Agricultural Sci. J. 46 : 3/1 (Suppl.) : 92-96 (2015) ว. วิทย. กษ. 46 : 3/1 (พิเศษ) : 92-96 (2558)

คุณสมบัติของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากต้นข้าวโพดฝักอ่อน และการนำไปใช้เป็นสารเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

The Properties of Cellulose and Carboxymethyl Cellulose from Baby Corn Plant and Its Application as Coating Material for Mango cv. Nam Dok Mai

อภิชา เกตุโรจสกุล[1] มัณฑนา บัวหนอง[1,2] กฤษณ์ สงวนพวก[3] วาริช ศรีละออง[1,2] พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย[1,2] , ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ[1,2] ปฐมพงศ์ เพ็ญไชยา[1,2] และ เฉลิมชัย วงษ์อารี[1,2]

Apicha Katrodsakul[1], Mantana Buanong[1,2], Krit Sa-ngungpuak[3], Varit Srilaong[1,2], Panida Boonyaritthongchai[1,2], Nutthachai Pongprasert[1,2] Pathompong Penchaiya[1,2] and Chalermchai Wongs-Aree[1,2]

Abstract

Baby corn plant is an agricultural waste from baby corn production. Transforming to a valuable product by extracting cellulose and modifying to carboxymethyl cellulose (CMC) for producing fruit coating materials is the major interest of this research. Baby corn plants were dried and ground prior extraction with alkaline solution using 0.5 and 1.0 M NaOH without bleaching and bleaching with a bleaching agent (Clorox; 8.25% sodium hypochlorite). Yield of cellulose obtained from four extraction condition were relatively good at 45-60%. However, bleaching with Clorox solution could significantly reduce hemicellulose and lignin content. Modification of CMC showed the yield at 110-120%. The CMC properties from 1.0 M NaOH with bleaching revealed the best results compared with commercial CMC. Application as fruit coating material using 1, 2 and 3% CMC solutions were tested in mango cv. Nam Dok Mai. The results showed that coating with 2 and 3% CMC solutions obviously retarded ripening and skin color development. Coating with CMC solution improved an appearance of mango fruits compared with 1% and control fruits.

Keywords: agricultural waste, cellulose extraction, coating material

บทคัดย่อ

ต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน การนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการสกัดเอาเซลลูโลสและดัดแปลงให้เป็นเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อผลิตเป็นสารเคลือบผิวสำหรับผลไม้จึงเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยนำต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ผ่านอบแห้งและบดลดขนาดมาสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 0.5 และ 1.0 โมลาร์ โดยไม่มีการฟอกสีและผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายคลอรอกซ์ พบว่าการสกัดเซลลูโลสทั้ง 4 วิธีได้ประมาณร้อยละของเซลลูโลส (%Yield) ที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 45-60 แต่การฟอกสีสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้จากแต่ละวิธีมาดัดแปลงให้เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่าประมาณร้อยละของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (%Yield) มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 110-120 แต่การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ แล้วฟอกสีด้วยสารละลายคลอรอกซ์ จะได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้ามากที่สุด เมื่อนำมาทดลองเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยใช้สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 พบว่า การเคลือบด้วยความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 นั้นสามารถชะลอการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีผิวอย่างชัดเจน ช่วยทำให้เกิดความเงางามของผิวได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะม่วงเคลือบผิวที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิว

คำสำคัญ: วัสดุเหลือทิ้งการเกษตร การสกัดเซลลูโลส สารเคลือบผิว

---

[1]สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน)
49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียนชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150
[1]Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi (Bangkhuntien)
49 Tientalay 25, Thakam, Bangkhuntien, Bangkok 10150
[2]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร 10400
[2]Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400
[3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120
[3]Food Science and Technology Program, Faculty of Home Economic Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120.

คำนำ

ข้าวโพดฝักอ่อน เป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีคุณประโยชน์มากมาย นอกจากจะใช้รับประทานเป็นผักสดแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปได้หลาย รูปแบบ เช่น ข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็ง และบรรจุกระป๋องทั้งฝัก ซึ่งผลิตภัณฑ์ ต่างๆ เหล่านี้ สามารถส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และกลุ่มประเทศในแถบยุโรป เมื่อความต้องการทางตลาดเพิ่มสูงขึ้น การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนจึงมากขึ้น และมีวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตมากขึ้นด้วย การจัดการกับวัสดุเหลือใช้ขั้นต้นนั้นคือ การนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือการทำปุ๋ยหมัก นอกจากนั้น ยังมีการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้โดยการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ทำเป็นกระดาษ หรืออาจนำไปสกัดเป็นเซลลูโลส ซึ่งการศึกษาของ กฤษณเวช และ วิทวัส (2554) พบว่า มีเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตข้าวโพดประมาณร้อยละ 39.53 โดยสามารถนำไปดัดแปลงเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อทำเป็นฟิล์ม หรือสารเคลือบได้

