

วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
Research and Development of Ethylene Absorber Paper from Agricultural
Residues

ศิริพร เต็งรัง* กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

Siriporn Tengrang* Kanoksak Loylerd and Wimonwan Wattanawichit

.....

Abstract

This study aimed to produce the Ethylene Absorber Paper (EAP) from agricultural residues. Durian husk was selected because it had holocellulose, which reported can produced package and paper. The durian husk was extracted for cellulose or fiber using sodium hydroxide and then lignin removed with hydrogen peroxide. The fiber (bleach and unbleached) of durian husk were produced to paper by sheet former. The suitable of fiber type was unbleached fiber because the paper was best properties were moisture content was 7.99%, tear strength was 435 mN, tensile strength was 1.09 kN/m and burst strength was 289 kPa. The paper properties were following to Thai industrial standard: 170-2550 (55 grammage of Kraft Paper) except tensile strength. Afterward, unbleached fiber was prepared to EAP, which added with three different type of activated carbon viz. powder, granular and rod as ethylene absorber materials. Powder Activated Carbon (PAC) type was selected because mango kept in EAP with PAC had the lowest weight loss (10.55%) and could extend postharvest life of mango for 10 days at room temperature storage. Afterthat, demonstrated the suitable content of PAC added in EAP at 0, 5, 15, 25 and 35% (w/w) prepared with commercial ethylene absorber. The results EAP with 5% of PAC shown greater extend postharvest life of mango for 15 days at room temperature storage and mango had lowest weight loss (28.59%) significantly different with other condition and commercial ethylene absorber. The properties of all EAP were following to Thai industrial standard: 170-2550 except tensile strength but can be improved by added dry strength agent. Cost of EAP with 5% PAC was 1.60 Baht/sheet while commercial ethylene absorber was 2-3 Baht/small pack. The results indicated that EAP from agricultural residues with 5% PAC had could be a potential for development.

Keywords: ethylene gas, durian husk, activated carbon, active packaging, postharvest

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน (Ethylene Absorber Paper) จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อใช้ยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2556-2558 โดยวัสดุเหลือใช้ที่เลือก คือ เปลือกทุเรียน เนื่องจากมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาทำกระดาษได้ เริ่มโดยสกัดและฟอกขาวเส้นใยจากเปลือกทุเรียน จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษแล้วศึกษาคุณสมบัติพบว่าเส้นใยไม่ฟอกให้กระดาษที่มีคุณสมบัติดีกว่าทั้งปริมาณความชื้น ความต้านทานแรงฉีกขาด ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานแรงดันทะลุ คือ 7.99, 435 mN, 1.09 kN/m และ 289 kPa ตามลำดับ เป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด จากนั้นนำมาเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ เริ่มจากใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด ในปริมาณที่เท่ากัน คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงให้กระดาษดูดซับเอทิลีนที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.55% จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงไปศึกษาปริมาณที่เหมาะสม โดยเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย พบว่ากระดาษดูดซับเอทิลีนทุกกรรมวิธีมีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด โดยเมื่อประมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นกระดาษมีความแข็งแรงสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้อง พบว่ากระดาษเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% ให้ผลดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 28.59% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นๆ และดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก เท่ากับ 30.25% มีต้นทุนการผลิต 1.60 บาท/แผ่น ถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคา 2-3 บาท/ซอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

คำหลัก: ก๊าซเอทิลีน, เปลือกทุเรียน, ถ่านกัมมันต์, บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, หลังการเก็บเกี่ยว

คำนำ

ผลิตผลทางการเกษตรเป็นสินค้าส่งออกหลักที่สร้างรายได้ให้กับประเทศโดยเฉพาะผักและผลไม้ แต่พบว่ายังมีความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายเป็นจำนวนมาก โดยมีรายงานว่าเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งถึงร้อยละ 15-50 (นิรนาม, 2014) คิดเป็นมูลค่าความเสียหายหลายล้านบาทต่อปี โดยสาเหตุอาจมาจากโรค แมลง การเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักและผลไม้ จากการหายใจหรือสูญเสียน้ำ โดยเฉพาะกระบวนการหายใจซึ่งยังเกิดขึ้นอยู่แม้จะเก็บเกี่ยวมาแล้ว เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสร้างก๊าซเอทิลีนได้

เอทิลีน (C_2H_4) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่ช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช โดยปกติการผลิตเอทิลีนจะมีปริมาณต่ำ แต่เมื่อผลไม้สุกหรือถูกกระทบกระเทือนจะเกิดการเร่งกระบวนการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2544) โดยเอทิลีนจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อพืชให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น กระตุ้นให้เกิดการสุก ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สั้นลง ซึ่งผักและผลไม้แต่ละชนิดผลิตก๊าซเอทิลีนได้แตกต่างกัน เช่น มะม่วง กล้วยหอม มังคุด มะเขือเทศ และทุเรียน อยู่ในกลุ่มผลิตก๊าซเอทิลีนได้ปานกลาง คือ ผลิตได้ในอัตรา 1.0-10.0 $\mu L/kg.hr$ ที่ 20 °C (นิรนาม) ซึ่งวิธีการช่วยชะลอหรือยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ คือ การเก็บรักษาผลิตผลเกษตรที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดช้าลง ทั้งการหายใจ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี รวมถึงการสร้างและการตอบสนองต่อก๊าซเอทิลีน (Nayik and Muzaffar, 2014) อีกแนวทางหนึ่งคือการเก็บรักษาผักและผลไม้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรได้นานขึ้น (ROONEY, 1995)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) นอกจากมีหน้าที่ปกป้องอาหารจากการปนเปื้อนและความเสียหายที่เกิดจากภายนอกแล้ว ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น กำจัดหรือป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ กำจัดความชื้น กำจัดหรือปลดปล่อยก๊าซบางชนิด เป็นต้น ซึ่งจะใช้สารที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นส่วนประกอบหรือเป็นส่วนผสมในบรรจุภัณฑ์ เช่น สารกำจัดก๊าซเอทิลีน สารกำจัด/ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารดูดซับความชื้น หรือสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยมีการคาดการณ์ว่ามูลค่าของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทั่วโลกจะสูงขึ้นจาก 1.558 ล้านเหรียญในปี 2005 เป็น 2.649 ล้านเหรียญในปี 2010 (Day, 2008) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกำลังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจและใช้งานกันมากขึ้นในอนาคต โดยบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่น่าสนใจ คือ บรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้ เนื่องจากก๊าซเอทิลีนมีผลต่อการสุกของผลิตผลเกษตร ซึ่งเป็นสินค้าหลักของประเทศไทย และมีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้นจาก 62 ล้านเหรียญ ในปี 2005 เป็น 121 ล้านเหรียญ ในปี 2010 (Day, 2008)

