

研究報告

## 荊竹生物炭對育苗介質與苗木生長之影響

成允聖<sup>1</sup> 陳財輝<sup>1\*</sup>

【摘要】本研究將荊竹 (*Bambus stenostachya*) 生物炭以0.25% (5 ton ha<sup>-1</sup>)、0.75% (15 ton ha<sup>-1</sup>) 與2.25% (45 ton ha<sup>-1</sup>) 的比例施加於森林土壤進行盆栽苗木試驗。目的在於了解荊竹生物炭對森林土壤之物理化學性質，以及對臺灣肖楠 (*Calocedrus formosana*) 與牛樟 (*Cinnamomum micranthum*) 苗木生長的影響。結果顯示，荊竹生物炭對土壤物理性質具改善效果，土壤總體密度從0.85降低至0.63，孔隙率則從54%增加至65%。然而，對土壤化學性質的影響較無一致性，會受到森林土壤的特性、生物炭添加量及顆粒大小的影響，但實驗組多較對照組好，其中以有效性鉀的變化較顯著。在苗木生長上，不同樹種對荊竹生物炭添加後的反應並不相同，臺灣肖楠在添加0.25%的荊竹生物炭後，其生長量就有顯著的增加，但超過0.25%的添加量後，生長量反而下降；牛樟的生長量則有隨荊竹生物炭添加量增加而升高的趨勢，但統計上沒有顯著的差異。由於荊竹生物炭對土壤物理性質改善效果較佳，未來可針對土壤質地過密，或缺乏通氣、排水等能力的土壤劣化地先進行施用。

【關鍵詞】生物炭、土壤理化性質、苗木生長。

Research paperThe effects of *Bambus stenostachya* biochar on sapling growth and the properties of the growing mediaYun-Sheng Cheng<sup>1</sup> Tasi-Huei Chen<sup>1\*</sup>

【Abstract】In order to understand the physical and chemical effects of bamboo biochar on forest soils and the growth of *Calocedrus formosana* and *Cinnamomum micranthum* saplings, we used biochar made from *Bambus stenostachya* as an supplement in a potting experiment, by the addition of biochar at 0.25% (5 ton ha<sup>-1</sup>), 0.75% (15 ton ha<sup>-1</sup>) and 2.25% (45 ton ha<sup>-1</sup>). The results showed that *Bambus sternostachya* biochar have positive effects on soil physical properties (i.e., reduce soil bulk density and increase soil porosity). However, the effects of *Bambus sternostachya* biochar on soil chemical properties varied depended on the characteristics of forest soils and the amount of biochar added. Overall, applying biochar to soil has a positive effect on soil chemical properties, especially on available potassium. In terms of sapling growth, the effect of *Bambus sternostachya* biochar differed between species. The growth of *Calocedrus formosana* saplings is significantly higher with the addition of 0.25% biochar. However, as the amount of biochar

---

1. 行政院農委會林業試驗所育林組。

Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute.

\* 通訊作者，10066台北市中正區南海路53號。

Corresponding author, No.53 Nanhai Road., Taipei 10066, Taiwan. Tel: +886-2-2303-9978 ext.3843. email: thchen@tfri.gov.tw.

increased, the growth of *Calocedrus formosana* was suppressed. For *Cinnamomum micranthum*, although the results showed a trend of growth increased as the amount of biochar increased. However, the difference is not significant statistically. Because biochar had a beneficial effects on soil physical properties, it can be applied on land with degraded soils properties, such as land with high soils density that lack of drainage or ventilation abilities.

【Key words】*Bambus stenostachya* biochar; soil physical and chemical properties; sapling growth.

## 一、前言

生物炭 (biochar) 主要是指在無氧或低氧狀態下，以特定溫度燒製而成的炭品。其具有芳香環的結構，難以被微生物分解 (Baldock & Smernik 2002; Wang et al. 2016)，能有效的封存碳於土壤當中，增加土壤碳匯 (Lehmann 2007; Glaser et al. 2009)。此外，在農業上，添加生物炭被認為能藉由改善土壤的物理化學性質，來增加作物的產量 (Sohi et al. 2010)。

