

農林剩餘資材變烏金？—美國西北地區生物炭木質原料供應、產銷與應用概觀

鄭美如¹

生物炭在臺灣的起手式

前兩三年官田「烏金」，在農林界掀起一陣風潮，可謂為循環農業中的生物炭(biochar)應用一大亮點。在農委會的循環農業工作小組中，生物炭的研發與應用也占了一席之地，規畫了「農林剩餘資材炭化技術創新與產業模式」計畫。這個四年計畫中，參與的單位除農委會所屬的12個試驗改良場所外，另邀請了臺大、中興、成大、屏科大及虎科大等大專院校，並與工研院中分院及台灣農業科技資源運籌管理學會等共同合作，形成一個從料源供應、燒製、檢驗到終端利用的完整產銷研發團隊，可算是政府推動生物炭產業的起手式。

什麼是生物炭？

依據美國生物炭促進會(US Biochar Initiative, USBI)定義，生物炭是將農林剩餘固體生質，在限氧的燃燒爐內，經熱裂解所產生具細緻孔隙的炭。一般而言，生物炭的燃燒溫度低於攝氏700度，而不同的原料與燒製條件所產生出來的生物炭，性質都會有所不同。

生物炭除有固碳效果外，可以應用的層面很廣，例如因生物炭的酸鹼值偏高，可以用來改善酸性土壤；而其多孔隙特性，可以做為肥料添加劑，減緩肥料釋放與流失，也可以提高土壤保水度；再者可以用來過濾雨水或廢水、除臭及添加到禽畜的飼料中，增加其腸胃蠕動，幫助消化。

生物炭跟我們常見的木炭及活性炭又有什麼差異呢？這三者製程技術、孔隙度、物理性質及所含有的灰分及焦油差異性大，在單位重量下的表面積差異性亦是極大，活性炭的表面積是生物炭的三倍，所以過濾效果較生物炭好，但產製上相當耗能；而木炭是最容易產製，但物理性質較差及化學成分亦難控制，所以在應用上便有大限制，多用於產製熱能。

美國生物炭產業概觀

在臺灣生物炭研究開始起步前，美國的生物炭相關研究與應用，於10年前逐漸發展，並且已有將生物炭應用於農業、園藝、環境治理和雨水過濾等領域的公司及非營利性組織。根據調查，這個新興產業創造了超過50億美元的市值。全美大約有200個生物炭生產業者，每年的生產總量為3萬5千噸到7萬噸，其中80%的產量由20%的業者所生產出，且原料有87%來自木質剩餘物料。生產成本的範圍很大，從每噸200美元至400美元，也造成市場價格因使用目的不同，出售價格歧異度大，從每噸400美元至2,000美元都有。一般而言，批發價為每磅1美元，而零售價格為每磅1.5美元，多數應用於改良土壤上，但產品配方及應用於特定作物的效用仍處於發展階段，且多數生產者的生產技術尚未達到經濟規模，所以生物炭的價格仍高，而生物炭的使用，對於多數消費者而言仍屬陌生。另一方面，雖然USBI已訂

¹林業試驗所·技術服務組

有生物炭相關的標準及等級，但許多生產者認為，需要有更完整有關生物炭品質、生產及使用指引，以協助他們進行產業推展。

依據美國USBI連續兩年(2017、2018)的產業調查(回收69份有效問卷)結果指出，14家為能源業者，以生物炭為附加產品，顯示能源業者是產製生物炭的潛在廠商。對於未來五年的生物炭市場，以應用於作物、肥料、臭味控制及動物飼料添加等為主。

訪談美國西北地區生物炭產、學界

美國西北太平洋地區的奧勒岡州，是全美森林資源最豐富、木材工業最盛行的區域之一，在大量木質剩料的循環利用中，生物炭無疑是重要的選擇之一。另一方面，全美參與USBI的公私部門共261個，分布於45州，其中奧勒岡州就有63個部門參與，占了將近1/4，可見生物炭的應用在奧勒岡州是非常活絡的。

筆者有幸於2018年赴美國奧勒岡州波特蘭市的世界林業中心(World Forestry Center, WFC)所屬的世界森林研究所(World Forest Institute, WFI)研習，因執行「農林剩餘資材炭化技術創新與產業模式」計畫中料源供應及應用管理平台的子計畫，故藉由此次研習，訪談了美國西北部幾位生物炭相關的專家、學者與業者，以將產業資訊提供給團隊參考。

身兼國際生物炭促進會(International Biochar Initiative, IBI)及USBI主席的Thomas Miles先生指出，生物炭會因為料源及燒製溫度的不同，而產生出不同性質(如含碳率、灰分、孔隙及其他元素含量)的生物炭，產品的流向與應用也因此不同，廠商通常會依據顧客的需求進行燒製，或混合其他物質，多數

應用在肥料、墊料及水過濾。他同時指出，全美生物炭產值約有20%在加州生產，而全美也僅有少數廠商使用IBI生物炭的標準。

在生物炭的經濟層面，奧勒岡州立大學(Oregon State University, OSU)森林工程、資源與管理學院的John Sessions教授主要是進行生物炭產業及應用的經濟性評估，他認為生物炭合理的價格應為200美元/噸，但目前的平均價格落在400美元/噸，單價偏高，所以生物炭若應用於農地上，必須施用於經濟價值較高的農作物。雖然生物炭也可以有相當高的價格(2,000美元/噸)，但只限於特殊用途，如用於碳吸存的交易上，但全美這方面的需求每年不高於2,000噸。就他的研究結果顯示，生物炭生產的經濟規模，每年至少需有15,000噸生物炭的產量，而目前較有規模的生物炭工廠的料源皆來自聯邦政府的林地，林木在進行疏伐或皆伐時，直徑小於5英吋(約12公分)多數無法為製材廠所用，這些小徑木即可成為生物炭的原料。這類原料多數以合約方式收購，除購買成本外，小徑木及頂梢材需就地進行粉碎，粉碎機每趟為2,000美元，每機每天可粉碎約500噸的木料，再加上運送到工廠的運輸成本(20美金/噸)，則原料總成本約為30美元/噸(濕重，含水率40%)，成本仍偏高。

比較幸運的是John Miedema先生，美國奧勒岡州BioLogical Carbon, LLC負責人，是一位生物炭產製及應用的專家，自行設計生物炭產製設備及研發生物炭的應用與推廣。該公司設在一個製材廠的舊址，且與該製材廠長期合作，以每噸1美元價格由製材廠提供木質剩料，無須擔憂原料不足及運送成本。該公司以實驗及生物炭創新應用為重，經常

以不同的原料及溫度燒製生物炭，並與數個私人公司合作，共同開發生物炭相關產品。但同樣地，Miedema先生也提及價格問題，希望可以研發出高產率的生產設備，降低生產成本，增加農民購買施用的意願。數年前，該公司與奧勒岡州大型園藝公司Rexius合作，共同參與政府補助計畫，試驗適當的混合生物炭有機肥料，並推出OPUS GROWS品牌。同時，Miedema先生也實驗將生物炭混入其他物質，如水泥或磚塊，亦實驗過用其過濾水質，均有良好的成效。

與Miedema先生合作的Rexius環境服務副總裁Jack Hoeck先生說，他們所使用的是含碳率達70~85%的生物炭，混入有機堆肥(OPUS GROWS品牌)或土壤使用(EcoBlanket品牌)。一般而言，是以10%的生物炭加入90%來自城市回收的庭院廢棄物的堆肥，並以較緩速的堆肥程序(約4~6個月)。其所使用的生物炭非自產，購買價格約600美金/噸，因價格昂貴，所以只建議施用於高價作物，例如番茄、榛果、高價莓果等。Hoeck先生另外指出，生物炭若直接施放到土壤裡，大約6~12個月期間內，會因其孔隙及吸附特性，可能與植物競爭土壤中的水分與養分，所以短期內對植物生長可能並無明顯幫助，直至6個月後養分慢慢釋放才有效果出現，這種現象也見於一些研究報告中。另外，就他們的試驗結果，施用生物炭可使植物更健康，抵抗病蟲害。Hoeck先生表示，目前已知有部分農地採線狀施用生物炭，而非整片翻土施用。在產品銷售面上，Rexius的產品除了內銷外，亦出口到加拿大、澳洲、歐洲等地，產品也可依客戶需求，客製化所需的混合土壤，同時

利用送貨回頭車，提供物流服務，增加收入以降低成本，值得參考。

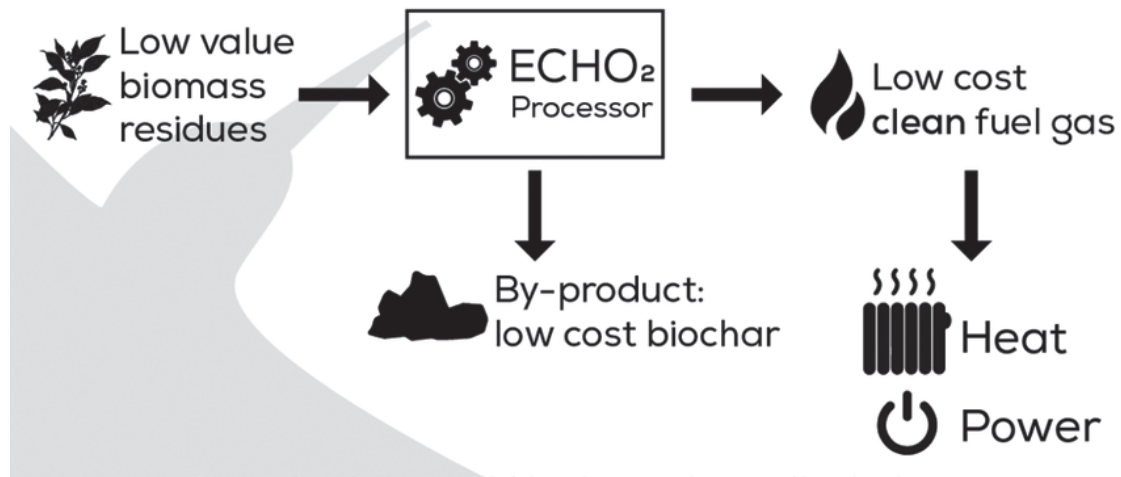
在生物炭實際推廣的部分，Wallowa Resources公司的計畫顧問Matt King先生負責協助該公司執行一項林務署補助計畫，主要是透過實際施用於農地以評估生物炭對農業生產的可行性。該試驗不僅評估生物炭對農民的收益，亦串接從林地復育、農業剩餘資材到可銷售產品、土壤及農作物改良等應用，同時創造當地就業機會。該計畫由數間公司免費提供生物炭產品，在Wallowa County進行實地試驗。2018年加入該計畫的農場有5間，每間農場提供試驗的土地面積都在1英畝左右，其種植的作物包括苜蓿、混合草料和小麥等。待試驗成功後，下一步則是評估施用生物炭是否具有正向經濟效益。

在產業面上，一家既生產生物炭也販售生產設備的Karr Group公司，其設備所產生的生物炭皆符合IBI標準。首席運營長Jim Brown先生指出，公司的經營模式是出售設備並回購客戶所生產的生物炭及醋液，不僅降低客



Rexius利用政府補助計畫所建置的土壤添加生物炭混合機。(圖片來源/Rexius)

- ECHO₂ PROCESS -



ECHO₂只需要一個步驟就可以產生熱能與電力，副產品為生物炭。(圖片來源/Rainbow Bee Eater)

戶出售生物炭的風險，也減少該公司販售生物炭的市場競爭者。比較特別的是，該公司所生產的生物炭在製程中，將所產生的醋液添加回生產過程中，使生物炭的pH值趨於中性，讓生物炭可不只應用在酸性土壤的改良上。該公司所販售的設備，每小時可以生產1噸生物炭，而且可依需求擴增容量。其燃燒溫度控制在450~550°C，生物炭產率大約有35%，含碳率為80%以上，且產生的灰分僅3~4%，屬於高品質的生物炭。另外，設備內的焦油黏著度低，所以可連續運作，幾乎無須清理。另外，Brown先生指出，加州原有320家生質能工廠，目前僅剩20家尚在營運，顯示整個生質能的營運效益仍需改善。

澳洲生物炭產銷成功的範例

澳洲生質能設備商Rainbow Bee Eater公司所設計製造的生質能設備(ECHO₂)，進生質燃

料(MC為10~40%)後，以攝氏溫度750度進行燃燒，只要一個步驟即可產生電力與熱能，且產生生物炭的同時，幾乎無油、焦油及灰分產生，大幅減少處理此類物質的成本。該公司的常務董事Peter Burgess先生指出，在澳洲生質能成本(含運送)約為50~100美金/噸(鮮重)，不算低，但他們有一個非常成功的商業案例，是將電熱設備建置在藥草公司(Holla-Fresh)的溫室旁，該設備以剩餘的生質材料為燃料，每小時可產生220 Kg的生物炭、200~250 KW的電及500 KW的熱能，以及250 Kg的二氧化碳，所產生的電力、熱能直接供溫室使用，並有二氧化碳灌入溫室中，加強其光合作用所需。而該專案所成的生物炭，則回饋給提供供應木質燃料的園藝商(bio gro)使用，形成互利模式。

生物炭在美國的處境

在美國，多數生物炭生產大廠有長期合作的伐木商或製材廠，提供剩餘木質資材，但生物炭仍有很多未知層面需要釐清，如不同料源以不同的溫度與方式燒製，生產出來的生物炭性質不一；又如哪種作物需要哪種生物炭與施用量，及其效果與經濟效益，這些均需投入更多的研究。而在設備技術上，也需要投入研究以提升效能，達經濟規模。另外，需有更多的產學研合作進行推廣，方能擴大市場需求，達到即使無政府補助，也能營運並獲利的目標。

在原料取得部分，即使美國商業生產林的伐木與林產工業興盛，對於木質剩餘物料仍有收集與運輸成本問題，雖可以就地進行木料初步加工後運送的方式，但降低物流成本，依然是生質能與生物炭製造商設廠的重要考量。

目前美國對於生物炭的發展前景，抱持著相當樂觀的態度，不論生產者還是使用者，都認為生物炭的需求將不斷成長。另一方面，產業界也積極督促政府，促進飼料添加生物炭的合法化，以跟進歐洲市場的步伐。

生物炭在臺灣的未來

目前「農林剩餘資材炭化技術創新與產業模式」計畫團隊已朝向生物炭創新產品的開發，及研擬最有利的產業媒合與推展模式推展，以建立可自行運作的產銷示範點，希望未來可以依其模式複製到每個鄉鎮，建構成完整的產業網絡，活化農業剩餘資源利用。

以臺灣的現況而言，雖果樹修枝枝條、稻稈、太空包等，為農業剩餘資材的大宗，但臺

灣的果樹栽植面積分散，收集廢枝條需耗費人力成本，要落實循環利用，成為生物炭的原料難度高，是生物炭產業要面臨的挑戰之一。

另一方面，目前計畫架構中，在原料處理、運輸及成本效益的研究上較為薄弱，應可加入更多相關的料源物流研究，建立完善的生物炭供應鏈，完成從料源收集、運輸、處理、燒製、成品處理與運送到推廣應用，並有效地計算成本效益，利用生命週期評估，找出最合適的生物炭產業營運模式。而在生物炭的應用上，除了土壤改良外，可以投入創新產品的開發，如肥料應用、建築材料、水源過濾、臭味控制、生態植生等，而法規的建立與配合也須加速進行，這些都是未來努力的方向，以達成農業零廢棄、剩餘資材全循環的目標。♻️