# 摘要

本研究透過監測的方式，針對北中南東不同工程的護坡回填土壤及周邊位擾動素地進行碳排放及土壤固碳能力比較，針對不同完成時期的工程碳匯進行分析。此外，也選擇同一水系已完成多年期的工地已及施工中的前中後土壤碳排放及土壤固碳能力進行碳匯成效比對。最後針對人工常態維護之校園草皮、坡面及花台同樣進行碳排放及土壤固碳能力進行三季監測分析，由結果可以看出溫度、工程種類以及含水量影響碳匯成果，且工程至少要 3 至 4 年以上才能與周邊素地的成果相近，但仍需做長時間觀測以作為工程日後固碳能力之滾動檢討與調整依據。

**關鍵字:監測、土壤碳匯、工程生命週期**

# Abstract

Through monitoring, this study compared the carbon emissions and soil carbon sequestration capabilities of the slope protection backfill soil and surrounding disturbed plains of different projects in the north, middle and south east, and analyzed the carbon sinks of the projects at different completion periods. In addition, a multi-year construction site in the same water system was also selected to compare soil carbon emissions and soil carbon sequestration capacity before, during and after construction. Finally, a three-season monitoring and analysis of carbon emissions and soil carbon sequestration capacity was carried out on the campus turf, slopes and flower beds that are manually maintained. From the results, it can be seen that temperature, project type and moisture content affect the carbon sequestration results, and the project needs to be at least 3 to It will take more than 4 years to be close to the results of the surrounding plains, but long-term observations are still needed as a basis for continuous review and adjustment of the carbon sequestration capacity of the project in the future.

**Keyword: monitoring, soil carbon sink, engineering life cycle**

# 目次

**摘要** ..... **I**

**Abstract** ..... **II**

**目次** ..... **III**

**表次** ..... **V**

**圖次** ..... **VII**

**第一章　前言** ..... **1-1**

1.1　計畫目的 ..... 1-1

1.2　計畫擬解決問題 ..... 1-2

1.3　計畫目標 ..... 1-2

1.4　計畫內容 ..... 1-2

1.5　預期成果及影響 ..... 1-3

1.6　實施方法與步驟 ..... 1-3

**第二章　文獻回顧** ..... **2-1**

2.1　土壤碳匯 ..... 2-2

2.2　碳庫定義 ..... 2-5

2.3　水土保持植生工程碳匯 ..... 2-8

2.4　水土保持工程節能減碳評估要項 ..... 2-18

**第三章　碳儲量計算** ..... **3-1**

**第四章　二氧化碳觀測規劃** ..... **4-1**

4.1　背景環境二氧化碳監測 ..... 4-1

4.2　既有工程二氧化碳監測 ..... 4-4

4.3　新建工程碳排觀測規劃 ..... 4-42

4.4　校園碳排放與工程土壤固碳觀測 ..... 4-54

4.5　結論 ..... 4-64

**第五章　工程碳地圖建置 ..... 5-1**

**第六章　結論與建議 ..... 6-1**

6.1　結論 ..... 6-1

6.2　建議 ..... 6-1

**參考文獻 ..... 參-1**

附錄一、觀測與採樣地點現地紀錄 ..... 附錄-1

附錄二、審查意見 ..... 附錄-89

# 表次

表 1-1　計畫甘梯圖 ..... 1-4
表 2-1　　碳庫定義 ..... 2-6
表 3-1　常見水保植物單位面積 CO2 固定量 ..... 3-1
表 3-2　常見水保植物單位面積 CO2 固定量 ..... 3-4
表 3-3　常用植生工程樹種與儲碳量 ..... 3-5
表 4-1　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 ..... 4-19
表 4-2　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 ..... 4-20
表 4-3　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣三 ..... 4-21
表 4-4　中部-南投水里鄉益則坑-採樣一 ..... 4-22
表 4-5　中部-南投水里鄉益則坑-採樣二 ..... 4-23
表 4-6　中部-南投水里鄉益則坑-採樣三 ..... 4-24
表 4-7　南部-臺南市興化區新化林場-採樣一 ..... 4-25
表 4-8　南部-臺南市興化區新化林場-採樣二 ..... 4-26
表 4-9　南部-臺南市興化區新化林場-採樣三 ..... 4-27
表 4-10　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 ..... 4-28
表 4-11　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 ..... 4-29
表 4-12　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三 ..... 4-30
表 4-13　北中南東採樣點工程類型 ..... 4-32
表 4-14　北中南東採樣點植生種類與成長周期比對 ..... 4-41
表 4-15　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 ..... 4-46
表 4-16　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 ..... 4-47
表 4-17　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 ..... 4-48
表 4-18　屏東縣恆春鎮出火橋下游採樣點為與植生配置 ..... 4-51
表 4-19　校園土壤碳排與固碳採樣監測成果表 ..... 4-55

**表 4-20　校園土壤碳排與固碳採樣第一次監測數據..... 4-58**

**表 4-21　校園土壤碳排與固碳採樣第二次監測數據..... 4-60**

**表 4-22　校園土壤碳排與固碳採樣第三次監測數據..... 4-62**

# 圖次

圖 1-1　研究流程圖 ..... 1-4
圖 2-1　2020 年森林碳庫中的碳庫比例 ..... 2-3
圖 2-2　植物呼吸作用示意圖 ..... 2-4
圖 2-3　土壤與人類生存的關係 ..... 2-4
圖 2-4　碳匯架構圖 ..... 2-8
圖 2-5　水土保持手冊之植生工程 ..... 2-13
圖 2-6　植栽方法 ..... 2-13
圖 2-7　野溪溪岸緩坡緩衝綠帶配置斷面 ..... 2-14
圖 2-8　「以自然為本之解方」的八項準則 ..... 2-17
圖 4-1　碳排放儀器規格表 ..... 4-2
圖 4-2　土壤採樣器 ..... 4-3
圖 4-3　北中南東工程碳匯採樣點 ..... 4-18
圖 4-4　北部工程碳排及固碳採樣成果分析 ..... 4-33
圖 4-5　北部-桃園高遶溪碳監測點位趨勢分布 ..... 4-34
圖 4-6　中部工程碳排及固碳採樣成果分析 ..... 4-35
圖 4-7　中部-南投益則坑碳監測點位趨勢分布 ..... 4-36
圖 4-8　南部工程碳排及固碳採樣成果分析 ..... 4-37
圖 4-9　南部-台南新化碳監測地點趨勢分布 ..... 4-38
圖 4-10　東部工程碳排及固碳採樣成果分析 ..... 4-39
圖 4-11　東部-花蓮縣玉里鎮安通溪監測點位趨勢分布 ..... 4-40
圖 4-12　出火橋工程碳排及固碳採樣成果分析 ..... 4-49
圖 4-13　出火橋工程碳排及固碳採樣分期成果分析 ..... 4-52
圖 4-14　出火橋工程碳匯成果分析 ..... 4-53
圖 4-15　校園碳匯監測位置圖 ..... 4-54

**圖 4-16　校園碳匯監測照片一 ..... 4-57**

**圖 4-17　校園碳匯監測第一次照片 ..... 4-59**

**圖 4-18　校園碳匯監測第二次照片 ..... 4-61**

**圖 4-19　校園碳匯監測第三次照片 ..... 4-63**

# 第一章　前言

## 1.1　計畫目的

2021 年臺灣宣誓加入世界淨零碳排的行列，預計 2050 達成淨零排碳之目標，行政院農委會亦具體訂定農業部門於 2040 年達成淨零目標，其內容包含要達成減少溫室氣體排放 50%、推動國公私有地造林面積、提昇國產材自給率、建立農林漁畜低碳永續循環場域、農業綠能發電滿足農業用電比例達百分百等多項目標，符合當前聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)，其指標包含了目標 2「消除飢餓，達成糧食安全，改善營養及促進永續農業」、目標 13「採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響」、目標 15 「保護、維護及促進領地生態系統的永續使用，永續的管理森林，對抗沙漠化，終止及逆轉土地劣化，並遏止生物多樣性的喪失」等指標項目。

現階段對於碳捕捉之技術，除以新興技術進行工程碳捕捉外，另一則為回歸自然解方（Natural-Base Solutions, NBS），自然解方又 以海洋碳匯為主的藍碳、以森林碳匯為主的綠碳及以土壤碳匯為主的黃碳，以永續發展目標來說指標更明確提及土壤有機碳庫存，已是世界公認的關鍵發展目標，目前環保署所研擬之碳匯申請中，以建立森林碳匯為主，而當前臺灣各部門及產業界的淨零碳排需求，發展新的碳匯來源已是刻不容緩的發展，臺灣當前應當積極開發具有效益的碳匯來源。

本計畫主要透過對工程的整體過程的了解，藉由不同工程對固碳的貢獻，了解實際工程對黃碳與碳排放及周邊影響程度，進而檢視整體工程在不同生命週期階段對實際碳排放量。

## 1.2 計畫擬解決問題

本研究主要透過了解工程生命週期各階段無論是臨時的施工機械或是分布的各類設施、於工程區域內及其周邊的碳排放量為何，並了解現況的實際碳排放量，進而作為日後減碳作為改善的參考依據。

## 1.3 計畫目標

本研究主要透過手持二氧化碳監測設備與 GPS 的硬體與 ArcGIS 軟體的整合，將工程生命週期的碳排放資訊的調查，碳排放量測，監測位置的資訊與各類水保植物與施工機械碳排放的參考資訊，整合並且比較，以供工程生命週期碳排放管理與檢討改善之參考依據。

## 1.4 計畫內容

1.文獻回顧:針對國內外工程碳排放的定義，碳檢測方式，工程碳足跡計算方式及水土保持植生碳排放計算等資訊做回顧。

2.透過傳統的碳排放計算方式，整合空氣碳及土壤碳的監測模式，選擇適當的檢測方式，進行比對，並針對工程本身以及工程周邊環境在不同生命周期階段的產生碳的位置進行空間的模式建置。

3.藉由已建構的比對模式，針對新建工程在不同施工階段做多期工程進度在不同相向條件下碳排放比對，建構工程生命週期之地表與土壤內碳排放與碳匯的實際追蹤考核。

4.透過測量方式，針對已完工在服務之工程構造物與新建構造物做周遭環境之碳排放量測，如河道的沖淤變化、坡面

的植生變化、結構物之狀態，於多年後對不同環境的影響。

5.透過已建構的檢測方式，搭配 GIS 圖資與量化成果的展示與建置，了解各類水保構造物與植生復育前中後，工程生命週期碳排放的成果，並輔以傳統快速檢算碳足跡的方式，進行比對。

## 1.5　預期成果及影響

透過實際各類水土保持工程碳排放與土壤碳匯量測成果與傳統計算誤差，作為各項水保工程構造物生命週期碳足跡地圖化的建置，可做為日後水土保持工程減碳之滾動管理的應用參考，順勢檢視與建立整體自動化碳足跡地圖資訊的依據。

## 1.6　實施方法與步驟

1.前言:內容包含計畫緣由、計畫目的、預期目標、人力組成、時規劃、預期成果等。

2.文獻蒐集:針對國內外工程碳排放的定義，碳檢測方式，工程碳足跡計算方式及水土保持植生碳排放計算等資訊做回顧

3.透過傳統的碳排放計算方式，整合空氣碳及土壤碳的監測模式，選擇適當的檢測方式，進行比對，並針對工程本身以及工程周邊環境在不同生命周期階段的產生碳的位置進行空間的模式建置。

4. 透過測量方式，針對已完工在服務之工程構造物與新建構

造物做周遭環境之碳排放量測，如河道的沖淤變化、坡面的植生變化、結構物之狀態，於多年後對不同環境的影響。

5. 透過已建構的檢測方式，搭配 GIS 圖資與量化成果的展示與建置，了解各類水保構造物與植生復育前中後，工程生命週期碳排放的成果，並輔以傳統快速檢算碳足跡的方式，進行比對。

其流程圖與時程表如圖 1-1 及表 1-1

**表 1-1　計畫甘梯圖**

| 工作項目 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 文獻回顧 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 測量驗證 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 檢測模式建構 | | | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | |
| 碳地圖建構 | | | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ |
| 現地測量 | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | |
| 分析討論 | | | | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ |
| 時程控制 | | 期初 | | | | | 期中 | | | | 期末 | 成果 |

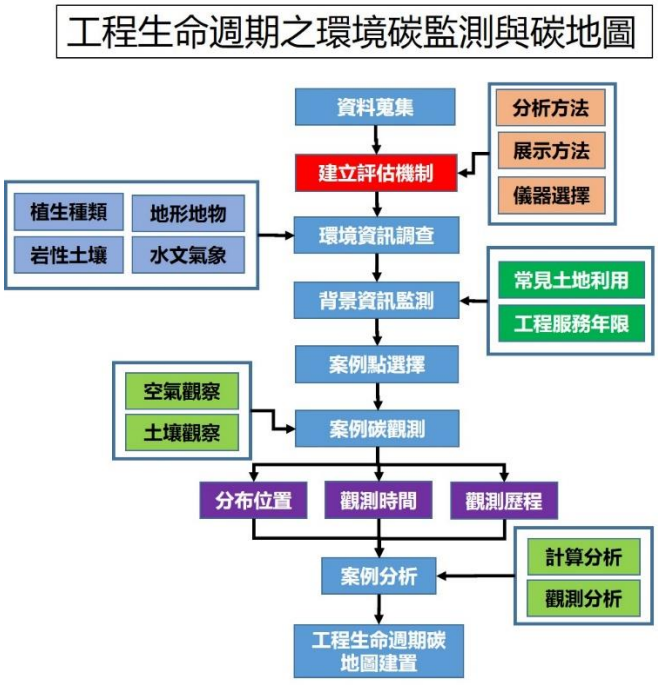



**圖 1-1　研究流程圖**

# 第二章　文獻回顧

碳匯的定義中，匯，在中文詞典中的含義是聚集、合併的意思，因此碳匯（carbon sink）顧名思義就是「碳的匯集之處」。 又根據「氣候變遷因應法」的碳匯定義：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。當中，碳匯的 4 大分類說明如下:

一、森林碳匯

森林因其茂密的植被以及樹木，在植物體進行光合作用時，會吸收二氧化碳轉換為碳（C）儲存在體內，被視為最大的自然碳匯庫。根據數據，森林提供碳匯吸收淨 76 億噸 CO2，大約是美國每年排放量的 1.5 倍。

二、海洋碳匯

根據台達電文教基金會的數據，海洋碳匯則是於 2009 年至 2019 年間，海洋總共吸收了全球人類 17%至 28%的二氧化碳排放量；2020 年的報告也指出，全球有高達 80%的碳以各種形式被保存在海洋中，因此，若將時間拉長遠來看，海洋甚至可以吸收人類所製造的 95%溫室氣體。

三、土壤碳匯

土壤碳匯簡易地來說就是將二氧化碳以固體碳的方式儲存在土壤裡，可視為土土壤有機質的累積。計算的標的物包含土壤中的有機碳與無機碳，但因為田間土壤碳量測的不確定性加上方法學尚未完備，因此土壤碳匯要轉換為碳權，還有一段長遠的路要走，者也就是本研究的主要重點。

四、生物炭碳匯

要介紹生物炭碳匯之前，需要先了解植物的光合作用原理。

## 2.1 土壤碳匯

碳匯(carbon sink)是儲存 CO2 的天然或人工「倉庫」，也有點像外匯存底，通常不動用。地球最會儲存二氧化碳的天然倉庫就是森林，植物吸收空氣中的二氧化碳行光合作用，樹木可以把空氣中四公斤的二氧化碳轉成一公斤的木材放到肚子裡，一棵樹木有生之年大概可以吸收 900 公斤的二氧化碳。不過你也別因此就以為碳排有解了，人類活動的碳排放速度比樹木吸收的速度快更多。

另一個厲害的倉庫是海洋，可是海洋上面沒有蓋子，因此二氧化碳可以自由來去，而樹木把二氧化碳吸在肚子裡形成固碳效果，直到它死掉倒在地上二氧化碳才會跑出來，兩者高下立判。土壤也可以吸收二氧化碳，只是吸的量不夠多。森林是地表最強的倉庫，有最多的碳匯，但森林碳匯不見得可以變成森林碳權。

土壤碳通量(soil carbon flux)是指碳透過生物、化學和物理過程在土壤和大氣之間的移動。 它是土壤碳輸入（例如植物殘體、根系分泌物）和輸出（例如呼吸作用、分解）之間平衡的最終結果，碳在土壤中儲存的時間長短取決於有機質的類型和土壤中的條件。

土壤有機碳庫系指土壤中有機含碳物質之總含量或儲存量，FAO(2020)如圖 2-1 所示，森林碳庫中，活體生物量碳庫比例為 44%、枯木 4%、枯枝落葉 6%，土壤有機碳質 45%土壤作為相關的碳庫來源，可將二氧化碳、甲烷等影響溫室氣體固存於土壤內部，利用微生物的消化將碳轉化為土 壤有機碳存於土壤內部，對氣候有所貢獻。尤其以山地土壤 格外的重要，山地土壤可儲存大量的土壤有機碳，土壤有機碳庫目前被定義為固定土地表面的有機碳量，其土壤之深度通常為 30 公分至 1 公尺的範圍內，徐等人(2021)的研究表示，碳儲量會隨土壤深度增加而快速減少，而且在土壤深層(超 過 100 公分)碳儲量會減少至趨近穩定。黃(2009)於臺灣大部分土壤進行測量結果，

發現有機碳儲存於 0-50 公分土壤深度 內，其中 0-30 公分儲存土壤有機碳比率更高。此外，土壤有機碳取決於土壤性質，如深度、有機物含量、質地、團粒結構、孔隙度及腐植質類型等，受自然因素影響如溫度、土壤 質地、土壤濕度、植被之種類等影響，土壤有機碳亦受到土地使用管理等影響，如森林砍伐、作物種類、過度放牧、深耕、栽培管理等作法不同皆會影響土壤儲碳能力。土壤碳庫與森林碳庫有密集的交互作用，土壤碳庫與森林碳庫所組成碳庫可以大量捕捉並固定大氣中的二氧化碳，封存於植物體 或土壤中，且如圖 2-2 所示，因植物的呼吸作用、環境變化及人類活動影響，土壤碳庫為一動態性的碳庫，在不同的管理方式或封存獲釋放碳素。在農業上，影響土壤有機碳之農業因子有土壤的利用型態、種植作物之種類、栽培管理之方式等因素。土壤中碳含量越高，即土壤有機質含量越高，土地的肥力和恢復力就越高，從而形成更高的養分循環。如圖 2-12 所示，土壤和人類的生存與發展是休戚與共的關係，只有深刻認識土壤的功能，才能更好地開發土壤服務社會的價值。簡言之，發展土壤碳匯的優勢彙整於圖 2-3，包含生態服務、緩和及調節氣候、維持生產和糧食安全以及維護人類福祉。

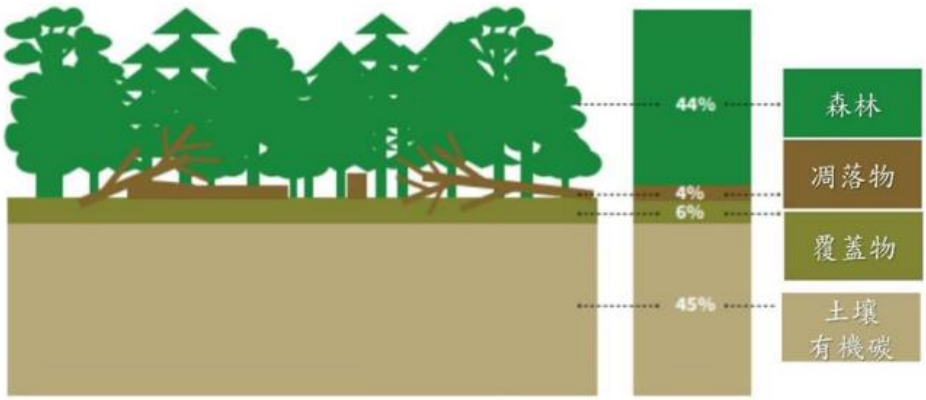



**圖 2-1　2020 年森林碳庫中的碳庫比例**

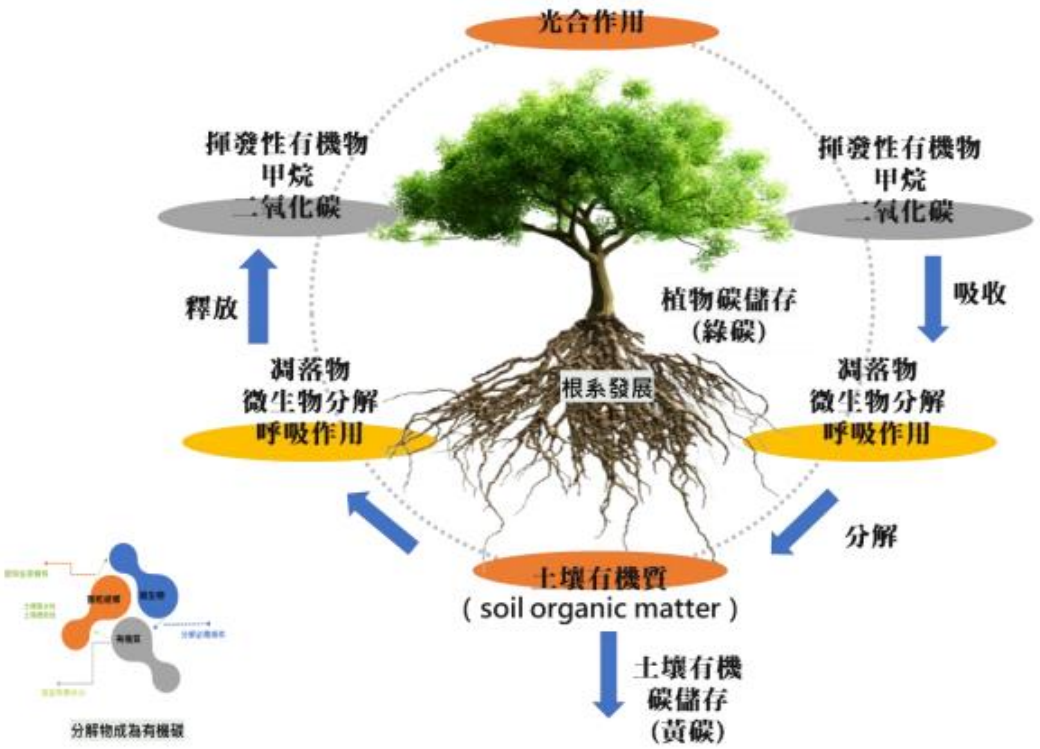



**圖 2-2　植物呼吸作用示意圖**




**圖 2-3　土壤與人類生存的關係**

## 2.2 碳庫定義

碳庫，是全球變化科學當中的一個重要名詞。指在碳迴圈過程中，地球系統各個所存儲碳的部分。主要分為地質碳庫，海洋碳庫，土壤碳庫，生態系統碳庫等。現已知道，人類活動致使地質碳庫變成了巨大的碳源，而海洋碳庫則是巨大的碳匯。現階段人類活動影響最為顯著的碳庫是陸地生態系統碳庫。人類活動致使土壤碳庫漸成碳源，而生態系統的碳匯功能正在減弱。從碳庫對於全球大氣二氧化碳含量變化的貢獻來看，可以把碳匯分為碳源和碳匯兩種類型的碳庫。衡量一個碳庫是碳源的庫還是碳匯的庫，主要看他的 NEE 的變化。NEE：淨生態系統 CO2 交換量（Net ecosystem exchange）指陸地與大氣介面生態系統 CO2 淨交換通量，即生態系統整體獲得或損失的碳量。他是衡量生態系統碳源碳匯的重要指標。

常見的自然減量方法(Nature-based Solutions, NbS)分別為以森林為主體的綠碳，以土壤有機碳為主的黃碳，以海洋為主的藍碳三種為主。綠碳為植物行光合作用後將 CO2 儲存於植物本體、根系與土壤之中。與黃碳、藍碳相比，綠碳的 CO2 儲存總量排行第三， CO2 吸收效率排行第一。世界森林的總碳庫存（carbon stock）為 6620 億噸（662 gigatonnes, Gt），森林的平均碳密度（carbon density）為 163 噸／公頃（FAO, 2020b）。全球森林的平均碳密度為 74 噸／公頃（91 噸／公頃），溫帶森林居中（53 噸／公頃），寒帶森林則最低（41 噸／公頃）（Kappen et al., 2020）。南美洲、非與中（biomass），每 120 噸的碳，44%物量中（地上部與地下部□物量的碳含量為 2960 億噸），壤有機質（soil organic matter）（45%），（dead wood）與枯枝落葉（litter）中有 10%的森林碳（包括枯枝落葉）在寒帶森林（2020 億噸，佔態系統碳庫存的 70%）和溫帶森林（690 億噸，60%）的□態系統碳庫存中所佔比例，但僅有 30%（1550 億噸）（Pan et al., 2011）。如表所

示，目前全球森林總碳存庫為 662 Gt C(IPCC, 2007)，其量測方法學目前最多，也是最容易取得碳匯之方式，然而並非所有的森林皆可以申請碳匯，因樹木各生長期吸碳量有差異，一般以樹齡 20-40 歲之樹木吸收能力為最佳。

黃碳，土壤有機碳庫，系指在特定土壤深度(如 30 公分)或整個土壤剖面，計算此範圍之相關資料，此資料包含土壤容積密度、石塊含量及土壤有機碳含量，以農田、泥炭地、草原、黑土、山坡土壤等為主。CO2 儲總量排名第二，但二氧化吸收效率排行第三，因土壤使用特性之因素，對於碳權的取得較為困難，目前也缺少相對之方法學使用，全球土壤碳庫 2,260GtC (IPCC, 2007)，其中有 2/3 以有機質形式存在，但因受環境及場域之影響，對於土壤利用變化及土壤管理措施皆會影響土壤儲碳的能力。

**表 2-1　碳庫定義**

| 碳庫 | | 說明 |
|---|---|---|
| 生物量 (Biomass) | 地上部生物量 (Aboveground Biomass) | 土壤以上所有活的木本和草本之生物量，包括莖、殘幹 (Stump)、枝、樹皮、種子和葉。 註：如果森林下層植被占地上部生物量碳庫的比例較小時，可不列入計算，但在整個調 查期間中應有一致性的處理。 |
| | 地下部生物量 (Belowground Biomass) | 活根的全部生物量。由於僅憑經驗要將直徑低於 2 公釐的細根與土壤有機質或枯落物加 以區分是相當困難的，因此建議直徑低於 2 公釐的細根不列入計算。 |
| 死有機質 (Dead Organic Matter) | 枯死木 (Dead Wood) | 除枯落物外的所有非活的木質生物量，枯死木包括：直立的、橫躺在地面上的或者在土壤中直徑大於或等於 10 公分的枯倒木、死根和殘幹。 |
| | 枯落物 (Litter) | 所有直徑大於 2 公釐（因要與土壤有機物區分）的非活的生物量及直徑小於枯死木所定義 的最小直徑 (10 公分)、在礦質或有機質土壤上已經死亡的及各種程度的腐朽狀況的所有非活的生物量，包括：土壤類型所定義的枯落物層及在礦質或有機質土壤中的活細根(最小直徑應低於地下部生物量所規定)。 |
| 土壤 (Soils) | 土壤有機質 (Soil Organic Matter) | 係指達到所選擇深度之礦質土壤的有機碳，包括：土壤中之活和死的細根與有機質、不能憑經驗區分而直徑小於 2 公釐（建議值）的根及死有機質。土壤深度預設值為 30 公分。 |

| 儲蓄庫 | IPCC 評估(2000 年) | P.al(2004 年)*2 | Eswaran(1993)*3 |
|---|---|---|---|
| 海洋 | 39,000 | 38,000 | 38,000 |
| 地下資源 | | 5,000 | 4,000 |
| 土壤 | 2,000(森林 660)* | 2,500 | 1,500 |
| 大氣 | 760 | 760 | 750 |
| 植物 | 500(森林 330)* | 560 | 550 |
| 地殼 | | | 65,500,000 |

本計畫之碳匯評估所需參數因子參考文獻，包含前述 IPCC2006 年《國家溫室氣體清冊指南》(IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)第四卷〈農林業和其他土地利用部門的溫室氣體排放與移除〉、自願減碳標準(Voluntary Carbon Standard, VCS)方法論及 2015 年〈中華民國國家溫室氣體清冊報告〉等資料匯集整理而成，包含提供生物量、死亡有機質及土壤碳庫變化量的通量計算方法等方式，碳匯功能調查程序包含三個層級進行。

(1)第一層級(Tier 1)：使用方法最簡單，空間範圍資料粗略 IPCC 預設的排放係數。使用活動數據和排放係數的簡單假設和已 出版的 IPCC 預設值進行評估。

(2)第二層級(Tier 2)：採用時間、空間及利用分類程度高之資料； 具體國家的關鍵因子參數。使用國家特定地點的數據，準確 度和精確度較高。

(3)第三層級(Tier 3)：最高層級，分析估值之確定性高，主要碳庫的詳細核查、定時重複測定或模型計算量。用於評估該區域的碳庫和碳通量變化。可以透過野外直接測量或模型估算獲得。

水土保持植材與坡地作物之碳匯模式開發評估基本方程式為:

$$Emissions = AD * EF$$

AD=導致溫室氣體排放的生產或消費活動的活動量，EF=排放因子本計畫先以層級一(Stage 1)進行調查推估，排放係數及土地利用調查以臺灣目前有提出之研究報告本土值為主、缺乏者以 IPCC2006

指導原則之建議值為主，死有機質於 IPCC2006 中認為碳儲存量變化並不明顯，因此假設為 0。

臺灣對於土壤碳匯之研究目前尚在起步當中，若已有本土研究報告將以本土研究報告為主，若無則暫以 IPCC2006 之假設值為基礎進行，碳匯調查參考「林務局台灣本土植物資料庫」及「特有生物研究保育中心資料庫」，台灣茶園、柑橘園等坡地經濟作物的產地中大多以喬木及灌木為主，在推估坡地經濟 作物時地上部之部分以單位面積之林木碳儲存量進行計算，本研究將碳匯分為三個部份來進行計算，分別為地上部、地下部及土壤碳匯，其架構圖如圖 2-4，地上部以計算作物及水保植材生物量為主、生長率及作物本體含碳比例低，地下部包含作物地下部根莖比，土壤碳匯包含土壤層及枯枝落葉層。

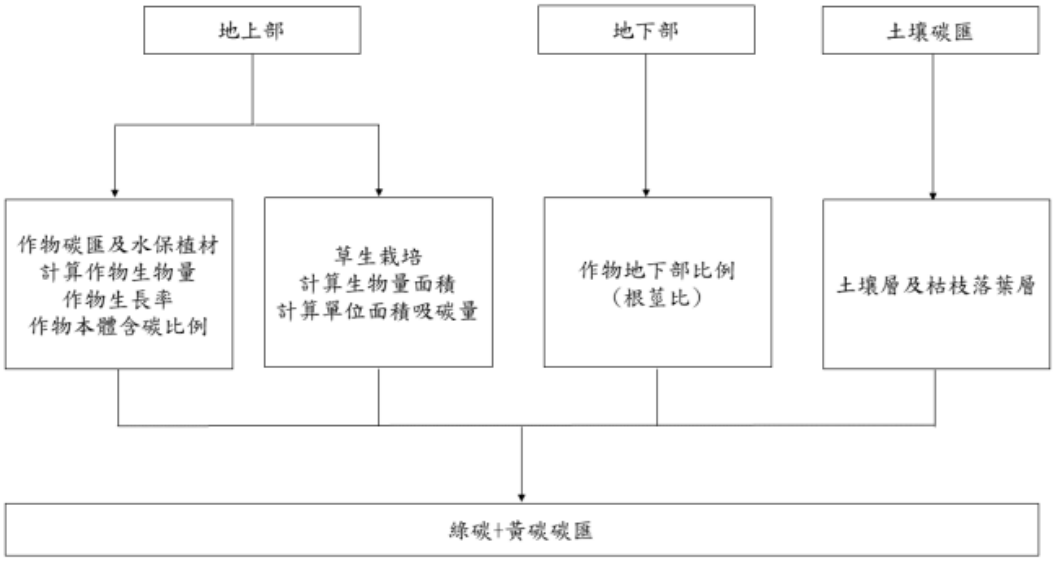



**圖 2-4　碳匯架構圖**

## 2.3　水土保持植生工程碳匯

參考水土保持手冊(2017)植生篇，植生工程規劃時，需先確立植生工程預期目標，藉以研訂植生工程計畫。研擬時應以植生前期作業、植生導入作業、植生維護與管理等一併加以考慮。主要工作項目如圖

2-5 所示，依規劃構想及現地施工的技術面，建立具體而明確的植生施工方法，如屬土砂災害地區或坡面不穩定地區，需配合防砂工程或邊坡穩定工程計畫擬定或施作，以決定植生基礎工程與植生導入作業方法。水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估圖 2-6 植生工程之工作項目示意

一、植生前期作業：指在裸露坡面導入植生前所做的工程保護措施，目的在 減低土壤沖蝕、穩定坡面、防止崩塌面積擴大、增強坡面基 礎穩定，並營造有利植物發芽、生長、演替之環境條件等。 將植物導入坡面時，其前提是基地的坡度與沖蝕控制、土壤 基質之物化特性、氣候條件等，必須適合標的植物群落之成 長與建立。

二、植生導入作業： 指依坡面條件與植生目的，所使用合適的方法使植物能 在基地上繁衍生長之作業方法。植生導入作業方法可概分為 播種法、栽植法與植生誘導法。

三、維護管理作業：指為確保植生工程成效所需採行的措施。

四、緩衝綠帶：參考「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」(水土保持局， 2012)，緩衝綠帶係指人為開發地區與自然環境間之過渡帶，因 應不同之環境保育功能，緩衝帶可略分為防風林帶、防火綠帶、 第三章 研發水土保持植材減碳工法、坡地經濟作物之水土保持災害防治生態工法，以及改善經濟作物碳匯效益之種植工法水庫保護帶、泥砂攔阻緩衝帶及生物多樣性保護帶等，範圍約 5~300 公尺。水庫集水區設置緩衝綠帶可減少土砂進入庫區內，可維護水質、延長水庫之使用年限。野溪、崩塌地區及工程周邊設置緩衝綠帶，可避免土砂持續下移、減少坡地與下游地區之土砂災害，並可增加生物活動範圍。

(一)緩衝綠帶之相關法規如下：

1.水土保持技術規範

(1)第 132 條(防災綠帶) 防災綠帶係由喬木、灌木或草本植物所組成之植 生群落，依其營造目的可分為緩衝綠帶、防風綠帶等， 以減免災害。 前項防災綠帶，在不影響其功能下，經主管機關 同意，得設置必要之穿過性排水設施。

(2)第 133 條(緩衝綠帶) 緩衝綠帶應有穩定邊坡、防止沖蝕、崩塌、攔阻 土石等功能。

(3)第 167 條(設置緩衝帶) 開挖邊坡之坡頂或填方邊坡之底部至毗鄰界址， 應留緩衝帶，不得整平，並加強植生覆蓋。緩衝帶之 寬度，以水平距離十公尺以上或人工擋土構造物高度 一·五倍以上水平距離為原則。但凡屬依規定得為建 築使用之土地、農舍及道路，不在此限。毗鄰界址之緩衝帶如經整平後而更安全者，得予 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估 3-6 整平，惟整平後仍應加強植生覆蓋。

(4)第 175 條(高爾夫球場之緩衝帶) 高爾夫球場之緩衝帶寬度以水平距離十五公尺以 上為原則。

(5)第 180 條(修建道路之植生綠化及防災措施) 修建道路應有完整之植生綠化及防災措施。

(6)第 192 條(堆積土石之植生綠化及防災措施) 堆積土石應有完整之植生綠化及防災措施。

2.水土保持手冊植生篇第 9.2.3 節(植生緩衝綠帶之寬度設計)植生緩衝帶之寬度若設計不足，則無法達到淨化逕流 水質的預期效果。反之，若寬度過大，將造成農地或其他 用地

的損失，人民配合的意願不高。彙整國內外相關學者、 法規等，針對緩衝帶之寬度設計，其範圍從 5~100 公尺不等，說明如下：

(1)美國農業部在其耕地保育計畫內所推薦之植生緩衝帶寬度為 20~30 公尺，而在森林集水區內，沿著溪流兩 旁之保護帶最少需 30 公尺。

(2)緩和水溫緩衝帶需 30 公尺，阻隔泥沙緩衝帶需 80 公尺，維持並促進生態歧異度緩衝帶需 100 公尺。

(3)植生緩衝帶之合理寬度，取決於過濾後放流水之水質，影響放流水水質的變因甚多，例如地形、土壤、土地 利用、水文特性與緩衝帶的植生種類及其覆蓋度之不 同而有所差異。集水區內不同地區間之地文與水文變 化甚大，考量集水區地文與水文之變化以建立合理緩 第三章 研發水土保持植材減碳工法、坡地經濟作物之 水土保持災害防治生態工法，以及改善經濟作物碳匯效益之種植工法 3-7 衝帶寬度，可利用地理資訊系統連結指標模式或農業 非點源污染模式，依配置區段分類。

(4)水庫保護帶： 依水土保持法第二十條規定水庫保護帶為經劃定為特定水土保持區之水庫集水區，其管理機關應於水 庫滿水位線起算至水平距離 30 公尺或 50 公尺範圍內， 設置保護帶。

(5)水岸保護帶： 在濱臨天然河道或溪溝地區，保留或營造 5~10 公 尺寬之保護綠帶。

(6)道路保護帶： 於道路兩側營建 3～5 公尺寬之綠帶。

(二)野溪設置緩衝綠帶的配置 參考「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」(水土保 持局，2012)，野溪植栽設置如下：

1.野溪護岸周邊如無法提供充足腹地，可於護岸岸頂後坡選擇具水土保持功能之喬灌木進行帶狀植栽，形成連續性之植生廊道功能。

2.工程周邊裸露地區，可依現地條件栽植小苗木，達到護岸保護與緩衝綠帶之效果。

3.野溪整治後如護岸有 3 公尺寬以上的腹地，可考量進行複層植生植栽，及中間為多行中、大喬木，外側為灌木之植栽配置，以適合濱水生長之植物為主。 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估 3-8

4.大型土砂災害地區、土石流地區等，經整治後可於兩側寬廣腹地或土砂淤積區域栽植緩衝林帶。發生土石流之土砂淤積嚴重區域，以容易固定土壤之樹木、選擇陽性造林樹種之中、小喬木，採用等距植栽，間距約 2~3 公尺，並進行人工撫育管理。

(三)野溪溪岸栽植植物選用原則

1.支根多而密，可提供良好之主體支持與河岸土砂吸附固著效果。

2.生長快速、樹性強健，可在短時間達到綠化與河岸邊坡穩定效果。

3.耐水性高。

4.少病蟲害、適應性強、能形成鬱閉林相。

5.餌食與蜜源植物，增加小動物之食源與棲所。

(四)野溪溪岸栽植應用植物

1.地被植物：越橘葉蔓榕、蔓花生、雲南黃馨、三裂葉蟛蜞

菊、九重葛、珊瑚藤、金銀花、野牡丹、姑婆芋、馬纓丹、 非洲鳳仙花、長春花、腎蕨等。

2.苗木植栽樹種：臺灣肖楠、樟樹、山櫻花、稜果榕、青剛櫟、黃槿、茄苳、烏桕、九芎、榔榆、苦楝、水柳、朴樹、 臺灣光蠟樹。

(五)野溪溪岸緩衝綠帶配置參考前述相關資料，野溪溪岸緩衝綠帶配置宜採用複 層植生植栽，本計畫建議野溪溪岸緩坡緩衝綠帶植栽方法 第三章 研發水土保持植材減碳工法、坡地經濟作物之水土保持災害防治生態工法，以及改善經濟作物碳匯效益之種植工法與配置斷面如圖 2-6 與圖 2-7 所示。




**圖 2-5　水土保持手冊之植生工程**

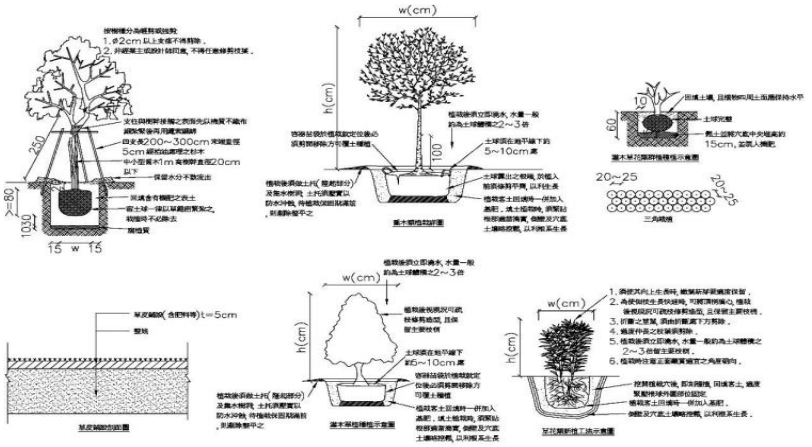


**圖 2-6　植栽方法**

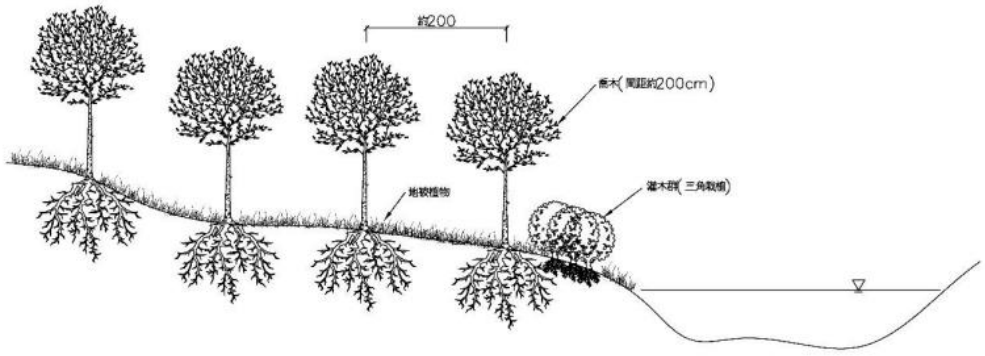



**圖 2-7　野溪溪岸緩坡緩衝綠帶配置斷面**

近年來政府單位於水土保持工程上陸續推動環境友善生態 工法，由原先混凝土工程逐漸改為天然資材所取代，在改善土 砂災害的工程中以混凝土為材質的擋土牆、防砂壩、護岸等近年來陸續以木構造建置，而坡地經濟作物在慣行農法中種植中 常伴隨著許多高碳行為的產生，包含農藥施灑，肥料使用以及 作物收穫等工作。

土壤與森林是地球上主要的碳匯，而且森林儲存的二氧化碳會多於釋放的量，但隨著全球城市化，因都市發展而砍伐森林將其分割成小地塊的破碎化現象越來越嚴重，加上氣候變遷，地球暖化的影響加劇土壤中碳匯的流失，長此以往，將失去碳儲存與釋放之間的平衡，因此波士頓大學團隊研究了森林破碎化對農村與城市中樹木與土壤的影響，研究結果發現比起森林深處的樹木，森林邊緣的樹木能儲存更多的碳；而比起農村，城市的土壤有更多儲存碳的能力。

樹木和土壤雖然不像我們一樣有肺，但其實它們一直在「呼吸」。樹木吸收大氣中的二氧化碳，透過光合作用釋放出氧氣，並將碳儲存在樹幹中，當其葉片落地時，土壤的微生物會分解葉子和其他有機物質，並釋放出二氧化碳至大氣中，形成碳循環。事實上，森林儲存的二氧化碳會多於釋放的量，而燃燒化石燃料產生的碳排，約有 30%是被森林所吸收，這種效應被稱為陸地碳匯註，因為有陸地碳匯，所以我們並沒有感受到氣候變化的真正影響。

森林是片很大的地質景觀，但實際上森林被道路、建築物、農業發展和太陽能農場等人為開發切割成更小的地塊，此過程稱為「森林破碎化」，因為森林破碎化而創造出更多的區域，這些區域稱為「森林邊緣」。長期以來，人們一直認為森林邊緣釋放和儲存碳的速度應與森林深處相似，但波士頓大學(Boston University, BU)的研究團隊卻有不同的發現：美國東北部溫帶森林邊緣的土壤和樹木，其表現與遠離人類的地方不同。森林邊緣的樹木生長速度快於森林深處的樹木；而且城市地區的土壤可以儲存更多的二氧化碳，城市森林不再被認為是僅供休閒娛樂的場所。

美國農業部的計畫監測與分析了全國各地森林的樹木大小、生長和土地利用情況，研究團隊利用這些數據研究了逾 48,000 個森林地塊，比較森林邊緣與森林其他部分的樹木生長速度，發現樹木在森林邊緣(距離邊緣約 100 英尺)的生長速度幾乎是森林深處的兩倍，這可能是因為森林邊緣的樹木與森林深處沒有競爭關係，所以它們獲得了更多的陽光，而樹木長得越多，所吸收儲存的碳就越多。

此結果並不表示森林破碎化是從大氣中吸收更多碳的解決方法，雖然森林邊緣的碳匯變多，但卻不能補償喪失森林的負面影響，像是無法將長期儲存在地下的碳釋放回大氣中。除此之外，還需要考慮森林邊緣樹木對氣候變化的敏感程度，雖然在更多的陽光下會生長得更快，但更高的溫度反而會導致生長速度大幅降低。

另外，研究人員發現森林邊緣的土壤也會受到森林破碎化的影響，發表在《全球變化生物學》關於森林邊緣土壤的論文提到：土壤中含有大量的細菌、真菌、根和微生物，它們在工作和活動時也會吸收和排出二氧化碳。森林邊緣的土壤不僅比森林深處釋放更多的碳，而且土壤在農村和城市森林中扮演的角色也大不相同。研究團隊利用一年半的時間調查美國麻州(Massachusetts)已開發和未開發地區的八個地

點，除冬季外，每隔兩週測量森林邊緣與森林深處土壤的溫度、濕度及從土壤中釋放的碳含量。

結果發現，在人口和建築物較少的農村地區，森林邊緣因較高的溫度導致葉子和有機物分解得更快，比起森林深處陰涼區域，森林邊緣的土壤微生物會釋放更多的二氧化碳；而在地面更熱、更乾燥的城市森林中，這些土壤卻停止釋放出更多的碳，但長期影響仍不確定。由研究結果推論，城市土壤可能具有比預期更多的碳儲存能力。

雖然發現城市樹木和土壤能儲存更多的碳，但農村或城市地區森林邊緣的樹木可能更易受到極端高溫和乾旱的影響，而且目前尚不清楚隨著地球暖化，這種碳匯的增加是否會持續下去。加上氣候變化可能會加速土壤流失碳匯，而森林將近一半的碳都儲存在地下，因此隨著城市和國家承諾種植更多樹木以遏止氣候變遷的影響時，還需要考量森林邊緣種植新樹的地點，使儲存的碳含量增加。

根據 IUCN 對 NBS 的描述，NBS 若只是以一個專案的方式執行，效果會很有限，因此若能在一個區域內進行多項 NbS 專案，不論是同時執行或分期進行，只要能夠確保專案間的連結越高，則 NbS 專案的效果會越好。但礙於 NbS 迄今都沒有一個明確、固定的標準，缺乏框架的後果就是專案執行者要說服當地民眾、投資人、甚至是政府投入 NbS 專案時的說服力度會讓人無法信服，專案結束後的成果評估也會因為缺乏統一框架的關係，而遭人質疑是否具有公平、公正的效力，故迫切需要一個可供依循的框架以執行 NBS 專案。有鑑於此，歐盟執行委員會於 2015 年首次提出官方之定義。而 IUCN 也在 2016 年的世界保護大會上針對 NbS 提出其定義：「Actions to protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems, that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-beingand biodiversity benefits」；除此之外，IUCN

提出了八項準則，包含：①解決社會問題、②根據問題尺度進行專案規劃、③增加淨生物多樣性、④具經濟可行性、⑤社會公平性、⑥平衡與權衡、⑦適應性管理，以及⑧主流化與可持續性，如圖 2-8。




資料來源：https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf, 2020

**圖 2-8　「以自然為本之解方」的八項準則**

森林碳匯，又稱為綠碳，是目前應用範圍最廣、最廣為人知的方法類別。綠碳的主要作用方法是以森林為核心，透過復育退化林地、改善林場經營管理、避免林地變成其他土地利用類型等方法，人為地增加森林吸收的溫室氣體總量；同時也要確保被吸收的溫室氣體不會從其他地方再度被排放到大氣中，因此需要針對已經吸存的部分進行監測。為了盡可能貼近實際的減量狀況，碳匯方法會因應各地的緯度、海拔、氣候等條件而設計不同的方法，藉此降低監測時的誤差。

在提到自然碳匯時，綠碳是最常被提及的碳匯，但另外兩項，黃碳以及藍碳與人類活動也息息相關。以黃碳為例，黃碳若能合理運用，對於溫室氣體移除的貢獻將遠大於綠碳。根據 Stockmann 等人之研究，黃碳在全球的存量估計為 2,500 Gt，黃碳是以土壤有機質為核心進行溫室氣體移除之碳匯。土壤有機質中的碳可以分成有機碳以及無機碳，

有機碳約為 1,550 Gt，占土壤碳庫的 62%；無機碳約 950 Gt，約占土壤碳庫的 38%。在貢獻碳匯之餘，黃碳對農業的收成表現也有影響，該影響主要來自於黃碳中的有機質含量多寡。土壤碳可分為有機碳與無機碳，而有機碳是作物的主要營養來源，黃碳中的有機質也包含某些會影響作物生長狀況的微量元素，因此黃碳的多寡對農業之影響甚鉅。另外，有機碳也會影響土壤的物理組成狀態，有機碳含量愈高的土壤，土壤中的孔隙愈多、團粒構造數量也更多，更能夠穩定土壤結構，因此也能提升土壤之水土保持能力。

自然碳匯中最為冷門的當屬藍碳，藍碳是指利用海洋儲存碳的碳匯方法。藍碳可利用的碳吸存工具包含：紅樹林、沿海海草床、沿岸沼澤地、深海底泥、海洋生物等。如表三，目前最為成熟的藍碳為：①濕地保護與復育；②沿岸泥灘地復育；③紅樹林的植林與再造林等。根據研究，沿岸生態系的碳儲存量是熱帶森林的 2~4 倍、溫帶森林的 3~5 倍，沿海與河口生態系的年碳儲存量達到 16.5 百萬噸二氧化碳。濕地方法學中最具潛力的當屬紅樹林，以 Verra 的 VM0024 為例，透過利用紅樹林於河口進行造林，可以發現多數的碳匯方法通常都不會只包含一種碳匯，VM0024 就是綠碳、黃碳與藍碳結合的一個典型案例。雖然目前紅樹林最為普遍利用，但不代表其他的方法就不受到重視，例如 VM0004，泥灘地是藍碳中一個重要的碳匯區域，但因該環境極度脆弱，若有過多的擾動就可能造成大量溫室氣體逸散，因此 VM0004 要避免在泥灘地森林進行土地利用，力求泥灘地維持原樣以避免因為過多的人為活動造成泥灘地擾動過大而導致溫室氣體逸散。

## 2.4 水土保持工程節能減碳評估要項

目前碳吸存量之計算方式進行相關資料收集，目前 收集資料已下列三種為主。

一、通量法通過直接測量或建模，估算土壤/植被和大氣/水體之間的溫室氣體排放/移除量，得到 Tier 3 和 Tier 2 估測結果。通量法也是測定 CH4和 N2O 的唯一途徑，這兩種溫室氣體在系統中不 會累積。

二、碳庫差分法亦即調查農地的「有機碳長期累積速率」(LORCA，longterm apparent rate of C accumulation)，為農地歷經長時間間隔下， 監測農地土壤碳含量（或碳密度、土壤沉積深度）的時間變化。 測定兩個不同時間點的碳庫(碳儲量)，將碳庫變化量轉化為溫 室氣體排放/移除量，形成 Tier 3 的估測。選擇兩個時間點，對 每個碳庫(生物量、死有機質、土壤)進行精準測量。碳庫總量 隨時間的增加量等於大氣中 CO2 的淨儲存量；總減少量等於 CO2的淨排放量。

三、收支法 碳收支計算法，分別計算各項進入(input)及離開(output)某 特定類型及分級農地的碳質量通量，再將總進入的碳質量通量 （收入）扣減總離開的碳質量通量（支出），即可得碳累積通量 或稱碳吸存（或碳釋放）通量，此方法的特徵是只需要短時期 (short-term)的調查及觀察（幾個季節、1 或 2 年之內），即可估 算出農地碳吸存能力。

基於科學文獻或國家特定數據的排放係數，得到 Tier 1 或 Tier 2 的估測結果。當後續的直接測定有困難時，可以在最初測定後使用收支法來估算。

Tier 1 數據使用全球水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估整合數據庫的通用係數來估算；

Tier 2 數據使用國家特定的係數 來估算。

綜上所述，碳收支法之優點如下：

(1) 量測數據準確性：碳收支計算法需要收集大量的數據，

如 測量排放量和碳吸收量，如果這些數據不夠準確，計算結 果也會出現偏差。因此，碳收支計算法需要使用可靠的數 據源和測量方法，以提高數據的準確性。

(2) 數據可驗證性：碳收支計算法需要有可驗證的方法，以確 保計算結果的可靠性和準確性。這可以通過第三方驗證機 構進行驗證來實現。

(3) 適用性：碳收支計算法需要根據不同的產業和場景進行調 整，以確保其適用性。例如，在農業領域，碳收支計算法 需要考慮土地利用變化和植物生長週期等因素。

(4) 可比較性：碳收支計算法需要具有可比較性，以便不同的公司和產業可以進行比較。這可以通過標準化的碳計算方法和報告形式來實現。整體來說碳收支計算法比較好需要考慮到以上多個方面的因素，以確保計算結果的準確性、可驗證性、適用性和可比較性。

# 第三章　碳儲量計算

針對國內及國際上工程生命週期的碳監測匯整成果，彙整如下

植生計畫碳儲量分析

## 表 3-1　常見水保植物單位面積 CO2 固定量

各種植栽單位面積二氧化碳固定量（kg/㎡）參考表

| 植栽類型 | | $CO_2$固定量（kg/$m^2$） | 覆土深度 |
|---|---|---|---|
| 生態複層 | 大小喬木、灌木、花草密植混種區（喬木間距以下） | 1,200 | 1.0m以上 |
| 喬木 | 闊葉大喬木 | 900 | |
| | 闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木 | 600 | |
| | 棕櫚類 | 400 | |
| 灌木（每$m^2$至少栽植　4株以上） | | 300 | 0.5m以上 |
| 多年生蔓藤 | | 100 | |
| 草花花圃、自然野草地、水生植物、草坪 | | 20 | 0.3m以上 |

| 造林樹種 | 碳儲量（kgC/株） | 碳儲量（噸C/ha） |
|---|---|---|
| 針葉樹（Softwoods） | | |
| 台灣肖楠（Taiwan incense-cedar） | 519.3 | 148.58 |
| 紅檜（Taiwan red falsecypress） | 404.5 | 115.73 |
| 台灣扁柏（Taiwan Hinoki falsecypress） | 401.0 | 114.73 |
| 柳杉（Cryptomeria） | 349.5 | 99.99 |
| 福州杉（Large-leaved China-fir） | 296.6 | 84.85 |
| 台灣雲杉（Morrison spruce） | 436.5 | 124.90 |
| 台灣二葉松（Taiwan red pine） | 512.3 | 146.56 |
| 台灣杉（Taiwania） | 306.2 | 87.59 |
| 台灣鐵杉（Chinese hemlock） | 406.0 | 116.15 |
| 闊葉樹（Hardwoods） | | |
| 相思樹（Taiwan acacia） | 719.2 | 205.75 |
| 台灣赤楊（Formosan alder） | 429.9 | 123.01 |
| 茄冬（Autumn maple tree） | 602.1 | 172.25 |
| 木麻黃（Polyesian iron wood） | 618.3 | 176.91 |
| 樟木（Camphor tree ） | 344.3 | 98.51 |
| 牛樟（Stout camphor tree） | 352.8 | 100.94 |
| 光蠟樹（Formosan ash） | 676.9 | 193.66 |
| 大葉楠（Large-leaved nanmu） | 432.2 | 123.65 |
| 香楠（Incense machilus） | 436.7 | 124.95 |
| 楝樹（China berry-tree） | 498.6 | 142.64 |
| 烏心石（Formosan michelia） | 489.2 | 139.95 |
| 印度紫檀（Paudauk） | 540.0 | 154.49 |
| 木荷（Chinese guger-tree） | 566.1 | 161.96 |
| 大葉桃花心木（Honduras mahogany） | 467.9 | 133.86 |
| 台灣櫸（Taiwan zelkova） | 688.9 | 197.09 |

在計算與評估樹木生物量中的儲碳(地上生物量) 以及固碳 (生長) 的大小時，皆需要用到植物體積與植物生物量推估公式以及部份或全部後列之參數：(1)植株直徑；(2) 植株高度；(3) 樹種木材密度；(4) 樹種碳含量；(5) 相對生長率(IPCC, 2006)。

$$V = f(DBH, H) \quad (1)$$

$$AGB = f(DBH, H, \rho) \quad (2)$$

$$C = f(AGB, CF) \quad (3)$$

V：單株材積 (cm3)

AGB：單株生物量(kg)

DBH：胸高直徑 (cm) (參數 1，於本研究為給定值)

H：樹高 (m) (參數 2，於本研究為給定值)

ρ：木材密度 (g/cm3) (參數 3，本研究欲建置之資料庫值)

C：單株儲碳量(kg)

CF：碳含量(%) (參數 4，本研究欲建置之資料庫值)

上式中 Z = f(X, Y) 代表 Z 為 X 與 Y 之函數，由上式可知計算儲碳量:

1. 為計算材積 (亦即體積)，因此需要有植株直徑 (參數 1) 及樹高 (參數 2) 代入迴歸式計算體積 (Chave et al., 2005;Chave et al., 2014; 林國銓 et al., 2001)。參數 1 與參數 2 在本研究中為給定值，並非有野外根據之實際值，未來資料庫之使用人員可輸入其自身測量之野外值。計算體積後，即為單一樹種之材積，如此不必將樹砍下即可用於後續估算儲碳量。

2. 為將材積乘以密度 (比重) (參數 3) 換算成質量，亦即生物

量(2)。

3.則是將質量乘以碳含量 (參數 4) 換算成儲碳量 (3)。

經過這三個步驟的換算，即可從植株直徑換算得到植株的儲碳量。但是，目前在臺灣地區尚缺乏整合適用於臺灣地區之參數的資料庫。因林木儲碳潛力計算方式大致分為兩大類：(1) 林分碳儲存與 (2) 單木碳儲存，現階段國內研究以探討林分碳儲存較多。單株樹木所固定之碳量，以樹木生物量(Biomass) 進行轉換。根據聯合國氣候變遷問題小組 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2006) 估算原則，樹木生物量係利用平均密度乘以樹幹材積 (volume)，林木生物量最後再乘以林木之碳含量百分比，即為林木所固定之碳量。最後，再乘以根莖比即可得地上部加地下部之總儲碳量。

IPCC (2006) 提出估算公式如下：

$$C = V \times \rho \times BEF \times (1+R) \times CF \qquad (4)$$

C：單株儲碳量(kg)

V：單株材積

BEF：生物量擴展係數

R：根莖比

CF：碳含量(%)

如生物量可取得則估算方法及公式可改為：

$$C = AGB \times BEF \times (1+R) \times CF \qquad (5)$$

年固碳率為：

$$\triangle C = (Ct2 - Ct1) / (t2-t1) \qquad (6)$$

t1 及 t2：在時間為 t1 年及 t2 年

為此，針對國內長簡水土保持植物進行密度、碳含量、生物量以及可能碳儲量進行討論整理如下:

**表 3-2　常見水保植物單位面積 CO2 固定量**

| 中名 | 密度 ($g/cm^3$) | 碳含量 (%) | 假定直徑 (cm) | 假定樹高 (m) | 生物量(kg) (Chave *et al.*, 2014) | 儲碳量 (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 楊梅 | 0.70 | 46.3 | 6.0 | 4.5 | 6.77 | 3.89 |
| 無患子 | 0.70 | 43.9 | 6.0 | 4.5 | 6.82 | 3.71 |
| 細葉饅頭果 | 0.64 | 46.5 | 6.0 | 4.5 | 6.24 | 3.60 |
| 厚皮香 | 0.61 | 46.5 | 6.0 | 4.5 | 5.99 | 3.45 |
| 九芎 | 0.60 | 45.1 | 6.0 | 4.5 | 5.88 | 3.28 |
| 珊瑚樹 | 0.59 | 45.1 | 6.0 | 4.5 | 5.75 | 3.22 |
| 長葉木薑子 | 0.56 | 46.7 | 6.0 | 4.5 | 5.47 | 3.17 |
| 茄冬 | 0.58 | 44.7 | 6.0 | 4.5 | 5.68 | 3.15 |
| 烏心石 | 0.55 | 46.8 | 6.0 | 4.5 | 5.41 | 3.14 |
| 大頭茶 | 0.57 | 45.6 | 6.0 | 4.5 | 5.53 | 3.13 |
| 豬腳楠 | 0.57 | 45.1 | 6.0 | 4.5 | 5.58 | 3.12 |
| 白臼 | 0.54 | 47.9 | 6.0 | 4.5 | 5.24 | 3.11 |
| 臺灣楊桐 | 0.53 | 46.5 | 6.0 | 4.5 | 5.17 | 2.98 |
| 長尾尖葉櫧 | 0.54 | 45.3 | 6.0 | 4.5 | 5.29 | 2.97 |
| 鐵冬青 | 0.54 | 44.8 | 6.0 | 4.5 | 5.27 | 2.93 |
| 樹杞 | 0.53 | 45.5 | 6.0 | 4.5 | 5.16 | 2.91 |
| 竹柏 | 0.49 | 47.7 | 6.0 | 4.5 | 4.83 | 2.85 |
| 賊仔樹 | 0.52 | 44.9 | 6.0 | 4.5 | 5.07 | 2.83 |
| 大葉楠 | 0.51 | 44.8 | 6.0 | 4.5 | 5.01 | 2.78 |
| 白匏子 | 0.51 | 44.6 | 6.0 | 4.5 | 5.00 | 2.77 |
| 杜英 | 0.51 | 44.2 | 6.0 | 4.5 | 5.03 | 2.76 |
| 鵝掌柴 | 0.51 | 44.3 | 6.0 | 4.5 | 4.98 | 2.74 |
| 野桐 | 0.50 | 44.6 | 6.0 | 4.5 | 4.94 | 2.74 |
| 瓊楠 | 0.48 | 46.2 | 6.0 | 4.5 | 4.67 | 2.68 |
| 香楠 | 0.48 | 44.6 | 6.0 | 4.5 | 4.74 | 2.63 |
| 血桐 | 0.46 | 46.4 | 6.0 | 4.5 | 4.48 | 2.58 |
| 鵲不踏 | 0.45 | 45.2 | 6.0 | 4.5 | 4.43 | 2.49 |
| 山香圓 | 0.45 | 44.9 | 6.0 | 4.5 | 4.41 | 2.45 |
| 山黃麻 | 0.45 | 44.5 | 6.0 | 4.5 | 4.41 | 2.43 |
| 大冇榕 | 0.42 | 45.4 | 6.0 | 4.5 | 4.15 | 2.33 |
| 咬人狗 | 0.27 | 43.0 | 6.0 | 4.5 | 2.65 | 1.41 |

# 表 3-3　常用植生工程樹種與儲碳量

| 編號 | 俗名 | 生長海拔高 | 性狀、習性 | 植生導入方法 | 適合生存環境 | 密度 | 碳含量(%) | 胸高直徑(cm) | 樹高(m) | 生物量(kg) | 儲碳量(kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 臺灣肖楠 | 中北部山區(300-1,900m) | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村 | 0.54 | 48.57 | 10 | 5 | 15.89 | 9.57 |
| 2 | 烏心石 | 200-2,200m | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.55 | 46.8 | 10 | 5 | 16.17 | 9.39 |
| 3 | 水柳 | 低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植、扦插 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.4 | 48.13 | 10 | 5 | 11.85 | 7.07 |
| 4 | 臺灣赤楊 | 3,000m 以下 | 落葉喬木 | 播種 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.47 | 46.2 | 10 | 5 | 13.87 | 7.95 |
| 5 | 青剛櫟 | 中、低海拔(0-2,000m) | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.73 | 47.68 | 10 | 5 | 21.32 | 12.61 |
| 6 | 朴樹 | 低海拔 | 落葉喬木 | 播種 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.57 | 48.72 | 10 | 5 | 16.75 | 10.12 |
| 7 | 櫸樹 | 300-1,400m | 落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.73 | 47.66 | 10 | 5 | 21.32 | 12.60 |
| 8 | 榔榆 | 1,000m 以下 | 半落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村 | 0.77 | 48.46 | 10 | 5 | 22.46 | 13.50 |
| 9 | 雀榕 | 低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植、扦插 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.43 | 45.36 | 10 | 5 | 12.72 | 7.15 |
| 10 | 樟樹 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.51 | 47 | 10 | 5 | 15.02 | 8.76 |
| 11 | 土肉桂 | 低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村 | 0.55 | 46.65 | 10 | 5 | 16.17 | 9.36 |
| 12 | 陰香 | 低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 農村 | 0.49 | 46.65 | 10 | 5 | 14.45 | 8.36 |
| 13 | 紅楠 | 200-1,800m | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.57 | 45.11 | 6 | 4.5 | 5.57 | 3.12 |

| 編號 | 俗名 | 生長海拔高 | 性狀、習性 | 植生導入方法 | 適合生存環境 | 密度 | 碳含量(%) | 胸高直徑(cm) | 樹高(m) | 生物量(kg) | 儲碳量(kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 大葉楠 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.51 | 44.8 | 6 | 4.5 | 5.00 | 2.78 |
| 15 | 香楠 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.48 | 44.64 | 10 | 5 | 14.16 | 7.84 |
| 16 | 大頭茶 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.57 | 45.65 | 6 | 4.5 | 5.57 | 3.16 |
| 17 | 木荷 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村 | 0.6 | 46.08 | 10 | 5 | 17.61 | 10.06 |
| 18 | 楓香 | 中、低海拔(100-1,500m) | 落葉喬木 | 苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.49 | 48.9 | 10 | 5 | 14.45 | 8.76 |
| 19 | 相思樹 | 中、低海拔(1,600m 以下) | 常綠喬木 | 播種、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.77 | 47.17 | 10 | 5 | 22.46 | 13.14 |
| 20 | 黃野百合 | 低海拔 | 直立灌木 | 播種 | 坡地、崩塌地、農村、海岸 | 0.7 | 48.44 | 5 | 3 | 3.21 | 1.93 |
| 21 | 胡枝子 | 低海拔 | 常綠灌木 | 播種 | 坡地、崩塌地、農村 | 0.7 | 48.44 | 5 | 3 | 3.21 | 1.93 |
| 22 | 水黃皮 | 低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植、播種 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.7 | 49.53 | 10 | 5 | 20.47 | 12.57 |
| 23 | 茄苳 | 低海拔 | 半落葉喬木 | 播種、苗木栽植、扦插 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.58 | 44.73 | 6 | 4.5 | 5.67 | 3.15 |
| 24 | 白柏 | 中、低海拔 | 半落葉性喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.54 | 47.85 | 6 | 4.5 | 5.29 | 3.14 |
| 25 | 烏桕 | 低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.57 | 46.43 | 10 | 5 | 16.75 | 9.64 |
| 26 | 大葉桃花心木 | 低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、海岸 | 0.5 | 47.26 | 10 | 5 | 14.74 | 8.64 |
| 27 | 苦楝 | 低海拔 | 落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.54 | 46.63 | 10 | 5 | 15.89 | 9.19 |
| 28 | 青楓 | 中、低海拔 | 落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村 | 0.51 | 48.45 | 10 | 5 | 15.02 | 9.03 |
| 29 | 臺灣三角楓 | 中、低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植 | 農村、濱水、海岸 | 0.51 | 48.45 | 10 | 5 | 15.02 | 9.03 |

| 編號 | 俗名 | 生長海拔高 | 性狀、習性 | 植生導入方法 | 適合生存環境 | 密度 | 碳含量(%) | 胸高直徑(cm) | 樹高(m) | 生物量(kg) | 儲碳量(kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 黃連木 | 低海拔 | 半落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.68 | 44.74 | 10 | 5 | 19.89 | 11.04 |
| 31 | 羅氏鹽膚木 | 中、低海拔(1,900m 以下) | 落葉喬木 | 播種 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.62 | 45.03 | 10 | 5 | 18.18 | 10.15 |
| 32 | 臺灣欒樹 | 低海拔 | 落葉喬木 | 播種、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.6 | 47.43 | 10 | 5 | 17.61 | 10.36 |
| 33 | 無患子 | 中、低海拔 | 落葉喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.7 | 43.88 | 10 | 5 | 20.47 | 11.14 |
| 34 | 杜英 | 中、低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.51 | 44.22 | 10 | 5 | 15.02 | 8.24 |
| 35 | 楝梧 | 低海拔 | 常綠灌木 | 苗木栽植 | 農村 | 0.48 | 45 | 5 | 3 | 2.22 | 1.24 |
| 36 | 山芙蓉 | 中、低海拔 | 半落葉灌木 | 播種、苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.46 | 46.27 | 5 | 3 | 2.13 | 1.22 |
| 37 | 黃槿 | 沿海至低海拔(600m 以下) | 常綠喬木 | 扦插、苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.45 | 46.27 | 10 | 5 | 13.30 | 7.63 |
| 38 | 九芎 | 中、低海拔(1,400m 以下) | 半落葉喬木 | 扦插、苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水、海岸 | 0.6 | 45.05 | 10 | 5 | 17.61 | 9.84 |
| 39 | 番石榴 | 中、低海拔 | 常綠小喬木 | 播種 | 坡地、崩塌地、農村 | 0.65 | 46.19 | 10 | 5 | 19.04 | 10.90 |
| 40 | 白雞油 | 中、低海拔 | 半落葉性喬木 | 苗木栽植 | 崩塌地、農村、濱水 | 0.73 | 46.83 | 10 | 5 | 21.32 | 12.38 |
| 41 | 毛柿 | 低海拔 | 常綠喬木 | 苗木栽植 | 坡地、崩塌地、農村、海岸 | 0.68 | 46.14 | 10 | 5 | 19.89 | 11.38 |
| 42 | 山櫻花 | 中、低海拔 | 半落葉性喬木 | 苗木栽植 | 原始林、坡地、崩塌地、農村、濱水 | 0.59 | 47.73 | 10 | 5 | 17.32 | 10.25 |

# 第四章　二氧化碳觀測規劃

依據前述說明，針對既有工程及新建工程於生命公誠階段進行二氧化碳排放及含量觀測，其說明如下:

## 4.1　背景環境二氧化碳監測

過去對於工程的碳排放，僅對於施工過程的碳足跡，透過計算的方式，了解工程的碳排放總量，但是卻忽略了，設施的生命週期及周邊的影響。為此，考量不同土地利用環境，參考國內土地利用圖資，選擇常見水土保持工程設施設置之環境進行背景觀測，初步規劃項目如下:

一、天氣條件:包含春季、夏季、秋季晴天與陰雨天候山坡地環境

二、時間條件:包含日間(早上或下午)與夜間(日落後至少2-3小時以上)

三、區位條件:包含不同海拔高程如低丘陵區(海拔ELV 200m內)，中海拔區(海拔ELV 200-500m)內常見水土保持工程之環境背景。

四、空間條件:包含其觀測區內地表與土壤交接面、高度2m以上空氣碳及取樣土壤30cm內之CO2。

五、延時條件:主要觀測區域內10分鐘之平均資料

六、設備條件:

(一)空氣碳:AZ 衡欣實業 77597 高精度二氧化碳偵測計

產品特色:

- ✔ 產品皆為【CE 認可】並符合【ISO9001】之規範
- ✔ 可顯示一氧化碳/二氧化碳/溫度/濕度
- ✔ 全部採用日本/瑞典/瑞士高精度感測元件
- ✔ 可手動記錄 99 筆或自動記錄 32000 點

✔ 透氣式的背殼設計，提升準確性與量測速度

✔ 標準套件含電腦連接線組，方便資料即時記錄與分析

AZ® Taiwan Measure Since 1991 INSTRUMENT CORP.

| 型號 | 77597 |
|---|---|
| 二氧化碳範圍 | 0~9999ppm<br>(5001~9999ppm超出測量範圍) |
| 一氧化碳範圍 | 0~1000ppm |
| 溫度範圍 | -20~60℃(-5~140℉) |
| 濕度範圍 | 0.1~99.9%RH |
| 露點溫度 | -20.0~59.9℃ |
| 濕球溫度 | -5.0~59.9℃ |
| 解析度 | 二氧化碳：1ppm<br>溫度：0.1℃/℉<br>濕度：0.1%RH |
| 二氧化碳精度 | 讀值的±30ppm±5%<br>(當讀值介於0~5000ppm)<br>其他範圍則為±10% |
| 一氧化碳精度 | <20ppm: 讀值±3ppm<br><100ppm:讀值±5ppm<br>101~500ppm:讀值的±10%<br>>501ppm:讀值的±20% |
| 溫度誤差值 | ±0.6℃/±0.9℉ |
| 濕度誤差值 | ±3%RH<br>(此指溫度為25℃，相對溼度為10~90%時，<br>超出此範圍則準確度為±5%RH) |



