研究報告

「森林土壤學實驗」課程之土壤碳匯教學增進：應用台大安康農場為教學場域之學習成效評估

鄭勝榮[1]、林笙翰[1]、魏子穎[1]、莊宜軒[1]、鄭智馨[2*]

（收件日期：民國 112 年 7 月 13 日、接受日期：民國 112 年 10 月 16 日）

【摘要】面對當前日益迫切氣候變遷議題，多數國家已在巴黎協定後，更積極推動碳排放減量與碳吸收增量措施，並希望於 2050 年時達到淨零碳排。土壤碳匯是達成淨零碳排重要碳庫之一，對土壤碳匯採樣、計量、報告、監測與機制了解的教學，爲現今土壤科學相關課程需要積極教授領域。「森林土壤學實驗」規劃台大安康農場作爲增進教學實踐場域，藉由教案設計，模擬不同情境之土壤碳匯差異，讓學生親自採樣、分析、計量與評估，理解森林土壤碳匯機制與潛能，以及能夠提出以森林土壤碳匯減碳計畫之能力，進而達到人才培育目標。課程期末成果報告與教學問卷調查均顯示，加入台大安康農場土壤採樣與分析之增進教案中，不僅讓學生具備土壤樣品採樣與基本分析技能，也達到對土壤碳匯機制了解的提升。然而，此一學分基礎實驗課程學習成效仍不足以應付土壤碳匯專案報告撰寫，我們建議課程教授時，仍須多花一些時間適度引導學生反思學習成效，亦或鼓勵學生修習高階課程以滿足學習不足之處，讓學習過程從基礎擴展至實務問題解決，增加學習競爭力與就業力。

【關鍵詞】淨零碳排、碳匯、土地利用改變、教學評量、期末報告

[1] 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究生。106 台北市羅斯福路四段一號森林館。School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University. Forest Hall, No.1, Sec. 4, Roosevelt Rd, Taipei 106, Taiwan
[2] 國立台灣大學森林環境暨資源學系副教授。* 通訊作者。106 台北市羅斯福路四段一號森林館。School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University. Forest Hall, No.1, Sec. 4, Roosevelt Rd, Taipei 106, Taiwan.
Corresponding Author, email: chengch@ntu.edu.tw

Research paper

SOIL CARBON SINK TEACHING ENHANCEMENT OF THE "FOREST SOIL LAB" COURSE: EVALUATING LEARNING EFFECTIVENESS BY USING NTU ANKENG FARM AS A TEACHING FIELD

Sheng-Jung Cheng[1], Sheng-Han Lin[1], Zih-Ying Wei[1], Yi-Xuan Zhuang[1], Chih-Hsin Cheng[2*]

（Received: July 13, 2023; Accepted: October 16 , 2023）

【**Abstract**】 With the increasing climate change, most countries have actively promoted measures to reduce carbon emissions and increase carbon sink after the Paris Agreement, and hope to achieve net-zero carbon emissions by 2050. Soil carbon sink is a vital carbon pool to achieve net-zero carbon emissions. Teaching soil carbon sampling, measuring, reporting, monitoring, and mechanism under soil carbon sink is a needed teaching field for relevant courses in schools today. The "Forest Soil Lab" course plans to use NTU Ankeng Farm as a teaching practice field for the course enhancement. Through the design of the teaching plan of the NTU Ankeng Farm, students can sample, analyze, measure, evaluate, and understand the mechanism and potential of forest carbon sink under different land use scenarios, thus being able to propose a carbon reduction plan and achieve the goal of talent cultivation. The final report and the course evaluation questionnaire at the end of the semester showed that the practices of NTU Ankeng Farm help students understand soil sampling, measurement, and carbon sink mechanisms. However, the learning effectiveness of the one-credit introductory experiment course is still not enough to cope with the writing of the soil carbon sink project. When the course is taught, it is necessary to spend more time guiding students to reflect on the learning effect or encourage students to take the advanced courses, allowing the learning process to expand from basics to practical problem-solving and increasing competitiveness and employability.

【**Key words**】 Net-zero carbon emissions, Carbon sink, Land use change, Course evaluation, Final report

I、前言

面對當前日益迫切氣候變遷議題，多數國家已在巴黎協定後，更積極推動碳排放減量與碳吸收增量措施，並希望於 2050 年時達到淨零碳排 (net-zero carbon emissions)，將總碳排放量與吸收量彼此平衡 (Smith *et al*., 2022)。國內也自 2022 年開始推動淨零碳排計畫，包括國家發展委員會提出的「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略」(國家發展委員會，2022) 與農業委員會提出的「臺灣 2050 淨零轉型自然碳匯關鍵戰略行動計畫」(農業委員會，2022)，兩策略均強調森林碳匯的重要性，即國家淨零碳排策略須在能源、產業、生活與社會等層面轉型外，需積極透過自然碳匯方式增加生態環境碳匯儲存，預估 2030 年森林增匯量將爲 75.8 萬噸，爲農業土壤增匯量 2.9 倍，海洋增匯量的 2.2 倍 (農業委員會，2022)。同樣地，企業端強調使用 100% 再生能源綠電使用 (100% renewable energy, RE100)，同時也注重自然碳匯的重要，以 RE100 會員之玉山銀行爲例，玉山銀行與台灣大學的玉山台大 ESG 百年計畫中，玉山銀行預計在 10 年時間內，認養 50 公頃實驗林林地，種下原生種的針葉五木，預期可吸附碳量相當於 617 座的大安森林公園 (玉山銀行，2022)。

