

新型態竹產品技術研發與產業推動

文/圖 李士畦 ■ 工業技術研究院南分院 綠能生態系統中心特助
黃盈賓 ■ 工業技術研究院南分院 綠能生態系統中心研究員(通訊作者)
楊駿憲 ■ 林務局造林生產組組長
李建霖 ■ 林務局造林生產組林產科科長

一、前言

竹子是重要森林資源之一，全球竹業已發展成一個與約25億人生產、生活相關，且年產值近50億美元的產業。台灣竹林面積約15萬公頃，屬1,000公尺以下低海拔之經濟竹林達7萬餘公頃，以桂竹、麻竹、荊竹、長枝竹、綠竹及孟宗竹等6種為最主要經濟竹種，其中桂竹主要分布在桃竹苗地區；長枝竹、荊竹主要分布在嘉南地區；孟宗竹主要分布南投地區；麻竹主要分布屏東地區。

竹林生長快速，屬於資源豐富的生態材料，其纖維具有輕質、韌性補強、調濕、吸收/吸附、抗菌和多孔結構等特性，可作為多元的生態材料來源。近年由於竹材加工業大量外移，國內對竹材需求量減少，提高竹農經濟收

益需藉由高值化的前瞻產品研發與加工技術推動，來拓展竹材應用領域，創造特色產業之獨特價值。

二、竹材炭化的商品技術回顧

九二一震災後由農委會結合工研院技術投入開啟的台灣竹炭產業，旨在幫助當地竹農，加工過程，又創造了綠金，帶動了周邊的經濟機會，將2003年原本500萬產值的竹材產業，到2008年加值成為億元產值的竹炭產業。目前台灣竹炭生產設備及應用技術堪稱領先全世界，目前市面上開發出來的產品超過200種以上，未來將朝向更高附加價值之環境優質化與工業原料應用領域發展。

前述由入門的竹炭民生用品應用(竹炭杯、

竹炭粒等)，在擴增至竹炭食品與紡織品(圖1)後，成功創造了百億以上的產值，因此，國家規範(CAS)確保使用者的衛生安全便因應而生；本節將就這些商品化技術發展，由客製化生產設備、生技產品技術以及工業設計的引進來進行歸納。

炭化技術推動的重要關鍵就在於生產設備的演進，過去由土窯主導的炭化程序，為因應快速生產與客製化需求，工業化連續製程設備也被開發出來，這包括了竹炭模組化爐、連續式炭化爐/活化爐(圖2)等設備，透過電腦精密控制可生產出高溫竹炭與竹活性炭，讓碳材不但可衍伸應用於輻射污染物吸附、水質淨化等高階民生工業應用材料，並成為了超級電容(Super Capacitor)儲能電極的候選材料。



圖1 竹炭及常見之衍生產品



圖2 竹炭模組化與連續式炭化/活化爐(工業技術研究院/六甲院區)

接續由中階生技產品異業技術的引進結合與接續發展，也成為另一項竹材高值化應用的契機，其中引進的先導應用技術便是萃取技術，以檸檬桉和竹葉中之活性成分萃取為例，透過生物技術加值的美妝/健康食品/防蚊產品(圖3)開發與技術移轉，為竹業與其他農科技結合創造了另項思考邏輯。另結合研發產品與工業設計，應用於竹薄片3C產品設計或植物栽種基材開發，在國際獎項上也頗有成果，以獲得IF 2012國際設計獎項的創新產品為例，也成功吸引廠商技轉(圖4)。



圖3 透過生物萃取技術生產的高階竹葉天然美妝產品



圖4 應用於3C產品及受國際矚目之都市農夫有機蔬菜栽種盒(IF)

