

การเตรียมกิ่งสับดำโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อการผลิตเอทานอล
Preparation of Physic Nut's Branch Using Steam Explosion Pretreatment for
Bio-Ethanol Production

เคียวเพชร ลบแยม¹ สาวิตรี จันทรานุรักษ์¹ พิลานี ไถนอมสตัย² และวิทยา ปันสุวรรณ³
Keowpech Lobyam¹, Sawitri Chuntranuluck¹, Pilanee Vaithanomsat² and Vittaya Punsuvon³

บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกิ่งสับดำที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่งพบว่า มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 42.99, เพนโตแซนร้อยละ 19.61 และ ลิกนินร้อยละ 24.11 เมื่อนำวัสดุนี้ผ่านการเตรียม 3 ขั้นตอนก่อนการหมักเป็นเอทานอล คือ การระเบิดด้วยไอน้ำ (ที่ความดัน 17, 19, 21, 23 และ 25 kg_f/cm² เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที) การสกัดด้วยน้ำร้อนและการสกัดด้วยสารละลายเบสพบว่า การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 21 kg_f/cm² อุณหภูมิ 213 °C ระยะเวลา 1 นาที ให้วัสดุที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงสุกร้อยละ 34.46 ในขณะที่ปริมาณเพนโตแซน และปริมาณลิกนินร้อยละ 7.64 และ 20.40 ตามลำดับ หลังจากผ่านกระบวนการสกัดด้วยน้ำร้อนพบว่าปริมาณแอลฟาเซลลูโลส, เพนโตแซน และลิกนินในวัสดุลดลงเหลือร้อยละ 33.99, 5.83 และ 19.87 ตามลำดับ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการสกัดด้วยสารละลายเบสจะได้วัสดุที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส, เพนโตแซน และ ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 33.11, 3.36 และ 15.32 ตามลำดับ

คำสำคัญ : เอทานอล กิ่งสับดำ การระเบิดด้วยไอน้ำ

ABSTRACT

From the analysis of *Jatropha curcas Linnaeus*'s branch from pruning, the chemical composition of the materials was 42.99% alpha-cellulose, 19.61% pentosan and 24.11% lignin. A consequent preparation of 3 steps was conducted before alcoholic fermentation namely steam explosion (pressure: 17, 19, 21, 23 and 25 kg_f/cm²; time: 1, 2, 3, 4 and 5 min), hot water extraction, and alkali extraction. It was found that the best condition was 21 kg_f/cm², 213 °C, and 1 minute with the highest amount of alpha-cellulose at 34.46%, while pentosan and lignin at 7.64% and 20.40%, respectively. After the extraction process with hot water, the amount of alpha-cellulose, pentosan and lignin were reduced to 33.99%, 5.83% and 19.87%, respectively. After the extraction process with alkali, the final amount of alpha-cellulose, pentosan and lignin were 33.11%, 3.36% and 15.32% respectively.

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900

² สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, Bangkok 10900

³ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900

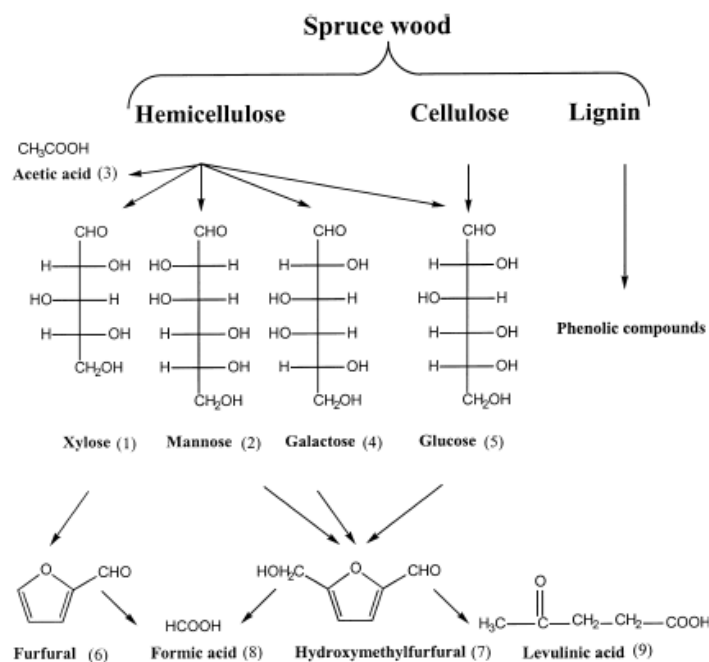
Keywords : bio-ethanol, physic nut's branch, steam explosion

