

竹材應用於綠色環境技術開發

文／圖 ■ 黃盈賓 ■ 財團法人工業技術研究院南分院

李士畦 ■ 財團法人工業技術研究院產服中心

林曉洪 ■ 國立屏東科技大學木材科學與設計系教授

前言

1970 年代為國產竹材生產高峰期，年產量約 1,700 萬支，產值可達新台幣 1.25 億元以上，隨著全球產業環境變遷，國內竹材加工業大量外移，竹材生產量 1980 年到達 1 億美元的外銷高峰，自此以後逐年遞減。林務局於 2002 年起推動「竹產業振興與轉型計畫」，及 2009 年配合農委會「精緻農業健康卓越方案」行動計畫，推動「竹製精品」計畫，陸續開發竹（炭）材新興產品及生產技術與設備，大幅提高竹材多元利用價值。目前竹材產量雖僅剩約全盛時期的 10%，年產量約 180 萬支，但已較 2004 年 54 萬支年產量成長了約 3-4 倍。

竹材綠色應用技術開發

竹生長快速，作為生態材料，極具發展潛力，已深受國際重視，「以竹代木」逐漸形成流行風潮。臺灣竹林面積約 15 萬公頃，屬一千公尺以下低海拔經濟竹林約 7 萬餘公頃，以桂竹、麻竹、孟宗竹、刺竹、長枝竹及綠竹等六種為最主要經濟竹種，資源豐富且品質優良。依據文獻報導（杜大治等，2003），於 12 個測定日測得孟宗竹之日平均淨光合作用

速率在上層葉為 $4.55 \mu \text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ，蒸散速率為 $0.39 \text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ ，氣孔導度為 $32.24 \text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ ；下層葉則分別為 $2.23 \mu \text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 、 $0.04 \text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ 、 $0.96 \text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ 。累計 8 小時孟宗竹上層葉平均每平方公尺葉面積可固定 6.49 公克二氧化碳，下層葉可固定 3.19 公克二氧化碳。整株每日可固定 278.69 公克二氧化碳，全年可固定 102 公斤二氧化碳。

近年來由於工業與科技蓬勃發展，大量排放二氧化碳，環境溫度逐年上升，造成地球暖化日益加重。基於節能減碳的概念，王松永（2012）指出竹炭可藉由傳統土窯與機械窯生產，土窯（圖 1）乃是以少量的木材作為燃料燃燒提供熱能，使窯內竹材自燃，達到炭化溫度，封閉窯門，於無氧狀態自熄冷卻，炭收率約 25-30%，碳含量約 85%。此意味著，1 噸竹炭可固定 850 公斤碳，這些碳可自碳循環系中移除，達到所謂真正減碳效果。機械窯炭化之能源，為電源、柴油或瓦斯等，在 800°C ，無氧狀態下炭化時，消費能源為 $33,900 \text{MJ}/\text{m}^3$ ，會排放碳量 $678 \text{kg}/\text{m}^3$ ，若竹炭消費能源視為相同，並排放等量之碳，而竹炭以含碳率 85% 計算，其固碳量為 $850 \text{kg}/\text{m}^3$ ，尚涵存有 $172 \text{kg}/\text{m}^3$ 碳量，從地表上之碳循環



圖 1 竹炭之生產設備：(A) 土窯，(B) 機械窯

系中移除，達到真正減碳的效果。

經由缺氧熱裂解與炭化製程，竹子製成後之竹炭，其主要官能基為碳氫鍵(C-H)、雙碳鍵(C=C)及少許氫氧鍵(O-H)，對於硫化物、甲醛、苯、酚或三氯甲烷等有機污染物或有害化學物質等，均具有極佳的吸收和消臭能力。此外，經不同溫度炭化或活化後，具有極佳的除臭、調濕、遠紅外線、電磁波屏蔽等功能。使用後的炭更可回歸土壤做為改良劑，而不會造成地球環境污染(李孝亭等，2007)。

