

有機農業與節能減碳

黃文達

國立臺灣大學 農藝學系

2011.08.13

一、前言

近年來在京都議定書的規範下，各先進國家無不設法限制溫室氣體排放量，其中日本與歐盟首先於 2005 年透過立法徵收碳稅。台灣近年也制定「溫室氣體減量法」草案以規範溫室氣體排放量，值得注意的是訂定所分配之二氧化碳配額可視為有價物交易，若有欠缺或剩餘，都可與其他的排放戶進行買賣。簡單的說，無法達到減量之生產單位可向有效減量之生產單位購買配額。溫室氣體減量在農業生產應用上，未來可制定各作物標準化生產過程，在維持固定產量下亦可達到最大二氧化碳減量目的；另外，也可透過尋找適當物種或育種方式開發新品種以達到二氧化碳之減量。經由以上方式，除了達到生產更具優勢之生質能原料以及農業產品，讓農民能有額外的收益，對於環境也有更多的貢獻。

傳統慣行農法在農耕上投入大量的資源，過量施用的氮肥會逸散出溫室氣體如 CH_4 及 N_2O ，以及在密集機械耕作中的能源消耗，在今日暖化及能源議題的情況下，以較低資源投入的有機農業來取代傳統農法，也確實有其價值和意義。有機農業因減少使用化學肥料及農藥，對環境生態的多樣性有明顯的助益，且有機耕作投入大量有機堆肥，改善土壤品質，促進作物生長，而透過根部碳素釋入亦增加耕地土壤有機碳，可有效的將碳固定於土壤中。

現今在環境生態保護的意識抬頭、高品質農產品的需求漸增、國際貿易頻繁導致農產品競爭市場加大等因素下，國內農業逐漸走向精緻化的型態，來與其它進口農產品抗衡，而其中有機耕作的管理方法，同時顧及了對環境友善的永續經營理念，以及提供高品質農產品的競爭力。「有機農產品」對人類真正最大的影響，並非在於其具有自然、健康的特質，而是生產有機產品的「有機農業」體系不但可以讓人類的糧食生產持續發展，更重要的是能讓人類永續生存。

截至 2010 年 3 月為止，有機農業在台灣的耕作面積已由 2004 年的 1,246 餘公頃增加為 3,082 餘公頃（行政院農業委員會農糧署，2010），具有穩定的推廣與成長趨勢；然而在科學化的精準農業操作上，有機農業理應需要另一套不同於傳統慣行農法之準則，方能使有機耕作管理在兼顧土地環境以及農作生產二方

面達到最佳化，成為名符其實的永續農業。有機農業該如何進行管理，方能真正回饋於生態環境，提昇耕地環境的品質，保障生產者的合理利潤，而達到永續經營，甚至農作物產量與品質的提昇，是有機農業的最終目標。

二、有機農業

(一) 有機農業緣起

現今慣行農法大量使用化學肥料與農藥，不僅危及農產品之安全，並對生態環境造成嚴重的負面衝擊。長期大量施用化學肥料，導致土壤酸化、鹽化及土壤養分失衡，造成土壤劣化及地力之降低，病蟲草害之生態族群亦因而嚴重失衡；又過度依賴化學農藥之使用，甚至濫用，造成甚多如農藥殘留及破壞生態環境等負面影響。因此，依循自然法則之耕作方式遂逐漸受到重視。

(二) 有機農業定義

有機農業 (Organic farming) 是永續農業(Sustainable agriculture) 之一種，是一種遵守自然資源循環永續利用法則，避免使用化學合成肥料及農藥，依循土壤性質及配合輪作制度，強調水土資源保育與生態平衡，並達到生產自然安全農產品的農業生產管理系統。各國法律或農業協會所使用的名稱或定義經常不同，在臺灣，行政院農委會採用「有機農業」一詞。有機農業有時亦被稱為生態農業、低投入農業、生物農業、生物動態農業、自然農法、再生農業、替代農業或永續農業之一種。