E-mail : Keopech_l@hotmail.com

คำนำ

สับดูดาเป็นพืชที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการเพาะปลูกเพื่อศึกษา เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันประเภทที่ไม่ใช่อาหาร (non edible oil) เป็นไม้ยืนต้น (อายุประมาณ 20 ปี) ที่สามารถเพาะปลูกได้ง่ายในทุกภูมิภาค และเป็นลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (วรรณและวิชัย, 2546) อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีจึงต้องทำการตัดแต่งกิ่งทิ้งบ่อยครั้ง (ปรัชญา, 2549) ดังนั้นจึงมีการนำกิ่งที่ถูกตัดทิ้งเหล่านี้มาสร้างมูลค่าเพิ่มในรูปการหมักให้เป็นเอทานอล โดยการย่อยสลายด้วยไอน้ำก่อนการหมัก ปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสต่างๆ เช่น ฟางข้าวบาร์เลย์ (Gaspar *et al.*, 2007) ชังข้าวโพด (Ohgren *et al.*, 2007) และชานอ้อย (Carlos *et al.*, 2002) เป็นต้น โดยปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือการแยกเซลลูโลสออกจากองค์ประกอบหลักอื่นๆ เพื่อให้มีความบริสุทธิ์มากเพียงพอก่อนหมักเป็นเอทานอล โดยต้นทุนในขั้นตอนนี้ขึ้นกับกระบวนการเตรียมวัตถุดิบเช่น การต้มวัตถุดิบด้วยสารละลายเบส (Linde *et al.*, 2007) การต้มวัตถุดิบด้วยสารละลายกรด (Bower *et al.*, 2008) การต้มวัตถุดิบด้วยสารละลายอินทรีย์ (Araque *et al.*, 2008) และกระบวนการย่อยวัตถุดิบด้วยไอน้ำ (Ohgren *et al.*, 2007)

กระบวนการย่อยวัตถุดิบด้วยไอน้ำเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี เนื่องจากในระหว่างกระบวนการภายใต้สภาวะของไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและความดันสูง ในถังปฏิริยาจะเกิดปฏิริยา autohydrolysis (ภาพที่ 1) โดยหมู่ อัลดีไฮด์ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะเกิดปฏิริยาออกซิเดชันเป็นกรด ยูโรนิกทำให้เกิดปฏิริยาไฮโดรไลซิสต่อไปเป็นเฟอร์ฟูรอลและไฮดรอกซีเมทอกซีเฟอฟูรอล การไฮโดรไลซิสนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนท้ายที่สุดได้เป็น กรดเลเวอูริก กรดแอกซิดิก ซึ่งจะกลายเป็นตัวเร่งปฏิริยาในระบบต่อไป (Palmqvist and Hahn-Hagerdal, 2000)



ภาพที่ 1 ปฏิริยา ออกไซด์ไฮโดรไลซิส ของไม้สน
ที่มา : (Palmqvist and Hahn-Hagerdal, 2000)

