

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 一、纖維材料的細胞組成
- 二、纖維形態對紙張之影響
- 三、纖維的特性對紙張性質的影響
- 四、纖維化學組成對紙張性質的影響

# 肆、纖維性質與品質之關係

- 紙張的特性與構成纖維之形態特性或化學性質，及纖維之特性等均有不同程度的影響
- 下表為評估纖維造紙適性之基本項目。可以由纖維的尺寸、纖維的形狀、細胞壁的構造、纖維的表面性質等來評估。

<b>Size Distribution</b>	<b>Shape</b>	<b>Structure of fiber wall</b>	<b>Fiber surface</b>
<b>Fiber length</b>	<b>Specific surface</b>	<b>Flexibility</b>	<b>Chemical composition</b>
<b>Fiber width</b>	<b>External fibrillation</b>	<b>Swellability</b>	<b>Fibril angle</b>
<b>Cell wall thickness</b>	<b>Curl</b>	<b>Pore volume</b>	
<b>Coarseness</b>		<b>Specific volume</b>	
		<b>Misaligned zones in structure</b>	

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 一、纖維材料的細胞組成

(一)、非纖維細胞的含量

(二)、微細纖維 (Fines) 的含量

(三)、其他

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 非纖維細胞的含量多寡的影響

- 造紙纖維原料中除含有造紙所需纖維之細胞（即針葉樹的假導管、闊葉樹的木纖維、纖維狀假導管等）外，
- 一般都含一定量的其他細胞稱之非纖維細胞如針葉樹材的放射薄壁細胞，闊葉樹的導管、放射（線）薄壁細胞等。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 非纖維細胞的含量多寡的影響

- 多數的非纖維細胞都具有腔大、壁薄、長度短等特徵
  - 在製漿時會吸收大量的蒸煮液，造成污性碱的多量使用。
  - 洗漿時會阻塞網孔妨礙洗漿效率。
- 成紙時則缺乏結合交織能力降低紙張的強度或有紙粉之發生。
  - 如草類原料由於非纖維細胞含量太高，闊葉木非纖維細胞較草類少，但較針葉樹材多，因此從纖維細胞含量的多少來看，針葉材質量優於闊葉材，闊葉材優於草類

# 肆、纖維性質與品質之關係

## 纖維材料的細胞組成

原料	纖維	薄壁細胞		導管	表皮細胞	竹簧	其他
		桿狀	非桿狀				
馬尾松	98.5	-	1.5	-	-	-	-
落葉松	98.5	-	1.5	-	-	-	-
紅松	98.2	-	1.8	-	-	-	-
桉樹	82.4	-	5.0	12.6	-	-	-
楊樹	76.7	-	1.9	21.4	-	-	-
白樺	73.3	-	1.5	25.2	-	-	-
綠竹	74.7	-	-	4.1	-	18.0	3.2
毛竹	68.8	-	-	7.5	-	23.7	-
甘蔗渣	64.3	10.6	18.6	5.3	1.2	-	-
稻草	46.0	6.1	40.4	1.3	6.2	-	-
麥草	62.1	16.6	12.8	4.8	2.3	-	1.4
蘆葦	38.5	16.2	42.2	2.0	-	-	1.1
玉米桿	30.8	8.0	55.6	4.0	1.6	-	82

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## (二)、微細纖維 (Fines) 的含量的影響

- 造紙用紙漿中含有不同量之微細纖維，其性質與纖維本身迥異
- 一般微細纖維可定義為通過纖維篩分儀 (Bauer McNett) 或其他類似設備之通過 200 網目或 100 網目篩網之部份。
  - 中等大小之微纖維的大小約為數微米，最大之微纖維粒子為纖維碎片，最小之微纖維則為纖毛或其碎片，其大小可能小於1微米。
- 微細纖維同樣地纖維素、半纖維素、木質素及抽出成分所組成，其含有比率約與纖維相若。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## (二)、微細纖維 (Fines) 的含量的影響

- 微纖維其粒子較小而且有較大的表面積，能吸著較多的水份，因此有較纖維佳之膨潤性。
- 機械漿之微細纖維中含有較多之疏水性的木質素及抽出成分，一般較化學漿微細纖維有較低之膨潤性。



# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## (二)、微細纖維 (Fines) 的含量的影響

- 在相同游離度下微細纖維之含量則依序TMP < PGW < SGW 增加。
- 機械漿微細纖維也可分為一次、二次微細纖維。一次微細纖維主要來自材料的崩解，二次微細纖維則來自纖維的磨漿或打漿。
- 磨木漿之微細粒子有二種，即粉狀微細纖維物，此類粒子為粉狀結合能不佳，另外一種稱之 Scheimstoff是具有高結合能之纖毛粒子。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 化學漿中的微細纖維之含量遠較機械漿為低。
- 化學漿之微細纖維也可分為一次微細纖維及二次微細纖維二類。
  - 一次微細纖維存在於未打漿之紙漿中，主要為來自木材的薄壁細胞。
  - 二次微細纖維則由打漿作業產生，主要包含纖維壁之中膠層及纖毛部份及一些膠凝狀物質。
- 一次微細纖維含量基本不超過 2%，而打漿作業後紙漿之微細纖維含量往往超過 15%。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 由於微細纖維粒子小，因此有很大之比表面積，鍊漿及打漿則更增加其表面積，化學漿之一次微細纖維之比表面積約為 4~5 m<sup>2</sup>/g，二次微細纖維則為 10~20 m<sup>2</sup>/g。
- 典型機械漿纖維之比表面積為 1 m<sup>2</sup>/g，而微細纖維則為 7~8 m<sup>2</sup>/g。
- 由於其具高比表面積，因此能改善纖維與纖維間之結合。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 一般在紙上多數的微細纖維會在乾燥時而粘著在纖維上
  - 特別是化學漿的微細纖維會幾乎完全地粘著，而導致完全失去其未反應的表面面積。
- 而機械漿之微細纖維則仍保持其未反應的表面面積，因此有較佳之光學性質。

# 肆、纖維性質與品質之關係

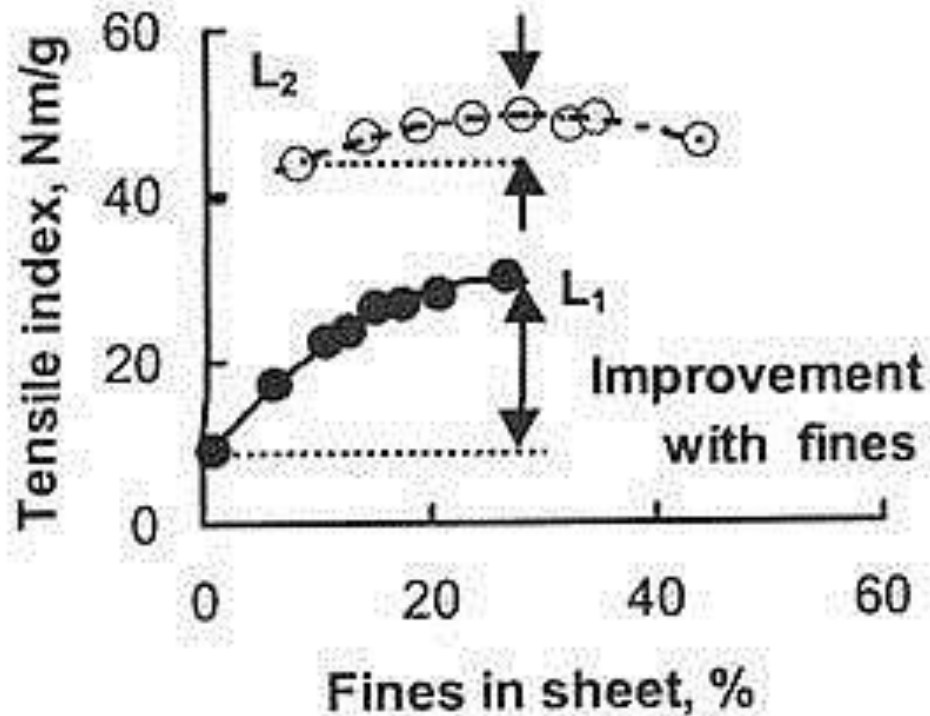


Figure 9. Fines substantially improve the bonding of poor quality fibre ( $L_1$ ) but do not bring it up to the performance of the better quality fibre ( $L_2$ ).

# 肆、纖維性質與品質之關係

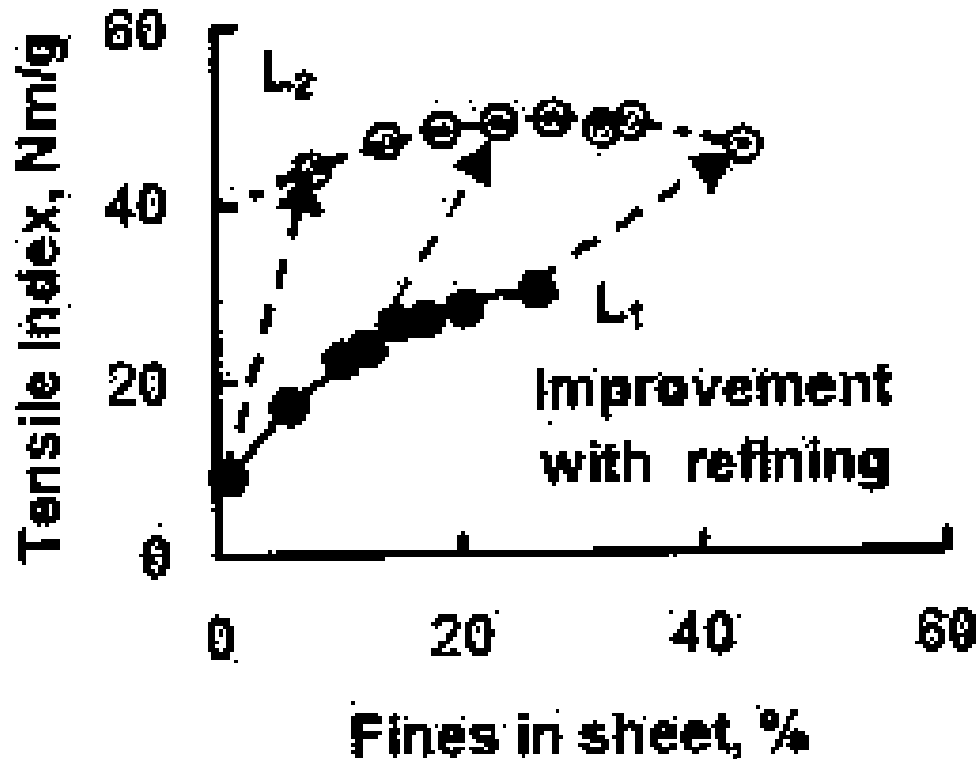


Figure 8. Better quality TMP fibre (L<sub>2</sub>) forms a stronger bond than poorer quality fibre (L<sub>1</sub>).

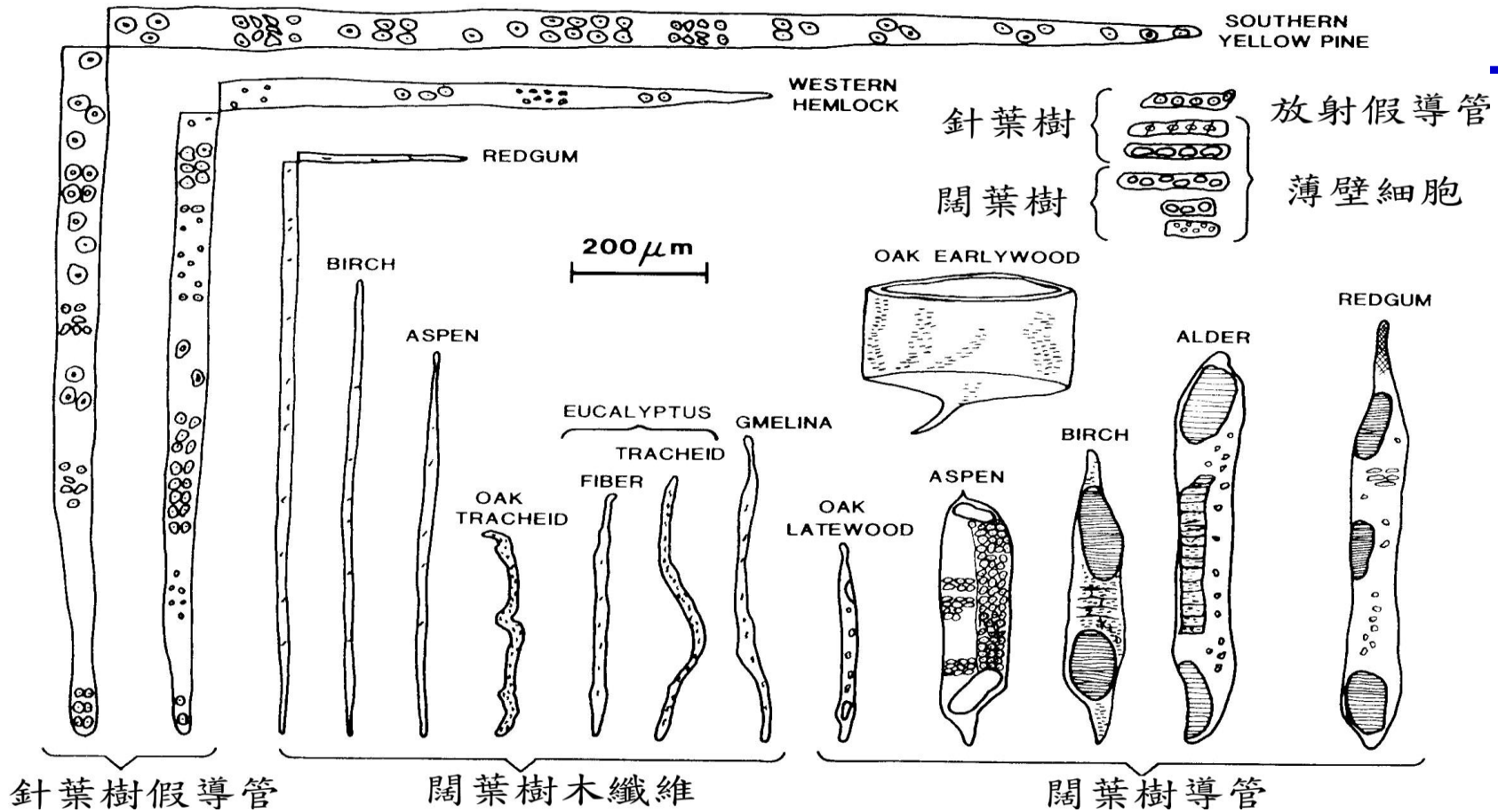
# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 二、纖維形態對紙張性質之影響

