การศึกษาการสกัดน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้ง

The Study of Xylose Extraction from Corn Cob and Corn Husk Waste

เยาวเรศ ชูศิริ [1]
ฤทัยรัตน์ ใจมูล [2]
วชิราภรณ์ กองมี [3]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตน้ำตาลจากแหล่งวัสดุราคาถูก เช่น เฮมิเซลลูโลส โดยอาศัยปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำ ด้วยเอนไซม์ กรดเข้มข้น หรือกรดเจือจาง มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้กรดซัลฟิวริกเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดให้กลายเป็นน้ำตาลไซโลส โดยศึกษาตัวแปร 4 ชนิดที่มีผลต่อการย่อย คือ อัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย่อย ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพด คือ ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที โดยมีอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลว 1:5 ปริมาณไซโลสที่ได้จากการสกัดซังข้าวโพด คือ 16.72% และปริมาณไซโลสที่ได้จากการสกัดเปลือกข้าวโพด คือ 17.03%

คำสำคัญ : น้ำตาลไซโลส ปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยกรด ซังข้าวโพด เปลือกข้าวโพด

ABSTRACT

Sugar production from waste material such as hemicellulose using hydrolysis reaction were studies. The reaction were catalyzed by enzyme, concentrated acid and diluted acid solution. In present study. Diluted sulfuric acid were used as catalyst for converted sugar from corn cob and corn husk hemicelluloses. Variable in 4 condition, solid and liquid ratio, acid concentration, temperature and time, were optimized for optimum condition to produced xylose from hemicelluloses. All results shown optimum condition on 3% sulfuric acid at 121°C for 30 min and using solid and liquid ratio at 1:5. Xylose content from corn cob and corn husk were 16.72 and 17.03%, respectively.

Keyword : Xylose, Acid hydrolysis, corn cob, corn hask

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป
[2, 3] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

บทนำ

ในพื้นที่จังหวัดลำปาง มีการปลูกข้าวโพดเป็นอาชีพหลักของชาวบ้าน ดังนั้นจึงมีการทิ้งผลผลิตทางการเกษตร เช่น ซังและเปลือกข้าวโพด และทำลายด้วยการเผาซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละออง หมอกควัน ทำให้มีปัญหากันระหว่างชาวบ้านแต่ละหมู่บ้าน นอกจากการเผาแล้วก็มีการทิ้งไว้ให้เน่าเสียส่งกลิ่นเหม็นและโดนชะลงสู่กระแสน้ำ ทำให้เป็นมลพิษในแหล่งน้ำและอากาศ บางกรณีมีการซื้อที่ดินเพื่อนำเปลือกข้าวโพดไปทิ้ง และเมื่อมีกระแสลมก็ก่อให้เกิดการพัดพาเป็นฝุ่นละอองซึ่งเป็นปัญหาแก่ชาวบ้านเป็นอันมาก ในประเทศไทยซังและเปลือกข้าวโพด เป็นวัตถุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ในซังข้าวโพดประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประมาณ 30-40% โดยเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในซังข้าวโพดจะเป็น พวกไซแลน (Xylan) ที่มีองค์ประกอบหลักคือ น้ำตาลไซโลส (Xylose) เพื่อไม่ให้สูญเสียทรัพยากรธรรมชาติโดยเปล่าประโยชน์โดยการนำซังและเปลือกข้าวโพดที่เหลือใช้และหาได้ตามในท้องถิ่นมาสกัดเป็นน้ำตาลไซโลส ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าของชีวมวลเหล่านี้ และเป็นหนทางหนึ่งในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรในอนาคต โดยในอุตสาหกรรมของต่างประเทศได้สกัดไซโลสออกจากเปลือกข้าวโพด โดยใช้สารละลายกรดหรือด่างเจือจางที่มีความเข้มข้นประมาณ 4 - 10% เป็นตัวสกัด ซึ่งตามปกติจะใช้เวลาในการสกัดนานประมาณ 3 ชั่วโมงเพื่อให้ได้น้ำตาลไซโลส และสารที่สกัดได้นี้นอกจากน้ำตาลแล้วยังมีสารประกอบที่มีสีพวก แทนนิน ลิกนิน ซึ่งเรียกรวมว่า สารฟีโนลิก (Phenolics) ละลายปนอยู่ในสารละลายที่สกัดด้วยจึงจำเป็นต้องนำสารละลายที่สกัดได้มาทำให้เป็นน้ำตาลไซโลสที่บริสุทธิ์ งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการสกัดไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพด ด้วยวิธีทางเคมีที่จะได้ไซโลสปริมาณมากที่สุดโดยใช้เวลาในการสกัดน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการสกัดไซโลสจากซังข้าวโพดและเปลือกข้าวโพด

