

出國報告（出國類別：訪問）

空間分析與資源管理應用研習

服務機關：農業委員會農業試驗所

姓名職稱：許健輝 助理研究員

派赴國家/地區：澳洲/雪梨

出國期間：108年1月31日至8月1日

報告日期：108年10月24日

摘要

前往澳洲雪梨大學進行土壤資訊空間分析及應用技術研習，學習如何應用數位化土壤繪圖 (digital soil mapping, DSM) 於農業及環境資源管理。學習內容包括 R 語言基本操作、利用 R 語言處理土壤分析數據及進行 DSM 來繪製土壤性質圖、評估繪圖品質的方法、地理統計及土壤資訊的應用方向。同時也學習如何利用 google earth engine 和 saga-gis 等免費軟體來下載衛星影像及模擬地形及水文特性，作為 DSM 操作時使用的環境變因。接著利用 DSM 繪製土壤物理性質圖，並以數位化土壤評估 (digital soil assessment, DSA) 方式整合多種土壤物理性質，並發展評估區域性土壤物理品質的方法。此外，本次研習也學習如何利用非破壞性的光譜分析方法 (近紅外光及中紅外光法) 來測定土壤基本性質，以及數據處理的觀念。本次研習學習的數據處理及 DSM 技術除了可將土壤資訊導入於精準農業及智慧農業系統中，作為大規模農業規劃參考的重要依據；也可利用本所過去累積大量的土壤資訊開始進行土壤計量學相關的研究。

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
2.1 研習行程摘要.....	2
2.2 研習內容.....	2
2.2.1 第一季研習內容 (108 年 2 月 1 日至 108 年 4 月 30 日)	2
2.2.2 第二季研習內容 (108 年 5 月 1 日至 108 年 8 月 1 日)	8
三、心得及建議.....	17
四、附錄.....	21

一、目的

土壤資源調查為本所農業化學組重要的研究方向之一，至今，透過不同的土壤調查計畫、農業科技研究計畫及農民土壤肥力診斷服務等累積不同時期及大量的土壤分析數據，並且土壤樣本遍及全台。為了解如何利用大量的土壤資訊於智慧化農業生產和氣候變遷對環境變化之評估，以及如何進行農業大數據的學術研究。因此，透過 107 年度科發基金「國際化跨域創新與科研產業化人才培育」計畫，前往澳洲雪梨大學 (School of Life and Environmental Sciences, Faculty of Science) 進行土壤資訊空間分析與資源管理應用研習，學習數位化土壤繪圖 (Digital soil mapping) 技術，將點狀分布的土壤分析數據結合環境因子進行面化及預測，並且計算預測的不確定度，進而利用繪製出的土壤資訊圖於農業生產及環境資源管理，並可作為政府土地利用決策之參考資料。同時，參考訪問研究室在土壤計量學 (Pedometrics) 相關的研究方法及成果，思考本所土壤資料庫未來可能的研究及應用方向。

二、過程

2.1 研習行程摘要

日期	地點	行程
108年1月31日至2月1日	台灣-澳洲雪梨	由臺灣出發至澳洲雪梨，2月1日抵達。
108年2月1日至6月1日	澳洲雪梨	於澳洲雪梨大學短期訪問，學習如何分析(空間分析)土壤物理、化學資料以及相關的應用。
108年6月1-9日	澳洲雪梨-加拿大 安大略省-澳洲雪梨	赴加拿大安大略省貴湖大學參加計量土壤學(Pedometrics 2019)國際研討會。研討會舉辦日期為2019年6月2-6日，2019年6月1日出發(6月1日抵達)，並於6月7日由加拿大返回澳洲雪梨大學，6月9日抵達。
108年6月9日至7月31日	澳洲雪梨	於澳洲雪梨大學短期訪問，學習如何分析(空間分析)土壤物理、化學資料以及相關的應用。
108年7月31日至8月1日	澳洲雪梨-台灣	由澳洲雪梨返回臺灣，8月1日抵達臺灣。

2.2 研習內容

2.2.1 第一季研習內容 (108年2月1日至108年4月30日)

(1) 學習以 R 語言繪製土壤圖及分析土壤數據

利用程式語言進行大數據的資料分析為當前的趨勢，眾多程式語言中，R 語言使用較廣泛，除了它是免費授權軟體外，它也有相當多開發者提供的套件可使用於不同類型的資料分析，當然也包含空間資料的分析及繪製。由於我是程式語言的初學者，因此，訪問研究室的

老師請我閱讀他 2017 年出版的書籍 (Using R for Digital Soil Mapping) 來做練習，建立數位化土壤繪圖的基本觀念，並且以書中的範例來熟悉如何用 R 語言來進行數據處理及繪圖，遇到問題時可與他或研究室學生請教及討論，練習內容如下：

- A. 了解 R 語言的基本架構、運算規則與指令編輯。
- B. 學習利用 R 語言將範例數據進行土壤數據的統計運算及空間化分析，包括分析 point 和 raster 資料，以及利用最基本的反距離權重法 (IDW) 和克利金法 (Kriging) 將點狀資料以內差方式面化，並且了解可用於數位化土壤繪圖 (DSM) 的 R packages，練習成果如附圖一。此外，也學習利用土壤深度函數 (Soil depth Function, Splines) 處理不同深度土壤數據的分析及呈現方式 (附圖二)。
- C. 學習以不同模式繪製連續型 (Continuous) 及分類型 (Categorical) 土壤資料的土壤性質分布圖，比較不同模式預測的差異，並且也學習如何評估繪圖可信度之觀念，以及練習如何進行模式校正、驗證及表現評估。一般而言，常見土壤相關的連續型資料有 pH 值、有機碳、黏粒含量、有效性水分含量、元素濃度、總體密度等；分類型資料包括土壤質地、排水等級、地形分類等。

- a. 連續型資料練習的模式：Multiple linear regression, Decision trees, Cubist models, Random forest, Regression kriging。練習成果如附圖三及附圖四。
- b. 分類型資料練習的模式：Multinomial logistic regression, C5 decision trees, Random forest。練習成果如附圖五。
- D. 學習利用不同運算方法評估繪製土壤性質分布圖的不確定度，學習如何定義不同模式的參數和 R 語言編輯、繪製預測圖及上下限預測圖、以及驗證量化後的不確定度。提供分布圖的預測極限及不確定度等相關資訊，可讓圖資的使用者清楚瞭解資料的可信範圍及誤差範圍，作為後續應用及進行決策時的重要參考依據。
- 評估土壤預測圖不確定度的運算方法：Universal kriging prediction variance, Bootstrapping, Data partitioning and cross validation, Fuzzy clustering and cross validation。上述評估方法中，以前兩項評估方法較常被使用，練習成果如附圖六及附圖七。
- E. 學習以數位化土壤繪圖 (Digital soil mapping, DSM) 進行其他的應用，包括利用有限的土壤剖面觀測資料來預測區域的土壤化育層分布及土壤深度、也可以利用 DSM 技術更新傳統土壤圖 (polygon)，將土壤分類資訊以像素 (pixel) 呈現，使其空間分布

更加明確，並且便於後續的應用（如附圖八及附圖九）。此外，也可利用 DSM 來進行土地利用評估，透過土壤、氣候、地形等環境數據繪製特定用途之評估分布圖，以作為土地利用評估的參考資料，例如評估某地區適合種植的作物、土壤功能等，此方法也稱為數位化土壤評估 (Digital soil assessment)。

(2) 赴澳洲獵人谷 (Hunter Valley) 土壤採樣

獵人谷位於雪梨郊區，車程約 2 小時，當地為澳洲重要的葡萄園產區。訪問研究室過去在獵人谷進行詳盡的土壤調查，利用此區域的土壤物理、化學及生物資料進行深入的土壤計量學研究，包括土壤物化性質預測模型的開發、土壤深度模型、土壤生成模型、土壤轉換公式等，是一個相當有代表性的研究區。本次採樣是和研究室的博士班學生和學校的技術員一同前往，主要是採集博士班學生的試驗土壤，要做的主題為土壤 DNA 的 mapping，因此在研究區不同地形及土地利用的地點採集 0-100 公分的土柱樣本，該研究試圖利用分析的結果來預測該區域的土壤微生物多樣性及物種豐富度的預測，目前這樣的研究議題正在起步階段。台灣雖然面積小，但是地形變異大，微氣候、動物及植生的多樣性導致的土壤生成環境多元，本組近年來的土壤調查範圍包含平原、丘陵及高山地區，或許也可透過此方法了解我國土壤微生物的面化資訊，進而應用在學術研究、環境評估或是在生態服

務價值的訂定。此外，由於澳洲的農地面積廣大，所以他們相當仰賴土壤性質圖，以便於施肥管理。因此，研究室學生在採樣前，大部分的農民會主動了解研究的目的和未來應用的可能性，並且希望未來產出的資料能夠回饋給他們，這樣的合作模式確實容易達到雙贏的目標。當天採樣的照片如附圖十及附圖十一。

(3) 國內土壤調查數據繪圖實作

本次研習帶了過去土壤調查分析資料進行練習，與老師討論實作內容後，初步先挑選兩種土壤化學性質 (pH、有機質) 和兩種土壤物理性質 (黏粒含量、總體密度) 來繪製分布圖，實作內容如下：

- A. 土壤調查分析數據檢核：本次研習以 2011 年苗栗縣土壤調查分析資料作為練習的材料，為配合繪圖需要的檔案類型及格式，加上土壤調查資料相當多元且龐大，因此，花費一段時間檢核及重整數據，以避免後續因數據整理問題而使預測及繪圖結果不可信。
- B. 共變數資料彙整：繪製土壤圖通常是希望能夠有限的調查數據來預測特定土壤性質在未採樣位置或區域的分布情形，以減少調查及分析成本。因此可利用成土因子 (氣候、母質、生物、地形、時間) 相關資訊當作共變數來提升土壤圖繪製的預測準確度。常用的共變數包括 DEM、衛星影像 (光學及雷達影像) 及

地形和水文模擬參數等。藉此機會學習如何 Google earth engine 下載衛星影像和利用 Saga-gis 進行地形及水文特性分析，這兩個都是免費的工具，特別是 Saga-gis，可用來做許多地形和水文相關特性的模擬，是相當好用的工具。

C. 土壤性質圖繪製：嘗試將苗栗土壤的 pH 值、有機質含量、黏粒百分比及總體密度結合環境因子的圖層進行數位化土壤繪圖，並且比較不同演算法 (MLR, Decision tree, Cubist, Random forest) 的預測結果及繪圖差異。此外，在這個階段也在熟悉編碼，並且調整不同的預測條件，了解其差異。比較之後，發現土壤化學性質的預測能力高於物理性質，而四個演算法中，以 Random forest 的預測效果優於 Cubist、MLR 和 Decision tree，因此後續將以 Random forest 演算法來作後續的分析。繪圖結果如附圖十二。

D. 共變數 (環境因子) 重要性比較：本研究使用的衛星影像資料為 Sentinel 1 和 Sentinel 2，高層資料為 20 公尺解析度的 DEM，土壤圖是用土類分布圖、土壤水文的參數包含 Aspect、Slope、LS-factor, MRRTF, MRVBF, TWI。利用 Random forest 預測共變數的重要性時發現，DEM 通常為最重要的共變數之一 (附圖十三)，此結果顯示，在進行繪圖時，必須將 DEM 的圖層

納入即可增加預測的準確度。

E. Regression kriging 繪圖練習：由於我們的採樣密度高，所以老師建議可以將上述的演算法結合通用克利金 (universal kriging) 來進行預測，分析後確實發現預測的準確度確時會比單純用 cubist 和 random forest 更高，附圖十四為利用 random forest 結合 universal kriging 預測後的繪圖成果。

