

# 有機及傳統化學栽培之土壤有機質 與若干化學特性之差異

蔡宜峰

## 摘要

農業經營過程中無論是有機栽培及傳統化學栽培，實行合理施肥以增進農田土壤肥力，適量供應作物吸收利用，以獲得理想的農產品產量與品質，是必要的農耕技術之一。一般探討合理施肥技術應包括肥料種類、施用量及施用期程等，而對於農田土壤肥力之分析評估方法，目前尚多以土壤有機質(碳)、氮、磷及鉀等含量為評估指標。惟現已有許多研究指出，施用肥料(尤其是有機質肥料)，對農田土壤肥力之影響效益，包括改善土壤理化性及增加土壤微生物及酵素活性等，且如能夠針對土壤有機碳組成劃分(fractions)及氮組成劃分加以深入分析評估，將更有利於建立合理施用肥料(尤其是有機質肥料)之評估指標。本文將探討有機栽培及傳統栽培下，包括土壤有機質(碳)含量、有機碳組成劃分及若干土壤化學特性之差異影響，以供日後不同栽培模式下合理施肥研究及應用之參考。

## 前言

有機農業理念為維護農業生產環境，確保農業永續經營，且可生產健康安全之農產品供消費者享用。所以有機農業(organic agriculture)涵蓋的範圍可包括生產管理系統和產品本身兩個層面，前者重於生產面的技術，稱之為「有機農法」(organic farming)；而後者稱為「有機產品」(organic products)。有機農法的基本原理是設法讓土壤及作物本來的潛力充分發揮出來，以生產安全而又有生命力的農產品。有機農法應著重資源循環再生利用的原則，即必須掌握將有機廢棄物再生利用製作成腐熟堆肥之技術。且為將堆肥使用的效益發揮最大，即必須確實瞭解施用堆肥之目的及原則，並掌握合理正確的施用堆肥技術。

堆肥施入土壤中，必須經過微生物的分解作用，才能礦化釋出養分供作物吸收利用，同時也會影響到土壤理化性及生物性等。近年來有許多研究進一步探討有機栽培下，長期施用有機質肥料對土壤有機質(碳)及其劃分(fractions)，會與土壤氮含量等土壤肥力特性，以及作物吸收養分及生長等產生相關影響。因此，如能深入探討有機栽培及傳統栽培下，包括土壤有機質(碳)含量、有機碳組成劃分及若干土壤化學特性之影響，將能提供不同栽培模式下，相關合理化施肥技術之參考。

## 內容

### 一、土壤有機質(碳)含量

有機農業為遵守自然資源循環永續利用原則，不允許使用合成化學物質，強調水土資源保育與生態平衡之管理系統，以達到生產自然安全農產品之目標。在有機農業生產過程中，注重加強自然資源的循環再利用，以期能兼具維護自然生態及提昇農業產能的多重效益。農田土壤有機質也是植物養分的寶庫，如氮、磷、硫及微量元素大都和有機質結合，施用有機質肥料具有增加土壤有機質含量的直接效果。因此，有機農業耕作系統中，農作物吸收的肥料成分主要來自於堆肥，當堆肥施入土壤中，經過微生物的分解作用，釋出肥料養分供作物吸收利用，同時也會影響到土壤理化性及生物性等。相較於化學栽培，有機栽培因長期施用堆肥可以增加土壤有機質(碳)含量，並增加土壤氮、土壤磷、鉀含量(表一)，其中在設施栽培情形下，無論是有機栽培及傳統化學栽培，長期施用肥料後，相較於露天栽培下，前者之土壤有機質(碳)、土壤氮、磷、鉀等含量更顯著增加。另土壤有機碳(質)含量與土壤微量要素含量，改善土壤團粒構造、保水能力與微生物活性等效益亦有密切相關性。