- (一)、纖維長度、寬度、及長寬比
- (二)、細胞壁的厚度與壁腔比值
- (三)、纖維的粗度
- (四)、纖維的密度

# 一、纖維材料的細胞組成

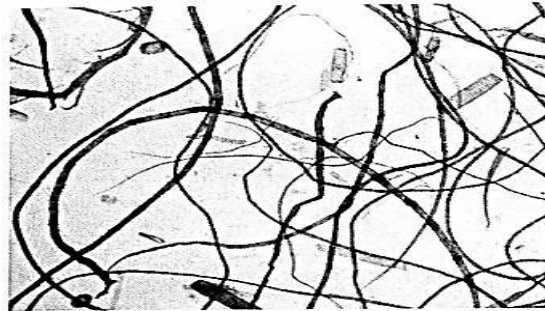


針闊葉樹構成細胞之形態圖

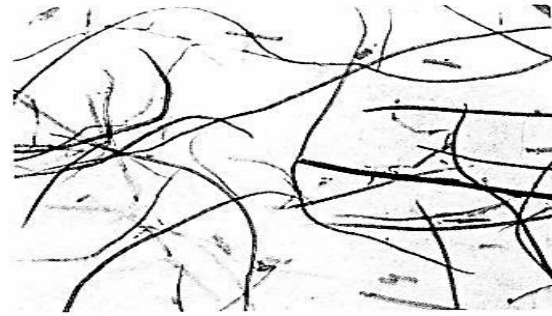


# 一、纖維材料的細胞組成

Fig. 129. Fibers from some natural-growing non-wood plants. With Monterey pine, a softwood, for comparison. Photomicrographs · 65.



(a) Bamboo



(b) Esparto



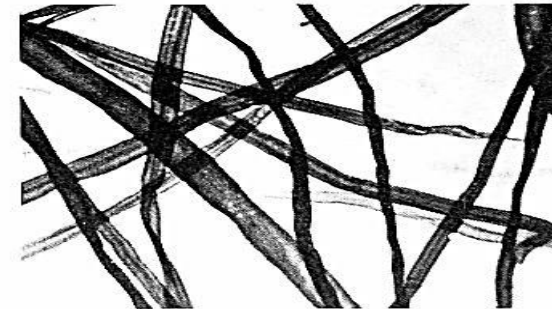
(c) *Phragmites communis* reeds



(d) *Arundo donax* reeds



(e) Elephant grass



(f) Monterey pine

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 二、纖維形態對紙張性質之影響

纖維形態是植物纖維原料的基本特徵，

纖維的形態主要包括纖維的長度(L)，寬度(D)，壁厚(W)，腔徑(l)、長寬比(L/D)、粗度( $W_f$ )等。

1. 剛性係數 =  $2 \times \text{細胞壁厚度} / \text{纖維直徑} \times 100$  (剛性係數的倒數 = 柔軟度)

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

2. (Runkel ratio) =  $2 \times$  細胞壁厚度 / 細胞內腔直徑

Runkel 的研究曾提下如下關係：

$2w/l < 1$  為很好的原料， $2w/L = 1$  為好的原料， $2w/l > 1$  為劣等原料。式中  $W$  為平均細胞壁厚度； $L$  為平均細胞腔直徑

3. 彈性係數 (coefficient of flexibility)

$$= \text{細胞內腔直徑 (l)} / \text{纖維直徑 (D)} \times 100 = l/D \times 100$$

依據彈性係數，造紙用材料大體可分為四個等級。I 級材 (彈性係數  $> 75$ )，II 級材：(彈性係數 =  $50 \sim 75$ )，III 級材 (彈性係數 =  $30 \sim 50$ )，IV 級材 (彈性係數  $< 30$ )。

# 肆、纖維性質與品質之關係

## 造紙植物原料纖維形態比較表

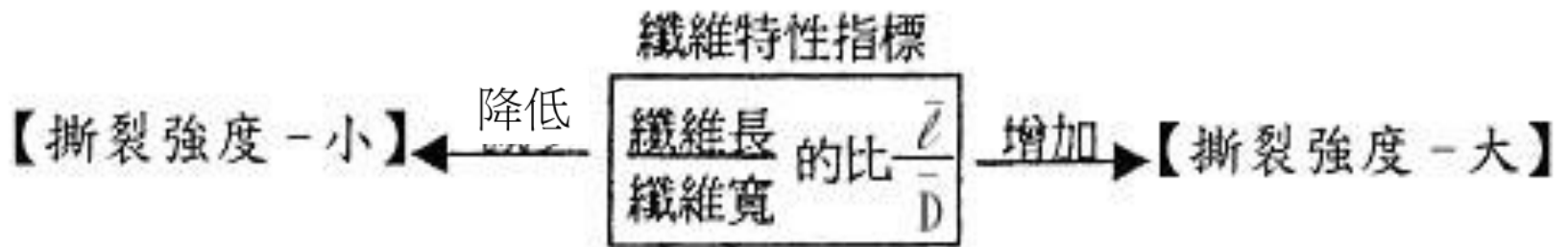
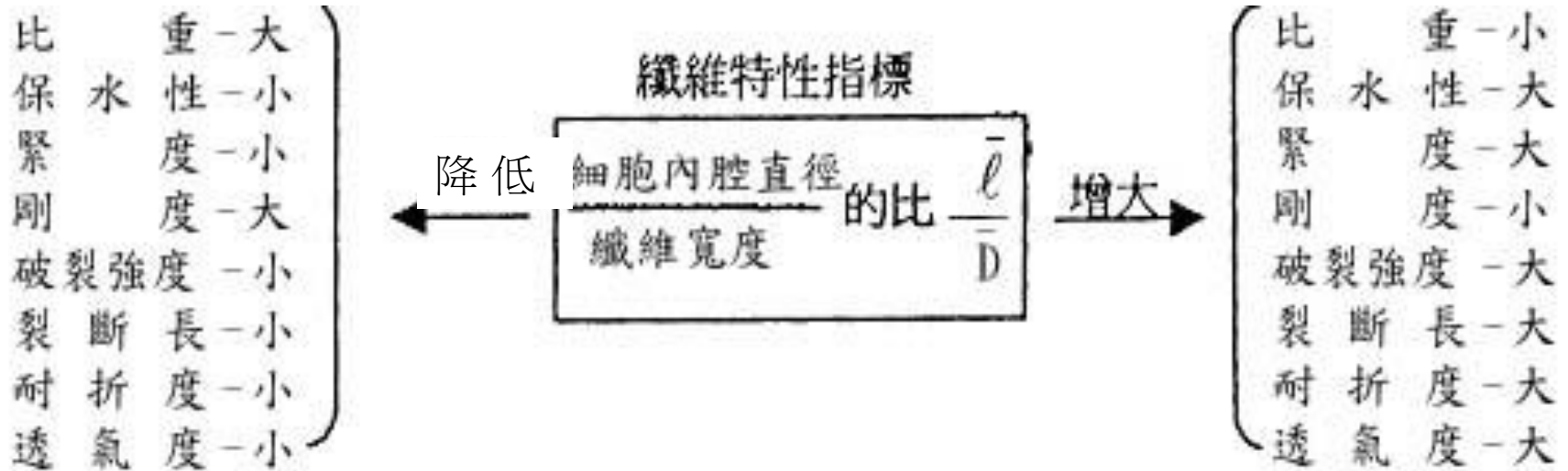
原料	長度/mm		寬度/ $\mu\text{m}$		長寬比	單壁厚 $\mu\text{m}$	腔徑/ $\mu\text{m}$	壁腔比	非纖維細胞含量/%	
	平均	最小-最大	平均	最小-最大						
馬尾松	3.61	2.23~5.06	50.0	36.3~65.7	72	春材	3.8	33.1	0.23	1.5
						秋材	8.7	16.6	1.05	
紅松	3.62	2.45~4.10	54.3	39.2~63.8	67	春材	3.5	27.7	0.25	1.8
						秋材	4.3	14.0	0.61	
落葉松	3.41	2.28~4.32	44.4	29.4~63.7	77	春材	3.5	33.6	0.21	1.5
						秋材	9.3	12.6	1.48	
山楊	0.86	0.65~1.14	17.4	14.7~23.5	50	-	-	-	23.30	
白樺	1.21	1.01~1.47	18.7	14.7~22.0	65	-	-	-	26.70	
桉樹	0.68	0.55~0.79	16.8	13.2~18.3	43	-	-	-	17.60	

# 肆、纖維性質與品質之關係

## 造紙植物原料纖維形態比較表

原料	長度/mm		寬度/ $\mu\text{m}$		長寬比	單壁厚 $\mu\text{m}$	腔徑/ $\mu\text{m}$	壁腔 比	非纖維細 胞含量/%
	平均	最小-最大	平均	最小-最大					
稻草	0.92	0.47~1.43	8.10	6.0~9.50	114	3.30	1.50	4.40	54.00
麥草	1.32	1.03~1.60	12.90	9.3~15.70	102	5.20	2.50	4.16	37.90
蘆葦	1.12	0.60~1.60	9.70	5.9~13.40	115	3.00	3.40	1.77	35.50
蔗渣	1.73	1.01~2.34	22.50	16.7~30.4	77	3.28	17.9	0.36	35.70
毛竹	2.00	1.23~2.71	16.20	12.3~19.6	123	6.60	2.90	4.55	31.20
米桿	0.99	0.52~1.55	13.20	8.30~18.6	75	-	-	-	69.20
雲杉	3.06	1.84~4.05	51.90	39.2~68.6	59	-	-	-	-

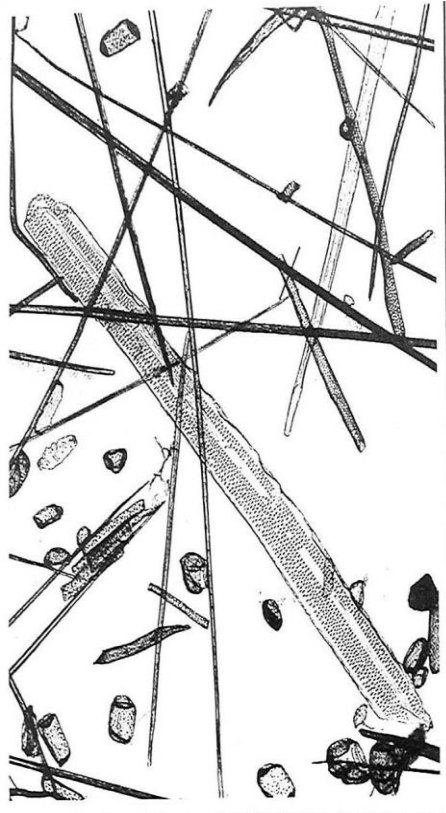
# 肆、纖維性質與品質之關係



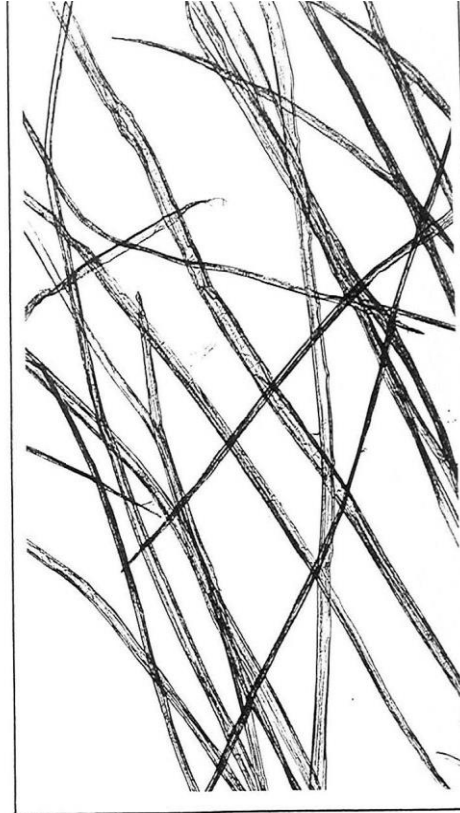
纖維形態 L/D與L/D對紙張性質影響

# 非木纖維纖維形態

## Pulps of nonwood plants



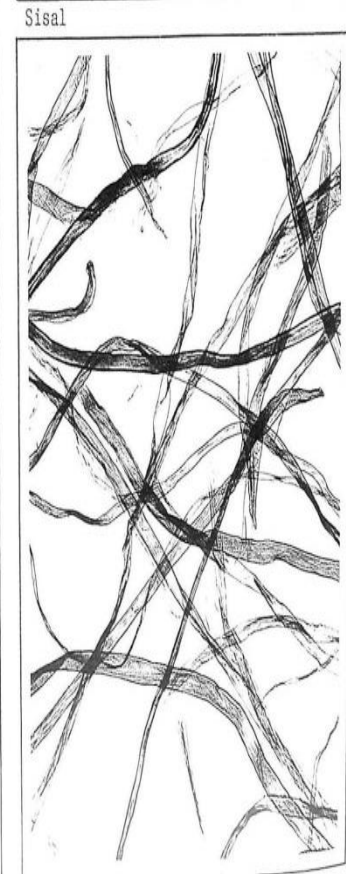
**bamboo(grass fibers)**



**sisal (leaf fiber)**



**hemp(bast fibers)**



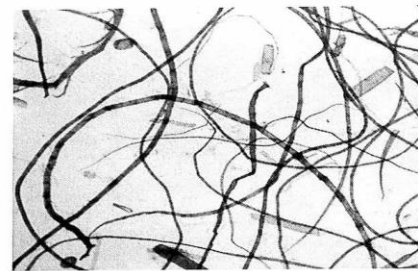
**cotton (fruit fiber)**

# 天然非木纖維纖維形態

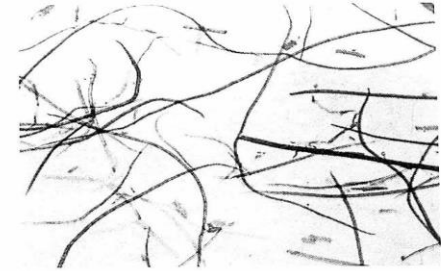
**Fibers from some natural-growing non-wood plants. With Monterey pine, a softwood, for comparison. Photomicrographs  $\times 65$**

- (a) Bamboo**
- (b) Esparto**
- (c) Phragmites communis reeds**
- (d) Arundo donax reeds**
- (e) Elephant grass**
- (f) Monterey pine**

Fig. 129. Fibers from some natural-growing non-wood plants. With Monterey pine, a softwood, for comparison. Photomicrographs  $\times 65$ .