2.2.2 第二季研習內容 (108 年 5 月 1 日至 108 年 8 月 1 日)

(1) 土壤物理性質數據處理及繪圖實作

對 R 的操作與繪圖的基本概念建立後，開始與研究室老師討論研究的題目，因目前較少研究團隊向本所有調查密度高及範圍廣的土壤物理性質的分析數據，加上我在研習前也希望能夠利用土壤物理數據來做農業水資源的評估 (因土壤中水的動態與物理特性習習相關)。

因此，老師認為可以此資料來作本次研習的主要研究題材，所以請我練習分析不同的土壤物理性質數據，包括土壤質地、總體密度、團粒穩定度、總體密度、飽和導水度及有效性水分含量。分析方法除了模式預測及繪圖外，也包含評估模式預測前的數值轉換 (取對數、開根號等) 以及數據架構的好壞 (是否符合常態分布)，有些土壤性質的分析數值需要在模式預測前先進行數值的轉換，例如飽和導水度的數據需要將分析數值取對數後才能進行模擬分析 (附圖十五)。此外，也

學習如何用 **soil texture package** 來快速整理土壤質地的資料，透過簡單的方式取得大量樣本的土壤質地類別，附圖十六為利用美國土壤質地分類系統得到的結果，該組件裡也可選擇不同國家的分類系統，操作起來相當容易且直觀。接著將土壤質地的結果以 **random forest** 方法來練習繪製土壤質地 (分類型資料) 的分布圖 (附圖十七)。

(2) 赴加拿大貴湖大學參加土壤計量學 (Pedometrics) 國際研討會

A. 行程摘要

108 年 6 月 1 日：由澳洲雪梨出發，於當日抵達加拿大貴湖大學。

108 年 6 月 2 日：研討會報到

108 年 6 月 3-6 日：參加研討會，聽研究相關的口頭報告及壁報發表，6 月 4 日參加大會的參訪行程。

108 年 6 月 7 日：由加拿大返回澳洲雪梨

108 年 6 月 9 日：抵達雪梨

B. 參與之口頭發表

6/3		演講者
1	Pedometrics-Policy interface, success stories and remaining issues.	Dominique Arrouays
2	Putting some value on geomatic data	David Lobb
3	Digital Soil Mapping and Laws of Geography	A-Xing Zhu
4	Integrated data mining for national scale probabilistic digital	Brendan

	mapping of soil thickness (Australian Case Study)	Malone
5	Comparison between conventional and digital soil mapping approaches for mapping soil hydrological classes in Scotland	Zisis Gargas
6	Supporting Enhanced Forest Resource Inventories using Machine Learning for High-Resolution Digital Soil Mapping	Christopher Blackford
7	Mapping functional soil properties of the McMurdo Dry Valleys, Antarctica	Pierre Roudier
8	Ensemble machine learning as a generic framework for soil data science	Tomislav Hengl
9	Machine learning in soil research: Model tuning by differential evolution	Mareike Ließ
10	Developing an interpretable machine learning method for digital soil mapping	Feng Liu
11	Evaluating the Accuracy of Machine Learning Based Digital Soil Mapping Models for Multiple Categories of Environmental Variables in an Agricultural Landscape	Siddhartho S Paul
12	Transfer learning to localise a continental soil vis-NIR calibration mode	Jose Padarian
13	Oblique coordinates as covariates for digital soil mapping	Anders Bjorn Miller
14	Three-dimensional modelling and mapping of soil constraints, combining machine learning and geostatistical methods	Thomas Orton
15	Accounting for conditional bias in digital soil mapping with proximal soil sensing data	Gerard Heuvelink
16	Mapping soil salinity in three-dimensions using EM38 and EM34 data and inversion modelling	John Triantafilis
17	Using Neural Networks to Predict SOM of Moist Samples by VisNIR Spectroscopy	Changkun Wang
18	Temporal harmonization of a national dataset for spatial prediction of soil organic carbon	Guillermo Federico Olmedo
19	Monitoring soil moisture using observations from multiple spatial supports	James Patrick Moloney
20	Is it possible for a soil physics lab not only to perform analyzes but also to add recommendations on soil management?	Rubismar Stolf
21	Is anyone using the results of pedometrics applications? In	Ross Searle

	Australia the answer is yes.	
6/5		演講者
1	Low-cost portable near-infrared sensors for rapid analysis of soil	Budiman Minasny
2	Comparing traditional and digital soil mapping at a district scale using residual maximum likelihood analysis	Ehsan Zare
3	Multielement geochemical modelling for differences in topsoil pollution along the environmental gradient near the coal fields	Skala Jan
4	Comparison of pedotransfer functions to determine soil bulk density with limited data at a regional scale in the Thompson-Okanagan region, BC	Jin Zhang
5	A new quantitative model for soil formation based on soil water flow	Tom Vanwallegem
6	Tea Bag Index (TBI): as a promising quantitative approach for analysing SOM dynamic and increasing soil connectivity via citizen science	Vanessa Pino
7	Automated soil core scanning for high resolution carbon analysis down a soil profile? full inversion tillage case study	Matteo Poggio
8	Digital pedology? studying soil profiles	Alfred Hartemink
9	Colour Features and Visible-Range Spectral Imaging for Soil Organic Carbon Assessment	Asa Gholizadeh
10	Surface and undersurface soil drainage inference by sensors located 800 km from the target	Jose A. M. Dematte
11	SLAKES Smartphone Application for Aggregate Stability Differentiates Between Different Management Practices	Kade D. Flynn
12	Development of a methodical approach for the detection of soil microbial activity using infrared thermography	Katharina Schwarz
13	Mapping cation exchange capacity using a quasi-3d joint-inversion of EM38 and EM31 data	Dongxue Zhao
14	3-D Soil Structure Scans Show Effect of Management	Dianna Bagnall
15	The use of national soil vis-NIR spectral library for field-scale soil organic matter estimations	Wenjun Ji
16	Mapping of soil available water-holding capacity in New Zealand using visible near-infrared reflectance spectra and environmental covariates	Michael Blaschek

17	Deep learning for simultaneous prediction of several soil properties using visible/near-infrared spectra, mid-infrared, and their combined spectra	Wartini Ng
18	Exploring practical ways of using NIR, MIR and XRF soil spectra: sampling design and calibration	Timo Breure
19	Identifying soil provenance	Yuxin Ma
20	Digital Tropical Peatland Mapping	Wirastuti Widyatmanti
6/6		演講者
1	Three-dimensional prediction of soil constraints for assessment of amelioration strategies and losses in yield potential	Thomas Bishop
2	Evaluating soil carbon stocks in the forests of British Columbia Canada at multiple resolution	Chuck Bulmer
3	Predicting Soil Properties in 3D: Should Depth be a Covariate?	Alex McBratney
4	Three-dimensional mapping of clay and cation exchange capacity of sandy and infertile soil in Northeast Thailand	John Triantafilis
5	Identifying the spatial drivers and scale-specific variations of soil carbon fractions in a montane natural forest ecosystem in Sri Lanka	Asim Biswas
6	Exploring how proximal soil sensors account for spatial variability and the effect of scale to optimise soil property estimates in UK precision agriculture	Jonathan Holland
7	Sampling design optimization for soil mapping with machine learning	Alexandre Wadoux
8	Disaggregation of legacy soil survey maps in the agricultural region of Saskatchewan using DSMART	Jeremy Kiss
9	Determining an optimal mathematical model, sample size and ancillary data to map exchangeable calcium and magnesium at the field level	Nan Li

C. 研討會重點摘要

本次是第一次參加土壤計量學的研討會，會議中主要參加的研究團隊包含數位化土壤繪圖 (Digital Soil Mapping) 及近端土

壤量測 (Proximal Soil Sensing) 兩大部分，另外也包含土壤生成模擬、土壤轉換公式及精準農業相關研究。第一天 (6/3) keynote speaker 為法國的學者 Dominique Arrouays 講到如何提供 digital soil mapping 的成果給政府做決策應用，以及請政府重視土壤資源的重要性。此外，由於氣候變遷及溫室效應日益嚴重，土壤為地球上重要的天然資源，演講中也提及未來可透過國際合作彼此解決全球性的土壤及環境相關議題 (附圖十八)。演講中也有需多學者說明利用數位化土壤繪圖的技術繪製國家規模的土壤性質相關圖資，其中包括澳洲的土壤厚度分布圖、蘇格蘭的土壤水文等級圖、紐西蘭的土壤有效性水分布圖、加拿大的土壤調查圖、斯里蘭卡的土壤碳分布及印尼的泥炭土分布等 (附圖十九)。本所近年也正在進行為期十三年的土壤調查計畫，明年 (109 年) 計畫即將結束，未來可參考國外的繪圖經驗及應用相關圖資的案例，發展適合我國土壤圖資及其應用的方向。在近端感測相關的研究主要有兩部分，第一為利用近紅外光 (NIR)、中紅外光 (MIR) 及 X 射線螢光光譜法 (XRF) 分析土壤，並且比較不同的機器學習演算法及採樣方法預測不同的土壤性質的差異 (土壤碳含量、陽離子交換容量、黏粒含量、酸鹼度等) (附圖二十)，這部分主要為實驗室的分析技術。第二部分為利用感

測器進行現地土壤性質的測定，使用的土壤感測器主要為電磁感測儀 (EM34、EM38 等) 及 γ 射線 (γ -ray)，分析的土壤性質包括黏粒含量、陽離子交換容量、土壤鹽分含量及交換性鈣鎂等 (附圖二十一)。該部分分析技術也是結合數位化土壤繪圖技術和不同演算法來繪製 3D 的土壤性質圖，加上此感測器可以車載方式量測，因此具有量測面積大及快速的優點，對於區域化精準農業及智慧同業的規劃均可提供有用的土壤性質資訊。

會議主辦單位安排的田間參訪中，除了利用數位化土壤繪圖解說當地 (鄰近尼加拉瓜瀑布) 農場的地形及土壤肥力和基本性質，同時也說明當地農場的栽培以結合數位化土壤繪圖的圖資來做管理 (附圖二十二)。也請我們觀察兩個距離約五百公尺，但土壤性質差異大的兩個剖面，主要為當地微氣候及地形導致的現象，同時也發現兩區域的地下水位也有差異，剖面如附圖二十三。此結果顯示，過去認為相距不遠的區域的土壤性質及生成條件應該差異不大，但由這個農場大小規模的例子可知還是有例外。利用數位化土壤繪圖的好處是此技術結合許多環境資訊一起來做預測土壤分布及土壤性質的差異，因此，即便是在同一個農場裡，此技術可區分微氣候及微地形導致的差異。另外，儀器廠商也於農場示範利用土壤近端感測器 (SOIL PTIX)

來測定一塊農地的土壤肥力 (鈣、鎂、有機質、pH、陽離子交換容量、微量元素等) 及質地性質，由於此感測器可設定航跡，並可透過 GPS 定位，因此可具有高密度的量測資料及空間分布，可提供詳細的土壤表土資訊 (附圖二十四)。對於地小人稠的台灣，或許是一個可發展的量測技術，對於短期內土壤性質變化不大的部分 (例如土壤 pH 值、質地及有機質)，可利用此方式快速收集土壤資訊，不但可大量降低土壤分析成本，也提高土壤資料收集的速度。