三、異業結合的新型態與環境友善商品技術接續發展

隨著發展已屆十年的竹炭產業面臨必須再透過技術的研發，創造產品優值差異化與環境

友善技術的觀念融合創新，才能繼續延續拓展竹產品多元的應用領域。近年由林務局經費支持下所進行的新穎林產品加工與設備技術，在透過正式技轉如連續式炭活化製程及設備、檸檬桉葉精油萃取、高純度竹黃酮素萃取和竹抽出物高階保養品生產等技術給予不同產業的二級加工廠商後，除創造傳統林產加工業的新產品思維外，也直接建立了異業研發技術結合的模式，並跳脫竹炭的單一產品框架，以竹材直接利用與加工技術來擴展竹產業的軟實力與特色亮點。

前述商品技術的發展調整，近二年來主要集中在綠建材和綠色農業生技等環境友善技術領域，這是以竹炭和竹醋液的成熟技術為基礎，結合工業化奈米、生物技術進行如高階竹活性炭空氣複合濾材(替代椰殼或石化材料)、竹炭貓砂(寵物市場)、驅避替代毒害之竹醋液驅蟻劑、病蟲害防治等生物制劑，以及竹炭蔬果保鮮材料、竹絲健康板與竹纖維濾材等環境友善綠色資材，來擴大竹產業結合不同二級產業的機會，並透過結合三級行銷的廠商媒合來營造竹材六級化產業發展契機。因此，林產業聚落與加工技術交易平台的建立便成為接續推動的重要手法，透過產學合作機制為業界提供包括技術、研發、設計、行銷之可行性人才與媒合機會，提升竹產業競爭力。以下將就新型態竹產業精品從工業/民生到農業潛力產品的開發現況進行說明。

(一)工業/民生新型潛力產品案例：複合式竹活性炭濾網與空氣清淨設備

2011年通過之室內空氣品質管理法，對於室內環境空氣品質要求提高，環境健康空氣品

質的維持成為國民漸趨重視的需求，因此，新型態環境淨化產品將成為未來的主流商品，透過活化製程得到比表面積大於 $1,000\text{m}^2/\text{g}$ 之竹活性炭，並結合奈米技術與生物可分解塑膠的環境友善材料技術，製備而成的複合竹活性炭濾網材料可具備有效去除室內空氣99%甲醛、80%有機揮發物與20%一氧化碳的多功處理能力(表1)，經實場測試還可去除80%以上之生物氣膠，具備直接替代現行工業無塵室所需之高階空氣濾材的潛力，此項本土建立之材料改質應用技術，小批量製作成本已可壓低至市場同級品售價的1/5以上，透過領頭羊濾材製造商的合作生產，對直接促進竹材的量化需求將有極大潛力。此外，結合工業設計概念，風速達 $15\text{m}/\text{min}$ 之可量產複合式家居空氣清淨機也可客製化，可滿足於非工廠之民生用空氣清淨機之性能市場需求(4-5坪室內空間)，市場廣度可再擴大(圖5)。

表1 風管型環境控制箱之濾網去除效果測試結果

樣品	污染物去除率(%)		
	HCHO	TVOC	CO
竹活性炭濾網	74.2	78.6	12.3
竹活性炭複合式濾網	99.0	84.4	20.2
市售抗菌濾網(L牌)	3.0	2.7	1.0
市售活性炭濾網(H牌)	30.3	10.8	6.9



圖5 工業等級竹活性炭複合式濾材及室內空氣清淨機

(二)家居/生活新型潛力產品案例：寵物竹炭貓砂及竹醋驅蟻產品

台灣在2003年建立全球第一個竹炭產品認證標準(CAS)後，以國內竹炭業者所生產可被認

證之竹醋液為例，年產量可達15噸以上，衍生產品主要以抑菌劑、農用資材、肌膚美容為主。在竹醋液應用上，朝向新型態的居家寵物及驅蟲產品發展，具備龐大商機的產業，以下將舉例近期產品發展案例進行說明。

1. 居家寵物產品－竹炭貓砂

根據統計，台灣的家貓數約37萬隻(農委會；2011)，若飼主以平均每月花費300元的貓砂消費計算，貓砂產品每年銷售額可達10億以上，而竹產業有機會以竹醋液結合天然除臭/抗菌/驅蟲之成分開發寵物用創新產品來分享這龐大的寵物周邊商品商機，也可為相關產品進行市場測溫。