表一、不同栽培方式對若干土壤(0-10cm)化學特性之影響

Table 1. Soil chemical properties (0-10 cm) under different management systems

| Treatment <sup>1</sup> | TOC<br>(g/kg) | Total N<br>(g/kg) | Olsen-P<br>(mg/kg) | Exchangeable-K+<br>(cmol/kg) |
|------------------------|---------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| ORG-OP                 | 16.4±0.38b    | 2.01±0.05b        | 203.1±13.5b        | 0.73±0.03c                   |
| CNV-OP                 | 7.77±0.04d    | 1.08±0.02d        | 31.6±1.21d         | 0.39±0.04d                   |
| ORG-GR                 | 25.8±1.01a    | 3.30±0.14a        | 330.7±15.0a        | 1.23±0.07a                   |
| CNV-GR                 | 9.29±0.13c    | 1.76±0.05c        | 73.4±7.33c         | 0.97±0.01b                   |

<sup>1</sup> ORG-OP: organic management in open fields; CNV-OP: conventional management in open fields; ORG-GR: organic management in plastic tunnel fields; CNV-GR: conventional management in plastic tunnel fields. Source: Ge et al., 2011.

### 二、土壤有機碳劃分(fractions)

近年來多項研究指出，僅針對土壤有機碳(質)含量之分析評估，並不足以深入了解土壤有機質(碳)等土壤特性對作物吸收養分及生長之影響。有許多研究進一步探討施用不同栽培模式及長期施用堆肥對土壤有機質(碳)及土壤肥力特性因子之影響效應。例如例如針對長期施用有機質肥料可以顯著增加土壤有機質含量情形，可再區分出結構鬆散的腐植質含量(loose bound humic)略微增加，結構固定的腐植質含量(firmly bound humic)無顯著變化，結構緊密的腐植質含量(tightly bound

humic)增加明顯。由Santos等(2012)研究結果指出(表二)，土壤有機質(碳)含量以有機栽培6年(ORG)區較高，其次分別為有機栽培2年(TRA)及慣行化學栽培10年(CON)，以無農耕對照區較低，且分別在土層0-5cm及5-10cm有顯著差異，在10cm以下則差異不顯著。惟以土壤生質碳含量(soil microbial biomass C; MBC)而言，上述4級處理分別在土層0-5cm、5-10cm、10-20cm及20-30cm均有顯著差異。顯然利用土壤生質碳含量(MBC)更能夠有效評估不同栽培系統及施用不同肥料之效益。另有研究指出，長期施用有機質肥料是增加特殊型的土壤有機質(particulate organic matter; POM)，且較能代表土壤肥力之優劣，其中POM-C及POM-N含量約分別佔土壤有機碳及全氮量之18.2%及13.3%(表三)。

表二、不同栽培方式對土壤有機碳含量、生質碳含量及其比值之影響

Table 2. Soil organic C (SOC), soil microbial biomass C (MBC) and MBC-to-SOC under different management systems

| Treatment <sup>1</sup> | Depth(cm)            |              |              |             |
|------------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|
|                        | 0-5                  | 5-10         | 10-20        | 20-30       |
|                        | SOC(g/kg)            |              |              |             |
| CON                    | 3.63±0.9c            | 2.10±0.5d    | 1.98±0.8a    | 1.35±0.3a   |
| TRA                    | 10.33±2.1b           | 2.80±0.7c    | 2.07±0.6a    | 1.34±0.5a   |
| ORG                    | 14.09±3.3a           | 6.85±2.4a    | 2.13±0.5a    | 1.61±0.3a   |
| NV                     | 8.92±2.7b            | 3.94±1.2b    | 2.26±0.9a    | 1.59±0.7a   |
|                        | MBC(mg/kg)           |              |              |             |
| CON                    | 47.27±4.6c           | 35.27±5.2c   | 24.55±3.7c   | 8.75±1.4c   |
| TRA                    | 151.02±12.1b         | 75.54±8.1b   | 60.01±4.9b   | 31.45±5.8b  |
| ORG                    | 317.45±57.8a         | 143.45±11.9a | 105.45±10.3a | 103.09±9.1a |
| NV                     | 145.23±15.3b         | 93.09±10.5b  | 63.84±5.4b   | 44.18±15.5b |
|                        | MBC-to-SOC ratio (%) |              |              |             |
| CON                    | 1.30±0.2b            | 1.68±0.3b    | 1.24±0.2b    | 1.59±0.2b   |
| TRA                    | 1.46±0.3b            | 2.42±0.4a    | 2.33±0.5a    | 2.35±0.5a   |
| ORG                    | 2.33±0.5a            | 2.10±0.2a    | 2.14±0.6a    | 1.77±0.2b   |
| NV                     | 1.63±0.4b            | 2.36±0.5a    | 1.96±0.3a    | 1.74±0.3b   |

<sup>1</sup> CON: conventional plot with 10years; TRA: transitional plot with 2years under organic farming system; ORG: organic plot with 5years under organic farming system; NV: A plot under native vegetation. Source: Santos et al., 2012.

表三、不同栽培方式之土壤C/N、POM-C/SOC及POM-N/ TN等比值

Table 3. Soil C/N ratio, percentage of soil organic C (SOC) comprise of particulate organic matter (POM) carbon, percentage of total N (TN) comprise of POM-N under different management systems

| Treatment           | Soil C/N ratio | POM <sup>1</sup> -C/SOC | POM-N/ TN   |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------------|
| Manure-base organic | 11.2±0.57a     | 18.2±2.04a              | 13.3±1.30a  |
| Legume-base organic | 11.0±0.59a     | 17.5±2.14a              | 12.0±1.59ab |
| Conventional        | 10.9±0.57a     | 14.9±2.03a              | 9.9±1.28b   |

<sup>1</sup> POM: particulate organic matter was the labile SOM fraction and fractionated as SOM > 53um.

Source: Marriott and Wander, 2006.

### 三、堆肥種類及用量之影響

一般有機質肥料必須礦質化後才能釋出養分供作物吸收，如果有機質肥料的礦化分解速率與作物的養分吸收特性相符合或近似，則能發揮最大功效。有機質肥料施用入農田中，能改善農田土壤理化性及生物性。因此使用不同種類的有機質肥料對作物的養分吸收及生育特性的影響亦將有所差異。Fliesbach等(2007)利用土壤有機碳含量、生質碳含量及其比值，評估有機及慣行等不同栽培方式及堆肥用量之影響(表四)，其中土壤有機碳含量(SOC)隨堆肥用量增加而增加，土壤生質碳含量(MBC)則在有機栽培系統下較高，其次為化學肥料混合有機肥料之栽培系統，以化學肥料栽培系統及不施肥對照區較低。顯然利用土壤生質碳含量(MBC)分析，較能夠顯現堆肥在不同栽培系統下之實質狀況。

## 結論

一般農業廢棄物均兼具污染性及資源性，如妥為處理，將能轉化為農業生產系統中的養分源(氮、磷、鉀)及能量源(碳)。因此，將農業廢棄物回歸于農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，而且也是現今消納龐大量有機廢棄物之重要方向之一。尤其在有機農業生產過程中，十分注重加強自然資源的循環再利用，以期能兼具維護自然生態及提昇農業產能的多重效益。然而施用未經充分腐熟的有機材料，或施用未符合合理用量的有機質肥料，均將對農田土壤造成不利的影響，進而影響到作物的產量與品質安全。為能夠正確有效的分析及評估土壤肥力特性，以茲做為合理施肥之參考，由本文討論內容之土壤有機碳組成劃分(fractions)及氮組成劃分加以深入分析評估，將更有利於建立合理施用肥料(尤其是有機質肥料)之評估指標參考。

表四、不同栽培方式及堆肥用量對土壤有機碳含量、生質碳含量及其比值之影響  
 Table 4. Soil organic C (SOC), soil microbial biomass C (MBC) and MBC-to-SOC under different management systems and different amounts of organic fertilizer

| Treatment <sup>1</sup> | SOC<br>(mg/g) | MBC<br>( $\mu$ g/kg) | MBC-to-SOC<br>ratio (%) |
|------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| NOFERT No manure       | 11.83b        | 235c                 | 19.8b                   |
| CONMIN No manure       | 13.00b        | 218c                 | 16.8c                   |
| BIODYN 0.7LU/ha        | 13.40ab       | 325a                 | 24.4a                   |
| BIOORG 0.7LU/ha        | 12.25b        | 267bc                | 21.9ab                  |
| CONFYM 0.7LU/ha        | 11.89b        | 237c                 | 20.0b                   |
| BIODYN 1.4LU/ha        | 14.91a        | 360a                 | 24.2a                   |
| BIOORG 1.4LU/ha        | 13.30ab       | 313ab                | 23.6a                   |
| CONFYM 1.4LU/ha        | 13.34ab       | 267bc                | 20.1b                   |

