台灣農業化學與食品科學（中華民國八十九年十月／第三十八卷第五期：第四〇二至四一一頁）
Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science (October, 2000) 38(5): 402-411

應用土壤地景模式繪製結核與灰斑深度土壤類別圖

鄭智馨[1]　陳尊賢[2*]　郭鴻裕[1]

[1]行政院農業委員會農業試驗所 農業化學系
[2]國立臺灣大學 農業化學系

（接受刊載日期：中華民國八十九年六月二十三日）

傳統的土壤調查圖，其繪圖方式乃根據截線路徑的地面採樣點，藉空照圖、地形圖與地質圖的輔助，由經驗豐富的土壤調查員繪製出土壤圖。但是傳統的土壤繪圖，對於土壤與地景間的關係卻很少作明確的說明。本研究應用多變值區別分析建立土壤地景模式，整合地理資訊系統之空間分析與土壤性質關係，用以繪製土壤類別圖、土壤類別機率圖與最大機率圖。研究資料取自桃園縣南崁地區土壤性質中鐵、錳結核與灰斑出現深度之調查資料。結果顯示應用土壤地景模式在礫石或砂石母質下生成之土壤，得到的最大機率分佈優於在紅壤母質下生成之土壤；對於鐵、錳結核出現深度的推估也優於對灰斑出現深度的推估，可以得到較高最大機率分佈。土壤地景模式的繪圖技術，除了可繪製結核或灰斑在土壤剖面出現深度的土壤類別圖外，也可以得到相對應的土壤類別機率圖與最大機率分佈圖，並可用以評估土壤類別圖之調查品質，它可清楚說明繪製土壤圖時的不確定性，並且可以快速地更新模式與重繪土壤圖，網格地理資料的儲存也可與其他自然資源應用者共享資料。

關鍵字：土壤地景模式，地理資訊系統，區別分析，土壤類別圖，土壤類別機率圖，最大機率圖。

Mapping Soil Class of Depth to Concretions and Mottles Using a Soil-Landscape Model

Chih-Hsing Cheng[1], Zueng-Sang Chen[2*] and Hourng-Yuh Guo[1]

[1] *Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan 413, ROC.*
[2] *Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan 106, ROC.*

(Accepted for publication: June 23, 2000)

Conventional soil maps are made by trained soil surveyors based on observations gathered along transects determined from aerial photos and topographic and geologic maps. The relationships between the soil properties and landscapes are seldom studied in conventional soil surveys. This study used a soil-landscape model developed through multivariate discriminate analysis to integrate the spatial analysis of a geographic information system (GIS) and soil properties, and to establish a new technique for producing soil class maps, soil class probability maps and maximum probability maps. Databases for the depth to Fe concretions, Mn concretions, and grey mottles of the soils as well as the soil drainage class were used in this study. The site was located in the Nankang district, Taoyuan, northern Taiwan. Results showed that the frequency of high maximum probability was higher for soils derived from gravel or sand parent material than for soil derived from red earth material. The frequency of high maximum probability for predicting the depth of Fe and Mn concretions was also higher than that for gray mottles. Application of the soil-landscape model delineates not only the soil class map but also the soil class probability map and maximum probability map. The model could also be used to evaluate the quality of soil maps, to explain the uncertain areas in such maps, and to easily and quickly update them. The raster type of geographic information data created in this study can also be shared with researchers involved in other GIS applications in the natural sciences.

Key words: Soil-landscape model, Geographic information system, Discriminant analysis, Soil class map, Soil class probability map, Maximum probability map.

* Corresponding author

前　　言

根據土壤調查手册[1]指出，土壤地圖繪製時，常藉由空照圖、地形圖與地質圖等判斷而繪出土壤圖。空照圖中提供了地表起伏、地貌、植生與土地利用，地形圖提供海拔高度、坡度、坡向等地形特徵，地質圖提供土壤母質的特性，結合這些地景特徵和事先野外調查決定的土壤分類名稱，土壤圖(soil map)便經由經驗豐富的土壤調查員繪製出來。Arnold[2]藉由詳細的土壤調查資料，提出在繪製賓州國家公園1/12,000比例尺的土壤圖時，可根據不同的地形與地質圖，區分出不同的土系，結果顯示在較高處可形成浸水淋溶土與濕潤淋溶土，陡坡處可形成淡色弱育土，趾坡處可形成含有較厚堆積的浸水淋溶土與濕潤淋溶土，而近河邊處可形成粗質地的沖積土。

上述概念方式的土壤分類方式已被大部份的土壤調查計畫採用[3]，但繪製土壤圖的分類準則與土壤圖中之繪圖單位(mapping unit)邊界的決定，並沒有一定的標準，往往在同一個調查區域中，會因爲不同土壤調查員判斷的不同而有不同的土壤分類圖[4]。因此，也有些學者提出以定量方式來描述土壤性質的分佈，他們藉由直接計算地形屬性的大小，例如高度、坡度等，以定量地形因子的方式而計算求得土壤各種性質。例如Walk *et al.*[5,6]研究愛荷華州的土壤A層厚度、灰斑出現深度、出現大於50%的灰斑深度、紅斑(reddish mottles)出現深度、錳核出現深度與碳酸鹽出現深度時，可用樣區座標軸的二次趨勢表面分析(trend surface analysis)推估求得，得到的變異係數(CV%)大小介於22-73%間。若以地形中的高度、坡度、坡度差、曲度與距山頂的距離等地形變數，以迴歸方程式解釋變異量時，對於A層深度及出現大於50%灰斑的深度時，有高於70%的解釋變異量能力，而對於紅斑出現深度及灰斑出現深度，也可解釋高於60%的變異量。Hock *et al.*[7]研究在具有相似排水性質的冰磧地形中，可用距離坡頂的長度等當自變數，多項多次迴歸來模擬土壤的性質。Troeh[8]認爲地表形狀(ground surface)與土壤排水特性間有良好相關，以地形中坡度與曲度構成的凸面輻射(convex radial)、凹面輻射(concave radial)、凸面等高線(convex contour)與凹面等高線(concave contour)等地形因子大小，可區分出因不同排水性質差異的土鏈特性。

