



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์สำหรับมะละกอ
พันธุ์ปลักไม้ลาย (*Carica papaya* L.)

Ethylene Absorber from Oil Palm Frond In-Situ Activated Carbon for Papaya
cv. Plug Mai Lai. (*Carica papaya* L.)

نامผู้วิจัย นางสาวณัฐวดี ทองจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ชัชวาลย์ เพชรเย็น, วท.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์สำหรับมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย
(*Carica papaya* L.)

Ethylene Absorber from Oil Palm Frond In-Situ Activated Carbon for Papaya
cv. Plug Mai Lai (*Carica papaya* L.)

โดย

นางสาวณัฐวดี ทองจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2555

ณัฐวดี ทองจันทร์ 2555: แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์
สำหรับมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย (*Carica papaya* L.) ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการ
บรรจุและวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์,
Ph.D. 127 หน้า

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมายที่เป็นผลมาจากผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นเหตุผล
นำไปสู่การสร้างมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้เช่นปาล์มน้ำมัน โดยทางไบโพลัมน้ำมันสามารถ
นำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นดูดซับเอทิลีนได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่
เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากทางไบโพลัมน้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์ผสม
ผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 10%, 20% และ30% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และทดสอบสมบัติทาง
กายภาพ เหนียวและการซึมผ่านของแก๊สของแผ่นดูดซับเอทิลีน อีกทั้งยังศึกษาประสิทธิภาพของ
แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมผสมผงถ่านกัมมันต์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาของมะละกอ
พันธุ์ปลักไม้ลาย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเยื่อจากทางไบ
โพลัมน้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟต ได้แก่ ปริมาณแอดทิฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 24 ซัลฟิเตอ์
ร้อยละ 30 อัตราส่วนระหว่างสารเคมีและไม้ เท่ากับ 5:1 อุณหภูมิต้มเยื่อ 170 องศาเซลเซียส เป็น
เวลา 90 นาที ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 35.78 ส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เหนียวและการซึม
ผ่านของแก๊สของแผ่นดูดซับเอทิลีน พบว่า ความหนาแน่น ความหนาจากการบวม การต้านทาน
แรงดึงขาด และค่าโมดูลัสของยัง ของแผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0%, 10%,
20% และ30% มีค่าลดลง แต่สำหรับปริมาณความชื้น การดูดซับน้ำ ร้อยละการยืด และการซึมผ่าน
ของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ และเมื่อนำแผ่นดูดซับเอทิลีนมาใช้กับมะละกอพันธุ์
ปลักไม้ลาย พบว่า แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 10% สามารถดูดซับแก๊สเอ
ทิลีนได้มากที่สุด และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายได้นานที่สุดจาก 6
วันเป็น 20 วันหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส

Nutthawadee Thongjun 2012: Ethylene Absorber from Oil Palm Frond In-Situ Activated Carbon for Papaya cv. Plug Mai Lai. (*Carica papaya L.*). Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging and Materials Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Lerpong Jarupan, Ph.D. 127 pages.

An ongoing concern for environmental issues leads to value adding of unutilized oil palm wastes from the plantation in Thailand. Abandoned oil palm fronds considered in this study was utilized as raw material for a substrate of ethylene absorber. This study aimed to find an optimum condition for pulping oil palm fronds by sulfate or Kraft process that later was in-situ with commercial activated carbon with various amounts of 10%, 20% and 30% (based on oven dry weight). The resulted ethylene absorber was tested for physical, mechanical and permeation properties. Efficacy of the ethylene absorber from oil palm frond in-situ activated carbon for extending shelf life of papaya cv. Plug Mai Lai was also investigated. The results showed that the pulp yield of 35.78% was achieved under the optimal pulping condition of 24% active alkali, 30% sulfidity, liquor-to-raw material ratio of 5:1 with the cooking temperature at 170 °C for 90 min. Physical and mechanical properties of the ethylene absorber in terms of density, thickness swelling, tensile strength and Young's modulus were decreased as the amount of in-situ activated carbon increased. Adversely, moisture content, water absorption, %elongation, and oxygen transmission rate were increased as increasing the amount of activated carbon. The efficacy study showed that the ethylene absorber in-situ with 10% activated carbon performed the highest gaseous ethylene absorption; it decelerated shelf life of papaya cv. Plug Mai Lai from 6 to 20 day at the storing temperature of 13 ± 2 °C.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำระหว่างดำเนินงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาและพิจารณาแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชิราวุฒิ เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คั่นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วณิ ชนเห็นชอบ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ วัสดุ และเครื่องมือ ที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนคำแนะนำ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ อบรมสั่งสอนและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกท่านที่ให้คำแนะนำตลอด และช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน อีกทั้งขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ภาพถ่าย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ จนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ เพื่อการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2554

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและแนะนำ ทุกๆ เรื่องในระหว่างการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรม สั่งสอนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอด

ณัฐวดี ทองจันทร์

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณสารเคมีสำหรับการต้มเชื้อและการผลิตกระดาศ	
จากทางใบปาล์มน้ำมัน	91
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบและการคำนวณค่าการทดสอบ	95
ภาคผนวก ค การตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของมะละกอพันธุ์ปลัก	
ไม้ลาย	107
ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าจากการทดลอง	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 อัตราการหายใจของผักและผลไม้	6
2 ผักและผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจ	8
3 ผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในกลุ่มต่างๆ	9
4 คุณค่าทางโภชนาการของมะละกอ	23
5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	53
 ตารางผนวกที่	
ง1 ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	111
ง2 ปริมาณความชื้นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	111
ง3 การดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	112
ง4 ความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	112
ง5 ความต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	113
ง6 โมดูลัสของยังของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	113
ง7 ร้อยละการยืดตัวออกของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	114
ง8 ความต้านทานแรงกดวงแหวนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง9 คุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบ ปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	115
ง10 การดูดซับแก๊สเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผง ถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	116
ง11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	117
ง12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	118
ง13 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บ รักษา	119
ง14 ความแน่นเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	120
ง15 ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	121
ง16 ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บ รักษา	122
ง17 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บ รักษา	123
ง18 ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	124
ง19 ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	125
ง20 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บ รักษา	126

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน: (1) lactic acid dehydrogenase, (2) pyruvate dehydrogenase, (3) alcohol dehydrogenase	5
2	เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้	7
3	แบบจำลองแสดงอัตราการหายใจของผลไม้	8
4	การสังเคราะห์เอทิลีนในพืชและจุลควคุม	11
5	ลักษณะและ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	18
6	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของ (ก) ลำต้นใบปาล์มน้ำมัน และ (ข) การเรียงตัวของทางใบปาล์มน้ำมัน	21
7	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะละกอ	28
8	ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	43
9	ค่าปริมาณความชื้นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	45
10	ค่าการดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	45
11	ค่าความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	47
12	ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	49
13	ค่ามอดูลัสของยังของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	49
14	ค่าร้อยละการยืดตัวออกของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15 ค่าความต้านทานแรงกดวงออกของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	50
16 ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนออกของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	56
17 ค่าการดูดซับแก๊สเอทิลีนออกของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	56
18 ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน	58
19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	59
20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไคเตรตได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	60
21 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไคเตรตได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	61
22 การเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	62
23 ค่า L^* (ค่าความสว่าง) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	63
24 ค่า a^* (ค่าความเป็นสีเขียว) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	64
25 ค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	65
26 ค่า L^* (ค่าความสว่าง) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	66
27 ค่า a^* (ค่าความเป็นสีเขียว) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ของสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	68
29	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่บรรจุมะละกอและแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีนของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา (ก) ชุดควบคุม (ข) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 (ค) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 (ง) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30	69
30	ปริมาณแก๊สเอทิลีนในภาชนะบรรจุที่บรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มดูดซับแก๊สเอทิลีนของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา	71
31	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 (ก่อนเก็บรักษา)	73
32	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 3 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	74
33	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 6 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	75
34	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 10 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	76
35	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 13 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 16 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	78
37	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 20 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	79
38	ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 24 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน	80
39	ตัวอย่างแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน	94

แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์สำหรับมะละกอพันธุ์

ปลักไม้ลาย (*Carica papaya* L.)

Eheylene Adsorber from Oil Palm Frond In-Situ Activated Carbon for Papaya

cv. Plug Mai Lai. (*Carica papaya* L.)

คำนำ

โดยทั่วไประหว่างการขนส่งผลไม้ในประเทศไทย หรือเป็นการขนส่งผลไม้ส่งออก ผู้ผลิตมักจะพบกับปัญหาเกี่ยวกับการสุกของผลไม้ก่อนถึงตลาดปลายทาง และมักเกิดขึ้นกับผลไม้ประเภท ไคลแมกเทริกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นกลุ่มของผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ขณะผลไม้เริ่มสุกและส่งผลให้มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น ได้แก่ กล้วย มะม่วง ฝรั่ง มะละกอ มังคุด เงาะ เป็นต้น ซึ่งเอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนพืชที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ เนื่องจากมีผลทางสรีรวิทยาของพืชหลายประการแม้จะมีปริมาณต่ำมากในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เอทิลีนเร่งการหายใจของพืชทำให้ผลไม้สุกหอมและผักสีเขียวเปลี่ยนเป็นผักสีเหลืองเร็วขึ้น รวมถึงการเสื่อมเสียคุณภาพอื่นๆของพืชอีกหลายประการ ทำให้อายุการเก็บของผักและผลไม้ลดลง ดังนั้นในปัจจุบันได้มีการยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สดที่ไวต่อเอทิลีน นอกจากการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศและการเก็บที่อุณหภูมิต่ำแล้ว ยังต้องมีการกำจัดหรือลดปริมาณเอทิลีนที่พืชปล่อยออกมา หรือมาจากสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำวัตถุดูดเอทิลีนมาใช้ทั้งในอุตสาหกรรมและในครัวเรือน ซึ่งก็มีทั้งประเภทที่บรรจุในช่องและทั้งประเภทที่ผสมในฟิล์มพลาสติก ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับวัตถุดูดออกซิเจน และในปัจจุบันมีวัตถุดูดเอทิลีนที่ผลิตจาก ค่างทับทิม ถ่านกัมมันต์ หรือสารเคมีประเภทไดอินและไตรอินที่พร่องอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (งามทิพย์, 2550) และเนื่องด้วยมะละกอเป็นไม้ผลที่นิยมปลูกกันมากกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ของประเทศไทย มะละกอยังเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีน และเส้นใยสูง การส่งออกมะละกอในลักษณะของการแปรรูป เช่น มะละกอหี มะละกอบแห้ง รวมทั้งผลสดมีอัตราการจำหน่ายเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2549 สามารถส่งออกเพิ่มขึ้นถึง 182 เมตริกตัน และเนื่องจากมะละกอเป็นผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงการหายใจแบบ ไคลแมกเทริก สามารถผลิตแก๊สเอทิลีนได้ในระดับสูงทำให้มะละกอเป็นผลไม้ที่สุกได้ง่าย (ธัญญาภรณ์และธวัชชัย, 2551) ดังนั้นวิธีการชะลอการหายใจของมะละกอ สามารถทำได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส หรือการควบคุมสภาพบรรยากาศในห้องเก็บ นอกจากนี้แนวทางในการยืดอายุ

การเก็บรักษาของมะละกอยังทำได้โดยการห่อหุ้มด้วยวัสดุที่สามารถดูดซับเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกได้เช่นกัน

วัสดุที่สามารถนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับเอทิลีนนั้นมีหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบของการบรรจุสารเคมีสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีนในถุงพลาสติก หรือซองกระดาษ หรือมีการผสมสารเคมีลงในเนื้อของพลาสติกสำหรับห่อผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวด้วยเช่นกัน ซึ่งการใช้พลาสติกสำหรับนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับแก๊สเอทิลีนนั้นล้วนเป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม และสิ้นเปลืองทรัพยากร ทั้งนี้การใช้วัสดุดูดซับแก๊สเอทิลีนประเภทกระดาษนั้น สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีเส้นใยเซลลูโลสสูงที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระดาษได้ เช่นการใช้ทางใบปาล์มสำหรับการทำเป็นแผ่นดูดซับเอทิลีนด้วยการผสมผงถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ทั้งนี้ ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลายประเภท ทั้งผลิตภัณฑ์อุปโภคและบริโภคเชื้อเพลิง อาหารสัตว์ และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเกษตรกรได้รับการส่งเสริมในการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมากส่งผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทยสูงกว่าหนึ่งแสนตันต่อปี อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราการปลูกปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นเพื่อเป็นแหล่งทดแทนพลังงานนั้น ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากกิจกรรมการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งจากหลายส่วนของปาล์มน้ำมันเหล่านั้น สามารถนำมาก่อให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น ทางใบปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลปาล์ม ส่วนของลำต้นหลังการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกใหม่ เป็นต้น จากการสำรวจพบว่าปริมาณของทางใบปาล์มน้ำมัน ลำต้นปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากตะกอนปาล์ม กากสลัดจ์ เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์มน้ำมันที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม (ศิริพร, 2545; Wanrosli *et al.*, 2007)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมประสิทธิภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์เพื่อชะลอการสุกของมะละกอ โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการสกัดเยื่อด้วยซัลเฟตหรือคราฟท์ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้เป็นวัสดุทดแทนสำหรับใช้เป็นตัวดูดซับเอทิลีนมะละกอ และยังเป็นการเพิ่มผลผลิตของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมถ่านกัมมันต์สกัดด้วยเอโซลเฟด
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์
3. ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมถ่านกัมมันต์ที่สกัดด้วยเอโซลเฟดเพื่อยืดอายุการเก็บของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย
4. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายเมื่อประยุกต์ใช้กับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์

การตรวจเอกสาร

1. การหายใจ (respiration)

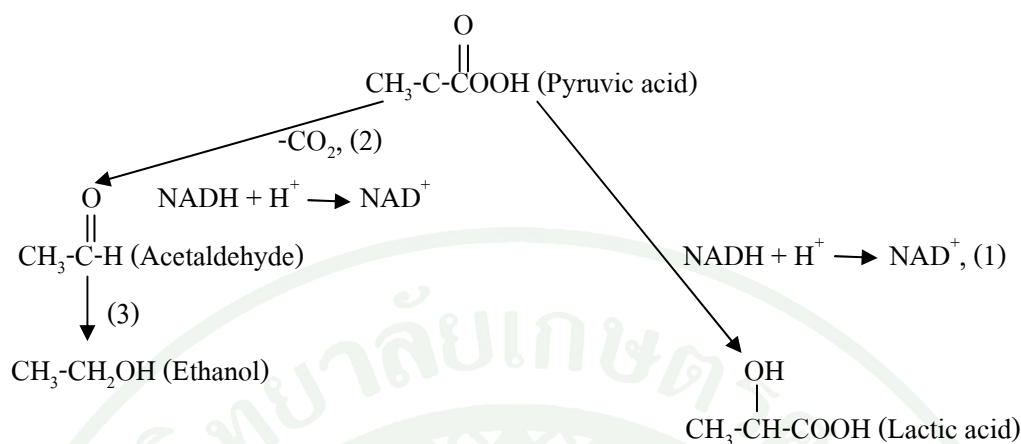
การหายใจ คือ กระบวนการออกซิโดซ์สารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานในการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของพืช (สมบุญ, 2548) เพราะเป็นกระบวนการที่พลังงานซึ่งอยู่ในรูปอาหารสะสมถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที เมื่ออาหารเหล่านี้ถูกใช้ไปในการหายใจของพืชก็สามารถสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่ได้ แต่สำหรับผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว อาหารสะสมมีอยู่จำกัดไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้อีก และเมื่ออาหารถูกใช้หมดผลก็จะเข้าสู่ภาวะการเน่าเสียทันที (จิ่งแท้, 2542)

กระบวนการหายใจของพืชได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การหายใจที่เกิดขึ้นในสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic respiration) และในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือ (fermentation)

การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นกระบวนการออกซิโดซ์สารอาหารโดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ในเซลล์ในสภาพที่มีออกซิเจนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในขณะที่เดียวกันจะให้สารตัวกลางหรืออินเทอร์มีเดียตชนิดต่างๆ ในพืชน้ำตาลซูโครสจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ แบบใช้ออกซิเจนมากกว่า 50% มีการปล่อยพลังงาน ATP เพื่อพืชนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม การออกซิเดชันของน้ำตาลที่สมบูรณ์ ได้สมการ (1) ดังนี้



การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ในสภาวะที่ออกซิเจนมีจำกัด พืชจะออกซิโดซ์น้ำตาลกลูโคสโดยผ่านกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในขั้นแรกกลูโคสจะเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก โดยผ่านปฏิกิริยาไกลโคไลซิส แต่ NADH ที่เกิดขึ้นไม่สามารถถูกออกซิโดซ์ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ เนื่องจากการขาดออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในขั้นตอนสุดท้าย และกรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติกหรือสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ อะซิตัลดีไฮด์ เป็นต้น ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน: (1) lactic acid dehydrogenase, (2) pyruvate dehydrogenase, (3) alcohol dehydrogenase

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะให้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และผักผลไม้จะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศไม่เพียงพอ หรือถูกห่อหุ้ม หรือมีการเคลือบผิวจนทำให้ออกซิเจนที่ผ่านเข้าออกไม่เพียงพอต่อการหายใจแบบปกติ และทำให้มีกลิ่นหมักเกิดขึ้นความเข้มข้นต่ำสุดของออกซิเจนที่ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น จะผันแปรไปตามชนิดของเนื้อเยื่อพันธุ์ ความแก่อ่อน และอุณหภูมิ

อัตราการเสื่อมสลายของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการหายใจ ผลผลิตที่มีอัตราการหายใจสูงจะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว และผลผลิตที่มีอัตราการหายใจต่ำจะเสื่อมคุณภาพช้ากว่าและสามารถเก็บได้นานกว่า โดยที่คุณภาพนั้นยังคงเป็นที่ยอมรับ เช่นในผักทองสามารถเก็บได้นาน 6 เดือนโดยคุณภาพยังคงเป็นที่ยอมรับ และ ในถั่วลิสงเตามีการสูญเสียความหวานในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และอุณหภูมิ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ อาหารในเซลล์ น้ำ ชนิดของพืช ปริมาณ ATP ที่เกิดขึ้นตลอดทั้งการกระตุ้นทางกายภาพและการเกิดบาดแผลในพืช มีผลควบคุมอัตราการหายใจของพืช (สมบุญ, 2548)

ตารางที่ 1 อัตราการหายใจของผักและผลไม้

ประเภทของอัตราการ หายใจ	อัตราการหายใจสูงสุดที่		ชนิดของผลิตภัณฑ์
	25 องศาเซลเซียส (มก. คาร์บอนไดออกไซด์/ กก.ชม.)		
ต่ำมาก	< 5		เมล็ดมะม่วงหิมพานต์
ต่ำ	5-20		ส้ม กะหล่ำปลี หอมหัวใหญ่
ปานกลาง	20-100		เงาะ มังคุด มะละกอ มะเขือเทศ มะเขือยาว ผักกาดขาวปลี
สูง	100-200		มะม่วง น้อยหน่า หน่อไม้ฝรั่ง
สูงมาก	> 200		ทุเรียน ข้าวโพดฝักอ่อน

ที่มา: จริงแท้ (2542)

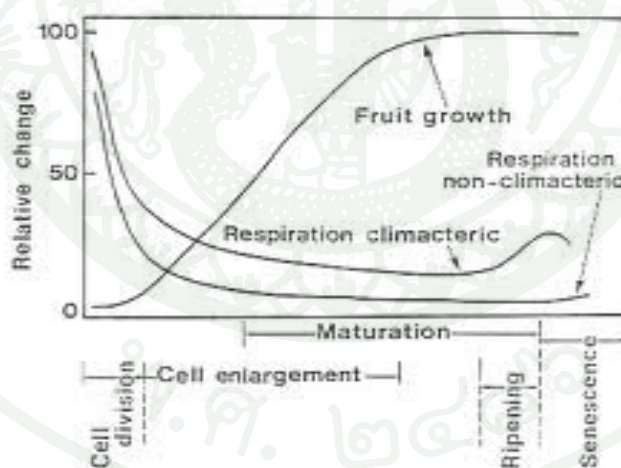
1.1 ขั้นตอนของการพัฒนาเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตมาแล้ว

อัตราการหายใจของพืชในส่วนที่กำลังเจริญเติบโตจะสูงมาก และลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อส่วนนั้นเจริญเข้าสู่ความสมบูรณ์ทางสรีรวิทยา ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆ โดยลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนที่เป็น vegetative tissue หรือในผลผลิตที่ยังอ่อน และลดลงช้าในส่วนที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร และในผลไม้ประเภท นอนไคลแมเทริก (non-climacteric) (ภาพที่ 2) แต่ในผลไม้บางชนิดซึ่งมีการสุกเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่ผลไม้สุก ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า ไคลแมเทริก (climacteric) จะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ pre-climacteric, climacteric rise, climacteric peak และ post-climacteric โดยผลไม้ที่มีการหายใจแบบนี้เรียกว่า climacteric fruit และในปัจจุบันสามารถจำแนกผลไม้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ climacteric และ non-climacteric fruit (ตารางที่ 2) และการหายใจแบบ climacteric มีความสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้และการผลิตแก๊สเอทิลีนเป็นอย่างมาก และการจำแนกผลไม้เป็น 2 ประเภทดังกล่าวต้องอาศัยการผลิตและการตอบสนองต่อเอทิลีนเป็นหลักด้วย (จริงแท้, 2542)

อัตราการหายใจนี้ขึ้นอยู่กับฮอร์โมนเอทิลีน ผลไม้ประเภท climacteric เมื่อได้รับเอทิลีนการหายใจจะถูกกระตุ้นให้มีอัตราสูงเร็วขึ้นกว่าปกติ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเร็วกว่าปกติ แต่อัตราการหายใจ ณ จุดที่สูงที่สุดนั้นไม่มีความแตกต่างกันไปจากปกตินัก ส่วนใหญ่ในผลไม้ประเภท non-

climacteric อัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของเอทิลีนที่ได้รับและอัตราการหายใจจะยังคงสูงอยู่ตราบที่ยังคงมีเอทิลีนอยู่ ต่อเมื่อไม่มีเอทิลีนแล้ว อัตราการหายใจจึงลดลงสู่ระดับปกติ (ภาพที่ 3) ผลไม้ประเภท climacteric จะมีการสร้างเอทิลีนสูงขึ้นในระหว่างการสุกจนถึงจุดสูงสุด แล้วลดลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ ส่วนในผลไม้ประเภท non-climacteric อัตราการสังเคราะห์เอทิลีนจะต่ำอยู่ตลอดเวลาจนผลไม้เสื่อมสลายไป ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีความรู้และทราบว่าผลไม้แต่ละชนิดนั้นมีการตอบสนองต่อเอทิลีนอย่างไร เพื่อจะได้ทำการเก็บรักษา และต้องมีการควบคุมอุณหภูมิหรือแม้กระทั่งการควบคุมปริมาณเอทิลีนว่าควรจัดการอย่างไร และนอกจากนั้นอัตราการสร้างเอทิลีนสามารถนำมาใช้คำนวณเพื่อใช้สารเคมีหรือวิธีการเพื่อกำจัดเอทิลีนออกจากบริเวณที่เก็บรักษาได้อย่างเหมาะสม (จริงแท้, 2549)

ผลไม้ที่มีช่วง climacteric หรือผลไม้ที่มีการสุกเกิดขึ้นอย่างเป็นได้ชัดเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นในช่วงการสุก ผลไม้ประเภทนี้สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อแก่จัด และสามารถนำมาบ่มต่อให้สุกได้ในขณะที่ผลไม้ประเภท non-climacteric เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นและโดยทั่วไปไม่สามารถบ่มสุกได้หลังการเก็บเกี่ยวจึงมักมีการเก็บเกี่ยวเมื่อมีการสุกบนต้น



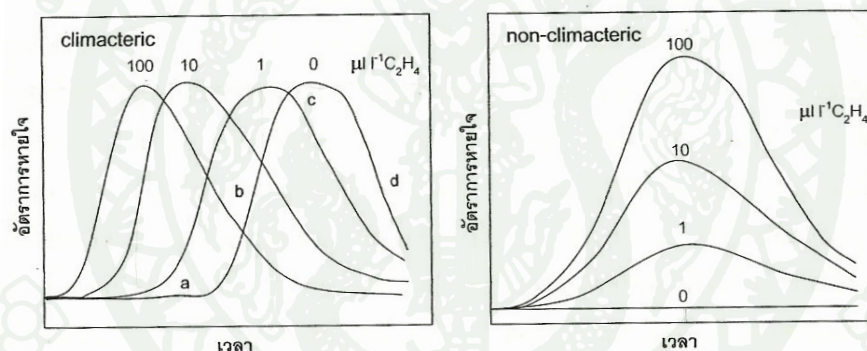
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ

ที่มา: จริงแท้ (2542)

ตารางที่ 2 ผลและผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจ

ประเภทของผลไม้	ชนิดของผลไม้
Climacteric	กล้วย ขนุน มังคุด ละมุด มะเขือเทศ มะเดื่อ มะละกอ มะม่วง แอปเปิ้ล บัวย อโวคาโด แคนตาลูป ท้อ สาลี่ พลัม
Non – Climacteric	แตงกวา ชมพู่ พริก มะนาว ส้ม ลิ้นจี่ ลำไย สับปะรด มะม่วงหิมพานต์ องุ่น เชอร์รี่ สตอเบอรี่ โอลีฟ

ที่มา: จริงแท้ (2542)



ภาพที่ 3 แบบจำลองแสดงอัตราการหายใจของผลไม้

ที่มา: จริงแท้ (2549)

1.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการหายใจของผลิตผล

ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการหายใจของผลิตผลมี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ และความเครียดทางกายภาพ แต่ที่มีความสำคัญมากคือ องค์ประกอบของบรรยากาศนั้นคือ ปริมาณของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน ซึ่งต่างก็มีผลต่อการหายใจของผลิตผล แต่จะขอกล่าวถึงเอทิลีนเนื่องจากมีผลต่อการสุกของผลไม้มากที่สุด นั่นคือ

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวอย่างมาก นั่นคือ ในผลไม้ประเภทไคลแมเทริก การใช้เอทิลีนจากภายนอกจะกระตุ้นให้ climacteric rise และ climacteric peak เกิดได้เร็วขึ้นยังมีเอทิลีนความเข้มข้นสูงมากขึ้นก็เกิดได้เร็วมากขึ้นด้วย แต่ไม่มีผลให้อัตราการหายใจสูงขึ้นมากนัก เมื่อ climacteric rise เกิดขึ้นแล้วอัตราการหายใจจะไม่ตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอก อีกประเภทหนึ่งได้แก่ ในผลไม้ประเภท non – climacteric และในเนื้อเยื่อ vegetative อื่นๆ เอทิลีนกระตุ้นให้อัตราการหายใจสูงขึ้น ยังมีเอทิลีนความเข้มข้นสูงขึ้นอัตราการหายใจยังสูงขึ้นตามไปด้วยและคงอยู่ในระดับหากยังคงมีเอทิลีนอยู่ เมื่อใดที่ไม่มีเอทิลีนแล้วอัตราการหายใจจะลดลงมาใกล้เคียงกับการหายใจในระดับเดิม

2. คุณสมบัติและแหล่งที่เกิดของเอทิลีน

เอทิลีนเป็นสารอนินทรีย์มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมี $CH_2 = CH_2$ ติดไฟและเกิดระเบิดได้ ในช่วงความเข้มข้น 3.2-32 เปอร์เซ็นต์ เอทิลีนมีผลต่อการพัฒนาของพืช แม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ล้านในล้านส่วน ก็สามารถกระตุ้นให้เกิดการสุกของผลไม้ได้ และกระบวนการสุกของผลไม้จะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีเอทิลีน และระหว่างการสุกจำเป็นต้องมีเอทิลีนมีฉะนั้นการสุกจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ การตอบสนองของผลไม้ต่อเอทิลีนพบว่า เนื้อเยื่อยังอ่อนอยู่มีการตอบสนองไม่ดีเท่าเนื้อเยื่อที่บริบูรณ์แล้ว และยังขึ้นกับปริมาณของฮอร์โมนชนิดอื่นๆ ด้วย

2.1 การผลิตเอทิลีนในพืช

การผลิตเอทิลีนในพืชสามารถจัดกลุ่มได้ออกเป็น 5 กลุ่มดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม	อัตราที่ 20 องศาเซลเซียส (เอทิลีน/กก.ชม.)	ชนิด
ต่ำมาก	0.01-0.1	ส้มต่างๆ องุ่น สตรอเบอรี่ เชอรี่ ทับทิม ดอกไม้ มันฝรั่ง
ต่ำ	0.1- 1.0	แตงกวา กระเจี๊ยบเขียว พริกยักษ์ พลับ สับปะรด เงาะ ข้าวโพดฝักอ่อน หน่อไม้ฝรั่ง เห็ด คื่นห่อ

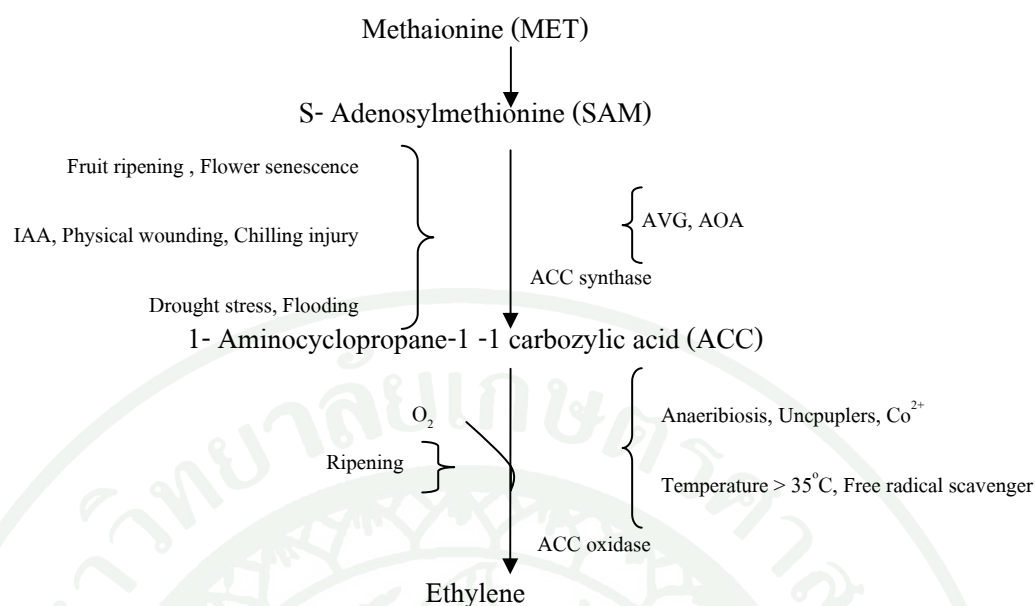
ตารางที่ 3 (ต่อ)

