# การใช้เชื้อราเพื่อช่วยในการผลิตเยื่อกระดาษจากไม้เศรษฐกิจและไม้โตเร็ว
# (Biopulping of economic wood and fast growing species)

**คุณนัยนา ทองเจียม (Naiyana Thongjiem)**[1]
**คุณรัตนา หม้อมณี (Ratana Mormanee)**[1]

## บทคัดย่อ

การทดลองผลิตเยื่อกระดาษจากไม้กฤษณาอายุ 3, 4 และ 5 ปี โดยใช้เชื้อเห็ด 4 ชนิดคือ *Trametes versicolor* เห็ดตีนปลอก (*Lentinus tigrinus*) เห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดเป๋าฮื้อ (P. cystidiosus) ในขบวนการหมักชิ้นไม้ ระยะเวลา 67 วัน นำชิ้นไม้มาต้มเยื่อด้วยกรรมวิธี Formacell แล้วทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ตามมาตรฐานของ TAPPI พบว่าในไม้กฤษณาอายุ 3 ปี ต้มด้วย Formic acid 15% อุณหภูมิ 150 $^{O}$C นาน 1 ½ ชั่วโมง เห็ดเป๋าฮื้อให้ผลผลิตเยื่อกระดาษและมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าเห็ดชนิดอื่น ไม้กฤษณาอายุ 4 ปี ต้มด้วย Formic acid 10% ในสภาวะเดียวกัน เห็ดนางรมให้ผลผลิตและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีโดยใช้สารเคมีน้อยลง สำหรับไม้กฤษณาอายุ 5 ปี ต้มด้วย Formic acid 10 % อุณหภูมิ 150$^{O}$C นาน 1 ชั่วโมง เห็ดเป๋าฮื้อให้ผลผลิตเยื่อและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าเห็ดชนิดอื่น เหมาะสมในการใช้เพื่อลดสารเคมีและประหยัดพลังงานในการต้มเยื่อ

**คำหลัก** : เชื้อรา การผลิตเยื่อกระดาษ ไม้เศรษฐกิจ ไม้โตเร็ว

---

[1] นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

## Abstract

Biopulping of agar wood (*Aquilaria crassna*) was made from pretreatment of 3-5 years aged chips for 67 days with 4 species of white rot fungi, *Trametes versicolor*, *Lentinus tigrinus, Pleurotus ostreatus* and P. cystidiosus. Formacel process was applied in pulp cooking, then pulp and paper quality were tested in accordance with TAPPI standard. The result showed that pretreatment of 3 years aged agar wood chips cooking in formic acid 15 % 150˚C 1 ½ hrs, *Pleurotus cystidiosus* gave the best performance. Pretreatment of 4 years aged agar wood chips were cooked in formic acid 10 % in same condition, *Pleurotus ostreatus* gave higher yield and higher brightness when reduce chemical use. To reduce cooking time, pretreatment of 5 years aged agar wood chips were cooked in formic acid 10 % 150˚C 1 hr., P. cystidiosus showed higher yield, higher strength and higher brightness than others. Therefore, it can be used to reduce chemical and save energy in cooking process.



