

วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียน

Research and Development of Ethylene Absorber Paper from Durian Husk

ศิริพร เต็งรัง กนกศักดิ์ ลอยเลิศ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร นภัตสร เลียบวัน

สุปรียา สุขเกษม ธีรชาติ วิจิตชลชัย

Siriporn Tengrang Kanoksak Loylerd Wimonwan Wattanawichit Napatsorn Leabwan

Supreeya Sukhasem Thirachat Vichitcholchai

Abstract

This study aimed to produce the Ethylene Absorber Paper (EAP) from durian husk and it was performed at Postharvest and Processing Research and Development Division. Durian husk was selected because it had holocellulose, which could produce package and paper. The durian husk was extracted for cellulose or fiber using sodium hydroxide and then lignin removed with hydrogen peroxide. Bleached and unbleached fibers were transformed to be paper by sheet former. Paper from unbleached fiber performed best properties these were 7.99%, 435 mN 1.09 kN/m and 289 kPa of moisture content, tear strength, tensile strength and burst strength, respectively. These characters except tensile strength were followed the requirements of Thai industrial standard no. 170-2550 to make 55 grammage of Kraft Paper. Afterward, unbleached fiber added with 3 different types of activated carbon *viz.* powder, granular and rod were prepared to be ethylene absorber paper. EAP with powder activated carbon (PAC) was selected to prolong mango which shown lowest weight loss (10.55%) at 10 days of storage time at room temperature. After that, the suitable content of PAC added in EAP at 0, 5, 15, 25 and 35% (w/w) compared with commercial ethylene absorber were demonstrated. Effectively absorb ethylene gas of all of EAP, more than 95% since the early hours of absorbing. The results EAP with 5% PAC shown greatest extend postharvest life of mango for 15 days at room temperature storage and mango had lowest weight loss (28.59%) significantly different with other content and commercial ethylene absorber. Almost properties of all EAP met the requirements of Thai industrial standard:170-2550 except tensile strength but could be improved by adding dry strength agent. Cost of EAP with 5% PAC was 1.60 Baht/sheet (188.60 cm²) while commercial ethylene absorber was 2-3 Baht/small pack (10 g). The results indicated that EAP from durian husk with 5% PAC had potential for development.

Keywords: agriculture residues, cellulose, activated carbon, active packaging, postharvest ethylene absorber paper, durian husk, prolong mango

กองวิจัยและพัฒนาวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร

Post-Harvest and Products Processing Research and Development Division

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน (Ethylene Absorber Paper) จากเปลือกทุเรียน เพื่อใช้ยึดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2556-2558 โดยเลือกใช้เปลือกทุเรียนเนื่องจากมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาทำกระดาษได้ เริ่มโดยสกัดและฟอกขาวเส้นใยจากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษแล้วศึกษาคุณสมบัติ พบว่าเส้นใยไม่ฟอกให้กระดาษที่มีคุณสมบัติดีกว่าทั้งปริมาณความชื้น ความต้านทานแรงฉีกขาด ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานแรงดันทะลุ คือ 7.99% 435 mN 1.09 kN/m และ 289 kPa ตามลำดับ เป็นไปตาม มอก.170-2550 จากนั้นนำมาเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ เริ่มจากใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด ในปริมาณเท่ากัน คือ ชนิดผง เม็ด และแท่ง พบว่ากระดาษดูดซับเอทิลีนที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีประสิทธิภาพในการยึดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.55% จากนั้นศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนที่ปริมาณ 5 15 25 และ 35% ของน้ำหนักเส้นใย พบว่ากระดาษทุกกรรมวิธีมีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด โดยเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น กระดาษจะมีความแข็งแรงสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนมากกว่า 95% ในชั่วโมงแรกของการดูดซับ ใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีน้ำหนักสารดูดซับเท่ากัน โดยกระดาษเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีประสิทธิภาพในการยึดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 28.59% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นๆ และดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 30.25% มีต้นทุนการผลิต 1.60 บาท/แผ่น (พื้นที่ 188.60 ตารางเซนติเมตร) ถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า (2-3 บาท/ซอง) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

คำหลัก: กระดาษดูดซับเอทิลีน การยึดอายุ การเก็บรักษามะม่วง เซลลูโลส ถ่านกัมมันต์ บรรจุภัณฑ์ แอคทีฟ เปลือกทุเรียน

คำนำ

ผลิตผลทางการเกษตรเป็นสินค้าส่งออกหลักที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยเฉพาะผักและผลไม้ แต่พบว่ายังมีความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายสูงมาก คิดเป็นมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี โดยสาเหตุอาจมาจากโรค แมลง การเปลี่ยนแปลงทางสรีระ และกระบวนการหายใจซึ่งยังเกิดขึ้นอยู่แม้จะเก็บเกี่ยวมาแล้ว เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสร้างก๊าซเอทิลีนได้

เอทิลีน (C_2H_4) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งซึ่งช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช (จริงแท้, 2544) โดยจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อพืชให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น กระตุ้นให้เกิดการสุก ทำให้อายุการเก็บ

