



การปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

Pretreatment of corn husks and coconut husks for enhancing yield of reducing sugar

แก้วกัลยา โสคติสวัสดิ์^{1*} อรสา จันทร์ลือชัย¹ และ รัศมี คะมุง¹

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

*E-mail: kaewkanlaya@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอล โดยทำการศึกษารอบหลักทางเคมีของเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าว พบว่า วัสดุทั้งสองชนิดมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูงที่สุด คือ 62.19 ± 0.03 % และ 54.61 ± 0.06 % ตามลำดับ รองลงมาคือเซลลูโลส (34.29 ± 0.03 % และ 31.89 ± 0.03 % ตามลำดับ) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าว พบว่า การใช้กรดเจือจาง (1% (v/v) H_2SO_4) ภายใต้อุณหภูมิ $121^\circ C$ เป็นเวลา 90 นาที มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์สูงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ 94.28 ± 2.58 และ 59.65 ± 2.58 g/L ตามลำดับ รองลงมาคือการใช้กรด (1% (v/v) H_2SO_4) ร่วมกับการใช้เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase, Cellic®Ctec 2) สำหรับผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโครงสร้างพื้นผิวของเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) สามารถยืนยันได้ว่าการใช้กรดเจือจางในการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวมีผลทำให้โครงสร้างการจัดเรียงตัวและพื้นผิวของเส้นใยถูกทำลายอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การปรับสภาพ เปลือกข้าวโพด กาบมะพร้าว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Received: September 12, 2018

Revised: January 03, 2019

Accepted: June 06, 2019

Abstract

Optimization of pretreatment conditions of corn husks and coconut husks to increase yield of reducing sugar for use as a substrate for bioethanol production were investigated. Main chemical compositions of corn husks and coconut husks showed hemicellulose as the major component of 62.19 ± 0.03 % and 54.61 ± 0.06 %, respectively, followed by cellulose of 34.29 ± 0.03 % and 31.89 ± 0.03 %, respectively. The optimal conditions of corn husks and coconut husks pretreatment resulted in the maximum reducing sugar yields of 94.28 ± 2.58 and 59.65 ± 2.58 g/L, respectively ($p < 0.05$) after pretreatment with diluted acid (1% (v/v) H_2SO_4) under $121^\circ C$ for 90 minute followed by diluted acid pretreatment with commercial cellulase (Cellic®Ctec 2) condition. The morphology of surface structure was confirmed by scanning electron microscopy (SEM). The SEM image clearly demonstrated the structure arrangement and fibers surface of corn husks and coconut husks were destroyed as a result of the diluted acid pretreatment.

Keywords: Pretreatment, Corn husks, Coconut husks, Agricultural waste materials

1. บทนำ

พลังงานทดแทนกลุ่มไบโอเอทานอล กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางการแพทย์ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์เบนซินที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ [1] กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลเกิดขึ้นจากการหมักด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตร เช่น น้ำตาล แป้ง และชีวมวล (Biomass) ประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ซึ่งลิกโนเซลลูโลสจัดเป็นชีวมวลจากพืชที่หาได้ง่าย มีปริมาณมาก และราคาถูก ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) [2] ในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสนั้น จำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนการปรับสภาพ (Pretreatment) [3] เพื่อทำลายโครงสร้างที่

แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส และช่วยเพิ่มพื้นที่ในส่วนอะมอร์ฟัส (Amorphous) ของเซลลูโลส [4] ทำให้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงและย่อยสลาย (Hydrolysis) วัสดุได้ง่ายมากขึ้น ซึ่งทำให้เซลลูโลสถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลในรูปแบบของน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ที่มีความสำคัญในแง่ของการเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมักไบโอเอทานอล เช่น น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลไซโลส กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบมีหลายวิธี ดังนั้นในการเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล จำเป็นต้องทำการศึกษาและคัดเลือกกระบวนการปรับสภาพที่เหมาะสม จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตอย่างมาก [5]

เปลือกข้าวโพด (*Zea mays* Linn.) และ กาบมะพร้าว (*Cocos nucifera* Linn.) จัดเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาง่าย พบได้ทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย ส่วนใหญ่เปลือกข้าวโพดถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือเป็นส่วนประกอบ

