การฟอกเยื่อกระดาษแบบชีวภาพโดย

Phanerocheate chrysosporium และ *Ganoderma lucidum*

นางสาวเรือนแก้ว ประพฤติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-484-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOBLEACHING OF A PAPER PULP BY *Phanerocheate chrysosporium* AND *Ganoderma lucidum*

Miss Reankeaw Praphet

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974 – 332 – 484 - 4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การฟอกเยื่อกระดาษแบบชีวภาพด้วยโดย *Phanerocheate chrysosporium* และ *Ganoderma lucidum*
โดย	นางสาวเรือนแก้ว ประพฤติ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ มุกดา ดูหิรัญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ มุกดา ดูหิรัญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เดือนใจ ไก้สกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

เรือนแก้ว ประพฤติ : การฟอกเยื่อกระดาษโดยวิธีการทางชีวภาพโดย *Phanerocheate chrysosporium* และ *Ganoderma lucidum* (BIOBLEACHING OF EUCALYPTUS PULP BY *Phanerocheate chrysosporium* AND *Ganoderma lucidum*) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. มุกดา ตูหิรัญ, 112 หน้า. ISBN 974-332-484-4.

การฟอกเยื่อกระดาษด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยเชื้อรา *Phanerocheate chrysosporium* และเชื้อรา *Ganoderma lucidum* โดยได้ศึกษาภาวะการฟอกเยื่อในอาหาร 2 สูตร คือ PDB ที่มี 0.5% กลูโคส และสูตร production ที่มี 0.4 mM veratyl alcohol และมีการเติมเยื่อยูคาลิปตัสที่ยังไม่ผ่านการฟอก 10 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าคัปปานัมเบอร์เริ่มต้นเท่ากับ 17.47 และค่าความขาวสว่างเท่ากับ 36.85% ทำการศึกษาภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในอาหารทั้ง 2 สูตร ที่ 5 ระดับ คือ 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ที่ภาวะอุณหภูมิ 25 °C 30 °C 35 °C และ 40 °C ตามลำดับ ในภาวะที่มีการเขย่า พบว่าเชื้อราทั้ง 2 ชนิด ต้องการภาวะเหมาะสมต่อการสร้างเอนไซม์และการฟอกเยื่อในอาหารสูตร production ได้ดีกว่าอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส โดย *P. chrysosporium* มี pH เริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 5.0 ที่อุณหภูมิ 40 °C ให้ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์-ออกซิเดสเท่ากับ 0.274 U/ml ค่า Kappa number เท่ากับ 9.53 ค่า Brightness เท่ากับ 52.18% ใช้ระยะเวลาฟอกเยื่อนาน 7 วัน *G. lucidum* มี pH เริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 3.0 ที่อุณหภูมิ 25 °C ค่าแอคติวิตี้เท่ากับ 0.080 U/ml ค่า Kappa number เท่ากับ 12.85 ค่า Brightness เท่ากับ 45.54% ระยะเวลาฟอกเยื่อ 11 วัน

เนื่องจาก *P.chrysosporium* มีเอนไซม์แอคติวิตี้สูงจึงได้เลือกเชื้อนี้มาผลิต crude เอนไซม์ ในอาหารสูตร production ที่มีการเติมเยื่อที่ยังไม่ผ่านการฟอก 10 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ที่ pH 5.0 อุณหภูมิ 40 °C ในภาวะเขย่า ใช้ระยะเวลา 7 วัน นำส่วน supernatant มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที อุณหภูมิ 4 °C เพื่อแยกเอา crude เอนไซม์ออกมา นำ crude เอนไซม์ที่ได้มาทำการศึกษาภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการฟอกเยื่อใน 0.5 mM โซเดียมซิเตรต บัฟเฟอร์ ที่ pH 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ที่ภาวะอุณหภูมิ 25 °C 30 °C 35 °C และ 40 °C ตามลำดับ โดยเติมเยื่อกระดาษที่ยังไม่ผ่านการฟอก 1 กรัม ต่อ crude เอนไซม์ 6.25 Units พบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์คือ pH 5.0 ที่อุณหภูมิ 40 °C ให้ค่า Kappa number ของเยื่อเท่ากับ 9.36 ค่า Brightness เท่ากับ 50.91%

ภาควิชา ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

#C827213 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD:
Phanerocheate chrysosporium / *Ganoderma lucidum* / BIOBLEACHING

REANKEAW PRAPHET : BIOBLEACHING OF EUCALYPTUS PULP BY *Phanerocheate chrysosporium* AND *Ganoderma lucidum*. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. HUNSA PUNNAPAYAK, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. MUKDA KUHIRUN, 112 pp. ISBN 974-332-484-4.