ในปัจจุบันมีสารเคมีและวัสดุที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้หลายชนิด โดยที่นิยมใช้กันในปัจจุบันและมีออกมาจำหน่ายทางการค้าเป็นจำนวนมาก คือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ซึ่งจะถูกบรรจุใส่ของขนาดเล็ก ใช้งานโดยนำมาวางในกล่องหรือบรรจุภัณฑ์ที่ของผลิตผลเกษตรที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษา แต่เนื่องจาก $KMnO_4$ ออกซิไดส์ได้ง่ายและเป็นพิษ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้

ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง (ROONEY, 1995) และอาจมีปัญหาในการกำจัด วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เนื่องจากมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก มากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม (McDOUGALL, 1991) ทำให้อุณหภูมิของสารและโมเลกุลของก๊าซสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ภายในรูพรุนได้ (บุญรักษ์, 2016) รวมทั้งก๊าซเอทิลีน โดยลักษณะของรูพรุนและการดูดซับสารของ ถ่านกัมมันต์แสดงดัง Figure 1 คือ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่หรือเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก๊าซกับคาร์บอน โดยแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งมีความแข็งแรงน้อย (McDOUGALL, 1991) การใช้งานในปัจจุบันคือบรรจุในซองขนาดเล็กหรือผสมลงในตัวบรรจุภัณฑ์เลย (Day, 2008) เมื่อประสิทธิภาพพลดลงของถ่านกัมมันต์ลดลง สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำเพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ (บุญรักษ์, 2016) ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจึงได้มีการวิจัยนำถ่านกัมมันต์มาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การทดลองนำถ่านกัมมันต์ชนิดผง ชนิดแกรนูลและชนิดเกล็ด บรรจุในถุงชาถุงละ 10 กรัม ใส่ในกล่องที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ $95 \pm 2\%$ RH นาน 37 วัน เปรียบเทียบกับการรม 1-MCP และใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า พบว่าถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดให้ผลการยืดอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และยังไม่ดีเท่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและ 1-MCP (ศักยะ และคณะ, 2555) การผสมผงถ่านกัมมันต์กับเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่าเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองและมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ ให้ผลการทดลองดีที่สุด คือ สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 21 วัน และเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้ 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (สุพัฒน์, 2550) การศึกษากระดาษชะลอสูกจากเยื่อคาลิปตัสโดยเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25% ของน้ำหนักเยื่ออบแห้งร่วมกับสารยับยั้งเชื้อรา พบว่าช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้นาน 30 วัน ที่อุณหภูมิ 13°C $90 \pm 5\%$ RH (สุพัฒน์, 2554) และการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากฟางข้าวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับเอทิลีน พบว่าการเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักเยื่อ ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับก๊าซเอทิลีนได้สูงที่สุด 77% (Sothornvit and Sampoompuang, 2012) และการเคลือบสารดูดซับเอทิลีนที่มีผงถ่านกัมมันต์เป็นส่วนประกอบบนแผ่นกระดาษกันกระแทก พบว่าช่วยยืดอายุกล้วยหอมทองได้ 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 25°C $60 \pm 5\%$ RH (อภิญา และคณะ, 2554) เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการผลิตบรรจุภัณฑ์ดูดซับเอทิลีนที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับออกมาจำหน่ายแล้ว ทั้งในรูปแบบของฟิล์มและกระดาษ เช่น บริษัท Honshu Paper Ltd. ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนออกมาจำหน่ายในชื่อ Hatofresh (Day, 2008) แต่ยังคงมีราคาสูง

จากข้อมูลข้างต้นโครงการนี้จึงมีแนวคิดในการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนโดยใช้เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรทำแผ่นกระดาษและใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ เนื่องจากมีวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรจำนวนมากที่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้และมีศักยภาพในการนำมาทำกระดาษ ส่วนถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติดูดซับก๊าซเอทิลีนได้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

ลดปัญหาขยะ ลดการนำเข้าสินค้า เทคโนโลยีและเครื่องจักรที่มีราคาสูง ช่วยลดภาวะโลกร้อน เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ รวมถึงการช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เปลือกทุเรียนจากตลาดไท
2. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากตลาดไท
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide 30%, Fisher)
5. โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate, Riedel-de Haen)
6. แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium Sulfate, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
7. อัลคิลคีทีนไดเมออร์; AKD (Eka DR D10, Eka Chemicals (Thailand) Ltd.)
8. โถดูดความชื้น
9. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Charcoal Activated Powder QR, Panreac)
10. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Activated Charcoal untreated, granular, Sigma-Aldric)
11. ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Activated Charcoal Norit[®], rod, Sigma-Aldric)
12. ตะแกรงสแตนเลสสำหรับแยกเซลล์ูโลส
13. กระดาษซับน้ำ Blotting Paper 250±10 grammage, Gurley
14. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ Sheet Former “Tappi” semi-automatic, Xell GmbH
15. เครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ Automatic Sheet Press according to TAPPI and SCAN, FRANK-PTI
16. เครื่องหั่นย่อย robot coupe, CL60 บริษัท C.L. FoodS
17. เครื่องปั่นเอนกประสงค์ MOULINEX รุ่น DP705G
18. ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
19. ตู้อบแห้งระบบหมุนเวียนอากาศ Cabinet Tray drier บริษัท ยูซิคอร์ป จำกัด
20. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
21. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
22. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBS A-08 Series B
23. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
24. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
25. เครื่องวัดขนาดเวอร์เนีย: SOMET

26. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT

27. เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME model

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

1.1 เตรียมเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่นำมาใช้ คือ เปลือกทุเรียน เริ่มจากนำเปลือกทุเรียนมาล้างด้วยน้ำสะอาด ทิ้งให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อย จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55-60 °C นำไปเตรียมเส้นใยตามวิธีของศิริพร และคณะ (2556) ดังนี้

1.1.1 เตรียมเส้นใยไม่ฟอก: นำวัสดุเหลือใช้ที่แห้งแล้วมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ จนเส้นใยแยกออกจากกัน บีบน้ำออก ออบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

1.1.2 เตรียมเส้นใยฟอก: นำเส้นใยไม่ฟอกมาต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักเส้นใย ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด ออบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

1.2 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษ

นำเส้นใยที่เตรียมได้จากข้อ 1 ทั้งชนิดฟอก และไม่ฟอก มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษให้น้ำหนักมาตรฐาน 55±5 กรัมต่อตารางเมตร ตามคุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษห่อของตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) โดยนำเส้นใยมาแช่น้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อให้เส้นใยเกิดการพองตัว จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มิลลิลิตร เติมสารกันซึมชนิดอัลคิลคีทีนไดเมอร์ (AKD) 3% โดยน้ำหนักเส้นใย ปั่นเส้นใยให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยตั้งเวลาในการเติมน้ำ 40 วินาที เวลาในการกวน 8 วินาที และเวลาในการเซตตัว 5 วินาที แล้วนำไปอัดแผ่นที่แรงดัน 0.8 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปทำให้เรียบด้วยเครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ ที่แรงดัน 3.5 บาร์ 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 นาที และ 2 นาที ตามลำดับนำไปผึ่งให้แห้ง จะได้กระดาษจากเปลือกทุเรียน

1.3 ทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

นำกระดาษที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 ไปทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ดังนี้

- 1) น้ำหนักมาตรฐาน ดัดแปลงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550
- 2) ปริมาณความชื้น ทดสอบด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance)

- 3) การดูดซึมน้ำ แบบ Drop test: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน มอก. 321-2530 การทำกระดาษลูกฟูก
- 4) ความต้านแรงฉีกขาด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 1974-2012(E) Paper-Determination of testing resistance (Elmendorf method)
- 5) ความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97 (Reapproved 2002) Tensile Properties of Paper Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus
- 6) ความต้านแรงดันทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 2758-2001(E) Paper-Determination of bursting strength

2. ศึกษาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนมี 3 ชนิด คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

2.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

นำเส้นใยที่คัดเลือกได้จากข้อ 2. มา 1.25-1.26 กรัม (สำหรับกระดาษ 55±5 แกรม) แช่น้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อให้เส้นใยเกิดการพองตัว จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มิลลิลิตร เติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ (ปริมาณที่ดีที่สุดจากการทดลองของ สุวัฒน์, 2550) ปั่นเส้นใยและถ่านกัมมันต์ให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นกระดาษตามวิธีในข้อ 1.2 จะได้กระดาษดูดซับเอทิลีน

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

นำกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ไปทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี โดยแปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วง คือ กระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์ กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด และกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง โดยนำผลมะม่วงวางบนกระดาษดูดซับเอทิลีนผลละ 1 แผ่น และหุ้มด้วยโฟมตาข่าย ดัง Figure 2 จากนั้นบรรจุใส่กล่องวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุก 2 วัน เป็นเวลา 10 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L, a*, b*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป จากนั้นคัดเลือกชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม คือ ช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วงได้ดีที่สุด ไปใช้ทดลองในขั้นต่อไป

3. ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

3.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

เตรียมกระดาษเช่นเดียวกับข้อ 2.1 เติมถ่านกัมมันต์ชนิดที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 2. ในปริมาณต่างๆ ตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์

กรรมวิธีที่ 2 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 3 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 15% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 4 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 25% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 5 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย

3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีน

ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ

นำกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ไปทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้แป๋องต้น ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี โดย

1) กรรมวิธีที่ 1-5 แปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วงตามข้อ 3.1 โดยนำผลมะม่วงวางบน กระดาษดูดซับเอทิลีนผลละ 1 แผ่น และหุ้มด้วยโฟมตาข่าย จากนั้นบรรจุในกล่องวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2) กรรมวิธีที่ 6 ใช้สารกำจัดเอทิลีนทางการค้า โดยนำผลมะม่วงหุ้มด้วยโฟมตาข่าย และบรรจุในกล่องที่มีสารกำจัดเอทิลีนทางการค้าจำนวน 2 ซอง วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3) เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป

4. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร เปรียบเทียบกับสารกำจัดเอทิลีนทางการค้า