最近的研究，也有學者提出以不同於以往土壤繪圖方式來產生土壤類別圖，他們應用了地理資訊系統與衛星影像的技術，用於處理土壤調查與土壤繪圖上。Moore *et al.*[9]利用數位地值模型分析技術，應用地理資訊系統分析，將地形細分不同參數，用以預測土壤剖面A層深度、有機物含量、土壤pH與土壤磷含量的空間分布。Lee *et al.*[10,11]與Su *et al.*[12]提出結合衛星影像的光譜反射值與數位高度模型，應用多變值的區別分析，可當作某一調查區土壤分類之依據；Bell *et al.*[13,14]應用數位地值模式與地形特徵間的最近距離分析(proximity analysis)，區分土壤的排水等級與繪製土壤排水等級圖。

台灣北部之桃園縣南崁地區，其淺層地下水位高且地下水位隨季節而變動，土壤中的鐵、錳的氧化還原作用交替頻繁，長期以來，使得土壤中形成明顯的鐵錳結核(concretions)與灰斑(gray mottles)[15~16]。鐵錳結核與灰斑在土壤剖面中的出現深度，會隨不同的土壤生成化育條件(如地形位置、地下水位變動、耕作方式、排水狀況、母質特徵等因素)而有不同的出現深度，其出現深度的深淺位置，常被用來作爲土壤的排水等級與氧化還原狀態的判斷之依據，是非常重要之土壤基本資料庫之一[13,17~18]。本研究之目的則是藉由桃園縣南崁地區土壤剖面中鐵結核、錳結核與灰斑出現深度等土壤性質爲例子，發展以地理資訊系統(GIS)爲基礎的土壤地景模式(soil-landscape model)之繪圖方式，用來繪製土壤剖面中鐵結核、錳結核與灰斑出現深度的土壤類別圖、土壤類別機率圖與土壤類別最大機率圖。

材料與方法

樣區位置與採樣方式

本樣區位於臺灣北部的桃園縣內(東經121度16分，北緯25度1分)，地形上是屬於臺地地形，並有南崁溪與茄苳溪流經其間。根據林與周[19]研究，桃園境內的地質分佈屬於第四紀地層，主要有更新世之桃園層、林口層、大南灣層與觀音山層等與全新世之沙丘與沖積層。在本研究樣區內，其土壤母質包括更新世桃園層與中壢層所組成的紅壤(red earth)，與全新世沖積層組成的礫石或砂石(gravel or sand)(圖一)。本研究樣區大小約1,736公頃，其座標位置若以橫麥卡托投影，經緯二度分帶座標爲基準，樣區之X座標(東西向)自275,250 *m*至277,730 *m*間，Y座標(南北向)自2,768,500 *m*至2,775,500

*m*間，爲一長方形的樣區[20]。自最左下端點(西南端點)算起，每250公尺畫一交叉網格線，在網線的交點位置上進行採樣，共採集212個土壤剖面樣本，以內徑8公分土鑽從表面起至150公分深度，每10公分採集一土層(圖一)。

採樣時的記錄根據土壤調查手册與浸水狀況(aquic condition)之氧化還原形態特徵(redoximorphic features)[21]。田間記錄事項包括灰斑與灰色層出現位置與含量、地下水位出現深度、錳結核或鐵錳聚積層出現深度，微地形、漂石分佈量、植生或土地利用、灌溉方式與距寬度3公尺道路之距離等。劃分土壤剖面中鐵、錳結核之特徵時，主要依據其含量、大小與顏色對比等形態特徵。

地景模式建立與土壤類別圖繪製

土壤地景模式的建立方式根據鄭等[20]方法，模式建立時考慮土壤母質、地形、水文與人類活動等土壤生成化育的因子，以高度、土壤母質、距河流的距離、距灌溉渠的距離、距灌溉水埤的距離 距道路的距離與距住宅區的距離等土壤地景當土壤地景模式的變數、以多變值區別分析[22~23] (multivariate discriminate analysis)來建立土壤剖面中鐵、錳結核與灰斑出現深度與地景變數的土壤地景模式，建立的土壤地景模式包括有採樣點的分類(classification)與未採樣點的歸類(allocation)。

區別分析是指在已知歸屬群體的全體觀測點的前提下，欲求得最能將各群體觀測點區別清楚的函數，此一函數稱爲區別函數(discriminant function)。依據區別函數，可以對新的觀測點進行歸屬群體的類別或歸類，因此區別函數常被用來作爲類別的準則。在區別分析中，可以根據多變值常態分佈與考慮最低誤判期望成本(expect cost of misclassification, ECM)假設下，計算得到二次區別分數(quadratic discriminantion score, $d_i^Q(x)$)，土壤地景模式對採樣點土壤類別分類之區別函數即以公式(1)來表示，其計算式如下[22]：

$$d_i^Q(x) = -1/2 \ln|\Sigma_i| - 1/2(x-\mu_i)' \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) + \ln p_i \quad (1)$$

其中i：觀測點的土壤類別

x：表示樣區中的土壤採樣點

μ_i：表示土壤各組類別在土壤地景模式中變數之平均向量

Σ_i：表示土壤各組類別在土壤地景模式中變數之共變異矩陣

p_i：土壤各分類類別的事前機率

計算時土壤各分類類別的事前機率p_i可忽略，僅計算式(1)之前面部分即可。將各採樣點x帶入式(1)中，選擇最大區別函數之土壤類別即可對採樣點x作分類，並可根據已知採樣點的土壤類別與區別分析計算求得的土壤類別，來驗證區別函數的準確率(accuracy)。

對於土壤分類類別，本研究將鐵錳結核與灰斑出現深度分成五組，其意義爲：(1)土壤剖面無法出現，表示土壤剖面無法找到這些氧化還原特徵或灰斑，表示沒有排水不良的問題，大多存在於礫石與砂石土壤母質之地區土壤；(2)鐵錳結核出現深度在0-50公分，表示在50公分內有浸水水分境況(regime)的發生或指排水不良的現象；(3)鐵錳結核出現深度在50-100公分，表示在50-100公分內有浸水水分境況的發生或指排水中等的現象；(4)鐵錳結核出現深度在100-150公分，表示在100-150公分內有浸水水分境況的發生或指排水好的現象；與(5)鐵錳結核出現深度大於150公分，表示在150公分以下才有浸水水分境況的發生或指排水極良好的現象。

