

竹炭的功能及其利用

文 ■ 劉正字 ■ 國立中興大學森林學系名譽教授

木材經炭化再利用為人類傳統技藝之一，先民利用木材加熱炭化技術將木材轉變成木炭，藉此提高木材做為燃料用途時之熱值、減少發煙量，並防止木材腐朽、延長儲存期限，炭化材除做為燃料外，並大量應用於水質淨化等用途。然隨時代變遷、人類科技發展日新月異，化石燃料、天然氣、電力等大量開發及普及，傳統木炭之用途已大幅萎縮，製炭工業亦因此漸形沒落。然近年來有感於化石原料日漸枯竭，且過度使用化石原料已造成全球氣候異常變遷，世界各國對此莫不同感驚恐，如何維護地球之大氣及生態環境、如何減少石化原料之利用、如何尋找替代能源及資源，已成為21世紀人類所要面臨之首要課題。木材為森林之主產物，全球蓄積豐富，更重要的它具備再生性之特質，在合理的經營、管理及使用條件下可永續提供此原料資材；因此如何有效利用此天然資源，協助人類跨越即將面臨的化石原料短缺問題，進而開拓森林產物之用途為林產加工利用相關之學術研究人員及業界共同努力之目標。

竹材為台灣森林重要主產物之一，以往

曾在房屋建築、家具製造、家居產品開發、農漁牧產業利用、食品開發等各領域扮演重要角色，但近十數年來因各加工產業對材料使用選擇變革，復以國內人工成本過高，且面臨國外低價產品之競爭，使國內竹材產銷面臨嚴重之困境而日形萎縮，此不但影響台灣竹林地之更新，更衝擊廣大林農之經濟收益。所幸，近幾年來在政府單位、學術界及產業界共同努力下，將傳統木材製炭技術經改良後應用於竹材炭化，所獲得之竹炭材及竹醋液等產物具備許多優異之特殊性能，並開發出甚多高價值之衍生產品，進而為台灣竹林帶來新的生機。為推廣竹材之利用，本文將以「竹炭的功能及其利用」為主題，就竹材的炭化及其產物、竹炭的理化學性質、竹炭之功能性及竹炭之利用等內容做介紹以分享讀者。

一、竹材的炭化及其產物

（一）炭化法

所謂竹材的炭化乃在隔絕或限制空氣狀態下，以高溫加熱竹材使竹材之化學組成分進行熱分解（Thermol decomposition），



在炭化窯中竹材組成分將發生熱裂解反應、重排反應、縮合反應等複雜之反應，並產生氣體之煙，殘留固體的竹炭，此即謂之竹材的炭化。炭化工業依設定之主產物不同可區分為製炭工業及乾餾工業兩大類，此兩者均為對竹材行真空加熱進行熱分解反應，但前者以獲得竹炭為主，後者以獲得餾出液，兩者在製程中所採行之溫度控制條件不同，圖1則為其製程之示意圖。

一般製炭所採用之炭化設備主要有土窯及機械爐兩大類，傳統土窯一次生產量大，所需之外加能源供應成本低，僅炭化初期在爐口燃燒室燃燒薪材，並將產生之熱源送入炭化室使木質材料之溫度升高，在達木質材料熱分解溫度後，即可藉由炭化過程所釋放之熱量持續提升窯內溫度而不須再提供外加熱源，但升溫較慢，生產所需時間較長；

