การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล*

The optimal condition for hydrolyses preparation from water hyacinth using autoclave for ethanol production

รัชพล พะวงศ์รัตน์ **

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทจากผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเส้นใย ปริมาณน้ำตาล และโครงสร้างวัสดุหลังขั้นตอนการปรับสภาพ โดยองค์ประกอบเส้นใยของวัตถุดิบเริ่มต้นประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินคิดเป็น 14.85, 44.71 และ 3.06 %wt ตามลำดับ ตัวอย่างจะถูกปรับสภาพโดยใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมีที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1)แช่น้ำเปล่า 2)แช่สารละลายกรด 3)แช่สารละลายด่าง โดยพบว่าการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 %wt ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงจะได้ไฮโดรไลเสทที่มีลักษณะของโครงสร้าง และองค์ประกอบเส้นใยสูงที่สุดโดยมีเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินคิดเป็น 23.16, 47.38 และ 3.71 %wt เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำตาลและสารประกอบอนุพันธ์ที่เป็นพิษจากกระบวนการปรับสภาพ เช่น เฟอฟูรอล และ 5-ไฮดรอกซิลเมทธิลเฟอฟูรอลมีปริมาณน้อยมาก

Abstract

The optimal condition for hydrolyses preparation from water hyacinth using autoclave for ethanol production by determination of chemical compounds, content of sugar and the structure of pretreated hydrolyses were investigated. The chemical contents of raw materials were consisting of hemicelluloses, cellulose and lignin was 14.85, 44.71 and 3.06 %w/w, respectively. The samples were pretreated by three different physiochemical methods which are 1) soaking in water 2) soaking in acid 3) soaking in alkali. The results showed that the higher chemical content of hemicelluloses (23.16 %w/w), cellulose (47.38 %w/w) and lignin (3.71 %w/w) were obtained when the samples

---

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ผักตบชวาเพื่อการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อตรึงรูปร่วมกับถังหมักชีวภาพแบบตั้ง

** สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140 โทร.034-281-105-7 ต่อ 7678 โทรสาร 034-351-402 E-mail: faasrpp@ku.ac.th

were soaking with sodium hydroxide (2 %wt) with autoclave compared with others. Moreover, it also shown that pretreated samples has a few retaining sugars and as same as toxic substance content such as furfural and 5-HMF.

บทนำ

ผักตบชวา (Water Hyacinth) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae ผักตบชวาเป็นพืชที่ได้ถูกกล่าวว่าเป็นวัชพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหามากมายที่สุดในโลก จนกระทั่งได้มีการคิดค้นวิธีการป้องกันอย่างขนานใหญ่ แต่จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ ก็ยังไม่มีวิธีการที่จะได้ผลอย่างเต็มที่ ตั้งแต่ผักตบชวาเริ่มระบาดไปในประเทศในเขตร้อนและกึ่งร้อนกว่า 50 ประเทศทั่วทุกทวีป ในระยะเวลาไม่ถึง 100 ปีที่ผ่านมา ไม่มีประเทศไหนเลยไม่ว่าจะเป็นประเทศที่ร่ำรวยมหาศาล เช่น สหรัฐอเมริกา หรือมีประชากรมากมาย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ หรือ อินโดนีเซีย จะประสบความสำเร็จในเรื่องนี้ เป็นที่เชื่อว่าสงครามระหว่างมนุษยชาติกับผักตบชวาคงมีอยู่ตลอดไปและจะรุนแรงยิ่งขึ้นเป็นลำดับ หากมิได้มีการวางแผนป้องกันการระบาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการเพิ่มอาหารธาตุในน้ำจากกิจกรรมนานาประการของมนุษย์ที่นับวันก็จะมีประชากรมากขึ้นทุกทีและเนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่มีปริมาณมาก เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและที่สำคัญเป็นปัญหาทางด้านการคมนาคม (วิเชียร สีสุข, 2532; ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา, 2548; โอสถ และคณะ, 2529; R. Encarnacion และคณะ, 2008)

