

垃圾變黑金

-台灣農業廢棄物應用於製作生物炭的可行性探討

劉旭倍

國立高雄師範大學工業科技教育學系研究生

lsbtwkh@yahoo.com.tw

壹、前言

全球暖化 (global warming) 所引發的氣候變遷 (climate change) 現象在環保意識高漲的現代社會一直是被討論的議題。美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 的資料顯示全球氣溫最近30年每10年上升為 $+0.177^{\circ}\text{C}$; 而台灣中央氣象局的資料顯示近30年每10年上升為 $+0.24^{\circ}\text{C}/10\text{年}$, 顯見台灣的暖化速度為全球的兩倍。(交通部中央氣象局, 2011)

造成氣候暖化的因素中溫室氣體的增加是主要因素, 其中二氧化碳在溫室氣體中含量最大。國際能源總署 (IEA) 指出2004年台灣平均二氧化碳排放量為11.26噸(人/年), 在亞洲國家排名第一, 不難想像這和台灣暖化的速度的關係。因此台灣將2010年訂為「節能減碳年」, 正是我國以全球最新觀點, 檢視目前因應氣候變遷相關策略, 啟動適合我國情需求之溫室氣體國家適當減緩行動 (NAMAs), 以加速拓展綠色新政、發展綠能產業、增加綠色就業機會及推展綠色生活的最佳時機, 並可向國際宣示我國履行氣候公約的意願與決心。2010年4月經行政院院會通過的「國家節能減碳總計畫」及其十大標竿方案, 即是我國符合哥本哈根協議要求制訂溫室氣體「國家適當減緩行動 (NAMAs)」的主要內涵。期望結合跨部會力量, 統籌規劃及推動包含產業、運輸、住宅以及生活等各層面的具體行動, 有系統地引導全民邁向低碳社會, 達到我國承諾的節能減碳目標。(行政院環境保護署, 2012)

另一個全球危機是糧食的不足, 根據聯合國糧農組織 (FAO) 於2011年的統計, 估計今年全球飢餓人口仍高達9.25億人(台灣世界展望會, 2012), 而造成糧食短缺的原因很多, 其中全球暖化造成的極端氣候包含乾旱、暴雨, 常造成農業重大損失, 使糧食生產不穩定; 另外土壤的惡化也是原因之一, 今日的土壤因過度的耕種、化學肥料、農藥的不當使用, 造成土壤的惡化與毒化。一九一二年諾貝爾獎得主 Alexis Carrel 曾說「眾生的健康與否均賴土壤的肥沃度, 因為所有的食物都是直接或間接地來自土壤」。(曾紫玉, *Secrets of the Soil* 讀後摘要)

土壤是人類健康的基礎，農業是文明的基石，當我們在尋找替代能源來達到節能減碳時可曾想過有沒有什麼能替代土壤？

生物炭(biochar)是解決全球暖化及糧食危機兩大問題的可行性方法之一，美國紐約康奈爾大學(Cornell University)研究認為，掩埋生物炭可能讓土壤儲存有機碳的能力增加一倍。澳洲的研究顯示，生物炭可以減少土壤排放溫室氣體一氧化二氮。德國拜羅伊特大學(University of Bayreuth)的研究顯示，生物炭可以使貧瘠土壤中的植物生長加倍。(「**生物炭：是低碳良策，還是大眾炒作**」,2009)

台灣每年的農業生產會產生大量的農業廢棄物，處理方式常會使用露天燃燒方式，造成大量的二氧化碳釋放至大氣中，若能將這些農業廢棄物製成生物炭並埋入土中，如此就能將燃燒至大氣中的二氧化碳封存於土壤中，並且還能改善土壤肥沃度進而減少化學肥料的使用，最重要的是經過改良的土壤能讓農產的生產量提高。與其花費高費用在碳補集與碳封存上，生物炭的低成本及高附加價值也應該是值得發展的一種方式。

