Agricultural Sci. J. 38 : 5 (Suppl.) : 325-328 (2007) ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 325-328 (2550)

การผลิตสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทอง

Production of ethylene absorber for extending postharvest life of banana cv. Gros Michel

วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์[1] พรชัย ราชตนะพันธุ์[2] และ พิชญา บุญประสม[3]
Wutthirat Phatnibool[1] Pornchai Rachtanapun[2] and Pichaya Boonprasom[3]

Abstract

This work was aimed at investigating the process for production of ethylene absorber using marl and potassium permanganate ($KMnO_4$). The 2 : 1 (w/w) ratio of marl : water was an appropriate ratio for ethylene absorber production since resulted in the highest viscosity. Marl solution was then mixed with 1%, 3%, 5%, and 7% (w/w) of $KMnO_4$ solution. The mixtures were subsequently dried at 150, 175, and 200°C using vacuum dryer or hot air oven. The drying time of the mixtures decreased as the drying temperature increased. The drying time of samples dried in the hot air oven was shorter than the drying time of samples dried in the vacuum dryer. The ethylene absorber with 3% $KMnO_4$ solution had an absorption rate closed to the 2 commercial ethylene absorbers. Ethylene absorber samples dried using vacuum dryer had faster absorption rates than those using hot air ovens.

The ethylene absorber was packed in packaging materials: proof, thin mulberry and glassine papers. The ethylene absorber packed in proof paper allowed highest absorption rate compared to the thin mulberry and glassine papers ($p<0.05$). Then ethylene absorber was placed in perforated oriented polypropylene (OPP) pouch. Absorption rates of produced ethylene absorber were compared to absorption rates two commercial ethylene absorbers. It was found that the absorption rate of the produced ethylene absorber was highest ($p<0.05$).

Ethylene absorber produced used to maintain quality and storage life of banana cv. Gros Michel compared to two commercial ethylene absorbers. Storage life of banana stored with produced ethylene absorber was 15 days while banana store with commercial ethylene absorbers were 18 days.

Keywords: Ethylene, Marl, Potassium Permanganate

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตสารดูดซับเอทิลีนโดยใช้ดินสอพองและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เป็นส่วนประกอบหลัก จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนน้ำหนักดินสอพองต่อน้ำที่ 2 : 1 ให้ของผสมที่มีความหนืดสูงที่สุด เหมาะต่อการนำมาผลิตสารดูดซับเอทิลีน จากนั้นนำดินสอพองผสมกับสารละลาย $KMnO_4$ ความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 7% (w/w) ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150, 175 และ 200°ซ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการอบลดลง โดยตู้อบลมร้อนจะใช้ระยะเวลาการอบสั้นกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ เมื่อทดสอบการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ 3% $KMnO_4$ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด และสารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศมีอัตราการดูดซับเอทิลีนเร็วกว่าตู้อบลมร้อน

เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นบรรจุในซองที่ทำจากกระดาษสาแบบบาง, กระดาษพรูฟ และกระดาษทำโคม ไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนในซองกระดาษพรูฟมีอัตราการดูดซับเอทิลีนสูงกว่าซองกระดาษทำโคมและกระดาษสาแบบบาง ($p<0.05$) เมื่อหุ้มด้วยถุงพลาสติกชนิด OPP เจาะรู แล้ววัดอัตราการดูดซับเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 ชนิด พบว่ามีอัตราการดูดซับเอทิลีนเร็วกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า

เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นไปใช้ในการเก็บรักษากล้วยหอมทอง เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 ชนิด พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้เป็นระยะเวลา 15 วัน ในขณะที่สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 18 วัน

คำสำคัญ: เอทิลีน ดินสอพอง ด่างทับทิม

[1]สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[1]Postharvest Technology Institute Graduate School Chiangmai University, Chiangmai, 50200
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[2]Department of Packaging Technology Faculty of Agro-Industry, Chiangmai University, Chiangmai, 50200
[3]ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[3]Department of Food Engineering Faculty of Agro-Industry, Chiangmai University, Chiangmai, 50200

