

研究報告

微生物降解木片之製漿評估

蘇裕昌¹⁾

摘要

本研究評估以微生物降解木質的材料做為製漿法之前處理法，在化學製漿法、機械製漿法、半化學製漿法等製漿法製漿前，先行以微生物降解木片做為各種製漿法之前處理法後，再進行製漿試驗及製漿評估，以為開發或改良製漿法之依據，同時並以酵素處理改善此等紙漿性質。試驗是以對木質素分解力較強之三種白腐菌菌種 *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus edodes* 及 *Coriolus versicolor* 分別接種於闊葉樹材（雲南石梓）木片上，經 1-8 週之微生物分解後，以不同製漿法製漿後評估製漿性及其所得紙漿性質。試驗結果顯示，各菌種在接種 4-8 週後對木材之降解，依菌株不同略有差異，木質素有 8-15% 之去除，纖維素亦有類似的結果，但超過 6 週後則纖維素量有相當大之降解，顯示微生物之前處理以 5 週以內為適合之處理時間。接種木片進行硫酸鹽法製漿結果，顯示較正常木材有收率之低下，而其所需鹼之用量較正常材高。所得紙漿性質之強度性質與菌種無太大相關，但與處理時間有關。抗張力及破裂指數，撕裂指數等均有低減之現象。機械法磨漿結果，其磨漿動力較對照組可節省 20-30% 左右，而且其微生物—機械法之紙漿打漿比較常法容易，且可節省打漿動力。中性亞硫酸鹽半化學製漿法製漿，製漿動力較對照組可節省 10% 左右，較傳統半化學製漿法，可減少藥品用量、且有較佳之收率，（亞硫酸鈉 16%，碳酸鈉 4%）的用藥量下，卡巴值在 105-120 左右，收率則在 70% 左右，所得之紙張強度性質均較對照組為佳。化學製漿法及半化學製漿法製漿所得紙漿，經木糖分解酵素，纖維素分解酵素處理可節省打漿動力，且能改善紙漿之品質，顯示所得紙漿具有較高的抗張強度，纖維表面較為平整，因而有較高的游離度，較短的濾水時間，所抄製得之紙張具有較高的平滑度及強度性質。

關鍵詞：微生物降解、微生物製漿、*Phanerochaete chrysosporium*、*Lentinus edodes*、*Coriolus versicolor*、酵素處理。

蘇裕昌。2000。微生物降解木片之製漿評估。台灣林業科學 15(2):257-65。

Research paper

Pulping Evaluation of Biodegraded Wood Chips

Yu-Chang Su¹⁾

【 Summary 】

This paper evaluates the pulping characteristics of biodegraded chips of a fast-growing hardwood, *Gmelina arborea*. After wood chips were degraded for periods of 1 to 8 weeks by using 3 white-rot fungi, namely *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus edodes*, and *Coriolus versicolor*, the chips were pulped with chemical, mechanical, and semimechanical methods. Chemical analyses of degraded wood chips, characterization of resulting pulps, and determination of energy consumption during refin-

¹⁾行政院農業委員會林業試驗所木材纖維系，台北市 100 南海路 53 號 Division of Wood Cellulose Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan.

1999 年 12 月送審 2000 年 1 月通過 Received December 1999, Accepted January 2000.

ing of mechanical and semimechanical pulping were conducted. Improvements in properties of these resulting pulps by treatment with enzymes were also evaluated. In sulfate pulping of bio-degraded chips, lower yields, higher alkaline requirements, and competitive strength of pulps were seen as compared to nontreatment pulps. In mechanical pulping, lower energy consumption during refining and fewer broken fibers were shown. NSSCP (Neutral Sulfite Semichemical Pulp) pulping not only showed lower energy consumption, but better yields and lower chemical requirements were also observed.

Key words: biodegradation, biopulping, *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus edodes*, *Coriolus versicolor*, enzyme treatment.

Su YC. 2000. Pulping evaluation of biodegraded wood chips. *Taiwan J For Sci* 15(2):257-65.

