

有機農田土壤肥力即時偵測技術研發與應用

王鐘和

國立屏東科技大學農園生產系

摘 要

長期的施用有機質肥料可能導致土壤中累積多量的有機質及營養鹽，致使礦化的養分量超過作物生長所需的量，降低作物產量及品質且污染環境。因此，建立有機農田土壤肥力快速診斷施肥推薦技術，供調節施肥之依據，甚為重要。傳統之土壤速測法在田間採取土壤樣本後，需經過風乾處理及一連串的分析步驟，耗費甚多人力與藥品等資源，且無法在有機農田現場診斷、立即推薦施肥。土壤測速箱 (soil test kit) 雖可在田間進行速測，惟仍需消耗化學藥品，且精確度較低，使用上並不普遍。電磁感應偵測技術在土壤性質的測定上是一種低成本、快速且是非破壞性之方法：EM38 (Electromagnetic induction detector) 之測值與傳統土壤與肥力測值間具顯著正相關，惟 EM 38 測值受土壤水分及金屬資材之顯著影響。應用電導度計於有機農田施肥前進行現場測定，測值與土壤有機質及有效養分含量間均呈顯著正相關，可作為推薦施肥之依據。惟應用上仍需考慮下列因子：pH、元素間平衡、土壤排水性、有機質含量、設施有無、有機液肥有無、栽培季節等。鹽度計測值與 EC 值間亦呈顯著正相關，可於田間即時測定，惟其測值受水分含量之影響。

前 言

土壤是植物的自然培養體，為植物生長的場所，對植物作機械的支持，另一方面供給植物所需之大部分營養元素 (郭, 1974)。在植物生長的過程中，土壤中的養分無時不起化學的、物理化學與生物化學的變化，其結果使一部份原本無效的養分成為有效，而後供植物吸收。但也有另一部份養分從有效變為無效 (王, 2000)。土壤的各種性質均會影響植物根系的生長與對水分、氧氣及養分的吸收 (陳, 1981; 郭, 1974)。土壤與肥料是作物生產的兩種重要資材，土壤供給作物生長所必須的機械支持、水、氧氣與營養元素，施肥則在補充土壤供應不足的營養元素。

土壤肥力的定義

廣義的土壤肥力則包含土壤物理性質、化學性質及生物性質等影響作物生長的因子。土壤肥力的狹義意思即指土壤養分狀態或土壤供應養分給作物利用的能力，也就是各種養分在土壤中的有效性或有效養分濃度，由於植物生長所需的養分是溶於土壤溶液中被植物根部吸收，影響作物吸收養分最直接的是各種養分在土壤溶液中的濃度，土壤中各種性質均與營養離子的強度（intensity）與容量（capacity）有密切關係。所謂的強度是指直接作用於根部可供作物吸收的養分。容量是指土壤中儲存的全部有效養分量（黃, 1994）。

農田土壤肥力的偵測方法

一、孵育淋洗法

土壤有效態養分之估測如氮素礦化量之預測研究者甚多，概言之，有各種模擬法（Saito and Sugihara, 1986）和礦化潛能的測定法（Stanford and Smith, 1972），後者較適宜於土壤中短期間礦化量之預測。但礦化潛能的測定常需孵育土壤數週，勞力及時間均不經濟。

二、土壤速測

土壤性質測定可作為耕作上土壤肥培管理之參考，而傳統土壤性質測定方法頗為耗費人力物力及時間成本。土壤速測是土壤肥力的快速診斷方法，係利用化學分析方法，測定農田的代表性土壤樣品的若干物理化學性質與有效養分含量，藉以診斷該農田土壤的肥力狀況，進而推薦施肥量。台灣以往已完成應用土壤速測進行水稻、玉米、甘蔗、花生、大豆等作物之磷、鉀需肥診斷試驗，推薦合理的施肥量。亦已建立果樹及茶樹之土壤與葉片營養診斷技術與應用服務（王等人 2001; 王 2005）。土壤測速箱（soil test kit）雖可在田間進行速測，惟仍需消耗化學藥品，且精確度較低，使用上並不普遍。

