56	76.27 ^{bD} ±3.64	75.20 ^{bE} ±2.20
ศึกษา	84.67 ^{aA} ±3.08	84.25 ^{aA} ±1.83	84.14 ^{aA} ±2.25	83.10 ^{aB} ±1.26	82.94 ^{aB} ±1.41	82.70 ^{aB} ±2.80	81.94 ^{aA} ±1.32	81.89 ^{aC} ±0.99
ตัวอย่างทดสอบ	a*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	-15.38 ^{aF} ±2.63	-13.98 ^{aE} ±1.23	-12.97 ^{aD} ±0.71	-12.20 ^{aD} ±0.81	-11.63 ^{aC} ±0.77	-11.35 ^{aC} ±0.97	-9.84 ^{aB} ±1.47	-8.68 ^{aA} ±0.57
ศึกษา	-16.32 ^{aD} ±1.24	-14.76 ^{aC} ±0.94	-14.58 ^{bC} ±1.00	-14.17 ^{bC} ±1.14	-14.06 ^{bC} ±1.08	-13.48 ^{bB} ±1.11	-13.20 ^{bB} ±0.82	-12.11 ^{bA} ±0.89
ตัวอย่างทดสอบ	b*							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	21.72 ^{aH} ±2.00	24.88 ^{aG} ±1.59	28.81 ^{aF} ±3.10	30.75 ^{aE} ±2.23	34.34 ^{aD} ±2.51	35.92 ^{aC} ±2.71	39.88 ^{aB} ±3.85	51.08 ^{aA} ±3.41
ศึกษา	20.84 ^{aD} ±1.28	21.02 ^{aC} ±1.08	24.14 ^{bB} ±1.52	24.74 ^{bB} ±2.05	24.93 ^{bB} ±2.54	25.00 ^{bA} ±1.27	26.69 ^{bA} ±2.54	27.03 ^{bA} ±2.76

หมายเหตุ ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวดังหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-H} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๗6 ความต้านทานแรงกด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วง
น้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98.7

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตัน)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	83.67 ^{aA} ±10.50	71.70 ^{bB} ±18.70	68.00 ^{bC} ±8.76	59.11 ^{bD} ±17.27	52.84 ^{bE} ±11.59	49.04 ^{bF} ±28.04	16.0 ^{bG} ±4.92	4.91 ^{bH} ±1.28
ศึกษา	90.48 ^{aA} ±32.09	87.76 ^{aB} ±15.51	85.61 ^{aBC} ±24.44	82.29 ^{aC} ±11.58	77.62 ^{aD} ±8.53	64.10 ^{aE} ±9.54	60.72 ^{aF} ±17.39	43.50 ^{aG} ±14.23
ตัวอย่างทดสอบ	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) (°brix)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	9.2 ^{aF} ±0.17	9.6 ^{aE} ±0.34	11.0 ^{aD} ±0.31	11.5 ^{aD} ±0.35	11.6 ^{aCD} ±0.36	12.0 ^{aC} ±0.19	14.0 ^{aB} ±0.16	16.8 ^{aA} ±0.30
ศึกษา	8.5 ^{aF} ±0.20	9.0 ^{bE} ±0.31	9.5 ^{bE} ±0.32	9.9 ^{bD} ±0.32	10.0 ^{bC} ±0.44	10.3 ^{bC} ±0.39	10.5 ^{bB} ±0.56	10.8 ^{bA} ±0.24
ตัวอย่างทดสอบ	ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด (ร้อยละ)							
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 15
ควบคุม	2.457 ^{aA} ±0.02	2.108 ^{bB} ±0.05	1.895 ^{bC} ±0.04	1.849 ^{bC} ±0.02	1.710 ^{bD} ±0.09	1.419 ^{bE} ±0.06	1.273 ^{bF} ±0.07	0.953 ^{bG} ±0.02
ศึกษา	2.443 ^{aA} ±0.01	2.389 ^{aB} ±0.13	2.357 ^{aB} ±0.07	2.229 ^{aC} ±0.03	2.201 ^{aC} ±0.02	2.069 ^{aD} ±0.04	1.998 ^{aD} ±0.06	1.963 ^{aD} ±0.02

หมายเหตุ ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-H} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธนา ชนเดชากุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-