<sup>1</sup>. BIODYN: Organic farming system by livestock based bio-dynamic manure.

BIOORG: Organic farming system by livestock based bio-organic manure.

CONFYM: Integrated (conventional) farming system by stacked manure with mineral fertilizers.

CONMIN: A stockless integrated system is fertilized with mineral fertilizers exclusively.

NOFERT: One control treatment remained unfertilized.

Source: Fliesbach et al., 2007.

## 參考文獻

1. Coll, P., E. L. Cadre, B. Eric and H. C. V. Philippe. 2011. Organic viticulture and soil quality: A long-term study in Southern France. *Applied Soil Ecology*. 50:37-44. (Summary)
2. Fliesbach, A., H. R. Oberholzer, L. Gunst and M. Paul. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 118(1):273-284.
3. Ge, T., S. Nie, J. Wu, J. Shen, H. Xiao, C. Tong, D. Huang, Y. Hong and K. Iwasaki. 2011. Chemical properties, microbial biomass, and activity differ between soils of organic and conventional horticultural systems under greenhouse and open field management: a case study. *J. Soils Sediments*. 11:25-36.
4. Hathaway-Jenkins, L. J., R. Sakrabani, B. Pearce, A. P. Whitmore and R. J. Godwin. 2011. A comparison of soil and water properties in organic and conventional farming



- systems in England. *Soil Use and Management*. 27: 133-142.
5. Ikemura, Y., M. K. Shukla, M. Tahboub and B. Leinauer. 2008. Some physical and chemical properties of soil in organic and conventional farms for a semi-arid ecosystem of New Mexico. *Journal of Sustainable Agriculture*. 31(4):149-170.
  6. Leifeld, J. and J. Fuhrer. 2010. Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? *AMBIO*. 39:p585-599.
  7. Marriott, E. E. and M. M. Wander. 2006. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:950-959.
  8. Santos, V. B., A. S. F. Araujo, L. F. C. Leite, Luis A. P. L. Nunes, W. J. Melo. 2012. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. *Geoderma*. 170:227-231.
  9. Schulza, E., M. Breulmanna, T. Boettgerb, K. R. Wangc and H. U. Neued. 2011. Effect of organic matter input on functional pools of soil organic carbon in a long-term double rice crop experiment in China. *European Journal of Soil Science*. 62: 134-143. (Summary)
  10. Smith, P., K.W. Goulding, K.A. Smith, D.S. Powlson, J.U. Smith, P. Falloon, and K. Coleman. 2001. Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: Including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 237-252.(Summary)
  11. Verma, B. C., S. P. Datta, R. K. Rattan and A. K. Singh 2010. Monitoring changes in soil organic carbon pools, nitrogen, phosphorus, and sulfur under different agricultural management practices in the tropics. *Environmental Monitoring and Assessment*. 171:579-593.
  12. Wander, M. M. Yun, W. Goldstein, W. A. Aref, S. and Khan, S. A. 2007. Organic N and particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems with a history of manure application. *Plant & Soil* 291 :311-321.
  13. Wang, Y., C. Tu, L. Cheng, C. Li, L. F. Gentry, G. D. Hoyt, X. Zhang and S. Hu. 2011. Long-term impact of farming practices on soil organic carbon and nitrogen pools and microbial biomass and activity. *Soil & Tillage Research* 117:8-16. (Summary)
  14. Zhang H. L., C. H. Liang and L. N. Sun. 2010. Influence of long-term fertilizer application on soil organo-mineral complexes in a sheltweed vegetable field. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41:2403-2412.(Summary)