(3) 模糊邏輯結合數位化土壤評估 (Digital soil assessment) 練習

土壤物理性質圖繪製完成後，研究室老師建議可發展一種方式來整合不同的土壤物理性質數據來評估這些性質對土壤品質、作物生長或其他目的的優劣，而我們這次先以土壤物理性質對作物生長的影響來作為評估的主題。因此，我們找了與作物生長有關的土壤物理性質，包括總體密度、團粒穩定度、有效性水分含量及飽和導水度，同時搜尋這四個物理性質對作物生長的分級標準，利用模糊邏輯的概念將連續性的數值整合成 0 至 1 的數值 (index)，例如對作物生長越佳，數值接近 1，反之，數值接近 0。附圖二十五為本評估方式土壤物理性質的挑選規則。最後將四種土壤性質的數值在分布圖中的 pixel 中進行計算，計算的方法包含取最小值及取平均值，以此結果繪製苗栗地

區土壤物理品質分布圖，數值越高越佳（如附圖二十六）。另外，也可從這樣的資訊了解那些地區的土壤物理特性對作物生長不佳，需要進行改善。這次的結果僅先以苗栗地區的數據來做練習，後續可擴大面積進行全台性的評估。同時，也可藉由類似數位化土壤評估的概念，發展不同整合土壤化學性質或是同時整合土壤物化性質來評估土壤品質的指標。利用研習最後的時間將本研究的成果彙整，並已投稿參加今年度於台北舉辦的東亞及東南亞土壤科學學會聯盟第十四屆國際研討會 (ESAFS, 2019)，投稿題目為 *Digital assessment of soil physical quality in the central region of Taiwan*，投稿摘要如附錄一。

(4) 觀摩利用近紅外光(NIR)及中紅外光(MIR)分析土壤基本性質

本次訪問之研究室除了致力於數位化土壤繪圖的研究外，亦投入開發非破壞性土壤速測的方法，並且探討如何利用合適的運算方式得到高準確度的預測值。首先利用 MIR 或 NIR 光譜分析土壤樣本並得到光譜數據後，利用過去建立的資料庫來做運算，即可得到多項土壤性質預測數據。由於此方法具有分析時間短、成本低及環境友善等優點，故利用光譜分析土壤性質（例如土壤 pH、黏粒、砂粒、陽離子交換容量、有機碳及養分元素等）近十年廣泛被研究。該研究具有挑戰性的地方不在於光譜儀器分析的部分，而是在數據解讀及如何將圖譜資訊與土壤分析結果間建立良好的相關性，這部分是目前我們比較

缺乏的。因此，趁練習數位化土壤繪圖的空檔，也與研究室老師和學生請教該技術相關的操作方法及數據處理的觀念（附圖二十七及二十八），包含學習儀器操作及利用 R 進行數據處理的討論會，或許未來可在此議題上發展合作。由於農業試驗所具有大量的土壤分析資料，後續只要將已完成物化分析的土壤以 NIR 或 MIR 測定可快速建立圖譜資料庫，後續即可進行數值處理相關的研究及預測方法建立。

三、心得及建議

1. 本次研習造訪的研究室主要的研究領域為土壤數據分析及應用，該領域也稱為計量土壤學 (Pedometrics)。進行該領域之研究除了須具備土壤科學的專業知識外，同時也必須具備演算法、地理統計及程式語言等能力，對於過去以土壤化學研究為主的我來說，學習起來確實不容易。儘管如此，我仍認為建構土壤大數據分析的能力是必要的，這也是學習如何將土壤資訊應用於農業生產及環境評估的重要能力之一。此外，透過參加土壤計量學研討會 (Pedometrics 2019)，讓我快速了解相關領域的研究進展，也激發我對於本所土壤調查資料的研究與應用方向。

2. 透過本次的研習，除了逐漸熟練如何使用 R 語言運算土壤分析數據及進行數位化土壤繪圖 (DSM) 外，也對於土壤圖繪製後研究及應用方向有初步的了解及想法。由於不同預測模式使用的演算法背後都

有各自的運算原理及地理統計基礎，雖然無法在短時間內完全瞭解其細節，但這段時間已了解如何利用 R 語言進行 DSM 的操作步驟，包括所需要的土壤資料格式、蒐集環境變數資料、不同預測模式的 R 語言編碼、驗證土壤圖預測好壞和計算不確定度的操作步驟及概念。後續也將持續進行相關的研究及發展本土化土壤資訊的應用方向。

3. 發展非破壞性的實驗室和現地土壤檢測（近端土壤感測）也為本次訪問研究室的主要研究重點之一，由於該方法具有分析時間短、成本低及環境友善等優點，建立該檢測技術預期可降低大量化學藥品的使用及提高土壤分析的速度。然而，國內目前對於該方法的技術瓶頸不在前端的儀器分析及數據收集，而是在後端的數據解讀及分析。因此，建議未來可以持續與雪梨大學的研究團隊保持合作關係，透過密切的交流來提升本所數據處理技術的能力及研究發展的速度。

4. 要進行區域化或國家規模的農業規劃，提供可信的土壤資訊圖對於政府的規劃及決策是相當重要的。數位化土壤繪圖（DSM）技術結合採樣點土壤分析數據及環境因子，利用模式進行預測，模擬出區域內特定土壤性質的分布情形。繪製出的土壤圖除了可作為政府土地利用規劃的參考依據及學術研究使用外，也可作為大規模農業相關產業進行環境及作物適栽性等評估的重要參考資料。例如可藉由某地區土壤的物化特性及氣候條件來決定適合種植的作物或管理方式（肥料

及水分管理)，進而可估算生產所需投入的成本。因土壤為作物生長的重要介質，期望未來可將此土壤繪圖技術和作物生長模式結合，提高作物生長時間及產量的預測能力，以達到精準農業的目標。

5. 國內無論是本所農化組、試驗改良單位土壤肥料科或是大專院校的土壤科學相關科系皆沒有專業的土壤計量學的研究室及研究團隊，雖然要進行相關的研究需要一定程度的數學及統計能力，但此能力對於如何有效將大量的土壤資訊用在農業發展上是相當重要的。從這次的研習發現，要進行土壤計量學的研究除了要具備數學及統計能力外，最重要的就是需要土壤採樣及分析的數據。由此可知，本所具有相當好的環境可以做這樣的研究，建議未來可讓本所人員學習有關大量資料分析及數據科學 (Data science) 的訓練，相信這是在明年土壤調查計畫結束後，研究人員必須具備的能力之一。

5. 本次研習除了學習上述提及的專業技術以外，也讓我有機會看到澳洲當地研究人員做研究的思維及方法。他們寧可花長時間來進行方法的開發及流程的建立，自己能夠掌握關鍵的技術，並將研究的成果發表或是開發相關免費軟體及程式 (例如 R 的 package)，讓大家使用他們的技術。看起來好像是無償讓大家使用，換另一個角度想，其實這樣的舉動是讓大家知道他們在這個領域佔有領先的地位，這是我們值得思考及學習的地方。

6. 在研習期間發現，學校的老師及研究人員平日正常上下班，假日也不加班，但研究的成果卻相當扎實且豐碩。我認為應該是他們在上班的專注度高，並且在工作及生活取得平衡才能達到如此的成就，這些日子來我也能夠理解這樣確實是適合做研究的方式及心態。
7. 本次研習的機會確實讓我打開眼界，除了學技術外，也激盪出許多研究的想法，同時也了解其他國家如何將農業研究成果應用在相關產業上。我認為這樣的研習機會對於年輕的研究人員相當有幫助，期望未來能夠持續辦理，讓大家都具備國際性的視野。

四、附錄

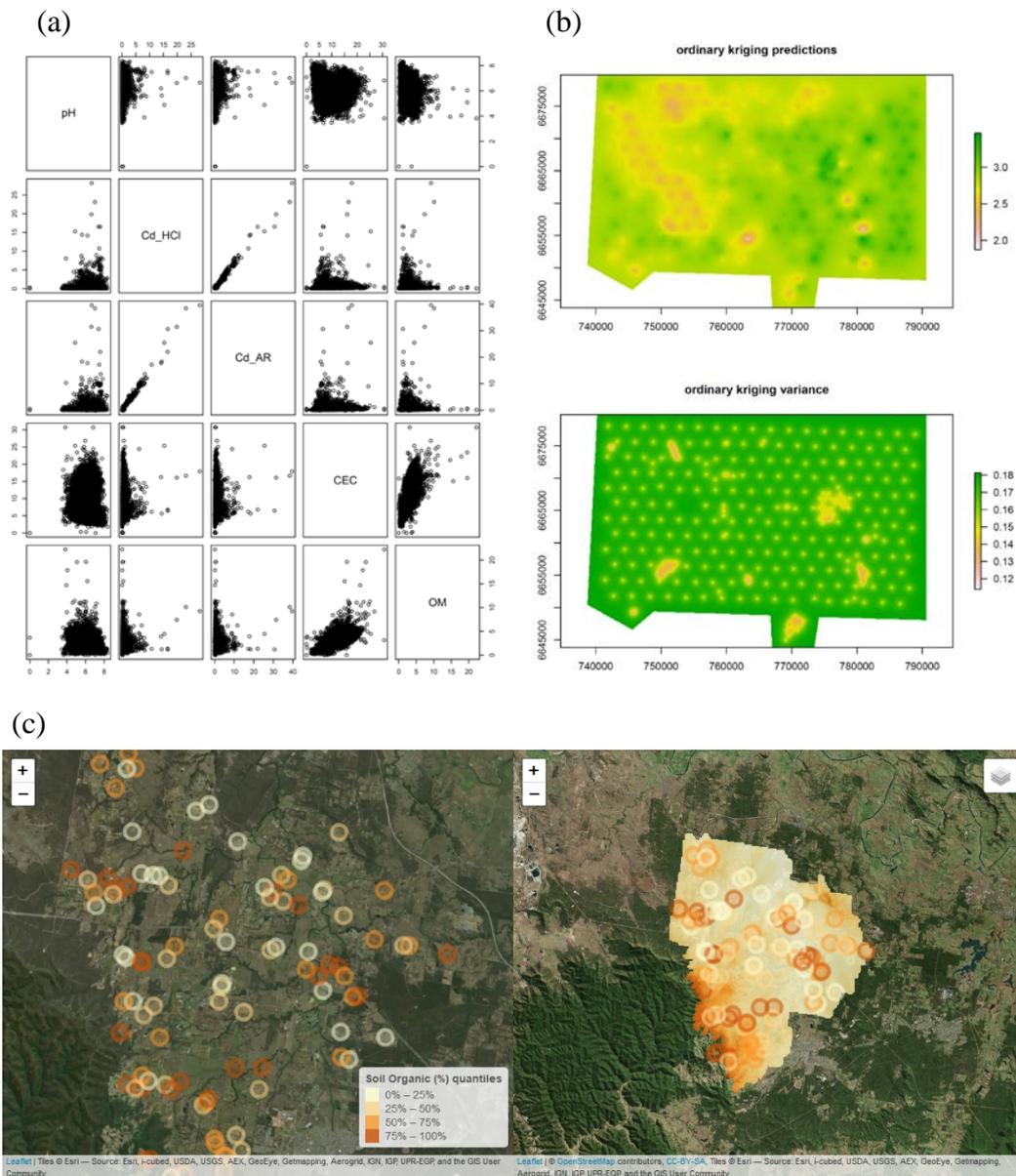
附錄一、投稿摘要

Digital assessment of soil physical quality in the central region of Taiwan

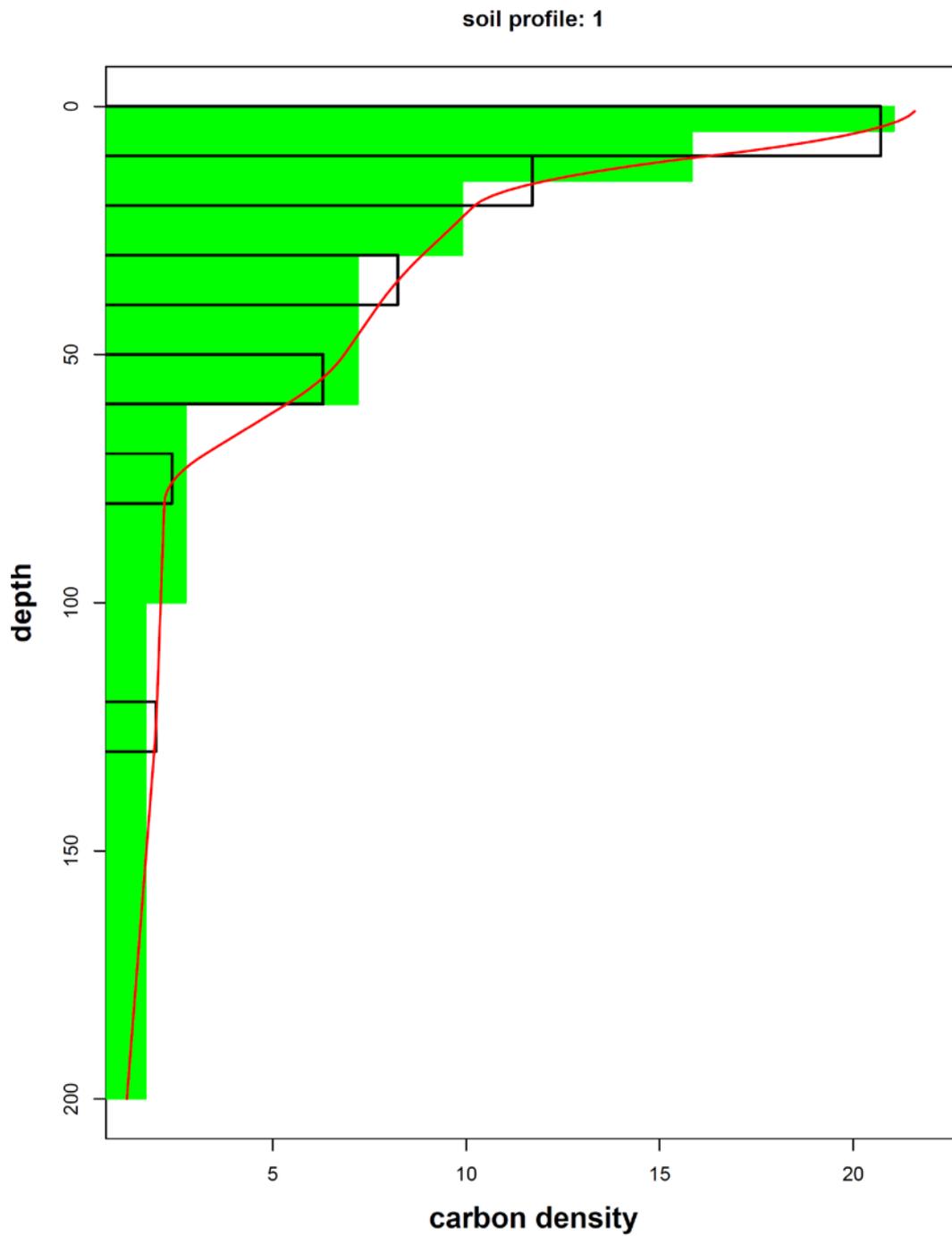
Abstract

Soil physical quality is important for plant growth, which related to the root elongation and respiration, water supply, and nutrient balance. There are many indicators used to evaluate the physical quality of soils, but an integrated method to assess the soil physical quality based on different measurable parameters is still limited. In addition, detailed spatial information on soil physical properties are also limited. The objective of this study is to model and map integrated soil physical index for plant growth based using digital soil mapping and assessment techniques. The study area is in central Taiwan, and four soil physical observations: bulk density (BD), aggregate stability in water (AS), available water content (AWC), and saturated hydraulic conductivity (Ksat) were used in this study. A machine learning model (Random forest, RF) and Regression kriging (RK) approach were used for modeling and mapping the four physical properties with the help of several covariates (i.e., DEM, Sentinel-1, Sentinel-2, land use, and soil type data). The resulting maps are at 20 m resolution with uncertainty of prediction. The prediction values were transformed into a soil physical quality index using membership functions and inference rules. The results showed that the prediction accuracy of RK approach was higher than RF model, and the prediction accuracy of BD was higher than the other soil properties. The results of physical quality index indicated that the topsoils of central Taiwan has a good structure (in terms of BD and AS) and the limiting factors are AWC and Ksat. The most limiting physical quality is the relatively high values of Ksat, which contributed to be the lowest quality index for most of the study area. According to these results, it suggests that the plant growth could be improved by appropriate water management in the study area to increase water storage and prevent leaching.

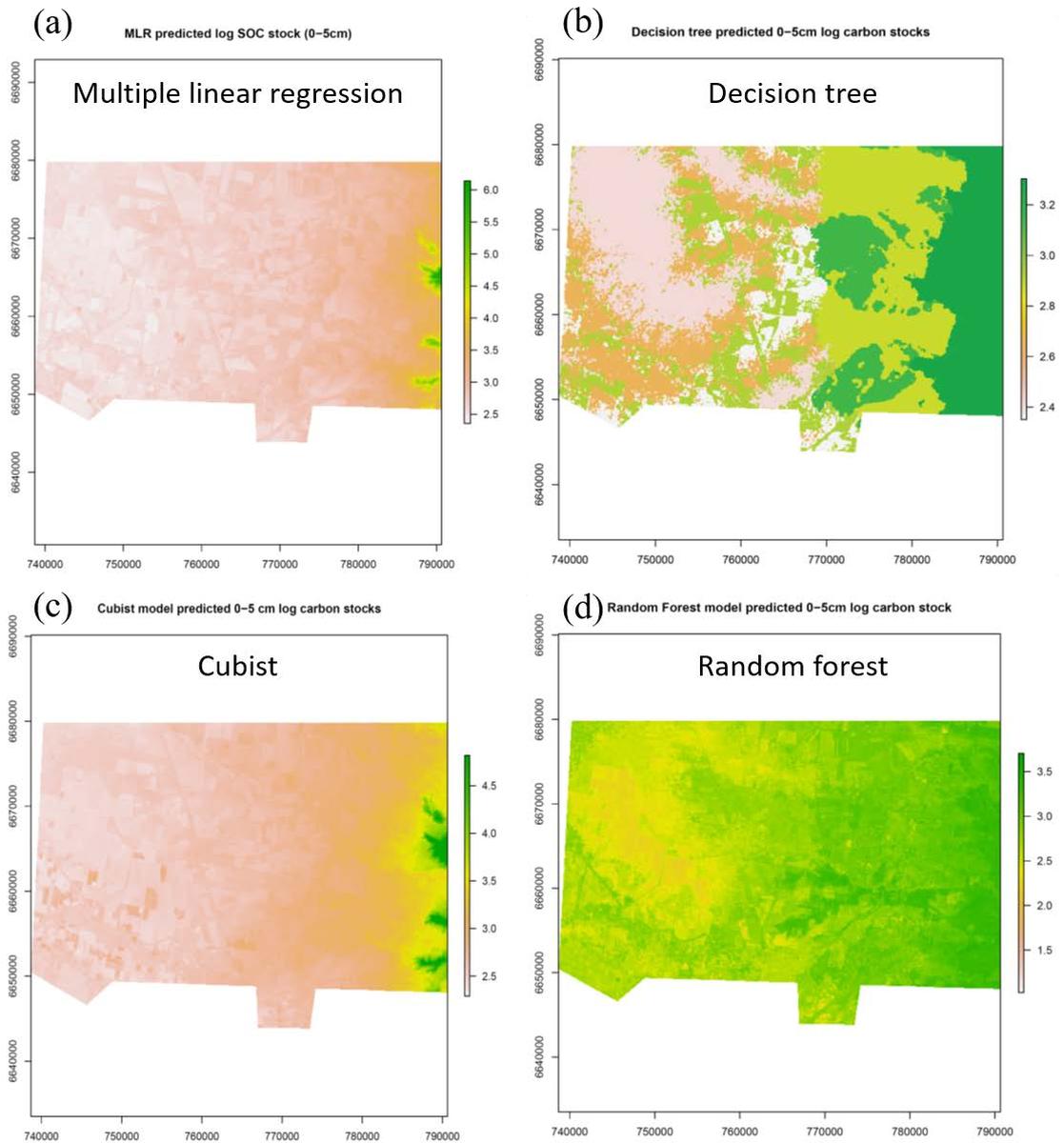
Key words: soil physical quality; soil quality; digital soil mapping; plant growth.



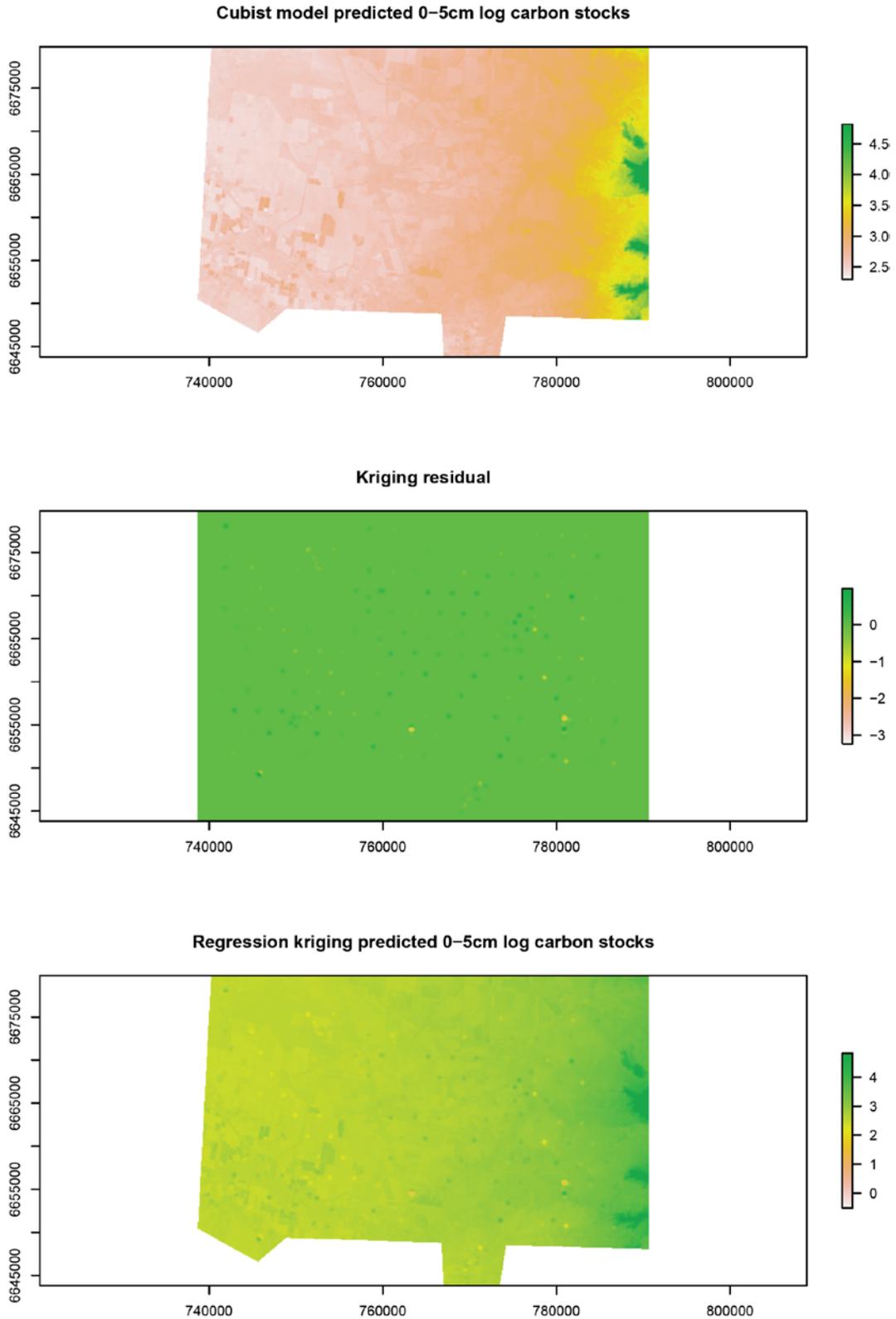
附圖一、利用 R 語言處理土壤數據基本迴歸分析 (a)、克利金法面化 (b) 及將面化結果與航照圖結合 (c) 之結果。



附圖二、利用 Splines 土壤深度函數預測不同深度土壤有機碳密度的分布情形。

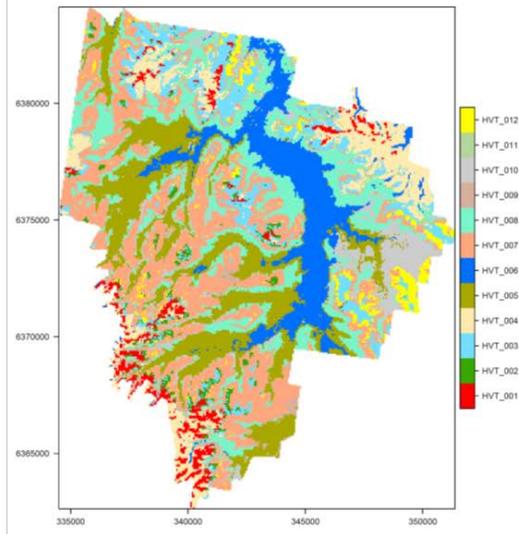


附圖三、利用 Multiple linear regression (a), Decision tree (b), Cubist (c), Random forest (d) 模式繪製土壤有機碳含量 (連續型資料) 分布圖。

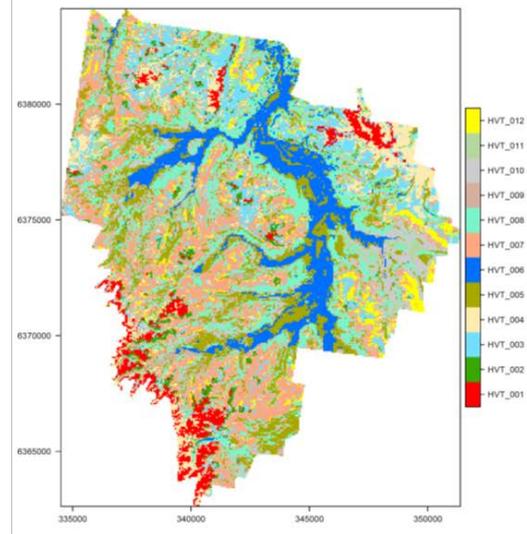


附圖四、利用 Regression kriging 模式繪製土壤有機碳含量 (連續型資料) 分布圖。

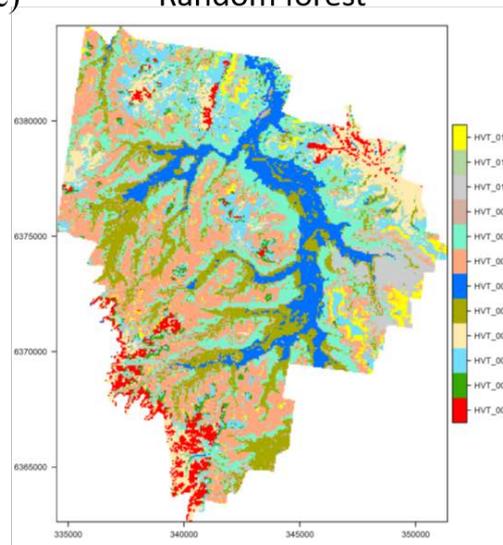
(a) Multinomial logistic regression



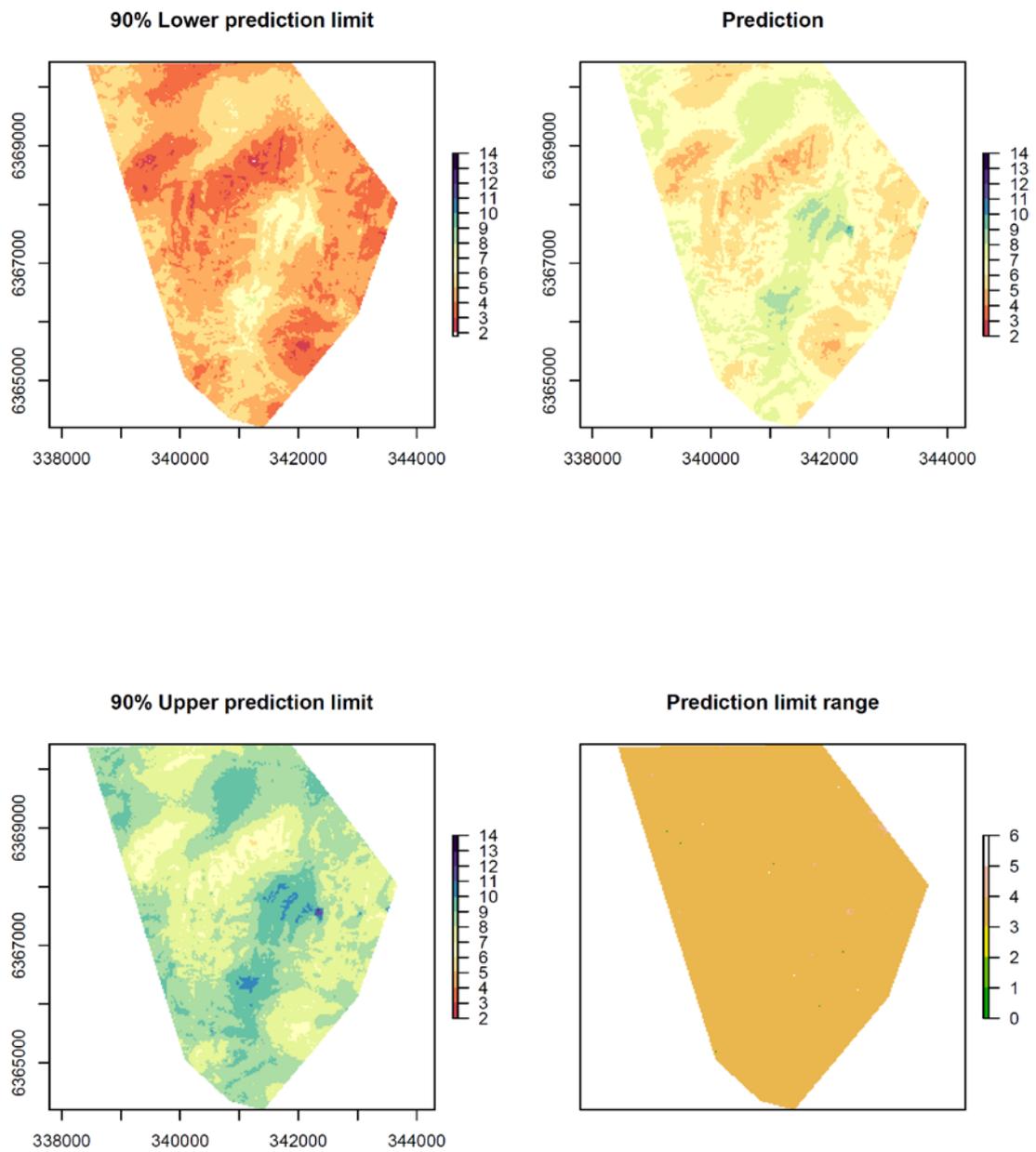
(b) C5 decision trees



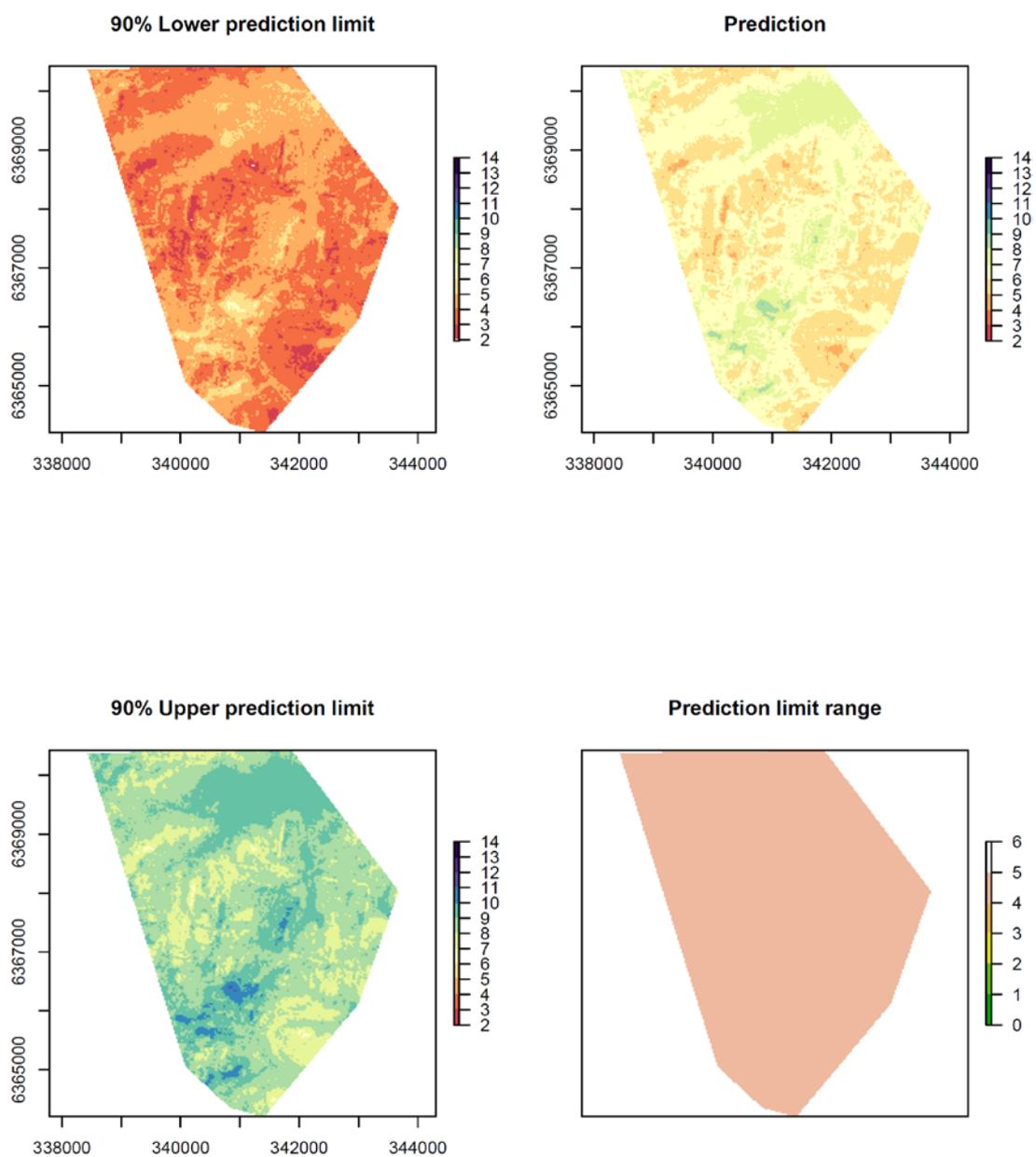
(c) Random forest



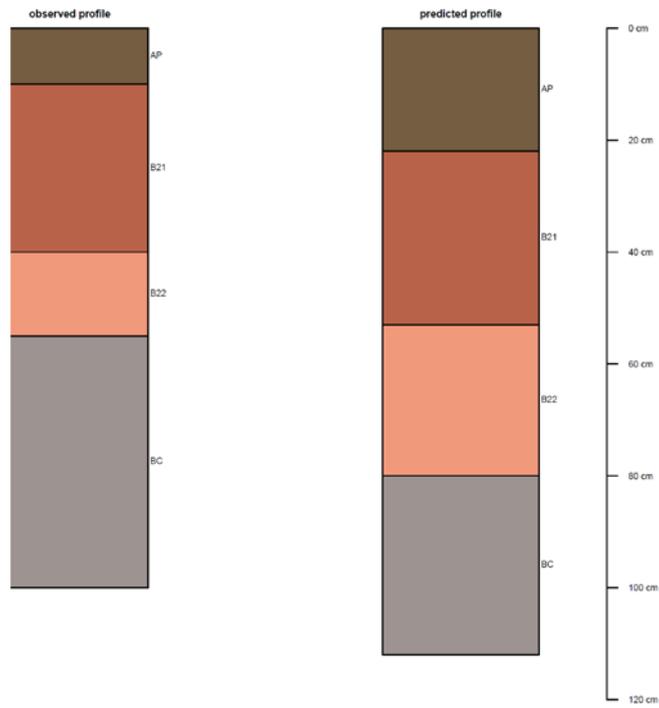
附圖五、利用 Multinomial logistic regression (a), C5 decision trees (b), Random forest (c) 模式繪製地形分類 (分類型資料) 分布圖。



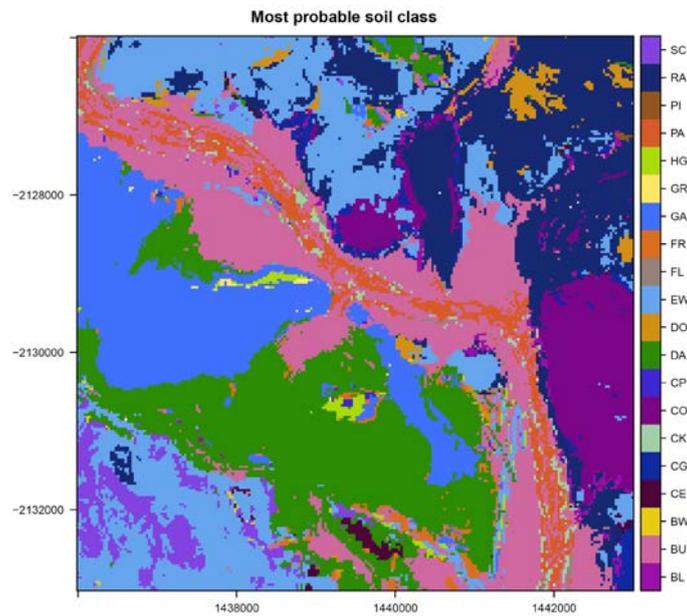
附圖六、利用 Universal kriging 繪製土壤 pH 值預測圖、90%預測上下限圖及預測限制範圍。



附圖七、利用 Bootstrapping 繪製土壤 pH 值預測圖、90%預測上下限圖及預測限制範圍。



附圖八、土壤剖面化育層分布位置及深度模擬結果



附圖九、利用 DSMART 演算法將傳統土壤圖轉變為 raster 的檔案格式

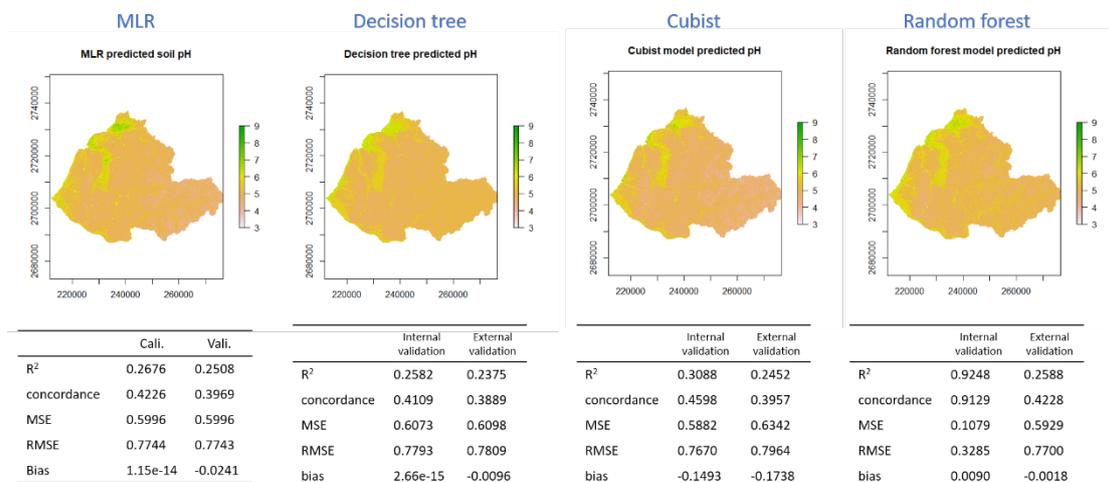


附圖十、獵人谷採樣區域及滴灌設施照片

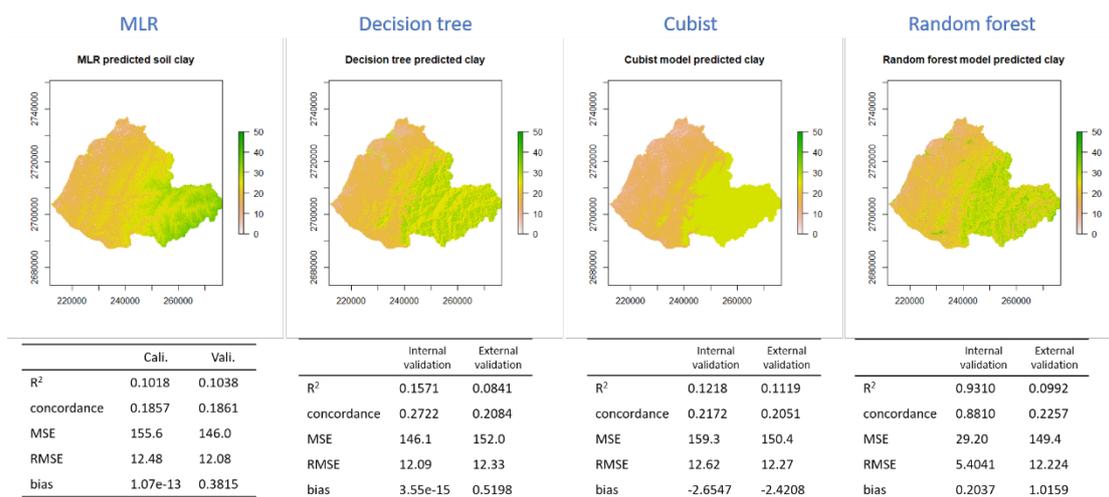


附圖十一、獵人谷土壤採樣及剖面照片

Soil pH of Miaoli county



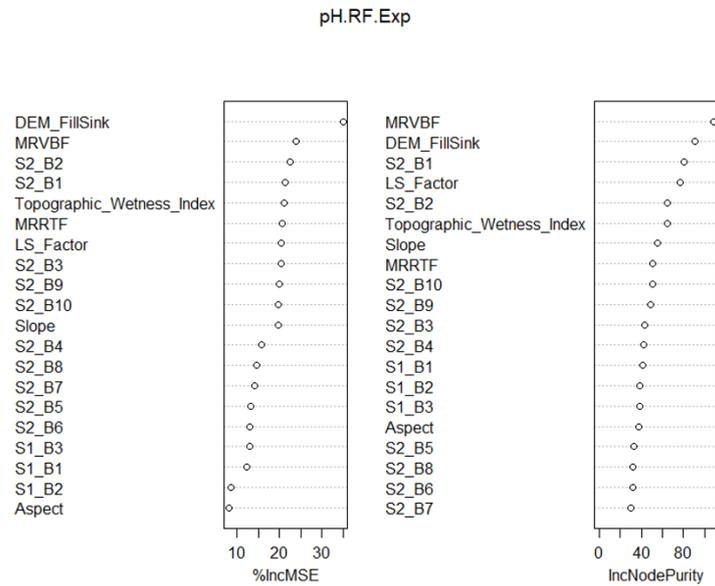
The Clay % in soils of Miaoli county



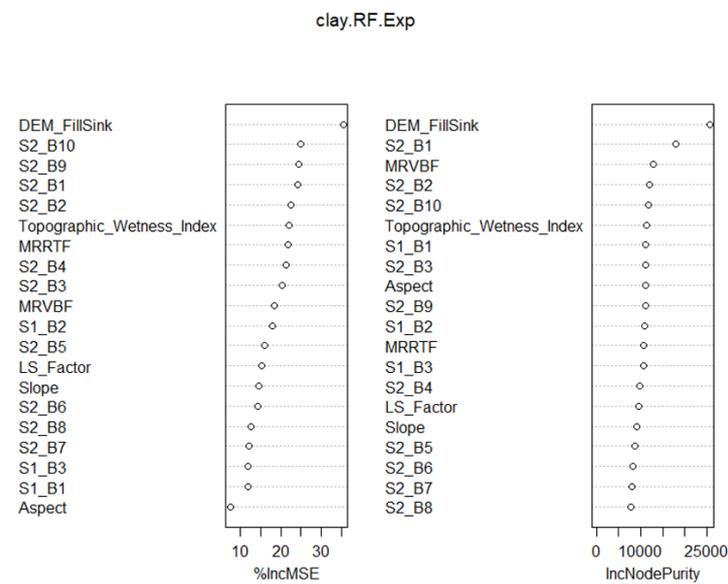
附圖十二、比較不同演算法預測後之土壤 pH 值 (上) 及黏粒含量分布圖 (下)。

Covariate importance from RF model fitting

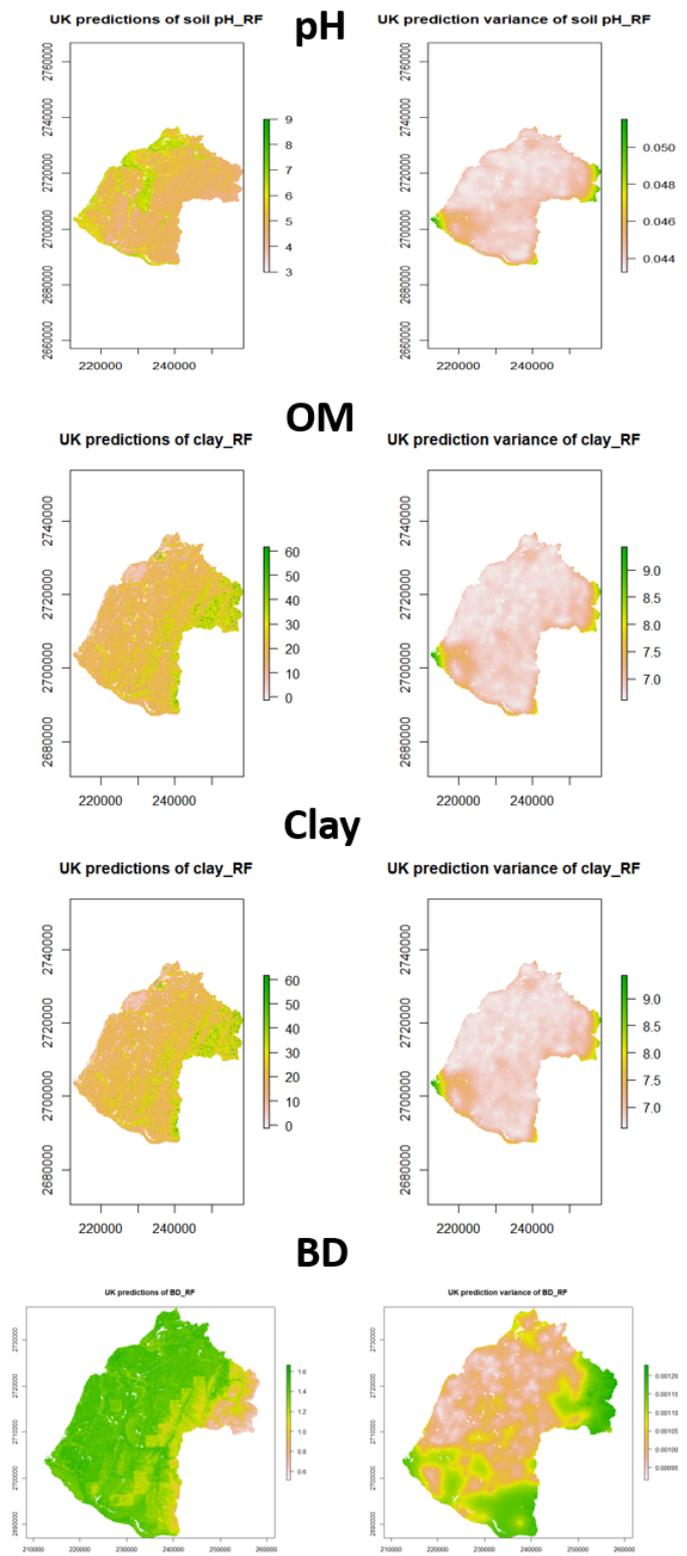
Soil pH



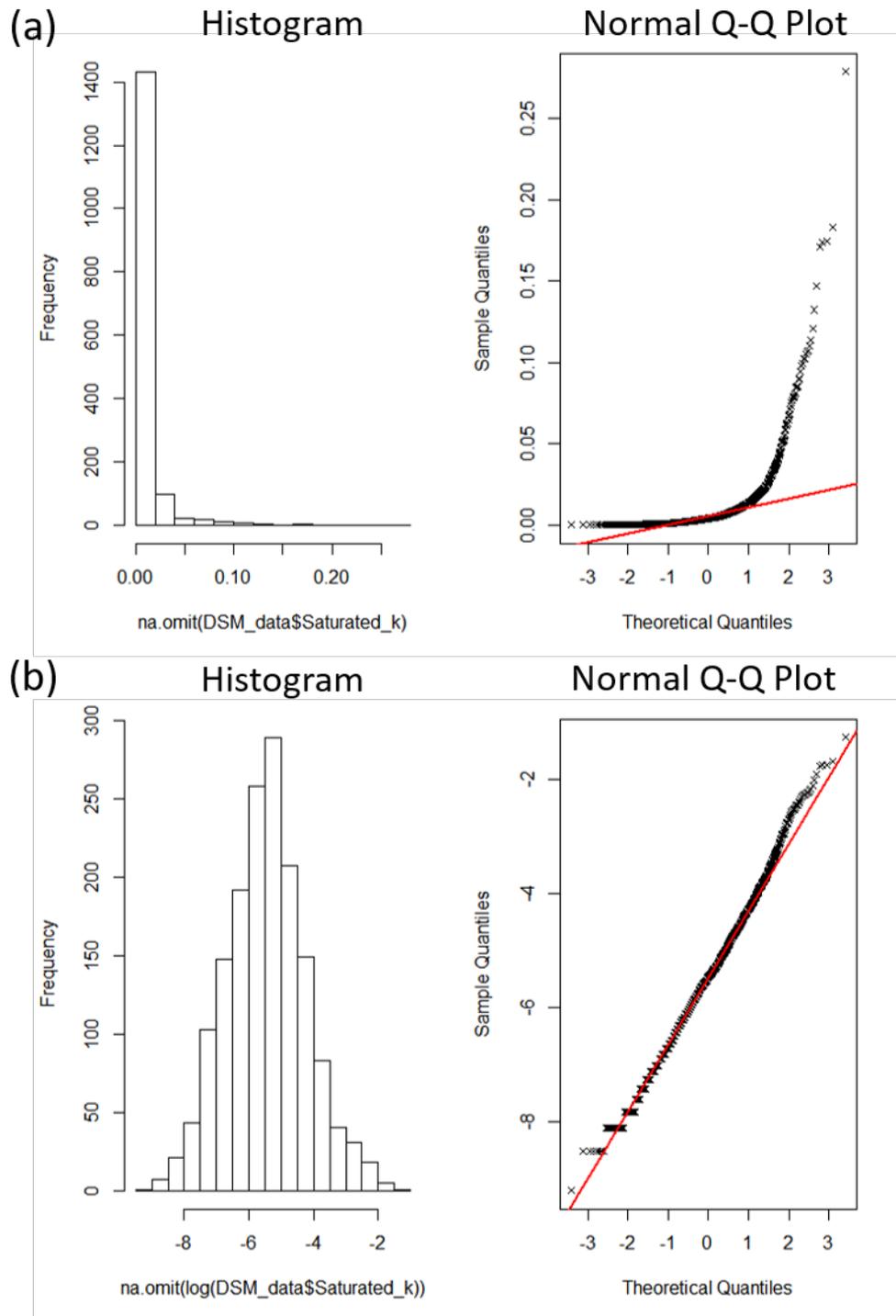
Clay %



附圖十三、比較土壤 pH 值 (上) 及黏粒含量分布圖 (下) 進行 Random forest 預測時，不同共變異的重要性評估結果。

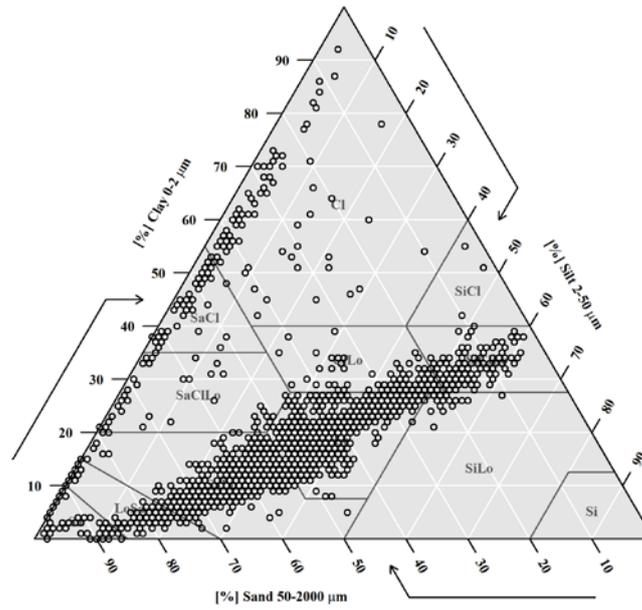


附圖十四、利用 random forest 結合 universal kriging 預測後的繪圖成果。



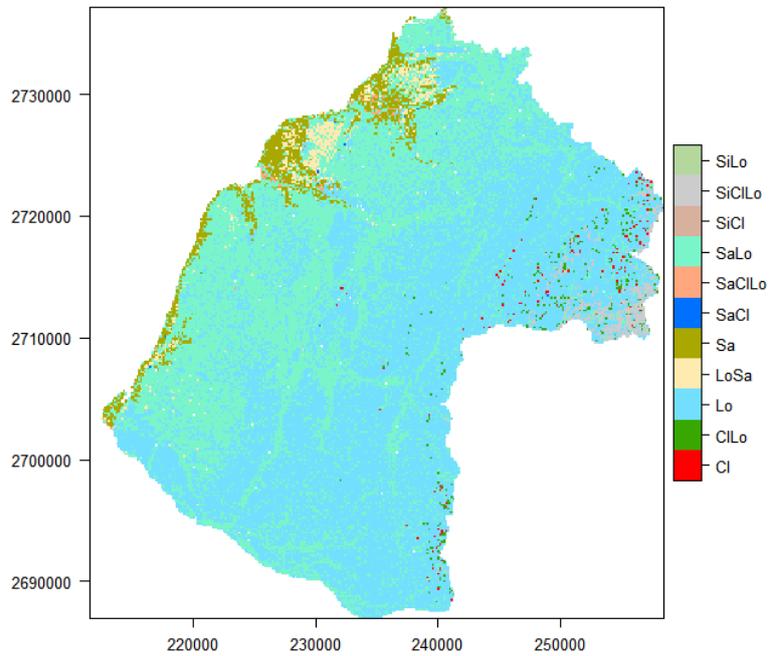
附圖十五、土壤飽和導水度原始數據 (a) 及數值取對數 (b) 之直方圖及數據分布。