2013年開發的竹炭貓砂(圖6)成為創新潛力先導產品之一。新型態的貓砂以竹炭、竹醋及檸檬桉在最佳配比條件下進行製備，性能則參照CNS487與CNS488等國家標準進行使用頻率、吸水性等評估(表2)，顯示竹炭貓砂在單

表2 竹炭貓砂與市售貓砂產品比較表

	貓砂種類	吸水率	吸水後形狀	更換頻率	除臭率
A牌市售貓砂	礦砂	134%	泥狀	3-4天/kg	-
B牌市售貓砂	水晶砂	116%	固體	6-7天/kg	-
竹炭貓砂	竹炭水晶砂	107%	固體	8-9天/kg	90.6%

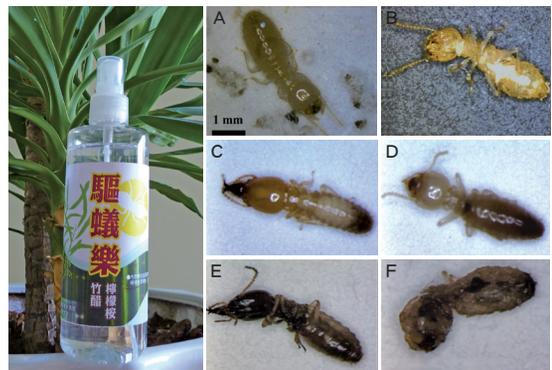


圖6 竹炭貓砂的實際商品與測試

位時間內可達成90%的除臭率，這是目前市場貓砂產品中較為缺乏的功能，除了除臭效能佳，更換期限的延長也可滿足現今飼主因異味產生必須經常更換貓砂的麻煩，滿足現代飼主的習慣，在價格上雖較市售水晶砂材料增加20%，但卻能滿足特定習慣高階消費族群之便利與減少更換頻率需求，提供市場不同高階產品選擇。

2. 抗白蟻之綠色環保產品－驅蟻樂

居家生活新型態商品中，白蟻防制具備潛力商機，台灣每年因整修白蟻所危害的建築及古蹟文物所使用之藥物等達1.2億元以上商機。白蟻防治法中，化學防治具見效快、效率高、使用方法簡便以及受區域性的限制小等優點，然一般化學防治用藥對於環境的污染、殘留等影響環境及居家使用者健康是目前逐漸被重視的議題，因此，天然抗蟻效能產品市場需求逐漸形成。以竹醋為載體並配合植物萃取液的天然驅蟻劑(圖7)配方產品在2013年完成開發，挑選台灣家白蟻



A. 試驗前之工蟻，B. 自然死亡之工蟻，C. 竹醋/檸檬桉藥劑致死之兵蟻，D. 竹醋/檸檬桉藥劑致死之工蟻，E. 市售化學藥劑致死之兵蟻，F. 市售化學藥劑致死之工蟻

圖7 抗白蟻之綠色環保驅蟻樂

(*Coptotermes Formosanus Shirake*)，以兵蟻：工蟻=1：9之比例進行驗證，14日後之白蟻忌避效果達到87%，白蟻因不食用木料死亡外觀與自然死亡者相同，不會造成環境二次污染。雖不及以市售抗白蟻藥劑之白蟻直接致死率100%，但本項由驅避代替毒殺之綠色居家抗蟻產品未來將具備前瞻引領性。

