การใช้เซลลูเลสเพื่อช่วยในการแยกซิลิกาจากแกลบ

นายบัณฑิต ฝั่งสินธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาจุลชีววิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-869-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17840090

Utilization of Cellulase to Facilitate Isolation Silica from Rice Husk

Mr. Bundit Fungsin

A Thesis Submitted in Partial Fuifillment of the Requirements

Department of Microbiology

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-869-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้เซลลูเลสเพื่อช่วยในการแยกซิลิกาจากแกลบ
โดย	นายบัณฑิต ผั่งสินธุ์
ภาควิชา	จุลชีววิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน
ปีการศึกษา	2538

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล)

.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน)

.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(Dr. Reinhard Conradt)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

บัณฑิต ฝั่งสินธุ์ : การใช้เซลลูเลสเพื่อช่วยในการแยกซิลิกาจากแกลบ (UTILIZATION OF CELLULASE TO FACILITATE ISOLATION SILICA FROM RICE HUSK.)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุเทพ ธนียวัน, 122 หน้า. ISBN 974-632-869-7

อ.ที่ปรึกษาร่วม : Dr. Reinhard Conradt

ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าเอนไซม์เซลลูสามารถไฮโดรไลซ์เซลลูโลสออกจากแกลบสำหรับการเตรียมซิลิกาได้ อย่างไรก็ตามพบว่าปฏิกิริยาดังกล่าวถูกยับยั้งได้โดยโลหะหรือออิออนที่อยู่ในแกลบเอง การเติมเอธิลีนไดเอมีนเททราแอซีติคแอซิด (EDTA) ที่ 0.2% (w/v) สามารถคีเลทสารดังกล่าวออกและลดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ปัจจัยอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงคือการดูดซับ (absorption) ของเอนไซม์โดยสารที่อยู่ในแกลบ พบว่าการเติมดีเทอร์เจนท์ ทวีน 80 ที่ 0.1% (v/v)สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเอนไซม์ 2.84 เท่า ภาวะเหมาะสมสำหรับการย่อยแกลบโดยเซลลูเลส คือ ระบบที่มีแกลบที่เตรียมโดยการใช้กรด 9% (w/v) ในน้ำปลอดประจุ EDTA 0.02% (w/v) ทวีน 80 0.1% (v/v) ที่ความเป็นกรดด่าง 4.5-4.8 ภายใต้การเขย่า 200 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง สำหรับวิธีการปรับสภาพแกลบที่ให้ผลดีร่วมกับการย่อยด้วยเซลลูเลสจะเป็นการเตรียมด้วยกรด autoclave และการต้มตามลำดับ สำหรับวิธีเตรียมที่ไม่ใช้กรดพบว่า การ autoclave แกลบนาน 2 ช.ม. ให้ประสิทธิภาพการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 83% ของแกลบที่เตรียมด้วยกรด

ภาวะที่ใช้เลี้ยง Trichoderma reesei TISTR 3081 เพื่อการผลิตเซลลูเลสจะใช้กล้าเชื้อที่เป็นชิ้นของรา 5 ชิ้น ในอาหารเพาะเลี้ยง 100 มล. ที่มีเอวิเซล 2% เป็นสารชักนำ โดยทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันพร้อมการเขย่า 200 รอบต่อนาที ภายใต้ภาวะข้างต้นเชื้อให้แอคิวิตีของ เซลลูโลสรวม แอฟฟิเอส เอนโดกลูคาเนส เอกโซกลูคาเนส และเบตากลูโคสิเดสเป็น 7.40, 0.9, 0.4, 0.15 และ 0.29 หน่วยต่อมล. อาหารเลี้ยงเชื้อตามลำดับ เมื่อนำส่วนน้ำใสที่ได้ซึ่งมีเอนไซม์อยู่ด้วยไปย่อยแกลบที่อุณหภูมิห้อง ความเป็นกรดด่าง 4.6-4.8 พบว่าสามารถไฮโดรไลซ์แกลบใกล้เคียงกันกับเอนไซม์ทางพาณิชย์

พบว่าการใช้เซลลูเลสในระบบการย่อยแกลบที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีการต่าง ๆ ต่างทำให้ซิลิกาที่ได้หลังการเผามีสีขาวกว่าตลอดจนมีความบริสุทธิ์ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้เอนไซม์ สำหรับวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้เอนไซม์ไฮโดรไลซ์แกลบที่ผ่านการแปรสภาพด้วย HCl 1:5 โดยให้เถ้าแกลบที่มีซิลิกามากกว่า 99% ซึ่งสูงกว่าในกรณีที่ใช้แกลบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดที่ลัดส่วน 1:4 เสียอีก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C425976 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY
KEY WORD: CELLULASE / RICE HUSK / SILICA / Trichoderma reesei.