在模式建立時，將所有的地景變數轉換成40 *m* × 40 *m*大小網格式地理資料，並以ERDAS IMAGINE[24]建檔儲存，研究樣區包括176列×63欄所組成的網格資料，共計有11,088個網格。以研究樣區採集的75%樣點當模式建立時的校正(calibration)資料，其餘研究樣區採集的25%樣點當模式建立後的驗證(validation)資料。根據已建立之土壤地景模式結果，在礫石與砂石土壤母質下，鐵錳結核與灰斑出現深度的準確率分別爲89%、91%與46%，在紅壤土壤母質下，鐵錳結核與灰斑出現深度的準確率分別爲58%、56%與53%。

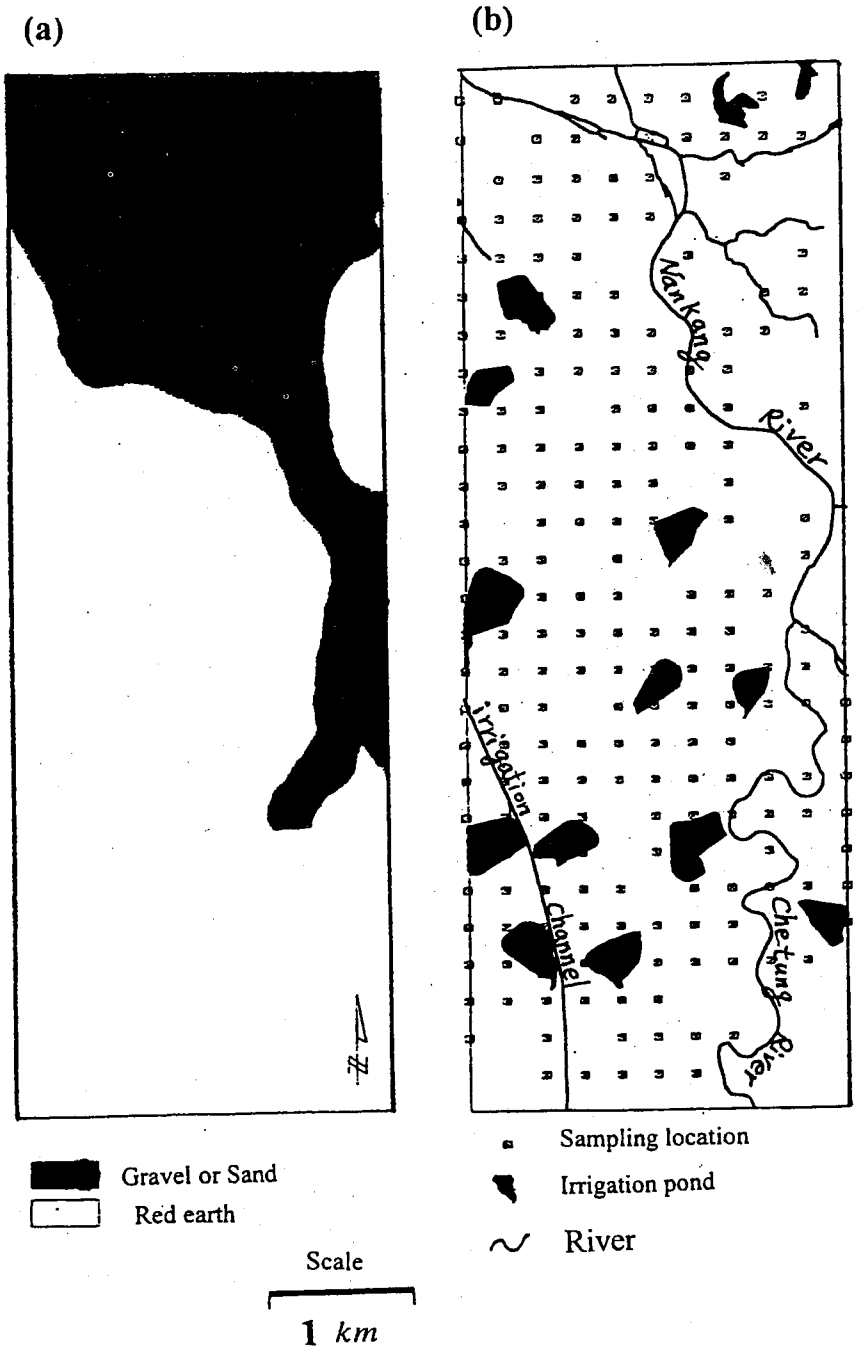
若將樣區中未知採樣點帶入式(1)中則可得到未知採樣點對應在每組土壤類別的二次區別分數，將二次區別分數，帶入式(2)中，可以得到樣區各點在每組土壤類別的事後機率(posterior probability)，其計算式如下[22]：

$$Po_j = \exp[d_j^Q(x)] / \Sigma \exp[d_i^Q(x)] \quad (2)$$

其中Po_j表示x歸類至j土壤類別下的事後機率

Σ爲分類至各組土壤類別區別分數的總和

比較每組土壤類別的事後機率，選擇最大的事後機率即可得到最大事後機率(maximum probability)，並根據最大事後機率求得相對應的土壤類別(most probable soil class)，而最大事



圖一 研究樣區之土壤母質分佈圖(a)與土壤採樣點位置與其水系分佈(b).

Fig. 1. The distribution of parent materials (a), sampling locations and streams (b) in the study area.

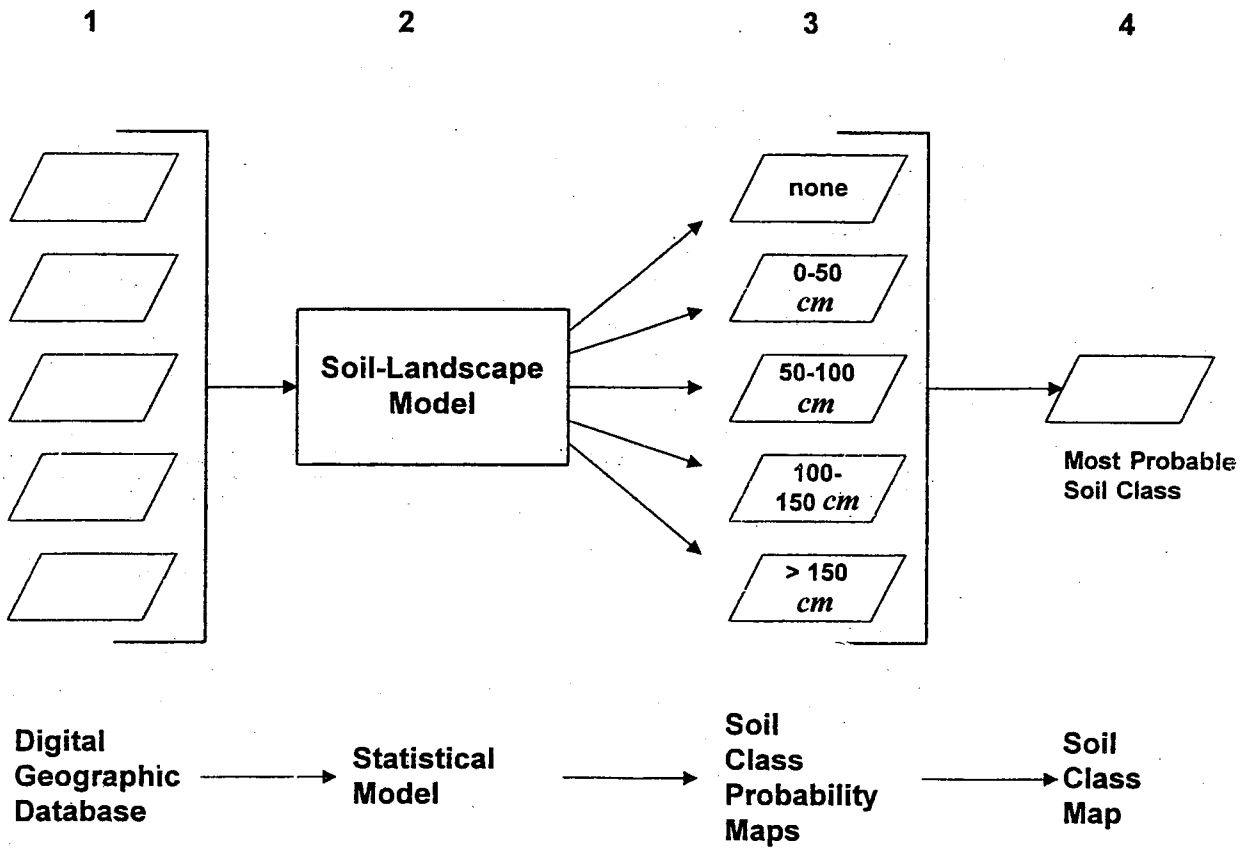
後機率值愈高表示該點的土壤歸類誤判不準確度(uncertainty)愈低。

本研究以SAS程式[25]的『區別程式(PROC DISCRIMN)』模組之多變值區別分析，建立田間採樣點與地景變數間的土壤地景模式(如公式(1))。同樣以此區別程式對於樣區中其它未採樣的地區，代入土壤地景模式，計算後可得到土壤類別機率地圖與土壤類別地圖，其計算步驟流程可用圖二加以說明：

步驟1：數位地景變數資料庫建立：收集地質資料、地形資料、數位地值模型與SPOT衛星影像資料，應用地理資訊系統分析得到此資料庫。

步驟2：以區別分析建立土壤剖面中鐵、錳結核與灰斑出現深度與地景變數的土壤地景模式。

步驟3：計算每一個網格樣點相對應在每組土壤類別類別的事後機率，機率大小介於0%至100%間，其值愈高者表示出現在該組土壤類別的機率愈高，而在各



圖二 應用土壤地景模式產生土壤類別地圖之過程
Fig. 2. Procedure used to create soil class maps by the soil-landscape model.

組的事後機率總和爲1。經SAS計算後的事後機率爲一長串的文字檔,將此文字檔以ERDAS IMAGINE[24]的IMPORT模組轉換成網格式地理資料。

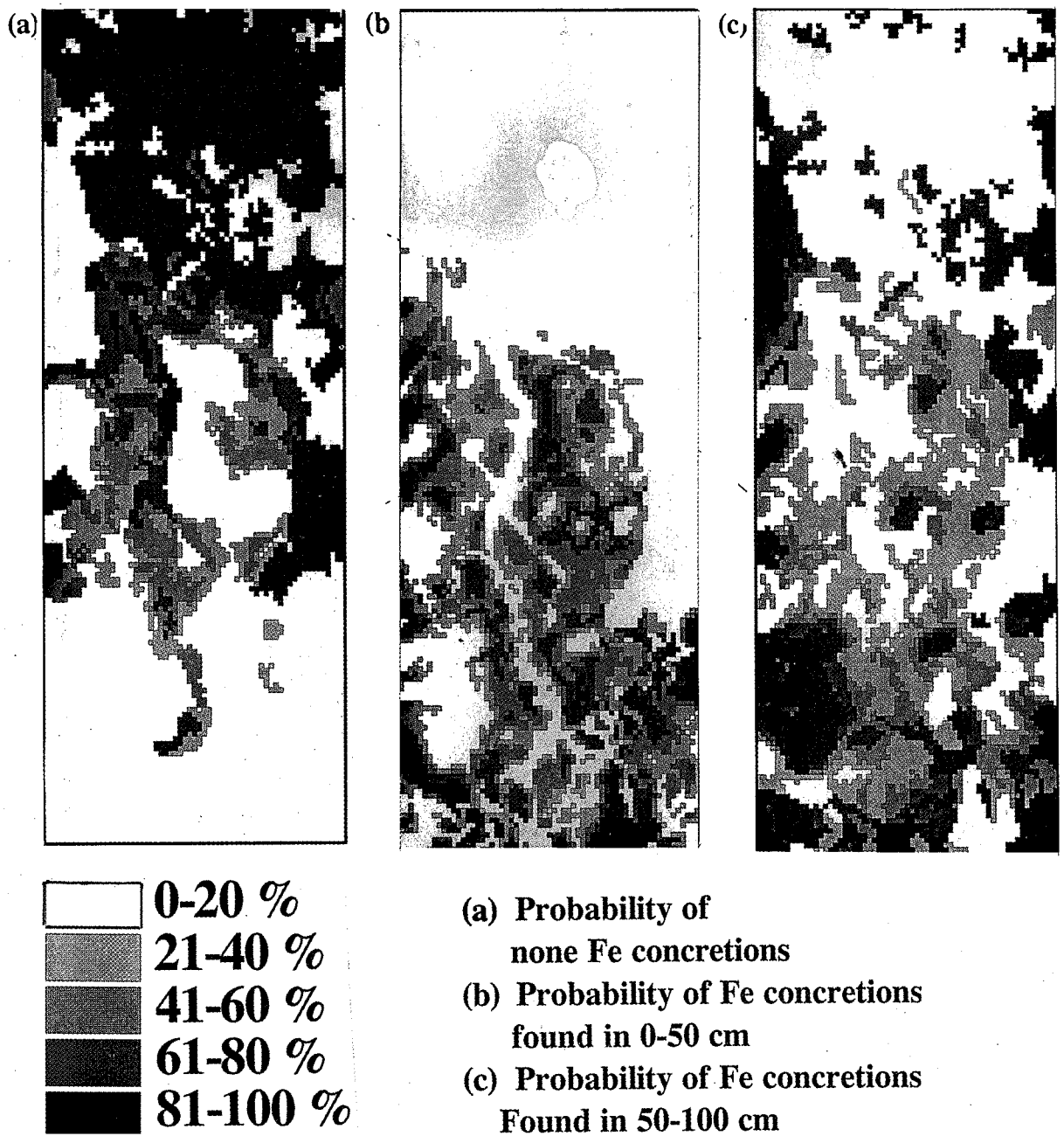
步驟4：疊圖(OVERLAY)分析：將每組土壤類別下的事後機率，取最大值(maximum value)後，可得到樣區最大機率分佈圖。利用樣區最大機率分佈圖，找出該最大機率對應的土壤類別，可得到相對應的土壤類別圖。