已有若干學者以各種化學方法估測土壤中有效態氮的供應量，其中 Bremner 等（Gianello and Bremner, 1986a, 1986b）所提出之方法最值得試用；日本及我國亦有關測定方法之應用報告（赤塚等, 1964; 北農試, 1992; Fang et al., 1994; 方 1995）。王鐘和等人（2001）以孵育淋洗及化學萃取法探討蔬菜園土壤有效態氮之合宜評估方法。結果顯示化學萃取法中 10% KCl 萃取法、熱 KCl 萃取法及熱水萃取法所得之氮素量與孵育淋洗法之氮素量間均有顯著正相關。盆栽蔬菜收量及氮素吸收量與孵育淋洗法、熱 KCl 萃取法及熱水萃取法所得之氮素量呈正相關，以化學法萃取之氮素量在 100~150ppm 之範圍時，無氮處理之產量百分率已達 100%。

三、電磁感應偵測器法

在精準農耕的土壤偵測上均期求能迅速、自動、省力化，且具衛星定位

功能，以降低精準農耕所需之監測成本，且亦能迅速獲得圖形化土壤性質資訊，以供決策支援系統之參考。有關利用 EM38 電磁感應 (EMI: Electro magnetic induction) 偵測器在乾旱地區之報告較多，水田及蔬菜園土壤性質之量測上，相關之報告並不多。但是利用電磁感應偵測技術在土壤性質之量測上卻漸漸受到重視。因為 EMI 技術是一種低成本、快速且是非破壞性之方法供量測土壤性質之變異。

田間土壤電磁感測值之測定乃決定於土壤中可溶性鹽分、水分、有機質與粘粒含量之共同影響，應用 EM38 為於田間測定，可迅速得以獲取電導度空間分佈，應用此類電導度空間分佈圖將易於判斷一區域中土壤本質特性之差異，而採取適當措施合理施用肥料，當田間土壤電導度與土壤本質特性之相關性完善建立明瞭後，應用 EM38 電磁感測技術將得以經濟並迅速做土壤性質空間變異之準確探勘 (申等人, 2002)。王鐘和等人 (2002a) 指出 EM38 之不同測定模式 (垂直模式或水平模式) 中，以垂直測定模式並離地 20 公分之測值與傳統土壤性質與肥力之測定值間之相關最佳；其中與 pH 及有效性磷、交換性鉀、鈣、鎂等含量達極顯著正相關，與電導度值 (EC) 之間呈顯著正相關，與有機質含量則沒有明顯相關，且 EM38 測值顯著受土壤水分及金屬資材之影響，因而影響其在水田及蔬菜園之實用性。

四、鹽度計法

電導度計可測定土壤中水溶性離子的含量，可作為土壤有效養分的指標，尤其對短生育期的作物之養分供給有其重要意義。於集約栽培之蔬菜園施肥種植前測定其土壤 EC 值，其測值與土壤有機質、有效磷、交換性鉀鈣鎂等之含量均呈顯著正相關 (王等人, 2002bc, 2003)。國外亦有應用鹽度計來測量土壤之 EC 值作為施肥推薦及鹽分管理之依據，其測量值與應用電磁感應偵測器所獲得之數值相當接近 (Rhoades et al., 1999)。王鐘和 (2006, 2007) 指出應用鹽度計於蔬菜園測定，其測值與土壤 EC 實測值間呈顯著正相關，可應用於田間快速診斷，作為推薦施肥之參考。