สืบเนื่องด้วยจากปัญหาทางเศรษฐกิจ และวิกฤตด้านพลังงานโลกในปัจจุบันจึงมีความต้องการพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะต้องใช้ทั้งในการคมนาคมขนส่งและอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันนี้น้ำมันมีปริมาณลดลงและอาจจะหมดลงในอนาคต จึงส่งผลให้ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นและอาจจะสูงขึ้นไปเรื่อยๆ จึงจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทน เอทานอลเป็นอีกพลังงานหนึ่งที่มีความน่าสนใจที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันได้ (พิชญา ภูมิภัทร, 2549) ดังนั้นจึงมีการนำผักตบชวามาใช้ผลิตเอทานอลเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเป็นการกำจัดผักตบชวาได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย และในการผลิตเอทานอลนั้นวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเอทานอลจำเป็นต้องมีการปรับสภาพ(pretreatment)หรือขบวนการเตรียมไฮโดรไลเสทเพื่อกำจัดลิกนินออกก่อนซึ่งในกระบวนการหมักเอทานอลนั้นลิกนินจะเป็นตัวขัดขวางกระบวนการหมักให้เป็นไปได้ช้าและได้ปริมาณเอทานอลลดลงสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี วิธีการทางชีวภาพ หรือการร่วมกันในวิธีการดังกล่าวข้างต้น (K. Parveen และคณะ, 2009)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อให้ได้ปริมาณเอทานอลจำนวนมากและประหยัดเวลาในการผลิตเอทานอล

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาในสภาวะต่างๆ

3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลผลิตที่ได้จากการเตรียมไฮโดรไลเสทวัสดุเศษเหลือทิ้งไปผลิตเป็นเอทานอล

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (autoclave)
2. เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ของบริษัท Shimadzu (Class LC10 ประเทศญี่ปุ่น)
3. ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยของผักตบชวา

เก็บตัวอย่างผักตบชวาจากส่วนใบ และลำต้น (แหล่งน้ำบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) นำไปล้างให้สะอาด ผึ่งลม ตากแดดให้แห้ง นำไปบดเป็นชิ้นเล็กๆ (ขนาด 0.1-0.2 เซนติเมตร) อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่ได้ แล้วเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท จากนั้นศึกษาองค์ประกอบของเส้นใย (AOAC, 1990; B.L. Blowing, 1963)

2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทของผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

การปรับสภาพเพื่อแยกลิกนินออกจากผักตบชวาโดยใช้วิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีพร้อมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงดัดแปลงมาจากวิธีการของ C. Cara และคณะ (2007) และ K. Parveen และคณะ (2009) โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีการ คือ

2.1 การแช่ด้วยน้ำเปล่า นำผักตบชวาแห้งสับที่เตรียมไว้ 5 กรัมมาแช่ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้อง นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออก ก่อนนำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

2.2 การแช่สารละลายด่าง นำผักตบชวาแห้งสับที่เตรียมไว้ 5 กรัมมาแช่ด้วยสารด่างคือสารละลายแอมโมเนีย และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้อง นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออก ก่อนนำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

2.3 การแช่สารละลายกรด นำผักตบชวาแห้งสับที่เตรียมไว้ 5 กรัมมาแช่ด้วยกรดต่างๆคือกรดฟอร์มิก และกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยปริมาตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิ ลิตร ทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้อง นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออกก่อนนำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

3. การย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

ทำการย่อยผักตบชวาที่ผ่านการอบแห้ง 2 กรัม จากขั้นตอน 2.1, 2.2 และ 2.3 เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทำการย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที กรองแยกไฮโดรไลเสท และของเหลวออกจากจากกัน นำส่วนไฮโดรไลเสทที่ได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเส้นใย ส่วนของเหลว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยเครื่อง HPLC (I-N-A. Chartchalerm และคณะ, 2007)

4. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลและสารประกอบอนุพันธ์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

นำส่วนที่ของเหลวจากขบวนการปรับสภาพจำนวน 1 มิลลิลิตร กรองตัวอย่างเพื่อกำจัดตะกอนที่ได้ แล้วปรับความเข้มข้นที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ของบริษัท Shimadzu (Class LC10 ประเทศญี่ปุ่น) ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลไซโลส กลูโคส ด้วยคอลัมน์ SugarPax(Bio-Rad) ที่สภาวะ Mobile phase : Deionized water อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส Detector : Reflextive Index (RI) แล้ววิเคราะห์หาองค์ประกอบของเส้นใย ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และปริมาณสารประกอบที่เหลือในของเหลว ได้แก่ น้ำตาลต่างๆ เช่น กลูโคส ไซโลส และสารประกอบอนุพันธ์ที่เป็นพิษ เช่น เฟอฟูรอล (furfurol) และ 5-ไฮดรอกซิล เมทิลเฟอฟูรอล (5-HMF)

5. ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของผักตบชวาหลังจากผ่านขบวนการปรับสภาพ

ผักตบชวาที่ผ่านขบวนการปรับสภาพจะนำไปศึกษาโครงสร้างของเส้นใยโดยผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนกำลังขยายสูง หรือ Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย

6. การวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS, 1989-2001) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ $P < 0.05$

3. ผลการวิจัยอภิปรายผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเส้นใยของผักตบชวา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเส้นใยของผักตบชวา พบว่า องค์ประกอบเส้นใยของผักตบชวาที่เก็บมานี้มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดคือร้อยละ 44.71 ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนินคือร้อยละ 37.39 14.85 และ 3.06 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 1) แต่จากการศึกษาของ B. Anjanabha และ K. Pawan (2010) พบว่าปริมาณองค์ประกอบเส้นใยของผักตบชวาที่มีปริมาณมากที่สุดคือ ปริมาณเฮมิเซลลูโลสคือร้อยละ 48.70 ของน้ำหนักเปียก และรองลงมาคือ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ปริมาณเซลลูโลส และปริมาณลิกนินคือ ร้อยละ 29.60 18.20 และ 3.50 ของน้ำหนักเปียกตามลำดับ ซึ่งการที่ปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยของผักตบชวาที่

แตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมและสถานที่เก็บตัวอย่างผักตบชวา พืชจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้นจึงทำให้ผักตบชวาในแต่ละสถานที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน

ดังนั้น ผักตบชวาที่มาจากสถานที่และช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะมีความแตกต่างกันในองค์ประกอบของเส้นใย ซึ่งหากเราเก็บในสถานที่เดียวกันก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเส้นใยของผักตบชวา

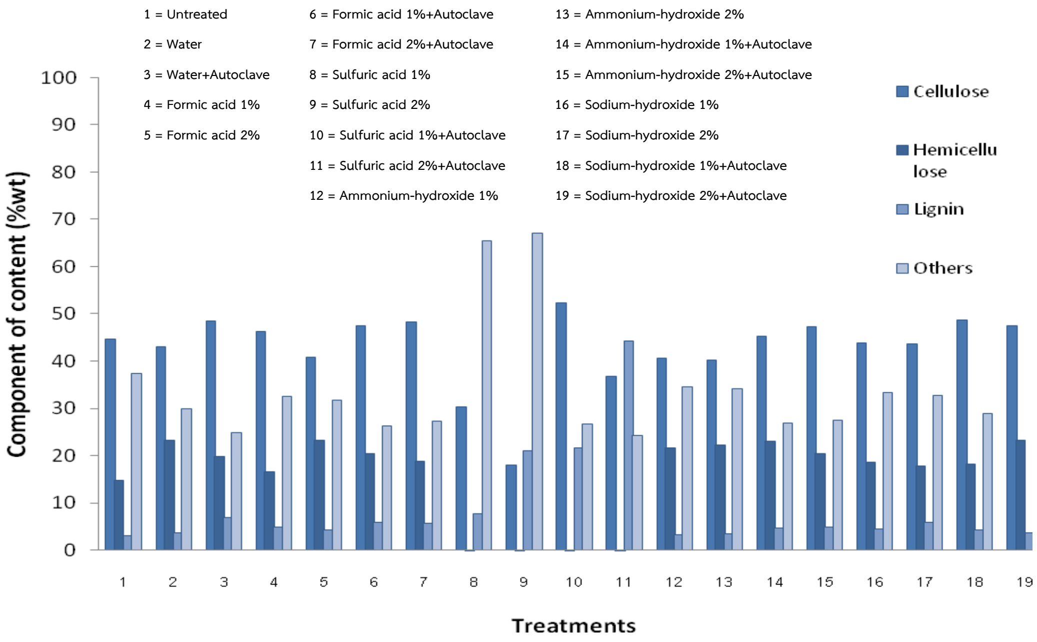
องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก (กรัม)
Hemicellulose	14.85±1.22
Cellulose	44.71±0.15
Lignin	3.06±0.40
Others	37.39±0.98

3.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทของผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