รักษาผักและผลไม้สด ซึ่งผักและผลไม้แต่ละชนิดผลิตก๊าซเอทิลีนได้ต่างกัน เช่น มะม่วง และกล้วยหอม อยู่ในกลุ่มผลิตก๊าซเอทิลีนได้ปานกลาง คือ อัตรา 1.0-10.0 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{hr}$ ที่ 20°C (นิรนาม) โดยวิธีการชะลอหรือยืดอายุการเก็บรักษา คือ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และอีกแนวทางหนึ่งคือการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Rooney, 1995)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น กำจัดหรือปลดปล่อยก๊าซบางชนิด โดยจะใช้สารที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นส่วนประกอบ/ผสมลงในบรรจุภัณฑ์ เช่น สารกำจัดเอทิลีน ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าความต้องการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทั่วโลกจะสูงขึ้น 5.7% คิดเป็น 2.2 พันล้านเหรียญ ในปี 2017 (Lingle, 2014) แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกำลังได้รับความสนใจและใช้งานมากขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่สามารถกำจัดก๊าซได้ มีอัตราการเติบโตเร็วที่สุด คาดการณ์ว่าจะมีความต้องการใช้สูงขึ้น 7.4% ในปี 2017 (Lingle, 2014)

ปัจจุบันมีสารเคมีและวัสดุที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้หลายชนิด โดยที่มีจำหน่ายทางการค้าแล้ว คือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ซึ่งจะถูกรวบรวมใส่ซองขนาดเล็ก ใช้งานโดยนำมาวางในบรรจุภัณฑ์ของผลิตผลเกษตรที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษา แต่เนื่องจาก KMnO_4 เป็นพิษและออกซิไดส์ได้ง่าย จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง (ROONEY, 1995) และอาจมีปัญหาในการกำจัด วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจคือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon; AC) เนื่องจากมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก มากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม ทำให้อนุภาคของสารและโมเลกุลของก๊าซสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ในรูพรุนได้ (บุญรักษ์, 2016) รวมทั้งก๊าซเอทิลีน โดยลักษณะของรูพรุนและการดูดซับสารของ AC แสดงดัง Figure 1 คือ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่หรือเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก๊าซกับคาร์บอนโดยแรงวานเดอร์วาลส์ (Mc Dougall, 1991) ใช้งานโดยบรรจุในซองขนาดเล็กหรือผสมลงในบรรจุภัณฑ์ (Day, 2008) เมื่อประสิทธิภาพของ AC ลดลง สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำเพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ (บุญรักษ์, 2016) ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจึงได้มีการวิจัยนำ AC มาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การนำ AC ชนิดผงแกรนูล และเกล็ด บรรจุในถุงชาถุงละ 10 กรัม ใส่ในกล่องที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บที่ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ $95\pm 2\% \text{RH}$ นาน 37 วัน เปรียบเทียบกับการรม 1-MCP และใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า พบว่า AC แต่ละชนิดให้ผลไม่แตกต่างกัน และยังไม่ดีเท่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและ 1-MCP (ศักยะและคณะ, 2555) การผสมผง AC กับเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่า พบว่าผง AC ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักเชื้อให้ผลดีที่สุด คือ ยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้ 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (สุพัฒน์, 2550) และการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากฟางข้าว พบว่าการเติมผง AC ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักเชื้อให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับก๊าซเอทิลีนสูงที่สุด 77% (Sothornvit and Sampoompuang, 2012) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการผลิตบรรจุภัณฑ์ดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ใช้ AC เป็นตัวดูดซับออกมาจำหน่ายทางการค้าแล้ว

โดยบริษัท Honshu Paper Ltd. ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนออกมาจำหน่ายในชื่อ Hatofresh (Day, 2008)

เปลือกทุเรียนมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบ สกัดเส้นใยได้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้เส้นใย 21.51% ของเปลือกทุเรียนอบแห้ง มีความยาวเส้นใยเฉลี่ย 1.84 มิลลิเมตร และสามารถผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ (ศิริพรและคณะ, 2556) อีกทั้งประเทศไทยมีผลผลิตทุเรียนสูงมากในแต่ละปี ส่งผลให้มีเปลือกถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากทั้งจากการบริโภคสดและการแปรรูป โดยคิดเป็น 60% ของผลผลิตทั้งหมด

จากข้อมูลข้างต้นจึงมีแนวคิดในการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยใช้เส้นใยจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำแผ่นกระดาษ และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีน เพื่อใช้ยึดอายุการเก็บรักษาผัก ผลไม้ แทนการใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ซึ่งจะสามารถนำวัสดุเหลือใช้ คือ เปลือกทุเรียน มาใช้ประโยชน์ในการส่งออกและเพิ่มมูลค่าได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เปลือกทุเรียนจากตลาดไท
2. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากตลาดไท
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (RPE-ACS)
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Fisher)
5. โซเดียมซิติเกด (Sigma-Aldric)
6. แมกนีเซียมซัลเฟต (Fisher Scientific)
7. อัลคิลลิทีนไคเมอร์; AKD (Eka DR D10, Eka Chemicals (Thailand) Ltd.)
8. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Charcoal Activated Powder QR, Panreac)
9. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Activated Charcoal, granular, Sigma-Aldric)
10. ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Activated Charcoal Norit[®], rod, Sigma-Aldric)
11. ก๊าซเอทิลีนมาตรฐาน 99.99%, บริษัท ลินเด (ประเทศไทย) จำกัด
12. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษกึ่งอัตโนมัติ Sheet Former “Tappi” semi-automatic, Xell GmbH
13. เครื่องอัดแผ่นกระดาษอัตโนมัติ Automatic Sheet Press according to TAPPI and SCAN, FRANK-PTI
14. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS), Perkin Elmer รุ่น Clarus 680
15. เข็มเก็บก๊าซ ขนาด 2.5 มล., Perkin Elmer
16. ถังเก็บก๊าซ ขนาด 1 ลิตร, TEDLAR[®] Bags with PP screw cap combo valve with septum, Vertichrom
17. ตะแกรงสแตนเลสสำหรับแยกเซลล์ูโลส
18. กระดาษซับน้ำ Blotting Paper 250±10 grammage, Gurley
19. ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
20. ตู้อบแห้งระบบหมุนเวียนอากาศ Cabinet Tray drier บริษัท ยูซิคอร์ป จำกัด
21. เครื่องหั่นย่อย robot coupe, CL60 บริษัท C.L. FoodS