土壤碳匯是達成淨零碳排重要碳庫之一，近年聯合國與相關氣候變遷研究機構也針對土壤碳匯應用於淨零碳排與自然解方上，發表許多重要參考資料， 例 如 IPCC(2006)、FAO(2020)、FAO(2022) 與 World Bank(2022) 等，強調增加土壤碳匯與碳吸存之重要性。因此，對土壤碳匯採樣、計量、報告、監測與機制了解的教學，爲現今土壤科學相關課程需要積極教授領域 (Baveye *et al*., 2006; Havlin *et al*., 2010; Bouma, 2014)。然而，以土壤科學常使用教科書 "The Nature and Properties of Soils" (Weil and Brady, 2017) 爲 例 (Jelinski *et al*., 2015)，該書從 1996 年出版至今，雖改版至 15th 版本，土壤碳匯內容卻僅偏重於其中一章 (Chapter 12 Soil Organic Matter, Page 526-586)，若按照書本上課，教學內容將無法與時俱進，而上述所提土壤碳匯參考資料 (IPCC (2006)、FAO (2020)、FAO (2022)、World Bank (2022)，對多數學生而言，資料內容仍過於龐大且艱深不易閱讀，也缺乏實際野外採樣經驗可供學生學習。因此，更務實與實踐育成教學方式，讓森林土壤碳匯學習內容即學即用以縮短學用落差，是大學教育必要方向。

本教學增進課程爲一國內大學森林相關學系之「森林土壤學實驗」課程，課程屬一學分課程，正課「森林土壤學」爲二學分，課程爲多數森林相關學系基礎必修課程。實驗課程雖然要求學生動手做，但學生往往僅按照實驗步驟完成實驗，相對留下較少學習空間可創造思考或應用 (Amador, 2019)。若將基礎課程設計成探索式教學方式，藉由

教案設計，模擬不同情境 (scenario) 之土壤碳匯差異，讓學生親自採樣、分析、計量與評估，將讓基礎課程學習成效更具體實用 (Amador and Gorres, 2004; Amador, 2019; Al-Ismaily *et al*., 2021)。

111 學年第二學期 (2023 年) 「森林土壤學實驗」課程規劃台大安康農場作爲教學實踐場域，農場內不同土地利用規劃與完整栽培紀錄，提供良好學習環境場域，讓學生能夠了解不同 " 情境 (土地利用管理) " 之土壤碳匯差異。本教學增進課程目標，除了讓學生了解土壤基本性質分析與森林土壤碳匯減緩氣候變遷所扮演角色外，更是要讓學生實際操作森林土壤碳匯採樣、分析與計量、理解森林土壤碳匯機制與潛能，以及能夠提出森林土壤碳匯減碳計畫。

爲驗證教學增進教案是否能幫助學生學習，我們擬定以下三個問題協助學習成效評估，包括 :

1. 是否可藉由教學過程中校外實際採樣安排，增加學生了解森林土壤碳匯的採樣、分析與計量？
2. 是否可藉由台大安康農場場域特性，幫助學生了解不同土地利用方式如何影響森林土壤碳匯？
3. 整體課程安排，是否可協助學生在面對未來環境治理時，提出可行森林土壤碳匯之治理規劃、監測與驗證？

上述問題之回答，透過學生學習成果報告與問卷調查方式，評估教學增進教案實施下，學生之學習動機、學習成效及對土壤碳匯採樣、分析與碳匯機制了解是否有所助益。

II、材料與方法

(I) 教學實踐場域

台大安康農場全名是「國立台灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場 – 安康分場」，位於新北市新店區安康地區 (圖 1)，地址爲莒光路 7 號，農場佔地 19.1 公頃，農場內有良好種植規劃，包括水稻田、旱田 (蔬菜) 、牧草 (荒)

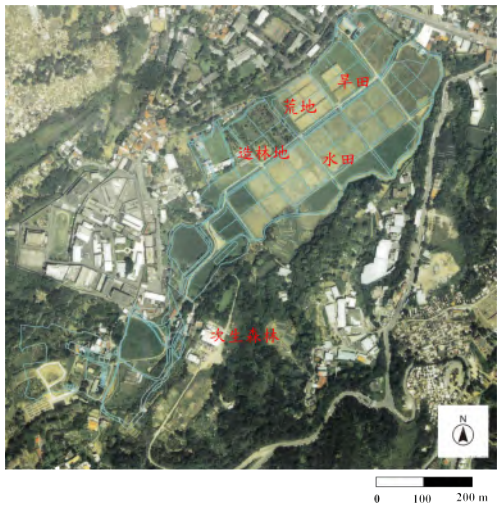

圖 1 台大安康農場地圖，圖中不同區塊顯示不同土地利用方式，包括水稻、旱田、廢耕荒地，造林地與鄰近森林等。

Fig.1 Map of the NTU Ankeng Farm. Different areas in the map show different land uses, including paddy rice fields, vegetation fields, abandoned fields, afforested lands, and adjacent secondary forests.

地、景觀田，果園與造林地等，其景觀荷花田，曾是安康地區最吸睛的地方，荷花盛開時節，每每吸引大批賞花與攝影人潮。

台大安康農場內不同利用管理農地，提供了解不同土地利用下土壤碳匯差異之良好學習環境，且相較於一般農地，台大安康農場栽培管理紀錄相對完整，包括作物種類、作物品種、作物產量與施肥用藥等紀錄。台大安康農場鄰近果園與次生森林，這些區域亦可作爲不同土地利用土壤碳匯差異之比較組。由於樣區緊鄰，氣候狀況、地形條件與母質來源均相同，土壤碳匯差異主要來自不同土地利用管理。

(II) 課程教學架構

111 學年度森林土壤學實驗課共計 28 位學生修習，課程區分上、下午兩班進行，學生人數分別爲 13 位與 15 位。修課學生計 18 位大二學生，9 位大三學生以及 1 位大四學生，男、女學生分別爲 17 位 與 11 位。