การปรับสภาพผักตบชวาด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมีและหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง โดยนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเส้นใย และส่วนของเหลวนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลและสารประกอบอนุพันธ์อื่นๆ จากรูปที่ 1 พบว่า การปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเป็นวิธีการปรับสภาพที่ดีที่สุดโดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเหลืออยู่มากในเส้นใย (ร้อยละ 23.16 และ 47.38 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และมีลิกนินอยู่น้อย (ร้อยละ 3.71 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย ในแต่ละวิธี (ตารางที่ 2) พบว่า การปรับสภาพด้วยวิธีการที่แตกต่างกันทั้ง 10 วิธีโดยไม่ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (NC) และโดยผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (WC) ให้ปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นวิธีการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยปริมาตร มีความแตกต่างจากวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่มากที่สุด (ร้อยละ 23.27 โดยน้ำหนัก) ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร โดยไม่ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ปริมาณเซลลูโลสที่มากที่สุด (ร้อยละ 48.60 โดยน้ำหนัก) ได้จากการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยไม่ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ปริมาณลิกนินที่มากที่สุด (ร้อยละ 3.06 โดยน้ำหนัก) ได้จากชุดควบคุม และปริมาณองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยที่มากที่สุด (ร้อยละ 24.20 โดยน้ำหนัก) ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร โดยผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

ดังนั้น ปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ โดยพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำเกินไปจะทำให้องค์ประกอบเกิดการย่อยสลายได้น้อยกว่า แต่ในขณะเดียวกันความเข้มข้นที่สูงเกินไปก็อาจส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดมาก

นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้ยังมีผลต่อการแยกองค์ประกอบของเส้นใย โดยพบว่ากรดมีความสามารถในการแยกเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสได้ดีกว่า ส่วนลิกนินพบว่าสามารถแยกได้ดีในสารละลายด่าง ซึ่งให้ผลทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของ D. Mishima และคณะ (2008) ซึ่งใช้ผักตบชวาและจอกเป็นวัสดุดิบในการผลิตเอทานอล



รูปที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบเส้นใยหลังการปรับสภาพ (pretreatment) โดยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมี

นอกจากนี้ ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาล และสารประกอบอนุพันธ์ (ตารางที่ 3) พบว่าในการปรับสภาพนั้นมีปริมาณน้ำตาล เช่น น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกลูโคส สารประกอบที่เป็นพิษ เช่น 5-HMF และ furfurol ในปริมาณที่น้อยมาก ยกเว้นตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกจะให้ปริมาณน้ำตาลออกมาด้วย ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรดแก่จะมีความสามารถย่อยสลายสูง (hydrolysis) จึงทำให้เส้นใยถูกย่อยสลายต่อเนื่องจนได้น้ำตาลออกมา

ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบเส้นใยของไฮโดรไลเสทจากผักตบชวาโดยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง

วิธีการปรับสภาพ (Pretreatments)	ร้อยละขององค์ประกอบ (กรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง)							
	ไม่ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (NC)				ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (WC)			
	Hemicellulose	Cellulose	Lignin	Others	Hemicellulose	Cellulose	Lignin	Others
Untreated	14.85±1.22c*	44.71±0.15bcd	3.06±0.40a	37.39±0.98b	14.85±1.22c	44.71±0.15cd	3.06±0.40a	37.39±0.98b
Water	23.27±1.73d	43.09±1.36cd	3.69±0.34a	29.95±0.01a	19.75±3.79c	48.48±2.57b	6.82±0.72a	24.95±0.51 b
Sulfuric 1%	3.37±0.48b	30.32±0.96b	7.65±0.97b	65.40±0.47c	0.62±0.34b	52.32±4.71a	21.71±4.83b	26.59±0.01a
Sulfuric 2%	6.04±2.74a	17.89±3.62a	21.08±0.57c	67.07±0.31c	5.13±1.89a	36.75±0.67d	44.19±0.01c	24.20±1.21c
Formic 1%	16.53±3.46cd	46.19±2.30d	4.82±0.06a	32.48±1.10a	20.46±1.07cd	47.56±0.41bc	5.80±0.29a	26.18±0.95a
Formic 2%	23.27±7.23d	40.78±2.76bcd	4.23±0.60a	31.73±9.39a	18.77±1.03cd	48.32±0.67b	5.69±0.37a	27.22±0.01a
NaOH 1%	18.58±0.59cd	43.76±1.82cd	4.38±1.62a	33.29±0.39a	18.26±0.64cd	48.60±2.39b	4.25±1.38a	28.89±0.38a
NaOH 2%	17.72±1.70cd	43.53±0.47cd	5.92±1.82a	32.82±0.35a	23.16±3.62d	47.38±0.08bc	3.71±1.85a	25.75±1.84a
NH_4OH 1%	21.54±0.95d	40.70±0.23bc	3.16±0.27a	34.61±0.45a	23.07±0.48d	45.34±0.72c	4.69±0.05a	26.90±0.29a
NH_4OH 2%	22.61±0.00d	39.08±0.00bcd	3.64±0.01a	34.66±0.01a	20.83±0.7d	45.35±3.52c	4.28±0.97a	29.54±3.57a

