
氣候變遷下新化林場改善措施提昇
虎頭埤集水區之生態系服務
**Assessment of the Ecosystem Service in
Hutoupi Watershed with the Water
Resources Conservation Adaptations in
Xinhua Forest
(成果報告書)**

執行單位：中興大學水土保持學系

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳樹群 特聘教授

共同主持人：吳侑鴻 場長

研究人員：邱彥瑜、劉晉豈

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 月

氣候變遷下新化林場改善措施提昇虎頭埤集水區之 生態系服務

摘要

虎頭埤屬鹽水河流域，地質為泥岩及砂岩，結構較為鬆散。新化林場為虎頭埤集水區內重要觀光園區及教育場域，近年常受洪水溢淹之苦，極具整治之需求。考量防洪、生態、氣候變遷，本試區欲藉由自然解方(Nature-based Solutions，簡稱 NbS)的觀念，結合綠色基盤進行水保防災，利用貼近自然的方法達到防洪治水的功效。

首先透過 TCCIP 氣候變遷產製資料，分析流域歷史與未來百年之氣溫與降雨量變化趨勢，顯示至世紀末氣溫將持續上升，而年降雨量在 RCP8.5 情境中亦將顯著上升，世紀末將導致 Q_{50} 之洪水約 23% 之暴雨變化率。土地利用與歷年水庫範圍、流路套疊，搭配土地利用資料與林場造林歷史，發現隨著林場 1970 年代末之全面造林成效，可觀察到其後水庫區域與流路逐漸穩定，僅尾端需清淤，可見林場具有減少土砂沖蝕與崩塌之成效。現集水區植生環境與土地利用狀態已定型，未來改變之可能性低，對影響洪水集流之可能性亦低。整治前本區在 Q_{50} 模擬下具有淹水問題，僅能容納約 Q_2 之洪水通過。透過模擬河道加寬方案規劃河幅由原 6 公尺拓寬至 12 公尺，而支流加寬至 5 公尺，並配合濕地、滯洪池、複合式斷面等，溢淹情形能獲顯著改善，能容納現歷史基期之 Q_{50} 及世紀末氣候變遷影響之 Q_{20} 洪水通過，對河道通洪能力有顯著改善。因應極端氣候變化可能帶來的早期配制濕地與滯洪池更可調節水資源之利用。

評估現有之生態系服務四個面向顯示，林場的營收與觀光人次均

因整治措施而有所提升，而研究區之氣溫因林場調節較台南測站低、數值模擬方面亦顯示整治工程對滯洪有功效，同時虎頭埤水庫在 2021 百年大旱時期仍有充足之水量。文化面相本區為中興大學實驗林區並設有水土保持教室，為教育之重要場域。現有之生態調查結果與 2010 年之調查結果相比種類較為豐富，持續與場方合作進行生態調查將有助於更了解長期之生態變化。

關鍵詞：氣候變遷、河道數值模擬、自然解方、生態系服務

Assessment of the Ecosystem Service in Hutoupi Watershed with the Water Resources Conservation Adaptations in Xinhua Forest

Abstract

Hutoupi watershed, belonging to the Yanshuei River, where mudstone and sandstone dominating the main geology has loose geological texture. The Xinhua Forest is an important tourist park and educational site in Hutoupi watershed. In recent years, it often suffered from flooding, and there is a great need for regulation. Considering multi-benefits of flood control, ecology, and climate change, this study area intends to use the concept of Nature-based Solutions (NbS), combining the green infrastructure for water conservation and disaster prevention, to achieve the aim of flood control.

Firstly, through TCCIP climate change data, the historical the future trend of temperature and rainfall til the end of the century were analyzed. It showed that the temperature will continue to rise until, and the rainfall amount will also increase significantly in the RCP8.5 scenario, which will also lead to a change rate of about 23% of the Q_{50} flood at the end of the century. Historical documents of afforestation and the geology data also showed that the boundary of the resevior and the flow path gradually became stable after the afforestation in 1970s. Only the tail end of the resevior needed to be dredged indicated that the effect of the afforestation onreducing soil erosion and landslides in the watershed. For the flooding issue of the study sites, the regular engineering was conducted and numerical model was used for engineering palnning. The result showed

that, before the engineering, flooding issues was obvious under Q_{50} , and it could only accommodate the passage of about discharge of Q_2 . By simulating the widening plan of the river, which the width of the river was widened from 6 m to 12 m, and the tributary was widened to 5 m, the flooding issue would be significantly improved, and it can accommodate the passage of Q_{50} in the historical base period and Q_{20} if considering the effect of climate change at the century end. In response to the dry season that may be brought about by extreme climate change, wetlands and detention ponds can be prepared to regulate the use of water resources.

Evaluation of the four aspects of the existing ecosystem services showed that forest farm's revenue and tourist arrivals have increased due to the improvement measures. Numerical simulations also show that river regulation would be effective on flood control. The Hutoupi watershed had sufficient water during the 100-year drought in 2021. Compared with the survey results in 2010, the existing ecological survey results are more diverse. Keeping cooperation with the forest office to understand the longterm ecosystem change is recommended.

Keywords: climate change, numerical model, Nature-based Solutions, ecosystem services

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	IX
第一章 前言	1
第一節 計畫目的	1
第二節 計畫背景	2
第二章 研究背景說明	4
第一節 研究區域介紹	4
第二節 工作執行方法	14
第三節 計畫執行期程規劃	15
第三章 氣候變遷與土地利用變遷	18
第一節 氣候變遷資料背景說明(TCCIP)	18
第二節 氣候變遷(降雨量、氣溫等)分析結果	20
第三節 土地利用變遷資料與推論	26
第四節 氣候變遷及土地利用變遷對洪水流量之影響	34
第四章 自然解方施作方案	36
第一節 自然解方之概念及方針	36
第二節 現況水理分析	40
第三節 河道加寬方案	45
第四節 新化林場定製之工程方案策略	49
第五節 最終方案	53
第五章 生態系服務評估	65

第一節 生態系服務的概念	65
第二節 生態系服務之質量評估	68
第六章 結論與建議	88
參考文獻.....	90
附錄一、中興大學新化林場水域生物調查實施項目及方法說明	94
附錄二、生態調查資料	95
附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	101
附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	104
附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	107

表次

表 1-1 中小型水庫的竣工年份、設計庫容、淤積率	2
表 2-1 從荷治時期至民國虎頭埤功能轉變之過程	7
表 2-2 新化林場之歷史	8
表 2-3 畜產試驗所氣象站歷年各項氣象資料統計表	10
表 2-4 虎頭埤集水區土地使用分區面積統計表	11
表 2-5 虎頭埤水庫集水區土地利用統計一覽表	12
表 2-6 土地權屬面積統計表	12
表 2-7 本計畫工作執行進度表	16
表 2-8 工作項目與計畫書內容章節、頁數之對照表	17
表 3-1 RCP 情境彙整比較表	19
表 3-2 TCCIP 產製列表	20
表 3-3 歷年新化林場造林過程	30
表 3-4 虎頭埤測站之設計降雨量(歷史基期與氣候變遷)	35
表 4-1 SDG15: LIFE ON LAND 細項	37
表 4-2 座談會會議生態團體意見與對策	53
表 5-1 生態系服務種類	66
表 5-2 生態系服務的類型與相關服務	67
表 5-3 碳排放量計算	73
表 5-4 碳匯量計算	73
表 5-5 研究區域具備之生態系服務面向、項目	87
附表 1-1 2010-2022 年總物種數及保育類物種數	95
附表 1-2 2010-2022 年總物種數及保育類、特有種	95
附表 1-3 紅外線自動相機記錄物種(1-4 月)	96
附表 1-4 紅外線自動相機記錄物種(5-9 月)	97

附表 1-5 虎源溪樣站爬蟲類資源表.....	98
附表 1-6 虎源溪樣站兩生類資源表.....	98
附表 1-7 虎源溪樣站魚類資源表	99
附表 1-8 虎源溪樣站蝦蟹螺貝類類資源表	100

圖次

圖 1-1 中小型水庫地理位置以及地質圖	1
圖 1-2 研究動機.....	3
圖 2-1 虎頭埤集水區、新化林場之平面位置圖	4
圖 2-2 1904 年台灣堡圖之新化林場與虎頭埤相對位置	6
圖 2-3 虎頭埤功能層次之轉變圖	7
圖 2-4 虎頭埤水庫集水區土地使用分區圖	11
圖 2-5 虎頭埤水庫集水區土地權屬圖	12
圖 2-6 虎頭埤整治前問題	14
圖 2-7 研究流程	15
圖 3-1 TCCIP 發展沿革圖	18
圖 3-2 不同情境下(RCP26、RCP45、RCP60、RCP85)的降雨因子在 不同時期之分析	23
圖 3-3 不同情境下(RCP26、RCP45、RCP60、RCP85)的溫度因子在 不同時期之分析	25
圖 3-4 月平均溫圖	26
圖 3-5 年降雨量	26
圖 3-6 歷回台灣人口普查.....	28
圖 3-7 1939 年、1993 年、2020 年土地利用資料比較	29
圖 3-8 日治時期(1939 年)虎源溪的林相圖與造林圖	29
圖 3-9 日據時期虎頭埤水庫範圍(紅線)與現今(2022)範圍(白線)之比較.....	30
圖 3-10 1973 年虎頭埤水庫範圍(藍線)與現今範圍(白線)之比較，綠線 為農地	31
圖 3-11 2000~2022 年虎頭埤水路範圍之衛星影像	33

圖 3- 12 西元 1904、1977、2022 年虎頭埤水庫之水路變化.....	34
圖 3- 13 氣候變遷影響下之暴雨改變率.....	35
圖 4- 1 17 項可持續發展目標	36
圖 4- 2 NATURE-BASED SOLUTIONS 建構以生態系為本之方法因應社會 挑戰，同時促進人類福祉與生物多樣性雙贏之局面	39
圖 4- 3 FLO-2D 降雨逕流模擬虎頭埤集水區	40
圖 4- 4 FLO-2D 降雨逕流推求 50 年頻率(歷史基期)之洪水下主支流流 量歷線	41
圖 4- 5 依河道現況(工程前)進行數模網格建置	42
圖 4- 6 河道現況(工程前)地形模型	42
圖 4- 7 河道現況(工程前)進行數模之洪水水深分布結果	43
圖 4- 8 河道現況(工程前)之流速分布 (黑線為虎源橋).....	43
圖 4- 9 河道現況(工程前)之動床模擬結果(設計 1.8HR 洪水情境).....	44
圖 4- 10 河道加寬方案示意圖 (底圖為 GOOGLE EARTH 影像日 期:2018-11-3)	46
圖 4- 11 受河道範圍、流路影響，重新建置符合河道加寬工程規劃之 網格	46
圖 4- 12 考量河道加寬方案數模網格地形建置	47
圖 4- 13 數模計算之洪水水深分布結果	47
圖 4- 14 考量河道加寬方案之流速分布 (黑線為整治範圍).....	48
圖 4- 15 考量河道加寬方案之動床輸砂模擬結果	48
圖 4- 16 沖淤池歷年變化.....	51
圖 4- 17 大目降埤歷年變化.....	52
圖 4- 18 虎源溪(新化林場段)整治內容	56
圖 4- 19 虎源溪(新化林場段)整治成果.....	57

圖 4- 20 虎源溪整治工程整治前後照片(2020 年).....	59
圖 4- 21 大目降埤整治前後對比	60
圖 4- 22 生態固床工示意圖.....	60
圖 4- 23 多階層式斷面示意圖.....	61
圖 4- 24 增加滯洪空間(面積約為 1000 平方公尺).....	61
圖 4- 25 下游河道拓寬示意圖.....	62
圖 4- 26 複合式護岸段河道遇洪水之模擬過程	63
圖 4- 27 複式河道於 2022.08.15 洪水期間通水狀態	64
圖 5- 1 以河溪治理為策略之生態系服務概念解釋 NBS 之功用提昇階 層序(虎源溪整治為說明).....	68
圖 5- 2 生態系服務之供給概念圖	69
圖 5- 3 新化林場歷年收益與入園人數	69
圖 5- 4 新化林場具調節氣溫之功能.....	72
圖 5- 5 生態系服務之調節面向架構圖	72
圖 5- 6 2022.08.15 洪水漫淹狀況	73
圖 5- 7 生態系服務之文化概念圖.....	74
圖 5- 8 各宗教相對位置	75
圖 5- 9 基督教布教範圍圖	76
圖 5- 10 太祖媽宗教文化	77
圖 5- 11 臺灣基督長老教會文化	78
圖 5- 12 2020、2022 年虎源溪調查範圍(分別為黃圈及紅線範圍)及紅 外線設置位置	80
圖 5- 13 紅外線自動相機記錄照片.....	82
圖 5- 14 生態系服務之支持概念圖.....	82
圖 5- 15 生物調查記錄.....	86

第一章 前言

第一節 計畫目的

台灣因河川陡峭與地質脆弱，水庫均具有淤砂之問題。水庫壽命之長短，因而受上游集水區的泥沙遞移，直接影響使用效益。虎頭埤位於台南市新化區，屬鹽水溪流域，主要地質為泥岩及砂岩(圖 1-1)。由於這類地形結構鬆散，長期經雨水沖刷過後，土壤會變得黏稠且軟滑，易順坡流下，在山坡表面上形成深刻之蝕溝。以鄰近之幾處月世界相比，月世界因高鹼性的白堊土不宜草木生長，常年呈灰白色荒漠景觀及裸露之蝕溝與山脊。與之相比，虎源溪上游之新化林場長年受闊葉林覆蓋、維持著草木茂密的景觀，此結果可歸功於虎頭埤水庫與新化林場之功用相得益彰。在未來氣候變遷之影響下，瞭解新化林場與虎頭埤之間的關係將有助於解決地方淹水等環境問題、提升區域之生態系服務、同時回應國際對永續發展目標(Sustainability Development Goals, SDG)及自然解方(Nature-based Solutions, NbS)之呼籲。

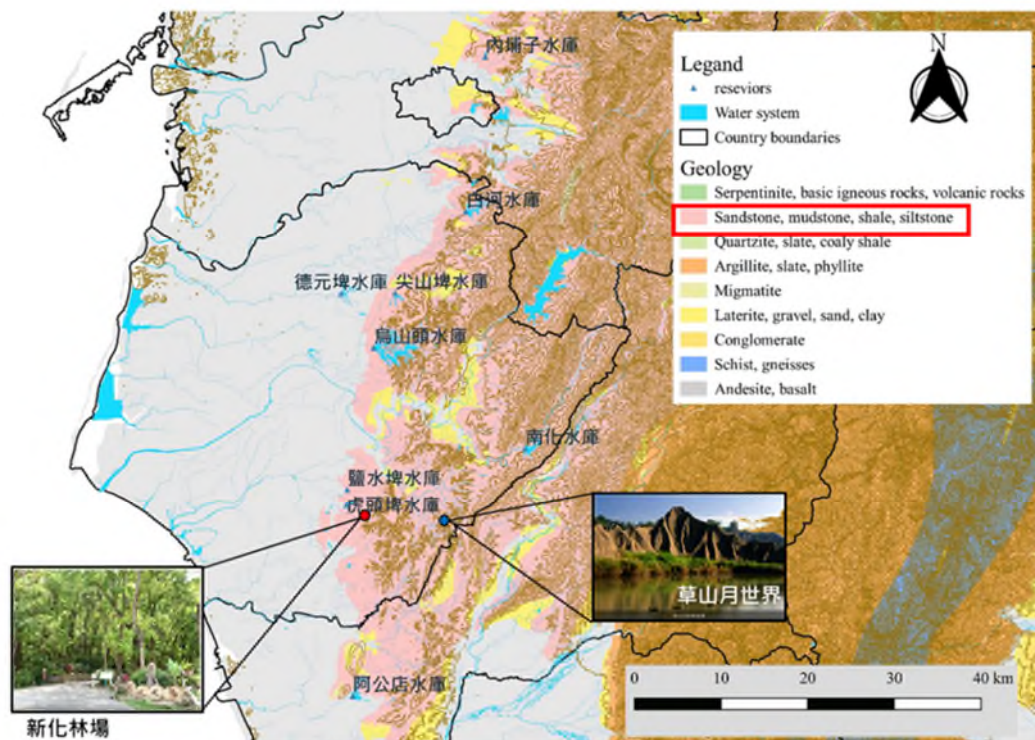


圖 1-1 中小型水庫地理位置以及地質圖

第二節 計畫背景

受到氣候變遷的影響，台灣南旱北澇、降雨時間持續減少、降雨集中且強度越強等情勢加劇，豐枯水期將更為極端，水資源運用可預期將更為困難。而南部受颱風及梅雨的影響，也極易發生大規模的土砂災害，造成集水區表土沖蝕、溪水暴漲、溪岸及溪床發生侵蝕與淘刷、並造成水庫淤積量增加、排水通洪能力下降及河岸溢淹潰堤等水砂災害。虎頭埤水庫建於道光二十六年(1846年)，至2019年統計淤積率約為10%，與建於其後之其他小型水庫相比，淤積率較低(表1-1)。2021年多項新聞報導，上半年台灣各地遭遇缺水危機，許多水庫的蓄水量不到20%、更甚10%，稱「百年大旱」(溫正衡，2021)。而曾文、烏山頭水庫也因缺水，於2021年一期稻作停灌，惟虎頭埤灌區未受影響停灌。

表 1-1 中小型水庫的竣工年份、設計庫容、淤積率

	竣工年份	設計庫容 (10^6 m^3)	淤積率 (年份:2019)
內埔子水庫	1942	0.9	24%
白河水庫	1965	22.5	48%
尖山埤水庫	1939	6.3	87%
德元埤水庫	1955	3.9	40%
烏山頭水庫	1930	154.2	49%
南化水庫	1993	149.5	39%
鹽水埤水庫	1955	0.8	38%
虎頭埤水庫	1846	1.4	10%
阿公店水庫	1953	18.4	17%

資料來源：經濟部水利署開放資料

2019年聯合國 Climate Action Summit 會中強調以自然為本的解決方案(Nature-based Solution) 作為應對氣候變化的方法，指對自然進行可持續管理和利用，以應對社會環境挑戰。挑戰包括氣候變化、水安全、水污染、糧食安全、

人類健康、生物多樣性喪失和災害風險管理等問題。因 2018 年的颱風造成溪水溢流、河岸崩塌、道路中斷，而彎道之水流冲刷劇烈，造成溪岸侵蝕，影響道路及農田安全。本計畫採用世界自然保護聯盟(IUCN)所推動的以自然為本的解決方案 Nature-based Solutions(以下簡稱 NbS 及自然解方)的觀念，結合綠色基盤進行水保防災，以最小的破壞達到最大的效益，利用較自然的方法達到防洪治水的功效。目前工程包含著河道拓寬、增設農塘以及河岸的整治等，以解決水資源利用及供給的不足。然而，僅此不足以解決洪枯變化及氣候變遷帶來的問題，因此本計畫之示範案例透過落實 NbS 及生態系服務的觀念，透過維護、改善、強化自然機制，使系統的結構與功能可自我永續發展，提早因應世紀末的氣候變遷所造成的災害，期望在新化林場建立因地制宜的調適方案(圖 1-2)。通過適應當地情況、資源高效利用和系統性的干預措施，將多樣性之自然環境與人類社會結合，讓連結新化林場及虎頭埤之虎源溪成為一個 NbS 的示範案例，這也將有助於其他待治理區域之策略提升。故本計畫選定虎頭埤集水區為對象，同時以生態性服務(支持、調節、供給及文化)的觀念，提出現今及未來的調適策略。目的除在於減緩氣候變遷的衝擊外，更要達到新化林場健全生態與人類發展共榮共存的境界。



圖 1-2 研究動機

第二章 研究背景說明

第一節 研究區域介紹

臺南新化的虎頭埤集水區(圖 2-1)，因位處山間低窪處，溪水匯流，四面丘陵圍繞而形成大埤，集結來自原新化南里的觀音山、廣儲東里的大坑尾山，以及大目降里的九層嶺等山脈的水源，因此水源相當豐沛。自清道光年間至日治時代逐漸由私有轉為公有，並隨著 1937 年嘉南大圳的成立，分攤部分虎源埤早期農田灌溉的功能，以及近年的積極管理建設，虎頭埤的功能型態除具有地方性農田灌溉功能外，具與新化林場結合成為重要之風景遊憩區。

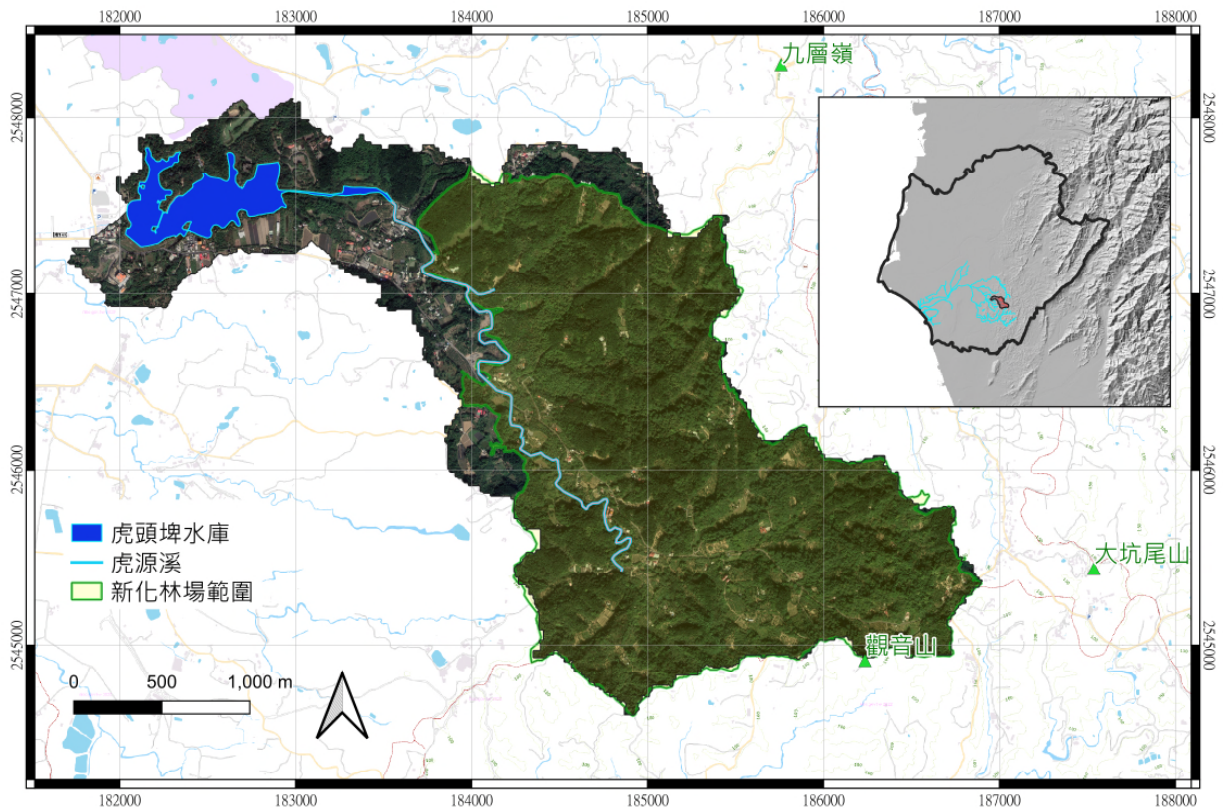


圖 2-1 虎頭埤集水區、新化林場之平面位置圖

2.1.1.虎頭埤水庫與新化林場歷史背景描述

虎頭埤(圖 2- 2)最早為水利埤潭，居民用以灌溉。至西元 1846 年，大目降農民歐陽安闢建及開築滾壓式的堤岸，用於灌溉及養魚，其時灌田面積約 230 公頃。後逐漸具防止水患之功能，水域面積約為 27 公頃。根據「歷盡滄桑的虎頭埤」之中當地耆老口述(嘉南農田水利會)，荷據時期(約 1639 年)荷蘭人指導族人造埤頭儲水及引水灌溉。在 2009 年莫拉克後虎頭埤山坡坍塌，意外發現古渠道，研判可能為傳說中荷蘭據台時期的灌溉渠道。1867 年(同治 6 年)，始由官府接手修建，台灣知府周懋琦改築固定堰堤並設溢洪道，使虎頭埤不僅具防止水患的功能，且可灌溉更多農田，因此也有人稱它為臺灣第一座水庫(蔡錦堂，2020)，後來成為新化一帶最重要的農田灌溉水源。至 1902 年台南廳認定虎頭埤為公共埤圳後，虎頭埤即由公共埤圳聯合會管理。當時二期作灌溉面積 406 公頃，單期作灌溉面積 161 公頃，共 567 公頃，為當時新化西南部分農田重要的灌溉水源。在 1906 年(明治 39 年)遭遇地震損壞，台灣總督府補助修復並增建堤防分水門、放水門等設備，並擴大灌溉面積。日治時期，日本人將虎頭埤整修加擴、美化湖畔。新化林場則 1920 年 6 月被劃入「臺灣總督府農林專門學校」所有，並作為保安林之用途，面積約 340 公頃，約占虎頭埤集水區(面積 681 公頃)之 1/2。劃入時區域內多為草生地，部分為雜木、桂竹散生。在 1927 年虎頭埤獲票選為「台灣八景十二勝」之一，1928 年被選為神社建址。從戰時虎頭埤之舊渠道遺跡判斷，戰時應作為防空洞使用。而戰後虎頭埤成軍營及眷村、祭祀區，景觀與環境及原功能受到暫時性的破壞。1939 年改列為虎頭埤風景區。在 1996 年因臺南縣觀光協會及中華日報共同舉辦選拔活動，獲得十勝之首(表 2- 1)，大家漸漸廣為流傳，遊客人數與日俱增，因此也帶來許多觀光效益，為台南地區戶外郊區的最佳選擇(圖 2- 3)。另外這裡也是每年元旦舉行升旗典禮的地點。

權責歸屬方面，日治時期，1902 年(明治 35 年)認定為公共埤圳後，虎頭埤即由公共埤圳聯合會管理。嘉南大圳興築完成後，虎頭埤成為嘉南大圳的輔助

水源，1923 年(大正 12 年)後歸嘉南大圳水利組合管理，稱為新化圳水利組合(前名稱臺南公共埤圳聯合會)，1944 年(昭和 19 年)合併於嘉南大圳水利組合。1948 年改為嘉南大圳委員會，1951 年再度改組為嘉南農田水利會，並賦予公法人資格，恢復水利自治團體型態至今。大體而言，台灣光復後，虎頭埤水庫及由嘉南農田水利會負責一般維護工作，包括水庫各項設施的管理，水質的保護管制，各項災害處理及水庫觀光管理等，各項維護工作所需經費由水利會負責籌措，然而由於水利會係屬名間機構，因此無法負擔全部所需的維護費用，僅能進行日常的維護作用，對於改善工程，則需仰賴政府財力上的支援。

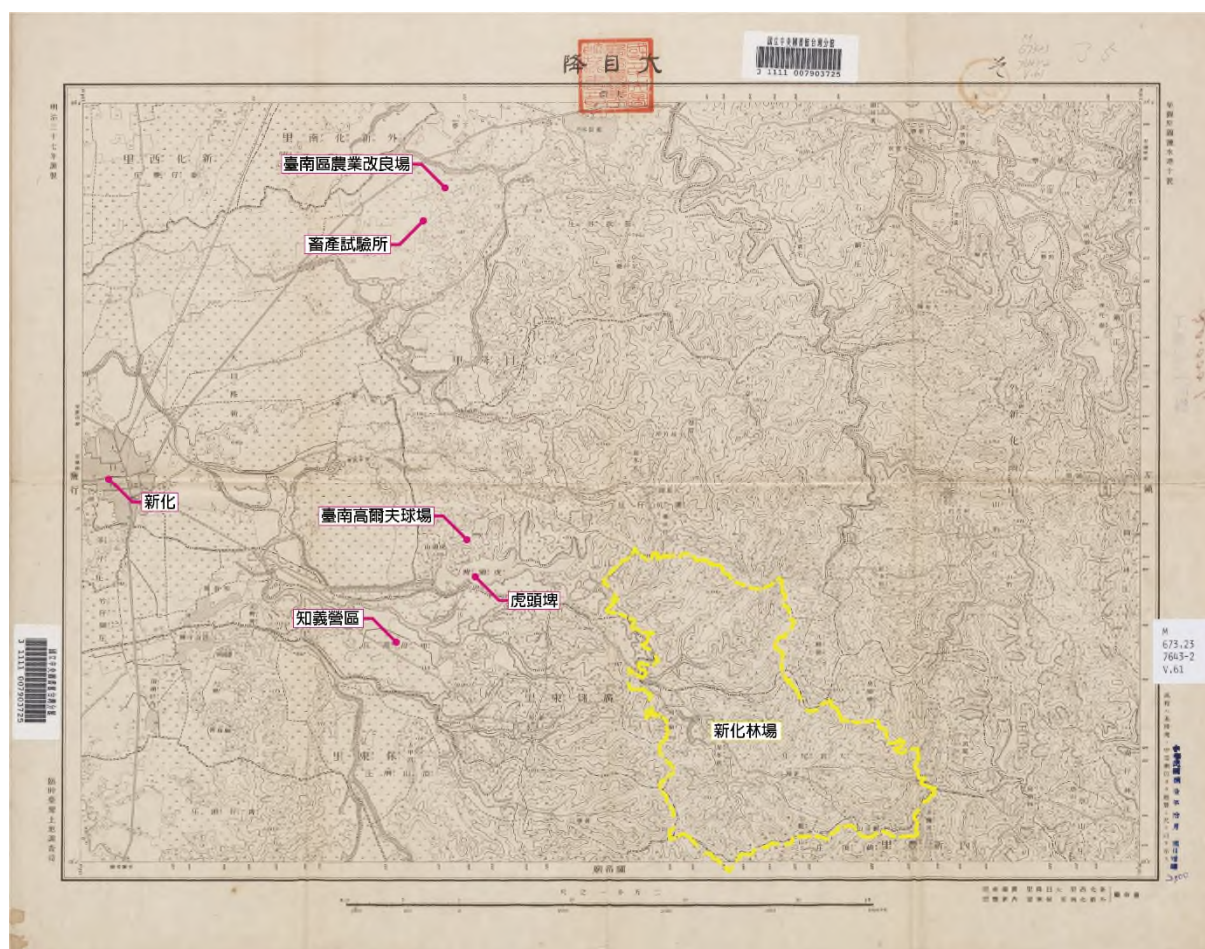


圖 2-2 1904 年台灣堡圖之新化林場與虎頭埤相對位置

表 2-1 從荷治時期至民國虎頭埤功能轉變之過程

年份	時期	人物	詳細內容	功能
1639	荷治		指導族人造埤頭儲水及引水灌溉	灌溉渠道
1846	清治道光	歐陽安	虎頭埤的闢建及開築滾壓式的堤岸	用於灌溉及養魚
1867	清同治	周懋琦	擴建虎頭埤水庫的功能並設溢洪道，擴大灌溉面積	防止水患、灌溉更多農田
1902	日治		被認為公共埤圳	灌溉
1906	日治		遭地震破壞，台灣總督府協助修復並增建堤防分水門、放水門等設備，擴大灌溉面積	
1920	日治		新化林場 1920 年 6 月被劃入「臺灣總督府農林專門學校」所有	保安林
1927	日治		整修加擴、美化湖畔，並獲票選為「台灣八景十二勝」之一	遊憩觀光
1928	日治		被選為神社建址	宗教祭祀場域
1939	日治		改列為虎頭埤風景區	遊憩觀光
	日治		依據舊渠道遺跡判斷作為防空洞	防空洞
1945	民國		軍營及眷村、祭祀區，景觀與環境及原功能受到暫時性的破壞	
1996	民國		選拔比賽獲得十勝之首，提高知名度	觀光

