การฟอกสีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยเชื้อราฟอกขาวสายพันธุ์ที่คัดแยกจากเขตร้อน

นางสาวทิฆัมพร ระย้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 9 7 2 3 0 7 5 2 3

DECOLORIZATION OF WASTEWATER FROM PULP AND PAPER INDUSTRY BY TROPICAL ISOLATES OF WHITE ROT FUNGI

Miss Thikhumporn Raya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

522253

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การฟอกสีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยเชื้อราฟอกขาวสายพันธุ์ที่คัดแยกจากเขตร้อน
โดย	นางสาวทิฆัมพร ระย้า
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ- หลง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกทิพย์ ภักดีบำรุง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ อนิวรรต เฉลิมพงษ์)

ทิฆัมพร ระย้า : การฟอกสีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยเชื้อราฟอกขาวสายพันธุ์ที่คัดแยกจากเขตร้อน. (DECOLORIZATION OF WASTEWATER FROM PULP AND PAPER INDUSTRY BY TROPICAL ISOLATES OF WHITE ROT FUNGI) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. สีหนาท ประสงค์สุข, 130 หน้า.

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเห็ดราในกลุ่มราฟอกขาวจากแหล่งธรรมชาติในประเทศไทยทั้งหมด 13 จังหวัด พบว่าสามารถแยกเส้นใยให้บริสุทธิ์และจัดจำแนกได้ทั้งหมด 35 สายพันธุ์ จากนั้นจึงทำการทดสอบการผลิตแลคเคสพบว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตแลคเคสดีที่สุดคือ *Pycnoporus sanguineus* CM1 จากนั้นจึงนำสายพันธุ์นี้มาหาภาวะที่เหมาะสมของการผลิตแลคเคสโดยพบว่าแหล่งคาร์บอนคือน้ำตาลกลูโคส (2 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่ากิจกรรมแลคเคสสูงสุด (0.67±0.125 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) ส่วนแหล่งไนโตรเจนคือเปปโตน (0.25 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่ากิจกรรมแลคเคสสูงสุด (0.752±0.01ยูนิตต่อมิลลิลิตร) แหล่งอาหารเสริมคือยีสต์สกัด (0.25 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่ากิจกรรมแลคเคสสูงสุด (0.85±0.04 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) และทำการศึกษาผลของคอปเปอร์ซัลเฟตโดยพบว่าที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิโมลาร์ ให้ค่ากิจกรรมแลคเคสสูงสุดเท่ากับ (1.60±0.06 ยูนิตต่อมิลลิตร) แลคเคสที่ผลิตได้นำมาทำให้บริสุทธิ์บางส่วนด้วยการตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าที่ความเข้มข้นของเกลือที่อิ่มตัว 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากิจกรรมของแลคเคสเพิ่มขึ้น 3.95 เท่า จากนั้นจึงนำเชื้อรา *Pycnoporus sanguineus* CM1 และแลคเคสไปทำการลดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษ โดยทำการใช้เชื้อราอิสระเริ่มต้น 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสีน้ำเสียได้ 76 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้ 13 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ชั่วโมง 21 ของการเลี้ยงเชื้อ และเมื่อใช้เชื้อรา *Pycnoporus sanguineus* CM1 ตรึงรูป พบว่าสามารถใช้เม็ดเชื้อราตรึงลดสีน้ำเสียได้ 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 สามารถลดสีน้ำเสีย ลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้ 74 เปอร์เซ็นต์ 44.2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ชั่วโมงที่ 24 และครั้งที่ 2 สามารถลดสีน้ำเสียได้ 73 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าบีโอดีได้ 33 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั่วโมงที่ 15 แต่ไม่สามารถลดค่าซีโอดีได้ เมื่อใช้แลคเคสตรึงรูป 100 ยูนิตต่อมิลลิลิตร พบว่าสามารถนำแลคเคสตรึงรูปมาใช้ซ้ำได้ 6 ครั้ง โดยค่าการลดลงของสีน้ำเสียคือ 74.0 เปอร์เซ็นต์ ครั้งแรก และ13.28 เปอร์เซ็นต์ ครั้งสุดท้าย ตามลำดับ และลดค่าบีโอดีได้ครั้งแรก 50 และ ครั้งสุดท้าย 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าซีโอดีสามารถลดได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ในครั้งแรก และหลังจากนั้นไม่สามารถลดค่าซีโอดีได้อีก

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ..... ลายมือชื่อนิสิต.....ทิฆัมพร ระย้า.....

ปีการศึกษา 2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4972307523 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS : WHITE ROT FUNGI / LACCASE / DECOLORIZATION

THIKHUMPORN RAYA : DECOLORIZATION OF WASTEWATER FROM PULP AND PAPER INDUSTRY BY TROPICAL ISOLATES OF WHITE ROT FUNGI. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF, HUNSA PUNNAPAYAK, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SEHANAT PRASONGSUK, Ph.D. 130 pp.

White rot fungi were collected from natural habitats of 13 provinces in Thailand. Pure mycelia were from 35 fungal samples isolated which were successfully identified. All strains were assessed for laccase production and the highest laccase activity was obtained from *Pycnoporus sanguineus* CM1. This strain was further optimized for laccase production conditions. It was found that the highest laccase activity was obtained from 2.0% of glucose as carbon source (0.67±0.125 U/ml), 0.25% of peptone as nitrogen source (0.752±0.01 U/ml), 0.25% of yeast extract as nutrient supplement (0.85±0.04 U/ml) and 0.6 mM copper sulphate (Cu_2SO_4) as inducer (1.60±0.06 U/ml). Laccase was then partially purified using ammonium sulphate precipitation. At 80% of $(NH_4)_2SO_4$, the laccase activity increased 3.95 folds. The enzyme was used to decolorized wastewater from paper and pulp industry. By using 20% of free fungal cells, the color, BOD and COD of wastewater reduced by 76%, 13% and 16%, respectively at 21 hours of incubation. Using immobilized *Pycnoporus sanguineus* CM1 cell to decolorize wastewater, the immobilized cell could be used 2 cycles. During the first cycles, they reduced color of wastewater up to 74% while its BOD and COD reduced by 44.2% and 5% respectively after 24 hours. During the second cycles, they reduced color of wastewater up to 73% while its BOD reduced by 33% but COD did not reduce. By using immobilized laccase (100 U/ml) to decolorized wastewater, the immobilized laccase could be used 6 cycles. The color of wastewater was reduced during 74% for the first cycles and by 13.2% during the last cycles. Its BOD was reduced by 50% during the first cycles and 46% during the last cycles while its COD was reduced by 5% in the first cycles and it was not reduced after that.

Field of Study : Biotechnology Student's Signature ธิกฐมพร ร.ย.

Academic Year : 2009 Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความเมตตาและความอนุเคราะห์จากหลายๆ ฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณา ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนได้แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณา ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และแนะนำให้ข้อคิดเห็น ตลอดจนได้แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ปรีดา บุญ-หลง ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. กนกทิพย์ ภักดีบำรุง ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ อนิวรรต เฉลิมพงษ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และคอยให้คำปรึกษา แนะนำ และสั่งสอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษา และแนะนำให้ข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทุนวิจัยโครงการส่งเสริมความเป็นเลิศทางความหลากหลายทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณโรงงานเยื่อและกระดาษ บริษัท สยามคราฟ จำกัด อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ รวมถึงบุคลากรในภาควิชาพฤกษศาสตร์ทุกท่าน ตลอดจน เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่เอื้อเฟื้อและช่วยเหลือ เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่สาว พี่ชาย น้องชาย สำหรับความรัก ความอบอุ่น และเป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือและสนับสนุนทางการเงินจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์..... 2

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ชีวมวลของพืช..... 3

2.2 เชื้อราฟอกขาว หรือ White Rot Fungi..... 8

2.3 เอนไซม์และเซลล์ตรึงรูป 10

2.4 วิธีการตรึงเอนไซม์และเซลล์ในแคลเซียมอัลจิเนต 12

2.5 หลักการและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย..... 15

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 22

3.1 วัสดุอุปกรณ์..... 22

3.2 เคมีภัณฑ์..... 22

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 23

3.3.1 การเก็บตัวอย่าง การแยกเส้นใยให้บริสุทธิ์และการจัดจำแนกเห็ดรา กลุ่มฟอกขาวจากจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย..... 23

3.3.2 การตรวจสอบความสามารถในการผลิตแลคเคส..... 28

3.3.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแลคเคส..... 29

3.3.4 การทำแลคเคสให้บริสุทธิ์บางส่วน..... 29

3.3.5 การลดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษด้วยราฟอกขาว..... 30

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 35

4.1 การเก็บตัวอย่าง การแยกเส้นใยให้บริสุทธิ์และการจัดจำแนกเห็ดกลุ่มฟอกขาวจากจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย..... 35

4.2 การตรวจสอบความสามารถในการผลิตแลคเคส..... 73

4.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแลคเคส..... 78

4.4 การทำแลคเคสให้บริสุทธิ์บางส่วน..... 94

4.5 การลดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษด้วยเชื้อรา *P. sanguineus* CM1..... 95

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 104

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง..... 111

รายการอ้างอิง..... 113

ภาคผนวก..... 120

ภาคผนวก ก..... 121

ภาคผนวก ข..... 123

ภาคผนวก ค..... 127

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 130

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณของสารแต่ละชนิดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา PCR.....	26
2	ปฏิกิริยาที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณ ดีเอ็นเอโดยการทำปฏิกิริยาด้วยเทคนิค PCR..	27
3	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์น้ำเสียก่อนและหลังการทดลอง.....	31
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย.....	36
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	37
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	38
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	39
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	40
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	41
4	ชนิดพันธุ์เห็ดราฟอกขาวที่เก็บได้จากท้องที่จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย (ต่อ)...	42
5	ความสามารถของเห็ดราฟอกขาวในการสร้างวงสีเขียวบนอาหารสูตร PDA ที่มี ABTS.....	73
5	ความสามารถของเห็ดราฟอกขาวในการสร้างวงสีเขียวบนอาหารสูตร PDA ที่มี ABTS (ต่อ).....	74
5	ความสามารถของเห็ดราฟอกขาวในการสร้างวงสีเขียวบนอาหารสูตร PDA	
5	ที่มี ABTS (ต่อ).....	75
6	ค่ากิจกรรมของแลคเคสสูงสุดที่ผลิตโดยเห็ดราฟอกขาวทั้ง 35 สายพันธุ์.....	77
	ค่ากิจกรรมของแลคเคสสูงสุดที่ผลิตโดยเห็ดราฟอกขาวทั้ง 35 สายพันธุ์ (ต่อ)...	78
7	การทำโปรตีนให้บริสุทธิ์บางส่วนโดยการตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียม ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	95
8	การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ.....	96
9	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพ โดย *P. sanguineus* CM1อิสระ.....	99
10	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพ โดยเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ตรึงรูป.....	101

11 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยแลคเคสตรึงรูป..... 103
ค. 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการทำกราฟโปรตีนมาตรฐานของ BSA..... 128
ค. 2 แสดงปริมาณเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่เติมลงในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 129

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง	3
2	โครงสร้างของลิกนินในเนื้อไม้	6
3	โครงสร้างของสารตั้งต้น phenyl propanoid ทั้ง 3 ชนิดของกระบวนการสังเคราะห์ลิกนิน	7
4	โครงสร้างของอัลจิเนตชนิดต่างๆ	14
5	กลไกการเกิดเจลของแคลเซียมอัลจิเนต (Egg-box model)	14
6	ลักษณะดอกเห็ด *Phellinus pachyphloeus* (BKK1)	42
7	ลักษณะดอก *Ganoderma* lucidum (BKK2)	43
8	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (BKK3)	44
9	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (BKK4)	45
10	ลักษณะดอกเห็ด *Phellinus robustus* (BKK5)	45
11	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (BKK6)	46
12	ลักษณะดอกเห็ด *Heterobasidion annosum* (BKK7)	47
13	ลักษณะดอกเห็ด *Earliella scabrosa* (BKK8)	48
14	ลักษณะดอกเห็ด *Pycnoporus sanguineus* (CM1)	48
15	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum*(CB1)	49
16	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (CB2)	50
17	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (CB3)	51
18	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma applanatum* (NK1)	52
19	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (NK2)	53
20	ลักษณะดอกเห็ด *Phellinus rimosus (*NRM1)	54
21	ลักษณะดอกเห็ด *Trametes elegans* (NRM2)	55
22	ลักษณะดอกเห็ด *Amuroderma infunaibuliforme* (NRM3)	56
23	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (NRM4)	57
24	ลักษณะดอกเห็ด *Schizophyllum commune* (NS1)	58
25	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma boninence* (NB1)	59
26	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (NB2)	60

ภาพที่		หน้า
27	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma applanatum* (PC1).....	61
28	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (PC2).....	61
29	ลักษณะดอกเห็ด *Schizophyllum commune* (PC3).....	62
30	ลักษณะดอกเห็ด *Schizophyllum commune* (PC4).....	63
31	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (PB1).....	64
32	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lobatum* (PB2).....	65
33	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (SB1).....	66
34	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma lucidum* (SB2)	67
35	ลักษณะดอกเห็ด *Schizophyllum commune* (SB3).....	68
36	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma sichuanense* (SR1).....	69
37	ลักษณะดอกเห็ด *Phellinus orentalis* (SR2).....	70
38	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (SP1).....	70
39	ลักษณะดอกเห็ด *Ganoderma australe* (SP2).....	71
40	ลักษณะดอกเห็ด *Trametes cervina* (SK1).....	72
41	ลักษณะของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่สามารถเปลี่ยนสีบนอาหาร PDA ที่มี ABTS	76
42	ลักษณะของเชื้อรา *P. robustus* (BKK5) ที่ไม่สามารถเปลี่ยนสีบนอาหาร PDA ที่มี ABTS	76
43	กิจกรรมของแลคเคสจากเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่ผลิตได้ในคาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์.....	79
44	การเจริญของเส้นใยเห็ดสายพันธุ์ *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์.....	80
45	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหารของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์.....	80
46	กิจกรรมของแลคเคสจากเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่ผลิตได้ในคาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์.....	81
47	การเจริญของเส้นใยเห็ดสายพันธุ์ *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์.....	82

ภาพที่		หน้า
48	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหารของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์.....	82
49	กิจกรรมของแลคเคสจากเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่ผลิตได้ในคาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 4.0 เปอร์เซ็นต์.....	83
50	การเจริญของเส้นใยเห็ดสายพันธุ์ *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 4.0 เปอร์เซ็นต์.....	84
51	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหารของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่คาร์บอนแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 4.0 เปอร์เซ็นต์.....	84
52	กิจกรรมของแลคเคสจากเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่ผลิตได้เมื่อใช้เปปโตนเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ	85
53	การเจริญเติบโตของเส้นใยของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 เมื่อใช้เปปโตนเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	86
54	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหารของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 เมื่อใช้เปปโตนเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	86
55	กิจกรรมของแลคเคสจากเชื้อรา *P. sanguineus* CM1 ที่ผลิตได้เมื่อใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	87
56	การเจริญเติบโตของเส้นใยเมื่อใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1.....	88
57	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างเมื่อใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อ *P. sanguineus* CM1.....	88
58	ผลการผลิตแลคเคสเมื่อใช้ยีสต์สกัดเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1.....	89
59	การเจริญเติบโตของเส้นใยเมื่อใช้ยีสต์สกัดเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1.....	90
60	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างเมื่อใช้ยีสต์สกัดเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อ *P. sanguineus* CM1.....	90

ภาพที่		หน้า
61	ผลการผลิตแลคเคสเมื่อใช้เคซีนเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1	91
62	การเจริญเติบโตของเส้นใยเมื่อใช้เคซีนเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1	92
63	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างเมื่อใช้เคซีนเป็นแหล่งอาหารเสริมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อ *P. sanguineus* CM1	92
64	ผลการผลิตแลคเคสเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P.sanguineus*CM1	93
65	การเจริญเติบโตของเส้นใยเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อรา *P. sanguineus* CM1	93
66	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหารเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเชื้อ *P. sanguineus* CM1	94
67	สีของน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษ เมื่อทำการเลี้ยง *P. sanguineus* CM1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	97
68	ประสิทธิภาพของการลดลงของสีน้ำเสียเมื่อใช้เซลล์อิสระ *P. sanguineus* CM1 ที่เวลาต่างๆ	97
69	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างในการลดสีน้ำเสียเมื่อใช้เซลล์อิสระ *P. sanguineus* CM1 ที่เวลาต่างๆ	98
70	ประสิทธิภาพการลดลงของสีน้ำเสียเมื่อใช้เซลล์ตรึง *P. sanguineus* CM1 ที่เวลาต่างๆ ในการลดสีน้ำเสีย	100
71	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างเมื่อใช้เซลล์ตรึง *P. sanguineus* CM1 ที่เวลาต่างๆ ในการลดสีน้ำเสีย	100
72	ประสิทธิภาพการลดลงของสีน้ำเสีย 6 รอบ เมื่อใช้แลคเคสตรึงรูปที่ 24 ชั่วโมง	102
73	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของการลดลงของสีน้ำเสีย 6 รอบ เมื่อใช้แลคเคสตรึงรูปที่ 24 ชั่วโมง	102
ค.1	กราฟมาตรฐานปริมาณ BSA ที่ 0-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	127