**Keyword**: Fungi, biopulping, economic wood, fast-growing species

## คำนำ

ตั้งแต่ พ.ศ.2537 เป็นต้นมารัฐบาลไทยให้เงินอุดหนุนสำหรับการปลูกป่าทดแทนจำนวน 3,000 บาทต่อพื้นที่ 1 ไร่ ผ่านทางกรมป่าไม้ ไม้กฤษณาชนิด *Aquilaria crassna* เป็นหนึ่งใน 66 species ที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกในโครงการนี้ ตามสถิติมีผู้สนใจรับเงินอุดหนุนเพื่อปลูกอยู่ 98 ราย (ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2537 -พ.ศ. 2545) ในการค้าไม้กฤษณานั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ซื้อเป็นหลัก มีผู้กล่าวว่าไม้เกรดหนึ่งดีเยี่ยมมี ราคาสูงถึง 11,500 US.ดอลล่าร์ต่อหนึ่งกิโลกรัมเลยทีเดียว และที่นิยมมากที่สุดเป็นน้ำมันหอมระเหย ซึ่ง ผลิตจากไม้กฤษณาเกรดชั้นรองลงมาซึ่งราคาของน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบวิธีการกลั่นและฝีมือในการกลั่น ถ้าเป็นน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์จะมีราคา 30,000 US.ดอลล่าร์ต่อหนึ่งกิโลกรัม ดังนั้นไม้กฤษณาจึงเป็นไม้ที่มีผู้คนให้ความสนใจในทางเศรษฐกิจ แต่ในการปลูกไม้กฤษณาทางการค้าเพื่อการผลิตไม้หอมหรือกลั่นน้ำมันหอมระเหยนั้นไม่สามารถทำให้เกิดไม้หอมได้ทั้งต้นมีเศษเหลือของไม้ปกติจำนวนมากที่ไม่มีกลิ่นหอม ดังนั้นเพื่อทำให้การใช้ประโยชน์จากไม้กฤษณามีมูลค่าสูงสุดเนื่อง จากมีรายงานว่าไม้กฤษณาสามารถ นำมาผลิตกระดาษได้(นัยนา,2546) การนำไม้กฤษณามาทำเยื่อกระดาษน่าจะเป็นหนทางหนึ่ง ในการใช้ประโยชน์ ของไม้กฤษณาให้ครบวงจรได้ แต่กรรมวิธีในการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทยนั้นนิยมใช้สารเคมีหรือกรรมวิธีซัลเฟต กรรมวิธีดังกล่าวมักใช้เวลาในการต้มเยื่อนานทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและต้องใช้สารเคมีพวกโซเดียม ไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟต์จำนวนมากเพื่อขจัด brown lignin ออกไปให้คงเหลือแต่ white cellulose ในการผลิตกระดาษกรรมวิธีนี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ dioxins ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม จึงมี ความพยายามนำวิธี biopulping คือการใช้เชื้อราที่มีความสามารถย่อยสลายลิกนิน (lignin-degrading fungi) มาใส่ลงในชิ้นไม้ก่อนสักระยะหนึ่งเพื่อช่วยในการย่อยสลายแล้วจึงนำไปผ่านขบวนการผลิตเยื่อกระดาษต่อไป (Anonymous, 2004) ขบวนการ biopulping สามารถแยกย่อยออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ biomechanical pulping และ biochemical pulping มีรายงานกล่าวถึง ประสิทธิภาพของการใช้เชื้อรา *Ceriporiopsis subvermispora* กับไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งหลายชนิดแล้วตามด้วยขบวนการ thermomechanical pulping พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์และความแข็งแรงของเยื่อที่ได้เพิ่มขึ้น สำหรับกรณี biochemical pulping แบบ biokraft pulping ในประเทศอินเดียนำมาใช้กับไม้ยูคาลิปตัส สามารถย่นระยะเวลาการต้มเยื่อได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และไม้กระถินเทพาที่นำมาหมัก ด้วยเชื้อรา Trametes sp. ก่อนนำมาผลิตเยื่อแบบกรรมวิธี ซัลเฟตก็สามารถลดเวลาการต้มเยื่อลงได้โดยไม่เสีย คุณภาพ( กิตติยา และคณะ, 2545) เชื้อเห็ดราพวก white rot สามารถสร้างเอ็นไซม์เพื่อย่อยสลายลิกนิน ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Have and Teunisson,2001) นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายสารพิษ เช่น chlorinated aromatic compound , heterocyclic aromatic hydrocarbons, various dye, synthetic highpolymer การสร้างเอ็นไซม์ โดยเชื้อรานี้ จึงมีประโยชน์ในขบวนการอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ( Kamitsuji, H. et al.,2004) เห็ด white rot ที่นิยมนำมาทดลองใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ เช่น *Trametes versicolor*, *Bjerkandera adusta* ส่วนเห็ดกินได้ที่มีการนำมาทดลองใช้ คือ *Pleurotus ostreatus* และเห็ดใน genus Lentinus (Mossebo, 2002; Pérez, et al., 2002 ) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของเชื้อเห็ด white rot ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในขบวนการหมักชิ้นไม้กฤษณาก่อนนำมาต้มเยื่อในการทำกระดาษ

## อุปกรณ์และวิธีการ

**อุปกรณ์**

1. ไม้กฤษณา ( *Aquilaria crassna* ) อายุ 3 ปี ,4 ปี และ 5 ปี

2. เชื้อเห็ด white rot จำนวน 4 ชนิดคือ *Trametes versicolor* , เห็ดตีนปลอก (*Lentinus tigrinus*), เห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดเป๋าฮื้อ ( *Pleurotus cystidiosus*) สองชนิดหลังเป็นเห็ดกินได้

