# บทที่ 5

# วิจารณ์ผลการทดลอง

## วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ศึกษาการเจริญของเห็ดแครงทั้ง 7 สายพันธุ์ในอาหารแข็งและอาหารเหลว

1.1 ศึกษาการเจริญในอาหารแข็ง

เชื้อ *S. commune* ทั้ง 7 สายพันธุ์ในอาหารแข็งพบว่าเชื้อสายพันธุ์กาญจนบุรี กรุงเทพฯ เชียงราย และปัตตานี มี pH ที่เหมาะสมในช่วง 6-7 ส่วนสายพันธุ์พังงา ระยอง และลพบุรีเจริญได้ดีที่ pH 6 สายพันธุลพบุรีมีลักษณะเส้นใยที่หนาแน่นและเจริญเร็วที่สุด ซึ่งมีระดับค่า pH แตกต่างจากงานทดลองของ วสัณณ์ เพชรรัตน์ (2538) คืออยู่ในช่วง pH 8-10 ซึ่งทำการศึกษาระดับ pH ที่เหมาะสมในอาหารเหลว glucose peptoe จากการทดลองการเจริญของเส้นใยบนอาหาร PDA นั้น สายพันธุ์ลพบุรีมีลักษณะเส้นใยที่หนาแน่นมากที่สุด เส้นใยเจริญแผ่ในแนวรัศมี และที่สำคัญ คือ เส้นใยมีการเจริญเร็วที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของหัวเชื้อเห็ดบนเมล็ดข้าวฟ่างที่ดีสำหรับการเพาะเห็ด ซึ่งระยะเวลา ประมาณ 7-8 วันเส้นใยจะเจริญเต็มบนอาหาร PDA ที่ pH 6.0 ก็สามารถเจริญแผ่เต็ม

1.2 ศึกษาการเจริญในอาหารเหลว

เชื้อ *S. commune* ทั้ง 7 สายพันธุ์เจริญเติบโตโดยมีระยะ stationary ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 10 – 18 โดยเชื้อสายพันธุ์พังงาจะมีการเข้าสู่ระยะ stationary phase ได้เร็วที่สุดคือประมาณ 10 วันหลังทำการเลี้ยง ส่วนสายพันธุ์ปัตตานีจะมีระยะการเข้าสู่ stationary phase ยาวนานที่สุดคือประมาณ 18 วัน ส่วนสายพันธุ์กรุงเทพฯ เชียงราย กาญจนบุรี ระยอง อยู่ในช่วง 10 – 14 วัน สายพันธุ์ที่ให้น้ำหนักเส้นใยแห้งเฉลี่ยมากที่สุด คือ สายพันธุ์กรุงเทพฯ รองลงมาคือ สายพันธุ์ลพบุรี ให้น้ำหนักเท่ากับ 0.854 และ 0.806 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะนำผลการทดลองจากข้อ 1.1 มาประกอบสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการเป็นหัวเชื้อเห็ดที่จะใช้ในการทดลองการเพาะบนกิ่งไม้ (ข้อ 2) และจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำเชื้อ ไปใช้ในการทดสอบการผลิตเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ในข้อที่ 3.2 และเอนไซม์แมงกานีส เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส ในข้อที่ 4 ต่อไป ซึ่งการทราบถึงระยะ stationary phase แล้วจะ ซึ่งเชื้อราจะถูกกระตุ้นให้มีการสร้าง extracellular peroxidase เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายโครงสร้างของลิกนิน ซึ่งเอนไซม์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยลิกนิน เปอร์ออกซิเดส แมงกานีส

เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส ออกมา ดังนั้น การย่อยสลายลิกนินเป็นกระบวนการเมทาบอลิซึมทุติยภูมิ (secondary metabolism) ที่จะเกิดขึ้นได้เมื่อเชื้อรามีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ stationary phase โดยที่เมทาบอลิซึมของการย่อยสลายลิกนินจะเกิดขึ้นเพียงในช่วงนี้เท่านั้น (Keyser และคณะ, 1978) ดังนั้นระยะ stationary phase จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่เชื้อราจะถูกกระตุ้นให้สร้าง extracellular peroxidase เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการย่อยสลายลิกนินออกจากเยื่อกระดาษ ในกระบวนการฟอกเยื่อต่อไป