ในการผลิตอาหารสัตว์ หรืออาจใช้งานทางด้านหัตถกรรมและคหกรรม ในขณะที่กาบมะพร้าวนิยมนำมาใช้ทำปุ๋ย หรือใช้เป็นวัสดุแทนกระถางสำหรับเพาะเลี้ยงกล้วยไม้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งนับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ในแง่ของการนำไปใช้เพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์สำหรับกระบวนการหมักไบโอเอทานอลให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกข้าวโพด (*Zea mays* Linn.) และกาบมะพร้าว (*Cocos nucifera* Linn.) โดยนำมาหั่นหรือตัดให้มีขนาดเล็กลง นำมาตากแดด และอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 65 °C นาน 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้ง หลังจากนั้นจึงทำการบดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบด แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติก ทำการเก็บรักษาสภาพตัวอย่างในสภาพแห้งภายในตู้ดูดความชื้น [6]

2.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าว

ซึ่งตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหรือกาบมะพร้าวที่แห้งและบดละเอียดแล้ว 0.5 g (A) ก่อนนำไปย่อยหรือไฮโดรไลซ์ด้วย 24% (w/v) NaOH ปริมาตร 4 mL เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 60-80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก (B) ทำการย่อยด้วย 72% (v/v) H₂SO₄ ปริมาตร 4 mL เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึง

กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60-80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก (C) แล้วทำการเผาตัวอย่างที่เหลือด้วยเตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) ที่ 500 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (D) ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [7]

ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose): น้ำหนักตัวอย่างหลังการย่อยด้วยด่าง (B) – น้ำหนักตัวอย่างหลังการย่อยด้วยกรด (C)

ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose): น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (A) – น้ำหนักตัวอย่างหลังการย่อยด้วยด่าง (B)

ปริมาณลิกนิน (Lignin): น้ำหนักตัวอย่างหลังการย่อยด้วยกรด (C) – น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา (D)

ปริมาณเถ้า (Ash): น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา หรือเถ้า (D)

2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพ

นำตัวอย่างที่ผ่านการบดมาทำการปรับสภาพด้วยสภาวะที่แตกต่างกันโดยดัดแปลงวิธีจาก Sotthisawad *et al.* [8] ดังนี้

สภาวะที่ 1 ปรับสภาพด้วยกรด (1% (v/v) H₂SO₄) ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อกรดเป็น 1:10 ร่วมกับการใช้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่ 121 °C นาน 90 นาที

สภาวะที่ 2 ปรับสภาพด้วยด่าง (1% (w/v) NaOH) ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อด่าง 1:10 ร่วมกับการใช้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่ 121 °C นาน 90 นาที

สภาวะที่ 3 ปรับสภาพด้วยกรด (1% (v/v) H₂SO₄) (มีวิธีการเช่นเดียวกับสภาวะที่ 1) แล้วกรอง

แยกส่วนที่เป็นของเหลว (Supernatant) มาปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 5.0 หลังจากนั้นจึงเติมเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase, Cellic®Ctec 2) ที่เจือจาง 50 เท่า ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อเซลลูเลส 1:10 แล้วนำไปบ่มใน Water bath ที่ 50 °C นาน 24 ชั่วโมง

สถานะที่ 4 ปรับสภาพด้วยด่าง (1% (w/v) NaOH) ร่วมกับการใช้เอนไซม์เซลลูเลส (ซึ่งมีวิธีการเช่นเดียวกับสถานะที่ 3)

สถานะที่ 5 ปรับสภาพด้วยด่าง (1% (w/v) NaOH) (มีวิธีการเช่นเดียวกับสถานะที่ 2) หลังจากนั้นทำการกรองแยกส่วนกาก นำมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7.0 ก่อนนำส่วนกากไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการปรับสภาพด้วยกรด (1% (v/v) H₂SO₄) ร่วมกับการใช้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 °C นาน 90 นาที

สถานะที่ 6 ปรับสภาพด้วยด่าง (1% (w/v) NaOH) ตามด้วยกรด (1% (v/v) H₂SO₄) (ซึ่งมีวิธีการเช่นเดียวกับสถานะที่ 5) ร่วมกับการใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการปรับสภาพ (มีวิธีการเช่นเดียวกับสถานะที่ 3)

สถานะที่ 7 ปรับสภาพโดยใช้น้ำกลั่น ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อกรดเป็น 1:10 ร่วมกับการใช้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 °C นาน 90 นาที

สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเอนไซม์ทางการค้า (Cellulase, Cellic®Ctec2) จากบริษัท Novozyme (Denmark) ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ดังนี้ FPase 500 U/mL, CMCase 1,085,926 U/mL และ Beta-glucosidase 23,837 U/mL

