

臺 灣

# 生物炭產製

Taiwan Biochar

## 與農業應用指南



# Taiwan Biochar



# 目錄

序 · 推薦序		0 1
chapter 1	<b>緒論</b>	
	第一節 生物炭產業現況	李宜映、陳韋辰 0 8
chapter 2	<b>製炭技術設備</b>	
	第一節 製炭設備	吳耿東 1 6
	第二節 製炭與增值技術	倪禮豐 2 3
	第三節 生質能與炭化技術之整合	吳有恒 3 0
chapter 3	<b>生物炭功效</b>	
	第一節 生物炭與作物之關係	
	蔡正賢、陳鴻堂、江汶錦、張廖伯勳、黃文益	4 0
	第二節 生物炭複合緩釋肥之應用	簡士濠 5 2
	第三節 生物炭於都市林之應用	吳羽婷 6 1
chapter 4	<b>料源供應及應用管理平台</b>	
	第一節 生物炭料源供應及應用管理平台	鄭美如 7 6
chapter 5	<b>炭品規格分級與安全規範標準</b>	
	第一節 生物炭之分級	陳琦玲 8 4
	第二節 生物炭之安全性	梁瑩如、張敬宜 9 1

chapter 6	<b>生物炭碳匯效益</b>		
	第一節 生物炭之碳匯能力	陳琦玲	102
chapter 7	<b>經濟效益評估</b>		
	第一節 生物炭介質之研發與效益	楊爵因	110
	第二節 菇包剩餘介質再利用	薛佑光	118
	第三節 生物炭於水產養殖之應用	劉俊宏	124
	第四節 生物炭產品之多元應用	林裕仁	134
chapter 8	<b>地區營運模式範例</b>		
	第一節 北部生物炭產業鏈模式	邱祈榮	142
	第二節 中部生物炭產業鏈模式	徐英綺	146
	第三節 南部生物炭產業鏈模式	龍暉	152
chapter 9	<b>生物炭產業夥伴</b>		
	第一節 臺灣生物炭產業聯盟夥伴名單	林文風	158
參考文獻			162
專有名詞及縮寫對照表			168

# 圖目錄

圖 1- 1	美國生物炭生產者年產量	1 0
圖 2- 1	炭化溫度與孔隙大小之關係	1 7
圖 2- 2	國立中興大學 100 kg/hr 連續進料量產生物炭多腔爐(吳, 2018)	1 9
圖 2- 3	國立中興大學 100 kg/hr 連續進料量產生物炭多腔爐系統示意圖(吳, 2018)	2 0
圖 2- 4	製炭 TLUD 爐原理	2 5
圖 2- 5	製炭 TLUD 爐引火材料用量	2 6
圖 2- 6	製炭 TLUD 爐鼓風機及點燃引火材料	2 6
圖 2- 7	製炭 TLUD 爐燃燒第一層速度移動	2 7
圖 2- 8	製炭 TLUD 爐完成炭化	2 7
圖 2- 9	多功能生物質燃燒爐	3 2
圖 2- 10	生質熱能吸收式製冷系統	3 6
圖 2- 11	改良型生質熱能吸收式製冷系統	3 6
圖 3- 1	溫室土(上)與臺東區農業改良場過路埤土(下)之差異	4 2
圖 3- 2	不同生物炭添加量對青江菜連續 3 作產量之影響	4 3
圖 3- 3	溫度燒製生物炭及溶磷菌施用於紅豆田間試驗產量之影響	4 7
圖 3- 4	種類之生物炭及溶磷菌施用於洋蔥田間試驗產量之影響	4 7
圖 3- 5	生物炭降低草莓葉部病害	4 9
圖 3- 6	美國 S-119 氣簾式燃燒器	5 4
圖 3- 7	氣簾式燃燒器運作原理	5 5
圖 3- 8	氣簾式燃燒器產製生物炭成品	5 5
圖 3- 9	臺灣 YD300 造粒機設備	5 6
圖 3- 10	生物炭緩釋肥料	5 7

圖 3-11	盆栽與田間施用複合緩釋肥	5 7
圖 3-12	盆栽與田間施用水分抽出器	5 8
圖 3-13	田間試驗複合肥施用	5 9
圖 3-14	生物炭緩釋肥料於土壤中分解速率	6 0
圖 3-15	生物炭混有機肥處理前後土壤細菌種類及歧異度差異	6 9
圖 3-16	生物炭混有機肥處理前後土壤細菌群落結構之多重變異分析	7 0
圖 3-17	都市林木施用生物炭與有機肥處理前後土壤細菌群落消長之熱點圖	7 1
圖 3-18	都市林木生物炭混有機肥處理前後土壤細菌群落結構與環境因素之多重變異分析	7 2
圖 4-1	生物炭料源供應及應用管理平台首頁入口	7 9
圖 4-2	生物炭生產鏈管理系統的炭品追蹤管理(須有帳號登入)	7 9
圖 4-3	生物炭料源供應空間決策系統	8 0
圖 4-4	生物炭知識服務系統	8 1
圖 5-1	炭品管理之檢測流程	9 4
圖 6-1	臺灣酸性土壤分布圖	10 6
圖 7-1	菇包生物炭燒製之介質	12 0
圖 7-2	種苗場簡易型 TLUD 炭化爐	12 0
圖 7-3	菇包炭添加介質進行甘藍穴盤育苗效果	12 1
圖 7-4	生物炭對有機物及無機污物之吸附機制	12 6
圖 7-5	秀珍菇廢菇包生物炭試驗	12 9
圖 7-6	應用園藝工程規劃生物炭改善都市林土壤示意圖	13 5
圖 8-1	大溪新峰社區推動示意圖	14 3

圖 8- 2	新農業循環經濟與傳統農業關聯示意圖	1 4 6
圖 8- 3	廢棄菇包再利用高值產品循環經濟示意圖	1 4 8
圖 8- 4	廢棄菇包高值利用產業鏈示意	1 4 8
圖 8- 5	菇包炭與醋液之應用	1 4 9
圖 9- 1	北區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照	1 6 0
圖 9- 2	中區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照	1 6 1
圖 9- 3	南區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照	1 6 1

## 表目錄

表 3- 1	西元 2007 年不同生物炭添加對青江菜試驗後之土壤分析	4 4
表 3- 2	標準土壤性質	5 8
表 3- 3	毛柿生物炭處理前後土壤之化學物理性質分析	6 3
表 3- 4	四棵毛柿生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質	6 4
表 3- 5	都市林木生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質	6 6
表 3- 6	都市林木經生物炭混有機肥處理前後土壤顆粒組成之差異	6 8
表 5- 1	生物炭國際標準與農試所暫擬標準比較	8 5
表 5- 2	不同土壤酸鹼值 (pH) 所施用生物炭之比例	8 9
表 5- 3	臺灣地區炭品有害物檢測之建議閾值	9 5
表 7- 1	不同碳料及不同燒製條件之生物炭對氨 - 氮吸附力之差異	1 3 0
表 8- 1	南部地區各縣市多年生主要作物統計表	1 5 3
表 8- 2	屏東縣栽植蓮霧前五大鄉鎮統計表	1 5 4
表 9- 1	臺灣生物炭產業聯盟夥伴成員	1 5 9




# 序

## 行政院農業委員會林業試驗所 張彬所長

行政院於 2016 年推出「五加二」產業創新，其中包含循環經濟、新農業等項目。生物炭在農業中就是一項重要的循環技術，可將農業生產剩餘資材製成生物炭並回歸到農地中，並可有效改良土壤品質。

2015 年於巴黎舉行的聯合國氣候變化綱要公約第 21 屆締約國大會 (COP21) 上，所提出的土壤「千分之四」倡議中，將生物炭視為最直接有效的方法。倡議內容提到，若每年可增加千分之四的碳蓄積量於土壤表層中，就能平衡每年因人類活動增加至大氣中的二氧化碳量。而在 2019 年於馬德里所舉辦的第 25 屆大會 (COP25) 上，也仍然提到生物炭是達成千分之四倡議目標的主要方法。可見對於形塑循環農業與減緩地球暖化，生物炭扮演舉足輕重的角色。

由於生物炭在國內屬於新興產業，在發展初期需投入較多資源，進行技術研發與實務推動，而這重責大任就由行政院農業委員會賦予林業試驗所來執行。從 2016 年底林業試驗所就開始規劃結合各試驗單位與大專院校，籌組相關領域專家學者來共同分工研究，以強化團隊的研發量能。



未來生物炭產業的推動上，林業試驗所將強化示範場域的建置。在產業發展初期，示範場為重要的參考標的，從料源的取得媒合到炭品的產製運銷，提供了一完整演練的資訊。因此，朝產業化推動的同時，林業試驗所團隊將逐步健全料源的回收機制，以區域性經營模式來降低料源運銷成本。後續須努力的是確認生物炭產業的主管機關與其權責，讓試驗研發單位能與主管機關密切合作，以訂定產業輔導機制與補助方案，在推動生物炭的路上能更為順利。

最後，很高興林業試驗所能有機會編訂「臺灣生物炭產製與農業應用指南」，有系統性的將產業現況、製炭設備、應用功效、標準規範及應用管理平台等成果資訊一一呈現，相信對於炭品標準的依循及技術發展有莫大的幫助。同時，提供了產業界想要投入生物炭的廠商，有一全面性介紹的工具書，對生物炭產業的未來發展更具有正面的助益。

# 推薦序

## 樹花園股份有限公司 李有田董事長

我印象中最早接觸生物炭這項功能性產品，始於 2009 年赴日參加研討會，從 Toholeo 公司得到生物炭相關資訊，然而當時尚未有循環經濟的概念，也因詢問後得知價格高昂而未繼續接觸。接下來幾年，陸續發現歐美都有發展生物炭產業，進一步了解生物炭為相當不錯的多孔性保肥人工介質，施用後會改變土壤物理結構，因而開始從印尼進口生物炭產品，作為園藝土壤的資材原料。生物炭具有立體結構，除保肥外還有效抑制有害病原菌生長，且其比重比土壤輕，所以更適合放在陽台或屋頂，當成綠屋頂或綠牆等薄層綠化的土壤資材。

生物炭為區域型產業，使用上對環境友善，很適合於我國投入資源來發展。然而臺灣目前常見炭化稻殼燒得過細，較不適合當土壤介質使用，因此目前生物炭的產製的規格分級，包括顆粒大小、炭化溫度跟碳氫比的標準訂立非常重要。除此之外，生物炭的應用管理跟料源平台也需要被建立，有助於加速產業發展。我推薦這本書其對生物炭產業有相當詳盡的介紹，對於製炭、與作物的關係、釋肥、都市林應用、安全性，以及於各項產業應用的功效也有清楚的說明，非常實用，值得推薦給農、園藝相關從業人員，以及對生物炭產業有興趣的朋友閱讀。


# 推薦序

## 循環台灣基金會創辦人 黃育徵董事長

連續幾年，世界經濟論壇都將「氣候變遷」列為全球影響最大、發生機率最高的風險。因此全球紛紛提出能源轉型、工業減排的計劃，但農業行為其實也是造成碳排放的主因之一。原因在於慣行農法對於土壤生態的破壞，導致了土壤的固碳能力下降，含有的碳也被大量釋放，地力喪失與氣候異常的情形，最終也嚴重衝擊農業生產。

臺灣除了嚴重仰賴化學肥料之外，九成以上的肥料、飼料、六成以上食物皆仰賴進口，運送過程造成的大量碳排放之外，面對市場價格波動或者供應管道中斷時，也容易遭受嚴重的影響。因此臺灣要打造一個永續、具韌性的農業，不僅要改變慣性農法、改用能夠恢復土壤健康的肥料，這樣的肥料還應該要能夠地產地銷、自給自足。

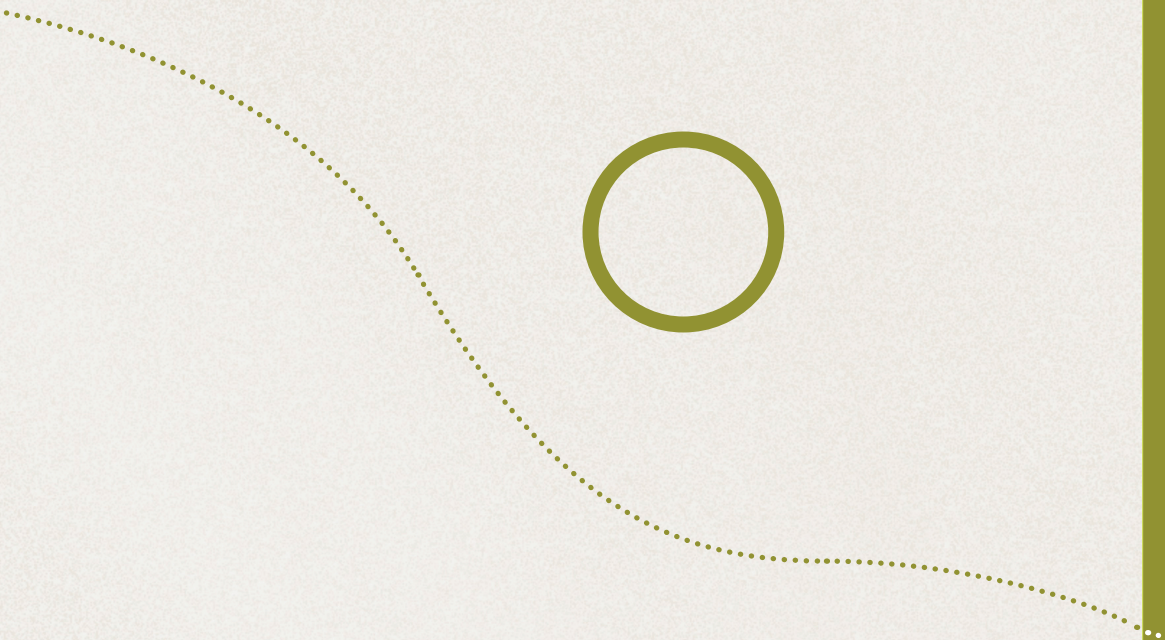
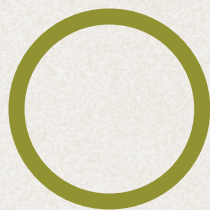
以台糖東海豐循環園區為例，畜殖場本身除了養豬之外，也將自身與鄰近農場的豬糞尿化為沼氣發電與肥料，能夠供應綠能與週遭農場的資材需求，形成一個「新農業循環網絡」。



將農業廢棄物製作為生物炭，可以是農業實踐循環經濟的一環。除了減少肥料需求，甚至取代化肥之外，也能夠增加土壤含碳量、改善土壤健康。同時，透過系統性的整合，讓在地的農業廢棄物優先成為在地的資材，形成一個具有韌性的在地農業網絡，也能創造高度資源價值與在地就業機會。

由林業試驗所出版的這本書著重於生物炭的產製、功能與農業上的使用效果，也介紹了區域經營產銷的狀況，具有相當的實用價值。我也鼓勵讀者從更廣的角度切入，從氣候變遷、循環經濟的角度切入，找到生物炭對臺灣農業的多重價值，並一同投入實踐，為下一代打造一個零廢棄、零污染的循環臺灣。

戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

1

緒論



## 第一節

# 生物炭產業現況

李宜映 陳韋辰

### 一、前言

面對日漸嚴峻的資源限制與氣候變遷，各地都在尋求解決農業生產環境永續的策略，近年來，生物炭(Biochar)被認為具有改善土壤、促進作物生長及固碳之效果，被視為減緩氣候變遷對環境影響程度的可能手段。

生物炭本質為微鹼性，其具有多孔性及高「比表面積」(單位重量的表面積)的特性，可中和酸性土壤、增加土壤的保水力及通氣性，並吸附土壤養分，使養分不易流失。生物炭是將有機物經高溫熱裂解(Pyrolysis，指不完全燃燒或缺氧環境燃燒的過程)所產生的固體產物，少部分是經由氣化產生。整個高溫熱裂解過程中除了產生固體的炭之外，同時也會產生乾餾液(醋液)、焦油、一氧化碳(CO)及其他可燃性氣體。由於生物炭的碳鏈具有生物惰性，不易經生物分解(生物炭在自然環境中的半衰期高達500~1000年甚至更長)，可以長時間將生物炭固定成礦物炭，藏碳於地，達到真正的減碳，降低溫室效應所導致的全球暖化問題。

## 二、生物炭產業市場概況

### (一) 生物炭之產業型態

生物炭已成為具有高度發展價值的土壤管理策略手段，同時在國際上開始進行大量研究。近年來，投入生物炭生產和應用的企業逐漸在全球興起，出現在世界各地，見證生物炭產業雛形的誕生。

生物炭的產業型態大致可分為三大類：

1. 生物炭的生產或產品的銷售。
2. 生物炭生產設備的製造商。
3. 生物炭諮詢及產品開發等周邊相關企業。

目前這些企業主要設立於已開發國家，有超過一半是位於美國，約四分之一位於歐洲。在產業的發展階段中，這樣的分布比例並不意外，生物炭企業通常會積極研究與努力開發，目的在奠定成功的生物炭技術、系統與商業模式，而這需要先進的技術與設備支持。

## (二) 國際市場 (以美國為例)

2018 年 10 月 Dovetail Partners 發表「美國生物炭之調查分析」，透過網路問卷，對 61 份生物炭生產者及 58 份生物炭使用者進行生物炭的認知、使用行為、預期未來產業等問題之調查及分析。

美國生物炭廠商多為規模較小的生產者（年產量小於 50 噸），占 66%（圖 1-1），業者傾向能有大量、連續且低成本（集貨運輸）的穩定料源來進行生產，其生物炭原料的主要來源屬於林業產業（其具集中、均質及含水率低之特性）。在生物炭的利用方面，以農業土壤應用為主要市場，主要用於增加農業土壤碳封存能力、保水力、保肥力及土壤通氣性等。

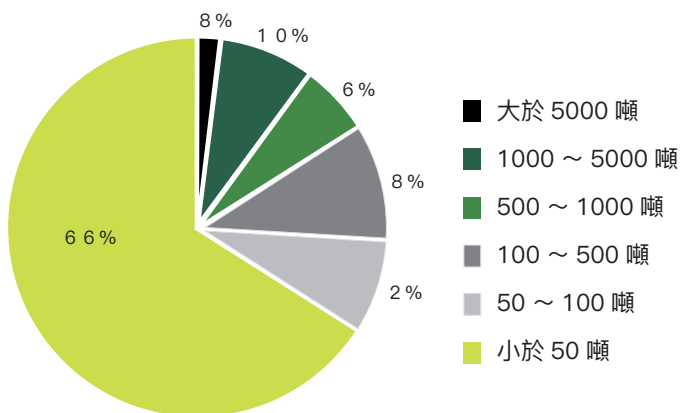


圖 1-1 美國生物炭生產者年產量

資料來源：Survey and Analysis of the US Biochar Industry (2018)

### (三) 生物炭產業之發展與阻礙

生物炭市場潛力普遍樂觀，然其為新興產業，因此還有很大的發展空間。在產業的發展初期，企業群需要時間來建立知識庫、可行的商業模式與客戶網絡，但其中也存在著各式阻礙產業的問題：

#### 1. 消費者缺乏對生物炭的認知

根據調查結果顯示，國內多數消費者對生物炭認知較為缺乏，不了解相關資訊，並未知其效果；且部分使用過生物炭之使用者可能因使用方法錯誤，導致作物生長不良、產量下降，及初期施肥量須提高之使用者反應。後續可透過推廣手冊及諮詢服務來達到生物炭使用之教育目的，另可比照肥料資材的施用，於生物炭包裝上提供建議施用量及使用資訊，以合理化使用生物炭資材。

#### 2. 技術障礙導致產能侷限於農業使用

目前生物炭產業的規模和應用範圍非常有限，需要更深入的投資研發，同時降低生產的技術門檻。再者，必須優先精進生物炭製造設備，確保能夠產出具一致性的產品，並最小化每單位產品的製造成本，成本將是影響生物炭發展的關鍵因素。除生產硬體設備外，尚需釐清生物炭及其複合產品的物化、生化特性和相關應用技術，以求更進階的應用。

### 3. 法規對產業各階段的限制

生物炭可作為減少廢棄資源，提高碳封存及土地生產力的有效方式，然而生物炭提倡者需要強化教育推廣活動的辦理，制定相關獎勵方案，提升大眾對於生物炭的認可，並透過政府機構進行推廣，開拓新的市場機會提升消費者認知，以促進生物炭產業發展。

生物炭產業面臨重重問題，然多數人對於生物炭未來發展還是持正面態度，在此歸納三項有助於產業發展的策略，提供後續推廣之參考：

- (1) 需要持續關注生物炭最終產品的特性和質量，其中制訂標準規範被視為首要工作。
- (2) 需要持續教育大眾和客戶，支持生物炭技術的產品化。
- (3) 需要更多的科學證據，支持生物炭所衍生的各項效益。

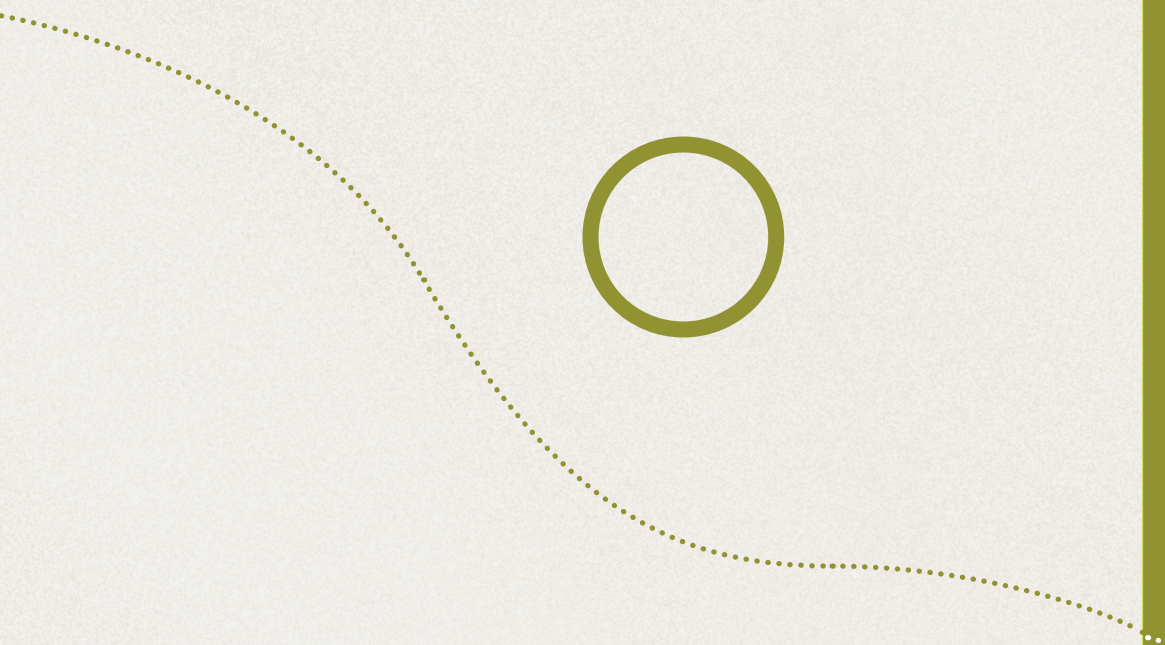
### 三、 展望

過去臺灣農業資材剩餘物數量眾多，造成許多棄置、清運及環保等問題，行政院農委會推動農業剩餘資材進行循環與增值再利用，期望將這些剩餘資材轉換為可利用之生物炭，產出具有高經濟價值的副產品。

生物炭為臺灣的新興產業，雖然北、中、南各區已發展出其各自的產業鏈模式，然整體來說尚有原料來源、設備更新、技術升級及行銷通路等問題仍待解決，因此集合生物炭相關專家編撰出版「臺灣生物炭產製與農業應用指南」一書，希冀可提供有關生物炭產業發展的相關資訊，諸如設備、經濟效益、炭品規格及預期效益等。另一方面，藉由生物炭產業聯盟的正式成立，可提供生物炭相關知識及技術諮詢，作為產、官、學、研界之間的交流平臺，並藉由定期舉辦生物炭媒合會與交流會，持續穩定推動生物炭產業鏈的建構，進而提升生物炭產品在臺灣的應用價值。



戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

# 2

## 製炭技術設備



## 第一節

### 製炭設備

吳耿東

#### 一、前言

儘管生物炭的利用已獲得各國的重視，但生物炭本身的物性與化性，如生物炭孔隙度、製備溫度等，則缺乏研究，使得因各研究使用生物炭的條件差異甚大，在植物生長與土壤的研究上亦有諸多差異。根據生物炭及菌根菌群叢之間相關的實驗結果顯示，生物炭的孔洞提供微生物棲息地，並做為防止食用菌絲的動物侵犯的避難所 (Swift et al., 1979; Kawamoto et al., 2005; Glaser, 2007; Hockaday et al., 2007; Warnock et al., 2007)，這孔洞也形成了可貯積養份及水份的儲藏室。

過往的研究亦證實，小白菜作物在添加 10% 相思樹木材焙燒 (Torrefaction)(250 ~ 350°C) 與炭化 (Carbonization)(500 ~ 600°C) 之生物炭，在種植 30 天後，小白菜乾重會隨著生物炭製備溫度的升高而有增加之趨勢，但過高製備溫度的生物炭，特別是添加活性碳 (900°C 製備)，並未有較佳之表現，亦即添加過高溫度製備的生物炭，作物乾重逐漸下降，顯示其不太適合作為土壤添加材料；此外，使用 500°C 製備的生物炭可達 5 倍之多的最佳作物產量 (吳，2013)。

此一現象與生物炭之孔隙性質有關，與焙燒物比較起來，炭化後之固體產物具高孔隙性質，其比表面積及孔洞數量高出焙燒物許多，孔洞也較小，對於土壤內養分的留存、釋放與分布可以較為均勻，有助於作物的生長。但是，過於高溫製備之生物炭，具更小的微孔，造成養份被吸附留存後不易釋放，如活性碳並不適合作為促進作物生長之利用，因為其大量的微孔具有強大的吸附能力，且無法釋放已吸入之土壤營養，僅可作為污染防治的用途（蔡 & 吳，2013）。因此，要成功燒製具有促進植物生長功效的生物炭，取決於生物炭的孔隙度，亦即取決於製炭的溫度，如圖 2-1 所示。

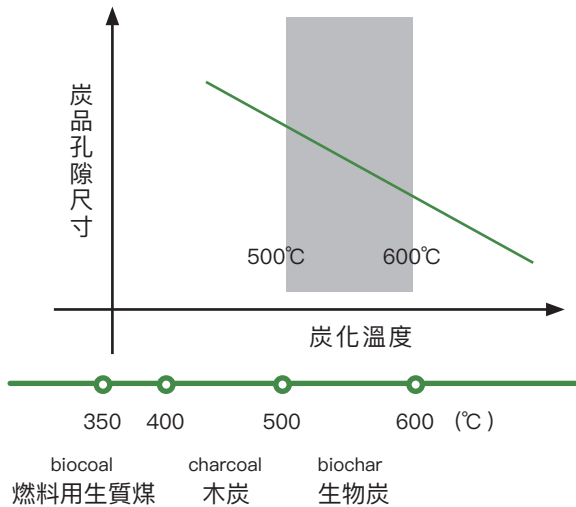


圖 2-1 炭化溫度與孔隙大小之關係

## 二、 燒製設備及其過程

目前國際間並未開發專門生產生物炭之商業化設備，現階段生物炭的來源大多都由生質物的熱化學能源轉換設備取得。目前國外大部分用於農田或進行研究之生物炭大多都來自生質物裂解設備的副產物，主要原因係其操作溫度較高，生物炭的產量較多、品質佳，且屬粉末狀，較易利用；而經炭化製程所生產的木炭，要添加於土壤前需先行破碎，且木炭是炭化程序的主要產品，供作燃料之用（烹煮用居多），價格較貴，用於土壤會增加種植成本。此外，新近發展的生質物焙燒技術，雖可作為木質材料利用之前處理技術，提供生質物的能源利用效益，但其操作溫度較低，生物炭的品質較差，並不太適合供土壤添加使用（蔡 & 吳，2013；2016）。

因此，要作為一個商業化的生物炭生產設備，必須具備下列的條件，包括：

1. 可大量生產生物炭。
2. 可回收液態副產品（即酢液）以供農業利用。
3. 可控制炭化溫度以產製品質良好之生物炭。
4. 煙道氣 (Flue gas) 排放需符合環保法規之固定污染源排放標準。

基於上述的設計概念，我們在 2017 年接受行政院農委會林業試驗所的委託，進行「先導型連續進料多膛爐製備大量生物炭技術開發計畫」（吳，2017；2018），建立一 100 kg/hr 先導型連續進料生物炭製備多膛爐系統，