*ค่าเฉลี่ยแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

---

*บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ผักตบชวาเพื่อการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อตรึงรูปร่วมกับถังหมักชีวภาพแบบตั้ง

**สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
จ. นครปฐม 73140 โทร.034-281-105-7 ต่อ 7678 โทรสาร 034-351-402 E-mail: faasrpp@ku.ac.th

วิธีการปรับสภาพ (Pretreatments)	ร้อยละขององค์ประกอบ (กรัมต่อลิตร)							
	Glucose		Xylose		Furfurol		5-HMF	
	NC	WC	NC	WC	NC	WC	NC	WC
Water	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.01	0.00
Formic 1%	NA	NA	NA	NA	6.66	NA	0.01	0.00
Formic 2%	NA	NA	NA	NA	13.16	NA	0.01	0.00
H_2SO_4 1%	NA	7.77×10^{-6}	NA	1.40×10^{-5}	15.47	NA	NA	0.03
H_2SO_4 2%	NA	2.76×10^{-5}	NA	NA	24.41	NA	NA	8.02
NH_4OH 1%	NA	NA	NA	NA	NA	0.11	0.01	0.00
NH_4OH 2%	NA	NA	NA	NA	0.10	0.23	0.01	0.01
NaOH 1%	NA	NA	NA	NA	0.10	NA	0.01	0.00
NaOH 2%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.01	0.00

หมายเหตุ NA = ตรวจไม่พบ

และหากกรดที่ยังเหลือในปฏิกริยามากเกินไปยังสามารถทำให้น้ำตาลไซโลสเปลี่ยนไปเป็น furfurol และน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนไปเป็น 5- HMF ได้อีกด้วย ซึ่งสารประกอบที่เป็นพิษทั้งสองตัวนี้ไม่เป็นผลดีต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล และมีผลทำให้ผลผลิตเอทานอลที่ได้มีปริมาณลดลง (L. P. Ramos และคณะ, 1992)

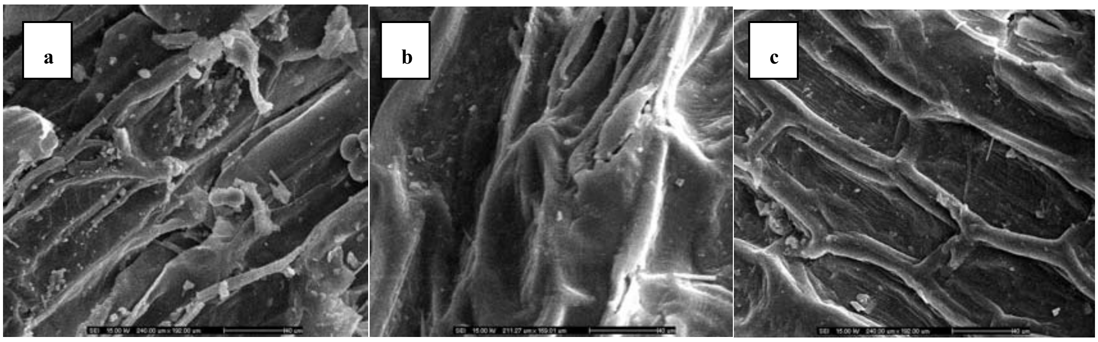
3.3 ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของผักตบชวาหลังจากผ่านขบวนการปรับสภาพ

จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับสภาพผักตบชวาด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีพบว่าโครงสร้างของเส้นใยมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (Untreated) และน้ำเปล่า โดยพบว่าลักษณะโครงสร้างของเส้นใยจะปรากฏชัดเจนมากขึ้น และยังทำให้โครงสร้างเปิดออกโดยเฉพาะเมื่อทำการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่ผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (รูปที่ 2)

----

*บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ผักตบชวาเพื่อการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อตึงรูปร่วมกับถังหมักชีวภาพแบบตั้ง

**สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
จ. นครปฐม 73140 โทร.034-281-105-7 ต่อ 7678 โทรสาร 034-351-402 E-mail: faasrpp@ku.ac.th



