

การลดตัวยับยั้งที่เกิดจากการปรับสภาพยอดและใบอ้อยด้วยกรดโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

Reduction of Sugarcane Hydrolysate Residue Produced by Acid Pretreatment Using Activated Charcoal

ดวงกมล สังข์บุญเหลือ^{1*} ชีรภัทร ศรีนรคุตร² และ กำไล เลหาพัฒนาเลิศ¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

²ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ถนนเลียบคลองห้า ตำบลคลองห้า

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 E-mail: monbookjang_mon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำยอดและใบอ้อยมาผลิตเอทานอลเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีของยอดและใบอ้อยดังนี้ เซลลูโลส ร้อยละ 35.2 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 23.43 และลิกนิน ร้อยละ 12.6 ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลสต้องมีการปรับสภาพ โดยการใช้กรดปรับสภาพเพื่อทำลายพันธะของสารประกอบลิกโนเซลลูโลส เมื่อปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% w/v และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าที่ความเข้มข้น 2% w/v ของกรดซัลฟูริก ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลส เท่ากับ 30.9 และ 27.4 g/L ตามลำดับ จากกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิด ฟอร์ฟูรัล (Furfural) และไฮดรอกซีเมทิลฟอร์ฟูรัล (5-Hydroxymethylfurfural) เท่ากับ 108.7 และ 38.13 mg/L ตามลำดับ เป็นตัวยับยั้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก และผลได้เอทานอลที่น้อยลง ทำการศึกษาต่อโดยใช้ผงถ่านความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20% ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 45 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ไม่เกิดฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลฟอร์ฟูรัลที่สภาวะนี้ยังส่งผลต่อกระบวนการย่อยที่ดี จึงเหมาะต่อการใช้สภาวะดังกล่าวมารวมการย่อย การลดตัวยับยั้ง และการหมักในขั้นตอนเดียวกัน

คำสำคัญ: ยอดและใบอ้อย การลดตัวยับยั้ง ผงถ่านกัมมันต์

Abstract

The purpose of this study aimed to produce ethanol from sugarcane shoots and leaves as an alternative form of energy. It's composed of 35.2% cellulose, 23.43% hemicelluloses and 12.6% lignin. The ethanol production from linocellulose with acid pretreatment destroy lignocelluloses component. Sugarcane was pretreated with sulfuric acid at 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% w/v concentrations and hydrolyzed with cellulase enzyme, Cellic CTec™. The result showed that at 2% w/v sulfuric acid, the glucose and xylose concentrations were at 30.9 and 27.4 g/L, respectively, furfural and 5-Hydroxymethylfurfural concentrations were 108.7 and 38.13 mg/L, respectively,

furfural and 5-Hydroxymethyl furfural are inhibitors that reduced the ethanol production. Addition of activated charcoal at concentrations 5, 10, 15 and 20% at temperatures 30, 35, 40, 45 and 50 °c at 45 min, 1 hr. and 2 hr. reaction times–had suppressed the production of furfural and 5-Hydroxymethylfurfural. In conclusion, such conditions gave effective results through implications of enzymatic hydrolysis with cellulase, in combination with reduction of inhibitors and ethanol fermentation in one single step.

Keywords: sugarcane shoots and leaves, detoxification activated charcoal

1. บทนำ

จากปัญหาวิกฤติด้านพลังงานซึ่งปัจจุบันพบว่าความต้องการบริโภคเชื้อเพลิงและพลังงานที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้น และราคาของน้ำมันในตลาดโลกมีความผันผวน ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัด ไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรในประเทศ ดังนั้นการหาพลังงานทางเลือกอื่นมาทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นการช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานในประเทศได้ (ยุทธศักดิ์ สุภารี, 2551) พลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้แก่พลังงานชีวภาพ เช่น เอทานอล ซึ่งมีการนำมาผสมกับน้ำมันเบนซิน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับรถยนต์ ทำให้มีการลดปริมาณการใช้ น้ำมันปิโตรเลียม และการปล่อยไอเสียที่จะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก และยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ปัจจุบันมีแนวคิดที่จะนำผลพลอยได้จากการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตเอทานอลมากขึ้น (ธีรภัทร ศรีนรคุตร, 2552)