**วิธีการทดลอง**

1. นำไม้กฤษณาสด อายุ 3 ปี ,4 ปี และ5 ปี มาเข้าเครื่องชิ้นไม้สับนำชิ้นไม้ที่ผ่านการสับไปผึ่งในตะแกรงให้แห้ง

2. แบ่งไม้แต่ละอายุที่ผึ่งแห้งแล้ว ไปหาความชื้นในเนื้อไม้ (เพื่อหาเปอร์เซนต์ของไม้อบแห้ง) โดย

2.1 ทำความสะอาดขวดชั่ง อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 5˚C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นเอาขวดชั่งใส่โถดูดความชื้น (desiccators) ทิ้งให้เย็นนำขวดชั่งมาชั่งจนน้ำหนักคงที่

2.2 ชั่งไม้กฤษณาจำนวน 2 กรัม ในขวดชั่งที่ทราบน้ำหนักแล้ว ($w_1$) นำขวดชั่งนี้เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5˚C อบประมาณ 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก($w_2$) ทำซ้ำเช่นนี้อีกจนน้ำหนักไม้คงที่ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

$W_1$ = น้ำหนักไม้ก่อนอบ

$W_2$ = น้ำหนักไม้ภายหลังอบแล้ว

การหา % ความชื้น ทำ 2 ซ้ำ ต่ออายุไม้ และหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำค่านี้ไปคำนวณหาผลผลิตเยื่อ

3. การเตรียมเชื้อรา

การเลี้ยงเชื้อเห็ดในอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ CM

สูตรอาหาร CM

| | | |
|---|---|---|
| มันสำปะหลัง | 400 | กรัม |
| Dextrose | 15 | กรัม |
| วุ้นผง | 20 | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1,000 | มิลลิลิตร |
| Gentamycin Sulfate | 6 | มิลลิลิตร |
| Benomyl 15 ppm | 7 | มิลลิลิตร |

<u>วิธีทำ</u>

2.1 ล้างมันที่ปอกเปลือกแล้วให้สะอาด นำมาตัดออกเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดเท่าลูกเต๋า

2.2 ต้มมันกับน้ำ 1,000 มิลลิลิตร จนมันสุก

2.3 นำมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเนื้อมันออก

2.4 เติม dextrose ในน้ำต้มมัน คนให้เข้ากัน ต้มจน dextrose ละลาย

2.5 ใส่วุ้นผงลงไป ต้มจนวุ้นละลาย

2.6 คนส่วนผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นในอาหารจนมีปริมาตรครบ 1,000 มล.

2.7 เท Gentamycin Sulfate 6 มิลลิลิตร (3 หลอด) และ Benomyl 15 ppm 7 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน

2.8 บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อลงใน flask หรือหลอดเลี้ยงเชื้อโดยให้มีปริมาตรไม่เกิน 2 ใน 3 ของภาชนะอุดด้วยจุกสำลีและหุ้มทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

2.9 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121° C นาน 15 นาที

2.10 นำอาหารที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว มาเทลงจานเลี้ยงเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ให้มีปริมาตร 20 มล. ต่อจานเลี้ยงเชื้อโดยทำในสภาพปลอดเชื้อ

3.2 เขี่ยเชื้อเห็ดนางรม(*Pleurotus ostreatus*) เห็ดเป๋าฮื้อ(*Pleurotus cystidiosus*) เห็ด*Trametes versicalor* เห็ดตีนปลอก(*Lentinus tigrinus*) ลงในจานเลี้ยงเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ที่บรรจุอาหาร CM (นัยนา,2545) อยู่ ทิ้งไว้ 7-15 วันเพื่อรอให้เชื้อเต็ม plate

4. การหมักเชื้อราในชิ้นไม้กฤษณา

4.1 ชั่งไม้สับกฤษณามา 800 กรัม/อายุไม้ ใช้เชื้อจำนวน 4 เชื้อ/อายุไม้ ดังนั้นจึงแบ่งไม้สับเป็น 200 กรัม/เชื้อ/อายุไม้

4.2 แช่ชิ้นไม้สับที่แบ่งไว้ในน้ำ ให้น้ำท่วมชิ้นไม้ ทิ้งไว้ข้ามคืน

4.3 ตักชิ้นไม้ขึ้นไว้ในตะแกรง ใส่แป้งข้าวเหนียว 40 กรัม รำข้าว 40 กรัม ในไม้แต่ละเชื้อคลุกให้เข้ากัน นำมาใส่ถุงพลาสติกทนร้อน แล้วใส่คอขวดพลาสติก อุดจุกสำลี หุ้มกระดาษฟอยล์