รูปที่ 2 โครงสร้างของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีกายภาพร่วมกับทางเคมี โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (a) Untreated (b) water (c) NaOH 2 %wt with auto clave

4. สรุปผลการวิจัย

การเตรียมไฮโดรไลเสทจากผักตบชวาโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล พบว่าการใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงร่วมกับการปรับสภาพทางเคมีเป็นวิธีการที่เหมาะสมวิธีหนึ่งซึ่งช่วยกำจัดลิกนินและไม่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูญเสียไป จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างผักตบชวาจากส่วนใบและลำต้นเริ่มต้นที่นำมาศึกษามีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดคือร้อยละ 44.71 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและปริมาณลิกนินคือร้อยละ 14.85 และ 3.06 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเป็นวิธีการปรับสภาพผักตบชวาที่ดีที่สุด ทำให้ได้เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส สูงถึงร้อยละ 47.38 และ23.16 โดยน้ำหนักตามลำดับ และเหลือมีปริมาณลิกนินอยู่เพียงร้อยละ 3.71 โดยน้ำหนัก และยังให้ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตเอทานอล

นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นของเหลวที่แยกออกมาจากไฮโดรไลเสทของผักตบชวาหลังจากการปรับสภาพ ยังแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำตาลที่สำคัญในการหมักเอทานอลหลุดออกมาน้อยมาก เช่นเดียวกับสารประกอบอนุพันธ์ที่เป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเอทานอล ดังนั้นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการไฮโดรไลเสทจากผักตบชวาเพื่อเป็นวัสดุในการผลิตเอทานอลได้ต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (ศสวท.) และทุนสนับสนุนจากหลักสูตรวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปี 2553

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

วิเชียร สีสุข. 2532. **การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมด้วยเอนไซม์จา *Aspergillus fumigates Fresenius* รหัส 4-45 – 1F**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

พิชญา ภูมิภัทร. “**การศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรไลเสทจากการระเบิดต้นปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำสำหรับการหมักไซลิทอล**” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา. ข้อมูลเบื้องต้นของผลผลิตเมล็ดสบู่ดำจากแปลงอนุรักษ์พันธุ์. 4 หน้า, 2548.

โอสถ นาคสกุล, วรพงษ์ สุริยจันทราทอง, พิไล กวิศราศัย และ เสาวคนธ์ โรจนสถิตย์. การใช้ผักตบชวาแห้งระดับต่างๆ ในอาหารสำหรับเลี้ยงห่าน. หน้า 198- 212, ใน รายงานประจำปี 2528. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ, 2529.

ภาษาต่างประเทศ

Anjanabha B. and Pawan K. Water hyacinth as a potential biofuel crop. EJEAFChe., 9(1), (2010), pp. 112-122.

AOAC. Standard method for examination of water and waste water. American Public Health Assosiation,Washington, DC, 1990.

Browing B. L. Method in Wood Chemistry, pp. 389-467. Interscience Publishers, New York, London. 1963.

Cara C., Ruiz E., Ballesteros M., Manzanares P., Negro J.M. and Castro E. Production of fuel ethanol from steam-explosion pretreated olive tree pruning. Fuel, 87, (2007), pp. 692-700.

Chartchalerm I-N-A., Tanawut T., Thikamporn K., Ponpitak P. and Virapong P. Appropriate technology for the bioconversion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to liquid ethanol: future prospects for community strengthening and sustainable development. EXCLI Journal., 6, (2007), pp. 167-176.

Encarnacion R., Cristobal C. and Paloma M. Evaluation of stream explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalk. Enzyme Microb. Technol., 42, (2008), pp. 160-166.

Mishima D., Kuniki M., Sei K., Soda S., Ike M. and Fujita M. Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (Eichhornia crassipes) and water lettuce (Pistia stratiotes L.). Bioresour. Technol. 99, (2008), pp. 2495–2500.

Parveen K., Diane M. B., Micheal J. D. and Pieter S. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. Industrial & Engineering Chemical Reserch, 48, (2009), pp. 3713-3729.

Ramos L. P., Breuil C. and J. N. Saddler. Comparison of steam pretreatment of eucalyptus, aspen, and spruce wood chips and their enzymatic hydrolysis. Appl. Biochem. Biotechnol. 34-35(1), (1992), pp. 37-48.

SPSS. SPSS for window. Release 11.0.0 (19 Sept, 2001) standard version. (1989-2001), Cary, NC: SPSS Institute