(三)生物/農產新型潛力產品案例：病蟲害有機生物制劑及農產品保鮮材料

1.病蟲害有機生物制劑－竹炭醋有機生物製劑

台灣農產普遍存在追求高農業生產力、單位面積產量提升而施用大量化肥與農藥的現況，間接造成65%土壤有機質含量在2%以下之農田，其中的25%農地成為酸性土壤，33%的農地pH值更已經低於5.5。不論是站在降低對化學農藥之依賴性或在有害生物綜合管理的應用策略上，生物農藥均提供了另外一種安全、經濟且有效的選擇，2013年完成的複合式竹炭醋有機生物製劑開發(圖8)，竹炭與竹醋液使用率達70%以上，農作物常見蟲害如粉介殼蟲、蚜蟲、粉蝨等經田間實場驗證，及以不同配方制劑對立枯病、褐根病、鐮孢病生長抑制試驗均具備有效抑制的效果。由於有機生物制劑遠較傳統化學藥劑危險性少，專一性較高；使用少量即有效，



圖8 竹炭醋有機生物製劑(左)與粉介殼蟲實場防制案例(右)

分解快速，暴露風險低，無污染殘留量的優勢，還可作為有害生物綜合管理的來與現行的化學藥劑搭配使用，降低化學農藥使用量，商機無限。

2.農產品保鮮－竹炭紙蔬果保鮮材料

利用有機生物製劑促進植物生長以及防止病蟲害的發生率是目前綠色農業發展的新趨勢，然對農產品運輸至銷售過程之短期保鮮材料，可避免流通貯藏品質的提早劣化。目前解決方式多使用化學防腐保鮮和吸附型防腐保鮮等方式，而保鮮材料主要用於清除貯藏環境中因果物釋出的乙烯，並脫除過多



Day	1	4	7	9	11	14	16	19	21
活性炭									
椰殼炭									
對照組									
正常竹炭									
無炭紙									

圖9 竹炭紙蔬果保鮮28天香蕉試體於常溫保鮮試驗

的二氧化碳，抑制農產品後熟，但廢棄後會產生化學藥劑污染疑慮。

因此，以竹炭結合紙漿產品之軟性、易摺、易成型與易平面加工等特性，將二種材料結合製備具剛挺特性與炭吸附效果之功能性炭吸附包裝材料，以保鮮包裝紙箱為代表，成為竹材功能性綠色包裝材料(圖9)。這項混拌技術所製備之包裝材料，以未催熟香蕉試體進行28天保鮮實場測試顯示，孟宗竹炭較對照組及活性碳吸附組之香蕉顯示可獲較佳保鮮效果，其中特定尺寸之中大孔結構炭材因提供較佳的吸附孔隙通道，也解決了以細孔活性碳與紙漿結合造成之細孔覆蓋問題。與市售炭材比較，孟宗竹炭也較一般市售椰殼炭增加10天以上保鮮效果。此類產品在性價比方面與市售化學品相距不遠，未來廣泛應用於更年性果品保鮮，具備降低過熟風險與延長保鮮的應用材料替代潛力。

(四)竹材直接加工新型潛力產品案例：竹纖維濾材及健康竹絲板

除了竹炭的利用，以竹材作為基礎原料直接加工的產品，因屬於生態材料且取得容易，成為近年綠色產品設計及環保建材的重要建議應用原料。在研發的概念上，以物理解纖取代化學解纖，不須額外添加化學藥劑於3-5分鐘內採機械批次解纖，纖維材料取得率可大於85%，並製備為水濾材(圖10)，經測試對水中重金屬(例如鉛和



圖10 經物理解纖處理製備之竹纖維濾材

銅)的吸附性可達90%去除率，應用於工業廢污水處理系統為水中重金屬吸附材料具備潛力。

另一項具備市場潛力之產品發展方向，便是與綠建材產業結合，以綠建材「低逸散健康」、「生態」、「再生」與「高性能」四大範疇以及建築技術規則提高綠建材室內裝修比例須達45%及室外綠建材使用率10%以上之規定，市場迫切需求與選用性將大幅增加。同樣由原竹材經風乾剖片程序，旋轉式竹材刨絲機(工研院)以刨削方式製備絲狀竹材，竹絲厚度可依不同種類竹材客製化(0.5-15mm)，並製備成環保健康竹絲板(圖11)，供建築、裝飾、隔間或輕鋼架屋頂鋪設材料，具備調濕、抗菌、尺寸安定性等功能性，符合智慧綠建材規範。小批量生產成本已可達市場廣泛使用的木絲板材料售價的1/3。更由於具備調濕功能性，有機會成為竹材室內裝修材料的明日之星，並間接促成提升本土竹材使用量的目標。



