

桂竹稈基本性質及強度初探

李志璇¹、塗三賢¹、林振榮¹

可再生性竹資源

竹子在分類上屬禾本科，依其外型可分為鬚根、地下莖、稈、枝、葉、箨等部分，竹稈堅韌直立且富含木質纖維，為竹子最具經濟價值之部分，依竹皮至竹肉內側其維管束與維管束鞘均為竹材之特有特徵。臺灣為竹材資源豐富的國家，分布從低海拔到海拔3,000 m以上的高嶺地區亦有竹林分布，而臺灣常見的主要經濟竹種有孟宗竹、桂竹、刺竹、長枝竹、麻竹、綠竹等六類，且竹林生長與更新(3~5年成熟期)遠較林木所需時間短，

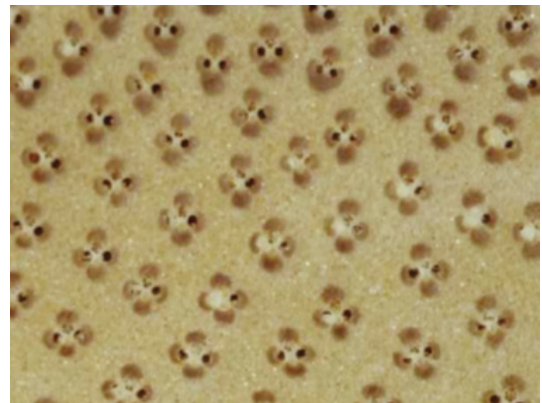


臺灣竹林分布廣泛及竹材資源豐富。(李志璇 攝)

是值得開發的生物循環資材。過去竹子多以竹片為主要利用資材元素，若以竹稈作為利用對象，不但利用率較高，並可減少加工生產過程，且具有竹稈意向獨特性價值，例如竹稈特色建築受到全世界矚目，但是對竹稈性質資訊較為缺乏，本報告擬以桂竹稈作為循環資材，提供物理化學性質作為應用參考。

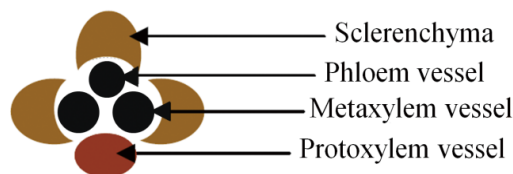
竹稈組織特性

竹稈是由維管束(Vascular bundle)、纖維細胞(Fiber cell)與薄壁細胞(Parenchyma)組成之中空含節之柱體，下圖為竹稈纖維內維管束組織示意圖，韌皮部導管(Phloem vessel)主要功能為運輸竹稈中的糖(Sugars)及營養物質(Nutrients)，初生木質部導管(Protoxylem vessel)及後生木質部導管(Metaxylem vessel)則負責水分的運送，而在厚壁纖維鞘(Sclerenchyma)主要功能為支持。



竹材橫斷面圖例。(李志璇 攝)

¹ 林業試驗所·森林利用組



竹材纖維內維管束組織示意圖。

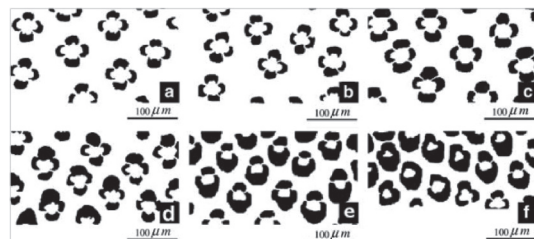
竹稈在使用上會因其組織結構的差異直接影響竹稈之機械性質，如竹纖維內外側密度分布的差異，或垂直、平行位置等而造成不同的利用效果。舉例來說，竹稈縱向強度主要是依賴維管束中纖維的排列方式與密度，每一個維管束周圍環繞四個纖維鞘，其中包含韌皮部、一個初生木質部導管及兩個後生木質部導管。在纖維鞘中最大的細胞是接近於後生木質部導管的薄壁細胞，在橫切面上，不論竹稈高度為何，越靠近竹皮側，維管束旁之薄壁細胞數量越少，單位面積維管束的數量也會較多，且擁有較大的徑弦向長直徑比。纖維壁之厚度則是呈現越往竹稈下方，其厚度有越厚之趨勢。

