

日本生物炭農業活用指引

Japan Guidebook on Biochar Use in Agriculture

陳哲仁¹、曾泓儒²

一、前言

聯合國氣候大會於 2015 年第 21 屆巴黎峰會由主辦國法國提出土壤「千分之四」倡議，基於科學評估若每年可增加千分之四的碳蓄積量於土壤中，就能平衡每年因人類活動增加排放至大氣中的二氧化碳量，而生物炭於土壤中施用被視為最直接的有效方法選擇之一。本文就日本農林水產省與立命館大學於 2025 年 3 月發行的生物炭農業利用案例與活用指引(バイオ炭の農業利用事例とその活用ガイドブック)作為主要內容，及國內相關資料與讀者進行分享。

生物炭(biochar)是指由生物質(biomass)經過高溫熱裂解(pyrolysis)處理過程而生

成的炭，根據 2019 年政府間氣候變遷專門委員會發布指引內容定義「在限制氧氣供給未燃燒狀態，生物質經 350℃ 以上加熱形成的固形物」，生物炭具有兩項的主要功效，一是土壤改良及提升作物產量效果，二是生物炭於農地施用具有將碳素閉鎖在土壤中效果(圖 1，原文資料引用)，被視為自大氣移除二氧化碳(Carbon Dioxide Removal, CDR)的一種方法，日本政府 2030 年期中減碳目標是將 850 萬公噸二氧化碳當量(相當農業部門 16% 減排量)透過有機質及生物炭於農地施用達成。

二、生物炭製作

生物炭原料範圍包括可再生生物質，

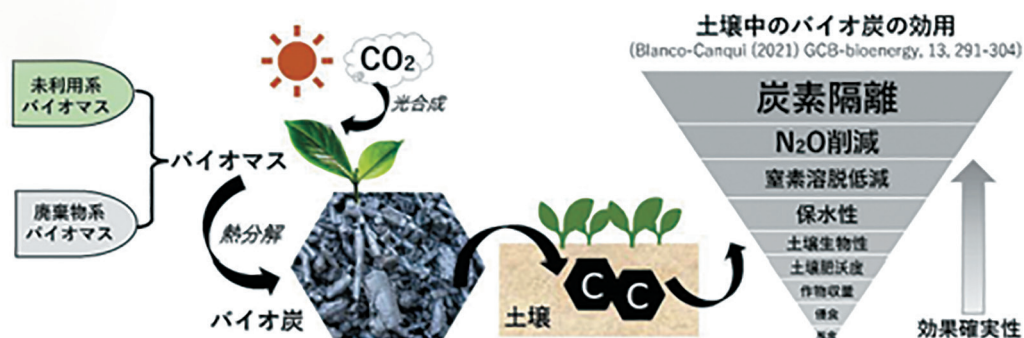


圖 1. 生物炭於土壤中之功效 (資料來源：バイオ炭の農業利用事例とその活用ガイドブック。2025 年)

¹ 種苗改良繁殖場 種苗經營科 副研究員兼科長

² 種苗改良繁殖場 種苗經營科 助理研究員

但以植物為主要，如木材、竹材、稻殼等，以及其他包括禽畜糞及農業汙泥來源。關於生物炭原料來源說明，日本許可兩大類別生物炭製作原料，未利用農業剩餘資源及事業廢棄物兩類，一、未利用資源包括木質生物質(森林殘材、間伐材、果樹修剪枝條、竹等)、農業殘渣(稻稈、稻殼、麥稈以及其他農業殘渣)、草本植物(竹葉、芒草)；二、事業廢棄物受注目者包括木質生物質如公園修剪枝條、禽畜糞與農業汙泥、食品加工後廢棄物、家庭廚餘、事業廚餘(圖1)。與國內暫訂料源分類大抵一致，分為保有天然型態料源及非天然型態料源(經化學或生物作用後之產物)。

關於炭化方式根據製造目的有多種設備選擇，以生物炭產出略以開放式、密閉式與連續式三大類別，開放式炭化器適合於果園、竹林等田區現場執行炭化，減少果樹剪枝農業殘渣運輸成本，密閉式有傳統炭窯方式及上方點火向上通氣型(Top Lit