圖11 符合智慧建材規範的健康竹絲板

四、世界首屆竹炭產品碳足跡評估制度

產品碳足跡計算與碳足跡資訊揭露已發展為國際碳管理的顯學之一，在前述諸多創新產品開發的過程，為提早因應未來外銷產品需求，「產品類別規則」在2013年被制訂出來，這也是國際上第一個針對竹炭產品針對同一種類型、功能商品或服務計算碳足跡排放量之產

品類別規則基準(圖12)。

特定產品類別的CFP-PCR可作為該類產品於計算碳足跡時界定系統邊界範疇和數據計算依據。2013年由工研院與生態材料協會合作制訂之碳足跡計算產品類別規則(CFP-PCR)，已於環保署網站公告提供業者應用計算參照。(http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLPCR/FLPCRDoneList.aspx)，這套世界首屈竹材炭化產品碳足跡評估盤查與計算方式，初期完成竹炭片、竹炭粒及竹醋液3種竹材炭化產品的碳足跡盤查與計算作業，計算案例所陳述之數據蒐集/處理與計算方式，以及計算結果之展現方式等，可提供國內竹炭相關業者作為產品碳足跡評估參考，有助於縮短國內業者未來執行木/竹材炭化產品碳足跡評估時

文件編號：12-011

碳足跡產品類別規則
(CFP-PCR)

木竹材炭化產品
Charcoalization products of wood and bamboo

第1.0版
行政院環境保護署核准日期：○○



程並降低廠商產品碳標籤建置費用，也同時提升公司產品形象、市場區隔，及滿足綠色消費者需求與國際市場拓展開創契機。

五、結語與展望

據2012年林產業統計資料顯示，2011年台

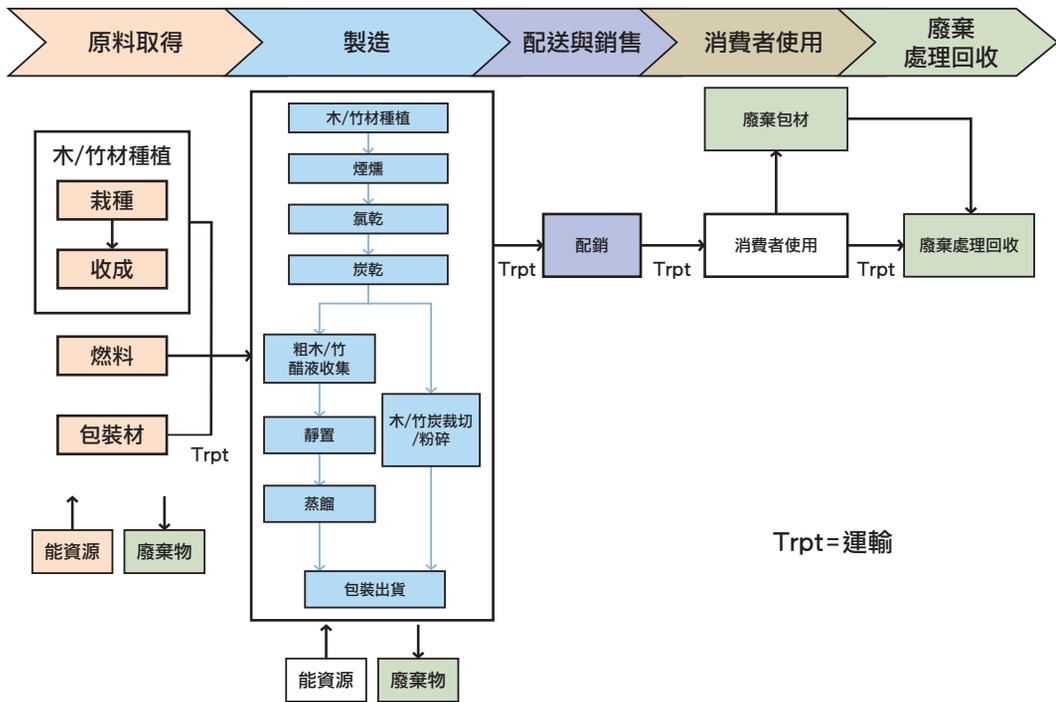


圖12 世界首屈竹炭產品碳足跡評估制度與生命週期範圍界定

灣竹產總量為188萬支、總價值約15,614千元新台幣，相較於1976年竹產高峰期1,787萬支的產量，目前竹產量雖僅剩全盛時期的10%，但已較2004年54萬支的總產量成長了近4倍，其與大力推動「竹產業轉型及振興計畫」，積極輔導廠商提升栽種技術與增值竹製產品有著極大關聯。

相對的，竹產業目前面臨包括因需求量不足造成之「材料成本高(採集搬運)」、「供應來源不穩定」、「其它國家竹產品廉價傾銷」，以及與缺乏整體行銷有關而衍伸之「消費者對竹材產品認知不足」和「市場及技術資訊不易取得」等問題也迫切需要解決。在產業面及環境面的考量下，以下之展望與建議可為產業創新發展後續推動參考：

(一)六級化產業衍伸異業結合推動：以竹炭或竹材直接加工利用來提升竹材的供應量，並藉由六級化產業串連與異業結合等手法，依市場導向全力推動竹材加工新穎產品開發、廠商國際參展，以及成立產業聚落、林產技術推廣交易平台(<http://forest.vrworld.com.tw/index.php>)等活絡產業發展方向，增加歷年林產業技術之曝光度，不失為跨大促成合作機會的手法。

(二)以產品規範提升台灣竹材的價值區隔：新型態潛力產品配合新的產業模式(Business Model)，在產品國家標準及規範的增值區隔下，可以台灣竹製精品的積極態度來面對如劣貨驅良貨之不堪競價、品牌不易等市場干擾因素進行產品區隔。

(三)竹材前瞻應用技術開發：既有工業化產品材料的替代是直接提高本土竹材需求量的

重點方向，而前瞻應用技術可擴大含括與空氣、水、建材與綠色能源等相關的民生高階應用產品，如空氣清淨、水處理、綠建材、寵物商品與3C生態貯能材料等，並進而營造後市場的需求結合六級化產業推動的契機。

(四)優值竹產品示範區的推動：建立如OTOP(One Town One Product)一鄉一特色實際體驗之國產竹製精品行銷輔導機制，透過竹產品應用與行銷示範區的建置，提供投資者與民眾實際體驗與異業結盟機會，對形成上下游產業鏈與破除民眾對竹材應用的刻板印象、結合觀光休閒與社區總體營造發展具有地方特色之竹產業或國家競爭力之竹產品，都能具備健全竹產業體質與創新產業應用機會。

(五)發展特殊高經濟竹種及生物農業資材進行環境改造：開發推廣如耐鹽烏腳綠竹等可應用於鹽鹼地或田間、海岸防風林混種等物種，或發展以竹炭/醋為載體之農業用生物製劑等，都是可直接提升竹農收益或竹產業與環境效益結合的積極作法。

竹材高值化加工與新型產品技術研發的本質在於協助竹產業者加速產業升級或轉型，而本文所提及之群聚、異業結合高階產品開發並取得品質認證，則可將竹農、加工業者到行銷通路商之間的串連成為六級化產業技術發展的關鍵，不但可加速二級加工業者跳脫單純接單和代工的低利商業模式思維，朝向高利潤產品發展，與竹農所代表的一級產業間的直接串連，更有機會讓竹農對竹產業的發展能直接享受獲利分享的正面貢獻。