

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

การพัฒนาเทคนิคการปรับสภาพที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทจากขี้เถ้าเพื่อเพิ่ม

ผลผลิตเอทานอล

Development of Pretreatment Methods for Sugarcane Bagasse Hydrolysate for Enhancement of Ethanol Production

นิธิป ไชยมงคล (Nithip Chaimongkol) * จิรศักดิ์ คงเกียรติจักร (Jirasak Kongkiattikajorn) **

อนันต์ ทองทา (Anan Tongta) ***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพขี้เถ้า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกระบวนการปรับสภาพโดยวิธีการต่าง ๆ ร่วมกัน และหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณสูง และเพื่อเพิ่มผลผลิตเอทานอลจากขี้เถ้า

วิธีการวิจัยทำได้โดยนำขี้เถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่แห้ง เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง หรือ 25 องศาเซลเซียส โดยปราศจากความชื้น ก่อนนำไปวิเคราะห์ จากนั้นนำไปปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10% กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ร่วมกับการปรับสภาพด้วยความดันไอน้ำที่ 121 องศาเซลเซียส, ปรับสภาพโดยไม่ผ่านความร้อนด้วยเครื่อง shaker ที่ 100 rpm 30 องศาเซลเซียส, ปรับสภาพด้วยโครเวฟ 300 วัตต์ และปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10% และสารไอออนิก 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 10% และ 1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ความเข้มข้น 10% ในระยะเวลาที่ต่างกัน หลังจากปรับสภาพ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคส โดยวิธี DNS ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และ GOD-PAP ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า (1) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสที่พบมากในการปรับสภาพร่วมกับ autoclave ที่ 121 องศาเซลเซียส คือ 0.383 กรัม/ลิตร และ 0.264 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (2) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสที่พบมากในการปรับสภาพโดยไม่ผ่านความร้อนด้วยเครื่อง shaker ที่ 100 rpm คือ 0.408 กรัม/ลิตร และ 0.034 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (3) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสที่พบมากในการปรับสภาพด้วยไมโครเวฟ 300 วัตต์ คือ 0.267 กรัม/ลิตร และ 0.032 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (4) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสที่พบมากในการปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนีย 10% คือ 0.904 กรัม/ลิตร และ 0.050 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และ (5) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสที่พบมากในการปรับสภาพด้วยสารไอออนิก คือ 0.280 กรัม/ลิตร และ 0.157 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการปรับสภาพขี้เถ้าด้วยสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10% ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 300 วัตต์ ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด และการปรับสภาพขี้เถ้าด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการใช้ความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด

คำสำคัญ ขี้เถ้า, การปรับสภาพ, น้ำตาลรีดิวซ์, น้ำตาลกลูโคส

* นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี peak_soul@hotmail.com

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี jirasak.kon@kmutt.ac.th

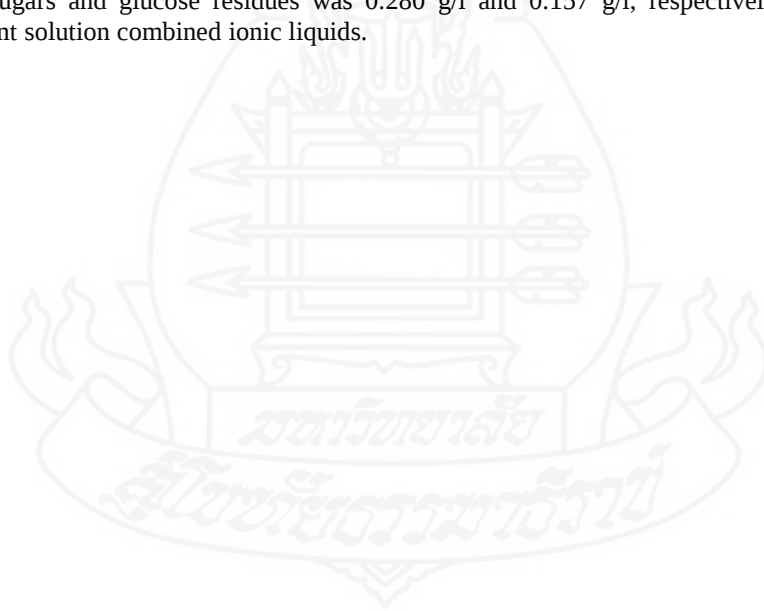
*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี anan.ton@kmutt.ac.th

Abstract

The aims of these experiments are: (1) to improve pretreatment methods of sugarcane bagasse from agricultural waste and study different sugarcane bagasse particle size for pretreatment optimization; (2) observe the factors of sugarcane bagasse hydrolysates by physical or chemical methods and to combine pretreatment methods, hydrolysates solutions and sugarcane bagasse particle size for development of bioethanol production in industry.