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ศึกษาชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่นำมาเตรียมเส้นใยเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ คือ เปลือกทุเรียน เนื่องจากถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากจากการบริโภคและแปรรูป และมีรายงานว่าสามารถนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ (ศิริพร และคณะ, 2556) ซึ่งผลจากการนำมาเตรียมกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปกระดาษ (sheet former) พบว่าได้กระดาษค่อนข้างเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอทั้งทั้งแผ่น โดยกระดาษจากเส้นใยไม่พอกมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนกระดาษจากเส้นใยพอกมีสีขาวตามสีของเส้นใย ดัง Figure 3 (a) และ (b) มีน้ำหนักเฉลี่ย 60.25 และ 59.41 กรัมต่อตารางเมตร (แกรม) ตามลำดับ และเมื่อนำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติ พบว่ากระดาษไม่พอกมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่ากระดาษพอก เนื่องจากกระดาษไม่พอกยังมีลิกนินซึ่งทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นตัวยึดเหนี่ยวให้เส้นใยติดกัน (ศิริรัตน์, 2010) ทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่า ดัง 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 และความต้านแรงดันทะเลเท่ากับ 289 และ 222 kPa ซึ่งกระดาษไม่พอกมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) คือ มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% ความต้านแรงฉีกขาดแนวขนานเครื่องไม่น้อยกว่า 260 mN และความต้านแรงดันทะเลไม่น้อยกว่า 140 kPa แต่ความต้านแรงดึงขาดยังมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่า 2.00 kN/m แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) เช่น แป้งประจุบวก และพอลิอะคริลาไมด์ (ดรรชนี, 2556) ส่วนความต้านทานการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ ด้านตะแกรงของกระดาษไม่พอกและพอก เท่ากับ 61.8 และ 4 วินาที ดังนั้นจึงคัดเลือกเส้นใยไม่พอกไปเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อไป

2. ศึกษาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ มีรูพรุนและพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก มากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม (McDOUGALL, 1991) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับเป็นตัวดูดซับที่ดีสามารถดูดซับกลิ่น ไขมัน และแก๊สต่างๆ ไปได้ รวมถึงก๊าซเอทิลีน ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านกัมมันต์เนื่องจากมีขนาดและจำนวนรูพรุนแตกต่างกัน (Tanatchporn, 2015) โดยผลการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนไม่พอกผสมกับถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ พบว่ากระดาษที่ได้มีสีเทาทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากถ่านกัมมันต์กระจายตัวได้ค่อนข้างดีดัง Figure 4 ซึ่งกระดาษที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีการหลุดร่วงของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้การแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยในเนื้อกระดาษเกิดได้ไม่ดีจึงมีบางส่วนหลุดร่วงออกมา และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลา 10 วัน พบว่ามะม่วงเริ่มเน่าเสียในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดัง Figure 5 และสามารถเก็บรักษาได้นาน 10 วัน เมื่อห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.50% อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากที่สุด เมื่อเทียบกับชนิดแท่งและชนิดเม็ด (บุญรักษ์, 2016) ทำให้สามารถดูดซับก๊าซได้มากกว่า รองลงมาคือเติมถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง ชนิดเม็ด และไม่เติมถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 11.10 11.54 และ 12.29 ตามลำดับ (Table 2 และ Figure 6) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกน้อยที่สุด ดัง Figure 7 ดังนั้นจึงเลือกถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder) ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

3. ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

จากการทดลองในข้อ 2 พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาหาปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อ โดยเตรียมกระดาษจากเส้นใยไม่พอกเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเยื่อ ซึ่งเป็นปริมาณที่ครอบคลุมการทดลองของสุพรรณ (2550) ที่ทำการทดลองเติมผงถ่านกัมมันต์ในเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่า ปริมาณ 0, 5, 10,

15, 20 และ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ จากการทดลองพบว่าไม่มีการหลุดร่วงของผงถ่านกัมมันต์ กระดาษมีสีเข้มขึ้นตามประมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นดัง Figure 8 และมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาดที่น้อยกว่ามาตรฐาน (Table 3) แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) เช่น แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลาไมด์ (ดรธรณี, 2556)

จากตารางที่ 3 พบว่ากระดาษที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ มีความแข็งแรงสูงกว่ากระดาษที่เติมผงถ่านกัมมันต์และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากผงถ่านกัมมันต์ไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยทำให้แรงยึดเหนี่ยวชนิด ระหว่างเส้นใยกับเส้นใยลดลง กระดาษจึงมีความแข็งแรงลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่เติมผงถ่านกัมมันต์ด้วยกัน พบว่ากระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์สูงขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดชนิด Van der Waals ระหว่างผงถ่านกัมมันต์ด้วยกันช่วยเสริมแรงให้กระดาษแข็งแรงขึ้น แต่แรง Van der Waals มีความแข็งแรงน้อยกว่า Hydrogen bonding ซึ่งผลทดสอบกระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์ กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 0 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 แต่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีรูพรุนที่สามารถดูดความชื้นเข้าไปในรูพรุนได้ เมื่อมีปริมาณผงถ่านกัมมันต์สูงขึ้นจึงดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ทำให้มีความชื้นสะสมในกระดาษสูงขึ้น

เมื่อนำกระดาษดูดซับเอทิลีนมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยการห่อผลมะม่วงเป็นเวลา 15 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเปลือกมะม่วงเริ่มเหี่ยวในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ดังภาพใน Table 4 โดยผลมะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาไป 15 วัน เท่ากับ 28.59% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับมะม่วงที่เก็บรักษาด้วยสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 0 15 25 และ 35% เท่ากับ 30.25 29.57 32.83 32.13 และ 31.12% ตามลำดับ (Table 5 และ Figure 9) แสดงให้เห็นว่าปริมาณถ่านกัมมันต์สูงขึ้นการดูดซับก๊าซไม่ได้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นการกระจายอาจตัวเกิดได้ไม่ดีถ่านกัมมันต์จับกันเป็นกลุ่มก้อน รูพรุนถูกปิดกั้นทำให้ก๊าซไม่สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้หรือเมื่อการกระจายตัวเกิดได้ไม่ดีส่งผลให้พื้นที่ผิวลดลงการดูดซับจึงเกิดได้น้อยลง อีกทั้งถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ทั้งไอน้ำและก๊าซหลายชนิดซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซเอทิลีนลดลง ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากรายงานของสุพัฒน์ (2550) ที่รายงานว่าผงถ่านปริมาณ 25% โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษลอนลูกฟอกก่อให้เกิดผลดีที่สุด ทั้งนี้อาจขึ้นกับชนิดของวัสดุที่นำมาเตรียมกระดาษที่แตกต่างกันหรือเกรดของถ่านกัมมันต์ที่ต่างกัน คือ สารเคมีที่ใช้ในการผลิต (treat) ถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซแตกต่างกัน (Tanatchporn, 2015) ส่วนค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงไปใน

ทิศทางเดียวกัน (Figure 10) โดยมะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ 25% มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยที่สุด คือ $L^* 59.86$ $a^* 1.33$ และ $b^* 27.81$ รองลงมาคือห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% คือ $L^* 61.39$ $a^* 2.52$ และ $b^* 30.16$ (Table 5) ดังนั้นกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการนำไปพัฒนา

4. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย เท่ากับ 1.59 บาท/แผ่น ซึ่งเป็นต้นทุนจากการสกัดเซลลูโลส 1.49 บาท (1.19 บาท/กรัม) และต้นทุนผงถ่านกัมมันต์ 0.10 บาท (1.54 บาท/กรัม) เท่านั้น ซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคาประมาณ 2.50 บาท/ซอง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

กระดาษดูดซับเอทิลีน เตรียมโดยนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาทำกระดาษเนื่องจากมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ หาง่าย และมีราคาถูก และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีน เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพราะมีการใช้อย่างกว้างขวางทางการแพทย์ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการนำไปผ่านการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับเอาไว้ออกไป

ในการทดลองได้เลือกเปลือกทุเรียนมาทำกระดาษ เนื่องจากถูกทั้งเป็นขยะจำนวนมากและที่สำคัญคือมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ โดยเส้นใยที่เหมาะสมคือ เส้นใยชนิดไม่ฟอก เนื่องจากให้กระดาษที่มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่ากระดาษจากเส้นใยฟอก จากนั้นทดลองเติมถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง โดยชนิดผงมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากกระจายตัวได้ดีในแผ่นกระดาษ ไม่มีการหลุดร่วงของผงถ่าน และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของกระดาษโดยการห่อผลมะม่วงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่ากระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงสามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วัน โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.55% ซึ่งปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม คือ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุดและดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 28.59% และมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent)

ต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% จากเปลือกทุเรียนไม่ฟอก เท่ากับ 1.60 บาท/แผ่น ซึ่งถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าชนิดซอง อย่างไรก็ตามในการใช้งาน

แต่ละครั้งจะต้องใช้กระดาษดูดซับเอทิลีน 1 แผ่น/ผล ในขณะที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2-3 ของต่อกล่อง ซึ่งอาจทำให้ต้นทุนแพงขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป คือ ศึกษาอัตราการดูดซับเอทิลีนของกระดาษแต่ละแผ่นเพื่อนำมาคำนวณถึงประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนโดยแท้จริง เพื่อแนะนำการใช้งานกระดาษในแต่ละครั้งให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน และศึกษาถึงประสิทธิภาพของการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ และพัฒนาเป็นกล่องบรรจุต่อไป

คำขอบคุณ

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.
- ดรรชนี พัทธวรการ. 2556. กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ. Industrial Process Chemistry. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 111 หน้า.
- นิรนาม. 2014. วาระแห่งชาติว่าด้วย “ขยะ”. สืบค้นจาก: <http://thaipublica.org/2014/11/global-save-food/>. [27 มกราคม 2559].
- นิรนาม. บทที่ 5 เอทิลีนและฮอร์โมนพืชอื่นๆ. สืบค้นจาก: <http://goo.gl/3xn2vy>. [27 กันยายน 2558].
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์. 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 ตรีอำรรค. 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. สำนักวิจัยแลพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร.
- ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล. 2010. เทคโนโลยีเอนไซม์ในอุตสาหกรรมกระดาษ. Energy & Environment. Technology Promotion. October-November 2010. Vol. 37. No. 213. Pp. 069-037.

- สุพัฒน์ คำไทย. 2550. การประเมินประสิทธิภาพกระดาษถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้
เศรษฐกิจ. ว.วิทย. กษ. 38:5 (พิเศษ): 25-28.
- สุพัฒน์ คำไทย. 2554. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระดาษชะลอการสุกและฟิล์มยับยั้งโรค
แอนแทรกโนสสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้. ว.วิทย. กษ. 42:1 (พิเศษ): 595-598.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.170-2550:
กระดาษเหนียว. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 11 หน้า.
- อภิญญา แสงศิริโรจน์, สุขปา เนตรประดิษฐ์ และกฤติกา ต้นประเสริฐ. 2554. การเคลือบสารดูดซับ
เอทิลีนบนแผ่นกระดาษ เพื่อยืดอายุการเก็บและกันกระแทกกล้วยหอมทอง. การประชุมวิชาการ
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 4. 7-8 กรกฎาคม 2554. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ. หน้า 341-348.
- Day, Brain P. F. 2008. Active Packaging of Food. p.1-18. In: Smart Packaging Technologies
for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons, Ltd.
- 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. In: VALITECH. 3p. Available:
<http://goo.gl/QuJLEN>. [27 February 2015].
- 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 properties of mango at 10th of storage time 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)

