

# 生物炭於林業之應用與展望

◎林業試驗所育林組·成允聖、陳財輝 (thchen@tfri.gov.tw)

## 前言

生物炭(Biochar)是一種有機質的副產物，係將廢棄的生物量，如植株殘體或禽畜糞便，在高溫無氧的環境下熱裂解而成。因具有芳香環的結構，故難以被生物降解，施撒於土壤中能有效的長期封存碳於土壤當中，增加土壤碳匯。生物炭具有多孔隙與高表面積的特性，當添加至土壤時，能增加土壤的孔隙率或減少土壤總體密度，並進一步提升土壤通氣與保水的能力。此外生物炭也能吸附較多的陽離子，保存植物所需要的養分，並減少因淋溶作用或是逕流所導致的養分流失。而鹼性的生物炭能改善酸性土壤，增加養分活性，並刺激土壤中微生物的活動，進而提升土壤中植物可吸收的養分。

近年來隨著環境意識的提升，生物炭不易分解的特性，使其在國內外逐漸受到重視。2015年的聯合國氣候變化綱要公約第21屆締約國大會中(COP21)，法國提出了千分之四倡議(4 per 1000 Initiative)，其目地在於利用土壤龐大的碳匯功能，將大氣中的二氧化碳封存於土壤中，藉此平衡每年因人類活動所增加的二氧化碳，達到減緩溫室效應的功能，而生物炭的使用則是達到此目標的其中一種方式，其在減碳能力上極具發展潛力。

臺灣目前關於生物炭的使用多局限於農業上，但臺灣森林面積占全島近六成，若能將生物炭應用於林地上，除了能達到減緩溫室效應等環保功能，還能改善劣化地的森林土壤，對於林木的生長也有正面的影響。

## 生物炭對森林土壤之影響

### 一、對土壤物理性質的影響

林地受人為活動或自然風化、淋洗等因素影響常有土壤退化的現象，其中人為活動的影響較為快速也劇烈，伐木收穫經常會導致森林土壤物理性質的改變，這包括土壤總體密度增高、土壤孔隙減少、穿透性降低而導致土壤沖蝕、地表逕流與有效性土壤水減少等。此外都會區內的公園綠地與行道樹長年受到人為踩踏的影響，土壤物理性質與團粒結構都受到破壞，嚴重影響到林木的生長。生物炭的多孔性結構剛好能增加土壤的孔隙率減少土壤總體密度，並提升土壤通氣與保水的能力。

本研究使用表面積(BET)為 $150 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 且符合國際生物炭倡議組織(IBC)及歐洲生物炭認證機構(EBC)標準的生物炭進行土壤試驗，發現在添加2.25%重量比的生物炭後，土壤的總體密度從 $0.92$ 降到 $0.68 \text{ g cm}^{-3}$ ，而孔隙度則由54%提升至65%，這顯示生物炭的確能改變土壤物理性質，增加土壤保水能力，而較低的總體密度也代表土壤的團粒化較完整，能幫助苗木根系生長。

實際育苗也發現相較於沒有加生物炭的土壤，有加生物炭的土壤，含水率都有5~9%的提升，而所種植的牛樟苗木也有隨著生物炭增加，而增加地下部生物量占比的現象，顯示出生物炭對林木根系生長的正面影響，這些特性對苗木出栽後的存活率都有所幫助。

## 二、對土壤化學性質的影響

除了物理性質的改變，森林土壤在經過長時間的淋洗與有機酸的作用後常會有土壤酸化與陽離子流失的現象。生物炭在燒製的過程當中，隨著溫度提高，會導致氫氧根的氯化與流失，使鹽基離子的濃度相對提高，因此生物炭多為鹼性，而本研究實際利用刺竹燒製生物炭，發現於600°C燒製而成的生物炭pH值為9.07，且施用於森林土壤後，不論添加比例，pH值皆由5.77提升至7.10至7.28之間，顯示出生物炭在改善酸性土壤上的能力。

而生物炭本身也富含需多陽離子，研究指出，添加於土壤中能有效提升土壤有效性磷與鉀的含量，本研究將竹炭施用於土壤後發現只在有效性鉀有明顯的增加，有效性磷的增加則不顯著。實驗發現，竹炭在燒製過程中CEC會隨溫度上升而降低且不論什麼溫度燒製而成的生物炭有效性磷的含量都很低，但有效性鉀卻會隨燒製溫度而提升。不同原料燒製而成的生物炭，其化學性質都不盡相同，未來應詳細了解各種生物炭的特性，以應對不同環境需求。