4.4 นำถุงพลาสติกใส่ชิ้นไม้สับที่เตรียมไว้ นำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น

4.5 นำถุงพลาสติกขึ้นจากตู้อบฆ่าเชื้อ แล้วนำเชื้อที่เลี้ยงไว้ 4 ชนิด ในอาหารมาเตรียมไว้ จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะเชื้อริมโคโลนี ใส่ถุงพลาสติก 3 ชิ้น/เชื้อ/ถุง ทำในสภาพปลอดเชื้อ ทิ้งไว้ประมาณ 67 วัน

4.6 นำชิ้นไม้กฤษณาที่หมักเชื้อราแต่ละชนิดไว้ในถุงพลาสติก ไปทำการต้มเยื่อ

4.7 นำชิ้นไม้กฤษณาที่หมักเชื้อแล้วมาทดลองต้มเยื่อด้วยกรรมวิธีซัลเฟตหรือ kraft process (โดยสารเคมีที่สำคัญ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมซัลไฟด์)และกรรมวิธีฟอร์มาเซล (สารเคมีที่สำคัญคือ กรดอะซิติค,กรดฟอร์มิค) ที่สภาวะต่างๆเพื่อหากรรมวิธีที่เหมาะสม ที่จะได้กระดาษที่มีคุณภาพดีประหยัดพลังงานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

4.8 นำเยื่อที่ได้มาล้างหา ปริมาณและคุณภาพเยื่อที่ผลิตได้แล้วนำเยื่อส่วนที่ดีไปตีด้วยเครื่อง PFI mill ให้ได้ค่าองศา อิสสระแตกต่างกันแล้วนำไปทำแผ่นทดสอบด้วยเครื่องของ Frank ให้มีน้ำหนักมาตรฐานประมาณ 75 กรัมต่อตารางเมตร วางแผ่นทดสอบในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดความสว่างและทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ที่ ค่าองศา อิสสระ (°SR) ต่างๆเพื่อสร้างแผนภูมิคุณสมบัติทางฟิสิกส์แต่ละอย่างและหาค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ณ จุดที่มีค่าองศาอิสสระ

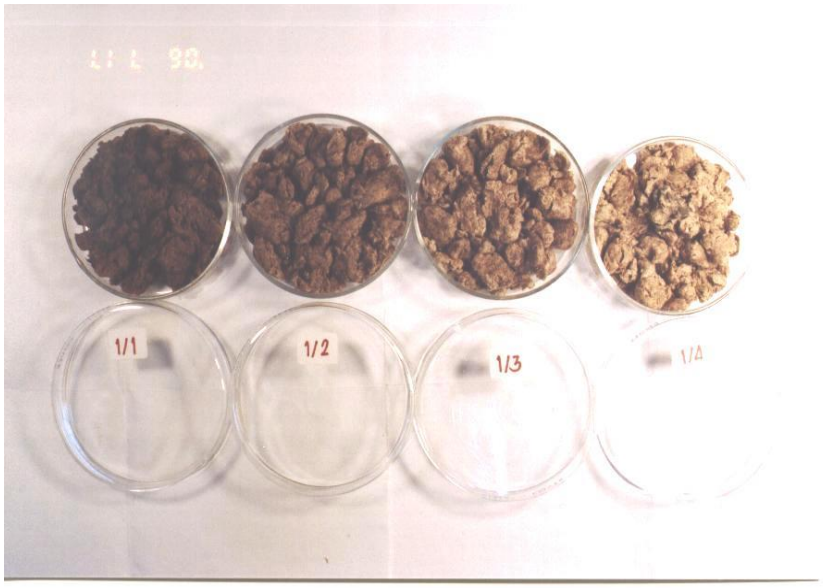
= 40 ตามมาตรฐานของ TAPPI ดังนี้

**Standard use in evaluation for pulping**

| | |
|---|---|
| Tappi and SCAN standards testing | |
| ISO Brightness | SCAN-P3;62 |
| %Yield | |
| Beating Time | SCAN-C24;67 |
| Freeness | T227 os-68 |
| Thickness and Apparent density | T411 os-68 |
| Breaking Length | SCAN-P16;65 |
| Tear Factor | SCAN-P11;64 |
| Burst Factor | T403 ts-63 |