Sugarcane bagasse from agricultural waste was stored in plastic buckets at approximately 25°C in air dry room. Before the analyses and operations the sugarcane bagasse was rinsed in water and various gravel particles. Pretreatment step strategies of sugarcane bagasse dry matter particles were treated with 1% NaOH, 0.1 M HCl and 0.1 M H₂SO₄ with autoclave 121 °C. Then, hydrolysate step of the sugarcane bagasse particles using physical and chemical methods at various temperatures, shaking at 30 °C in different times by shaker or microwave (300 watts). The 10% ammonia solution was also hydrolysed bagasse particles similar to ionic liquids such as 0.25 M 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride, 10% 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride and 10% 1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate. The data was collected in triplicates and results analysis by DNS method (540 nm) for reducing sugar and GOD-PAP method (500 nm) for glucose.

The result was that; the reducing sugars and glucose residues was 0.383 g/l and 0.264 g/l, respectively when treated with pretreatment solution combined autoclaved at 121°C, time 60 min. Moreover, the reducing sugars and glucose residues was 0.408 g/l and 0.034 g/l, respectively when treated with pretreatment solution combined shaking at 100 rpm. The reducing sugars and glucose residues was 0.267 g/l and 0.032 g/l, respectively when treated with pretreatment solution combined microwave at 300 watt. While the reducing sugars and glucose residues was 0.904 g/l and 0.050 g/l, respectively when treated with pretreatment solution combined 10% ammonia solution. In addition, the reducing sugars and glucose residues was 0.280 g/l and 0.157 g/l, respectively when treated with pretreatment solution combined ionic liquids.



Keywords: Sugarcane bagasse, Pretreatment, Reducing sugar, Glucose

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4

The 4th STOU Graduate Research Conference

บทนำ

ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทยในปัจจุบัน เพื่อที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานนั้น มีปริมาณสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เป็นพลังงานในการขนส่ง ซึ่งส่วนมากใช้น้ำมันปิโตรเลียม (กัลยา, 2546) การที่น้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมมีราคาแพง และมีแนวโน้มที่จะแพงยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทน เอทานอลซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ทำให้เกิดปัญหามลพิษกับสิ่งแวดล้อมนับว่าเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่น่าสนใจ (Nguyen et al., 2010)

การผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรม สามารถทำได้ 2 วิธี คือการผลิตเอทานอลทางเคมี และการผลิตเอทานอลทางชีวภาพ (Liu, C.-Z., 2012) ซึ่งการผลิตเอทานอลทางเคมีนั้น เป็นวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็ว และให้ความถูกต้องซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างใกล้เคียงและแน่นอน ผลผลิตที่เกิดขึ้นได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์เอทานอลมีหลากหลายวิธี และการดูแลเอาใจใส่ไม่ยาวนานเหมือนกระบวนการหมักเอทานอลด้วยวิธีการทางชีวภาพ ส่วนข้อเสียของวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลทางเคมี ได้แก่ การใช้สารเคมีที่จำเพาะมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์เอทานอล ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่มีราคาสูง เมื่อเทียบกับวัตถุดิบหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เอทานอลที่ได้มีสารเคมีตัวอื่น ๆ ปนมาในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งสารเหล่านั้นเป็นอันตรายต่อผู้ผลิต และสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุนี้กฎหมายจึงไม่อนุญาตให้นำเอทานอลจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีไปใช้รับประทานหรือใช้กับสิ่งมีชีวิตภายในร่างกาย และการสังเคราะห์เอทานอลในทางเคมี สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างสูงหรือจำเพาะ และของเสียจากกระบวนการผลิตยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นในปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมจึงไม่นิยมใช้วิธีการผลิตโดยทางเคมี (จุติมา, 2548)

สำหรับการผลิตเอทานอลทางชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นซึ่งส่วนใหญ่จะหมายถึงสารละลายน้ำตาล หากเป็นวัตถุดิบที่ไม่ใช่น้ำตาล เช่น แป้งหรือเซลลูโลส จำเป็นต้องเปลี่ยนวัตถุดิบเหล่านั้นให้กลายเป็นน้ำตาลที่สามารถหมักได้ก่อน ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าการปรับสภาพ ให้กลายเป็นเอทานอลโดยอาศัยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตที่สำคัญคือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Zymomonas mobilis* ข้อดีของการผลิตเอทานอลทางชีวภาพคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี ต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์เอทานอลด้วยวิธีทางเคมี นอกจากนี้ปริมาณของวัตถุดิบยังมีมาก และหาได้ง่าย โดยเฉพาะของเหลือทิ้งทางการเกษตร ข้อดีทางอ้อมคือ ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่พืชผลทางการเกษตร สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ช่วยลดขยะ และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ตัวอื่นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กากคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ทำน้ำแข็งแห้ง น้ำโซดา หรือสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเคมี เอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งผลิตได้จากยีสต์ก็สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

เนื่องจากเซลลูโลสที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลอยู่ในรูปที่เป็นสารผลึกของสารประกอบเชิงซ้อน (complex) กับลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งส่วนที่นำมาใช้จริง คือ ส่วนของเซลลูโลสเท่านั้น ขั้นตอนแรกจึงต้องแยกเฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบก่อน เพราะส่วนประกอบทั้งสองทำให้พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไม่มี

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

เท่าที่ควร และยังเป็นอุปสรรคต่อการหมักด้วย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนการผลิตเอทานอล คือเพื่อแยกกลีซิน และเฮมิเซลลูโลสออก และเป็นการปรับโครงสร้างของเซลลูโลสให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งเรียกว่า การปรับสภาพวัตถุดิบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำตาล โดยทำการพัฒนาการปรับสภาพเพื่อให้ได้เป็นน้ำตาล และง่ายต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพขานอ้อยโดยกระบวนการปรับสภาพโดยวิธีการต่าง ๆ
2. หาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ได้น้ำตาลในปริมาณสูงเพื่อการเพิ่มผลผลิตเอทานอลต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

พุทธิพร (2552) และนันทนัช (2554) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางด้านกายภาพ วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสโดยการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดและเบส และปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ โดยนำขานอ้อยมาล้างเพื่อทำความสะอาด แล้วตากให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปบดด้วยเครื่อง ultra centrifugal mill แล้วทำการคัดแยกขนาด particle size ด้วยเครื่อง sieve test จนได้ขนาดของขานอ้อยเป็น 500 ไมโครเมตร (35 mesh), 600 ไมโครเมตร (30 mesh), 710 ไมโครเมตร (25 mesh) และ 850 ไมโครเมตร (20 mesh) และเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง โดยปราศจากความชื้น

นำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบดด้วย ultracentrifugal mill มาในอัตราส่วน 2% (W/V) เติมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 M โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

วิธีการปรับสภาพ	ขั้นตอนการปรับสภาพ
การปรับสภาพร่วมกับ autoclave	นำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่เติมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความเข้มข้นที่กำหนด นำมาปรับสภาพที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20, 30 และ 60 นาที
การปรับสภาพด้วยการเขย่าด้วยเครื่อง shaker	นำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่เติมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความเข้มข้นที่กำหนด มาเขย่าด้วยเครื่อง shaker ความเร็ว 100 rpm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง
การปรับสภาพด้วยรังสีไมโครเวฟ	นำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่เติมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความ

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

	เข้มข้นที่กำหนด มาปรับสภาพด้วยเครื่องไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที (Keshwani et al., 2010)
การปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียและไอออนิก	ปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยเครื่อง Buchner funnel โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 2 แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และสารละลายไอออนิก 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride, 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride และ 1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปบ่มด้วยความร้อน 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากที่มีการละลายแล้ว จะใช้เอทานอล 20 มิลลิลิตร เป็น antisolvent แล้วนำมาผสมกับขานอ้อยที่ผ่านการละลายมาแล้ว ซึ่งอยู่ในสภาพเป็นตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้ ซึ่งมีลักษณะหนาและใหญ่ มากรองด้วยเครื่อง Buchner funnel พร้อมกับกระดาษกรองเบอร์ 2 แล้วล้างด้วยเอทานอล 20 มิลลิลิตร โดยเทลงไปในกรวยกรอง จากนั้นนำเข้าเครื่อง rotary evaporator เพื่อระเหยเอาตัว antisolvent ออกไป จากนั้นล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Nguyen et al., 2010)

หลังจากทำการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดและเบส และปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ แล้ว นำไปปรับ pH เป็น 5.5 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมของแต่ละการทดลอง จากนั้นนำไปปั่นแยกเพื่อเอาตะกอนออกที่ความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กรองแยกส่วนกาก และส่วนใสที่ได้จากการปรับสภาพ โดยนำส่วนใสไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส โดยวิธี glucose oxidase/oxidase-4-aminophenazone-phenol (GOD-PAP)

ผลการวิจัย

จากศึกษาลักษณะทางด้านกายภาพ วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสโดยการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดและเบส และปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ นั้น สามารถสรุปเป็นตารางผลการทดลองได้ดังนี้

การปรับสภาพร่วมกับการ autoclave โดยนำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ เดิมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความเข้มข้นที่กำหนด แสดงผลการวิจัยตามตารางที่ 1

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสในชานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการใช้ความดันไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 20, 30 และ 60 นาที

ขนาด (ไมโครเมตร ร)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)			ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)		
		NaOH	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	HCl	H ₂ SO ₄
500	20	0.071±0.00	0.344±0.00	0.363±0.004	0.032±0.00	0.258±0.001	0.141±0.00
		3	3		0		1
	30	0.085±0.00	0.355±0.00	0.373±0.003	0.033±0.00	0.259±0.001	0.143±0.00
		4	1		3		2
	60	0.087±0.00	0.369±0.00	*0.383±0.00	0.035±0.00	*0.264±0.00	0.146±0.00
		2	6	2	3	2	2
600	20	0.039±0.00	0.302±0.00	0.295±0.002	0.028±0.00	0.234±0.001	0.147±0.00
		3	1		1		1
	30	0.042±0.00	0.305±0.00	0.302±0.002	0.028±0.00	0.251±0.001	0.151±0.00
		2	1		1		2
	60	0.059±0.00	0.314±0.00	0.305±0.002	0.031±0.00	0.264±0.002	0.153±0.00
		1	1		1		2
710	20	0.052±0.00	0.312±0.00	0.267±0.001	0.018±0.00	0.213±0.004	0.154±0.00
		2	6		1		1
	30	0.063±0.00	0.313±0.00	0.271±0.002	0.018±0.00	0.215±0.001	0.159±0.00
		2	1		1		0
	60	0.073±0.00	0.333±0.00	0.276±0.002	0.019±0.00	0.215±0.003	0.159±0.00
		1	1		0		0
850	20	0.054±0.00	0.305±0.00	0.262±0.001	0.017±0.00	0.187±0.001	0.133±0.00
		2	1		1		1
	30	0.065±0.00	0.308±0.00	0.279±0.002	0.018±0.00	0.189±0.004	0.135±0.00
		2	1		1		0
	60	0.073±0.00	0.317±0.00	0.282±0.002	0.019±0.00	0.193±0.003	0.145±0.00
		1	1		0		0

การปรับสภาพโดยไม่ผ่านความร้อนซึ่งเขย่าด้วยเครื่อง shaker โดยการนำชานอ้อยขนาดต่าง ๆ เดิมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความเข้มข้นที่กำหนด แสดงผลการวิจัยตามตารางที่ 2

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสในขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ที่ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการเขย่าด้วยเครื่อง shaker ความเร็ว 100 rpm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

ขนาด (ไมโครเมตร ร)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)			ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)		
		NaOH	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	HCl	H ₂ SO ₄
500	2	0.234±0.002	0.130±0.00	0.143±0.00	0	0	0
			3	1			
	4	0.241±0.003	0.141±0.00	0.149±0.00	0.018±0.00	0.005±0.00	0.007±0.00
			3	1	1	0	1
	6	0.251±0.002	0.164±0.00	0.225±0.00	0.022±0.00	0.011±0.00	0.011±0.00
			2	1	1	1	1
600	2	0.241±0.002	0.151±0.00	0.167±0.00	0	0	0
			1	2			
	4	0.260±0.001	0.182±0.00	0.183±0.00	0.017±0.00	0.009±0.00	0.008±0.00
			2	1	1	1	3
	6	*0.408±0.00	0.202±0.00	0.206±0.00	0.019±0.00	0.014±0.00	0.016±0.00
		1	1	1	0	1	1
710	2	0.230±0.00	0.156±0.00	0.141±0.00	0	0	0
		1	1	1			
	4	0.267±0.00	0.181±0.00	0.181±0.00	0.017±0.001	0.009±0.00	0.008±0.00
		1	1	1		1	3
	6	0.294±0.00	0.191±0.00	0.188±0.00	0.019±0.000	0.014±0.00	0.016±0.00
		1	1	1		1	1
850	2	0.166±0.00	0.150±0.00	0.141±0.00	0.018±0.001	0	0
		1	1	1			
	4	0.250±0.00	0.173±0.00	0.185±0.00	0.030±0.001	0.006±0.00	0
		1	1	1		1	
	6	0.259±0.00	0.183±0.00	0.183±0.00	*0.034±0.00	0.009±0.00	0.007±0.00
		0	1	1	1	1	1

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

การปรับสภาพด้วยรังสีไมโครเวฟ โดยการนำขนาดตัวอย่างขนาดต่าง ๆ เติมด้วยสารละลายกรด และเบสตามความเข้มข้นที่กำหนด แสดงผลการวิจัยตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสในขนาดตัวอย่างต่าง ๆ ที่ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ (microwave) ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที

ขนาด (ไมโครเมตร)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)			ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)		
		NaOH	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	HCl	H ₂ SO ₄
500	10	0.169±0.001	0.052±0.00	0.045±0.00	0.003±0.001	0.007±0.00	0.011±0.00
			2	3		1	1
	20	0.203±0.001	0.116±0.00	0.092±0.00	0.008±0.002	0.011±0.00	0.009±0.00
			2	2		1	3
	30	*0.267±0.00	0.153±0.00	0.133±0.00	0.021±0.003	0.013±0.00	0.015±0.00
		2	2	2		1	1
600	10	0.166±0.004	0.065±0.00	0.044±0.00	0.015±0.001	0.016±0.00	0.013±0.00
			1	2		2	2
	20	0.195±0.001	0.156±0.00	0.092±0.00	0.026±0.002	0.026±0.00	0.016±0.00
			1	2		3	0
	30	0.225±0.002	0.135±0.00	0.135±0.00	*0.032±0.00	0.022±0.00	0.022±0.00
			2	2	2	0	1
710	10	0.150±0.001	0.070±0.00	0.056±0.00	0.017±0.001	0.011±0.00	0.015±0.00
			2	5		0	1
	20	0.176±0.002	0.110±0.00	0.072±0.00	0.012±0.001	0.019±0.00	0.019±0.00
			4	2		3	4
	30	0.203±0.002	0.157±0.00	0.137±0.00	0.018±0.000	0.024±0.00	0.027±0.00
			1	1		2	1
850	10	0.144±0.001	0.054±0.00	0.068±0.00	0.009±0.003	0.012±0.00	0.013±0.00
			3	1		2	1
	20	0.151±0.005	0.104±0.00	0.090±0.00	0.016±0.002	0.016±0.00	0.012±0.00
			7	2		2	2
	30	0.189±0.003	0.140±0.00	0.129±0.00	0.025±0.004	0.023±0.00	0.023±0.00
			1	4		1	4

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

การปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนีย และสารไอออนิก โดยการนำขาน้อยขนาดต่าง ๆ เดิมด้วยสารละลายความเข้มข้นที่กำหนด แสดงผลการวิจัยตามตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสในขาน้อยขนาดต่าง ๆ ที่ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10%

ขนาด (ไมโครเมตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)
500	*0.904±0.022	*0.050±0.002
600	0.734±0.016	0.032±0.002
710	0.685±0.020	0.018±0.003
850	0.626±0.026	0.016±0.015

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสในขาน้อยขนาดต่าง ๆ ที่ไฮโดรไลซิสด้วยสารไอออนิก (A) 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride 0.25 M, (B) 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride 10% และ (C) 1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate 10%

ขนาด (ไมโครเมตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)			ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)		
	A	B	C	A	B	C
500	0.274±0.005	0.157±0.008	0.052±0.001	*0.157±0.016	0.089±0.026	0.010±0.006
600	0.204±0.017	0.170±0.009	0.049±0.008	0.104±0.076	0.075±0.010	0.006±0.002
710	0.259±0.006	0.144±0.004	0.051±0.005	0.143±0.004	0.101±0.011	0.011±0.001
850	*0.280±0.003	0.134±0.006	0.046±0.001	0.111±0.056	0.072±0.033	0.005±0.004

*ปริมาณน้ำตาลสูงสุด

อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อทำการย่อยขาน้อย 2% (w/v) ขนาด 500 ไมโครเมตร (35 mesh), 600 ไมโครเมตร (30 mesh), 710 ไมโครเมตร (25 mesh) และขนาด 850 ไมโครเมตร (20 mesh) ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1%, กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการปรับสภาพโดยการ autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20, 30 และ 60 นาที พบว่าขาน้อยขนาด 500 ไมโครเมตร (35 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 60 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 0.383 กรัม/ลิตร สำหรับปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่พบมากที่สุด คือ พบในขาน้อยขนาด 500 ไมโครเมตร (35 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นเวลา 60 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุด คือ 0.264 กรัม/ลิตร

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

จากการทดลองนำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1%, กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 M พร้อมเขย่าด้วยเครื่อง shaker ที่ความเร็ว 100 rpm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยด่าง และกรดเจือจางโดยไม่ผ่านความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นทีละน้อย ซึ่งในขานอ้อยขนาด 600 ไมโครเมตร (30 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงที่สุด คือ 0.408 กรัม/ลิตร และปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่พบมากที่สุด คือขานอ้อยขนาด 850 ไมโครเมตร (20 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คือ 0.034 กรัม/ลิตร

เมื่อทำการย่อยขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ไฮโดรไลซิสด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1%, กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M และกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการปรับสภาพด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าขานอ้อยขนาด 500 ไมโครเมตร (25 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 30 นาที จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 0.267 กรัม/ลิตร สำหรับปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่พบมากที่สุด คือ พบในขานอ้อยขนาด 600 ไมโครเมตร (30 mesh) ที่ปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 30 นาที คือ 0.032 กรัม/ลิตร

จากการทดลองนำขานอ้อยขนาดต่าง ๆ ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10% พบว่าขานอ้อยขนาด 500 ไมโครเมตร (35 mesh) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสมากที่สุด คือ 0.904 กรัม/ลิตร และ 0.050 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนการไฮโดรไลซิสด้วยสารไอออนิก 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 0.25 M, 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 10% และ 1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ความเข้มข้น 10% พบว่าขานอ้อยขนาด 850 ไมโครเมตร (20 mesh) ที่ปรับสภาพด้วย 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 0.25 M จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 0.280 กรัม/ลิตร สำหรับปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่พบมากที่สุด คือ พบในขานอ้อยขนาด 500 ไมโครเมตร (35 mesh) ที่ปรับสภาพด้วย 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 0.25 M ด้วยเช่นกัน และได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุด คือ 0.157 กรัม/ลิตร

ผลการทดลองเป็นไปตาม Sun และ Cheng (2002) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า การไฮโดรไลซิสด้วยกรด และเบสเจือจางจะสามารถย่อยเซลลูโลสได้ดี และถ้าหากใช้สภาวะที่อุณหภูมิสูง และความเข้มข้นของกรดต่ำ จะให้ปริมาณน้ำตาลสูง นอกจากนี้วิธีที่เป็น physico-chemical pretreatment เช่น การใช้ความร้อน และความดันไอสุง ถูกจัดว่าเป็น auto hydrolysis โดยอาจมีการเพิ่มกรดเข้าไป นอกจากนี้ยังช่วยให้ by-product ที่เกิดขึ้นลดลง ดังนั้นการใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% กรดไฮโดรคลอริก 0.1 M และ กรดซัลฟูริก 0.1 M ร่วมกับการปรับสภาพโดยวิธีดังกล่าวจัดเป็น physico-chemical pretreatment

ทั้งนี้ Sun และ Cheng (2002) ได้กล่าวไว้ว่า การไฮโดรไลซิส (alkaline hydrolysis) เป็นการ saponification ระหว่างโมเลกุลของพันธะเอสเทอร์ กับ crosslinking xylan hemicellulose และองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งการที่ crosslinking ลดลง จะทำให้ร่างกายในของลิกเซลลูโลสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ alkaline hydrolysis อาจถือว่าเป็นการปรับสภาพวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญในการปรับสภาพวัสดุที่เป็นลิกโนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไป

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4 The 4th STOU Graduate Research Conference

จากผลการวิจัย สามารถสรุปได้ว่าการปรับสภาพขานอ้อยด้วยสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10% ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 300 วัตต์ ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด และการปรับสภาพขานอ้อยด้วยกรด ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M ร่วมกับการใช้ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำตาล กลูโคสสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยการพัฒนาการปรับสภาพที่เหมาะสมสำหรับขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร และวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคส เพื่อพัฒนาเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลนั้น จำเป็นจะเลือกวิธีปรับสภาพที่เหมาะสมในแต่ละวิธี เนื่องจากการปรับสภาพดังกล่าวข้างต้น เป็นวิธีพื้นฐานซึ่งสามารถประยุกต์ได้ตามความเหมาะสม ดังจะเห็นได้ว่าการทดลองได้ใช้ตัวแปรในด้านของขนาด เวลา และอุณหภูมิที่หลากหลาย จนกว่าจะได้ปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไปได้

ขนาดของขานอ้อยก็มีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ เนื่องจากการปรับสภาพจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ขนาดของขานอ้อยที่เล็กย่อมมีขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มสูงมากยิ่งขึ้นไปด้วย ซึ่งเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่าขนาดขานอ้อยที่เล็กเมื่อทำการไฮโดรไลซิสแล้ว ไม่ได้ทำให้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเสมอไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองกับขานอ้อยที่มีขนาดเล็ก เมื่อผสมกับสารละลายแล้ว ขานอ้อยขนาดเล็กจะลอยตัวบนผิวของสารละลาย ไม่ค่อยผสมกับสารละลาย อาจทำให้การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไม่ทั่วถึง และทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคสลดน้อยลงได้

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา อยู่นาน, (2546), การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิต fermentable sugar จากเปลือก และมันสำปะหลัง, (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- ชุดิมา ศรีจิว, (2548), การผลิตเอทานอลเชื้อเพลิงจากน้ำอ้อย โดยยีสต์ที่ทนอุณหภูมิสูง, (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- นันทนัช คุณสุวรรณ, (2554), การผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยกระบวนการทำเป็นน้ำตาลพร้อมการหมัก โดยเชื้อจุลินทรีย์ผสม, (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- พุทธิพร ศรเวทย์, (2552), การพัฒนาการผลิตไบโอเอทานอลจากพืชพลังงาน โดยทำให้เป็นน้ำตาลควบคู่กับการหมัก, (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- Badal, C. S. (2005). Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol. *Process Biochemistry*, 40, 3693-3700.

การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4
The 4th STOU Graduate Research Conference

- Keshwani, D.R., & Cheng J.J. (2010). Microwave-based Alkali Pretreatment of Switchgrass and Coastal Bermudagrass for Bioethanol Production, *Biotechnology Progress*, 26(3), 644-652.
- Liu, C.-Z., Wang, F., Stiles, A.R., & Guo, C. (2012). Ionic liquids for biofuel production: opportunities and challenges. *Applied Energy*, 92, 406-414.
- Nguyen, T.A., Kim, K.R., Han, S.J., Cho, H.Y., Kim, J.W., Park, S.M., Park, J.C., & Sim, S.J. (2010). Pretreatment of rice straw with ammonia and ionic liquid for lignocellulose conversion to fermentable sugars, *Bioresource technology*, 101, 7432-7438.
- Ye Sun and Jiayang Cheng. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production, *Bioresource Technology*, 34, 831-841.

