

การสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลในปฏิกิริยารีดอกซ์แบบดึงกัน

ฉวีวรรณ สว่างวัน

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

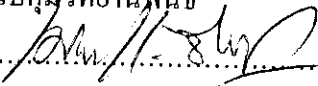
กุมภาพันธ์ 2548

ISBN 974-9742-68-0

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ จวีวรรณ สว่างวัน ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

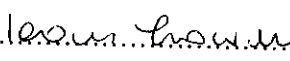
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

..........ประธาน

(ดร. เสรมฐวัชร นำนาศาสตร์)

..........กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโนม ท่งเก้า)

..........กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขียวภา ไหวพริบ)

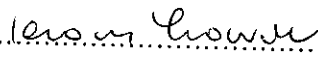
คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..........ประธาน

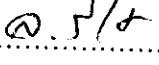
(ดร. เสรมฐวัชร นำนาศาสตร์)

..........กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโนม ท่งเก้า)

..........กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขียวภา ไหวพริบ)

..........กรรมการ

(ดร. ละมุล วิเศษ)

..........กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมถวิล จิตคาวร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..........คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)

วันที่...14...เดือน...กุมภาพันธ์..... พ.ศ. 2548

การวิจัยนี้ได้รับจากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปี 2547 และ
ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา
จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำภาคต้น ปีการศึกษา 2546

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยลงได้เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากหลาย ๆ ท่าน ผู้เขียนต้องกราบขอบพระคุณ ดร. เศรษฐวัชร น้าศาสตร์ ประธานอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งคอยให้คำแนะนำทั้งในทางวิชาการ การแก้ไขสิ่งบกพร่องต่าง ๆ และการชักนำให้มีความมุมานะทำงานเมื่อยามที่งานมีข้อติดขัด ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโณ พุ่งแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบาวภา ไหวพริบ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์นิสา บุตรดา และอาจารย์ เพรชฌู โชค จิตรเสณิ ที่คอยให้คำปรึกษา การชี้แนะทางวิชาการ การสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำการทดลอง การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร.ละมุล วิเศษ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จริตควร ซึ่งเป็นคณะกรรมการร่วมสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบและชี้แนะเพื่อการแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอบใจน้อง ๆ ในกลุ่มวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ได้แก่ น้องยุ้ย เจียบ สัม เกด ปุ๋ย ต้อม แก้ว ลลิตร ที่มีส่วนร่วมในการช่วยทำงาน ขอขอบพระคุณภาควิชา จุลชีววิทยา ชีววิทยา วิทยาศาสตร์การอาหาร และภาควิชาวาริชศาสตร์ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการทดลองที่คอยช่วยเหลือในการเบกยืมเครื่องมือวิทยาศาสตร์ รวมทั้งคุณรุ่งทิพย์ โพธิ์แสงเสริมฐิ และคุณอรุณนีย์ เนื้อแก้ว เจ้าหน้าที่จากโครงการบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการขอใช้ห้องเครื่องมือ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปี 2547 มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนทุน งบประมาณวิจัยในโครงการครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณสมิตตรา พุบตะขบ คุณเกษิรีย์ สอนจันทร์ คุณกัทลี ศักดิ์คำค่า ที่ช่วยค้นหาข้อมูลประกอบการวิจัย ทำการทดลองและกำลังใจ ขอขอบคุณ คุณสรารุณ แสงสว่างโชติ ที่เป็นผู้ช่วยทำการทดลอง การจัดพิมพ์รูปเล่ม และคอยให้กำลังใจในการทำงานอย่างต่อเนื่องจนงานแล้วเสร็จ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีส่วนสนับสนุนทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ต้องขอกราบทานแก่คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุน พุ่มเท ทั้งในด้านทุนทรัพย์ คำปรึกษาและกำลังใจทำให้สามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ ไปด้วยดี ขอขอบคุณพี่ชาย พี่สาว และญาติพี่น้องทุกคน ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ฉวีวรรณ สว่างวัน

43911031: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ; วท.ม. (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

คำสำคัญ: การสลายแป้ง/ ปฏิกรณ์ชีวภาพแบบถังกวน/ แอลฟาอะไมเลส / กลูโคอะไมเลส

ฉวีวรรณ สว่างวัน: การสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลในปฏิกรณ์ชีวภาพแบบถังกวน

(STARCH HYDROLYSIS IN A STIRRED TANK BIOREACTOR) อาจารย์ผู้ควบคุม

วิทยานิพนธ์: เสริมฐวัชร ฉ่ำศาสตร์, Ph.D., ศิริโณม ท่งเก้า, Ph.D., เยาวภา ไหวพริบ, Ph.D., ละมุล

วิเศษ, Ph.D., สมถวิล จิตตวร, Ph.D., 98 หน้า. ปี พ.ศ. 2547. ISBN 974-9742-68-0

ศึกษาการสลายแป้งมันสำปะหลัง 2 แบบ คือ การย่อยสลายแป้งทางสารเคมี โดยใช้กรด
ย่อย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ การใช้กรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล
อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นแป้ง 0.35 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) จะให้ปริมาณ
น้ำตาลสูงสุด และการย่อยสลายแป้งทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์ย่อย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อ
การย่อยสลายครั้งแรก (liquefaction) โดยใช้เอนไซม์เทอร์มาไมล (Termamyl) ความเข้มข้น 0.05
เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) ความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ 30 พีพีเอ็ม คือ ความเข้มข้นแป้ง
0.35 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และ
สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายขั้นสุดท้าย (saccharification) โดยใช้เอนไซม์กลูโคอะไมเลส
ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 อุณหภูมิ 65
องศาเซลเซียส จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ข้างต้นมาขยายขนาดใน
ปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 10 ลิตร โดยใช้ความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลัง 30 เปอร์เซ็นต์ และทำแปรผัน
อัตราเร็วในการกวนผสมด้วยใบพัด Ekato Intermig ความเร็ว 200, 300 และ 400 รอบ/นาที (power
input 0.0004, 0.0015 และ 0.0031 วัตต์/กิโลกรัม ตามลำดับ) วิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อย และหาค่าค่าสมมูลเดกซ์โตรส (DE) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้
ประสิทธิภาพของระบบ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการกวนผสมของใบพัดในครั้งแรก คือ
ความเร็วของใบพัด 400 รอบ/นาที (power input เท่ากับ 0.0031 วัตต์/กิโลกรัม) ค่า Reynolds
number (Re) มีค่าสูงกว่า 10^4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราแรงเฉือน พบว่าเมื่อเพิ่ม
ระยะเวลาในการกวนผสมสารมากขึ้น ความหนืดของของเหลวจะลดลง ซึ่งความหนืดในขั้นตอน
การย่อยครั้งแรก จะอยู่ในช่วง 3.5-20 มิลลิปาสกาล.นาทีก ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด คือ 38
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และค่า DE เท่ากับ 28 เมื่อผ่านการย่อยสลายแป้งครั้งสุดท้าย ความหนืดจะอยู่
ในช่วง 0.5 – 3.5 มิลลิปาสกาล.นาทีก เมื่อเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมงจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด คือ
253 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ ได้ค่า DE เท่ากับ 98.5 ซึ่งจากการทดลองนี้สามารถให้ขยายส่วน
สำหรับการสลายแป้งในปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดใหญ่จนถึงระดับอุตสาหกรรมได้

43911031: MAJOR: BIOLOGICAL SCIENCE; M.Sc. (BIOLOGICAL SCIENCE)

KEYWORDS: STARCH HYDROLYSIS/BIOREACTOR/AMYLASE/GLUCOAMYLASE

CHAWEEWAN SAWANGWAN: STARCH HYDROLYSIS IN A STIRRED TANK
LYSIS BIOREACTOR. THESIS ADVISOR: SAETHAWAT CHAMSART, Ph.D., SIRICHOM
THUNGKAO, YAOWAPHA WAIPRIB, Ph.D., LAMUN VISAET, Ph.D., SOMTAWIN
JARITKHUAN, Ph.D., 98 P. 2004. ISBN 974-9742-68-0

Cassava starch was hydrolysed by two methods, physical hydrolysis using acids and biological hydrolysis using enzymes. The optimum condition for acid hydrolysis of 0.35 % w/v starch was using 1*N* sulfuric acid and hydrolysing at 98 °C. For enzymatic hydrolysis the optimum condition for liquefaction of 0.35 % w/v starch by 0.05 % v/v Thermamyl with CaCl₂ 30 ppm was at 90 °C and pH 6.5 while the optimum condition of saccharification by 0.1% v/v glucoamylase was at 60 °C and pH 4.5.