(三) 有機栽培的基本理念

1. 「順天應人」的理念

要執行好有機栽培應有「順天應人」的理念，並非是消沉想法，而是積極的感受力。其中「順天」也就是有機栽培操作須適時適地，自能降低天然災害與病蟲草害。而「應人」是指，生產者要和消費者接觸與分享，生產市場所須的價值性商品，自能提高生產利潤。

2. 慎選栽培作物種類與品種

有機栽培操作成功的關鍵在作物種類與品種的選擇。基本依據即充分掌握「生物多樣性」的精神與平衡，而執行策略即是擴大參與式育種 (Participatory plant breeding, PPB)。在低投入或有機農法的狀況之下，作物的生長環境容易隨著時間改變，利用基因多樣性高的品系(族群)，可以對環境具有更佳的適應力，減少肥培管理措施的投入，並且具有穩定產量與品質的能力。

3. 有機栽培的農田佈局

有機農耕為永續農業的一種農作方式，因此有機栽培的最終精神就在永

續環境的境界。因此為達到有機耕作地區的永續利用，手段必須透過考量時間上與空間上的「農田佈局」。

(1) 「空間上」的農田佈局

包括傳統農法中的間作、混作與糊仔栽培，再搭配利用草生栽培、保育邊行、田籬與草畦等永續農田佈局，創造出多樣且複雜的雜草相可提供有益昆蟲族群之棲息，並調控特定的蟲害。同時亦可增加土壤有機碳庫貯量，並能提高農田生物多樣性，進而改善對農田生態系之動態平衡有益的生物相。

(2) 「時間上」的農田佈局

包括休閒、連作與輪作。休閒是在同一土地上，以同一作物反覆栽培日久，土壤內可給態養分消耗殆盡，作物之生產力大減，病蟲害日形嚴重，且作物根分泌物大量聚集而成毒害作用，必須停止作物的栽培，使農田暫時休息，亦可配合種植覆蓋作物與禽畜放養，這種方法叫休閒。而連作是指將同一種作物，在同一塊土地上每年連續種植，此種耕作制度稱為連作。在台灣雖然盛行多年，但其害處亦頗多。例如土壤養分不能保持均衡，會擴大相同病蟲草害的生物族群，造成疫情擴大。輪作則是將數種作物，依一定順序作合理的排列，反覆耕作，謂之輪作。為使輪作發揮最大的效果，必須慎選作物妥為配合，順序栽培之才能奏效。輪作是一種合理而有利的耕作方式，其功能如下：可將土壤中各種養分經濟而有效的利用，改善土壤的理化性質，可以抑制雜草滋生，減少或預防病蟲害，達到低投入的農法。

4. 有機栽培管理技術

作物有機栽培管理技術可採用建立良好之耕作制度、施用有機質肥料、選用抗病品種並配合早種、雜草管理與採用生物防治等方法。

- (1) 選用抗病蟲品種、配合農時並建立良好之耕作制度，可改善對農田生態系之動態平衡有益的生物相，減少或預防病蟲害，達到減碳的目的。
- (2) 施用有機質肥料：施用有機質肥料，可增加土壤有機質含量供應雜糧生育所需養分，並可促進團粒構造，使土壤有適當比例的空氣，且有機質肥料顏色深褐可增加地溫，有機質之緩衝力大，可緩和有害物質的直接傷害，能促進根部生長，而使作物生育健壯。
- (3) 雜草管理：有機栽培之雜草管理，以管理取代根除，採用翻土、覆蓋作物、輪作等非除草劑的方法。
- (4) 採用生物防治：有機農業體系下的植物保護技術，應以預防代替清除，如利用覆蓋作物、堆肥、生物性土壤改良製劑等先建立健康土

壤，以培育健康抗性強的作物，同時培育多樣化的生物，如土壤微生物、昆蟲、鳥類與其他生物，來將蟲害降到最低。蟲害族群過量時，使用昆蟲天敵、捕蟲裝置、干擾繁殖、種植屏帳等方式來克服，若無成效，才以最嚴格的方式使用植物性或其他無害的除蟲劑。

- (5) 採用不整地或低整地以及殘株覆蓋的保育耕作方法，可減少土壤沖蝕，維護土地永續生產力。

三、土壤碳庫

土壤有機碳庫 (soil organic carbon pool) 所代表的是土壤有機碳的含量或儲存量，對生物圈而言扮演重要角色，與土壤許多物理、化學與生物性質有密不可分的關係，影響土壤之生產力，對於作物生長與發育而言是相當重要的部份，而對陸域生態系更是不能忽略的一環。

一般而言，作物透過光合作用將大氣 CO_2 固定於植株內，經呼吸作用將固定下來的碳再轉化成 CO_2 回歸到大氣；而植物自身的代謝與分配，配合生長所需，會將光合作用所固定的碳送到各個組織與器官，做進一步代謝或儲存。在這過程中部分代謝物（大多為二次代謝物）會透過揮發、淋洗等作用，釋出、回歸至生長環境，也會透過根部將代謝物釋入土壤，此過程稱為根圈沉降 (rhizodeposition)，而收穫後之根部殘株也會殘留在土壤。作物光合作用與生長對土壤之直接影響，主要透過：(1) 根圈沉降釋入之碳素，(2) 收穫後於土壤中作物根部殘株分解之碳素，以上兩者合稱為根部衍生碳素。由於不同作物生長特性不同，對於土壤碳庫之影響也有不同反應。

作物因應外在因素的變化，如輪作、連作等不同耕作制度，如肥料用量與肥料種類等肥培管理，對於土壤碳庫有不同影響。其中連作會降低土壤碳庫的含量，必須以適當的輪作才能維持土壤肥力。亦有研究發現，長年不施肥的農地土壤，其土壤有機成分 (soil organic matter; SOM) 會逐年下降，合理的化學氮肥用量則可以維持 SOM 含量水準 (約 90 ton ha^{-1})；然而過度施用化學肥，將導致土壤微生物作用過於旺盛，結果反而使土壤總碳量驟減。而有機堆肥的施用 ($20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) 對於 SOM 的恢復效果非常良好。除了堆肥本身貢獻之碳素之外，更促進作物生長，乾物重增加，相對根部衍生碳素也釋入較多。

土壤有機碳素 (soil organic carbon; SOC) 增加與碳素釋入量 (包含有機肥與未收穫之地上部、地下部殘株之碳素總和) 呈正相關。有機肥除了本身之碳素貢獻之外，更可以增加土壤生產力而促進作物生長，使作物產量增加。

四、有機農業的固碳潛能

有機農法較慣行農法可增加土壤有機碳庫的貯量，主要來自於：(1) 農田生

物的生質量；(2) 採用草生栽培、保育邊行、田籬與草畦、耕地休閒、輪作等永續農田佈局之耕作制度；(3) 長期施用有機質介質與肥料等，均有節能減碳的功效。以下就以有機農法之草類資源的利用與有機耕作期長短對固碳效果作說明：

(一) 草類資源的匯碳

蘆葦與薏苡均為多年生禾本科草本植物，分布於全球溫帶地區，在台灣多數河川沙洲與沼澤地區皆可發現其蹤跡，具有相當高的生產力，植被可提供為濕地生物的棲息地，對於生態復育與生物多樣性之維持具有正面效應。蘆葦與薏苡植株對於鹽份與重金屬逆境之耐受性很高，同時能降低環境汙染物含量，因此常被應用於水質淨化與植物復育，且對環境也具有保育功能。蘆葦與薏苡具有藥用功能亦可為造紙纖維，也可以成為替代性的能源作物，可見其具備禾草資源多樣性利用之特性。

五節芒 (*Miscanthus flavidus*) 分佈於台灣各地，從低海拔海邊、廢耕的農地、山坡地、到公路兩旁的新生地丘陵地、台地等、以及高海拔 3,000 公尺均有其大規模族群。遺傳歧異度非常高，除有護坡及水土保持的功能外，並兼具生態系的穩定功能。培地茅 (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) 在台灣目前僅供護坡及水土保持的功能，在大多數的環境下均會開花，但不會產生有效的種子，必須利用無性的營養繁殖，是目前可以安全地應用於水土保持之先鋒植物，由於無法種子繁殖而不至於擴散成為雜草，進而危害當地生態造成環境問題。

不同的管理與氣候環境會影響到五節芒與培地茅固定 CO₂ 效率或 N₂O 釋放量。在氣候變遷 CO₂ 濃度上升趨勢下，五節芒與培地茅能利用根圈沉積作用從空氣中固定更多的碳素於土壤中。種植 1 年後之五節芒與培地茅，地上部生質量總碳含量約為 40% 以上。而土壤方面，越表層土壤所測得總碳含量越高，在土壤上層 30 cm，來自於五節芒與培地茅土壤總碳含量平均而言分別為 1~1.5%。因此，五節芒與培地茅根系衍生碳素對於土壤碳庫確實具有蓄積能力。若與慣行農法連作之試驗田比較，在水稻田區之表層土壤總碳含量為 1.2%，而玉米 (0.8%)、狼尾草 (1.0%)。顯示五節芒與培地茅等宿根栽培的耕作方式，除可成為土壤保育、生物質原料、生態環境改良，並可達到 CO₂ 減量目的，而能成為有機農業管理的參考。

(二) 有機耕作期間之貯碳能力

有機耕作對於大氣 CO₂ 減量之效果具正面幫助。若只考慮 SOC 實際累積量，換算為實行有機耕作對大氣 CO₂ 減量之貢獻，以生產蔬菜農場為例，當改採有機耕作一年後，可固定約 34 Mg CO₂ ha⁻¹，接下來每年可再固定量依序 25、17 及 8 Mg CO₂ ha⁻¹；若以 CO₂ 減量成本每公斤新台幣 6.6 元估算，每年每公頃為約新台幣 23、17、11 及 6 萬元，在第五年之前總計約為 57 萬元，此部分未來若納入排放配額之交易，對於投入有機農業栽培管理者將是合理的補貼。

五、結語

近年來，世界各國皆致力於減少CO₂ 排放量。1997年，149個國家和地區的代表在日本簽訂了限制溫室氣體排放量以抑制全球暖化的《京都議定書》。這份公約要求簽署國家必須在 2008至 2012年間將CO₂、SO₂ 等 5種溫室氣體排放水準在1990年的基礎上平均減少5.2%，亦即，未來農業轉型，釋放出的休耕地，須兼顧農地保育與生物多樣性。國際有機運動聯盟（IFOAM）近年來研究發現有機農法具有降低溫室氣體(GHG)的排放與固碳的效果。因此，若能採行有機農法，不僅可直接對台灣的生態系產生貢獻，更可以在未來“碳稅(carbon tax)”交易實施時，由農業部門提供工業部門生存與發展的基礎，也因此發展有機農業除了提升農業經濟與農地保育等多重功能之外，更可達到CO₂ 減量，協助減輕未來《京都議定書》對我國工業及外貿所帶來的壓力，更能逐步恢復台灣生態系。

六、參考文獻

台灣有機農業技術要覽策劃委員會。2011。台灣有機農業技術要覽（上）。財團法人豐年社。台灣台北市。

康樂、郭華仁。2009。參與式育種之理論與策略。宜蘭：有機農業全球資訊網。<http://info.organic.org.tw/>。

陳昶璋、許明晃、黃文達、楊棋明。2008。作物根部衍生碳素對土壤有機碳庫之影響與測定。科學農業。56(7~9):118-126。

陳昶璋、黃盟元、黃文達、王裕文、許明晃、楊棋明。2007。五節芒與培地茅對土壤碳庫影響之研究。中華民國雜草學會會刊。28(2): 131-140。

陳昶璋、許明晃、蔡東融、黃文達、楊棋明。2010。有機耕作對土壤碳庫之影響。科學農業。58(10,11,12):162-170。

陳世雄。2009。有機農業發展與國際化。有機農業產業發展研討會專輯。臺中區農業改良場。

黃文達。2010。有機栽培之雜草管理。農地雜草管理與除草劑安全使用。pp.55-62. (ISBN:978-986-02-4820-3)

黃文達。2011。雜糧有機栽培概論。農民學院有機農業初級班講義。花蓮區農業改良場。

Kotschi ,J., Müller-Sämann, K. (2004) The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change. IFOAM. Bonn. 64 pp. downloadable from

http://www.ifoam.org/press/positions/Climate_study_green_house-gasses.html