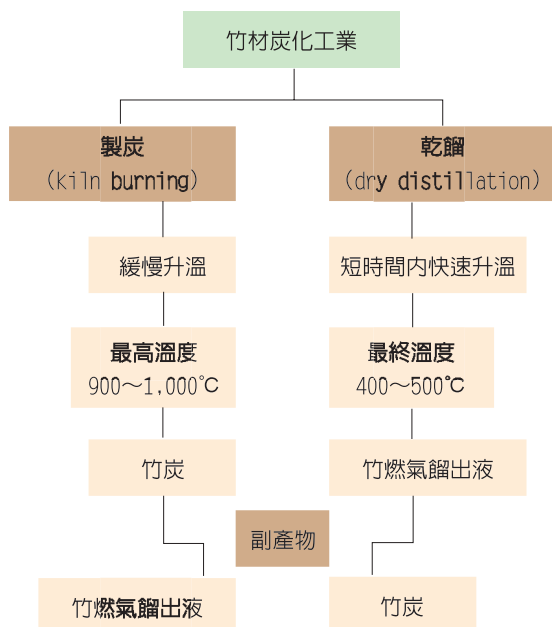


圖1 竹材炭化製程之示意圖。

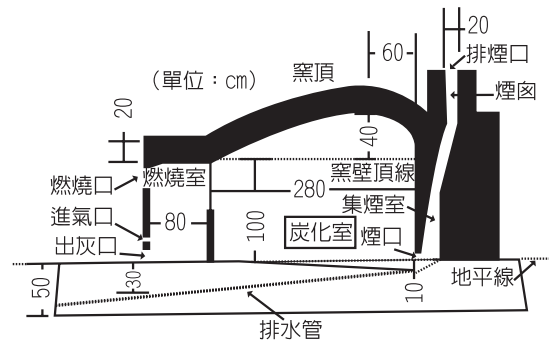


圖2 竹炭窯之剖視圖（黃國雄等原圖）。

機械爐則主要藉由電加熱或燃油加熱之方式全程提供外部熱源進行炭化程序。傳統土窯由於溫度控制困難，操作員須藉由排煙狀況判定窯內炭化進行程度，故操作員須具備豐富之經驗。圖2為竹炭窯之剖視圖，以下僅就傳統土窯之炭化程序做一概要介紹：

1. 竹材的調整

通常選擇4~6年生竹材為原料，竹材前處理步驟包含：

截斷：通常採用之截斷長度約1 m長。

縱剖：將竹材縱向剖開，剖切方法包含二分割、四分割、六分割等。

煙燻：煙燻處理時室內溫度最高150°C，而竹材周遭溫度約80~100°C。煙燻最主要之目的在：（1）可防止蟲害、黴害及縱向開裂等三種危害；（2）使含水率均勻化；（3）增加硬度，改變表面顏色。

氣乾：所需時間約1~2個月，通常控制竹材進窯前含水率約15%左右。

2. 進窯

將竹材置入炭化窯內，其排列方式為

竹桿根部向上（先端部在下）的方向直立方式放置。並在窯頂上方空間橫向放置竹材（上木）做為引火材。

3. 點火

焚燒口投入燃料材，預熱3~4天，上層竹材溫度約120~130℃。

4. 炭化

窯內上層溫度達250℃（275℃）後以自發反應熱進行炭化，可不必再使用燃料材，隨後封閉焚燒口，只留進氣口。此時進行一次炭化，窯內溫度約可達400~500℃。

5. 精煉

為二次炭化，此時窯內溫度提高至800~1,000℃，須放大進氣口，並逐漸放開煙囪排煙口。

6. 封窯、消火、出炭

先封閉進氣口，一段時間後封掉排煙口，炭化時間3~4天，以行消火，確認窯內溫度後，冷卻時間約需6~7天，再折開窯門，進行最後的出窯作業。

圖3則為再燒成製炭法，為一改良式之竹炭燒製法，其與傳統製炭法之不同在於經400~500℃之一次炭化處理後，先經出窯冷卻，隨後再入窯進行二次炭化程序。

（二）竹材炭化產物

竹材經炭化處理後除產出固體之竹炭外，在炭化過程亦將因竹材組成分之熱分解作用，產生氣體產物及部分氣體冷凝形成之液體竹餾出物，此液體產物經靜置處理後又可分層形成輕竹焦油、竹醋液及竹焦油等產物，圖4為其產物示意圖。

