

第五章 土壤變異之精準管理

林木連 郭鴻裕 黃維廷 張明暉
行政院農委會農業試驗所農化系

摘要	54
壹、前言	54
貳、土壤取樣	55
參、土壤感測器之應用	56
肆、土壤性質之遙測	56
伍、土壤空間變異分析技術	57
陸、土壤肥力精準管理	58
柒、管理區之理念	62
捌、結語	62
玖、引用文獻	63
英文摘要(ABSTRACT)	64

第五章 土壤變異之精準管理

林木連 郭鴻裕 黃維廷 張明暉
行政院農委會農業試驗所農化系

摘 要

土壤變異的精準管理是應用資訊與技術來管理田間土壤的空間與時間變異，以便作物有良好之生長而同時也能維護環境的品質。此種精準管理，通常會利用方格取樣法、基標土壤取樣法或地景導向取樣法來採取土壤樣本進行土壤分析，而後利用地理統計或地理資訊系統來觀察土壤肥力變異之情形，進而探討出影響產量的重要土壤因子，加以合理解釋與擬定管理的策略。土壤肥力的精準管理主以石灰及氮、磷、鉀肥之定點施用為主要對象。土壤 pH、有效性磷及鉀之時間變異性較低，而土壤有效氮在土壤中之空間及時間變異性均較高。在磷鉀肥力之精準管理主以土壤有效性磷、鉀之高低（禾穀類作物）來推荐各不同定點之肥料用量。而精準氮肥管理的問題就比較複雜，氮肥之推荐目前之研究發展包括氮素收支平衡法、條帶試驗法及作物含氮狀況監測法。管理區之規劃是精準肥培一項新的理念，不同的統計方法已被應用在管理區之劃分上，包括線性、非線性、非母數分析如 PPR、類神經網路等。由於台灣為小農制，管理區之理念在精準農業之利用值得我們加以考慮。

關鍵詞：精準農業、土壤變異、地理統計、土壤肥力、精準管理、土壤感測器。

壹、前 言

精準農業 (precision agriculture) 是一種管理生產環境與作物空間及時間變異的技術，以獲得合理生產及維持環境品質 (Pierce and Nowak, 1999)。而作物性狀之變異可以說是品種、氣候、土壤、耕作方式 (管理) 及這些因子間相互作用之綜合表現。變異的評估是實施精準農業第一個重要的步驟，而一般常進行之變異評估

為土壤變異及作物性狀的變異。土壤為作物生長之重要環境，而養分的供應對作物的生產甚為重要，且自然界的土壤一般都無法充分供應作物生長所需之氮、磷、鉀素，如台灣地區 1998 年就輸入了 60,379 公噸之氯化鉀，而生產之化學肥料合計共 1,248,194 公噸，包括硝酸銨鈣、尿素、過磷酸鈣、複合肥料及硫酸鉀 (農林廳, 1999)。土壤是一種複雜的有機體，它對植物養分之供應能力一般是具有空間及時間變異性的，而作物對養分之需求也是一

樣，加以養分會因淋洗、沖蝕及逕流而流失，且耕作上之施肥也是造成變因之一，故 Sharpley (1997) 就曾指出土壤肥力的精準管理 (precision fertility management) 具有顯著性的存在空間，因為它可以用來改善作物的生產，維護我們的生態環境。

貳、土壤取樣

土壤取樣是瞭解田區土壤養分變異極為重要之步驟，田區的精準管理需要較新的土壤取樣策略。一般在國外之應用上需要衛星定位儀之輔助，以能從事方格取樣 (grid sampling)，或再度回到原來之取樣點進行取樣。由於精準農業之發展，土壤的取樣也已發展出不同之策略。

一、傳統混合取樣 (Traditional Composite Sampling)

傳統混合取樣法過去幾乎在農業上被應用了數十年，取樣方法為逢機或 ZigZag 式採取適當之樣本，然後置放在一起充分混合，採取適量之次樣本當做單一

樣本。

藉著 GPS 的使用，傳統逢機式之取樣可以每年定位相同之座標進行取樣，以減少年度間之取樣變異。

二、基標土壤取樣 (Benchmark Soil Sampling)