**ผลการทดลอง**

จากการทดลองตารางที่ 1 ไม้กฤษณาไม่ทราบอายุ (50 ปีขึ้นไป) ที่หมักด้วยเห็ด 4 ชนิด เป็นระยะเวลา 67 วัน เมื่อนำมาต้มด้วย กรรมวิธีซัลเฟตที่ให้ Active alkali = 10 % Sulfidity = 25% อุณหภูมิ 150 ๐ C นาน 1 ½ ชั่วโมง พบว่า เห็ดตีนปลอกและเห็ดเป๋าฮื้อมีผลผลิตที่ดี แต่ค่าการทดสอบทางฟิสิกส์ของเห็ดตีนปลอกดีกว่าเห็ดชนิดอื่น (ภาพ 1) เมื่อนำมาเพิ่มระยะเวลาการต้มนานขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง เห็ดเป๋าฮื้อให้ผลผลิตเยื่อและค่าการทดสอบ ทางฟิสิกส์ดีกว่าเห็ดชนิดอื่นปัญหาคือเยื่อที่ได้จากการต้มด้วยซัลเฟตมีเมือกจุดดำปะปนซึ่งคือ lignin ที่ตกค้างอยู่ มีผลต่อคุณภาพของเยื่อ ดังนั้นจึงนำไปต้มด้วยกรดเพื่อลดจุดดำนี้

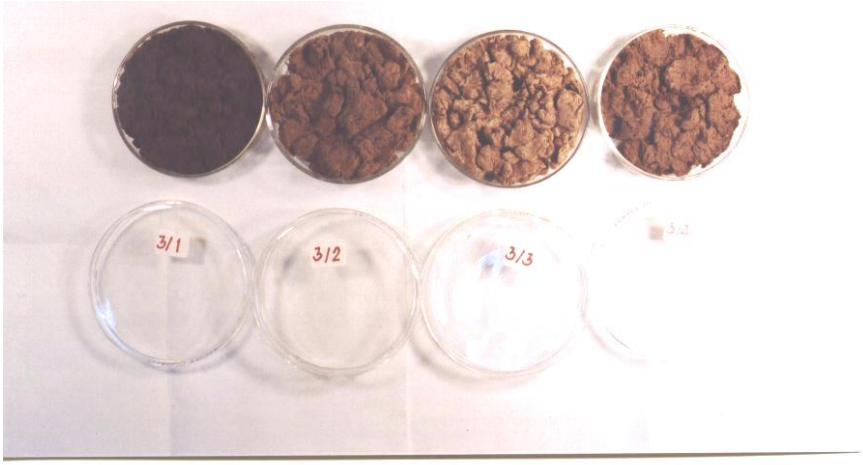



ภาพ 1: 1 = เยื่อที่หมักด้วยเห็ด Trametes 2 = เยื่อที่หมักด้วยเห็ดนางรม
3 = เยื่อที่หมักด้วยเห็ดเป๋าฮื้อ 4 = เยื่อที่หมักด้วยเห็ดตีนปลอก

ตารางที่ 1 แสดงผลผลผลิตเยื่อกระดาษไม้กฤษณาไม่ทราบอายุที่ได้จากการต้มด้วยกรรมวิธีซัลเฟตที่ให้ Active alkali = 10 % ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และ 1 ½ ชั่วโมง เมื่อ pretreatment ด้วยเชื้อเห็ด 4 ชนิด

| Process | ชนิดของ White rot fungi | YIELD [%] | Freeness [%] | Tensile strength [mN] | Burst strength [KPa/g/$m^2$] | Tearing strength [cN] | Brightness [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sulfate (Kraft) AA=10%,Sulfidity = 25%, Temp=150 ˚C, Time= 2 Hrs | *Trametes versicolor* | 9.73 | 47-48 | 5,937 | 238 | 17.7 | 33.9 |
| | เห็ดนางรม | 13.38 | 39-40 | 5,183 | 228 | 22.1 | 37 |
| | เห็ดเป๋าฮื้อ | 18.82 | 24-25 | 4,661 | 223 | 39.4 | 36.9 |
| | เห็ดตีนปลอก | 17.68 | 27-28 | 4,838 | 292 | 41.1 | 37.4 |
| Sulfate AA=10%,Sulfidity= 25%, Temp=170 ˚C, Time= 1 ½ Hrs | *Trametes versicolor* | 11.76 | - | 5,814 | 266 | 24.3 | 39.9 |
| | เห็ดนางรม | 15.06 | 47-48 | 5,483 | 248 | 21.4 | 39.5 |
| | เห็ดเป๋าฮื้อ | 19.02 | 31-32 | 5,800 | 249 | 45.3 | 38.2 |
| | เห็ดตีนปลอก | 14.15 | 47-48 | 6,300 | 255 | 29 | 36.5 |