BUNDIT FUNGSIN : UTILIZATION OF CELLULASE TO FACILITATE ISOLATION SILICA FROM RICE HUSK.
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SUTHEP THANIYAVARN, Ph.D.,
THESIS CO-ADVISOR : DR. REINHARD CONRADT.
122 pp., ISBN 974-632-869-7

Perliminary results revealed that the incorporation of cellulase into silica preparation system could hydrolyzed cellulose presence in rice husk and improved purity of silica after ashing. However, such reaction was found inhibit by metals or ions present in the husk itself. Addition of ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) at 0.2% (w/v) cound chelate such substances and restored activity close to normal. Other factor that affected efficiency of cellulase was the absorption of enzyme by rice husk. It was found that upon the addition of Tween 80, an non ionic detergent at 0.1% (v/v) could increased efficiency of enzyme by 2.84 times. Optimal conditions for cellulase hydrolysis was : 9% (w/v) of rice husk pretreated with acid in deionized water, 0.02% (w/v) EDTA, 0.1% (v/v) Tween 80 pH 4.5-4.8 with agitation rate of 200 rpm at room temperature. Pretreatments of choice for use along with cellulase were : acid, autoclaving and boiling respectively. The best non-acidic pretreatment was autoclaving for 2 hours which gave a 83% of that of acid pretreatment.

Cultivation of Trichoderma reesei TISTR 3081 for cellulase production were carried out by inoculating 5 fungal pellets into 100 ml of production medium supplemented with 2% avicel as cellulase inducer, the system was cultivated by shaking at 200 rpm for 7 days at room temperature. Under such conditions, yield of total cellulase, FPase, endoglucanase, exoglucanase and β-glucosidase were at 7.4, 0.9, 0.4, 0.15 and 0.29 unit/ml. of culture broth respectively. Supernatant from the isolated culture were showed to be able to hydrolyzed rice husk almost as good as commercial enzyme at room temperature, pH 4.6-4.8.

In all pretreated cases, the incorporation of cellulase could enhance the whiteness of silica after ashing in comparison to those without enzyme. The best combination observed was the use of cellulase on husk treated with HCl 1:5, by which a 99% purity was obtained and of higher than those observed in case of 1:4 hydrochloric acid pretreatment.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุเทพ ธนียวัน ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ แนวความคิด ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ Dr. Reinhard Conradt ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ให้ความรู้ทางวัสดุศาสตร์เป็นอย่างดีและให้ความกรุณารับเป็นกรรมการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และ รศ.ดร.นลิน นิลอุบล ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการ และประธานสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยาที่ได้มีส่วนช่วยเหลือให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาจุลชีววิทยา ที่มีส่วนช่วยเหลือแนะนำการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทอีสเอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อเอนไซม์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณ คุณนุชนภา ตั้งบริบูรณ์ แห่งสถาบันวิเคราะห์โลหะและวัสดุศาสตร์ ที่ช่วยกรุณาวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาให้

ขอขอบพระคุณท่านรองผู้ว่าการฯ อาจารย์พูนศุข อัตถะสัมปุณณะ ท่านผู้อำนวยการสาขาวิจัยอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ อาจารย์ดร.พงศ์เทพ อันตะริกานนท์ ท่านผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมัก อาจารย์ประไพศรี สมใจ ตลอดจนพี่ ๆ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมัก สถาบันวิจัยวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ ขอบพระคุณญาติพี่น้อง ซึ่งให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้เขียน จนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญรูป..... ญ
คำย่อ..... ฐ
บทที่
1. บทนำ..... 1
2. อุปกรณ์และสารเคมี..... 37
3. วิธีดำเนินการทดลอง..... 39
4. ผลการทดลอง..... 53
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 98
เอกสารอ้างอิง..... 105
ภาคผนวก..... 119
ประวัติผู้เขียน..... 122

