

計畫編號：114 保發-5.1-保-01-06-001(2)

南投縣種瓜溪溪流復野後濱溪植生動態
Post-river-rewilding riparian vegetation
dynamics of Jhong-Gua Creek,
Nantou County
(成果報告書)

執行單位：國立中興大學

執行期間：114 年 2 月 18 日至 114 年 12 月 31 日

計畫主持人：宋國彰 副教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國一一四年十二月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

南投縣種瓜溪溪流復野後濱溪植生動態

摘要

溪流復野旨在未損及生命財產前提下，以恢復天然河川生態為目標做復野；復野工程包括拆除阻礙河川縱向及橫向連結之人工構造物。台灣南投縣種瓜溪一河段之護岸及部分固床工，在地主的請求下於2023年十月被拆除，成為台灣近年首例「由私人地主發起溪流復野」之案例。本研究於2024至2025年間在復野河段和上游一天然河段進行濱溪帶植生調查，以評估構造物的移除、以及復野後植生動態變化。調查結果顯示，護岸結構的移除恢復了河道與濱溪帶的連結，復野段內有進行復野的區域，其物種數在復野完成後初期顯著高於渠道化區域。只是隨著後續雨季來臨，所有區域多樣性下降，可見洪水因子成為主要形塑濱溪帶植生的因子。作為參照的天然河段同樣是易受洪水影響而呈現較低的多樣性，因此復野段在多樣性指標、物種構成尚有部分與天然河段極為相似。但物種豐度曲線卻顯示復野段物種構成相對不均衡，復野段草本由少數入侵物種為主導，尤其是大花咸豐草。PCA 進一步將天然段和復野段區域植生構成的異同顯出，結果顯示有部分復野區域和天然河段同樣容易受洪水影響；而部分未受洪水影響的復野區域則可以繼續演替，只是該區主要影響植生構成的物種大多是外來種。而復野段緩坡的木本苗木的植株密度、高度和基徑對於

草本多樣性和外來種比例有負相關，但並未對單一草本物種有特別明顯的影響。

本計畫最後一次植生調查於 2025 年十月，距種瓜溪第一階段復野工程完工已將兩年。復野河段的植生構成方向大致以受洪水影響與否來區分。未來受洪水影響區域應以河岸穩定為優先考量，再考慮植生管理；不受洪水影響區域則建議搭配苗木的生長適當移除外來草種。

關鍵詞：自然解方、溪流復野、濱水帶植生、植生演替、物種多樣性

Post-river-rewilding riparian vegetation dynamics of Jhong-Gua Creek, Nantou County

Abstract

Stream rewilding aims to restore natural riverine ecosystems through restoration efforts, without compromising life and property. This particular stream rewilding project involved the removal of artificial structures that impede the longitudinal and lateral connectivity of the river. Prompted by local landowners, the removal of embankments and some grade-control structures in a reach of Jhong-Gua Creek, Nantou County, Taiwan, in 2023 October, marked Taiwan's first instance of "stream rewilding initiated by private landowners" in recent years.

This study evaluated the removal of artificial structures and the subsequent dynamics of riparian vegetation from 2024 to 2025. The results indicate that the removal of embankments successfully restored the lateral connectivity between the river channel and the riparian zone. Initial surveys revealed that species richness in the restored segments was significantly higher than in the channelized reference segment immediately following completion. However, with the onset of the wet season, diversity declined across all study areas, demonstrating that the flood regime has become the primary ecological driver shaping the riparian vegetation.

The natural reference reach similarly exhibited low diversity due to its high flood sensitivity; consequently, the restored reach showed significant similarities to the natural reach in terms of diversity indices and compositional structure. Nevertheless, species-abundance curves revealed a structural imbalance in the restored reach, which was heavily dominated

by a few invasive pioneer species, particularly *Bidens alba*. Principal Component Analysis (PCA) further differentiated the successional trajectories within the study area: while some restored segments own similar flood-susceptibility of the natural reach, the other less-affected restored segment were able to continue their successional processes, although their composition remained dominated by exotic species.

There are negative correlation between woody sapling and grass vegetation on the rock pile bank of rewilded region. With higher growth and density of tree sapling, the less diversity and exotic rate of herbaceous vegetation. However, none of herbaceous abundance is largely influenced by sapling density or basal area.

The most recent vegetation survey for this project (2025 October), conducted two years after the completion of first-stage rewilding, showed that the herbaceous composition of riparian vegetation in the restored reach can be grouped by the degree of flood impact. For maintaining and management purpose at restored reach, the regions impacted by flood event shall stabilize bank first before vegetation management, whereas the weed in the region less affected by flood can be managed based on the growth of sapling.

Keywords: NBS, River restoration, riparian vegetation, succession, species diversity

目次

摘要.....	I
Abstract	III
目次.....	V
表次.....	VI
圖次.....	VI
第一章 緒論	1-1
第一節 文獻回顧.....	1-2
第二節 計畫概要.....	1-4
第二章 工作執行方法與步驟.....	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟.....	2-16
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-1
第四章 結論及建議	4-1
第一節 結論	4-1
第二節 建議	4-5
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、 期初期中審查意見暨回復辦理情形.....	附錄-1
附錄二、 採樣點座標	附錄-6
附錄三、 草本推論性統計結果.....	附錄-5
附錄四、 草本 PCA 貢獻度與對應縮寫之物種名	附錄-10
附錄五、 木本分析相關前提檢測	附錄-23

表次

表 3.2-1、草本與木本調查時間.....	3-2
表 3.2-2、草本區域覆蓋度與豐富度.....	3-5
表 3.2-3、2024 年四月草本 PC1 和 PC2	3-16
表 3.2-4、2024 年十一月草本 PC1 和 PC2	3-18
表 3.2-5、2025 年四月草本 PC1 和 PC2	3-19
表 3.2-6、2025 年十月草本 PC1 和 PC2	3-20
表 3.2-7、苗木變數二次式迴歸與相關分析結果	3-27

圖次

圖 2.1-1、種瓜溪位置及本研究調查之河段	2-2
圖 2.1-2、調查區域環境照	2-3
圖 2.1-3、天然河段位置與環境照.....	2-4
圖 2.1-4、玉門關天然河段取樣點對應復野段環境照.....	2-5
圖 2.1-5、蓮華池和外大坪自 2022 至 2024 年月雨量紀錄.....	2-6
圖 2.1-6、種瓜溪復野段草本調查樣點設置參考圖	2-7
圖 2.1-7、草本調查現場	2-8
圖 2.1-8、樣框設立模式，以編號 20 為例	2-9
圖 2.1-9、凱米颱風擾動前後樣區變化.....	2-10
圖 2.1-10、2025 十月彎道固床工以上雨季末狀態。	2-10
圖 2.2-1、工作流程圖	2-16
圖 3.1-1、計畫甘特圖	3-1

圖 3.2-1、整治段不同時間及各區域覆蓋度和總個體數.....	3-4
圖 3.2-2、不同時間及河段覆蓋度與豐富度	3-4
圖 3.2-3、三期草本調查結果，不同區域之物種量和均勻度	3-8
圖 3.2-4、不同河段及調查時間的草本多樣性	3-10
圖 3.2-5、復野段和天然河段之物種豐度曲線	3-12
圖 3.2-6、復野段和天然河段之稀釋曲線	3-12
圖 3.2-7、四次調查草本 PCA 結果.....	3-14
圖 3.2-8、2024 年十一月調查時 D1 區左右岸植生差異.....	3-17
圖 3.2-9、天然河段草本調查之 PCA 結果.....	3-22
圖 3.2-10、復野段和天然段不同時間 PCA 結果	3-24
圖 3.2-11、復野段和天然段不同時間 PCA 結果	3-24
圖 3.2-12、2025 十月 D1_UPP 環境照	3-25
圖 3.2-13、三次木本調查之結果.....	3-29
圖 3.2-14、苗木高度對基徑散佈圖	3-29
圖 3.2-15、VPA 結果	3-30
圖 3.2-16、草本變數與木本變數相關性分析結果	3-32
圖 3.2-17、木本與草本 RDA 結果	3-33
圖 4.2-1、玉門關天然河段河岸.....	4-4
圖 4.2-2、2025 年十月河岸沖刷跡象.....	4-7

第一章 緒論

台灣許多河川因洪水控制、水土保持等需求，常以工程結構物進行整治。然而未整體性地納入水文環境考量的工程結構物，犧牲了溪流生態，也移除了天然河川調整溪水流速與流量的天然因子（植生、底床地形等），而未能達成阻擋洪水的目的（Crook, 2024）。目前台灣河川復野的窘境是，難以擺脫「必須設立構造物」的思維（林志賢等人，2012；田志仁，2019；薛方杰，2009；薛方杰、周正明，2006）。本計畫讓我們能重新檢視這個思維。

位於南投縣國姓鄉的種瓜溪復野工程，是台灣第一件「由私人地主主動提出溪流去渠道化」來使溪流復野的案例（Crook, 2024）。此工程地點是國立中興大學生命科學系許秋容和 Peter Chesson 兩位教授以保育目的購入，與農業部農村發展及水土保持署南投分署、觀察家生態顧問公司以及許多 NGO 組織多方合作促成。

第一期工程於 2023 年秋完成，總長 160 公尺的水泥護岸被拆除（Crook, 2024）。從兩位地主在 2024 年 6 月 23 日豪雨後的現地觀察 (<https://www.facebook.com/share/p/16mGhcWut8/>) 及 Hung et al. (2024) 的數值模擬研究都驗證了溪流復野工程在降低洪災的有效性。

種瓜溪溪流復野工程做為台灣第一件「民間主動請求溪流復野」的案例，復野成果必然成為未來相關生態工程參考之案例。Hung et al. (2024) 透過現地監測、遙測資料、以及數值模擬來檢驗種瓜溪復野前後之水文變化與影響。本研究則透過植生調查來了解該區域濱溪帶生態變化。由於第一期工程已完工超過半年，溪濱植生已可反映初步復育的情形。第一期工程區長度約為 160 公尺，研究上屬於相對小的規

模 (Hung et al., 2024)。在較小尺度的研究範圍，如河段規模，物種豐富度常被用於反映植生物種組成 (species composition) 之指標 (Cupertino et al., 2024)。故本研究以調查第一期工程區植生草本物種豐富度，來評估復野後短期植生復育情形；此外由於木本植物相較於草本植物更適合作為長期監測之個體，本研究亦會透過監測木本植物之成長速率來檢視護岸拆除後，濱溪帶復育對植物個體長期的影響。

第一節 文獻回顧

一、溪流復野之發展與目標

19 世紀早期人類在河川復野上以供人娛樂和景觀美感為主要目標，然而隨著大量農業活動發展，不當的土壤管理使河道阻塞並擴大淹水面積；20 世紀開始以生命和財產安全為主要目標，而將河流整治與渠道化，形成功能單一、且生態多樣性低的河川，此舉也隨著人們意識到過往河川治理帶來的負面影響，而開啟溪流復野 (river restoration) 的發展 (Bennett et al., 2011; Wohl et al., 2015)。早期的溪流復野主要以調控河道的型態，並且以創造魚類棲息地為主要目標；後續隨著水質改善等各樣需求浮現，逐漸從河道型態擴及至濱溪帶及洪泛平原管理；隨著學者呼籲對於河道功能與進程的重視，溪流復野方向從單純的「重現河道型態」轉向「進程復原」(process-based restoration) (Wohl et al., 2015)。Wohl et al. (2005) 定義溪流復野是透過協助水文、地形、以及生態等進程的重建，以改善劣化之集水區、並回復或取代已喪失天然河川生態之功能為目標。

這類河川進程復原是透過包括河川管理和工程等多樣方法，改變河川流量、泥沙輸入調整河道、濱溪帶、和沖積平原等來達成 (Bennett et al., 2011; Wohl et al., 2015)。如果河段的回復潛力足夠高 (具備足夠

的能量和輸砂量)，渠道化的河道可以透過拆除工程構造物，讓野溪隨時間自主回復河流的功能和連接性 (SEPA, 2023)，如近期美國奧勒岡克拉瑪斯河才剛完成規模最大的水壩拆除工程 (Kimbrough, 2024)。除了縱向構造物的阻礙，水泥護岸也可能阻礙河道、濱溪帶、和沖積平原三者的橫向連結，水泥護岸的拆除也被視為恢復河道橫向連結所考量之方法 (European Commission, 2021)。

二、濱溪帶與植生

濱溪帶 (riparian zone) 是河流生態系裡的暫時性半陸域區塊，範圍通常是自水體邊界至部分高地 (該處植生仍能對洪泛平原造成影響，如輸入植物碎屑或遮蔽陽光)。該區域有極高的棲地異質性、多樣的生態作用力與梯度，除了可以做為陸域和水域之間的調節，也可以第一時間反映該區域環境的變化 (Naiman & Décamps, 1997)。

以植物來說，水文會是影響該區植物生活史的主要因子。由於濱溪帶的陸域環境長期受水域作用力，該環境的植物種類和分佈會配合濱溪帶的週期性事件 (定期的雨季洪泛) 和事件中變異量大的性質 (不同重現期的洪水強度) (Naiman et al., 2005)。定期的洪水事件會篩選可在穩定擾動下生存的物種，而洪水的強度作用在不同地域位置上則會篩選可留下之個體。這一點也從 Kuo. et al. (2017) 調查台灣中部濱溪帶植生反映出來，濱溪帶植生的種類和分佈位置可以反映不同類型溪流之環境和環境作用力。此外濱溪植生與水文交互作用，對於河岸穩定程度的影響也被廣泛研究 (Gurnell, 2013; Bendix & Stella, 2013; Kiss & Fehérváry, 2023)，也突顯濱溪植生除了生態保育外，在水土保持層面的重要性。另外在監測規模較小的河段尺度，植生調查所需時間和成本也相對低廉，目前使用濱溪帶植生資料來監測、評估溪流

復育成效已經超過 20 年 (Cupertino et al., 2024; Woolsey et al., 2007)。

藉由調查並分析濱溪帶的植生動態，除了可以評估溪流生態的完整性，也能從植生變化模式評估復野後溪流在水土保持層面的影響，並根據上述結果提出後續管理相關建議。

第二節 計畫概要

一、工作目標

本研究透過調查並分析種瓜溪復野一期工程區、鄰近濱溪帶、以及上游天然河段的植生，檢視復野對於濱溪植生組成之短期動態的影響，以供後續相關工程參考。並期望在植生分析過程中，找出對復野濱溪植生早期演替影響最甚之環境因子。

二、研究提問

本計畫設定研究提問為：(1)護岸的存在對於濱溪帶植生的影響？(2)復野後植生動態如何變化？(3)復野後的野溪與天然野溪的異同處？

三、預期成果

(一)初步了解種瓜溪溪流復野後濱溪帶植生動態

(二)評估影響種瓜溪濱溪帶植生之環境因子，以及後續在管理上的議題，並依此提出相關建議。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

四、調查範圍

(一)種瓜坑溪復野段 (J)

研究地點位於南投縣國姓鄉種瓜溪，種瓜溪屬於烏溪支流，地質上屬於白冷層、水長流層、紅土台地堆積層、以及少許階地堆積層 (Hung et al., 2024)。本研究主要調查地點位於種瓜溪野溪復野及鄰近區域 (圖 2.1-1)。

復野工程分為兩階段，兩期工程範圍如圖 2.1-1 所示。第一期 (D1) 項目包含拆除該區域總長約 160 公尺之右側水泥護岸及大部分的固床工，右側構造物拆除後以拋石緩坡營造近天然之河岸 (圖 2.1-2a)。在一期工程範圍河流彎道處有一固床工，復野過程透過在該固床工上開三個孔洞以引導水流流心偏離、避免對左岸之淘刷 (Hung et al., 2024) (圖 2.1-2b)。以此彎道固床工為分界將 D1 分為上下兩段，下半段緩坡基質為沙和泥土 (D1_low)，左岸為天然露頭河岸；而上半段緩坡基質則是水泥護岸拆除後所留下之底座 (D1_upp)，且該區左岸為水泥護岸。工程完成後 D1 右岸區域被劃設為洪氾區，每逢雨季或午後雷陣雨使河水上漲漫淹該區域，發揮疏洪功能。

第二期工程範圍 (D2) 位於 D1 下游處，該區域護岸於 2024 年五月中後開始拆除。相較於 D1，D2 的左岸地形相對平緩且有較大面積的植被，適合作為一個「近天然環境」的對照組 (圖 2.1-2c)。D1 區以上河道 (E) 兩側護岸維持原狀，僅移除並修整部分固床工 (圖

2.1-2d)，可以作為「渠道化」影響之對照組。

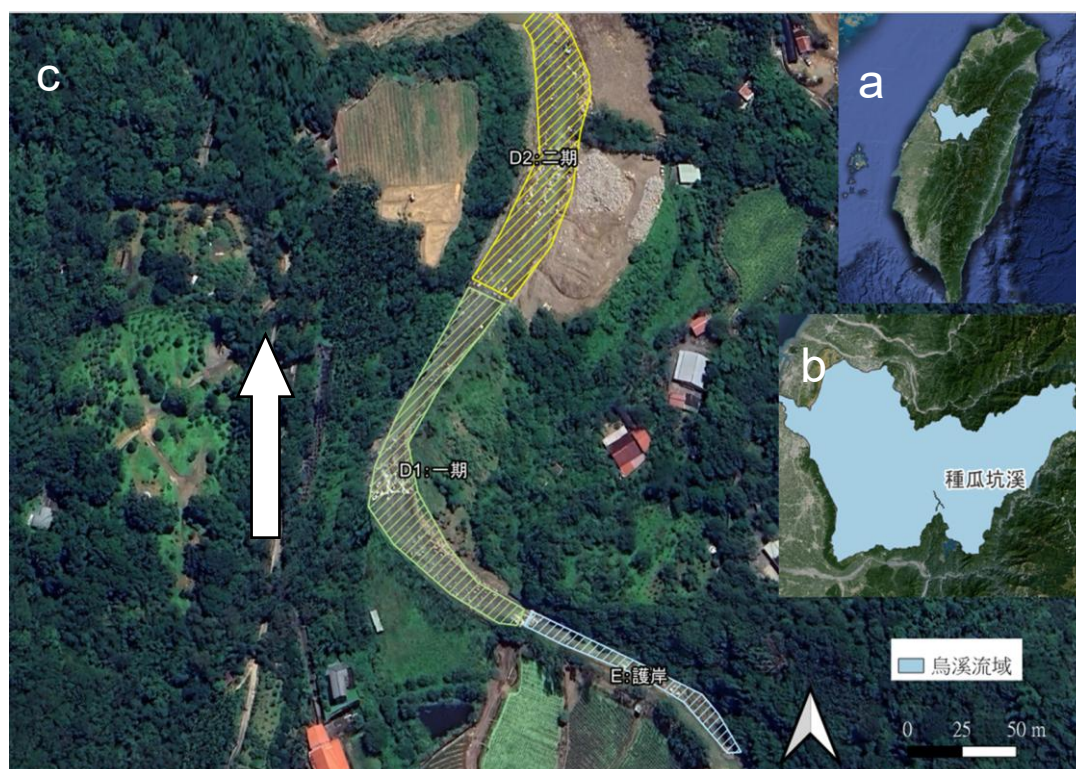


圖 2.1-1、種瓜溪位置及本研究調查之河段，箭頭方向為溪水流向。a、烏溪流域位置。b、種瓜溪在烏溪流域內之位置。c、本計畫研究河段。

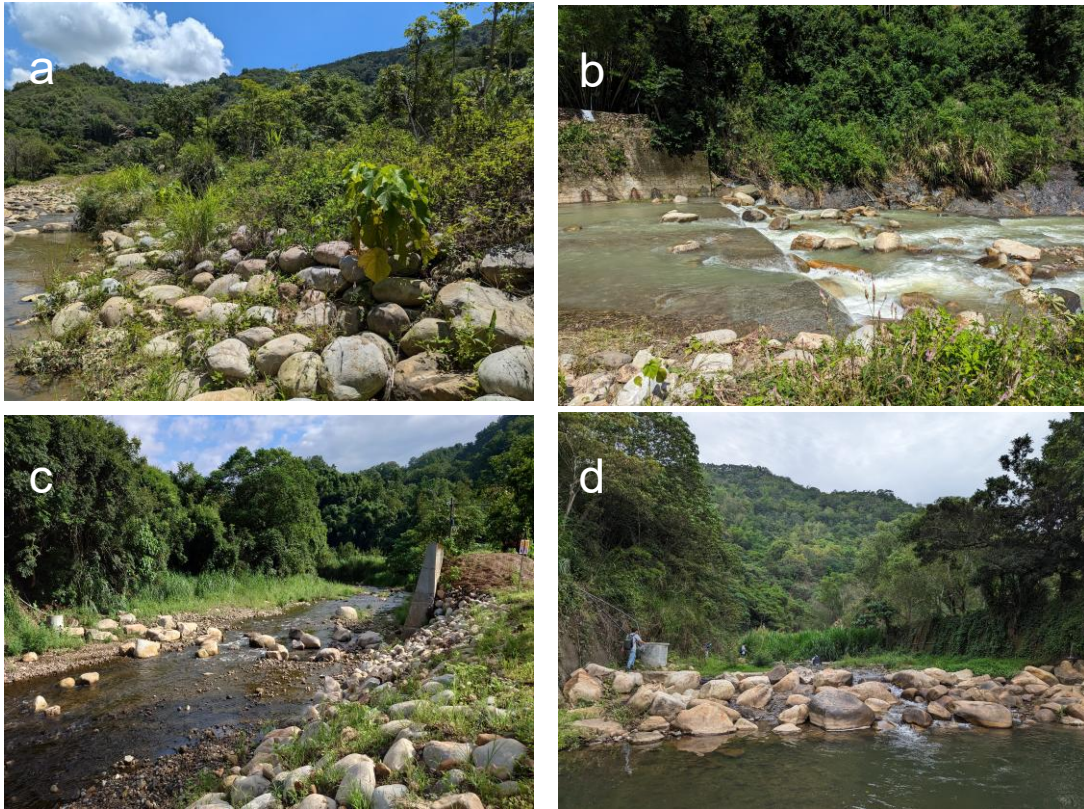


圖 2.1-2、調查區域環境照。a、D1 右岸復野後之岩石緩坡。b、修整後的彎道固床工。c、D2 環境照（右側護岸尚未拆除），照片來源：許秋容。d、D1 上游河道 E 區環境照。