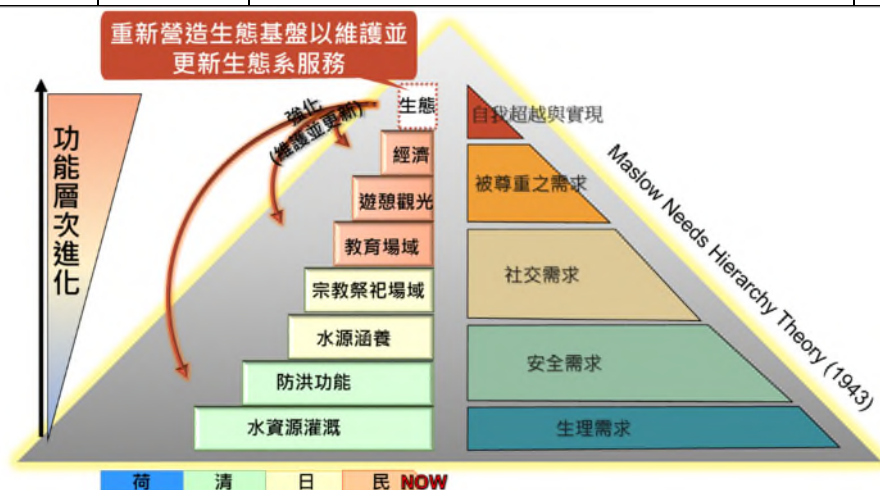


圖 2-3 虎頭埤功能層次之轉變圖

大正八年（1919）四月十八日，臺灣總督府飭令成立「臺灣總督府農林專門學校」（詳表 2- 2）。1920 校長阿部文夫基請求總督府將所保管山林移撥學校設立演習林（實驗林）並指定為水源涵養保安林，並由台南廳保管，劃入時區域內多為草生地，部分為雜木、桂竹散生。1922 年將原「臺灣總督府農林專門學校」改制為「臺灣總督府高等農林學校」，並命名為台南演習林，此為台灣最早的演習林，為提供日本作為研究與教育所劃定的林地。1928 年臺灣總督府將臺北高等農林學校併入臺北帝國大學。1950 年將名稱從「台南演習林」改稱為「新化林場」，經數次官制改正的移管保留至今(演習林概要，1939)。1951 年起為籌措經費以求自足，於林場內種植作物(熱帶果樹、柚木、桃花心木等)以增加收益。後來新化林場更躍為中興大學之實習林場，具有保安林之功效，且具有水源涵養、防止砂土崩壞、防風及定砂等各種森林保安功能。其中在 2002 年被農委會選為國家植物園，並獲得經費進行相關的規劃及建設，新化國家植物園在 2006 年委外經營，直到 2017 年中興大學實驗林管理處收回自營，陸續規劃自營餐飲住宿、設施修繕維護、生態環境保育等。現今則進行生態農塘，虎源溪生態邊坡整治。林場成為能提供民眾休閒遊憩的場所，後來也成為台南都會區主要郊遊去處，並劃入西拉雅國家風景區的管轄範圍。演習林除了作為農林科的學生實地指導場(教學、實習、研究及示範經營)，也被當作保安林、水源涵養林以及供給虎頭埤的水源。

表 2- 2 新化林場之歷史

年份	時期	人物/單位	詳細內容	隸屬單位
1919	日治	台灣總督府	成立「臺灣總督府農林專門學校」	
1920	日治	阿部文夫基	設立演習林（實驗林）並指定為水源涵養保安林	台南廳
1922	日治		原「臺灣總督府農林專門學校」改制為「臺灣總督府高等農林學校」，並命名為台南演習林，此為台灣最早的演習林，為提供日本作為研究與教育所劃定的林地	

1927	日治		改名為臺灣總督府臺北高等農林學校	
1928	日治	臺灣總督府	臺北高等農林學校併入臺北帝國大學	
1944	日治		改名為臺灣總督府臺中農林專門學校	
1950	民國		「台南演習林」改稱為「新化林場」	林務局
1951	民國		為了籌措經費，種植作物增加收益	
2002	民國		農委會選為國家植物園，並獲得經費進行相關的規劃及建設	
2017	民國		陸續規劃自營餐飲住宿、設施修繕維護、生態環境保育等	

2.1.2.虎頭埤集水區流域與氣象概況

虎源溪(新化林場段)為鹽水溪上游支流，位於台南市新化區，屬虎頭埤水庫集水區，為台南地區少數常流水之野溪，以砂質壤土與泥岩為主，河道總長約為 19.1 公里。蓄水主要供給嘉南平原崁頂、虎山、大洋、營尾等農地使用。集水區面積約為 681 公頃，有效蓄水量 841,380 立方公尺，灌溉面積 375 公頃。行政區域位於台南市新化區礁坑里、大坑里、知義里、東榮里、羊林里及龍崎區土崎里。區內地形大部分為平地與丘陵，地勢呈現東高西低的態勢，區域中下游地勢平緩，愈往中上游坡度增較明顯，海拔高程為標高 13 至 154 公尺。平均坡度為 19.37%，坡度分布以二~三級坡為主。

集水區氣象資料係採中央氣象局畜產試驗所氣象站，月平均溫度為 23.70℃，月平均溫度以七月 28.16℃ 最高，以一月 17.20℃ 最低；相對濕度最低在 12 月份為 79.52%，相對溼度最高在 8 月份為 87.15%；月平均蒸發量以五月 96 mm 最大，以十二月 47 mm 最小；月平均風速以 1、2 月最高為 2.4~2.53 m/s，以 5、6 月最低為 1.64~1.68 m/s；本區降雨主要集中在 6~8 月，年平均降雨量為 2,202 mm，集水區各月份降雨量中，12 月平均降雨量為 25.35 mm，係整年中最少，7 月平均降雨量為 530.27 mm，為整年中最多，各月平均氣象資料詳表 2-3。

表 2-3 畜產試驗所氣象站歷年各項氣象資料統計表

月份 項目		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
氣溫	平均	17.1	18.2	20.9	24	26.6	27.9	28.2	27.7	27.3	25.4	22.4	18.6
	絕對 最高	28.8	30.8	33.1	34.3	35.3	36	35.6	35.4	34.6	33.6	31.9	29.4
	絕對 最低	7.1	8.8	11.2	14.8	19.6	22.5	22.9	20.4	21.5	18.2	13.9	9
相對溼度		80.6	80.9	79.6	80.9	82.3	84.3	85.2	86.9	84.3	82.3	81.6	80
蒸發量		54.6	60.3	82.7	89.8	94.6	98.1	94.6	81.9	85.9	79.4	61.4	51.7
風速		2.4	2.3	2.1	1.8	1.5	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	2.3
降雨量		22.1	22.0	27.7	70.6	174.4	412.6	432.6	520.4	245.6	47.6	21.9	18.4
風向		N	NNW	NNW	NNW	NNW	SSE	ESE	ESE	ESE	NNW	N	N
單位：氣溫(°C)、相對溼度(%)、蒸發量(mm)、風速(m/s)、降雨量(mm)													

資料來源：中央氣象局畜產試驗所氣象站 (統計期間：1999~2009 年)

2.1.3.區域文化與土地利用概況

本研究區長期以來少有人為破壞及大面積開發，保存了豐富的自然景觀資源。此外，在人文特色方面，研究區屬於新化區口埤村，早期主要人口組成為西拉雅族居民。西拉雅族的產業型態主要為狩獵、簡單的游耕與漁業為主。而在林場轄區內與周邊，也保留了許多西拉雅族的宗教信仰之地點(段洪坤，2021)。新化林場除了是現今生態及觀光遊憩的重要場域外，更是過去西拉雅族居民行走進城的必經之地。對於西拉雅族產業型態多為農植耕種的居民而言，虎頭埤水庫對農業用水的提供，成為了西拉雅族居民經濟、生活維繫的重要供應。可知起源於虎源溪新化林場段及至下游虎頭埤水庫的水域環境，與在地人文特色緊緊相扣，且具有豐富的生態環境及歷史景觀資源。土地使用分區分為一般農業區、山坡地保育區、特定專用區及森林區等 4 類，其中以森林區面積約 503.52ha 為最多(詳表 2-4 及圖 2-4)，約佔集水區面積之 73.94%，其次為特

定專用區面積約 106.82ha，約佔集水區面積之 15.69%。

土地利用型態自然環境以闊葉林為主，面積為 458.85ha，估計畫區面積 67.38%，人為開發多以果園及竹林為主，其中，經濟果樹計有芒果、柳丁與龍眼為大宗，除果樹外，整體集水區內廣大面積的竹林提供區域內居民另一生產竹材為主的經濟體系，而竹林大多為麻竹、蔴竹及長支竹，面積分別為 57.11ha 及 43.38ha，各估計畫區面積 8.39%及 6.37%，茲將集水區土地利用統計整理表 2-5 所示。

集水區土地權屬分為私有地、國有地、縣有地、鄉有地及嘉南農田水利會用地等五類，其中以私有地面積約 331.96ha 為最多(詳表 2- 6 及圖 2- 5)，約佔集水區面積之 48.75%，其次為國有地面積約 313.58ha，約佔集水區面積之 46.05%，嘉南農田水利會用地用地面積約 34.54ha，約佔集水區面積之 5.07%。

表 2-4 虎頭埤集水區土地使用分區面積統計表

分區類別	面積(ha)	百分比(%)
一般農業區	18.68	2.74
山坡地保育區	51.98	7.63
特定專用區	106.82	15.69
森林區	503.52	73.94
總計	681.00	100.00

資料來源：內政部營建署



資料來源：內政部營建署

圖 2-4 虎頭埤水庫集水區土地使用分區圖

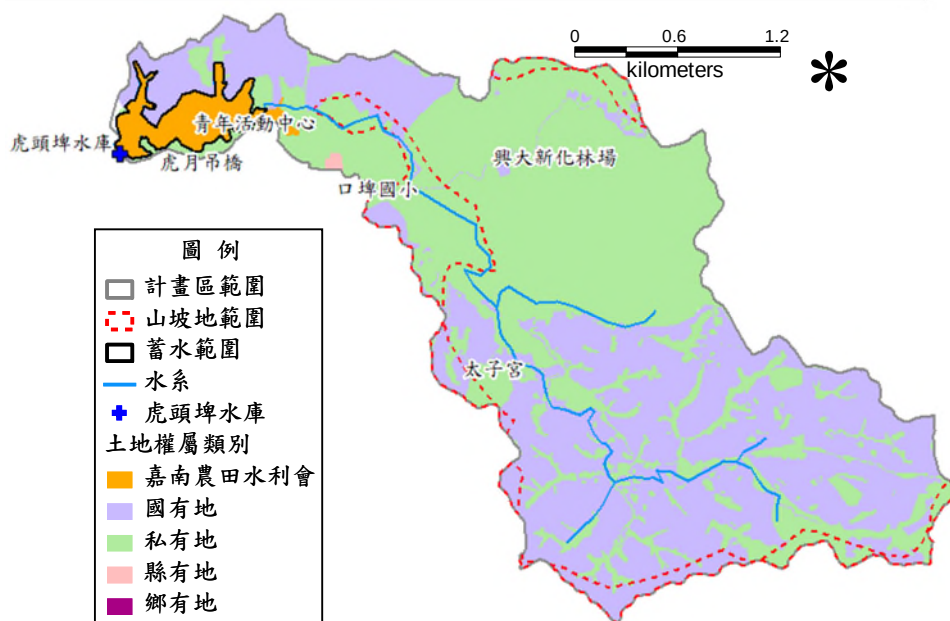
表 2-5 虎頭埤水庫集水區土地利用統計一覽表

土地利用	面積(ha)	百分比(%)	土地利用	面積(ha)	百分比(%)
闊葉林	458.85	67.38%	建築區	12.04	1.77%
河流	0.91	0.13%	道路	9.17	1.35%
草生地	0.84	0.12%	高爾夫	2.48	0.36%
果園	57.11	8.39%	開墾地	1.95	0.29%
竹林	43.38	6.37%	鳳梨	1.34	0.20%
荒地	38.95	5.72%	水田	1.00	0.15%
水庫	35.16	5.16%	墓地	0.03	0.00%
旱田	17.79	2.61%	合計	681.00	100.00%

資料來源：水土保持局

表 2-6 土地權屬面積統計表

權屬類別		面積(ha)	百分比(%)
山坡地範圍	國有地	26.13	3.84
	私有地	48.03	7.05
蓄水範圍	嘉南農田水利會	26.49	3.89
嘉南農田水利會		8.05	1.18
縣有地		0.91	0.13
鄉有地		0.01	0.00
國有地		287.45	42.21
私有地		283.93	41.69
總計		681.00	100.00



資料來源：水土保持局

圖 2-5 虎頭埤水庫集水區土地權屬圖

2.1.4.現況(整治前)問題

虎頭埤水庫集水區內保全對象包含：虎頭埤水庫、中興大學實驗林場、營區、小學等。蒐集過往重大歷史災害，主要災害為颱風及地震二類。然研究區雖多次遭受颱風肆虐，境內環境並未受到嚴重破壞。然近期氣候變遷所帶來強降雨，導致土砂淤積、河寬過小通洪斷面不足，凹岸受水流衝擊造成結構物損毀等，集水區經營工作之規劃與執行已是目前迫切需解決的問題。

2016 年梅姬颱風帶來的強降雨，因虎源溪局部地形呈現低窪，導致溪水暴漲而無法洩洪。2017 年因海棠颱風引進環流，台南在一夜降下逾 300 毫米的雨，但因重力排水不易，導致溪水無法排洪，使新化林場內的宿舍區嚴重積水。2018 年 8 月熱帶性低氣壓豪雨事件造成溪水溢流，造成河岸崩塌長約 600 公尺，受影響之林木面積共計約 11 公頃，土方流失約 24,000 立方米，彎道水流的劇烈衝刷造成溪岸侵蝕及農田流失，導致道路中斷，進而影響用路及農田安全，且部分布袋模毯護岸損壞且缺乏生態(詳圖 2-6)。

2020 年 3 月及 6 月針對研究區共進行兩次生物調查評估，然現場水流泥砂濃度高，水質汙濁，棲地水流屬未達穩定狀態之淺水流。河岸受水流沖刷及擾動影響之下，惡劣的環境因子影響溪流狀態，生物組成多樣性低，且物種多屬外來種。另高度的人為開發活動破壞河岸植被，造成植生覆蓋率低。除了天然災害外，私有地的開墾也是一大問題，區內大部分以保安林為主要土地利用類型，但私有土地農地之水土保持處理與維護未盡普及與完善，造成區內排水不及及泥岩崩塌淤積。

綜合上述，研究區域內之防洪能力及水資源涵養問題，可歸因於河道問題，如：土砂淤積、河寬過小通洪斷面不足，凹岸受水流衝擊造成結構物損毀等。此顯示氣候變遷人為開發的影響逐漸加劇，導致溪流排洪能力不足，生態環境日趨受限。若不有效面對，未來百年將無法承受擴大之洪患及乾旱趨勢。



圖 2-6 虎頭埤整治前問題

第二節 工作執行方法

本研究涉及其他當地之工程相關計畫內容與背景，研究內容需針對個案進行深入之瞭解，亦須與當地人士充分交流，整體流程如圖 2-7 所示。首先生態系服務之評估將分為供給、調節、文化和支持四面向進行分析，具體列出達到生態系服務之項目；接著構思可能支持各項目的依據，並分項進行現有資料之蒐集與監測；進一步對可取得之資料以數值模擬或統計方法進行數據分析；最後完善生態系服務具體功效之陳述與支持。

水文與生態資料數據之蒐集與分析將用於佐證，後續將透過既有資料蒐集並架設監測儀器(如：水位計、雨量計、紅外線攝影機等)。其中，由於虎頭埤位於台灣西南部，易受旱澇影響，在氣候變遷影響下，旱澇更為明顯，故水文資料應將不同季節列入考量。首先將比對現在與過去之降雨量與虎頭埤水庫於不同季節時期之水位，瞭解近年整治對水源涵養之效益。接著透過土地利用分析虎頭埤水庫集水區之土地利用變化及水路變化。動物生態方面，透過巡視林場現有穿山甲、野兔、斑龜、白鼻心、食蟹獾等陸域生物，亦有鳥類與魚群之蹤

跡，目前根據「南部地區重點治理區追蹤與治理成效評析(2020)」瞭解虎源溪周遭之資料，後續將與新化林場場長合作補足相關資料。為了瞭解物種變化的概況，除了參考「南部地區重點治理區追蹤與治理成效評析 (2020)」，也蒐集虎源溪鄰近地區相關生態調查資料，並整合文獻蒐集及現地生態調查成果進行比對。所有資源彙整分析，將成為水土保持局進行虎源溪以 NbS 方式整治之參考依據。

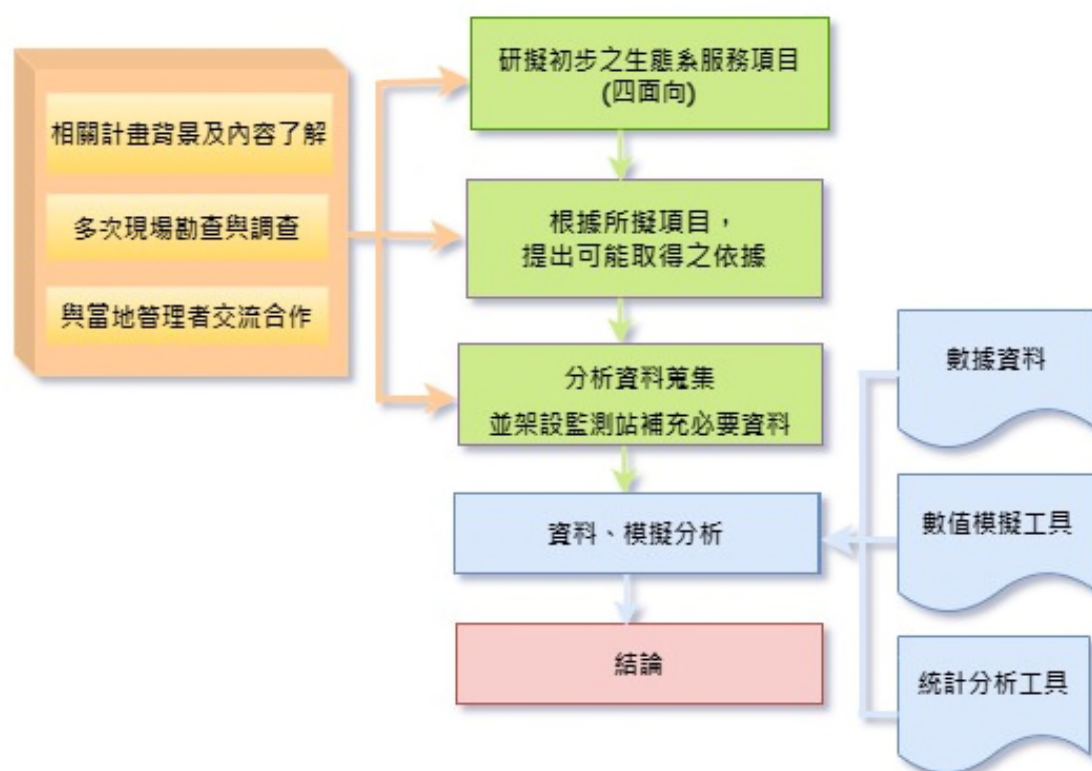


圖 2-7 研究流程

第三節 計畫執行期程規劃

2.3.1 預期結果

- 彙整虎頭埤集水區歷年之水文、生態變遷資料。
- 透過水文分析與收集，瞭解水源涵養改善措施對虎頭埤集水區保水之效果。
- 分析虎頭埤集水區及新化林場之生態系服務具體功效。

- 虎頭埤集水區作為集水區整治、水源涵養措施、生態系服務三者共軛之多贏範例。

2.3.2 工作時程訂定

本計畫預定執行進度及實際執行進度如表 2-7 所示。

表 2-7 本計畫工作執行進度表

工作項目	111 年											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
蒐集虎源埤集水區現有之歷年之水文生態變遷資料												
彙整過去治理工程實施時間、範圍、方法、材料，並分析其優缺點												
對現有之歷史資料進行數據分析												
透過文獻了解可能產生之生態系服務並以具體數據資料佐證生態系服務												
期初報告撰寫												
期中報告撰寫												
期末報告撰寫												
成果報告撰寫及繳交												
進 度 (%)	8	16	23	35	45	48	56	64	72	80	88	100
■：預定進度 ■：實際進度												

2.3.3 工作項目對照章節

表 2-8 工作項目與計畫書內容章節、頁數之對照表

工作項目	章節對照
蒐集虎頭埤集水區現有之歷年之水文生態變遷資料	2.1、3.2、5.2.4
彙整治理工程實施時間、範圍、方法、材料，並分析其優缺點	Ch4
對現有之歷史資料進行數據分析	Ch3
透過文獻了解可能產生之生態系服務並以具體數據資料佐證生態系服務	Ch5

第三章 氣候變遷與土地利用變遷

第一節 氣候變遷資料背景說明(TCCIP)

政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）是一個聯合國的附屬跨政府組織，在 1988 年由世界氣象組織、聯合國環境署合作成立，專責研究由人類活動所造成的氣候變遷。IPCC 已分別在 1990、1995、2001、2007 年及 2013 年發表五次「氣候變化評估報告」，並在 2021~2022 年間陸續發表各工作組的第六次評估報告。

2009 年起國科會規劃三期氣候變遷優勢領域計畫，以回應國家政策需求與國際進展；其中，「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」專責產製符合臺灣氣候變遷研究所需氣候資料、從事相關科學與技術研發，並將成果與應用服務彙集於整合平台。TCCIP 計畫自 2009 年 11 月起開始執行(圖 3- 1)，於 2017 年起進入第三期，整合部分氣候變遷優勢領域計畫工作內容，更名為「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫。



圖 3- 1 TCCIP 發展沿革圖

本研究使用 TCCIP 所產製之 5km×5km 解析度之網格天氣資料，包含歷史資料及未來氣候變遷情境。分別就暖化穩定情境(RCP4.5)以及暖化增加情境(RCP8.5)情況，了解研究區域可能之氣候變遷情境發展。RCPs(表 3-1)為「代表濃度路徑」，指的是以濃度的變化歷程（包含人類活動造成的影響）。以變化歷程來重新定義四組未來變遷的情境，並以輻射強迫作用在 2100 年與 1750 年之間的差異量當作指標性的數值來區分。而 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 則代表每平方公尺的輻射強作用分別增加了 2.6、4.5、6.0 與 8.5 瓦。在這四種情境中，RCP2.6 是個暖化減緩的情境（輻射強迫作用在 2100 年呈減少趨勢）；RCP4.5 與 RCP6.0 是屬於穩定的情境（輻射強迫作用的變化在 2100 年呈較為穩定狀態）；RCP8.5 則是個溫室氣體高度排放的情境（輻射強迫作用在 2100 年呈持續增加趨勢）(van Vuuren et al., 2011, IPCC, 2014)。

TCCIP 所產製之天氣資料說明如表 3-2 所示。包含 1960-2020 年歷史觀測網格月資料(雨量與溫度)以及 AR5 推估模式網格月資料(雨量與溫度)，AR5 氣候情境資料。AR5 推估模式網格月資料分為模式產製之 1960-2005 年的基期資料與 2005-2100 年的推估資料。並包含氣候變遷情境最佳到最嚴重的情境，故情境包含 RCP2.6 (21 個模式)、RCP4.6 (30 個模式)、RCP6.0 (17 個模式)與 RCP8.5 (33 個模式)四種情境。

表 3-1 RCP 情境彙整比較表

濃度路徑	2100 年之輻射強迫力	CO2 當量 (ppm)	上升溫度 (°C)	模式	說明
RCP 2.6	2.6Wm ⁻²	490	1.5	IMAGE	呈減少趨勢
RCP 4.5	4.5Wm ⁻²	650	2.4	GCAM	穩定狀態
RCP 6.0	6.0Wm ⁻²	850	3.0	AIM	穩定狀態
RCP 8.5	8.5Wm ⁻²	1370	4.9	MESSAGE	持續增加

資料來源：能源部門因應氣候變遷調適策略計畫雙週報(103/06/20)

表 3-2 TCCIP 產製列表

資料產製類型	詳細內容
5公里觀測網格資料：	1960~2020 溫度、降雨網格資料
衛星反演太陽輻射資料：	2010~2020 日射量時資料
5公里網格與測站點統計降 尺度資料：	CMIP5、CMIP6多模式臺灣地歷史及未來推估 溫度、降統計降尺度資料
臺灣歷史氣候重建資料：	1979~2021 臺灣地區高解析度的歷史氣候資料
動力降尺度資料：	TaiESM降尺度資料、RCP8.5 暖化情境多變數 動力降尺度資料

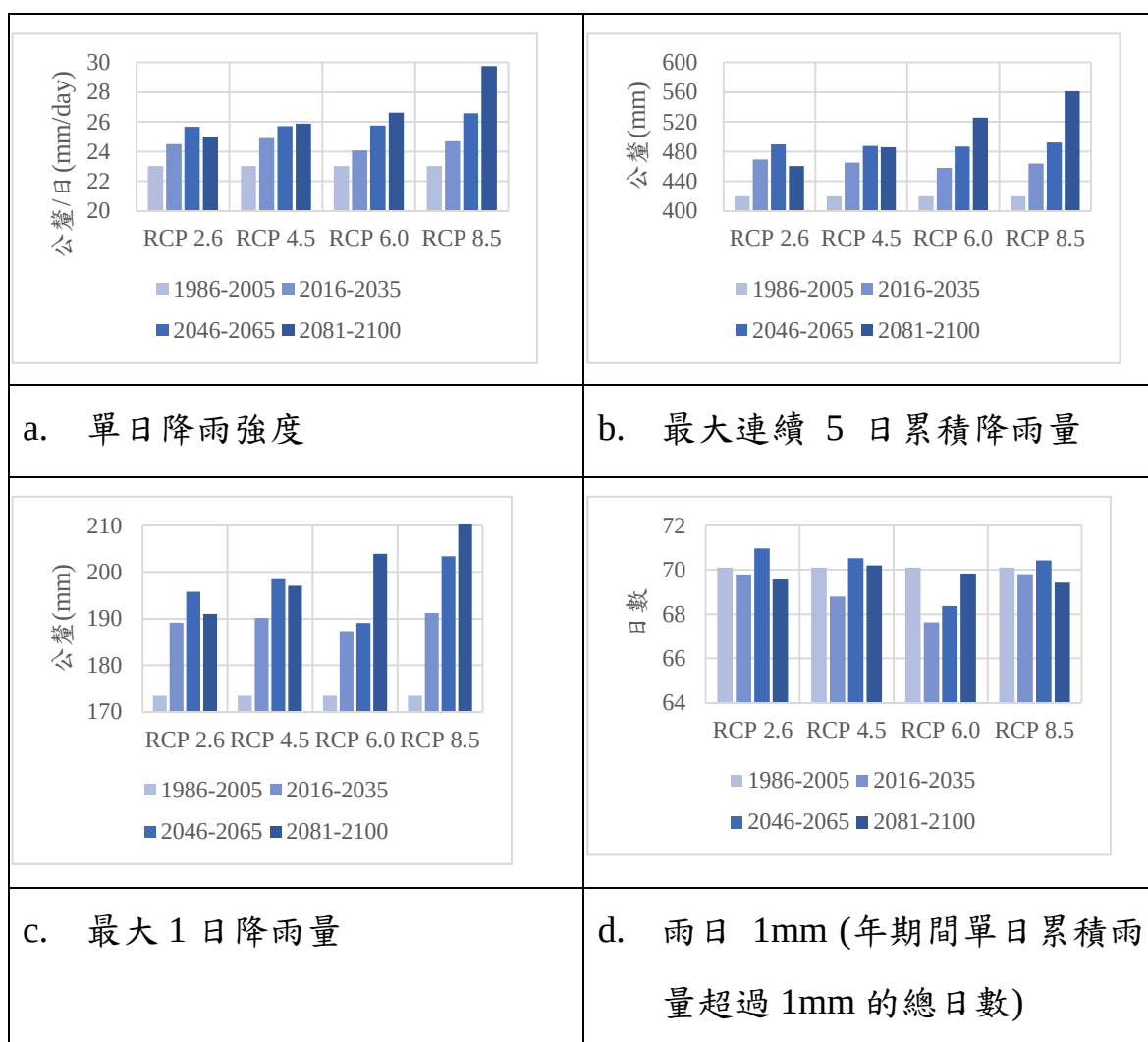
第二節 氣候變遷(降雨量、氣溫等)分析結果

藉由 TCCIP 資料 5 公里全台網格資料，從中提取虎頭埤集水區所在之網格之歷史氣候與未來推估之溫度與雨量之降尺度資料。模式選用方面，根據 Teng et al. (2021)的建議，採用第二代加拿大地球系統模型(CanESM2)，該模式是由加拿大環境與氣候變化加拿大氣候建模與分析中心(CCCma)開發的第四代全球耦合氣候模型，為該研究中心對 IPCC 第五次評估報告(AR5)的成果。

圖 3-2 為虎源溪降雨指標因子在不同情境下(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5)的分析結果，時期劃分為歷史基期(1960-2005)、二十一世紀中、末(2016-2035、2046-2065/2081-2100)。圖 3- 2a 顯示所有雨日平均之單日降雨強度在 RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 中均將逐漸增加約 2 成，顯示未來雨日之雨量將加大、對滯洪力的需求上升。最大連續 5 日降雨(圖 3- 2b)與最大 1 日降雨(圖 3- 2c)在各情境中也顯著高於基期之情境，致世紀末可能提升 1~3 成。雨日的日數無明顯變化趨勢與差距(圖 3- 2d)，但豪雨日(圖 3- 2e)與大雨日(圖 3- 2f)受到氣候變遷的影響，平均日數都將顯著高於基期期間，顯示對洪水發生的頻率增加。年總降雨量顯著提升(圖 3- 2i)，而年最大連續降雨日略為延長(圖 3- 2j)、連續不降雨日亦延長(圖 3- 2k)。顯示未來對於水資源調配的需求上升，

降雨兩極化現象在乾濕季分明的地區可能會更加明顯。

圖 3- 3 為虎源溪溫度指標因子在不同情境下(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5)的分析結果。結果顯示未來寒潮持續指數(每年至少連續 3 日最低溫小於基期日低溫 5 百分位之總天數，圖 3- 3a)將下降，熱浪持續指數(每年至少連續 3 日最高溫大於基期日高溫 95 百分位之總天數，單位為天數，圖 3- 3c)將大幅增加，日高低溫最小值與最大值均上升 1~3 度(圖 3- 3d、圖 3- 3e、圖 3- 3f、圖 3- 3g)。不分晝夜、極端低溫的情況均顯著減少，甚在最嚴峻的 RCP8.5 中極端冷夜、冷晝之日數會減少至 1/10(圖 3- 3h 、圖 3- 3i)。而極端暖夜、暖晝的日數在世紀末可能增加 3~6 倍(圖 3- 3j、圖 3- 3k)。顯示本試區未來在氣候變遷影響下明確趨向暖化的情形。



日數 RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 6.0 RCP 8.5 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100	日數 rcp26 rcp45 rcp60 rcp85 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100
e. 豪雨日 200mm	f. 大雨日 80 mm
日數 rcp26 rcp45 rcp60 rcp85 年份 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100	日數 RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 6.0 RCP 8.5 年份 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100
g. 多雨日 20 mm	h. 雨日 10 mm
公釐(mm) RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 6.0 RCP 8.5 年份 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100	日數 RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 6.0 RCP 8.5 年份 1986-2005 2016-2035 2046-2065 2081-2100
i. 年總降雨量	j. 年最大連續降雨日

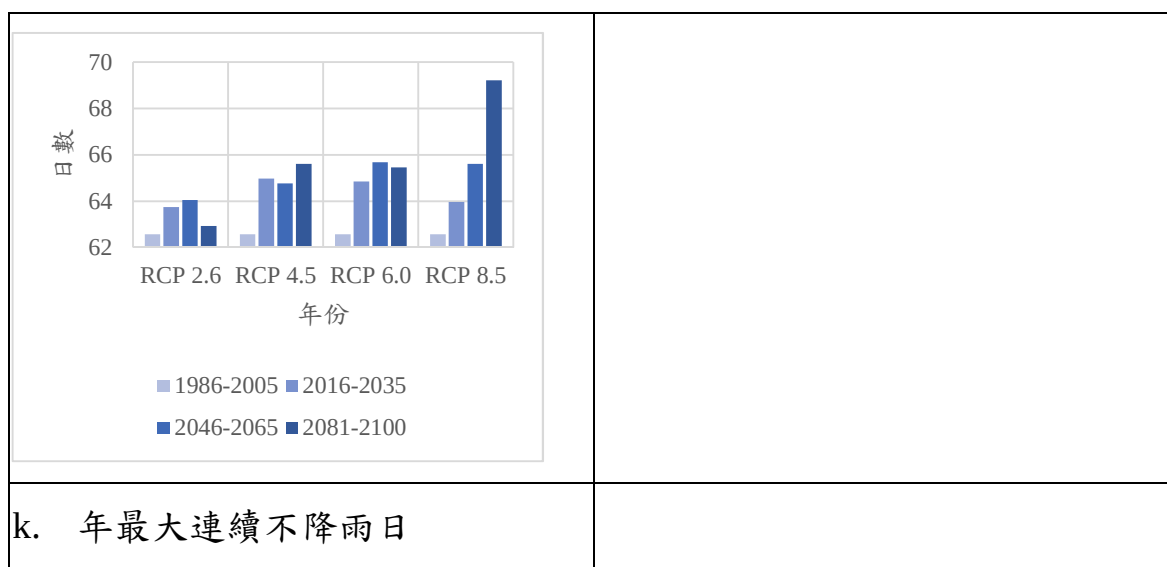
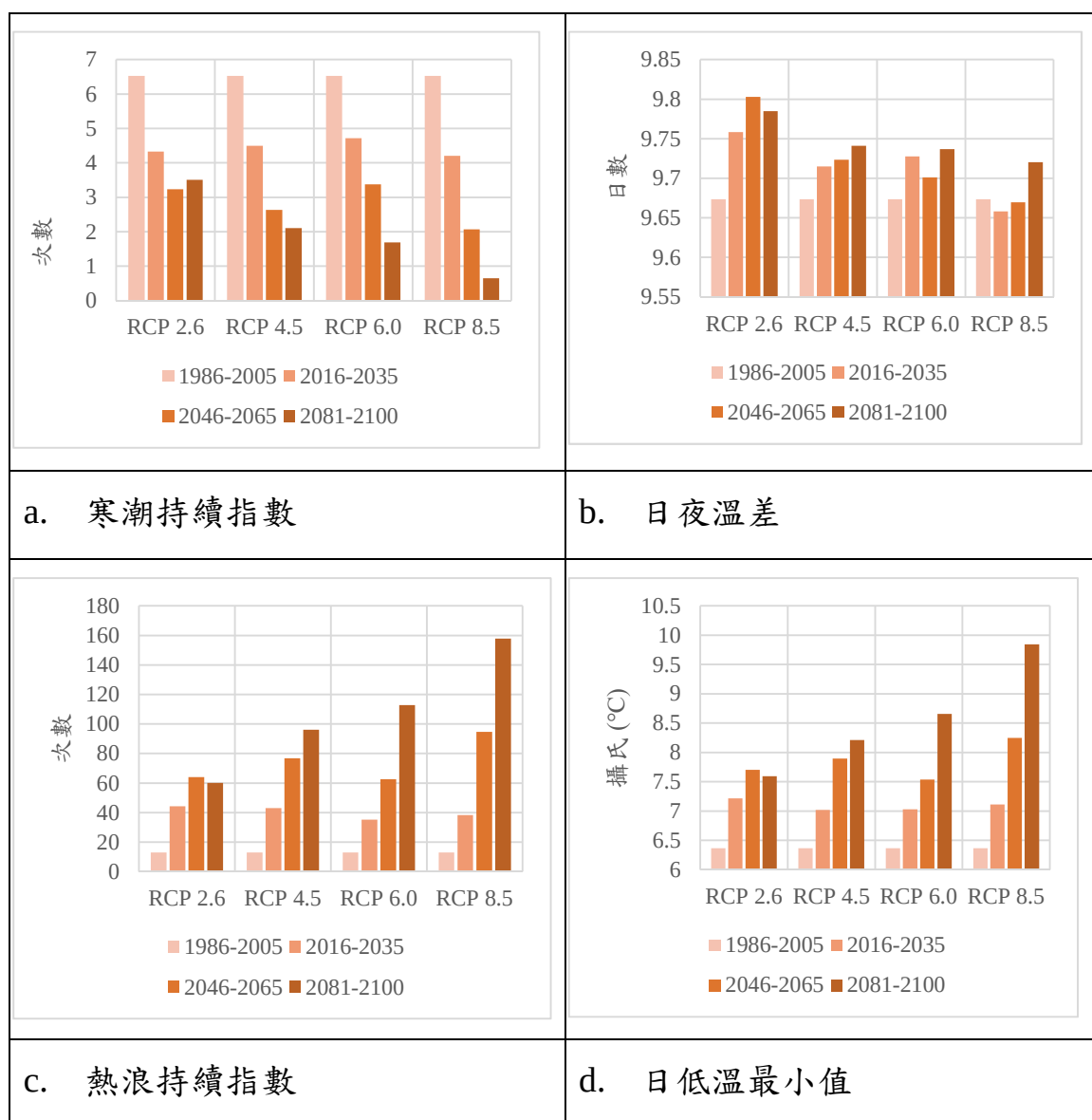
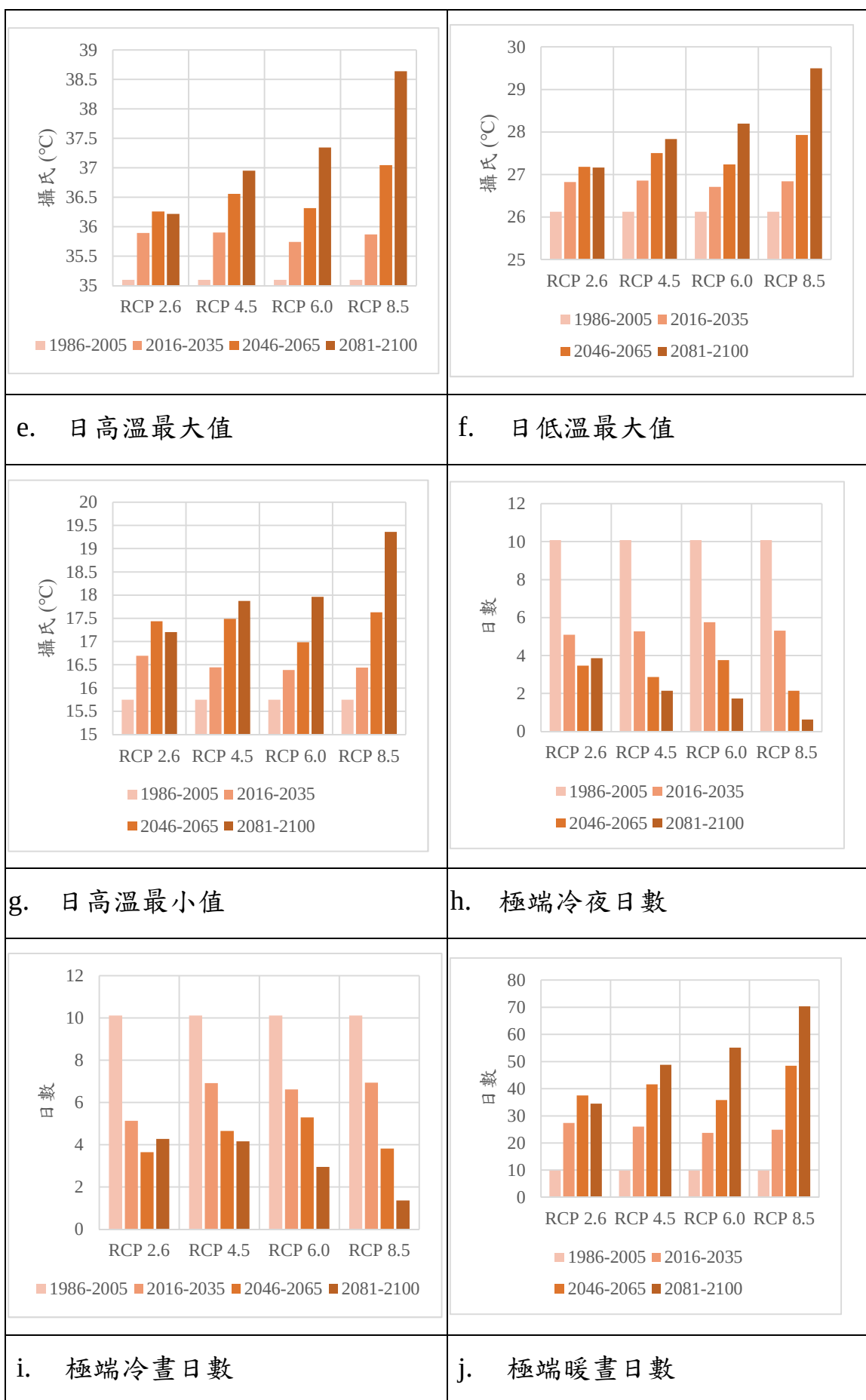


圖 3-2 不同情境下(RCP26、RCP45、RCP60、RCP85)的降雨因子在不同時期之分析





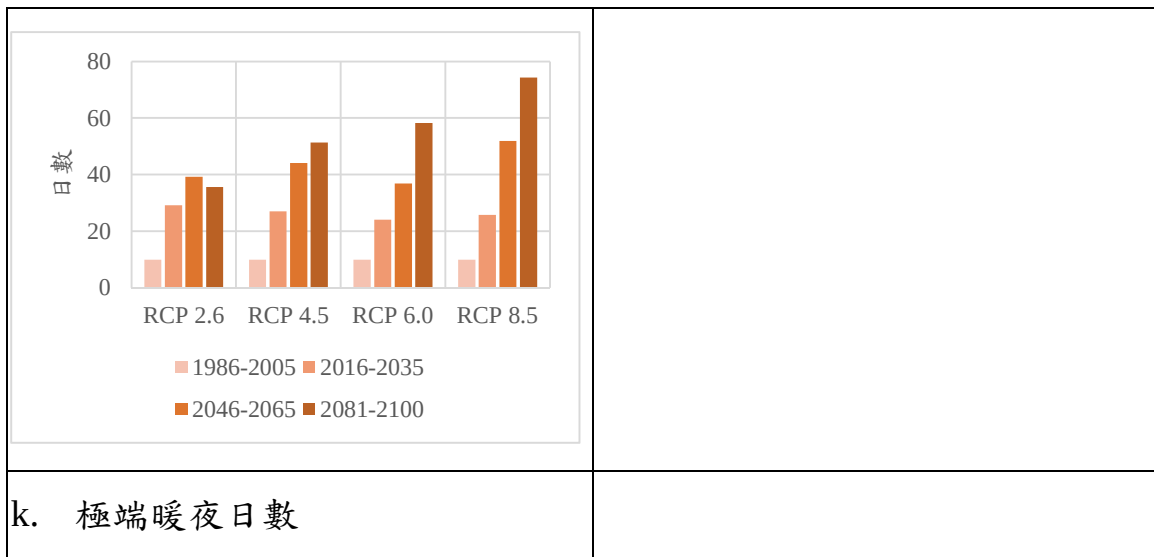


圖 3-3 不同情境下(RCP26、RCP45、RCP60、RCP85)的溫度因子在不同時期之分析

註 1：日極端冷夜(晝)日數:最低溫 $TN < 10$ 百分位數的日數。應用基期 20 年日最低溫資料，統計推求 365 個日曆天之第 10 百分位數，使用每一日曆天前/後 2 天以及當日共 5 日，取基期 20 年資料，合計 100 筆資料進行統計，以第 10 百分位數做為極端冷夜(晝)溫度的門檻值，再計算日低溫小於門檻值的天數。

註 2：日極端暖夜(晝)日數:最低溫 $TX > 90$ 百分位數的日數。應用基期 20 年日最高溫資料，統計推求 365 個日曆天之第 90 百分位數，使用每一日曆天前/後 2 天以及當日共 5 日，取基期 20 年資料，合計 100 筆資料進行統計，以第 10 百分位數做為極端暖夜(晝)溫度的門檻值，再計算日低溫小於門檻值的天數。

本集水區網格之降尺度模擬溫度與年降雨量結果如圖 3-4(月均溫)，其中粉紅色線為台南測站之統計資料(1897 年~2021 年)黑色為歷史推估降降尺度資料(1979 年~2021 年)。兩者對比可看出在每年高溫期間，新化林場之網格溫度較台南站之氣溫低，顯示林場具有調節氣溫的功能。橘色線為 RCP8.5 情境下之模擬溫度(2020 年~2100 年)，藍色線為為 RCP4.5 情境下之模擬溫度(2020 年~2100 年)。結果顯示在 RCP8.5 情境下，本研究區域可能每 100 年年均溫上升 3.6 度、RCP4.5 情境下每 100 年年均溫上升 1.7 度。

圖 3-5 為年降雨量之模擬結果，其中粉紅色線為台南測站之統計資料(1897 年~2021 年)、灰色為歷史推估降降尺度資料(1979 年~2021 年)，橘色為 RCP8.5

情境下之模擬溫度(2020 年~2100 年), 藍色線為 RCP4.5 情境下之模擬溫度(2020 年~2100 年)。分別將 RCP8.5 與 RCP4.5 進行 25 年移動平均以觀察長期之降雨量變化趨勢, 結果顯示在 RCP8.5 情境下, 本研究區域年雨量顯著增加、而洪峰流量必將順應增加、RCP4.5 情境下則影響較小。

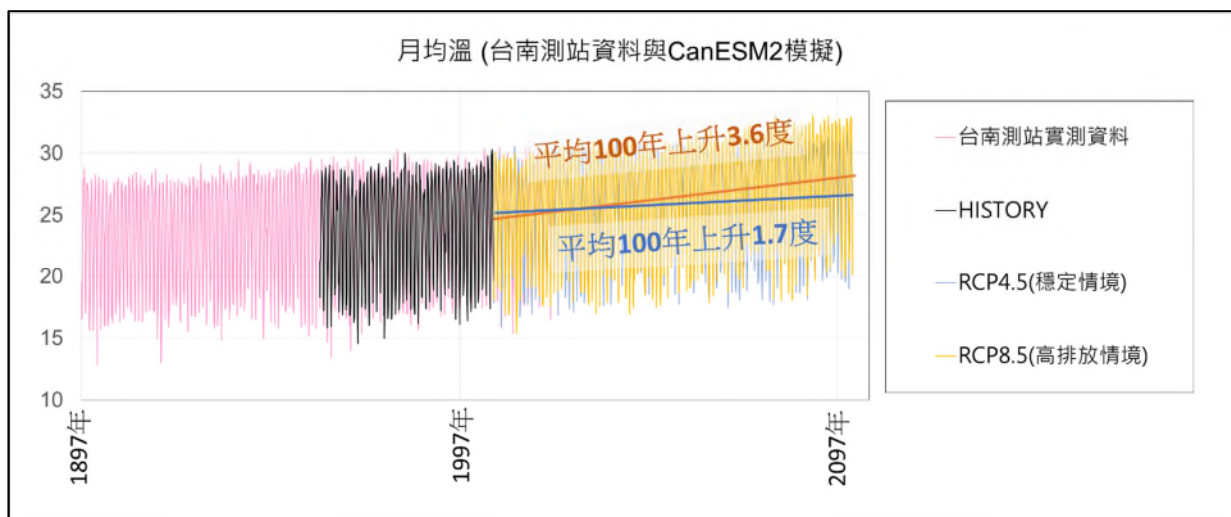


圖 3- 4 月平均溫度

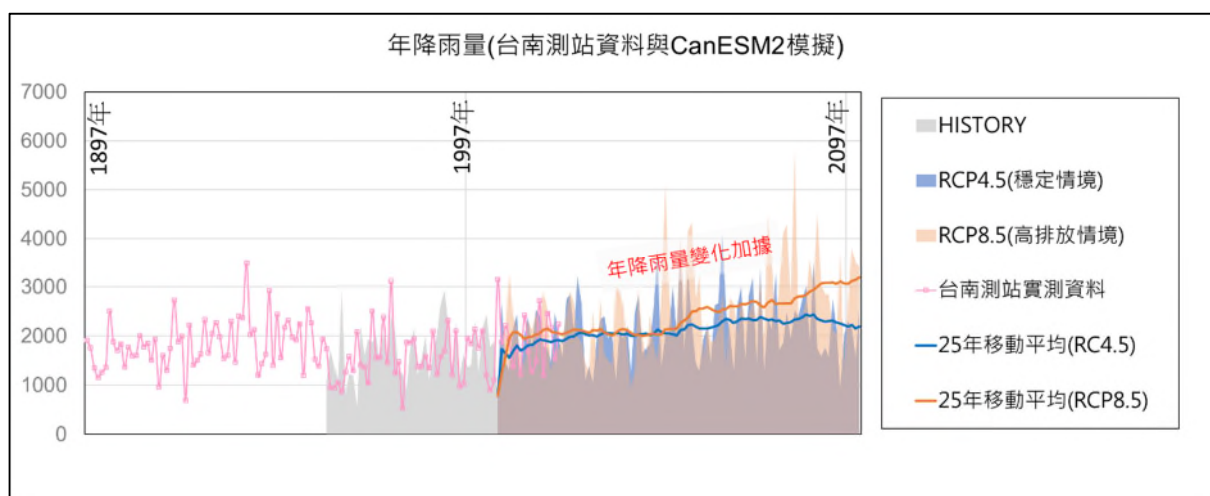


圖 3- 5 年降雨量

第三節 土地利用變遷資料與推論

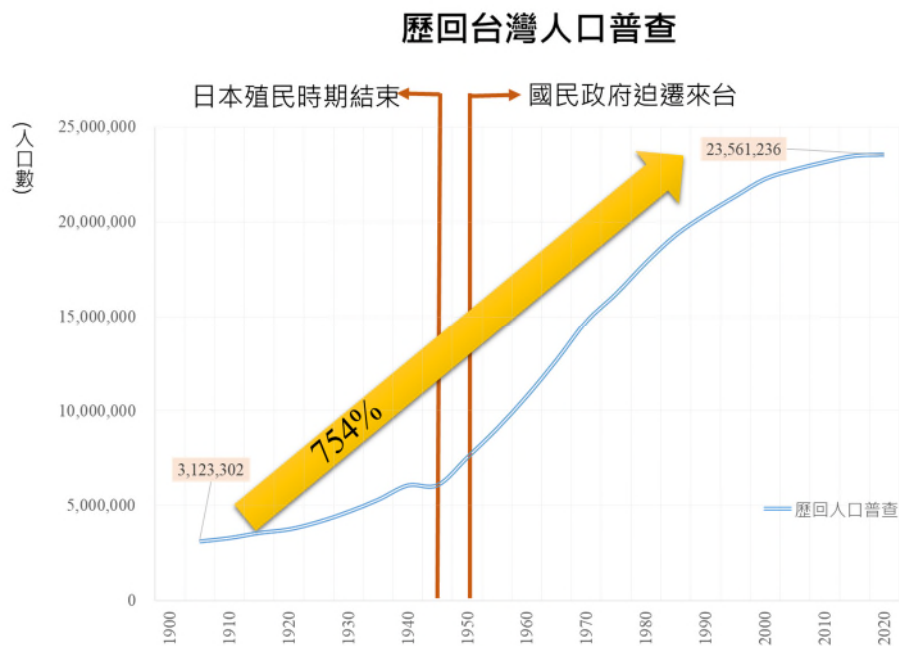
自從日治時期至國民政府遷台後, 台灣人口至今增加了 754%(圖 3-6), 土地利用類型也逐漸轉型、土地使用的密度也上升。比較不同時期的土地利用(圖 3-7)可以發現, 早期 1939 年虎頭埤集水區大多為國有原野地及闊葉林。此時土地利用資料雖不詳盡, 但現新化林場區域仍在大面積的造林, 根據文獻, 虎頭

埤水庫附近可能有聚落。日治時期（1895 年～1945 年）臺南演習林造林面積約 118 甲(圖 3-8)，為臺灣首次引進印度黃檀、鐵刀木、柚木、黑桫等為熱帶樹種造林試驗之先驅(詳表 3-3)。1949 年因國家經濟困難，故實施「以林養林」政策以供自給自足，每年視經營狀況辦理育林、伐木等經常性業務。1951-1954 年在無林處主要種植相思樹，面積約 50 公頃。西元 1963 年造林成果不盡理想，且戰後遭盜伐，以林下造林方式改良林相，並於土壤崩塌、山坑及溝谷種植蔴竹，以達水土保持之功效。後來 1964 年為了栽培出適合的經濟作物，引進熱帶果樹，包括咖啡、介壽果（腰果）、荔枝、文旦、番石榴、人心果、山蔴番荔枝等熱帶果樹進行試驗研究，期能栽培出適合生長之種類。1975 年起才開始進行全面造林，包括栽植桃花心木、摩鹿加合歡、樟樹、黑板樹、長枝竹、刺竹……等，造林面積超過 100 公頃以上，其中以大葉桃花心木林種植的數量及分布最為廣闊，截至目前為止林場轄區林班擁有 147.22 公頃的桃花心木造林地。並利用設備改良以及栽培熱帶果樹，以提高作物經濟價值及林場的經濟收益。1981 年起，連續四年接受農業委員會、台灣省林務局補助，辦理大葉桃花心木及樟樹之育苗栽植。由於新化林場長期的植樹造林，不僅減緩水庫淤積現象，同時森林的蓄存水量增加，不僅有助於提高枯水期量外，也有助於補注地下水，這也為虎頭埤帶來的正面效益，此成果可歸功於林場造林績效。

後至 1993 年因人口的指數上升，加上政府政策以及詳盡之土地使用調查，本區有大面積之農地登記在案，而虎頭埤的功能型態也漸漸產生轉型。虎頭埤水庫經政府整修加擴、美化湖畔，後被列為虎頭埤風景區，成為台南遊憩觀光主要區域。另外宗教信仰也因本區複雜的政治歷史背景而多元化。整體而言自日據時期至今，本集水區之林地面積無大幅變更，未來亦無開發規劃，可估計未來不至因土地利用變化造成入滲或逕流問題。大面積的林地與溪流相輔將可提供豐富之生態系服務。

此外，根據日治時期林相圖(圖 3-9)可看出虎頭埤水庫尾端本較為粗厚(紅線)，2022 年後(白線)尾端僅為一條細窄之渠道，連接一處滯洪沉砂池。而透過

1973 年航照圖(圖 3-10)，可觀察到此時期虎頭埤上游來水並不從現今尾端進庫，反而從南方沿水庫邊緣蜿蜒而流，推測可能由於庫區尾端淤積至其改道。2000 年後(圖 3-11)藉由數年一次之清淤工程，使得水庫後方之水路固定。圖 3-12 為 1904、1977、2022 年虎頭埤集水區之流路與及水庫之變化。隨著林場 1970 年代之全面造林成效，可觀察到其後水庫區域與流路逐漸穩定，僅尾端需清淤，可見林場可能有減少土砂沖蝕與崩塌之成效。



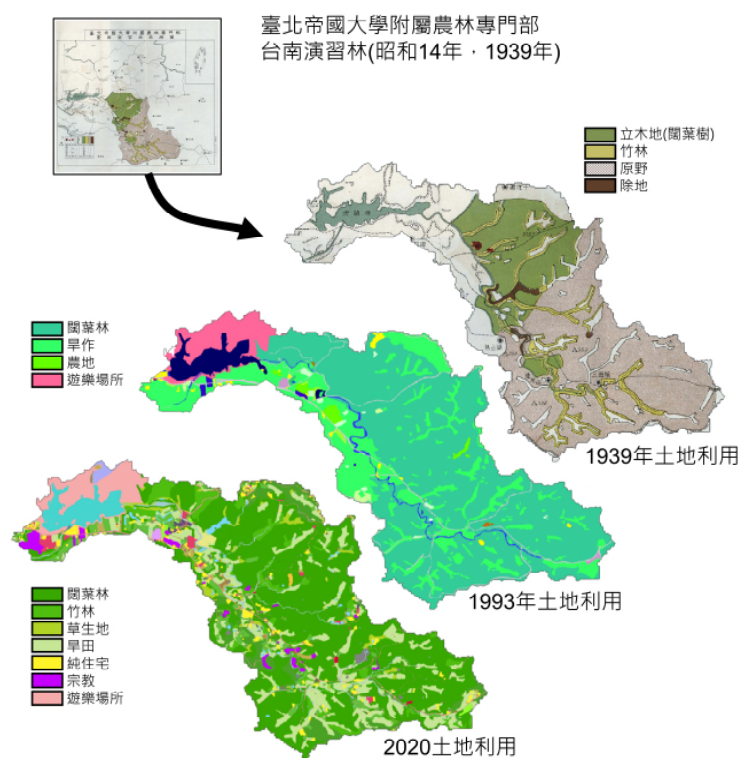


圖 3- 7 1939 年、1993 年、2020 年土地利用 資料比較



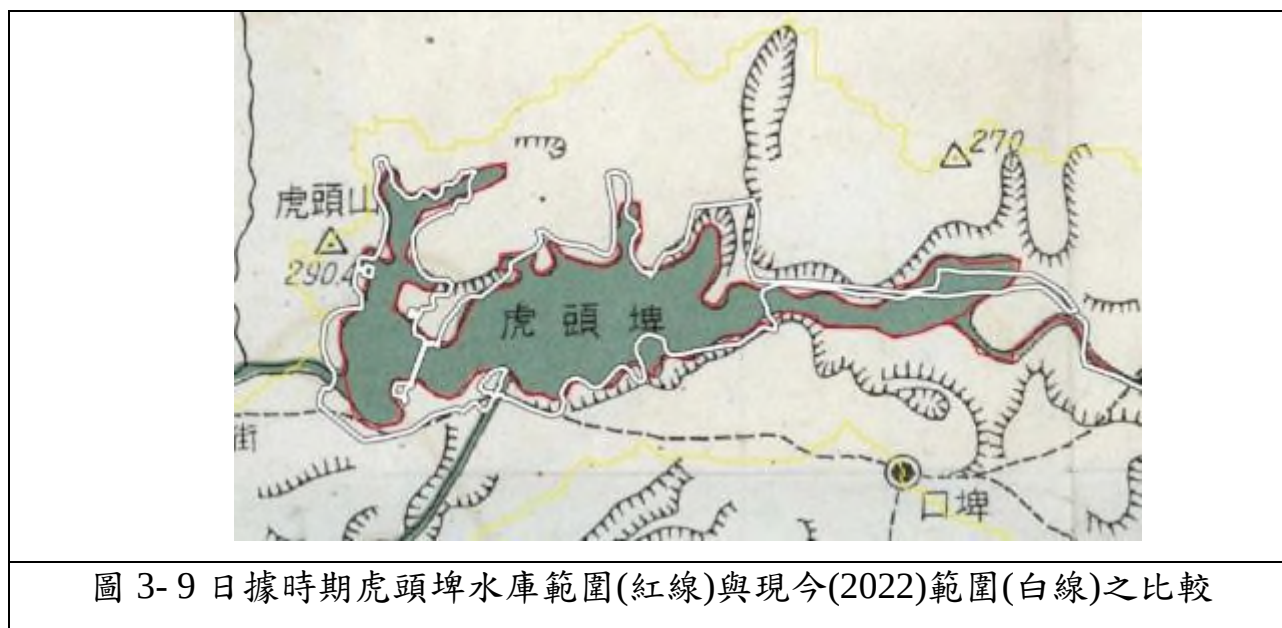
資料來源:新化林場

圖 3- 8 日治時期(1939 年)虎源溪的林相圖與造林圖

表 3-3 歷年新化林場造林過程

年份	時期	詳細內容
1921-1945	日治	首次引進印度黃檀、鐵刀木、柚木、黑桫等為熱帶樹種造林試驗之先驅。
1949	民國	實施「以林養林」政策以供自給自足，每年視經營狀況辦理育林、伐木等經常性業務。
1951-1954	民國	在無林處主要種植相思樹(面積約 50 公頃)。
1963	民國	造林成果不盡理想，且戰後遭盜伐，以林下造林方式改良林相，並於土壤崩塌、山坑及溝谷種植荊竹，以達水土保持之功效。
1964	民國	引進熱帶果樹，包括咖啡、介壽果(腰果)、荔枝、文旦、番石榴、人心果、山荊番荔枝等熱帶果樹進行試驗研究，期能栽培出適合生長之種類。
1975	民國	進行全面造林，其中包括栽植桃花心木、摩鹿加合歡、樟樹、黑板樹、長枝竹、刺竹……等，造林面積超過 100 公頃以上，其中以大葉桃花心木林種植的數量及分布最為廣闊，並栽培熱帶果樹。
1981	民國	連續四年接受農業委員會、台灣省林務局補助，辦理大葉桃花心木及樟樹之育苗栽植。