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมสารตัวอย่าง

นำซังและเปลือกข้าวโพดมาตากแห้งหรือนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผง ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 nm. แล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดผนึกแน่นเก็บในที่เย็น

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลวที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

ผสมตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 3% ในอัตราส่วน 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 (w/v) ตามลำดับ ทำการสกัดสารโดยใช้เครื่องหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที กรองสารละลายที่ได้เก็บขวดสีชา และเก็บไว้ในที่เย็น

การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

ผสมสารตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 1% 2%, 3% และ 4% ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลวที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้น ทำการสกัดสารโดยใช้เครื่องหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที กรองสารละลายที่ได้เก็บขวดสีชา และเก็บไว้ในที่เย็น

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

ผสมสารตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นเหมาะสมและอัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลวเหมาะสม จากการทดลองข้างต้น แล้วทำการสกัดสารโดยใช้เครื่องหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที และที่อุณหภูมิ 130 °C นาน 20 นาที กรองสารละลายที่ได้เก็บขวดสีชา และเก็บไว้ในที่เย็น

การวิเคราะห์หาน้ำตาลไซโลสด้วยเทคนิคไบอัล

เตรียมสารละลายมาตรฐานไซโลสที่ความเข้มข้น 0, 2 ,4, 6, 8, 10% ปริมาตร 1 มล. ผสมกับไบอัล รีเอเจนต์ 3 มล. นำไปต้ม 5 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 659 nm นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลไซโลสในสารตัวอย่างโดย นำสารละลายตัวอย่าง 1 มล. ที่ได้จากการสกัดเปลือกและซังข้าวโพดในสภาวะต่างๆ ผสมกับไบอัลรีเอเจนต์ 3 มล. นำไปต้ม 5 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 659 nm นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไซโลสโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

4. ผลการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลวที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

การสกัดไซโลสโดยใช้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 3% สกัดที่อุณหภูมิ 121 ℃ นาน 30 นาที ด้วยหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูง ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวเป็น 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 ทำให้ได้ปริมาณไซโลสจากซังข้าวโพด คือ 16.72, 11.72, 8.28 และ 8.52% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไซโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพด คือ 17.03, 11.20, 7.87 และ 8.15% ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวมีการใช้ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กรดเจือจางย่อยซังและเปลือกข้าวโพดภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงหลายชนิด เช่น เฟอร์ฟูรัล ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดน้ำของน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลไซโลส (วรนุชและคณะ, 2553) จึงทำให้ทราบว่าอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกมากที่สุด คือ 1:5 โดยให้ปริมาณไซโลส 16.72% และ 17.03% ในซังและเปลือกข้าวโพด ตามลำดับ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลว	ความเข้มข้นน้ำตาลไซโลส (%)	
	ซังข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด
1:5	16.72	17.03
1:7	11.72	11.20
1:9	8.28	7.87
1:11	8.52	8.15

การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

เมื่อใช้ความเข้มข้นกรด 1%, 2%, 3% และ 4% ในการสกัดไซโลส โดยใช้อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่ 1:5 อุณหภูมิ 121 ℃ นาน 30 นาที ด้วยหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูง ทำให้ได้ปริมาณไซโลสจากซังข้าวโพด คือ 6.75, 10.78 และ 16.72% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไซโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพด คือ 7.94, 5.54, 17.03 และ 2.53% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของกรด เท่ากับ 4% จะทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสลดลง เนื่องจาก เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 3% อาจทำให้เกิดการย่อยสลายของไซโลสเปลี่ยนเป็นเฟอร์ฟูรัล และน้ำตาลไซโลสมีความไวต่อการเปลี่ยนเป็นเฟอร์ฟูรัลมากกว่าน้ำตาลกลูโคส (Jeevan et al., 2011) จึงทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสที่สกัดได้ลดลง และปริมาณความเข้มข้นของกรดมากเกินไปจะไปทำลายโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง เช่น เฟอร์ฟูรัล 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรอล (นันทิกาและคณะ, 2554) ดังนั้นความเข้มข้นกรด 3% จึงเป็นความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการสกัดน้ำตาลไซโลส เนื่องจากได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกมากที่สุด คือ 16.72% และ 17.03% ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (%)	ความเข้มข้นน้ำตาลไซโลส (%)	
	ซังข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด
1	6.75	7.94
2	10.78	5.54
3	16.72	17.03
4	-	2.53

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

เมื่อใช้ความเข้มข้นกรด 3% ย่อยซังและเปลือกข้าวโพดที่อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่ 1:5 เปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 121 ℃ นาน 30 นาที และ อุณหภูมิ 130 ℃ นาน 20 นาที ด้วยหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูง พบว่าได้ปริมาณไซโลสจากซังข้าวโพด คือ 16.72 และ 15.16% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไซโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพด คือ 17.03 และ 5.47% ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเวลาลดลง ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นจะไปทำลายโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ส่วนอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการย่อยมีผลต่อ

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการไฮโดรไลซิสเพิ่ม ตั้งแต่ในช่วง 30-80 นาที แต่ถ้าเพิ่มเวลาในการย่อยมากกว่า 80 นาที พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง เพราะว่าเกิดสารประกอบอื่น คือ เฟอร์ฟูรัล และสารประกอบฟีนอลิก (นันทิกา และคณะ, 2554) ดังนั้นที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที เป็นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไซโลสจากกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกมากที่สุด คือ 16.72% และ 17.03%

ตารางที่ 3 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไซโลส

อุณหภูมิและเวลา	ความเข้มข้นน้ำตาลไซโลส (%)	
	ซังข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด
121 °C นาน 30 นาที	16.72	17.03
130 °C นาน 20 นาที	15.16	5.47