緒言

微生物製漿法的開發，即利用白腐菌對木材之分解能，或其所分泌之酵素，消化、分解或溶出木材中木質素或其他非纖維性物質，進行以微生物分解反應做為製漿及漂白方法之構想，進行其脫木質素反應，而達到製漿及漂白的目的。自 1970 年代起廣為先進各國為多數之研究學者之重視，Bar-Lev 及 Kirk et al. (1984)，以及 Kirk et al. (1975) 對白腐菌腐朽材的木材化學性質，及其分解酵素對木質素之分解反應，木質素中各官能基或鍵結分解之情形即對木質素之分解機制，分解酵素的種類及分解酵素的功能等均已有相當程度的瞭解，並對有效菌種之培養與利用及製漿法已多研究 (Fukuzumi 1980, Eriksson et al. 1982, Kashino et al. 1993)，但因分解速度過慢，距實際工業化生產的應用，仍然有許多技術上的困難及差距。本研究嘗試評估以微生物降解木質的材料做為製漿法之前處理法，如生物-化學製漿法 (bio-chemical pulping)、生物-機械製漿法 (bio-mechanical pulping)、生物-半化學製漿法 (bio-semimechanical pulping) 等製漿法製漿，評估此等以微生物降解木片做為製漿法之前處理法的各種製漿法，進行製漿試驗及紙漿評估，以為開發或改良製漿法之微生物選擇之依據，並以酵素處理改善此等紙漿性質。

材料及方法

一、試驗材料

以 *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus*

edodes 及 *Coriolus versicolor* 等白腐菌株接種於雲南石梓木片經 1-8 週，所得之木片經洗滌洗去菌絲後用為製漿材料。

二、試驗方法

(一) 微生物分解木片性質的分析

以三白腐菌做為試驗菌株，在 PDA 培養基中培養三種二週後，接菌在試驗木片上經 2 週及 5 週培養後，將木片放入磨粉機中磨成粉並以篩選機選取 40 至 60 網目間之木粉，製備化學分析用木粉再經醇苯抽出後，依 Wise 法進行含纖維素的定量，並利用硫酸法及其改良法進行木質素的定量 (Su et al. 1992)。

(二) 微生物分解木片的製漿

1. 化學法製漿

經菌株分解木片以不同的活性鹼添加量 (active alkali, AA) 13-25%，在硫化度 25% 下，依常法進行硫酸鹽法製漿 (Su et al. 1995)，測量其收率，並依 CNS 5470 測定紙漿卡巴值。

2. 機械製漿

試片經接種一段時間 (5-8 週) 後取出，在蒸煮鍋將木片加熱水處理在高溫 (110°C) 處理 10 min 後，取出木片後再將 95°C 的木片以 12 inch 之單盤磨漿機分別在盤距 1.0, 0.5, 0.25, 0.125 mm 下、磨成紙漿至游離度 700 mL CSF 左右。並依據黃氏的方法 (Huang 1995) 測試記錄、計算磨漿所消耗動力，所得

紙漿再以打漿機打至所需之游離度後進行抄紙並評估紙張性質。

3. 半化學法製漿

以中性亞硫酸鹽製漿法，在亞硫酸鈉 16% 碳酸鈉 4% 在 170°C 蒸煮 2 h，蒸煮後再以 7.5 馬力 12 in 之單盤磨漿機分別順次在盤距 1.0, 0.5, 0.25, 0.125 mm 下，磨成紙漿游離度 700 mL CSF 左右，並測定卡巴值，並依上法記錄磨漿所消耗的動力。

(三) 紙漿酵素處理

培養 5 週後滅菌除去菌絲後，進行化學製漿及中性亞硫酸鹽製漿，所得紙漿分別以下述條件進行紙漿酵素處理，酵素種類；木糖分解酵素 (xylanase)、纖維素分解酵素 (cellulase; cellulzyme 市售纖維素分解酵素 Novo: 公司)。酵素添加量：2 unit/g、處理溫度 50°C，處理濃度 5%，處理 pH xylanase 6.0, cellulzyme 8.0，處理時間：30 min。