為就田區內對作物引起生長有可能差異之土壤進行取樣，通常經由農民自己來判斷，因為他們在自己的田區長久耕作，最為瞭解。此法為就田區選擇代表性之基標土壤位置進行土壤取樣，已可或多或少提供變異率施肥之參考。

三、方格法土壤取樣 (Grid Sampling)

本法是一種系統性之取樣方法，通常將田區劃分成許多較小區之方格，就每方格之中心點 (centroid) 以半徑約 3-6 公尺進行，3 到 10 個點之取樣，然後混合成一樣本，也有以方格之交叉點做為代表性取樣點 (如 Fig.1. 右圖)，如此取樣法就變成點性資料。而 Fig.1. 中以方格內中心點外圍之取樣，可以用來代表表面或點的資料。

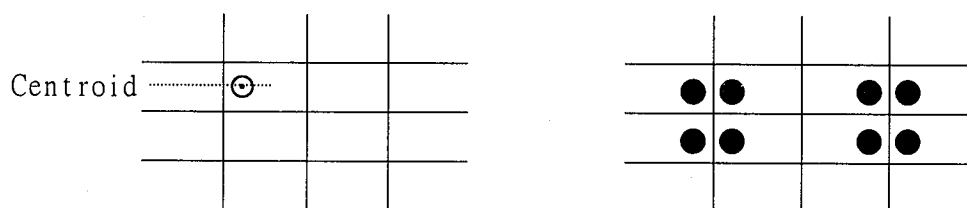


Fig.1. Two grid sampling methods

方格取樣由於取樣點數較密，故成本較高。美國因為大農作耕作面積一些州推荐之取樣密度為 0.25 公頃取一代表性樣本，而非方格取樣，大部份仍以 1 公頃為一取樣單位。通常方格取樣適用於有耕作歷史之田區，施用有機肥、小田區併成大田區、近期有大量施肥 (或施石灰) 之田區，對於移動性較差之養分如磷或一些微量元素也適用本取樣方法。台灣之單位耕作面積較小，且作物種類繁多又施重肥，

造成施肥類型差異甚大，有關方格取樣面積大小仍有待進一步探討。

四、地景導向土壤取樣 (Landscape Directed Soil Sampling)

本法一般在坡地農業使用，或我們對田區之不同地景條件可能引起不同之土壤肥力類型已有先見之明。可用之參考資料包括土壤調查資訊、等高線圖、空照圖、衛星影像、產量圖或耕作者自己的經驗，

利用上述之資訊可以歸類出代表性之取樣區或把它稱之為多邊形 (polygon)，如此已約略知道土壤可能之變異，每個代表區內之取樣數目就可減少。這個方法要瞭解養分之分佈或管理的單位常要比方格取樣為佳，特別是針對氮素之管理。

土壤取樣分析是一種高成本的工作，上面所介紹的四個取樣策略，使用者在應用時應自己評估，可以保持彈性而適時適地的加以調整。未來土壤養分感測器之發展，將可使田區土壤養分變異圖獲得更為容易。遙測技術的發展也可判別田區特定區域之作物養分逆境，這些將使利用土壤取樣分析在界定田區之管理單位更為得心應手。

參、土壤感測器之應用

土壤感測器之應用是瞭解田區土壤變異一快速便捷且低成本之方法，而且它也可用來瞭解土壤變異後，決定土壤變異位置及取樣大小之參考，但缺點是土壤感測器的價格不可能使每位農民自己擁有，故在歐美有租賃方式之應用，或由精準農業之顧問公司來測定。

一般土壤感測器應用之原理有化學式、光學式、電力式、電磁式、機械式…等等。如土層、質地及電導度之測定有用電磁波感應，以測得土壤之電導度再反推

回土層之厚度，也可推測土壤之密實度，美國知名之廠牌如 Veris (電極式) 及 EM (電磁波感應式)，可結合 GPS、數據收集器提供一些土壤物理性質之測定，進一步作為精準施肥之參考，也有供鑑別雜草之分佈供噴殺草劑之精準操作；利用光纖探針 (fiber-optic probe) 感測土壤溶液養分移動、變化之即時測定則為美國土壤物理界之熱門研究課題；土壤養分之即時測定應用原理有固態電極快速移動式，如美國 Crop Technology 廠牌，提供之資訊有土壤 pH、有機質含量、CEC、土壤水分、硝酸態氮、銨態氮含量及其他一些陽離子養分如鉀、鈣、鎂等。