在各班中，以每組 2 – 3 位學生進行分組，各組別依照不同土地利用方式進行土壤剖面挖掘、描述與採樣，包括水田、旱田、廢耕牧草荒地、造林地與鄰近森林等組別。每組依照標準土壤碳匯建議方法 (IPCC, 2006)，採集 0 – 10 cm、10 – 20 cm 與 20 – 30 cm 不同深度土壤樣品與土壤總體密度土環，土壤樣品帶回實驗教室，經烘乾 (總體密度土環) 或風乾磨土過篩後，進行土壤基本性質實驗分析。

課程除台大安康農場土壤採樣與剖面觀察外，也安排一週台大農業化學系土壤博物館參觀、八週實驗室土壤基本性質分析、兩週小組討論與最後一週的期末成果報告發表。農場內寬闊農地提供學生實際操作土壤剖面挖掘與土壤採樣 (圖 2)，讓學生了解如何描述土壤剖面與分類，進行土壤碳匯採樣與探討不同土地利用土壤碳匯之差異。台大農業化學系土壤博物館展示全台不同耕地、森林、海拔、母質與地形土壤剖面，藉由參觀過程學生可更深入了解土壤生成因子對土壤化育影響。

土壤基本性質分析實驗依自行編定「森林土壤學實驗手冊」進行，同時也要求學生閱讀國內、外相關土壤分析手冊 (SSSA, 1986)。進行的土壤分析實

圖 2 森林土壤學實驗課程之台大安康農場土壤採樣與剖面描述校外教學。

Fig.2 Off-campus teaching of “Forest Soil Lab” course on the NTU Ankeng Farm for soil sampling and profile description .

驗計有土壤總體密度、pH、土壤顏色與構造、質地、田間容水率、有機碳與全氮含量、交換性陽離子、陽離子交換容量與土壤有效性磷等，分析項目大致符合土壤學實驗課程要求 (Field *et al*., 2017; Jelinski *et al*., 2019)。操作的貴重儀器包括元素分析儀 (2400 Series II, Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA)、高溫灰化爐 (L3/C6, Nabertherm GmbH, Lilientha, Germany) 與原子吸收光譜儀 (SensAA, GBC, Victoria, Australia) 等。每週實驗數據透過利用 Google 共享表單，讓個別組別均能瀏覽所有組別之實驗結果。

期中與期末小組討論課程，以課堂問題講解與小組討論型式進行，講解與討論過程中，授課教師除回答學生疑問外，並可追蹤學生學習進度，了解是否理解實驗原理與操作，進一步引導土壤碳匯計量評估及相關文獻閱讀。

學習成果以期末成果報告口頭發表與書面報告方式呈現，報告內容依據各組實驗數據，透過所觀察到的研究問題與數據分析，自行訂定期末報告內容，提出相關研究假設與結果討論，並必須附上參考文獻以佐證假設、結果與討論等論述。各組口頭報告時間爲 7 – 10 分鐘上台發表， 5 – 7 分鐘問題發問。書面報告則需撰寫 8 – 10 頁期末報告，書寫格式包括題目、前言 (自己的問題說明)、目的、材料與方法、結果 (圖、表)、討論、結論與參考文獻 (須超過 10 篇參考文獻)。期末成果報告同時邀請森林碳匯領域專家，一起參與口頭與書面報告發表，針對學生報告內容與呈現方式提供意見，以供參考與改進。

我們認爲教學增進課程實施能符合學生學習需要，架構優點包括 : (1) 課程架構安排由淺至深，由野外採樣至室內分析評估，由基礎至實務應用，課程連貫且具整體性，不會流於片段，能深入且專精了解。(2) 基礎、理論、探索與應用統整並重並行，學習成果與知識養成具體化呈現。(3) 課程以問題導向與專題討論報告方式進行，讓學生能夠整合過去所學，了解自己學了什麼，並能加以應用，培養學生解決問題能力。(4) 授課教師可分階段驗收課程教學成效，了解學生學習狀況，檢視學習成果。課程修習後，預期學生具備土壤基本性質分析之核心能力，也將能獨立進行森林土壤碳匯採樣、分析與計量評估，理解森林土壤碳匯機制與潛能，並可以提出可行性森林土壤碳匯規劃、監測、治理與驗證。

(III) 教學評量問卷

教學評量問卷涉及教學目標、內容、方法與學習成果等基本要素，但依課程屬性不同，如一般、技藝或實驗課程等差異，評量內容會有所差異 (潘世尊，2020)。本課程屬實驗課程，加上以教學增進爲目標，故教學評量問卷著重於教學內容與學習成果兩項目。教學評量問卷區分爲教學內容評量、森林土壤碳

表 1 學生評量量表問卷題目，包含教學內容與森林土壤碳匯學習成效兩大項目

Table 1. Questionnaire for the course evaluation, including two items: teaching content and learning effect of forest soil carbon sink

		非常不同意	不同意	有點不同意	有點同意	同意	非常同意
教學內容	01. 課程上課時，老師實驗原理的講解與助教實驗過程的帶領，幫助我了解森林土壤實驗重點與實驗流程	0	1	2	3	4	5
	02. 實驗課程設計良好，助教實驗材料準備充分，實驗流程清晰，學習效果良好	0	1	2	3	4	5
	03. 我清楚知道實驗數據的計算與分析，實驗內容與正課充份相關，實驗結果可應用在土壤、森林與生態等領域	0	1	2	3	4	5
	04. 我喜歡野外課程現地採樣 (台大安康農場)，採樣時老師與助教示範如何進行土壤採樣與剖面描述	0	1	2	3	4	5
	05. 本課程以台大安康農場爲教學場域與教學實踐育成範本，學習場域內容有趣，不同土地利用管理，可讓學習效果更爲優化與具體	0	1	2	3	4	5
	06. 土壤博物館參觀，讓我了解到不同氣候、地形、母質、土地利用等差異，可形成不同土壤剖面，幫助了解土壤的生成與化育	0	1	2	3	4	5
	07. 每週不同實驗課程彼此相互連貫，讓我可以更全面了解不同土壤性質	0	1	2	3	4	5
	08. 透過期末報告，我學習到如何更深入分析實驗數據，文獻收集與歸納討論最後期末報告構想，並能統整課程中不同實驗結果，包括自己組別與不同組別間的實驗結果	0	1	2	3	4	5
	09. 整體而言，森林土壤學實驗教學效果良好，我願意推薦給其他同學	0	1	2	3	4	5
森林土壤碳匯學習成效	10. 我可以進行土壤採樣	0	1	2	3	4	5
	11. 我了解土壤基本性質與土壤有機碳分析過程	0	1	2	3	4	5
	12. 我了解不同土地利用方式下，有不同土壤碳匯量	0	1	2	3	4	5
	13. 我知道對土壤干擾越少的土地利用，其土壤碳量愈高，因此土地利用變遷過程，可能讓土壤成爲碳匯或碳源	0	1	2	3	4	5
	14. 有了這樣學習基礎，我會撰寫一份森林土壤碳匯採樣計畫，協助企業或政府規劃森林減碳	0	1	2	3	4	5

匯學習成效評量與開放式問題等三部分 (表 1)，前兩部分爲量表評分，第三部分爲學習回饋建議，問卷題目參考前人研究與專家審視建議而訂定 (潘世尊，2020; Murphy, 2000; Al-Ismaily *et al*., 2021)。

教學內容評量題目包括授課教師專業知能，實驗流程、實驗數據解釋與應用，野外採樣、場域特色、土壤博物館參觀、實驗結果整合與綜合性推薦課程等 9 個問題，對應教學向度 (dimension) 則爲授課教師專業知識 (問題 1)、實驗操作 (問題 2、3)、教學方法 (問題 4、5、6) 與學習效能 (問題 7、8、9) 等 (表 1)。森林土壤碳匯學習成效評量主要讓學生評估自我是否已具備以下知識能力，問卷題目包括土壤採樣、分析方法、土壤碳吸存原理、土壤干擾與森林碳匯計畫書撰寫等 5 個問題，評估向度則包含土壤碳匯採樣與分析 (問題 10、11)、土壤碳匯原理 (問題 12、13) 與碳匯計畫書撰寫 (問題 14) 等 (表 1)。問卷者採里克特氏六點量表進行評分，以 0 至 5 分評鑑教學內容與學習成效，”0” 至 ”5” 分分別代表非常不同意、不同意、有點不同意、有點同意、同意與非常同意，分數愈高代表問卷者同意評量題目。

教學評量問卷開放性問題有兩題，第一題爲本學期實驗課程中，我最喜歡的內容是哪一個？例如土壤採樣、博物館參觀或各週土壤性質實驗等，爲什麼？第二題爲本學期實驗過程，我認爲課程最需要改善的地方有那些？透過學生喜歡與不喜歡的回饋觀點，檢視教學增進教案實施是否能有效提升學習動機或反應課程規劃是否適切等。

爲驗證教學增進教案實施成效，我們另外隨機選擇 10 位去年度 (110 學年度第二學期) 修習過森林土壤學實驗課程同一大學之森林學系大三學生與 10 位從未修過森林土壤學或土壤學相關課程同一大學之森林學系大三學生，針對這兩學習族群學生是否了解森林土壤碳匯進行問卷調查，問卷題目相同於表 1 問題 10 – 問題 14，但文字上進行了適度修正，如刪除問題 14 第一句話 ” 有了這樣學習基礎 ”。去年森林土壤學實驗課程同樣進行校外採樣，但未完整進行土壤剖面觀察與描述，也未強調土壤碳匯計量與機制探討，土壤樣品並未依照 IPCC (IPCC, 2006) 所建議 0 – 30 cm 採樣深度進行採樣，僅採集 0 – 10 cm 土壤樣品，但其它實驗流程與本學期課程相同。在從未修過森林土壤學森林學生中，此學習組群學生仍可能從其它課程中獲取土壤碳匯相關知識，例如育林學、森林生態學、森林保護學或是森林環境概論等必修課程，因此此組群學生可能具備一定森林土壤碳匯背景知識。

修課學生問卷填寫時間爲期末成果報告發表前一週的討論課程中進行填寫，未修課學生與去年修課學生問卷調查時間爲 111 學年度第二學期結束後一週 (2023 年 6 月中旬) 完成問卷。所有學生問卷填答前，均充分了解問卷題目與目的，完成問卷知情同意書簽署。

(IV) 統計分析

爲驗證問卷填寫信度，我們進行問卷量表 Cronbach's Alpha 分析計算，當 Cronbach's Alpha 值高於 0.8 時，表示問卷具有高度信度一致性，屬可靠問卷 (曾鈞鴻等，2022)。不同學習族群間，包括今年度 (111 學年) 修課學生 (n = 25，修課學生 28 位，回收問卷 25 份)、去年度 (110 學年) 修課學生 (n = 8，發放問卷 10 份，回收問卷 8 份) 與從未修習過森林土壤學實驗學生 (n = 9，發放問卷 10 份，回收問卷 9 份) 等，由於量表數值並未符合常態分佈檢定，故進行不同學習組群之無母數變方分析 (Kruskal-Wallis one way analysis of variance)，並以 Dunn 檢定 (Dunn's method) 驗證不同學習組群間是否呈現顯著差異 ($p < 0.1$)。本研究以 SAS 9.4 進行上述統計計算。

III、結果

(I) 學生成果報告內容

在期末成果報告中，各組報告除了探討不同土地利用土壤基本性質之差異外，多數組別亦進行土壤碳匯差異討論，期末成果報告內容大致符合課程預期目標，即修習學生具備土壤基本性質分析之核心能力，並能進一步進行森林碳匯分析與計量評估，理解森林碳匯機制與潛能。表 2 列出部分組別期末成果報告題目，從題目上可看出學生善用台大安康農場教學場域特性，進行不同土地利用型態之土壤基本性質與碳匯差異分

表 2 111 年度「森林土壤學實驗」期末成果報告分組題目與學習心得

Table 2. 2023 "Forest Soil Lab" course final report on group topics and learning experiences

期末成果報告分組題目	學習心得
• 探討水田土壤與森林土壤的差異，並討論有關碳吸存的議題 • 探討森林對土壤性質及碳匯產生之影響：比較森林與旱田 • 討論土地利用形式對土壤碳儲量之影響 • 探討臺大安康農場之造林地與次生林的土壤性質差異與有機碳量蓄積 • 人爲管理對於土壤性質的影響	• 針對土壤碳匯之變化與實驗預期相符合，森林土壤的碳匯是高於農地土壤的。 • 森林碳匯議題多數人往往只針對材積的增加，而忽略了造林使土地利用改變進而增加可觀的碳匯量，此次實驗提供了數據上的佐證。 • 透過妥善的土壤管理，我們可以增加土壤碳匯起到緩衝溫室氣體增加的效應，然而也要注意土壤碳匯有其上限，且若是遭遇毀林、或其他影響土壤化育之行爲時，原本固定下來的碳也會回到大氣之中成爲碳排來源。 • 與旱田相比，水田具較大的土壤有機碳儲存潛力，並且可透過調整施肥模式進一步增加土壤有機碳存量。

析，各組學習心得亦表現出對土壤碳匯採樣、分析、計量與機制之了解，並能將土壤碳匯延伸至整體生態系統森林碳匯或森林經營管理上，如學生學習心得中提到：

針對土壤碳匯之變化與實驗預期相符合，森林土壤的碳匯是高於農地土壤的。

森林碳匯議題多數人往往只針對材積的增加，而忽略了造林使土地利用改變進而增加可觀的碳匯量，此次實驗提供了數據上的佐證。

透過妥善的土壤管理，我們可以增加土壤碳匯起到緩衝溫室氣體增加的效應，然而也要注意土壤碳匯有其上限，且若是遭遇毀林、或其他影響土壤化育之行爲時，原本固定下來的碳也會回到大氣之中成爲碳排來源。

(II) 教學評量問卷結果

在 28 位修課學生中，共 25 位學生參與問卷填寫，填寫學生比例爲 89%。25 份問卷中，教學內容評量問題一致性 Cronbach's Alpha 值爲 0.93，土壤碳匯學習成效評量問題一致性 Cronbach's Alpha 值爲 0.88，整體問卷量表內部信度一致性 Cronbach's Alpha 值爲 0.95，三者皆屬高度一致性，問卷結果信度極佳。

修課學生問卷量表評量作答結果如表 3、表 4 所示，總平均分數 4.37 分，顯示學生對課程教學內容評量與森林土壤碳匯學習成效給予正向回饋。在教學內容評量問卷上，以課程講解與教學方法分數最高，分別爲 4.68 與 4.60 (表 3)，相對地，實驗操作與數據分析分數較低，爲 4.16。此問卷結果進一步顯示多數學生肯定台大安康農場採樣與土壤博物館參觀等增進教學的融入，但對土壤基本性質實驗過程則可能由於實驗流程不熟悉、實驗器材不足或未能清楚理解結果數據等因素，造成較低問卷分數，器材與操作流程分數爲 4.08 分，實驗結果應用分數爲 4.24 分。

在森林土壤碳匯學習成效評量上，問卷結果顯示多數學生了解土壤採樣過程 (問卷分數 4.60 分) 及土壤碳匯機制與原理 (問卷分數 4.40 分)(表 4)，但對土壤有機碳分析問卷分數爲 4.24 分 (問題 11)，可能來自元素分析儀操作過程並未能讓多數學生實際參與，故填答分數低於大多數題目。所有問卷問題中，以碳匯計畫書撰寫分數最低，僅爲 3.60 分，同意或非常同意此問題學生僅佔 40%，即修習一學分森林土壤學實驗課程，並不足以訓練多數學生可撰寫一份森林土壤碳匯採樣計畫，協助企業或政府規劃森林減碳。

開放式問題第一題計 20 位學生填答，在最喜歡課程內容中，多數學生 (12 位 /20 位) 肯定台大安康農場土壤採樣，6 位 (6 位 /20 位) 學生喜歡土壤博物館參觀，少數同學 (2 位 /20 位) 則喜歡室內實驗分析 (表 5)。在台大安康農場土壤採樣上，學生喜歡：

表 3 今年度 (111 年) 修課學生 (n = 25) 對教學內容問卷量表分數

Table 3. Scores of course evaluation questionnaires on the teaching content from this year's (2023) enrolled students (n = 25)

向度	題目	量表分數				
		2	3	4	5	Average
專業知識	(1) 課程講解	0	1	6	18	4.68
實驗內容	(2) 器材與操作流程	3	3	8	11	4.08
	(3) 實驗結果應用	1	4	8	12	4.24
教學方法增進	(4) 安康農場採樣	0	2	4	19	4.68
	(5) 了解樣區土地利用配置	1	3	5	16	4.44
	(6) 土壤博物館參觀	0	2	4	19	4.68
學習效能	(7) 具備整體評估各土壤性質	0	5	6	14	4.36
	(8) 具備實驗結果整合與期末報告撰寫	1	3	8	13	4.32
	(9) 推薦此課程	0	4	5	16	4.48
	教學內容評估總平均					4.40

表 4 今年度 (111 年) 修課學生 (n = 25) 對森林土壤碳匯學習成效問卷量表分數

Table 4. Scores of course evaluation questionnaires on the learning effect of soil carbon sink from this year's (2023) enrolled students (n = 25)

向度	題目	量表分數				
		2	3	4	5	Average
土壤碳匯操作	(10) 具備土壤採樣能力	0	3	4	18	4.60
	(11) 具備土壤有機碳分析	0	5	9	11	4.24
土壤碳匯原理	(12) 了解土地利用方式對土壤碳匯影響	0	4	7	14	4.40
	(13) 了解土壤干擾對土壤碳匯影響	0	3	9	13	4.40
專業能力與計畫書撰寫	(14) 碳匯計畫書撰寫	4	11	1	9	3.60
	學習成果總平均					4.25

- 可以實地觀察不同土地利用的實際情況，能親手挖掘並實際觀察土壤分層是一次難得的體驗
- 可以比較放鬆的狀態去學習新的知識
- 土壤採樣其實蠻實際的，剩下的分析和化學實驗方法沒有差異太大

因此，將台大安康農場現地採樣設計成「森林土壤學實驗」教學增進教案，

確實提高學生學習興趣與實際動手參與感，達到多元學習成效。

開放性問題第二題計 15 位學生填答，學生建議課程需要改善地方主要爲器材不足 (9 位 /15 位)、設備需要更新 (3 位 /15 位) 以及應適當安排時間與規劃 (3 位 /15 位)(表 5)。由於實驗教室空間較爲擁擠，且在有限實驗器材使用下，實驗流程並不夠流暢，若能在經費允許下購置額外器材，並適當安排各組實驗操作流程，則爲必要教學改善措施。

(III) 不同學習組群對森林土壤碳匯了解比較

去年度 (110 學年) 修習森林土壤學實驗學生計有 8 位完成問卷調查 (80% 問卷回收率)，從未修過森林土壤學實驗學生計 9 位 (90% 問卷回收率)，問卷量表內部信度 Cronbach's Alpha 值分別爲 0.80 與 0.82，高於一般所認爲 Cronbach's Alpha 0.8 的問卷信度一致性。

去年度修課學生對土壤碳匯理解問卷量表平均分數爲 3.80 分，各問題量表分數均低於本學期修課學生 (表 6)，但

表 5 今年度 (111 年) 修課學生對教學評量問卷開放性問題之建議與意見文字

Table 5. Suggestions and comments of the course evaluation questionnaires on the open questions from this year's (2023) enrolled students

開放性問題	結果排序	意見文字
(1) 課程操作內容喜好	1. 安康農場採樣 2. 土壤博物館參觀 3. 土壤性質分析	• 因爲可以實地觀察不同土地利用的實際情況，且沒事不會有機會採樣水田土壤 • 可以比較放鬆的狀態去學習新的知識 • 土壤採樣其實蠻實際的，剩下的分析和化學實驗方法沒有差異太大 • 有戶外教學的感覺，並且可了解採樣的完整流程 • 能親手挖掘並實際觀察土壤分層是一次難得的體驗 • 安康農場實地採樣印象較深，而且親自挖土也能較了解
(2) 實驗課程改善建議	1. 器材不足 2. 更新設備 3. 適當時間安排與規劃	• 器材多一點，增加實驗物品，若有經費購置，就不用等那麼久 • 器材使用要有安排，才可以更流暢完成實驗 • 器材不足，等待時間稍長，建議可從瓶頸步驟處增加器材，或者可適當安排時間，或許可以在等待時間做其他事之類。 • 創立群組，適當規劃時間

兩組群並無顯著性差異 (表 8)，不過，在去年修課學生中，並無學生同意或非常同意自己具備撰寫碳匯計畫書以協助企業或政府規畫森林減碳之能力。在未修習土壤課程學生中，問卷量表平均分數僅爲 2.47 分 (表 7)，多數問題之量表分數均顯著低於今年度修課學生 (P < 0.05) 或去年度修課學生 (P < 0.1)，亦呈現超過半數學生並不同意了解森林土壤碳匯內容，特別在土壤有機碳分析與森林碳匯計畫書撰寫兩問題，其問卷分數僅分別爲 2.33 與 0.67 分，顯示學生並不具備土壤有機碳分析與碳匯計畫書撰寫能力。

表 6 去年度 (110 年) 修課學生 (n = 8) 對森林土壤碳匯了解問卷量表分數

Table 6. Scores of questionnaires on the understanding of forest soil carbon sink from last year's (2022) enrolled students (n = 8)

向度	內容	量表分數					
		1	2	3	4	5	Average
土壤碳匯操作	(10) 具備土壤採樣能力	0	0	2	3	3	4.13
	(11) 具備土壤有機碳分析	0	0	3	4	1	3.75
土壤碳匯原理	(12) 了解土地利用方式對土壤碳匯影響	0	0	4	7	14	4.25
	(13) 了解土壤干擾對土壤碳匯影響	0	0	0	4	4	4.50
專業能力與計畫書撰寫	(14) 碳匯計畫書撰寫	1	3	4	0	0	2.38
	學習成果總平均						3.80

表 7 從未修習森林土壤課程學生 (n = 9) 對森林土壤碳匯了解問卷量表分數

Table 7. Scores of questionnaires on the understanding of forest soil carbon sink from students without taking forest soil course (n = 9)

向度	內容	量表分數						
		0	1	2	3	4	5	Average
土壤碳匯操作	(10) 具備土壤採樣能力	1	0	2	1	2	3	3.33
	(11) 具備土壤有機碳分析	1	0	4	3	1	0	2.33
土壤碳匯原理	(12) 了解土地利用方式對土壤碳匯影響	1	0	2	2	4	0	2.89
	(13) 了解土壤干擾對土壤碳匯影響	1	0	1	4	1	2	3.11
專業能力與計畫書撰寫	(14) 碳匯計畫書撰寫	4	4	1	1	0	0	0.67
	學習成果總平均							2.46

表 8 不同學習組群對土壤碳匯了解各問卷題目平均分數與差異

Table 8. Average score and difference of each question on the understanding of forest soil carbon sink by different student groups

學習組群	問卷題目				
	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
今年度修課學生 (n=25)	4.60 a[1]	4.24 a	4.40 a	4.50 a	3.60 a
去年度修課學生 (n=8)	4.13 ab	3.75 a	4.25 a	4.40 a	2.38 a
未修習土壤學學生 (n=9)	3.33 b	2.33 b	2.89 b	3.11 b	0.67 b

[1] 不同文字表示學習族群呈現顯著性差異 ($p < 0.1$)

IV、討論

(I) 教學增進教案

111 學年第二學期 (2023 年)「森林土壤學實驗」課程增進教案中，加入台大安康農場現地土壤採樣與分析，農場內不同土地利用方式，提供學生瞭解土壤碳匯良好的學習教學場域，不僅讓學生具備土壤樣品採樣與基本分析技能，也達到對土壤碳匯採樣、碳匯機制了解的提升。類似教學增進方案，就如探索式教學、問題導向式教學與主題式教學等改善教學方式，同樣被應用在其它大學的基礎土壤學課程上 (Andrews and Frey, 2015; Amador 2019; Al-Isamily *et al*., 2021)。適當的教學創新，可有效整合理論與實務以及被動與主動學習，讓教室內的理論學習與教室外的氣候變遷、減緩策略與企業社會責任等議題彼此結合，增加學生學習動機、主動學習能力與問題解決能力，進而達到人才培育目標。

針對增進教案實施前所提出問題，相關回答爲：

問題一：是否可藉由教學過程中校外實際採樣安排，增加學生了解森林土壤碳匯的採樣、分析與計量？

期末成果報告與教學評量問卷均顯示，教學過程中加入台大安康農場校外採樣，確實可幫助學生學習，達到森林土壤碳匯的實際採樣、分析與計量之教學成效。土壤科學課程增加現地學習 (field practice) 與實際操作經驗 (hands-on experiences)，也是現今美國土壤科學學會與國外大學對土壤科學教學的教學建議 (Halvin *et al*., 2010; Field *et al*., 2011)，多元化的學習環境，可幫助森林土壤碳匯人才的培育，達到即學即用與學用合一之教學成效。

問題二：是否可藉由台大安康農場場域特性，幫助學生了解不同土地利用方式如何影響森林土壤碳匯？

就學生實驗成果而言，實驗結果呈現森林土壤與造林土壤碳匯高於旱田、水田與牧草荒地土壤，結果符合先前多數國內、外研究結果，即在不同土地利用下，森林土壤碳匯高於農地土壤碳

匯，農地廢耕與造林也被視爲重要土壤碳匯操作 (林映儒等，2011；Post and Kwon, 2000; Guo and Gifford, 2002; Laganiere *et al*., 2010; Lin *et al*., 2021; FAO, 2022)。因此，台大安康農場土壤採樣與土壤碳匯的分析結果，確實協助學生快速建立對森林土壤碳匯機制原理的了解，培養具備規劃森林土壤碳匯基礎能力。

問題三：整體課程安排，是否可協助學生在面對未來環境治理時，提出可行森林土壤碳匯之治理規劃、監測與驗證？

從學生學習成果來看，一學分基礎實驗課程學習成效仍不足以應付土壤碳匯專案報告撰寫。因此，我們建議課程教授時，仍須多花一些時間引導學生反思學習成效，擴展所學知識於應用端，亦或鼓勵學生除此基礎先修課程外，可進一步修習高階課程以滿足學習不足之處。以學生學習地圖而言，進階森林 / 農業碳匯課程，例如森林碳匯實務、農業碳匯實務等專業課程，皆是學生可進一步修習課程。

(II) 課程改善與應用

教學評量問卷中，學生提出課程仍需有改善之處，特別是實驗器材使用與時間安排上，因此，在經費許可下，購置額外器材與實驗物品以改善教學品質確實必要。不過，適當實驗時間規劃與更詳述實驗內容講解同樣必要，有些土壤基本性質分析需要較長時間才能達到土壤與溶液平衡 (例如陽離子交換容量實驗)，這些長時間土壤實驗，仍需要授課教師與助教提醒學生，得耐心等待並依照實驗步驟進行分析 (SSSA, 1986)。

除一般學校課程外，類似教學增進教案內容同樣也可應用在短期訓練課程上，藉由土壤採樣、分析與場域實際操作，也能促進學員對土壤碳匯與碳匯機制之了解，就如農業委員會農民學院所舉辦之專業訓練班訓練課程 (農民學院，2023) 或是林務局 e 學堂訓練課程 (林務局，2023)，均可規劃森林土壤碳匯訓練課程。

(III) 不同學習組群學生對森林土壤碳匯認知

相較於「森林土壤學實驗」修課學生，從未修習土壤學課程學生對森林土壤碳匯的了解，遠低於修過課學生，反應課程教學符合土壤科學教學原則，即修課學生具備了解土壤科學之獨特性、專業性與應用性原則 (Halvin *et al*., 2010; Field *et al*., 2011; Keesstra *et al*., 2016)。

去年度 (2022) 與今年度 (2023) 修習學生雖然在土壤採樣、土壤分析、土地利用改變影響與土壤碳匯報告撰寫等量表分數並無統計上顯著差異，但仍可看出去年度 (2022) 修習學生量表分數低於今年度 (2023) 修習學生，顯示課程未在授課教師對森林碳匯主題的教學重視，或實際進行採樣操作與小組討論下，學

生對土壤碳匯了解與熟悉仍不如教學增進教案實施後的修課學生，也造成去年度修課學生並無學生同意或非常同意自己具有土壤碳匯計畫書之撰寫能力。因此，適當教學增進調整，可讓學習成果與知識養成具體化呈現，讓學習過程從基礎擴展至實務問題解決，增加學習競爭力與就業力 (Fields *et al*., 2017)。