高溫裂解而成的生物炭因具有多孔隙與高表面積的特性，回填至土壤時能夠增加土壤的孔隙率或是減少土壤容積密度，進而提升土壤通氣與飽水能力 (Mukherjee & Lal 2013)。生物炭也具有高表面負電荷的特性，使每單位碳中可吸附的陽離子量增加，能有效保存土壤中植物所需要的陽離子及陰離子，減少因淋溶作用或是逕流所導致的流失量 (Thomas & Gale 2015)。此外，生物炭在燒製的過程當中，由於氫氧根的氯化流失使鹽基離子的相對濃度提高，因而導致pH值增加 (Rehrah et al. 2016)，能改善酸性土壤，增加養分的有效性，並刺激土壤中微生物的活性，進而提升土壤中植物可吸收的養分 (Maestrini et al. 2014; Sackett et al. 2015; Thomas & Gale 2015; 蔡佳儒 & 吳耿東 2013)。雖然使用生物炭被認為有諸多好處，但也有研究顯示生物炭的添加不一定會增加農作物的產量 (Spokas et al. 2012)，因生物炭本身的性質會受到燒製原料與燃燒的條件影響 (Lehmann & Joseph 2015)，且過往研究多是在嚴重酸化、低炭素與土壤母質養分缺乏的

土壤上使用，對於其他土壤類型則較少著墨 (Lehmann 2007; Sohi et al. 2010)。

竹子生長快速，能迅速將大氣中的二氧化碳固定至竹林內，且伐採後對環境衝擊小，是固碳能力極強的物種，對於減緩全球氣候變遷有高度的貢獻。臺灣是個竹林資源豐富的國家，1980年代前竹產業相當興盛，而蔴竹 (*Bambus stenostachya*) 是臺灣南部廣泛分布的竹種，其竹稈高大，生長密集，竹稈密度可達每公頃24,533支，地上部生物量243.8 ton ha<sup>-1</sup> (陳財輝等 2012)。早期常拿來作鷹架與建材等，甚至曾當作紙漿與金紙的原料。然因產業結構變遷，竹材逐漸被塑膠、金屬及複合材料取代，目前多數竹林都呈現荒廢狀態，沒有經營。利用蔴竹生產之生物炭，能提供竹材產業多元利用的方向並促進竹林資源有效利用。

生物炭在臺灣還未有廣泛的研究，然臺灣高溫多雨，土壤養分的淋洗流失較高，若能有效利用生物炭，可以改善土壤性質，提升林地健康，並增加土壤碳庫。本研究透過盆栽試驗，添加不同比例之蔴竹生物炭於牛樟 (*Cinnamomum micranthum*) 及臺灣肖楠 (*Calocedrus formosana*) 苗木中，試圖了解蔴竹生物炭對臺灣森林土壤之物理化學性質的影響，及其對臺灣具經濟價值的重要針、闊葉樹種生長的影響。

## 二、材料與方法

### (一) 生物炭的製備

燒製溫度對生物炭的性質有很大的影響，

生物炭上之含氧官能基會隨著燒製溫度的提升而氯化，使生物炭的陽離子交換能力 (cation exchange capacity, CEC) 降低 (Suliman et al. 2016)，然而過低的溫度也會使生物炭的孔隙結構不完全，導至比表面積下降，通氣飽水性質減弱。本研究使用之荊竹生物炭為台南市龍崎區以土窯在600°C的溫度下燒製而成的。生物炭的pH值為9.07，BET比表面積為 (specific surface area, SSA)  $150 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，符合國際生物炭之炭品標準 (EBC 2012)。

## (二) 育苗作業

本試驗苗木分別選用臺灣肖楠及牛樟，做為荊竹生物炭施加對象，以苗高50 cm左右的小苗進行盆栽試驗，於2017年6月27日栽植在林業試驗所蓮華池研究中心苗圃，海拔680 m，年均溫21°C，年雨量2,211 mm，苗圃配有自動澆灌系統，每日早上與傍晚各灑水一次，每次10分鐘。

育苗土壤取自南投縣蓮華池森林土壤並與有機肥以1:1比例混合。試驗規劃含對照組共分成4種處理，分別為未施加荊竹生物炭的對照組與施加荊竹生物炭0.25% ( $5 \text{ ton ha}^{-1}$ )、0.75% ( $15 \text{ ton ha}^{-1}$ ) 及 2.25% ( $45 \text{ ton ha}^{-1}$ ) 的處理組，每處理組分別栽種牛樟與臺灣肖楠苗木各10株於8吋圓盆中，共計80株。荊竹生物炭於2017年8月4日施撒於盆栽中，苗木試驗自2017年8月至2018年8月，共計1年，期間每月定期測量苗木之苗高與地徑，並在進入生長季後進行破壞性取樣，分析其植體成分。

## (三) 土壤分析

於2018年4月取試驗盆栽土壤，分析土壤物理與化學性質變化。土壤取樣後，於室溫下風乾，並通過2 mm篩網使其均質化後，分析土壤之pH、電導度 (EC)、CEC、總有機炭 (TOC)、有機質、全氮及以孟立克3號 ( $0.2\text{N CH}_3\text{COOH}+0.25\text{N NH}_4\text{NO}_3+0.015\text{N NH}_4\text{F}+0.013\text{N HNO}_3$ ) 萃取法測定之有效性磷、鉀、鈣、鎂等化學性質，此外也分析土壤之粒徑與容積密度，藉以了解其物理特性。