肆、土壤性質之遙測

光譜遙測及熱紅外線影像遙測應用於土壤水分、有機質、收穫後殘體之測定有不同之評估能力 (Baret, 1999)。土壤遙測之成功利用可大大減低土壤取樣分析所需耗費之龐大成本。土壤光譜影像反應與土壤有機質含量有相互關係，即高有機質含量之深色土壤與低有機質含量之淡色土壤會有明顯之對比，因為土壤有機質與氮素的供應有關，因此可以用來預測土壤氮素之有效性。其他的土壤性質如 pH、質地、養分如磷、鉀等就難以偵測。

Table 1 Soil biophysical variables estimable by remote sensing

Variable	VIS/NIR	Near/middle infrared	Thermal infrared	Active microwave	Passive microwave
Surface Moisture	—	+	+	++	+++
Unevenness	+	+	—	++	+
Harvested Residues	+++	++	++	—	—
Organic matter	++	++	—	—	—

Number of “+” indicates estimation ability ; adapted from Baret (1999)

土壤遙測之困難點為土壤上常有植生存在，尤其小農作且複作指數高之台灣地區。不過研究人員仍試圖利用遙測資訊在土壤研究、土壤調查及土壤圖之製作上，包括土壤性質不同引起之反射或影像反應、土表狀況不同對反應之影響、及利用遙測影像來鑑定土壤類型。遙測也可用來引導土壤取樣，即利用遙測來幫忙界定不同之管理區 (management zone)，然後就不同的管理區進行土壤取樣。

傳統之土壤調查受限於一些限制因子之影響，往往無法提供精度良好之土壤

調查圖，特別是對於土壤邊界 (soil boundary) 之繪製。超高頻譜遙測 (hyperspectral remote sensing) 的技術提供建立詳細光譜土壤圖 (spectral soil map) 的方法。Ahn (1997) 曾利用線性混合模式 (linear mixture model) 以減輕植生及容積 (dimensionality) 效應，以方塊克利金 (block kriging) 插補法 (interpolation) 建立較佳解析度之土壤組成分圖層，再進而建立最後之合成土壤圖 (如圖 2)，此一聯合操作之土壤圖有助於對已存在土壤圖之瞭解及改進。

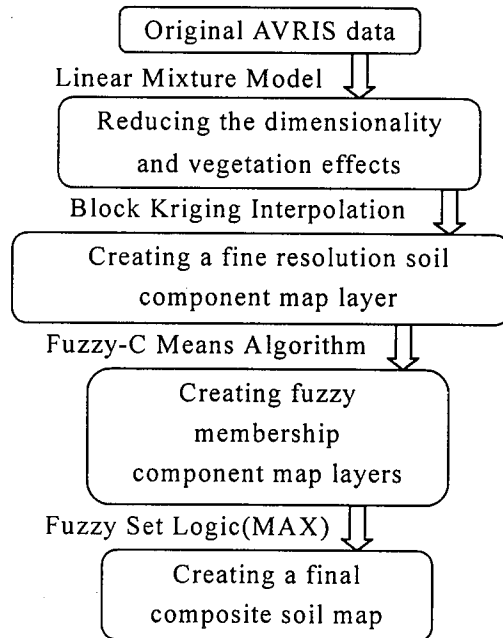


Fig.2. Diagram for original AVIRIS (Airborne Visible Imaging Spectrometer) data to be processed for creating a final composite soil map (Ahn, 1997).

伍、土壤空間變異分析技術

土壤空間變異分析即亦稱之地理統計 (geostatistics) 仍是門年輕的科學，它源自 1960 年代 Matheron 之區域變數理論 (regional variable theory)。最初是由南非礦業工程師 Krige 為探勘黃金礦脈所發展出來的空間資料分析技術。在土壤空間變異分析上，其方法為就目標之田區進行已

知座標之土壤取樣。如以土壤肥力精準管理之立場，常分析之項目為 pH、有機質、有效磷、效換性鉀鈣鎂等項目，然後就這些數據進行常態性分佈之測驗 (test)，觀察土壤性質之數據是否須進行轉換。

土壤性質的空間相依性通常以半變異圖 (semivariogram) 表示，距離較近之空間變數較距離遠的空間變數較為相似。半變方分析 (semivariance analysis) 用來配合半變圖模式，常用的有線性模式、球

形模式 (spherical model)、指數模式 (exponential model)、高斯模式 (Gaussian model)、乘幂模式 (power model)。

克利金法為一種移動加權平均 (weighted moving average) 預估法。由法國籍教授 Matheron 為紀念 Krige 工程師在地理統計研究上的貢獻而將地理統計的估計法稱為克利金法。視估計之範圍及方法之不同，克利金法有簡單克利金法 (simple kriging)、通用克利金法 (universal kriging)、方塊克利金法、協同克利金法 (cokriging)、普通克利金法 (ordinary kriging)、指標克利金法 (indicator kriging)、標點克利金法 (punctual kriging) 及附屬克利金法 (adjunct kriging)。克利金法可用來預測未取樣區之土壤性質，由其輸出到三維、二維之圖形或影像產生器上，可用來辨認土壤性質變異之存在。常用之地理統計軟體商業版的如 GS³⁺、SURFACE、GeoEAS，也有一些大學發行之地理統計公用軟體。空間變異的資料依時間不同，重複地去收集處理的話，就形成了時間變異之資料。

利用地理資訊系統 (GIS) 的肥力圖分析技術亦可瞭解肥力之空間變異，有關這方面之技術，因本專集有另文介紹，故

不在此重複。

陸、土壤肥力精準管理

土壤肥力精準管理之理念乃是 1. 田區內的土壤肥力有空間的變異存在。2. 此一變異能正確的辨認。3. 且此一變異的原因可以有令人信賴的解釋，即會影響到作物的產量、品質或生態環境。4. 土壤肥力改良的資材可以正確地施用 (Pierce and Nowak, 1999)。

一、石灰

田區的土壤 pH 常有空間變異性，因此依土壤 pH 圖施用不同量之石灰常有良好之效果，可以避免局部地區之過量及不足量施用。石灰需要量一般具有高空間相依性但低時間變異性。

圖 3 為一中密西根田區 (300m×600m) 之石灰需要量，顯示不同方格大小之取樣方法之石灰需要量分佈稍有所差異 (Pierce and Nowak, 1999)。對於大區域面積如一個縣之利用地理統計來估計土壤的石灰需要量，可以用來作為土壤改良決策之參考，如經費、資材需要量之估計。

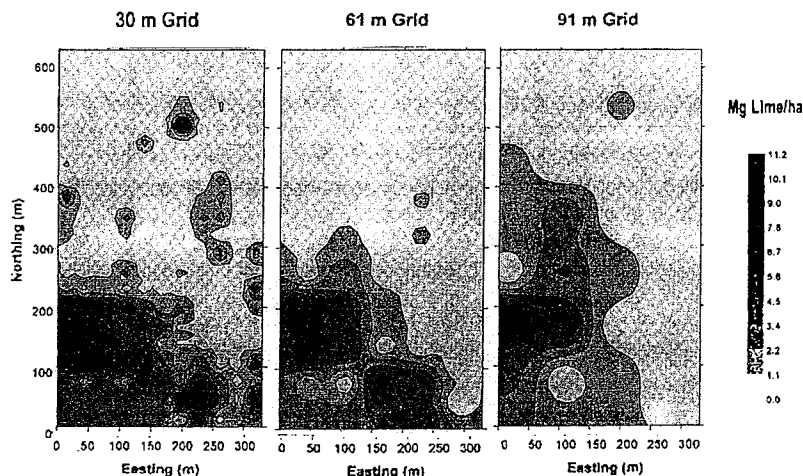


Fig.3. Lime recommendation maps interpolated using inverse distance square for 30-, 61- and 91-m grid soil samples obtained from a central Michigan field [adapted from Pierce and Nowak(1999)]。

二、磷及鉀

土壤磷及鉀之精準管理受到較早之關注，因為利用土壤磷鉀之測定來作施肥推薦在許多作物已建立了基本資料，如國際肥料工藝協會（IFA，1992）出版之世界肥料使用手冊收集了100種作物施肥方法，大部份均有依土壤養分而訂之磷、鉀

肥推薦量。而且土壤磷、鉀之測定也較容易，其在區內之空間變異性也較穩定。根據 Pillai (1992) 引用連深 1989 年之報告，台灣地區依有效磷 (Bray 1) 而推薦之 P_2O_5 施用量如表 2，依有效鉀 (Mehlich's) 而推薦 K_2O 施用量如表 3，這些指標可供作為水田磷鉀肥精準施用之參考。對土壤有效磷鉀之測定約數年才取一次樣即可。

Table 2. Recommend rates of P for wet rice production in Taiwan.