影響有機質材礦化的因子

有機資材普遍具有體積膨鬆、富含有機成分的特性，肥分則因資材的成分而異。由於有機資材的種類繁多，因此成分差異很大 (洪, 1995)，即使商品名相同的資材，也會因原料成分及製造過程不同，造成肥分上的差異。以肥料成分中的氮含量而言，由高至低依序為油粕類、禽畜糞及禽畜糞堆肥，作物殘株則一般含氮量較低；磷鉀含量則以禽畜糞及禽畜糞堆肥較高，其中尤以家禽糞尿含量最多，而作物殘體含量較低。若以有機資材乾物部分

的組成而言，作物殘株含有較高的粗澱粉、纖維素、木質素等碳水化合物，禽畜糞及禽畜糞堆肥則含有較高的灰分。（王等人, 2008）有機資材的分解會受許多因子的影響，包括資材本身的成分及其他環境因子如：溫度、水分、空氣、無機養分等（林等人, 2003; 林和王, 2004）。

一、環境因子

一般來說，在自然環境下，溫度越高分解越快；而水分是微生物生長所需的但水分太多通常會造成通氣不良，影響好氣微生物分解有機物，因此需要有適當的水分；其次除了有機碳源外，微生物生長也需要其他無機養分，因此土壤中無機養分含量高也會加快分解速率，其中又以氮最為重要。

二、資材的成分

若對資材的成分加以分析，可發現氮礦化特性與資材本身的組成分有相當大的關聯。由於微生物需要從資材中獲取碳及氮源以合成體質，且其本身的碳及氮有一定比例，因此資材的氮含量及碳氮比，常左右資材分解過程可否有多餘的氮釋出（前田和志賀, 1978; Constantinides and Fownes 1994; Douglas and Magdoff, 1991; Terry et al., 1982; Norman et al., 1990），一般氮越高及碳氮比越低者氮越易礦化。

除了資材中的氮含量之外，許多的研究也顯示氮礦化與有機資材中含氮化合物的組成有很大的相關，資材中較難分解的含氮化合物量越高，則礦化速率越慢。有相當多的研究結果指出，資材中的木質素及多酚類化合物的含量，是很重要的影響成分（Clement et al., 1995; Jerry et al., 1982; Stump and Binkley, 1993; Vallis and Jones, 1973），有一部分學者發現氮的礦化（或資材的分解）和木質素含量成反比，也有發現和木質素與氮的比值（lignin/N）成反比（Jerry et al., 1982; Stump and Binkley, 1993），或者和木質素加多酚與氮的比值（(lignin+polyphenol)/N）成反比（Clement et al., 1995; Fox et al., 1980）。另外，其他較難分解的成分如蠟類、纖維素、半纖維素等，也會降低資材中氮的礦化

有機農田土壤肥力偵測推薦施肥的必要性

有機質肥料雖有提昇土壤理化及生物性質的功能，但因其屬緩效性肥料，且因品質不一，較不易拿捏施用技術（王和林, 1999; 王, 2003, 2004a, 2004b）。長期不當的施用有機質肥料會造成土壤中累積多量的有機質及營養鹽，礦化之營養元素量超過作物生長所需的量，導致作物的產量及品質下降及污染環境。此外，慣常以氮素含量為估算施用量之基準，常發生養分不均衡問題。相關長期施用有機質肥料之試驗亦有土壤中磷及鉀鈣鎂等要素高量

累積之現象(王等人, 1999; 王, 2004a, 2004b), 尤其蔬菜作物因生育期間較短, 一年之中栽培之作物較多。因此, 如何合理而適切的施用有機質肥料, 甚為重要(李與連, 1997; 王等人, 1999; 王和林, 2000; 王等人, 2002)。

有機農田土壤肥力即時偵測推薦施肥之參考因子

王鐘和(2006, 2007)指出於有機栽培蔬菜園之田間試驗顯示種植前測定土壤 EC 值, 可作為推薦施肥之參考。冬季之臨界值高於夏季。液肥施用有增產效果。田間與盆栽試驗均顯示在較高土壤 EC 值下有機農耕法之蔬菜比化學農耕法有較高之忍受度。於有機栽培蔬菜園以 EC 值作為推薦施肥之依據時, 仍需考慮下列因子:

一、土壤反應(土壤酸鹼值)

土壤的酸性、中性及鹼性等性質, 稱為土壤反應(soil reaction), 以 pH 值表示。pH 7 為中性, pH 小於 7 為酸性, pH 大於 7 為鹼性。土壤 pH 值與作物的生長、土壤中各種微量元素的有效性、微生物的活性、有機物的合成與分解、氮磷等營養元素的轉化與釋放、土壤保持養分的能力、以及其他土壤理化性質、土壤化育與分類等有密切的關係, 是十分重要的土壤性質。另外, 土壤酸性增加時, 養分保持能力隨著鹽基置換性能量減少而銳減, 故酸性土壤之施肥易導致鹽害, 亦易導致養分之流失。土壤太酸或太鹼時應加入改良, 才能發揮肥料的效果。

二、土壤有機質含量

有機質除了分解釋放的營養離子能供應植物利用, 另一個的重要特性是具高的陽離子交換容量(cation exchange capacity, CEC), 一般有機質每 100 克之毫當量(me/100g)約 150-300, 故具有良好緩衝能力, 增加土壤有效供應營養離子的量, 即提高營養離子的容量。一般而言。土壤有機質含量高時, 其可礦化釋放的養分量較高, 因此推薦施肥量應較低。

三、元素間平衡

植物吸收土壤中養分的能力不僅受養分種類強度和養分容量影響。不同養分間具拮抗作用(antagonism action)及協助作用(synergism action), 因此各養分間之濃度比亦左右植物吸收養分之能力及土壤肥力之顯現(張, 1995)。即各種養分離子的相對濃度關係到植物吸收養分的效率, 各離子間的競爭或協助作用而影響其吸收作用及有效性, 因此在土壤養分管理上不僅需注意到養分的有效濃度, 同時也要注意各養分間的平衡現象(張, 199; 王, 2005)。

四、土壤排水性

土壤水分含量會影響養分動態，尤其氮素動態受土壤水分動態影響甚大。排水快之西螺試區表土以孵育淋洗及化學萃取所得之氮素量與田間試區無肥區產量百分率間未達顯著相關，原因為灌水次數及水量太多，淋洗走土壤中之礦化氮素。而永靖試區之入滲速率明顯較西螺地區慢，表土之無機態氮較西螺試區高，化學萃取法之氮素量與無肥區產量百分率之相關性較西螺佳（王等人, 2001）。故測定土壤 EC 值以推薦施肥時，應考慮排水性，排水較快的土壤所需的肥料較多。

五、設施有無

設施內因缺乏雨水的淋洗，土壤中之水溶性鹽類不易洗失，易累積造成鹽害，而露天栽培之狀況下，則應考慮雨水帶走水溶性養分，故其推薦肥料量較設施栽培多。

六、栽培季節

寒冷的季節溫度低，土壤中有機質及有機質肥料被微生物分解釋放養分之速率明顯較高溫季節慢，故其肥料推薦量較多。林和王（2004）也指出有機質材在 35℃ 的孵育條件下礦化釋放的氮素量顯著高於 25℃。試驗結果也顯示冬季之 EC 臨界值較夏季高（王, 2006, 2007）。

參考文獻

- 王鐘和。2004a。7.3 生育障礙之改進。設施園藝學。七星農田水利研究發展基金會。農業試驗所編印。404-416 頁。
- 王鐘和。2004b。有機農業面面觀（十四）作物有機栽培營養管理的若干問題 貳、高營養鹽累積造成之營養失衡。農業世界 246 期。56-59 頁。
- 王鐘和。2005。伍、土壤肥料：十一作物需肥診斷之應用。農家要覽修訂第三版。農業委員會編印中。519-524 頁。
- 王鐘和。2006。有機農田土壤肥力即時偵測技術研發與應用。農委會農糧署九十五年度科技計劃研究報告。1-28 頁。
- 王鐘和。2007。有機農田土壤肥力即時偵測技術研發與應用。農委會農糧署九十六年度科技計劃研究報告。1-30 頁。
- 申雍、吳正宗、張家銘、江志峰、劉禎祺、王鐘和。2002。快速偵測田間土壤性質空間分佈特性之技術。「水稻精準農業（耕）體系之研究」計畫成果研討會。30 頁。
- 林毓雯、劉滄琴、王鐘和*（通信作者）。2003。有機資材氮礦化特性研究。中華農業研究：53（3）：178-190。
- 林毓雯、王鐘和。2004。土壤中有機資材之分解與氮礦化。國際有機資材認證與應用研討會。207-224 頁。

- Constantinides, M. and J. H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationships to nitrogen, lignin, and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochemistry* 26:49-55.
- Clement, A., J. K. Ladha, and F. P. Chalifour. 1995. Crop residue effects on nitrogen mineralization, microbial biomass, and rice yield in submerged soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59(6):1595-1603.
- Douglas, B. F. and F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *J. Environ. Qual.* 20:368-372.
- Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant and Soil* 129:251-259.
- Gianello, C., and J.M. Bremner. 1986a. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Soil Sci. Plant Anal.* 17(2):195-214.
- Gianello, C., and J.M. Bremner. 1986b. Comparison of Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Soil Sci. Plant Anal.* 17(2):215-235.
- Norman, R. J., J. T. Gilmour, and B. R. Wells. 1990. Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues and utilization by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1351-1356.
- Rhoades, J.D.F. Chanduvi, and S. Lesch. 1999. *Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements*. FAO Irrigation and Drainage paper No.57. (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Stump, L. M. and D. Binkley. 1993. Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests. *Can. J. Forest Res.* 23(3):492-502.
- Wang, C.H. 2003. Soil fertility management of sustainable agricultural in Taiwan. In the proceeding of The 3rd APEC Workshop on Sustainable Agricultural Development. p.245-263.

Development and Utilization of "On-Site" Diagnosis of Soil Fertility in Organic Cultural Fields

Chong-Ho Wang

National Pingtung University of Science and Technology
Department of Plant Industry

Abstract

The negative impacts of the overuse of chemical and organic fertilizers have raised concerns in agricultural fields, so application of soil testing for fertilization recommendation is acting more and more important. In Taiwan, there are applying voluminous organic material in agricultural fields, especially in organic cultural farms. So it is important to development and utilization of "on-site" diagnosis of soil fertility in organic cultural fields, in order to recommend rational fertilizer application. Soil fertility is the ability of a soil to deliver to roots the nutrients needed for the optimum growth of a specified crop. Traditional soil testing not only used a lot of times, labors, and chemical reagents, but also produced lots of toxicant. It can not diagnosis soil fertility in organic cultural fields. Although "soil test kit" method can diagnosis some soil properties in the fields, it could not be a useful tool, owe to its' low sensitivity. Used electromagnetic induction detector to detect soil EC is a nondestroy, rapid, and low cost method, its' value had significantly positive relationship with traditional EC meter value, but its' values are significantly affected by soil moisture content and metal materials. Testing soil EC value before planting server as a good guide for fertilization recommendation. Application of liquid organic fertilizer had a positive response to increase yield. The responses of plants grown in different season to soil EC are different. Salt meter value had significantly positive relation with soil EC value, can server as a guide of diagnosis of soil fertility for fertilization recommendation. In practices, use the "on-site" and quick soil diagnosis to regulate and recommend rational fertilization in organic cultivated vegetable fields, need to consider some parameters; soil pH, balance between nutrients, organic matter content, with or without protection structure, application of liquid organic fertilizer or not, cultivation season etc.