

玉山國家公園不同海拔梯度下之土壤 理化性質及碳儲存量評估

玉山國家公園管理處自行研究報告

中華民國 100 年 12 月

PR9912-0072 100301020200G2004

玉山國家公園不同海拔梯度下之土壤理化性質及碳儲存量評估

研 究 人 員：何正品

簡士濠

許正一

玉山國家公園管理處自行研究報告

中華民國 100 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

**The property of the soil in different Altitude
and its correlate with carbon stock in the
Yushan National Park.**

BY

Cheng-Pin Ho

Shi- Hao jien

Zeng-Yei Hseu

September , 2011

目次

表次	II
圖次	III
摘要.....	IV
第一章 緒論.....	1
第二章 文獻探討.....	4
第一節 前人研究.....	4
第三章 研究方法.....	7
第一節 研究區域.....	7
第二節 研究方法.....	11
第4章 結果與討論.....	14
第4章 結果與討論.....	15
第一節 土壤樣品物化性質分析.....	15
第二節 台灣本島及玉山國家公園土壤有機量估算.....	30
第五章 結論與建議.....	42
第一節 結論.....	42
第二節 建議.....	43
謝誌.....	43
附錄一 土壤調查資料.....	45
附錄二 土壤剖面照片.....	50
參考文獻.....	53

表次

表 4-1 南橫梅山區代表性土壤樣體之環境條件與特性.....	15
表 4-2.南橫梅山區代表性土壤樣體之基本物理性質.....	16
表 4-3 土壤鐵鋁錳含量表.....	18
表 4-4.土壤鐵活性指標表.....	19
表 4-5 陽離子交換容量、交換性鹽基含量與鹽基飽和度表.....	22
表 4-6 不同深度土壤有機碳儲量表.....	26
表 4-7.梅山地區代表性土壤樣體之土壤碳含量在不同土層中之分布.....	27
表 4-8 梅山地區代表性土壤樣體之土壤碳含量有機碳濃度迴歸式.....	27
表 4-9 台灣本島土壤碳含量推估.....	31
表 4-10.玉山國家公園土壤碳含量推估.....	31

圖次

圖 3-1 玉山國家公園位置圖.....	8
圖 3-2 玉山國家公園地形圖.....	8
圖 3-3 玉山國家公園地質圖.....	9
圖 3-4 實驗地採樣位置圖.....	10
圖 3-5 天池草原地區利用 ARCGIS 估算面積.....	10
圖 4-1 總體密度隨深度變化圖.....	17
圖 4-2.土壤 pH 隨深度變化圖.....	17
圖 4-3 天池 P1 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖	20
圖 4-4 天池 P2 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖	20
圖 4-5 中之關 P1 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖	20
圖 4-6.無定形金屬與游離金屬隨深度變化圖.....	21
圖 4-7 (FE _D -FE _O)/FE _D 隨深度變化圖	21
圖 4-8 (FE _O)/FE _D 隨深度變化圖	22
圖 4-9 BS%隨深度變化圖	23
圖 4-10 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖.....	24
圖 4-11 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖.....	24
圖 4-12 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖.....	25
圖 4-13 不同土壤樣本深度與有機碳儲量圖.....	25
圖 4-14 不同土壤樣本深度與有機碳儲量累積圖.....	26
圖 4-15 台灣全島土壤有機碳含量估算點.....	32
圖 4-16 台灣全島土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	33
圖 4-17 台灣全島 0-30cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	34
圖 4-18 台灣全島 0-50cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	35
圖 4-19 台灣全島 0-100cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²).....	36
圖 4-20 玉山國家公園等高線圖.....	36
圖 4-21 玉山國家公園土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	38
圖 4-22 玉山國家公園 0-30cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	39
圖 4-23 玉山國家公園 0-50cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²)	40
圖 4-24 玉山國家公園 0-100cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m ²).....	41

摘要

關鍵詞：國家公園、碳存量、土壤、土系、克利金法

一、研究緣起

玉山國家公園自民國 74 年成立以來，對於園區內基本資料的調查不遺餘力，尤其是對於地質、植物、動物的調查。對於土壤的調查較少著墨。然而，自然資源的完整調查資料，對於國家公園的規劃及解說有其重大意義。

土壤有機碳庫可做為大氣中二氧化碳氣體的來源(source)與匯池(sink)，在全球森林生態系統中(超過 4.1×10^9 公頃)，包含地上部生質碳與土壤中的碳，所儲存的碳約有 1240 Pg (10^{15} g)，因此估算土壤有機碳儲存量，是掌握陸域環境碳固定量的必要手段之一，也是查核國家公園保育效益的重要關鍵。

台灣在土壤有機碳庫調查估算少有資料，本研究對於台灣及玉山國家公園園區的土壤有機碳庫的量做較為精準的估算，並採集南橫公路沿線地區，進行土壤形態特徵描述、理化性質分析及土壤有機碳分析。

二、研究方法及過程

本研究於玉山國家公園南橫公路沿線地區採取土樣，採樣區域之海拔高度為 1400-2300m，研究方乃挖掘土壤剖面進行形態特徵描述、理化性質分析及土壤有機碳分析。另外，利用農業委員會農業試驗所土壤資料庫網站之全台土系資料，包含土系名稱、深度、機械分析、有機質含量、以及陽離子交換能力等化學性質等，共 16078 筆土系資料，計算出土壤容積比重藉以求得土壤有機碳，若遇相同土系的調查資料，則以其計算之土壤容積比重平均值當成其土系的土壤容積比重。再用 ArcGis 的克利金法空間統計推估全台及玉山國家公園之總有機碳及 0-30 公分、0-50 公分、0-100 公分之土壤有機碳含量。

三、重要發現

研究結果顯示，

(一) 將三種不同生育地計算有機碳量，以天池草原單位面積有機碳最高，中之關森林因土層只至 50 公分厚，單位面積有機碳量其次，而人工果園禮觀最低。

(二) 南橫地區的土壤以新成土及弱育土居多。

(三) 土壤有機碳濃度與土壤深度及粘粒的相關係數較高，與鹽基飽和度(BS%)、pH 較無相關。

(四) 天池草原土壤由於淋洗作用強烈，其鹽基飽和度小於 15%，屬於強烈淋洗之 IV

土壤。而觀因為果園，因施肥作用，其鹽基飽和度較高。

- (五) 本次利用土系(soil series)推估土壤有機碳含量，所得台灣地區總土壤有機碳庫約為 562Tg($T=10^{12}$)。0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 318 Tg、427Tg、551Tg。
- (六) 本研究推估玉山國家公園內總土壤有機碳庫約為 19.19Tg。0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 10.34 Tg、14.49 Tg、19.15Tg。玉山國家公園面積含全台面積比例約為 0.0293，而土壤碳含量與全台相比略高，約為 0.0340。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對行政檢查業務委託民間辦理處理的法制化，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

□立即可行之建議

主辦機關：行政院農業委員會

行政院農業委員會可針對本研究案之土壤碳之基本估算，依土地使用分類，再加上土壤的碳含量，推估地下部及地上部的有機碳含量。

長期性建議—日後碳排放交易時，提供台灣土壤碳儲存量的基礎資料。

主辦機關：行政院經濟建設委員會

協辦單位：行政院經濟部

京都議定書（Kyoto Protocol）於2005年生效後，建置與京都機制連結的國內碳排放交易機制，已儼然成為各國為達成減碳之主要手段，而全球排放交易市場是驚人的交易量。而台灣土壤的基本碳儲存量的估算，為碳排放交易之基礎，本研究為目前較為精確估算台灣土壤碳儲存量的報告。

ABSTRACT

Keywords: National park, Carbon stock, Soil, Forest, soil series

Soil pedons were taken in the Southern Park located in the Yu-Shan National Park. The study sites range in 1400-2300 meter in altitude. The conducted topics included description of soil field morphology, physic and chemistry analyses, and calculation of carbon stocks of soil. By estimating organic carbon stock per unit area in these 3 habitats, Tianchi grassland shows the largest amounts. The Jhongjhiguan forest is lower than Tianchi grassland, due to the shallow soil depth of the former habitat in 50cm. Liguan, the labor-produce orchard, contains the lowest amounts. There is intensively relevant to a concentration of organic carbon stock of soil and the depth of soil as well as clay. However, there is poor correlation with base saturation (BS%) and pH.

The estimated of soil series of the Taiwan carbon stored in soil was 652Tg of SOC. The upper 30cm, 50cm, and 100cm of SOC were 318 Tg 、 427 Tg and 551Tg °

The estimated of soil series of the Yushan National Park carbon stored in soil was 19.19Tg of SOC. The upper 30cm, 50cm, and 100cm of SOC were 10.34 Tg 、 14.49 Tg and 19.15Tg° The proportion of surface area of the Yushan National Park is equal 0.0293 of Taiwan, yet the carbon storage is 0.0340 that is little higher to the average figures.

For immediate strategies:

Provides the SOC of Taiwan and Yushan National Park.

For long-term strategies:

Provides the data of emissions trading.

第一章 緒 論

玉山國家公園自民國 74 年成立以來，對於園區內基本資料的調查不遺餘力，尤其是對於地質、植物、動物的調查。對於土壤的調查較少著墨。而基本資料的調查對於國家公園的規劃及解說有其重大意義。

對生物圈而言，有機質在土壤中扮演著相當關鍵的角色。土壤有機質包括植物的死根，植物或動物殘體各階段的分解產物，腐植質 (humus)，微生物及任何有機化物 (例如微生物及其他生物的排泄物等)。土壤有機質即為含碳的化合物，可分為有機殘體 (organic residues) 和腐植質兩部分。在大部分的土壤中，土壤有機質僅佔總質量的一小部分，但此動態的土壤成分對許多土壤物理、化學、及生物性質卻有決定性的影響，它提供了表土相當多的陽離子交換容量與保水力；部分土壤有機質中的成分促成土壤團粒的生成與穩定化；它含有相當多的植物所需的養分，是緩效性養分貯池，它亦提供了大部分土壤微生物的能源和碳源，增加土壤生物族群，活化土壤機能，提高土地生產潛力；減少土壤密實性，便於耕犁 (Brady and Weil, 2008)。台灣農田土壤長期施用某些化學肥料，導致土壤性質劣化，可藉由有機質的施加來提高土壤 pH 值、降低總體密度、提高團粒穩定度、增加土壤保肥力及保水力，並達到土壤資源永續利用的目標。

另外，碳是大氣與所有有機化合物分子的主要元素，在大氣中主要以二氧化碳和甲烷的形式存在，與全球的氣候變化息息相關。根據京都議定書的內容指出，地球上大約有 1400~1600 Pg (1Pg = 10^5 g) 的碳是貯存在土壤中，此一貯存量是地面上生物的 3 倍，且為大氣中碳貯存量的 2 倍 (Post et al., 1982; Eswaran et al., 1993)。雖然不同土壤的土地利用與經營、氣候、地質和地形等有所差異，但可以確定的是，土壤有機碳庫可做為大氣中二氧化碳氣體的來源 (source) 與匯池 (sink) (Homann et al., 2004; Shukla and Lal, 2005; Zinn et al., 2005)。國際間針對全球氣候變遷的現象和問題，進行詳細通盤的研究並研擬解決方法，因此世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 與聯合國環境規劃署 (United Nations Environmental Program, UNEP) 於 1988 年 11 月一同成立「政府間氣候變化專門委員會」 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)。IPCC 參考了三個地表溫度資料庫發表第二次評估報告，其內容指出溫室氣體由於人類活動使其排放濃度增加，進而將使全球暖化，若不採取且執行任何防治措施，至 2100 年全球地面平均氣溫可能比 1990 年時增加 1-3.5 °C，海平面將上升 15-95 cm，且亦發現二氧化碳濃度已從工業革命前的 280 ppm 增加至 1994 年的 358 ppm (Hansen and Lebedeff, 1988; Vinnikov, 1990; Jones, 1994)。

自工業革命於十八世紀中葉在西方展開以來，由於人類活動和生活模式改變，且伴隨著工業與經濟活動的高度發展，導致石化燃料大量且快速地被開採和耗用。全球人口迅速增加，因生活所需而熱帶雨林大面積被砍伐、焚燒及開墾，

使得原先貯存於石化燃料與森林中的碳快速釋放至大氣中，讓大氣中的二氧化碳濃度迅速增加，導致溫室效應日益嚴重並加速全球暖化，更進一步造成全球氣候變遷。對於溫室效應的嚴重性，國際上關注已久，在 1997 年由許多國家所簽訂的京都議定書中，限制溫室氣體的排放量，且已在 2005 年 2 月 16 日生效，成為具有法律約束力的國際公約。在 1750-2004 年之間，大氣中二氧化碳濃度增加了 31 % (Lal, 2004)，且目前全球氣候仍在變遷，二氧化碳濃度亦不斷上升，使得全球暖化的趨勢持續存在。

土壤有機碳庫是大氣中二氧化碳的來源與匯池之一，而在全球森林生態系統中(超過 4.1×10^9 公頃)，包含地上部生質碳與土壤中的碳，所儲存的碳約有 1240 Pg (10^{15} g)，因此估算土壤有機碳儲存量，是掌握陸域環境碳固定量的必要手段之一，也是查核國家公園保育效益的重要關鍵。不過，在諸多影響土壤有機碳儲存量的因子中，主要是緯度和海拔高度。森林土壤有機物質的主要來源是凋落物，不同樹種間其凋落物的質與量也有所差異。

臺灣地形陡峭，海拔垂直變化明顯，因此也明顯影響植被生長，出現包括亞熱帶、暖溫帶、涼溫帶、冷溫帶、及亞寒帶等各種森林植物帶隨海拔上升而垂直變化的現象。土地利用的轉變、森林生態系的破壞以及土壤的退化，與二氧化碳之釋放和全球氣候變遷有著重要關係(Upadhyay et al., 2005)。土壤在隔離 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等溫室效應氣體釋放至大氣中的抑制角色是很重要的。同樣地，隨著全球氣候變遷而推動造林來減緩大氣二氧化碳濃度的策略中，必須考慮到「不同氣候、土壤、位置及海拔」等因子所造成森林土壤碳吸存效應的變化。

在全球氣候變遷議題中的溫室效應，已有許多不同系統的定量、種類、分布和碳的行為等研究，這些研究的目的是瞭解全球氣候改變的潛在影響，以及應用節能減碳上。此類研究的重要結果在緩和全球氣候改變影響的區域，並已針對與農林生態有關和土壤有機碳的管理上，碳貯存量的資訊以及碳貯存量和土壤或植生之間的相關作用，有助於確認在不同土地利用方式或改變時土壤中碳的增加或流失(Lal, 2004)。一個獨立生態系之碳貯存量可反應出此一生態系統之碳吸存能力，但這有賴準確的碳儲存量估算結果，以做為一個值得信賴的基準線。許多國家級或區域性的土壤碳儲存量研究已曾被探討過，例如巴西(Bernoux et al., 2002)、北美(Lacelle et al., 1997)和歐洲 (Batjes et al., 2002; Krogh et al., 2003) 等。另外，在中國大陸也有很多特定生態系碳儲存量的研究(Li and Zhao, 2001; Wang et al., 2002)。因此，若能有效預估各類型土壤的有機碳貯存，並做好土壤管理策略，即能減少土壤中有機碳變成二氧化碳等方式排放至大氣中，而植林減碳即被認為是可行且效的措施。

土壤有機碳含量會因氣候、地形、天然植物、土壤質地、土層差異、耕作等因素影響(Brady and Weil, 2008)。氣候因素中以雨量及溫度關係最大，有機碳含量常隨雨量的增加而增加，溫度愈高，有機質被分解愈快，土壤中保存有機碳量愈少。低窪排水不良之土壤，有機質分解受阻，聚積量較高。細質地土壤較粗質地土壤，土壤中保存有機碳量較多(Tan et al., 2004)。

本研究透過土壤調查方式，瞭解玉山國家公園梅山地區不同生育地的土壤物理及化學性質資料，並將採樣點用GPS記錄，對於日後採用地理資訊系統整合梅山地區土壤性質資料及南橫地區森林植群結構分析應有助益。並利用農業委員會農業試驗所土壤資料庫網站之全台土系其中16078筆土系資料，用ArcGis的克利金法空間統計推估全台及玉山國家公園之總有機碳及0-30公分、0-50公分、0-100公分之碳吸存累積量(kg C/30 cm/m²; kg C/50 cm/m²與kg C/100 cm/m²)。以提供管理機關作為擬訂策略及解說教育之參考。