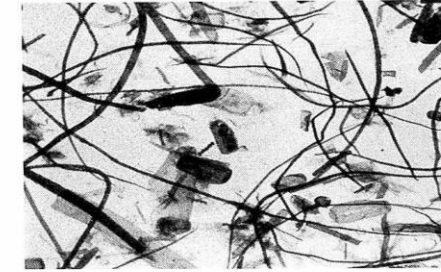
(a) Bamboo



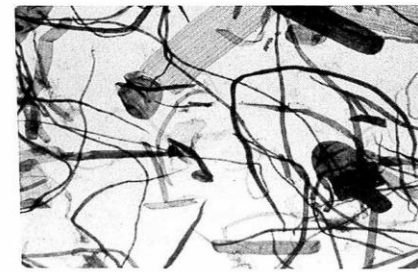
(b) Esparto



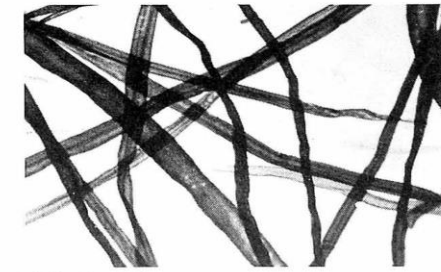
(c) Phragmites communis reeds



(d) Arundo donax reeds



(e) Elephant grass

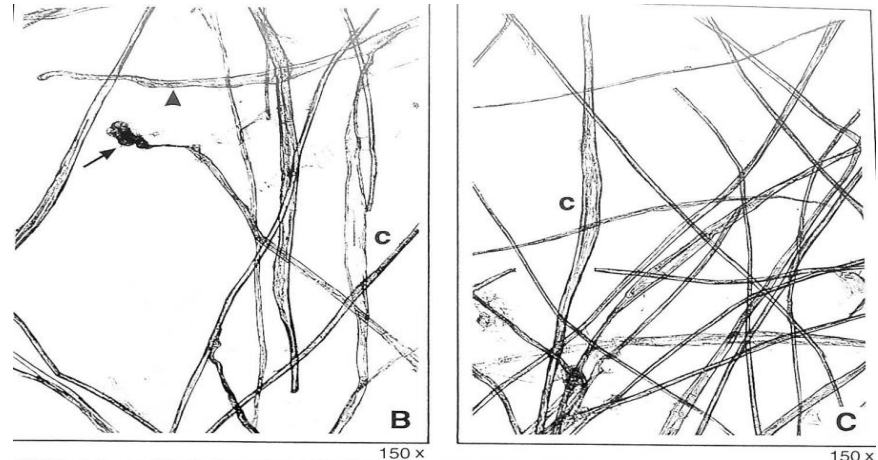


(f) Monterey pine

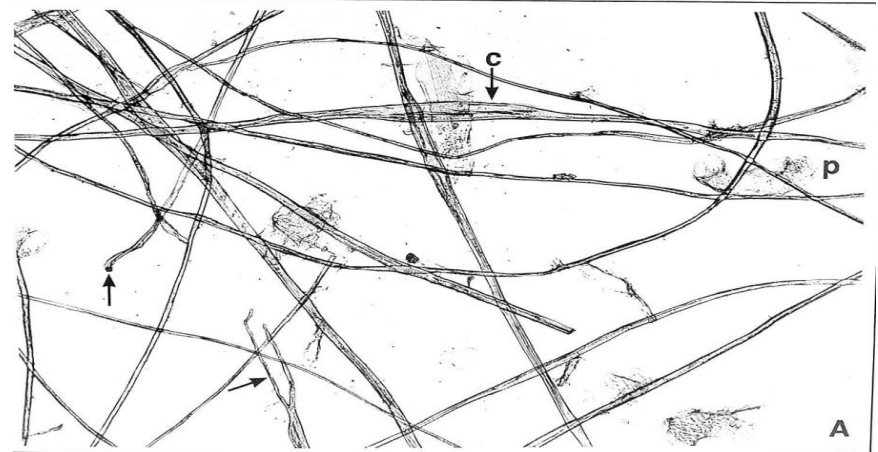


# 韌皮纖維纖維形態

**A** Fibers of **mitsumata** showing broadened central portions (c) and rounded (upper arrow) and forked (lower arrow) ends. p = remains of parenchyma cells. Japanese paper. 150X



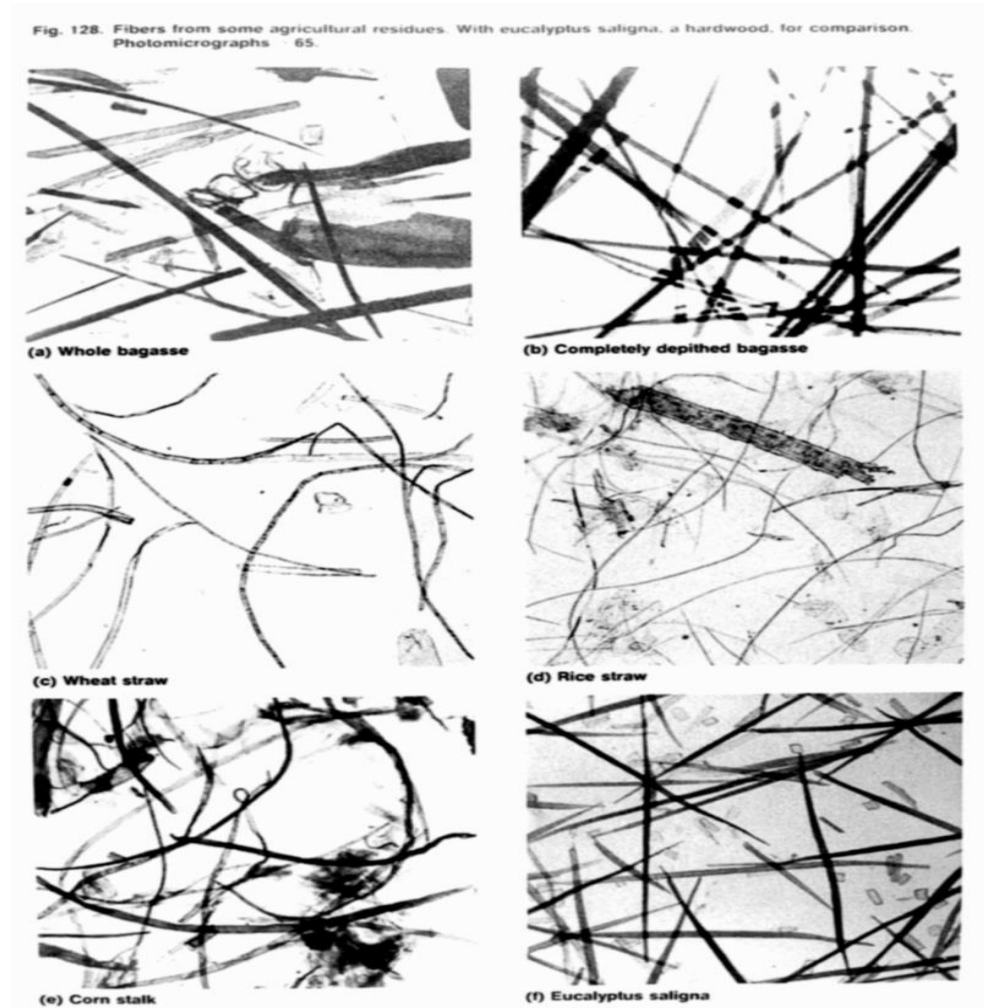
**B,C** Fiber of **gampi pulp** showing broadened central portions (c) . Scalloped walls (arrowhead), and irregular ends (arrow). 150x



# 農業廢棄纖維纖維形態

**Fibers from some agricultural residues. With eucalyptus saligna, a hardwood, for comparison. Photomicrographs  $\times 65$ .**

- (a) Whole bagasse**
- (b) Depithed bagasse**
- (c) Wheat straw**
- (d) Rice straw**
- (e) Corn stalk**
- (f) Eucalyptus saligna**



# 農業非木纖維纖維形態

**Fibers from some non-wood crops grown primarily for their fiber content. With inkwood, a tropical hardwood, for comparison.  $\times 65$ .**

Fig. 130. Fibers from some non-wood crops grown primarily for their fiber content. With inkwood, a tropical hardwood, for comparison. Photomicrographs 65.



(a) Ramie



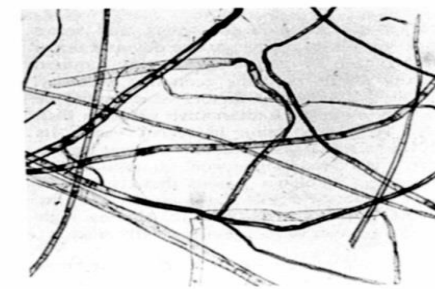
(b) Kenaf



(c) Sisal



(d) Manila hemp (abaca)



(e) Sunn hemp (crotalaria)



(f) Inkwood

- (a) Ramie**
- (b) Kenaf**
- (c) Sisal**
- (d) Manila hemp (abaca)**
- (e) Sunny hemp**
- (f) Inkwood**

# 肆、纖維性質與品質之關係

## 纖維的粗度

[ (Fiber coarseness ; wf (mg/m) or (ug/m) ] ,

- 為每一單位長度 (m) 時之纖維的質量 (mg or  $\mu\text{g}$ ) , 又稱纖維的粗細度。
- 纖維的粗度除以纖維的寬度即為纖維的基重 (basis weight values of fibers;  $Bf$ ) , 這個數值的範圍約為  $3\sim 10 \text{ g/m}^2$  。纖維的基重值影響紙張之覆蓋，繼而影響紙張中纖維的層數，即層數 =  $b / Bf$  (此時  $b$  值為紙張之基重) 。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 纖維的粗度

- 纖維的粗度與纖維長有良好之對應關係，也與原料的密度，纖維的細胞壁及細胞腔的大小等因素有關。
  - 一般而言，纖維粗度大的之成紙之平滑度較差。
  - 以粗度大的纖維抄製紙張其厚度會增加，而斷裂長、破裂強度、撕裂強度，及耐摺強度均差。

# 肆、纖維性質與品質之關係

表 19. 針葉樹牛皮漿的纖維性質

	粗 度 ( $w_f$ , $mg/m$ )	纖 維 長 ( $l_f$ , $mm$ )	纖 維 寬 ( $w_f$ , $\mu m$ )	纖 維 的 基 重 ( $B_f$ , $g/m^2$ )
蘇格蘭松(春材, 未漂)	0.16	2.1	37	4.3
蘇格蘭松(秋材, 未漂)	0.31	2.1	30	10.3
鐵 杉 (未 漂)	0.21	2.4	35	6.0
鐵 杉 (漂 白)	0.20	2.4	31	6.5
得 達 松 (未 漂)	0.26	3.1	37	6.9
得 達 松 (漂 白)	0.25	2.8	34	7.1

上表為常用針葉樹纖維之粗度。表中的數值均為濕潤狀態時量取的，一般乾纖維的橫切面數值常較濕潤狀態為小，因此在乾紙上之纖維基重值，一般較表19之數值為大。

而紙張之總纖維長 =  $B_f \times A / w_f$  ( $A$ 為紙張面積)

- 一般每  $cm^2$  的全纖維長的範圍為 10~100 m，約相當於 10,000~100,000 根纖維。

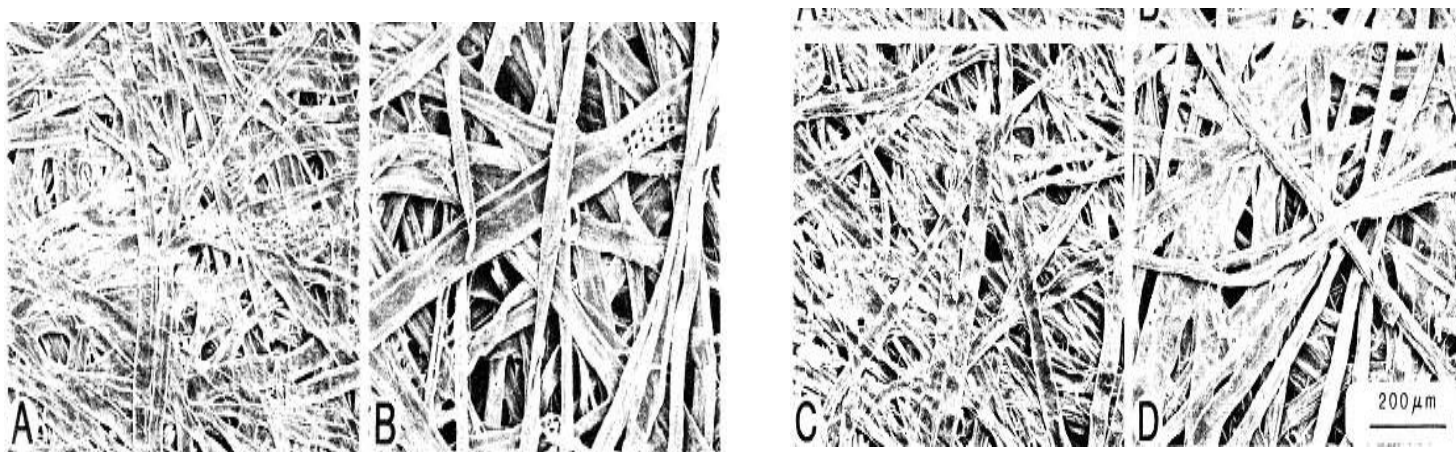
# 肆、纖維性質與品質之關係

表 20. 為不同植物纖維之粗度及重量因子

	粗度 (mg/100m)	重量因子
棉漿	14.00	1.00
棉絨	16.99	1.20
亞硫酸紙漿 (松材)	12.52	0.90
硫酸鹽紙漿 (濕地松)	20.00	1.43
硫酸鹽樺木紙漿	6.32	0.50
硫酸鹽蔗渣漿	10.94	0.80
硫酸鹽竹漿	10.34	0.70

# 肆、纖維性質與品質之關係

## (四)、纖維的密度



- A**：為低比重材之春秋材有漸近轉移之纖維所抄製之紙張有高密度，低孔隙度。
- B**：高比重且春材、秋材轉移急遽之材所抄製之紙張有較低之密度及高孔隙度。
- C**：未成熟材且多數為春材抄製成之紙張有低孔隙度。
- D**：成熟材加未成熟材所抄製之紙張具高孔隙度。



# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 三、纖維的特性對紙張性質的影響

(一)、製漿、漂白、打漿對纖維品質的影響

(二)、濕纖維的特性

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 三、纖維的特性對紙張性質的影響

- (一)、製漿、漂白、打漿對纖維品質的影響
- 除了木材本身之差異，製漿、漂白、打漿均會對纖維所形成之紙漿之性質有決定之影響。圖為二種典型紙漿，化學漿及機械漿在形態上的不同，前者木材藉由化學蒸解量將其解離，如硫酸塩製漿 (kraft pulping；KP)。
- 後者則利用機械性的磨漿將木材解離，其紙漿 (thermo mechanical pulping；TMP)。有些樹種適合以化學製漿法及機械製漿法製漿，如挪威雲杉、白楊、放射松。但有些樹種則只適合化學漿，如松樹、尤加利或樺樹等。

# 肆、纖維性質與品質之關係

表 21 針葉樹機械漿及化學漿之比較

	機 械 漿	化 學 漿
收率	高	低
木質素含量	高	低
半纖維素含量	高	低
聚合度	纖維素高	高
懸浮液之荷電	較陰離子性	較低陰離子
親水性	較疎水性	較親水性
長纖維含量	少	多
比表面積	大	小
微細纖維含量	高	低
微細纖維： 構造	薄片狀	纖毛狀
鍵結能力	好	極佳
纖維： 構造	剛硬、粗、直	長細、捲曲、變形
形狀	短及厚	長與薄

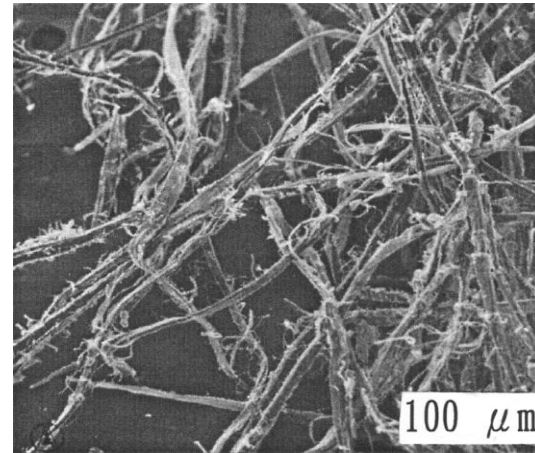
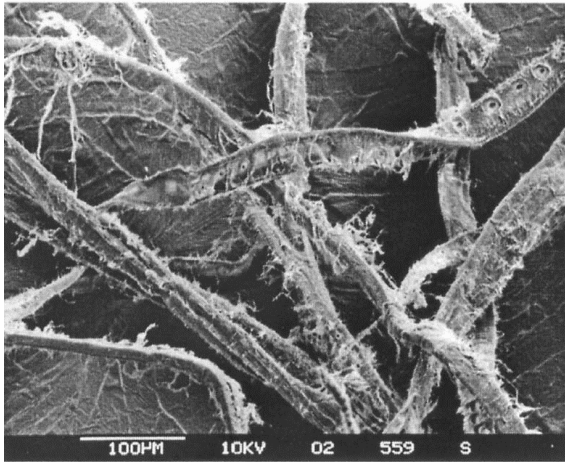
# 肆、纖維性質與品質之關係



化學紙漿及機械漿在應用時，通常經打漿至理想範圍以求取對紙張強度性質之改善。打漿會導致化學漿打鬆化學漿細胞壁的構造（內部帚化）及表面（外部帚化）。而且能打破部份細胞壁成碎片。

內部帚化（Internal fibrillation）即纖維壁的部分離層反應（Delamination）

# 肆、纖維性質與品質之關係



纖維的外部帚化，纖毛突出於纖維之表面。

細胞壁的離層反應能改善纖維濕纖維壁的膨潤性、彈性（柔韌性）及馴服性（Conformability）等，而改善纖維間的結合及強度性質但損失了光學性質。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 經內部帚化纖維能在抄紙時強化紙張之性質及加強纖維間的結合，但纖維外部的帚化，只在紙漿懸浮液中發現，俟乾燥水份除去後，突起於懸浮液中之內部纖毛會回歸到纖維之表面。而且在中膠層及纖毛間之孔隙也會因乾燥而關閉。
- 纖維一旦乾燥後其膨潤性會較乾燥前差，這種減低膨潤性不可逆之現象稱之角質化，這是為何再生纖維與原生纖維有差異之主要原因。再生纖維一般較原生纖維短、輕、堅硬、較為卷曲且較脆。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 濾水性試驗由濾水速度及濾水之難易可用來評估
  - 微細纖維的量
  - 內部帚化之程度
- 由紙漿的游離度也可評估打漿之程度及微細纖維之多寡。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## (二)、濕纖維的特性

纖維的可成形性 (Fiber comformability) 維持紙張有較佳的網狀構造主要是與濕纖維的可成形性 (Conformability)，可壓潰性 (Collapsability) 及柔韌性 (Flexibility) 有關。

這些因子與纖維的膨潤性的大小，可決定濕紙在壓榨及乾燥

纖維的可成形性 (馴服性) 不是一個可量化的名詞，但在紙張成形時，具馴服性之纖維能彎曲並彼此配合重疊在一起，而形成厚實且結合良好之網狀結合。

纖維的馴服性與纖維橫切面的大小、內部帶化、化學組成及細胞壁的形態有關。



# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 2、纖維的可壓潰性 (Fiber collapsability)

木材纖維之橫切面為圓形或矩形，製漿或抄製、壓榨、乾燥壓光製程時其形狀則可能會被壓平或壓潰成絲帶狀。

但在壓潰後其周長仍維持不變，一般化學漿之可壓潰性較機械漿為佳，春材較秋材易潰陷，而且其可壓潰性與細胞壁的厚度呈直線之相關。

化學漿的可壓潰性較機械漿佳。春材較秋材佳，亞硫酸紙漿較硫酸鹽紙漿佳 (圖23)。

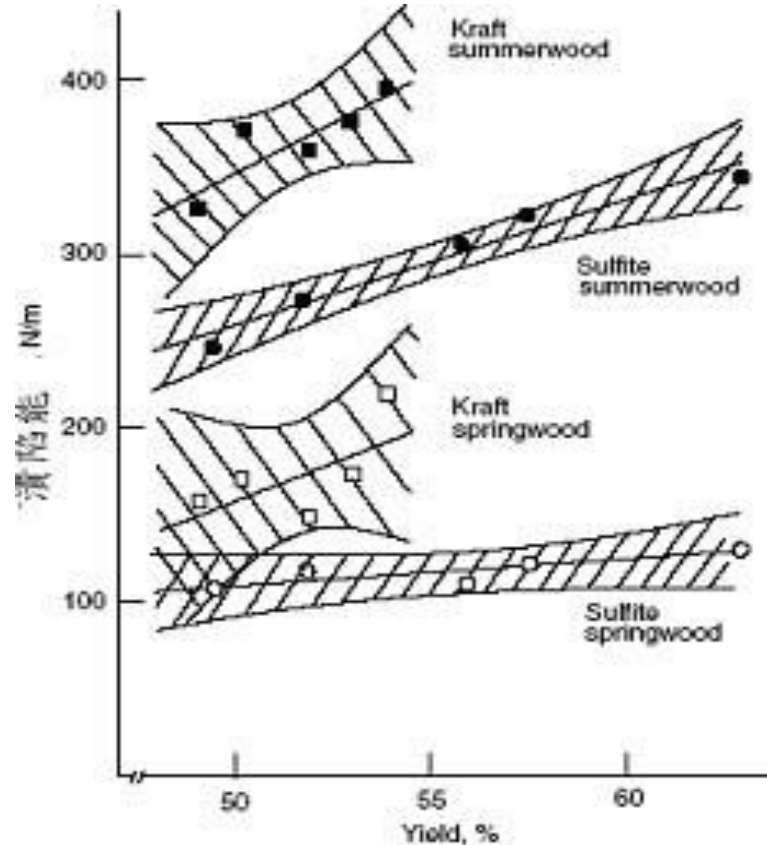
# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## 2、纖維的可壓潰性（Fiber collapsability）

- 不易壓潰之纖維內腔可散射光線。易潰陷之纖維因此在光學性質上有負面之效果。
- 潰陷成絲帶狀之纖維較有彈性，纖維間較未潰陷之管狀細胞能有較大之結合面積，由於纖維的潰陷改善紙張之強度性質。

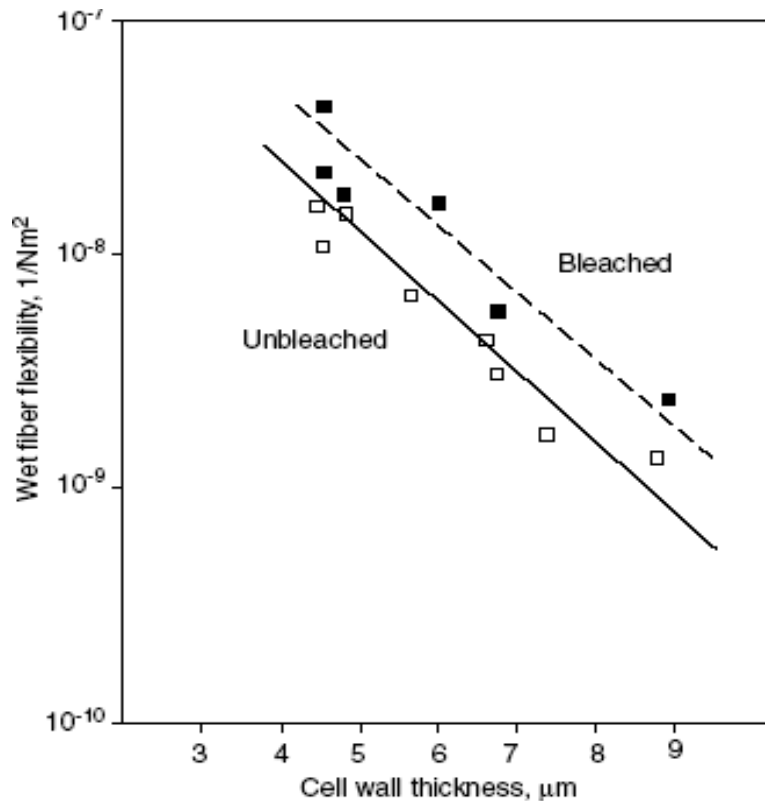
# 肆、纖維性質與品質之關係



各種纖維直徑方向壓陷所需能量之比較

# 肆、纖維性質與品質之關係

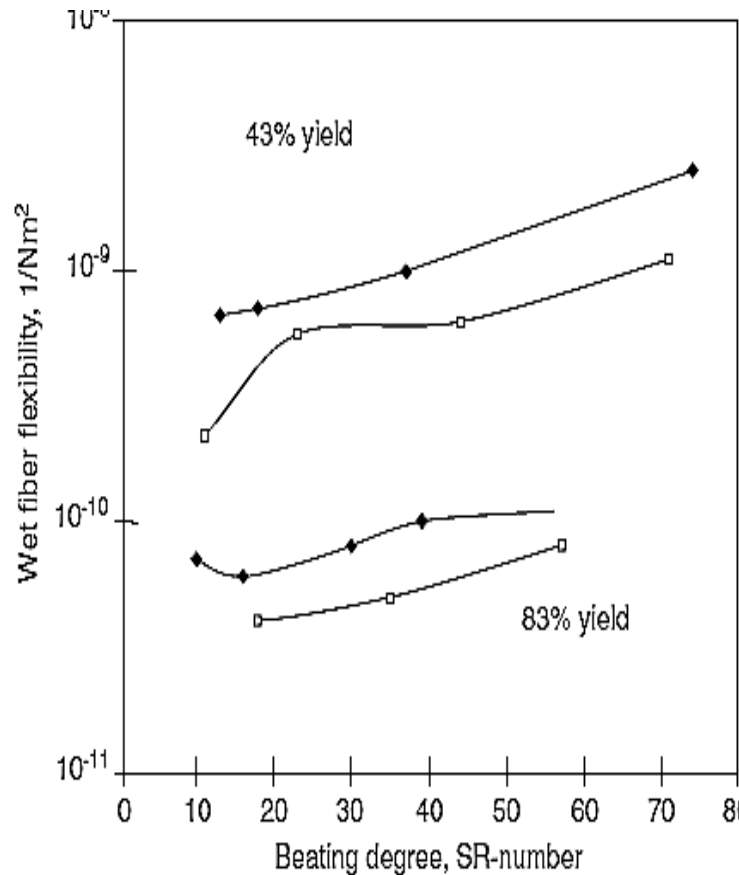
濕潤纖維的彈性(Wet fiber flexibility ; WFF)



濕纖維的彈性 (WFF) 或濕纖維剛度的倒數，可以用來評估纖維的馴服(可成形)性。

纖維的 WFF 隨纖維壁厚的增大而有急遽的下降。

# 肆、纖維性質與品質之關係



一般而言，機械漿之彈性較化學漿為差。

圖26 顯示濕纖維之彈性隨紙漿收率的降低及打漿程度的增強而有明顯的增大。其主要原因推論為細胞壁之孔隙度增大及細胞壁的脫層所致。

26. 纖維打漿程度對濕纖維彈性之影響。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 膨潤性 (Swelling degree)
- 紙漿纖維的膨潤性取決於纖維的化學組成及內部帚化的程度。
  - 半纖維素改善紙漿的膨潤而木質素則抑制。
  - 一般而言，化學漿之膨潤性較機械漿為佳。化學漿之膨潤性隨紙漿之打漿程度增大而改善。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 膨潤性 (Swelling degree)
- 纖維之膨潤性可由其保水值 (Water retention value) 表示之，
  - 其測量法為定量紙漿經離心過濾後，紙漿中殘留之水量。
- 機械漿常依鍊漿程度之增大而增加其 WRV 值，但此主要為增加微細纖維所導致而非膨潤性之改善。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## (三)、單纖維的強度

由於量測單纖維強度不易準確度低，因此常用紙張的零跨距強度間接代表單纖維強度。

依據 Page 氏(1969)的研究推論出影響紙張抗張的強度之諸因子所成立之方程式

$$\frac{1}{T} = \frac{9}{8Z} + \frac{12 A\rho g}{bLP (RBA)}$$

其中 T：紙張之抗張強度，Z：零跨距強度，A：纖維橫切面面積， $\rho$ ：纖維密度，g：重力，b：纖維的剪力應變 (Shearing stress)，L：重量平均纖維長，P：纖維周長，RBA：紙張相對結合面積



# 肆、纖維性質與品質之關係

---

而 Clark 氏也針對 5 種各種紙張強度之影響變數  
依據亞硫酸紙漿劣化試驗結果，建立相關方程式

$$\text{Tensile} = K_1 Z^{0.5} S^{0.5} L^{0.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Burst} = K_2 Z^{0.5} S^{0.5} L^{1.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Tear} = K_3 Z^{1.0} S^{0.5} L^{1.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Fold} = K_4 Z^{(2)} S^{(1)} L^{5.0} G^{-3.0} V^{(0.5)}$$

K：常數，Z：零跨距強度，S：纖維結合強度，  
L：纖維長，G：纖維的粗度，V：密度的倒數

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

而 Clark 氏也針對 5 種各種紙張強度之影響變數  
依據亞硫酸紙漿劣化試驗結果，建立相關方程式

$$\text{Tensile} = K_1 Z^{0.5} S^{0.5} L^{0.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Burst} = K_2 Z^{0.5} S^{0.5} L^{1.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Tear} = K_3 Z^{1.0} S^{0.5} L^{1.5} G^{-0.5} V^{-1.0}$$

$$\text{Fold} = K_4 Z^{(2)} S^{(1)} L^{5.0} G^{-3.0} V^{(0.5)}$$

K：常數，Z：零跨距強度，S：纖維結合強度，  
L：纖維長，G：纖維的粗度，V：密度的倒數

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- 四、纖維化學組成對紙張性質的影響
- 針、闊葉樹材間之化學成分有相當之差異、樹種間也具有很大的歧異度，針葉樹材較闊葉樹材有較高的木質素含量，蒸煮後殘留木質素在紙漿中也較高，漂白負荷也較高，另外抽出成分中之樹脂、單寧等，對紙張的品質也會有影響。

(一)、

纖維素含量及黏度

(二)、木質素含量

(三)、五碳醣含量

(四)、抽出成分

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- (一)、纖維素含量及黏度
- 高纖維素含量之纖維材料最被希望做為製漿造紙之原料，其含量高低依樹種，部位、與成熟材與否應有很大之相關，通常成熟材有較高之纖維素含量，而且此含量與纖維長成正相關，因此有較佳之強度性質。
- 但纖維素的粘度通常(聚合度)也是影響紙力之重要因子。纖維素的聚合度降低影響纖維本身的強度，因而成紙抗張強度及破裂強度的下降，但對撕裂強度沒有明顯的影響。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

## ((二)、木質素含量

無論木質素的含量多寡均顯示木質素的存在均有礙紙張的強度性質，因此如為要求紙漿最高之強度愈少的木質素含量愈佳。

# 肆、纖維性質與品質之關係

---

- (三)、五碳醣含量
- 五碳醣含量過高或過低均不能得到高紙張性質的紙張，
  - 以尤加利漿(*Eucalyptus regnans*) 未來打漿紙漿而言，五碳醣含量在 5% 時可得最高的破裂強度，8% 時可得最高之撕裂強度。適當半纖維素含量改善紙張的強度性質。

# 肆、纖維性質與品質之關係

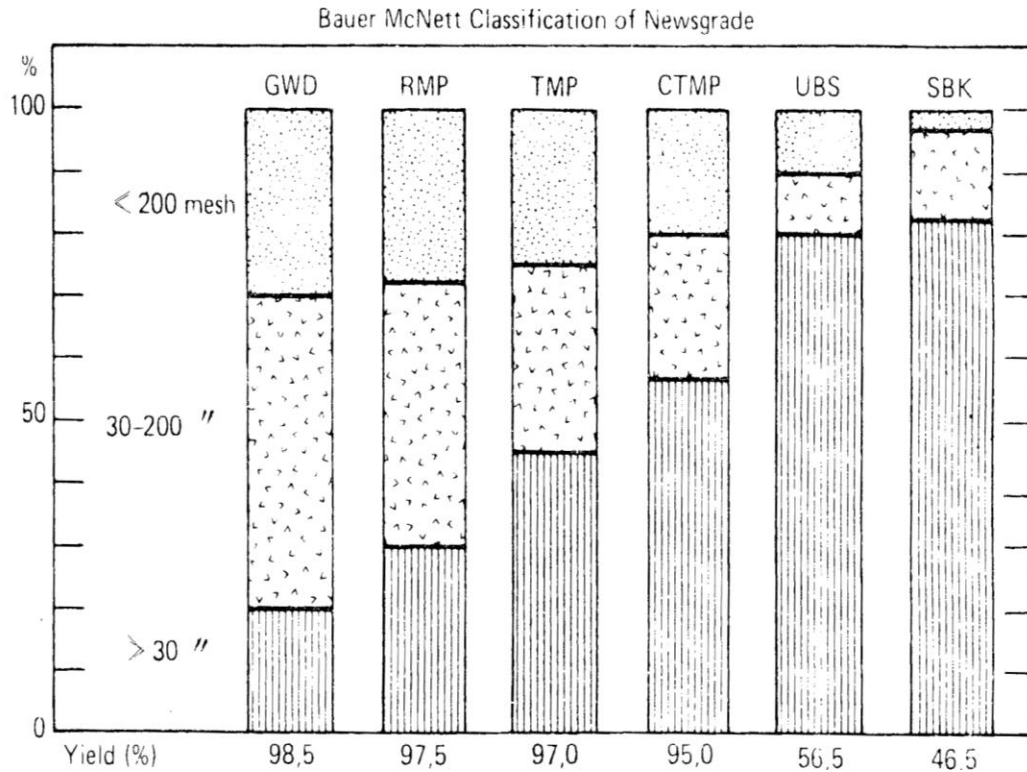
---

- (四)、抽出成分
- 木材中抽出成分的存在不但製漿時影響紙漿的收率，而且影響紙張的白度與強度性質；因此材中之抽出成分愈少愈佳。

# 伍、各種紙漿的特性

## 一、機械紙漿

圖為幾種纖維長度(篩分)與未漂亞硫酸木漿及半漂牛皮木漿之比較，結果顯示磨木漿(GWD)之長纖維部份最少，化學熱磨漿(CTMP)因有熱及化學藥品之輔助，磨碎纖維較少，有較多之長纖。化學漿只有化學藥劑處理因而磨碎纖維較少。



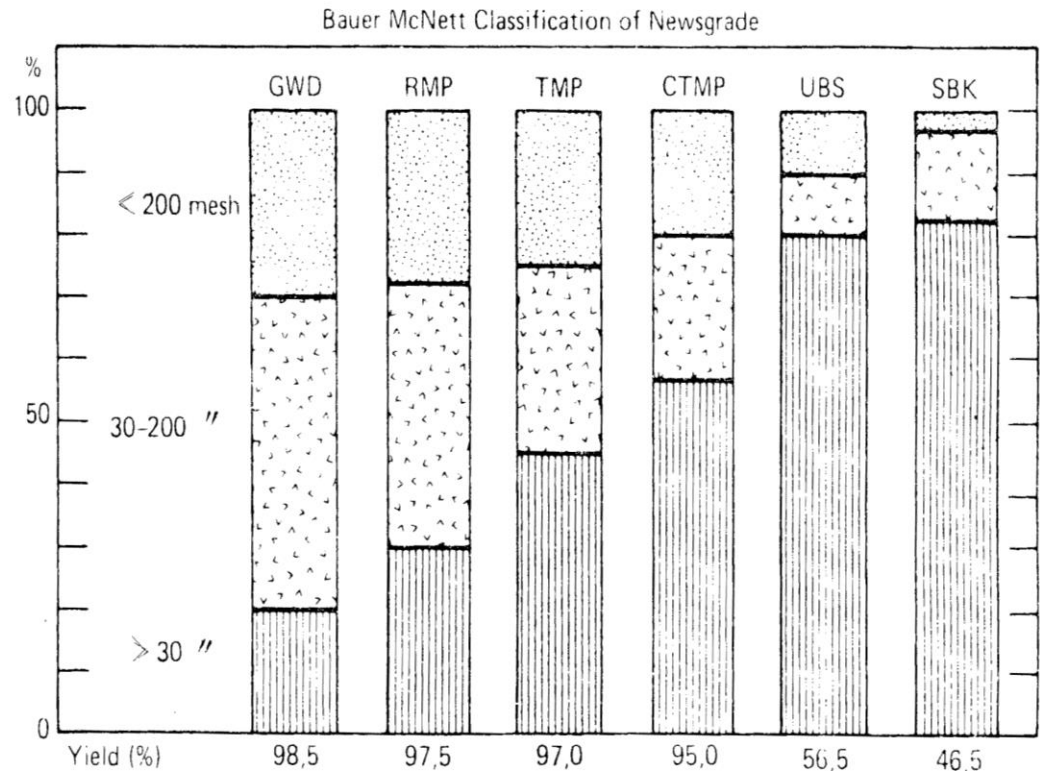
幾種機械漿及化學漿之纖維篩分結果



# 伍、各種紙漿的特性

## 一、機械紙漿

另外大於30 mesh之紙漿纖維長度，機械漿之長度約在1.8 mm以上，化學漿較具彈性，其纖維長則在2.7 mm以上。通過200目纖維長度則約小於0.4 mm (分別比實際目孔尺寸為大)。



幾種機械漿及化學漿之纖維篩分結果

## 伍、各種紙漿的特性

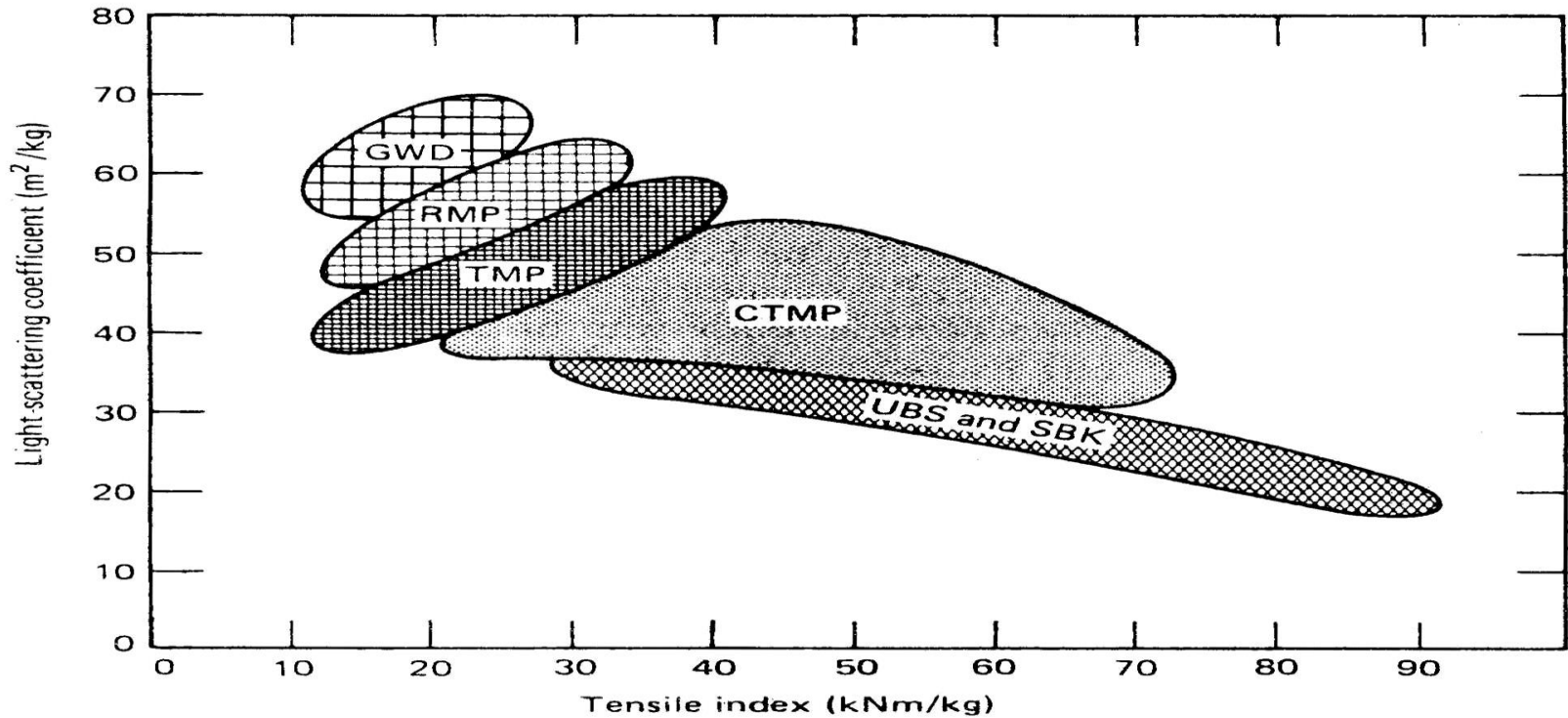


Figure 4-46c. Continued

不同紙漿之纖維所抄製紙張之纖維間結合  
(光散亂係數)

# 伍、各種紙漿的特性

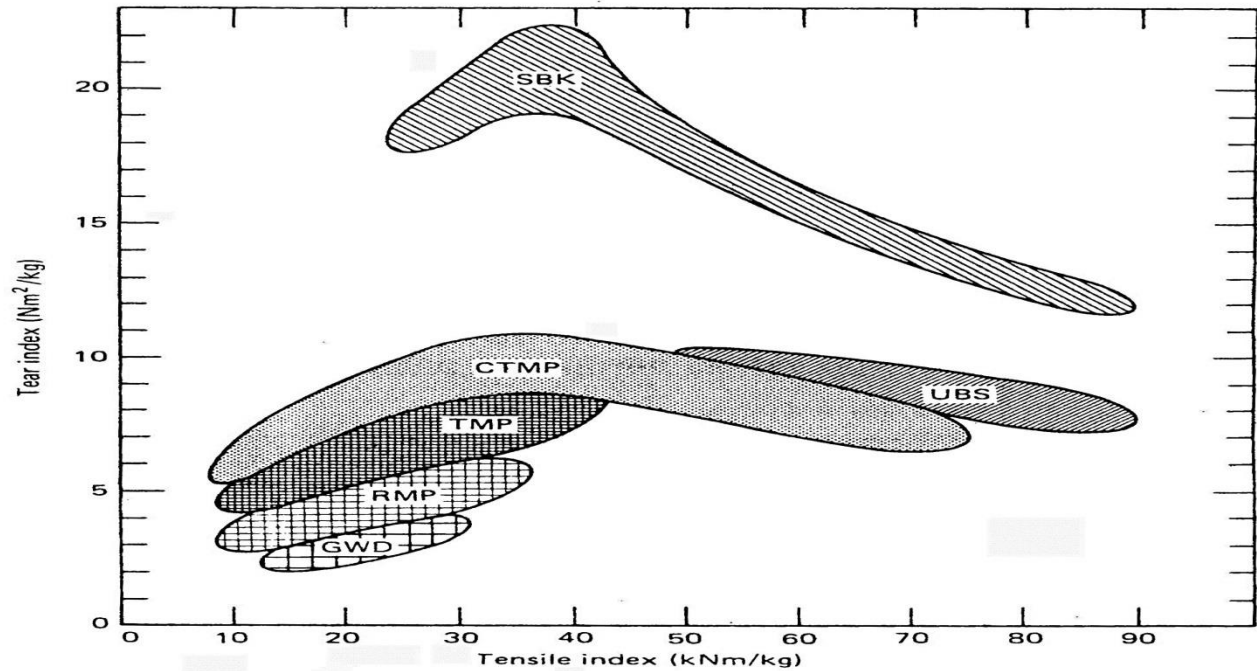


Figure 4-46b. Continued

不同紙漿所抄製之紙張之強度特性

# 伍、各種紙漿的特性

表 22. 不同機械木漿之性質比較

	SGW	TGW	PGW	TMP	75%SGW 25%SBK
每噸漿所用動力 Kwh / t	1470	1560	1580	2360	
游離度(° SR)	65	65	65	69	136
留存於 14 網目與 30 網目篩網上纖維%	22	26	30	37	31.1
細於 100 網目之纖維物，%	45	42	37	33	40.3
抗張強度，N	29	42	37	38	3.5km
撕力指數，(mJ/m)	610	740	790	980	9.4mN·m <sup>2</sup> /g
強度指數 (抗張強度 + $\frac{\text{撕力指數}}{10}$ )	90	116	116	136	
品質指數： $\frac{10 \times \text{強度指數}}{\text{單位動力用量}}$	0.61	0.67	0.73	0.58	
不透明度					94

Stone Groundwood ; Refiner Mechanical Pulp

# 伍、各種紙漿的特性

---

- 1.半化學紙漿
- 半化學製漿法係將原料以化學藥品藉蒸煮或浸漬予以部份軟化後以機械法使纖維分散得率65~80%之製漿方法。主要方法包含冷鹼法、酸性亞硫酸法、鹼性亞硫酸法、硫酸鹽法與蘇打法中性亞硫酸法(NSSC)，與綠液法等。
- 目前對木材為原料者以NSSC法與綠液法 (NSSC法以 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 代替 $\text{NaOH}$ ) 製造闊葉樹半化學漿為主，木材以外則以NSSC法與蘇打法為主。
- 2.半化學木漿除用於瓦楞芯紙外，亦有摻用於表面紙板者，摻用比率在20~30%，其目的在利用化學漿之堅挺性使紙板之耐壓強度提高。但破裂強度、撕力強度與抗張強度會降低。

# 伍、各種紙漿的特性

## • 3.化學紙漿

### • (1) 亞硫酸紙漿

- 亞硫酸法制漿係具有一百年以上歷史之製漿方法，與機械漿法及牛皮漿法同為主要製漿法。然因早年之酸性亞硫酸法為適用樹種較少，與蒸煮廢液中藥品回收之發展較慢，致漸為牛皮漿所取代。

- 不過今日之製漿程序，已由酸性亞硫酸法而發展增加重亞硫酸法，鹼性亞硫酸法與多段式亞硫酸法等，且大部份為鈉基與鎂基以重視。

- 亞硫酸法紙漿之強度高，雖仍易、紙衛生、低與誌、於易紙單、硫酸漿較多等優點。目前則被摻用於印刷與書寫。

# 伍、各種紙漿的特性

---

## (2) 鹼性紙漿

- 鹼法制漿中蘇打法常用於木材以外原料，
- 最近常採用添加蔥醌之方法
- 木材鹼性蒸煮則以硫酸鹽法為主。
  
- 硫酸鹽法(即俗稱之牛皮漿法)因有適用原料廣、蒸煮時間短、樹脂障害較少、紙漿強度高、藥品回收率高，其得率低與漂白較難，使其製造成本偏高，不過近年製漿技術仍在不斷改進，而有各種之修飾法之開發。

# 伍、各種紙漿的特性

表23. 不同材種以硫酸鹽法或蘇打法所得紙漿性質之較

		強度，以雲杉硫酸鹽法紙漿為100				
樹種	得率	破裂強度	撕裂強度	耐摺力	抗張強度	
硫酸鹽法	針葉樹：					
	雲杉	50	100	100	100	100
	香杉	50	96	91	106	105
	闊葉樹：					
	白楊	54	65	65	30	87
	黃樺	53	66	79	33	72
硫酸鹽法(33%硫化度)經打漿至CSF550-600ml之間						
蘇打法	白楊	46	42	61	6	53
	黃樺	47	52	93	13	59



# 伍、各種紙漿的特性

---

## 木材以外原料所製紙漿

- 木材以外造紙原料，我國台灣地區幾已停止。
- 表24為比較幾種非木纖維稻草漿之特性，其高不透明度為其最突出之特性。
- 稻草漿由於含柔細胞多，即使設法於洗漿時洗去一部份，其游離度與濾水性均低。抄紙前只要輕度打漿即可達要求。
- 由於其纖維長而細，雖未經打漿而是纖維帚化，仍然能抄出較鬆而斷裂長與破裂強度不遜於省產闊葉樹之紙張。纖維細長，細胞壁薄之先天條件，使稻草漿所抄紙張之撕力強度較低。

## 伍、各種紙漿的特性

省產闊葉樹硫酸鹽法漂白漿，省產蔗渣硫酸鹽漂白漿，  
稻草蘇打漿，刺竹硫酸鹽漿之比較

	省闊葉樹	省蔗渣	稻草	刺竹	進口闊葉 樹漿
打漿時間	150 分	35 分	30 分	117 分	---
密度 g/cm <sup>3</sup>	0.734	0.780	0.626	0.777	0.849
斷裂長. km	5.5	5.5	5.6	6.8	7.9
撕力比	88.3	70.0	73.1	153.7	96.1
破裂比	30.7	39.2	35.8	51.1	57.5
透氣度	40	510	91	61	472
不透明度%	68	69.5	87.5	71.8	61.5
白度，% G. E.	90.5	90	69	88.7	91.3

\*打漿至 CSF 300M1 時之時間

---

- 謝謝

- 請多多指教





# 市售紙漿的特性

# 長短纖木漿 應用優缺點比較表

優/缺點	長纖木漿	短纖木漿
優點	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 提供強度</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 改善交織</li><li>2. 較高的不透明度</li><li>3. 較低的嵩度</li><li>4. 較高的密度</li><li>5. 較佳的托墨性</li></ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 不透明度較差</li><li>2. 交織不良</li><li>3. 成本較高</li><li>4. 磨漿動力高</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 強度較弱</li><li>2. 嵩度較低</li></ol>

# 紙漿的特性

---

- 影響紙張結構及功能性的因數
  - 硬體：紙機及加工機設備的結構
  - 軟體：
    - 頭箱、壓水部、烘缸部等參數的調整
    - 濕端化學的應用
    - 配料組成的最適化

# 配料組成的最適化

## ■ 纖維性質

### □ 原料性質

#### ■ 樹種、化學組成、微細纖維

### □ 製漿及漂白作業

### □ 備漿系統

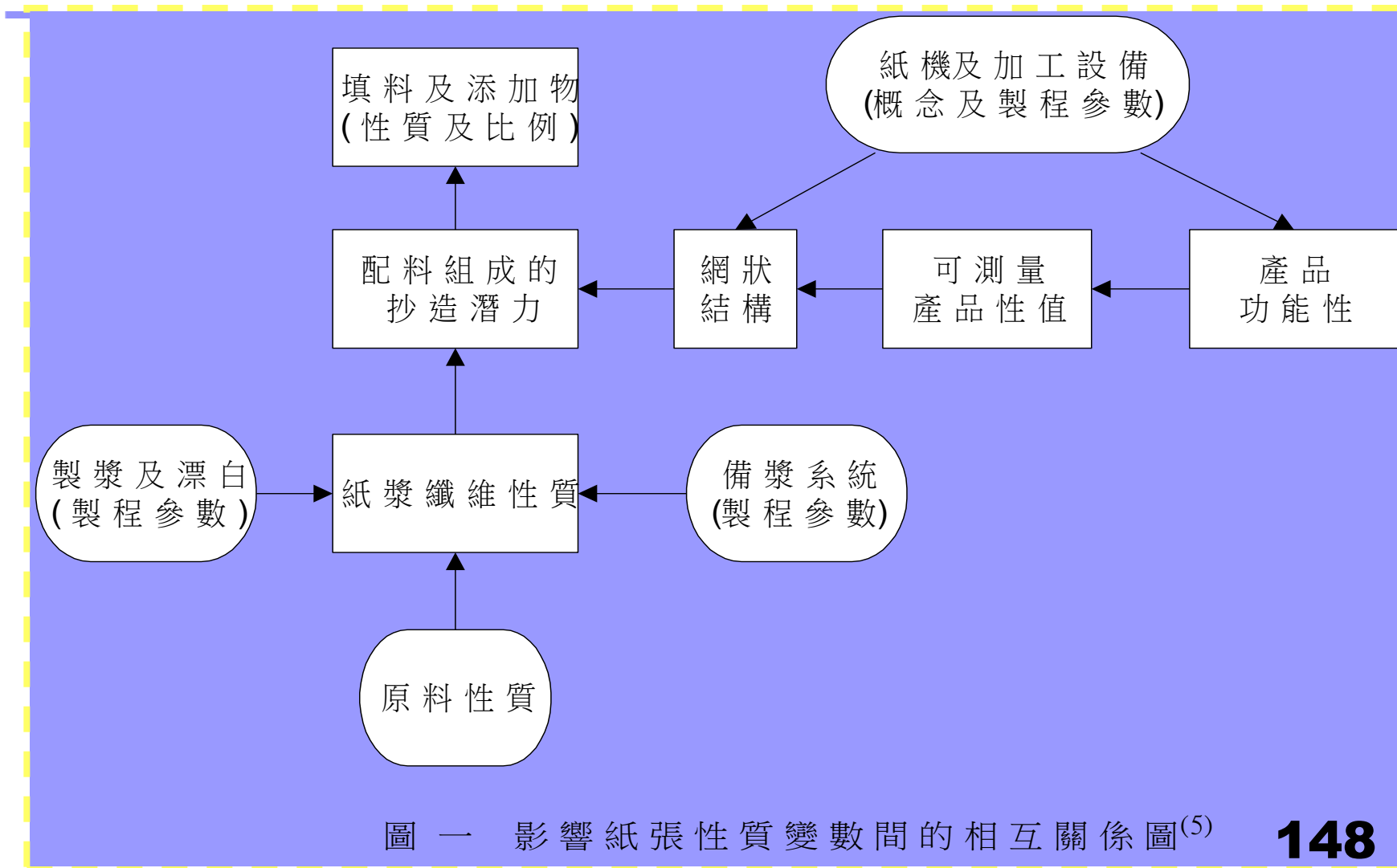
#### ■ 散漿、離解、磨漿

## ■ 不同纖維混合比例

⇒ 原料性質決定80%↑紙漿在抄紙的潛力

⇒ 長/短纖維形態已經決定80%↑的紙張性質

# 影響紙張性質變數間的相互關係圖





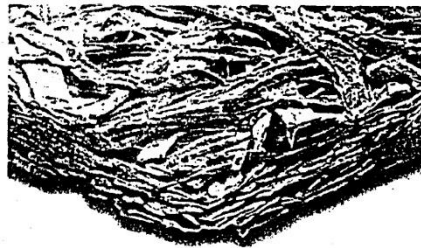
# 紙漿或纖維品質指標

- 纖維長度 (Fiber Length)
- 纖維寬度 (Fiber Width)
- 細胞壁厚度 (Cellwall Thickness)
- 粗(細)度 (Coarseness)
- 纖維分佈 (Fiber Distribution)
- 半纖維素含量 (Hemicellulose Content)

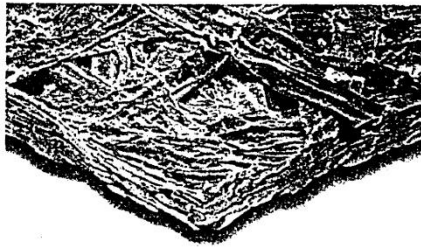
PRINCE ALBERT SOFTWOOD is a premium northern softwood grade that exhibits the outstanding aesthetic, structural and strength properties of boreal forest species. Advantages include enhanced paper surface characteristics and ease of refining.

### Typical Response to PFI Laboratory Refining

		ISO Standard Methods					
		Initial	PFI Refined				
Canadian Standard Freeness	mL	673	643	610	500	400	250
Schopper-Riegler	SR	13	14	15	22	31	50
Drain Factor	s/g	0.9	1.1	1.5	2.7	11	37
PFI Revolutions		0	300	1000	2700	4500	7700
<b>Strength</b>							
Tensile (Breaking Length)	km	3.3	5.0	7.0	9.3	10.2	11.0
Tear Index (1-ply)	mN•m <sup>2</sup> /g	13.5	15.3	14.7	11.1	10.2	9.0
Burst Index	kPa•m <sup>2</sup> /g-	1.9	3.7	5.4	7.3	7.9	8.7
Fold (MIT)	double folds	30	400	1100	2200	2500	2700
Internal Bond (Scott)	J/m <sup>2</sup>	135	200	280	420	550	620
<b>Sheet Structure and Aesthetics</b>							
Bulk	cm <sup>3</sup> /g	1.59	1.49	1.41	1.31	1.28	1.23
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.61	0.67	0.71	0.76	0.72	0.81
Roughness (Parker, H10)	µm	5.7	5.2	4.9	4.8	4.9	5.2
Air Resistance (Gurley)	s/100 mL	3	4	8	30	100	210
Light Scattering Coefficient	m <sup>2</sup> /kg	31	28	25	20	17	16
Opacity	%	72	69	66	61	59	56



Handsheet at Initial Conditions  
<--- 100 µm --->



Refined to Approximately 7 km Tensile  
<--- 100 µm --->

### Typical Pulp Characteristics

Brightness (ISO) *, %	>89
Viscosity (0.5% CED), mPa•s	27
Dirt (Weyerhaeuser) *, mm <sup>2</sup> /kg	<5
(TAPPI T 213)***, mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	<3.5

### Chemical Properties

DCM Extractives, %	0.2
Ash Content (575° C.), %	0.5

### Kajaani FS-100 Fibre Analysis

Average Length (LWAF), mm	2.4
Coarseness, mg/100 m	16
Population, million fibres/g	3.9

### Bale Characteristics

L x W x H, cm	83 x 71 x 41
Bale Weight, kg	230

\* Mill Test

\*\* Estimated

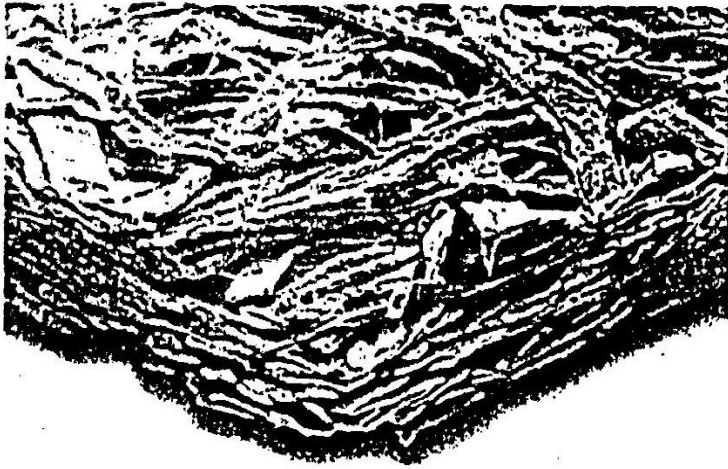
1/93

# 紙漿的基本性質

PRINCE ALBERT SOFTWOOD is a premium northern softwood grade that exhibits the outstanding aesthetic, structural and strength properties of boreal forest species. Advantages include enhanced paper surface characteristics and ease of refining.

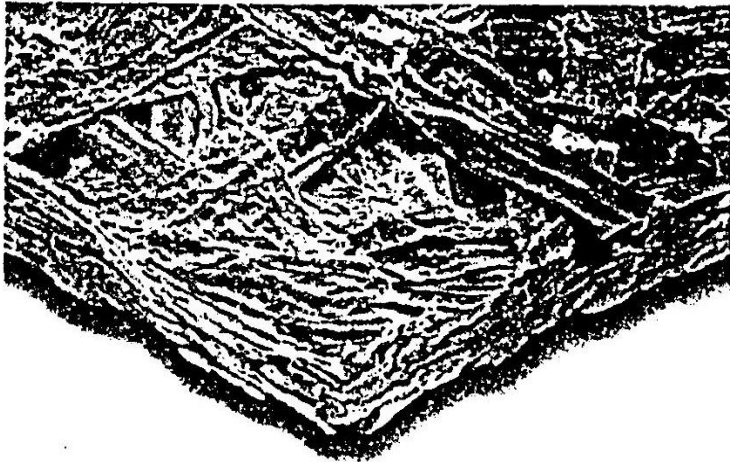
## Typical Response to PFI Laboratory Refining

		ISO Standard Methods					
		Initial	PFI Refined				
Canadian Standard Freeness	mL	673	643	610	500	400	250
Schopper-Riegler	SR	13	14	15	22	31	50
Drain Factor	s/g	0.9	1.1	1.5	2.7	11	37
PFI Revolutions		0	300	1000	2700	4500	7700
<b>Strength</b>							
Tensile (Breaking Length)	km	3.3	5.0	7.0	9.3	10.2	11.0
Tear Index (1-ply)	mN•m <sup>2</sup> /g	13.5	15.3	14.7	11.1	10.2	9.0
Burst Index	kPa•m <sup>2</sup> /g-	1.9	3.7	5.4	7.3	7.9	8.7
Fold (MIT)	double folds	30	400	1100	2200	2500	2700
Internal Bond (Scott)	J/m <sup>2</sup>	135	200	280	420	550	620
<b>Sheet Structure and Aesthetics</b>							
Bulk	cm <sup>3</sup> /g	1.59	1.49	1.41	1.31	1.28	1.23
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.61	0.67	0.71	0.76	0.72	0.81
Roughness (Parker, H10)	µm	5.7	5.2	4.9	4.8	4.9	5.2
Air Resistance (Gurley)	s/100 mL	3	4	8	30	100	210
Light Scattering Coefficient	m <sup>2</sup> /kg	31	28	25	20	17	16
Opacity	%	72	69	66	61	59	56



Handsheet at Initial Conditions

<--- 100  $\mu$ m --->



Refined to Approximately 7 km Tensile

<--- 100  $\mu$ m --->

### Typical Pulp Characteristics

Brightness (ISO) *, %	>89
Viscosity (0.5% CED), mPa*s	27
Dirt (Weyerhaeuser)*, mm <sup>2</sup> /kg	<5
(TAPPI T 213)**, mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	<3.5

### Chemical Properties

DCM Extractives, %	0.2
Ash Content (575° C.), %	0.5

### Kajaani FS-100 Fibre Analysis

Average Length (LWAF), mm	2.4
Coarseness, mg/100 m	16
Population, million fibres/g	3.9

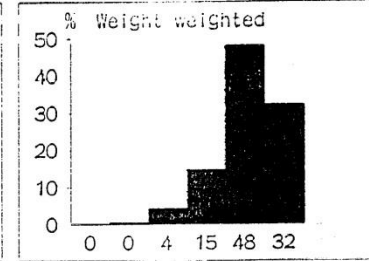
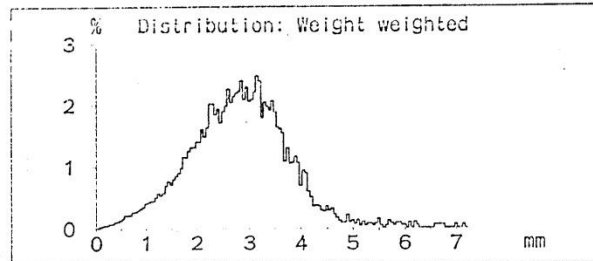
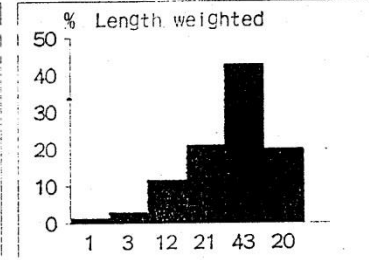
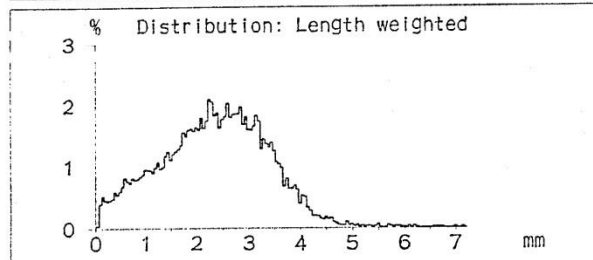
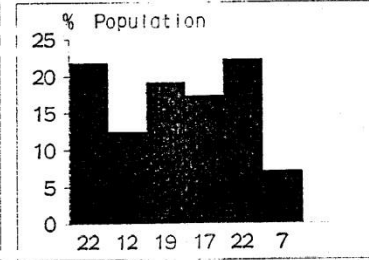
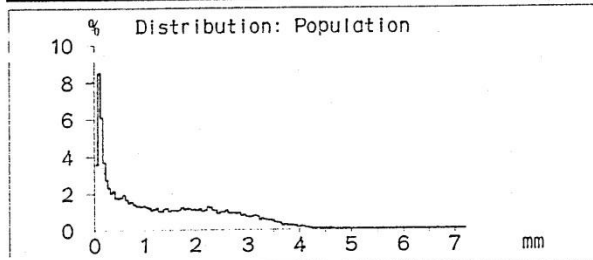
### Bale Characteristics

L x W x H, cm	83 x 71 x 41
Bale Weight, kg	230

\* Mill Test

\*\* Estimated

1/93



Title: PRINCE ALBERT  
 Weight: 11.00  
 Device Cons.: 11.16  
 Coars. Total: 5637  
 Fibres: 26455

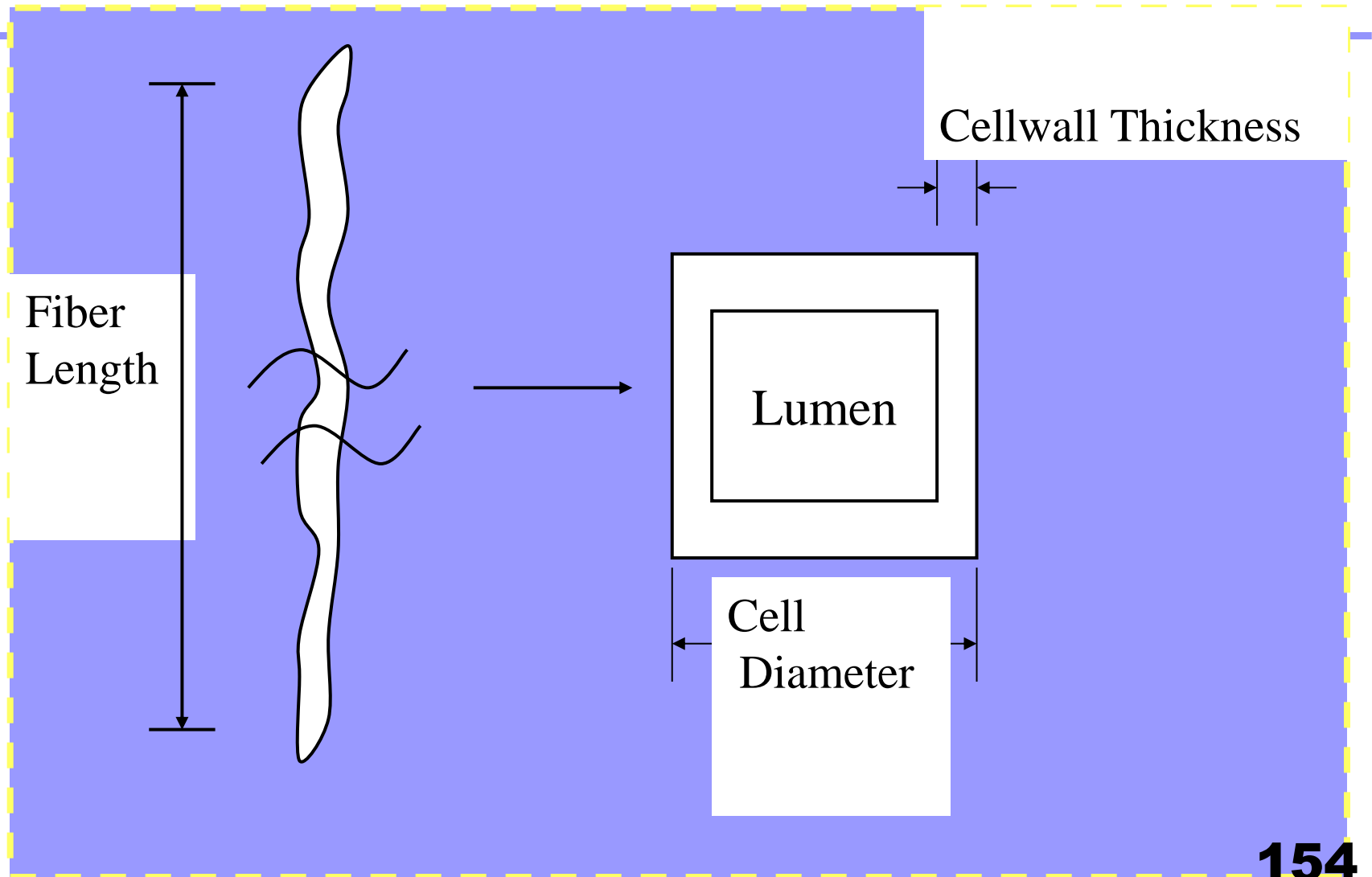
Pop. weighted average (mm): 1.31  
 Length weighted average (mm): 2.30  
 Weight weighted average (mm): 2.78  
 Coarseness (mg/m): 0.134  
 Fibres / mg: 5719  
 SW/HW (%): #

Fines (< 0.20 mm) : A= 21.78 % L= 1.38 % W= 0.07 %

Fractions (mm)	AafI (%)	Lwfl (%)	Wwfl (%)
0.00 - 0.20	21.78	1.38	0.07
0.20 - 0.50	12.50	3.07	0.46
0.50 - 1.20	19.15	11.73	4.35
1.20 - 2.00	17.29	20.97	14.77
2.00 - 3.20	22.20	42.97	48.14
3.20 - 7.20	7.09	19.88	32.22

No filter

# 纖維長度、纖維寬度、細胞壁厚度



# 纖維長度、纖維寬度、細胞壁厚度

	長纖 (SW)	短纖 (HW)
纖維長度 (mm)	2.0 – 6.0	0.5 – 2.5
纖維寬度 ( $\mu\text{m}$ )	25 – 50	10 – 35
細胞壁厚度 ( $\mu\text{m}$ )	3.0 – 8.0	2.0 – 5.0

# 纖維長度、纖維寬度、細胞壁厚度

---

- Kajaani FS-200 or FQA 測量
  - 每種紙漿都有其特有的纖維長度分佈
  - 樹種、機械處理方式、生長條件、樹木部位
  - 長度平均（長纖）or 重量平均（短纖）
  - 纖細物：長度  $< 0.2$  mm



# 纖維長度、纖維寬度、細胞壁厚度

---

## ■ 紙張性質

□ 較長纖維會增加絮凝能力，影響交織

## ■ 濾水性

□ 較長纖維會提高濾水度，紙張較膨鬆

# 纖維長度、纖維寬度、細胞壁厚度的關係

---

## ■ 濕紙匹強度

- 較長纖維會增加纖維間的接觸，可提高濕紙匹的強度

## ■ 乾紙匹強度

- 纖維必須提供足夠的長度來相互交聯，以避免紙張被拉開，當低於極限長度時，纖維長度則變為相當重要
- 纖維長度增加時，撕力亦相對提升

# 粗細度 (Coarseness)

---

Coarseness (mg/m, mg/100 m, mg/km)

$\doteq$  細胞壁厚度 x 纖維周邊長度  
= 每單位長度的重量

- 纖維的馴服性 (Comformability) 及柔韌性 (Flexibility)
- Kajaani FS-200 or FQA 測量
- 受到樹種與樹木的部位所影響

## 粗細度 (Coarseness)

	長纖 (SW)	短纖 (HW)
纖維寬度 ( $\mu\text{m}$ )	25 - 50	10 - 35
細胞壁厚度 ( $\mu\text{m}$ )	3 - 8	2 - 5
粗細度 (mg/100 m)	15 - 35	7 - 12

# 粗細度 (Coarseness)

---

## ■ 紙張性質

- 粗細度越高，抄造的紙張嵩度越高，較不平滑，多孔性越高

## ■ 濾水性

- 粗細度越高，孔隙越大，濾水較容易

# 纖維分佈 (Population)

---

- 每單位重量時的纖維數 ( $10^6$  Fibers/g)
  - 光學散射面積量
  - 可填補紙張孔洞的數量
  - 影響紙張的交織，不透明度/光散射係數，平滑度
- Kajaani FS-200 or FQA 測量
  - 長纖(SW) 1.0 – 2.5，短纖(HW) 10 – 15

# 半纖維素含量(Hemicellulose Content)

---

- 利用18%苛性鈉溶解度測得 (S18, 18% Caustic Solubility)
- 受到樹種、蒸煮條件、木質素去除率、漂白條件所影響

# 半纖維素含量(Hemicellulose Content)

---

## ■ 磨漿

- 高含量可降低磨漿能源

## ■ 濾水度

- 高含量濾水較困難



# 半纖維素含量(Hemicellulose Content)

---

- 濕紙匹強度
  - 高含量會增加強度
- 乾紙匹強度
  - 高含量提升拉力，降低撕力
- 紙張結構
  - 高含量，增強鍵結力量，紙張較細緻 (Closure)，增加透明度

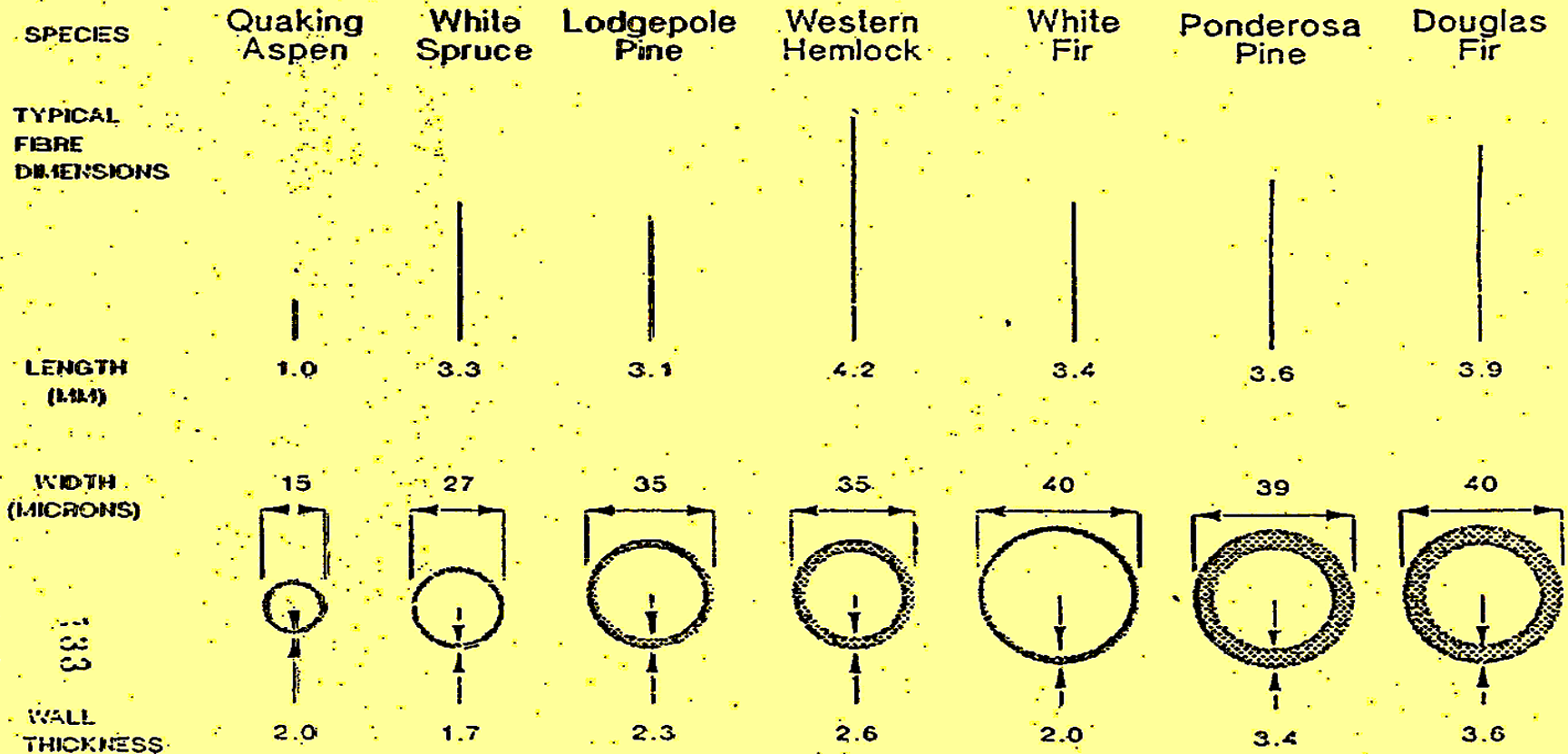
# 紙漿特性一覽表

性質	纖維長度 ↑	粗細度 ↑	纖維分佈 ↑
紙張結構	交織 ↓	粗糙 ↑ 多孔 ↑	交織 ↑ 平滑度 ↑
濾水性	↑	↑	
濕紙匹強度	↑	↓	
乾紙匹強度	撕力 ↑	拉力 ↓	

# 典型市售長/短纖的纖維形態性質

纖維形態	長纖	短纖
纖維長度 (mm)	1.8 – 2.5	0.7 – 1.1
粗細度 (mg/100 m)	15 – 35	7 – 12
纖維分佈 ( $10^6$ Fibers/g)	1.0 – 2.5	10 - 15

# MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF WESTERN N.A. HIGH YIELD PULPING SPECIES



纖維形態	北歐松樹	美洲東北樅樹、松樹	美洲西北樅樹、松樹	南美松樹	放射松
纖維長度 (mm)	2.1	2.3	2.4	2.5	2.5
粗細度 (mg/100 m)	20.0	19.0	22.0	35.0	27.1
纖維寬度 (μm)	30	30	35	40	
細胞壁厚度 (μm)	3.2	3.0	3.5	5.0	
纖維分佈 (10 <sup>6</sup> Fibers/g)	2.0	2.5	1.5	1.0	0.8

纖維形態	歐洲混合雜木	北歐樺樹	美北混合雜木	美南混合雜木	亞洲混合雜木	尤加利	相思樹
纖維長度 (mm)	0.7	0.9	0.8	1.2	1.18	0.75	0.70
粗細度 (mg/100 m)	7.0	10.0	0.95	13.5	12.9	7.7	7.5
纖維寬度 (μm)	20	22	19	22	15 – 35	16	20
細胞壁厚度 (μm)	3.0	3.0	2.5 – 3.0	5.0	7.3	3.0	2 – 2.5
纖維分佈 (10 <sup>6</sup> Fibers/g)	10.0	10.1	13.2	6.0	6.6	17.3	19.1
半纖維素含量		25	25	22	5 - 20	20	20 <b>170</b>