

探討不同棲地對於 臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響

(成果報告)

內政部國家公園署雪霸國家公園管理處

委託辦理報告

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

探討不同棲地對於 臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響

受委託者：中央研究院

研究主持人：沈聖峰

博士後研究員：劉彥廷

研究助理：李宜軒、林彥成、麥館碩、詹仕凡、廖羿瀛

碩士班兼任助理：林威任

(依姓氏筆畫排列)

內政部國家公園署雪霸國家公園管理處

委託辦理報告

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

書脊

11105 探討不同棲地對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響成果報告

內政部國家公園署雪霸國家公園
管理處委託辦理報告(一一二年度)

目次

目次.....	I
圖次.....	II
表次.....	V
摘要.....	VI
Abstract.....	VIII
第一章、 計畫緣由.....	1
第二章、 計畫目標.....	2
第三章、 前人研究.....	3
第四章、 研究地區.....	6
第五章、 研究方法.....	7
一、 繁殖棲息地全景影像的拍攝.....	7
二、 運用深度學習預測可能產卵的河道區段.....	9
三、 運用深度學習分辨不同族群的鮭魚.....	9
四、 鮭魚巢位環境（水溫與水質）的測量.....	14
五、 鮭魚在不同支流水系的繁殖孵化盒實驗.....	16
第六章、 成果.....	20
一、 微棲地環境的調查與選址.....	20
二、 調查河段選址與環境簡介.....	22
三、 利用保育類野生動物許可.....	31
四、 2022年繁殖季前後棲地環境的調查.....	33
五、 2023年第三期進行2次野外調查.....	43

六、 使用深度學習模型探索微棲地環境與臺灣櫻花鉤吻鮭巢位的關係.....	48
七、 鮭魚族群形態與溪流環境因子資料之整合分析.....	61
八、 樣區親魚與巢位的地理標定，分析不同溪段鮭魚族群密度及其繁殖表現.....	65
九、 結論.....	74
十、 建議事項.....	75
誌謝.....	75
參考文獻.....	76
附錄一：第 1 次報告審查會議委員意見回覆表.....	79
附錄二：第 2 次報告審查會議委員意見回覆表.....	87
附錄三：第 3 次報告審查會議委員意見回覆表.....	94
附錄四：期末報告審查會議委員意見回覆表.....	102

圖次

圖一：樣區相對位置圖.....	6
圖二：臺灣櫻花鉤吻鮭自然巢位判讀.....	8
圖三：INSTA360 PRO 2 全景相機與腳架實際使用狀況.....	8
圖四：原始拍攝個體影像與處理後標準影像.....	12
圖五：模型訓練及分析流程圖.....	13
圖六：使用 HYDRO-BIOS 流速計測量流速.....	15
圖七：於溪段實地測量水質與流速.....	15
圖八：孵化盒（WHITLOCK VIBERT BOX）.....	16
圖九：孵化盒使用原理.....	17

圖十：設置孵化盒的過程.....	19
圖十一：水溫監測裝置.....	19
圖十二：沿著合歡溪以及七家灣溪流域共 26 個測站所測量到的每日平均水 溫.....	22
圖十三：七家灣溪上游四號壩上至五號壩.....	23
圖十四：七家灣溪主流三號壩下.....	24
圖十五：七家灣溪主流二號壩下.....	25
圖十六：七家灣溪主流一號壩上.....	26
圖十七：七家灣溪主流鮭魚館下.....	27
圖十八：七家灣溪下游國民賓館溪段.....	28
圖十九：合歡溪流域上游水源地溪段.....	29
圖二十：合歡溪流域中游太陽城溪段.....	30
圖二十一：視覺化將八條樣線水溫以不同顏色分開表示.....	37
圖二十二：黃色點為在七家灣溪放置溫度計的地點.....	38
圖二十三：黃色點為在合歡溪放置溫度計的地點.....	39
圖二十四：七家灣溪二號壩附近的溪流植群.....	44
圖二十五：七家灣溪與合歡溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭形態測量與拍攝.....	44
圖二十六：七家灣溪上游的桃山西溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝.....	45
圖二十七：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝.....	45
圖二十八：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝.....	45
圖二十九：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝.....	46
圖三十：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地植群拍攝.....	46
圖三十一：七家灣溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭棲地植群拍攝.....	47

圖三十二：深度學習流程圖.....	50
圖三十三：七家灣溪 2022 年收集各溪段 360° 相片與地理位置之關係	51
圖三十四：合歡溪 2022 年收集各溪段 360° 相片與地理位置之關係	52
圖三十五：七家灣溪流流域四號壩樣線與三號壩樣線的全景照	53
圖三十六：七家灣溪流流域二號壩樣線與一號壩樣線的全景照	54
圖三十七：七家灣溪流流域鮭魚館樣線與國民賓館樣線的全景照	55
圖三十八：合歡溪流流域太陽城樣線的全景照	56
圖三十九：合歡溪流流域水源地樣線的全景照	57
圖四十：合歡溪流流域水源地攔沙壩以上的樣線的全景照	58
圖四十一：2022 年七家灣溪記錄的鮭魚巢位地理位置分布圖	59
圖四十二：2022 年合歡溪記錄的鮭魚巢位地理位置分布圖	60
圖四十三：降維後視覺化呈現影像在形態空間中的位置鑲嵌	61
圖四十四：各溪流的鮭魚平均形態	63
圖四十五：PCA 前三軸形態	64
圖四十六：研究地點與鮭魚族群參數	68
圖四十七：臺灣櫻花鉤吻鮭的築巢與孵化超體積	69
圖四十八：環境因子對鮭魚築巢機率的影響的相對重要性	70
圖四十九：環境因子對鮭魚築巢機率的影響	71
圖五十：環境因子對鮭魚發眼卵孵化機率的影響的相對重要性	72
圖五十一：環境因子對發眼卵孵化機率的影響	73

表次

表一：沿溪流收集的水質環境因子	21
表二：七家灣溪各溪段 PH 值範圍比較.....	21
表三：七家灣溪與合歡溪的各樣線，依海拔排列	34
表四：沿七家灣溪與合歡溪測量之水溫	35
表五：2022 年沿溪流收集的水質環境因子.....	36
表六：各樣線溫度記錄器位置與海拔高度	40

摘要

本研究計畫擬於七家灣溪與合歡溪進行野外棲息地分析與操作性實驗，透過比較七家灣溪與合歡溪鮭魚族群的繁殖模式與棲地選擇，進行地區適應以及分佈限制因子的評估。研究團隊希望能了解一個瀕危物種在氣候變遷下的脆弱程度，因為物種是否能在未來的環境下存續是保育生物學研究核心的問題之一，也是當今國家公園在棲息地管理上所需要的重要資訊。其中，物種的脆弱程度會受到環境的改變程度、物種對環境改變的敏感程度、在受到干擾後的回復能力以及物種適應改變的潛力所決定。因此要了解一個物種的脆弱程度必須從物種的行為、生理、生態方面著手來進行了解。

本計畫第一期成果（2022年5月至8月）主要是進行非繁殖季的野外環境、水質調查與樣線確定、收集初步的全景資料並申請保育類野生動物的利用。在本計畫第二期（2022年9月至12月），研究團隊已完成關於臺灣櫻花鉤吻鮭初步實驗資料的整理。並進行了野外實地勘查與鮭魚繁殖期實驗樣區的設置，於合歡溪流域設置兩條樣線於七家灣溪流域設置六條樣線。於繁殖季期間進行孵化盒實驗，也測量巢位與實驗地水質，希望結合水質調查分析與孵化率數據解答環境因子對鮭魚生殖各時期的影響，本季也得到了初步的成果。在第三期工作（2023年1月至6月）中，團隊兩次上山進行環境調查，並收集鮭魚形態資料，對於環境因子的分析，則是將巢位資料與全景資料相配合，正在進行機器學習的步驟。在第四期（2023年7月至12月）團隊前往於繁殖地棲地調查，並分析兩年來收集的資料並提出成果。計畫成果顯示，對鮭魚最重要的生活史為孵化階段，顯示水溫低的地方，即使汙染較嚴重，其孵化率仍然好，而下游處水溫升高後加上水質汙染，會影響孵化率。在孵化盒實驗中，合歡溪與七家灣溪四號壩以上的水域，也有較高的孵化率。顯

示這些歷史棲地對於鮭魚而言可能是更為理想的棲息地，而人為再引入鮭魚族群實際上確實有助於鮭魚族群的復育。深度學習成果也驗證了不同溪流之鮭魚族群確實存在可分辨的形態差異。

本計畫成果除了可以了解不同鮭魚族群的生理、繁殖行為、繁殖棲地與分佈限制因子之外，亦可以針對臺灣櫻花鉤吻鮭在氣候變遷下的脆弱程度進行模擬與預測，並且提供未來放流與保育計畫更精確的準則與選址，研究團隊希望透過量化不同生活史階段的生態位空間，來了解影響這種瀕危物種的最關鍵環境因子。這項研究將使我們能夠更有效地保護台灣臺灣櫻花鉤吻鮭，並為其他研究提供如何使用生態位體積概念來幫助保護瀕危物種的參考。

關鍵詞：台灣櫻花鉤吻鮭、深度學習、七家灣溪

Abstract

Exploring the Impact of Different Habitats on the Population of Formosan Landlocked Salmon

This research project is planned to conduct field habitat analysis and operational experiments in Qijiawan Creek and He Huan Creek. By comparing the reproductive patterns and habitat choices of salmon populations in these areas, the project aims to assess regional adaptation and distribution limiting factors. The research team seeks to understand the vulnerability of an endangered species under climate change, as the ability of a species to survive in future environments is one of the core questions in conservation biology and crucial for habitat management in national parks. The vulnerability of a species is determined by the degree of environmental change, the species' sensitivity to these changes, its ability to recover after disturbances, and its potential to adapt to changes. Therefore, understanding a species' vulnerability requires examining its behavior, physiology, and ecology.

The first phase of the project (May to August 2022) primarily involved non-breeding season field environmental and water quality surveys, establishing sampling lines, collecting initial panoramic data, and applying for the use of conservation-class wildlife. In the second phase (September to December 2022), the research team completed the organization of preliminary experimental data on the Formosan Landlocked Salmon. Field surveys and experimental breeding areas were set up, with two sampling lines in He Huan Creek and six in Qijiawan Creek. Hatchery box experiments were conducted during the breeding season, and nest sites and experimental water quality were measured, aiming to combine water quality analysis with hatching rate data to understand the impact of environmental factors

on salmon reproduction at various stages. The team achieved preliminary results this season. In the third phase (January to June 2023), the team conducted environmental surveys and collected morphological data on the salmon, combining nest data with panoramic data and proceeding with machine learning steps. In the fourth phase (July to December 2023), the team will investigate breeding habitats and analyze data collected over two years to present outcomes. The project results showed that the most important life history stage for salmon is the hatching stage. It was observed that lower water temperatures, even in more polluted areas, yielded better hatching rates, while increased downstream water temperatures combined with water pollution affected the hatching rates. The hatchery box experiments in He Huan Creek and the waters above Dam No. 4 in Qijiawan Creek also showed higher hatching rates, indicating that these historical habitats might be more ideal for salmon, and the reintroduction of salmon populations could indeed aid in their restoration. Deep learning results also confirmed distinguishable morphological differences among salmon populations from different creeks.

In addition to understanding the physiology, breeding behavior, breeding habitats, and distribution limiting factors of different salmon populations, the project results will also simulate and predict the vulnerability of the Formosan Landlocked Salmon under climate change. This will provide more precise guidelines and site selection for future stocking and conservation plans. The research team hopes to understand the key environmental factors affecting this endangered species by quantifying the ecological niche space at different life history stages. This research will enable more effective protection of the Formosan Landlocked Salmon in Taiwan and serve as a reference for other studies on how to use the concept of ecological niche volume to help protect endangered species.

Keywords: *Oncorhynchus masou formosanus*, deep learning, Qijiawan creek

第一章、計畫緣由

根據日據時期文獻記載，臺灣櫻花鉤吻鮭（*Oncorhynchus masou formosanus*）的歷史分佈流域包含松茂以上的大甲溪上游，但自 1970 年代起，因農業用地開發、捕獵以及攔砂壩造成的棲地破碎化，臺灣櫻花鉤吻鮭的數量急劇下降。於 1984 年的紀錄中，僅餘七家灣溪 5 公里長河段中的 200 尾個體。因此臺灣櫻花鉤吻鮭於 1989 年被我國政府列為瀕危物種，1997 年其棲息地七家灣溪則被列為野生動物保護區。由於臺灣櫻花鉤吻鮭的主要棲息地仍限於七家灣溪，在全球氣候變遷影響下，溫度改變以及颱風等極端氣候事件的發生，野生鮭魚族群還是存在滅絕風險，因此人工養殖族群的放流成為目前重要的保育工作。

為了更進一步評估放流成效與規劃未來生態保育計畫，了解臺灣櫻花鉤吻鮭地區適應（local adaptation）的研究將有助於幫助管理單位了解其族群多樣性，並建立野生和放流族群的生態與遺傳交互作用的基礎資料。因此本計畫擬於七家灣溪與合歡溪調查，透過比較原族群與放流族群的繁殖模式與棲地選擇，以人工智慧作為輔助工具，進行地區適應以及分佈限制因子的評估。預期本計畫成果即可以針對放流計畫，評估放流地點的品質，並且提供未來放流計畫更精確的準則與選址。另因過往臺灣櫻花鉤吻鮭的研究多著重於族群監測，缺少野外繁殖模式資料，本計畫結果所建立的棲地分布模式與生態位超體積評估，可透過掌握不同溪段鮭魚繁殖表現差異，了解棲地環境、人類活動以及氣候變遷將如何影響臺灣櫻花鉤吻鮭族群。除此之外，本計畫所得到的繁殖表現資料也可與國家公園執行多年的族群數量調查進行比對，比較鮭魚族群密度和繁殖表現的關係，進而推動相關研究與保育計畫的管理。

第二章、計畫目標

我們將比較七家灣溪、合歡溪不同溪段之間的臺灣櫻花鉤吻鮭族群是否存有繁殖表現的差異，所以我們將透過巢位位置紀錄與棲地品質測量，來比較七家灣溪與合歡溪各個溪段微棲地對繁殖表現的影響。棲地品質除了水質、流速、水深的測量與溫度監測外，還將引入人工智慧分析以全景相機拍攝的巢位周邊環境，預期未來能直接以人工智慧判斷適宜鮭魚產卵的位置（請見研究方法），量化潛在的巢位。另外，我們將在七家灣溪與合歡溪設置孵化盒（Whitlock Vibert Box），測試不同溪段的孵化率差異，以及孵化率受到哪些因子的影響。最後，我們會將繁殖表現結果與國家公園提供的族群密度資料進行比對，瞭解兩者之間是否互相關聯。根據 2020 年雪霸國家公園提供的族群監測與放流報告，目前七家灣溪、桃山溪、高山溪、羅葉尾溪、有勝溪、樂山溪與合歡溪都有臺灣櫻花鉤吻鮭的分佈。七家灣溪為最主要的棲息地，共觀察到 6729 尾，而族群數量次多的即 4650 尾的合歡溪，其中主要分佈於華岡地區的水源地與太陽商店溪段。

利用人工智慧與電腦視覺領域近幾年的突破，解決過去只能大幅簡化複雜的生物體，觀察小部分主觀定義的性狀特徵的問題，來研究生物形態多樣性的起源與維持。這個研究計畫最創新的部分在於我們將利用深度學習互補的方法，透過利用生物與環境照片，來預測感興趣的特定環境（例如緯度、山高與水系）或生物因子（例如：社會行為的形成與否、生物的生態功能群）；在我們實驗室過去已經發表的成果之中，我們曾利用卷積神經網路（Convolutional neural network, CNN）的方法訓練蛾類照片與海拔分布的關係（Wu et al. 2019）。如果可以用蛾類照片來預測分佈海拔，表示預測模型中的生物形態維度是與海拔分布是有關係的，因此可以透過分析這個客觀找

出來的特徵向量，來了解生物形態特徵與特定環境或生物因子的關係。過去對於魚類的形態僅能取少量的特徵進行分析，因此藉由深度學習的運用，我們能以可重複性的方法抽取大量的特徵資訊，打破人工蒐集資料所造成的研究限制。此方法可以著重於環境因子與形態多樣性之間的關係探討形態適應中的非隨機過程。因此我們預計的研究目標如下：