## (四) 植體分析

於2018年4月進行破壞性取樣，將根、莖、葉分別秤其鮮種並裝入牛皮紙袋中，於烘箱以室溫風乾後測量乾種，以了解施加荊竹生物炭對苗木生物量之影響。而後將各部位的植體分別磨粉，進行元素分析，以了解不同處理下，苗木養分組成之差異。

## (五) 苗木品質指數計算

將所測得之苗木苗高、地徑與生物量，進行不同形質生長參數的計算，以得到苗木的莖根比、纖弱指數與Dickson苗木品質指數，以瞭解苗木是否徒長、養分配與苗木健康程度等，其計算公式 (Mattsson 1997; Haase 2008) 如下：

莖根比 (Shoot root ration, S/R) = 莖乾重 (g) ÷ 根乾重 (g)

纖弱指數 (Sturdiness Quotient) = 苗高 (cm) ÷ 地徑 (mm)

Dickson苗木品質指數 = 全株乾重 (T-DW) ÷ (纖弱指數 + 莖根比)

## 三、結果與討論

### (一) 荊竹生物炭對育苗介質理化性質之影響

於2018年4月採集不同處理之育苗介質進行分析，結果如表1所示。在酸鹼度上，本試驗使用的荊竹生物炭pH值為9.07，然而添加後育苗介質酸鹼度各組之間差異甚小，且以生物炭添加量較少的0.25%有最高的pH值。Sackett等人2015時的現地試驗也曾觀察到相同的現象，其認為主要與森林土壤的特性有關，森林土壤因有大量的腐植質，有機質含量豐富，因此對酸鹼值的緩衝能力較強 (Noyce et al. 2015)。由表1可以發現，由於本試驗使用的育苗介質為森林土壤再加有機肥，因此有機質含量較豐富，此外生物炭本身也含有可分解的有機碳，因此有添加生物炭的處理組，其有機質含量也都高於對照組。

過往研究多半顯示添加生物炭後，土壤的碳、氮、與有機質會有所增加 (Robertson 2012;

表1. 各處理組之育苗介質化學性質。

Table 1. The chemical properties of control and treatment group growth medium.

處理	pH	EC	全氮	全碳	有機質	C/N ratio	CEC	磷	鉀	鈣	鎂
		μS/cm		(%)			(cmol/kg)	(mg/kg)			
CK <sup>1)</sup>	7.0 <sup>b2)</sup>	166.7±2.9	0.42±0.02 <sup>b</sup>	5.93±0.27 <sup>c</sup>	12.88±0.59 <sup>c</sup>	14.2	23.7±1.1 <sup>a</sup>	392.1±24.5 <sup>c</sup>	217.8±14.3 <sup>c</sup>	3792.7±182.4 <sup>c</sup>	397.9±21.1 <sup>b</sup>
0.25	7.3 <sup>a</sup>	177.5±0.5	0.50±0.01 <sup>a</sup>	6.47±0.04 <sup>b</sup>	14.07±0.08 <sup>b</sup>	12.9	24.1±1.4 <sup>a</sup>	562.7±8.3 <sup>a</sup>	196.1±4.5 <sup>c</sup>	4491.3±90.6 <sup>ab</sup>	495.3±14.6 <sup>a</sup>
0.75	7.1 <sup>b</sup>	163.0±4.6	0.41±0.01 <sup>b</sup>	6.05±0.18 <sup>c</sup>	13.16±0.39 <sup>c</sup>	14.7	24.2±1.6 <sup>a</sup>	469.0±34.9 <sup>b</sup>	293.7±22.5 <sup>b</sup>	4107.9±370.2 <sup>cb</sup>	438.2±41.7 <sup>b</sup>
2.25	7.0 <sup>b</sup>	207.0±1.4	0.48±0.1 <sup>a</sup>	7.40±0.23 <sup>a</sup>	16.09±0.50 <sup>a</sup>	15.4	26.4±1.6 <sup>a</sup>	574.5±19.9 <sup>a</sup>	549.2±3.1 <sup>a</sup>	4721.3±146.2 <sup>a</sup>	502.5±12.4 <sup>a</sup>

註：<sup>1)</sup> 處理組別中，CK為對照組、0.25為蔴竹生物炭添加比例0.25%、其餘以此類推。

<sup>2)</sup> 英文字母為ANOVA變異數分析Duncan test的結果，不同字母表處理組間有顯著差異 ( $\alpha = 0.05$ )。

Scharenbroch 2013; Chen 2017)，本試驗在全氮與全碳方面，以蔴竹生物炭添加量0.25%與2.25%的處理組有較高的全碳與氮，且所有的處理組都比對照組高。而在碳氮比上，不論生物炭添加與否碳氮比都偏低，表示土壤中氮養分十分充裕，能供微生物與植物生長利用，且於各處理組間可發現，碳氮比有隨蔴竹生物炭添加量增加而上升的趨勢。

在土壤有效性養分中，CEC是顯示土壤肥力的一個重要指標，由表1可發現CEC有隨蔴竹生物炭添加量增加而上升的趨勢，然而在統計上沒有顯著差異。縱然如此在有效性磷、鉀、鈣、鎂中，添加生物炭的處理組多高於對照組。其中以有效性鉀的上升幅度最顯著，且有隨添加量增加而上升的趨勢。但在磷、鈣或鎂的有效性上，0.75%添加量的有效性養分都低於添加量較少的0.25%處理組。Chen等人2017曾進行不同生物炭施用量(3%和9%)及粒徑大小(細、中、粗)的研究，發現粒徑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，而本試驗使用之蔴竹生物炭為單純敲碎的竹炭，粒徑大小不一，可能是造成土壤有效性養分除了鉀之外，其他養分無一致變化的原因。

多數研究都指出添加生物炭後，土壤的陽離子與CEC會有所增加 (Robertson et al. 2012；

Scharenbroch et al. 2013)。然本試驗中的生長介質在添加蔴竹生物炭後，雖然主要的有效性陽離子都有明顯的增加，但CEC的上升在統計上卻不顯著，這表示土壤中能置換的陽離子總量並無增加，而是陽離子組成有所差異。生物炭本身的灰分中富含多種陽離子，會在接觸土壤後逐漸釋放，進而增加土壤無機養分，然而不同原料燒製而成的生物炭性質不盡相同。Sackett 等人 (2015) 的研究就曾指出，多數生物炭的磷與鉀含量較豐富，能提升土壤中的有效性磷與鉀。本試驗中有效性養分的差異，主要應來自生物炭本身所富含之陽離子隨水進入土壤所致。

Mukherjee & Lal (2013) 研究指出生物炭的多孔性結構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。由表2可以發現在添加2.25%重量比的蔴竹生物炭後，雖然土壤的組成沒有明顯的差異，但其總體密度從0.85降到0.63 g cm<sup>-3</sup>，而孔隙度則由54%提升至65%，顯示蔴竹生物炭確實能改善土壤物理性質，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。

## (二) 苗木形質生長差異

蔴竹生物炭對苗木形質生長的影響，可藉由生物量、苗高、地徑等實際量測所得之數值參數加以評估。在苗木淨生長量上，臺灣肖楠與牛樟苗木的生長反應有很大的不同，臺灣肖

表2. 各處理組之育苗介質物理性質。

Table 2. The physical properties of control and treatment group growth medium.

處理	砂粒	坩粒	粘粒	孔隙率	總體密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		%		%	
CK <sup>1)</sup>	40.02	40.90	19.07	54.28	0.85
0.25	38.81	39.74	21.45	52.43	0.88
0.75	40.84	41.53	17.63	65.43	0.64
2.25	41.34	41.92	16.74	65.33	0.63

註：<sup>1)</sup> 處理組別中，CK為對照組、0.25為生物炭添加比例0.25%、其餘以此類推。

楠不論是苗高還是地徑生長都是蔴竹生物炭添加量0.25%的處理組有較好的生長表現，且與較高添加量的0.75%與2.25%處理組有顯著差異。而牛樟苗在高生長與地徑生長上則都是蔴竹生物炭添加量2.25%的處理組有較好的生長反應，然於統計上無顯著差異(表3)。

藉由苗木的纖弱指數可以判斷苗木形態是否為健壯結實，指數越小代表出栽成活率較高，對強風、乾旱等逆境有較強的抵抗能力。本試驗中，臺灣肖楠苗木的纖弱指數有較明顯的差異，纖弱指數最低為0.25%處理組的6.42，而最高則是0.75%處理組的8.04(表4)，與簡慶德(2013)研究建議林務局苗木出栽標準(10.7)相比，各處理皆較低，屬於健壯苗木。牛樟苗木各處理組間的纖弱指皆無明顯差異，

以0.75%處理組的2.89最低，2.25%處理組的3.56最高(表4)，但也都低於簡慶德(2013)標準(7.6)，為健壯苗木。

本試驗中，臺灣肖楠與牛樟苗木之間的纖弱指數差異很大(表4)，前人研究也指出，纖弱指數於不同樹種間存在很大的差異，如早期美國學者 Korstian & Baker (1925) 曾計算黃松 (*Pinus ponderosa*) 與花旗松 (*Pseudotsuga menziesii*) 的纖弱指數，分別在3年生與3+1年生(播種床3年，移植床1年)苗木測到3.30及4.68的數值。但蕭祺暉(1996)在有施用氮肥與磷肥的烏心石 (*Michelia compressa*) 苗木中則測到6.7-7.4不等的數值。

在生物量方面，其結果與淨生長量相同，臺灣肖楠苗以0.25%添加量的總生物量最高，

表3. 臺灣肖楠與牛樟苗木淨生長量。

Table 3. Net growth increment of *Calocedrus formosana* and *Cinnamomum micranthum* saplings.

