

菇包栽培後介質再利用與 製作生物炭之探討

Discussion on reuse and biochar production by waste media of mushroom

薛佑光¹、張勝智²

一、前言

近年國內菇類生產具極高商業價值，使菇農大規模投入栽培，大量的太空包應運而生，每年使用超過 2 億 5 千萬個太空包(含栽培瓶)，然而因栽培後的香菇包(主要材料為木屑、米糠、玉米穗軸、稻殼或棉子殼等)無法有效再利用而產生之農業廢棄剩餘物超過 15 萬公噸，嚴重汙染環境與造成資源浪費。因此如何去化菇類太空包剩餘介質以及提高利用價值一直是菇類產業的重要課題。

二、菇包栽培後剩餘介質之料源與常見用途

依 107 年農業統計年報全臺香菇類太空包全年栽培數量為 23,058 萬包，產量 5,294 公噸為歷年來第二高，近 5 年太空包用量也都達 22,000 萬包以上。其中臺中市(新社區)栽培面積最大，約 270 至 300 公頃，栽培數量為 11,352 萬包，產量 2,728 公噸，主要栽培以香菇、杏鮑菇為主；南

投縣栽培數量為 10,459 萬包，產量 2,280 公噸為次之，臺南市栽培數量為 600 萬包，產量 139 公噸為第三。每年產生的香菇類廢棄太空包在 22,000 萬至 24,000 萬包以上，每包重量約為 500 至 650 公克左右，廢棄介質達 11 萬至 15 公噸。

目前菇包剩餘介質的傳統用途包括作為菇類栽培之介質、作物栽培之有機堆肥或抑病介質、禽畜養殖之飼料、燃料或生質能源之原料、生態環境修復之材料以及作為酵素或多醣體萃取之來源等，其中以製成有機質堆肥為大宗。菇包基質主要為木屑，將栽培後剩餘介質乾燥後即可作為生質能源的燃料，供鍋爐或汽化爐燃燒，減少石化燃料之使用；已有少部分業者將其製成木質顆粒作為鍋爐生質燃料，但製作成本較進口木顆粒高，缺乏市場競爭力。另外日本學者開發將廢棄介質作為生質酒精的材料，亦是另一種生質能源燃料的應用。

¹ 種苗改良繁殖場農場 副研究員

² 種苗改良繁殖場品種改良保護課 助理研究員

三、菇包生物炭之製作

目前常用來將農業廢棄剩餘物轉化成替代生質能源燃料的方式有乾燥造粒（產生生質煤材）、熱裂解（產生生質油料與生物炭）及氣化重組（產出生質燃料）等，其設備技術門檻與產品價格亦依序提高。其中生質煤材的用途為直接作為燃料，而生物炭的應用則最為廣泛。

生物炭是指含有纖維素或木質素的生物質（Biomass），經過高溫低氧的熱裂解（Pyrolysis）處理後，成為「生物炭」（Biochar），因此木屑、稻殼、樹枝落葉、乾草，乃至竹子、椰殼、菱角殼、花生殼、堅果殼等材料都可以作為生物炭的料源。

生物質炭化乃將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。簡易的生物炭製作是將生物質在低溫燃燒（250-550°C）、限氧（反應器封閉不通氧氣）的條件環境下，點火後利用自身熱量不消耗外部能源而產生炭化現象。文獻指出小型生物炭爐的製炭能力標準值均在 36% 上下，代表能夠有效的持續製作生物炭，加上原本的設計旨在方便大眾使

用，因此一般農民也不會有使用上的障礙。同時可免於大量的露天焚燒，相較於以往這些生質廢棄物棄置所可能造成的各種污染，製成生物炭不只能夠有效將這些農業廢棄物回收不造成污染，並將生物炭封存於農地，對於作物的生長也能夠造成明顯的正向效果。

要將菇包剩餘介質炭化時，由於菇包含水量很高，必須進行乾燥前處理。一般製作堆肥時都以露天曝曬及堆肥廠內翻堆乾燥為主，十分耗時且受天候之影響至鉅，常無法達到商業運轉的需求，例如香菇太空包廢棄剩餘介質回收後，先經過去除塑膠袋程序後，其含水量高達 75-90%，經 2-4 個月堆置自然乾燥後，其含水量約為 35-40%、總孔隙度 74-76%、充氣孔隙度 35-41%、總體密度 0.25、pH 值約 7.6、EC 值 8.3-9.1。由於菇包介質顆粒為較細小，粒徑約在 1-2mm 以下至粉末狀，均質性差，無法直接進行炭化，因此需進行乾燥造粒處理（木顆粒），但相對能源消耗提高、水電等資源與費用增加，使料源成本大幅提高。傳統菇包回收處理場之香菇廢棄介質大都以自然堆置及翻堆乾燥後，進



圖 1. 太空包剩餘介質堆積廠房



圖 2. 廢棄介質乾燥造粒設備

行堆肥之製作；目前已經有回收廠利用加熱方式將回收介質進行乾燥後，整批提供有機質肥料製造廠作為原料，不自行製造肥料，其餘則進行烘乾造粒為生質燃料，提供工廠作為回收循環燃料取代部分石化燃料。以此造粒成直徑 8-10mm、長度 1-5cm 之菇包介質顆粒即可進行生物炭之燒製。

種苗改良繁殖場以簡易型 TLUD 炭化爐針對直徑 10mm 之菇包介質顆粒進行生物炭燒製試驗，以紅外線溫度計量測小型 TLUD 炭化爐燒製溫度，在爐體外層約 350-400 度，以熱電偶探棒溫度計量測小型 TLUD 炭化爐內層約 450-650 度，燒製時間約 6-7 小時，可以將菇包顆粒製成生物炭，顆粒直徑縮小約為 6-8mm。完成炭化之材料添加於栽培介質中進行蔬菜穴盤育苗試驗，初步顯示甘藍穴盤育苗添加 2% 及 4% 廢菇包生物炭介質表現較佳，在葉片大小、莖粗及鮮重上平均值皆優於對照組；番茄以添加 4% 及 6% 表現較佳，在葉片大小、莖粗及鮮重上平均值皆優於對照組。在農委會農業資源循環暨農能共構產業創新計畫下，建立農業循環經濟生物

炭循環供應鏈商業模式，將菇類栽培場產生之廢棄剩餘菇包，由菇包處理廠回收進行乾燥造粒處理後，提供給製炭業進行生物炭生產，目前已由製炭廠利用生產竹炭之電窯設備燒製出一批菇包生物炭供各改良場所進行生物炭資材對作物生長影響試驗，菇包炭之製造已屬可行。

四、菇包炭用途與應用

生物炭一般多具鹼性、富含礦物鹽類、具多孔結構等特性，因此農用生物炭對提高土壤肥力、減少化肥的投入、增加保水性、調節土壤 pH 值、提高陽離子交換力、增加有益土壤微生物數量等有很大的正面效益。在生物炭與堆肥的應用 (IBI,2015) 上，可加速堆肥腐熟時間、減少溫室氣體以及 N₂O 及 CH₄ 的排放、降低氮素的流失、做為過濾介質吸附汙染物，減少異味的產生、作為填充介質以及副產物的能源運用 (生物油、合成氣)。

菇包生物炭除了上述的用途外，亦可應用於蔬菜花卉育苗介質及無土栽培之添加物約 2-5%，可提高蔬菜育苗以及無土栽培作物之質量，減少泥炭土及栽培介質用



圖 3. 種苗場簡易型 TLUD 炭化爐



圖 4. 左：菇包廢棄介質、中：菇包造粒介質、右：菇包生物炭

量。在田間作物可以應用菇包生物炭進行栽培土壤改良劑等之研發，改善土壤理化性質，提高作物產量與收益。

傳統將香菇廢棄太空包製作堆肥需時 6 個月以上的時間，目前臺中地區每年產生廢棄太空包達 1 億包以上，並不斷累積；種苗改良繁殖場以簡易型 TLUD 炭化爐進行燒製，一次 60 公斤菇包廢介質產生約 20 公斤生物炭，重量與體積減少 50-60%，進行炭化取代製作堆肥可減少堆積 4-6 個月時間，與現地堆積情形，解決大量廢棄香菇栽培後介質棄置問題，增加永久性的碳儲存。惟因成本問題需提高產業附加價值以利推動產業。

五、結論

菇包生物炭之製造因為能源消耗提高、水電等資源費用使成本增加，良率易受料源影響，生產穩定性較為不足。在生產設備方面，因國外製造生物炭之機械與廠商已具規模，國內起步較晚，導致國內廠商尚需開發機械設備使產業競爭力較弱，但國內廠商開發機械能力強仍具潛力。因此需結合現有生物炭技術與料源，發展料源前處理與燒製技術，提升生產效能，穩定產品品質，研發技術設備整合產業，提高管理效率建立供應鏈，提升產業價值。同時進行開發炭品應用於介質與土壤改良劑等，利用具有多孔性的表面積特性，取代部分介質，減少泥炭土使用與耗費，改善目前國際泥炭土缺乏與價格昂貴等問題，提高加值效益。

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。以生物炭技術除可提升農業廢棄物再利用比例，並可減少因燃燒農業廢棄物所釋出之碳排放，也因生物炭的施用，增加永久性的碳儲存，並可呼應法國於 COP21 巴黎氣候峰會倡議之千分之四增加土壤碳儲存量，於農地中可提升土壤之理化性質，降低生產成本，更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。

現階段政府已進行跨領域整合作物栽培、菇類、農業機械與土壤等試驗研究人力，建立跨領域研發團隊。例如在新社地區促進研究單位橫向聯繫，技術交流，並逐步擴大與新社地區菇類廢棄物回收業者合作。以回收場為中間媒介，擴大回收效益與菇農共享，吸引農民或生產者優先使用生物炭混配介質或施用生物炭製成之土壤改良劑來發展建立產業供應鏈。