(二)玉門關天然河段（Y）

為了評估溪流植生恢復的方向，我們在種瓜溪上游靠近玉門關處找到一相對未受人為擾動之天然河段；該區域左岸與復野段 D1_Low 以下的河岸同樣為天然露頭河岸（圖 2.1-3b）；右岸則為早期的砌石護岸且可看到植生順利生長（圖 2.1-3c）。我們依據種瓜溪復野範圍河道形狀，於天然河段相似形狀之範圍內取樣作為對照組（圖 2.1-3a）。取樣點的選擇透過目視評估，以環境相似於復野段之地景與河相為主。若復野段有河道寬淺或深潭之區域，則天然河段也會在相似環境中設立取樣點（圖 2.1-4）。

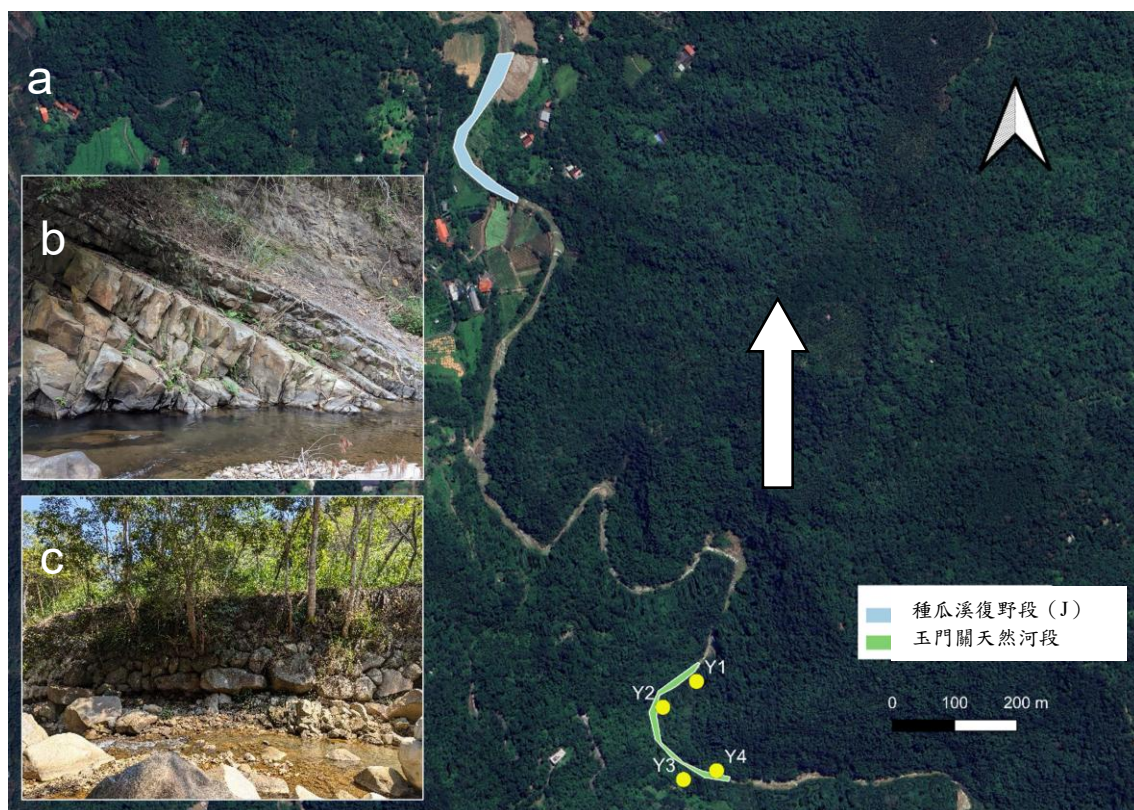


圖 2.1-3、天然河段位置與環境照。箭頭方向為溪水流向 a、復野段及天然河段位置。b、天然河斷左岸。c、天然河段右岸砌石護岸。

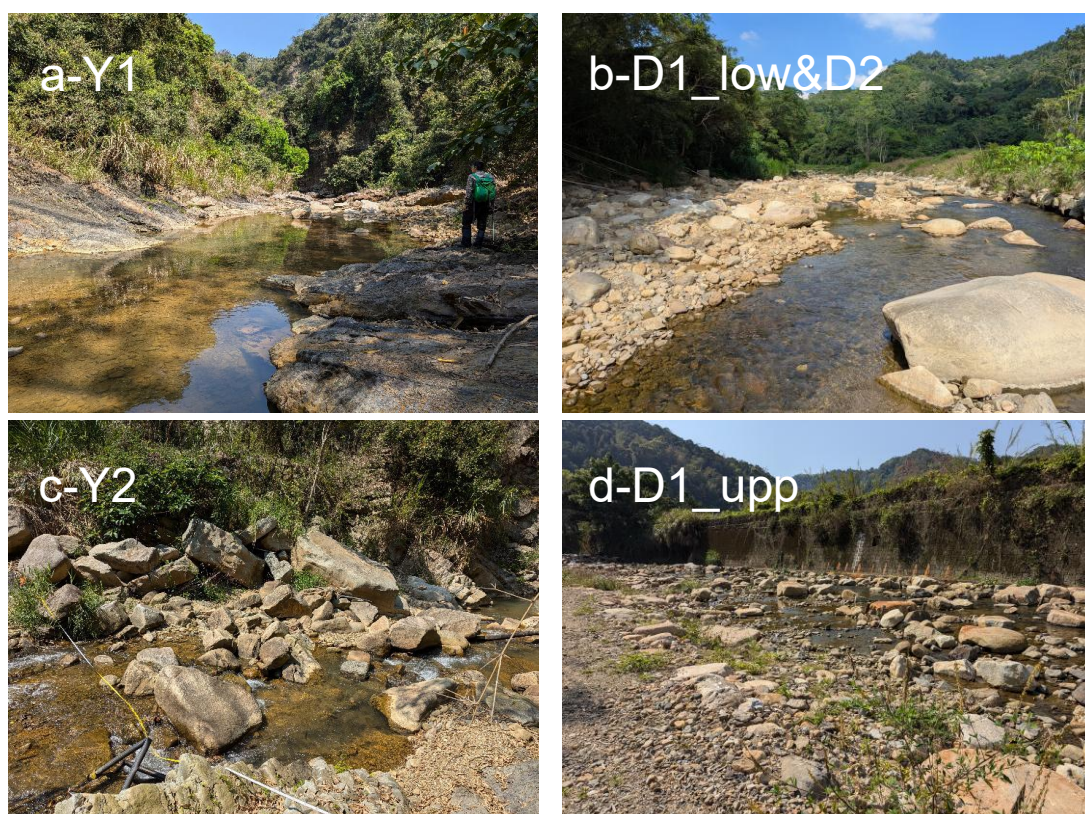




圖 2.1-4、玉門關天然河段取樣點對應復野段環境照。a、c、e、g 為天然河段；b、d、f、h 為復野河段。

五、植生調查取樣方法

(一) 調查時間

調查時間為一年兩次，分別在雨季前後調查，以便對照出雨季期間洪水對植生群落變動的影響。雨季的判斷則參照位於種瓜溪南邊、上游方向的蓮華池農業站（E2H360）和東邊距離較近的外大坪自動雨量站（C1I240）自 2022 年至 2024 年的月雨量紀錄，可以得出約四月開始進入雨季；十一月雨季結束（圖 2.1-5）。本研究調查時間會以此為參考基準，但仍會視當年降雨或颱風情況做調整。

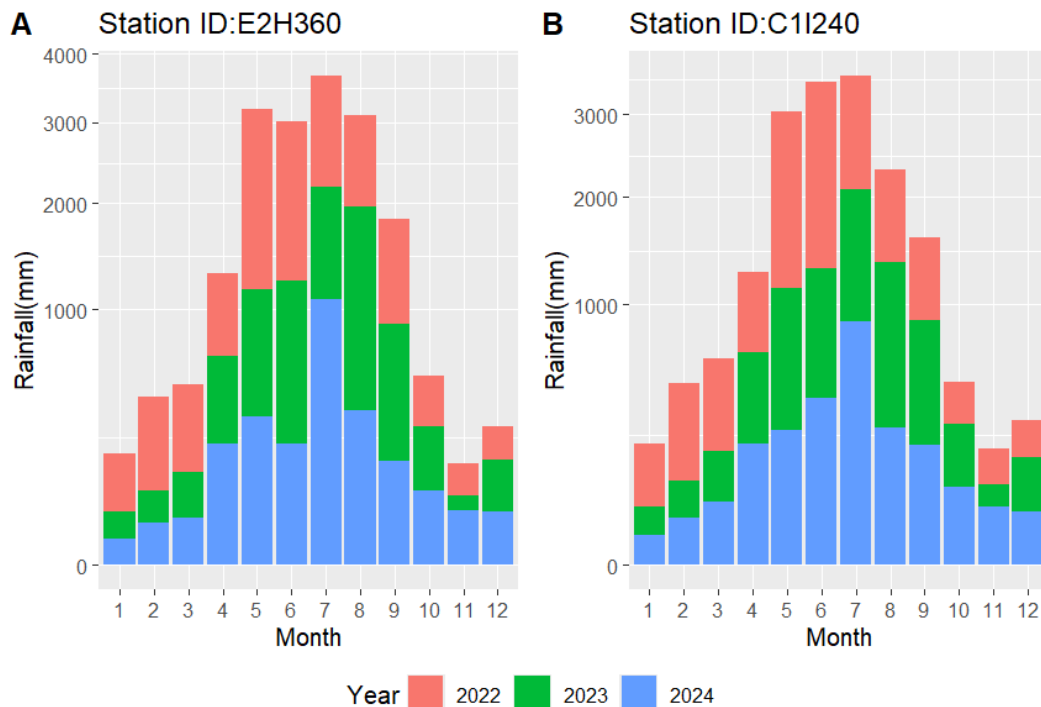


圖 2.1-5、蓮華池和外大坪自 2022 至 2024 年月雨量紀錄。A、蓮華池 B、外大坪

(二)草本調查

樣區設置是在河段範圍內，沿著水流方向在拋石緩坡坡頂旁近道路處，以隨機取樣距離作間隔設立樣點。D1 區域總共設立 24 個樣點；D2 及 E 區域分別各設立 3 個樣點，總共 30 個樣點（圖 2.1-6）。其中 E 區由於護岸並未拆除，幾乎是在河道上做調查，故樣點的建立位置會盡量以有較多植物的地方為基準。而 D2 區域作為近自然對照組，取樣點設置於左岸，以降低右側護岸拆除時之影響。

D1_{upp} 和 E 區受 2024 年雨季洪氾影響，原樣區點位流失，於 2025 年四月重建樣區並記錄座標點位(TWD97 二度分帶)(附錄一)。爾後兩區域又於 2025 年受雨季洪氾影響，D1_{upp} 於該年四月時重新設立之樣杆再度流失，故調查時以座標點位為基準進行取樣。

草本植物調查使用穿越線調查法，以前述取樣點做為測量起點，

垂直河流方向拉穿越線至對岸濱溪帶。隨後自起點開始朝對岸方向，每隔 0.5 公尺以點截法（point intercept method）紀錄該點出現之草本物種（圖 2.1-7）；此外每一個體亦會記錄其出現之棲地類型，分為岩石緩坡、水陸交界、溪流中、砂石、岩石、泥土、和沙。



圖 2.1-6、種瓜溪復野段草本調查樣點設置參考圖



圖 2.1-7、草本調查現場。a、穿越線設立情況。b、點截法調查。

(三)木本調查

D1 區於復野後，原生木本植物種子以人為方式灑播於緩坡帶上，故木本調查範圍為 D1 的緩坡帶。木本調查採樣框法，樣框設立範圍自右岸岩石緩坡至坡底溪流邊際處；樣框的設立沿用草本調查所建立之樣點（圖 2.1-8）。樣框長為兩個相鄰樣點之間距，長度因前述樣點隨機設立而距離不大相同；寬則是從樣點至緩坡底端，平均寬度大致在 4.7 公尺，少數隨河岸變化而有所不同。

木本調查會記錄樣框內所有木本小苗（sapling）的數量；另外每一樣區會視總木本數量選取數株木本苗木，以綁樹牌或插小旗幟標記以作長期監測，取樣數量一樣區最多取五株。雖然現地大部分個體為血桐，但若樣區範圍內有其他樹種小苗，則會取一株該樹種做監測。每一標記個體會以游標尺或樹徑尺、和捲尺記錄其基徑（diameter of root collar, DRC）和樹高。

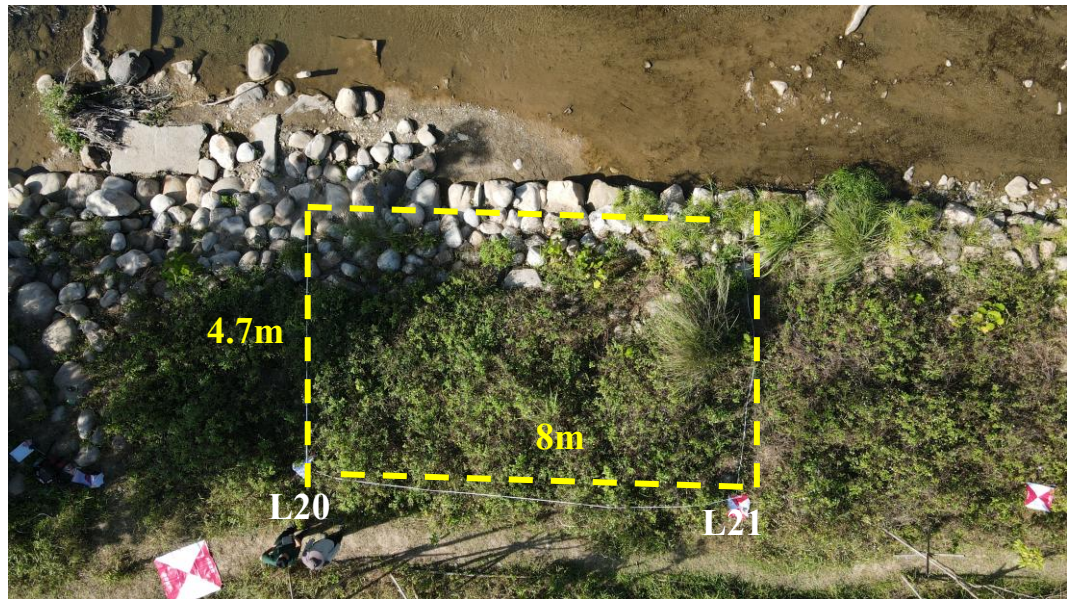


圖 2.1-8、樣框設立模式，以編號 20 為例。L20 與 L21 各為編號 20 及 21 的樣點

(四)雨季擾動

2024 年七月凱米颱風侵台，沖垮 E 區更上游的固床工，挾帶大量溪水與泥沙，將 E 區和 D1_upp 的樣區淹沒，也移除了岸邊的拋石（圖 2.1-9）。當年底再次調查時，D1_upp 的植生尚未恢復，而上游 E 區河道仍在整治（圖 2.1-9），僅能調查下游樣區；且後續木本調查僅能調查 D1_low。2025 年四月重新在 D1_upp 和 E 區設立樣區作調查。該年下半年經歷雨季後，E 區和 D1_upp 區又經歷洪氾影響，E 區河道有大量堆積；D1_upp 區表面礫石被沖刷，露出原護岸基座（圖 2.1-10a）。





圖 2.1-9、凱米颱風擾動前後樣區變化。a、颱風前 D1_upp 環境照（2024/6/29）。b、颱風後 D1_upp 區環境照（2024/9/1）。c、D1_upp 和 E 區年底調查時環境狀況（2024/11/11）。d、D1_upp 年底調查時植被生長狀況（2024/11/22）。

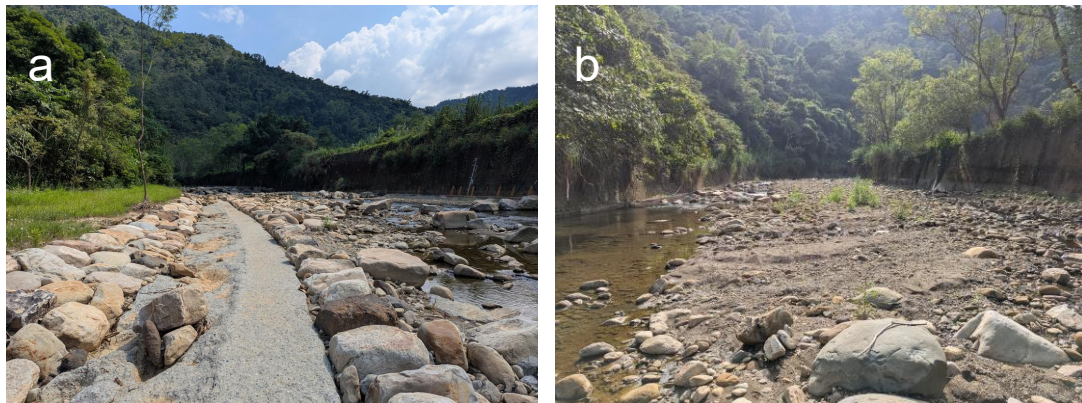


圖 2.1-10、2025 十月彎道固床工以上雨季末狀態。a、D1_upp。b、E。

六、分析方法

（一）草本敘述性統計

由於穿越線取樣範圍包括河道以及河岸，都屬易受河流動態影響的環境，取樣範圍和大小也會受到影響，故本研究會計算樣線上的草本覆蓋度（vegetation coverage）以及總個體數（individual counts），以呈現每次環境變動對取樣帶來的影響，並以此輔助解釋後續多樣性指標的結果。覆蓋度的計算是以每條樣線「有記錄到個體」的樣點數除以樣線總取樣數；單一樣點若有取到複數物種，僅算為一次紀錄不會重複計算。總個體數計算則是記錄每條樣線取到的所有個體數，單一

點上若有複數個體會一併計入。

(二) 草本多樣性和結構

1. 物種豐富度

傳統上植生多樣性分析大多會使用 Shannon 歧異度指數 (Shannon diversity index, H') (1) 或 Simpson 多樣性指數 (Simpson diversity index, D) (4)，這兩者皆考量物種總數 (richness) 和物種豐度 (abundance) 來反映多樣性高低。但由於這兩種指標所呈現的分別是不確定性以及機率，比較難以直觀理解生物群落的多樣性。Hill (1973) 提出其實這兩個指標以及物種總個體數都是在量化物種數量，只是不同指標受物種稀缺性影響導致結果有所不同，Hill 透過公式將三個指標整合成可以一起比較之多樣性指標，稱為 Hill number (2)。該指數反映在一均勻分佈的假想群落中，有多少物種量方可得出所觀測之多樣性指數。當我們得出一群體之 Shannon 或 Simpson 指數，我們可以將其轉換為 Hill number 來直觀的理解該區域可能存在的實際物種數，而不受物種稀缺性在不同指標計算中的影響。

由於 Shannon 和 Simpson 指數皆是透過對物種個體量占比採用不同平均法來得出 Hill number，其中透過對個體量作幾何平均將 Shannon 指數轉換之 Hill-Shannon 物種數 (3)，可以恰當反映常見物種和稀缺物種之變化 (Roswell et al., 2021)。由於種瓜溪復野剛完工不久，天然的擾動可能尚未穩定，而在該環境之物種變化也可能相當迅速。故本研究會將每一穿越線所記錄之物種計算出 Hill-Shannon 物種數，以適當反映該區域物種的數量變化。

$$H' = - \sum_{i=1}^j P_i \ln P_i \quad (1)$$

H' : Shannon diversity index

P_i : relative abundance of species i

$$D_q = \left(\sum_{i=1}^s P_i^q \right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (2)$$

D_q : Hill-diversity equation

q : the order of species rarity significance

$$D_{q=1} = \lim_{q \rightarrow 1} D_q = e^{-\sum_{i=1}^j P_i \ln P_i} = e^{H'} \quad (3)$$

Hill-number transformed from Shannon index

2. 物種均勻度

雖然 Hill-Shannon 物種數可以協助直觀理解區域多樣性的高低，但物種數量並無法完全反映群落的其他特徵，如族群結構等。而均勻度(evenness)，便是反映不同物種個體的分佈狀況 (Heip et al., 1998)，好比即使物種數量多，但低均勻度卻可能暗示該群落僅有少部分優勢物種主導 (Morris et al., 2014)。如同常用的多樣性指數可以被轉換成 Hill number，均勻度指數同樣可以由這些多樣性指數轉換而得出；同樣的多樣性指數對於物種稀缺的敏感性也會影響均勻度轉換的結果。基於現地觀察以及後續物種豐度曲線顯示的情況，草本均勻度的計算在此採用對常見物種較敏感的 Simpson 指數所轉換之 Simpson evenness 指數來呈現 (Nagendra, 2002)(5)。

$$D = \sum_{i=1}^j P_i^2 \quad (4)$$

D : Simpson diversity index

$$\text{Simpson evenness} = \frac{1}{DS} \quad (5)$$

S : richness, the number of species

3. 物種豐度曲線與稀釋曲線

均勻度可以透過數值來初步顯示群落結構的均衡程度，而物種豐度曲線（rank-abundance curve）則可以透過視覺化各物種在群落中的占比來表示群落的均衡程度、協助多樣性指數的選擇、以及初步評估哪些物種佔據優勢（Heip et al., 1998）。而復野段曲線的變化趨勢也可以協助檢視復野後的族群動態變化方向。由於部分區域受河道型態等環境影響，取樣數較低，故會使用稀釋曲線（rarefaction）來協助檢視豐度曲線代表性的穩健程度。稀釋曲線以每次調查取樣的總個體數而非穿越線數量為基準來計算，並將復野段和天然段分開計算。