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.	ผลผลิตข้าวของประเทศที่ผลิตได้มาก 12 อันดับแรก..... ของโลกปี.พ.ศ.2534	1
ตารางที่ 2.	ผลผลิตข้าวของประเทศไทยในระหว่างปี 2530-2535.....	2
ตารางที่ 3.	แสดงส่วนประกอบหลักของแกลบ.....	2
ตารางที่ 4.	แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ.....	3
ตารางที่ 5.	แสดงปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในเถ้าของพืชต่าง ๆ.....	4
ตารางที่ 6.	สถิติปริมาณและมูลค่าการนำเข้าประเทศของสาร..... ประกอบซิลิกา	6
ตารางที่ 7.	เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยวัสดุทางการเกษตร..... ด้วยกรดและด่าง	24
ตารางที่ 8.	เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยวัสดุทางการเกษตร..... ด้วยเอนไซม์	25
ตารางที่ 9.	สายพันธุ์รา Trichoderma ที่เก็บในศูนย์เก็บรวบรวม..... Natrick	30
ตารางที่ 10.	แสดงสกุลของจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส.....	35
ตารางที่ 11.	แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่ได้ จากการย่อยแกลบ..... ปริมาณน้ำขจัดอิออน 50, 60 และ 70 มล.	65
ตารางที่ 12.	แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่ได้ในระบบการย่อยแกลบชนิด..... ต่าง ๆ ในน้ำขจัดอิออน	72
ตารางที่ 13.	เปรียบเทียบค่าน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่ได้ในการย่อยแกลบชนิด..... ต่าง ๆ โดยใช้น้ำขจัดอิออน, ซิเตรทบัฟเฟอร์และซิเตรท บัฟเฟอร์ดัดแปลง	77
ตารางที่ 14.	แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรด..... โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ปริมาณต่าง ๆ กัน ที่ 48 ชม.	78
ตารางที่ 15.	แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบที่เตรียมโดยการ..... ใช้การ autoclave และเฮกเซน	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 16. เปรียบเทียบค่าแอคติวิตีเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุดที่ได้..... 80
จากรา Trichoderma. reesei TISTR 3081
ตารางที่ 17. เปรียบเทียบลักษณะและสีของแกลบที่ผ่านการเตรียมด้วย..... 88
วิธีต่าง ๆ
ตารางที่ 18. เปรียบเทียบน้ำหนักที่เหลือจากการเตรียมและการเผา..... 93
แกลบชนิดต่าง ๆ
ตารางที่ 19. เปรียบเทียบสีของเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบที่ผ่าน..... 94
การเตรียมโดยวิธีต่าง ๆ
ตารางที่ 20. แสดงปริมาณของซิลิกาในเถ้าแกลบที่ได้จากการเผา..... 96
แกลบชนิดต่าง ๆ
ตารางที่ 21. แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area)..... 97
ของเถ้าแกลบหรือซิลิกาที่เตรียมจากการเผาแกลบชนิดต่าง ๆ
ตารางที่ 22. ลักษณะของแกลบที่ปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆและซิลิกาที่ได้..... 102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. แสดงการเข้าไปสะสมของซิลิกาในข้าวและแหล่งสะสมของ..... 8
ซิลิกาในแกลบ

รูปที่ 2. แสดงการแยกองค์ประกอบในเซลล์พืช..... 10

รูปที่ 3. แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของหน่วยกลูโคสในเซลลูโลส..... 11

รูปที่ 4. ลักษณะของไมโครไฟบริล..... 12

รูปที่ 5. โครงสร้างเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์ของพืชทั่วไป..... 13

รูปที่ 6. แสดงลำดับการเข้าทำปฏิกริยาการย่อยสลายเซลลูโลสของ..... 17
ระบบเอนไซม์เซลลูเลส

รูปที่ 7. การสังเคราะห์และควบคุมการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในเชื้อรา..... 18
T. reesei

รูปที่ 8. แผนผังการผลิตซิลิกาจากแกลบ..... 22

รูปที่ 9. การปรับสภาพแกลบด้วยกรด..... 40

รูปที่ 10. ผลการย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกด้วยเอนไซม์..... 54
เซลลูเลส

รูปที่ 11. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้าในสภาวะ..... 55
ที่ไม่มีแกลบ

รูปที่ 12. แสดงผลค่าแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสในสภาวะที่มีซิลิกา..... 57
ปริมาณต่าง ๆ อยู่ในระบบ

รูปที่ 13. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส ในระบบการย่อยแกลบ..... 58
ที่มีการเติม EDTA.