AZ® Taiwan Measure Since 1991 INSTRUMENT CORP.

| 型號 | 77597 |
|---|---|
| 暖機時間 | 約30秒 |
| 二氧化碳反應時間 | <30秒 |
| 一氧化碳反應時間 | <60秒 |
| 溫度反應時間 | <2分 |
| 濕度反應時間 | <10分 |
| 螢幕尺寸 | 44 x 26 mm |
| 工作環境溫度 | -20~50℃(二氧化碳傳感器)<br>0~50℃(一氧化碳傳感器)<br>-20~60℃(其餘參數) |
| 工作環境濕度 | 0~95%RH |
| 儲存環境 | -20~60℃；10~90%RH |
| 產品尺寸 | 205 x 70 x 56 mm |
| 產品重量 | 200g |
| 供電 | AA鹼性電池x 4或9V變壓器 |
| 防水防塵IP等級 | IP40 |
| EMC | EN 50270:2015 |
| 標準包裝含 | 主機，電池，說明書，電腦連接線組，<br>手提盒 |
| 可選購配備 | 校正鹽瓶組，9V變壓器 |



**圖 4-1　碳排放儀器規格表**

(二)土壤碳:主要針對地表 30 公分下土讓得採取，採樣原則以隨機採樣 5-10 處為原則，但水保工程多為線狀工程，考量工程隊周邊影響程度，初步以類似等距網格，但是會考量周邊植被生長特性與採樣安全。




**圖 4-2　土壤採樣器**

(三)土壤含碳量檢測

實驗方法：土壤有機質測定方法－燃燒／紅外線測定法

TARI S201.1B (農試化字第 1122136705 號)

檢測儀器：總有機碳分析儀 (廠牌型號：OIA_1030D TOC)

實驗流程：(再依實際情況修改)

1. 樣品前處理：為使土壤樣品均勻化、增加表面積及提高反應效率，乾燥並研磨樣品使通過 0.5 mm (35 mesh)孔目之篩網。
2. 檢量線建立：依儀器使用手冊建議之檢量線製作方法，秤取不同量之標準品若干個，進行總有機碳分析，並記錄分析所得訊號高度或面積，而繪製濃度-校正尖峰高度或面積之檢量線 ( R 值須達到 0.995 以上)。
3. 儀器操作：依儀器操作說明進行分析儀器之組裝、測試、校正及操作。儀器使用前需調整至最佳的燃燒溫度，並觀察溫度變化以確保溫度之穩定

性；並以品管樣品及真實樣品進行操作條件之準確度與精密度驗證後，始得進行樣品之檢測。

註：總碳 (TC)= 總有機碳 (TOC)+總無機碳 (TIC)

總無機碳 (TIC)去除方法：取 50mg 土壤樣品加入 5% HCl (100~200μl)，進入高溫爐以特定溫度與時間反應 (75~250 °C，5~120 分鐘)。

## 4.2 既有工程二氧化碳監測

本次試驗區以農村發展與水土保持署花蓮分署、臺北分署、南投分署或臺南分署轄區構造物為目標，蒐集該分局竣工設計圖進行現場尺寸比對分析並針對農村建設改善、農業道路、排水溝、護岸、防砂壩、固床工、擋土牆、板橋以及周邊有進行植生綠化或緩衝林帶的區域進行至少五處進行觀測，其採樣條件如下:

一、工程年齡特性:針對完工後1年內，3-5年以及5年以上者進行觀測

二、觀測區位特性:地表與地下土讓30公分之區域，合計採樣三次。

三、觀測範圍特性:搭配水土保持工程構造物分布位置，並於周邊50公尺內，以每一區至少採樣8-10處為原則。

四、針對校園內人工構造物進行都市環境背景監測，如坡面、草坪、花台等。

初步成果說明如下:

(一)工區選擇

**北部-高遶本生橋下游野溪治理二期工程( 110 年度優良農建工程)**

## 1.工程環境













## 1.　工程內容



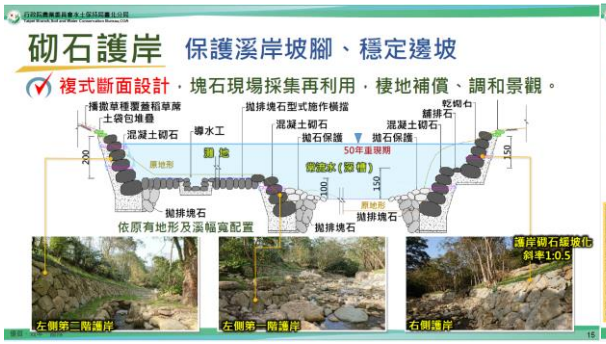

| 金額名稱 | 金額(元) | | |
|---|---|---|---|
| 原契約金額 | 4,450,000 | | |
| 第一次變更 | 4,450,000 | 增加 | 489,634 |
| | | 減少 | 489,634 |

變更簡要說明

1. 原設計#2固床工處，經開挖後發現基礎多有穩固大石且質地良好，經檢討後調整下移至樁號約0K+80處(原結束工位置)，原設計結束工併同取消。
2. 左岸樁號約0K+70~0K+91處上方坡面較為鬆散土石，為加強邊坡保護，左岸護岸延長至樁號0K+91處，並於樁號約0K+70~0K+91處護岸牆背上方增設砌石護坡。
3. 導水工經開挖後部份基礎有岩盤及較大巨石情形，為避免開挖擾動調整動線位置，並於放流口設置拋排塊石保護。
4. 配合當地農民上下通行需要兼具橫向生物通道，於左岸上下游及右岸下游擇適當位置配置。
5. 護岸及固床工現地遇有岩盤及大石情形，採以包覆及減量方式處理並依實做數量結算調整。
6. 臨時擋土設施，依現場實際需要調整並依實做數量結算計價。

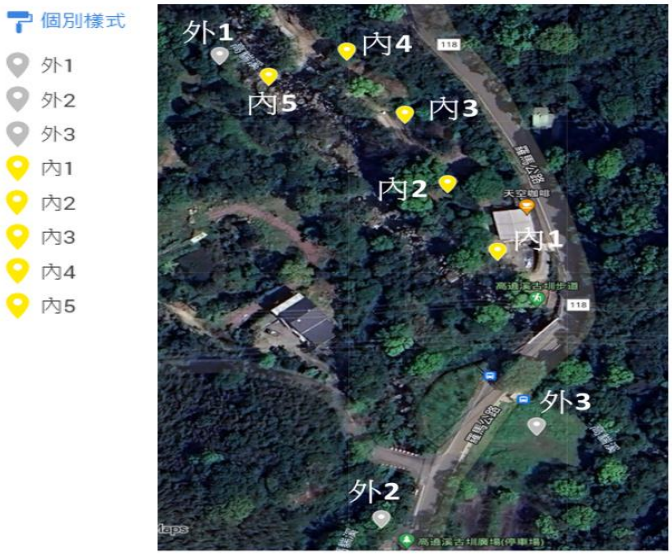
| 項次 | 工項 | 數量 |
|---|---|---|
| 1 | 砌石護岸 | 219.4 m |
| 2 | 砌石固床工 | 2 座 |
| 3 | 護坡 | 25.3 m |
| 4 | 導水工 | 74.5 m |
| 5 | 導水工出口拋石保護 | 10 m |
| 6 | 生物通道 | 3處 |
| 7 | 橫擋 | 33 m |
| 8 | 既有護岸補強 | 14 m |
| 9 | 警告標示牌 | 2 處 |






2.監測點位




3.減碳特色




4.固碳特色



# 中部-111年度巒大區第25、26林班坑溝整治工程(南投益則坑)

## 1.工程環境







## 2.工程內容




一・工程緣起
二・工程內容
三・規劃設計
四・工程特色
五・結語
工程配置內容
結算金額 8,391仟元
開工日期 111年05月11日
完工日期 111年12月26日
如 期 如 質 完 工
1 既有橫向構造物改善14座
2 砌排石護坡84m
3 低水流路40m
4 過水路面重建1處
5 砌塊石護岸69m
6 拱形塊石固床工6座
7 動物通道4處
8 河道流路整理455m
0K+000
0K+060
0K+117
0K+165.6
0K+313.2
0K+395.6
0K+434.3
0K+494.1
0K+514.7

3.監測點位


內5
外3
內4
內3
外2
內2
外1
內1
個別樣式
內1
外1
內2
外2
內3
內4
內5
外3

4.減碳特色


特性分析 - 治理前後Q50
有效穩定流心
溝床土砂變化接近平衡
Before
after
治理對策 (2/7) 高落差固床工改善(0K+453.1)
施工前
#12既有固床工改善
完工後


治理對策 (5/7) 砌排石護坡、護岸
砌排石護坡
砌塊石護岸


治理對策 (7/7) 落實四大生態保育策略
保留兩岸天然林、溪床大塊石
#1固床工兩側翼籠保留減少開挖
迴避
縮小
友善措施
減輕
補償
半半、分段施工


創新挑戰 - 多孔隙砌石設計，加速棲地復育


創新挑戰 - 階梯式迂迴跌降消能，營造活氧及上溯條件
4-6m
0.25m
2m

5.固碳特色


一・工程緣起
二・工程內容
三・規劃設計
四・工程特色
五・結語
節能減碳 - 多元固碳淨零碳排
碳排量234.50噸扣除總固碳量300.77噸
=碳匯量(-66.27)噸
黃固碳量 5.00 ton
藍固碳量 41.11 ton
綠固碳量 254.66 ton
碳匯量(- 66.27)ton
碳排量 234.50 ton
碳排量
藍碳固碳
綠碳固碳
黃碳固碳
✓本工程混凝土911 m³
✓砌石.嵌石.拋石2585m²
✓塊石1585m³
✓材料運輸等碳排量13ton
✓碳排量 234,500 kg CO₂e
輕量治理
✓水體面積2922m²
✓碳儲存量40,930kg CO₂e
✓碳通量180kg CO₂e
✓藍固碳量 41,110 kg CO₂e
水域優化
✓喬木保留350 棵、新種500棵
✓濱溪植物帶4600m²
✓綠固碳量 254,657 kg CO₂e
林地優勢
✓土砂抑制量7,359m³
✓崩塌抑制量18,000m³
✓黃固碳量 5,003 kg CO₂e
節制土砂
資料來源：環境部
46

# 南部-虎源溪新化林場整治一二期工程

## 1. 工程環境







## 2. 工程內容











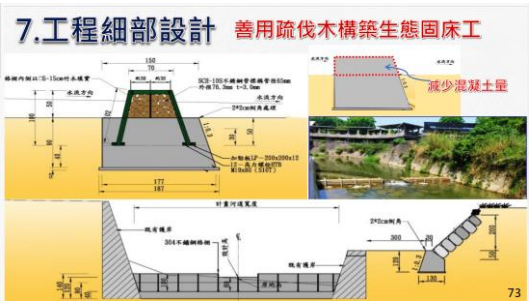





6.工程平面配置
(1)生態固床工3座
(2) 1:0.5　砌石護岸30.6m
(3) 1:0.3乾砌石護岸101.9m
(4)預壘樁護岸+木製欄杆50m
(5)壓花地坪巡查道路600m
(6)過路排水+生物通道10座
(7)既有生物廊道優化2座
(8)拋石營造多孔隙224m2
(9)既有牆面地景意象營造224m2
密鋪草皮3,200m2
灌木植生680株
64


7.工程細部設計 乾砌石護岸
塊石篩選後逐層堆
砌，六圍砌為原則
66


7.工程細部設計 預壘樁工法
既有護岸矮化
新鮮泥岩層
70


7.工程細部設計 善用疏伐木構築生態固床工
減少混凝土量
73

3. 監測點位

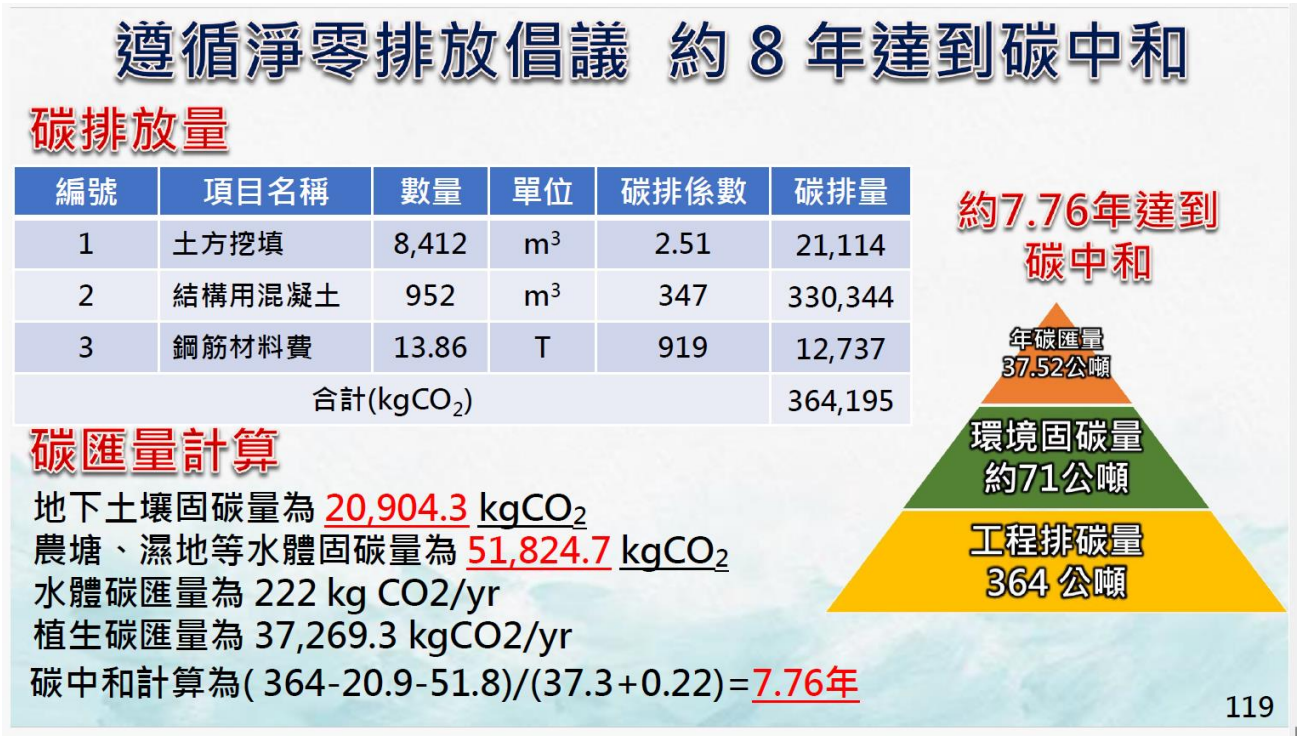

個別樣式
外1
外2
外3
內1
內2
內3
內4
內5
內6
內3
內1
內2
外1
外2
內4
內5
內6
外3
內7

4. 減碳特色


經
人與土地修和 透水鋪面材涵養水源
林
解決滲漏順應地形 營造流瀑壺口美景


生態 拌合現地腐植土+生物炭 迅速恢復植生
生物碳
節能減碳、就地取材、淨零碳排
混凝土使用量340m³
鋼筋使用量13,960Kg
排碳量97,188 Kg
66%
減碳量
64,822kg
混凝土使用量19m³
鋼材使用量34,449Kg
排碳量32,366 Kg
全生命週期生態檢核(1/3) 設計階段作為
既有溪床不擾動生態棲地未影響
廊道結合橫向排水動物通行無阻隔
迴避 減輕
縮小 補償
生物碳
樹種草籽子
河中島分洪減少林木砍除或移除
表土添加生物碳增加碳匯
工程/生態/環教兼顧(3/4) 降低原有林木破壞
林下腐植土及活性碳機具翻耘
慎選工法解決洪災 材料減量降低碳排
型式
碳排量/減碳量
傳統型護岸
混凝土使用量 2,354m³
排碳量816,838 Kg
減碳量
= 486,494 kg CO2
傳統RC工法
816 t
減碳量
486 t
本工程
330 t
多階段砌石護岸
混凝土使用量 952m³
排碳量330,344 Kg

5. 固碳特色


遵循淨零排放倡議 約 8 年達到碳中和
碳排放量
編號 項目名稱 數量 單位 碳排係數 碳排量
1 土方挖填 8,412 m³ 2.51 21,114
2 結構用混凝土 952 m³ 347 330,344
3 鋼筋材料費 13.86 T 919 12,737
合計(kgCO2) 364,195
約7.76年達到碳中和
年碳匯量 37.52公噸
環境固碳量 約71公噸
工程排碳量 364 公噸
碳匯量計算
地下土壤固碳量為 20,904.3 kgCO2
農塘、濕地等水體固碳量為 51,824.7 kgCO2
水體碳匯量為 222 kg CO2/yr
植生碳匯量為 37,269.3 kgCO2/yr
碳中和計算為( 364-20.9-51.8)/(37.3+0.22)=7.76年
119

# 遵循淨零排放倡議 約 5 年達到碳中和

## 碳排放量

| 編號 | 項目名稱 | 數量 | 單位 | 碳排係數 | 碳排量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 構造物開挖 | 4,184 | $m^3$ | 2.51 | 10,502 |
| 2 | 結構用混凝土 | 597 | $m^3$ | 347 | 207,159 |
| 3 | 鋼筋材料 | 29.96 | T | 919 | 27,533 |
| 4 | 鐵木材料 | 60.81 | m3 | 203 | 12,344 |
| 合計($kgCO_2$) | | | | | 257,538 |

約4.93年達到
碳中和




## 碳匯量計算

地下土壤固碳量為 20,904.3 $kgCO_2$
農塘、濕地等水體固碳量為 51,824.7 $kgCO_2$
水體碳匯量為 222 kg CO2/yr
植生碳匯量為 37,269.3 kgCO2/yr
碳中和計算為( 257.5-20.9-51.8)/(37.3+0.22)=4.93年

50

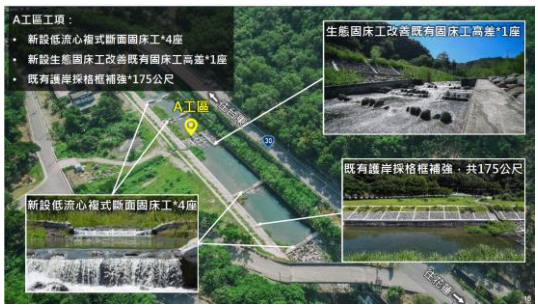
# 東部-花蓮安通溪 玉里鎮安通溫泉聚落崩塌地處理工程

## 1. 工程環境




## 2. 工程內容




A工區工項：
新設低流心複式斷面固床工*4座
新設生態固床工改善既有固床工高差*1座
既有護岸採格框補強*175公尺
A工區
生態固床工改善既有固床工高差*1座
既有護岸採格框補強，共175公尺
新設低流心複式斷面固床工*4座


B1工區新設：
木楣靜水池*4座
緩坡設計縱向溝*93.6公尺
B2工區新設：
噴景溝*139公尺
B1工區
(RC溝)
B2工區
(噴景溝)
木楣靜水池*4座
緩坡設計縱向溝，共93.6公尺
噴景溝，共139公尺
縱剖面圖

## 3. 監測點位


個別樣式
外1
外2
外3
外4
內1
內2
內3
內4
安通溪
安通產業道路
正義公路
30

## 4. 減碳特色


增加濱溪植生帶：既有護岸新設客土蜂巢格網
白鶺鴒
改善植生生育基盤
增加多元棲地
提供食蟲動物食物來源


創新使用九芎萌芽植施作截水牆：植生復育良好
九芎植萌芽
(攝於110/9/30)
山羌排遺
(攝於110/9/30)
空拍圖(110/9/30)
竣工9個月後，植生已全面覆蓋



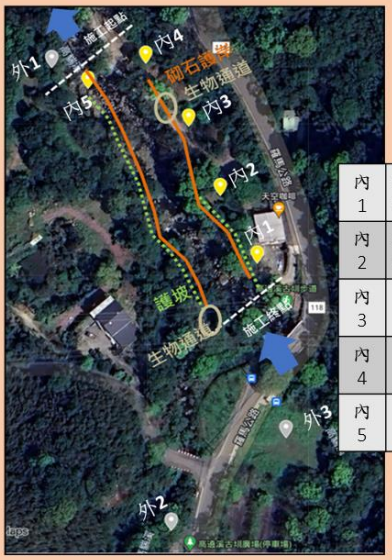

5. 固碳特色




(一)土壤觀測

針對四處工區，區分為內跟外，並分三個季節進行土壤及交界面進行觀測，針對四處工區，區分為工區內跟外，在春季進行第一次的監測，並陸續量測工程周邊擾動處之土壤及土壤交界面碳排放量及距離地面 2 公尺處的成果，並且針對不同工程面進行三個季節之監測，結果如圖 4-3 及表 4-1。

## 北部-桃園高遶溪碳監測點位




| | | | |
|---|---|---|---|
| 內1 | 砌石護岸、護坡(右岸) | 外1 | 素地-土地利用 |
| 內2 | 砌石護岸、護坡(右岸) | 外2 | 素地-土地利用 |
| 內3 | 砌石護岸(右岸) | 外3 | 素地-土地利用 |
| 內4 | 砌石護岸(右岸) | | |
| 內5 | 砌石護岸(左岸) | | |

內1



內2



內3



內4



內5



外1



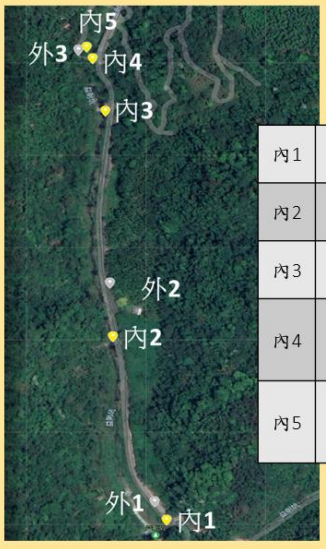
外2



外3



## 中部-南投益則坑碳監測點位




| | | | |
|---|---|---|---|
| 內1 | 高落差橫向構造物補強 | 外1 | 素地-土地利用 |
| 內2 | 拱形塊石固床工 | 外2 | 素地-土地利用 |
| 內3 | 拱形塊石固床工 | 外3 | 素地-土地利用 |
| 內4 | 砌塊石護岸、砌排石護坡、生物通道(右岸) | | |
| 內5 | 砌塊石護岸、砌排石護坡、生物通道(左岸) | | |

內1



內2



內3



內4



內5



外1



外2



外3



南部-台南新化碳監測地點







| | | | |
|---|---|---|---|
| 內1 | 生物通道 | 外1 | 素地-土地利用 |
| 內2 | 砌石護岸 | 外2 | 素地-土地利用 |
| 內3 | 乾砌石護岸 | 外3 | 素地-土地利用 |
| 內4 | 箱籠 | | |
| 內5 | 生態槽護岸 | | |
| 內6 | 生物通道、生態槽護岸 | | |
| 內7 | 漿砌石水墊 | | |

東部-花蓮縣玉里鎮安通溪監測點位







| | | | |
|---|---|---|---|
| 內1 | 護岸採框補強 | 外1 | 素地-土地利用 |
| 內2 | 護岸採框補強 | 外2 | 素地-土地利用 |
| 內3 | 護岸採框補強 | 外3 | 素地-土地利用 |
| 內4 | 縱向溝 | 外4 | 素地-土地利用 |

**圖 4-3　北中南東工程碳匯採樣點**

## 表 4-1　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣一

| 113 年 6 月 7 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 500 | 588 | 706 | 564 | 573 | 530 | 541 | 492 |
| | 氣溫(°C) | 23.8 | 23.2 | 23.4 | 23.2 | 23.4 | 23.6 | 22.9 | 22.8 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 635 | 846 | 1038 | 634 | 656 | 666 | 730 | 563 |
| | 氣溫(°C) | 24.3 | 23.6 | 23.8 | 23.6 | 23.4 | 23.7 | 22.9 | 23.2 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 2.82 | 2.70 | 1.95 | 7.29 | 2.37 | 1.63 | 1.71 | 2.69 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 2.26 | 2.25 | 1.71 | 4.16 | 1.81 | 1.51 | 1.46 | 2.17 |
| | 總碳 TC(ppm) | 28200 | 27000 | 19500 | 72900 | 23700 | 16300 | 17100 | 26900 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 22600 | 22500 | 17100 | 41600 | 18100 | 15100 | 14600 | 21700 |

| 113 年 6 月 7 日(夜晚) | | 內 1 | 內 2 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 583 | 612 | 677 | 627 |
| | 氣溫(°C) | 22.7 | 22.8 | 22.7 | 22.6 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 542 | 864 | 716 | 728 |
| | 氣溫(°C) | 22.7 | 22.7 | 22.7 | 22.6 |

## 表 4-2　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣一

| 113 年 8 月 15 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 408 | 402 | 428 | 407 | 406 | 401 | 420 | 400 |
| | 氣溫(°C) | 26.1 | 25.2 | 28.7 | 27.3 | 27.6 | 26.3 | 25.9 | 26.4 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 439 | 409 | 477 | 410 | 436 | 445 | 436 | 404 |
| | 氣溫(°C) | 26.1 | 25.6 | 29.4 | 29.2 | 29.2 | 28.8 | 26.6 | 28.7 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 2.88 | 1.99 | 1.54 | 4.93 | 1.81 | 1.02 | 1.79 | 2.15 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 2.15 | 1.59 | 1.29 | 4.14 | 1.53 | 0.97 | 1.43 | 1.29 |
| | 總碳 TC(ppm) | 28800 | 19900 | 15400 | 49300 | 18100 | 10200 | 17900 | 12900 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 21500 | 15900 | 12900 | 41400 | 15300 | 9700 | 14300 | 12900 |

| 113 年 8 月 15 日(夜晚) | | 內 1 | 內 2 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 438 | 440 | 425 | 441 |
| | 氣溫(°C) | 24.7 | 24.7 | 24.0 | 23.9 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 540 | 459 | 458 | 483 |
| | 氣溫(°C) | 25.2 | 24.8 | 24.4 | 24.6 |

## 表 4-3　北部-桃園復興高遶本生橋下游-採樣三

| 113 年 10 月 22 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 393 | 395 | 397 | 388 | 390 | 393 | 389 | 388 |
| | 氣溫(°C) | 28.0 | 26.8 | 27.5 | 27.7 | 26.3 | 25.6 | 25.2 | 25.0 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 404 | 400 | 415 | 395 | 395 | 411 | 389 | 369 |
| | 氣溫(°C) | 31.2 | 28.3 | 29.3 | 30.5 | 29.6 | 27.4 | 25.9 | 27.3 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 3.12 | 1.55 | 1.51 | 4.74 | 1.51 | 0.41 | 0.96 | 1.21 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 2.71 | 1.26 | 1.36 | 4.50 | 1.51 | 0.33 | 0.78 | 1.02 |
| | 總碳 TC(ppm) | 31200 | 15500 | 15100 | 47400 | 15100 | 4100 | 9600 | 12100 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 27100 | 12600 | 13600 | 45000 | 15100 | 3300 | 7800 | 10200 |

## 表 4-4　中部-南投水里鄉益則坑-採樣一

| 113 年 5 月 24 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 448 | 469 | 425 | 431 | 425 | 449 | 429 | 458 |
| | 氣溫(°C) | 26.5 | 29.1 | 30.1 | 31.9 | 29.3 | 26.3 | 30.3 | 27.1 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 488 | 492 | 429 | 428 | 436 | 507 | 443 | 477 |
| | 氣溫(°C) | 26.7 | 28.7 | 30.3 | 36.4 | 31.9 | 26.5 | 36.1 | 28.3 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.92 | 2.14 | 2.65 | 1.40 | 2.54 | 1.61 | 1.97 | 2.86 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.29 | 1.89 | 2.26 | 1.32 | 2.36 | 1.42 | 1.83 | 2.39 |
| | 總碳 TC(ppm) | 19200 | 21400 | 26500 | 14000 | 25400 | 16100 | 19700 | 28600 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 12900 | 18900 | 22600 | 13200 | 23600 | 14200 | 18300 | 23900 |

| 113 年 5 月 24 日(夜晚) | | 內 1 | 內 4 | 外 1 | 外 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 509 | 487 | 486 | 472 |
| | 氣溫(°C) | 23.3 | 21.8 | 22.6 | 22.2 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 519 | 538 | 558 | 522 |
| | 氣溫(°C) | 24 | 22.1 | 23.9 | 22.8 |

## 表 4-5　中部-南投水里鄉益則坑-採樣二

| 113 年 8 月 9 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 390 | 390 | 395 | 434 | 415 | 396 | 393 | 424 |
| | 氣溫(°C) | 28.3 | 29.6 | 31.4 | 32.3 | 30.5 | 28.1 | 32.2 | 27.3 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 393 | 391 | 414 | 453 | 426 | 397 | 395 | 437 |
| | 氣溫(°C) | 29.2 | 29.9 | 33.0 | 33.5 | 31.0 | 29.6 | 35.4 | 27.3 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.44 | 0.80 | 1.14 | 2.48 | 1.26 | 1.10 | 2.35 | 3.70 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.18 | 0.68 | 0.89 | 1.80 | 1.13 | 0.91 | 1.67 | 2.05 |
| | 總碳 TC(ppm) | 14400 | 8000 | 11400 | 24800 | 12600 | 11000 | 23500 | 37000 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 11800 | 6800 | 11400 | 18000 | 11300 | 9100 | 16700 | 20500 |

| 113 年 8 月 9 日(夜晚) | | 內 1 | 內 4 | 外 1 | 外 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 440 | 451 | 445 | 444 |
| | 氣溫(°C) | 24.9 | 23.8 | 24.6 | 23.9 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 467 | 483 | 455 | 484 |
| | 氣溫(°C) | 25.7 | 24.3 | 25.6 | 24.7 |

## 表 4-6　中部-南投水里鄉益則坑-採樣三

| 113 年 10 月 23 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 400 | 390 | 400 | 402 | 402 | 404 | 396 | 415 |
| | 氣溫(°C) | 32.3 | 32.2 | 29.9 | 30.9 | 28.6 | 31.2 | 32.4 | 28.2 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 402 | 390 | 419 | 405 | 419 | 412 | 400 | 428 |
| | 氣溫(°C) | 36.2 | 37.4 | 40.2 | 36.6 | 32.5 | 30.9 | 36.7 | 28.6 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.25 | 0.41 | 0.41 | 0.92 | 2.43 | 1.04 | 1.58 | 1.57 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.94 | 0.37 | 0.28 | 0.73 | 2.01 | 0.95 | 1.17 | 1.57 |
| | 總碳 TC(ppm) | 12500 | 4100 | 4100 | 9200 | 24300 | 10400 | 15800 | 15700 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 9400 | 3700 | 2800 | 7300 | 20100 | 9500 | 11700 | 15700 |

## 表 4-7　南部-臺南市興化區新化林場-採樣一

| 113 年 5 月 31 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 417 | 418 | 420 | 419 | 414 | 412 | 407 | 426 | 418 | 413 |
| | 氣溫(°C) | 32.3 | 32.6 | 34.1 | 33.6 | 31.1 | 32.0 | 31.3 | 29.4 | 33.2 | 28.3 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 423 | 424 | 423 | 443 | 431 | 415 | 419 | 430 | 423 | 415 |
| | 氣溫(°C) | 34.6 | 34.1 | 42.9 | 35.0 | 32.7 | 44.0 | 33.8 | 30.1 | 35.2 | 31.5 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.26 | 1.36 | 1.49 | 116 | 1.54 | 1.32 | 1.11 | 1.47 | 1.17 | 1.05 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.10 | 1.10 | 1.35 | 0.99 | 1.12 | 1.01 | 1.07 | 1.16 | 1.08 | 0.98 |
| | 總碳 TC(ppm) | 12600 | 13600 | 14900 | 11600 | 15400 | 13200 | 11100 | 14700 | 11700 | 10500 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 11000 | 11000 | 13500 | 9900 | 11200 | 10100 | 10700 | 11600 | 10800 | 9800 |

| 113 年 5 月 31 日(夜晚) | | 內 2 | 內 3 | 外 1 | 外 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 537 | 516 | 518 | 558 |
| | 氣溫(°C) | 26.7 | 26.4 | 26.3 | 26.4 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 553 | 583 | 660 | 601 |
| | 氣溫(°C) | 27.2 | 28.1 | 28.4 | 27.2 |

## 表 4-8　南部-臺南市興化區新化林場-採樣二

| 113 年 7 月 30 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 443 | 407 | 409 | 420 | 414 | 413 | 415 | 412 | 414 | 416 |
| | 氣溫(°C) | 35.9 | 37.8 | 40.2 | 33.2 | 33.8 | 34.4 | 33.2 | 35.3 | 32.2 | 33.4 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 453 | 409 | 413 | 425 | 415 | 414 | 416 | 415 | 417 | 420 |
| | 氣溫(°C) | 41.2 | 41.7 | 42.7 | 37.2 | 35.0 | 37.8 | 37.3 | 34.7 | 36.8 | 35.8 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 0.47 | 0.91 | 0.81 | 0.55 | 0.65 | 0.64 | 0.75 | 1.93 | 1.46 | 0.52 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.40 | 0.66 | 0.64 | 0.45 | 0.50 | 0.61 | 0.56 | 1.57 | 1.08 | 0.47 |
| | 總碳 TC(ppm) | 4700 | 9100 | 8100 | 5500 | 6500 | 6400 | 7500 | 19300 | 14600 | 5200 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 4000 | 6600 | 6400 | 4500 | 5000 | 6100 | 5600 | 15700 | 10800 | 4700 |

| 113 年 7 月 30 日(夜晚) | | 內 2 | 內 3 | 外 1 | 外 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處空氣 | CO2(ppm) | 440 | 445 | 440 | 437 |
| | 氣溫(°C) | 25.7 | 25.5 | 25.6 | 25.2 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 444 | 454 | 449 | 447 |
| | 氣溫(°C) | 25.8 | 25.9 | 25.6 | 25.3 |

## 表 4-9　南部-臺南市興化區新化林場-採樣三

| 113 年 10 月 23 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 外 1 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 424 | 420 | 421 | 479 | 495 | 491 | 511 | 419 | 439 | 560 |
| | 氣溫(°C) | 29.2 | 30.9 | 29.6 | 30.3 | 27.9 | 27.7 | 27.9 | 35.0 | 29.6 | 26.7 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 428 | 422 | 427 | 492 | 498 | 539 | 534 | 424 | 439 | 597 |
| | 氣溫(°C) | 32.2 | 36.7 | 32.8 | 32.7 | 30.3 | 27.8 | 27.8 | 37.7 | 30.7 | 27.8 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 0.69 | 0.42 | 0.96 | 0.35 | 0.57 | 0.32 | 0.36 | 1.35 | 1.20 | 0.39 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.54 | 0.23 | 0.60 | 0.23 | 0.45 | 0.25 | 0.28 | 0.78 | 0.77 | 0.32 |
| | 總碳 TC(ppm) | 6900 | 4200 | 9600 | 3500 | 5700 | 3200 | 3600 | 13500 | 12000 | 3900 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 5400 | 2300 | 6000 | 2300 | 4500 | 2500 | 2800 | 7800 | 7700 | 3200 |

## 表 4-10　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一

| 113 年 5 月 29 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 411 | 410 | 409 | 411 | 423 | 421 | 423 | 414 |
| | 氣溫(°C) | 38.6 | 34.5 | 36.5 | 40 | 36.2 | 38.1 | 42.6 | 34.8 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 420 | 426 | 413 | 422 | 434 | 423 | 425 | 438 |
| | 氣溫(°C) | 43.4 | 37.4 | 40.2 | 44.3 | 36.2 | 42.2 | 44.7 | 36.8 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 2.30 | 2.25 | 2.31 | 1.82 | 3.56 | 1.80 | 1.36 | 2.03 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.76 | 1.35 | 1.72 | 1.42 | 2.15 | 1.47 | 1.30 | 1.91 |
| | 總碳 TC(ppm) | 23000 | 22500 | 23100 | 18200 | 35600 | 18000 | 13600 | 20300 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 17600 | 13500 | 17200 | 14200 | 21500 | 14700 | 13000 | 19100 |

| 113 年 5 月 29 日(夜晚) | | 內 2 | 內 3 | 外 1 | 外 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 537 | 516 | 518 | 558 |
| | 氣溫(°C) | 26.7 | 26.4 | 26.3 | 26.4 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 553 | 583 | 660 | 601 |
| | 氣溫(°C) | 27.2 | 28.1 | 28.4 | 27.2 |

## 表 4-11　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二

| 113 年 9 月 3 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 403 | 447 | 448 | 397 | 435 | 435 | 410 | 408 |
| | 氣溫(°C) | 32.3 | 26.3 | 25.9 | 33.8 | 26.9 | 27.0 | 35.3 | 33.3 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 408 | 485 | 503 | 422 | 524 | 455 | 415 | 410 |
| | 氣溫(°C) | 38.6 | 27.0 | 26.1 | 38.9 | 27.2 | 27.2 | 40.0 | 34.7 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.70 | 1.31 | 1.76 | 1.84 | 3.47 | 1.12 | 1.47 | 3.23 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.96 | 0.84 | 0.96 | 1.05 | 2.46 | 1.02 | 1.16 | 2.61 |
| | 總碳 TC(ppm) | 17000 | 13100 | 17600 | 18400 | 34700 | 11200 | 14700 | 32300 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 9600 | 13100 | 17600 | 18400 | 34700 | 11200 | 11600 | 26100 |

## 表 4-12　東部-花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三

| 113 年 10 月 9 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 399 | 400 | 402 | 406 | 430 | 432 | 422 | 429 |
| | 氣溫(°C) | 27.0 | 28.8 | 26.6 | 30.4 | 26.7 | 26.7 | 28.4 | 28.7 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 460 | 444 | 479 | 420 | 406 | 404 | 408 | 404 |
| | 氣溫(°C) | 28.6 | 29.2 | 26.6 | 30.4 | 27.5 | 27.3 | 28.9 | 29.0 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.39 | 2.11 | 1.61 | 1.45 | 0.88 | 0.84 | 0.95 | 0.84 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.77 | 0.62 | 0.81 | 0.72 | 0.54 | 0.55 | 0.72 | 0.52 |
| | 總碳 TC(ppm) | 13900 | 21100 | 16100 | 14500 | 8200 | 8400 | 9500 | 8400 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 7700 | 6200 | 8100 | 7200 | 5300 | 5500 | 7200 | 5200 |

三、工程分布分析

針對各項現地工程內容其分布狀況進行如下表之說明，北部工程完成較早，至少 4 年，中部 2 年，南部最老也有 2 年，年輕的工程也有一年，東部則有三年，其分布海拔皆不高，以北部 500m 最高，周邊環境較濕冷。工程面主要以混凝土固床工為主，護岸多為砌石護岸與其回填土。

各區初次量測比較如下，在同一工區來看，可以看出多數監測點位 6 月的碳排相較 8 月 10 月來得高，以桃園工區來說，內四土壤總碳及內三第三次量測高達 7.39%，甚至平時皆有達到 4.7-4.9%，在工程環境及素地十分少見，環視四周環境，因為緊鄰常流水，周邊落葉甚多，也可能是造就固碳能力高之關鍵。此外從季節來看，春夏季相較秋季增加 0.5-1.1%之多，表示溫度與降雨都是影響土壤碳以之因素。空氣碳排放相較其他案獵區高出 200-400ppm，但周邊並無住家聚落影響，純粹原始森林環境，水流霧氣甚高，10 月份就跟其他平地數值接近，須持續觀測實際影響因素，是否樹種在影響。另外從工程完工時間來說，因為部分 10 年以上，多數為 4 年以上之工程，工區內多數與素地監測成果接近，甚至比素地更好的趨勢。

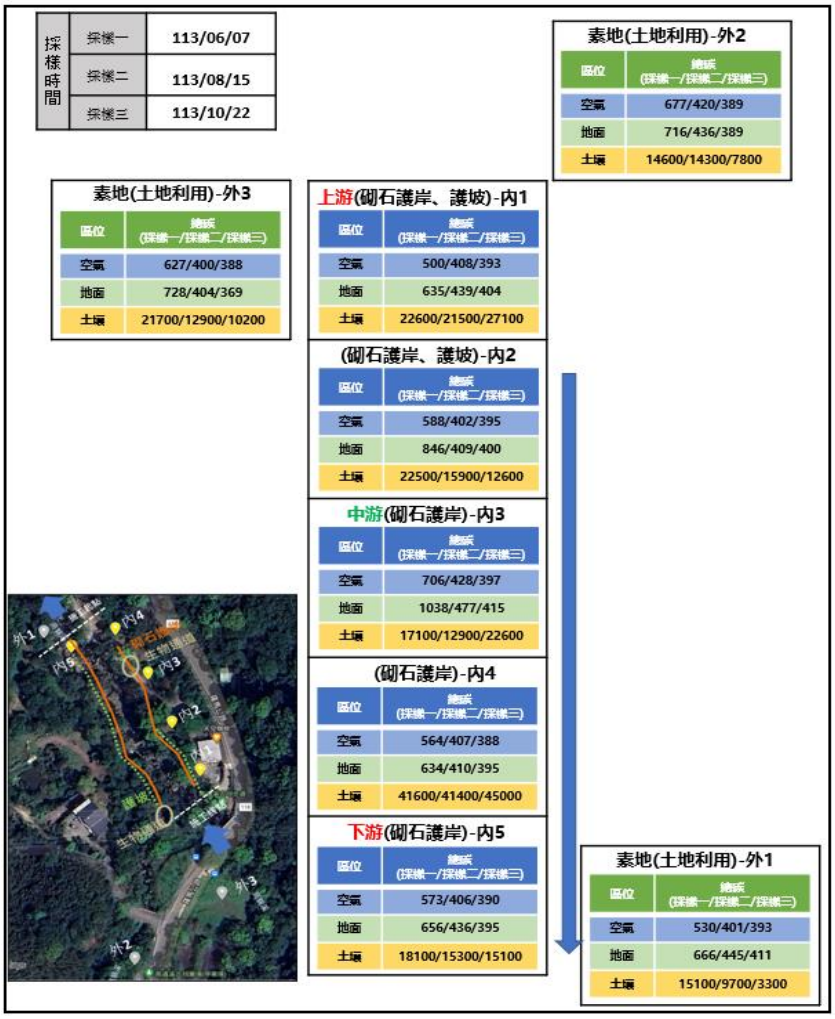
以中部案例來說，可以明顯看出，區內在春季時區內土壤固碳量與區外素地相差不多，約 0.2-0.35%，但是隨著季節改變，加上本年度受到凱米颱風影響，本區素地在秋季會明顯較工區內來得大，相差 0.5-0.9%，空氣碳排則相差不多，相較北部工區，本區河岸木本植物甚少，多為草本，其中內 2 內 3 檢測點土壤固碳極低且為混凝土構造物，因此受到溫度變化影響較巨。

南部案例，因為完工較晚，實屬完工一年且周邊有觀光活動與住家居住，整體固碳量甚低，約 0.3-0.6%，與素地相比落差甚大，高達 0.5-0.8%，內 5-內’7 接近原始林，固碳量較高。

東部案例雖位處溫泉觀光區，且周邊亦有住家，工程完工已有 3 年，但整體土壤固碳有 1.5-2.1%，屬於西部植生較佳且自然砌石護坡之工程。

**表 4-13　北中南東採樣點工程類型**

| 位置 | | 北 | | 中 | 南 | | 東 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 桃園復興高遠本生橋下游 | | 南投水里鄉益則坑 | 臺南市興化區新化林場 | | 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區 |
| 竣工年 | | 第一期 102 年 | 第二期 109 年 | 111 年 | 第一期 111 年 | 第二期 112 年 | 110 年 |
| 地質 | | 木山層 (砂頁岩互層) | | 白冷層 (石英砂岩) | 階地堆積層 (礫石砂黏土) | | 都巒山層 (火山角礫岩及碎屑岩) |
| 高程 | | 500m | | 350m | 150m | | 200m |
| 工程項目 | 生態固床工 | | | | | 內 2 | |
| | 低流心複式斷面固床工 | | | | | | 內 1、內 2、內 3 |
| | 拱形塊石固床工 | | | 內 2、內 3、內 5 | | | |
| | 砌石固床工 | 內 1、內 2 | 內 3、內 4、內 5 | | | | |
| | 鋼柵調節設施 | | | | | | |
| | 乾砌石護岸 | | | | | 內 3 | |
| | 砌石護岸 | 內 1、內 2 | 內 3、內 4、內 5 | | | 內 2 | |
| | 砌塊石護岸 | | | 內 2、內 3、內 4、內 5 | | | |
| | 預鑄塊+堆疊式木柵 (甲式護岸) | | | | | | |
| | 全預鑄塊 (乙式護岸) | | | | | | |
| | 生態槽護岸 | | | | 內 4、內 5、內 6 | | |
| | 砌排石護坡 | | | 內 2、內 3、內 4、內 5 | | | |
| | 護坡 | | 內 3、內 4、內 5 | | | | |
| | 木樁土包袋坡腳保護工 | | | | | | |
| | 土包袋籠坡腳保護工 | | | | | | |
| | 混凝土護腳工 | | | | | | |
| | 漿砌石水墊 | | | | 內 7 | | |
| | 縱向溝 | | | | | | 內 4 |
| | 噴漿溝 | | | | | | 內 4 |
| | 生物通道 | | 內 4 | 內 4、內 5 | 內 6 | 內 1、內 6 | |
| | 高落差橫向構造物補強 | | | 內 1、內 4、內 5 | | | |
| | 護岸格框補強 | | | | | | 內 1、內 2、內 3 |
| | 過水路面重建 | | | 內 4、內 5 | | | |



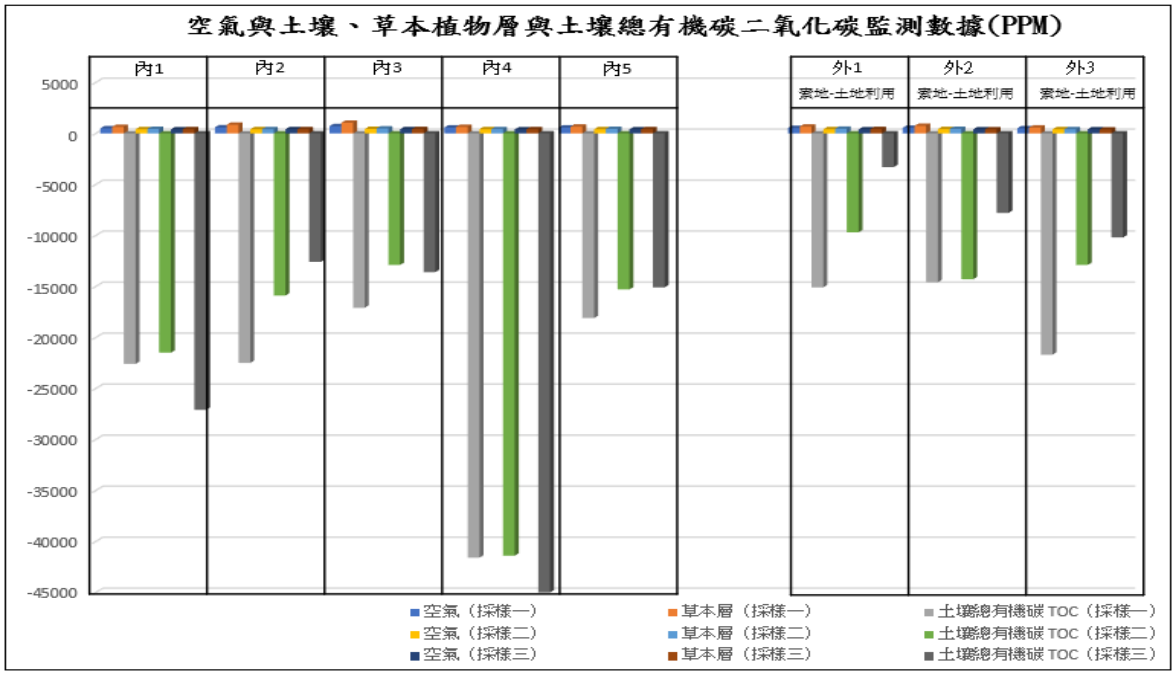




**圖 4-4　北部工程碳排及固碳採樣成果分析**

| 第一次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 砌石護岸、護坡( 內1)右岸 | 500 | 635 | 2.26 | 88.14 |
| 砌石護岸、護坡 (內2)右岸 | 588 | 846 | 2.25 | 87.75 |
| 砌石護岸 (內3)右岸 | 706 | 1038 | 1.71 | 66.69 |
| 砌石護岸 (內4)右岸 | 564 | 634 | 4.16 | 162.24 |
| 砌石護岸 (內5)左岸 | 573 | 656 | 1.81 | 70.59 |
| 素地-土地利用(外1) | 530 | 666 | 1.51 | 58.89 |
| 素地-土地利用(外2) | 541 | 730 | 1.46 | 56.94 |
| 素地-土地利用(外3) | 492 | 563 | 2.17 | 84.63 |

| 第二次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 砌石護岸、護坡( 內1)右岸 | 408 | 439 | 2.15 | 83.85 |
| 砌石護岸、護坡 (內2)右岸 | 402 | 409 | 1.59 | 62.01 |
| 砌石護岸 (內3)右岸 | 428 | 477 | 1.29 | 50.31 |
| 砌石護岸 (內4)右岸 | 407 | 410 | 4.14 | 161.46 |
| 砌石護岸 (內5)左岸 | 406 | 436 | 1.53 | 59.67 |
| 素地-土地利用(外1) | 401 | 445 | 0.97 | 37.83 |
| 素地-土地利用(外2) | 420 | 436 | 1.43 | 55.77 |
| 素地-土地利用(外3) | 400 | 404 | 1.29 | 50.31 |

| 第三次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 砌石護岸、護坡( 內1)右岸 | 393 | 404 | 2.71 | 105.69 |
| 砌石護岸、護坡 (內2)右岸 | 395 | 400 | 1.26 | 49.14 |
| 砌石護岸 (內3)右岸 | 397 | 415 | 1.36 | 53.04 |
| 砌石護岸 (內4)右岸 | 388 | 395 | 4.5 | 175.5 |
| 砌石護岸 (內5)左岸 | 390 | 395 | 1.51 | 58.89 |
| 素地-土地利用(外1) | 393 | 411 | 0.33 | 12.87 |
| 素地-土地利用(外2) | 389 | 389 | 0.78 | 30.42 |
| 素地-土地利用(外3) | 388 | 369 | 1.02 | 39.78 |

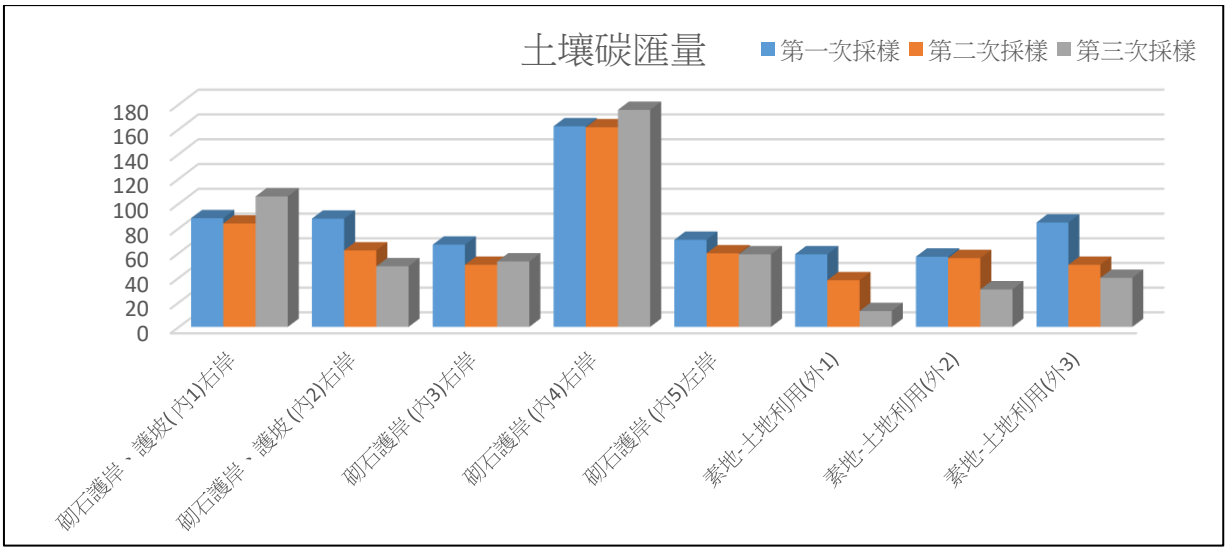
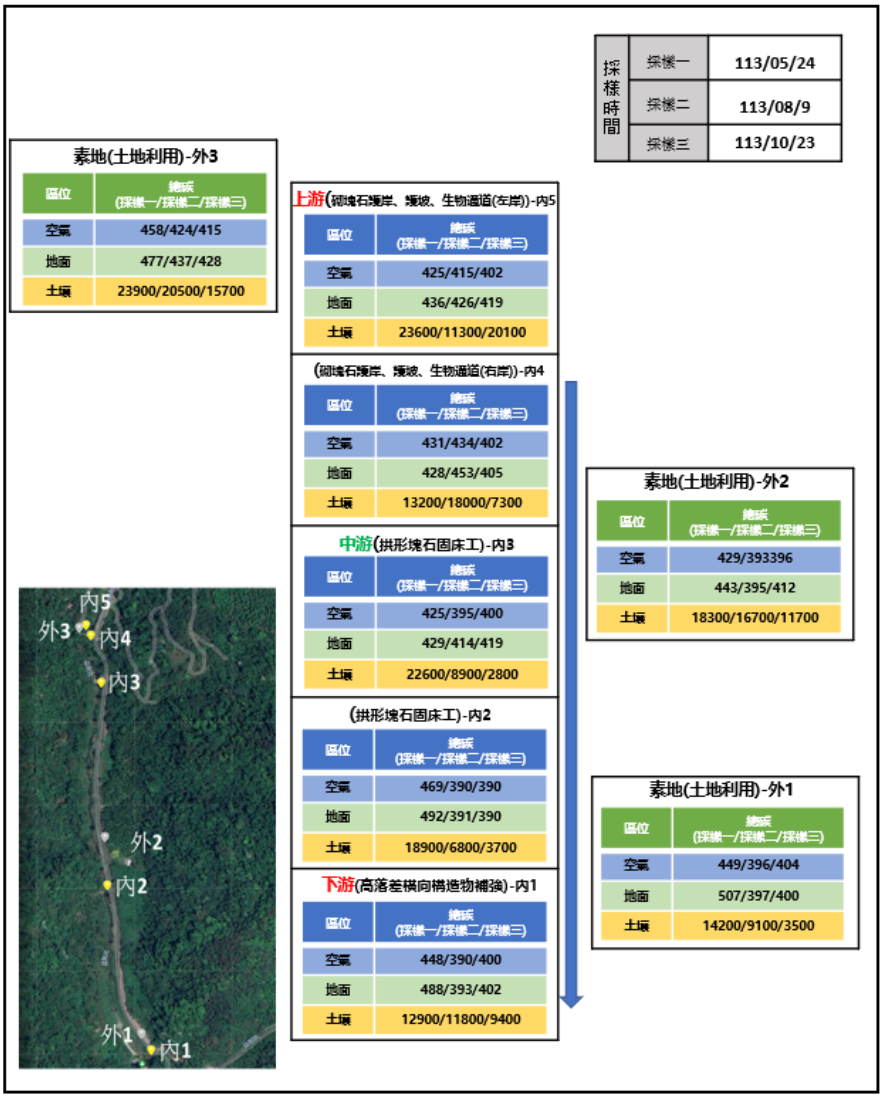



**圖 4-5　北部-桃園高遶溪碳監測點位趨勢分布**



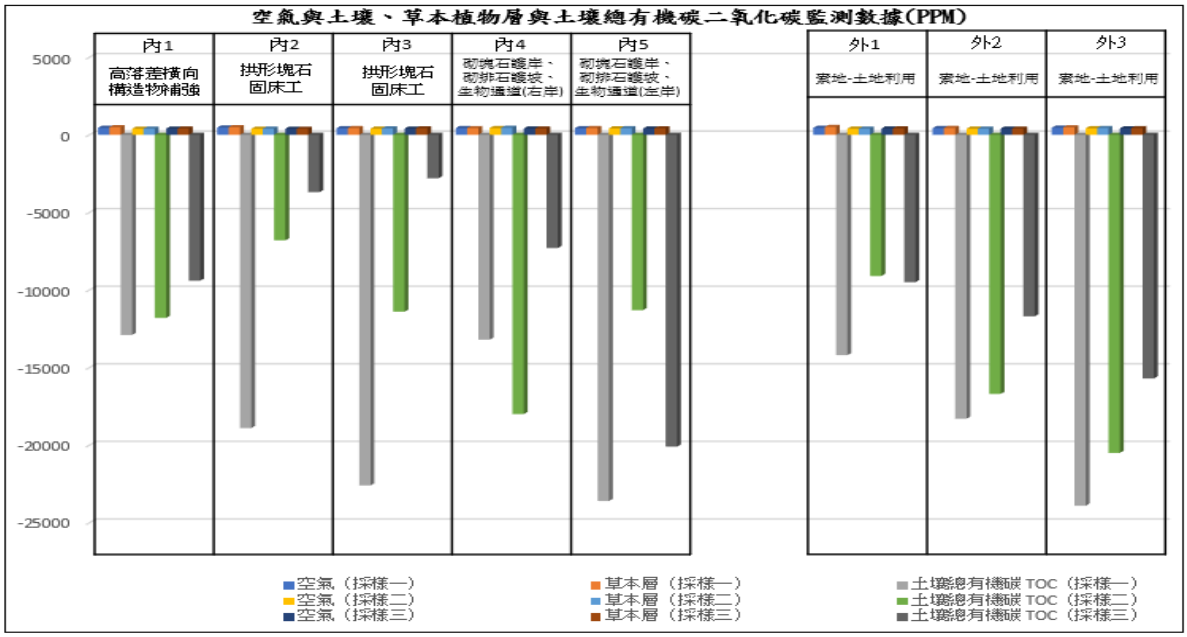




**圖 4-6　中部工程碳排及固碳採樣成果分析**

| 第一次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 高落差橫向構造物補強( 內1)左岸 | 448 | 488 | 1.29 | 50.31 |
| 拱形塊石固床工 (內2)左岸 | 469 | 492 | 1.89 | 73.71 |
| 拱形塊石固床工 (內3)左岸 | 425 | 429 | 2.26 | 88.14 |
| 砌排石護坡、護坡 (內4)左岸 | 431 | 428 | 1.32 | 51.48 |
| 砌排石護坡、護坡 (內5)左岸 | 425 | 436 | 2.36 | 92.04 |
| 素地-土地利用(外1) | 449 | 507 | 1.42 | 55.38 |
| 素地-土地利用(外2) | 429 | 443 | 1.83 | 71.37 |
| 素地-土地利用(外3) | 458 | 477 | 2.39 | 93.21 |

| 第二次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 高落差橫向構造物補強( 內1)左岸 | 390 | 393 | 1.18 | 46.02 |
| 拱形塊石固床工 (內2)左岸 | 390 | 391 | 0.68 | 26.52 |
| 拱形塊石固床工 (內3)左岸 | 395 | 414 | 0.89 | 34.71 |
| 砌排石護坡、護坡 (內4)左岸 | 434 | 453 | 1.8 | 70.2 |
| 砌排石護坡、護坡 (內5)左岸 | 415 | 426 | 1.13 | 44.07 |
| 素地-土地利用(外1) | 396 | 397 | 0.91 | 35.49 |
| 素地-土地利用(外2) | 393 | 395 | 1.67 | 65.13 |
| 素地-土地利用(外3) | 424 | 437 | 2.05 | 79.95 |

| 第三次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 高落差橫向構造物補強( 內1)左岸 | 400 | 402 | 0.94 | 36.66 |
| 拱形塊石固床工 (內2)左岸 | 390 | 390 | 0.37 | 14.43 |
| 拱形塊石固床工 (內3)左岸 | 400 | 419 | 0.28 | 10.92 |
| 砌排石護坡、護坡 (內4)左岸 | 402 | 405 | 0.73 | 28.47 |
| 砌排石護坡、護坡 (內5)左岸 | 402 | 419 | 2.01 | 78.39 |
| 素地-土地利用(外1) | 404 | 412 | 0.95 | 37.05 |
| 素地-土地利用(外2) | 396 | 400 | 1.17 | 45.63 |
| 素地-土地利用(外3) | 415 | 428 | 1.57 | 61.23 |

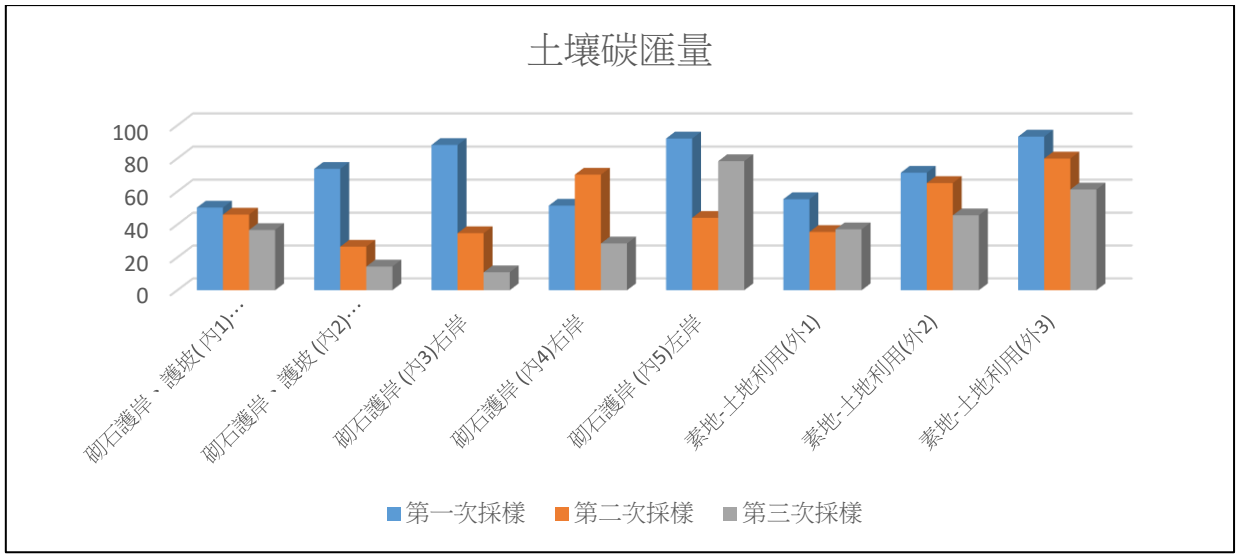
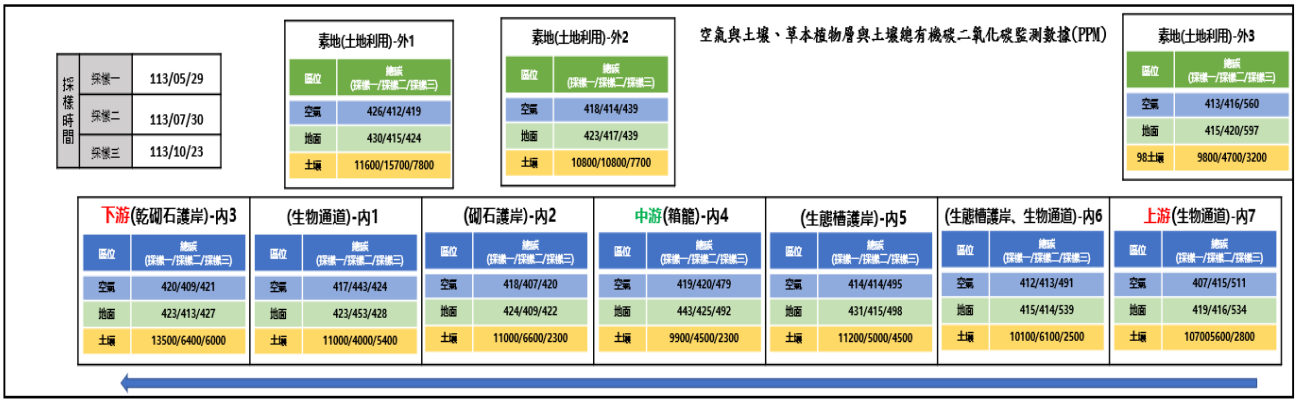



**圖 4-7　中部-南投益則坑碳監測點位趨勢分布**



| 採樣時間 | | |
|---|---|---|
| | 採樣一 | 113/05/29 |
| | 採樣二 | 113/07/30 |
| | 採樣三 | 113/10/23 |

空氣與土壤、草本植物層與土壤總有機碳二氧化碳監測數據(PPM)

| 素地(土地利用)-外1 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 426/412/419 | |
| 地面 | 430/415/424 | |
| 土壤 | 11600/15700/7800 | |

| 素地(土地利用)-外2 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 418/414/439 | |
| 地面 | 423/417/439 | |
| 土壤 | 10800/10800/7700 | |

| 素地(土地利用)-外3 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 413/416/560 | |
| 地面 | 415/420/597 | |
| 98土壤 | 9800/4700/3200 | |

| 下游(乾砌石護岸)-內3 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 420/409/421 | |
| 地面 | 423/413/427 | |
| 土壤 | 13500/6400/6000 | |

| (生物通道)-內1 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 417/443/424 | |
| 地面 | 423/453/428 | |
| 土壤 | 11000/4000/5400 | |

| (砌石護岸)-內2 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 418/407/420 | |
| 地面 | 424/409/422 | |
| 土壤 | 11000/6600/2300 | |

| 中游(箱籠)-內4 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 419/420/479 | |
| 地面 | 443/425/492 | |
| 土壤 | 9900/4500/2300 | |

| (生態槽護岸)-內5 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 414/414/495 | |
| 地面 | 431/415/498 | |
| 土壤 | 11200/5000/4500 | |

| (生態槽護岸、生物通道)-內6 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 412/413/491 | |
| 地面 | 415/414/539 | |
| 土壤 | 10100/6100/2500 | |

| 上游(生物通道)-內7 | | |
|---|---|---|
| 區位 | 總氣 | (採樣一/採樣二/採樣三) |
| 空氣 | 407/415/511 | |
| 地面 | 419/416/534 | |
| 土壤 | 107005600/2800 | |

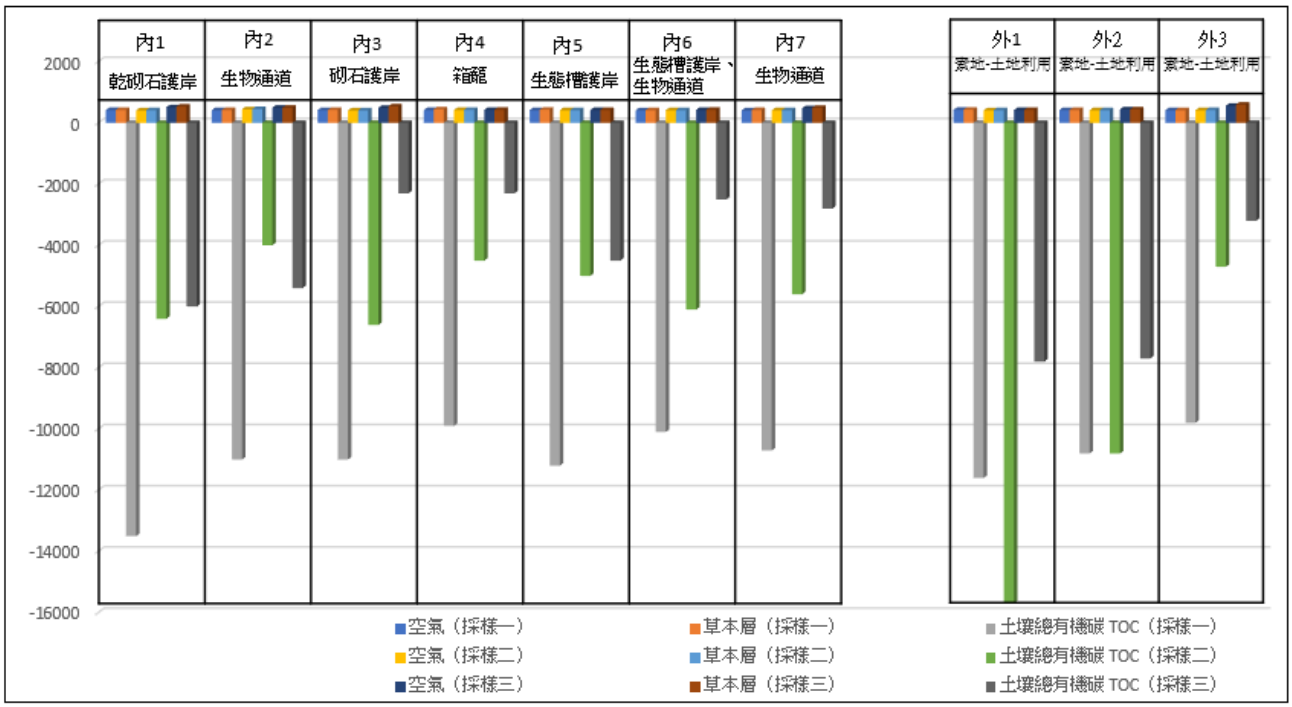



**圖 4-8　南部工程碳排及固碳採樣成果分析**

| 第一次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 乾砌石護岸( 內3)左岸 | 420 | 423 | 1.35 | 52.65 |
| 生物通道 (內1)右岸 | 417 | 423 | 1.1 | 42.9 |
| 砌石護岸 (內2)左岸 | 418 | 424 | 1.1 | 42.9 |
| 生態槽護岸 (內4)右岸 | 419 | 443 | 0.99 | 38.61 |
| 生態槽護岸 (內5)右岸 | 414 | 431 | 1.12 | 43.68 |
| 生態槽護岸、生物通道(內6)右岸 | 412 | 415 | 1.01 | 39.39 |
| 漿砌石水墊(內7)右岸 | 407 | 419 | 1.07 | 41.73 |
| 素地-土地利用(外1) | 426 | 430 | 1.16 | 45.24 |
| 素地-土地利用(外2) | 418 | 423 | 1.08 | 42.12 |
| 素地-土地利用(外3) | 413 | 415 | 0.98 | 38.22 |

| 第二次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 乾砌石護岸( 內3)左岸 | 409 | 413 | 0.64 | 24.96 |
| 生物通道 (內1)右岸 | 443 | 453 | 0.40 | 15.6 |
| 砌石護岸 (內2)左岸 | 407 | 409 | 0.66 | 25.74 |
| 生態槽護岸 (內4)右岸 | 420 | 425 | 0.45 | 17.55 |
| 生態槽護岸 (內5)右岸 | 414 | 415 | 0.5 | 19.5 |
| 生態槽護岸、生物通道(內6)右岸 | 413 | 414 | 0.61 | 23.79 |
| 漿砌石水墊(內7)右岸 | 415 | 416 | 0.56 | 21.84 |
| 素地-土地利用(外1) | 412 | 415 | 1.57 | 61.23 |
| 素地-土地利用(外2) | 414 | 417 | 1.08 | 42.12 |
| 素地-土地利用(外3) | 416 | 420 | 0.47 | 18.33 |

| 第三次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 乾砌石護岸( 內3)左岸 | 511 | 534 | 0.6 | 23.4 |
| 生物通道 (內1)右岸 | 495 | 498 | 0.54 | 21.06 |
| 砌石護岸 (內2)左岸 | 491 | 539 | 0.23 | 8.97 |
| 生態槽護岸 (內4)右岸 | 424 | 428 | 0.23 | 8.97 |
| 生態槽護岸 (內5)右岸 | 420 | 422 | 0.45 | 17.55 |
| 生態槽護岸、生物通道(內6)右岸 | 421 | 427 | 0.25 | 9.75 |
| 漿砌石水墊(內7)右岸 | 479 | 492 | 0.28 | 10.92 |
| 素地-土地利用(外1) | 419 | 424 | 0.78 | 30.42 |
| 素地-土地利用(外2) | 439 | 439 | 0.77 | 30.03 |
| 素地-土地利用(外3) | 560 | 597 | 0.32 | 12.48 |

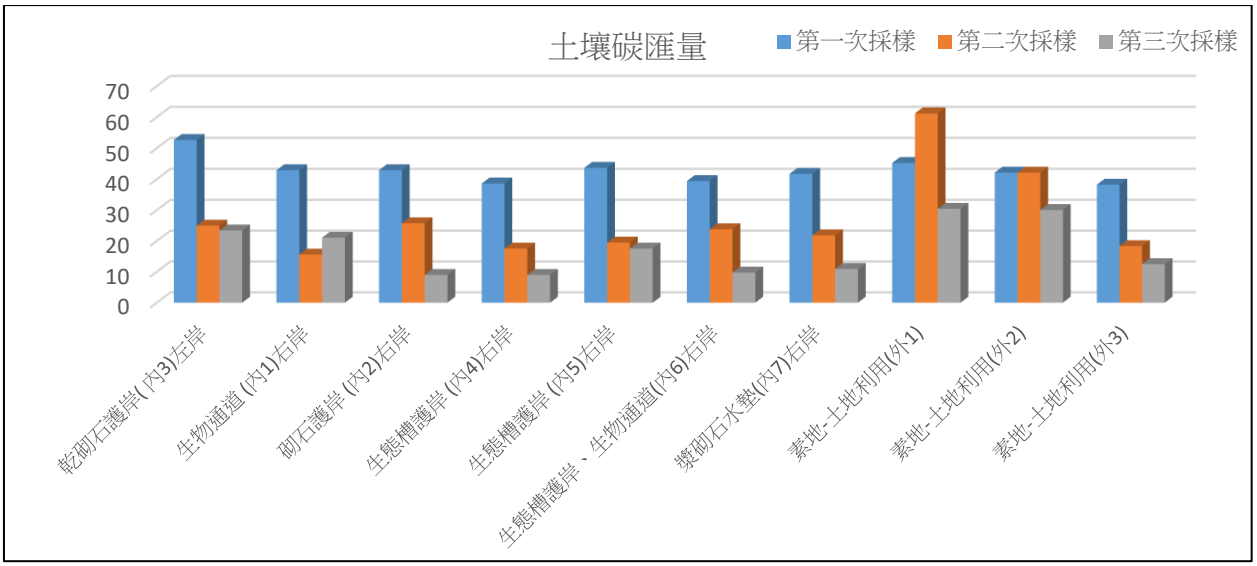
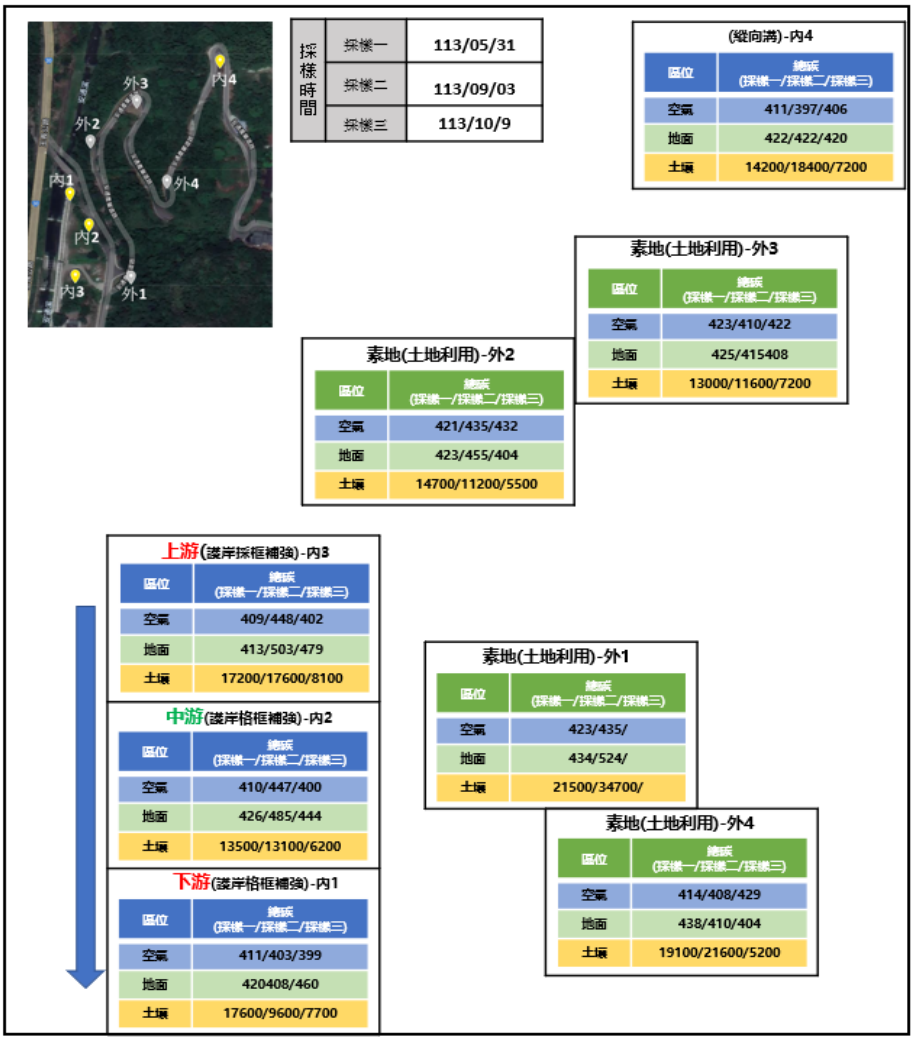



**圖 4-9　南部-台南新化碳監測地點趨勢分布**



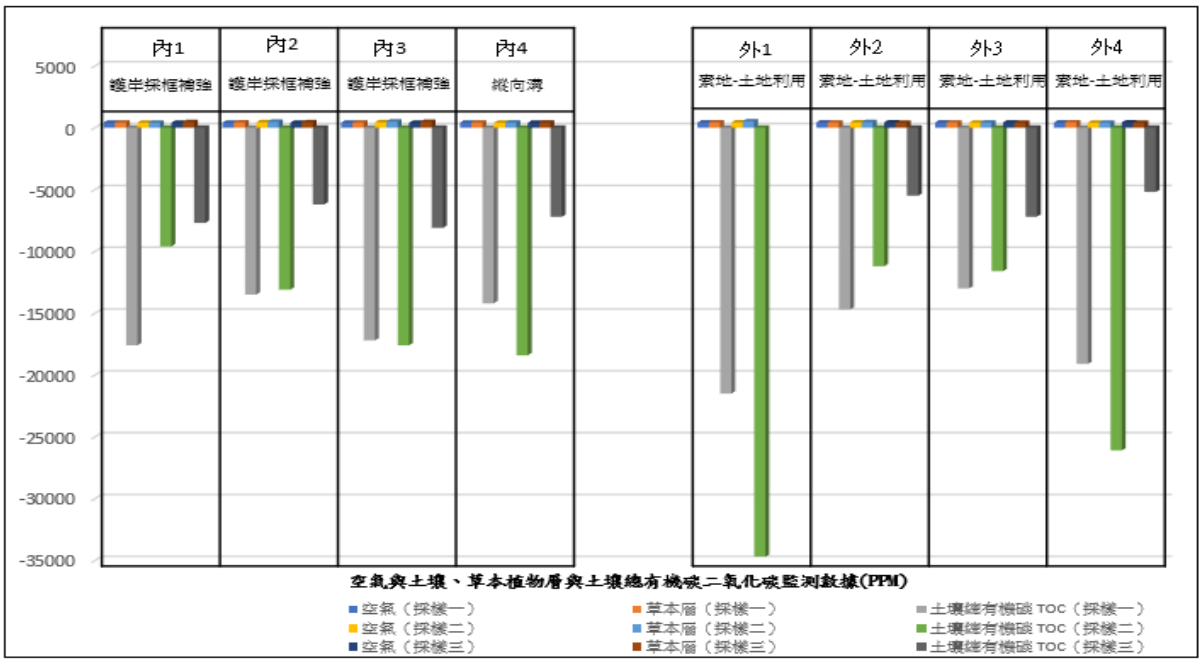




**圖 4-10　東部工程碳排及固碳採樣成果分析**

| 第一次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 護岸採格框補強( 內1)右岸 | 411 | 420 | 1.76 | 68.64 |
| 護岸採格框補強( 2)右岸 | 410 | 426 | 1.35 | 52.65 |
| 護岸採格框補強( 內3)右岸 | 409 | 413 | 1.72 | 67.08 |
| 縱向溝 (內4) | 411 | 422 | 1.42 | 55.38 |
| 素地-土地利用(外1) | 423 | 434 | 2.15 | 83.85 |
| 素地-土地利用(外2) | 421 | 423 | 1.47 | 57.33 |
| 素地-土地利用(外3) | 423 | 425 | 1.3 | 50.7 |
| 素地-土地利用(外4) | 414 | 438 | 1.91 | 74.49 |

| 第二次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 護岸採格框補強( 內1)右岸 | 403 | 408 | 0.96 | 37.44 |
| 護岸採格框補強( 2)右岸 | 447 | 485 | 0.84 | 32.76 |
| 護岸採格框補強( 內3)右岸 | 448 | 503 | 0.96 | 37.44 |
| 縱向溝 (內4) | 397 | 422 | 1.05 | 40.95 |
| 素地-土地利用(外1) | 435 | 524 | 2.46 | 95.94 |
| 素地-土地利用(外2) | 435 | 455 | 1.02 | 39.78 |
| 素地-土地利用(外3) | 410 | 415 | 1.16 | 45.24 |
| 素地-土地利用(外4) | 408 | 410 | 2.61 | 101.79 |

| 第三次採樣 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 工程總類 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳TOC(C%) | 碳匯量(ton C/ha) |
| 護岸採格框補強( 內1)右岸 | 399 | 460 | 0.77 | 30.03 |
| 護岸採格框補強( 2)右岸 | 400 | 444 | 0.62 | 24.18 |
| 護岸採格框補強( 內3)右岸 | 402 | 479 | 0.81 | 31.59 |
| 縱向溝 (內4) | 406 | 420 | 0.72 | 28.08 |
| 素地-土地利用(外1) | 無樣本 | 無樣本 | 無樣本 | 無樣本 |
| 素地-土地利用(外2) | 432 | 404 | 0.55 | 21.45 |
| 素地-土地利用(外3) | 422 | 408 | 0.72 | 28.08 |
| 素地-土地利用(外4) | 429 | 404 | 0.52 | 20.28 |

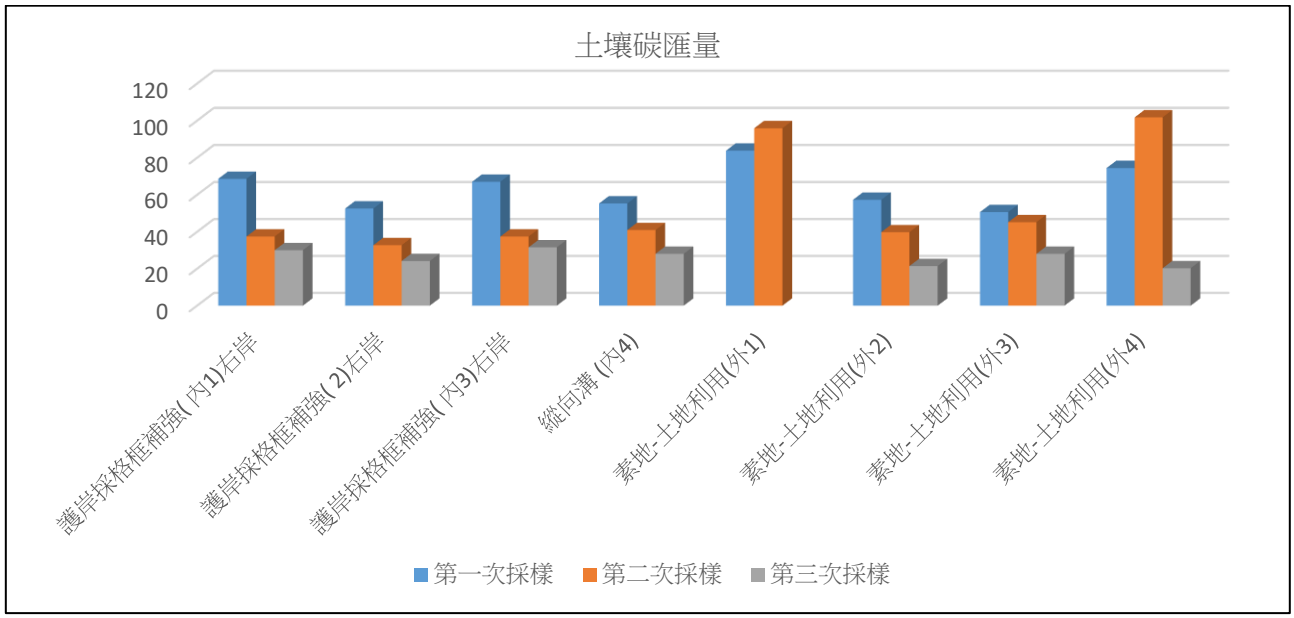



**圖 4-11　東部-花蓮縣玉里鎮安通溪監測點位趨勢分布**

# 表 4-14　北中南東採樣點植生種類與成長周期比對

| 位置 | | 植物成熟期 | 北 | | 中 | 南 | | 東 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 桃園市復興里<br>高遶本生橋下游 | | 南投縣水里鄉<br>益則坑 | 臺南市興化區<br>新化林場 | | 花蓮縣玉里鎮<br>安通溫泉觀光區 |
| 竣工年 | | | 第一期 102 年 | 第二期 109 年 | 111 年 | 第一期<br>110 年 | 第二期<br>111 年 | 110 年 |
| 現況植生 | 黃金葛 | 2-3 Y | 完工 11 年 | | | | | |
| | 貓西番蓮 | 2-3 Y | | 完工 4 年 | | | | |
| | 密毛小毛蕨 | 2-3 Y | 完工 11 年 | 完工 4 年 | | | | |
| | 栗草 | 2-3 Y | | 完工 4 年 | | | | |
| | 地毯草 | 2 月 | | | | | 完工 2 年 | 完工 3 年 |
| | 洋紫荊 | 3-5Y | | | 完工 2 年 | | | |
| | 大花咸豐草 | 2-3 年 | | | 完工 2 年 | | | |
| | 野薑花 | 2-3 年 | | | 完工 2 年 | | | |
| | 魚腥草 | 1-2 Y | | | 完工 2 年 | | | |
| | 把拉媽利 | 3-5 Y | | | 完工 2 年 | | | |
| | 皺桴草 | 1-2 Y | | | | 完工 3 年 | | |
| | 黃金葛 | 1-2 Y | | | | 完工 3 年 | | |
| | 九里香 | 2-3 Y | | | | 完工 3 年 | | |
| | 鬼針草 | 1-2 Y | | | | 完工 3 年 | | |
| | 芒草 | 2-3 Y | | | | | | 完工 3 年 |

## 4.3 新建工程碳排觀測規劃

本項工作主要針對新設工程在不同施工停留點進行二氧化碳排放及土壤中總碳含量變化進行觀測，並針對設計圖進行計算各項工項之碳排放，並參考施工日誌與施工時辰規劃，監造報表了解各階段進料狀況與種類，並進行工區內與周邊碳排放之觀測與紀錄，觀測區位、方法、時辰等比照上方說明。

一、工區選擇

1.工程環境







2.工程內容

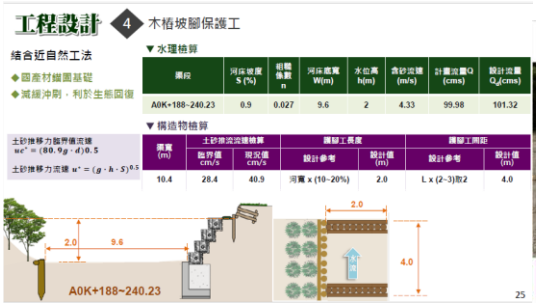



治理規劃配置
左岸
右岸

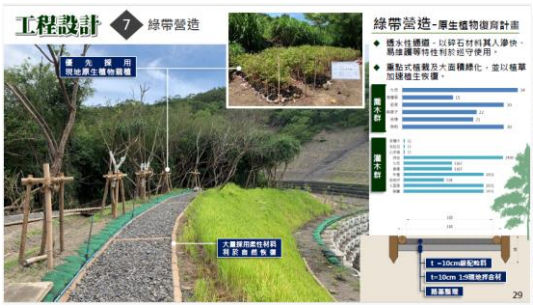

工程設計 1 生態護岸工程-全預鑄塊(乙式護岸)
15~20m 單元控管
固結繩


工程設計 2 生態護岸工程-預鑄塊+堆疊式木柵(甲式護岸)


工程設計 4 木植坡腳保護工
110.06.16開工前生態平台
1) A0K+180~220
保留原有植被(林投)
2) 改以崖邊木樁植等設計
以減緩開挖擾動
既有林投
木樁護腳工

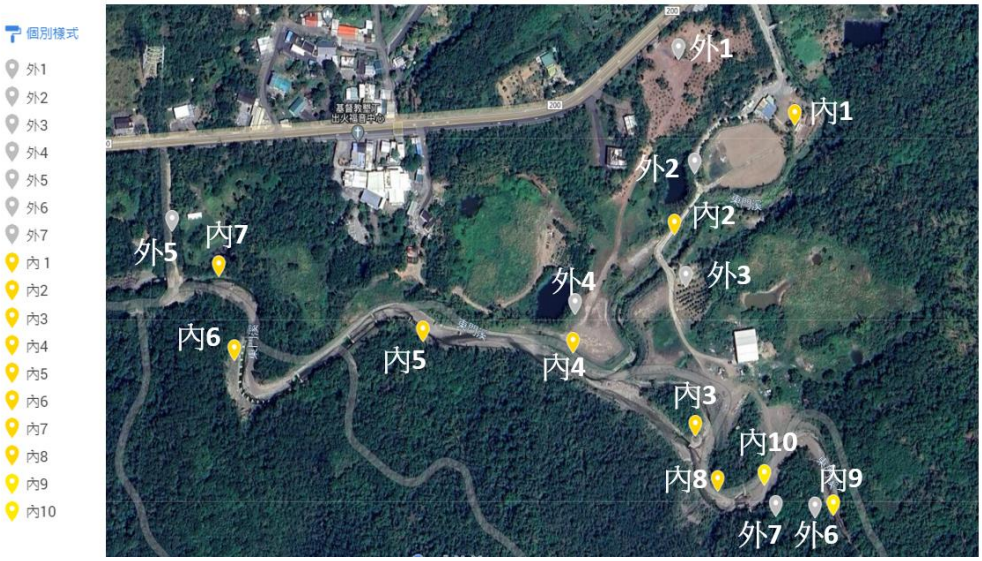

工程設計 4 木植坡腳保護工
結合近自然工法
A0K+188~240.23


工程設計 5 崩塌地-護腳工


工程設計 7 綠帶營造
綠帶營造-原生植物復育計畫


構件組立單元順應河道 完成曲線優美
D12 橫支2m支
模組化設計

3.監測點位




4.減碳特色




5.固碳特色






6.土壤採樣監測

針對計畫區考量本區歷經三期的工程整治，目前也在進行第四期的建置修復與直升補強，為此，針對計畫區域因應不同工程的條件以及周邊不同土地利用的成果，進行土壤採樣，以了解不同時間不同種類工程的改善對土壤固碳的成效監測，其結果如下:

## 表 4-15　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一

| 113 年 4 月 13 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 內 8 | 內 9 | 內 10 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 | 外 5 | 外 6 | 外 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 409 | 392 | 386 | 391 | 397 | 388 | 408 | 397 | 420 | 416 | 389 | 402 | 401 | 385 | 397 | 415 | 434 |
| | 氣溫(°C) | 31.7 | 29.8 | 26.6 | 28.7 | 29.7 | 26.6 | 27.5 | 28.7 | 33.6 | 32.4 | 27 | 28.8 | 31.2 | 26.7 | 29.7 | 31.5 | 31.8 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 419 | 425 | 427 | 432 | 425 | 419 | 432 | 423 | 424 | 418 | 412 | 423 | 428 | 426 | 425 | 419 | 420 |
| | 氣溫(°C) | 38.5 | 44.5 | 38.4 | 45.6 | 43.6 | 35.3 | 38.9 | 32.3 | 35.1 | 35.9 | 30.3 | 34.6 | 35.6 | 40.9 | 43.6 | 32.1 | 33.6 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 2.03 | 2.25 | 1.89 | 2.18 | 1.68 | 1.64 | 2.22 | 1.73 | 1.66 | 1.91 | 2.23 | 2.68 | 1.89 | 2.33 | 2.37 | 1.94 | 2.21. |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.48 | 1.89 | 1.33 | 1.65 | 1.40 | 1.27 | 1.62 | 1.33 | 1.39 | 1.54 | 1.78 | 2.21 | 1.8 | 1.76 | 1.89 | 1.72 | 1.68 |
| | 總碳 TC(ppm) | 20300 | 22500 | 18900 | 21800 | 16800 | 16400 | 22200 | 17300 | 16600 | 19100 | 22300 | 26800 | 18900 | 23300 | 23700 | 19400 | 22100 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 14800 | 18900 | 13300 | 16500 | 14000 | 12700 | 16200 | 13300 | 13900 | 15400 | 17800 | 22100 | 1800 | 17600 | 18900 | 17200 | 22100 |

| 113 年 4 月 13 日(夜晚) | | 內 2 | 內 8 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 381 | 387 | 383 | 386 |
| | 氣溫(°C) | 22.8 | 23.7 | 23.5 | 23.8 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 424 | 426 | 423 | 429 |
| | 氣溫(°C) | 23.0 | 23.8 | 24.0 | 22.9 |

## 表 4-16　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二

| 113 年 7 月 1 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 內 8 | 內 9 | 內 10 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 | 外 5 | 外 6 | 外 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 413 | 407 | 402 | 410 | 402 | 419 | 430 | 401 | 406 | 413 | 405 | 409 | 412 | 411 | 420 | 431 | 420 |
| | 氣溫(°C) | 32.7 | 32.1 | 37.2 | 34.8 | 34.2 | 35.0 | 32.6 | 38.3 | 31.5 | 32.6 | 31.1 | 31.3 | 33.3 | 37.7 | 328 | 30.0 | 29.7 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 414 | 409 | 405 | 412 | 404 | 422 | 442 | 406 | 417 | 416 | 418 | 414 | 414 | 413 | 425 | 518 | 450 |
| | 氣溫(°C) | 33.4 | 32.6 | 38.1 | 40.8 | 44.0 | 36.3 | 34.3 | 36.1 | 33.0 | 33.8 | 33.6 | 34.1 | 34.7 | 42.6 | 33.7 | 31.6 | 30.4 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 1.65 | 2.40 | 2.05 | 2.48 | 2.04 | 1.24 | 3.22 | 1.88 | 1.23 | 1.57 | 2.87 | 2.70 | 2.05 | 2.54 | 2.04 | 1.24 | 1.42 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 1.24 | 1.99 | 1.47 | 1.76 | 1.43 | 1.16 | 2.41 | 1.39 | 0.80 | 0.74 | 2.26 | 1.68 | 1.46 | 1.96 | 1.47 | 0.82 | 0.51 |
| | 總碳 TC(ppm) | 16500 | 24000 | 20500 | 24800 | 20400 | 12400 | 32200 | 18800 | 12300 | 15700 | 28700 | 34100 | 20500 | 25400 | 20400 | 12400 | 14200 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 12400 | 19900 | 14700 | 17600 | 14300 | 11600 | 24100 | 13900 | 8000 | 7400 | 22600 | 16800 | 14600 | 19600 | 14700 | 8200 | 5100 |

| 113 年 7 月 1 日(夜晚) | | 內 2 | 內 8 | 外 2 | 外 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 427 | 435 | 428 | 426 |
| | 氣溫(°C) | 29.5 | 29.3 | 29.8 | 29.6 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 425 | 450 | 430 | 450 |
| | 氣溫(°C) | 29.6 | 29.4 | 30.2 | 29.8 |

## 表 4-17　屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三

| 113 年 10 月 11 日(白天) | | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 5 | 內 6 | 內 7 | 內 8 | 內 9 | 內 10 | 外 1 | 外 2 | 外 3 | 外 4 | 外 5 | 外 6 | 外 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距離地面 2m 處之空氣 | CO2(ppm) | 410 | 404 | 401 | 412 | 395 | 405 | 408 | 406 | 406 | 400 | 410 | 410 | 401 | 402 | 404 | 406 | 410 |
| | 氣溫(°C) | 35.2 | 30.2 | 28.3 | 29.4 | 30.6 | 31.1 | 29.3 | 28.5 | 27.3 | 30.8 | 35.2 | 27.4 | 27.1 | 27.9 | 30.2 | 29.8 | 29.2 |
| 土壤與草本植物層 | CO2(ppm) | 411 | 406 | 401 | 422 | 396 | 407 | 418 | 408 | 419 | 403 | 411 | 411 | 403 | 405 | 422 | 408 | 430 |
| | 氣溫(°C) | 39.5 | 33.3 | 28.3 | 32.4 | 35.4 | 41.7 | 38.6 | 31.3 | 29.3 | 35.8 | 40.6 | 31.8 | 30.3 | 35.4 | 44.7 | 28.2 | 31.3 |
| 土壤碳 | 總碳 TC( C%) | 0.71 | 1.48 | 0.91 | 1.03 | 1.05 | 0.77 | 1.79 | 0.99 | 1.07 | 1.06 | 1.42 | 1.35 | 0.75 | 0.76 | 1.55 | 0.97 | 2.16 |
| | 總有機碳 TOC( C%) | 0.47 | 1.03 | 0.52 | 0.70 | 0.58 | 0.46 | 1.13 | 0.51 | 0.72 | 0.76 | 1.36 | 1.07 | 0.62 | 0.64 | 1.24 | 0.57 | 1.52 |
| | 總碳 TC(ppm) | 7100 | 14800 | 9100 | 10300 | 10500 | 7700 | 17900 | 9900 | 10700 | 10600 | 14200 | 13500 | 7500 | 7600 | 15500 | 9700 | 21600 |
| | 總有機碳 TOC(ppm) | 4700 | 10300 | 5200 | 7000 | 5800 | 4600 | 11300 | 5100 | 7200 | 7600 | 13600 | 10700 | 6200 | 6400 | 12400 | 5700 | 15200 |

## 1. 工程區位分析

| 位置 | | 施工中 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 屏東縣恆春鎮出火橋下游 | | | |
| 竣工年 | | 第一期<br>110 年 | 第二期<br>111 年 | 第三期<br>112 年 | 新施工<br>113 |
| 工程項目 | 生態固床工 | | | | 內 9、內 10 |
| | 鋼柵調節設施 | | 內 8 | | |
| | 預鑄塊+堆疊式木柵<br>(甲式護岸) | | 內 4 | 內 5 | |
| | 全預鑄塊(乙式護岸) | 內 1、內 2 | 內 3 | 內 6 | |
| | 木樁土包袋坡腳保護工 | | 內 8 | | |
| | 土包袋籠坡腳保護工 | | | 內 5 | |
| | 混凝土護腳工 | | | 內 6 | |
| | | | | | |

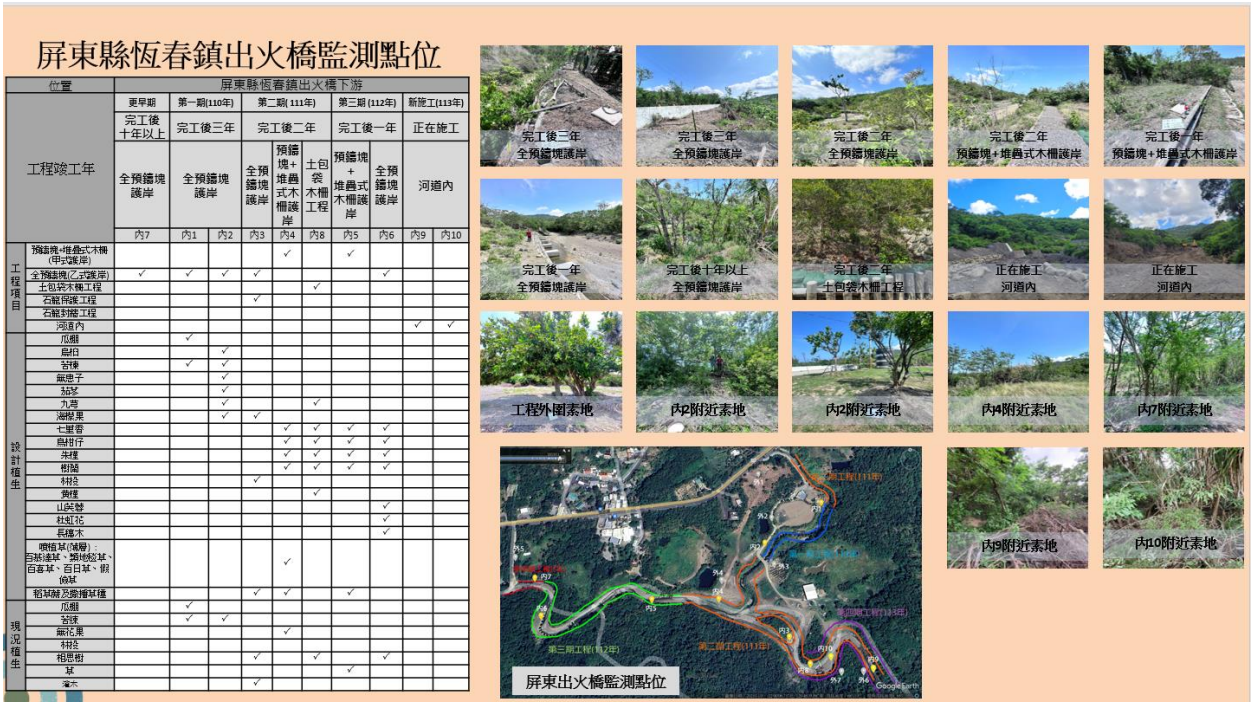



**圖 4-12　出火橋工程碳排及固碳採樣成果分析**

1.本區工程分為四期，自 110-113 年，就碳排放來說，距地面 2 公尺處之碳排放相較交土壤界面來得低，相差約 10-15PPM，且夏季較春秋季來得高。

2.本區土壤固碳量皆大於 1.3-1.6%，素地相較工區多出 0.2-0.35%，但是夏季遇到颱風，土壤含水較高，植生較佳，但是工程補植後，因為時間短，土壤固碳較差，低於 0.8%，因工程集中於七月後進行一個多月。

3.以總碳匯來說，目前素地在春夏兩季約在 70-77 ton/ha，但秋季相對減半，在工區內，春夏兩季，隨工程越新，碳匯越來越少，約 65 降至 55 ton/ha，新工程也僅 30 ton/ha，表示需要時間恢復跟素地一致，時間至少 3 年以上，但是工程時間甚久之區域初步看起來雖然受季節溫度影響，但整體碳匯平均大於近三年完成之工程。

4.如下表可以看出各檢測點其周邊植生種類，生長所需時間以及目前對應的工程，由表可以知道，多數工程已達成熟時期，但是木本植物因為生長時間較長，需要三至五年，因此需要至少 1-2 年時間土壤內之故碳量才能與之相比。

## 表 4-18　屏東縣恆春鎮出火橋下游採樣點為與植生配置

| 工程竣工年 | | 植物成熟期 | 更早期 (102 年) | 第一期 (110 年) | | 第二期 ( 111 年) | | | 第三期 (112 年) | | 新施工 (113 年) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 內 7 | 內 1 | 內 2 | 內 3 | 內 4 | 內 8 | 內 5 | 內 6 | 內 9 | 內 10 |
| 現況植生 | 絲瓜 | 約 90-120 天 | | 完工三年 | | | | | | | | |
| | 苦練 | 約 5 年 | | 完工三年 | 完工三年 | | | | | | | |
| | 無花果 | 約 2 至 3 年 | | | | | 完工二年 | | | | | |
| | 林投 | 約 1 年 | | | | | | | | | | |
| | 相思樹 | 約 3 至 5 年 | | | | 完工二年 | | 完工二年 | | 完工一年 | | |
| | 草 | 約 40 至 60 天 | | | | | | | 完工一年 | | | |
| | 灌木叢 | 約 3 至 5 年 | | | | 完工二年 | | | | | | |
| | 銀合歡 | 約 1 至 2 年 | 完工 8 年 | | | | | | | | | |

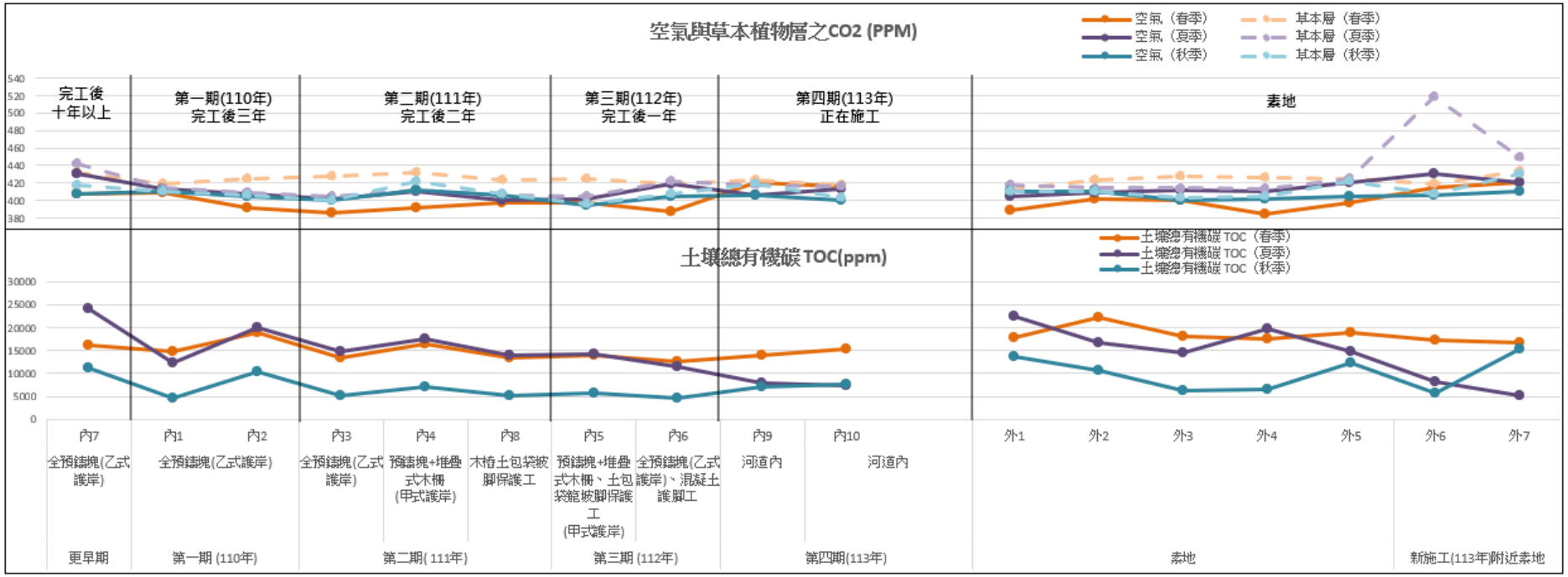



**圖 4-13　出火橋工程碳排及固碳採樣分期成果分析**

| 第一次採樣(施工前) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 工程時期 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳 TOC(C%) | 碳匯量 (ton C/ha) | 備註 |
| 更早期(105年) 內7 | 408 | 432 | 1.62 | 63.18 | |
| 第一期(110) 內1、內2 | 401 | 426 | 1.69 | 65.715 | 內1、內2 的平均值 |
| 第二期(111) 內3、內4、內8 | 391 | 427 | 1.44 | 56.03 | 內3、內4、內8 的平均值 |
| 第三期(112) 內5、內6 | 393 | 422 | 1.34 | 52.065 | 內5、內6 的平均值 |
| 第四期(113) 內9、內10 | 418 | 421 | 1.47 | 57.135 | 內9、內10 的平均值 |
| 素地 外1-外5 | 395 | 423 | 1.89 | 73.632 | 外1、外2、外3、外4、外5 的平均值 |
| 第四期(113) 素地 外6、外7 | 425 | 420 | 1.70 | 66.30 | 新工程附近 外6、外7的平均值 |

| 第二次採樣(施工中) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 工程時期 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳 TOC(C%) | 碳匯量 (ton C/ha) | 備註 |
| 更早期(105年) 內7 | 430 | 442 | 2.41 | 93.99 | |
| 第一期(110) 內1、內2 | 410 | 412 | 1.62 | 62.985 | 內1、內2 的平均值 |
| 第二期(111) 內3、內4、內8 | 404 | 408 | 1.54 | 60.06 | 內3、內4、內8 的平均值 |
| 第三期(112) 內5、內6 | 411 | 413 | 1.30 | 50.505 | 內5、內6 的平均值 |
| 第四期(113) 內9、內10 | 410 | 417 | 0.77 | 30.03 | 內9、內10 的平均值 |
| 素地 外1-外5 | 411 | 417 | 1.77 | 68.87 | 外1、外2、外3、外4、外5 的平均值 |
| 第四期(113) 素地 外6、外7 | 426 | 484 | 0.67 | 25.94 | 新工程附近 外6、外7的平均值 |

| 第三次採樣(施工後) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 工程時期 | 距離地面2m處之空氣(ppm) | 土壤與草本植物層(ppm) | 土壤總有機碳 TOC(C%) | 碳匯量 (ton C/ha) | 備註 |
| 更早期(105年) 內7 | 408 | 418 | 1.13 | 44.07 | |
| 第一期(110) 內1、內2 | 407 | 409 | 0.75 | 29.25 | 內1、內2 的平均值 |
| 第二期(111) 內3、內4、內8 | 406 | 410 | 0.56 | 22.49 | 內3、內4、內8 的平均值 |
| 第三期(112) 內5、內6 | 400 | 403 | 0.52 | 20.28 | 內5、內6 的平均值 |
| 第四期(113) 內9、內10 | 403 | 411 | 0.74 | 28.86 | 內9、內10 的平均值 |
| 素地 外1-外5 | 405 | 410 | 0.99 | 38.454 | 外1、外2、外3、外4、外5 的平均值 |
| 第四期(113) 素地 外6、外7 | 408 | 419 | 1.05 | 40.755 | 新工程附近 外6、外7的平均值 |

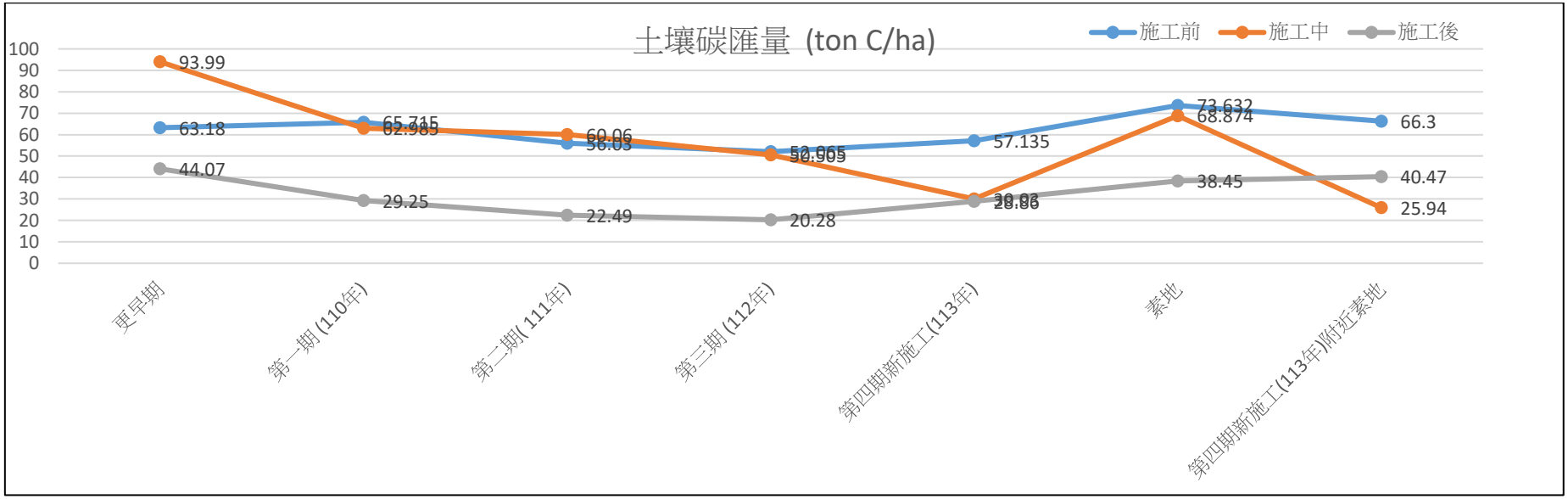



**圖 4-14　出火橋工程碳匯成果分析**

## 4.4 校園碳排放與工程土壤固碳觀測

根據本研究主要精神，在於了解人工設施改善多年後，考量地表植被，土地利用，環境特性，先做出都會區在平坦地草地，斜坡以及人造混凝土構造物對環境碳的影響，為此針對逢甲大學校園，三處環境進行春夏秋三季的監測，期平面位置及監測初步成果如下:







**圖 4-15　校園碳匯監測位置圖**

## 表 4-19　校園土壤碳排與固碳採樣監測成果表

監測時間:113/4/13(日間)

| 大草皮(白天) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 陽光處空氣 | 步道旁空氣 |
| CO2(ppm) | 432 | 442 | 431 |
| TA(氣溫) | 27.5 | 29.7 | 27.6 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 陽光處 | 步道旁 |
| CO2(ppm) | 437 | 431 | 434 |
| TA(氣溫) | 28.4 | 32.2 | 28.1 |

| 大草皮(晚上) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 陽光處空氣 | 步道旁空氣 |
| CO2(ppm) | 487 | 453 | 448 |
| TA(氣溫) | 25.5 | 25.7 | 25.4 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 陽光處 | 步道旁 |
| CO2(ppm) | 566 | 576 | 540 |
| TA(氣溫) | 24.8 | 23.8 | 25.3 |

| 花台(白天) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 金露花旁空氣 | 馬櫻丹旁空氣 |
| CO2(ppm) | 418 | 420 | 420 |
| TA(氣溫) | 27.2 | 27.2 | 26.9 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 金露花旁 | 馬櫻丹旁 |
| CO2(ppm) | 421 | 421 | 419 |
| TA(氣溫) | 28.5 | 27.8 | 28.6 |

監測時間:113/4/13(夜間)

| 大草皮(晚上) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 陽光處空氣 | 步道旁空氣 |
| CO2(ppm) | 487 | 453 | 448 |
| TA(氣溫) | 25.5 | 25.7 | 25.4 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 陽光處 | 步道旁 |
| CO2(ppm) | 566 | 576 | 540 |
| TA(氣溫) | 24.8 | 23.8 | 25.3 |

| 斜坡(晚上) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 陽光處空氣 | 花草旁空氣 |
| CO2(ppm) | 448 | 449 | 455 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| TA(氣溫) | 26.4 | 25.6 | 26.0 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 陽光處 | 花草旁 |
| CO2(ppm) | 507 | 467 | 460 |
| TA(氣溫) | 27.0 | 25.3 | 25.7 |

| 花台(晚上) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 金露花旁空氣 | 馬櫻丹旁空氣 |
| CO2(ppm) | 460 | 467 | 454 |
| TA(氣溫) | 26.2 | 25.8 | 25.6 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 金露花旁 | 馬櫻丹旁 |
| CO2(ppm) | 468 | 472 | 449 |
| TA(氣溫) | 26.4 | 26.1 | 26.5 |

| 校園斜坡(白天 10:30 AM ~ 14:00 PM) | | | |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 樹陰處空氣 | 陽光處空氣 | 花草旁空氣 |
| CO2(ppm) | 429 | 427 | 434 |
| TA(氣溫) | 29.1 | 30.8 | 28.2 |
| 土壤與草本植物層 | 樹陰處 | 陽光處 | 花草旁 |
| CO2(ppm) | 436 | 427 | 432 |
| TA(氣溫) | 29.6 | 33.0 | 29.9 |

30cm 下土壤總碳 TC

| 樣品名稱 | 重量(mg) | Avg-Area | 含碳量(mg) | C% | C (PPM) | RSD% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 斜坡(早) | 50.2 | 7499 | 0.501 | 1.00 | 10000 | 1.37 |
| 斜坡(晚) | 52.9 | 7731 | 0.4940 | 0.93 | 9300 | 1.2 |
| 草皮(早) | 52.6 | 16805 | 1.041 | 1.98 | 19800 | 3.18 |
| 草皮(晚) | 50.3 | 15620 | 0.972 | 1.93 | 19300 | 1.02 |
| 花台(早) | 51.6 | 8510 | 0.546 | 1.06 | 10600 | 2.23 |
| 花台(晚) | 50.2 | 7731 | 0.513 | 1.02 | 10200 | 1.81 |

30cm 下土壤總有機碳 TOC

| 樣品名稱 | 重量(mg) | Avg-Area | 含碳量(mg) | C% | C (PPM) | RSD% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 斜坡(早) | 55.2 | 5815 | 0.402 | 0.73 | 7300 | 0.55 |
| 斜坡(晚) | 50.2 | 5985 | 0.390 | 0.78 | 7800 | 0.97 |
| 草皮(早) | 49.9 | 11895 | 0.768 | 1.54 | 15400 | 1.97 |
| 草皮(晚) | 48.7 | 11049 | 0.706 | 1.45 | 14500 | 0.91 |
| 花台(早) | 49.4 | 5345 | 0.375 | 0.76 | 7600 | 1.65 |
| 花台(晚) | 50 | 5670 | 0.388 | 0.78 | 7800 | 0.66 |

現場監測實況紀錄




**圖 4-16　校園碳匯監測照片一**

## 表 4-20　校園土壤碳排與固碳採樣第一次監測數據

| 監測時間 | 監測點位 | 斜坡 | | | | | | 草皮 | | | | | | 花台 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 花草旁 | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 步道旁 | | 樹旁 | | 金露花旁 | | 馬櫻丹旁 | |
| | | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 |
| 第一次監測 113 年 4 月 13 日 | 距離地面 2m 處空氣 | 427 | 449 | 429 | 448 | 434 | 455 | 442 | 453 | 432 | 487 | 431 | 448 | 418 | 460 | 420 | 467 | 420 | 454 |
| | 土壤與草本植物層 | 427 | 467 | 436 | 507 | 432 | 460 | 431 | 576 | 437 | 507 | 434 | 540 | 421 | 468 | 421 | 472 | 419 | 449 |

| 土壤總有機碳 (TOC) | 斜坡 | | 草皮 | | 花台 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 |
| | 7300 | 7800 | 15400 | 145600 | 7600 | 7800 |




**圖 4-17　校園碳匯監測第一次照片**

## 表 4-21　校園土壤碳排與固碳採樣第二次監測數據

| 監測時間 | 監測點位 | 斜坡 | | | | | | 草皮 | | | | | | 花台 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 花草旁 | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 步道旁 | | 樹旁 | | 金露花旁 | | 馬櫻丹旁 | |
| | | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 |
| 第二次監測 113 年 7 月 20 日 | 距離地面 2m 處空氣 | 413 | 435 | 415 | 436 | 417 | 430 | 421 | 455 | 421 | 440 | 418 | 465 | 418 | 453 | 412 | 438 | 403 | 442 |
| | 土壤與草本植物層 | 405 | 442 | 413 | 529 | 413 | 443 | 479 | 508 | 420 | 458 | 418 | 485 | 421 | 471 | 413 | 455 | 406 | 438 |
| | 土壤總有機碳 (TOC) | 斜坡 | | | | | | 草皮 | | | | | | 花台 | | | | | |
| | | 白天 | | 夜晚 | | | | 白天 | | 夜晚 | | | | 白天 | | 夜晚 | | | |
| | | 15600 | | 15500 | | | | 21700 | | 22300 | | | | 16400 | | 15500 | | | |




**圖 4-18　校園碳匯監測第二次照片**

## 表 4-22　校園土壤碳排與固碳採樣第三次監測數據

| 監測時間 | 監測點位 | 斜坡 | | | | | | 草皮 | | | | | | 花台 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 花草旁 | | 陽光下 | | 樹蔭下 | | 步道旁 | | 樹旁 | | 金露花旁 | | 馬櫻丹旁 | |
| | | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 | 白天 | 夜晚 |
| 第三次監測 113 年 11 月 4 日 | 距離地面 2m 處空氣 | 436 | 467 | 432 | 452 | 436 | 459 | 439 | 455 | 441 | 471 | 442 | 454 | 432 | 452 | 433 | 461 | 432 | 470 |
| | 土壤與草本植物層 | 441 | 472 | 433 | 450 | 435 | 471 | 429 | 482 | 454 | 487 | 446 | 477 | 448 | 468 | 427 | 449 | 433 | 464 |
| | 土壤總有機碳 (TOC) | 斜坡 | | | | | | 草皮 | | | | | | 花台 | | | | | |
| | | 白天 | | 夜晚 | | | | 白天 | | 夜晚 | | | | 白天 | | 夜晚 | | | |
| | | 9800 | | 8300 | | | | 61000 | | 13400 | | | | 8900 | | 6300 | | | |




**圖 4-19　校園碳匯監測第三次照片**

## 4.5 結論

1.整體校園工程皆已完成至少 5 年以上，但是平有學生與教職員的出入，排除車輛對本區的影響，可以看出在坡面上相較平地之碳排放量略高 1-3%，花台的數值也高於開闊地，且白天低於晚上，相差 6-8%。此外，在樹蔭下與陽光曝曬區相比較，並無明顯之差異，花台以樹木略小於矮叢，但不同季節觀察，相差不多，僅有日夜之差。

2.以土壤固碳能力，斜坡面低於平地草皮，且白天高於晚上，相對於草皮，花台跟斜坡的土壤固碳能力約在 7500-9500ppm，但是草皮區皆大於 16000 ppm，表示相對固碳量高。

3.整體來說，夏季觀測成果較春秋來得高，主要影響因素為颱風降雨，但小圓為人工維護區，因此落差受維護度影響，後續可以加強觀測前期影響以及延續能力。

# 第五章　工程碳地圖建置

透過上述的的觀測成果，建置可以上傳觀測成果的資料庫，並作展示使用，並且利用資料庫做數據的差異比對與點雲資料的量化分析。針對量測的成果，瞭解各類工程碳足跡之時空變化。初步以總有機碳含量中，以紅色代表不佳(C%<1.0)，黃色代表普通(1.0<C%<2.0)、藍色代表家(2.0<C%<3.0) 、綠色代表(C%>3.0)。可以看出春季的成果，後續透過夏季與秋季的成果持續觀測長期變化以及完工後數年之故碳成效歷程。



**圖 5-1　北部桃園復興高遶本生橋下游碳分布一**

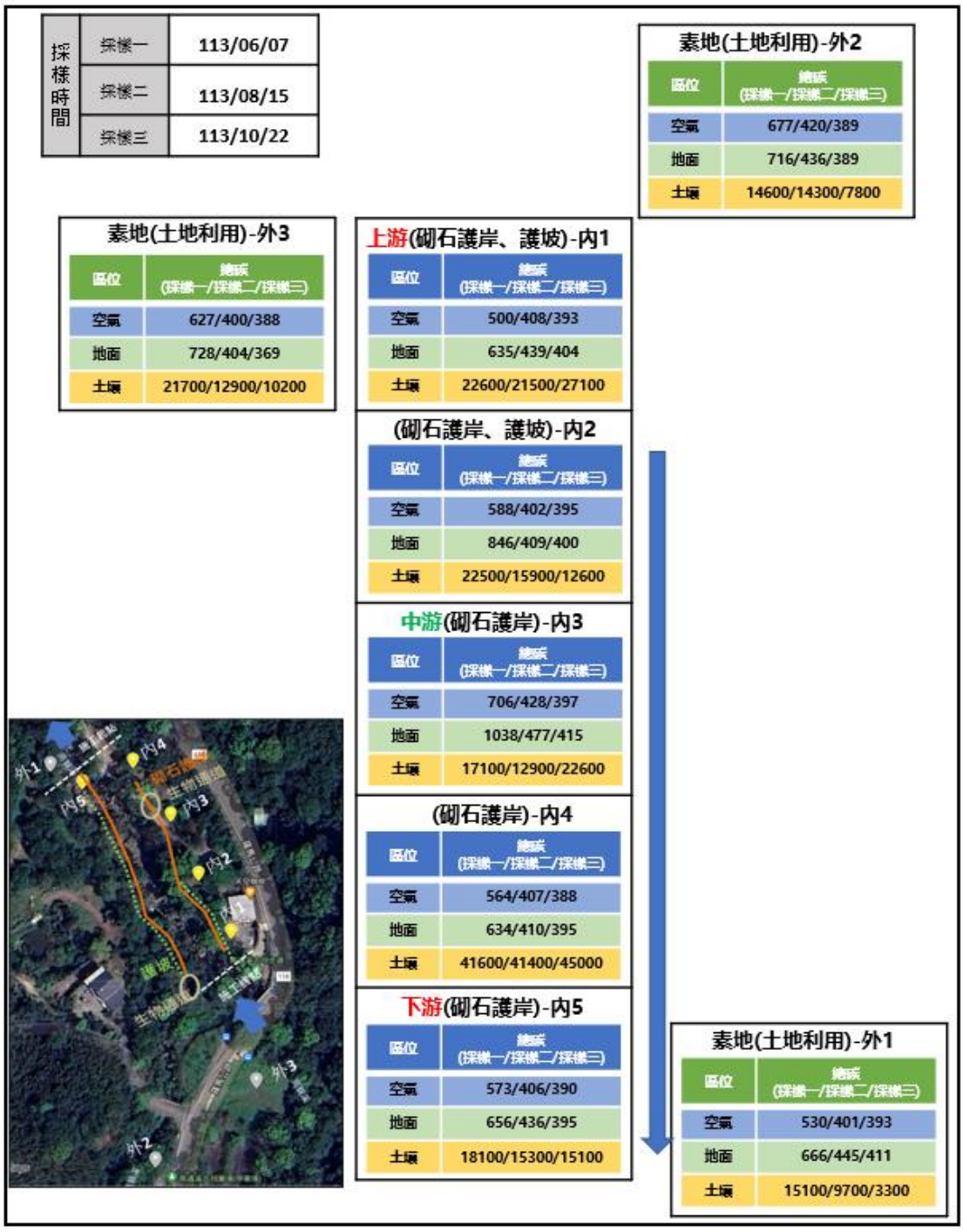



**圖 5-2　北部桃園復興高遶本生橋下游碳地圖分布(二)**



| 採樣時間 | | |
|---|---|---|
| | 採樣一 | 113/05/24 |
| | 採樣二 | 113/08/9 |
| | 採樣三 | 113/10/23 |

**素地(土地利用)-外3**

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 458/424/415 |
| 地面 | 477/437/428 |
| 土壤 | 23900/20500/15700 |

**上游**(砌塊石護岸、護坡、生物通道(左岸))-內5

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 425/415/402 |
| 地面 | 436/426/419 |
| 土壤 | 23600/11300/20100 |

(砌塊石護岸、護坡、生物通道(右岸))-內4

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 431/434/402 |
| 地面 | 428/453/405 |
| 土壤 | 13200/18000/7300 |

**中游**(拱形塊石固床工)-內3

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 425/395/400 |
| 地面 | 429/414/419 |
| 土壤 | 22600/8900/2800 |

(拱形塊石固床工)-內2

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 469/390/390 |
| 地面 | 492/391/390 |
| 土壤 | 18900/6800/3700 |

**下游**(高落差橫向構造物補強)-內1

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 448/390/400 |
| 地面 | 488/393/402 |
| 土壤 | 12900/11800/9400 |

**素地(土地利用)-外2**

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 429/393396 |
| 地面 | 443/395/412 |
| 土壤 | 18300/16700/11700 |

**素地(土地利用)-外1**

| 區位 | 總碳(採樣一/採樣二/採樣三) |
|---|---|
| 空氣 | 449/396/404 |
| 地面 | 507/397/400 |
| 土壤 | 14200/9100/3500 |




**圖 5-3　中部南投益則坑碳地圖分布**

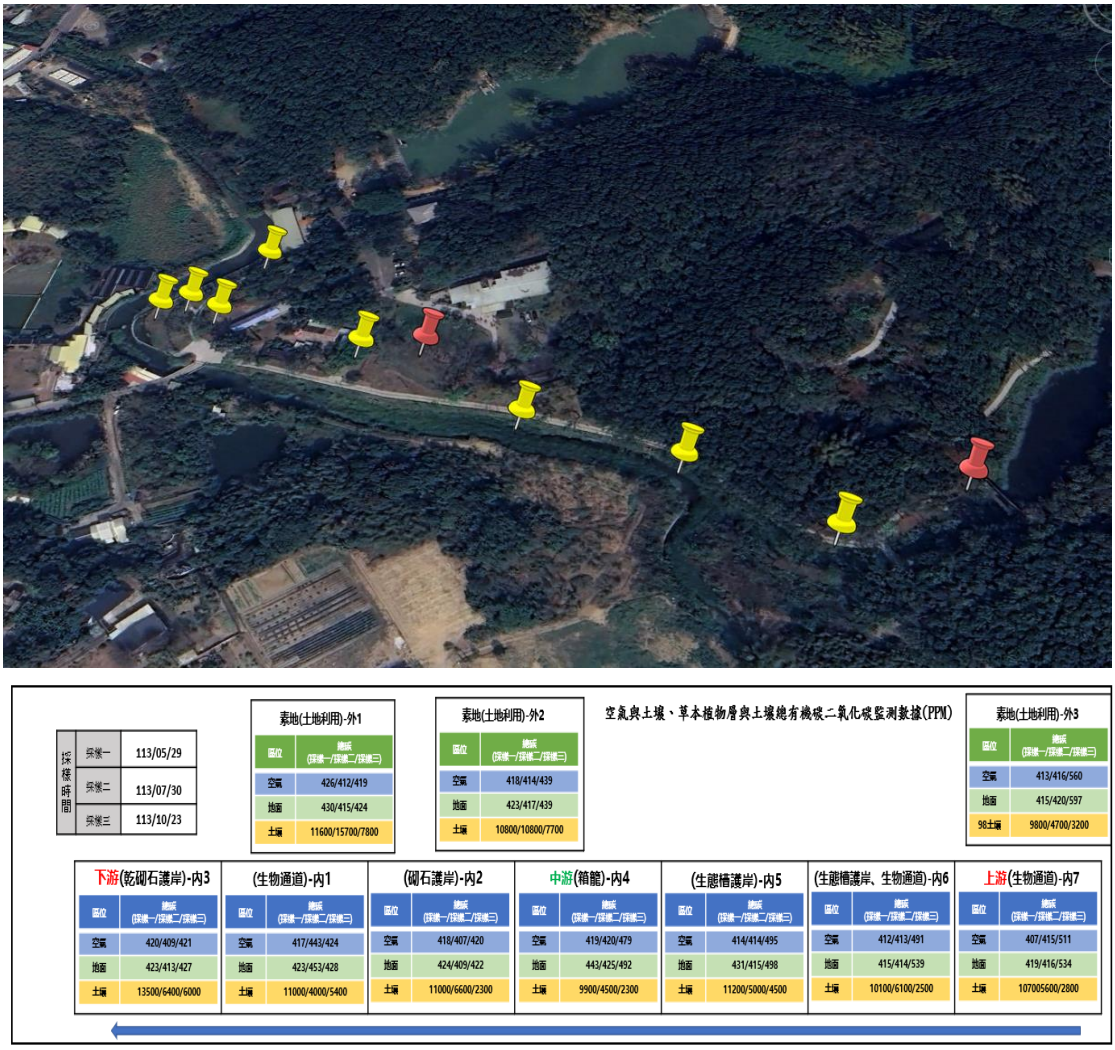
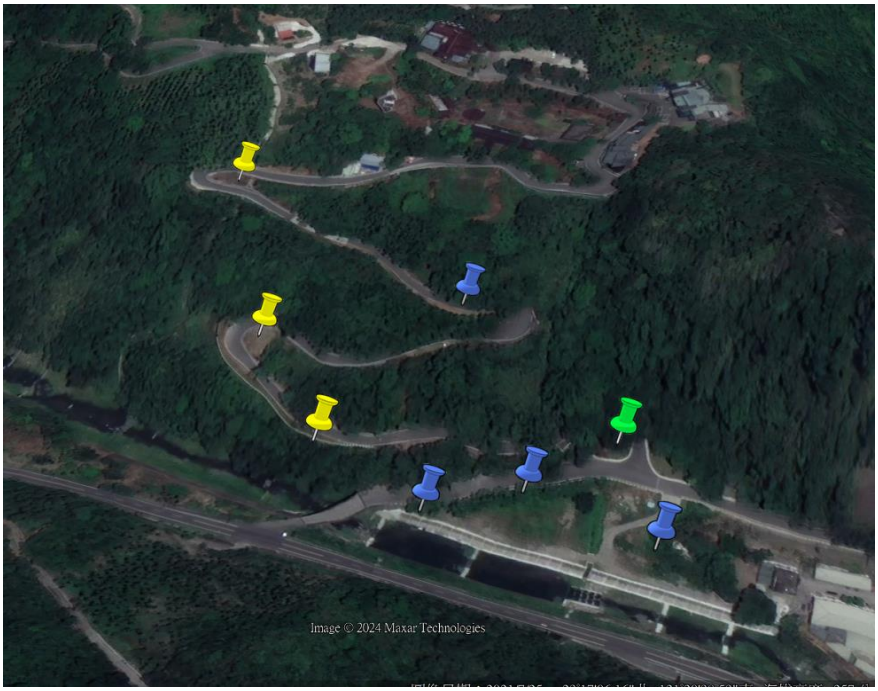



**圖 5-4　南部台南新化林場碳地圖分布**



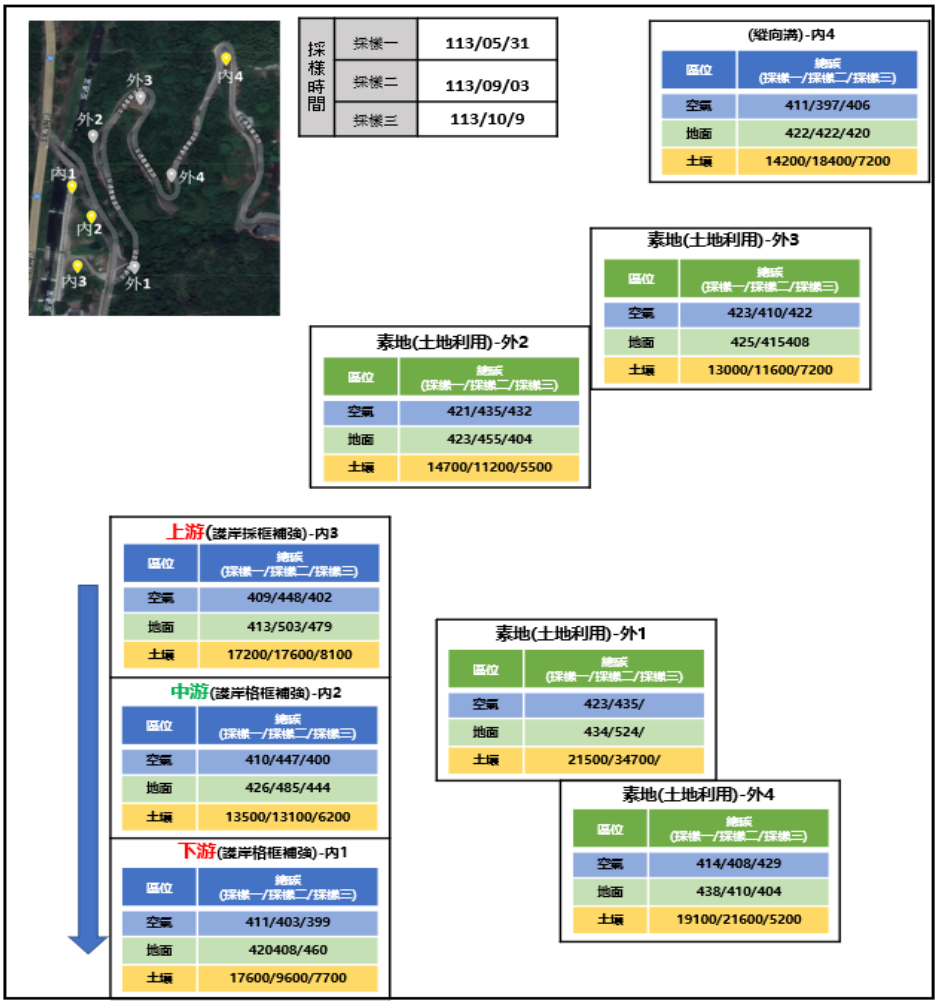




**圖 5-5　東部花蓮安通碳地圖分布**

# 第六章　結論與建議

## 6.1　結論

依據前述幾章資料蒐集及現地觀測，可得以下幾點結論:

1.針對北中南東選擇不同時期完成的工程，在工區內保護之坡面及工區外進行空氣碳排放及土壤碳含量的檢測，此外也針對三個不同季節進行觀測，搭配晚上的觀測了解工程生命週期的碳排放與土壤固碳能力的了解。從結果可以看出護岸種類及施工所在區位以及施工完成時間皆有影響土壤固碳能力與碳排放成果。

2.針對同一個水系連續工程的碳排與土壤固碳能力的監測，同樣進行三季的追蹤，也針對第四期正在進行之工程，針對前中後追蹤碳排與土壤碳匯。從結果可以看出完工後時完成時間越久越與素地相近且剛完工之工程土壤碳匯甚低，需要至少 3-4 年以上才有機會與素地相府。

3.針對人工維護之校園坡面、草皮、花台進行碳排放與土壤固碳能力之三季檢測，其中以草皮的土壤固碳能力較高，且坡面較平碳地碳排少，固碳能力也少。

4.針對碳匯地圖的製作，初步以土壤固碳能力進行展示，後續會增加時變性進行展示。

## 6.2　建議

1.針對土壤監測應該針對不同工區作連續的監測，可達完整的紀錄，以做比對用計算的方式得年效益以及對外在影響的滾動檢討，以作為日後工程服務期與維護期的工程補

強。

2.後續可以針對工區或集水區較大範圍進行數值模擬與大空間的預測分析，了解整體工程環境在全生命週期內，在不同時間、季節、降雨及土砂影響下，對碳匯的影響。

3.目前因為完成監測時間僅有三季的時間，加上本年度雨水較多之關係，可能與水土保持在台灣地區常見的常態環境有落差，建議可以做長時間的觀測以及循環作比對分析。

# 參考文獻

1.Azil, A., Ramanathan, B., Barnard, V., Blaufelder, C., Levy, C., & Nielsen, T. (2021). Putting Carbon Markets to Work on the Path to Net Zero.

2. Bezu, Abebe, Ketema Tezera. 「Impacts of soil and water conservation on crop yield, soil properties, water resources, and carbon sequestration: A review」 10(5) (July-September2019 年): 103–13. https://doi.org/10.5897/JSSEM2018.0723.

3.California Air Resources Board. (2021). Cap-and-Trade Program: Allowance Distribution Factsheet.

4.Chen, Chi-Ling, Chiao-Ying Chou, Ming-Chieh Lin 及 Jheng-Hong Hu. 「APPLICATION OF AGRICULTURAL PRACTICES TO INCREASE SOIL CARBON SEQUESTRATION IN TAIWAN」, .

5.Chendev, Yu.G.,Sauer, T.J., Gennadiev, A.N. Novykh, L.L., Petin,A.N, Petina, V.I.Zazdravnykh,E.A. & Burras, C.L. 2015. Accumulation of organic carbon in chernozems (Mollisols) under shelterbelts in Russia and the United States. Eurasian Soil Science, 48(1): 43-53. https://doi.org/10.1134/S1064229315010032

6. Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region, .

7. Development of a Special Electrode for Continuous Subcutaneous PH Measurement in the Infant Scalp. American Journal of Obstetrics and Gynecology 124, 期 2 (1976 年 1

月 15 日): 193–95. https://doi.org/10.1016/s0002-9378(16)33297-5.

8. Dhillon, G.S. & Van Rees, K.C.J. 2017. Soil organic carbon sequestration by shelterbelt agroforestry systems in Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science: 1-16. hups://doi.org/10.1139/css2016-0094 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估 參-2

9. Digitoxin Metabolism by Rat Liver Microsomes. Biochemical Pharmacology 24, 期 17 (1975 年 9 月 1 日): 1639–41.

10. Donofrio, S., Maguire, P., Myers, K., Daley, C., & Lin, K. (2021). State of the Voluntar y Carbon Markets 2021 Installment 1.

11. Hitendra D Varsani Rohit Gupta，(2022)，Introducing the Carbon Market Age

12. Iglesias, Domingo J., Ana Quiñones, Antonio Font, Belén MartínezAlcántara, María Ángeles Forner-Giner, Francisco Legaz 及 Eduardo Primo-Millo. 「Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain」. Agriculture, Ecosystems & Environment 171 (2013 年 5 月 1 日): 103–11.

13. IPCC，Guidelines for National Greenhouse Gas Inventorie(國家溫 室氣體清單指南)，2006

14.Kalita, Rinku Moni, Ashesh Kumar Das 及 Arun Jyoti Nath. 「Role of Smallholder Tea Growers in Carbon Sink Management」. Current Science 116, 期 9 (2019 年 5 月 10 日): 1560.

15. Liguori, G., G. Gugliuzza 及 P. Inglese. 「Evaluating Carbon Fluxes in Orange Orchards in Relation to Planting Density」. The Journal of Agricultural Science 147, 期 6 (2009 年 12 月): 637–45.

16. Márquez-San-Emeterio, L., Reyes-Martín, M., Ortiz-Bernad, I., Fernández-Ondoño, E. & Sierra-Aragón, M. 2017a. Evaluation of soil carbon pools after the addition of prunings in subtropical orchards placed in terraces. Oral communication. EGU General Assembly 2017, Wien (Austria). Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-16654, 2017 (conference paper).

17. Nikki，(2022)，一文看懂：2022 全球前四大碳交易所

18. Paul, J. P. 「Force Actions Transmitted by Joints in the Human 參考文獻 參-3 Body」. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 192, 期 1107 (1976 年 1 月 20 日): 163–72.

19. Sahoo, Uttam Kumar, Arun Jyoti Nath 及 K. Lalnunpuii. 「Biomass Estimation Models, Biomass Storage and Ecosystem Carbon Stock in Sweet Orange Orchards: Implications for Land Use Management」. Acta Ecologica Sinica 41, 期 1 (2021 年 2 月): 57–63.

20. Sasaki, Ayako, Mamoru Kanzaki, Keisuke Mochizuki, Chalathon Choocharoen 及 Pornchai Preechapanya. 「Aboveground Biomass and Carbon Sequestration Potential of Tea and Shade Trees in Miang Tea Gardens, an Agroforestry System in Northern Thailand」. Tropics 29, 期 4 (2021 年 3

月 1 日): 105–19.

21. Schmoldt, A., H. F. Benthe 及 G. Haberland. 「Digitoxin Metabolism by Rat Liver Microsomes」. Biochemical Pharmacology 24, 期 17 (1975 年 9 月 1 日): 1639–41.

22. Sharma, Sunny, Vishal Singh Rana, Heerendra Prasad, Johnson Lakra 及 Umesh Sharma. 「Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops」. Frontiers in Environmental Science 9 (2021 年 7 月 29 日): 700768.

23. Sheryl Lee Tian Tong. (2021)，新加坡將設以自然為本的碳權交易 市場聚焦東南亞生態復育。

24. Spalding, M. D., Ravilious, C., & Green, E. P. (1997). World atlas of coral reefs. University of California Press.

25. Stamm, O., U. Latscha, P. Janecek 及 A. Campana. 「Development of a Special Electrode for Continuous Subcutaneous PH Measurement in the Infant Scalp」. American Journal of Obstetrics and Gynecology 124, 期 2 (1976 年 1 月 15 日): 193–95. 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估 參-4

26. Stein, J. M. 「The Effect of Adrenaline and of Alpha- and BetaAdrenergic Blocking Agents on ATP Concentration and on Incorporation of 32Pi into ATP in Rat Fat Cells」. Biochemical Pharmacology 24, 期 18 (1975 年 9 月 15 日): 1659–62.

27. The Effect of Adrenaline and of Alpha- and Beta-Adrenergic Blocking Agents on ATP Concentration and on Incorporation of

32Pi into ATP in Rat Fat Cells」. Biochemical Pharmacology 24, 期 18 (1975 年 9 月 15 日): 1659–62.

28. WORLD BANK GROUP,(2021),State and Trends of Carbon Pricing 2021

29. Wu, W., Ma, Y., Wang, H., Gao, H., & Xu, J. (2018). Changes in soil properties and crop yield under 16 years of conservation tillage in Northeast China. PeerJ, 6, e4388. 30. Wu, Y., Wang, Q., Wang, H., Wang, W. & Han, S. 2019. Shelterbelt Poplar Forests Induced Soil Changes in Deep Soil Profiles and Climates Contributed Their Inter-site Variations in Dryland Regions, Northeastern.China. Frontiers in Plant Science, 10. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00220

31. 人民政協網， (2022)，國家級綠色交易所正式啟動. 新浪財經。

32. 王巧萍(2006)，森林土壤碳庫與大氣二氧化碳之互動.林業試驗所 福山研究中心 33. 王永珍, & 單志強，(2022) ，福建省在全國率先推出農業碳匯保 險. 福建日報。

34. 王炘珏，(2022)，對淨零浪潮，金融業該怎麼做？

35. 台中區農業技術專刊 202--中部地區重要果樹因應氣候變遷栽培 管理調適措施」. 行政院農業委員台中改良場, .

36. 台灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明. 國家發展委員會、行政 參考文獻 參-5 院環境保護署、經濟部、科技部、交通部、內政部、行政院農 業委員會、金融監督管理委員會, 2022 年 3 月 30 日.

37. 禾豐碳中和有限公司，(2022)，CCER 復出：中國碳市場的 2022 懸念 [私人通訊]。

38. 行政院農委會水土保持局. 「台灣地區山坡地面積統計表」. 行 政院農委會水土保持局, .

39. 行政院農業委員會水土保持局，(2012)，緩衝綠帶適生植物及其 栽植方法彙編

40. 何小娟. 「名山縣茶園生態系統碳彙能力分析--《四川農業大 學》2013 年碩士論文」. 引見於 2022 年 8 月 15 日.

41. 何晨瑋，(2022)，CBAM 必懂的「歐盟碳排放交易系統 ETS」 42. 吳易樺，(2012)，美國加州碳交易制度介紹。

43. 吳易樺，(2013)，中國大陸與我國溫室氣體交易制度之比較。

44. 李武忠，(2022)，實現淨零排放 台灣應建立農業碳市場

45. 李宣德, 及馮豐隆. 「森林碳吸存資源調查推估模式系統－以台 灣樟樹為例」 23 (2008 年): S11-22.

46. 李堅明，(2019)，臺灣碳權交易與碳稅的未來

47. 沈星荣, 汪秋红, 吳洵及傅尚文. 「充分發揮茶園碳匯功能,促進茶 葉低碳生產發展」. 中国农学通报 28, 期 8 (2012 年): 254–60.

48. 阮素芬.「果樹栽培經營與管理」行政院農業委員會農糧署

49. 林清山, 洪偉, 吳承禎, 林永明及陳燦. 「永春縣柑橘林

生態系統 的碳儲量及其動態變化」 30(2) (2010 年): 0309–16.

50. 林榮榛. 「自願性減排(Voluntary Emission Reduction,VER)實務經 驗豐享」. 2010-07-05, 2010 年 7 月 5 日.

51. 南雅芳，郭勝利，張彥軍，李俊超，周小剛，李澤，張芳及鄒 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估參-6 俊亮，(2012)，坡向和坡位對小流域梯田土壤有機碳、氮變化的 影響，《植物營養與肥料學報》

52. 姚銘輝, 陳俊仁及黃國祥. 「荔枝園潛熱及二氧化碳通量之研 究」. 台灣農業研究 60, 期 3 (2011 年 1 月 1 日).

53. 施怡君，(2021)，世界工廠將如何邁向淨零 建立有「中國特色」 的碳市場

54. 柑桔類(臺東區農業改良場). 引見於 2022 年 8 月 21 日.

55. 柳婉郁，(2022)，有機淨零通識課-農業怎麼淨零

56. 柳婉郁，(2022)，森林作為碳匯 探討加州總量管制交易與碳抵換 制度。

57. 洪明楓，(2022)，【專欄】「綠色金融」是什麼？企業又該怎麼 做？大補帖一次看懂

58. 胡蘇澄. 「臺灣陡坡農地水土保持草類之研究與應用」 13, 期 1 (): 32–36

59. 倪茂庭，(2022)，2022 年世銀碳價趨勢最新報告

60. 徐進將, 黃文樹, 蔡衡及黃旭村. 「深層土壤碳儲量的時間序列： 以臺灣中部八卦台地南段河階地為例」. 地理學報, 期 98 (2021 年 4 月 1 日)

61. 張素美，(2015)，南韓碳排放交易制度分析

62. 張敏, 陳永根, 于翠平, 潘志強, 范冬梅, 駱耀平及王校常. 「在茶 园生产周期过程中茶树群落生物量和碳储量动态估算」 39(6) (2013 年): 687–94.

63. 張晗 孟子桐，(2021)，碳中和專題- 歐盟碳市場繁榮的背後

64. 張朝婷, 杜清澤, 邱祈榮及王巧萍. 「台灣森林土壤有機碳庫文獻 回顧」. 中華林學季刊 40, 期 2 (2007 年 6 月 1 日). 參考文獻 參-7

65. 第四次森林資源調查報告. 林務局

66. 郭博堯 石信智 莊昇勳 郭祥亭 莫冬立，(2022)。全球碳交易市場 發展之回顧與因應建議

67. 郭雅紋. 「土壤管理對土壤碳匯能力之影響」. 臺中區農業改良 場特刊, 期 111 (2012 年 5 月 1 日)

68. 陳承璋，(2022)。新加坡竟向企業收千萬碳稅！為什麼他們敢？

69. 陳政位及范宇平. 「臺灣山坡地違規農業使用之研究」. 應用經 濟論叢, 期 89 (2011 年 6 月 1 日). https://doi.org/10.7086/TJAE.201106.0125.

70. 陳惠欣, 沈芝貝, 徐宏元及蔡依倫. 「我國農業生產區域

與產品組 合研析」, 2010 年 2 月

71. 黃琨源(Kun-Yuan Huang). 「臺灣地區不同類型土壤之有機碳儲 存量估算」. 國立屏東科技大學學位論文, 2009 年 1 月 1 日.

72. 慈心有機農業發展基金會. 「【農業碳匯】專家怎麼說(一)關於 土壤儲碳」, 2022 年 12 月 27 日.

73. 廖大牛. 「試算台灣森林碳固定機能」. 台灣林業, 2009 年 4 月. 74. 福建日報，(2022)，福建省推廣碳匯型茶園超 30 萬畝，新華 網。

75. 趙國容, 李佾儒, 宋國彰, 趙偉村, 張楊家豪及江智民. 「水土保持 樹種碳存量估算參數之資料庫」. 中華水土保持學報 53, 期 2 (2022 年 6 月 1 日).

76. 蘇彥碩，(2019)，作物土壤管理與施肥技術

77. 劉哲良 楊雅雲，(2022)，各國都有私人碳權交易平台，台灣有 嗎？專家帶你認識私部門如何買賣

78. 緩衝綠帶適生植物及其摘植方法彙編. 行政院農業委員會水土保 水土保持植材與坡地經濟作物之碳匯模式開發評估參-8 持局, .

79. 蔡宗憲，韓國自願減量方案之經驗與作法研析

80. 蔡政賢. 「坡地作物缺水下之土壤管理策略」, 期 93 (): 4–5.

81. 鄭至涵，(2022)，中國大陸人民銀行推出碳減排支持工具之意義 與影響觀察

82. 駐新加坡代表處經濟組，(2022)，新加坡達成淨零碳排及節能減碳之政策與措施

83. 戴文達，(2012)，中國公布“十二五”控制溫室氣體排放工作方案。

84. 謝德勇，(2013)，歐盟碳排放交易制度之缺陷分析

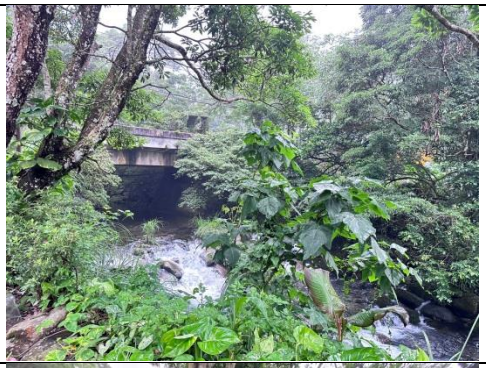
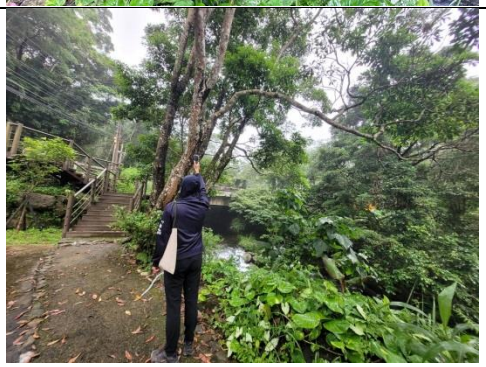
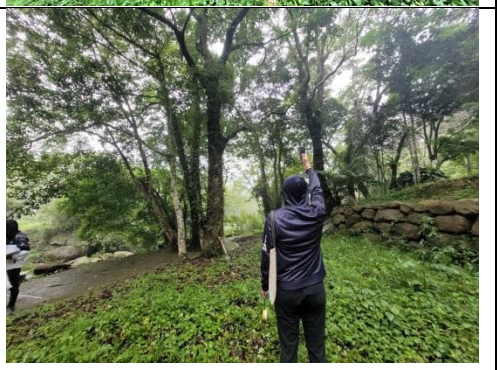
85. 謝靜敏, 及邱垂豐. 「茶園間作降低二氧化碳之潛量」

86. 豐年雜誌，(2020)，抗旱解澇的坡地果園工法良善坡地工程守護水土和農業永續

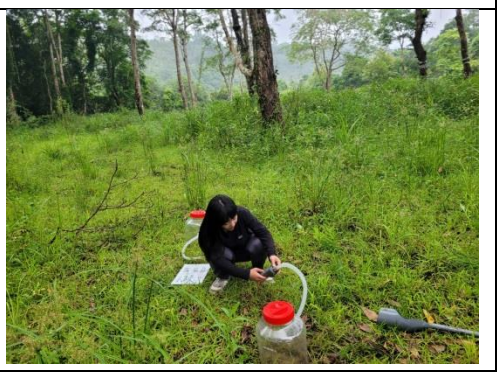
87. 羅時芳，全球碳市場趨勢及對我國金融 產業之啟示

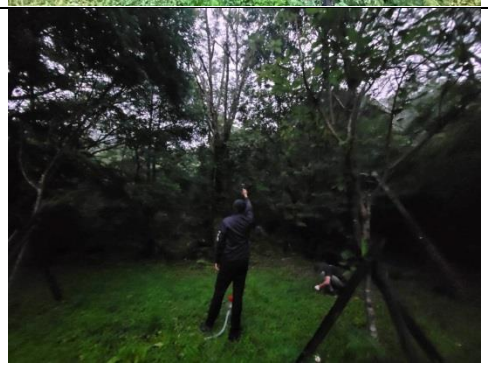
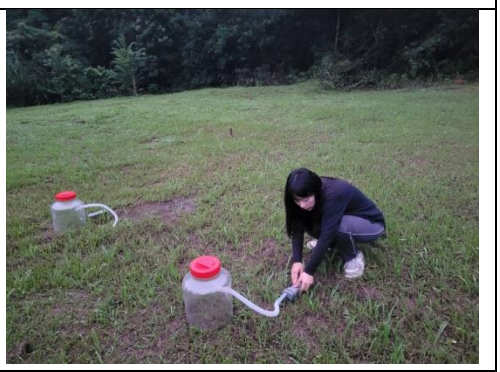
88. 蕭自位，王秀華，鄭麗，王小李，高麗洪及唐建偉，(2012)，西雙版納不同林茶複合生態系統碳儲量。

# 附錄一　觀測與採樣地點現地紀錄

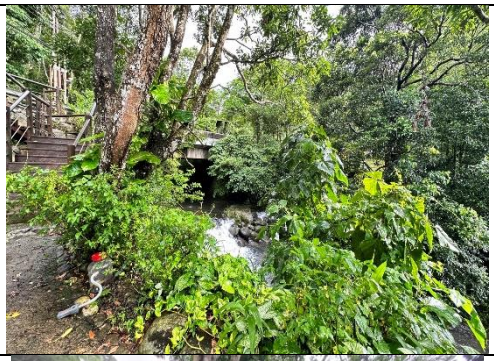
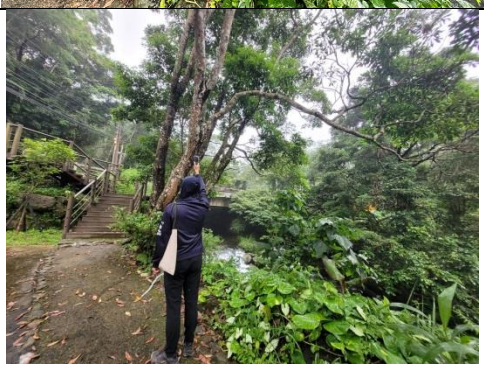
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 (113 年 6 月 7 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:278107,Y:2742596) | 內 2 (X:278073,Y:2742632) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

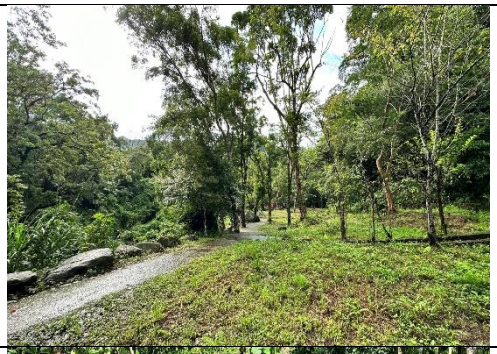
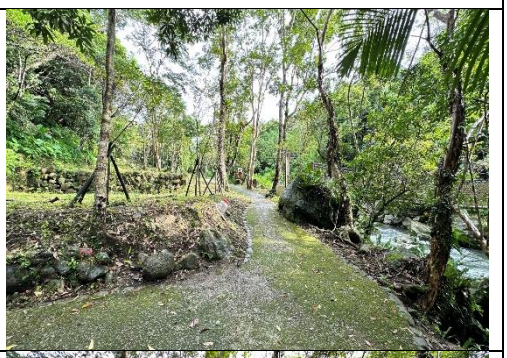
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 (113 年 6 月 7 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:278064,Y:2742676) | 內 4 (X:278026,Y:2742748) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

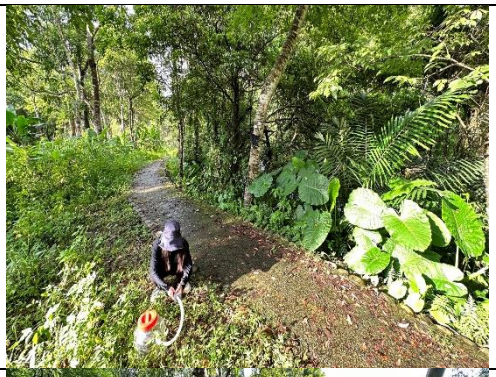
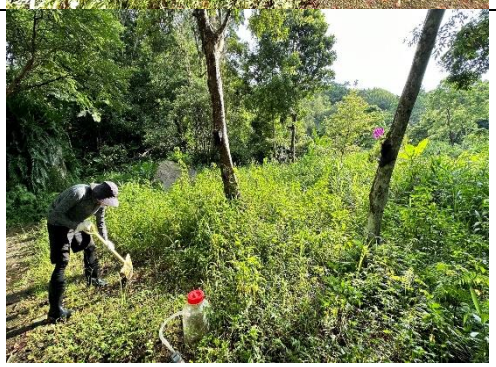
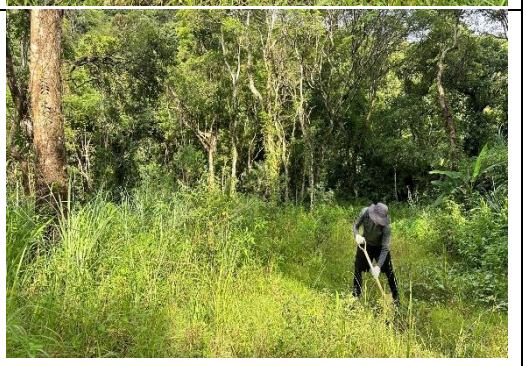
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 (113 年 6 月 7 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:279002,Y:2742844) | 外 1 (X:277994,Y:2742804) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 (113 年 6 月 7 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:278064,Y:2742455) | 外 3 (X:278108,Y:2742526) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">桃園復興高遶本生橋下游-採樣一 (113 年 6 月 7 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 1 (X:278107,Y:2742596)</td><td>內 2 (X:278073,Y:2742632)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 2 (X:278064,Y:2742455)</td><td>外 3 (X:278108,Y:2742526)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

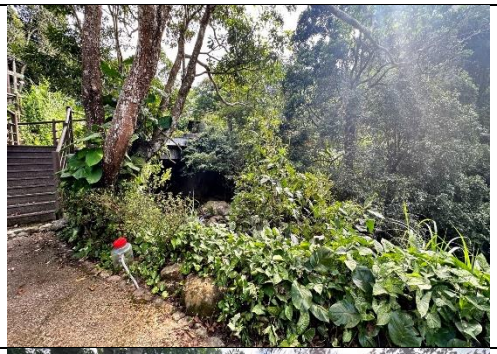
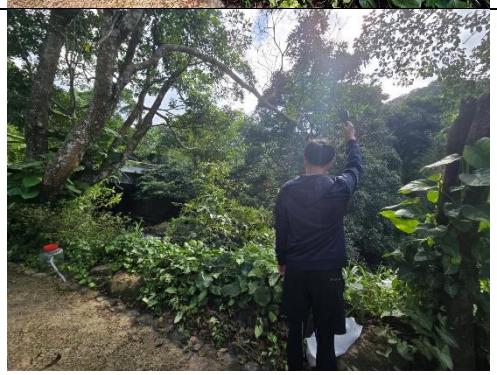
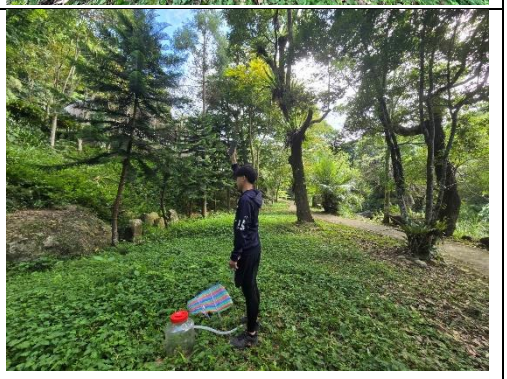
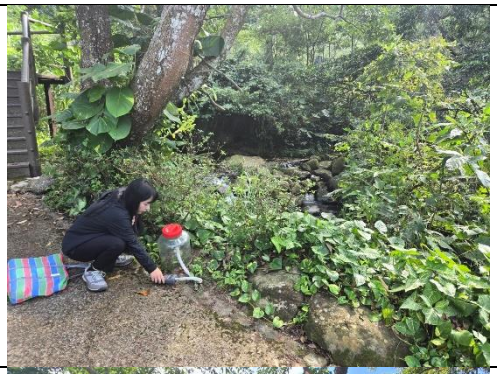
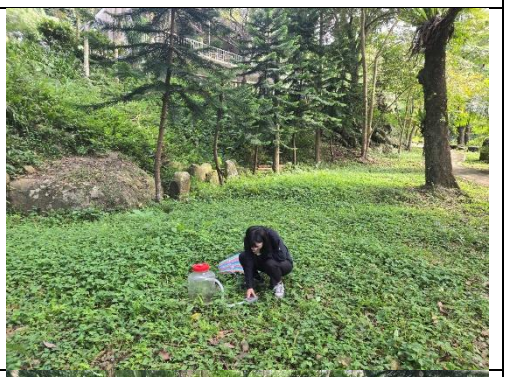
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣二 (113 年 8 月 15 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:278107,Y:2742596) | 內 2 (X:278073,Y:2742632) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

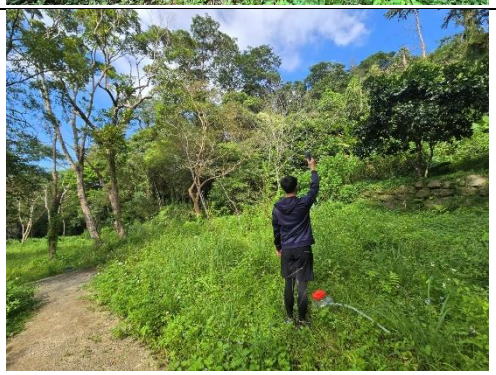
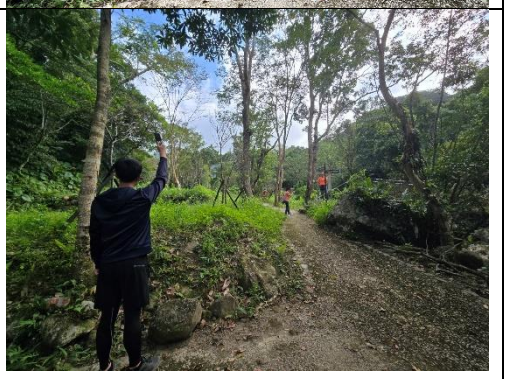
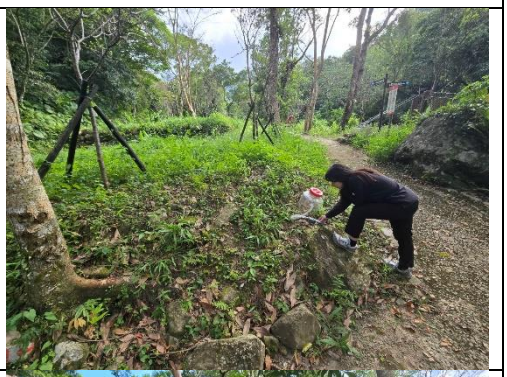
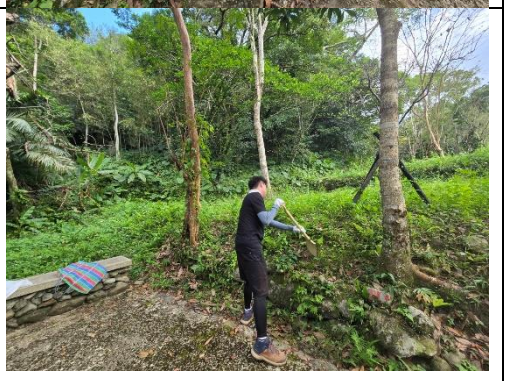
| 桃園復興高遠本生橋下游-採樣二 (113 年 8 月 15 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:278064,Y:2742676) | 內 4 (X:278026,Y:2742748) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

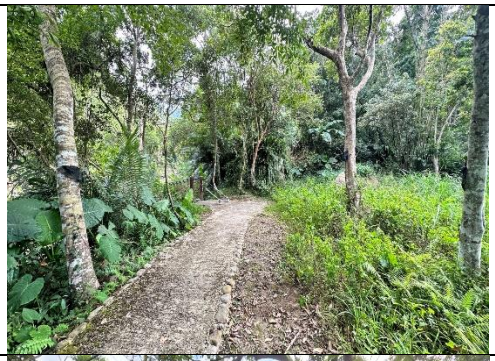
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣二 (113 年 8 月 15 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:279002,Y:2742844) | 外 1 (X:277994,Y:2742804) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣二 (113 年 8 月 15 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:278064,Y:2742455) | 外 3 (X:278108,Y:2742526) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

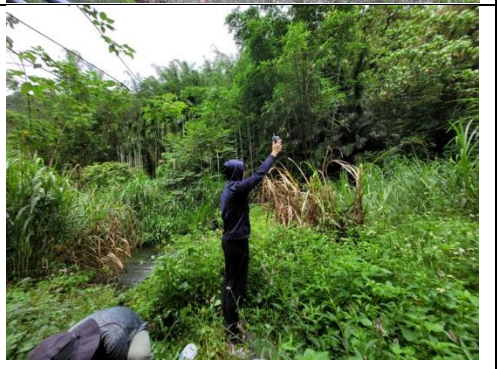
<table>
<tr><td colspan="3">桃園復興高遠本生橋下游-採樣二 (113 年 8 月 15 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 1 (X:278107,Y:2742596)</td><td>內 2 (X:278073,Y:2742632)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 2 (X:278064,Y:2742455)</td><td>外 3 (X:278108,Y:2742526)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

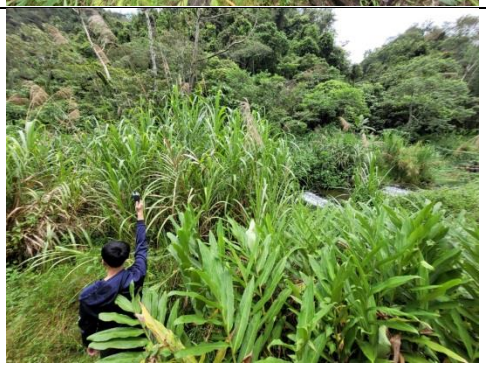
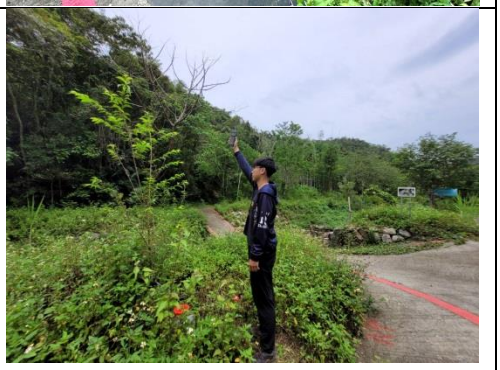
| 桃園復興高遠本生橋下游-採樣三 (113 年 10 月 22 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:278107,Y:2742596) | 內 2 (X:278073,Y:2742632) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

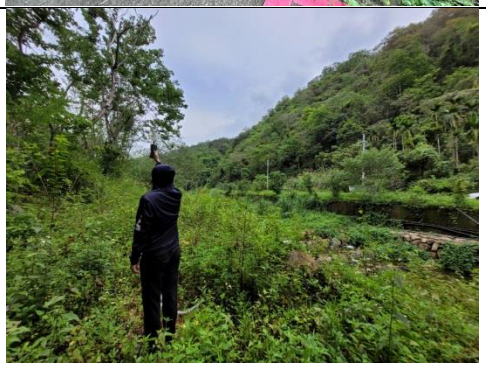
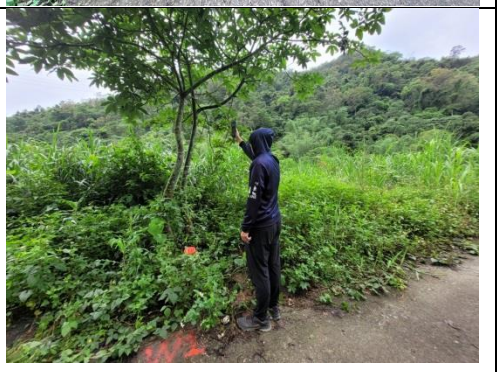
| 桃園復興高遠本生橋下游-採樣三 (113 年 10 月 22 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:278064,Y:2742676) | 內 4 (X:278026,Y:2742748) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

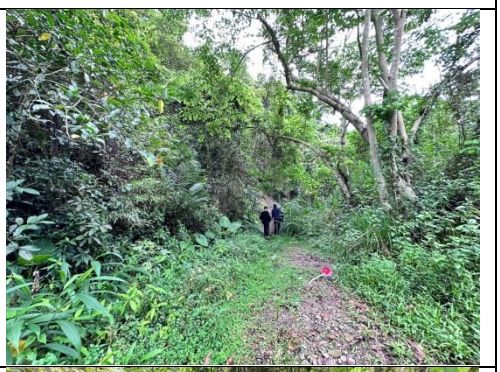
| 桃園復興高遶本生橋下游-採樣三 (113 年 10 月 22 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:279002,Y:2742844) | 外 1 (X:277994,Y:2742804) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 桃園復興高遠本生橋下游-採樣三 (113 年 10 月 22 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:278064,Y:2742455) | 外 3 (X:278108,Y:2742526) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

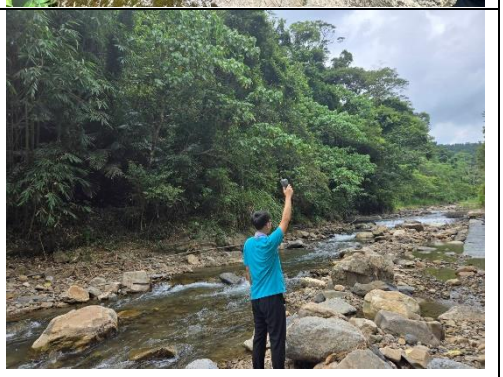
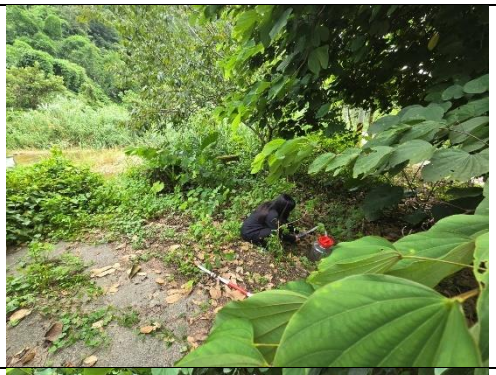
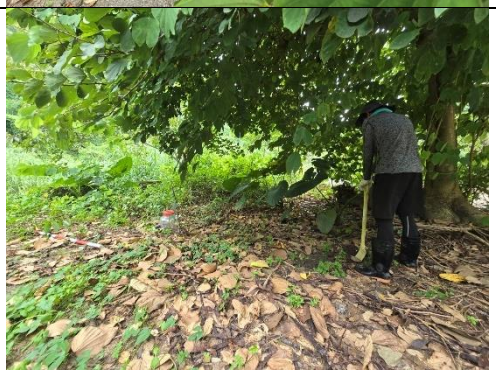
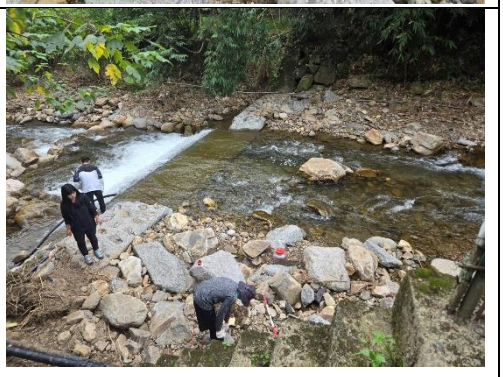
| 南投水里鄉益則坑-採樣一 (113 年 5 月 24 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:242402,Y:2633487) | 內 2 (X:242339,Y:2633160) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

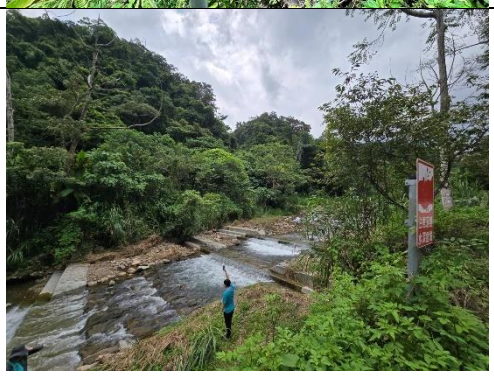
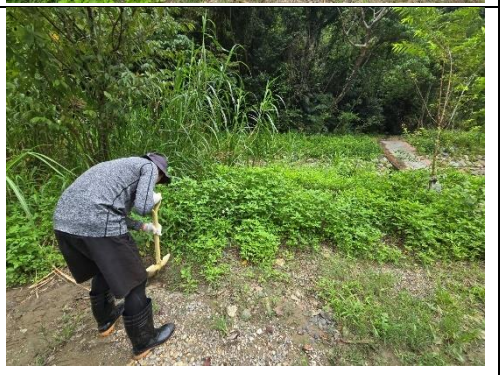
| 南投水里鄉益則坑-採樣一 (113 年 5 月 24 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:242329,Y:2634109) | 內 4 (X:242313,Y:2634187) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

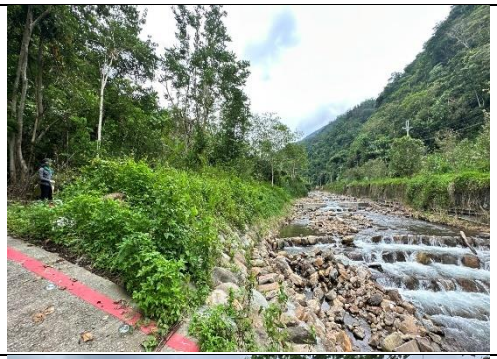
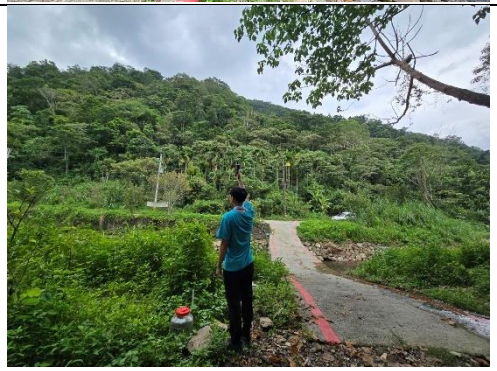
| 南投水里鄉益則坑-採樣一 (113 年 5 月 24 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:242290,Y:2634105) | 外 1 (X:242386,Y:2633494) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

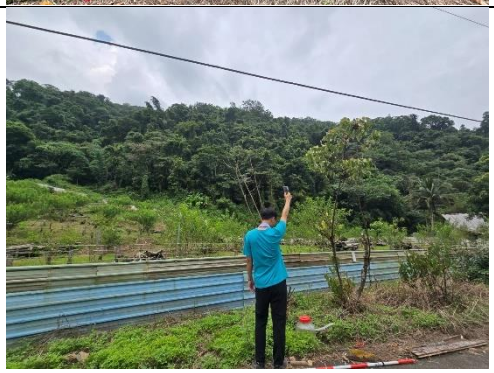
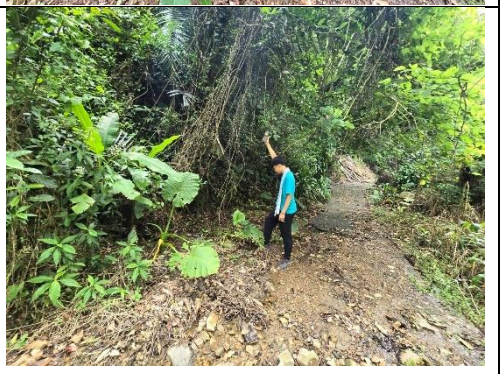
| 南投水里鄉益則坑-採樣一 (113 年 5 月 24 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:242331,Y:2633850) | 外 3 (X:242292,Y:2634206) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">南投水里鄉益則坑-採樣一 (113 年 5 月 24 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 1 (X:242402,Y:2633487)</td><td>內 4 (X:242313,Y:2634187)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:242386,Y:2633494)</td><td>外 2 (X:242331,Y:2633850)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

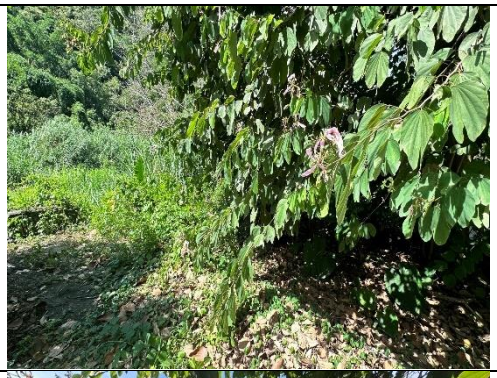
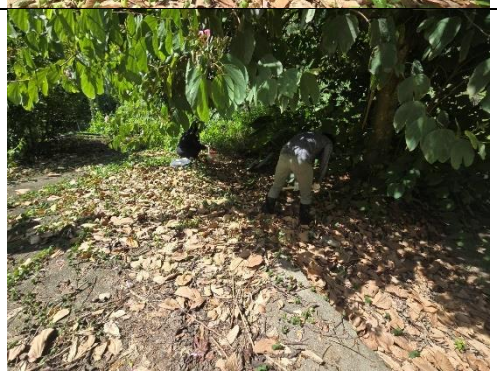
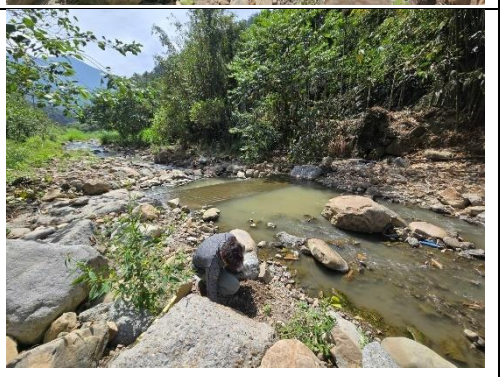
| 南投水里鄉益則坑-採樣二 (113 年 8 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:242402,Y:2633487) | 內 2 (X:242339,Y:2633160) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 南投水里鄉益則坑-採樣二 (113 年 8 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:242329,Y:2634109) | 內 4 (X:242313,Y:2634187) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