2. ศึกษาการเจริญของเห็ดแครงบนกิ่งไม้ชนิดต่างๆ

จากการทดลองพบว่าไม้มะม่วง และหางนกยูง ให้ประสิทธิภาพในการใช้เป็นวัสดุเพาะดีกว่าไม้สะเดา มะขาม จากการตรวจสอบค่าทางสถิติพบว่าค่าประสิทธิภาพในการใช้วัสดุเพาะของไม้หางนกยูงและมะม่วงมีค่าสูงกว่า ไม้สะเดา และมะขาม อาจเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้แตกต่างกัน ซึ่งไม้หางนกยูงและมะม่วงจะเป็นไม้เนื้ออ่อน และจากการสังเกตการเจริญของเส้นใยบนไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้ เส้นใย *S. commune* สายพันธุ์ลพบุรีจะเจริญหนาแน่นมาก และโดยเฉพาะในส่วนที่เป็นรอยตัด บริเวณข้อต่อ ของกิ่ง ซึ่งในไม้สะเดา และไม้มะขามจะมีการเจริญที่เบาบางมาก ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเกาะหรือการเจริญของเส้นใยน้อย ไม้สะเดามีลักษณะของเนื้อไม้ที่แข็งแรงมีคุณภาพใกล้เคียงกับไม้สัก (ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2540) ซึ่งไม้สะเดานี้นิยมนำไปใช้ในการปลูกบ้าน ทำเสาเข็ม ประตูวงกบ หรือ ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์อื่นๆ (ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2537) สารเคมีที่สกัดได้จากส่วนต่างๆ ของสะเดา เช่น ใบ เปลือก ลำต้น ผล และเมล็ด จะมีสารเคมีหลายชนิดที่จัดอยู่ในกลุ่ม triterpenoids, diterpenoids และ nonterpenoids กลุ่มของสารเคมีที่ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพที่มีต่อแมลงและให้ผลดีในการป้องกันและกำจัด และปลวกไม่ค่อยทำลาย (บุญฤทธิ์ ภูริยากร, 2526) สารสกัดสะเดาสามารถต้านเชื้อราได้ (ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2537) เนื่องจากไม้สะเดามีความแข็งแรงและสามารถในการต้านเชื้อรา จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเจริญของเส้นใย *S. commune* จึงมีการเจริญแบบเบาบาง การย่อยสลายลิกนินเป็นไปได้ยาก จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพในการใช้วัสดุเพาะ น้อยกว่าไม้มะม่วง และหางนกยูง ส่วนไม้มะขามมีลักษณะที่เฉพาะตัว คือ เนื้อไม้ละเอียด เหนียวมาก แข็งแรง ทนทาน (ธงชัย และนิวัตร เปาอินทร์, 2545 ,ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหิดล, 2530) ซึ่งนิยมนำมาทำเป็นเขียง ก่อสร้าง ป้าย และอื่นๆ และทำเป็นเชื้อเพลิง คือ ถ่านไม้และฟืน (ธงชัย และนิวัตร เปาอินทร์, 2545) จึงน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ *S. commune* เจริญได้ไม่ดี ส่วนต่างๆ ของมะขามจะมีรสเปรี้ยว ซึ่งได้มีรายงานถึงการวิจัยสารเคมีต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของมะขาม เช่น glyoxalic acid, oxaloacetic

acid oxalosuccinic acid, citric acid malic acid, tartaric acid และอื่นๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นกรดซึ่ง pH ที่ต่ำเกินไป จึงไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญ ของเส้นใย *S. commune* และอีกทั้งในมะขามมีรายงานว่าสารสกัดจากเปลือกต้นซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัช คือ สามารถต้านแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส (ธงชัย และนิวัตร เปาอินทร์, 2545; ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหิดล, 2530; นันทวัน บุณยะประภัศร, 2542) จึงทำให้ผลผลิตของดอกเห็ดน้อย ส่วนลักษณะของไม้มะม่วงนั้น จะมีลักษณะที่อ่อน การนำไม้มะม่วงไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่แล้ว จะทำสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในร่ม ทำลังใส่ของ (เต็ม สมิตินันท์, 2518) ถ้าไม้มีความชื้นมากๆ จะผุได้ง่ายเนื่องจากเชื้อรา ส่วนไม้หางนกยูงนั้นลักษณะเนื้อไม้จะอ่อนเช่นเดียวกับไม้มะม่วง และเมื่อสังเกตเส้นใยที่บ่มเจริญบนไม้แล้วพบว่า เส้นใยจะเดินเต็มหนาแน่นทั่วทั้งกิ่งไม้ บริเวณรอยตัด รอยแตกของเปลือกไม้ ข้อ ซอกของกิ่งซึ่งเห็นแตกต่างจาก ไม้สะเดา และไม้มะขาม ถ้าจะมีการเพาะแบบใช้กิ่งไม้ก็น่าที่จะใช้ไม้หางนกยูง และไม้มะม่วง ซึ่งให้ผลผลิตที่ดีกว่า วสันณ์ เพชรรัตน์ (2538) ได้ทดลองเพาะเห็ดแครงในถุงพลาสติกโดยใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นวัสดุหลัก และใส่รำละเอียด 15% ได้ผลผลิต 50.8 กรัม (B. E. = 21.0%) ในระยะเวลา 10 วัน แต่ผลผลิตที่ได้จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา ที่ไม่ได้ใส่รำละเอียดเป็นอาหารเสริมนั้น ผลผลิตได้น้อยมาก คือ ได้ผลผลิตเพียง 3.1 กรัม ในระยะเวลา 10 วัน และจากการทดลองของเราได้ ผลผลิตสูงที่สุด จากไม้หางนกยูง เท่ากับ 21.82 กรัม (B. E. = 10.65%) ในระยะเวลา 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบการเพาะแบบใช้กิ่งไม้กับการเพาะแบบใช้ถุงขี้เลื่อย จากงานทดลองของ วสันณ์ เพชรรัตน์ (2538) นั้นจะเห็นว่า การเพาะบนกิ่งไม้จะให้ผลผลิตน้อยกว่า การเพาะในถุงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีส่วนผสมของอาหารเสริม คือ รำละเอียด แต่จะให้ผลผลิตมากกว่าการเพาะในถุงขี้เลื่อยที่ไม่มีอาหารเสริม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากิ่งไม้เพียงอย่างเดียวซึ่งไม่มีการเติมอาหารเสริมใดๆลงไปเลยก็สามารถเพาะเห็ดแครงได้ เพราะในธรรมชาติเห็ดแครงก็สามารถขึ้นได้บนไม้ที่ตายแล้ว หรือ ผุพัง แต่ถ้าจะนำไปใช้เพาะแบบจริงจังก็อาจจะเพิ่มอาหารเสริมต่างๆ เช่น รำละเอียด ข้าวฟ่างต้ม เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตได้

3. ศึกษาประสิทธิภาพการสร้างเอนไซม์ของเห็ดแครง

3.1 การทดสอบการมีเอนไซม์ laccase

ในการทดลองคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบหาเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส ในการทดลองนี้จะใช้อาหารสำหรับคัดเลือก คือ PDA ที่มี gallic acid 0.1% ซึ่ง

gallic acid เป็นสารประกอบ phenolic อาหารนี้ใช้แยกเชื้อราในกลุ่ม white rot ออกจากกลุ่ม brown rot ซึ่งเชื้อรา white rot สามารถผลิตเอนไซม์ในกลุ่มฟีนอล ออกซิเดส (phenol oxidase) เช่น เอนไซม์แลคเคส ซึ่งจะเปลี่ยนสีของอาหารเป็นสีน้ำตาลเข้มบริเวณรอบๆ เส้นใย (Croan และคณะ, 1999) เชื้อราในกลุ่ม brown rot ไม่สามารถจะผลิตเอนไซม์ดังกล่าวได้ (Gilbertson, 1980)

จากผลการทดลองวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยและเส้นผ่านศูนย์กลางของวงสีน้ำตาลที่เกิดบริเวณรอบๆเส้นใย แล้วนำมาหาอัตราส่วนของการเจริญของเส้นใยต่อการเกิดวงสีน้ำตาลของ *S. commune* ทั้ง 7 สายพันธุ์ (ตารางที่ 12) สามารถแบ่งกลุ่มการผลิตเอนไซม์ ของ ได้เป็น 2 กลุ่ม อย่างชัดเจนคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ให้อัตราส่วนของการเจริญเส้นใยต่อการเกิดวงสีน้ำตาลน้อยกว่า 1 หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของวงสีน้ำตาลจะมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ซึ่งในกลุ่มนี้จะประกอบด้วย *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี และพังงา ส่วนกลุ่มที่สอง จะให้ค่าอัตราส่วนของการเจริญเส้นใยต่อการเกิดวงสีน้ำตาลมากกว่า 1 ประกอบด้วยสายพันธุ์กรุงเทพฯ กาญจนบุรี เชียงราย ระยอง และลพบุรี จะเห็นได้ว่า *S. commune* ต่างสายพันธุ์กัน ซึ่งแหล่งที่เก็บนั้นจะต่างสถานที่กัน ลักษณะการเจริญทั้งบนอาหารแข็งและอาหารเหลว จะแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากการเจริญเติบโตบนอาหารแข็ง PDA จะเห็นได้ว่า สายพันธุ์ปัตตานี และพังงามีการเจริญของเส้นใยช้ากว่า *S. commune* สายพันธุ์กาญจนบุรี กรุงเทพฯ เชียงราย ระยอง และลพบุรี อาจเป็นไปได้ว่า เส้นใยเจริญเร็วพอกับการสร้างวงสีน้ำตาลจึงทำให้อัตราส่วนของเส้นใยและวงสีน้ำตาลมีค่าเท่ากับ 1 หรือมากกว่า แต่การทดลองนี้ก็เป็นการยืนยันได้ว่า *S. commune* ทั้ง 7 สายพันธุ์เป็นเชื้อราในกลุ่ม white rot (Gilbertson,1980; Croan และคณะ, 1999) เมื่อพิจารณาถึงการผลิตเอนไซม์แลคเคสออกมารอบๆเส้นใยของ *S. commune* สายพันธุ์ต่างๆ พบว่าคือ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี และพังงา ได้มากที่สุด อย่างเห็นได้ชัด ทั้งสองสายพันธุ์ดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการนำเชื้อไปใช้ในการศึกษาการผลิตเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส และประสิทธิภาพในการฟอกสีเยื่อกระดาษในข้อที่ 3.2 และ ข้อที่ 4

3.2 การศึกษาภาวะความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างเอนไซม์ในอาหารสูตร production

จากการทดสอบการสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส โดยใช้เชื้อ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี และพังงา ซึ่งได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส ของเชื้อ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี คือ pH 7.0 อุณหภูมิ 35 °C ส่วนสายพันธุ์พังงา pH ที่เหมาะสมคือ pH 7.0 อุณหภูมิ 40 °C จะเห็นได้ว่าสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นค่อนข้างที่จะเป็นกลางและอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นค่อนข้างสูง และเป็นที่น่า

สังเกตว่า การเจริญบนอาหาร PDA นั้นมีระดับ pH ที่ใกล้เคียงกับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส

ในอาหารสูตร production (เรือนแก้ว ประพฤติ, 2541) ซึ่งจะมีส่วนประกอบของ guaicol ความเข้มข้น 0.4 mM เป็นตัวชักนำหรือกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สารชักนำการสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดสอื่นๆ เช่น veratryl alcohol (Ruttimann และคณะ, 1992) แต่จากรายงานของ Ruttimann และคณะ, 1992 พบว่า veratryl alcohol ไม่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดสของเชื้อรา *Phlebia brevispora* และ *Ceriporiopsis subvermispora*

4. การศึกษาการประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อกระดาษของ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี

เมื่อทำการคัดเลือกสายพันธุ์ปัตตานีภาวะที่เหมาะคือ pH 7.0 อุณหภูมิ 35 °C ซึ่งให้ค่าแอคติวิตี้เอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สูงกว่าสายพันธุ์พังงา มาทำการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อกระดาษ และตรวจหาค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ลิกนิน เปอร์ออกซิเดส แมงกานีส เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส พบว่าในอาหารสูตร production ซึ่งประกอบด้วย 0.4 mM Guaiacol (ซึ่งเป็นตัวชักนำให้เกิดการสร้างลิกนิน เปอร์ออกซิเดส สูงกว่าแมงกานีส เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส ซึ่งระดับการผลิตเอนไซม์แมงกานีส เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ แมงกานีส ที่อยู่ใน growth medium (Ruttimann และคณะ, 1992) และในปี 1994 Ruttimann และคณะ ได้ทำการศึกษาการผลิตเอนไซม์ที่ย่อยสลายลิกนินของ *P. sordida* ในภาวะอาหารที่แตกต่างกัน พบว่า เอนไซม์แมงกานีส เปอร์ออกซิเดสจะผลิตได้ดีก็ต่อเมื่อมี แมงกานีสเป็นตัวชักนำ และพบว่า *P. sordida* ต้องการแมงกานีสเป็นตัวชักนำสำหรับการผลิตเอนไซม์แมงกานีส เปอร์ออกซิเดส เท่ากับ 11 $\mu g/ml^{-1}$ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสเติมในอาหารที่เราใช้ในการทดลองคือ สูตร production จะมีแมงกานีสซึ่งมีอยู่เพียง 0.2 $\mu g/ml^{-1}$ เมื่อระดับของตัวชักนำมีในระดับที่ต่ำมากจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าการผลิตของเอนไซม์แมงกานีส เปอร์ออกซิเดส อยู่ในระดับที่ต่ำเช่นเดียวกัน คือ มีค่า specific activity เท่ากับ 0.0085 U/mg และการผลิตเอนไซม์แลคเคสของ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานีในอาหาร production ที่ระดับ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 35°C ก็ให้ผลการผลิตเอนไซม์แลคเคสที่น้อยมาก คือ มีค่า specific activity เท่ากับ 0.004 U/mg ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากชนิดและความเข้มข้นของตัวชักนำยังไม่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Koroljova และคณะ (1998) ได้ทำการทดลองหาตัวชักนำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเอนไซม์แลคเคสของเชื้อรา *Coriolus hirsutus* ซึ่งเป็นราในกลุ่ม basidiomycetes

พบว่า ในการเปรียบเทียบการเป็นตัวชักนำของ syringaldazine, guaiacol, 3,4-xylidine และ caffeic acid ที่เติมลงไปในอาหาร พบว่า syringaldazine เป็นตัวชักนำที่มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับผลิตเอนไซม์แลคเคส จากผลการทดรวจวัดคุณสมบัติของเยื่อกระดาษบางประการ คือ ค่าคัปปานัมเบอร์ และค่าความขาวสว่างพบว่า ทั้งสองคุณบัติมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน คือ ค่าคัปปานัมเบอร์จะมีค่าลดลง แต่ในขณะที่ค่าความขาวสว่างนั้นจะเพิ่มขึ้น ค่าคัปปานัมเบอร์จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณลิกนินที่อยู่ในเยื่อ ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลง นั่นก็หมายถึง ลิกนินได้ถูกนำไปใช้หรือถูกย่อยโดยเชื้อรา จากการทดลองเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ในวันที่ 15 ค่าคัปปานัมเบอร์จะมีค่าลดลง จากเยื่อเริ่มต้นค่าคัปปานัมเบอร์ 12.15 ลดลงเป็น 10.53 หรือคิดเป็น 13.33 % เมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น ค่าความขาวสว่าง เริ่มต้น 36.88% เพิ่มขึ้นเป็น 37.75 % คิดเป็นร้อยละ 5.07 ในการทดลองนี้ความสามารถในการฟอกเยื่อกระดาษของ *S. commune* สายพันธุ์ปัตตานี ยังอยู่ในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายๆสาเหตุ เช่น ความเข้มข้นของหัวเชื้อยังไม่เหมาะสม น้อยเกินไปทำให้เส้นใยสัมผัสกับเยื่อจึงมีน้อย

การทดลองในขั้นนี้ นับเป็นแนวทางหนึ่งในการนำเอาเชื้อราซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายลิกนินได้ มาใช้ฟอกเยื่อโดยตรง และอาจมีการศึกษาทดลองหาวิธีที่ทำให้เอนไซม์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น และนำเอนไซม์มาใช้ร่วมกับการฟอกแบบเคมี ก็น่าจะเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการฟอกเยื่อกระดาษโดยวิธีชีวภาพ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต และที่สำคัญคือ ช่วยลดปัญหามลพิษ อย่างไรก็ตามควรจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ประกอบกันไปด้วย