22.เครื่องปั่นเอนกประสงค์ MOULINEX รุ่น DP705G	26.เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
23.เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204	27.เครื่องวัดขนาดเวอร์เนียร์: SOMET
24.เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBS A-08 Series B	28.เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT
25.เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument	29.เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME model
	30. โถคูคความชื้น

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

1.1 เตรียมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

นำเปลือกทุเรียนมาล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อย จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55-60 °C นำไปเตรียมเส้นใยตามวิธีของศิริพรและคณะ (2556) ดังนี้

1.1.1 เส้นใยไม่ฟอก: นำเปลือกทุเรียนแห้งมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักเปลือกแห้ง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชม. กรองแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมอีกครั้ง ปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์จนเส้นใยแยกออกจากกัน บีบน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55-60 °C

1.1.2 เส้นใยฟอก: นำเส้นใยไม่ฟอกมาต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟตปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักเส้นใย ปรับพีเอชให้เป็นด่าง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55-60 °C

1.2 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษ

นำเส้นใยที่เตรียมได้จากข้อ 1 ทั้งชนิดฟอกและไม่ฟอก มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 55±5 แกรม ตามคุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษห่อของตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550 โดยนำเส้นใยมาแช่น้ำปริมาตร 250 มล. เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อให้เส้นใยพองตัว จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มล. เติมสารกันซึมชนิดอัลคิลคิทีนไดเมอร์ (AKD) 3% โดยน้ำหนักเส้นใย ปั่นเส้นใยให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปเตรียมแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยตั้งเวลาในการเติมน้ำ 40 วินาที เวลาในการกวน 8 วินาที และเวลาในการเซตตัว 5 วินาที แล้วอัดแผ่นที่แรงดัน 0.8 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปทำให้เรียบและแห้งขึ้นด้วยเครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ ที่แรงดัน 3.5 บาร์ 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 นาที และ 2 นาที ตามลำดับ นำไปผึ่งให้แห้ง จะได้กระดาษจากเปลือกทุเรียน

1.3 ทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

นำกระดาษที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 ไปทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ดังนี้ น้ำหนักมาตรฐาน คัดแปลงตาม มอก. 170-2550, ปริมาณความชื้น ทดสอบด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance), การดูดซึมน้ำ แบบ Drop test ทดสอบตาม มอก. 321-2530, ความต้านแรงฉีกขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1974-2012(E), ความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 828-97 (Reapproved 2002) และความต้านแรงดันทะลุ ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2758-2001(E)

1.4 คัดเลือกชนิดของเส้นใย เลือกเส้นใยชนิดที่ให้กระดาษที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดไปศึกษาขั้นต่อไป

2. ศึกษาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์ (AC) ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

2.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

นำเส้นใยที่คัดเลือกได้จากข้อ 1. หน้าก 1.25-1.26 กรัม (สำหรับกระดาษ 55±5 แกรม) แช่น้ำ ปริมาตร 250 มล. เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มล. เติม AC ชนิดต่างๆ ปริมาตร 25% โดยน้ำหนักเยื่อ ปั่นเส้นใยและ AC ให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ เป็นเวลา 4 นาที แล้วนำไปทำแผ่นกระดาษตามวิธีในข้อ 1.2 จะได้กระดาษดูดซับเอทิลีน

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

นำกระดาษที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ไปทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยทดสอบการยืดอายุ การเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี โดยแปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วง คือ กระดาษไม่เติม AC กระดาษเติม AC ชนิดผง กระดาษเติม AC ชนิดเม็ด และกระดาษเติม AC ชนิดแท่ง โดยนำผลมะม่วงวางบนกระดาษผลละ 1 แผ่น หุ้มด้วยโฟมตาข่าย ดัง Figure 2 จากนั้นบรรจุใส่กล่องวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุก 2 วัน เป็นเวลา 10 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L, a*, b*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป จากนั้นคัดเลือกชนิดของ AC ที่เหมาะสม คือ ช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วงได้ดีที่สุดไปทดลองต่อไป

3. ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

3.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

เตรียมกระดาษเช่นเดียวกับข้อ 2.1 และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 2. ปริมาณต่างๆ ตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี โดยแปรปริมาณผงถ่านกัมมันต์เป็น 0 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย

3.2 ทดสอบคุณสมบัติของกระดาษดูดซับเอทิลีน ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ

3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยเครื่อง GC-MS

ตัดกระดาษขนาด 3x3 ตารางเซนติเมตร ใส่ในขวดเก็บก๊าซขนาด 20 มล. แล้วฉีดก๊าซเอทิลีนบริสุทธิ์ 99.99% ใส่ขวดตัวอย่างขวดละ 0.3 มล. ทำให้ภายในขวดมีความเข้มข้นเริ่มต้น 15,000 ppm จากนั้นวัดปริมาณก๊าซภายในขวดทุก 2 ชม. เป็นเวลา 31 ชม. ด้วยเทคนิค Headspace GC ใช้เข็มเก็บก๊าซขนาด 2.5 มล. ฉีดเข้าเครื่อง GC ซึ่งมีสถานะในการทดสอบดังนี้; Column: Elite-1 (30 m.x0.25 mm.), Volume injection: 2.5 มล. Mobile phase: He (Flow rate 20 ml/min), Oven Temperature: 40 °C, Detector: FID, Detector Temperature: 250 °C, run time 3 min

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน และคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ถูกดูดซับเปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่น้ำหนักเท่ากัน

3.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้เบื้องต้น

นำกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ไปทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบื้องต้น ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1-5 แปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วงตามข้อ 3.1 โดยนำผลมะม่วงวางบนกระดาษดูดซับเอทิลีนผลละ 1 แผ่น แล้วหุ้มด้วยโฟมตาข่าย (Figure 2) จากนั้นบรรจุในกล่องวางไว้ที่ RT กรรมวิธีที่ 6 ใช้สารกำจัดเอทิลีนทางการค้า โดยนำผลมะม่วงหุ้มด้วยโฟมตาข่าย และบรรจุในกล่องที่มีสารกำจัดเอทิลีนทางการค้าจำนวน 2 ซอง วางไว้ที่ RT แล้วบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 15 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป

4. ต้นทุนการผลิต คำนวณต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน เทียบกับสารกำจัดเอทิลีนทางการค้า

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

ผลจากการนำเปลือกทุเรียนมาเตรียมกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปกระดาษ พบว่าได้กระดาษค่อนข้างเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น โดยกระดาษจากเส้นใยไม่ฟอกมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนกระดาษจากเส้นใยฟอกมีสีขาวตามสีของเส้นใย มีน้ำหนักเฉลี่ย 60.25 และ 59.41 แกรม ตามลำดับ และเมื่อนำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติ พบว่ากระดาษไม่ฟอกมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่ากระดาษฟอก เนื่องจากกระดาษไม่ฟอกยังมีลิกนินซึ่งทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นตัวยึดเหนี่ยวให้เส้นใยติดกัน (ศิริรัตน์, 2010) ทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่าดัง Table 1 คือ ปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.99 และ 7.03% ความต้านแรงฉีกขาด เท่ากับ 453 และ 206 mN ความต้านทานแรงดึงขาด เท่ากับ 1.09 และ 0.52 kN/m และความต้านแรงดันทะลุ เท่ากับ 289 และ 222 kPa ซึ่งกระดาษไม่ฟอกมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 คือ มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% ความต้านแรงฉีกขาดแนวขนานเครื่อง ไม่น้อยกว่า 260 mN และความต้านแรงดันทะลุ ไม่น้อยกว่า 140 kPa

แต่ความต้านแรงดึงขาดยังมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่า 2.00 kN/m แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) เช่น แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลาไมด์ (ครรชนิ, 2556) ส่วนความต้านทานการดูดซึมน้ำ ปริมาตร 0.05 cm^3 ด้านตะแกรงของกระดาษไม่ฟอกและฟอก เท่ากับ 61.8 และ 4 วินาที ดังนั้นจึงคัดเลือกเส้นใยไม่ฟอกไปเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อไป

2. ชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์ (AC) มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ มีรูพรุนและพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก จึงเป็นตัวดูดซับที่ดี สามารถดูดซับกลิ่น ไอ น้ำ และแก๊สต่างๆ รวมถึงก๊าซเอทิลีนได้ ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านกัมมันต์เนื่องจากมีขนาดและจำนวนรูพรุนต่างกัน (Tanatchporm, 2015) โดยผลการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนไม่ฟอกผสมกับ AC ชนิดต่างๆ พบว่ากระดาษที่ได้มีสีเทาทั่วทั้งแผ่น เนื่องจาก AC กระจายตัวได้ดีดัง Figure 3 ซึ่งกระดาษที่เติม AC ชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีการหลุดร่วงของ AC เนื่องจากถ่านชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้การแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยในเนื้อกระดาษเกิดได้ไม่ดี และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลา 10 วัน พบว่ามะม่วงเริ่มเน่าเสียในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดัง Figure 4 และสามารถเก็บรักษาได้นาน 10 วัน เมื่อห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษเติม AC ชนิดผงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 10.50% อาจเนื่องจาก AC ชนิดผงมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดแท่งและชนิดเม็ด (บุญรักษ์, 2016) ทำให้สามารถดูดซับก๊าซได้มากกว่า รองลงมาคือกระดาษเติม AC ชนิดแท่ง กระดาษเติม AC ชนิดเม็ด และกระดาษไม่เติม AC เท่ากับ 11.10 11.54 และ 12.29% ตามลำดับ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกน้อยที่สุด (Table 2) ดังนั้นจึงเลือก AC ชนิดผงไปทดลองต่อไป

3. ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

จากการทดลองในข้อ 2 พบว่า AC ชนิดผงให้ผลการทดลองดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาหาปริมาณที่เหมาะสม โดยเตรียมกระดาษจากเส้นใยไม่ฟอกเติม AC ชนิดผงปริมาณ 0 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเยื่อ ซึ่งเป็นปริมาณที่ครอบคลุมการทดลองของสุพัฒน์ (2550) ที่ทำการทดลองเติมผง AC ในเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่า ปริมาณ 0 5 10 15 20 และ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ จากการทดลองพบว่าไม่มีการหลุดร่วงของผง AC กระดาษมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณผงถ่านที่เพิ่มขึ้นดัง Figure 5 และมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาดที่น้อยกว่ามาตรฐาน (Table 3) แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent)

จาก Table 3 พบว่ากระดาษไม่เติมผง AC มีความแข็งแรงสูงกว่ากระดาษเติมผง AC โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากผง AC ไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใย ทำให้แรงยึดเหนี่ยว

ระหว่างเส้นใย (Hydrogen bonding) ลดลง กระจายจึงมีความแข็งแรงลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบ กระจายที่เติมผง AC เหมือนกัน พบว่ากระจายมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อปริมาณผง AC สูงขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดชนิด Van der Waals ระหว่างผง AC ด้วยกันช่วยเสริมแรงให้กระจายแข็งแรงขึ้น แต่แรง Van der Waals มีความแข็งแรงน้อยกว่า Hydrogen bonding โดยผลการทดสอบพบว่ากระจาย ไม่เติมผง AC กระจายเติมผง AC 5 15 25 และ 35% มีความต้านทานแรงฉีกขาด เท่ากับ 477.01 344.08 355.40 386.70 และ 408.10 mN ตามลำดับ ความต้านทานแรงดึงขาด เท่ากับ 1.08 0.57 0.55 0.63 และ 0.67 kN/m ตามลำดับ ความต้านทานแรงดันทะลุ เท่ากับ 296.06 190.69 191.81 198.56 และ 314.44 kPa ตามลำดับ แต่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณผง AC เพิ่มขึ้น เนื่องจากผง AC มีรูพรุนที่สามารถดูดความชื้นเข้าไปอยู่ในรูพรุนได้ เมื่อปริมาณผง AC สูงขึ้นจึงดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ส่งผลให้มีความชื้นสะสมในกระจายสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยเครื่อง GC-MS พบว่ากระจายดูดซับเอทิลีนมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซดีกว่าผง AC เพียงอย่างเดียวที่ปริมาณผง AC เท่ากัน อาจเนื่องจากผง AC กระจายตัวได้ดีในกระจายทำให้ก๊าซถูกดูดซับอยู่ในรูพรุนได้ดี ในขณะที่ผง AC เพียงอย่างเดียวอาจเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของผง AC ทำให้จำนวนรูพรุนลดลงก๊าซจึงถูกดูดซับได้น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าในปริมาณสารดูดซับเท่ากัน พบว่ากระจายดูดซับเอทิลีนที่มีผง AC 5 และ 15 % โดยน้ำหนักเยื่อ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับก๊าซเอทิลีนดีกว่า ส่วนที่ 25 และ 35 % โดยน้ำหนักเยื่อ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีอัตราเร็วในการดูดซับน้อยกว่า โดยกระจายดูดซับเอทิลีนสามารถดูดซับก๊าซได้มากกว่า 95% ในชั่วโมงแรกของการดูดซับ (Figure 6)

เมื่อนำกระจายดูดซับเอทิลีนมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยการห่อผลมะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้เป็นเวลา 15 วัน เก็บรักษาที่ RT พบว่ามะม่วงที่ห่อด้วยกระจายดูดซับเอทิลีนชนิดเติม AC 5% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาไป 15 วัน เท่ากับ 28.59% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับมะม่วงที่เก็บรักษาด้วยสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า และห่อด้วยกระจายดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผง AC 0 15 25 และ 35% เท่ากับ 30.25 29.57 32.83 32.13 และ 31.12% ตามลำดับ (Table 4 และ Figure 7) โดยเปลือกมะม่วงเริ่มเหี่ยวในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน (Table 5) แสดงให้เห็นว่าปริมาณผง AC สูงขึ้นการดูดซับก๊าซไม่ได้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่อปริมาณผง AC เพิ่มขึ้นการกระจายอาจตัวเกิดได้ไม่ดี ผง AC จับกันเป็นกลุ่มก้อนรูพรุนถูกปิดกั้น ทำให้ก๊าซไม่สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้หรือเมื่อการกระจายตัวเกิดได้ไม่ดีส่งผลให้พื้นที่ผิวลดลง การดูดซับจึงเกิดได้น้อยลง อีกทั้งผง AC สามารถดูดซับได้ทั้งไอน้ำและก๊าซหลายชนิดจึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนลดลง ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากรายงานของ สุพัฒน์ (2550) ที่รายงานว่าผง AC ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษลอนลูกฟอกทำให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้อาจขึ้นกับชนิดของวัสดุที่นำมาเตรียมกระดาษที่แตกต่างกันหรือเกรดของ AC ที่แตกต่างกัน คือ สารเคมีที่ใช้ในการผลิตต่างกัน มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซของผง AC

แตกต่างกัน (Tanatchporn, 2015) ส่วนค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน (Figure 8) โดยมะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผง AC 25% มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยที่สุด คือ $L^* 59.86$ $a^* 1.33$ และ $b^* 27.81$ รองลงมาคือห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผง AC 5% คือ $L^* 61.39$ $a^* 2.52$ และ $b^* 30.16$ (Table 4) ดังนั้นกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผง AC 5% โดยน้ำหนักเส้นใยมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการนำไปพัฒนาต่อ

4. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย เท่ากับ 1.59 บาท/แผ่น โดยเป็นต้นทุนจากการสกัดเซลลูโลส 1.50 บาท (1.19 บาท/กรัม) และต้นทุนผงถ่านกัมมันต์ 0.10 บาท (1.54 บาท/กรัม) ซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคาประมาณ 2.50 บาท/ซอง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เปลือกทุเรียนสามารถนำมาผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนได้ เนื่องจากมีเซลลูโลสหรือเส้นใยเป็นองค์ประกอบ ทำได้โดยสกัดเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีน เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เพราะมีการใช้งานอย่างกว้างขวางทางการแพทย์ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการนำไปผ่านการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับเอาไว้ออกไป

เส้นใยที่เหมาะสม คือ เส้นใยชนิดไม่ฟอก เนื่องจากให้กระดาษที่มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่ากระดาษจากเส้นใยฟอก

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากกระจายตัวในกระดาษได้ดี ไม่มีการหลุดร่วงของผงถ่าน โดยปริมาณผงถ่านที่เหมาะสม คือ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก.170-2550 มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนมากกว่า 95% ยืดอายุการเก็บรักษา มะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด 28.59% และต้นทุนการผลิต 1.60 บาท/แผ่น ถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าชนิดซอง

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป คือ ศึกษาการใช้งานกระดาษกับผลไม้แต่ละชนิด ซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน ศึกษาประสิทธิภาพการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ และพัฒนาเป็นกล่องบรรจุหรือกระดาษรองกล่องบรรจุต่อไป

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณบริษัท Akzo Nobel Paints (Thailand Limited) สาขา Eka Bangkok ที่สนับสนุน Alkylketene dimer (AKD)

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม. 396 หน้า.
- ดรรรชนี พัทธวรกร. 2556. กระบวนการผลิตเชื้อและกระดาษ. หน้า 49-70. ใน : Industrial Process Chemistry. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิรนาม. บทที่ 5 เอทิลีนและฮอร์โมนพืชอื่นๆ. สืบค้นจาก: <http://goo.gl/3xn2vy>. [27 กันยายน 2558].
- บุญรักษ์ กาญจนวราณิชย์. 2016. สารละลาย: ถ่านปลุกฤทธิ์. สืบค้นจาก: <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/552-2016-02-09-03-10-28>. [25 กุมภาพันธ์ 2559].
- ศักยะ สมบัติไพรวิน เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การศึกษาการชะลอสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้. ว.วิทย. กษ. 43:3 (พิเศษ): 355-358.
- ศิริพร เต็งรัง สุปรียา สุขเกษม กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และประยูร เอ็นมาก. 2556. วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. หน้า 295-311. ใน : รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2556. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล. 2010. เทคโนโลยีเอนไซม์ในอุตสาหกรรมกระดาษ. *Energy & Environment Technology Promotion*. October-November 2010. 37(213):069-073.
- สุพัฒน์ คำไทย. 2554. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระดาษชะลอการสุกและฟิล์มยับยั้งโรคแอนแทรกโนสสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้. ว.วิทย. กษ. 42:1 (พิเศษ): 595-598.
- สุพัฒน์ คำไทย. 2550. การประเมินประสิทธิภาพกระดาษถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เศรษฐกิจ. ว.วิทย. กษ. 38:5 (พิเศษ): 25-28.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.170-2550: กระดาษเหนียว. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 11 หน้า.
- Day, B. P. F. 2008. Active Packaging of Food. Pages 1-18. In: Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons, Ltd.
- Lingle, R. 2014. Smart packaging forecast to grow 8 percent annually. In: Smart Packaging. Available: <http://www.packagingdigest.com/smart-packaging/smart-packaging-forecast-grow-8-percent-annually>. [15 February 2016].
- McDougall, G.J. 1991. The physical nature and manufacture of activated carbon. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 91(4):109-120.
- Nayik, G.A. and Muzaffar, K. 2014. Developments in packaging of fresh fruits-shelf life perspective: review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*. 1(5):34-39.

- Sothornvit, R. and Sampoompuang, C. 2012. Rice straw paper in incorporated with activated carbon as an ethylene scavenger in a paper-making process. *International Journal of Food Science and Technology*. 47:511-517.
- Tanatchporn, S. 2015. Activated carbon filter. *VALITECH*. April 1. 3p.
- Rooney, M.L. 1995. Ethylene-removing packaging. p.38-54. In: active food packaging. 1st edition. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall. UK. 293p.

Table 1 Properties of durian husk paper

Properties	Unit	Unbleached	Bleached	Thai Industrial Standard
		paper	paper	170-2550
Basis weight	Grammage (g/m ²)	60.25	59.41	55±5
Moisture Content	%	7.99	7.03	≤10
Water Absorption (Drop test)	sec/H ₂ O 0.05 cm ³			-
- felt side (FS)		46.6	4.6	-
- wire side (ws)		61.8	4.0	-
Tear Resistance	mN	453	206	260
Tensile Strength	kN/m	1.09	0.52	≥2
Elongation	%	1.73	1.02	-
Bursting strength	kPa	289	222	140

Table 2 Effect of activated carbon (AC) types on properties of ethylene absorber paper for quality of mango at 10th day of storage at RT

Treatment	AC Types	%Weight loss	Color		
			L*	a*	b*
1	Non	12.29a	66.23	6.47	39.42
2	Powder	10.50a	67.48	5.34	37.79
3	Granular	11.54a	67.99	6.27	39.53
4	Rod	11.10a	67.65	7.25	40.35

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05) by DMRT

Table 3 Effect of activated carbon (AC) powder on properties of ethylene absorber paper from unbleached durian husk fiber.

Treatment	AC (%)	Thickness (grammage)	Moisture	Tear	Tensile	Elongation	Bursting
			Content (%)	strength (mN)	Strength (kN/m)	(%)	strength (kPa)
1	0	56.14d	7.99ab	477.10a	1.08a	1.66a	296.06b
2	5	53.28e	7.21a	344.80c	0.57c	1.37b	190.69c
3	15	59.12c	7.78ab	355.40c	0.55c	1.45ab	191.81c
4	25	60.98b	8.41b	386.70bc	0.63b	1.56ab	198.56c
5	35	64.74a	8.62b	408.10ab	0.67b	1.56ab	314.44a
Thai Industrial Standard 170-2550		55±5	≤10	260	≥2	-	140

















































Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05) by DMRT

Table 4 Effect of activated carbon (AC) powder content on properties of ethylene absorber paper for quality of mango at 15th day of storage at RT

Treatment	AC Content (%)	%Weight loss	Color		
			L*	a*	b*
1	0	29.57ab	62.83	2.83	34.30
2	5	28.59a	61.39	2.52	30.16
3	15	32.83b	64.27	5.94	36.21
4	25	32.13ab	59.86	1.33	27.81
5	35	31.12ab	63.34	5.82	31.61
6	Commercial	30.25ab	64.07	1.58	35.32

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05) by DMRT

Table 5 Outer and inner appearance of the mangoes storage at room temperature for 15 days with various activated carbon contents of ethylene absorber paper

AC Content (%)	Storage Time (Days) at Room Temperature														
	1	3	5	7	9	11	13	15							
0															
5															
15															
25															
35															
Commercial Ethylene Absorber															

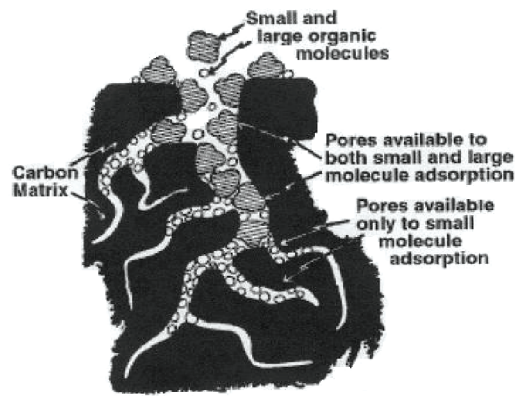


Figure 1 Illustrates the internal surface and concept of adsorption of activated carbon (บุญรักษ์, 2016)



Figure 2 Illustrates the mango storage with ethylene absorber paper

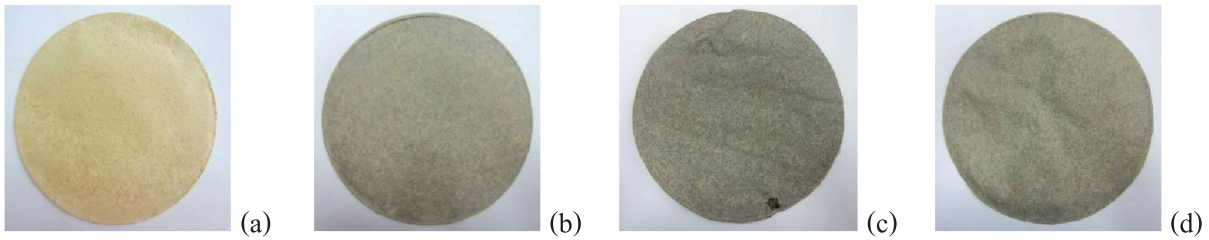


Figure 3 Illustrates the ethylene absorber paper at various activated carbon (AC) types; (a) without AC (b) powder type (c) granule type (GAC) and (d) rod type

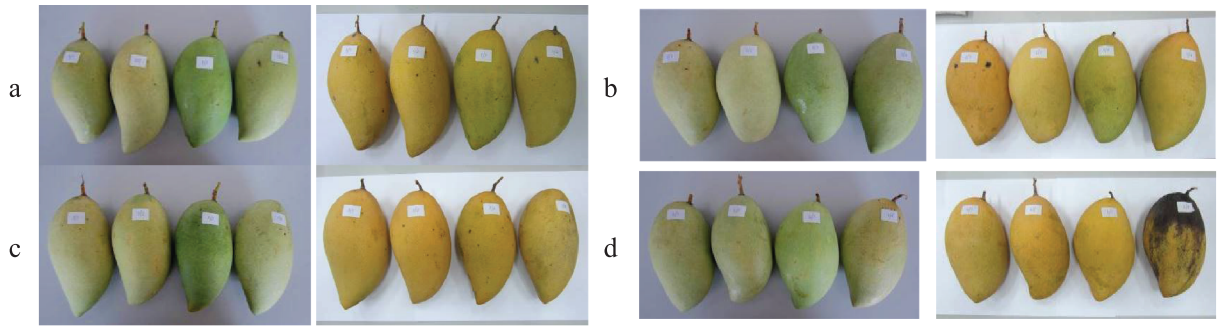


Figure 4 The appearance of the mango storage at RT for 1 and 8 days (left to right) with ethylene absorber paper various types; (a) paper without AC (b) paper with powder AC (c) paper with granule AC and (d) paper with rod AC



Figure 5 Ethylene absorber paper with various powder AC content; 0, 5, 15, 25 and 35% w/w from left to right.

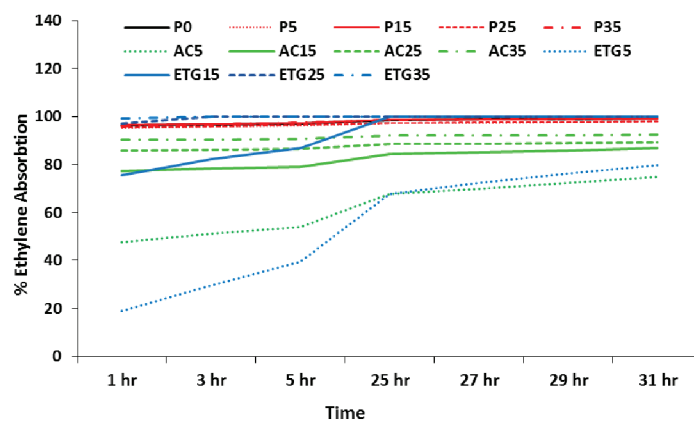


Figure 6 Ethylene absorption capacity of ethylene absorber paper as 0, 5, 15, 25 and 35% of activated carbon (P0-P35) activated carbon (AC5-AC35) and Commercial Ethylene Absorber (ETG5-ETG35)

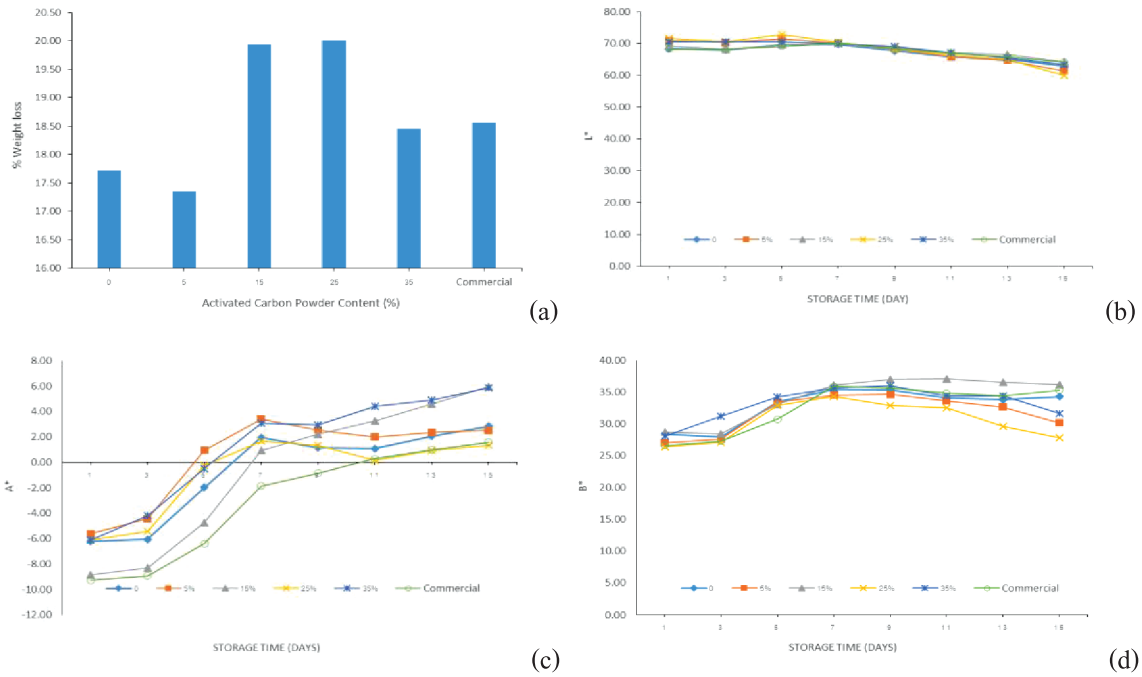


Figure 7 Weight loss (a) and color score of mango in ethylene absorber paper (various AC powder content) during storage at RT for 15 days; (b) L*, (c) a* and (d) b*