以作為未來生物炭量產設備商業化，以及建立生物炭產銷之商業營運模式之參考。

圖 2-2 為此一連續進料多膛爐 (Multiple hearth furnace with a continuous feeding system) 之實體圖 (吳，2018)，高 4 m，直徑 1.4 m，係由八個在水平方向平行疊加的圓形爐床組成，全部爐床均採支撐方式固定於由圓筒形外殼內。物料從多膛爐的頂端爐層進料，爐內中心軸攪拌臂 (耙臂) 上的攪拌齒 (耙齒) 由爐床上外側向內側 (在下層爐床上則由內側向外側) 逐層翻動、進入下一層爐床，並由最底層爐床中排出生物炭；出料量之設計為每小時 20 kg。多膛爐後端並裝設一水洗塔之污染防治設備，以去除懸浮粒子及酸性物質逸散之污染物，同時回收酢液，以供農作，系統亦可藉此控制炭化溫度，以生產符合國際生物炭產品標準之高品質生物炭。

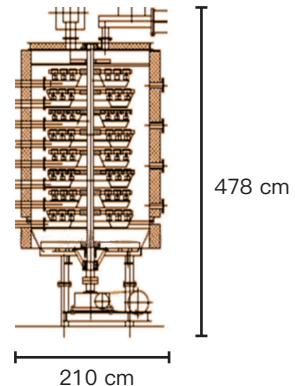


圖 2-2 國立中興大學 100 kg/hr 連續進料量產生物炭多膛爐 (吳，2018)

註：(左) 實體圖；(右) 多膛爐內部構造示意圖

另為提供生物炭量產設備所需熱能，加裝一小型氣化爐，並以部分料源作為燃料，以節省能源，圖 2-3 為此一系統之流程圖。

多膛爐運作時，外部供應的原料熱解氣體以及反應產生的合成氣，和固體以總體逆流方式接觸，並通過一系列的爐床；每層爐床上的氣體則是以錯流、逆流等方式在固體原料上流動並向固體原料的表面擴散，這些固體原料週期性地被中軸、耙臂和耙齒所組成的攪拌機構攪動以使固體不停地混合攪動，並迫使其進入下層爐床繼續反應，直至達到設定之反應時間為止。多膛爐的構造簡單、堅固，使用時間長、且易保養維護；其操作簡便、效率高、低占地面積亦小，且亦可調整所需之氣固接觸時間。

木質生質物經多膛爐製成生物炭外，亦會有酢液木餾油及無法冷凝之可燃氣體副產物產出，其中可燃氣體可回收作為熱源使用，高酸性之焙燒酢液木餾油則可收集後作為促進植物生長、防除雜草、消臭、殺菌、防霉、防蟲、醫藥等環保、農業、醫療之用（聯合報，2018）。

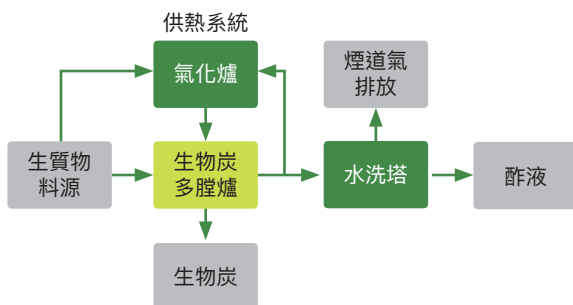


圖 2-3 國立中興大學 100 kg/hr 連續進料量產生物炭多膛爐系統示意圖（吳，2018）

### 三、生物炭品質評估

目前國內尚未有訂定生物炭的品質標準，但仍可依據國際生物炭倡議 (International Biochar Institute, IBI) 或歐洲生物炭認證系統 (European Biochar Certificate, EBC) (屬自願性的歐盟工業標準) 所列之指引 (Guidelines) 標準 (Foundation Ithaka Insitute, 2019) 進行檢測。目前幾個重要檢測項目，以 EBC 為例，包括碳含量  $>50\%$ 、 $H/C_{org} < 0.7$ 、 $O/C_{org} < 0.4$ ，其中  $C_{org}$  為有機碳；比表面積 (Specific surface area, SSA)  $> 150$ ， $pH > 7.5$ ；另有重金屬的檢測。

現階段我們通常會進行較完整之分析，包括近似分析 (Proximate analysis) (包括水份、揮發分、固定碳、灰分等) 與元素分析 (Ultimate analysis) (包括碳、氫、氧、氮、硫等元素) 及熱值之分析。另亦檢測生物炭之比表面積、孔徑分析與 pH 值，以及金屬成份分析。經以行道樹等修剪之廢料進行造粒再於不同溫度進行炭化，結果顯示，生物炭的固定碳成分會隨炭化溫度的提高而提高，但揮發分則呈下降趨勢。碳含量的增加是由於半纖維素的熱解使得纖維素與木質素在整體含量上相對的增加，另一方面，氧和氫元素隨炭化溫度的提高而下降，所以含水率亦會降低，此結果是由於羥基之損失所造成的緣故。另外，隨著炭化溫度的上升，生物炭的比表面積亦隨之大量增加，而平均孔徑大小則呈下降趨勢。生物炭的 pH 值則隨炭化溫度的上升而增加，呈現鹼性特性，所以可作為土壤改良劑，改善過於酸化之土壤 (吳，2017)。

## 四、結語

生物炭的利用不僅兼具環境與資源的雙重的「減碳」效益，當其埋入土壤中時，亦有助於減少溫室效應氣體的排放，達到「固碳」效果，延緩地球溫暖化的趨勢。生物炭的利用不僅可復育荒廢休耕之土地，也可增加單位土地面積的作物產量，兼具資源、環保與經濟三重貢獻，達到永續經營之目標，為臺灣建立具循環經濟之永續發展的良好基礎。

目前我們已完成 100 kg/ 小時連續進料量產生物炭多膛爐示範系統之建置，經測試結果也顯示，生物炭的比表面積隨著炭化溫度之升高而增加，在 500°C 以上更為明顯；平均孔洞尺寸則隨炭化溫度之升高而降低，高溫炭化之生物炭確實有較佳之品質。此外，示範系統之建置除可加速本土化技術之開發能力，並可作為未來生物炭量產設備商業化規模放大設計之參考。同時，亦可依此建立國內生物炭產業及營運模式，並推廣至東南亞國家。

## 第二節

# 製炭與增值技術

倪禮豐

### 一、前言

臺灣每年產生數百萬噸之農業副產物，其中以水稻副產物稻稈 160 餘萬噸及稻殼 30 餘萬噸較為大宗，如能有效地處理並利用水稻天然資源物，合理再利用於農業生產，除可實現防治環境污染及改善農村生活環境等目標，亦對經濟、生態和社會也有正面影響。

稻殼是最方便的替代燃料與炭化材料，因其產量穩定、集中、乾燥程度及形狀大小均一。2017 年於宜蘭及花蓮二縣調查稻殼供應潛勢，結果顯示大型碾米廠皆以包裝出售，售價 0.7 ~ 3 元 /kg；小型碾米廠則多有去化問題，普遍以無償贈送及還田為主要的處理方式。另一方面，若以稻殼作為燃料烘乾稻穀，每烘乾 100 kg 的稻穀，約需 13 kg 的稻殼作為燃料，而每 100 kg 的稻穀可產生約 20 kg 的稻殼，亦即，就算以所有稻殼作為燃料使用，仍有可觀的稻殼可供利用。故稻殼雖是有價的資材，但仍具有增值再利用的空間。

## 二、炭化稻殼之燒製

### (一) 連續式量產技術

若由設備利用率角度，穀物乾燥設備一年中所使用的時間集中於收穫季的 2 個月，其餘 10 個月皆為閒置狀態。若能使用同樣的設備 10 個月的閒置期中生產炭化稻殼，對產業而言也是一種增值。因此，花蓮區農業改良場於 2009 ~ 2010 年與三升農機公司產學合作，研製附掛燃糠式的連續炭化裝置，炭化溫度可達 720℃，最高產率 37.75%、28 kg/小時。相關設備於 2012 年取得國內新型專利，2013 年 3 月完成技術移轉。花蓮場已於民國 2017 年起因應產業需求，改良現有燃糠爐助燃及供料條件，將原來燃糠爐的最終產品—稻殼灰燼（產率約 10%~20%），改成炭化稻殼，產率約 30%。原型機目前設置於宜蘭三星原鴨米廠，持續朝最大產能改良中。在產炭率提升後，使本機除了烘乾稻殼外，產期外的時間亦可經濟連續式量產炭化稻殼。

### (二) 批次式生產技術

一般自製的炭化稻殼，常用容器悶燒或由稻殼堆下方點火的方式進行，過程會產生黃煙、焦油及醋液的氣味，易產生環保的爭議。本文介紹一種無煙無味的製炭方法以上方點火向上通氣 (TLUD, Top Lit UpDraft)，爐燒製炭化稻殼。TLUD 爐的優點是構造簡單、快速、無煙與無味，且因二次燃燒將可燃氣體完全燃燒，不僅沒有焦油的困擾，炭的產率也高；

缺點是若要收集醋液，需另外加裝冷凝裝置，醋液的回收率也較為有限。

TLUD 爐的原理為以二段燃燒層消耗氧氣，以及控制助燃氣體的流向，保護其間資材為無 / 低氧狀態。稻殼相較於菱殼質地較為緊密，無法使用自然進氣式的設計，故需外加鼓風機以控制助燃氣體的流向，並加速炭化作用進行。以下以圖示說明以 TLUD 爐燒製炭化稻殼流程：準備一耐高溫之桶狀容器及一通氣量適中的鼓風裝置，其中桶狀容器以一多孔隔板隔為上下二區，上區為炭化區；下區保留相當厚度及進氣口，以方便銜接鼓風機為原則。多孔隔板的孔徑及分布設計，主要目的在於防止稻殼下落及保持助燃氣體平均穩定向上吹送為原則。

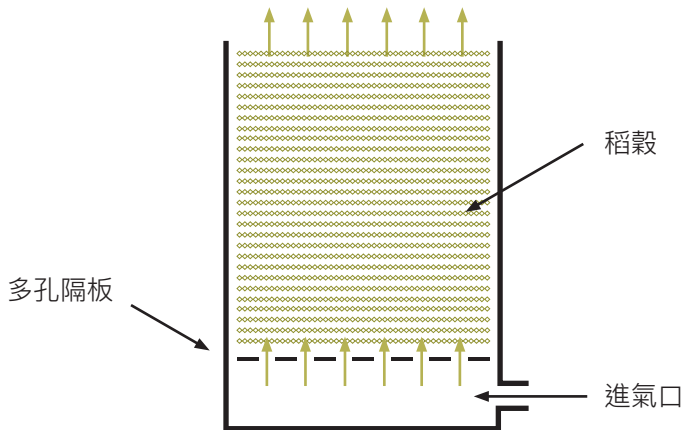


圖 2-4 製炭 TLUD 爐原理

1. 將上區裝滿稻殼（圖 2-5 左），但保留少部分空間放置引火材料—碎紙、乾草等，引火材料的用量以能覆蓋稻殼表面為原則（圖 2-5 右）。



圖 2-5 製炭 TLUD 爐引火材料用量

2. 接上鼓風機（圖 2-6 左），通氣量可稍大；點燃引火材料（圖 2-6 右）。



圖 2-6 製炭 TLUD 爐鼓風機及點燃引火材料

3. 待表面稻殼全面被引燃後，調整進氣量至適當狀態，以上方火焰不熄滅、桶內已炭化稻殼不被吹起為原則。此時第一燃燒層會以約 1 cm/min 的速度向下移動。



圖 2-7 製炭 TLUD 爐燃燒第一層速度移動

4. 當第一燃燒層到達多孔隔板時，將鼓風機移開，以大量清水冷卻，即完成炭化過程。



圖 2-8 製炭 TLUD 爐完成炭化

### 三、炭化稻殼之應用

#### (一) 土壤改良

除了花蓮區農業改良場於 2006 年曾進行水稻施用炭化稻殼試驗外，高雄場及臺東場自 2012 年起針對小果番茄、甜瓜、番石榴、棗及水稻等多種作物進行研究，結果顯示炭化稻殼處理可增加土壤有效鉀及矽等，並具有提高果實糖度、水稻產量並降低胡麻葉枯病危害等益處。

2017 年起由林業試驗所統籌辦理生物炭之政策額度計畫，由各試驗改良場所同步進行不同土壤及作物之盆栽及田間試驗，預計炭化稻殼對土壤改良的效果在不久的將來會得到驗證。

#### (二) 栽培介質

花蓮場自 2014 年起針對蔬菜育苗及小果番茄、南瓜與花卉等作物栽培介質添加炭化稻殼進行研究，結果顯示炭化稻殼性質與珍珠石相近，可以完全取代珍珠石為泥炭介質之主要調整材。此外，炭化稻殼亦可部分取代泥炭，且有促進提早開花結果等正面效果。

炭化稻殼具鹼性及耐腐等特性，恰可中和泥炭的酸性，提高介質的耐用程度，同時，可增加表面積、離子交換容量及親水性等，有利於改善土壤或介質的物理、化學及生物性質。大量添加炭化稻殼可以提供養液栽培初期可觀的鉀元素營養，但要注意的是，需

經適當倍率的醱酵液肥預撮，才能降低鹼性等不利植物生長因子。因炭化稻殼與珍珠石間還是有些許差異，大規模採用為介質時，其供水及供肥系統亦應隨之調整。

### (三) 微生物製劑載體

炭化稻殼表面有許多孔洞，利於微生物菌體或孢子附著，作為微生物製劑載體，可以改變商品形態（液態－固態），延長商品使用期限，增加其於環境中存活機會，從而發揮菌劑效果。

### (四) 生活多元應用

竹炭商品已有穩定市場，舉凡吸濕或除臭等使用方式，亦可清潔用品中添加等，皆是炭化稻殼可應用的範圍，可依生物炭特性及使用需求作為新產品開發的思考點。

## 四、結語

炭化稻殼是園藝界已廣泛採用之資材，但產品規格（品質）不一，未來若欲進行生物炭相關應用研究，首要需要大量穩定的原料來源，否則將無法大規模商業化推廣應用。希望未來可藉由合適的量產設備，將其普遍設於小型碾米廠，一則解決稻殼去化問題，二則提供穩定料源與介質業者，將生產與使用二端有效串聯，相信未來具有極高產業化發展的潛力。

## 第三節

# 生質能與炭化技術之整合

吳有恆

### 一、前言

生物質 (Biomass) 是指通過光合作用而形成的各種有機體，包含所有的動植物與微生物，具備可再生特性；而生質能 (Bioenergy) 則是由生物質轉換而得的能源，僅次於煤炭、石油及天然氣，為世界第 4 大的能源來源。

農業上常利用的生物質主要為農作物、草本木本植物及農林畜牧廢棄物等，其產量大、可再生、低汙染並且可於國內自行生產；同時，由於其可利用光合作用將空氣中的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 固定下來，並且在燃料的利用過程中，將二氧化碳再釋放回空氣中，碳在自然界中被循環利用，因此不增加碳排量；再者，農業廢棄生物質的再利用，也可減少其對環境的影響，有利於農業的永續發展。

生物炭是生物質在低氧環境下，經熱裂解所產生的固態物質。生物炭本身為微鹼性物質，具備多孔性結構與極大的比表面積，以及含有多種礦物質成分，在農業上的應用相當廣泛，可用於改良酸性土壤、調整土壤的酸鹼值 (pH)、提高土壤的通氣性與保水性，並可吸附土壤養分使其緩慢釋出，以及改善微生物生存環境，穩定作物的生長。

本文簡介生物質燃燒爐、竹醋液及生物質能吸收式製冷機等相關設備及作業方式，說明生質能與炭化技術的整合模式。

## 二、生物質燃燒爐

生物質鍋爐 (Biomass-fired boiler) 依其用途分為兩類，一種是生物質熱能鍋爐，另一種是生物質電能鍋爐。二者原理基本相同，都是透過燃燒生物質燃料以獲取能量，第一種是直接取得熱能，第二種則是將熱能又轉化成電能。這兩種鍋爐中，第一種應用廣泛且技術較成熟。生物質熱能鍋爐主要包括進料系統、燃燒系統、熱交換裝置、儲水桶、集塵裝置及控制器等組件。



圖 2-9 多功能生物質燃燒爐

資料來源：拍攝於桃園區農業改良場（2018）

圖 2-9 為多功能生物質燃燒爐，爐膛位於鍋爐中下方，爐膛上方設有進料斗、進料調整閥及螺旋輸送裝置，可自動控制進料速度。燃燒爐配有風機，可調控抽入鍋爐之風量以控制燃燒速度。燃燒的物料可以是稻殼或是經造粒後的各式生物質成型燃料 (Biomass molding fuel; BMF)，生物質燃料發熱量大，約在 3,000 ~ 4,800 kcal/kg 左右。物料燃燒後的熱煙氣會通過爐膛，並與熱交換裝置內部水體進行熱交換，加溫後的水體再被導入到溫室或廠房內，以進行溫室保溫或廠房的加溫作業。

多功能生物質燃燒爐，設備一側配置有生物炭燒製區，該區裝設有風機及風量調控閘門，可控制燒製生物炭時的入風量及排煙狀況。生物炭燒製區上方則裝置溫度計，可監測生物炭燒製時之溫度。

### 三、竹醋液

竹醋液為竹材炭化時排放煙氣經冷卻所得的液體，其製程為竹材經陰乾並剖片後，利用炭窯控制溫度於 140°C 內，將竹桿內多餘的水分蒸出，之後以 350°C 以上溫度燒製生物炭。燒製過程中將煙氣經冷凝收集即可得到粗竹醋液，之後經靜置 6 個月以上，分離下層沉澱的焦油及雜質，以及上層的輕質油後，即可得到竹醋液。此外，亦可經由蒸餾或利用過濾器進行竹醋液的精製作業。

一般用途竹醋液的品質標準如「CAS 標章臺灣優良林產品一般用途竹醋液認定評審標準、品質規格標準及標示規定」所規範，係根據竹醋液的酸鹼值 (pH)、比重和醋酸含量百分比等條件進行評定。其中酸鹼值 (pH) 的標準為 1.5 ~ 3.7，比重為竹醋液須達 1.005 g/cm<sup>3</sup> 以上、蒸餾的竹醋液須達 1.001 g/cm<sup>3</sup> 以上；酸度標準則為 2% ~ 12%。在外觀上，竹醋液顏色介於黃色至紅褐色之間，透明且無懸浮物；而蒸餾的竹醋液顏色須介於無色至淡紅褐色之間，亦應是透明無懸浮物。

竹醋液在農業上主要應用於病蟲害防治、土壤改良及作物生長促進。根據桃園區農業改良場進行竹醋液對設施蔬菜白粉病防治試驗顯示，其對設施胡瓜白粉病具有顯著防治效果，可取代生育前期慣行用藥 4 次，減少 1/3 的農藥使用量。

## 四、 生質熱能吸收式製冷機

目前的製冷系統均依賴電力運作，透過電力驅動壓縮機而使冷媒在循環過程中產生不同的氣、液相變化，以進行製冷作業。壓縮機是製冷系統的心臟，是冷媒循環的主要動力來源，其製冷方式是透過壓縮機不斷吸取低壓端冷媒，蒸發器 (Evaporator) 因可維持低壓，而使流入蒸發器的冷媒能在低壓下不斷地蒸發吸熱，而達到製冷效果。而經壓縮後的高溫高壓氣態冷媒則經冷凝器冷凝成高壓液體，經膨脹閥節流為低壓液體後進入蒸發器，在蒸發器中吸熱而成為低溫低壓的氣態冷媒，供壓縮機再次抽取而循環製冷。

吸收式製冷系統的作業方式則是以一組發生器 (Generator) 及吸收器 (Absorber) 來取代傳統的壓縮機，並以熱能作為驅動源進行製冷作業。由於少了壓縮機，製冷所需的電能需求僅為傳統壓縮機系統的 10% ~ 20%；同時由於系統是採用熱能驅動，因此工廠所產生的廢熱或蒸氣、生物質燃燒所產生的熱源與高溫煙氣、太陽熱能、地熱或瓦斯燃燒等均可用來製冷。

氨水吸收式製冷系統由發生器、精餾塔 (Rectifier)、分凝器、冷凝器 (Condenser)、蒸發器、吸收器、循環泵、冷卻水塔及膨脹閥所組成。循環使用的工作介質為氨與水的混合溶液，其中氨為製冷劑，水為吸收劑。氨蒸發溫度相當低，可達  $-33^{\circ}\text{C}$ ，因此氨水吸收式製冷系統可產製低於  $0^{\circ}\text{C}$  的低溫，可作為冷凍機械使用。

氨水吸收式製冷系統為氨與水的混合溶液在發生器內被加熱，當氨水溫度升高，產生高溫、高壓與高濃度的氨水混合蒸氣，混合蒸氣內的水氣，經由精餾塔與分凝器，將水分冷卻凝結出來，並回流至發生器。而從精餾塔精餾出的氨蒸氣則流入冷凝器內，冷凝器透過與外部連接的冷卻水進行熱交換，冷凝成常溫高壓的液態氨。此常溫高壓的液態氨被導入預冷器內，並與來自蒸發器的低溫低壓氨蒸氣進行熱交換，放熱後成為過冷液態氨，此液態氨再被導入儲存桶內，經由膨脹閥降壓膨脹為低溫低壓的液態氨，低溫低壓的液態氨進入蒸發器，在蒸發器內蒸發吸熱製冷。蒸發後的氨蒸氣進入預冷器，與來自冷凝器的常溫高壓液態氨進行熱交換吸收熱量，成為過熱氨蒸氣。過熱氨蒸氣進入吸收器，與來自發生器並經減壓後的稀溶液進行吸收放熱，排放的熱量則由外部冷卻水進行熱交換帶離；而在吸收器的濃溶液，則利用泵送回發生器，周而復始的循環。圖 2-10 為第一代生質熱能吸收式製冷系統，圖 2-11 則為改良型吸收式生質熱能製冷系統。





圖 2-10 生質熱能吸收式製冷系統  
資料來源：拍攝於桃園區農業改良場（2018）



圖 2-11 改良型生質熱能吸收式製冷系統  
資料來源：摘自桃園區農業改良場研究報告（2019）

## 五、結語

桃園區農業改良場透過修改生物質鍋爐，整合生質能與炭化技術，使其可進行水體加溫，供溫室保溫作業使用；可燒製生物炭，供農業栽培應用；可產製竹醋液，供病蟲害防治使用；可進行以熱製冷作業，供農產品低溫儲藏及冷凍使用。

生物質鍋爐主要用於燃燒生物質，以獲得熱能或電能，極少將其應用於製冷作業。然而，農業上如溫室降溫、畜禽舍降溫、低溫乾燥及冷藏作業等，均需要低溫冷源，特別是近年來溫室栽培技術的精進，農業溫室已逐年增多。未來，以溫室為栽培場域的生產業者勢必面臨強烈的競爭。由於臺灣位居熱帶與亞熱帶氣候區，加以近年的氣候暖化效應，夏季於溫室內進行作物生產必須投以大量能源來進行降溫作業，以營造適合作物生長所需的環境條件。以目前臺灣電力供應緊張的狀況，如能減少溫室降溫的電力需求，將成為溫室經營者重要的競爭利器。

桃園區農業改良場透過相關科技計畫的執行，建立結合生質熱能運作的氨水吸收式製冷系統，並逐步將其應用於溫室降溫及收穫後農產品的冷藏處理；未來前端熱源也將導入對環境友善的太陽熱能系統，建立太陽熱能製冷技術，以紓解農業生產用電壓力，提升我國農業競爭力。

戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

# 3

## 生物炭功效



## 第一節

# 生物炭與作物之關係

蔡正賢 陳鴻堂 江汶錦 張廖伯勳 黃文益

### 一、前言

生物炭的應用早在千百年前，亞馬遜河流域當地原住民，為改善高度風化、氧化土的肥力不足問題，藉著大量生物炭（也稱為木炭、焦炭、黑炭或農業焦炭）等其他有機殘留物加入土壤，使其改良成為黑色沃土，進而適合農耕生產。稻殼高溫熱裂解製成的生物炭，具有碳含量高且多孔隙結構的特性，不易被微生物分解，可做為優良的土壤改良資材，改善土壤之物理性及化學性。稻殼生物炭的多孔隙結構可降低土壤密度並提高土壤孔隙度，使土壤通氣性及保水力提升，促進土壤構造、團粒穩定性，具有較高的陽離子交換能力，使土壤保肥力增加；此外，其酸鹼度偏鹼，可提高土壤酸鹼度，且含有鈣、鉀、磷、鎂、矽等多種元素，可補充水稻所需營養。由於生物炭具有碳固存，提升土壤肥力和改良酸性土壤之潛在益處而可施用於土壤，然而施用於土壤的用量很大且成本偏高，對農民而言，對作物病害的抑制才有較高的誘因。研究顯示，有益微生物、微生物豐富度、多樣性和活性的增加，以及生物炭攜帶之化學物質和或生物炭誘導的系統抗性等，皆有助提升植物病原菌的抑制能力。

## 二、生物炭對作物的影響

### (一) 稻殼生物炭對水稻的影響

臺東區農業改良場於 2017 年在鹿野鄉進行試驗，經土壤分析後，示範區施用炭化稻殼每公頃 2 公噸，與對照區不施用相較，示範區水稻產量提高 12.3%，減少水稻紋枯病 15.2%、白葉枯病 5.5% 及胡麻葉枯病 1.7%，顯示生物炭對水稻增產及抗病效果良好。

### (二) 稻殼生物炭對玉米的影響

土壤施用稻殼炭每公頃 3,000 ~ 60,000 kg (相當於 0.15% ~ 3%) 試驗結果、生育期株高稻殼炭施用區高於對照區 3.3 ~ 23.7 cm，收穫期株高的表現也有相同趨勢，稻殼炭施用區高於對照區 3.2 ~ 11.4 cm。玉米產量顯示，施稻殼炭 3 噸 (0.15%) 處理區與無炭對照區每公頃玉米 (含苞葉) 產量 7,724 kg 之差異不顯著，每公頃施 20 ~ 60 噸 (相當於 1% ~ 3%) 產量 8,648 ~ 9,449 kg 間差異亦不顯著，但均與無炭對照區玉米產量呈顯著差異。

根據 2019 年，玉米產量調查結果顯示，施菇包炭 1% 與 2% 稻殼炭每公頃玉米 (含苞葉) 產量 15,135 kg 較無炭對照區每公頃玉米 (含苞葉) 產量 14,614 kg 增產 3.57%；施稻殼炭 3% 處理區也有 2.35% 增產表現；其他處理玉米 (含苞葉) 產量則只有無炭對照區之 93.1% ~ 97.6%。

### (三) 花生殼炭對葉菜類作物的影響

生物炭之推薦施用量試驗使用滴灌系統，精準供水每日 300 c.c. ~ 750 c.c./ 盆，連續種植 3 次，針對 2 種性質迥異的土壤（溫室土或過路埤），5 重複（盆）數供試，基肥施用臺肥 1 號即溶複合肥料 2 g/ 盆，無追肥。研究結果顯示不同生物炭量添加對青江菜試驗後的土壤的營養元素變化，會隨著生物炭的增加而有所提升，且增加的量超過直接由生物炭所提供的數值，顯示生物炭會吸附肥料養分以減緩養分流失，增加肥料使用效率。此結果與前人研究皆認為生物炭增產的效果，不是直接提供養分，而是生物炭具有多孔性，能吸附土壤養分使養分不易流失，慢慢釋出供給作物養份，有助於延長肥效、減少肥料浪費。



圖 3-1 溫室土（上）與臺東區農業改良場過路埤土（下）之差異  
註：在不同生物炭添加量（0%、1%、2%、4%、8%）的表現

因為生物炭為鹼性物質，添加越多土壤酸鹼值（pH）提升越高，適當的使用生物炭可以成為酸性土壤的改良劑，但土壤 pH 的提升效果與土壤原本有機炭有關，有機炭含量越多土壤緩衝性越大，越不易調整。溫室土原始碳含量為 2.6%，添加 8%（w/w）生物炭後 pH 上升 0.44，而過路埤原始碳含量為 1.06%，添加 8%（w/w）生物炭後 pH 上升 1.2。隨著粉碎花生殼炭添加量（w/w）的增加（0%、1%、2%、4%、8%），土壤顏色逐漸加深，除影響土溫之外，對土壤的保水性也有差異，尤其當土壤有機質低與灌溉水不充足時，則易有萎凋現象，如圖 3-1 所示。由表 3-1 可以發現，溫室土壤因富含有機質，碳含量達 2.6%，試驗觀察中發現，即便不添加生物炭的空白組仍生長旺盛，且第二期作各處理間普遍較第一期作增產，較適當的生物炭添加量為 1%～2%，如圖 3-2 所示。表 3-1 顯示過路埤土壤因有機質含量低，碳含量約 1%，則生物炭需添加 4%（w/w）以上才無萎凋現象，如圖 3-2 所示，生物炭會影響土壤保水性。

