

# 生物炭複合資材於不同質地土壤中的礦化與 養分釋放

MINERALIZATION AND NUTRIENT RELEASING OF BIOCHAR COMPOUND MATERIALS IN  
SOILS WITH DIFFERENT TEXTURES

國立屏東科技大學  
水土保持系  
碩士班研究生

謝政翰  
Zheng-Han Xie

國立屏東科技大學  
水土保持系  
教授

簡士濠\*  
Shih-Hao Jien

## 摘要

生物炭搭配化肥或堆肥的使用，可改善生物炭自身肥力匱乏的缺點，並作為往後循環農業管理並增產的策略之一。本試驗選擇兩種農業土壤(砂質土及粘質土)、將生物炭與蔗渣堆肥依不同比例製為四種粒狀複合資材，將四種複合資材置入茶包埋入土壤中短期孵育 60 天，評估各複合資材之礦化速率。四種複合資材分別為生物炭：堆肥=1:3(BC3)、生物炭：堆肥=1:1(BC)、全生物炭(B)及全蔗渣堆肥(C)。本研究於孵育期間分別於 1、3、7、30、60 天時抽取土壤溶液分析無機氮、有效磷及交換性鉀含量評估各資材之養分釋放量。研究結果顯示，兩試驗土壤中，各複合資材的礦化率皆以 C 最高(33~35%)，依序為 BC3(26~29%)、BC(23~29%)，最差為 B(15~20%)；以砂土中之資材礦化率較快。養分釋放方面， $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量因硝化作用隨孵育時間減少，而  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  隨孵育時間增加。各資材處理間以 C 及 BC3 處理下土壤溶液中之  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量最高，顯示硝化作用於砂土中較為顯著。交換性鉀含量隨孵育時間而增加，以 B 及 BC 處理較高，砂土中有效鉀釋放量顯著高於黏土。複合資材於有效磷釋放過程中，生物炭的存在可促進土壤磷的有效性，可能為自身提供的水溶性磷釋放或生物炭競爭土壤中有效磷的吸附位置所致。此外，本研究僅於砂土溶液中可測得有效磷含量，而黏土中之有效磷於孵育期間多被固定於土壤上而緩慢釋放，可能導致短期作物缺磷。

**關鍵詞：**生物炭、複合資材、礦化、養分釋放。

\* 通訊作者 · 國立屏東科技大學水土保持系教授

屏東縣內埔鄉學府路 1 號 · shjien@g4e.npust.edu.tw

## MINERALIZATION AND NUTRIENT RELEASING OF BIOCHAR COMPOUND MATERIALS IN SOILS WITH DIFFERENT TEXTURES

**Zheng-Han Xie**

National Pingtung University of  
Science and Technology  
Department of Soil and Water Conservation

**Shih-Hao Jien\***

National Pingtung University of  
Science and Technology  
Department of Soil and Water Conservation

### ABSTRACT

Combining biochar with chemical fertilizer or compost might not only improve fertility deficiency in biochar itself, but also control nutrient releasing to be a novel agricultural management strategy in future. In this study, we produced granular compound biochar fertilizers (gBCFs) by combining the biochar with bagasse compost, and then applied these into a sandy soil (Entisol) and a degraded red soil (Ultisol) to evaluate their effects on decomposition rate and nutrient releasing in soils. This study produced four gBCFs composed by different ratio of the biochar and the compost, which are biochar-compost (1:3, w/w) (BC3), biochar-compost (1:1) (BC1), biochar only (B), and compost only (C), respectively. The results indicated that the highest decomposition rate (33~35%) of gBCFs was found in C-treated soil, and followed by treatments of BC3 (26~29%), BC1 (23~29%) and B (15~20%) after incubation, and mineralization rate was faster in sandy soil than in clayey soil. Regarding nutrient releasing dynamics, nitrification drove increases in  $\text{NO}_3\text{-N}$  in soil solution after incubation in all treatments, and the highest contents were found in treatments of C and BC3. Nitrification was much more dominant in the sandy soil. The highest Exc. K contents in solution were in the treatments of B and BC indicating that biochar addition in soil could obviously increase Exc. K. During releasing process of available P (av. P) in this study, the presence of biochar certainly increased av. P contents in two studied soils. However, av. P could be only found in sandy soil solution, and nearly av. P contents were fixed in clayey soil, indicating P deficiency might be occurred in the clayey soil for short-term crop planting.

**Keywords:** Biochar, Compound fertilizer, Nutrient releasing, Mineralization.

Xie Z.H. & Jien, S.H.\* (2021). "Mineralization and Nutrient Releasing of Biochar Compound Materials in Soils with Different Textures." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 67(1), 50-59.