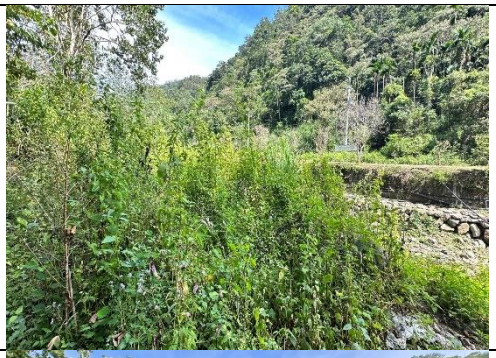
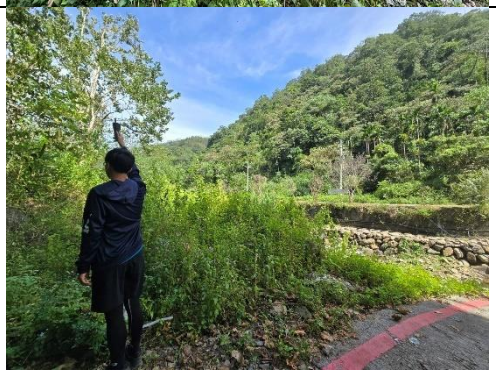
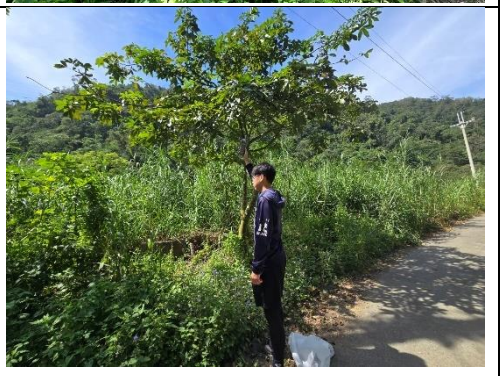
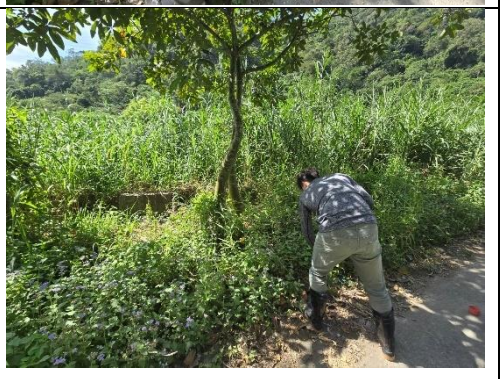
| 南投水里鄉益則坑-採樣二 (113 年 8 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:242290,Y:2634105) | 外 1 (X:242386,Y:2633494) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

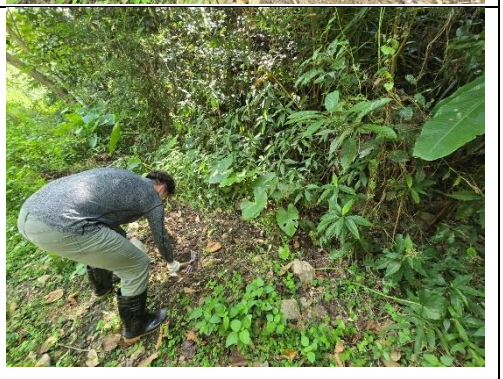
| 南投水里鄉益則坑-採樣二 (113 年 8 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:242331,Y:2633850) | 外 3 (X:242292,Y:2634206) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

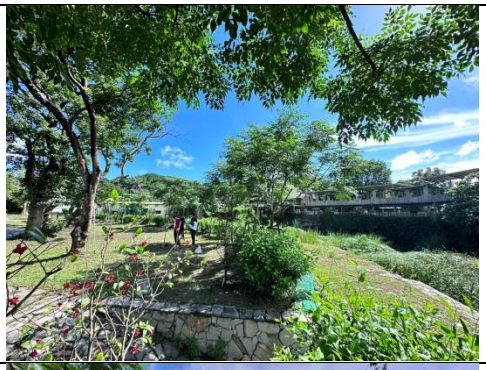
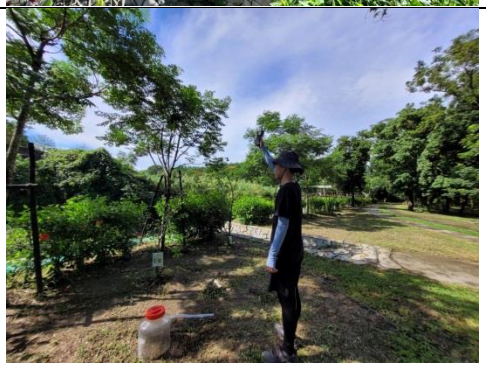
<table>
<tr><td colspan="3">南投水里鄉益則坑-採樣二 (113 年 8 月 9 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 1 (X:242402,Y:2633487)</td><td>內 4 (X:242313,Y:2634187)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:242386,Y:2633494)</td><td>外 2 (X:242331,Y:2633850)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| 南投水里鄉益則坑-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:242402,Y:2633487) | 內 2 (X:242339,Y:2633160) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 南投水里鄉益則坑-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:242329,Y:2634109) | 內 4 (X:242313,Y:2634187) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

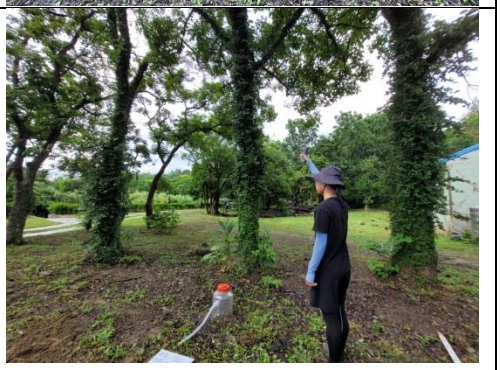
| 南投水里鄉益則坑-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:242290,Y:2634105) | 外 1 (X:242386,Y:2633494) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

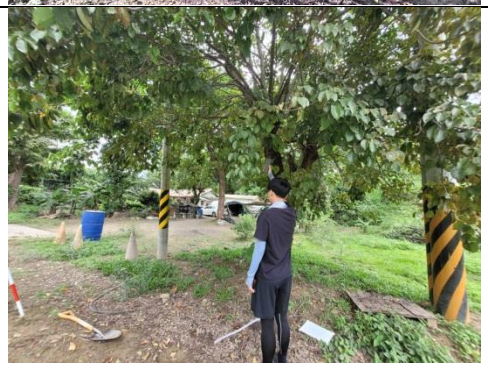
| 南投水里鄉益則坑-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:242331,Y:2633850) | 外 3 (X:242292,Y:2634206) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:123948,Y:2547148) | 內 2 (X:183737,Y:2547143) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

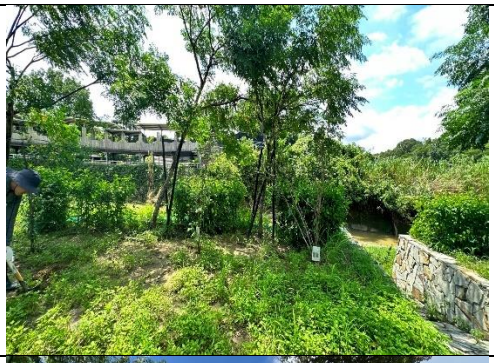
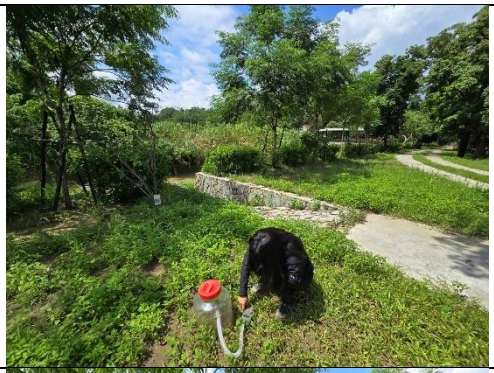
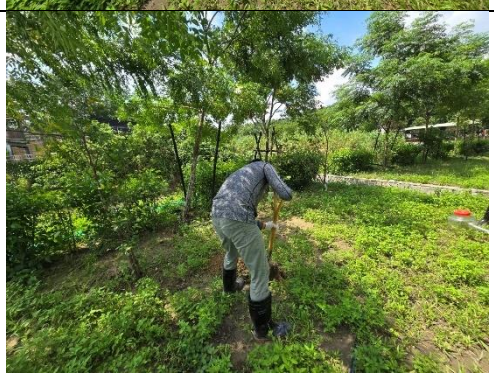
| 臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:183764,Y:2547477) | 內 4 (X:183859,Y:2547098) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

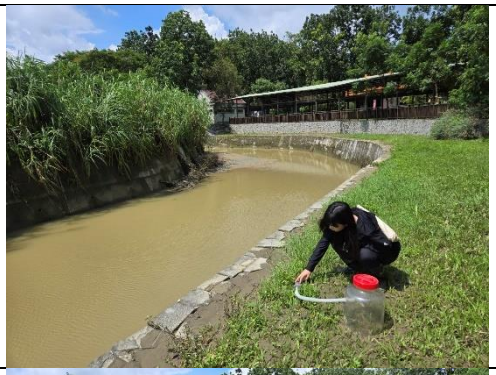
| 臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:183924,Y:2547070) | 內 6 (X:183978,Y:2547050) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

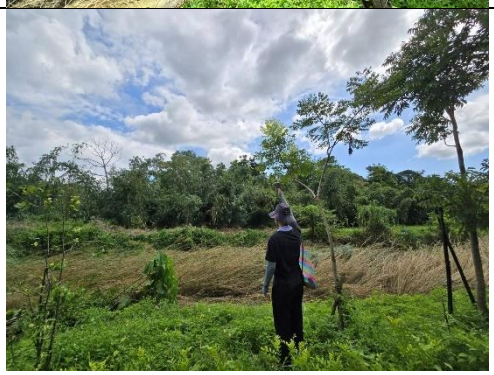
| 臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:184093,Y:2546999) | 外 1 (X:183760,Y:2547131) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

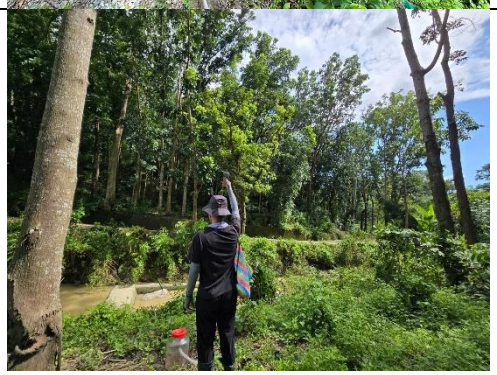
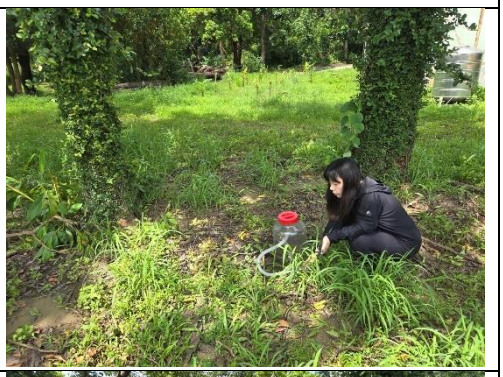
| 臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:183826,Y:2547094) | 外 3 (X:184108,Y:2547036) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

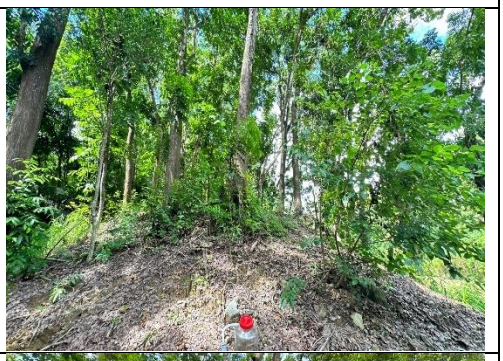
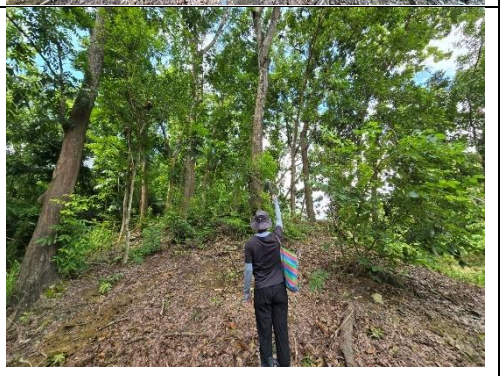
<table>
<tr><td colspan="3">臺南市興化區新化林場-採樣一 (113 年 5 月 31 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:183737,Y:2547143)</td><td>內 3 (X:183764,Y:2547477)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:183760,Y:2547131)</td><td>外 2 (X:183826,Y:2547094)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| 臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:123948,Y:2547148) | 內 2 (X:183737,Y:2547143) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

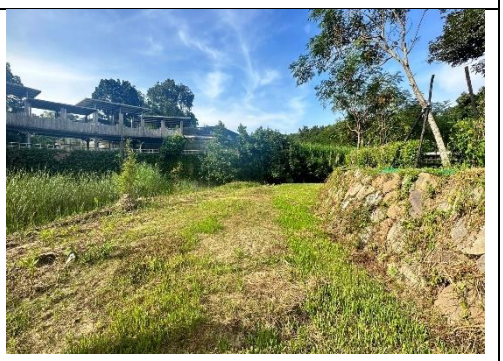
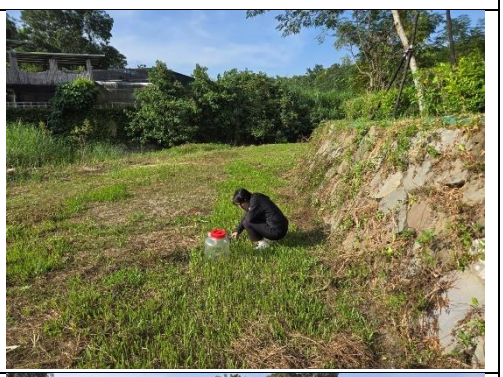
| 臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:183764,Y:2547477) | 內 4 (X:183859,Y:2547098) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

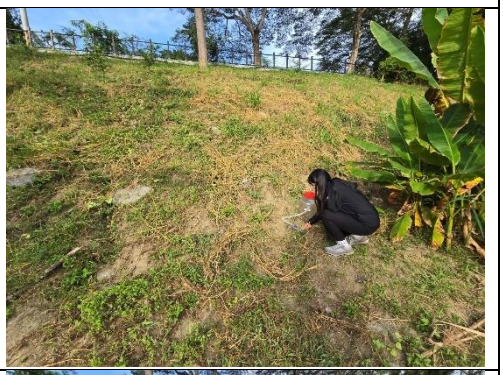
| 臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:183924,Y:2547070) | 內 6 (X:183978,Y:2547050) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

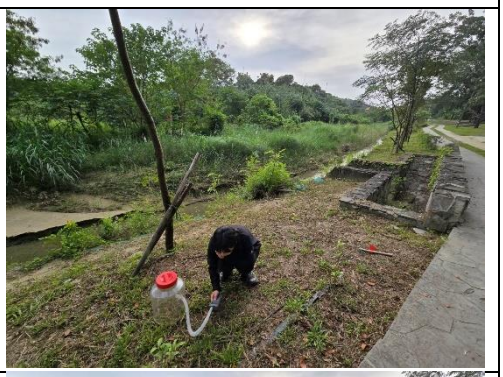
| 臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:184093,Y:2546999) | 外 1 (X:183760,Y:2547131) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

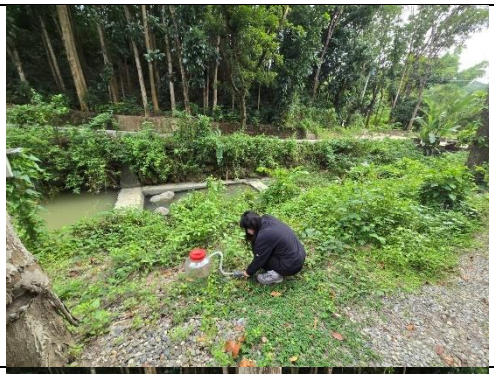
| 臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:183826,Y:2547094) | 外 3 (X:184108,Y:2547036) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">臺南市興化區新化林場-採樣二 (113 年 7 月 30 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:183737,Y:2547143)</td><td>內 3 (X:183764,Y:2547477)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:183760,Y:2547131)</td><td>外 2 (X:183826,Y:2547094)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

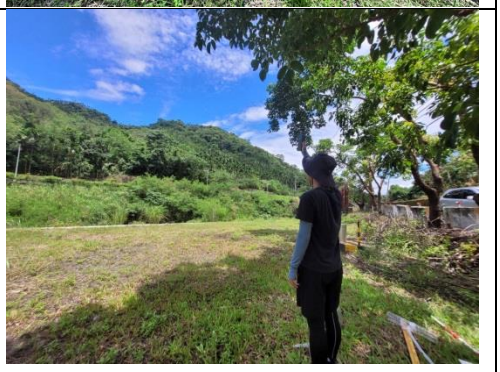
| 臺南市興化區新化林場-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:123948,Y:2547148) | 內 2 (X:183737,Y:2547143) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

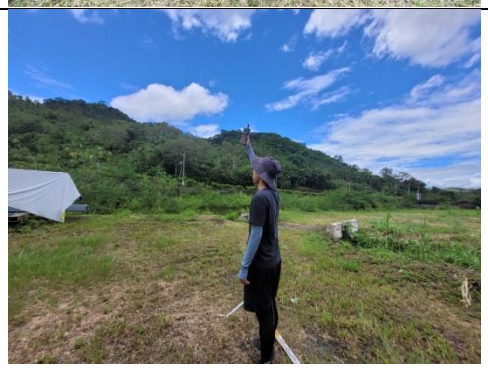
| 臺南市興化區新化林場-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:183764,Y:2547477) | 內 4 (X:183859,Y:2547098) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

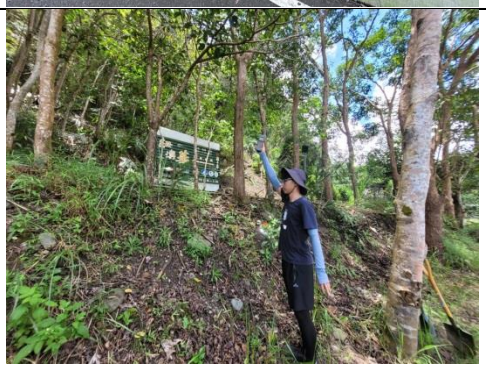
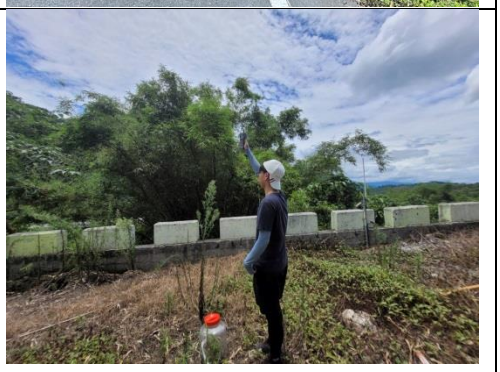
| 臺南市興化區新化林場-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:183924,Y:2547070) | 內 6 (X:183978,Y:2547050) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

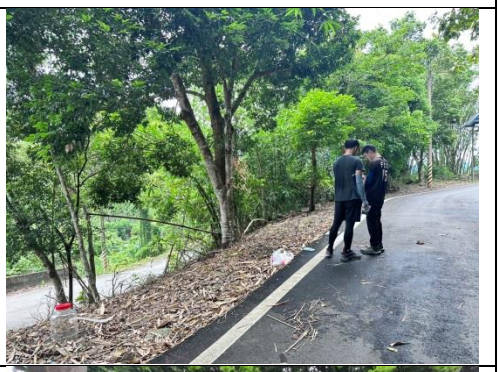
| 臺南市興化區新化林場-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:184093,Y:2546999) | 外 1 (X:183760,Y:2547131) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 臺南市興化區新化林場-採樣三 (113 年 10 月 23 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 2 (X:183826,Y:2547094) | 外 3 (X:184108,Y:2547036) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 (113 年 5 月 29 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:284853,Y:2575770) | 內 2 (X:284869,Y:2575742) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 (113 年 5 月 29 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:284858,Y:2575687) | 內 4 (X:285027,Y:2575928) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 (113 年 5 月 29 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:284906,Y:2575653) | 外 2 (X:284911,Y:275878) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 (113 年 5 月 29 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:284931,Y:25755873) | 外 4 (X:284965,Y:2575770) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣一 (113 年 5 月 29 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:284869,Y:2575742)</td><td>內 3 (X:284858,Y:2575687)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:284906,Y:2575653)</td><td>外 2 (X:284911,Y:275878)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 (113 年 9 月 3 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:284853,Y:2575770) | 內 2 (X:284869,Y:2575742) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 (113 年 9 月 3 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:284858,Y:2575687) | 內 4 (X:285027,Y:2575928) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 (113 年 9 月 3 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:284906,Y:2575653) | 外 2 (X:284911,Y:275878) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

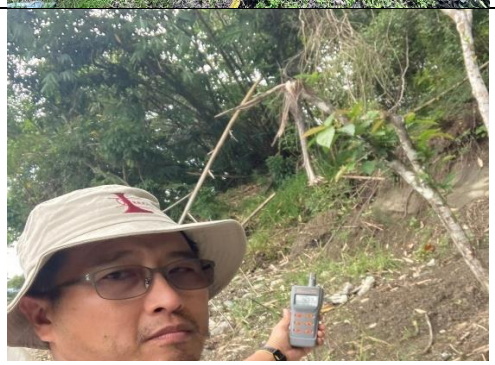
| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 (113 年 9 月 3 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:284931,Y:25755873) | 外 4 (X:284965,Y:2575770) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

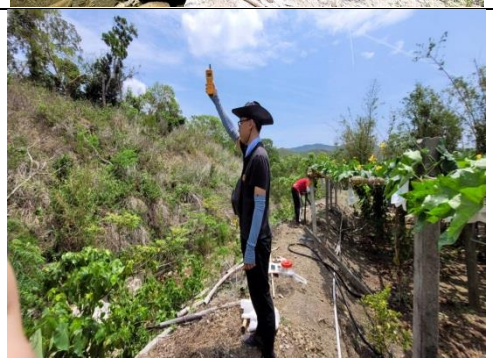
<table>
<tr><td colspan="3">花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣二 (113 年 9 月 3 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:284869,Y:2575742)</td><td>內 3 (X:284858,Y:2575687)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 1 (X:284906,Y:2575653)</td><td>外 2 (X:284911,Y:275878)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三 (113 年 10 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:284853,Y:2575770) | 內 2 (X:284869,Y:2575742) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三 (113 年 10 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:284858,Y:2575687) | 內 4 (X:285027,Y:2575928) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

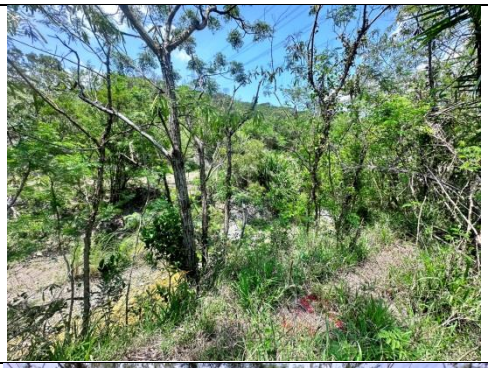
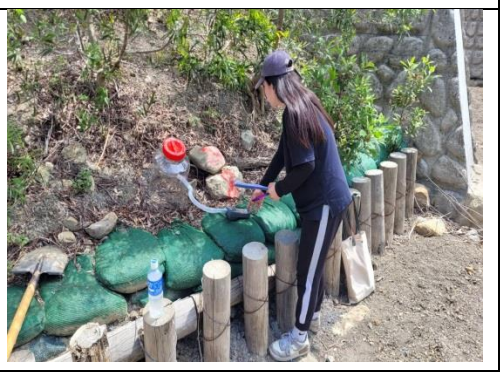
| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三 (113 年 10 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:284906,Y:2575653) | 外 2 (X:284911,Y:275878) |
| 環境照 | |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 | |  |
| 土壤與草本植物層 | |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 | |  |

| 花蓮縣玉里鎮安通溫泉觀光區-採樣三 (113 年 10 月 9 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:284931,Y:25755873) | 外 4 (X:284965,Y:2575770) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

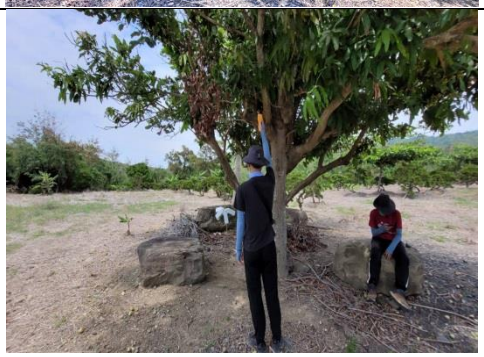
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:227163,Y:2433908) | 內 2 (X:227038,Y:2433815) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

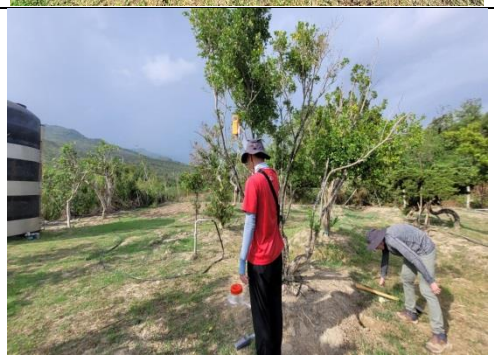
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:227059,Y:2433661) | 內 4 (X:226945,Y:2433728) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:226763,Y:2433735) | 內 6 (X:226655,Y:2433721) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:226634,Y:2433795) | 內 8 (X:227091,Y:2433617) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

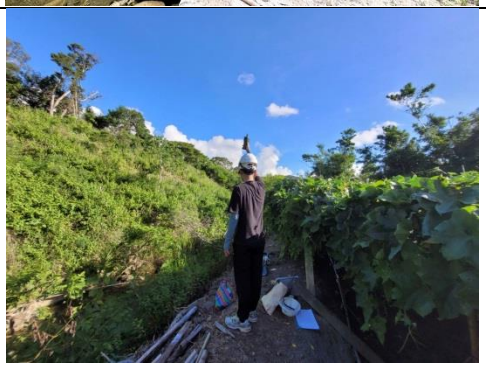
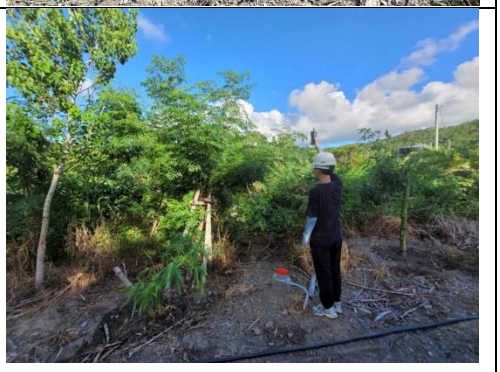
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 9 (X:227129,Y:2433633) | 內 10 (X:227189,Y:2433581) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:227053,Y:2433955) | 外 2 (X:227049,Y:2433869) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

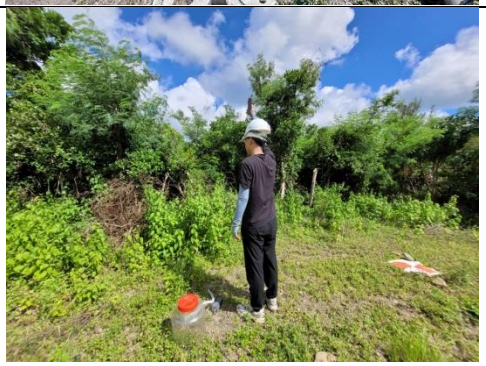
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:227015,Y:2433786) | 外 4 (X:226961,Y:2433762) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">屏東縣恆春鎮出火橋採樣一 (113 年 4 月 13 日，白天)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">環境照</td><td>外 5 (X:226600,Y:2433821)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>距離地面 2m 處之空氣</td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td></tr>
<tr><td>土壤下 30cm 之土樣採取</td><td></td></tr>
</table>

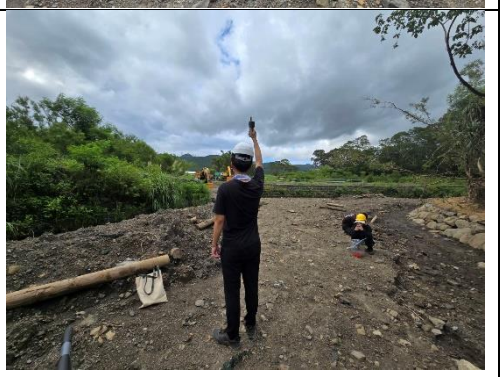
<table>
<tr><td colspan="3">屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 4 月 13 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:227038,Y:2433815)</td><td>內 8 (X:227091,Y:2433617)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 2 (X:227049,Y:2433869)</td><td>外 3 (X:227015,Y:2433786)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

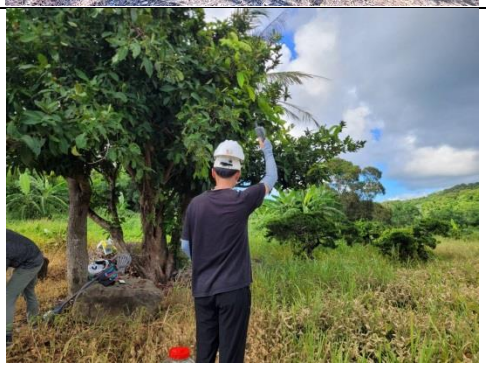
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:227163,Y:2433908) | 內 2 (X:227038,Y:2433815) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

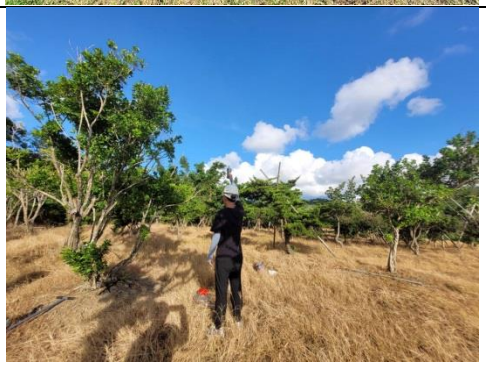
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:227059,Y:2433661) | 內 4 (X:226945,Y:2433728) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

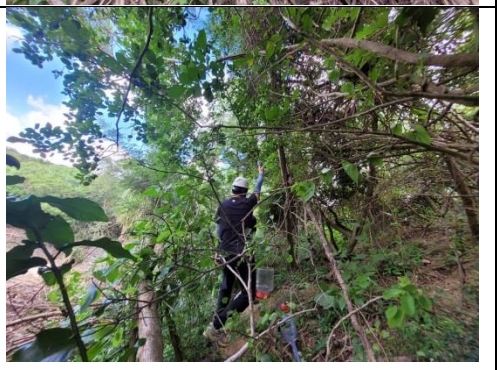
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:226763,Y:2433735) | 內 6 (X:226655,Y:2433721) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:226634,Y:2433795) | 內 8 (X:227091,Y:2433617) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 9 (X:227189,Y:2433581) | 內 10 (X:227129,Y:2433633) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:227053,Y:2433955) | 外 2 (X:227049,Y:2433869) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

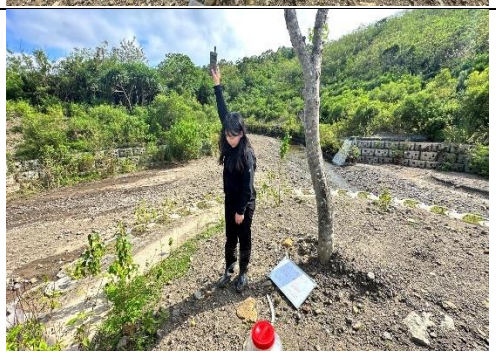
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:227015,Y:2433786) | 外 4 (X:226961,Y:2433762) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

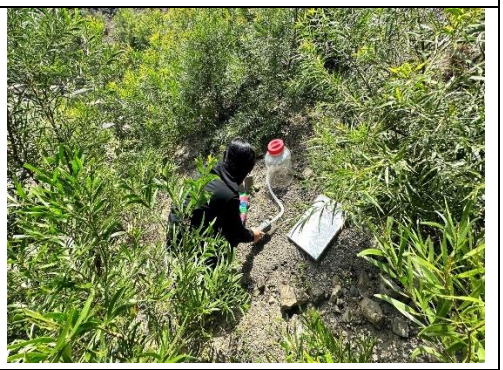
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣一 (113 年 7 月 1 日，白天) | | |
|---|---|---|
| | 外 5 (X:227015,Y:2433786) | 外 6 (X:227182,Y:2433581) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

<table>
<tr><td colspan="3">屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，白天)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">環境照</td><td>外 7 (X:227140,Y:2433633)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>距離地面 2m 處之空氣</td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td></tr>
<tr><td>土壤下 30cm 之土樣採取</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="3">屏東縣恆春鎮出火橋-採樣二 (113 年 7 月 1 日，夜晚)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>內 2 (X:227038,Y:2433815)</td><td>內 8 (X:227091,Y:2433617)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">距離地面 2m 處之空氣</td><td>外 2 (X:227049,Y:2433869)</td><td>外 3 (X:227015,Y:2433786)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>土壤與草本植物層</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 1 (X:227163,Y:2433908) | 內 2 (X:227038,Y:2433815) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 3 (X:227059,Y:2433661) | 內 4 (X:226945,Y:2433728) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

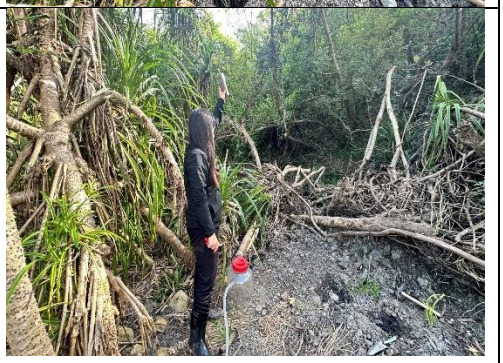
| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 5 (X:226763,Y:2433735) | 內 6 (X:226655,Y:2433721) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 7 (X:226634,Y:2433795) | 內 8 (X:227091,Y:2433617) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 內 9 (X:227189,Y:2433581) | 內 10 (X:227129,Y:2433633) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 外 1 (X:227053,Y:2433955) | 外 2 (X:227049,Y:2433869) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 外 3 (X:227015,Y:2433786) | 外 4 (X:226961,Y:2433762) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| | 外 5 (X:227015,Y:2433786) | 外 6 (X:227182,Y:2433581) |
| 環境照 |  |  |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  |  |
| 土壤與草本植物層 |  |  |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  |  |

| 屏東縣恆春鎮出火橋-採樣三 (113 年 10 月 11 日) | | |
|---|---|---|
| 環境照 | 外 7 (X:227140,Y:2433633)<br> | |
| 距離地面 2m 處之空氣 |  | |
| 土壤與草本植物層 |  | |
| 土壤下 30cm 之土樣採取 |  | |

# 附錄二　　審查意見

# 期中審查意見

| 審查意見： | 意見回答： |
| --- | --- |
| 1.請附摘要，除列出計畫目的、工作項目外，需列出至期中完成項目、獲致之初步成果、具體建議及解決對策。 | 遵照辦理 |
| 2. 工程施作地點為開闊之地形，並非可控制各量測因子之密閉研究室，受氣流及周邊植生鬱密度等影響，以手持二氧化碳檢測儀器所顯示之數據，應先分離各因子影響度，並詳細說明其與工程之關聯性，且觀測數據不足，不宜遽下推論。 | 目前以三季作為觀測目標，如果能長期觀測當然最好，觀測密度也參考土壤汙染採樣規範一區約8-12 點為代表 |

# 期末審查意見

| 審查意見： | 意見回答： |
| --- | --- |
| 1.測量 CO2 的方法之量化標的為排碳、固碳能力或儲碳量?換言之，固碳量與 固碳能力如何相關? | 1.固碳量: 通過自然或人工方式將大氣中的二氧化碳（$CO_2$）吸收並儲存於植物、土壤、海洋或其他碳庫中的能力。<br>2.固碳能力:指的是一個系統（如植物、土壤、海洋）在特定條件下，能夠從大氣中捕獲並儲存二氧化碳（$CO_2$）的潛在最大能力。 |
| 2. 工程完工初期，植生復育通常不明顯，增加碳匯的量體有限，建議可以採用 完工 5 年後之工程來研究探討。 | 植生復育的生長週期與成熟期均不大相同，本研究採用完工後不同時期工程來探討。 |
| 3. 部分外部與內部之固碳能力均互有「優劣」，請說明為何有此現象。 | 因溫度、土壤養分、植被特性、土地利用等變化皆會影響固碳能力，因此固碳能力均互有「優劣」。 |