จากผลการทดลองตารางที่ 2 ในไม้กฤษณาอายุ 3 ปี หมักด้วยเห็ด 4 ชนิด ระยะเวลา 67 วัน เมื่อนำมาต้มด้วยกรรมวิธีฟอร์มาเซลด้วย Formic acid 15% อุณหภูมิ 150˚C นาน 1 ½ ชั่วโมง พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อให้ผลผลิตเยื่อใกล้เคียงกับเห็ดนางรมคือ 42 % และ 44% ตามลำดับแต่เห็ดเป๋าฮื้อให้ค่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าเห็ดชนิดอื่นคือให้กระดาษที่มีค่าความต้านทานต่อแรงที่กระทำสุงกว่า และให้กระดาษที่มีความสว่างสูงกว่าคือ 32.1 % (ภาพ 2) ขณะที่เห็ดอื่นให้กระดาษที่มีความสว่างอยู่ระหว่าง 22 – 27 %

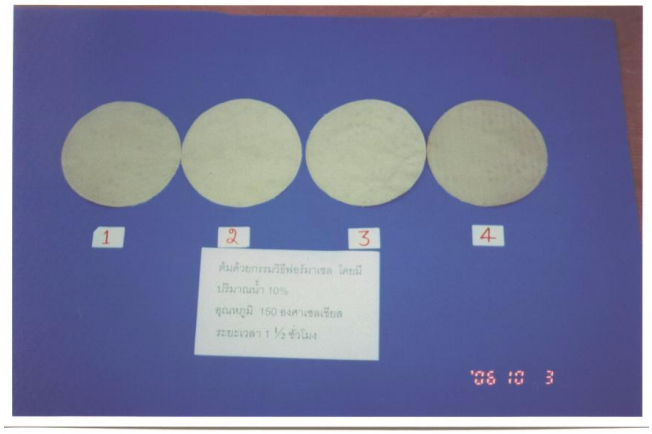



ภาพ 2 : 1=Trametes 2=เห็ดนางรม
3=เห็ดเป๋าฮื้อ 4=เห็ดตีนปลอก

ตารางที่ 2 แสดงผลผลผลิตเยื่อกระดาษไม้กฤษณาที่ได้จากการต้มด้วยกรรมวิธีฟอร์มาเซลที่ให้ กรดฟอร์มิค =10,15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง และ 1 ½ ชั่วโมง อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อ pretreatment ด้วยเชื้อ 4 ชนิด