Updraft, TLUD)炭化爐具(圖2)，最後是適合於大量生產的連續進料與炭化反應的連續式設備，日本配合自2012開始推行之FIT制度(再生能源固定價格收購制度)，採行熱裂解氣化方法將有機質裂解為可燃氣體串聯燃氣發電機產生電力，並設置木/竹醋液蒐集、排氣淨化設備(符合法規排放標準)，已有小規模氣電共生設備商業運行中，其生物炭則作為能源產出為目的的副產物。生物炭製作料受單一料源如稻殼季節性供應限制，使得連續式設備難以周年運轉，因此需設置暫存倉儲或進行不同料源(木質、草料、農業汙泥等不同特性與水分含量)處置，也由於設備投資金額較高，造成投入不易回收，為了能達成增加生物炭產量，生物炭用途與需求開發是推廣必要課題。

日本生物炭品質證明書由日本生物炭普及會(JBA)發行，以確保炭化溫度達350℃以上，文件記載原料來源、炭化方



圖2. 種苗改良繁殖場執行使用後菇包介質經壓縮造粒，採用(左)簡易型TLUD炭化爐具收得(右)生物炭成品及冷凝木醋液

文獻報告

法、數量以及證明有效期限，測定內容有比重、水分、灰分、揮發成分、難分解碳素含量百分比以及每單位製造碳排放計算值，製造碳排計算以涵蓋全生命週期 (Life Cycle Assessment, LCA) 評估，自原料蒐集運輸、加工廠電力及油料等投入資源、成品運輸至農地施用。

國內依據林業試驗所出版臺灣生物炭產製與農業應用指南，有關生物炭品質分級規格，考量未來國際接軌申請國際認證標章，因此參採 IBI 國際標準規範，訂定我國的生物炭品質標準，包括有機碳含量 (%)、氫碳莫耳比與制定重金屬含量限制，電導度、酸鹼值、比表面積三項為指定標示內容。生物炭有害物檢測要項應包括鉛、鉻、銅、鎳、汞、鋅、鎘、砷等重金屬與多環芳香烴 (Polycyclic

aromatic hydrocarbons, PAHs)、多氯聯苯 (Polychlorinated biphenyls, PCBs)、戴奧辛 / 呔喃以及有機揮發物質 (Volatile organic compounds, VOCs) 等有機污染物，其中有機發物質 (苯、甲苯、乙苯、二甲苯) 得當燒製量大於每年 50 公噸以上者才須檢測 (表一)，但是正式國家標準尚未訂定。

三、生物炭特徵及施用效果

(一) pH 值、EC 值

雖然碳素本身是中性，但是製程中酸性物質於水中電解影響，殘存非有機鹼金屬物質，因此呈現 pH 值 9-11 鹼性，同時，EC 值也隨之變動，使用前還需測定確認。

(二) 透水性、保水性

生物炭施用能在土壤中形成物理性間隙，因此能改善土壤透水性及通氣性，施用上以 0.1-0.5%(w/w) 與土壤混合，且生物

表一、臺灣地區炭品有害物質檢測之建議閥值

檢測要項	閥值	備註
鉛	<150 mg/kg	
鉻	<90 mg/kg	
銅	<100 mg/kg	
鎳	<50 mg/kg	
汞	<1 mg/kg	
鋅	<400 mg/kg	
鎘	<1.5 mg/kg	
砷	<13 mg/kg	
多環芳香烴	<12 mg/kg	
多氯聯苯	<0.2 mg/kg	
戴奧辛 / 呔喃	<20 ng/kg (I-TEQ)	
揮發性物質－苯	<5 mg/kg	>50 噸 / 年
揮發性物質－甲苯	<500 mg/kg	>50 噸 / 年
揮發性物質－乙苯	<250 mg/kg	>50 噸 / 年
揮發性物質－二甲苯	<500 mg/kg	>50 噸 / 年

(資料來源：林業叢刊第 291 號。2020 年)

炭內部的大量微細孔隙有助土壤保水性及土壤可溶性肥力保持，但是土壤施用影響複雜，還需視土壤質地與作物生長需求進行用量與用法調整。

(三) 肥料成分

生物炭氮素、磷酸、鉀肥含量因原料種類而異，如炭化稻殼及竹炭具有較高鉀肥，雞糞炭則磷肥較高，惟上述以外種類的生物炭，碳素以外成分的短期肥效並不期待，當施用鉀肥含量較高的生物炭應避免過量施用，以免過量鉀肥成土壤礦鹽比例(Mg/K)失衡。

(四) 吸附性(保肥力)

生物炭與堆肥混拌有助肥料成分吸附，吸附能力與燒製溫度有關(圖3)，大抵中高溫(6-800℃)較低溫(3-400℃)成品細微孔隙且表面積增加，有較高的吸附能力，且生物炭本身陽離子交換能力較一般土壤改良資材低下(CEC=3-20 meq/100g)，惟在盆栽試驗顯示15%(w/w)生物炭單獨施