貳、生物炭

一、何謂生物炭

生物炭(biochar)是指生物體不完全燃燒(450°C-550°C)產生的一種非純淨碳的混合物。主要為纖維素、羰基、酸及酸的衍生物、苯酚、烷屬烴及烯屬烴類的衍生物等成分複雜有機碳的混合物。

二、生物炭能提高土壤的生產量

生物炭的構想是因亞馬遜河流域的黑土區而起，德國拜羅伊特大學(University of Bayreuth)的研究員拉澤(Bruno Glaser)說，面積一公頃深一公

尺的黑土內通常含兩百五十公噸碳，但相較之下尚未靠木炭改良的土壤裏，卻僅有一百公噸碳。其他研究人員也注意到，木炭能提高世界各地許多種不同土壤的農業生產力，使收穫量增為 2-3 倍。(蘇雅薇與楊幼蘭, 2012)

愈來愈多的證據顯示，生物炭使土壤肥沃的過程是因為生物炭的超多孔性結構，有助於留住養分，並提供微生物及益菌生長的環境。

三、生物炭的製造方式

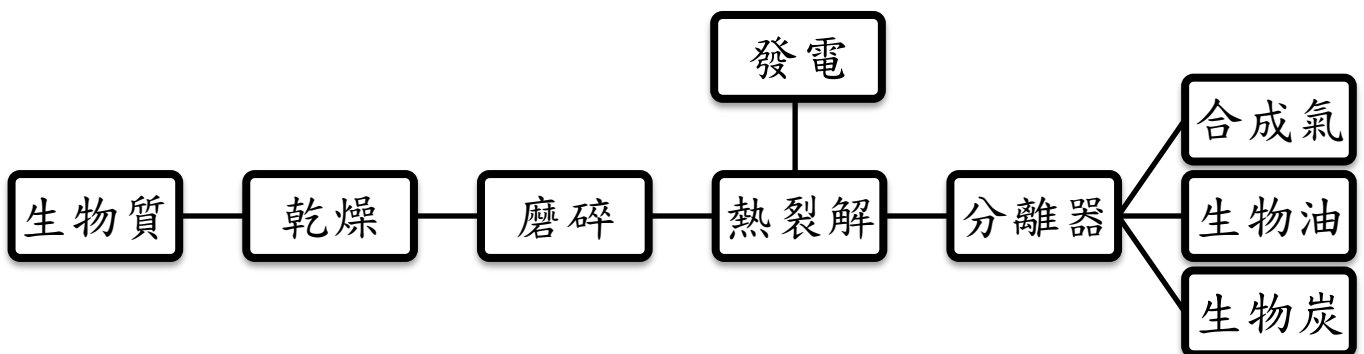
生物質碳化屬於熱裂解過程，各種有機廢棄物在無氧條件下中溫（450°C -550°C）熱解下產生合成氣，生物油和有機液體及較多的炭質固體。

技術原理

低溫：250-550°C；

限氧：反應器封閉，不通氧氣；

不消耗外部能源：點火後自身熱量



圖一 生物炭的製作流程

資料來源：生物炭的製作流程。取自

http://climag.njau.edu.cn:8039/shengwuzhi_Show.asp?InfoId=19&ClassId=8&Topid=0

生物質包含木材、農業廢棄物、市區垃圾等，經乾燥、磨碎等前置作業後在熱裂解爐內限氧燃燒，當加熱至高溫時可釋出合成氣及生物油，這些氣體和液體是可直接作為燃料來使用，在熱裂解的過程中會產生大量熱氣，這些熱氣可送入渦輪機中發電，最後的產物就是生物炭。

四、生物炭製造規模

生物炭的製造並不是先進的技術，在世界上許多文明都有製炭的記載，傳統的製炭是堆疊木柴，並在上方覆蓋不可燃的鈍性物質，以減少空氣流通；有些則在地洞或窯中進行製炭，同樣都是利用低氧、高溫的使生物質碳化。