กลุ่ม	อัตราที่ 20 องศาเซลเซียส (เอทิลีน/กก.ชม.)	ชนิด
ปานกลาง	1.0- 10.0	กล้วยหอม แตงเทศ มะม่วง มะเขือเทศ ทูเรียน มังคุด น้อยหน่า
สูง	10.0- 100.0	แอปเปิล อะโวคาโด แคนตาลูป กีวี มะละกอ พลับ สาลี่ฝรั่ง
สูงมาก	> 100	แพชชันฟรุต ละมุด

การผลิตเอทิลีนและปริมาณความเข้มข้นภายในมีความสัมพันธ์กับการหายใจ ผลไม้ประเภท climacteric มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งเมื่อผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ความเข้มข้นภายในก็สูงขึ้นด้วย การเพิ่มปริมาณของการผลิตเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจได้ ซึ่งการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนจากภายในเซลล์สู่บรรยากาศข้างนอกของผลไม้แต่ละชนิดไม่เท่ากัน เพราะมีโครงสร้างไม่เหมือนกัน จึงทำให้เห็นอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นก่อนการผลิตเอทิลีน นอกจากนั้นการศึกษาถึงความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลไม้พบว่าก่อนเกิดการเพิ่มขึ้นของการหายใจและกระบวนการสุกอื่นๆ ความเข้มข้นของเอทิลีนมีอยู่สูงมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการหายใจและกระบวนการสุกอื่นๆ ได้ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของการสร้างเอทิลีนจึงไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นก่อนการเพิ่มขึ้นของการหายใจ สำหรับประเภท non- climacteric อัตราการผลิตและความเข้มข้นภายในของเอทิลีนจะต่ำอยู่ตลอดการพัฒนาและเจริญเติบโต

2.2 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน

เนื่องจากเอทิลีนทำให้ผลไม้สุกก่อนส่งถึงตลาดปลายทาง หรือเป็นประโยชน์ในการบ่มผลไม้ให้สุกเร็วเพื่อให้ทันกับความต้องการของตลาด การควบคุมเอทิลีนจึงเป็นสิ่งจำเป็นหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นควรมีความเข้าใจถึงการสังเคราะห์เอทิลีนในพืชว่าเป็นอย่างไร (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การสังเคราะห์เอทิลีนในพืชและจุดควบคุม ↓ = ขั้นตอนที่กำลังเอทิลีน } = กระตุ้น
 การสังเคราะห์เอนไซม์ในขั้นตอนนั้นๆ { = ยับยั้งปฏิกิริยาตอนนั้น AOA = aminooxy
 actic acid, AVG = L- 2- amino-4-(2- aminoethoxy)-trans-3-butenic acid

Methionine ถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ทั้ง methionine และ SAM ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์โปรตีนบางอย่าง แต่ SAM จะถูกใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลิกนิน และเพกติน ต่อมา SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1- aminocyclopropane- 1- carboxylic acid ด้วย ACC synthase และจะได้รับการกระตุ้นสังเคราะห์ให้เร็วขึ้นหากมีปริมาณของออกซิเจนสูง มีบาดแผลหรือเกิดอาการสะท้อนหนาว หรือแม้แต่เกิดภาวะเครียดต่างด้วยเช่นกัน จากนั้นถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนด้วยเอนไซม์ ACC oxidase ร่วมกับออกซิเจนและเมื่อถึงภาวะบริบูรณ์ หรือมีการสุกของผลไม้ขึ้น จะทำให้มีปริมาณเอทิลีนสูงขึ้นด้วย โดยอัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้นกว่าปกตินั้น อาจเนื่องมาจากการมีบาดแผลเกิดขึ้น เกิดการกระตุ้นของเอนไซม์ ACC synthase เปลี่ยนจาก SAM เป็น ACC การควบคุมเอทิลีนในลำดับนี้เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด และเป็นการควบคุมอย่างหยาบ อัตราการผลิตเอทิลีนจะไม่เพิ่มสูงขึ้นมาก (system I) ส่วนการควบคุมการผลิตเอทิลีนอีกบริเวณคือเมื่อ ACC oxidase เปลี่ยน ACC เป็น เอทิลีน การควบคุมลำดับนี้พบเฉพาะในกระบวนการสุกของผลไม้ประเภท ไคลแมทริก เมื่อผลไม้สุก ทั้ง ACC synthase และ ACC oxidase จะกระตุ้นให้มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่าตัว (system II)

2.3 การทำงานของเอทิลีน

เอทิลีนจะทำงานหรือแสดงอิทธิพลโดยผ่านตัวกลางหรือตัวรับเสียก่อน เอทิลีนจะจับตัวกับโมเลกุลของตัวรับซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งมีอะตอมของโลหะบางชนิดเป็นองค์ประกอบ การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนของเนื้อเยื่อประเภท vegetative ส่วนใหญ่คล้ายคลึงกัน โดยมีระดับความเข้มข้นที่เริ่มแสดงผลประมาณ 0.01 ส่วนในล้านส่วน ระดับที่ให้ผลประมาณครึ่งหนึ่งของอิทธิพลสูงสุดประมาณ 0.1 ส่วนในล้านส่วน และระดับอิ่มตัวประมาณ 10 ส่วนในล้านส่วน สำหรับผลไม่การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนมีความแตกต่างกันมาก ขึ้นกับชนิดของพืช เช่น การบ่มกล้วยหอมให้สุกต้องใช้เอทิลีนเพียง 0.1 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่แตงเทศ ต้องการเอทิลีน 3 ส่วนในล้านส่วน ขึ้นกับระยะการเติบโตหรือการบริบูรณ์ เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการสุกของผลไม้ประเภท climacteric เมื่อผลไม้ยังไม่บริบูรณ์จะมีความต้านทานต่อการสุกหรือต้านทานต่ออิทธิพลของเอทิลีนมาก แต่เมื่อผลไม้บริบูรณ์แล้ว ความต้านทานต่อเอทิลีนจะลดลงและความไวต่อการตอบสนองต่อเอทิลีนเพิ่มขึ้น ในผลไม้ประเภทนี้การผลิตเอทิลีนจัดได้เป็น 2 ระบบ คือ system I และ system II โดยที่ system I คือการสร้างเอทิลีนปกติที่มีในเนื้อเยื่อทั่วไป system II จะเกิดขึ้นเมื่อการสังเคราะห์เอทิลีน ACC synthase และ ACC oxidase ถูกกระตุ้นโดยเอทิลีนเอง ในขณะที่การต้านเอทิลีนลดลงและความไวเพิ่มขึ้น ส่วนในผลไม้ประเภท non-climacteric มีการผลิตเอทิลีนใน system I เท่านั้น จึงไม่ตอบสนองต่อเอทิลีน ไม่มี autocatalysis เกิดขึ้น

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทิลีน

2.4.1 ชนิดหรือพันธุ์ อัตราการผลิตเอทิลีนในพืชต่างชนิดกันหรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันการผลิตเอทิลีนยังมีความแตกต่างกัน

2.4.2 อายุทางสรีรวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว เช่น ผลไม้ประเภท climacteric จะผลิตเอทิลีนสูงเมื่อสุก แต่ในขณะที่ยังอ่อนอยู่จะมีการผลิตในปริมาณต่ำ

2.4.3 อุณหภูมิ การผลิตเอทิลีนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจาก 0-25 องศาเซลเซียสแต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่าจะทำให้การผลิตและการทำงานของเอทิลีนลดลง แต่ที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้ผลไม้หรือผักในเขตร้อนเกิดอาการสะท้านหนาวและก่อให้เกิดการผลิตเอทิลีนที่สูงได้

2.4.4 ปริมาณออกซิเจนในอากาศ เนื่องจากลำดับสุดท้ายของการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชต้องใช้ออกซิเจน ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนจะยับยั้งหรือลดปริมาณการผลิตเอทิลีนลงได้ ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้เอทิลีนมีอิทธิพลมากน้อยเพียงใด

2.4.5 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณในบรรยากาศปกติอาจทำให้การผลิตเอทิลีนในพืชลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดพืช อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง แต่อย่างไรก็ตามคาร์บอนไดออกไซด์จะขัดขวางการทำงานของเอทิลีนโดยแย่งที่เอทิลีนในการจับตัวกับตัวรับ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการช่วยยืดอายุของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

2.4.6 ปริมาณเอทิลีนในอากาศ สามารถกระตุ้นให้ผลไม้ผลิตเอทิลีนในปริมาณสูงขึ้นได้หากให้เอทิลีนก่อนกระบวนการสุกจะเริ่มขึ้น ในการเก็บรักษาผลิตผลจึงต้องมีการกำจัดเอทิลีนออกไป

2.4.7 สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน AVG และ AOA สามารถยับยั้งเอทิลีนในลำดับของ ACC synthase สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารสังเคราะห์และมีการทดลองได้ผลในการยับยั้งการสุกของผลไม้มาแล้ว

2.5 การสุกของผลไม้

การสุกเป็นกระบวนการเสื่อมสลายชนิดหนึ่ง และเป็นกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในผลไม้เมื่อผลไม้โตเต็มที่แล้ว และเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี เนื้อสัมผัส และรสชาติ ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งสีผิวและสีเนื้อด้วย ความนุ่มของเนื้อ การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การลดลงของกรด การสังเคราะห์สารระเหยต่างๆ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การหายใจ การผลิตเอทิลีน เป็นต้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้แก่ การหายใจเพิ่มขึ้นแล้วลดลง ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและการผลิตเอทิลีนมากขึ้น สามารถตอบสนองต่อเอทิลีนได้ง่ายขึ้น

2.6 การควบคุมปริมาณ และการกำจัดเอทิลีน

เอทิลีนเป็นสิ่งที่ผลิตผลสามารถสร้างขึ้นได้เอง หรืออาจเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์บนผลิตผล หรือจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของพาหนะที่อาจมีใช้ในห้องเย็น เช่น รถยก และเอทิลีนจาก บัลลัสต์ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Rooney, 1995) เอทิลีนที่มีสะสมในห้องเก็บรักษาจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสุกและชราภาพของผักและผลไม้ ทำให้ไม่สามารถเก็บผลิตผลไว้ได้นาน การควบคุมปริมาณเอทิลีนไม่สามารถใช้วิธีการระบายอากาศได้เพราะจะทำให้ปริมาณ ออกซิเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์ผิดไปจากที่ต้องการ การใช้โอโซนก็ทำไม่ได้เพราะจะเกิดออกซิเจนมากขึ้นจึง ต้องใช้สารดูดซับเอทิลีนออก ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate: KMnO_4) และถ่านกัมมันต์ ซึ่งอาจจับด้วยโบรมีนให้ทำปฏิกิริยากับเอทิลีน การใช้สารดูดซับนี้ต้อง จัดให้อากาศในห้องเก็บรักษาไหลผ่านโดยสะดวกด้วยจึงจะกำจัดเอทิลีนอย่างได้ผล ข้อเสียของการ ใช้สารเหล่านี้คือ ต้องมีการเปลี่ยนสารใหม่เมื่อสารเดิมเสื่อมคุณภาพหรือทำปฏิกิริยาจนหมด ซึ่งการ เปลี่ยนสารจะเป็นวิธีที่ยุ่งยากเพราะต้องเปิดห้องทำให้สภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปจากที่ ต้องการ ดังนั้นจึงอาจใช้วิธีเอาอากาศออกจากภายในห้องให้ผ่านไปยังสารดูดซับเอทิลีนภายนอก ห้องแล้วจึงปล่อยกลับเข้ามาในห้องเดิม (จรัสแท้, 2542)

การยืดอายุการเก็บผักและผลไม้สดที่ไวต่อเอทิลีน นอกจากการใช้สภาพบรรยากาศ คัดแปลงและการเก็บที่อุณหภูมิต่ำแล้ว ยังต้องมีการกำจัดหรือลดปริมาณเอทิลีนที่พืชปล่อยออกมา หรือมาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากจุลินทรีย์บางชนิดที่สร้างเอทิลีนได้ จึงมีการนำวัสดุดูดเอทิลีนมาใช้ ทั้งในอุตสาหกรรมและครัวเรือน ซึ่งมีทั้งประเภทบรรจุของและผสมในฟิล์มพลาสติก และเนื่องจาก โมเลกุลของเอทิลีนมีพันธะคู่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย และเอทิลีนมีขนาดโมเลกุลเล็ก สามารถดูด ซับได้ง่ายด้วยวัสดุที่มีรูพรุน การกำจัดเอทิลีนสามารถทำได้หลายวิธี และใช้สารประกอบหรือ สารเคมีได้หลายชนิด ได้แก่

1. การดูดซับ สารประกอบที่ใช้ดูดซับเอทิลีน เช่น ถ่านกัมมันต์ ผงอิฐ อะลูมิเนียมซิลิเกต เบน โทไนด์ ซิลิกาเจล และอะลูมินา เป็นต้น (Aaron *et al.*, 2002) แร่ดินที่สามารถดูดซับเอทิลีนได้ เช่น คริสโตบาไลต์ หินโอยา ซีโอไลต์ เป็นต้น สารประกอบบางชนิดเมื่อดูดซับเอทิลีนแล้วสามารถนำ กลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อระเหยไล่เอทิลีนไปแล้ว เช่น สควอลีน ฟีนิลเมทิลซิลิคอน พอลิเอทิลีน และ พอลิสไตรีน เป็นต้น

2. การดูดซับและการกำจัดด้วยปฏิกิริยาเคมี (scavenging) สารประกอบที่ใช้ดูดซับเอทิลีนบางชนิดจะใช้เติมแต่งสารเคมีหรือตัวเร่งปฏิกิริยา ทำหน้าที่กำจัดเอทิลีนที่ถูกดูดซับไว้ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ชุ่มด้วยโบรมีน และยังนิยมใช้ซิลิกาเจลที่ทำให้ชุ่มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต โพแทสเซียมเปอร์มังกานेट เป็นต้น

3. สารเคมีประเภทไดอินและไตรอินที่พร่องอิเล็กตรอน เช่น เบนซีน ไพรดีน ไดอาซีน จะทำปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้กับเอทิลีน เป็นการกำจัดเอทิลีนอย่างรวดเร็ว สารเคมีประเภทนี้ใช้บรรจุซองหรือผสมหมักพิมพ์ถุงบรรจุผักและผลไม้สด วัตถุประสงค์เอทิลีนอีกประเภทจะใช้ถ่านกัมมันต์ผสมกับโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น พัลลาเดียมคลอไรด์ ใช้ในการบรรจุผลไม้ เช่น กล้วย กีวี หรือผักใบเขียว เช่น ผักขม จะช่วยชะลอการสุกเสียคลอโรฟิลล์

4. การดูดกลืนด้วยฟิล์ม เป็นการนำวัสดุดูดเอทิลีนประเภทซีโอไลต์และแร่ดินเดิมในฟิล์มพอลิเอทิลีน ทำให้ฟิล์มทึบแสง พงซีโอไลต์และแร่ดินมีรูพรุนดูดกลืนเอทิลีนไว้ และยังทำให้อัตราการซึมผ่านของแก๊สของฟิล์มสูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของเอทิลีนในถุงลดลง (งามทิพย์, 2550) และในประเทศเกาหลีได้มีการพัฒนาตัวดูดซับเอทิลีน orega ขึ้น โดยมีการผสมผง orega ลงไปในฟิล์มและสามารถกำจัดเอทิลีนได้อย่างน้อย 0.005 ในล้านส่วนต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งภายในฟิล์มจะมีส่วนประกอบของโลหะอินทรีย์ ที่มีความมีรูพรุนประมาณ 2-2800 อังสตรอม เช่น พูไมซ์, ซีโอไลต์, แอคทิฟ คาร์บอน เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่ช่วยในการดูดซับแก๊สเอทิลีนและในฟิล์มชนิดนี้ไม่ได้ช่วยเพียงการดูดซับหรือการซึมผ่านของเอทิลีนเท่านั้น ยังช่วยในเรื่องการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน เอทิลีนและไอน้ำได้อีกด้วย และยังสามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในถุงให้เหมาะสมด้วย (Aaron *et al.*, 2002)

5. การระบายอากาศ วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดคือ การจัดให้มีการระบายอากาศออกจากห้องเก็บรักษา การระบายอากาศออกจากห้องในปริมาตรเท่ากับ 1 ห้อง ทุกๆ 1 ชั่วโมงช่วยลดปริมาณเอทิลีนลงได้เพียงพอ

6. การใช้ด่างทับทิม สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ แมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล โดยจะเริ่มมีสีน้ำตาลจากบริเวณผิวด้านนอกก่อนซึมผ่านเข้าไปยังด้านในของเม็ดพื้หะ รวมทั้งน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ และในการเตรียมสารละลายด่างทับทิมควรระวังไม่ให้ด่างทับทิมสัมผัสกับมือผู้ปฏิบัติหรืออินทรีย์วัตถุอื่นๆ เช่น กระดาษ หรือตัวผลิตผล เพราะด่างทับทิมเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างรุนแรง จะออกซิไดซ์อินทรีย์วัตถุ ทำให้ผิวหนัง หรือผิวผลิตผลเป็นสีน้ำตาลได้ และ

หลักสำคัญในการใช้ต่างทับทิมคือ วัสดุที่ใช้เป็นที่เกาะของต่างทับทิมต้องมีพื้นผิวมาก ได้แก่ ซอล์ก ซิลิเกต เวอร์ไมคูไลต์ เพอร์ไลต์ หรือก้อนอิฐ และการจะใช้ต่างทับทิมให้ได้ผลต้องจัดให้มีต่างทับทิมกระจายอยู่ในภาชนะบรรจุผลิตผลให้มากเท่าที่จะทำได้ และมักมีปัญหาคือวัตถุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด และก่อให้เกิดมลพิษจากมังกานีสที่เป็นโลหะหนัก

7. การใช้ถ่านกัมมันต์ สามารถใช้ดูดซับเอทิลีนได้ดีพอสมควร และถ้าใช้โบรมีน เคลือบด้วยจะทำงานได้ดีขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีนี้แพงกว่าการใช้ ต่างทับทิม จึงไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นจากการทดลองจะนำการใช้ถ่านกัมมันต์มาผสมไปกับกระดาษซึ่งทำมาจากทางใบปาล์มซึ่งมีลักษณะเหมือนกระดาษคราฟท์ เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับเอทิลีนของผลไม้ระหว่างการขนส่งจนถึงตลาดปลายทาง และสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วยเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ได้จากเศษเหลือใช้จากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ชุบด้วยพลาเดียมและบรรจุไว้ในถุงในการกำจัดเอทิลีนโดยการออกซิไดซ์ออกจากตัวบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุกีวี่ กล้วย บล็อกโคลี่ และผักโขมตัดแต่งอีกด้วย (Aaron *et al.*, 2002)

8. การใช้โอโซน สามารถออกซิไดซ์เอทิลีนได้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปราศจากมลพิษจึงเป็นวิธีที่สะอาด แต่โอโซนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งผักและผลไม้ จึงต้องกำจัดส่วนที่เหลือจากการใช้ออกซิไดซ์เอทิลีนออกก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

9. การใช้ตัวออกซิไดซ์ ในระบบนี้อากาศที่มีเอทิลีนจะถูกผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น พลาตินัม แอสเบสตอส ที่อุณหภูมิสูง เอทิลีนจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ มีข้อเสียคือ เปลืองพลังงานในการลดอุณหภูมิของอากาศหลังจากการกำจัดเอทิลีนแล้ว (จริงแท้, 2542)

จากวิธีการกำจัดเอทิลีนที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นล้วนต้องมีการจดสิทธิบัตรเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากทางการค้า ซึ่งรูปแบบที่ใช้ทำตัวดูดซับเอทิลีนส่วนใหญ่จะอยู่ในแบบเป็นถุงซึ่งต้องมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของเอทิลีนได้ดีและมีการแพร่ผ่านของแก๊สแบบไม่จำกัด และการดูดซับนี้จะไม่ได้อิ่มตัวอยู่กับตัวบรรจุภัณฑ์เพียงอย่างเดียวยังต้องขึ้นกับสารที่จะบรรจุในถุงด้วยซึ่งได้แก่ซิลิกาเจล ถ่านกัมมันต์ และต่างทับทิม ซึ่งนิยมใช้ในทางการค้าเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากซิลิกาเจลและถ่านกัมมันต์ไม่สามารถออกซิไดซ์เอทิลีนได้ จึงนิยมใช้ต่างทับทิมเป็นส่วนใหญ่และให้ประสิทธิภาพดี (Aaron *et al.*, 2002)

3. ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ หรือ อินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติ ในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี วัตถุดิบที่ใช้ผลิตจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจเป็นอินทรีย์วัตถุ หรือถ่านก็ได้ อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบแบ่งได้ดังนี้

3.1 สารเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม จี้เลื่อย ชานอ้อย ชัง ข้าวโพด เป็นต้น

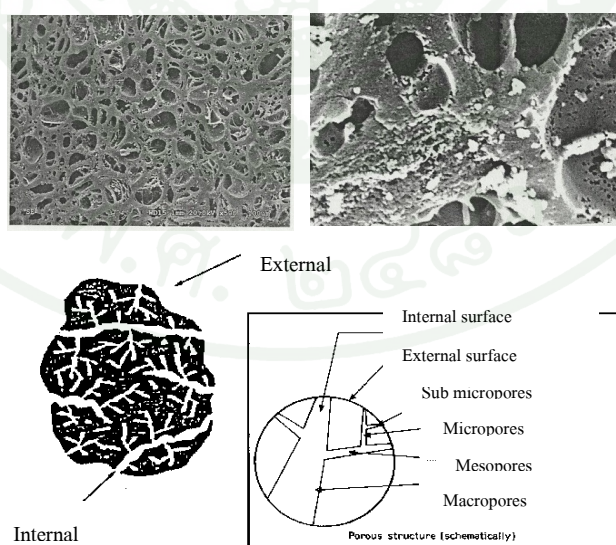
3.2 ถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ (lignite) พีท (peat) บิทูมินัส (bituminous) เป็นต้น

3.3 วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดูก เป็นต้น

ส่วนถ่านที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะเป็นถ่านสังเคราะห์ (artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กราไฟต์ แอนทราไซต์ วิธีการผลิต ถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี วัตถุประสงค์หลักคือ กระตุ้นให้ถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ในปัจจุบันมักใช้วิธี กระตุ้นด้วยไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (superheated steam) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การ กระตุ้นอาจใช้สารที่มีคุณสมบัติดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น สังกะสีคลอไรด์ (zinc chloride: $ZnCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือถ่านกัมมันต์ผง (powdered activated carbon) และ ถ่านกัมมันต์เม็ด (granular activated carbon) ซึ่งประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ชนิดผงผลิตจากจี้เลื่อย เป็นส่วนใหญ่ มีรูพรุนเล็กกว่า โดยนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลว ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป สารทำความสะอาด เป็นต้น การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ไซและน้ำมัน ทั้งพืชและสัตว์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และผงชูรส เป็นต้น ส่วนชนิดเม็ดยังผลิตจาก กะลามะพร้าว ถ่านหิน มีรูพรุนค่อนข้างใหญ่ ใช้ในการดูดแก๊สและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำ หน้ากากป้องกันแก๊สพิษ การปรับอากาศ บูหรี การผลิตน้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

กระบวนการการดูดซับของถ่านกัมมันต์ใช้หลักการดูดซับ (adsorption) และดูดซึม (absorption) การดูดซับจะเป็นการจับกันอย่างหลวมๆของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่ผิวนอกของถ่านกัมมันต์ โดยยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในทางทฤษฎีสารที่ถูกดูดซับอาจจะถูกปล่อยกลับออกมาได้ ส่วนกระบวนการดูดซึมนั้นจะอาศัยหลักการแพร่ของแก๊สหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในเม็ดถ่าน ซึ่งภายในจะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดการจับยึดโดยความเป็นร่างแหยึดเหนี่ยวไว้ ยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่นโอโซนถูกดูดซึมเข้าไปและถูกคาร์บอนรีดิวซ์เป็นออกซิเจน ส่วนกระบวนการดูดซึมอีกประเภทคือการถูกดูดซึมเข้าไปแล้วเกิดปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ สร้างพันธะที่หนาแน่นกับคาร์บอนของถ่านกัมมันต์ ซึ่งสารที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซึมซับได้ช้ากว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก Henning and Schafer (2010) ได้กล่าวไว้ว่าถ่านกัมมันต์เป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่อยู่ภายใน สามารถดูดซับสารได้หลายประเภท โดยจะทำการดึงดูดโมเลกุลของสารนั้นๆไว้ในพื้นผิวด้านใน และปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมากกว่า 0.2 มิลลิลิตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวภายในมากกว่า 400 ตารางเมตรต่อกรัม และมีความกว้างของรูพรุนอยู่ในช่วง 0.3 ถึง หลายๆพันนาโนเมตร และได้มีการแยกขนาดของรูพรุนออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ เมโซพอ (mesopores) ขนาด 1 ถึง 25 นาโนเมตร(มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 50 นาโนเมตร (Marsh, 2006) ไมโครพอ (micropores) ขนาด 0.4 ถึง 1 นาโนเมตร(0.63 ถึง 0.76 นาโนเมตร (Marsh, 2006) ซับไมโครพอ (sub micropores) ขนาด น้อยกว่า 0.4 นาโนเมตร และ มาโครพอ (macropores) ขนาดมากกว่า 25 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ภาพที่ 5 (ต่อ)

ที่มา: Marsh (2006); Henning and Schafer (2010)

4. ปาล์มน้ำมัน

4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในวงศ์ Palmae หรือ Recaceae จีนัส *Elaeis* มีชื่อสามัญคือ oilpalm และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq.

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชในตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว อินทผลัม ตาล โตนด ลักษณะของปาล์มน้ำมัน เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวขึ้นต้น ลำต้นตั้งตรง อายุยืนนาน 50-60 ปี ลำต้นสูง 40-50 ฟุต ออกใบประกอบคล้ายมะพร้าว ออกผลเป็นทะลายผลลักษณะคล้ายหมากแต่เล็กกว่า ให้ผลปีละประมาณ 12-15 ทะลาย ออกผลปีละ 2 ครั้งประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง ปาล์มน้ำมันชอบที่ราบต่ำของ ภูมิภาคแถบศูนย์สูตร ใกล้เคียงทะเลน้ำไม่ขัง เช่น ดินเหนียวปนทราย ดินชุ่มน้ำได้ดี อากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิเฉลี่ย 23-29 องศาเซลเซียส ความชื้น 70-80 เปอร์เซ็นต์ ต้องการแสงแดดอย่างน้อย 1500-1900 ชั่วโมงต่อปี ฝนสม่ำเสมอประมาณ 80 นิ้วต่อปี

4.2 การเพิ่มมูลค่าและการนำส่วนต่างๆของปาล์มน้ำมันไปใช้ประโยชน์

ต้น : ใช้ทำแผ่นไม้สำหรับผนังห้อง เพดาน โถ๊ะ และเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ นอกจากนี้ต้นปาล์มยังสามารถนำมาทำเป็นแผ่นไม้บาง ๆ ทำหลังคา และทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด ที่มีค่าซัลเฟอร์ต่ำ ซึ่งช่วยลดปัญหาภาวะมลพิษได้ดี

ทางใบปาล์ม: เมื่อใช้คลุมโคนต้นปาล์ม หรือระหว่างแถวปาล์ม จะช่วยรักษาความชื้นในดิน ลดการชะล้างของหน้าดิน และเมื่อย่อยสลายจะให้ธาตุอาหารที่ปาล์มนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทางใบปาล์มยังสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้ในใบปาล์มยังมีวิตามินอี ซึ่งหากนักวิจัยสามารถสกัดออกมาได้ก็จะช่วยเพิ่มมูลค่าได้มากมาย

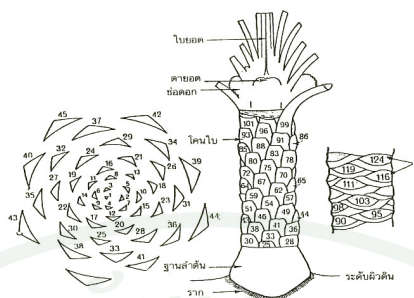
ต้นและทางใบปาล์ม : สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง ต้นปาล์มมีคาร์โบไฮเดรตสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นแก๊ส หรือเชื้อเพลิงเหลว (เช่น มีเทนเมทานอล และอีเทน) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำต้น ทางใบ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มาทำเป็นเชื้อและกระดาศ และเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชประเภทกึ่ง ซีโรไฟ มี คิวติเคิล หนา และมีเนื้อเยื่อที่มีลิกนิน

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน : เมื่อใช้คลุมโคนต้นปาล์ม จะมีประโยชน์เช่นเดียวกับการใช้ทางใบ ใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ในการเพาะเห็ดฟาง นอกจากนี้ยังมีความพยายามทำซีเมนต์บอร์คจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันด้วย

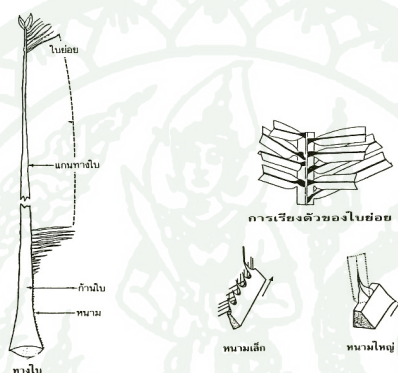
เส้นใยและกะลาปาล์ม : ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิง กะลาปาล์มที่เหลือบางส่วน ใช้สำหรับถมผิวถนนในสวนปาล์ม นอกจากนี้เส้นใย และกะลาปาล์มยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเพาะกล้าปาล์ม หรือใช้คลุมบริเวณผิวดินในถุงเพาะกล้า สำหรับกะลาปาล์มเนื่องจากมีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนสูง จึงสามารถนำมาเผาทำเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เกี่ยวกับกรองฝุ่น หรือสิ่งเจือปนต่าง ๆ

กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน : ส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารสัตว์เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง มีคาร์โบไฮเดรต 48 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 19 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 13 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 11 เปอร์เซ็นต์ (ธีระและคณะ, 2548)

(ก)



(ข)



ภาพที่ 6 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของ (ก) ลำต้นใบปาล์มน้ำมัน และ (ข) การเรียงตัวของทางใบปาล์มน้ำมัน

ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, กรมวิชาการเกษตร (2532)

5. มะละกอ (Papaya)

5.1 ถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์

ไม้ในสกุล *Carica* L. เป็นไม้พื้นเมืองในแถบร้อนของอเมริกามะละกอน่าจะเกิดจากการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติของ *C. peltata* Hook. และ Arn. กับไม้ชนิดอื่น ชาวสเปนเป็นผู้นำมะละกอไปปลูกในแถบคาริเบียนและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในราวคริสต์ศตวรรษที่ 16 จากนั้นมีการแพร่พันธุ์ไปสู่อินเดีย หมู่เกาะในมหาสมุทรและแอฟริกา ในปัจจุบันมีการปลูกมะละกอทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนในบริเวณที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

5.2 ประโยชน์

มะละกอสุกจัดเป็นอาหารเช้าที่ได้รับความนิยมมาก รับประทานเป็นผลไม้สดที่มีตลอดปี ในบางประเทศมีการปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่เพื่อผลิตปาเปนซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนในน้ำยางจากผลดิบ

5.3 การผลิตและการค้าระหว่างประเทศ

ประเทศที่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ได้แก่ บราซิล แม็กซิโก อินโดนีเซีย อินเดีย และซาอุดี โดยผลิตในเอเชียประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตโดยมีผลผลิตในอินโดนีเซีย 270000 ตัน ฟิลิปปินส์ 95000 ตัน และในปี 2548 ไทยมีการส่งออกมะละกอถึง 14,400 ล้านบาทโดยฟิลิปปินส์ส่งออกมะละกอไปยังฮ่องกงและนิวซีแลนด์ ส่วนประเทศไทยและมาเลเซียส่งออกไปยังประเทศสิงคโปร์ ผลมะละกอมักเสียหายได้ง่ายในตลาดการค้าระหว่างประเทศ เนื่องจากมะละกอเป็นผลไม้ประเภท climacteric สามารถผลิตเอทิลินได้สูง ทำให้มีการสุกของผลได้เร็ว จึงเป็นปัญหาระหว่างการขนส่งเพราะทำให้ผลผลิตสุกก่อนถึงปลายทาง (พิรศักดิ์และคณะ, 2001)

5.4 คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางอาหาร มะละกอสุกนับว่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารครบถ้วน มีวิตามินเอมาก ช่วยบำรุงสายตา และยังประกอบไปด้วยน้ำตาล วิตามินบีหนึ่ง และบีสอง วิตามินซี เหลือแร่ต่างๆ อีกไม่น้อย เป็นต้นว่า แคลเซียม ฟอสฟอรัส รวมทั้งมีกากหรือเส้นใยอาหารมาก มะละกอดิบมีน้ำย่อย ปาเปน ช่วยย่อยอาหารประเภทเนื้อได้ดี นิยมใช้ทำเป็นอาหารมาก บางครั้งนำไปทำเป็นยาช่วยย่อยสำหรับผู้ที่มีปัญหาอาหารไม่ย่อยก็ได้ สำหรับสารอาหารในมะละกอนั้น ดังตารางที่ 4 จะกล่าวถึงคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณสารอาหารต่อมะละกอสุก 100 กรัม

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของมะละกอ

คุณค่าทางอาหาร	ดิบ	สุก
พลังงาน, แคลอรี	26	45
ความชื้น, เปอร์เซ็นต์	92.1	87.1
โปรตีน, เปอร์เซ็นต์	1.0	0.5
ไขมัน, เปอร์เซ็นต์	0.1	0.1
คาร์โบไฮเดรต (รวมเส้นใย), เปอร์เซ็นต์	6.2	11.8
เส้นใย, เปอร์เซ็นต์	0.9	0.5
เถ้า, เปอร์เซ็นต์	0.6	0.5
แคลเซียม, มิลลิกรัม/100 กรัม	38	24
ฟอสฟอรัส, มิลลิกรัม/100 กรัม	20	22
เหล็ก, มิลลิกรัม/100 กรัม	0.3	0.7
โพแทสเซียม, มิลลิกรัม/100 กรัม	215	221
B- carotene, มิลลิกรัม/100 กรัม	15	710
วิตามิน, มิลลิกรัม/100 กรัม	40	73

ที่มา: ฟิรศักดิ์และคณะ (2001)

5.5 พันธุ์มะละกอ

พันธุ์มะละกอที่ปลูกในประเทศไทยในช่วงแรก ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ต่อมาได้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย และเกิดการผสมพันธุ์กัน จึงเกิดพันธุ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปจากเดิม และได้มีการคัดเลือกพันธุ์มีลักษณะที่ดีมาปลูกต่อกัน การปลูกมะละกอในท้องถิ่นใดควรคัดเลือกพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกเฉพาะท้องถิ่นนั้น เพราะมะละกอเป็นพืชที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมาก สำหรับประเทศไทยมีการปลูกมะละกอพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์การค้าอยู่หลายพันธุ์ ได้แก่

1. พันธุ์พื้นเมือง

เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกกันมานาน มีลักษณะดีคือต้นมีความแข็งแรง ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี พันธุ์พื้นเมืองเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะลำต้นและผลที่ไม่ค่อยแน่นอน การออกดอกและติดผลช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ โดยทั่วไปลักษณะผลค่อนข้างเล็กและรูปร่างค่อนข้างกลมเนื้อบางช่องว่างในผลกว้าง ผลเป็นเหลี่ยมเห็นได้ชัดเจน ผลดิบมีเนื้อค่อนข้างเหนียว เมื่อผลสุกเนื้อจะออกสีเหลืองและค่อนข้างละ จึงไม่นิยมบริโภคผลสุก มักนิยมใช้ประโยชน์จากผลดิบมากกว่า

2. พันธุ์ปากช่อง 1

เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดเล็กตรงตามความต้องการของตลาดยุโรปมีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 12-14 องศาบริกซ์ น้ำหนักผล 350 กรัม พันธุ์นี้ลักษณะใบมี 7 แฉกใหญ่ ใบกว้าง 50-80 เซนติเมตร ยาว 45-50 เซนติเมตร ก้านใบสีเขียวปนม่วงยาว 70-75 เซนติเมตร ระยะเวลาปลูกประมาณ 8 เดือน ก็จะเริ่มเก็บเกี่ยวผลได้ให้ผลผลิต 30-35 กิโลกรัมต่อต้นในระยะ 18 เดือน และค่อนข้างทนต่อโรคใบด่าง (ring spot virus)

3. พันธุ์ท่าพระ 50

เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ได้จากการใช้มะละกอพันธุ์แขกดำเป็นต้นแม่พันธุ์แล้วทำการผสมกับมะละกอพันธุ์ฟลอริดา ทอเลอแรนท์ (florida tolerant) ลักษณะเป็นมะละกอต้นเตี้ยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.30 เมตร ลำต้นแข็งแรง ใบมีสีเขียวเข้ม มีความทนทานต่อโรคใบจุดวงแหวนได้ดี (papaya ringspot virus; PRV) มีการเจริญเติบโตได้ดีแม้จะปลูกในพื้นที่ซึ่งมีการระบาดของโรคอย่างรุนแรงก็ตาม เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสม่ำเสมอและให้ผลผลิตค่อนข้างเร็วโดยให้ผลผลิตได้เพียง 3 เดือนหลังจากการย้ายปลูก โดยผลแรกมีการสุกในระยะเวลา 6-7 เดือน ผลมีขนาดปานกลางและมีลักษณะยาวตรง น้ำหนักเฉลี่ย ประมาณ 1.5 กิโลกรัม เมื่อผลดิบมีสีเขียวเข้มและผิวผลไม่เรียบแต่เมื่อกรอบเหมาะสำหรับนำมาทำส้มตำเมื่อสุกเนื้อจะมีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มและมีรสชาติหวานหอมรับประทาน

4. พันธุ์โกโก้

เป็นมะละกอพันธุ์เดี่ยว ลำต้นแข็งแรง ลำต้นอ่อนมีสีม่วงอยู่ประปราย แต่เมื่อโตแล้วจุดประอาจหายไปหรือยังอยู่ ก้านใบยาวมีสีน้ำตาล สีม่วงเข้ม หรือ สีเขียวอ่อน พวกที่มีการใบสีเขียวอ่อนหรือสีเขียว ที่บริเวณลำต้นจะมีจุดสีม่วงปรากฏอยู่ การออกดอกและติดผลค่อนข้างเร็วพันธุ์นี้มีดอกตัวผู้มาก และมีดอกสมบูรณ์เพศและดอกเพศเมียน้อย ผลขนาดปานกลาง ผลมีส่วนหัวเล็กและเรียวยาวไปสู่ส่วนท้ายซึ่งใหญ่ (บริเวณปลายผลโป่งออก) ผิวผลเกลี้ยงเป็นมัน เนื้อแน่น แข็งหนา และกรอบ ผลมีช่องว่างระหว่างพูชัดเจน เมื่อผลสุกเนื้อมีสีแดงอมชมพู มีรสชาติหวาน เมล็ดมีขนาดใหญ่มีเทาถึงเหลือง เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 8-9 เดือน

5. พันธุ์แขกดำ

มีลักษณะทรงพุ่มเตี้ย แข็งแรง ความสูงประมาณ 2-4 เมตร ก้านใบสีเขียวอ่อน ลักษณะสั้นและแข็งแรง ก้านใบตั้งตรงยาวประมาณ 60-80 เซนติเมตร ใบหนากว่าพันธุ์อื่นๆ มีเส้นใบ 9-11 แฉก มีการออกดอกติดผลเร็ว ผลมีขนาดปานกลาง ส่วนหัวและปลายผลมีขนาดเท่ากัน ผลยาวประมาณ 25-35 เซนติเมตร ผลในขณะที่ยังดิบเปลือกมีสีเขียวเข้ม เปลือกหนา เนื้อหนาประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร ผลสุกมีสีส้มอมแดง เนื้อสีแดงเข้ม ช่องว่างภายในผลแคบ มีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 9-13 องศาบริกซ์ น้ำหนักผลประมาณ 0.60-1.70 กิโลกรัม เหมาะสำหรับบริโภคสุกและดิบ เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกกันมากและเป็นที่ต้องการของตลาด

6. พันธุ์แขกนวล

เป็นพันธุ์ที่กลายพันธุ์มาจากพันธุ์แขกดำ มีการปลูกที่แถบอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูป ลักษณะเดี่ยว ใบสีเขียวเข้ม ผลมีขนาดปานกลาง มีลักษณะกลมยาว น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัมต่อผล เมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลืองเข้ม รสหวาน เปอร์เซ็นต์น้ำตาลประมาณ 13.44 องศาบริกซ์ เมล็ดมีขนาดใหญ่สีดำ เหมาะสำหรับรับประทานสุก

7. พันธุ์สายน้ำผึ้ง

เป็นมะละกอพันธุ์เดี่ยว ก้านใบเขียวปนขาว ก้านใบยาวกว่าพันธุ์แขกดำ แต่แข็งแรงน้อยกว่า ในระยะออกดอกก้านใบมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวปนขาว ก้านใบล่างมีลักษณะเอนลงสู่พื้น ใบมีขนาดกว้างแต่บาง ที่ลำต้นมีลักษณะข้อยาว ผลมีส่วนหัวเรียวยาวไปสู่ส่วนท้ายที่ใหญ่ ส่วนหัวและปลายผลมีลักษณะแหลม มีความยาวประมาณ 29 เซนติเมตร แต่อาจถึง 50 เซนติเมตร ผลมีร่องระหว่างพู

เป็นเหลี่ยมชัดเจน เปลือกผลมีสีเขียว เนื้อหนาประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร เมื่อสุกเนื้อมีสีส้ม รสชาติหวาน มีเมล็ดประมาณ 350 เมล็ดต่อผล เหมาะสำหรับบริโภคสุก

8. พันธุ์จำปาตะ

มีลำต้นขนาดใหญ่ แข็งแรง ใบและก้านมีสีเขียวอ่อน การออกดอกละติผล ก่อนข้างช้ากว่าพันธุ์โกโก้และแขกดำ ผลมีขนาดใหญ่ ลักษณะยาว ผลดิบมีสีเขียวอ่อน เมื่อผลสุก เนื้อมีสีเหลือง เนื้อค่อนข้างบางกว่าพันธุ์อื่นๆ ลักษณะเนื้อไม่แน่น

9. พันธุ์โซโล (sunrise solo)

เป็นมะละกอพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะที่มัลรัฐฮาวาย ให้ผลผลิตเมื่ออายุ 12-14 เดือน ผลแรกอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 1-1.5 เมตร ผลเกิดจากดอกสมบูรณ์เพศ รูปร่างคล้ายพันธุ์โกโก้แต่ค่อนข้างกลมกว่าขนาดผลยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณผลละ 450 กรัม เนื้อมีรสชาติดหวาน

10. พันธุ์ฮอลแลนด์หรือปลักไม้ลาย

เป็นมะละกอที่มีก้านใบสีเขียว ใบมีหูที่กลางใบ 11 แฉก ผลเป็นทรงกระบอกปลายทู่ ผิวผลสีเขียวเรียบ เนื้อมีสีส้มแดงเมื่อสุก นิยมบริโภคสุก มะละกอพันธุ์นี้ ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกเพียงร้อยละ 8 ของพื้นที่ปลูกมะละกอทั้งหมดเท่าที่สำรวจได้ แต่พบว่าเป็นพันธุ์ที่กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีราคาสูง มีผลผลิตต่อเนื่อง และมีความต้านทานโรคไวรัสใบด่างจุดวงแหวนสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ นอกจากนั้น ปัจจุบันก็มีเกษตรกรรายงานว่ามะละกอปลักไม้ลายอ่อนแอต่อโรคนี้เหมือนกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเหตุที่มะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายมีความต้านทานต่อไวรัสเชื้อสาเหตุโรค ก็เนื่องจากเชื้อไวรัสของไทยได้ปรับตัวเข้าทำลายได้ดีในพันธุ์แขกดำและแขกนวลซึ่งปลูกกันมานาน ส่วนพันธุ์ปลักไม้ลายเป็นพันธุ์ที่เข้ามาใหม่ ไวรัวยังไม่สามารถปรับตัวเข้าทำลายได้ แต่เมื่อปลูกต่อๆมานานเข้าเชื้อไวรัสอาจปรับตัวให้สามารถเข้าทำลายได้ง่ายแล้วในปัจจุบัน ซึ่งเป็นประเด็นที่ต้องศึกษากันต่อไป

สำหรับคุณภาพมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย พบว่ามีลักษณะตรงตามพันธุ์เพียงร้อยละ 19 เห็นได้ว่าเป็นค่าเดียวกันกับแขกดำและแขกนวล ซึ่งเกษตรกรต่างเก็บพันธุ์มาเองจึงเกิดการผสมข้าม

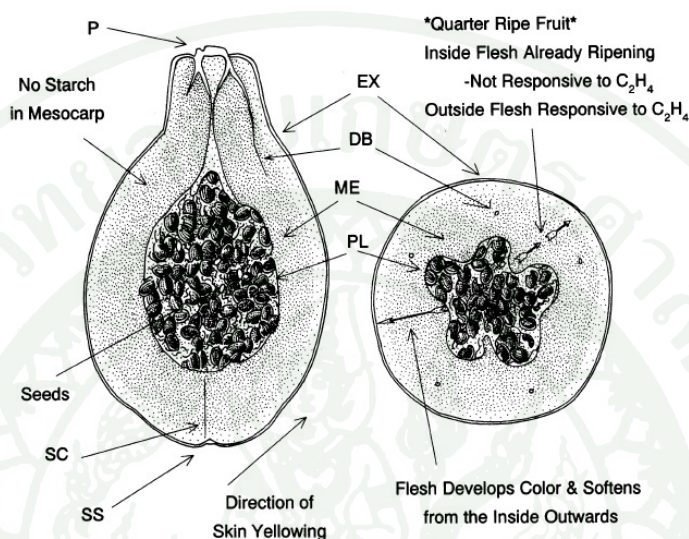
และกลายพันธุ์ไปมาก ลักษณะสีเนื้อของพันธุ์นี้มีสีส้ม ระดับหมายเลข 7-8 ตามแผ่นเทียบสีมาตรฐาน สำหรับความแน่นเนื้อมีค่ามากกว่าพันธุ์ทั่วไปของไทย พบว่าสัดส่วนตัวอย่างที่มีความแน่นเนื้อสูงกว่า 2.1 กิโลกรัม มีมากถึงร้อยละ 33 ในขณะที่พันธุ์แขกดำมีเพียงร้อยละ 11 สำหรับความหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในช่วงร้อยละ 12.1-14 สูงถึงร้อยละ 54 (จริงแท้, 2552)

5.6 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะละกอ

มะละกอประกอบด้วยเกสรตัวเมีย 5 ตัว อยู่ส่วนกลางของดอกและเมื่อเจริญเป็นผลแสดงอยู่บริเวณส่วนกลางของผลบรรจุมะล็ดมีลักษณะคล้ายดาว ดังภาพที่ 7 มะล็ดจะมีสีเทาถึงสีดำเมื่อผลถึงระยะบริบูรณ์ ผลจะมีรูปร่างคล้ายลูกแพร์ คือ มีทรงกลมและทรงกระบอกผสมกัน ซึ่งจากภาพเป็นลักษณะของมะละกอในกลุ่มไซโล โดยผลจะมีน้ำหนักประมาณ 300 – 700 กรัม ขนาด 200 กรัมถึง 10 กิโลกรัม ความหนาเนื้อประมาณ 1.5- 4 เซนติเมตร เนื้อมีสีเขียวขาวเมื่อยังดิบและจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม เหลือง ชมพู และแดงตามลำดับเมื่อผลสุก และมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 5- 19 เปอร์เซ็นต์ มะละกอเป็นผลไม้ประเภท climacteric เมื่อสุกจะมีการเริ่มเปลี่ยนสีเหลืองของเปลือกจากส่วนล่างบริเวณ stigma ส่วนล่าง ส่วนการเปลี่ยนของสีเนื้อและการพัฒนาการนึ่งของผลจะเริ่มจาก endocarp ออกมายังด้านนอก มีอัตราการหายใจใน 20 องศาเซลเซียส คือ 9-18 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมชั่วโมง และหากผลสุกเต็มที่การหายใจ คือ 70-90 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมชั่วโมง ส่วนอัตราการผลิตเอทิลีนเมื่อสุกอยู่ที่ 7-10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมชั่วโมง

การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของมะละกออาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ อาจเกิดได้จากการเสียหายทางกล เสียหายทางกายภาพ โดยอาจเกิดระหว่างการเก็บเกี่ยว ระหว่างการขนส่ง หรือระหว่างการเก็บรักษาที่สามารถเกิดการสูญเสียได้ทั้งสิ้น ทั้งนี้ Paull *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาและกล่าวไว้ว่า การขนส่งมะละกอไปสู่นิวยอร์กซึ่งเป็นตลาดปลายทางนั้นมีการเกิดการเสียหายทางกล การสุก และเกิดโรคของมะละกอขึ้น ซึ่งได้แก่การเกิดแอนแทรคโนส 62 เปอร์เซ็นต์ เกิดการเน่าเสีย 22 เปอร์เซ็นต์ การสุก 48 เปอร์เซ็นต์ เกิดการสะท้อนขาว 2 เปอร์เซ็นต์ ผลเน่า 17 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากเชื้อโรคที่ทำให้เกิดราสีเทา 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่ามะละกอเกิดความเสียหายได้เยอะมาก แต่ที่สำคัญอีกประการที่ทำให้เกิดความเสียหายได้นั้นก็คือเอทิลีนนั่นเอง และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลมะละกอได้แก่ ระยะบริบูรณ์ มะละกอจะมีการสะสมน้ำตาลในช่วงสุดท้ายของการพัฒนาของผล โดยจะต้องทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผลเริ่มมีสีเหลืองในบางส่วน

การกระทบหรือการขูดขีด สามารถเกิดบาดแผลจากการกระทบหรือขูดขีดได้ง่ายหากตกจากที่สูงเพียง 5 เซนติเมตร และที่สำคัญคือเอทิลิน เป็นสาเหตุให้มะละกอสุกเร็วและเปลือกสีเหลือง ผลนึ่ง และการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะละกอสุกจากด้านในออกสู่ด้านนอก โดยเอทิลินจะไปเร่งการสุกในส่วน of เนื้อเยื่อ mesocarp และทำให้ผลนึ่ง



ภาพที่ 7 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะละกอ P, peduncle; EX, exocarp (skin); ME, mesocarp (เนื้อ); PL, placenta; DB, dorsal vascular bundle; SC, stigma canal; และ SS, stigma scar

ที่มา: Paull *et al.* (1997)

5.7 การเก็บเกี่ยวผลผลิตและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

ผลมะละกอพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวเมื่อมีแถบสีเหลืองบนผลเพียงเล็กน้อย การเก็บเกี่ยวผลให้ใช้มีดหรือกรรไกรตัดขั้วผลมะละกอให้ติดต้นแล้วตัดขั้ว ผลมะละกอที่ขายออกภายหลัง ห้ามใช้มีดบิดผลเพราะทำให้ขั้วช้ำ และเชื้อราสามารถจะเข้าทำลายทางขั้วที่ติดต้นทำให้ต้นเน่าเสียหายได้ เลือกเก็บเกี่ยวผลที่มีผิวสีเหลืองหรือส้มประมาณร้อยละ 5 ของพื้นที่ผิวผล ผลที่เก็บควรใส่ภาชนะหรือแบ่งที่กรุกระคายหลายๆ ชั้น หรือกล่องกระดาษ ระวังไม่ให้ยางเปื้อนติดผิวผล วางเข่งหรือกล่องไว้ในที่ร่ม เคลื่อนย้ายไปที่คัดขนาดด้วยความระมัดระวัง จากนั้นห่อผลด้วยวัสดุป้องกันการกระแทกและรอยถลอกบนผิวก่อนที่จะบรรจุกล่องที่มีวัสดุป้องกันการแทรกของอีกครึ่งหนึ่งและต้อง

ทำตามกฎของประเทศผู้นำเข้ามะละกออย่างเข้มงวดโดยเฉพาะเรื่องการป้องกันแมลงจำพวกแมลงวันทองที่ติดมากับผล (ฟิรส์คี่และคณะ, 2001)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วุฒิรัตน์ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตสารดูดซับเอทิลีนเพื่อศึกษากระบวนการผลิตสารดูดซับเอทิลีนโดยใช้ดินสอพองและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาไนต์ (ต่างทับทิม: KMnO_4) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยจากการศึกษา พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำหนักดินสอพองต่อน้ำที่ 2 : 1 ให้ของผสมที่มีความหนืดสูงที่สุด ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปผลิตสารดูดซับเอทิลีน จากนั้นนำดินสอพองผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาไนต์ ที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, และ 7 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150, 175 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า การอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอบลดลง โดยตัวอย่างที่อบด้วยตู้อบลมร้อนจะใช้ระยะเวลาการอบสั้นกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ เมื่อนำตัวอย่างสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นไปทดสอบการดูดซับเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนในท้องตลาด พบว่า สารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนในท้องตลาด และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตู้อบและความเข้มข้นของ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาไนต์ ที่ 3 เปอร์เซ็นต์ ต่ออัตราการดูดซับเอทิลีน นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศมีอัตรา การดูดซับเอทิลีนดีกว่าตัวอย่างที่อบด้วยตู้อบลมร้อน

Dias *et al.* (2007) ได้กล่าวว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับ มีความเป็นรูพรุนสูง มีพื้นผิวมาก มีลักษณะการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวสูง (degree of surface reactivity) และถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการดูดซับสารพิษจากอากาศ หรือจากของเหลวให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ก็มีราคาสูง ดังนั้นจึงมีคนสนใจและเริ่มมีการพัฒนาตัวดูดซับเอทิลีนด้วยการทำเป็นกระดาศถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยลดต้นทุนและประสิทธิภาพยังคงดีเยี่ยม และในปีเดียวกัน สุพัฒน์ ได้ทำการศึกษาเรื่องการประเมินประสิทธิภาพกระดาศถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เศรษฐกิจในกลุ่มของผลไม้บ่มสุกได้แก่ กล้วยหอมทอง และมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยศึกษาผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาศลูกฟูกเก่า และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ระดับผงถ่านกัมมันต์ 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 21 วัน ที่อายุการเก็บรักษา 21 วัน กล้วยหอมทองมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ มีค่าการสูญเสีย

น้ำหนักเท่ากับ 16.2 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่นเนื้อเท่ากับ 69.5 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ ค่า α เท่ากับ 10 และมีค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคมองรับได้เท่ากับ 6.9 นอกจากนี้เมื่อนำกระดาษถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ดังกล่าว ทดลองเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 18 วัน โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่นเนื้อเท่ากับ 5.9 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เท่ากับ 0.0007 เปอร์เซ็นต์ ค่า α เท่ากับ 8.6 และค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคมองรับได้เท่ากับ 8.5 ดังนั้นการเติมถ่านกัมมันต์ลงในกระดาษจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ส่งออกได้

ต่อมาในปี สุพัฒน์และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและสารยับยั้งเชื้อรา (คาร์เบนดาซิม) ต่อการยืดอายุการเก็บรักษากลิ้วหอมทองที่บรรจุร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์ ที่ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 25 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 เปอร์เซ็นต์โดยสภาวะการเก็บรักษากลิ้วหอมทองสามารถจำแนกได้ 5 สภาวะ ดังนี้ (1) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยไม่มีกระดาษผงถ่านกัมมันต์; (2) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์; (3) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์; (4) กลี้วหอมทองที่ผ่านการชุบสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม 0.1 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์ และ; (5) กลี้วหอมทองที่ผ่านการชุบสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม 0.1 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์ และจากการทดลองพบว่า สภาวะการทดลองที่ให้ผลดีที่สุด คือ การเก็บรักษากลิ้วหอมทองที่ผ่านการชุบสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ร่วมกับกระดาษผงถ่านกัมมันต์ สามารถเก็บรักษากลิ้วหอมทองได้นาน 28 วัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 18.72 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่นเนื้อมีค่ามากที่สุด คือ 72.15 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 20.5 องศาบริกซ์ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก มีค่า α เป็น 10.23 และมีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 5.8 คะแนน และ Vermeien *et al.*, (1999) ได้กล่าวว่าวัตถุประสงค์ของสารดูดซับเอทิลีนคือยับยั้งการเกิดเอทิลีนหรือการกำจัดเอทิลีนซึ่งอาจจะใช้ ถ่านกัมมันต์ หรือถ่านชาร์โคลกับพลาเดียมคลอไรด์ (PdCl) โดยมีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ 20 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการสะสมของเอทิลีน และลดอัตราการเน่าลงในกระบวนการตัดแต่งผลกีวี่ และกลี้ว และยังลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผักโขมได้

นอกจากการนำผงถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีนแล้วยังมีการนำไคอะทอมไมด์มาประยุกต์เป็นสารดูดซับเอทิลีน เช่น พรชัย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้สารดูดซับเอทิลีนจากไคอะทอมไมด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ทำการผลิตขึ้นจากไคอะทอมไมด์ โดยทำการผสมในอัตราส่วนของไคอะทอมไมด์ ต่อสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เท่ากับ 2:3 ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่างๆ ดังนี้ คือ 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อผสมให้เข้ากันแล้วนำเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 ± 3 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาบดเป็นผงและอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบรรจุในถุงชาปริมาณ 10 กรัม และนำบรรจุในช่อง พอลิเอทิลีนเจาะรู โดยทำการศึกษาสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ในการทดลองเก็บกับกล้วยหอมทองที่อุณหภูมิประมาณ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากงานวิจัยแล้วพบว่า กล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5 เปอร์เซ็นต์ และ 7 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก การลดลงของความแน่นเนื้อ และชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แต่กล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองได้ โดยกล้วยหอมทองในชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 15 วัน ส่วนกล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 18 วัน เท่ากับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า

พิชญา และคณะ (2551) ได้ศึกษาการผลิตสารดูดซับเอทิลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เพื่อศึกษากระบวนการผลิตสารดูดซับเอทิลีนโดยใช้ดินสอพองและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นส่วนประกอบหลัก จากผลการทดลองพบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศมีอัตราการดูดซับเอทิลีนเร็วกว่าตัวอย่างที่อบด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นบรรจุในซองกระดาษ 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษสาแบบบาง, กระดาษพรูฟ และกระดาษทำโคม แล้วนำไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่าการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนในซองที่ทำจากกระดาษพรูฟมีอัตราการดูดซับเอทิลีนสูงกว่าซองที่ทำจากกระดาษทำโคมและกระดาษสาแบบบาง หลังจากนำสารดูดซับเอทิลีนที่บรรจุในซองกระดาษชนิดดังกล่าวหุ้มด้วยถุงพลาสติกชนิด Perforated oriented

polypropylene: OPP เจาะรู ไปวัดอัตราการดูดซับ แก๊สเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด 2 ชนิด พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นสามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้เร็วกว่าสารดูดซับเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด จากการทดสอบนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นไปใช้ในการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด 2 ชนิด และสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ชอล์กเป็นตัวพา พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นและสารดูดซับเอทิลีนที่จำหน่ายในท้องตลาด สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้เป็นระยะเวลา 12 วัน ในขณะที่สารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ชอล์กเป็นตัวพาสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้เป็นระยะเวลา 9 วัน

พรชัยและคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาในเรื่องผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจากกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยการการผลิตบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกระดาษถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซเอทิลีน โดยเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 15 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่าและขึ้นรูปด้วยมือ ศึกษาผลของกระดาษถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นต่ออายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่า การบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ร่วมกับกระดาษถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) 5 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้นานเพียง 16 วันเท่านั้น ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในกล่องที่บุด้วยกระดาษถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการสุก การเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อ รวมทั้งชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ซึ่งคุณภาพโดยรวมยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน

นอกจากจะมีการใช้ผงถ่านกัมมันต์และตัวดูดซับเอทิลีนอื่นๆในการกำจัดเอทิลีนของผลไม้ ธัญญาภรณ์ และ ธวัชชัย (2551) ศึกษาผลของฟิล์มไคโตแซนผสมสารโซเดียมเบนโซเอตต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอ โดยได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอโดยเปรียบเทียบวิธีการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน คือ มะละกอที่หุ้มด้วยฟิล์มไคโตแซน (chitosan wrapped: WC) มะละกอที่เคลือบสารไคโตแซน (chitosan coated: CC) มะละกอที่หุ้มด้วยฟิล์มโพลีเอทิลีน (polyethylene wrapped: WP) เปรียบเทียบกับมะละกอที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มใดๆ (control) โดยแบ่งส่วนมะละกอที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและจุลินทรีย์ออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้วผล กลางผล และปลายผล พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมะละกอที่เก็บด้วยวิธี CC และ WC จะเกิดค่าความแข็งลดลงและมีค่าสีเขียวลดลงน้อยกว่าพอลิเอทิลีน ในทุกๆส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฟิล์ม