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) หรือ CMC เป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของเซลลูโลส เกิดจากการดัดแปลงหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชโดยทำให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิล และหมู่คาร์บอกซิเมทิล (ดุษฎี และน้องนุช, 2555) การนำ CMC มาใช้ประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวนั้น โดยส่วนมากจะใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร เช่น มะม่วง สาลี่ และลิ้นจี่ การศึกษานี้มีจุดประสงค์ในการนำ CMC ที่ได้จากการดัดแปลงเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นข้าวโพดฝักอ่อน มาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ซึ่งเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เพื่อศึกษาคุณภาพของสารเคลือบผิวที่สกัดได้จากต้นข้าวโพดฝักอ่อนในการรักษาคุณภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว

วิธีการทดลอง

นำต้นข้าวโพดฝักอ่อนจากกระบวนการเก็บเกี่ยวข้าวโพดฝักอ่อน มาสกัดเซลลูโลสโดยมี 4 วิธี คือ สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 และ 1.0 โมลาร์ โดยไม่มีการฟอกสีและผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายคลอรอกซ์ และคำนวณ % Yield ของเซลลูโลส ด้วยสูตร % Yield Cellulose = (น้ำหนักผงเซลลูโลสที่ได้/น้ำหนักพืชสดที่ใช้) x 100 จากนั้น นำเซลลูโลสมาดัดแปลงเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือ CMC โดยดัดแปลงวิธีของ สุมิตรา (2523) และคำนวณ % Yield ของ CMC ด้วยสูตร % Yield CMC = (น้ำหนักผง CMC ที่ได้/น้ำหนักเซลลูโลสที่ใช้) x 100 นำ CMC มาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด หรือ Fourier Transform Infrared และตรวจสอบคุณภาพโดยการวัดความหนืดของ CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 เปรียบเทียบกับ CMC ที่ใช้ในการค้า เลือก CMC จากชุดการทดลองที่มีคุณภาพใกล้เคียง CMC ทางการค้ามากที่สุด นำมาเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ระยะ 85-95 วันหลังดอกบานที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 200 ppm ผึ่งให้แห้ง แล้วจุ่มในสารละลาย CMC ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เคลือบหรือชุดควบคุม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 วัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทุก 2 วัน ดังนี้ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงของกรดที่ไทเทรตได้ การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผิวและเนื้อมะม่วง

ผล

ผลการสกัดเซลลูโลส พบว่า การสกัดเซลลูโลสทั้ง 4 วิธีได้ประมาณร้อยละของเซลลูโลส (%Yield) ที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 45-60 (Table 1) และการฟอกสีสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้จากแต่ละวิธีมาดัดแปลงให้เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่าประมาณร้อยละของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (%Yield) มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 110-120 (Table 1) แต่การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ แล้วฟอกสีด้วยสารละลายคลอรอกซ์ จะได้ CMC ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้ามากที่สุด

ผลการศึกษาการเคลือบผิวมะม่วงด้วย CMC ที่ดัดแปลงจากเซลลูโลสที่สกัดจากวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 1 และชุดควบคุม มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่า ชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 2 และ 3 โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 16.48 17.48 15.83 และ 14.33 ตามลำดับ (Fig. 1A) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 2 และ 3 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 1 และชุดที่ไม่เคลือบ โดยมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากับร้อยละ 0.43 0.24 1.09 และ 1.57 ตามลำดับ (Fig. 1B) เมื่อทดสอบความแน่นเนื้อของผลมะม่วงนั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Fig. 1C)

โดยมะม่วงในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของสีผิวมะม่วงนั้นใช้ค่าสี L* และ b* พบว่า ค่า L* มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดควบคุม มีค่า L* สูงที่สุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยมีค่า L* เท่ากับ 71.04 66.57 62.35 และ 66.32 ตามลำดับ (Fig. 2A) ส่วนค่า b* นั้น พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 1 และชุดควบคุมมีค่า b* สูงกว่าชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 2 และ 3 โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษามีค่า b* เท่ากับ 46.03 45.47 38.77 และ 37.50 ตามลำดับ (Fig. 2B) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อมะม่วงนั้น พบว่า มีค่า L* ที่แตกต่างกันทางสถิติในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 2 และ 3 มีค่า L* สูงกว่าชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 1 ชุดควบคุม โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษามีค่า L* เท่ากับ 77.86 74.18 80.35 และ 83.60 ตามลำดับ (Fig. 3A) ส่วนค่า b* นั้น มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันที่ 8 โดยชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 1 และชุดควบคุม มีค่า b* สูงกว่าชุดที่เคลือบด้วย CMC ร้อยละ 2 และ 3 โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา มีค่า b* เท่ากับ 54.39 62.00 50.65 และ 39.87 ตามลำดับ (Fig. 3B)

