

# 纖維植物×造紙

◎林業試驗所木材纖維組·葉若馨 (zoeyeh@tfri.gov.tw)、徐健國

## 天然植物纖維

人類很早就懂得利用植物纖維，早期採集野外的植物，利用簡單的剝取，捶打做為繩索、編織用途，而後發展出浸泡、蒸煮等更多提取纖維方式，同時在不同的區域的使用及價值發展出不同種纖維植物的農業栽培。隨著紡織及造紙工藝的發展，植物纖維的使用愈發成熟，牽連出人類文明躍進的重要里程。

天然纖維在工業上的利用可分為兩大類，長而柔韌的用於紡織工業，如動物的絲、毛，植物的棉、麻等，纖維短而性脆者用於造紙。紡織是將纖維經過紡紗編織的過程而成型，對纖維長度、強度的要求較高；而紙張的生產是將纖維均勻的分布後壓製成型，強度除了來自纖維本身的強度，更多是來纖維與纖維之間產生的氫鍵連結。紙張對耐久性與強度的要求是不及紡織品，因此價格亦相對較低。在近代化學製漿技術廣泛採用以前，造紙纖維多由樹皮、麻類、禾本科等非木纖維中取得，利用草木灰或鹼分離出纖維。硫酸鹽製漿法使木材製漿成為紙漿生產的重大變革，因而能藉大量林木伐採而源源不斷地供應紙類用品，演變為截然不同的植物纖維利用途徑。

因應學科分化的結果，纖維已是材料科學的重要題材。從林業科學的角度，多專注於紙張的開發與非木材林產物的應用等議題，本文即從傳統紙的原材料、臺灣現有樹種的非木纖維利用做一綜論，期能對林木全材利用、農林廢物再利用及環境友善的製漿技法等提供一個可參考的途徑。

## 植物纖維形態測定及形態指標

誠如前述，纖維作物的使用已是先民累積千百代智慧所傳承的技藝。在傳統領域耕耘的過程中，創新是無法迴避的課題。當我們探討現代天然纖維複合材料的研究課題，仍需了解植物的來源和生產，植物纖維的含量(製漿率)，植物纖維的密度、長度、寬度、纖維壁厚、細胞腔直徑等纖維形態，以及纖維素、半纖維素、木質素、灰分含量等化學性質，相關的基礎資料及檢測方法已奠基於傳統造紙工藝纖維原料的研究。

纖維是一種植物細胞，是大自然所設計的複合材料，纖維主要是由結晶的纖維素微纖維，和無定形的木質素和半纖維素基質強化而成，部分加上少許的果膠質和蠟質，任何植物纖維的主要成分是纖維素，纖維素是天然的均質高分子聚合物(homopolymer)，即多醣體，以D-葡萄糖以 $\beta$ -(1→4)糖苷鍵連結，木質素和其他非纖維素的成分的存在，使得纖維改變為不同的特性。

纖維的橫斷面的中央部分幾乎有一中空內腔，可增進液體吸收能力，賦予保溫性、絕緣性和良好韌性，因依植物種類及採摘部位的不同，具有差異極大的纖維特性。例如棉花、木棉等是採摘自種子，亞麻、苧麻、大麻、黃麻等是取自韌皮部位，馬尼拉麻使用葉脈纖維，椰子則取用果殼纖維；成熟的棉纖維橫斷面呈腰果形，壁厚且內腔明顯，麻纖維一般較棉纖維粗硬且長，斷面呈多角形。

纖維的長度測定，一般可用顯微投影儀

進行，纖維寬度、細胞腔直徑、細胞壁厚度測定則在光學顯微鏡下進行，由於纖維大小不均一，測定結果常以最大值、最小值、平均值及頻率分布來表示，苧麻的平均纖維長度最長，可達120 mm，亞麻、大麻、棉花、木棉、構樹皮次之，則在10~35 mm，荻麻(*Crotalaria juncea*)、馬尼拉麻蕉(*Musa textilis*)、麻槿(*Hibiscus cannabinus*)則在5~10 mm，纖維平均寬度亦以苧麻50  $\mu\text{m}$ 最寬，構樹皮、荻麻、大麻則在25~30  $\mu\text{m}$ ，馬尼拉麻蕉、麻槿、黃麻、瓊麻、棉花在20~25  $\mu\text{m}$ 。纖維長度和纖維寬度的比值稱為長寬比，一般認為，長寬比大的纖維，成紙時單位面積中纖維之間相互交織的次數多，纖維分布細密，成紙强度高，尤其是撕裂度、裂斷長、耐折度等強度。纖維的細胞壁厚度和細胞腔直徑的比值稱為壁腔比，用來表示纖維的柔軟度，同樣會影響成紙的強度，壁腔比小的纖維，成紙時纖維間的接觸面積較大，結合力強，對頂破力的強度最為顯著。

纖維素本身是親水性的，所以纖維會因吸溼而膨脹，導致重量、尺寸的變化，並影響強度和剛挺度。由於石化工業的進展，現在我們可接觸到的不只天然纖維，更大量的是人工合成纖維。植物纖維不如合成纖維耐用，會因光照而老化，在高溫高溼的環境易受黴菌侵害，卻正因此種生物降解性，對環境沒有傷害，是可再生的資源，還可解決農業廢棄物的問題。由於天然纖維具有低密度、更高的比強度(specific strength)和比模量(specific modulus)等特性，價格也更為低廉。這些特質促使複合纖維材料更快速地發展，如奈米纖維的開發，使得天然纖維複合材料的研發與應用愈來愈受到重視。

## 傳統造紙原料纖維

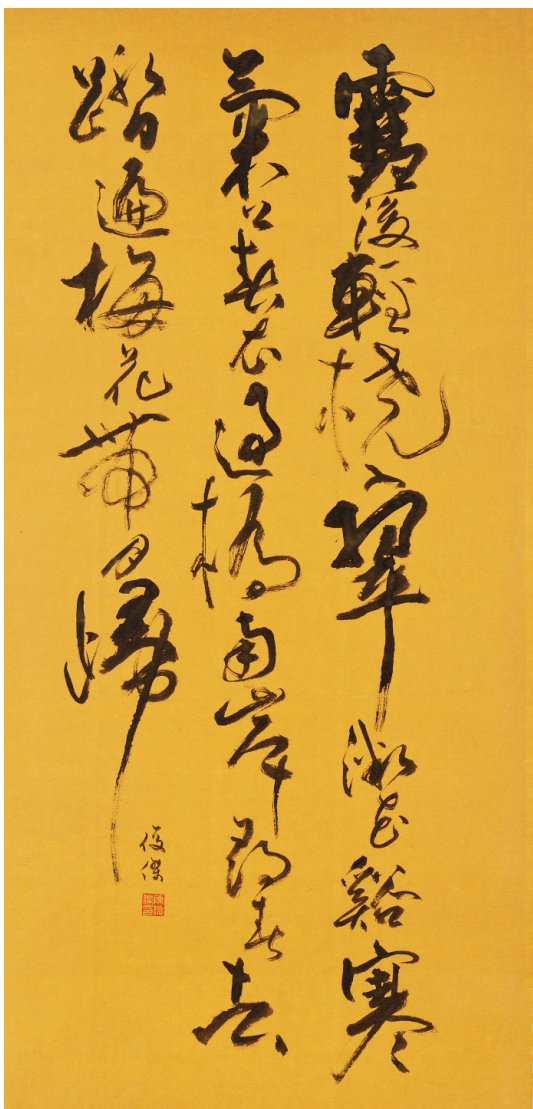
自古至今，手工造紙原料主要有麻、皮、藤、竹、草五大類，即所謂的非木材纖維原料。麻為最早用於造紙之材料，雖然史料記載兩漢造紙主要原料為麻及樹皮，但迄今未有漢代皮紙出土者，從晉、南北朝後才漸有發現樹皮紙。樹皮至今依然是手工紙的主要材料。藤紙始於晉盛於唐而沒於宋。竹紙始於唐盛於宋。由宋元至明清，竹紙始終居於領導地位。草紙至遲於唐代出現，草料可與樹皮搭配使用。以下針對常見的手工紙原料及紙張特性做一簡單的介紹。

### 麻

麻類是最早用造紙之原料，漢代發明紙以來一直到宋代，其使用量一直居領導地位。近代出土之古紙殘片及敦煌石室藏經紙多為麻紙。麻雖為非常好之造紙原料，但由於料源較少，除少數特殊紙外，甚少使用麻紙。除大麻、苧麻外，尚有亞麻、黃麻、麻



各種手工造紙原料纖維(由左至右：麻、樹皮、竹、藤)。(徐健國攝)



寫於硬黃紙的書法作品。(徐健國攝)

檜、馬尼拉麻蕉等皆可供抄造高級紙張。目前臺灣使用的麻多為自菲律賓進口之馬尼拉麻，適用於製造強韌之紙張或與其它漿料混合使用，因為纖維較粗，所以抄出的紙張書寫時墨色飽和度較弱。我國古代硬黃紙即是以麻纖維抄製成的紙張。

## 構樹及楮

構樹(*Broussonetia papyrifera*)及楮(*Broussonetia kasinoki*)屬桑科陽性樹種，從日本、韓國、大陸、臺灣至太平洋諸島皆有分布。臺灣俗稱「鹿仔樹」。日本為使用楮皮最多的國家。一般常將楮及構樹視為同一種。構樹皮纖維特別長，可製成非常強韌之紙張。目前臺灣市售棉紙即是以構樹皮纖維為主要的原料，稱「棉紙」乃因其紙張撕開如棉絲且潔白柔軟如棉，與棉花無關。棉紙紙質堅韌，紙面較粗糙，披皺技法者可用。筆筆之間不易看出墨痕，惟紙張孔隙較大，筆墨線條飽和度較弱，有透明感，線條層次不明顯。

## 三桠

三桠(*Edgeworthia papyrifera*)屬瑞香科植物，其枝條分叉處大都為三叉，故名三桠。產中國、日本一帶，其纖維細密而強韌，與雁皮相近，但木質素含量較少，光照較不易變黃，皮內含蠟質，鹼煮後不能完全去除，故有特殊光澤且不易被蟲蛀，為一不錯的造紙原料。三桠在日本也作為鈔票紙原料，臺灣較少用於抄製手工紙。

## 雁皮

雁皮(*Wikstroemia sikokiana*)為蕘花屬或稱雁皮屬植物(*Wikstroemia* spp.)，與三桠一樣皆為瑞香科植物，葉對生排列如雁行，故名。產日本、中國南部、臺灣及太平洋諸島，多為野生，臺灣皆自菲律賓進口。臺灣南嶺蕘花的臺語叫做「賊仔褲帶」有其典故。南嶺蕘花根皮含黃酮苷-南蕘素(*Wikstroemin*)，



雁皮宣印稿。(印稿釋文：執子之手與子偕老，徐健國 攝)

味苦、微辛，寒，有毒。全草有清熱利尿、殺蟲破積、逐水通瘀之效；它也具有良好的治療跌打損傷作用。早期臺灣醫藥不發達時，小偷總是拿它充當褲帶；如果行竊失敗而被毒打後，可用此藥服治。因此臺灣民間習慣稱它為「賊仔褲帶」。臺灣雁皮宣係以純雁皮製成的薄皮紙，因雁皮纖維細長，所製紙張薄勻韌透且有光澤，適於篆刻印譜及邊款搨印或小型搨片使用。而臺灣宣紙是以雁皮纖維為主要原料，並添加稻草漿及竹漿，改善其吸墨性，增加墨韻。

## 桑皮

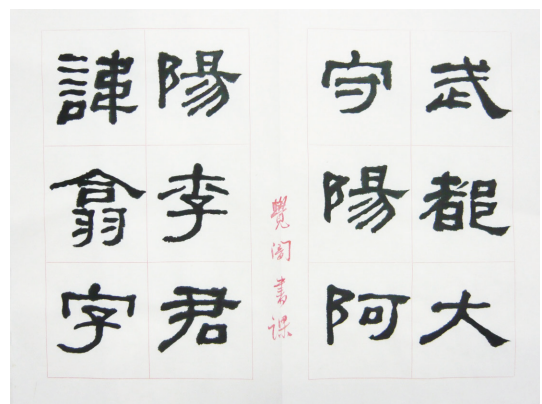
桑樹(*Morus australis Poir*)與構樹同屬桑科植物，樹皮纖維與構樹相近，為高級手工紙原料。桑皮纖維素含量高，木質素含量低。現今常見之溫州皮紙即為桑皮為主要原料，其纖維長，紙張強韌，性質類似棉紙或楮皮紙，惟孔隙多，筆墨線條飽和度較差有透明感，層次變化較不明顯。

## 竹

竹生長於溫暖多濕的地區，臺灣、大陸及東南亞各地多見，雖竹紙之發展較晚，但由於生長快，資源豐富，竹紙之發展頗為迅速。由宋元一直到明清，竹紙始終居於領導地位。與其他資源相較，竹子所含木質素高，細胞組織緊密，無法於常壓下蒸煮成漿，故紙廠泰半自外購入竹漿或毛邊紙類再處理利用。在古代無高壓蒸煮設備，故採用嫩竹，以長時間分級蒸煮成漿。竹紙易吸墨，常用來當書畫練習紙之原料。傳統用於製紙的竹種以孟宗竹居多。

## 具潛力的臺灣纖維植物

臺灣傳統造紙技藝主要延襲自日本。日治時期，治臺日人發現埔里的水質純淨，適合製造高級的「日本和紙」。西元1935年，由日人橫溝大藏，在烏牛欄橋下（今埔里愛蘭橋）搭建工寮試驗造紙，但這個紙寮未及生產隨即被溪水沖毀，1937年橫溝仍在原地重建木造廠房紙寮，開始訓練造紙人員，當時沿襲



毛邊紙上的書法。(作者：江育民，徐健國 攝)

表1 臺灣韌皮纖維植物

中名	學名	科名	別名
桑科			
構樹	<i>Broussonetia papyrifera</i>	桑科	鹿仔草、楮樹、奶樹紙木、穀漿樹
日本楮樹	<i>B. kazinoki</i>	桑科	小構樹、葡蟠、女穀
白榕	<i>Ficus benjamina</i>	桑科	白榕、小葉榕
牛乳榕	<i>F. erecta</i> var. <i>beeheyana</i>	桑科	鹿飯、三翅、天仙果、大丁黃、牛乳房
錦葵科			
黃麻*	<i>Corchorus capsularis</i>	錦葵科椴樹亞科	榮麻、圓果黃麻
洋麻*	<i>Hibiscus cannabinus</i>	錦葵科錦葵亞科	鐘麻、紅麻
芙蓉	<i>H. mutabilis</i>	錦葵科錦葵亞科	木芙蓉、木蓮
木槿*	<i>H. syriacus</i>	錦葵科錦葵亞科	水錦花、朝開暮落花
山芙蓉	<i>H. taiwanensis</i>	錦葵科錦葵亞科	狗頭芙蓉
黃槿	<i>H. tiliaceus</i>	錦葵科錦葵亞科	河麻、朴子、鹽水面頭果、粿葉
梧桐*	<i>Firmiana simplex</i>	錦葵科梧桐亞科	青桐、耳桐、櫨皮
克蘭樹	<i>Kleinhovia hospita</i>	錦葵科梧桐亞科	面頭粿
野路葵	<i>Melochia corchorifolia</i>	錦葵科梧桐亞科	燈仔草
其他			
水麻	<i>Debregeasia edulis</i>	蕁麻科	柳莓、小號山油麻
山黃麻	<i>Trema orientalis</i>	榆科	麻布樹、山油麻
血桐	<i>Macaranga tanarius</i>	大戟科	大冇樹、橙桐、橙欄
破布子*	<i>Cordia dichotoma</i>	紫草科	樹子仔、破布木
羊角藤	<i>Gymnema alterniflorum</i>	茜草科	武靴藤

整理自葉茂生1998山地特用植物資源及其利用，\*表示栽培種

日本人的造紙方法，所以仍舊使用構樹皮來當作主原料，前來臺灣的日本人中有專精美濃和紙製作的匠師，由此改良自中國的日式造紙術開始傳入了埔里。目前埔里仍延用和紙製作的技術生產宣紙、棉紙等書畫用紙。宣紙原指出產於安徽省宣城涇縣的紙，並使用當地的原料青檀，但在埔里檀皮取得不易，所以現在幾乎都以纖維較細的雁皮做主漿料，並配以竹漿和稻草漿。而棉紙，取其質地潔白柔軟如棉花為名，原料中並沒有使用棉花，一般的原料以雁皮、構樹皮、三桠為主。

除了構樹為臺灣原生的植物，雁皮、三桠則延襲日本所使用造紙原料，臺灣是否有其他植物的樹皮可做為生產手工紙的原料？影響適於手工造紙的材料有幾個因素：取得容易、易處理、不需太多或太難工藝技術及成本低廉。早期由於無高溫高壓的製漿技術，因此手工造紙原料多以易解纖的植物部位為主，根據葉茂生在1998年所提出的「山地特用植物資源及其利用」一文中，共整理了41種纖維植物，其中包括16種利用莖桿纖維，6種利用葉或葉鞘纖維，1種利用果實纖維，18種利用樹皮或韌皮纖維。由表1所整理的韌皮纖維植物可發現一件事，除了和構樹、楮樹一樣的桑科植物外，錦葵科植物的纖維利用也是值得注意。

進一步利用植物纖維形態測定加以驗證，構樹的纖維長度為6.14 mm，寬度為16.8  $\mu\text{m}$ ，與文獻一致，有明顯的微壓紋(microcompression)。同為桑科的牛乳榕纖維長度為4.57 mm，寬度15.0  $\mu\text{m}$ ，略低於構樹，同樣有明顯的微壓紋。錦葵科的纖維長度明顯較構樹短，其中黃槿的纖維長度最長

為2.24 mm，最短的木槿只有0.90 mm，纖維寬度則接近構樹，芙蓉、木槿的胞腔直徑大。山黃麻纖維長度為5.35 mm，血桐纖維長度為6.45 mm，不遜於構樹，然而纖維的寬度分別為27.5  $\mu\text{m}$ 、24.8  $\mu\text{m}$ ，遠高於構樹，主要是因為胞腔直徑大。破布子和錦葵科纖維類似，纖維長度只有1.63 mm，遠不及構樹。至於各樹種的前處理、製漿收率、紙張性質的效果，仍待後續一一進行製漿抄紙實驗。

## 從傳統中創新

利用植物纖維滿足人類的吃穿用度，構築出人類的文明發展。在資本主義將物質生產過程與消費者隔離開來以前，紙類的生產，是可以在農村、利用非木材的樹皮或其他部位進行農林廢棄物的循環利用。相較於當代大型紙廠以木材製漿，造成的森林砍伐與製程中的環境污染問題，傳統手工紙的復興，可做為植物多元利用、山村產業以及特色化商品開發的一個選項。

近五十年來，臺灣學界與民間已開發諸如鳳梨紙、稻草紙、蕉絲紙、咖啡紙、象糞紙、茭白筍殼紙等，乃至入侵植物小花蔓澤蘭均可造紙，足見手工抄紙可運用的材料多元性，更可結合循環經濟與入侵種防治等環保議題。未來，可利用傳統的製漿造紙工藝及各種紙張加工技術，將紙的應用朝向以復古為創新的材料運用，用更環境友善的小農生產技術，豐富我們的未來生活。♻️