The biobleaching of a eucalyptus paper pulp with *Phanerocheate chrysosporium* and *Ganoderma lucidum* was investigated by using 2 types of media including the PDB with 0.5% glucose and the production medium with 0.4 mM veratyl alcohol. Ten grams of unbleached eucalyptus pulp (Kappa number 17.47, brightness 36.85%) was added. The conditions tested were at pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 and at temperature 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40°C, under agitated conditions. Both fungi showed ability to bleach in the production medium. *P. chrysosporium* preferred initial pH of 5.0, 40 °C giving 0.274 IU/ml lignin peroxidase, Kappa number 9.53 and Brightness 52.18% within 7 days. *G. lucidum* preferred pH of 3.0, 25 °C,giving 0.080 IU/ml lignin peroxidase, Kappa number 12.85 and Brightness 45.54% within 11 days.

P. chrysosporium was selected for the crude enzyme by preparation due to its high enzyme activity. The crude enzyme was prepared in the production medium at pH 5.0 with 10g unbleached eucalyptus pulps, and was incubated at 40 °C 150 rpm for 7 days. The supernatant containing crude enzyme was separated from the pulp by centrifugation at 5,000 rpm for 20 minutes and 4 °C. The bleaching of the pulp was investigated in the presence of 0.5 mM Sodium citrate buffer at pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 at 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40°C, with 6.25 IU crude enzyme/1 g (OD) pulp. The data showed that the suitable conditions for biobleaching with the crude enzyme are at pH 5.0, 40°C giving Kappa number 9.36 and Brightness 50.91% of the eucalyptus pulp.

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฎ
บทที่
1.บทนำ.....1
2.วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....17
3.ผลการทดลอง.....26
4.วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....70
รายงานอ้างอิง.....81
ภาคผนวก 88
ประวัติผู้เขียน.....112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนได้กรุณาปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ มุกดา ดูหิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อข้าพเจ้า รวมทั้งได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เตือนใจ โก้สกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกัญญา สุนทรส ภาควิชาชีวเคมี ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในเรื่องของเอนไซม์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าอย่างมาก

ขอกราบขอบพระคุณ คุณรุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ คุณธีรชัย รัตนโรจน์มงคล กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานของข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์รวมทั้งบุคคลากรในภาควิชาพฤกษศาสตร์ทุกๆท่าน และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ และน้องๆ ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อและให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ค่าดัปปานัมเบอร์และ ค่าความขาวสว่างของเยื่อ เมื่อฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....29

2 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ค่าดัปปานัมเบอร์และ ค่าความขาวสว่างของเยื่อ เมื่อฟอกด้วยเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....30

3 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ค่าดัปปานัมเบอร์และ ค่าความขาวสว่างของเยื่อ เมื่อฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร productionที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....32

4 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ค่าดัปปานัมเบอร์และ ค่าความขาวสว่างของเยื่อ เมื่อฟอกด้วยเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหารสูตร productionที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....32

5 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนินเปอร์ ออกซิเดสที่สร้างในภาวะต่างๆ.....33

6 ค่าดัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกในภาวะต่างๆ.....35

7 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกในภาวะต่างๆ.....37

8 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สร้างโดยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร production ที่ pH 5.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....42

9 ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สร้างโดยเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ pH 3.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อ ต่างๆ.....43

10 ค่าดัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร production ที่ pH 5.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....46

11 ค่าดัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ pH 3.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....47

12 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร production ที่ pH 5.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

13 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ pH 3.0 ที่อุณหภูมิและเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....51

14 ค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่ภาวะอุณหภูมิและ pH ต่างๆ.....58

15 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่ภาวะอุณหภูมิและ pH ต่างๆ.....61

16 ค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่เปอร์เซนต์ความข้นของเยื่อต่างๆ.....65

17 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่เปอร์เซนต์ความข้นของเยื่อต่างๆ.....65