用量可能造成作物出現缺肥現象。

(五) 生物性

生物炭對土壤微生物總量增加助益還缺少充分證據，但是不完全炭化導致多環芳香烴(PAHs)積累不利微生物生長，而生物炭表面的細微空隙可形成微生物生長空間，生物炭因其鹼性特性，可調適酸性土壤促進微生物活動。

(六) 生物炭土壤施用碳素儲匯量計算

碳素儲匯量(t-CO₂e)=投入生物炭重量(t,乾重)×生物炭的有機碳素含量(%)×100年後碳素殘留率(%)×44/12(二氧化碳當量轉換)

四、生物炭於農地利用

生物炭原料經熱收縮，形狀大抵與原本相同，而從木材、木片加工設施由來的生物炭多會呈現小片狀(<5 cm)、粒狀或粉狀，由於生物炭質輕，因此易隨風飄散，施用上需特別注意。生物炭施用可以全層及表面施用，或作畦時、穴播、開溝局部施用，與堆肥混拌也是推薦使用方法，除人工撒布，曳引機附掛迴轉犁、石灰撒佈、堆肥撒佈機械作業，而尤其是粉狀生物炭應避免在強風日進行。

(一) 日本農地施用生物炭

日本生物炭農地施用方法學(AG-004，申請J-credit碳權使用)，首先需滿足六項的農地施用基本條件，並檢附日本生物炭普及會生物炭品質證明書。

1. 實施地點為法規中定義之農地與草料牧草地等
2. 施用的生物炭土壤中100年殘存率會因

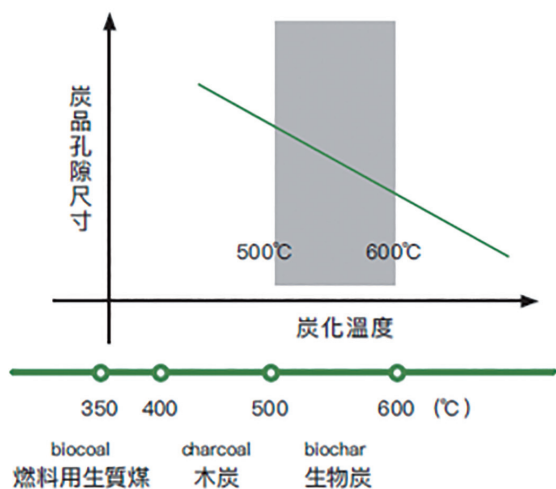


圖3. 炭化溫度與孔隙大小之關係(資料來源：林業叢刊第291號。2020年)

文獻報告

使用原料種類及燒製溫度而異，須符合方法學之規定

3. 生物炭木材原材料必須為國產材 (含竹材)
4. 農地用生物炭需使用農業剩餘資源，不得使用以製作生物炭為目的的伐材
5. 生物炭原料不得有異物、塗料、接著劑、防腐劑、藥劑等有害物質，及違反相關法規或其他不當處置
6. 農地施用計畫，需考量環境衝擊及確保持續可行性

(二) 日本生物炭施用實際案例摘要

1. 水稻育苗土添加 50% 炭化稻殼 (v/v) 與慣行操作可得相同強健植株及秧苗片，可收減輕苗盤重量效果，惟因提高育苗土酸鹼值，還需留意苗期 pH 值 6.0 以上秧苗立枯病發生。
2. 水田轉大豆種植田區，因土壤物理性及排水不良致收量低下，每分地施用 200 及 400 公斤木炭，以 400 公斤用量觀測到最高的根瘤粒數，收量方面則 200 及 400 公斤施用量表現皆優於未施用 ~7% 程度。
3. 日本福井縣奧越地區會撒佈炭化稻殼加速融雪並栽培芋頭，每分地施用 100 公

斤炭化稻殼田區，收穫物可販售個數較無施用增加 10-12%，且薯塊較大，並發現土壤可利用鉀離子增加，恰適芋頭需鉀肥較多，且植株萎凋病發病率降低 30-50% 程度。

4. 黑色火山灰土施用 400℃ 處理造粒雞糞生物炭具有調適土壤 pH 值及緩釋性磷、鉀肥功效，與微量元素補充及土壤增匯效果，惟雞糞衍生製品使用上還需留意銅及鋅含量是否超過法規上限，此外，含雞糞生物炭或炭化稻殼複合肥料，短期蔬菜栽培過程中土壤氧化亞氮釋出量有明顯低於化學肥料趨勢。

(三) 國內生物炭施用建議根據國內林業試驗所發表使用指引，臺灣位於高溫多濕之亞熱帶地區，土壤淋洗作用強，呈高度風化狀態，因此全臺農地約有三分之一是酸性土壤，而生物炭多為鹼性資材，依據試驗結果生物炭可有效改善土壤酸性，促進作物生長，因此建議將生物炭施用在酸性土壤中較為合適。原則性土壤 pH 值 >7.5 不建議使用，而實際評估 pH 值介於 6-7.5 建議施用 1%(w/w)，pH 值 <6.0 單次

表二、不同土壤酸鹼值 (pH) 所施用生物炭之比例

土壤 pH 值	施用最大總量 *	備註
pH <6	2%	由相關文獻與試驗結果，施用量大於 2% 對部分作物有減產之風險。
pH 6-7.5	1%	由試驗結果，施用 2% 生物炭栽培青江菜產量大多下降，於玉米栽培上，產量與未施用沒有顯著差異，因此建議以 1% 為限。
pH > 7.5	不建議施用	大部分作物養分吸收最適土壤 pH 介於 6.5 - 7 之間，因此不建議於 pH > 7.5 土壤中施用生物炭。

* 以耕犁深度 20 公分計算施用重量比 (炭量 / 土重 × 100%) (資料來源：林業叢刊第 291 號。2020 年)

以不超過 2%(w/w)(表二)，酸性土壤中施用 2% 生物炭預期土壤酸鹼值提升 0.5-2。國內在田間施用生物炭所需注意的事項如以下所彙整：

1. 生物炭為易燃物，儲存應避免高溫、曝曬
2. 施用生物炭前需確認生物炭品質與土壤特性
3. 生物炭含有細顆粒粉塵，施用前可用水澆淋避免揚塵
4. 施用於大田作物栽培時，可將生物炭均勻撒布於田間，再以耕耘機犁田使生物炭與土壤混合；施用於果園作物栽培時可採用環施、穴施、條施等方式，以施用面積土壤重量比例計算合適施用量
5. 因生物炭為鹼性物質，建議依不同土壤酸鹼值適量施用，分次施用之最大總量不宜超過 2%，並依施用後土壤 pH 值與作物生長情形略作調整

五、結語

根據文件內容指出日本碳權每公噸 600-2,400 元 (3,000-12,000 日圓)，而歐美碳權每公噸 9,000-18,000 元 (300-600 美元)，國內自本 (115) 年起針對碳排放大戶 (年排放量超過 2.5 萬公噸二氧化碳當量的電力、製造業等排放用戶) 超額部分徵收碳費每公噸 300 元，較世界上實施碳稅或碳費國家地區相對低下，而每公斤生物炭零售價格為 2-40 元 / 公斤，且使用上並不期待生物炭施用的肥力效果，因此推廣以 4% 土壤倡議或按操作指引 2% 田間施用，在生物炭取得成本上已明顯超過一般栽培每公頃種植收益，而自行燒製生物炭於

果園竹林等農地現場施用往往因量體太小減排增匯效益微小不顯著，故或以連續式熱裂解進行氣電共生設備獲得的生物炭副產物，量體大且品質相對穩定，透過企業 ESG 永續責任理念，媒合企業參與農地施用有機質及 (或) 生物炭增加土壤碳匯為一可行潛力方案。

筆者評估生物炭於農地施用較可行方式，或為將生物炭與有機質肥料混拌，如於雜項有機質肥料 (品目編號 5-13) 以 5% 程度添加，可不超過 2% 最大施用總量連續實施，方便農友田間灑佈操作及自肥料廠銷售紀錄統計農地總施用量，由農業部統一向環境部申請溫室氣體增量抵換額度，惟目前有機質肥料製作規範於肥料中添加炭化稻殼屬禁止項目需克服，且關鍵節點為我國生物炭品質規格與安全管理規範需完成訂定及公告程序始能完備制度面。

最末，植物透過光合作用將空氣中二氧化碳固定為碳水化合物，作為地球生命體活動的主要能量基礎，而人類活動僅取食部分植體而廢棄其他部分甚為可惜，以植物為主的生物質殘渣經過高溫炭化過程，能間接將大氣中二氧化碳轉化為難以分解形式，有別於工程手段的大氣擷取固化處理方式，能實現低能耗二氧化碳封存，且合適的生物炭回施農地，有助改良土壤理化與生物性質，落實農地永續經營管理，是現今普遍認可的增加土壤碳匯方法之一，本文也就日本目前發展及國內推動進行相關比較，期能與讀者就國內生物炭應用共築可持續的循環農業生產模式。