การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากฟางข้าว

นาย ปิยทัศน์ พุ่มทองตรู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2536

ISBN 974-581-924-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019702
i17155118

SINGLE CELL PROTEIN PRODUCTION FROM RICE STRAW

MR. PIYATAT PUMTHONGTROU

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate school

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-581-924-7

copyright of the Graduate school, Chulalongkorn University

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปิยทัศน์ พุ่มทองตรู : การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากฟางข้าว (SINGLE CELL PROTEIN PRODUCTION FROM RICE STRAW) อ.ที่ปรึกษา : ดร.สุเมธ ตันตระเธียร. 134 หน้า. ISBN 974-581-924-7

องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณ โฮโลเซลลูโลส ลิกนิน และโปรตีน เท่ากับ 76.9, 10.6 และ 4.6 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักแห้งของฟางข้าว ตามลำดับ เมื่อนำมาเป็นสับสเตรทสำหรับการหมักแบบ single culture ด้วย Cellulomonas sp. หรือ Trichoderma viride พบว่า แอคติวิตีของ C_o มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.506 และ 1.02 หน่วยต่อมิลลิลิตร และโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.139 และ 0.123 กรัมโปรตีนต่อกรัมของฟางข้าวหมักตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักด้วยวิธีการอื่น คือ การหมักแบบ single culture ด้วย Cellulomonas sp. หรือ T. viride พร้อมกับควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium หรือการหมักแบบ mixed cultures ด้วย Cellulomonas sp. ร่วมกับ Alcaligines faecalis หรือ T. viride ร่วมกับ Candida utilis พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสทุกชนิดและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีแนวโน้มสูงกว่าการหมักแบบ single culture ด้วย Cellulomonas sp. หรือ T. viride ที่ไม่ได้ควบคุมพีเอช โดยมีค่าแอคติวิตีของ C_o มีค่าสูง สุดเท่ากับ 0.51, 1.05, 0.99 และ 1.04 หน่วยต่อมิลลิลิตร และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.139, 0.160, 0.175 และ 0.163 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าวหมักตามลำดับ เมื่อทดลองหมักแบบ mixed cultures ด้วย Cellulomonas sp. ร่วมกับ A. faecalis หรือ T. viride ร่วมกับ C. utilis พร้อมกับควบคุมพีเอชด้วย buffer medium พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสทุกชนิดและโปรตีนของฟางข้าวหมักมีแนวโน้มสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วยวิธีการอื่น โดยมีแอคติวิตีของ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.22 และ 1.27 หน่วยต่อมิลลิลิตร และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.202 และ 0.223 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าวหมัก ตามลำดับ

ปริมาณโปรตีนของ Cellulomonas sp., Cellulomonas sp. ร่วมกับ A. faecalis, T. viride และ T. viride ร่วมกับ C. utilis เท่ากับ 26.37, 31.67, 13.08 และ 15.67 กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนเซลล์เดียว ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซนต์โปรตีนของ Cellulomonas sp. ร่วมกับ A. faecalis และ T. viride ร่วมกับ C. utilis ที่ผ่านการสกัดโปรตีน เท่ากับ 32.56 และ 17.93 กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนเซลล์เดียว สำหรับปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากทุกการทดลองก็มีปริมาณใกล้เคียงมาตรฐานกรดอะมิโนที่ WHO อ้างอิง ยกเว้น cystine ที่มีปริมาณต่ำกว่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##C326683 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: CELLULASE / RICE STRAW

PIYATAT PUMTHONGTROU : SINGLE CELL PROTEIN PRODUCTION FROM RICE STRAW. THESIS ADVISOR : SUMATE TANTRATIAN, Ph.D. 134 pp.
ISBN 974-581-924-7

Chemical composition of the NaOH treated rice straw composed of the holocellulose, lignin and protein at 76.9, 10.6 and 4.6 percent dry weight, respectively. Using rice straw as a substrate for single culture fermentation of Cellulomonas sp. and of Trichoderma viride were examined. The maximum C_o activity obtained were 0.506 and 1.02 unit/ml., the protein content of bacteria or fungus were 0.139 and 0.123 g/g dry weight of substrate, respectively. In comparison with other fermentation method the fermentation with single culture from Cellulomonas sp. or T. viride and maintaining pH with buffer medium or mixed cultures of Cellulomonas sp. and Alcaligines faecalis or T. viride and Candida utilis., the amount of cellulase activity, and the protein content from these dermentations were higher than both Cellulomonas sp. or T. viride without maintaining pH. The maximum C_o activity were 0.51, 1.05, 0.99 and 1.04 unit/ml. The protein contents of bacteria or fungus were 0.139, 0.160, 0.175 and 0.163 g/g dry weight of substrate, respectively. The fermentation with mixed cultures of Cellulomonas sp. and A. faecalis or T. viride and Candida utilis., with maintaining pH had the highest cellulase activities, and the protein contents. The maximum C_o activities were 1.22 and 1.27 unit/ml. and protein contents were 0.202 and 0.223 g/g dry weight of substrate, respectively.