18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ ที่สร้างขึ้นในภาวะต่างๆ.....100

19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ฟอกในภาวะต่างๆ.....101

20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ฟอกในภาวะต่างๆ.....102

21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ที่สร้างจากเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....103

22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา P.chrysosporium ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....104

23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ที่สร้างจากเชื้อรา *G. lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....106

25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *G. lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....107

26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *G. lucidum* ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาในการฟอกต่างๆ.....108

27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ที่ภาวะอุณหภูมิและความเป็นกรดด่างต่างๆ.....109

28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ที่ภาวะอุณหภูมิและความเป็นกรดด่างต่างๆ.....110

29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อเมื่อใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเยื่อต่างๆ.....111

30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อเมื่อใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเยื่อต่างๆ.....111

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1 สาร precursors สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน.....6

2 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน..... 6

3 สาร derivertives ที่เกิดจากการย่อยสลายลิกนิน.....8

4 เชื้อรา *P. chrysosporium* เจริญบนอาหาร PDA อายุ 4 วัน.....19

5 เชื้อรา *G. lucidum* เจริญบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน.....20

6 เครื่องวัดความขาวสว่าง Elrepho 2000.....21

7 การเจริญของเชื้อรา *P.chrysosporium* และเชื้อรา *G.lucidum* ในอาหาร PDB.....27

8 แอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สร้างโดยเชื้อรา *P.chrysosporium* และ *G.lucidum* ในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคสและ production ที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....34

9 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* และ *G.lucidum* ต่อค่าดัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกในอาหารสูตรPDB 0.5% กลูโคสและ production ที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....36

10 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* และ *G.lucidum* ต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการฟอกในอาหารสูตรPDB 0.5% กลูโคสและ production ที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....38

11 แผ่น hand sheet ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* เมื่อฟอกเยื่อในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส ที่ระดับ pH ต่างๆ.....39

12 แผ่น hand sheet ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *G.lucidum* เมื่อฟอกเยื่อในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส ที่ระดับ pH ต่างๆ.....40

13 แอคติวิตี้ของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สร้างโดยเชื้อรา *P.chrysosporium* ที่ pH 5.0และ *G.lucidum* ที่ pH 3.0 ในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาฟอกเยื่อต่างๆ.....44

14 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ที่ pH 5.0และ *G.lucidum* ที่ pH 3.0 ต่อค่าดัปปานัมเบอร์ของเยื่อในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาการฟอกเยื่อต่างๆ.....48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

15 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* ที่ pH 5.0และ *G.lucidum* ที่ pH 3.0 ต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อในอาหารสูตร production ที่ภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาการฟอกเยื่อต่างๆ.....52

16 เชื้อรา *P.chrysosporium* เจริญบนอาหาร PDA.....53

17 เชื้อรา *G.lucidum* เจริญบนอาหาร PDA.....54

18 เครื่องวัดความขาวสว่าง.....55

19 แผ่น hand sheet ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อรา *P.chrysosporium* เมื่อฟอกเยื่อในอาหารสูตร PDB 0.5% กลูโคส ที่ระดับ pH ต่างๆ.....56

20 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วย crude เอนไซม์ ต่อค่าคัปปานัมเบอร์ ของเยื่อที่ภาวะอุณหภูมิและ pH ต่างๆ.....59

21 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วย crude เอนไซม์ ต่อค่าความขาวสว่าง ของเยื่อที่ฟอกในภาวะอุณหภูมิและ pH ต่างๆ.....62

22 แผ่น hand sheet ของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ เมื่อฟอกที่อุณหภูมิต่างๆ..... 63

23 ผลของประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วย crude เอนไซม์ ต่อค่าคัปปานัมเบอร์ ที่เปอร์เซ็นต์ความข้นของเยื่อต่างๆ.....66

24 ผลของประสิทธิภาพารฟอกเยื่อด้วย crude เอนไซม์ ต่อค่าความขาวสว่าง ที่เปอร์เซ็นต์ความข้นของเยื่อต่างๆ.....67

25 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่อัตราส่วน ของเอนไซม์ต่อเยื่อต่างๆ.....68

26 แผ่น hand sheet ที่ผ่านการฟอกด้วย crude เอนไซม์ ที่อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเยื่อต่างๆ.....69