4. 主成分分析

除了使用物種豐度曲線來檢視群落結構外，本研究亦會使用主成分分析（Principal Component Analysis, PCA）來檢視群落物種組成，並進一步從物種分析結果中推測形塑該群落特徵之環境因子。主成分分析是排序分析法的一種，透過降為減少數據的複雜度，找出最能代表的主要特徵來描述數據特性，在生態學上常被應用在分析複數環境因子或物種對關注現象之影響程度（Lepš & Šmilauer, 2003）。PCA 降

維的方式是透過對「樣點－物種」豐度矩陣的共變異矩陣進行特徵值分解，得出一系列特徵值（eigen values）和對應的特徵向量（eigen vectors），特徵值反映了多少數據變異被解釋；而對應的特徵向量便是數據降維後的主成分（principle component, PC）（Greenacre et al., 2022）。每一個特徵向量都是由原本的變數組成（此處為物種），但伴隨不同特徵值，每一個變數在不同特徵向量中都被賦予不同貢獻值（loading），也就是該原始變數對該特徵向量的重要性占比多寡。由於特徵值是降序排列且特徵向量彼此之間無相關性，理論上第一和第二個特徵值所對應的特徵向量，也就是 PC1 和 PC2，分別可以解釋數據最大和次之的變異量。得出 PC1 和 PC2 後，便可以透過檢視特徵向量中原始變數貢獻值的排序，來推測該主成分可能代表甚麼巨觀解釋因子。以物種分析為例，PC1 中所有物種因子的貢獻值排序由高至低可能反映某種環境因子梯度如距水遠近；而 PC2 的物種貢獻值高低排序會跟 PC1 不同，反映其他與水無關且影響植生構成的因子，好比種子庫多樣性高低。

（三）木本植生分析

木本植生主要分析植株密度、基徑、和高度之變化。由於樣框面積不一致，木本苗木取樣數量可能受樣框面積大小影響，故將各樣區苗木數量除以樣區面積轉換為植株密度後再行分析。

1. 木本小苗空間分佈探討

由於初步調查結果顯示木本小苗在基徑、樹高、以及植株密度上有展現非線性空間分佈的模式。透過檢視後期資料變化，來觀察模式的變化，並且套用適當的迴歸模型去檢驗這些木本變數的變化是否對應環境的空間分佈。若迴歸分析結果為顯著，我們會將木本變數與所

收集的環境因子以變異分解分析 (Variation partitioning analysis, VPA) 來檢驗可能促成該模式的因子。VPA 是在多重迴歸分析中，透過三次以上的典範分析方法 (canonical analysis) 得出不同自變數組合的冗餘統計量 (R^2) 並與其他結果相減，得出多項自變數對於模型總變異量的獨立或共同解釋量 (Peres-Neto et al., 2006)。換言之，VPA 除了可以幫助我們看出哪些環境因子可以最大解釋木本變數的分佈；不同環境因子單獨或與其他因子交互作用時，分別可以解釋的占比，進而更好的去評估環境因子的獨立性和影響。

2. 木本小苗與草本之關聯

由於緩坡上木本栽植的目的是希望能隨著木本個體成長，逐漸透過遮蔭等方式將大部分草本汰換掉，尤其是外來草種。為檢驗緩坡區木本苗木對緩坡區草本植生的影響，會將同一季節調查的木本數據和岩石緩坡區域的草本數據整合。為了整合木本(樣框)和草本(樣線)兩種數據，草本變數分別以建立樣框之兩樣線的數據，如 Shannon 多樣性指數和外來種比例做平均。也就是說若要反映木本樣框編號 26 的草本 Shannon 多樣性指數，會將穿越線 26 和 27 的草本資料平均。由於 D1_upp 受雨季洪氾影響流失草本與木本資料，此處分析僅使用 D1_low 的草本與木本植生。後續會將木本變數和草本變數進行相關性分析；若相關性為顯著，會進一步使用冗餘分析 (redundancy analysis, RDA)，以木本變數解釋草本構成，檢驗是否有哪些木本變數會對特定草本物種有影響。RDA 也是一種典範分析方法，主要是將多變量應變數 (樣區-物種豐度矩陣) 對預測變數 (樣區-環境變數矩陣) 進行多變量迴歸，可以得出環境矩陣中各因子對物種矩陣可以解釋的百分比 (Peres-Neto et al., 2006)。

第二節 工作執行步驟

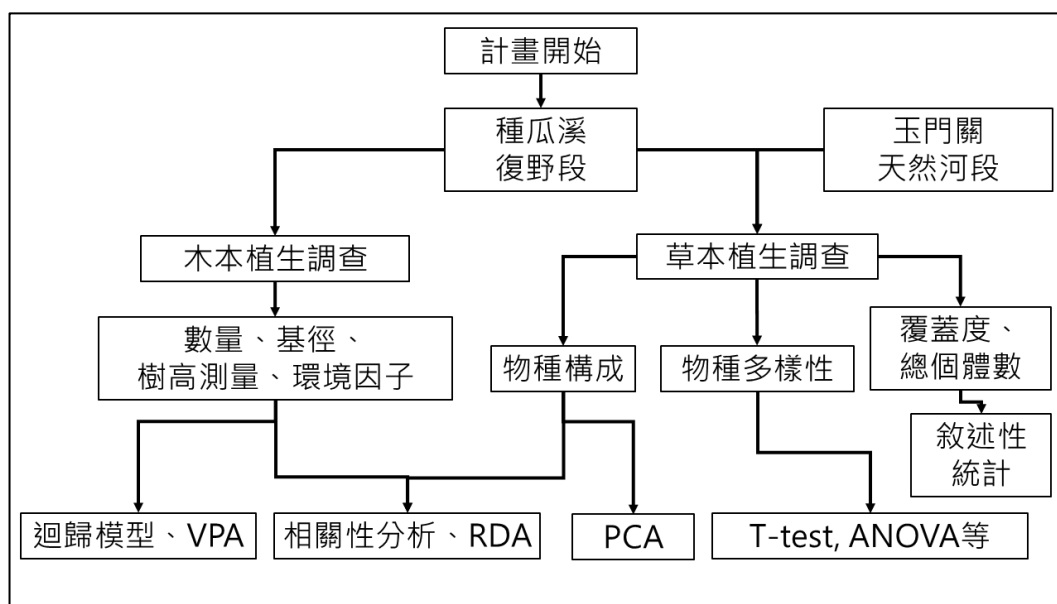


圖 2.2-1、工作流程圖

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本計畫甘特圖如圖 3.1-1 所示。

114 年	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
植生調查											
復野段植生調查											
非復野段植生調查											
資料分析											
資料分析											
報告撰寫											

圖 3.1-1、計畫甘特圖

第二節 計畫交付項目

種瓜溪 D1 區於 2023 年十月完成復野。自 2024 年初至 2025 年十月，已於復野區進行四次草本與木本調查；上游天然河段則為兩次，調查時間如表 3.2-1 所示。其中 2024 年颱風季較長，直等到 11 月方能調查；2025 年十月調查時仍在雨季末期，降雨和洪氾影響效果仍然明顯。

表 3.2-1、草本與木本調查時間

次數	草本	木本	備註
種瓜溪復野段			
1	2024/04	2024/07	初次設立樣區。2024 年五月中 D2 區護岸拆除
2	2024/11	2024/12	彎道固床工以上區域遭沖毀和掩埋，僅取樣 D1_low 和 D2 區域
3	2025/04	2025/05	重設 D1_upp 和 E 樣區
4	2025/10		
玉門關天然河段			
1	2025/03		
2	2025/10		

一、草本多樣性分析

由於本研究聚焦於濱溪帶陸域之植生，故在分析上會先排除在「溪流」棲地所記錄之物種。

(一) 草本覆蓋度與總個體數

復野段整體的覆蓋度和總個體數皆有隨時間下降的趨勢（圖 3.2-2）。復野段在 2024 年四月調查中所有區域覆蓋度都很高，平均總個體數卻有比較明顯的差異（D2 大於 D1 大於 E）（表 3.2-2）。

2024 年十一月僅調查 D1_low 和 D2 兩區，但兩者覆蓋度和總個體數皆降低。可能因為 D1_low 區域岩石緩坡地勢較高，相比於低地處的 D2 受溪流水流影響較輕，D1_low 的平均覆蓋度和總個體數略高於 D2（表 3.2-2）。

2025 年四月調查顯示 D1_low 和 D2 的平均覆蓋度與總個體數與 2024 年十一月結果相似（表 3.2-2）。E 區因為只有兩側水泥護岸，也沒有沙洲等環境，除了橫向固床工以外幾乎沒有陸生植物可以長在河道上，故其覆蓋率和總個體數都相當低；而鄰近的 D1_upp 在平均覆蓋度上略高於 E 區，但其平均總個體數卻與 E 相似（表 3.2-2）。

2025 年十月調查顯示 D1_low 和 D2 在平均覆蓋度與總個體數上與前次相比無明顯變化，但 D1_upp 和 E 區平均總個體數與覆蓋度則下降了，再次顯示該區域植生個體受雨季影響（表 3.2-2）。

從復野段來看，初期各區域都具備較高的個體數，推測是工程整治剛完工，溪流流動剛恢復且未有強烈擾動，大部分區域植生仍維持原本的樣貌。後續隨著雨季與洪氾，各區都呈現低個體數和低覆蓋度的狀態。其中 D1_low 和 D2 總個體數與覆蓋度相對沒有太大的變化；而 E 和 D1_upp 在經過 2025 年雨季後，總個體數與覆蓋度又近一步下降（圖 3.2-1），表示此二區域可能特別容易受洪水影響。

若將復野段和天然段相比，可以看見其實復野段的總個體數和覆蓋度是逐漸傾向天然河段的狀況，但復野段大範圍的上下限則源自了河段內不同區域在覆蓋度和總個體數的差異（圖 3.2-2）。2025 年天然河段的平均覆蓋度大概落在 25%至 10%間，且在雨季即將結束時明顯下跌；平均總個體數雖然下降，但仍略高於同時期復野段的

D1_upp 和 E 區 (表 3.2-2)。

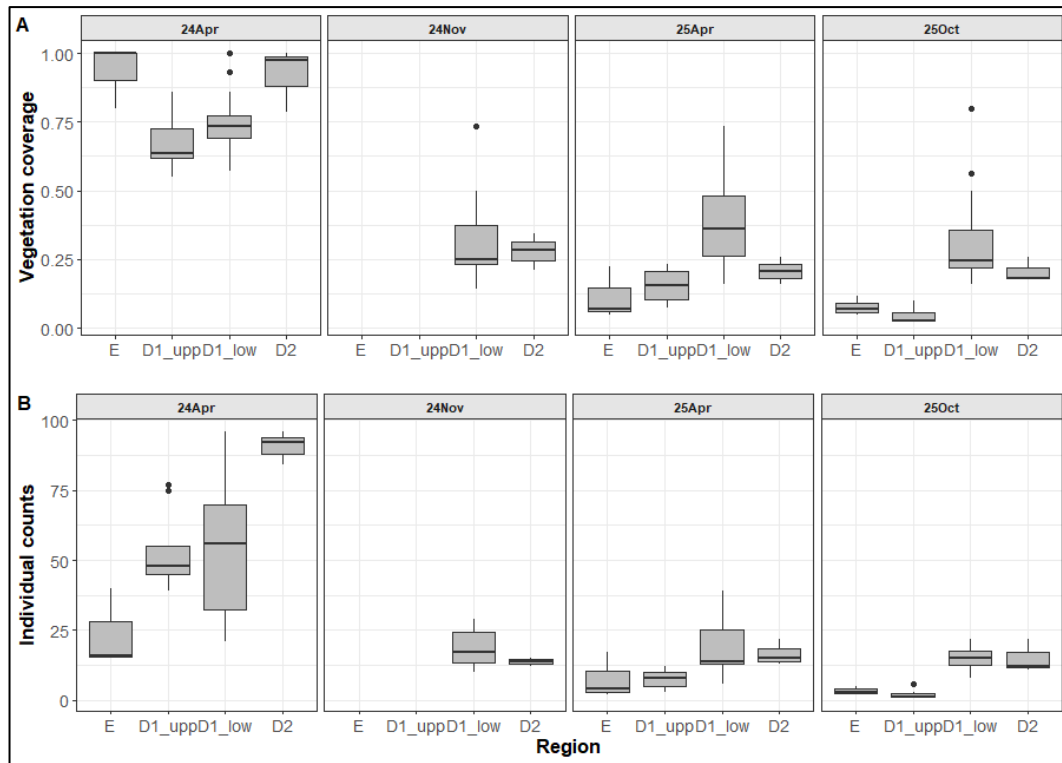


圖 3.2-1、整治段不同時間及各區域覆蓋度和總個體數。A：覆蓋度。B：總個體數。

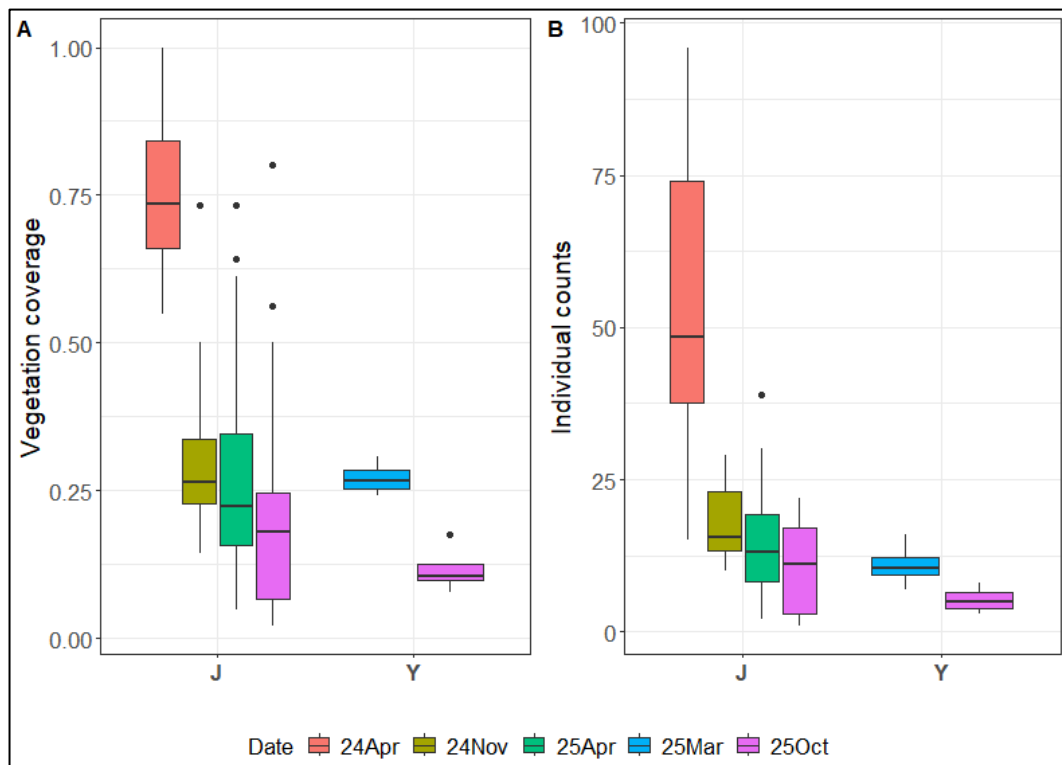


圖 3.2-2、不同時間及河段覆蓋度與豐富度。A：覆蓋度。B：總個體數。J:種瓜坑復野河段。Y:玉門關天然河段。

表 3.2-2、草本區域覆蓋度與豐富度。天然河段（Y）也納入。

region	Date	Vegetation coverage (avg)	Individual counts (avg)	Total individual counts	Total sample points
E	24Apr	0.933	23.7	71	43
	25Apr	0.113	7.7	23	130
	25Oct	0.077	3.3	10	130
D1_upp	24Apr	0.662	52.9	476	399
	25Apr	0.156	7.7	69	365
	25Oct	0.044	2.0	16	321
D1_low	24Apr	0.747	51.7	775	555
	24Nov	0.312	18.6	279	555
	25Apr	0.388	19.1	286	559
	25Oct	0.315	15.1	227	555
D2	24Apr	0.919	90.7	272	127
	24Nov	0.279	13.7	41	106
	25Apr	0.206	16.7	50	134
	25Oct	0.206	15.0	45	133
Y	25Mar	0.271	11.0	44	130
	25Oct	0.116	5.3	21	132

（二）多樣性指數：物種數和均勻度

1. 種瓜溪復野段

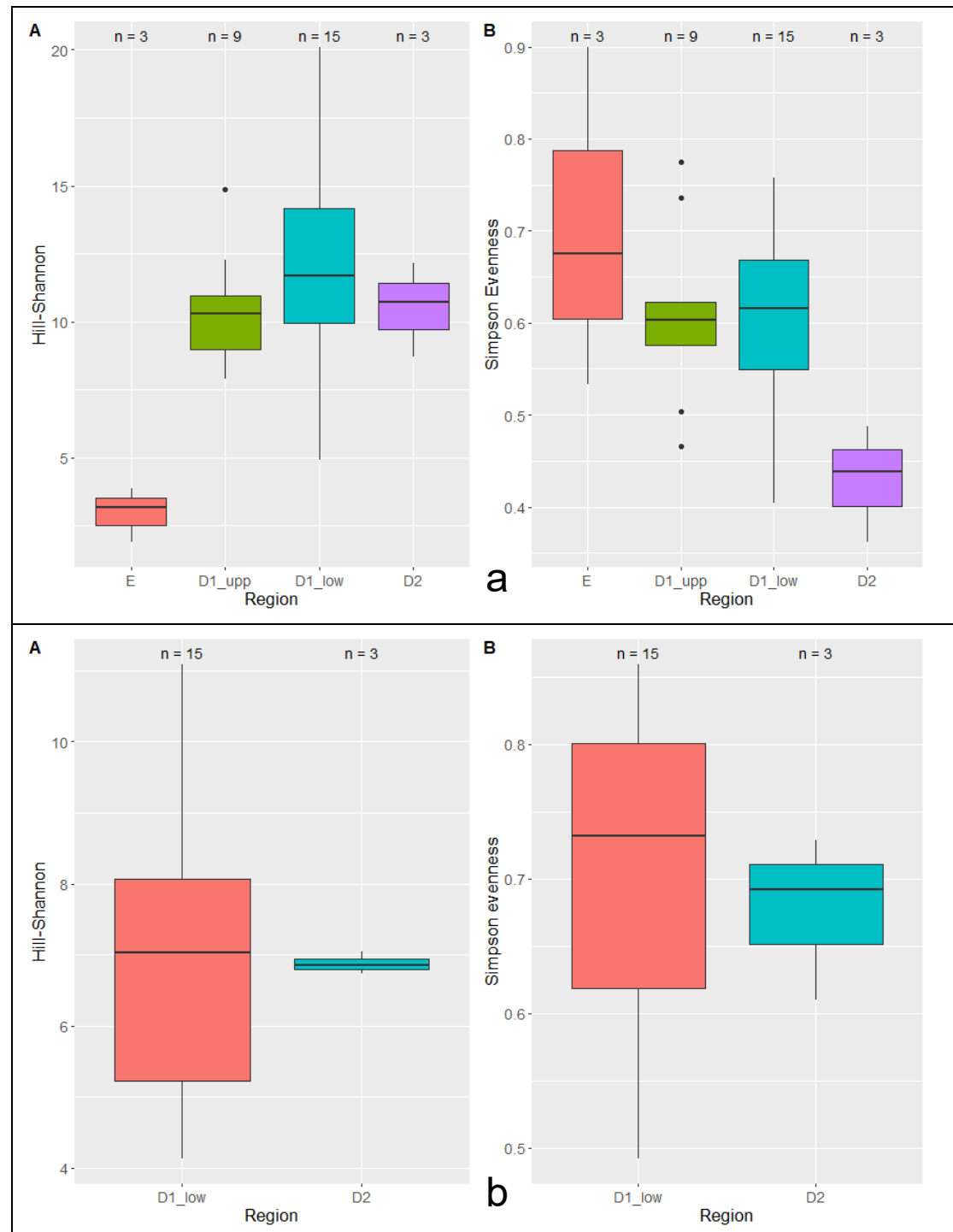
透過 ANOVA 檢驗，2024 年四月顯示區域間的 Hill-Shannon 物種數 ($F_{(3,26)} = 6.375, p = 0.001, \omega^2 = 0.36$) 和 Simpson evenness 指數 ($F_{(3,26)} = 3.575, p = 0.02, \omega^2 = 0.20$) 有顯著差異，Tukey 事後檢定顯示其中 E 區域顯著小於其他三區域；而 Simpson evenness 指數在 2024 年四月中僅有 E 和 D2 之間有顯著 (Estimate difference = 0.27, $p = 0.019$, Cohen's $d = 2.58$)。2024 年十月僅能比較 D1_low 和 D2 區之資料，t-test 在 Hill-Shannon 物種數 ($t_{(14.7)} = -0.189, p = 0.858$) 和

Simpson evenness 指數 ($t_{(16)} = 0.592, p = 0.561$) 上均無顯著差異。2025 年四月區域間在 Hill-Shannon 物種數上無顯著差異 ($F_{(3, 26)} = 1.414, p = 0.261, \omega^2 = 0.04$)；此外 Simpson evenness 指數雖然在 Kruskal-Wallis 檢定上有顯著 ($\chi^2_{(3)} = 9.17, p = 0.027, \eta^2 = 0.237$)，但 Wilxcon 事後檢定則沒有任何區域間差異。2025 年十月的 Hill-Shannon 物種數和 Simpson evenness 指數分別在 Kruskal-Wallis 檢定 ($\chi^2_{(3)} = 16.2, p = 0.001, \eta^2 = 0.53$) 與 Welch's ANOVA ($F_{(3, 5.67)} = 61.04, p < 0.001, \omega^2 = 0.57$) 上均有顯著差異。事後檢定顯示 Hill-Shannon 物種數主要差異在 D1_low 顯著高於 D1_upp 和 E 兩區；Simpson evenness 指數則是在 D1_low、D1_upp、和 D2 三者間有顯著差異。

目前分析結果顯示在 2024 年四月復野完成不久後，D1 區有大量物種，物種量與 D2 的近天然狀態相似；反之 E 區則因為渠道化無相對天然之濱溪帶，物種量極低（圖 3.2-3a）。後續 D1_low 和 D2 物種數均減少，在 2025 年四月時兩區域物種數與植被重新生長的 D1_upp 和 E 區無顯著差異（圖 3.2-3c）。2025 年十月雨季末尾，E 區和 D1_upp 兩區受洪氾影響，物種數再度下降且顯著低於 D1_low；而 D2 物種數與其他三區域並無顯著差異（圖 3.2-3d）。

區域間均勻度除了 2024 年四月時 D2 和 E 區有差異，以及 2025 年十月 D1_low、D1_upp、以及 D2 三者間有差異外，區域間的均勻

度分佈模式相差不多（圖 3.2-3）。由於 E 區和 D1_upp 兩區的總個體數會極大受雨季影響，進而左右均勻度的表現。因此除了 2024 年四月的 E 區外，2025 年後 E 區和 D1_upp 也都是低個體數、低物種數、和高均勻度狀態（圖 3.2-3）。



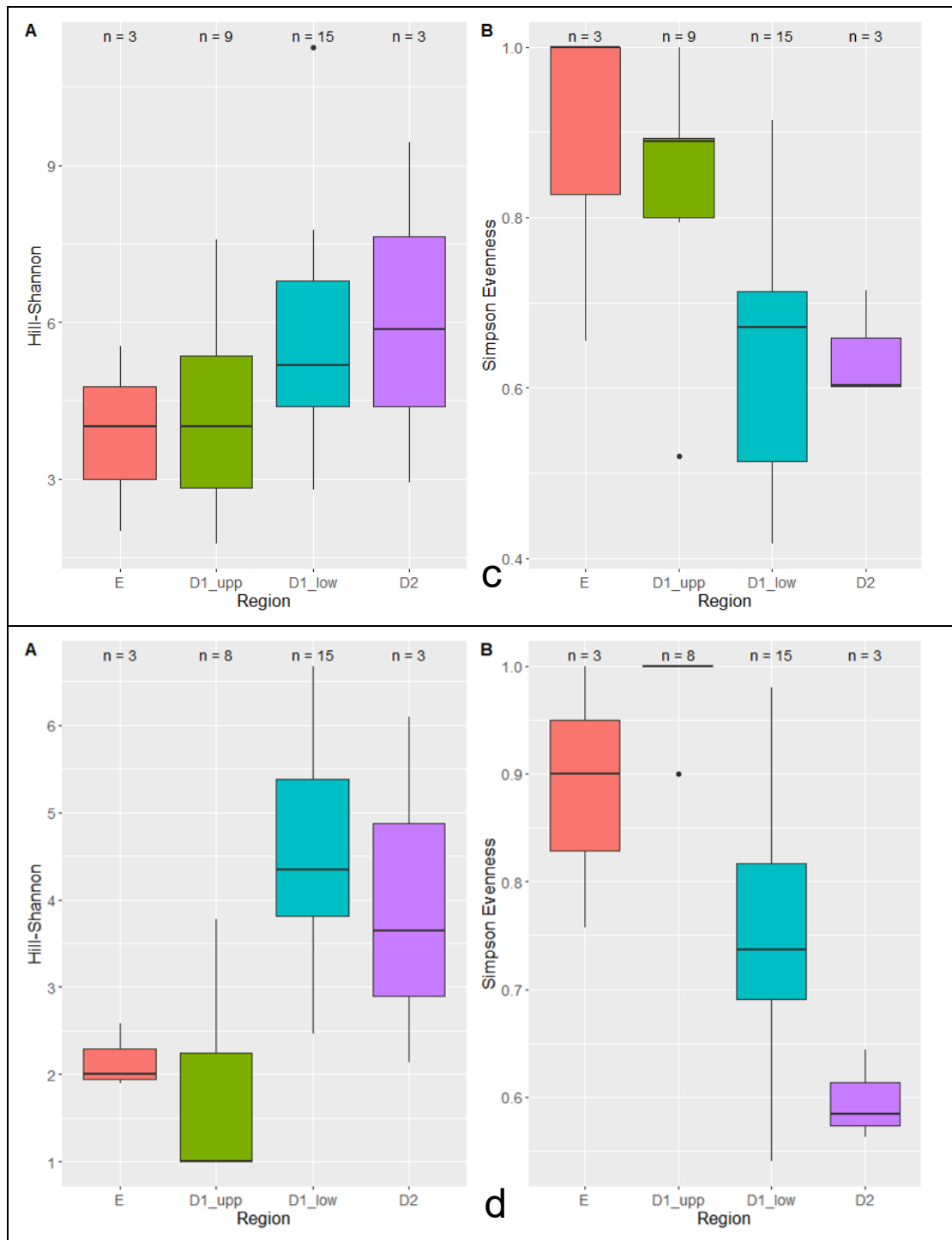


圖 3.2-3、三期草本調查結果，不同區域之物種量和均勻度。由 a 至 d 分別是 2024 年四月至 2025 年十月的調查。(A)、Hill-Shannon 物種數；(B)、Simpson evenness 指數，表示均勻度

2. 復野段草本多樣性對照玉門關天然河段植生

因復野段和天然河段數據收集時間並不一致，在此情況下並不將

時間作為單獨因子，而是將時間和河段整合為單一類別因子並進行單因子變異數分析。Hill-Shannon 物種數由於變異數並不同質，故採用 Welch's ANOVA，分析結果顯示 Hill-Shannon 物種數有顯著差異 ($F_{(5,17.747)} = 17.254, p < 0.001, \omega^2 = 0.43$)。Games-Hall 事後檢定顯示復野段 Hill-Shannon 物種數在 2024 年四月顯著高於同河段內其他時間段的調查，表示復野後初期整體物種數高；而 2025 年十月復野河段物種數也顯著低於前面三次調查，表示隨著復野完成時間增長，物種數呈下降趨勢（圖 3.2-4）。與天然段相比，復野段僅有 2024 年兩次調查的 Hill-Shannon 物種數顯著高於 2025 年十月的天然段數據；和同年三月天然段的數據皆無顯著差異。

Simpson evenness 指數僅有一組稍微偏離常態且變異數同質，故仍然採用 ANOVA，其結果有顯著差異 ($F_{(3,14.98)} = 5.128, p = 0.012, \omega^2 = 0.12$)。TukeyHSD 結果顯示 Simpson evenness 指數僅有 2024 年四月顯著低於同河段後續三次調查和 2025 年十月的天然河段，表示復野段的均勻度在 2024 年四月後提升，但後續並沒有顯著變化（圖 3.2-4）。

從目前結果來看，由於復野段內包含復野和未復野區，整體物種數會有比較大的上下限，進而造成復野段每次調查的 Hill-Shannon 物種數和 2025 年三月的天然段都沒有顯著差異；只會顯著高於 2025 年

十月、雨季洪氾後的天然段。復野段的植生均勻度僅有 2024 年四月顯著低於同河段其他時間以及天然段十月的均勻度，但考量復野段 2024 年四月和天然段 2025 年三月之間並無顯著差異，復野段和天然野溪一年的均勻度變化並未有差異。

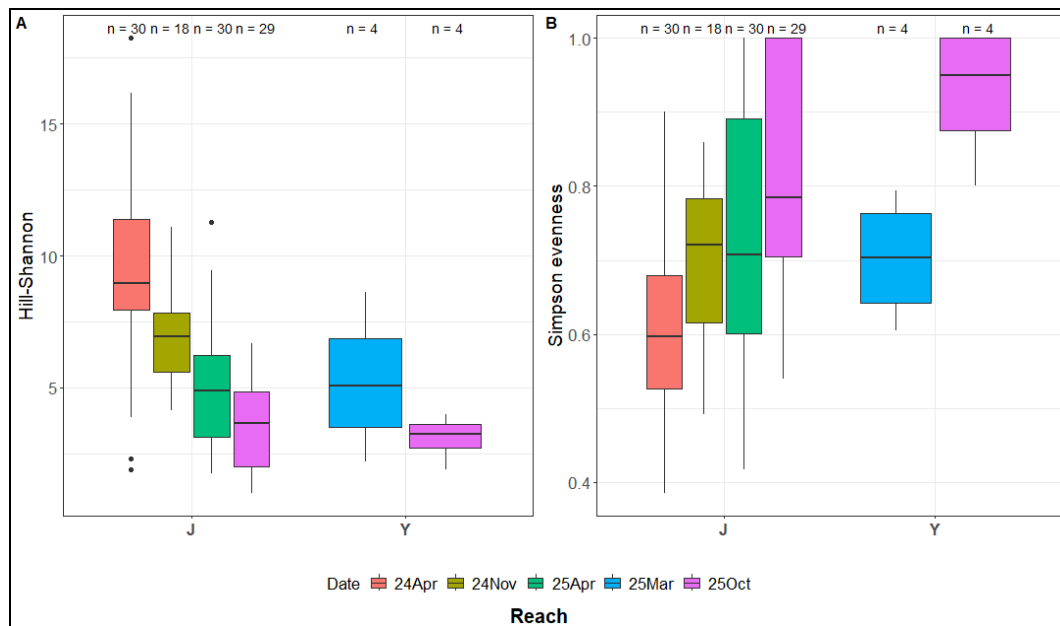


圖 3.2-4、不同河段及調查時間的草本多樣性。(A)、Hill-Shannon 物種數；(B)、Simpson evenness 指數，表示均勻度

(三) 物種豐度曲線與稀釋曲線

物種豐度曲線顯示復野段從 2024 年四月至 2025 年十月的趨勢都相對一致，雖然物種數量多，但高豐度物種僅少數且總個體數變化驟降，顯示該區域植生具有明顯的優勢度結構，由少數幾個物種（如大花咸豐草，*Bidens alba*）貢獻了絕大部分的總個體數（圖 3.2-5）。天然河段總個體數遞減趨勢較為平坦，即使物種數較少，但在總個體數分配上呈現更高的均勻度。（圖 3.2-5）。

若搭配稀釋曲線來看，復野段四次調查雖然在取樣量大不相同，但曲線開始趨緩的斜率變化點相對一致（個體數約 250 隻），表明該河段的物種組成結構對取樣努力具有一致的響應，增強了總個體數曲線結構判讀的穩健性（圖 3.2-6）。而天然河段在 2025 年 3 月的曲線斜率仍高，顯示該次調查未達物種數飽和，存在取樣不足的可能性；但 2025 年 10 月的曲線在極低的個體數（約 15 個體）即開始趨緩，強烈暗示了該時期河段受到洪水事件的強烈過濾作用，導致生態承載個體數大幅縮減（圖 3.2-6）。因此，對於天然河段的判讀，需將極低個體數和環境承載力受限納入考量。天然河段的植生雖然在數學上呈現高均勻度，但實質上反映了群落處於非平衡的稀疏狀態，其特徵是：物種組成缺乏能夠壟斷棲地的優勢種，個體在空間上呈零星分佈。此結論也同樣適用部分復野段的區域，其中 2025 年的 D1_upp 和 E 都有類似天然河段的低總個體數、低物種數、和高均勻度；且該區域也同樣會強烈受雨季洪水影響，進而形成類似次級演替初期缺乏優勢種的情況。

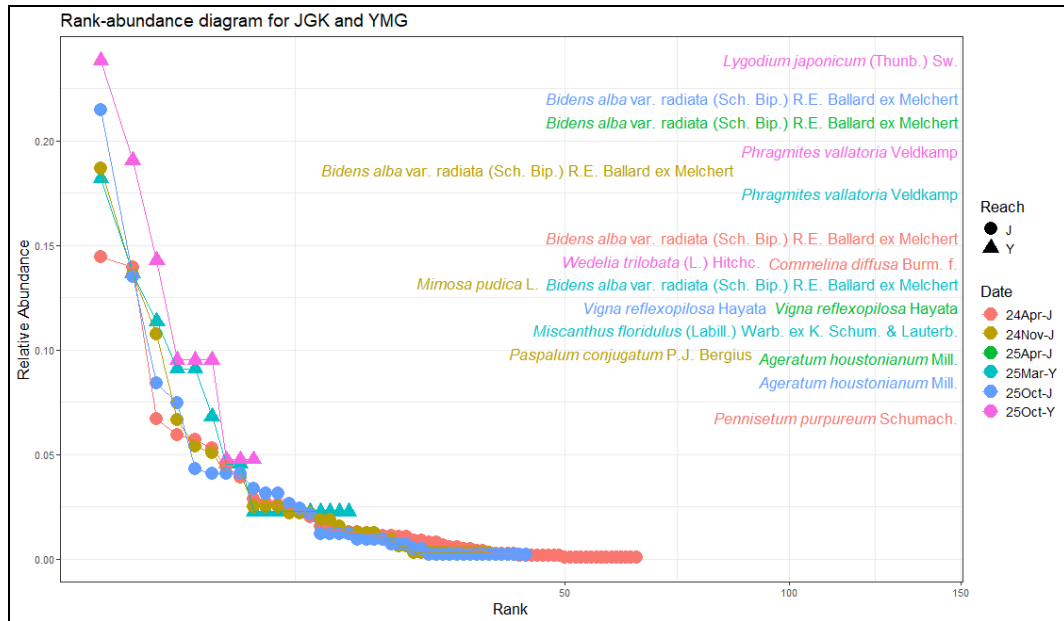


圖 3.2-5、復野段和天然河段之物種豐度曲線。JGK:種瓜坑復野段。YMG:玉門關天然段。

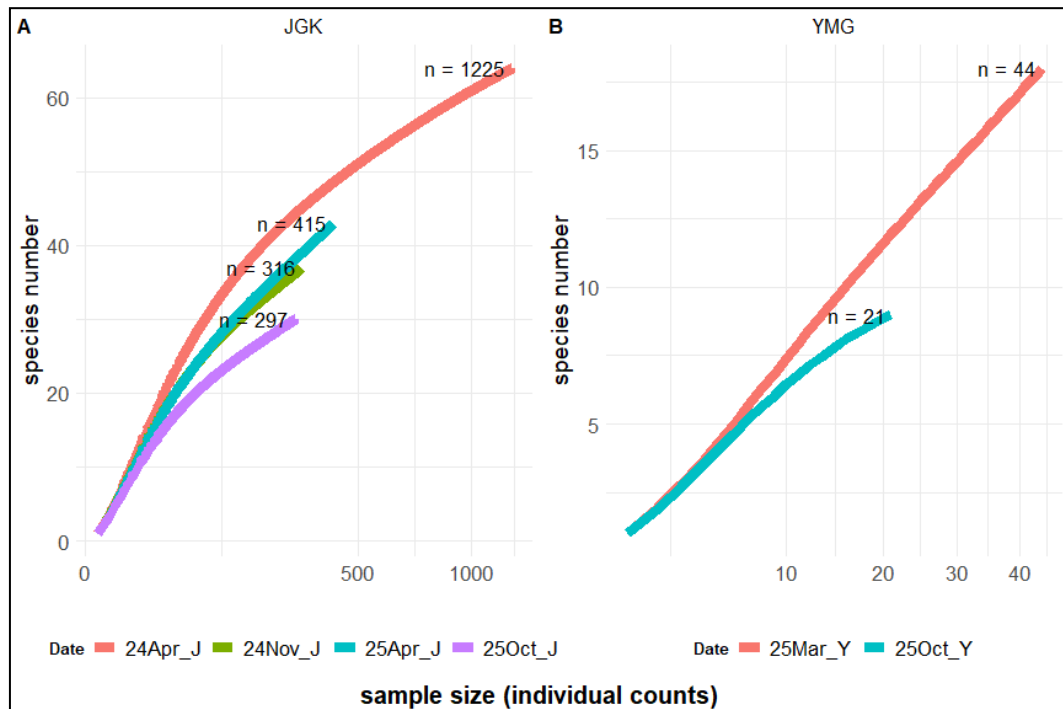


圖 3.2-6、復野段和天然河段之稀釋曲線。A 復野段。B 天然段

(四) 主成分分析 (PCA) 結果

1. 復野段

2024 年四月和十一月的 PCA 分析結果皆顯示復野河段內不同區域的物種組成有差異，好比 D1 和 D2 的樣區在分佈上都自成一群無重疊；但 2025 年四月除了 D1_low 外，D2、E、以及 D1_upp 樣區分佈顯示三者物種構成上比較相近。至 2025 年十月，雖然 D1_low 和 D2 仍然可以看出物種構成分佈有區分，但 E 和 D1_upp 的分佈則開始重疊於 D2 和 D1_low 之間（圖 3.2-7）。

超出均衡貢獻圈之物種為主要影響植群構成之植物，四次調查結果可得出，大多數影響較力較高的物種為外來種（圖 3.2-7），包括象草（*Pennisetum purpureum*, PpS）、大花咸豐草（*Bidens alba*, BavrBRBeM）、兩耳草（*Paspalum conjugatum*, PcPB）等；少部分影響力較強的原生物種如開卡盧（*Phragmites vallatoria*, PvV）和竹仔菜（*Commelina diffusa*, CdBf），二者幾乎都是在近溪水處發現。

四次調查的分析結果，顯示 PC1 和 PC2 兩軸總和都可以解釋約三成的物種構成（PC1 約 20%、PC2 約 10%）。PC 軸所反映的可能環境變因，主要會透過物種貢獻值排序以及樣區分佈情況來推測。

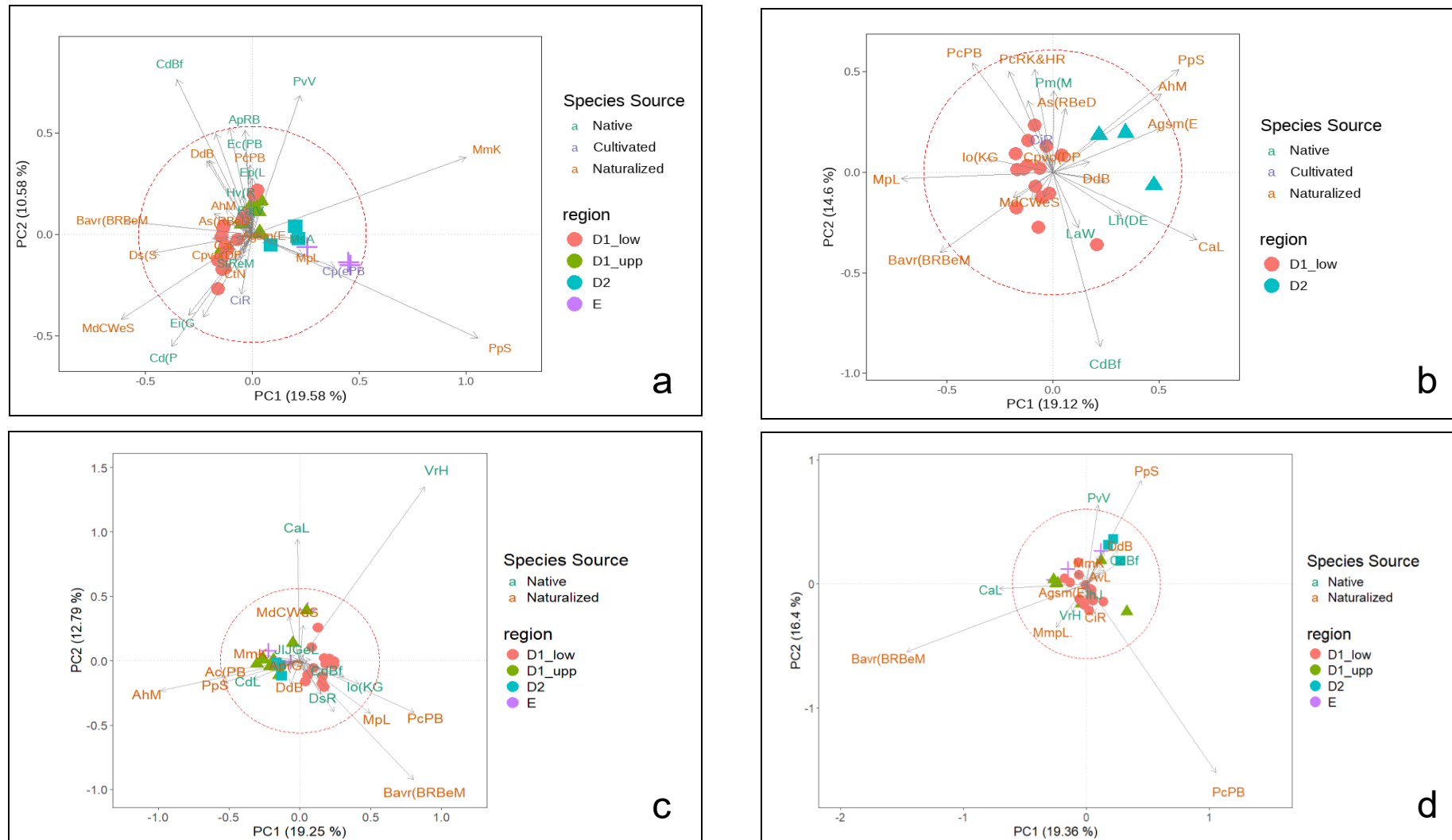


圖 3.2-7、四次調查草本 PCA 結果，將自變數（物種）和應變數（樣區）投影在平面上。a 至 d 分別反映從 2024 年四月至 2025 年十月的調查。物種因子以學名縮寫代替，二者對照請參閱附錄四。

2024 年四月的 PC1 依據物種因子貢獻度以及樣區分佈位置大致可以反映為復野區 (D1) 和非復野區 (D2 和 E) 的環境差異 (正值非復野區、負值復野區) (表 3.2-3)。由於 E 區受構造物影響, 取樣環境幾乎在水道上且這些環境都有比較厚的淤泥堆積, 物種組成上象草和小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*, MmK) 占較大比例; D2 則是取樣環境的左岸本就有大量象草群集, 也因此 D2 和 E 樣區大多落在 PC1 正值方向。而復野區的右岸從護岸結構改成拋石緩坡, 為植物提供大量生長空間, 大量的大花咸豐草和含羞草 (*Mimosa pudica*, MpL) 便生長於此, D1 樣區的分佈也相對傾向該方向, 尤其是 D1_low (圖 3.2-7a)。PC2 則可能反映的是環境的乾濕比例, PC2 正值方向物種大多在緩坡坡趾的水陸交界上發現; 負值方向物種則多處於平時不易受水流影響的環境 (表 3.2-3)。由於 D1 的樣區大致是沿著 PC2 方向分佈 (D1_low 偏負值, D1_upp 偏正值), 這可能反映 D1 不同區域乾濕環境的占比 (圖 3.2-7a)。由於 D1_low 緩坡較 D1_upp 陡, 環境相對乾燥, 因此陸生物種較親水物種來得多。

表 3.2-3、2024 年四月草本 PC1 和 PC2。各取正負貢獻值前三物種

PC1			PC2		
縮寫	中文俗名	貢獻值	縮寫	中文俗名	貢獻值
PpS	象草	0.521	CdBf	竹仔菜	0.376
MmK	小花蔓澤蘭	0.493	PvV	開卡蘆	0.339
Cp(ePB	白花山珠豆	0.191	LaW	青萍	0.260
Ds(S	馬唐	-0.230	MdCWeS	美洲含羞草	-0.207
Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.294	PpS	象草	-0.252
MdCWeS	美洲含羞草	-0.302	Cd(P	狗牙根	-0.273

2024 年十一月的 PC1 依據物種貢獻值以及樣區分佈來看反映的是左右岸環境差異（正值左岸、負值右岸）（表 3.2-4），左右岸定義是順著溪流流向來判定。雨季過後，D1_low 河道靠左岸處開始有沙洲島的生成，而沙洲島上記錄到的物種占比與右岸緩坡不相同，如沙洲島上有大量的青箱（*Celosia argentea*, CaL）生長，但在大量植被覆蓋的右岸卻鮮少記錄到青箱（圖 3.2-8）。此外 D2 由於大部分植生是在左岸，也因此樣區分佈幾乎都落在 PC1 正值方向，也就是以青箱、象草等為主要構成物種的環境；而 D1_low 雖然大致分佈在 PC1 負值方向，但可能受左岸沙洲島上物種影響，讓其樣區分佈處在相對偏中間的位置（圖 3.2-7b）。PC2 在物種因子上的組合並無反映明顯的環境梯度或植生特性，例如大花咸豐草和竹仔菜在棲位上並不會

重疊，但二者在 PC2 的貢獻值皆為負；樣區在其上分佈也沒有明顯的區域差別。這表示 PC2 所捕捉的變異難以歸因於系統性的環境因子，因此其生態學意義較低。我們推測 PC2 軸主要代表了殘餘變異 (Residual Variation)。這可能包括微尺度的棲地異質性（如樣區內部的局部光照差異、土壤濕度微小變化）、取樣誤差，或無法被納入分析的未量化隨機因子。換言之，PC2 軸所反映的是在 PC1 的主要影響之外，群落結構中隨機的或非線性的變異成分。



圖 3.2-8、2024 年十一月調查時 D1 區左、右岸植生差異。箭頭指向為河流方向。

表 3.2-4、2024 年十一月草本 PC1 和 PC2。各取正負貢獻值前三物種

PC1			PC2		
縮寫	中文俗名	貢獻值	縮寫	中文俗名	貢獻值
CaL	青箱	0.383	PcPB	兩耳草	0.305
PpS	象草	0.334	PcRK&HR	貓腥草	0.288
Agsm(E	小花寬葉馬偕花	0.290	PpS	象草	0.288
Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.224	CaL	青箱	-0.189
DsR	短穎馬唐	-0.079	Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.224
MpL	含羞草	-0.018	CdBf	竹仔菜	-0.489

2025 年四月的 PC1 若僅依據物種貢獻度和樣區分佈來看，可能反映的是環境在前一年雨季受水流影響程度(正值強烈、負值無影響)(圖 3.2-7c、表 3.2-5)。D1_low 大多落在 PC1 正值方向，主要是偏乾燥的物種構成，包括曲毛豇豆 (*Vigna reflexopilosa*, VrH)、兩耳草、大花咸豐草等；其他三區則多落在負值方向，由紫花霍香薊 (*Ageratum houstonianum*, AcPB)、地毯草 (*Axonopus compressus*, AhM)、象草等影響該方向的物種構成，這三區也是易受洪水衝擊影響的區域。PC2 依據貢獻值和物種出現紀錄難以推斷可能的環境因子，例如美洲含羞草 (*Mimosa diplotricha*, MdCWeS) 僅在 D1_upp 上分佈，但青箱和曲毛豇豆在所有區域都有，難以從物種分佈或貢獻值排序推測直觀的環境變因；且樣區在該軸上分佈也沒有明顯的區域差別，

故同樣將其視為殘餘變異（圖 3.2-7c）。

表 3.2-5、2025 年四月草本 PC1 和 PC2。各取正負貢獻值前三物種

PC1			PC2		
縮寫	中文俗名	貢獻值	縮寫	中文俗名	貢獻值
VrH	曲毛豇豆	0.412	VrH	曲毛豇豆	0.631
PcPB	兩耳草	0.378	CaL	青箱	0.441
Bavr(BRBeM	大花咸豐草	0.375	MdCWeS	美洲含羞草	0.161
Ac(PB	地毯草	-0.223	PcPB	兩耳草	-0.188
PpS	象草	-0.253	MpL	含羞草	-0.191
AhM	紫花藿香薊	-0.459	Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.433

2025 年十月的 PC1 雖然捕捉了最大的總變異，但樣點在該軸上的分佈較為分散；且物種貢獻度的排序難以與單一明確的環境梯度直接連結，例如大花咸豐草與含羞草兩者會一同出現，但青箱則幾乎不會一同出現，這表明 PC1 可能代表了多重、複雜且難以量化的背景異質性（如取樣點之間的微棲地差異）。相較之下，樣區區域分佈主要沿著 PC2 方向分佈，因此 PC2 被認定為本次調查中較重要的生態學梯度。依據 PC2 的物種貢獻值排序，其反映的可能是區域受雨季洪氾影響程度（正值為強烈、負值為不受影響）（表 3.2-6）。D2 和 E 都落在 PC2 有象草和開卡蘆等近水物種的正值方向，D1 則相對多聚集在 PC2 以兩耳草為主乾燥環境的負值方向（圖 3.2-7d）。

表 3.2-6、2025 年十月草本 PC1 和 PC2。各取正負貢獻值前三物種

PC1			PC2		
縮寫	中文俗名	貢獻值	縮寫	中文俗名	貢獻值
PcPB	兩耳草	0.506	PpS	象草	0.399
PpS	象草	0.215	PvV	開卡蘆	0.305
CdBf	竹仔菜	0.135	DdB	菁芳草	0.134
MmpL.	含羞草	-0.117	MmpL.	含羞草	-0.168
CaL	青箱	-0.339	Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.262
Bavr(BRBeM	大花咸豐草	-0.702	PcPB	兩耳草	-0.731

總結來看，除了 2024 年四月的調查在 PC1 上有明確顯示復野區和非復野區、PC2 環境乾溼差異外，後續分析結果根據樣區分佈和物種貢獻值僅能推測出一軸比較明顯的環境因子，如 2024 年十一月 PC1 反映 D1_low 和 D2 左右岸環境的影響；2025 年兩次調查都至少有其中一 PC 軸反映區域受洪氾影響程度。此結果也反映影響復野段物種構成的因子除了陸域和水域因子外，也愈發複雜。

2. 玉門關天然河段

該天然河段在本研究中作為對照組，為了適當反映該區域植生變化，我們將第一次和第二次調查資料合併進行 PCA。結果顯示 PC1 和 PC2 加總有近五成的解釋力。天然河道環境較為複雜，PC1 和 PC2 基本都屬於複合生態梯度，反映時間、環境差異與擾動的綜合效應。

樣點的分佈變化揭示了天然河道雨季前後植生構成的變化。除了樣點 Y4 主要是向 PC1 正值方向移動，其他三個樣點在雨季後的分佈變化皆沿著 PC2 負值方向移動（圖 3.2-9）。若從 PC2 的方向來判斷，有較多的物種因子在 PC2 正值方向，負值則較少；樣區由正值向負值移動表示物種構成轉以少數物種為主。結合天然河段的低覆蓋度和低個體數的性質，此處的少數物種並非優勢種，而是雨季洪水過後新進駐的物種，南美蟛蜞菊（*Wedelia trilobata*, WtH）便是第二次調查才記錄到的物種；而超出均衡貢獻圈的則有可能是適應洪水衝擊的抗逆性物種，好比親水的開卡蘆和海金沙（*Lygodium japonicum*, LjS）。從樣點分佈的變化，可以推斷雨季洪氾過後，該區域植生構成大多從多物種變成以海金沙為主，伴隨著曲毛豇豆、竹仔菜和老荊藤（*Callerya reticulata*, CrS）等構成的植生。

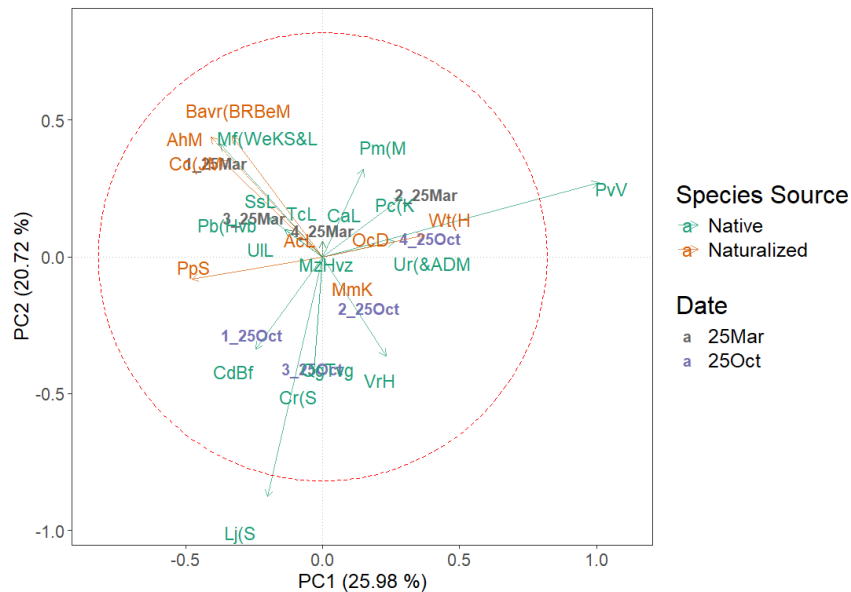


圖 3.2-9、天然河段草本調查之 PCA 結果，將自變數（物種）和應變數（樣區）投影在平面上。樣區以「編號__日期」形式呈現以辨識物種構成變化的方向

3. 復野段和天然河段比較

當復野段和天然段數據整合分析後，PC1 和 PC2 加總可以解釋約 20% 的變異，兩者解釋占比差不多各 10%。影響主要構成的物種仍然是以外來種居多。由於該 PCA 整合了時空數據，PC1 和 PC2 軸皆應被視為複合生態梯度，代表了復野與否、時間與自然擾動的綜合效應。

天然河段的樣點主要集中在圖左側中央及第三象限，反映了天然群落組成的穩定性和相對同質性（圖 3.2-10B）。相比之下，整治復野段則分佈在更廣闊的空間，顯示其物種組成具有較高的時空變異性。復野段群落的變化軌跡呈現出明顯的演替趨勢，大部分樣點從初期的第二象限向第一、四象限移動；對應的物種因子由竹仔菜、美洲含羞草、

馬唐、菁芳草等變成兩耳草、含羞草、曲毛豇豆、短穎馬唐等(圖 3.2-10A)。然而，少數復野河段的樣點與天然河段樣點聚集在第三象限。

該區域的物種組成以象草和紫花霍香薊等物種為主，此聚集區塊可能代表了受頻繁洪水擾動的群落子集。

若進一步將整治段的區域分類放入其中，可以強化上述的推論。從圖中可看見，與天然河段同處在第三象限的，大多是 E 和 D2 區、以及 2025 年四月時的 D1_upp，這幾個區域都是雨季過後容易受洪泛衝擊影響的區域；而 D1_low 則相對一致的從第二象限往一、四象限移動，反映該區域受洪氾影響小，物種可以繼續演替(圖 3.2-11)；不過演替後的物種仍然屬於先驅物種，如曲毛豇豆、兩耳草、以及含羞草，且在演替過程中大花咸豐草都是影響構成較大的物種(圖 3.2-10A)。此外部分 D1_upp 在 2025 年十月時與 D1_low 有相似的物種構成，推測是由於該區剛經歷雨季洪水沖刷，大部分濱溪帶個體皆流失，僅有少部分未受衝擊的區塊有取樣到，此稀少的個體紀錄與 D1_low 相似，便以此作為 D1_upp 的構成(圖 3.2-12)。

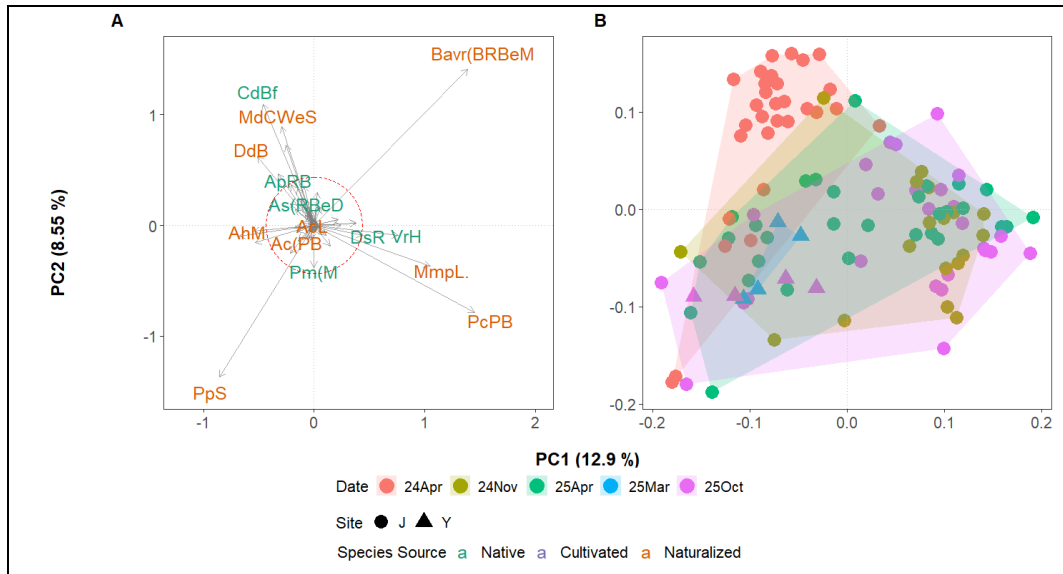


圖 3.2-10、復野段和天然段不同時間 PCA 結果。將自變數（物種）和應變數（樣區）分開投影。A:物種因子。B:樣區分佈

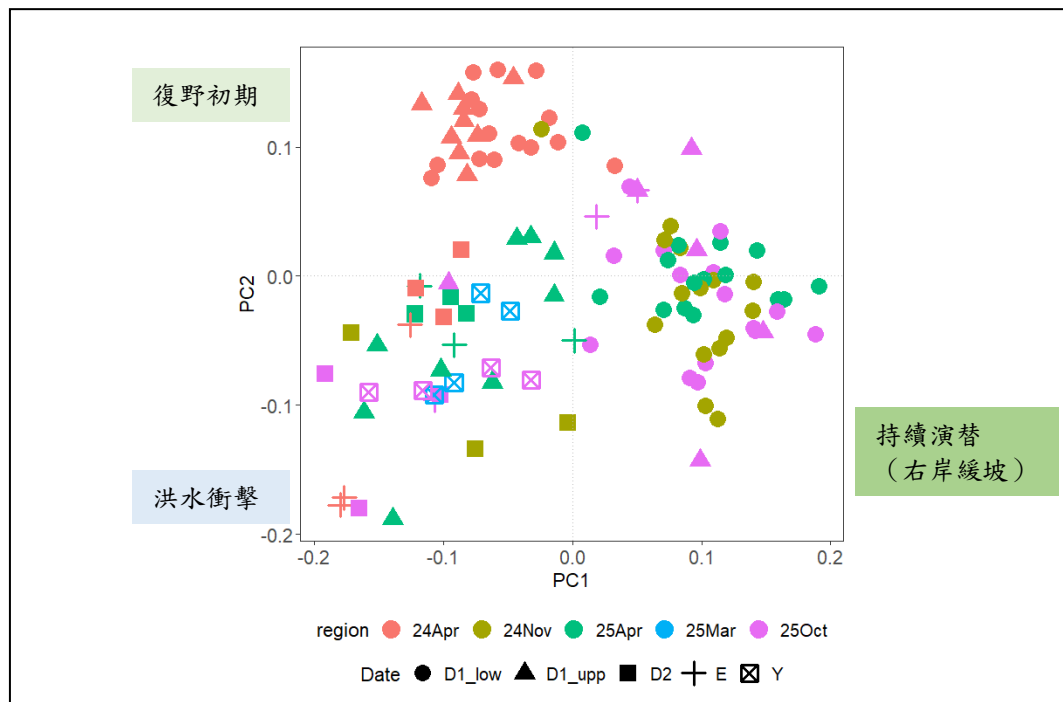


圖 3.2-11、復野段和天然段不同時間 PCA 結果，以區域來分類應變數（樣區）的投影分佈。



圖 3.2-12、2025 十月 D1_upp 環境照。圖中基座裸露為該年雨季後才發生。緩坡坡頂以上有穩定植生。

二、木本分析

木本數據調查顯示物種數量最高為血桐（標記 107 株）、山麻黃次之（標記 7 株）、羅氏鹽膚木和小葉桑僅一株。由於血桐以外物種個體數並不多，推斷影響並不大，故後續分析會將所有物種納入。

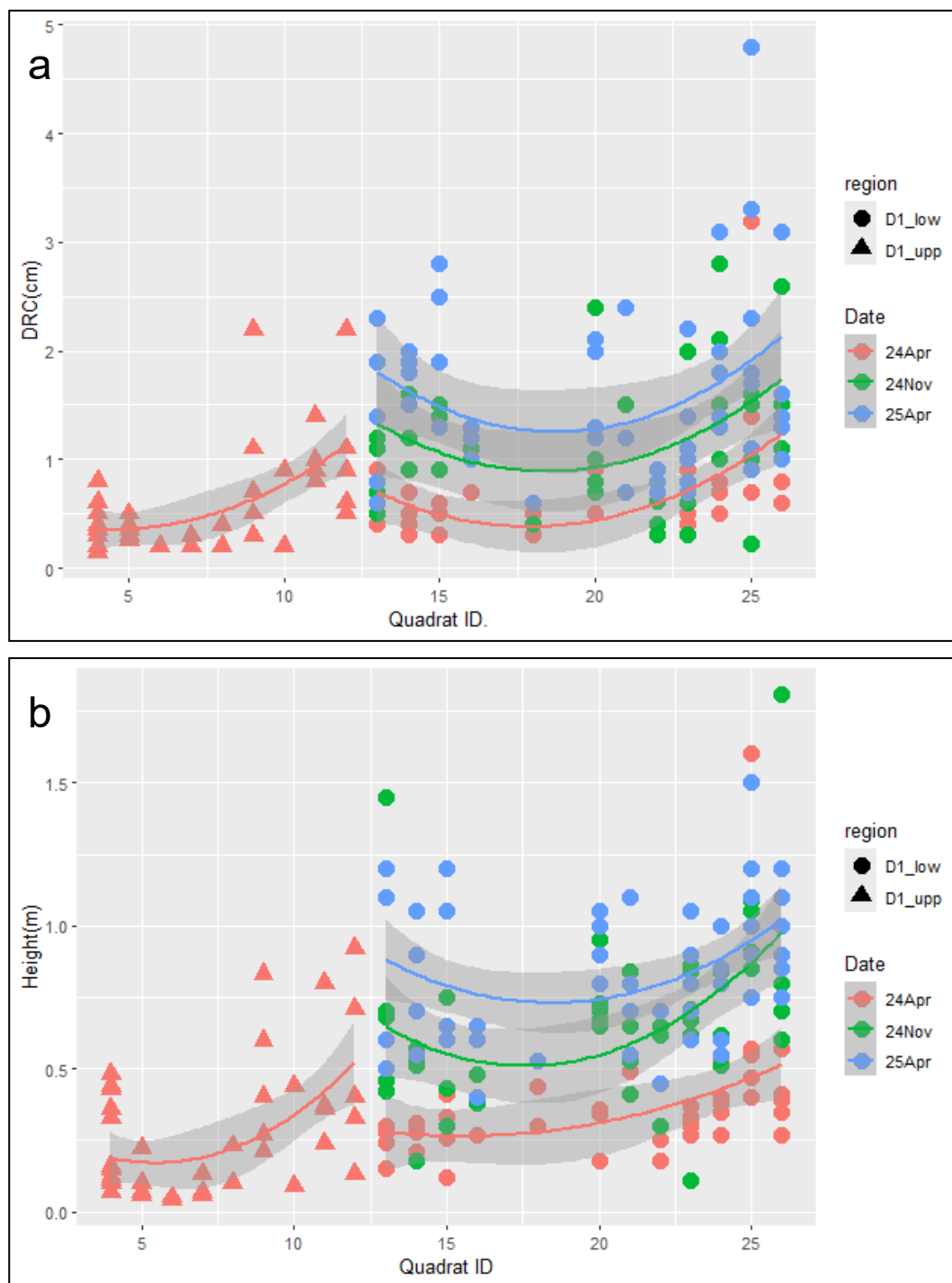
此外為方便後續和草本調查資料整合，木本資料的日期會修正成對應季節草本的資料。例如 2024 年七月木本資料為了與 2024 年四月草本資料整合，木本資料日期會被修改為 24Apr。

（一）木本密度、生長趨勢

三次調查下來，基徑、樹高、以及植株密度都對連續樣框代表的空間分佈呈現 U 型模式(圖 3.2-13)。透過二次式回歸模型分別檢驗後，除了 D1_upp 和 D1_low-24Apr 的樹高之外，該 U 型模式皆存在於 D1_low 每一次調查的基徑、樹高、以及植株密度(表 3.2-7)。其中以植株密度迴歸係數最高且幾乎無變動，但植株密度也並沒有明顯增減，尤其第三次調查之數量與第二次相差無幾；反觀雖然基徑和樹高的迴歸係數變動較大、甚至有下降的趨勢，但長期監測個體之基徑以及高度皆可以明顯看出有增長的趨勢。將高度和基徑以 Spearman 相關係數作檢定，得出結果皆為顯著正相關(圖 3.2-14、表 3.2-7)。

表 3.2-7、苗木變數二次式迴歸與相關分析結果。

Sapling variable	Region-Date	p-value	Adj. R ²
DRC	D1_upp-24Apr	0.166	0.327
	D1_low-24Apr*	0.005	0.252
	D1_low-24Nov*	0.044	0.067
	D1_low-25Apr*	0.024	0.077
Height	D1_upp-24Apr	0.105	0.255
	D1_low-24Apr	0.294	0.138
	D1_low-24Nov*	0.015	0.195
	D1_low-25Apr*	0.014	0.116
Sapling density	D1_upp-24Apr	0.469	-0.034
	D1_low-24Apr*	<0.001	0.898
	D1_low-24Nov*	<0.001	0.905
	D1_low-25Apr*	<0.001	0.946
DRC-Height correlation	Region-Date	P-value	ρ
Spearman's correlation	D1_upp-24Apr*	<0.001	0.60
	D1_low-24Apr*	<0.001	0.45
	D1_low-24Nov*	<0.001	0.75
	D1_low-25Apr*	<0.001	0.85



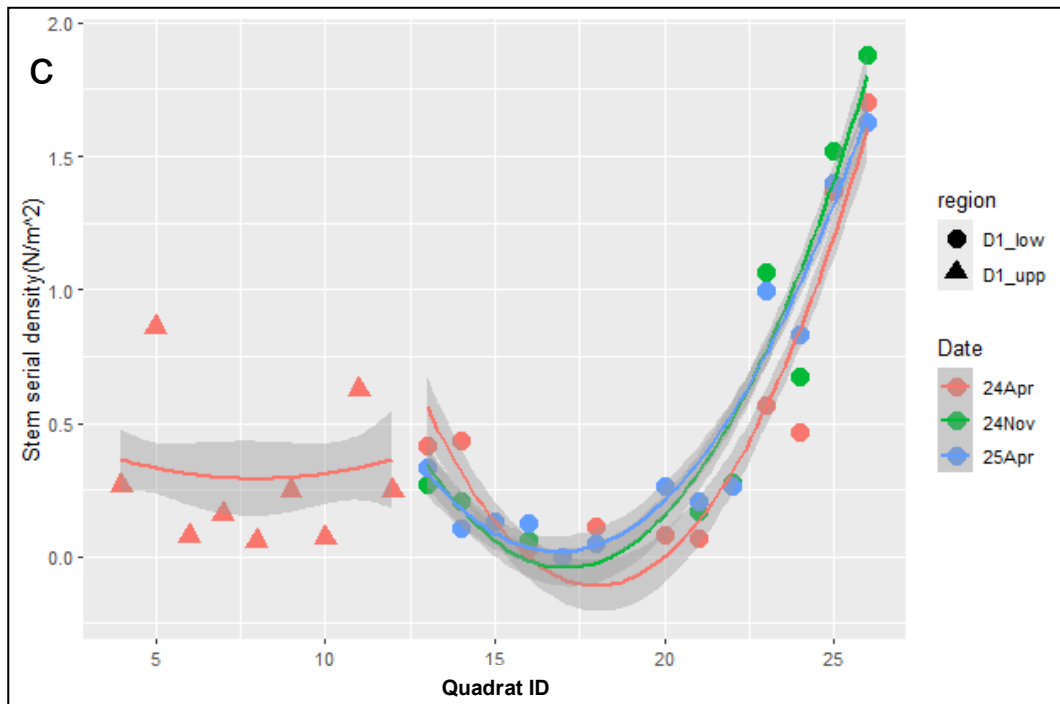


圖 3.2-13、三次木本調查之結果，X 軸為樣區編號，反映地域變化。Y 軸則為測量之變數。a、基徑。b、高度。c、植株密度。

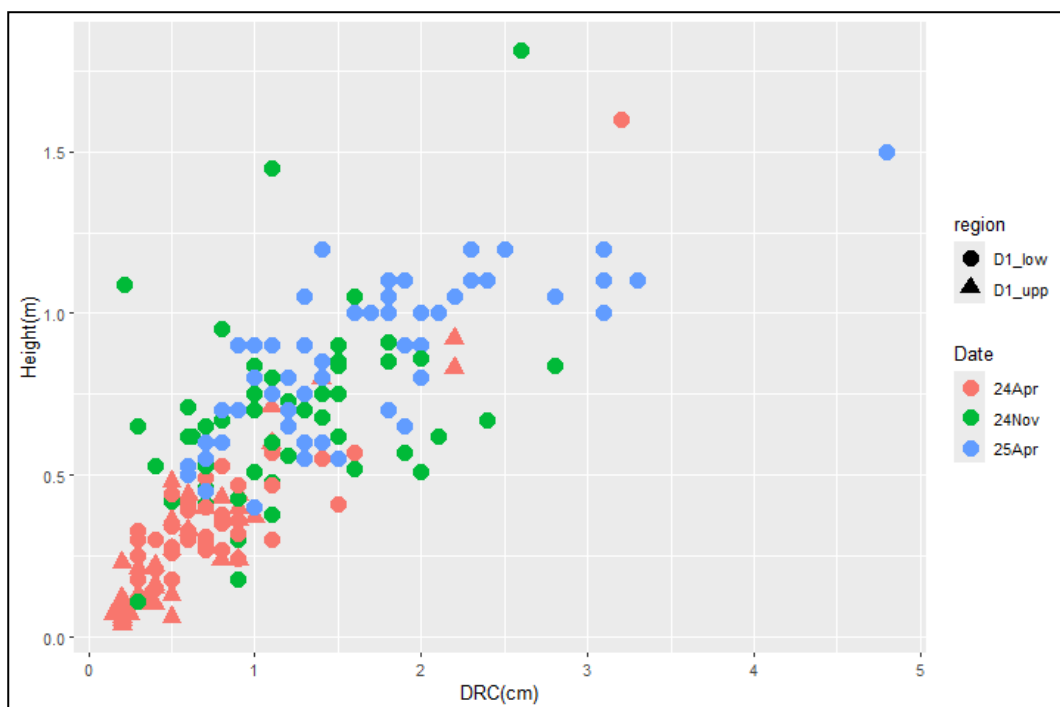


圖 3.2-14、苗木高度對基徑散佈圖。

(二)植株密度分佈與環境因子

由於 D1_low 區植株密度 U 型分佈的模式與空間高度相關，故對其採用 VPA 來分析可能促成該模式的環境因子。環境因子部分除了坡向和坡度，也將依據樣框順序所顯示的 U 型空間分佈視作空間因子以二次式模型一起放入分析。結果顯示樣框分佈代表的空間趨勢可以解釋約 75%的植株密度分佈，而坡度與坡向等因子僅能單獨解釋 2%。雖然兩因子之間也有交互作用可以解釋約 15%的植株分佈，但整體來看要解釋該 U 形趨勢，主要還是在樣框分佈所反映之空間相關因子（圖 3.2- 15）。

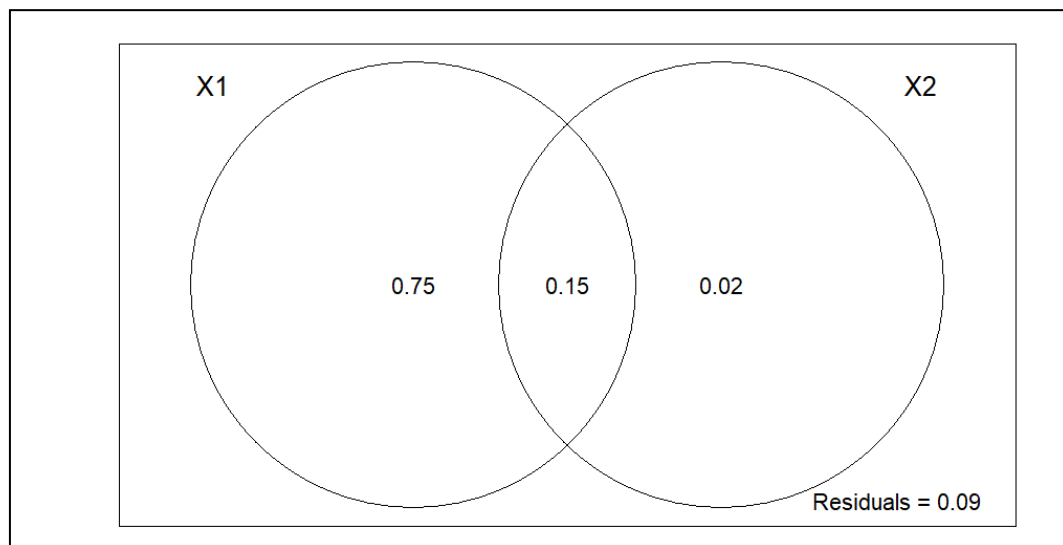


圖 3.2- 15、VPA 結果。X1: 樣框空間模式因子。X2: 坡度和坡向複合環境因子

(三)木本對緩坡區草本影響

草本多樣性和木本苗木不分調查日期和區域先以 Spearman 作相關性分析檢定，此處將木本的基徑轉換為斷面積來檢視（basal area,

BA)。結果皆為顯著負相關， p 值大約落在-0.60 至-0.45 (圖 3.2-16)，可以得出當木本苗木相關變數數值增長時，會有較低的草本多樣性和外來種占比。

由於相關係數並不高且數據也較離散，故進一步使用 RDA 來檢視所量測的木本因子對緩坡區草本植生構成之影響。由於斷面積和樹高兩因子有高度相關，故此處先以平均斷面積和植株密度來檢驗。結果顯示這兩個苗木因子僅能解釋約 12%的物種構成(圖 3.2-17a)；且大部分草本物種都集中在雙標圖中央，並沒有特定物種明顯偏向苗木因子的方向，表示幾乎沒有任何草本物種的生長是受木本因子影響的(圖 3.2-17b)。雖然木本苗木的增長與草本多樣性和外來種占比有負相關，但 RDA 分析顯示並沒有哪個草本物種會特別受苗木的基徑和密度影響。

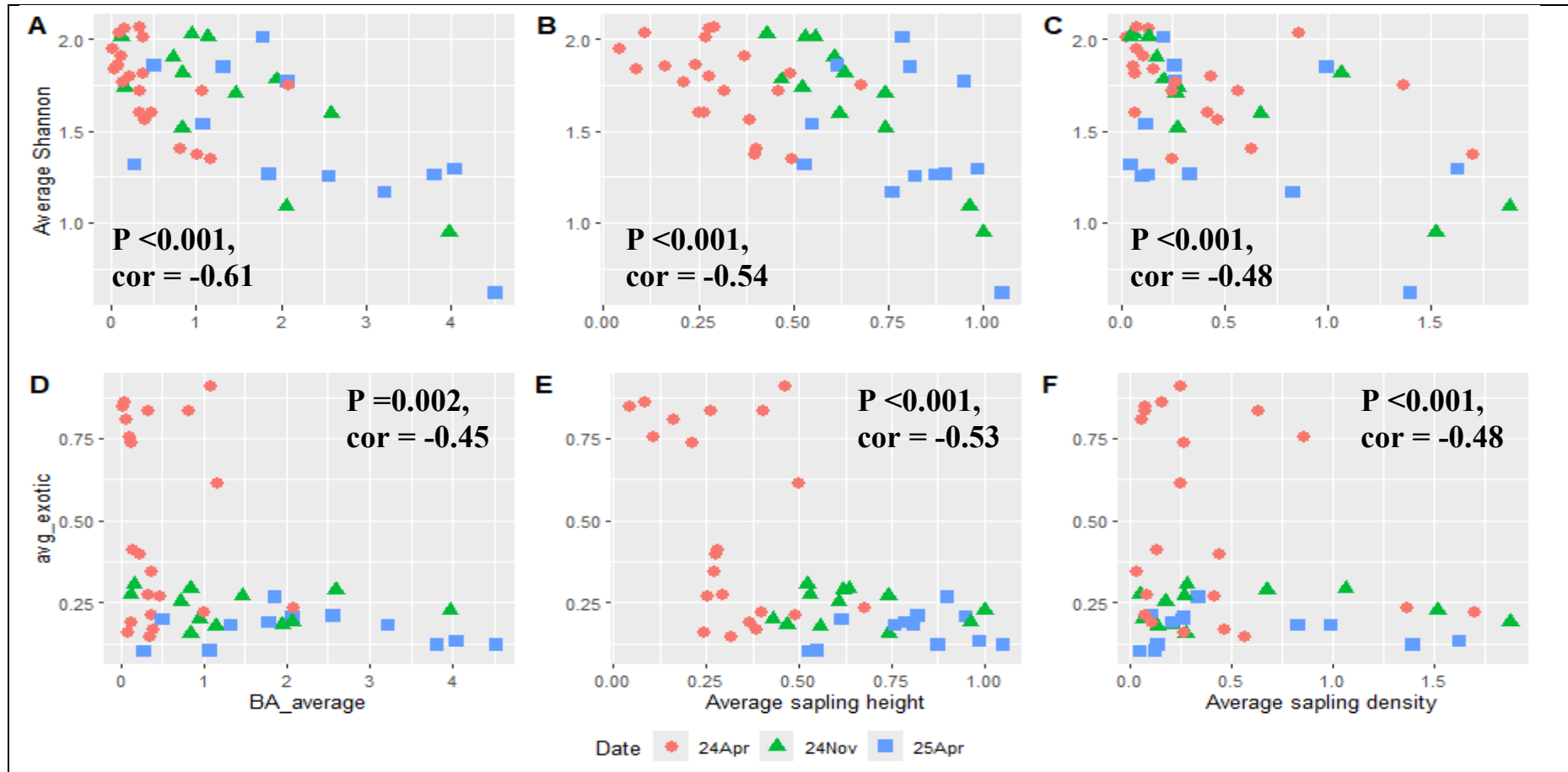


圖 3.2-16、草本變數與木本變數相關性分析結果。X 軸為草本變數，包括平均 Shannon 多樣性指數和平均外來種比例。Y 為木本變數，包括平均斷面積、平均高度、以及平均植株密度

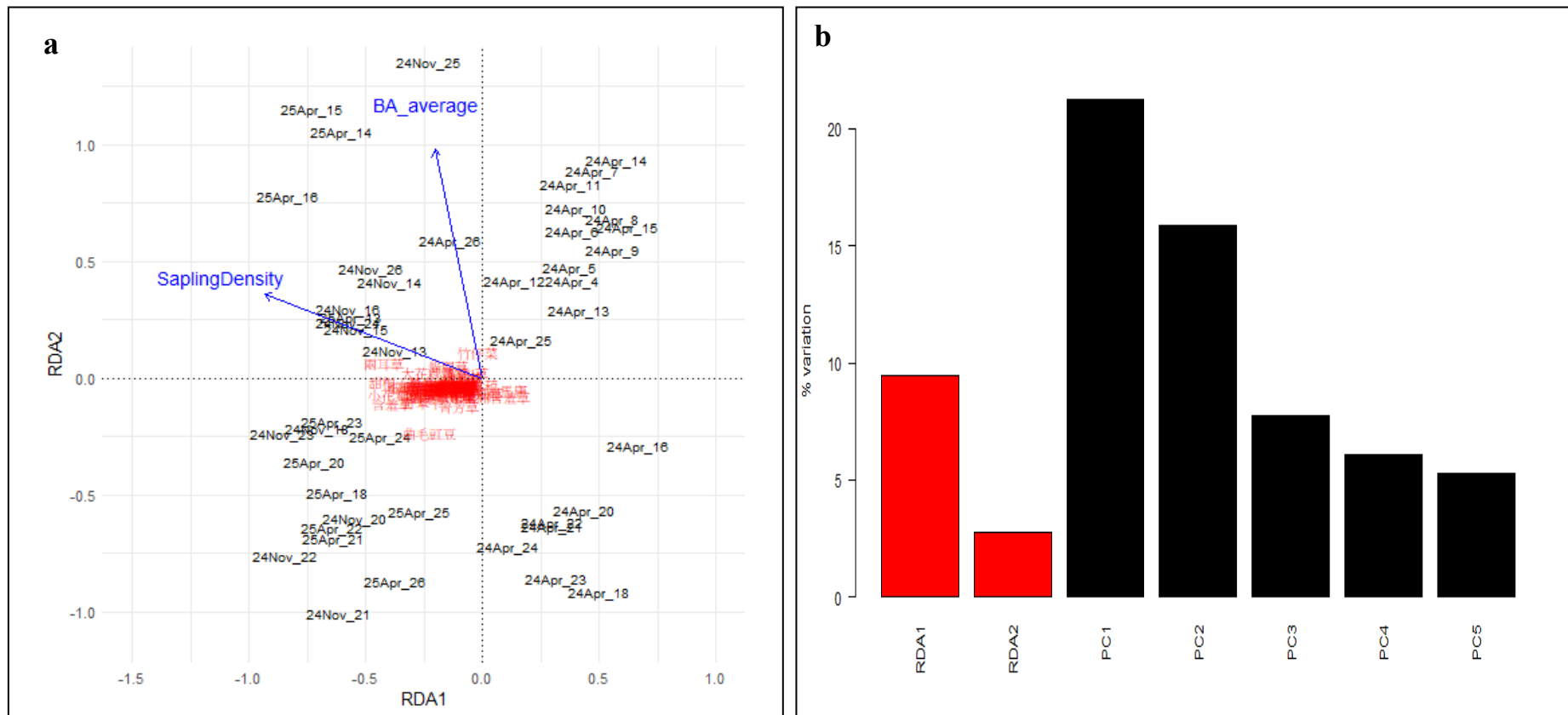


圖 3.2-17、木本與草本 RDA 結果。a、RDA 樣區、環境因子、以及物種組成構成的雙標圖。b、RDA 各軸與 PC 軸解釋比例差異。

第四章 結論及建議

第一節 結論

本計畫期末階段結論如下分項敘述：

- 一、復野初期復野段各區覆蓋度都不低；但2024年雨季過後，整體覆蓋度下降；總個體數雖然起初各區狀況略有不同，但後續發展也是呈現相似的下降趨勢。上游天然河段兩次調查則都表現為低覆蓋度和低總個體數，表示該區濱溪帶植生個體的存活特別容易受溪流活動及洪氾影響。
- 二、草本多樣性分析顯示復野完成後復野段的復野區（D1）和未復野的護岸區（E）在物種數上有顯著差異；與下游未復野的近自然區（D2）無差異，該結果反映了復野初期護岸有無的影響。但隨著2024年雨季後，復野區和護岸區之間在物種數上甚至一度無顯著差異（2025年四月）；或發生復野區物種數與另一復野區不同（2025年十月的D1_upp和D1_low）。顯示溪流復野後，影響植生多樣性的差異可能不再是護岸的有無，而是其他如洪水等環境因子。
- 三、不管是復野段還是天然河段，部分區域的高均勻度需要搭配先前的總個體數與覆蓋度來評估。部分易受洪水擾動區域呈現低總個體數、低覆蓋度、和高均勻度，此高均勻度初步反映了區域內濱溪帶可能是次級演替的初期環境。
- 四、從河段規模來看，初期整體物種數量高但2024年雨季後逐漸遞減；其中部分區域與天然河段同樣屬易受洪水影響而導致物種減少較多，因此當以河段規模來分析時物種數與天然段無差異。復

野段區域內物種均勻度雖會有變化，但除了復野後初期均勻度與其他時間差異較明顯外，復野段整體均勻度隨時間的變化與天然河段並沒有太大差異。物種豐度曲線則顯示復野段有少數物種佔據的情況；天然河段的植生群落結構則相對均衡，但在雨季後會回到次級演替初期各物種剛開始進駐的情況。

五、PCA從物種組成以及樣區分佈模式推測主要影響環境之因子。

2024年四月的PC1和PC2主要反映復野區及非復野區的植生構成差異，可以看到復野行動的初步成效。後續隨著溪流定期洪氾衝擊，影響物種構成的因子變得複雜，但每次結果至少會有一PCA軸反映區域受洪氾衝擊影響程度；樣區分佈模式在洪氾影響的PCA軸上分佈趨勢也會較為明顯。對照天然河段的分析結果，天然河段因環境和地勢較複雜，且物種數稀少，比較難以直接從物種因子推斷主要環境變因。但影響物種構成的物種數量變化可明顯看出該環境整體是容易受洪氾影響的，與前述多樣性和總個體數曲線分析結果一致。後續整合天然段和復野段的PCA，結果也顯示復野段易受洪氾影響的區域（主要為非復野區E和D2）大多時候會與天然段處在同一象限；而復野區相較之下，則比較不受洪氾影響（尤其是D1_low），植生可以繼續演替。D1_upp則較特別，雖然在復野初期植生構成與D1_low相似，後續受颱風與洪氾影響樣區曾一度被掩埋，2025年四月植生構成落在洪氾影響區；但在同年十月其部分樣區分佈卻又與D1_low同一象限，推測是由於該區河岸表面基質被掏空幾乎無植生，僅取樣到部分緩坡以上高灘地的穩定植生，這些少數植生便代表了D1_upp的主要植生構成。

- 六、承前述PCA分析結果，儘管復野區植生相對來說不易受洪氾影響，但主要影響物種大多是早期演替的外來種（兩耳草、菁芳草等），甚至有不少強勢外來種（如大花咸豐草、含羞草等）；少數影響力顯著之原生種大多在近水環境處（如竹仔菜和開卡蘆）。若大部分區域植生（D1_upp, E, D2）主要是受洪氾影響而導致多樣性降低；那未受洪氾干擾的復野區（D1_low）在物種數上的減少則有可能是外來種競爭的結果。
- 七、綜合多樣性和物種構成分析的結果，本研究所選的玉門關天然河段性質與部分復野段的區域（包括E、D2、以及D1_upp）相似，當雨季洪水事件來臨時，植生構成會大幅度受影響。雖然天然段一側河岸同樣有護岸結構，但因為使用乾砌石構造配合河道的形態變化，且從植物生長狀況推測後續應該沒有過多維護，兩岸仍然能形成較天然且形態多樣的河岸（圖 4.2-1）；反觀E區的渠道化使溪流河相與河岸形態單一。儘管這些差異未被量化納入分析，但其生態學意義是關鍵的：複雜的河相結構提供了多樣的微棲地與避難所。這賦予了天然河段群落更高的生態潛力和結構韌性，使其在洪水消退後，能夠迅速恢復，而渠道化區域的恢復潛力則可能受到棲地結構簡化的限制。
- 八、木本調查結果目前顯示三次調查下來，U型模式確實存在於D1_upp區域。該U型模式主要存在於植株密度分佈上且變動不大；其他變數如樹高和胸徑也確實有同樣的趨勢，但迴歸係數隨時間有所變動，未來該趨勢可能隨苗木增長而不復存在。透過在植株密度進行VPA來檢視可能促成該U型分佈模式的因子，解釋超過七成變異的空間模式因子仍然是最主要影響植株密度的變數；而坡度和坡向等會影響陽光照射、表面逕流等環境因子，雖

然也會與空間因子相互作用解釋約一成的變異量，但該環境因子本身僅解釋2%。由於空間因子可以極高的解釋植株密度的空間分佈，考量植株的播種是採種子撒播，植株密度分佈的不均有可能是灑播時空間分布不均、或是部分種子受溪流雨水沖刷遺失等造成的。

九、木本資料與草本資料的整合分析可以得出，D1_low區木本苗木的生長和密度增加確實會與該區域的草本多樣性以及外來種占比有負相關性。但是RDA分析結果顯示，木本苗木僅能影響約10%的植生構成；且草本物種中並沒有單一物種特別受木本苗木的影響。一可能性便是木本對草本的影響僅是苗木佔據了可使用的空間。



圖 4.2-1、玉門關天然河段河岸。箭頭為河流方向。右岸可見乾砌石結構、左岸則是天然的露頭河岸。

第二節 建議

本計畫期末階段僅就中長期建議進行闡述，如下分項敘述：

- 一、根據覆蓋度、總個體數、以及物種數的變化趨勢，可以看出在復野工程完工後物種數與覆蓋度會有增長；但2024年雨季過後，整體物種數、覆蓋度、和總個體數明顯下降且再也沒有回到初期的程度。這顯示了若要完整評估溪流復野的生態成效，至少要在完工後經歷一次雨季，將雨季洪水對植生的影響納入後，才能更好評估復野後河段植生變化的方向。
- 二、根據PCA結果顯示，該區域物種組成上有大量外來種和入侵種。理想的植生管理會希望盡可能移除外來種並以原生種取代，但易受洪氾影響的區域建議首要考量河岸穩定度。以D2為例，雖然D2左岸遍佈強勢外來種的象草群，但考量D2的左岸有觀測到被掏刷的跡象（圖 4.2-2b），且象草群有防止土壤流失的作用，在穩定河岸基礎的前提下不建議將象草群移除。此外D2的物種數也略高於D1_upp和E區受洪氾影響的區域，表示象草群可能也是部分物種在洪水沖擊時的庇護區。此外若河岸穩定下來，則高灘地的植生便有可能快速拓展。以D1_upp為例，雖然該區在2025年四月植生構成是同E、D2、及Y屬於洪氾區，但在2025年十月時植生構成則與D1_low相似，推測是由於十月該區域大部分取樣源自部分緩坡以上的穩定植生。雖然這少數的植生不應完全代表D1_low的植生構成，卻也表示若D1_low的緩坡岸重新穩固，那緩坡上的植生很可能可以迅速拓展，進一步穩定河岸（圖 4.2-2a）。

三、根據PCA分析結果，D1_low緩坡坡度較陡，不易受洪氾影響，是比較適合進行人為植生管理的環境。由於木本苗木目前影響力尚不足以大範圍左右該區域草本植生，若地主對於該區草本演替有期望的方向，可能需要適當地移除外來種。例如在雨季之前，以苗木為中心，移除苗木底下部分外來草本、改種植其他原生草本。

四、Guh et al. (2004)曾以四條南部河川下游流域（旗山溪、荖濃溪、菜寮溪、以及鹽水溪）為研究區域，得出濱溪植生的空間分佈可以反映受不同重現期影響的區域。例如重現期1.1-5年的區域，植生大部分構成為一年生草本；而喬木則可能只能存在於5-50年重現期的區域。由於種瓜溪復野過程有人為介入的影響（包含營造緩坡護岸、植樹等），植生構成受其影響而不太適合直接用前人研究結果去檢視；但未來研究方向可以同樣結合水文特性和植生構成變化，來檢視不同重現期在復野段不同區域的影響，進一步評估復野工程的成效。以D1為例，D1_upp和D1_low同樣採取營造緩坡的措施，但由於兩區域緩坡坡度不同、與上游護岸區的距離也不同，在此情況下同一重現期的洪水在經過這兩個區域時對植生所造成的影響便不同。

五、承前述意見，另一個可結合水文研究的方向，是探討復野區和未復野區銜接區域的影響。承前述D1_upp的案例，雖然D1_upp原本鋪設的堆石和礫石大多在後續雨季被沖刷帶走，但緩坡以上仍然可以維持穩定植生（圖 4.2-2a）。這可能反映雨季洪氾影響即便在同一區域，也會因空間異質性而有不同的強度表現。由於種瓜溪復野河段的上游（E）仍然屬於渠道化河道，當河流進入復野段（D1_upp）時，兩區域銜接並沒有緩衝，D1_upp的河岸會直接承受渠道河流的衝擊和水文變化；但該衝擊對濱溪帶縱向以

及橫向的影響程度，從植生狀況來判斷可能並非均質的。考量台灣未來執行溪流復野也可能有類似復野段和渠道化河段銜接的情況，該研究方向或許可以協助未來在復野過程提供不同的工法、甚至是縱向過渡帶的營造。



圖 4.2-2、2025 年十月河岸沖刷跡象。a、D1_upp 緩坡區，雖然有堆石阻擋，但上層植生處仍有部分基質被淘刷。b、D2 左岸象草群，可見象草群下方河岸有被淘刷痕跡

參考文獻

1. 林志賢、張清晏、徐弘明、方啟仲 (2012)。臺東羊橋溪生態化整治之成效探討。坡地防災學報，11 (2)，38-51。
<https://doi.org/10.29995/JSHR.201212.0004>
2. 田志仁 (2019)。利用物理性棲地品質驗證生態檢核之效益——以頓阿巴娜野溪流流域為例。土木水利，46 (4)，44-56。
[https://doi.org/10.6653/MoCICHE.201908_46\(4\).0006](https://doi.org/10.6653/MoCICHE.201908_46(4).0006)
3. 薛方杰 (2009)。以溪流狀況指數探討野溪整治護岸設計之成效——以內厝溪為例。環境與藝術學刊，7，61-89。
4. 薛方杰、周正明 (2006)。朴子溪河口生態工法實施成效研究——以溪流狀況指數評估。環境與藝術學刊，4，57-80。
5. Bendix, J., & Stella, J. C. (2013). 12.5 Riparian Vegetation and the Fluvial Environment: A Biogeographic Perspective. In *Treatise on Geomorphology* (pp. 53-74). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374739-6.00322-5>
6. Bennett, S. J., Simon, A., Castro, J. M., Atkinson, J. F., Bronner, C. E., Bliersch, S. S., & Rabideau, A. J. (2011). The Evolving Science of Stream Restoration. In *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems* (pp. 1-8).
<https://doi.org/10.1029/2011GM001099>
7. Crook, S. (2024, 12th June). Environmental Impact Assessment: A turning point in Taiwan's river management? *Taipei Times*.
<https://www.taipeitimes.com/News/feat/archives/2024/06/12/2003819217>
8. Cupertino, A., Dufour, S., & Rodríguez-González, P. M. (2024). Chasing success: A review of vegetation indicators used in riparian ecosystem restoration monitoring. *Ecological Indicators*, 166.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112371>
9. European Commission. (2021). *Biodiversity Strategy 2030. Barrier Removal for River Restoration*. P. O. o. t. E. Union.
10. Greenacre, M., Groenen, P. J. F., Hastie, T., D'Enza, A. I., Markos, A., & Tuzhilina, E. (2022). Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00184-w>
11. Gurnell, A. (2013). Plants as river system engineers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 4-25.
<https://doi.org/10.1002/esp.3397>
12. Guh, Y.-R., Zhao, W.-C., & Shieh, C.-L. (2004). Effect of Stream Hydrological Characteristics on Riparian Vegetations. *Journal of*

- Taiwan Water Conservancy*, 52(3), 12.
13. Heip, C., Herman, P., & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Oceanis*, 24.
 14. Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54(2), 427-432.
<https://doi.org/10.2307/1934352>
 15. Hung, W.-N., Chiu, Y.-F., Chen, H.-E., Liang, M.-C., Liao, W.-H., Lee, C.-H., Chiu, Y.-Y., Chung, W.-T., Sheue, C.-R., Chesson, P., & Chen, S.-C. (2024). Nature-based Solutions for River Rewilding in Zhongguakeng Creek, Nantou. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 55(3), 107-121.
[https://doi.org/10.29417/JCSWC.202409_55\(3\).0001](https://doi.org/10.29417/JCSWC.202409_55(3).0001)
 16. Kimbrough, L. (2024). Largest dam removal ever, driven by Tribes, kicks off Klamath River recovery. *Mongabay*.
<https://news.mongabay.com/2024/10/largest-dam-removal-ever-driven-by-tribes-kicks-off-klamath-river-recovery/>
 17. Kiss, T., & Fehérváry, I. (2023). Increased Riparian Vegetation Density and Its Effect on Flow Conditions. *Sustainability*, 15(16).
<https://doi.org/10.3390/su151612615>
 18. Kuo., C.-W., Peng., K.-Y., An., S.-P., & Chen., S.-C. (2017). Riparian vegetation river morphology classification vegetation succession. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48(2), 76-85. [https://doi.org/10.29417/JCSWC.201706_48\(2\).0002](https://doi.org/10.29417/JCSWC.201706_48(2).0002)
 19. Lepš, J., & Šmilauer, P. (2003). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9780511615146>
 20. Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., Meiners, T., Muller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S. A., Sonnemann, I., Waschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecol Evol*, 4(18), 3514-3524.
<https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
 21. Nagendra, H. (2002). Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*, 22(2), 175-186. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
 22. Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 28(Volume 28, 1997), 621-658.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
 23. Naiman, R. J., Décamps, H., McClain, M. E., & Likens, G. E. (2005).

- 4 - Structural Patterns. In R. J. Naiman, H. Décamps, M. E. McClain, & G. E. Likens (Eds.), *Riparia* (pp. 79-123). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012663315-3/50005-8>
24. Peres-Neto, P. R., Legendre, P., Dray, S., & Borcard, D. (2006). Variation partitioning of species data matrices: Estimation and comparison of fractions. *Ecology*, 87(10), 2614-2625.
[https://doi.org/Doi 10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2614:Vposdm\]2.0.Co;2](https://doi.org/Doi%2010.1890/0012-9658(2006)87[2614:Vposdm]2.0.Co;2)
25. Roswell, M., Dushoff, J., & Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130(3), 321-338.
<https://doi.org/10.1111/oik.07202>
26. SEPA. (2023). Will the river do the work? A practical guide for assessing river recovery potential and directing when passive river restoration measures can be used to allow rivers to self-heal. In S. E. P. Agency (Ed.).
27. Wohl, E., Angermeier, P. L., Bledsoe, B., Kondolf, G. M., MacDonnell, L., Merritt, D. M., Palmer, M. A., Poff, N. L., & Tarboton, D. (2005). River restoration. *Water Resources Research*, 41(10). <https://doi.org/10.1029/2005wr003985>
28. Wohl, E., Lane, S. N., & Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51(8), 5974-5997. <https://doi.org/10.1002/2014wr016874>
29. Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T. O. M., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S. D., Tockner, K., Weber, C., & Peter, A. (2007). A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology*, 52(4), 752-769.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01740.x>

附錄

附錄一、 期初中審查意見暨回復辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
期初報告內容暨審查意見：		
一	建議以種瓜溪附近的天然河道為對照組，進行植生調查，以檢視野溪復野的效應。	感謝委員建議。研究團隊已於種瓜溪上游近玉門關處，找到一人為擾動極低之天然河道，並已於此處進行一次濱溪草本植生調查。位置詳情和取樣範圍請參照第二章第一節
期中報告內容暨審查意見：		
一	請於期末報告說明調查所得之濱溪植生動態分析，如何運用於相關治理工程	感謝委員建議。相關應用已於建議章節陳述。
二	依圖3.1-1甘特圖，非復野段植生調查於3月份進行一次，僅做一次調查如何了解變化趨勢，請說明第二次進行之時點	感謝委員建議，本團隊已於 2025 年十月初於天然河段進行第二次調查。並將兩次調查彙整反映天然河段植生的動態
三	為節能減碳盡一份微薄心力，期末報告請以雙面列	感謝委員建議。謹遵辦理

項次	審查意見	回覆辦理情形
	印	
四	第三章內PCA分析，各物種貢獻值如何得出應可多加著墨	感謝委員建議。分析方法有說明各物種貢獻值如何得出，但不同 PC 軸內各物種的貢獻值如何分配，主要取決於資料本身結構。換言之並不是使用者手動設定來得出貢獻值，而是透過特徵值分解「讓資料自己說明自身結構」；使用者再根據所呈現的結構去做後續推論。
五	有關PCA分析第一次調查正、負值定義為左、右岸、水域偏好，第二以及第三次調查維佐、右岸，以及上、下游，其中定義差異應多加說明。	感謝委員建議。已重新根據分析結果調整部分用詞與相關定義。
六	加強交代樣區設計、調查時序與分析方法細節，並在摘要與結果中加入關鍵數值及圖表（如PCA結果、物種豐度曲線），以提升結果的透明度與說服力。	感謝委員建議。謹遵辦理

項次	審查意見	回覆辦理情形
七	針對入侵種優勢與木本植生空間分佈成因提出更深入分析，並討論復野段與天然河段差異的關鍵因素與後續管理策略，強化研究的應用價值。	感謝委員建議。相關分析和結果已補齊；也已於建議處補上未來研究和應用方向。
期末成效評核表之審查意見：		
一	討論經整治河道若能天然河道濱溪相的溪變得定性描述外可再提供研究之定量成果，以探討整治效益的分析改進。	感謝委員建議。研究團隊曾嘗試使用羅文琴(2007)所建立之「河溪物理性棲地環境評估表」去量化天然河段與復野河段的差異，進而去和植生資料做結合。但在實際使用上，研究團隊認為該評量表部分項目（如植生項目評分與標準界定）在測量尺度上難以滿足本研究之需求，該評量表可能尚須與其他專家討論並進行微調方能適用。
二	復育的時間建議可以拉長觀測，如6年。承上，復育的種類調查可分析討論，另可增加多處調查研究，增加實用度及可信度。	感謝委員建議。本研究對於復野後短期的變化已暫時完成，後續仍會維持一定頻率之調查。

項次	審查意見	回覆辦理情形
三	報告人所提之植物與濱溪生態對於生態工程之實踐具有相當之貢獻度。	感謝委員肯定。
四	點截法和樣方法在穿越線調查監測時，特別是針對環境梯度甚大的河道橫斷面而言，會有何差異？	感謝委員提問。由於樣方法在本研究中僅使用於復野後的濱溪緩坡帶，並無將範圍延伸至河道；且樣方法主要用於木本調查，故本研究暫且無法針對兩者做合適的比較。但若以未來在類似案例作植生調查來看，點截法在穿越線穿越河道的情況下，可以較全面地記錄棲地和植生種類變化的轉折點；樣框法的優勢則可以有效捕捉樣框範圍內所有出現物種，但視調查尺度可能無法反映細微的環境變化。
五	因區域生物地理因素可能也對植物重播遷(colonization)有影響，有無對整治河道往天然河道植被組成改變所需的時間的評估？	感謝委員建議。根據調查結果來說，復野段已有部分區域植生如天然河段般會受洪水影響。只是天然河段在高灘地有演替晚期樹種且遮蔭也較多；而目前復野段大多物種仍屬演替早期物種，且缺乏遮蔭。若希望以遮蔭來做為另一個影

項次	審查意見	回覆辦理情形
		響濱溪植生之因子，則根據Bourgeois 等人(2016)在加拿大的研究結果，明顯的草本植群組成變化至少要十年，或者遮蔭率達到40%。台灣作為熱帶國家，理論上這個時長應該可以縮短，但未來可能要將洪犯的影響納入其中。
六	可觀察，復野前後及天然河道的短期，植生綠化趨勢，對於治理成效與生態環境之影響有實際參考趨勢，可持續長期觀察以驗證工程治理環境變遷的成效。	感謝委員建議。雖然部分觀察無量化，但根據先前照片紀錄來說，復野前主要是象草及小花蔓澤蘭等強勢入侵種為主；復野後則觀測到受洪犯影響之復野區在雨季沖刷後，主要會是青箱、大花咸豐草、含羞草等物種先生長。目前草本物種構成大致上仍維持在此類組成並無太大變化。天然河道在洪氾後物種構成變化較大，有些雨季前記錄到的優勢物種會在下一季直接被汰換掉。

附錄二、採樣點座標

樣區編號	東距	北距
種瓜復野段（2025 年四月）		
1'	238276	2651933
2'	238263	2651939
3'	238252	2651947
4'	238184	2651978
5'	238177	2651986
6'	238175	2651991
7'	238171	2651993
8'	238166	2651996
9'	238160	2652002
10'	238156	2652006
11'	238152	2652013
12'	238150	2652016
13	238146	2652031
14	238142	2652035
15	238143	2652043
16	238148	2602034
17	238152	2652060
18	238153	2652067
19	238158	2652063
20	238168	2652080

21	238172	2652090
22	238174	2652091
23	238176	2652096
24	238181	2652096
25	238184	2652101
26	238188	2652107
27	238190	2652111
28	238172	2652132
29	238182	2652153
30	238194	2652182
玉門關（2025 年三月）		
Y1	238509	2651181
Y2	238455	2651140
Y3	238488	2651025
Y4	238541	2651039

附錄三、草本推論性統計結果

表一、2024 年四月草本推論性統計事後檢定結果。使用 Tukey's HSD。*表示結果為顯著

region	Hill-Shannon				Simpson evenness			
	E. difference	CI	Adjust. p-value	Cohen's d	E. difference	CI	Adjust. p-value	Cohen's d
D1_upp-D1_low	-1.55	-5.23~2.14	0.662	-0.48	<0.01	-0.11~0.13	0.998	0.07
D2-D1_low	-1.46	-6.99~4.07	0.887	-0.45	-0.17	-0.35~0.01	0.071	-1.62
E-D1_low*	-9.01	-14.50~-3.48	<0.001	-2.82	0.10	-0.08~0.28	0.442	0.95
D2-D1_upp	0.09	-5.74~5.92	1.000	0.02	-0.18	-0.37~0.01	0.073	-1.71
E-D1_upp*	-7.47	-13.3~-1.64	0.008	-2.34	0.09	-0.10~0.28	0.559	0.88
E-D2*	-7.56	-14.70~-0.41	0.035	-2.37	0.27	0.03~0.51	0.019	2.58

表二、2025 年四月草本 Simpson evenness 指數事後檢定結果。使用 Wilxcon rank-sum test。

region	W statistic	n ₁ -n ₂	Adjust p-value	Effect size (r)
D1_upp- D1_low	25	15-9	0.073	0.51(great)
D2-D1_low	23	15-3	1	0.01(small)
E-D1_low	8	15-3	0.582	0.40(moderate)
D2-D1_upp	24	9-3	0.384	0.56(great)
E-D1_upp	10	9-3	1	0.19(small)
E-D2	1	9-3	1	0.63(great)

表三、2025 年十月草本推論性統計事後檢定結果。*表示結果為顯著；**表示兩結果為顯著

region	Hill-Shannon (Wilcoxon rank-sum test)				Simpson evenness (Games-Hall post-hoc test)			
	W statistic	n ₁ -n ₂	Adjust. p-value	Effect size (r)	E. difference	CI	Adjust. p-value	Cohen's d
D1_upp-D1_low**	114	15-8	0.003	0.73(large)	0.24	0.14~0.34	<0.001	2.53
D2-D1_low*	29	15-3	1	0.18(small)	-0.15	-0.28~-0.03	0.016	-1.59
E-D1_low*	44	15-3	0.029	0.60(large)	0.14	-0.24~0.52	0.431	1.09
D2-D1_upp*	3	8-3	0.413	0.58(large)	-0.39	-0.52~-0.26	0.002	-10.08
E-D1_upp	7	8-3	1	0.29(small)	-0.10	-0.56~0.36	0.588	-1.13
E-D2	8	3-3	1	0.62(large)	0.29	-0.13~0.71	0.113	3.17