第二章 文獻探討

第一節 前人研究

壹、有機碳之研究

地球上碳的儲存平衡主要有三個儲藏庫，分為海洋、大氣及陸地系統。初步估計土壤中儲存的有機碳含量為大氣或植物二倍以上(Eswaran et al.,1993)。土壤有機碳依照轉換速率(turnover rate)不同可分為三類：最易分解的土壤有機碳以活性土壤有機碳(active SOC)稱之，約佔有機碳總量 5%，其轉換速率由數日到數年不等。慢性有機碳(slow SOC)佔總量約 60-85%，轉換速率數年到數十年。最難分解的土壤有機碳多半以黏粒及腐植質錯合體(Clay-Humus Complexes or Clay-Humus Combination)的型態儲存於土壤之中，稱之為惰性土壤有機碳(passive SOC)，轉換速率可從數十年到數千年不等(Townsend et al.,1995; M van Noordwijk et al.,1997)。惰性有機碳因與土壤粘粒形成物理性結合的土壤有機質，不易受到土壤微生物分解而能長期留存於土壤中(Emerson et al.,1986;McKeatue et al.,1986)。由於有機碳是土壤中生物能量來源，為因生物的呼吸作用而釋放二氧化碳。

土壤質地所支配的土壤保水力和土壤構造對微生物的分解作用有直接影響(Thomsen et al.,1999)，適當水份境況，可促進分解有機質的異營性細菌和微生物活動，微生物分解有機質亦受土壤構造影響，良好的土壤團粒構造可保護土壤有機質。因此，土壤質地是影響土壤有機碳貯存量的重要因子。所以，許多學者以土壤粘粒含量討論土壤有機碳的累積(Bonde et al.,1992, Giardina et al.,2001;McGrath and Zhang,2003)。

貳、土壤有機碳之估算

土壤有機碳的估算有分成二種方式，一為依土綱估算土壤有機碳，另一方式為依植生種類及土壤種類估算。

土壤有機碳的估算有用土綱計算，Chen and Hseu(1997)以台灣耕地 100 個土壤樣體及 72 個森林土壤樣體，推估台灣的有機碳含量，分別測量 0-30cm、30-50cm、50-100cm 三種不同深度之有機碳量。土壤樣體依美國土壤新分類系統分成 10 個土綱(soil orders)，研究結果顯示，台灣土壤 0-30cm、0-50cm、0-100cm 的土壤有機碳含量分別為 135Tg($T=10^{12}$)、173 Tg、225 Tg。而 Tsai and Chen(2002)選擇全台森林地區中的 101 個土壤樣體，藉由全台 4 個森林事業區、陽明山國家公園及六龜試驗林等地區所採取之土樣分析，來推估台灣森林土壤有機碳總量，研究結果顯示：台灣森林土壤 0-30cm、0-50cm、0-100cm 的土壤有機碳含量分

別為 270Tg、360 Tg、464 Tg。

在大陸方面，使用土網計算土壤有機質，Yu et al. (2007)分析 7292 個中國土壤剖面，利用土壤土網估算出中國土壤的有機碳含量，在 100 公分的土壤內，面積 $9281 \times 10^3 \text{ km}^2$ 有 soc 含量 89.14Gt，平均 soc 密度 96t/ha。

依植生種類及土壤種類估算方面，Shaoquiang Wang et al. (2002)以中國東北地區(黑龍江、吉林、遼寧、內蒙古)依植生種類及土壤種類分別估算其有機碳含量，面積 124 km^2 地上部植生部份有機碳 $2.81 \times 10^{15} \text{ g}$ ，地下土壤份有機碳 $26.43 \times 10^{15} \text{ g}$ 。Abha Chhabra et al. (2003)將印度森林地區 175 個 50 公分表土樣本與 136 個 100 公分底土樣本，依森林林分不同分成熱帶常綠林、山區溫帶林、熱帶濕潤落葉林等 7 種林分，分別估算其碳儲存含量，其中表土碳含量以沿海的濕地最高(92.1t/ha)，其次為熱帶常綠林(90.7t/ha)，100 公分內的土壤有機質以山區溫帶林最高(161.9t/ha)。張朝婷(2005)藉由不同海拔天然林以代表不同氣候進行 8 個採樣點採樣 0-20 公分深土壤，台灣森林土壤表層的碳庫有隨海拔上升增加的趨勢，在 2200 公尺左右的櫟林帶所儲存的總量最大，但在高海拔冷溫帶冷杉林有稍降低趨勢。胡庭恩(2006)於台灣北部地區選擇九種主要人工林種，不同樹種下森林土壤有機碳貯存量有顯著差異，油桐土壤有機碳貯存量最低： $2.2 \text{ Kg } 30 \text{ cm}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ，扁柏土壤有機碳貯存量最高： $2.2 \text{ Kg } 30 \text{ cm}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 。且單以不同土網估算土壤有機碳貯存量，有其不確定性，在高海拔地區的土壤有機碳貯存量相對較高。林國銓等(2003)於六龜試驗林兩台灣杉人工林估算生態系之碳庫，發現碳貯存量以土壤佔最大量(55-62%)，大於該森林生態系地上部之碳貯存量，而其中 44-50%集中在土壤地表 15 公分以內。柯淑惠(2006)於台大實驗林內茅埔營林區台灣櫟 9 年生人工林估算碳儲存量，不同深度土壤有機碳濃度，以 0-15cm 最高，平均值達 2.89%，且隨深度增加而濃度減少。全林分碳儲存量為 267.90 ton/ha，土壤占最大量，為 93.4%，9 年生台灣櫟造林木佔 5.8%，地被植物以及枯枝落葉層碳儲存量所佔比率為 0.3%及 0.5%。台灣櫟林木生長所增加之年碳儲存量為 4.11 ton/ha。

另由於 GIS 的發達，利用空間統計的方式可估算有機碳的空間分布情形。Samdra Spielvogel al. (2009)將德國 National park Bayerischer Wald 4 種不同高海拔森林和其枯倒木的有機質做比較，利用 GIS 及克利金法的內差方法，做出 5M 空格內的有機碳分布情形。

目前對於土壤有機碳庫的估算不一致，主要由於不同估算方法的差異，因假設條件、土壤變異性、測定土壤深度、各類參數取值、調查土壤型、植被類型等，以及估算的不確定性所致。

所以，土壤基本資料的調查以及資料庫的建立十分重要，才能較為估算土壤有機碳庫。

土壤容積密度可將土壤含碳百分比轉換成單位面積的土壤含碳量，故測定土壤有機碳含量需使用容積密度，測定土壤容積比重一般採用土管法，耗時費

力，故由實驗室替代方案所發展出的模式，來估算容積比重。

Bernoux et al.(1998)和Heuscher et al.(2005)研究土壤的容積比重可由黏粒含量、pH與有機質含量經由逐步迴歸方式而求得。Tomasella and Hodnett(1998)使用砂粒、粘粒等含量參數估算土壤容積比重。

Pedotransfer functions (PTF) 可計算的土壤較不容易用實驗測得的特性資料。

而農業委員會農業試驗所土壤資料庫網站之全台土系資料，包含土系名稱、深度、機械分析、有機質含量等參數，可利用 PTF 推估土壤土壤容積比重以估算單位面積的土壤含碳量。

第三章 研究方法

第一節 研究區域

本實驗研究選定玉山國家公園梅山地區，針對天池、中之關及禮觀(桃、李)等3處地方採5個土壤剖面，採集壤地區地質屬廬山層，其海拔高及座標位置以GPS(型號GARMIN 60CS)記錄取樣位置，藉此探討梅山地區不同生育地土壤理化性質之空間差異。

天池於1995年發生火災，火災跡地為草原，後林務局於其上栽植二葉松、台灣雲葉等樹種。另西施花、馬醉木等。

天池草原面積利用ARCGIS9.2版量測面積為456,576m²。

禮觀為一山坡地農地，其上有桃、李，紫花霍香薊。

中之關海拔高度約1900公尺，位處於針闊葉混合林之雲霧帶中，土壤採集地點其一為原生林，以樟科、殼斗科等樹種為優勢，主要樹種為假長葉楠、錐果櫟、長尾栲、瓊楠等植物(謝宗欣等，2008)；另一地點接近中之關駐在所遺址，以人工栽植之柳杉為優勢樹種。環境濕度頗高，其附近天池測候站資料得年附近地區年雨量介於2700mm至4300mm，雨季集中於5-8月，年均溫15°C(許，2002)。午後常有明顯盛行雲霧，屬於暖溫帶氣候。