คำนำ

เอทิลีนมีคุณสมบัติเร่งอัตราการเสื่อมสภาพและการสุกของผลไม้ (ดนัย, 2540) แม้ว่าในบรรยากาศรอบๆ จะมีก๊าซเอทิลีนเพียง 0.1 ppm ก็อาจกระตุ้นให้ผลไม้เกิดการสุกได้ (จริงแท้, 2540) ซึ่งตามกฎหมายกักกันพืชของแต่ละประเทศจะไม่อนุญาตให้ผลไม้ที่สุกแล้วเข้าภายในประเทศ ดังนั้นการใช้สารดูดซับเอทิลีนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตออกมาจำหน่ายในทางการค้าเป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากมีราคาแพงและผลิตจากวัสดุที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นการศึกษาวัสดุที่เหมาะสม มีราคาถูก และสามารถหาได้ในประเทศ เพื่อนำมาทดแทนวัสดุที่ต้องนำเข้า ตลอดจนวิธีการผลิตที่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นต่อการลดต้นทุนการผลิตสารดูดซับเอทิลีนให้ต่ำลง

อุปกรณ์และวิธีการ

ผสมดินสอพองและน้ำในอัตราส่วนน้ำหนัก 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 2:3 และ 3:2 แล้ววัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง rapid viscosity analyzer ที่อัตราการคนสาร 400 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิคงที่ 30°C จากนั้นผสมสารละลาย $KMnO_4$ 1, 3, 5, และ 7% กับดินสอพองตามอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 150, 175 และ 200°C จนมีความชื้นลดเหลือ 0.6-1.0%(wet basis) บันทึกเวลาไว้ แล้วนำไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 800 ppm ด้วยเครื่อง gas chromatograph เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 ชนิด จากนั้นทำการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นจากกรรมวิธีที่เหมาะสมในซองที่ทำจากกระดาษสาแบบบาง, กระดาษพรูฟ และกระดาษทำโคม แล้วนำไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีน เลือกสารดูดซับเอทิลีนที่บรรจุในซองที่ทำจากวัสดุที่เหมาะสมที่สุด หุ้มด้วยถุงพลาสติกชนิด OPP เจาะรู ไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพสารดูดซับเอทิลีน โดยใส่ในกล่องที่บรรจุกล้วยหอมทองแล้ววัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอมทอง เปรียบเทียบกับการใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด และไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีน (ชุดควบคุม) จนหมดอายุการเก็บรักษา (ผลสุกต่อหวีเท่ากับ 100%)

ผล

จากการศึกษา พบว่า ดินสอพอง:น้ำ ที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าความหนืดสูงที่สุด และเมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวไปผลิตสารดูดซับเอทิลีน พบว่าการอบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนใช้เวลาน้อยกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ โดยการอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนความเข้มข้นของ $KMnO_4$ พบว่ามีอิทธิพลต่อเวลาในการอบตัวอย่างน้อยกว่าปัจจัยอื่นๆ เมื่อทดสอบอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ 3% $KMnO_4$ ทุกสภาวะการอบ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 1 ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นอื่นและสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 สารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศสามารถดูดซับเอทิลีนได้เร็วกว่าตู้อบลมร้อน ส่วนอุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับเอทิลีน

จากการทดสอบอัตราการดูดซับเอทิลีนของสารดูดซับเอทิลีนในซองกระดาษชนิดต่างๆ พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่บรรจุในซองกระดาษพรูฟมีอัตราการดูดซับเร็วกว่ากระดาษชนิดอื่นๆ นอกจากนี้กระดาษพรูฟยังเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ซึ่งพบว่ามีค่า tensile index สูงที่สุด เมื่อเทียบกับกระดาษชนิดอื่นๆ ที่นำมาทดสอบ และเมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนในซองกระดาษพรูฟหุ้มด้วยถุง OPP เจาะรู ไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่ามีอัตราการดูดซับเร็วกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด (Figure 1)