- (一) 分析不同溪段之鮭魚族群的繁殖棲地，有助於後續復育放流選址等之參考。
- (二) 探究不同溪段鮭魚族群之溫度適應性與繁殖表現。
- (三) 探究不同溪段之鮭魚族群是否因棲息環境變化，而有形態及體色上之分化。

第三章、 前人研究

臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 是一種陸封型鮭魚，只存在於臺灣的大甲溪上游，也是緯度最低的鮭魚種群 (Oshima 1936)。自 20 世紀 70 年代以來，由於農業用地開發、狩獵和攔砂壩造成的棲息地破碎，臺灣櫻花鉤吻鮭的數量急劇下降 (Lin *et al.* 2004)。原本廣泛分佈在大甲溪的上游及五大支流流域，在臺灣七家灣溪的 5 公里長的路段，只剩下 200 隻個體 (Lin & Chang 1989)。因此，臺灣政府在 1989 年和世界自然保護聯盟在 1996 年將臺灣櫻花鉤吻鮭列為瀕危物種，七家灣溪在 1997 年被指定為野生動物保護區。在政府、研究人員和保育學者者的努力下，鮭魚的數量已經增加到上萬尾 (2020 年野外族群估計超過 1.2 萬尾)。此外，許多研究調查了臺灣櫻花鉤吻鮭的繁殖生物學 (Tsao *et al.* 1998) 以及族群數量與環境的關係 (Chiu *et al.* 2021)。然而，目前還沒有對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的生殖生態學進行野外的系統研究。

在此，我們應用生態位超體積（the niche hypervolume method）的概念和分析（Blonder *et al.* 2014; Blonder *et al.* 2018）來量化臺灣櫻花鉤吻鮭在非繁殖期（族群密度）和繁殖期（包括繁殖巢位）和發眼卵胚胎孵化率的生態位空間。我們的前期實驗測試了環境瓶頸假說（Dahlke *et al.* 2020），該假說指出，生物在繁殖期間對環境的要求通常高於其他生活史階段，因此，它預測生殖和/或胚胎階段的生態位超體積將小於非產卵個體。我們希望透過量化不同生活史階段的生態位空間來檢驗環境瓶頸假說，以了解影響這一瀕危物種的最關鍵環境因子。

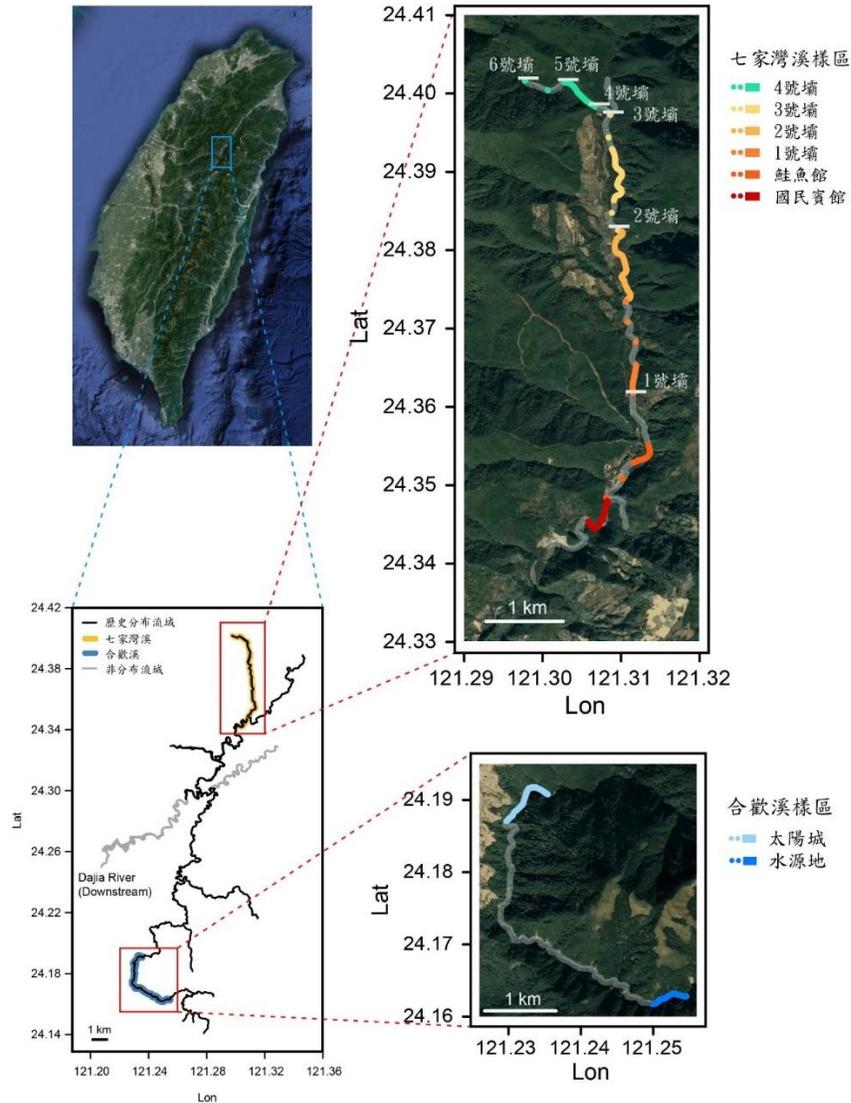
我們利用雪霸國家公園 2021 年與 2022 年的鮭魚族群資料及初步測量的微棲地資料，用生態位超體積法來量化對臺灣櫻花鉤吻鮭魚生存和繁殖最重要的環境因子的生態位空間（niche space）的大小。在初步結果發現胚胎發育所需的生態環境比起築巢環境與鮭魚生存嚴格許多。鮭魚胚胎發育的生態位超體積遠小於鮭魚所選擇的巢位生態超體積。生態超體積越大代表生物在特定生活史階段能利用的生態位越廣，代表在實際的生存空間越大，反之則越小。初步研究結果支持環境瓶頸假說，因為胚胎存活的生態位超體積是最小的，因此表明對臺灣櫻花鉤吻鮭成功繁殖的環境要求最高。換句話說，儘管水質對臺灣櫻花鉤吻鮭魚成魚的相對族群密度沒有明顯的影響，但水質對它們的繁殖地選擇和胚胎存活有很大影響。此外，我們利用 Whitlock Vibert Box 孵化盒對胚胎存活率的初步實驗結果也發現，在高水位時期，水質污染對胚胎存活率的影響更可以忽略不計。但是相反的，在低水位時期，水污染對胚胎存活有非常明顯的負面影響。因此，從保護的角度來看，管理部門可以利用我們的研究結果，重點改善繁殖季節的水質（特別是在鮭魚胚胎發育

的 11 月至 12 月），如減少繁殖季節允許的過夜遊客數量，以提高武陵地區對臺灣櫻花鉤吻鮭的繁殖成功率。

隨著生態位超體積分析方法的進步，我們現在有了一個更好的工具來分析處於不同生活史階段的瀕危物種的生態位超體積的大小。在使用超體積的概念來量化生態位空間後，我們還可以應用生態位空間（抽象的環境因子）和生物環境 biotope（實際的物理環境）的概念來量化瀕危物種在關鍵生活史階段的合適棲息地的可用性（Colwell & Rangel 2009）。以前的研究已經使用物種分佈模型來量化繁殖和非繁殖族群之間的環境要求差異（Ficetola *et al.* 2009）。然而，使用超體積方法最重要的優勢是，生態位空間的大小--對生物體至關重要的環境因子--可以在不同生命史階段進行比較（Carvalho & Cardoso 2020）。因此，我們可以清楚地確定影響鮭魚族群脆弱性的最關鍵生命史階段（發眼卵胚胎存活）的環境瓶頸。這將使我們能夠根據確定的重要生態位維度，如河流流速和 pH 值，進一步量化適合一個重點物種的生物環境（實際棲息地）的大小。因此，我們的生態位維度初步分析回應了以前對發展物種分佈模型機制的呼籲（Pulliam 2000; Kearney & Porter 2009; Peterson *et al.* 2011）。也就是呼應上述文獻所倡導的，對於根據重要的生態位維度在不同生活史階段的量化，如流速、pH 值與水中導電度等因子，我們對於以往傳統的物種分布模型機制有更近一度的解釋能力與預測能力。最終，我們認為，特別是對於瀕危物種，我們不僅需要了解影響存在/不存在或族群規模的環境因子，還需要了解影響野外關鍵生活史階段的行為和生理機制，以充分了解影響動物分佈的機制，並開展有效的保護計劃。

第四章、 研究地區

本計畫的研究區域主要為七家灣溪與合歡溪流域。在計畫第一年執行時於兩個流域共選擇 8 個樣線，其中有 52 個樣點來進行水溫水質的量測。在鮭魚繁殖表現的實驗進行中，同時在兩個流域配合自然巢位隨機各挑選不同網格點作為對照組，收集進行微棲地的環境因子資料。



圖一：樣區相對位置圖

(資料來源：Google map，本計畫)

第五章、 研究方法

一、 繁殖棲息地全景影像的拍攝

在 2022 年臺灣櫻花鉤吻鮭繁殖季（十月初至十一月底）時，研究人員沿著樣區尋找自然巢位並觀察臺灣櫻花鉤吻鮭的野外繁殖行為，以 5-6 天一次的頻率巡查調查路線。由於雌魚選定巢位後會使用尾巴搗沙挖掘河床，並將卵產於礫石間的縫隙，雄魚則是在旁打鬥或是求偶，等待雌魚產卵的瞬間同時將精子噴射於卵子上（Soulsby *et al.* 2001），因此我們主要透過觀察親魚行為判斷巢位，且被雌魚搗沙過的底質會比周圍乾淨，所以經由青苔的附著程度也可辨識巢位（圖二）。河道的周遭環境特徵和確切的位置，則是盡可能於天氣晴朗時上午 10 點至下午 2 點間（光線最穩定時段），使用全景相機（Insta360 Pro 2，圖三）攝影紀錄。將全景相機固定於背架上，研究人員背上背架後之相機高度約離地 2m，背著背架溯溪，沿途拍攝全景照，同時記錄巢位。拍攝之照片與巢位出現紀錄，可使用深度學習量化資訊進行分析預測鮭魚可能產卵的河道區段。



圖二：臺灣櫻花鉤吻鮭自然巢位判讀

透過青苔的附著程度，可以目視辨識雌魚搗巢後的位置，巢位底質的顏色明顯較淺（紅圈處）。（資料來源：本計畫）



圖三：Insta360 Pro 2 全景相機與腳架實際使用狀況
（資料來源：本計畫）

二、 運用深度學習預測可能產卵的河道區段

本研究除了收集記錄了不同河道區段的水質、水溫、水深等量測資訊，也使用全景攝影記錄河道的周遭環境特徵。過去這類特徵僅能使用較主觀的描述定義，例如特定的點位是否有不同大小的岩石、坑洞、樹林或山壁遮蔭等資訊；我們現在可使用深度學習模型量化原本非結構化的環境影像視覺特徵。綜合量測資訊、視覺特徵甚至空拍或衛星資料圖層等不同時空尺度的資料，可試著訓練深度學習模型來預測特定河道區段是否適合鮭魚產卵。

研究團隊發展的深度學習方法主要包含特徵抽取與巢位預測兩步驟。首先利用語意分割模型 SAM，通過自監督學習與大量資料訓練，從 2375 張全景影像中提取出有效特徵。接著，以微幅修改後的 ResNet50 作為巢位預測模型的基礎，移除模型最前段並改變輸出層，且在階段間加入 Dropout Layer 以防止過擬合。最後，以 AdamW 進行模型學習與參數調整，初始學習率設為 0.0001。實際操作細節與流程圖請參考成果。

三、 運用深度學習分辨不同族群的鮭魚

我們在七家灣溪、合歡溪與羅葉尾溪（屬於有勝溪的源流，為較小條的溪流，為了在深度學習裡增加野外不同環境族群的資料，而前往此樣點）使用毛鉤釣法隨機採集臺灣櫻花鉤吻鮭，西式毛鉤釣法所使用的毛鉤為利用獸毛，鳥羽材料所綁製模擬水生昆蟲的西式毛鉤。毛鉤採用小型全長 0.5~0.7 公分的樣式，無倒鉤設計以減低捕獲的意外傷害。乾式毛鉤釣法模擬剛羽化的水生昆蟲漂流河川水面，利用鮭鱒魚類喜好在上浮啄食（rise）的特性來釣獲魚隻。此魚類行為的著鉤角度與部位，多偏向鮭魚吻端前部尖端，血管分

佈少，造成魚隻受傷的機率較低，再加上無倒鈎的毛鈎使用在歐美日已廣泛建議推行。特別是在保育區垂釣的河段如美國黃石國家公園完全獲釋河段（catch and release only section），日本的日光國立公園的湯川。上鈎的魚隻利用隨身攜帶的矽膠製手抄網撈取，即刻放置在 30cm*15cm*6cm 長立方體的標準化壓克力容器中，於三分鐘之內完成拍攝並立即原地釋放。拍攝的壓克力水箱的內壁光滑與矽膠製的手抄網類似，能降低刮傷魚體的機率。

我們用標準硬幣（正圓形，固定大小，容易由機器自動辨識位置與圖中的相對像素大小）作為比例尺，亦外加一標準長度比例尺及一標準白平衡卡於水箱外一同拍攝，幫助校正形質與顏色，輔助鮭魚影像的分析。拍攝時需確保光線均勻，以利校正影像為標準化的魚側面照。由於樣本數小，因此對每個個體進行多次拍攝，以擴充訓練資料集的照片樣本數。過程中若有臺灣櫻花鈎吻鮭死傷，經主管機關同意後，將遺骸製成標本典藏於中央研究院生物多樣性研究博物館。

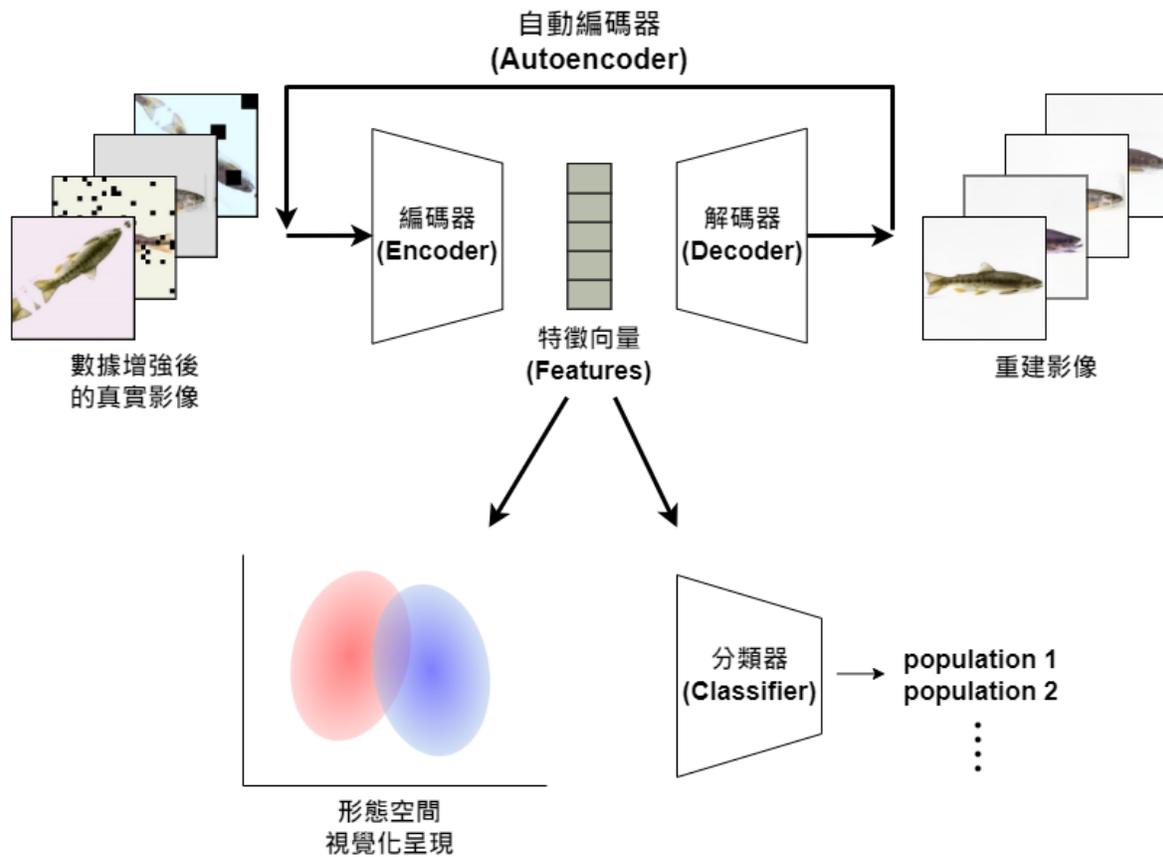
我們使用七家灣溪、合歡溪與羅葉尾溪拍攝的野外鮭魚族群的影像（圖四左），用以進行鮭魚形態分析。我們對影像進行以下標準化流程。首先，根據水箱外之白卡進行白平衡校正。接著我們將畫面裁切至接近魚體邊緣，並將影像旋轉至魚體大致呈水平的狀態，再裁切、填補與縮放為 256 像素 * 256 像素之正方形，做為模型訓練及特徵抽取用的標準影像（圖四右）。為提高深度學習模型的性能和泛化能力，訓練時會對影像進行隨機的影像增強（image augmentation），模擬環境光源、攝影條件帶來的差異，包括水平翻轉、RGB 亮度與對比調整、旋轉、平移，及影像遮蔽。