天池至中之關有一3.5Km長之步道，推估含步道周邊寬度20m，共7000m²為此步道之面積。

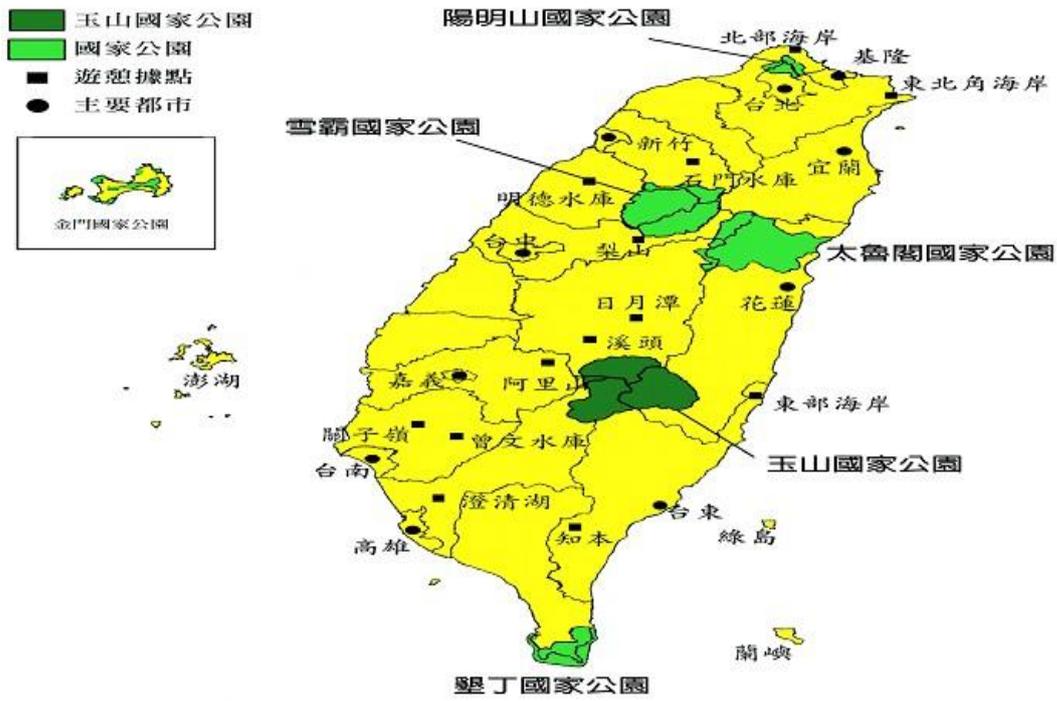


圖 3-1 玉山國家公園位置圖

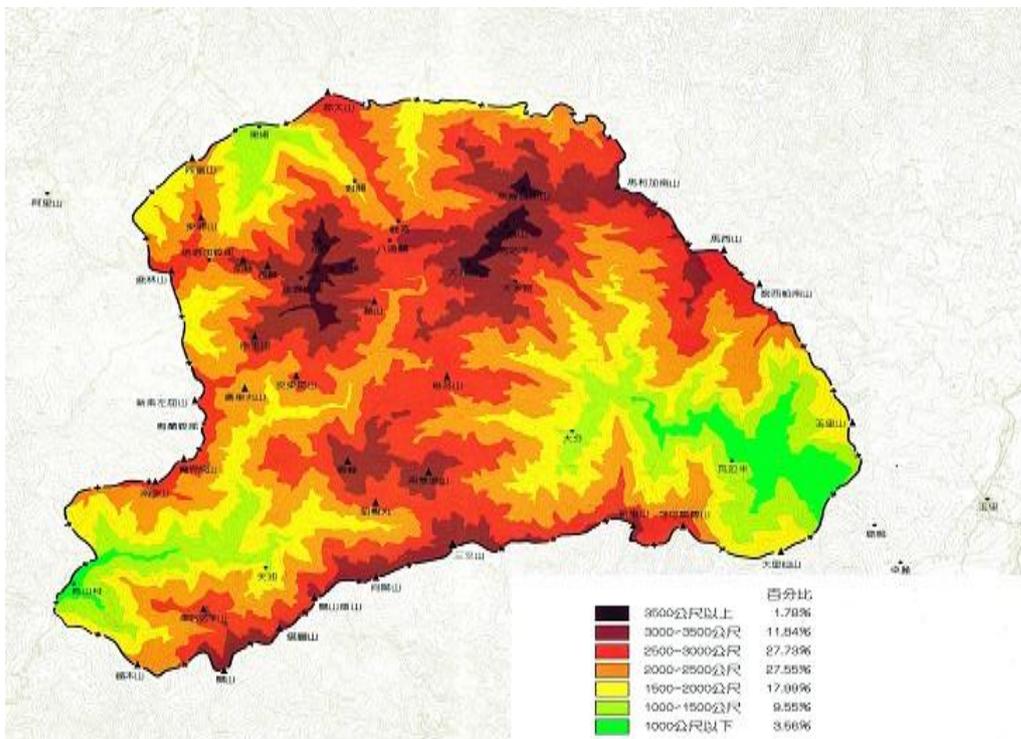


圖 3-2 玉山國家公園地形圖

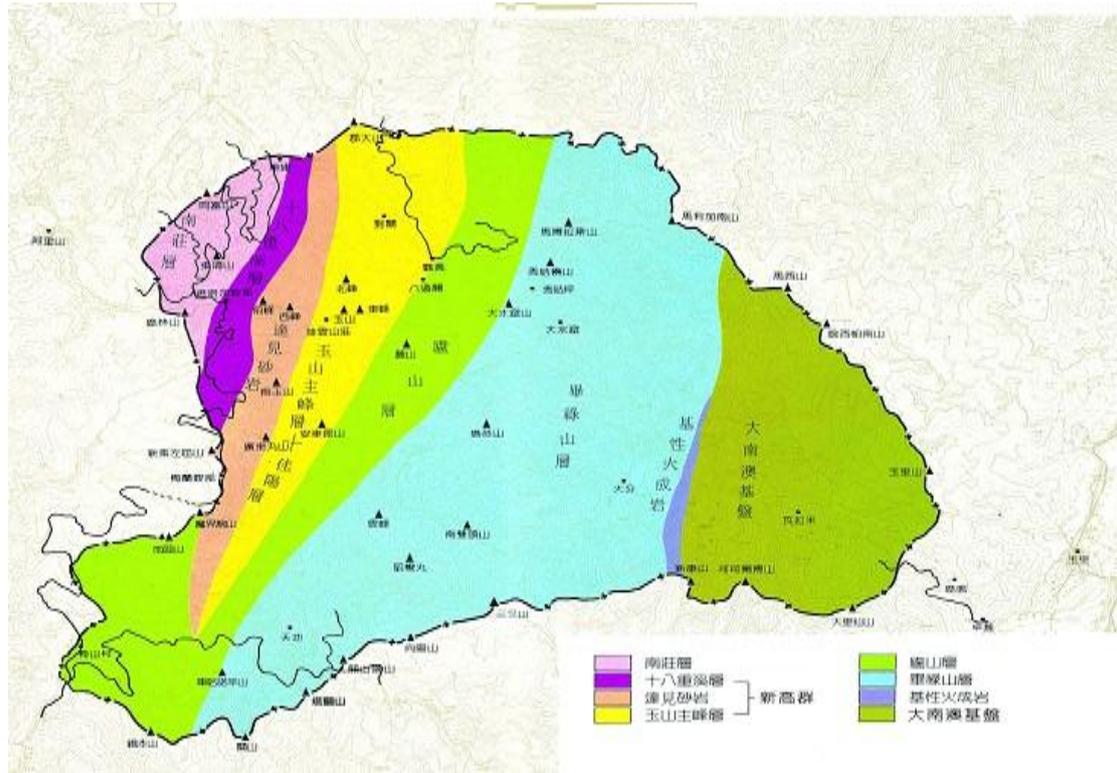


圖 3-3 玉山國家公園地質圖

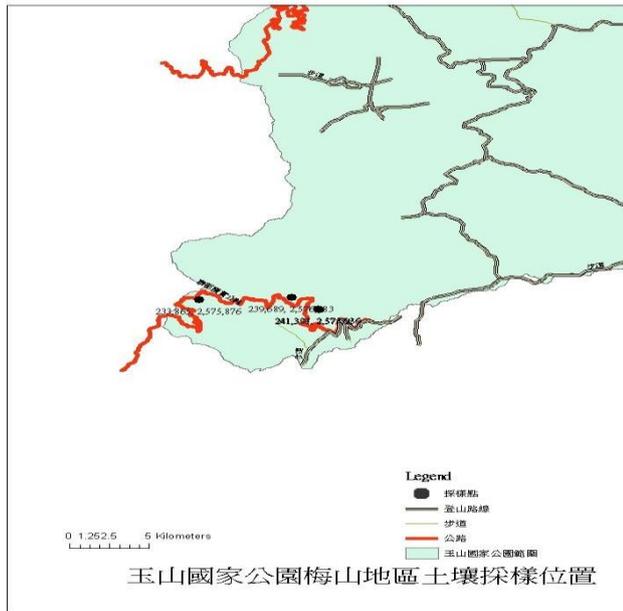


圖 3-4 實驗地採樣位置圖

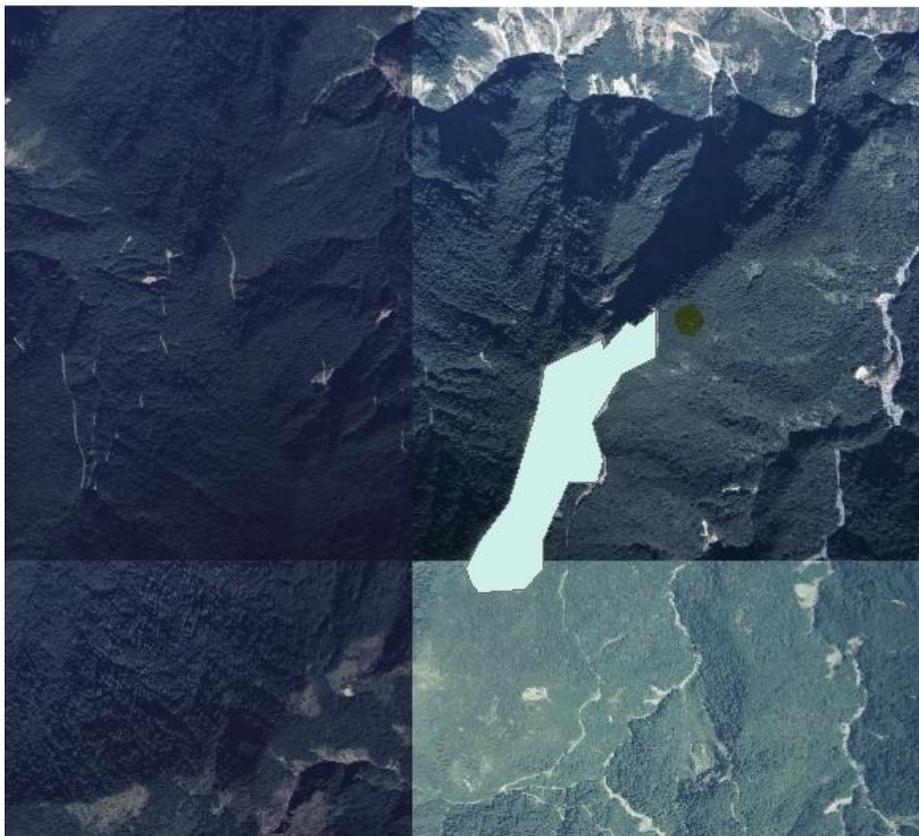


圖 3-5 天池草原地區利用 ARCGIS 估算面積

第二節 研究方法

壹、土壤樣本分析

對其土壤孔隙的測定土壤物理性質：分析方法有土壤顆粒密度、容積密度、孔隙率、土壤機械分析、pH 值、陽離子交換能力、土壤有機碳等。

一、容積密度(總體密度)：將小鋼管打入土壤中，將金屬管採樣器連土取出，切去兩端管口外面多餘的土，使土壤體積恰好等於金屬管體積，用以測定總體密度之方法。

二、機械分析：土壤之機械分析是評定土壤質地正確且量化之方法。土壤機械分析的方法有兩種，也就是篩分析跟比重計分析，其中篩分析法適用於礫石及砂土，比重計分析法則是任何土壤均可處理。但是由於篩分析乃採用標準篩號做分析，且 200 號以下的土壤不納入計算，所以黏土及沉泥無法利用篩分析法分辨出，必須利用比重計法或吸管法求出 200 號以下土壤之粒徑分布，並繪出兩粒徑分佈曲線，再合併之。

本次試驗為吸管法。分別求出砂粒(sand)、粉粒(silt)及粘粒(clay)之重量百分比組成，再利用質地三角圖(soil triangle)分其質地。

實驗步驟如下：

秤取 12g 之土壤樣品置於 500ml 之燒杯並加入 30%之雙氧水，在加熱板上以 90°C 左右之溫度加熱去除有機質，之後將樣品回至室溫，加入 200ml 0.3M 檸檬酸鈉(sodium citrate)、25ml 1M 碳酸氫鈉(sodium bicarbonate)、及 2g 之連二亞硫酸鈉(sodium dithionite)，在 85°C 之水浴中加熱，以去除游離鐵。

完成上述步驟，將土壤懸浮液靜置去除上清液，以去離子水清洗二次並離心後烘乾，精秤 10g 土壤置入攪拌杯中，加入 10ml 5%之偏磷酸鈉((sodium hexametaphosphate)，利用攪拌機充分打散 10 分鐘後，以 300 mesh (<50 μ m)之篩子進行濕篩，並將粉粒及黏粒洗入 1L 沉降筒中，根據 stokes'law 計算在一定溫度下，不同粒子沉降 10cm 所需時間，用 25ml 之吸管吸取<2 μ m 之黏粒懸浮液，之後再烘乾秤重得黏粒重量。以總重扣除砂粒和黏粒重量，即得粉粒重量。再利用質地三角圖(soil triangle)分其質地。

三、土壤有機碳：土壤有機質的主要來源為植物殘體，當這些殘體進入土壤後，受微生物作用形成腐植質。腐植質愈多，有機質愈多，可增加土壤之保水及保肥力，並可促進土壤之團粒作用及團粒穩定度，而改進土壤之透水性與通氣性。本研究利用重鉻酸鉀滴定法來測。利用重鉻酸鉀與濃硫酸作為氧化劑來氧化土中的有機物。

其主要化學反應為： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ，反應後生成的 Cr^{3+} 濃度與土壤中被氧化之有機物含量成正比，測定反應後溶液中 Cr^{3+} 之濃度，即可得之土壤樣本中有機物的含量。

土壤有機質中所含有機碳，經學者們多次研究得到結果為有機質之 58%，故有機碳乘以 1.724 即得土壤中有機質含量。本研究僅針對土壤有機碳做定量分析。

實驗方法如下：

(一)取 1g 通過 2mm 篩孔之土樣。

(二)把土樣放入已洗淨且烘乾之錐形瓶中，依序加入 20ml 0.5N 的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 以及 20ml 95% 的 H_2SO_4 (加入濃硫酸時須緩緩沿瓶壁流下，以免飛濺發生危險)。待冷卻後加入 100ml 的蒸餾水及 5ml 的 H_3PO_4 ；於滴定前加入 4 滴指示劑。

(三)用 0.5N 硫酸亞鐵溶液滴定，記錄滴定至當量點時使用的體積。

(四)以空白實驗作為對照組。

四、土壤酸鹼度：土壤酸度決定氫離子的產生及對鹽基有作用的可置換陽離子的流失量。土壤 pH 值就是指土壤中溶解性氫離子濃度的負對數，利用玻璃電極 pH 計來測量。各種樹種有其適合的生長範圍，如高山樹種，台灣二葉松、鐵杉、雲杉等適合 pH 4-4.5 的土壤，而木麻黃、水筆仔及無葉檉柳等耐鹽鹼，pH 7-8.5 仍能正常生長。

本實驗利用玻璃電極法，將玻璃電極(glass electrode)與基礎電極(calmel half-cell)插入供試液中，即形成一種化學電池，其電動勢即兩電極間的電壓(E)，與供試液中的 pH 有如下的關係：

$$\text{pH} = \frac{E - \text{常數}}{\text{常數} \times (273.15 + \text{供試液溫度}^\circ\text{C})}$$

因此校正溫度，量得電壓後，即可得知供試液的 pH。本實驗取土與水 1:5 混合，放置 1 小時，並間斷予以攪拌 2 次，即可用 pH 計測其 pH 值。

五、陽離子交換容量：

稱取 10 克土壤經 1N 醋酸銨(pH=7)淋洗，再以 100ml 95% 酒精洗去土粒孔隙多餘的醋酸銨，再加上 100ml 10% 酸化的 NaCl 溶液，以交換土壤粒子表面所吸附的 NH_4^+ ，收集洗下的溶液，用 Kjeldahl 蒸餾法測定淋洗液中 NH_4^+ -N 的含量，以測定陽離子交換容量。

六、無定形鐵鋁錳：草酸銨法(Ph=3) (McKeague and Day,1996)

秤取 2g 之土壤(<2mm)於離心瓶中，加入 100ml 之草酸銨溶液(ph=3)，於黑暗中震盪 4 小時後，再加入 5 滴之 0.4%之 superfloc，以離心機在 3000rpm 離心 10 分鐘，再以 whatmann 42 號濾紙過濾，濾液以火焰原子吸收光譜儀(flame atomic adsorption spectrometer ,FAAS)分析之。

七、游離鐵鋁錳萃取：DCB 法

秤取 1g 之土樣，加置 100ml 之離心瓶中，加入 40ml 0.3M 檸檬酸鈉和 5ml 1M 之碳酸氫鈉，再加入約 1g 之連二亞硫酸鈉(sodium dithionite)，在約 80°C 左右之水浴中加熱攪拌 15 分鐘後，離心再加入 10ml 之飽和氯化鈉溶液再離心，之後收集上清液，以水稀釋至 100ml，以 FAAS 分析。

本研究針對梅山地區各生育地及(包含海拔高及方位)採取土壤，對其土壤孔隙的測定土壤物理性質：除分析方法有總體密度、土壤碳含量 pH 值、陽離子交換容量、無定形鐵鋁錳、游離鐵鋁錳萃取，並利用 GPS 記錄取樣位置及方位。

計算土壤中不同土壤深度之碳吸存累積量(kg C/m²、kg C/30 cm/m²、kg C/50 cm/m² 與 kg C/100 cm/m²)。利用下列方程式計算土壤中碳貯存量：

$$Td = \sum_{i=1}^k p_i \cdot P_i \cdot D_i \cdot (1-S_i)$$

Td：單位面積定土壤深度(d)下土壤有機碳的總量(Mg/m²)

p_i：土壤層次i的總體密度(Mg/m³)

P_i：土壤層次i的有機碳含量(g C/g soils)

D_i：土壤層次i的厚度(m)

S_i：土壤層次i中直徑> 2mm的比例(%)

可利用調查之總體密度、有機碳含量、土層厚度等資料，計算土壤中碳貯存量。

貳、台灣及玉山國家公園土壤有機碳之推估

本次研究另用GIS的空間統計方法推估全台及玉山國家公園之總有機碳及0-30公分、0-50公分、0-100公分之土壤有機碳含量。

一、本研究利用農業委員會農業試驗所土壤資料庫網站資料，其中調查台灣的各土系資料。包含土系名稱、深度、機械分析、有機質含量、以及陽離子交換能力等化學性質。其中取台灣本島的 16078 筆土系資料，計算出土壤容積比重藉以求得土壤有機碳，若遇相同土系的調查資料，則以其計算之土壤容積比重平均值當成其土系的土壤容積比重。土系(soil series)為土壤由同一母質且由相同成土因子

組合發育而成，其化育層之排列與一般性質極相似，惟 A 層之質地可能有差異。所以一個土系必具有其獨特之型態與性質，在一個土類之內形成一個獨立單位，為低級類目中一個極具重要性的類目。土系之命名通常以該土系發現或分布甚廣的地名名之。如城市、鄉鎮、村莊、河流、山脈等名稱，例如：烏山系、多納系、禮觀系。

二、土壤容積比重與土壤有機碳：

測定土壤容積比重一般採用土管法，耗時費力，故由實驗室替代方案所發展出的模式，來估算容積比重。

本次以 Tomasella and Hodnett (1998) 以 613 個土壤迴歸求得

$Db = 1.578 - 0.054(\%OC) - 0.006(\%Silt) - 0.004(\%Clay)$ 當成本次求容積比重之迴歸式，

三、將全台 16078 筆土系資料所求之土壤有機碳，用 GIS 其中之克利金法空間內差，推估全台及玉山國家公園之土壤有機碳含量。

地理統計法(Geostatistics)等，其中最常被運用與廣為接受之空間推估方法當屬「克利金法(Kriging)」地理統計學之精神在於「在空間中鄰近的資料通常比相離較遠的資料具有較高的相似性或相關性」之觀察。

克利金(Kriging)法乃是利用已知點 x_i 與推估點 x_0 之空間相關性來決定目標變數($Z(x)$)的權重係數 λ_{0i} ，據以推估未知點 x_0 之推估值 $Z(x_0)$ ，這一推估數值具有最佳線性不偏估計(Best Linear Unbiased Estimate)之特性，並存在著所謂本質假設(intrinsic hypothesis)，即空間中任兩個位置之隨機變數 Z_x 與 Z_{x+h} 之變異數只與兩點之相對距離(h)有關：

$$E[Z(x) - Z(x+h)] = m(h)$$

$$Var[Z(x) - Z(x+h)] = 2\gamma(h)$$

其中， $E[.]$ 是期望值， $\gamma(h)$ 指 h 之簡單函數式， h 是已知點與推估點的相對距離，

$Var[.]$ 則是變異數。在此一假設中，定義出一個新的函數 $\gamma(h)$ ，稱之半變異元(semi-variance)。

參、數據分析

本研究用 spss 第 10 版及 EXCEL2003 版分析數據，以及 Arcgis 做空間分析。

第 4 章 結果與討論

第一節 土壤樣品物化性質分析

壹、土壤採樣地點

土壤採樣地點及座標如表 4-1 所示。

表 4-1 南橫梅山區代表性土壤樣體之環境條件與特性

Pedon	座 標 (TWD67)	海拔	植被	母岩	坡度	坡向	土壤分類 [†]
天池 P-1	X: 241333	2297 m	草	砂岩、 頁岩	20 %	西北	弱 育 土 (Inceptisols)
	Y: 2575026						
天池 P-2	X: 241391	2285 m	草	砂岩、 頁岩	20 %	東	新 成 土 (Entisols)
	Y: 2574959						
中之 關 P-1	X: 239689	2040 m	天然闊 葉林混 合林	砂岩、 頁岩	30%	東北	弱 育 土 (Inceptisols)
	Y: 2576083						
中之 關 P-2	X: 239591	2050m	人工柳 杉林	砂 岩、頁 岩	25%	東北	弱 育 土 (Inceptisols)
	Y: 2576010						
禮觀 P-1	X: 233865	1390 m	李樹	砂岩、 頁岩	20%	西北	新 成 土 (Entisols)
	Y: 2575876						

一、南橫山地區土壤基本物理化學性質如表 4-2 所示。

表 4-2 南橫梅山區代表性土壤樣體之基本物理性質

土樣	深度	水分(%)	砂粒	粉粒	黏粒	土壤質地	總體密度 (Mg/m ³)	pH	OC(%)
	O 層								34.0
天池 P1	0-5	6.20	13.1	43.7	43.2	SiC	0.35	4.02	5.24
	5-10	6.26	2.07	49.5	48.4	SiC	0.38	3.81	3.97
	10-30	7.91	7.54	49.1	43.4	SiC	0.57	3.88	5.60
	30-50	7.06	6.17	51.1	42.7	SiC	0.68	4.37	4.39
	>50	5.19	11.5	41.7	46.8	SiC	0.47	4.38	2.98
	O 層								14.9
天池 P2	0-5	6.18	16.9	46.9	36.2	SiCL	0.20	3.90	9.56
	5-10	6.99	22.4	39.2	38.4	CL	0.22	3.93	10.3
	10-30	15.5	24.2	47.8	28.0	CL	0.43	4.27	6.02
	30-50	5.79	29.0	29.5	41.5	C	0.59	4.17	4.60
	>50	10.2	34.2	25.7	40.0	C	1.05	4.51	4.46
	O 層	10.3	57.0	13.3	29.7	SCL		3.55	27.6
中之關 P1	0-5	10.1	54.1	21.3	24.6	SCL	0.26	3.77	21.6
	5-10	7.58	53.8	25.1	21.1	SCL	0.33	3.58	15.9
	10-30	4.60	22.6	31.7	45.6	C	0.62	4.03	3.83
	30-50	8.93	27.9	42.9	29.2	CL		4.15	5.24
	O 層	27.7						5.41	28.3
中之關 P2	0-5	26.8					0.13	5.10	24.1
	5-10	11.6	50.2	18.2	31.6	SCL	0.29	4.53	23.4
	10-30	6.36	47.1	34.4	18.5	L	0.52	4.36	10.3
	30-50	4.99	45.2	24.1	30.7	CL	0.55	4.39	5.38
禮觀 P1	0-5	4.17	11.4	45.0	43.6	SiC	0.68	4.52	3.90
	5-10	4.43	15.7	45.9	38.4	CL	0.66	4.46	3.19
	10-30	3.96	12.9	39.6	47.5	C	0.74	4.50	3.54
	30-50	3.91	14.4	38.9	46.8	C	0.71	4.58	2.34
	>50	2.98	24.4	42.4	33.2	CL	0.76	4.41	0.50

天池草原土壤以粉質粘土及粘土居多。中之關的土壤以砂質粘壤土及粘質壤土居多。禮觀地區以粘質壤土及粘土居多。

土壤發育過程有鬆化作用(loosening)，因物理、化學及生物性的作用，土壤逐漸鬆解，許多成份因淋溶而喪失，以及其他理化作用，土壤容積因而改變。

整體而言，愈接近地表，總體密度愈小。

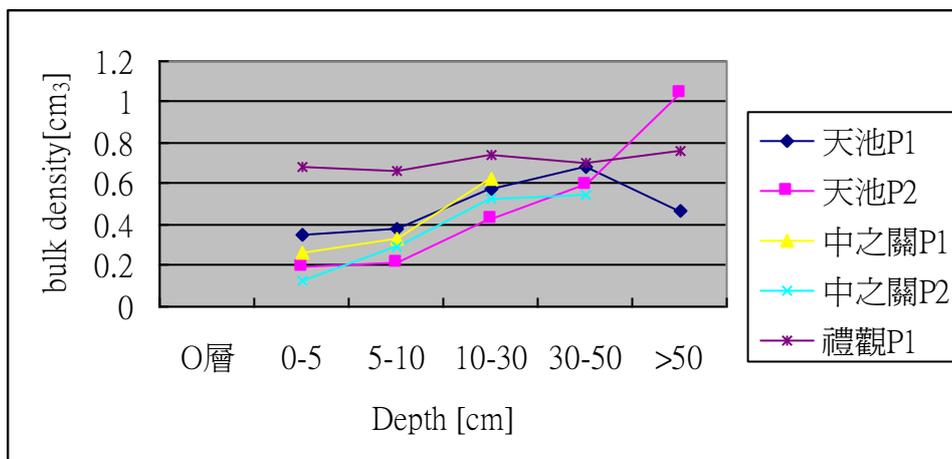


圖 4-1 總體密度隨深度變化圖

二、土壤 pH 值

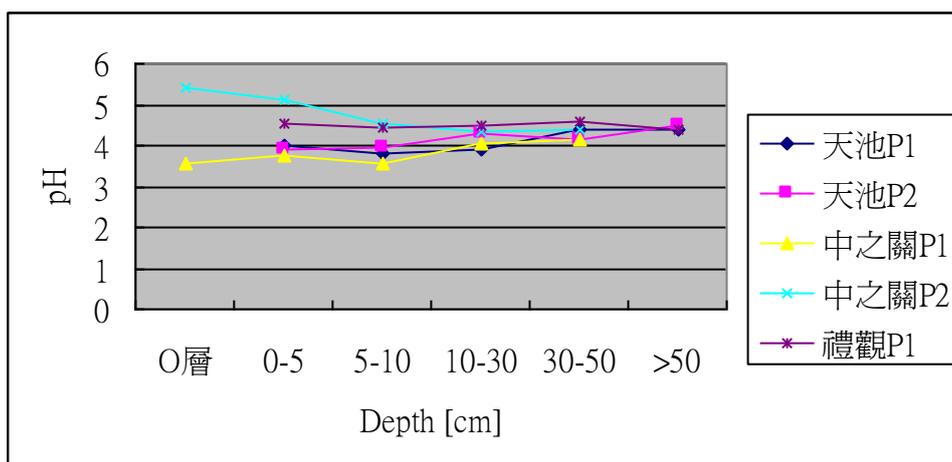


圖 7 圖 4-2.土壤 pH 隨深度變化圖

本研究區域氣候潮濕且降雨強烈，淋洗作用強烈，而土壤表面的有機質覆蓋其上，故土壤呈酸性反應，土壤深度間 pH 值變化差異不大。

三、土壤鐵鋁錳

採樣土壤的鐵鋁錳的情形如表 4-3 所示。

表 4-3 土壤鐵鋁錳含量表

土樣	深度 (cm)	無定形態			游離態		
		Fe(g/kg)	Al(g/kg)	Mn(mg/kg)	Fe(g/kg)	Al(g/kg)	Mn(mg/kg)
天池 P1	O 層	2.70	2.36	ND	6.02	1.55	6.00
	0-5	7.40	5.19	13.5	19.3	7.26	41.8
	5-10	8.20	5.55	ND	24.4	6.60	24.2
	10-30	12.1	7.00	16.0	22.3	8.32	45.6
	30-50	9.95	5.43	ND	21.1	5.96	25.8
	>50	8.85	5.30	ND	22.7	6.14	18.4
天池 P2	O 層	4.40	4.02	113	13.5	4.62	146
	0-5	4.75	5.24	64.5	13.4	5.58	113
	5-10	3.90	4.99	65.0	13.9	6.22	111
	10-30	2.90	4.92	ND	11.1	5.66	25.4
	30-50	2.80	5.21	ND	13.1	6.82	25.0
	>50	12.5	15.2	58.5	20.3	15.8	108
中之關 P1	O 層	4.01	3.31	79.0	6.02	2.86	92.4
	0-5	3.15	3.35	192	8.60	3.94	181
	5-10	5.10	7.66	102	12.9	5.84	137
	10-30	8.80	7.28	238	24.1	9.66	212
	30-50	10.6	8.18	114	17.2	3.78	118
中之關 P2	O 層	0.09	14.1	214	0.53	17.0	64.0
	0-5	0.28	18.4	372	1.40	11.1	688
	5-10	2.10	12.4	392	5.98	6.60	472
	10-30	7.15	6.04	133	16.0	3.94	134
	30-50	9.15	7.86	141	17.7	6.70	158
禮觀 P1	0-5	4.65	3.85	292	11.7	2.74	354
	5-10	4.90	4.11	296	13.5	3.18	378
	10-30	4.65	3.90	312	11.9	2.96	382
	30-50	3.85	3.21	331	12.7	2.32	584
	>50	3.25	2.91	428	16.9	2.84	558

ND<0.5ppm

表 4-4.土壤鐵活性指標表

土樣		$(\text{FE}_D - \text{FE}_O)/\text{FE}_D$	$(\text{FE}_O)/\text{FE}_D$	Mn_d/Fe_d	$\text{Al}_{o+1}/2\text{Fe}_o$
天池 P1	O 層	0.55	0.45	1.00	0.64
	0-5	0.62	0.38	2.17	1.15
	5-10	0.66	0.34	0.99	1.43
	10-30	0.46	0.54	2.04	1.71
	30-50	0.53	0.47	1.22	1.44
	>50	0.61	0.39	0.81	1.10
	O 層	0.68	0.32	10.78	0.68
天池 P2	0-5	0.65	0.35	8.38	0.67
	5-10	0.72	0.28	8.01	0.54
	10-30	0.74	0.26	2.28	0.43
	30-50	0.79	0.21	1.91	0.91
	>50	0.38	0.62	5.34	1.45
	O 層	0.33	0.67	15.35	0.56
	0-5	0.63	0.37	21.07	0.57
中之關 P1	5-10	0.60	0.40	10.64	0.95
	10-30	0.63	0.37	8.81	1.41
	30-50	0.39	0.61	6.84	1.06
	O 層	0.83	0.17	119.85	0.02
	0-5	0.80	0.20	491.43	0.13
中之關 P2	5-10	0.65	0.35	78.93	0.57
	10-30	0.55	0.45	8.39	1.17
	30-50	0.48	0.52	8.91	1.15
	0-5	0.60	0.40	30.20	0.71
禮觀 P1	5-10	0.64	0.36	27.96	0.72
	10-30	0.61	0.39	32.10	0.66
	30-50	0.70	0.30	45.84	0.55
	>50	0.81	0.19	33.02	0.33

The active ratio (Fe_o/Fe_d) and $(\text{FE}_D - \text{FE}_O)/\text{FE}_D$ are considered common and effective indices to evaluate soil development.

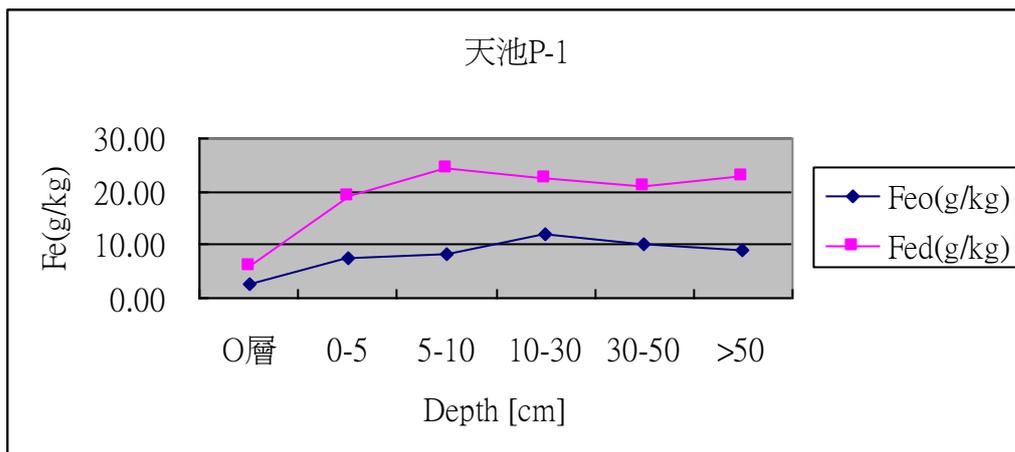


圖 4-3 天池 P1 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖

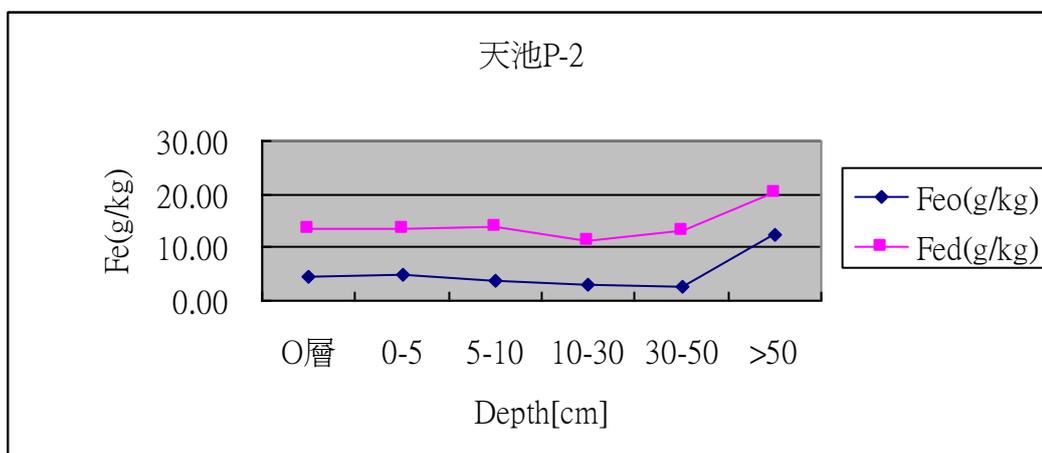


圖 4-4 天池 P2 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖

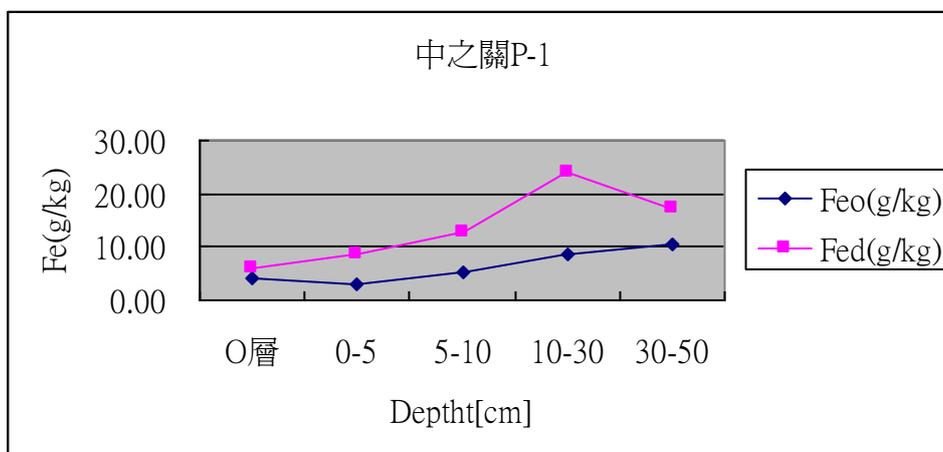


圖 4-5 中之關 P1 無定形鐵與游離鐵隨深度變化圖

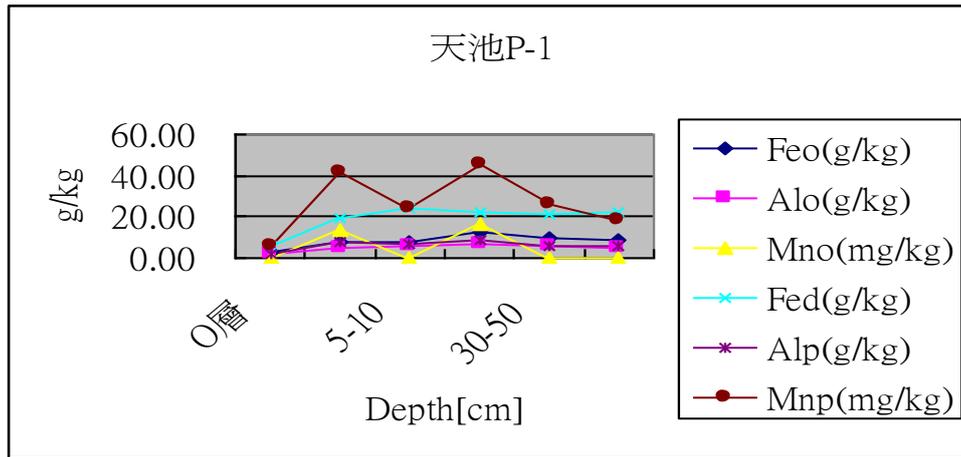


圖 4-6.無定形金屬與游離金屬隨深度變化圖

無定形鐵與游離鐵隨皆隨深度而有升高趨勢。

比較森林與草原活性與化育程度，結晶指標高，化育程度高。

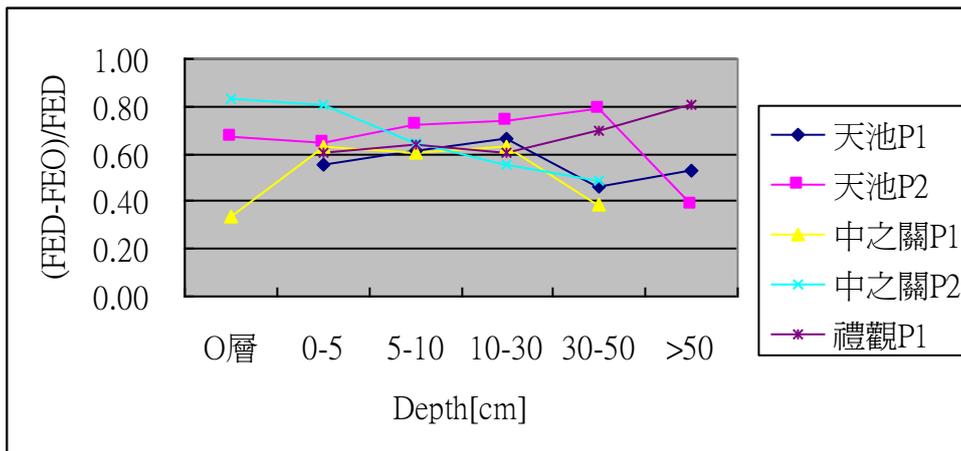


圖 4-7 $(FE_D - FE_O)/FE_D$ 隨深度變化圖

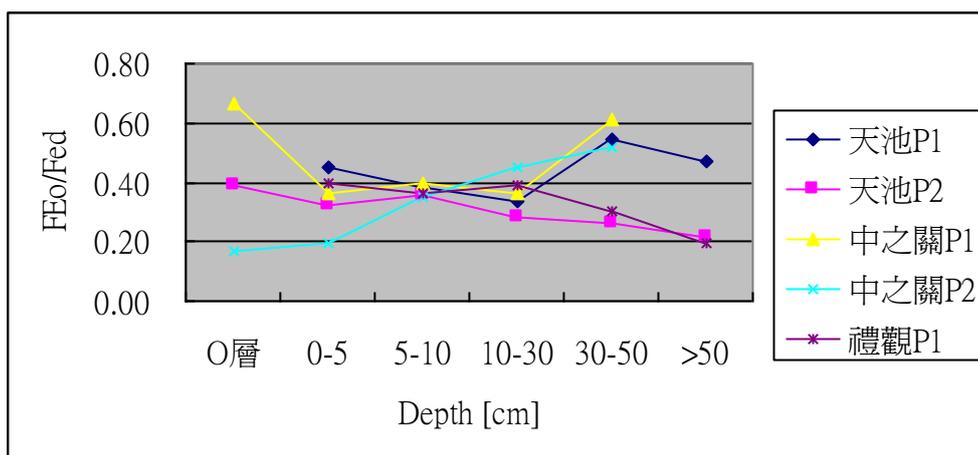


圖 4-8 (FE_O)/FE_D 隨深度變化圖

四、陽離子交換容量、交換性鹽基含量與鹽基飽和度

有關陽離子交換容量、交換性鹽基含量與鹽基飽和度如表 4-5 所示。

表 4-5. 陽離子交換容量、交換性鹽基含量與鹽基飽和度表

土樣	深度	CEC	K	Na	Ca	Mg	sum cation	BS(%)
cmol/kg								
	O 層							
天池 P1	0-5	20.0	0.74	0.74	0.00	0.15	1.63	8.15
	5-10	22.0	0.68	0.57	0.00	0.13	1.37	6.26
	10-30	22.8	0.60	0.52	0.00	0.13	1.25	5.49
	30-50	19.1	0.76	1.70	0.00	0.13	2.58	13.53
	>50	23.2	0.53	2.02	0.00	0.12	2.67	11.49
	O 層							
天池 P2	0-5	23.7	0.97	0.91	0.21	0.42	2.51	10.60
	5-10	23.1	1.00	1.30	0.35	0.40	3.05	13.19
	10-30	14.8	0.54	0.30	0.29	0.14	1.27	8.56
	30-50	15.5	0.58	0.43	0.16	0.17	1.33	8.58
	>50	12.5	0.49	0.67	0.08	0.08	1.32	10.49
	O 層							
中之關 P1	0-5	26.4	0.82	0.91	1.08	0.39	3.20	12.13
	5-10	26.3	1.08	1.83	0.50	0.38	3.78	14.39
	10-30	12.0	0.65	1.46	0.00	0.11	2.22	18.54
	30-50	15.4	0.60	0.30	0.00	0.13	1.04	6.71
中之關 P2	O 層							

	0-5	13.3	0.38	0.59	1.00	0.12	2.09	15.70
	5-10	34.1	1.14	0.98	7.50	1.67	11.29	33.09
	10-30	19.9	0.74	0.80	2.35	0.35	4.25	21.40
	30-50	13.9	0.67	0.70	2.38	0.27	4.00	28.91
	0-5	16.2	1.95	0.41	5.63	1.63	9.61	59.51
	5-10	14.4	1.28	0.50	3.83	0.75	6.36	44.15
禮觀 P1	10-30	25.1	0.77	1.43	3.53	0.92	6.65	26.44
	30-50	9.80	0.62	0.39	2.50	1.13	4.64	47.31
	>50	6.24	0.54	0.20	0.73	0.19	1.65	26.42

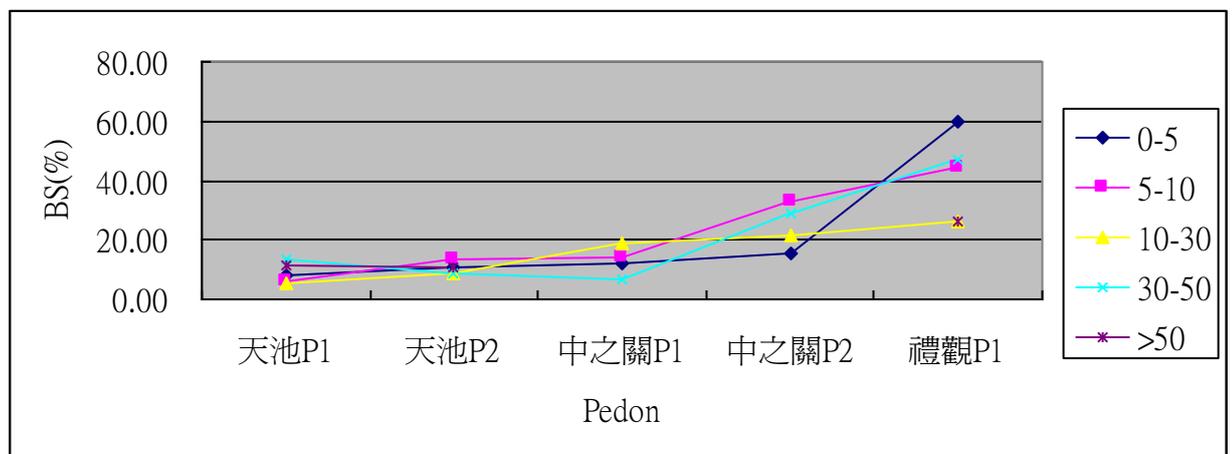


圖 4-9 BS%隨深度變化圖

鹽基飽和度 $BS(\%) = [(可交換性\ K+Ca+Na+Mg)/CEC] \times 100$

天池草原土壤由於強酸淋洗作用，其鹽基飽和度小於 15%，屬於強烈淋洗之土壤。

禮觀的鹽基飽和度較高，禮觀的鹽基飽和度較高，因該地區為施肥之人工果園。土壤肥力隨鹽基飽和度增加而增高。土壤肥力隨鹽基飽和度增加而增高。

天池草原之交換性陽離子以 K 與 Na 為主，而交換性鈣離子幾全被洗出。

五、土壤有機碳濃度

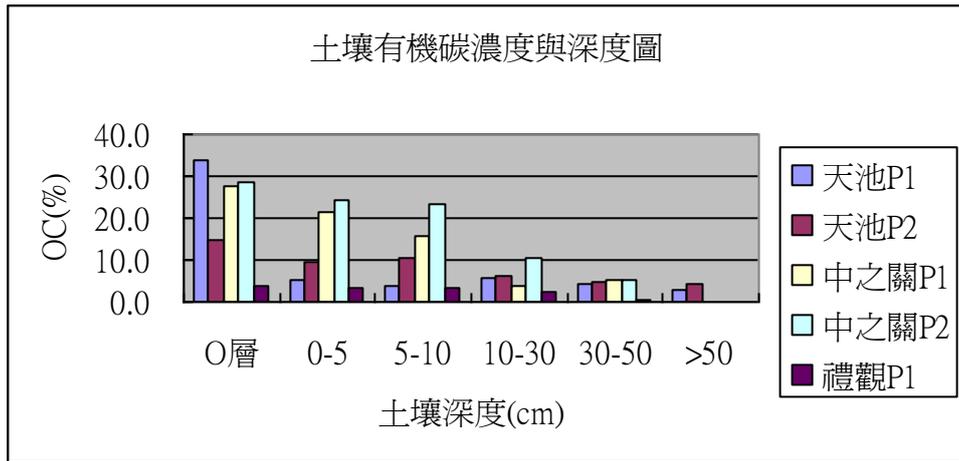


圖 4-10 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖

中之關的 O 層與 0-5cm 的表層有機碳濃度較高，天池 P1 樣本的 O 層有機碳濃度高達 34%，而天池 P2 達 14.9%，差異很大。

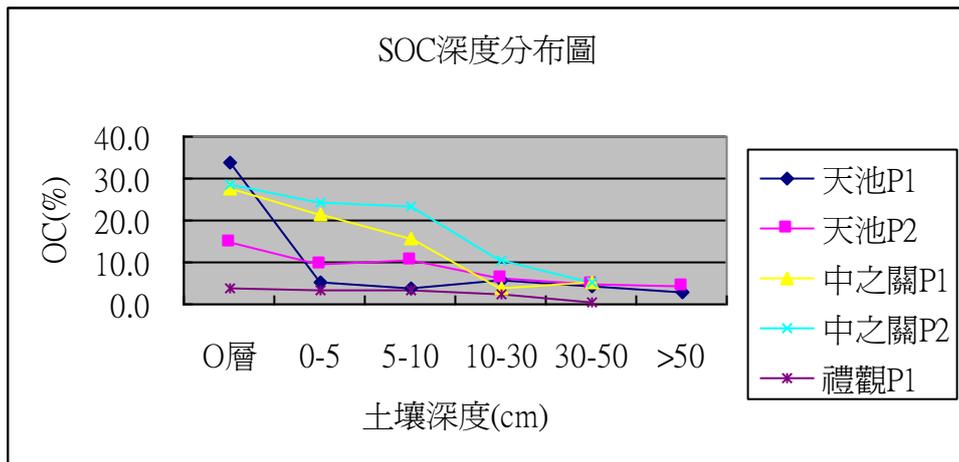


圖 4-11 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖

天池草原地及中之關闊葉林皆以 0-10cm 的有機碳濃度高，表層土壤的有機質不易淋洗至下層土壤。

禮關為一人工桃李樹，有機碳深度變化不大。應為農地果樹經營方式，對於枯枝落葉等物質皆有整理，故有機碳不會累積於土壤表面。而其他地區擾動較少，有機質可累積於土壤表面，再經雨水淋洗擴散到土壤 0-10cm。

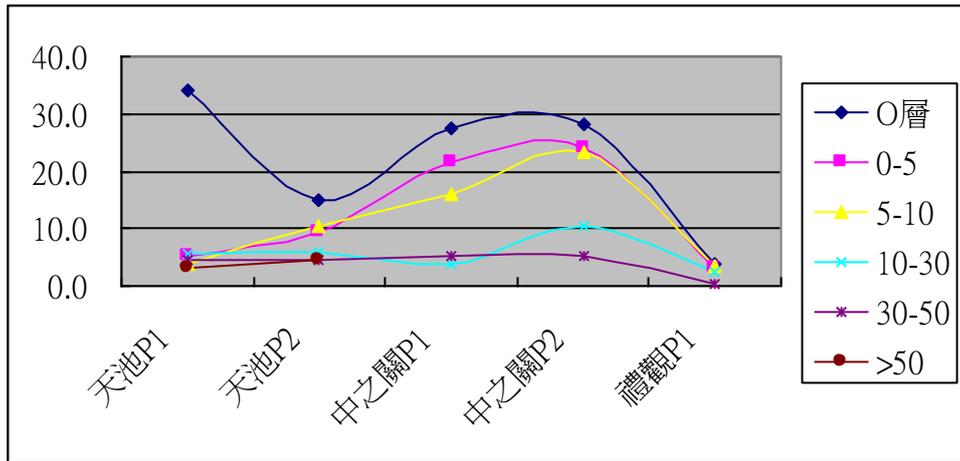


圖 4-12 不同土壤樣本深度與有機碳濃度變化圖

中之關闊葉林的土壤有機碳含量隨深度而有變化，表層有機碳含量高，底層含量少，而禮觀屬於人工果園，土壤有機碳含量隨深度而變化小。

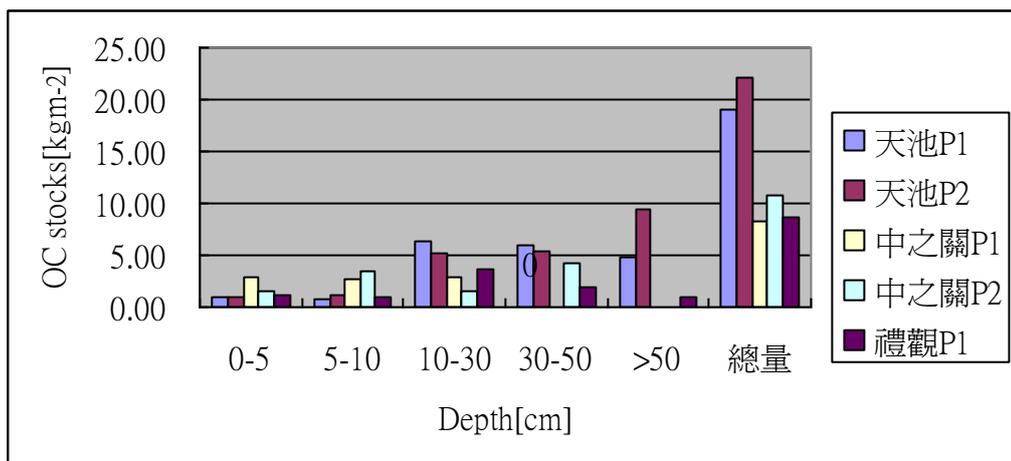


圖 4-13 不同土壤樣本深度與有機碳儲量圖

天池草原的有機碳含量高，因為該地區為草原，且是否曾受火災影響以致有機碳含量增加，尚需進一步研究。

而中之關地區因土壤深度不足，30 公分以下為岩石，致土壤有機碳含量不如其他地區，但 0-10 公分土壤有機碳含量較高。

表 4-6 不同深度土壤有機碳儲量表

深度	0-5cm	5-10 cm	10-30 cm	30-50 cm	50-100 cm	總量	面積(m ²)	Carbon
								stocks(ton)
天池 P1	0.92	0.76	6.43	6.01	4.88	19.00	456,576	9368.94
天池 P2	0.95	1.12	5.18	5.45	9.34	22.04		
中之關 P1	2.83	2.63	2.85	-	-	8.31	7000	66.68
中之關 P2	1.58	3.40	1.61	4.15	-	10.74		
禮觀 P1	1.20	0.95	3.65	1.98	0.94	8.72		
平均[kgm ⁻²]	1.49	1.77	3.95	3.52	3.03	13.76		

註 - 表示土壤深度不足，挖掘深度已至岩石，故無有機碳成份。

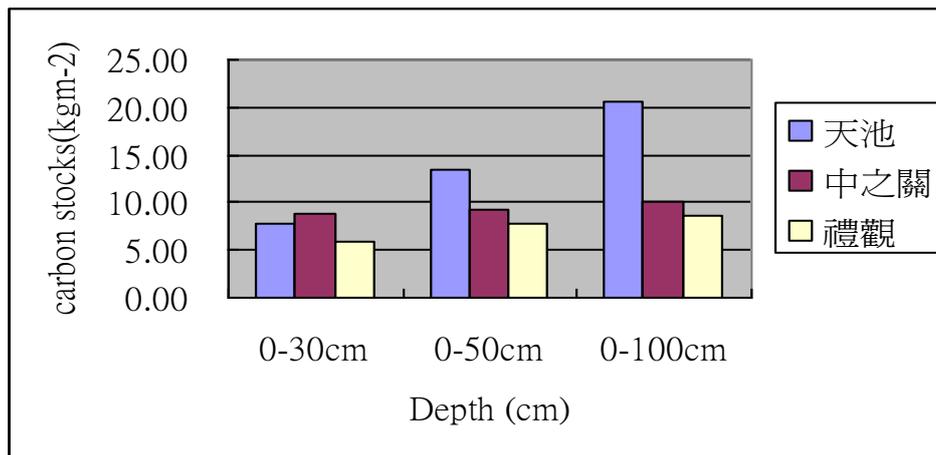


圖 4-14 不同土壤樣本深度與有機碳儲量累積圖

將三種不同生育地計算有機碳量，以天池草原單位面積有機碳最高，中之關森林因土層只至 50 公分厚，單位面積有機碳量其次，而人工果園禮觀最低。

表 4-7 梅山地區代表性土壤樣體之土壤碳含量在不同土層中之分布

Pedon	C (kg/m ²)			Ratio A	Ratio B
	Soil layer (cm)	Soil layer (cm)	Soil layer (cm)		
	0-30cm	0-50cm	0-100cm		
天池 P1	8.11	14.12	19.00	0.43	0.74
天池 P2	7.25	12.70	22.04	0.33	0.58
中之關 P1	8.31	8.31	8.31	1.00	1.00
中之關 P2	6.59	10.74	10.74	0.61	1.00
禮觀 P1	5.80	7.78	8.72	0.67	0.89

†: A stand for the ratio of the soil organic carbon stock of 0-30cm divided by that in the 0-100cm zone, and B stand for the ratio of the soil organic carbon stock of 0-50cm divided by that in the 0-100cm zone.

大部份的有機碳存在於 0-50cm 深度土壤中。而中之關的土壤深度不足，故中之關 P1 的 Ratio A 及 Ratio B 為 1。

表 4-8 梅山地區代表性土壤樣體之土壤碳含量有機碳濃度迴歸式

變異數分析(c)						
模式	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	
1	迴歸	273.009	1	273.009	11.313	.003(a)
	殘差	482.644	20	24.132		
	總和	755.653	21			
2	迴歸	395.999	2	197.999	10.460	.001(b)
	殘差	359.654	19	18.929		
	總和	755.653	21			
a 預測變數：(常數), 粘粒						
b 預測變數：(常數), 粘粒, 土壤深度						
c 依變數\：OC						

模式摘要				
模式	R	R 平方	調過後的 R 平方	估計的標準誤
1	.719(a)	.516	.468	5.2907
a 預測變數：(常數), 土壤深度, 粘粒				

變異數分析(b)						
模式		平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
1	迴歸	597.724	2	298.862	10.677	.001(a)
	殘差	559.835	20	27.992		
	總和	1157.560	22			
a 預測變數：(常數), 土壤深度, 粘粒						
b 依變數\：OC						

係數(a)						
模式		未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
		B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
1	(常數)	26.548	4.846		5.479	.000
	粘粒	-.413	.130	-.504	-3.187	.005
	土壤深度	-9.853E-02	.036	-.428	-2.704	.014
a 依變數\：OC						

將土壤有機碳濃度與逐步迴歸分析法，將土壤深度、BS(%)、粘粒、pH 等數值用逐步迴歸。取得土壤有機碳濃度與土壤深度及粘粒的相關係數較高。R² 為 0.516，p=0.001<0.05，達顯著水準。

取迴歸式為 $OC\% = 26.548 - 0.413 \times \text{粘粒} - 9.853 \times 10^{-2} \times \text{土壤深度}$

若用 ANOVA 方法分析土壤深度與 OC%、pH、(FED-FEO)/FED、(FEO)/FED 等分析，土壤深度與 OC% 關係顯著，其其餘因子關係不顯著。

第二節 台灣本島及玉山國家公園土壤有機量估算

本次將全台 16078 筆土系資料所求之土壤有機碳，利用 GIS 內克利金法推估台灣及玉山國家公園的土壤有機碳含量，其結果如下表圖，圖 4-16 至 4-24 將土壤有機碳含量分為 5-6 級，以標準差分級。而由表 4-10 可知，玉山國家公園面積含全台面積比例約為 0.0293，而土壤碳含量與全台相比略高，約為 0.0340。

本次利用土系推估土壤有機碳含量，台灣地區總土壤有機碳庫約為 562Tg。

0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 318 Tg、427Tg、551Tg。

比黃琨源(2009)及 Chen and Hseu(1997)推估量為大，且利用 GIS 可求得碳含量在台灣本島的分布情形。

陸、本研究推估玉山國家公園內總土壤有機碳庫約為 19.19Tg。0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 10.34 Tg、14.49 Tg、19.15Tg。玉山國家公園面積含全台面積比例約為 0.0293，而土壤碳含量與全台相比略高，約為 0.0340。

由圖 4-16 台灣全島土壤有機碳儲量圖可看出，全台以中央山脈的土壤有機碳儲存量(18.29-45.92kg/m²)高於其他地區(3.14-18.28kg/m²)。圖 4-17 台灣全島 0-30cm 土壤有機碳儲量圖可看出，全台中央山脈及東部的土壤有機碳儲存量(7.59-18.65kg/m²)高於西部地區(2.55-7.58kg/m²)。

由圖 4-21 玉山國家公園土壤有機碳儲量圖可看出，可看出玉山國家公園園區鹿林山、庫哈諾辛山至鐵本山等(高度 2000 公尺以上)的西北園區及南橫園區，土壤有機碳儲存量(18.29-45.92kg/m²)高於東部園區新康山至玉里山地區(高度 1600 公尺至 400 公尺)的土壤有機碳含量(20.27-35.3kg/m²)。在玉山國家公園園區，中央山脈西部份的土壤有機碳含量高於東部。

表 4-9.台灣本島土壤碳含量推估

	總量(土壤全深度 有機碳含量)	C (kg/m ²)		
		Soil layer (cm)		Soil layer (cm)
		0-30cm	0-50cm	0-100cm
MIN	3.14	1.92	2.42	3.14
MAX	45.92	18.65	30.22	40.66
MEAN	15.64	8.84	11.88	15.33
STD DEV	5.34	2.51	3.82	5.06
AREA(m2)	35931900966	35931900966	35931900966	35931900966
總含碳量(Kg)	561974931108	317638004539	426870983476	550836041809
總含碳量(Tg)	561.97	317.64	426.87	550.84

表 4-10.玉山國家公園土壤碳含量推估

	總量(土壤全深度 有機碳含量)	C (kg/m ²)		
		Soil layer (cm)		Soil layer (cm)
		0-30cm	0-50cm	0-100cm
MIN	8.92	6.66	8.67	8.92
MAX	35.30	15.12	56.03	30.59
MEAN	18.22	9.82	13.76	18.18
STD DEV	4.10	1.44	3.25	3.77
AREA(m2)	1053263000	1053263000	1053263000	1053263000
總含碳量(KG)	19190451860	10343042660	14492898880	19148321340
總含碳量(Tg)	19.19	10.34	14.49	19.15
面積比例(玉管 處/全台)	0.0293	0.0293	0.0293	0.0293
含碳量比例(玉 管處/全台)	0.0341	0.0326	0.0340	0.0348

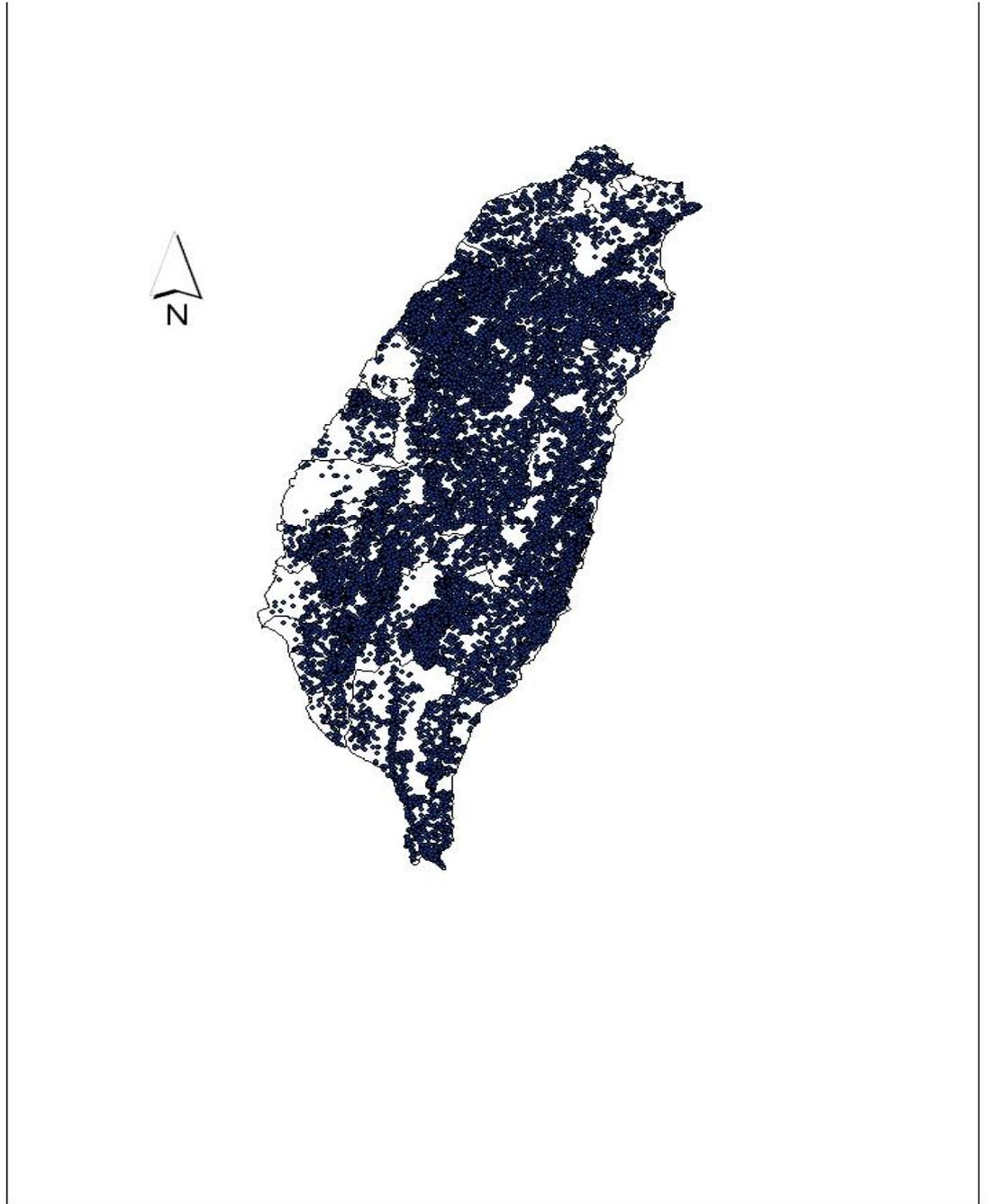


圖 4-15 台灣全島土壤有機碳含量估算點

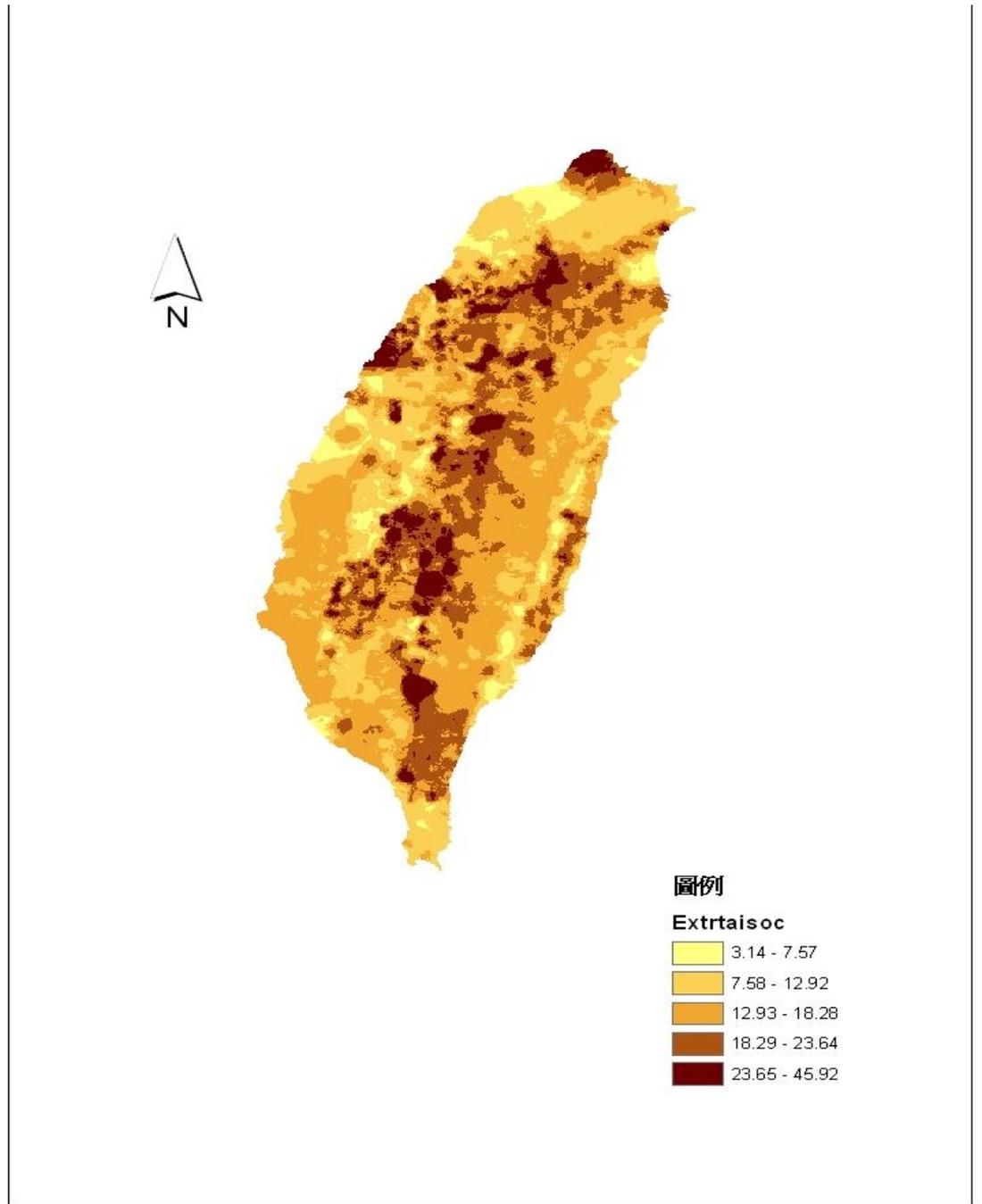


圖 4-16 台灣全島土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

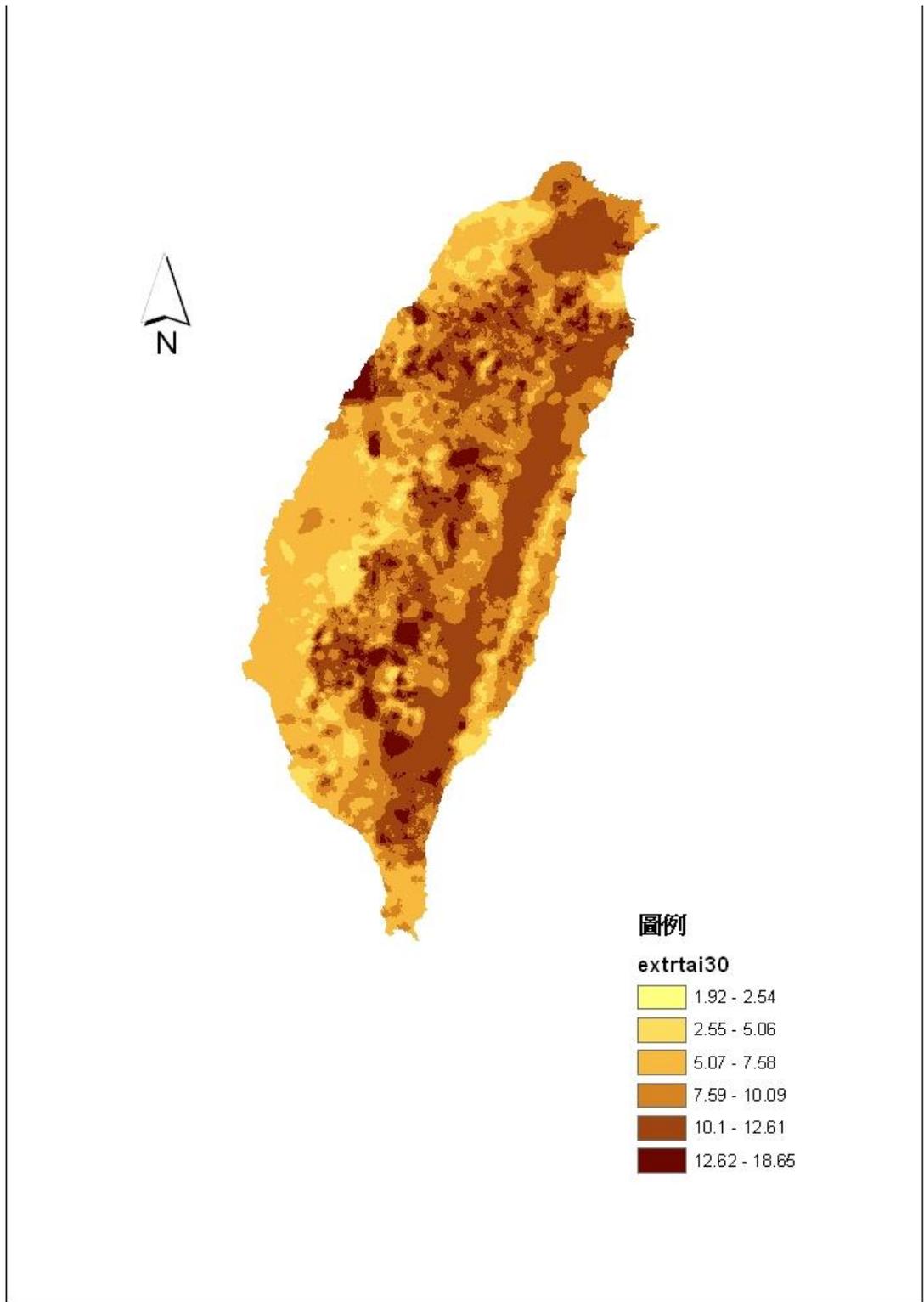


圖 4-17 台灣全島 0-30cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

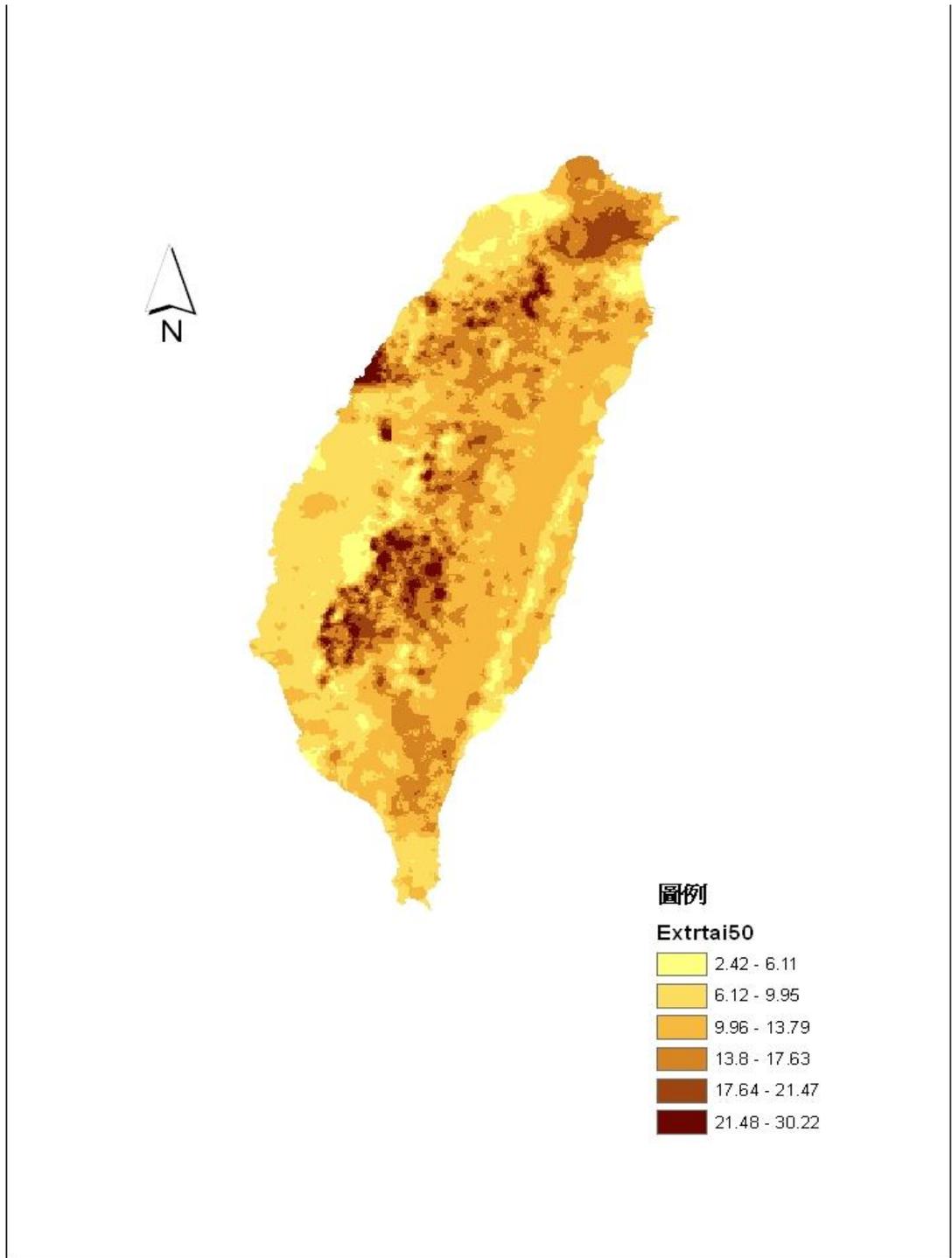


圖 4-18 台灣全島 0-50cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

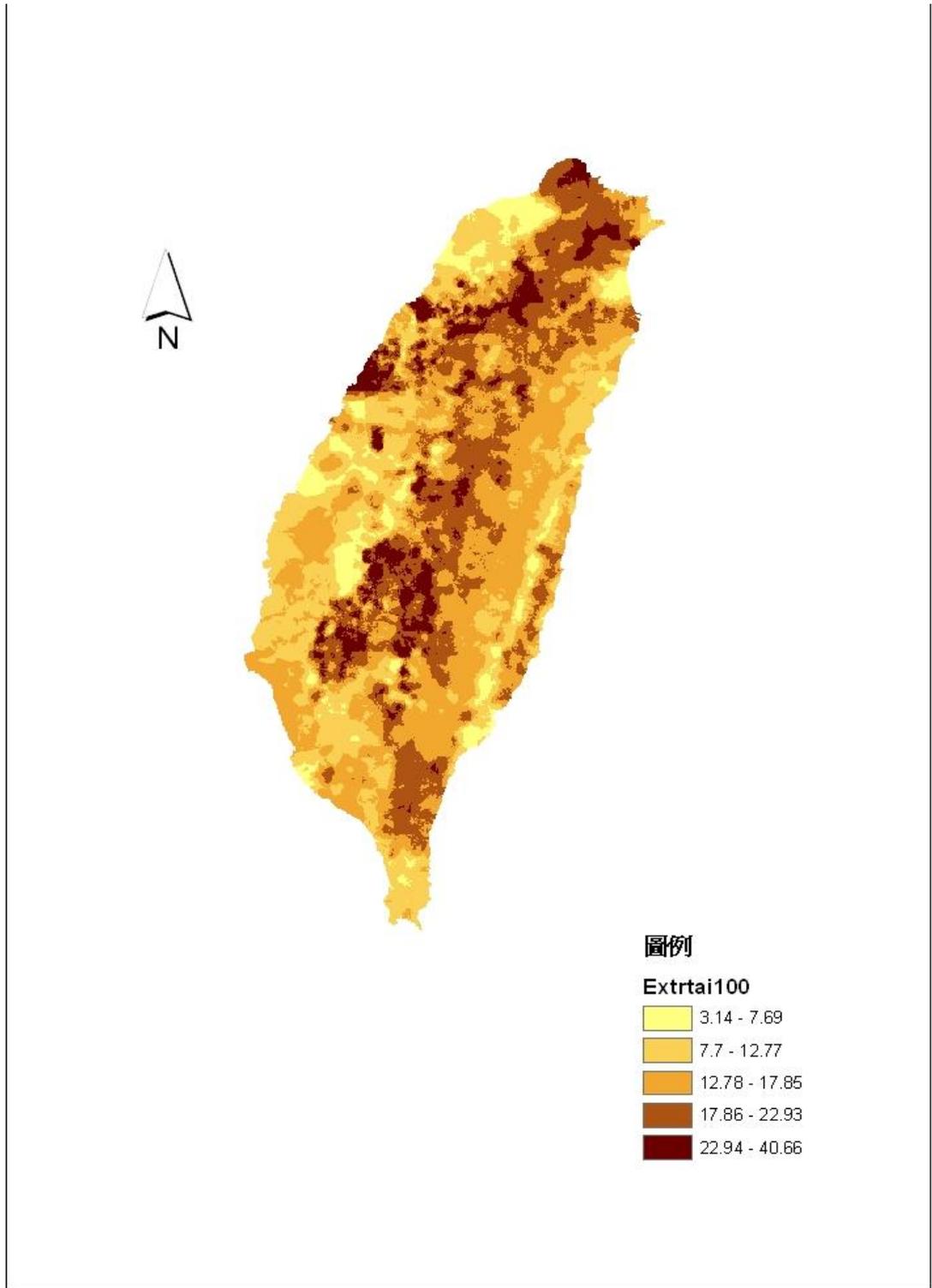


圖 4-19 台灣全島 0-100cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

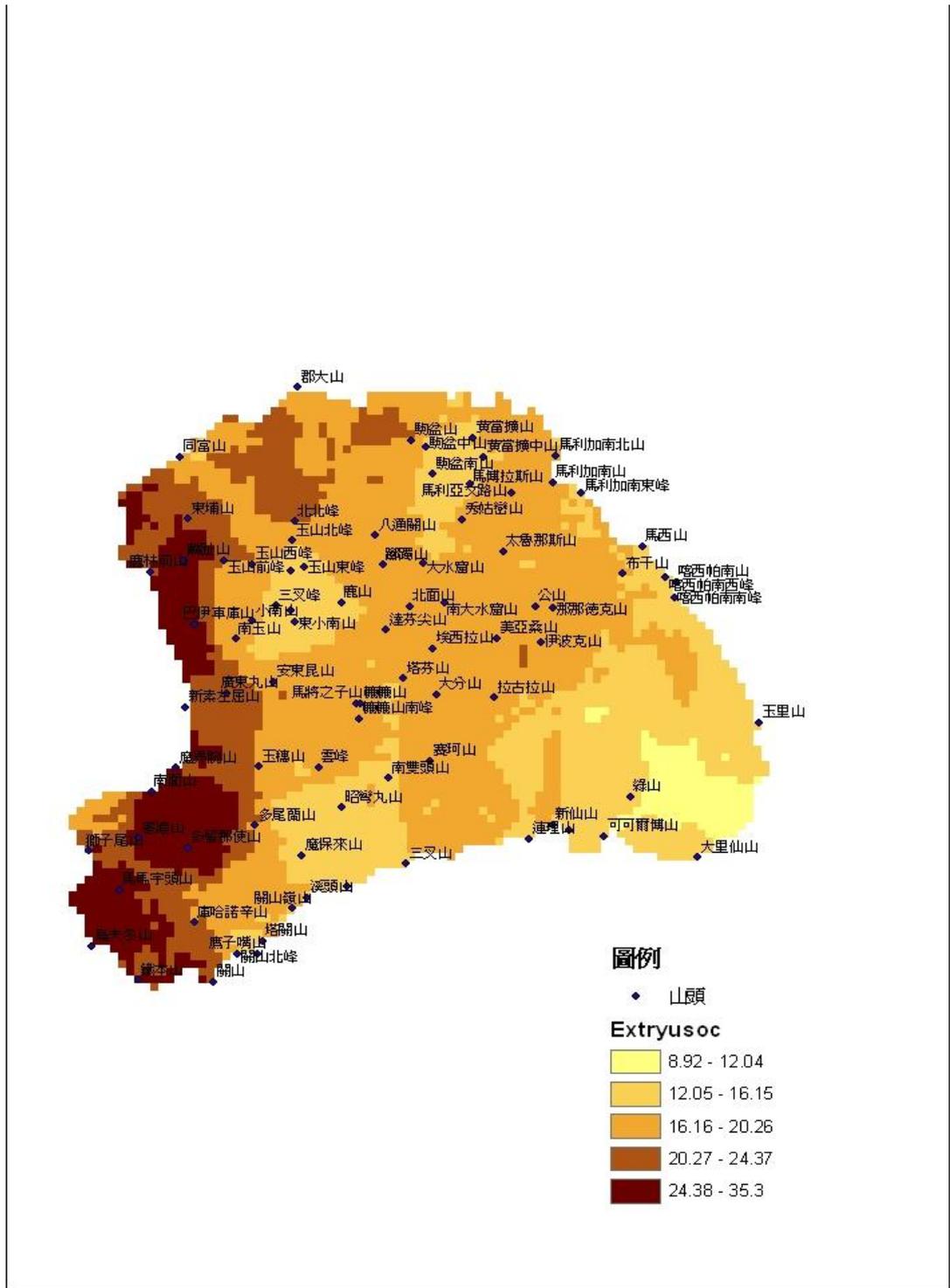


圖 4-21 玉山國家公園土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

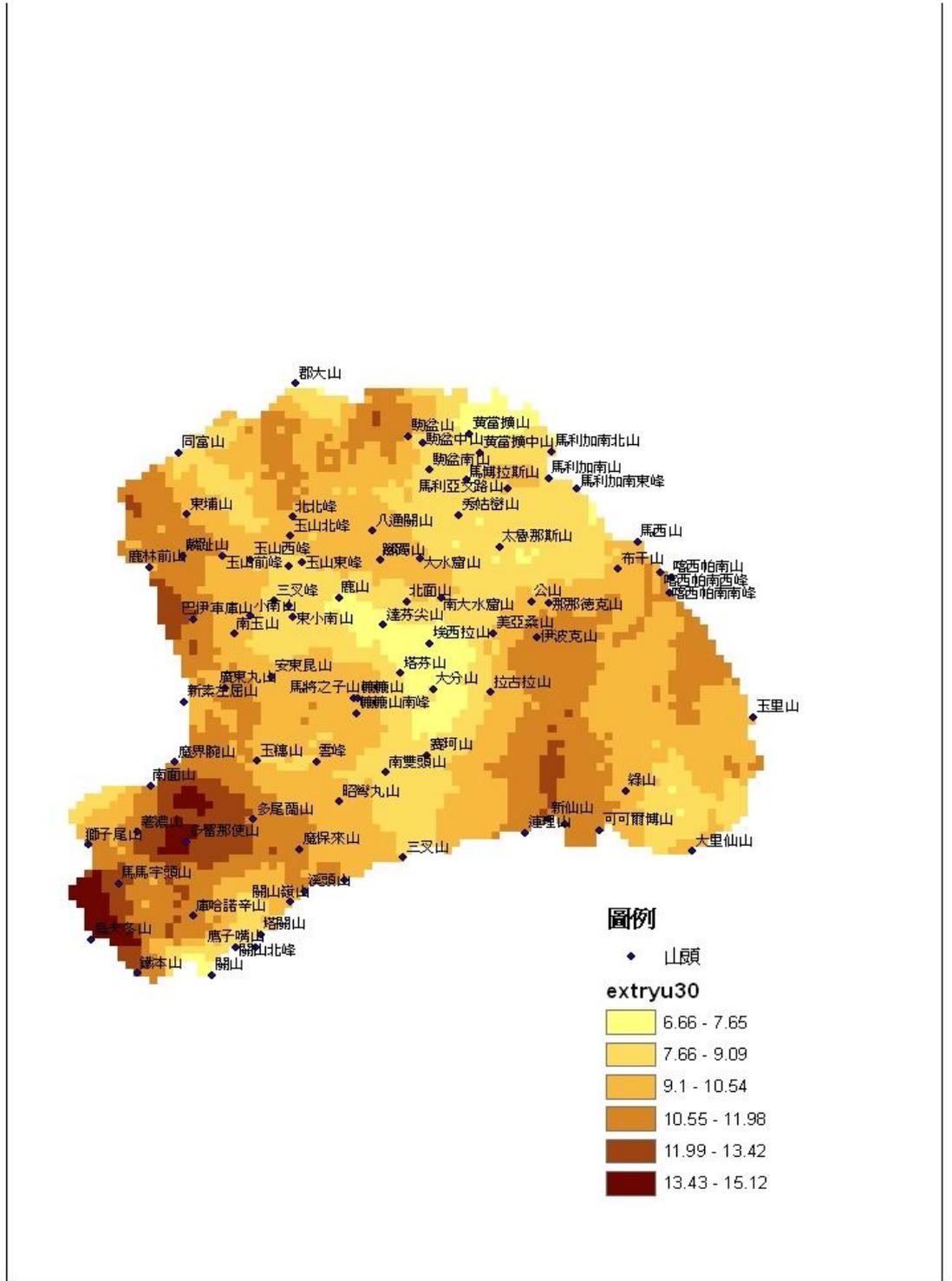


圖 4-22 玉山國家公園 0-30cm 土壤有機碳儲量圖(單位 kg/m^2)