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย จึงทำให้อ้อยเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการเก็บเกี่ยวจะมีการตัดใบและปลายยอดอ้อย เพื่อคัดเอาเฉพาะลำต้น ส่วนที่ตัดทิ้งหากไม่เผาก็มักใช้วิธีฝังกลบเพื่อทำเป็นปุ๋ย แต่จะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ช่วยเพิ่มรายได้

ให้กับเกษตรกร มีแนวคิดที่จะนำใบอ้อยมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เนื่องจากในยอดและใบอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ร้อยละ 68.6 ซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 38.0 และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 30.6 องค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมาก เพราะประกอบขึ้นด้วยน้ำตาลรีดิซ คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และไซโลส (xylose) เป็นหลัก ตามลำดับ และข้อดีอีกประการหนึ่งของใบอ้อยคือมีปริมาณลิกนิน (lignin) ต่ำ คือประมาณร้อยละ 12.8 ดังนั้นใบอ้อยจึงเป็นวัตถุดิบมีศักยภาพที่จะนำมาเป็นเอทานอลต่อไป (ธีรภัทร ศรีนรคุตร, 2552) ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากใบอ้อยจำเป็นต้องมีการปรับสภาพก่อน โดยจะใช้กรดหรือเบสในการปรับสภาพเพื่อคลายพันธะของสารประกอบลิกโนเซลลูโลส ซึ่งมีความแข็งแรงและยากต่อการย่อยสลาย จากกระบวนการดังกล่าวจึงเป็นผลทำให้เกิดตัวขัดขวางการหมัก เช่น ฟูเฟอรอล กรดอะซิติก และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น (Ranjan et al., 2009) ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก และผลได้เอทานอลที่น้อยลง

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการลดตัวขัดขวางที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพวัตถุดิบโดยวิธีทางเคมี (โชคชัย หลาบหนองแสง, 2554) อย่างไรก็ตามยังไม่มี

การศึกษาการลดตัวยับยั้งที่เกิดจากการปรับสภาพด้วยกรด / เบส ในยอดและใบอ้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการลดปริมาณตัวยับยั้งสำหรับการผลิตเอทานอลจากยอดและใบอ้อยเพื่อเพิ่มผลได้ของปริมาณเอทานอล ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับยอดและใบอ้อย โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเอทานอล สามารถลดต้นทุนการผลิต และยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกด้วย (ปรียารัตน์ ไชยะสุข, 2550)

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เจือจางในการปรับสภาพยอดและใบอ้อยต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลส

2. ศึกษาความเข้มข้น เวลา และอุณหภูมิของผงถ่านเมื่อผ่านขั้นตอนการลดปริมาณตัวยับยั้งเพื่อผลได้ของกระบวนการหมักเอทานอลที่เหมาะสม

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของยอดและใบอ้อย ดังนี้คือ ไฮโดรเซลลูโลส เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และความชื้น โดยส่งวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ (ธีรภัทร ศรีนรคุตร, 2552)

3.2 การปรับสภาพยอดและใบอ้อยด้วยวิธีทางกายภาพ โดยการลดขนาดด้วยการบดด้วยเครื่องสับผักตบชวา โดยใช้ยอดและใบอ้อย 15% (w/v)

3.3 การปรับสภาพยอดและใบอ้อยด้วยวิธีทางเคมี ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพยอดใบอ้อย โดยการเติมกรดซัลฟูริก กำหนดให้ความเข้มข้นอยู่ที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (w/v) ปริมาณ 100 ml หลังจากนั้นนำเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ทำ

การปรับ pH 5 ด้วย NaOH ความเข้มข้น 80% (w/v) (โชคชัย หลาบหนองแสง, 2554)

3.4 การย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส Cellic CTEC™ ปริมาณ 45 FPU/g substrate โดยบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (โชคชัย หลาบหนองแสง, 2554)

3.5 วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี HPLC เพื่อหาปริมาณของน้ำตาลกลูโคสและไซโลส (Mohagheghi et al., 2006)

3.6 วิเคราะห์ตัวยับยั้ง ก่อนเข้าสู่กระบวนการลดตัวยับยั้ง คือ เฟอร์ฟูรัล (Furfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (5-Hydroxymethylfurfural) โดยวิธี HPLC (Ikegama et al., 2000)