WC จะให้ลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า WC มีปริมาณลดลงน้อยกว่าอื่นๆ เมื่อนำฟิล์ม WC ไปผสมกับโซเดียมเบนโซเอต เปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 50 และ 100 ส่วนในล้านส่วน พบว่า ระยะเวลาการเก็บนานขึ้น อัตราการแพร่ของสารโซเดียมเบนโซเอตที่ระดับความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน จะเพิ่มมากกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงและให้ลักษณะด้านเนื้อสัมผัสแข็งและสีเขียวของผลมะละกอกองอยู่มากกว่ามะละกอที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มใดๆ และการหุ้มด้วยฟิล์มไคโตแซนผสมสารโซเดียมเบนโซเอตที่ระดับความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน จะสามารถยืดอายุการเก็บของมะละกอได้มากกว่า 14 วันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ชัยพรและ รังสิณี (2550) ได้ศึกษากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวเพื่อดูดซับเอทิลีนเนื่องจากฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีจำนวนมากและมีการใช้ประโยชน์น้อย ฟางข้าวประกอบด้วยเส้นใยที่เป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่สูง นอกจากนั้นยังมีปริมาณผลผลิตเชื้อที่เพียงพอต่อการนำมาผลิตเป็นกระดาษที่มีสมบัติที่ดีและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แอ็กทิฟ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวเพื่อดูดซับเอทิลีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตเชื้อและใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับเอทิลีน จากการทดลองพบว่าเชื้อฟางข้าวที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ผลิตเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรงแก่กระดาษมากที่สุด ทั้งสมบัติทางกายภาพเช่นความหนาแน่นและความสว่าง และให้ค่าสมบัติทางกลสูงสุดในด้านดัชนีความต้านทานแรงดึง ความยืดความต้านทานการหักพับ และดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า จึงคัดเลือกที่สภาวะดังกล่าวและนำมาผสมรวมกับถ่านกัมมันต์เพื่อผลิตเป็นกระดาษฟางข้าว พบว่าสามารถผลิตเป็นกระดาษฟางข้าวที่มีความสามารถในการดูดซับแก๊สเอทิลีนได้ ซึ่งจะประโยชน์ในการนำไปใช้ในการเป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บผลผลิตเกษตรได้

รตนพรพร (2552) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชื้อซัลเฟตจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันและการนำมาประยุกต์ใช้ได้ศึกษาเพื่อเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมนำไปสู่การสร้างมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งปาล์มน้ำมันจากกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม ทางไบโพลีเมอร์น้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อกระดาษจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟตหรือกราฟท์และปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูปโดยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคลไออนิกสตาร์ชและสารกันชื้นชนิดแอลคิลดีนไคเมอร์ อีกทั้งยัง

ทดสอบการใช้งานเพื่อการขนส่งผลิตผลทางการเกษตรด้วยวิธีการวัดการสันสะท้อนโดยการบรรจุผลแอปเปิ้ลและวัดค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเชื้อจากทางไบโพลัมน้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟต ได้แก่ ปริมาณแอคติฟแอลคาไลเท่ากับ ร้อยละ 16 ซัลฟิไดต์เท่ากับร้อยละ 25 อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อไม้เท่ากับ 5 ต่อ 1 อุณหภูมิต้มเชื้อ 160 องศาเซลเซียส และเวลาดัมเชื้อ 180 นาที ซึ่งให้ผลผลิตเชื้อหลังจากคัดกรองแล้วร้อยละ 29.19 ส่วนการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษด้านความแข็งแรงด้วยแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับ แอลคิลคิตินไคเมอร์ พบว่าปริมาณสารเคมีแต่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน้ำมัน ได้แก่ แคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคิตินไคเมอร์ปริมาณร้อยละ 1.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ เยื่อกระดาษจากทางไบโพลัมน้ำมัน ถูกนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดและทดสอบความต้านทานแรงกดเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลและถาดโฟมพบว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปทางไบโพลัมน้ำมันที่เก็บไว้ทั้งในสภาวะมาตรฐาน (27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์) และสภาวะจำลองของห้องเย็น (12 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์) สามารถต้านทานแรงกดสูงสุดคือ 1894 และ 1679 นิวตัน ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยวิธีการสันสะท้อน พบว่าผิวของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน้ำมันมีความแข็งแรงกระด้าง ส่งผลให้มีแอปเปิ้ลที่เก็ดย่อยซ้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรถึง 88.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปทางไบโพลัมน้ำมันเหมาะสมสำหรับการขนส่งผลิตผลที่ต้องการความคงรูปสูง

Wanrosli *et al.*, (2007) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อจากทางไบโพลัมด้วยวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มมูลค่าของการใช้ปาล์มน้ำมันในระดับอุตสาหกรรมของประเทศมาเลเซียซึ่งสามารถนำทางไบโพลัมน้ำมันมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษนั้นเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น พบว่าเส้นใยที่ได้จากทางไบโพลัมถูกนำมาสกัดด้วยวิธีทางเคมีได้แก่การใช้กระบวนการซัลไฟต์ กระบวนการโซดาซัลไฟต์ และ กระบวนการโซดาและได้นำเยื่อที่ได้เปรียบเทียบกับเยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งต่างๆ พบว่าเชื้อจากทางไบโพลัมมี ไฮโดรเซลลูโลสสูงแต่มีปริมาณลิกนินต่ำ เยื่อเคมีที่ได้จากกระบวนการ โซดาซัลไฟต์หรือกระบวนการโซดามีผลผลิตที่ได้ประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเยื่อคราฟท์ของไม้เนื้อแข็งและจากการศึกษายังพบว่าเชื้อจากทางไบโพลัมอาจนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ หรือในการผลิตเชื้อจากไม้เนื้ออ่อนจากวิธีทางกลโดยใช้ความร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ทางใบปาล์มน้ำมันจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี
- 1.2 มะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีสำหรับการสกัดเชื้อและทดสอบกระดาษทางใบปาล์มน้ำมัน
 - 2.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์
 - 2.1.2 โซเดียมซัลไฟด์ เกรดวิเคราะห์
 - 2.1.3 กรดไฮโดรคลอริก
 - 2.1.4 กรดซัลฟิวริก
 - 2.1.5 แบเรียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์
 - 2.1.6 โซเดียมคาร์บอเนต เกรดวิเคราะห์
 - 2.1.7 โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เกรดวิเคราะห์
 - 2.1.8 เมทิลออเรนจ์ เกรดวิเคราะห์
- 2.2 สารเคมีสำหรับเตรียมสารกำจัดเชื้อรา
 - 2.2.1 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)
- 2.3 สารเคมีที่ใช้ทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลไม้
 - 2.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
 - 2.3.2 ฟีนอล์ฟทาไลน์

3. อุปกรณ์

- 3.1 มีดสแตนเลสและเขียง
- 3.2 ถาดและกะละมังพลาสติก
- 3.3 ซิลิโคนชนิดใสและเทพกาว

3.4 เข็มฉีดยา

3.5 ไมโครปิเปต ขนาด 200 – 1000 ไมโครลิตร

3.6 ขวดดูแรน (duran bottle) ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.7 แท่งแม่เหล็กกวนสาร

3.8 Dessicator

3.9 ชุดเครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.9.1 หลอดปิเปต

3.9.2 ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask)

3.9.3 ขวดแก้วรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)

3.10 มาตรวัดดัชนีหักเหด้วยมือ (hand refractometer)

4. เครื่องมือ

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเชื้อกระดาษ

4.1.1 เครื่องต้มเยื่อระบบปิด (CRS Reactor Engineering)

4.1.2 เครื่องต้มเยื่อความดันไฟฟ้า 3 เฟส แบบหมุนได้ขนาด 20 ลิตร

4.1.3 เครื่องตีกระจายเยื่อ (pulp disintegrator) (Lorentzen & Wettre)

4.1.4 เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐานอัตโนมัติ (Rapid Kothen, Type: RK2-KWT

ออสเตเรีย

4.1.5 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (model AT400, Sartorius, เยอรมัน)

4.1.6 เครื่องเซนตริฟิว (centrifugal separator)

4.1.7 เครื่องตีผสมเยื่อ (mixture machine)

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเชื้อกระดาษและแผ่นดูดซับเอทิลีน

4.2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด (tensile tester) (Instron Universal testing machine, รุ่น 5965, สหรัฐอเมริกา)

4.2.2 เครื่องทดสอบความหนาของกระดาษ (thickness tester) (model ID-C 112BS, Mitutoyo, ญี่ปุ่น)

4.2.3 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดของวงแหวน (ring crush tester) (testometric รุ่น micro 350, rochdale, อังกฤษ)

4.2.4 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography) (model 6820, Agilent Technologies)

4.2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) (ยี่ห้อ JEOL, model JSM-6301F, ญี่ปุ่น)

4.3 เครื่องมือสำหรับการทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

4.3.1 เครื่องทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) (model Illinois 8500, Illinois Instrument, Inc., สหรัฐอเมริกา)

4.4 เครื่องมือสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้

4.4.1 เครื่องวัดสี (model CM-310, Konica Minolta Holdings, Inc., ญี่ปุ่น)

4.4.2 มาตรฐานวัดดัชนีหักเหด้วยมือ (hand refractometer) (Atago N-1A, Tokyo, ญี่ปุ่น)

4.4.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (testometric รุ่น micro 350, rochdale, อังกฤษ)

วิธีการ

1. เตรียมแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมถ่านกัมมันต์

1.1 เตรียมทางใบปาล์มที่ได้จากจังหวัดสุราษฎร์ธานี จากนั้นปอกเปลือกสีเขียวออกแล้ว หั่นเป็นชิ้นยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร และนำไปตากให้แห้ง

1.2 จากนั้นวัดปริมาณความชื้นและน้ำหนักแห้งเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำในเนื้อไม้ ทั้งหมด จากนั้นนำชิ้นไม้มาต้ม

1.3 ต้มทางใบปาล์มน้ำมันโดยวิธีกราฟท์ โดยใช้ค่าแอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 24 ซัลฟิเตีร้อยละ 30 อัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบ (liquid : material) เท่ากับ 5:1 (ดูภาคผนวก ก)

1.4 ต้มทางใบปาล์มน้ำมันในสารละลายจากข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำเชื้อที่ได้มาล้างเพื่อกำจัดสารเคมีออกด้วยน้ำประมาณ 3-4 ครั้ง

1.5 ร่อนเชื้อเพื่อคัดขนาดที่สม่ำเสมอ

1.6 จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปเข้าเครื่องปั่นเพื่อปั่นน้ำออกจนได้เยื่อที่แห้ง และนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเปียก และแบ่งเยื่อบางส่วนเพื่อคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ได้

1.7 นำเยื่อที่เหลือไปตีกระจายเยื่อด้วยเครื่อง chip defibrater เป็นเวลาประมาณ 10 นาที จากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องปั่นอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงไปเข้าเครื่องผสมเพื่อให้เยื่อที่ได้มีความกระจายตัว ไม่จับตัวเป็นก้อนอีกประมาณ 10 นาที

1.8 เก็บรักษาเยื่อที่ได้ในถุงซิปลแล้วเก็บเข้าสู่เย็นเพื่อรักษาเยื่อที่ได้ให้คงสภาพดีก่อนนำไปใช้งาน

1.9 ก่อนนำเยื่อที่ได้ไปทำการขึ้นแผ่นกระดาษต้องทำการหาปริมาณความชื้นที่ได้ เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมระหว่างปริมาณเยื่อที่จะใช้และน้ำ โดยวิธีการคำนวณจะกล่าวในภาคผนวก ก

1.10 คำนวณปริมาณของถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10, ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 โดยเทียบจากน้ำหนักเยื่อที่ใช้ (ภาคผนวก ก)

1.11 นำเยื่อที่หาปริมาณความชื้นที่ได้จากการคำนวณปริมาณแล้ว มาผสมกับน้ำปริมาณที่ต้องการ ผสมกันในเครื่องกระจายเยื่อ (disintegrator) ด้วยความเร็วรอบประมาณ 8000 จากนั้นผสมด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ได้เตรียมไว้ก่อนนำไปขึ้นแผ่นกระดาษ

1.12 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องทำแผ่นกระดาษอัตโนมัติ Rapid Kothen โดยให้มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 80 กรัมต่อตารางเมตร (ภาคผนวก ก)

1.13 เก็บรักษาแผ่นกระดาษที่ได้ใน dessicator ที่มีซิลิกาเจลด้วยเพื่อช่วยในการดูดความชื้นของกระดาษ และก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของกระดาษต้องมีการปรับสถานะของแผ่นดูดซับเอทิลีนตามมาตรฐาน TAPPI T 40

1.14 วิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพของกระดาษ ดังนี้ (ภาคผนวก ข)

1.14.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ตามมาตรฐาน ISO 536: 1995

1.1.4.2 ความหนา (thickness) ตามมาตรฐาน ISO 534: 1988

1.14.3 ความหนาจากการบวม (ความหนาจากการบวม) ตามมาตรฐาน

ISO 534: 1988

1.14.4 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ตามมาตรฐาน ISO 534: 1988

1.14.5 การดูดซึมน้ำ (water absorption) ตามมาตรฐาน มอก. 321: 2522

1.14.6 ความชื้นของกระดาษ (moisture content) ตามมาตรฐาน TAPPI 412 om-02

1.15 วิเคราะห์สมบัติเชิงกลของกระดาษ (ภาคผนวก ข)

1.15.1 การต้านทานแรงดึง (ความต้านทานแรงดึง) ตามมาตรฐาน ISO1924-2: 1994

1.15.2. การต้านทานแรงกดของวงแหวน (ring crush resistance) ตามมาตรฐาน

TAPPI T822

2. ศึกษาปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นต่อสารดูดซับเอทิลีน (ถ่านกัมมันต์) บนแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ (ดัดแปลงวิธีของ ธนา, 2552)

2.1 บรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนของแต่ละตัวอย่างที่เตรียมได้ในกล่องพลาสติก เติมแก๊สเอทิลีน เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 3 ส่วนในล้านส่วน ในปริมาณที่เท่ากันในแต่ละกล่อง

2.2 สุ่มตัวอย่างแก๊สเพื่อทดสอบปริมาณของแก๊สเอทิลีนที่หายไปด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

2.3 วิเคราะห์หาความสามารถของการดูดซับเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนที่ได้ (ภาคผนวก ข)

2.4 ทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D 3985-02 (ภาคผนวก ข)

3. ประยุกต์แผ่นดูดซับเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

3.1 คัดเลือกผลไม้ให้ได้ขนาดและอายุตามต้องการจากตลาดไทย คือเลือกมะละกอจากจังหวัดสุรินทร์ทั้งหมด โดยเลือกมะละกอที่มีจำนวนเต็ม 1 (บริเวณส่วนท้ายของผลมะละกอมีสี

เหลือง 1 จุด) แต้มแต่ไม่เกิน 2 แต้ม (บริเวณส่วนท้ายของผลมะละกอมีสีเหลือง 2 จุด) ในการทดลอง

3.2 บรรจุมะละกอจำนวน 2 ผลลงในกล่องกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC ขนาดกว้าง 9 นิ้ว ยาว 13 นิ้ว และสูง 6 นิ้ว โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือชุดควบคุมและชุดที่ต้องการศึกษาโดยในชุดที่ต้องการศึกษามีการบรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10, ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ไว้ด้านในของกล่องบริเวณก้นกล่อง 1 แผ่น และบริเวณฝากล่อง 1 แผ่น

3.3 เก็บชุดควบคุมและชุดที่ต้องการศึกษาไว้ในสภาวะห้องเย็นที่ 13 ± 2 องศาเซลเซียส

3.4 สุ่มผลไม้จากทั้ง 2 ชุดการทดลองมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี หลังการเก็บรักษาในวันที่ 0, 3, 6, 10, 13, 16, 20 และ 24 (ภาคผนวก ค) ซึ่งจะสุ่มมาทดสอบในแต่ละชุดการทดลองครั้งละ 4 กล่องโดยจะทำการศึกษา

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือก (ภาคผนวก ค)

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ภาคผนวก ค)

3.4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ตามมาตรฐาน AOAC 1990 (ภาคผนวก ค)

3.4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ภาคผนวก ค)

3.4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ (ภาคผนวก ค)

3.4.6 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผล (ภาคผนวก ค)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 12

4. สถานที่ดำเนินงานวิจัย

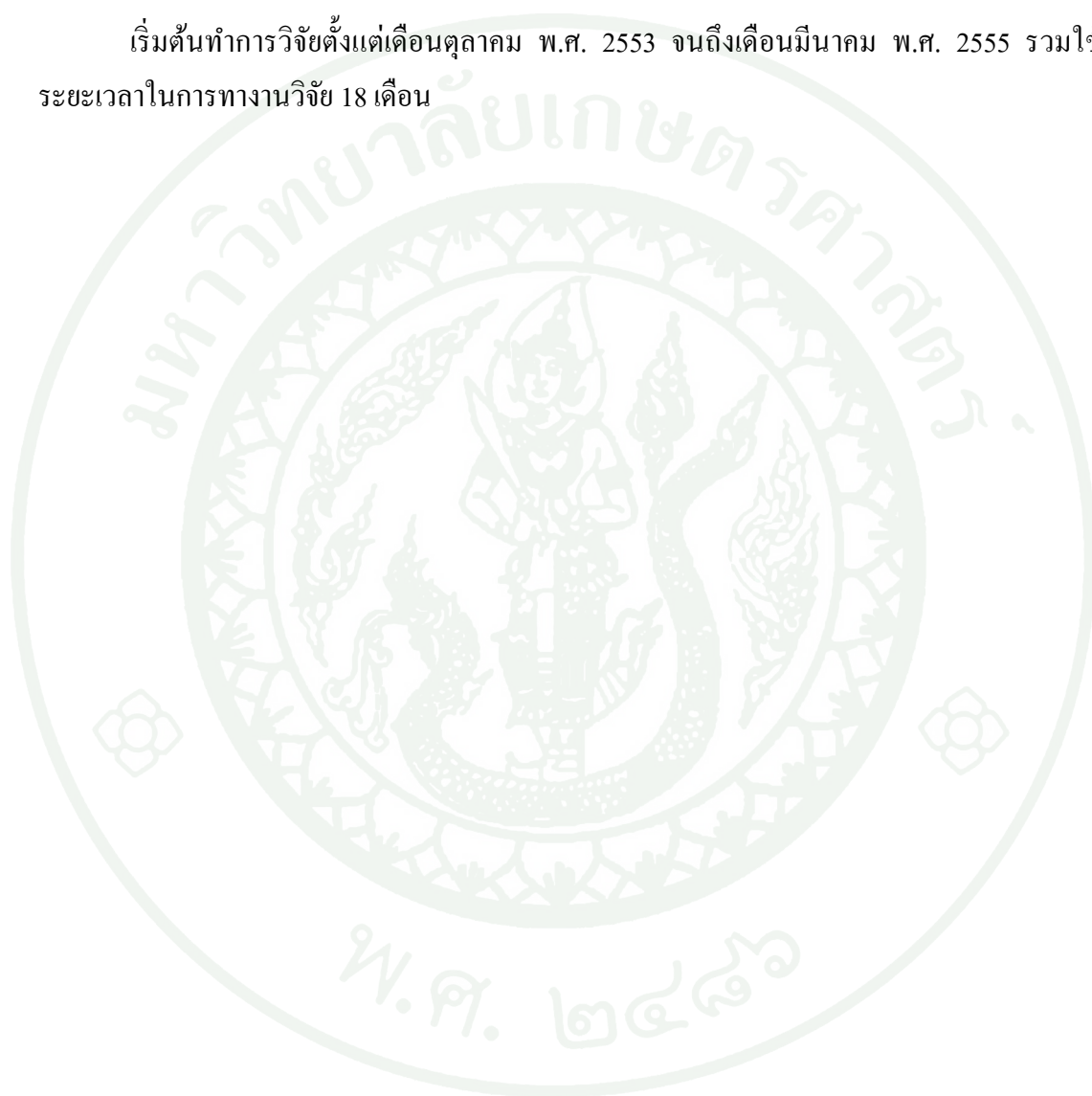
ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ภาพถ่าย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี

5. ระยะเวลาทำงานวิจัย

เริ่มต้นทำการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 รวมใช้
ระยะเวลาในการทำงานวิจัย 18 เดือน



ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของผงถ่านกัมมันต์ผสมในเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 6 ข้อหลักๆดังต่อไปนี้

1. สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษ
2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีน
3. การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเอทิลีน
4. คุณสมบัติการซึมผ่านและการดูดซับแก๊ส
5. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอหลังการเก็บรักษาโดยการประยุกต์ใช้แผ่นดูดซับเอทิลีนดูดซับเอทิลีน

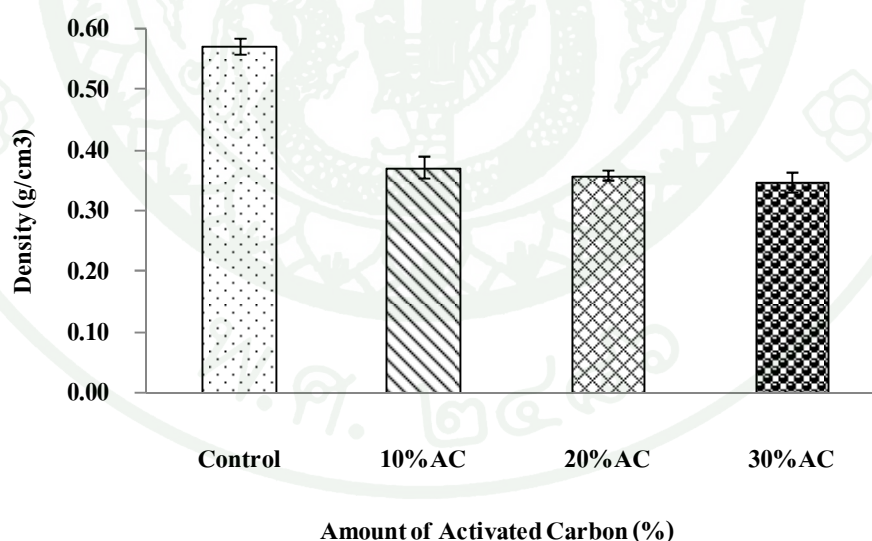
1. สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษ

การเตรียมเยื่อกระดาษหรือเยื่อกระดาษสำหรับทำแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มนี้ใช้วิธีการต้มเยื่อด้วยวิธีกราฟท์ โดยใช้ค่าแอกทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 24 ซัลฟิเดรียร้อยละ 30 และมีอัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบ (liquid: material) เท่ากับ 5:1 ต้มทางใบปาล์มในสารเคมีสำหรับสภาวะในการต้มเยื่อมีการตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่องสำหรับการต้มเยื่อ (autoclave digester) มีการควบคุมอุณหภูมิดังนี้จาก อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 80 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิคงที่ที่ 170 องศาเซลเซียสนาน 90 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิจาก 170 องศาเซลเซียสเป็น 80 องศาเซลเซียสอีกครั้งเป็นเวลานาน 2 นาที จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปคำนวณหาผลผลิตจากทางใบปาล์มที่ได้หลังจากการต้มเยื่อ พบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) หลังการต้มเยื่อมีค่า 35.78 ในขณะที่การทดลองของสิรินภาและสุภารัตน์ (2553) มีการใช้ค่าแอกทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 25 และซัลฟิเดรียร้อยละ 25 พบว่ามีร้อยละของผลผลิตหลังการต้มเยื่อเท่ากับ 41.44 และจากการทดลองของธนา (2552) ใช้ความเข้มข้นของแอกทีฟแอลคาไลร้อยละ 16 ให้ผลผลิตเยื่อเท่ากับร้อยละ 29.19 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bierman (1996) และรัตนพรพร (2552) กล่าวว่า เมื่อปริมาณแอกทีฟแอลคาไลมีปริมาณเพิ่มขึ้นผลผลิตเยื่อที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากปริมาณแอกทีฟแอลคาไลนั้นแสดงถึงปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมันสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น โดยจะทำให้ลิกนินนั้นได้ถูกกำจัดไป จึงส่งผลให้เส้นใยหลุดออกจากกันมากขึ้นส่งผลให้ได้ผลผลิตเยื่อที่เพิ่มสูงขึ้น

2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์

2.1. ความหนาแน่น (density)

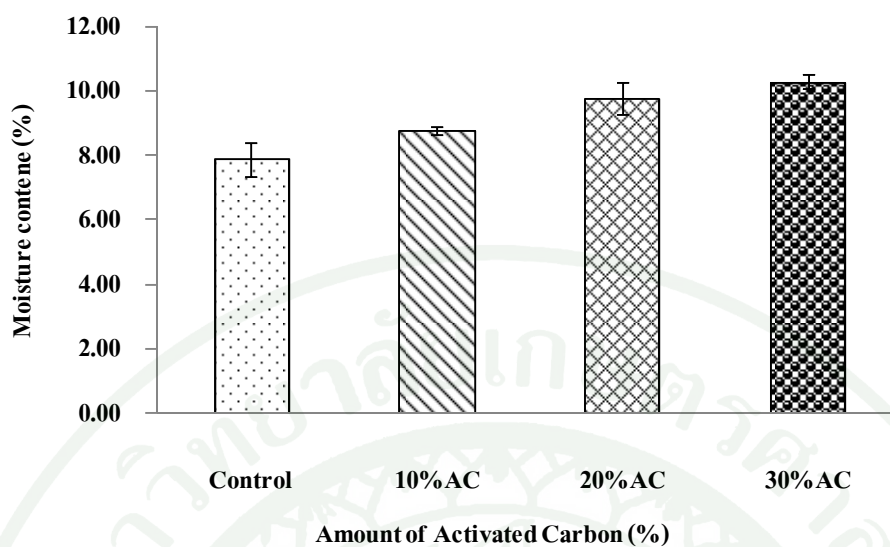
จากภาพที่ 8 เป็นค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มผสมถ่านกัมมันต์ จะเห็นว่าเมื่อมีปริมาณของถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับนั้นมีค่าลดลง โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.34 – 0.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) เนื่องจากถ่านกัมมันต์นั้นมีความเป็นรูพรุนสูงซึ่งมีทั้งขนาดของรูพรุนที่ต่างกันถึง 3 ขนาด ได้แก่ micropore mesopore และ macropore จึงส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีน้ำหนักเบา และเมื่อทำการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มน้ำมันก็จะไปกระจายตัวอยู่ในเส้นใยเซลลูโลส โดยจะยิ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้นก็จะยิ่งส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มน้ำมันยิ่งลดลงตามลำดับ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง1)



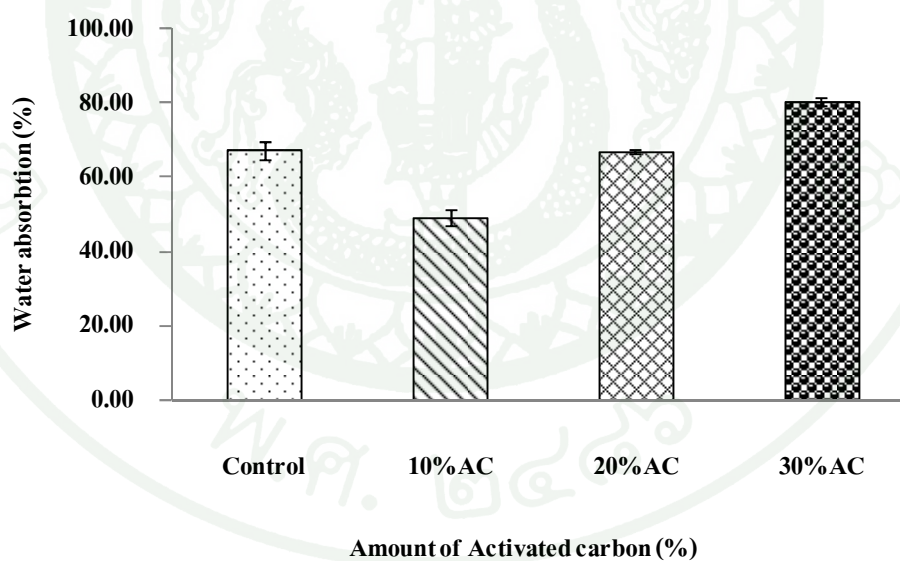
ภาพที่ 8 ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

2.2. ปริมาณความชื้น (moisture content) และการดูดซับน้ำ (water absorption) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมไขมันผสมผงถ่านกัมมันต์

จากภาพที่ 9 และ 10 แสดงถึงค่าปริมาณความชื้นและค่าการดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมไขมันผสมผงถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าของปริมาณความชื้นและการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เกิดจากตัวของแผ่นดูดซับเอทิลีนเองนั้นย่อมมีความว่องไวต่อความชื้นและน้ำอยู่แล้ว เนื่องจากทั้งน้ำและเซลลูโลสในเส้นใยนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้เกิดการดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้แผ่นดูดซับเอทิลีนนั้นมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น (Biljana, 2008) ทั้งในกระบวนการทำการทดลองต้องมีการผสมผงถ่านกัมมันต์เข้าไปในแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัม โดยสมบัติพื้นฐานของผงถ่านกัมมันต์นอกจากมีความเป็นรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวมาก ก็ยังมีสมบัติที่ดีในเรื่องของการดูดซับ จึงเป็นสาเหตุที่เสริมกันทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่มากขึ้นไปด้วย ก็จากแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมไขมันที่ไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์ (ชุดควบคุม) มีความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับร้อยละ 67.177 และในเบื้องต้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์เข้าไปในแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมร้อยละ 10 มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำลงเป็นร้อยละ 49.235 เนื่องมาจากการเติมปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ร้อยละ 10 ทำให้เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอได้ระหว่างเส้นใย ในเยื่อกระดาษขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 และ 30 (ตารางที่ 5) จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยเซลลูโลสน้อยกว่าส่งผลให้การดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น และเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ค่าการดูดซับน้ำก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นร้อยละ 66.925 และ ร้อยละ 80.329 ตามลำดับ เนื่องจากผงถ่านกัมมันต์ที่เติมเข้าไปมีปริมาณที่ไม่เหมาะสมหรือมากเกินไป ส่งผลให้เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน กระจายตัวได้ไม่สม่ำเสมอกับเส้นใยเซลลูโลส (ตารางที่ 5) อีกทั้งปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น ยิ่งไปเพิ่มช่องว่างระหว่างเซลลูโลสมากขึ้น ส่งผลให้ยั้งมีการดูดซับน้ำหรือความชื้นเข้ามาเก็บไว้ในพื้นที่ของช่องว่างนั้นเพิ่มขึ้นตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง2 และ ง3) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองด้านความต้านทานแรงดึงซึ่งเมื่อกระดาษมีปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าด้านทานแรงดึงขาดมีค่าลดลง (ภาพที่ 12) ก็มีส่วนต่อความแข็งแรงของกระดาษ



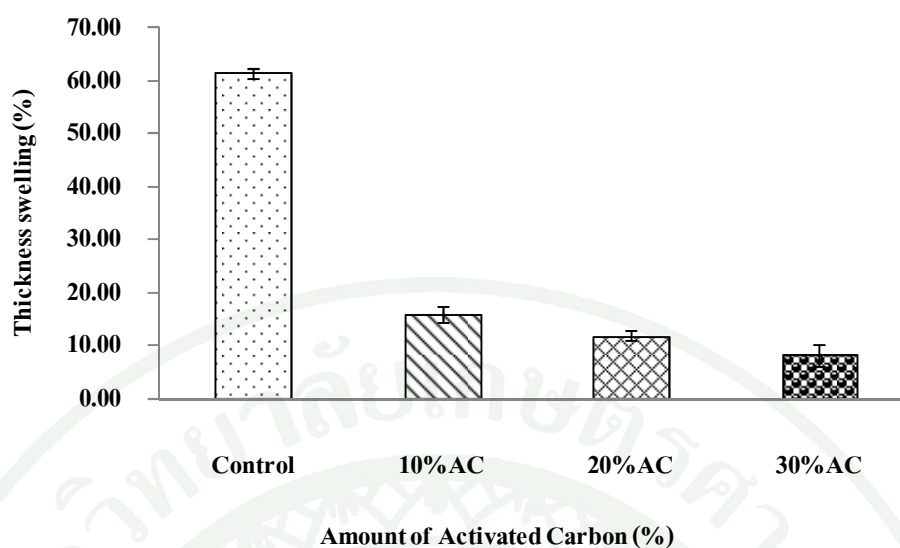
ภาพที่ 9 ปริมาณความชื้นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 10 การดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

2.3. ความหนาจากการบวม (thickness swelling)

การศึกษาการบวมของกระดายนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาความแข็งแรงของกระดาศโดยการเพิ่มความยืดหยุ่นของเส้นใย เพื่อให้กระดายนั้นทนทานต่อความชื้นมากขึ้น (Wanrosli *et al.*, 2007) และเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นยังช่วยลดปริมาณการสะสมของน้ำและแก๊สต่างๆ บริเวณผิวของกระดาศด้วย (Sumathi *et al.*, 2010) จากภาพที่ 11 พบว่าค่าความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมถ่านกัมมันต์มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เพราะในชุดควบคุมมีเพียงเส้นใยในการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาศทำให้เมื่อกระดาศดูดซับน้ำเข้าไวยิ่งทำให้เส้นใยมีการบวมมากขึ้นก็ทำให้ความหนาจากการบวมเพิ่มขึ้นนั่นเองซึ่งแตกต่างจากแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่ผสมถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะมีปริมาณของถ่านกัมมันต์เข้าไปแทนที่ของเส้นใยที่ใช้ทำกระดาศ ทำให้เส้นใยที่ถูกใช้ในการขึ้นรูปกระดาศนั้นมีปริมาณลดลง เมื่อกระดาศที่ผสมถ่านกัมมันต์ดูดซับน้ำจึงทำให้มีความหนาจากการบวมของเส้นใยน้อยกว่าชุดควบคุม คือ จากแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์มีความหนาจากการบวมของแผ่นขึ้นรูปเพิ่มขึ้นจาก 0.147 มิลลิเมตร เป็น 0.237 มิลลิเมตร มีความหนาจากการบวมคิดเป็นร้อยละ 61.442 และจากแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันเติมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 0.258 มิลลิเมตร เป็น 0.301 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 15.759 แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันเติมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 0.354 มิลลิเมตร เป็น 0.394 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 11.768 และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันเติมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 0.4620 มิลลิเมตร เป็น 0.490 มิลลิเมตร มีค่าความหนาจากการบวมร้อยละ 8.159 และพบว่าความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก 4)



ภาพที่ 11 ความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

3. การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม

3.1. ค่าความต้านทานแรงดึง (tensile strength) โมดูลัสของยัง (Young's modulus) และ ร้อยละการยืดตัวออก (% elongation)

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงในภาพที่ 12 และ ค่าโมดูลัสของยังในภาพที่ 13 ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะไปมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยเซลลูโลสในเนื้อของแผ่นขึ้นรูปจากทางใบปาล์มแล้วแทรกตัวอยู่บริเวณเส้นใยซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มลดลง อีกทั้งถ่านกัมมันต์ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับสิ่งต่างๆ ได้ทั้งในรูปแบบของแก๊สหรือของเหลวได้ รวมถึงเส้นใยของแผ่นดูดซับเอทิลีนสามารถดูดซับความชื้นได้ดีจึงเป็นปัจจัยให้การต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์มากขึ้น และเนื่องด้วยการทดลองในครั้งนี้ได้ทำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 13 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวิรัช (2533) ที่กล่าวว่า กระดาษในสถานะห้องเย็นมีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง

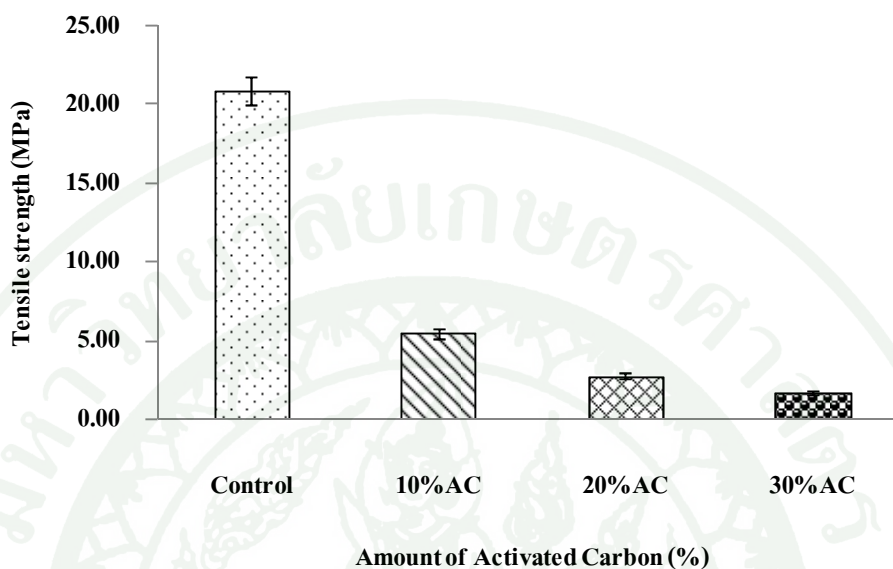
กว่าที่สภาวะมาตรฐาน เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยพองตัวจากการดูดซับโมเลกุลของน้ำที่บริเวณผนังเซลล์ของเส้นใย รวมถึงถ่านกัมมันต์นั้นได้ไปแทนที่ของเส้นใยกระดาษ ทำให้ความหนาแน่นลดลง กระดาษมีช่องว่างมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่ไม่ได้ผสมผงถ่านกัมมันต์ มีค่า 20.883 เมกะปาสกาล และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมปริมาณของถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า 5.421 เมกะปาสกาล 2.695 เมกะปาสกาล และ 1.621 เมกะปาสกาล ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง5) และค่ามอดูลัสของยังของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่ไม่ได้ผสมผงถ่านกัมมันต์ มีค่า 2905.215 MPa และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมปริมาณของถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า 805.271 เมกะปาสกาล 379.213 เมกะปาสกาล และ 216.761 เมกะปาสกาล ตามลำดับพบว่าค่ามอดูลัสของยังให้ผลที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง6)

จากภาพที่ 14 แสดงค่าร้อยละการยืดตัวของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่า เมื่อมีปริมาณการผสมของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าของร้อยละการยืดตัวของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่ไม่ได้ผสมผงถ่านกัมมันต์ มีค่าร้อยละ 3.540 และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมปริมาณของถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่าร้อยละ 2.663, 2.760 และ 2.611 ตามลำดับและพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ภาคผนวก ง7) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมปริมาณของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ทำให้มีการหลุดออกของผงถ่านกัมมันต์บางส่วนจากแผ่นดูดซับเอทิลีนและยังมีบางส่วนที่เหลืออยู่ก็จะทำหน้าที่ในการช่วยเสริมแรงให้กับเส้นใยในแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มทำให้มีความสามารถในการยืดตัวออกไม่เพิ่มสูงขึ้น

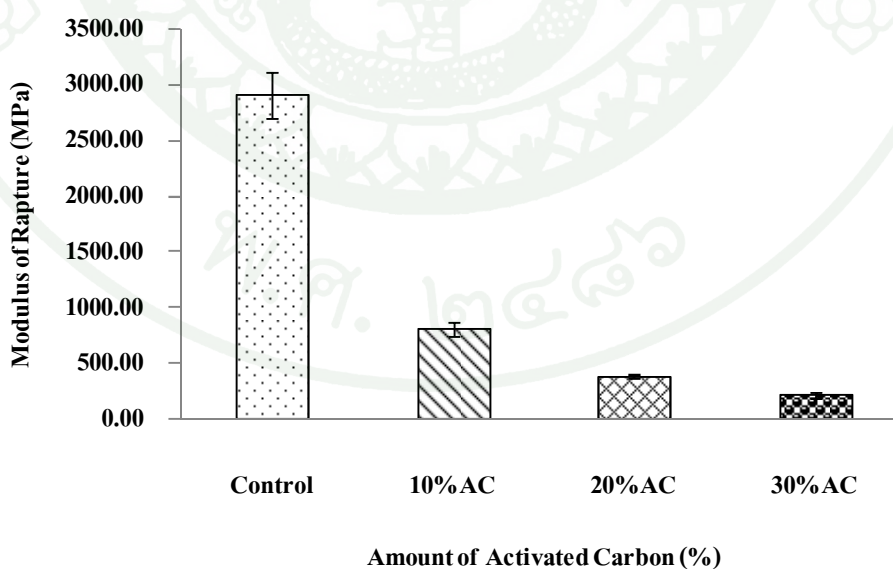
3.2. ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ring crush test)

จากภาพที่ 15 เป็นการศึกษาความต้านทานแรงกดวงแหวน โดยมีการให้แรงในการกดกระดาษลงไปซึ่งจะมีการควบคุมแรงที่ให้การกดกระดาษ ซึ่งจากกราฟนั้นจะเห็นว่าแผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 นั้นมีค่า ความต้านทานแรงกดวงแหวน สูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 39.0233 นิวตัน และตามด้วยแผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20, ร้อยละ 30 และ ชุดควบคุม ตามลำดับและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง8) โดยที่หากกระดาษมีการสะสมของน้ำหรือความชื้นที่มากจะทำให้ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนนั้นมี

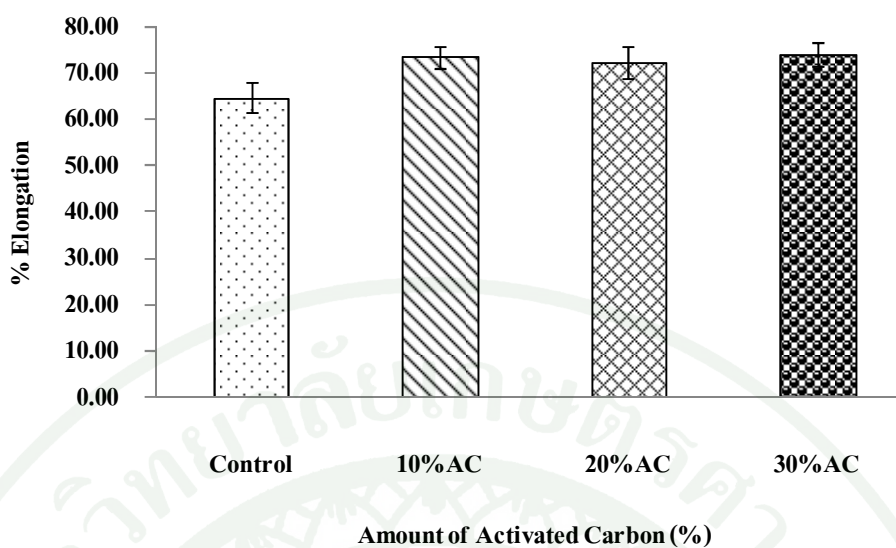
ค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก กระจกเองนั้นมีส่วนประกอบของหมู่ไฮดรอกซิล นั้นเอง อีกทั้งถ่านกัมมันต์นั้นยังดูดซับน้ำและความชื้นไว้ในรูพรุนของมันเอง จึงทำให้ค่าความแข็งแรงนั้นลดลง



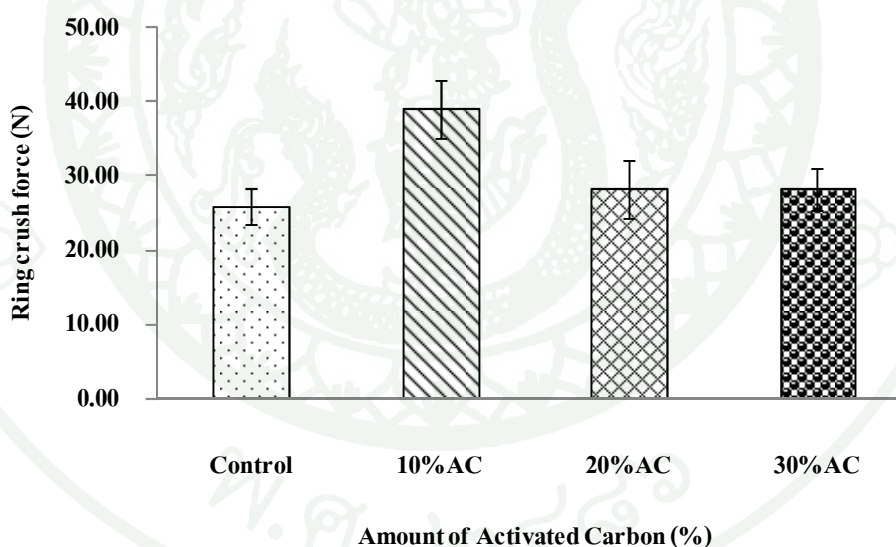
ภาพที่ 12 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 13 โมดูลัสของยัง (Young's modulus) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางไบโพลัมน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 14 ร้อยละการยืดตัวออก (% elongation) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 15 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ring crush test) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

แต่อย่างไรก็ตามการทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมถ่านกัมมันต์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ประเภท ไลคแมกเทริก และเพื่อลดปริมาณของเหลือจากสวน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และ

ลักษณะการนำไปใช้งานของแผ่นดูดซับเอทิลีนนั้นจะใช้ในรูปแบบของวัสดุรอง (pad) จึงอาจจะไม่ต้องใช้ความแข็งแรงมากนัก แต่จะเน้นที่ประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีนมากกว่า

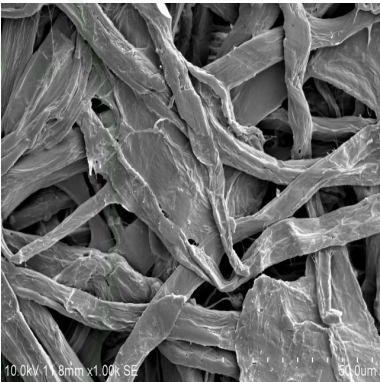
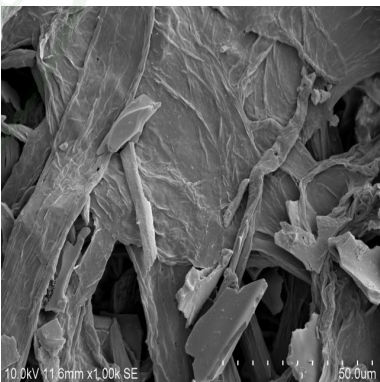
3.3. ภาพถ่ายของกระดาษดูดซับเอทิลีนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

จากตารางที่ 5 เป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยการสกัดเยื่อเซลล์เฟดที่ไม่ผสมและผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกันคือร้อยละ 10, 20, และ 30 ตามลำดับ โดยใช้กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแตกต่างกัน 3 กำลังขยาย คือ 100, 500 และ 1000 เท่า พบว่า แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้ผสมผงถ่านกัมมันต์หรือชุดควบคุมมีขนาดของเส้นใยที่สม่ำเสมอเนื่องมาจากการเตรียมนั้นมีการควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยพร้อมทั้งใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมภายใต้การปฏิบัติกริยากับสารประกอบกลุ่มเซลล์เฟด โดยลักษณะเส้นใยที่ปรากฏมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร และมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจึงมีผลทำให้แผ่นดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการเซลล์เฟดของชุดควบคุมมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงและมอดูลัสได้สูงกว่าแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการผสมผงถ่านกัมมันต์เข้าไปในเนื้อแผ่นขึ้นรูป คิดเป็นสัดส่วน 4 และ 6 เท่าตามลำดับ ในกรณีของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการผสมผงถ่านกัมมันต์เข้าไปนั้น พบว่า ปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในเนื้อของแผ่นขึ้นรูปแล้วแทรกตัวอยู่บริเวณเส้นใย ซึ่งก็จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลทั้งความสามารถในการต้านทานแรงดึงและมอดูลัสมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณเพิ่มขึ้น และยังมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมัน คือ ค่าความชื้นและค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามลำดับ แต่ในกรณีการใช้งานของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันในงานวิจัยมุ่งเน้นที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานของบรรจุภัณฑ์สำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีนของมะละกอซึ่งเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง (climacteric fruit) จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเพิ่มปริมาณความเป็นรูพรุนให้กับแผ่นดูดซับเอทิลีน จากตารางที่ 5 การเติมผงถ่านกัมมันต์เข้าไปในปริมาณร้อยละ 10 พบว่าการกระจายตัวของผงถ่านกัมมันต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับแผ่นดูดซับเอทิลีนในการช่วยดูดซับแก๊สเอทิลีน ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ในทางตรงกันข้ามจากตารางที่ 5 การเพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์จะส่งผลให้การกระจายตัวของถ่านกัมมันต์ลดลง เพราะการจับตัวกันของถ่านกัมมันต์จะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับแก๊สเอทิลีนลดน้อยลง การเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์ไม่ใช่เพียงลดพื้นที่ผิวสัมผัสเท่านั้น หากแต่จะเป็นการสร้างปัจจัย

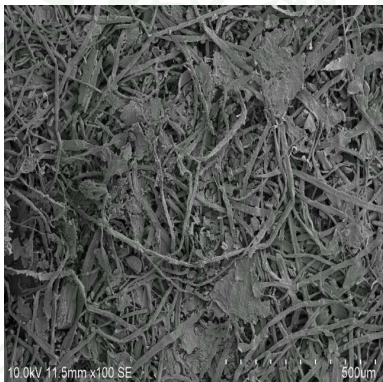
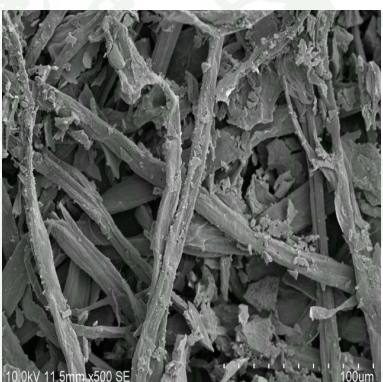
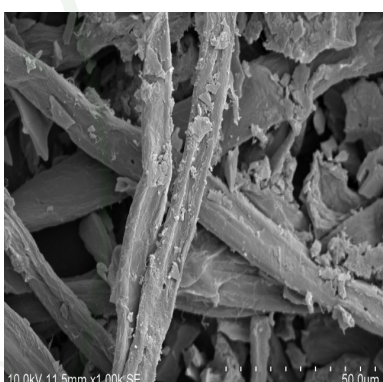
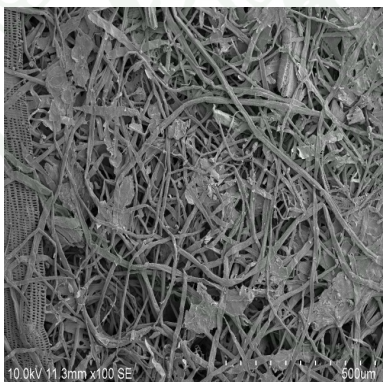
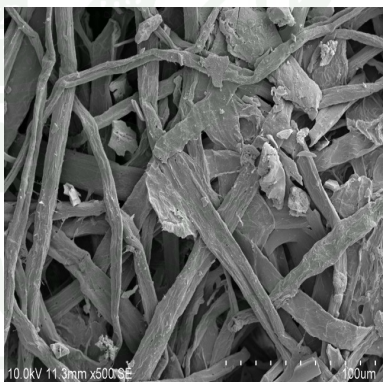
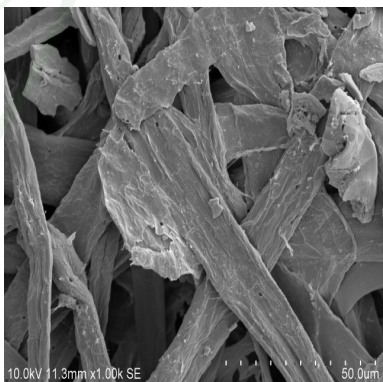
ใหม่ที่มีผลต่อการดูดซับแก๊สที่น้อยลงด้วย คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่กว่า ช่องว่างของเส้นใยที่สานเกี่ยวกันไปมาก็จะทำให้เกิดการแยกตัวออกจากแผ่นดูดซับเอทิลีน ไม่เพียงแต่จะมีปัญหาเรื่องการดูดซับแก๊สเท่านั้น ปัญหาที่จะตามมาอีกก็คือความสามารถในการดูดซึมน้ำและความชื้นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมถ่านกัมมันต์ก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้แผ่นขึ้นรูปมีความแข็งแรงลดลง เกิดการบิดขาดได้ง่ายขึ้น จำนวนครั้งของการใช้งานก็ลดลง



ตารางที่ 5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

	กำลังขยาย		
	100 เท่า	500 เท่า	1000 เท่า
ชุดควบคุม			
แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10			

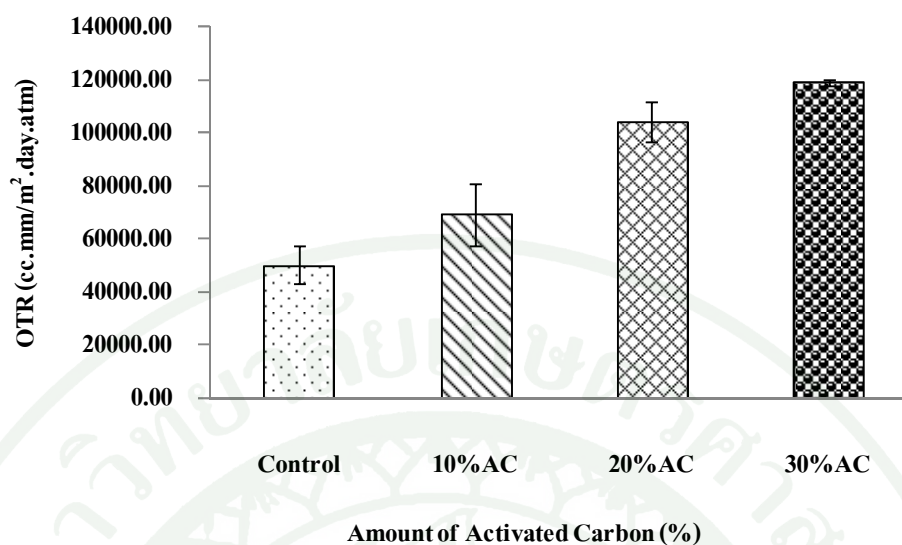
ตารางที่ 5 (ต่อ)

กำลังขยาย			
	100 เท่า	500 เท่า	1000 เท่า
แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบ ปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20			
แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบ ปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30			

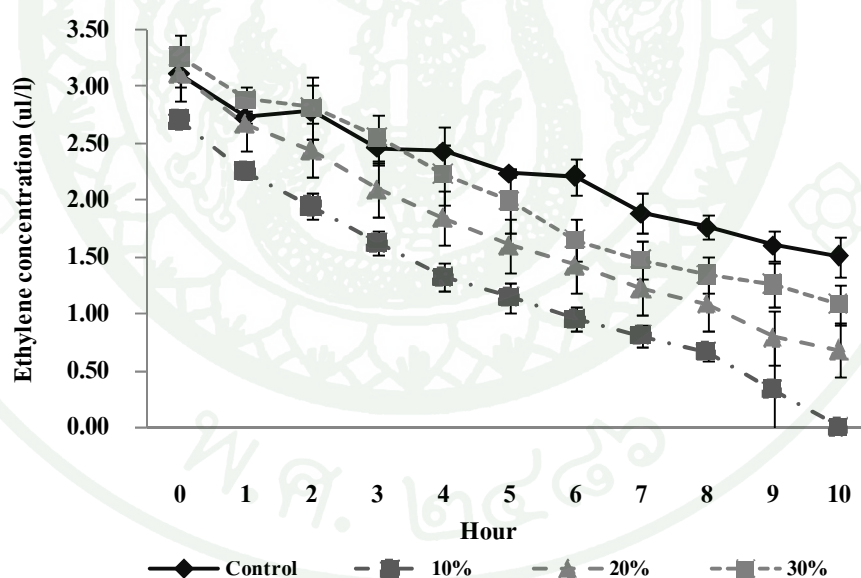
4. คุณสมบัติการซึมผ่านและการดูดซับแก๊ส

4.1 ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen transmission rate; OTR) และปริมาณการดูดซับแก๊สเอทิลีนของกระดาษ

จากภาพที่ 16 แสดงถึงค่าการซึมผ่านของออกซิเจนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่า OTR นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันมีการผสมถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์ลงในแผ่นดูดซับเอทิลีนทำให้ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนนั้นลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของช่องว่างภายในแผ่นดูดซับเอทิลีน จึงทำให้แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการผสมถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีการซึมผ่านของออกซิเจนมากที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 20, 10 และชุดควบคุมตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 17) ที่มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยที่แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 สามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากกว่าชุดทดลองอื่นๆ โดยสามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้หมดภายในเวลา 10 ชั่วโมง ส่วนแผ่นดูดซับเอทิลีนที่มีการดูดซับเอทิลีนได้รองลงมาคือร้อยละ 20 ร้อยละ 30 และชุดควบคุม ตามลำดับ ซึ่งในกรณีของแผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 นั้นสามารถดูดซับได้น้อยกว่าร้อยละ 10 และร้อยละ 20 เนื่องมาจากการใส่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่มากเกินไปจึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนลดลง ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์จะมีการดูดซับความชื้นและน้ำจากสิ่งแวดล้อมภายนอกด้วยแทนที่จะดูดซับเอทิลีนเพียงอย่างเดียว ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ในการดูดซับเอทิลีน อีกทั้งยังมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของผงถ่านกัมมันต์เมื่อผสมลงในแผ่นดูดซับเอทิลีนทำให้ลดพื้นที่ผิวในการดูดซับแก๊สเอทิลีน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณร้อยละ 30 น้อยกว่า ที่ปริมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 20 อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง9 และ ง10)



ภาพที่ 16 การซึมผ่านของออกซิเจนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 17 การดูดซับแก๊สเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

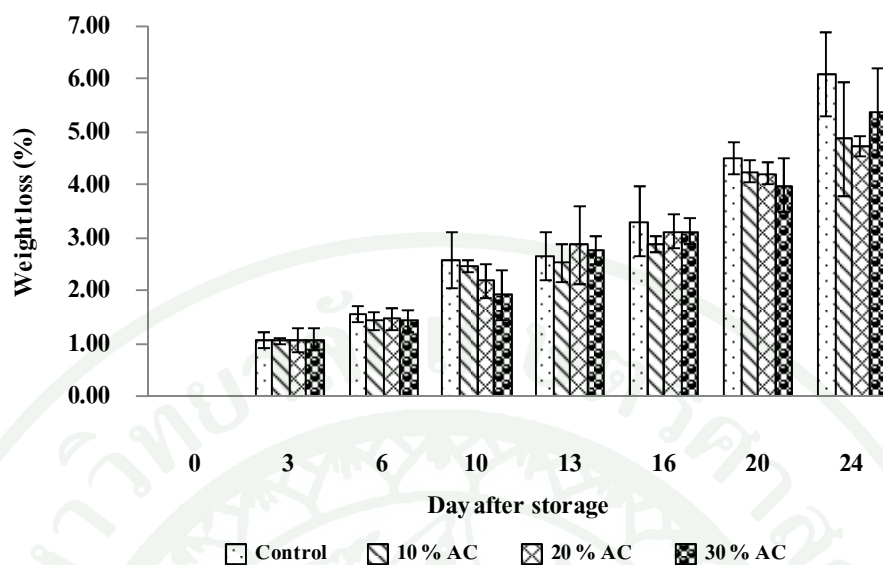
ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของแผ่นดูดซับแก๊สเอทิลีน เพื่อชะลอการสุกของมะละกอแบ่งตัวอย่างการทดสอบออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม ซึ่งเป็นการบรรจุมะละกอลงใน

กล่องกระดาษ โดยไม่ใส่แผ่นดูดซับแก๊สเอทิลีน และ ชุดตัวอย่างที่ทำการศึกษาซึ่งบรรจุมะละกอร่วมกับแผ่นดูดซับแก๊สเอทิลีนลงในกล่องกระดาษ

5. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอหลังการเก็บรักษาโดยการประยุกต์ใช้แผ่นดูดซับเอทิลีนสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีน

5.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss)

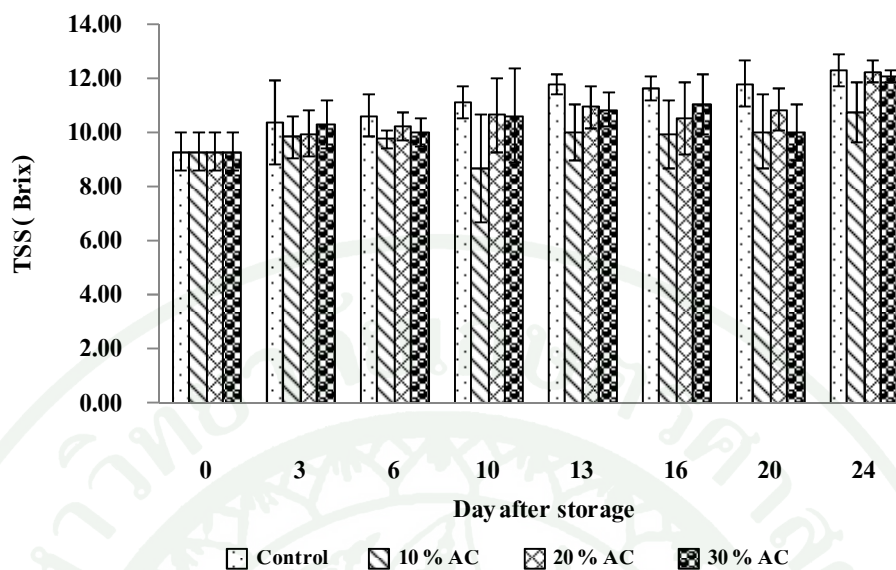
จากภาพที่ 18 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะละกอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียสของทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นทุกวันในระหว่างการเก็บรักษา โดยในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด คือ 6.08 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 23 ของการเก็บรักษา รองลงมาคือแผ่นดูดซับเอทิลีนผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 5.38, 4.87 และ 4.75 ตามลำดับแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ภาคผนวก ง11) การสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดจากการคายน้ำภายในผลหลังการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (อดิศักดิ์, 2554) และในชุดควบคุมที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากผลมะละกอมีระยะการสุกสูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้มะละกามีอัตราการหายใจสูงที่สุดด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 18 เปอร์เซ็นการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

5.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid: TSS)

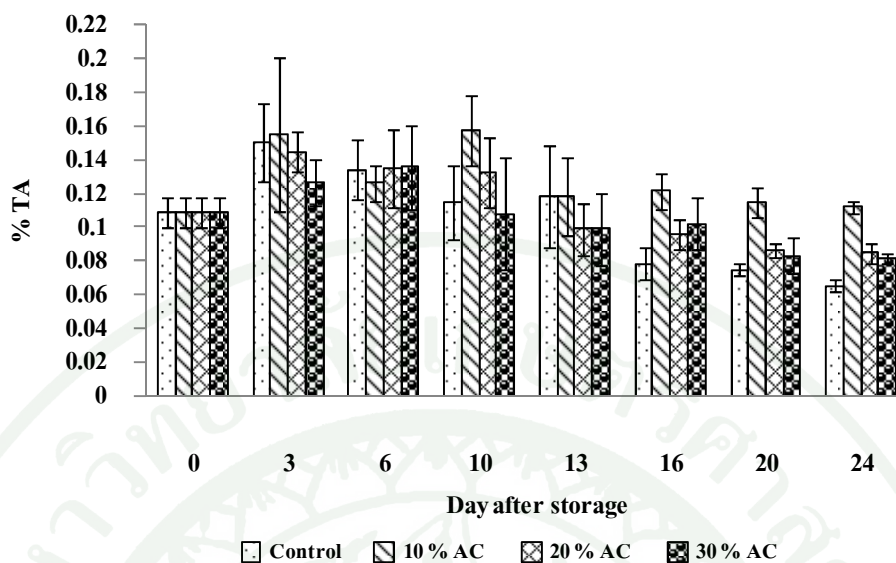
จากภาพที่ 19 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อจำนวนวันในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณการเปลี่ยนแปลงในทุกชุดการทดลองค่อยๆ เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง12) แต่ในชุดควบคุมมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุดในวันที่ 24 หลังการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ที่ 12.33 บริกซ์ รองลงมาคือ มะละกอที่เก็บรักษาร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่มีผงถ่านกัมมันต์ปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 10 โดยมีค่า 12.30, 12.15 , และ 10.8 บริกซ์ ซึ่งปริมาณความหวานที่วัดได้นั้นจะแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการผลไม้ที่มีการสุกเพิ่มมากขึ้น โดยสารประกอบประเภทแป้งและคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆ ที่มีอยู่ในผลไม้จะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กหลายชนิดได้แก่ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส และยังสามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ (Interconversion) ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกการทดลองนั่นเอง (Brown *et al.*, 1985) และมะละกอที่สุกจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากมะละกอมีปริมาณแป้งน้อยทำให้การเปลี่ยนแป้งในระหว่างการสุกมีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Hana and Angelo, 2006)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

5.3 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไตเตรดได้ (% titratable acidity: %TA)

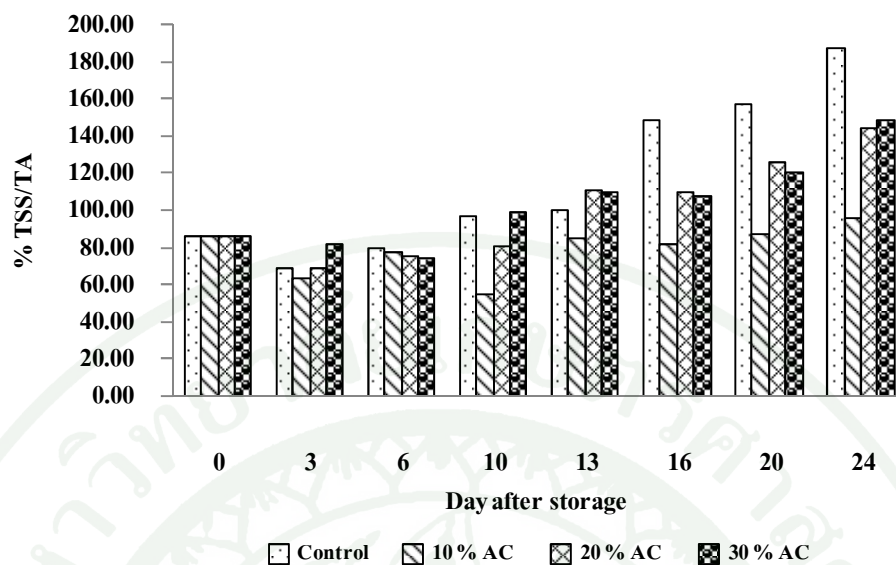
จากภาพที่ 20 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของปริมาณกรดที่ไตเตรดได้ ซึ่งเมื่อผลไม้มีระยะการสุกเพิ่มมากขึ้นส่วนใหญ่จะมีปริมาณกรดที่ลดลง โดยกรดนั้นเปรียบเสมือนตัวกำหนดรสชาติเปรี้ยวของผลไม้แต่จะมีมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของผลไม้ นั่นๆ ซึ่งกรดที่พบมากในผลไม้ได้แก่กรดซิตริก โดยเกิดจากกระบวนการหายใจใน Tricarboxylic acid cycle โดยเปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไตเตรดได้ เกิดจากผลไม้มีการเปลี่ยนของกรดซิตริกให้เสียสภาพด้วยเอนไซม์ในผลไม้ที่ผลิตขึ้น นั่นคือมะละกอมีความหวานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก็มีความสอดคล้องกับค่า TSS (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้) จากภาพที่ 19 พบว่าเมื่อมีจำนวนวันของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณของกรดที่ไตเตรดได้นั้นมีค่าค่อยๆลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยเฉพาะในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไตเตรดได้เปลี่ยนแปลงมากที่สุด จากร้อยละ 0.109 เหลือเพียงร้อยละ 0.066 รองลงมาคือแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30, 20 และ 10 ซึ่งมีค่าดังนี้ร้อยละ 0.082, 0.084, และ 0.112 ตามลำดับและพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง13)



ภาพที่ 20 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

5.4 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (%TSS/TA)

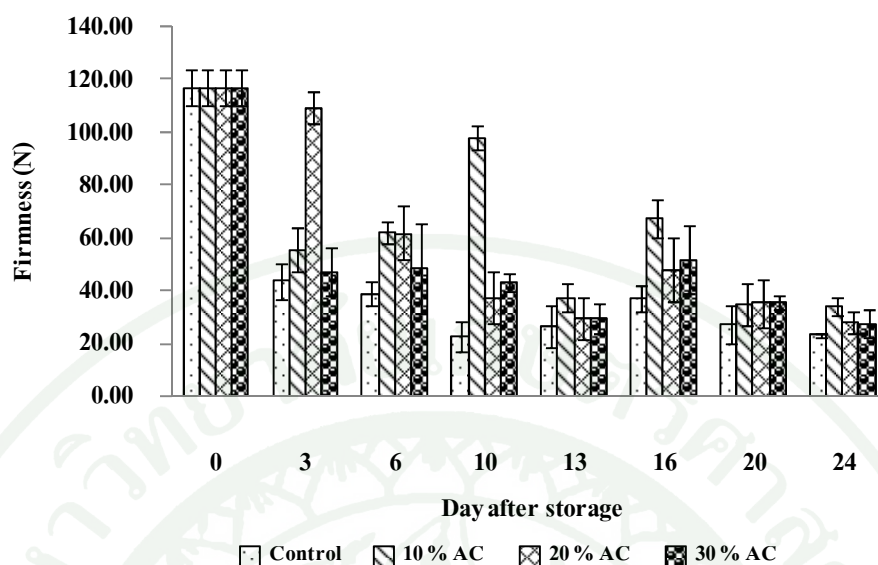
ภาพที่ 21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์อัตราส่วน TSS/TA ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ โดยจะแสดงรสชาติของมะละกอ ค่าที่มากขึ้นแสดงว่าผลมะละกอมีสหวนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรสชาติเดิมก่อนทำการเก็บรักษา (ศักยะ, 2555) ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น เปอร์เซ็นต์ TSS/TA ก็มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดทดลอง โดยเฉพาะในชุดควบคุม ตามด้วย มะละกอที่ใช้แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30, 20 และ 10 ตามลำดับ โดยแสดงค่าดังนี้ร้อยละ 187.891, 148.804, 144.957 และ 96.368 ตามลำดับในวันที่ 24 หลังการเก็บรักษา



ภาพที่ 21 เปอร์เซ็นสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (TSS/TA) ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

5.5 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

ภาพที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อของมะละกอ โดยการทดสอบความแน่นเนื้อของผลไม้ ด้วยการ ใช้ Load cell ขนาด 50 กิโลกรัมฟอร์ซ (kgf) ความเร็วในการกด 20 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้ระยะกดอยู่ที่ 5 มิลลิเมตรสำหรับการทดสอบ ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนวันในการเก็บรักษามากขึ้นและเมื่อระยะการสุกของมะละกอเพิ่มขึ้น จะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงในทุกชุดการทดลองซึ่งจะมีค่ามากที่สุด ในมะละกอที่ใช้แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 33.763 นิวตัน ตามด้วยร้อยละ 20 มีค่า 27.885 นิวตัน, ร้อยละ 30 มีค่า 27.513 นิวตัน และชุดควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดที่ 23.085 นิวตัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง14) โดยทั่วไปความแน่นเนื้อของผลไม้จะลดลงระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมี ซึ่งมีเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสสารประกอบที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ผลไม้ ทำให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ โดยมีเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (Polygalacturonase) และเบตา-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) เกิดเป็นสารละลายเพกตินที่ละลายน้ำ ซึ่งพบมากที่สุดที่มิดเดิลลามลลา (Middle lamella) เป็นเหตุให้โครงสร้างของผนังเซลล์สลายตัวทำให้เนื้อผลไม้นุ่มลงนั่นเอง (King and Bolin, 1989 และ อติศักดิ์, 2554)



ภาพที่ 22 ความแน่นเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

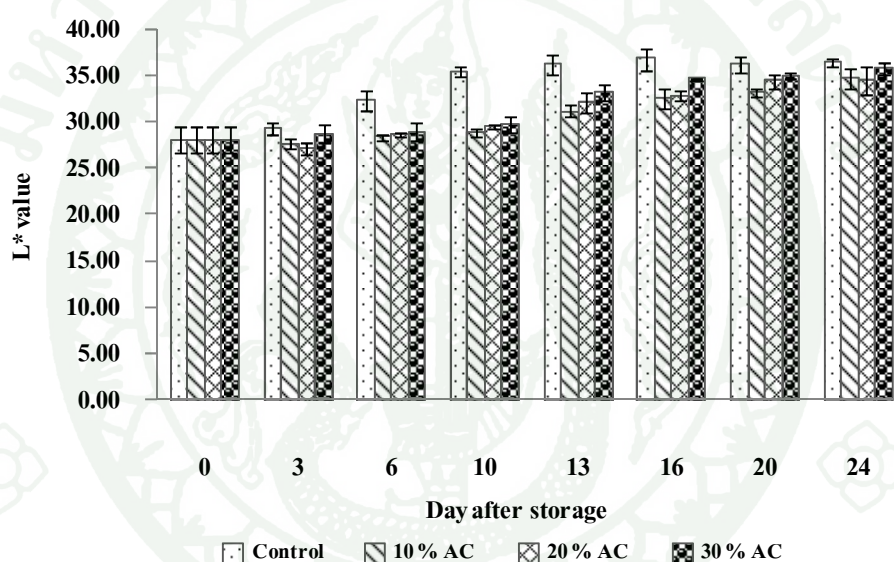
5.6 ค่าความสว่าง L* และการเปลี่ยนแปลงของสี (a* และ b*) ของเปลือกมะละกอ

การวัดค่าสีเปลือกและสีเนื้อของมะละกอหลังการเก็บรักษา สามารถบ่งบอกระยะการสุกของมะละกอได้ด้วยค่าสีที่แสดงออกมา โดยจะแสดงเป็นค่า L*, a*, และ b* ซึ่งในแต่ละค่าจะบอกค่าสีที่แตกต่างกันได้ดังนี้

ค่า L* แสดงค่าความสว่าง โดยหากค่ามีค่า 100 คือมีความสว่างที่สุด หากมีค่าเป็น 0 คือมีสีดำ ค่า a* แสดงค่าเป็นสีเขียว-แดง โดยจะแสดงสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก หากมีค่าเป็น 0 แสดงสีเทา และหากมีค่าเป็นลบแสดงสีเขียว และ ค่า b* แสดงสีน้ำเงิน-เหลือง โดยจะแสดงสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก หากมีค่าเป็น 0 แสดงสีเทา และแสดงสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ (Javad *et al.*, 2010)

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีผิวเปลือกของมะละกอ (ค่า L*) ซึ่งจากภาพที่ 23 พบว่า ค่าความสว่างของเปลือกของทุกลดลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดในเปลือกมะละกอของชุดควบคุมโดยจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงหลังของการเก็บรักษา โดยค่าความสว่างของชุดควบคุมมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 28.125- 36.435 โดยสาเหตุที่ผิวของเปลือกมะละกามีค่าความสว่างลดลงในช่วงหลังนั้นเนื่องมาจาก เมื่อผลมะละกามีความแก่มากขึ้น (สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองส้ม) การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของ

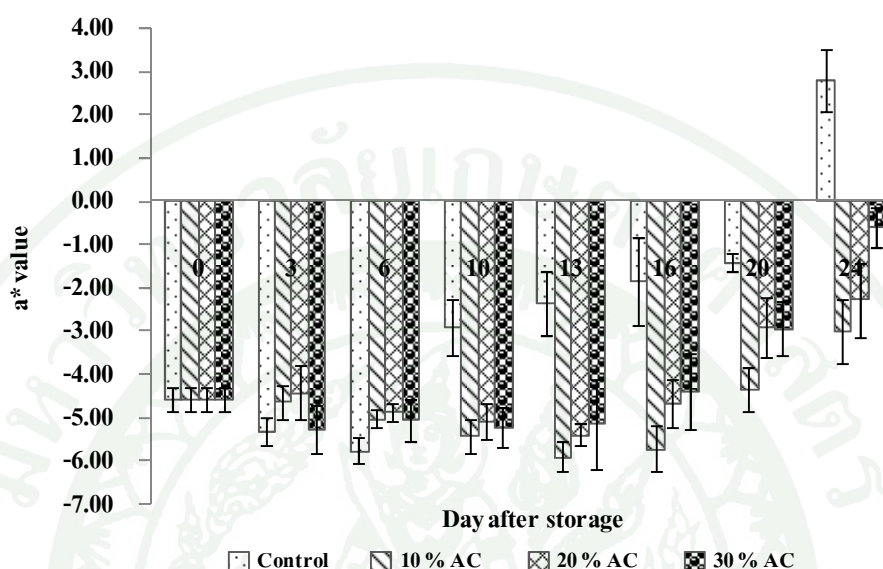
มะละกอหรือมีการผลิตเม็ดสีน้ำตาลมีค่าสูงขึ้น โดยสีน้ำตาลนั้นส่งผลให้ค่าความสว่างของเปลือกในชุดควบคุมมีค่าลดลงนั่นเอง (Guerrero-Beltrana *et al.*, 2004; Javad *et al.*, 2010) และชุดทดลองที่มีค่าความสว่างของเปลือกรองลงมาคือแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 โดยมีค่าความสว่างอยู่ที่ 28.125- 35.797 และรองลงมาคือร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดที่ 34.70 ซึ่งไม่ค่อยมีความแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง15) ซึ่งนั่นก็สามารถแสดงให้เห็นว่า มะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่เก็บรักษาในกล่องโดยมีแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 และ 20 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม



ภาพที่ 23 ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

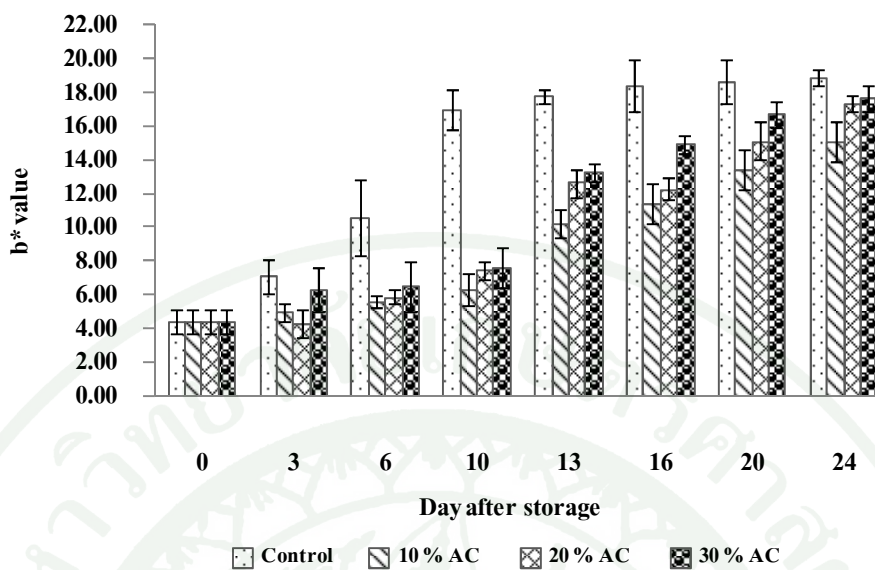
การวัดค่าสีพบว่าค่า a^* (ค่าสีเขียว-แดง) (ภาพที่ 24) มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา คือมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเข้มกลายเป็นสีเขียวอ่อนจนเหลืองส้มในที่สุด ซึ่งค่าที่ได้ได้เพิ่มขึ้นเข้าสู่ความเป็นสีแดงนั่นเอง โดยเฉพาะในมะละกอชุดควบคุมมีค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 10 ของการเก็บรักษา โดยมีค่า a^* อยู่ระหว่าง -4.567- 2.79 รองลงมาคือร้อยละ 30, 10, และ 20 ซึ่งมีค่าสูงสุดดังนี้ -0.605, -2.27, และ -2.995 ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง16) และที่ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากมะละกอที่แก่มากขึ้นเมื่อมีระยะการเก็บรักษานานขึ้น ทำให้มีการสร้างเม็ดสีจำนวนมากขึ้นมาแทนสีเขียวจึงทำให้ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Medlicott *et al.*, 1986) โดยจากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าแผ่นกำจัดแก๊สเอทิลีนที่บรรจุใน

กล่องกระดาษร่วมกับมะละกอและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถช่วยชะลอการสุกของมะละกอได้ดี โดยเฉพาะแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



ภาพที่ 24 ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

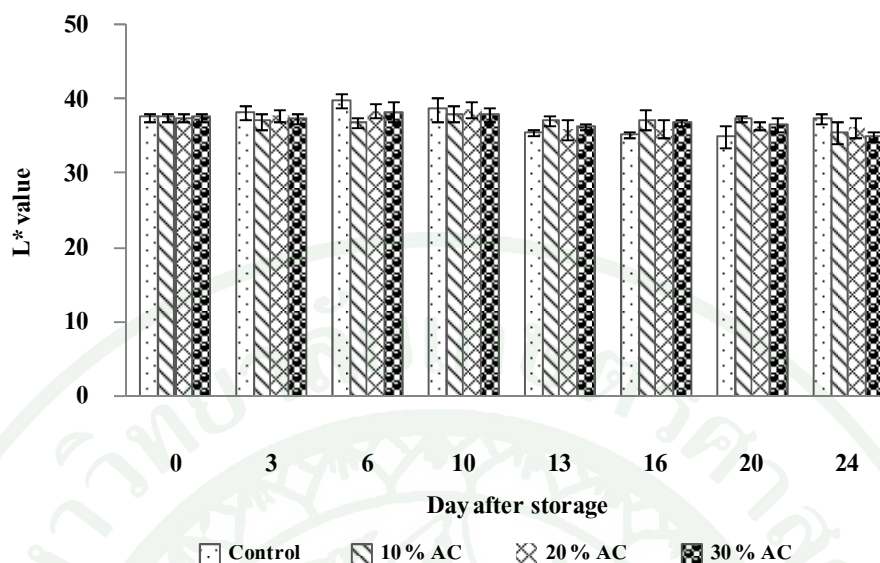
จากภาพที่ 25 แสดงค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลืองของสีเปลือกมะละกอ เมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ชัดในชุดควบคุม ซึ่งแสดงค่าเป็นบวกนั่นคือมีความเป็นสีเหลืองมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30, 20 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดดังนี้ 18.9075, 17.665, 17.333 และ 15.085 ตามลำดับแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง17) โดยการเปลี่ยนสีของผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงของผลไม้ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกที่เห็นได้อย่างชัดเจน ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเขียวหายไปต่อจากนั้นจะเกิดสีเหลือง ส้ม แดง น้ำเงิน หรือสีอื่นๆ ขึ้น เนื้อผลไม้ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีสำหรับมะละกอ เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์ที่มีสีเหลืองส้มแทน ส่งผลให้เปลือกมะละกอมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น และอีกปัจจัยหนึ่งคือเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้น ยังกระตุ้นให้เกิดการทำลายคลอโรฟิลล์ได้อีกด้วย (दनัย, 2547) นั้นแสดงให้เห็นว่าแผ่นแผ่นดูดซับเอทิลีนสำหรับกำจัดแก๊สเอทิลีนที่บรรจุในกล่องกระดาษร่วมกับมะละกอและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ สามารถชะลอการสุกของมะละกอได้ดี โดยเฉพาะแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 ตามด้วยร้อยละ 20, 30 และชุดควบคุม



ภาพที่ 25 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

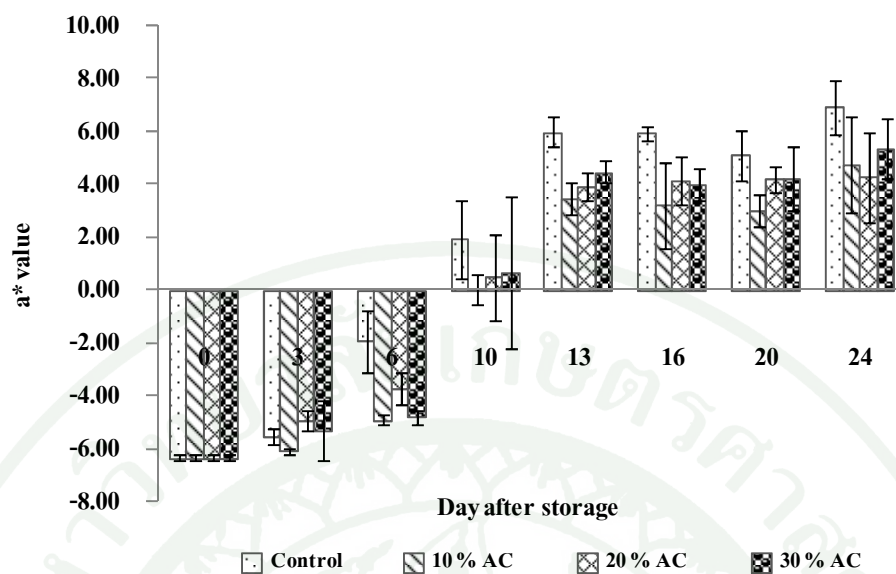
5.6 ค่าความสว่าง L* และการเปลี่ยนแปลงของสี (a* และ b*) ของเนื้อมะละกอ

จากภาพที่ 26 เป็นการแสดงค่าความสว่างของสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย (L*) ซึ่งหลังการทดลองพบว่า ในทุกชุดการทดลองค่าความสว่างของเนื้อมะละกอนั้นมีค่าลดลงเมื่อมีจำนวนวันการเก็บรักษามากขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ง18) โดยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษาค่าความสว่างมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 ของทุกชุดทดลอง โดยเฉพาะในชุดควบคุมมีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 37.634- 37.462 และสำหรับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 มีค่าระหว่าง 37.634-36.23 แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีค่าระหว่าง 37.634-35.616 และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีค่าระหว่าง 37.634-34.966 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของปิยนาดและคณะ (2553) ที่กล่าวว่า ค่าความสว่างเนื้อในมะละกอที่มีแนวโน้มลดลงตามระยะการสุกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความสว่างของเปลือกมะละกอที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และที่สีเนื้อมีความสว่างลดลงนั้นมาจากเนื้อได้เปลี่ยนสีจากสีเหลืองอ่อนเกือบขาว กลายเป็นสีเหลืองส้มถึงแดง จึงแสดงความเข้มของสีที่มากขึ้น



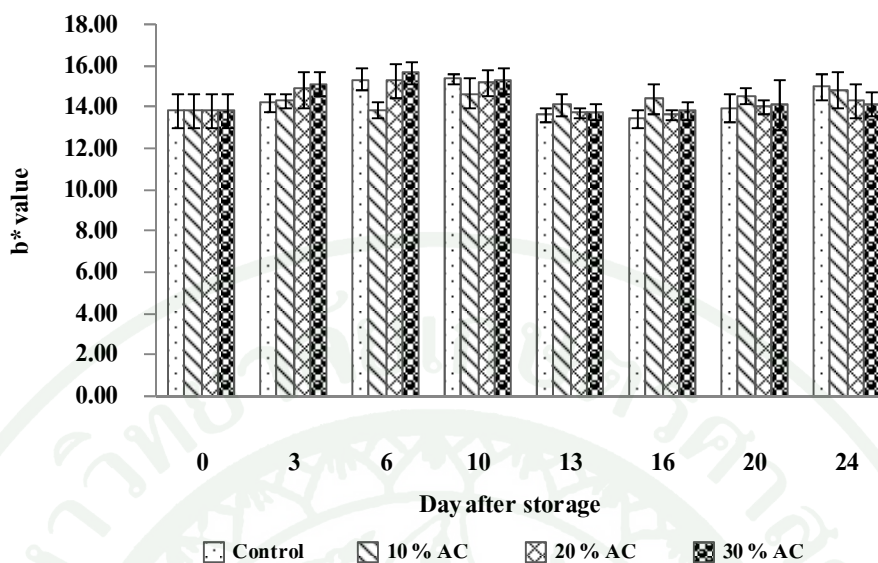
ภาพที่ 26 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

จากภาพที่ 27 แสดงค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งพบว่าเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ค่า a^* ของสีเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นั่นคือมะละกอมีการพัฒนาสีจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองส้มถึงสีแดงมากขึ้นนั่นเอง โดยเฉพาะค่า a^* ของชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดอื่นๆ ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -6.331- 6.933 และสำหรับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีค่าระหว่าง -6.331- 5.332 แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีค่าระหว่าง -6.331- 4.759 และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 มีค่าระหว่าง -6.331- 4.29 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ภาคผนวก ง19) โดยผลการทดลองที่ได้ก็ยังคงมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของปิยนาดและคณะ (2553X เช่นกัน โดยค่า a^* ของเนื้อในจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสุก และจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่ามะละกอชุดควบคุมมีการพัฒนาของสีเนื้อหรือสุกเร็วกว่าชุดทดลองอื่นๆ นั่นคือแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะละกอได้ดี



ภาพที่ 27 ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

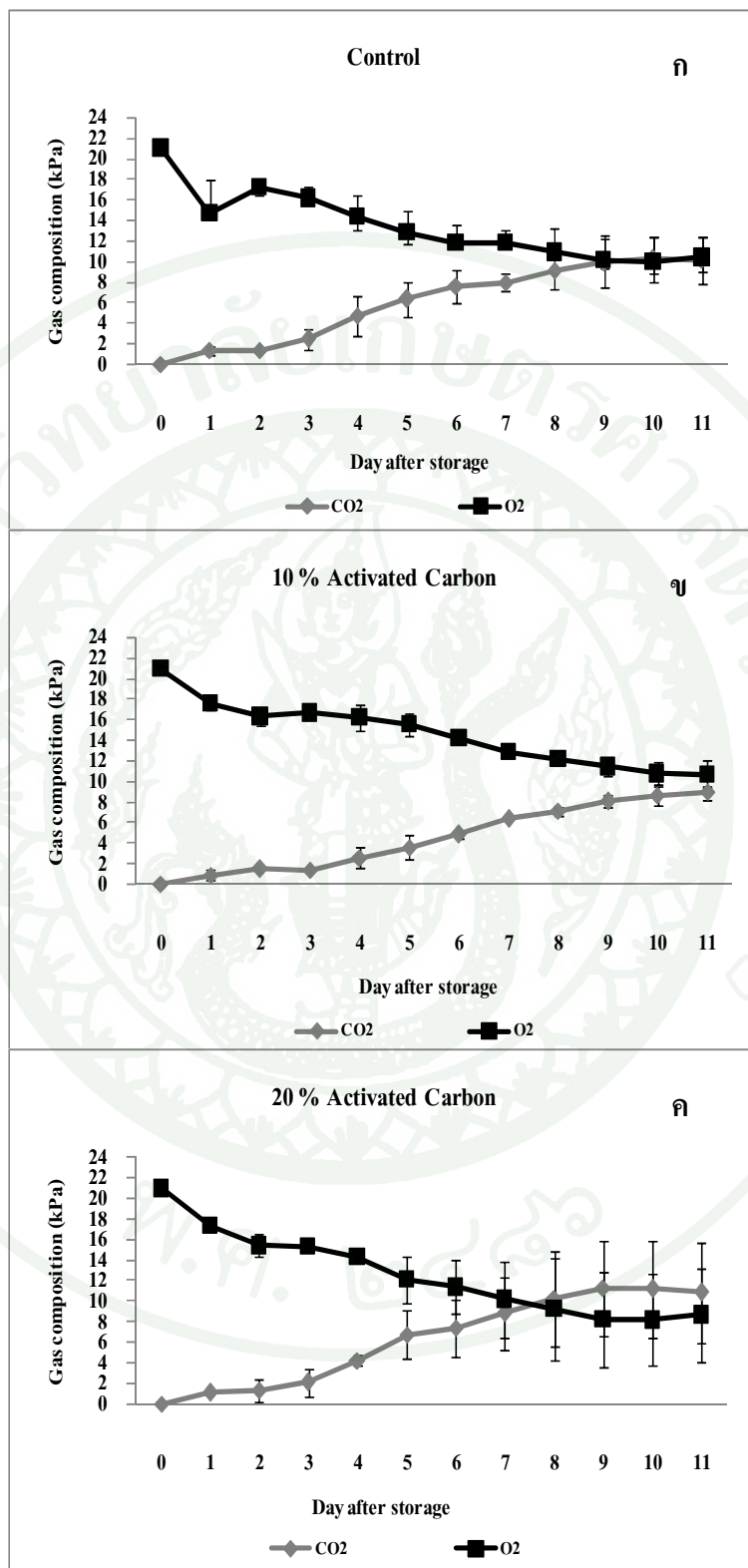
จากภาพที่ 28 แสดงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเนื้อมะละกอหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่า b^* ของเปลือกมะละกอ โดยในชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 13.88- 14.994 และสำหรับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีค่าระหว่าง 13.88- 14.862 แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 20 มีค่าระหว่าง 13.88- 14.327 และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 มีค่าระหว่าง 13.88-14.157 และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ภาคผนวก ง20)

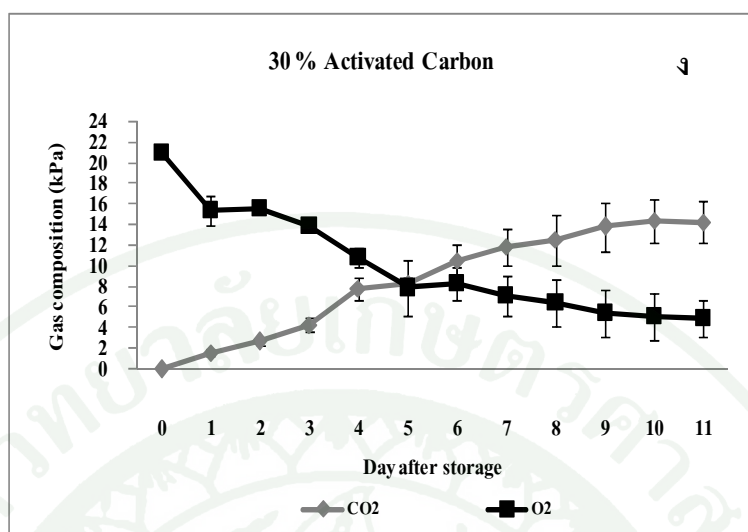


ภาพที่ 28 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

5.7 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนของมะละกอในภาชนะบรรจุมะละกอ และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีน

จากภาพที่ 29 เป็นการศึกษาองค์ประกอบหรือปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่มะละกอใช้ไประหว่างการเก็บรักษา เพื่อบ่งบอกถึงระดับการสุกของมะละกอได้เช่นกัน นั่นคือเมื่อผลไม้มีการสุกมากขึ้น ผลไม้จะมีปริมาณของแก๊สเพิ่มขึ้นซึ่งก็คือจะมีการใช้ออกซิเจนในการหายใจเพิ่มมากขึ้นและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยเช่นกัน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในภาพที่ 32 (4) ที่มีปริมาณการใช้แก๊สออกซิเจนเยอะที่สุด โดยเหลือแก๊สออกซิเจนในวันที่ 11 เพียง 4.974 กิโลปาสกาล และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีสูงถึง 14.297 กิโลปาสกาล และในภาพที่ 32 (2) มีการใช้แก๊สออกซิเจนน้อยที่สุด คือ 10.697 กิโลปาสกาล และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุด คือ 8.948 กิโลปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองในส่วนของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอดังที่กล่าวด้านบน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่ยอมรับว่ามะละกอที่เก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ร่วมกับใช้แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 ช่วยชะลอการสุกของมะละกอได้ดีที่สุด





ภาพที่ 29 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่บรรจุมะละกอและแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีน ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

(ก) ชุดควบคุม

(ข) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10

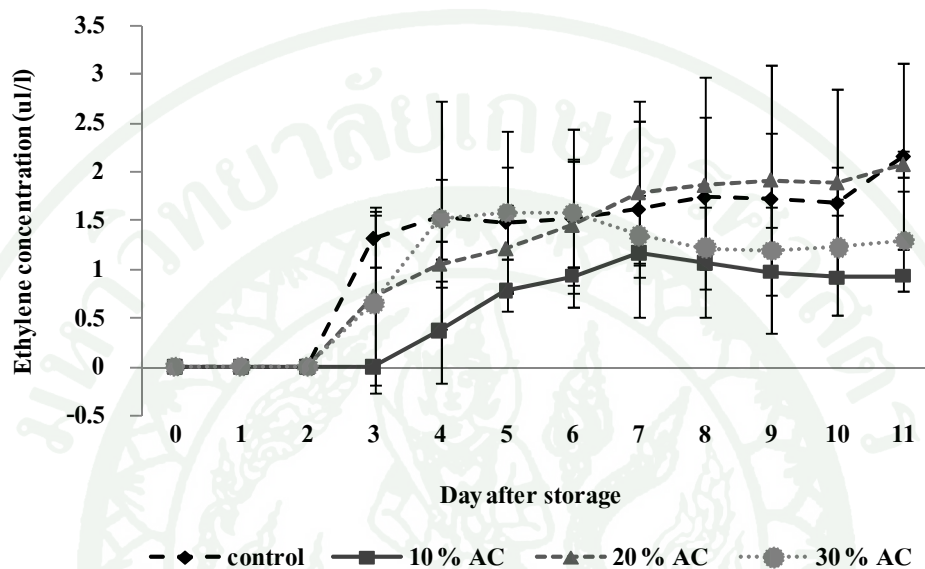
(ค) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20

(ง) แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30

5.8 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของมะละกอในภาชนะบรรจุที่บรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันดูดซับแก๊สเอทิลีน

จากภาพที่ 30 จะกล่าวถึงปริมาณแก๊สเอทิลีนในภาชนะบรรจุที่บรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันสำหรับดูดซับแก๊สเอทิลีนของมะละกอ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สเอทิลีนที่มะละกอผลิตและยังคงเหลือในกระป๋องพลาสติกของกระป๋องที่บรรจุมะละกอร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีปริมาณแก๊สเอทิลีนน้อยที่สุดคือ 0.9347 ไมโครลิตรต่อลิตร รองลงมาคือ แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 คือ 1.2911 ไมโครลิตรต่อลิตร แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 คือ 2.0821 ไมโครลิตรต่อลิตร และที่มีปริมาณแก๊สเอทิลีนสูงที่สุดคือในชุดควบคุม ซึ่งไม่มีกระดาษดูดซับเอทิลีน คือ 2.1654 ไมโครลิตร

ต่อลิตร โดยผลการทดลองนี้ยังคงสอดคล้องกับการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนว่า มะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด



ภาพที่ 30 ปริมาณแก๊สเอทิลีนในภาชนะบรรจุที่บรรจุแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มดูดซับแก๊สเอทิลีนของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

ภาพที่ 31 – 38 แสดงลักษณะปรากฏของสีเปลือกและสีเนื้อของมะละกอที่เก็บรักษาในวันที่ 0, 3, 6, 10, 13, 16, 20 และ 24 ที่อุณหภูมิการเก็บอุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส โดยจากภาพจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มะละกอมีการสุกเพิ่มมากขึ้นคือมีการพัฒนาของสีเปลือก (สีเขียวเป็นสีเหลือง) และสีเนื้อ (สีขาวเป็นสีส้มแดง) มากขึ้น โดยเฉพาะในชุดควบคุมที่สีเปลือกและมีเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองหรือสุกที่สุดตั้งแต่วันที่ 10 ของการเก็บรักษาและที่ชั่วด้านในของผลเริ่มมีอาการช้ำ และในวันที่ 13 และวันที่ 16 ของการเก็บรักษาชุดทดลองที่มีแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 เริ่มมีการสุกอย่างเห็นได้ชัดมากขึ้น รองลงมาคือ มะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20 และร้อยละ 10 ตามลำดับ โดยที่ร้อยละ 10 จะเริ่มสุกอย่างชัดเจนในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา และสำหรับในวันที่ 20 ของการเก็บรักษามะละกอในชุดควบคุมเริ่มมีอาการช้ำเน่าซึ่งเกิดจากเชื้อเข้าทำลายนั่นเองในขณะที่ มะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีอาการของโรคแอนแทรคโนสเกิดขึ้น ซึ่ง

ไม่เป็นที่ยอมรับ และสำหรับวันที่ 24 ของการเก็บรักษามะละกอของทุกชุดทดลองมีอาการของโรคแอนแทรกโนส ซึ่งอาจเกิดจากการลุกลามของเชื้อ เพราะเก็บในสถานที่ใกล้เคียงกัน จากการดูแลลักษณะปรากฏและการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเคมีต่างๆของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษาร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่า มะละกอในชุดควบคุมสามารถเก็บรักษาได้นาน 10 วัน มะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณร้อยละ 30 สามารถเก็บรักษาได้นาน 16 วัน และสำหรับมะละกอที่เก็บรักษาร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 และ ร้อยละ 20 สามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน ก่อนเชื้อโรคเข้าทำลายและยังเป็นที่ยอมรับได้



สีเปลือกของมะละกอ วันที่ 0

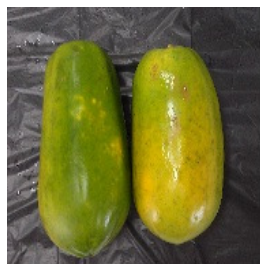


สีเนื้อของมะละกอ วันที่ 0



สีผิวหลังปอกเปลือกของมะละกอ วันที่ 0

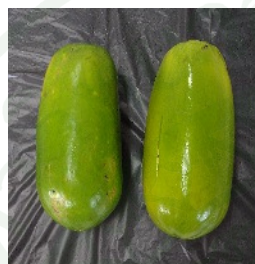
ภาพที่ 31 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 (ก่อนเก็บรักษา)



ชุดควบคุม



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30

ภาพที่ 32 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 3 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30

ภาพที่ 33 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 6 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30

ภาพที่ 34 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 10 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30

ภาพที่ 35 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 13 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



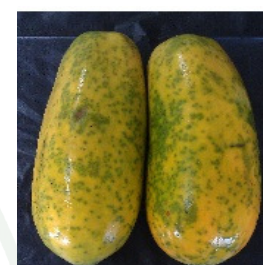
ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30

ภาพที่ 36 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 16 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30

ภาพที่ 37 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 20 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน



ชุดควบคุม



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 20



แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30

ภาพที่ 38 ลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 24 ที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณแตกต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน พบว่าการต้มเยื่อด้วยวิธีกราฟท์ โดยใช้ค่าแอกทิฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 24 ซัลฟิเตีร้อยละ 30 และมีอัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบ (liquid: material) เท่ากับ 5:1 ได้ผลผลิตจากทางใบปาล์มที่ได้หลังจากการต้มเยื่อ พบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) หลังการต้มเยื่อมีค่าร้อยละ 35.78

2. จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ความหนาแน่นของกระดาษ ความหนาจากการบวมของกระดาษ การต้านทานแรงดึงขาด และ ค่าโมดูลัสของยังมีค่าลดลง โดยกระดาษชุดควบคุมมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ แต่สำหรับปริมาณความชื้นและการดูดซับน้ำของกระดาษ และร้อยละการยืดยืดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเติมปริมาณของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น โดยแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 20, 10 และ ชุดควบคุม ตามลำดับ

3. จากการศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและการดูดซับเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มผสมผงถ่านกัมมันต์ พบว่า สมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนมีค่ามากที่สุดในแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 รองลงมาคือร้อยละ 20, 10 และ ชุดควบคุม ในขณะที่ประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 สามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากที่สุดในช่วงเวลา 10 ชั่วโมง รองลงมาคือร้อยละ 20, 30 และ ชุดควบคุม ตามลำดับ

4. จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ค่าสี L^* , a^* b^* ของเปลือก และ ค่าสี a^* และ b^* ของเนื้อมะละกามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมี

ระยะการเก็บรักษามากขึ้น โดยที่ชุดควบคุมมีค่าสูงที่สุด และแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ ปริมาณกรดที่ไคเตรตได้ ค่าความต้านทานแรงกด และค่าสี L^* ของเนื้อมะละกามีค่าลดลง โดยที่แผ่นดูดซับเอทิลีนจากทาง ใบปาล์ม น้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีค่ามากที่สุด และชุดควบคุมมีค่าน้อยที่สุด เมื่อระยะการเก็บรักษามากขึ้น ซึ่งมะละกอในชุดควบคุมมีการสุกเยอะที่สุดและไม่เป็นที่ยอมรับ ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ส่วนมะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 เก็บได้ 16 วัน และมะละกอที่เก็บร่วมกับแผ่นดูดซับ เอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 และ 20 สามารถเก็บรักษา ได้ 20 วัน

5. จากการศึกษาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนและแก๊สเอทิลีนที่ มะละกอผลิตได้ พบว่า มะละกอที่เก็บรักษาร่วมกับกระดาษแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 มีปริมาณการใช้แก๊สออกซิเจนเยอะที่สุด โดยเหลือ แก๊สออกซิเจนในวันที่ 11 เพียง 4.974 กิโลปาสกาล และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีสูงถึง 14.297 กิโลปาสกาล และมะละกอที่เก็บรักษาร่วมกับแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มี ปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 มีการใช้แก๊สออกซิเจนน้อยที่สุด คือ 10.697 กิโลปาสกาล และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุด คือ 8.948 กิโลปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบกับชุด ทดลองอื่นๆ

6. จากการศึกษาการทดลองในครั้งนี้ พบว่าแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์ม น้ำมันที่มี ปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 นั้นมีประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีนดีที่สุด และช่วยยืด อายุการเก็บรักษาของมะละกอจาก 6 วัน เป็น 20 วันของการเก็บรักษามะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อกระดาษในขั้นตอนของการล้างเยื่อ่นั้น มีปริมาณเยื่อที่หลุดออกมาจำนวนมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากขาดอุปกรณ์ที่ทันสมัยและอุปกรณ์ที่ใช้อาจมีการชำรุด ดังนั้นควรมีการพัฒนาหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ให้พร้อมใช้ตลอดเวลาเพื่อลดการสูญเสียปริมาณเยื่อที่ต้มได้
2. เนื่องจากแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่ผลิตออกมานั้นยังคงมีการหลุดออกของอนุภาคของผงถ่านกัมมันต์ เนื่องจากผงถ่านกัมมันต์นั้นไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับกระดาษ ดังนั้นควรมีการพัฒนากระบวนการผลิต หรือมีการบดผงถ่านกัมมันต์ให้มีปริมาณที่เล็กลง หรืออาจมีการใส่สารเติมแต่งอย่างอื่นในการช่วยตรึงผงถ่านกัมมันต์เอาไว้นั่นเอง
3. เนื่องจากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ขั้นสูง เช่น เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี เป็นต้น อาจพบเจอปัญหาระหว่างการทดลอง ดังนั้นควรตรวจสอบสภาพเครื่องทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการใช้งาน เพื่อประสิทธิภาพของงาน
4. การเลือกใช้มะละกอสำหรับการทดลองควรเลือกมะละกอที่มีช่วงอายุเท่าๆกันมาทดลองเพื่อช่วยในการลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นกับผลการทดลองได้
5. เนื่องจากขอบเขตงานวิจัยนี้ใช้แผ่นดูดซับแก๊สเอทิลีนที่พัฒนาการขึ้นรูปของแผ่นกระดาษเท่านั้น ดังนั้นควรมีการพัฒนาการใช้งานกับบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความหลากหลายของตัวดูดซับแก๊สเอทิลีนและเพื่อช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. เอกสารวิชาการ ปาล์มน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.
- ชัยพร สามพุ่มพวง และ รังสิณี โสธรวิทย์. 2550. กระบวนการผลิตกระดาดฟางข้าวเพื่อดูดซับแก๊สเอทิลีน. ว. วิทย์. กษ. 38(5) (พิเศษ) : 283-286.
- คนัย บุญเกียรติ. 2547. การสุกของผลไม้. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ธนา ธนเดชากุล. 2552. การเสริมประสิทธิภาพของสารกำจัดเอทิลีนบนแผ่นกระดาดจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ และรัชชัย ลีสมเกียรติ. 2551. ผลของฟิล์มไคโตแซนผสมสารโซเดียมเบนโซเอตต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร. 4(1) : 23-33.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิพนธ์, ธีระพงศ์ จันทนิม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สี
 สมอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิต
 ปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่,
 สงขลา, 123 หน้า

ปิยนถ จิตอารีรัตน์, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด. 2553. ดัชนีคุณภาพของมะละกอ
 พันธุ์ฮาวายโดยใช้เทคนิคแผนภาพความชอบ. ว. วิทย. กษ. 41(1) (พิเศษ) : 239- 242.

พิชญา บุญประสม, พรชัย ราชชนะพันธุ์ และวุฒิรัตน์ พัฒนินุบลย์. 2551. การผลิตสารดูดซับเอ
 ทิลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ว. วิทย. กษ. 39(3) (พิเศษ) :
 107-110.

พิรศักดิ์ วรสุนทโรสก และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2001.
ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 2 ไม้ผลและไม้เลื้อยมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1.
 ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พรชัย ราชชนะพันธุ์, พิชญาภรณ์ มุลพฤกษ์ และภัทริน วงศ์โกศลจิต. 2551. การประยุกต์ใช้สาร
 ดูดซับเอทิลีนจากไคอะทอไมด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. ว. วิทย. กษ.
 39(3) (พิเศษ) : 83-90.

พรชัย ราชชนะพันธุ์, สุพัฒน์ คำไทย และดวงใจ น้อยวัน. 2553. ผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจาก
 กระดาษดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้.
 ว. วิทย. กษ. 41(1) (พิเศษ) : 227- 230.

รัตนพรพร หารรรษอุดม. 2552. การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการประยุกต์.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533 . สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์, พรชัย ราชตะนัพันธุ์ และพิชญา บุญประสม. 2549. การศึกษาเบื้องต้นของ
การผลิตสารดูดซับเอทิลีน. ว. วิทย. กษ. 37 (5) (พิเศษ) : 54- 57.

ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนรรค. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะ
ทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. ใน การประชุมวิชาการสมาคม
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. 4-5 เมษายน, เชียงใหม่.

ศิริพร ศรีสมบูรณ์. 2545. การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการเกษตรยั่งยืน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี. 2532. โครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. สถาบันพืชสวน
กรมวิชาการเกษตร. 114 หน้า.

สิรินภา คงจันทร์ และสุภารัตน์ ต้นรุ่งเรืองทวี. 2553. ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดากทำลอน
ถูกฟูจากทางใบปาล์มน้ำมัน. ระเบียบวิจัยทางเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยี
การบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 86 หน้า

สุพัฒน์ คำไทย. 2550. การประเมินประสิทธิภาพกระดากถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษา
ผลไม้เศรษฐกิจ. ว. วิทย. กษ. 38 (5) (พิเศษ) : 25-28.

สุพัฒน์ คำไทย, ปรียา พิทักษ์ และวราชีนี จีรัตน์. 2551. ผลของอุณหภูมิและสารยับยั้งเชื้อรา
(คาร์เบนดาซิม) ต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองที่บรรจุร่วมกับกระดากผง
ถ่านกัมมันต์ผลไม้เศรษฐกิจ. ว. วิทย. กษ. 39 (3) (พิเศษ) : 315-318.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์.
มอก. 900-2547

อดิศักดิ์ จูมวงษ์. 2554. ผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีและอายุการเก็บรักษาของผลตะลิงปลิง. **ว.วิทย์. กษ.** 42(3) (พิเศษ): 311-314.

Aaron, L., B. Eugene, R. Strupinsky and L.R. Kline. 2002. **Active Packaging for Food Applications**. 2nd. CRC Press, Florida.

Biermann, C. J. 1996. **Handbook of Pulping and Paper Making**. Academic press Inc, New York.

Biljana M. P., K. M. Mirjana, S. D. Petar and P. Z. Jovana. 2008. The effects of hemicelluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers. **Bioresource Technology** 99: 7152-7159

Brown, B. T., B. C. Peacock and L. S. Wong. 1985. **Physiological, chemical and quality changes in mangoes during postharvest ripening**. Proceeding of the first Australian Mango Research Workshop, Australia. pp. 278-289.

Dias, J. M., C. M. Maria, A. Ferraz, F. Manuel, A. Jose, R. Utrilla and M. S. Polo. 2007. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment. **Journal of Environmental Management** 85: 833–846.

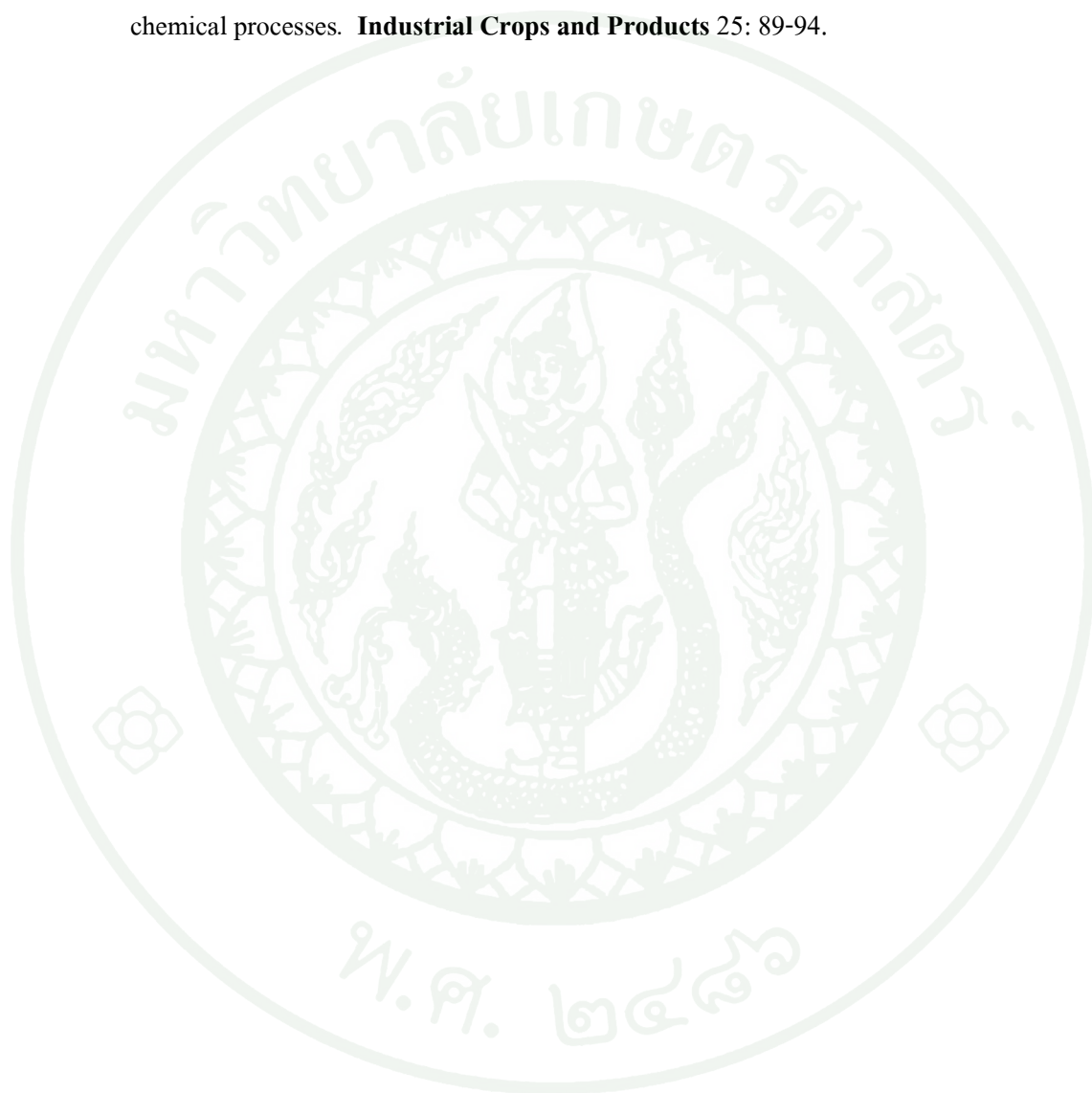
Guerrero-Beltrana, J. A., B. G. Swansonb and G.V. Barbosa-Canovasa. 2004 . Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4- hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. **LWT-Food Science and Technology** 38: 625-630

Henning, K. D. and S. Schafer. 2010. **Impregnated activated carbon for environmental protection**. Carbo Tech- Aktivkohien GmbH, Franz-Fischer-Weg 61, D- 45307 Essen, Germany.

- Javad F., F. Reza and B. Maryeh. 2010. Poatharvest Quality of Kiwifruit (*Actinidai deliciosa* cv. *Hayward*) Affected by Pre-Storage Application of Salicylic Acid. **South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment** 1, No. 2: 175-186.
- King, A. D. and H. R. Bolin. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology** 43: 132-135.
- Ilana U. B. and P. J. Angelo. 2006. Ripening and quality of 'Golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. **Braz. J. Plant Physiol** 18:389-396.
- Marsh, H. 2006. **Activated Carbon**. 1st. Elsevier Ltd. Chennai, India.
- 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.
- Paull, R. E., N. W. ishijima, M. Reyes and C. Cavaletto. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya. **Postharvest Biology and Technology** 11: 165-179.
- Pornchai Rachtanapun. 2008. **Effect of activated carbon on physical and mechanical properties of composites from eucalyptus particles**. Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference, March 17-20, Bangkok, Thailand. pp 457-462.
- Rooney, M. L. 1995. **Active Food Packaging**. 1st. Blackie Academic and Profession, London.
- Sumathi S., S. Bhatia, K. T. Lee and A. R. Mohamed. 2010. Performance of Palm Shell Activated Carbon Impregnated with CeO₂ and V₂O₅ Catalyst in Simultaneous Removal of SO₂ and NO. **Journal of Applied Sciences** 10 (12): 1052-1059.

Vermeiren, L., F. Devlieghere, M. V. Beest, N. D. Kruijf and J. Debevere. 1999 . Developments in the active packaging of foods. **Trends in Food Science and Technology** 10: 77-86.

Wanrosli, W. D., Z. Zainuddin, K. N. Law and R. Asro. 2007. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. **Industrial Crops and Products** 25: 89-94.







การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อ

การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต โดยในการต้มเยื่อใช้แอฟทิกอัลคาไลร้อยละ 24 ซัลฟิดีไทรอัสร้อยละ 30 อัตราส่วนสารเคมีต่อไม้ 5:1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารเคมีตามสภาวะดังกล่าว ได้แก่

กำหนดให้ alkali charge,g	48.00 g	
ใช้ไม้	200 g	
จากสมการ $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	= 48	(1)
$\text{Na}_2\text{S}/(\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{S})$	= 0.30	(2)
จาก (2) Na_2S	= $0.30(\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{S})$	(3)
แทน Na_2S ใน (2) ด้วย (3)		
$\text{NaOH} + 0.30(\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{S})$	= 48	(4)
$1.30 \text{ NaOH} + 0.30\text{Na}_2\text{S}$	= 48	(5)
$1.30 \text{ NaOH} + 1.30\text{Na}_2\text{S}$	= 62.4	(6)
นำ (6)-(5) จะได้ Na_2S	= 14.4.g	(7)
แทน Na_2S ใน (1) ด้วย (7) ได้ NaOH	= 33.6 g	

การผลิตแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1. หาปริมาณความชื้นในเยื่อที่ต้มได้
2. เตรียมน้ำเยื่อและผงถ่านกัมมันต์สำหรับทำแผ่นกระดาษ เพื่อขึ้นรูปแผ่นกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันขนาด 80 กรัมต่อตารางเมตร
3. ตักน้ำเยื่อในปริมาณที่ต้องการ (คำนวณด้านล่าง) ใส่ในเครื่องทำแผ่นกระดาษอัตโนมัติ
4. นำแผ่นกระดาษออกจากเครื่องขึ้นรูป โดยใช้กระดาษ blotting paper และกระดาษ cover ประกบบนกระดาษที่เปียกและกลิ้งทับด้วยลูกกลิ้งให้กระดาษมีความเรียบ จากนั้นนำไปเข้าที่รีดอบกระดาษอัตโนมัติที่ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส

การคำนวณเยื่อเพื่อเตรียมน้ำเยื่อ มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

กำหนดให้ เยื่อมีปริมาณความชื้น 78.6 เปอร์เซ็นต์

ต้องการขึ้นแผ่นกระดาษขนาด 80 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งต้องมีปริมาณเยื่อแห้ง ประมาณ 2.6 กรัมต่อแผ่น

ต้องการทำแผ่นกระดาษทั้งหมด 40 แผ่น

การคำนวณ

เยื่อแห้ง	2.6	กรัม	ต้องการอบ	40	แผ่น	
ต้องใช้	o.d. เยื่อ		2.6x40	=	104 o.d.	
เยื่อมีความชื้น	78.6 %		มีเยื่อแห้ง	100-78.6	= 21.4	
	จาก o.d. เยื่อ	21.4 กรัม	จากเยื่อ	100	กรัม	
	ดังนั้น o.d. เยื่อ	104 กรัม	ต้องใช้เยื่อ	=	485.981 กรัม	
แผ่นกระดาษใช้ cons. 0.3%						
	เยื่อ	0.3	กรัม	ในน้ำสต็อก	100	กรัม
	ดังนั้นเยื่อ	104 กรัม	ในน้ำสต็อก	=	34,666.66 กรัม	

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้

เยื่อ 100 กรัม มีน้ำ 78.6 กรัม

ดังนั้น เยื่อ 485.981 กรัม จะมีน้ำ = 381.981 กรัม

ดังนั้นต้องเติมน้ำ $34,666.66 - 381.981 = 34,285.019$ กรัม

การคำนวณปริมาณผงถ่านกัมมันต์

ต้องการใส่ผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

เทียบจากปริมาณเยื่อที่ใช้คือ

มีเยื่ออยู่ 100 กรัม มีผงถ่านกัมมันต์อยู่ 10 กรัม

มีเยื่ออยู่ 485.981 กรัม จะต้องใช้ผงถ่านกัมมันต์ = 48.59 กรัม



ภาพที่ 39 ตัวอย่างแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณของผงถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน



น้ำหนักมาตรฐาน

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 536:1995

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาด 200 ตารางเซนติเมตรหรือ 0.02 ตารางเมตร

3.2 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานไปชั่งน้ำหนักที่ละแผ่น โดยใช้เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3 บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)}}{\text{ขนาดกระดาษ (ตารางเมตร)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2)

ความหนา

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดความหนา

3. วิธีการทดสอบ

3.1 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา ครึ่งละ 5 แผ่น
แผ่นละ 5 จุด โดยแต่ละจุดไม่ซ้อนทับกัน

3.2 บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{ความหนาต่อหนึ่งแผ่นทดสอบ} = \frac{\text{ค่าความหนาที่วัดได้}}{5}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

ความหนาแน่น

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. วิธีการทดสอบ (ดัดแปลง Pornchai, 2008)

- 2.1 ตัดตัวอย่างขนาด 5x15 เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น
- 2.2 วัดความกว้าง ยาว หนา ก่อนนำไปคำนวณตามสูตรด้านล่าง

2. การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ} = \frac{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (cm}^3\text{)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/cm³)

ความหนาจากการบวม

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. วิธีการทดสอบ (ดัดแปลง Pornchai, 2008)

2.1 ตัดตัวอย่างขนาด 5x5 เซนติเมตรและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

2.2 วัดความหนาของตัวอย่างก่อนนำตัวอย่างลงไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

2.3 นำกระดาษออกจากน้ำและซับน้ำออกด้วยกระดาษทิชชูหรือผ้าแห้ง ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

2.4 วัดความหนาอีกครั้งที่ตำแหน่งเดิม และคำนวณตามสูตรด้านล่าง

3. การคำนวณ

$$\text{ความหนาจากการบวม (\%)} = \left(\frac{\text{ความหนาหลังจากแช่น้ำ} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ}} \right) \times 100$$

การดูดซึมน้ำ

1. มาตรฐานการทดสอบ มอก. 321: 2522

2. วิธีการทดสอบ (ดัดแปลง Pornchai, 2008)

2.1 ตัดตัวอย่างขนาด 5x5 เซนติเมตรและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

2.2 ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนนำตัวอย่างลงไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

2.3 นำกระดาษออกจากน้ำและซับน้ำออกด้วยกระดาษทิชชูหรือผ้าแห้ง

2.4 ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณตามสูตรด้านล่าง

3. การคำนวณ

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \right) \times 100$$

ความชื้นของกระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI 412 om-02

2. วิธีการทดสอบ (ดัดแปลง Pornchai, 2008)

2.1 ตัดตัวอย่างขนาด 5x15 เซนติเมตร

2.2 ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนนำตัวอย่างเข้าเตาอบลมร้อน (hot air oven) ที่ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

2.3 นำกระดาษออกจากเตาอบเก็บไว้ใน desiccator ที่บรรจุซิลิกาเจลจนกระทั่งตัวอย่างเย็น

2.4 ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณตามสูตรด้านล่าง

3. การคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังอบ} - \text{น้ำหนักก่อนอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \right) \times 100$$

ความต้านทานแรงดึงขาด ค่าโมดูลัสของยัง และเปอร์เซ็นต์ การยืด

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 1924-2:1994

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile tester)

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.2 เปิดเครื่องทดสอบแล้วปรับระยะที่หนีบกระดาด้านบนให้อยู่ที่ระยะ 100 มิลลิเมตร

3.3 ใส่แผ่นทดสอบในเครื่องทดสอบ ปรับสกรูให้แน่น

3.4 เลือกค่าและหน่วยที่ต้องการได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง (MPa) ค่าโมดูลัสของยัง (MPa) และเปอร์เซ็นต์การยืด (%) จากนั้นปรับค่าแรงดึงและค่าการคลาดเคลื่อนของ crosshead ให้เท่ากับศูนย์

3.5 กดปุ่มเพื่อเริ่มทดสอบ

3.6 บันทึกค่าทดสอบที่ได้

การต้านทานแรงกดของวงแหวน

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T818 cm-07

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile tester)

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.2 เปิดเครื่องทดสอบแล้วปรับตั้งค่าให้ความเร็วทดสอบ 1 นิ้วต่อนาที Sensitivity 10%

Threshold 5 ปอนด์ และระยะห่าง 2 นิ้ว

3.3 ใส่ตัวอย่างในบล็อกรูปวงแหวน

3.5 กดปุ่มเพื่อเริ่มทดสอบ

3.6 บันทึกค่าทดสอบที่ได้

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและเอทีลิน

1. อุปกรณ์

- 1.1 ครอบป้องกันพลาสติก
- 1.2 เครื่อง Gas chromatography
- 1.3 เข็มฉีดยา
- 1.4 เทปกาวยาวและพาราฟิล์ม
- 1.5 คลิปหนีบกระดาษ

2. วิธีการทดสอบ

- 2.1 ชั่งน้ำหนักมะละกอและบรรจุใส่ในครอบป้องกันพลาสติก ปิดฝาที่มีการเจาะรูและเสียบท่ออย่างไว้
- 2.2 ปิดทับด้วยพาราฟิล์มและเทปกาวยาวกันแก๊สซึมออก เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส
- 2.3 ก่อนเก็บตัวอย่างแก๊สให้ใช้คลิปหนีบกระดาษหนีบท่ออย่างไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นใช้เข็มฉีดยาคูดแก๊สมาประมาณ 5 มิลลิตร แล้วนำไปฉีดที่เครื่อง Gas chromatography จดบันทึกค่าที่ได้ ทำซ้ำทุกวันจนค่าแก๊สเริ่มคงที่หรือมะละกอสุก
- 2.4 สภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

สำหรับวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน

Gas Chromatography:	Model 6890N, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA
Column:	CO ₂ : HayeSep Q 100/120 (1.8m x 0.32 nm) O ₂ : Molecular Sieve 5A 80/100 (1.8m x 0.32 nm)
Carrier gas:	He, Flow rate = 5 ml/min
Oven temperature:	100°C (4.5 นาที)
Detector temperature:	Thermal conduct detector (FID) 200°C

สำหรับวัดแก๊สเอทิลีน

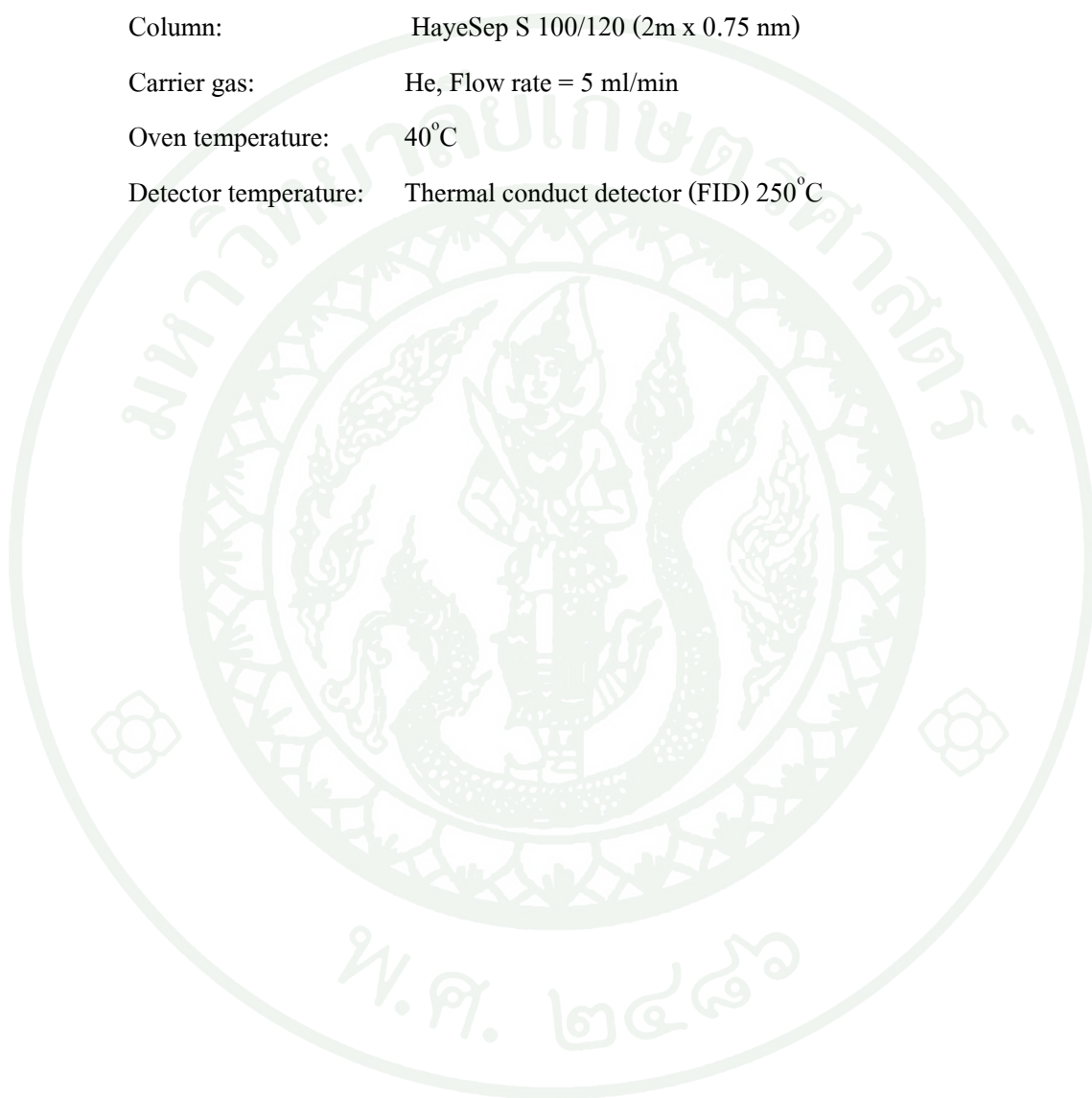
Gas Chromatography: Model 6890N, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA

Column: HayeSep S 100/120 (2m x 0.75 mm)

Carrier gas: He, Flow rate = 5 ml/min

Oven temperature: 40°C

Detector temperature: Thermal conduct detector (FID) 250°C



ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของกระดาษดูดซับเอทิลีน

1. มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3985-02

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) (Model Illinois 8500, Illinois Instrurment, Inc., สหรัฐอเมริกา)

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดตัวอย่างกระดาษที่ต้องการวัดเป็นรูปวงกลมขนาด 5x5 เซนติเมตร วัดความหนาของตัวอย่างก่อน ใส่กระดาษตัวอย่างในกระดาษขนแมวที่ได้ตัดเตรียมตามรูปทรงสำหรับการวัดค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

3.2 กดปุ่มที่เครื่องทดสอบ รอผลประมาณ 1 ชั่วโมง

3.3 จดบันทึกค่า

3.4 สามารถคำนวณค่าตามสูตรด้านล่าง

POTR = ค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบ x ความหนาตัวอย่าง x 5.0176

รายงานในหน่วย cc.mm/m².day.atm

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad 5.0176 &= \frac{\text{พื้นที่ของ chamber}}{\text{พื้นที่ของตัวอย่าง}} \\ &= \frac{\pi(r_1^2)}{\pi(r_2^2)} \end{aligned}$$

r_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของ chamber

r_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างกระดาษ



ภาคผนวก ค

การตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

การตรวจวัดคุณภาพของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

1. การตรวจวัดคุณภาพของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

1.1 การศึกษาการคัดเลือกมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย ด้วยวิธีการเลือกเต็มมะละกอ โดยจะเลือกมะละกอที่มีลักษณะเต็มอยู่ที่ระดับ 1 แต่ไม่เกิน 2 เต็ม

1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกและผิวเนื้อ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือกและสีผิวเนื้อด้วยการวัดด้วยเครื่องวัดสี Colorimete Model Minolta CM- 310 ใน ระบบ Hunter lab รายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* ซึ่งทำการวัดทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายของผล

โดย ค่า L^* แสดงถึง ค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

a^* แสดงถึง ค่าสีแดงเมื่อเป็นค่าบวก และค่าสีเขียวเมื่อเป็นค่าลบ

b^* แสดงถึง ค่าสีเหลืองเมื่อเป็นค่าบวก และค่าสีน้ำเงินเมื่อเป็นค่าลบ

1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการต้านทานแรงกด

วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงกด โดยเตรียมตัวอย่างชิ้นมะละกอให้มีขนาดประมาณ 2x2x2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้หัตถ์กดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 มิลลิเมตร หรือหัตถ์กดเบอร์ 5 กดบริเวณเนื้อตรงกลางของชิ้นมะละกอสด โดยกดลงไปบนเนื้อด้านในของมะม่วงกลึงลงไปประมาณ 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงสูงสุดเป็นค่าความแน่นเนื้อ วัด 3 ซ้ำให้หน่วยเป็น นิวตัน (N)

1.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS)

วัดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วยเครื่อง hand refractometer และบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลง

1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรด

ศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยการนำน้ำมะละกอกที่คั้นได้ 5 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ และหยดด้วย 1% phenolphthalein 1-2 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0,1 N ไทเทรตจนถึงจุดยุติ (สารละลายหรือน้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพู) บันทึกค่าเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด ได้ดังนี้

$$\% \text{ กรดทั้งหมด (\%w/v)} = \frac{V_t \times N \times \text{Eq} \times 100}{V_s \times 1000}$$

กำหนดให้	V_t	=	ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต
	N	=	ความเข้มข้นของ NaOH (0.1)
	Eq	=	meq.wt. ของกรดซิตริก 64.04 g
	V_s	=	ปริมาตรของน้ำคั้นที่ใช้ในการไทเทรต (5 ml)
	1000	=	เปลี่ยนหน่วยจาก mmole เป็น mole



ตารางผนวกที่ ๑1 ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
0.5716 ^c ± 0.0134	0.3726 ^b ± 0.0172	0.3585 ^{ab} ± 0.0083	0.3477 ^a ± 0.0164

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

ตารางผนวกที่ ๑2 ปริมาณความชื้นของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
7.8900 ^a ± 0.5374	8.7600 ^{ab} ± 8.7600	9.7850 ^{bc} ± 0.5020	10.3000 ^c ± 0.2263

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

ตารางผนวกที่ 3 การดูดซับน้ำของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
67.1777 ^b ± 2.3952	49.2358 ^a ± 2.0503	66.925 ^b ± 0.7533	80.3292 ^c ± 1.3067

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

ตารางผนวกที่ 4 ความหนาจากการบวมของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
61.4422 ^d ± 0.9830	15.7590 ^c ± 1.4728	11.7689 ^b ± 0.9171	8.1591 ^a ± 1.9759

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

ตารางผนวกที่ ๕ ความต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม
	มันต์	มันต์	มันต์
	ร้อยละ10	ร้อยละ20	ร้อยละ30
20.8839 ^d ± 0.9200	5.4214 ^c ± 0.3144	2.6959 ^b ± 0.2049	1.6214 ^a ± 0.1130

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

ตารางผนวกที่ ๖ มอดูลัสของยังของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม
	มันต์	มันต์	มันต์
	ร้อยละ10	ร้อยละ20	ร้อยละ30
2905.2156 ^d ± 202.5018	805.2715 ^c ± 58.0153	379.2133 ^b ± 20.2707	216.7619 ^a ± 31.8466

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

ตารางผนวกที่ ๗ ร้อยละการยืดตัวของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม
	มันต์	มันต์	มันต์
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
64.5955 ^a ± 3.2477	73.3697 ^b ± 2.3002	72.3967 ^b ± 3.3984	73.8892 ^b ± 2.6028

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

ตารางผนวกที่ ๘ ความต้านทานแรงกดวงแหวนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม
	มันต์	มันต์	มันต์
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
25.9033 ^a ± 2.4340	39.0233 ^b ± 3.8648	28.2267 ^a ± 3.8366	28.2117 ^a ± 2.8708

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

ตารางผนวกที่ 9 คุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่ผสมผงถ่านกัม
	มันต์	มันต์	มันต์
	ร้อยละ10	ร้อยละ20	ร้อยละ30
50230.3900 ^a ± 7031.5264	69154.0600 ^a ± 11702.1972	103898.3115 ^b ± 7601.5414	119114.6385 ^b ± 1170.6004

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

ตารางผนวกที่ 10 การดูดซับแก๊สเอทิลีนของแผ่นดูดซับเอทิลีนจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณแตกต่างกัน

ชั่วโมง	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ30
0	$3.110^b \pm 0.119$	$2.702^a \pm 0.034$	$3.109^b \pm 0.528$	$3.259^{ab} \pm 0.193$
1	$2.726^b \pm 0.050$	$2.246^a \pm 0.057$	$2.670^{ab} \pm 0.373$	$2.882^b \pm 0.121$
2	$2.777^b \pm 0.231$	$1.946^a \pm 0.115$	$2.436^a \pm 0.384$	$2.812^b \pm 0.274$
3	$2.458^b \pm 0.149$	$1.619^a \pm 0.102$	$2.090^a \pm 0.320$	$2.550^b \pm 0.202$
4	$2.431^b \pm 0.210$	$1.324^a \pm 0.117$	$1.843^a \pm 0.384$	$2.226^b \pm 0.263$
5	$2.237^b \pm 0.033$	$1.142^a \pm 0.126$	$1.599^b \pm 0.324$	$1.992^{ab} \pm 0.288$
6	$2.208^b \pm 0.162$	$0.954^a \pm 0.112$	$1.429^b \pm 0.375$	$1.647^b \pm 0.189$
7	$1.882^c \pm 0.174$	$0.804^a \pm 0.094$	$1.222^b \pm 0.334$	$1.471^{bc} \pm 0.163$
8	$1.761^c \pm 0.104$	$0.664^a \pm 0.080$	$1.085^b \pm 0.305$	$1.340^b \pm 0.163$
9	$1.601^c \pm 0.131$	$0.330^a \pm 0.467$	$0.791^b \pm 0.003$	$1.255^c \pm 0.193$
10	$1.502^d \pm 0.180$	$0.000^a \pm 0.000$	$0.678^b \pm 0.095$	$1.082^c \pm 0.176$

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

ตารางผนวกที่ 11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$0^a \pm 0$	$0^a \pm 0$	$0^a \pm 0$	$0^a \pm 0$
3	$1.071^a \pm 0.165$	$1.057^a \pm 0.040$	$1.066^a \pm 0.217$	$1.079^a \pm 0.204$
6	$1.567^a \pm 0.158$	$1.435^a \pm 0.171$	$1.471^a \pm 0.207$	$1.435^a \pm 0.194$
10	$2.592^{ab} \pm 0.526$	$2.486^b \pm 0.116$	$2.205^{ab} \pm 0.319$	$1.935^a \pm 0.470$
13	$2.661^a \pm 0.460$	$2.541^a \pm 0.363$	$2.876^a \pm 0.734$	$2.791^a \pm 0.262$
16	$3.309^b \pm 0.657$	$2.888^a \pm 0.141$	$3.131^{ab} \pm 0.206$	$3.131^{ab} \pm 0.515$
20	$4.494^b \pm 0.301$	$4.261^b \pm 0.217$	$4.219^{ab} \pm 0.206$	$3.996^a \pm 0.515$
24	$6.081^a \pm 0.788$	$4.873^a \pm 1.064$	$4.753^a \pm 0.190$	$5.378^a \pm 0.818$

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

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$9.350^a \pm 0.700$	$9.350^a \pm 0.700$	$9.350^a \pm 0.700$	$9.350^a \pm 0.700$
3	$10.400^a \pm 1.552$	$9.875^a \pm 0.783$	$10.000^a \pm 0.866$	$10.350^a \pm 0.866$
6	$10.675^a \pm 0.768$	$9.825^a \pm 0.340$	$10.275^a \pm 0.526$	$10.050^a \pm 0.526$
10	$11.175^b \pm 0.585$	$8.700^a \pm 1.993$	$10.700^b \pm 1.375$	$10.675^{ab} \pm 1.727$
13	$11.825^a \pm 0.377$	$10.050^a \pm 1.050$	$11.000^a \pm 0.783$	$10.900^a \pm 0.600$
16	$11.675^a \pm 0.427$	$9.975^a \pm 1.282$	$10.567^a \pm 1.358$	$11.075^a \pm 1.124$
20	$11.867^a \pm 0.833$	$10.075^a \pm 1.360$	$10.900^a \pm 0.748$	$10.075^a \pm 1.044$
24	$12.333^b \pm 0.577$	$10.800^a \pm 1.131$	$12.300^b \pm 0.424$	$12.150^b \pm 0.212$

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

ตารางผนวกที่ 13 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดที่ไคเตรตได้ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$0.108^a \pm 0.009$	$0.108^a \pm 0.009$	$0.108^a \pm 0.009$	$0.108^a \pm 0.009$
3	$0.150^a \pm 0.023$	$0.155^a \pm 0.045$	$0.144^a \pm 0.012$	$0.126^a \pm 0.013$
6	$0.134^a \pm 0.018$	$0.126^a \pm 0.011$	$0.135^a \pm 0.023$	$0.136^a \pm 0.025$
10	$0.115^a \pm 0.022$	$0.158^a \pm 0.021$	$0.133^a \pm 0.021$	$0.108^a \pm 0.033$
13	$0.118^a \pm 0.031$	$0.118^a \pm 0.024$	$0.099^a \pm 0.015$	$0.099^a \pm 0.021$
16	$0.078^a \pm 0.010$	$0.122^b \pm 0.010$	$0.096^a \pm 0.009$	$0.102^a \pm 0.016$
20	$0.075^a \pm 0.003$	$0.115^b \pm 0.009$	$0.086^a \pm 0.004$	$0.083^a \pm 0.010$
24	$0.066^a \pm 0.003$	$0.112^c \pm 0.004$	$0.085^b \pm 0.006$	$0.082^b \pm 0.003$

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

ตารางผนวกที่ 14 ความแน่นเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$117.200^a \pm 6.715$	$117.200^a \pm 6.715$	$117.200^a \pm 6.715$	$117.200^a \pm 6.715$
3	$43.680^a \pm 6.839$	$55.648^a \pm 8.277$	$109.550^b \pm 6.129$	$47.234^a \pm 9.152$
6	$38.813^a \pm 4.264$	$61.883^b \pm 3.946$	$61.693^b \pm 10.258$	$48.380^a \pm 16.777$
10	$22.434^a \pm 5.768$	$98.175^c \pm 4.561$	$37.188^a \pm 10.003$	$43.245^b \pm 3.384$
13	$26.208^a \pm 7.818$	$37.199^a \pm 5.278$	$29.458^a \pm 7.843$	$29.453^a \pm 5.486$
16	$36.979^a \pm 4.880$	$67.115^b \pm 7.287$	$48.016^b \pm 12.337$	$51.724^{ab} \pm 12.839$
20	$27.095^a \pm 7.224$	$34.633^a \pm 7.705$	$35.335^a \pm 8.996$	$35.407^a \pm 2.799$
24	$23.085^a \pm 0.573$	$33.768^b \pm 3.603$	$27.885^a \pm 4.158$	$27.513^a \pm 5.349$

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

ตารางผนวกที่ 15 ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$28.125^a \pm 1.362$	$28.125^a \pm 1.362$	$28.125^a \pm 1.362$	$28.125^a \pm 1.362$
3	$29.393^b \pm 0.645$	$27.675^{ab} \pm 0.542$	$27.127^a \pm 0.677$	$28.708^b \pm 1.011$
6	$32.348^b \pm 1.142$	$28.359^a \pm 0.340$	$28.602^a \pm 0.211$	$28.901^a \pm 0.979$
10	$35.412^b \pm 0.513$	$28.860^a \pm 0.518$	$29.499^a \pm 0.250$	$29.755^a \pm 0.800$
13	$36.208^c \pm 0.992$	$31.159^a \pm 0.625$	$32.094^b \pm 0.992$	$33.195^b \pm 0.840$
16	$36.789^c \pm 1.143$	$32.589^a \pm 1.090$	$32.835^a \pm 0.528$	$34.668^b \pm 0.090$
20	$36.233^b \pm 0.891$	$33.208^a \pm 0.390$	$34.399^a \pm 0.700$	$34.950^a \pm 0.354$
24	$36.435^a \pm 0.403$	$34.703^a \pm 1.090$	$34.507^a \pm 1.503$	$35.797^a \pm 0.597$

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

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความเป็นสปีชีส (α^*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
0	$-4.568^a \pm 0.262$	$-4.568^a \pm 0.262$	$-4.568^a \pm 0.262$	$-4.568^a \pm 0.262$
3	$-5.303^a \pm 0.320$	$-4.628^b \pm 0.391$	$-4.417^{ab} \pm 0.622$	$-5.275^{ab} \pm 0.542$
6	$-5.766^a \pm 0.306$	$-5.020^{ab} \pm 0.198$	$-4.858^b \pm 0.214$	$-5.044^{ab} \pm 0.475$
10	$-2.898^b \pm 0.637$	$-5.415^a \pm 0.391$	$-5.073^a \pm 0.410$	$-5.212^a \pm 0.474$
13	$-2.353^b \pm 0.741$	$-5.886^a \pm 0.357$	$-5.374^a \pm 0.257$	$-5.138^a \pm 1.036$
16	$-1.859^c \pm 1.017$	$-5.698^a \pm 0.521$	$-4.674^b \pm 0.568$	$-4.384^b \pm 0.870$
20	$-1.423^c \pm 0.218$	$-4.342^a \pm 0.490$	$-2.917^b \pm 0.676$	$-2.923^b \pm 0.624$
24	$2.793^c \pm 0.704$	$-2.995^a \pm 0.750$	$-2.267^a \pm 0.856$	$-0.605^b \pm 0.463$

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

ตารางผนวกที่ 17 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเปลือกของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
0	$4.408^a \pm 0.675$	$4.408^a \pm 0.675$	$4.408^a \pm 0.675$	$4.408^a \pm 0.675$
3	$7.085^c \pm 0.976$	$4.967^{ab} \pm 0.557$	$4.310^a \pm 0.832$	$6.329^{bc} \pm 1.280$
6	$10.610^b \pm 2.250$	$5.616^a \pm 0.389$	$5.859^a \pm 0.406$	$6.471^a \pm 1.505$
10	$16.999^b \pm 1.162$	$6.332^a \pm 0.909$	$7.416^a \pm 0.505$	$7.594^a \pm 1.202$
13	$17.794^c \pm 0.438$	$10.229^a \pm 0.813$	$12.643^b \pm 0.824$	$13.233^b \pm 0.496$
16	$18.423^c \pm 1.507$	$11.420^a \pm 1.193$	$12.271^a \pm 0.654$	$14.921^b \pm 0.573$
20	$18.615^c \pm 1.317$	$13.438^a \pm 1.163$	$15.114^b \pm 1.110$	$16.696^b \pm 0.798$
24	$18.908^c \pm 0.470$	$15.085^a \pm 1.167$	$17.333^b \pm 0.442$	$17.665^{bc} \pm 0.743$

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

ตารางผนวกที่ 18 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ30
0	$37.633^a \pm 0.538$	$37.633^a \pm 0.538$	$37.633^a \pm 0.538$	$37.633^a \pm 0.538$
3	$38.153^a \pm 0.971$	$37.131^a \pm 1.103$	$37.787^a \pm 0.788$	$37.457^a \pm 0.742$
6	$39.915^c \pm 0.965$	$36.866^a \pm 0.685$	$38.538^b \pm 0.972$	$38.348^b \pm 1.307$
10	$38.728^a \pm 1.563$	$38.090^a \pm 0.991$	$38.651^a \pm 1.180$	$37.972^a \pm 1.017$
13	$35.505^a \pm 0.487$	$37.096^a \pm 0.652$	$36.020^a \pm 1.294$	$36.348^a \pm 0.308$
16	$35.335^a \pm 0.368$	$37.312^b \pm 1.329$	$36.079^{ab} \pm 1.169$	$36.862^b \pm 0.311$
20	$35.010^a \pm 1.461$	$37.391^b \pm 0.432$	$36.476^{ab} \pm 0.464$	$36.594^{ab} \pm 0.847$
24	$37.461^b \pm 0.604$	$35.616^{ab} \pm 1.541$	$36.230^{ab} \pm 1.308$	$34.966^a \pm 0.715$

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

ตารางผนวกที่ 19 ค่าความเป็นสปีชีส (α^*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
0	$-6.331^a \pm 0.120$	$-6.331^a \pm 0.120$	$-6.331^a \pm 0.120$	$-6.331^a \pm 0.120$
3	$-5.497^a \pm 0.301$	$-6.081^a \pm 0.122$	$-4.933^a \pm 0.386$	$-5.304^a \pm 1.159$
6	$-1.922^b \pm 1.163$	$-4.899^a \pm 0.194$	$-3.688^a \pm 0.611$	$-4.800^a \pm 0.251$
10	$1.928^a \pm 1.451$	$0.039^a \pm 0.546$	$0.508^a \pm 1.621$	$0.683^a \pm 2.844$
13	$5.992^c \pm 0.588$	$3.461^a \pm 0.612$	$3.912^b \pm 0.505$	$4.484^b \pm 0.430$
16	$5.929^b \pm 0.243$	$3.220^a \pm 1.609$	$4.146^{ab} \pm 0.927$	$3.989^{ab} \pm 0.611$
20	$5.090^b \pm 0.940$	$3.018^a \pm 0.629$	$4.194^{ab} \pm 0.511$	$4.218^{ab} \pm 1.220$
24	$6.933^a \pm 1.024$	$4.759^a \pm 1.799$	$4.290^a \pm 1.709$	$5.333^a \pm 1.143$

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

ตารางผนวกที่ 20 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเนื้อของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายหลังการเก็บรักษา

วัน	ชุดควบคุม	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่	แผ่นดูดซับเอทิลีนที่
		ผสมผง ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 10	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20	ผสมผงถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 30
0	$13.881^a \pm 0.829$	$13.881^a \pm 0.829$	$13.881^a \pm 0.829$	$13.881^a \pm 0.829$
3	$14.266^a \pm 0.444$	$14.332^a \pm 0.299$	$14.898^a \pm 0.881$	$15.117^a \pm 0.578$
6	$15.369^b \pm 0.513$	$13.889^a \pm 0.355$	$15.292^b \pm 0.852$	$15.702^b \pm 0.523$
10	$15.399^a \pm 0.235$	$14.694^a \pm 0.735$	$15.214^a \pm 0.645$	$15.301^a \pm 0.585$
13	$13.653^a \pm 0.336$	$14.138^a \pm 0.548$	$13.760^a \pm 0.260$	$13.789^a \pm 0.428$
16	$13.464^a \pm 0.466$	$14.413^a \pm 0.719$	$13.663^a \pm 0.247$	$13.844^a \pm 0.411$
20	$13.990^a \pm 0.637$	$14.576^a \pm 0.418$	$14.028^a \pm 0.351$	$14.134^a \pm 1.236$
24	$14.994^a \pm 0.608$	$14.863^a \pm 0.907$	$14.327^a \pm 0.839$	$14.158^a \pm 0.568$

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

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวณัฐวดี ทองจันทร์
เกิดวันที่	13 สิงหาคม 2529
สถานที่เกิด	สุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และทุนสนับสนุน การทำวิทยานิพนธ์ เพื่อการตีพิมพ์ผลงานใน วารสารวิชาการระดับนานาชาติ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2554