處理	臺灣肖楠		牛樟	
	苗高 (cm)	地徑 (mm)	苗高 (cm)	地徑 (mm)
CK <sup>1)</sup>	69.6 ± 11.2 <sup>b2)</sup>	9.3 ± 1.7 <sup>ab</sup>	13.0 ± 6.2 <sup>a</sup>	3.0 ± 1.8 <sup>a</sup>
0.25	90.7 ± 5.1 <sup>a</sup>	10.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	11.0 ± 3.6 <sup>a</sup>	2.6 ± 2.5 <sup>a</sup>
0.75	61.3 ± 17.8 <sup>b</sup>	8.3 ± 0.5 <sup>b</sup>	14.0 ± 6.1 <sup>a</sup>	2.0 ± 0.5 <sup>a</sup>
2.25	59.3 ± 1.2 <sup>b</sup>	7.9 ± 1.0 <sup>b</sup>	18.7 ± 9.0 <sup>a</sup>	3.5 ± 1.6 <sup>a</sup>

註：<sup>1)</sup> 處理組別中，CK為對照組、0.25為生物炭添加比例0.25%、其餘以此類推。

<sup>2)</sup> 英文字母為ANOVA變異數分析Duncan test的結果，不同字母表處理組間有顯著差異 ( $\alpha = 0.05$ )。

表4. 牛樟與臺灣肖楠苗木的形質生長。

Table 4. The morphological characteristic of *Calocedrus formosana* and *Cinnamomum micranthum* saplings.

樹種	處理	苗高 (cm)	地徑 (mm)	纖弱指數 (H/D)	地上部乾重(g)	地下部乾重(g)	莖根比 (S/R)	全株乾重 (g)	Dickson 品質指數
臺灣肖楠	CK <sup>1)</sup>	101.3±6.5 <sup>a</sup>	13.0±1.3 <sup>ab</sup>	7.8±0.9 <sup>a</sup>	78.4±18.9 <sup>a</sup>	34.5±9.9 <sup>a</sup>	2.3±0.4 <sup>a</sup>	112.9±27.6 <sup>a</sup>	11.3±3.2 <sup>b</sup>
	0.25	93.3±9.3 <sup>a</sup>	14.5±1.0 <sup>a</sup>	6.4±0.4 <sup>b</sup>	96.8±10.9 <sup>a</sup>	52.0±13.5 <sup>a</sup>	1.9±0.3 <sup>a</sup>	148.8±22.0 <sup>a</sup>	17.9±3.0 <sup>a</sup>
	0.75	97.8±2.1 <sup>a</sup>	12.3±1.5 <sup>b</sup>	8.0±1.0 <sup>a</sup>	81.3±11.5 <sup>a</sup>	38.1±14.7 <sup>a</sup>	2.3±0.5 <sup>a</sup>	119.4±25.8 <sup>a</sup>	12.0±4.2 <sup>ab</sup>
	2.25	95.3±3.9 <sup>a</sup>	13.1±0.7 <sup>ab</sup>	7.3±0.6 <sup>ab</sup>	88.7±21.2 <sup>a</sup>	39.8±16.9 <sup>a</sup>	2.4±0.7 <sup>a</sup>	128.6±36.5 <sup>a</sup>	13.6±4.9 <sup>ab</sup>
牛樟	CK	36.3±4.4 <sup>a2)</sup>	11.4±2.2 <sup>a</sup>	3.2±0.5 <sup>a</sup>	34.6±8.3 <sup>a</sup>	24.1±7.0 <sup>a</sup>	1.5±0.2 <sup>a</sup>	58.7±14.4 <sup>a</sup>	12.9±4.3 <sup>a</sup>
	0.25	38.0±6.2 <sup>a</sup>	12.2±1.5 <sup>a</sup>	3.2±0.6 <sup>a</sup>	28.8±10.6 <sup>a</sup>	28.7±8.5 <sup>a</sup>	1.0±0.1 <sup>b</sup>	57.5±19.0 <sup>a</sup>	13.8±3.7 <sup>a</sup>
	0.75	35.8±6.5 <sup>a</sup>	12.5±1.4 <sup>a</sup>	2.9±0.6 <sup>a</sup>	39.1±18.5 <sup>a</sup>	32.4±14.6 <sup>a</sup>	1.2±0.1 <sup>ab</sup>	71.5±32.9 <sup>a</sup>	17.2±7.3 <sup>a</sup>
	2.25	39.0±8.0 <sup>a</sup>	10.9±1.6 <sup>a</sup>	3.6±0.4 <sup>a</sup>	38.5±16.7 <sup>a</sup>	46.3±28.3 <sup>a</sup>	1.0±0.3 <sup>b</sup>	84.8±44.6 <sup>a</sup>	19.3±11.3 <sup>a</sup>

註：<sup>1)</sup> 處理組別中，CK為對照組、0.25為生物炭添加比例0.25%、其餘以此類推。

<sup>2)</sup> 英文字母為ANOVA變異數分析Duncan test的結果，不同字母表處理組間有顯著差異 ( $\alpha = 0.05$ )。

而牛樟苗則有隨蔴竹生物炭添加量增加而上升的趨勢，然各處理間皆無顯著差異 (表4)。由苗木的莖根比可以瞭解生長介質在添加生物炭後，苗木生物量的累積和分配，也可判定其地上部是否出現徒長的現象 (Hunt 1990；郭幸榮 & 黃進輝 1999)。在本試驗中，臺灣肖楠與牛樟苗木莖根比最低的分別為臺灣肖楠0.25%處理組的1.92與牛樟2.25%處理組的0.95 (表4)，其中以牛樟的差異較顯著，除了0.75%處理組外，其餘有添加蔴竹生物炭的處理組，莖根比都顯著較低，表示有較多的生物量累積於地下部，根系生長較完善。苗木根系大小攸關水分及養分的吸收及平衡，因此苗木之莖根比也不宜過大。育林手冊建議針葉樹應低於3.3而闊葉樹應低於4.0，而本試驗所有的處理組皆低於育林手冊建議，屬根系生長良好之苗木。

Dickson苗木品質指數係綜合苗木乾重、苗高、地際直徑等參數，可作為苗木品質檢定的依據 (Mattsson 1997)，由表4可發現，臺灣肖楠苗木處理組的Dickson品質指數皆高於對照組，但以添加量較少的0.25%處理組最高，於統計上有顯著差異，而牛樟苗木的Dickson

品質指數則有隨生物炭添加量增加而上升的趨勢，然差異不顯著。鍾欣芸等人 (2015) 曾對Dickson品質指數進行回歸分析，發現其與苗木根部乾重相關性最高，因此認為苗木根系的發育，對於苗木生長相當重要。在本試驗中Dickson品質指數較高的地下部生物量也較高，而且苗木淨生長量也有較好的表現 (表4)。

不同樹種常會對生物炭的添加有不同的生長反應 (Ghosh et al. 2015)，Pluchon等人 (2014) 就曾指出被子植物相較裸子植物對於生物炭施加後的生長反應更敏感，然而本試驗結果則是臺灣肖楠苗木較牛樟來的敏感。另外，Headlee等人 (2013) 發現苗木地上部的生長量與植物對氮、鉀的吸收有極大的相關性，土壤氮的多寡與鉀的有效性會直接影響地上部的生長。本試驗土壤有效性鉀隨著蔴竹生物炭的添加而上升，而土壤全氮雖差異不大，但C/N都偏低，代表土壤中的氮相對充裕。由植體元素分析則可發現牛樟苗木不論是根、莖或葉部的氮皆隨蔴竹生物炭添量增加而上升，但臺灣肖楠則沒有明確趨勢，且於統計上皆無顯著差異 (表5)。

表5. 臺灣肖楠與牛樟苗木植體全氮與全碳含量。

Table 5. The total nitrogen and total carbon content of *Calocedrus formosana* and *Cinnamomum micranthum* saplings.

部位	處理	臺灣肖楠		牛樟	
		全氮 (%)	全碳 (%)	全氮 (%)	全碳 (%)
根	CK <sup>1)</sup>	0.75±0.10 <sup>a2)</sup>	44.29±1.44 <sup>a</sup>	0.84±0.06 <sup>a</sup>	42.92±0.86 <sup>a</sup>
	0.25	0.64±0.05 <sup>a</sup>	43.55±0.34 <sup>a</sup>	0.85±0.16 <sup>a</sup>	40.71±6.29 <sup>a</sup>
	0.75	0.68±0.08 <sup>a</sup>	45.19±3.67 <sup>a</sup>	0.92±0.02 <sup>a</sup>	42.84±0.46 <sup>a</sup>
	2.25	0.63±0.03 <sup>a</sup>	43.44±1.26 <sup>a</sup>	0.99±0.25 <sup>a</sup>	41.76±0.64 <sup>a</sup>
莖	CK	0.68±0.03 <sup>a</sup>	45.54±2.77 <sup>a</sup>	0.78±0.12 <sup>a</sup>	44.78±0.20 <sup>a</sup>
	0.25	0.70±0.07 <sup>a</sup>	45.41±3.69 <sup>a</sup>	0.79±0.09 <sup>a</sup>	45.17±0.38 <sup>a</sup>
	0.75	0.70±0.06 <sup>a</sup>	42.70±3.55 <sup>a</sup>	0.78±0.02 <sup>a</sup>	45.67±0.30 <sup>a</sup>
	2.25	0.73±0.05 <sup>a</sup>	43.84±0.18 <sup>a</sup>	0.84±0.13 <sup>a</sup>	44.80±0.77 <sup>a</sup>
葉	CK	1.21±0.18 <sup>a</sup>	45.56±0.23 <sup>a</sup>	1.64±0.11 <sup>a</sup>	46.20±0.55 <sup>a</sup>
	0.25	1.07±0.06 <sup>a</sup>	46.15±0.26 <sup>a</sup>	1.62±0.05 <sup>a</sup>	45.65±0.38 <sup>a</sup>
	0.75	1.10±0.04 <sup>a</sup>	45.88±0.46 <sup>a</sup>	1.87±0.24 <sup>a</sup>	46.07±0.59 <sup>a</sup>
	2.25	1.19±0.16 <sup>a</sup>	45.90±0.58 <sup>a</sup>	1.93±0.25 <sup>a</sup>	46.57±0.38 <sup>a</sup>

註：<sup>1)</sup> 處理組別中，CK為對照組、0.25為生物炭添加比例0.25%、其餘以此類推。

<sup>2)</sup> 英文字母為ANOVA變異數分析Duncan test的結果，不同字母表處理組間有顯著差異 ( $\alpha = 0.05$ )。

本試驗結果只有臺灣肖楠有較明顯的生長差異，Pluchon等人 (2014) 的研究認為，有較高CEC及磷酸鹽含量的生物炭，能提供林木較多養分，對於林木的生長及林分更新有較大的幫助，然而本次試驗中CEC於各處理間皆沒有顯著差異。此外，許多學者都認為，苗木生長的差異主要是因生物炭透過提升土壤的pH值，來刺激土壤中微生物的活動，進而增加土壤之礦化作用所致 (Robertson et al. 2012; Sovu et al. 2012; Fagbenro et al. 2013; Omil et al. 2013; Pluchon et al. 2014; Ghosh et al. 2015)。而本試驗中的pH值與全氮也皆無顯著差異。另外牛樟生長緩慢 (試驗期間總高生長才18 cm)，觀測時間過短也可能是生長差異不顯著的原因。

#### 四、結論與建議

在此1年的試驗期間，荊竹生物炭對土壤物理性質具改善效果，能降低總體密度並提高孔隙率，而對土壤化學性質的影響，則受森林土壤本身的特性、生物炭添加量與顆粒大小的影響，反應較無一致性，但有施加生物炭的處理組多比對照組好。在苗木生長上，不同樹種對荊竹生物炭添加後的反應並不相同。臺灣肖楠在添加0.25%的荊竹生物炭後，其生長量就有顯著的增加，但超過0.25%的添加量後，生長量反而下降。而牛樟則有隨荊竹生物炭添加量增加而生長量升高的趨勢，但沒有顯著的差異。由於試驗時間尚短，還無法較明確的看出荊竹生物炭添加對苗木生長的長期效果。因生物炭在改善土壤物理性質上效果較明確，未來可先朝向土壤質地過密，或缺乏通氣、排水等

能力的土壤劣化地先進行施用。

## 五、致謝

感謝林業試驗所蓮華池研究中心許原瑞主任、許俊凱先生、黃乙峻先生，森林利用組林裕仁博士、森林經營組汪大雄博士，以及育林組蘇德忠先生、林欣德先生、吳濟琛先生、李宗宜先生等人於研究試驗上的協助，也感謝林務局南投林管處提供苗木供試驗進行。

## 六、引用文獻

- Baldock JA, Smernik RJ (2002) Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33: 1093-1109.
- Chen J, Li S, Liang C, Xu Q, Li Y, Qin H, Fuhrmann JJ (2017) Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of the Total Environment* 574(1): 24-33.
- EBC (2012) European Biochar Certificate-Guidelines for a sustainable production of biochar. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 6.5E of 30th August 2018, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043.
- Fagbenro JA, Oshunsanya SO, Onawumi OA (2013) Effect of saw dust biochar and NPK 15:15:15 inorganic fertilizer on *Moringa oleifera* seedlings grown in an oxisol. *Agrosearch* 13(1): 57-68.
- Glaser B, Parr M, Braun C, Kopol G (2009) Biochar is Carbon Negative. *Nature Geoscience*.
- Ghosh S, Ow LF, Wilson B (2015) Influence of biochar and compost on soil properties and tree growth in a tropical urban environment. *International Journal of Environment Science and Technology* 12(4): 1303-1310.
- Haase DL (2008) Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planters Notes* 52(2): 24-30.
- Headlee WL, Brewer CE, Hall RB (2013) Biochar as a substitute for vermiculite in potting mix for hybrid Poplar. *Bioenergy Research* 7: 120-131.
- Hunt R. (1990). *Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer Science & Business Media.
- Kameyama K, Iwata Y, Miyamoto T (2017) Review biochar amendment of soils according to their physicochemical properties. *Japan Agricultural Research Quarterly* 51(2): 117-127.
- Korstain CF, Baker FS (1925) Forest plantings in the intermountain region. U.S. Department of Agriculture Bulletins. 1264. Washington, D.C.
- Lehmann J. (2007) A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144.
- Lehmann J, Joseph S (2015) *Biochar for Environmental Management*, 2nd edition. New York, USA: Routledge.
- Maestrini B, Hermann AM, Nannipieri P, Schmidt MWI, Abiven S (2014) Ryegrass-derived pyrogenic organic matter changes organic carbon and nitrogen mineralization in a temperate forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 69: 291-301.
- Mattsson A (1997) Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13(1-3): 227-252.
- Mukherjee A, Lal R (2013) Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas



- emissions. *Agronomy*. 3: 313-339.
- Noyce GL, Basiliko N, Fulthorpe R, Sackett TE, Thomas SC (2015) Soil microbial responses over 2 years following biochar addition to a north temperate forest. *Biology and Fertility of Soils* 51: 649-659.
- Omil B, Pineiro V, Merino A (2013) Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. *Forest Ecology and Management* 295: 199-212.
- Pluchon N, Gundale MJ, Nilsson MC, Kardol P, Wardle DA (2014) Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects of charcoal properties, seedling species and soil fertility. *Functional Ecology* 28: 766-775.
- Rehrah D, Bansode RR, Hassan O, Ahmedna M (2016) Physico-chemical characterization of biochars from solid municipal waste for use in soil amendment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 118: 42-53.
- Robertson SJ, Rutherford PM, Lopez-Gutierrez JC, Massicotte HB (2012) Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soil. *Canadian Journal of Soil Sciences* 98(2): 329-340.
- Sackett TE, Basiliko N, Noyce GL, Winsborough C, Schurman J, Ikeda C, Thomas SC (2015) Soil and greenhouse gas responses to biochar additions in a temperate hardwood forest. *Global Change Biology Bioenergy* 7(5): 1062-1074.
- Scharenbroch BC, Meza EN, Catania M, Fite K (2013) Biochar and biosolids increase tree growth and improve soil quality for urban landscapes. *Journal of Environmental Quality* 42(5): 1372-1385.
- Sohi SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R (2010) A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105: 47-82.
- Sovu, Tigabu M, Savadogo P, Oden PC (2012) Facilitation of forest landscape restoration on abandoned Swidden fallows in Laos using mixed-species planting and biochar application. *Silva Fennica* 46(1): 39-51.
- Suliman W, Harsh JB, Abu-Lail NI, Fortuna AM, Dallmeyer I, Garcia-Perez P (2016) Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass and bioenergy* 84: 37-48.
- Thomas SC, Gale N (2015) Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. *New Forest* 46(5): 931-946.
- Wang J, Xiong Z, Kuzyakov Y (2016) Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Global Change Biology Bioenergy* 8(3): 512-523.
- 郭幸榮、黃進輝 (1999) 烏心石苗木生長於溫室內不同光度下之生理特性。中華林學季刊 32(1) : 25-37。
- 陳財輝、汪大雄、鍾欣芸 (2012) 臺南左鎮地區荊竹林之生長與生物量。中華林學季刊 45(3) : 341-350。
- 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。
- 蕭祺暉 (1996) 施氮磷肥對烏心石苗木形態及生理性質之影響。國立臺灣大學森林系碩士論文。
- 鍾欣芸、劉恩妤、劉瓊霖、許博行 (2015) 探討烏心石苗木形態與生理性狀的關係。林業研究季刊 37(1) : 19-28。
- 簡慶德 (2013) 18種重要造林樹種育苗作業規範之制定。行政院農委會林務局委託研究計畫報告。

