

中華民國 107 年 11 月

高雄區農技報導

142

生物炭於短期作物田間 應用技術



高雄區

農技報導

目錄 CONTENT

142 期

- 3 前言
- 5 農業廢棄物炭化材料「生物炭」的由來
- 5 生物炭的特性及功能
- 8 生物炭及微生物肥料應用在紅豆栽培管理
- 12 洋蔥作物田間應用
(微生物肥料及生物炭在洋蔥田應用示範觀摩)
- 19 結語



生物炭於短期作物田間 應用技術

文 / 圖 張耀聰

前 言

循環經濟為世界各國現行極力推動的政策，在農業方面，再生資源循環利用，即實踐循環經濟最佳寫照。依據農業委員會統計資料，臺灣每年產出農業廢棄物可再利用資源將近 500 萬噸，其中以畜產廢棄物如禽畜糞、禽畜屠宰後廢棄物及死廢畜禽等為最大宗，所占比例約 48%，其次為農產廢棄物如稻殼、稻蒿及廢棄菇包 (圖 1) 等約占 42%。前述廢棄物再利用率約 70%，但仍有近 30% 就地掩埋或燃燒，



圖 1. 菇包廢棄物為大宗農產廢棄物之一

然而露天燃燒 (圖 2) 易造成空氣污染與交通事故，若經發現或查報，環保單位將對土地所有權人開立 1,200 元 ~ 10 萬元罰單，對此農民將得不償失。若能將此部分有效再利用，產製成為能源或炭化材料，將有利於提升農業廢棄物再利用率，其中炭化材料回歸田間進行土壤改良，將成為良好碳匯應用材料。本文針對農產廢棄物炭化後，如何正確於田間應用介紹，以利農民瞭解正確應用方式，提升農田地力及作物產能，以達到固碳、減碳的碳匯目標。



圖 2. 農產廢棄物露天燃燒將造成空氣污染及影響交通視線



農業廢棄物炭化材料 「生物炭」的由來

千百年前亞馬遜河流域因當地降雨量大，土壤養分嚴重淋洗，且該地區土壤，經高度風化形成氧化土 (Oxisols)，此種土壤組成主要為低活性粘土為主，因此保留養分能力差。在溫暖潮濕的環境中，土壤中的有機質與有機殘渣迅速分解釋放養分，而產生肥力流失及不足問題。當地原住民為改善土壤肥力，藉著使用木炭及焦炭 (charcoal) 等炭化物質，混合其他有機殘留物加入土壤，以適合農耕生產，並成為往後國際知名的黑沃土 (Terra Preta)。因此科學家們，將這些黑沃土中使用過的木炭、焦炭、黑炭和農業焦炭 (agrichar) 等進行研究，發現以往至今，雖已停止使用超過 500 年以上，但此種土壤性質仍極具農業與園藝價值，而科學家們也將此類炭化物質，統稱為生物炭 (biochar)。

生物炭的特性及功能

根據國際生物炭倡議組織 (International Biochar Initiative, IBI) 的定義，作為農業資材的生物炭，為一種纖細且具多孔性結構的顆粒，外觀與一般燃燒所產生的焦炭類似，並且由生物質材料如木材、樹葉等有機物質，在密閉空間且限制供氧的條件，於反應溫度 700°C 以下，慢速熱裂解，所產生的固態物質，而這些物質可應用於農業土壤及環境保護上，以改善土壤性質，並增加作物產量等。

生物炭為生物質經由炭化產生具穩定型態、高度芳香化、難溶性，及富含碳素的固態產物。此產物將生物質成分濃縮聚合，施於土壤可將碳儲存形成碳匯，並能提供微生物部分碳源，同時減少大氣二氧化碳濃度、土壤中無機態氮的淋洗及一氧化二氮 (N_2O) 和甲烷 (CH_4) 的釋放，並且可吸附人工化合物及重金屬物質。若添加至土壤可改變其理化性質，包含土壤酸鹼值、陽離子交換容量 (cation exchange capacity, CEC)、土壤容重 (bulk density)、保濕性及土壤結構，因而增加土壤養分有效性，進而提高植物生質量的生產，由此可知，生物炭對於永續農業和土壤改良為一重要管理工具，並具有潛在的經濟價值。

由於生物炭施用於土壤中，具有碳匯功能，並可在土壤中長達數十年至百年，且可持續利用。因此各國土壤科學家，近年來積極研究關於土壤施用生物炭後，對減緩溫室氣體排放的影響。世界各國更在 2015 年法國巴黎舉行聯合國氣候變化綱要公約，第 21 屆締約國大會 (Conference of Parties 21, COP21) 中，和議形成巴黎協議 (Paris Agreement)，並將已開發及開發中國家皆納入減緩溫室氣體排放的一員，再藉由開發再生能源來取代化石燃料，且正式將土地列為減碳及固碳的重要角色。因此，為符合國際減碳行動，農業廢棄物可部分成為良好再生能源外，生物炭田間應用，也許可以成為避免全球氣候暖化之一大利器。

在許多研究報告中亦指出，生物炭的產製隨熱裂解溫度升高，其碳含量及 pH 值也隨之增加，且擁有礦物質 (灰分) 含量及生物穩定性；而灰分為鹼性物質，並帶有大量的表面負電荷及具有高電荷密度的特性，能形成帶電載體，因此具有良好的吸附特性，且能增加土壤保肥、保水、提高肥料養分利用率、維持土壤 pH 值、中和毒性、減少土壤



強度及增大鹽基交換量，從而引起土壤陽離子交換容量增加。同時，生物炭含有豐富的芳香環結構和羧基等官能基，顯著增加了離子交換的位點，其表面交換活性更高，因此施加生物炭之後，土壤的陽離子交換容量顯著提高，進而影響植物對營養元素的吸收效果。

生物炭具有多孔特性、高度比表面積，以及吸附可溶性有機物、氣體與無機養分的能力，能提供微生物良好棲息場所，使其得以繁殖、生長和複製，特別對於細菌、放射菌和叢枝菌根菌。生物炭的孔隙可供微生物避難場所，使其較不易被掠食者捕捉或與環境中其他微生物競爭。灰分含量高的生物炭，其孔隙率會隨著灰分被淋洗而增加。因此，隨著施用時間的延長，可提供更多位置給微生物繁殖和養分吸附。此外，有研究顯示生物炭對土壤中腐植質、pH 值和微生物群落生長率具有影響，添加生物炭後，由於土壤 pH 值提高，微生物群落的呼吸代謝速率也提高，增加微生物群落數量，因此提高植物的生物量，同時增強植物對病害的抗性。

由以上簡介可知生物炭在農業土壤應用，具有相當多的功能，而在田間如何應用在短期作物，以下將以試驗比較方式，各別進行介紹。



生物炭及微生物肥料 應用在紅豆栽培管理

紅豆為高屏地區重要作物，高屏地區位處熱帶及亞熱帶交界，每年可進行三期作，其中二期稻作結束後，紅豆即為重要秋裡作物。臺灣紅豆總生產面積 98% 以上均在高屏縣市，而示範的品種則選擇紅豆高雄 9 號，另生物炭使用種類為稻殼燒製而成，分為燒製溫度 700°C 的稻殼灰炭以高溫炭表示 (圖 3)，及燒製溫度 300°C 以內的稻殼燻炭以低溫炭表示 (圖 4)。



圖 3. 稻殼灰炭主要為稻殼經高溫 (700°C) 限氧燒製後的產物



圖 4. 稻殼燻炭為稻殼低溫 (300°C 以下) 限氧燻燒而成



於 107 年 1 月 8 日在東港地區辦理「生物炭及微生物肥料在紅豆合理化施肥應用示範觀摩會」(圖 5)，由於該地區耕地土壤於灌溉水施用量小於土壤蒸發量時，表土會出現鹽化現象(圖 6)，因此利用生物炭多孔隙特性，將土壤中鈉離子(Na^+)吸附，以降低 Na^+ 過量對作物生育的影響，並配合微生物肥料溶磷菌施用，以進行田間示範



圖 5. 紅豆觀摩會現場參與人員合影



圖 6. 東港地區鹽化土壤在灌溉水施用量小於土壤蒸發量時，表土易有鹽斑產生。

觀摩，並推動稻殼生物炭正確使用方式，其試驗前後土壤性質變化(表 1, 表 2)及收穫產量調查(圖 7)如下述，且依據土壤肥力分析推薦，將試驗分為對照組、高溫

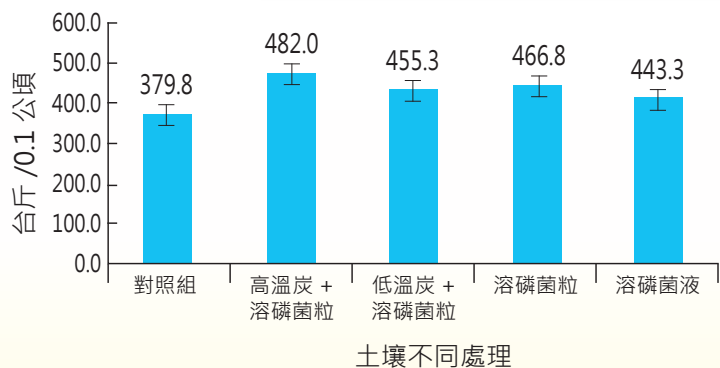


圖 7. 紅豆田生物炭及溶磷菌改善對產能之影響 (播種 90 天後坪割統計)

炭 (200kg/0.1ha) + 溶磷菌粒 (20kg/0.1ha)、低溫炭 (200kg/0.1ha) + 溶磷菌粒 (20kg/0.1ha)、溶磷菌粒 (20kg/0.1ha) 及溶磷菌液 (2 L/0.1ha) 等 5 個處理。高溫炭及低溫炭與溶磷菌粒，均於整地階段與基肥同時施入土中，溶磷菌液於紅豆播種後 2 週開始施用。

本試驗施肥處理分為：

1. 對照組 (農民慣行區)：每 0.1 公頃施用尿素 20kg(葉肥及花肥階段各 10kg)。
2. 高溫炭 + 溶磷菌粒：基肥施用固體溶磷菌 (20kg/0.1ha) + 葉肥尿素 10kg/0.1ha。
3. 低溫炭 + 溶磷菌粒：基肥施用固體溶磷菌 (20kg/0.1ha) + 葉肥尿素 10kg/0.1ha。
4. 溶磷菌粒：基肥施用固體溶磷菌 (20kg/0.1ha) + 葉肥尿素 10kg/0.1ha。
5. 溶磷菌液：播種後第 2 及第 3 週各以稀釋 500 倍 (2 L/0.1ha) 菌液澆灌根域 + 葉肥尿素 (10kg/0.1ha)。

以上各處理於定植後第 6 週及第 8 週各噴一次綜合微量元素，並於第 8 週補充硫酸鎂 (1kg 稀釋 800 倍水) 一次。

表 1. 紅豆播種時期試驗田土壤分析結果

處理	pH	O.M %	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	EC mS cm ⁻¹
			mg kg ⁻¹									
對照組	7.63	2.08	41	67	2,732	165	345	141	6.1	10.0	80	0.13
高溫炭 + 溶磷菌粒	6.80	2.31	53	72	3,109	645	590	123	6.7	11.0	55	0.12
低溫炭 + 溶磷菌粒	7.29	2.49	63	85	2,606	644	557	132	7.0	9.4	54	0.08
溶磷菌粒	7.34	2.30	58	70	2,351	873	518	136	6.9	11.0	42	0.09
溶磷菌液	6.81	2.42	59	82	2,362	620	643	133	7.3	12.0	55	0.09



表 2. 紅豆收穫時期試驗田土壤分析結果

處理	pH	O.M %	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	EC mS cm ⁻¹
對照組	7.26	2.52	41	132	3,502	361	347	123	6.5	8.0	419	0.34
高溫炭 + 溶磷菌粒	6.73	2.61	58	121	3,099	291	539	128	6.8	8.8	287	0.51
低溫炭 + 溶磷菌粒	6.91	2.56	70	108	3,174	296	422	113	6.4	7.6	285	0.32
溶磷菌粒	6.71	2.91	66	124	3,152	277	558	119	6.8	8.8	252	0.59
溶磷菌液	6.57	2.73	53	92	2,645	237	516	115	6.7	9.0	198	0.27

由表 1 及表 2 土壤分析結果可知，紅豆試驗田區越接近採收階段，土壤因灌溉水供水量減少，土壤蒸發量大，造成土壤鈉離子 (Na⁺) 含量提升，在對照組中明顯高於其他各處理組別，顯示不論使用生物炭或微生物肥料溶磷菌，對於土壤 Na⁺ 的影響均能降低，減少對作物產能的影響。因此紅豆若於鹽分土壤栽種，應用生物炭配合溶磷菌的使用方式確實能減緩 Na⁺ 危害。

另外由圖 7 結果顯示，各處理間的收穫產量均明顯高於對照組，其中以高溫炭 + 溶磷菌粒有最高的收穫產量 (圖 8)，各處理間比起對照組產量提升 16.7 ~ 26.9%，顯示土壤經適當改良後，可有效提升作物產能。



圖 8. 紅豆不同處理收穫調查生長情況

洋蔥作物田間應用

(微生物肥料及生物炭在洋蔥田應用示範觀摩)

洋蔥為屏東恆春半島重要作物，該區域亦是臺灣洋蔥生產最大產區，因此示範觀摩地點選擇屏東縣恆春的農地，作物品種選擇為洋蔥 708 號，並於 107 年 3 月 29 日辦理「微生物肥料及生物炭在洋蔥田應用示範觀摩會」(圖 9)，由於該地區洋蔥耕地土壤約有 24% 屬於黏土(圖 10)，洋蔥因土壤性質造成收穫時種球較小，銷售單價偏低，為提升洋蔥產能特別選定此地區進行生物炭土壤改良及示範觀摩，且因土壤屬於黏土，灌溉水栽培管理使用不當，造成土壤蒸發量大於灌溉水量時，鹽化情況即會發生(圖 11)，因此該區塊利用生物炭及溶磷菌進行田間土壤性質調整，以利作物產能提升。



圖 9. 洋蔥觀摩會現場參與人員合影



利用生物炭改良土壤之洋蔥田



圖 10. 恆春地區洋蔥田黏土具有乾時硬濕時濘的特性，不利根系發展。



圖 11. 洋蔥定植於黏土時，當土壤蒸發量大於灌溉水量時，鹽化情況即會發生。

此示範田依據土壤肥力分析推薦，將施肥量及施肥成本進行概算及說明，共分 7 個試驗處理方式，分別為：

1. 木炭 (高溫 700°C 燒製) 處理 (圖 12) : 木炭 350kg/0.1ha+ 硫酸銨 40kg(施用成本為 3,500+280 元) 。



圖 12. 施用於洋蔥黏土栽培的木炭形態

2. 稻殼燻炭處理：稻殼燻炭 350kg/0.1ha+ 硫酸銨 40kg(施用成本為 7,000 + 280 元)。
3. 溶磷菌液肥處理：蔥苗定植前接菌處理及 2 週後 1 次 (施用成本為 3,000 元)。
4. 稻殼灰炭處理：稻殼灰炭 350kg/0.1ha+ 硫酸銨 40kg(施用成本為 700 + 280 元)。
5. 溶磷菌粒肥處理：溶磷菌粒肥 400kg/0.1ha(施用成本為 6,000 元)。
6. 稻殼溶磷菌液處理：稻殼 1,000kg/0.1ha+ 蔥苗定植前接菌處理 (施用成本為 3,000 元)。
7. 對照組：有機肥 1,200kg/0.1ha(施用成本為 5,000 元)。

由表 3 及 4 可知，洋蔥定植前後土壤 pH 有下降趨勢，另於收穫後因土壤水分蒸發量相對提高，因此 Na 含量明顯提升許多。

表 3. 各處理間洋蔥定植前土壤理化性質

處理	pH	O.M %	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	EC mS/cm
mg kg ⁻¹												
木炭	7.79	3.07	95	191	3,754	480	354	209	9.1	7.4	329	0.19
稻殼燻炭	7.73	3.18	85	168	3,484	455	401	231	8.9	6.8	318	0.28
溶磷菌液	8.02	2.73	78	129	3,168	385	331	247	8.4	6.3	308	0.19
稻殼灰炭	7.30	3.01	101	217	3,800	467	387	226	9.1	7.5	297	0.37
溶磷菌粒	7.63	2.94	97	216	3,108	390	327	236	8.1	6.7	314	0.30
稻殼溶磷菌液	7.88	2.70	89	123	2,526	319	394	221	8.3	6.5	230	0.15
對照組	7.52	2.99	90	164	3,583	424	403	258	8.1	7.6	234	0.20



表 4. 各處理間洋蔥採收後土壤理化性質

處理	pH	O.M %	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	EC mS/cm
木炭	7.12	2.70	86	320	4,409	497	356	209	7.9	6.5	659	0.83
稻殼燻炭	7.27	2.89	83	184	4,349	476	389	245	7.5	6.3	686	0.70
溶磷菌液	7.48	2.72	76	238	4,177	407	352	242	7.3	5.7	631	0.57
稻殼灰炭	7.24	2.90	88	241	4,402	525	350	224	7.8	6.4	807	0.90
溶磷菌粒	7.29	2.78	92	243	4,021	477	325	239	7.0	5.8	730	0.74
稻殼溶磷菌液	7.35	2.62	86	230	4,038	406	356	252	7.1	5.9	811	0.84
對照組	7.25	3.00	93	219	4,060	433	374	222	6.3	6.2	512	0.74

經由表 5 結果可知洋蔥各處理與對照組間，植體養分在 Ca 方面，各處理明顯高於對照組，其中以土壤添加木炭處理組之植體 Ca 含量明顯高於其他各個處理，顯示黏土施用木炭可明顯促進洋蔥 Ca 的吸收，另外在微量要素方面各個處理 Mn、Fe、Cu、Zn 及 Na 的濃度均高於對照組，顯示各處理間，對於某些植物體所需礦質養分，具有明顯促進吸收作用。

表 5. 採收階段洋蔥植體養分分析

處理	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Na
木炭	2.19	0.21	2.68	4.03	0.57	37.33	984	209	26	17,609
稻殼燻炭	2.49	0.25	2.25	2.76	0.44	69.67	2,483	59	22	19,028
溶磷菌液	2.75	0.29	2.20	2.84	0.45	54.33	1,533	51	18	20,853
稻殼灰炭	2.62	0.20	2.76	2.83	0.43	36.67	560	63	16	16,962
溶磷菌粒	2.52	0.24	2.44	2.85	0.44	52.67	1,577	72	17	16,929
稻殼溶磷菌液	2.65	0.26	2.29	2.67	0.42	56.00	1,728	84	16	20,366
對照組	2.67	0.28	2.61	1.64	0.28	19.00	219	35	14	10,377

另外在作物收穫產量方面，市場收購蔥球分級為大球 ($\Phi > 8\text{cm}$)、中球 ($\Phi 7 \sim 8\text{cm}$) 及小球 ($\Phi < 7\text{cm}$)，且市售價格以每袋 15kg 為單位，收購價為 15kg 大球 150 元、中球 120 元、小球 80 元 (107 年 3 月當地市場開盤收購價)，耕地幼苗栽種株數約為 23,000 株 /0.1ha，由表 6 結果可知，洋蔥經由各處理土壤改良，在收入方面，均顯著高於對照組，顯示以生物炭或溶磷菌處理，均對產量收穫及收入有明顯助益。

表 6. 洋蔥各處理收穫產量調查

處理	施肥成本 元 /0.1 ha	大球 (元) -----23,000 株 /0.1 ha-----	中球 (元)	小球 (元)	蔥球收入 ----- 元 /0.1 ha-----	扣除施肥成本	收入增加比例 %
木炭	5,262	49,635	11,340	3,784	64,759	59,497	185
稻殼燻炭	8,762	49,935	10,896	2,424	63,255	54,493	169
溶磷菌液	4,482	444,025	21,516	1,304	66,845	62,363	194
稻殼灰炭	2,462	53,640	11,700	2,600	67,940	65,478	203
溶磷菌粒	7,482	69,390	8,544	0	77,934	70,452	219
稻殼溶磷菌液	4,482	61,005	10,164	1,352	72,521	68,039	211
對照組	6,482	11,775	18,828	8,072	38,675	32,193	100

註：0.1 公頃定植 23,000 株洋蔥，蔥球大球直徑 $> 8\text{cm}$ ，中球直徑 $7 \sim 8\text{cm}$ ，小球直徑 $< 7\text{cm}$ 。



短期葉菜田間應用

短期葉菜係選用結球萵苣與葉用萵苣 2 種葉菜進行田間應用，並利用 3 種生物炭分別於偏中性 (pH7.1) 及弱鹼性 (pH7.8) 土壤中進行添加，生物炭種類分別為稻殼灰炭、稻殼燻炭、木炭及不添加的對照組。而 3 種生物炭添加量分別為每公頃各 10 公噸及 20 公噸用量。結球萵苣在偏中性土壤情況下，添加 3 種生物炭各 10 公噸 / 公頃，經 60 天生長後進行收穫調查，由圖 13 結球萵苣平均單株鮮重可知，土壤添加生物炭的處理，均比對照組有較佳的鮮重收穫量。

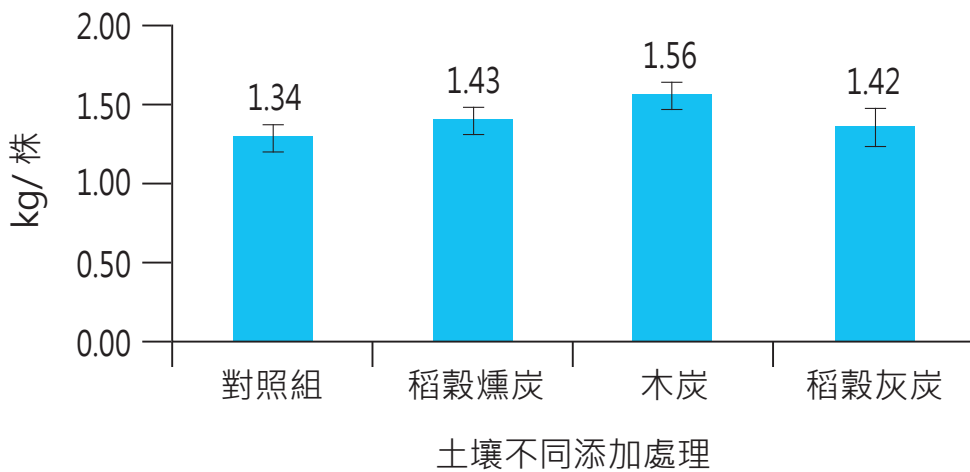


圖 13. 結球萵苣定植於偏中性土壤添加 3 種生物炭 (10 公噸 / 公頃) 60 天後，收穫平均單株鮮重比較。

另外再由弱鹼性土壤中，各添加 3 種不同生物炭 20 公噸 / 公頃定植葉用萵苣，經定植 30 天後進行收穫調查，由圖 14 結果可知，該添加生物炭試驗的處理，僅木炭有較佳的產量，其他稻殼燻炭及稻殼灰炭的處理，平均單株鮮重均比對照組差，由此亦顯示，並非任何土

壤條件下，添加任何種類生物炭，均能對作物生長具有助益。主要原因可能在弱鹼性土壤中，藉由生物炭的添加，雖再次提升了土壤 pH 值，但也可能造成有效性磷的固定，且稻殼燒製的高、低溫生物炭與木炭之間，於土壤中所釋出的養分含量不同，所提供的養分，未必為作物生長限制所需養分。

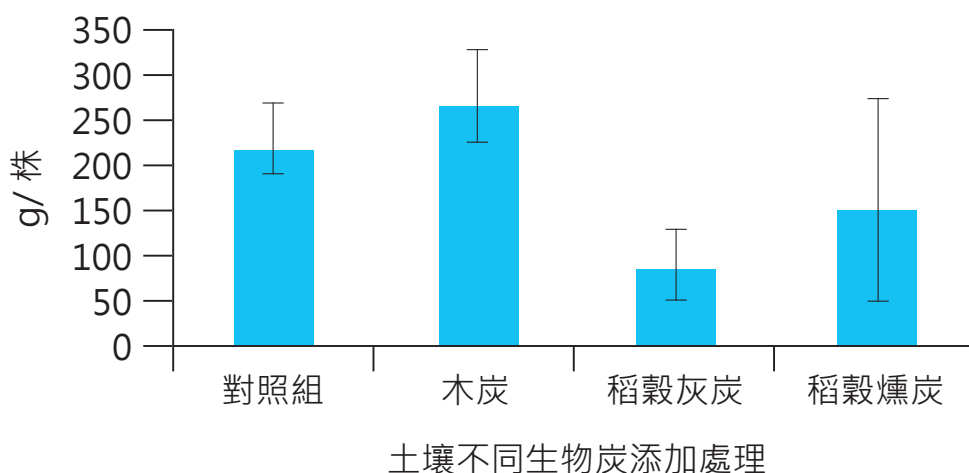


圖 14. 葉用萵苣定植於弱鹼性土壤添加 3 種生物炭 (20 公噸 / 公頃) 30 天後，收穫平均單株鮮重比較。

此外木材的構造結實，並富含木質素，做成生物炭在土壤中較能長存形成碳匯。稻殼多數為纖維素及半纖維素等物質，經過炭化後，在土壤中皆無法長存。而土壤亦需要適量腐植質做媒介，才能產生團粒化，對土壤物理性改良才有整體作用，而對土壤化學性，尤其土壤酵素及生態平衡才具有功能，此方面的功效是單純施用生物炭無法比擬。因此，建議施用生物炭仍需與有機質肥料適當配合施用，以利土壤理化性質及生物性間相互配合，才能真正達到地力改良的功效。



結 語

生物炭田間短期作物應用，在以往均強調對於酸性土壤有良好改良效果，但在以上各種不同作物試驗證實，經由土壤分析了解土壤性質與問題後，適當使用生物炭進行田間土壤改良應用，並配合其它肥培管理措施，將能有效提升作物產能，並且有效將碳儲存於土壤中。但不同材料及溫度燒製出來的生物炭，其特性並不相同，建議施用前，先至各地區改良場所，進行生物炭材料特性及土壤肥力分析，以評估是否土壤確實需進行生物炭改良，且正確使用生物炭材料，進行作物生產應用。





刊名：高雄區農技報導

出版年月：107年11月

期數：142期

篇名：生物炭於短期作物田間應用技術

作者：張耀聰

發行人：戴順發

總編輯：吳志文

執行編輯：吳倩芳

出版機關：行政院農業委員會高雄區農業改良場

地址：屏東縣長治鄉德和村德和路2-6號

網址：<https://www.kdais.gov.tw/view.php?catid=9>

電話：08-7389158

印刷廠：峰德文化事業股份有限公司

地址：高雄市三民區鼎和街7號

電話：07-3104926

傳真：07-3104928

發行量：2000本

定價：40元

展售書店：

國家書店：02-27963638

五南文化廣場 04-22260330

GPN：2008200192

ISSN：1812-3023

版權聲明：本著作採「創用CC」之授權模式，僅限於非營利、禁止改作且標示著作人姓名之條件下，得利用本著作

ISSN 1812-3023



9 771812 302002

GPN：2008200192

定價：40元