資料來源:新化林場



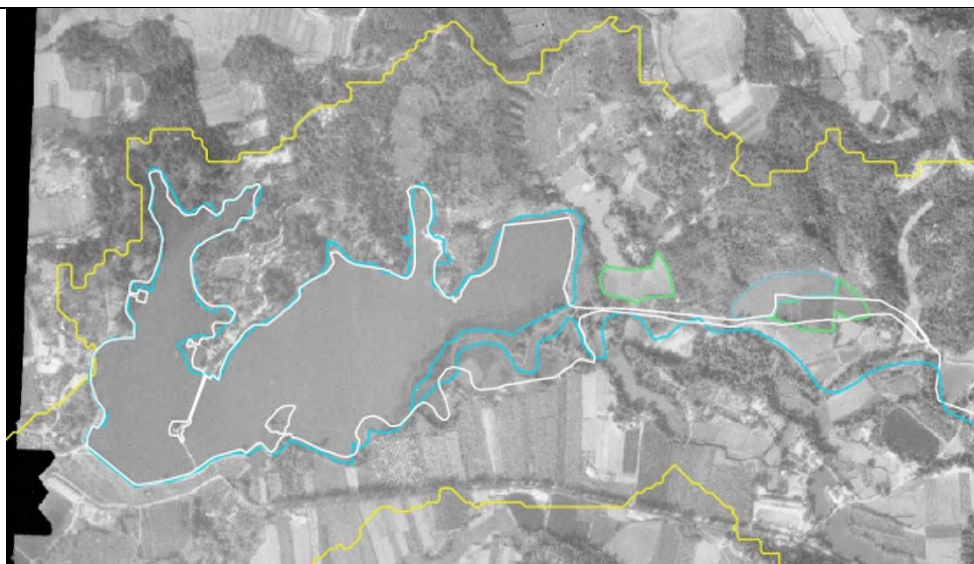


圖 3- 10 1973 年虎頭埤水庫範圍(藍線)與現今範圍(白線)之比較，綠線為農地



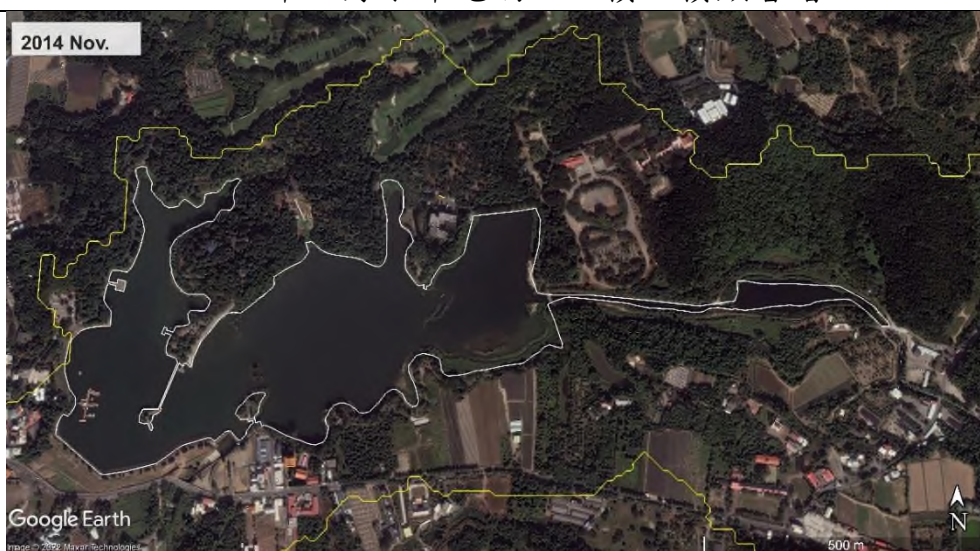
a. 2000 年 10 月虎頭埤之衛星影像



b. 2010 年 12 月，水庫尾端有明顯之淤積



c. 2013 年 2 月水庫尾端之淤積面積顯著增加



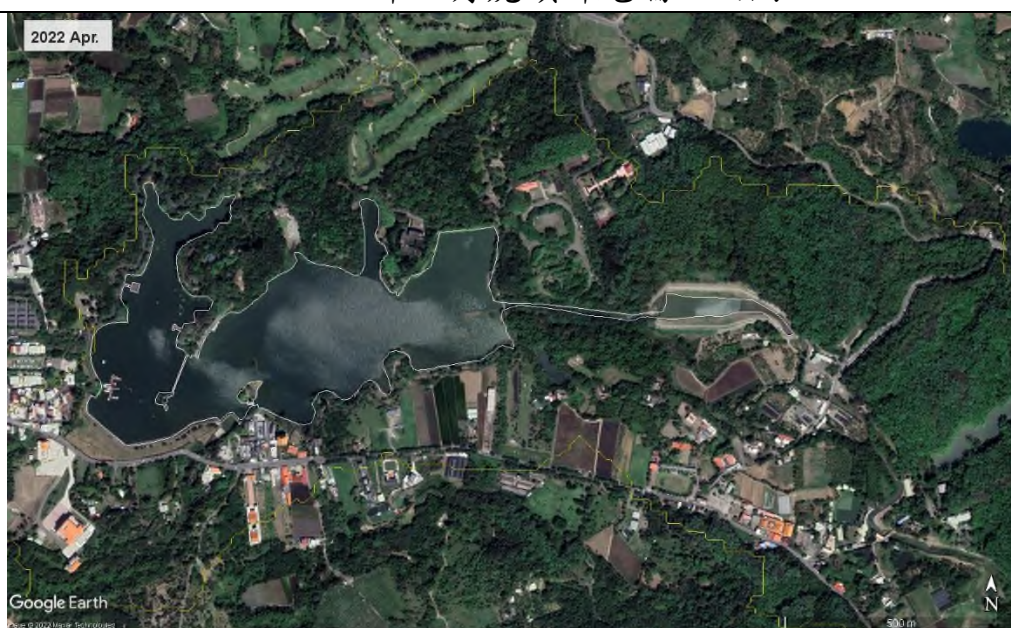
d. 2014 年 11 月虎頭埤清淤後狀況，與現今之水庫範圍(白線)接近



e. 2016 年 8 月虎頭埤洪水後水體呈現混濁



f. 2021 年 1 月虎頭埤尾端又淤滿



g. 2022 年 4 月虎頭埤尾端清淤後情況

圖 3- 11 2000~2022 年虎頭埤水路範圍之衛星影像

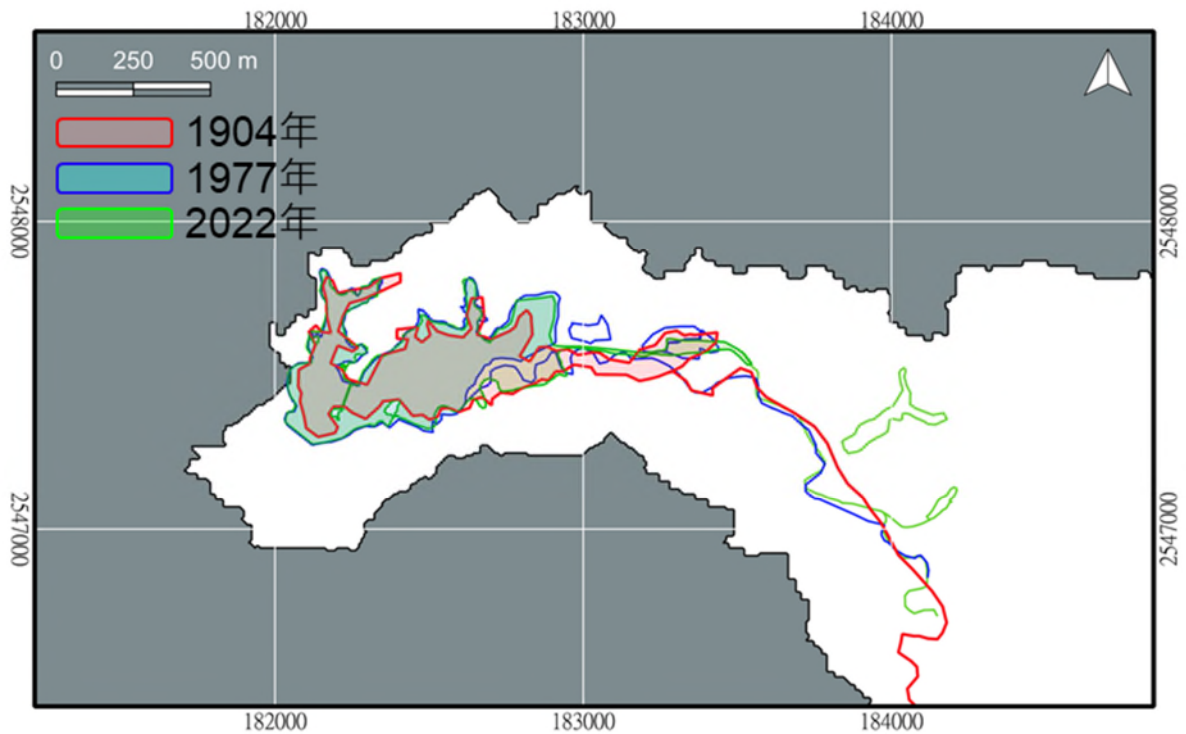


圖 3-12 西元 1904、1977、2022 年虎頭埤水庫之水路變化

第四節 氣候變遷及土地利用變遷對洪水流量之影響

未來 50 至 100 年內本區土地利用變化應相對小，但氣候變遷可能對降雨量造成影響，進而影響洪峰流量。連琮勛等人(2020)以氣候變遷情境 RCP8.5 情境下、世紀中(2036-2065 年) 時期的 33 個全球氣候模式(GCM)的全臺網格日雨量模擬值為參考資料，使用水文頻率分析估算上述資料之全臺網格點設計雨量值(設定重現期為 100 年、降雨延時為 1 日)，33 個 GCM 模式之中，有 5 個模式為減少 0.1%~減少 7%；28 個模式為增加 1.7%~增加 156%(改變率是以同網格世紀中設計雨量和基期設計雨量進行比較)，可見在氣候變遷最烈情境下，故未來防洪設施需要更大的通洪與滯洪能力。

本計畫針對不同重現期之暴雨，以虎源溪集水區為目標，分別分析 RCP4.5 及 RCP8.5 下之暴雨改變率(圖 3-13)，結果顯示所有模式預測 50 年重現期的暴雨之雨量變化率之中位數約為 123%，此外，5 年重現期改變率約為 116%、10 年重現期約為 18%、25 年重現期約為 21%等，顯示世紀末之暴雨及極端洪水事件將更為加劇。各重現期降雨量如表 3-4 所示。

相對於氣候變遷對降雨量的影響，本區土地利用在未來將少有大變動的可能性，故後續章節將配合 SCS 法計算雨型分配及估計降雨損失，將暴雨改變率用於降雨逕流分析以推求虎源溪整治段之頻率洪水量。

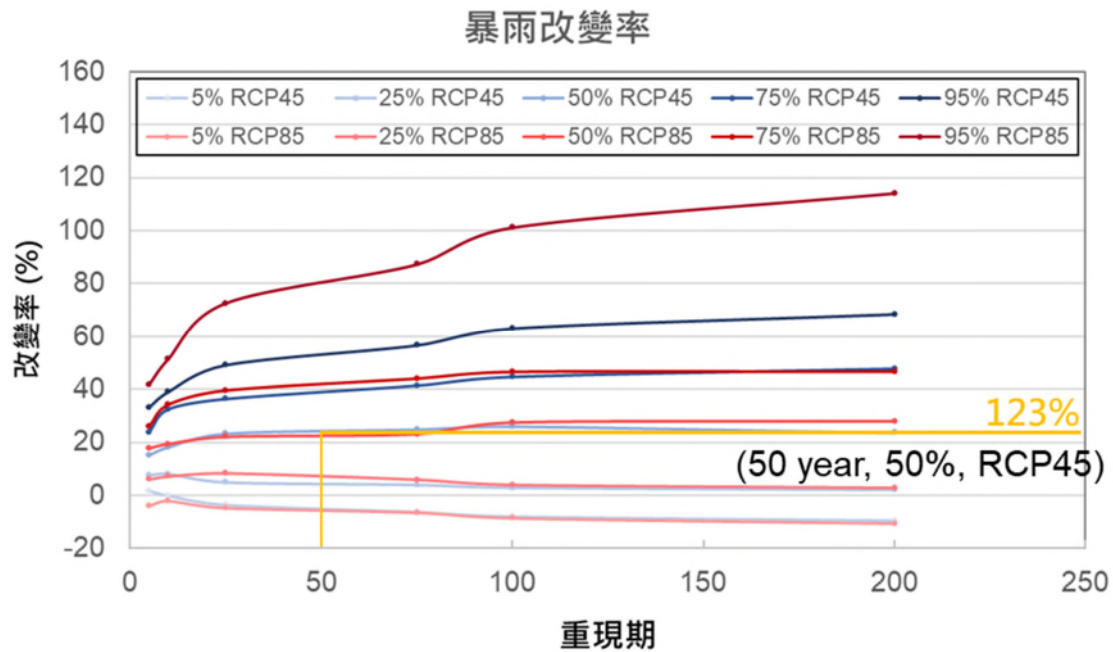


圖 3-13 氣候變遷影響下之暴雨改變率

表 3-4 虎頭埤測站之設計降雨量(歷史基期與氣候變遷)

單位:mm

	重現期						
	2 yr	5 yr	10 yr	25 yr	50 yr	100 yr	200 yr
歷史基期	207	291	343	405	449	490	531
氣候變遷 (世紀末)	238	335	405	499	565	606	656

第四章 自然解方施作方案

第一節 自然解方之概念及方針

聯合國所有會員國於 2015 年通過的「2030 年可持續發展議程(The 2030 Agenda for Sustainable Development)」為現在和未來的人類和地球的和平與繁榮提供了共同藍圖。其核心是 17 項可持續發展目標 (SDG)，迫切呼籲所有國家（發達國家和發展中國家）在全球夥伴關係中採取行動，在刺激經濟成長同時應對氣候變化並努力保護我們的海洋和森林(圖 4-1)。



圖 4-1 17 項可持續發展目標

其中 SDGs 第 15 項目標為「保育及永續利用陸域生態系，確保生物多樣性並防止土地劣化」(表 4-1)，而其細項 15.4 述明需於 2030 年前確保山區生態系統的保育，包括其生物多樣性，以加強其對永續發展提供至關重要的益處。

表 4- 1 SDG15: Life on land 細項

	保護、維護及促進陸域生態系統的永續使用，永續的管理森林，對抗沙漠化，終止及逆轉土地劣化，並遏止生物多樣性的喪失
15.1	2020 年前，根據國際協議的義務，確保陸地與內陸淡水生態系統及其功能運作，獲得保護、復原和永續利用，尤其是森林、濕地、山脈和旱地。
15.2	2020 年前，促進落實各式森林的永續管理，終止毀林、恢復退化森林，以及大幅增加全球造林和再造林。
15.3	2030 年前，對抗沙漠化、恢復退化的土地與土壤，包括受到沙漠化、乾旱及洪水影響的土地，致力實現沒有土地破壞的世界。
15.4	2030 年前，確保山區生態系統的保育，包括其生物多樣性，以加強其對永續發展提供至關重要的益處。
15.5	採取緊急且大規模的行動，減少自然棲息地的破壞，以及遏止生物多樣性喪失，並在 2020 年前，保護及預防瀕危物種滅絕。

近年來，由於環境與資源面臨許多永續經營之困境，再加上大眾需求層次的提升，使得自然解方(Nature-based Solutions, NbS)的呼聲受到簇擁。自然解方(Nature-based Solutions)一詞首先由世界銀行(World Bank)提出，國際自然保護聯盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)定義，定義其為「保護、永續管理、修復自然或被改變的生態系的行動，以有效地、調適地處理社會面臨的挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性的惠益」(IUCN, 2016)，其核心價值是與自然合作以解決問題，透過保護、修復、永續管理生態系的過程、功能、服務以解決重大社會挑戰。近年來，人們開始關注自然解方，逐漸將自然解方納入政策制定中，其中包括水資源、糧食安全、農業、生物多樣性、環境、降低災害風險、城市居住地，以及氣候變化等領域。

對應到虎頭埤集水區，考量氣候變遷的影響，水資源的壓力和洪水風險急

劇增加，再加上時日累積，原先硬性治水防洪措施(護岸等)以無力提供充足之通洪與滯洪能力，如 2018 年之 0823 熱帶性低氣壓豪雨致溪水溢流，造成河岸崩塌與道路中斷，其主要崩塌範圍長 600 公尺，影響區內林木面積達 11 公頃，造成中興大學實驗林場相關研究中斷，而彎道水流沖刷劇烈，造成溪岸侵蝕，影響道路及農田安全，因此進行此區改善工程。為因應當前的氣候和社會條件變化，同時考量本區之洪水整治與環境營造，洪水和 water 資源方面以基於自然方式進行規畫為唯一解方。

整體而言本區治理之目標為兼具提高社區利益(社會目標)、保護自然(環境目標)，並以可承受的成本提供復原力(經濟目標)。因此在工程上如何有效利用自然助力以達到目的即為其中之金鑰(圖 4-2)。

而自然解方應具備以下 8 原則(IUCN, 2022):

自然保育(conservation)、可單項進行也可綜合考量(allience)、考量當地特色背景(site specific context)、透明和廣泛的參與(transparency & broad participation)、維護生物與文化多樣性與隨時間演變(diversity and evolvement over time)、地景尺度(landscape scale)、權衡取捨(tradeoffs)、整合政策(policy integration)。



圖 4- 2 Nature-based Solutions 建構以生態系為本之方法因應社會挑戰，同時促進人類福祉與生物多樣性雙贏之局面

農委會於 2020 年檢討面對乾旱情勢及未來氣候變化，水保局及林務局共同提出四大課題及相應的調適策略，包含水的涵養—「藏水於農」、土的安定—「治山防災」、山的保育—「良善管理」及災的預防—「智慧防災」。本計畫將以生態系服務為核心，建構此四項調適策略。

對四項調適策略農委會共研擬十項措施，包含「活化坡地農塘」、「推廣農地水土保持」、「增能防砂設施水源利用」、「加強森林復育」，整體增加山坡地及國有林地蓄水量及入滲量；「加速崩塌地復育」、「加強集水區保育」，減少土砂運移，增加蓄水空間；「強化水土保持管理」、「發揮森林保護成效」，保護山林，遏止不法；「強化大規模崩塌防減災」及「應用 AI 及 IoT 科技」，確保國土安全。

第二節 現況水力分析

新化林場園區為虎源溪流域之主要之森林保育及遊憩區域，在過往洪水事件中已觀察到虎源溪具有嚴重之淹水與通洪問題，故本河段為主要整治河段。透過數值模擬具有了解洪水過程、將問題量化並可供工程設計參考。

首先透過 Flo-2D 降雨逕流模式(圖 4- 3)，將 50 年頻率之最大一日降雨量 449mm 以 SCS 法計算雨型分配及降雨損失。最終分別獲得研究河段之主支流流量歷線(圖 4- 4)並以此作為二為維水力模擬之基準。分析結果，本研究區域 Q50 主流流量為 114 立方公尺/秒，支流：11.3 立方公尺/秒。

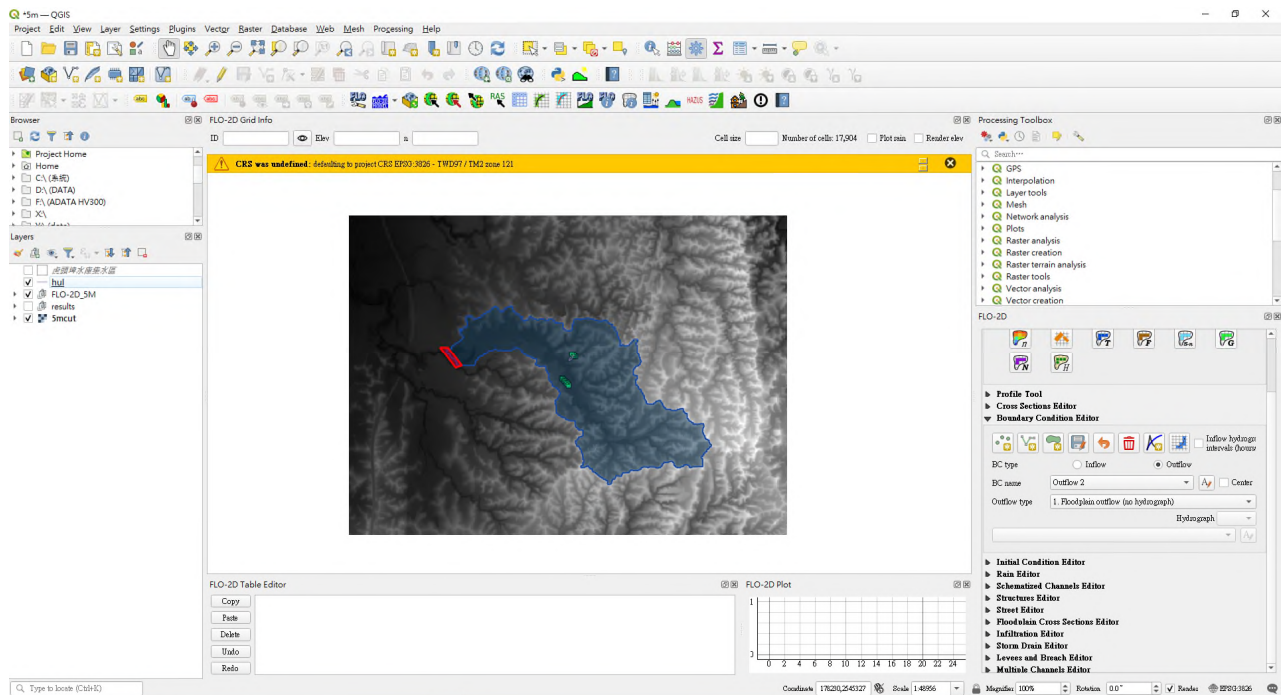


圖 4- 3 Flo-2D 降雨逕流模擬虎頭埤集水區

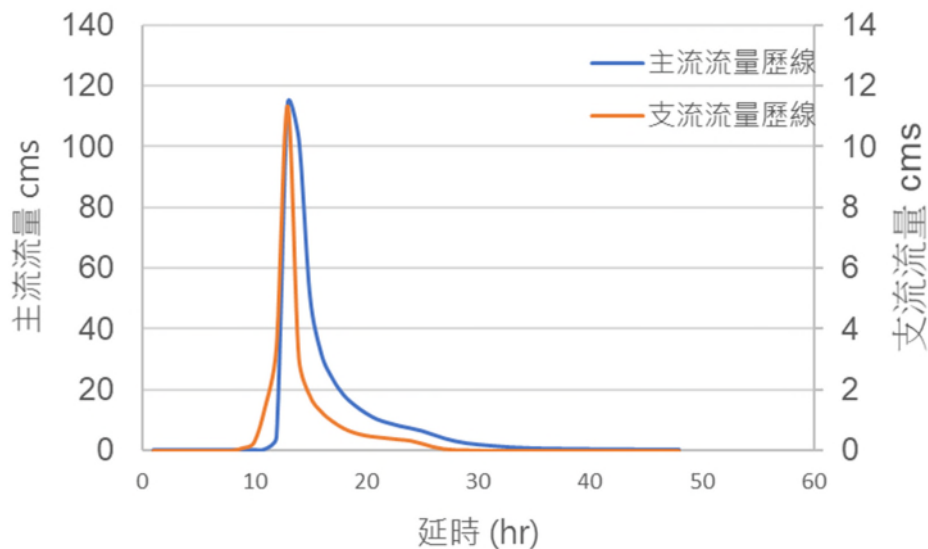


圖 4-4 Flo-2D 降雨逕流推求 50 年頻率(歷史基期)之洪水下主支流流量歷線

考慮新化林場段附近為主要觀光遊憩區域針對此區域規劃工程，在工程前先了解現況河道問題(圖 4-5~圖 4-8)。在 Q_{50} 的條件下，以 $1m*1m$ 解析度之 DEM 建置數值模式，透過此數模地形觀察到，現況溪流河槽較淺、長年淤積且河道較窄且坡度緩，匯流處流路曲折，使得洪水於本區高灘，超越護岸溢淹高灘地及鄰近保全對象。而水深分布可以看到現況深槽水深平均 4.5 公尺、高灘地亦有約 1.0 公尺淹水情形，洪水超越護岸溢淹高灘地，顯示整體河段通洪能力嚴重不足之問題。加上護岸老舊等問題易於洪水期間破損，同時河道平緩坡度約 $0.39\sim1.1\%$ ，易在洪水後發生淤積。河道也因土砂淤積導致通洪斷面不足，造成河幅縮減，溢流至兩旁步道建物區域。上游因為水位壅高造成河道流速趨緩，除下游邊界處因受邊界條件影響外，其餘處深槽流速約在 2.5 公尺/秒、灘地流速約 $0\sim1.5$ 公尺/秒。過虎源橋(圖 4-8 黑線)後深槽流速更提升至 3.5 公尺/秒，使得堤岸亦受水流剪力破壞。模擬結果清楚指出本河段具有通洪能力不足且缺乏滯洪空間之缺點。圖 4-9 為動床數模結果，然動床數模因輸砂模式與參數眾多、需多期地形與洪水水文資料進行檢定驗證後方能較為準確之結果。本動床結果僅用於與施工後之模擬結果進行相互比較。

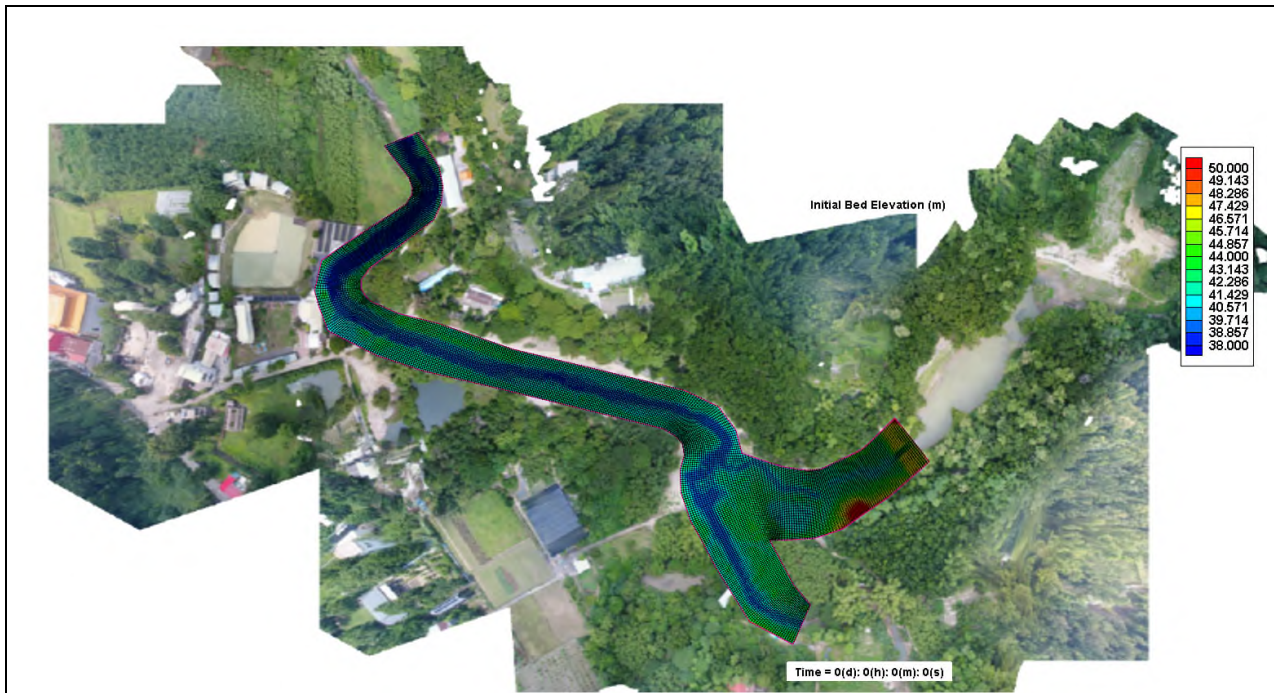


圖 4- 5 依河道現況(工程前)進行數模網格建置

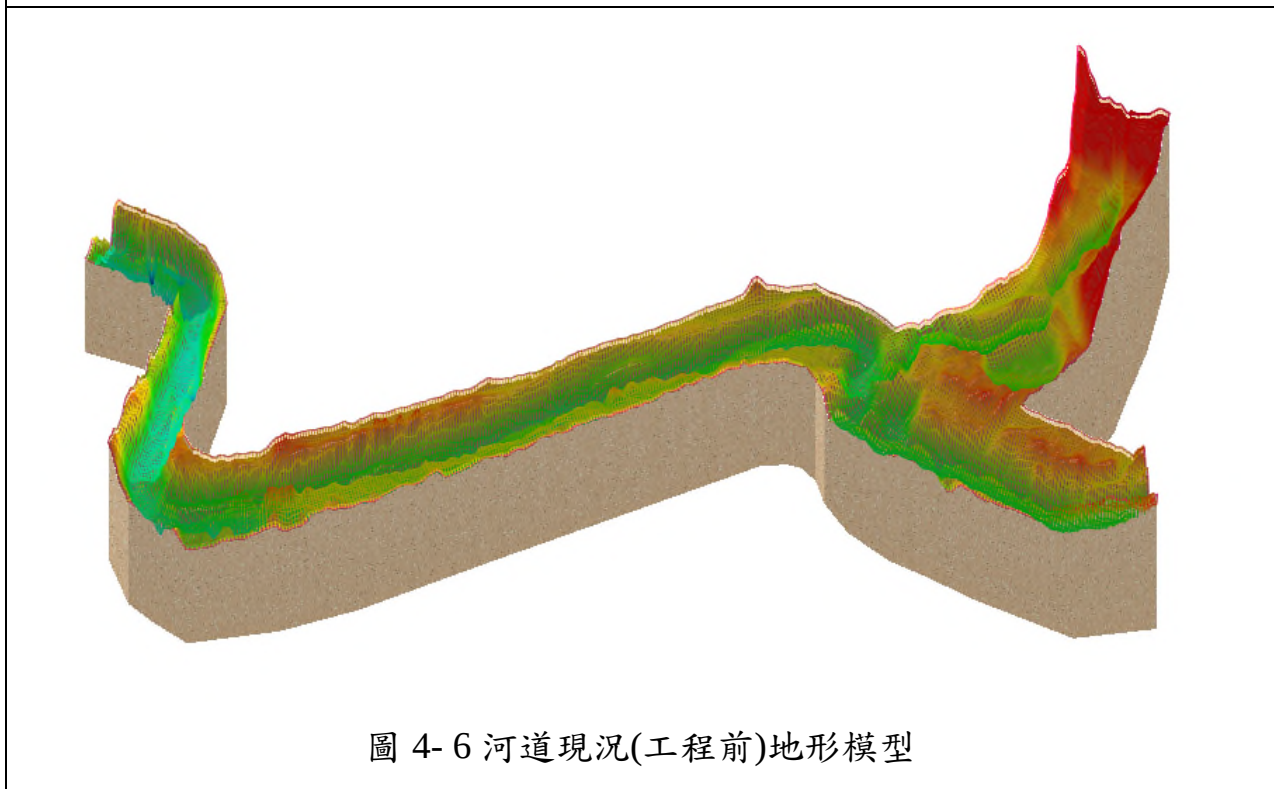


圖 4- 6 河道現況(工程前)地形模型

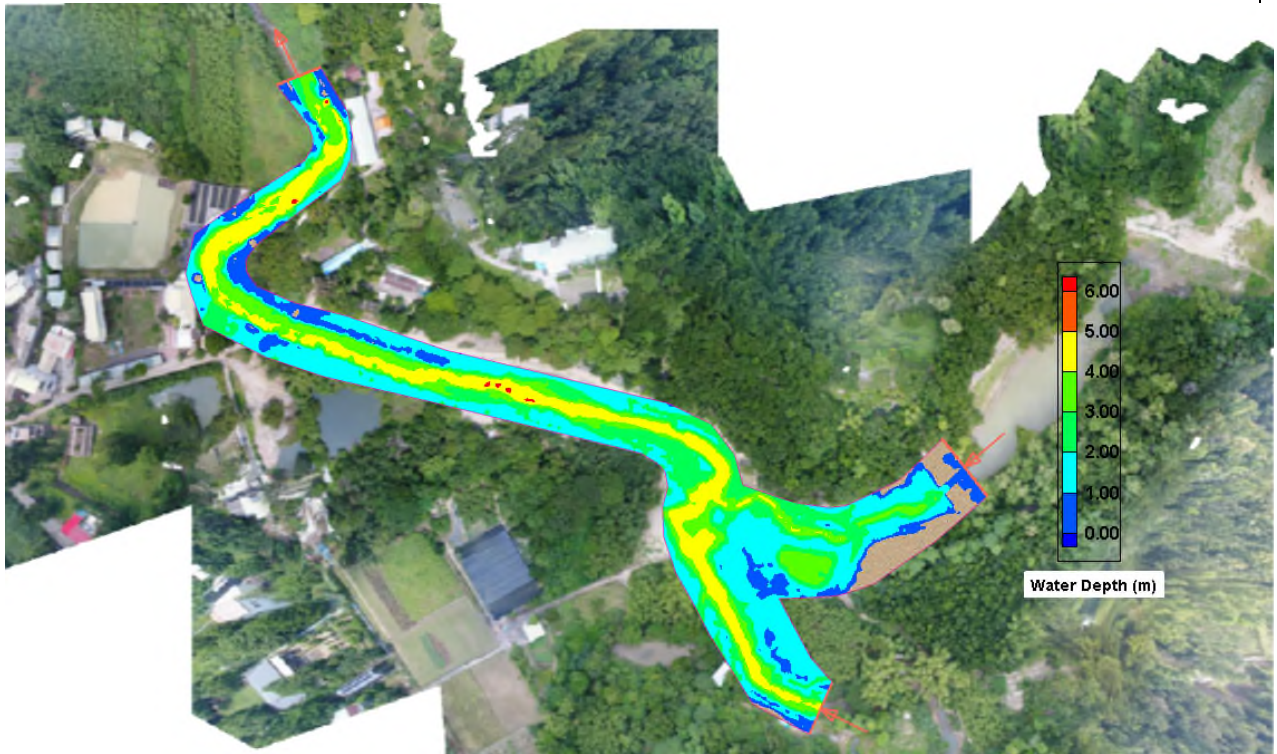


圖 4- 7 河道現況(工程前)進行數模之洪水水深分布結果



圖 4- 8 河道現況(工程前)之流速分布 (黑線為虎源橋)

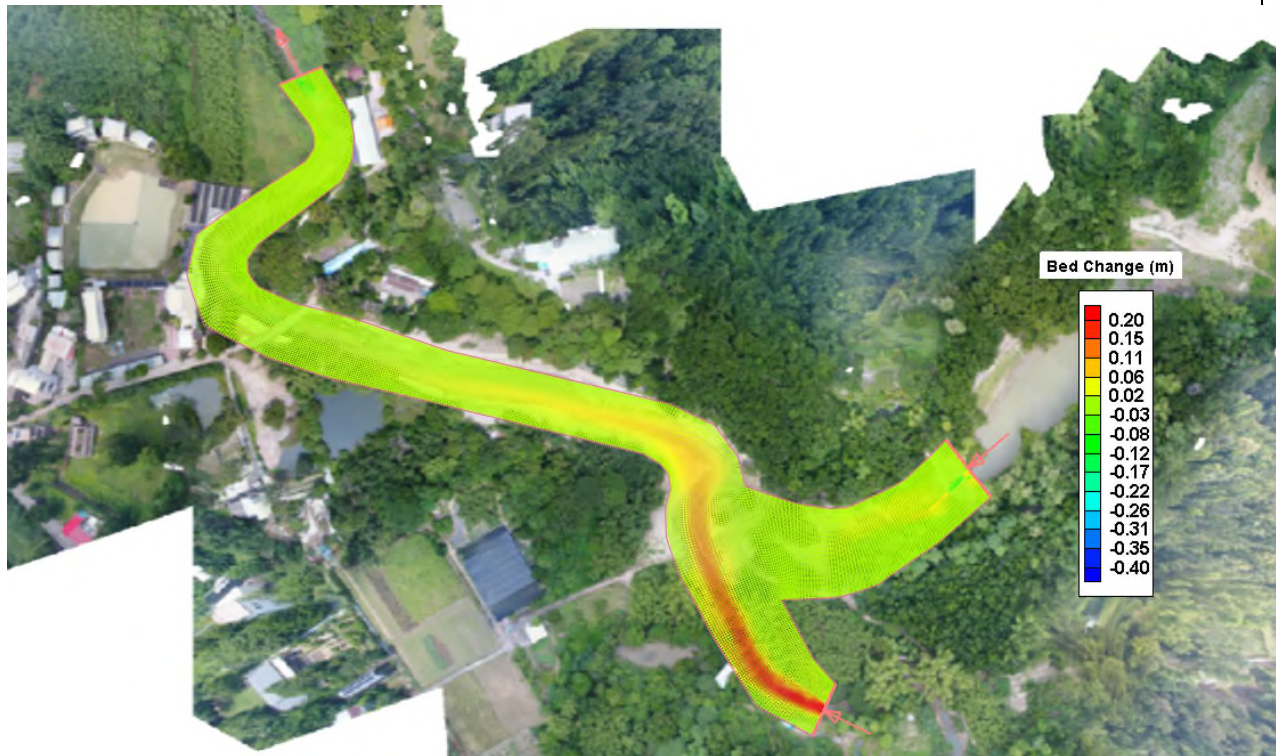


圖 4- 9 河道現況(工程前)之動床模擬結果(設計 1.8hr 洪水情境)

第三節 河道加寬方案

前述模擬凸顯出本河段之通洪及滯留能力之不足。為提升通洪能力，加寬通水斷面，主要以河道加寬方案，賦予溪流更多的空間為本，規劃拓寬河幅由原始 6 公尺河寬至約 12 公尺，而支流平均底床寬度加寬至 5 公尺，方案示意圖如圖 4-10 所示。考量本方案與工程前現況河道範圍不同，另行建置網格模型(圖 4-11、圖 4-12)。模擬結果顯示，河道增加了通洪能力與滯洪空間，渠槽水深約在 3~4 公尺之間，僅匯流前主流灘水使水深達 4 公尺以上，整體水深與現況模擬相比下降，河道整理拓寬，可大幅改善溢淹情形(圖 4-13)，並導正流心，溢淹情形可獲改善。另外進一步將匯流處上方空地作為溼地滯洪區，可調節洪水量(圖 4-14)，而支流因匯入主流處已減少壅水現象。圖 4-15 為採用與工程前相同條件之動床模擬結果。與圖 4-9 相比，兩者河道均呈淤積趨勢，但本方案在匯流前後淤積程度較輕微，推斷因為匯流口河道調整，束水使泥沙較不易堆積所致。為改善虎源橋下游彎道流速過快毀損堤岸，彎道處可再調整河寬增加通洪面積，如多層次之護岸等，對現有之歷史基期洪水頻率，本河道加寬方案，根據數模結果與表 3-4，將通洪能力由原先約 Q_2 之現況提昇至 Q_{50} ；而對考量氣候變遷之世紀末之洪水頻率而言，本方案仍能具有約 Q_{20} 之通洪能力。詳細設計綜合考量生態環境與美學及自然解方之標的在 4-4 節詳述。a

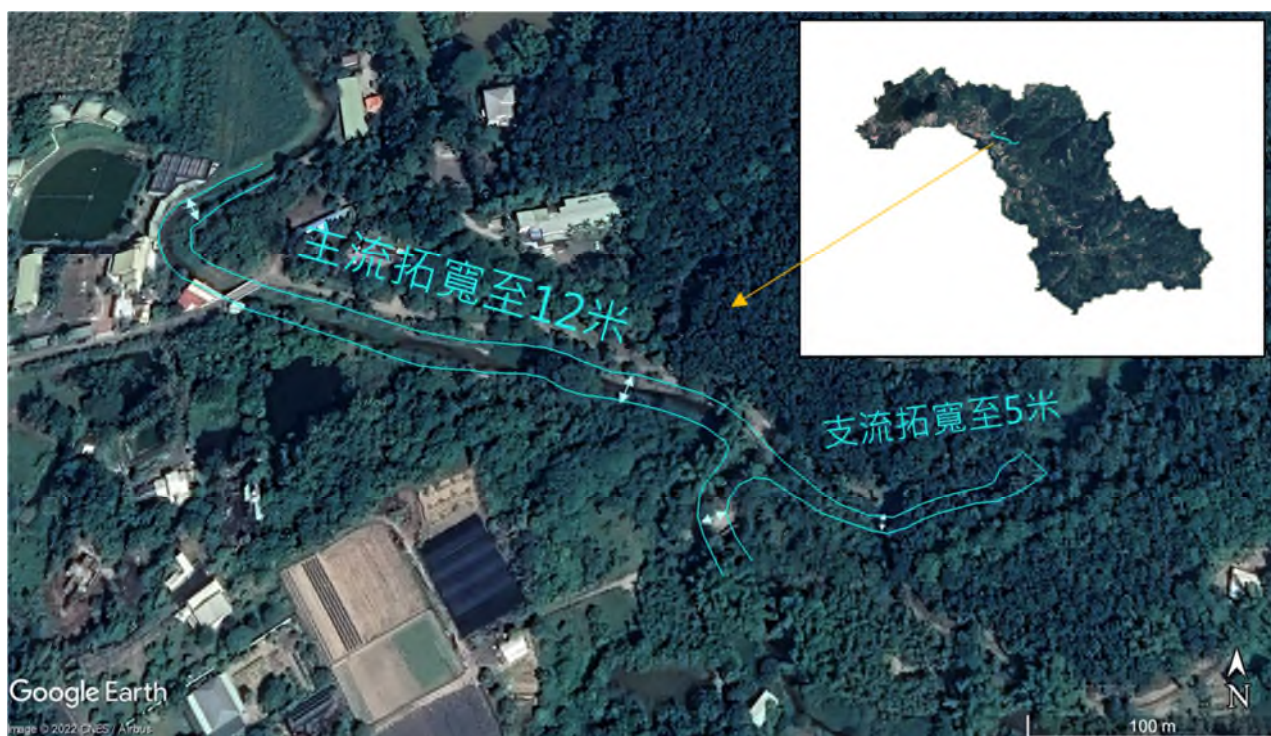


圖 4- 10 河道加寬方案示意圖 (底圖為 GOOGLE EARTH 影像日期:2018-11-3)

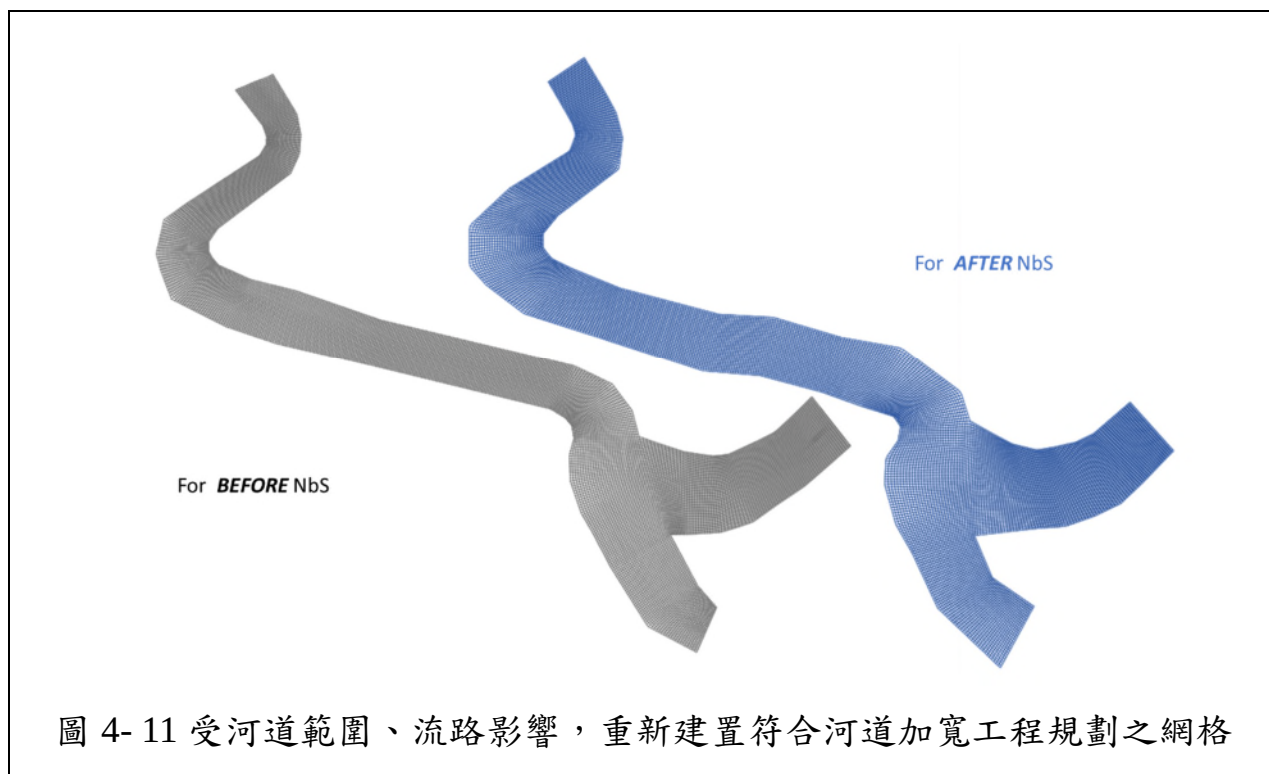


圖 4- 11 受河道範圍、流路影響，重新建置符合河道加寬工程規劃之網格

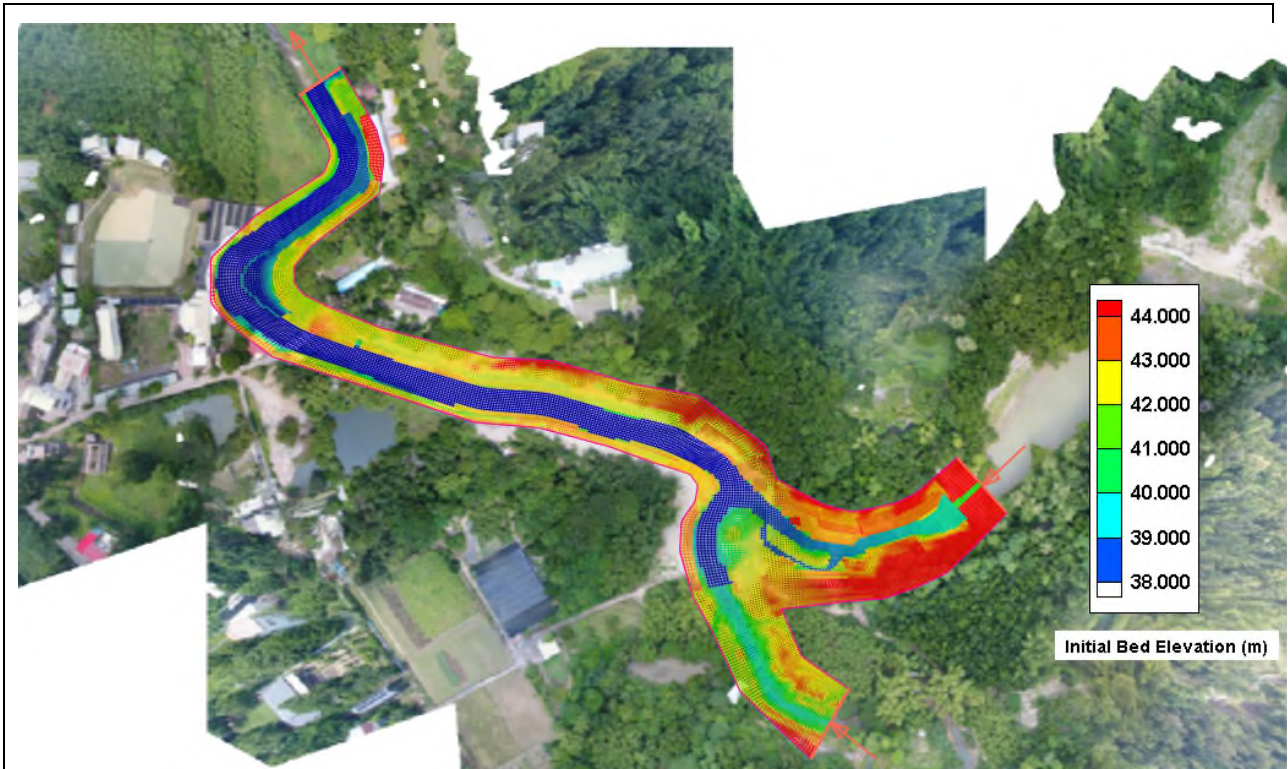


圖 4- 12 考量河道加寬方案數模網格地形建置

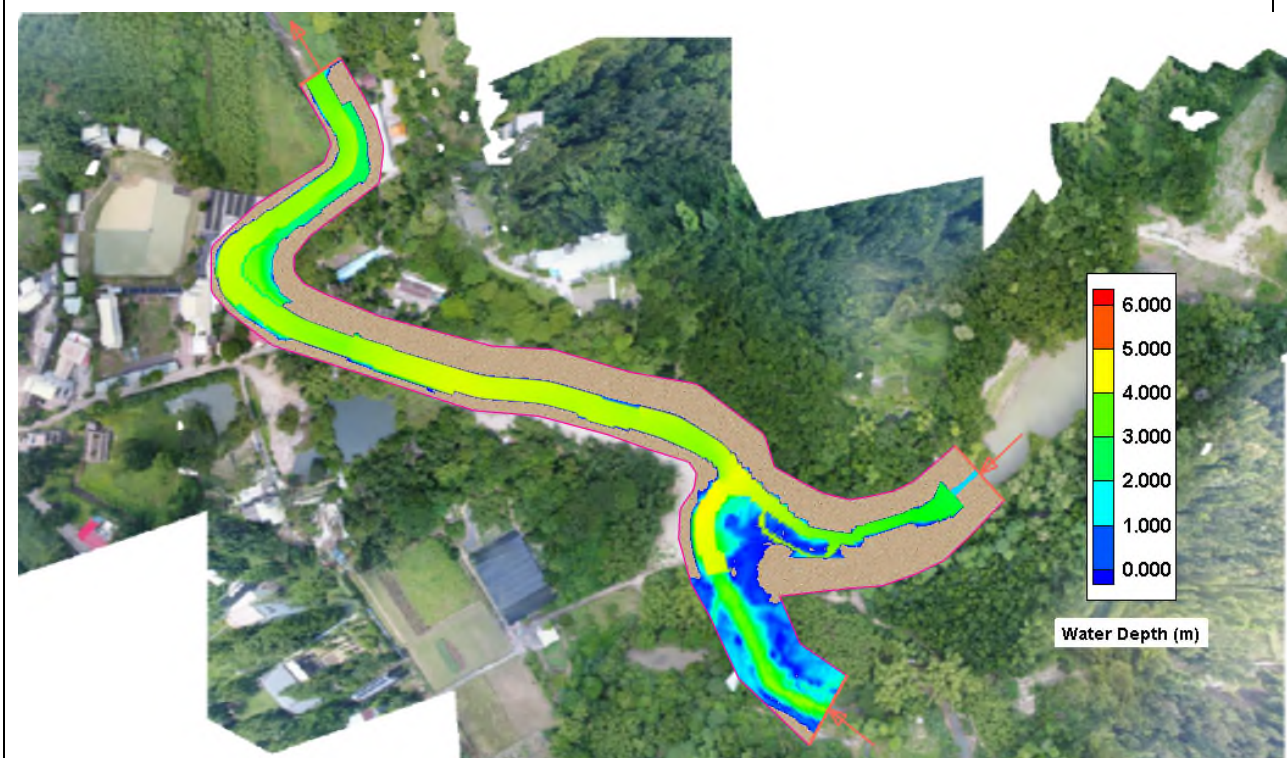


圖 4- 13 數模計算之洪水水深分布結果



圖 4- 14 考量河道加寬方案之流速分布 (黑線為整治範圍)



圖 4- 15 考量河道加寬方案之動床輸砂模擬結果

第四節 新化林場定製之工程方案策略

(1)設置農塘以因應氣候變遷

在排水不佳的低窪農業用地設置農塘為常見的作法，埤塘具有豐富之生態系服務潛力，不僅可提供蓄水功能、補充灌溉用水、補充地下水；更潛在具有降低洪峰流量、減少地表逕流以達滯洪防災功能；減緩地層下陷、水質提昇及生態調節下游泥沙量、調節微氣候、休憩、活化農村景觀、增進農民收益等功能（謝勝彥，2004、吳約西，2003）。另外，濕地具有調節洪水（減洪、吸收和儲存洪水）、增加海岸或河岸的穩定性、水質涵養、增加地下補注、提供生物棲地、碳匯等功能，等功能（內政部，2010）。溼地的地形較為平坦寬廣，可提供廣大的蓄水範圍調節水位，除了保存水中的養分、過濾污染物、積存懸浮物，使水質得以淨化生產天然物，溼地中的草叢、樹木也有助於阻緩洪水的流速及流量，而減少災害，並能使土壤沉澱，形成養分極高的沉積土（葉昭憲，1999）。當到達一定雨量時，濕地可以成為緩衝地帶外，也可以補充地下水，防止地層下陷。當地表缺水時，濕地則可以釋放儲存水分。此外，溼地也可以防止海水入侵，避免造成土壤鹽化。因此濕地具有調節水文循環的功能，這種功能可以帶給人類在防洪上的效益，並提供水調節的服務（邱祈榮、林俊成，2017）。

由上可知在淺山林內溪流整治，活用農塘與溼地為重要之作法。為了因應氣候變遷帶來的影響，本計畫規劃設置新農塘及濕地於本河段並搭配原有農塘以儲存豐水期之水源，調節暴雨季節之洪水流量，達到滯洪防災且兼具沉砂功能之目的。

農塘一：沖融池

沖融池早期為終年有湧泉的山溝，早期在地居民用於開墾種植稻米，因此可以看到 1973 年的航空照片中未築土壩前水域基地為梯田（圖 4-16）。直到 1989 年，臺灣省農林廳山地農牧局（現為行政院農業委員會水土保持局）補助臺南縣政府興建「礁坑土壩工程」蓄水，淹沒梯田呈現水域，形成水域面積約 3 公頃之農塘（圖 4-16）。至今沖融池尾端，已有部分農塘淤積（圖 4-16），新化林場近年打造此處為溼地，為園區內賞螢廊道。

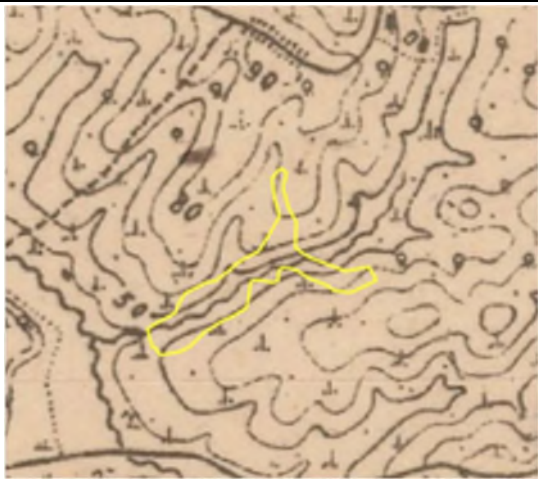
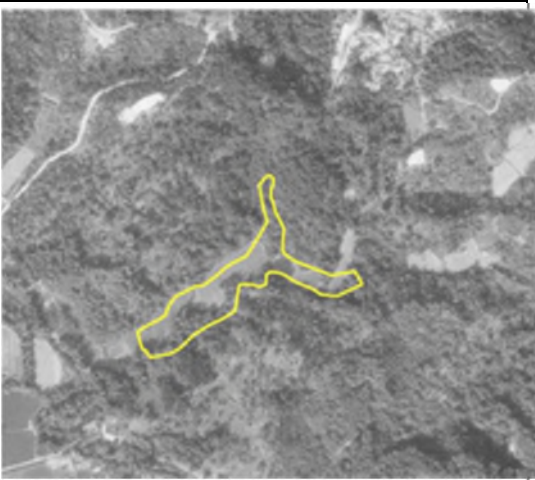
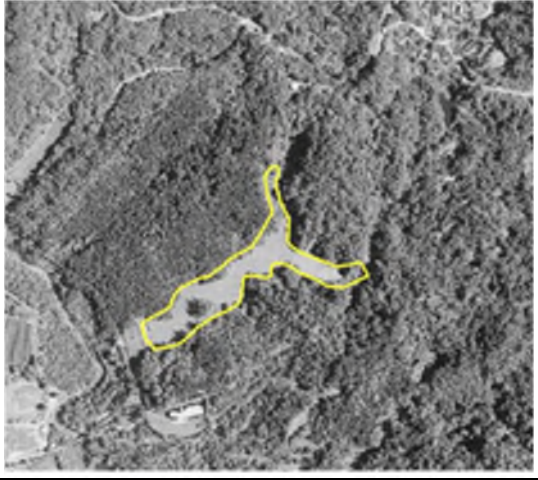
	
a. 日治時期沖融池水域位置(台灣堡圖)	b. 1978 年未築土壩前(農航所航空照)
	
c. 1999 年建立土壩後(農航所航空照)	d. 2022 年沖融池水域樣貌(google earth)