จากการทดลองเก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิห้อง (24.8°C, 42.7%R.H.) โดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นและสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้จาก 9 วัน เป็น 15 และ 18 วัน ตามลำดับ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก พบว่ากล้วยหอมทองทุกชุดการทดลองมีค่า hue angle ลดลงตามอายุการเก็บรักษา โดยกล้วยในชุดควบคุมมีค่า hue angle ลดลงมากกว่าชุดการทดลองอื่นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ส่วนกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นมีค่า hue angle ลดลงมากกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (Figure 2A) เช่นเดียวกับความแน่นเนื้อซึ่งพบว่าชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อลดลงเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งลดลงจากวันเริ่มการทดลองประมาณ 3 เท่า ภายในระยะเวลาเพียง 6 วัน ส่วนกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนจะลดลงแตกต่างกันหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน โดยกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (Figure 2B) นอกจากนี้พบว่า กล้วยในชุดการทดลองที่ใช้สารดูดซับเอทิลีน มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และของแข็งที่ละลายได้ค่อนข้างคงที่ในช่วงต้นการทดลอง จนกระทั่งวันที่ 12 ของการเก็บรักษา กล้วยที่ใช้

สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ (Figure 2C, D)

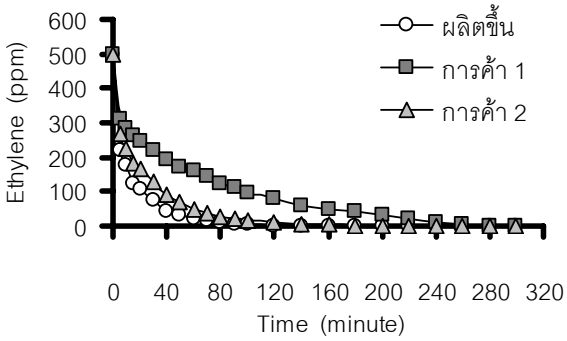

Figure 1 Absorption rates of produced ethylene absorber compare with 2 commercial ethylene absorber.

