

生物炭在田間施用之效果

文／圖 ■ 江汶錦

前言

臺灣每年約產生460～519萬公噸農業廢棄物，其中以畜產廢棄物占49%及農產廢棄物占42%為大宗。這些廢棄物富含有機碳、氮、磷、鈣及微量礦物質等，過去農民多隨意處置，致農業副產物約有30%就地掩埋、燃燒，未有效再利用，並造成污染。此外，目前55%農業副產物係以堆肥方式再利用，面臨臭味、高成本、低價值及市場高度競爭問題，亟需進行高價值創新產品之技術研發，避免前述資源錯置，造成對環境的負面影響。另一方面，將農業生產過程中的廢棄物以清潔製程產生炭化產品，為循環生物經濟中的重要一環。導入農用生物炭技術除可提升農業副產物再利用比例，並可減少因燃燒農業副產物所釋出之碳排放，為呼應法國於COP21巴黎氣候峰會倡議之千分之四增加土壤碳儲存量，農地施用生物炭，可增加土壤永久性的碳儲存，也可提升土壤之理化性質，且可成為再生能源及環境復育之材料，故生物炭產製利用，可達成農業零廢棄之理想，也兼具有社會、環境及經濟效益。

在本場農業專訊第104期中，介紹小葉

菜類盆栽試驗的初步成果，這次我們將生物炭(稻殼炭、樹枝炭、菇包炭)施用在農友的田間，作物包含新化的有機葉菜、民雄的鳳梨、朴子的甜玉米等，帶領大家進一步了解生物炭在田間的實際成效。

優良生物炭的定義

生物炭是指，含碳的生物質在缺乏氧氣(防止燃燒)的情況下，直接在高熱下分解(Pyrolysis)產生固體(生物炭)、液體(生物油)和氣體(合成氣)的混合物，其固體即為生物炭。熱解的產率主要取決於溫度，在400～500℃的溫度會產生更多的生物炭，而700℃以上的溫度則有利於液體和氣體(合成氣)的產量，溫度越高下熱解越快。通常生物炭含有高量的芳香族結構，依歐盟規定，生物炭的規格需具有：低的氫/碳比，低的氧/碳比，大的比表面積(BET >150 m²/g)等的多樣檢測項目，其他關於生物炭的介紹可以參閱本場農業專訊第104期。

雖然生物炭是一新興的研究主題，但國外已有相關的認證標章商品，生物炭標準主要參考歐洲生物炭證書(EBC 2018)、國際生物炭倡議(IBI 2015)，雖然國內政府機關尚未明訂

生物炭的標準，但民間的臺灣生物炭產業發展協會結合產官學界正積極推動臺灣地區生物炭標準(表一)的建立，除參考國外標準外，也參照臺灣肥料管理法與土壤及地下水污染整治法等，因生物炭標準內容除包含主成分碳(C) %含量、氫碳比(H/C) <0.7、氧碳比(O/C) < 0.4、酸鹼值(pH)、電導度(EC)，更需注意危害成分限值、材料來源等，故表一僅針對有害成分建議限值提供參考應用。

表一、臺灣生物炭產業發展協會之炭品有害物質建議限值

檢測項目 (毫克/公斤)	EBC (基本) ³	EBC (特級) ³	IBI ⁴	臺灣
鉛 (Pb)	< 150	< 120	121~300	< 150 ¹
鉻 (Cr)	< 90	< 80	93~1200	< 150 ¹
銅 (Cu)	< 100	< 100	143~6000	< 100 ¹
鎳 (Ni)	< 50	< 30	47~420	< 25 ¹
汞 (Hg)	< 1	< 1	~17	< 1 ¹
鋅 (Zn)	< 400	< 400	416~7400	< 500 ¹
鎘 (Cd)	< 1.5	< 1	1.4~39	< 2 ¹
砷 (As)	< 13	< 13	13~100	< 25 ¹
苯 (C ₆ H ₆)	-	-	-	< 5 ²
甲苯 (C ₇ H ₈)	-	-	-	< 500 ²
乙苯 (C ₈ H ₁₀)	-	-	-	< 250 ²
二甲苯 (C ₈ H ₁₀)	-	-	-	< 500 ²
多環芳烴 (PAHs)	< 12	< 4	6~300	< 12 ³
多氯聯苯 (PCBs)	< 0.2	< 0.2	0.2~0.5	< 0.2 ³
戴奧辛/呋喃 奈克/公斤	< 20	< 20	< 17	< 20 ³

註：¹ 肥料管理法-肥料種類品目及規格(2020)。

² 土壤及地下水污染整治法-土壤污染管制標準(2011)。

³ 參考https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_9_3.pdf

⁴ 參考https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf

假若農友無法確定購買的生物炭的來源與品質，請先暫緩施用，以免造成農地的污染傷害。想更進一步知道生物炭相關研究與新知、推廣活動、在地的炭源位置和數量、鄰近的炭化場所與何處購買生物炭產品等資料，可查詢生物炭料源供應及應用管理平台(<https://biochar.tfri.gov.tw/BiocharPortal/>)，內容精彩豐富且有專人不定期更新維護。

生物炭田間施用結果

一、淺根性作物

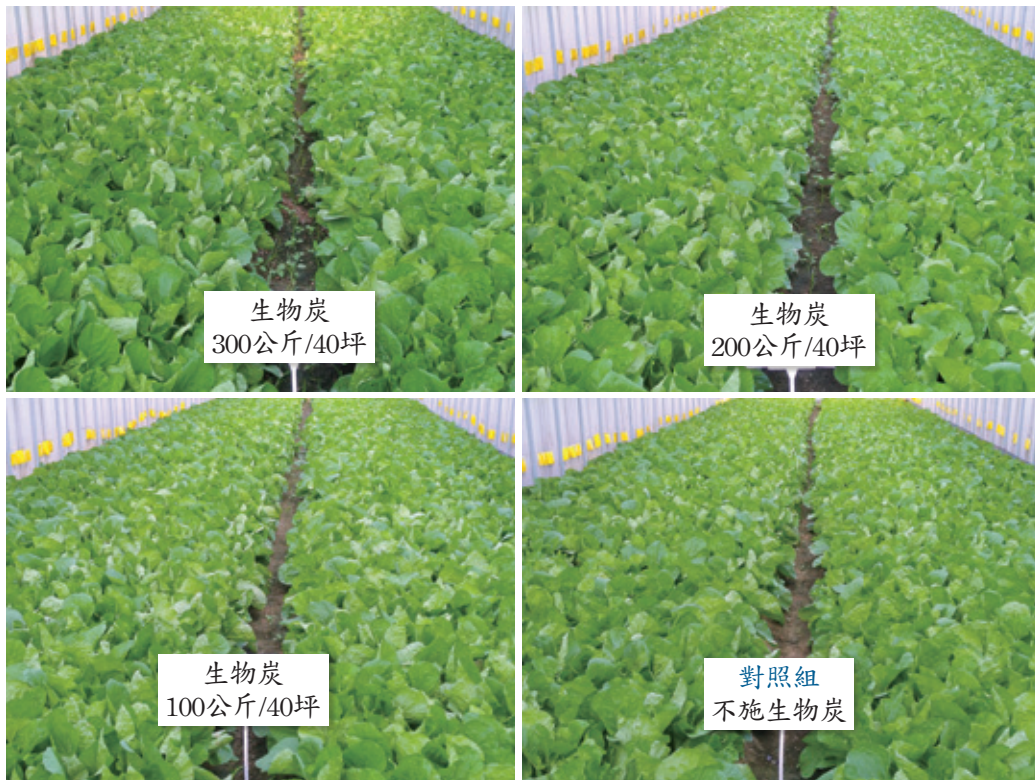
有機葉菜類(蚵仔白菜、黑葉白菜、味美菜)田間試驗，成效良好。

(一) 背景說明

地點在新化戴農友之有機農場，Google Map (23.011306, 120.337657)，選用40坪小型葉菜類溫室，只施用一次生物炭，其生物炭處理量分別為(w/w=0%、0.5%、1%、1.5%，0.1公頃之表土15公分約重150公噸)，換算生物炭用量為0、100、200、300公斤/40坪/棟，共8棟溫室執行試驗，舊溫室4棟施用菇包炭，新溫室4棟施用稻殼炭，試驗設計採完全逢機設計(CRD)。

(二) 土壤分析

土壤分析資料如表二，溫室的原始土壤雖呈弱鹼性，但施用菇包炭或稻殼炭後pH影響不大，反而是施用鹼性中興牌禽畜糞堆肥(5-09)造成土壤鈣含量增加與pH提升，這可由新溫室與舊溫室之第0期土壤的鈣鎂含量差異



圖一、生物炭施用量對有機蚵仔白菜的影響

判斷出來，因新溫室土壤是處女地尚未進行任何農作與未用過任何肥料，其試驗前土壤的鈣含量1502~1851 (mg/kg)，但1期作後鈣含量增加為1833~2123 (mg/kg)，因稻殼炭的鈣含量<1%，以最高添加300公斤稻殼炭/40坪/棟來計算，只會提升土壤鈣150 (mg/kg)，而對照已使用6年的舊溫室，其不施生物炭的土壤鈣含量已高達2406~4051 (mg/kg)，累積的鈣含量主要由長期施用中興牌禽畜糞堆肥 (5-09) 而來。

施用生物炭可提升土壤碳與氮含量，顯著增加土壤有機質含量，增進土壤健康與提升保肥力，在相同生物炭用量下，菇包生物炭效果較稻殼炭強，而且生物炭施用有助土壤

物理的排水性改善，根據生物炭不易分解的特性，它的物理改善效果可以持續很久。

(三) 產量品質分析

各處理的蔬菜產量資料如表三，舊溫室施用生物炭的效果較新溫室明顯，顯示生物炭對長期連作的土壤有改善效果，尤其在異常氣候下更出色，在4月份異常氣候下的長期陰雨期間，生物炭處理的葉菜類生長快比對照組提前採收1天，產量可以增加達48%，減少病害比率。當菇包炭施用量達1.5%時，雖會造成初期葉菜類葉緣黃化，但一周後可以恢復正常，建議菇包炭適宜的用量為1% (w/w)，而稻殼炭施用量達1.5% (w/w) 時對葉菜生長仍沒有限制。

表二、生物炭施用後對土壤肥力分析的變化

試驗地點	生物炭量(kg)	種植期作	EC(1:5)(dS/m)	pH(1:1)	有機質(%)	M3-磷(mg/kg)	M3-鉀(mg/kg)	M3-鈣(mg/kg)	M3-鎂(mg/kg)	碳(C)(%)	氮(N)(%)
舊溫室	300	0期	0.40	7.33	5.31	294	124	2782	682	3.14	0.19
	200	0期	0.38	7.40	4.69	316	207	2880	696	2.78	0.17
	100	0期	0.32	7.25	5.10	283	162	2585	550	3.01	0.14
	0	0期	0.28	7.45	4.14	195	117	2406	585	2.44	0.12
	300	1期	0.48	7.40	10.96	475	425	3916	891	6.44	0.27
	200	1期	0.32	7.31	4.73	278	262	3858	825	2.79	0.15
	100	1期	0.15	7.36	4.67	269	226	3298	692	2.75	0.12
	0	1期	0.15	7.55	3.41	221	175	3460	814	2.00	0.10
	300	2期	0.16	7.88	6.96	235	200	3420	787	4.11	0.16
	200	2期	0.22	7.55	5.84	345	295	3551	720	3.44	0.16
	100	2期	0.24	7.62	4.91	324	220	3624	755	2.89	0.13
	0	2期	0.34	7.50	5.00	426	253	4051	810	2.97	0.19
新溫室	300	0期	0.23	7.32	2.17	110	177	1674	434	1.27	0.09
	200	0期	0.11	7.56	2.06	80	112	1502	421	1.21	0.07
	100	0期	0.15	7.52	2.21	122	198	1851	483	1.29	0.09
	0	0期	0.16	7.66	1.97	134	178	1805	477	1.16	0.08
	300	1期	0.36	6.94	3.44	161	241	1908	443	2.01	0.11
	200	1期	0.26	7.42	2.44	166	150	1833	437	1.43	0.09
	100	1期	0.18	7.41	3.12	168	176	1972	460	1.83	0.09
	0	1期	0.19	7.45	2.36	192	186	2123	499	1.38	0.08

註：舊溫室40坪(已使用6年)施用菇包炭。新溫室40坪(處女地)施用稻殼炭。

表三、生物炭施用後對葉菜類產量的影響

試驗地點	期作	作物	炭量	種植日	生長日數	重量Kg/棟	備註
舊溫室	1期	蚵仔白菜	300 kg	3月26日	24	437	初期葉緣黃後恢復，葉厚
			200 kg	3月26日	24	481	葉厚，品質佳
			100 kg	3月25日	24	403	白鏽病
			0 kg	3月25日	24	380	白鏽病多，品質差
舊溫室	2期	黑葉白菜	300 kg	4月22日	25	262	雖長期陰雨，但排水佳
			200 kg	4月22日	25	278	雖長期陰雨，但排水佳
			100 kg	4月20日	26	198	陰雨土濕，產量品質差
			0 kg	4月20日	26	188	陰雨土濕，產量品質差
新溫室	1期	味美菜	300 kg	9月30日	21	223	葉色綠，生長最快，質佳
			200 kg	9月30日	21	208	葉色綠，生長速，品質佳
			100 kg	9月30日	21	212	葉色淡，葉斑病、黑斑病
			0 kg	9月30日	21	230	葉色淡，葉斑黑斑病嚴重

註：舊溫室第一期，基肥施用純德粒肥(6-3-3)40 kg/棟，中興牌禽畜糞堆肥(2.3-2.5-1.8) 200 kg/棟。

舊溫室第二期，基肥施用純德粒肥(6-3-3)40 kg/棟，中興牌禽畜糞堆肥(2.3-2.5-1.8) 100 kg/棟。

新溫室第一期，基肥施用純德粒肥(6-3-3)40 kg/棟，中興牌禽畜糞堆肥(2.3-2.5-1.8) 100 kg/棟。

二、深根性作物

民雄鳳梨與朴子甜玉米田間試驗，效果不顯著。

(一) 背景說明

鳳梨試驗地點在民雄Google Map (23.552898, 120.484479)，施用不同稻殼炭量(w/w=0%、0.25%、0.5%、1%、2%、3%，1分地表土20公分約重200公噸)，每小區70平方公尺，採完全隨機設計(CRD)。

甜玉米試點在朴子分場Google Map (23.469961, 120.259177)，使用稻殼炭、菇包炭、樹枝炭，每小區施用不同炭量(w/w=0%、1%、2%、3%)，每小區70平方公尺，採完全隨機區集設計(RCBD)。

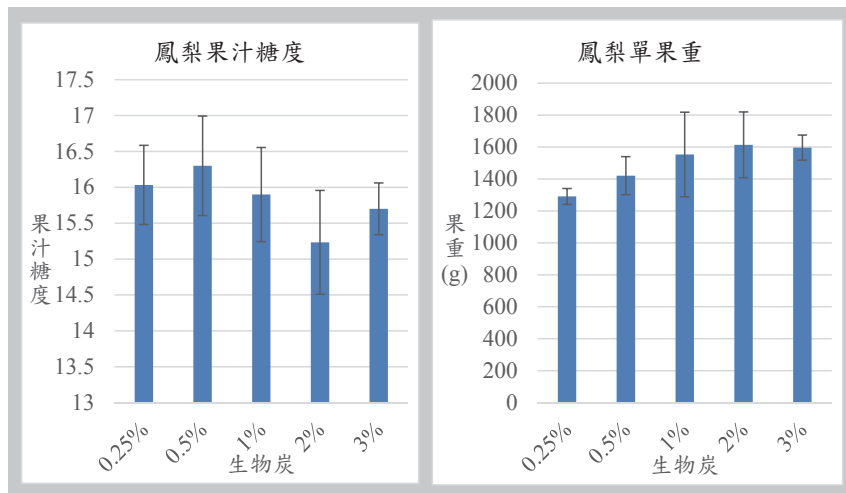
(二) 產量品質分析

民雄鳳梨採割調查結果如圖二，雖然生物炭處理對鳳梨的單果重似乎有提升的趨勢，但在統計上果汁糖度、果重、果莖粗等項目與對照組都沒有顯著差異，即表示生物炭的處理沒有效果，此結果與高雄改良場和農試

所的鳳梨試驗結果類似，推測因為生物炭僅表層施用20公分，對深根性長期作物鳳梨影響較少，不如葉菜類明顯。

第一期春作甜玉米夏強品種產量如表四，在菇包炭處理，在鮮穗重與含包葉重的產量皆高於慣行對照組，稻殼炭處理含包葉重的產量低於對照組，只有稻殼炭1%、2%的鮮穗重稍高於對照組，華珍品種所有生物炭處理的含包葉重反而皆低於對照組，而鮮穗重只有在菇包炭3%、稻殼炭1%、2%略高於對照組，整體而言，品種間以華珍較夏強產量為高，生物炭處理方面，華珍在稻殼炭處理比菇包炭產量高，夏強則以菇包炭為佳。

第二期秋作試驗產量如圖4，各處理只有樹枝炭1%、稻殼炭2%的產量高於對照組，亦即生物炭處理對甜玉米的產量沒有明顯幫助，此結果與臺中改良場的試驗結果相似，推測也是因為生物炭僅表層施用20公分，對深根性的玉米影響較少，不如葉菜類明顯。



圖二、稻殼炭施用量對2020年鳳梨產量品質的影響



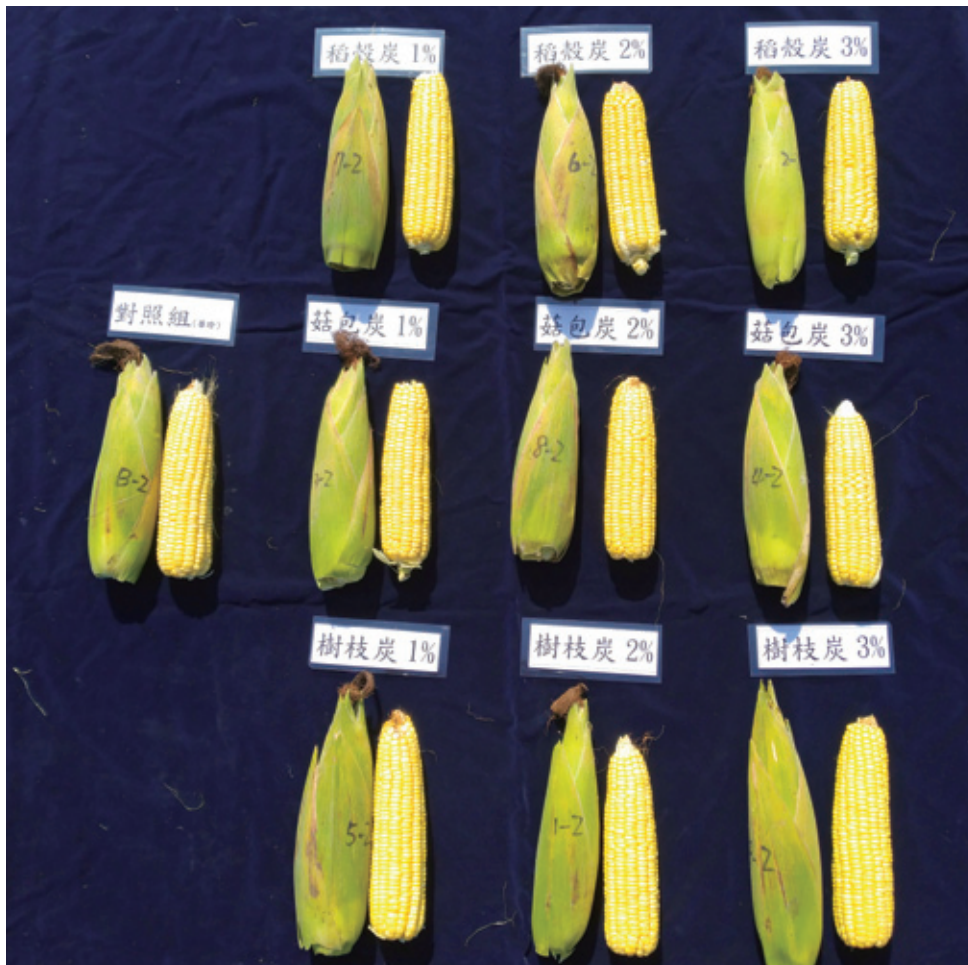
圖三、稻殼炭施用量對鳳梨果實影響不顯著

表四、2019年春作生物炭朴子分場甜玉米產量

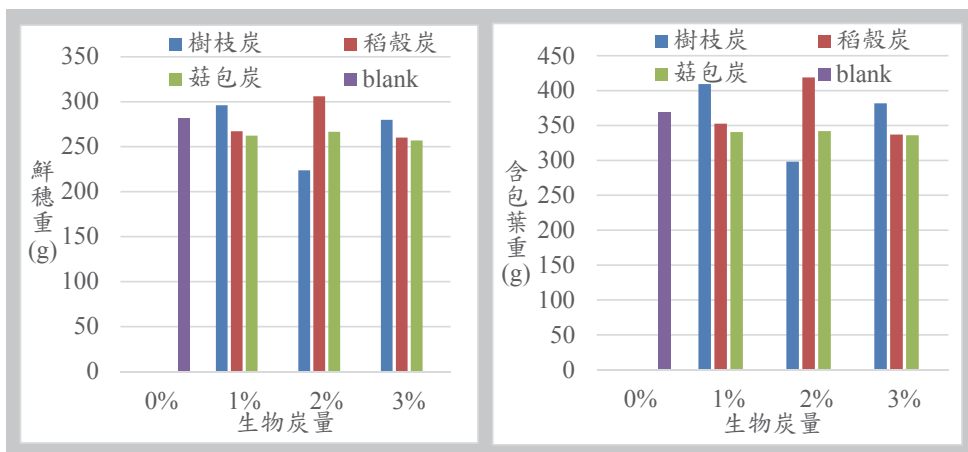
品種	生物炭處理	包葉鮮重(公克)	指數	鮮穗重(公克)	指數
夏強	菇包炭1%	245.8 a	115%	186.7 a	120%
	菇包炭2%	226.0 a	106%	164.7 a	106%
	菇包炭3%	255.0 a	119%	186.2 a	120%
	稻殼炭1%	217.5 a	102%	161.7 a	104%
	稻殼炭2%	206.7 a	97%	162.0 a	105%
	稻殼炭3%	209.7 a	98%	127.2 a	82%
	對照組	213.8 a	100%	155.0 a	100%
華珍	菇包炭1%	247.5 a	83%	179.0 a	91%
	菇包炭2%	283.3 a	96%	194.0 a	98%
	菇包炭3%	289.2 a	97%	205.2 a	104%
	稻殼炭1%	285.2 a	96%	211.7 a	107%
	稻殼炭2%	266.3 a	90%	209.2 a	106%
	稻殼炭3%	271.3 a	91%	192.5 a	98%
	對照組	296.7 a	100%	197.2 a	100%

小結

生物炭是好東西，尤其用在土壤的改良方面，對土壤物理性與化學性有很好的幫助，但要注意改良的深度是否為作物根群的分布範圍，且因不同材料生物炭的表現與施用量限值不同，故選擇生物炭除考慮售價外，尚需評估生物炭的成分、粒徑大小、施用效果、作物的根系型態與土壤條件等，並且選擇適合各農場的施用方案，如一次性大量投入可以省工或少量逐次投入可以省錢等，好讓每一分的付出都有多分的效益，考量生物炭價格不斐，建議農友施用在淺根性且複作指數高的作物，少量的施用生物炭就能看見顯著的效果，而短期葉菜類是一種很好的選擇，不僅增產還有減輕病害發生等優勢。



圖四、2019年秋作生物炭施用量對甜玉米華珍產量的影響



圖五、2019年秋作生物炭施用量對甜玉米華珍產量的影響