

研究報告

廢紙酵素脫墨之研究

蘇裕昌^{1,3)} 趙善源²⁾ 李淑靜¹⁾ 葉若鑒¹⁾

摘要

本研究以纖維素分解酵素、半纖維素分解酵素、前述兩者之混合酵素及脂肪分解酵素對回收新聞廢紙及影印廢紙進行酵素脫墨試驗，比較與傳統脫墨法之脫墨效率以及脫墨漿物理特性，確立酵素脫墨法之理想流程，並探討回收報紙及影印紙脫墨的酵素種類、酵素脫墨漿之應用及酵素脫墨漿之各項性質，以建立兩種廢紙酵素脫墨法。新聞廢紙的酵素脫墨在酵素處理後只需洗滌處理即可獲良好的脫墨效果，但影印廢紙的酵素脫墨必須配合洗滌及浮選處理，才可達到理想的脫墨效果。酵素處理時間即添加酵素後之散漿時間之長短影響再生漿白度的下降及強度的變化，在30 min時可發揮最佳脫墨效果及綜合紙力。在酵素處理影印紙時，再生漿得率、強度等隨酵素添加量有下降之趨勢，雖不同酵素有不同之理想添加量，其有效應用範圍各酵素可能應用量約 1.0 units/g paper 左右，即每克紙漿使用 1 單位酵素活性之酵素。但理想使用量仍需以試驗驗證。影印廢紙利用多種酵素配合處理，二次浮選等處理可改善脫墨酵素效率及紙性。為了提升影印廢紙之脫墨效率可利用鹼浸漬處理改善纖維膨潤之處理性，且可促進脫墨效率提升到 99% 以上並改善紙張性質。

關鍵詞：廢紙脫墨、酵素脫墨、脫墨漿性質、纖維素分解酵素、半纖維素分解酵素、油脂分解酵素。蘇裕昌、趙善源、李淑靜、葉若鑒。2002。廢紙酵素脫墨之研究。台灣林業科學 17(4):439-49。

Research paper

Studies on the Enzymatic Deinking of Wastepaper

Yu-Chang Su,^{1,3)} Shan - Yuan Chiou,²⁾ Shu-Ching Lee,¹⁾ Ruoh-Yun Yeh¹⁾

【Summary】

The aim of this paper was to establish a deinking method for old newsprint and xerographic paper using commercially available cellolytic and hemicelolytic enzymes, or their mixtures and lipase. Comparisons of deinking efficiencies between conventional and enzymatic deinking was made for these wastepapers. The optimal deinking process was established by evaluating the physical properties of the resulting pulps and the ink removal efficiencies.

For old newsprint, deinking efficiency and deinked pulp with acceptable properties could be obtained from a single-stage washing deinking after enzymatic treatments. For old xerographic

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

²⁾ 中國文化大學造紙印刷研究所，111台北市陽明山華岡路55號 Graduate School of Papermaking and Printing Science, Chinese Culture University. 55 Hwa-Kang Rd., Yang-Ming Shan, Taipei 111, Taiwan.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: ycsu@serv.tfri.gov.tw

2002年5月送審 2002年6月通過 Received May 2002, Accepted June 2002.

paper, enzymatic deinking with both washing and flotation was needed. Increases in enzymatic treatment time in the pulper resulted in pulp brightness loss and strength reduction. A 30-min. treatment time led to high deinking efficiency and strength. Increasing the enzyme dosage in the pulper resulted in better ink speck removal efficiency, but overdosage caused pulp yield loss and pulp strength reduction. Even though different enzymes had their own optimal dosages, a reasonable dosage was about 1 unit of enzyme activity per gram of paper substance.

In order to develop better ink removal efficiencies, various treatments were tried including multiple enzyme addition, secondary flotation, and alkaline presoaking before enzymatic treatment. The results showed great improvements in ink removal efficiency. Results of the alkaline presoaking treatment indicate that alkali improved the wettability and swelling of the fiber surfaces and achieved ink removal efficiencies of 99% or higher. Moreover, the characteristics of the resulting pulps were also improved.

Key words: deinking, enzymatic deinking, properties of deinked pulp, cellulase, hemicellulase, lipase.

Su YC, Chiou SY, Lee SC, Yeh RY. 2002. Studies on the enzymatic deinking of wastepaper. *Taiwan J For Sci* 17(4):439-49.

緒言

台灣造紙工業的產品結構異於他國，相當缺乏纖維原料資源，在有限的原料資源下如何以較低的生產成本，創造出高價位的紙張產品，除了著重於現場的生產管理外，尋求原生木漿的替代品亦是業者一直努力的方向，因此大量應用廢紙漿來替代原生漿的使用量以降低生產成本，使廢紙的使用更占重要的地位。自 80 年代起廢紙一直是國內紙業重要的纖維料源，2000 年國內紙與紙板的總生產量約為 450 萬噸左右，而廢紙總使用量為 400 萬噸，其廢紙利用率高達 88% (Anonymous 2001)。使用廢紙回收的優點及增加使用的原因可歸納如下：(1) 生態保育及省資源、省能因素：森林資源擁有國因森林的砍伐而使生態遭破壞，為了提高資源使用率及生態保育而減少林木的砍伐，又為補充造紙原料纖維的不足，廢紙回收就更顯重要了。(2) 環境保護的壓力：製漿是一種耗能、水資源及易產生環境污染的工業，而且在國內固體廢棄物中，紙製品占很大的比例，造成垃圾的增加及產生污染，多利用廢紙再製脫墨漿可疏減環保之壓力並減少資源及能源的消耗 (Takayanagi 1986)。(3) 經濟性因素：回收纖維成本較原生漿便宜。抄製薄紙使用廢紙漿料可使

原料成本減少 35-55% (Sorenson 1990)。再生紙漿所製成之紙張，本身有白度、潔淨度及物性較低等缺點，但隨著廢紙回收量的增加，廢紙脫墨技術之研究更加顯出其重要性；另一方面，製漿工業是一大資本、能量、資源(森林資源、水資源)消費型工業，我國缺乏森林資源，目前纖維資源大量不足，新設紙漿工廠更困難，因而只有以廢紙回收脫墨補充紙漿之不足。廢紙的利用在國內製漿造紙工業上佔一重要角色，但在進行傳統廢紙脫墨中往往須加入多量之脫墨藥劑、漂白劑、鹼和其它之助劑及大量之洗滌水，此等藥劑溶入排放水或白水中往往造成環境問題或紙機操作問題，為減少使用脫墨藥劑，減輕脫墨產生的環境問題 (Franklin 1986, Cynthia et al. 1992)，新脫墨法之建立為目前重要之課題。近年來製漿造紙工業應用生物科技之可能性日漸增多，例如以生物-化學法進行之微生物漂白法 (Reid et al. 1990)、廢水處理 (Momohara et al. 1990) 或廢紙脫墨漿之改質 (Pommier et al. 1989)，或以酵素進行的打漿處理 (Noe et al. 1986)、樹脂障礙控制 (Fujita et al. 1991)、脫墨研究 (Eom and Ow 1991) 等已有少許報告及專利，但因特殊酵素價格高昂始終無法

工業化應用，近來生物科技之發達，酵素生產及應用技術漸臻成熟，從事商業化生產使價格低廉化，在實際工業化上之應用可能性大增 (Spiridon et al. 2001)。

探討以各種酵素作為脫墨藥劑，期能減少脫墨藥品之使用量、白水中藥劑之溶解、廢水中藥品之負荷及能量消耗，並且提高脫墨紙漿性質，以增加回收次數及擴大再生紙漿使用範圍。採用市售各種菌類產製之纖維分解酵素 (cellulase) Celluclast、Cellzyme，半纖維分解酵素 (hemicellulase) Xylanase、Pulpzyme 以及纖維素、半纖維分解酵素的混合酵素 Viscozyme，配合油脂分解酵素 (lipase) Lipolase 進行酵素脫墨試驗，其種類及酵素活性如 Table 1 所示。利用酵素將附著油墨部份之纖維表面進行酵素加水分解或使纖維表面軟化、可溶化，再利用後續的脫墨方法如洗滌、浮選將分散之油墨除去；或利用油脂分解酵素將油墨中之油脂或樹脂進行酵素加水分解使其低分子化，再用後續之處理如機械力、水中剪力使油墨與纖維脫離除去。以此等酵素對新聞廢紙及影印廢紙進行脫墨試驗，探討酵素脫墨情形，尋求酵素脫墨最適化條件，評估脫墨效率及脫墨漿品質以建立酵素脫墨法流程，並探討對水污染減低情形。

材料與方法

一、試驗材料

(一)紙樣：本試驗所取用之廢紙為新聞廢紙及影印廢紙，其貯存年限皆在一年之內者。新聞廢紙試材取自中國時報，影印廢紙為一般之全錄

影印用紙，經一定面積(以英文字 12 號(Bit)印滿 30 行 × 40 字)影印後，依 CNS 6947 測定其含水率後以封口袋密封備用。

(二)脫墨劑：日本明成化工所生產之烷基酚聚乙炔甘油醚類 (alkyl phenol polyethylene glycol ether) 之非離子性界面活性劑 R-60 作為對照組 (化學脫墨法) 的脫墨劑。

(三)酵素：採用市售 NOVO 公司之纖維分解酵素 (cellulase)、半纖維分解酵素 (hemicellulase)、油脂分解酵素 (lipase)，以及 Fluka 公司以菌類產製之木醣分解酵素 (xylanase) 為主要酵素脫墨藥劑，其主要性質及來源顯示如 Table 1，所採用酵素之詳細說明如下：

1. Celluclast[®]：內含 (1) exo-1,4-β-D-葡萄糖分解酵素；(2) endo-1,4-β-D-葡萄糖分解酵素；(3) 纖維二糖水解酵素。
2. Cellzyme[®]：為清洗用的纖維分解酵素 (detergent cellulase)。
3. Viscozyme[®]：為一混合酵素 碳水化合物水解酵素之混合酵素包含 (1) 纖維分解酵素；(2) β-葡萄糖分解酵素；(3) 半纖維分解酵素；(4) 木聚糖分解酵素；(5) 阿拉伯糖分解酵素等。
4. Pulpzyme[®]：包含 exo-1,4-β-D-木聚糖分解酵素 endo-1,4-β-D-木聚糖分解酵素活性及少量的纖維分解酵素。
5. Lipolase[®]：1,3-specific 脂肪分解酵素即其有切斷三甘油脂的 1,3 位置的脂鍵。
6. Xylanase[®]：endo-1,3-β-木聚醣分解酵素，微黃色粉劑，活性 2.5 units/mg。

二、試驗方法

Table 1. Enzymes used for deinking of wastepaper

Enzymes type	Commercial name	Source	Enzyme assay
Cellulase	Celluclast	<i>Tichoderma reesei</i>	1500 NCU/g
	Cellzyme	<i>Humicola isoleas</i>	700 CSU/g
Cellulase+hemicellulase	Viscozyme		120 FBG/g
Hemicellulase	Pulpzyme		500 XYU/g
	Xylanase	<i>Trichoderma viride</i>	2900 XYU/g
Lipase	Lipolase	<i>Aspergillus oryzae</i>	100 KLU/g

(一)脫墨程序：使用配有調溫夾套高濃度散漿機進行散漿，化學法脫墨之操作方法及條件詳如前報(Su and Sun 1995)，添加 2% NaOH, 2% H₂O₂, 3% Na₂SiO₃, 0.5% 肥皂及 0.2% 脫墨劑(Meisei R-60)。酵素法脫墨法係取廢報紙或影印紙絕乾重 200 g，在 50 °C 下加藥品進行散漿脫墨及後續之浮選脫墨，其操作條件如 Table 2 所示，評估脫墨效率及脫墨漿之性質(Su and Sun 1995)(Mckinney 1988)。

(二)再生紙漿性質之測試：依 CNS 11212 規定抄製手抄紙並測試基重、抗張強度、破裂強度、撕裂強度、耐摺力及白度等性質，並按綜合紙力 = 斷裂長 + 比破裂度 / 10.2 + 比撕裂度 / 17.9 + 耐摺力 / 6659 之公式計算綜合強度(Sekine 1961)。同時對脫墨後紙漿中殘墨量(mm²/m²)，以影像分析儀(image analyzer)測定。影像分析儀主要儀器為電視攝影機(CCD camera)及螢幕，利用影像分析軟體灰階差測定脫墨漿手抄紙殘墨粒子大小及個數，並求出斑點總面積(McCool and Taylor 1983, Wu 1991)。

(三)酵素脫墨流程之確立：取影印紙絕乾重 200g，在 50 °C 下進行酵素脫墨及後續的浮選脫墨條件如 Table 2，評估各種酵素藥劑對脫墨效果如紙漿收率、脫墨效率，並評估再生紙漿的綜合強度、白度、游離度等(Su and Sun 1995)。

(四)增進影印紙油墨移除效率實驗

1.混合酵素處理：取纖維素分解酵素與油脂分解酵素一併處理，酵素加入廢紙漿方法分為兩種，(1)同時加入 Celluzyme + Lipolase 處理法，(2)依次加入 Celluzyme、Lipolase 或改以 Lipolase、

Celluzyme 順序加入酵素處理法。

2.鹼前浸漬處理：進行酵素脫墨前先以 3% NaOH 浸漬處理廢紙後(Su and Sun 1995)，再分別以不同劑量、不同酵素進行酵素脫墨，並評估脫墨效率及脫墨漿之強度性質。

結果與討論

一、酵素脫墨流程之確立

(一)新聞廢紙的脫墨及再生

新聞廢紙經 50 °C 溫度處理下顯示有優良的脫墨效率及可得高品質之紙漿(Su and Sun 1995)，Table 3 為以纖維素分解酵素 Celluzyme 為酵素脫墨法之一例，在 pH 8、50 °C 的條件下，酵素脫墨與傳統化學脫墨經洗滌、浮選處理後的結果比較。酵素脫墨後洗滌處理之紙漿得率為 75.0%，再經浮選處理後得率降為 72.2%，經浮選處理對得率有較大的損失。空白組之白度為 49.3% ISO，經洗滌法處理後，白度升至 49.9% ISO，再經浮選處理後白度達 50.9% ISO，與一般化學法比較，白度略低 2-3% ISO。其主要原因為傳統化學脫墨法一般在進行脫墨藥劑處理時常添加過氧化氫，在脫墨同時進行漂白，或為防止在鹼性條件下處理時產生之深色化現象而添加漂白劑。洗滌法之油墨移除率為 97.1%，而再經浮選處理後可高達 99.1%，由此可了解報紙單獨以洗滌法或洗滌加上浮選法進行酵素脫墨皆可獲得很高的油墨移除率。傳統化學法脫墨亦能達到幾乎去除所有油墨。一般而言，經脫墨處理後，所得再生紙漿力呈下降之趨勢，這與經脫墨及浮選處理後纖維劣化與部份細纖維被浮除，以及脫墨再生作業時之乾燥 - 濕潤重覆作業影響纖維膨潤與手抄紙交織(Yamagishi and Oye 1981, Su and Sun 1995)。有關酵素脫墨所得再生漿之強度遠較化學法為佳，其原因為酵素法在接近中性且在低溫的條件下進行，沒有受到溫度與苛性鹼等化學藥品之劣化作用而有較佳之強度。酵素脫墨漿強度指數顯示較國內市售新聞原紙高，以長纖維為主成分的北美新聞紙，其撕裂強度遠較市售品為

Table 2. Conditions for enzymatic deinking processes

	Dispersion	Flotation
Pulp cons.(%)	8	0.5
Time(min)	30	30
Temp.(°C)	50	50
Enzyme dosage	1.0~3.5 units/g	Surfactant ¹⁾ : 0.2% Soap: 0.5%
pH	6.0~8.0	

¹⁾ Surfactant: Meisei R-60.

Table 3. Deinking results of ONP with enzymatic deinking at 50

	Blank ¹⁾	Enzymatic method ³⁾		Chemical method		Market newsprint	
		Washing	Washing+ flotation	Washing	Washing+ flotation	NP ⁴⁾	NP ⁵⁾
Yield (%)	81.2	75.0	72.2	80.0	72.6	—	—
Brightness (% ISO)	49.3	49.9	50.9	52.0	54.0	52.5	56.4
Speck removal (%)	—	97.1	99.1	99.5	99.5	—	—
Strength index ²⁾	10.5	9.2	8.8	7.3	7.1	7.8	10.8
Tensile Index (N.m ² /g)	30.9	26.1	28.6	19.9	20.2	30.5	38.3
Burst index (kPa.m ² /g)	2.13	1.57	1.73	1.89	1.17	1.94	2.68
Tear index (mN.m ² /g)	9.19	8.69	7.34	6.02	6.85	4.87	7.41
Freeness (mL CSF)	369	487	500	550	560	—	—

¹⁾ Properties of ONP after dispersion and sheet formation.

²⁾ Strength index = breaking length h + bursting factor/10.2 + tearing factor/17.9 + folding endurance/655 (Sekine 1961).

³⁾ Enzyme dosage: Celluzyme dosage of 0.75 CSU/g paper.

⁴⁾ Market newsprint made by Chung-shing Mill, Taiwan.

⁵⁾ Market newsprint made by a Canadian mill.

高。脫墨漿抗張、頂破強度較低，但一般在從事新聞紙生產過程中時常添加紙力增強劑以提昇紙張的乾燥強度及濕潤強度；應用於造紙時可配合原生漿及添加紙力增加劑以達到市售品的水準。在相同的處理溫度下，經酵素處理後之脫墨漿游離度有明顯的提升，遠較化學脫墨法之再生漿為高。酵素脫墨後之紙漿經洗滌法處理可使脫墨漿游離度由369 mL CSF提升至487 mL CSF，而洗滌 + 浮選法則增加至500 mL CSF，說明浮選處理有助於游離度的改善，多加一段浮選作業，白度僅提高1% ISO，油墨移除率也僅增加2%左右，但紙漿強度性質下降，雖然其游離度能獲某些程度的提升，但其得率損失增加3%，由此可知新聞廢紙之酵素脫墨與傳統化學脫墨法相同，不須經浮選處理即可得到所需之脫墨效果。

(二) 影印廢紙的脫墨及再生

回收影印紙如上項處理所得再生紙漿結果如 Table 4 所示。就油墨移除率而言，只經洗滌法處理之油墨移除率僅達24.3%，而多加浮選步驟處理之油墨移除率則高達94.5%，顯示浮選處理對影印紙之油墨移除有很好的效果，可推論為經酵素處理後之油墨粒子大小適合於浮選移除。化學脫墨法脫墨漿之白度均較酵素脫墨

漿高，其因在傳統化學法常添加過氧化氫之故。酵素脫墨只經洗滌法處理後之白度為77.9% ISO，較空白組白度增加3% ISO左右，再多加一段浮選後，白度則提升至84.4% ISO，較空白組白度增加約10% ISO左右，有顯著的提升現象。浮選處理有助提高影印紙再生漿之白度，此結果與化學脫墨法所得趨勢相同。就再生漿之強度性質而言，洗滌法及洗滌 + 浮選法所得之再生漿皆較空白組佳，但洗滌加上浮選法略劣於洗滌法，究其因可能是較多細纖被浮選移除，雖然可提高平均纖維長度，但進行成紙層抄製時減少了纖維結合面積所致(Yamagishi and Oye 1981, Su and Sun 1995)。所得再生漿的游離度，經洗滌法處理後，自486 mL CSF提高至579 mL CSF，再經浮選作業後，更提升至600 mL CSF，由此得知，增加浮選段對游離度的提升有相當程度的效果。由上述二紙種之酵素脫墨雖然不是在最適條件下進行，但已明顯顯示廢紙漿經酵素反應及洗滌後，再經浮選處理可改善脫墨效率及增加脫墨漿白度的效果。而且酵素脫墨漿之強度性質較傳統化學法脫墨漿佳，同時各種性質達到或超過市售影印紙，明顯顯示其做為再生應用之可行性。

二、酵素脫墨法中之各影響因子

Table 4. Deinking results of OXP enzymatic deinking at 50

	Blank	Enzymatic method ¹⁾		Chemical method		Xerox paper ²⁾
		Washing	Washing+ flotation	Washing	Washing+ flotation	
Brightness (%ISO)	74.8	77.9	84.4	79.7	85.6	82.4
Speck removal (%)	—	24.3	94.5	15.6	91.8	—
Strength index	9.8	10.6	10.4	9.1	9.2	8.9
Tensile Index (N.m ² /g)	28.7	34.2	36.3	30.7	29.1	35.3
Burst index (kPa.m ² /g)	2.16	2.26	2.32	1.85	1.84	1.40
Tear index (mN.m ² /g)	8.25	8.56	7.64	7.26	7.71	6.8
Freeness (mL CSF)	486	549	600	538	566	—

¹⁾ Enzyme dosage: Celluzy me 1.05 CSU/g paper.

²⁾ Xerox paper made by a local paper mill.

(一) 酵素處理時間對酵素脫墨效果之影響

進行脫墨再生作業時化學藥品之添加大多在散漿階段，散漿之時間、溫度直接影響脫墨反應、離解纖維機械力、藥品與纖維反應，即藉水及藥品對纖維 油墨的作用使油墨自纖維剝離，適當的散漿時間影響脫墨效率及再生紙的品質甚鉅，前報中亦對化學法之散漿處理進行討論(Su and Sun 1995)。Figure 1 顯示以酵素脫墨時酵素作用時間對再生漿之影響，紙漿白度隨酵素處理時間之增加而下降，這是因為機械剪力作用增加，使油墨粒子被過度微細化，或反應時間過長，導致紙漿發色團的再形成之故，因而紙漿白度逐漸下降。散漿至30min後，墨斑移除率逐漸提升，白度減低程度逐漸趨緩。隨著散漿時間之增加，墨斑移除率也逐漸增加，至散漿時間超過 30 min 後，移除率趨於一定，對墨斑移除率而言，散漿時間 30 min 時為較適合的反應時間。紙漿綜合強度隨著散漿時間增長而逐漸增加，但處理 40 min 以上時獲最低綜合強度，推斷其因可能為纖維受纖維素分解酵素之作用，纖維表面產生平整之現象，影響纖維間之羥基結合數或結合面積，或因酵素處理(尤其是採纖維素分解酵素)使單一纖維強度變小，或因大量微細纖維物移除，影響紙張之交織(Oye1982)。游離度隨散漿時間之增長有上升的現象，此結果可能為酵素與漿料纖維作用時間增長，而使漿料中帚化纖維變得較為平整或微細纖維減少所致。散漿時間超過40min後，則因機械力量與酵素分解使纖維受損而產生新

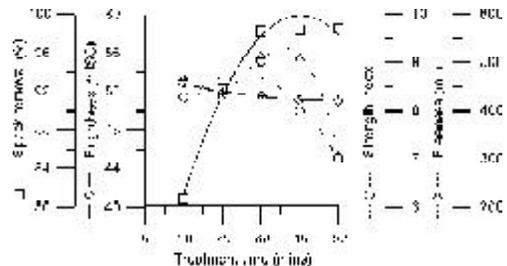


Fig 1. Effect of treatment time on the properties of enzymatic deinked pulp at 50 °C (enzyme dosage: Celluzy me 1.0 units/g paper).

的細纖維碎片，游離度再次下降。當散漿時間增至 50 min 後，機械力量促使細纖維再次增多，導致相當低的游離度間接顯示纖維的損傷。綜合上述結果，以酵素進行 30 min 散漿處理雖可得最佳之墨斑移除率及綜合強度，但其白度及游離度皆最低。若要增長酵素作用時間及效率可採用浸漬法配合以緩壓或間歇式揉漿處理作業應會有較佳之結果(Matsukura 2001)。

(二) 酵素種類及添加量及對新聞紙及影印紙之脫墨效果

1. 新聞廢紙的酵素脫墨

以不同酵素纖維素分解酵素(Celluclast、Celluzy me)、纖維素與半纖維素分解酵素之混合物(Viscozyme)、半纖維素分解酵素(Pulpzyme、Xylanase)及油脂分解酵素(Lipolase)，分別以酵素添加量為 1.0 units/g paper 進行新聞廢紙酵素脫墨，經洗滌脫墨處理後，所得之各項物理性

質如 Table 5 所示。以得率而言，傳統化學法為 78.2%，而以各種酵素處理後之得率大約多在 75% 左右，略低於化學法，可能是因為移除的油墨較多及部分微細纖維被酵素反應移去所致。五種酵素處理後之得率，最佳與最差得率之間僅相差 1.6%，無明顯差異。空白組之白度為 49.3% ISO(見 Table 3)，以各種酵素處理所得再生漿之白度皆在 50% ISO 左右，各酵素處理間差異不大，而以化學處理法處理後之白度則高達 61.9% ISO，主要是因為在脫墨過程中加入過氧化氫之故。但酵素脫墨後之紙漿以 1% H₂O₂ 漂白其白度約可提升 10 度左右。化學法處理後之墨斑移除率為 92.6%，而以酵素處理各組之墨斑移除率皆在 95% 以上，顯示以酵素處理之墨斑移除率優於化學法。各酵素之脫墨效率雖有些微差異，在實際應用時必須施以最適化測試以達最佳之應用條件。以酵素進行新聞廢紙之脫墨，無論酵素的種類纖維素分解酵素(C)、半纖維素分解酵素(H)，或上述二種酵素之混合酵素(C+H)、油脂分解酵素(L)，在相當低的酵素添加程度即可達相當之脫墨效率。

2. 影印廢紙的酵素脫墨

影印紙之脫墨一般被認為不甚容易，需經相當之前處理才能有好之脫墨效率(Quick and Hodgson 1986, Wayne 1991)。Figure 2 為 Celluzyme 在 0.7-3.5 units/g paper 之添加量新聞廢紙下之脫墨結果，顯示脫墨效率及白度隨添加量增加而有明顯的改善，紙漿強度指數隨添加量之添加有遞減之現象，尤其超過 2.1 units/g paper 添加量時脫墨效率沒有改善，但紙漿強度

極遽的低下，以傳統化學法脫墨之脫墨效率雖達 90.5%，但仍有相當數目之殘墨存在，不堪應用為書寫用紙。

不同酵素對紙漿具有不同攻擊選擇性，不同酵素顯示不同之脫墨特性，Table 6 為以不同酵素纖維素分解酵素(C; Celluzyme)、纖維素及半纖維素分解酵素之混合酵素(C+H; Viscozyme)、半纖維素分解酵素(H; Xylanase, Pulpzyme)及油脂分解酵素(L; Lipolase)進行影印紙之脫墨之結果。在相同之酵素活性添加量(1 units/g paper)下，以 Viscozyme(C+H)纖維素及半纖維素分解酵素的混合物具最佳之脫墨性，接著 Celluzyme(C)、Xylanase(H)與 Lipolase(L)之脫墨性較差，而以 Pulpzyme(H)之脫墨性質為最差。其主要原因與酵素之特性有關，Viscozyme 為 C+H 酵素，具攻擊纖維素及半纖維素之能力，Celluzyme 則僅具攻擊纖維素的能力。Lipolase 則僅具攻擊油脂之能力，而 Xylanase、Pulpzyme 為半纖維素分解酵素則只

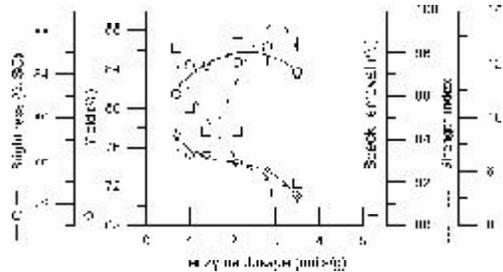


Fig 2. Comparison of enzymatic deinking (Celluzyme) results at different enzyme dosages.

Table 5. Deinking results of ONP deinking using different enzymes

Enzyme ¹⁾	Chem.	A	B	C	D	E	NP ²⁾
Yield (%)	78.2	75.0	74.8	75.7	75.0	74.1	—
Brightness (% ISO)	61.9	51.6	49.7	50.1	49.9	50.4	52.5
Speck removal (%)	92.6	98.3	98.2	98.1	97.1	95.8	—
Strength index	8.74	9.03	8.79	8.55	9.19	8.84	7.80
Freeness (mL CSF)	350	515	502	381	487	429	—

¹⁾ A: Celluclast (C), B: Celluzyme (C), C: Viscozyme (C+H), D: Pulpzyme (H), E: Lipolase (L). Enzyme treatment: 1.05 units/g paper at 50 for 30min.

²⁾ NP: Taiwan market newspaper.

Table 6. Effect of different enzymes on old xerographic paper enzymatic deinking¹⁾

Enzyme Enzyme dosage (unit s/g)	Celluzyme		Viscozyme		Xylanase		Pulpzyme		Lipolase		Conventional chemical deinking
	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Yield(%)	82.2	79.5	81.9	81.4	72.2	73.8	87.6	78.9	81.9	79.9	71.9
Speck removal(%)	92.9	98.3	99.5	99.3	98.2	99.0	86.4	94.9	98.0	99.0	90.5
Brightness(% ISO)	80.0	80.2	82.6	83.1	82.2	84.1	80.8	81.4	84.3	85.1	85.6
Strength index	9.0	8.6	10.6	10.3	9.1	9.0	7.7	9.0	10.4	10.0	8.65
Freeness(mL CSF)	511	554	358	407	409	405	458	490	347	364	451

¹⁾ Enzymatic deinking at 30 for 3 min.

司半纖維素分解酵素之分解，回收闊葉樹木漿中有大量木醣，因此有較佳分解能，Pulpzyme則含另種醣類分解作用酵素，因此推論可能實際參與反應量較少，因而有較低脫墨效率。

經各種酵素脫墨後其再生漿收率視酵素種類有所差異，但均較對照組(傳統化學脫墨法)有大幅度的改善，其中Pulpzyme處理組脫墨效率與各組相差較大因此不予以比較，各組中以純木醣分解酵素(Xylanase; H)處理組的收率最低，其餘各組則有相當的收率。

經酵素脫墨處理後的再生漿除Celluzyme白度皆提高至80%ISO以上，可知脫墨處理後之白度有大幅的提升。就酵素法與化學法作一比較，化學法的白度為85.6%ISO較酵素處理各法的白度為高，如前述化學法脫墨在過程中加入過氧化氫的關係，所以所得之白度較高。以五種酵素作一比較，以Lipolase處理後之白度最高，為84.3%ISO，Xylanase處理組為82.2%ISO，Viscozyme為82.6%ISO，而以Celluzyme處理組為最低僅達80.0%ISO。各組脫墨漿強度除Pulpzyme組因脫墨效率不佳，殘存的墨斑較多影響纖維的結合，而有較低之強度，Celluzyme組因過分攻擊纖維本身而有較低之綜合強度。其餘各組所得脫墨漿均顯示相當優良強度性質，各紙漿強度雖不等，但較以傳統脫墨漿最高可改善20%左右。

(三) 酵素添加量對脫墨效率的影響

Table 6中較高酵素添加量者，顯示較佳的脫墨效率及白度，各組在2 units/g paper添加量下除Pulpzyme組僅有94.5%外(Pulpzyme增至2.5 units/g paper時，可提升至99.2%)，其餘之

脫墨效率可高達98.3-99.5%，幾乎可除去所有的墨斑，而以Viscozyme具最佳脫墨效率。比較在相若的脫墨效率下，所得脫墨漿以Viscozyme(C+H)及Xylanase酵素處理組有最高的強度性質，其次為Lipolase處理，強度最低者為Celluzyme，其原因可推定為由於纖維素分解酵素的作用損傷纖維素之性質而導致纖維強度受損。隨酵素種類不同其理想添加量亦不同，Viscozyme、Lipolase其添加量在1.0 units/g paper左右即有相當程度效果，在Celluzyme及Pulpzyme則顯示在2.0 units/g paper左右或以上才有好的脫墨效果。上述說明酵素種類及添加量對脫墨效率有很大之影響。

三、混合酵素處理對脫墨效率改善的影響

根據上述實驗結果，最適影印之酵素脫墨流程為洗滌+浮選法脫墨，藉由浮選作業可將影印紙散漿後之油墨粒子有效的移除，但若靠單段浮選作業，所獲得脂墨斑移除率雖然均有94%以上，仍有相當墨斑面積存在而不符合文化用紙之脫墨要求，因此，藉混合酵素處理、鹼浸漬前處理法、兩段浮選法、綜合處理法對影印紙做脫墨處理，以期提升影印紙之脫墨效率。

(一) 混合酵素處理對脫墨效率改善的影響

為了Celluzyme在酵素脫墨時之油墨移除率之提升，選擇脂肪分解酵素Lipolase為混合對象。以(1)同時加入兩種酵素處理法及(2)順次酵素處理法兩種。同時加入法是分別為Celluzyme(1.05 units/g)與Lipolase(0.75 units/g)酵素量混合比為對影印紙做脫墨處理，其結果如Table 7所示。

兩種酵素一併處理但所得之脫墨效率較單一酵素處理之脫墨效果沒有明顯的改善，其原因推論為在同一條件下處理不同酵素，無法同時得到兩酵素之最高結果，如兩種酵素之最佳處理條件相同，應有較佳之脫墨效率，配合而達最佳脫墨效果。其次以順次處理兩種酵素，所得之結果顯示對得率及白度並沒有太大的差別，但對墨斑移除率而言則有很大的差距，Lipolase、Celluzyme處理順序者比 Celluzyme、Lipolase處理順序者大約提升4%，且其綜合強度也較大。其原因可能為油墨先被Lipolase酵素進行某種程度之分解後，再由Celluzyme酵素對纖維表面處理，最後再行浮選因而有較佳之脫墨效率。此試驗說明多種酵素配合使用應可達到相當程度的改善。由上述結果推論得知，多種不同酵素脫墨處理對油墨移除有正面之效果。

(二)二段浮選作業

一段浮選作業與兩段浮選作業在得率、墨斑移除率及綜合強度方面有較大之不同，而在

白度及游離度方面則幾乎無差別。兩段浮選作業多了一段的浮選，促進了油墨與氣泡接觸之機會，增加油墨浮除的機會，所以它的墨斑移除率增加了4.5%，但收率也多損失4%左右，且其綜合強度也較一段浮選作業增加了12%左右(Table 8)或延長浮選時間、或改善藥品添加可望改善脫墨效率，並提高紙之綜合強度。

(三)酵素脫墨前之鹼浸漬處理

Table 9 為以鹼先行處理影印廢紙再以不同酵素種類、不同酵素量(1,2units/g)進行脫墨處理之結果。結果顯示經鹼處理後之影印廢紙，無論以何種酵素脫墨其脫墨效率均有明顯的改善。即使在1 units/g的添加量下，除半纖維酵素 Pulpzyme 的去除率為 93.8% 外其餘各組均能有效完全的去除油墨，其去除率高達 98% 以上。Pulpzyme 在 1 units/g 的添加量下無法完全脫墨，僅在 94% 左右，但在 2 units/g 的添加量下可達 99.5%。所得紙漿的白度，除木醣酵素(Xylanase)處理組均較未處理組有某些程度之改善外，鹼處理多少會減少收率 3-5%，尤其是纖維素分解酵素組更為明顯，約有 8% 左右。各組

Table 7. Comparison of enzymatic deinking¹⁾ of pulps with different enzymes

	A	B	C	D
Yield(%)	82.2	81.9	79.5	80.0
Speck removal(%)	92.0	98.0	95.5	99.4
Brightness(% ISO)	80.0	84.3	84.0	84.2
Strength index	9.0	10.4	9.8	9.4

¹⁾ Deinking with the enzyme at 50 for 30 min and flotation conditions: A: Celluzyme 1.05 unit s/g, B: Lipolase 1.0 units/g, C: Celluzyme 1.05 units/g Lip ozyme 0.75 units/g, D: Lipolase 0.75 units s/g Celluzyme 1.05 units/g.

Table 8. Comparison of characteristics of resulting pulps of 1-stage and 2-stage flotation

	1 stage flotation	2 stage flotation
Yield(%)	75.3	71.0
Brightness(% ISO)	80.0	81.6
Speck removal(%)	94.5	98.9
Strength index	8.6	9.6

¹⁾ Celluzyme dosage 1.05 units/g.

Table 9. Effects of enzyme on OXP deinking after 3% NaOH presoaking

Enzyme	Celluzyme		Viscozyme		Xylanase		Pulpzyme		Lipolase		Alkli + conventional chemical deinking
	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Enzyme dosage (unit s/g)											
Yield(%)	74.1	71.7	76.0	75.0	67.9	70.4	85.3	78.4	80.1	75.2	70.2
Speck removal (%)	99.3	99.7	98.4	97.5	99.0	99.8	93.8	99.5	99.4	99.7	97.5
Brightness(% ISO)	81.0	81.2	82.8	83.6	82.0	81.8	81.5	83.3	84.8	85.9	82.6
Strength index	9.6	9.8	11.1	10.8	9.1	9.0	8.0	10.7	10.3	11.0	9.2
Freeness(mL CSF)	514	516	387	396	409	405	490	440	490	430	405

紙漿的綜合強度指數同樣顯示有改善的現象，其改善之項目及改善的原因將另文探討(Su et al. 2002)。

結論

一、回收新聞紙之酵素脫墨流程確立為散漿後經酵素處理再洗滌，回收影印紙之酵素脫墨流程除洗滌前酵素處理外，必須再經過浮選處理。

二、纖維分散及酵素作用時間對酵素脫墨亦有其影響性，白度隨散漿時間增加而下降至散漿時間30 min時下降趨緩，且作用時間為30 min時，所獲得之綜合強度及游離度達最高。

三、影印廢紙以傳統化學之脫墨法無法達到高油墨去除率僅達90-92%，酵素脫墨法無論以何種酵素脫墨均能達95%左右或以上，達到接受的斑點移除效果，所得再生紙漿強度均較傳統化學脫墨漿為高。

四、酵素添加量直接影響廢紙之脫墨結果，當添加量增加時，得率及綜合強度有下降的趨勢。不同酵素有不同之添加量，纖維素分解酵素Celluzyme之添加量以2.1 units/g paper為極限，超過此值則其強度有明顯下降。酵素添加量在1 units/g paper以下，除Pulpzyme外已有相當高之脫墨效率。半纖維素分解酵素之Xylanase及纖維素分解酵素Viscozyme顯示為最佳之脫墨效率，兩種酵素能處理纖維之表面，因而使纖維油墨間之剝離較多，反之，過度使用此兩種酵素時可能有較低之收率，如運用不當可能造成得率或強度之損失較大。

五、為提高影印廢紙之墨斑移除率，以混合酵素處理法、鹼浸漬處理法、兩段浮選法、綜合處理法對影印紙做脫墨處理，經各項性質評估後以3% NaOH預處理後再以Celluzyme酵素處理法所得之脫墨效率可達99%或以上，此法可提升脫墨效率，並可減少酵素使用量，提升脫

墨漿之強度，在98%脫墨效率下以半纖維素分解酵素的Pulpzyme、Xylanase及油脂分解酵素Lipolase脫墨之脫墨漿具較佳之強度性質。

六、應用酵素脫墨可減少化學脫墨時所需油脂界面活性劑等化學藥品使用，並可減少脫墨作業水及排放水之COD、BOD負荷。

引用文獻

- Anonymous. 2001.** The statistic of Taiwan paper industry 2000 TPIA Taiwan. [in Chinese with English summary].
- Olson CR, Letscher MK. 1992.** Increasing the use of secondary fiber: an overview of deinking chemistry and stickies control. *Appita* 45(2): 125-30.
- Eom JT, Ow SK. 1991.** Enzymatic deinking method of old newspaper. *Jpn Tappi J* 45(12): 1377-82. [in Japanese with English summary].
- Franklin WE. 1986.** Trend in recovery and utilization of waste paper in recycling mill, and other users of waste paper 1970-2000. *Tappi J* 69(2):28-31.
- Fujita Y, Awaji H, Matsukura M, Hata K. 1991.** Enzymatic pitch control in paper making process. *Jpn Tappi J* 45(8):905-21. [in Japanese with English summary].
- Matsukura H. 2001.** An effective method of treating wastepaper by a gentle kneading process. *Jpn Tappi J* 55(4):472-7.
- McCool MA, Taylor CJ. 1983.** Image-analysis techniques in recycled fiber. *Tappi J* 66(8): 69-71.
- Mckinney RWJ. 1998.** Evaluation of deinking performance. *Tappi J* 71(1):129-31.
- Momohara I, Matsumoto Y, Ishizu A, Chang HM. 1989.** Decolorization mechanisms of kraft pulp bleaching mill effluent by *Phanerochaete chrysosporium*: characteristics of color and chemical change during decolorization. *Mokuzai Gakkaishi* 35(12):1110-5.

- Noe P, Chevalier J, Mora F, Comtat J. 1986.** Action of xylanases on chemical pulp fiber Part 2: enzymatic beating. *J Wood Chem and Technol.* 6(2):167-84.
- Oye R. 1982.** The effects of recycling on the properties of pulp fiber. *Jpn Pulp Paper Technol.* (8):30-6.
- Pommier JC, Fuentes JL, Goma G. 1989.** Using enzyme to improve the process and the product quality in the recycled paper industry Part 1: The basic laboratory work. *Tappi J* 72(6): 187-91
- Quick TH, Hodgson KT. 1986.** Xerography deinking a fundamental approach. *Tappi J* 69 (3):102-6
- Reid ID, Paice MG, Ho C, Jurasek L. 1990.** Biological bleaching of softwood kraft pulp with fungus-trametes (*Coriolus versicolor*). *Tappi J* 73(8):149-53.
- Sekine H. 1961.** Strength index for paper. *Jpn Tappi J* (36)6:11-4. [in Japanese with English summary].
- Siewent WH. 1989.** The use of waste paper in tissue production *Tappi J* 72(1):41.
- Sorenson D. 1990.** Environmental concerns, economics drive paper recycling technology. *Pulp Paper* 64(3):56-7.
- Spiridon I, Duarte AP, Belgacem MN. 2001.** Enzymatic hydrolysis of *Pinus pinaster* Kraft pulp. *Appita* 54(5):457-9.
- Su YC, Sun DK. 1995.** Studies on the deinking wastepaper (I) Establishment of a deinking sequence for old newspaper and characterization and improvement of deinked pulp. *Taiwan For Res Inst New Series* 10(3):293-307. [in Chinese with English summary].
- Takayanagi H. 1986.** DIP for newsprint can save energy. *Pulp Paper Can* 87(1):54-6.
- Wayne CF. 1991.** New trends in deinking technology: Removing difficult inks from wasterpaper. *Tappi J* 74(2):127-32.
- Wu WJ. 1991.** Studies on fiber properties and forming condition related to hand sheet formation. [Master 'thesis]. Chinese Culture University, Taiwan. p.25. [in Chinese with English summary].
- Yamagishi Y, Oye R. 1981.** Influence of recycling on wood pulp fiber--changes in properties of wood pulp fiber with recycling. *Jpn Tappi J* 35(9):787-97. [in Japanese with English summary].