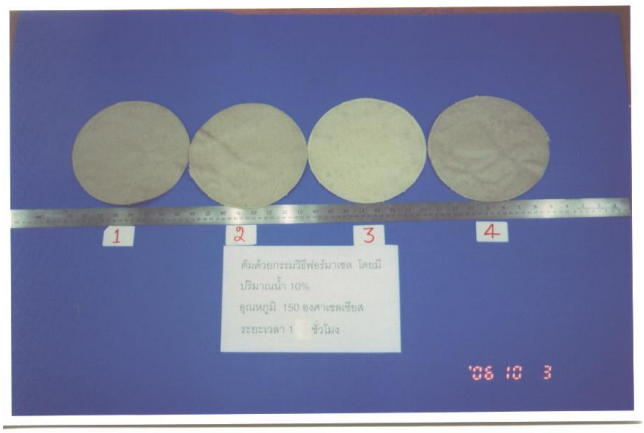
| Process | อายุไม้ (ปี) | ชนิดของ White rot fungi | YIELD [%] | Freeness [%] | Tensile strength [mN] | Burst strength [KPa/g/$m^2$] | Tearing strength [cN] | Brightness [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Formacell<br>(1) Formic acid =20%<br>(2) Formic acid =15%, Time=1 ½ hr. | 3 | *Trametes versicolor* | 22.59 | 57-58 | 4,474 | 212 | 15.1 | 22.5 |
| | | เห็ดนางรม | 44.77 | 43-44 | 5,910 | 299 | 24.2 | 27.5 |
| | | เห็ดเป๋าฮื้อ | 42.54 | 34-35 | 5,686 | 320 | 33 | 32.1 |
| | | เห็ดตีนปลอก | 21.73 | 50-51 | 5,453 | 266 | 22.9 | 24.1 |
| Formacell<br>Formic acid=10%<br>Time= 1 ½ hr. | 4 | *Trametes versicolor* | 41.37 | 40-41 | 6,038 | 310 | 26.5 | 32 |
| | | เห็ดนางรม | 44.58 | 37-38 | 6,245 | 390 | 26.3 | 34.6 |
| | | เห็ดเป๋าฮื้อ | 45.50 | 36-37 | 5,545 | 301 | 22.9 | 34.1 |
| | | เห็ดตีนปลอก | 39.30 | 41-42 | 5,683 | 288 | 20.4 | 29.4 |
| | | *Trametes versicolor* | - | - | - | - | - | - |
| Formacell<br>Formic acid=10%<br>Time= 1 hr. | 5 | เห็ดนางรม | 22.57 | 47-48 | 4,156 | 236 | 20.9 | 23.9 |
| | | เห็ดเป๋าฮื้อ | 27.43 | 44-45 | 4,765 | 265 | 20.0 | 25.5 |
| | | เห็ดตีนปลอก | 40.92 | 40-41 | 6,103 | 349 | 25.6 | 33.1 |
| | | *Trametes versicolor* | 29.70 | 52-53 | 6,108 | 259 | 19.0 | 24.7 |

ในไม้กฤษณาอายุ 4 ปี หมักด้วยเห็ด 4 ชนิด ระยะเวลา 67 วัน เมื่อนำมาลดสารเคมี ลงโดยต้มด้วย Formic acid 10% ใน Condition เดิม พบว่าเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อมีผลผลิต และค่าความขาวไม่แตกต่างกันคือให้ผลผลิตประมาณ 44% และ 45% และให้กระดาษที่มีความ สว่าง = 34% ขณะที่เห็ดนางรมให้กระดาษที่มีค่าความต้านทานต่อแรงที่กระทำสูงกว่าเห็ดชนิดอื่น (ภาพ 3) ดังนั้นการลดสารเคมีน่าจะได้ผลดีเมื่อหมักไม้กฤษณาอายุ 4 ปี ด้วยเห็ดนางรม




ภาพ 3: 1=แผ่นกระดาษหมักด้วยเห็ด Trametes 2=แผ่นกระดาษหมักด้วยเห็ดนางรม
3=แผ่นกระดาษหมักด้วยเห็ดเป๋าฮื้อ 4=แผ่นกระดาษหมักด้วยเห็ดตีนปลอก

ในไม้กฤษณาอายุ 5 ปี หมักด้วยเห็ด 4 ชนิด ระยะเวลา 67 วัน เมื่อนำมาต้มด้วยกรด Formic acid 10% อุณหภูมิ 150˚C แต่ลดระยะเวลาการต้มเหลือ 1 ชั่วโมงพบว่าเห็ดเป๋าฮื้อให้ผลผลิต และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าเห็ดชนิดอื่นคือให้ผลผลิตเยื่อ40.92% ขณะที่เห็ดชนิดอื่นให้ผลผลิตเยื่อประมาณ 22 – 29 % และให้กระดาษที่มีค่าความต้านทานต่อแรงที่กระทำสูงกว่ามาก รวมทั้งให้กระดาษที่มีความสว่างสูงกว่าเห็ดชนิดอื่นคือ 33% ด้วยเช่นกัน(ภาพ 4) ดังนั้นเห็ดเป๋าฮื้อน่าจะเหมาะสมกับการหมักไม้กฤษณาเพื่อลดการใช้สารเคมีและเพื่อประหยัดพลังงาน




