



高雄區

Agricultural
technology report

農技報導

154期

生物炭

在

白玉蘿蔔

生產應用



行政院農業委員會 高雄區農業改良場

中華民國109年11月



No. 154

目錄

- 3 前言
- 5 農業生產剩餘資材推估
- 7 生物炭改良土壤農業應用
- 7 生物炭應用在白玉蘿蔔栽培管理
- 15 結語



生物炭在



白玉蘿蔔生產應用

文/圖 張耀聰

前言

農業廢棄物處理為世界各國共通的問題，但如何有效將其分類循環再利用，也是世界各國努力的方向。臺灣農產豐富為亞熱帶-熱帶地區農業生產密集的島國，依據行政院主計總處107年綠色國民所得帳編製報告顯示(表1)，每年農業生產過程中均會產出數百萬噸廢棄物，依其性質約可分為生物性可分解及非生物性不可分解兩大類。一般生物可分解者稱為農業生產剩餘資材，其他生物不可分解或有污染環境疑慮者稱為農業廢棄物。而高屏地區為農業生產重鎮，其中又以熱帶果樹聞名全國，且因地理及氣候因素，每年亦可實施三期作生產(1、2期稻作及秋裡作)，但也因農作生產密集，每



圖1. 高屏地區果樹修枝殘體數量可觀

年果樹修枝及收穫後的作物殘體，也占據相當可觀的數量(圖1)。然而這些農業生產剩餘資材處理方式，常經由露天燃燒或部分粉碎掩埋處理，燃燒易造成空氣污染，而掩埋待殘體分解後二氧化碳則又回歸大氣。為能兼顧農產與環保，若能將此廢棄物進行粉碎後，適當炭化處理製成生物炭(biochar)，並回歸農田土壤再利用，則可增加土壤碳匯量，而減少溫室氣體二氧化碳回歸大氣，以達到固碳及再生循環利用與土壤改良的效果。

表1. 農業廢棄物固體廢棄物排放帳

依廢棄物分類	產生量	妥善處理量(單位:公噸)													未妥善處理量
		合計	就地翻耕掩埋	作物栽培覆蓋	倉庫墊料	禽畜舍墊料	育苗栽培介質	飼料或飼料原料	堆肥	焚燒掩埋	薪材、燃料	資源回收	化製原料	其他	
農業廢棄物(生物性)	5,016,651	4,983,143	1,601,636	171,708	78,819	97,490	128,521	116,649	2,499,829	57,819	77,992	8,028	100,201	44,451	33,508
農產廢棄物	2,461,738	2,461,738	1,601,636	171,708	78,819	97,490	113,478	59,329	199,312	46,197	77,992	—	—	15,777	—
林產廢棄物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
漁產廢棄物	128,574	115,717	—	—	—	—	15,043	48,000	24,000	—	—	—	—	28,674	12,857
畜產廢棄物	2,362,121	2,341,491	—	—	—	—	—	—	2,229,680	5,610	—	6,000	100,201	—	20,630
農產品批發市場廢棄物	31,703	31,682	—	—	—	—	—	5,700	22,322	1,632	—	2,028	—	—	21
食品加工廢棄物	32,515	32,515	—	—	—	—	—	3,620	24,515	4,380	—	—	—	—	—
農業資材廢棄物(非生物性)	92,701	92,692	60,865	—	—	—	—	—	—	13,730	—	18,097	—	—	9
農產資材廢棄物	12,572	12,572	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,572	—	—	—
林產資材廢棄物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
漁產資材廢棄物	65,150	65,150	60,865	—	—	—	—	—	—	—	—	4,285	—	—	—
畜產資材廢棄物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
農產品批發市場資材廢棄物	14,876	14,867	—	—	—	—	—	—	—	13,730	—	1,137	—	—	9
食品加工資材廢棄物	103	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	103	—	—	—

資料來源 (<https://www.stat.gov.tw/public/data/dgbas03/bs7/greengnp/1-17.pdf>)

農業生產剩餘資材推估

熱帶果樹為高屏地區普遍作物，而多數果樹或作物均會依產期調節、矮化或生理進行枝條修剪或收穫作業，依據行政院農業委員會108年度農業統計年報資料指出，高屏地區芒果、荔枝、棗子、蓮霧、檸檬、番石榴及水稻等作物，收穫總面積共達30,995公頃/年，另依據筆者田間實際調查，並配合農業資料統計推算，每年可產出木質枝條殘體約23,698公噸(表2)。高屏地區稻穀年產量約82,800公噸，而糙米年產量約67,708公噸，每年稻殼產量約15,092公噸(圖2)，若依據穀藁比(grain straw ratio)為1換算，稻藁產量約82,800公噸/年(圖3)，而每年稻作產出的稻殼及稻藁農業生產剩餘資材即可達97,892公噸。此類農業生產剩餘資材，除可當作再生能源利用外，亦可加值利用成為生物炭材料。若將生物資材進行炭化，以最低為10%的炭回收率估算，高屏地區約可產出木質材料生物炭約2,369公噸。而非木質材料中，稻殼為最易收集的農業生產剩餘資材，主要均集中於碾米廠，其稻殼可藉由