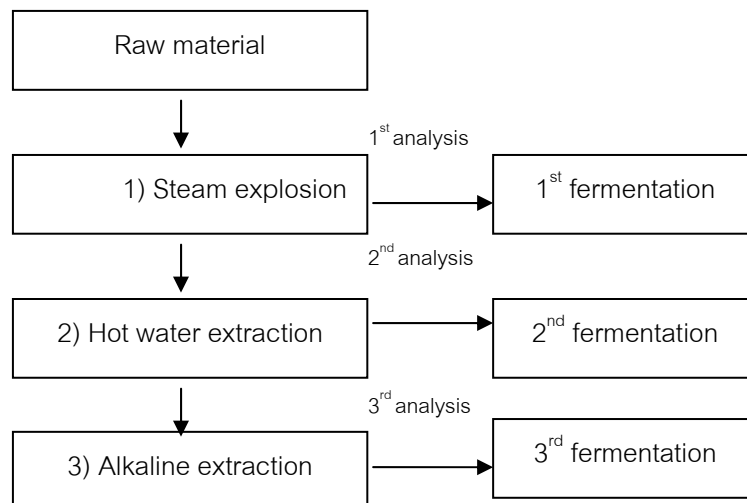
ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการเตรียมกิ่งสบูดำที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่ง ก่อนการหมักเป็นเอทานอล อันได้แก่ขั้นตอนการระเบิดด้วยไอน้ำ ขั้นตอนการสกัดด้วยน้ำร้อน และขั้นตอนการสกัดด้วยสารละลายเบส และทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกิ่งสบูดำหลังจากผ่านแต่ละขั้นตอน

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการสับกิ่งสบูดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ด้วยเครื่องสับไม้ นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปตากให้แห้งจนได้ความชื้นร้อยละ 10 เก็บใส่ถุงพลาสติกถุงละ 200 กรัม (น้ำหนักแห้ง) มัดปากถุงให้สนิทเพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

ทำการย่อยสลายกิ่งสบูดำ 200 กรัม ด้วยไอน้ำในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำของบริษัท Kitto Koatsu ประเทศญี่ปุ่น ชนิดทำงานเป็นครั้ง (batch) ที่ความดัน 17, 19, 21, 23 และ 25 kg/cm² เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที จากนั้นนำวัตถุดิบที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ลิกนิน, แอลฟาเซลลูโลส และ เพนโตแซน นำวัตถุดิบจากการระเบิดด้วยไอน้ำภายใต้ความดันด้วยความดันและเวลาที่เหมาะสม มาทำการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ในอัตราส่วน วัตถุดิบต่อน้ำ 1:10 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ลิกนิน, แอลฟาเซลลูโลส และ เพนโตแซน ทำการสกัดวัตถุดิบต่อด้วยสารละลาย NaOH 10% (น้ำหนักโดยปริมาตร)(0.1กรัมของ NaOH ต่อ 1 กรัมของวัตถุดิบ) ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:5 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ลิกนิน, แอลฟาเซลลูโลส และ เพนโตแซน

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีดำเนินการภายใต้มาตรฐาน TAPPI ดังนี้ การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสตามมาตรฐาน T203 om-88 การวิเคราะห์ปริมาณเพนโตแซนตามมาตรฐาน T223 cm-84 และการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินตามมาตรฐาน T222 om-98 (วิทยา, 2541)



ภาพที่ 2 การเตรียมวัสดุก่อนการหมัก 3 ขั้นตอน

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาสภาวะในการระเบิดด้วยไอน้ำที่เหมาะสม

ความดันในการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของกิ่งสบู่มาก่อนและภายหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ก่อนการย่อยสลาย วัสดุดิบมีแอลฟาเซลลูโลส 42.99% เพนโตแซน 19.61% และ ลิกนิน 24.11% หลังการย่อยสลาย ปริมาณลิกนินในวัสดุดิบมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความดัน เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ปริมาณเซลลูโลสและเพนโตแซนมีค่าลดลงตามลำดับ โดยความดันที่ให้วัสดุที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงคือที่ความดัน 17 kg/cm² และ 21 kg/cm²