2.4 การศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ศึกษาลักษณะ โครงสร้างและการจัดเรียงตัวของผิวเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าว ภายหลังจากการปรับสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ยี่ห้อ Hitachi (Japan) รุ่น TM4000 Plus ที่ระดับความต่างศักย์เร่ง (Accelerating voltage) 5 kV ซึ่งใช้ Secondary electron detector (SED) เป็นตัวตรวจจับสัญญาณภาพที่ระยะทำงาน (Working distance, WD) of 14 mm. โดยมีการเตรียมตัวอย่างตามวิธีของ Sotthisawad *et al.* [8]

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

นำส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้จากการกรอง ภายหลังจากการปรับสภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ มาทำการปรับ pH ให้เป็น 5.0 ก่อนนำมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) method [9] แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ โดยเทียบกับค่ากราฟมาตรฐาน (Standard curve) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

2.6 การวิเคราะห์สถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าวด้วยสถานะต่าง ๆ ด้วย One-way factorial ANOVA (analysis of variance) โดยใช้ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 องค์ประกอบหลักทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีของเปลือกข้าวโพดและกากมะพร้าว ได้แก่ ปริมาณร้อยละของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าทั้งเปลือกข้าวโพด และกากมะพร้าวมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณที่มากที่สุดคือ 62.19 ± 0.03 % และ 54.61 ± 0.06 % ตามลำดับ รองลงมาคือเซลลูโลสที่พบ 34.29 ± 0.03 % และ 31.89 ± 0.03 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัชรการณ ศรีคชวงศ์ และกนกพร สังขรักษ์ [6] ที่พบว่ากากมะพร้าวมีเฮมิเซลลูโลส (34%) เป็นองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณที่สูงมากกว่าเซลลูโลส (16%) และลิกนิน (8%) ในขณะที่พบลิกนินในทั้งสองตัวอย่างในปริมาณเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับทะลายไม้ผลและกระดาด หนังสือพิมพ์ในงานวิจัยของ Do *et al.* [10] และ Subhedar and Gogate [11] ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตาม การที่วัตถุดิบเหล่านี้มีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูง อาจมีผลต่อชนิดของผลผลิต (น้ำตาล) ที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการปรับสภาพ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่สั้นและแตกแขนง ประกอบด้วยน้ำตาล

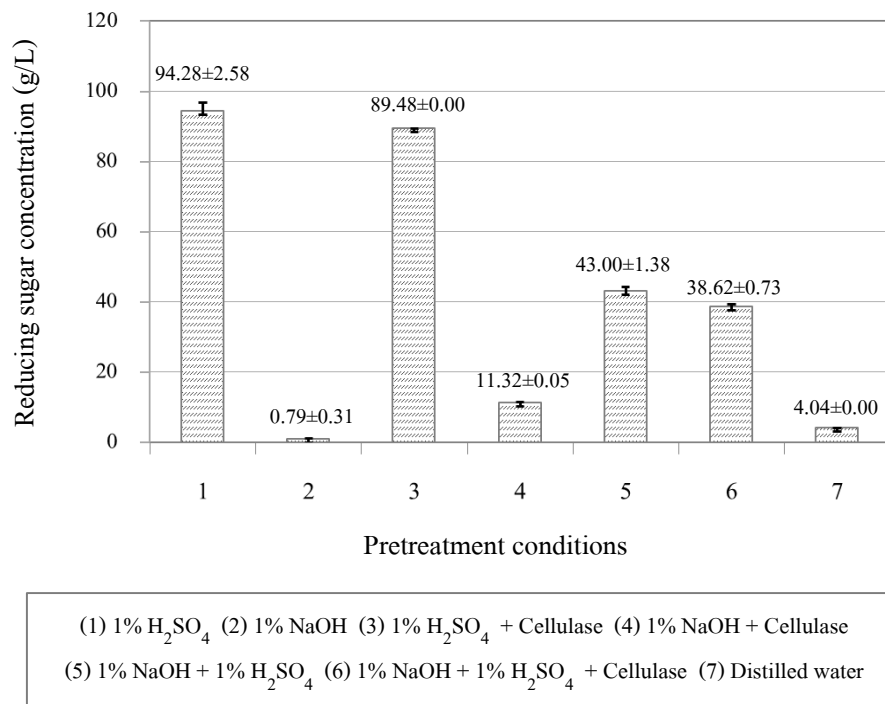
หลายชนิด ได้แก่ L-Xylose, L-Arabinose, D-Mannose, D-Galactose และ D-Glucose [4] ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการนำวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยเฮมิเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไบโอเอทานอล ดังนั้นในการพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมในการปรับสภาพวัตถุดิบเหล่านี้ก่อนที่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปจึงเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณา เนื่องจากยีสต์สามารถใช้น้ำตาลได้ดีเพียงบางชนิดเท่านั้นสำหรับกระบวนการหมักเอทานอล