Table 1 Percent yield of cellulose and modifying to carboxymethyl cellulose (CMC) from different extraction methods

Extraction Methods	% Yield Cellulose	% Yield CMC
0.5 M NaOH No Bleach	53.66±1.37	148.56±3.80
1.0 M NaOH No Bleach	46.27±1.43	152.77±9.02
0.5 M NaOH Bleach	63.26±2.53	136.50±6.56
1 M NaOH Bleach	57.70±3.61	152.16±5.57
F-Test	NS	NS
CV. (%)	4.54	2.75

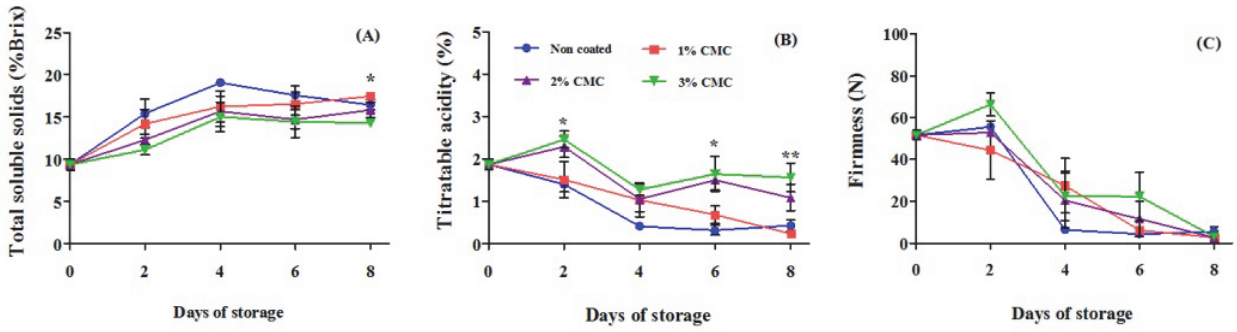

Figure 1. Total soluble solids (A), titratable acidity (B) and firmness (C) change of mango pulp at different CMC coating concentration. Asterisks in each day indicate significant difference between treatments at $p \geq 0.05$.

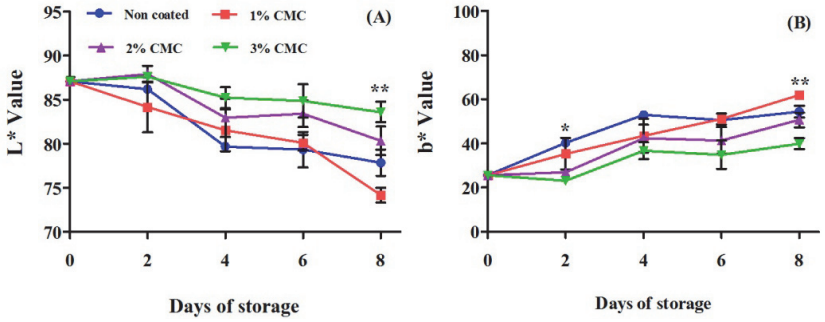

Figure 2. L* (A) and b* (B) value of mango peel changes at different CMC coating concentration. Asterisks in each day indicate significant difference between treatments at $p \geq 0.05$.

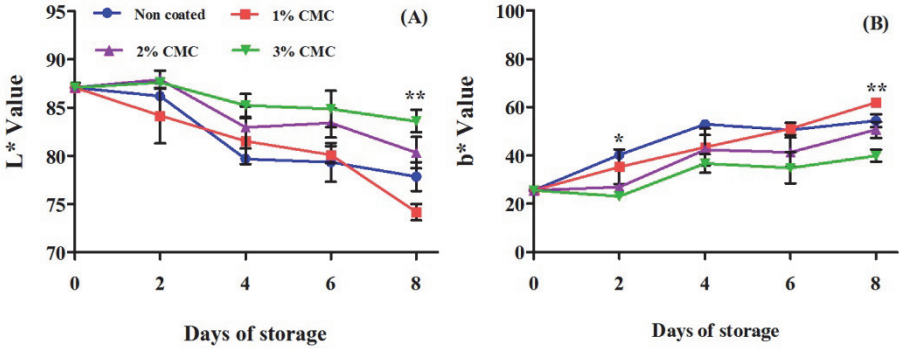

Figure 3. L* (A) and b* (B) value of mango pulp changes at different CMC coating concentration. Asterisks in each day indicate significant difference between treatments at $p \geq 0.05$.

วิจารณ์ผล

การสกัดเซลลูโลสและดัดแปลง CMC ทั้ง 4 วิธีการ มีปริมาณร้อยละของผลผลิต (% yield) ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อวิเคราะห์ด้วยการดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด (FTIR) และการวัดความหนืด พบว่า CMC จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ และฟอกสี มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียง CMC ทางการค้ามากที่สุด อาจเพราะการสกัดเซลลูโลสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส ต้นข้าวโพดฝักอ่อนถูกแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารละลายที่ใช้ในการสกัดแยกเอาเฮมิเซลลูโลส และลิกนินบางส่วนออกไป นอกจากนั้น ยังมีการฟอกสีเข้าร่วมด้วย เป็นการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ออกไป (พรชัย และคณะ, 2550) ทำให้เซลลูโลสที่ได้จากวิธีการนี้ มีคุณภาพสูงกว่าวิธีการอื่น จึงเลือก CMC ที่ดัดแปลงจากเซลลูโลสที่สกัดด้วยวิธีนี้ มาใช้เป็นสารเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้

การเคลือบผิวสามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้ ทำให้การสลายตัวของแป้งที่สะสมไว้ในผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลระหว่างการสุกได้ช้าลง นอกจากนั้น การเคลือบผิวสามารถชะลออัตราการหายใจของผลไม้ให้ต่ำลง ในการศึกษาของ พรชัย และคณะ (2551) พบว่า การเคลือบมะม่วงด้วย CMC จากเปลือกมะละกอ สามารถชะลออัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงได้ ดังนั้น กรดอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหายใจจึงถูกใช้ในกระบวนการหายใจอย่างช้าๆ (ดนัย, 2540) นอกจากนี้ การเคลือบผิวจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนจึงมีผลทำให้สร้างเอทิลีนลดลง ซึ่งเอทิลีน มีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์ภายใน (Pesis *et al*., 2002) จึงมีผลให้ชุดที่เคลือบผิวมีความแน่นเนื้อลดลงช้ากว่าชุดที่ไม่เคลือบผิว การเปลี่ยนแปลงของสีผิวและเนื้อมะม่วงชุดที่เคลือบด้วย CMC มีการพัฒนาสีช้ากว่าชุดที่ไม่เคลือบ เนื่องจาก สารเคลือบผิวทำให้เกิดการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในผล การสังเคราะห์เอทิลีน ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการสลายของคลอโรฟิลล์ลดลง (พรชัย และคณะ, 2551) ส่งผลให้มะม่วงน้ำดอกไม้ชุดที่เคลือบด้วย CMC ที่ความ

เข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 ไม่มีการพัฒนาของสีเปลือกอย่างชัดเจน ดังนั้น ชุดที่เคลือบผิวจึงสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วงได้ดีกว่าชุดควบคุม

สรุปผล

วิธีการสกัดเซลลูโลสและ CMC ที่มีคุณภาพใกล้เคียง CMC ทางการค้ามากที่สุดคือ การสกัดเซลลูโลสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ และฟอกสี และเมื่อนำสารเคลือบ CMC ที่ดัดแปลงจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นข้าวโพดฝักอ่อนเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้ เบอร์ 4 สารเคลือบ CMC ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 มีผลต่อการพัฒนาสีเปลือกของมะม่วง พบว่า เนื้อมะม่วงมีการสุกตามปกติ แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวมะม่วงอย่างชัดเจน สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติของผลมะม่วง จะมีการศึกษาในการทดลองครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์.2554.การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ.การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. วันที่ 10–11 พฤศจิกายน 2554, อำเภอ หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.chem.eng.psu.ac.th/tiche2011/TCHE/ data/paper/thai/tes/oral/tes007.pdf. (23 มิถุนายน 2558).

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 226 หน้า.

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล.2555. บทที่ 4 สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรท-ไฮโดรคอลลอยด์และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรท (Carbohydrate Technology). สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4.html. (23 มิถุนายน 2558).

พรชัย ราชตนะพันธุ์, ศิรญา สุนทรอำไพ และศรินทร์ทิพย์ ธนัคฆเศรณี. 2551. การประยุกต์ใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอในการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3 พิเศษ): 74-82.

พรชัย ราชตนะพันธุ์, สุพัฒน์ คำไทย, นรีวิชญ์ ยากี และรัญชิดา อุทัยยศ. 2550. การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: 790-799.

สุมิตรา ภูมิสะอาด. 2523. การแยกเซลลูโลสจากพืชบางชนิดและการสังเคราะห์อนุพันธ์ของเซลลูโลส.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 24-54.

Pesis, E., M. Ackerman, R. Ben-Aire, O. Feygenberg, X. Feng, A. Apelbaum, R. Goren and D. Prusky. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. Postharvest Biol. Technol. 24: 171-181.