จากลักษณะทางกายภาพที่พบว่า ที่ความดัน 17 และ 19 kg/cm² มีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย มีเพนโตแซนหลงเหลืออยู่ในวัสดุดิบเป็นปริมาณสูง โดยเส้นใยของวัสดุดิบยังมีการจับตัวคงรูปเป็นลักษณะของชิ้นไม้ ที่ความดัน 21 kg/cm² เส้นใยของวัสดุดิบมีการกระจายตัวอย่างชัดเจน ที่ความดัน 23 และ 25 kg/cm² เส้นใยของวัสดุดิบมีลักษณะสั้นละเอียด ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะเลือกดำเนินการที่ความดัน 21 kg/cm² เนื่องจากนอกจากที่สภาวะดังกล่าวจะให้วัสดุที่มีให้ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงที่ 34.07% แล้วยังให้เส้นใยของวัสดุที่มีการกระจายตัวอย่างชัดเจนซึ่งเป็นลักษณะที่ส่งผลดีต่อการย่อยต่อไปด้วยเอนไซม์

ระยะเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของวัสดุที่ได้จากการย่อยสลายกิ่งสบู่มาก่อน 200 กรัม ด้วยไอน้ำที่ความดัน 21 kg/cm² เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่าระยะเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของวัสดุดิบ ดังนั้นเพื่อประหยัดพลังงานจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำที่ 1 นาที ที่ความดัน 21 kg/cm² ซึ่งเป็นเวลาที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดและปริมาณลิกนินต่ำสุดคือ 34.46% และ 20.40% ตามลำดับ (ปริมาณเซลลูโลสและลิกนินลดลงจากเดิมก่อนการระเบิด 8.53% และ 3.71% ตามลำดับ) หลังจากนั้นนำวัสดุที่ได้มาผ่านการสกัดด้วยน้ำร้อนและสารละลายเบสต่อไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุก่อนและหลังผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 นาทีที่ความดัน 17, 19, 21, 23 และ 25 Kg/cm²

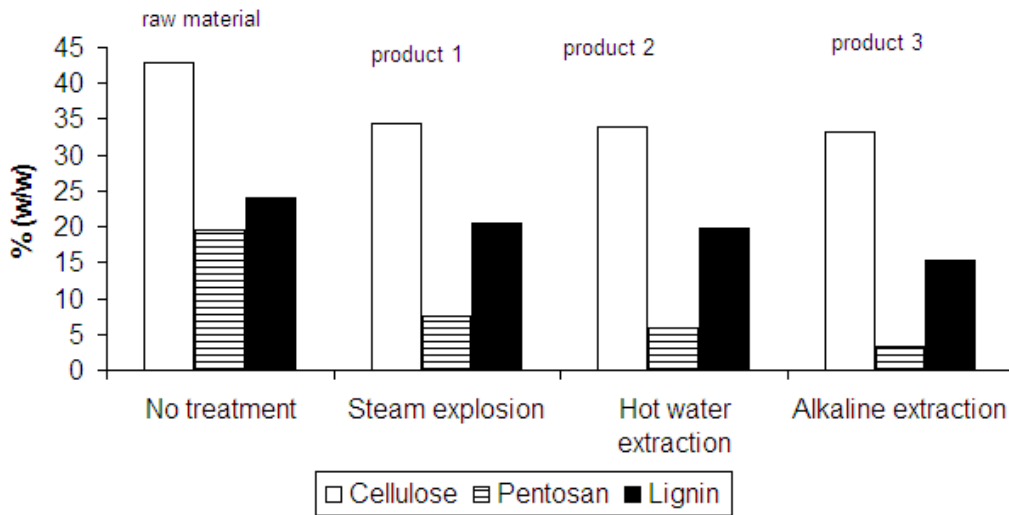
Before steam explosion			
Raw material	Percentage* (w/w _{dry})		
	Cellulose	Pentosan	Lignin
	42.99	19.61	24.11
After steam explosion			
Condition	Percentage* (w/w _{dry})		
Pressure(Kg/cm ²)	Cellulose	Pentosan	Lignin
17	34.63	10.58	22.49
19	33.46	7.04	21.87
21	34.07	5.83	22.51
23	31.08	4.25	21.03
25	28.87	2.75	20.49

* % weight based on the dry weight of the raw material.