Available P (Bray 1)		P_2O_5 rate, $kg\ ha^{-1}$	
ppm	Rating	1 st crop	2 nd crop
0-4	Very low	70-80	50-60
5-10	Low	60-70	40-50
11-20	Medium	40-60	20-40
21-50	High	20-40	0-30
>50	Very high	0-30	0-20

Adapted from Pillai (1992)'s citation based on Lian (1989)

Table 3. Recommend rates of K for wet rice production in Taiwan.

Available K (Mehlich's)		K_2O rate*, $kg\ ha^{-1}$	
ppm	Rating	1 st crop	2 nd crop
0-15	Very low	60-70	80-90
16-30	Low	50-60	60-80
31-50	Medium	30-50	40-60
>50	High	0-30	0-40

*Plus 30 $kg\ ha^{-1}$ K_2O in the case of poorly drained soils [adapted from Pillai (1992)'s citation based on Lian (1989)]

一般對於磷、鉀肥之施用有二種論點，即 1. 足量維持 (sufficiency maintenance) 2. 增強維持 (buildup maintenance) (Dahnke and Okon, 1990)。後者之理念為鼓勵一次施下較高量之磷鉀肥，以在一到二年內提高土壤的有效磷和有效鉀濃度，而其次年度則補充被作物移去之養分量。

Goedeken *et al.* (1998) 指出長期的精準磷肥施用將使有效磷在田區的空間變異

性呈現減低，而且可以減低變異量磷肥施用的必要性。然而 Pierce and Nowak (1999) 則認為變異量施肥仍有其需要性，因為作物根系的生長在土壤中還是要受到其他因子之影響，產量的不同會造成養分移去量的差異。禽畜糞有機肥之施用屬磷、鉀肥之重投入，由我們在農試所之水稻田施用不同種類有機質肥料試驗顯示它會增加土壤磷、鉀之空間變異性 (Fig. 4)。

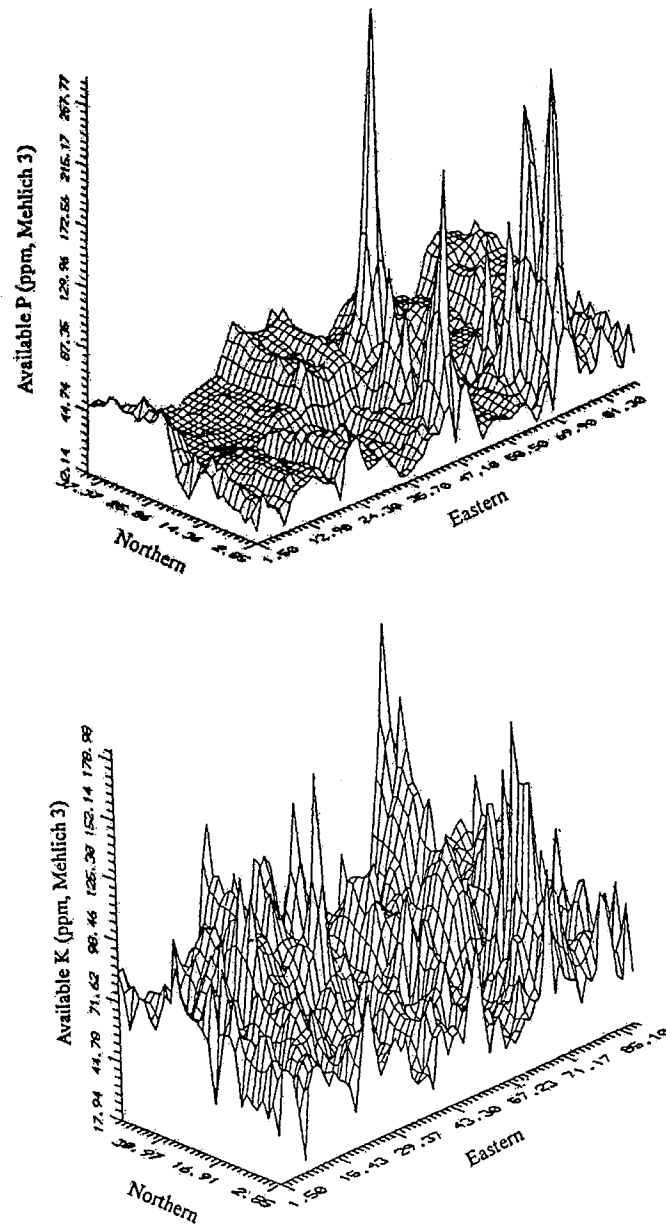


Fig.4. Variation in Mehlich 3 extractable P and K at TARI's No.35 experimental field received different fertilizer treatments.

三、氮

土壤氮素的精準管理要比磷鉀的精準管理複雜，且困難度也較高，這主要是如先前所提到的，氮在土壤中之變異受時間的影響很大。我們可以由 Cahn *et al.*

(1994)之報告（如 Fig. 5）看出來，在 1.1 公頃的密集取樣裡，硝酸態氮的含量由 1992 年 5 月 13 日的 8.3 ppm 下降到同年 6 月 15 日的 1.6 ppm，而且空間變異性也呈現較小。

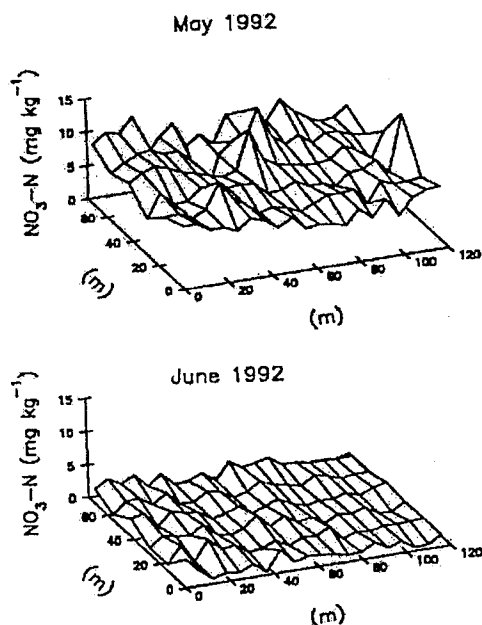


Fig.5. Spatial distributions of raw and residual $\text{NO}_3\text{-N}$ data (0-15cm) from 1.1 ha area in May and June 1992(adapted from Cahn et al., 1994)

土壤氮素主要以有機態氮的形式存在，而無機態氮主由銨態氮被固定在粘土礦物上，所以土壤總氮因土壤之有機質含量、粘土礦物種類及含量而異，其空間變異即與土壤質地及有機質含量之空間變異有密切之關係。由於氮素在土壤中之空間變異及時間變異性較大之原因，故其取樣密度及頻度就有較高之要求。由於傳統土壤氮素之分析法頗為耗費時間，故田間土壤氮素之感測就成為重要之研究課題。根據網際網路搜尋結果，目前國際上大概有四種之土壤硝態氮即時測定器被研發出來，且均申請專利。這些測定器均屬旱作使用機種，至於水田機種仍有待發展。瞭解土壤氮素之動態也可由作物葉片之葉綠素含量或遙測之影像來反推。如加州大學 Davis 分校之水稻精準農耕試驗就利用 SPAD-502 之葉綠素計作迅速之測定以作為施肥之參考。

目前精準氮素管理 (precision N management) 的研究上，採取三個基本的研討方法 (Pierce and Nowak, 1999)。

基於水稻收量之生理觀點及上述原則，稻作氮素營養之精準管理有三種策略可供參考：

1. 氮素收支平衡法

利用方格取樣求得殘餘硝酸態氮含量，然後應用插補法產生土壤有效氮圖，由此圖可知各特定點之 NO_3^- 含量，再利用下列氮素收支方程式計算各特定點之氮肥需要量。

$$N_f = [G_w \times 1 / (N_f / N_{av} \times N_{av} / N_s \times G_w / N_t)] - (N_{min} + N_{in})$$

此處 N_f 為氮肥需要量， G_w 是目標產量， N_{av} 根域有效氮量， N_t 是作物含氮量， N_s 是施到作物之預測氮素需要量， N_{min} 是淨礦化可供應之土壤氮量， N_{in} 是種植前土壤無機態氮量。

2. 條帶試驗法

根據各特定點不同條件之氮反應曲線或地景屬性來推薦各特定點之最適施氮量。最常用之試驗步驟為在田區進行有重複之條帶 (strip) 施氮試驗，包含不施氮

處理及數個變級，以連續函數 (continuous function) 方式排列。然後依不同區域田區條件求得最適施氮量。

3. 利用監測植體之氮素來推測氮肥需要量

如測定植被輻射光譜，探求與植體氮及產量之關係來推薦氮肥施用量。亦有使用葉綠素測定值與植體氮之關係來求得適當之施氮量。

柒、管理區之理念

管理區 (management zone) 為精準肥培管理之重要理念，它是由農藝專家所提出。管理區的理念是把田區內性質相近之區塊歸類在一起，即劃分管理單位。這個目的是要避免方格取樣時並沒有考慮田區內之其他特徵，而這些特徵包括定量的 (quantitative)、定性的 (qualitative) 及直覺的 (intuitive) / 歷史性 (historical) 的 (Doerge, 1999)。這些特徵有些是較穩定的，如有機質、pH、EC、土壤顏色、有效性磷鉀含量、土層厚度、土壤病害等；而屬動態性的因子如產量資料、雜草密度與種類、土壤水分、土壤及作物的氮素狀態；屬直覺性或歷史性之特徵如農民對田區特徵之瞭解、大概性之產量變異、過去的耕作狀況、輪作種類等。比較常用來規劃管理區之因子如與產量較有相關性的因子：土層厚度、質地、土壤 pH、土壤水分、土壤養分，或直接把產量之分佈作為管理區劃分之指標，如低、中、高產量區，而其後再分析那些是影響不同產量之重要因子。

在管理區之劃分上一些統計技術如線性、非線性、非母數分析如 PPR (projection pursuit regression)、類神經網路 (neural network) 等分析技術都被利用到 (Sudduth *et al.*, 1998)。Anderson *et al.* (1999) 也利用迴歸樹 (regression tree) 分析技術來探討土壤變異對甘蔗產量之影

響，以佛羅里達之土壤條件，不同土壤鈣、鎂等級可供劃分預期產量之等級。

由於台灣地區每農戶耕作面積狹小，有礙精準農業之施行，我們認為管理區之耕作理念較適合台灣，擬利用精準農業技術於作物的合理化管理上。於田間利用標竿插立以界定土壤取樣之方格，透過空間變異分析或地理資訊系統之處理技術，均很容易提供農民利用管理區之理念來去管理他們的農田。德國精準農業學者常主張土壤取樣由農民自己來進行，可大大降低這方面之成本，因此怎樣教育農民精準農耕之土壤取樣技術是我們值得去重視的。

捌、結語

精準土壤肥力管理是作物肥培管理新發展的技術，它的應用乃在田區內就不同代表性位置依不同之土壤肥力給予不同之肥料施用量，故它是一種甚為合理化之施肥技術，也是永續農業講求維護生態環境所祈求的。傳統土壤肥力變異的精準管理為先進行方格取樣，後進行土壤 pH、有機質、有效氮、有效磷、交換性鉀、鈣、鎂之測定，然後進行這些屬性的空間變異分析，利用克利金法估算未取樣區之肥力走向，利用等高線繪製軟體繪製土壤肥力的等高線圖，或利用地理資訊系統繪製土壤肥力圖。不同定點之土壤屬性資料與作物產量分佈資料之進一步相關性一般均會加以統計分析，尋找影響產量之重要土壤肥力因子。利用 GIS 圖形套疊之技術可以用來探討土壤肥力之分佈與產量高低之分佈位置是否有明顯之一致性。對於各定點肥料施用量之估算方法目前仍沒有標準之方法可尋，有根據土壤肥力與產量之反應曲線，有根據土壤肥力等級而設定之推薦施肥量，亦有在田間進行條帶施肥試驗，然後加以檢討再做施肥決策，通常本項策略之利用以針對氮肥之施用為主。管理區