不同族群的鮭魚外觀上或有差異，就算人眼能辨別，也不易將差異量化，分析外觀與環境梯度間的關連。深度學習的模型可協助我們客觀量化鮭魚外觀，以數字代表形態。我們使用小樣本數表徵學習（few-shot representation learning）的方法，利用自監督的變分稀疏編碼模型（Variational Sparse Coding, VSC）（Tonolini *et al.* 2019）對影像進行資訊壓縮，並能以模型學到的基礎特徵重建影像，進而能夠按照研究需求篩選與調整不同維度的數值，畫出對應的鮭魚樣貌。我們對模型做 30000 個 epochs 的訓練（模型看過所有影像，抽取特徵，再畫出影像 30000 次），訓練完成後，便可對標準影像進行特徵抽取（feature extraction），對每張影像可得 512 維的特徵值，建構由魚類影像特徵構成的形態空間（morpho space），每張魚類個體影像則鑲嵌（embedding）於其中。以 512 維的特徵值做為邏輯回歸（logistic regression）分類器的預測因子，另將感興趣之環境屬性（如所屬溪流、是否為原生族群等因子）作為標籤，以 80% 的資料訓練，並以 20% 資料測試分類準確度，從而挖掘形態與族群或環境之間的關聯（圖五）。



圖四：原始拍攝個體影像與處理後標準影像

左側為原始影像，右側為經過白平衡與水平調整，裁切、旋轉、填充、縮放後的標準影像。(資料來源：本計畫)



圖五：模型訓練及分析流程圖

將數據增強後的影像輸入模型訓練，學習過程中模型會對影像抓取 512 維的特徵向量，再從特徵向量重建原本的影像。而後比對重建影像與真實影像的差異，不斷地重複修正與學習抓取的特徵，讓重建的影像盡可能接近真實影像。訓練完成後，編碼器可對標準化影像抽取 512 維量化特徵，進行後續的形態空間視覺化呈現，以及分析用的數據（例如形態分類）。（資料來源：本計畫）

四、 鮭魚巢位環境（水溫與水質）的測量

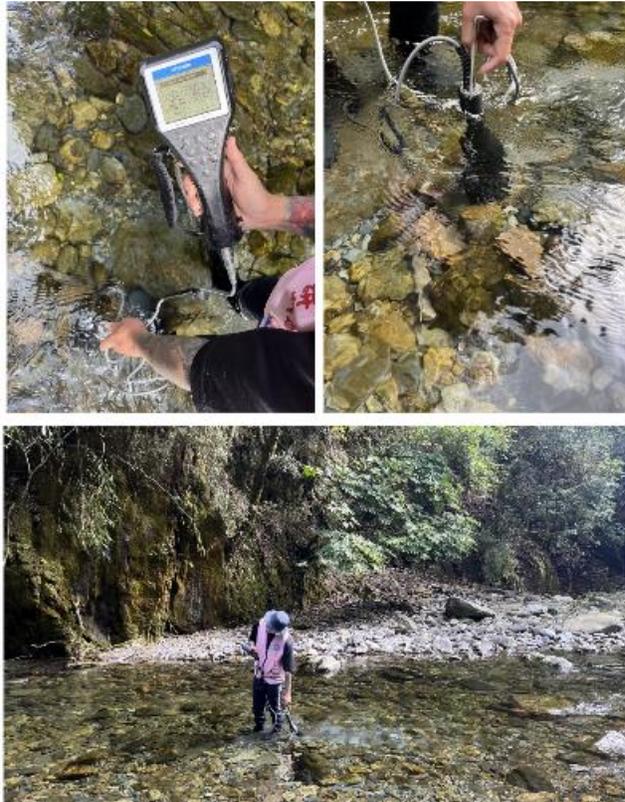
根據過去研究顯示 魚類可能會選擇具有兩個或更多變量組合最佳的棲地，最佳解釋武陵流域臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚相對出現率（relative occurrence）的參數為溶氧量、導電度、pH 值、水溫等物理化學參數，其次為底質組成，中級棲地（mesohabitat composition）、季節性影響和生物成分解釋的變化並不顯著（Hsu *et al.* 2010）。因此，我們專注於水溫、水深、流速、水質等微棲地因子對巢位選擇的影響。使用 iButton（水溫記錄器）監測水溫，將 iButton 裝於夾鏈袋內，再置於防水鋁殼，以鋼索與膨脹螺絲固定於大石頭上，最後將大石頭放置於河床即完成水溫監測裝置的架設（圖十一），根據 2021 年野外繁殖季之測試，此方法可以精準紀錄各個微棲息地的當地水溫，約 3-4 個星期輸出資料並檢查裝置狀態。使用扁平的石頭架設裝置可以有效耐洪，若遇颱風可提前回收 iButton，並於風雨過後再重新將其放回原本位置；我們在 2022、2023 年的臺灣櫻花鉤吻鮭繁殖季於七家灣溪與合歡溪分別設置監測裝置，測量 9 月下旬至 12 月下旬的水溫。水深使用 L 型鐵尺測量，分別測量巢位頂端、中間、尾部的值後取平均。流速使用流速儀（HYDRO-BIOS）於水表下十公分深測量，紀錄每 30 秒轉動的刻度值並換算成流速。水質測量使用包含 pH、溶氧、導電度，（圖八，使用 HORIBA U-50 多參數手持水質檢測儀）、硝酸鹽濃度（使用 Xylem pHotoFlex® STD 色度計）。

每個自然巢位會在觀察後測量一次流速以及水質。我們將河道空照圖分成多個網格，調查自然巢位後，配合自然巢位的數量（n=355）隨機於七家灣溪與合歡溪各溪段挑選網格，進行對照組（n=137）的水質與流速測量。



圖六：使用 HYDRO-BIOS 流速計測量流速

(資料來源：本計畫)



圖七：於溪段實地測量水質與流速

(資料來源：本計畫)

五、 鮭魚在不同支流水系的繁殖孵化盒實驗

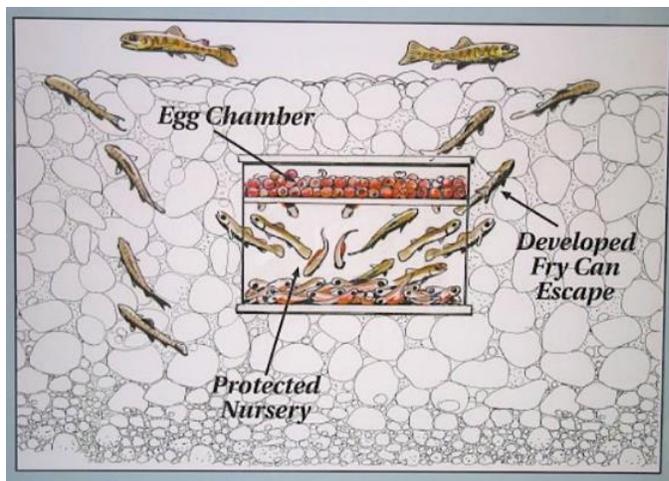
孵化盒（Whitlock Vibert box）為在野外測試魚類孵化率的方法之一。孵化盒為一種具有兩個隔間且四面皆有孔格可提供水流通過的孵化盒，上層隔間為孵化間，下層則為育苗間（圖八）。其使用方法為將鮭鱒類的發眼卵置入孵化間後，將整個盒子埋入河床，確保直立且不會照射到陽光，同時水流可以通過並提供氧氣，以模擬鮭魚挖掘出的自然巢位。當魚苗孵化後，會通過中間隔間下沉到育苗間，最終吸收完卵黃囊並透過側面孔格游出（錯誤！找不到參照來源。）。在孵化的過程中，孵化盒可以提供發眼卵與魚苗保護，免於受到掠食者的捕食（Whitlock 1977）。



圖八：孵化盒（Whitlock Vibert box）

具有孵化間（上層）與育苗間（下層），四面皆有可讓水流通過提供氧氣的孔格。（資料來源：本計畫）

我們於 2022 年 11 月 16 至 20 日間於七家灣溪 (n = 16) 與合歡溪 (n = 10) 選擇 26 個，2023 年 11 月 28 至 30 日間於七家灣溪 (n=2) 與合歡溪 (n = 4) 選擇 6 個，共 32 個樣點，每個樣點架設 3 個孵化盒作為重複，且每個孵化盒放入 25 顆 25 日齡的臺灣櫻花鉤吻鮭發眼卵，實驗共使用 2,400 個卵；另設置 30 分鐘紀錄一次水溫的 iButton。發眼卵由台灣臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心人工方式授精後協助提供。我們使用鏟子等工具在河床挖出隨機深度為 10-20 公分的坑洞，放入孵化盒後以礫石覆蓋，並確保盒子直立且不會照射到陽光而使卵受傷。於大約三週後，將孵化盒從河床中取出，並計算卵、死亡卵、仔鮭、死亡仔鮭的數量。於架設好孵化盒後（前期）以及取出孵化盒前（後期），分別測量一次孵化盒所在處 pH 值、溶氧量、導電度、流速、硝酸鹽濃度和溪水深度。蒐集完巢位紀錄、孵化率、棲地參數後，建立統計模型，測試哪些微棲地因子對臺灣櫻花鉤吻鮭的繁殖表現有顯著影響。



圖九：孵化盒使用原理

(資料來源：<https://www.flyfishersinternational.org>)

發眼卵於孵化間孵化後，仔鮭下沉到育苗間，待卵黃囊全部吸收後就從側面孔格上浮游出孵化盒（圖片來源：<https://www.flyfishersinternational.org>）。



圖十：設置孵化盒的過程

(資料來源：本計畫)



圖十一：水溫監測裝置

橘色防水鋁盒內裝有 iButton，以鋼索和膨脹螺絲固定於石頭上。(資料來源：本計畫)

第六章、 成果

一、 微棲地環境的調查與選址

依據合約書規定，2022 年期中報告（2022/5 月~8 月）應完成 2 次野外調查與選址工作。我們已於 6/19~6/21 日完成第一次野外調查，及於 7/24~7/25 日完成了第二次野外調查。

根據 2022 年計畫通過前初步的調查研究顯示最佳解釋七家灣溪流域臺灣櫻花鉤吻鮭卵孵化率的因子是溶氧量、電導度、pH 值、水溫。所以 2022 年 6 至 7 月間我們在七家灣溪與合歡溪流域進行水溫、流速、水中導電度，pH 值等微棲地因子的測試（表一）。

我們延續 2021 年前測相同的方法，在 2021 年秋季及 2022 年前期的初步測試結果發現溫度計的回收率良好，顯示溫度記錄裝置可以穩定於溪流中維持運作，不會流失；圖十二為每日平均水溫成果。

表一：沿溪流收集的水質環境因子

包含 pH 值，導電度 (Conductivity)，流速 (Velocity)，的平均測量值。

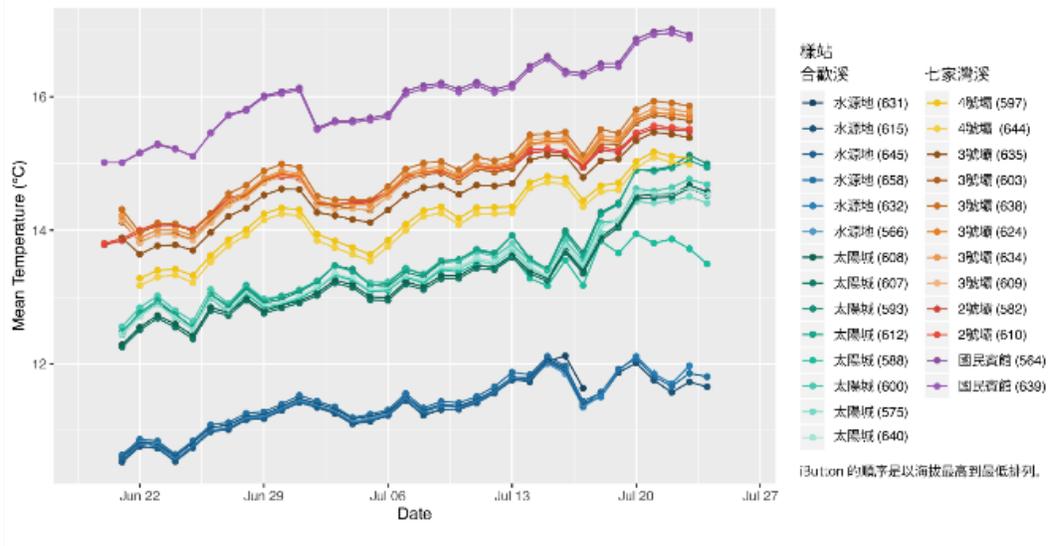
(資料來源：本計畫)

2022Jun-Jul	pH	Conductivity (ms/cm)	Velocity(m/s)
水源地(n=20)	8.06	0.08	0.2
太陽城(n=20)	8.61	0.16	0.49
四號壩(n=6)	8.22	0.12	0.53
七家灣溪(n=25)	7.99	0.16	0.60
國民賓館(n=6)	8.31	0.18	0.60

表二：七家灣溪各溪段 pH 值範圍比較

(資料來源：官文惠 2015, 2016)

	2015	2016	2022
四號壩	6.9 - 7.6	7.8 - 8.2	7.0 - 7.5
二號壩	7.3 - 7.6	7.6 - 8.2	7.9 - 8.1
一號壩	7.6 - 8.2	7.6 - 8.3	7.5 - 7.7
鮭魚館	7.2 - 8.0	7.7 - 8.4	8.0 - 8.1
國民賓館	7.6 - 8.3	8.1 - 8.4	8.2 - 8.3

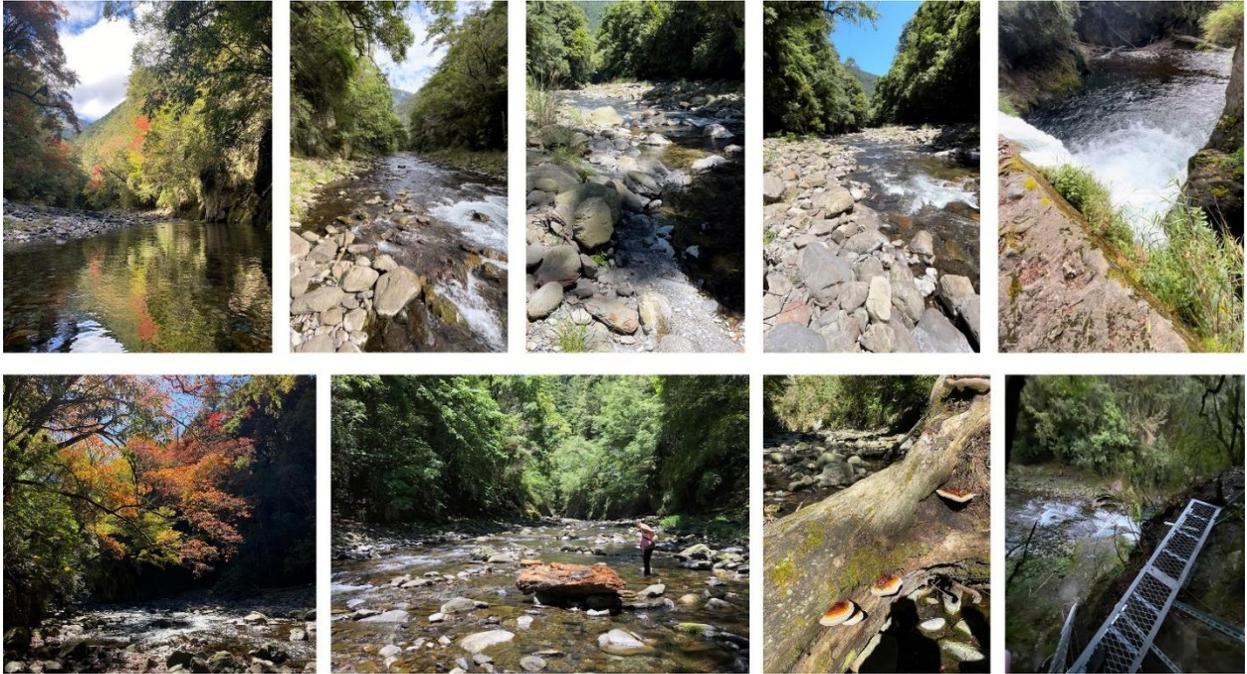


圖十二：沿著合歡溪以及七家灣河流域共 26 個測站所測量到的每日平均水溫 (資料來源：本計畫)

二、 調查河段選址與環境簡介

依據 2020 年雪霸國家公園調查資料，臺灣櫻花鉤吻鮭的數量在七家灣溪流流域與合歡溪流流域為最多，因此我們在這兩個流域共選擇 8 個樣線，16~26 個樣點來進行微棲地環境因子與鮭魚繁殖表現的實驗。我們同時也會在兩個流域隨機各挑選對照組 20 個網格點進行微棲地的環境因子測量。選擇的溪流河段環境分述如下：

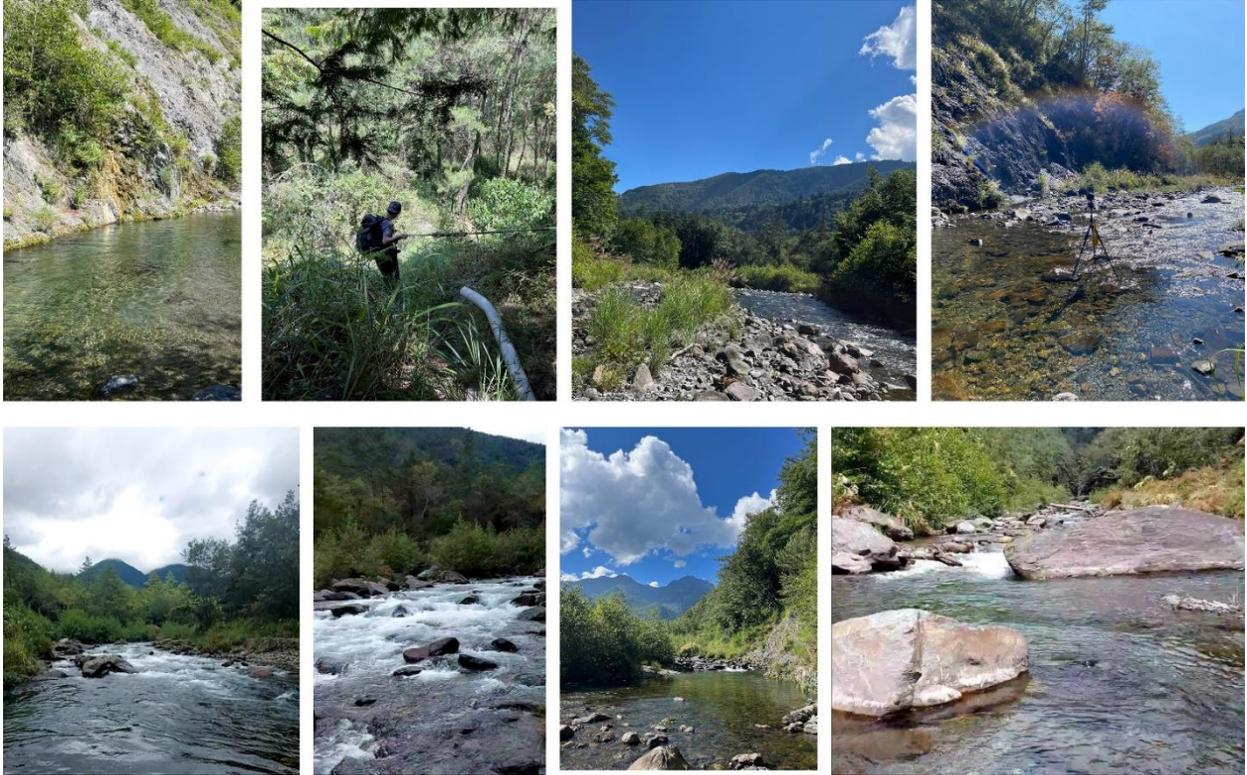
七灣溪流流域樣線有 6 個河段，分別是代表無污染的七家灣溪上游桃山西溪，輕度人為干擾的七家灣溪主流三號壩，二號壩，一號壩，鮭魚館以及中度干擾的七家灣溪下游國民賓館。在合歡溪流流域樣線有 2 個河段，分別是代表無人為活動的水源地以及中度人為農業活動的太陽城溪段 (表三)



圖十三：七家灣溪上游 四號壩上至五號壩

桃山西溪，樣線長度約 510 公尺，海拔 1900 公尺，無人為干擾。(資料來源：本計畫)

桃山西溪（圖十三）是七家灣溪的上游的主要支流。從武陵農場的四號壩往上游至五號壩之間的河段即屬於桃山西溪水量相對穩定的區域。桃山西溪與桃山北溪在武陵吊橋匯集之後注入七家灣溪。桃山西溪流域的原始森林覆蓋度高，鄰近地區皆為天然原始森林無人為及農業活動干擾，水溫較七家灣溪主流低，水質清澈，是臺灣櫻花鉤吻鮭良好的棲息環境。我們在這個桃山西溪河段選擇 2 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接臨道路系統較遠，全景相機設備運送難度高，只有部分河段有通訊，必須多加研究人力配合。



圖十四：七家灣溪主流 三號壩下

七家灣溪，樣線長度約 840 公尺，海拔 1830 公尺，輕度人為活動。(資料來源：本計畫)

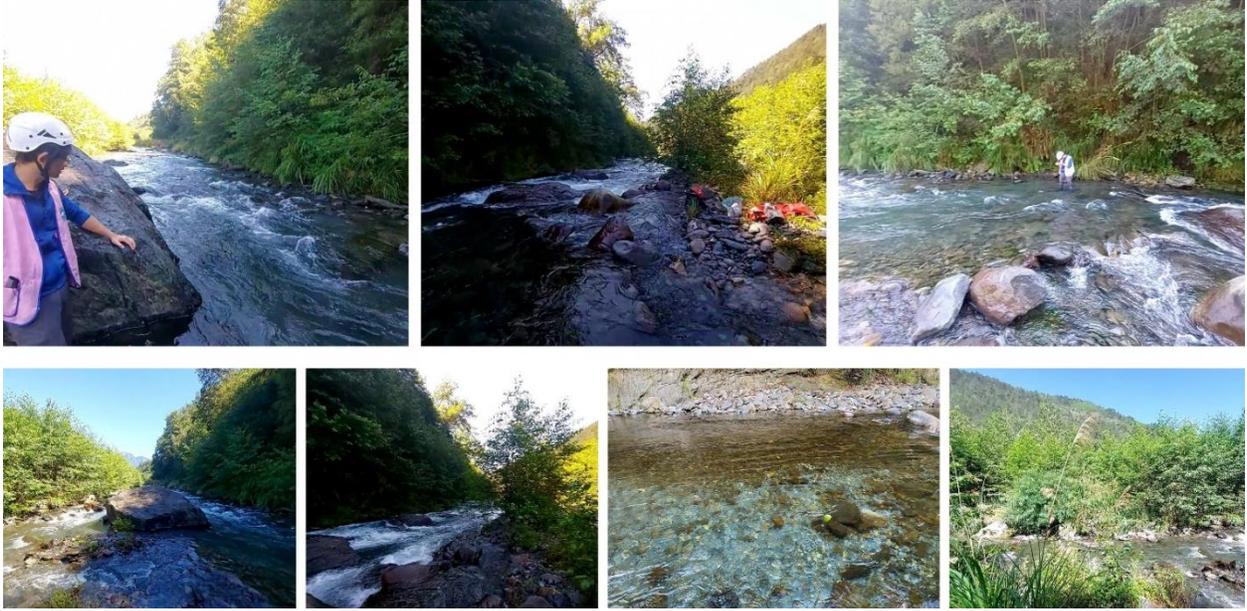
七家灣溪主流（圖十四）是從武陵吊橋及武陵山莊以下河段向下游延伸，經過三號壩往下至第二崩壁附近為七家灣溪主流上部谷地。三號壩沿岸的植被有多種原生森林，包括台灣二葉松林，台灣赤楊林，針闊葉混合森林，復育造林地及少數溫帶果樹農場所組成。主要的人為活動包括武陵農場步道，武陵山莊旅宿，以及少數果樹生產的活動所組成。七家灣溪的地景結構相對複雜，經過2021年的初步調查發現水質的變化會隨著人為活動而有變化。我們在這個河段選擇 2-3 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰武陵路，物資儀器運送方便，全段有電信通訊。



圖十五：七家灣溪主流 二號壩下

七家灣溪，樣線長度約 1200 公尺，海拔 1780 公尺，輕度人為活動。(資料來源：本計畫)

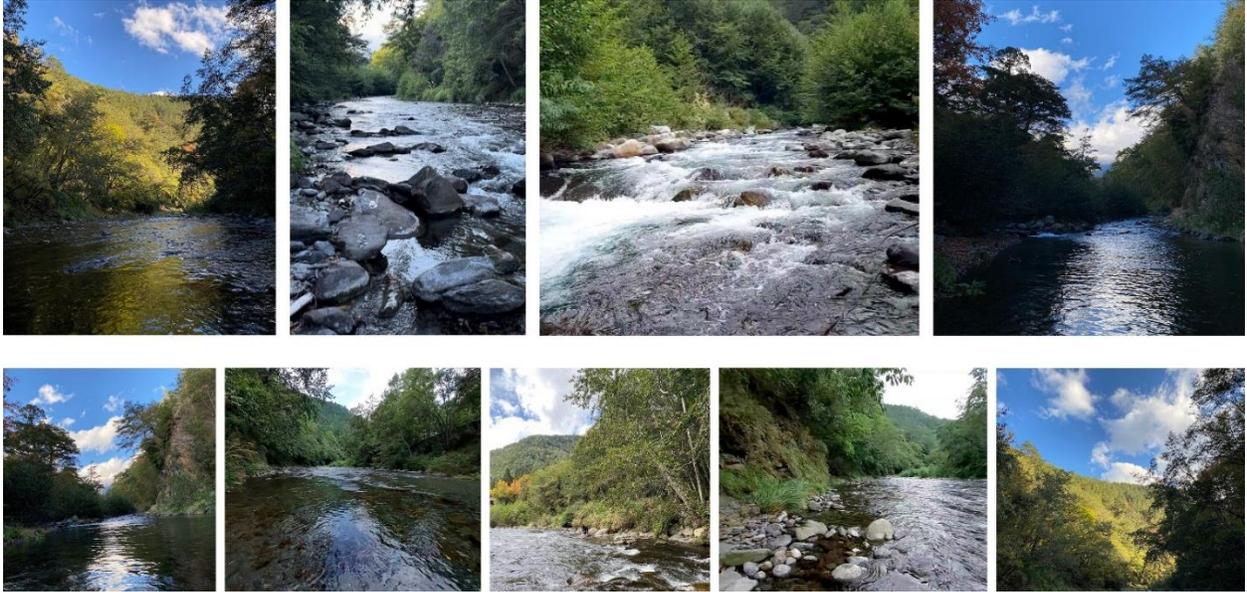
七家灣溪主流（圖十五）二號壩沿岸的植被有多種原生森林，包括台灣二葉松林，台灣赤楊林，針闊葉混合森林，復育造林地及少數溫帶果樹農場所組成。主要的人為活動包括武陵農場露營區，以及果樹生產的活動所組成。我們 2021 年的研究發現在七家灣溪上游的鮭魚發眼卵孵化率較高，中游的孵化率明顯較低，鮭魚發眼卵孵化的生態棲位明顯較小，可能是因為人為活動所造成的水質污染有關。我們在這個河段選擇 2-3 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰武陵路，物資儀器運送方便，全段有電信通訊。



圖十六：七家灣溪主流 一號壩上

七家灣溪，樣線長度約 290 公尺，海拔 1740 公尺，輕度人為活動(資料來源：本計畫)

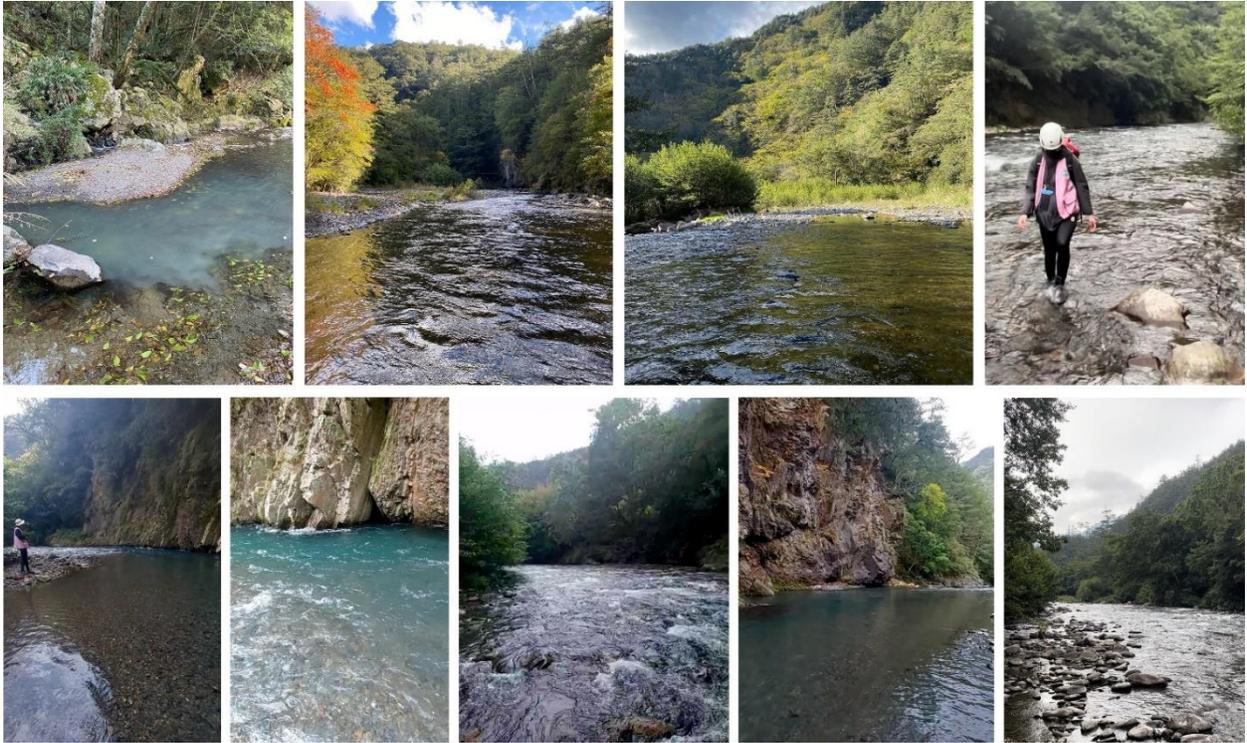
七家灣溪主流一號壩上溪段（圖十六）。此河段溪谷較為寬闊，沙洲多。七家灣溪主流沿岸的植被有多種原生森林，包括台灣二葉松林，台灣赤楊林，針闊葉混合森林，復育造林地及少數溫帶果樹農場所組成。我們在這個河段選擇 1 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰武陵路，物資儀器運送方便，全段有電信通訊。



圖十七：七家灣溪主流 鮭魚館下

七家灣溪，樣線長度約 430 公尺，海拔 1710 公尺，輕度人為活動，(資料來源：本計畫)

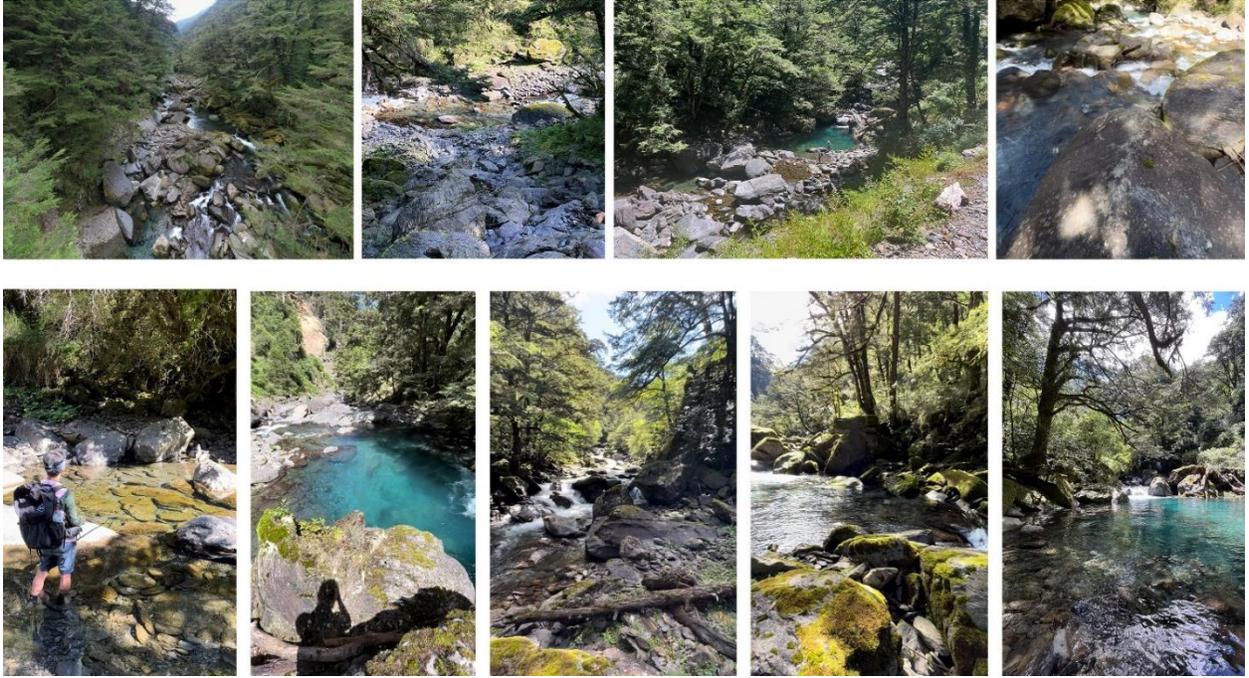
七家灣溪主流（圖十七）鮭魚館下（沿岸的植被有多種原生森林，包括台灣二葉松林，台灣赤楊林，針闊葉混合森林，復育造林地及少數溫帶果樹農場所組成。主要的人為活動包括武陵農場場本部，雪霸國家公園武陵遊客中心，以及造景公園的活動所組成。我們在這個河段選擇 2 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰武陵路，物資儀器運送方便，全段有電信通訊。



圖十八：七家灣溪下游國民賓館溪段

樣線長度約 580 公尺，海拔大約 1690 公尺，中度人為活動。(資料來源：本計畫)

七家灣溪與有勝溪支流在迎賓橋下（國民賓館）匯流變成伊卡丸溪（圖十八），周邊的森林及農業地景以台灣二葉松林，台灣赤楊林，針闊葉混合森林，溫帶果樹，以及高山蔬菜農場。人為活動與農業開墾的活動頻繁，有國民賓館旅宿及和平農場座落期間。這一河段水溫更高，水質更加受到人為干擾。此一區段的台灣鏟頰魚數量遠多於臺灣櫻花鉤吻鮭，已接近臺灣櫻花鉤吻鮭的分佈下界。我們在這個河段選擇 2 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段部分接鄰國民賓館，物資儀器運送方便，全段有電信通訊。



圖十九：合歡溪流域上游水源地溪段

樣線長度約 440 公尺，海拔 2600 公尺，無或少量人為活動。(資料來源：本計畫)

合歡溪（圖十九）海拔更高，流域的原始森林覆蓋度高，鄰近地區皆為天然原始森林無人為及農業活動干擾。水源地溪段屬高山溪流，坡度大，水溫較七家灣溪主流低（夏季平均水溫約為攝氏 11 度）（圖十九），水質清澈，溪流形態以階梯瀑潭為主，流速快，上下游鮭魚遷移的天然屏障多，適合產卵的淺水礫石河床少。我們在這個河段選擇 6-8 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰合歡溪步道，物資儀器運送需要四輪傳動汽車，道路系統在雨季的維護仍是一個不確定因素。我們目前還在尋求更具機動性的替代方案且多加研究人力配合。全段無電信通訊。



圖二十：合歡溪流域中游太陽城溪段

屬華岡農業區，樣線長度約 1100 公尺，海拔 2230 公尺，中重度人為農業活動。(資料來源：本計畫)

合歡溪流域中游太陽城溪段周邊的森林以針闊葉混合原始森林以及高山蔬菜農場為主，人為活動與農業開墾的活動頻繁。太陽城溪段右岸是原始針闊葉混合林，森林覆蓋度佳，左岸是華崗部落，高山蔬菜大面積高度開墾，所以導致本溪流段在夏季時藻類生長旺盛。此農業區夏季水量需求大，坡度較緩，農業所導致的水質污染影響大。河道坡降小，水流平緩，適合產卵的淺水礫石河床多。我們在這個河段選擇 6-8 個樣點來監測鮭魚的繁殖行為與繁殖表現。此河段接鄰高山蔬菜田間道路，物資儀器運送需要四輪傳動汽車，全段有電信通訊。(圖二十)。

三、 利用保育類野生動物許可

申請利用保育類野生動物資料與申請數量，由行政院農業委員會核准
(發文字號：農授林務字第 1111701591 號；編號:111 育利 052)

申請臺灣櫻花鉤吻鮭調查與採集：

1. 由雪霸國家公園管理處核准 (發文字號：營雪保字第 1110002834 號)
2. 由太魯閣國家公園管理處核准 (發文字號：太保字第 1110003283 號)
3. 由農業部核准 (發文字號：農授林業第 1121630872 號)

物種：臺灣櫻花鉤吻鮭，學名 (*Oncorhynchus masou formosanus*)

數量：

1. 鮭魚：401 尾

根據 2020 年雪霸國家公園提供的族群監測與放流報告，目前七家灣溪、桃山溪、高山溪、羅葉尾溪、有勝溪、樂山溪與合歡溪都有臺灣櫻花鉤吻鮭的分佈。七家灣溪為最主要的棲息地，共觀察到 6729 尾，而族群數量次多的即 4650 尾的合歡溪，其中主要分佈於華岡地區的水源地與太陽城溪段。我們在七家灣溪流域與合歡溪流域各捕捉拍照標記個體，共 401 尾，捕捉拍攝完原地放回，同時為確保臺灣櫻花鉤吻鮭安全，捕捉後拍攝與標記過程會在 3 分鐘內完成，盡可能減少臺灣櫻花鉤吻鮭損傷。且影響之臺灣櫻花鉤吻鮭數量均小於 2020 年該流域族群的 5% (七家灣溪流域 6729 尾*0.05 約等於 336 尾；合歡溪流域 4650 尾*0.05 約等於 233 尾)。

2. 發眼卵：2400 顆

鮭魚在不同支流水系的繁殖孵化實驗在七家灣溪與合歡溪挑選 32 個樣點 (每個樣點 150 顆卵)，使用孵化盒 (Whitlock Vibert box) 測試臺灣櫻花鉤

吻鮭的野外孵化率。共 2400 顆發眼卵（來源為雪霸國家公園管理處）。於三週後，計算卵、死亡卵、仔鮭、死亡仔鮭的數量之後，交還雪霸國家公園管理處。

實驗地區：

臺中市和平區雪霸國家公園轄區內七家灣流域與南投縣仁愛鄉太魯閣國家公園轄區內合歡流域。

四、 2022 年繁殖季前後棲地環境的調查

研究團隊於 2022 年 9 月 27 日開始於野外進行繁殖前棲地環境八條樣線（圖一）的調查，於 10 月至 11 月間進行了水質採樣分析與全景環境的攝影，在七家灣溪與合歡河流域進行水溫（圖二十一）、流速、水中導電度，溶氧，pH 值等微棲地因子的測試。於第一期報告評審中提到的溶氧量問題已經經過原廠代理協助校正機器，可提供正確的溶氧量數值（表五）。在初步結果中可看到人為活動大的區域如國民賓館與太陽城（合歡溪下）日溫差也較大，剛好與人為活動較多的區域重疊。溪水的平均水溫則與海拔分布有相同趨勢，高海拔地區水溫也較低。為了將與水質有關的量測數值視覺化，將原始資料標準化後進行主成分分析（principal component analysis, PCA），並取其中兩軸分別依照地點、巢位與河流分群繪製散佈圖。PCA 可以藉由找到數值空間中保留最大資料的變異數的特徵向量，使資料在降低維度後不會損失太多的資訊。並且能透過每個量測數值在軸上分配的權重與方向，得到量測數值在分群上的重要性。整合環境因子的分析其對鮭魚子代的影響在成果部分裡探討

表三：七家灣溪與合歡溪的各樣線，依海拔排列

樣線	海拔 (m)	長度 (m)	經緯度
合歡溪水源地	2600	440	24° 9'47.58"N 121°15'11.31"E
合歡溪太陽城	2230	1100	24°11'22.94"N 121°13'55.46"E
七家灣溪四號壩	1900	510	24°23'54.36"N 121°18'24.24"E
七家灣溪三號壩	1830	840	24°23'32.60"N 121°18'32.62"E
七家灣溪二號壩	1780	1200	24°22'56.56"N 121°18'36.81"E
七家灣溪一號壩	1740	290	24°21'44.26"N 121°18'40.89"E
七家灣溪鮭魚館	1710	430	24°21'19.10"N 121°18'47.80"E
七家灣溪國民賓館	1690	580	24°20'41.56"N 121°18'25.51"E

表四：沿七家灣溪與合歡溪測量之水溫

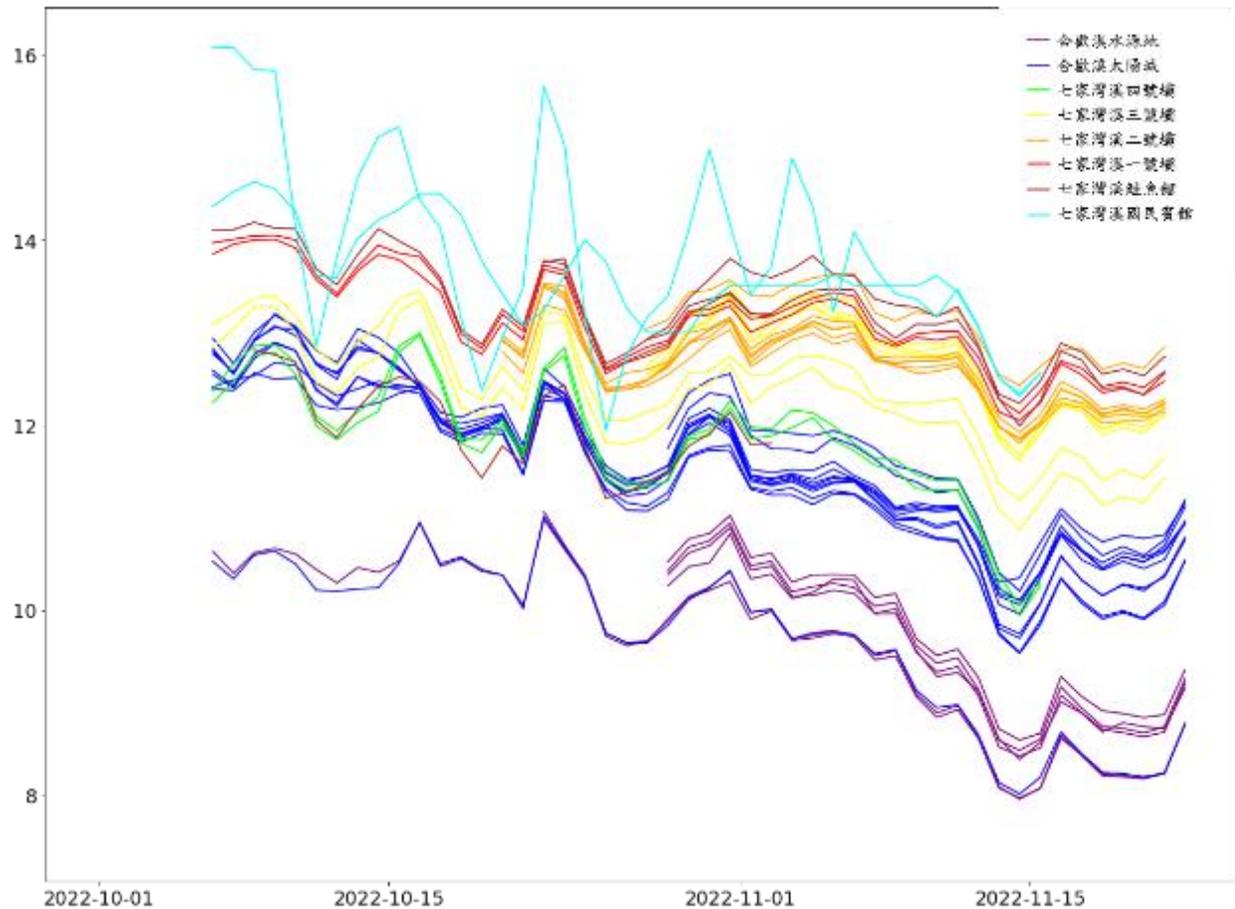
Tmax 每日最高溫，Tmin 每日最低溫，Tmean 每日平均水溫，DTR 代表每日平均溫度範圍（Daily Temperature Range）。（資料來源：本計畫）

	地點	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmean (°C)	DTR (°C)	
2021	合歡溪（上）	9.0	8.11	8.57	0.89	
	合歡溪（下）	11.98	9.61	10.39	2.37	
Oct- Dec	桃山西溪	11.06	10.25	10.63	0.81	
	七家灣溪	12.77	11.04	11.59	1.73	
	國民賓館	14.07	11.78	12.63	2.29	
2022	合歡溪（上）	12.3	10.44	11.35	1.86	
	合歡溪（下）	15.88	12.12	13.41	3.76	
	Jun- Jul	桃山西溪	15.66	13.34	14.18	2.32
		七家灣溪	16.78	13.68	14.76	3.1
	國民賓館	18.44	14.52	15.98	3.92	
2022	合歡溪（上）	10.42	9.20	9.71	1.23	
	合歡溪（下）	13.38	10.49	11.40	2.89	
	Oct- Nov	桃山西溪	13.85	11.99	12.63	1.87
		七家灣溪	14.24	12.46	13.09	1.78
	國民賓館	14.74	12.35	13.15	2.39	

