

稻稈生物炭混合介質培育之甘藍及番茄幼苗 移植後之生育評估

陳奕君¹⁾ 黃三光²⁾

關鍵字：稻稈生物炭、育苗介質、甘藍、番茄

摘要：育苗試驗結果顯示稻稈生物炭可分別取代 25%及 50%泥炭土培育甘藍及番茄之幼苗。上述幼苗後續之定植試驗結果顯示，含 25%稻稈生物炭混合介質育成之苗所培育之甘藍在結球性狀、硫代葡萄糖苷、抗壞血酸及總可溶性固形物含量皆與泥炭土育成之苗所培育之甘藍無顯著差異。含 50%稻稈生物炭混合介質育成之苗所培育之番茄的植株生長性狀、產量及果實品質皆與由泥炭土育成之苗所培育之番茄無顯著差異。此結果說明稻稈生物炭可以部分取代泥炭土作為甘藍及番茄之育苗介質，且不影響幼苗定植後植株之生育、產量及品質。

前 言

水稻為台灣主要糧食作物，一年可收穫兩期，殘餘之稻稈及稻殼則成為農業廢棄物，其中稻稈為台灣最大宗之農業廢棄物，年產量約為 160 萬噸（農業統計資料查詢，2017）。早期隨意棄置或田間焚燒的處理方式造成養分損失及環境污染等問題，近年經政府輔導，發展出稻稈還田、充當覆蓋資材及栽培育苗介質等利用方式（朱，2001）。

生物炭為利用生物質於無氧或低氧環境下裂解，產生之多孔含碳物質（Ahmad *et al.*, 2014），許多研究表明生物炭具有增加微生物族群、吸附污染物及土壤營養元素、減少養分流失等效果，且由於其不易分解的特性，可做為長期固碳之手段。但隨著生物炭原料及燒製過程溫度變化的不同，生物炭產物之養分含量、孔隙度、pH 值及 EC 值等性質差異甚大，因此生物炭之利用需依據原料來源及製作過程而調整。

台灣自 1971 年開始發展穴盤育苗，其中最常使用之栽培介質為泥炭土，但泥炭土生成緩慢，且開採過程造成環境破壞，近年由於泥炭土需求增加及部分開採國家限制開採的

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

政策 (kuisma *et al.*, 2014), 泥炭土價格逐年升高, 使得生產成本增加, 因此需要尋找能替代泥炭土之介質。

本試驗將稻稈殘株以 350°C 焙燒製成生物炭, 並以不同比例與泥炭土混合作為甘藍及番茄育苗介質, 培育至適當大小進行性狀調查, 再挑選與泥炭土育成之幼苗無顯著差異者進行定植, 在採收時調查植株生育性狀、產量及品質, 以期能挑選育苗時適當之生物炭替代比例, 並確定以生物炭混合介質育苗不影響後續定植之生育。

材料與方法

一、試驗材料

(一) 試驗介質

1. 泥炭土 (peat moss): 以 Klasmann-Deilmann 公司生產之 Potground H 商用育苗介質 (中纖黑泥炭 90%、白泥炭 10%)。

2. 稻稈生物炭 (straw biochar): 取自農民以慣行農法栽培之水稻稻稈, 經風乾後剪裁為約 10 cm 之大小, 再以中興大學吳耿東副教授研究室之焙燒爐以 350°C 燒製成生物炭。

(二) 試驗作物: '高峰'甘藍及 'F73-111' 番茄來自農友種苗公司。'高峰'甘藍生育適溫 15-28°C, 球重約 2 kg。'F73-111' 番茄屬停心型品種, 生育適溫 15-25°C, 果實紅色, 單果重約 23 g。

二、試驗方法

(一) 混合介質: 稻稈生物炭手動粉碎至粒徑 < 1 cm, 分別以 0%、25% 及 50% 之體積比與泥炭土混合作為育苗介質。生物炭混合比例之代號說明如表 1。

表 1. 生物炭混合介質試驗之生物炭混合比例及代號說明

Table 1. Treatment description of the peat moss amended with biochar.

代號	介質及生物炭混合比例
CK	Peat moss (P)
SBC	Rice straw biochar
25SBC	P : SBC = 75 : 25 (v : v)
50SBC	P : SBC = 50 : 50 (v : v)

(二) 育苗試驗

混合介質裝填至 128 格 PE 圓形具導根槽之穴盤, 每格體積約 19.3 cm³, 每格播種 3 顆種子, 甘藍苗期由 106 年 11 月 4 日至 12 月 13 日, 番茄苗期由 105 年 9 月 12 日至 10

月 21 日。甘藍播種後將穴盤堆疊並覆蓋遮陰網進行催芽一天，番茄播種前先行浸種 4 小時，播種後催芽二天，催芽後將穴盤移入中興大學園藝系之溫室進行管理，穴盤擺放以完全隨機設計 (Completely Randomized Design, CRD)，一週後進行疏苗，並於第一片本葉生長後施用花寶 2 號 (HYPONEX, N:P:K = 20:20:20) 稀釋 2000 倍液肥，每週施用 2 次。