之劃分提供每年或每作能檢討管理策略是否須加修改之機會。以台灣小農之面積，

管理區之理念是我們邁向精準農業一項值得考慮之選擇。

玖、引用文獻

1. 郭鴻裕 朱戩良 江志峰 劉滄琴 劉禎祺. 1999. 台灣地區農田土壤品質監測網之建立與應用. 農委會科技計畫年度報告. (未發表)
2. 農林廳. 1999. 肥料要覽. 民國 88 年增定版. 豐年社編印.
3. Ahn, C.W. 1997. Deriving a detailed soil map from hyper-spectral imagery using geo-statistics fuzzy clustering approaches.
<http://mollisol.agry.purdue.edu/~cahn/paper.html>.
4. Anderson, D. L., K. M. Portier, T. A. Obreza, M. E. Collins and D. J. Pitts 1999 Tree regression analysis to determine effects of soil variability on sugarcane yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 592-600.
5. Baret, F. 1999. Potentiel de la teledetection pour l'agriculture de precision. Published in *L'enjeu francais de l'agriculture de precision*, Salon International du Machinisme Agricole-Mercredi 3 mars 1999, Conference-debat organisee par l'INRA, le Cemagref et l'ITCF.
6. Cahn, M. D., J. W. Hummel and B. H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Sci. Soc Am. J.* 58: 1240-1248.
7. Dahnke, W. C. and R. A. Olson. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. In "Soil Testing and Plant Analysis: Third Edition" (R. L. Westerman, Ed.), SSSA Book Series No.3, pp. 45-71, SSSA, Madison WI.
8. Doerge, T. A. 1999. Management zone concepts. In "Site-Specific Management Guidelines" published by the Potash & Phosphate Institute (PPI), SSMG-2.
9. Goedeken, M., G. Johnson and B. Raun. 1998. Expectations of precision phosphate management. *Better Crops* 82: 28-31.
10. IFA. 1992. World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association, Paris.
11. Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. *Adv. in Agronomy* 67: 1-85.
12. Pillai, K. G. 1992. Rice. In IFA compiled "World Fertilizer Use Manual.
13. Sharpley, A. N. 1997. Dispelling common myths about phosphorus in agriculture and the environment, Watershed Science Institute Technical Paper. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
14. Sudduth, K. A., C. W. Fraisse, S. T. Drummond and N. R. Kitchen. 1998. Integrating spatial data collection, modeling and analysis for precision agriculture. Paper presented at the first International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, Florida, 1-3 June 1998.

Chapter 5 Precision Management of Soil Variability

Mu-Lien Lin, Hon-Yee Guo, Wei-Tin Huang, and Ming-Hui Chang

Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

Precision management of soil variability is the application of information and technology to manage spatial and temporal variability of soils associated with crop growth for the purpose of improving crop production and environment quality. Soil collections with grid sampling, benchmark soil sampling or landscape directed soil sampling are usually the first step in assessing the spatial variation. Techniques of geostatistics and/or geographic information system are applied to investigate the soil fertility variability. Reliable interpretation on soil fertility variability affecting on crop yield, crop quality, and/or the environment is needed in order to implement the site-specific inputs. Main category of precision fertility management includes liming and management for N, P and K. For N, the temporal component of variability can be larger than its spatial variability. Soil pH and available P and K in soils tend to have stable spatial variability. The site-specific recommendations for the inputs of P and K usually rely on soil tests; whereas that for N recommendation is more complex. Research on precision N management to date has taken three basic approaches: N budgeting, N strip experiments within fields and crop monitoring of N status. Management zones are a good concept for precision fertility management. Numerous statistical methods, including linear, non-linear, and non-parametric regression analyses such as projection pursuit regression (PPR) and neural network analysis have been used for modeling yields as a function of soil data in identifying management areas within fields. Since Taiwan's agriculture belongs to small-holder production, it is suggested that the application of management zone concepts worth us to consider if we want to implement the precision agriculture in Taiwan.

Key words: Precision agriculture, Soil variability, Geostatistics, Soil fertility, Precision management, Soil sensor