竹炭的功能包含(1) 吸附功能：高溫燒成之炭有無數的微細孔洞，孔徑介於數微米與數十微米之間，由於孔洞而形成極複雜的凹凸表面積，廣大的表面積與孔洞結構，使水、空氣通過時產生吸附作用，對環境品質有相當的助益(洪崇彬等，2004; 蔡明秀，2006)。(2) 微量礦物質功能：高溫燒成之炭所含之礦物質為水溶性，置於水中礦物質自然溶出水變成甘甜的微量礦物水。(3) 遠紅外線功能：高溫燒製之炭為遠紅外線能量體，遇熱後可強化其遠紅外線效果，促使周圍的空氣、風、水等產生溫暖效果，及促使水分子微細化之效應。

(4) 陰離子功能：高溫燒製之竹炭促使其周

邊增加陰離子，如同森林之芬多精，使人身心舒適、鎮定心情。(5) 具半導電功能：精煉後之高溫炭，可提升其遠紅外線，更具有高導電性，此高導電性能阻止電磁波效果。

基於上述之特性，促使科學家們利用此等性質而廣泛應用於生活層面，如煮開水時加入炭，可吸附氯氣、重金屬等雜物而淨化水質(周坤池、盧崑宗，2008)，且微量礦物質可使開水之pH值變成微鹼性(8.0-8.5)；煮飯時加入高溫炭(圖2)，可吸附氯氣、農藥、重金屬等雜物；冰箱內放入炭材，可除去冰箱雜味以淨化冰箱空氣，且陰離子功能可使蔬菜魚肉保持新鮮；浴盆中加入炭材，其微量礦物質可使溫泉水質成為鹼性，及遠紅外線促使水分子極小化及改變熱傳導方式使熱能深入體內，促使血液循環與新陳代謝，沐浴後可使身體持續暖和；室內放置高溫竹炭時，可吸附異味、淨化空氣(圖3)，亦可當作室內裝飾之用(圖4)。遠紅外線及陰離子功能可消除電器產品產生的陽離子，使空氣舒爽；導電功能可防阻電器產品產生的電磁波(圖5)。

農業應用方面，吳怡德(2009)以孟宗竹炭取代市用泥炭土介質中之真珠石，依不同

體積混合比例（7.5、15 及 30%）在泥炭土介質中作為栽培介質，觀察甘藍與番茄穴盤苗生長之影響。整體而言，栽培介質以 15 % 竹炭作為取代真珠石時，其物理與化學性質，以及



圖 2 竹炭於食器應用



圖 3 竹活性炭複合式清淨機

導電度與陽離子交換濃度等皆較真珠石者佳，且試種後對兩種蔬菜苗之地上部乾重、地上部鮮重與壯苗指數等生物量皆較對照組者高。何學銘（2011）以孟宗竹炭作為取代蔬菜栽培介質之真珠石，利用不同炭化溫度精煉製備之竹炭分別與泥炭土混合比例 15/85（v/v%）作為栽培介質，並以甘藍作為試種蔬菜，藉以評估其對甘藍穴盤苗生長之影響。整體而言，栽培介質以 550-750°C 精煉竹炭且添加比例為 15% 作為取代真珠石者，其物理與化學



圖 4 竹炭應用於居家擺飾



圖 5 竹炭導電測試裝置

性質、pH 值、EC 值與 CEC 值等皆較真珠石者佳，且穴盤育苗之生物量及田間定植之單株重、總葉面積、球徑及球重等皆較真珠石者高。因此，竹炭取代栽培介質中之真珠石，對甘藍生育應有其可行性。林曉洪（2013）曾探討生質焦炭對綠薄荷植株生長率（84 天期為例），對於株高生長率、葉面積、葉片數、葉片鮮重、葉片乾重和精油收率，分析結果顯示生物炭對綠薄荷植株生長具有正向

促進之效應，可供日後栽培之參考。生物炭可促進土壤活化，減少病蟲害、提高農作物生產力，亦可使植物花葉顏色更鮮豔，提高持久性（農業易遊網，2010；行政院農委會林務局，2010；葉世財，1998；薛佑光，2000）。