第五章 結論與建議

第一節 結論

壹、將三種不同生育地計算有機碳量，以天池草原單位面積有機碳最高，中之關森林因土層只至 50 公分厚，單位面積有機碳量其次，而人工果園禮觀最低。

貳、南橫地區的土壤以新成土及弱育土居多。

參、土壤有機碳濃度與土壤深度及粘粒的相關係數較高。與 BS(%)、pH 較無相關。

肆、天池草原土壤由於強酸淋洗作用，其鹽基飽和度小於 15%，屬於強烈淋洗之土壤。而禮觀地區為果園，因施肥作用，其鹽基飽和度較高。

伍、本次利用土系推估土壤有機碳含量，台灣地區總土壤有機碳庫約為 562Tg。

0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 318 Tg、427Tg、551Tg

陸、本研究推估玉山國家公園內總土壤有機碳庫約為 19.19Tg。

0-30 公分、0-50 公分及 0-100 公分深度有機碳儲存量分別為 10.34 Tg、14.49 Tg、19.15Tg。玉山國家公園面積含全台面積比例約為 0.0293，而土壤碳含量與全台相比略高，約為 0.0340。

柒、玉山國家公園園區鹿林山、庫哈諾辛山至鐵本山等(高度 2000 公尺以上)的西北園區及南橫園區，土壤有機碳儲存量(18.29-45.92kg/m²)高於東部園區新康山至玉里山地區(高度 1600 公尺至 400 公尺)的土壤有機碳含量(20.27-35.3kg/m²)。在玉山國家公園園區，中央山脈西部份的土壤有機碳含量高於東部。

第二節 建議

建議一

本研究針對台灣較為缺乏的土壤碳儲存量問題，提出較為精確的估算，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

□立即可行之建議

主辦機關：行政院農業委員會

行政院農業委員會可針對本研究案之土壤碳之基本估算，另利用林分圖，依土地使用分類，再加上土壤的碳含量，推估地下部及地上部的有機碳含量。

□長期性建議—日後碳排放交易時，提供台灣土壤碳儲存量的基礎資料。

主辦機關：行政院經濟建設委員會

協辦單位：行政院經濟部

京都議定書（Kyoto Protocol）於2005 年生效後，建置與京都機制連結的國內碳排放交易機制，已儼然成為各國為達成減碳之主要手段，而全球排放交易市場是驚人的交易量。而台灣土壤的基本碳儲存量的估算，為碳排放交易之基礎，本研究為目前較為精確估算台灣土壤碳儲存量的報告。

謝誌

感謝國立屏東科技大學許正一教授、簡士濠助理教授指導，以及鄭紹良、陳念祖、謝煜勝等同學協助調查實驗。玉山國家公園管理處長官經費支持及宋振榮主任及邦卡兒課長支持

附錄一 土壤調查資料

Describe Date: 2011/2/09

Pedon: 天池 **Pedon-1**

Classification: Inceptisols

Vegetation: Grass and bamboo

Parent material: Sandstone and shale

Coordinates: 241333 ; 2575026

Elevation: 2297 m

Slope: 20%

Aspect: Western North

Physiographic position: Summit

Drainage: Well

Diagnostic horizon: Cambic horizon

Diagnostic characteristic: Cambic horizon

Sampled by: S. H. Jien, C. P. Ho, S.L. Cheng, N.C. Chen and Y.S. Hsieh

Described by: S. H. Jien

- Oe +3-0 cm, 10YR 2/1.
- A 0-20 cm, 10YR 2/1; moderate very fine and fine granular; friable; slightly sticky and slightly plastic; many medium and fine roots; clear smooth boundary.
- Bw 20-45 cm, 10YR 4/6; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; many medium and fine roots; gradual smooth boundary.
- BC 45-60 cm, 10YR 5/8; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common very fine and fine roots; gradual smooth boundary (with 30% stones).
- C >60 cm

Describe Date: 2011/2/09

Pedon: 天池 **Pedon-2**

Classification: Entisols

Vegetation: Grass

Parent material: Sandstone and shale

Coordinates: 241391 ; 2574959

Elevation: 2285m

Slope: 20%

Aspect: East

Physiographic position: Summit

Drainage: Well

Diagnostic horizon: Cambic horizon

Diagnostic characteristic: Cambic horizon

Sampled by: S. H. Jien, C. P. Ho, S.L. Cheng, N.C. Chen and Y.S. Hsieh

Described by: S. H. Jien

Oe +7-0 cm, 10YR 2/1.

A1 0-20 cm, 10YR 2/1; moderate very fine and fine granular; friable; slightly sticky and slightly plastic; many very fine and fine roots; diffuse boundary.

A2 20-40 cm, 10YR 2/16; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common medium and fine roots; gradual smooth boundary.

BC 40-60 cm, 10YR 5/8; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; few very fine and fine roots (with 60% stones).

Describe Date: 2011/2/09

Pedon: 中之關 **Pedon-1**

Classification: Inceptisols

Vegetation: Deciduous forests

Parent material: Sandstone and shale

Coordinates: 239689 ; 2576083

Elevation: 2040m

Slope: 30%

Aspect: Eastern north

Physiographic position: shoulder

Drainage: Well

Diagnostic horizon: Cambic horizon

Diagnostic characteristic: Cambic horizon

Sampled by: S. H. Jien, C. P. Ho, S.L. Cheng, N.C. Chen and Y.S. Hsieh

Described by: S. H. Jien

Oe +2-0 cm, 10YR 2/1.

A 0-12 cm, 10YR 3/3; moderate very fine and fine granular; friable; slightly sticky and slightly plastic; many medium, very fine and fine roots; gradual smooth boundary.

Bw 12-30 cm, 10YR 4/6; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common medium, very fine and fine roots; gradual smooth boundary (with 40% stones).

BC >30 cm, 10YR 4/6; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common very fine and fine roots (with 60% stones).

Describe Date: 2011/2/09

Pedon: 中之關 **Pedon-2**

Classification: Entisols

Vegetation: Deciduous forests and cryptomeria(柳杉)

Parent material: Sandstone and shale

Coordinates: 239591 ; 2576010

Elevation: 2050m

Slope: 25%

Aspect: Eastern north

Physiographic position: shoulder

Drainage: Well

Diagnostic horizon: -

Diagnostic characteristic: -

Sampled by: S. H. Jien, C. P. Ho, S.L. Cheng, N.C. Chen and Y.S. Hsieh

Described by: S. H. Jien

Oe +3-0 cm, 10YR 2/1.

A1 0-10 cm, 10YR 3/2; moderate very fine and fine granular; friable; slightly sticky and slightly plastic; many medium, very fine and fine roots; gradual smooth boundary.

A2 10-20 cm, 10YR 3/2; weak very fine and fine angular blocky parting to moderate very fine and fine granular ; slightly sticky and slightly plastic; common medium, very fine and fine roots; gradual smooth boundary (with 15% stones).

C 20-35 cm, 10YR 4/6; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common very fine and fine roots (with 70% stones).

Describe Date: 2011/2/09

Pedon: 禮觀 **Pedon-1**

Classification: Entisols

Vegetation: plum tree(李樹)

Parent material: Sandstone and shale

Coordinates: 233865 ; 2575876

Elevation: 1390 m

Slope: 20%

Aspect: Western North

Physiographic position: Summit

Drainage: Well

Diagnostic horizon: -

Diagnostic characteristic: -

Sampled by: S. H. Jien, C. P. Ho, S.L. Cheng, N.C. Chen and Y.S. Hsieh

Described by: S. H. Jien

- A1 0-10 cm, 10YR 3/1; weak very fine and fine angular blocky parting to moderate very fine and fine granular; slightly sticky and slightly plastic; many medium, very fine and fine roots; clear smooth boundary. (with 10% stones).
- A2 10-30 cm, 10YR 3/2; weak very fine and fine angular blocky parting to moderate very fine and fine granular; slightly sticky and slightly plastic; many medium, very fine and fine roots; gradual smooth boundary. (with 30% stones).
- BC1 30-50 cm, 10YR 5/6; moderate very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; common very fine and fine roots; gradual smooth boundary (with 40% stones).
- BC2 50-80 cm, 10YR 5/8; weak very fine and fine angular blocky; slightly sticky and slightly plastic; few very fine and fine roots; gradual (with 50% stones).
- C >80 cm

附錄二 土壤剖面照片



天池 P-1



天池 P-2



中之關 P-1



中之關 P-2



禮觀

參考文獻

- 郭魁士(1990)，土壤學，之宜出版社。P699。
- 萬鑫森譯 (1987) 基礎土壤物理學。茂昌圖書有限公司。
- 玉山國家公園南橫解說手冊(1987)。
- 黃國禎(1995) 土壤物理學實習。
- 黃國禎、鄧秀平(1990)土壤學實習。
- 許重洲(2002)玉山國家公園關山越嶺古道中之關段森林植群之研究。屏東科技大學熱帶農業研究所碩士論文。
- 林國銓、黃菊美、王巧萍、張乃航(2003)六龜台灣杉人工林碳和氮累積和分布。台灣林業科學。19:225-235。
- 張朝婷(2005)台灣地區不同海拔之森林土壤碳及養分庫存的研究。國立台灣大學碩士論文。
- 柯淑惠(2006)台灣檫人工林生物量及碳儲存量之研究。國立中興大學碩士論文。46 頁。
- 王明光(2007)森林土壤化學。華香園出版社。P152。
- 謝宗欣、周盈杉、呂玉萍、張美惠(2008)中之關的植物世界，玉山國家公園管理處出版。12 頁。
- 何正品(2008)，玉山國家公園梅山地區不同生育地土壤間關係之調查，玉山國家公園管理處出版。
- 黃琨源(2009)，臺灣地區不同類型土壤之有機碳儲存量估算。國立屏東科技大學環境工程與科學系研究所碩士論文。
- 行政院農業委員會農業試驗所土壤資料庫系統網站
http://taiwansoil.tari.gov.tw/Web.Net2008/index_1/main1-1.aspx
- Abha Chhabra,S.Palria,V.K.Dadhwal,Soil organic carbon in Indian forest.Forest Ecology and Management 173(2003)187-199.
- Batjes, N. H. 2002. Carbon and nitrogen stocks in the soils of central and Eastern Europe. Soil Use Manage. 18:324–329.
- Bernoux, M., D. Arrouays, C. Cerri, B. Volkoff, and C. Jolivet. 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:743–749

- Bonde, T., B. T. Christensen, and C. C. Cerri (1992) Dynamics of organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in the particle size fractions of forested and cultivated Oxisols. *Soil Biology and Biochemistry* 24:275-277
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2008. p. 495-541. Soil organic matter. In: *The Nature and Properties of Soils*. 14th Ed. Pearson Education, Inc., NJ
- Chen, Z.S. and Z.Y. Hseu (1997) Total organic carbon pool in soils of Taiwan. *Proc. Nat. Sci. Coun. Rep. China part B Life Sci.* 21(3):120-127
- Tsai, C.C. and Z.S. Chen (2002) The estimation of soil carbon in Taiwan forest soils. pp. 53-62 In: K.C. Lin and J.C. Lin (eds.), *Proceedings International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring*, TFRI Extension Series No. 153, Nov., 11-15. Taiwan Forestry Research Institute and Winrock International, Taipei, Taiwan.
- Emerson, W.W. Foster R.C. Oades, J.M. 1986. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In "interactions of soil minerals with natural organics and microbes". Eds. P.M. Huang and M. Schnitzer. p. 521-548. *Soil Sci. Soc. Am. Special Publ.* No. 17.
- Eswaran, H., E. van den Berg, and P. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 192-194
- Giardina, C. P., M. G. Ryan, R. M. Hubbrad, and D. Binkley (2001) Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. *Soil Science Society of America Journal* 65:127
- Homann, P. S., S. M. Remillard, M. E. Harmon, and B. T. Bormann. 2004. Carbon storage in coarse and fine fractions of Pacific Northwest old-growth forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:2023–2030.
- Krogh, L., A. Noergaard, M. Hermanen, M. H. G, T. Balstroem, and H. Breuning-Madsen. 2003. Preliminary estimates of contemporary soil organic carbon stocks in Denmark, using multiple datasets and four scaling-up methods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 96:19–28
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Lal, R. 2001. The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystem to mitigate the greenhouse effect. In: Lal, R. (ed.), *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. Soil Science Society of America Special Publication 57: 137-154.

- Lacelle, B., C. Tamocai, and S. Waltman. 1997. Soil Organic Carbon Map in North America. USDA-NRCS/NSSC, Lincoln, NE.
- Post, W. M., W. R. Emanuel, P. J. Zinke, and A. G. Stangenberger. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298 (8):156–159.
- Samdra Spielvogel, Jörg Prietzel, Karl Auerswald, Ingird Kögel-Knabner, Site-specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest dieback, *Geoderma* 152 (2009) 218-230.
- Shukla, M. K., and R. Lal. 2005. Erosional effects on soil organic carbon stock in a non-farm study on Alfisols in west central Ohio. *Soil Tillage Res.* 81:173–181
- Shaoqiang Wang, Chenghu Zhou, Jiyuan Liu, Hanqin Tian, Kerang Li, Xiaomei Yang. Carbon storage in northeast China as estimated from vegetation and soil inventory, *Environmental Pollution* 116(2002)S157-S165.
- Markus Egli, Giacomo Sartori, Aldo Mirabella, Filippo Favilli, Daniele Giaccari, Evelyne Delbos, Effect of north and south exposure on organic matter in high Alpine soils(2009) *Geoderma* 149 (2009) 124–136.
- McGrath, D., and C. Zhang (2003) Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. *Appl. Geochem.* 18:1629-1639.
- Tan, Z., R. Lal, N. E. Smeck, F. G. Calhoun, B. K. Slater, B. Parkinson, and R. M. Gehring. 2004. Taxonomic and geographic distribution of soil organic carbon pools in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1896-1904.
- Townsend, A. R., Vitoisek, P. M. 1995. Soil organic matter dynamics along gradients in temperature and land use on the island of Hawaii. *Ecology* 76(3):721-733.
- Upadhyay, T. P., P. L. Sankhayan, and B. Solberg. 2005. A review of carbon sequestration dynamics in the Himalayan region as a function of land-use change and forest/soil degradation with special reference to Nepal. *Agri. Ecosys. Environ.* 105:449-465.
- Wang, S. Q., C. Zhou, J. Liu, H. Tian, K. Li, and X. Yang. 2002. Carbon storage in northeast China as estimated from vegetation and soil inventories. *Environ. Pollut.* 116:157–165.
- Yu Dong-Sheng, SHI Xue-Zheng, Wang Hong-Jie, Sun Wei-Xia, E. D. Warner and Liu Qing-Hua, National Scale Analysis of Soil Organic Storage in China Based on Chinese Soil Taxonomy.

Zinn, Y. L., R. Lal, and D. V. S. Resck. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Till. Res.* 84:28–40.