Scale-up of a 10 L stirred tank lysis bioreactor was conducted using optimum conditions described above. Cassava starch at a concentration of 30%-w/v was hydrolysed by enzymes α -amylase and glucoamylase in the lysis bioreactor fitted with two-stage Ekato Internig impeller stirred at 200, 300, and 400 rpm equivalent to powerinput, E_T , of 0.0004, 0.0015, and 0.0031 W/kg, respectively. Analysis of rheological properties, reducing sugars produced and DE of the starch lysates showed that the best agitation speed for liquefaction was at 400 rpm giving the $Re > 10^4$. Rheological properties showed that the viscosity of the starch lysate reduced as function of shear and lysis time giving a range of viscosity from 3.5 to 20 m Pa s with a maximum yield of reducing sugar of 38 mg/mL and the DE of 28. The sugar lysate during saccharification had a range of viscosity from 0.5 to 3.5 m Pa s at 20 h of saccharification. The maximum yield of reducing sugar of 253 mg/mL and the DE of 98.5 were obtained. Results from this work can be used for scale-up of starch hydrolysis in the larger and the industrial scales.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
แป้ง (starch).....	5
มันสำปะหลัง (cassava).....	7
กระบวนการสลายแป้งให้เป็นน้ำตาล.....	8
เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยแป้ง.....	13
ประโยชน์ของการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล.....	15
ปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor).....	15
รีโอโลยี (rheology).....	16
ความหนืด (viscosity).....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
วัสดุอุปกรณ์.....	29
สารเคมีและวัตถุดิบ.....	29
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสลายแป้งทางเคมี.....	30

“ต้นฉบับไม่สมบูรณ์”

“ไม่ปรากฏหน้านี้ในต้นฉบับ”