V、結論

土壤碳匯爲森林生態系統與農業生態系統重要碳匯之一，111 學年第二學期 (2023 年)「森林土壤學實驗」課程增進教案中，加入台大安康農場現地土壤採樣與分析，農場內不同土地利用方式，提供學生瞭解土壤碳匯良好的學習教學場域，讓學生具備土壤樣品採樣與基本分析技能，也達到對土壤碳匯採樣、碳匯機制了解的提升。對於計畫朝森林碳匯領域發展學生，我們建議可藉由修習此基礎課程，在課程專業講解、實際採樣、實驗操作以及多元的教學方法應用下，課程協助學生達到良好學習效能，亦可協助獲得實際採樣經驗與了解土壤碳匯機制，建立森林土壤碳匯基礎。

VI、致謝

感謝國立台灣大學教學發展中心教學實踐育成計畫 (111-2 學期) 經費與深耕計畫贊助以及台大安康農場同意作爲教學實踐場域與土壤採樣，同時也感謝所有參與助教與學生協助。

VII、參考文獻

玉山銀行 (2022) 影響力獲 RE100 肯定 玉山金控再創淨零新里程。中時新聞 網。https://www.esunbank.com.tw/ news。

林映儒、鄭智馨、曾聰堯、王尙禮、郭鴻裕 (2011) 平地長期林地之土壤性質與有機碳量蓄積。台灣農業化學與食品科學。49:260-274。

林務局。2023。林務局 e 學堂。林務局。行政院農業委員會。https://forest.elearn.hrd.gov.tw/mooc/index.php

國家發展委員會 (2022) 臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。國家發展委員會。https://www.ndc.gov.tw

曾鈞鴻、吳佾鴻、陳瀅世 (2022) 新化林場賞螢之環境解說效益。林業研究季刊。42:57-70。

農民學院 (2023) 農業專業訓練課程。農民學院。行政院農業委員會。https://academy.coa.gov.tw/index.php

農業委員會 (2022) 臺灣 2050 淨零轉型自然碳匯關鍵戰略行動計畫。農業委員會。https://www.coa.gov.tw

潘世尊 (2000) 學生評量教師教學問卷之修訂 – 一所私立科技大學的自我探究。教育理論與實踐學刊。21:111-143。

Al-Ismaily, S., A. Al-Mayhai, H.

Al-Busaidi, A. Kachimov, D. Blackburn, A. Al-Maktoumi, and B. Al-Siyabi (2021) Soil skills challenge: a problem-based field competition towards active learning for BCs. Geoscience students. Geoderma 385:1149903.

Amador, J.A. (2019) Active learning approaches to teaching soil science at the college level. Frontiers in Environmental Science 7:111.

Amador, J.A., and J.H. Görres (2004) A problem-based learning approach to teaching introductory soil science. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education 33:21–27.

Andrews, S.E. and S.D. Frey (2015) Studio structure improves student performance in an undergraduate introductory soil science course. Natural Science Education 44:60-68.

Baveye, P., A.R. Jacobson, S.E. Allaire, J.P. Tandarich, and R.B. Bryant (2006) Whither goes soil science in the United States and Canada? Soil Science 171: 501-518.

Bouma J. (2014) Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177:111-120.

FAO (2020) A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes- GSOC-MRV Protocol. Rome. Italy. https://doi.org/10.4060/cbo509rn

FAO (2021) Recarbonizing Global Soils. Volume 1 - Volume 6. Rome, Italy. https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6606en/

Field, D.J., A.J. Koppi, L.E. Jarrett, L.K. Abbott, S.R. Cattle, C.D. Grant, A.B. McBratney, N.W. Menzies, and A.J. Weatherley (2011) Soil science teaching principles. Geoderma 167-168:9-14.

Field, D.J., D. Yates, A.J. Koppi, A.B. McBratney, and L. Jarrett (2017) Farming a modern context of soil science learning and teaching. Geoderma 289:117-123.

Guo, L.B., and R.M. Gifford (2002) Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. Global Change Biology 8:345–360.

Havlin, J., N. Balster, S. Chapman, D. Ferris, T. Thompson, and T. Smith (2010) Trends in soil science education and employment. Soil

Science Society of America Journal 74:1429-1432.

IPCC (2006) IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES. Japan. https://www.researchgate.net/publication/259575269_IPCC_2006_Guidelines_for_

Jelinski, N.A., C.J. Moorberg, M.D. Ransom, and J.C. Bell (2019) A survey of introductory soil science courses and curricula in the United States. Natural Science Education 48:1-13.

Keesstra, S.D., J. Bouma, J. Wallinga, P. Tittonell, P. Smith, A. Cerda, L. Montanarella, J.N. Quinton, Y. Pachepsky, W.H. van der Putten, R.D. Bardgett, S. Moolenaar, G. Mol, B. Janse, and L.O. Fresco (2016) The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. Soil 2:111-128.

Laganiere, J., D.A. Angers, and D. Pare (2010) Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. Global Change Biology 16:439-453.

Lin, Y.H., P.C. Lee, O.V. Menyailo, and C.H. Cheng (2021) Changes in soil organic carbon concentration and stock after forest regeneration of agricultural fields in Taiwan. Forests 12:1222.

Murphy, T.H. (2000) An evaluation of distance education course design for general soils. Journal of Agricultural Education 41:103-113.

Post, W.M., and K.C. Kwon (2000) Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. Global Change Biology 6:317-327.

Smith, H.B., N.E. Vaughan, and J. Forster (2022) Long-term national climate strategies bet on forests and soils to reach net-zero. Communications Earth & Environment 3:305.

SSSA (1986). Methods of soil analysis. SSSA Book Series. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin. USA.

Weil, R.R. and N.C. Brady (2017) The Nature and Properties of Soils. 15th edition. Pearson Education, Inc. Essex. England.

World Bank (2021) Soil organic carbon MRV sourcebook for agricultural landscapes. World Bank, Washington DC. USA.