(三) 田間試驗

試驗場地為中興大學葡萄中心溫室，選取與對照組壯苗指數無顯著差異之最大生物炭替代比例所育成之苗，並以 4 週苗齡之幼苗進行定植。甘藍栽培日期由 106 年 12 月 13 日定植至翌年 3 月 23 日採收，行株距為 45 及 70 cm，肥培管理參考蕭及賴 (2010)，以台肥硝基特 43 號有機質複合肥料 (N:P:K = 15:15:15) 及台肥硝基特 1 號有機質複合肥料施用。番茄於 105 年 10 月 21 日定植，採收期為翌年 1 月 13 日至 3 月 17 日，定植行株距為 45 cm 及 75 cm，採單幹整枝，肥培管理參考陳 (2000)，以台肥硝基特 43 號有機質複合肥料 (N:P:K = 15:15:15) 施用。甘藍及番茄皆以溝灌給水。甘藍種植至葉球外葉反捲且觸摸手感硬實，番茄為果實完全轉紅時採收並進行調查。

(四) 幼苗性狀調查

1. 莖長：測量莖基部至生長點長度，單位為 cm。
2. 莖徑：以游標尺測量子葉下方 1 cm 內之莖部寬度，單位為 cm。
3. 葉面積：以葉面積儀 (LI-COR3100A, LICOR Lincoln Neb.) 測量展開之本葉面積，單位為 cm^2 。
4. 地上部鮮重：取莖基部以上部分稱重，單位為 g。
5. 地下部鮮重：根部土球經清洗去除介質後，以紙巾輕壓吸乾水分後稱重，單位 g。
6. 地上部乾重：莖基部以上部分放入牛皮紙袋，置於烘箱以 70°C 烘乾 72 小時後稱重，單位為 g。
7. 地下部乾重：將清洗淨之根部放入牛皮紙袋，置於烘箱以 70°C 烘乾 72 小時後稱重，單位為 g。

(五) 壯苗指數及絕對生長速率 (葛, 1987; 薛等, 2000)

1. 壯苗指數一：地上部乾重/莖長
2. 壯苗指數二：葉面積/莖長
3. 壯苗指數三： $(\text{莖徑}/\text{莖長}) \times \text{地上部乾重}$
4. 壯苗指數四： $[(\text{莖徑}/\text{莖長}) + (\text{地下部鮮重}/\text{地上部鮮重})] \times \text{全株乾重}$
5. 絕對生長速率 (G 值)： $\text{全株乾重} \times 100/\text{生育日數}$

(六) 甘藍生長及產量品質調查

1. 株寬：測量外葉葉幅寬度，單位為 cm。
2. 莖徑：以游標尺測量土表上 1 cm 內之莖寬，單位為 cm。
3. 外葉數：計算未完全黃化之外葉數。
4. 球橫徑：測量葉球寬度，單位為 cm。

5. 球縱徑：測量葉球高度，單位為 cm。
6. 球周徑：測量葉球周徑，單位為 cm。
7. 球重：測量葉球鮮重，單位為 cm。
8. 元素分析：甘藍葉球剝去反捲葉片後，最外一片葉為葉球第一片葉，取第一片葉經清水洗去表面髒污，再經 1% HCl (聯工)刷洗後以去離子水清洗三次，放入牛皮紙袋以 100°C 殺菁 1 小時再以 70°C 烘乾 72 小時。乾燥樣品以磨粉機磨粉，裝入硫酸紙袋備用，並於分析前以 70°C 烘乾 12 小時。取 0.5 g 樣品放入坩堝以灰化爐灰化，灰化過程先以 200°C 加熱兩小時以去除樣品水分，再以 400°C 加熱一小時，最後以 550°C 加熱兩小時使樣品灰化。灰化後待樣品冷卻加入 5 ml 2 N HCl (Merk)將灰化樣品溶解，溶解樣品以 Whatman NO.42 無灰分濾紙過濾，再以去離子水將坩堝中樣品洗下過濾，濾液定量至 25 ml 製成灰化液。微量元素鐵、錳、鋅、銅直接以灰化液經原子吸收光譜儀 (atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)測定，單位為 ppm。鉀、鎂以灰化液稀釋 200 倍後經原子吸收光譜儀測定，單位為%。鈣以 0.1 ml 灰化液加入 3.9 ml 去離子水，再加入 1 ml 5% 氧化釩混合均勻後以原子吸收光譜儀測定，單位為%。磷採用鉬黃法(Vanadate-molybdate yellow method)，取 1 ml 灰化液加入 3 ml 去離子水及 1 ml 鉬黃試劑，混合均勻後靜置 10 分鐘，以 Elisa Reader (BGM LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany)測量波長 470 nm 之吸光值，單位為%。硼取 0.2 ml 灰化液加入 1.5 ml 塑膠試管，加入 0.4 ml buffer masking reagent，混合均勻後加入 0.2 ml azomethine-H reagent，再次混合均勻並靜置 1 小時，以分光光度計 (Spectrophotometer, Hitachi U-2000)測量波長 420 nm 之吸光值，單位為 ppm。氮以 Micro-Kjeldahl 法測量，精秤 0.2 g 樣品粉末，以 1/4 片 ADVANTEC TOYO 1 號濾紙將粉末包裹，置於分解管中，加入 1 g 催化劑 (Selenium reagent mixture, Merck 8030)，再加入 4.5 ml 濃硫酸 (聯工)並置於分解爐中以 410°C 加熱分解，分解期間每半小時取出並轉動分解管將管壁上樣品洗下分解，至樣品呈澄清綠色即為分解完成。取出分解管置於抽氣櫃待冷卻後加入 15 ml 去離子水。將分解液震盪混合均勻後倒入 Micro-Kjeldahl 裝置之燒瓶中，再以去離子水洗下分解管中殘留分解液，燒瓶中加入 20 ml 12N NaOH，通入蒸氣使樣品氨化，並以含指示劑 (19 μM Bromocresol Green 及 25 μM Methyl Red)之 2% Boric acid 20 ml 接收氨水及氨氣，至總體積達 50 ml。再以 1/14 N 之 H₂SO₄ 滴定，計算樣品含氮百分比，單位為%。
9. 抗壞血酸含量：參考 Nosek (2011)等取樣方式，取甘藍葉球由外至內的第三片葉，秤取 0.5 g，加入 5 ml 偏磷酸萃取液，研磨後以抗壞血酸試紙 (Reflectoquact ascorbic acid test strip, 24-250 mg/L, Merk)沾取樣本，放入反射儀 (RQflex® plus 10 Reflectoquact®, Merck)中測定。
10. 總可溶性固形物：取甘藍葉球第三片葉，其中 0.5 g 測量抗壞血酸含量，剩餘部分以研鉢研磨後經紗布過濾取樣本汁液，使用數位式糖度計 (PR-32 PAL-1 Didital refractometer, Atago, Japan)測量，單位為°Brix。

11. 硫代葡萄糖苷含量：參考柯 (2007)取樣方式，取葉球第二片葉秤取 30 g 以液態氮冷凍固定，保存於-20°C 凍箱中，後將冷凍樣品以-40°C、-760 mm-Hg 冷凍乾燥，乾燥樣品再於研鉢中加入液態氮研磨成粉末。秤取 0.2 g 樣品粉末，加入 4 ml 沸騰去離子水，在沸水中以 150 rpm 震盪 30 分鐘，再以 ADVANTEC TOYO 1 號濾紙過濾，並將濾液置於冰塊中備用。取 250 μ l 濾液加入 2750 μ l 去離子水稀釋，在將稀釋液通過 0.5 cm Sephadex A25 陽離子交換樹脂，待稀釋液自然通過樹脂後以 3000 μ l 磷酸緩衝溶液洗過樹脂，收集通過樹脂的緩衝溶液並加入 500 μ l myrosinase，於 37°C 水浴中反應過夜。取 0.5 ml 反應後樣品加入 0.5 ml 去離子水及 1 ml glucose assay reagent，於 30°C 恆溫反應 15 分鐘，測量 340 nm 吸光值並計算硫代葡萄糖苷含量，單位為 $\mu\text{mole}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ 。

(七)番茄生長及產量品質調查

1. 株高：土表至停心節位高度，單位為 cm。
2. 節數：子葉以上至停心節位莖部生長節位數。
3. 花序數：停心節位以下花序總數。
4. 結果數：停心節位以下花序結果總數。
5. 總產量：單株番茄果實總重，單位為 g。
6. 硬度：果實於赤道線上取一點，以物性測定儀 (reho meter, Sun Scientific COMPAC-100) 測量該部位硬度。使用直徑 2 cm 之圓形探測頭，測量下壓 5.5 mm 所需之最大重量，單位為 N。
7. 總可溶性固形物：果實置於塑膠袋中敲碎榨汁，經紗布過濾後取果汁以數位式糖度計 (PR-32 PAL-1 Digital refractometer, Atago, Japan) 測量，單位為 °Brix。
8. 可滴定酸：取 1 ml 果汁加入 9 ml 去離子水，再加入 1 滴酚酞做為指示劑，以 0.1N NaOH 滴定至轉色，計算可滴定酸含量比例。

三、統計分析

育苗試驗以完全隨機設計 (Completely randomized design, CRD)，試驗數據以 SAS 套裝軟體 9.1 版 (SAS Institute, Cary, NC) 經 ANOVA (Analysis of variance) 進行變方分析 ($\alpha = 0.05$)，以 Fisher's LSD 比較各處理之平均值。田間試驗以完全隨機區集設計 (Randomized complete block design, RCBD)，試驗數據採用 Proc T-Test 進行分析 ($\alpha = 0.05$)。

結 果

一、稻稈生物炭混合介質對甘藍育苗之影響

以混合介質於 128 格穴盤中進行'高峰'甘藍育苗試驗，育苗四週後針對幼苗生長性狀進行調查。結果顯示在莖徑及莖長皆以對照組最高，分別為 1.59 cm 及 6.56 cm，但兩處理組上述之性狀與對照組皆未達顯著差異。對照組之地上部鮮重為 1.42 g，顯著高於 25SBC

處理組的 1.29 g 及 50SBC 處理組的 1.18 g。地上部乾重方面，對照組為 0.100 g 與 25SBC 處理組之 0.093 g 無顯著差異，而 50SBC 處理組之 0.086 g 則顯著較對照組輕。對照組、25SBC 及 50SBC 處理組之地下部鮮乾重皆無顯著差異。對照組之葉面積為 36.17 cm²，與 25SBC 處理組之 33.69 cm² 無顯著差異，50SBC 處理組之葉面積為 29.49 cm²，與 25SBC 處理組無顯著差異，但顯著低於對照組 (表 2)。

壯苗指數方面三組間皆無顯著差異，絕對生長速率以對照組最高，為 0.35，顯著高於 25SBC 處理組之 0.33 及 50SBC 處理組之 0.31 (表 3)。

表 2. 稻稈生物炭混合介質培育四週之'高峰'甘藍幼苗之生長性狀

Table 2. Growth parameters for cabbage seedlings grown in peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	莖徑 Stem dia. (cm)	莖長 Stem length (cm)	地上部 Shoot		地下部 Root		葉面積 Leaf area (cm ²)
			鮮重 Fw (g)	乾重 Dw (g)	鮮重 Fw (g)	乾重 Dw (g)	
CK ^z	1.59 a ^y	6.56 a	1.42 a	0.100 a	0.212 a	0.013 a	36.17 a
25SBC	1.51 a	5.06 a	1.29 b	0.093 a	0.237 a	0.014 a	33.69 ab
50SBC	1.38 a	4.43 a	1.18 c	0.086 b	0.194 a	0.012 a	29.49 b

z : 代號說明參考表 1.

y : Different letters within the same column indicate significant difference in variable means among treatments based on the LSD multiple-range test ($P < 0.05$).

表 3. 稻稈生物炭混合介質培育四週之'高峰'甘藍幼苗之壯苗指數及絕對生長速率

Table 3. Seedling index and absolute growth rate for cabbage seedlings growth in peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	壯苗指數一 Seedlings index 1	壯苗指數二 Seedlings index 2	壯苗指數三 Seedlings index 3	壯苗指數四 Seedlings index 4	絕對生長速率 Absolute growth rate
CK ^z	0.0195 a ^y	7.07 a	0.031 a	0.053 a	0.35 a
25SBC	0.0185 a	6.68 a	0.028 a	0.052 a	0.33 b
50SBC	0.0195 a	6.71 a	0.028 a	0.048 a	0.31 c

z : 代號說明參考表 1.

y : Different letters within the same column indicate significant difference in variable means among treatments based on the LSD multiple-range test ($P < 0.05$).

二、稻稈生物炭混合介質對番茄育苗之影響

以混合介質於 128 格穴盤中進行 'F73-111' 番茄育苗試驗，育苗四週後針對幼苗生長性狀進行調查。各處理與對照組在莖徑、地上部鮮乾重、地下部鮮乾重及葉面積均無顯著差異。莖長以 25SBC 處理組最大，為 21.23 cm，與 50SBC 處理組之 20.27 cm 無顯著差異，但顯著高於對照組之 19.33 cm (表 4)。

壯苗指數及絕對生長速率在三供試組之間皆無顯著差異 (表 5)。

表 4. 稻稈生物炭混合介質培育四週之 'F73-111' 番茄幼苗之生長性狀

Table 4. Growth parameters for tomato seedlings grown in peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	莖徑 Stem dia. (cm)	莖長 Stem length (cm)	地上部 Shoot		地下部 Root		葉面積 Leaf area (cm ²)
			鮮重	乾重	鮮重	乾重	
			Fw (g)	Dw (g)	Fw (g)	Dw (g)	
CK ^z	2.31 a ^y	19.33 b	1.61 a	0.226 a	0.145 a	0.019 a	39.27 a
25SBC	2.53 a	21.23 a	1.97 a	0.283 a	0.156 a	0.023 a	44.17 a
50SBC	2.52 a	20.27 ab	1.93 a	0.287 a	0.144 a	0.021 a	41.10 a

z : 代號說明參考表 1.

y : Different letters within the same column indicate significant difference in variable means among treatments based on the LSD multiple-range test ($P < 0.05$).

表 5. 稻稈生物炭混合介質培育四週之 'F73-111' 番茄幼苗之壯苗指數及絕對生長速率

Table 5. Seedling index and absolute growth rate for tomato seedlings growth in peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	壯苗指數一 Seedlings index 1	壯苗指數二 Seedlings index 2	壯苗指數三 Seedlings index 3	壯苗指數四 Seedlings index 4	絕對生長速率 Absolute growth rate
CK ^z	0.0075 a ^y	2.04 a	0.018 a	0.044 a	0.43 a
25SBC	0.0074 a	2.10 a	0.019 a	0.048 a	0.47 a
50SBC	0.0073 a	2.06 a	0.019 a	0.047 a	0.43 a

z : 代號說明參考表 1

y : Different letters within the same column indicate significant difference in variable means among treatments based on the LSD multiple-range test ($P < 0.05$).

三、稻稈生物炭混合介質應用於甘藍育苗對幼苗定植後生育之影響

依據育苗試驗之結果，選取地上部生長與對照組較無差異的 25SBC 處理組及對照組幼苗進行定植，並於採收時調查生長性狀、結球性狀、葉球營養元素濃度、硫代葡萄糖苷、抗壞血酸及總可溶性固形物含量。生長性狀包括株寬、外葉數及莖徑，在對照組及 25SBC 處理組皆無顯著差異 (表 6)。

結球性狀包括葉球之球橫徑、球縱徑、球周徑及球重，兩者間無顯著差異 (表 7)。抗壞血酸 (Vit. C)、總可溶性固形物 (TSS)及硫代葡萄糖苷含量在對照組及 25SBC 處理組間無顯著差異 (表 8)。

表 6. 稻稈生物炭添加於育苗介質對'高峰'甘藍幼苗定植後生育之影響

Table 6. Growth phenotype of cabbage plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	株寬 (cm) Plant width	外葉數 Outer leaf	莖徑 (cm) Stem diameter
CK ^z	74.52±4.09	17.25±2.41	18.36±2.32
25SBC	73.38±5.93	16.63±1.99	18.58±2.25
<i>t</i> -test	0.3383	0.2402	0.6741
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1.

^y*P* from *t*-test：ns representing non-significant at *P*<0.05.

表 7. 稻稈生物炭添加於育苗介質對'高峰'甘藍幼苗定植後結球之影響

Table 7. Head phenotypes of cabbage plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	球橫徑(cm) Head diameter	球縱徑(cm) Head height	球周徑(cm) Head circumference	球重(g) Head fresh Wt.
CK ^z	17.97±1.61	13.54±1.30	56.62±4.62	1422.12±325.99
25SBC	17.49±1.73	13.64±1.42	55.58±4.84	1389.93±337.16
<i>t</i> -test	0.2204	0.7352	0.3526	0.4229
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1

^y*P* from *t*-test：ns representing non-significant at *P*<0.05.

表 8. 稻稈生物炭添加於育苗介質對‘高峰’甘藍幼苗定植後品質之影響

Table 8. Head quality of cabbage plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	Vit C (mg/100g)	總可溶性固形物 Total soluble solids (°Brix)	硫代葡萄糖苷 Glucosinolate (μ mole/g DW)
CK ^z	85.80±13.46	5.52±0.53	215.19±39.41
25SBC	83.60±14.60	5.56±0.48	162.36±32.78
<i>t</i> -test	0.7440	0.8909	0.1488
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1

^y*P* from *t*-test：ns representing non-significant at *P*<0.05.

植物之營養元素分為大量及微量元素，本試驗測量的大量元素包括氮、磷、鉀、鎂及鈣，結果顯示，大量元素濃度在兩組間皆無顯著差異（表 9）。本試驗測量之微量元素包括鐵、錳、鋅、銅及硼，其中鐵、錳及銅在兩組間亦無顯著差異，鋅及硼皆以 25SBC 處理組濃度較高，分別為 32.50 ppm 及 47.23 ppm，且與對照組之濃度 27.61 ppm 及 32.76 ppm 達顯著差異（表 10）。

表 9. 稻稈生物炭添加於育苗介質對‘高峰’甘藍幼苗定植後大量元素濃度之影響

Table 9. Macronutrient concentrations of cabbage plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
CK ^z	3.12 ± 0.19	0.51 ± 0.08	3.85 ± 0.53	0.24 ± 0.04	1.01 ± 0.16
25SBC	3.19 ± 0.16	0.54 ± 0.02	3.97 ± 0.50	0.24 ± 0.03	1.03 ± 0.09
<i>t</i> -test	0.3801	0.2620	0.6300	1.0000	0.7591
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1.

^y*P* from *t*-test：ns representing non-significant at *P*<0.05.

表 10. 稻稈生物炭添加於育苗介質對'高峰'甘藍幼苗定植後微量元素濃度之影響

Table 10. Micronutrient concentrations of cabbage plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	B (ppm)
CK ^z	62.78 ± 12.32	52.56 ± 11.80	27.61 ± 5.18	2.00 ± 0.56	32.76 ± 13.1
25SBC	70.22 ± 9.45	53.44 ± 12.46	32.50 ± 2.94	2.17 ± 0.43	47.23 ± 9.45
<i>t</i> -test	0.1696	0.8634	0.0254	0.4897	0.0161
<i>P</i> ^y	ns	ns	*	ns	*

z：代號說明參考表 1

^y*P* from *t*-test：ns,* representing non-significant, significant at *P*<0.05, respectively.

四、稻稈生物炭混合介質應用於番茄育苗對幼苗定植後生育之影響

依據番茄育苗試驗結果，稻稈生物炭可取代 50%泥炭土作為番茄育苗介質，幼苗生長與對照組無顯著差異，因此以 50SBC 處理組與對照組之幼苗進行定植，並於採收時調查植株生長、產量及果實品質。結果顯示，兩組在番茄植株的株高、節數、花序數及結果數皆無顯著差異 (表 11)。50SBC 處理組之果實品質在總可溶性固形物 (TSS)、可滴定酸及硬度皆與對照組無顯著差異 (表 12)。

表 11. 稻稈生物炭添加於育苗介質對'F73-111'番茄幼苗定植後生育及產量之影響

Table 11. Growth phenotype and yield of tomato plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	株高(cm) Plant height	節數 Node	花序數 Inflorescence	結果數 Fruit	全株果重 Yield (g plant ⁻¹)
CK ^z	84.40 ± 15.75	14.24 ± 1.96	3.95 ± 1.40	29.67 ± 3.06	784.58 ± 82.01
50SBC	88.49 ± 16.47	14.52 ± 1.95	3.73 ± 1.11	28.67 ± 0.58	732.56 ± 12.22
<i>t</i> -test	0.2660	0.4750	0.3960	0.6072	0.3383
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1.

^y*P* from *t*-test：ns,*** representing non-significant, significant at *P*<0.001, respectively.

表 12. 稻稈生物炭添加於育苗介質對'F73-111'番茄幼苗定植後果實品質之影響

Table 12. Fruit quality of tomato plants cultivated from transplants grown on peat moss amended with or without rice straw biochar.

處理 Treatments	總可溶性固形物(°Brix) Total soluble solids	可滴定酸(%) Titratable Acidity	硬度(N) Hardness
CK ^z	5.21 ± 0.46	0.82 ± 0.12	15.75 ± 0.69
50SBC	5.20 ± 0.42	0.77 ± 0.10	16.09 ± 0.28
<i>t</i> -test	0.8866	0.1451	0.4737
<i>P</i> ^y	ns	ns	ns

z：代號說明參考表 1.

^y*P* from *t*-test：ns,* representing non-significant, significant at $P < 0.05$, respectively.

討 論

一、稻稈生物炭混合介質對甘藍育苗之影響

稻稈生物炭以體積比 0%、25%及 50%取代泥炭土作為育苗介質，含 25%稻稈生物炭混合介質所培育之幼苗除了地上部鮮重與對照組有顯著差異外，其他生長性狀及壯苗指數與對照組相較並無顯著差異，此試驗結果與楊 (2017)之結果相似，顯示稻稈生物炭可以取代 25%泥炭土充當甘藍之育苗介質 (表 2)。

過去的研究指出以稻稈生物炭取代 25%泥炭土的混合介質中，其 pH 值及 EC 值分別為 5.98 及 2.16 dS m⁻¹，而取代 50%泥炭土的混合介質之 pH 值及 EC 值則分別上升至 6.68 及 2.66 dS m⁻¹，上述兩種混合介質之 pH 值及 EC 值皆超過甘藍生長適當之 pH 值 (5.5-6.5) 及適當之 EC 值 (<1.8 dS m⁻¹) (楊，2011；Shannon and Grieve, 1999)。過高或過低的 pH 值及 EC 值會影響作物養分吸收及根系發展，進而使植株發育受阻，此可能為本試驗中幼苗絕對生長速率隨稻稈生物炭添加比例增加而減少之原因 (表 3)。

二、稻稈生物炭混合介質對番茄育苗之影響

本試驗之稻稈生物炭取代泥炭土用於番茄育苗之最大替代比例為 50%，可使幼苗生長與對照組無顯著差異，壯苗指數及生長速率亦無顯著差異 (表 4、5)。

根據楊 (2017)、Maggio 等 (2007)及 Shannon 和 Grieve (1999)的試驗結果，甘藍對 EC 值的耐受性可至 1.8 dS m⁻¹，而番茄可至 2.5 dS m⁻¹。稻稈生物炭具有較高的 EC 值，隨著泥炭土添加的生物炭比例由 0%增加至 50%，EC 值由 0.86 dS m⁻¹ 上升至 2.66 dS m⁻¹，因番茄可適應較高之 EC 值，這可能是造成番茄育苗時稻稈生物炭可有較高之替代比例的原因。

三、稻稈生物炭混合介質應用於甘藍育苗對幼苗定植後生育之影響

甘藍外葉為光合作用之器官，而葉球為養分之儲藏器官，外葉發育良好有利光合作用

之進行，才能促使內葉之結球良好 (廖，1993)。過去許多試驗結果顯示，株寬無顯著差異之甘藍，在球橫徑、縱徑及球重方面也無顯著差異，而株寬較小者則上述三者均有減小的趨勢 (張和黃，1994；徐，1995；徐，1997)，本試驗兩供試組在株寬、外葉數、葉球大小及球重皆無顯著差異，與上述研究結果相符 (表 8、9)，另外，總可溶性固形物可作為判斷碳水化合物含量之依據，常作為代表作物品質的參數之一 (許，2004；徐，1995；徐，1997)，而本試驗兩供試組之總可溶性固形物無顯著差異，顯示以稻稈生物炭取代 25% 泥炭土作為甘藍育苗介質不影響甘藍定植後至採收之品質。

甘藍中的抗氧化物質對於人體抵抗退行性疾病 (degenerative disease) 有良好效果，尤其是抗氧化維生素之效果最為顯著 (Singh *et al.*, 2006)，另一方面硫代葡萄糖苷是甘藍中辛辣味的來源，也具有降低癌症風險的效果，因此甘藍的抗氧化物質含量也成為其重要的價值之一。栽培過程的氣候及栽培條件會影響作物抗壞血酸及硫代葡萄糖苷含量 (Lee and Kader, 2000；Ciska *et al.*, 2000)，本試驗之對照組及 25SBC 處理組皆於相同環境及相同時間進行栽培及調查，結果顯示在抗壞血酸及硫代葡萄糖苷含量上，兩組皆無顯著差異，與上述研究結果相符。另外 Sarikamış (2009) 及 Schonhof 等 (2007) 指出，影響十字花科硫代葡萄糖苷含量的營養元素主要為氮及硫，而本試驗中兩供試組之營養元素濃度僅鋅及硼有所差異，這或許可以解釋為何兩供試組硫代葡萄糖苷的含量並無顯著之差異 (表 8、10)。

營養元素濃度方面，對照組與 25SBC 處理組之大量元素濃度均無顯著差異，微量元素方面以 25SBC 處理組之鋅及硼含量較高，Hajiboland 和 Amirazad (2010) 的研究結果指出，紫甘藍在缺鋅的條件下，有葉片減少、葉面積減少及抗氧化酵素增加的現象，Kusznierewicz 等 (2012) 則指出鋅過量使甘藍抗氧化物質含量增加，Alam (2007) 以不同比例的硼肥進行甘藍栽培試驗，發現過高或過低的硼含量皆會抑制甘藍生長，甘藍葉球硼及鋅適當濃度範圍分別為 20-75 ppm 及 15-200 ppm (陳等，1993)，本試驗兩供試組之硼及鋅濃度皆在甘藍生長適當濃度範圍內，因此兩供試組間此二者雖有濃度高低之差異，但對於生長及結球性狀皆沒有太大之影響 (表 9、10)。

幼苗的品質是影響定植後生育的重要因子，本試驗以稻稈生物炭取代 25% 泥炭土作為甘藍育苗介質，可培育出與以泥炭土培育生長性狀相同之甘藍幼苗 (表 2、3)，且於定植至採收後可獲得相同產量及品質之甘藍 (表 6-10)，顯示稻稈生物炭可以取代 25% 泥炭土作為甘藍之育苗介質。

四、稻稈生物炭混合介質應用於番茄育苗對幼苗定植後生育之影響

本試驗以番茄定植後之株高、節數及花序數作為定植後生長性狀之評估指標，結果顯示對照組 (CK) 與 50SBC 處理組在定植後各生長性狀均無顯著差異 (表 11)。番茄第一花序在苗期本葉 1-2 片時即開始花芽分化，第二、第三花序在 3-4 片本葉展開時開始花芽分化，因此幼苗的生育會影響定植後花序的生長，另外生育期間如有逆境影響，會使番茄花序不連續，減少花序數量 (郭，2002)，本試驗兩供試組皆在相同栽培環境下進行育苗及定植後生長，結果顯示兩供試組之幼苗壯苗指數與定植後生長性狀均無顯著差異 (表 5、

11)，此結果也與上述之敘述相符。結果數及全株果重在兩供試組間無顯著差異，說明稻稈生物炭取代 50%泥炭土作為番茄育苗介質，並不會影響定植後植株結果及產量（表 11）。

番茄果實之總可溶性固形物及可滴定酸含量會影響番茄果實之風味，可溶性固形物與可滴定酸之比值一般做為風味指標，且可滴定酸會在成熟後逐漸降低 (Beckles, 2012)，試驗結果顯示總可溶性固形物及可滴定酸於兩供試組間皆無顯著差異，說明兩組果實風味相近（表 12）。果實由完熟期進入過熟期後逐漸軟化，硬度下降（郭，2002），因本試驗皆於完熟期採收後立刻進行硬度調查，這或許可說明為何兩供試組間果實硬度並無顯著差異（表 12）。

綜合上述，稻稈生物炭可以取代 50%泥炭土可作為番茄育苗介質，育成之幼苗品質、定植後植株生育、果實產量及品質皆與泥炭土育成之苗及定植後植株有相同水準。

參 考 文 獻

- 朱海鵬。2001。農業廢棄物共同清除處理機構管理輔導辦法簡介。農政與農情 109: 26-27。
- 柯侑婷。2007。十字花科蔬菜中硫醣苷含量與芥子酶特性之研究。國立台灣大學園藝學系碩士論文。82pp。
- 徐華盛。1995。施用雞豬糞堆肥對甘藍生長及收量之效應。桃園區農業改良場研究彙報 20: 36-40。
- 徐華盛。1997。微生物發酵堆肥對甘藍產量及品質之影響。桃園區農業改良場研究彙報 30: 34-45。
- 張志因、黃鵬。1994。浸水逆境對小胡瓜及甘藍生長及產量之影響。花蓮區農業改良場研究彙報 10: 69-84。
- 許謙信。2004。菊花葉片之可溶性固形物之變化與老化之關係。台中區農業改良場研究彙報 84: 11-28。
- 郭孚燿。2002。番茄栽培技術。臺中區農業專訊 38: 12-18。
- 陳正次。2000。番茄栽培管理。果菜類蔬菜栽培班課程講義。行政院農業試驗所。28pp。
- 陳仁炫、郭惠千、林正鏘。1993。作物養分需求及植體分析之分級標準彙集。國立中興大學土壤環境科學系。107pp。
- 楊秀珠。2011。十字花科蔬菜病蟲害之發生與管理。行政院農委會農業藥物毒物試驗所。58pp。
- 楊佳晏。2017。稻稈替代育苗介質對甘藍及番茄穴盤苗之影響。國立中興大學園藝系碩士論文。88pp。
- 葛曉光。1987。果菜壯苗指標研究的概況。中國蔬菜 1: 87。
- 廖芳心。1993。溫度對甘藍結球生理之效應。桃園區農業改良場研究彙報 15: 16-23。
- 蕭政弘、賴文龍。2010。甘藍合理化施肥技術。臺中區農業專訊 69: 21-24。

- 薛佑光、李文汕、張武男。2000。介質對番茄台中亞蔬四號穴盤苗及其定植後初期生育之影響。興大園藝 25: 59-72。
- Alam, M. N. 2007. Effect of boron levels on growth and yield of cabbage in calcareous soils of Bangladesh. Res. J. Agr. Biol. Sci. 3: 858-865.
- Ahmad, M., A. U. Rajapaksha, J. E. Lim, M. Zhang, N. Bolan, D. Mohan, M. Vithanage, S. S. Lee, and Y. S. Ok. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere 99: 19-33.
- Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 63: 129-140.
- Ciska, E., B. M. Przybyszewska, and H. Kozłowska. 2000. Content of glucosinolates in cruciferous vegetables grown at the same site for two years under different climatic conditions. J. Food Sci. 48: 2862-2867.
- Hajiboland, R. and F. Amirzad. 2010. Growth, photosynthesis and antioxidant defense system in Zn-deficient red cabbage plants. Plant Soil Environ. 56: 209-217.
- Kuisma, E., P. Palonen, and M. Yli-Halla. 2014. Reed canary grass straw as a substrate in soilless cultivation of strawberry. Sci. Hortic. 178: 217-223.
- Kusznierewicz, B., R. Bączek-Kwinta, A. Bartoszek, A. Piekarska, A. Huk, A. Manikowska, J. Antonkiewicz, J. Namieśnik, and P. Konieczka. 2012. The dose-dependent influence of zinc and cadmium contamination of soil on their uptake and glucosinolate content in white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*). Environ. Toxicol. Chem. 31: 2482-2489.
- Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biol. Technol. 20: 207-220.
- Maggio, A., G. Raimondi, A. Martino, and S. De Pascale. 2007. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. Environ. Exp. Bot. 59: 276-282.
- Nosek, M., E. Suro'wka, S. Cebula, A. Libik, S. Goraj, A. Kornas, and Z. Miszalski. 2011. Distribution pattern of antioxidants in white cabbage heads (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *alba*). Acta Phy. Plant 33: 2125-2134.
- Sarikamış, G. 2009. Glucosinolates in crucifers and their potential effects against cancer: Review. Can. J. Plant Sci. 89: 953-959.
- Schonhof, I., D. Blankenburg, S. Müller, and A. Krumbein. 2007. Sulfur and nitrogen supply influence growth, product appearance, and glucosinolate concentration of broccoli. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 65-72.
- Shannon, M. C. and C. M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hortic. 78: 5-38.
- Singh, J., A.K. Upadhyay, A. Bahadur, B. Singh, K.P. Singh, and M. Rai. 2006. Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). Sci. Hortic. 108: 233-237.

Post-transplanting Growth Evaluation of Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and Tomato (*Solanum lycopersicum*) Transplants Cultivated on Rice Straw Biochar Mixed Substrate

Yi-Jun Chen ¹⁾ San-Gwang Hwang ²⁾

key words : Rice straw biochar, Seedling substrate, Cabbage, Tomato

Summary

Results from transplant growth analysis indicated that rice straw biochar may replace 25% and 50% peat moss as growth substrate for cabbage and tomato transplants, respectively. The growth and head phenotypes, the contents of glucosinolate, ascorbic acid and total soluble solid of cabbage plants cultivated from transplants grown in the substrate mixed with 25% rice straw biochar showed no significant difference compared to those of cabbage plants derived from transplants grown in peat moss. No significant difference was observed in growth phenotype, yield and fruit quality of tomato plants cultivated from transplants grown in the substrate mixed with 50% rice straw biochar compared to those of tomato plants cultivated from transplants grown in peat moss. These results suggested that rice straw biochar may partially replace peat moss as growth substrate for cabbage and tomato transplants without negative effect on subsequent transplant growth, yield and head or fruit quality.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