結果與討論

土壤類別機率圖

研究樣區中全部的11,088個網格點經土壤地景模式區別分析計算後，可以得到每個網格點對應至各組土壤類別之事後機率(機率範圍分五級0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80%與81-100%)。鐵結核在土壤剖面深度，出現的土壤類別僅三種土壤類別(另兩類別不存在，故圖三中僅示出此三類別)，即：土壤剖面無法出現、出現深度0-50公分與出現深度50-100公分等，在不同土壤類別下的事後機率圖，如圖三所示。圖三(a)表示樣區各網格點之土壤剖面，對應至剖面中無法出現鐵結核之土壤類別的事後機率，事後機率值愈高，表示該地區土壤歸類至該土壤類別的機率愈大，即剖面中無法出現鐵結核的機率便愈高。大多數的高機率值，均發生於礫石或砂石土壤母質環境下，而研究樣區南部區域(即紅壤母質地區)的出現機率值幾乎介於0-20%間。圖三(b)表示樣區各網格點的鐵結核出現深度在0-50公分中的土壤類別之機率。在研究樣區中，大部份出現於此土壤類別的事後機率均低，特別在礫石或砂石土壤母質中，其出現機率幾乎介於0-20%間。圖三(c)表示土壤中鐵結核出現深度在50-100公分的機率，研究樣區中出現該深度的土壤類別，除了礫石或砂石土壤母質外，在紅土土壤母質下，幾乎均會有出現該土壤類別不等機率大小的事後機率，其機率值介於21-100%間。研究樣區中錳結核與灰斑出現之深度對於各組土壤類別的事後機率之結果，亦與鐵結核之結果相似，爲節省篇幅將不重複顯示其結果。

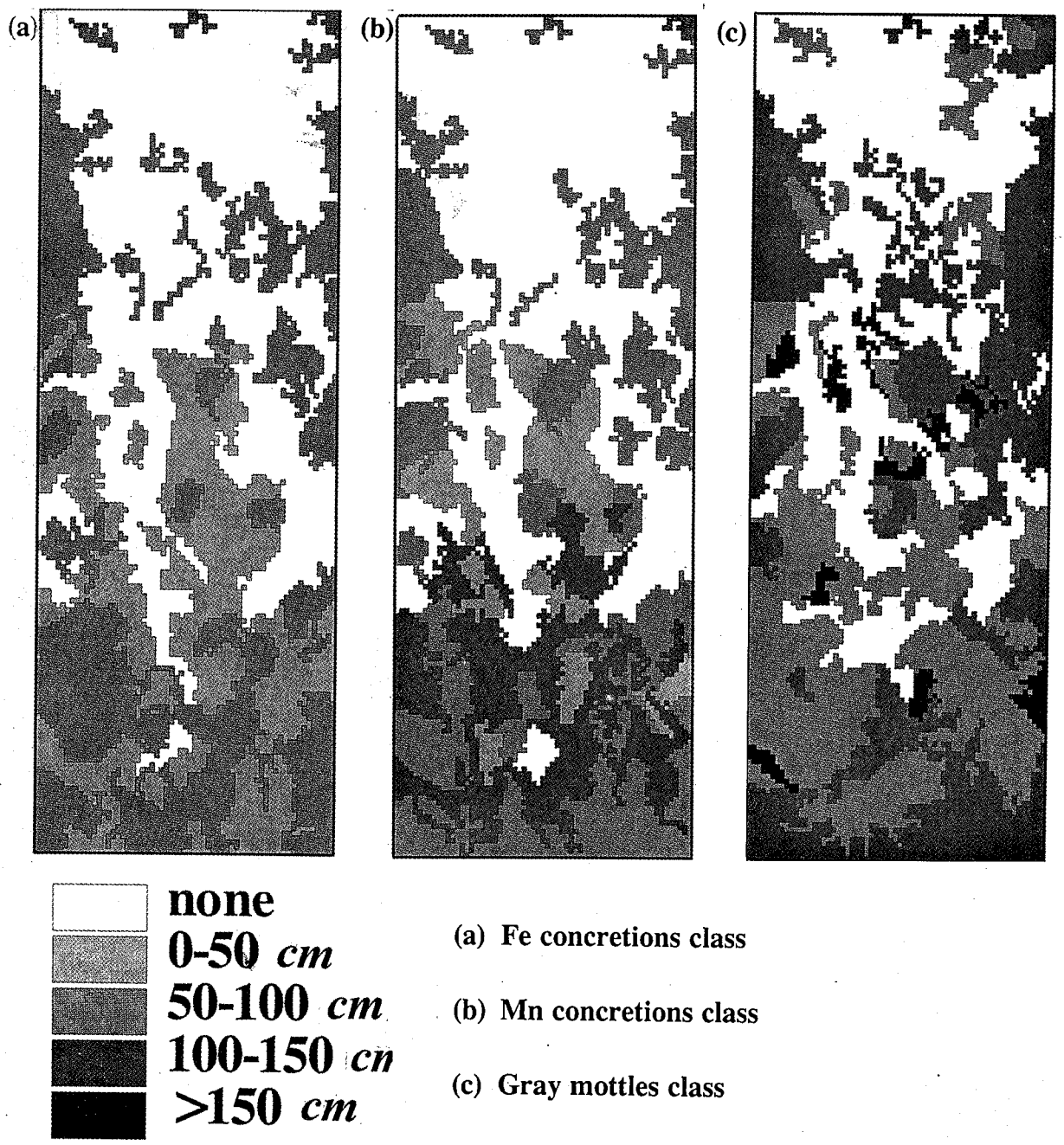
土壤類別圖



圖三　以土壤地景模式推估剖面中鐵結核：在150公分內無鐵結核出現(a)，出現深度0-50公分(b)，及出現深度50-100公分(c)的機率圖。

Fig. 3. Probability map of Fe concretions in soil profile by soil-landscape model: none Fe concretions found in 150 *cm* (a), found in depth of 0-50 *cm* (b), and found in depth of 50-100 *cm* (c).

圖四表示土壤中鐵結核、錳結核與灰斑出現深度的土壤類別圖。鐵結核出現在不同深度的土壤類別圖中，剖面無法出現鐵結核的土壤類別以礫石或砂石土壤母質下較多(約佔60%)，而分布在紅壤母質下的該土壤類別，則大都靠近礫石或砂石土壤母質下之區域出現。鐵結核出現深度在0-50公分的土壤類別，則出現在樣區中央部份與南部兩側較多。鐵結核出現深度在50-100公分的土壤類別，則以樣區南端較多(圖四(a))。錳結核出現深度的土壤類別圖形中，其類別後的結果與鐵結核類別圖近似，其最大的差異僅在樣區南端，原本鐵結核部分出現深度在0-50公分與50-100公分之土壤類別，卻被歸類成錳結核出現深度在100-150公分的土壤類別(圖四(b))，這也顯示在土壤剖面中，錳結核出現深度較鐵結核出現深度深。灰斑出現深度之土壤類別地圖中，無灰斑出現的土壤類別中，仍以礫石或砂石土壤母質下較多(約佔



圖四 以地景模式產生之鐵結核(a)，錳結核(b)，及灰斑(c)出現深度之土壤類別圖。

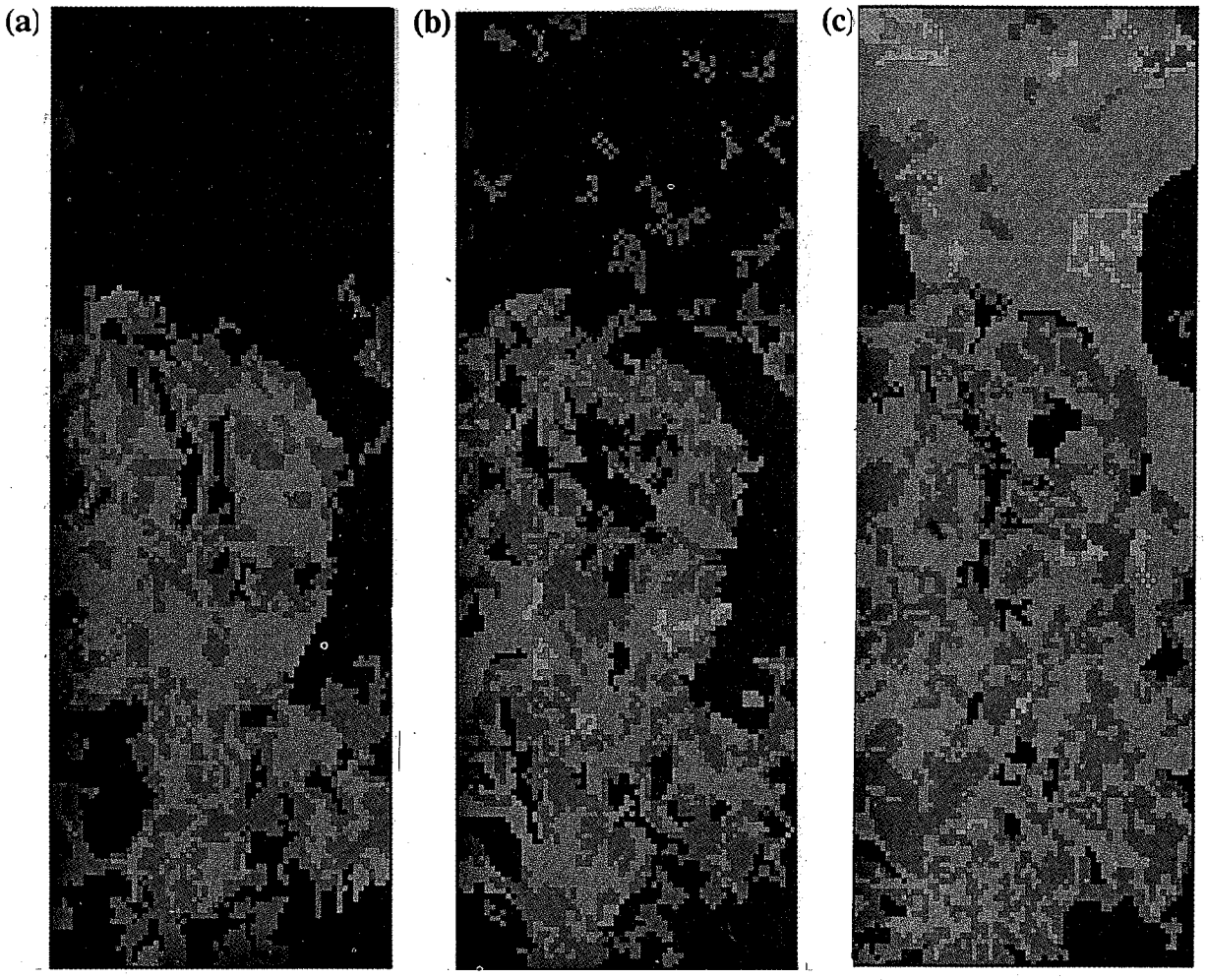
Fig. 4. Soil class map of the depth to Fe concretions (a), Mn concretions (b) and gray mottles (c) predicted by soil-landscape model.

57%)，而紅壤母質下之該土壤類別，則出現在靠近礫石或砂石土壤母質的區域中。灰斑出現深度在50-100公分的土壤類別則大多在樣區中南部份出現。灰斑出現深度大於150公分的土壤類別則呈局部地區的分佈，散佈在整個樣區中(圖四(c))。

土壤類別圖之最大機率圖

對各組土壤類別之事後機率圖作疊圖分析，取最大的機率值對應的土壤類別，可得到研究樣區中的土壤類別圖之最大機率圖。以鐵結核分佈爲例，經疊圖分析圖三(a)~(c)各圖，比較鐵結核在各組土壤類別的事後機率，可得到樣區中鐵結核出現深度的土壤類別圖的最大機率圖。

根據最大機率圖(圖五)的空間分佈，可發現鐵結核、錳結核在礫石或砂石土壤母質中的最大事後機率值約在81-100%間，而在紅壤母質下，鐵結核、錳結核的最大事後機率值落在



圖五　以土壤地景模式預測鐵結核(a)，錳結核(b)，及灰班(c)出現深度在各組土壤類別下的最大機率分佈圖。

Fig. 5. Maximum probability of Fe concretions (a), Mn concretions (b) and gray mottles (c) found in any soil depth predicted by soil-landscape model.

41-80%間，其準確性並不如礫石或砂石的土壤母質。灰斑出現深度的推估，在礫石或砂石土壤母質中約爲41-60%間，而在紅壤母質下的推估最大的事後機率約爲41-100%間，其推估之最大事後機率結果高於礫石或砂石土壤母質。因此，利用土壤地景模式對於研究樣區中鐵、錳結核與灰斑出現深度推估時，推估鐵、錳結核出現深度類別的推估效果要比對灰斑出現深度的效果還要好。這樣的趨勢結果約略反應在建立土壤地景模式時，預測鐵結核、錳結核在礫石或砂石土壤母質下出現深度所得準確率較高有關[20]（分別爲89%與91%）。因此當土壤性質較能被土壤地景模式清楚分類者，所得空間推估的最大機率值相對的也會愈高。

模式評估

本研究在礫石或砂石土壤母質下之土壤，應用土壤地景模式所得到的最大機率分佈的結果優於紅壤母質之土壤，鐵、錳結核出現深度

之推估結果也優於灰斑出現深度之推估結果。因此在土壤採樣設計上，可以針對不同的土壤母質或不同的土壤性質，而有不一樣的採樣數目。例如在新沖積的礫石或砂石土壤母質生成之土壤中，所造成的土壤性質較具地景特性的一致性，因此在土壤採樣點數量便可以少於化育時間較久的紅壤母質下生成之土壤。此外若比較不同的土壤性質時，鐵、錳結核出現深度的化育過程比灰斑出現深度較具有與地景間的一致性，因爲灰斑出現的深度易受微地形改變之影響，而導致缺乏與地景間的一致性，所以在土壤採樣上，我們對於灰斑出現深度的採樣數量便需要較多於對鐵、錳結核出現深度之採樣數。

土壤地景模式根據不同種類的地圖而得到，因此引用地圖時(包括數位地值模型)，地圖本身的誤差，也必須作進一步誤差的探討。例如使用地質圖時，在不同的土壤母質下，其應用的土壤地景模式便不會相同，所造成的土壤類別結果也會有很大的差異。在建立土壤地景模式時，我們假設地景屬性會直接造成土壤性質的差異，而且認爲地景屬性的影響並沒有方向性與差異性。實際上，地景屬性對於土壤性質的影響不僅具有方向性而且也有差異性。例如同樣距離河流100公尺的地方，南北兩邊方向接受河流的影響，可能隨著河流的流向，便有方向上的差異存在。或是在不同河流的情況下，同樣距河流100公尺的距離，兩條河流對土壤性質的影響效果也應有差異存在。

應用土壤地景模式推估本研究土壤剖面中鐵、錳結核與灰斑出現深度時，空間中最大機率值的分佈約在41-100%間，Moore *et al.*[9]與Bell *et al.*[13,14]等研究報告都曾提出類似的研究結果。要提高模式對空間推估的準確率，則可以藉由採樣點數的增加[26]，推估網格的更細分[27](如使用20×20公尺的網格，或是使用10×10公尺的網格)，全球定位系統(global position system)[28]輔助採樣等方法的加入，可減少模式的誤差。此外，對不同地區的土壤特性或土壤性質，地景變數的重新定義、增加或改變，也可增加地景模式的準確率。

Bell *et al.*[13]研究指出，應用土壤地景模式繪製土壤類別圖的優點，包括：(1)除了能夠提供土壤類別圖外，更能提供進行土壤類別時的類別概念與分類機率圖。這樣的結果不僅可以提供給使用者應用土壤圖時的繪圖依據，也可以清楚將土壤圖中的不確定性位置與預測機率表示出來；(2)可快速更新資料，以GIS爲基礎的統計方式的土壤地景模式，可藉由進一步的田間採樣而不斷更新。GIS的技術與統計軟體的方便性，正可提供簡單而快速的方法，用來更新土壤地景模式與土壤性質分佈圖；(3)可將土壤地景模式技術，應用於其它與地景相關的自然資源之分析上；與(4)土壤地景模式產生的地圖屬於網格方式的地理資料。因此，可與其它應用GIS者共享資料，網格方式的地理資料也可用於進一步分析利用。而應用土壤地景模式的缺點，包括：(1)土壤地景模式依據以GIS技術與統計方式爲基礎，因此建立模式時，使用者必須具備GIS技術與統計方面之技術；(2)應用地景模式時對於使用的地理或地形地圖的精確度要求高，若缺乏這樣的資料時，土壤地景模式便無法建立其地景變數；(3)土壤地景模式的計算，根據的僅是研究樣區內部中的資料，對於樣區以外的地區之預測結果，則可能需要建立不盡相同的土壤地景模式。選擇模式外插時，最好有相同的氣候與環境條件；與(4)模式以統計區別分析爲基礎，因此大量的田間採樣資料仍是必備的。