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

Treatment	AC (%)	Thickness (grammage)	Moisture Content (%)	Tear strength (mN)	Tensile Strength (kN/m)	Elongation (%)	Bursting strength (kPa)
1	0	56.14d	7.99ab	477.10a	1.08a	1.66a	296.06b
2	5	53.28e	7.21b	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	8.41a	386.70bc	0.63b	1.56ab	198.56c
5	35	64.74a	8.62a	408.10ab	0.67b	1.56ab	314.44a

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

Table 4 Outer and inner appearance of the mangoes storage at room temperature for 15days with ethylene absorber paper various activated carbon content






















































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

Table 5 Effect of Activated Carbon (AC) Powder content on properties of Ethylene Absorber Paper for properties of mango at 15th of storage time 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 Ethylene Absorber	30.25ab	64.07	1.58	35.32

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

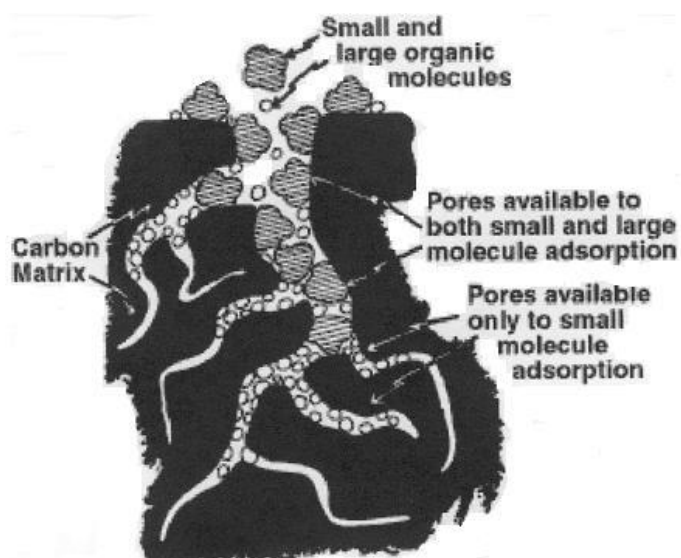
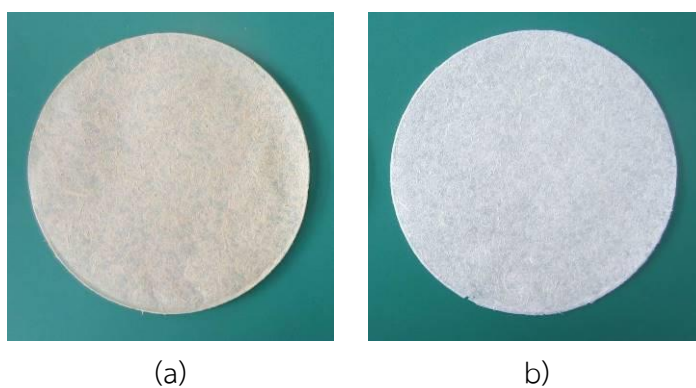


Figure 1 Illustrates the internal surface and concept of adsorption of activated carbon (บุญรักษ์, 2016)



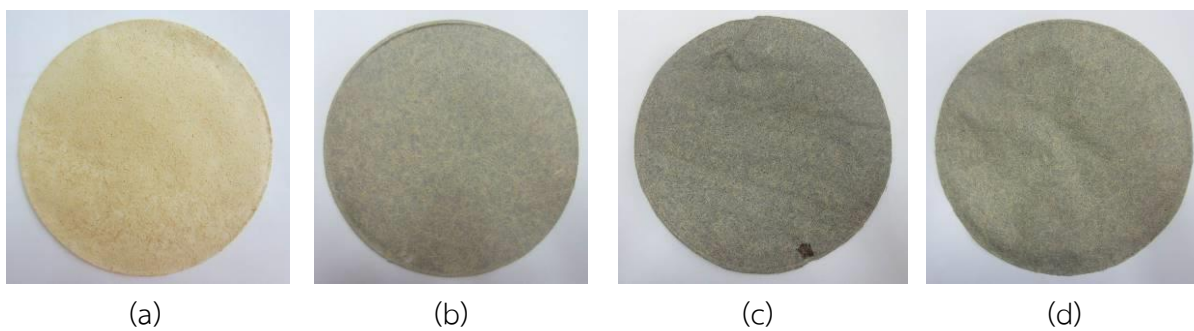
Figure 2 Illustrates the mango storage with ethylene absorber paper



(a)

(b)

Figure 3 Durian Husk fiber papers: (a) unbleached fiber and (b) bleached fiber



(a)

(b)

(c)

(d)

Figure 4 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

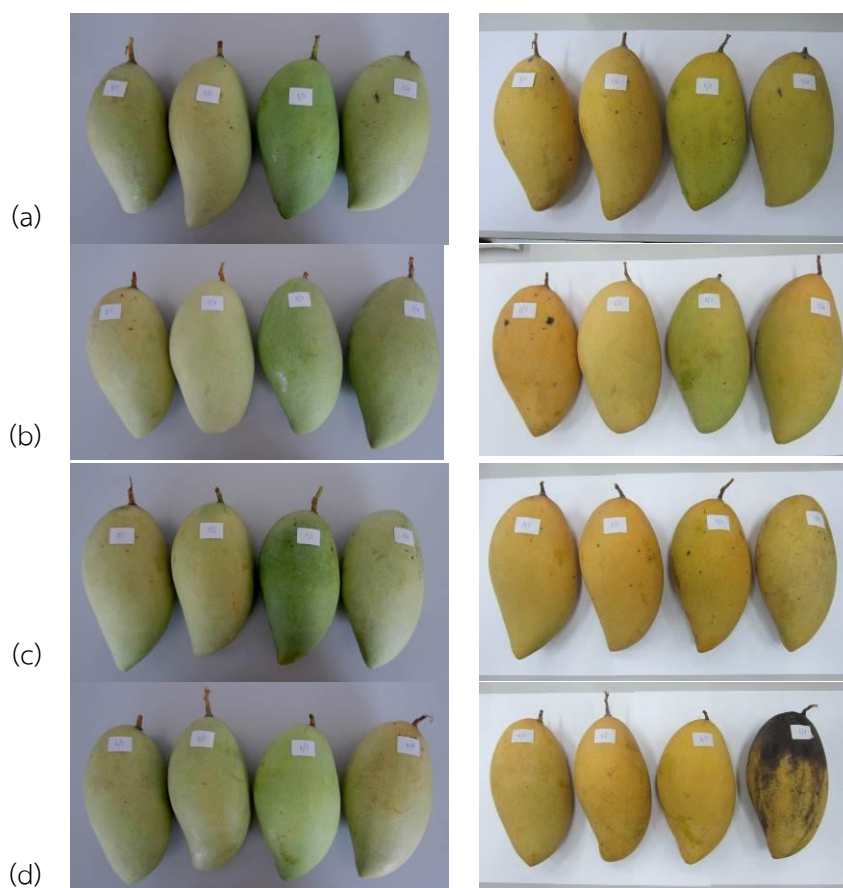


Figure 5 Outer appearance of the mango storage at room temperature for 1 and 8 days (left to right) with ethylene absorber paper various types; (a) paper without activated carbon (AC) (b) paper with powder AC (c) paper with granule AC and (d) paper with rod AC

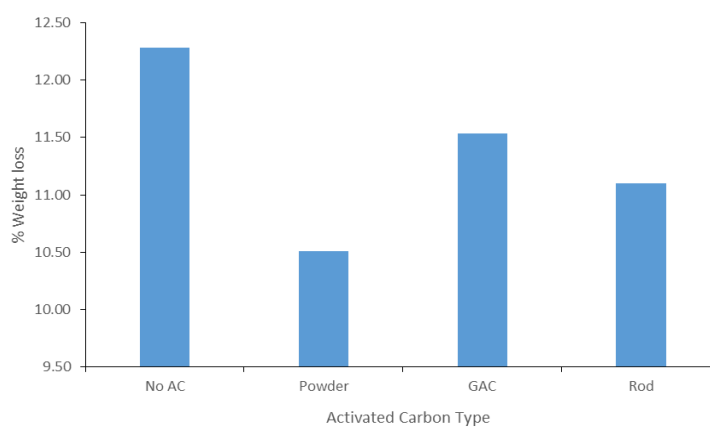
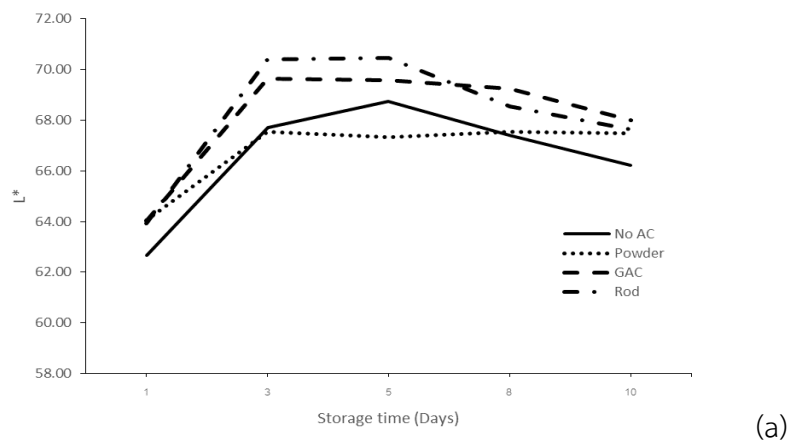
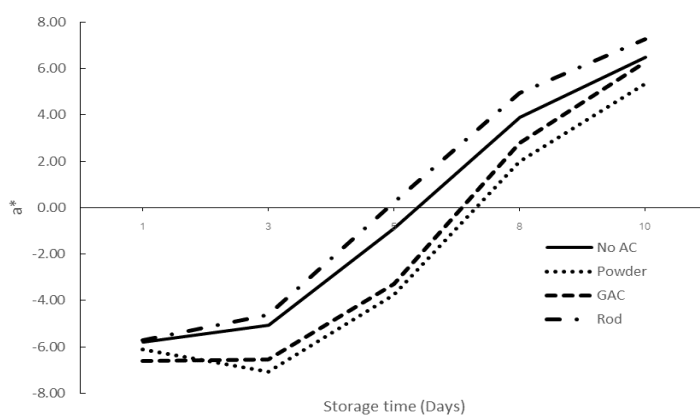


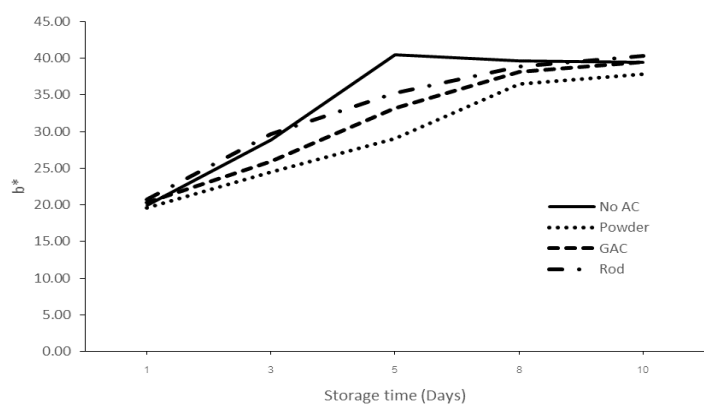
Figure 6 Weight loss of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon types) during storage at RT for 8 days



(a)



(b)



(c)

Figure 7 Color score of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon types) during storage at RT for 8 days; (a) L*, (b) a* and (c) b*



Figure 8 Ethylene absorber paper with various activated carbon powder content; left to right 0, 5, 15, 25 and 35% w/w

