บทที่ 4
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเรื่องการผลิตเอทานอลจากฟางข้าวหลังปรับสภาพด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 สรุปผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว

จากการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของฟางข้าวพบว่าสารระเหยมีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 74.59 เมื่อพิจารณาค่าของคาร์บอนคงตัว พบว่า ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าน้อยที่สุด คือร้อยละ 7.24 ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงกับค่าความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนที่เป็นไปได้ อาจจะเกิดจากสารระเหยมากกว่าคาร์บอนคงตัว เพราะฟางข้าวมีปริมาณของสารระเหยสูงที่สุด

จากผลการวิเคราะห์กลุ่มสาร และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่าฟางข้าวมีแนวโน้มที่จะนำมาทำวัตถุดิบทางด้านพลังงานและเชื้อเพลิง โดยอาศัยความร้อนที่ได้จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนภายในสารระเหยและคาร์บอนคงตัว เนื่องจากฟางข้าวมีปริมาณสารระเหยที่ค่อนข้างสูง และปริมาณคาร์บอนคงตัวมากพอสมควร ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่ามีปริมาณคาร์บอน และออกซิเจนปริมาณที่ค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 40.18 และ 52.29 จึงควรนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

2. องค์ประกอบทางเคมีและสัณฐานวิทยาของฟางข้าวก่อนและหลังทำการปรับสภาพ

2.1) การปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ

จากผลการปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ พบว่า การปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณลิกนินในฟางข้าวได้ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการปรับสภาพด้วยไอน้ำมากขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำให้ปริมาณลิกนินในฟางข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สาเหตุเนื่องมาจากเกิดการควบแน่นซ้ำระหว่างการปรับสภาพด้วยไอน้ำของน้ำตาลหรือน้ำตาลที่เสื่อมสภาพ และสารแทรกตัวอื่นๆ (Extractives) จึงทำให้ทราบว่าลิกนินที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วยส่วนที่มีโครงสร้างคล้ายลิกนิน (Lignin-Like Structures) หรือ ลิกนินเทียม (Pseudo-Lignin) ส่วนผลของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวนั้น มีแนวโน้มลดลง เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการปรับสภาพ

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยไอน้ำ พบว่า เส้นใยเกิดการผิดรูป แบ่งแยก และเปิดตัวออกจากโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นผิวภายนอกที่เกิดจากการแตกหักจากการระเบิดด้วยไอน้ำให้กับฟางข้าวซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้มากขึ้นในการปรับสภาพ

2.2) การปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการทดลองส่วนนี้ ผู้วิจัยได้นำฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำมาปรับสภาพต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 %wt/v เนื่องจากยังไม่สามารถบอกได้ว่า สภาวะการปรับสภาพด้วยไอน้ำระยะเวลากี่ชั่วโมงเหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับสภาพ เมื่อปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 %wt/v แล้วพบว่า การปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 %wt/v สามารถลดปริมาณลิกนินในฟางข้าวได้มากที่สุด ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 %wt/v พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิด คือ เส้นใยเริ่มเกิดการแยกตัว และแตกออกเป็นบางส่วน และยังทำให้พื้นผิวฟางข้าวยุ่ยมากขึ้น

เมื่อทราบผลการทดลองแล้วว่าการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เหมาะสมในการปรับสภาพ จึงนำมาปรับสภาพต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 และ 3 %wt/v พบว่า เมื่อลดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหลือ 1 %wt/v ความสามารถในการลดปริมาณลิกนินในฟางข้าวจะลดลงด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 3 %wt/v ประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิกนินในฟางข้าวก็เพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อกไซด์ พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น พื้นผิวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดคือ เส้นใยเกิดการพองตัวมากขึ้น และยังเกิดการผิดรูปร่างมากขึ้นอีกด้วย

2.3) สรุปเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลการทดลองในการปรับสภาพทั้งหมด พบว่า สภาวะในการปรับสภาพด้วยไอน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ การปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเมื่อนำมาปรับสภาพต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1, 2 และ 3%wt/v พบว่าปริมาณลิกนินลดลงมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่ในการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3%wt/v ไม่เพียงแต่ลดปริมาณลิกนินได้มากที่สุดแล้ว ยังขจัดเซลลูโลสภายในฟางข้าวออกไปด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อกระบวนการผลิต เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%wt/v พบว่า สามารถลดปริมาณลิกนินในฟางข้าวได้ใกล้เคียงกัน คือ ลดลงร้อยละ 49.20 และ 47.43 ตามลำดับ แต่การลดลงของปริมาณเซลลูโลสลดลงต่างกันมาก คือ การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%wt/v มีการลดลงของปริมาณเซลลูโลสเพียงร้อยละ 5.85 แต่ร้อยละการลดลงของเซลลูโลสจากการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 %wt/v มีสูงถึงร้อยละ 31.17 จึงเลือกสภาวะการปรับสภาพด้วยไอน้ำ 2 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%wt/v เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าว

3. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวที่ได้จากการปรับสภาพฟางข้าว

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากของเหลวหลังการปรับสภาพฟางข้าวของทุกสภาวะอยู่ในช่วง 205.21-1,119.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ของเหลวที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อตรวจสอบค่าน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความเหมาะสม พบว่ามีค่าน้อยมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปผ่านกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคส

จากผลการทดลองพบว่า ยีสต์ S1 ทำงานร่วมกับแบคทีเรีย Z1 และรา M สามารถผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคสได้ปริมาณสูงที่สุด คือ 13.18 %v/wt ดังนั้นจุลินทรีย์ทั้งสามนี้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอลต่อไป

5. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้ว

สภาวะที่เหมาะสมในการนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาผลิตเอทานอลในกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง (Simultaneous Saccharification and Fermentation) คือ กระทำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำการเขย่า ซึ่งแบคทีเรียที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการนี้ คือ แบคทีเรีย *Pumilus* ซึ่งเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการหมัก สามารถผลิตเอทานอลได้สูงถึง 3.19 %v/wt

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชีวมวลตัวอื่นมาใช้การในผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง

2. ปรับปรุงกระบวนการปรับสภาพชีวมวลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ โดยอาจเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ทำการทดลองหรือนำไปประยุกต์กับสารเคมีตัวอื่นๆ ดังนี้

2.1 ศึกษาสภาวะในการปรับสภาพด้วยไอน้ำ เช่น อุณหภูมิ และความดันในการทดลอง ที่ทำให้ไม่เกิดลิกนินเทียมขึ้นในการทดลอง

2.2 ศึกษาชนิดของสารละลายด่างตัวอื่นๆ ที่กระทำภายใต้อุณหภูมิและความดันต่ำสำหรับการปรับสภาพชีวมวล เพื่อลดปริมาณลิกนินให้ได้สูงสุด

2.3 ศึกษาชนิดของสารละลายกรดที่ใช้ในการปรับสภาพ

3. ควรมีการปรับปรุงสภาวะในการหมักแบบต่อเนื่อง

3.1 ศึกษาความเข้มข้นของซับเสตรทที่ใช้

3.2 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการกระบวนการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ควรมีการศึกษาสารพิษที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการปรับสภาพว่าเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่

5. แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองนี้บางตัวอาจไม่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีนี้ ควรมีการเพิ่มการคัดกรองแบคทีเรีย (Bacteria Screen) ก่อนนำมาใช้งาน โดยนำแบคทีเรียมาทดลองกับเซลลูโลสบริสุทธิ์ เพื่อทราบถึงความสามารถในการย่อยเซลลูโลส ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอลต่อไป

6. ควรมีการคัดหาสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลเพิ่มเติม เนื่องจากในงานวิจัยนี้ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลยังสามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณน้อยเพียง 13.18 %v/wt

7. ควรมีการศึกษาประโยชน์ของกากชีวมวลหลังการหมัก ว่าสามารถนำไปใช้ในงานด้านอื่นได้อีกหรือไม่ เพื่อเป็นการขจัดของเสียหลังการหมักได้อีกทางหนึ่ง

8. การนำผลิตภัณฑ์เอทานอลที่ผลิตได้มาใช้งาน อาจจะต้องมีการกำจัดสารที่ไม่ต้องการออกก่อน เพื่อให้ได้คุณภาพตรงตามจุดประสงค์ของการใช้งาน

9. ควรมีการนำฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเข้าสู่กระบวนการหมักแบบต่อเนื่องด้วย เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับสภาพ

10. ควรมีการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการทำงานของแบคทีเรียในแต่ละวัน เพื่อหาจุดสูงสุดของปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่จะไม่ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส

11. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวหลังกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำ อาจนำไปเป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ได้ จึงควรมีการศึกษากระบวนการนำน้ำตาลรีดิวซ์ไปใช้เพิ่มเติม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved