

計畫編號：113 保發-5.1-保-01-06-001(11)

以農塘、水田、水渠連結之坡地微水網的
生態系服務與系統韌性評估
**Assessment of Ecosystem Services and
Resilience of Interconnected Small Water
Bodies in Slopeland**
(成果報告書)

執行單位：國立中興大學

執行期間：113 年 2 月 7 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳樹群 特聘教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國一一三年十二月

(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)



以農塘、水田、水渠連結之坡地微水網的生態系服務 與系統韌性評估

摘要

本計畫針對針對「淺山溪流、農塘與水田網絡」，簡稱坡地微水網進行探討，分析網絡特徵、空間分布、節點與連結的叢集狀態所致的空間因子，是否會對以水砂減災、農業生產以及生物多樣性群聚為主的生態系功能與服務造成影響。本計畫以苗栗通宵溪、新北枋腳溪等兩個子集水區進行農塘周邊之水棲昆蟲、植被與地景組成進行調查，並設置水位、水溫、大氣溫溼度等感測器，以監測農塘周邊的微環境狀態，試建立6口農塘的基礎生態調查資料、評估農塘的生態健康度影響因子與空間關係。配合遙測影像分析，繼而討論如何透過強化農塘、水田、水渠之連結來增加子集水區尺度的生態系服務。

水棲昆蟲功能群調查與環境因子蒐集的成果顯示農塘本身與周邊的環境組成，對於水棲昆蟲的分類群和功能群群聚狀況會有所影響。換言之，本計畫成果顯示農塘作為水棲昆蟲播遷網絡的節點，有其品質與可營造潛力的差異。準此，本計畫建議未來進行子集水區尺度之水資源盤點與評估時，應有更細緻的調查成果協助規劃者判斷農塘的生態健康度，並依據生態健康度的評估建立更貼近子集水區現況的自

然解方方案。

關鍵詞：坡地微水網、網絡分析、生態系功能、生態系服務、自然解
方



Assessment of Ecosystem Services and Resilience of Interconnected Small Water Bodies in Slopeland

Abstract

This project defines and develops assessment strategies for "stream, agricultural pond, and paddy network in low elevated area", referred to as Interconnected Small Water Bodies in Slopeland. We analyze whether network characteristics, spatial distribution, clustering of nodes and connections, and spatial factors impact the ecological functions and services primarily related to sediment reduction, agricultural production, and biodiversity. The project conducts investigations on the aquatic insects, vegetation, and landscape composition around the ponds in two sub-watershed areas—Miaoli Tongxiao Creek and New Taipei Fangjiao Creek. It involves setting up sensors for water level, water temperature, and atmospheric humidity to monitor the micro-environment around the ponds, aiming to establish basic ecological data for six ponds, assess factors affecting pond ecological health, and their spatial relationships. Combined with remote sensing image analysis, the discussion extends on how to enhance the connections between ponds, paddies, and channels to augment ecological services at the sub-watershed scale. The results from the functional group survey of aquatic insects and environmental factor collection indicate that the composition of ponds and their surrounding environments impacts the classification and clustering of aquatic insect functional groups. In other words, the findings show that ponds, as nodes in the network for aquatic insect dispersal, vary in quality and potential for habitat creation. Accordingly, this project recommends that future inventories and assessments of water resources at the sub-watershed scale should involve more detailed survey results to help planners assess the ecological health of ponds and develop natural solution plans more closely aligned with the current conditions of the sub-watershed.

Keywords: Interconnected Small Water Bodies in Slopeland, network analysis, ecosystem functions, ecosystem services, Nature-based Solutions

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	IV
表次.....	V
圖次.....	V
第一章 緒論	1-1
第一節 文獻回顧	1-2
第二節 計畫概要	1-6
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	2-10
第三章 工作交付項目	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	4-2
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附-1
附錄一、審查意見暨回覆辦理情形	附-1
附錄二、集水區 2023 年四季次衛星影像與 NDWI 運算成果	附-9
附錄三、水棲昆蟲調查成果總表	附-17
附錄四、植物調查名錄	附-22

表次

表 3.2-1 枋腳溪集水區第一季各地景類別 NDWI 檢定成果	3-14
表 3.2-2 枋腳溪集水區第二季各地景類別 NDWI 檢定成果	3-14
表 3.2-3 枋腳溪集水區第三季各地景類別 NDWI 檢定成果	3-15
表 3.2-4 枋腳溪集水區第四季各地景類別 NDWI 檢定成果	3-15
表 3.2-5 通宵溪集水區各季間 NDWI 檢定結果	3-16
表 3.2-6 水棲昆蟲調查努力量一覽表	3-17
表 3.2-7 第一次農塘水深狀態調查描述資料	3-21
表 3.2-8 第二次農塘水深狀態調查描述資料	3-21
表 3.2-9 農塘周邊地景與面積指標	3-25
表 3.2-9 農塘維管束植物調查成果	3-26

圖次

圖 1.2-1 通宵溪集水區	1-7
圖 1.2-2 枋腳溪集水區	1-8
圖 2.1-1 植物調查工作照片與樣區設置示意圖	2-8
圖 2.1-2 水棲昆蟲調查工作照片	2-10
圖 2.2-1 工作執行步驟圖	2-10
圖 3.1-1 本計畫甘特圖	3-1
圖 3.2-1 枋腳溪子集水區調查農塘分布	3-2
圖 3.2-2 通宵溪子集水區調查農塘分布	3-3
圖 3.2-3 通宵溪集水區 1986-1987 年農塘分布	3-6
圖 3.2-4 通宵溪集水區 2023 年農塘分布	3-7
圖 3.2-5 枋腳溪子集水區農塘間最短水文路徑簡圖	3-8

圖 3.2-6 通宵溪子集水區農塘間最短水文路徑簡圖	3-9
圖 3.2-7 兩試區農塘間最短水文路徑直方圖	3-10
圖 3.2-8 兩試區農塘間最短水文路徑密度圖	3-10
圖 3.2-9 各季節間農塘與不同地景類別之 NDWI 值盒狀圖	3-12
圖 3.2-10 水棲昆蟲調查攝食功能群比例圖	3-18
圖 3.2-11 水棲昆蟲調查棲地利用功能群比例圖	3-18
圖 3.2-12 通宵溪子集水區兇池地景單元分類圖	3-22
圖 3.2-13 通宵溪子集水區田鰲池與柳樹塘地景單元分類圖	3-23
圖 3.2-14 枋腳溪子集水區無名水池與下埤地景單元分類圖	3-23
圖 3.2-15 枋腳溪子集水區黑底埤地景單元分類圖	3-24
圖 3.2-16 感測器模組 A 配置示意圖	3-27
圖 3.2-17 感測器模組 B 配置示意圖	3-28
圖 3.2-18 感測器模組 C 配置示意圖	3-28
圖 3.2-19 通宵溪研究試區-柳樹塘	3-30
圖 3.2-20 通宵溪研究試區-兇池	3-30
圖 3.2-21 枋腳溪研究試區-下埤	3-30
圖 3.2-22 枋腳溪研究試區-黑底埤	3-31
圖 3.2-23 兇池水位監測記錄	3-32
圖 3.2-24 柳樹塘水位監測記錄	3-32
圖 3.2-25 下埤水位監測記錄	3-33
圖 3.2-26 黑底埤水位監測記錄	3-33
圖 3.2-27 攝食功能群與科層級 NMDS 分析成果	3-34



第一章 緒論

在淺山地區，坡地農塘、灌溉溝渠、水管、甚至水田本身，構成調度與調節水資源的重要景觀與網絡(謝傳鎧，2017)。以溝渠與水管連結農塘、水田等節點，構成本計畫所指之「坡地微水網」。本計畫將坡地微水網視為在地社群在長期透過人為經營、改造自然窪蓄、野溪與坑溝，以為農業與居住使用的結果，但仍因社群傳統、生活經驗累積與人口分布變遷，而保持了一定程度的自然棲地與其生態系服務。這些微小的水文網絡，除了供應山區農業與聚落用水外，亦可提供生物遷徙途徑與棲地(謝佳倫等，2015；李宜龍，2015)。坡地微水網中的農塘、水田亦有滯洪(詹勳全與陳彥廷，2021)與沉砂減淤(水土保持局，2020)的潛力，屬於農村水保署的重要治理標的，也是近年間保育治理與農村再生資源投入的核心目標。近年間主流政策推動，強調多元發展自然解方(Nature-based Solutions)以調適日漸增加的氣候變遷風險，故各機關均積極探討自然解方的發展策略與可能性。農業部於112年10月通過「農業部農村發展及水土保持署推動韌性坡地補助試辦方案」(以下簡稱韌性坡地方案)，期透過非結構性方案建立個別山坡地的災害緩衝空間，進而在降低工程方案介入強度時提昇社群防減災能力，是為推動自然解方的重要政策工具。

然而，在為坡地微水網規劃自然解方策略時，何種空間區位與環境因子，會需要主辦機關優先挹注資源進行整體規劃與方案推廣？此一議題的釐清，需要先瞭解坡地微水網的性質與網絡對內外部因子變遷的反應，如何影響坡地微水網內的生物多樣性組成、農業生產力、水資源供給與土砂災害防減能力，進而影響社群應對環境變遷的系統

韌性，方能建立未來推動自然解方與生態友善工作的規劃與檢討機制。

此外，當代臺灣的灌溉系統與維護灌溉系統的組織，受人力離散且節點逐漸減少的趨勢影響，坡地微水網之維繫與調適性管理模式，以及不同的網絡特性對社群韌性的助益仍未有定論。當前臺灣在推動調適或自然解方時，缺乏明確的生態系服務評估邏輯與機制，藉以描述集水區的健康度(healthiness)或健全度(integrity)，進而回應自然解方的核心提問：自然解方所運用的哪些生態系功能與服務，是保育治理工作所需掌握與強化的？欲推動的自然解方方案，對於既有的生態系功能，有哪些正面或負面的影響？。

第一節 文獻回顧

一、生態系功能、服務與韌性

在 2022 年聯合國環境大會中，已決議修正自然解方定義為「採取保護、保育、修復、永續利用和管理自然或改變過的陸地、淡水、沿海和海洋生態系等的行動，有效地、調適地因應社會、經濟和環境挑戰，同時增益人類福祉、生態系服務和韌性以及生物多樣性」(UNEP, 2022)。準此，自然解方的官方倡議已明確提及保全生態系服務、以及維持或營造產出良好服務的生態系之重要性。

生態系服務被廣為引用的定義，是「直接提供或間接滿足人類需求的產品和服務的自然過程與組成的能力」(Millennium Ecosystem Assessment, 2005，轉引自邱祈榮，2020)，進一步可以被定義為生態系的過程、功能、結構等機制，主動或被動地產生人類福祉的現象(Fisher, 2009)。多數討論將生態系服務區分為支持(supporting)、供給(provisioning)、調節(regulating)、文化(cultural)等四個分類(Millennium

Ecosystem Assessment, 2005)。供給、調節與文化服務被認為與人類福祉直接相關，故又被稱為終端服務(final services)，而支持服務則被認為是用以產出或維繫終端服務的生態系功能、結構、或機制(Riis et al., 2020)。

Chapin 等人回顧生物多樣性對生態系功能的影響，指出不同物種與特徵(trait)的組成會決定功能，且至少會透過直接的生物性調控或間接的非生物性調控機制運作(Chapin et al., 2000)。Hooper 等人進一步解釋生態系功能包括生態系的性質(properties)、產出(goods)與服務(services)等概念，且特別著重在生態系的性質，如不同的生態資源庫(pools)、能量與物質流動的速率等，且這些性質，可透過功能特徵(functional traits)或功能群(functional groups)所測量與量化(Hooper et al., 2005)。Alberti 將生態系功能視為維持生物長時間生存所需的自然過程，以援引景觀生態學(landscape ecology)方法，探討都市化產生的景觀變遷對生態系功能的影響(Alberti, 2005)。若將生物代換為人類，這些維繫人類生存的生態系功能就可被指認為生態系服務。生態系功能與服務在系統中扮演的關鍵角色，是在複雜的背景環境(指景觀的不同生態系單元)與社會之間傳遞服務與產品(goods)(Wu, 2013)。Wu 認為生態系服務是景觀生態學與永續景觀科學(sustainable landscape science)的交集，也指出都市與都市化對於景觀永續性的影響(Wu, 2013)。

社會生態系統的韌性，參考 Folke 等人(2010)的討論，指的是它們在面對擾動時能夠保持發展而不失去其核心特性與特質的能力。其中包括了適應性(adaptability)，指系統中行動者影響系統韌性的能力，以及可轉換性(transformability)，即當現有系統因內外部壓力變得不可

持續時，轉換系統特質成為一個全新的系統之潛力。在適應性的討論上，Lansing 與 Kremer(1993)透過降雨、蟲害、決策機制、稻作期程與農民行為等參數，模擬峇里島山區的 Subak 灌溉系統，發現隨著模擬時間增長，平均水稻產量會逐漸穩定，且灌溉時序逐漸顯示出特定的空間尺度群聚性，進而建議生態－社會系統有某種自我組織(self-organizing)的特性。它們也模擬發生災害事件後，系統有逐漸恢復初始條件下的水稻產量的趨向，說明 Subak 作為一種去中心化的複雜系統(complex system)，會在自我調節下逐步復原

二、坡地微水網

農塘與溝渠是淺山地區關鍵的水資源地景與水域生物棲地(謝傳鎧，2017)，也對於坡地滯洪有一定程度的效益(Quinn et al., 2013; Nicholson et al., 2020)。亦有研究指出集水區上游的小型池塘，可提供相當的生態系服務並提昇社群承受氣候變遷的韌性(Sikka, et al., 2018; Thornhill, et al., 2018; Nicholson, et al., 2019; Koide, et al., 2021)。本計畫參考 Ostrom(2009)，將坡地微水網定義為一種包含了各類子系統的社會生態系統(social-ecological systems)。就此而言，坡地微水網之性質、連結關係與社群管理，應有助於提昇供使用社群與管理者應對環境災害或污染的韌性。近年間，已有不少研究強調坡地農塘在區域尺度防減災效益(林忠明，2013；池翰斌，2019；詹勳全與陳彥廷，2021)，亦有研究開始以水文模擬探討農塘或水田的管理措施與空間分布，在不同重現期距降雨下的滯洪效益(侯佳秀等，2023；簡傳彬等，2020)，發現農塘在單獨妥適管理或與水田串連時，均可降低系統的出流量。

Ho 等人(2023)利用模擬河流的枝狀網絡作為案例，探討網絡結構，如分支方法、網絡尺度大小，都可能影響到溪流內的整體食物網結構。

雖然不是探討農塘間的連結體系，但亦可指引坡地微水網的探討方向，如農塘與其他靜水域棲地間的距離、連結方式等等，都可能影響整體的生物多樣性或生態系功能結構。

既然農塘與輸送水的網絡在生物多樣性保育與農業水資源管理中都有重要性，故在保育與生產主管機關間產生政策目標間的競合。這類衝突可透過釐清農塘的生態系功能(ecosystem functions)，協助主管機關推動合宜、跨領域並符合當代環境趨勢的解方(Convention of Biological Diversity, 2023)。

三、地景生態與保育政策

Alberti 指出都市生態(ecology of city)是多個組成都市的自然、社會元素互動而浮現的獨特現象(emergent phenomena)，都市是複雜的生態單元(complex ecological entity)，以及都市是全球尺度的重要生態作用力(ecological forcing function)等三個性質，並提出趨力(drivers)、模式(patterns)、過程(processes)與影響/變遷(effects/changes)的研究架構(Alberti et al., 2003)。Alberti 等人探討型態(urban form)、土地利用強度(intensity)、土地利用異質性(heterogeneity)和連結度(connectivity)等都市化表徵對塊區(patch)組成與結構、乃至於生態系功能之影響(Alberti, 2005)。她們將華盛頓州 Puget Sound 地區的景觀組成區分為商業、混合使用、單一家庭(single family residential)與多個家庭混合(multi family residential)等四種不同都市化狀態，調查四種狀態的景觀指標、底棲無脊椎生物與鳥類，說明不同都市化狀態的塊區結構跟破碎化(fragmentation)程度，對於生態系功能的影響強度有別(Alberti, 2005)。

Riva 等人在一篇近期的回顧文章中，主張在有高度土地利用的地

區裡，確保小區塊的自然棲地被妥善的保育，且小區塊間可以有功能性的連結(functionally connected)以形成有效的廊道，在地景尺度上有相當重要的價值(Riva et al., 2024a)。另一篇 Riva 等人近期針對瑞士阿爾卑斯山的山區草地研究也指出，在高強度的人為擾動地區，受保育的區塊受到擾動因素的影響，進而導致保育區塊之個體大小不一定能反應其生物多樣性保育保育成效；反之，小區塊的棲地保育，在這類環境中更可能推動較多的生物多樣性保全(Riva et al., 2024b)。

第二節 計畫概要

一、工作目標

本計畫以苗栗縣通霄鎮(通宵溪集水區)與新北市貢寮區(枋腳溪集水區)兩區域為對象(圖 1-1、圖 1-2)，建立坡地微水網之基礎資料與評估模型。此二集水區的水文網絡密集、長期仍維持農業生產、且亦位於林業保育署國土綠網保育軸帶的坡地微水網作為探討對象，調查擇定試區中的農塘、水田、灌溉水渠與管路之分布與連結狀態；蒐集具代表性節點內的水文、生態、水資源管理與農業生產資料，建立網絡空間模式，進而提出監測與評估坡地微水網生態系服務的指標；最後評析坡地微水網生態系服務與坡地韌性方案等政策工具間的競合關係，提出評估自然解方策略共效益的機制。

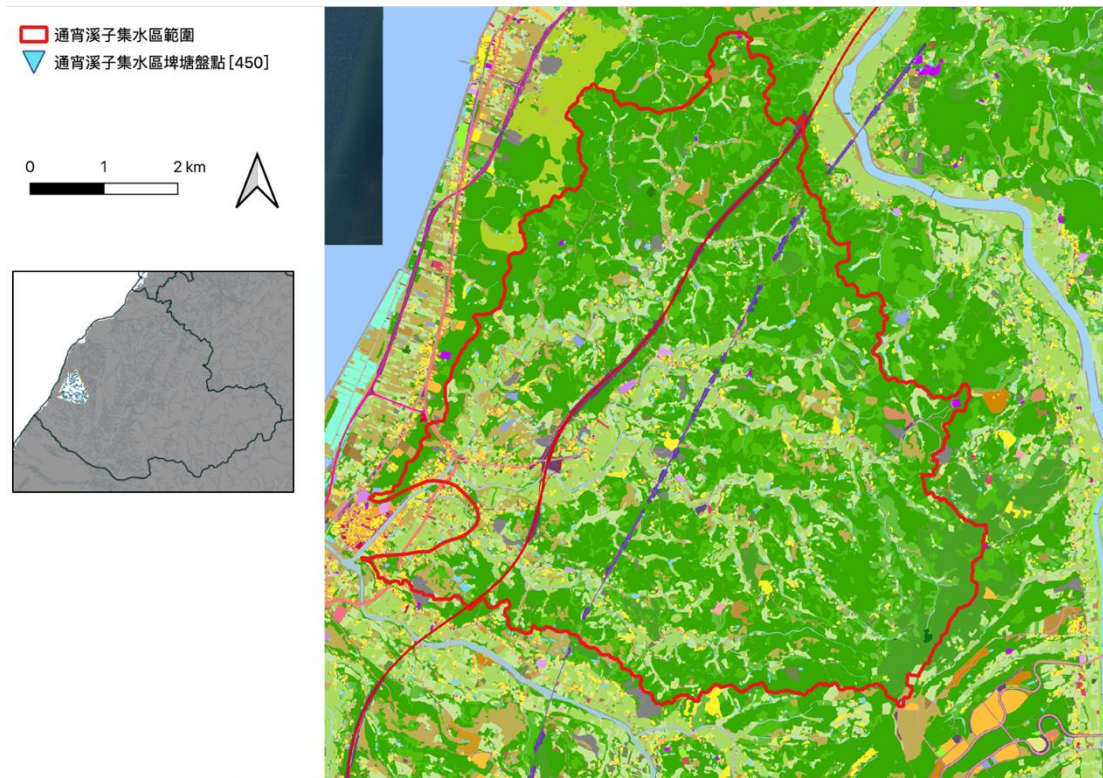


圖 1.2-1 通宵溪集水區

資料來源：本計畫

二、研究提問

本計畫設定研究提問為：(1)坡地微水網生產的關鍵生態系服務與韌性應如何定義與評估？(2)坡地微水網的節點、網絡型態特徵、水文條件等因子對於水資源管理、生物多樣性資源與水砂災害防減功能的影響為何？準此，本計畫設定以下工作取徑以回答上述提問：

- (一) 定義與實際操作坡地微水網的分析架構；
- (二) 以具體的坡地微水網案例，檢視網絡分析與網絡結構於集水區尺度，輔助保育治理規劃之潛力與限制；
- (三) 探討適宜在坡地微水網尺度運用之生態指標，包括遙測與現地調查等，並評估這些指標的優點與限制。

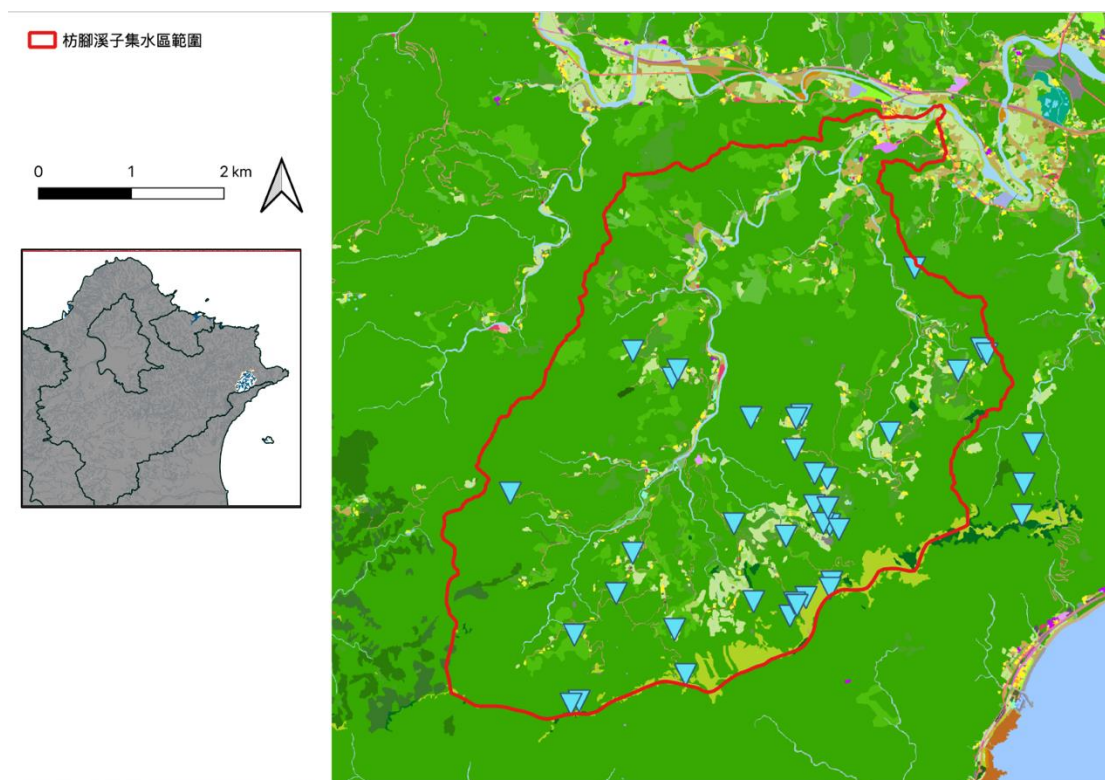


圖 1.2-2 枋腳溪集水區

資料來源：本計畫

三、預期成果

- (一) 初步建立坡地微水網的評估方法，包括定義分析範圍、文獻回顧分析、生物多樣性與防災潛力等分析架構。
- (二) 釐清在地社群承受氣候與土地變遷所致災害情境中，坡地微水網可扮演的積極調適功能與可推動的自然解方策略。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

一、遙測與地景分析

(一) 遙測資料蒐集與分析

1. 遙測影像蒐集

本計畫採用 PlanetScope 的 Superdove 衛星影像進行坡地微水網(以農塘為主)的水資源與地景空間分析。故透過 PlanetScope 提供的線上介面選取可完整含蓋集水區範圍的衛星影像，並以雲覆蓋率小於等於集水區 10%進行篩選。本計畫以季度為遙測影像分析的時間單元，但因臺灣各地降雨日數均多、雲覆率亦高，故每季可選擇之衛星影像有限。

Superdove 衛星影像之軌道高度為 475-525 公里，地表解析度為 3 公尺，有 8 個反射波段，包括 Coastal Blue(431-452nm)、Blue(465-515nm)、Green I(513-549nm)、Green(547-583 nm)、Yellow(600-620 nm)、Red(650-680 nm)、Red-Edge(697-713 nm)、NIR(845-885 nm)。考量到分析之計算時間成本、資料可取得性以及衛星重訪率，Superdove 影像除了沒有 SWIR 波段可進一步提昇水體的判釋成果之外，均較符合本研究的需求。

2. 水體指數計算

農塘為坡地微水網的重要節點，但因為農塘分布在廣闊的集水區範圍內，且涉及私有地地主意願、無道路抵達、過往水位或水體資料稀闕、調查成本高等等問題，並不容易進行全面的調查與評估。故本計畫嘗試以高解析度多光譜衛星影像進行農塘水體狀況的評估，以加

速取得資料的進程。McFeeters(1996)提出 NDWI(Normalized Difference Water Index, 常態化差異水體指數)指數以萃取遙測影像中的水體範圍，此一指標以綠光與近紅外光(near-infrared red, NIR)計算 $(\text{綠光}-\text{近紅外光})/(\text{綠光}+\text{近紅外光})$ 之數值，比較水面的反射波段(以綠光為主)與植被的反射波段(以近紅外光為主)間的關係，進而評估水體狀態。

3.坡地微水網結構分析

坡地微水網的空間結構複雜，又因多數農塘、水田間的渠道、水管不易掌握，故本研究將優先利用地景分析資料建立農塘、水田等節點的分布資訊，進而評估節點間的距離。並配合遙測分析與水體狀態評估，建立不同年份與季節間的節點分布與狀態資料。

本計畫亦將配合農塘取樣樣點，進行無人機測繪、水深測量與現勘，若有可能，記錄節點與節點間的連結(坑溝、水圳或水管)、周圍正射影像與水深、邊坡植被、田埂或邊坡形式、出入流工的形式與管理措施等資料，作為輔助分析坡地微水網性質之資料，以試著將節點類型化，進而推進後續模擬分析。標定集水區內的各個坡地微水網後，將比較各個網絡的節點數、連結數、最遠距離、以及各個網絡內節點的連結度、節點中心性等性質，以說明試區內坡地微水網的連結特性。

(二) 地景變遷分析

1.農塘輪廓數位化

本研究蒐集歷年農林航測所之像片基本圖，以進行農塘與水池邊界的數位化。目前已蒐集並數位化通宵溪集水區在 1986/1987(因兩鄰近年份組成完整的集水區範圍)與 2022 年份，枋腳溪集水區 2022 年之像片基本圖的農塘與水池範圍，以建立後續各類遙測分析具體的空

間範疇。

2.地景分類與指標計算

本研究採用 PlanetScope Superdove 衛星全部 8 個波段與波段比進行人工分類，以枋腳溪子集水區主，將建立森林、草生地、建成地區、水體、農塘、裸露地與水田等 7 個土地利用地景類別之資料集，以利用 2023 年的 SPOT 衛星進行資料分析。

另外，本計畫以數位化之農塘輪廓為範圍，往外拓寬 30 公尺。計算此一範圍內的水域(不包括林下的溪溝)、森林、草生地與農耕/聚落等地景面積比與地景尺度的邊緣密度(edge density)。此外，亦針對每一個數位化年度，計算各個農塘間的歐氏最近鄰距離平均值(ENN_MN)。

二、生態調查方法

(一) 農塘取樣方法

利用前述標定通宵溪與枋腳溪集水區內之農塘位置與範圍，本研究優先考量易於抵達且可進行採樣之農塘，以利執行調查工作與溝通，各挑選一個較具代表性的農塘進行後續調查。

本計畫進行 UAV 測繪、水深測量與生態調查，並配合生態調查時間，以標尺測量農塘最長軸與最短軸水深(考慮農塘規模，每軸於行進間每 1 至 5m 施測一次)，以評估農塘之每季水位高程與農塘兩軸之水深變化率。根據過往經驗，本計畫定義 6-10 月為東北角之枯水期、苗南的豐水期，12-5 月則為東北角之豐水期與苗南的枯水期。考量豐枯水期之埤塘入流與儲水利用差異，擬於豐枯水期各進行一次生

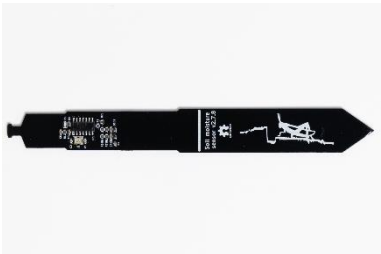
態調查，共計 2 季次。

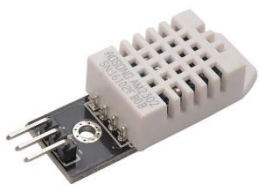
(二) 環境因子監測

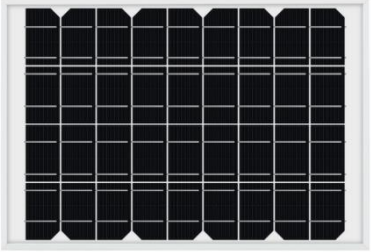
選擇適當農塘，如有地主，取得其同意後架設感測器，測量水位、水溫、氣溫、相對濕度與土壤濕度，每 10 分鐘收集 1 筆資料並儲存於記憶卡中。本計畫自行開發之水溫、氣溫、相對濕度與土壤濕度感測器模組使用材料如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 感測器監測模組開發材料

項目	規格參數
Arduino Nano 主板	微控制器：ATmega328P
	工作電壓：5V
	輸入電壓（建議）：7-12V
	數字 I/O 引腳：14 個（其中 6 個可作 PWM 輸出）
	模擬輸入引腳：8 個
	DC 電流（每 I/O 引腳）：40mA
	Flash 記憶體：32KB（ATmega328P），其中 2KB 用於 bootloader
	SRAM：2KB（ATmega328P）
Micro SD 卡模組	EEPROM：1KB（ATmega328P）
	時鐘速度：16MHz
	供電電壓：3.3V - 5V

	通訊接口：SPI 支持存儲卡類型：Micro SD, Micro SDHC 模組尺寸：通常約 42mm x 24mm x 3mm
土壤含水量感測器	供電電壓：3.3V - 5V 待機狀態：1.1mA @ 5V，0.7mA @ 3.3V 測量狀態：14mA @ 5V，7.8mA @ 3.3V 平均電流：4.5mA @ 5V，2.8mA @ 3.3V 工作溫度範圍：0°C - 85°C 濕度讀數漂移：全溫度範圍內 <10% I2C 地址：預設 0x20（十六進制） 通訊介面：I2C
	DS3231 實時時鐘模組 電源電壓：2.3V 至 5.5V 電流消耗： 工作模式：最大 3.5mA 電池備援模式：2μA 時間精度：±2ppm(0°C 至 +40°C)，±3.5ppm (-40°C 至 +85°C) 時間保持：至 2068 年，包括閏年計算 接口類型：I²C（400kHz Fast Mode） 溫度傳感器精度：±3°C（範圍內） 工作溫度範圍：-40°C 至 +85°C 封裝：8 引腳 SOIC
	

	尺寸：4.9mm x 3.9mm x 1.5mm
環境溫濕度模組	供電電壓：3.3V 至 6V 工作電流：最大 2.5mA 溫度測量範圍：-40°C 至 +80°C 溫度測量精度：±0.5°C 濕度測量範圍：0% 至 100% RH 濕度測量精度：±2% RH (0-80% RH) 信號輸出：單總線 (One-Wire) 響應時間：2 秒 分辨率：溫度：0.1°C；濕度：0.1% RH 尺寸：15.1mm x 25mm x 7.7mm 重量：2.4g
	
水溫模組	供電電壓：3.0V 至 5.5V 溫度測量範圍：-55°C 至 +125°C 溫度測量精度：±0.5°C 在 -10°C 至 +85°C 之間 分辨率：9 至 12 位元可選 (預設 12 位) 接口：單總線 (One-Wire) 響應時間：500ms 以內 防水型號：可用於液體或潮濕環境
	
太陽能板	最大功率 (Pmax)：10W

	工作電壓 (V_{mp}) : 18V 工作電流 (I_{mp}) : 0.56A 開路電壓 (V_{oc}) : 21.6V 短路電流 (I_{sc}) : 0.62A 尺寸：通常約 350mm x 250mm x 18mm 重量：約 1kg 電池類型：多晶矽 轉換效率：高達 17% 接線盒：IP65 等級防水接線盒 框架材料：鋁合金框架
---	---

資料來源：本計畫製作

(三) 濱水帶植物多樣性調查

環繞農塘，於每口調查農塘的消落帶(高水位與低水位間的區域)至岸頂間區域，依據長短軸區分成四象限後，每象限隨機設立 3 座 1*1 公尺的樣方，除枋腳溪子集水區無名水池因佔地較小僅執行 6 個樣方外，其餘農塘都完整執行了 12 個樣方。於每季調查維管束植物之物種組成、各物種覆蓋度與樣方的開闢程度。結合所有樣方資料，計算夏農歧異度指標(Shannon-Weiner's Index)，下式中 p_i 為物種 i 之覆蓋度佔總覆蓋度之比例， S 為總物種數。

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$



圖 2.1-1 植物調查工作照片與樣區設置示意圖

(四) 水棲昆蟲調查

於每季進行 1 次水棲昆蟲調查，考量農塘大小，於每個農塘之最長、短軸各採集 5-10 網底質，並沿軸以細網目方網(寬 40cm，長 30cm，網目號為 30)沿路撈行，隨即掏洗及挑除殘枝落葉(王正安，2022)。大型的水棲昆蟲直接記錄分類群及數量後就地野放；不易鑑定的小型物種則在進一步掏洗後，置於含 75%酒精溶液的採樣袋中保存，帶回室內進行鑑定。辨識至科以將樣本歸類至攝食功能群(functional feeding group)與棲地利用功能群(habitat use group) (Merritt et al., 2008)，參表 2-。辨識完成後統計個體數，並計算各埤塘的不同攝食功能群與棲地利用功能群比例。此外，也就各個調查農塘統計科層級的豐富度與計算夏農歧異度指標。

表 2.1-2 攝食功能群類別簡介

攝食功能群	中文名稱	說明
Scrapers	刮食者	以刮食方式取食底質表面生長之附著藻
Shredders	碎食者	以嚼食、鑽食或掘食方式取食大型植物活體組織、分解中的落水枝條或粗顆粒有機質(CPOM, 粒徑>1mm)。
Filtering collectors	濾食性採食者	以特化口器或製造濾網等濾食方式取食水中懸浮的細顆粒有機質(FPOM, 粒徑<1 mm)。
Gathering collectors	集食性採食者	以收集沉積於溪流底質表面的細顆粒有機質為食。
Predators	捕食者	以獵捕其他水生動物為食

資料來源：Merritt et al., 2008

表 2.1-3 水棲昆蟲棲地利用功能群分類項目與說明

棲地利用功能群	中文名稱	說明
Burrowers	穴居者	會鑽入溪流或水池的細小沉積物內或植物莖、葉或根中棲息。
Clingers	黏附者	擁有堅固的巢或軀體扁平等身體特徵，來黏附於溪流淺灘或石頭與水流交際之表面。
Sprawlers	匍匐者	棲息在細小沉積物等基質表面，並保持身體表面無泥沙覆蓋。
Climbers	攀附者	會於水生植物或碎屑碎片表面上移動與棲息。
Swimmers	游泳者	於靜水或流水域環境中游泳移動，不過通常會在短暫游泳以外的時間緊貼底質表面或水生植物上。
Plankton	浮游者	漂浮在開闊的靜水域水面以獲取氧氣和食物，無法抵抗水流。
Divers	潛泳者	以擺動後足等方式在水中游泳且須返回水面換氣。通常會在水生植物等水下物體上攀附或爬行，並在攝食或受到驚擾時會潛水和游泳。
Skaters	滑行者	在水面上滑行移動，捕食受困在水表的生物。

資料來源：Merritt et al., 2008



圖 2.1-2 水棲昆蟲調查工作照片

三、資料分析方法

本計畫除地景指標計算以外的所有空間資訊工作，包括數位化、空間分析、遙測指標計算與對遙測影像取樣等，均採用 QGIS 3.28(QGIS.org, 2024)進行。統計檢定、地景指標計算使用 RStudio 介接 R 語言進行，R 版本為 4.3.1，採用套件(package)則於提及時引用。

第二節 工作執行步驟

本計畫工作執行步驟如圖 2.2-1 所示。

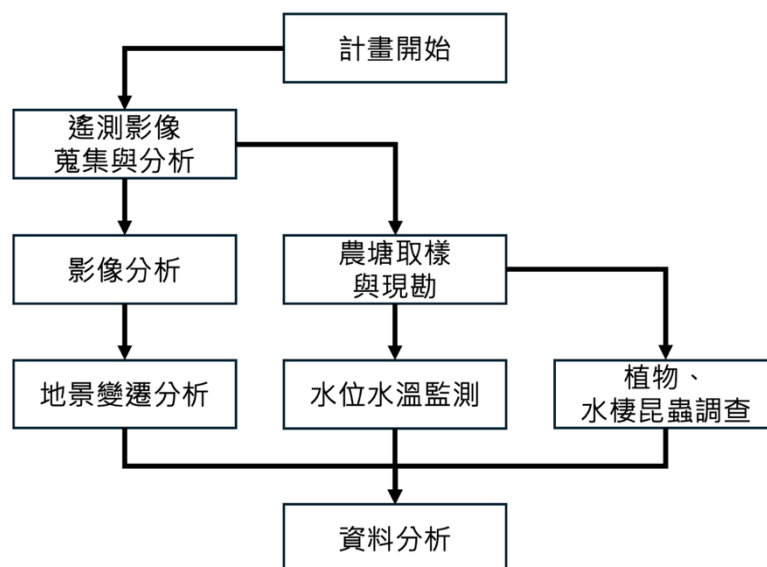


圖 2.2-1 工作執行步驟圖

資料來源：本計畫製作

第三章 工作交付項目

第一節 計畫甘特圖

本計畫甘特圖如圖 3.1-1 所示。

113年	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
遙測與地景分析											
遙測資料蒐集與分析											
地景變遷分析											
生態調查											
農塘取樣與現勘											
水位與水溫觀測											
濱水帶植物調查											
水棲昆蟲調查											
資料分析與報告撰寫											

圖 3.1-1 本計畫甘特圖

第二節 計畫交付項目

一、研究試區背景資料蒐集

(一) 新北市貢寮枋腳溪子集水區

枋腳溪子集水區位於新北市貢寮區，屬於雙溪集水區的一部分，最高側位於集水區西、南側與宜蘭縣頭城鎮接鄰的區域，枋腳溪集水區約 25.527 平方公里，以森林、農地為主要的土地利用組成。此集水區歷來的水棲昆蟲調查努力量集中在山區的水田(邱士杰，2014；李宜龍，2015；廖勛凱，2016)。

本研究考慮調查可及性、樣區周邊植被狀況與長期監測配合可能，選擇黑底埤(HD)、下埤(XP)與無名水池(UP)三口農塘或水池作為監測標的，分布位置如圖。

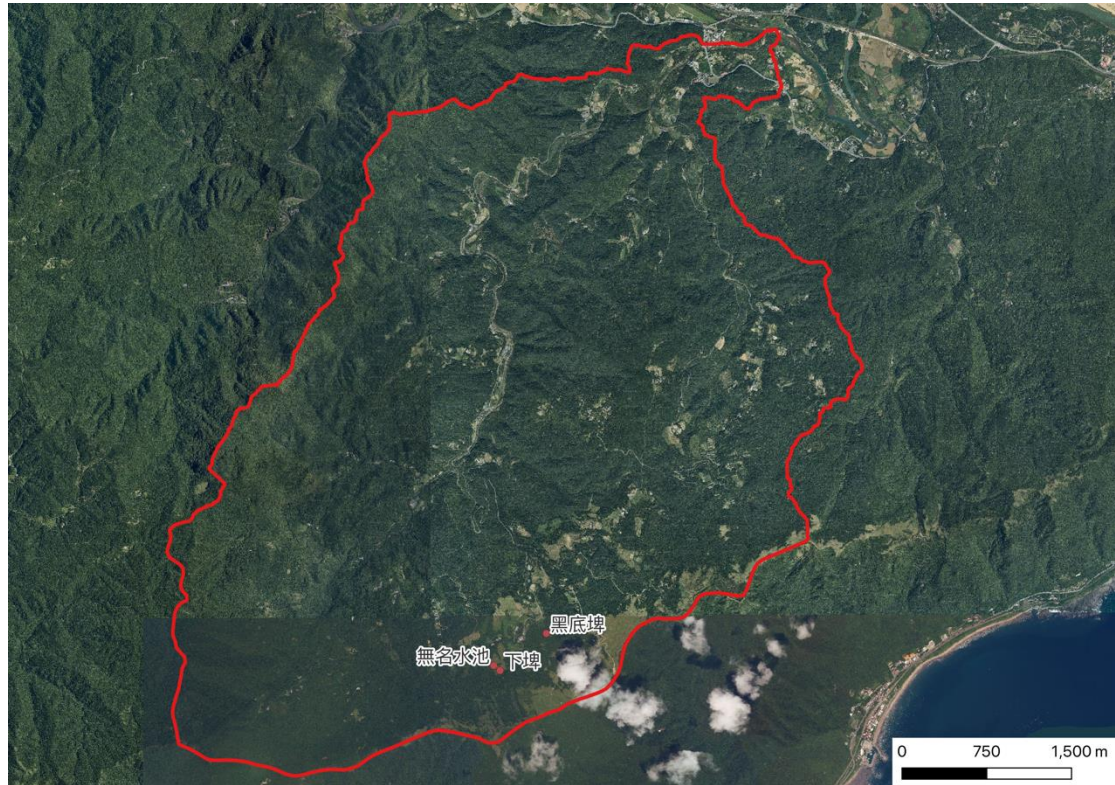


圖 3.2-1 枋腳溪子集水區調查農塘分布

資料來源：本計畫

(二) 苗栗縣通宵通宵溪子集水區

通宵溪子集水區位於苗栗縣通宵鎮，為一東向西側降低的集水區，此一區域歷年來有相當的水棲昆蟲調查努力量(交通部高速公路局，2016；王正安，2022；林業保育署新竹分署，2024)。通宵溪子集水區面積約 43.720 平方公里，土地利用組成為森林、農地等。

本研究考慮調查可及性、樣區周邊植被狀況與長期監測配合可能，選擇兇池(XC)、田鰲池(TB)與柳樹塘(LS)三口農塘作為監測標的，分布位置如圖。

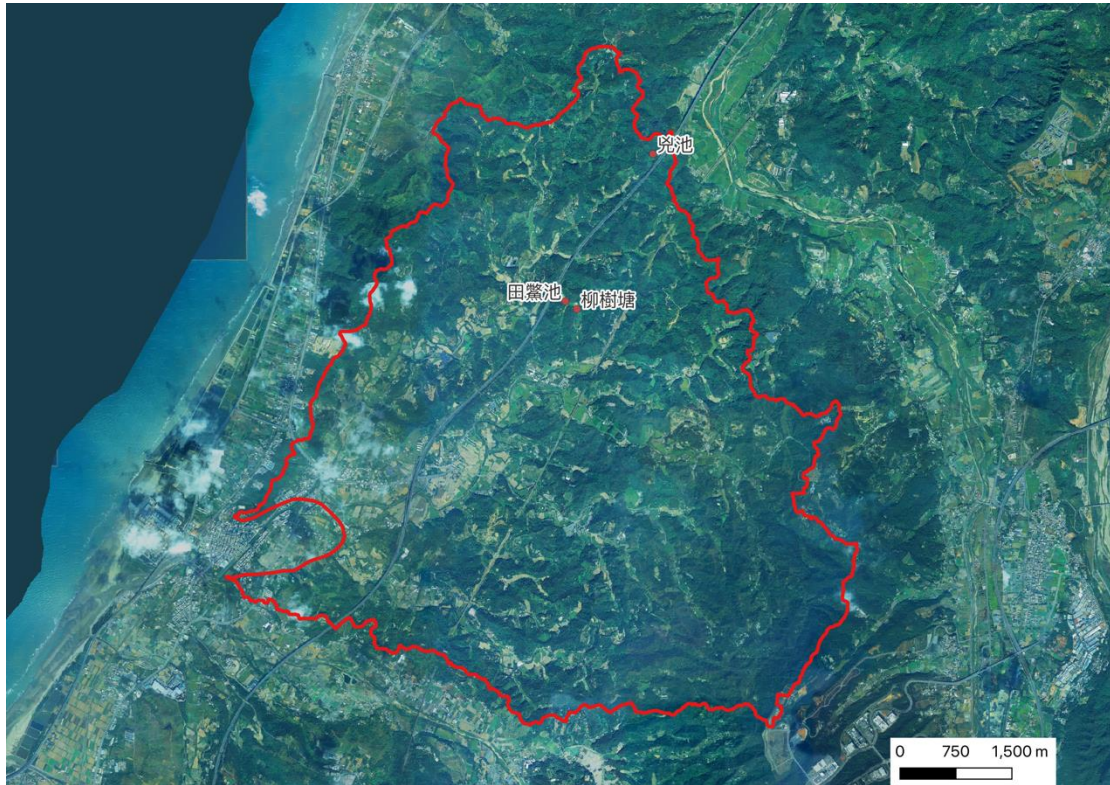


圖 3.2-2 通宵溪子集水區調查農塘分布

資料來源：本計畫

二、生態功能指標資料蒐集與前置調查工作

(一) 農塘生態系功能與水棲昆蟲指標

在諸多生態系功能指標中，水棲昆蟲因其整體生物量大、調查方式簡易，經常被使用於評估水域生態系的功能變化(Gimenez and Higutia, 2017)。此外，水棲昆蟲受到地景組成、濱水帶植被與水文動態的影響甚大，也有助於分析擾動對於生態系功能的影響(Alberti,

2005)。再者，水棲昆蟲在水陸域接壤的生態系中扮演重要的生態補助(ecological subsidies)功能，與陸域昆蟲在必須養分如不飽和脂肪酸(Twining et al., 2019)、出現季節(Nakano and Murakami, 2001)等面向上的差異有可能互補，能穩定提供食物網中的食蟲者重要的營養與能量來源，更顯示水棲昆蟲在生態系功能中扮演重要角色。

可能影響埤塘生態功能，特別是水棲昆蟲功能群的環境因子眾多。如來自不同樹種的凋落物(litter)，會因其分解時的微生物生物量差異，進而影響沼石蛾(*Limnephilus indivisus*)的取食(Mehring and Maret, 2011)；地景結構的差異，如高都市化程度所導致的塊區結構跟破碎化(fragmentation)，會讓底棲無脊椎生物的多樣性降低，進而影響地景的生態系功能(Alberti, 2005)；埤塘的水文與物化特徵對擁有飛行能力較低的水棲昆蟲群聚，有較強的影響力(Bacca et al., 2021)；以及掠食者存在於埤塘所造成的水棲昆蟲豐多度(abundance)下降等等效應(Keinath et al., 2023)。在淺山埤塘，上述因子會因為人為擾動或管理所產生的地景、埤塘水位與操作模式而產生變化。

(二) 水棲昆蟲前置調查

為決定後續調查方法，本計畫於 2024 年 4-5 月間，於貢寮枋腳溪集水區上游選定 3 個農塘或水池作為前置調查點，分別為黑底埤、下埤、青盒埤，均分布於枋腳溪集水區上游的吉林里內寮區域(圖 3.2-

1)。黑底埤共採集 20 網、下埤共 12 網、青盒埤共 10 網次的努力量，進行水棲昆蟲的初步調查。經第一次前置採樣後，發現在黑底埤、下埤、青盒埤的水棲昆蟲數量、物種數都極為匱乏，除零星春蜓科水蠅出現外，其餘所有捕撈到的水棲昆蟲均屬於搖蚊科。在進行水棲昆蟲採樣時，此三口農塘中都直接觀察到慈鯛科外來種魚類的存在，故推測這些農塘內的魚類可能影響水棲昆蟲多樣性與生物量。隨後於 2024 年 5 月 17 日進行第二次前置採樣，本計畫將青盒埤樣點調整為另一有相似覆蓋度、但未觀察到魚類存在的無名水池。無名水池的水深極淺，不超過 30 公分，並非嚴格意義上的農塘，而僅為棄耕田區一角因淺層地下水滲出而形成的小型水池溼地。

第二次前置採樣調查下埤與無名水池兩處農塘或水池，下埤之調查成果仍維持零星春蜓科水蠅與搖蚊科，無名水池則至少有春蜓科、細蟬科、搖蚊科、划蟾科、黽椿科、仰蟾科與蠍蟾科等類群組成，且大部分調查到的類群均有相當數量。準此，前置採樣與過往經驗與文獻回顧中魚類存在大幅降低水棲昆蟲生物量與生物多樣性之情況一致。但考慮到地主意願、調查風險與不同類型之農塘比較，本計畫仍維持既有的採樣區域作為調查試區。

三、成果與分析

(一) 農塘地景變遷與網絡分析

數位化通宵溪集水區在 1986-1987 年與 2023 年像片基本圖的農塘以後(圖 3.2-3、圖 3.2-4)，計算兩年度農塘間的歐氏最近鄰距離平均值(ENN_MN)。發現 1986-1987 與 2023 兩年度間，水池數量由 365 個增加為 627 個，平均面積從 1130 下降到 869 平方公尺，水池間歐氏最近鄰距離平均值由 147m 下降到 111m。這個結果顯示在近 35 年間，農塘可能因水田休耕、私人水池營造或其他原因增加。換言之，在暫不考慮農塘間其他連結，如透過水田、溝渠或野溪連結的狀況下，影響坡地微水網網絡性質的地景變遷確在發生。

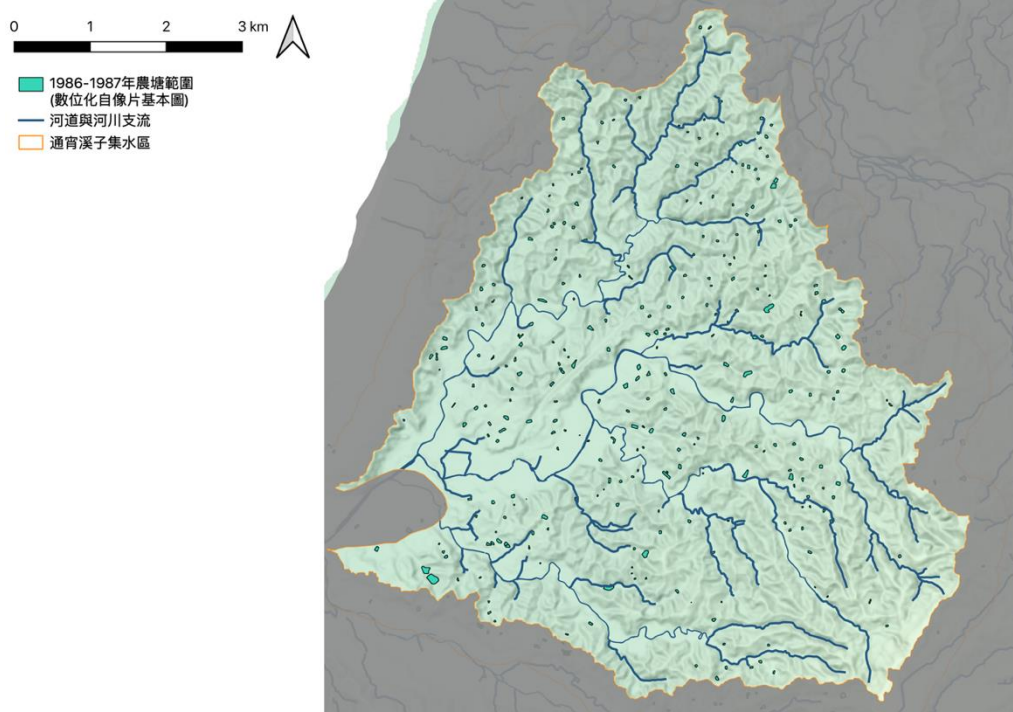


圖 3.2-3 通宵溪集水區 1986-1987 年農塘分布

資料來源：本計畫

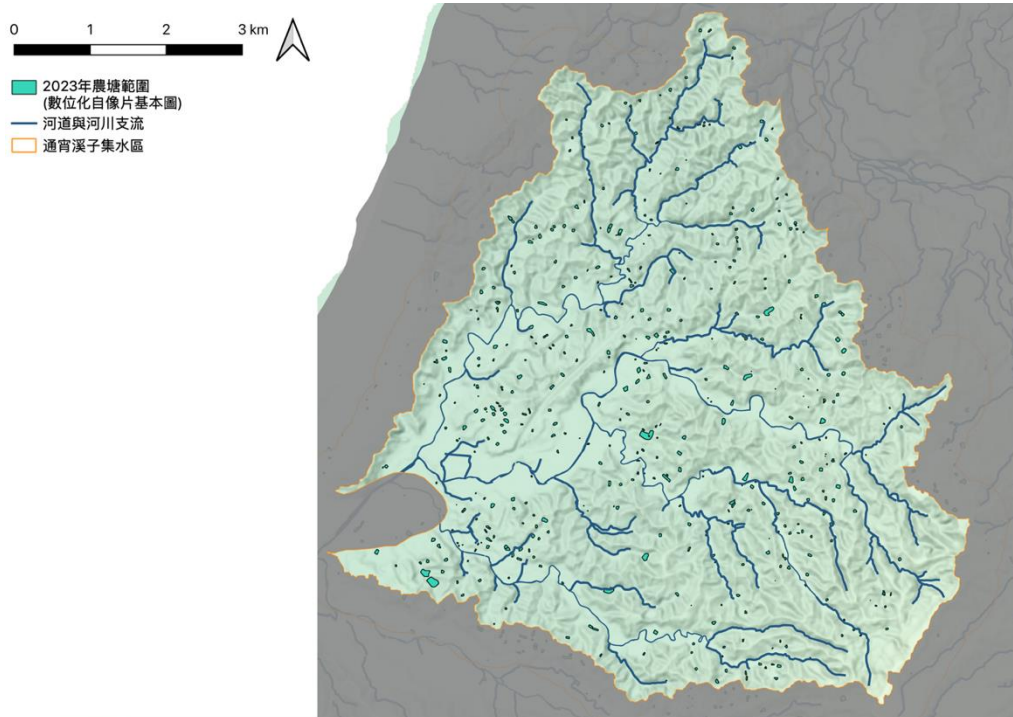


圖 3.2-4 通宵溪集水區 2023 年農塘分布

資料來源：本計畫

此外，本計畫利用地形濕度指標(topographic wetness index, TWI)作為對水棲昆蟲而言有意義的水文連結程度，初步評估農塘間的水文連結程度。考慮到取得高解析度的地形資料有其難度，本計畫使用內政部開源的 2024 年版 20 公尺 DTM 作為 TWI 的參考圖資，試建立農塘間的水文連結度關係。考慮到 TWI 將窪蓄、坑溝或河道等逕流或地表水資源較集中的空間量化，本計畫將 TWI 視為可能反應生物能感受到的水資源利用差異指標，進而作為對相應生物的連結度(conductance)參數。雖對播遷能力較好的水棲昆蟲而言，水文連結對個體播遷的影響較低，但以營養鹽、有機碎屑運移、水資源與非昆蟲底棲無脊椎生物等生態功能而言，考慮水文因子的連結度仍提供相當

重要的資訊，故本計畫試以此指標套用於子集水區，藉以初評兩個子集水區坡地微水網中的農塘網絡。本計畫採用 R 的 gdistance 套件(van Etten, 2017)，計算每個農塘對間的 TWI 最短距離路徑，再計算每個農塘與其他農塘間的平均距離。

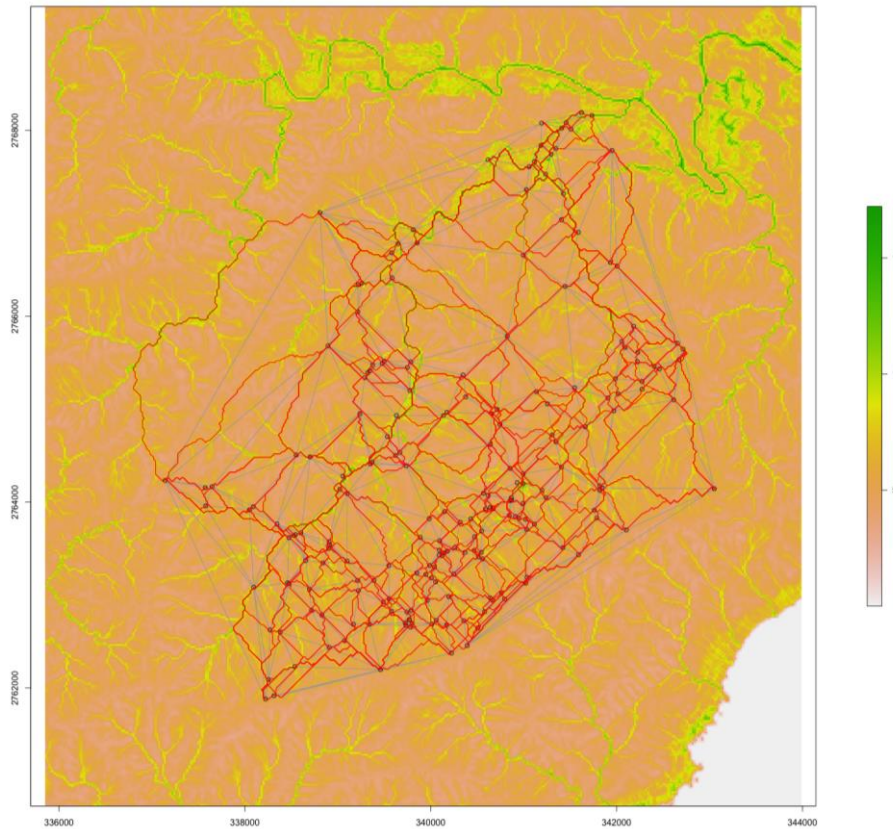


圖 3.2-5 枋腳溪子集水區農塘間最短水文路徑簡圖

兩個子集水區的初步最短路徑簡示如圖 3.2-5 與 3.2-6(僅呈現 Delaunay Triangulation 後的結果，以替除相交的路徑，避免圖面過度複雜)。但考慮到計算所有農塘間的最短路徑不一定有現實生態功能，如圖 3.2-5、3.2-6 均有最短路徑溢出子集水區範圍，未來會再律定搜尋最短路徑的農塘，以強化分析效益。

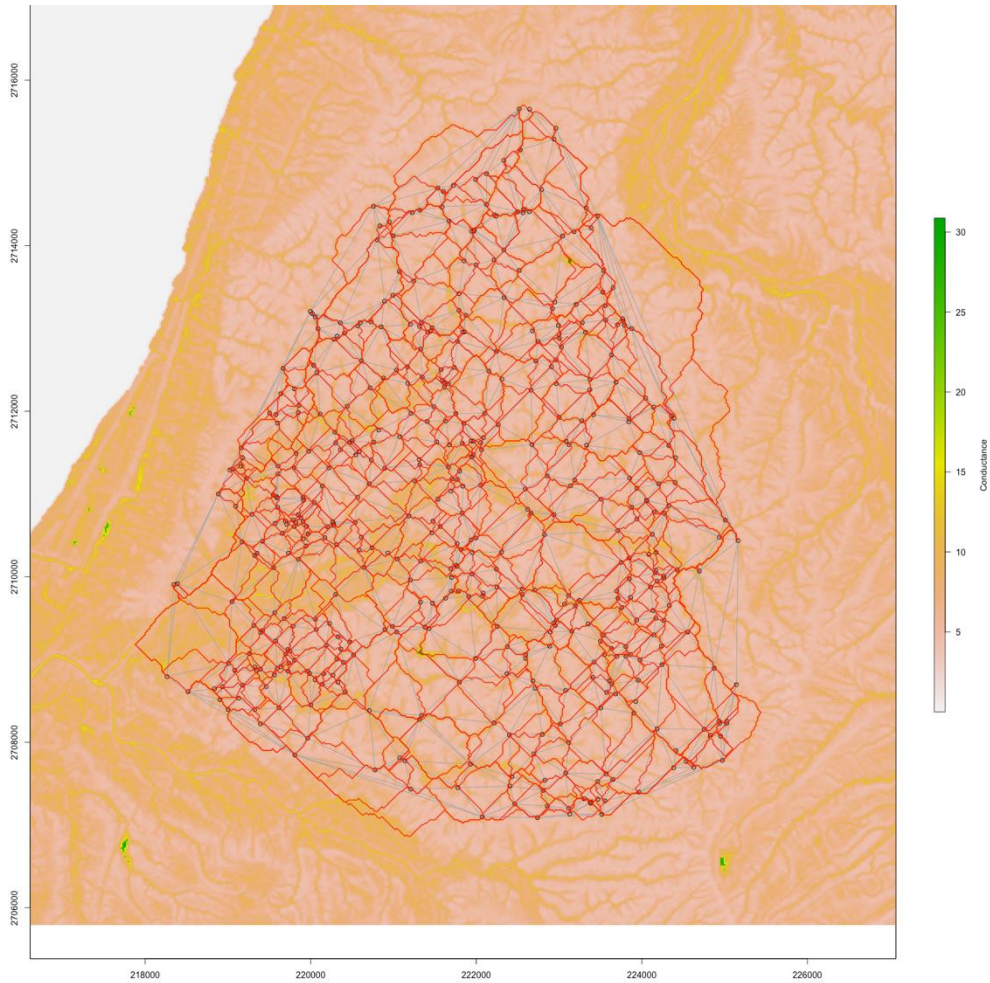


圖 3.2-6 通宵溪子集水區農塘間最短水文路徑簡圖

本計畫計算兩個子集水區的所有點間水文距離分布如圖 3.2-7、密度圖如圖 3.2-8。比較兩個子集水區的農塘間水文距離分布，通宵溪子集水區(圖 3.2-7、3.2-8 紅色圖例)的面積較大，子集水區內的農塘間距離平均值也較大。枋腳溪子集水區(圖 3.2-7、3.2-8 藍色圖例)的農塘間距離密度圖亦可看出，枋腳溪子集水區內與其他農塘的平均距離較短的農塘，佔整個子集水區中農塘的較高比例，顯示有部分區域的農塘較為集中，構成坡地微水網中的子集或子網絡；觀察通宵溪的農塘對間的距離分布，則沒有明顯的群聚狀況。

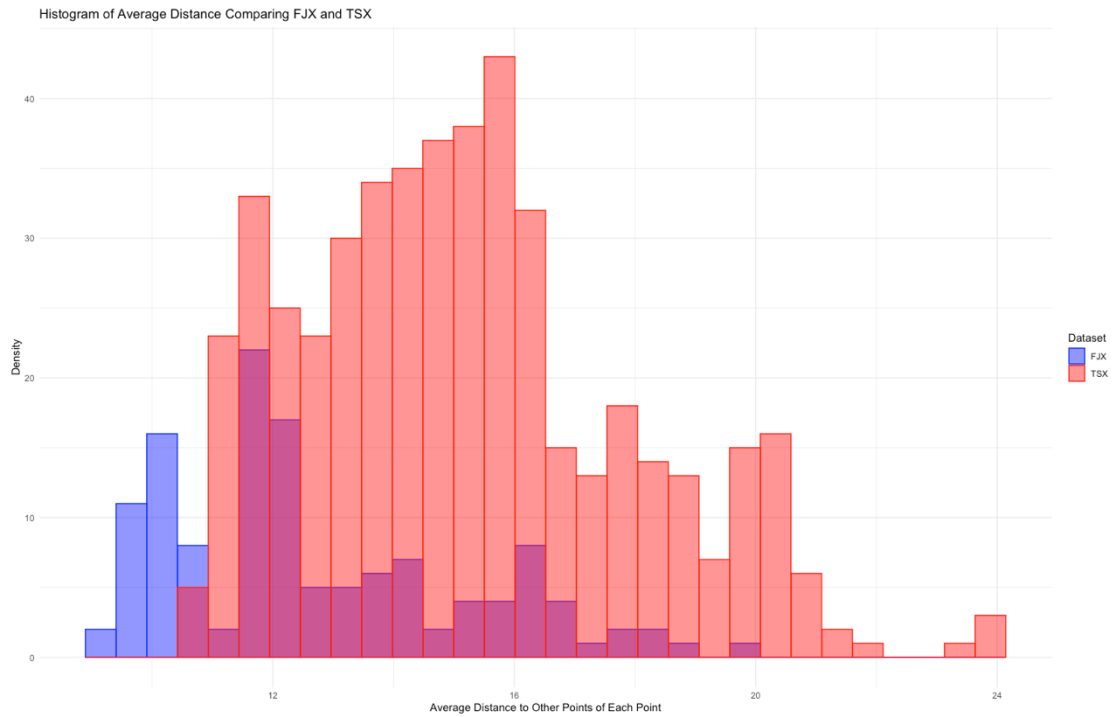


圖 3.2-7 兩試區農塘間最短水文路徑直方圖

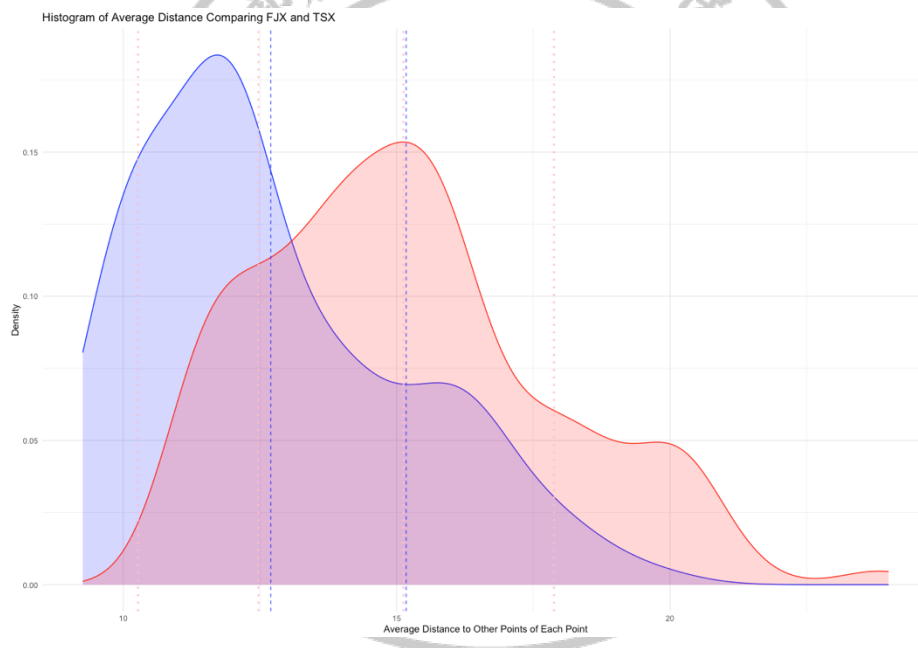


圖 3.2-8 兩試區農塘間最短水文路徑密度圖

(二) 農塘 NDWI 變異分析

1. 集水區衛星影像與 NDWI 運算成果

本計畫之衛星影像蒐集與 NDWI 運算成果如附錄二附圖所示。

2. 枋腳溪集水區農塘與他類地景類別間水體指標差異

針對枋腳溪集水區農塘的資料，本計畫試探討不同植被覆蓋等級的農塘，與其他不同地景類別間在 NDWI 數值上的差異，以進一步檢視遙測影像運用於坡地水體狀態評估的可能性。枋腳溪集水區不同季節、不同地景類別的 NDWI 數值以盒狀圖繪製如圖 3.2-9。



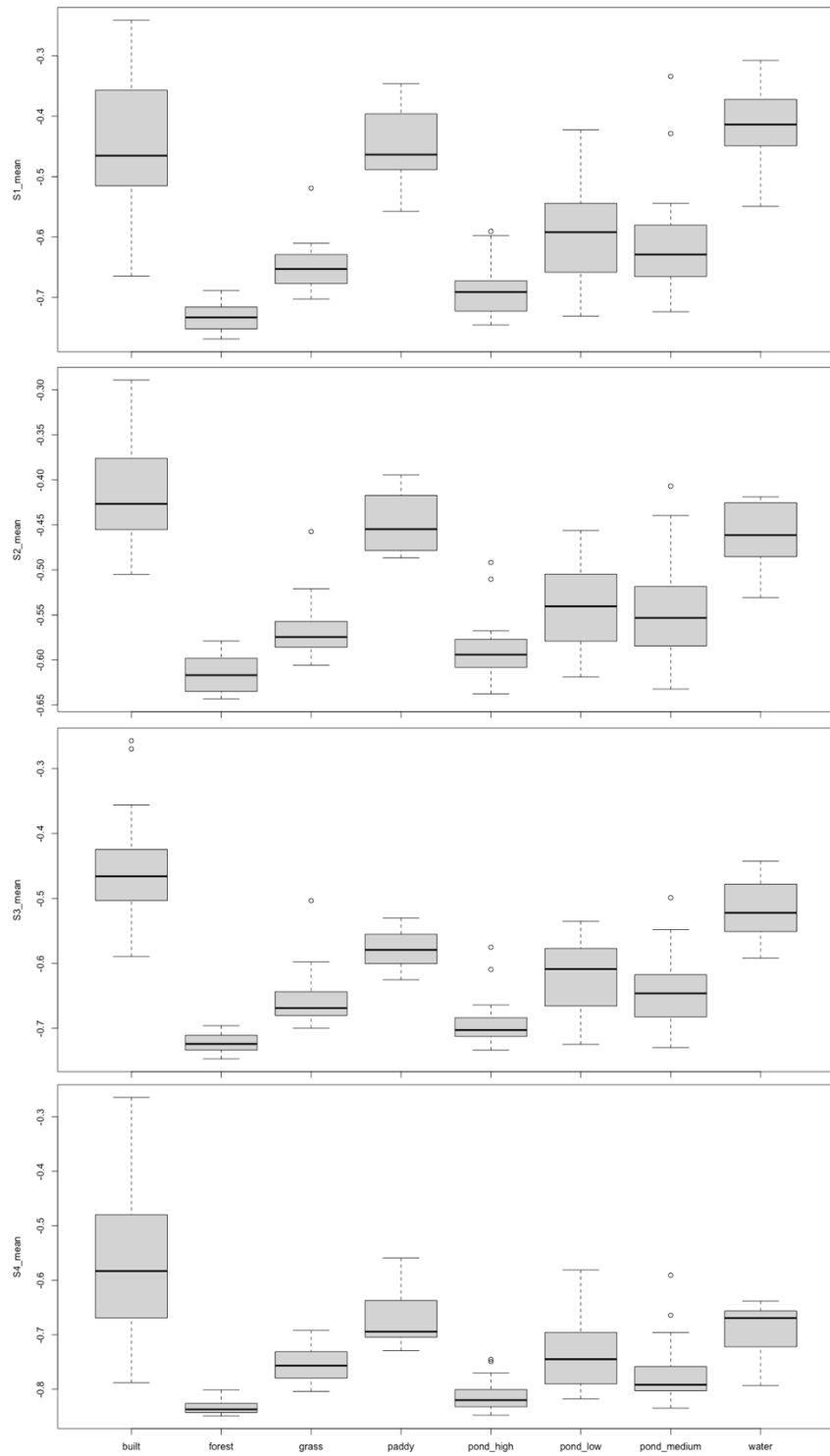


圖 3.2-9 各季節間農塘與不同地景類別之 NDWI 值盒狀圖

資料來源：本計畫，由左至右為建成地區、森林、草生地、水田、農塘(高覆蓋度)、農塘(低覆蓋度)、農塘(中覆蓋度)與溪流水體

利用 Brown-Forsythe Test 檢定枋腳溪集水區各季次的 NDWI 資料後，發現四季次的各地景類別資料，變異數均不同，故本計畫採用 Kruskal-Wallis 檢定，來檢驗不同地景類別間的 NDWI 值在各季的差異。各季的檢定結果如表 3.2-1 到表 3.2-4 所述。

對農塘而言，由(1)覆蓋度中、低的農塘 NDWI 值在各季均無顯著差異，(2)高覆蓋度與低覆蓋度農塘在各季都有顯著差異、與(3)高覆蓋度與中覆蓋度在第一、第三季有顯著差異這三項結果來看，農塘覆蓋度對利用遙測指標評估水資源狀態有相當的影響。由盒狀圖(3.2-9)與 Kruskal-Wallis 檢定成果亦可得知，高覆蓋度農塘在遙測資料上與森林並無法辨別，因此在未來進行相關遙測評估上應特別留意此內農塘的資料蒐集。

再者，中、低覆蓋度農塘與草生地在各季的 NDWI 值均沒有顯著差異。針對水田，特別是在第二季時，中、低覆蓋度農塘的 NDWI 值分布都與水田有顯著差異。因水體、柏油路面與水泥建物之反射波長在可見光與 NIR 的部分重疊度高，且建成地區的地景組成複雜(如圖 3.2-9 可見建成地區在各季的標準差都相當大)，可能不利於與水田、溪流水體等區域區分。但建成地區與高、中、低覆蓋度農塘在各季的數值都有顯著的差異，而中、低覆蓋度埤塘與水體僅有在第一、第三季時可以區分。NDWI 分析結果建議部分地景類別間的 NDWI 值分布

確有差異，意味著可以進一步利用 NDWI 以比較不同地景類別的水資源狀態。高覆蓋度農塘的 NDWI 表現與森林類似，故暫且不論，但中、低覆蓋度農塘的 NDWI 資料沒有顯著差異，可以說明農塘相對於其他類別的地景，可能有獨特的 NDWI 分布與變遷狀態，有利於運用遙測資料來輔助集水區的水資源狀態評估。唯後續仍須利用現地調查的資料建立模式，進一步釐清利用 NDWI 進行評估之有效性。

表 3.2-1 枋腳溪集水區第一季各地景類別 NDWI 檢定成果

	森林	草地	水田	農塘 (高覆蓋度)	農塘 (低覆蓋度)	農塘 (中覆蓋度)	溪流 水體
建成地區	8.1174*	4.3380*	-0.0995	6.7311*	3.3451*	3.8366*	-0.4011
森林	-	-3.7885*	-6.8674*	-2.0993	-6.1427*	-5.2337*	-6.6617*
草地	-	-	-3.7403*	2.0406	-1.6796	-0.9788	-3.7766*
水田	-	-	-	5.5926*	2.7963	3.2284*	-0.2766
農塘(高覆蓋度)	-	-	-	-	-4.3681*	-3.4296*	-5.4598*
農塘(低覆蓋度)	-	-	-	-	-	0.7630	-2.8915
農塘(中覆蓋度)	-	-	-	-	-	-	-3.2909*

資料來源：本計畫製作。數值為兩組間檢定之統計值，*記號為顯著($\alpha \leq p/2$, $p=0.05$)。

表 3.2-2 枋腳溪集水區第二季各地景類別 NDWI 檢定成果

	森林	草地	水田	農塘 (高覆蓋度)	農塘 (低覆蓋度)	農塘 (中覆蓋度)	溪流 水體
建成地區	8.3813*	4.9206*	0.2667	7.1730*	4.2692*	4.7200*	0.6114
森林	-	-3.4474*	-6.7086*	-1.9305	-5.4705*	-4.5969*	-5.8227*
草地	-	-	-3.8562*	1.8372	-1.4130	-0.7298	-3.2005*
水田	-	-	-	5.5556*	3.1297*	3.5482*	0.3259
農塘(高覆蓋度)	-	-	-	-	-3.8193*	-2.9164	-4.7050*
農塘(低覆蓋度)	-	-	-	-	-	0.7544	-2.4578
農塘(中覆蓋度)	-	-	-	-	-	-	-2.8608

資料來源：本計畫製作。數值為兩組間檢定之統計值，*記號為顯著($\alpha \leq p/2$, $p=0.05$)。

表 3.2-3 枋腳溪集水區第三季各地景類別 NDWI 檢定成果

	森林	草地	水田	農塘 (高覆蓋度)	農塘 (低覆蓋度)	農塘 (中覆蓋度)	溪流 水體
建成地區	8.9457*	4.8498*	1.5561	7.6577*	4.1377*	5.0058*	0.4348
森林	-	-4.1025*	-5.8456*	-2.0588	-6.2870*	-4.9404*	-6.4389*
草地	-	-	-2.4837	2.4182	-1.4653	-0.3536	-3.3249*
水田	-	-	-	4.5522*	1.5858	2.3770	-0.9043
農塘(高覆蓋度)	-	-	-	-	-4.5755*	-3.1521*	-5.2564*
農塘(低覆蓋度)	-	-	-	-	-	1.2670	-2.5552
農塘(中覆蓋度)	-	-	-	-	-	-	-3.2637*

資料來源：本計畫製作。數值為兩組間檢定之統計值，*記號為顯著($\alpha \leq p/2$, $p=0.05$)。

表 3.2-4 枋腳溪集水區第四季各地景類別 NDWI 檢定成果

	森林	草地	水田	農塘 (高覆蓋度)	農塘 (低覆蓋度)	農塘 (中覆蓋度)	溪流 水體
建成地區	8.4866*	3.3309*	0.7839	7.5232*	3.4565*	5.2148*	1.0836
森林	-	-5.2273*	-6.2614*	-1.6782	-6.4656*	-4.1912*	-5.4177*
草地	-	-	-1.9958	3.9999*	-0.3694	1.5936	-1.4862
水田	-	-	-	5.2800*	1.9002	3.3875*	0.3189
農塘(高覆蓋度)	-	-	-	-	-5.2170*	-2.7497	-4.4607*
農塘(低覆蓋度)	-	-	-	-	-	2.3418	-1.3441
農塘(中覆蓋度)	-	-	-	-	-	-	-2.7220

資料來源：本計畫製作。數值為兩組間檢定之統計值，*記號為顯著($\alpha \leq p/2$, $p=0.05$)。

3. 通宵溪集水區農塘 NDWI 於不同季次間的差異

通宵溪集水區在 2023 年四個季次的農塘 NDWI 資料，分別取樣自 3 月 10、5 月 6 日、7 月 5 日與 11 月 2 日等四個日期的無雲衛星影像。針對每個農塘區塊，利用 QGIS 軟體計算多邊型內的 zonal statistics，再取出 NDWI 的平均值資料。將四季次的資料利用 Shapiro-Wilk 檢定(Shapiro & Wilk, 1965)檢視其分布狀態，發現各季

次的 P 值均遠小於 0.05，顯著偏離常態分布，故本計畫選擇 Friedman 檢定(Friedman, 1937)來評估各季間的 NDWI 差異。Friedman 檢定統計值為 1347.5，p 值小於 0.05，顯示各季節間的 NDWI 有顯著差異。經 Dunn 檢定(Dunn, 1964)後，各季間 NDWI 兩兩比較如表 3.3-2 所示。檢定結果顯示，通宵溪集水區之農塘在 2023 年間，NDWI 除第二、第三季間並未呈現顯著差異以外，其他各季間的比較均有統計顯著性。換言之，利用 3 公尺解析度衛星影像計算的 NDWI，有潛力顯示季節間的農塘水體狀態差異，但需有進一步的現地資料協助評估指標之有效性，並納入農塘周邊的地景狀況影響等綜合考量。

表 3.2-5 通宵溪集水區各季間 NDWI 檢定結果

	S1	S2	S3
S2	15.11169*	-	-
S3	13.57930*	-1.53239	-
S4	22.75449*	7.64280*	9.17519*

資料來源：本計畫製作。表格內數值為兩組間檢定之統計值，*記號為顯著($p < 0.05$)。

(三) 農塘水棲昆蟲調查

本研究在 2024 年 8 月 7 日與 8 月 13 日進行通宵溪試區三口農塘的豐水期調查，並於 10 月 28 日完成枯水期調查。枋腳溪試區三口農塘的第枯水期調查於 2024 年 8 月 21 至 22 日間進行，豐水期調查

則在 10 月 29 日完成，但因枋腳溪試區之黑底埤於 10 月後之水深超過 2m，依本研究之調查方法有較高的執行風險，故於豐水期僅執行下埤、無名水池兩處的水棲昆蟲調查。各農塘之調查努力量為長、短軸撈網之網次數量加總，因水面範圍變動而於第一二季間有些微差異，如表 3.2-6 所述。水棲昆蟲調查之樣本分析，詳見附錄三，功能群組成如圖 3.2-10 與 3.2-11。

表 3.2-6 水棲昆蟲調查努力量一覽表

子集水區	農塘	第一季	第二季
枋腳溪	黑底埤(HD)	21	-
	下埤(XP)	10	10
	無名水池(UP)	5	5
通宵溪	兇池(XC)	18	13
	田鱉池(TB)	21	15
	柳樹塘(LS)	10	10

資料來源：本計畫製作，努力量單位為長短軸之網次加總

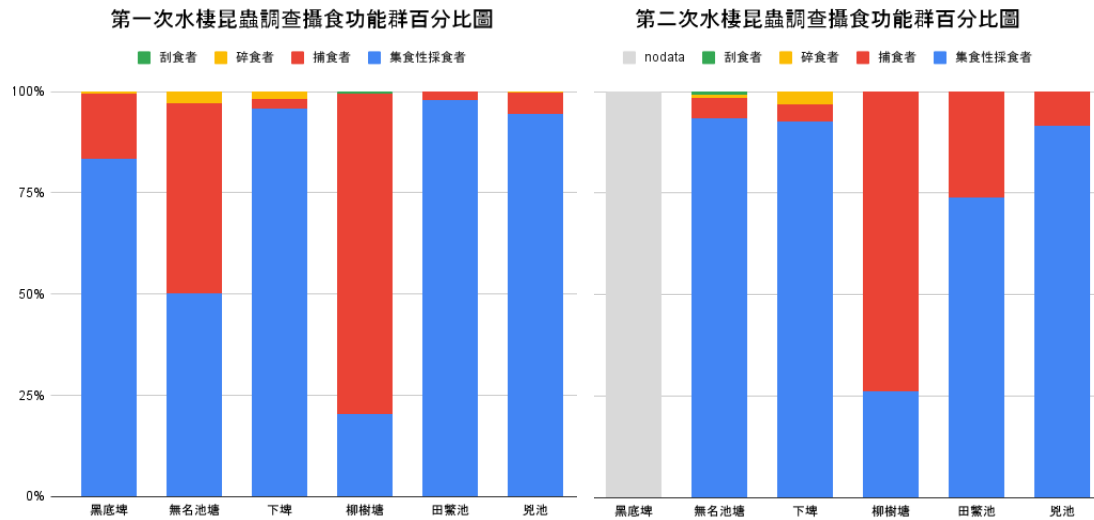


圖 3.2-10 水棲昆蟲調查攝食功能群比例圖

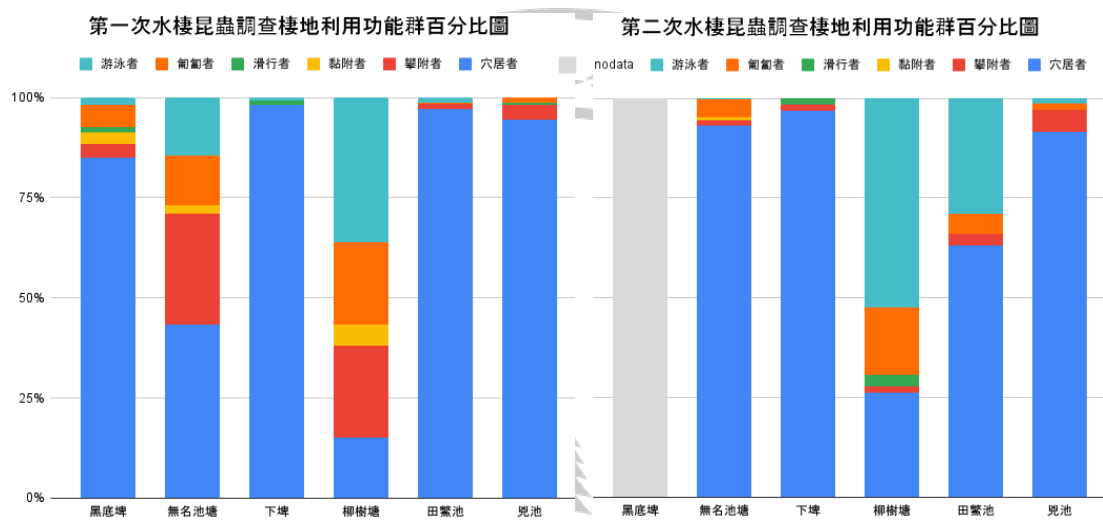


圖 3.2-11 水棲昆蟲調查棲地利用功能群比例圖

本研究所採用之 Merritt 等人(2008)之功能群分類為依據北美洲的水棲昆蟲相訂定，故部分屬級分類群無法適用，繼而改採科層級轉換。因搖蚊科幼蟲個體數量眾多，且在兜池、田鱉池、下埤等三處樣區數量遠超過其他類群，故在攝食功能群與棲地利用功能群兩種分析中，都可看到搖蚊科所代表的功能群佔有相對較大的比例。本計畫認

為採樣方法對於功能群分析，特別是利用個體數比例分析有影響，特別是底質狀況均一與水深環境變化較大(參表 3.2-7 與 3.2-8)的農塘，如黑底埤、田鰲池、兇池等三處，可能在本計畫依距離採樣而投注較大努力量在非消落帶的情境下，會凸顯搖蚊的採集量與類群佔比。此外，因水棲昆蟲調查較不易採集到黽蟾科等滑行者，也會影響整體功能群的分佈狀況。然而，黑底埤面積為調查農塘中最大者，且農塘之水體邊緣較不規則，亦可能強化其底床與消落帶的棲地多樣性，故於棲地利用功能群的分析中，可看到在搖蚊等穴居者以外各類群的分佈。

換言之，柳樹塘與無名池塘作為小型、低擾動與環境自然程度較高農塘樣態，可發現兩者的捕食者佔比較高，且有較多樣的棲地利用功能群分佈。下埤本身則相對特殊，雖然佔幅不大，但因淤積而水深變化較小，又有吉利慈鯛與雜交吳郭魚(本計畫調查時目視，並於水棲昆蟲採集時有捕獲)的分佈，對於水棲昆蟲的覓食壓力較大，故可能影響其功能群的分佈。

第二季次的調查資料中部分農塘的功能群組成分布相較於第一季次都較單調，由圖 3.2-10 與 3.2-11 可見無名池塘與柳樹塘在棲地或攝食功能群的分析中，以搖蚊為主的集食性採集者的比例都上升。然而，兇池、田鰲池與下埤的水棲昆蟲功能群多樣性上升，特別是田鰲池的。但考量到在相似努力總量下，第二季次採集到的水棲昆蟲總

隻數($n=2046$)相較於第一季次($n=4137$)大幅下降，搖蚊科等大宗類群對於水棲昆蟲組成比例的影響力恐被放大。以田鰲池而言，在第二季次的採樣中搖蚊科隻次數量下降了 96.78%，繼而相當程度的放大了其他功能群的組成比例，此一現象目前尚無法確認原因。考量到兩季次間的類群組成差異，季節與農塘水文狀態對於水棲昆蟲組成應有相當程度的影響，繼而影響農塘的生態系功能表現。



表 3.2-7 第一次農塘水深狀態調查描述資料

子集水區	農塘與軸線	樣本標準差	樣本平均值	最大值	最小值
通宵溪	柳樹塘長軸	18.48	27.75	48.00	0.00
	柳樹塘短軸	10.29	36.1	45.50	19.00
	田鰲池長軸	22.06	62.71	79.50	6.00
	田鰲池短軸	32.76	51.83	78.50	8.00
	兇池長軸	22.70	49.40	74.00	6.00
	兇池短軸	23.28	40.25	61.00	2.00
枋腳溪	黑底埤長軸	23.17	49.55	78.00	4.00
	黑底埤短軸	22.42	45.14	61.00	6.00
	下埤長軸	8.97	24.42	31.00	0.00
	下埤短軸	11.29	18.50	31.00	1.00
	無名水池長軸	7.28	11.33	19.00	2.00
	無名水池短軸	5.86	9.40	17.00	3.00

資料來源：本計畫製作。

表 3.2-8 第二次農塘水深狀態調查描述資料

子集水區	農塘與軸線	樣本標準差	樣本平均值	最大值	最小值
通宵溪	柳樹塘長軸	13.94	17.38	36.00	0.00
	柳樹塘短軸	14.13	15.20	28.00	0.00
	田鰲池長軸	27.99	45.82	68.00	0.00
	田鰲池短軸	33.57	38.20	65.00	0.00
	兇池長軸	31.00	45.29	76.00	1.00
	兇池短軸	31.12	37.83	66.00	0.00
枋腳溪	黑底埤長軸	-	-	NA	NA
	黑底埤短軸	-	-	NA	NA
	下埤長軸	24.77	26.43	59.00	0.00
	下埤短軸	14.81	37.17	59.00	20.00
	無名水池長軸	10.53	13.83	26.00	0.00
	無名水池短軸	8.06	12.17	23.00	2.00

資料來源：本計畫製作。

(四) 農塘周邊植被調查與地景分析

本研究在 2024 年 9 月 24 日進行通宵溪試區三口農塘的豐水期調查，並於 10 月 28 日完成枯水期調查。枋腳溪試區三口農塘的第枯水期調查於 2024 年 10 月 1 日間進行，豐水期調查則在 10 月 29 日完

成，下埤之枯水期調查原於 9 月 30 日進行調查，但因故損失調查資料，故未於本計畫報告內呈現。

地景分析部分成果如圖 3.2-12 至 3.2-15 所示，兇池、黑底埤森林或竹林覆蓋程度雖高於另外其他農塘樣區，然因兇池周邊有人為利用的紀錄，地景單元以竹林為主，而黑底埤周邊是大範圍長期低擾動的次生林，相較於其他農塘來說地景組成的複雜度較低。

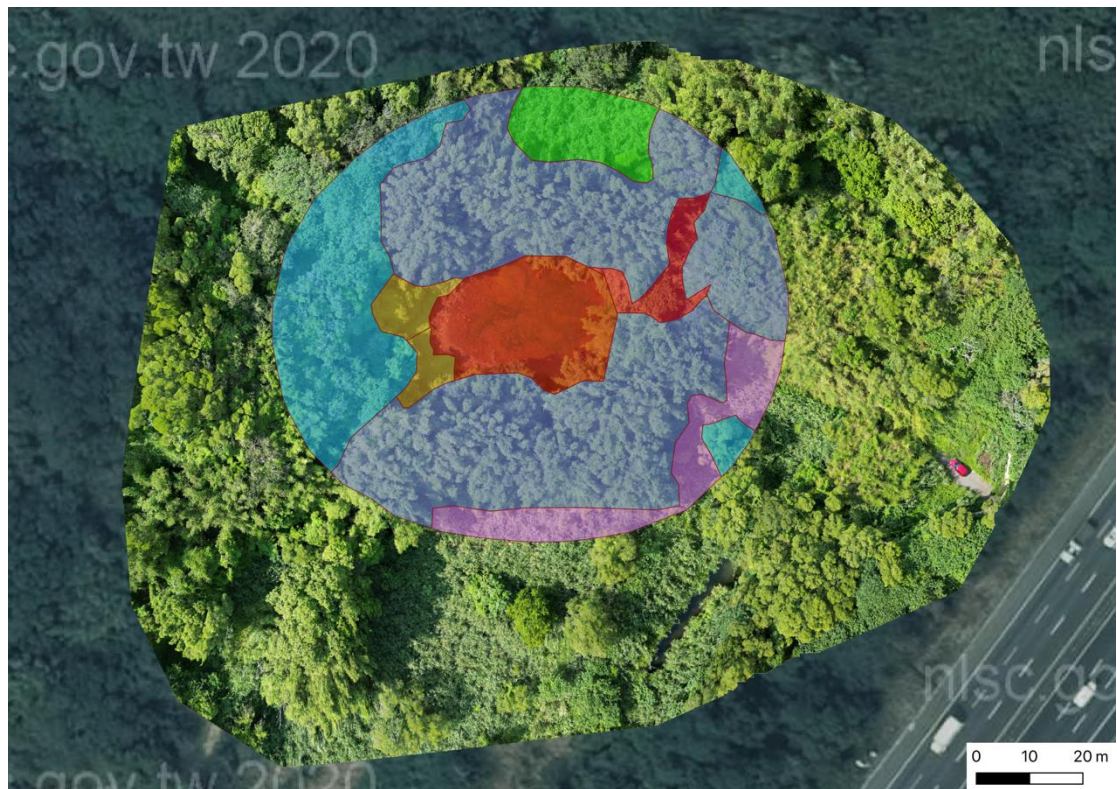


圖 3.2-12 通宵溪子集水區兇池地景單元分類圖



圖 3.2-13 通宵溪子集水區田鰲池與柳樹塘地景單元分類圖



圖 3.2-14 枋腳溪子集水區無名水池與下埤地景單元分類圖

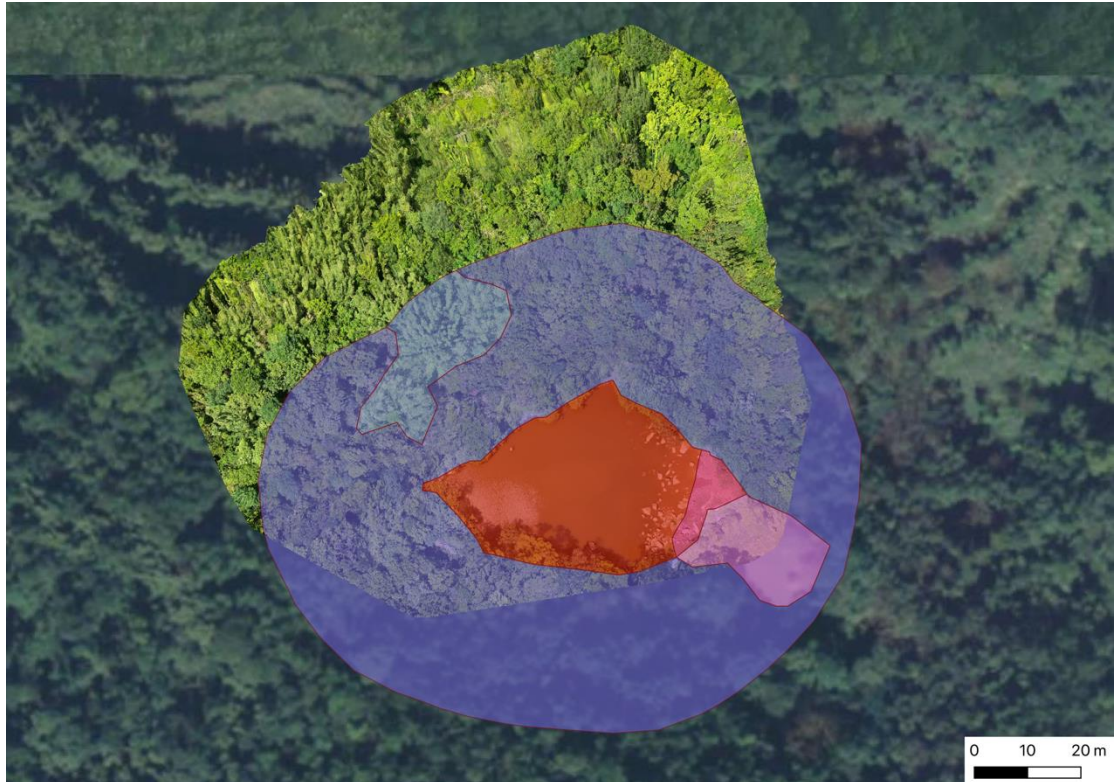


圖 3.2-15 枋腳溪子集水區黑底埤地景單元分類圖

本計畫以地景單元分類圖進行地景指標運算，除採用 R 語言的 landscapemetrics 套件(Hesselbarth *et al.*, 2019)計算邊界密度(edge density, ED)、邊界總長度(total edge, TE)、Shannon 多樣性指標(Shannon's diversity index, SHDI)與 Shannon 均勻度指標(Shannon's evenness index, SHEI)。並依據各個農塘周邊的地景單元辨識成果計算森林、草生地、農耕地與無植被覆蓋水體周長面積比。整體計算成果如表 3.2-9 所示。

表 3.2-9 農塘周邊地景與面積指標

農塘	ED	TE	SHDI	SHEI	森林比例	草生地比例	水體周長面積比	農耕地比例	無植被覆蓋比例
柳樹塘	1297	765	1.89	0.822	0.523	0.222	210	0.086	0.048
兇池	952	628	1.27	0.786	0.689	0.208	190	0.000	0.000
田鰲池	2029	1820	2.37	0.924	0.367	0.095	213	0.167	0.178
下埤	1749	821	1.45	0.744	0.051	0.796	147	0.039	0.000
無名池塘	1250	409	1.28	0.717	0.115	0.879	97.8	0.000	0.000
黑底埤	499	408	0.847	0.526	0.800	0.016	220	0.000	0.000

ED、TE 均為反應在調查區域裡的地景變化的指標，可以說明地景單元變化的頻度，惟 ED 較不受調查範圍大小影像。至於 SHDI 與 SHEI 均考量地景單元的相對豐富度後進行組成多樣性與組成內容優勢程度的量化。在本計畫所調查的農塘中，田鰲池與柳樹塘因為鄰近人類居住或產業空間、或是因為有治理因素存在，明顯有較大幅度的地景變化(如道路與結構物)，進而反映於不考慮地景組成實際內容的地景指標上。故本計畫透過納入森林與草生地等自然棲地佔比作為農塘整體棲地品質的影響參數。

本計畫彙整植物調查名錄如附錄四，並摘要如表 3.2-10。整體而言，植物調查名錄可能反應周邊原有的植物資源與擾動狀況，如黑底埤之植物物種豐富度較為突出，可能反應較完整且擾動程度較低的自然地景。然而，柳樹塘與田鰲池之物種豐富度高於兇池，可能反應近年間治理工程或友善農業活動種植原生物種之成果。

表 3.2-10 農塘維管束植物調查成果

子集水區	農塘	科數	種數
通宵溪	柳樹塘	21	28
	田鰲池	23	36
	兜池	16	22
枋腳溪	黑底埤	40	63
	下埤	29	41
	無名水池*	26	35

資料來源：本計畫製作。

*無名水池之調查努力量為其他埤塘的二分之一

(五) 水位與水溫監測儀器架設

1. 水位與水溫監測儀器架設位置擇定原則

本計畫原預計配合執行生態調查之點位，進行水位與水溫儀器之架設，然因地主意見分歧或難以與聯繫，調查點位不一定能得到儀器架設之許可。故本計畫擇定可行之 4 處地點架設監測儀器，以進行長期的水體狀態監測。水位與水溫監測儀器與其總成之架設，以不擾動農塘底質為原則，盡可能選擇緊鄰農塘的喬木架設總成與太陽能供電模組，再擇農塘邊坡適當位置，或農塘中原有之人工構造物、大石等結構周邊固定感測器。

2. 感測器監設模組系統建立

本計畫將感測器監測模組分成三個部分，分別為空氣溫度濕度結合水溫之感測器模組(模組 A)、監測土壤含水量之感測器模組(模組 B)，以及監測農塘水位資料的縮時攝影機(模組 C)。模組 A 與 B 均配合太陽能供電柱，並配置在有遮蔽但仍可長期照射陽光處以利供電。

模組 A 監測空氣溫溼度及水溫(圖 3.2-16)，開發板配置在充電柱及水溫感測器的中間。考慮到溫濕度之記錄資料品質，選擇在有樹木遮擋，且接近埤塘之位置。水溫感測器以 4m 之纜線連結，配置在農塘水中，且配置於有水生植物處以避免陽光直射影響記錄成果。



圖 3.2-16 感測器模組 A 配置示意圖

模組 B 監測土壤含水量(圖 3.2-17)，開發板同樣配置在充電柱及土壤含水量感測器的中間。監測位置選擇於有樹木遮擋且接近埤塘之位置，並將感測器配置於消落帶高水位線以上。土壤含水量感測器有 3 個，分別配置在埤塘由岸邊向埤塘高水位線之垂直方向上，每個感測器相距 1m，感測器探頭均完全埋設於土壤中。

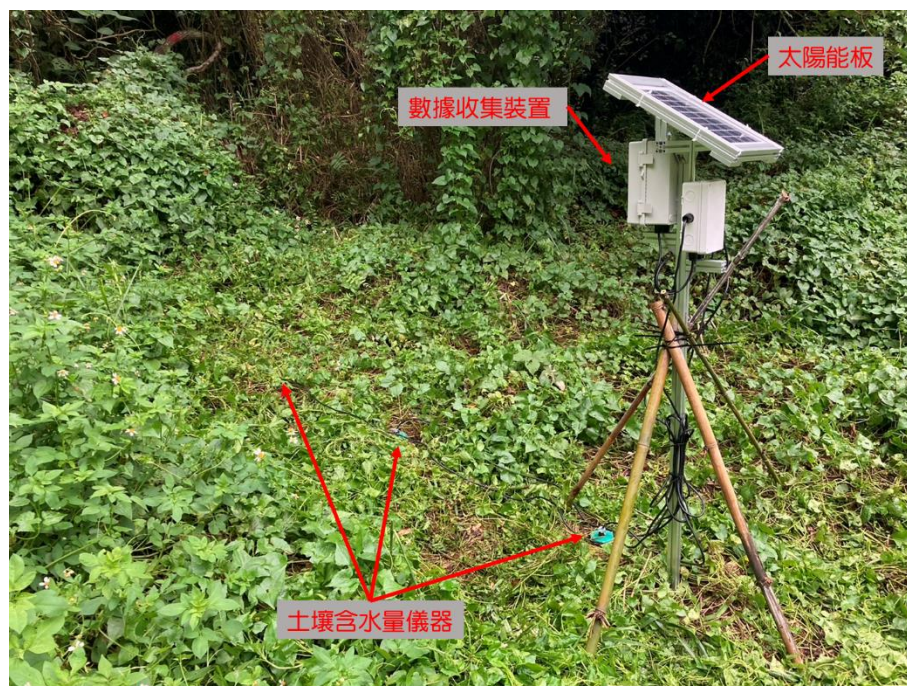


圖 3.2-17 感測器模組 B 配置示意圖



圖 3.2-18 感測器模組 C 配置示意圖

模組 C 結合標尺與縮時攝影器材(圖 3.2-18)，本計畫將標尺設置

於農塘內可供固定之位置，並將縮時攝影機架設於距離標尺 4-6m 處可供固定之位置，以縮時攝影功能(包括夜間以紅外線取樣)進行每 10 分鐘一筆水深資料的監測。記錄影像資料由人工判讀至 1 公分之精度。

3. 感測器安裝

考慮到地主意願以進行長期監測，並配合生態調查執行的點位，本計畫分別在苗栗通宵溪試區的柳樹塘(LS)和兇池(XC)，以及新北枋腳溪試區的下埤(XP)和黑底埤(HD)設置感測器。

通宵溪試區之兩口農塘(圖 3.2-19 至 20)架設之感測器包括模組 A、B 與 C，並分別於 2024 年 9 月 23 日與 10 月 25 日完成架設。枋腳溪試區之兩口農塘(圖 3.2-21 至 22)因周邊的環境自然度高、植被狀況複雜、且可能有當地農民放養之水牛擾動，模組 B 受到影響而損壞的可能性高，故僅設置較不易受到擾動的模組 A 與 C，並分別於 2024 年 10 月 1 日與 10 月 21 日完成架設。然截至目前為止，土壤含水量感測器之校正與現地調整作業尚未完成，故暫不納入本計畫中討論。



圖 3.2-19 通宵溪研究試區-柳樹塘

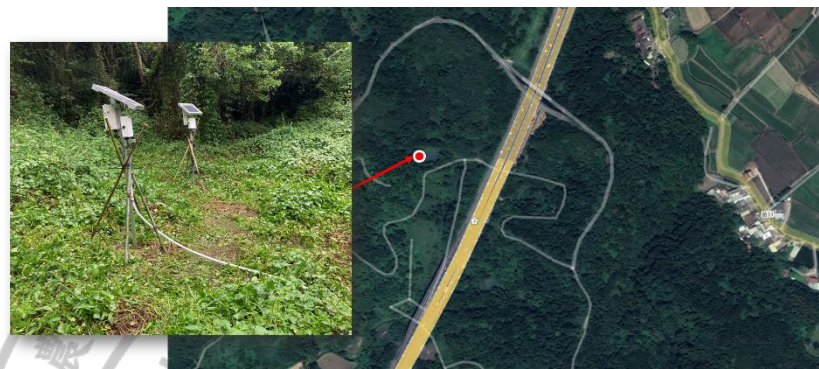


圖 3.2-20 通宵溪研究試區-兜池

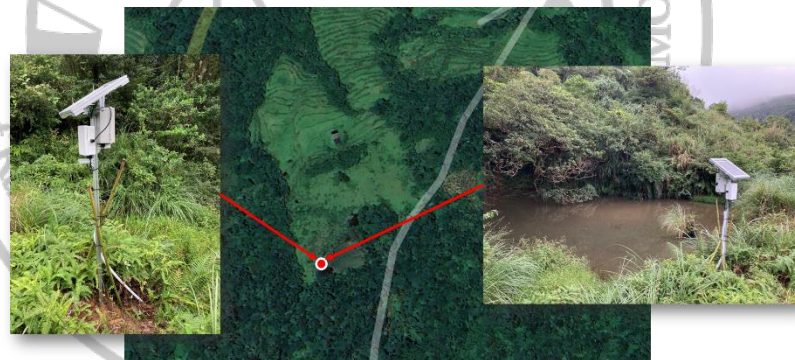


圖 3.2-21 枋腳溪研究試區-下埤



圖 3.2-22 枋腳溪研究試區-黑底埤

4. 水位監測結果

本計畫設置之水位監測模組在 10 月底蒐集資料時，運作狀況均良好，並未因降雨或其他事件而影響記錄狀況。然因 10 分鐘頻度之資料筆數龐大，且以本計畫設置之水位監測模組測量精度難以呈現出變化趨勢，故本計畫以每 6 小時(每日 02:00、08:00、14:00 與 20:00 之該小時範圍間，可用的第一筆資料)的紀錄值為代表繪製水位變化圖。

通宵溪試區的水位監測結果蒐集 2024 年 10 月 25 日到 11 月 29 日間的資料(圖 3.2-23 至 24)，期間除康芮颱風以外沒有較大的降雨事件，已進入枯水期。可明確發現在無降雨情況下，兇池、柳樹塘水位均有下降，速率約為 0.893cm/日與 1.571cm/日。柳樹塘有穩定的水源挹注，但水位下降速率高於兇池，推測為底質結構與土壤質地差異所致，未來擬進一步探討其使用狀況、滲漏與蒸發散條件造成之水

文表現差異。

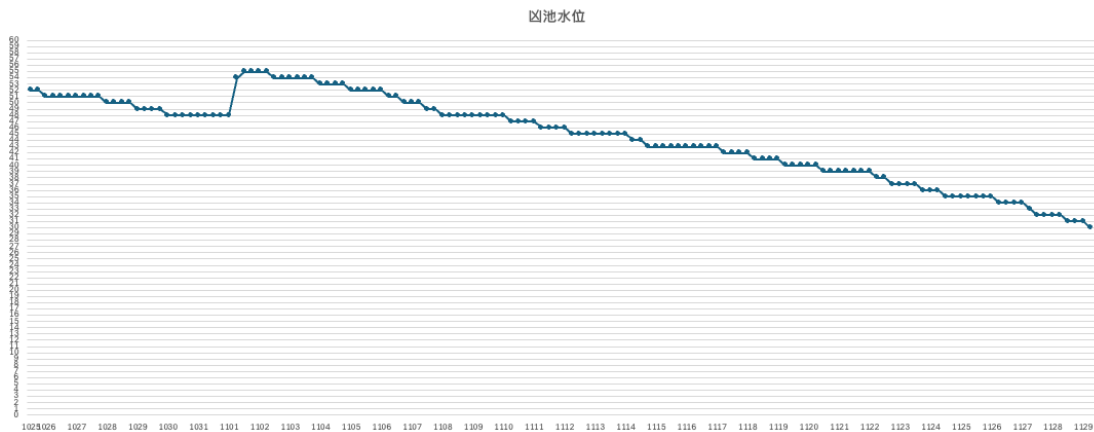


圖 3.2-23 兇池水位監測記錄

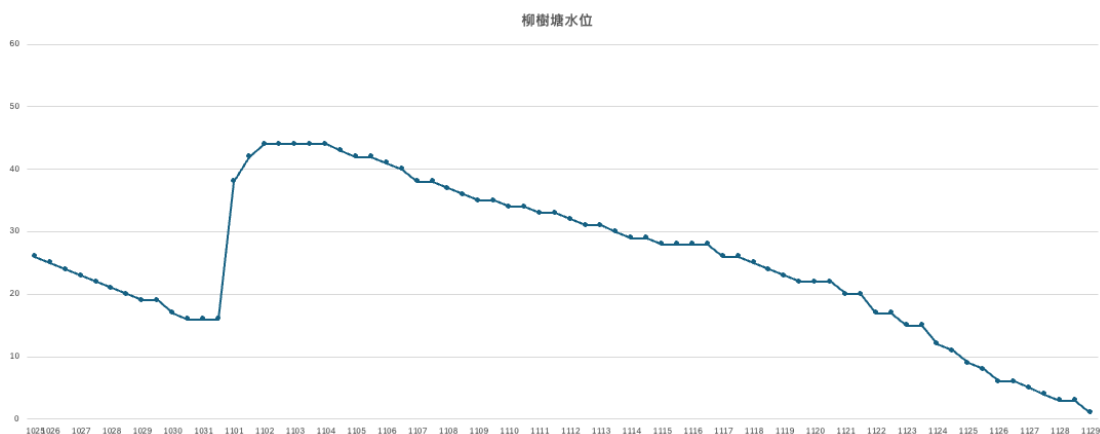


圖 3.2-24 柳樹塘水位監測記錄

枋腳溪試區的水位監測結果蒐集 2024 年 10 月 1 日到 10 月 29 日之資料(圖 3.2-25 至 26)，顯示下埤之水位波動狀況較黑底埤大，除反應其農塘範圍外，亦可由黑底埤位於較低海拔之角度反應其集水範圍之微幅差異，讓黑底埤在降雨事件中有較慢的反應速度(10 月 12 日、10 月 20 日與 10 月 24 日)。此外，兩埤塘之水位調整措施，即當地居民所稱的埤巖(pi-giâm，一種以切割為方塊狀的塊石堆塑並鑿洞調節

水位的設施)，在兩個農塘的損壞狀況不一，亦可能影響其水文反應狀態，未來本研究也擬持續關注此二農塘的長期水文記錄，以利探討在生物多樣性資源與農塘健康度的效益。

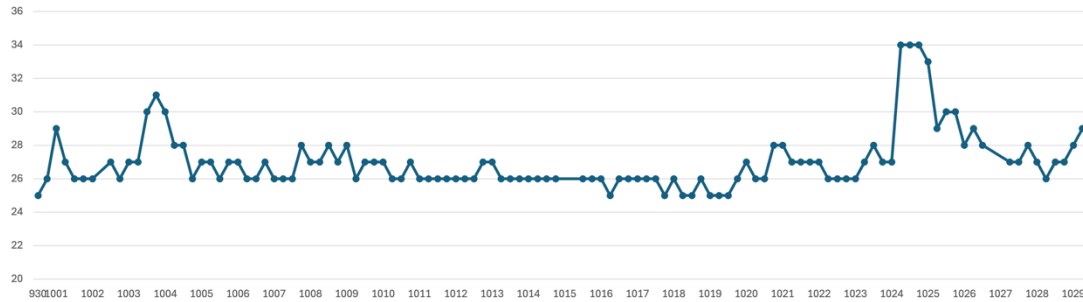


圖 3.2-25 下埤水位監測記錄

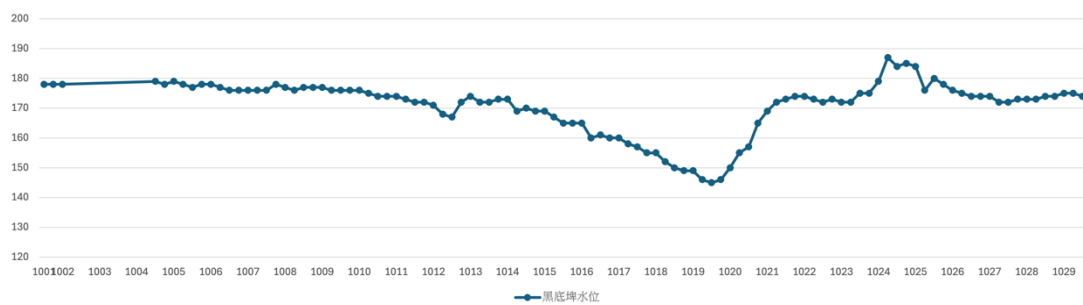


圖 3.2-26 黑底埤水位監測記錄

(六)農塘環境因子與水棲昆蟲多樣性組成

除本計畫所探討之水深變化程度、地景指標以外，本計畫另納入是否有流路、與既有農田間的灌溉系統是否相連、以及魚類分布等環境因子進行聚類分析，以瞭解所探討的農塘是否可歸納於不同的功能群多樣性類別。因物種調查資料結構一般而言都不符合常態分布，故本計畫採用生態學領域常見的非度量多維度分析(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)進行排序，利用第一季次資料執行

NMDS 分析與環境因子擬合(fit)。第二季次的資料則因考慮季節影響，與第一季差異較大，故暫不再此分析。在 R 語言下透過 vegan 套件 (Oksanen *et al.*, 2022)執行 NMDS 與 envfit 指令，就攝食功能群與科層集的資料進行分析，成果如圖 3.2-27。

由 NMDS 分析的成果可得知，在第一季次的調查中，柳樹塘、無名池塘跟其他四個埤塘間的距離較大，田鰲池、下埤、兜池三者無論在科或攝食功能群層級的距離都相當近，至於黑底埤無論在科或攝食功能群的組成都與其他埤塘有些差異。相關環境因子中，在攝食功能群的組成裡以水位(低水期水位變異程度)、是否有灌溉功能與坑溝連結、以及總邊際長度，與 NMDS 軸 1(X 軸)的趨勢較為一致。至於科層級的 NMDS 分析中，所有的環境因子與各軸的趨勢關係都相對薄弱。

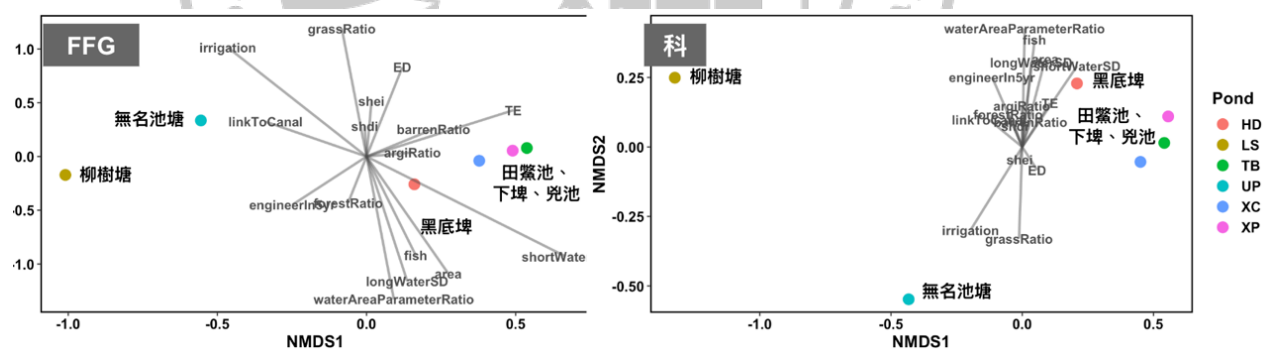


圖 3.2-27 攝食功能群與科層級 NMDS 分析成果

第四章 結論及建議

第一節 結論

本計畫結論如下分項敘述。

- 一、環境因子對農塘水棲昆蟲組成之影響需進一步釐清。本計畫結果顯示，雖因農塘調查樣本數與環境因子尚不足以進行統計推論，且目前在NMDS與環境參數擬合的成果並不理想，但仍有部分指標對現有樣本的距離反應較佳，未來將進一步納入網絡分析的工具以推進環境因子對於生態系功能的探討。
- 二、計算第一次水棲昆蟲調查結果之多樣性指標，仍可發現在消落帶旁植被較少、水深變化較小、以及有魚類存在的農塘明顯，指標數值較低。換言之，具有不同環境因子的農塘在水棲昆蟲播遷與拓殖的網絡上，仍扮演相當不同的角色，繼而影響農塘在營養循環與生態保育上的功能。
- 三、歷史影像分析顯示，通宵溪子集水區內的水體分佈數量增加繼而使水體間的距離下降，可能對於利用水池的水棲昆蟲傳播有所助益，但仍需透過補充調查來計算農塘間的生物多樣性距離。
- 四、利用遙測資料評估農塘水資源狀態確有潛力，並已初步釐清坡地微水網農塘節點之NDWI指標在季節間變化的狀態，與農塘和周邊環境之NDWI指標差異，未來將與水位監測資料配合評估。
- 五、在利用水棲昆蟲多樣性評估網絡結構時，節點特徵如週期性水深變化、出入水方式、以及水域內其他物種存在狀況，均可能影響靜水域生態系功能與服務。農塘作為生物多樣性節點之營造工作，應可透過周邊植被組成與結構豐富化整合，以進一步提昇水

棲昆蟲群聚與其他物種的多樣性。此外，在條件允許的情況下，增加農塘內的水深流速多樣性，以及強化農塘內外的水文連結度，也有助於將農塘營造為具有良好生態系功能的生產地，優化其服務產出。

第二節 建議

本計畫建議如下分項敘述：

- 一、建請強化主管機關間對於高解析度遙測影像圖資的共享，以強化機關間合作，與利用遙測影像進行快速生態系服務評估以優化國土空間規劃的能力。
- 二、未來應配合系統間能量與物質流動的調查，以進一步釐清坡地微水網網絡結構與生態系功能間的關係。
- 三、未來應可將水棲昆蟲辨識與指標進行深化與在地化，以利協助主辦機關快速評估農塘資源，並制定保育或治理策略。

參考文獻

1. Alberti, M. (2005). The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review*, 28(2), 168 – 192.
2. Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., & Zumbrunnen, C. (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. *Bioscience*, 53(12), 1169 – 1179.
3. Dunn, O. J. (1964) Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241 – 252s.
4. Folke, Carl, Stephen R. Carpenter, Brian Walker, Marten Scheffer, Terry Chapin, and Johan Rockström. 2010. “Integrating Resilience, Adaptability and Transformability.” **Ecology and Society** 15 (4). <http://www.jstor.org/stable/26268226>.
5. Friedman, M. (1937) The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *American Statistical Association*, 32, 675-701. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1937.10503522>
6. Hooper, D. U., Chapin, F. S., III, Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem
7. Koide, Junji, Shigeki Yokoyama, Shinji Hirouchi, Chikako Hirose, Naoko Oka, Masato Oda, and Seiji Yanagihara. 2021. “Exploring

- Climate-Resilient and Risk-Efficient Cropping Strategies Using a New Pond Irrigation System: An Experimental Study in Northern Ghana.” *Agricultural Systems* 191 (June): 103149.
8. Lansing, J. Stephen, and James N. Kremer. 1993. “Emergent Properties of Balinese Water Temple Networks: Coadaptation on a Rugged Fitness Landscape.” *American Anthropologist* 95 (1): 97 – 114.
 9. Merritt, R.W., Cummins, K.W. and Berg, M.B., Eds. 2008. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa.
 10. Nicholson, Alexander R., Greg M. O’ Donnell, Mark E. Wilkinson, and Paul F. Quinn. 2020. “The Potential of Runoff Attenuation Features as a Natural Flood Management Approach.” *Journal of Flood Risk Management* 13 (S1).
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12565>.
 11. Ostrom, Elinor. 2009. “A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems.” *Science* 325 (5939): 419 – 22.
 12. QGIS.org (2024). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>.
 13. Quinn, P., O'Donnell, G., Nicholson, A., Wilkinson, M., Owen, G., Jonczyk, J., Barber, N., Hardwick, M., & Davies, G.. (2013).

- Potential use of Runoff Attenuation Features in small rural catchments for flood mitigation: Evidence from Belford, Powburn and Hepscott, s.l.: Joint Newcastle University, Royal Haskoning and Environment Agency Report.
14. Rich, P. M. (1990). Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 13 – 29.
 15. Riis, Tenna, Mary Kelly-Quinn, Francisca C. Aguiar, Paraskevi Manolaki, Daniel Bruno, María D. Bejarano, Nicola Clerici, et al. 2020. “Global Overview of Ecosystem Services Provided by Riparian Vegetation.” **Bioscience** 70 (6): 501 – 14.
 16. Riva, F., Haddad, N., Fahrig, L., & Banks-Leite, C. (2024). Principles for area-based biodiversity conservation. *Ecology Letters*, 27(6), e14459.
 17. Riva, F., Pierre, E., & Guisan, A. (2024). On the emergence of ecosystem decay: A critical assessment of patch area effects across spatial scales. *Biological Conservation*, 296, 110674.
 18. S. K. McFeeters (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, DOI: 10.1080/01431169608948714
 19. Sikka, Alok K., Adlul Islam, and K. V. Rao. 2018. “Climate-Smart Land and Water Management for Sustainable Agriculture.” **Irrigation and Drainage Systems** 67 (1): 72 – 81.

20. Thornhill, Ian, Lesley Batty, Matthew Hewitt, Nikolai R. Friberg, and Mark E. Ledger. 2018. "The Application of Graph Theory and Percolation Analysis for Assessing Change in the Spatial Configuration of Pond Networks." **Urban Ecosystems** 21 (2): 213 – 25.
21. Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999 – 1023.
22. 池瀚斌. 2019. "中港溪流域農塘盤點及改善熱點之優選." Edited by 林昭遠. 碩士, 台中市: 國立中興大學. <https://hdl.handle.net/11296/y2dmh8>.
23. 李宜龍. 2015. "臺灣產細蟪科(蜻蛉目: 均翅亞目)終齡稚蟲分類學研究." Edited by 黃國靖 and Kwok-Ching Wong. 碩士, 花蓮縣: 國立東華大學. <https://hdl.handle.net/11296/df2s5g>.
24. 林忠明. 2013. "因應氣候變遷集水區水源涵養區位之優選與營造." Edited by 林昭遠 and Chao-Yuan Lin. 碩士, 台中市: 國立中興大學. <https://hdl.handle.net/11296/x2xh6x>.
25. 邱士杰. 2014. "臺灣北海岸水梯田水棲昆蟲群聚結構研究." Edited by 陳建志 and CHEN CHIEN-CHIH. 碩士, 臺北市: 臺北市立大學. <https://hdl.handle.net/11296/n7rr68>.

26. 侯佳秀, 詹錢登, 徐郁超, and 賴東暘. 2023. “集水區埤塘演變及其對滯洪潛在影響—以台南橋頭港橋上游集水區為例.” 土木水利 50 (3): 51 - 62.
27. 詹勳全、陳彥廷. 2021. 新竹縣坡地農塘盤點及改善活化之研究. 水土保持學報 51(1): 2697-2708.
28. 廖勛凱. 2016. “水梯田水棲昆蟲群聚結構與水生植物密度關係—以新北市貢寮區為例.” Edited by 陳建志 and Chien-Chin Chen. 碩士, 臺北市: 臺北市立大學. <https://hdl.handle.net/11296/42a4j3>.
29. 謝佳倫, 方韻如, 謝傳鎧, and 鍾國芳. 2015. “濕地植物保育新思維：由貢寮水梯田的植物多樣性談其保育價值的生態學基礎.” 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 29 (4): 279 - 91.
30. 謝傳鎧. 2017. “貢寮水梯田耕作社群之傳統生態知識變遷：以灌溉水管理為例.” Edited by 胡哲明. 碩士班, 國立臺灣大學. <https://doi.org/10.6342/NTU201700972>.
31. 簡傳彬、方文村、徐永昶. 2022. 農塘結合農田在地滯洪操作提高區域洪水調節功能分析. 臺灣水利 70(2): 43-60

附錄

附錄一、審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
期中報告內容審查意見：		
一	1. 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。	謝謝委員意見，期末報告已修正。
二	運用像片基本圖圈繪之農塘邊界，其圖層應註記影像拍攝日期，並請挑選代表性農塘，選擇不同時期之影像，比對農塘蓄水範圍之變化趨勢，並請說明圈繪方法、儀器等。	謝謝委員意見，本計畫使用之開源像片基本圖資料並未註記拍攝日期，另過往像片基本圖對於農塘蓄水面積之反光或影像缺陷狀況嚴重，故本計畫直接採用像片基本圖框線之水塘範圍，在1m/像素解析度的條件下進行空間數化。
三	農塘分布圖應說明圖資來源、精度等。	謝謝委員意見，農塘分佈圖數化自像片基本圖圖層，其製圖比例尺為1/5000，在300dpi下之解析度約為0.5m/像素，本計畫將1:5000之其數化後，輸出為1m/像素解析度圖層進行分析。

項次	審查意見	回覆辦理情形
四	請說明量測農塘水溫之目的及如何運用量測資料。	謝謝委員意見，農塘水溫測量之標的為瞭解水棲昆蟲所利用的棲地溫度變化範圍，以進一步增加對於農塘環境狀況的了解。
五	P1-1 自然解方 (Nature-based Solution)，請將自然解方第一次提到寫為「以自然為本的解決方案」後續簡稱再寫為「自然解方」，請正確英文應為「Nature-based Solutions」，請再修正。	謝謝委員意見，已修訂。
六	依水土保持技術規範第55條規定，「農塘」指在低窪地區或溪流適當地點，構築堤壩攔蓄逕流，以提供滯洪、農業等用水及改進生態環境並供休閒、遊憩之用。因「農塘」有明確定義，爰P2-3地景分類內容是否可詳加說明7個地景類別於判釋時之分類標準為何？尤以「農塘」部分地景如何判定？另本署擁有「坡地農	謝謝委員意見，本計畫確以較寬鬆的標準對待農塘，因考慮到坡地上之靜水域棲地均有本計畫之目標水棲昆蟲類群利用，故本計畫於P2-3分類工作中，將農塘目標範圍定義為具有窪蓄功能且圖面上有水體出現的地區，以和地景與生態系功能的討論對接。此外，本團隊過往運用坡地農塘圖資過往利用中，曾發現部分調

項次	審查意見	回覆辦理情形
	塘」圖資，且有包含本計畫「新北貢寮枋角溪子集水區」及「苗栗縣通香溪子集水區」兩處試區調查資料，為何本計畫不參照本署農塘圖資進行樣本訓練或農塘分布判定標準？請再說明。	查農塘之分佈或現況與最新的衛星或正射影像相異，故本計畫優先選擇以像片基本圖輔以衛星影像標定，以利與運用之衛星影像波段解析度相符。
七	7. P3-3 農塘地景變遷分析部分提到「農塘可能因為水田休耕、私人水池營造或其他原因而增加」，該部分描述與農塘定義及存在原因互相矛盾，其判釋結果為水體增加區域，是否可確認稱其為「農塘」有待商榷，請再提供詳細說明判釋原因或證明數據。	謝謝委員意見，本計畫因考量跨年度的變遷，部分農塘可能因土地利用變更等方式而增加，但實際變遷方式與路徑需依賴詳細的土地使用或地目圖資以明確判斷。後續將再強化農塘定義或水池名詞之運用。
八	本計畫所定義之坡地微水網以「農塘」、「水田」為重要節點，灌溉溝渠與水管等為連接線，但圖資蒐集判釋僅著重於農塘部分，且並未使用本署坡地農塘相關圖資，建議應再加入農田水利署灌溉渠道相	謝謝委員意見，農田水利署灌溉渠道圖資以平原且經農地重劃過之地區為主，故本計畫所關注的淺山坡地地區多數未納入其管理與圖資建制範圍內。本計畫擬採用農塘間的絕對距離以優先量化對於水

項次	審查意見	回覆辦理情形
	關圖資，強化圖資判釋之豐富度與正確性。	棲昆蟲而言之空間性，未來會將逐步納入各內圖資增加判釋豐富度。
九	本計畫名稱為「以農塘、水田、水渠連結之坡地為水網的生態系服務與系統韌性評估」為題，然內容對於生態系服務與系統韌性在坡地微水網的應用上如何選定或使用相關指標做為評估方式較少著墨，此部分應再加強。	謝謝委員意見，本計畫將賡續於執行期限內完成相關分析與討論。
十	本署結合農村發展與水土保持兩大業務主軸，且本計畫研究之「農塘」與農村社區肉息相關，建議於探討生態系服務指標部分應多加考慮農村加值活化項目，且期使本計畫研究目標能迎合自然解方 7 大社會挑戰多元方向，邁向本署「農村永續發展與水土資源保育」並進目標。	謝謝委員意見，農村加值活化項目之討論，建議可以進一步評估透過社區參與強化或營造農塘，或鼓勵社區投入靜水域棲地生態調查與營造，後續計畫成果報告中將強化此面向的描述。
十一	建議也可將本土魚蟹類加入生態系的探討，隨農塘季度水	謝謝委員意見，本計畫將賡續評估是否於未來增加魚類與

項次	審查意見	回覆辦理情形
	量之不同的變化。	其他底棲生物的調查。
十二	建議將昆蟲植被分布與農塘衛星影像圖做套疊等不做同季度的比對。	謝謝委員意見，昆蟲與植被分佈受調查方法限制，已以個別農塘為單為彙整為單一筆的資料，故較不適宜進行套疊比對，後續將以描述統計之比較為主進行討論。
十三	建議可增加計畫區內水田、水路之分布圖及與農塘之連結，並可針對 NDVI、NDWI 之影像圖作探討分析。	謝謝委員意見，因調查後，發現計畫區內的水路連結較難徹底調查與視覺化，本計畫將以水田圖資分佈為主，並將納入TWI(地形濕度指標)以評估是否可用於在大尺度下替代直接水路連結的圖資進行分析。

項次	審查意見	回覆辦理情形
期初報告內容審查意見：		
一	生態調查僅做4各樣點、豐枯計各1次，其調查結果之代表性不足。	謝謝委員意見，集水區內農塘的數量眾多，考慮計畫期程、可行性與調查努力量，本計畫

項次	審查意見	回覆辦理情形
		預計執行共 4-6 口農塘之生態調查，以提供基礎資料予後續網絡分析工作。
二	生態調查人力、專業經歷背景、努力量均未列入計畫說明書。	謝謝委員意見，相關資料均已在計畫書說明書修訂本中納入。
三	需先對[坡地微水網、節點、網絡型態特徵等]新創名詞加以定義，以利說明與韌性評估之關聯性。	謝謝委員意見，節點、網絡型態特徵均非新創名詞，坡地微水網是指涉坡地上的農業、生活與基流量水資源網絡。是故核心架構仍為利用水資源生產與涵蓄、農業生產與保育、水生昆蟲調查等資料說明在坡地農業社會生態地景中的永續性如何架構，並因應氣候變遷或擾動。
四	本計畫欲針對貢寮枋腳溪、通霄通宵溪子集水區坡地棲地微水網分布、連結狀態等，進行微水網節點與連結分布調查與製圖，並針對試區內具代表性的農塘、水田叢結進行調查，記錄田埂高、耕作狀況、	謝謝委員指教。

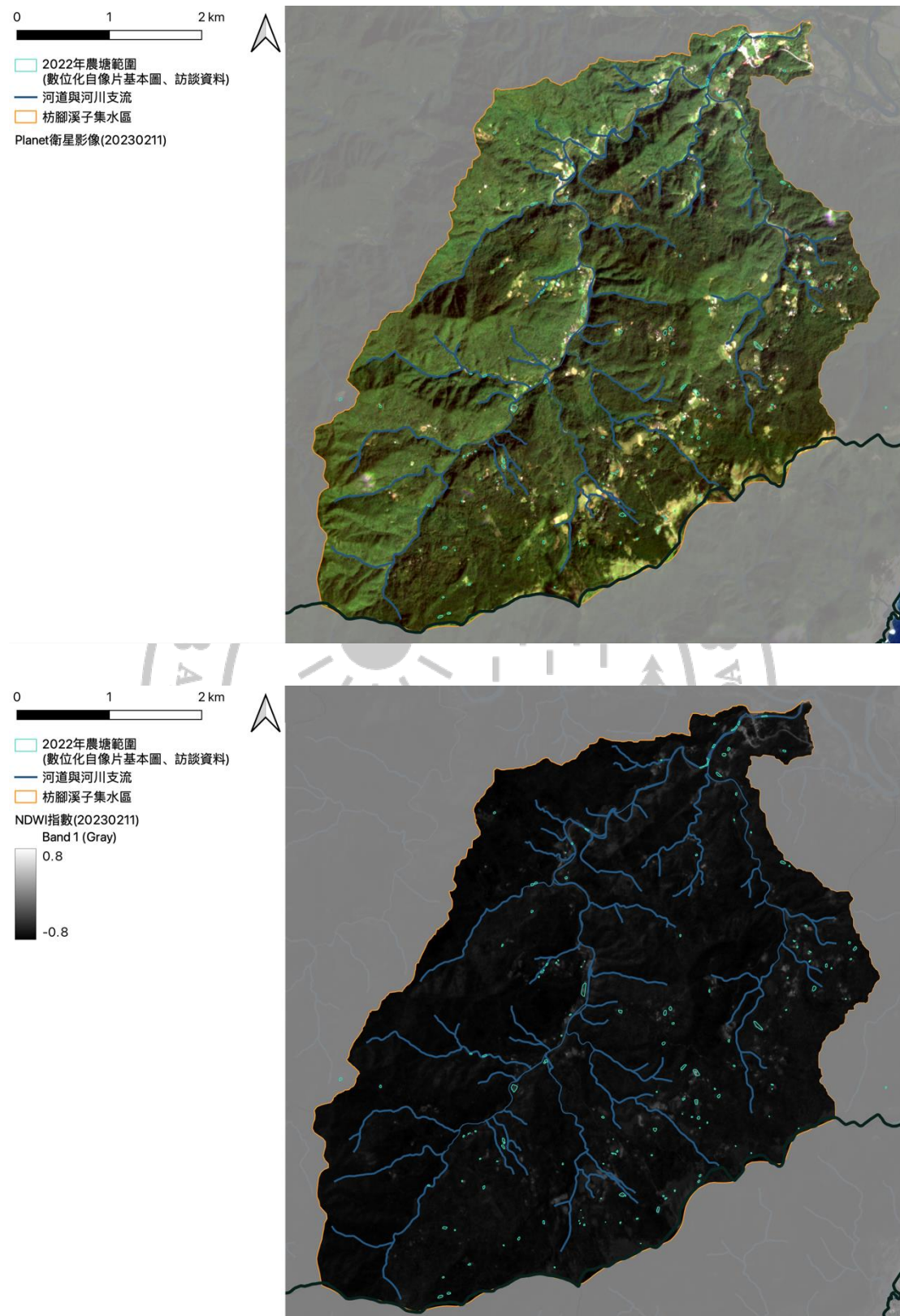
項次	審查意見	回覆辦理情形
	利用狀況等，並針對具代表性的農塘4-6口進行UAV與水深測量，並與居民訪談，特別針對相關生態系服務指標，如水資源管理方法與用水狀況、農作生產狀況、地景變遷歷史等，建立集農業生產、水文、生物多樣性等指標，瞭解坡地微水網的性質與網絡對內外部因子變遷的反應，如何影響坡地微水網內的生物多樣性組成、農業生產力、水資源供給與土砂災害防減能力，進而影響社群應對環境變遷的系統韌性，再進一步提出自然解方的對策與相關評估。	
五	計畫書撰寫完整、計畫目標明確、工作重要、方法可行。	謝謝委員指教。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	有關計畫書格式及經費審查部分： 1. 本計畫請以補助經費657仟元調整編列。 2. 本年度執行期限請修正為自113年2月7日至113年12月31日。(10.9個月)。薪俸、保險、退休離職儲金、主持人費、兼任研究助理，請以計畫執行期限10.9個月內編列。年終獎金亦配合計畫期程。	謝謝委員意見，均已於計畫說明書修訂本內調整。

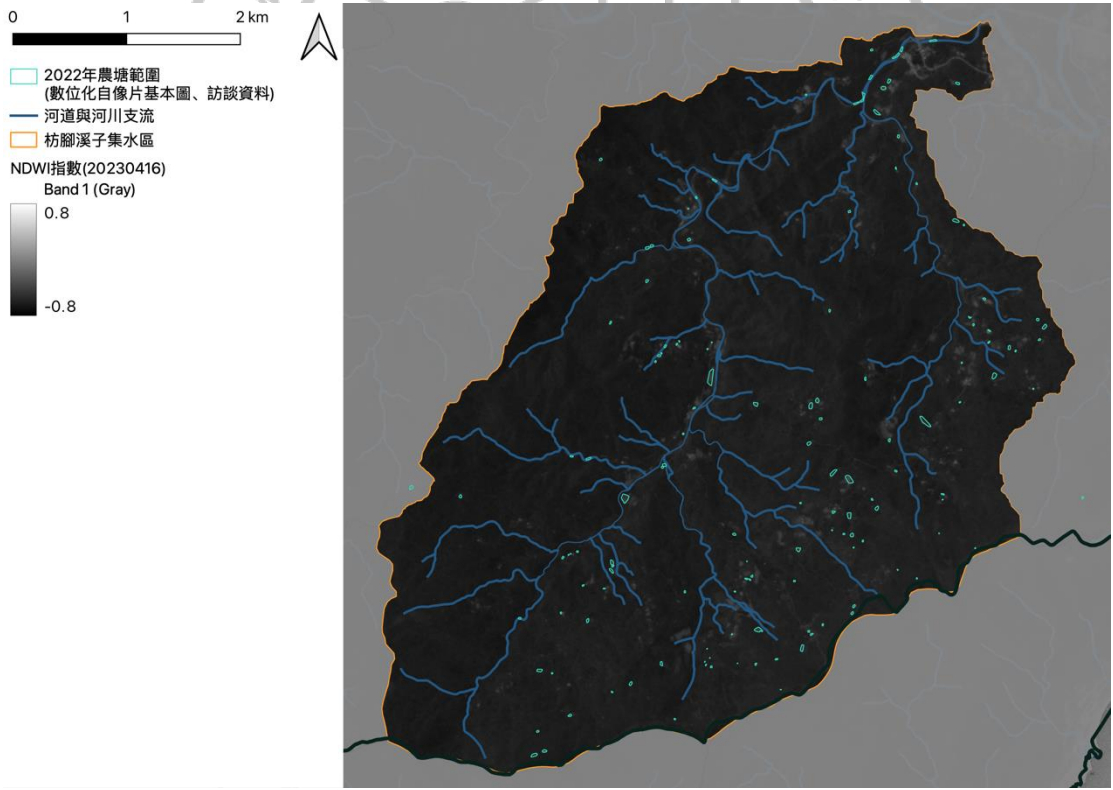
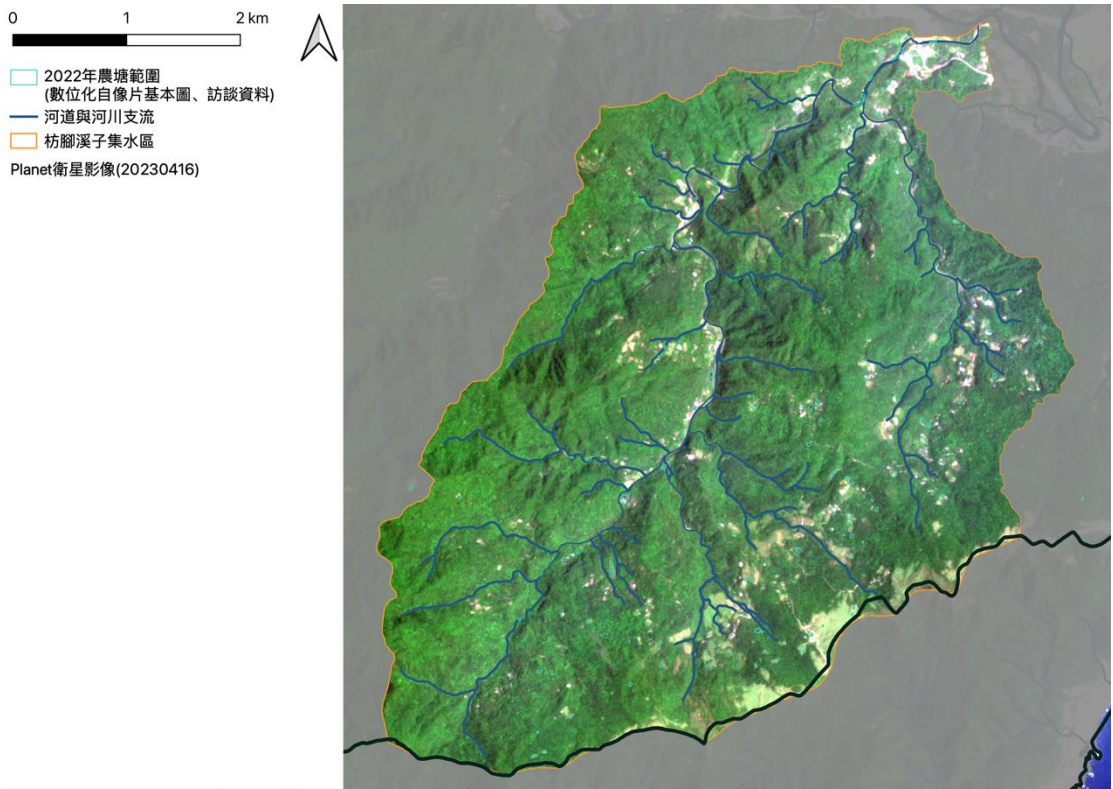


附錄二、集水區 2023 年四季次衛星影像與 NDWI 運算成果

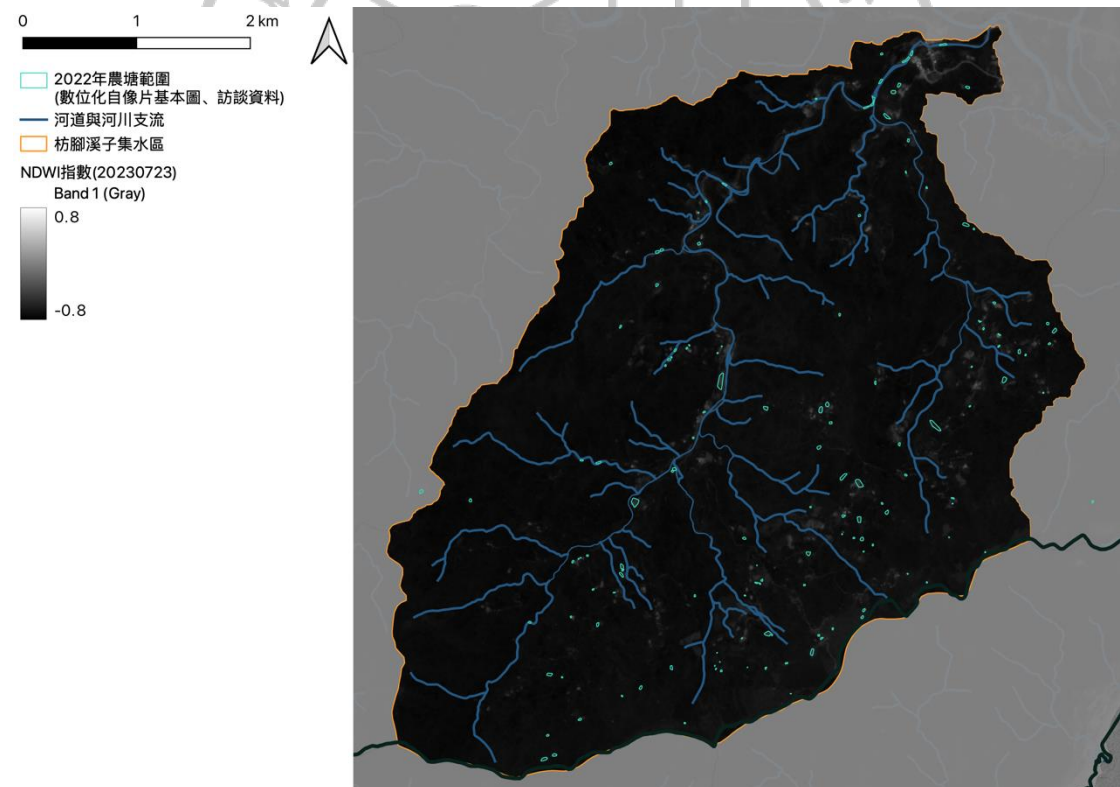
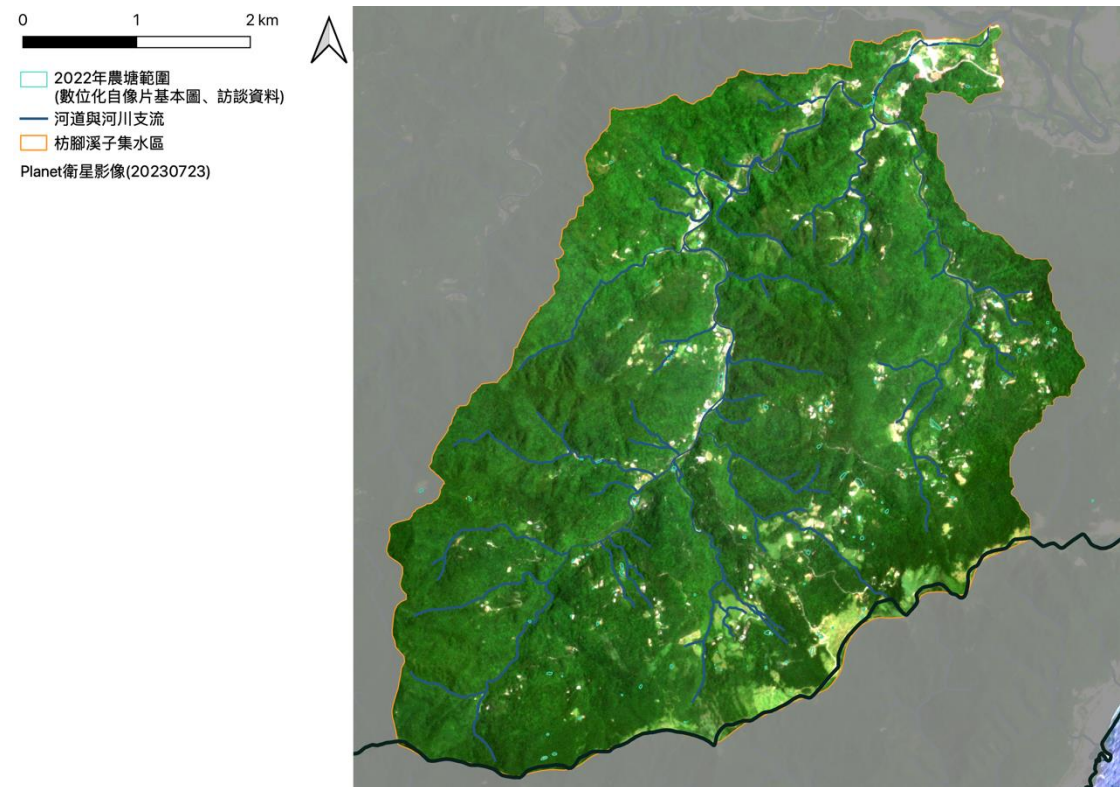
2023 年第一季，枋腳溪集水區



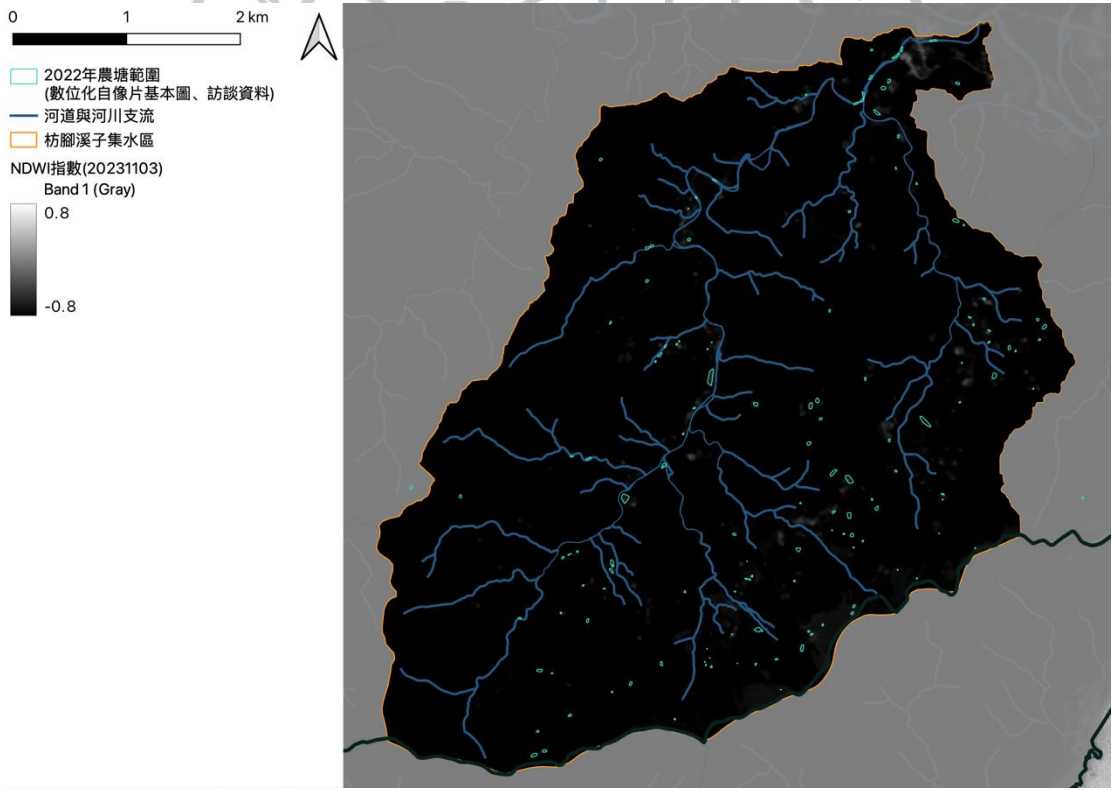
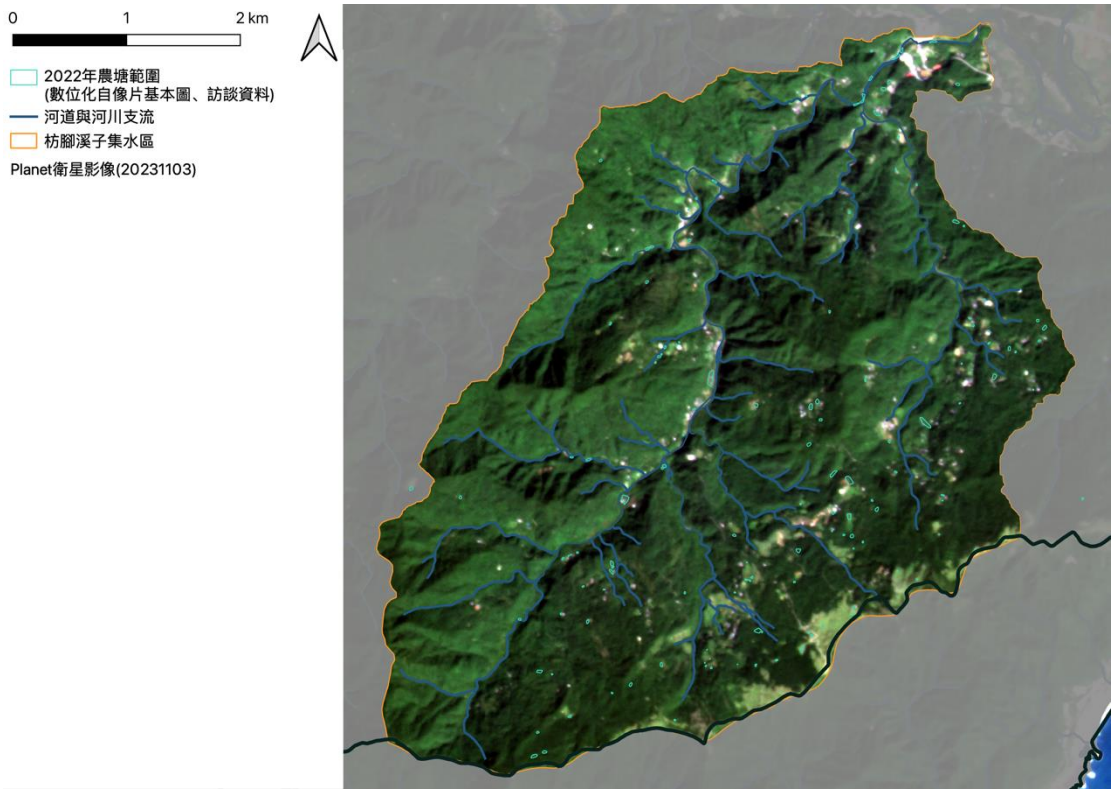
2023 年第二季，枋腳溪集水區



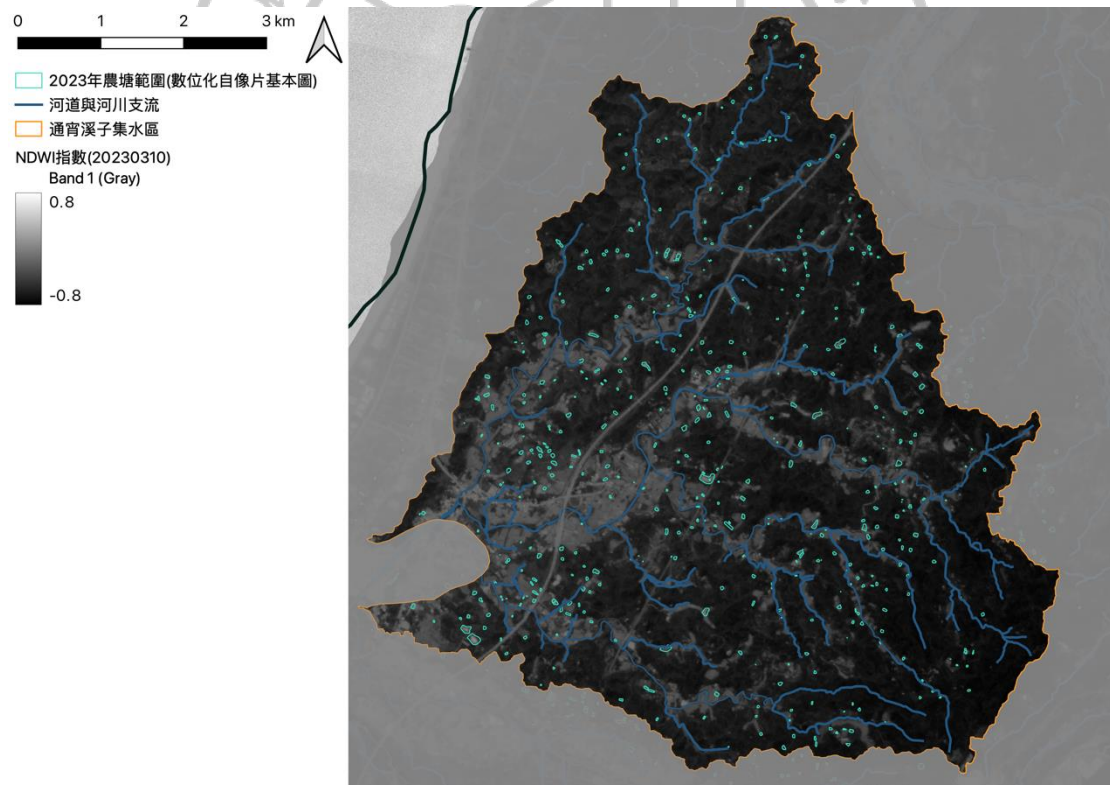
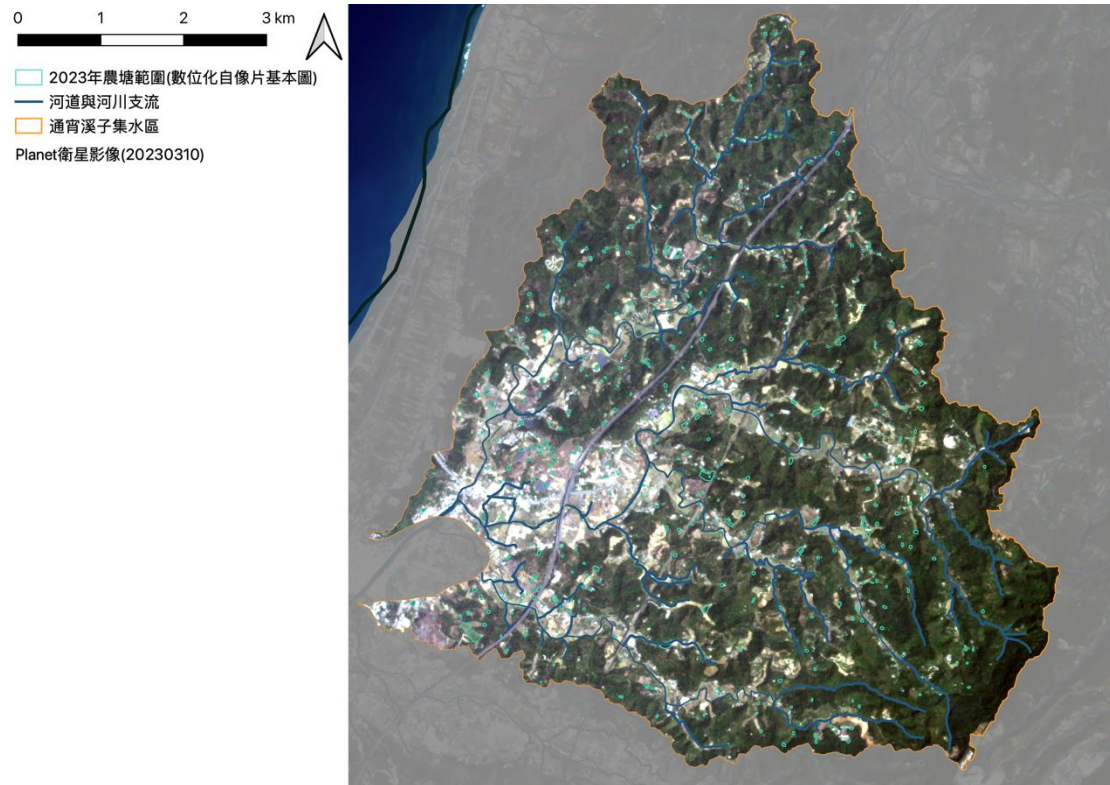
2023 年第三季，枋腳溪集水區



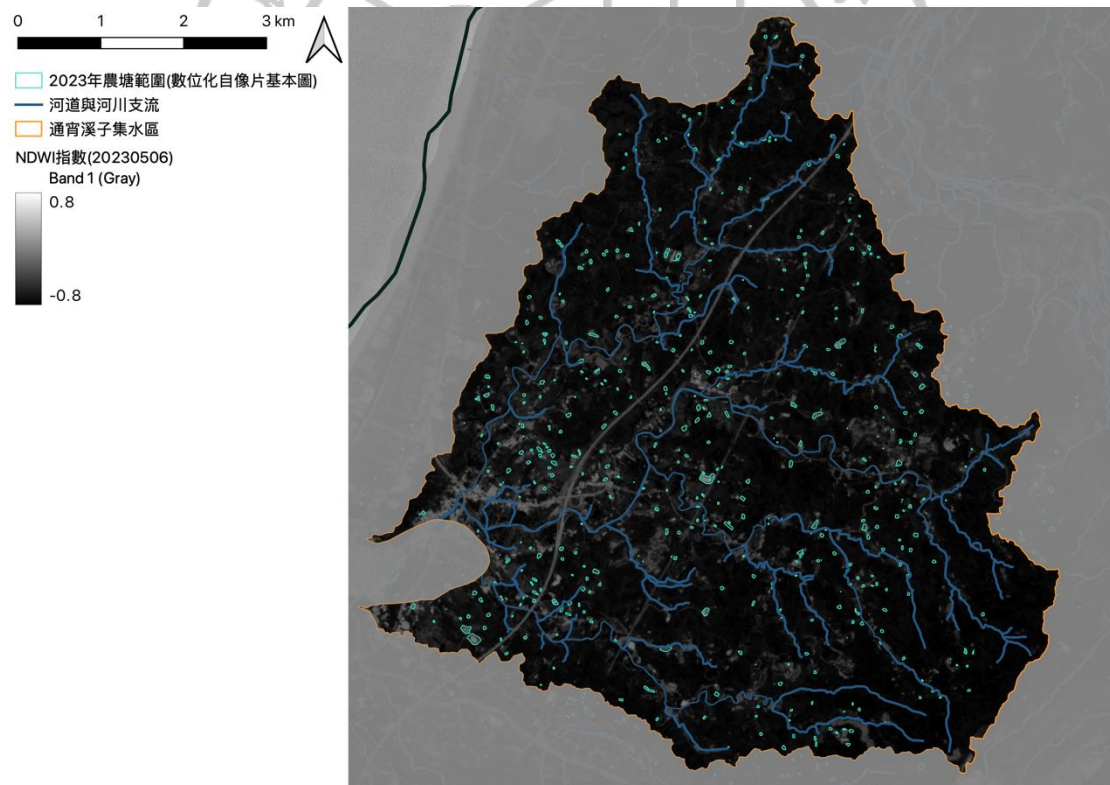
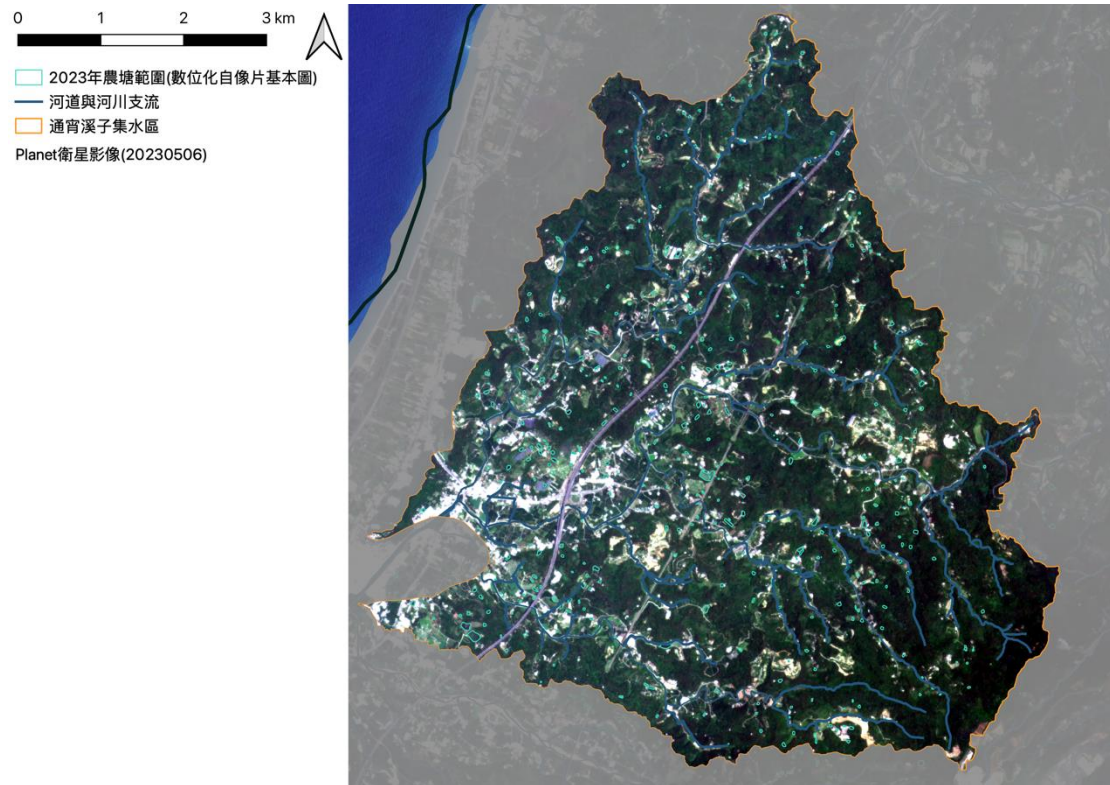
2023 年第四季，枋腳溪集水區



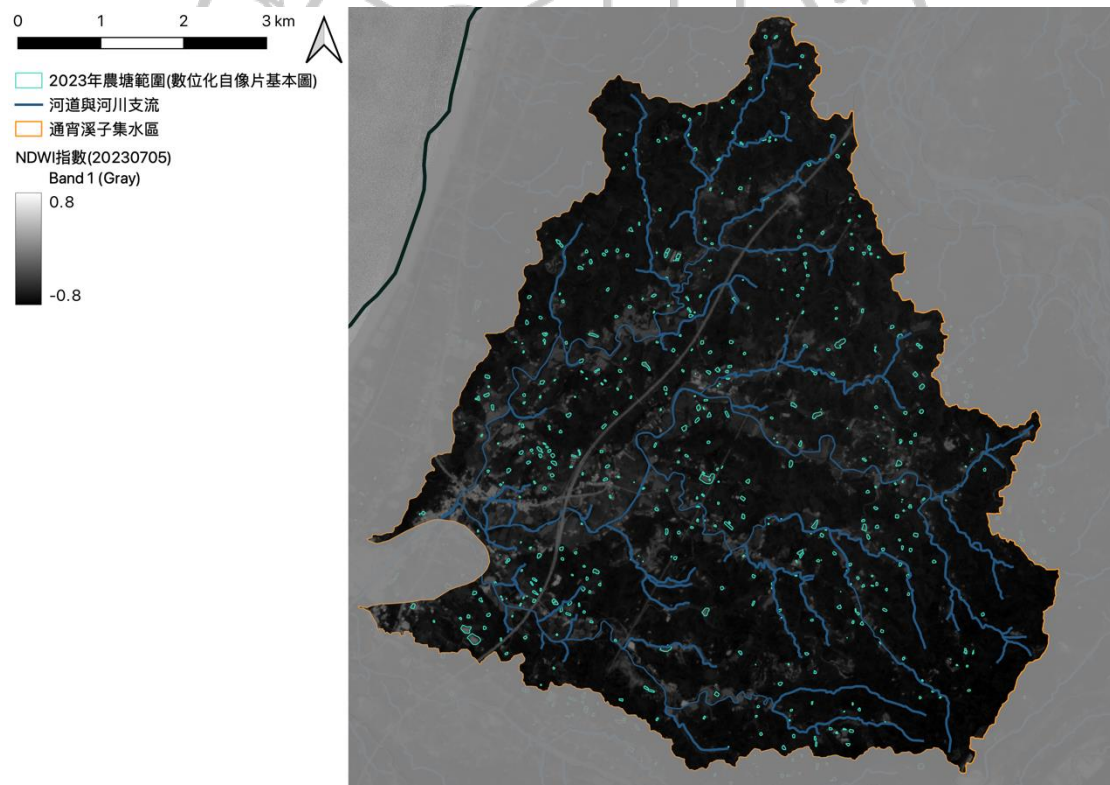
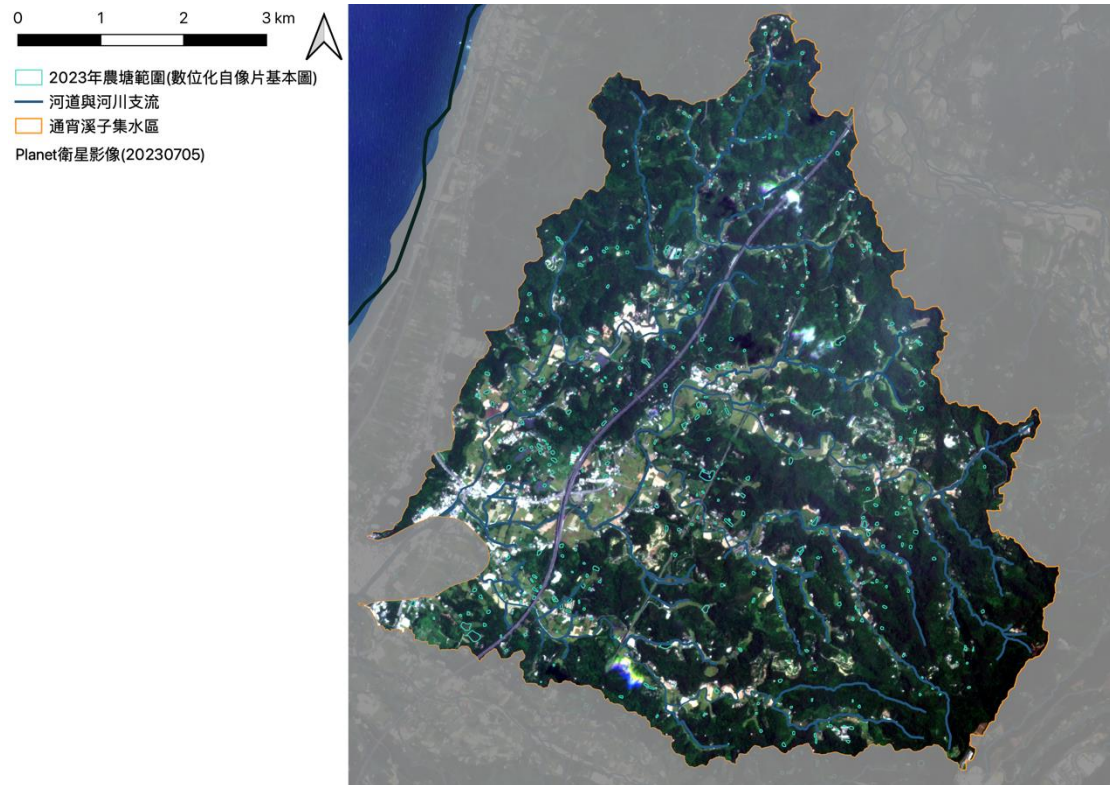
2023 年第一季，通宵溪集水區



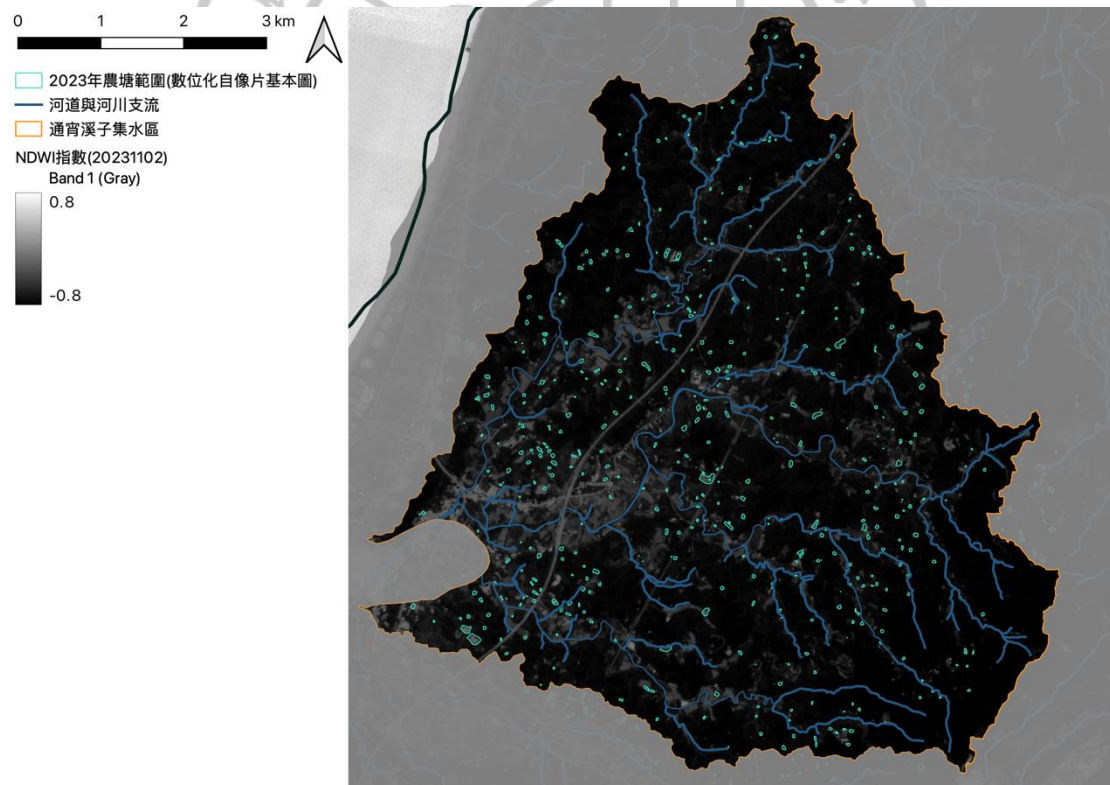
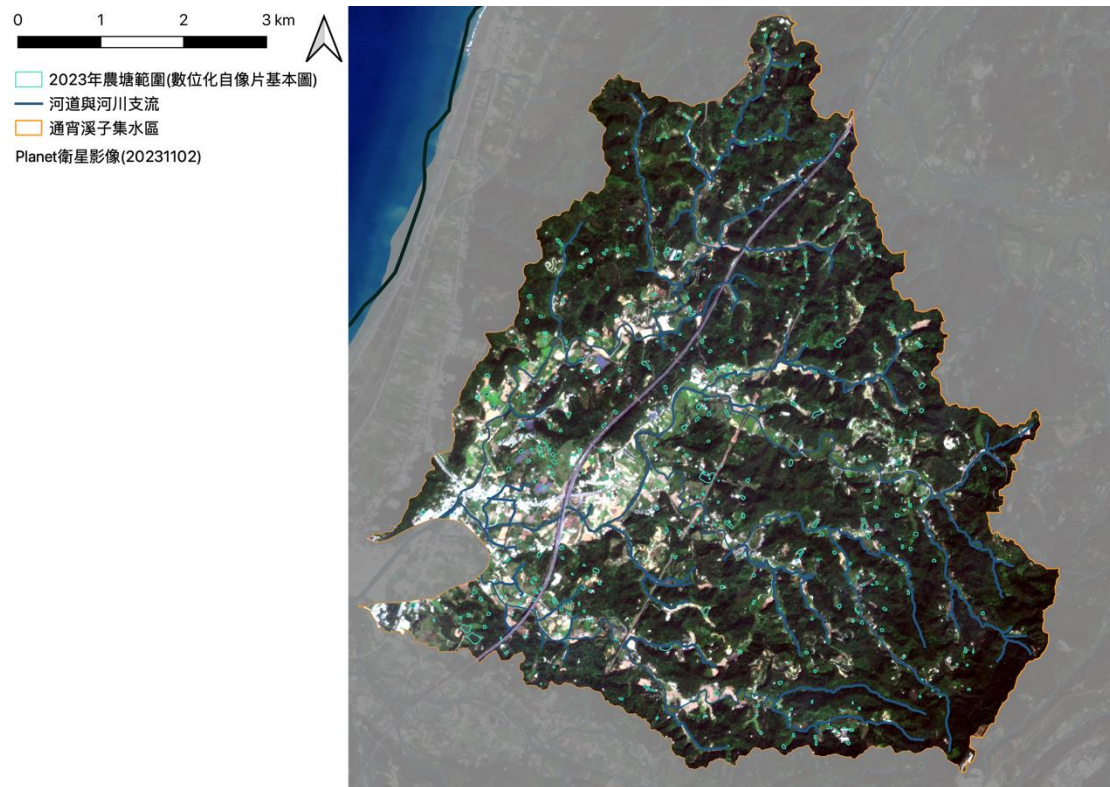
2023 年第二季，通宵溪集水區



2023 年第三季，通宵溪集水區



2023 年第四季，通宵溪集水區



附錄三、水棲昆蟲調查成果總表

第一季次

子集水區	農塘名稱	調查日期	目	科	科學名	棲地利用功能群	攝食功能群	個體數	百分比
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	鞘翅目	龍蝨科	Dytiscidae	climbers	predators	26	15.66%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	鞘翅目	圓花蚤科	Scirtidae	climbers	scrapers	1	0.60%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	predators	6	3.61%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	鞘翅目	方胸龍蝨科	Noteridae	climbers	predators	3	1.81%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	蜉蝣目	小蜉科	Ephemerellidae	clingers	collectors-gatherers	9	5.42%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	25	15.06%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	雙翅目	長足虻科	Dolichopodidae	sprawlers	predators	2	1.20%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	32	19.28%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	蜻蛉目	細蟴科	Coenagrionidae	climbers	predators	1	0.60%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	半翅目	蝽蟓科	Nepidae	climbers	predators	1	0.60%
通宵溪	柳樹塘	2024/08/13	半翅目	仰蝽科	Notonectidae	swimmers	predators	60	36.14%
通宵溪	兜池	2024/08/07	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	1479	94.44%
通宵溪	兜池	2024/08/07	雙翅目	大蚊科	Tipulidae	burrowers	shredders	1	0.06%
通宵溪	兜池	2024/08/07	半翅目	蝽蟓科	Gerridae	skaters	predators	7	0.45%
通宵溪	兜池	2024/08/07	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	20	1.28%
通宵溪	兜池	2024/08/07	蜻蛉目	細蟴科	Coenagrionidae	climbers	predators	4	0.26%
通宵溪	兜池	2024/08/07	蜻蛉目	晏蜓科	Aeshnidae	climbers	predators	14	0.89%
通宵溪	兜池	2024/08/07	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	predators	39	2.49%
通宵溪	兜池	2024/08/07	鞘翅目	圓花蚤科	Scirtidae	climbers	scrapers	1	0.06%
通宵溪	兜池	2024/08/07	鞘翅目	長角泥蟲科	Elmidae	clingers	collectors-gatherers	1	0.06%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	Predators	18	1.15%

通宵溪	田鰲池	2024/08/13	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	1524	96.95%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	Predators	5	0.32%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	Predators	4	0.25%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	蜻蛉目	琵琶科	Platycnemididae	climbers	Predators	1	0.06%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	半翅目	划蝽科	Corixidae	swimmers	collectors-gatherers	14	0.89%
通宵溪	田鰲池	2024/08/13	半翅目	仰蝽科	Notonectidae	swimmers	Predators	6	0.38%
枋腳溪	下埤	2024/08/21	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	113	95.76%
枋腳溪	下埤	2024/08/21	雙翅目	大蚊科	Tipulidae	burrowers	shredders	2	1.69%
枋腳溪	下埤	2024/08/21	半翅目	仰蝽科	Notonectidae	swimmers	predators	1	0.85%
枋腳溪	下埤	2024/08/21	半翅目	蛄蝽科	Gerridae	skaters	predators	1	0.85%
枋腳溪	下埤	2024/08/21	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	predators	1	0.85%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	半翅目	划蝽科	Corixidae	swimmers	collectors-gatherers	27	5.00%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	半翅目	仰蝽科	Notonectidae	swimmers	predators	51	9.44%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	232	42.96%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	雙翅目	大蚊科	Tipulidae	burrowers	shredders	1	0.19%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜻蛉目	晏蜓科	Aeshnidae	climbers	predators	51	9.44%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	predators	1	0.19%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	67	12.41%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜻蛉目	琵琶科	Platycnemididae	climbers	predators	1	0.19%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜻蛉目	細蟴科	Coenagrionidae	climbers	predators	75	13.89%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜉蝣目	小蜉科	Ephemerellidae	clingers	collectors-gatherers	11	2.04%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	蜉蝣目	四節蜉蝣科	Baetidae	clingers	collectors-gatherers	1	0.19%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	鞘翅目	龍蝨科	Dytiscidae	climbers	predators	7	1.30%
枋腳溪	無名池塘	2024/08/21	鱗翅目	草螟科	Crambidae	climbers	shredders	15	2.78%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	142	81.14%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	雙翅目	蠓科	Ceratopogonidae	sprawlers	predators	2	1.14%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	毛翅目	長角石蛾科	Leptoceridae	clingers	shredders	1	0.57%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	predators	7	4.00%

枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	8	4.57%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	蜻蛉目	琵螳科	Platycnemididae	climbers	predators	4	2.29%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	predators	1	0.57%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	蜉蝣目	小蜉科	Ephemerellidae	clingers	collectors-gatherers	4	2.29%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	蜉蝣目	仰蝽科	Notonectidae	swimmers	predators	3	1.71%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	半翅目	蝸蝽科	Nepidae	climbers	predators	1	0.57%
枋腳溪	黑底埤	2024/08/22	半翅目	黽蝽科	Gerridae	skaters	predators	2	1.14%



第二季次

子集水區	農塘名稱	調查日期	目	科中文名	科學名	棲地利用功能群	攝食功能群	個體數	百分比
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	11	0.16923
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	蜻蛉目	晏蜓科	Aeshnidae	climbers	predators	1	0.01538
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	鞘翅目	龍蝨科	Dytiscidae	swimmers	predators	3	0.04615
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	半翅目	黽蟾科	Gerridae	skaters	predators	2	0.03077
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	半翅目	仰蟾科	Notonectidae	swimmers	predators	31	0.47692
通宵溪	柳樹塘	2024/10/28	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	17	0.26154
通宵溪	兌池	2024/10/28	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	1317	0.91522
通宵溪	兌池	2024/10/28	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	predators	23	0.01598
通宵溪	兌池	2024/10/28	鞘翅目	龍蝨科	Dytiscidae	swimmers	predators	2	0.00139
通宵溪	兌池	2024/10/28	半翅目	仰蟾科	Notonectidae	swimmers	predators	15	0.01042
通宵溪	兌池	2024/10/28	半翅目	划蟾科	Corixidae	swimmers	collectors-gatherers	1	0.00069
通宵溪	兌池	2024/10/28	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	24	0.01668
通宵溪	兌池	2024/10/28	蜻蛉目	晏蜓科	Aeshnidae	climbers	predators	57	0.03961
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	鞘翅目	牙蟲科	Hydrophilidae	climbers	predators	1	0.01000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	49	0.49000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	半翅目	蛄蟾科	Nepidae	climbers	predators	1	0.01000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	雙翅目	蠓科	Ceratopogonidae	sprawlers	predators	2	0.02000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	半翅目	仰蟾科	Notonectidae	swimmers	predators	4	0.04000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	半翅目	划蟾科	Corixidae	swimmers	collectors-gatherers	25	0.25000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	predators	14	0.14000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	3	0.03000
通宵溪	田鰲池	2024/10/28	蜻蛉目	細蟴科	Coenagrionidae	climbers	predators	1	0.01000
枋腳溪	下埤	2024/10/29	雙翅目	大蚊科	Tipulidae	burrowers	shredders	2	0.01695
枋腳溪	下埤	2024/10/29	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	62	0.52542
枋腳溪	下埤	2024/10/29	蜻蛉目	春蜓科	Gomphidae	burrowers	predators	1	0.00847

枋腳溪	下埤	2024/10/29	半翅目	黽蟾科	Gerridae	skaters	predators	1	0.00847
枋腳溪	下埤	2024/10/29	鞘翅目	螢科	Lampyridae	climbers	predators	1	0.00847
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	蜻蛉目	晏蜓科	Aeshnidae	climbers	predators	2	0.00370
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	蜻蛉目	蜻蜓科	Libellulidae	sprawlers	predators	4	0.00741
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	鱗翅目	草螟科	Crambidae	climbers	shredders	3	0.00556
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	半翅目	仰蟾科	Notonectidae	swimmers	predators	1	0.00185
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	鞘翅目	扁泥蟲科	Psephenidae	clingers	scrapers	3	0.00556
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	雙翅目	蠓科	Ceratopogonidae	sprawlers	predators	11	0.02037
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	蜉蝣目	小蜉科	Ephemerellidae	clingers	collectors-gatherers	3	0.00556
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	雙翅目	搖蚊科	Chironomidae	burrowers	collectors-gatherers	347	0.64259
枋腳溪	無名池塘	2024/10/29	雙翅目	虻科	Tabanidae	sprawlers	predators	1	0.00185



附錄四、植物調查名錄

通宵溪子集水區				
柳樹塘	科名		中文名	學名
1	菊科	Asteraceae	藿香薊	<i>Ageratum conyzoides</i>
2	菊科	Asteraceae	大花咸豐草	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i>
3	菊科	Asteraceae	小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>
4	大麻科	Cannabaceae	石朴	<i>Celtis formosana</i>
5	鴨跖草科	Commelinaceae	竹仔菜	<i>Commelina diffusa</i>
6	旋花科	Convolvulaceae	掌葉牽牛	<i>Ipomoea mauritiana</i>
7	大戟科	Euphorbiaceae	扛香藤	<i>Mallotus repandus</i>
8	豆科	Fabaceae	山葛	<i>Pueraria montana</i>
9	樟科	Lauraceae	黃肉樹	<i>Litsea hypophaea</i>
10	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>
11	錦葵科	Malvaceae	野棉花	<i>Urena lobata</i>
12	防己科	Menispermaceae	千金藤	<i>Stephania japonica</i> var. <i>japonica</i>
13	桑科	Moraceae	小葉桑	<i>Morus australis</i>
14	西番蓮科	Passifloraceae	三角葉西番蓮	<i>Passiflora suberosa</i>
15	葉下珠科	Phyllanthaceae	土密樹	<i>Bridelia tomentosa</i>
16	胡椒科	Piperaceae	風藤	<i>Piper kadsura</i>
17	海桐科	Pittosporaceae	海桐	<i>Pittosporum tobira</i>
18	禾本科	Poaceae	弓果黍	<i>Cyrtococcum patens</i>
19	禾本科	Poaceae	升馬唐	<i>Digitaria ciliaris</i>
20	禾本科	Poaceae	白背芒	<i>Miscanthus sinensis</i> fo. <i>glaber</i>
21	禾本科	Poaceae	大黍	<i>Panicum maximum</i>
22	禾本科	Poaceae	象草	<i>Pennisetum purpureum</i>
23	蓼科	Polygonaceae	扛板歸	<i>Persicaria perfoliata</i>
24	芸香科	Rutaceae	月橘	<i>Murraya exotica</i>
25	芸香科	Rutaceae	雙面刺	<i>Zanthoxylum nitidum</i>
26	茄科	Solanaceae	瑪瑙珠	<i>Solanum diphyllum</i>
27	金星蕨科	Thelypteridaceae	密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>
28	薑科	Zingiberaceae	月桃	<i>Alpinia zerumbet</i>

通宵溪子集水區				
號池	科名		中文名	學名
1	五加科	Araliaceae	三葉五加	<i>Eleutherococcus trifolius</i>
2	菊科	Asteraceae	大花咸豐草	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i>
3	菊科	Asteraceae	小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>
4	落葵科	Basellaceae	洋落葵	<i>Anredera cordifolia</i>
5	旋花科	Convolvulaceae	掌葉牽牛	<i>Ipomoea mauritiana</i>
6	碗蕨科	Dennstaedtiaceae	粗毛鱗蓋蕨	<i>Microlepia strigosa</i>
7	大戟科	Euphorbiaceae	扛香藤	<i>Mallotus repandus</i>
8	大戟科	Euphorbiaceae	烏柏	<i>Triadica sebifera</i>
9	豆科	Fabaceae	山葛	<i>Pueraria montana</i>
10	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>
11	防己科	Menispermaceae	千金藤	<i>Stephania japonica</i> var. <i>japonica</i>
12	桑科	Moraceae	構樹	<i>Broussonetia papyrifera</i>
13	桑科	Moraceae	榕樹	<i>Ficus microcarpa</i> var. <i>microcarpa</i>
14	禾本科	Poaceae	白背芒	<i>Miscanthus sinensis</i> fo. <i>glaber</i>
15	禾本科	Poaceae	大黍	<i>Panicum maximum</i>
16	禾本科	Poaceae	象草	<i>Pennisetum purpureum</i>
17	禾本科	Poaceae	蘆葦	<i>Phragmites australis</i>
18	薔薇科	Rosaceae	厚葉石斑木	<i>Rhaphiolepis indica</i> var. <i>umbellata</i>
19	茜草科	Rubiaceae	雞屎藤	<i>Paederia foetida</i>
20	金星蕨科	Thelypteridaceae	毛蕨	<i>Cyclosorus interruptus</i>
21	馬鞭草科	Verbenaceae	馬纓丹	<i>Lantana camara</i>
22	葡萄科	Vitaceae	三葉崖爬藤	<i>Tetrastigma formosanum</i>

通霄溪子集水區				
田鰲池	科名		中文名	學名
1	爵床科	Acanthaceae	爵床	<i>Justicia procumbens</i> var. <i>procumbens</i>
2	繖形科	Apiaceae	雷公根	<i>Centella asiatica</i>
3	菊科	Asteraceae	大花咸豐草	<i>Bidens alba</i> var. <i>radiata</i>
4	菊科	Asteraceae	美洲假蓬	<i>Conyza bonariensis</i>
5	菊科	Asteraceae	小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>
6	菊科	Asteraceae	翼莖闊苞菊	<i>Pluchea sagittalis</i>
7	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	假蹄蓋蕨	<i>Deparia petersenii</i>
8	落葵科	Basellaceae	洋落葵	<i>Anredera cordifolia</i>
9	大麻科	Cannabaceae	石朴	<i>Celtis formosana</i>
10	大麻科	Cannabaceae	山黃麻	<i>Trema orientalis</i>
11	石竹科	Caryophyllaceae	長萼瞿麥	<i>Dianthus superbus</i> var. <i>longicalycinus</i>
12	瓜科	Cucurbitaceae	短角苦瓜	<i>Momordica charantia</i> var. <i>abbreviata</i>
13	莎草科	Cyperaceae	畦畔莎草	<i>Cyperus haspan</i>
14	大戟科	Euphorbiaceae	野桐	<i>Mallotus japonicus</i>
15	大戟科	Euphorbiaceae	烏柏	<i>Triadica sebifera</i>
16	豆科	Fabaceae	銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>
17	豆科	Fabaceae	山葛	<i>Pueraria montana</i>
18	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>
19	錦葵科	Malvaceae	黃槿	<i>Hibiscus tiliaceus</i>
20	野牡丹科	Melastomataceae	野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>
21	柳葉菜科	Onagraceae	細葉水丁香	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>
22	酢漿草科	Oxalidaceae	酢漿草	<i>Oxalis corniculata</i>
23	海桐科	Pittosporaceae	海桐	<i>Pittosporum tobira</i>
24	禾本科	Poaceae	巴拉草	<i>Brachiaria mutica</i>
25	禾本科	Poaceae	孟仁草	<i>Chloris barbata</i>
26	禾本科	Poaceae	稗	<i>Echinochloa crus-galli</i>
27	禾本科	Poaceae	白背芒	<i>Miscanthus sinensis</i> fo. <i>glaber</i>
28	禾本科	Poaceae	大黍	<i>Panicum maximum</i>
29	禾本科	Poaceae	鋪地黍	<i>Panicum repens</i>
30	禾本科	Poaceae	象草	<i>Pennisetum purpureum</i>
31	禾本科	Poaceae	蘆葦	<i>Phragmites australis</i>
32	蓼科	Polygonaceae	睫穗蓼	<i>Persicaria longiseta</i>
33	茜草科	Rubiaceae	繖花龍吐珠	<i>Hedyotis corymbosa</i>
34	芸香科	Rutaceae	月橘	<i>Murraya exotica</i>
35	金星蕨科	Thelypteridaceae	野小毛蕨	<i>Christella dentata</i>

36	薑科	Zingiberaceae	野薑花	<i>Hedychium coronarium</i>
----	----	---------------	-----	-----------------------------



枋腳溪子集水區				
黑底埤	科名		中文名	學名
1	爵床科	Acanthaceae	哈啞花	<i>Staurogyne concinnula</i>
2	獼猴桃科	Actinidiaceae	水冬瓜	<i>Saurauia tristyla</i> var. <i>oldhamii</i>
3	繖形科	Apiaceae	雷公根	<i>Centella asiatica</i>
4	冬青科	Aquifoliaceae	燈稱花	<i>Ilex asprella</i>
5	冬青科	Aquifoliaceae	密毛假黃楊	<i>Ilex pubescens</i>
6	五加科	Araliaceae	臺灣天胡荽	<i>Hydrocotyle batrachium</i>
7	棕櫚科	Arecaceae	黃藤	<i>Calamus formosanus</i>
9	菊科	Asteraceae	藿香薊	<i>Ageratum conyzoides</i>
11	菊科	Asteraceae	大頭艾納香	<i>Blumea riparia</i> var. <i>megacephala</i>
10	菊科	Asteraceae	翼莖闊苞菊	<i>Pluchea sagittalis</i>
8	菊科	Asteraceae	過山龍	<i>Vernonia gratiosa</i>
13	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i>
12	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	細柄雙蓋蕨	<i>Diplazium donianum</i> var. <i>donianum</i>
14	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	過溝菜蕨	<i>Diplazium esculentum</i>
15	金粟蘭科	Chloranthaceae	草珊瑚	<i>Sarcandra glabra</i>
17	莎草科	Cyperaceae	木虱草	<i>Fimbristylis littoralis</i> var. <i>littoralis</i>
16	莎草科	Cyperaceae	短葉水蜈蚣	<i>Kyllinga brevifolia</i>
18	碗蕨科	Dennstaedtiaceae	熱帶鱗蓋蕨	<i>Microlepia speluncae</i>
19	鱗毛蕨科	Dryopteridaceae	斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes amabilis</i> var. <i>fimbriata</i>
20	豆科	Fabaceae	鰓垂豆	<i>Archidendron lucidum</i>
21	裏白科	Gleicheniaceae	芒萁	<i>Dicranopteris linearis</i>
22	八仙花科	Hydrangeaceae	華八仙	<i>Hydrangea chinensis</i>
23	金絲桃科	Hypericaceae	地耳草	<i>Hypericum japonicum</i>
24	鼠刺科	Iteaceae	鼠刺	<i>Itea oldhamii</i>
26	唇形科	Lamiaceae	紫珠	<i>Callicarpa dichotoma</i>
25	唇形科	Lamiaceae	大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>
27	樟科	Lauraceae	豬腳楠	<i>Machilus thunbergii</i>
28	千屈菜科	Lythraceae	九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>
29	錦葵科	Malvaceae	野棉花	<i>Urena lobata</i>
30	通泉科	Mazaceae	佛氏通泉草	<i>Mazus fauriei</i>
31	野牡丹科	Melastomataceae	野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>
32	防己科	Menispermaceae	木防己	<i>Cocculus orbiculatus</i>
34	桑科	Moraceae	天仙果	<i>Ficus formosana</i>
33	桑科	Moraceae	珍珠蓮	<i>Ficus sarmentosa</i> var. <i>nipponica</i>

35	腎蕨科	Nephrolepidaceae	腎蕨	<i>Nephrolepis cordifolia</i>
36	五列木科	Pentaphylacaceae	森氏紅淡比	<i>Cleyera japonica</i> var. <i>morii</i>
37	葉下珠科	Phyllanthaceae	疣果葉下珠	<i>Phyllanthus hookeri</i>
38	胡椒科	Piperaceae	風藤	<i>Piper kadsura</i>
42	禾本科	Poaceae	狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>
44	禾本科	Poaceae	弓果黍	<i>Cyrtococcum patens</i>
41	禾本科	Poaceae	稗	<i>Echinochloa crus-galli</i>
40	禾本科	Poaceae	假儉草	<i>Eremochloa ophiuroides</i>
45	禾本科	Poaceae	竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>
46	禾本科	Poaceae	求米草	<i>Oplismenus hirtellus</i>
43	禾本科	Poaceae	鋪地黍	<i>Panicum repens</i>
39	禾本科	Poaceae	兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>
47	蓼科	Polygonaceae	火炭母草	<i>Persicaria chinensis</i>
48	報春花科	Primulaceae	樹杞	<i>Ardisia sieboldii</i>
49	薔薇科	Rosaceae	斯氏懸鉤子	<i>Rubus swinhoei</i>
50	茜草科	Rubiaceae	琉球雞屎樹	<i>Lasianthus fordii</i>
54	茜草科	Rubiaceae	圓葉雞屎樹	<i>Lasianthus wallichii</i>
53	茜草科	Rubiaceae	臺北玉葉金花	<i>Mussaenda taihokuensis</i>
51	茜草科	Rubiaceae	九節木	<i>Psychotria rubra</i>
52	茜草科	Rubiaceae	擬鴨舌癩	<i>Richardia scabra</i>
55	芸香科	Rutaceae	雙面刺	<i>Zanthoxylum nitidum</i>
56	卷柏科	Selaginellaceae	生根卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i>
57	卷柏科	Selaginellaceae	異葉卷柏	<i>Selaginella moellendorffii</i>
58	菝葜科	Smilacaceae	平柄菝葜	<i>Smilax bockii</i>
59	菝葜科	Smilacaceae	菝葜	<i>Smilax china</i>
60	菝葜科	Smilacaceae	臺灣土茯苓	<i>Smilax lanceifolia</i>
61	蕁麻科	Urticaceae	冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> var. <i>majus</i>
62	葡萄科	Vitaceae	三葉崖爬藤	<i>Tetrastigma formosanum</i>
63	薑科	Zingiberaceae	山月桃	<i>Alpinia intermedia</i>

枋腳溪子集水區				
下埤	科名		中文名	學名
1	爵床科	Acanthaceae	哈啞花	<i>Staurogyne concinnula</i>
2	棕櫚科	Arecaceae	山棕	<i>Arenga tremula</i>
3	菊科	Asteraceae	昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>
4	菊科	Asteraceae	臺灣山菊	<i>Farfugium japonicum</i> var. <i>formosanum</i>
5	菊科	Asteraceae	翼莖闊苞菊	<i>Pluchea sagittalis</i>
6	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i>
7	蹄蓋蕨科	Athyriaceae	過溝菜蕨	<i>Diplazium esculentum</i>
8	烏毛蕨科	Blechnaceae	烏毛蕨	<i>Blechnopsis orientalis</i>
9	薯蕷科	Dioscoreaceae	華南薯蕷	<i>Dioscorea collettii</i>
10	豆科	Fabaceae	小槐花	<i>Ohwia caudata</i>
11	裏白科	Gleicheniaceae	芒萁	<i>Dicranopteris linearis</i>
12	石松科	Lycopodiaceae	過山龍	<i>Lycopodiella cernua</i>
13	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>
14	錦葵科	Malvaceae	野棉花	<i>Urena lobata</i>
15	合囊蕨科	Marattiaceae	觀音座蓮	<i>Angiopteris lygodiiifolia</i>
16	野牡丹科	Melastomataceae	野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>
17	防己科	Menispermaceae	木防己	<i>Cocculus orbiculatus</i>
18	桑科	Moraceae	豬母乳	<i>Ficus fistulosa</i>
19	桑科	Moraceae	天仙果	<i>Ficus formosana</i>
20	腎蕨科	Nephrolepidaceae	腎蕨	<i>Nephrolepis cordifolia</i>
21	五列木科	Pentaphylacaceae	米碎桫欏	<i>Eurya chinensis</i>
22	葉下珠科	Phyllanthaceae	疣果葉下珠	<i>Phyllanthus hookeri</i>
23	禾本科	Poaceae	五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>
24	禾本科	Poaceae	求米草	<i>Oplismenus hirtellus</i>
25	禾本科	Poaceae	兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>
26	蓼科	Polygonaceae	火炭母草	<i>Persicaria chinensis</i>
27	蓼科	Polygonaceae	睫穗蓼	<i>Persicaria longiseta</i>
28	報春花科	Primulaceae	樹杞	<i>Ardisia sieboldii</i>
29	報春花科	Primulaceae	臺灣山桂花	<i>Maesa perlaria</i> var. <i>formosana</i>
30	鳳尾蕨科	Pteridaceae	傅氏鳳尾蕨	<i>Pteris fauriei</i> var. <i>fauriei</i>
31	薔薇科	Rosaceae	刺莓	<i>Rubus rosifolius</i>
32	薔薇科	Rosaceae	斯氏懸鉤子	<i>Rubus swinhoei</i>
33	茜草科	Rubiaceae	琉球雞屎樹	<i>Lasianthus fordii</i>
34	卷柏科	Selaginellaceae	全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i>

35	卷柏科	Selaginellaceae	生根卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i>
36	灰木科	Symplocaceae	灰木	<i>Symplocos chinensis</i>
37	金星蕨科	Thelypteridaceae	三葉新月蕨(新月蕨)	<i>Pronephrium triphyllum</i>
38	金星蕨科	Thelypteridaceae	三葉新月蕨(新月蕨)	<i>Pronephrium triphyllum</i>
39	蕁麻科	Urticaceae	冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> var. <i>majus</i>
40	蕁麻科	Urticaceae	長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>
41	薑科	Zingiberaceae	山月桃	<i>Alpinia intermedia</i>



枋腳溪子集水區				
無名水池	科名		中文名	學名
1	爵床科	Acanthaceae	哈啞花	<i>Staurogyne concinnula</i>
2	澤瀉科	Alismataceae	三腳剪	<i>Sagittaria trifolia</i>
3	天南星科	Araceae	芋	<i>Colocasia esculenta</i>
4	五加科	Araliaceae	裏白櫟木	<i>Aralia bipinnata</i>
5	棕櫚科	Arecaceae	山棕	<i>Arenga tremula</i>
6	菊科	Asteraceae	藿香薊	<i>Ageratum conyzoides</i>
7	菊科	Asteraceae	臺灣山菊	<i>Farfugium japonicum</i> var. <i>formosanum</i>
8	鴨跖草科	Commelinaceae	竹仔菜	<i>Commelina diffusa</i>
9	莎草科	Cyperaceae	長穗宿柱薹	<i>Carex dolichostachya</i>
10	碗蕨科	Dennstaedtiaceae	熱帶鱗蓋蕨	<i>Microlepia speluncae</i>
11	裏白科	Gleicheniaceae	芒萁	<i>Dicranopteris linearis</i>
12	唇形科	Lamiaceae	石薺蓼	<i>Mosla scabra</i>
13	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>
14	錦葵科	Malvaceae	野棉花	<i>Urena lobata</i>
15	防己科	Menispermaceae	木防己	<i>Cocculus orbiculatus</i>
16	腎蕨科	Nephrolepidaceae	腎蕨	<i>Nephrolepis cordifolia</i>
17	胡椒科	Piperaceae	風藤	<i>Piper kadsura</i>
18	禾本科	Poaceae	弓果黍	<i>Cyrtococcum patens</i>
19	禾本科	Poaceae	五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>
20	禾本科	Poaceae	竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>
21	禾本科	Poaceae	兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>
22	蓼科	Polygonaceae	火炭母草	<i>Persicaria chinensis</i>
23	雨久花科	Pontederiaceae	鴨舌草	<i>Monochoria vaginalis</i>
24	報春花科	Primulaceae	山桂花	<i>Maesa japonica</i>
25	薔薇科	Rosaceae	斯氏懸鉤子	<i>Rubus swinhoei</i>
26	三白草科	Saururaceae	臭腥草	<i>Houttuynia cordata</i>
27	卷柏科	Selaginellaceae	全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i>
28	卷柏科	Selaginellaceae	生根卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i>
29	卷柏科	Selaginellaceae	密葉卷柏	<i>Selaginella involvens</i>
30	菝葜科	Smilacaceae	菝葜	<i>Smilax china</i>
31	菝葜科	Smilacaceae	臺灣土茯苓	<i>Smilax lanceifolia</i>
32	蕁麻科	Urticaceae	水麻	<i>Debregeasia orientalis</i>
33	蕁麻科	Urticaceae	冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> var. <i>majus</i>
34	蕁麻科	Urticaceae	長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>

35	葡萄科	Vitaceae	三葉崖爬藤	<i>Tetrastigma formosanum</i>
----	-----	----------	-------	-------------------------------