林務局自 2002 年起推動「平地景觀造林及綠美化計畫」，輔導及獎勵農民釋出農地造林，積極培育優良林木，使綠色資源生生不息永續利用。在政府愛台 12 建設之「綠色造林計畫」中，則運用「平地景觀造林及綠美化計畫」所完成之平地造林區，選定並規劃為平地森林園區。屏東「林後四林平地森林園區」為國內 3 處平地森林園區之一，於 1,005 公頃的平地上，採「里山倡議」理念，發展成一農林並存、永續經營之生態園區。於該園區內建置炭化爐區（圖 6），可將平日修剪的樹木進行炭化，所得炭化物可用於土壤改良，調整酸鹼度，釋放出微量元素，可促進農作物生長。為使民眾能夠直接了解生物炭於農作物栽種的效用，於該內規劃土壤改良區，以生物炭改良土壤栽種香蕉（圖 7），將原本屬於酸性土壤（pH2-3），轉變成較適合作物生長的環境（pH4-5），經過約 1 年栽種時期，原土壤所栽種之香蕉（A），其高度約 160 公分，但是添加漂流木炭為土壤改良劑之區域（B），香蕉之高度約 180 公分，甚至再添加有機肥區域的香蕉（C），其高度已經高於 300 公分，其生長狀況優於單純使用有機肥區域之香蕉（D），甚至開花結出香蕉且繁衍第二代香蕉樹，可以了解炭化物對於改良土壤的成效。

水產養殖應用方面，農委會水產試驗所研究試驗發現，添加適量竹炭粉的飼料投餵台灣



圖 6 林後四林平地森林園區之炭化爐區

鯛，養殖魚的增重率、成長率或肥滿度，比未添加組佳，有助於增進養殖魚成長，提高生產效率與經濟效益。竹炭顆粒亦可應用於漁業養殖場濾水系統，竹炭粉末結合有效生物可應用於畜牧飼料及生產（大紀元，2009）。

畜牧應用方面，在飼料中添加木炭粉，可消除豬隻的脹氣、緩解下痢、增進食慾；可



圖 7 林後四林平地森林園區之土壤改良區香蕉生長狀況記錄：(A) 土壤，(B) 土壤 + 生物炭，(C) 土壤 + 生物炭 + 有機肥，(D) 土壤 + 有機肥

降低肉雞的緊迫、改善肉質及提高蛋雞的產卵率、卵重和飼料攝取量，並大大減少雞糞的臭味；羊隻青芻料中添加竹炭，可促進仔羊成長、提高蛋白質消化率與氮的蓄積率。

食品應用方面，行政院衛生署已於 2006 年 3 月公告竹炭可供為食用天然色素使用，但需符合食用天然色素衛生標準相關規定。

工業應用方面，利用奈 / 微米竹炭粒子 (Nanoparticles or microparticles) 具有之高比表面積、發達之孔隙結構及高導電係數，經表面改質處理後，可作為電極材料，得到較高能量密度或高電容量。適用於電池電極、高容量電容之材料，如鋰離子電池、燃料電池或超高電容器 (Super capacitor) 等。因此由上述可知，隨著科技之進步，生物炭將更廣泛應用於吾人生活層面，如民生用品、農林漁牧以及工業材料技術，甚至於國防及生物醫療等 (林裕仁等，2003)。

結論

竹子生長快速且能吸附大量的二氧化碳，經由竹林有效管理，將四年竹材適當砍伐，可以更有效減緩溫室效應與水土保持，屬於一種綠色生態材料。經由絕氧炭化製程，可以有效固碳，所得竹炭可以多元應用於食衣住行育樂等方面，甚至可用於農業土壤改良與安全作物栽種，減少化學農肥料的使用，可說是取之於自然，用之於自然，創造人類與環境共生共榮的發展模式，達到產業永續經營的理念。♻️

參考文獻 (請逕洽作者)