圖二 野外製炭



圖三 傳統製炭

資料來源：傳統製炭窯場(2009)。取自

<http://blog.sina.com.tw/thetiger3/article.php?pbgid=36029&entryid=590436>

在生物炭的價值逐漸被認同時漸漸就出現商業性的大規模製炭公司，比較有代表性的如澳洲百思特能源(BEST Energies)開發出種大規模製炭技術，每天可以燃燒近 96 公噸乾燥的生物質，製造出 30 至 40 公噸的生物炭；而美國 EPRIDA 公司也有類似的技術可大規模製造生物炭。(蘇雅薇與楊幼蘭, 2012)



圖四 澳洲百思特公司製炭設備



圖五 移動式製炭設備

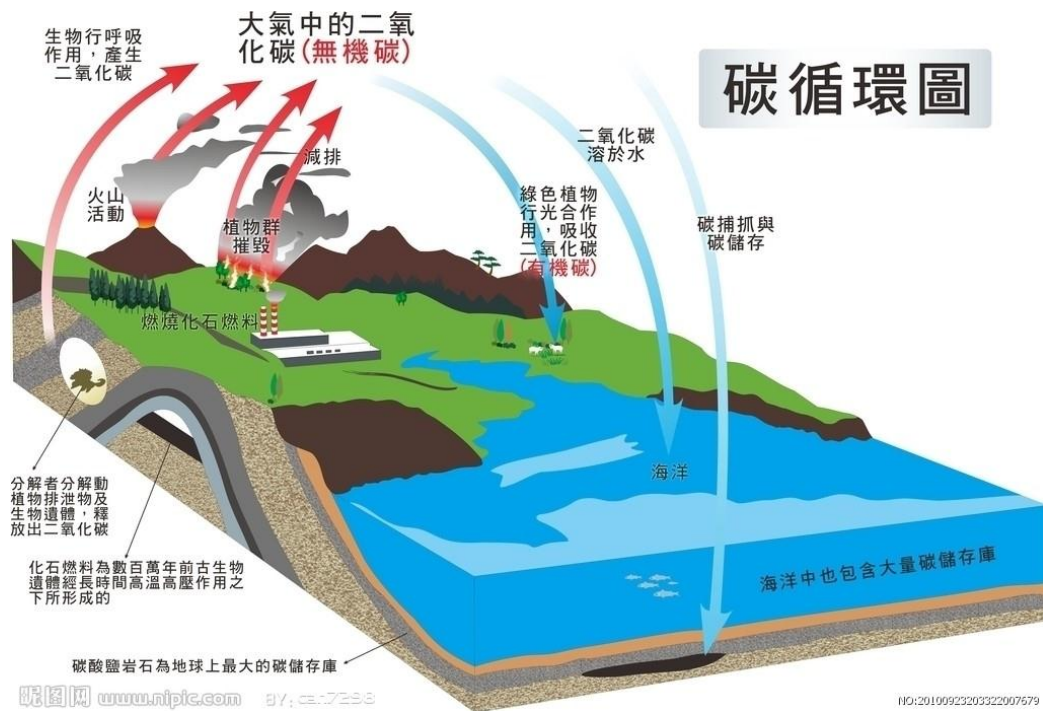
資料來源：各國的製炭設備。取自

http://climag.njau.edu.cn:8039/shengwuzhi_Show.asp?InfoId=22&ClassId=13&Topid=3

五、生物炭在碳循環扮演的角色

碳循環是一生態系統的物質循環，指碳元素在地球上的生物圈、地圈、水圈及大氣中交換，其中各種形態的碳經常以二氧化碳的形式從土壤移動至大氣與植物中，透過自然循環從土壤中進出的碳總量是化石燃料經燒釋放大氣的十至二十倍之多。隨著地球的暖化，土壤保留碳的能力每年遞減，而隨著氣溫升高更加速土壤內許多化學作用，使得土壤中的二氧化碳加速的重返大氣，使得溫室效應雪上加霜。

我們若以生物炭的方式將碳封存於土壤中，不但能減少溫室效應並可提高土壤含碳量，進而使作物產量倍增，何樂而不為呢？



圖六碳循環圖

資料來源：碳循環圖。取自

<http://www.nipic.com/show/3/92/3712376k68863e5a.html>

參、台灣的現況

一、農業廢棄物的產量及處理現況

根據行政院農業委員會 100 年農業廢棄物統計資料顯示，台灣目前的主要農業廢棄物產量及處理方式如下：

(一)、稻草

產量 1,666,237 公噸，稻草一般成份為有機物大於 95%，其中碳 41.3%，氮 0.81%，半纖維素 20.6%，纖維素 24.7%，木質素 7.7%。目前處理方法一般有製做草繩、草袋、草蓆、紙板，畦面敷蓋材料，充當燃料，或混合其他資材做成堆廐肥；也可直接掩埋土中，循環利用其養分或就地燃燒成灰。由於

目前工資昂貴，因此利用稻草做燃料，飼料、草袋、草蓆等相當少，大部份均採就地燃燒與直接掩埋，焚燒雖可殺死病蟲害，但亦造成空氣污染產生濃煙甚而引起交通事故，且燃燒也會造成有機物、氮素及部份磷的損失。本省在民國七十九年三月已立法禁止焚燒稻草，若焚燒稻草造成空氣污染將遭 5,000-100,000 元之罰鍰。

(二)、稻殼

產量 333,255 公噸，稻殼俗稱粗糠，為碾米工廠穀粒加工生產之副產物，本省每年之稻殼廢棄物約有 60 萬公噸。一般碾米廠或農會大都採取露天燃燒或傾倒在河川空地的方式處理，造成環境污染。過去稻殼為主要的農家燃料，由於稻殼質硬疏鬆，且矽含量豐富，因此若能直接再施用於耕地，經分解腐爛後，可提供大量有效矽、鉀，供水稻生長利用。目前稻殼僅有少量作為飼料及建築材料之填充料，極少部份做為果園、花卉及蔬菜之畦面敷蓋。

(三)雜糧作物廢棄物

雜糧作物廢棄物包含落花生藤、落花生殼、大豆藤、毛豆藤、玉米稈、玉米穗軸、玉米筍鬚，及甘藷蔓等，合計約 1,016,000 噸，落花生藤除了少數就地焚燒外可打包乳牛及羊養殖場收購做為芻料用，大多數農民均置於田間作肥料。落花生殼目前主要做為茶園敷蓋用，也可利用做為栽培介質。毛豆藤主要售予酪農戶做為養牛芻料。玉米蒿、玉米穗軸及玉米筍鬚玉米蒿，除少部份供自家牲畜作為飼料外，大部份均遭棄置於田間翻入土壤中充作基

肥，玉米穗軸可做為燃料、堆肥栽培用介質。甘藷蔓由於其經濟價值較低，故目前大都就地做為基肥利用，惟亦因採收地區不同，其利用方式亦異，如嘉義縣產出形式為新鮮，全部作肥料用，而雲林縣產出形式約有60%為新鮮，40%為乾燥，其利用方式為66.7%作肥料、10.6%作飼料、5.6%作燃燒、17.2%作贈送；臺南縣產出形式100%為新鮮，幾乎全部作為飼料。

(四) 蔗渣

產量約1,000,000公噸，其多做為鍋爐燃料，發電供作糖廠的電力需求，但以燃燒方式處理會造成溫室效應氣體二氧化碳之生成而導致空氣污染問題，其他利用方式可作為農場有機肥、纖維板、造紙用原料、紙杯及免洗餐具等。

(楊紹榮, 台南區農業改良場)

其他作物檳榔、椰子殼、竹子等合計每年產生之農業廢棄物約4,940,575公噸，除部分回收利用外多數利用燃燒方式焚毀，造成空氣污染，棄置於農地任其腐爛或翻耕做為綠肥，但這也造成病蟲害的問題，若能將這些生物質的廢棄物製成生物炭數量是非常可觀的。

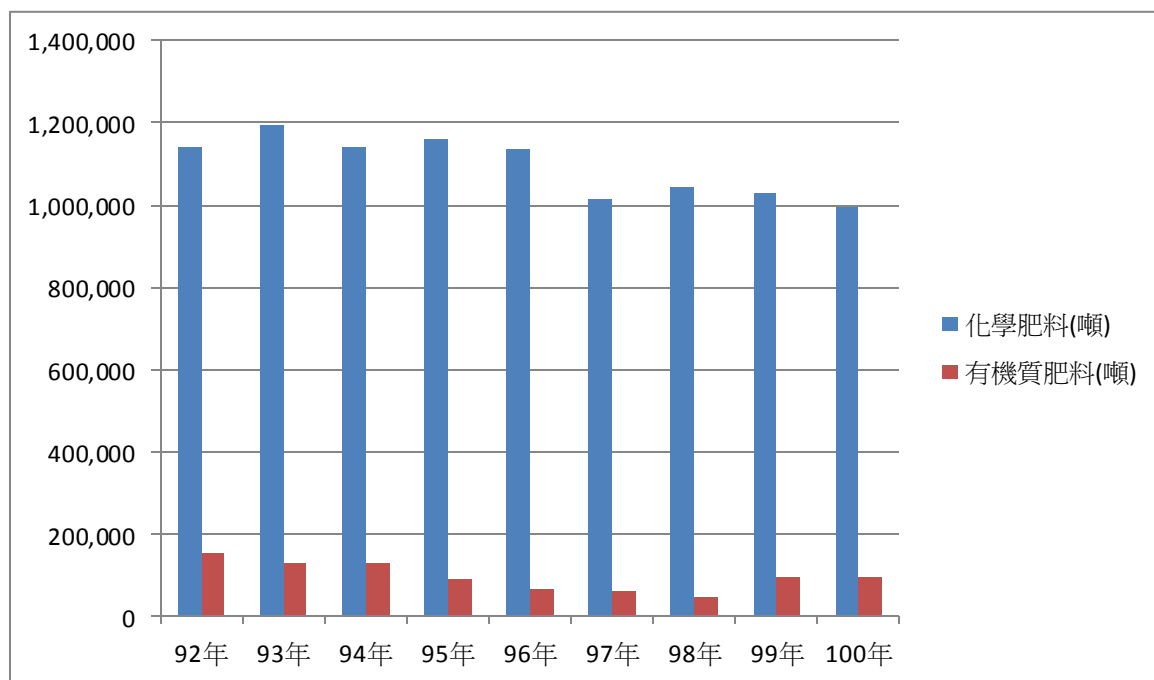
二、肥料施用情況

化學肥料的使用是一個非常普遍的現象，長期大量地使用氮肥，特別是大量施用銨肥，會使土壤逐漸酸化，造成土壤顆粒分散，從而破壞了土壤團粒結構。大量施用氮肥，給土壤引入了大量非主要營養成份或有毒物質，它們對土壤微生物的正常活動有抑制或毒害作用。土壤酸化不僅破壞土壤性質，

而且會促進土壤中一些有毒有害污染物的釋放遷移或使之毒性增強，使微生物和蚯蚓等土壤生物減少，還加速了土壤一些營養元素的流失。(周同, 2009)

由於有機肥投入不足，化肥使用不平衡，造成耕地土壤退化，耕層變淺，耕性變差，保水肥能力下降使耕地理化性狀惡化、團粒結構破壞、沙化等。

根據行政院農業委員會統計，民國 92 至 100 年化學肥料使用量和有機質肥料使用量(如圖七)顯示化學肥料的使用仍是主流，有機質肥料比例非常低。



圖七 化學肥料和有機肥料使用量

三、農業廢物製炭的情況

近來各國積極發展生物炭產業，如歐洲排碳大國德國為例，該國決定專注於生物炭減碳法，將排碳量降到零，反觀目前台灣將農業廢物製炭的情況仍是極少數，其中彰化縣埔鹽鄉大有社區近年積極投入生物炭的製作，經過

多次嘗試後發現利用不透氣的方式，將當地雜草與落葉等農業廢棄物進行悶燒，減少煙霧排出，製成固化的生物炭。

社區農民將製成的生物炭撒入田裏，發現在天冷多雨的季節很多稻作都會出現倒伏的現象，但在撒入生物炭的緣故，稻子變得不畏寒並且由於生物炭強化了根系，稻子並沒有出現伏倒的現象。(蘇雅薇與楊幼蘭, 2012)

可惜像大有社區這樣的案例在台灣並不多見，即使像大有社區也是還處於實驗的階段，利用簡單的設備製作生物炭，更別說大規模生產了。可見生物炭在台灣仍處於萌芽的階段，還有很大的發展空間。

四、台灣發展生物炭製作的困難

1、政策的支持

2010年4月經行政院院會通過的「國家節能減碳總計畫」其十大標竿與35項標竿型計畫中關於推動農業節能減碳政策只有提到「推動合理化施肥及減少漁船總量」一項(經濟部能源局);另外農業相關部門對於生物炭對於整體減碳計畫可能的影響並未納入考量，與建立費用昂貴的碳補集或再生能源發電設施，生物炭的減碳效應及附加價值明顯被忽視，因而沒有任何政策上的經費補助。

2、生物炭的觀念未推廣

雖然傳統製炭已是古老的技術，但大多是用來當燃料有用，把炭應用

於處理農業廢棄物及土壤改良、減碳的觀念未被重視及推廣，農民習慣使用傳統的做法處理農業廢棄物，他們可能從未想過生物碳的做法可為環境、農民本身的土壤及農作物產量帶來的效益。

3、設備及技術的缺乏

相對於各國發展生物炭技術已達到大規模的製造及應用，台灣的發展的腳步仍處於萌芽的階段，只有少數農業社區及研究機構有小規模實驗性的製作，因此發展製炭的相關技術及設備為當務之急，唯有成熟的技術及經濟的設備，才能使生物炭的製作普及化。

肆、未來展望

台灣每年的農產相當豐富，每年產出的農業廢棄物數量也很可觀，為製作生物炭提供豐富的原料。政府對節能減碳也制定了相關的政策，如果能投入經費研究及開發製炭技術，並建立農民關於生物炭的知識，推廣應用於農業廢棄物的處理，相信對於達成政府減碳目標，並對農民有所助益，是很值得推廣的技術。為達到此目標個人認為具體的做法如下：

一、發展相關技術及設備

發展小型的製炭設備及技術是較可行的，進入門檻低、設備便宜是普及化一個相當重要的誘因，另外因台灣農地面積普遍不大且位置分散，若採大規模工廠製炭方式，農民必須將廢棄物運至工廠，再將製成的生

物炭運回農地，如此會增加大量運輸成本。因此發展小型移動式的製炭設備，如美國 EPRIDA 公司的移動式製炭設備可由卡車牽引至農地現場，現場製炭並使用於農地上，經濟效益高。

二、政策的支持

政府應以實際政策支持，例如以社區或生產合作社等單位輔助購置移動式製炭設備，供當地農民共同使用。或以獎勵的方式給予將農業廢棄物製成生物炭的農民，以增加農民使用的誘因。

三、教育訓練

教育農民相關的知識，讓農民了解不當的處理廢棄物和化學肥料對環境的害處，灌輸生物炭對自身所帶來的助益，在有機農業漸漸風行潮流下，讓農民有另一個新的觀念和做法。

相信在政府及農民的努力下生物炭用於農業廢棄物的處理是可行的，並期待一個綠色低碳島的目標能早日實現。

參考文獻

台灣世界展望會(2012)。全球糧荒救援。

交通部中央氣象局(2011)。全球平均溫度及台灣測站長期趨勢。

行政院環境保護署(2012)。節能減碳政策。

周同(2009)。化肥對人類的危害。新紀元周刊，100。

楊紹榮。農業廢棄物處理與再利用。台南區農業改良場研究報告。

蘇雅薇、楊幼蘭(譯)(2012)。不要核能，那我們用什麼?(原作者:ChridGoodall)。

臺北市：大是文化。