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ศึกษาทั้งหมด พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพด คือ ใช้อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลว 1:5 สกัดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที ด้วยหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงทำให้ได้ปริมาณไซโลสจากซังข้าวโพด คือ 16.72% และปริมาณไซโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพด คือ 17.03% หรือได้ปริมาณไซโลสที่ได้จากการสกัดจากซังและเปลือกข้าวโพด คือ 16.31 g/100g ของ H2SO4 3% และ 16.61 g/100g ของ H2SO4 3% ตามลำดับ เมื่อศึกษางานวิจัยของ ผกามาศ (2552) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีผลิตน้ำตาลไซโลสจากเปลือกข้าวโพดด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ โดยวิธีทางเคมีคือ ย่อยเปลือกข้าวโพดกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% แล้วปรับค่า pH ให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ วิธีทางชีวภาพ คือ นำเปลือกข้าวโพดทำเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อรา Thermoascus aurantiacus ผลการวิจัยพบว่าปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีทางเคมีคือ 0.002 กรัม / กรัมเปลือกข้าวโพด ขณะที่ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีทางชีวภาพ คือ 0.016 กรัม / กรัมเปลือกข้าวโพด และงานวิจัยของ พิลาณี และคณะ, (2543) ที่ได้ศึกษาการเตรียมสารละลายจากซังข้าวโพดด้วย 2 วิธีการ ได้แก่วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ และวิธีการหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงในสภาวะที่เป็นกรด พบว่าทั้งสองวิธีการ สามารถใช้ในการเตรียมสารละลายซังข้าวโพดได้ โดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำจะให้สารละลายซังข้าวโพดที่มีน้ำตาลไซโลสที่ความเข้มข้น 16.45 กรัมต่อซังข้าวโพด 100 กรัม และวิธีการหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูงจะให้สารละลายซังข้าวโพดที่มีน้ำตาลไซโลส 21.15 กรัมต่อซังข้าวโพด 100 กรัม ตามลำดับ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ดำเนินการอยู่ทำให้ทราบว่า การสกัดน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดโดยใช้อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลว 1:5 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที ด้วยหม้ออัดความดันไอน้ำแรงสูง ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลไซโลส มากกว่าปริมาณน้ำตาลไซโลสที่สกัดได้จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำตาลไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้ง เป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้วัสดุราคาถูกทดแทนแหล่งของน้ำตาลที่เป็นสารตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีมูลค่าสูง เช่น ไซลิทอล หรือ เอทานอล การสกัดน้ำตาลเหล่านี้อาศัยกระบวนการสลายด้วยกรด (Acid hydrolysis) เพื่อให้คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide) ชนิดเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้ง เปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ชนิดไซโลส ในงานวิจัยนี้ใช้กรดซัลฟิวริกเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายด้วยกรด โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้ง มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 4 ปัจจัย คือ อัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการย่อย อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย่อย โดยใช้เทคนิคการย่อยด้วยหม้ออัดไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) และวัดปริมาณไซโลสที่ได้โดยใช้ไบอัลรีเอเจนต์เข้าทำปฏิกิริยาและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 659 nm และคำนวณปริมาณไซโลสที่ได้โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไซโลสจากซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้ง คือ การใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ทำปฏิกิริยาในหม้ออัดไอน้ำแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 121°C นาน 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างของแข็งและของเหลวที่ 1:5 โดยเทคนิคนี้จะทำให้ได้ปริมาณไซโลสจากซังข้าวโพด 16.72% และจากเปลือกข้าวโพด 17.03% อย่างไร

ก็ตามสภาวะที่เหมาะสมนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขคือ ซังและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้งเหล่านี้ต้องถูกทำให้แห้ง (ปราศจากน้ำ) และนำมาบดให้มีขนาด 100 nm ก่อนจึงจะให้ผลตามการทดลองดังกล่าวข้างต้น

ข้อเสนอแนะ

1 สารสะลายที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยซังและเปลือกข้าวโพดด้วยกรด ควรนำไปวิเคราะห์ ปริมาณไซโลสด้วยเทคนิคอื่น เช่น โครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

2 สารละลายที่ได้จากการสกัดควรนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลชนิดอื่น หรือผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นที่เกิดจากปฏิกิริยาการสลายด้วยกรด

เอกสารอ้างอิง

นันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, และอนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา. (2554). การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากซางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 24 (75), 91-102.

วรนุช เกิดสินธ์ชัย, วรทัศน์ อินทรัคคัมพร, นงพงา คุณจักร, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, และประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์. (2553). การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส ; การประเมินศักยภาพวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเพื่อใช้ผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส (การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส). กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ผกามาศ สัปตา. (2552). การสกัดไซโลสจากเปลือกข้าวโพดแห้ง ผู้ป่วยเบาหวานใช้แทนน้ำตาลได้. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิลาณี ไวถนอมสัตย์, ณัฐกานต์ แซ่โค้ว, จิราภรณ์ เชื้อกูล, และปริศนา สิริอาชา. (2543). การผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากน้ำตาลไซโลสของซังข้าวโพดโดยกระบวนการหมักด้วยยีสต์: รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2543. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jeevan, R. Nelson and A. Edith Rena. (2011). Optimization studies on acid hydrolysis of corn cob hemicellulosic hydrolysate for microbial of xylitol. J. Micro Biotech. Res.,1(4), 114-123.

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ Buriram Rajabhat University