圖2. 稻殼為碾米後的大量農業生產剩餘資材



圖3. 水稻收割後剩餘稻藁集中情形

燃糠爐(圖4)熱裂解燃燒，將熱源回收利用，進行濕稻穀烘乾使用，而稻殼燃燒後的副產物即為稻殼炭等產物，約可產出8,280公噸/年。以上生物炭若能回歸耕地土壤利用，高屏地區每年將可固定碳含量達上萬公噸，更能符合2015年聯合國氣候變化



圖4. 燃糠爐可將燃燒稻殼的熱源回收烘濕穀及炭化稻殼為碾米廠處理農業生產剩餘資材利器

綱要公約「巴黎協議」千分之4倡題，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的一大利器。

表2. 高屏地區重要作物108年度農業生產剩餘物推估統計

作物種類	芒果	荔枝	棗	蓮霧	檸檬	番石榴	水稻	合計
收穫面積 (公頃)	7,594	3,716	1,336	2,664	2,062	3,182	10,441	30,995
殘體乾重 (公噸/年)	12,879	9,632	4,810	3,663	2,887	5,728	97,892	137,491
枝條乾重 (公噸/年)	7,290	3,567	4,008	1,998	2,062	4,773	-	23,698
葉部乾重 (公噸/年)	5,589	6,065	802	1,665	825	955	82,800	98,701

資料來源：2020高屏地區農業剩餘物現況盤點與生物炭應用發展，農工循環技術研討會。

生物炭改良土壤農業應用

生物炭的應用最早發現於亞馬遜河流域的黑沃土 (Terra preta)，依據科學家研究，該地區因降雨量大，土壤養分嚴重淋洗，且土壤經高度風化形成氧化物土 (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。且在溫暖潮濕的環境條件，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。千百年前，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，然而此種炭化物質的添加，雖至今已停止使用超過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。

高屏地區氣候溫暖，夏季多雨，土壤有機質分解快速，且部分地區因地勢或土壤條件，造成作物生長不良，藉由生物炭導入農業生產系統，可有效提升鹽分地紅豆收穫產量及黏質土壤洋蔥大球產能，目前生物炭特性及前揭研究，均已有相關報導 (本場農技報導142期)。因此，在一般耕地土壤其應用效果如何?以下將以白玉蘿蔔試驗進行比較說明，以利農民應用。

生物炭應用在白玉蘿蔔栽培管理

蘿蔔依據農糧署統計資料，108年裡作種植面積為2,737公頃，主要為雲林 (706公頃)、高雄 (379公頃)、彰化 (374公頃)、臺東 (269公頃)、嘉義 (262公頃) 等地區，由於蘿蔔性喜冷涼氣候，耐寒性較強，故主要在秋冬栽

培。高屏地區秋裡作蔬菜最具代表者為美濃地區的白玉蘿蔔，占全臺白玉蘿蔔生產之冠，亦是當地品牌作物。而蘿蔔適合生於排水良好，表土深厚的砂質壤土，在表土淺薄的耕地也可栽培，除粘質土、石礫地、乾旱地不宜外，不甚選擇土壤，而最佳栽培土壤條件pH值在5.8~6.8之間。

一、田間施肥處理

白玉蘿蔔田間示範選擇地點，位於美濃地區，試驗分為4個處理(雜木炭處理、稻殼灰炭+雜木炭處理、稻殼灰炭及對照組)，白玉蘿蔔撒種數為5.25 kg/ha。施用的兩種生物炭，分別為美濃區農會產製的稻殼灰炭及果樹枝條混合燒製的雜木炭，均為地區農會免費提供進行試驗。施用方式於基肥階段均勻撒施於表土，再進行翻耕覆土，試驗用的生物炭特性如表3所示，各試驗處理基肥施用量分別為1. 雜木炭處理(圖5)：雜木炭3,000kg/ha+溶磷菌有機肥2,000kg(27,500元)。2. 稻殼灰炭+雜木炭處理：稻殼灰炭1,500kg/ha+雜木炭1,500kg/ha+溶磷菌有機肥2,000kg(27,500元)。3. 稻殼灰炭處理(圖6)：稻殼灰炭3,000kg/ha+溶磷菌有機肥2,000kg(27,500元)。4. 對照組：有機肥2,500kg/ha(13,000元)。另施用基肥前後土壤肥力變化如表4所示，此外，在播種後2周及4周，所有處理組別均分別進行第1次及第