Texture triangle: USDA

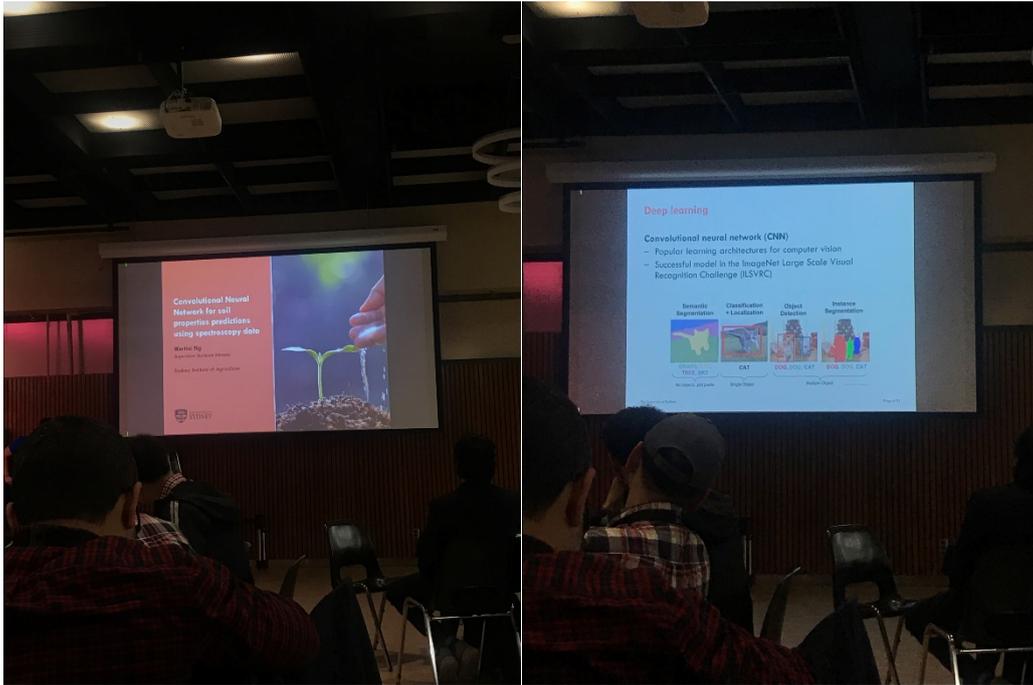


附圖十六、苗栗地區土壤質地分類狀況

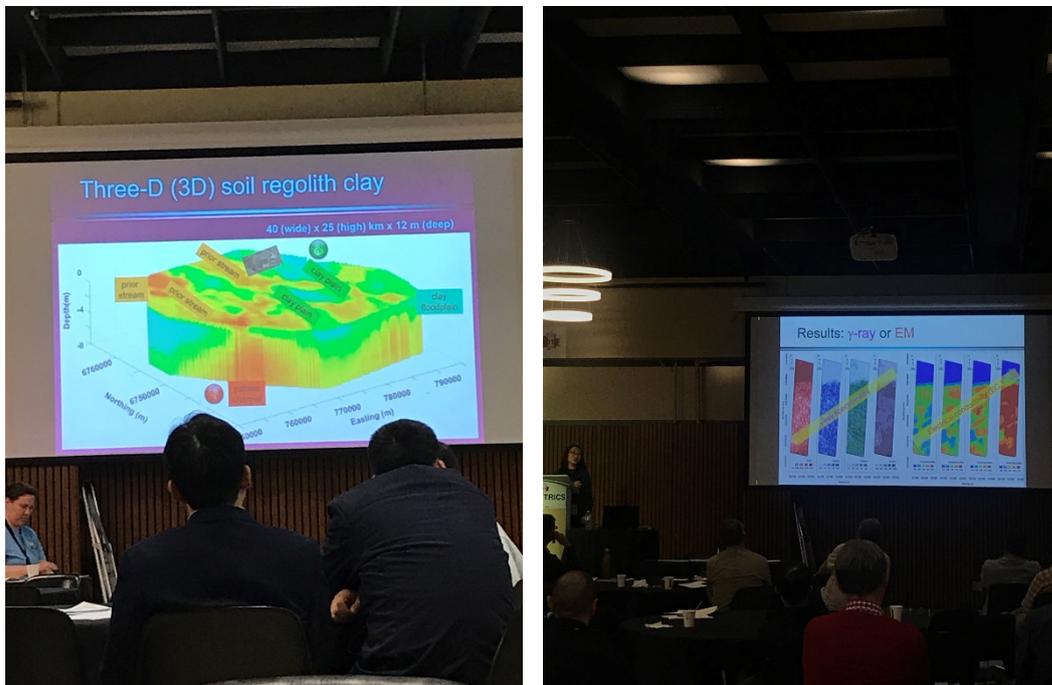
Texture_RF prediction



附圖十七、苗栗地區土壤質地分布圖



附圖二十、利用 NIR 及 MIR 預測土壤性質簡報



附圖二十一、利用 EM 及 γ 射線量測現地土壤性質簡報



附圖二十二、農場說明利用數位化土壤繪圖管理之經驗

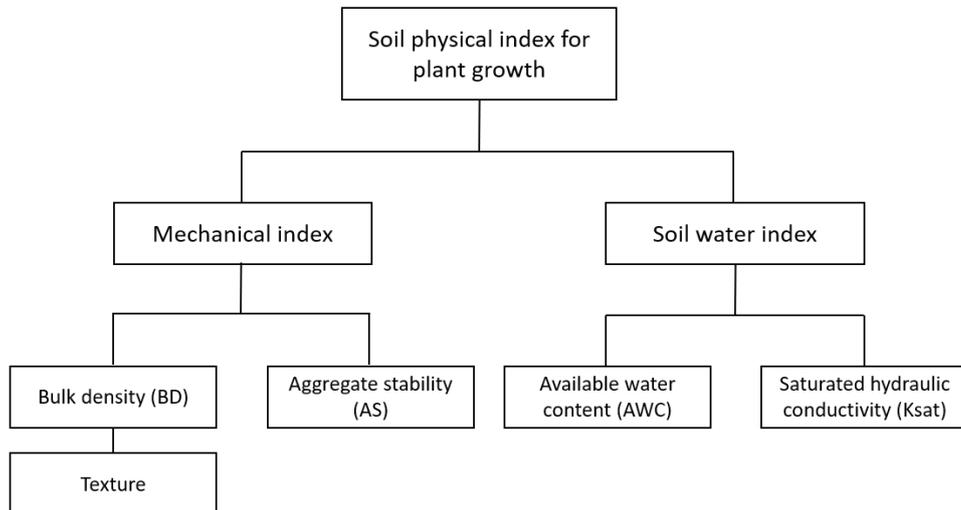


附圖二十三、田間參訪觀察之剖面照片

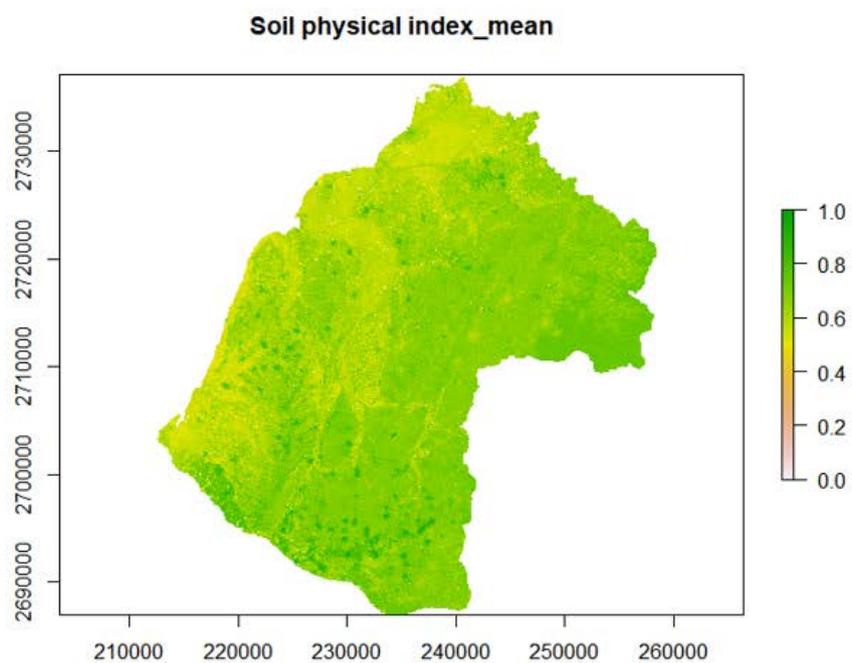
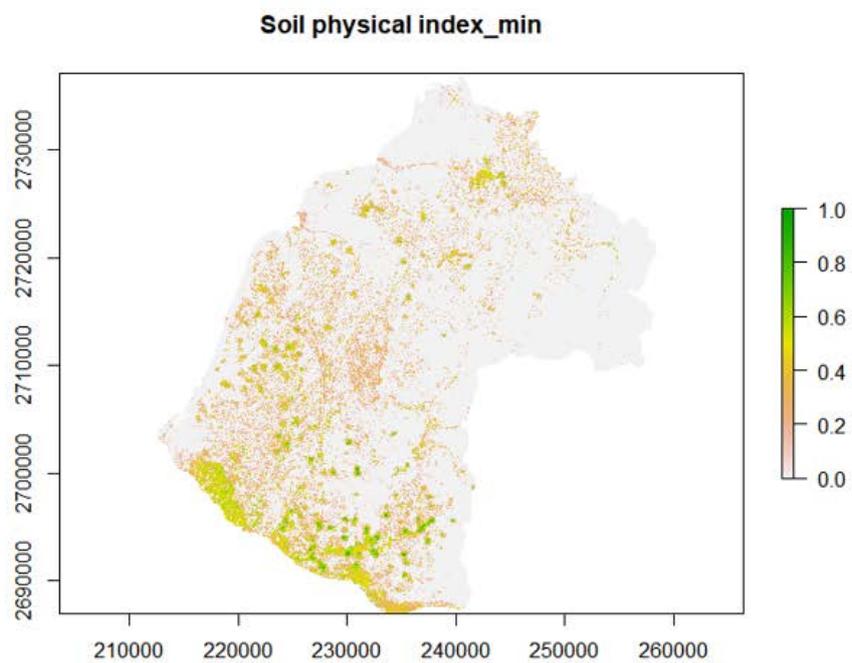


附圖二十四、田間土壤感測器 (SOIL PTIX) 照片

Heuristic rule of soil physical index (SPI) for plant growth



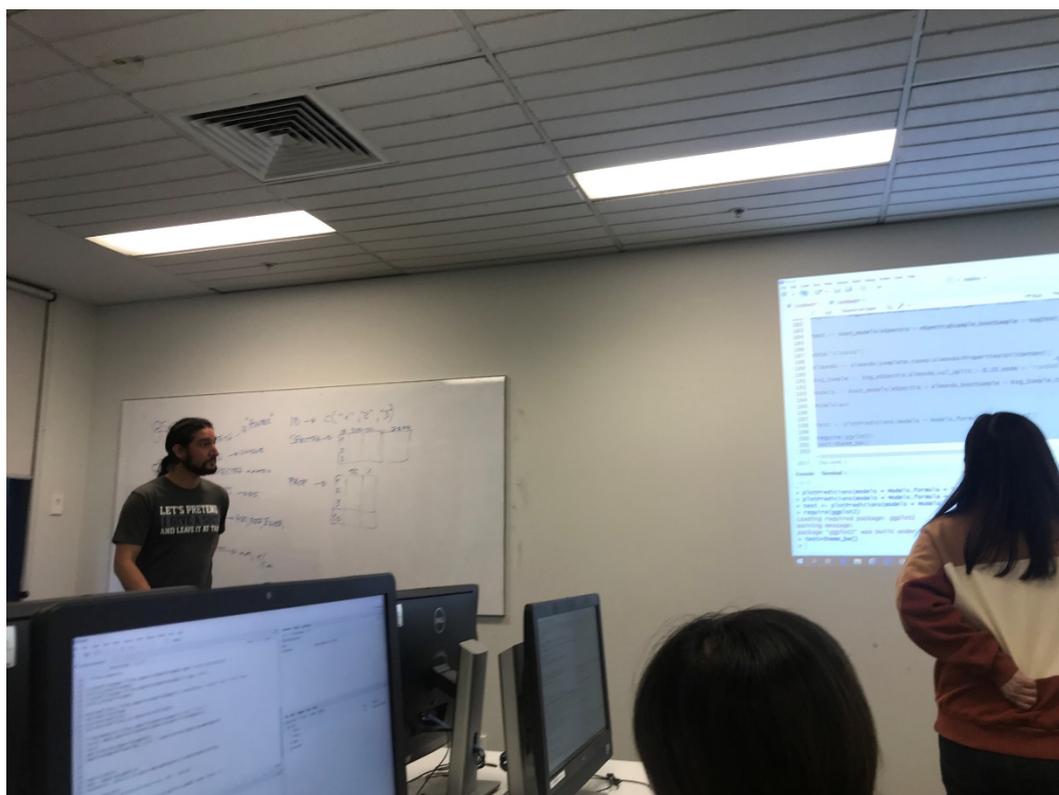
附圖二十五、土壤物理性質挑選規則



附圖二十六、土壤物理指標分布圖



附圖二十七、利用 NIR/MIR 光譜儀分析土壤照片



附圖二十八、參與利用 R 處理光譜數據的討論會