(四) 紙漿性質評估

經蒸煮、磨漿或經酵素處理後之各法所製紙漿，經打漿後依 CNS 抄製成手抄紙抄成 60 g/m²，機械漿、半化學漿抄成 160 g/m² 之手抄紙，依 CNS 標準測試方法測試比較紙張的物理性質抗張強度、破裂強度、撕裂強度及環壓強度等 (Su et al. 1993)。

結果與討論

一、微生物分解木片性質的分析

三菌種 *P. chrysosporium*, *L. edodes*, *C. versicolor* 分別接種於雲南石梓木片，Fig. 1 顯示三種菌株接種時間對木片之重量損失三菌株在接種初期對木片均有類似的重量損失，但超過五週後 *P.C.* 及 *C.V.* 之二菌株接種木片顯示有較大的重量損失率，各菌株木質素及纖維素含量的經時變化情形如 Table 1 中顯示各菌種對木質素及纖維素分解能不一，在培養初期 *L. edodes*, *C. versicolor*，對木質素及對全纖維素的約有相同分解能力。但隨時間的增長對纖維素的分解能則變大。而 *C. versicolor* 較 *L. edodes* 之分解速率為大。但 *C. versicolor* 對

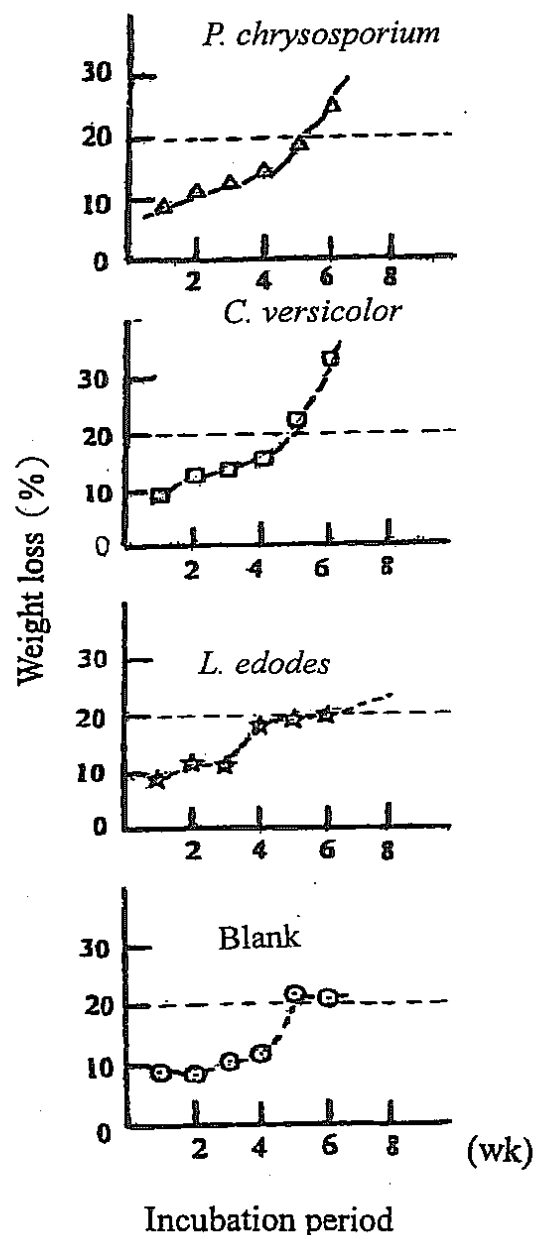


Fig. 1. Weight loss of fungal-treated wood chips.