圖 4- 16 沖瀾池歷年變化

農塘二：大目降埤

大目降埤原為林地內野溪，因長年颱風豪雨影響造成坡面土壤沖刷崩塌，1998 年由林務局嘉義林區管理處進行崩塌地緊急處理工程築壩穩固邊坡，為因應極端氣候變化，2019 年水土保持局臺南分局編列預算 710 萬辦理清淤及壩堤整修工程，2020 年完工重新恢復蓄水功能（圖 4- 7）。清淤後為 1.2 公頃的面積、最大蓄水量可達 6 萬公噸。除解決新化林場苗圃缺水問題外，更兼具灌溉、防洪蓄水、防災及景觀功能。另外，在 2021 年虎頭埤滯洪農塘改善工程中興建 2 座 100 噸的蓄水池，以利於坡地灌溉困難的問題。藉由大目降埤埤塘具有蓄水、調節雨量、並能補充地下水及淨化水質的功能，於大目降埤旁抽取地下水至蓄水池，提供完善農田灌溉設施，協助原來灌區以外的農地，增加更多的灌溉設施。

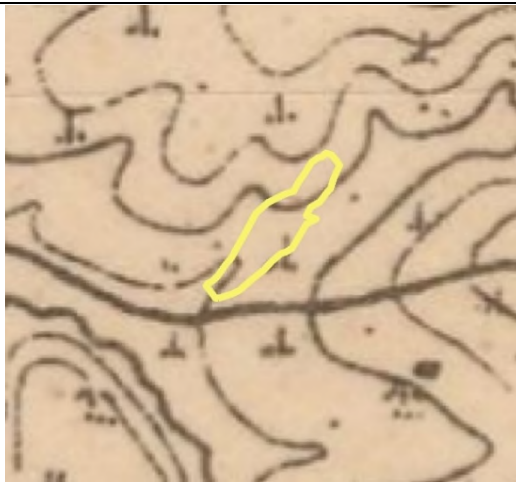
	
a. 日據時期大目降水域位置	b. 2019 年 2 月大目降清淤及壩堤整修工程前(google earth)
	
c. 2021 年 1 月大目降清淤及壩堤整修工程後(google earth)	d. 2022 年 4 月大目降水域樣貌 (google earth)
	
e. 施工前河道淤積、雜草叢生失去蓄水功能	f. 大目降埤完工蓄水(2020)

圖 4-17 大目降埤歷年變化

(2) 工程設計納入生態團體之意見

另外本試區亦透過公私協力平台座談會會議與生態關注團體進行討論及設計生態友善工程，並將生態團體之意見納入工程設計，以下分四項說明：

表 4-2 座談會會議生態團體意見與對策

編號	建議	對應友善工程設計
1	應採用混凝土以外較軟性的工法	乾砌石護岸
2	河道建議採取對環境友善的工法，非一味使用混凝土構造物	竹製可調式生態固床工
3	選擇緩坡生態友善工法	生態通道優化
4	植生草種及喬灌木，應與生態團體討論，避免誤用強勢外來種	補植原生種，並移除外來種、大面積次生林保留

資料來源：立成顧問公司

第五節 最終方案

為解決整治前現況之來水泥砂濃度高導致土方落淤嚴重，通水斷面不足水流溢淹；以及彎道水流造成既有護岸損壞，影響道路及農田安全等問題，並因應未來氣候變遷，採用以自然解方為本之整治策略。2019 年啟動新化林場滯洪保水設施改善工程(大目降埤)，含人型拱橋一座、豎井 1 座、集水井 1 座、溢洪道 1 座及截水溝 2 座等。滯洪池兼併有效儲水及沉砂作用，減少大量泥砂匯入主流；人行拱橋下配合建置溢流口，通洪底寬達 12 公尺，能有效減緩流速以穩定水流。由於林場以砂質壤土與泥岩為主，溪水易造成土壤飽和軟化土質，現況腹地不足、河幅小及河道中有部分淤積土砂，因此綜合考量優缺點之後，以預鑄護岸為最適方案，並可再利用河道中淤積土砂，回填再利

用。附近植生工程，與鄰近中興大學實驗林場合作營造，以加速環境復育，2019 年台南分局進行大目降埤農塘清淤(圖 4-17)，共清 40,000 立方公尺，農塘水域面積 1.2 公頃、最大蓄水量可達 6 萬公噸，不僅解決苗圃缺水問題，也具有灌溉、防災、景觀的功能。藉由大目降埤之透水能力，使水資源經由地表面入滲至地下水水位面，以補充地下水穩定地下水位，並可利用自然土層吸附、分解、過濾、沉降或稀釋改善水質，以達保水與活水之目的。

2020 年開始虎源溪(新化林場段)整治工程(圖 4-18)，第一期採用緩坡化護岸及滯洪保水原則進行整治，首先整治水域環境，結合支流農塘清淤，拓寬河幅由原始 6 米河寬增至 12 米，而支流平均底床寬度加寬至 5 米，增加通洪面積後有效減緩流速以穩定水流；支流利用中島分流遲滯洪峰時間，保護凹岸減緩沖刷；採用砌石護岸，砌石縫隙之空間可利於動物棲息及植物生長；使用固床工營造激流深潭以增加水中含氧量優化水質，並將階段緩坡化配合生態階梯，串連縱向廊道，降低生物跨越難度(圖 4-19 及圖 4-20)。大目降埤整治前後對比如圖 4-21。

2021 開始虎源溪(新化林場段)整治工程二期整治，為了解決排洪斷面不足，將既有護岸矮化(右岸)、左岸護岸保留不擾動，降低溪床擾；利用預壘樁工法克服地形限制，避免農特中心損壞；結合橫向排水設施優化既有生物通道；善用生態固床工節能減碳。使用疏伐材構築三座生態固床工，生態固床工(圖 4-22)採用當地的材料(桃花心木及竹子)以利於腐朽時更換，同時也減少混凝土的使用量，達到減碳的功能。不僅可以提供水生動物棲地環境且可以減少縱向阻隔，也可以營造深潭空間以增加水中含氧量優化水質。右岸護岸採用自大目降埤重力引力，配合多階複式斷面，拓寬右岸河床斷面；透過淹水模式模

擬洪水漫淹的範圍，並設計多階層式斷面(圖 4-23)，以解決通洪能力不足且缺乏滯洪空間的問題，並增加約 1000 平方公尺的面積(圖 4-24)；拓寬河幅由原始 10.5 米河寬增至 13.5 米(圖 4-25)，增加通洪面積後有效減緩流速以穩定水流；使用疏伐材構築三座生態固床工，生態固床工。採用當地的材料(桃花心木及竹子)以利於腐朽時更換，同時也減少混凝土的使用量，達到減碳的功能。圖 4-26 為 CCHE2D 模擬洪水上漲之過程。當洪水來臨時，彎道之多階層式斷面會先溢過降低之舊有護岸，右方多階段砌石區作為延伸之行水區，隨後洪水向下蔓延至下游修整之複式河槽，達到防洪、維護生態與溪流美學的目的。本河段護岸建置完成後於 2022 年 8 月 15 日連日逢降雨事件，平時複式斷面右側為乾床，圖 4-27 為當日降雨強度達到 61.5mm/hr 時之洪水照，與前述模擬結果雷同，多階層複式斷面發揮彈性通洪作用，有效達到通洪面積增加、減緩流速以穩定水流的功能(圖 4-27)。



圖 4- 18 虎源溪(新化林場段)整治內容



圖 4- 19 虎源溪(新化林場段)整治成果

整治前	整治後 (2021.04.19)
 2020.03.17	 匯流處、河幅增加
 2020.05.19	 中島
 2020.05.19	 生態階梯



圖 4- 20 虎源溪整治工程整治前後照片(2020 年)

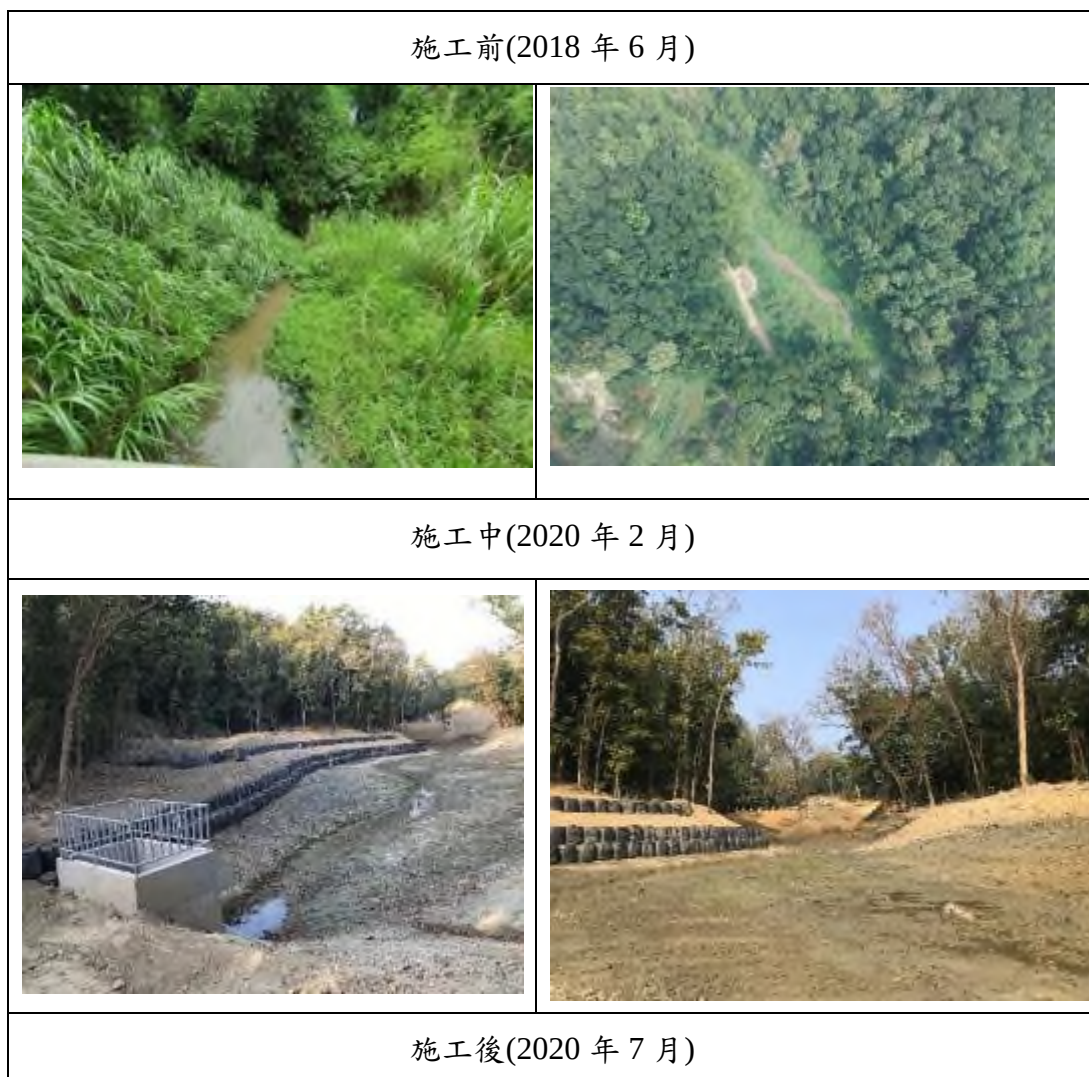
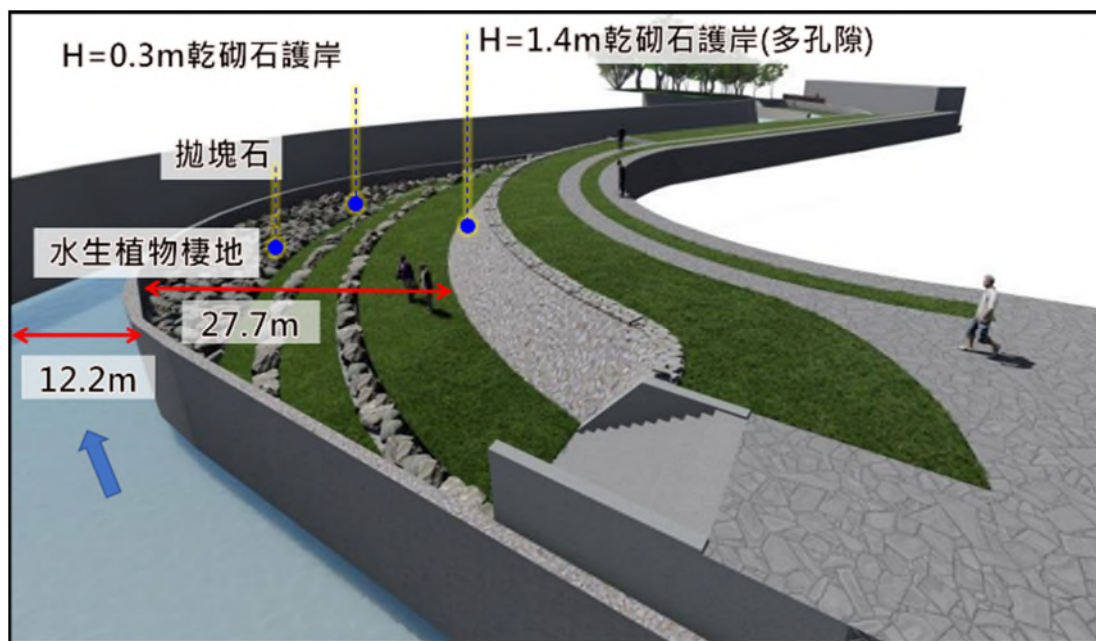




圖 4-21 大目降埤整治前後對比



圖 4-22 生態固床工示意圖



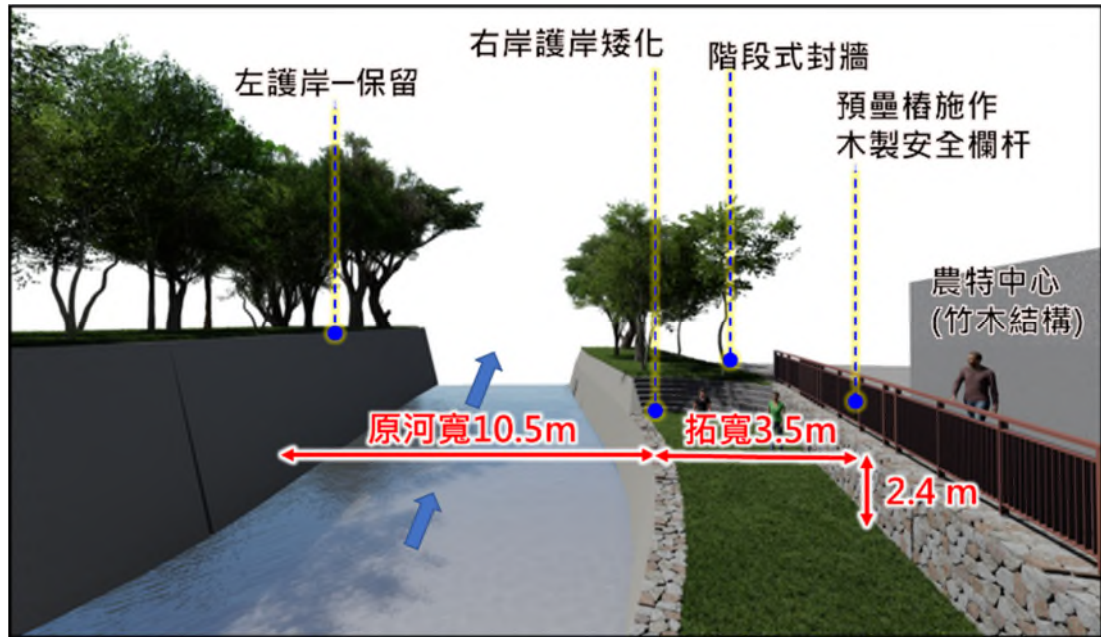
資料來源:立成顧問公司

圖 4- 23 多階層式斷面示意圖



資料來源:立成顧問公司

圖 4- 24 增加滯洪空間(面積約為 1000 平方公尺)



資料來源:立成顧問公司

圖 4- 25 下游河道拓寬示意圖

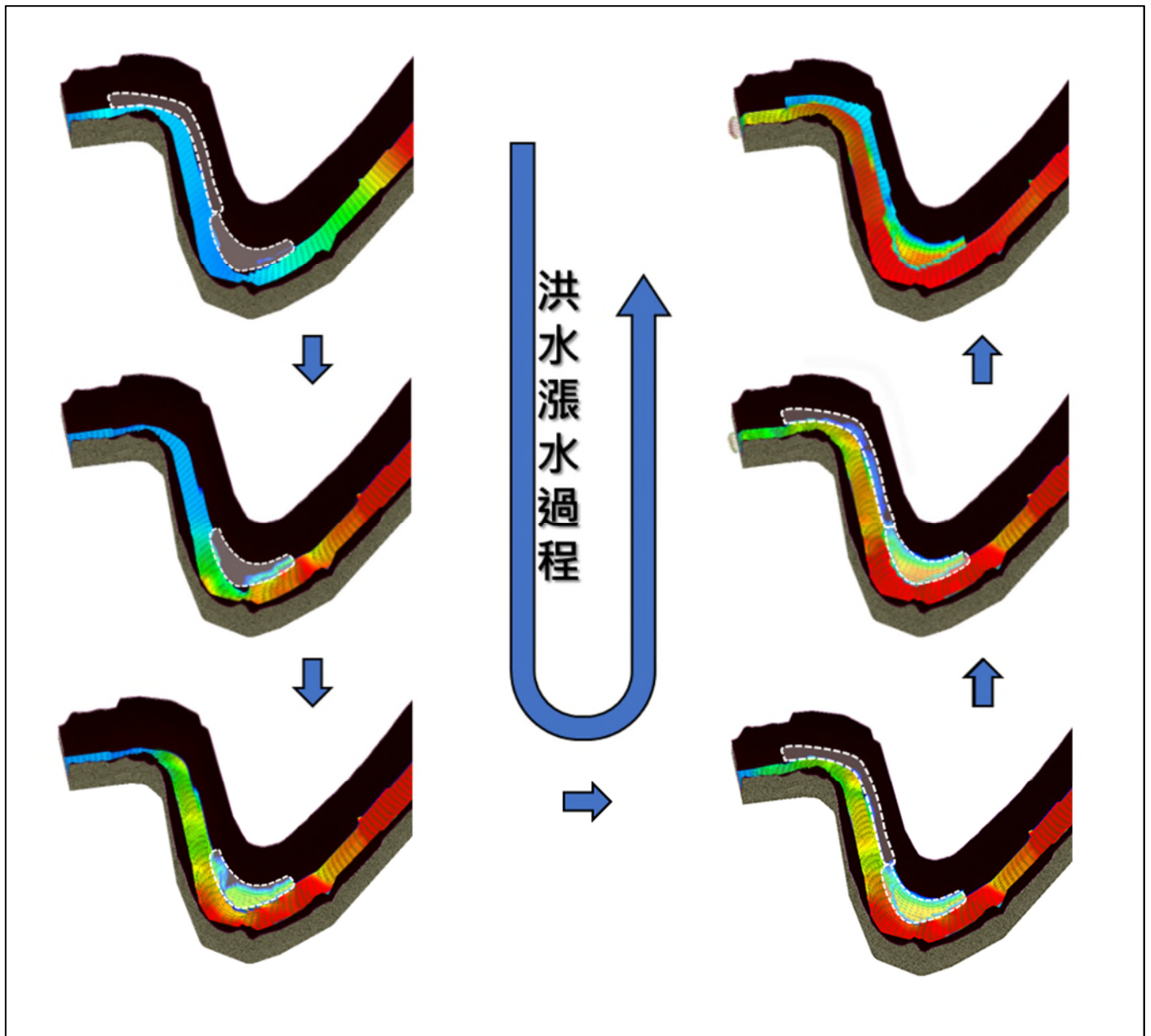


圖 4- 26 複合式護岸段河道遇洪水之模擬過程

	
a. 彎道區複合式護岸完工圖 (2022.08.05)	b. 洪水期間多階層複式斷面增加 彈性之滯洪空間 (2022.08.15)
	
c. 2022.08.05	d. 多階層複式斷面增加彈性之滯 洪空間 (2022.08.15)

圖 4- 27 複式河道於 2022.08.15 洪水期間通水狀態

第五章 生態系服務評估

第一節 生態系服務的概念

生態系服務最早是從 SCEP (Study of Critical Environmental Problem) 書中提出，後來由 Ehrlich and Ehrlich (1981) 改為生態系服務，並從 1977 年開始廣泛被大家所使用。生態系服務(Ecosystem services)是人類從生態系統中獲得的利益，包括有形及無形的服務。由於生態系服務與人類福祉息息相關，因此受到許多的研究的關注。2001 年聯合國啟動千年生態系統評估計畫，首次對全球生態系統過去、現在、未來進行評估，並提供相對應的管理策略，其中報告指出有 60%的功能正在退化，並對人類福祉有嚴重的影響，直接威脅到全球的生態安全(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。為了解決這問題，聯合國執行「生態系暨生物多樣性經濟倡議」(The Economics of Ecosystems and Biodiversity)的研究計畫，簡稱 TEEB，並提出：「欲喚起國內外環境政策制定者對生物多樣性損失的重視，並促使決策者制定相應的政策。」內容包含四個重點：1.如何整合至政策制定 2.評估自然資本 3.提供資訊工具 4.建立保護生物多樣性和生態系統與其服務的共識(行政院環境保護署，2009)。此外，為了要增加對決策者的參考價值，必須去考量當人們從自然資源獲得利益時所低估的價值，並導入市場價格法計算其價值。

生態系統服務之種類 Costanza et al. (1997) 整理了過去的研究論文後，將全球的生態系統服務分為以下主要 17 種，並且計算各生態系統服務的平均價值，詳如表 5- 1 所示：

表 5- 1 生態系服務種類

生態系服務	功能
大氣調節 (gas regulation)	調節大氣中的化學組成
氣候調節 (climate regulation)	調節全球氣溫、降雨以及其他的氣候條件
干擾調節 (disturbance regulation)	預防災害發生的工程
水源調節 (water regulation)	調節水文的流動
水源供給(water supply)	水源的儲存與保持
侵蝕控制及保留沉積物 (erosion control and sediment retention)	土壤的維持
土壤形成 (soil formation)	形成土壤
養分循環 (nutrient cycling)	養分的轉換、儲存、獲得的過程
廢棄物處理 (waste treatment)	將廢棄物移除或分解的作用
昆蟲授粉 (pollination)	提供授粉者協助植物繁衍後代
生物控 (biological control)	規範族群大小
生物避難所 (refugia)	提供生物棲息地
食物供給 (food production)	食物使用的部分初級生產力
原物料 (raw materials)	原物料的部分初級生產力
基因資源 (genetic resources)	由生物萃取的材料及產品
休閒娛樂 (recreation)	提供休閒娛樂的活動
文化價值 (cultural)	提供非商業價值的用途

參考自：Costanza et al. (1997)

2005 年聯合國「千禧年生態系統評估 (Millennium Ecosystem Assessment)」整理出生態系服務與人類福祉的關聯性，將生態系服務劃分為生態系服務一般概分為四大類，包括：供給服務

(provisioning services)、調節服務 (regulating services)、支持服務 (supporting services)、文化服務 (cultural services)，根據此分類進行進一步的探討(表 5-2)。生態系服務需要長時間之維護與發展，以河溪治理為手段達到提昇生態系服務之策略如圖 5-1。最先能在調節面相突破、其次能對生態系支持、後再增進自然之供給、最後達到文化面之影響。本計畫透過河道拓寬、增設農塘以及河岸的整治等，及 NbS 結合綠色基盤進行水利防災，並且配合臨場原有功能，長期調節當地氣溫資料、並降低碳排及固碳能力。並以環境營造改善生物棲地環境，長期將可望提昇園區之觀光及農產品之質量、提升林場收益(新化林場門票及入園人數)及提供特色產品、空間、並對文化素養產生影響。

表 5-2 生態系服務的類型與相關服務

供給	食物、纖維、基因資源、生物化學物質以及天然藥材等
調節	調節空氣品質、調節氣候、調節水分、調節侵蝕、調節病蟲害、授粉
文化	文化多樣性、精神與宗教價值、遊樂與生態旅遊、美學價值、知識系統、教育價值
支持	土壤形成、光合作用、初級生產、養分循環、水循環

資料來源：Millennium Ecosystem Assessment (2005)

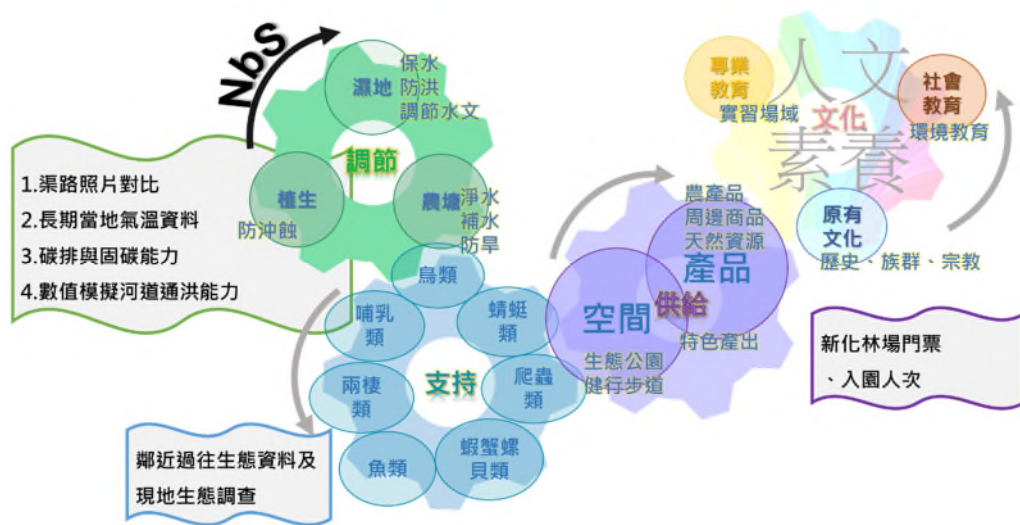


圖 5-1 以河溪治理為策略之生態系服務概念解釋 NbS 之功用提昇階層序(虎源溪整治為說明)

第二節生態系服務之質量評估

以下各小節分項說明虎頭埤集水區四大面向之分析結果。

5.2.1 供給

供給服務的定義是指從生態系統獲得的各種產品，包括特色農林產業供給、林場與虎頭埤周邊商品的生產。目前為止林場轄區林班擁有 147.22 公頃的桃花心木造林地。並利用設備改良以及栽培熱帶果樹。1981 年起，連續四年接受農業委員會、台灣省林務局補助，辦理大葉桃花心木及樟樹之育苗栽植。本區約有 8% 之面積種植果樹，林場與新化農會亦生產有周邊商品、農產品等(圖 5-2)，並藉由保全農特中心安全，推廣在地小農產品。現階段除提供機關學校實習研究及一般大眾休憩服務外，林場經營主軸著重於生態保育、小農支持、植物應用系列活動等，實踐本場高教功能與社會責任。



圖 5-2 生態系服務之供給概念圖

透過新化林場門票及入園人次針對新化林場的經營概況進行探討，可以發現新化林場的歷年收入及歷年入園人次皆有正向增加的趨勢，到 2021 年因為疫情衝擊。而因委外經營時，帳目沒有發票較不準確，但還是可以提供作為參考。整體來說，總收入有歷年成長的趨勢(圖 5-3)。

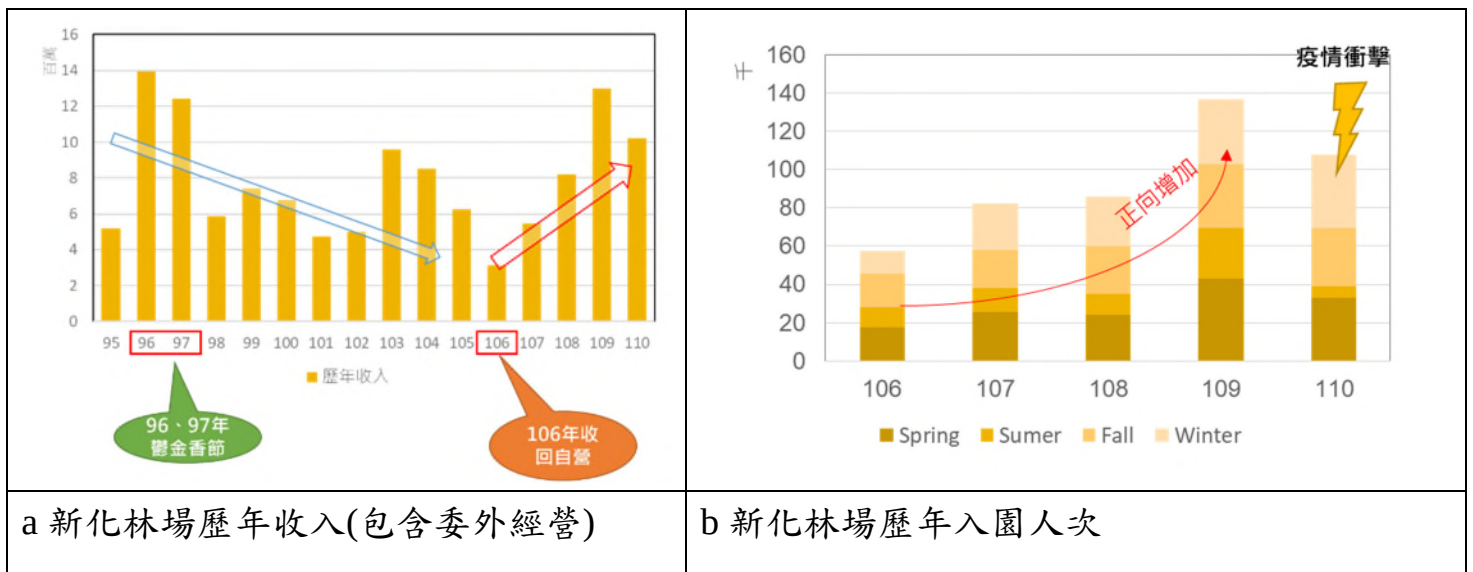


圖 5-3 新化林場歷年收益與入園人數

5.2.2 調節

調節服務的定義為生態系統過程的調節作用獲得的效益，包括水質與水量調節、微氣候調節。由於氣候變遷的影響，面對大規模的土石災害及極端氣候帶來的洪枯變化，需要透過調節服務，達到降低災害的目的。2015 年第三屆聯合國防災大會宣布了「以生態系為基礎之災害風險減緩(Eco-DRR)」概念，強調應積極維護生態系的健全，提升生態系統服務的品質，達到災害風險減緩之目的，同時由於生態系統服務的多重功能，還能提升都市景觀、文化素質等其他的效益，成為災害風險減緩的未來趨勢(Nakayama, 2015)。透過 Eco-DRR 的策略結合傳統工程及非結構性的工具整合，可以利用複合式的方法(hybrid approach)來達到減災的效益，像是綠色技術(green technologies)，整合災害風險減緩與生態相關之產業、建築工程(張皓雲, 2015)。

本試區之調節功能主要反映在 4 項：

- 1.透過過往流路對比，以及虎頭埤水庫的歷年水域變化，可見虎頭埤水庫在尾端有些許淤積問題，原先林場的作用，植物根系具有抗蝕能力，可減少表土沖蝕、減緩水庫淤積現象，加上本次於林場內興建大目降埤等農塘，將同時兼具沉砂滯洪之功效，淤積之減緩有益於水庫水資源與河川滯洪空間之管理。同時森林的蓄存水量增加，不僅有助於提高枯水期量外，也有助於補注地下水，這也為虎頭埤帶來的正面效益。2021 年全台發生百年大旱，但虎頭埤水庫卻水源充足亦為本研究區域之調節功能之一。
- 2.透過 3.2 節分析台南站實測氣溫與林場網格之模擬氣溫，結果在每年高溫期間，新化林場之網格溫度較台南站之氣溫低(圖 5-4)，顯示

林場具有調節氣溫的功能。

3.在 4.3~4.5 節中透過加寬河道增加通洪能力與滯洪空間，洪水束於河道中無溢淹情形使得洪水量受到了調節(圖 4- 12~圖 4- 14、圖 4- 23~圖 4- 27)。

4.減碳與固碳策略：依據「建築物生命週期 CO₂ 減量政策」(林憲德，工程 Vol.81 No.2)提及台灣建築相關產品 CO₂ 排放量相關資料，推估各改善構造物所產生 CO₂ 量，進而計算因採就地取材所減少 CO₂ 產量。另於規劃潛壩、防砂壩溢流部分如採用高強度混凝土，以提高其壩體使用壽命；重力式擋土牆或護岸改為預鑄槽、混砌塊石、乾砌塊石等形式，亦可達到節能減碳之目標。並搭配使用栽種本土植物作為植生工程之材料，除了可以增進水土資源保持之外，也具有吸存大氣中 CO₂ 的潛力。植物碳吸存的能力亦是近來生態與環境保育中被重視的環節之一。經過計算後，本工程實際排放量為 364 噸(表 5-3)，其中包括土方挖填、結構用混凝土、鋼筋材料費；而慎選工法也可以降低碳排量，傳統型護岸相比多階段砌石護岸，可減少碳排量 >50%，因此在工法的運用上，可選用較少的水泥、當地的材料，以自然為本的解決方案達到減少碳排放的效益。環境固碳量包括地下土壤固碳量(20,904.3kgCO₂)、水體固碳量(51,824.7 kgCO₂)；碳匯量包括水體碳匯量 222 kg CO₂/yr、植生碳匯量 37,269.3 kgCO₂/yr(表 5-4 表 5-4)，經過以下公式計算，預計約八年可達到碳中和。

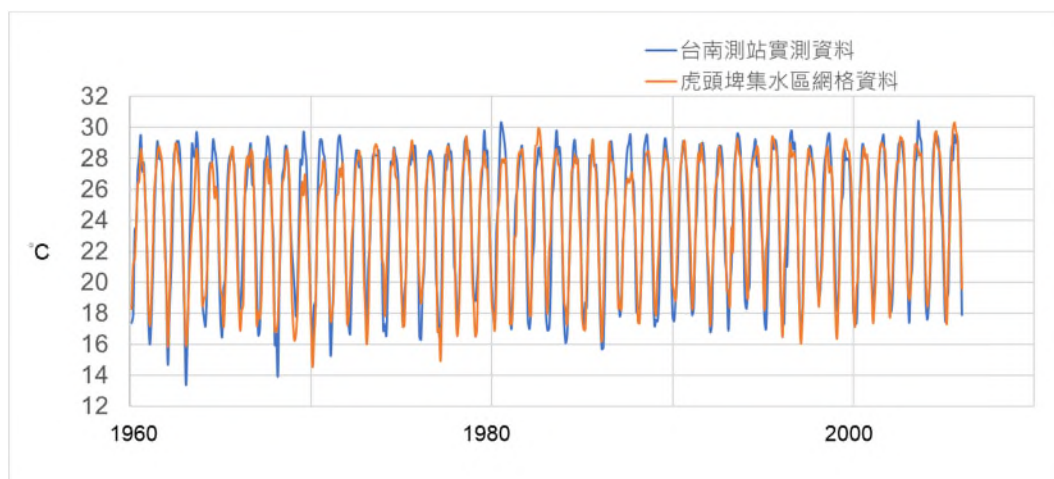


圖 5-4 新化林場具調節氣溫之功能

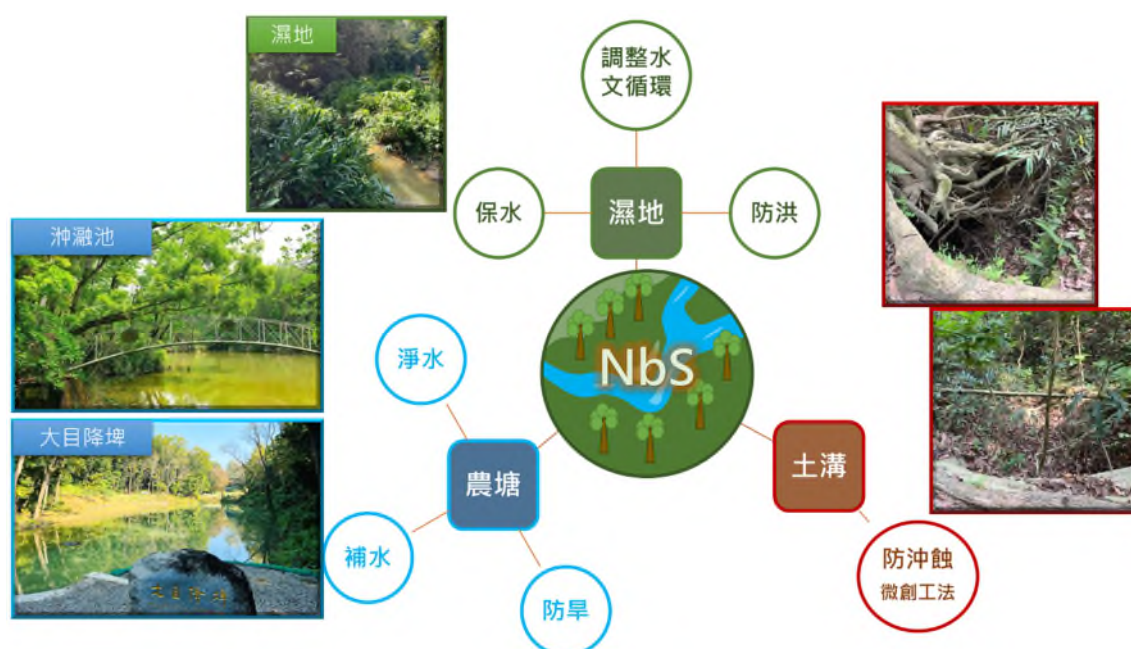


圖 5-5 生態系服務之調節面向架構圖



加彈性之滯洪空間	
	
c. 2022.08.05	d. 2022.08.15 多階層複式斷面增加彈性之滯洪空間

圖 5- 6 2022.08.15 洪水漫淹狀況

表 5- 3 碳排放量計算

編號	項目名稱	數量	單位	碳排係數	碳排量
1	土方挖填	8,412	m ³	2.51	21,114
2	結構用混凝土	952	m ³	347	330,344
3	鋼筋材料費	13.86	T	919	12,737
合計(kgCO ₂)					364,195

表 5- 4 碳匯量計算

編號	植物名稱	數量	單位	碳係數	碳量
1	桂花(灌木)	500	棵	13.74	6,870
2	七里香(灌木)	500	棵	1.39	695
3	山芙蓉(灌木)	200	棵	1.22	244
4	朱槿(灌木)	300	棵	1.22	366
5	馬齒莧(灌木)	600	棵	1.29	774
6	苦楝(喬木)	30	棵	9.19	275.7

7	無患子(喬木)	15	棵	11.14	167.1
8	密鋪地毯草皮(地被)	3,090.19	m ²	0.25	772.5
合計(kg C)： 10,164.30					
碳匯量(kgCO ₂)： 37,269.30					

註：碳中和=(排碳量-環境固碳量)/年碳匯量

地下土壤固碳量(kg) = 地上植生固碳量 × (69/31)

水體碳匯量(kg) = 水體面積× 單位面積固碳量(3.82) × (44/12)

5.2.3 文化

文化服務的定義為通過精神滿足、體驗、消遣、發展認知、思考等從生態系統獲得的非物質效益，包括西拉雅文化、生態遊憩場域、水土保持教室，本計畫利用林場及風景區旅客流動量資料、歷史資料(包含日治時期至今虎源溪的變化以及西拉雅族的人文文化)進行探討(圖 5- 7)。



圖 5- 7 生態系服務之文化概念圖

新化區口埤村早期主要人口組成為西拉雅族居民，林場轄區內與周邊保留了許多西拉雅族的宗教信仰之地點(段洪坤，2021)，顯示在漢人未入墾前，林場為西拉雅族人的傳統居住地。由於臺灣基督長老教會是最早進入新化山區傳教之宗教，因此林場轄區內西拉雅族人大部分信奉基督教，部分信奉傳統太祖媽，其地理位置如圖 5-8 各宗教相對位置。新化林場保留了許多的宗教文化遺址(圖 5-9)，例如太祖廟、福德廟、福德正神和有應公、老君、太祖等，皆是西拉雅族傳統信仰，目前該區為著名的「太祖媽」景區(圖 5-10)。



圖 5-8 各宗教相對位置



圖 5-9 基督教布教範圍圖

	
a.臺南市口埤實驗小學校門對面之「太祖廟」，為奉祀太祖與路頭元帥合祀的小廟	b. 保留祭拜西拉雅太祖媽，並合祀福德正神和有應公

	
c.九層嶺、中坑坪附近「力貴華尪姨」家中祭拜的老君、太祖	d.新化林場後山，九層嶺-中坑坪附近之「太祖母」景區。

圖 5- 10 太祖母宗教文化

新化林場鄰近擁有三間百年教會，分別為岡林教會、新和教會、澄山教會(圖 5- 11)。澄山教會於 1953 年 9 月 4 日，分設口埤支會，1957 年 11 月 14 日申請升格為口埤教會。口埤教會存在目的是宣揚福音，而環保禮拜的目的為宣揚好消息給大家，期盼大家重視環境保護，自然生態保育，使土地乾淨無汙染。

	
a.臺灣基督長老教會「岡林教會」，創立於 1867 年 1 月 1 日。	b.臺灣基督長老教會「新和教會」，創立於 1878 年 5 月 1 日。

	
c.臺灣基督長老教會「澄山教會」，創立於 1896 年 9 月 3 日。	d.臺灣基督長老教會「口埤教會」，1957 年 11 月 14 日申請升格設立。
	
e.1956 年 5 月 13 日。口埤教會敬老會舉辦母親節活動合影。	f.1956 年 5 月 13 日。口埤教會為西拉雅族人信仰中心及聚會場所。

圖 5- 11 臺灣基督長老教會文化

除了在地文化以外，營造新化林場為作為森林水環境及水保生態工程教學示範場域，與水土保持局台南分局與新化林場跨域合作，共同推動水土保持環境教育，營造新化林場為森林水環境及水保生態工程教學示範場域，也提供志工、義工環境教育課程的場域，以及屏東科技大學及口埤國小水土保持戶外教學的場所。藉由林場在地的天然環境，強化環教場域深度，推廣河溪生態教育。未來林場會針對不同的族群，規劃結合在地自然與人文資源之各式課程方案，並根據場域特色或宗旨，規劃並推展各項環境教育服務，創造更多元的環境教育

學習機會，也能連結環境教育與各類型組織進行跨領域整合。

5.2.4 支持

支持服務的定義為生產其它生態系服務的基礎，並不直接對人類產生影響，包括生態系初級生產、穩定生態多樣性、水域及陸域生態復育。

本計畫生態調查資料共計有三次不同年份資料。第一次為 2010 年「易淹水地區水患治理計畫」—台南縣管區域排水虎頭溪排水(含衛生 1 號排水)」計畫，在 2007 年 9 月及 11 月分豐、枯水期共進行 2 次生物調查；第二次為 2020 年南部地區重點治理區追蹤與治理成效評析，在 2020 年 3 月及 6 月進行共兩次生調查；第三次本計畫將與新化林場場長合作，目前已在 2022 年 3 月進行紀錄，並於 2022 年 11 月執行調查，調查項目包含水域生物等，並對於台灣特有種、保育類、稀少或洄游性生物進行註記，並針對溪流生態分類(爬蟲類、魚類、兩棲類、蝦蟹貝螺類)進行詳細說明，詳細調查方法請見附錄一。另外在自 2022 年 1 月架設紅外線自動攝影機(用以捕捉動物影像)執行陸域調查。紅外線自動攝影機為感應式拍攝，於第一次架設完成後，即開始持續性的作業。一共架設 3 台紅外線自動照相機(圖 5-12)，主要設置地點為獸徑、水域旁與橫倒木邊，紅外線自動照相機為感應式拍攝，於第一次架設完成後，即開始持續性的作業。後續每次調查時進行數據回收，將拍攝照片攜回實驗室逐一辨識。最後一次調查時將相機回收，期間如相機架設地點因天災或人為因素而使相機毀損，將視現地狀況及干擾因素，予以重新選點架設或終止相機架設。

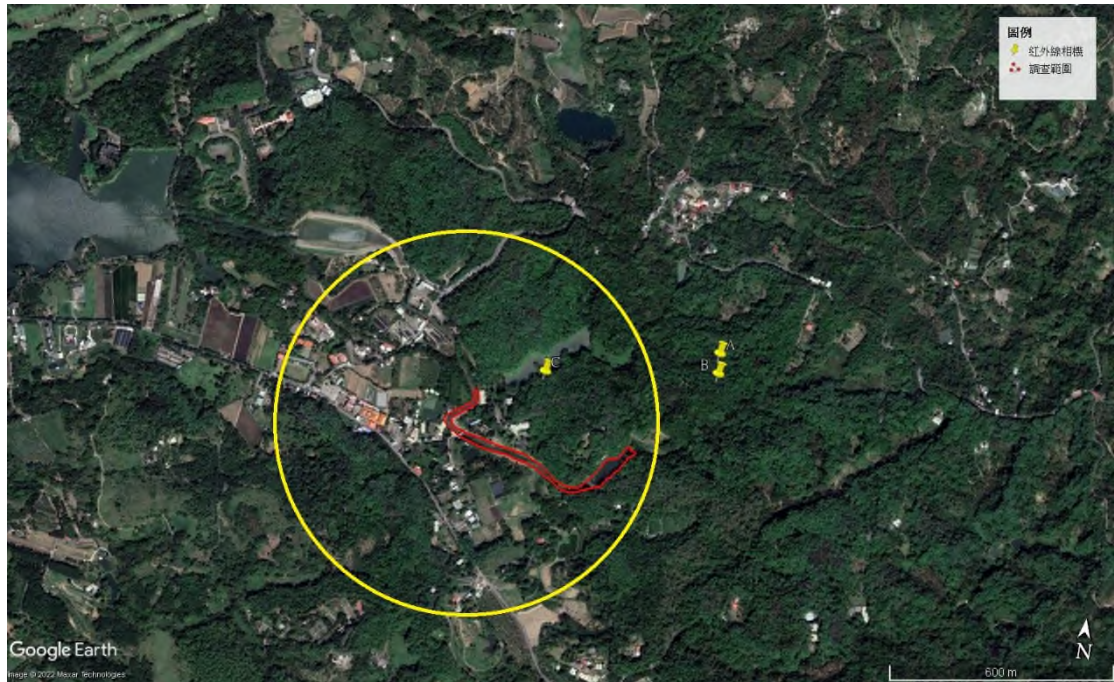
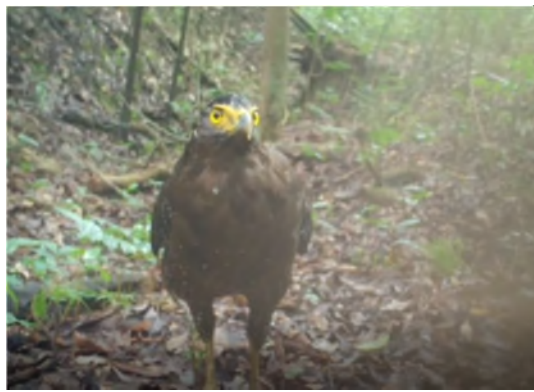


圖 5- 12 2020、2022 年虎源溪調查範圍(分別為黃圈及紅線範圍)及紅外線設置位置

虎源溪流域貫穿新化林場，河岸兩旁之森林、刺竹、草生（濕）地涵養豐沛水源，致虎源溪終年有清澈流水，除涵養虎頭埤水庫水源外，更蘊涵豐富生態資源。由 2020 年的資料中，共記錄維管束植物 215 種，其中特有種 3 種；陸域共記錄到哺乳類 6 種、鳥類 46 種、爬蟲類 6 種、兩棲類 8 種、蜻蜓類 10 種、魚類 5 種、蝦蟹螺貝類 2 種，共紀錄 297 種，特有(亞)種計 29 種，保育類計 3 種，分別為大冠鷲、黃嘴角鴉及領角鴉，1 種其他應予保育之野生動物為食蟹獐，另外也有目擊及其他紀錄發現珍貴稀有保育類的穿山甲、草鴉。由之前的紀錄可發現陸域生態系逐漸趨於穩定狀況，而在紅外線自動相機則記錄到穿山甲、黑冠麻鷲、白鼻心、食蟹獐、大冠鷲及鼬獾等 6 種物種。整體而言，兩次調查物種均以中、小型哺乳類為主，部分為鳥類(圖 5-13)，詳如附錄二所示，因此後續的調查會針對溪流生態進行補充。2022 年在施工過程期間(3 月)記錄到魚類共 7 科 11 種，蝦類共 2 科 3

種，淡水蟹類共 1 種，淡水螺貝類共 3 科 3 種，兩棲類共 5 科 8 種，爬蟲類共 9 科 20 種（圖 5-14）。2022 年在施工後(11 月)調查到魚類共 5 科 7 種，蝦類共有 2 科 2 種，淡水螺貝類共有 4 科 4 種，兩棲類共有 1 科 3 種，以下針對溪流生態分類(爬蟲類、魚類、兩棲類、蝦蟹貝螺類)進行詳細說明。

	
穿山甲(拍攝時間：111/4/28 20:04)	黑冠麻鷺(拍攝時間：111/8/4 07:56)
	
白鼻心拍攝時間(111/08/19 1:51)	大冠鷲(拍攝時間：111/08/01 14:06)

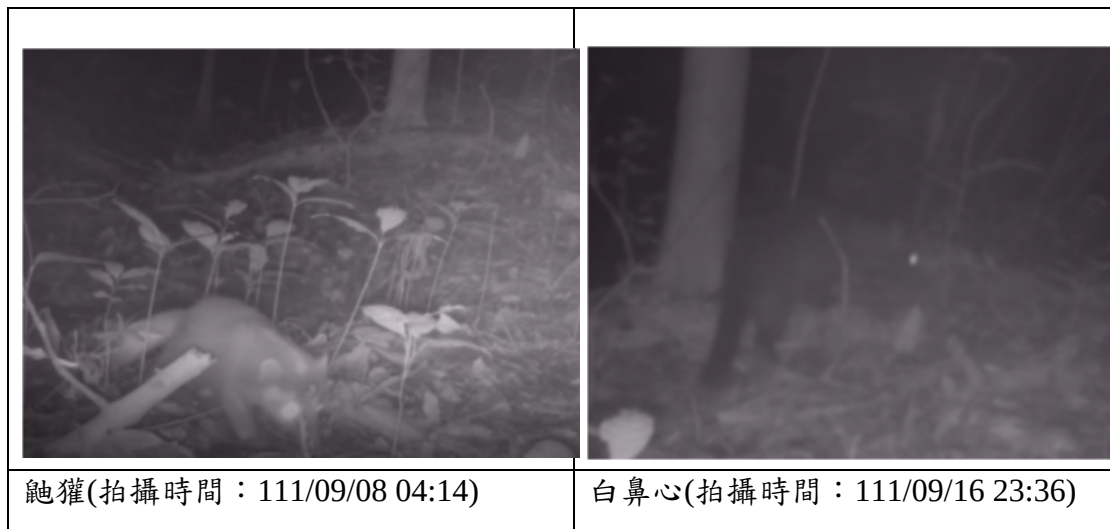


圖 5-13 紅外線自動相機記錄照片



圖 5-14 生態系服務之支持概念圖

(一)爬蟲類

2022 年的調查共記錄 2 目 5 科 8 種，另加蛇類 1 目 3 科 12 種；發現了 1 種特有種，為台灣黑眉錦蛇。相較 2010 年的紀錄，2022 年比起前期增加了鉛山壁虎，鉛山壁虎為低海拔的廣佈種，為適應人為干擾的物種。而 2020 及 2022 年的樣站環境較 2010 年的調查多樣，故較前期新增記錄喜好草生地環境之古氏草蜥、麗紋石龍子、長尾南

蜥、印度蜓蜥、多線真稜蜥等 5 種與喜好水域環境之斑龜及紅耳泥龜 2 種。其中疣尾蝟虎或麗紋石龍子皆能使用人造物作為棲所，印度蜓蜥也相當適應高度人為干擾的環境，顯示人為干擾頻繁。整體而言，物種組成均以低海拔平地或丘陵且適應人為干擾常見物種為主，詳如附錄二所示。

大部分記錄到物種皆屬於低海拔的淺山物種，而每種的蛇類偏好的微棲地不一樣，像是大頭蛇為樹棲型蛇類、而赤尾青竹絲、雨傘節、紅斑蛇則偏好較潮濕的環境、南蛇、王錦蛇較能適應人為干擾環境，常於墾地或鄰近住家的開闊地活動，但之前的調查報告上均沒有蛇類紀錄。然而，新化林林場內多元化的微棲地，可以提供爬蟲類相當豐富的食物資源和棲地選擇。整體而言，物種組成均以低海拔的淺山常見物種為主，詳如附錄二所示。

(二)兩棲類

2022 年的調查共記錄 1 目 5 科 8 種；記錄臺灣特有種 1 種，未記錄保育類物種；相較 2010 年的紀錄，發現增加了兩種特有種，分別為莫氏樹蛙及史丹吉氏小雨蛙。2020 及 2022 年調查較前期記錄物種明顯豐富，部分原因為調查樣站位置有所不同，另一方面在調查中有較多暫時性水域提供兩棲類物種棲息及活動，故記錄物種較多。2010 年調查以黑眶蟾蜍為優勢物種，而 2020 年調查優勢物種則為小雨蛙。其中莫氏樹蛙、布氏樹蛙、及小雨蛙等蛙種偏好潮濕的闊葉林中下層。拉都希氏赤蛙則喜歡棲息在溪流及鄰近的池塘。澤蛙、貢德氏赤蛙、黑眶蟾蜍、中國樹蟾、日本樹蛙、巴氏小雨蛙、黑蒙西氏小雨蛙、史丹吉氏小雨蛙等蛙種偏好在靜水域，像是農田或是灌溉用儲水池。整體而言，物種組成均以低海拔平地或丘陵且暫時性水域常見

物種為主，但記錄到之兩棲類的種類較 2010 年增加數種，說明改善後之水域環境對兩棲類可能有所幫助，詳如附錄二所示。

(三)魚類

2022 年的調查共記錄 5 目 7 科 12 種；記錄台灣特有種 2 種；未記錄到保育類種；記錄到 7 種外來種；相較 2010 年的紀錄，發現增加了兩種特有種，分別為粗首鱸及短吻紅斑吻鰕虎(圖 5-15)。大部分的魚類偏好水流緩慢的潭區，主要棲息在低溫的潭區、瀨區，而外來種對環境的適應性較強。原生種包括了初級性淡水魚及兩側洄游型淡水魚，初級性淡水魚如鯉科的粗首馬口鱸、羅漢魚；鰕虎科的短吻紅斑吻鰕虎，善於攀爬與回溯；兩側洄游型如鰕虎科的極樂吻鰕虎。其中羅漢魚、極樂吻鰕虎偏向於埤塘型、喜泥質底質，偏好水流平緩的緩流區或靜止水域；短吻紅斑吻鰕虎為台灣特有種，常棲息在小型支流中，或緩流區，鰕虎科皆偏好棲息於乾淨清澈的溪流環境，且對於水質、溫度有一定的要求，因此也代表水質已逐漸改善。

整體而言，2020 年及 2022 年的調查較前期物種組成豐富，而因 2010 年樣站之棲地環境與 2020 及 2022 年有所不同，故物種組成亦不同，但整體而言外來物種仍佔整體物種組成高。詳如附錄二所示。

(四)蝦蟹螺貝類

2022 年的調查共記錄 4 目 8 科 9 種；相較 2010 年的紀錄，發現增加了兩種特有種，分別為赤崁新米蝦及黃綠澤蟹，另記錄 1 種外來種為福壽螺；大部分的物種皆偏好緩流的水域，像是淡水水田、溝渠、河流與湖泊等水域。其中包含了瘤蟯為具有指標貝類的物種，根據生物多樣性中心，將瘤蟯歸類於清淨水域（Katharob），代表河川的有機物大部分已分解，保持高度溶氧量，水生昆蟲豐富而多樣，但個體

數少，顯示水域棲地已逐漸恢復改善。而多齒新米蝦、赤坎新米蝦偏好流動且充氧的乾淨環境，如山澗溝渠溪流等。

整體而言，調查物種組成均不豐富，而因樣站之棲地環境與 2020 及 2022 年的樣站有所不同，因此物種組成亦不同，但整體而言 2010 年調查物種多以螺貝類為主，而 2020 年則多為蝦蟹類，2022 年的調查則相對完整。詳如附錄二所示。

總而言之，調查物種組成均不豐富，而因樣站之棲地環境與 2020 及 2022 年的樣站有所不同，因此物種組成亦不同，但整體而言 2010 年調查物種多以螺貝類為主，而 2021 年則多為蝦蟹類，2022 年的調查則相對完整。根據目前的調查結果顯示，已有發現短吻紅斑吻蝦虎、瘤蟯等指標性物種，相對於其他物種而言，生態區位較為狹窄，此結果也顯示河川棲地逐漸恢復且趨於穩定。但因溪流狀態仍受環境因子擾動，河岸植被亦未完全復育，亦對水域生物組成造成影響，建議需要長期監測，觀察後續生物的變化，並於豐、枯水期不同季節持續調查、追蹤，瞭解工程對生物之影響。

	
a. 利用網具進行魚類調查	b. 極樂吻鰕虎
	
c. 粗首馬口鱖	d. 鯉
	
e. 使用底泥採集器調查螺貝類	f. 使用蝦籠調查蝦蟹類

圖 5- 15 生物調查記錄

5.2.5 小結

根據上述各小節，目前彙整新化林場各面向之生態系服務項目於表 5-5。

表 5-5 研究區域具備之生態系服務面向、項目

面向	項目
供給	特色農林產業供給 帶動新化林場經濟 帶動虎頭埤風景區經濟 特色周邊商品供給 餐飲供給
調節	防止水土流失(防沖蝕) 調節氣溫 緩和洪水衝擊 因應乾旱 防止表土流失 減緩水庫淤積
文化	彰顯宗教文化 提供生態遊憩場域 提供水土保持教室場域 提供環境教育的環境 提供的休閒和身心健康、旅遊等功能
支持	生態系初級生產 穩定生態多樣性 水域陸域兩棲生態復育 提供生物棲息地

第六章 結論與建議

本研究分析新化林場環境改善後之虎頭埤集水區之生態系服務，得出以下結論：

1. 透過 TCCIP 氣候變遷產製資料，分析流域歷史與未來百年之氣溫與降雨量變化趨勢，顯示至世紀末氣溫將持續上升，而年平均降雨量在 RCP8.5 情境中亦將顯著上升。其餘降雨量及氣溫指標因子亦指出氣候變遷於世紀末將有顯著之影響。以 50 年重現期而言洪水量變化率可能將增加 23%(模式中位數、穩定情境)。
2. 透過土地利用與歷年水庫範圍、流路套疊，搭配土地利用資料與林場造林歷史，發現隨著林場 1970 年代末之全面造林成效，可觀察到其後水庫區域與流路逐漸穩定，僅尾端需清淤，可見林場可能有減少土砂沖蝕與崩塌之成效。而本試區之工程如滯洪設施、農塘等將能作為沉砂池，後可期待將能減緩虎源溪河段之淤積。
3. 動床數模結果顯示，整治前本區在 Q_{50} 模擬下具有淹水問題，透過模擬河道加寬方案，規劃河幅由原 6 公尺拓寬至 12 公尺，而支流加寬至 5 公尺，溢淹情形能獲顯著改善。在氣候變遷之條件下仍有約 Q_{20} 之因應能力。
4. 為因應極端氣候變化可能帶來的旱季配制濕地與滯洪設施（農塘）的方案，設置新農塘（大目降）及濕地，以滯洪並防止旱澇所帶來的災害。於 2019 年進行大目降埤農塘清淤，清淤後最大蓄水量可達 6 萬公噸。農塘不僅可以儲存豐水期之水源、調節暴雨季節之洪水流量，也可達到滯洪防災且兼具沉砂功能之目的。將原有護岸下切並改採砌石型多層次護岸亦有通洪、美觀、護育生態等功

能。符合自然解方之訴求。

5. 生態系服務需要長時間之維護與發展，本試區以河溪治理為手段達到提昇生態系服務之策略。最先在調節面相提昇突破、其次能對生態系支持、後再增進自然之供給、最後達到文化面之影響。目前生態系服務四個面向評估顯示，林場的營收與觀光人次均因整治措施而有所提升，而研究區之歷年最高溫因林場調節較台南測站低、數值模擬方面亦顯示整治工程對滯洪有功效，同時虎頭水庫在 2021 百年大旱時期仍有充足之水量。文化面相則從期及發展之多元宗教文化外，本區亦為中興大學實驗林區並設有水土保持教室，為教育之重要場域。現有之生態調查結果與 2010 年之調查結果相比種類較為豐富，

提出以下建議：

1. 為探討生態系服務之長期發展，可持續與場方合作進行生態調查，強化其他生態系服務資料。
2. 中小型水庫集水區形貌變化多，但本試區採取在淺山觀光園區段設計大小農塘滯洪設施同時利用水庫尾端地形作為沉砂池，有助益於水庫維護、使定期清淤工程較為容易進行。

參考文獻

1. Costanza, R., D'Arge, R., DeGroot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., and VandenBelt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
2. Ehrlich P.R., Ehrlich A.H. (1981). *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*. New York: Random House.
3. IPCC, "AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", 2014.
4. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*, Washington, DC: Island Press, 137 pp.
5. N Nakayama, Policy Development on Eco-DRR (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction) and EbA in Japan after the GEJE, Japan, Global Biodiversity Strategy Office, 2015.
6. Teng, T.-Y.; Liu, T.-M.; Tung, Y.-S.; Cheng, K.-S. (2021). Converting Climate Change Gridded Daily Rainfall to Station Daily Rainfall-A Case Study at Zengwen Reservoir. *Water* 2021, 13, 1516.
7. Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., ... & van Ruijven, B. (2011). RCP2. 6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 C. *Climatic change*, 109(1), 95-116.行政院農委會林務局全球資訊網林業新知專刊，生態系統服務之評估。
<https://www.forest.gov.tw/File.aspx?fno=12>，2022/06/15 瀏覽。
8. 林鎮洋、邱逸文，生態工法概論，明文書局，2003。
9. 行政院環境保護署編印 (2009)，「國際環保動態訊息蒐集及趨勢分析」專案計畫。台北：行政院環境保護署。

10. 內政部(2010)。國家重要濕地保育計畫。內政部營建署計畫。
11. 能源部門因應氣候變遷調適策略計畫雙週報 (2014)。代表濃度路徑(RCP)介紹下，2。
12. 李玲玲、趙榮台，邵廣昭，林幸助、方國運、郭奇芊、黃意鈞、李芃 (2018)，「生態系服務與永續發展」科學計畫。台灣土地研究，21(2): 137-152。
13. 陳建忠、廖朝軒(2011)。社區及建築基地減洪技術與防洪強化措施之研究。台北市：內政部建築研究所。
14. 詹為巽、林俊成、吳孟珊、邱祈榮 (2018)，世界的森林生態系服務功能評價方法。林業研究專訊，Vol. 25 No. 6。
15. 馮豐隆、林子玉、黃志成、陳英彥、陳志賢、林明進、蔡政弘、蔡尚 (1996)，中興大學實驗林地理資訊系統之建立與應用(三)-新化林場第二次林木資源與地理資料庫之建立。行政院農業委員會水土保持局，台灣。
16. 葉昭憲、葉祐均、郭乃綺、王佩琳、鄭文佩 (1999)，溼地成立自然公園評估因素之研究。國家公園學報。
17. 馮豐隆、黃志成、蔡政弘、高堅泰、陳淑芬 (1998)，中興大學實驗林地理資訊系統之建立與應用(三)-地理資訊系統在森林分層取樣設計上的應用。行政院農業委員會水土保持局，台灣。
18. 馮正一、劉怡安 (2007)，「農塘改建為滯洪設施效益評估之研擬」。台灣水土保持季刊，第 59 期，第 8-15 頁。
19. 葉光福 (2004)，生態資源資料庫網路系統建置之研究-以新化林場為例。國立中興大學水土保持學系，碩士論文。
20. 張哲銘 (2021)，南部地區重點治理區追蹤與治理成效評析。行政院農業委員會水土保持局，台灣。

21. 張皓雲 (2015)。臺北市以生態系為基礎之災害風險減緩社區評估指標建立之研究。國立臺北科技大學建築系建築與都市設計所碩士論文。
22. 蔡錦堂 (2020)，虎頭埤的前世今生。臺灣學通訊，第 118 期，19 pp。
23. 台北帝國大學附屬農林專門部演習林事務所 (1939)，東京帝國大學農學部附屬臺灣演習林概要。臺北市：臺北帝國大學附屬農林專門部。
24. 廖朝軒 (2003)，「雨水資源再利用」，台北縣九十二學年度「永續環境教育工作坊」督學、校長與行政主管研習手冊，台北縣政府教育局，台北。
25. 吳約西之論述網站 (2003)，
<http://www.water.tku.edu.tw/record/meeting01.asp>，2022/06/15 瀏覽。
26. 溫正衡 (2021 年 03 月 11 日)。南部水情吃緊 唯虎頭埤仍有 101 萬噸水供 50 多公頃稻作灌溉。公視新聞網，
<https://news.pts.org.tw/article/516691>。
27. 蔡錦堂，虎頭埤的前世今生。臺灣學通訊，118，PP19。
28. 林進發 (1963)，臺灣發達史。臺北：民眾公論社。
29. 劉寧顏 (1996)，重修臺灣省通志卷二土地誌勝蹟篇。國史館臺灣文獻館，第 158 頁。
30. 吳侑鴻、陳威潭，從臺南演習林到新化林場。臺灣學通訊，
<https://www.ntl.edu.tw/public/Attachment/05141731445.pdf>。
31. 吳侑鴻 (2022)，新化林場百年傳承。國立中興大學農業暨自然資源學院實驗林管理處。

32. 邱祈榮、林俊成 (2017)，森林生態服務面面觀。科學發展，第 529 期，第 30-35 頁。

附錄一、中興大學新化林場水域生物調查實施項目及 方法說明

項目	方法	頻度
兩生類	綜合沿線調查和逢機調查兩種調查方式，利用目視或聲音識別出現物種。由於兩生類有其特定的活動時間，調查時間等待入夜後開始進行。為了調查安全起見，每次都由 2 個固定調查員進行調查工作。以手持電筒照射之方式進行目視觀察，行進路徑周圍(如水池、積水處、溝渠等水域環境)則加強該微棲地調查，尋找個體及活動痕跡，隨機翻找環境中可能提供躲藏隱蔽之掩蓋場所(石塊、倒木、石縫)。	每季 1 次 每次 2 人。
魚類	調查方式主要使用蝦籠，同時視現場水域深度條件輔以手拋網或水下攝影機方式紀錄出現種類。測站內逢機使用中型蝦籠(直徑 12.5 cm×長度 32 cm) 5 個，每蝦籠間距約 20-25 m，以狗飼料顆粒乾糧為誘餌，持續布設時間為 3 天 2 夜，放置隔夜後收集籠中獲物，待鑑定種類及計數後，統一野放。現場若存在魚類可能聚集的潭區(水深>1m)則輔以手拋網進行調查，手拋網規格為 3 分 14 尺，每次以拋網 20 次為努力量單位，前後拋網間隔時間為 10 分鐘以上，捕獲魚隻經鑑定後隨即原地釋回。若水深過淺或底部障礙物過多不利於拋網操作進行時，則改以直接目擊和水下攝影機等方式協助調查。魚類鑑定主要依據『台灣淡水及河口魚類誌』(陳與方，1999)、『魚類圖鑑』(邵與陳，2004)與『台灣魚類誌』(沈編，1993)等書。	每季 1 次 每 次調查時間為 3 天 2 夜。
蝦蟹類	每一調查樣站布設 5 個中型蝦籠(直徑 12.5 cm×長度 32 cm)，內置狗飼料顆粒乾糧為誘餌，持續時間為 3 天 2 夜。採集到的蝦蟹類記錄其種類與數量，拍照存檔後原地釋回。若遇辨識有爭議的物種，則以 70%的酒精保存，攜回鑑定(水利規劃試驗所，2004)。	每季 1 次 每 次調查時間為 3 天 2 夜。
螺貝類	採樣測站同魚類，岸邊隨機劃設 1 平方公尺樣區內進行採集(水利規劃試驗所，2004)。底棲生物調查主要以底泥採集器過濾收集水層及底泥中之蝦、蟹、螺、貝等大型底棲生物。底泥採集器採集之底泥直徑及深度均為 20 cm，採得之底泥另以過濾篩網篩檢。除底泥採集外，另配合翻尋法，於有機碎屑聚集及各類型之水域環境進行隨意之翻尋，並採集所發現之所有水生動物樣本。若遇辨識有爭議的物種，則以 70%的酒精保存，攜回鑑定(水利規劃試驗所，2004)。	每季 1 次

附錄二、生態調查資料

附表 1- 1 2010-2022 年總物種數及保育類物種數

項目	發現種數			保育類種數								
	2010 年	2021 年	2022 年	2010 年			2021 年			2022 年		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
植物	84	215	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
哺乳類	5	6	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
鳥類	21	46	-	-	1	-	-	3	-	-	-	-
爬蟲類	3	6	20	-	-	-	-	-	-	-	-	1
兩生類	3	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
蜻蜓類	9	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
魚類	2	5	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
蝦蟹螺貝類	3	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1. 瀕臨絕種
2. 珍貴稀有
3. 其他應予保育

附表 1- 2 2010-2022 年總物種數及保育類、特有種

項目	種數			特有種			保育類		
	2010	2020	2022	2010	2020	2022	2010	2020	2022
植物	84	215		-	3	-	-	-	
哺乳類	5	6		1	4	-	-	1	
鳥類	21	46		10	19	-	1	3	
爬蟲類	3	6	20	1	1	2	-	-	1
兩棲類	3	8	8	-	1	1	-	-	
蜻蜓類	9	10	-	2	-	-	-	-	
魚類	2	5	12	-	1	2	-	-	
底棲生物	3	2	9	-	-	2	-	-	

附表 1-3 紅外線自動相機記錄物種(1-4 月)

目	科名	中文名	學名	保育等級	物種屬性	1 月 A	1 月 B	1 月 C	2 月 A	2 月 B	2 月 C	3 月 A	3 月 B	3 月 C	4 月 A	4 月 B	4 月 C
齧齒目	鼠科	臺灣刺鼠	<i>Niviventer coninga</i>		臺灣特有												
	鼠科	鬼鼠	<i>Bandicota indica</i>														
	松鼠科	赤腹松鼠	<i>Callosciurus erythraeus thaiwanensis</i>		臺灣特有		O		O	O	O		O	O		O	
食肉目	獾科	食蟹獾	<i>Herpestes urva formosanus</i>	III													
	貂科	鼬獾	<i>Melogale moschata subaurantiaca</i>		臺灣特有											O	
	靈貓科	白鼻心	<i>Paguma larvata taivana</i>		臺灣特有		O	O	O	O	O	O	O	O		O	
	犬科	家犬	<i>Canis lupus familiaris</i>		外來		O			O	O						
	貓科	家貓	<i>Felis catus</i>		外來								O				
鱗甲目	穿山甲科	穿山甲	<i>Manis pentadactyla pentadactyla</i>	II	臺灣特有											O	
雀形目	鶇科	赤腹鶇	<i>Turdus chrysolaus chrysolaus</i>										O				
鴿形目	鳩鴿科	翠翼鳩	<i>Chalcophaps indica indica</i>									O	O				
鶇形目	鶇科	黑冠麻鶇	<i>Gorsachius melanolophus</i>														
鷹形目	鷹科	大冠鶇	<i>Spilornis cheela hoya</i>	II	臺灣特有	O				O		O	O	O	O	O	
柄眼目	非洲大蝸牛科	非洲大蝸牛	<i>Achatina fulica</i>		外來												

附表 1-4 紅外線自動相機記錄物種(5-9 月)

目	科名	中文名	學名	保育等級	物種屬性	5 月 A	5 月 B	5 月 C	6 月 A	6 月 B	6 月 C	7 月 A	7 月 B	7 月 C	8 月 A	8 月 B	8 月 C	9 月 A	9 月 B	9 月 C
齧齒目	鼠科	臺灣刺鼠	<i>Niviventer coninga</i>		臺灣特有		O													
	鼠科	鬼鼠	<i>Bandicota indica</i>																	
	松鼠科	赤腹松鼠	<i>Callosciurus erythraeus taiwanensis</i>		臺灣特有	O	O			O			O			O			O	O
食肉目	獾科	食蟹獾	<i>Herpestes urva formosanus</i>	III			O													
	貂科	鼬獾	<i>Melogale moschata subaurantiaca</i>		臺灣特有								O						O	
	靈貓科	白鼻心	<i>Paguma larvata taivana</i>		臺灣特有	O	O					O	O	O	O	O	O		O	
	犬科	家犬	<i>Canis lupus familiaris</i>		外來															
	貓科	家貓	<i>Felis catus</i>		外來															
鱗甲目	穿山甲科	穿山甲	<i>Manis pentadactyla pentadactyla</i>	II	臺灣特有	O														
雀形目	鵲科	赤腹鵲	<i>Turdus chrysolaus chrysolaus</i>																	
鴿形目	鳩鴿科	翠翼鳩	<i>Chalcophaps indica indica</i>																	
鵯形目	鷺科	黑冠麻鷺	<i>Gorsachius melanolophus</i>													O		O		
鷹形目	鷹科	大冠鷲	<i>Spilornis cheela hoya</i>	II	臺灣特有		O						O		O	O		O		
柄眼目	非洲大蝸牛科	非洲大蝸牛	<i>Achatina fulica</i>		外來											O				

附表 1-5 虎源溪樣站爬蟲類資源表

目名	科名	中文名	學名	特有性	保育等級	2010	2020	2022
有鱗目	石龍子科	印度蜓蜥	<i>Sphenomorphus indicus</i>				*	*
		多線真稜蜥	<i>Eutropis multifasciata</i>	外來			*	
		長尾南蜥	<i>Eutropis longicaudata</i>					*
		麗紋石龍子	<i>Plestiodon elegans</i>					*
	飛蜥科	斯文豪氏攀蜥	<i>Diploderma swinhonis</i>	特有		*	*	*
	壁虎科	無疣蝎虎	<i>Hemidactylus bowringii</i>			*		
		疣尾蝎虎	<i>Hemidactylus frenatus</i>			*	*	*
		鉛山壁虎	<i>Gekko hokouensis</i>					*
	正蜥科	古氏草蜥	<i>Takydromus kuehnei</i>					*
龜鱉目	地龜科	斑龜	<i>Mauremys sinensis</i>				*	*
	澤龜科	紅耳泥龜	<i>Trachemys scripta elegans</i>	外來			*	
有鱗目	黃頰蛇科	花浪蛇	<i>Achalinus formosenus</i>					*
		大頭蛇	<i>Boiga kraepelini</i>					*
		紅斑蛇	<i>Dinodon rufozonatum</i>					*
		王錦蛇	<i>Elaphe carinata</i>					*
		白梅花蛇	<i>Lycodon ruhstrati</i>					*
		赤背松柏根	<i>Oligodon formosanus</i>					*
		台灣黑眉錦蛇	<i>Orthriophis taeniura friesi</i>	特有亞種	III			*
		南蛇	<i>Ptyas mucosus</i>					*
		茶斑蛇	<i>Psammodynastes pulverulentus</i>					*
	蝙蝠蛇科	雨傘節	<i>Bungarus multicinctus</i>					*
	蝮蛇科	赤尾青竹絲	<i>Trimeresurus stejnegeri</i>					*
		龜殼花	<i>Trimeresurus mucrosquamatus</i>					*
物種數(種數)						3	6	20

附表 1-6 虎源溪樣站兩生類資源表

目名	科名	中文名	學名	特有性	保育等級	2010	2020	2022
無尾目	叉舌蛙科	澤蛙	<i>Fejervarya limnocharis</i>			*	*	*
	樹蛙科	莫氏樹蛙	<i>Rhacophorus</i>	特有			*	

			<i>moltrechti</i>					
		布氏樹蛙	<i>Polypedates braueri</i>				*	
		日本樹蛙	<i>Buergeria japonica</i>				*	
	樹蟾科	中國樹蟾	<i>Hyla chinensis</i>					*
	蟾蜍科	黑眶蟾蜍	<i>Duttaphrynus melanostictus</i>			*	*	*
	赤蛙科	貢德氏赤蛙	<i>Hylarana guentheri</i>				*	
		拉都希氏赤蛙	<i>Hylarana latouchii</i>			*	*	*
	狹口蛙科	小雨蛙	<i>Microhyla fissipes</i>				*	*
		巴氏小雨蛙	<i>Microhyla butleri</i>					*
		黑蒙西氏小雨蛙	<i>Microhyla heymonsi</i>					*
		史丹吉氏小雨蛙	<i>Micryletta stejnegeri</i>	特有				*
物種數(種數)						3	8	8

附表 1-7 虎源溪樣站魚類資源表

目名	科名	中文名	學名	特有性	保育等級	2010	2020	2022
鯉形目	鯉科	鯉	<i>Cyprinus carpio carpio</i>					*
		粗首馬口鱮	<i>Opsariichthys pachycephalus</i>	特有			*	*
		羅漢魚	<i>Pseudorasbora parva</i>					*
		銀高體魚巴	<i>Barbonymus gonionotus</i>	外來			*	*
鱗形目	花鱗科	食蚊魚	<i>Gambusia affinis</i>	外來		*		*
		孔雀花鱗	<i>Poecilia reticulata</i>	外來				*
鱸形目	鰕虎科	極樂吻鰕虎	<i>Rhinogobius giurinus</i>				*	*
		短吻紅斑吻鰕虎	<i>Rhinogobius rubromaculatus</i>	特有				*
	鱧科	線鱧	<i>Channa striata</i>	外來			*	*
	麗魚科	口孵非鯽雜交魚	<i>Oreochromis hybrid</i>	外來			*	*
		雜交吳郭魚	<i>Gen. sp(Cichlidae)</i>	外來		*		
鮎形目	甲鯰科	野翼甲鯰	<i>Pterygoplichthys disjunctivus</i>	外來				*
攀鱸目	絲足鱸科	絲鰭毛足鬥魚	<i>Trichopodus trichopterus</i>	外來				*
物種數(種數)						2	5	12

附表 1-8 虎源溪樣站蝦蟹螺貝類類資源表

目名	科名	中文名	學名	特有性	保育等級	2010	2020	2022
十足目	匙指蝦科	多齒新米蝦	<i>Neocaridina denticulata</i>					*
		赤崁新米蝦	<i>Neocaridina saccam</i>	特有				*
	長臂蝦科	粗糙沼蝦	<i>Macrobrachium asperulum</i>				*	*
		澳洲沼蝦	<i>Macrobrachium australe</i>				*	
	溪蟹科	黃綠澤蟹	<i>Geothelphusa olea</i>	特有				*
中腹足目	蘋果螺科	福壽螺	<i>Pomacea canaliculata</i>	外來		*		*
	田螺科	石田螺	<i>Sinotaia quadrata</i>			*		*
	錐蜷科	結節蜷	<i>Stenomelania tortuosa</i>			*		
		瘤蜷	<i>Tarebia granifera</i>					*
基眼目	椎實螺科	椎實螺	<i>Radix swinhoei</i>					*
簾蛤目	蜆科	河蜆	<i>Corbicula fluminea</i>					*
物種數(種數)						3	2	9

附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

「111年創新研究計畫」期初審查意見

計畫名稱:氣候變遷下新化林場改善措施提昇虎頭埤集水區之生態系服務

開會時間:111年5月3日下午2時

開會地點:水保局第二會議室

主持人:黃振全組長

綜合意見回覆表:

委員意見	辦理情形及回覆
氣候變遷之模擬所採用之情境建議於水理分析中加以補充之。	感謝委員意見，詳情請參閱第三章第一節。
研究背景(基本資料蒐集)中，建議補充虎頭埤長期以來土地利用變化，氣候條件變化，水庫淤積變化，集水區崩塌變化...納入比較，以了解長期以來之差異變遷。	感謝委員意見，已補充土地利用與氣候變遷資料以增強研究完整性，詳情請參閱第三章。
針對生態服務之具體評估之作法建議補充於報告中。	感謝委員意見，生態系服務之具體評估分質與量兩部分，部分成效可量化為數據(如門票收入、氣溫等)，將提供數據以輔證。但部分雖屬事實但難以量化其成效，將加強論述說明。詳情請參閱第五章第二節。
如報告書所言，計畫區域位於易發生旱澇災害之敏感地區，建議可依目前的現況，研擬其對應旱澇之因應策略。	感謝委員意見，本計畫規劃與設置兩個農塘以及濕地，儲存豐水期之水源，及早因應旱澇災害，詳情請見第四章第三節。
具今年年初到新化林場段整治工程發現，棲地現況及自然生態回復情況良好，然溪床中生長過多	感謝委員意見，目前尚無因水生植物而導致溢淹問題，且有定期在追蹤河床的植物，並與林場方

的水生而影響通洪，建議本計畫所提供合宜維護管理機制，如讓臨場人員遵循。	積極溝通，訂定維護管理機制。
虎源溪流域的保育管理位虎頭埤水源涵養非常重要的一環，如何提升虎源溪流域的韌性防災能力建議可納入本計畫進行評估。	關於防災韌性方面將於期末透過進一步分析氣候變遷資料加強論述。
NBS 中的水質維持與改善亦是重要的指標之建議亦應將水質改善策略納入考量。	感謝委員意見，本區水質問題主要主要為颱風季節之懸浮質，改善方案乃以農塘、濕地等方式降低懸浮質。另外加強坑溝治理亦為重點。
宜列計畫編號。	宜列計畫編號。感謝委員意見，已於簡報上及封面補上。
p12 流失土方量達 24,000m ² 宜修正為 m ³ 。	感謝委員意見，已於簡報上修改。
水源涵養是否可以地下水位評估。	本計畫目前無規畫評估地下水位。
p12 虎源溪整治工程宜建議改善工法。	本團隊於工程前即與工程方持續溝通，提出多項建議，工程亦本研究進行改善，已依據現亦保有聯繫。
p4 台東帝國大學宜修正為台北帝國大學。	感謝委員意見，已於簡報上修改。
p5 是否可引用西拉雅族的使用材料和工法。	工法上已不可考，但會建議工程單位與林場管理方增強環域中西拉雅族之元素。
p10 表 3-1 工程與水源涵養如何評估效益及量化指標。	感謝委員意見，工程治洪方面將通過數值模式進行評估，詳情請見第四章。但生態系服務之具體評估分質與量兩部分，部分成效可量化為數據(如門票收入、氣溫等)，將提供數據以輔證。但部分雖屬事實但難以量化其成效，將加強論述說明。詳情請參閱第五章第二節。
p14 比對過去降雨量及水庫水位	感謝委員意見，氣候資料會根據

回朔多久年分。	TCCIP 的推估資料回朔至 1960 年。
p15 表 4-1(1)四個面向生態系服務，有何估量指標，供給，文化面向，均與遊客量依據，如何達到預期項目。	生態系服務之具體評估分質與量兩部分，部分成效可量化為數據(如門票收入、氣溫等)，將提供數據以輔證。但部分雖屬事實但難以量化其成效，將加強論述說明。詳情請參閱第五章第二節。
p21 生態調查資料來自 2020 年治理成效評估報告，過去年度是否有其資料，進行分析變遷。	感謝委員意見，主要參考 2020 治理成效評估報告以及 2010 年「易淹水地區水患治理計畫」—台南縣管區域排水虎頭溪排水(含衛生 1 號排水)系統規劃報告(99)」文獻進行比較。
報告章節層次，建議調整，例第一章前言，包含預期成果，工作進度。	感謝委員意見，章節已作調整。

附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

111年度創新研究計畫期中審查意見表

計畫名稱:氣候變遷下新化林場改善措施提昇虎頭埤集水區之生態系服務

綜合意見回覆表:

委員意見	辦理情形及回覆
P.23 第二段文字說明圖 3-7 虎頭埤水庫現今(白線)之範圍，所謂「現今」是指何時?建議寫明判釋年份。	感謝委員意見，已於圖 3-7 補充。
P.26 圖 3-9 說明水庫尾端有明顯之淤積，惟衛星影像圖上較難辨識，建議圈繪明顯地區以利辨識，並加上流向標示，避免無法判斷何謂「水庫尾端」。	感謝委員意見，已於圖 3-9 補充。
P.14 第 1 行最後 1 個字「沙」請修正為「砂」。	感謝委員意見，已修正。
本計畫工作執行方法提及將架設監測儀器，是否已經架設開始蒐集資料，計畫內容後續並未提及此部分辦理情形。	感謝委員意見，已於 5.2.4 支持小節補充。
缺少計畫工作項目對應本計畫內容章節、頁數之對照表，較難據以評估計畫執行完成度。	感謝委員意見，已列於表 2-8 中。
第三章氣候變遷與土地利用變遷資料內容應盡量與第四章第二-五節內容結合，分析歷年分局施作方案與土地利用變遷情形，例如圖 3-7 虎頭埤水庫範圍線之變化及其內文所述流路及清淤情形與分局施作相關方案之關係與成果，否則第四章 P.41 最後一段提及 2020 年整治工程已辦理農塘清淤，卻於第三章 P.28 圖 3-	已強化氣候變遷之資料，並分析氣候變遷之洪水改變率，並與 4-3 之結果連結。 雖衛星影像顯示於 2021 年 1 月虎頭埤尾端為淤滿狀態、但無法說明與 2020 年農塘清淤之前後順序。 工程之效益包含對通洪、至洪能力之提升、對生態系服務之整體貢獻、對環境景觀提升等，並非

9f.敘明 2021 年 1 月虎頭埤尾端又淤滿，前後矛盾無法看出工程效益，且 2017-2020 年間又無衛星影像供比對，無法對期間所施作工程之後續效益做出評估。	單貢獻於虎頭埤水庫。常理而言，若上游河道具有沉砂與滯洪空間、對下游水庫淤積及水質有益。若有虎頭埤缺乏詳細淤積資料，可待日後再觀察其淤積趨勢是否趨緩。但林場 1970 年代末之全面造林後，可觀察到水庫區域與流路逐漸穩定，時間上吻合。
本計畫第四章命名為自然解方施作方案，惟內容為歷年分局施作工程之介紹，非純自然解方策略方案，未免會混淆自然解方定義，建議章名重新修正，或應於施作內容有較詳細的減砂方案、混合式策略、自然解方策略等分類。	本計畫試區工程在規劃、策略、工法材料及目標上均與自然解方呼應。在期末報告中已加強對自然解方之說明。自然解方最常見於沿海地區之洪水管理，河川經營則如荷蘭 room for the river 提供洪水空間等均屬自然解方的一種。
P57 說明本計畫生態調查資料共有 3 次不同年份資料，惟後續內容僅說明 2022 年調查結果，建議 3 次年份調查地點應標示於類似圖 4-8、4-9 空拍位置圖上，配合分局整治成果，評估整治前後生態與棲地復育情形。	感謝委員意見，已於圖 5-12 補充，另外 2010 年的調查於茄苳橋，屬虎源溪上游，報告屬水利署，故僅整理其中重點於本計畫中。本計畫於工程中(3 月)、後(11 月)有進行生態調查，後續會持續補充，另台南分局也有委託台南大學進行生態調查。
P2、計畫背景第一段說明納入 P5、2.1.1 小節合併調整說明。	感謝委員意見，已將小節合併處理。
P9、表 2.2...「政權轉移」，用詞太離譜，建議修改為適當用語。	感謝委員意見，已修正。
P21、RCP 4.5 穩定與 RC 8.5 高排碳情境之差異及量化指標補充說明。	感謝委員意見，詳情請參閱第三章第一節。
P33、農委會十項措施，其中增加蓄水空見策略，除整治工程加寬河道、增加濕地；農塘外，集水區土地利用類型對土層蓄水能力等，建議能以量化說明。	感謝委員意見建議，此表內容與前述章節重疊且部分項目難以量化，確實顯得冗贅，已將此表刪除。

補充虎頭埤水資源利用的歷史變遷，包括對下游土地利用之貢獻、蓄水量變化。	虎頭埤水資源之利用及其下游之集水區範圍涵蓋過廣，故未能納入本報告中。
建議針對資料蒐集及分析模擬成果提出可再精進改善方案，更能提升其生態系服務效益。	感謝委員建議已於本次期末報告中強化分析內容及資料整理與文字論述。

附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

111年度創新研究計畫期末審查意見表

計畫名稱:氣候變遷下新化林場改善措施提昇虎頭埤集水區之生態系服務

綜合意見回覆表:

委員意見	辦理情形及回覆
1. 模擬水理?有無一併模擬河道輸砂呢?河道拓寬寬度如何決定?	河道擴寬寬度為經水理計算後、考量可容納設計流量之通水面積而定。同時考量 TCCIP 之氣候變遷分析結果,50 年重現期世紀末之暴雨增加率約為 23%。此河寬條件下約可容納 Q20 洪水。。
2. 建議可持續監測生態系,評估本場域與施行方式,是否能達到預定的目標	謝謝委員意見,目前計畫期程已至,但本團隊未來將與場長配合持續後續生態監測,另台南大學也有配合水土保持局台南分局進行臺南分局轄區 111 年度生態檢核執行及民眾參與推動計畫。
3. 與 NbS 之間的關聯性可再強化	在第 4 章中加強論述本案與自然解方之關聯性。補充說明 NbS 之 8 項原則。本區之工程過程符合此 8 原則。
4. 本計畫與該工程設計施工間之關係為何?是有參與工程階段還是工程完工後之評估?	謝謝委員意見,本計畫執行期間為 111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日,工程則分為一、二期、其中一期施工為 109/2~110/4 年,二期施工期間為 110/7~111/7 年,本團隊於施工前已與場方與工程方討論與溝通系統性之設計,於工程期間持續追蹤與調查,工程完工後從學術研究角度,分析本案之生態系服務。
5. 操作標準作業流程可再明確化	對於如何維繫虎源溪河段之廊道,將視未來實際經歷洪水後再

	與林場方商議。
--	---------