รูปที่ 14. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส ในระบบการย่อยแกลบ..... 60
ที่เติมแมกนีเซียมอิออน (Mg^{2+})

รูปที่ 15. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า ในการย่อย..... 61
แกลบในช่วงเวลา 1,2,4,8 และ 24 ชั่วโมง

รูปที่ 16. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ ในระบบการย่อยแกลบที่เตรียม..... 63
ด้วยกรด 3 ระบบคือ เติมทวีน 80, ใช้การสั่น, ระบบควบคุม
ไม่ได้เติมทวีน 80

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 17. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์, โปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ในการ..... 64
ย่อยแกลบที่เติมทวีน 80 เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่เติม ทวีน 80

รูปที่ 18. ผลการย่อยแกลบ 3 ระบบ ซึ่งใช้ปริมาณน้ำขจัดอิออน 50 มล.,..... 66
60 มล., และ 70 มล.

รูปที่ 19. แสดงค่าแอคติวิตีเอนไซม์เซลลูเลสและน้ำตาลาลรีดิวซ์ใน..... 67
การย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรด แปรผันปริมาณทวีน 80

รูปที่ 20. แสดงค่าแอคติวิตีเอนไซม์และน้ำตาลรีดิวซ์ในการย่อยแกลบ..... 69
ที่เตรียมด้วยกรด ที่แปรผันปริมาณ EDTA.

รูปที่ 21. แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบ ชนิดที่ไม่ได้..... 70
เตรียมด้วยกรดในน้ำขจัดอิออน

รูปที่ 22. แสดงค่าแอคติวิตีเอนไซม์ในระบบการย่อยแกลบชนิดที่ไม่ได้..... 71
เตรียมด้วยกรดในน้ำขจัดอิออน

รูปที่ 23. แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ ในระบบการย่อยแกลบที่ไม่ได้..... 73
เตรียมด้วยกรดโดยใช้ซิเตรทบัฟเฟอร์

รูปที่ 24. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ในระบบการย่อยแกลบที่ไม่ได้..... 74
เตรียมด้วยกรดโดยใช้ซิเตรทบัฟเฟอร์

รูปที่ 25. แสดงค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบที่ไม่ได้เตรียม..... 75
ด้วยกรด โดยใช้ซิเตรทบัฟเฟอร์ดัดแปลง

รูปที่ 26. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ในระบบการย่อยแกลบที่ไม่ได้..... 76
เตรียมด้วยกรดโดยใช้ซิเตรทบัฟเฟอร์ดัดแปลง

รูปที่ 27. แสดงค่าแอคติวิตีของเอนไซม์, โปรตีน ของเอนไซม์..... 81
เซลลูเลสจาก T. reesei ในอาหารที่ใช้เอวิเซล

รูปที่ 28. แสดงค่าแอคติวิตีเอนไซม์, เอ็กโซ-กลูคาเนส, เบต้า-..... 82
กลูโคสิเดส และค่า pH ของเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจาก
T. reesei ของรูปที่ 27

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 29.	แสดงค่าแอคติวิตีเอนไซม์, แอฟฟีเอสติวิตีและเอนโด- กลูคาเนสของเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจากรา T. reesei ในอาหารที่ใช้เอวิเซลเป็นแหล่งเซลลูโลส	83
รูปที่ 30.	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบที่แตรียมด้วยกรดด้วย เอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจาก T. reesei ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	85
รูปที่ 31.	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรดด้วย เอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจาก T. reesei ที่ค่า pH ต่าง ๆ	86
รูปที่ 32.	เปรียบเทียบการย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรด ด้วยเอนไซม์ เซลลูเลสทางการค้าและเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจาก T. reesei	87
รูปที่ 33.	การย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน ก่อน้ำ 1:5 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า	89
รูปที่ 34.	การย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน กรดต่อน้ำ 1:5 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตขึ้นเองจาก T. reesei.	90
รูปที่ 35.	การย่อยแกลบที่เตรียมด้วยกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน กรดต่อน้ำ 1:6 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า	91
รูปที่ 36.	แกลบผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ	92
รูปที่ 37.	แกลบหรือซิลิกาที่ได้จากแกลบปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ	95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

ก.	=	กรัม
มก.	=	มิลลิกรัม
มล.	=	มิลลิลิตร
ชม.	=	ชั่วโมง
°ซ	=	องศาเซลเซียส
%	=	เปอร์เซนต์
(v/v)	=	ปริมาตร/ปริมาตร
(w/v)	=	น้ำหนัก/ปริมาตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย