

## การดูดซับสีในกลุ่มสียอะโซโดยใช้เส้นใยเห็ดไวท์ร็อท, *Lentinus squarrosulus* Mont.

### LS-YA และ *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

### Adsorption of Azo Dyes using White Rot Fungi, *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA

### and *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 in Broth

สุกฤตา บุรณ์เจริญ<sup>1,2\*</sup> ประนอม แซ่จิ่ง<sup>1</sup> และชรีดา ปุกหุด<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>2</sup>คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา วิทยาเขตสุรินทร์

\*E-mail: phira88@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับสีในกลุ่มสียอะโซ 2 ชนิด คือ Acid blue 83 (สีน้ำเงิน) และ 6,6'-Urcylenebis-1-naphthol-3-sulfonic acid (สีเหลือง) โดยใช้เส้นใยเห็ดในกลุ่มไวท์ร็อท ได้แก่ เชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA และเชื้อเส้นใยเห็ดของ *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 ผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรกและ 24 ชั่วโมง เชื้อเส้นใยเห็ดทั้ง 2 ชนิด สามารถลดค่าความเข้มของสีน้ำเงินได้ดีกว่าสีเหลืองโดยเชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว LS-YA มีความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินได้สูงสุดที่ 71.74 % และ 100 % ในขณะที่สามารถดูดซับสีเหลืองได้ 11.03 % และ 18.60 % และพบว่า เชื้อเส้นใยเห็ดของ LP-PT-1 มีความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินได้ 35.67 % และ 79.27 % ในขณะที่สามารถดูดซับสีเหลืองได้ 7.48 % และ 15.83 % ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm การทดลองวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายพบว่าเชื้อทดสอบทั้งสองชนิดไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ดังนั้นจึงพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีมีค่าเกือบคงที่ตลอดการทดลอง จากผลของการศึกษาความสามารถในการดูดซับโดยเชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว LS-YA ที่มีชีวิต และเชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาวที่ไม่มีชีวิต LP-PT-1 พบว่าในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก และ 24 ชั่วโมง เชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว LS-YA ที่มีชีวิต สามารถดูดซับสีน้ำเงินได้สูงสุดที่ 75.53 % และ 100 % ในขณะที่สามารถดูดซับสีเหลืองได้ 53.64 % และ 60.11 % ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก และ 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว LS-YA สามารถสร้างเอนไซม์แลคเคสที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ เท่ากับ 0.5 U/ml ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นของสีที่ลดลงอาจเกิดจากการดูดซับของเส้นใยร่วมกับกิจกรรมของเอนไซม์แลคเคส

**คำสำคัญ** : เชื้อเส้นใยเห็ดของหนอนขาว เชื้อเส้นใยเห็ดของ LP-PT-1 สีส้มเคราห์ การบำบัดสีส้มเคราห์

#### Abstract

This research aimed to study the effectiveness of saprophytic white rot fungi, *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA, and *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 to treat two synthetic silk dyes, Acid blue 83 (blue) and 6,6'-Urcylenebis-1-naphthol-3-sulfonic acid (yellow). The results showed that the cultures of mycelium white rot fungi could reduce the blue dye more efficiently than the yellow dye. *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA reduced the blue dye by 71.74% and 100% and the yellow dye by 11.03% and 18.60% after 2 and 24 hours respectively. Meanwhile *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 reduced the blue dye by 35.67% and 79.27% and the yellow dye by 7.48% and 15.83% after 2 and 24 hours respectively. The tested organisms could not affect the pH of the dye

solutions therefore the pH of the dye solutions during the experiment was relatively stable or slightly changed. The results of the study of the dyes' adsorption by living and dead mycelia showed that living mycelia removed up to 75.53% and 100% of blue dye and 53.64% and 60.11% of yellow dye after 2 and 24 hours respectively. It was also found that *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA produced laccase had an enzyme activity of 0.5 U/ml, making it possible that the absorption of the living mycelia and the activity of laccase were responsible for the reduction of the dyes' concentrations.

**Keywords:** *Lentinus squarrosulus* Mont, LS-YA; *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1; Synthetic dye; Treatment of synthetic dye

## บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตผ้าไหมในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกเป็นจำนวนมาก โดยผู้ผลิตใช้สี 2 ประเภท คือ สีที่ได้จากธรรมชาติและสีที่ได้จากการสังเคราะห์ แต่วัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์สีย้อมมีหลายชนิดที่มีความเป็นพิษสูงมาก และเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-naphthylamine และ benzidine เป็นต้น นอกจากนั้นสีย้อมผ้ายังสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากประกอบด้วยสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพจึงอาจตกค้างในธรรมชาติได้เป็นเวลานาน และเนื่องจากในปัจจุบันผ้าไหมได้รับความนิยมสูง จึงส่งผลทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าไหมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้มีโอกาสพบสีย้อมผ้าปนเปื้อนและตกค้างในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในความปลอดภัยของผู้บริโภคและเป็นปัญหาในการบำบัด ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าและพบว่าเชื้อราขาว (whit rot fungi) สามารถใช้ในการดูดซับสีย้อม [1],[8] และพบว่าเชื้อราขาวสามารถผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายสีย้อม [9],[5] นอกจากนี้สีเหลือซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของก้อนเชื้อที่ใช้เลี้ยงเชื้อราก็มีคุณสมบัติในการดูดซับสี [6],[4] ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นใยเชื้อราขาวในกลุ่มเห็ดชนิดต่างๆ เช่น เห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดตับเต่า หรือโดยใช้ประโยชน์จากก้อนเชื้อเห็ดที่เหลือทิ้งจากฟาร์มเห็ดในการกำจัดสีย้อมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า ซึ่งวิธีการนี้เป็นแนวทางที่ดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีต้นเหตุ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ [3]

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้นของสีที่เหมาะสมในการดูดซับของเชื้อเห็ด
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิตในการดูดซับสีกลุ่มอะโซ

## วิธีการทดลอง

1) สีสังเคราะห์และจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ สีสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ 6,6'-Urcylenebis-1-naphthol-3-sulfonic acid (สีเหลือง) และ Acid blue 83 (สีน้ำเงิน) (ตราช้าง PKS 2000) ซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้ในการย้อมผ้าและเป็นสีที่มีความเข้มข้นสูงสามารถมองเห็นได้ง่ายเมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับจุลินทรีย์ที่ทดสอบได้แก่เชื้อเห็ดขอนขาว *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA, และ เชื้อเห็ดตับเต่า *Lentinus polychrous* Lev. LP-PT-1 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร. ชรีดา ปุกหุด ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

2) การเตรียมเชื้อเห็ดเพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสี

(1) เพาะเชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA และเชื้อเห็ดตับเต่า LP-PT-1 บนอาหาร Fahraeus agar บ่มเชื้อเห็ดเป็นเวลา 5 วัน ที่ 35 ° C

(2) ตัดขอบโคโลนีเชื้อเห็ดที่ได้ด้วย cork borer ขนาด 6 mm จำนวน 10 ชิ้น ใส่ลงในอาหาร Fahraeus broth pH 5.8 ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาตร 100 ml ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เพาะเลี้ยงในเครื่องบ่มเขย่า ที่ความเร็วรอบ 150 rpm ที่ 35 ° C เป็นเวลา 5

วันแล้วเก็บเกี่ยวเส้นใยเชื้อเห็ดทดสอบโดยการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับสีในขั้นตอนนี้ต่อไป

3) การศึกษาความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสี

(1) การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีสังเคราะห์ สร้างกราฟมาตรฐานของสีสังเคราะห์ โดยเตรียมสารละลายของสีน้ำเงิน (Acid blue 83) และ สีเหลือง (6,6'-Urcylenebis-1-naphthol-3-sulfonic acid) ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 80 และ 100 ppm ตามลำดับ นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง (OD) ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer รุ่น Lambda 25 บริษัท Perkin Elmer) ที่ความยาวคลื่น 560 nm (สีน้ำเงิน) และ 400 nm (สีเหลือง) แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายสีกับค่าดูดกลืนแสง

(2) การศึกษาความสามารถของเชื้อเส้นใยเห็ดในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบ นำเชื้อเส้นใยเห็ดของเชื้อ LS-YA และ เชื้อเส้นใยเห็ดชนิด LP-PT-1 น้ำหนักเปียก 5 g มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Fahraeus Broth ซึ่งผสมสีทดสอบความเข้มข้น 100 ppm ในเครื่องปั่นหมวน ที่ความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 35 ° C และเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 1/60, 2 ชั่วโมง และ 1/60-24 ชั่วโมง ตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายสีที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 และ 400 nm ตามลำดับทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) อาหารและสีทดสอบ 2) อาหารและเชื้อเส้นใยเห็ด และ 3) อาหาร เชื้อเส้นใยเห็ดและสีทดสอบ (ชุดควบคุม) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

(3) ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสีทดสอบต่อความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสี ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2 แต่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสีทดสอบ โดยใช้ 0.1 N HCl และ 0.1N NaOH ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3 -10 สังเกตผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเปลี่ยนแปลงของสีโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

(4) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีทดสอบของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตเปรียบเทียบกับเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิต

เพาะเลี้ยงเชื้อเส้นใยเห็ดในอาหารเหลวให้ได้เส้นใยหนัก 10 กรัม สำหรับเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิตเตรียมได้โดยนำเชื้อเส้นใยเห็ดที่ได้ไปล้างด้วยหม้อน้ำ ความดันไอ จากนั้นนำเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตมาทดสอบกับสารละลายสีทดสอบความเข้มข้น 100 ppm โดยนำไปปั่นและเขย่าที่ 35 °C, 150 rpm ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ ทุก 15 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีระหว่างเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิต

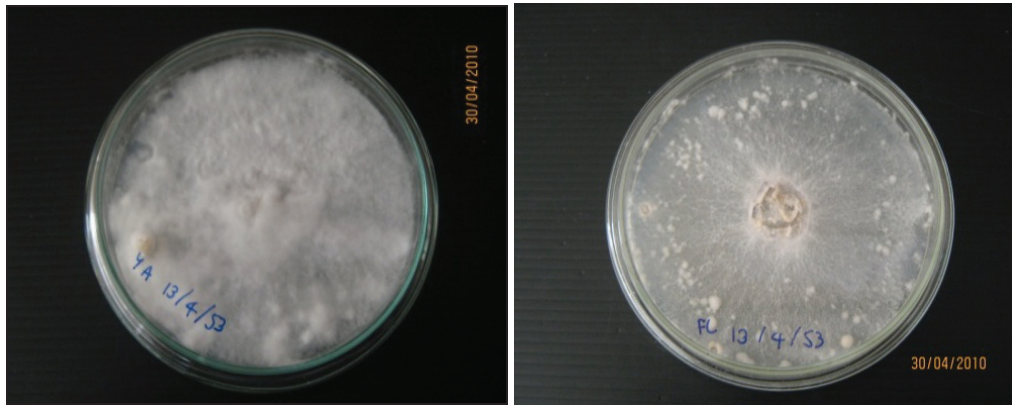
(5) การเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเห็ดในระหว่างกระบวนการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบ นำเชื้อเส้นใยเห็ดของเชื้อ LS-YA ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในระหว่างกระบวนการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีน้ำเงินและสีเหลืองจากข้อ (4) (ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm ในเวลา 24 ชั่วโมง) มาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย โดยกล้องจุลทรรศน์แบบ Compound Microscope รุ่น YS-2H 248596 บริษัท Nikon ที่กำลังขยาย 100 เท่า เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อเห็ดทั้งสองประเภทแล้วบันทึกภาพทดลอง

(6) ศึกษาการผลิตเอนไซม์แลคเคส ทำการศึกษาตามวิธีของ Ride [7]

#### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

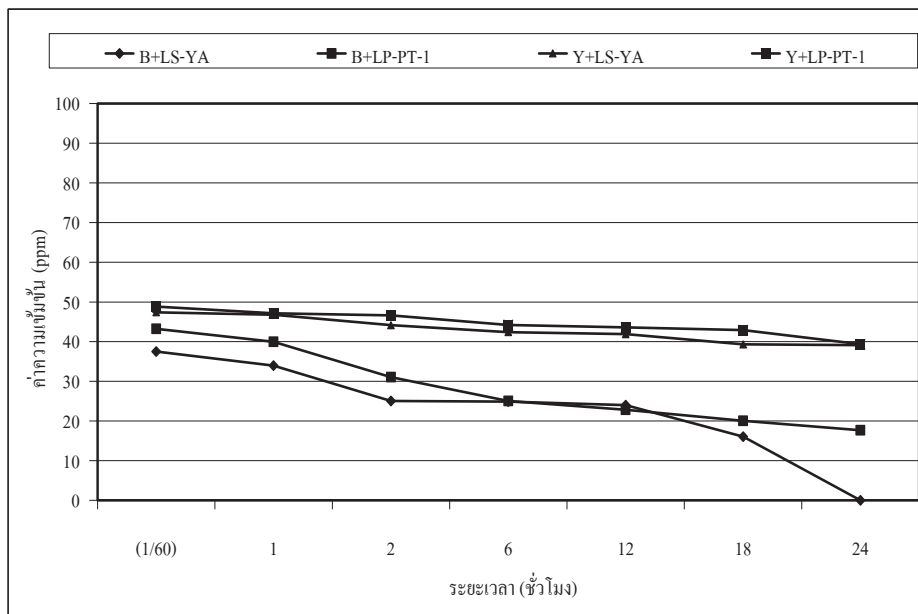
1) การเตรียมเชื้อเห็ดเพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสี

พบว่าเชื้อเห็ดของเชื้อ LS-YA มีเส้นใยสีขาวลักษณะฟูหนาแน่น มีการเจริญของเส้นใยที่สม่ำเสมอ ในขณะที่เส้นใยเห็ดชนิด LP-PT-1 มีการเจริญของเส้นใยสีขาวไม่หนาแน่น มีการเจริญแบบแผ่ลามบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังแสดงในภาพที่ 1

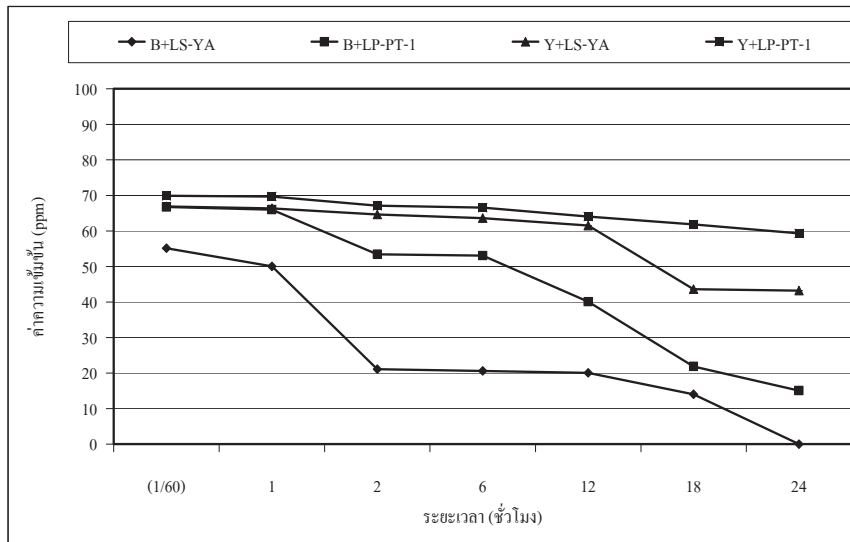


ภาพที่ 1 การเจริญของเชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA (ภาพซ้ายมือ) และการเจริญของเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 (ภาพขวามือ) ระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 35 °C

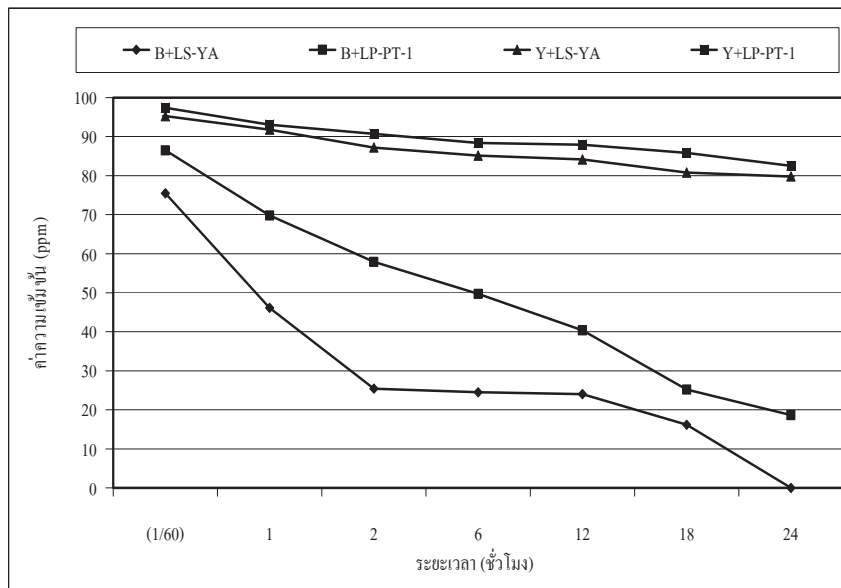
- 2) ศึกษาความสามารถของเชื้อเส้นใยเห็ดในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบ ผลการศึกษาความสามารถของเชื้อเส้นใยในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบ (สีน้ำเงินและสีเหลือง) ที่ความเข้มข้น 50 ppm 75 ppm และ 100 ppm ในเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 2



A



B



C

ภาพที่ 2 ศึกษาความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีน้ำเงินและสีเหลืองเมื่อ เพาะเลี้ยงเชื้อเห็ด LS-YA และเชื้อเส้นใยเห็ด LP-PT-1 ในเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น ของสารละลายสี A เท่ากับ 50 ppm B เท่ากับ 75 ppm และ C เท่ากับ 100 ppm B+LS-YA = สีน้ำเงิน + เชื้อเห็ด LS-YA B+LP-PT-1= สีน้ำเงิน + เชื้อเห็ด LP-PT-1 Y+LS-YA = สีเหลือง + เชื้อเห็ด LS-YA Y+ LP-PT-1= สีเหลือง + เชื้อเห็ด LP-PT-1

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าภายในเวลา 24 ชั่วโมงเชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA และเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 สามารถลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินได้ดีกว่าสีเหลือง โดยพบว่าเชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA สามารถลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินได้เท่ากับ 0 ppm ในทุกความเข้มข้นสี แต่สามารถลดค่าความเข้มข้นของสีเหลืองให้เหลือเท่ากับ 39.11 ppm, 43.21 ppm และ 79.80 ppm สำหรับเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 พบว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินให้เหลือเท่ากับ 17.67 ppm, 15.06 ppm และ 18.66 ppm และสามารถลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีเหลืองให้เหลือเท่ากับ 39.55 ppm, 59.31 ppm และ 82.52 ppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินและสีเหลือง ระหว่างเชื้อเห็ดทดสอบทั้งสองชนิดพบว่า เชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA มีความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบทั้งสองชนิดได้สูงกว่าเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากลักษณะ

ของเส้นใยของเชื้อเห็ดขอนขาว LS-YA ที่มีลักษณะฟูหนาแน่น และมีการเจริญของเส้นใยที่สม่ำเสมอมากกว่าเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 จึงทำให้สามารถดูดซับสีได้ดีกว่าเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Eichlerova et al., [2] ที่พบว่าเชื้อราสามารถลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมได้ทุกสี แต่มีการดูดซับสีแตกต่างกันทั้งนี้เกิดจากปริมาณของเส้นใยที่แตกต่างกัน

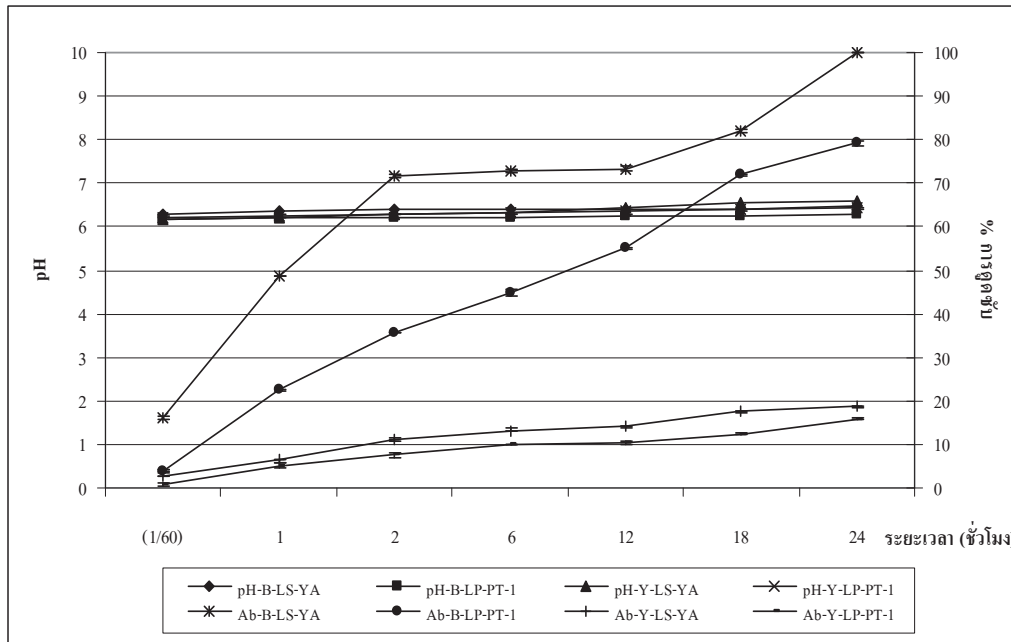
3) ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสีทดสอบต่อความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสี ทำการตรวจสอบผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำทดสอบทั้งสองชนิดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆกัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสีทดสอบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3-10

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงของสีที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ							
	3	4	5	6	7	8	9	10
สีน้ำเงิน	0.105 ± 0.001	0.112 ± 0.003	0.231 ± 0.002	0.253 ± 0.003	0.346 ± 0.001	0.457 ± 0.002	0.598 ± 0.003	0.655 ± 0.001
สีเหลือง	0.219 ± 0.001	0.37 ± 0.001	0.49 ± 0.018	0.581 ± 0.006	0.594 ± 0.001	0.653 ± 0.001	0.786 ± 0.001	0.893 ± 0.001

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีทดสอบทั้งสองชนิดโดย พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง (ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น) ค่าความเข้มของสีทดสอบทั้งสองชนิดจะลดลง ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยตาเปล่าและจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง ดังนั้นเพื่อตรวจสอบว่าความเข้มของสีทดสอบทั้งสองชนิดที่ลดลงระหว่างการบำบัดสีด้วยเชื้อเส้นใยเห็ด

นั้นเป็นผลจากการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือไม่ จึงทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีทั้งสองโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกับสีน้ำเงินกับสีเหลือง และ เชื้อเส้นใยเห็ดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดัง ภาพที่ 3

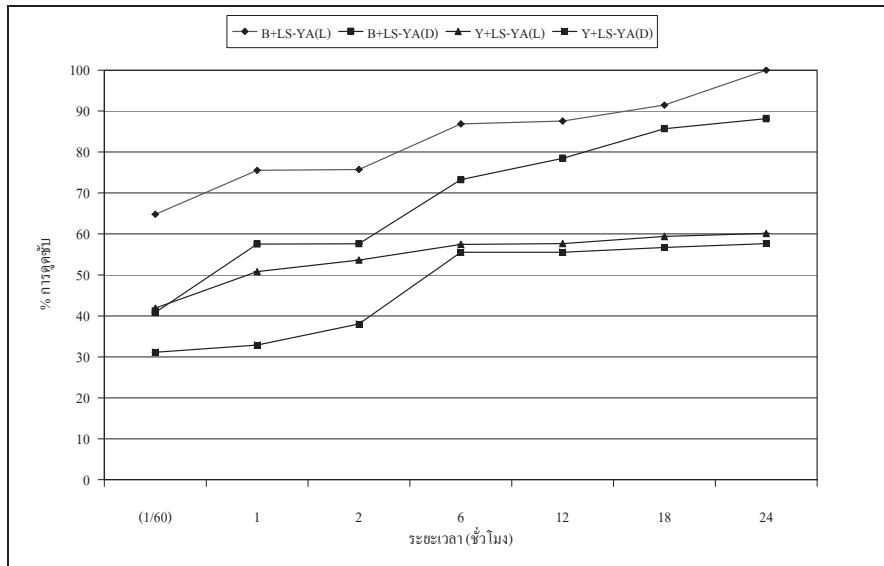


ภาพที่ 3 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อความสามารถในการดูดซับของสีน้ำเงินและสีเหลือง

จากภาพที่ 3 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสีน้ำเงินและสีเหลือง และเชื้อเห็ด (ทั้ง 2 เชื้อ) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยการเปลี่ยนแปลงที่ได้นั้นมีค่าเกือบคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลองในเวลา 24 ชั่วโมงแสดงว่าเชื้อเห็ดทั้งสองชนิดไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสีและค่าการดูดกลืนแสง ที่ลดลงไม่ได้เป็นผลจากการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเชื้อเห็ดทั้งสองชนิด แต่การลดลงของค่าความเข้มข้นของสีนั้นเป็นผลมาจากการดูดซับสีของเชื้อเห็ดทั้ง 2 ชนิด

4) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีทดสอบของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตเปรียบเทียบกับเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิต

ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีทดสอบของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต น้ำหนัก 10 g ของสีทดสอบทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4



**ภาพที่ 4** ความสามารถในการดูดซับของสีน้ำเงินและสีเหลืองเมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่มีชีวิต (L) และเชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่ไม่มีชีวิต (D) ในเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีทดสอบเท่ากับ 100 ppm  
 B+ LS-YA (L) = สีน้ำเงิน + เชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่มีชีวิต  
 B+LS-YA (D) = สีน้ำเงิน + เชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่ไม่มีชีวิต  
 Y+LS-YA (L) = สีเหลือง + เชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่มีชีวิต  
 Y+ LS-YA (D) = สีเหลือง + เชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่ไม่มีชีวิต

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิต และเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิตสามารถลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินได้อย่างต่อเนื่องเวลา 24 ชั่วโมงโดยเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตสามารถลดค่าความเข้มข้นของสีน้ำเงินให้มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0 ppm โดยค่าความเข้มข้นของสีจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 6-12 ชั่วโมงแรกก่อนที่ค่าความเข้มข้นของสีจะลดลงอย่างช้าๆ แต่ลดลงอย่างต่อเนื่องใน 12 ชั่วโมงหลังของการทดลอง ในขณะที่เชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิต สามารถลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีน้ำเงินได้ดีในช่วง 12 ชั่วโมง แต่หลังจากนั้นค่าความเข้มข้นของสารละลายสีจะลดลงน้อยมากในช่วง 12 ชั่วโมงหลังของการทดลอง

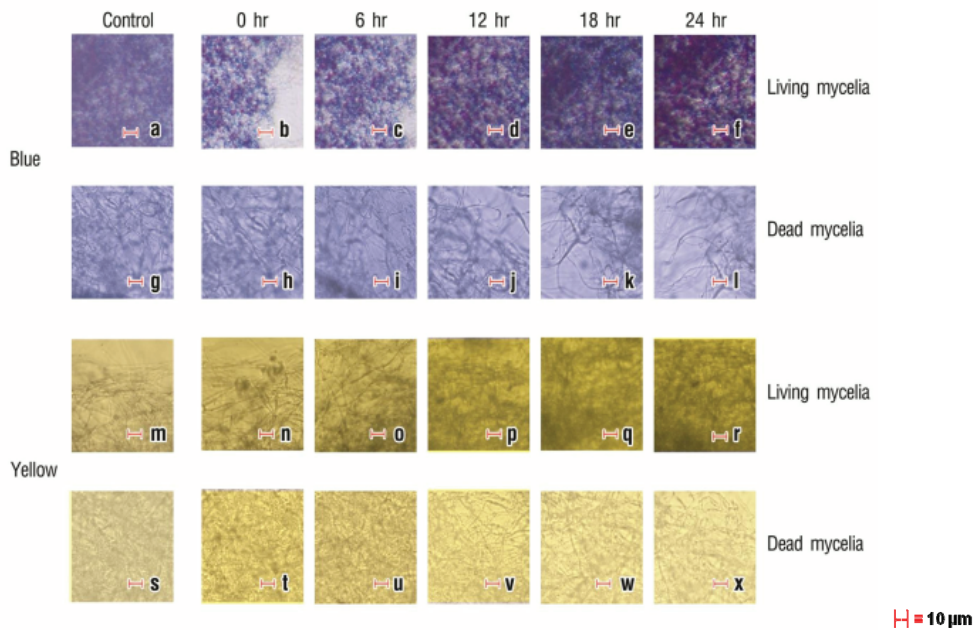
สำหรับในสีเหลืองพบว่าเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิต และเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิตสามารถลดค่าความเข้มข้นของสีเหลืองได้น้อยกว่าสีน้ำเงิน โดยพบว่าเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตสามารถลดค่าความเข้มข้นของสีเหลือง

ได้อย่างรวดเร็วในช่วง 6 ชั่วโมงแรก แต่ค่าความสามารถในการดูดซับสีของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตจะค่อยๆ ลดลงจนหยุดนิ่ง โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสีเหลืองจะลดลงอย่างช้าและหยุดนิ่งใน 6 ชั่วโมงสุดท้ายของการทดลองในเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิต ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีจะลดลงอย่างช้าและหยุดนิ่งใน 12 ชั่วโมงสุดท้ายของการทดลองในเชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิต

5) การเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเห็ดในระหว่างกระบวนการลดค่าความเข้มข้นของสารละลายสีทดสอบ

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อเส้นใยเห็ดเชื้อเส้นใยเห็ดของยี่ห้อ LS-YA ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในระหว่างกระบวนการลดค่าความเข้มข้นของ โดยกล้องจุลทรรศน์แบบ Compound Microscope รุ่น YS-2H 248596 บริษัท Nikon ที่กำลังขยาย 100 เท่า ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 5





**ภาพที่ 5** ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อเส้นใยเห็ดเชื้อเส้นใยเห็ดขอนขาว LS-YA ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ในระหว่างกระบวนการบำบัดสีทดสอบ  
 a-f : เชื้อเส้นใยเห็ดขอนขาว LS-YA ที่มีชีวิต ระหว่างการดูดซับสีน้ำเงิน  
 g-l : เชื้อเส้นใยเห็ดขอนขาว LS-YA ที่ไม่มีชีวิต ระหว่างการดูดซับสีน้ำเงิน  
 m-r : เชื้อเส้นใยเห็ดขอนขาว LS-YA ที่มีชีวิต ระหว่างการดูดซับสีเหลือง  
 s-x : เชื้อเส้นใยเห็ดขอนขาว LS-YA ที่ไม่มีชีวิต ระหว่างการดูดซับสีเหลือง

พบว่าเชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่มีชีวิตสามารถดูดซับสีได้ดีกว่าเชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA ที่ไม่มีชีวิตทั้งนี้สังเกตได้จากสีของเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตจะมีความเข้มสีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลามากขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 5 a-f และ m-r) ในขณะที่เชื้อเส้นใยเห็ดที่ไม่มีชีวิตนั้นจะมีความเข้มของสีที่จางกว่า และมีความเข้มสีค่อนข้างคงที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลาผ่านไปดังแสดงใน (ภาพที่ 5 g-l และ s-x) การที่เส้นใยของเชื้อเห็ดที่มีชีวิตสามารถดูดซับสีได้สูงกว่าเส้นใยเชื้อเห็ดที่ไม่มีชีวิตนั้นน่าจะมาจากเหตุ 2 ประการ คือ 1) ผนังเซลล์ของเส้นใยเชื้อเห็ดที่ไม่มีชีวิตสูญเสียความสามารถในการดูดซับสีเนื่องจากความร้อน หรือ 2) กระบวนการลดค่าความเข้มข้นของสีโดยเส้นใยเชื้อเห็ดที่มี

ชีวิตน่าจะประกอบด้วยกระบวนการดูดซับและกระบวนการย่อยสลายสีด้วยเอนไซม์ จึงทำให้มีความสามารถในการลดค่าความเข้มข้นของสีได้สูงกว่าเส้นใยที่ไม่มีชีวิต

#### 6) ศึกษาการผลิตเอนไซม์แลคเคส

พบว่าเชื้อเส้นใยเห็ด LS-YA สามารถสร้างเอนไซม์แลคเคสได้ โดยกิจกรรมของเอนไซม์มีเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของเอนไซม์ดิบ ซึ่งมีปริมาตรตั้งแต่ 100  $\mu$ l – 800  $\mu$ l ตามลำดับ กิจกรรมเอนไซม์เพิ่มขึ้นจาก 0.3 U/ml ที่ปริมาตรเอนไซม์เท่ากับ 100  $\mu$ l ไปเป็น 0.5 U/ml ที่ปริมาตรเอนไซม์เท่ากับ 800  $\mu$ l ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Wesenberg, et al., [9] ที่ได้ศึกษาเชื้อราขาวและเอนไซม์ของเชื้อราในการบำบัดสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งโรงงาน

อุตสาหกรรมซึ่งพบว่ามีโครงสร้าง extracellular oxidases ได้หลายชนิดเช่น Laccase, Manganese peroxidase และ Lignin peroxidase ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการย่อยสลายสังเคราะห์ ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดจากเชื้อเส้นใยเห็ดที่มีชีวิตสามารถลดความเข้มข้นของสีโดยการดูดซับและการสลายสีโดยเอนไซม์ (ภายในและภายนอกเซลล์)

#### สรุปและอภิปรายผล

เชื้อเส้นใยเห็ดขนขาว LS-YA มีความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินและสีเหลืองได้ดีกว่าเชื้อเส้นใยเห็ดบด LP-PT-1 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีเท่ากับ 100 ppm เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของเส้นใยของเชื้อเห็ดขนขาว LS-YA มีเส้นใยลักษณะฟูหนาแน่น มีการเจริญของเส้นใยที่สม่ำเสมอมากกว่าเชื้อเห็ดบด LP-PT-1 เนื่องจากในระหว่างการทดลองพบว่าเชื้อเส้นใยเห็ดทั้งสองชนิดไม่ส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นการลดลงของค่าความเข้มข้นของสีทดสอบนั้นเป็นผลมาจากการดูดซับสีของเชื้อเห็ดทั้ง 2 ชนิด สำหรับการศึกษเปรียบเทียบความสามารถระหว่างเส้นใยเชื้อเห็ดขนขาว LS-YA ที่มีชีวิตกับเส้นใยที่ไม่มีชีวิตนั้นพบว่าเส้นใยเชื้อเห็ดขนขาว LS-YA ที่มีชีวิตมีความสามารถในการลดความเข้มข้นที่สูงกว่าเชื้อเส้นใยเชื้อเห็ดที่ไม่มีชีวิตซึ่งมีสาเหตุมาจากเส้นใยเชื้อเห็ดที่มีชีวิตมีการลดความเข้มข้นด้วยกระบวนการดูดซับและกระบวนการย่อยสลายสีด้วยเอนไซม์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองพบว่าเชื้อเส้นใยเห็ดขนขาว LS-YA สามารถสร้างเอนไซม์แลกเคสได้โดยมีที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ เท่ากับ 0.5 U/ml ในขณะที่เส้นใยที่ไม่มีชีวิตจะสูญเสียความสามารถในการดูดซับสี (บางส่วน) และกระบวนการย่อยสลายสีด้วยเอนไซม์เนื่องจากความร้อน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเชื้อเห็ดขนขาว LS-YA ที่มีชีวิตมาใช้ในการบำบัดสีย้อมผ้ากลุ่มอะโซในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าไหม

#### เอกสารอ้างอิง

[1] ดำรง ปรีดาวิจิตรกุล. 2552 ข้อมูลสีสังเคราะห์. กรุงเทพฯ : บริษัท สีตราช่าง (PKS 2000).  
 [2] บรรษัทเงินทุน อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2530. ผ้าไหม. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊ป.

[3] Eichlerova, I., Homolka, L. and Nerud, F. 2006. Evaluation of synthetic dye decolorization. Capacity *Ischnoderma resinosa*. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**. 33: 759-766.  
 [4] Fu, Y. and Viraraghavan, T. 2001. Fungal decolorization of dye wastewater, a review. **Bioresource Technology**. 79: 251-262.  
 [5] Garg, H. , Lima, J. J., Feng, H., Duckworth, L., Wang, J., Sylvestre, J. E. and Kisson, N. 2004. "Association analyses of adrenergic receptor polymorphisms with obesity and metabolic alterations." **Metabolism**. 56 (6): 757-65.  
 [6] Hardin, J. W., Schmiediche, H. and Carroll, R. J. 2003. **The Simulation Extrapolation Method for Fitting Generalized Linear Models with Additive Measurement Error**. *Stata Journal*. 4(3): 329-341.  
 [7] Ozacar, M. and Sengil, I. A. 2006. "Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes." **Journal of Hazardous Materials**. 64(3): 286-288.  
 [8] Ride, J. P. 1980. "The effect of induced lignification on the resistance of wheat cellwalls to fungal degradation," **Physiological Plant Pathology**. 16: 187-196.  
 [9] Selvam, C, Jachak, S.M., Thilagavathi, R. and Chakraborti, A.K. 2003. "Design, synthesis, biological evaluation and molecular docking of curcumin analogues as antioxidant cyclooxygenase inhibitory and anti-inflammatory agents." **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**. 48(3): 438-440.  
 [10] Wesenberg, D., Buchon, F. and Agathos, S. N. 2002. Degradation of dyecontaining textile effluent by the agaric white-rot fungus *Clitocybula dusen*. **Biotechnology Letters**. 24: 989-993.