The protein contents of Cellulomonas sp., Cellulomonas sp. and A. faecalis, T. viride and T. viride and C. utilis were 25.57, 31.67, 13.08 and 15.67 g/100 g dry weight of SCP, respectively. Yield of protein extraction from Cellulomonas sp. and A. faecalis, T. viride and C. utilis were 32.56, 17.93 g/100 g dry weight of SCP. The content of the essential amino acid in all SCP products were most similar in WHO reference essential amino acid except the amount of cystine from products less than that refered by WHO.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากฟางข้าว
โดย	นาย ปิยทัศน์ พุ่มทองตรู
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

ฉ

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ พี่ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้เขียนจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และอาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล กรรมการ ในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาจุลชีววิทยา ทุกท่านที่ให้ความสะดวกแก่งานวิจัยของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

คำย่อ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทรรศน์

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว 6

2.2 เซลลูเลส 10

2.3 การเตรียมฟางข้าวขั้นต้น 16

2.4 การผลิตน้ำตาลกลูโคสโดยการย่อยสลายเซลลูโลส 17

2.5 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส 17

2.6 การใช้จุลินทรีย์ผสมในการย่อยสลายเซลลูโลส 19

2.7 โปรตีนเซลล์เดียวจากฟางข้าว 20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 การสกัดโปรตีนจากโปรตีนเซลล์เดียว 21

3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ 24

3.2 วัสดุและเคมีภัณฑ์ 25

3.3 การเก็บรักษาจุลินทรีย์ 26

3.4 การตรวจสอบลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ 27

3.5 การเตรียมเซลล์สำหรับเป็น inoculum 28

3.6 ฟางข้าว 29

3.7 การหมักฟางข้าวด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 34

3.8 การตรวจสอบแอคติวิตีเซลลูเลสของจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 35

3.9 การวิเคราะห์หาโปรตีนตามวิธี Lowry 38

3.10 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและโปรตีนของฟางข้าวหมัก 38

3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียว 39

3.12 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัดโปรตีน..... 39

4. ผลงานวิจัย

4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ 42

4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น 45

4.3 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 45

4.4 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวใน buffer medium .. 51

4.5 เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวที่ใช้ buffer medium กับการหมักที่ไม่ได้ใช้ buffer medium 53

4.6 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 62

4.7 เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวกับจุลินทรีย์ผสม 64

4.8 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมใน buffer medium 73

4.9 เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมที่ใช้ buffer medium กับไม่ใช้ buffer medium 75

4.10 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว 84

4.11 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน..... 86

5. วิจารณ์และสรุปผลงานวิจัย

5.1 การศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว .. 92

5.2 การศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวใน buffer medium 94

5.3 การศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 96

5.4 การศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมใน buffer medium 98

5.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของโปรตีนเซลล์เดียว 100

5.6 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียว 101

5.7 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัด 102

5.8 สรุปผล 104

เอกสารอ้างอิง 107

ภาคผนวก 113

ประวัติผู้เขียน 134

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 องค์ประกอบของเซลล์พืช 6

รูปที่ 2 พันธะไฮโดรเจนในเซลลูโลส โดยกลูโคสแต่ละยูนิตจะเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเซลลูโลส 2 พันธะ คือ O3-H...O5' และ O6...H-O2' และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลเซลลูโลส O6-H...O3 7

รูปที่ 3 ลำดับการรวมกลุ่มของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช และโครงสร้างของสายเซลลูโลส .. 8

รูปที่ 4 การย่อยสลายเซลลูโลส โดยเอนไซม์ "X" และเอนไซม์องค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสตามสมมติฐานของ Cowling 12

รูปที่ 5 การจัดเรียงตัวของหน่วยกลูโคไพราโนสในทิศทางตรงกันข้ามกันในผลึกเซลลูโลส ... 14

รูปที่ 6 กระบวนการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากอ้อย 21

รูปที่ 7 โครงสร้างของเปปติโดไกลแคน..... 23

รูปที่ 8 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส 30

รูปที่ 9 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลส 33

รูปที่ 10 ลักษณะของ *Cellulomonas* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า ... 43

รูปที่ 11 ลักษณะของ *A. faecaliss* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า 43

รูปที่ 12 ลักษณะของ *T. viride* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า 44

รูปที่ 13 ลักษณะของ *C. utilis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า 44

รูปที่ 14 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. 49

รูปที่ 15 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* 50

รูปที่ 16 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium 56

รูปที่ 17 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium 57

รูปที่ 18 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. กับ *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium 58

รูปที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. กับ *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium 59

รูปที่ 20 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* กับ *T. viride* และ ควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium 60

รูปที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* กับ *T. viride* และควบคุม พีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium 61

รูปที่ 22 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.ร่วมกับ *A. faecalis* 67

รูปที่ 23 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* 68

รูปที่ 24 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* กับ *Cellulomonas* sp. 69

รูปที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* กับ *Cellulomonas* sp. 70

รูปที่ 26 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* กับ *T. viride* 71

รูปที่ 27 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* กับ *T. viride* 72

รูปที่ 28 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.ร่วมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium 78

รูปที่ 29 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium 79

รูปที่ 30 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium กับไม่ควบคุมพีเอช 80

รูปที่ 31 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium กับไม่ควบคุมพีเอช 81

รูปที่ 32 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับไม่ควบคุมพีเอช 82

รูปที่ 33 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับไม่ควบคุมพีเอช 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 สถิติผลผลิตข้าวรวม (นาปีและนาปรัง) ในประเทศไทย 3

2 จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส 18

3 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น 45

4 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. กับ *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium 54

5 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* กับ *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium 55

6 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และ *Cellulomonas* sp. ชนิดเดียว 65

7 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และ *T. viride* ชนิดเดียว 66

8 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium กับไม่ควบคุมพีเอช 76

9 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.30 กับ ไม่ควบคุมพีเอช 84

10 ปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว 85

11 ปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัด 85

12 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนเซลล์เดียว)..... 87

13 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ100กรัม โปรตีนเซลล์เดียว)..... 88

14 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนเซลล์เดียว)..... 89

15 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ100กรัม โปรตีนเซลล์เดียว)..... 90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

นม.= นาโนเมตร

มล.= มิลลิลิตร

มก.= มิลลิกรัม

C_o = เซลลูเลสรวม

C_1 = เอกโซกลูคาเนส

C_x = เอนโดกลูคาเนส

β = เบต้า-กลูโคซิเดส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย