

臺灣省林業試驗所報告

第一號

BULLETIN

of

TAIWAN FOREST RESEARCH INSTITUTE

No. 1

馬尾松材之木漿製造研究

薛承健 洪溪明

Studies on the Pulping of Chinese Pine

(*Pinus massoniana* Lamb.)

by

C. J. Shiue & C. M. Hung

中華民國三十六年三月

臺灣省林業試驗所印行

臺灣 臺北

Published by

TAIWAN FOREST RESEARCH INSTITUTE

Taipeh, Taiwan, China

March, 1947

目 次

一、緒 言	1
二、前人研究	2
三、材料與方法	3
四、纖維形態之研究	4
五、化學組成之分析	9
六、木漿製造之試驗	12
七、木漿性質之檢定與比較	18
八、結 論	20
九、英文摘要	21
十、參攷文獻	24

馬尾松材之木漿製造研究

(附：圖五；表九)

薛承健 洪溪明

Studies on the Pulping of Chinese Pine

(*Pinus massoniana* Lamb.)

(With 5 Figures & 9 Tables)

by

C. J. Shiue & C. M. Hung

一、緒言 Introduction

木漿用途至廣，除供造紙外，並可以之製成人造絹絲，備供日常衣着之用。人類對紙張之消費量，隨文明進步而日增；衣着原料亦有漸以人造絹絲代替天然絲之概，是故木漿製成品之消耗量與時俱進，而木漿之生產，漸有供不應求之勢矣。再觀我國不但人造絹絲均輸自外國，即以紙張而論，亦殆多以落後之手工式竹類製造者，供給一部之消費，而機械之木造紙，為數仍甚微；至若大宗印刷包裝等用紙，尤多仰給於外國，其漏卮之鉅，誠難以數計，此應在國內創設大規模木漿製造廠，並利用此木漿以造紙製絲，以謀自給，俾免利源外溢，實為當務之急。

世界上供製木漿之優良樹種，首推雲杉 *Picea* (Spruce)，冷杉 *Abies* (Fir)，白楊 *Populus* (Aspen) 等屬之樹木，惟此等樹種皆分布於寒帶及溫帶北部，而在我國僅於東北九省，以及冀陝甘寧鄂川康滇黔新疆西藏之高海拔一帶之有之，其木材蓄積，以之製造木漿，實不敷全國之需，是不得不在國內其他各處，另覓代用樹種，以期達到大量供應之目的。考一般木漿製造之適用材，必具有 (1) 纖維 (Fiber) 細長強韌，(2) 纖維素 (Cellulose) 含有率高，(3) 木質 (Lignin)，戊糖 (Pentosan)，樹脂 (Resin) 等含有率低，(4) 組織均勻木材分子大小差異不著，(5) 材色淡白，(6) 價格低廉而能繼續大量供應等特長，然多數樹種不能完全符合此數條件者，每長於此而短於彼，衡量實際，惟有就地取材，細加研究，擇其條件最具備者以從之耳。查我國南方一

，分佈最廣，生長迅速而能耐瘠地，堪稱荒山造林之唯一樹種者，厥為馬尾松。該樹種不但現存蓄積足資利用，即若將來之供應，亦因其不必擇地造林，發展自無限制，更可延續而勿替；現在各地均以之為薪材或板材，價格低廉，人人樂用，所視為最大缺點者，僅含樹脂過多耳。然此亦可以適當方法提取仍無大礙，故在木漿製造上，確為將來能大量供應之唯一製紙原料。作者爰就馬尾松材為研究對象，檢討其木漿製造之價值，尋求適當之蒸解方法，並檢定各種方法製成品之性質，詳舉馬尾松材木漿製造之合理過程，聊供製漿工業之參考。然於短期內率爾完成，疏漏之處，在所不免，尙祈賢達不吝指正，是幸。

本文承林所長渭訪蘇科長步臬暨毛技正乃琅諸先生之校閱與指導，在此謹致無限謝忱！全部蒸解分析工作，得許技術員登豐之協助，使工作提早完成，并此誌謝！

二、前人研究 Literature Review

木漿製造之最適樹種，莫如雲杉、冷杉、白楊等屬樹木，然為分佈所限，蓄積偏於一隅，不足供應世界各地之需求，是以不論中外，均思有以分佈最廣而蓄積最豐之松屬 (*Pinus*) 樹木，為製漿之後起原料。在美國 John Studeny & C. E. Libby (*7) 二人於紐約林學院從事美國赤松 (*Pinus resinosa*) 之木漿製造研究(1939年發表)，最先測定數種重要松屬木材纖維長寬度，而與雲杉、鐵杉 (*Tsuga*) 相比較，結果知松類之纖維平均長度，因樹種而異，一般皆在 3—5mm. 之間，美國赤松則為 3.71mm.，*Pinus palustris* 為 4.90mm.，*P. banksiana* 為 2.85mm.，雲杉類之纖維長度亦不過如此，鐵杉則更為短小。是以木材之組成分子狀態觀之，松類之製漿價值，實不亞於雲杉也。至若化學組成，纖維素木質等含量，亦與雲杉鐵杉不相上下，惟有樹脂含量則高出四五倍，此在蒸解時足以增加阻力，製成木漿漂白不易，且不適於人造絹絲之製造也。二氏更將美國赤松作亞硫酸法之蒸解試驗(6.3% Total SO₂ 5.0% Free SO₂ 液量與全乾材之比為六)，結果得知二十三年生之幼樹，以 140°C 之高溫，全蒸解時間十小時，即可得到良質之木漿，但四十六年生之壯齡木，富含樹脂，如用常法則蒸解不易，其所得木漿難於漂白，如將溫度上昇延緩，最高溫度應高至 150°C，全蒸解時間為十一小時，則亦可達到完全蒸解之目的。

在日本京都帝國大學化學研究所喜多研究室木元正信氏(*18) (於昭和14年發表)，研究日本各地盛產之赤松 (*Pinus densiflora*) 之結果，知其因產地不同，成分差異殊著，苯醇混合抽出物 (Benzene & Alcohol Extracts) 為 3—7%，全纖維素 (Total cellulose) 為 52—58%，木質為 26—30%，戊糖為 7—11%。又西田屹二氏(*15) 曾搜集有關日本產及外國著名松類之多數學者對於木漿製造研究，先後在人絹界上發表全文，詳示松屬之重要種類，日本豐產及主要外國松類之纖維長寬度及化學組成，類是松類在木材構成分子之形態上論之，其木漿製造價值，與冷杉雲杉相比，實無遜色；在組成上言之，全纖維素，木質及戊糖等成分，各種類雖有不同，而與冷杉雲杉亦相差無幾，至樹脂一頁，則各種間差異性極大，即以同一樹種而言，亦因產地年齡部位生長速度等

附有*號之阿剌伯字，代表引用文獻號次，以下同此。

不同而異，雖甚比冷杉雲杉爲高，然吾人當可從樹種立地部位年齡生長速度諸因子上詳加選擇，亦可得到少含樹脂之松材，以供木漿製造之用也。至松材之木漿製造，據 Kress, Kleir, Pater-son, Anderson, Mac Naughton, Anon 等氏^(*)之研究，松類中除少數材色淡白少含樹脂者，如 White strobilus pine, Northern white pine, Sand Pine 等樹種外，其餘多數木材，均難用機械法製得良質木漿。西田，內山，岡田，三浦，右田，F. Hagglund, Kress, Klein 諸氏^(*)於研究松類之亞硫酸法製漿，結果多數樹種蒸解困難而不均齊，欲得質良色白之木漿，其漂白粉消耗量甚大，其中僅日本赤松，Sea pine, Beach pine, Western yellow pine, Marsh pine, Loblolly pine, Insolor pine 等蒸解漂白較易，似有發展希望，惟老齡木或富含樹脂之心材部分，則皆不宜於製漿。至於西田氏^(*)研究日本赤松亞硫酸法蒸解之結果，(6% Total SO₂，液比爲 4，最高溫度 132°—140°C) 前者未漂木漿收率爲 48.0%，後者爲 47.5%，略比冷杉雲杉稍遜；其木漿之樹脂含量分別爲 0.45% 及 0.39%， α 纖維素 (α cellulose) 爲 91.72% 及 92.92%，銅價低粘度高，漂白不難，不失爲良質之木漿，故可供造紙及人造絹絲之用。關於曹達法製漿，據西田，三山，米澤，今里，三浦，Kirchner, Witham, Well 等氏^(*)之研究，松類木材均可以增加用鹼量提高溫度及延長時間之方法，使之完全蒸解，然與亞硫酸法比較，則其收率低，纖維受損殊甚，木漿之樹脂及 α 纖維素之含量均較低，而漂白則較難。松類木材之硫酸鹽蒸解法，據西田，三山，今里，米澤，三浦，Kress, Klein 等氏^(*)研究，結果較曹達法爲優，纖維受損較少而強度較大，但難於漂白，爲包裝紙最適合之原料。其他硝酸法氯氣法之松材製漿研究，如 C. Consiglio 與 Rantala & J. Sevón^(*) 等均有報告述及，然其應用終有限制，而無大規模利用之價值。

以上所述，乃歐美與日本各地應用松類木材製造木漿之研究概況，其中確有不少種類已告成功，而可查大量製造者。至於馬尾松爲我國特有樹種，歐美學者尙未有詳細研究，然因其在臺灣分佈甚廣，前日人統治時代，曾有報告述及其纖維之長寬度，據野仲忠彥、川村一次二氏研究^(*)，馬尾松之纖維長度最大者達 6.443mm，最小者僅 1.745mm；在同一樹株，因取樣之部位不同亦有差異， $1/3$ 高處短於 $2/3$ 高處者；其平均數又隨產地而不同，約爲 3.714 至 4.713mm 之間；至纖維寬度最大爲 76 μ ，最小爲 26 μ ，平均爲 37.1 至 5.46 μ 之間。由此觀之，馬尾松在纖維長寬度之觀點上，根據前人研究，實有供製木漿之價值。至若馬尾松之化學組成，與木漿適當製造方法，以及製成木漿品質之檢定，尙未見有前人之研究報告；本文所述，即專以馬尾松爲材料，應用上述歐美日本學者之松類製造木漿之研究步驟，以審定馬尾松材木漿製造之價值，尋求木漿之合理製造方法及適當之用途也。

三、材料與方法 Materials and Methods

本研究所用材料，係抽取自本所附設造紙工場以大規模製紙之馬尾松材，於 1946 年二月間採購於臺北縣文山區，伐採後成層堆積，至同年七月開始試驗，故皆已達氣乾狀態。研究步驟最先從木材組成分子之形態上，檢定其製漿價值，將馬尾松木材行纖維離解，描繪纖維形態，測定纖維

長寬度，察知年齡部位等之變異情形，每一因子分別記載其最大最小乘數平均數及標準機差等，以明其纖維長寬度之集中性與離中性。次再分析木材之組成，視其樹脂、纖維素、木質、戊醣等含量之高低，以之與製造木漿之最適樹種相比較，當可決定馬尾松材製漿價值之大概；並再進而用鹼法與亞硫酸法蒸解木材，以各種不同濃度溫度時間之配合，比較其收率，且將製成木漿加以分析，檢定其品質，以覓得產量最高品質又佳之蒸解條件。至於種種之詳細研究方法，分別於每一項目中敘述之，此處僅示本文研究之方針已耳。

四、纖維形態之研究 Morphological Studies on the Fibers

由前人研究之結果，知木材纖維之長寬度變異性頗大。樹木生長尙未衰退之時，在橫斷面言之，近髓心部分之纖維較短而狹，愈近邊材外部者愈大而寬；在縱斷面言之，下部者長於上部。迨至生長衰退之後，樹木所生纖維，長寬度並不隨年齡而增加，是以在橫斷面最外層者，未必比中間部分為長，在縱斷面最下部者或反較上部為短，此種現象純由於纖維長寬度與生成年齡有密切之關係所致。大抵初年生成之纖維短而狹，此後隨年齡而漸加長加寬，迨生長衰退之後，遂不復循此途徑而增加，甚至有縮短變小之可能，其變化情形，亦如樹木之生長，依一定之曲線而演變者。是以在橫斷面上言之，中央部分之纖維乃初年生者，當然短而狹，愈近邊材外部者其生成年齡愈晚，當然漸長而寬矣；在縱斷面論之，設在胸高處其年齡為 a ，則在其上之各斷面，其年齡必逐漸減小，即表示其最外層之纖維，生成年齡比 a 為小，愈上部者年齡愈少，是以同為最外層之纖維，上部者每較下部為短而狹也。此種變異情形，各樹種均無例外，是以一般學者均以 V_1 與 V_2 高處纖維形態之平均值代表該樹種之纖維形態，此舉實有莫大之錯誤！蓋此項結果，關係於樹木年齡極大，50年生之樹木其 V_1 與 V_2 高處之纖維必大而寬於30年生者，以同一樹種，因年齡不同，所得數值大相懸殊，當不能以之代表該樹種全體之樹木也。故以 V_1 與 V_2 高處纖維形態之平均值，僅足表示此單一樹株之纖維形態。至欲明瞭某一樹種真正之纖維變異情形，當選擇年齡老大者數株，測定其胸高斷面處各齡階纖維形態之平均值為合理也。蓋如能先求得木材纖維長寬度在各種生成年齡之變化傾向，則不問該樹種在縱斷面或橫斷面上，以及各種年齡間之變異情形，均可推測而知矣。是以本研究着重馬尾松年齡不同與所生纖維長寬度之關係，不在測定供試材本身纖維形態之代表數值為目的。為欲減少氣候因子之影響纖維，而選擇年齡大小不同之試材五株，取其胸高直徑處之圓盤，以五年為一齡階，每一齡階在東南西北各方，分別春秋材切取試料，用 Schulze 氏離解液^(*)（氯酸鉀 $KClO_3$ 與同量之濃硝酸 HNO_3 相混），在試管中徐徐加熱，俟反應終了，洗去殘液，由每一齡階春秋材，各以針抽取纖維 200 條（每一樹體東南西北向相混試材中，各取 40 條，五株樹體合計 200 條），在顯微鏡下測定其長寬度。此五樹體纖維長寬度之變化傾向，殆相近似，取其共有齡階之結果平均之，得如下表之數值，並以 $S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$ 之公式^(*) 計算各平均數之標準機差 (Standard Deviation)：

Table 1. The length and width of the Chinese Pine fibers

年 齡 (age)	材 別 (wood)	纖維長度 mm. (length of fibers)			
		最 長 (maximum)	最 短 (minimum)	衆 數 (mode)	平 均 數 (mean)
五 年 生 (5 years)	春材 (springwood)	3.41	1.43	2.30-2.60	2.43±0.31
	秋材 (summerwood)	3.71	1.68	2.30-2.60	2.58±0.34
十 年 生 (10 years)	春材 (springwood)	3.99	2.28	2.90-3.20	3.08±0.37
	秋材 (summerwood)	4.51	2.34	2.90-3.20	3.27±0.41
十 五 年 生 (15 years)	春材 (springwood)	4.83	2.85	3.50-3.80	3.74±0.38
	秋材 (summerwood)	5.14	2.91	3.80-4.10	3.91±0.45
二 十 年 生 (20 years)	春材 (springwood)	5.38	2.64	4.10-4.40	4.25±0.42
	秋材 (summerwood)	5.46	3.46	4.10-4.40	4.48±0.39
二 十 五 年 生 (25 years)	春材 (springwood)	5.60	2.86	4.10-4.40	4.39±0.38
	秋材 (summerwood)	5.71	3.38	4.10-4.70	4.60±0.42
三 十 年 生 (30 years)	春材 (springwood)	5.37	3.04	4.40-4.70	4.48±0.34
	秋材 (summerwood)	5.84	3.45	4.40-4.70	4.63±0.45
三 十 五 年 生 (35 years)	春材 (springwood)	5.46	3.25	4.10-4.40	4.45±0.51
	秋材 (summerwood)	5.74	3.50	4.40-4.70	4.61±0.45
四 十 年 生 (40 years)	春材 (springwood)	5.76	3.07	4.40-4.70	4.47±0.55
	秋材 (summerwood)	5.93	3.60	4.40-4.70	4.59±0.48
四 十 五 年 生 (45 years)	春材 (springwood)	5.41	3.14	4.40-4.70	4.49±0.50
	秋材 (summerwood)	5.59	3.04	4.10-4.70	4.62±0.51
五 十 年 生 (50 years)	春材 (springwood)	5.72	2.96	4.10-4.70	4.81±0.54
	秋材 (summerwood)	5.98	3.46	4.40-4.70	4.66±0.58

年 齡 (age)	材 別 (wood)	纖維寬度 μ (Width of fibers)				長mm/寬mm length/width
		最 大 (maximum)	最 小 (minimum)	衆 數 (mode)	平 均 數 (mean)	
五 年 生 (5 years)	春材 (springwood)	52.5	36.1	45-48	46.1±5.6	52.7
	秋材 (summerwood)	50.3	34.2	42-45	42.3±4.6	61.0
十 年 生 (10 years)	春材 (springwood)	57.0	41.0	48-51	49.9±4.8	61.7
	秋材 (summerwood)	52.1	36.5	42-45	45.4±5.1	72.0
十 五 年 生 (15 years)	春材 (springwood)	63.4	47.1	54-57	56.3±5.7	66.4
	秋材 (summerwood)	61.6	39.4	48-51	51.5±5.6	75.9
二 十 年 生 (20 years)	春材 (springwood)	58.4	41.6	51-54	52.3±5.5	81.3
	秋材 (summerwood)	51.3	33.8	45-48	48.4±5.7	92.0
二 十 五 年 生 (25 years)	春材 (springwood)	60.4	43.1	48-51	51.7±4.6	81.9
	秋材 (summerwood)	52.8	38.6	45-48	46.3±5.4	99.4
三 十 年 生 (30 years)	春材 (springwood)	59.6	45.4	51-54	52.1±5.8	86.0
	秋材 (summerwood)	56.7	39.3	45-48	48.6±4.5	95.3
三 十 五 年 生 (35 years)	春材 (springwood)	58.9	48.1	48-51	50.8±4.7	87.6
	秋材 (summerwood)	54.3	32.5	45-48	47.1±4.9	97.9
四 十 年 生 (40 years)	春材 (springwood)	60.1	46.8	51-54	52.4±4.5	85.3
	秋材 (summerwood)	55.3	38.4	45-48	48.1±4.8	95.4
四 十 五 年 生 (45 years)	春材 (springwood)	57.6	43.4	51-54	51.5±5.9	87.2
	秋材 (summerwood)	51.5	36.1	45-48	48.8±5.3	94.7
五 十 年 生 (50 years)	春材 (springwood)	59.4	47.5	51-54	52.3±5.5	86.2
	秋材 (summerwood)	56.3	40.1	45-48	49.7±3.6	93.8

上表所示之纖維長寬度，係指馬尾松木質部主要分子之假導管 (Tracheids) 而言。至若髓線細胞 (Pith cells)，柔軟細胞 (Parenchyma) 等，在木漿製造過程中，多被遺棄，故不加測定。茲由觀察之結果，知馬尾松之假導管在春秋材及不同齡階之變異頗大；以形態而言，秋材假導管壁厚，內腔小，無紋孔；春材壁薄內腔大，單紋孔大，恒集數個排列成行，重紋孔小，排列略呈散生之狀，如第一圖所示：

第一圖 馬尾松春秋材之假導管

Fig. 1. The tracheids from Spring-wood and summer-wood of Chinese pine

以長度而言，由第一表可知任一齡階秋材之平均數，均較春材為大，依平均數差異顯著與否測定法 (*16)，由每兩標準機差求差異標準差，再算出其 t 值，查 Fisher 氏 t-table 結果顯示各齡階之差異均極顯著，是可知馬尾松秋材之假導管較春材者為長。茲以五年生之春秋材纖維長度為例，測定其差異顯著性如下：

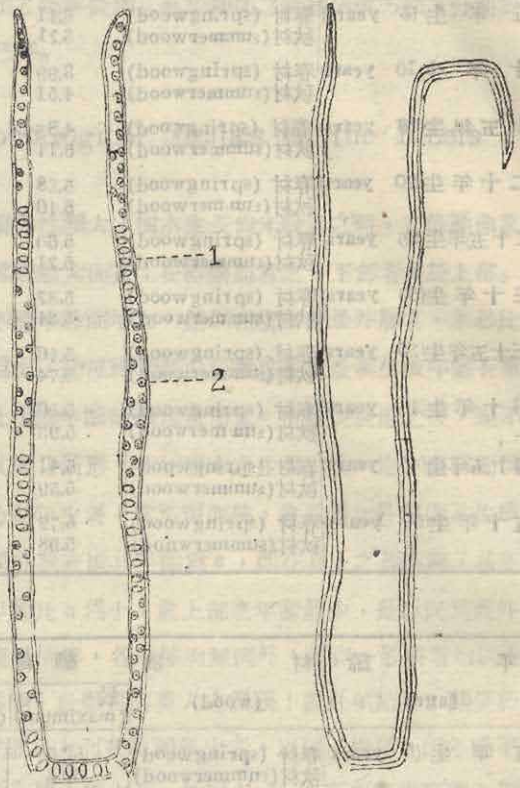
$$S = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{2}} = \sqrt{\frac{0.31^2 + 0.34^2}{2}} = 0.33$$

$$S_x = S \sqrt{\frac{2}{N}} = 0.33 \times \sqrt{\frac{2}{200}} = 0.033$$

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{S_x} = \frac{2.58 - 2.43}{0.033} = \frac{0.15}{0.033} = 4.55$$

查 Fisher 氏 t-table $n=398$ $t=4.55$ 時，其 P 值小於 0.01，故知五年生時春秋材纖維長度之差異極為顯著。如以年齡論之，

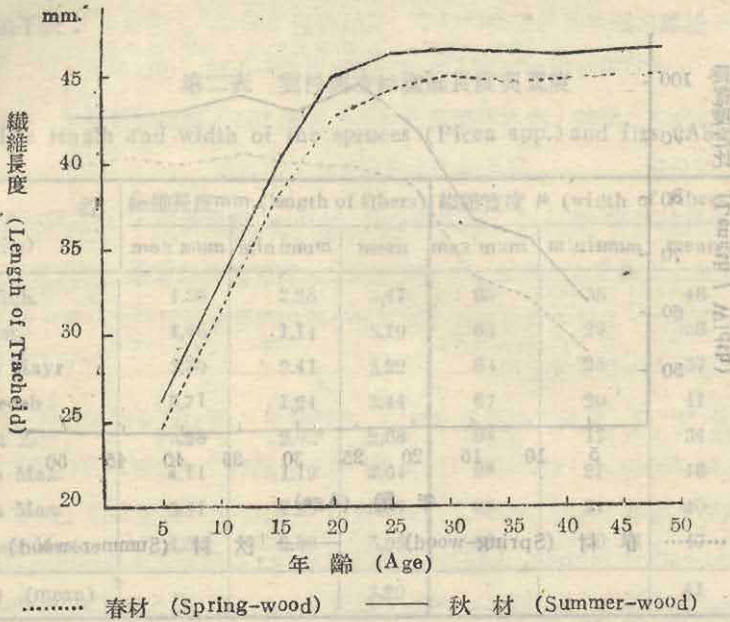
可察出在 30 年生以前，纖維長度之變化有一定之趨向，均隨年齡之增大而漸加長，用前法算出其相互間之差異亦極顯著；迨三十年生之後，長短雖有不同，差異均未達顯著標準，且無一定之趨向，即此種變異多由於氣候之影響。至若纖維之寬度，其變化情形與長度大有不同，以春秋材言之，春材皆大於秋材，其差異皆極顯著；以年齡而論，在十五年生以前，隨年齡之遞增而有加寬之趨勢，差異皆極顯著，而以十五年生之寬度達最高點；15 年生以後，反形縮小，各齡階之差異亦極顯著，但無一定之趨向，或亦為氣候之變異。查此五株松木之直徑生長，皆以十五年生時為最旺盛，故是時所生木部分子粗而且大，而假導管之寬度最大時期，必與直徑生長最盛時相關連。至於纖維長寬度之比值，如第一表所示，春材小於秋材，幼年低於壯年。茲將其長度寬度及長寬度之比與年齡之關係，分別春秋材圖示於下：



春材(Spring-wood) 秋材(Summer-wood) × 51
1. 單紋孔(Single pit) 2. 重紋孔(Bordered pit)

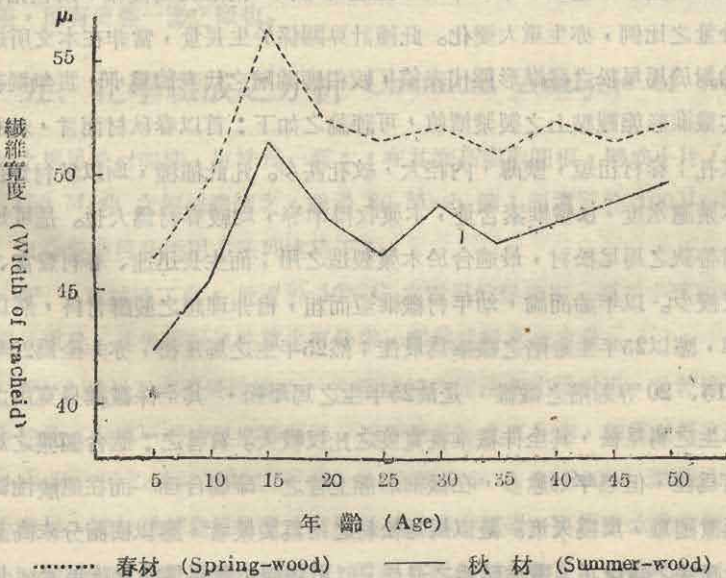
第二圖 馬尾松材各齡階之纖維長度

Fig. 2. The length of Chinese pine fiber in different ages



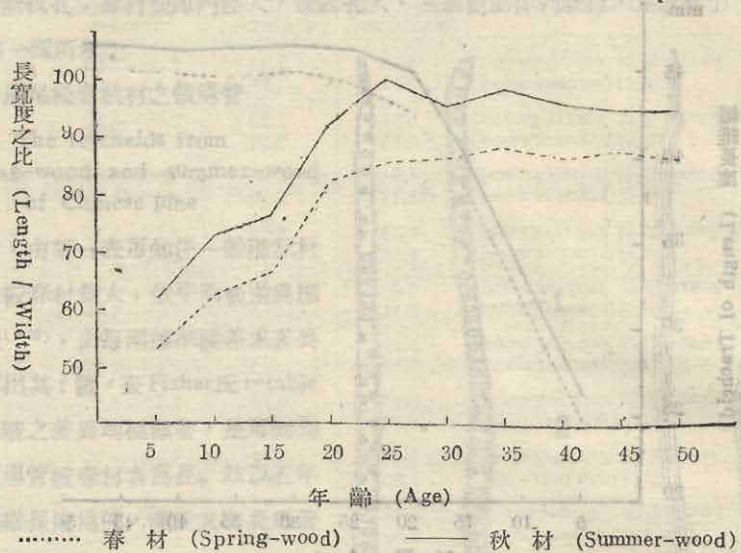
第三圖 馬尾松材各齡階之纖維寬度

Fig. 3. The width of Chinese pine fiber in different ages



第四圖 馬尾松材各齡階之纖維長寬度之比

Fig. 4. The ratio of length to width of Chinese pine fiber in different ages



馬尾松纖維形態與年齡之關係，既如上述，吾人當可推知五年生馬尾松之纖維形態，可以第一表五年生之數值表示之，而十年生時却不能即以十年生之數值表示之，蓋十年生之馬尾松，實包括五年生與十年生兩齡階之纖維也。此兩齡階纖維相對量之高下，實為決定十年生馬尾松纖維形態代表值之另一主要因子；迨至15年20年……生之馬尾松，情形更為複雜，所包括纖維之種類更多，而相互間分量之比例，亦生重大變化。此種計算關係於生長量，當非在本文所述範圍之內，然各種大小年齡對於馬尾松之纖維形態代表值，較相應齡階之代表值為小，實無疑義。

馬尾松材在其纖維形態觀點上之製漿價值，可評論之如下：首以春秋材而言，秋材細長，壁厚，內腔小，無紋孔；春材粗短，壁薄，內腔大，紋孔甚多。凡此種種，均以秋材為佳，蓋秋材之單纖維強度，木漿濃水度，纖維素含量，木漿收得率等，均較春材為大也。是可知生長緩慢、秋材帶寬而春材帶狹之馬尾松材，最適合於木漿製造之用；而生長迅速、春材豐富、秋材甚狹者，其利用價值反較少。以年齡而論，幼年材纖維短而粗，自非理想之製酥材料，然以纖維長寬度之比為比較標準，應以25年生齡階之纖維為最佳；然25年生之馬尾松，亦非全為25年生之纖維，實包括5、10、15、20等齡階之纖維，是故25年生之馬尾松，其全株纖維長寬度之比應較小，而30年生或35年生之馬尾松，其全株纖維長寬度之比反較大。質言之：適合製漿之馬尾松材，似以30—40年生者為佳，但恐年齡愈多，在纖維形態上言之，雖屬合理，而在組成性質上言之，其樹脂分增高，蒸煮困難，反為失策。是以馬尾松材之用為製漿者，應以樹脂分未高至妨礙蒸解程度之年齡，為最適當之輪伐期，纖維形態之短長，似可忽視；蓋馬尾松材雖年齡極小，其纖維仍

足爲木漿製造之利用標準也。以上所述，乃詳論馬尾松材本身變異情形與製漿價值之關係；至馬尾松材全體，以其纖維形態之觀點上論之，其應用價值若何，須重加討論。吾人深知木材之最適於製漿者，前人皆公認爲雲杉與冷杉兩屬，茲將西田、三浦兩氏^(*)所測定之該兩屬樹木之纖維形態，示如下表：

第二表 雲杉與冷杉纖維長度與寬度

Table 2. The length and width of the spruces (*Picea* spp.) and firs (*Abies* spp.) fibers

種名 (species)	纖維長度mm, (length of fibers)			纖維寬度 μ (width of fibers)			長寬度之比 (Length/width)
	maximum	minimum	mean	maximum	minimum	mean	
<i>P. jezoensis</i> Fich.	4.56	2.28	3.41	65	35	46	74.1
<i>P. glehnii</i> Mast.	4.45	1.14	3.19	63	20	36	88.6
<i>P. hondoensis</i> Mayr	3.80	2.41	3.22	63	25	37	87.0
<i>P. obovata</i> Ledeb	5.71	1.24	3.44	67	20	41	83.9
<i>A. firma</i> S. et Z.	3.28	2.03	2.68	61	17	34	78.8
<i>A. holophylla</i> Max.	4.14	1.19	2.61	68	27	46	57.4
<i>A. brachyphylla</i> Max.	3.91	2.25	3.07	63	21	40	76.8
<i>A. sachalinensis</i> Mast.	4.50	2.80	3.94	58	30	47	83.8
平均 (mean)			3.20			41	78.0

上列數字，與第一表所示馬尾松纖維形態代表值相比較，即知馬尾松之假導管寬較長而大。以其長寬度之比值而言，在初年生（10年以前）略比上表數值爲低，迨十年生之後，即逐漸增加，幾相近似；至20年生之後，竟有超過之勢。是以馬尾松材之纖維在木漿製造之應用上，不但不比冷杉雲杉爲差，反有更勝一籌之概也。

五、化學組成之分析 Chemical Analysis of wood

取不同年齡之馬尾松材四株，每株爲一樣本，在其胸高處取圓板，劈成小片，再磨成木粉，以 80 Mesh 及 100 Mesh 之銅絲網篩之，通過 80 Mesh 篩，而遺留於 100 Mesh 篩之上者，取供分析之用。其分析項目及所用方法列述於下：

(1) 水分^(*)：取試料二克，放置於 105°C 之電氣乾燥箱中，經六小時後取出，於乾燥器中冷卻之，稱其重量，其失重對風乾重之百分率，即爲試料之含水量。

(2) 灰分^(*)：試料二克置於坩堝中，在電爐內完全灰化後取出，放乾燥器中冷卻，稱量，算出其佔全乾量（由第一項結果換算而得，以下準此）之百分率，即爲試料之灰分量。

(3) 冷水抽出物^(*)：試料二克置於 400-c.c. 之燒杯中，加 200-c.c. 蒸餾水，在室溫下時時振盪，經 48 小時後，置於預經乾燥稱量之二號玻璃濾器中濾過，再用冷水洗滌後，在電氣乾燥箱中乾燥，稱量，其所失重量即爲冷水抽出物，算出其對試料全乾重之百分率。

(4) 熱水抽出物(*11)：試料二克置300c.c. 錐形燒瓶中，加100c.c. 蒸餾水，瓶口加木塞並附還流冷却器於其上，在湯浴器中煮沸三小時，二號玻璃濾器過濾，熱水洗滌，乾燥稱量，其失重對試料全乾量之百分率即為熱水抽出物之含量。

(5) 百分之一氫氧化鈉溶液抽出物(*12)：二克試料置 250c.c. 之燒瓶中，加入百分之一氫氧化鈉溶液 100c.c.，瓶口附還流冷却器，於湯浴器中煮沸一小時，加以熱水，於二號玻璃濾器濾過，再以熱水，百分之二醋酸，冷水等順序洗滌之，再經 105°C 乾燥後稱量之，即可算出其失重對試料全乾量之百分率。

(6) 醇葉混合液抽出物(*13)：試料四克置 Soxhlet 抽出器中，用乙醇 (Alcohol) 與苯 (Benzene) 等量混合液浸煮六小時後，取其溶解部分，待醇葉回收完畢，於乾燥箱中 105°C 下乾燥一小時後，稱量之，其殘渣重對試料全乾重百分率即為醇葉抽出物之分量，抽出處理後之試料，可供為全纖維素與木質定量之用。

(7) 戊糖含量(*14)：試料二克置於 250c.c. 之燒瓶中，瓶口置分液漏斗與一玻璃管，連玻璃管於冷凝器，加 100c.c. 之 12% HCl (比重為 1.06)，蒸餾之，令每 10 分鐘餾出液為 30c.c.，將餾出液濾過集於量筒中，再加 30c.c. 之 12% HCl 入燒瓶中，繼續操作，直至流出液以醋酸苯胺試劑 (Acetic aniline reagent, Aniline 與水等量混合，以酸滴至獲得澄清液為止) 試之，不溶呈粉紅色為止。普通餾出液約 360c.c. 即足，再加 40c.c. 之三羥基苯 (Phloroglucinol) 液 (在一週前調製，14克三羥基苯加之 300c.c. 之 12% HCl 於此餾出液中，靜置 16 小時，取上面澄液以醋酸苯胺試劑試之，以不生粉紅色為度，否則再加三羥基苯溶液，將沉澱液在 4 號玻璃濾器中吸引濾過，濾器中應使溶液待滿，以少量 12% HCl 及 150c.c. 水洗滌，105°C 乾燥 4 小時，乾燥器中冷却，稱其重量，依此重量，由 Krober's Tables 算出戊糖之重量，再求出其佔試料全乾重之百分率。

(8) 木質之含量(*15)：經用醇葉混合液浸煮乾燥後之試料一克，置於燒杯中加熱，在湯浴器中煮沸二小時，洗滌乾燥，置入稱量瓶中，加入 72% 之 H_2SO_4 40c.c. 以玻璃棒攪拌，在冰箱中 1)° C 下保持 16 小時，移入大錐形燒瓶內，用水稀釋，使硫酸成 3% 之濃度 (大約加水 960c.c.)，瓶口裝放還流冷却器，煮沸二小時，經三號玻璃濾器吸引濾過，熱水洗滌至酸性反應消失時止，105°C 乾燥之，稱量，算出其對抽出試料全乾重之百分率。

(9) 全纖維素之含量(*14)：二克經醇葉混合液處理乾燥後之試料，置於二號玻璃濾器內，在 Sieber & Walter(*14) 氏裝置中，通氣後，以 1% 亞硫酸及熱水洗滌，吸引濾過，再用 3% 亞硫酸鈉 50c.c. 在小型湯浴器上煮 20 分鐘，加熱水少量，以冷水洗滌，吸引濾過後，再通氣，同前洗滌處理，如是繼續往返操作，使木質完全除去 (通氣時間為 10、10、10、8、8、8、6……分鐘，次第縮短)，再以 0.1% 過錳酸鉀溶液 20c.c. 漂白，經 1% 亞硫酸水 20c.c. 處理後，以熱水充分洗滌，95% 酒精洗滌，105°C 乾燥稱量，算出對抽出試料全乾重之百分率。

(10) α纖維素之含量(*14)：以上所得之乾燥纖維素，混入17.5%氫氧化鈉溶液(其量為1克對25c.c.)經一分鐘後，以玻片蓋之，在20°C下保持半小時，二號玻璃濾器吸引濾過，50c.c.之4% NaOH 溶液洗滌，2盪水洗滌，再加入10%醋酸50c.c. 水洗至濾液對甲基紅 (Methyl red) 成中性為止，105°C 乾燥，秤量，算出對抽出試料及全纖維素重之百分率。

(11) β, γ 纖維素等含量(*14)：全纖維素量減去α纖維素量，餘者即是。

茲將分析結果列表如下：

第三表 馬尾松材之化學組成

Table 3. The chemical properties of the Chinese pine wood

株別 (Samples)	全乾材容積比重 specific gravity of (oven-dry wood)	水分 (moisture)	灰分 (ash)	抽出物 (Extract contents)				戊糖 (Pentosan)
				冷水 (cold water)	熱水 (hot water)	百分之一氫氧化鈉 (1% NaOH)	醇苯混合液 (alcohol benzene)	
A.	0.609	8.52%	0.63%	2.78%	3.79%	14.43%	5.05%	8.43%
B.	0.626	9.59	0.54	1.26	2.45	12.13	3.24	10.33
C.	0.633	8.51	0.64	1.83	3.20	14.46	4.22	10.15
D.	0.695	9.07	0.43	2.07	3.09	15.59	1.86	11.01
平均 (mean)	0.641	8.92±0.48	0.56±0.10	1.98±0.58	3.13±0.52	14.15±1.35	3.59±1.27	9.98±1.02

株別 (Samples)	抽出試料中 (in extract example)				全纖維素中 (In total cellulose)		備註 (note)
	木質 (Lignin)	全纖維素 (T. cellulose)	α纖維素 (α. cellulose)	β+γ纖維素 (β+γ cellulose)	α纖維素 (α. cellulose)	β+γ纖維素 (β+γ cellulose)	
A	28.60%	56.04%	39.86%	16.18%	71.13%	28.87%	胸徑24cm. 23年生
B	28.42	57.97	44.69	13.28	77.08	22.92	胸徑21cm. 13年生
C	28.42	58.09	44.60	13.49	76.35	23.65	胸徑16cm. 14年生
D	27.86	53.85	40.66	13.19	75.49	24.51	胸徑10cm. 18年生
平均 (mean)	28.32±0.54	56.49±1.86	42.45±2.37	14.09±0.79	75.01±4.13	24.99±1.38	

上表A、B、C、D四株馬尾松，年齡各異，每一樹株各種成分皆分析二次，表中之值即為二次之平均值。A、B、C、D四樹株之總平均後所附之數值為標準機差，由八個數值之變量依下式求得之(*16)，標準機差 = $\sqrt{\frac{\sum(X-X)^2}{N-1}}$ ，此標準機差可示各種成分所佔百分率在不同樹株間之離中性之程度，由表所示，當可知馬尾松材化學組成之大概及其變異情形，以灰分冷水醇苯抽出物諸成分在不同樹株中相差頗甚，尤以醇苯抽出物最高者幾為最低者之三倍，其他木質，全纖維素，α纖維素，戊糖等相差無多，尤以木質幾可視為一致。各種成分在年齡方面之變異，殊無一定之趨勢，其他生長速度、立地狀況等，亦有密切關係。以馬尾松之組成而論，頗具製漿價值。茲據右田伸彥氏蒐集日本諸學者分析木材之結果，得製漿最佳之雲杉與冷杉兩屬樹木之成分如下表：

第四表 冷杉與雲杉之化學組成

Table 4. The chemical properties of the spruces and firs wood

屬 別 (Genus)	灰 分 (Ash)	抽 出 物 (extract contents)			
		冷 水 (col. water)	熱 水 (hot water)	百分之一氫氧化鈉 (1% NaOH)	醇 苯 混 合 液 (alcohol. benzene)
冷 杉 (Abies)	0.1—0.6	2.1	1.0—3.0	11.5—11.7	1.5
雲 杉 (Picea)	0.3—0.6	1.1—3.9	1.8—5.5	8.3—15.0	1.8—4.0

別 屬 (Genus)	全 纖 維 素 (T. cellulose)	α 纖 維 素 (α. cellulose)	戊 糖 (Pentosan)	木 質 (Lignin)
冷 杉 (Abies)	49.0—51.3	38.2	8.8—10.9	29.4—32.2
雲 杉 (Picea)	49.5—60.3	33.9—48.8	5.3—12.3	23.0—32.5

由第三表與第四表比較結果，知馬尾松之成分與冷杉雲杉兩屬樹木成分相若。以全纖維素與α纖維素而論，馬尾松材比冷杉更多，比雲杉屬最多者略少，而與多數雲杉屬樹木相若；以木質言之，實比冷杉為少，而與雲杉相似。是以此三點而論，製漿價值高過冷杉，而亦不亞於雲杉；然其最大缺點厥為抽出物含量較高，尤以醇苯抽出物為甚，比冷杉多一倍半，而與雲杉屬最高值相若。醇苯抽出物為樹脂，在馬尾松稱為松脂，此種成分在木材蒸餾過程與造紙製絲上均有莫大之障礙，是以馬尾松材之製漿價值，在從前均未被人重視。然由第三表所示馬尾松之平均含脂量固高，而在不同樹株之變異值亦大，其最高者達5%，最低者僅1.86%，與冷杉之1.5%相比，亦相近似。是以一方面從年齡立地或其他因子上尋求含脂最少之松材，一方面改良製漿方法，便可使馬尾松適供製漿之用；而馬尾松之本身性質，在製漿利用上，亦不容忽視，且產量豐富，材價低廉，遠非他材所可比，其前途之發展，實未可限量也。

六、木漿製造之試驗 Experiments on the Pulping of Wood

馬尾松材之纖維形態與化學組成，由上所述，已知其極具製漿價值，茲再進而應用鹼法亞硫酸法分別蒸餾木材，以尋求其最適當之蒸解條件。因馬尾松材之樹脂含量相差頗多，其適應之蒸解條件，自不可一概而論，是以將前節木材分析所用樹株分為兩組：A材為一組，其年齡較大，樹脂含量為5.05%，B、C、D三株木材合為一組，統稱為B材，其平均年齡較小，樹脂含量平均為3.14%，分別切成長3cm厚0.2—0.3cm之木片(Chip)，進行木漿製造之試驗於下：

甲、鹼法(Soda Process)製漿試驗：將氣乾木片裝於小型密閉蒸餾罐(Autoclave)內，

以電爐加熱，使在一小時內逐漸升高至各種最高溫度，再繼續保持各種不同時間。茲列二十一次之蒸解操作結果如下表：

第五表 馬尾松材鹼法製漿試驗結果

Table 5. The soda pulping of Chinese pine wood

蒸解號次 (Cooking number)	木 片 (chips)			蒸 煮 液 (Cooking liquor)		
	氣 乾 重 (Weight in air dry)	水 分 (moisture)	全 乾 重 (Weight in oven dry)	總 鹼 度 (Total alkali)	活 動 鹼 度 (Active alkali)	炭 酸 鈉 (Na ₂ CO ₃)
	grs.	%	grs.	grs/l.	grs/l.	grs/l.
BNo. 1	150	10.08	134.88	41.48	33.54	2.80
BNo. 2	150	10.08	134.88	41.48	33.54	2.80
BNo. 3	150	10.08	134.88	41.48	33.54	2.80
BNo. 4	150	10.08	134.88	41.48	33.54	2.80
BNo. 5	150	10.32	134.52	40.46	33.43	2.03
BNo. 6	150	10.32	134.52	43.26	33.46	4.80
BNo. 7	150	10.32	134.52	42.85	33.42	4.43
BNo. 8	150	10.32	134.52	40.46	33.43	2.03
BNo. 9	150	10.32	135.52	43.26	33.46	4.80
ANo. 10	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 11	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 12	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 13	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 14	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 15	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 16	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 17	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 18	150	11.24	133.14	41.31	33.10	3.21
ANo. 19	150	11.21	133.14	52.41	48.31	4.07
ANo. 20	150	11.21	133.14	50.20	48.33	1.87
ANo. 21	150	11.24	133.14	50.20	48.33	1.87

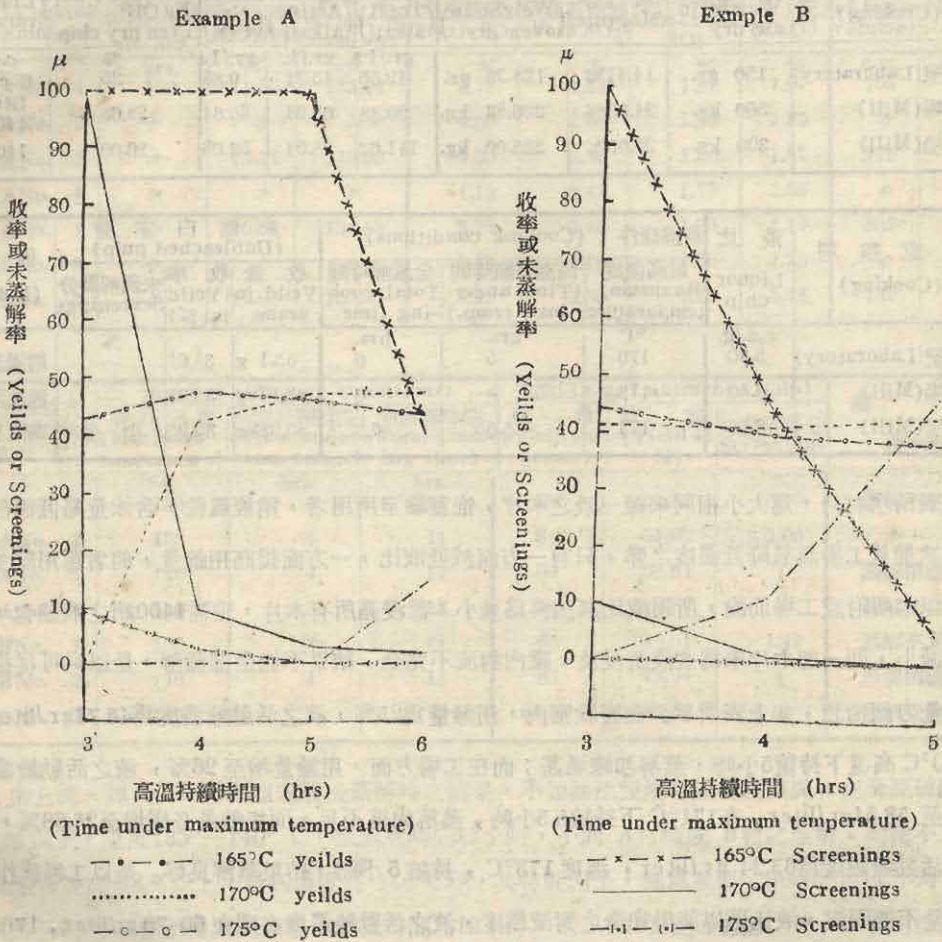
(Cooking number)	Active NaOH 全乾試料	液 量 (Liquor volume)	液 比 (Liquor: Chip)	蒸 煮 條 件 (Cooking conditions)		
				最 高 溫 度 (Maximum temperature)	高 溫 持 續 時 間 (Time under max. time.)	全 蒸 煮 時 間 (Total cooking time)
	%	c.c.	c.c. gr	C	hrs.	hrs.
BNo. 1	20	700.0	5.3	165	3	4
BNo. 2	20	700.0	5.3	165	4	5
BNo. 3	20	700.0	5.3	165	5	6
BNo. 4	20	700.0	5.3	170	3	4
BNo. 5	20	700.0	5.3	170	4	5
BNo. 6	20	700.0	5.3	170	5	6
BNo. 7	20	700.0	5.3	175	3	4
BNo. 8	20	700.0	5.3	175	4	5
BNo. 9	20	700.0	5.3	175	5	6
ANo. 10	20	688.7	5.3	165	6	7
ANo. 11	20	688.7	5.3	170	3	4
ANo. 12	20	688.7	5.3	170	4	5
ANo. 13	20	688.7	5.3	170	5	6
ANo. 14	20	688.7	5.3	170	6	7
ANo. 15	20	688.7	5.3	175	3	4
ANo. 16	20	688.7	5.3	175	4	5
ANo. 17	20	688.7	5.3	175	5	6
ANo. 18	20	688.7	5.3	175	6	7
ANo. 19	25	688.7	5.3	165	5	6
ANo. 20	25	688.7	5.3	170	4	5
ANo. 21	25	688.7	5.3	175	3	4

(Cooking number)	未漂白木漿 (Unbleached pulp)			備考 (Notes)
	收量 (yeild in grams)	收率 (yeild in percentage)	未蒸解部分 (Screenings)	
	grs	%	%	
BNo. 1	—	—	—	不大蒸
BNo. 2	16	11.86	45.96	部解
BNo. 3	64	47.45	5.14	分未蒸
FNo. 4	57	42.26	9.63	解不
BNo. 5	56	41.63	1.49	解稍嫌
BNo. 6	58	43.12	—	解稍嫌
BNo. 7	60	44.60	0.59	蒸解稍
BNo. 8	55	40.89	0.52	解稍嫌
BNo. 9	53	39.40	—	解稍嫌
ANo. 10	19	14.27	39.81	大不蒸
ANo. 11	—	—	—	部解
ANo. 12	56	42.13	9.76	分未蒸
ANc. 13	63	47.37	2.63	解不
ANo. 14	63	47.31	1.87	解不
ANo. 15	58	46.56	9.01	解不
ANo. 16	62	46.56	2.63	解不
ANo. 17	62	46.56	—	解不
ANo. 18	58	43.56	—	蒸解稍嫌
ANo. 19	62	46.56	—	蒸解稍嫌
ANo. 20	55	41.31	—	蒸解稍嫌
ANo. 21	53	39.81	—	蒸解稍嫌

B材年齡較小，含脂量低，今以活動鹼量 (Active alkali 以 NaOH 表示) 對全乾木片20%之用鹼量，在不同溫度不同時間下蒸煮，結果如上表：知165°C之高溫下，4或5小時之持續，均不能達到完全蒸解之目的；如溫度為170°C，高溫持續5小時，蒸解最為完全，收率高而木漿品質又佳；及至溫度提高為175°C，則持續三小時亦可使木材完全蒸解，惟所得木漿較為粗劣，以全時間5小時之蒸解，最為適當；至時間再延長至6小時者，蒸解稍嫌過甚，收率反形減少，是以提高溫度之效應比延長時間為甚。以經濟上言，自以提高溫度為合算，故凡與B材相當之馬尾松材，欲用20%之鹼量，應在175°C下持續高溫4小時，或170°C下持續高溫5小時之兩種條件最為適當。至於A材，因其年齡較大，樹脂豐富，如用鹼為20%，則其結果如上表所示，雖在175°C之高溫，持續6小時之久，蒸解尚嫌不足；其他各種配合情形更不待言，其蒸解程度均較B材之相同條件者為差，但其收率則普遍提高。故知一般年齡較大而樹脂豐富之馬尾松材，用鹼量為20%時，無論如何提高溫度延長時間（在合理範圍內），均難達到完全蒸解之目的，勢非提高用鹼量不可。茲再改以25%之用鹼量，在165°C下持續5小時，170°C下持續4小時，及175°C下持續3小時，分別蒸煮，結果均佳，收率如第五表所示。但175°C者，收率較低，蒸解略嫌過甚；至165°C者收率最高，蒸解又稍嫌不足，而以170°C者最合理想。茲將A材B材以20%之用鹼量，在各種溫度各種時間之配合條件下，蒸解之收得率及未蒸解率，圖示其關係如下：

第五圖 馬尾松材製造木漿蒸解因子與收率及未蒸解率之關係

Eig 5. Curves shown the relations of yeilds and screenigns to cooking conditions in the pulping of Chinese pine



由上所述，知馬尾松材驗法製漿各因子之配合，關係收率及木漿性質極為密切，且更依馬尾松材之年齡及含脂量為轉移。是故雖同屬馬尾松材，因其組成之不同，年齡之差異，亦各有其適應之蒸解條件也。

以上所述，乃以實驗室小型蒸煮罐蒸解之結果而論，證諸大規模之工場，或未必相同。吾入熟知實驗室乃以電氣密閉加熱，容積小而溫度均，其蒸解作用全體一致，至若大型蒸煮罐皆以蒸氣直接加熱，此等蒸氣常減低蒸液之濃度，同時溫度全體未必一致，上部或下部之角隅，若交流不及，常有一部分不蒸解之現象。是以同一濃度、同一時間之蒸煮木材，工場必劣於實驗室，觀下表所示即知其然矣。

第六表 馬尾松材在試驗室及工場蒸解比較表

Table 6. The comparison of cooking Chinese pine between laboratory and mill

蒸解類別 (Cooking)	木片 (Chips)			蒸液 (Cooking liquor)			活動鹼 : 全乾試料 Na OH: oven dry chip	液量 (Liquor volume)
	氣乾重 (Weight in air dry)	水分 (Moisture)	全乾重 (Weight in oven dry)	總鹼度 (Total alkali)	活動鹼度 (Active alkali)	碳酸鈉 (Na ₂ CO ₃)		
實驗室(Laboratory)	150 gr.	14.41%	128.39 gr.	gr./l. 49.56	gr./l. 48.71	gr./l. 0.85	% 25	C.C. 658.85
工場(Mill)	300 kg.	24.39%	226.83 kg.	90.88	65.24	25.64	28.68	liter 1400
工場(Mill)	300 kg.	25.00%	225.00 kg.	111.62	58.54	53.08	26.00	1400

蒸解類別 (Cooking)	液比 Liquor : chip	蒸解條件 (Cooking conditions)			未漂白木漿 (Unbleached pulp)			備註 (Notes)
		最高溫度 Maximum temperature	高溫持續時間 (Time under max. temp.)	全蒸解時間 Total cook -ing time	收量 Yield in grams	收率 Yield in (%)	未蒸解部分 Screenings	
實驗室(Laboratory)	C.C./g. 5.80	°C 170	hrs. 5	hrs. 6	53.1 g	33.61	% —	稍過蒸解
工場(Mill)	6.50	173	5	6	88.54kg	34.03	—	適度蒸解
工場(Mill)	6.55	171	5.5	6.5	80.98kg	35.95	少量	蒸解不足

上表所用材料，為大小相同來源一致之木片，惟實驗室所用者，稍經風乾，含水量略低而已。本來欲補救工場蒸氣降低濃度之弊，只有一方面減低液比，一方面提高用鹼量，前者應用頗多限制，以本所附設工場而論，所用液比無法再為減小，蓋浸滿所有木片，定需1400磅之液體也，如強為減小，則一部木片未為蒸液所浸及，罐內對流不完全，結果不能全部蒸解，是以只可從提高用鹼量方面着想，如上表所示。在實驗室內，用鹼量為25%，液之活動鹼濃度為48.71gr./liter，在170°C 高溫下持續5小時，蒸解即嫌過甚；而在工場方面，用鹼量增至26%，液之活動鹼濃度提高至58.54gr./liter，在171°C 下持續5.5小時，蒸解尚感不足，而用鹼量必需增至28.68%，使液之活動鹼濃度為65.24 gr./liter，溫度173°C，持續5小時，結果蒸解良好。是以工場操作，用鹼量不能固定，液比則以能得完全之對流為度，液之活動鹼濃度必須在60-70 gr/liter，170°—173°C 之高溫，持續5小時，必能得到優良之結果。至於濃度溫度之高低，在此範圍內之調節，尚須參酌馬尾松材之年齡組成決定之。

總之，馬尾松材鹼法製漿時，在工場用鹼量在28%左右，較之一般木漿製造之適用樹種，有嫌略高之感；其在鹼法製造成本上，蒸解藥劑之費用較高，似為美中不足。

乙、亞硫酸法(Sulphite Method)製漿試驗：馬尾松材木片亦如鹼法分為A、B兩組，分別蒸解，因受本所附設工場製藥設備效能之限制，同時在臺灣受天候之影響，難得高濃度之酸液，蒸解曲線，不得不採用緩煮法，最初二小時使溫度升至110°C，維持2小時後，再令逐漸升高，在3小時內，升至所欲達到之最高溫度，再繼續維持至蒸解終止。茲列七次蒸解結果如下表：

第七表 馬尾松材亞硫酸法製漿試驗結果

Table 7. The sulphite pulping of Chinese pine wood

蒸煮號次 (Cooking number)	木 片 (Chips)			蒸 煮 液 (Cooking liquor)				液 量 (Liquor volume)	液 比 (Liquor : Chips)
	氣 乾 重 Weight in air dry	水 分 Moisture	全 乾 重 Weight in oven dry	全亞硫酸 Total SO ₂	遊離亞硫酸 (Free SO ₂)	結合亞硫酸 Combined SO ₂	石 灰 (CaO)		
	grs. 150	% 11.25	grs. 133.14	% 3.78	% 1.87	% 1.91	% 1.67	c.c. 705	c.c./gr. 6.1
A No. 1	grs. 150	% 11.25	grs. 133.14	% 3.78	% 1.87	% 1.91	% 1.67	c.c. 705	c.c./gr. 6.1
A No. 2	〃	〃	〃	4.05	2.62	1.43	1.25	〃	〃
A No. 3	〃	13.12	130.32	4.30	2.50	1.80	1.57	775	〃
A No. 4	〃	〃	〃	4.19	2.42	1.77	1.55	〃	〃
B No. 1	〃	10.08	134.88	3.78	2.43	1.30	1.14	807	〃
B No. 2	〃	〃	〃	3.69	2.14	1.55	1.35	〃	〃
B No. 3	〃	12.90	130.65	4.19	2.50	1.69	1.48	789	〃

蒸解號次 (Cooking number)	蒸解條件 (Cooking conditions)			未漂白木漿 (Unbleached pulp)			備 註 (Notes)
	最高溫度 (Maximum temperature)	高溫持續時間 (Time under max. temp.)	全蒸解時間 (Total Cook- ing time)	收 量 (Yield in grams)	收 率 (Yield in %)	未蒸解部分 Screenings	
	°C	hrs.	hrs.		%	%	
A No. 1	135	4	11	69	51.82	0.70	蒸解不足
A No. 2	135	4	11	69	51.07	3.00	〃
A No. 3	140	4	11	65	50.61	1	蒸解稍嫌不足
A No. 4	140	5	12	56	42.97	1	蒸解適度
B No. 1	135	4	11	65	49.01	1.48	蒸解不足
B No. 2	140	4	11	65	48.94	1	蒸解稍嫌不足
B No. 3	140	5	12	61.5	47.07	1	蒸解適度

由上表，知 A、B 材在亞硫酸去蒸解時之結果，不如鹼法製漿有顯著之差異，在全亞硫酸濃度 4% 以下，溫度 135°—140° C，全蒸煮時間 11 小時，不問 A 材抑或 B 材之蒸解，均嫌不足；如全酸度提高至 4% 以上，最高溫度為 140°C 時，其時間因子，極為重要，全時間為 11 小時，雖酸液高至 4.3%，亦不能完全蒸解；但全時間為 12 小時，則以 4.19% 之全酸度，A、B 材均得到適度之蒸解，所得木漿潔白柔軟，收率亦高至 42—47%。一般亞硫酸製漿法所用酸液濃度，均須高至 5%，尤以富含樹脂之松材，前人均以 6% 以上之酸液，始能達到完全蒸解之目的，然在熱帶或亞熱帶地區，亞硫酸製漿受高氣溫之影響，甚難獲得高酸度之蒸煮液，是以蒸煮松材，不能在提高酸液濃度方面着想，應由提高溫度延長時間以補救之，尤以溫度曲線之調節更為重要；在最初溫度升高可略速，迨 110°C 以後，必須降低速度，其達到最高溫度必須延長至 7 小時之久。在實驗室內，以 140°C 之溫度 12 小時之總蒸煮時間，已可獲得良質木漿。在工場酸液濃度相差，溫度亦為 140°C，則時間必須延長至 13 小時，其溫度曲線為最初二小時半升至 100°C，五小時後升至 110°C，七小時升至最高溫度，繼續維持六小時，結果亦達到完全蒸解之目的，不過收率較低，而為 40%，更有甚者，在工場酸液濃度僅用 3.64%，如溫度提高至 145°C，時間延長為 15 小時，

結果亦能完全蒸解，惟收率大為減低，僅在35%左右。故馬尾松材之亞硫酸法蒸解，頗具伸縮性，即在4%以下之低酸度，以延長時間提高溫度，亦可得到良質木漿，與其他木漿製造適用樹種相比較，未見有困難之感。

馬尾松材在木漿製造上論之，鹼法略比其他一般常用樹種為難，而亞硫酸法則反見容易。惟因用高溫度及長時間之關係，木材一部份稍被分解，在收率方面略見減少。在時代演變過程中，木漿製造方法，鹼法漸有被淘汰之勢，雖用曹達收回法可略減少其生產成本，然總比亞硫酸法為不經濟。蓋目前製漿地域已漸由北向南擴充，即在氣候炎熱之熱帶與亞熱帶，亦有設置製漿工廠之必要，惟亞硫酸法頗受限制，同時在交通偏僻之地，大規模工廠無法建築，設備簡單操作容易之鹼法製漿，仍有其存在價值。尤以馬尾松為亞熱帶之鄉土樹種，分佈極廣，在鄉村小市之處，以及氣候極端炎熱之季節，必須應用鹼法以補亞硫酸法之不及。且在其他樹種用鹼法製漿時，成本上認為不經濟，然以馬尾松而論，雖用鹼量略增，却因木材價值便宜，在總生產成本上勢必減低，較之市場上價格，或稍低廉，未始無利可圖，故在經濟立場上，亦有利用為製漿原料之價值也。至馬尾松材亞硫酸製漿之性質，更有意義，蓋其能用低濃度達到完全蒸解之目的，在熱帶亞熱帶之地區，洵稱理想之製漿材料。

七、木漿性質之檢定與比較

Analysis of Pulp and Comparison of Properties between Different Pulping Process

上節應用鹼法及亞硫酸法製得木漿，其性質如何，能否適合於製紙或人造絹絲，必須加以分析與檢定，方能執此以評論馬尾松材之製漿價值。木漿分析方法與木材相同，氯素消費量之測定，係將10克之全乾木漿，加有效氯素為5%之漂白粉液 30c.c. 或 40c.c. (蒸解不足者為40c.c.)，再加水 220c.c. 或 210c.c.，使成4%之木漿容液，置於40°C下攪拌之，約半小時後，取出過濾洗條；濾液與洗液以 $\frac{1}{10}$ N之 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液商定其剩餘之有效氯素，再以1%亞硫酸水、冷水、次第洗條木漿，乾燥後再加10c.c.之漂白粉液，如前操作，直至得到純白木漿為止，計算實際所消耗之有效氯素佔供試木漿重之百分率，並算出漂白木漿之收得率。關於鹼法製漿，凡二十一次蒸解，其中除B1、B2、A10、A11四次不蒸解外，其餘各次所得木漿，可依其蒸解程度，分為十級，其在六級以下者，未能稱為木漿，尙有研究價值；僅選擇一二種加以分析，略示其演變大概而已。茲將各級所屬蒸解號次，及其木漿品質分析結果，列如下表：

第八表 馬尾松材鹼法製得木漿之品質表

Table 8. The properties of soda pulp from Chinese pine wood

級別 (class)	蒸解號次 cooking number	水分 moisture	灰分 (ash)	醇苯混合液抽出物 alcohol: benzene extract	戊醣 pentosan	抽出試料中 (in extract example)			
						木質 (lignin)	全纖維素 T. cellulose	α纖維素 α. cellulose	β+γ纖維素 β+γ cellulose
		%	%	%	%	%	%	%	%
1	ANo.21	8.40	0.74	0.60	6.15	2.79	95.25	81.87	13.33
2	BNo.9	10.08	0.68	0.67	6.62	3.39	94.56	80.59	13.97
3	ANo.20	9.23	0.71	0.54	5.91	3.72	92.34	72.25	20.09
4	BNo.6	9.41	0.79	0.78	6.89	5.26	92.39	79.62	12.77
5	BNo.8	9.46	0.67	0.41	7.12	4.71	92.63	71.91	20.12
6	ANo.19	9.13	0.98	0.52	8.28	8.49	87.48	71.10	16.38
7	ANo.18 BNo.7	9.51	0.76	—	7.39	—	—	—	—
8	ANo.17 BNo.5	9.77	0.79	0.62	6.71	8.47	86.74	71.75	14.99
9	ANo.16 BNo.4	9.79	0.85	—	7.31	—	—	—	—
10	ANo.12	10.67	1.07	0.73	8.48	14.11	81.68	68.14	13.54

級別 (class)	蒸解號次 cooking number	全纖維素中 (in T. cellulose)		氯素消費量 chlorine consumption	漂白木漿收率 yield of bleached pulp		備註 Notes
		α纖維素 (α. cellulose)	β+γ纖維素 β+γ cellulose		對原木漿 (in pulp)	對原木材 (in wood)	
		%	%	%	%	%	
1	ANo.21	85.95	14.05	10.03	95.41	37.98	
2	BNo.9	85.22	14.75	13.45	95.14	37.49	
3	ANo.20	78.25	21.75	13.12	92.76	38.32	
4	BNo.6	86.59	13.41	16.87	93.37	40.26	
5	BNo.8	77.62	22.48	17.99	92.06	37.64	
6	AN.19	81.29	18.71	19.82	87.26	40.63	
7	ANo.18 BNo.7	—	—	20.19	90.96	40.09	
8	ANo.17 BNo.5	82.71	17.29	23.24	89.59	40.34	
9	ANo.16 BNo.4	—	—	29.79	85.59	37.83	BNo.3, ANo.14, 15
10	ANo.12	83.44	16.56	33.23	82.74	34.86	ANo.13.