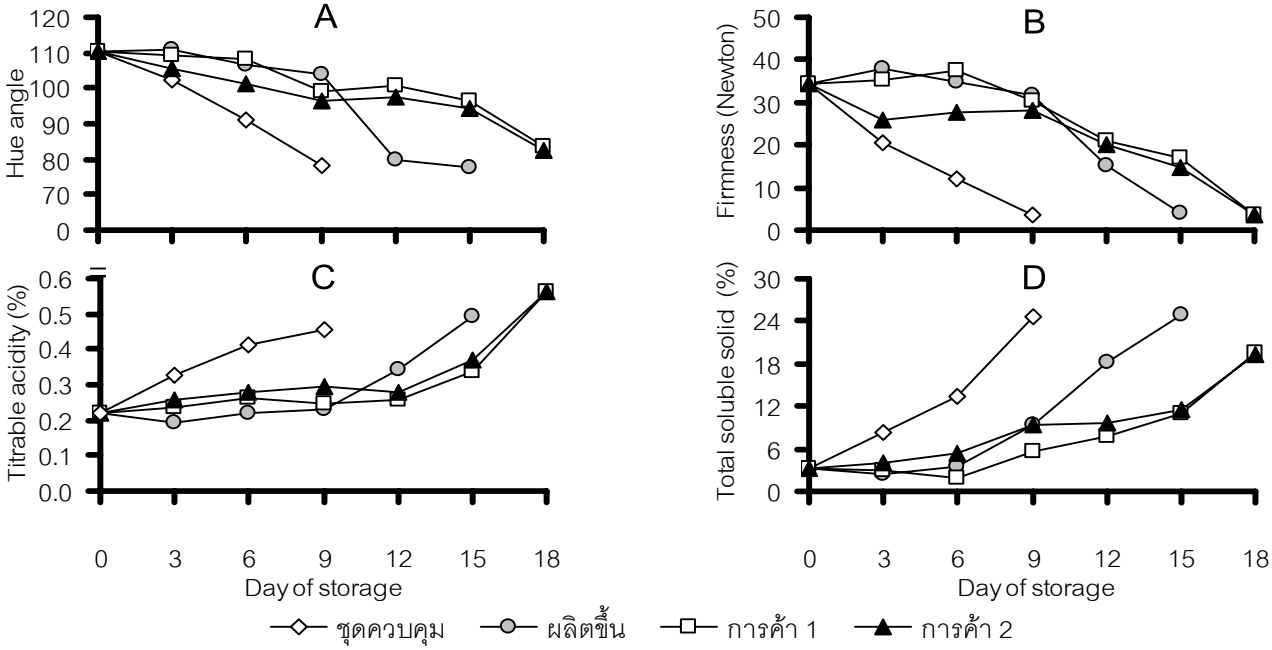

Figure 2 Hue angle (A), firmness (B), titrable acidity (C) and total soluble solid (D) of banana cv. Gros Michel during storage with ethylene absorber.

วิจารณ์ผล

อัตราส่วนผสมของดินสอพองและน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสารดูดซับเอทิลีน พิจารณาได้จากค่าความหนืดของของผสม ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำที่ต้องกำจัดออกจากตัวอย่างในระหว่างกระบวนการผลิต โดยค่าความหนืดมากจะแสดงถึงการมีปริมาณน้ำในตัวอย่างน้อย ซึ่งที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าความหนืดสูงที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะสมต่อการนำไปผลิตสารดูดซับเอทิลีนมากกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ สำหรับกระบวนการอบสารดูดซับเอทิลีน พบว่าการใช้ตู้อบลมร้อนใช้เวลาสั้นกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ เนื่องจากวิธีการอบแบบสุญญากาศเป็นระบบปิด ดังนั้นน้ำที่ระเหยจากตัวอย่างจะทำให้อากาศในตู้อบอิ่มตัวด้วยไอน้ำอย่างรวดเร็ว การกำจัดน้ำจากระบบจึงช้ากว่าตู้อบลมร้อน และเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาในการอบจะสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจาก absolute humidity ของอากาศอิ่มตัวจะแปรตามอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิสูงจึงอุ้มน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ดนัย, 2540) น้ำจากตัวอย่างจึงถูกกำจัดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อทดสอบอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ 3% $KMnO_4$ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนสูงที่สุด อาจมีสาเหตุจากที่ 3% $KMnO_4$ เป็นความเข้มข้นที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของเม็ดดินสอพอง ทำให้สัมผัสกับก๊าซเอทิลีนได้ดี นอกจากนี้การอบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศจะทำให้ $KMnO_4$ ถูกออกซิไดซ์ในระหว่างการอบน้อยกว่าตู้อบลมร้อน ทำให้สารดูดซับเอทิลีนมีอัตราการดูดซับมากกว่า สำหรับตัวอย่างที่อบด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้ตัวอย่างไหม้ง่าย ต้องกลับตัวอย่างบ่อยครั้งทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนไปมากกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำ

การทดสอบบรรจุภัณฑ์ พบว่าการบรรจุสารดูดซับเอทิลีนในซองกระดาษพรูฟมีอัตราการดูดซับมากกว่าซองกระดาษชนิดอื่น เนื่องจากเส้นใยมีลักษณะแตกต่างกัน (Figure 3) ซึ่งเกิดจากวิธีการตีเยื่อที่แตกต่างกัน โดยกระดาษสาแบบบางผ่านการตีเยื่อต่ำทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ก๊าซซึมผ่านได้ยาก และยังทำให้ลักษณะพื้นผิวเส้นใยเรียบเกิดพันธะระหว่างกันน้อยทำให้ความแข็งแรงต่ำกว่ากระดาษพรูฟ ส่วนกระดาษทำโคมผ่านการตีเยื่อในอัตราที่สูงมากจนเส้นใยมีขนาดสั้นลง fibril แตกออก เกิด fine fibril และไปอุดตันช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้มีช่องว่างให้ก๊าซซึมผ่านได้น้อย นอกจากนี้เส้นใยที่มีขนาดสั้นลงยังส่งผลให้ความสามารถในการยืดเกาะลดลง Britt (1970) กล่าวว่า การผลิตกระดาษจากเยื่อที่มีเส้นใยยาวจะทำให้กระดาษมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยสั้น ซึ่งกระดาษพรูฟผลิตขึ้นจากเยื่อปอสามีลักษณะเป็นเส้นใยยาว และผ่านการตีเยื่อในอัตราที่ไม่สูงมาก จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากระดาษชนิดอื่นๆ และเมื่อทดสอบวัดอัตราการดูดซับเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับ เอทิลีนทางการค้า พบว่ามีอัตราการดูดซับมากกว่าเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชั้นในของสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกที่ไม่มีการเจาะรู ทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ยากกว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้น

จากการทดลองใช้สารดูดซับเอทิลีนเก็บรักษากล้วยหอมทอง พบว่า ค่า hue angle ลดลง เนื่องจากคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวทำให้แคโรทีนอยด์ซึ่งถูกบดบังไว้ปรากฏขึ้น สีเปลือกจึงเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เช่นเดียวกับความแน่นเนื้อที่พบว่าลดลงตามอายุการเก็บรักษา เนื่องจากโมเลกุลของเพกตินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้การยึดเกาะของเซลล์ลดลง ส่วนปริมาณกรดพบว่าเพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากมีการสังเคราะห์มาลิกเอนไซม์มากขึ้นในระหว่างการสุก สอดคล้องกับรายงานที่พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ phosphoenolpyruvate carboxylase ซึ่งคาดว่าเกี่ยวข้องกับการสะสมกรดอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้ (จริงแท้, 2549) เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา เนื่องจากแป้งถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ในการทดลองจะเห็นได้ว่ากล้วยในชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ อย่างรวดเร็ว และแตกต่างจากกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เนื่องจากก๊าซเอทิลีนที่กล้วยผลิตขึ้นกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอทิลีนในระบบที่ 2 หรือ autocatalysis ขึ้น ทำให้กล้วยที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีนเข้าสู่กระบวนการสุกอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การใช้สารดูดซับเอทิลีนจะช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยโดยเข้าทำปฏิกิริยากับเอทิลีนก่อนที่เอทิลีนจะเข้าจับกับตัวรับ (receptor) ในเนื้อเยื่อของผลิตผล ทำให้กล้วยแสดงการตอบสนองต่อก๊าซเอทิลีนช้ากว่ากล้วยที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีน ซึ่งสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นจะทำปฏิกิริยากับก๊าซเอทิลีนจน $KMnO_4$ ถูกใช้ในปฏิกิริยาไปจนหมดก่อนสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ทำให้กล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเข้าสู่กระบวนการสุกก่อนกล้วยที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า

กระดาษสาแบบบาง กระดาษพรูฟ กระดาษทำโคม

Figure 3 The fiber of paper used to packaging materials

สรุป

สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ดินสอพองผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ในอัตราส่วนน้ำหนัก 2:1 อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°ซ และบรรจุในซองที่ทำจากกระดาษพรูฟหุ้มด้วยพลาสติกชนิด OPP เจาะรู สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองจาก 9 วัน เป็น 15 วัน ใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 18 วัน

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 453 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 222 หน้า.

Britt, K. W. 1970. Handbook of Pulp and Paper Technology. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 723 pp.