

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสและการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากลำไยผลอ่อนที่เป็นของเหลือทิ้ง

Optimizing Extraction of Cellulose and Preparing Carboxymethyl Cellulose from Young Longan Fruit Waste

จุฑามาศ มณีวงศ์^{1,*} กัญญากัณธ์ ฉางข้าวไชย¹ และ ภักวีวัฒน์ เดชชีวะ²
Chutamas Maneewong^{1,*}, Kanyapak Changkhaochai¹ and Pakkawat Detchewa²

Received: April 10, 2023

Revised: July 27, 2023

Accepted: August 5, 2023

บทคัดย่อ

ลำไยผลอ่อนเป็นของเหลือทิ้งจากการตัดข้อลำไย ลำไยผลอ่อนนี้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลสซึ่งสามารถสังเคราะห์ให้เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose, CMC) เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาสภาวะการสกัดเซลลูโลสจากลำไยผลอ่อนและเตรียม CMC จากเซลลูโลสที่สกัดได้ จากผลการทดลองพบว่า ลำไยผลอ่อนประกอบด้วย เซลลูโลสร้อยละ 13.5 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 13.1 และลิกนินร้อยละ 11.7 (โดยน้ำหนัก) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลส คือ สัดส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 6) ต่อผงลำไย คือ 80:20 ที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ได้เซลลูโลสหยาบร้อยละ 65.61 (โดยน้ำหนัก) จากนั้นนำเซลลูโลสหยาบนี้ไปสังเคราะห์เป็น CMC แล้วยืนยันผลโครงสร้างทางเคมีด้วย FTIR เทียบกับ CMC ทางการค้า พบค่าการดูดกลืนแสงที่ 3415 cm^{-1} และ 1628 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) ในพอลิแซ็กคาไรด์ ตามลำดับ CMC จากลำไยผลอ่อนมีค่าความหนืดเท่ากับ 1574 cP และมีค่าความบริสุทธิ์ร้อยละ 81.34 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง CMC จากลำไยผลอ่อน และ CMC ทางการค้า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าลำไยผลอ่อนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งสามารถนำมาผลิตเป็น CMC เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

คำสำคัญ: ลำไยผลอ่อน เซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส การสกัด

ABSTRACT

Young longan fruit is an agricultural waste from longan tree pruning. Young longan consists of cellulose, which could be synthesized into carboxymethylcellulose (CMC) for using as a food additive. The aims of this study were to optimize conditions for cellulose extraction from young longan fruit and to characterize the CMC prepared from the extracted cellulose. From the results, young longan fruit powder consisting of 13.5 % cellulose, 13.1 % hemicellulose and 11.7 % lignin (w/w). The conditions for cellulose extraction to produce high yield of crude cellulose (65.61 %) obtained from hydrolysis with the ratio of NaOH (6.0 %): longan powder with (80:20) extracting at 30 °C for 2 h. The crude cellulose was used to synthesize into CMC and confirmed CMC chemical structure by FTIR comparing with commercial CMC. The FTIR absorption band at 3415 cm^{-1} and 1628 cm^{-1} corresponded to hydroxy group (-OH) and carboxyl group (COOH) in polysaccharide, respectively. The viscosity of the prepared CMC was 1574 cP and the purity was 81.34 %, there was no statistically significant difference between the prepared CMC and commercial CMC. Thus, young longan waste could be produced to CMC to use in food products.

Keywords: young longan, cellulose, carboxymethylcellulose, extraction

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

ลำไยผลอ่อนเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการเพาะปลูกลำไย โดยในการเพาะปลูกลำไยเพื่อให้ได้ผลที่มีขนาดใหญ่และขายได้ราคาดีนั้น จะต้องมีการตัดข้อผลของลำไยในระยะที่มีขนาดผลประมาณ 0.5 เซนติเมตรทิ้ง เพื่อให้เหลือจำนวนผล 40-50 ผลต่อข้อ ทำให้เกิดขยะจากภาคเกษตรจำนวนมาก องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นโครงสร้างพืชผักประกอบไปด้วย เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) [1] ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยผลอ่อนจากข้อผลที่ถูกตัดทิ้งนี้ จึงนำมาสกัดให้เป็นเซลลูโลสเพื่อนำไปใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อไป

เซลลูโลส เป็นฮอโมพอลิแซ็กคาไรด์เชิงเส้น ที่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่งเบต้า-1,4 (β -1,4) [2] การสกัดเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้ส่วนมากมักใช้ต่างในการสกัด ต่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หลังจากที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับด่างแล้วทำการฟอกเส้นใยเซลลูโลสด้วยโซเดียมคลอไรท์ (NaClO_2) หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เพื่อกำจัดสารตกค้างต่างๆ เช่น ลิกนิน แวกซ์ และไขมัน [3] โดยเซลลูโลสนี้ สามารถนำมาใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) จากรายงานที่ผ่านมา ยังไม่พบการนำลำไยผลอ่อนมาสกัดเซลลูโลส พบแต่รายงานการเตรียมเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ดังนี้ การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกโกโก้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 สกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง [4] การสกัดเซลลูโลสจากกากขานอ้อย โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับ NaClO_2 สามารถ กำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้ถึงร้อยละ 27.4 [5] การเตรียมเซลลูโลสจากซังข้าวโพดสามารถทำได้โดยการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 สกัดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 0.7 MPa นาน 90 นาที [6] การ

เตรียมเซลลูโลสจากเยื่อคาลิปต์สโดยการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 2 MPa นาน 30 นาที [7] และมีรายงานการสกัดเซลลูโลสจากกากขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง สามารถสกัดเซลลูโลสได้ถึงร้อยละ 42.01 [8] จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสมักทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการใช้ความดัน ซึ่งมีข้อดีคือสามารถสกัดได้เซลลูโลสในปริมาณที่สูง เนื่องจากสามารถกำจัดเอาลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่ข้อเสียของการสกัดที่อุณหภูมิสูงนอกจากเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานแล้ว เซลลูโลสบางส่วนอาจถูกทำลายโครงสร้างจากความร้อนสูง

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ละลายน้ำได้ การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเตรียมได้โดยการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ($-\text{CH}_2\text{COOH}$) [9] คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว สารละลายที่ได้มีลักษณะหนืดใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค นิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร โดยมักใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มการแขวนลอย และเป็นไฮโดรคอลลอยด์

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากลำไยผลอ่อนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยทำการสกัดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 121 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มาใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การเตรียมผงลำไยผลอ่อน

นำลำไยผลอ่อนที่มีอายุ 50-60 วัน (หลังออกดอก) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.7-1.5 เซนติเมตร (Figure 1) นำลำไยผลอ่อนทั้งผลมาอบแห้งที่ 60 องศา

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดสับแบบใบมีดให้มีขนาดเฉลี่ย ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ความชื้น และเถ้า

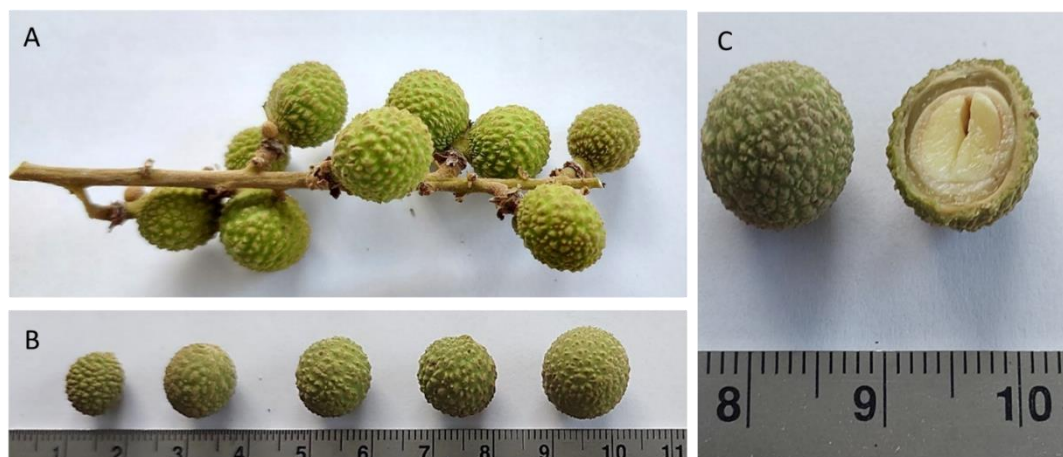


Figure 1 Young raw longan fruit (A), young raw longan fruit with diameter ranges of from 0.7 to 1.5 cm (B) and cross section of the young raw longan fruit (C)

การเตรียมเซลลูโลส

นำผงลำไยผลอ่อนมาสกัดเซลลูโลสโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Ibrahim et al. [10]) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้สัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อผงลำไยผลอ่อน ดังนี้ 90:10 80:20 และ 70:30 ทำการทดลองในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการสกัดที่อุณหภูมิสูงคือ 121 องศาเซลเซียส สกัดนาน 30 นาที จากนั้นกรองเยื่อและล้างด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2.0 (โดยปริมาตร) จากนั้นล้างเยื่อด้วยน้ำร้อน นำเยื่อไปแช่ในเฮกเซน ทำการกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างเยื่อด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 (โดยปริมาตร) นำเยื่อไปเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) พีเอช 4.0 โดยมีอัตราส่วนเยื่อต่อสารละลาย คือ 1:50 ทำปฏิกิริยาที่ 90-95 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 90 นาที กรองแยกเอาส่วนที่เป็นเซลลูโลสหยาบ (crude cellulose) ล้างด้วยเอทานอล และตามด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน

24 ชั่วโมง เก็บไว้ในที่แห้งและเย็น หาร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสหยาบที่สกัดได้ แต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ

การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

นำผงเซลลูโลสหยาบที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสม ปริมาณ 5 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 62 ปริมาณ 8 มิลลิลิตร กวนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม monochloroacetic acid และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 (โดยปริมาตร) โดยสัดส่วนผงเซลลูโลส: monochloroacetic acid เท่ากับ 8:1 ทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นปฏิกิริยาทำการกรองเอาคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยชุดกรอง buchner suction โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างด้วยเมทานอล จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง [11] นำผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้มาฟอกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ในที่แห้งและเย็น และนำไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ค่าความ

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

บริสุทธิ์ และค่าระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยเปรียบเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้าเกรดสำหรับอาหารยี่ห้อ TFAC (ผลิตในประเทศจีน จัดจำหน่ายโดย บริษัท ไทยฟู้ด แอนด์ เคมีคอล จำกัด)

วิธีวิเคราะห์

1. เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน

นำตัวอย่างผงลำไยแห้งมาหาปริมาณ Neutral detergent fiber (NDF) ปริมาณ Acid detergent fiber (ADF) ปริมาณ Permanganate lignin (PML) เพื่อคำนวณหาปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในตัวอย่าง ตามวิธีของ Goering and Van Soest [12] และหาปริมาณลิกนิน โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Inari et al. [13]

2. เถ้า

เตรียมตัวอย่างผงลำไย 2 กรัม ใส่ในถ้วยเผาที่ทราบน้ำหนัก นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 12-18 ชั่วโมง นำถ้วยเผาออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

3. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ด้วยเครื่อง FTIR รุ่น Agilent Cary 630 FTIR Spectrometer โดยวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 4000 cm^{-1}

4. การวิเคราะห์ค่าความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ในการวิเคราะห์ค่าความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสตามวิธีมาตรฐาน ASTM 1439-03 [14] ทำโดยการชั่งน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3-5 กรัม นำไปบดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นในตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3.0 ± 0.1 กรัม ใส่ในปิเกอร์ 400 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กวนผสมที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน จากนั้นกรองเอาตะกอนมาผสมด้วยเอทานอลตามสถานะข้างต้นซ้ำอีกครั้ง จากนั้นล้างตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ล้างตะกอนอีกครั้งด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ล้างตะกอนด้วยอีเทอร์หลายๆครั้ง นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นใช้แท่งแก้วทำให้ตะกอนแตกแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ การคำนวณร้อยละความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จากสมการ

$$S = (A \times 10000) / (B (100 - C))$$

เมื่อ S คือ ร้อยละความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

A คือ น้ำหนักตะกอนหลังทำให้บริสุทธิ์ (กรัม)

B คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

C คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

5. การวิเคราะห์ค่าระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ชั่งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1 กรัม ใส่ในปิเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน เติมน้ำไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร กวนผสมนาน 10 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนเดือดและกวนต่ออีก 5 นาที จากนั้นหยุดให้ความร้อนแล้วกวนต่ออีก 20 นาที นำไปกรองเอาตะกอนแล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยเมทานอลเล็กน้อย นำไปบดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งคาร์บอกซีเมทิล

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

เซลลูโลสที่ได้ 0.5 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนสารละลายเดือดนาน 20 นาที จากนั้นนำสารละลายมาไทเทรตขณะร้อนกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 โมลาร์ โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ [15] คำนวณหาระดับการแทนที่ ดังนี้

$$A = (BC - DE)/F$$

ระดับการแทนที่ (Degree of Substitution)

$$= 0.162 A / (1 - 0.058A)$$

เมื่อ A = ปริมาณ milliequivalent ของกรดที่ถูกใช้ไป ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

D = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

E = ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (M)

F = น้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (กรัม)

6. การวิเคราะห์ความหนืด

เตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (model DV-III,

Brookfield) โดยใช้ small sample adapter และ spindle LV-1(61) โดยควบคุมอุณหภูมิตลอดการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Rahaman et al. [16] ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ความแตกต่างระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของผงลำไยผลอ่อน

เมื่อนำผงลำไยผลอ่อนมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ผงลำไยผลอ่อนมีส่วนประกอบที่เป็นเซลลูโลส ร้อยละ 13.5 ± 3.8 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 13.1 ± 2.5 (Table 1) จึงทำการสกัดเอาเซลลูโลสจากผงลำไยผลอ่อนเพื่อนำไปใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อไป

Table 1 Chemical composition of longan powder.

Chemical component	% weight (dry basis)
Hemicellulose	13.1 ± 2.5
Cellulose	13.5 ± 3.8
Lignin	11.7 ± 2.2
Ash	5.5 ± 1.4
Moisture	8.76 ± 0.8

2. ผลการเตรียมเซลลูโลส

ในการสกัดผงลำไยผลอ่อนด้วยสัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ต่อผงลำไยผลอ่อน 80:20 และ 70:30 ที่อุณหภูมิ 30 องศา

เซลเซียส ให้ผลผลิตผงเซลลูโลสหายาบคือร้อยละ 65.61 และ 61.19 ตามลำดับ (ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ $p > 0.05$) ที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อผงลำไยผล

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

อ่อน 70:30 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ให้ผลผลิตผงเซลลูโลสหยาบที่ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญคือร้อยละ 65.75 และ 64.45 ตามลำดับ แต่การสกัดด้วยวิธีนี้มีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นขึ้นทำให้กำจัดออกได้ยากกว่าความเข้มข้นร้อยละ 6 นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 สัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อผงลำไยผลอ่อน 70:30 ให้ปริมาณผลผลิตผงเซลลูโลสหยาบไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) คือร้อยละ 62.38 (Figure 2) ในการสกัดวัสดุประเภทโครงสร้างพืชด้วยสารละลายที่เป็นด่างสามารถกำจัดส่วนประกอบที่เป็น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเพคตินออกไปได้ [17] ในกระบวนการสกัดนี้ได้มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Razali et al. [18] ได้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์สามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกจากฟางข้าวทำให้ได้สารที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ในสัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อผงลำไยผลอ่อน 80:20 ให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างจากสัดส่วน 70:30 เนื่องจากสัดส่วน 70:30 มีปริมาณผงลำไยผลอ่อนที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดความชื้นหนืดสูงขึ้นทำให้เป็นปัญหาในการสกัด

จากผลการทดลองยังพบว่าการสกัดผงเซลลูโลสหยาบเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลผลิตที่น้อยกว่าการสกัดที่ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อใช้ความร้อนสูงในการสกัดทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างของเซลลูโลสขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยการเตรียมเซลลูโลสจากใบสับปะรดพบว่าเมื่อใช้ใบสับปะรดต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 สัดส่วน 1:5 ให้ผลผลิตเซลลูโลสสูงสุดเมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที แต่เมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่านี้ปริมาณผลผลิตจะลดลง [19] และ มียังมีรายงานถึงการเตรียมเซลลูโลสจากชี้เลี้ยงโดยใช้สารสกัด คือ Dimethyl sulfoxide (DMSO) ความเข้มข้นร้อยละ 16 พบว่าให้ผลผลิตสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในขณะที่ 120 องศาเซลเซียสให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [20] เมื่อพิจารณาที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 ต่อผงลำไยผลอ่อน 70:30 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 62.38 แต่ผงเซลลูโลสที่สกัดได้นั้นมีสีที่เข้มกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ในสัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อผงลำไยผลอ่อน 80:20 ก็ยังได้ปริมาณเซลลูโลสที่น้อยกว่า

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

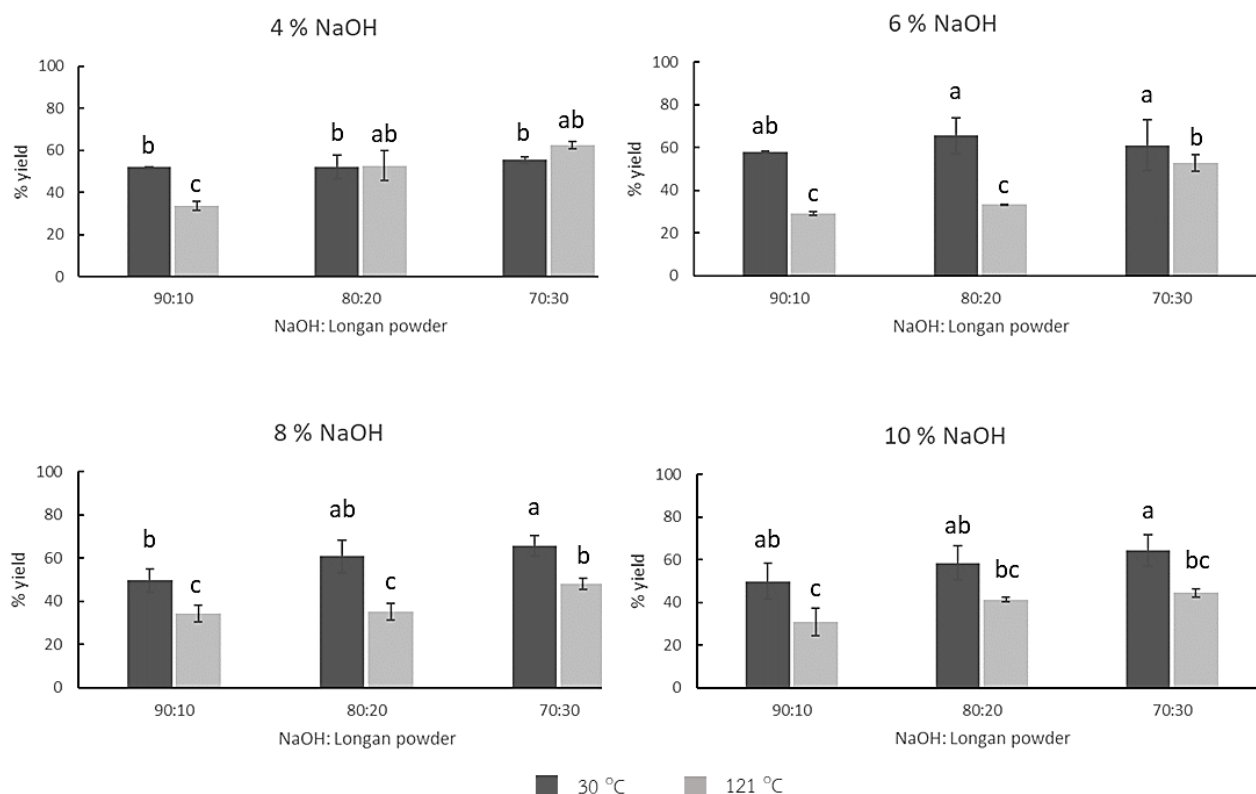


Figure 2 Yield (%) of crude cellulose from longan powder extracted with various concentrations of NaOH (4 %, 6 %, 8 % and 10 %) with different ratios of NaOH: longan powder with 90:10, 80:20 and 70:30, were compared at 30°C for 2 h and 121°C for 30 min. (Data are means $\pm$ SD. Means with different letters of all treatments are significantly different ($p < 0.05$)).

3. การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose)

นำเซลลูโลสหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 6) ต่อผงลำไยผลอ่อน 80:20 ทำการสกัดที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง มาใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แล้วนำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FTIR เปรียบเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า จากผลการทดลองพบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมได้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 3415

cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H ในพอลิแซ็กคาไรด์ และพบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1022 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับพันธะ C-O ในพอลิแซ็กคาไรด์เช่นกัน [21] นอกจากนี้ยังพบการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1628 cm^{-1} เป็นการสั่นของ carboxyl group (COOH) [22] และการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1326 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับพันธะของ CH_2 [23] (Figure 3) จากผลการวิเคราะห์ FTIR ข้างต้นนี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นการดูดกลืนแสงของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดังนั้นจะเห็นได้ว่าลำไยผลอ่อนสามารถใช้ผลิตเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

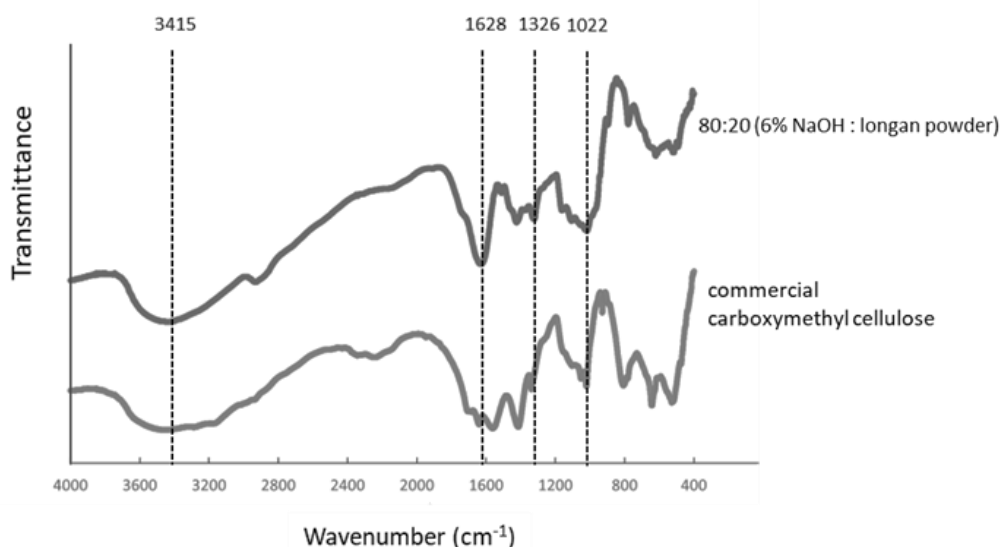


Figure 3 FTIR spectra of carboxymethylcellulose from longan prepared through extracting with NaOH (6 %) : longan powder with 80:20, compared to commercial carboxymethylcellulose.

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า (Figure 4) พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้ามีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว

(Figure 4A) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนเป็นน้ำตาลอ่อน ลักษณะผงหยาบกว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า (Figure 4B)

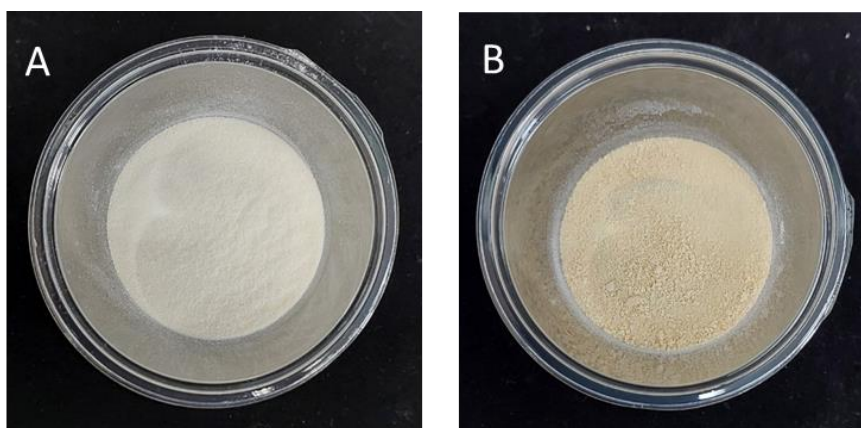


Figure 4 Commercial carboxymethylcellulose (A) and carboxymethylcellulose from longan powder (B).

เมื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า ดัง Table 2 และค่าความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนก็มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคาร์บอกซี

เมทิลเซลลูโลสทางการค้า ซึ่งมีร้อยละ 81.34 และ 82.17 ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนมีค่าเท่ากับ 0.41 ± 0.02 ซึ่งน้อยกว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า (0.55 ± 0.04) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิล

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

เซลลูโลสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดการพองตัวก่อน จากนั้นหมู่คาร์บอกซีเมทิลจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสได้เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [24] ในขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสจากลำไยผลอ่อนนั้นระดับการแทนที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลขึ้นอยู่กับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นไปได้ว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นที่สูงกว่าในการทดลอง และยังระดับการแทนที่มากความสามารถในการยึดจับกับน้ำของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสก็จะดี

ยิ่งขึ้น [25] จากค่าระดับการแทนที่นี้แสดงว่าความสามารถในการยึดจับกับน้ำของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้าดีกว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อน ทำให้สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าส่งผลให้มีค่าความหนืดสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนืดของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนก็มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า ดังนั้นลำไยผลอ่อนจึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

Table 2 Viscosity, purity and degree of substitution of commercial carboxymethylcellulose and carboxymethylcellulose from young longan.

Samples	Viscosity (cP)	Purity (%)	Degree of substitution
Commercial carboxymethylcellulose	1642 $\pm$ 85 ^a	82.17 $\pm$ 0.87 ^a	0.55 $\pm$ 0.04 ^a
Carboxymethylcellulose from young longan	1574 $\pm$ 67 ^a	81.34 $\pm$ 1.12 ^a	0.41 $\pm$ 0.02 ^b

Data are means $\pm$ SD. Means with different letters within same column are significantly different ($p < 0.05$).

สรุปผล

จากการศึกษาการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากลำไยผลอ่อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ในสัดส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อผงลำไยผลอ่อน 80:20 สามารถสกัดเซลลูโลสหายาได้ร้อยละ 65.61 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำเซลลูโลสนี้มาใช้ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและทำการยืนยันผลการทดลองด้วย FTIR เทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เตรียมจากลำไยผลอ่อนมีสีน้ำตาลอ่อน มีค่าความหนืด 1574 cP และมีค่าความบริสุทธิ์ร้อยละ 81.34 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้า ดังนั้นลำไยผลอ่อนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทาง

การเกษตรนี้ จึงมีศักยภาพในการใช้เตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในอุตสาหกรรมอาหารได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2565 ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) ผ่านการจัดสรรโดยสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

[1] Mussatto, S.I., Ballesteros, L.F., Martins, S. and Teixeira J.A. (2012). Use of agro-industrial

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

- wastes in solid-state fermentation processes. *Industrial Waste*. 274: 121–139.
- [2] Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L.A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U. and Anandjiwala, R. (2011). Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel approach. *Carbohydrate Polymers*. 86(4): 1468–1475.
- [3] Wang, W., Liu, C., Huang, F., Li, W. and Zheng, C. (2019). Preparation and characterization of nanocellulose from rapeseed hull. *Oil Crop Science*. 4(1): 55–64.
- [4] Hutomo, G.S., Marseno, D.W. and Supriyanto S.A. (2012). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from pod husk of Cacao (*Theobroma cacao* L.). *African Journal of Food Science*. 6:180-185.
- [5] Yue, Y., Han, J., Han, G., Aita, G.M. and Wu, Q. (2015). Cellulose fibers isolated from energy cane bagasse using alkaline and sodium chlorite treatments: Structural, chemical and thermal properties. *Industrial Crops and Products*. 76: 355-363.
- [6] Jia, F., Liu, H. and Zhang, G. (2016). Preparation of carboxymethyl cellulose from corncob. *Procedia Environmental Sciences*. 31: 98-102.
- [7] Rehman, N., Alam, S., Amin, N.U., Mian, I. and Ullah, H. (2018). Ecofriendly isolation of cellulose from *Eucalyptus lenceolata*: a novel approach. *International Journal of Polymer Science*. 1: 1-7.
- [8] Ye, H., Xu, S., Wu, S. and Chen, W. (2018). Optimization of sodium carboxymethyl cellulose preparation from bagasse by response surface methodology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1: 1-6.
- [9] Heinze, T. and Pfeiffer, K. (1999). Studies on the synthesis and characterization of carboxymethylcellulose. *Applied Macromolecular Chemistry and Physics*. 266: 37–45.
- [10] Mondal, M.I., Yeasmin, M.S. and Rahman, M.S. (2015). Preparation of food grade carboxymethyl cellulose from corn husk agro waste. *International Journal of Biological Macromolecules*. 79: 144-150.
- [11] Candido, R.G. and Goncalves, A.R. (2016). Synthesis of cellulose acetate and carboxymethyl cellulose from sugarcane straw. *Journal Carbohydrate Polymers*. 152: 679-686.
- [12] Goering, H.K. and Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). In *Agricultural Handbook* No. 379, pp. 1-20. US Government Printing Office, Washington, DC.
- [13] Inari, G.N., Mounquengui, S., Dumarcay, S., Pétrissans, M. and Gérardin P. (2007). Evidence of char formation during wood heat treatment by mild pyrolysis. *Polymer Degradation Stability*. 92: 997–1002.
- [14] American Society for Testing and Materials. (2004). Method ASTM: D1439-03.

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

- [15] Jiang, M., Zhao, M.M., Zhou, Z.W., Huang, T., Chen, X.L. and Wang Y. (2011). Isolation of cellulose with ionic liquid from steam exploded rice straw. *Industrial Crops and Products*. 33 (3): 734-738.
- [16] Rahaman, M.S., Nahar, S.S., Islam, J.M.M., Samadder, R., Rahaman, M.S., Chadni, R.K., Shagor, F.R., Rahman, M.L., Ruhane, T.A., and Khan, M.A. (2022). Utilization of waste textile cotton by synthesizing sodium carboxymethyl cellulose: an approach to minimize textile solid waste. *Advances in Polymer Technology*. doi:10.1155/2022/4255409
- [17] Orue, A., Jauregi, A., Unsuain, U., Labidi, J., Eceiza A. and Arbelaiz, A. (2016). The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly (lactic acid)/sisal fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 84: 186–195.
- [18] Razali, N.A.M., Sohaimi, R. M., Othman, R.N.I.R., Abdullah, N., Demon, S. Z.N., Jasmani, L., Yunus, W.M.Z.W., Ya'acob, W.M.H.W, Salleh, E.M., Norizan, M.N. and Halim, N.A. (2022). Comparative study on extraction of cellulose fiber from rice straw waste from chemo-mechanical and pulping method. *Polymers*. 14(3): 387.
- [19] Abdul Karim, M.S., Zainol, N., Abu Hassan As'ari, N.I.A., Abu Talip Yusof, N. and Aziz, N.H. (2022). Effect of processing parameters on cellulose content extracted from pineapple leaf. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 42:102339.
- [20] Wang, X., Li, H., Cao, Y. and Tang, Q. (2011). Cellulose extraction from wood chip in an ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl). *Bioresource Technology*. 102 (17): 7959-7965.
- [21] Hospodarova, V., Singovszka, E. and Stevulova, N. (2018). Characterization of cellulosic fibers by FTIR spectroscopy for their further implementation to building materials. *American Journal of Analytical Chemistry*. 9(6): 303-310.
- [22] Hidayat, S., Ardiaksa, P., Raveli, N. and Rahayu, I. (2018). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose (CMC) from salak-fruit seeds as anode binder for lithium-ion battery. *Journal of Physics: Conference Series*.1080. 012017.
- [23] Pushpamalar, V., Langford, S.J., Ahmad, M. and Lim, Y.Y. (2006). Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste. *Carbohydrate Polymers*. 64(2): 312-318.
- [24] Rachtanapun, P., Luangkamin, S., Tanprasert, K. and Suriyatem, R. (2012). Carboxymethyl cellulose film from durian rind. *LWT-Food Science and Technology*. 48(1): 52-58.
- [25] Haleem, N., Arshad, M., Shahid, M. and Tahir, M.A. (2014). Synthesis of carboxymethyl cellulose from waste of cotton ginning industry. *Carbohydrate Polymers*. 113: 249-255.

*Corresponding author e-mail: chutamas_m@yahoo.com และ chutamas@mju.ac.th

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok