

有機物循環利用技術

楊秋忠

中央研究院院士、教育部 終生榮譽 國家講座

國立中興大學土壤環境科學系 講座教授

摘 要

農業生產是人類為了生存的產業，但從土地開墾後的長期利用結果，常導致土壤有機質含量及地力衰退的問題。因為土壤有機質的含量是土壤地力的重要指標，要提高土壤有機質含量，才能有效增進地力，土壤有機質含量的增進是農業永續經營的要件，是現代農業經營不可或缺的課題。為了增進土壤有機質含量本研究室並已開發創新土壤腐植化處理之理論及催化腐植化技術，利用綠肥開發整合微生物酵素之高效催化作用的技術，以快速催化聚合環狀酚類及含氮物質，將綠肥高效聚合轉變為腐植化後再施入土壤，才不致被分解怠盡，以達到增加土壤穩定有機質含及增進地力的功效。另本研究室已開發全球最快之創新快速處理製成有機質肥料之技術，快速處理的理論基礎是利用酵素反應，以增加催化反應之表面積，以加速催化反應及穩定化，及以酵素法加速催化反應穩定有機質肥料。目前已完成高效處理之反應酵素生產及應用、處理有機廢棄物之設備及有機質肥料產品功能分析及驗證，達到可以直接施用到土壤中增加土壤有機質含及增進地力的功效。

前 言

土壤是人類依賴生存的重要資源，是人類食物及健康的支柱，愛護地球的土壤是人類世世代代的責任。有健康的土壤，才有健康的作物，有健康的作物，才有健康的人類，取自土壤的物質，一定要回到土壤，土壤地力才能維持，土壤才會健康依賴。有機物循環利用是關鍵(圖 1)。因為土壤有機質的含量是土壤地力的重要指標，而有機廢棄物循環利用是保持土壤有機質含量的重要方法，是永續農業經營的要件，是現代農業耕作不可或缺的課題。土壤有機質是許多土壤功能和特性的重要組成，是土壤生產力和整個農業生態系統績效的主要組成。因此，氣候梯度和未來潛在的氣候變化是土壤健康的重要驅動力(Morrow, et al., 2017)。

有機廢棄物的有效再利用，不但可增加土壤有機質含量，並且可供應植物生長的養分，及改善土壤中養分的有效性等直接功能，間接地可將增進土壤的物理、化學及生物的功效，有一舉數得之效(楊, 2010; Young, 2014)。

有機物應用到土壤，常見傳統有三種方式，一為腐熟化後施用，二為未經腐熟化的直接

施用，三為炭化後施用：

腐熟化是利用長期堆積堆肥或快速的穩定化過程，在施用前將有機廢棄物利用微生物分解或經酵素反應劑達到穩定化的目標(沈及王，1994; 楊，2010 楊及郭，1999; Nature, 2007 Spotlight on Taiwan; Young et al., 2005)。

未經堆肥化的植物體或其渣粕類、綠肥等直接作為基肥施用在土壤中，是利用土壤中的微生物分解達到養分供應目標。其中綠肥是施入土壤之有機原料中可以最大量及最經濟有效的方法。過去學者研究指出亞熱帶施用大量綠肥對土壤有機質的增加效果不佳，長期土壤有機質只有微量的增加(0.03~0.6%)甚至沒有效果(林等，1973; 陳及連，1996)。

炭化後施用是利用有機物在密閉低氧，經加熱形成炭化物質具多孔的結構及吸附力(陳等 2011; 何，2012)，生物炭是一種富含碳的有機物質，這種穩定性是相對較快地礦化的新鮮有機材料轉化為生物炭的，生物炭的礦化速度要慢得多，可封存碳達數百年之久，生物炭可減少 CO₂ 釋放，不僅可以幫助減緩氣候變化，還可以在農業和林業廢物管理，及提高土壤可持續性生產 (Lorenz and Lal, 2014)。

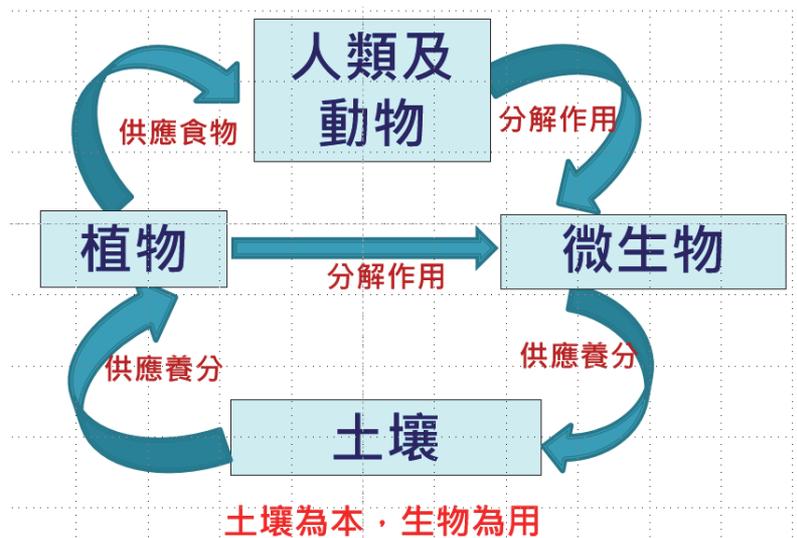


圖 1、有機物循環鏈

增加土壤碳蓄存能力之腐植化作用

腐植化作用(humification)是在土壤中有機沉積的重要過程，將低分子量的有機物經腐殖化和聚合作用轉變為深色的高分子量的過程 (圖 2)。近年來，懸浮土壤(suspended soils)一詞變得越來越普遍，懸浮土壤被定義為尚未經歷完全的破壞和分解過程並且在陸地土壤中未轉變為腐殖質的有機物質的一部分(Abakumov, et al., 2018)。增加土壤碳蓄存能力之技術目標主

要是增加土壤有機質含量及腐植化之能力，因為「土壤有機質含量」就是土壤的地力指標。土壤有機質分為易分解的不穩定「非腐植質」及不易分解的穩定「腐植質」，其中腐植質是土壤的精華及肥力指標，不易被微生物分解，腐植質的半衰期可高達 2,200 年，土壤腐植質之存在可測得高達 5,000 年之久(Paul et al., 1964; Qualls, 2004; Wada and Aomine, 1975)。係一極複雜的多種直鏈及芳香族環狀有機化合物複合體，常為土壤地力之指標外，為土壤的長效有機質，對土壤養分及水分具有高保持能力，及能降低土壤鹽分及毒物質對作物的危害程度。土壤碳蓄存能力之技術主要是增加土壤有機質含量及腐植化之能力，但需要大量有機質來源。

腐植質的結構係一極複雜的多種直鍊及環狀有機化合物混合體(Schnitzer, 1984; Shulten and Schnitzer,1997)，常為地力之指標外，為土壤的長效有機質，對土壤養分及水分具有高保持能力，及能降低土壤鹽分及毒物質對作物的危害程度。本研究室首次發現腐植酸中含有 polyamides 之植物生長促進劑(Young and Chen, 1997)，並首次發現腐植酸具有非蛋白質酵素之固氮作用(Young et al., 2004)。腐植質並可降低化學肥料之施用量，尤其石油高漲及肥料價格攀升的時代來臨，增加土壤穩定之腐植質則更為重要。

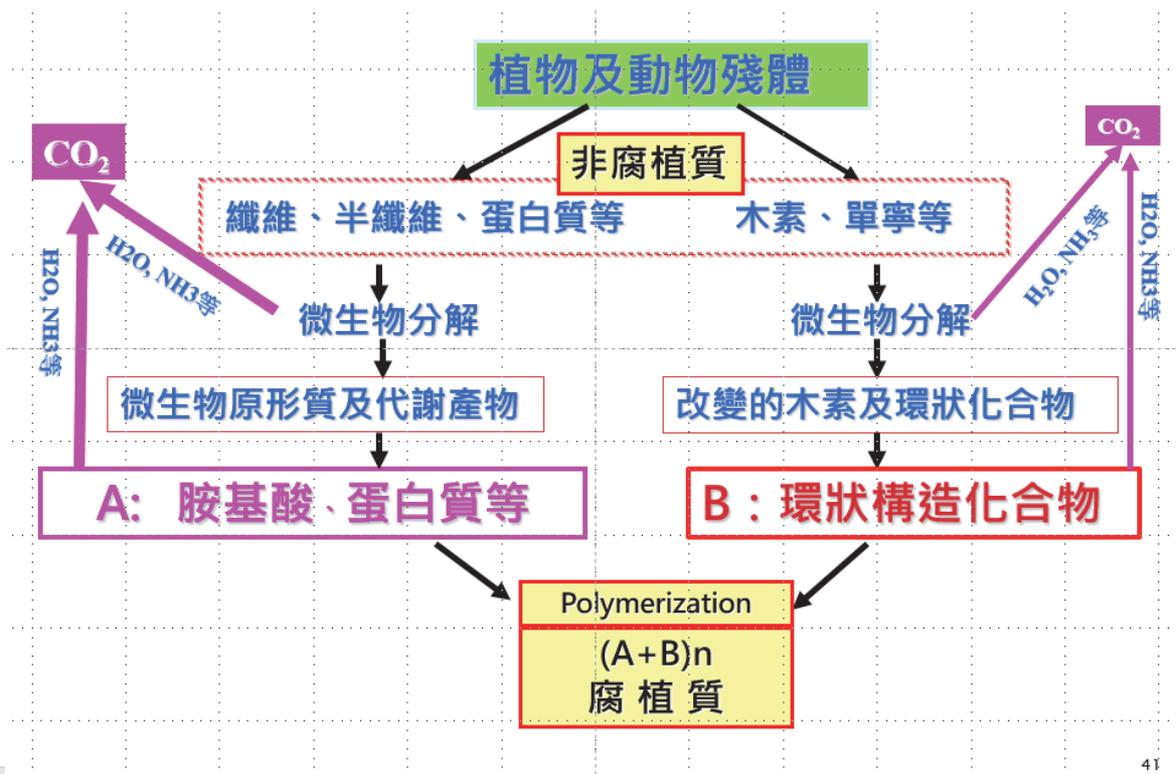


圖 2、土壤有機質之腐植化作用(Humification)之形成理論

台灣主要的有機廢棄物的問題

台灣主要的有機廢棄物全年約 3,000 萬公噸以上，其中以畜產糞便廢棄物佔最大宗，每年約達七百萬公噸；廚餘每年約達二百萬公噸；作物節桿約達二百萬公噸。但目前台灣每年生產之有機質肥料約 70 萬公噸，大約消耗 175 萬公噸有機廢棄物，表示有約 2,825 多萬公噸有機廢棄物未能妥善處理再生利用，其中一部分經焚燒及掩埋處理，或廚餘當養豬飼料，其餘大多成為污染之源。許多廢棄物未妥善處理，現階段農業廢棄物處理資源化的現有技術較廢時、廢工、有臭味或有二次污染之問題，都以堆肥化為主，傳統堆肥法之原理是原理利用微生物菌種之分解腐爛作用，但因堆肥時間長 2~4 個月，常發生臭味及污水，導致品質不穩定，對環境及衛生產生極大衝擊 (楊等，2011)。

綠肥轉變成土壤腐植質的技術以達成幫助土壤一萬年

綠肥是農地種植新鮮的植物，可直接翻犁到土壤中做為肥料之功能，綠肥是施入土壤之最大量及最便宜有機原料，常見的綠肥種類可提供每公頃生草產量甚高，可高達 30,000-50,000 kg/ha。綠肥的問題是過去國內外學者研究均指出施用大量綠肥對有效養分增加，但對土壤有機質的增加效果不佳，土壤有機質只有微量的增加(0.03~0.6%)，效果不顯著(林等，1973; 陳及連，1996)。因為綠肥非常容易被微生物分解，可見大量綠肥之施用對土壤腐植質的增加是非常有限的，因此，研究大量綠肥轉變成土壤腐植質的創新技術是關鍵。

亞熱帶的土壤要增加腐植質 5%約需要十萬年以上，吾人若能快速增加土壤腐植質 0.5%，即為「幫助土壤一萬年」。一公頃一季綠肥可生產植體約 30,000 公斤以上，若經本研究發展之理論及催化腐植化技術只要約 1/7 量腐植化形成穩定之土壤之腐植質達 12,000 公斤，即增加土壤腐植質含量 0.5%。因此，可利用最便宜來源之大量綠肥，達成「高效幫助土壤一萬年」之期望。

本研究室已開發創新土壤腐植化處理之理論及催化腐植化技術，利用綠肥開發整合微生物酵素之高效催化作用的技術，以快速催化聚合環狀酚類及含氮物質，將綠肥高效聚合轉變為腐植化後再施入土壤，才不致被分解怠盡，以達到增加土壤穩定有機質的功效。施用田菁綠肥並添加氨基酸及木質素之土壤，經 103 天孵育後其腐植物質碳含量提高 81%、腐植酸碳含量提高 184%、黃酸碳含量提高 64% (Lin, et al., 2008)。利用已開發創新腐植化處理之理論及催化腐植化技術實踐高效腐植化功能之資材及最佳化條件，以開發田間有機廢棄物再利用與綠肥的高效快速腐植化之創新技術，達成提高農業土壤中之碳蓄存。

快速處理有機廢棄物製成有機質肥料以增加土壤有機質來源

快速處理技術是 1-3 小時快速處理有機物成為有機質肥料的過程。以突破傳統耗費的時間及空間之創新方式，取代傳統堆肥化 2-4 個月之時間，以解決傳統堆肥化之耗時、耗工、耗空間、惡臭及二次環境污染之問題。快速處理技術的過程方便，添加適當的水分及反應催化酵素或調整材料，在特定設備中加速腐熟、減少臭味及生產優質有機質肥料 (圖 3 及圖 4)。快速處理技術經安定性、安全性、無毒性、有效性及效益分析均可達有機質肥料之標準。本研究室並已開發創新土壤腐植化處理之理論及催化腐植化技術，利用綠肥開發整合微生物酵素之高效催化作用的技術，以快速催化聚合環狀酚類及含氮物質，將綠肥高效聚合轉變為腐植化後再施入土壤，才不致被分解怠盡，以達到增加土壤穩定有機質含及增進地力的功效。

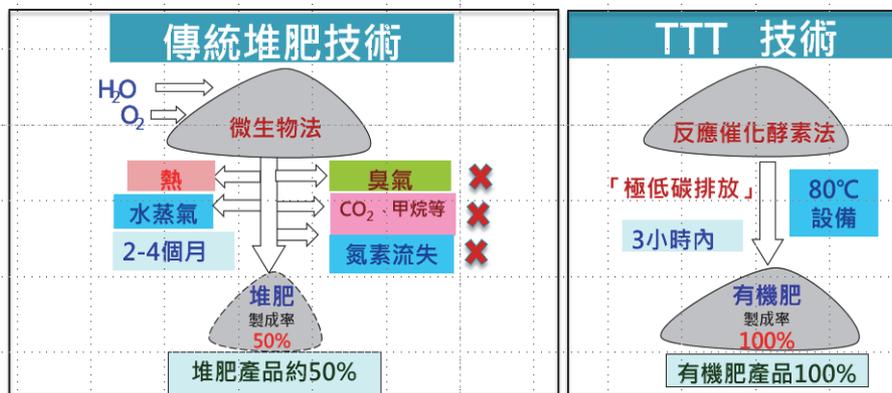


圖 3、傳統堆肥與創新 TTT 快速處理的流程比較



圖 4、傳統堆肥與創新 TTT 快速處理技術的技術比較

參考文獻

1. 沈韶儀、王西華。1994。豬糞堆肥穩定化因子之探討。堆肥技術及其利用研討會論文集：250-264。
2. 何俊賢。2012。以生物碳改良紅壤效益之探討。中興大學水土保持學系所學位論文，1-68。
3. 林家棻、李子純、張愛華、陳卿英。1973。長期連用綠肥料對於土壤化學性質稻穀收穫之影響。農業研究 22：241-262。
4. 陳思昀、賴朝明、柯光瑞。2011。稻殼生物炭改良劑對土壤性質、碳貯存及溫室氣體排放之影響。臺灣農業化學與食品科學；49(3)：131-140。
5. 陳琦玲、連深。1996。台灣若干土壤有機質分解、聚積之模擬及有機質肥料施用基準之試定。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。171-188。農試所霧峰。
6. 楊秋忠。2010。土壤與肥料(第九版)。農世股份有限公司，台中。
7. 楊秋忠、郭福成。1999。有機廢棄物應用之穩定化技術。農業有機廢棄物處理與應用研討會。中華生質能源學會出版。p.53-61。
8. 楊秋忠、陳仁炫、郭猛德、曾慶平、黃裕銘、楊盛行、李文汕。2011。台灣有機廢棄物的再利用：有機質肥料之生產及應用研究。財團法人中正農業科技社會公益基金會發行。
9. Abakumov, E. V., O. A. Rodina, and A. K. Eskov. 2018. Humification and Humic Acid Composition of Suspended Soil in Oligotrophous Environments in South Vietnam. *Appl. Environ. Soil Sci.* Volume 2018, Article ID 1026237, 8 pages.
<https://doi.org/10.1155/2018/1026237>.
10. Lin C. C., A. B. Arun, P. D, Rekha, and C. C. Young*. 2008. Application of wastewater rom paper and food seasoning industries with green manure to increase soil organic carbon: A laboratory study. *Bioresour. Technol.* 99: 6190-6197.
11. Lorenz, K. and R. Lal, 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *J. Plant Nutrit. Soil Sci.* 177 : 651-670
12. Nature, 2007. Composting-free technology: A new dimension for rapid waste recycling, Spotlight on Taiwan.
13. Paul, E. A., Campbell, C. A., Rennie, D. A. and McCallum, K. I. 1964. Investigations of the dynamics of soil humus utilizing carbon dating techniques. *Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. Romania.* pp. 201-208.
14. Qualls, R.G. 2004. Biodegradability of humic substances and other fractions of decomposing leaf litter article. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68:1704-1712.
15. Morrow, J. G., D. R. Huggins, and J. P. Reganold. 2017. Climate Change Predicted to Negatively Influence Surface Soil Organic Matter of Dryland Cropping Systems in the Inland

Pacific Northwest, USA. *Front. Ecol. Evol.*, 21 March 2017

<https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00010>

16. Schulten, H.R., and M. Schnitzer. 1997. Chemical model structures for soil organic matter and soils. *Soil Sci.* 162:115-130.
17. Schnitzer, M. 1984. Nature of nitrogen in humic substances. p. 303-325. In Aiken et al. (ed.) *Humic Substances in Soils, Sediment, and Water*. Wiley-Interscience, New York.
18. Wada, K. and S. Aomine. 1975. Soil development during the quaternary. *Soil Sci.* 116 : 170-177.
19. Young, C. C. 2014. *Soil and Fertilizer: Concepts and Practices* (p.1-482), Airiti Press Inc., Taiwan.
20. Young C.C., and L.F. Chen. 1997. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. *Plant Soil* 195:143-149.
21. Young, C.C., P.D. Rekha, and A.B. Arun. 2005. What happens during composting? In: *Compost Production; A manual for Asian farmers*. Z. S. Chen (ed). Food and Fertilizer Technology Center. 2005:8-19.
22. Young, C.C, C.H. Su, G.C. Li, M.C. Wang, and A.B. Arun. 2004. Prospects for nitrogen incorporation into humic acid as evidenced by alkaline extraction method. *Current Sci.* 87:1704-1709.