3.2 สถานะที่เหมาะสมในการปรับสภาพ

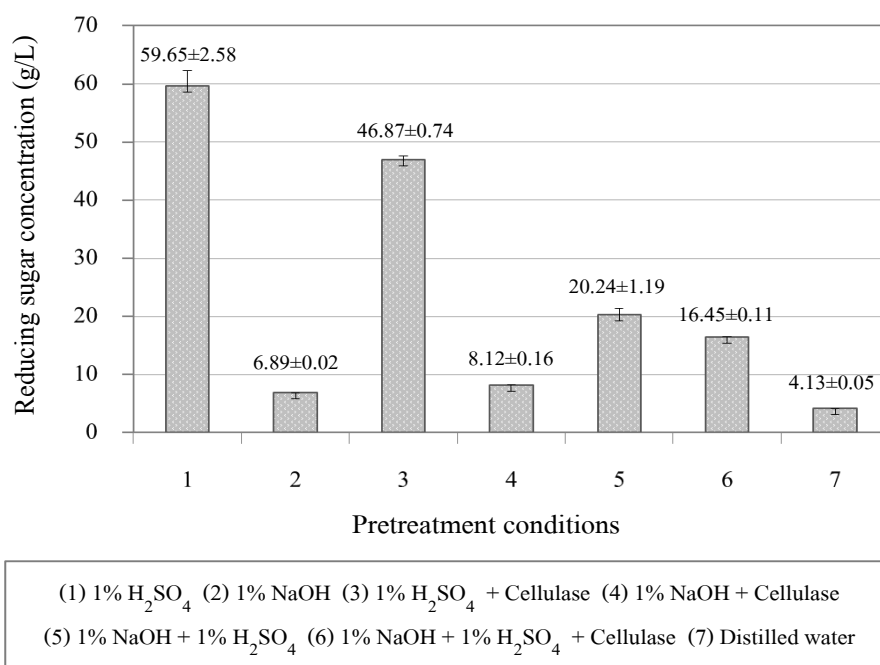
การปรับสภาพวัตถุดิบทางเคมีด้วยกรดและด่าง (Chemical pretreatment) คือวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในขั้นตอนการเปลี่ยนวัสดุชีวมวลประเภทลิกโนเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาล เพื่อนำไปใช้เป็นสับสเตรทสำหรับการผลิตไบโอเอทานอล [12] ในขณะที่การปรับสภาพหรือย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Enzyme hydrolysis) นั้นเป็นการใช้เอนไซม์เซลลูเลส ในการย่อยสลายสายของเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาล ภายใต้การทำปฏิกิริยาในสถานะที่ไม่รุนแรง ที่อุณหภูมิ 50°C pH 5 โดยไม่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม [13] การศึกษาการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกากมะพร้าวด้วย 1% (v/v) H_2SO_4 (สถานะที่ 1) ภายใต้อุณหภูมิ 121°C นาน 90 นาที

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของเปลือกข้าวโพดและกากมะพร้าว