表四、復野段和天然段草本推論性統計事後檢定結果。*表示單一結果為顯著；**表示兩結果為顯著

	Hill-Shannon (Games-Hall post-hoc test)			Simpson evenness (Tukey HSD)		
region	E. difference (CI)	p-value	Cohen's d	E. difference (CI)	p-value	Cohen's d
24Apr-J 24Nov-J**	-2.45 (-4.78, -0.12)	<0.001	-0.86	0.10 (-0.01, 0.23)	0.013	0.74
24Apr-J 25Apr-J**	-4.20 (-6.49, -1.91)	<0.001	-1.40	0.12 (0.02, 0.23)	0.010	0.88
24Apr-J 25Oct-J**	-5.78 (-7.97, -3.59)	<0.001	-2.04	0.21 (0.12, 0.32)	<0.001	1.46
24Apr-J 25Mar-Y	-3.99 (-10.91, 2.94)	0.267	-1.24	0.10 (-0.12, 0.32)	0.783	0.69
24Apr-J 25Oct-Y*	-6.15 (-8.66, -3.63)	<0.001	-2.34	0.32 (0.10, 0.32)	<0.001	2.23
24Nov-J 25Apr-J	-1.74 (-3.49, 0.00)	0.050	-0.87	0.02 (-0.10, 0.14)	0.996	0.14
24Nov-J 25Oct-J*	-3.33 (-4.93, -1.72)	<0.001	-1.88	0.10 (-0.02, 0.23)	0.167	0.71
24Nov-J 25Mar-Y	-1.54 (-8.91, 5.83)	0.876	-0.66	-0.01 (-0.23, 0.22)	0.999	-0.05
24Nov-J 25Oct-Y*	-3.70 (-5.88, -1.51)	0.002	-2.59	0.21 (-0.0, 0.44)	0.083	1.49

25Apr-J 25Oct-J*	-1.58 (-3.10, -0.06)	0.037	-0.80	0.08 (-0.02, 0.19)	0.240	0.57
25Apr-J 25Mar-Y	0.21 (-7.21, 7.62)	1.000	0.08	-0.03 (-0.25, 0.19)	0.999	-0.19
25Apr-J 25Oct-Y	-1.95 (-4.10, 0.20)	0.079	-1.16	0.19 (-0.02, 0.41)	0.123	1.34
25Mar-Y 25Oct-J	-1.79 (-9.36, 5.79)	0.798	-0.77	0.11 (-0.11, 0.33)	0.699	0.77
25Mar-Y 25Oct-Y	-2.16 (-9.51, 5.20)	0.699	-1.04	0.22 (-0.07, 0.52)	0.253	1.54
25Oct-J 25Oct-Y	-0.37 (-2.51, 1.77)	0.981	-0.27	0.11 (-0.11, 0.33)	0.696	0.77

附錄四、草本 PCA 貢獻度與對應縮寫之物種名

復野段 2024 April

spe_abr	Scientific name	俗名	PC1	PC2
Agsm(E)	<i>Asystasia gangetica</i> subsp. <i>micrantha</i> (Nees) Ensermu	小花寬葉馬偕花	0.023	- 0.002
AhM	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	紫花藿香薷	- 0.061	0.064
ApRB	<i>Azolla pinnata</i> R. Br.	滿江紅	- 0.017	0.253
As(RBeD)	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br. ex DC.	蓮子草	- 0.059	0.030
Bavr(BRBeM)	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i> (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert	大花咸豐草	- 0.294	0.031
CaL	<i>Celosia argentea</i> L.	青葙	- 0.058	- 0.024
Cc(C)	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	加拿大蓬	0.001	0.042
Cc(JM)	<i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	克非亞草	- 0.088	0.051
Cc(SM)	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	昭和草	- 0.091	- 0.011
Cd(P)	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	狗牙根	- 0.187	- 0.273
CdBf	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	竹仔菜	- 0.174	0.376
CiR	<i>Cyperus involucratus</i> Rottb.	輪傘莎草	- 0.025	- 0.146
Co(RK&HR)	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.	香澤蘭	- 0.026	0.018
Cp(ePB)	<i>Centrosema plumieri</i> (Turp. et Pers.) Benth.	白花山珠豆	0.191	- 0.080
Cpvo(DP)	<i>Crotalaria pallida</i> var. <i>obovata</i> (G. Don) Polhill	黃野百合	- 0.075	- 0.045
CrD	<i>Cleome rutidosperma</i> DC.	平伏莖白花菜	0.005	0.001

CtL	<i>Clitoria ternatea</i> L.	蝶豆	- 0.024	- 0.003
CtN	<i>Colocasia tonoi</i> Nakai	紫芋	- 0.038	- 0.087
DdB	<i>Drymaria diandra</i> Blume	菁芳草	- 0.105	0.179
Ds(S	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	馬唐	- 0.230	- 0.046
Ec(PB	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	稗	- 0.016	0.200
Ei(G	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	牛筋草	- 0.146	- 0.196
Ep(L	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	鱧腸	0.000	0.137
Esvj(fM	<i>Emilia sonchifolia</i> var. <i>javanica</i> (Burm. f.) Mattf.	紫背草	0.009	- 0.010
Et(PBeR&S	<i>Eragrostis tenella</i> (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.	鯽魚草	- 0.007	0.023
Eu(NeS	<i>Eragrostis unioloides</i> (Retz.) Nees ex Steud.	牛虱草	0.001	0.042
Fa(V	<i>Fimbristylis aestivalis</i> (Retz.) Vahl	小畦畔飄拂草	- 0.003	0.053
HIC&S	<i>Hydrocotyle leucocephala</i> Cham. & Schltdl.	白頭天胡荽	- 0.006	0.018
Hs(M	<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.	葎草	- 0.027	- 0.039
Hv(R	<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle	水王孫	- 0.024	0.092
Io(KG	<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl.	野牽牛	- 0.006	0.051
KbR	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	短葉水蜈蚣	- 0.022	0.024
L×CP	<i>Ludwigia ×taiwanensis</i> C.I. Peng	台灣水龍	- 0.033	- 0.024
LaW	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.	青萍	- 0.052	0.260
LcL	<i>Lantana camara</i> L.	馬櫻丹	0.022	0.008

南投縣種瓜溪溪流復野後濱溪植生動態

Lh(DE	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	細葉水丁香	- 0.100	0.181
Lo(PR	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	水丁香	- 0.034	0.028
McvaS	<i>Momordica charantia</i> var. <i>abbreviata</i> Ser.	短角苦瓜	- 0.017	- 0.002
MdCWeS	<i>Mimosa diplotricha</i> C. Wright ex Sauvalle	美洲含羞草	- 0.302	- 0.207
Mg(fHf	<i>Merremia gemella</i> (Burm. f.) Hallier f.	菜藥藤	- 0.020	- 0.030
MmK	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	小花蔓澤蘭	0.493	0.187
MpL	<i>Melothria pendula</i> L.	垂果瓜	0.117	- 0.052
Ms(JR	<i>Mariscus sumatrensis</i> (Retz.) J. Raynal	磚子苗	- 0.029	- 0.058
MsA	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	芒	0.106	- 0.010
PbL	<i>Polygonum barbatum</i> L.	毛蓼	- 0.025	0.053
PcPB	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius	兩耳草	- 0.004	0.170
PcRK&HR	<i>Praxelis clematidea</i> R.M. King & H. Rob.	貓腥草	- 0.084	0.246
Pfvh(eT&PK	<i>Passiflora foetida</i> var. <i>hispida</i> (DC. ex Triana & Planch.) Killip	毛西番蓮	- 0.017	- 0.020
PhL	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	水蓼	0.005	0.093
Pm(M	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.	山葛	- 0.020	- 0.045
PmJ	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	大黍	0.003	0.053
PpB	<i>Polygonum pulchrum</i> Blume	絨毛蓼	- 0.038	- 0.009
PpS	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	象草	0.521	- 0.252
PuL	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	葉下珠	0.000	0.032
PvV	<i>Phragmites vallatoria</i> Veldkamp	開卡蘆	0.111	0.339
RsL	<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	石龍芮	-	0.033

			0.013	
Sp(KS	<i>Setaria palmifolia</i> (J. Koenig) Stapf	棕葉狗尾草	0.041	- 0.019
Sp(MCT	<i>Spirodela punctata</i> (G. Mey.) C.H. Thomps.	紫萍	- 0.033	0.052
SrL	<i>Sida rhombifolia</i> L.	金午時花	- 0.018	0.010
SsL	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	甜根子草	0.020	- 0.007
SsR	<i>Scleria sumatrensis</i> Retz.	印尼珍珠茅	- 0.006	0.012
StReM	<i>Scirpus ternatanus</i> Reinw. ex Miq.	大莞草	- 0.037	- 0.065
VrH	<i>Vigna reflexopilosa</i> Hayata	曲毛豇豆	- 0.113	- 0.202
Wt(H	<i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitchc.	南美蟛蜞菊	- 0.018	0.003

復野段 2024 November

spe_abr	Scientific name	俗名	PC1	PC2
Agsm(E	<i>Asystasia gangetica</i> subsp. <i>micrantha</i> (Nees) Ensermu	小花寬葉馬偕花	0.290	0.124
AhM	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	紫花藿香薷	0.289	0.220
As(RBeD	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br. ex DC.	蓮子草	0.034	0.179
Bavr(BRBeM	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i> (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert	大花咸豐草	- 0.300	- 0.224
Ca(S	<i>Cyrtococcum accrescens</i> (Trin.) Stapf	散穗弓果黍	- 0.007	0.041
CaL	<i>Celosia argentea</i> L.	青葙	0.383	- 0.189
CdBf	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	竹仔菜	0.127	- 0.489

CiL	<i>Cyperus iria</i> L.	碎米莎草	- 0.019	- 0.100
CiR	<i>Cyperus involucratus</i> Rottb.	輪傘莎草	- 0.029	- 0.083
CpB	<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	山珠豆	- 0.038	- 0.042
Cpvo(DP	<i>Crotalaria pallida</i> var. <i>obovata</i> (G. Don) Polhill	黃野百合	- 0.002	- 0.038
CrD	<i>Cleome rutidosperma</i> DC.	平伏莖白花菜	- 0.065	- 0.201
DdB	<i>Drymaria diandra</i> Blume	菁芳草	- 0.105	- 0.017
DsR	<i>Digitaria setigera</i> Roth	短穎馬唐	- 0.314	- 0.079
DvL	<i>Digitaria violascens</i> Link	紫果馬唐	- 0.047	- 0.007
Ei(G	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	牛筋草	- 0.026	- 0.047
Ep(L	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	鱧腸	- 0.138	- 0.024
Io(KG	<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl.	野牽牛	- 0.176	- 0.038
ItL	<i>Ipomoea triloba</i> L.	紅花野牽牛	- 0.068	- 0.155
LaW	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.	青萍	- 0.068	- 0.155
Lh(DE	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	細葉水丁香	- 0.183	- 0.122
MdCWeS	<i>Mimosa diplotricha</i> C. Wright ex Sauvalle	美洲含羞草	- 0.057	- 0.076
Mg(fHf	<i>Merremia gemella</i> (Burm. f.) Hallier f.	菜藥藤	- 0.051	- 0.035
MmK	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	小花蔓澤蘭	- 0.097	- 0.029
MpL	<i>Mimosa pudica</i> L.	含羞草	- 0.403	- 0.018

PbT	<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb.	糠稷	- 0.002	0.159
PcPB	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius	兩耳草	- 0.214	0.305
PcRK&HR	<i>Praxelis clematidea</i> R.M. King & H. Rob.	貓腥草	- 0.049	0.288
PhL	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	水蓼	- 0.020	0.072
Pm(M	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.	山葛	0.003	0.229
PpS	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	象草	0.334	0.288
PvV	<i>Phragmites vallatoria</i> Veldkamp	開卡蘆	- 0.023	- 0.070
SaBf	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	細葉金午時花	- 0.045	- 0.060
SaM	<i>Solanum americanum</i> Mill.	光果龍葵	- 0.014	0.006
SsL	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	甜根子草	- 0.106	- 0.070
Tc(C&S	<i>Torenia crustacea</i> (L.) Cham. & Schltdl.	藍豬耳	- 0.034	0.012
VrH	<i>Vigna reflexopilosa</i> Hayata	曲毛豇豆	- 0.116	0.282

復野段 2025 April

spe_abr	Scientific name	俗名	PC1	PC2
Ac(PB	<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	地毯草	- 0.223	- 0.034
AhM	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	紫花藿香薷	- 0.459	- 0.109
Ap(G	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	空心蓮子草	- 0.041	- 0.014
Bavr(BRBeM	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i> (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert	大花咸豐草	0.375	- 0.433
Bp(O	<i>Bryophyllum pinnatum</i> (Lam.) Oken	落地生根	- 0.072	0.002
CaL	<i>Celosia argentea</i> L.	青葙	- 0.009	0.441
Cc(JM	<i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	克非亞草	- 0.053	- 0.014
CdBf	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	竹仔菜	0.079	- 0.031
CdL	<i>Cyperus distans</i> L.f.	疏穗莎草	- 0.156	- 0.067
Cg(K	<i>Clinopodium gracile</i> (Benth.) Kuntze	光風輪	0.023	- 0.039
CiR	<i>Cyperus involucratus</i> Rottb.	輪傘莎草	0.058	- 0.034
Cpvo(DP	<i>Crotalaria pallida</i> var. <i>obovata</i> (G. Don) Polhill	黃野百合	0.070	- 0.055
CrD	<i>Cleome ruidosperma</i> DC.	平伏莖白花菜	0.035	0.004
DdB	<i>Drymaria diandra</i> Blume	菁芳草	- 0.030	- 0.086
DsR	<i>Digitaria setigera</i> Roth	短穎馬唐	0.069	- 0.121
Ei(G	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	牛筋草	- 0.069	- 0.025
Ii(M	<i>Ipomoea indica</i> (Burm.) Merr.	銳葉牽牛	- 0.024	- 0.009

In(R	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	牽牛花	- 0.029	- 0.013
Io(KG	<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl.	野牽牛	0.195	- 0.085
IsF	<i>Indigofera spicata</i> Forssk.	倒卵葉木藍	0.012	- 0.035
JIJGeL	<i>Juncus leschenaultii</i> J. Gay ex Laharpe	錢蒲	- 0.009	0.038
KbR	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	短葉水蜈蚣	- 0.035	0.018
Lh(DE	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	細葉水丁香	- 0.035	0.018
MdCWeS	<i>Mimosa diplotricha</i> C. Wright ex Sauvalle	美洲含羞草	- 0.038	0.161
MmK	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	小花蔓澤蘭	- 0.148	0.026
MpL	<i>Mimosa pudica</i> L.	含羞草	0.232	- 0.191
Pb(Hvb	<i>Persicaria barbata</i> (L.) H.Hara var. <i>barbata</i>	毛蓼	- 0.052	- 0.014
PcPB	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius	兩耳草	0.378	- 0.188
PcRK&HR	<i>Praxelis clematidea</i> R.M. King & H. Rob.	貓腥草	0.112	- 0.186
Pm(L	<i>Pilea microphylla</i> (L.) Liebm.	小葉冷水麻	0.010	- 0.009
Pm(M	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.	山葛	- 0.005	0.000
PpRB	<i>Polygonum plebeium</i> R. Br.	假扁蓄	- 0.018	- 0.003
PpS	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	象草	- 0.253	- 0.079
PsR	<i>Panicum sarmentosum</i> Roxb.	藤竹草	- 0.059	- 0.009
PvV	<i>Phragmites vallatoria</i> Veldkamp	開卡蘆	- 0.018	- 0.003

Pz(B&RB	<i>Pouzolzia zeylanica</i> (L.) Benn. & R. Br.	霧水葛	0.007	- 0.021
RsL	<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	石龍芮	0.012	- 0.035
SaM	<i>Solanum americanum</i> Mill.	光果龍葵	- 0.027	- 0.019
SdL	<i>Scoparia dulcis</i> L.	野甘草	0.024	- 0.004
SnL	<i>Solanum nigrum</i> L.	龍葵	0.010	0.129
SsL	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	甜根子草	0.146	- 0.057
StS	<i>Solanum torvum</i> Sw.	萬桃花	0.011	0.021
VrH	<i>Vigna reflexopilosa</i> Hayata	曲毛豇豆	0.412	0.631

復野段 2025 October

spe_abr	Scientific name	俗名	PC1	PC2
Agsm(E)	<i>Asystasia gangetica</i> P.J. Bergius	小花寬葉馬偕花	-0.086	-0.028
AhM	<i>Ageratum houstonianum</i> Schumach.	紫花藿香薊	-0.004	-0.049
AvL	<i>Amaranthus viridis</i> Burm. f.	野莧菜	0.050	0.025
Bavr(BRBeM)	<i>Bidens alba</i> Blume	大花咸豐草	-0.702	-0.262
Ca(S)	<i>Cyrtococcum accrescens</i> (Trin.) Stapf	散穗弓果黍	0.070	0.054
CaL	<i>Celosia argentea</i> (G. Don) Exell	青葙	-0.339	-0.019
CdBf	<i>Commelina diffusa</i> (Burm.) Merr.	竹仔菜	0.135	0.085
CdL	<i>Cyperus distans</i> Nakai	疏穗莎草	0.007	-0.018
CiR	<i>Cyperus involucratus</i> (Lour.) Merr.	輪傘莎草	0.033	-0.116
Cpvo(DP)	<i>Crotalaria pallida</i> L.	黃野百合	-0.011	0.035
DdB	<i>Drymaria diandra</i> L.	菁芳草	0.122	0.134
DsR	<i>Digitaria setigera</i> Veldkamp	短穎馬唐	-0.002	-0.033
IhJ	<i>Indigofera hendecaphylla</i> (L.) P. Beauv.	穗花木藍	0.030	-0.036
Ii(M)	<i>Ipomoea indica</i> Rottb.	銳葉牽牛	0.054	0.043
Io(KG)	<i>Ipomoea obscura</i> Jacq.	野牽牛	-0.036	0.043
Le(HH)	<i>Ludwigia erecta</i> Kunth	美洲水丁香	-0.043	0.041
Lh(DE)	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> L.f.	細葉水丁香	0.068	0.127
MlpL.	<i>Melothria pendula</i> L.	垂果瓜	0.046	0.089
MmK	<i>Mikania micrantha</i> L.	小花蔓澤蘭	0.010	0.075
MmpL.	<i>Mimosa pudica</i> Roth	含羞草	-0.117	-0.168
Oc(PB)	<i>Oplismenus compositus</i> Mill.	竹葉草	0.043	0.034
PcPB	<i>Paspalum conjugatum</i> var. <i>obovata</i> (G.	兩耳草	0.506	-

南投縣種瓜溪溪流復野後濱溪植生動態

	Don) Polhill			0.731
Pl(D	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre	早苗蓼	-0.027	0.003
Pm(M	<i>Pueraria montana</i> (L.) Ker Gawl.	山葛	0.052	0.080
PpS	<i>Pennisetum purpureum</i> (L.) H. Hara	象草	0.215	0.399
PuN	<i>Pseudosasa usawai</i> Hayata	包籜箭竹	0.054	0.111
PvV	<i>Phragmites vallatoria</i> subsp. <i>micrantha</i> (Nees) Ensermu	開卡蘆	0.045	0.305
SsL	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	甜根子草	-0.001	- 0.024
UIL	<i>Urena lobata</i> L.	野棉花	0.005	- 0.007
VrH	<i>Vigna reflexopilosa</i> var. <i>radiata</i> (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert	曲毛豇豆	-0.056	- 0.109

天然河段 2025 March and October

Spe_abr	FormattedSpeciesForExcel	俗名	PC1	PC2
AcL	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	紫花藿香薊	0.000	0.036
AhM	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	藿香薊	- 0.267	0.286
Bavr(BRBeM	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i> (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert	大花咸豐草	- 0.216	0.288
CaL	<i>Celosia argentea</i> L.	青葙	0.000	0.036
Cc(JM	<i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	克非亞草	- 0.243	0.233
CdBf	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	竹仔菜	- 0.160	- 0.220
Cr(S	<i>Callerya reticulata</i> (Benth.) Schot	老荊藤	- 0.021	- 0.274
Lj(S	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	海金沙	- 0.131	- 0.572
Mf(WeKS&L	<i>Miscanthus floridulus</i> (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb.	香楠	- 0.245	0.268
MmK	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	小花蔓澤蘭	0.000	0.036
MzHvz	<i>Machilus zuihoensis</i> Hayata var. <i>zuihoensis</i>	五節芒	0.000	0.036
OcD	<i>Oxalis corymbosa</i> DC.	紫花酢漿草	0.000	0.036
Pb(Hvb	<i>Persicaria barbata</i> (L.) H.Hara var. <i>barbata</i>	毛蓼	- 0.091	0.066
Pc(K	<i>Pogonatherum crinitum</i> (Thunb.) Kunth	金絲草	0.189	0.143
Pm(M	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.	大葛藤	0.098	0.208
PpS	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	象草	- 0.312	- 0.053
PvV	<i>Phragmites vallatoria</i> Veldkamp	開卡蘆	0.658	0.177
QgTvg	<i>Quercus glauca</i> Thunb. var. <i>glauca</i>	青剛櫟	- 0.021	- 0.274
SsL	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	甜根子草	- 0.129	0.093
TcL	<i>Triadica cochinchinensis</i> Lour.	白柏	0.000	0.036
UIL	<i>Urena lobata</i> L.	野棉花	- 0.091	0.066
Ur(&ADM	<i>Urceola rosea</i> (Hook. & Arn.) D.J. Middleton	酸藤	0.172	0.037

南投縣種瓜溪流復野後濱溪植生動態

VrH	<i>Vigna reflexopilosa</i> Hayata	曲毛豇豆	0.151	- 0.237
Wt(H	<i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitchc.	南美蟛蜞菊	0.243	0.052

附錄五、木本分析相關前提檢測

表一、木本和草本關聯性前提檢測

Variables	Runs test	Shapiro test
Woody sapling		
Avg_BA	$P = 0.367$	$P < 0.001$
Avg_height	$P = 1$	$P = 0.293$
Sapling density	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Herbaceous		
Avg_Shannon	$P = 0.228$	$P = 0.002$
Avg_exotic	$P = 1$	$P < 0.001$