竹稈物理性質

文獻指出竹稈密度分布會依不同位置而有所差異，由竹肉內側至竹皮側，竹子下部至上部，其密度值會逐漸上升，且在近竹稈上部及竹外側有最大的強度值。然而，因竹稈內外側纖維分布的差異，在力學性質的表現上也会有所不同，在進行以竹片抗彎試驗時，若以竹外側朝下，即引張側時，會有較佳之抗彎強度。此外，竹材之機械性能在3~5年生之間會達到最大值(成熟期)，相較多年生之木材而言，同密度之竹材亦有更佳的抗壓強度與抗彎強度，由此可見，若未來將竹材開發成建築工程用材料，有不亞於木材的性能，且生長快速，使其更具潛力。

竹稈化學組成

竹稈化學組成和木材相似，是由纖維



竹材組織由內側(a)至外側(f)維管束分布圖例。

素、半纖維素及木質素所構成，而其中的成分會因不同竹齡及部位有所差異。文獻指出，竹材中 α -纖維素及全纖維素含量會由竹稈下部至上部逐漸增加；而在徑向剖面則有外側 α -纖維素、全纖維素及木質素含量最高，灰分(Ash)及萃取物(Extractive)含量最低的情形。另有對竹稈進行各年齡化學組成成分之研究，文獻結果顯示在竹齡最年輕者，其各項組成成分皆相對較低，如澱粉(Starch)含量於此時僅有0.5%，而在3~5年生時則為3.5%，造成此原因可能為3~5年生後的竹材，其薄壁組織長度及管腔直徑已發展成熟，變化較小，使得剩餘養分只能轉為澱粉粒儲存於薄壁組織中，故3~5年生後之竹材其澱粉量趨於穩定。

竹稈於成長階段，如約1年生時，其澱粉的含量是非常細微的，主要是竹材在成長的過程中需要大量的養分，所有的養分都須立即使用，故留存於竹稈中僅少部分。而木質素部分在1~2年生時有大量增加現象，後則趨於平緩；乙醇甲苯萃取表現之成分變化則無明顯規律。而在 α -纖維素含量則維持不變；全纖維素在超過3~5年生時略有增加的趨勢；灰分及二氧化矽含量於1~2年生大幅增加，且在超過3~5年生時亦略有增加之趨勢。綜合顯示竹齡在超過3年生後，其各項成分及性質會趨於穩定，故一般成熟的竹材會以3~5年生以上而定。

竹稈耐久性

木材具有天然耐腐朽與抗蟲性，主因是木材具有樹脂、精油等抽出成分，許多文獻



竹桿材高溫乾燥處理進窯作業。(李志璇 攝)



高溫乾燥(左)及氣乾處理(右)桂竹桿材。(李志璇 攝)

顯示精油具有抑菌及抗蟲之效果。反觀竹桿除了外側竹青部分具有少數油脂外，竹肉內側竹黃處不僅密度較低，且富含澱粉，因此其天然耐腐朽性與抗蟲性極差，文獻指出若竹材在砍伐後無經過防腐(保存)處理，則其物理及機械性質將會受到腐朽、蟲害而迅速衰減。一般認為竹桿因富含澱粉與醣類，為蟲類或菌類好寄生之優良營養體，且竹材經砍伐後，內部養分易發黴及招致蟲害，這種侵害與澱粉及還原醣有關，且澱粉含量越高，其受害有越嚴重之趨勢。

桂竹桿物理試驗

竹材因結構型態特殊，為中空圓桿狀，非板類形式，在挑選竹材時應以符合材齡、取材部位、曲度、受力方向及有無蟲蛀腐朽等缺點為挑選原則。本報告以桂竹(*Phyllostachys makinoi*)為材料，約4年生，以原(圓)竹方式將竹桿大致區分為上下部兩段，並將處理條件分為氣乾及高溫乾燥處理兩種，進行不同部位之含水率及密度分析。結果顯示在氣乾竹材各部位含水率變化範圍介於9.51~11.21%之間；經由乾燥處理條件者，其含水率範圍則介於7.76~8.32%之間，顯示經由高溫乾燥處理者，含水率有下降之趨勢。在竹桿密度方面，下部密度值為869~886 kg/m³，上部密度

值為919~958 kg/m³，可發現密度值在上部較下部竹桿高，由於竹桿愈接近上部，其維管束纖維排列愈緊密，單位密度愈多，且纖維細胞密度較薄壁細胞密度高。

經由高溫乾燥處理後的竹材含水率，相較於氣乾者，含水率皆有降低之趨勢，顯示高溫乾燥處理確實可降低竹材之平衡含水率。含水率降低在應用上為一優勢，可減少危害因子如菌蟲害的產生。文獻指出竹材內部因含有大量糖分、澱粉等營養物質，若溫度及水分豐富，則容易造成黴菌及蟲害孳生，導致加速腐壞速度，影響竹桿使用途徑及年限，經由本研究試驗結果顯示，高溫乾燥處理會導致竹材含水率些微降低，在利用上可較減少微生物等外來因子危害的發生機會，進而增加其使用壽命，且在高溫處理的過程無須添加化學藥劑，較為環保。此外，經由不同部位密度分析結果可知，在密度分布有上部大於下部之趨勢，因此若竹材未來在供建材使用時，可應施工時之需求，來配置不同部位及大小之竹桿使用。

桂竹桿非破壞性試驗

非破壞檢測技術(Nondestructive techniques, NDT)為一快速且便捷之評估方法，其原理係藉由聲音的傳遞或物質的振動頻率，不需對材

料本身進行破壞，即可達到評估材料物理性質及動彈性係數的評估方式，本研究主要以非破壞評估法來得出材料之動彈性係數(Dynamic modulus of elasticity, DMOE)作為指標。

在氣乾及高溫乾燥處理桂竹稈的音速值，下部音速值為4,676~4,762 m/s，上部音速值為4,907~5,108 m/s，其變化趨勢皆為竹稈上部較下部高，聲音傳遞速度與介質有關，物體實質率愈高則聲音傳遞速度愈快，而竹稈動彈性係數(DMOE)，下部為19.41~22.55 GPa，上部為23.05~25.94 GPa，結果得知竹稈密度、音速值、DMOE分布為上部較下部高之趨勢，與文獻指出竹材密度與強度性質在竹稈上部會有最大值結果相似。

密度常作為木竹材強度的重要指標，然而竹稈本身材料型態及組織結構分布特殊，為中空圓稈狀且帶有節封閉之特性，竹材強度除了受密度影響外，尚受竹齡、竹稈大小、節間距、節數量與位置等因素影響，其中節的存在位置更會影響竹稈在受力時的力學表現，而導致材料受力時會產生各種變異，因此在使用上仍須將竹材整體結構考量進去，例如竹稈管徑大小、節的位置、節間距離與乘載力的方式等。

桂竹稈抗彎試驗

竹稈上下部位抗彎彈性模數(MOE)值差異並不明顯，下部MOE值為17.51~17.58 GPa，上部為17.01~17.53 GPa，由於竹稈靠近基部之位置，其節含量較多，且節間距較短，文獻指出竹節為竹稈中密度較高之部分，且此部位組織與周圍細胞相連，使該區竹管呈封閉型態，而竹材當中因缺乏橫向組織，竹

節之存在反而可強化竹稈之整體強度，而在抗彎強度的部分也同樣沒有明顯之變化趨勢。由於竹稈橫斷面形狀、竹稈厚度、竹節數量、竹節位置等差異會影響竹稈抗彎試驗，試驗發現上部竹稈破壞型態多屬橫向劈裂型態，非材料受垂直應力而導致的彎曲破壞型態，且該區除了竹節較少外，竹肉壁亦較薄，亦可能為導致此劈裂狀破壞的原因之一。因此，未來若要將竹稈用於結構性材料時，除了竹材本身密度的考量外，亦須思考竹節的數量與節間距離的配置，同時也要考量適用的竹稈大小(竹稈厚度、形狀、均質性等)。

竹稈研究及利用

竹子生長快速，分布廣泛資源豐富，具有如質輕、低汙染、可再生、生長週期短等優點，是容易取得且環保的綠色建材，然而，竹稈在使用上仍有許多問題需要克服，包括尺寸非規格化，進行加工或接合時難以達到快速，且不易達到工業產品規格化的快速生產模式，竹稈亦容易受到病蟲害影響，保存不易，在使用前務必須經過乾燥、保存等處理方能使用，且需定期維護管理，才能增長使用壽命。在臺灣過去常見各種使用竹材建造的構造物，如竹角厝、竹亭、竹橋等，然而隨著時代的進步，竹材逐漸被認為是過時、不安全的材料，加上臺灣欠缺竹構建築相關法規，使得竹構造長期不受重視，多只被視為臨時性建築或景觀工程之附屬構造物，因此臺灣要達到能普遍使用竹材施工建築仍需要努力，但在林木資源愈趨匱乏的未來，竹材資源的開發利用研究仍刻不容緩。♻️