由上表知第一級之木漿，乃以25%用鹼，175°C 高溫持續3小時，蒸煮A材所得者，纖維素含量最高，木質含量最低，漂白時，氯素消耗耗亦少。漂白木漿收得率以佔未漂白木漿之百分率而論，雖為最高，如換算為佔原木之百分率，則並不如此，即第三級第四級及第六級反比第一級高，但第三級漂白時，氯素消費量均甚高，殊不經濟。是以在工場操作，以稍過蒸解為得當，雖在收率上略有損失，而在漂白成本上，費用較為節省，其漂白木漿佔未漂白木漿之收率甚高，實際上漂白木漿佔原木之百分率相差不多，且其戊醣及木質含量低，纖維素含量高，在木漿品質上言之，亦為得計。是故馬尾松材之鹼法製造木漿，蒸解時稍為提高用鹼量及溫度，或延長時間，使蒸解稍形過度，其在費用上收率上雖稍有損失，然其製得木漿品質反較優良，實際上亦較為有利。

也，上表詳示木漿之各種成分及性質與蒸解程度關係至密，以水分論，蒸解較甚者略有減低之傾向；灰分則無定規；醇棗混合液抽出物似與蒸解時間有關，長時間蒸解所得木漿，其醇棗抽出物均較低；木質含量則與蒸解程度成極有規則之比例，蒸解愈甚，木質含量愈少，反之蒸解不足者，木質含量反漸增；至全纖維素含量恰與木質相反，而 α 纖維素（佔全纖維素之百分率）則以第四級為最佳；如以佔木漿之百分率言，仍依蒸解程度成比例，氯素消耗量則亦依蒸解之程度而漸變，第一級最少，以後漸增，尤以第十級為最多。

馬尾松鹼法製得木漿，以第一級至第六級各種方法之結果而論，在人造絹絲工業上，尙嫌不夠標準，此不特木質、戊醣及灰分諸成分過高， α 纖維素含量過低，即在消耗費上言之，亦殊不經濟，是以馬尾松材之以鹼法製漿，僅可供製紙之用。

馬尾松材亞硫酸法製得木漿，依第七表所載各種方法，結果僅 ANo. 4 與 BNo. 3 兩次完全蒸解，茲將該兩次所得木漿，分析如下表。

第九表 馬尾松材亞硫酸法製得木漿之品質表
Table 9. The properties of sulphite pulp from Chinese pine wood

試料 (example)	水分 (mois- ture)	灰分 (ash)	醇棗混合液抽出物 (alcohol: ben- zene extract)	戊醣 (pento- san)	抽出物試料中 (in extract example)			
					木質 (lignin)	全纖維素 (T. cellulose)	α 纖維素 (α . cellulose)	$\beta + \gamma$ 纖維素 ($\beta + \gamma$ cellulose)
	%	%	%	%	%	%	%	%
ANo.4	7.85	0.22	0.63	4.65	0.10	97.88	84.90	12.98
BNo.3	8.93	0.36	0.58	4.97	0.43	96.80	81.64	15.27

試料 (example)	全纖維素中 (in T. cellulose)		氯素消耗量 (chlorine consumption)	漂白木漿收率 (yield of bleached pulp)	
	α 纖維素 (α . cellulose)	$\beta + \gamma$ 纖維素 ($\beta + \gamma$ cellulose)		對原木漿 (in pulp)	對原木材 (in wood)
	%	%	%	%	
ANo.4	86.78	13.22	3.69	96.79	41.59
BNo.8	84.23	15.77	5.44	96.54	45.44

上表所示，馬尾松材亞硫酸法製得木漿之品質，遠較鹼法為優，水分、灰分、醇棗混合液抽出物、戊醣、木質諸成分均較低，全纖維素與 α 纖維素較高，漂白時氯素消費量較少，漂白木漿收得率亦較高，似此種種，無一不以亞硫酸法為佳。然與供製人造絹絲之標準(*14)相較，尙有數項不合理想，即灰分不在0.2%以下， α 纖維素未達88%以上；然灰分相差極微， α 纖維素可再以NaOH 溶液之處理，以提高其百分率，即可充為人造絹絲之材料。

總之，馬尾松材亞硫酸法蒸解所得木漿，遠較鹼法為佳，在成本上亦較低廉，其製成品同時可供製紙與人造絹絲之用，其前途應比鹼法較有發展之希望也。

八、結 論 Conclusions

馬尾松在我國長江以南各省，分佈極廣，蓄積豐富，材價低廉，通常僅供薪材或水中建築之用，如能應用為木漿製造原料，將來誠有無限之發展。本文研究結果，獲知其纖維形態、長度、寬

度，均較雲杉冷杉為大，其長寬度之比值亦較雲杉冷杉為高，是以馬尾松材之纖維，因較雲杉冷杉粗而且長，長寬度之比隨之增大，以致其製漿價值，並不低於雲杉冷杉，且馬尾松材因其年齡材別攸殊，故其纖維長寬度亦有顯著之差異。以纖維長度論，三十年生以前，逐漸隨年齡而加長，三十年生以後，雖稍有出入，然其差異並不顯著；不問在何種年齡，春材纖維均較同年生之秋材纖維為短而粗。以纖維寬度言，幼年亦隨年齡而漸增，至直徑生長最大之齡階(15年生左右)始達最高峰，爾後又逐漸縮小，其差異均極顯著，但無一定之趨勢，似係取決於氣候因子。以纖維長寬度之比而言，幼年甚小，逐年漸增，至二十年以後，乃不相上下，是以馬尾松材之供為製造木漿者，應採取三十年生左右之輪伐期為最宜。至馬尾松材之成分，亦頗具製漿價值，在纖維素、戊糖、木質諸成分上言之，均不比冷杉雲杉為差，其最大缺點，乃在於樹脂含量過多耳。但觀馬尾松材醇液混合液抽出物含量之平均值，雖高於冷杉雲杉，而其標準變差極大，即表示馬尾松材樹脂含量，因樹體不同，其變異性極大；在其集團中亦可選出樹脂含量較低之樹體，以供木漿製造之用。此種選法，或從年齡、立地、採脂處理等各方面着手，容俟另題研究，本文恕不細述。總之，馬尾松材只要選擇適當，其製漿價值亦不較冷杉雲杉為低，甚至有更勝一籌之可能。

關於木漿之製造，以鹼法而論，用鹼量須視木材之組成而定，在年齡小含脂少之馬尾松材，20%之用鹼即足，而以170°C之高溫持續5小時，或175°C之高溫持續4小時最為適當；至於年齡較大富含樹脂者，用鹼量必須提高至25%，以170°C高溫持續四小時，175°C之高溫持續三小時，或165°C之高溫持續五小時，均能使馬尾松材完全蒸解。但在工場操作，結果並不如上述之易，更需增加用鹼量至23%左右，方可得到良質之木漿。是以馬尾松材之鹼法製漿，藥劑消耗量，較其他適用樹種為高。至用亞硫酸法製漿，木材年齡成分不同，結果鮮有差別，實驗室與工場亦僅在時間上調節，即可得到相同之結果，無需如鹼法之必須提高濃度也。其尤奇者，在工場用4%總酸度之亞硫酸液，只需延長時間15小時，提高溫度至145°C，亦可使木材完全蒸解。此種性質，在亞熱帶與熱帶地區極為有利；蓋因是等區域，氣溫甚高，如無特別冷凍裝置，亞硫酸濃度不易提高，今馬尾松材能以低濃度而得到完全蒸解，更增加其木漿製造之價值不少，故在木漿製造上言，亞硫酸法實較鹼法為經濟；至製得木漿之性質而論，鹼法亦比亞硫酸法稍遜，無論在灰分、戊糖、全纖維素、α纖維素、木質、漂白性等觀點論之，均以亞硫酸法製得者為優；如稍經特別處理之後，即可供作人造絹絲之原料也。

九、英文摘要 English Summary

It is well known that the wood thus spruces and firs are very good for pulping. They thrive, nevertheless, limited only to the northern parts of the globe and on the highland in the other. Its yeild, however, is so little that it could not be supplied all the demand of pulping industry. Besides, the pulping industry has been developed from the north to the suoth in tne Northhemisphere. The pines, distributing everywhere,

勘 誤 表

頁	行	字	誤	正
3	16	26	織	織
4	25	18 字 右	因子之影響纖維	因子影響之屬雜
5	上表內 7	第 四 欄	2,64	2,94
5	上表內 14	第 六 欄	±0,45	±0,54
5	上表內 19	第 六 欄	4,81±	4,51±
5	下表內 13	第 四 欄	48,1	42,1
5	下表內 18	第 四 欄	36,1	39,1
6	算式 3		$t = \frac{X_2 - X_1}{SX}$	$t = \frac{X_2 - X_1}{SX}$
10	16	1	溶 呈	呈
10	17	13	加 之	加
10	17	Hcl 右	於)於
11	下表內 7	第 六 欄	Cellulose $\sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N-1}}$	Cellulose $\sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N-1}}$
11	倒 7	第 一 欄	別 屬	屬 別
12	下表內 10	第 四 欄	135,52	134,52
13	上表內 22	第 四 欄	(脫 漏)	133,14
14	上表內 3	第二、第三欄	yeild	yield
14	上表內 14	第 三 欄	47,37	47,31
14	表 下 7	或 字 右	170°	1,0°C
15	2	1	Eig.	Fig.
15	2	8	yeild	yield
15	左圖及右圖上		μ	%
15	左圖及右圖左側		yeilds	yields
15	左 圖 下	3, 4, 5	yeilds	yields
16	下表內 4	第六、第七欄	yeild	yield
16	倒 4	4	硫	(刪)
17	土表內 2	第 三 欄	11,25	11,24
17	上表內 2	第 九 欄	705	795
17	上表內 8	第 九 欄	789	779
17	下表內 3	第 五 欄	69	68
17	下表內 6	第 五 欄	65	67
17	下表內 7	第 五 欄	65	66
17	表 下 1	12	去	法
19	上表內 3	第 七 欄	3,39	3,59
19	下表內 6	第 二 欄	AN.	ANo.
19	下表內 6	第 三 欄	77,62	77,52
19	表 下 2	16	量 耗	耗 量
20	8	27 右	(脫 漏)	氣 素
20	10	倒 9	與	與
20	上表內 3	第 八 欄	81,64	81,54
20	下表內 2	第 一 欄	BNo.8	BNo.3
20	表 下 4	第 一 欄	02%	0,2%
21	7	18 字 右	(脫 漏)	五
21	倒 3	6	yeild	yield
22	17	10	yeild	yield