ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242961

การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเพคติเนส

กิตติชาพร สมบูรณ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแ
242961

การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเพคติเนส

กิติยาพร สมบูรณ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2554

การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเพคติเนส

กิติยาพร สมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฏิรูป ผลจันทร์

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ กิจจนะพานิช

.....กรรมการ
ดร. นพดล คงศรีเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รองศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช

2 พฤษภาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ช่วยสนับสนุนการทำงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ความกรุณาจาก ผศ.ดร.ปฏิรูป ผลจันทร์ ผศ.ดร.ไพโรจน์ กิจจนะ-พานิช และดร.นพดล คงศรีเจริญ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาอ่านร่างวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณามา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้เป็นอย่างดียิ่ง รวมทั้งขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรามศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ น้องๆ ทุกคนในความช่วยเหลือด้านต่างๆ มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อบรบเลี้ยงดู สนับสนุนและให้โอกาสทางด้านการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด รวมถึงกำลังใจที่ดีที่สุดจากทุกคนในครอบครัว

หากวิทยานิพนธ์นี้ มีผลดีและก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวมและสังคม ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งปวงแก้ผู้มีพระคุณทุกท่านและหากมีสิ่งขาดตกบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงและขอน้อมรับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์เหล่านั้น

กิติยาพร สมบูรณ์

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเพคติเนส
ผู้เขียน	นางสาวกิติยาพร สมบูรณ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช

บทคัดย่อ

242961

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งทำโดยใช้สารละลายกากมัน 2%TS ปัจจัยที่เลือกศึกษาได้แก่ ปริมาณเซลลูเลส ปริมาณเพคติเนส พีเอช และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ดัชนีที่ใช้ประเมิน ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย ส่วนชุดที่ 2 เป็นการหาผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเลือกสภาวะการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยมากน้อยต่างกัน 5 สภาวะจากผลการทดลองชุดแรก เพื่อนำมาใช้ในการเดินระบบหมักกากมันแบบทีละเท ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทุกปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อการทำงานของเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพีเอชเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด สภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสกากมันคือการหมักย่อยสารละลายกากมันที่พีเอช 3 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 5 NCU และเพคติเนส 200 PGU ต่อกรัมกากแห้ง ซึ่งให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยสูงถึง 434 และ 31 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง ตามลำดับ โดยสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณกรดไขมันระเหยมากกว่าปริมาณตั้งต้น 10 และ 15 เท่า ตามลำดับ ในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าการไฮโดรไลซิสกากมันด้วยเอนไซม์ก่อนนำไปหมักก๊าซสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซได้อย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่ให้อัตราเร็วในการผลิตก๊าซสูงสุดเป็นสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยสูงสุดเช่นเดียวกัน หากทำการหมักกากมันเป็นเวลา 30 วัน ปริมาณก๊าซที่ได้ในกรณีที่มีการไฮโดรไลซิสก่อนการหมักจะไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะใช้สภาวะใด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.030-0.057 นอร์มัลลบ.ม./กก.กากเปียก ซึ่งมากกว่ากรณีของการหมักกากมันที่ไม่ผ่านการไฮโดรไลซิสประมาณสองเท่าตัว

Thesis Title Improvement of Biogas Production Efficiency from Cassava Pulp by Mixed Enzymes of Cellulase and Pectinase

Author Miss Kitiyaporn Somboon

Degree Master of Engineer (Environmental Engineer)

Thesis Advisor Assoc. Prof. Vililuck Kidjanapanid

242961

Abstract

The study of biogas production efficiency from treated cassava pulp by hydrolysis with mixed enzymes of cellulase and pectinase was divided into two parts. Determinations of optimum condition and main factors significantly affected enzyme performances were conducted in the first part. Experiments were carried out using two level factorial design with 4 factors, i.e., pH, doses of cellulase and pectinase and reaction time. Yield of reducing sugars and volatile fatty acids were used as evaluated parameters. Finally, effects of reducing sugar and volatile fatty acid concentrations on biogas production efficiency were investigated. Five different conditions for enzyme hydrolysis were selected from the first part. Biogas production systems were operated by using laboratory batch test units. The results illustrated that at 95% confidential level, pH, doses of cellulase and pectinase and reaction time were considered as the main factors, significantly affected on enzyme performances. pH had the greatest effect on saccharification to yield reducing sugars and volatile fatty acids. Optimum condition for enzyme hydrolysis of cassava pulp obtained when 5 NCU and 200 PGU of cellulase and pectinase per gram dry pulp were applied to 2%TS cassava pulp at pH 3 and at room temperature for 6 hours. Yields of 434 and 31 mg/g dry pulp reducing sugar and volatile fatty acid which were 10 and 15 times of the initial concentrations were observed respectively at this condition. As for biogas production, the results showed that treating cassava pulp by hydrolysis with the mixed enzymes prior to anaerobic digestion could significantly increase biogas production efficiency. Optimum enzyme hydrolysis condition giving the highest biogas production rate was the same condition for getting highest reducing sugar and volatile fatty acid concentrations. However, when the system was operated at 30 day hydraulic retention time, hydrolysis of cassava pulp with different conditions yield nearly the same biogas production which varied in the range of 0.030-0.057 normal cubic meters per kilogram wet pulp. This was about two times of the production rate obtained from untreated cassava pulp.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	2
1.4 ขอบเขตของวิธีการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 มันสำปะหลังในประเทศไทย	4
2.2 การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง	7
2.2.1 การบริโภคเป็นอาหารโดยตรง	7
2.2.2 อุตสาหกรรมมันเส้น	7
2.2.3 อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด	8
2.2.4 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง	10
2.3 ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง	12
2.4 การผลิตก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลัง	14
2.5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	16
2.6 เอนไซม์ (enzyme)	18
2.6.1 กลไกการทำงานของเอนไซม์	18
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์	21
2.7 การใช้เอนไซม์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยกากมันสำปะหลัง	21

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	30
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา	31
3.1.1 กากมันสำปะหลัง	31
3.1.2 เอนไซม์	32
3.1.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก	32
3.1.4 ภาชนะที่ใช้หมัก	33
3.2 การหาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสกากมันด้วยเอนไซม์	36
3.2.1 การออกแบบการทดลอง	36
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง	38
3.3 การศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่มีต่อประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ	38
3.3.1 สภาวะการเดินระบบที่เลือกศึกษา	38
3.3.2 ขั้นตอนการเดินระบบ	39
3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	41
4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์และสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์	41
4.1.1 สมรรถนะของการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์	43
4.1.2 สมรรถนะของการผลิตกรดไขมันระเหย	46
4.2 ผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ	49
4.2.1 อุณหภูมิ	50
4.2.2 พีเอช อัลคาไลนิตี้ และกรดไขมันระเหย	50
4.2.3 ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์	53

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	61
4.2.5 การประเมินค่าใช้จ่ายในการไฮโดรไลซิสกากมัน	66
4.2.5.1 ค่าใช้จ่ายในการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังก่อนการหมักก๊าซชีวภาพ	66
4.2.5.2 การใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนก๊าซหุงต้ม	68
4.2.5.3 การใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนพลังงานไฟฟ้า	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลการทดลอง	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	83
ภาคผนวก ค	85
ภาคผนวก ง	87
ภาคผนวก จ	104
ประวัติผู้เขียน	124

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของมันสำปะหลัง	5
2.2 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลก ปี พ.ศ.2545-2549 (ปริมาณ:ล้านตัน)	6
2.3 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทย ปี พ.ศ.2548-2551 (ปริมาณ:ตัน)	7
2.4 องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	14
3.1 ลักษณะของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา (ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	31
3.2 ลักษณะของตะกอนจากฟาร์มสันติสุข	33
3.3 ปัจจัยและระดับการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ	36
3.4 การทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ	37
3.5 สภาวะการเดินระบบที่เลือกศึกษา	39
3.6 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	40
4.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการเดินระบบต่างๆ	42
4.2 สภาวะการทำงานของเอนไซม์ที่เลือกมาศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ	49
4.3 ปริมาณซีโอดี ของแข็งรวม ของแข็งระเหยที่เหลืออยู่ในสารละลาย ภายหลังการหมักที่เวลาต่างๆ	54
4.4 ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ของแข็งรวม ของแข็งระเหยที่เหลืออยู่ในสารละลาย ภายหลังการหมักที่เวลาต่างๆ	60
4.5 ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักกากมันที่ระยะเวลาต่างๆ	62
4.6 ราคาเอนไซม์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังก่อนการหมักก๊าซชีวภาพ	67
4.7 ราคากรดและด่างที่ใช้ในการปรับพีเอชขณะไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลัง	67
4.8 ค่าใช้จ่ายในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทำไฮโดรไลซิสและความคุ้มค่า ในการลงทุนเมื่อใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม	69

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.9 ค่าใช้จ่ายในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทำไฮโดรไลซิสและความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้า	71

สารบาญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ขั้นตอนการผลิตมันเส้น	8
2.2 ขั้นตอนการผลิตมันอัดเม็ด	9
2.3 ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	11
2.4 สมดุลมวลผลพลอยได้และการนำไปใช้ประโยชน์	14
2.5 ระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง	15
2.6 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ	16
2.7 สภาวะที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน	17
2.8 กราฟพลังงานก่อกัมมันต์กับการดำเนินไปของปฏิกิริยา	18
2.9 การทำงานของเอนไซม์ แบบรวมโมเลกุล	19
2.10 การทำงานของเอนไซม์ แบบสลายโมเลกุล	19
2.11 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	20
2.12 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคส เซลลูโลส แป้ง และไกลโคเจน	23
2.13 โครงสร้างของกากมันสำปะหลังที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน	24
2.14 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของเพคติน	26
3.1 กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา	32
3.2 แบบจำลองขวดหมักและขวดเก็บก๊าซชีวภาพ	34
3.3 ขวดหมักและขวดเก็บก๊าซที่ใช้ในการทดลอง	35
4.1 กราฟแสดงผลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	44
4.2 Cube Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ค่าพีเอชต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	45
4.3 กราฟแสดงผลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อการผลิตกรดไขมันระเหย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	47
4.4 การเปลี่ยนแปลงอัลคาไลนิตี้ของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	51
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	52
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	55

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งรวมของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	56
4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	57
4.9 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	58
4.10 ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งรวมของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	59
4.11 ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งระเหยของสารละลายกากมันภายหลังการหมัก	59
4.12 ปริมาณก๊าซสะสม ภายหลังการหมัก 0, 5, 10, 20 และ 30 วัน	61
4.13 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักแต่ละสภาวะ	64
4.14 การเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระเหยและก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักแต่ละสภาวะ	64
4.15 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ภายหลังการหมักเป็นเวลา 30 วัน	65

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
ชม.	ชั่วโมง
ล.	ลิตร
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
มก.	มิลลิกรัม
มล.	มิลลิลิตร
Nm^3	นอร์มัลลูกบาศก์เมตร
NCU	Novo cellulase units
PGU	Polygalacturonase units
ppm	part per million