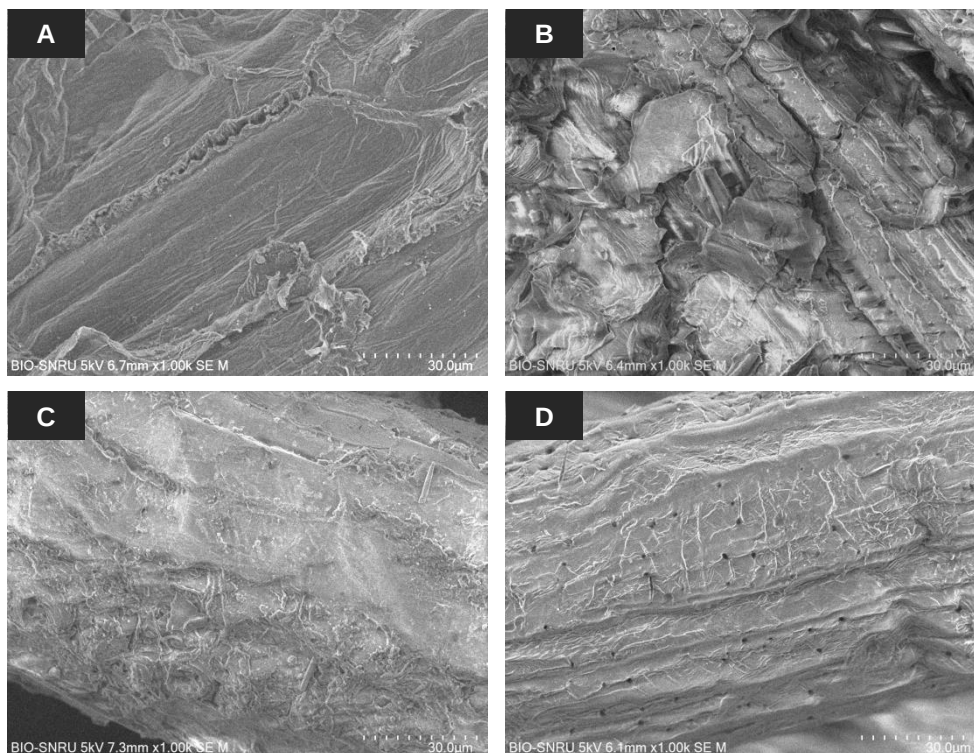
องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% , w/w)	
	เปลือกข้าวโพด	กากมะพร้าว
เซลลูโลส (Cellulose)	34.29 ± 0.03 %	31.89 ± 0.03 %
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	62.19 ± 0.03 %	54.61 ± 0.06 %
ลิกนิน (Lignin)	9.19 ± 0.04 %	13.20 ± 0.02 %
เถ้า (Ash)	0.17 ± 0.00 %	0.30 ± 0.00 %



รูปที่ 1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/L) ที่วิเคราะห์ได้หลังจากการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดด้วยวิธีต่าง ๆ



รูปที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/L) ที่วิเคราะห์ได้หลังจากการปรับสภาพกานมะพร้าวด้วยวิธีต่าง ๆ



รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นผิวของวัตถุดิบที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่าโดยที่ (A) เปลือกข้าวโพดที่ได้รับการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น (B) เปลือกข้าวโพดที่ได้รับการปรับสภาพด้วย 1% (v/v) H_2SO_4 (C) กาบมะพร้าวที่ได้รับการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น และ (D) กาบมะพร้าวที่ได้รับการปรับสภาพด้วย 1% (v/v) H_2SO_4

พบว่าผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงมากกว่าสถานะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (รูปที่ 1 -2) คือ 94.28 ± 2.58 และ 59.65 ± 2.58 g/L ตามลำดับ รองลงมาคือสถานะที่ 3 คือการใช้ 1% (v/v) H_2SO_4 ร่วมกับการใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการปรับสภาพ เปลือกข้าวโพด (89.48 ± 0.00 g/L) และกาบมะพร้าว (46.87 ± 0.74 g/L) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นี้แสดงให้เห็นว่าค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนประกอบหลักทางเคมีของ เปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวที่พบว่าเปลือกข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่สูงกว่ากาบมะพร้าว จึงทำให้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีปริมาณมากกว่าด้วยเช่นกัน ซึ่ง Linde *et al.* [14]

เคยได้รายงานเกี่ยวกับการปรับสภาพวัสดุชีวมวลว่า กรดสามารถย่อยสลายพันธะภายในโมเลกุลของทั้ง เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสได้ โดยที่กรดมีส่วนช่วยเพิ่มผลผลิตในสายโมโนเมอร์เฮมิเซลลูโลส (ในรูปของเหลว) และช่วยย่อยเซลลูโลส (ในรูปของแข็ง)

3.3 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของตัวอย่าง

การศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของตัวอย่างด้วย SEM จะทำให้ทราบถึงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเส้นใยของลิกโนเซลลูโลสของเปลือกข้าวโพดและกาบมะพร้าวที่แตกต่างกัน และสามารถอธิบายถึงลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการถูกปรับ

สภาพได้อย่างชัดเจน โดยได้ทำการศึกษาโครงสร้างของเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น และ 1% (v/v) H_2SO_4 (สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพวัตถุดิบ) สำหรับผลการวิเคราะห์ด้วย SEM ได้แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าวด้วย 1% (v/v) H_2SO_4 ร่วมกับการใช้ความร้อนที่ $121^\circ C$ นั้น มีผลทำให้การจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างพื้นผิวของลิกโนเซลลูโลสถูกทำลายอย่างชัดเจน (รูปที่ 1-B และ 1-D ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น (รูปที่ 1-A และ 1-C ตามลำดับ) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yücel and Aksu [15] ที่พบว่าการปรับสภาพด้วยวิธี Dilute acid hydrolysis treatment มีผลทำให้โครงสร้างโพลิเมอร์ของหัวผักกาดฝรั่ง (Sugar beet pulp) ถูกทำลาย เช่นเดียวกับการวิจัยของ Abraham, Barrow and Puri [16] ที่ให้ผลการ ศึกษาในทำนองเดียวกัน

4. สรุปผลการวิจัย

เปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าว มีองค์ประกอบหลักทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าทั้งเปลือกข้าวโพด และกามมะพร้าวมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณที่มากที่สุด รองลงมาคือเซลลูโลส สำหรับการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าวด้วยกรด (1% (v/v) H_2SO_4) ร่วมกับการใช้ความร้อนที่ $121^\circ C$ นาน 90 นาที พบว่ามีผลทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์สูงมากที่สุด รองลงมาคือการใช้กรด ร่วมกับการใช้ เอนไซม์เซลลูเลส ดังนั้นการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและกามมะพร้าวด้วยกรดเจือจาง (1% (v/v) H_2SO_4) ก่อนนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งของลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล จึงเป็น

วิธีการที่เหมาะสมอย่างมาก สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปในอนาคตนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบอื่นที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับสภาพด้วยสภาวะดังกล่าว ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบหลักทางเคมี และการเกิดผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น เกิดสารเฟอร์ฟูรัล (Furfural), 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (5-Hydroxy methylfurfural, HMF) เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรพิมพ์ มงคลเคหา. พลังงานทดแทนตอนที่ 1. วารสารก้าวหน้าทางโลกวิทยาศาสตร์. 2549. 6(1): 18-30.
- [2] วรฤติ จุฬาลักษณ์นกุล. เชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยตัวเร่งชีวภาพ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2558.
- [3] Sindhu R., Binod P. and Pandey A. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass -An overview. *Bioresource Technology*. 2016. 199: 76-82.
- [4] Saini J.K., Saini R. and Tewari L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feed stocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent

- developments. *Biotechnology*. 2015. 5: 337-353.
- [5] รัชพล พะวงศรีรัตน์. กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. 2558. 2(1): 143-157.
- [6] นันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และอนุสิทธิ์ ธนะพิมพ์เมธา. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากขางข้าวฟางหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. *วิศวกรรมสาร มก.* 2554. 75(24): 91-102.
- [7] พัทธราภรณ์ เสรีขวงค์ และกนกพร สังขรักษ์. การผลิตไบโอดีเซลและเอทานอลจากกากมะพร้าวหลังการคั้น. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 2557. 17(3) (พิเศษ): 103-110.
- [8] Sotthisawad K., Mahakhan P., Vichitphan K., Vichitphan S. and Sawaengkaew J. Bioconversion of Mushroom Cultivation Waste Materials into Cellulolytic Enzymes and Bioethanol. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2017. 44(6): 2261-2271.
- [9] Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 1959. 31: 426-428.
- [10] Do T.X., Lim Y.I., Jang S. and Chung H.J. Hierarchical economic potential approach for techno-economic evaluation of bioethanol production from palm empty fruit bunches. *Bioresource Technology*. 2015. 189: 224-235.
- [11] Subhedar P.B. and Gogate P.R. Ultrasound-assisted bioethanol production from waste newspaper. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015. 27: 37-45.
- [12] Saha B.C., Iten L.B., Cotta M.A. and Wu Y.V. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol. *Process Biochemistry*. 2005. 40: 3693-3700.
- [13] ชัยนันท์ นีวาสงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มช.* 2555. 40 (4): 1073-1088.
- [14] Linde M., Jakobsson E., Galbe M. and Zachhi G. Steam pretreatment of dilute H₂SO₄-impregnated wheat straw and SSF with low yeast and enzyme loadings for bioethanol production. *Biomass and Bioenergy*. 2008. 32: 326-332.
- [15] Yücel H.G. and Aksu Z. Ethanol fermentation characteristics of *Pichia stipitis* yeast from sugar beet pulp hydrolysate: Use of new detoxification methods. *Fuel*. 2015. 158: 793-799.
- [16] Abraham R.E., Barrow C.J. and Puri M. Relationship to reducing sugar production and scanning electron microscope structure to pretreated hemp hurd biomass (*Cannabis sativa*). *Biomass and Bioenergy*. 2013. 58: 180-187.