ภาพ 4 : 1=Trametes 2=เห็ดนางรม
3=เห็ดเป๋าฮื้อ 4=เห็ดตีนปลอก

## ข้อเสนอแนะ

การใช้เชื้อเห็ด 4 ชนิด ในขบวนการหมักชิ้นไม้กฤษณาเพื่อช่วยลดสารเคมีและประหยัดพลังงานในการทำเยื่อกระดาษนี้ใช้ชิ้นไม้สับขนาดใหญ่และใช้เชื้อน้อยมากจึงใช้เวลาในการหมักเชื้อนานถึง 67 วัน เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Islam(2004) ที่ใช้เชื้อรา Ceriporiopsis subvermispora ในการหมักไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาใช้ไม้บดละเอียดและใช้เชื้อถึง 60 plates/ cooking จึงใช้เวลาในการหมักสั้นคือ 8 และ 12 วันซึ่ง Islam รายงานว่าการหมักเชื้อราช่วยเพิ่มความสว่างและ ผลผลิตของกระดาษในไม้ยูคาลิปตัสและกระถินเทพา โดยเฉพาะไม้ยูคาลิปตัสประมาณ 6-8% และ 1-2 % ตามลำดับเทียบกับการไม่หมักเชื้อราก่อนการต้มเยื่อ ผลผลิตเยื่อที่ได้จากการหมักเชื้อราในไม้กฤษณาอยู่ในเกณฑ์ปกติของขบวนการ chemical pulping คือ 40-50% (Gielecki,1997) ส่วนค่าความสว่างของกระดาษโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับของไม้ยูคาลิปตัสและ กระถินเทพาที่ Islam ทำไว้คือ 35-38 % ประเทศไทยนั้นมีการผลิตเยื่อกระดาษจากไม้ยูคาลิปตัสซึ่งเป็นเยื่อใยสั้นให้เยื่อที่มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของลูกค้าแต่มีข้อด้อยในเรื่องที่ไม่สามารถผลิตเยื่อใยยาวได้ (Laemsak, 2008; Sasrisang et al., 2008) เยื่อกฤษณาก็เช่นกันเป็นเยื่อสั้นผนังบางไม่สร้างความแข็งแรงให้กระดาษเหมาะสมกับการผลิต กล่อง hard paperและ wrapping paperในการทำกระดาษจึงควรนำไปผสมกับพวกเยื่อใยยาวเช่นไม้สน เพื่อให้มีความยึดเกี่ยวกันสูงทำให้กระดาษแข็งแรงขึ้นและเนื้อกระดาษมีความเรียบแน่นสม่ำเสมอและมีความทึบแสงดี

## เอกสารอ้างอิง


กิตติยา อติสงเคราะห์ และคณะ. 2545. โครงการวิจัยสภาวะแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์: ตอนที่ 2 การใช้เห็ดราช่วยในการผลิตเยื่อแบบซัลเฟตของไม้กระถินเทพา. รายงานการประชุมกรมป่าไม้ ประจำปี 2545. ศักยภาพของป่าไม้ต่อการฟื้นฟูเศรษฐกิจไทย. 526น.

นัยนา ทองเจียม. 2545. การเลี้ยงเชื้อบริสุทธิ์เห็ดป่ากินได้ในสูตรอาหารชนิดต่างๆ. เอกสารกรมป่าไม้เลขที่ ร.578. 12น.

นัยนา ทองเจียม. 2546. ไม้กฤษณา. กรมป่าไม้. 33น.

Anonymous. 2004. Biopulping homepage. Available http://www.fpl.fs.fed.us/FPPP/biopulp.htm, 18Feb.04.

R. ten Have and P.J.M.Teunissen. 2001. Oxidation mechanisms involved in lignin degradation by white rot fungi. Chem. Rev. 101: 3397-3413.

Gielecki, M. 1977. Availablehttp://www.eia.doe.gov/solar.renewables/renewable.energy.annual/contents.html. 7 Nov. 07.

Islam, M.N. 2004. Biopulping and Biobleaching of Eucalyptus camaldulensis and Acacia mangium. M.S. thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.

Kamitsuji, H., Y. Honda, T. Watanabe and M. Kuwahara. 2004. Production and induction of manganese peroxidase isozymes in a white rot fungus Pleurotus ostreatus. Appl. Microbiol. Biotechnol. 65: 287-294.

Laemsak, N. 2008. The wood-based industries in Thailand. Journal of Forest Management 2(3):115-129.

Mossebo, D.C. 2002. Growth of wood inhabiting Lentinus species from Cameroon in laboratory culture. Mycologist 16: 168-176.

Perez, J., J. Muñoz-Dorado, T. de la Rubia and J. Martínez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellular/hemicellular and lignin: an overview. Int Microbiol 5 :53-63.

Sasrisang, A., S. Suksard, W. Hoamuangkaew and S. Jarusombuti. 2008. Market structure of pulp industry in Thailand. Journal of Forest Management2(3): 36-46.