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ความแตกต่างของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน(amylopectin)	6
2-2 การกำหนดคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและมันเส้นสะอาด..	8
2-3 การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลสที่สภาวะต่าง ๆ.....	27
2-4 การย่อยแป้งด้วยกรดที่สภาวะต่าง ๆ	28
ภาคผนวกที่ 1-1 การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน.....	85
ภาคผนวก 1-2 Power input และ Re สำหรับการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์เทอร์มามิล	86
ภาคผนวก 1-3 Power input และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของการย่อยสลายแป้งด้วย เอนไซม์เทอร์มามิล.....	86
ภาคผนวก 1-4 Power input และ DE ของการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์เทอร์มามิล.....	87
ภาคผนวก1-5 Power input และ Re ของการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส	87
ภาคผนวก 1-6 Power input และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของการย่อยสลายแป้งด้วย เอนไซม์กลูโคอะไมเลส.....	88
ภาคผนวก1-7 Power input และ DE ของการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....	6
2-2 ลักษณะของแป้งมันสำปะหลังดิบโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ขยาย 500 เท่า.....	7
2-3 กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสด้วยกรดย่อย	10
2-4 กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสด้วยเอนไซม์.....	13
2-5 ปฏิกริยชีวภาพแบบกวน.....	15
2-6 ลักษณะการไหลของของไหล	18
2-7 ลักษณะแรงที่กระทำต่อพื้นที่ในลักษณะด้านการไหลของสาร.....	19
2-8 การไหลของสารแบบต่าง ๆ.....	21
3-1 องค์ประกอบต่าง ๆ ในการย่อยสลายแป้งมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาล.....	33
3-2 ขั้นตอนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสลายแป้งมันสำปะหลังหรือมันเส้น ด้วยกรด.....	34
3-3 ขั้นตอนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสลายแป้งมันสำปะหลังหรือมันเส้น โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสหรือเทอร์มิลในการย่อยครั้งแรก.....	36
3-4 ขั้นตอนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสลายแป้งมันสำปะหลังหรือมันเส้น โดยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสในการย่อยครั้งสุดท้าย.....	37
4-1 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	40
4-1 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	40
4-1 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	41
4-2 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	42
4-2 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	43
4-2 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยกรดชนิด 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ที่ เวลาต่าง ๆ กัน.....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังที่สลายด้วยเอนไซม์ เทอร์มามิลที่ความเป็นกรดต่าง 5.5 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	45
4-3 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังที่สลายด้วยเอนไซม์ เทอร์มามิลที่ความเป็นกรดต่าง 6.0 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	45
4-3 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังที่สลายด้วยเอนไซม์ เทอร์มามิลที่ความเป็นกรดต่าง 6.5 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	46
4-4 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลที่ความ เป็นกรดต่าง 5.5 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	47
4-3 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลที่ ความเป็นกรดต่าง 6.0 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	48
4-3 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นที่สลายด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลที่ความ เป็นกรดต่าง 6.5 ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน.....	48
4-4 ก อัตราเร็วของปฏิกิริยาการสลายแป้งมันสำปะหลังสู่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยเอนไซม์เทอร์มามิล.....	49
4-5 ข อัตราเร็วของปฏิกิริยาการสลายมันเส้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันด้วยเอนไซม์ เทอร์มามิล.....	50
4-6 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	51
4-6 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	51
4-6 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.0 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	52
4-7 ก ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายมันเส้นด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสที่ความเป็น กรด-ด่าง 4.0 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	53
4-7 ข ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 ค ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการสลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.0 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	54
4-8 ก อัตราเร็วของปฏิกิริยาการสลายแป้งมันสำปะหลังสุกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส.....	55
4-8 ข อัตราเร็วของปฏิกิริยาการสลายมันเส้นสุกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันด้วยเอนไซม์ กลูโคอะไมเลส.....	56
4-9 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการสลายแป้งมันด้วยวิธีต่างๆ.....	57
4-10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการสลายแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันด้วย เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	59
4-11 ค่า DE จากการสลายแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันด้วย เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	59
4-12 ดังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 10 ลิตร ขยายขนาดการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วย เอนไซม์.....	60
4-13 ค่า Re ขณะย่อยสลายแป้งครั้งแรกด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลที่อัตราเร็วของ ใบกัดและเวลาในการย่อยต่าง ๆ กัน.....	62
4-14 ปริมาณน้ำตาลของการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลที่เวลา ต่างๆกันและอัตราเร็วในการกวนต่าง ๆ กัน.....	63
4-15 Power input และ DE สำหรับการสลายแป้งด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลเวลาต่างๆ กันและอัตราเร็วในการกวนต่าง ๆ กัน.....	63
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราแรงเฉือนของตัวอย่างแป้งที่ได้จากการ สลายด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลในปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีการกวนผสมด้วยใบกัด Ekato Intermig ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ และเวลาต่าง ๆ กัน.....	65
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอัตราแรงเฉือนของตัวอย่างแป้งที่ได้จากการ สลายด้วยเอนไซม์เทอร์มามิลในปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีการกวนผสมด้วยใบกัด Ekato Intermig ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่เวลาในการย่อยต่าง ๆ.....	66
4-18 ค่า Re ขณะย่อยสลายแป้งครั้งแรกด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่อัตราเร็วของ ใบกัดและเวลาในการย่อยต่าง ๆ กัน.....	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-19 ปริมาณน้ำตาของการสลายแป้งครั้งที่สองด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสที่เวลา ต่าง ๆ กันและอัตราเร็วในการกวนต่าง ๆ กัน.....	69
4-20 ค่า DE ปริมาณน้ำตาของการสลายแป้งครั้งที่สองด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสที่ เวลาต่าง ๆ กันและอัตราเร็วในการกวนต่าง ๆ กัน.....	69
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราแรงเฉือนของตัวอย่างแป้งที่ได้จากการ สลายด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสในปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีการกวนผสมด้วยใบพัด Ekato Intermig ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ และเวลาต่าง ๆ กัน.....	70
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอัตราแรงเฉือนของตัวอย่างแป้งที่ได้จากการ สลายด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสในปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีการกวนผสมด้วยใบพัด Ekato Intermig ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่เวลาในการย่อยต่าง ๆ.....	71