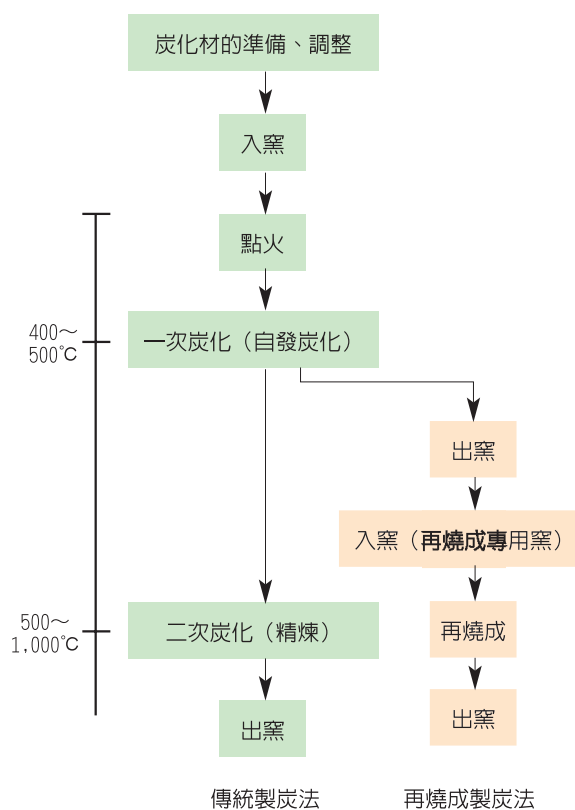


圖3 傳統製炭法與再燒成製炭法之流程。

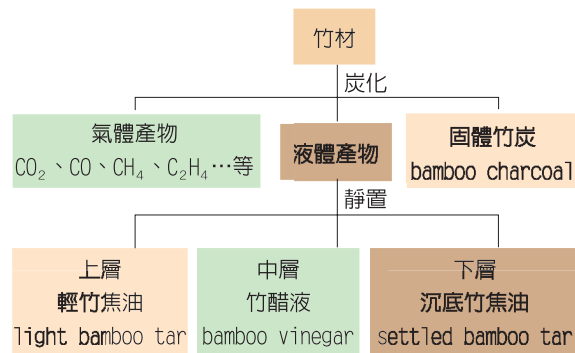


圖4 竹材炭化產物示意圖。

二、竹炭的理化學性質

前述炭化乃在隔絕或限制空氣狀態下，以高溫加熱竹材使竹材之化學組成分進行熱分解之作用，然實際炭化過程為一複雜的化學反應，其中包含化學組成分中（1）C-H、C-C鍵斷裂，形成自由基；（2）裂解後的



分子重排反應；(3) 熱聚合作用；(4) 芳香環縮合作用；(5) 去支鏈作用等許多不同反應同時或在不同階段進行。經炭化處理之竹材雖仍保持其原有之組織型態及孔隙，但在炭化過程中多數的氫及氧等元素將以不同型態的化合物氣化而脫離竹材，最後形成以碳元素為主之層狀六環結構之竹炭構成體，且在碳元素重排與縮合過程中將在細胞壁內部形成許多微孔隙，因此賦予竹炭大的比表面積及優異的吸附能力。以下列舉幾種常見之竹炭特性。

(一) 容積重 (Volumetric gravity; g / cm^3)

竹炭之容積重隨炭化溫度之增高而增加。

炭材種類	容積重 (g / cm^3)	加熱溫度
孟宗竹炭	0.43	炭化溫度 600°C
黑炭：日本赤松	0.27	炭化精煉溫度 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$
麻櫟	0.48	
白炭：小櫟	0.68	炭化精煉溫度 $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$

(二) 硬度 (Hardness) (三浦式，鉛1，銅12，鋸用鋼20)

孟宗竹炭：5 (炭化溫度 600°C)

黑炭：日本赤松1~5；麻櫟8。

白炭 小櫟12；烏剛櫟18。

(三) 著火溫度 (Ignition point)

竹炭： $320\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。

黑炭： $320\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。

白炭： $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

(四) 卡值 (Calorific value; cal / g)

孟宗竹炭：7,840 cal / g (炭化溫度 600°C)。

黑炭：日本赤松8,050 cal / g ；麻櫟7,970 cal / g 。

白炭：小櫟7,770 cal / g ；烏剛櫟7,780 cal / g 。

(五) 工業分析值

炭種類		水分 (%)	灰份 (%)	揮發分 (%)	固定炭 (%)
竹黑炭	孟宗竹	5.1	2.2	15.5	77.2
	剛竹	6.8	3.1	15.1	75.0
竹白炭	孟宗竹	6.2	2.2	9.3	82.3
	剛竹	8.5	3.1	9.9	78.5
木炭	黑炭	7.2	1.7	8.4	82.7
	白炭	10.0	1.9	4.5	83.6

(六) 電阻值與電導性 (Electrical resistance and Elective conductivity)

製炭時，炭化溫度愈低，所得竹炭對電之抵抗力愈大，即電阻愈大。在炭化溫度 800°C 之前，隨採用炭化溫度增加，其電阻迅速減少；亦即其導電度增加。而炭化溫度 800°C 以上時，則此隨溫度而發生之電阻變化減小。此特性可應用於竹炭精鍊度測定，達 800°C 以上時其電阻再變化小，故可由電阻值變化之測定而確認其精鍊度。下表即為竹炭精鍊度與電阻值之關係。

精鍊度	電阻值 (Ω / cm)
0	$<10^0$
1	$\geq 10^0$ $<10^1$
2	$\geq 10^1$ $<10^2$
3	$\geq 10^2$ $<10^3$
4	$\geq 10^3$ $<10^4$