木質素及纖維素分解力均大。*P.C.* 菌顯示較其他兩種菌對木質素有較佳之攻擊選擇性，且分解速率較快。綜合各接種木片經 2, 4, 8 週之微生物分解後木片各成分之經時變化，各菌種在接種 4-8 週後木質素有 8-15% 之去除，但超過 6 週後則纖維素量有相當大之降解，顯示微生物之前處理做為各製漿法之前處理以 5 週以內為適合之處理時間。

Table 1. Lignin and holocellulose contents of biodegraded chips at various time periods

Fungus species	Time (wk)	Lignin content (%)	Holocellulose (%)	Lignin loss/Holocell. loss
<i>P. chrysosporium</i>	2	23.85	68.40	0.67
	4	22.20	67.58	1.56
	8	20.09	62.60	1.26
<i>L. edodes</i>	2	23.25	69.85	1.00
	4	22.40	60.90	0.61
	8	21.50	55.70	0.63
<i>C. versicolor</i>	2	24.60	69.20	1.00
	4	22.40	62.59	0.67
	8	20.70	56.76	0.77
Normal wood	0	24.98	73.28	-

Table 2. Yields of sulfate pulping of biodegraded wood chips at various kappa numbers

Fungus species	Periods (wk)	Kappa number		
		20	30	40
<i>P. chrysosporium</i>	5	48.43	50.52	51.61
	8	47.60	49.24	50.89
<i>L. edodes</i>	5	43.39	46.14	48.89
	8	42.56	45.04	47.51
<i>C. versicolor</i>	5	47.15	49.03	50.90
	8	46.94	48.50	50.07
Normal wood	0	51.4	54.1	55.3

二、微生物分解木片的製漿

(一) 微生物-化學法製漿 (硫酸鹽製漿法)

Fig. 2 為接種木片經接種 5 週及 8 週後經硫酸鹽法製漿之收率與卡巴值關係，並依前報 (Su et al. 1995) 計算製漿至在不同卡巴值時之蒸解收率，結果顯示如 Table 2 各接種法木片較空白組有明顯的收率下降，在卡巴值 40 的時候約有 4-6% 的差異。各菌株間則以香菇菌 *L. edodes* 對收率影響較大，而以 *P. chrysosporium*，有較佳之收率。此結果與 Table 1 中菌株對木質素及對全纖維素之分解性及分解速率有關 (Su et al. 1995)。更由用鹼量及牛皮紙漿卡巴值之關係求出蒸解木片對鹼需求量，顯示經微生物分解木片在蒸解同一卡巴值所需之用鹼量較正常材為高，其原因可能為微生物降解木片有較多的降解碎片可能會消耗多量的鹼。此結果與相關論述 (Akamatsu 1983, Tamai 1984, Su et al. 1993) 在蒸煮香菇廢棄段木時有類似的傾向即在同一蒸解藥品的添加率下所得紙漿的卡巴值較高。但收率損失及鹼需求量較

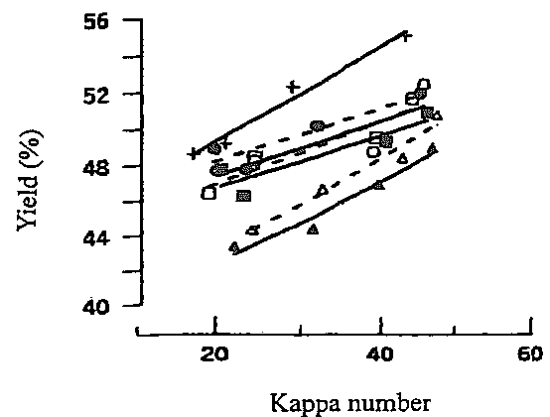


Fig. 2. Kappa number vs. yield of kraft pulping of fungal-treated wood chips. Note: ○ P5, ● P8 (*P. chrysosporium* incubated for 5 or 8 weeks before pulping, respectively); △ L5, ▲ L8 (*L. edodes*); □ C5, ■ C8 (*C. versicolor*) respectively; + normal wood.

長期劣化之段木為輕。接微生物種後木片製漿後所得紙漿之強度性質則與對照組沒有明顯的差異，此結果與赤松等 (1983) 之研究結果相同，在香菇菌腐朽初期多量之半纖維素被分

Table 3. Energy consumption and strength properties of mechanical pulps from biodegraded wood chips

Fungus species	Periods (wk)	Refine energy kWh/ton	Tensile index N · m/g	Burst index kPa · m ² /g	Tear index mN · m ² /g
<i>P. chrysosporium</i>	5	1700	39.6	2.05	--
	8	1500	38.9	2.31	8.4
<i>L. edodes</i>	5	1800	35.4	1.90	--
	8	1560	37.5	2.15	7.9
<i>C. versicolor</i>	5	1950	38.6	2.13	--
	8	1600	36.9	2.34	7.1
Normal wood	0	2070	35.6	1.85	7.0

Table 4. Properties of bio-NSSCP and refining energy consumption (*P. chrysosporium*)¹⁾

	Kappa number	Refining energy kWh/ton	Freeness (mL)	Tensile index (N · m/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)	Ring crush (kgf · m ² /g)
Bio-	110 ¹⁾	1190	406	69.5	4.00	7.0	4.85
NSSCP	120 ²⁾	1150	411	73.2	3.89	6.8	5.00
	135 ³⁾	1200	398	70.5	4.12	7.2	5.30
Blank	127 ⁴⁾	1450	402	60.8	3.29	5.3	4.90

¹⁾²⁾³⁾Na₂SO₃: Na₂CO₃ = 16%: 4%, temp. ¹⁾175°C, ²⁾170°C, ³⁾165°C, respectively, Basis weight 160 g/m².

⁴⁾Na₂SO₃: Na₂CO₃ = 16%: 4%, temp. 175°C.

解，此材料在硫酸鹽紙漿蒸解各種強度沒有明顯的差異，唯撕裂強度略差。

(二)微生物-機械製漿

經 5 週及 8 週三菌株 *P. chrysosporium*, *L. edodes*, *C. versicolor* 分別接種於雲南石梓木片均明顯較對照組為佳。接種木片經磨漿機磨漿後紙漿之磨漿動力有明顯的節約 Table 3 所顯示，微生物處理組無論在磨漿磨擦抵抗及磨漿時間均明顯較對照組為低，可節省 20-30% 左右。此結果與 Kirk et al. (1982) 及微生物處理之熱磨漿 (Eriksson et al. 1988) 有相同之傾向，而且所得紙漿強度性質有明顯之增加如 Table 3。經微生物接種木片經磨漿後，纖維之觀察可發現斷裂紙漿纖維明顯較對照組少，而且紙漿表面有相當程度之帶化現象，此現象

可解釋為木片經微生物處理後纖維間的結合及纖維壁表面有若干程度之軟化，在磨漿時較不易使纖維斷裂，而較容易散開且纖維的帶化，更可改善紙漿的強度性質。因此以可應用於經粗磨後之機械漿，若加以若干時間之接菌處理可減少後續的二次磨漿動力及改善紙漿之強度。

(三)微生物-半化學法製漿

Table 4 為經 *P. chrysosporium* 處理 5 週之分解後，進行中性亞硫酸鹽半化學製漿法 (NSSCP) 之製漿結果，製漿動力較對照組可節省 10% 左右，Fig. 3 為處理組及對照組在磨漿時對磨漿抵抗之一例，明顯顯示微生物處理組有較低之動力需求。微生物處理木片以傳統半化學製漿法可減少藥品用量，且有較佳之收

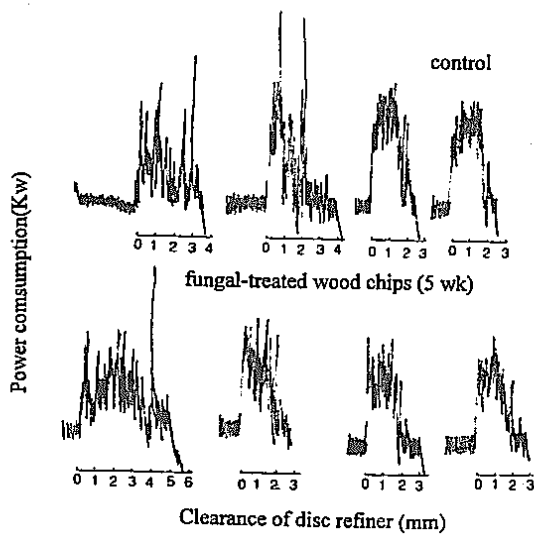


Fig. 3. Comparison of refining resistance of fungal-treated wood chips and control.

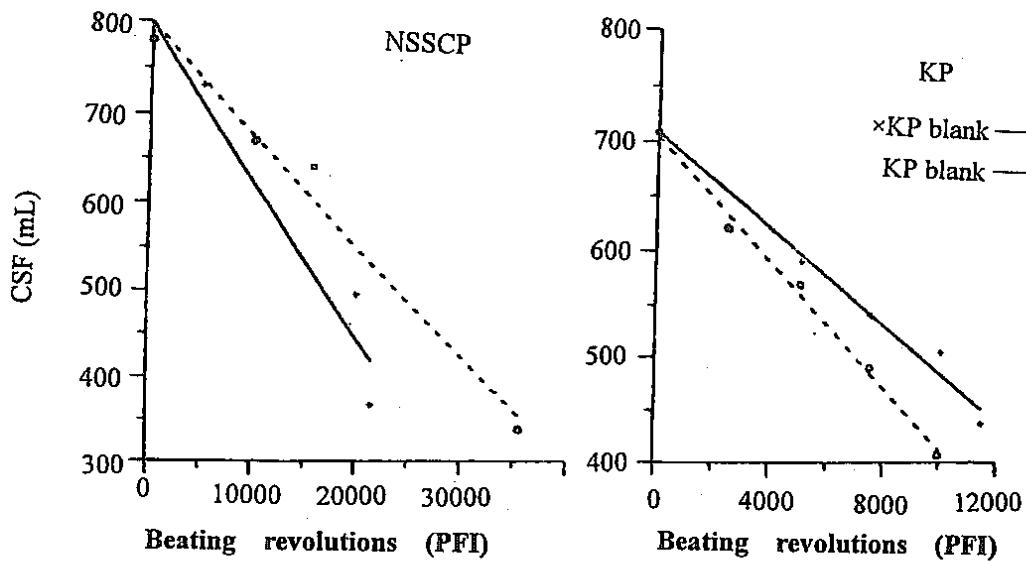


Fig. 4. Beating of enzyme-treated pulp. Note: + enzyme-treated NSSCP; KP; o control.

Table 5. Properties of enzyme-treated bio-kraft pulps (*P. chrysosporium*)

	Freeness (mL)	Tensile index (N · m/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)	Foldurance (dfs)
A ¹⁾	405	43.4	4.1	8.1	739
B ²⁾	387	53.9	3.3	6.6	624
C ³⁾	402	56.6	3.8	8.9	665

1) Blank.

2) Cellulzyme (cellulase).

3) Xylanase (hemicellulase) 2 ug/g; basis weight 60 g/m².

率，在170°C, 2 h的蒸解條件下用藥量在亞硫酸鈉16%，碳酸鈉4%的用藥量下卡巴值在105-120左右，收率則在70%左右，而對照組需在亞硫酸鈉20%碳酸鈉5%左右的用藥量才可得到類似性質的紙漿，所得之紙張強度性質抗張、頂破撕裂、環壓強度均較對照組為佳。此結果與廢棄香菇段木的半化學製漿結果有相同之傾向(Su et al. 1993)。

三、紙漿酵素處理

經酵素處理之化學紙漿及半化學紙漿，無論酵素的種類均對游離度有提升，及降低濾水時間之效果，所得紙張之平滑度遠超過未處理組。尤其硬度高的導管及細胞壁，而且不易打漿帶化，經酵素處理時，纖維素分解酵素處理

Table 6. Properties of enzyme-treated bio-kraft pulps

		Bekk smoothness (s)	Tensile index (N · m/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)	Foldurance (dfs)
A ¹⁾	Bl	184	65.7	4.73	8.0	299
	Tr.	207	65.8	4.84	9.1	275
B ²⁾	Bl	172	75.7	5.17	6.0	276
	Tr.	200	70.7	4.87	6.2	288
C ³⁾	Bl	180	73.5	5.80	9.0	547
	Tr.	210	70	5.05	9.4	292

1) Bio-KP from *P. chrysosporium*.

2) Bio-KP from *L. edodes*.

3) Bio-KP from *C. versicolor*, enzyme: cellulzyme 2 ug/g ; Bl: blank; Tr: enzyme treated; basis weight 60 g/m².

Table 7. Properties of enzyme-treated bio-NSSCP of *P. chrysosporium*

		Freeness (mL)	Tensile index (N · m/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)	Foldurance (dfs)
A ¹⁾		398	70.5	4.12	7.20	153
B ²⁾		389	69.4	4.53	7.60	168
C ³⁾		405	72.6	4.85	7.90	157

1) Blank.

2) Cellulzyme (cellulase).

3) Xylanase (hemicellulase) 2 ug/g; basis weight 60 g/m².

Table 8. Properties of enzyme-treated bio-NSSCP

		Bekk smoothness (s)	Tensile index (N · m/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Ring crush (kgf · m ² /g)
A ¹⁾	Bl	57.1	62.0	3.69	5.30
	Tr.	81.5	60.0	3.27	5.86
B ²⁾	Bl	30.4	53.9	3.09	4.90
	Tr.	55.2	56.7	2.89	5.30
C ³⁾	Bl	39.7	52.4	3.19	5.00
	Tr.	64.8	60.8	3.38	5.60

1) Bio-KP from *P. chrysosporium*.

2) Bio-KP from *L. edodes*.

3) Bio-KP from *C. versicolor*, enzyme: cellulzyme (basis weight 160 g/m²).

組，明顯顯示有較佳的打漿性，即打漿動力可以減少 10-15%。Fig. 4 顯示兩種紙漿的 PFI 打漿曲線明顯顯示之酵素處理需較低之打漿動力，處理的最佳 pH 依酵素的種類不同，纖維素分解酵素 cellulzyme 為 pH 8.0，木糖分解酵素為 6.0，對紙漿處理而言，pH 較高顯示有較

佳之處理效果，推論其可能原因為在較高 pH 範圍下紙漿有較高的膨潤性。

Tables 5 及 6 二表分別顯示經酵素處理之化學紙漿，纖維素分解酵素處理微生物-牛皮紙漿除抗張強度外，其他之力學性質均較未處理組為差，推論為纖維素受酵素水解而影響纖

維表面性質 SEM 顯示表面較為平整，導致纖維表面纏繞變差，而以木醣分解酵素組則強度有明顯的改善(硫酸鹽紙漿)。半化學紙漿(中性亞硫酸鹽半化學漿)酵素處理之結果顯示如 Tables 7 及 8，再行打漿至游離度 400 mL CSF 左右時除耐摺力外沒有明顯的變化，其他各種強度均較對照組為佳，其原因歸納為經微生物降解紙漿含有較多之較低分子量降解產物，經酵素處理後此等物質可因此溶出，而使纖維表面較為平滑，而較易膨潤，在形成紙層時有較好的結合面積，此點可由較低的光散射係數得以證實。不同菌株所得紙漿經纖維素分解酵素處理有類似之結果本試驗在中濃度酵素處理，對改善效果已明顯。酵素處理若配合高濃度打漿作業，其改善效果應可再提升。

結論

以對木質素分解力較強之三種白腐菌菌種 *P. chrysosporium*, *L. edodes*, *C. versicolor*，分別接種於闊葉樹材木片上，經 5-8 週之微生物分解後以不同製漿法製漿後評估製漿性及其所得紙漿性質，以下為綜合試驗結果。

一、各菌種在接種 4-8 週後木質素有 8-15% 之去除，但超過 6 週後則纖維素量有相當大之降解，顯示微生物之前處理做為製漿前處理以 5 週以內，為適合之處理時間。

二、以接種 5 週及 8 週之微生物接種木片進行硫酸鹽法製漿結果，顯示接種 5 週及 8 週之木片在蒸煮至卡巴值 30 時之收率，分別較正常木材有 2.5% 及 6.3% 之低下，而其所需鹼之用量較正常材高。各菌種處理所得紙漿性質之強度性質與菌種無太大相關，但與處理時間有關。抗張力及破裂指數有些微之低下，但撕裂指數則有 10-15% 之低減。

三、以接種 5-8 週之木片進行機械法磨漿，其磨漿動力較對照組可節省 6-23% 左右，而且其微生物—機械法之紙漿打漿比較常法容易，且可節省打漿動力。

四、以接種 5 週之木片進行中性亞硫酸半化學製漿法製漿，所消耗動力較對照組可節省 18-

23% 左右，較傳統半化學製漿法可減少藥品用量且有較佳之收率，(在亞硫酸鈉 16%，碳酸鈉 4%) 的用藥量下，卡巴值在 105-120 左右，收率則在 70% 左右，所得之紙張強度性質均較對照組為佳。

五、以接種 5 週之木片進行化學製漿法及中性亞硫酸半化學製漿法製漿，以所得紙漿經木醣分解酵素，纖維素分解酵素處理改善紙漿之品質，結果顯示所得半化學紙漿具有較高的抗張強度，纖維表面較為平整，因而有較高的游離度，較短的濾水時間，所抄製得之紙張經測試後具有較高的平滑度及表面強度。化學紙漿則除抗張強度有些微之下降及游離度有提升之現象，且紙張平滑度有改善之現象，而且以木醣分解酵素有較佳之結果。

引用文獻

- Akamatsu I, Kamishima H, Fujii T, Kobayashi T. 1983. Influence of *Lentinus edodes* on hardwood and kraft pulping of partially degraded materials. *Jpn Tappi J* 37(9): 813-21. [in Japanese with English summary].
- Bar-Lev SS, Kirk TK, Chang HM. 1982. Fungal treatment can reduce energy requirements for secondary refining of TMP. *Tappi J* 65(10):111-3.
- Eriksson KE, Vawander L. 1982. Properties of pulps from thermomechanical pulping of chips pretreated with fungi. *Svensk Papperstidning* R33-8.
- Fukuzumi Y. 1980. Biological pulping-fundamental principles and technological problems. *Jpn Tappi J* 34(12):761-8. [in Japanese with English summary].
- Huang YS. 1995. Basic study on orthogonal cutting parallel to the grain of wood [doctoral thesis], Tottori Univ. Japan. 89 p.
- Kashino Y. 1993. Biomechanical pulping using white-rot fungus IZU-154. *Tappi J* 76(12):167-71.

Kirk TK, Chang HM. 1975. Decomposition of lignin by white rot fungi (II) Characterization of heavily degraded lignins from decayed spruce. *Holzforschung* 29(2):56-63.

Su YC, Ku YC, Lo PD. 1992. Pulping potentials of tropical woods. Part I. Pulping potentials and occurrence of pitch problems of three *Shorea* species. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 7(3):273-89. [in Chinese with English summary].

Su YC, Ku YC, Wang IC. 1993. Evaluation of pulping potentials on spent shiitake bed logs. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 8(3):

239-49. [in Chinese with English summary].

Su YC, Kuo YT, Ku YC, Yo HM. 1995. Studies on the fast growing wood species *Gmelina arborea* (part II.) Relationships between wood characteristics and pulping potentials *Quart J Chin For* 28(2):69-86. [in Chinese with English summary].

Tamai AA, Nishida Hiori T. 1984. Utilization of shiitake bed logs as biomass resource cellulase saccharification and kraft pulping. *Jpn Tappi J* 38(2):209-14. [in Japanese with English summary].