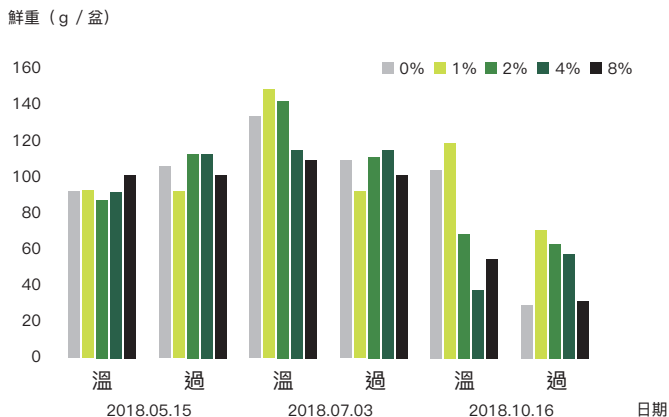


圖 3-2 不同生物炭添加量對青江菜連續 3 作產量之影響

由圖 3-2 可以發現，不同生物炭添加量對青江菜連續 3 作產量的影響，1、2 期作過路埤土在 1% 添加都比空白組有減產現象，可能與土壤中磷缺乏有關，如表 3-1，依長期大量的農友土壤肥力分析報告判斷，葉菜類土壤的磷含量需超過 30 ppm，否則會有磷缺乏現象，但第 3 期增產，在過路埤土壤以生物炭添加量為 2% ~ 4% 生長佳。二種土壤在不同生物炭添加量下有不同表現，但在 8% 添加量都呈現減產，顯示用量是生物炭在土壤是否產生作用的重要因素，且添加量有使用的限值。

生物炭的礦質養分含量低，對作物提供養分的能力有限，但對土壤物理、化學性及微生物活性的改善，以及降低土壤肥料養分淋失作用與土壤肥力維持很有助益。

表 3-1 西元 2007 年不同生物炭添加對青江菜試驗後之土壤分析

Treat	EC	pH	C (%)	N (%)	M3-P	M3-K	M3-Ca	M3-Mg
<b>溫室土</b>								
0%	0.34	7.33	2.62	0.21	269	152	3790	493
1%	0.29	7.45	2.96	0.22	270	178	3765	457
2%	0.21	7.65	3.84	0.23	286	220	3842	526
4%	0.29	7.72	5.49	0.25	293	450	3556	520
8%	0.23	7.75	8.04	0.3	314	501	3566	510
<b>過路埤</b>								
0%	0.11	5.86	1.06	0.07	12	60	1101	348
1%	0.09	6.28	2.26	0.09	23	106	1291	354
2%	0.12	6.44	2.62	0.09	19	99	1274	368
4%	0.2	6.61	4.39	0.12	27	156	1371	366
8%	0.25	7.05	7.16	0.19	52	378	1556	403

表 3-1 顯示生物炭使用可以提升土壤營養元素累積量，生物炭的效果能維持多久仍未知，雖然文獻指出生物炭配合肥料施用對作物幾乎都是正效應，但過路埤土在 1% 與 8% 添加都比空白組有減產現象，因此生物炭的施用閾值與頻率仍需進一步探索。

#### (四) 棗及芒果生物炭對作物的影響

生物炭的特性深受原料性質所影響，因而對土壤環境的實際效益也就形成差異。然而，同樣的原料應用於土壤與能量的生產，卻沒有一致的結果，主要是受到原物料及熱解溫度不同所影響，而熱解溫度條件之變化，將造成生物炭理化性質之改變，以下分別就土壤化學性質及作物養分特性相關結果彙整如下：

##### 1. 土壤化學性質

棗及芒果以 400°C、500°C 及 600°C 燒製之 2% 生物炭添加應用於短期葉菜類，以施用生物炭處理定植後，皆能有效提高土壤酸鹼值 (pH)、土壤有效性 (如鉀、鈣、鎂) 含量，其中添加棗作物生物炭對作物的影響殘體之生物炭則顯著增加有機質含量，相較於未施用及施用芒果作物殘體之生物炭土壤高，故適當的生物炭施用能有效改善酸性土質、增加土壤養分有效性及有機質含量。此外，添加高溫燒製 (600°C) 之棗及芒果生物炭後 EC 值 (Electrical conductivity; 電導率)，皆高於低溫燒 (400°C、500°C) 生物炭。過去研究結果顯示，當 EC 值隨燒製溫度變高，其微孔隙數量增多，使離子結合位變多、比表面積變大，進而增加土壤鹽基離子吸附能力。

## 2. 作物養分特性

棗及芒果以 400°C、500°C 及 600°C 燒製之 2% 生物炭添加應用於短期葉菜類，以施用兩種生物炭植體養分含量之總磷與鉀、總鎂、鐵及鈉等皆高於未施用生物炭時，其中施用芒果作物殘體生物炭之植體總氮與磷含量，相較於未施用及施用棗作物殘體之生物炭土壤高，故施用適度生物炭能有效增加植體養分吸收。

### (五) 生物炭對鹽化土壤紅豆 / 洋蔥生長的影響

東港地區因土壤鹽化嚴重，栽植紅豆往往出現植株尚未成熟，葉片已提早黃化現象，導致使收穫產量偏低。經土壤檢測分析後，依據土壤性質施用不同生物炭（稻殼灰及稻殼燻炭）各 200 kg/0.1 公頃，並配合溶磷菌微生物肥料使用，可促進結莢及有效提升產量達 26.9% 及 19.9%（圖 3-3）。

恆春鎮地區長年栽植洋蔥，其環境溫度高使土壤水份蒸發旺盛，且土壤質地屬黏質土，加上、灌溉方式失當，造成土壤鹽基積聚於表土層而形成鹽皮，致使該區洋蔥根系生長受到限制，生長後期結球發育不良，致使產量每年均不理想。經土壤分析後，施以不同類型生物炭處理（木炭、稻殼炭及稻殼燻炭）350 kg/0.1 公頃，並配合溶磷菌微生物肥料使用，進行土壤改良。根據調查結果顯示，蔥球發育有明顯改善，且農戶收入均比慣行區處理者有顯著提升（圖 3-4）。



圖 3-3 溫度燒製生物炭及溶磷菌施用於紅豆田間試驗產量之影響  
註：針對不同溫度燒製生物炭及溶磷菌施用於鹽化土壤紅豆田間試驗之產量影響之觀察。



圖 3-4 種類之生物炭及溶磷菌施用於洋蔥田間試驗產量之影響  
註：針對不同種類之生物炭及溶磷菌施用於恆春黏質土對洋蔥田間試驗之產量影響觀察  
1：木質生物炭；2：稻殼燻炭；3：溶磷菌液；4：稻殼灰炭；  
5：溶磷菌粒；6：稻殼 + 溶磷菌液；7：慣行處理

## (六) 生物炭對草莓作物病害的影響

### 1. 草莓葉部病害

根據文獻指出，生物炭混合於盆栽介質可對草莓葉部病原菌產生抑制效果，顯著降低了灰黴病及炭疽病的罹病程度，或保護草莓葉片免受白粉病的侵染，原因是生物炭可刺激一系列一般防禦途徑，有助於植株防禦不同致病策略之病原菌。2017年，苗栗區農業改良場於草莓農地整地前添加 6,000 kg/ 公頃稻殼炭，雖然添加量不大，但根據結果顯示顯著降低草莓葉部病害（如葉蟬）的發生率，效果於隔年仍然明顯。

### 2. 草莓土傳性病害

草莓萎凋病常造成草莓嚴重缺株，減產可達 30% 以上，是近年最嚴重之草莓土傳性病害。草莓萎凋病最容易的防治手段就是休閒期湛水，2018年，苗栗區農業改良場於大湖 3 個試驗田進行草莓田間試驗，湛水期為 6 月至 8 月，在於湛水後，分別使用炭化稻殼、竹炭及對照等 3 種處理，生物炭用量 6,000 kg/ 公頃，以改善土壤酸鹼度，藉以抑制病原。調查湛水後草莓園土壤萎凋病菌狀況，雖仍有部分病菌殘留，但已明顯降低。各處理之萎凋病發生與產量均無明顯差異。草莓每公頃產值 300 萬元，若以生物炭成本以稻殼炭為例，估算施用成本每公頃 18 萬元，必須產量提升 6% 以上方有效益，如果生物炭定價過高，則將降低農民的使用意願。

本試驗結果無法彰顯生物炭的效益，主要是產量差異不大，雖然前人研究顯示，生物炭在抑制土傳疾病和增進植物表現方面是有效的，但是由於土壤環境過於複雜，生物炭防治病害或增產功能可能無法由短期試驗確認。最積極的方法仍然必須於育苗期監測與病原篩檢，可避免病原進入田間，同時配合休閒期湛水，可以降低土壤萎凋病菌殘留，而添加生物炭，可改善酸性土壤及抑制病原。

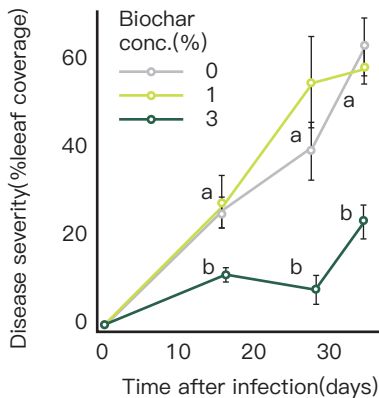


圖 3-5 生物炭降低草莓葉部病害

資料來源：Harel et al. (2012)

### 三、 結語

儘管不同生物炭田間的應用，均顯示出對作物具有促進生長效益。然而生物炭的品質因熱裂解溫度不同，酸鹼度及元素含量也各有不同，且生物炭大多偏鹼性，因此建議使用生物炭前，需進行土壤性質及肥力分析，瞭解土壤問題所在，並藉由地區改良場所專業人員推薦方式使用，方可更有效提升地利及效益。在稻田施用時，建議在整地前均勻撒施，整地時可拌入土中。使用稻殼生物炭，經過水稻 1 期作後，成分會殘留土壤中，種植第 2 期水稻仍有效能。建議水稻收穫後採土壤分析，再決定是否再次施用。

而粉碎花生殼炭的添加物，不僅土壤顏色逐漸加深，對土壤保水性也有增強效果。在富含有機質的溫室土壤，碳含量達 2.6%，較適當的生物炭添加量為 1% ~ 2%；而有機質含量低的過路埤土壤，碳含量約 1%，則生物炭需添加 4%(w/w) 以上才無萎凋現象，增產上以生物炭添加量 2% ~ 4% 為佳。雖然二種土壤在不同生物炭添加量下有不同表現，但前 3 期作在 8% 添加量都呈現減產，顯示用量是生物炭在土壤是否產生作用的重要因素，而且需要留意有添加量的限值。

施用生物炭可顯著降低草莓葉部病害，然而對草莓土傳性病害沒有明顯淨效益。生物炭種類可能影響土傳性病害抑病效果，以稻殼炭為例，孔半徑多屬小孔徑 (<5 nm)，孔洞體積也不大（約 0.008 cc/g），作為土壤有益微生物的庇護所稍嫌不足，也可能導致根圈細菌種類多樣化不足，如果可以混合多種生物炭一起施用，可能更有利於增加生物防治並促進植物生長之微生物種類與數量，增加抑病效果。



## 第二節

# 生物炭複合緩釋肥之應用

簡士濠

### 一、 生物炭複合緩釋肥之應用

#### (一) 前言

過去傳統肥料的養分釋放速率，與作物吸收的速率經常不一致，此為造成化學肥料利用率偏低的主要原因。藉由控制肥料中養分的釋放速率，使之盡可能與作物的吸收速率相吻合，以達到減少肥料損失、提高作物養分利用率，並盡量降低因施肥引起的環境污染。肥料改良以開發緩釋 / 控釋肥料最快捷方便，最能從根本上解決肥料損失的有效措施，從 60 年代開始，美、日等國就著手研究和改進肥料的製作技術，力求從改變肥料本身的特性來提高肥料利用率，並相繼研製推出緩釋 / 控釋肥料系列產品，使氮肥的利用率大幅提高到 60% ~ 80%。

緩釋 (Slow release) 係指化學物質養分釋放速率小於速溶性肥料，生物或化學作用下可分解的有機氮化合物肥料通常被稱為緩釋肥，如脲醛類肥料。控釋 (Controlled release) 是指以各種調控機制使養分按照設定的釋放模式，釋放率和釋放時間與作物吸收養分規律一致，如包膜類肥料。Trenkel (1997) 綜合了有關緩釋和控釋肥養分緩慢或控制釋放的釋放率和釋放時間之研究，提出作為緩釋 / 控釋肥應具備的具體標準，在 25°C 的水中，肥料中養分在 24 小時內釋放率（即肥料的化學物質形態轉變為作物可利用的有效形態）不可超過 15%，在 28 天之內養分釋放率不超過 75%，在規定時間內，養分釋放率不低於 75%，因此，專用控釋肥的釋放曲線可與相應作物的養分吸收曲線相吻合。

## (二) 菇包生物炭複合緩釋肥的應用評估

### 1. 複合緩釋肥原物料

#### (1) 生物炭來源與製備

來源：金門縣風災後清運之風倒木

生物質炭化設備：評估比較各種生物質炭化設備，並諮詢國際生物炭協會專家意見，建議採用美國 Airburners Inc. 所製造之 Fire Box S-119 氣簾式燃燒器（圖 3-6）。

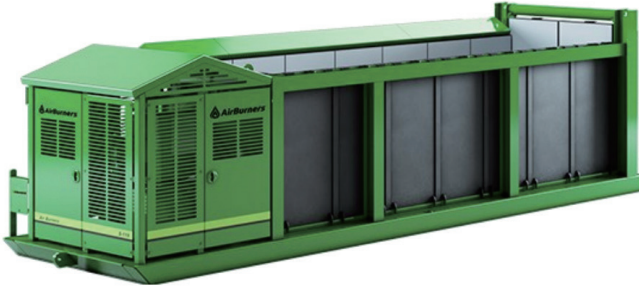


圖 3-6 美國 S-119 氣簾式燃燒器

上述 Airburners Inc. Fire Box S-119 之設備規格如下：

- A. 全機尺寸：長 8.3 m × 寬 2.2 m × 高 2.3 m。
- B. 燃燒室部分：長 5.8 m × 寬 1.5 m × 高 1.8 m，由厚度 102 mm 之耐火陶瓷隔熱板構成。
- C. 運送及安裝方式：整組設備可直接用吊車吊運，並用拖板車運送，無需另行組裝。
- D. 處理速度：每小時處理 35 公噸，每日連續燒製 8 小時，共產生 40 噸。
- E. 碳化溫度可達 700°C 以上。
- F. 空污防制：高壓氣簾可以阻斷 90% 以上細懸浮微粒排放，燃燒過程無可見之煙霧。

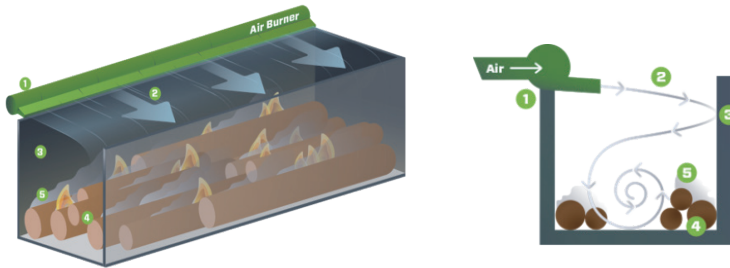


圖 3-7 氣簾式燃燒器運作原理



圖 3-8 氣簾式燃燒器產製生物炭成品

## 2. 肥料來源

採用台糖出產之蔗渣堆肥（田寶 11 號），肥料品目 5～10 一般堆肥，肥料登記證字號：肥製（質）字第 0005017 號，基本性質如下：全氮 1.5%、有機質 55%、全磷酐 0.9%、水分 40% 以下、全氧化鉀 1.5%、酸鹼值（pH）7.4。

### 3. 生物炭緩釋肥製作與造粒步驟：

(1) 風倒木所製成之生物炭破碎，過篩（2 mm, #10）

(1) 後備用。

(2) 本計畫主要製備四種生物炭緩釋肥如下：

- 生物炭 - 堆肥（25：75，水分控制 15%）；
- 生物炭 - 堆肥（50：50，水分控制 20%）；
- 生物炭 - 堆肥（100：0，水分控制 25%）；
- 生物炭 - 堆肥（0：100，水分控制 10%）。

計算生物炭及有機質肥料所需之重量，將其攪拌均勻並添加適當之水份（10% ~ 30%）後備用。

(3) 造粒設備：採用臺灣 Young & Dear 所製造之 YD300 造粒機。



圖 3-9 臺灣 YD300 造粒機設備

資料來源：採用臺灣 Young & Dear 所製造之 YD300 造粒機

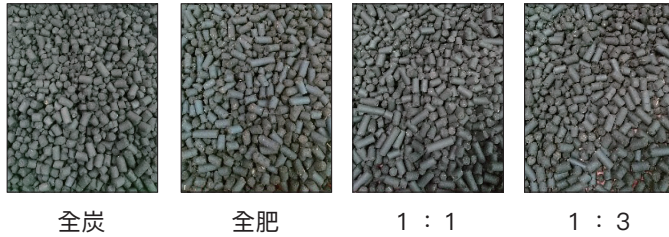


圖 3-10 生物炭緩釋肥料

#### 4. 盆栽與田間施用步驟（針對標準砂質土）：

盆栽試驗以 2 kg 之土樣，依農糧署推薦不同作物之氮推薦量，以「一倍氮」為基準製作複合緩釋肥計算完之複合緩釋肥造粒合式肥料以茶包袋填裝所需之重量後使用（圖 3-11），並添加水分抽出器（圖 3-12），用於將土壤中之土壤水抽出，覆土後進行養治實驗，於 1d、3d、7d、30d、60d 時抽出土壤水分進行養分分析（氮、磷及鉀），並於 1d 及 60d 時收集土壤進行分析（氮、磷及鉀）。



圖 3-11 盆栽與田間施用複合緩釋肥

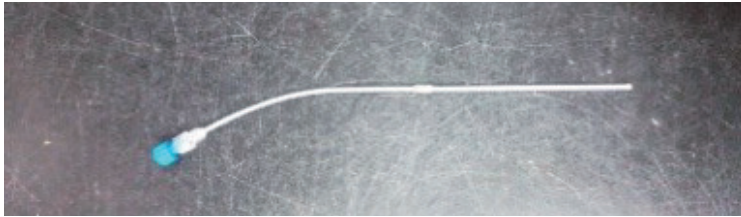


圖 3-12 盆栽與田間施用水分抽出器

表 3-2 標準土壤性質

分析項目	土壤
酸鹼值 pH	6.71 ± 0.12
電解質 EC(μS/cm)	0.85 ± 0.04
有機質 OM(%)	1.71 ± 2.39
含水量 WC(%)	0.04 ± 0.00
有效磷 (mg kg <sup>-1</sup> )	48.3 ± 0.90
全氮 TN (%)	0.06 ± 0.02
銨態氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	4.4 ± 2.24
硝酸態氮 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	3.7 ± 1.3
顆粒密度 Pd (g cm <sup>-3</sup> )	48.2 ± 17.3
土壤質地	壤質砂土
砂粒含量 (%)	80.3
粉粒含量 (%)	14.0
黏粒含量 (%)	5.69

田間試驗以  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  為長寬，深度則為  $15\text{ cm}$ ，本計畫採用小白菜之一倍氮量計算出所需之肥料量，樣區分為 CK、全炭、全肥、1:1 及 1:3，各兩重複，共 10 區（圖 3-13），均勻施撒緩釋肥料於各樣區並翻耕。

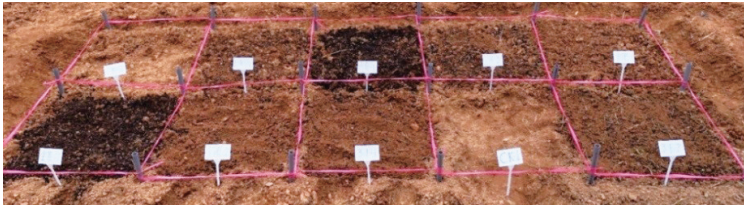


圖 3-13 田間試驗複合肥施用

本試驗評估四種不同處理的顆粒肥分解作用，圖 3-14 顯示分解速率分為兩階段；一為 30 天之前，二為 30 ~ 60 天。全有機堆肥（顆粒肥）於所有處理中的分解最快，60 天之分解率為 (35%)，依序為 1:3 緩釋肥 (30%)，1:1 緩釋肥 (29%)，最慢為全炭顆粒肥 (20%)。試驗結果顯示，1 (炭) : 3 (堆肥) 的生物炭緩釋肥無論在經濟效益或肥料使用效率上皆優於其他處理方式，應可列為優先選擇。

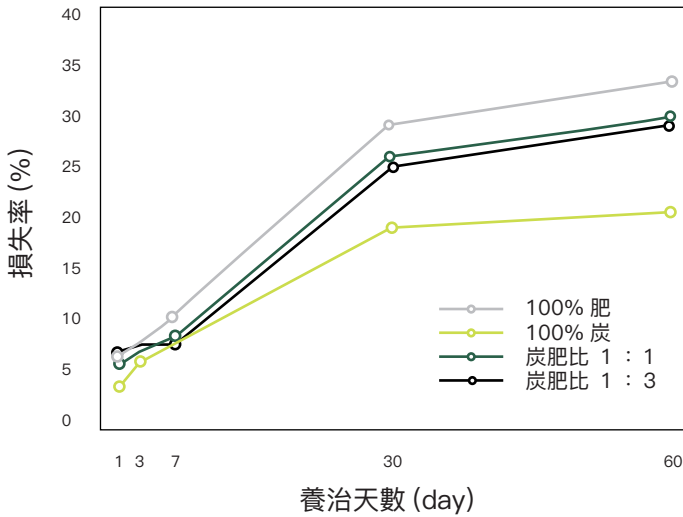


圖 3-14 生物炭緩釋肥料於土壤中分解速率

### 三、結語

生物炭本身具有改善土壤物理性質的極佳特性，但本身肥力不佳，需要輔以其他肥料作為共同添加資材以改善作物產量。本研究嘗試以最佳經濟效益與極大化作物產量進行評估，試驗結果顯示，1（炭）：3（堆肥）的生物炭緩釋肥無論在經濟效益或肥料使用效率上皆優於其他處理方式，應可列為優先選擇。

## 第三節

# 生物炭於都市林之應用

吳羽婷

### 一、前言

生物炭是一種在無氧或氧氣不足的高溫狀態下所燒製而成的物質，含高碳成分並能產生奈米等級大小孔隙的物質（Lehmann & Joseph, 2009）。生物炭本質非常堅固在土壤中不易被分解，可以維持 10 年以上甚至是千年（Verheijen et al., 2010），因此，生物炭是一種碳儲存最佳的方式之一，可減少溫室氣體的排放（Stewart et al., 2013）。此外，由於生物炭的孔隙特性，添加至土壤中可以改變土壤通氣性、水及養分（Ameloot et al., 2013; McCormack et al., 2013），進一步可影響土壤微生物群落結構，這些影響包括提高微生物群落的豐富度及代謝活動（Chan et al., 2008; Lehmann et al., 2011），多樣的微生物群落自然會提高土壤養份的有效性，不僅有助於地上部植物吸收更多養分之外，亦可減少土壤養分流失（Gul et al., 2014）。

都市林木一般由人工栽種，所使用的土壤介質多數貧瘠且排水不良，容易造成土壤夯實，加上生長空間有限，常導致都市林木根系無法正常生長，嚴重可能引起根系腐爛及病原入侵。為了使都市林可發揮最大的生態功能，首先應改善樹木的成長環境，提供良好的生長介質。生物炭特性再加上有機肥料可以同時改良土壤生物及非生物性質的組合，屏科大森林系研究團隊受林業試驗所委託，執行臺南及高雄多處都市林木土壤施用生物炭的評估。都市林木總共 9 棵包括高雄原生植物園（4 株毛柿）及臺南都市林林木（2 棵榕樹、1 棵桃花心木、1 棵苦楝及 1 棵桃實百日青）。

## 二、生物炭對都市林土壤物理化學性質之影響

都市林木土壤若以毛柿為例，其特性包含土壤偏乾、土壤電導度、有機質、氮含量及可利用陽離子含量很低，同時土壤有效性陽離子置換能力也很低。由此可知都市林林木生長的土壤介質肥力較為有限，而且砂粒成分偏高（表 3-3a）。臺南及高雄都市林木於去年施用生物炭，比較土壤處理前後的物理化學性質，其根域土壤添加生物炭後物理化學性質包括電導度、酸鹼值（pH）、凱氏全氮含量、有機質、有效磷、有效性陽離子含量及交換能、土壤顆粒組成比例與孔隙度並沒有統計上顯著的差異（ $P > 0.05$ ）。雖然如此，仍可以發現在添加生物炭後，孔隙度有提高的趨勢，再持續添加幾次應可使孔隙度明顯改善（表 3-3b）。

表 3-3 毛柿生物炭處理前後土壤之化學物理性質分析

(a)	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
毛柿 (對照組)	$244.2 \pm 36.16a$	$7.89 \pm 0.15a$	$0.09 \pm 0.01a$	$1.22 \pm 0.19a$	$53.53 \pm 3.75a$
毛柿 (實驗組)	$240.9 \pm 10.24a$	$8.03 \pm 0.02a$	$0.08 \pm 0.00a$	$1.11 \pm 0.08a$	$53.80 \pm 1.99a$
	K ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )
毛柿 (對照組)	$0.39 \pm 0.08a$	$0.67 \pm 0.19a$	$9.24 \pm 2.15a$	$1.22 \pm 0.01a$	$5.12 \pm 0.14a$
毛柿 (實驗組)	$0.29 \pm 0.01a$	$1.07 \pm 0.30a$	$13.53 \pm 1.96a$	$1.30 \pm 0.03a$	$5.53 \pm 0.48a$
(b)	砂粒 %	粘粒 %	粉粒 %	孔隙度	
毛柿 (對照組)	$74 \pm 3.0a$	$14 \pm 0.3a$	$12 \pm 2.6a$	$47.59 \pm 0.02a$	
毛柿 (實驗組)	$68 \pm 3.0a$	$14 \pm 2.2a$	$18 \pm 1.3a$	$50.06 \pm 0.03a$	

註：高雄原生植物園毛柿生物炭處理前後土壤之 (a) 化學、(b) 物理性質分析。



都市林今年接續施用特定比例調配的生物炭混有機肥的配方，經幾個月後再次採樣比較處理前後土壤物理化學性質。研究結果發現，高雄原生植物園毛柿土壤化學性質的部分，每棵樹經過生物炭混有機肥處理過後某些特定的性質明顯有改變，如土壤電導度、酸鹼值、有機質、有效磷及有效性鉀含量都有顯著改變（表 3-4）。

表 3-4 四棵毛柿生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質

	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
毛柿 1 I	235.7 ± 0.67a	8.07 ± 0.01a	0.08 ± 0.00a	1.34 ± 0.05a	58.27 ± 1.74a
毛柿 1 II	71.3 ± 3.3b	7.80 ± 0.03b	0.07 ± 0.01a	0.75 ± 0.12b	34.87 ± 6.33b
	K ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )
毛柿 1 I	0.33 ± 0.24a	0.45 ± 0.10a	9.89 ± 4.54a	1.29 ± 0.03a	5.30 ± 0.35a
毛柿 1 II	1.59 ± 0.01b	0.17 ± 0.01a	0.87 ± 0.66b	0.19 ± 0.13a	2.54 ± 0.81a
	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
毛柿 2 I	217.3 ± 0.33a	8.04 ± 0.02a	0.07 ± 0.00a	0.98 ± 0.01a	49.82 ± 4.59a
毛柿 2 II	195.2 ± 7.9b	7.86 ± 0.01b	0.05 ± 0.01a	0.79 ± 0.03b	44.63 ± 4.67a
	K ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )
毛柿 2 I	0.25 ± 0.08a	1.79 ± 0.42a	12.7 ± 0.23a	1.24 ± 0.02a	6.67 ± 1.32a
毛柿 2 II	1.19 ± 0.29a	0.12 ± 0.05a	0.26 ± 0.05b	0.47 ± 0.35a	3.06 ± 0.55a

表 3-4 四棵毛柿生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質 (續)

	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
毛柿 3 I	266.7 $\pm$ 0.33a	7.99 $\pm$ 0.03a	0.07 $\pm$ 0.00a	0.97 $\pm$ 0.21a	55.94 $\pm$ 1.00a
毛柿 3 II	117.5 $\pm$ 5.4b	7.95 $\pm$ 0.05a	0.06 $\pm$ 0.01a	0.78 $\pm$ 0.01a	22.26 $\pm$ 1.22b
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
毛柿 3 I	0.29 $\pm$ 0.12a	0.75 $\pm$ 0.10a	12.44 $\pm$ 0.64a	1.31 $\pm$ 0.01a	4.37 $\pm$ 0.23a
毛柿 3 II	0.08 $\pm$ 0.00a	0.19 $\pm$ 0.03a	0.27 $\pm$ 0.13b	0.37 $\pm$ 0.21a	5.37 $\pm$ 0.90a
	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
毛柿 4 I	243.7 $\pm$ 1.20a	8.01 $\pm$ 0.04a	0.08 $\pm$ 0.00a	1.16 $\pm$ 0.06a	51.16 $\pm$ 4.60a
毛柿 4 II	233.7 $\pm$ 1.7b	8.12 $\pm$ 0.01a	0.07 $\pm$ 0.01a	1.04 $\pm$ 0.02a	25.02 $\pm$ 5.15b
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
毛柿 4 I	0.27 $\pm$ 0.04a	1.29 $\pm$ 0.64a	19.09 $\pm$ 0.94a	1.37 $\pm$ 0.00a	5.76 $\pm$ 1.16a
毛柿 4 II	2.24 $\pm$ 0.00a	0.21 $\pm$ 0.01b	0.34 $\pm$ 0.07b	0.82 $\pm$ 0.18b	3.48 $\pm$ 0.12a

註：高雄原生植物園橫列平均值後之字母 (a,b,c) 若不同表示 Tukey's test 檢定結果有顯著差異 ( $P < 0.05$ )。

臺南都市林木個別經過生物炭混有機肥處理過後，某些性質亦有顯著改變，例如桃花心木土壤電導度、有效磷、有效性鎂含量及陽離子置換能力都有顯著改變；其他林木包括苦楝、桃實百日青及榕樹都有部分的性質有顯著改變（表 3-5）。

表 3-5 都市林木生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質

	電導度 ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
桃花 心木 I	184.5 $\pm$ 0.69a	7.81 $\pm$ 0.05a	0.04 $\pm$ 0.00a	0.83 $\pm$ 0.04a	106.82 $\pm$ 3.19a
桃花 心木 II	134.4 $\pm$ 1.9b	7.74 $\pm$ 0.09a	0.06 $\pm$ 0.01a	0.41 $\pm$ 0.21a	79.48 $\pm$ 5.04b
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
桃花 心木 I	0.25 $\pm$ 0.08a	1.92 $\pm$ 0.36a	18.12 $\pm$ 0.54a	1.18 $\pm$ 0.13a	5.06 $\pm$ 0.92a
桃花 心木 II	0.35 $\pm$ 0.03a	0.26 $\pm$ 0.01a	0.29 $\pm$ 0.03b	0.87 $\pm$ 0.09b	3.79 $\pm$ 0.50b
	電導度 ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
桃實百 日青 I	134.1 $\pm$ 0.23a	6.40 $\pm$ 0.04b	0.07 $\pm$ 0.00a	1.43 $\pm$ 0.04a	145.06 $\pm$ 3.69a
桃實百 日青 II	112.3 $\pm$ 0.2b	6.95 $\pm$ 0.08a	0.08 $\pm$ 0.01a	0.65 $\pm$ 0.22b	101.46 $\pm$ 24.90b
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
桃實百 日青 I	0.25 $\pm$ 0.05a	0.82 $\pm$ 0.07a	2.68 $\pm$ 0.56a	1.07 $\pm$ 0.03a	4.26 $\pm$ 0.01a
桃實百 日青 II	1.43 $\pm$ 0.43b	0.16 $\pm$ 0.03a	0.84 $\pm$ 0.22b	1.36 $\pm$ 0.40b	3.85 $\pm$ 0.88a

註：以臺南都市林木呈現，橫列平均值後之字母 (a,b,c) 若不同表示 Tukey' s test 檢定結果有顯著差異 ( $P < 0.05$ )。

表 3-5 都市林木生物炭及有機肥處理前後土壤化學性質 (續)

	電導度 ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
苦楝 I	139.9 $\pm$ 0.25b	7.00 $\pm$ 0.02b	0.10 $\pm$ 0.00a	1.84 $\pm$ 0.03a	78.45 $\pm$ 3.81b
苦楝 II	163.5 $\pm$ 0.3a	7.18 $\pm$ 0.04a	0.08 $\pm$ 0.00b	1.40 $\pm$ 0.08b	126.42 $\pm$ 10.30a
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
苦楝 I	0.20 $\pm$ 0.05a	0.81 $\pm$ 0.16a	2.78 $\pm$ 1.47a	0.71 $\pm$ 0.18a	3.78 $\pm$ 0.98a
苦楝 II	0.78 $\pm$ 0.00a	0.28 $\pm$ 0.01a	0.92 $\pm$ 0.11b	1.23 $\pm$ 0.17a	3.77 $\pm$ 0.21a

	電導度 ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
榕樹 I	276.7 $\pm$ 0.33a	7.94 $\pm$ 0.03a	0.04 $\pm$ 0.00a	0.54 $\pm$ 0.02a	71.44 $\pm$ 2.07a
榕樹 II	230.7 $\pm$ 0.3b	7.85 $\pm$ 0.04a	0.06 $\pm$ 0.01a	0.15 $\pm$ 0.04b	72.70 $\pm$ 5.30a
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
榕樹 I	0.45 $\pm$ 0.08a	1.35 $\pm$ 0.76a	10.00 $\pm$ 2.020a	0.66 $\pm$ 0.02a	4.23 $\pm$ 3.77a
榕樹 II	0.47 $\pm$ 0.15a	0.4 $\pm$ 0.97b	1.23 $\pm$ 0.49b	0.97 $\pm$ 0.21a	4.37 $\pm$ 0.63a

	電導度 ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH 值	凱氏全氮 (%)	有機質 (%)	有效磷 (ppm)
榕樹 I	232.3 $\pm$ 0.33b	7.83 $\pm$ 0.09a	0.04 $\pm$ 0.00a	0.78 $\pm$ 0.02a	118.77 $\pm$ 3.94a
榕樹 II	282.3 $\pm$ 0.9a	7.77 $\pm$ 0.01a	0.05 $\pm$ 0.00a	0.57 $\pm$ 0.06b	106.55 $\pm$ 10.09a
	K ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol (+)Kg}^{-1}$ )
榕樹 I	0.5 $\pm$ 0.06a	1.72 $\pm$ 0.28a	8.80 $\pm$ 2.78a	1.23 $\pm$ 0.01a	5.16 $\pm$ 1.46a
榕樹 II	0.55 $\pm$ 0.02b	0.55 $\pm$ 0.01b	1.58 $\pm$ 0.38b	1.28 $\pm$ 0.03b	3.89 $\pm$ 0.53a

整體而言，施用生物炭混有機肥處理後，導電度明顯降低顯示土壤鹽分或養分減少，推測施用生物炭混有機肥可增加細菌群落集聚，然而在有機肥並無相對增加時，造成微生物及植物消耗掉養分所致，因此應該持續施用肥料。土壤質地的部分，9 棵都市林木的土壤，其中 2 棵毛柿及桃花心木的土壤質地有改變，砂土的成分降低，改變為壤質砂土（表 3-6）。

表 3-6 都市林木經生物炭混有機肥處理前後土壤顆粒組成之差異

林木種類	樣本 I				樣本 II			
	砂粒 (%)	粘粒 (%)	粉粒 (%)	土壤質地	砂粒 (%)	粘粒 (%)	粉粒 (%)	土壤質地
毛柿 1	74	10	16	砂質壤土	87	4	8	砂質壤土
毛柿 2	71	14	15	砂質壤土	88	2	10	壤質砂土
毛柿 3	68	12	20	砂質壤土	85	2	12	砂質壤土
毛柿 4	60	20	20	砂質壤土	89	4	6	壤質砂土
桃花心木	86	9	5	砂土	88	6	6	壤質砂土
苦楝	85	7	8	壤質砂土	88	8	4	壤質砂土
桃實百日青	81	9	9	壤質砂土	89	6	5	壤質砂土
榕樹 1	84	10	6	壤質砂土	84	12	4	壤質砂土
榕樹 2	83	7	10	壤質砂土	74	18	8	壤質砂土

註：以高雄臺南都市林木呈現。

### 三、 生物炭對都市林土壤微生物群落結構之影響

都市林木土壤兩次採樣共得到 4,860,048 高品質的細菌序列，經過資料庫比對可以歸類 60 門、204 綱、425 目、688 科、1,361 屬及 20,383 種。以屬 (Genus) 的分類層級來看，最優勢的 5 屬分別為 *Gaiellaceae* : NA、iii1-15、0319-7L14、*Solirubrobacterales* : NA 與 Ellin6529。每棵都市林木所孕育的細菌種類 OTU (Operational taxonomic unit; 操作分類單元) 介於 4,171 ~ 7,845 及 Shannon H' 歧異度介於 6.29 ~ 6.94，有豐富的細菌多樣性。經過生物炭及有機肥處理雖然統計上沒有顯著差異，但有增加或減少的趨勢 (圖 3-15)，推測可能是有益菌增加或病原菌減少現象所致，如果再延長試驗時間，應可更明顯看出差異。

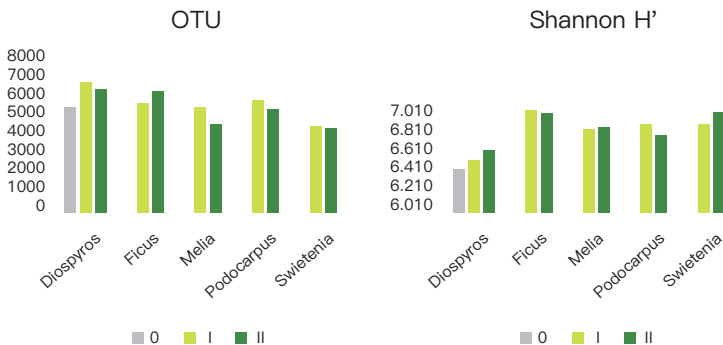


圖 3-15 生物炭混有機肥處理前後土壤細菌種類及歧異度差異

註：針對都市林木進行土壤細菌種類 (OTU)、Shannon H' 歧異度；Diospyros= 毛柿、Ficus= 榕樹、Melia= 苦楝、Podocarpus= 桃實百日青、Swietenia= 桃花心木。代表是未施用生物炭前的對照；I 代表施用生物炭後；II 代表施用生物炭混有機肥後。字母 (a,b,c) 若不同表示 Tukey' s test 檢定結果有顯著差異 ( $P < 0.05$ )。

至於林木土壤微生物群落結構則明顯受到生物炭處理 (I) 及生物炭混有機肥處理 (II) 影響 (圖 3-16)，結果顯示毛柿 (Diospyros) 土壤施用生物炭前後細菌群落結構有差異但有限，與施用生物炭混有機肥後的細菌群落組成才有較明顯的差異。其他都市林木榕樹 (Ficus)、苦楝 (Melia)、桃花心木 (Swietenia) 及桃實百日青 (Podocarpus) 都可以看到相似的情況，生物炭處理 (I) 及生物炭混有機肥處理 (II) 後的細菌群落結構都清楚呈現了差異性 (圖 3-16)。

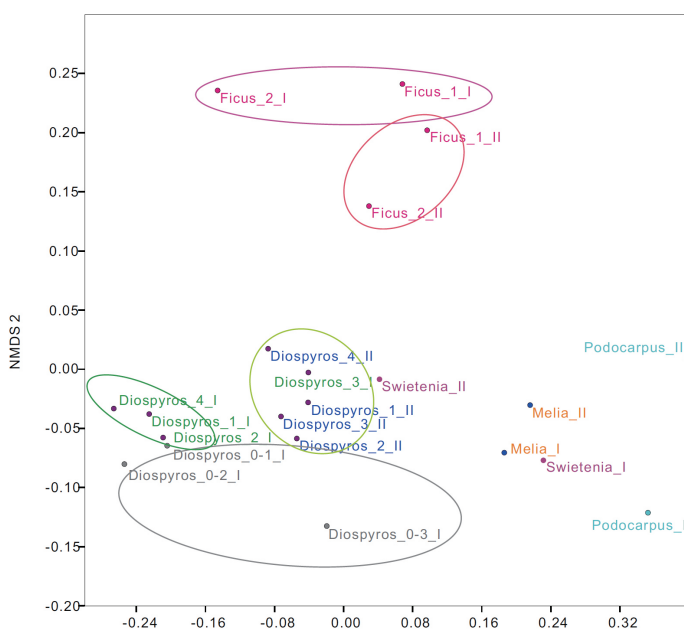


圖 3-16 生物炭混有機肥處理前後土壤細菌群落結構之多重變異分析

註：針對都市林木進行 Diospyros= 毛柿、Ficus= 榕樹、Swietenia= 桃花心木、Melia= 苦楝、Podocarpus= 桃實百日青。0-1~0-3 是未施用生物炭前的對照組；I 代表施用生物炭後；II 代表施用生物炭混有機肥後 (Stress=0.09)。

此外，施用的生物炭種類也會影響細菌群落組成，圖中可看見榕樹特別獨立一群，所使用的生物炭與其他林木不同。進一步以熱點圖（圖 3-17）檢視最優勢的 60 種菌群，發現特定的菌群會受生物炭及有機肥處理後有消長的現象，如榕樹的土壤微生物群落，發現添加生物炭及有機肥後，固氮菌 (*Bradyrhizobium elkanii*) 的相對豐富度會增加；桃實百日青土壤中硝化螺旋菌 (*Nitospira*) 相同添加生物炭及有機肥後亦有提升，該菌具有將氨轉化成硝酸的硝化能力 (Nitrification)。

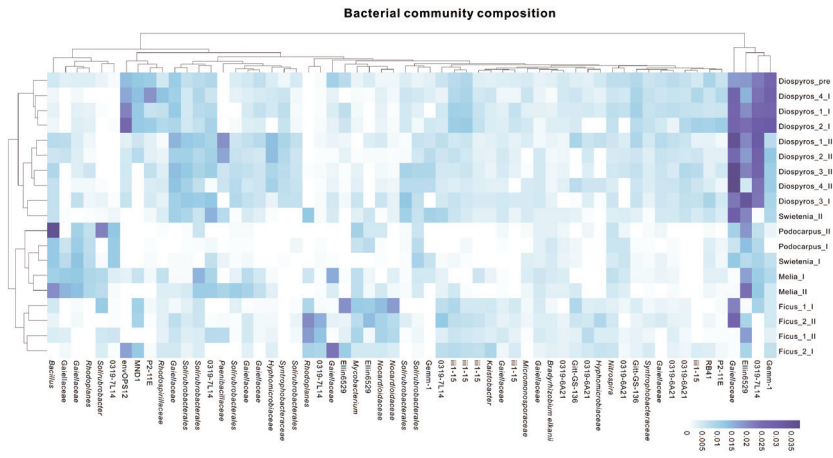


圖 3-17 都市林木施用生物炭與有機肥處理前後土壤細菌群落消長之熱點圖

註：針對都市林木施用最優勢的 60 種；Diospyros= 毛柿、Ficus= 榕樹、Swietenia= 桃花心木、Melia= 苦楝、Podocarpus= 桃實百日青。0-1~0-3 是未施用生物炭前的對照組；I 代表施用生物炭後；II 代表用生物炭混有機肥後。

以上的結果顯示施用生物炭 / 有機肥能顯著影響土壤物理化學性質及細菌群落結構。此外，都市林木施用生物炭 / 有機肥所導致的細菌群落結構變異明顯受到土壤的酸鹼值、電導度、有效磷、砂土比例、坩土比例、全氮量及有機質影響，其中有效磷及砂土成分影響最明顯（圖 3-18）。

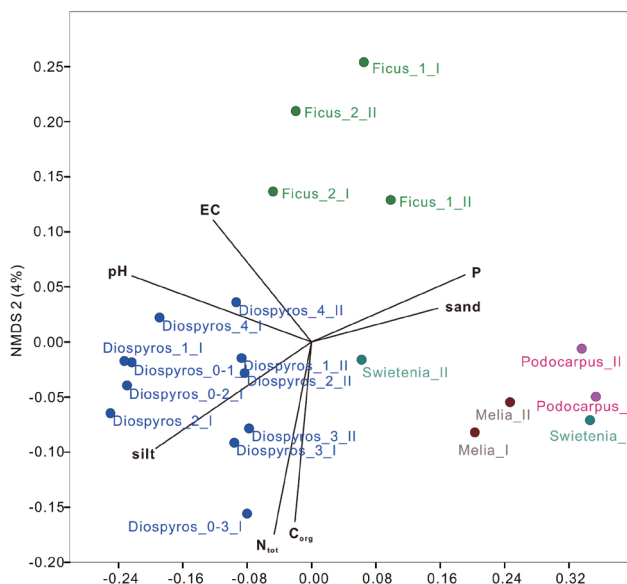


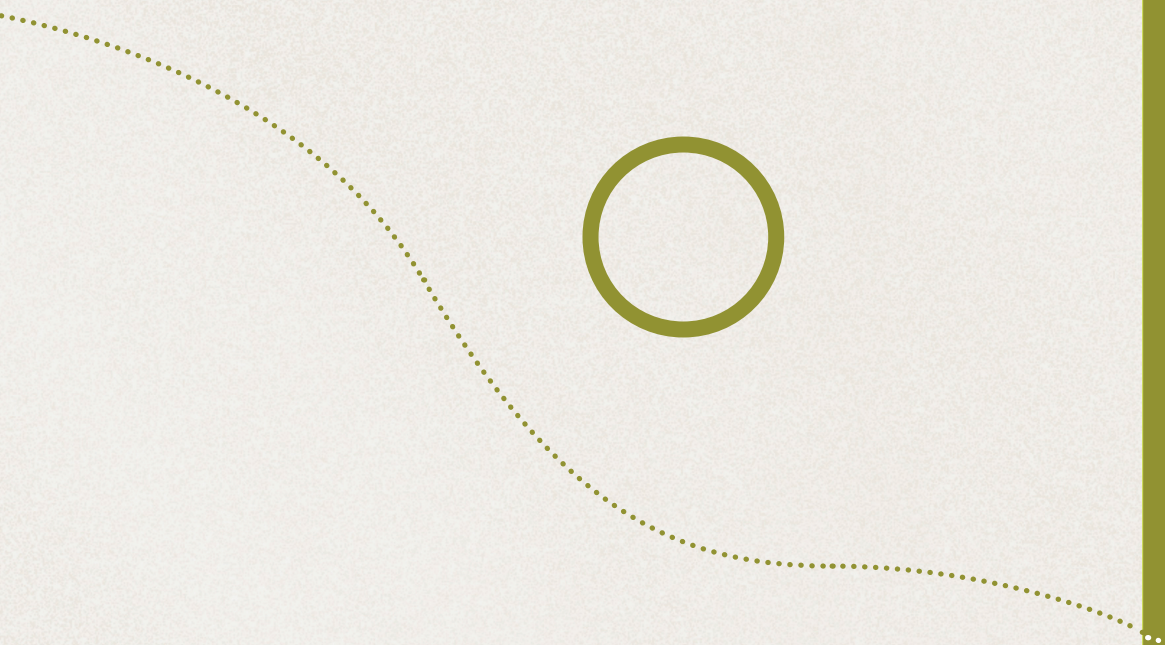
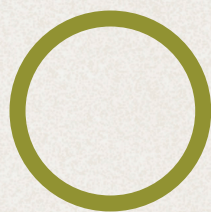
圖 3-18 都市林木生物炭混有機肥處理前後土壤細菌群落結構與環境因素之多重變異分析

## 四、結語

生物炭高碳多孔的特性確實可提供微生物生長的空间，若能搭配微生物製劑如以上試驗，結果發現對於土壤生物性及非生物性的性質，比只有生物炭處理影響更顯著。因此建議施政單位在都市林管理方面，確實可透過生物炭及有機肥的添加，改善土壤生物性及非生物性性質的目標。



戸  
火




# Taiwan Biochar

chapter

# 4

料源供應及  
應用管理平台



## 第一節

# 生物炭料源供應及應用管理平台

鄭美如

### 一、前言

在農業剩餘資源的循環利用中，無論是中間產物、最終產物或製程中所產生的剩餘資材，都有可能成為生物炭的原料。歐盟於 2004 年制訂循環經濟策略 (Circular Economy Strategy)，從產品設計、生產流程、消費、剩餘物料管理及資源化加以探討，希望能將剩餘物料轉化形成資源，達成資源全循環的目的。儘管臺灣人民的環保意識逐漸形成，但對於產業而言，除料源位置與數量未知外，尚缺經濟誘因，因為強化環保作為將導致生產成本的提升。若要有效改變現狀，應尋求有效的資源循環利用的生產模式，建立穩定完善的循環經濟模式，方能達到環保與經濟雙贏的局面。

## 二、生物炭控管系統的必要性

臺灣的農業循環經濟模式可從快速發展應用的沼氣發電、針對剩餘資材進行資源化、到穩定天然資源與進行資源利用結構上的改變。前述發展首要工作即是先盤點農業生產鏈的剩餘資源，針對不同資源利用階段所產生的剩餘資材，設計不同的處理方式，並進行循環經濟轉型後的效益評估，以及診斷該區域性的循環經濟潛力，其中須將補助視為支出成本的概念，轉為投資循環經濟的收益，方可達成目標。

此外，應用物質流分析 (Material flow analysis, MFA) 及生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA)，建立資源投入、剩餘物質產出、中間處理、再利用以及末端處置等各階段之數量、流向及資源使用途徑，以期更有效控管各程序之物質流動、使用效率及因應環境衝擊，因此建立一個建構以圖資為基礎之各項生物炭資源分布及料源供應，與回收利用資材量的生物炭料源供應及應用管理平台有其必要性。

### 三、 生物炭資源管理系統之功能

生物炭料源供應及應用管理平台建置計畫以農業剩餘資源可用於燒製生物炭為基礎之循環利用資訊的整合為最主要目的，並從全臺農業剩餘資材以就地掩埋、燃燒，未有效再利用，並造成環境污染，高碳排放、高成本、低價值等問題的剩餘資材著手，由農委會各改良場所進行剩餘資源盤點，到可利用料源分布、料源處理、生物炭製備、生物炭檢驗紀錄到終端使用，完整建構管控流程。並運用地理資訊系統 (Geographic Information System; GIS) 分析與運算，建構生物炭料源供應及應用管理平台 (<https://biochar.tfri.gov.tw>)。目前平台包含三項次系統—「料源供應空間決策系統」以 GIS 圖資搭配分析與運算，推估全臺可製炭料源分布量與生物炭潛勢供應量，並結合「生產鏈管理系統」中已登錄之廠商資訊、生物炭相關設備及實際的料源、生物炭生產與檢驗資料等流程紀錄與追蹤管理，以及「知識服務系統」中專家人才所在之空間資訊等，提供多重選項查詢服務。在「知識服務系統」中，提供國內外料源、炭品製成技術、應用方式、延伸研究及「農林剩餘資材炭化技術創新與產業模式」計畫三年來的成果等相關知識與資訊。

#### (一) 生物炭料源供應及應用管理平台首頁入口

提供使用者三個次系統連結及有關生物炭最新消息、熱門知識、計畫成果、平台簡介及操作指引等資料。



圖 4-1 生物炭料源供應及應用管理平台首頁入口

資料來源：<https://biochar.tfri.gov.tw/BiocharPortal>

## (二) 生產鏈管理系統

此系統提供生物炭產業相關產、官、學界使用，以帳號及群組權限設定，進行不同內容的管理，提供從生物炭原料來源到炭品流向的追蹤與管理，協助使用者（廠商）進行生產鏈的全程管理，可登錄各項炭品原料來源及其安全檢測、製程與燒製條件、炭品檢驗及炭品流向等紀錄，並以視覺化的流程供各環節的產品查詢，以及提供量化的生產分析與統計。此外，廠商可登錄基本資料與相關的產品資訊，提升產業媒合機會與商機。



圖 4-2 生物炭生產鏈管理系統的炭品追蹤管理（須有帳號登入）

資料來源：<https://biochar.tfri.gov.tw>

### (三) 料源供應空間決策系統

此系統的基本圖層與資料蒐集來自農糧署的稻作農田坵塊圖、作物收穫與栽植數據、農試所之農地土地覆蓋圖及林務局第四次森林資源調查地圖等，結合地理資訊圖資雲服務平台服務，計算全臺生物炭料源作物，並以圖層顯示方式提供「料源分布」、「林型分布」、「農情統計」及「站點/專家」等查詢服務。使用者可透過年度、作物種類、縣市鄉鎮或自選範圍等條件，進行生物炭潛在料源的查詢，亦可透過站點類別、料源種類、設備種類等進行生物炭相關站點的查詢。系統提供的查詢結果不僅呈現於地圖上，同時提供查詢結果清單與統計數值，亦可匯出圖檔與資料，方便使用者再利用。



圖 4-3 生物炭料源供應空間決策系統

資料來源：<https://biochar.tfri.gov.tw/BiocharSystem/BiocharGIS/BiocharGISExpert.aspx>

### (四) 知識服務系統

本系統收集國內、外生物炭相關學術研究報告、技術報告、科普文章、技術發展短訊、推廣實例及新聞影音等資料，以知識樹架構方式提供服務。

另有生物炭專家人才資訊，結合地理空間定位，提供以地圖查找國內專家學者的資料。此外 109 年底新增生物炭計畫成果，供大眾檢視查詢整個計畫團隊各年度所研發與推廣的各項成果。



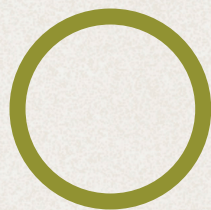
圖 4-4 生物炭知識服務系統

資料來源：<https://biochar.tfri.gov.tw/BiocharSystem/BiocharKM/BiocharKM.aspx>

## 四、 結語

透過生物炭料源供應及應用管理平台功能的優化，落實生物炭生產流程管控登錄及生物炭履歷的視覺化資訊，可即時掌握農業剩餘資材的產生、回收、加值利用與行銷通路的資訊，期能有效調節生物炭料源生產預測與剩餘料源配置，推演最佳的動態料源供應與回收利用鏈。並藉由逐步補充產業現況資訊，以及不斷更新知識分享內容，深化資訊服務架構，持續進行產業媒合與分析，藉以加速達到零廢棄、全循環的目標。

戸  
火




# Taiwan Biochar

chapter

# 5

炭品規格分級  
與安全規範標準



## 第一節

### 生物炭之分級

陳琦玲

#### 一、前言

生物炭施用於土壤中影響土壤質地、孔隙率、提高土壤酸鹼值（pH）及提供部份營養鹽，間接會影響土壤中水分、氣體、養分的循環、作物的生長及碳匯效益。依材料與熱裂解方法不同，其物理、化學特性也有所差異，因此訂定生物炭基本特性與安全標準是促進產業發展的重要工作。由於生物炭施用於土壤中為不可逆的農業操作，本節參考國際上生物炭標準，並依據臺灣常見農業剩餘資材經熱裂解後的生物炭成分分析，與各改良場試驗結果進行分級，作為使用者於不同應用上選擇生物炭的參考依據。

#### 二、生物炭之分級標準

參考國際上生物炭標準，同時依據臺灣常見農業剩餘資材不同溫度炭化之生物炭炭品組成，擬訂臺灣對於炭品的建議標準如表 5-1 所示。

表 5-1 生物炭國際標準與農試所暫擬標準比較

主要項目	<sup>a</sup> EBC	<sup>b</sup> IBI	<sup>c</sup> TARI
有機碳含量 (C <sub>org</sub> )(%)	≥ 50%	第一級: C <sub>org</sub> ≥ 60% 第二級: 30% ≤ C <sub>org</sub> < 60% 第三級: 10% ≤ C <sub>org</sub> < 30%	第一級: C <sub>org</sub> ≥ 60% 第二級: 30% ≤ C <sub>org</sub> < 60% 第三級: 10% ≤ C <sub>org</sub> < 30%
氫碳莫耳比 (H/C <sub>org</sub> ) (ratio)	≤ 0.7	≤ 0.7	第一級: ≤ 0.4 第二級: 0.4 < H/C <sub>org</sub> ≤ 0.7
氧碳莫耳比 (O/C <sub>org</sub> )(ratio)	≤ 0.4	X	≤ 0.4
電導度 (EC)(mS cm <sup>-1</sup> )	須標示	須標示	≤ 10
酸鹼值 (pH)	須標示	須標示	須標示
比表面積 (SA)(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	優質等級 > 150	須標示	第一級: ≥ 150 第二級: < 150
重金屬含量 (mg kg <sup>-1</sup> )	基本等級 Pb < 150 Cd < 1.5 Cu < 100 Ni < 50 Hg < 1 Zn < 400 Cr < 90	Pb 70 ~ 500 Cd 1.4 ~ 39 Cu 63 ~ 1500 Ni 47 ~ 600 Hg 1 ~ 17 Zn 200 ~ 7000 Cr 64 ~ 1200 As 12 ~ 100 Mo 5 ~ 20 Se 2 ~ 36 Co 40 ~ 150	Pb < 150 Cd < 1.5 Cu < 100 Ni < 50 Hg < 1 Zn < 400 Cr < 90

註: <sup>a</sup>European Biochar Certificate (EBC),V4.8<sup>b</sup>International Biochar Initiative (IBI),V2.1<sup>c</sup>行政院農業委員會農業試驗所暫擬草案 (TARI)

### (一)有機碳含量

生物炭中有機碳含量與資材種類及熱裂解條件有關，可長時間保留於環境中增加碳匯，影響土壤供給各類養分給作物之能力、微生物活性與團粒穩定性等物理、化學與生物活性，進而提升土壤之生產力，增進作物生長與發育。依據 EBC 標準碳含量低於 50% 的熱裂解產物可能會含有較多的灰分，因此不被歸類為生物炭，但考量木質素較低的資材，其裂解後有機碳含量大多低於 50%，因此參考 IBI 標準將有機碳含量分為 3 個等級。

### (二)氫碳莫耳比 ( $H/C_{org}$ ratio)

$H/C_{org}$  ratio 是用於評估生物炭的炭化程度，隨著熱解溫度的升高，O 和 H 含量降低，其值越低表示可以在土壤中長時間保留的有機碳含量越高。依 IBI 生物炭碳之穩定性評估，定義生物炭  $H/C_{org}$  ratio  $\leq 0.7$ ，添加於土壤中經過 100 年可保有 50% 有機碳含量； $H/C_{org}$  ratio  $\leq 0.4$  可保留 70%，經評估後將其分為兩個等級。

### (三)氧碳莫耳比 ( $O/C_{org}$ ratio)

與  $H/C_{org}$  ratio 相似，可用於評估生物炭炭化程度與穩定性，IBI 認為  $H/C_{org}$  被比  $O/C_{org}$  更簡單且更可靠，因此未列入標準中。而 EBC 認為其與生物炭表徵有關，如含氧官能基的多寡，而含氧官能基越多對於金屬離子錯合能力與表面親水性有關係，因此農業試驗所認為仍有其重要性，固保留此項目。

#### (四) 電導度 (EC)

對於敏感性作物，當土壤電導度 (EC) 超過  $2 \text{ mS cm}^{-1}$  可能不利於作物生長，以至減產；而生物炭電導度值大多為  $4 \text{ mS cm}^{-1}$ ，並由先前試驗中發現，生物炭電導度大於  $10 \text{ mS cm}^{-1}$  在 2% 施用量下會造成土壤鹽化，雖然 EBC 與 IBI 未擬訂此項限值，但農業試驗所仍建議生物炭電導度值必須在  $\leq 10 \text{ mS cm}^{-1}$ 。

#### (五) 酸鹼值 (pH)

大多農業剩餘資材酸鹼值為 4 ~ 7，隨著熱裂解溫度提高，生物炭酸鹼值會提升，大多生物炭  $\text{pH} > 9$ ，不論在 EBC、IBI 以及農業試驗所擬定的標準中，pH 值都是需要被分析並標示。生物炭是一種鹼性資材，能有效改善土壤酸性，促進作物生長。有部份製造廠商會將熱裂解過程中收集的醋液加入炭品中，以降低生物炭的 pH 值，因此需依照施用的土壤特性挑選炭品。

#### (六) 比表面積 (Surface area)

生物炭比表面積與孔隙率通常呈正相關，與保水、保肥以及汙染物、重金屬的吸附能力有關，因此 EBC 將  $>150 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  訂為優良等級的炭品。而研究發現比表面積與資材、熱裂解溫度與方式有關，熱裂解溫度於  $600 \sim 700^\circ\text{C}$  有較高的比表面積，而快速熱裂解可能會使焦油或其他碳氫化合物阻塞孔隙，導致比表面積偏低。當熱裂解溫度提高，比表面積增加，但含氧官能基團與酸性官能基團減少，對於不同化合物的吸附能力也不同，而相對低溫熱裂解 ( $350 \sim 500^\circ\text{C}$ ) 的炭品

雖然比表面積較低，但能有較多的含氧官能基團可以吸附金屬及養分，以目前完成調查的生物炭，大多比表面積低於  $150 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，因此，農業試驗所將其分為 2 個等級，提供使用者參考。

### 三、 不同等級生物炭對作物之影響

臺灣位於高溫多濕之亞熱帶地區，土壤淋洗作用強，呈高度風化狀態，因此全臺農地約有三分之一是酸性土壤，限制作物生長，而生物炭多為鹼性資材，依據試驗結果生物炭可有效改善土壤酸性，促進作物生長。由各改良場進行 38 種不同生物炭種植青江菜之盆栽試驗結果，經複回歸統計分析，作物產量與  $\text{H}/\text{C}_{\text{org}}$  ratio、灰份、有效性鉀、有效性鎂有顯著相關性。於酸土中施用 2% 生物炭，土壤酸鹼值增加 0.5 ~ 2，青江菜產量平均增加 19%；於中鹼土中施用 2% 生物炭，土壤酸鹼值僅增加 0.1 ~ 0.5，對於青江菜產量無顯著影響，但多數狀況會導致產量下降。因此建議將生物炭施用在酸性土壤中較為合適，如欲使用在中鹼土中須選擇酸鹼值較低的生物炭產品，同時降低使用量。

## 四、田間施用生物炭方式與注意事項

在田間施用生物炭所需注意的事項如以下所彙整：

- (一) 生物炭為易燃物，儲存應避免高溫、曝曬。
- (二) 施用生物炭前需確認生物炭品質與土壤特性。
- (三) 生物炭含有細顆粒粉塵，施用前可用水澆淋避免揚塵。
- (四) 施用於大田作物栽培時，可將生物炭均勻撒布於田間，再以耕耘機犁田使生物炭與土壤混合；施用於果園作物栽培時可採用環施、穴施、條施等方式，以施用面積土壤重量比例計算合適施用量。
- (五) 因生物炭為鹼性物質，建議依不同土壤酸鹼值適量施用，分次施用之最大總量不宜超過 2%，並依施用後土壤 pH 值與作物生長情形略作調整。建議施用方式如表 5-2 所彙整：

表 5-2 不同土壤酸鹼值 (pH) 所施用生物炭之比例

土壤 pH 值	施用最大總量 <sup>註</sup>	備註
pH <6	2%	由相關文獻與試驗結果，施用量大於 2% 對部分作物有減產之風險。
pH 6-7.5	1%	由試驗結果，施用 2% 生物炭栽培青江菜產量大多下降，於玉米栽培上，產量與未施用沒有顯著差異，因此建議以 1% 為限。
pH > 7.5	不建議施用	大部分作物營養吸收最適土壤 pH 介於 6.5 ~ 7 之間，因此不建議於 pH > 7.5 土壤中施用生物炭。

註：以耕犁深度 20 公分計算施用重量比 (炭量 / 土重 × 100%)。

## 五、結語

生物炭高鹼性及穩定、不易分解的特性，對改善酸性土壤、質地與孔隙率而言是一項有益的資材，間接影響土壤中水分、氣體、養份的循環、作物的生長及碳匯效益。但生物炭施用於土壤中為不可逆的農業操作，使用前必須確定生物炭合乎標準及安全性，再透過生物炭炭品分級，選擇最適用的炭品種類，建立永續經營環境的農業環境，確保糧食安全。

## 第二節

# 生物炭之安全性

梁瑩如 張敬宜

### 一、前言

世界各國科學家發現若將農業廢棄物在低氧或限氧的密閉空間下進行熱裂解而成之固態物質，為一種纖細且具有多孔性結構的顆粒，外觀與一般燃燒所產生之焦炭(Charcoal)類似，當這些物質應用於農業土壤改良以及環境保護目的時可稱為生物炭。生物炭除可單獨利用外，亦可與其他介質混合成複合產品，在農業應用上可改善土壤的物理化學特性（如酸鹼值 pH）、提升土壤的保水力與肥力、減少養份流失、增加作物產量等作為土壤改良劑之用，同時它還能吸附有害物質以及作為延緩溫室氣體釋放的介質，亦即降低土壤中溫室氣體（一氧化二氮或甲烷）之排放。然而當生物炭與土壤摻配時，造成土壤物理化學特性改變，是否同時亦改變土壤周遭之環境，影響作物、土壤微生物、蚯蚓、甚至水生生物等物種；且農業廢棄物經精煉後其重金屬含量是否被濃縮，導致對農作物的傷害，甚至對人畜產生安全之疑慮；或是不同廢棄物種類在不同熱裂解條件下，燒製過程中是否排放具毒性且具致癌性的有害污染物如多環芳香烴 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 或戴奧辛 (Dioxins, PCDD/Fs) 等，均是生物炭開發與應用過程中不容忽視的一環。

因此，應訂定適合我國的生物炭安全管理規範，供權責單位參考使燒製業者有所遵循，以確保炭品安全無污染疑慮，才可加值應用以達到環境永續的目標。

## 二、 生物炭之安全管理規範

本節主要參考國際生物炭倡議組織 (IBI) 與歐洲生物炭認證機構 (EBC) 對生物炭應用之指引或管理模式，並累積多筆本土炭品的檢測數據，包括稻殼、柑桔、芒果、棗子、文旦柚、番荔枝、番石榴、綠竹及菇包等，訂定我國的生物炭管理規範標準。相關安全管理規範係針對生物炭燒製業者區分為料源（前端）與炭品（後端）等兩方面管控。

料源管理方面，不同料源對其燒製之生物炭的性質和品質有直接影響。雖本節的重點在於生物炭產品本身，但對料源的類別與品質管理亦提供建議。燒製業者應以無污染疑慮環境下的農業剩餘資材作為生物炭產製之料源，如木材、樹葉或稻殼等，但某些料源為了確保後續燒製品質，應設有前處理步驟，如樹木枝條應事先破碎或裁切或菇包顆粒太細需事先造棒等。此外，料源運送至燒製場地因運輸成本考量，可侷限於 80 km 內。就經濟效益而言，簡易爐就地燒製也是一種方式；再者當料源有污染疑慮（如動物排遺等），則燒製前應先完成戴奧辛或重金屬含量檢測，確認合乎標準後才可作為料源。未來若以廣義規範料源種類，可用原來本質是否改變分為一未處理（指料源保有天然型態）與經處理（泛指經化學或生物作用後之產物，已非天然型態）類別，如稻殼、稻草桿、玉米芯、

玉米桿、甘蔗渣、柳枝、芒草、竹子、油料作物殘渣、豆科作物殘渣、麻的殘渣、軟木材（針葉木）、硬木材（闊葉木）等屬未處理類別；糞便（如牛、豬、家禽、羊、馬糞）、造紙污泥、污水道污泥、酒糟、厭氧消化後之污泥、固體生質廢棄物（如木材廢料、建築飾品廢料、廚餘）、食品加工後之廢料等屬經處理類別，若燒製業者使用經處理類別的料源，有責任確保該料源中不得含有害物質，應提出適當的毒性評估資料。然而臺灣地區對生物炭之研究尚在研發中，現階段應以未處理類別的農業剩餘資材為優先，作後續料源燒製條件研究與推廣應用，以確保資源循環的永續性。

炭品管理方面，燒製業者應遵循圖 5-1 之檢測流程。首先進行炭品基本特性之品質分析（分析要項參照章節 5-1），對炭品品質作把關，分析態樣應分為初次檢測與年度檢測。當該批次炭品符合生物炭品質標準後，再進行有害物檢測，以確保炭品之安全性。檢測要項應包括鉛、鉻、銅、鎳、汞、鋅、鎘、砷等重金屬與多環芳香烴 (PAHs)、多氯聯苯 (Polychlorinated biphenyls, PCBs)、戴奧辛 / 呔喃及有機揮發物質 (Volatile organic compounds, VOCs) 等有機污染物，上述檢測要項的閾值建議如表 5-3 所示，其中有機發物質（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）得當燒製量大於每年 50 公噸以上者才須檢測。

有害物檢測應於同型燒製設備初次生產炭品時作檢測，用以瞭解該燒製設備所得的炭品是否符合安全閾值，如圖 5-1 的初次檢測流程，不同料源燒製的炭品亦應分別檢測，爾後如燒製過程等燒製條件或料源無重大變動或污染，則同種料源得採 3 年定期檢測，如圖 5-1 的例行檢測流程，但若使用經處理類別料源則有害物檢測亦應年度檢測。

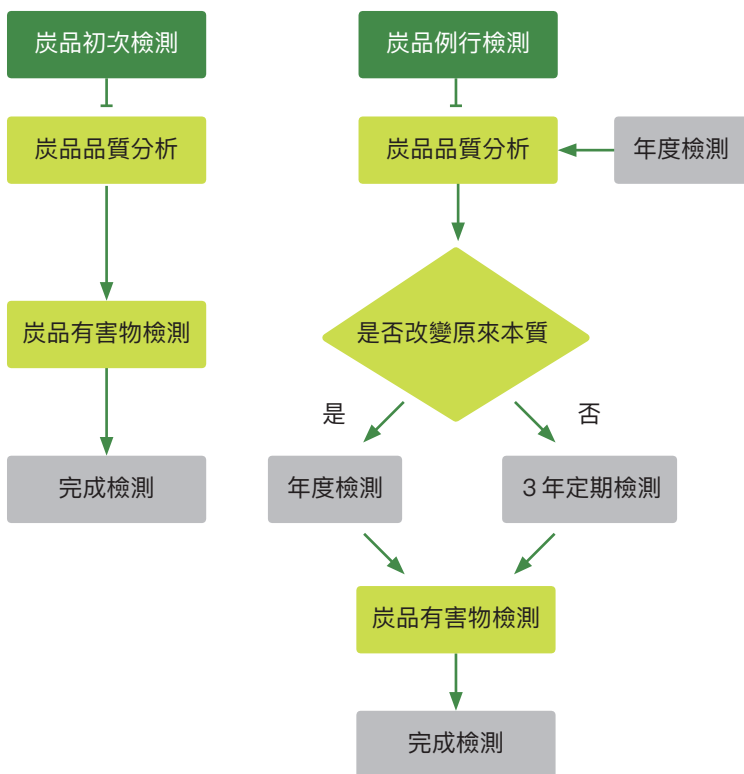


圖 5-1 炭品管理之檢測流程

資料來源：International Biochar Initiative (IBI) (2015).  
Standardized Product Definition and Product Testing  
Guidelines for the Biochar. Version 2.1.

表 5-3 臺灣地區炭品有害物檢測之建議閾值

檢測要項	閾值	備註
鉛	<150 mg/kg <sup>1)</sup>	
鉻	<90 mg/kg <sup>1)</sup>	
銅	<100 mg/kg <sup>1)</sup>	
鎳	<50 mg/kg <sup>1)</sup>	
汞	<1 mg/kg <sup>1)</sup>	
鋅	<400 mg/kg <sup>1)</sup>	
鎘	<1.5 mg/kg <sup>1)</sup>	
砷	<13 mg/kg <sup>1)</sup>	
多環芳香烴	<12 mg/kg <sup>1)</sup>	
多氯聯苯	<0.2 mg/kg <sup>1)</sup>	
戴奧辛 / 呔喃	<20 ng/kg (I-TEQ) <sup>1)</sup>	
揮發性物質 - 苯	<5 mg/kg <sup>2)</sup>	>50 噸 / 年
揮發性物質 - 甲苯	<500 mg/kg <sup>2)</sup>	>50 噸 / 年
揮發性物質 - 乙苯	<250 mg/kg <sup>2)</sup>	>50 噸 / 年
揮發性物質 - 二甲苯	<500 mg/kg <sup>2)</sup>	>50 噸 / 年

資料來源：

- (1) European Biochar Certificate (EBC) (2018). Guidelines for a sustainable production of biochar. Version 6.5E.
- (2) 行政院環境保護署 (2011)。土壤及地下水污染整治法 - 土壤污染管制標準。行政院環境保護署環署土字第 1000008495 號。

### 三、 生物炭環境毒理檢測與評估

由於生物炭為具有特殊性質的資材，其物理化學特性取決於料源種類與燒製的製程參數，不同類別的炭品可能對於土壤、作物甚至環境中的生物有潛藏的危害。藥毒所團隊亦已測試多種類型炭品（包括稻殼、綠竹、菇包、果樹枝條等）對環境非目標生物急毒性之影響，顯示前述炭品對蚯蚓與斑馬魚均不會造成任何急毒性反應。另外，少部分炭品（包括稻殼、綠竹、果樹枝條等）亦進行細菌基因逆向變異試驗，利用沙門菌 (*Salmonella typhimurium*) TA98、TA100、TA1535、TA1537 及 TA102 等五種菌株，經由平板培養試驗法 (Plate incorporation method)，

檢測試驗物對沙門菌菌種之組胺酸基因是否能由組胺酸需求型經逆向變異 (Reverse mutation)，回復為能自行合成組胺酸之原養型 (Prototroph)，以評估試驗物對菌種的致基因變異性之潛力，結果確認測試炭品無潛在致變異性反應。綜合以上，已累積多筆本土性炭品對環境生物的數據，足以顯示其風險低，目前在生物炭管理上，藥毒所建議檢測上一章節之安全性必備之檢測項目，惟對炭品料源來源有疑慮時，可能仍需進一步測試，甚至評估對其他物種之影響。

依藥毒所目前監控炭品有害物含量與炭品對環境非目標生物毒性影響較低，確認現有炭品未見明顯安全的疑慮，但生物炭混拌於土壤中為不可逆行為，可能永久存於土壤中，除非經由雨水沖刷才可能減少，實有必要針對各類不同料源、炭品、作物、土壤類型及相關地理位置，進行長期田間試驗與安全性監控，以掌握生物炭在各種不同條件下所產生的影響，同時可藉由施用後長期的監測數據的蒐集與累積，用於生物炭對環境與生物的風險評估，俾利未來增修生物炭的應用準則。

#### **四、 複合性微生物炭品的安全管理**

複合性微生物炭品主要成份包括了生物炭與微生物，由於生物炭提供多孔隙的空間容納微生物，因此經燒製後的炭品能為適當的微生物載體。為使產品能合乎安全性的要求，管理上建議個別檢視其安全性。在生物炭部分，應符合前述安全管理規範之要求；微生物部分則應視該微生物的應用範圍或宣稱功效，符合該項相關管理法規要求，

例如微生物肥料應符合肥料管理法。

在微生物肥料登記方面，該菌種需經安全性評估，審查原則主要有三項，包括：

1. 菌種係存在於國內自然環境者。
2. 菌種與人類健康之疾病無關。
3. 菌種對植物無病原性。若非屬已被鑑定為安全之微生物肥料菌種，應檢具對生物毒性及環境生態試驗報告，或符合微生物肥料菌種安全性評估審查原則等相關資料，送經農委會審查核可後，依規定可公告為已被鑑定為安全之微生物肥料菌種。目前已被鑑定為安全之微生物肥料菌種中，包含細菌、真菌與酵母菌等三類：

- (1) 細菌類包括凝結芽孢桿菌 (*Bacillus coagulans*)、地衣桿菌 (*B. licheniformis*)、豆科根瘤菌類的 *Bradyrhizobium japonicum* (*Rhizobium japonicum*)、*Mesorhizobium loti* (*R. loti*) 與 *R. leguminosarum*、沼澤紅假單孢菌 (*Rhodopseudomonas palustris*)、*Sinorhizobium fredii* (*Ensifer fredii*, *R. fredii*)、嗜熱鏈球菌 (*Streptococcus thermophiles*)。
- (2) 真菌類包括米麴菌 (*Aspergillus oryzae*)、*Glomus fasciculatum* (*Endogone arenacea*, *E. fasciculate*, *Palaeomyces butleri*, *Rhizophagites butleri*)、*Glomus mosseae* (*E. mosseae*)、魯毛黴菌 (*Mucor rouxii*)。

(3) 酵母菌類則包括季也蒙假絲酵母菌 (*Candida guilliermondii*)、季也蒙比齊酵母菌 (*Pichia guilliermondii*)、啤酒釀酒酵母菌 (*Saccharomyces cerevisiae*)、肋狀擬內孢黴菌 (*Saccharomycopsis fibuliger*, *Endomycopsis fibuliger*)。

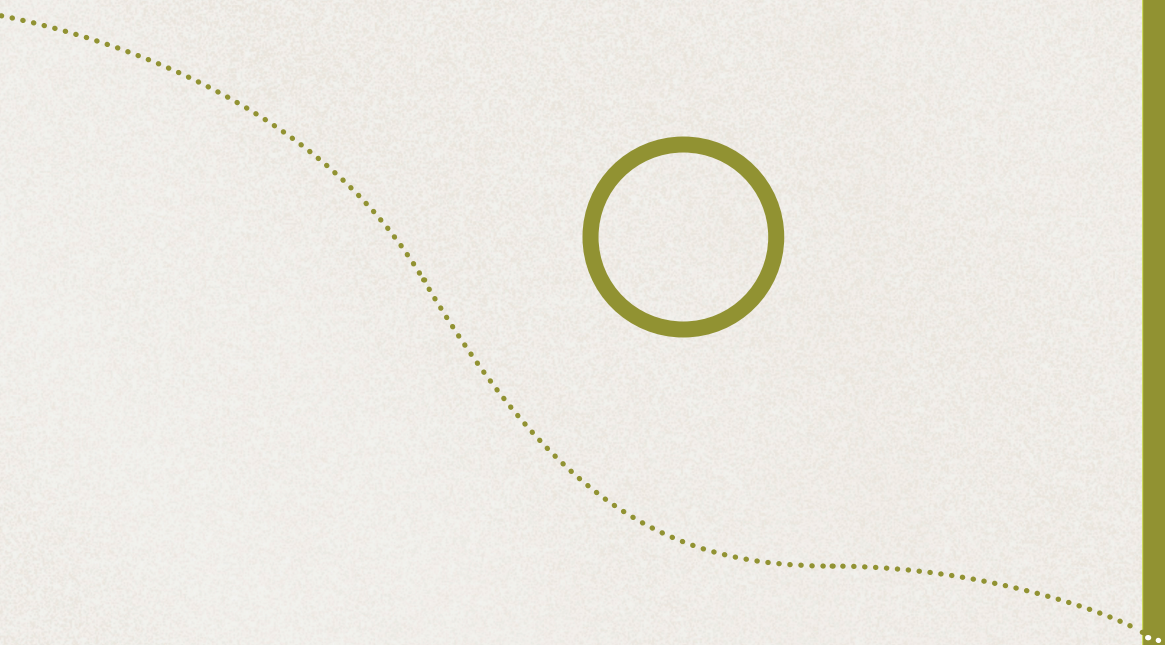
其中，各微生物肥料品項應檢測項目說明如後：豆科根瘤菌肥料中，應檢測根瘤菌有效活菌數及共生固氮活性；溶磷菌肥料中，應檢測溶磷菌有效菌數及溶磷活性；溶鉀菌肥料中，應檢測溶鉀菌有效活菌數及溶鉀活性；叢枝菌根菌肥料中，應檢測叢枝菌根菌繁殖體與植物根系形成菌根，以染色法觀測及叢枝菌根菌孢子數；此外，複合微生物肥料，則根據所複合的微生物種類測定當中的菌數及相對應之活性，然而根據目前的「肥料種類品目與規格」之內容，尚無複合性微生物炭品之品項。

## 五、結語

近年來生物炭相關產業蓬勃發展，且國際上亦有相對完善的規範及管理制度，相較下我國雖已有相關產品利用於農業上，然在管理上仍有相當的進步空間，因此參考國際生物炭管理情形及藥毒所累積的多筆檢測數據，進而制訂適合本土生物炭品安全之管理規範，期能協助炭品燒製者自主安全管理，提供使用者有較完善的產品資訊，進而提升對炭品之信賴度及加值應用。此外，生物炭是在低氧或限氧條件下，透過生物質的燃燒後所獲得的固體材料，若燒製設備設計不完善或以露天簡易方式進行燃燒，面對日益嚴重的空汙問題，將是嚴峻的挑戰，因此在設備改良與燃燒方式改善，除可減少燃燒氣體的排放外，亦有助於危害物質的回收以增加炭品的安全性。綜合以上，生物炭具資源循環利用及對環境的減碳效果，可用於栽培介質、土壤改良、除臭等農業及生活應用等用途，因此若能結合各領域，充份利用國內農業廢棄物資源，將之轉換為可用之生物炭資材，將有助於達成資源、環保與經濟永續經營的目標。



戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

# 6

## 生物炭碳匯效益



## 第一節

# 生物炭之碳匯能力

陳琦玲

### 一、前言

自從工業革命後，全球碳排放量急速上升，根據 IPCC 氣候變化 2014 年綜合報告中，以中度溫室氣體排放情境 RCP ( Representative concentration pathways ; 代表濃度路徑 ) 4.5 下，推估 2100 年大氣中二氧化碳的濃度將達到 538 ppm，全球均溫將上升 1.8 度，全球海平面可能上升 0.47 公尺。如何降低空氣中二氧化碳濃度之上升，以及減緩氣候變遷是目前世界各國正面對的環境議題。土壤是全球重要碳庫之一，植物透過光合作用將大氣中的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 固定於植株內，在自然循環下，最終經由生物分解或燃燒回到大氣中，土壤有機碳也藉此循環維持於一定含量，但在全球暖化下，將會促進土壤有機碳分解，加速氣候變遷，為減緩氣候變遷，應尋求減緩土壤有機質礦化之對策。

生物炭是經高溫熱裂解，形成高度抗分解之穩定芳香族雜環碳結構。依據研究，埋於土壤中之生物炭可維持數十年至數千年，等同於將植物透過光合作用固定的碳封存起來，形成另一型態碳庫 (carbon pool)，可有效的增加土壤碳匯，並減緩溫室效應所導致的全球暖化問題。

## 二、增加土壤碳匯的重要性

根據估算，只要每年提高土壤（包括農地、草原、森林等）有機碳含量達 4‰，不僅可抵消每年因人類活動增加的二氧化碳量，並可增加土壤有機質、促進土壤健康，進而提升農作產量，達到減緩溫室效應及維護糧食安全等兩大永續發展目標。法國在第 21 屆氣候高峰會 (COP21) 中提出千分之四倡議 (4 Per 1000 Initiative: Soils for Food Security and Climate)，目標是全球每年增加土壤有機碳 (Soil organic carbon; SOC) 的 4‰，以減緩空氣中二氧化碳的濃度持續增加；亦藉土壤有機質的增加，促進土壤健康，進而確保農作生產與糧食安全。臺灣亦已簽署加入該倡議聯盟，以響應這一行動。

根據土壤調查結果，組中土壤有機碳的總和估算，臺灣目前的 0～100 cm 深的農地與森林 SOC 含量約為 2.37 億公噸，其中農地土壤有機碳約 7.7 千萬公噸，若欲每年增加農地 SOC 的 4‰，則每年需增加 30 萬公噸的有機碳。適宜的農林業管理可有效的維持與增加土壤有機碳，例如減少森林砍伐並復育森林；改變土地利用型態，增加土地植被；減少耕犁導致的土壤有機質分解；施用畜牧廢水與有機質肥料，減少化肥的施用；利用有機資材或作物殘體回歸農地，改善土壤品質，復育劣化土壤等。但在臺灣高溫潮濕，土壤有機物分解速度快速的環境下，欲藉施用有機材料或管理方式來實現每年增加 SOC 4‰的目標是一項挑戰。

依據我國不同農業操作對土壤有機碳維持的估算結果顯示，即使應用了畜牧廢水再利用、綠肥、有機農業、果園草生栽培及平地造林等多種農業操作方式，預期其總固碳量仍遠低於目標，而施用生物炭則有較高的碳匯能力。臺灣每年有數百萬噸農業固體廢棄物，若能製成生物炭，不僅可保留作物有機質中至少 25% 的碳，並可減少作物殘體在去化過程中排放的溫室氣體。

### 三、 生物炭碳足跡

雖然製成生物炭之過程也會排放溫室氣體，但依據 LCA 計算結果，顯示生物炭所具有的碳匯功能遠大於其在各階段之溫室氣體排放。以枝條炭為例：

1. 料源及其收集階段，料源栽種過程之二氧化碳排放量約為 4 kg CO<sub>2</sub> eq/kg；枝條修剪取得之二氧化碳排放量約為 0.0026 kg CO<sub>2</sub> eq/kg；假設料源至炭化工廠距離為 5 公里，則此階段二氧化碳排放量約為 0.01 kg CO<sub>2</sub> eq/kg。
2. 製造階段，假設炭爐每小時可處理 100 kg 料源，成炭率為 25%，功率為 1 kw，則此階段二氧化碳排放量約為 0.05 kg CO<sub>2</sub> eq/kg。
3. 運銷階段，假設運送至農地利用距離為 20 公里，則此階段二氧化碳排放量約為 0.04 kg CO<sub>2</sub> eq/kg。

4. 使用階段，以農耕機施用於農地中，則此階段二氧化碳排放量約為  $0.0007 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$ ；施用生物炭於土壤中，除了增加碳匯約  $2.5 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$  外，生物炭表面官能基具有催化一氧化二氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 還原為  $\text{N}_2$  的潛力，可減少氮氣 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 排放至大氣中，但此部份排放變異相當大，且碳匯效益相對較小，故先不計入。
5. 廢棄物處理階段，因生物炭全數施用於土壤中，故無此階段之排放；包材掩埋之二氧化碳排放量約為  $0.0005 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$ 。合計前述生命週期各階段之排放，枝條生物炭之碳足跡約為  $1.7 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$ 。若不計料源栽種過程之二氧化碳排放量，則顯示其顯著的碳匯效益，此部份碳匯之環境效益功能，未來可藉由交易機制獲得補償。

#### 四、臺灣土壤碳匯潛量

依國內外相關研究顯示，增加土壤有機碳含量或儲存量除了可減緩暖化趨勢，亦可提升土壤供給氮、磷、鉀及各類養分給作物之能力、土壤團粒穩定性等物理、化學與生物活性，進而提升土壤之生產力，有助於作物生長環境的維護。施用 2% 生物炭於酸性土壤農地中，對土壤與作物大多呈正面效應，以此條件來計算臺灣農地施用生物炭作為碳匯之潛量。依據土壤調查相關文獻，臺灣約有 30 萬公頃強酸性土壤（土壤  $\text{pH} < 5.5$ ）（圖 6-1），適合施用生物炭；以 0 ~ 20 cm 表土重約 2,000 公噸 / 公頃，施用 2% 有機碳含量，則合計可施用 1,200 萬公噸生物炭。

若以生物炭含 50% 有機碳，及依據分解試驗結果，預期可保留生物炭中 80% 的有機碳含量估算，相當於可增加 480 萬公噸的有機碳，等同於增加全臺土壤中有機碳含量達 20‰。若每年可產生 20 萬公噸生物炭，即每年處理 100 萬噸農林廢棄物，則在 50 年內皆可以施用生物炭於強酸性土壤中，一方面改良土壤特性，一方面增加土壤碳匯，並達到千分之四倡議目標。

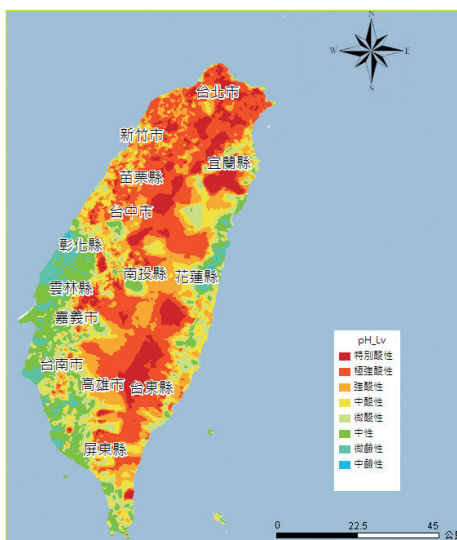


圖 6-1 臺灣酸性土壤分布圖

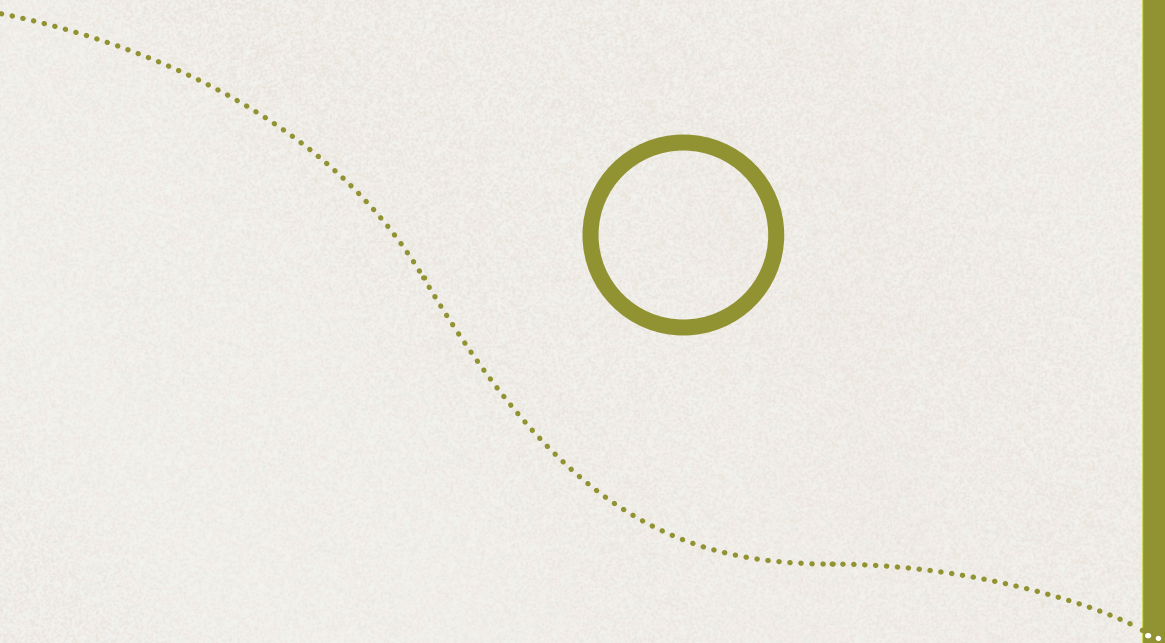
資料來源：農試所土壤調查研究室提供

## 五、 結語

依據生命週期分析結果顯示，施用生物炭於土壤中，可保留有機質中至少 25% 的碳，增加土壤碳匯，並可減少農業剩餘資材在去化過程中排放的溫室氣體，以減緩暖化趨勢，此部份碳匯之環境效益功能，未來可藉由碳交易機制獲得補償。此外，亦可提升土壤供給氮、磷、鉀及各類養分給作物之能力、土壤團粒穩定性等物理、化學與生物活性，進而提升土壤之生產力，有助於作物生長環境的維護。然而，因生物炭具不易分解之特性，應特別注意總施用量及土壤特性等，以降低其對環境、生態與農作生產可能的衝擊。雖然生物炭具有顯著之碳匯效益，但因生物炭為鹼性物質，建議以施用於酸性土壤為宜。



戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

7

經濟效益評估



## 第一節

# 生物炭介質之研發與效益

楊爵因

### 一、前言

化石燃料的使用是全球暖化的元兇之一，釋放氮氧化物及硫氧化物造成空氣污染及酸雨等問題。原物料資源耗竭及環保意識的抬頭使得替代能源興起，生物質能加工的發展潛力逐漸受到重視。廢棄生物資材如木頭、稻稈、作物殘渣及骨頭等是重要生物質能來源，生物質能於熱裂解後，原材料植物體內含的木質素、纖維素等發生化學變化，產生生質油、合成氣等可作為能源使用，而經過高溫燒製留下的固態物質，即是生物炭的主要來源。由於生物炭有效再利用農林剩餘資材，將農業廢棄物經過熱解炭化成穩定的型態存在土壤中，不僅減少環境中的碳和一氧化二氮的排放，更可提升碳利用性，因此被視為減緩全球暖化的友善資材 (Oomori et al., 2016)。近年，生物炭介質之研發技術進步，應用潛能不斷提升，生產規模也逐漸擴大，本節針對其於綠化植穴與一般栽培介質時，所產生的土壤性質改良效果，以及其對土壤環境中微生物群相所產生之變化，進行研發、應用與經濟等效益之探討。

## 二、綠化植穴生物炭介質之研發與應用

生物炭原物料種類多樣，燒製方式、時間及施用方式、土質等皆會影響最終產出。配合原料種類與成品用途要求，生物炭燒製溫度皆會作調整。生物炭的燒製多介於 300 ~ 900°C，通常溫度越高，生物炭產量越少，生質油產量越高。加熱的時間和溫度上升之速率，同樣會影響生物炭成品的孔隙以及品質。因此，以綠化植穴與一般栽培介質作為研發標的時，需考量種植環境之土質、作物種類及氣候等因素，以便進行客製化的最佳配方。目前生物炭的研發基礎主要利用其物理結構、化學偏鹼性及具調節土壤微生物菌相生態能力等特性。

首先，生物炭普遍擁有較高比例的孔隙及表面積大的孔洞結構，對吸附化學物質能力較佳。因此，將生物炭配合肥料的施用，對於土質較粘或較為貧瘠的土壤皆有相當好的效果。運用生物炭的物理結構特性，可以將合適大小碎片的生物炭施用於綠化植穴中，達到排水良好的效果，協助植物根系穩定發展與固著。SŁawomir 等人於 2016 年的研究指出在多種作物及樹木上，皆有觀察到根部延展增加、分枝增多及總質量變重的情形，且根系多半有沿著生物炭粒生長的趨勢。而 Vanek 等人於 2016 年的研究也發現生物炭孔洞可能作為微生物載體，炭的製造過程對於後接種於上之細菌存活率有明顯影響。例如生物炭作為玉米種子包覆溶磷菌的材料時，也能達到良好促進生長的效果 (Glodowska et al., 2016)。

其次，生物炭於化學測定具有偏鹼性的特性，因此在酸性土壤中可作為良好的土質改良劑，促進土壤有益微生物增長。同時，其所含酚類物質及其他化學官能基，可置換土壤中的鋁、氫離子並增加土壤離子交換能力，使養分更易留置土壤中。在重金屬物質含量或污染程度較高的土壤中，藉由生物炭和有機質的施用，能使土壤內的重金屬含量下降，且不易使土質結塊硬化，提升土壤活性。根據 Nandillon 等 (2019) 的研究指出，舊時採礦所留存的廢土中常有砷、鉛等重金屬污染，土壤多偏酸而使植物無法生長其中；但在添加 5% 生物炭和 5% 有機質肥料之後，吸金屬植物白花三葉草 (*Trifolium repens*) 能成功於該地區萌芽生長，形成能避免金屬污染繼續擴散且成為效率最好的地被。根據 Jenkins 等 (2017) 的研究調查，義大利、法國、英國三處田間每公頃施用 40 噸生物炭的狀況，發現一年後土壤的酸鹼值 (pH) 有顯著上升。而 Daoyuan 等人 (2017) 針對美國加州土壤的研究亦指出，添加生物炭具有增強土壤團粒凝集之效果，能有效減少碳元素的流失。然而，不同來源的生物炭，其陽離子交換容量和持水能力相異，也影響其釋出礦物的速度。在 Houben 等 (2014) 研究中指出由芒草製成的生物炭可緩慢釋放矽肥，而 Vassilev 等人 (2013) 則認為動物骨製成的生物炭是良好的磷肥來源。

再者，生物炭對部分土壤微生物有抑制性，但作用機制非以直接毒殺病原菌為主。Jaiswal 等 (2018) 針對胡瓜苗立枯病的研究報告中指出，添加生物炭的介質先澆灌水分和肥料 6 週，發病情形遠較無前處理者輕。然而，添加生物炭的培養基，並不會影響番茄鏈孢菌 (*Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*) 菌絲的生長，但在盆栽試驗及植株根部病原菌殘留檢測中，在有添加生物炭的處理組中，真菌的存活率明顯降低 (Jaiswal et al., 2018)。其他類似的觀察包含來自於臺灣大學植物病理與微生物學系楊爵因助理教授的研究，其團隊發現生物炭的浸泡液對於植物寄生性的松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 也能產生忌避的效果，但沒有觀察到任何觸殺該線蟲的現象。根據 Schnitzer 等人 (2007) 的研究，可能是由於製成生物炭過程會使其包含有芳香成分，因此生物炭對部分敏感微生物才產生抑制作用。此外，Graber 等人 (2010) 的研究則傾向認為，在少量生物炭的添加狀態下，抑制病原菌效果乃因生物炭成功影響微生物生態所致。生物炭相關的有機化合物可能抑制了某些菌群所需的較敏感的組成物質，進而促進了較具有毒性有機物分解抗性的菌群生長，進而促進植物的生長。針對後者的假說，臺灣大學植物病理與微生物學系楊爵因助理教授也進行相關分析，該團隊於臺灣北部公園樹木移植後土壤根圈微生物菌相進行超過半年的追蹤分析，發現如果在移植的櫟木植穴中添加 10% 生物炭，新移植樹木的根圈土壤菌相中可偵測得多種植物益生菌，且土壤中優勢菌群有逐漸趨於穩定的現象。Jenkins 等的研究調查中也發現，義大利、法國、英國三處田間施用生物炭一年後，土壤菌相產生改變，菌群

的多樣性也有明顯提高。針對美國加州土壤的研究亦指出，添加生物炭具有降低環境中真菌對細菌族群比，增加革蘭氏陰性菌比例，也提升飽和磷脂脂肪酸的含量。生物炭能促進 20% 菌根菌拓殖於植物根系的情形。然而，相關研究亦指出生物炭的用量並非越高越好，高量生物炭易吸附過量土壤中化學物質和重金屬，反而會抑制菌根菌 (Mycorrhizae) 或植物根圈促生細菌 (Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) 等之族群。

結合上述特性，生物炭的應用於近年的研發主力在於成為有效的植物栽培介質的添加物型式進行開發，尤其朝向運用於都市綠化的樹木植穴以及高經濟價值之農業栽植介質，如盆花和水耕蔬菜栽培等。都市進行綠化規劃時，樹木及草花植穴的設計，對於綠化工程的成敗有決定性的影響。首先，都市綠化苗木栽植後常遭遇高溫、水分、養分等吸收問題，致使公園樹木之移入定植面臨生長緩慢的現象。次者，都市綠化苗木栽植後，也常衍生病害如疫病、褐根病、細菌性癌腫病及線蟲等問題。因此，結合生物炭的物理與化學特性，目前應用研究注重在栽種土壤改良的諸多方面。除了針對不同生物炭的大小、孔徑進行試驗外，針對生物炭可作為有益微生物的潛在載體的部分，應用研究則著重篩選可利用生物炭養分的最適菌株，並優化有益微生物保鮮期以及接種潛力，並且建立有效的生物炭配方，搭配肥料、土壤益生菌等，針對植物病蟲害問題達到預防及有效改善的效果。並且，於樹木植穴的生物炭添加比例進行探討，以便提升長期的土壤根圈有益微生物的菌相有穩定的生態。

### 三、 生物炭介質之經濟效益

若生物炭為在地生產、在地使用，可省去清運生質廢棄物清運的費用。如果產出的成品量高過當地需求，則可以送往他地販售，扣除運送人力物力費用，仍可賺取合理利益。其中，燒製生物炭所需要的炭化爐等設備選擇相當重要，直接影響了生產資源成本、效率與經濟效益(Shackley & Sohi, 2010)。根據 Wrobel-Tobiszewska 等人對澳大利亞塔斯馬尼亞地區 2015 年所做的研究，該地區自產自用生物炭年產值可達約 17.9 萬美金，但若使用較大的燒製炭化爐，且增加燒製炭化爐的數量，可使生產利潤提高 1 ~ 5.5 倍之多。生物炭介質價格每噸約 1,000 ~ 1,500 美金，而生產成本約在每噸約 246 美金。於實際運用產生效益之面向，未來可能著重於生物炭介質調整土壤微生物菌相的成效將最為明顯，具有良好發展潛力。施用生物炭介質，不僅可大幅減少肥料的使用量，更可同時促進植物生長、有效抑制有害病原菌生長，進一步降低病蟲害發生後之相關治療與管理的支出。

於高經濟價值的農業生產中，生物炭也被視為良好的新興產品。於盆花的全球產業中，為了避免外銷盆花土媒病蟲害的防疫檢疫問題，使用無土介質是全球外銷盆花趨勢。目前大宗使用的常見介質如椰纖、泥炭苔 (Peat moss)、樹皮、蛭石 (Vermiculite) 等皆有其限制性。例如椰纖含有較高量鹽分，需要先進行浸泡及清洗方可使用。近年來面臨森林破壞及泥炭苔原枯竭，許多國家已經限制相泥炭苔和樹皮關資源開採，並推動必要的保護措施。生物炭完全無上述其他介質的問題，且同時可增加土

壤保水保肥效力、促進通氣性。面對「可替代的新栽培介質」的全球迫切性與必要性，生物炭甚至能降低泥炭等較為昂貴介質的使用量，順利脫穎而出成為未來栽培介質主力。近年西班牙研究中，已指出麒麟花盆花生產使用 40% 泥炭土和 60% 生物炭的混合介質，將使植株長勢最佳、分枝多、賣相好 (Vincenzo, 2017)。於番茄和萬壽菊等作物的種植中，以生物炭取代盆內 15%、30% 的泥炭 (Peat)，皆未對植株造成負面影響 (Vaughn et al., 2013; Margenot et al., 2018)。Headlee 等人 (2014) 的研究中，也指出於栽培使用生物炭，能達到與蛭石一樣的效果。此外生物炭於水耕蔬菜栽培的應用也有相當好的成果。Yasser 等人於 2017 的研究指出，雖然以碳化稻殼製成的生物炭為介質的植株產量比珍珠石介質為低，若以兩者 1:1 混合，植株葉片、重量明顯高於處理組，差距可達兩倍之多。葉片營養測定也顯示植株生長狀態最為健康；其中，有添加生物炭的組別植株葉片中的錳、鎂、鋅、鉀含量皆可高出 1.2 ~ 3.5 倍。同時，有生物炭的組別其水質藻類含量較低，顯示其對於水耕栽培的益處不限於產量增加，而對改善栽培環境也有一定效果。

## 四、結語

生物炭有效再利用農林剩餘，是減緩全球暖化的友善資材。其具有多孔隙及表面積大的結構特性，有利於保持水分、聚集環境中營養物質，具有成為良好的土壤改良劑的潛力。此外，生物炭介質的施用會改變土壤化學結構，進一步影響植株根圈的土壤微生物菌相生態，減低病原微生物帶來的影響，使土壤環境變得更有利於植物生長。未來生物炭的應用主要包含於都市林綠化植穴、高經濟價值盆花雨水耕蔬菜。由於運用生物炭於綠化植穴與作物栽培時，不同植物根部敏感度、土壤條件要求、根圈微生物相等亦皆有所差異，因此積極開發利用生物炭為介質商品時，需謹慎評估各類生物炭於施用場域中與其環境微生物之交互作用與影響，俾能客製化搭配有機質與益生菌，俾利提升生物炭的應用成效。此外，若能精準估算生產成本與效益，選擇適當的炭化爐以現地自產生物炭介質，將能產生相當可觀的經濟效益。



## 第二節

# 菇包剩餘介質再利用

薛佑光

### 一、前言

近年國內菇類生產具極高商業價值，促使菇農大規模投入栽培，每年使用超過 2 億個太空包（含栽培瓶）。根據 2018 年農業統計年報資料顯示，全臺香菇類太空包全年栽培數量為 23,058 萬包，香菇產量 5,294 公噸為歷年來第二高，平均每分地用量約 4 ~ 4.5 萬個太空包。

栽培後的香菇包大量廢棄無法有效再利用，廢棄剩餘物重量超過 15 ~ 20 萬公噸，嚴重汙染環境與造成資源浪費。因此如何去化菇類太空包剩餘介質，以及提高利用價值向來是菇類產業的重要課題。

## 二、 菇包栽培後介質之生物炭開發

菇包剩餘介質主要由木屑、米糠、玉米穗軸、稻殼或棉子殼等構成，可作為農作物栽培之有機質堆肥，但因香菇太空包介質含水量高，需要經過乾燥處理，製作成堆肥需時 6 個月以上的時間，故製造堆肥較費時費工；剩餘介質另一用途為造粒後作為生質能源的燃料供鍋爐或汽化爐燃燒，減少石化燃料之使用，但單位成本較進口者高，市場競爭力不足，產業化的效益不顯著，因此若能燒製成生物炭將可節省去化處理的時間與提升產品價值。菇包剩餘介質含有大量木屑，可作為製成生物炭的良材，同時臺灣每年產生的菇包剩餘介質數量極多，去化速度緩慢，若能作為生產生物炭的材料將是一個穩定的料源，有效促進農業剩餘物的去化。

前人研究結果顯示，自然或控制進氣的小型生物炭爐所具有的炭化能力標準值均保持在 36% 上下，代表確實能夠有效的連續產出生物炭，同時可免於大量的露天焚燒。然而菇包剩餘介質與一般材料差異較大，主要因為含水量高、顆粒細小密度高、透氣性不佳等特性，故在前處理上，需要進行乾燥與造粒程序，才能以自然進氣燃燒方式燒製生物炭，惟將增加成本與能源消耗。種苗改良繁殖場以簡易型 TLUD 炭化爐針對直徑 10 mm 之菇包條狀顆粒介質進行生物炭燒製試驗，以紅外線溫度計量測溫度，在爐體外層約 350 ~ 400°C，以熱電偶探棒溫度計量測內部約 450 ~ 700°C，處理 60 kg（約 90 L 容積）的菇包剩餘介質之燒製時間約需 5 ~ 7 小時，可以將菇包顆粒製成生物炭，顆粒直徑縮小約為 6 ~ 8 mm。



圖 7-1 菇包生物炭燒製之介質

註：左：菇包廢棄介質、中：菇包造粒介質、右：菇包生物炭。



圖 7- 2 種苗場簡易型 TLUD 炭化爐

大規模的製炭則是製炭廠利用生產竹炭等之電氣或燃氣炭化爐設備，進行菇包生物炭的燒製，初期小量試驗階段的成本約 40 元 /kg 左右，菇包炭之製造已屬可行，因此如何簡化菇包剩餘介質的前處理技術方法與降低成本，以及開發能進行含水量高、顆粒細小密度高、透氣性不佳等特性的大型生物炭爐，尚須進行改善與研發。

### 三、 菇包生物炭產業加值應用

生物炭多具鹼性、富含礦物鹽類及具多孔結構等特性，因此農用生物炭具有提高土壤肥力、減少化肥的投入、增加保水性、調節土壤酸鹼值 (pH) 酸度、提高陽離子交換力、增加有益土壤微生物數量等效益。

菇包廢棄剩餘介質生物炭除了上述用途外，亦可應用於蔬菜花卉育苗介質及無土栽培之添加物，混合使用量可達 2% ~ 5% 以上，提高蔬菜育苗及作物無土栽培之品質，減少泥炭土及栽培介質用量。在田間作物可以應用菇包生物炭，進行作物生產栽培土壤改良劑等之研發，將可提高再生效益及泥炭土改良等效果，改善土壤理化性質，提高作物產量與收益。



圖 7- 3 菇包炭添加介質進行甘藍穴盤育苗效果

註：以 2% ~ 4% 菇包炭添加於介質中進行甘藍穴盤育苗效果良好。

在甘藍穴盤育苗介質方面，以添加 2% ~ 4% 菇包生物炭表現較佳，甘藍苗葉片大小、莖粗及鮮重上，平均值皆優於對照組。在番茄穴盤育苗介質上顯示，以添加 4% ~ 6% 菇包生物炭介質表現較佳，在葉片大小、莖粗及鮮重上，平均值皆優於對照組。若每 10 萬株種苗使用 50 包介質計算減少 5% 用量換算，可減少 2.5 包介質約 175 公升泥炭土，減輕育苗業者對進口泥炭的需求。一般溫室蔬菜育苗量每 0.1 公頃約 60 萬株，可節省進口介質 15 包 4,500 元成本。每期作栽培時間約 1 ~ 1.5 個月，1 年種 7 期，約可減少成本 31,500 元 / 0.1 公頃 / 年。近年全臺甘藍與番茄栽培面積約 13,000 公頃，穴盤育苗約佔 70% 以上，若以推廣 10% 育苗數添加菇包生物炭介質，約為 2,275 萬株，則可減少使用泥炭土 600 包。同時使用菇包生物炭提升良率 4%，產值增加 2%。

菇包剩餘介質製成生物炭開發土壤添加劑，每公頃生物炭用量約 2,000 ~ 6,000 公斤，可提高蔬菜作物產量 3% ~ 8%。甘藍等葉菜類栽培面積超過 10,000 公頃，以推廣面積 5% 約 500 公頃計算，經濟效益可達 300 萬元。

另一方面透過加值處理技術，可增加多元化應用之可行性。在農業應用上，將菇包炭顆粒進行相對應的處理，可提供不同的加值應用，包括土壤改良、無土栽培介質、育苗介質改良、取代部分礦物類介質及農用水質過濾材等。在作為作物栽培與育苗用介質的添加物時，可以改善酸鹼值，降低介質過酸問題、提高通氣性與排水性，取代部分真珠石等礦物類介質，減少進口介質使用量。此外，利用菇包炭燒製時的不同溫度所產生的孔隙度不同與產品顆粒大小不同，作為水質過濾濾材，廢棄濾材的再利用亦可達到炭封存的效果。

#### 四、 結語

菇包生物炭之燒製因為能源消耗而使成本提升，需進一步開發機械設備降低生產成本，結合料源特性與製造技術，進行開發炭品應用於介質與土壤改良等，亦可利用具有多孔性的表面積特性，取代部分介質，減少泥炭土使用與耗費，改善目前國際泥炭土短缺問題。

## 第三節

# 生物炭於水產養殖之應用

劉俊宏

### 一、前言

臺灣地窄人稠，在經濟因素考量下，養殖產業以集約式養殖為主要的經營型態。然而，單位放養量增加雖可適度提高生產量，但環境條件也變得更不易控制，致使養殖風險也隨之提高。水產動物生活於水中，任何的環境變動都將影響著水生動物的生存及生理調節，故在過載的養殖條件下，日漸惡化的環境條件將導致動物行為及活動改變、形成壓迫及影響生理恆定，甚至是引發病害的發生及造成死亡。故在過載的養殖條件下，如何維持良好的環境條件將是能否成功養殖的重要關鍵。

水產動物為排氮動物，故在高密度養殖及大量投餵下，池水中的有毒氮代謝廢物，如氨 - 氮及亞硝酸鹽將會大量累積。當這些有毒的含氮代謝物濃度上升時，將會導致養殖動物成長低下、中毒、健康惡化，嚴重時甚致造成死亡。此外，養殖過程中因大量累積的有機物，包括殘餌、動物屍體及排泄物等，會使得池底腐敗，加上池底有機物無法充分氧化分解時，即會產生毒性代謝物，如氨 - 氮、亞硝酸鹽、硫化氫及甲烷等。狀況嚴重時，池底會累積大量有害氣體，而危害底棲之養殖蝦、蟹及貝類等。飼主在養殖期間，若不常擾動池底，上述，有毒物質將會溶於水

中，造成養殖動物立即性中毒進而導致大量死亡。因此，如何在安全範圍內掌控上述有害物質，將影響最終的養殖效益。

去除水中含氮化合物的方法很多，有物理、化學或生物處理等方法，而非生物脫氮法可利用高濃度結晶、離子交換法 (Ion-exchange)、折點加氯法 (Breakpoint chlorination)、空氣氣提法 (Air stripping) 等；生物處理法則有厭氧氨氧化菌、生物薄膜反應器搭配厭氧處理等。上述方法各有不同的處理效果及優缺點，且不一定完全適用於有養殖動物的水池，如化學處理法需要投入大量化學藥劑，需要調整廢水的酸鹼值，會產生化學污泥等問題；而生物反應器處理則面臨佔地面積過大等困擾（徐，2011），皆不適用於有養殖動物的水體。故傳統的水產養殖多以最簡易的方法，如換水、使用沸石粉、潑灑光合菌或益生菌等方式處理。這些方法亦有各自優缺點，如換水處理的成效快速，但會造成養殖環境條件的大幅變動，易引起魚蝦緊迫，且排放廢水將會引起水域的優養化問題；使用沸石粉可快速吸附有毒代謝物，但無法有效去除亞硝酸-氮，改善底泥狀況的效果有限；潑灑有益微生物則成效緩慢、無法於緊急狀態下使用，且不當使用時更可能引起倒藻等問題發生。

生物炭是利用低成本的生物質如農業廢棄物、糞肥等有機質材料在無氧或低氧環境下熱裂解後的固體產物，具有改良土壤、幫助植物生長、碳封存、提升土壤肥力等功能，也可用來去除各類有機污染物，如抗生素、多環芳香烴、多氯聯苯、揮發性有機化合物、芳香染料，以及無

機污染物，如重金屬、氨、硝酸與硫化物等 (Fidel et al., 2017)。生物炭吸附有機與無機污染物的機制通常受污染物種類而有所不同，對於有機污染物之去除主要是藉由 ROH、-COOH 和 -OH 官能團的化學或物理吸附，特別受生物炭極性較低、藉由 $\pi$ - $\pi$ 電子給體-受體和分配而產生的靜電吸引/排斥所影響，而無機污染物則透過離子交換、表面絡合、沉澱和離子相互作用被去除 (Oliveira et al., 2017) (圖 7-4)。因生物炭具有良好的污染物吸附能力，可用於水產養殖的環境條件改善，以吸附水中及底泥之有害物質，包括氨-氮、亞硝酸-氮及硫化氫等，對水質及底泥品質的改善將有一定的助益。

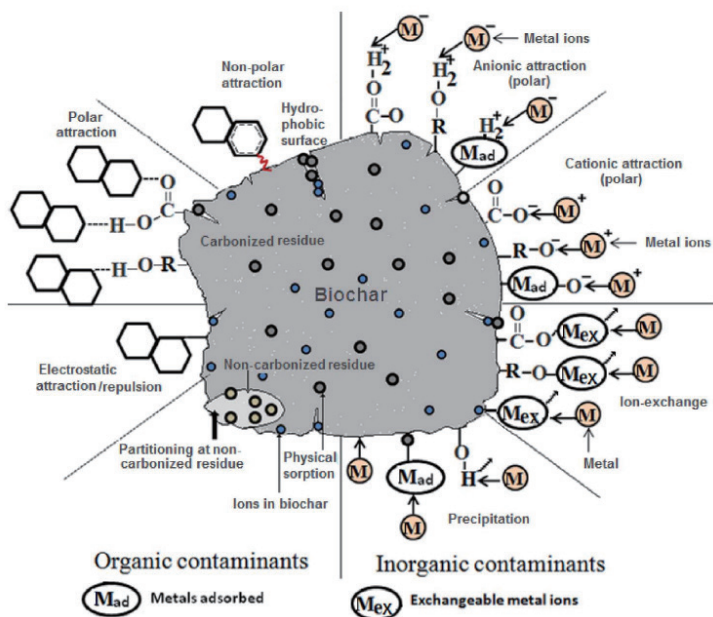


圖 7-4 生物炭對有機物及無機污物之吸附機制

資料來源：Oliveira et al. (2017)

生物炭的性質取決於本身物質的原料組成及其碳化條件。一般來說，生物質若具有較多之木質素和更少的纖維質，燒製後的生物炭產率也會較高。此外，生物質的揮發性成分、含水量、粒徑和形狀也都會影響燒製後之生物炭性質 (Nartey & Zhao, 2014)。

絕大部份的生物炭都為鹼性，可用來中和土壤酸性，一般而言，熱裂解的溫度越高，其 pH 則越高 (Yuan et al, 2011)。生物炭元組成之 O/C 和 H/C 的比率也會受到熱解溫度所影響。當熱解溫度提高，生物炭之 C 含量趨於增加，而 N、H、O 含量反而降低，使其 H/C 及 O/C 比率降低，而 H/C 和 O/C 比率越低會減少其生物炭極性，增加芳香性 (Fryda & Visser, 2015)，這些特性也都與生物炭吸附污染物的能力有關。Oliveira 等 (2016) 指出高溫會導致較低的 O/C 比，更高的疏水性和芳香度，以及更高的表面積，這些特性使生物炭非常適用於有機污染物的去除；反之，低的熱解溫度 (<500°C) 則有利部份碳化，可藉此得到具有較小孔徑，較低表面積和較高含氧官能團的生物炭，由於通過與含氧官能團的相互作用而增加離子相互作用，使得生物炭可應用於於去除無機污染物。由上述說明，碳化時的溫度將是影響生物炭特性的重要因素，亦會影響生物炭在水產養殖應用的成效。

## 二、 生物炭對水質之影響

由於生物炭具有良好的污染物吸附能力，因此被廣泛應用於水污染的處理，如氨 - 氮、重金屬、抗生素等污染物 (Fidel et al., 2018; Rasheed et al., 2017)。在水產養殖過程中，氮代謝廢物的累積常影響養殖動物的生長及活存，故如何有效的去除產生的有毒氮代謝物，是養殖業者所共同關注的議題。應用生物炭於水產養殖之研究在臺灣較為有限，但在國外已獲得份研究成果，如 Khalil 等 (2018) 利用稻草製成之生物炭可有效吸附養殖池水中的氨 - 氮，其吸附效率在溫度 25°C、35°C 及 45°C 時，分別為 43%、53.7% 及 69.5%；單位吸收值分別為 2.9、3.5 及 4.5 mg/g。除水產養殖用水的氨 - 氮吸附外，許多研究已證實生物炭具有吸收氨 - 氮的潛力，如以紅欖樹及玉米燒製而成的生物炭被應用於氨 - 氮及硝酸 - 氮的吸附評估，結果發現生物炭對氨 - 氮的吸附是在接近中性的 pH 7 ~ 7.5 時效果最佳；且以較低熱解溫度 400°C 燒製而成的生物炭吸收效果最佳，反之硝酸 - 氮的吸收則以高熱解溫度 600°C 的生物炭吸收效果最好，且於 pH 3.5 ~ 4 間有較好的吸附效率 (Fidel et al., 2017)。

在近期的研究分析也發現，以秀珍菇廢菇包、楓香木及荔枝木燒製而成的生物炭也皆具有氨 - 氮吸附的效果，但吸附效果會因炭料種類、燒製溫度及水中鹽度而有所不同 (圖 7-5)，特別是因海水中含有許多的離子，如鈣、鈉等會與氨 - 氮競爭而影響吸附效果 (Zhang et al., 2014)。

此外，外在環境的酸鹼值及生物炭的粒徑等 (Liang et al., 2016) 亦是影響生物炭吸附效果的重要因素，主要是因為酸鹼值將影響氨在水中的存在形式，同時環境 pH 的改變也可能會影響生物炭的表面帶電，進而影響對氨的吸附；此外，生物炭粒徑的大小則是影響其吸附的表面積，粒徑越小表面積越大，吸附效果越好。由此可知，生物炭雖然具有應用於水產養殖產業的潛力，但影響成效的因素相當可觀，在使用前都需要事先調查，特別是生物炭種類及單位吸附力。

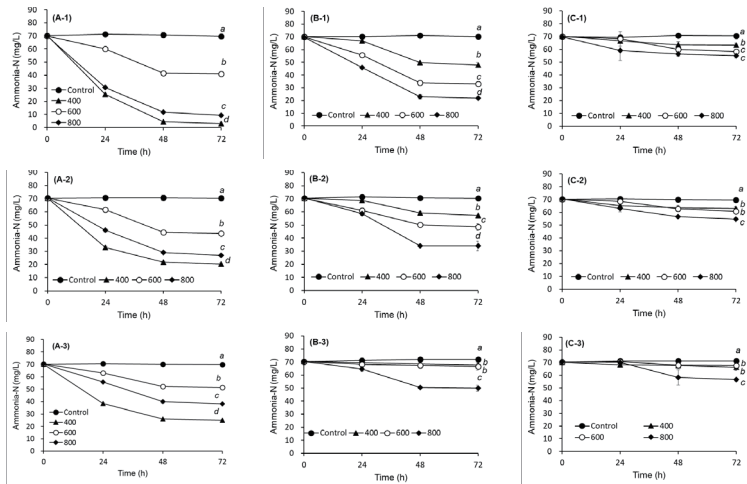


圖 7-5 秀珍菇廢菇包生物炭試驗

註：(A) 秀珍菇廢菇包、(B) 楓香木及 (C) 荔枝木經不同溫度 ((1)400°C、(2)600°C 及 (3)800°C) 燒製而成之生物炭對水中氨、氮吸附的情形。試驗時間為 72 小時。72 小時之數據 (平均土標準誤差) 標示不同的英文字母，表示具有統計上的差異 ( $P < 0.05$ )。

表 7-1 不同碳料及不同燒製條件之生物炭對氨 - 氮吸附力之差異

料	單位吸附力 (mg/g)	燒製條件	文獻
稻殼	44.64	600°C, 10 小時	Kizito et al. (2015)
橡木屑	5.31	300°C, 30 分鐘	Wang et al. (2015)
楓樹	5.44	500°C, 30 分鐘	Wang et al. (2015)
巨型蘆葦秸稈	1.49	500°C, 2 小時	Hou et al. (2016)
廢菇包 (秀珍菇)	6.66	400°C, 2 小時	
	2.87	600°C, 2 小時	
	6.02	800°C, 2 小時	
楓香木	2.21	400°C, 2 小時	
	3.71	600°C, 2 小時	
	4.83	800°C, 2 小時	
荔枝木	0.73	400°C	
	1.24	600°C	
	1.58	800°C	

除氨 - 氮吸附外，亦有研究指出生物炭具有移除重金屬 (Rasheed et al., 2017) 及抗生素 (Wang et al., 2017) 等效果，這都與養殖池水的淨化有關聯，特別是食安問題日益受到重視，若生物炭能有效去除養殖池塘中殘留的抗生素或其他藥物，對水產養殖業都是相當重要的。Rasheed 等 (2017) 指出，將廢污水使用稻殼製成之生物炭處理後，其水中的鉻、鐵、鋅、鎳及鉛都明顯的下降，相類似的結果也在林 (2013) 的研究中發現。生物炭也被應用於尼羅河吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 養殖，結果顯示使用生物炭之池塘的重金屬，包括鎳、砒、鉻、銅、鋅、鎘、鉛、汞及鐵，和有機物累積皆明顯較沒有使用生物炭之對照組減少，而效果則以木屑製成之生物炭最佳，其次為稻殼。

### 三、生物炭對水產養殖業之經濟價值

在水產養殖過程中，養殖動物難免面臨病害，而一般養殖業者又常以藥物處理病害以降低損失。然而使用藥物除可能殘留於水產品外，若殘留於水中或池底時，都可能對環境生態或造成污染，特別是一些不易降解之藥物的影響更是嚴重，如孔雀石綠等，故如能有效去除殘留的藥物，將對水產養殖業的發展產生正面的效益。生物炭的使用已認為是有效吸附水中之抗生素的方法，包括 Tetracycline、Sulfonamides 及 Ceftiofur，且具成本效益 (Liao et al., 2013; Mitchell et al., 2015; Shimabuku et al., 2016)。Wang 等 (2017) 指出，700°C 及 500°C 燒製稻草而成的生物炭對 Tetracycline 有相對較佳的吸附力，但又以 700°C 燒製而成的生物炭最佳。當水中的 Tetracycline 濃度為 0.5 ~ 32 mg/L 時，若使用 700°C 燒製之生物炭可有效吸附 92.8% ~ 96.7% 的抗生素。若以稻殼燒製而成的生物炭被用來吸附 Tetracycline 時，其吸附能力也相當明顯，可達 17 mg/g (Liu et al., 2012)。

雖然至目前尚未有使用生物炭改善池塘藥物殘留之實例，但由過去研究成果推論，可預測此方法應可達到一定程度的效果。接將生物炭應用於養殖環境改善外，亦有研究將生物炭應用於飼料添加，以改善魚隻的成長，如 Lan 等 (2016) 使用活性碳及生物炭於虎頭鯊 (*Pangasius hypophthalmus*) 飼料，結果顯示攝食含生物炭及活性碳的魚，成長率明顯優於對照組，且生物炭組又明顯優於活性碳組。此外，研究也發現活性碳及生物炭組的池水氨 - 氮、亞硝酸鹽、磷酸及化學需氧量也都顯著下降。

相似結果也在棕鱒 (*Salmo trutta*) 研究中發現，當棕鱒攝食含有 0.2 及 0.3 g/kg 生物炭之飼料後，其增重、特殊成長率、飼料轉換率及肥滿度都明顯獲得提升 (Khaki et al., 2017)。

## 四、 結語

總結以上可知，生物炭使用於水產養殖池塘是具有顯著正面效益，不論直接使用於環境改善，或透過飼料添加以促進魚隻成長及促進有毒物質代謝都有不錯的效果。惟生物炭的種類繁多，且效果受炭料種類、燒製溫度、使用環境的條件等因素有所影響，因此在應用生物炭，應選用合格且安全的生物炭，同時需先掌握其來源及實際的吸附力。



## 第四節

### 生物炭產品之多元應用

林裕仁

#### 一、前言

生物炭可作為固態燃料，因為內部結構具有多孔性，具有吸附性與調濕性功能，也可以混合土壤作為改良材料，具有復育土壤、促進作物生長及固碳之效果，目前已廣泛地被應用於農作生產。生物炭不是現代產品，科學家研究亞馬遜黑土，發現幾千年前居住在亞馬遜流域的原住民，便懂得利用生物炭的前身 Terra preta，提高土壤性質與肥力，使農作物生長得更好，這讓科學家開始對生物炭進行深入研究。生物炭用於改良土壤可以適當比例混合於土壤，或作為肥料載體後再進行應用。此外，若能開發生物炭產品的多元應用，有助生物炭產品的應用效能與產值。

#### 二、生物炭應用於都市林木的價值

因為生物炭內部結構具有多孔性，可吸附土壤養分使養分不易流失，也可增加土壤的保水力及通氣性，有助於延長肥效及減少肥料浪費。此外，生物炭通常呈現微鹼性，可中和酸性土壤，作為栽培介質材料，因耐腐性佳，可長期使用，同時可吸附各種養分，慢慢釋出供給作物養分。

生物炭的特性正好可以用來改善市內校園或公園樹木的土壤問題，經常被踩踏呈現固化，導致土壤通氣性不佳，樹木根部呼吸不良的情況。施用生物炭可以調整都市內公園、校園與道路間樹木土壤物理結構，提升土壤的通氣性、保水性及養分保有性，改善樹木的健康，促進樹木的生長，強化面對病蟲危害的保護。

應用園藝工程技術進行生物炭的施用，足以改善都市林所面對的問題，尤其是老樹健康的維護。透過園藝工程規劃如圖 7-6，進行都市樹木的土壤改良可達到改善土壤的通氣性、保水性及養分保有性。相關工程試驗已在臺北市大安森林公園，與臺南市國中小學設置樣區樣樹試驗中。經初步觀察後，樹木原枝葉稀疏情況，均逐漸萌發新葉，惟進一步的顯著仍需要長期持續監測。

#### 土改範圍

自喬木根領 1.5 m 向外 1 m 作土壤改良（視現場狀況調整），利用空氣挖掘機下挖深度 30 ~ 40cm。挖出八個放射狀條帶進行土壤改良。

#### 土改後混拌比例

- ① 保肥土混拌 10% 生物炭
- ② 保肥土混拌 20% 生物炭

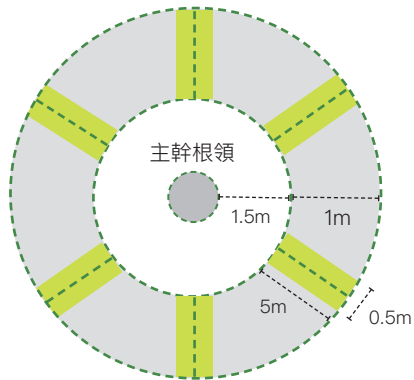


圖 7-6 應用園藝工程規劃生物炭改善都市林土壤示意圖

此外，在應用於育苗生長介質改善研究上，樟樹、櫻花及臺灣欒樹三樹種苗木在添加不同比例 (0%、10%、20%) 之生物炭試驗進行調查，因監測時間尚短，在株高表現上，與對照組並無一致正表現，在樹高上呈現不同正、負值表現；但在地徑方面，研究結果則顯示 10% 與 20% 生物炭處理組皆略高於對照組，三種樹種之生物炭處理組地徑淨生長量亦皆高於對照組，顯示不同樹種對生物炭的適應性相異，應當針對苗木種類來決定生物炭的添加量。

### 三、製作生物炭料源之條件

生物炭的原料來源可以相當廣泛，目前多利用農業副產物或加工後之剩餘資材，提昇作物的附屬價值，諸如稻殼、玉米穗軸及果樹修枝等，這亦是落實農業資材充分利用，解決廢棄材料無處去化的環境問題，朝向農業循環經濟的方向發展。儘管，生物炭具有比重輕、比表面積大、吸水及吸氣能力佳等特質，可用於調節土壤酸鹼值 (pH)，然因有機質材料性質差異大，加上燒製溫度的不同，所燒製出來生物炭的性質與結構也會有差異，生物炭性質與結構的差異也決定用途，如用農作物秸稈等廢棄物製成的生物炭，因其灰分含量高，在應用上領域會受到一定的限制；又例如低於 400°C 所燒製的生物炭酸鹼值通常較低，不易呈現鹼性，就無法用於改良酸性土壤。另外，生物炭也可搭配土壤益生菌，針對植物病蟲害問題達到預防或改善的效果。生物炭在農林業上的應用，應用可依據各自具備的性質差異截長補短，配合使用目的調整使用，藉以發揮極大化的效益。

## 四、提升生物炭之多元應用 - 以竹炭為例

竹炭也是屬生物炭的一種，曾在 2002 年在行政院農業委員會在推動振興臺灣竹產業的政策下，開展一系列的計畫。當時引進日本竹炭燒製技術，以臺灣自產之優良竹材，推展竹炭燒製技術及開發竹炭相關產品，當時引領國內竹產業一陣風潮，開啟國內的竹炭產業市場。發展迄今，具市場價值的衍生產品項目繁多，如原竹炭材料類、居家用品類（如炊飯飲水用、冰箱用竹炭、除臭鞋墊、健康炭拖鞋、魚缸淨水竹炭顆粒、燃料用炭、竹炭座墊、鞋用竹炭、竹炭檀香、小空間除臭竹炭、冰箱除味竹炭顆粒、除臭調濕竹炭包、水族箱用竹炭、竹炭咖啡棒、領帶等）、寢具類（如枕頭墊、竹炭枕、竹炭養生小枕頭、椅墊、床墊、抱枕等）、汽車用品類、化妝清潔用品類（如竹炭風呂、竹炭洗髮精、竹炭沐浴乳、竹炭洗顏露、浴用竹炭包、竹炭洗手乳、竹炭皂、竹炭遠紅外線面膜等）、運動保健類、工藝用品類等各式各產品，其中以強調具調濕、除臭、淨化空氣與水質所開發適用於各式空間之居家用品類產品最多，目前市面上開發出來的產品超過 200 種以上。

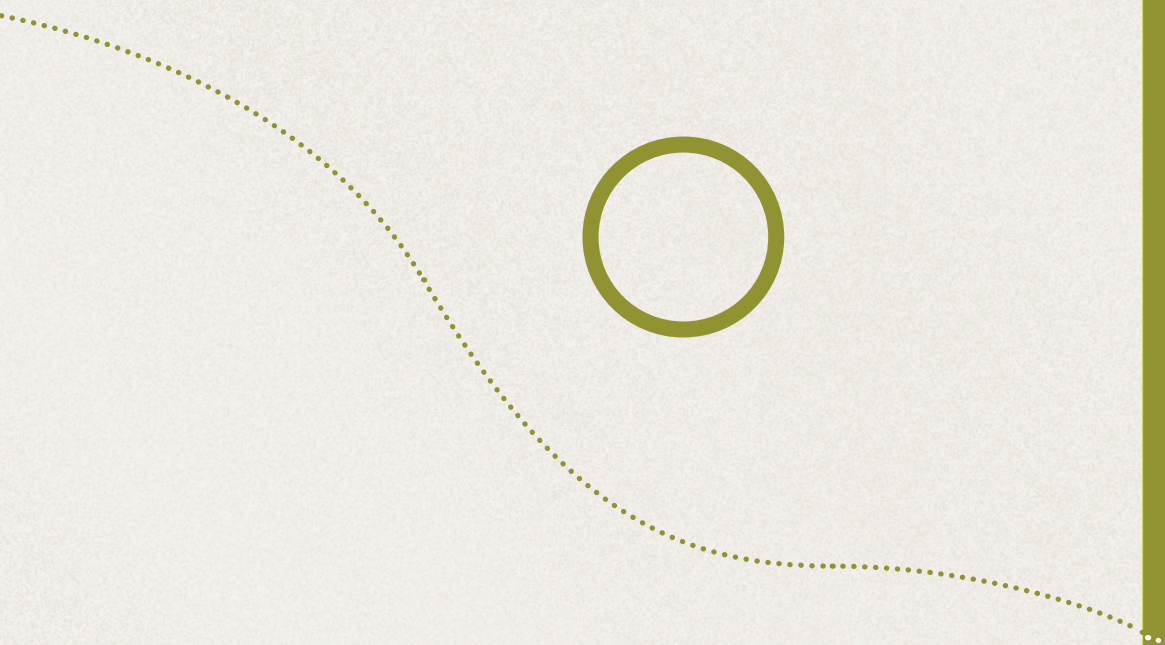
當年推動臺灣竹炭產業，原先旨在幫助當地竹農，然加工過程，帶動周邊的經濟機會與產值，將當年原本僅 500 萬產值的竹材產業，透過產品創新研發加值，到 2008 年已成為億元產值的竹炭產業。此外，經高溫燒製之竹炭是除具有吸附性及調濕性外，亦具有遠紅外線機能之天然素材，因此，竹炭除提供消費市場之相關產品外，亦提供予工業市場之研發利用，如在紡織產業，將竹炭微粉奈米化後，與化學纖維融合抽絲紡紗成為竹炭纖維，發揮竹炭之吸附、調濕及蓄熱保溫等產品特性，提高附加價值。此項奈米竹炭紗的研發是一個異業結盟成功的案例，根據統計，竹炭紗的年產值可達 6 億元，而其衍生的商品則可為國內紡織業創造每年約 20 億元的商機。因此，開發竹炭纖維應用於紡織品，是竹炭開創跨域結合，有效提昇產品附加價值的成功案例。

## 五、 結語

生物炭因為擁有多孔性特質，可吸附土壤養分使養分不易流失，也可提升土壤的保水力及通氣性，因其所具有的多樣化功能，使其用途變得極為廣泛。除可改善農作生產外，亦可延伸園藝栽培應用，包括都市林土壤、屋頂綠化、盆栽土壤介質應用及園藝建材等多元化應用，也可仿效昔日推廣竹炭產業的方式，以超越農林、園藝等農業用途的跨域結合應用，開發生物炭在生活與工業應用的多元產品，以提昇生物炭的多元應用價值。



戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter



地區營運模式範例



## 第一節

# 北部生物炭產業鏈模式

邱祈榮

### 一、前言

本計畫旨在推動農林剩餘資材循環利用，透過生物炭高值化應用效益評估、高值化系統規劃與設計，協助業者規劃微型產業的可能性，同時輔導北部廠商、推動以租代買循環經濟產業模式，進一步協助有意願業者投入產業，建立生物炭或循環經濟的示範場域，促進產業鏈形成。

### 二、北部料源之供應

竹子具有生長快速的特性，竹材的應用亦普遍運用在大眾生活中，可藉由同時燒製成炭後的利用。經多年推廣使用後，竹炭與竹醋液等產品應用亦是廣為人知，形成完整應用體系。竹材在生物炭的應用上面，亦有很多種可行方式，因此竹材不論從再生資源或竹材利用等觀點，都視為是最有潛力燒製成生物炭的重要材料。

桃園市內的復興、大溪等地，為國內竹材、竹筍產業的重要生產地，材料來源不虞匱乏，是北部相當適合發展生物炭產製的場域，如大溪新峰社區，已選作為本計畫的示範廠域之一（圖 8-1）

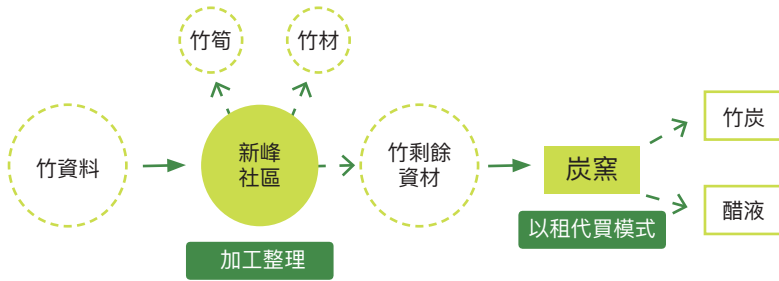


圖 8-1 大溪新峰社區推動示意圖

生物炭微型產業在發展初期，需要投入資金購置燒製設備，如燒炭爐及破碎機等，所需經費動輒上百萬，相關資金需求對微型企業造成進入門檻。產品即服務模式是五種常見循環經濟產業模式之一，若能提供生物炭燒製設備的租賃服務，推出使用以租代買模式，將便可有效降低業者風險，進而提高投入意願，進而加速生物炭微型產業的推動。結合上述，2019年選擇桃園市大溪區的新峰社區作為示範場域。調查該地可伐採收集的竹材量，同時完成進行成本評估後，推動使用以租代買模式，媒合了適合該區產能的移動式燒炭設備，協助當地竹農利用剩餘資材燒製竹炭。

### 三、 北部產銷模式

以新峰社區使用之設備為例，每小時可氣化原料 60 kg，產炭率為 30%，售價約臺幣 50～80 元，冷凝液收穫率則為 5%，售價約臺幣 200 元。燒製成本部分，燒製設備租金以用每月 5 萬計算（60 萬元/年），人力成本以雇傭 1 人（48 萬元/年）以及鐘點費（時薪 158 元）兩種方式計算，動力成本依台電公告低壓電力的平均流動電費計算（每度 2.4 元）；銷售成本以產品收入的 20%、保險以產品收入的 1%、營業稅以產品的 5% 計算，總成本約為 3,028,248～3,655,728 元。按每月可處理約 16.6 噸竹材（每年約 199.2 噸）計算，每年產炭量達 59.76 噸，醋液量 9.96 噸，扣除所有支出，預估稅後年銷售金額達 1,951,752～3,117,072 元，益本比達 1.64～1.85 以上。如此一來，在減少綠竹棄置林地的同時，當地產出的碳品與醋液等產品亦能獲得可觀的經濟收益，在達成資源循環的同時，也促成該區竹農永續經營的意願，提高土地利用率。

## 四、結語

以臺灣農戶分散情形，集中處理方式面臨料源收集的瓶頸，除非有完善的料源收集系統的建置下，方有推動的可能性。移動式處理方式需有相關業者提供移動式燒炭設備，並有完善媒合串連供應者與需求者，在生物炭推動初期確有執行上的困難。因此，以遍地開花的分散處理方式，來推動生物炭實施似乎較為可行。如何尋求適當農林剩餘資材供應者（如產銷班），有意願將其農林剩餘資材燒製成生物炭，同時解決其燒製設備及炭品通路的問題，方能完整建立出生物炭的產銷價值鏈的相關工作，將是未來推動生物炭產業發展所需因應的關鍵課題。



## 第二節

# 中部生物炭產業鏈模式

徐英綺

### 一、前言

農林剩餘資材再利用，除了減少資源浪費，亦可善用農林剩餘資材（廢棄菇包、廢竹、牲畜糞尿），製成高值產品（生物炭、醋液、燃料、栽培資材及電能等），藉以開創新農業循環經濟商業模式，循環體系的發展不僅可有效解決農民廢棄物處理問題，亦可達到收益提升、創造綠能、型塑企業形象與促進觀光等衍生價值。業者希望有效利用的農林剩餘資材，同時，搭配完整產業化輔導機制，包含依據在地需求，開發在地應用的高值產品，並且協助業者進行產銷串連與生產系統設計，方能善用農業剩餘資材，進而開發高值產品，建立完整的產銷模式。



圖 8-2 新農業循環經濟與傳統農業關聯示意圖

## 二、 中部料源之供應

臺中、南投與彰化為菇類的主要產區，菇類生產後的廢棄菇包向多年來以堆肥方式再利用。而廢棄菇包因含水率高，需堆置 4～6 個月方能進行再利用，因此處理量能受限，造成去化速度緩慢，在重複利用的思考下，廢棄菇包具備以下四項再利用優勢：

1. 料源供應穩定且具經濟規模
2. 料源集中集運成本低
3. 具有去化處理之產業需求
4. 料源取得成本低

因此選定廢棄菇包作為剩餘資源循環利用技術開發標的，並且開發廢棄菇包生物炭、醋液與燃料應用技術（圖 8-3），以合乎不同的產業需求，擴展增加廢棄菇包應用場域。

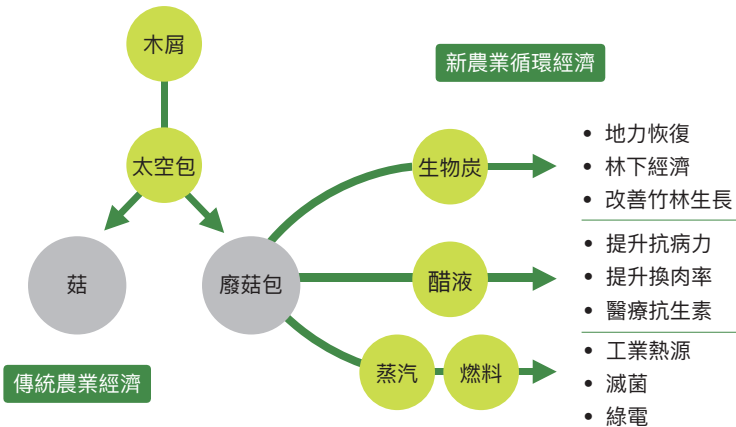


圖 8-3 廢棄菇包再利用高值產品循環經濟示意圖

### 三、 中部產銷模式

本團隊整合菇類栽培業者、廢棄菇包處理廠、製炭業者、能源業者與設備製造業者，進行廢棄菇包高值產品產業化技術輔導，其產銷供應產業鏈如下圖 8-4 所示。



圖 8-4 廢棄菇包高值利用產業鏈示意圖

1. 料源供應整合：已與國內大型菇蕈栽培業者進行合作，提供場內廢棄菇包再利用，解決大型菇場廢棄菇包處理問題；中小型菇場廢棄菇包多委託廢棄菇包處理業者進行清運，因此團隊整合廢棄菇包處理業者如：A 有限公司，成為地區型集運站，將廢棄菇包完成前處理轉售給再利用業者，降低再利用業者的前處理及運輸成本，也為廢棄菇包處理業者增加提升收益，不再僅限堆肥方式利用，創造多贏循環經濟商業模式。

2. 菇包生物炭與醋液應用：輔導與整合製炭業者B有限公司與廢棄菇包處理業者A有限公司合作，將菇包乾燥製粒製成菇包炭與醋液，如圖 8-5 所示。菇包炭已提供本團隊供田間試驗研究，總計已完成 6 種作物施作，合共計 1.1 甲試驗面積。菇包醋液與焦油因具備抗菌特性，將持續開發其應用於生醫、防腐、臭味抑制等高值化技術，提高產品的附加價值。

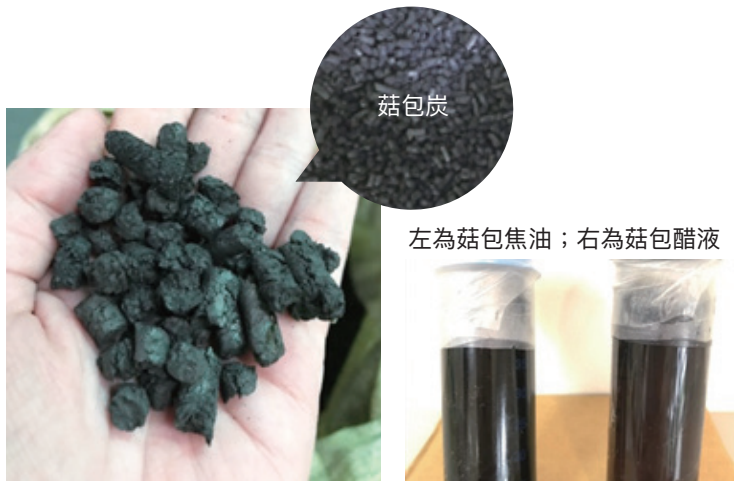


圖 8-5 菇包炭與醋液之應用

3. 菇包生質燃料開發：因廢棄菇包具備木質顆粒燃料潛力（熱值 4,200 ~ 4,900 kcal/kg、灰份 6.3% ~ 11.5%、硫含量 0.13 ~ 0.26%、氯含量 0.021%），因此C股份有限公司進行菇包生質燃料技術開發，並協助業者進行菇包燃料特性分析、複合料源生質燃料開發、生產設備設計與規劃及燃燒底灰再利用技術開發。C股份有限公司於2019年7月完成生質燃料工廠建置，預計每月收取 6,000 噸廢棄菇包、果樹修剪枝條與路樹修剪枝條等農林剩餘資材，預計每月生產 4,000 噸生質燃料製成生質燃料，並利用燃燒過程中所產生的蒸氣，售予工業區能源用戶，預估每年可創造的收益達約 1.9 億元。

## 四、 結語

農林剩餘資材過往被認為無任何剩餘價值，但透過完整產業化技術輔導，將可創造「可獲利」的再利用產品。產業化技術輔導過程需依據物料特性與在地產業需求，提供再利用建議，同時提供生產系統規劃，及完整效益分析，有效串連原料供給與產品銷售端。產業化技術輔導除提升業者投資意願外，也建立「可獲利」農林剩餘資材再利用產業鏈，如此，不僅幫助農民解決剩餘資材處理問題，更創造其衍生收益，成就環保與經濟發展共存之循環經濟價值。



### 第三節



## 南部生物炭產業鏈模式

龍暉

### 一、前言

農林剩餘資材中可再利用之木質纖維和非木質纖維，如修枝條、落葉、疏伐之樹枝等剩餘資材等。農林業剩餘資材可視為「農林副資材」，經過前處理過程，製成木質顆粒，再施以炭化處理，如此不僅可提升副資材再利用率，減少農林事業廢棄物的產生及處理費用，有助於達成「零廢棄、新資材」的目標，有望達成產業永續經營與「多元化」循環經濟發展的目標。

### 二、南部料源之供應

在實踐農林剩餘資材再利用的工作上，如生物炭用於農林漁牧等產業上，常受制於生物炭價格與品質等條件，相關條件亦影響原物料的取得成本，因此在臺灣南部地區收集農林剩餘資材應以如何降低運輸成本為主要考量。

現代農業經營果樹，栽種時常施以強修枝矮化等作業，從而產生大量修枝條。依據行政院農業委員會農糧署農情資源網，統計南部各縣市農業區種植各主要果樹（表 8-1），其中番石榴、荔枝及棗子為高雄市轄區種植最多；而蓮霧、本土芒果及檸檬以屏東縣居冠。在改良芒果及龍眼部分，則是臺南市為大宗，依統計數據顯示，南部地區果樹生產面積達 4 萬公頃以上，每年果樹之修枝條應足以提供量產所需。

表 8-1 南部地區各縣市多年生主要作物統計表

縣市 / 作物 (公頃)	番石榴	荔枝	蓮霧	本土 芒果	改良 芒果	龍眼	檸檬	棗子	總計
屏東縣	519	575	2,518	1,727	4,048	14	1,802	594	11,797
高雄市	2,672	3,258	427	394	1,545	1,708	264	835	11,103
臺南市	1,455	924	32	407	6,739	3,777	58	272	13,664
嘉義市	9	37	2	3	17	41	3	1	114
嘉義縣	309	665	208	665	297	1,005	95	76	3,320
合計	4,646	4,757	2,977	2,528	12,332	5,499	2,124	1,701	39,997

資料來源：由農委會農糧署農情資訊網取得（106 年資料）

規劃生物炭產製時，由於產製流程中，運費為最關鍵成本，故可以多年生主要作物栽種最多的地區為中心，向外半徑 20 km 範圍，可建議規劃為產製生物炭基地建廠，既可得料源運輸之便，亦可在運輸成本上取得優勢。以屏東縣為例（表 8-2），蓮霧、本土芒果、改良芒果及檸檬栽植面積均超過 1,000 公頃。在各鄉鎮中以屏東縣南州鄉種植面積最多，其次為佳冬鄉及枋寮鄉，如生物炭產製中心以單一樹種製造生物顆粒後炭化（單一樹種顆粒價格較高），則可以佳冬為生產中心，則其周邊 20 km 左右（佳冬、枋寮、林邊、南州）之蓮霧種植將近 1,385 公頃，亦得充足之原料供應。

表 8-2 屏東縣栽植蓮霧前五大鄉鎮統計表

鄉鎮名稱	種植面積 (公頃)	結實面積 (公頃)	每公頃收量 (公斤)	收量 (公斤)
佳冬鄉	363.09	362.84	16,097	5,840,793
枋寮鄉	321.42	321.32	16,132	5,183,652
林邊鄉	246.64	245.97	14,220	3,497,693
南州鄉	450.54	450.54	14,658	6,604,015
鹽埔鄉	307.5	307.5	14,660	4,507,916
合計	1,689	1,688	75,765	25,634,069

資料來源：由農委會農糧署農情資訊網取得（106 年資料）

### 三、 南部產銷模式

南部地區各類果樹各自分布在不同地區，如臺南市麻豆區文旦栽種達千公頃；高雄市燕巢荔枝近 2 千公頃，屏東縣改良芒果在枋寮、春日及枋山亦有 2 千多公頃。鑒於果樹栽種之群聚現象，廠商可向各縣市政府農業局或環保局協助，與各地區農會或產銷班進行協調，協調以集中去化各季節果樹修枝條之方式進行，再由廠商進行處理製造及銷售，如此既可順利集中原料，亦能支援各縣市政府處理農業廢棄物的問題。由於生物炭產業鏈之形成涉及原料運輸、技術設備及運輸銷售三部分，在整合產業的考量下，如果以異業結合或聯盟方式進行，可以降低單一廠商之資金投入，同時可以共同分攤營運風險。

### 四、 結語

從農業生產及環境保護等方面出發，如何有效地減少廢棄物產生、善用資源及有效管理廢棄物，因應廢棄物資源綜合利用問題與策略，除了有賴政府加強引導或透過產業政策支持外，建立完善農林剩餘資材利用，創造都市路樹修枝條的再利用價值，實為當務之急。

戸  
火



# Taiwan Biochar

chapter

# 9

## 生物炭產業夥伴



## 第一節

# 臺灣生物炭產業聯盟夥伴名單

林文風

行政院農業委員會林業試驗所持續推動「農林剩餘資材炭化技術創新與產業模式」計畫，計畫目的在於提升生物炭的資材循環再利用，有效改善土壤與增加碳儲存，達農業零廢棄之理想，創造農業資源循環經濟。

為推動生物炭相關科研成果的產業利用，農業科技資源運籌管理學會與產、官、學、研界等生物炭相關專家共同籌組產業發展聯盟，藉由多次共識營會議掌握目前生物炭產業鏈技術缺口，以及市場對於生物炭的使用現況、意願及使用者對產品的知能。期望聯盟提供產業鏈相關技術資訊及作為炭品認證平台，創造生物炭需求及效益，並達加速推廣之目的。以下本文整理出臺灣北、中、南各區生物炭產業聯盟夥伴名單供有興趣人士後續洽詢。

表 9-1 臺灣生物炭產業聯盟夥伴成員

區域	官/產/學	服務單位	姓名	職稱
北區	政府	行政院農業委員會 林業試驗所	林裕仁	研究員
		行政院農業委員會 桃園區農業改良場	吳有恒	副研究員
		行政院農業委員會 花蓮區農業改良場	倪禮豐	助理研究員
		行政院農業委員會 苗栗區農業改良場	蔡正賢 劉東憲	助理研究員 助理研究員
	產業	奇豪電熱有限公司	陳俞承	負責人
		永靈國際竹炭 實業有限公司	宋永健	董事長
			宋任遠	經理
			宋道遠	經理
		兆映豐企業有限公司	卓家旺	負責人
	源笙竹業社	范順惠		
	社團法人台灣都市林 健康美化協會	李有田	理事長	
	學研	國立臺灣大學 植物醫學碩士學程	黃裕星	兼任教授
		國立臺灣大學 森林環境暨資源學系	邱祈榮	副教授
		台灣農業科技資源 運籌管理學會	李宜映	執行長
			李翎竹	秘書長
中區	政府	行政院農業委員會 臺中區農業改良場	陳鴻堂	助理研究員
		行政院農業委員會 種苗改良繁殖場	薛佑光	副研究員
	產業	禾立旺有限公司	邱錦珠	負責人
		健坤生物能源科技有限公司	周大鈞	專案經理
		工業技術研究院 - 中分院	徐英綺	工程師
		個人炭品燒製業者	賴勝茂	教師
			紀淑芬	項目經理
		環科農化有限公司	楊緒澍	項目經理
	學研	國立中興大學	吳耿東	副教授

表 9-1 臺灣生物炭產業聯盟夥伴成員 (續)

區域	官/產/學	服務單位	姓名	職稱
南區	政府	行政院農業委員會 臺南區農業改良場	江汶錦	助理研究員
		行政院農業委員會 臺東區農業改良場	黃文益	助理研究員
		行政院農業委員會 高雄區農業改良場	張廖伯勳	助理研究員
		行政院農業委員會 林務局嘉義林區管理處	卓宜帆	課員
	產業	埔光炭業有限公司	劉劍平	負責人
		工業技術研究院 - 中分院	黃盈賓	資深研究員
		龍崎區農會	楊憲章	秘書
		台糖公司	董凱鴻	農業技術師
	學研	國立屏東科技大學	龍暉	助理教授
		國立屏東科技大學	李幸春	教授
國立屏東科技大學		藍浩繁	教授	

資料來源：此名單依據 108 年度「生物炭產業區域經濟發展」共識會議與會及簽署人員。



圖 9-1 北區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照



圖 9-2 中區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照



圖 9-3 南區生物炭產業聯盟合作意向書簽署及合照

## 參考文獻

- 行政院農業委員會，2013。肥料管理法－各類肥料品目及規格。行政院農業委員會農糧字第 1021052625 號，臺北。
- 吳耿東，2013。木質材料焙燒與炭化應用於農業資材之開發 (3)。行政院農業委員會林務局 101 年度科技計畫期末報告，臺北。
- 吳耿東，2017。先導型連續進料多膛爐製備大量生物炭技術開發。行政院農業委員會林業試驗所 106 年度科技計畫研究報告，臺北。
- 吳耿東，2018。先導型連續進料多膛爐製備大量生物炭技術開發。行政院農業委員會林業試驗所 107 年度科技計畫研究報告，臺北。
- 林方翔，2013。森林殘留物生物炭之特性及其對水中重金屬銅、鋅吸附之效益。國立屏東科技大學碩士論文，屏東。
- 徐樹剛，2011。高濃度氨氮廢水回收處理技術與經驗分享。工業技術研究院，新竹。
- 張敬宜、羅紹榮、莊伊靜、蔡韃任，2019。農業剩餘資材活化再利用—生物炭的安全評估指引。農政與農情 320: 115–120。
- 蔡佳儒、吳耿東，2013。木質材料製備之生物炭應用對植物生長機制之探討。林產工業 32(3): 169–178。
- 聯合報，2018。興大研發首座生物炭量產設備，剩餘農材都能變「黑金」，2018 年 10 月 9 日 (<https://udn.com/news/story/7266/3412584>)。
- 政院環境保護署，2011。土壤及地下水污染整治法－土壤污染管制標準。政院環境保護署環署土字第 1000008495 號，臺北。
- Ameloot, N., Graber, E. R., Verheijen, F. G. & De Neve, S. 2013. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. *European Journal of Soil Science* 64(4): 379–390.
- Bendschneider, K. & Robinson, R. J. 1952. A new spectrometric method for the determination of nitrite in the sea water. *Journal of Marine Research* 11: 87–96.
- Bower, C. E. & Bidwell JP. 1978. Ionization of ammonia in seawater: effects of temperature, pH and salinity. *Journal of Fisheries Research*, 35: 1012–1016.
- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C. & Park, Y. K. 2016. Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 40: 1–15.
- Chan, K., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. & Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research* 46(5): 437–444.

- Daoyuan, W., Fonte, S., Parikh, S., Six, J. & Scow, K. 2017. Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma* 303: 110–117.
- European Biochar Certificate (EBC) 2018. Guidelines for a sustainable production of biochar, Ver. 6.5E. European Biochar Foundation, Arbaz, Switzerland.
- Fidel, R. B., Laird, D. A. & Spokas, K. A. 2018. Sorption of ammonium and nitrate to biochars is electrostatic and pH-dependent. *Scientific reports* 8(1): 1–10.
- Foundation Ithaka Institute 2019. Guidelines of the European Biochar Certificate, Ver. 8.3E. European Biochar Foundation, Arbaz, Switzerland.
- Fryda, L. & Visser, R. 2015. Biochar for soil improvement: Evaluation of biochar from gasification and slow pyrolysis. *Agriculture* 5(4): 1076–1115.
- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.–P. & Gerber, H. 2015. Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 667–678.
- Glaser, B. 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362: 187–196.
- Głodowska, M., Husk, B., Schwinghamer, T. & Smith, D. 2016. Biochar is a growth-promoting alternative to peat moss for the inoculation of corn with a pseudomonad. *Agronomy for Sustainable Development* 36(1): 21.
- Graber, E. R., Meller-Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav, D., Tschansky, L., Borenshtein, M. & Elad Y. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337: 481–496.
- Gul, S., Winans, K. S., Leila, M. & Whalen, J. K. 2014. Sustaining soil carbon in bioenergy cropping systems of northern temperate regions. *CAB Reviews* 9(26): 1–23.
- Headlee, W. L., Brewer, C. E. & Hall, R. B. 2014. Biochar as a substitute for vermiculite in potting mix for hybrid poplar. *Bioenergy Research* 7(1): 120–131.
- Hockaday, W. C., Grannas, A. M., Kim, S. & Hatcher, P. G. 2007. The transformation and mobility of charcoal in a fire-impacted watershed. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71: 3432–3445.
- Hou, J., Huang, L., Yang, Z., Zhao, Y., Deng, C., Chen, Y. & Li, X. 2016. Adsorption of ammonium on biochar prepared from giant reed. *Environmental Science and Pollution Research* 23(19): 19107–19115.

- Houben, D., Sonnet, P. & Cornelis, J.-T. 2014. Biochar from *Miscanthus*: a potential silicon fertilizer. *Plant and Soil* 374(1–2): 871–882.
- International Biochar Initiative 2015. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. IBI Biochar Standards, Ver. 2.1.
- Ishii, T. & Kadoya K. 1994. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular–arbuscular mycorrhizal development. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 63: 529–535.
- Jaiswal, A. K., Elad, Y., Paudel, I., Graber, E. R., Cytryn, E. & Frenkel, O. 2017. Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soilborne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. *Scientific Reports* 7: 44–382.
- Jaiswal, A. K., Elad, Y., Cytryn, E., Graber, E. R. & Frenkel, O. 2018. Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning. *New Phytologist* 219(1): 363–377.
- Jenkins, J. R., Viger, M., Arnold, E. C., Harris, Z. M., Ventura, M., Miglietta, F., Fornasier, F. 2017. Biochar alters the soil microbiome and soil function: results of next-generation amplicon sequencing across Europe. *GCB Bioenergy* 9(3): 591–612.
- Kawamoto, K., Ishimaru, K. & Imamura, Y. 2005. Reactivity of wood charcoal with ozone. *Wood Science* 51: 66–72.
- Khaki, N. D., Malcevski, A., Voccia, A. & Marzano, F. 2017. Interaction of Dietary biochar (black carbon) on the growth performance and survival rate of early stage larvae of brown trout (*Salmo trutta*). *Aquaculture Europe 2017* Dubrovnik, Croatia.
- Khalil, A., Sergeevich, N. & Borisova, V. 2018. Removal of ammonium from fish farms by biochar obtained from rice straw: Isotherm and kinetic studies for ammonium adsorption. *Adsorption Science & Technology* 36(5–6): 1294–1309.
- Kizito, S., Wu, S., Kirui, W. K., Lei, M., Lu, Q., Bah, H. & Dong, R. 2015. Evaluation of slow pyrolyzed wood and rice husks biochar for adsorption of ammonium nitrogen from piggery manure anaerobic digestate slurry. *Science of the Total Environment* 505: 102–112.
- Lan, T., Preston, T. & Leng, R. 2018. Feeding biochar or charcoal increased the growth rate of striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*) and improved water quality. *Livestock Research for Rural Development* 28: Article 84.
- Lee, J. W., Hawkins, B., Li, X. & Day, D. M. 2013. Biochar fertilizer for soil amendment and carbon sequestration, pp. 57–68. In: *Advanced Biofuels and Bioproducts*. Springer New York, New York, NY.

- Lehmann, J. & Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: Science and Technology. Earthscan London, London, UK.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. & Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry* 43(9): 1812–1836.
- Liang, P., Yu, H., Huang, J., Zhang, Y. & Cao, H. 2016. The review on adsorption and removing ammonia nitrogen with biochar on its mechanism. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Liao, P., Zhan, Z., Dai, J., Wu, X., Zhang, W., Wang, K. & Yuan, S. 2013. Adsorption of tetracycline and chloramphenicol in aqueous solutions by bamboo charcoal: a batch and fixed-bed column study. *Chemical engineering journal* 228: 496–505.
- Liu, P., Liu, W.-J., Jiang, H., Chen, J.-J., Li, W.-W. & Yu, H.-Q. 2012. Modification of bio-char derived from fast pyrolysis of biomass and its application in removal of tetracycline from aqueous solution. *Bioresource technology* 121: 235–240.
- Sorur, M., El-Baramawy, M., El-Sharkaway, G. & Kord, I. 2014. Evaluation of biochar as abio filter for application in commercial fish culture system. *Mediterranean Aquaculture Journal* 6(1): 30–39.
- Margenot, A. J., Griffin, D. E., Alves, B. S., Rippner, D. A., Li, C. & Parikh, S. J. 2018. Substitution of peat moss with softwood biochar for soil-free marigold growth. *Industrial Crops and Products* 112: 160–169.
- Maroušek, J., Vochozka, M., Plachý J. & Žák, J. 2017. Glory and misery of biochar. *Clean Technologies and Environmental Policy* 19: 311–317.
- McCormack, S. A., Ostle, N., Bardgett, R. D., Hopkins, D. W. & Vanbergen, A. J. 2013. Biochar in bioenergy cropping systems: impacts on soil faunal communities and linked ecosystem processes. *GCB Bioenergy* 5(2): 81–95.
- Mitchell, S. M., Subbiah, M., Ullman, J. L., Frear, C. & Call, D. R. 2015. Evaluation of 27 different biochars for potential sequestration of antibiotic residues in food animal production environments. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3(1): 162–169.
- Nandillon, R., Lahwegue, O., Miard, F., Lebrun, M., Gaillard, M., Sabatier, S., Battaglia-Brunet, F., Morabito, D. & Bourgerie S. 2019. Potential use of biochar, compost and iron grit associated with *Trifolium repens* to stabilize Pb and As on a multi-contaminated technosol. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 182: 109432.
- Nartey, O. D. & Zhao, B. 2014. Biochar preparation, characterization, and adsorptive capacity and its effect on bioavailability of contaminants: an overview. *Advances in Materials Science and Engineering* 2014: 1–12.

- Oliveira, F. R., Patel, A. K., Jaisi, D. P., Adhikari, S., Lu, H. & Khanal, S. K. 2017. Environmental application of biochar: Current status and perspectives. *Bioresource Technology* 246: 110–122.
- Oomori, S., Toma, Y., Nagata, O. & Ueno, H. 2016. Effects of bamboo biochar application on global warming in paddy fields in Ehime prefecture, Southern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 62: 553–560.
- Rasheed, A., Sana, S., Kashif, S., Umer, Z. & Khatoon, M. 2017. To Evaluate the Efficiency of Char and Biochar for Waste Water Treatment. *Journal of Waste Recycling* 2(2): 7.
- Schnitzer, M. I., Moneal, C.M., Jandl, G., Leinweber, P. & Fransham, P. B. 2007. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis II. Analysis of chicken manure, biooils, and char by curie–point pyrolysis–gas chromatography/mass spectrometry (Cp Py–GC/MS). *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 42:79–95.
- Shackley, S. & Sohi, S. 2010. An Assessment of the Benefits and Issues Associated with the Application of Biochar to Soil: A report commissioned by the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs and Department of Energy and Climate Change. DECC.
- Shimabuku, K. K., Kearns, J. P., Martinez, J. E., Mahoney, R. B., Moreno–Vasquez, L. & Summers, R. S. 2016. Biochar sorbents for sulfamethoxazole removal from surface water, stormwater, and wastewater effluent. *Water Research* 96: 236–245.
- Sławomir, G., Lidia, S., Beata, S. & Ryszard, K. 2017. Biochar–rhizosphere interactions – a review. *Polish Journal of Microbiology* 66: 151–161.
- Stewart, C. E., Zheng, J., Botte, J. & Cotrufo, M. F. 2013. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. *GCB Bioenergy* 5(2): 153–164.
- Swift, M. J., Heal, O. W. and Anderson, J. W. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press, Berkeley, USA.
- Vassilev, N., Martos, E., Mendes, G., Martos, V. & Vassileva, M. 2013. Biochar of animal origin: a sustainable solution to the global problem of high-grade rock phosphate scarcity? *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93(8): 1799–1804.
- Vaughn, S. F., Kenar, J. A., Thompson, A. R. and Peterson, S. C. 2013. Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. *Industrial Crops and Products* 51: 437–443.

- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van der Velde, M. & Diafas, I. 2010. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR, 24099, 162. European Commission, EU.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van Der Velde, M., Diafas, I. & Parsons, C. 2009. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy.
- Vincenzo, D., Claudio, D. P., Giancarlo, F., Michele, M. M. & Giuseppe, A. 2017. Use of biochar as peat substitute for growing substrates of Euphorbia × lomi potted plants. Spanish Journal of Agricultural Research 14(4): e0908.
- Wang, B., Lehmann, J., Hanley, K., Hestrin, R. & Enders, A. 2015. Adsorption and desorption of ammonium by maple wood biochar as a function of oxidation and pH. Chemosphere 138: 120–126.
- Wang, H., Chu, Y., Fang, C., Huang, F., Song, Y. & Xue, X. 2017. Sorption of tetracycline on biochar derived from rice straw under different temperatures. PLoS One 12(8): e0182776.
- Wang, Z., Guo, H., Shen, F., Yang, G., Zhang, Y., Zeng, Y. & Deng, S. 2015. Biochar produced from oak sawdust by Lanthanum (La)-involved pyrolysis for adsorption of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), and phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Chemosphere 119: 646–653.
- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W. & Rilling, M. C. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. Plant Soil 300: 9–20.
- Wrobel-Tobiszewska, A., Boersma, M., Sargison, J., Adams, P. & Jarick, S. 2015. An economic analysis of biochar production using residues from Eucalyptus plantations. Biomass and Bioenergy 81: 177–182.
- Yasser, M. A., Sung-Eun, L., Mohamed, B. M. A., Ngoc, T. V., Muhammad, F., Il, S. K., Hyuck, S. K., Meththika, V., Adel, R. A. U., Mohammad, A. W., Erik, M., Eilhann, E. K. & Yong, S. O. 2017. Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. Journal of Cleaner Production 156: 581–588.
- Yuan, J.-H., Xu, R.-K. & Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology 102(3): 3488–3497.
- Zhang, Y., Li, Z.-f., Zhang, L. & Zhao, R. 2014. Adsorption characters of ammonium-nitrogen in aqueous solution by modified corn cob biochars. CIESC Journal 65(3): 960–966.

## 專有名詞及縮寫對照表

英文	縮寫	中文
4 Per 1000 Initiative		千分之四倡議
Absorber		吸收器
Air stripping		空氣氣提法
Biochar		生物炭
Bioenergy		生質能
Biomass		生物質
Biomass molding fuel	BMF	生物質成型燃料
Biomass-fired boiler		生物質鍋爐
Breakpoint chlorination		折點加氯法
carbon pool		碳庫
Carbonization		炭化
Charcoal		焦炭
Circular Economy Strategy		循環經濟策略
Condenser		冷凝器
Conferences of the Parties	COP	締約國大會
Controlled release		控釋
Dioxins	PCDD/Fs	戴奧辛
Electrical conductivity	EC	電導度
European Biochar Certificate	EBC	歐洲生物炭認證系統
Evaporator		蒸發器
Flue gas		煙道氣
Generator		發生器
Genus		屬
Geographic Information System	GIS	地理資訊系統
Guidelines		指引
H/C <sub>org</sub> ratio		氫碳莫耳比
International Biochar Institute	IBI	國際生物炭倡議
Ion-exchange		離子交換法
Life cycle assessment	LCA	生命週期評估
Material flow analysis	MFA	物質流分析

英文	縮寫	中文
Multiple hearth furnace with a continuous feeding system		連續進料多膛爐
Nitrification		硝化
O/C <sub>org</sub> ratio		氧碳莫耳比
Operational taxonomic unit	OUT	操作分類單元
Peat moss		泥炭苔
pH		酸鹼值
Plant growth-promoting rhizobacteria	PGPR	植物根圈促生細菌
Plate incorporation method		平板培養試驗法
Polychlorinated biphenyls	PCBs	多氯聯苯
Polycyclic aromatic hydrocarbons	PAHs	多環芳香烴
Prototroph		原養型
Proximate analysis		近似分析
Pyrolysis		裂解
Rectifier		精餾塔
Representative concentration pathways	RCP	代表濃度路徑
Reverse mutation		逆向變異
Slow release		緩釋
Soil organic carbon	SOC	土壤有機碳
Specific surface area	SSA	比表面積
Top Lit UpDraft	TLUD	上方點火向上通氣
Torrifaction		焙燒
Ultimate analysis		元素分析
Vermiculite		蛭石
Volatile organic compounds	VOCs	有機揮發物質



國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

臺灣生物炭產製與農業應用指南 / 江汶錦等著. --  
臺北市：農委會林試所，台灣農業科技資源運籌管理  
學會，2020.06  
169 面；14.8X21 公分 -- (林業叢刊；第 291 號)  
ISBN 978-986-5455-01-9(平裝)  
1. 有機農業  
430.13 109007045

## 臺灣生物炭產製與農業應用指南

作 者 江 汶 錦、吳 有 恒、吳 羽 婷、吳 耿 東  
李 宜 映、林 文 風、林 裕 仁、邱 祈 榮  
倪 禮 豐、徐 英 綺、張 敬 宜、張 廖 伯 勳  
梁 瑩 如、陳 韋 辰、陳 琦 玲、陳 鴻 堂  
黃 文 益、楊 爵 因、劉 俊 宏、蔡 正 賢  
鄭 美 如、龍 曄、薛 佑 光、簡 士 濠  
(依姓氏筆畫排序)

發 行 人 張 彬  
編 輯 吳 孟 玲、林 裕 仁、李 宜 映、陳 韋 辰  
林 文 風

美 術 設 計 施 品 安、利 安 禾、林 家 興、許 榮 崑  
發 行 單 位 行 政 院 農 業 委 員 會 林 業 試 驗 所  
台 灣 農 業 科 技 資 源 運 籌 管 理 學 會 (聯 合 發 行)

地 址 100051 臺 北 市 中 正 區 南 海 路 53 號  
電 話 (02)2303-9978  
傳 真 (02)2314-2234  
網 址 <https://www.tfri.gov.tw/>

出 版 日 期 2020 年 6 月  
定 價 新 臺 幣 500 元  
展 售 處 國 家 書 店 松 江 門 市  
104472 臺 北 市 松 江 路 209 號 1 樓 (02)2518-0207  
五 南 文 化 廣 場 臺 中 總 店  
400002 臺 中 市 中 區 中 山 路 6 號 (04)2226-0330

I S B N 978-986-5455-01-9  
G P N 1010900699  
版 權 所 有，翻 印 必 究