精煉度	電阻值 (Ω / cm)
5	$\geq 10^4$ $< 10^5$
6	$\geq 10^5$ $< 10^6$
7	$\geq 10^6$ $< 10^7$
8	$\geq 10^7$ $\leq 5 \times 10^8$
9	$\geq 5 \times 10^8$

(七) 無機組成分

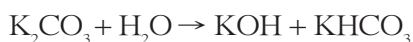
竹、木炭	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Si	Ge
孟宗竹	0.58	0.01	0.05	0.14	0.01	0.05	0.62	<0.05
剛竹	0.76	0.01	0.04	0.06	0.01	0.01	0.34	<0.05
日本赤松	0.16	0.01	0.36	0.07	0.03	0.05	0.05	<0.05
檜	0.25	0.04	0.37	0.03	0.02	0.01		<0.05

(八) pH值

竹炭：無論高低溫炭化均為鹼性。

木炭：低溫炭化（500℃）為酸性，高溫炭化（600～700℃以上）為鹼性。

此可能與竹材含較多量的鉀有關，碳酸鉀溶於水產生氫氧化鉀與碳酸氫鉀。



三、竹炭之機能性

竹炭的各種功能性取決於炭化溫度之高低，圖5為木質材料在加熱炭化過程不同溫度條件下所得產物之現象、所進行之轉化過程、產物、產物之機能性及已開發、可開發或可期待開發之材料說明圖。由圖5可見隨加熱溫度提升，木質材料由逐步進行熱降解、熱分解、木炭化、碳化及石墨化反應，經不同熱處理條件所得產物將具備不同機能性及用途。

由於竹材經炭化處理所得竹炭具備特殊之內部微孔隙構造，以下僅就竹炭之吸附特性及調濕功能加以說明。

(一) 吸附特性 (Adsorption)

包含物理吸附及化學吸附兩種作用，受竹炭之比表面積所影響，而比表面積與炭化溫度有關。

竹炭的炭化溫度與比表面積			
炭化溫度	500	700	1000
比表面積	360.2	361.2	490.8

1. 氨及三甲基胺 (Trimethylamine) 的吸附以500℃之竹炭為最佳。

2. 苯、甲苯、甲醛的吸附以900～1000℃炭化之竹炭為最佳。

3. 吲哚 (Indole) 及3-甲基吲哚 (Skatole; 3-methyl-indole) 為含於動物排泄中之惡臭成分，以1000℃炭化之比表面積較大之竹炭吸附效果較佳。

(二) 調濕功能

1. 在相對濕度40～70%範圍內能顯著增加吸濕量的材料為優良的調濕材料，此種調濕材通常在其內部具有多量的微細孔隙，相對濕度上升時，水分可被孔隙吸附，而減少空氣中之水分；相反地，相對濕度下降時，孔隙中保有的水分乃蒸散於空氣中，以發揮調濕的功能。

2. 孟宗竹炭化溫度500～900℃所得之竹炭，在相對濕度40～60%範圍內吸濕量有極顯著的增加，即吸濕等溫線急激上昇。以前認為是孔徑2～50 nm之中孔 (Meso pore)

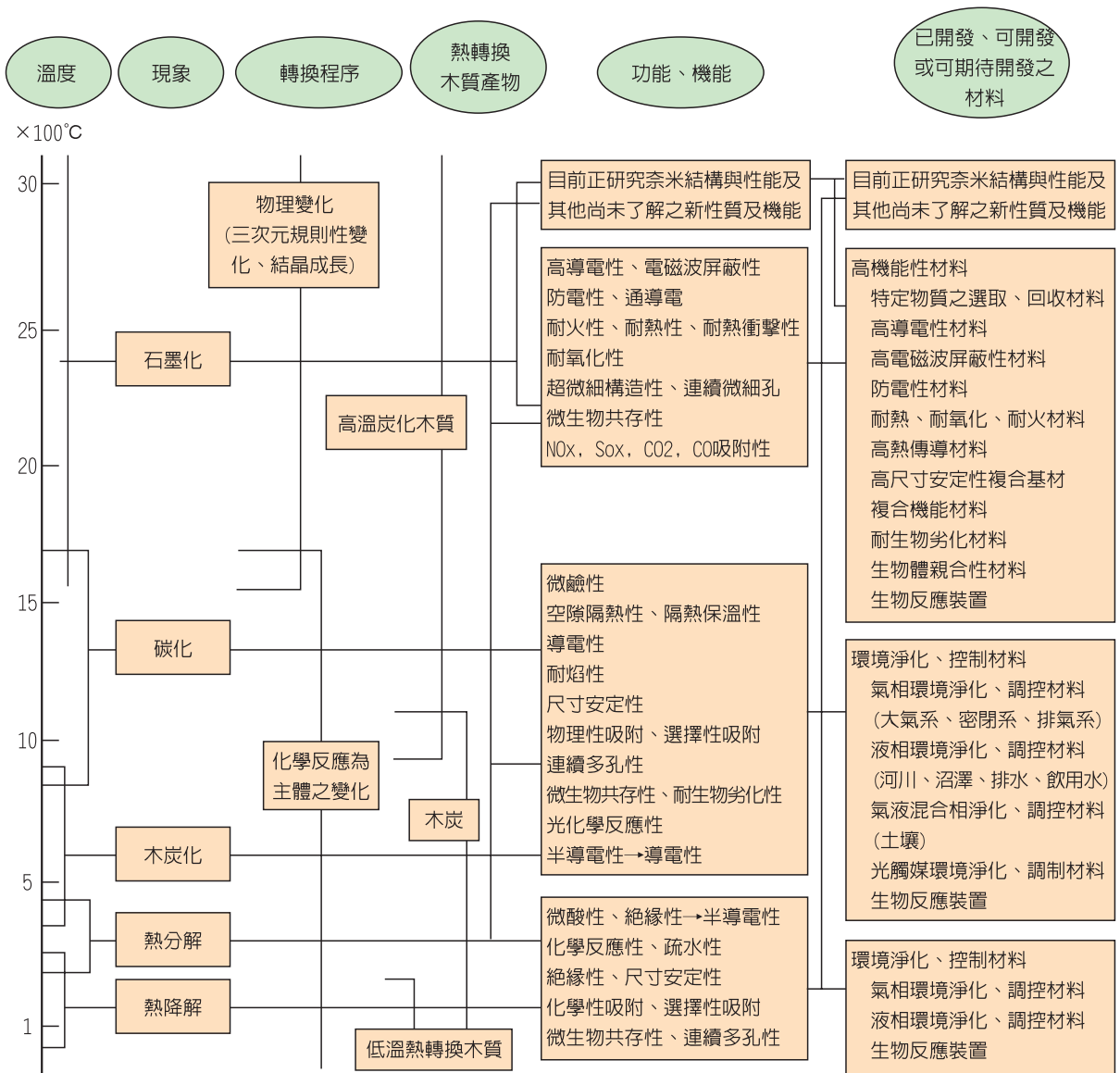


圖5 木質材料經熱轉換所得產品、可賦予機能及可開發材料 (石原原圖)。

所引起，但現在則認為由於孔徑0.5 nm之微孔 (Micro pore) 引起的可能性較大。

3. 各種液體蒸氣，對如此微細孔之填充，當液體與炭的親合性較大時 (如甲醇、其接觸角約0度)，在低的蒸氣壓下 (10%以下) 發生，但水與炭之親和性不佳 (接觸角

大於85度)，主要發生在相對濕度40~60%之範圍，可謂竹炭之特殊調濕機能。

而與一般之木材製炭比較，以竹材製造竹炭上有下列優點。

(一) 竹較容易定時取得同一種類、年齡、徑級之定量原料，有利於建立竹炭定量

生產管理之體制，且較易於從事產品之品管，提昇產品之品質。

(二) 在單位面積木質組織中之維管束數，竹材比木材多，且竹材有較多之微細孔，因此竹炭之吸附性能較木炭佳。

(三) 竹所含成分中，有較大的防菌作用者；以及在現階段尚難以科學方法證明的對一些病痛的治癒效果，在竹醋液中更顯現其多數之特性。

四、竹炭之利用

基於上述竹炭之各種理化學性質及功能性，目前我國CAS標章台灣優良林產品一般用途竹品質規格標準及標示規定，一般用途竹炭依用途區分為(1)調濕用(2)保鮮用

(3)水處理用(4)飲用水用(5)除臭用(6)洗滌用(7)保健用(8)纖維紡織用(9)其他。

五、結語

竹炭產業可區分為上、中、下游，其中上游主要為竹林的經營與管理以培育良質的炭化用原料竹。中游則為竹材的炭化，目標在生產各種不同功能性的優質竹炭。下游則為竹炭的利用，並依各種功能性，拓展不同的高科技高經濟價值的竹炭產品。惟有實際做好下游利用的研發工作，方能使中、上游的製炭業者與營林的林農獲得保障，帶動整個竹炭產業的發展。🌱