結　　論

土壤繪圖技術是空間處理的過程，並且繪製地圖時於空間區域中的不確定性是土壤地圖的重要部份。在傳統土壤地圖的繪製上，卻很少傳達這種訊息給使用者，而使用土壤地景模式可在不同土壤類別上，描繪出這種不確定性及其百分率。例如在機率圖形中，我們雖以0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80%與81-100%當機率界線的劃分，不過由於每個樣點是獨立計算，因此機率的劃分可根據需要而調整改變。因此以土壤地景模式用於土壤調查上，其不僅可以說明土壤與地景間的關係，而且對於產生的土壤地圖也可加以評估。

現有土壤調查中，土壤的分類是經人對土壤剖面之形態特徵觀察及對土壤理化性質之綜合評估的結果，因此考慮因子是包括土壤各因子的特性的相對比較。相較於土壤地景模式中，土壤的分類僅來自於個別的土壤性質，而忽略其它土壤性質上的差異。因此兩者之土壤調查方式，爲一相輔相成的工具。統計基礎的土壤地景模式，並非用來取代土壤調查員的判斷，但它可以用來幫助土壤調查員累積經驗與判斷，特別是在土壤性質與地形關係很好的地區，土壤地景模式有一致的判斷結果。

誌　　謝

本研究承行政院農業委員會委託計畫(84-科技-2.1-P-01(1))經費之補助，特此致謝。

參 考 文 獻

(1) Soil Survey Staff: *Soil Survey Manual*. pp. 59-196. USDA-SCS Agric. Handbook. No.18. U.S. Gov. Print. Office, Washington D. C., USA (1993).
(2) R. W. Arnold: Soil Survey: an example of applied research. *Soil Survey Horizons.*, 29: 102-106 (1988).
(3) R. W. Simonson: The U.S. soil survey - contributions to soil science and its application. *Geoderma*, 48: 1-16 (1991).
(4) R. Webster: Fundamental objections to the 7th approximation. *J. Soil Sci.*, 19: 354-365 (1968).
(5) P. H. Walker, G. F. Hall and R. Protz: Soil trends and variability across selected landscapes in Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32: 97-101 (1968a).
(6) P. H. Walker, G. F. Hall and R. Protz: Relation between landform parameters and soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32: 102-104 (1968b).
(7) A. G. Hock, L. P. Wilding and G. F. Hall: Loess distributions on a Wisconsin-age till plain in southwestern Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37: 732-738 (1973).
(8) F. R. Troeh: Landform parameters correlated to soil drainage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 28: 808-812 (1964).
(9) I. D. Moore, P. E. Gessler, G. A. Nielsen and G. A. Peterson: Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 443-452 (1993).
(10) K. S. Lee, G. B. Lee and E. J. Tyler: Determination of soil characteristics from thematic mapper data of a cropped organic-inorganic soil landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1100-1104 (1988a).
(11) K. S. Lee, G. B. Lee and E. J. Tyler: Thematic mapper and digital elevation modeling of soil characteristics in hilly terrain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1104-1107 (1988b).
(12) H. M. Su, M. D. Ransom and E. T. Kanemasu: Detecting soil information on a native prairie using Landsat TM and SPOT satellite data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1479-1483 (1989).
(13) J. C. Bell, R. L. Cunningham and M. W. Havens: Calibration and validation of a soil-landscape model for predicting soil drainage class. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1860-1866 (1992).
(14) J. C. Bell, R. L. Cunningham and M. W. Havens: Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 464-470 (1994).
(15) 陳尊賢：台灣水田土壤調查與分類今後模式-桃園濱海地區水田土壤之生成、化育與分類之研究。pp.141-237。國立台灣大學農業化學研究所博士論文。台北市(1984)。
(16) 許正一、陳尊賢：地下水位變動與土壤氧化還原形態特徵的關係。*土壤肥料通訊*，42: 21-36 (1994)。
(17) J. A. McKenzie, R. G. Eilers, A. J. Thomasson, M. J. Reeve, J. Bouma, R. B. Grossman, J. C. Favrot, M. Renger and O. Strebel: Tentative assessment of soil survey approaches to the characterization and interpretation of air-water properties of soils. *Geoderma*, 57: 329-335(1993).
(18) M. J. Vepraskas, F. G. Baker and J. Bouma: Soil mottling and drainage in a Mollic Hapludalf as related to suitability for septic tank construction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 497-501 (1974).
(19) 林朝棨、周瑞燉：台灣地質。pp. 85-89。台灣省文獻委員會。台中市。台灣(1974)。
(20) 鄭智馨、陳尊賢、郭鴻裕：以土壤地景模式預測鐵錳結核深度與灰斑深度之校正與驗證。*中國農業化學會誌*，37: 498-515 (1999)。
(21) M. J. Vepraskas: *Redoximorphic features for identifying aquic conditions*. North Carolina Agricultural Research Service. North Carolina State University. Raleigh, NC., USA (1992).
(22) R. A. Johnson and D. W. Wichern: *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ., USA (1982).
(23) D. F. Morrison: *Multivariate statistical method*. 3rd Edition.McGraw-Hill, Inc. New York, NY., USA (1990).
(24) Earth Resource Data Analysis System: *ERDAS field guide*. Earth Resource Data Analysis System, Atlanta, GA., USA (1995).
(25) SAS Institute: *SAS user's guide*. Statistics. SAS Inst., Cary, NC., USA (1982).
(26) L. P. Wilding and L. R. Dress: Spatial variability and pedology. In: *Pedogenesis and soil taxonomy. Vol. 1..Concepts and interactions*. (L. P. Wilding, N. E. Smeck, and G. F. Hall, eds). pp. 83-116. Elsevier Science Publisher Company, Amsterdam, The Netherlands (1985).
(27) I. D. Moore, R. B. Grayson and A. R. Ladson: Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Processes*, 5: 3-30 (1991).
(28) D. S. Long, S. D. DeGloria and J. M. Galbraith: Use of the global positioning system in soil survey. *J. Soil Water Conserv.*, 46: 293-297 (1991).