表3. 兩種不同生物炭特性分析

處理	N	P	K	Ca	Mg	C	S	Mn	Fe	Cu	Zn	Na	pH	EC(1:10)
	-----%-----					-----mg/kg-----						(1:10)	(mS/cm)	
稻殼灰炭 (600°C)	0.61	0.05	4.88	0.82	0.28	65.0	0.89	82.5	36.2	0.4	6.1	275	9.5	1.00
雜木炭 (600°C)	0.91	0.15	2.18	0.22	0.21	84.17	1.66	361.1	404	16.6	79.6	277	9.3	4.63



圖5. 雜木炭+溶磷菌有機肥施用情形



圖6. 稻殼灰炭+溶磷菌有機肥施用情形

表4. 試驗田區施用炭品處理前後土壤肥力分析

檢測項目	pH	O.M	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	EC(1:5)
	(1:1)	(%)	-----mg/kg-----									(mS/cm)
整地前土壤肥力												
試驗前	6.83	1.87	88	33	2482	178	1233	59	9.6	11	56	0.06
不同處理後土壤肥力變化情形												
對照組	6.38	2.06	82	55	2379	196	2104	74	12	12	67	0.11
雜木炭	6.68	1.89	84	73	3418	211	1916	65	12	13	77	0.17
稻殼灰炭	6.51	2.02	90	92	2852	241	2047	112	12	15	73	0.18
雜木炭+ 稻殼灰炭	6.35	1.86	86	81	2670	211	2086	70	12	11	73	0.16

2次追肥，施用成本為第1次追肥溶磷菌液肥(3,350元/ha)，第2次追肥為添加木醋液的有機液肥(1,280元/ha)。另依推薦用藥進行病蟲害全面防治共計3次，藥劑分別施用培丹、賓克隆、佈飛松、硼酸、蘇力菌、亞托敏、鋅錳座賽胺、剋安勃等共計花費6,020元/ha。而待作物生長至第45天進行收穫調查，田間作業模式如圖7所示。



① 生物炭施用



② 施用基肥



③ 整地



⑥ 發芽



⑤ 培土作畦



④ 灑種



⑦ 追肥及病蟲防治



⑧ 調查



⑨ 收穫調查 (1*1m²)

圖7. 白玉蘿蔔田間示範栽種管理流程

二、白玉蘿蔔收穫評估

白玉蘿蔔經播種後生長45天，進行收穫調查，其生長調查情況如圖8所示。從調查生長性狀中，蘿蔔長度與寬度方面，以稻殼灰炭有最佳長度表現，而在所有生物炭處理方面，也均顯著比對照組有較佳的蘿蔔長度（圖9）及寬度（圖10）。在株高及可溶性固形物表現方面，各處理間並無顯著差異（圖11及圖12）。但在單根蘿蔔收穫重量方面，所有生物炭處理，也均顯著比對照組為高（圖13）。

在國外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



圖8. 白玉蘿蔔不同處理間收穫調查情形(左上對照組、左下稻殼灰炭、右上雜木炭、右下雜木炭+稻殼灰炭)

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、中和毒性及增大鹽基交換量，進而使土壤陽離子交換容量增加。此次試驗中的兩種生物炭，均屬於高溫燒製的生物炭，雜木炭具有較高的碳含量，主要在於木材木質素含量較高，熱裂解過程較不易灰化，燒製成炭施用後不易於土壤中崩解，能維持長時間的碳匯；稻殼燒製成稻殼灰炭，含碳量較少於雜木炭，但其鹽基離子的灰分含

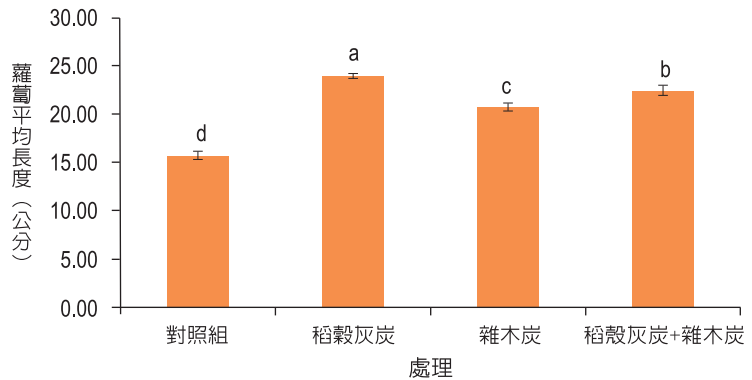


圖9. 白玉蘿蔔不同處理間蘿蔔長度比較

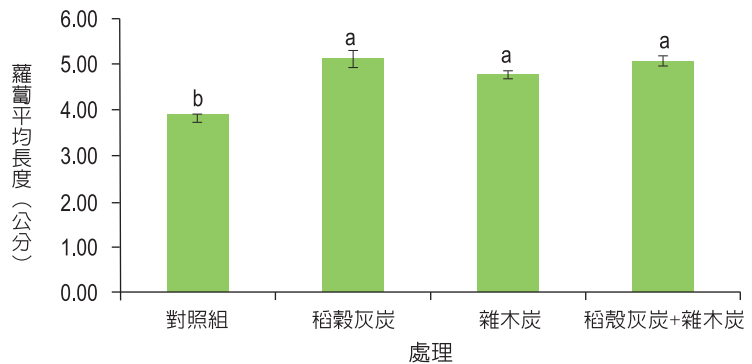


圖10. 白玉蘿蔔不同處理間蘿蔔寬度比較

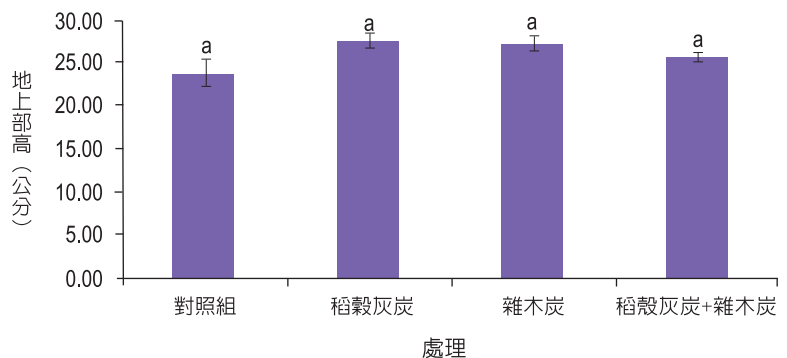


圖11. 白玉蘿蔔不同處理間蘿蔔株高生長比較

量較高，主要為K、Ca及Mg，均高於雜木炭，而此鹽基離子易溶於水而被植物吸收或淋洗，因此在白玉蘿蔔生長後期，能提供較足量的鉀肥促進蘿蔔根部生長。

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，土壤電導度(EC)顯著提高，進而影響植物對營養元素的吸收

效果。另外，試驗過程中，雖第1次追肥各處理組別均施用溶磷菌，但在生物炭各處理組中，由於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。本次試驗處理的溶磷菌均為細菌類的桿菌，而生物炭的孔隙可供微生物避難場所，且灰分含量高的生物炭(稻殼灰炭)，其孔隙率會隨著灰分被淋洗而增加。因此，隨著

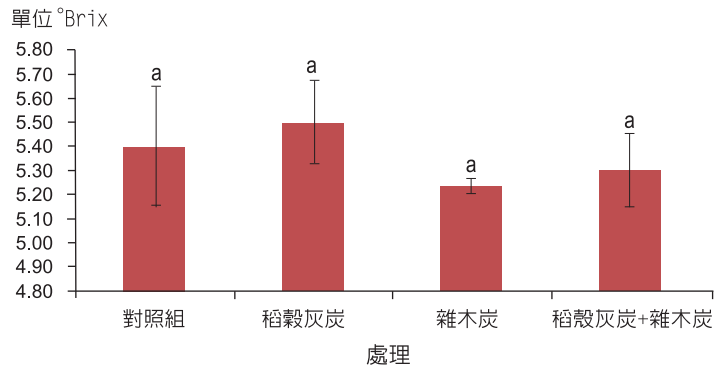


圖12. 白玉蘿蔔不同處理間蘿蔔可溶性固形物比較

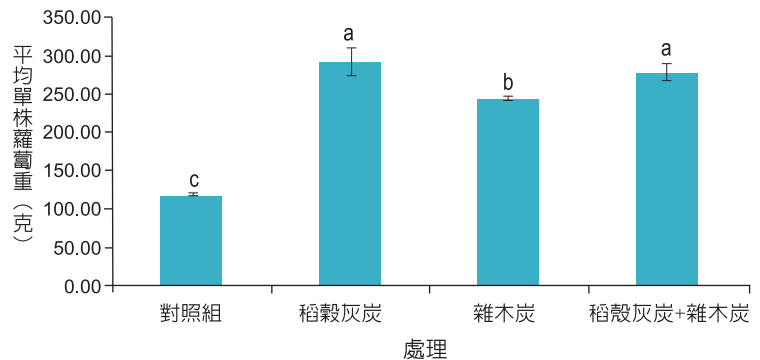


圖13. 白玉蘿蔔不同處理間單株蘿蔔收穫重量比較

施用時間的延長，可供更多位置給微生物繁殖和養分吸附。

另外將施肥成本及收穫重量與市場賣價進行統計，結果如表5所示。在不計算田間病蟲害防治費用情況下，各種不同生物炭處理間，均比對照組收益達1倍以上(表5)。而在採收調查後，再次進行土壤肥力分析(表6)，可發現雜木炭處理的土壤中，Ca含量明顯高於其他處理，且土壤中K含量明顯高於試驗前土壤，可能原因為生物炭表面結構的K溶出所致，而土壤中K及Ca含量提升相對pH及EC值也有所提升，顯示此4者間具有正相關性的表現。且土壤pH值，並沒有因添加鹼性的炭化材料，而有太大變化。此結果顯示，配合土壤肥力檢測及適當的溶磷菌應用，能顯著比對照組增加收入。

表5. 白玉蘿蔔不同處理間蘿蔔收益評估比較

處理	平均蘿蔔 單根重 (g)	產量 (kg/ha)	以市場均價 計算收益 (元/ha)	扣除施肥成 本後收益 (元/ha)	收益比較 (%)
對照	118	20,787	440,684	427,684	100
稻殼灰炭	293	51,498	1,091,758	1,064,258	249
雜木炭	244	42,904	905,274	877,740	205
稻殼灰炭+雜木炭	279	49,016	1,034,238	1,006,738	235

註：白玉蘿蔔試驗田區，每平方米約有22.4株蘿蔔，畦面120cm畦溝30cm，每公頃實際種植面積約為80%。
產量 = 每平方米22棵蘿蔔 × 平均單重 × 實際耕作面積0.8；收益計算 = 依據108年11~12月全臺平均價格(21.1元/kg) × 產量

表6. 不同處理間白玉蘿蔔採收後土壤肥力變化情形比較

處理	pH (1:1)	O.M (%)	-----mg/kg-----									EC(1:5) (mS/cm)
			P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	
對照	6.14	3.13	78	91	716	79	1675	62	11.0	9.6	37.8	0.14
雜木炭	6.81	2.97	73	146	1317	80	1365	52	10.2	14.0	75.7	0.31
稻殼灰炭	6.22	3.06	71	101	913	67	1602	64	11.1	9.7	56.0	0.18
雜木炭+ 稻殼灰炭	6.71	2.87	77	134	953	82	1627	69	11.3	11.4	79.5	0.30

結語

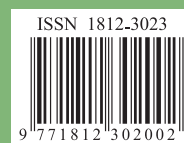
生物炭為具有多孔隙的材料，但依其燒製原料不同，生物炭特性也有極大差異。例如木材燒製成的生物炭，因其具有木質素構造，施用於土壤中不易崩解，具有長時間的碳匯功能；而草本或樹葉等材料，缺乏木質素，且含大量纖維素、半纖維素、蛋白質及脂類等，其製成生物炭施於土壤中，易因結構崩解，而被植物吸收或雨水淋洗，進而缺乏碳匯功效。另高溫製成生物炭，會使炭材pH提升，其鹼性物質來源，主要為K、Ca及Mg等鹽基離子，一旦被溶解經作物吸收後就無此特性。然而，土壤團粒化需要有機質分解，轉化為腐植質做媒介才能形成，對土壤理化性質改良、酵素反應及生態功能才有整體作用，此方面並非施用生物炭即可完成，因此生物炭仍須與有機質肥料配合應用，對土壤整體改良效果才能相輔相成。若農友在生物炭田間應用方面，有施用上的疑問，仍建議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，進而正確使用生物炭投入作物生產應用。



刊名：高雄區農技報導
出版年月：109年11月
期數：154期
篇名：生物炭在白玉蘿蔔生產應用
作者：張耀聰
發行人：戴順發
總編輯：王裕權
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：908126屏東縣長治鄉德和村德和路2-6號
網址：<https://www.kdais.gov.tw/ws.php?id=413>
電話：08-7389158

印刷廠：鳴昇彩色印刷有限公司
地址：904010屏東縣九如鄉農場街17號
電話：08-7392116
傳真：08-7392950
發行量：1,500本
定價：40元
展售書局：
國家書店 02-25180207
五南文化廣場 04-24378010
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



GPN：2008200192
定價：40元