## 三、對土壤微生物的影響

生物炭除了藉由直接提供土壤養分來改善土壤環境外，也能透過改變土壤微生物相來影響地上部植株生長。生物炭的多孔隙結構，提供了微生物群落良好的生長棲地，此外因生物炭而提升的土壤pH值則會促進細菌的生長，甚至因為生物炭本身釋放的養分，使植物的根部能夠輕易的吸收到所需要的無機物，降低了對菌根的依靠，進而減少真菌的生

長。因此在施加生物炭的土壤中常可觀測到真菌與細菌比值變小的現象，而土壤的高pH值也會促進土壤礦化作用提升，進而提高無機態氮的含量，對林木的生長有正面的功效。然而土壤微生物容易受到微環境改變影響，不同的土壤類型、植被以及生態系都會造成微生物不同的反應，因此欲了解生物炭對微生物的影響還需要更多的實驗加以印證。

## 生物炭使用上的潛在問題

雖然生物炭在改善土壤環境上有顯著的功效，但對於添加的方法與添加量要如何少才能實際增加林木的生長則還有許多未知數。

一般農地由於有機質少，養分流失高，且多有酸化問題，因此添加少量的生物炭往往就會有明顯的效果出現，多數的研究顯示農用地在添加2%的生物炭後平均能提高作物收成10%左右，而添加量少至0.15%都對產量有正面功效。然而森林土壤富含有機質，緩衝能力高，且林木本身反應較慢，因此需要較高的添加量與較長的觀測時間才能看出顯著的差異。本研究以0.25、0.75與2.25等三種比例的生物炭與森林土壤混合並種植肖楠與牛樟苗木，結果發現在經過9個月後，其生長都沒有明顯差異(圖1與圖2)，在生物量方面也是類似的結果，牛樟的總生物量介於64.00 g至72.96 g之間而肖楠則介於80.87 g至91.52 g之間，且各處理間沒有一致的變化。若要使林木生長有明顯差異，添加量應大於森林土壤的緩衝能力，未來應提高添加比例，找出最適合森林土壤的添加量。

除了添加量以外，生物炭本身的性質多變也造成添加後反應不一的現象，由於生物炭是由有機質轉化而成的，其原料本身的成



圖1 臺灣肖楠苗木施加生物炭，從右至左依序為對照組0、0.25、0.75、2.25%。(李宗宜 攝)



圖2 牛樟苗木施加生物炭，從右至左依序為對照組0、0.25、0.75、2.25%。(李宗宜 攝)

分會直接影響生物炭成品的物化性質，例如由木竹廢枝材燒製而成的生物炭往往在碳含量與飽水性上有較好的表現，而由稻穀及畜產廢棄物燒製而成的生物炭則多在氮、磷、鉀等養分元素上含量較高，其中又以畜產廢棄物的生物炭特別明顯，但同時也存在重金屬等有毒物質累積的風險。此外燒製原料在生長期間所累積的由人為添加或環境自然吸收的各種汙染物也會對生物炭的成分造成影響，日本就曾在一批日本柳杉燒製而成的生物炭中驗出高含量的汞、鉻、鎳等重金屬元素。

生物炭粒徑之大小(細、中、粗)也會影響生物炭施用於土壤後的效果，研究顯示顆粒越小的生物炭對土壤的影響越大，在改良土壤性質上效果也比較好，其中在土壤pH值、電導度及有效性鉀上差異尤其明顯。此外不同燒製的時間與溫度也都會使生物炭的性質產生差異，進而影響施撒在土壤裡時的效果，通常隨著燒製溫度的提升，生物炭的留存率與陽離子交換容量越低，但碳含量與pH值則越高，一般而言理想的燒製溫度介於400~600°C之間。

因此若要改善土壤性質並提升林木的生長，於使用生物炭之前應了解燒製原料的特性與其生育地環境是否受到汙染，並針對欲施用的土壤性質選用適合的生物炭種類、燒製溫度與粒徑大小，且配合適當的施用量，才能得到預期的結果。

## 結論

臺灣全島約有六成土地為森林所覆蓋，若能加以利用生物炭，增加森林土壤碳匯，對於減碳與全球暖化都有正面的功效。一般林地由於交通困難與運送成本，在生物炭使用上空礙難行，都會區的公園綠地、行道樹與苗圃因易於控制環境，且多有土壤劣化的問題，應優先使用生物炭，並加以監測，了解生物炭的特性與添加後對林木的影響。

生物炭對於改善土壤物理化學性質有明顯的功效，然而在實際使用面上仍然存在許多的問題，包含生物炭的燒製原料、粒徑大小、溫度、添加量及成本效益等都還有待更進一步研究來克服。♻️