[https://doi.org/10.29974/JTAE.202103\\_67\(1\).0005](https://doi.org/10.29974/JTAE.202103_67(1).0005)

## 一、緒論

臺灣由於地狹人稠，加上近年耕地面積顯著減少，為因應未來可能糧食之問題，臺灣耕地多超施化肥以求增產為普遍現象。然而，長期施用化學肥料會導致土壤退化，土壤團粒結構差，致使作物生產力下降（張川等人，2014；Massah *et al.*, 2010）。近年來有機肥料大量推廣及運用。有機肥料能有效改善土壤品質，提升土壤微生物活性與多樣性、改善土壤結構及耕性（李宏波，2016）。為減緩土壤退化使土壤漸達到土壤資源永續利用目的則必須減少化學肥料的過量使用。因應而生的有機農法不僅可減少化學肥料的過量施用及其對土壤品質的破壞，同時對糧食安全健康方面具長遠的正面影響。有機肥料養分雖相對較低化肥，但是在長期的施用上，有機肥料的施用將使土壤肥力略高於化肥施用（蔡宜峰等人，2001）。長期施用有機肥料之土壤有機碳的含量相對於施用無機肥料有提高的趨勢（Peltre *et al.*, 2012; Nobile *et al.*, 2019）。然而，長期施用有機肥料雖可以減輕土壤劣化的壓力，減少下游水質的汙染；然而，有機肥料礦化快速，農民往往仍添加過量，造成成本上的浪費。

生物炭(biochar)為農業剩餘資材循環再利用之有機資材；目前已被廣泛用於土壤改良劑。生物炭為富含碳之固形物質，由生物質(biomass)在低氧環境下熱裂解產生(Lehmann *et al.*, 2003)。土壤中添加生物炭不僅可改善土壤理化性質，同時也可以提高農作物的產量以及固持土壤中的養分(趙倩雯等人，2015；簡士濠等人，2012；Hagemann *et al.*, 2010)。Li *et al.* (2014) 指出生物炭與肥料配合使用可以通過改善氮的有效性來確保作物生產力及氮利用效率。此外，肥料配合生物炭使用可以減緩養分的釋放以提供作物長期養分供應(Zheng *et al.*, 2017)。

為了延長肥料效期，農業使用上有生物炭複合資材出現，利用生物炭與其他肥料混合製成的緩釋/長效肥料，加上生物炭施入農田，利用本身的雙電性質把土壤中營養元素吸附於周邊而緩慢釋放，可以防止肥料的流失而達到緩釋的效果(孟軍等人，2011)。在土壤中施用生物炭目的是為了降低肥料被分解的速率並提高效率(Rahmanian *et al.*, 2015)。在許多的研究中都顯示生物炭複合肥料在各項數值上顯示都優於傳統肥料(Qiana *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2014; Schulz and Glaser, 2012)。生物炭複合資材無論是在土壤肥力固持上，土壤理化性質的改善，土壤品質的永續以及作物生產力上，皆具有良好的效果(莊作權等人，1998；Jien and Wang, 2013; Olad *et al.*, 2018; Kubheka *et al.*, 2020)。截

至目前，多數研究僅將生物炭與肥料混合施入土壤，將之造粒作為緩釋肥料使用的研究較少。近十年來，將生物炭與緩釋肥料(slow releasing fertilizer, SRF)結合的研究顯示(Kallenbach and Grandy, 2011; Lehmann *et al.*, 2011; Novak *et al.*, 2009)，生物炭多孔性及對增加土壤通氣性的特性將可減緩土壤中甲烷排放至大氣，同時更可維持緩釋肥的功效，甚至增加作物產量(Kim *et al.*, 2017)。此外，生物炭對傳統緩釋肥的化學披覆外膜(polyacrylate-based waterborne coating)具有增進抗分解的效用(Zhou *et al.*, 2013)，進而延長傳統緩釋肥的效期。然而，目前對生物炭作無緩釋資材使用或對傳統緩釋肥料的作用機制仍不清楚。

綜所上述，土壤改良倘若單純施用生物炭做為改良資材或肥料施用於作物生產上，短期內將不具明顯效益，甚至短期內具有缺氮的現象而導致減產(Jien *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2018)。以堆肥與生物炭共同施用於農地土壤上，不僅可排除生物炭於施用初期對養分的吸附而使土壤有效氮缺乏外，尚可提供作物長期的養分並維持地力。倘若將生物炭與堆肥造粒作為緩釋資材，對有機肥料延長肥效的效用將有助益，但是目前尚未研究出生物炭及堆肥間最適合的配比。因此，本研究以循環農業的概念為基礎，目的為以農業剩餘資材再利用製成之生物炭為對象，與蔗渣堆肥進行造粒為生物炭複合資材，分別施用於臺灣常見之農業土壤類型：砂質土及粘質土，完成生物炭複合資材礦化速率及肥力釋放狀況，評估生物炭複合資材施用於農業土壤中的效益。

## 二、材料與方法

### 2.1 生物炭來源及製備

本研究使用金門縣之風倒木，主要為相思樹(*Acacia confuse* Merr.)、木麻黃(*Casuarina equisetifolia* Forst.)及銀合歡(*Leucaena glauca* (L.) Benth.)。風倒木生物炭以氣簾式燃燒器(Fire Box S-119, Airburners Inc. USA)裂解製作。氣簾式燃燒器每小時處理 3-5 公噸，每日連續燒製 8 小時，每日生產 40 噸以上，碳化溫度可達 $\geq 700$  度，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。將生物炭細磨並過篩(2 mm)以供後續分析及生物炭複合肥之製作。

### 2.2 供試土壤之採集

本試驗所採集之砂質土位於屏東縣萬丹鄉休耕

2 年之農地，主要採集表土(15 cm)。依據屏東縣土壤調查報告(1971)得知，試驗土壤之土系為五房州系(Wufangzhou Series, Wf)。依據美國新土壤分類系統(1997)分類屬於新成土綱(Entisol)，母質為石灰質粘板岩新沖積物沉積而成之沖積土，土色為極暗灰棕色(2.5Y3/2)，構造屬於單粒狀。粘質土於屏東縣內埔鄉老埤台地上採集表土 15 cm 土壤，試驗土壤之土系為老埤系(Laopi Series, Lo)，為洪積層臺地上之土壤或洪積層之崩積物，滲雜砂頁岩、粘板岩沖積物所混合生成之紅棕色紅壤，分類上為極育土(Ultisol)，全剖面質地差異不大，均為坩質粘壤土至坩質粘質土。所採集回來的土壤經風乾過後將土壤樣本壓碎並過 10 mesh 篩網(2 mm)以提供後續土壤基本性質分析及孵育試驗使用。土壤基本性質分析如表 1。

表 1 試驗土壤基本性質

土壤性質	砂質土 (五房州系)	黏質土 (老埤系)
Texture	Loamy sand	Clay loam
sand(%)	80	32
silt(%)	14	35
clay(%)	6.0	33
pH	6.7 ± 0.1	5.3 ± 0.1
Organic carbon (%)	0.99 ± 1.39	0.82 ± 0.12
Total N (mg/kg)	642 ± 235	1004 ± 277
Total P (mg/kg)	424 ± 101	212 ± 80
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/kg)	106 ± 16	22 ± 2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	181 ± 92	67 ± 4
Av. P (mg/kg)	13 ± 5	14 ± 1
Exc. k (mg/kg)	59 ± 3	105 ± 6
CaCO <sub>3</sub> (%)	3.0 ± 0.3	ND

ND: not determined.

## 2.3 碳酸鈣分析方法

碳酸鈣(Calcium carbonate, CaCO<sub>3</sub>)分析以 Leoppert *et al.* (1984)所提出的方法，秤取 5 g 過 10 mesh 篩網(2 mm)的土壤於燒杯中，並加入 50 mL 1 N 的鹽酸反應持續搖晃一個小時。過濾後溶液加入酚酞指示劑，並利用標定過的 0.1 N 氫氧化鈉滴定至滴定終點。

## 2.4 肥料來源

本試驗採用台糖公司出產的蔗渣堆肥(田寶 11 號)，肥料品目 5-10 之一般堆肥。肥料登記證字號為肥製(質)字第 0005017 號。堆肥基本性質如下：全氮 1.5%、有機質 55%、全磷酐 0.9%、全氧化鉀 1.5%與 pH7.4。

## 2.5 生物炭複合資材製作

本研究主要製備四種比例之生物炭複合資材如下：1.生物炭-堆肥=1:3 (w/w)(BC3，水分控制 15%)、2.生物炭-堆肥=1:1 (w/w) (BC，水分控制 20%)、3.全生物炭(B，水分控制 25%)、4.全堆肥(C，水分控制 10%)。本試驗造粒過程採擠壓造粒的方式，過程中無添加黏著劑，僅以去離子水作為造粒肥料的粘合劑。本試驗所使用之造粒設備為 YD300 造粒機(Young & Dear, Taiwan)。造粒之生物炭複合肥各項性質如表 2 所示。

## 2.6 室內盆栽孵育試驗

盆栽試驗以 6 吋荷蘭盆，盆栽內徑為 16 cm，深度為 17 cm，每盆皆填裝 2 kg 之土壤，依羅秋雄(2010)「設施葉菜類蔬菜合理化施肥」裡的小白菜的氮肥推

表 2 生物炭複合資材基本性質

Properties	B	C	BC	BC3
pH	10.0 ± 0.1	6.9 ± 0.1	8.3 ± 0.1	7.0 ± 0.1
Organic carbon (%)	2.3 ± 1.0	29 ± 7	25 ± 1	29 ± 2
Total N (mg/kg)	2342 ± 432	10185 ± 288	6661 ± 86	8412 ± 432
Total P (mg/kg)	341 ± 41	1078 ± 204	535 ± 30	624 ± 57
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)	652 ± 184	913 ± 184	717 ± 92	782 ± 1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	782 ± 184	717 ± 92	652 ± 1	521 ± 184
Av. P (mg/kg)	42 ± 6	439 ± 12	185 ± 8	312 ± 18
Exc. k (mg/kg)	2808 ± 101	1292 ± 76	2292 ± 14	1725 ± 100
CaCO <sub>3</sub> (%)	14 ± 1	5.6 ± 0.4	9.5 ± 1.2	7.8 ± 0.2

B：純生物炭造粒；C：純堆肥造粒；BC：生物炭-堆肥為 1:1 造粒；BC3：生物炭-堆肥為 1:3 造粒；Av. P：有效磷；Exc. k：交換性鉀。

薦施用量為施肥基準進行孵育試驗。生物炭複合資材以茶包袋填裝所需之重量後使用，覆土後進行孵育實驗，並裝置水分抽出器，用於將土壤中的土壤溶液抽出，每個處理皆為三重複，並每天維持田間容水量進行水分澆灌，於孵育天數 1 天、3 天、7 天、30 天、60 天時抽出土壤溶液進行無機氮，有效磷及交換性鉀分析，茶包內肥料於風乾後秤重。

## 2.7 統計方法

本研究試驗設計採完全隨機設計 (randomized complete block design, RCBD), 並以 SAS 計軟體中 GLM 程序進行雙因子變異數分析 (two way ANOVA), 此外處理間平均值的多重比較則採用 Duncan 新多變域測驗法顯著差異設在  $p < 0.05$ 。

## 三、結果與討論

### 3.1 生物炭複合資材於土壤中之礦化率

資材礦化損失結果顯示，無論土壤種類，礦化率皆以堆肥(C)最高。經過 60 天的孵育，砂質土中 C 的礦化損失達 33%，其次為 1:1 複合資材(BC)及 1:3 複合資材(BC3)，分別為 30%及 29%；而生物炭(B)是所有處理中礦化損失率最低的，僅有 24.9%。相較於砂質土，粘質土壤中的資材礦化率具相同之趨勢，皆是以 C 的礦化率最高，而 B 為最低。此外，各資材於粘質土中的礦化率比砂質土中顯著要低(圖 1)，主要原因為砂質土粗孔隙較多，通氣性較粘質土佳，存在於砂質土壤中之有機質易因而較易分解。資材礦化動態變化方面，孵育初期( $\leq 7$  天)為肥料快速礦化期，在前 7 天肥料的礦化速率接近一致，在孵育天數 30 天後以 C 礦化速率最高，其次為 BC3，最低為 B，顯示了 B 所含的養分最低，而沒有添加生物炭的全肥處理礦化率最高，這凸顯肥料與生物炭的結合使用能夠有效降低肥料的礦化，並延緩養分的釋放，以提供植物所需的養分(康日峰等人，2014；Zheng *et al.*, 2017)。

### 3.2 生物炭複合資材對無機氮的影響

無機態氮主要為銨態氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )及硝酸態氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )。圖 2 及圖 3 顯示，孵育後，各處理下之土壤溶液中銨態氮含量顯著降低；而硝酸態氮在明顯增加，主要為土壤中的硝化作用所致 (宋與範，2013；Curtin

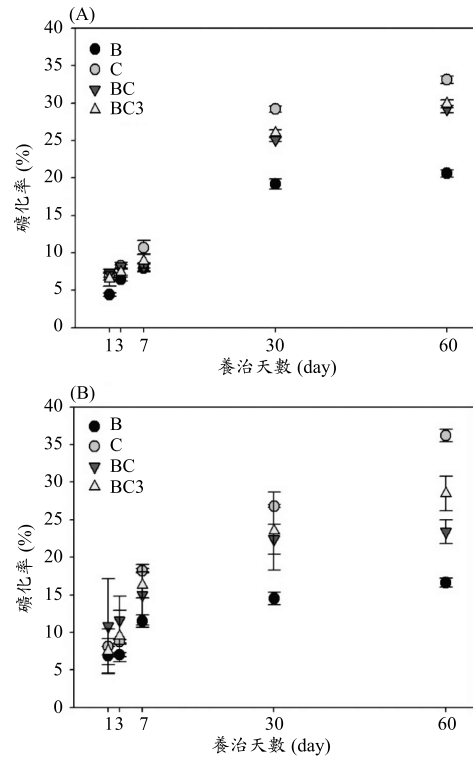


圖 1 試驗期間各資材礦化率之動態變化：(A)砂質土；(B)粘質土

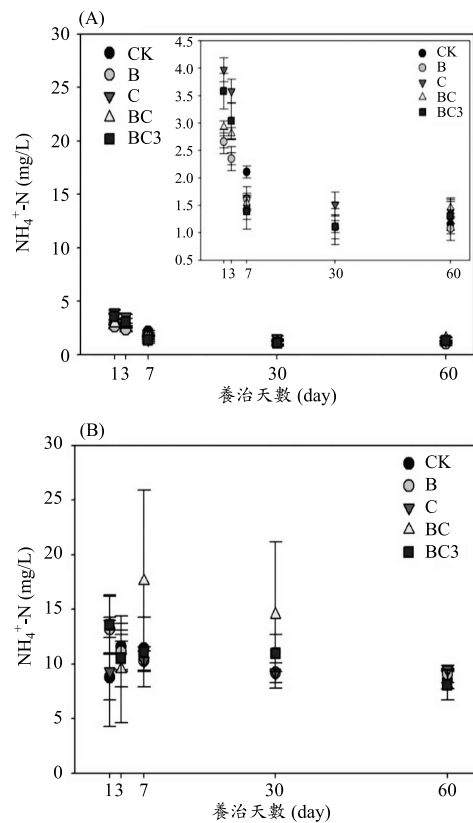


圖 2 試驗期間土壤溶液中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  之動態變化：(A)砂質土；(B)粘質土



et al., 1998)。圖 2 及圖 3 同時顯示，硝化作用於砂土中較為顯著，砂質土中硝酸態氮比粘質土高出 33% (圖 3)，此結果亦符合土壤中 pH 之變化(表 3)，砂土中之土壤 pH 於孵育前後顯著降低。

各複合資材於土壤中的無機氮釋放結果(圖 2)顯示，C 與 BC3 處理於孵育初期時所釋放致土壤溶液中的銨態氮濃度為所有處理中最高，其他處理間則無顯著差異。60 天的孵育後，所有處理均無顯著差異，由結果可推論，資材中生物炭的存在，於砂土中施用初期對銨態氮的淋失可能具有減緩的效果(Li et al., 2019)。硝酸態氮於孵育後，各處理土壤溶液中均以 C 及 BC3

處理含量最高；砂質土中以 C 為最高，為 145 mg/L，其次為 BC3 為 125 mg/L；而粘質土中則以 BC3 最高，為 118 mg/L，其次是 C，為 108 mg/L，兩處理間並無顯著差異。

### 3.3 生物炭複合資材對有效磷的影響

磷(phosphorus)為限制植物生長的主要三要素之一。植物開花繁盛，提高果實量與根系生長良好，磷皆扮演重要的角色。植物缺磷主要由於土壤中磷的利用率極低(10~15%)，尤其是石灰質土壤或高度風化之富鐵鋁土壤。鈣及鐵或鋁對磷的專一性吸附(specific adsorption)使土壤中磷難為被植物利用 (Gyaneshwar et al., 2002)。臺灣主要農業縣市的土壤類型皆為含石灰質土壤(黏板岩新/老沖積土)與富鐵鋁土壤(紅壤)。含石灰性之黏板岩新沖積土與老沖積土，於彰化縣佔約 90% 農地面積，台南市佔 40%，高雄市佔 30%，而屏東縣約佔 40%；富鐵鋁土壤主要為紅壤，紅壤佔台灣農地面積約 10%，亦為主要農業土壤。因此，磷肥於該兩種不同類型與質地土壤之管理乃相當值得重視。

本研究於孵育試驗結果(表 4)發現，磷僅能於砂質土壤溶液中測得。主要應為紅壤屬於高風化熱帶土壤，土壤含豐富鐵鋁氧化物，使土壤可能部分帶正電荷，導致資材釋出於土壤溶液中的水溶性磷立即被吸附於粘粒表面形成潛在有效的有效磷(Baldotto and Velloso, 2014)。Gérard (2016) 研究指出，相較粘質土與砂質土中的有效磷，粘質土更具有磷吸附能力，主要是因為粘質土具有更大的比表面積，而可提高對磷的吸附能力。此外，土壤中粘粒含量越高，對磷的吸附能力越佳，而土壤中的鐵氧化物含量也有助磷的吸附 (Alovisi et al., 2020)。

表 4 亦發現，土壤溶液中的磷，於孵育後，僅 CK 及 C 處理顯著降低，推測可能原因為複合資材釋放至砂土溶液中的可溶性磷與鈣結合，導致溶液中磷濃度降低(Van der Zee and Van Riemsdijk, 1986)。此外，表 4 顯示含生物炭成分的複合資材，孵育後，砂土土壤溶液中的可溶性磷含量皆顯著增加，顯示生物炭的存在可能與溶液中的鈣離子優先吸附結合，而降低鈣對磷的結合能力，致使土壤溶液中磷的含量增加(Vaccari et al., 2015、Manolikaki et al., 2016)。

由於無法測得粘質土壤溶液中的可溶性磷含量，本研究即測定兩種土壤中的有效磷含量。結果顯示(圖 5)，砂質土壤中各處理之有效磷含量無明顯差異，孵育前後皆低於 15 mg/kg，相較土壤溶液中的可溶性磷(表 4)，顯示施用生物炭複合資材於砂質土中，多半的磷以

表 3 孵育前後兩試驗土壤之 pH 比較

Treatments	Loamy sand		Clay loam	
	1 day	60 day	1 day	60 day
CK	7.8 ± 0.1	7.4 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.2 ± 0.1
B	7.7 ± 0.1	7.2 ± 0.1	4.9 ± 0.1	4.6 ± 0.1
C	7.3 ± 0.1	7.1 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.5 ± 0.2
BC	7.3 ± 0.1	6.9 ± 0.1	4.9 ± 0.1	4.8 ± 0.1
BC3	7.3 ± 0.1	7.0 ± 0.1	5.0 ± 0.2	4.8 ± 0.1

CK：控制組；B：純生物炭造粒；C：純堆肥造粒；BC：生物炭-堆肥為 1:1 比例造粒；BC3：生物炭-堆肥為 1:3 比例造粒。

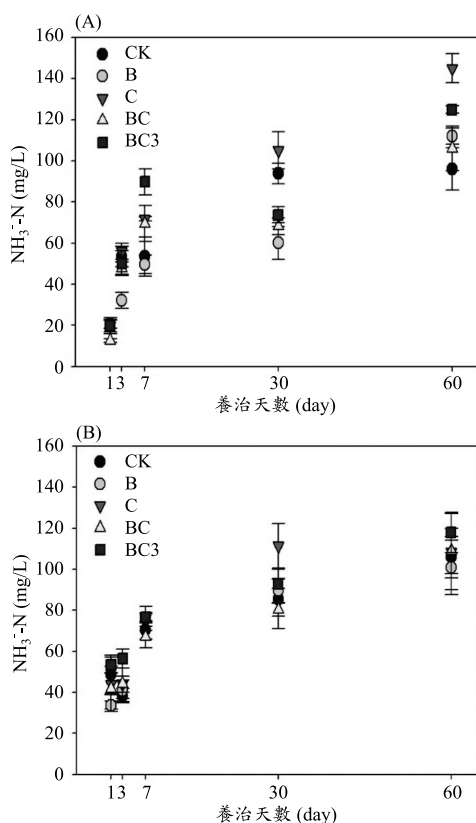


圖 3 試驗期間土壤溶液中 NO<sub>3</sub>-N 之動態變化：(A)砂質土；(B)粘質土

表 4 砂質土及粘質土水溶性磷比較

Treatment	Water soluble phosphorous contents									
	Sand (mg/L)					Clay (mg/L)				
	1day	3day	7day	30day	60day	1day	3day	7day	30day	60day
CK	17.1c	13.1a	12.4a	6.53a	4.7a	ND	ND	ND	ND	ND
B	6.41a	14.8b	14.9b	14.3c	15.7c	ND	ND	ND	ND	ND
C	19.2d	17.8c	20.1c	10.7b	9.8b	ND	ND	ND	ND	ND
BC	19.2d	14.2ab	13.8ab	19.1d	17.4c	ND	ND	ND	ND	ND
BC3	8.79b	17.0c	14.3ab	19.7d	18.8d	ND	ND	ND	ND	ND

ND : not detectable.

※偵測下限：0.0001 mg/L.

※英文字母為同一個測定天數下不同處理間比較，當  $p < 0.05$  時，相同字母的值沒有顯著差異。

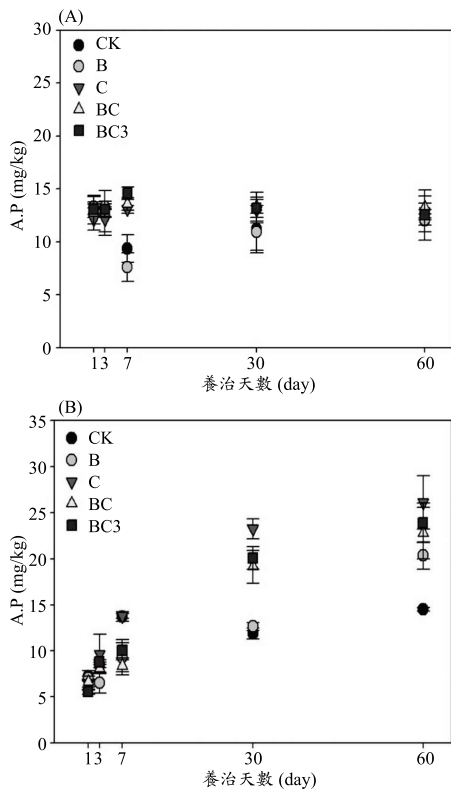


圖 4 試驗期間土壤有效磷之動態變化：(A)砂質土；(B)粘質土

水溶態存在於土壤溶液中。

相異於砂質土，當複合資材施用於粘質土壤時，幾近所有磷皆以潛在有效態為土壤表面所固定。實驗結果顯示，僅 C、BC 及 BC3 處理之有效磷於施用 30 天後才可能超過不致缺乏的等級(15 mg/kg, 中級)(作物施肥手冊)。此結果意喻，施用生物炭複合資材皆可提升土壤中有有效磷的含量；然而，當施用於粘質土壤時，由於緩釋作用(Dominguez *et al.*, 2020)，30 天內的有效磷仍可能缺乏(尤其當僅施用純生物炭至土壤中)，短期作物可能須於第一期作額外添加磷肥。Chintala *et al.* (2013)研究指出，生物炭加入酸性土壤中可降低磷的吸附而增加其有效性。Morales *et al.* (2013)將生物炭加入

熱帶退化土壤中，發現生物炭的存在可顯著降低土壤對磷的吸附，而增加土壤中磷的有效性。

### 3.4 生物炭複合肥對交換性鉀的影響

本研究結果顯示當施用生物炭複合資材能明顯增加交換性鉀含量(Liu *et al.*, 2016、Dong *et al.*, 2017)。圖 5 顯示有添加資材的處理，交換性鉀含量均顯著提高；然而，資材於砂質土與粘質土在交換性鉀釋放上有所差異，主要推測是粘質土對溶液中鉀的吸附，即資材釋

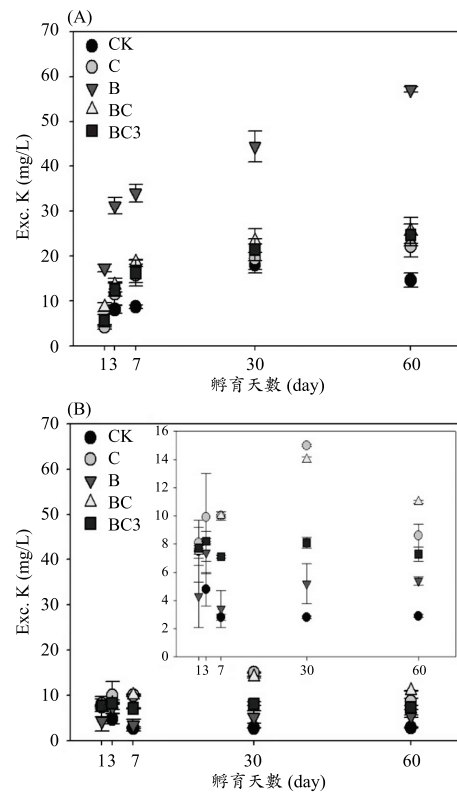


圖 5 試驗期間土壤溶液中 Exc. k 之動態變化：(A)砂質土；(B)粘質土

放鉀後，旋即受粘粒吸附固定。實驗結果亦顯示，B 是所有處理中交換性鉀含量增加最多的，相較於對照組，添加初期即增加 3.3 倍，也證明生物炭可為交換性鉀的來源(Oram *et al.*, 2014)。

## 結論

生物炭本身具有顯著改善土壤物理性質特性，但由於自身肥力匱乏，需要輔以其他資材共同添加以改善肥力。本研究試驗結果顯示，生物炭複合資材(BC3)於肥力釋放上與純堆肥(C)並無顯著差異，甚至於 60 天孵育後，BC3 更可抵抗礦化分解。此外，生物炭的存在可有效降低土壤中鈣及鋁對有效磷的吸附，進而明顯促進土壤中磷的有效性；然而，施用複合資材後 30 天內之有效磷含量仍屬於缺乏(<15 mg/kg)等級，建議短期作物必須額外施加少量磷肥以利生長。施用複合資材 30 天後，土壤有效磷濃度顯著提高至適中(15 mg/kg ~ 30 mg/kg)等級，不僅可減少磷肥於紅壤中的超施，更可減少非點源污染的風險。此外，生物炭亦可作為土壤中鉀的主要來源，提高土壤中交換性鉀含量，與純堆肥中鉀含量不足的情況恰可互相彌補，同時促進植物對鉀的利用效率。整體而言，生物炭複合資材的養分釋放上，BC3 較純堆肥更具有緩釋效果，可提供長期養份供利用，進而減少肥料超施。

## 參考文獻

1. 王宁、焦晓燕、武爱莲、王劲松、董二伟、郭瑶、丁玉川、王立革，「生物炭对土壤磷、钾养分影响研究进展」，山西农业科学，第 44 卷，第 9 期，pp.1402-1405，2016。
2. 匡恩俊、迟凤琴、张久明、宿庆瑞，「不同条件下有机物料在黑土中分解规律的研究」，中國農學通報，第 26 卷，pp.152-155，2010。
3. 宋勇生、範曉暉，「稻田氨揮發研究進展」，生態環境學報，第 12 卷，第 2 期，pp.240 - 244，2013。
4. 李宏波，「有机肥料对改良土壤的作用」，探索科學，第 12 期，pp.394-394，2016。
5. 杜振宇、周建民，「钾在红壤肥际微域中的迁移」，土壤學報，第 42 卷，第 6 期，pp.1035-1039，2005。
6. 康日峰、张乃明、史静、包立、张传光，「生物炭基肥料对小麦生长、养分吸收及土壤肥力的影响」，中国土壤与肥料，第 6 期，pp.33-38，2014。
7. 蔡宜峰、張隆仁、邱建中，「施用有機質肥料與化學肥料對紫錐花養分吸收之影響」，臺中區農業改良場研究彙報，第 72 卷，pp.35-43，2001。
8. 簡士濠、江介倫、王建昇、張庠睿，「添加生物炭對酸性紅壤肥力之影響」，農業工程學報，第 58 卷，第 4 期，pp.15-22，2012。
9. 羅秋雄，「設施葉菜類蔬菜合理化施肥」，農業改良場特刊第 100 號，台中，pp.121-123，2010。
10. 张川、柴文帅、谢兵飞、邱旭蒙、王太伟、梁玉祥、尹华江，「化肥超施与土壤退化的研究」，安徽农业科学，第 42 卷，第 20 期，pp.6594-6596，2014。
11. 赵倩雯、孟军、陈温福，「生物炭对大白菜幼苗生长的影响」，农业环境科学学报，第 34 卷，第 12 期，pp.2394-2301，2015。
12. 郑桂英，「实现我省农业可持续发展的有机肥料问题及对策」，福建热作科技，第 29 卷，第 3 期，pp.46-47，2002。
13. Alovisi, A.M.T., Cassol, C.J., Nascimento, S.J., Soares, N.B., de Silva, I.R. Jr., de Silva, R.S., and de Silva, J.A.M., "Soil Factors Affecting Phosphorus Adsorption in Soils of the Cerrado, Brazil." *Geoderma*, Vol.22, e00298, 2020.
14. Baldotto, M.A., and Velloso, A.C.X., "Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais." *Revista Ceres*, Vol. 61, pp.1012-1021, 2014.
15. Curtin, D., Campbell, C.A., and Jalil, A., "Effects of Acidity on Mineralization: pH Dependence of Organic Matter Mineralization in Weakly Acidic Soils." *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 30, pp.57-64, 1998.
16. Dominguez, E.L., Uttran, A., Loh, S.K., Manero, M.H., Upperton, R., Tanimu, M.I., and Bachmann, R.T., "Characterisation of Industrially Produced Oil Palm Kernel Shell Biochar and Its Potential as Slow Release Nitrogen-phosphate Fertilizer and Carbon Sink." *Materials Today: Proceedings*, 2020.
17. Dong, X., Li, G., Lin, Q., Zhao, X., "Quantity and Quality Changes of Biochar Aged for 5 Years in Soil Under Field Conditions." *Catena*, Vol. 159, pp.136-143, 2017.
18. Fungoa, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Tenywa, M., and Neufeldt, M.T.H., "Emissions Intensity and Carbon Stocks of a Tropical Ultisol After Amendment with Tithonia Green Manure, Urea and Biochar." *Field Crops Research*, Vol. 209, pp.179-188, 2017.
19. Gérard, F., "Clay Minerals, Iron/aluminum Oxides, and their Contribution to Phosphate Sorption in Soils — A Myth Revisited." *Geoderma*, Vol. 262, pp.213-226, 2016.



20. Greenberg, I., Kaise, M., Gunina, A., Ledesma, P., Polifka, S., Wiedner, K., Mueller, C.W., Glaser, B., and Ludwiga, B., "Substitution of Mineral Fertilizers with Biogas Digestate Plus Biochar Increases Physically Stabilized Soil Carbon But not Crop Biomass in a Field Trial." *Science of the Total Environment*, Vol. 680, pp.181-189, 2019.
21. Gyaneshwar, P., Kumar, G.N., Parekh, L.J., and Poole, P.S., "Role of Soil Microorganisms in Improving P Nutrition of Plants." *Plant and Soil*, Vol. 245, pp83-93, 2002.
22. Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H.P., Kammann, C.I., Harter, J., Borch, T., Young, R.B., Varga, K., Taherymoosavi, S., Elliott, K.W., McKenna, A., Albu, M., Mayrhofer, C., Obst, M., Conte, P., Alonso, A.D., Orsetti, S., Subdiaga, E., Behrens, S., and Kappler, A., "Organic Coating on Biochar Explains Its Nutrient Retention and Stimulation of Soil Fertility." *Nature Communications*, Vol. 10, pp. 1-11, 2010.
23. Lehmann, J., de Silva, J.P.Jr, Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B., "Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon Basin: fertilizer, manure and charcoal amendments." *Plant and Soil*, Vol. 249, pp. 343-357, 2003.
24. Leoppert, R.H., Hallmark, C.T., and Koshy, M.M., "Routine Procedure for Rapid Determination of Soil Carbonates." *Soil Science Society of America Journal*, Vol.48, pp.1030-1033,1984.
25. Li, S., Wang, S., and Shangguan, Z., "Combined Biochar and Nitrogen Fertilization at Appropriate Rates Could Balance the Leaching and Availability of Soil Inorganic Nitrogen." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 276, pp.21-23, 2019.
26. Liu, Y., Lua, H., Yang, S., and Wang, Y., "Impacts of Biochar Addition on Rice Yield and Soil Properties in a Cold Waterlogged Paddy for Two Crop Seasons." *Field Crops Research*, Vol.191, pp.161-167, 2016.
27. Manolikaki, I.I., Mangolis, A., and Diamadopoulos, E., "The Impact of Biochars Prepared from Agricultural Residues on Phosphorus Release and Availability in Two Fertile Soils." *Journal of Environmental Management*, Vol.181, pp.536-543, 2016.
28. Massah, J., and Zadegan, B., "Effect of Chemical Fertilizers on Soil Compaction and Degradation." *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, Vol. 47, pp.44-50, 2016.
29. Nguyen, T.T.N., Wallace, H.M., Xu, C.Y., Xu, Z., Farrar1, M.B., Joseph, S., Zwieten, L.V., and Bai, S.H., "Short-term Effects of Organo-mineral Biochar and Organic Fertilizers on Nitrogen Cycling, Plant Photosynthesis and Nitrogen Use Efficiency." *Soils Sediments*, Vol. 17, pp.2763-2774, 2017.
30. Nobile, C.M., Bravin, M.N., Becquer, T., and Paillat, J.M., "Phosphorus Sorption and Availability in an Andosol After a Decade of Organic or Mineral Fertilizer Applications: Importance of pH and Organic Carbon Modifications in Soil as Compared to Phosphorus Accumulation." *Chemosphere*, Vol. 239, pp.124709, 2020.
31. Orama, N.J., van de Voorde, T.F.J., Ouwehanda, G.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jefferya, S., and Van Groenigena, J. W., "Soil Amendment with Biochar Increases the Competitive Ability of Legumes Via Increased Potassium Availability." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 191, pp.92-98, 2014.
32. Peltre, C., Christensen, B.T., Dragon, S., Icard, C., Kätterer, T., Houot, S., "Biochar Compound Fertilizer Increases Nitrogen Productivity and Economic Benefits but Decreases Carbon Emission of Maize Production." *Soil Biology & Biochemistry*, Vol.52, pp.46-60, 2012.
33. Qiana, L., Chena, L., Josephab, S., Pana, G., Lia, L., Zheng, J., Zhang, X., Zheng, J., Yua, X., and Wang, J., "Biochar Compound Fertilizer as an Option to Reach High Productivity but Low Carbon Intensity in Rice Agriculture of China." *Carbon Management*, pp.37-41,2014.
34. Rahmaniana, N., Naderia, S., Supukb, E., Abbasc, R., and Hassanpourc, A., "Urea Finishing Process: Prilling versus Granulation." *Procedia Engineering*, Vol. 102, pp.174-181, 2015.
35. Schulz1, H., and Glaser, B., "Effects of Biochar Compared to Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Quality and Plant Growth in A Greenhouse Experiment." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol.175, pp.410-422, 2012.
36. Vaccari, F.P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Lonardo, S.D., Giagnoni, L., Lagomarsino, A., Pozzi, A., Pusceddu, E., Ranieri, R., Valboa, G., and Genesio, L., "Biochar Stimulates Plant Growth but Not Fruit Yield of Processing Tomato in A Fertile Soil." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 207, pp.163-170,

- 2015.
37. Wu, X., Wang, D., Riaz, M., Zhang, L., and Jiang, C., "Investigating the Effect of Biochar on the Potential of Increasing Cotton Yield, Potassium Efficiency and Soil Environment." *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 182, pp.179-188, 2019.
38. Zee, D.R., and Riemsdijk, V., "Sorption Kinetics and Transport of Phosphate in Sandy Soil." *Geoderma*, Vol. 38, pp.293-309, 1986.
39. Zheng, J., Han, J., Liu, Z., Xia, W., Zhang, X., Li, L., Liu, X., Bian, R., Cheng, K., Zheng, J., and Pan, G., "Biochar Compound Fertilizer Increases Nitrogen Productivity and Economic Benefits but Decreases Carbon Emission of Maize Production." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 241, pp.70-78, 2017.
40. Zhou, C., He, K., Igabua, M., Xia, L., Hua, H., and Maa, D.Y.X., "Biochar addition to Forest Plantation Soil Enhances Phosphorus Availability and Soil Bacterial Community Diversity." *Forest Ecology and Management*, Vol. 455, pp.117635, 2020.

收稿日期：民國 109 年 09 月 15 日  
修正日期：民國 109 年 11 月 17 日  
接受日期：民國 109 年 12 月 03 日