3.7 การลดตัวยับยั้งด้วยผงถ่าน โดยใช้ผงถ่านความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20% บ่มที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 °C ที่เวลา 45 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราเขย่า 160 รอบต่อนาที (โชคชัย หลาบหนองแสง, 2554)

3.8 วิเคราะห์ตัวยับยั้ง หลังการลดตัวยับยั้ง คือ เฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล โดยวิธี HPLC (Ikegama et al., 2000)

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

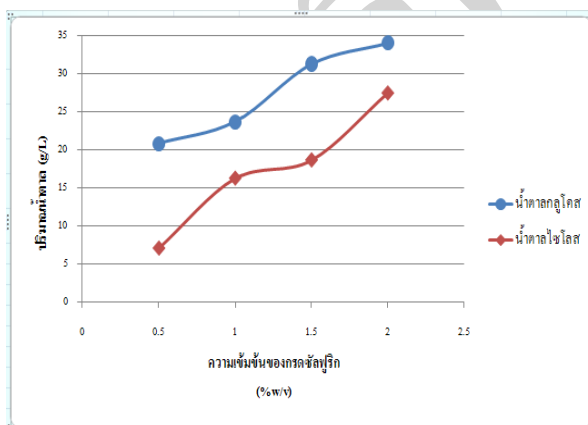
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของยอดและใบอ้อย ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของยอดและใบอ้อย

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างยอดและใบอ้อย	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
ไฮโดรเซลลูโลส (Hemicellulose)	58.6
เซลลูโลส (Cellulose)	35.2
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	23.43
ลิกนิน (Lignin)	12.6
ความชื้น (Moisture)	9.18

หมายเหตุ วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของยอดและใบอ้อย พบว่ามีปริมาณไฮโดรคาร์บอน ร้อยละ 58.6 โดยแบ่งเป็นไฮโดรคาร์บอน ร้อยละ 35.2 และไฮโดรคาร์บอน ร้อยละ 23.43 ซึ่งถือว่าปริมาณสูง โดยองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมาก เพราะประกอบขึ้นด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ คือ น้ำตาลกลูโคส และไซโลสเป็นหลัก ตามลำดับ โดยเฉพาะในส่วนของไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสนั้นมีประสิทธิภาพในการหมักเอทานอลสูง และข้อดีอีกอย่างหนึ่งของยอดและใบอ้อยคือมีปริมาณลิกนินต่ำ คือประมาณร้อยละ 12.6 ดังนั้นยอดและใบอ้อยจึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาศึกษาทดลองย่อยให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อการผลิตเอทานอลต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี HPLC ที่ผ่านขั้นตอนการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 % w/v และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส



รูปที่ 1 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลสที่ได้หลังการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 45 FPU/g substrate เวลา 72 ชั่วโมง จากยอดและใบอ้อย ปริมาณ 15% w/v

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลสที่ได้หลังการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 45 FPU/g substrate

เวลา 72 ชั่วโมง จากยอดและใบอ้อย ปริมาณ 15% w/v ที่ปรับสภาพด้วยการใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้นต่างๆ ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการเตรียม (% w/v)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลไซโลส (กรัม/ลิตร)
0.5	20.79	7.00
1.0	23.65	16.20
1.5	31.24	18.60
2.0	33.99	27.40

จากข้อมูลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 20.79, 23.65, 31.24 และ 33.99 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และจะได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.00, 16.20, 18.60 และ 27.40 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0% w/v จะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลสสูงที่สุด

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวยับยั้ง ก่อนเข้าสู่กระบวนการลดตัวยับยั้ง พบว่าเกิดเฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล เท่ากับ 108.7 และ 38.13 mg/L ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวยับยั้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก และผลได้เอทานอลที่น้อยลง

4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวยับยั้ง หลังเข้าสู่กระบวนการลดตัวยับยั้ง โดยใช้ผงถ่านความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20% บ่มที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 °C ที่เวลา 45 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราเข้า 160 รอบต่อนาที พบว่าไม่เกิดเฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่สภาวะนี้ยังส่งผลต่อกระบวนการย่อยที่ดี จึงเหมาะต่อการใช้สภาวะดังกล่าวมารวมการย่อยการลดตัวยับยั้ง และการหมักในขั้นตอนเดียวกัน

5. การอภิปรายผล

จากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้อีกทางเลือกหนึ่งซึ่งไม่ต้องพึ่งพาพืชอาหารที่มีต้นทุนการผลิตสูงกว่า

6. บทสรุป

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบพบว่าขอดและใบอ้อยเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพื่อผลิตเอทานอลได้ เพราะนอกจากจะมีองค์ประกอบหลักที่มี ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส ที่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ค่อนข้างสูงคือร้อยละ 58.6 แล้ว ยังมีปริมาณลิกนินต่ำ จึงทำให้ขั้นตอนการลดขนาดทำได้โดยง่าย ซึ่งจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของขอดและใบอ้อยพบว่าส่วนของใบจะมีความแข็งกว่าส่วนของขอดแต่มีความแข็งที่ไม่มากนัก นอกจากนี้ขอดและใบอ้อยที่ใช้ในงานวิจัยมีปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำ คือร้อยละ 9.18 แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบที่ใช้มีปริมาณเนื้อวัตถุดิบค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นผลดีต่อการใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลเพื่อผลิตเอทานอล เนื่องจากเป็นปริมาณขอดและใบอ้อยที่แท้จริง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลสในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0% w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในปรับสภาพขอดและใบอ้อยปริมาณ 2.0% w/v โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งหลังการไฮโดรไลซิสด้วย Cellic CTECTM ปริมาณ 45 FPU/g substrate บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 อัตราเขย่า 160 รอบต่อนาที จะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไซโลสอยู่ในช่วง 33.99 และ 27.40 กรัมต่อลิตร

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวยับยั้ง ก่อนเข้าสู่กระบวนการลดตัวยับยั้ง พบว่าเกิดเฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล เท่ากับ 108.7 และ 38.13 mg/L ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวยับยั้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก และผลได้เอทานอลที่น้อยลง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวยับยั้ง หลังเข้าสู่กระบวนการลดตัวยับยั้ง โดยใช้ผงถ่านความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20% บ่มที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 °C ที่เวลา 45 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราเขย่า 160 รอบต่อนาที พบว่าไม่เกิดเฟอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่สภาวะนี้ยังส่งผลต่อกระบวนการย่อยที่ดี จึงเหมาะต่อการใช้สภาวะดังกล่าวมารวมการย่อย การลดตัวยับยั้ง และการหมักในขั้นตอนเดียวกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยภายใต้โครงการสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ปีงบประมาณ 2555 และคณาจารย์คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิตที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในงานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

โชคชัย หลาบหนองแสง. (2554). การหมักเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เตรียมด้วยกรดเจือจางและเบสและผ่านกรรมวิธีการลดตัวยับยั้งการหมัก. ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ธีรภัทร ศรีนรคุตร. (2552). การผลิตน้ำตาลจากขอด

และใบอ้อย. ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน,
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
ประเทศไทย.

losic biomass hydrolyzates for improved
ethanol yield and value-added product
recovery. , Microporous and Mesoporous
Materials, Vol. 122, pp. 143- 148.

ปริญรัตน์ โยวะพุษ. (2550). การศึกษาการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการทำให้น้ำตาลควบคู่กับการหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ยุทธศักดิ์ สุกกรวี. (2551). สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากเส้นใยปาล์มโดยใช้วิธี Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Optimal Conditions for Ethanol Production from Palm Pressed Fiber using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF), วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Ikegamai, Yanagishita, Kitamoto and Haraya. (2000). Accelerated ethanol fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* with addition of activated carbon. *Biotechnology Letters* 22: 1661–1665

Mohagheghi, Ruth and J. Schell. (2006). Conditioning hemicellulose hydrolysates for fermentation: Effects of overliming pH on sugar and ethanol yields. *Process Biochemistry* 41: 1806–1811.

Ranjan, R., Thust, S., Gounaris, C.E., Woo, M., Floudas, C.A., Keitz, M.V., Valentas, K.J., Wei, J. and Tsapatsis, M. (2009). Adsorption of fermentation inhibitors from lignocellu