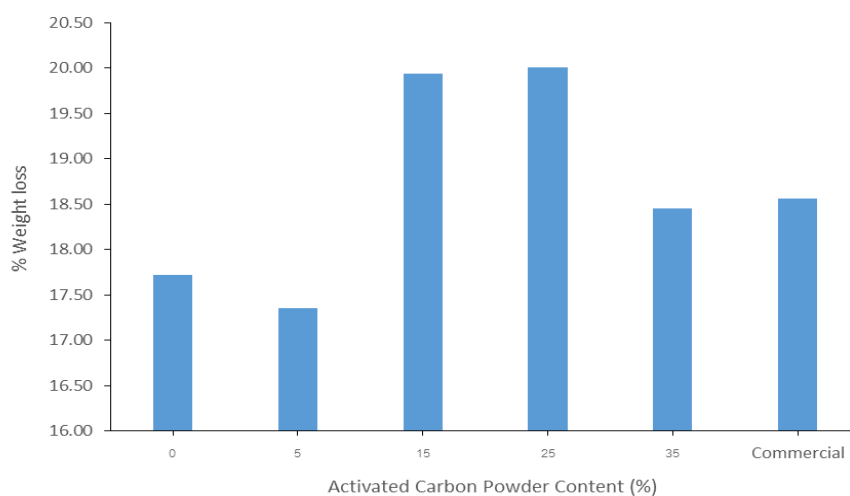
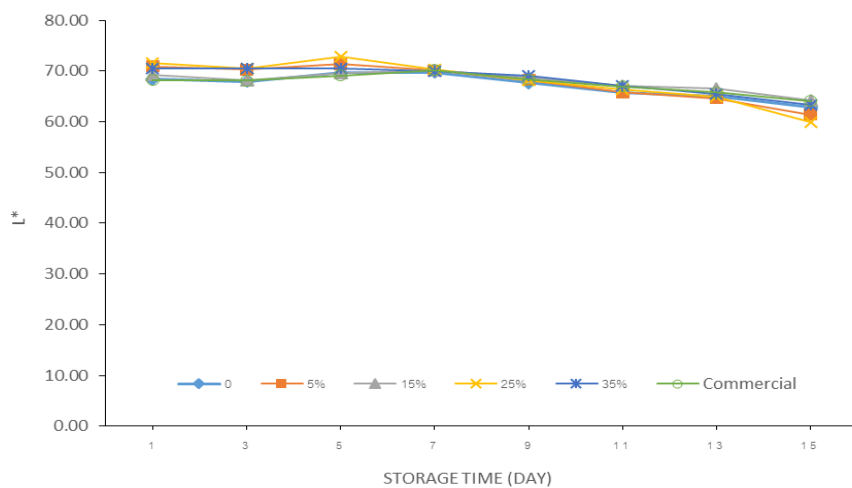
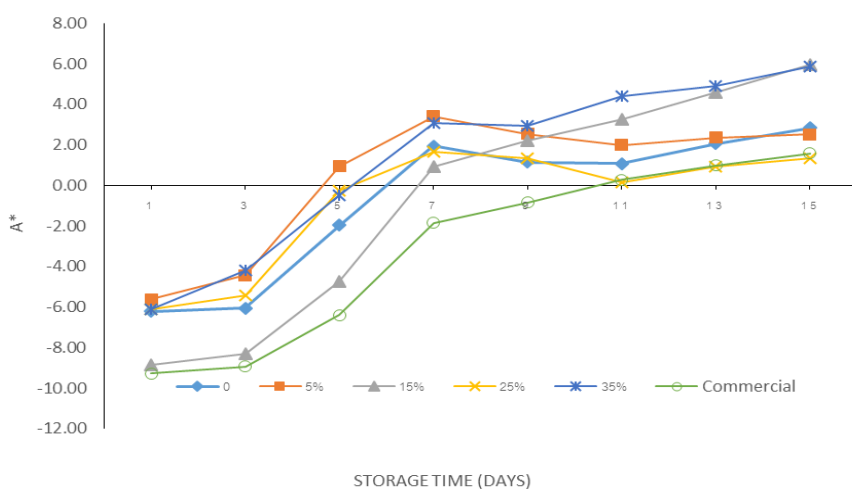


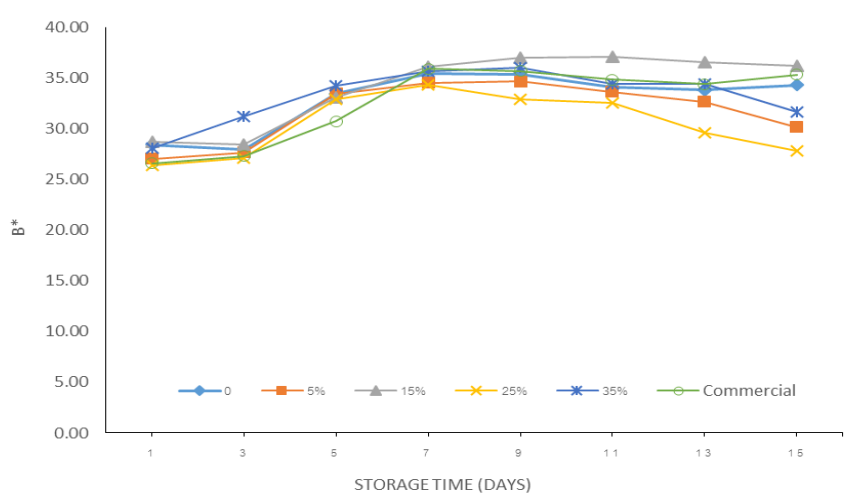
Figure 9 Weight loss of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon powder content) during storage at RT for 15 days



(a)



(b)



(c)

Figure 10 Color score of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon powder content) during storage at RT for 15 days; (a) L^* , (b) a^* and (c) b^*