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหลังผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 21 Kg/cm² ที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที

Condition	Percentage (w/w _{dry})		
Time (min)	Cellulose	Pentosan	Lignin
1	34.46	7.64	20.40
2	34.07	5.83	22.51
3	30.67	5.92	21.89
4	29.88	4.37	21.95
5	29.65	3.02	22.06

จาก ภาพที่ 3 พบว่าหลังจากผ่านขั้นตอนการระเบิดด้วยไอน้ำ ขั้นตอนการล้างด้วยน้ำร้อนและขั้นตอนการล้างด้วยสารละลายเบสแล้วปริมาณเซลลูโลสมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำร้อยละ 8.53, 9.00 และ 9.88 ตามลำดับ ในขณะที่ลิกนินมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมร้อยละ 3.71, 4.24 และ 8.79 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุก่อนกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำ (raw material) และหลังผ่านการเตรียมวัสดุ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการระเบิดด้วยไอน้ำ (product 1) ขั้นตอนการล้างด้วยน้ำร้อน (product 2) และ ขั้นตอนการล้างด้วยสารละลายเบส (product 3)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนะ

เนื่องจากขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมักเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการลดต้นทุนการผลิตเอทานอล ดังนั้นเพื่อหาวิธีลดต้นทุนในการผลิตเอทานอล งานวิจัยครั้งนี้จึงทำการเปรียบเทียบ ปริมาณเซลลูโลสและลิกนินที่เปลี่ยนไปในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมการก่อนการหมัก จากการทดลองพบว่ากระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำที่มีความดัน 21 kgf/cm² เป็นเวลา 1 นาทีให้วัสดุที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุดและปริมาณลิกนินต่ำสุด แต่เมื่อผ่านกระบวนการสกัดด้วยน้ำร้อนและสกัดด้วยสารละลายเบส ปริมาณเซลลูโลสมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณลิกนินจะลดลงเล็กน้อยในสองขั้นตอนแรกแต่จะลดลงอย่างมากในขั้นตอนการสกัดด้วยสารละลายเบส โดยในงานวิจัยขั้นต่อไปจะนำเซลลูโลสที่ได้ในแต่ละขั้นตอนไปทำการหมักเพื่อหาอิทธิพลของลิกนินต่อการหมักและ ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจเลือกขั้นตอนการผลิตเอทานอลที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนอุดหนุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ปรัชญา รัตมีธรรมวงศ์. 2549. การเพาะปลูกและการดูแลรักษาสับุด้า: พลังงานทางเลือกใหม่ แห่งอนาคต.

สำนักพิมพ์เพชรกระวีต, กรุงเทพฯ.

วรณี แผงจันทิก และวิชัย เพ็ชรดี. 2546. การศึกษาการสกัดเอทานอลจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิทยา ปั่นสุวรรณ. 2541. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 36 บทคัดย่อ 3 – 5 กุมภาพันธ์. กรุงเทพฯ. น. 271.

Araque E., C. Parra and J. Freer. 2008. Evaluation of organosolv pretreatment for the conversion of *Pinus radiata* to ethanol. *Enzyme Microb. Technol.* 43: 214–219.

Bower S., R. Wickramasinghe and J. Nicholas. 2008. Modeling sucrose hydrolysis in dilute sulfuric acid solutions at pretreatment conditions for lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 99: 7354–7362.

Carlos M., M. Galbe and C.F. Wahlbom. 2002. Ethanol production from enzymatic hydrolysates of sugarcane bagasse using recombinant xylose-utilising *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme Microb. Technol.* 31: 274-282.

Gaspar M., G. Kalman and K. Reczey. 2007. Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Process Biochem.* 42: 1135–1139.

Linde M., M. Galbe and G. Zacchi. 2007. Simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated barley straw at low enzyme loading and low yeast concentration. *Enzyme Microb. Technol.* 40: 1100-1107.

Ohgren K., J. Vehmaanpera and M. Siika-Aho. 2007. High temperature enzymatic prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation of steam pretreated corn stover for ethanol production. *Enzyme Microb. Technol.* 40: 607-613.

Palmqvist E. and B.Hahn-Hagerdal. 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresour. Technol.* 74: 25-33.