表五：2022年沿溪流收集的水質環境因子

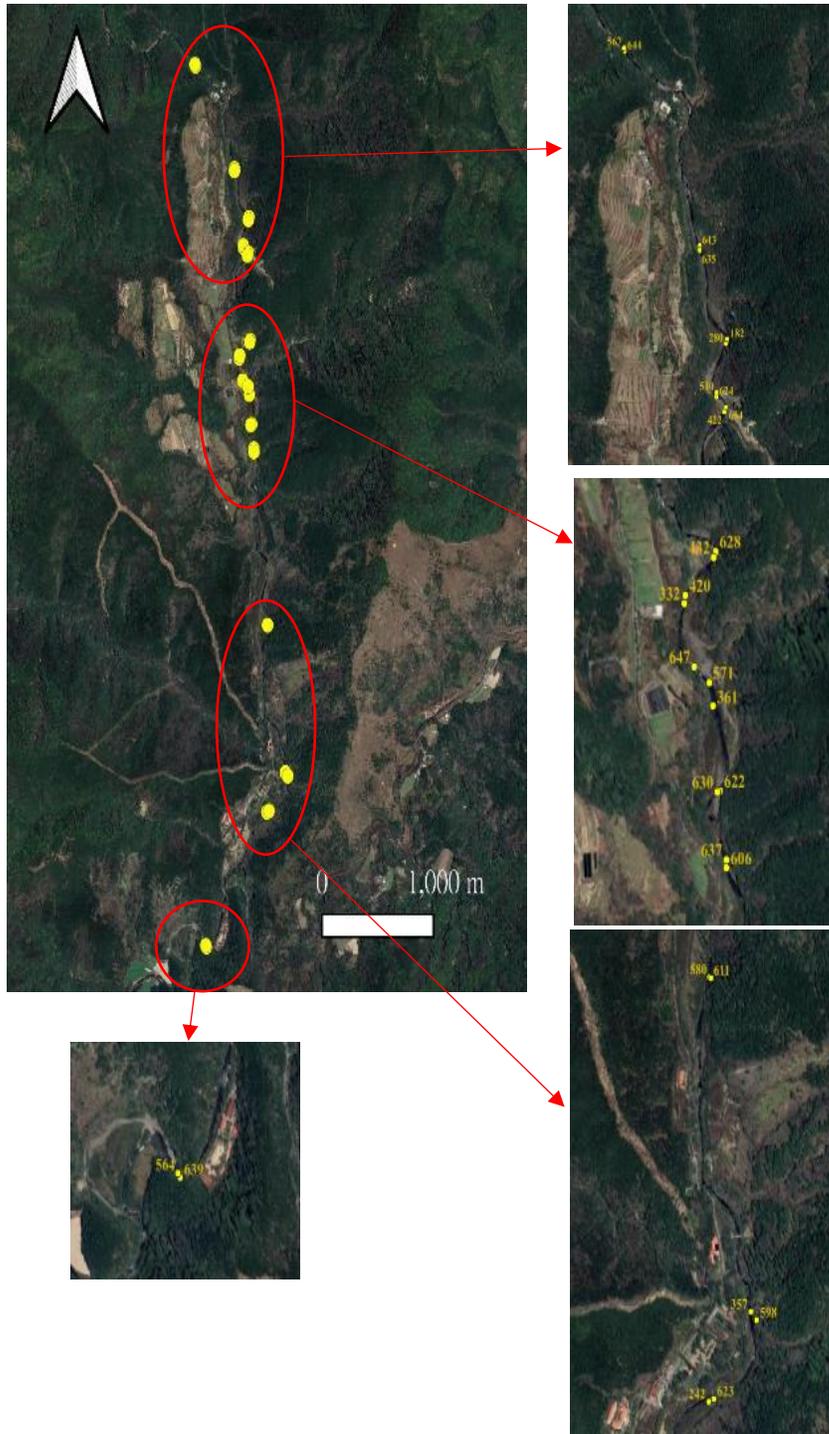
包含 pH 值，水中含氧量（DO, Dissolved Oxygen），導電度（Conductivity），流速（Velocity），水溫（Temperature）、硝酸鹽（Nitrate）濃度的平均測量值與標準差。(資料來源：本計畫)

樣線	pH	DO (mg/L)	Conductivity (mS/cm)	Velocity (m/s)	Temperature (°C)	Nitrate (ppm)
合歡溪 水源地 (n=30)	8.06±0.04	9.11±0.06	0.08±0.00	0.13±0.05	8.18±0.08	2.10±0.13
合歡溪 太陽城 (n=63)	8.33±0.01	9.07±0.08	0.11±0.00	0.25±0.03	12.12±0.05	3.98±0.08
七家灣溪 四號壩 (n=2)	8.37±0.04	10.37±0.53	0.12±0.00	0.25±0.22	11.94±0.03	2.03±0.07
七家灣溪 三號壩 (n=47)	8.38±0.01	9.10±0.09	0.16±0.00	0.36±0.05	13.12±0.08	2.36±0.13
七家灣溪 二號壩 (n=28)	8.26±0.02	9.08±0.12	0.18±0.00	0.42±0.07	13.61±0.08	1.97±0.10
七家灣溪 一號壩 (n=12)	8.27±0.07	9.11±0.12	0.19±0.00	0.74±0.17	14.62±0.07	2.47±0.08
七家灣溪 鮭魚館 (n=70)	8.43±0.02	9.21±0.05	0.18±0.00	0.44±0.05	13.72±0.10	1.85±0.10
七家灣溪 國民賓館 (n=10)	8.39±0.04	9.73±0.24	0.18±0.00	0.71±0.13	13.52±0.21	2.41±0.26



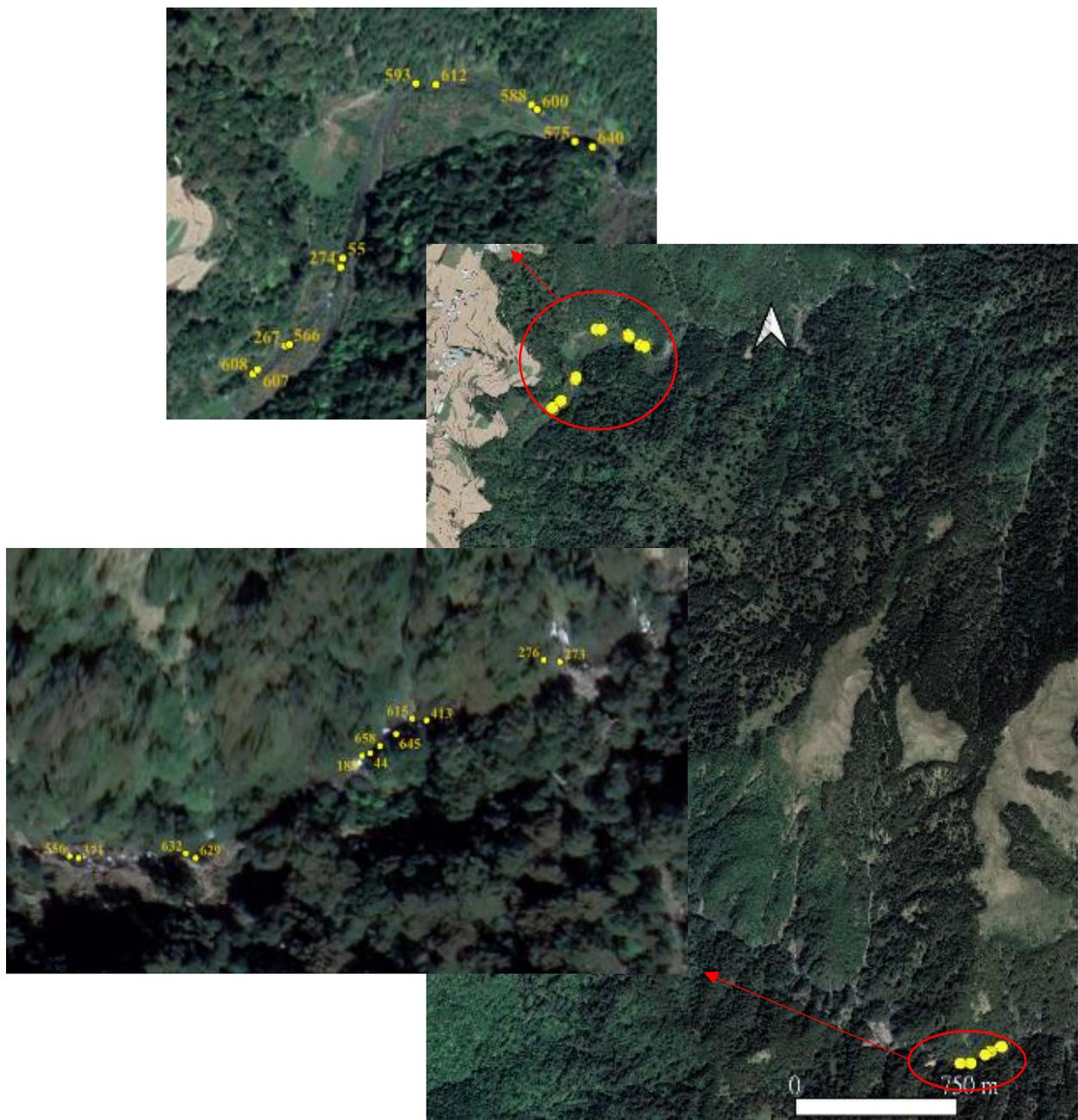
圖二十一：視覺化將八條樣線水溫以不同顏色分開表示

呈現 2022 年 10 月至 12 月初沿合歡溪以及七家灣河流域設置共 52 個測站所測量到的每日溪水水溫。橫軸為日期，縱軸為水溫。(資料來源：本計畫)



圖二十二：黃色點為在七家灣溪放置溫度計的地點

數字為溫度計編號。(資料來源：本計畫)



圖二十三：黃色點為在合歡溪放置溫度計的地點
 數字為溫度計編號。(資料來源：本計畫)

表六：各樣線溫度記錄器位置與海拔高度
(資料來源：本計畫)

樣線	紀錄器編號	緯度	經度	海拔 (m)
四號壩	644	24°23'57.76"N	121°18'19.60"E	1896
四號壩	567	24°23'58.18"N	121°18'19.43"E	1896
三號壩	643	24°23'34.86"N	121°18'32.01"E	1837
三號壩	635	24°23'34.33"N	121°18'32.00"E	1837
三號壩	182	24°23'23.87"N	121°18'36.65"E	1813
三號壩	280	24°23'23.34"N	121°18'36.41"E	1813
三號壩	624	24°23'17.13"N	121°18'34.83"E	1813
三號壩	510	24°23'17.61"N	121°18'34.86"E	1813
三號壩	634	24°23'15.92"N	121°18'36.44"E	1813
三號壩	422	24°23'15.37"N	121°18'36.16"E	1813
二號壩	628	24°22'56.39"N	121°18'37.06"E	1786
二號壩	432	24°22'55.96"N	121°18'36.84"E	1784
二號壩	332	24°22'52.33"N	121°18'33.52"E	1792
二號壩	420	24°22'52.95"N	121°18'33.67"E	1793
二號壩	361	24°22'44.16"N	121°18'36.77"E	1781
二號壩	571	24°22'46.02"N	121°18'36.30"E	1781
二號壩	622	24°22'37.51"N	121°18'37.51"E	1781
二號壩	630	24°22'37.38"N	121°18'37.18"E	1781

二號壩	637	24°22'32.07"N	121°18'38.21"E	1781
二號壩	606	24°22'31.37"N	121°18'38.22"E	1779
一號壩	580	24°21'52.60"N	121°18'42.45"E	1754
一號壩	611	24°21'52.50"N	121°18'42.57"E	1753
鮭魚館	357	24°21'19.50"N	121°18'48.20"E	1718
鮭魚館	598	24°21'18.70"N	121°18'49.00"E	1713
鮭魚館	242	24°21'10.60"N	121°18'42.30"E	1697
鮭魚館	623	24°21'10.90"N	121°18'43.00"E	1697
國民賓館	639	24°20'40.41"N	121°18'23.11"E	1690
國民賓館	564	24°20'40.78"N	121°18'22.86"E	1689
合歡溪水源地	276	24° 9'45.53"N	121°15'5.04"E	2601
合歡溪水源地	273	24° 9'45.50"N	121°15'5.27"E	2598
合歡溪水源地	413	24° 9'44.77"N	121°15'3.41"E	2583
合歡溪水源地	615	24° 9'44.80"N	121°15'3.21"E	2581
合歡溪水源地	645	24° 9'44.60"N	121°15'2.98"E	2581
合歡溪水源地	658	24° 9'44.46"N	121°15'2.76"E	2581
合歡溪水源地	44	24° 9'44.36"N	121°15'2.62"E	2581
合歡溪水源地	189	24° 9'44.33"N	121°15'2.51"E	2583
合歡溪水源地	632	24° 9'43.11"N	121°15'0.06"E	2578
合歡溪水源地	629	24° 9'43.06"N	121°15'0.19"E	2576

合歡溪水源地	371	24° 9'43.06"N	121°14'58.56"E	2580
合歡溪水源地	556	24° 9'43.08"N	121°14'58.43"E	2580
合歡溪太陽城	608	24°11'18.72"N	121°13'51.63"E	2225
合歡溪太陽城	607	24°11'18.91"N	121°13'51.85"E	2224
合歡溪太陽城	267	24°11'19.83"N	121°13'53.08"E	2220
合歡溪太陽城	566	24°11'19.91"N	121°13'53.26"E	2220
合歡溪太陽城	274	24°11'23.01"N	121°13'55.58"E	2217
合歡溪太陽城	55	24°11'23.37"N	121°13'55.70"E	2217
合歡溪太陽城	593	24°11'30.34"N	121°13'58.97"E	2215
合歡溪太陽城	612	24°11'30.33"N	121°13'59.86"E	2214
合歡溪太陽城	588	24°11'29.51"N	121°14'4.14"E	2212
合歡溪太陽城	600	24°11'29.29"N	121°14'4.40"E	2211
合歡溪太陽城	575	24°11'28.02"N	121°14'6.10"E	2210
合歡溪太陽城	640	24°11'27.81"N	121°14'6.92"E	2210

五、 2023 年第三期進行 2 次野外調查

研究團隊於 2023 年初在七家灣溪與合歡溪進行野外棲息地分析與鮭魚形態紀錄，比較七家灣溪與合歡溪鮭魚族群的棲地，最終合併 2022 年的資料來進行地區適應以及分佈限制因子的推估。

本計畫第 2 年前期（2023 年 1 月至 6 月）主要是進行非繁殖季的野外環境調查與樣線再確定、持續收集的全景影像資料。也持續搜集文獻，及彙整實驗數據。已完成初步實驗資料的整理。進行了野外實地全景照彙整的與鮭魚繁殖前期實驗樣區的設置。今年探勘後延續 2022 年的規畫於合歡溪流域與七家灣溪流域設置樣線共包含 52 個水溫樣點。在今年的兩次野外調查，紀錄繁殖前期溪床變動，實驗地植被形態與人為農作的干擾推估，同時持續進行鮭魚形態紀錄。

2023 年第一次野外調查（2023 年 1 月 30 日至 2 月 1 日）

工作內容包括：調整水溫測量設備，進行臺灣櫻花鉤吻鮭的影像拍攝，進行繁殖棲地兩岸植群的紀錄。



圖二十四：七家灣溪二號壩附近的溪流植群

台灣赤楊與台灣二葉松為主要組成樹種。(資料來源：本計畫)



圖二十五：七家灣溪與合歡溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭形態測量與拍攝(資料來源：本計畫)



圖二十六：七家灣溪上游的桃山西溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝
比例尺每格為 1cm。(資料來源：本計畫)



圖二十七：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝
，比例尺每格為 1cm。(資料來源：本計畫)



圖二十八：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝
，比例尺每格為 1cm。(資料來源：本計畫)



圖二十九：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的形態拍攝，比例尺每格為 1cm。(資料來源：本計畫)

2023 年第二次野外調查 (2023 年 5 月 20 日至 22 日)

工作內容包括：調整水溫測量設備，進行臺灣櫻花鉤吻鮭的影像拍攝，進行繁殖棲地兩岸植群的紀錄。



圖三十：合歡溪上游進行臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地植群拍攝

2023/5。研究人員右起為中央研究院沈聖峰研究員，鍾國芳研究員，劉彥廷博士後研究員(資料來源：本計畫)。



圖三十一：七家灣溪進行臺灣櫻花鉤吻鮭棲地植群拍攝

2023/5。台灣赤楊與台灣二葉松為主要組成樹種。(資料來源：本計畫)

六、 使用深度學習模型探索微棲地環境與臺灣櫻花鉤吻鮭巢位的關係

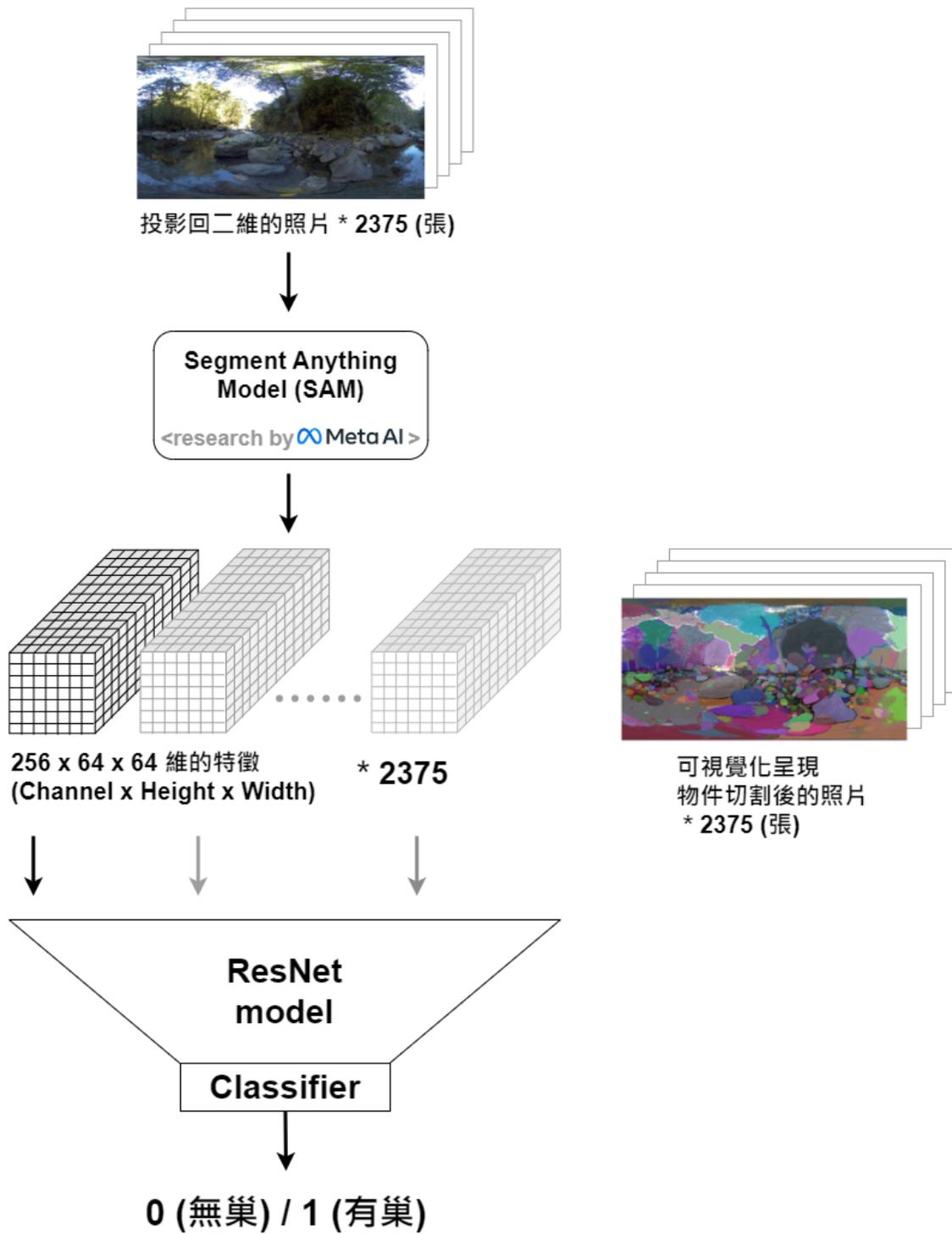
研究團隊於 2022 年在繁殖棲息地進行全景影像的紀錄，有效影像組數為 2375 張（包含七家灣溪 861 張、合歡溪太陽城段 230 張、合歡溪水源地 1284 張）（圖三十三、圖三十四），圖三十五至圖四十的照片為壓縮過後的簡單示意圖。調查到 355 個自然巢位（包含七家灣溪 123 巢，合歡溪-太陽城 104 巢及合歡溪-水源地 128 巢**錯誤! 找不到參照來源。錯誤! 找不到參照來源。**）。

為了讓機器學習全景影像與巢位的關係，使用的資料包括：在繁殖季於各溪流段取樣拍攝微棲地全景影像（2375 張）及其對應座標（WGS84 系統），與繁殖季臺灣櫻花鉤吻鮭巢位（355 巢）的 GPS 座標（WGS84 系統）。首先針對各巢位座標，找到距離最近的溪流微棲地全景影像，其中 99 張微棲地全景影像可找到對應巢位（因為許多地區巢位密集，所以一張照片可能對應多個巢位）。資料的 60% 用於訓練，其餘 40% 則用於驗證/測試。

此分析使用的深度學習流程，分為特徵抽取與巢位預測兩部分。特徵抽取部分以語意分割模型 Segment Anything Model (SAM) 為核心。這個模型訓練上使用自監督的影像自編碼器，搭配大量資料與少量的人工標記，讓模型可以學習到通用的影像表徵，能夠在極少樣本的訓練微調下（0-shot 或 few-shot）達到 state-of-the-art 的跨類別影像語意分割表現，非常適合用於樣本收集困難的生態學研究（圖三十二）。首先將 2375 組全景影像投影回二維的照片，接著將 2375 張二維照片餵給 SAM 的編碼器，生成 2375 個 256 x 64 x 64 (Channel x Height x Width) 維的特徵，這些特徵可以有效地將照片中的不同物件分辨出來並且切割開，而這些特徵將進一步餵給巢位預測模型，作為學習用的輸入資料。以 ResNet50 為核心，進行微幅修改，作為建立巢位預測模型的基礎（於圖三十二中以「ResNet」表示）。由於 ResNet50 模型的預

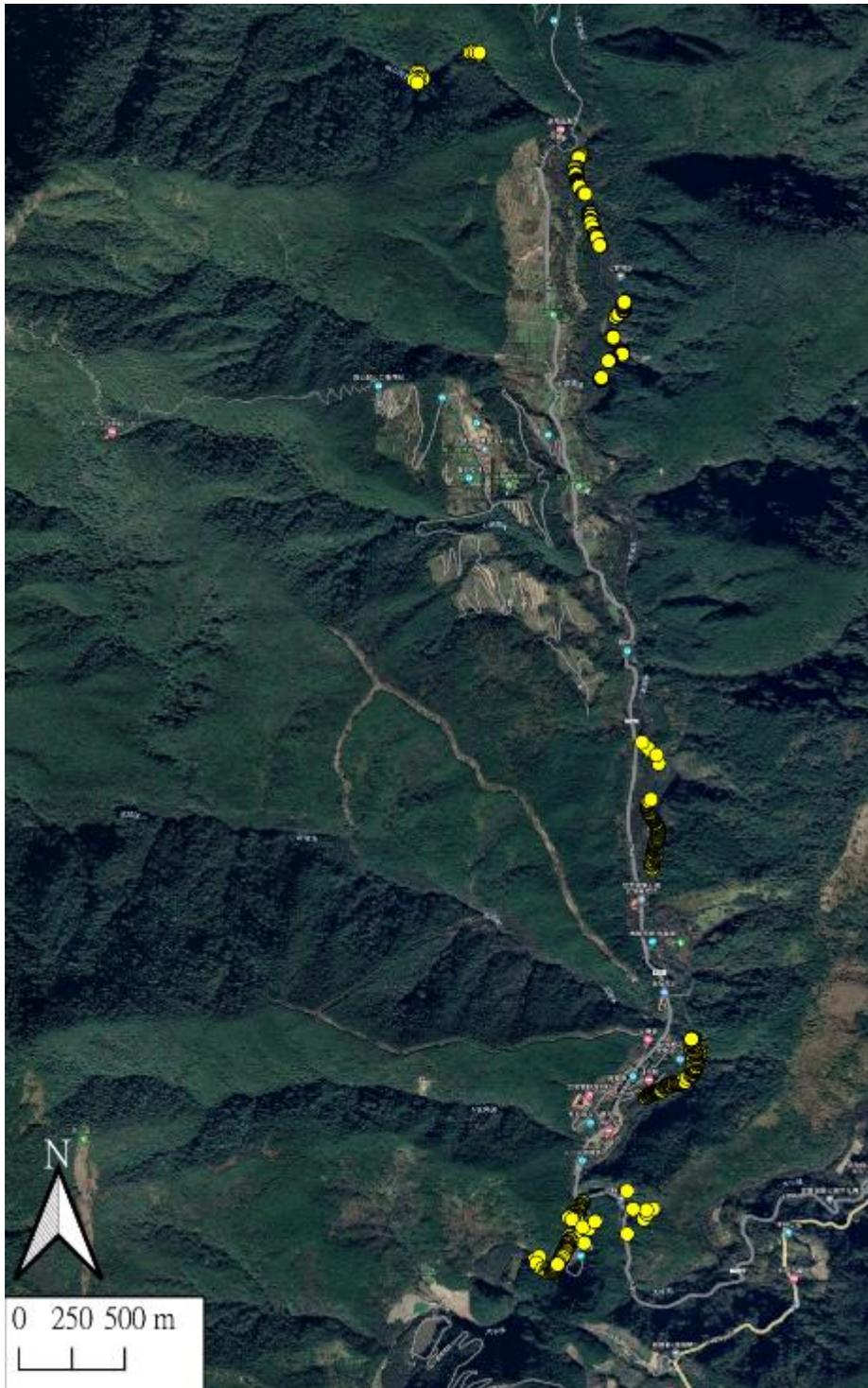
設輸入資料形狀維度是 $3 \times 224 \times 224$ ，而實際輸入的資料維度是 $256 \times 64 \times 64$ ，因此將 ResNet50 模型最前面的 Convolution Layer（卷積層）、Batch Normalization（批次標準化）、ReLU（線性整流）與 MaxPooling（最大池化）移除，讓資料直接接入預設輸入資料形狀維度為 $256 \times 64 \times 64$ 的 ResNet50 第一階段（stage 1），並將最後一層的全連階（Full Connection）輸出改為預測 0（沒巢）與 1（有巢）兩個類別。階段（stages）之間則會加入 Dropout Layer 來減緩模型的過擬合（overfitting）。模型學習與參數調整部分，採用 AdamW optimizer，指定初始學習率為 0.0001。

由於 2375 張微棲地全景影像中，僅有 99 張可找到對應巢位，其餘 2276 張皆無對應巢位，巢位樣本數過少造成模型訓練過度擬合之結果。模型僅需猜測所有影像均無巢位，即可達到 95% 的高準確率。這種情況下，模型並無真正學習到與巢位相關的特徵，而是選擇了一種簡單卻缺乏意義的預測策略。若要解決此問題，需先獲得更多可對應到巢位的微棲地全景影像。然而，每年繁殖季節的巢位數量有限，因此可能需要多年的時間與資源投入才能夠取得足夠的具有對應巢位的影像數據。

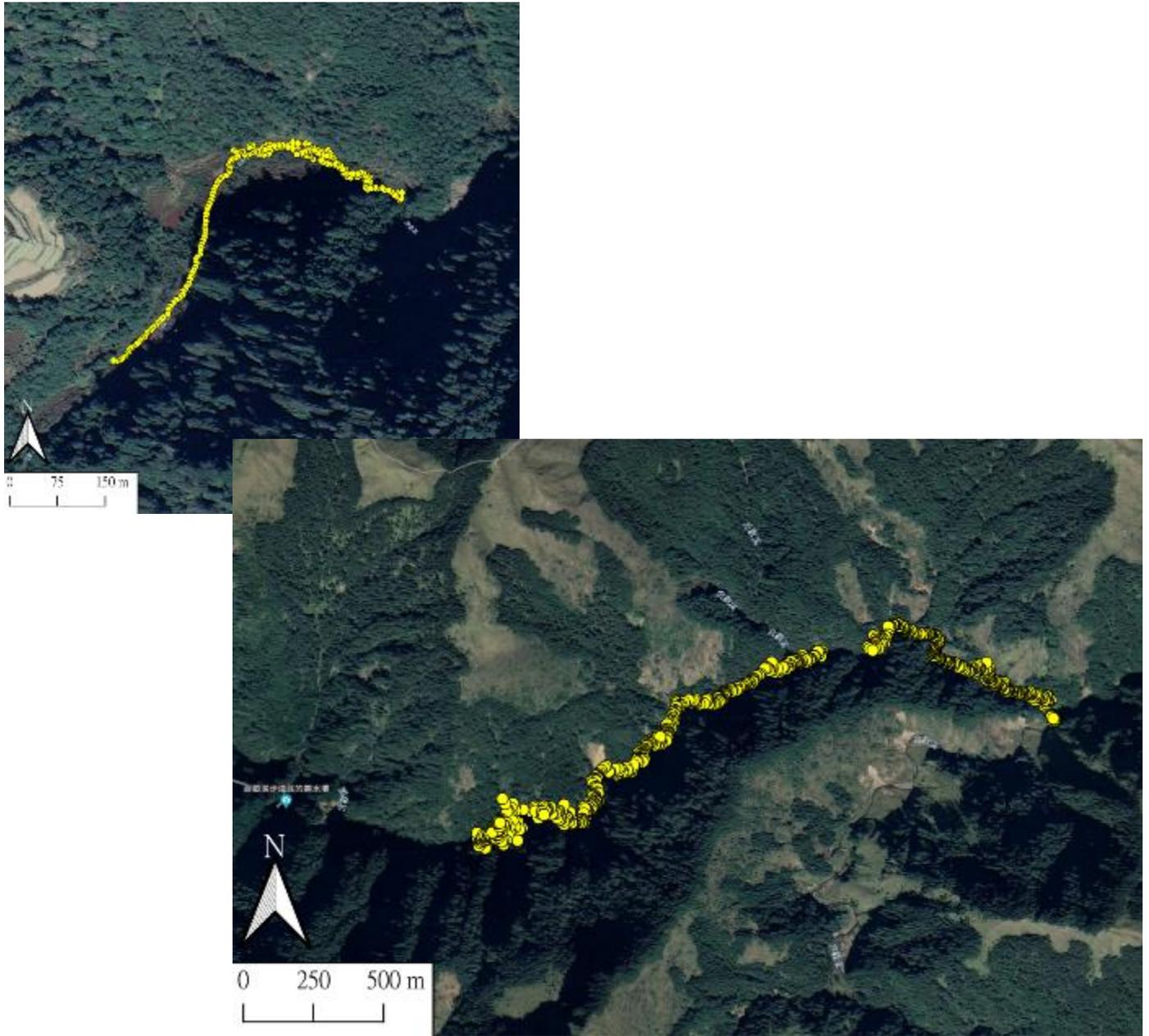


圖三十二：深度學習流程圖

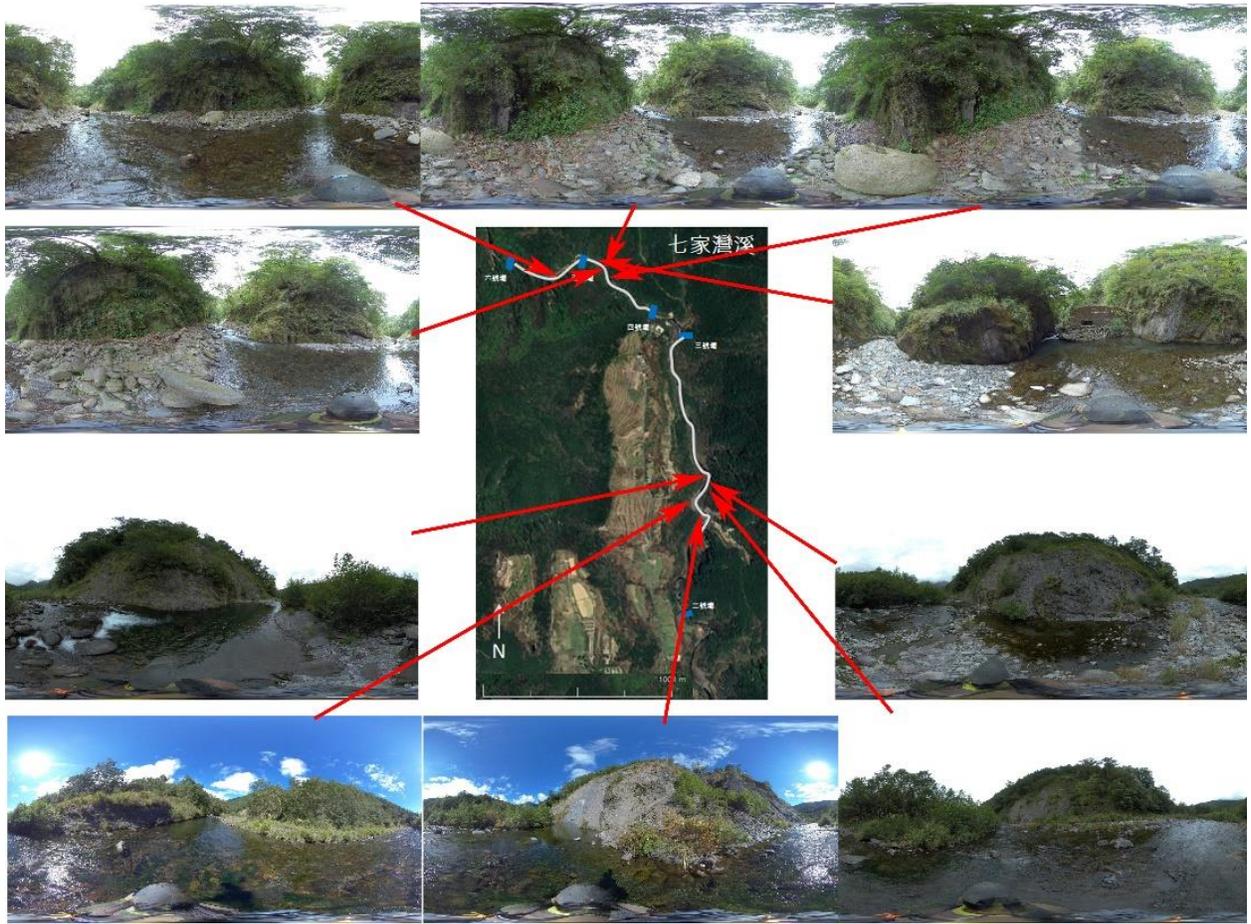
將全景影像投影回二維的照片取出特徵後分析。(資料來源：本計畫)



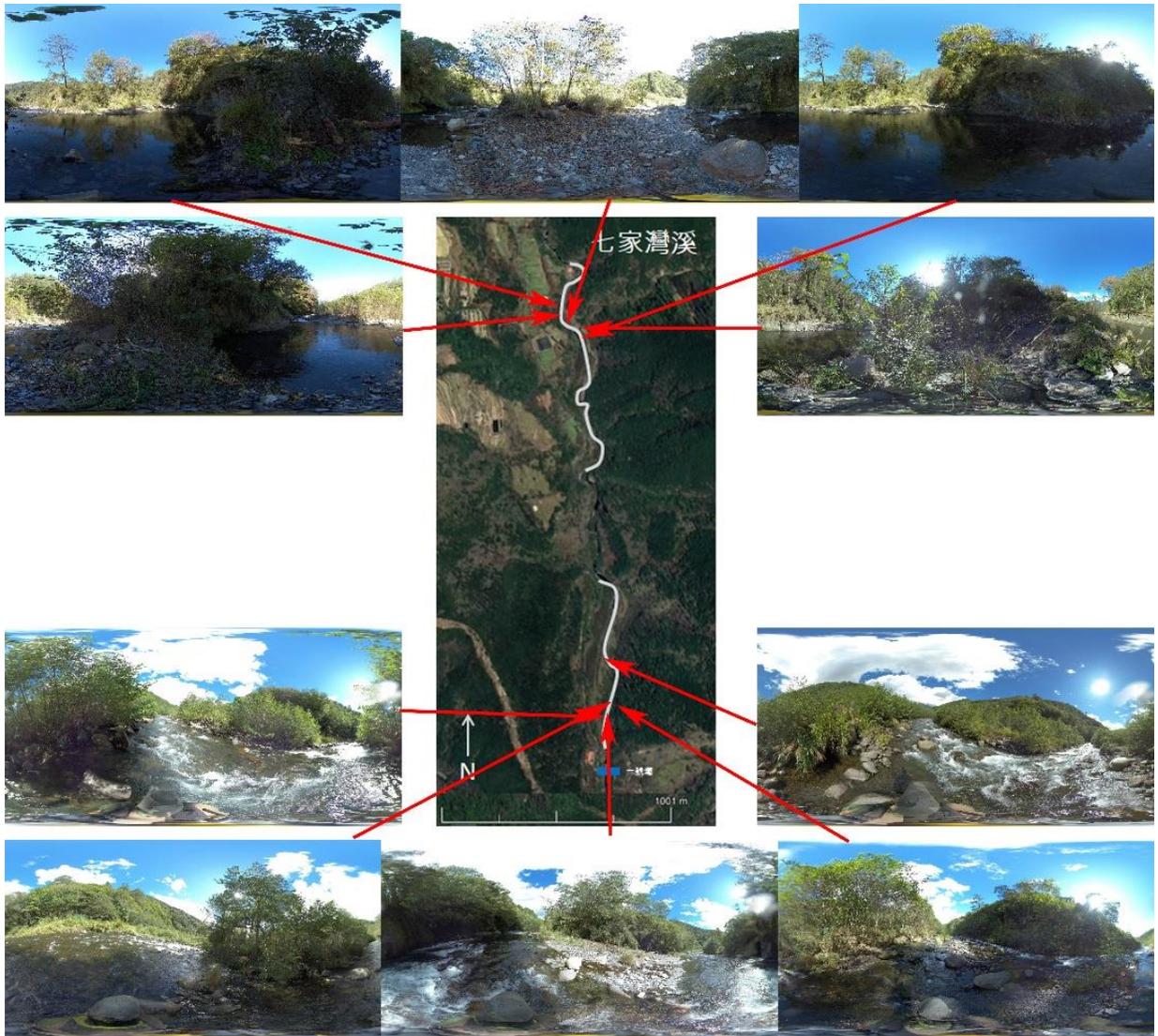
圖三十三：七家灣溪 2022 年收集各溪段 360° 相片與地理位置之關係
(每一張全景照片標註一黃色點，資料來源：本計畫)



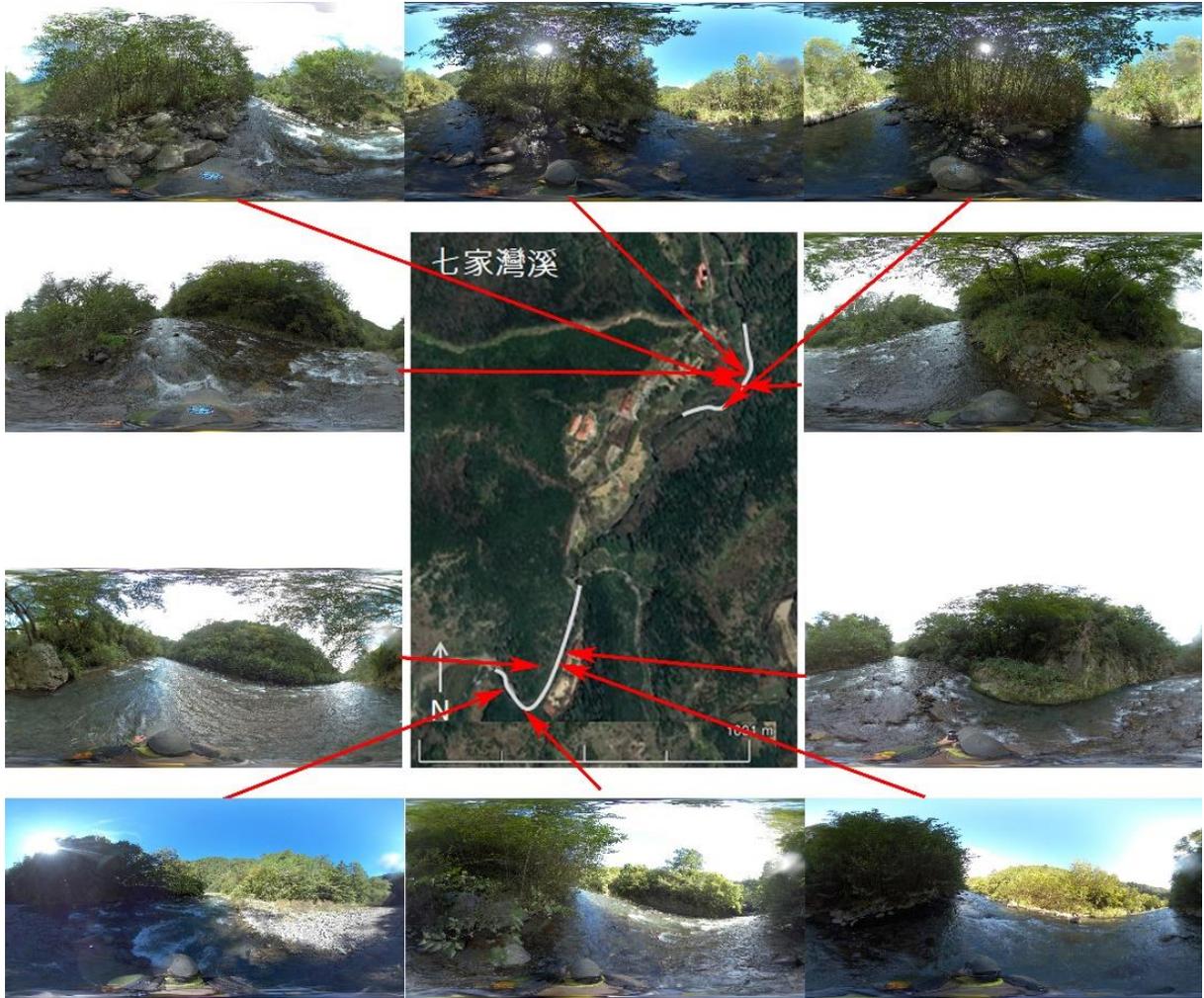
圖三十四：合歡溪 2022 年收集各溪段 360° 相片與地理位置之關係
(每一張全景照片標註一黃色點，資料來源：本計畫)



圖三十五：七家灣溪流域四號壩樣線與三號壩樣線的全景照
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)

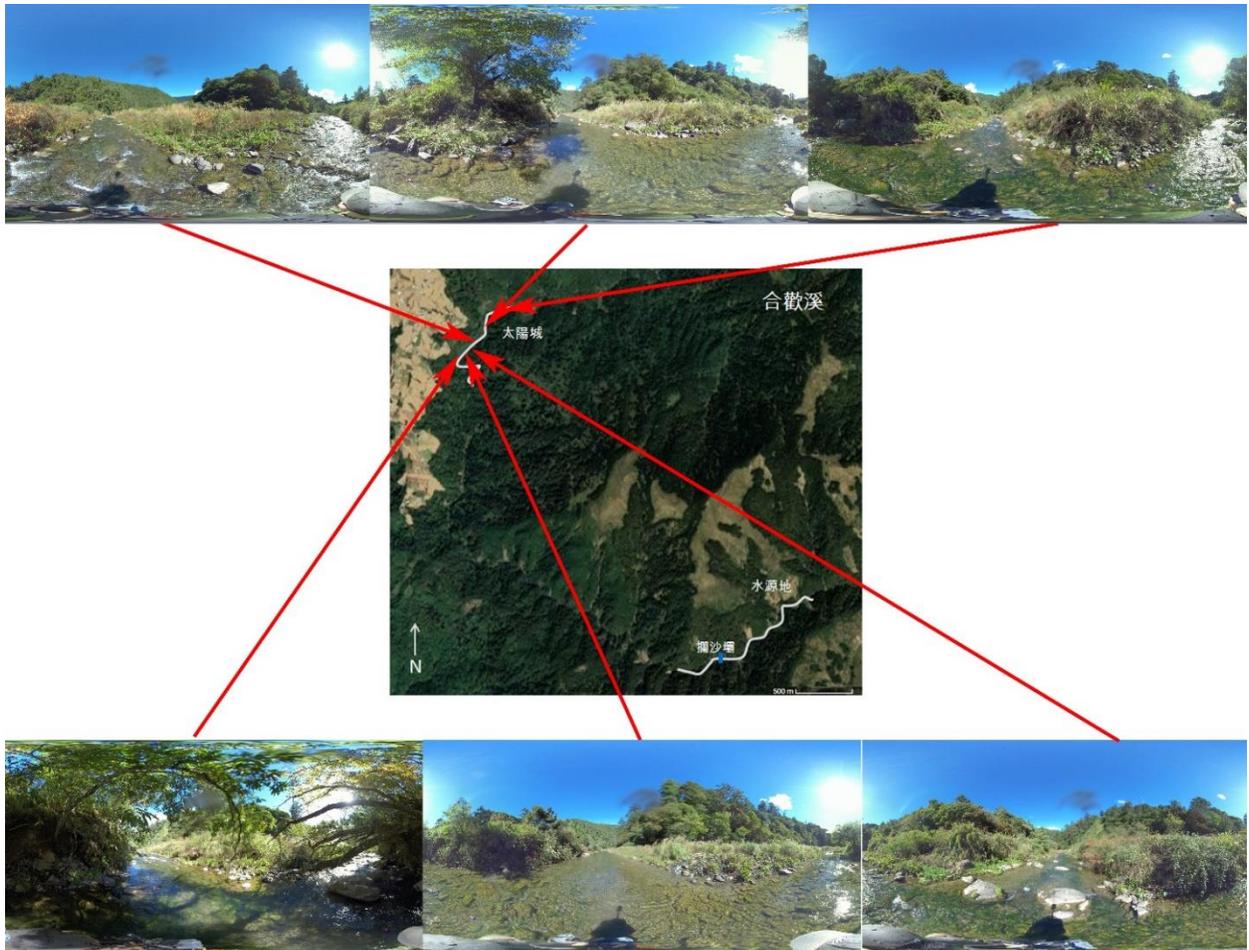


圖三十六：七家灣溪流域二號壩樣線與一號壩樣線的全景照
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)

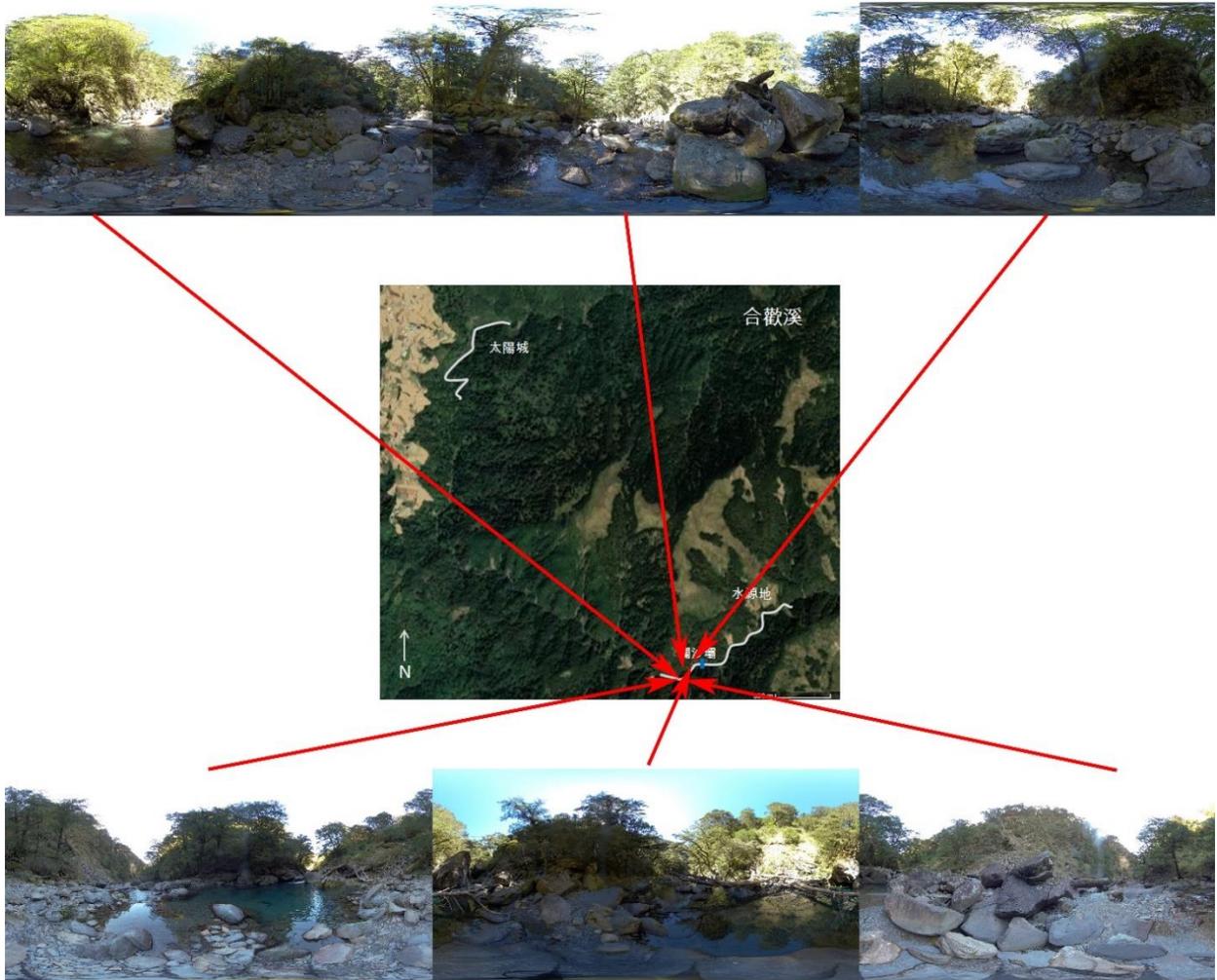


圖三十七：七家灣溪流域鮭魚館樣線與國民賓館樣線的全景照

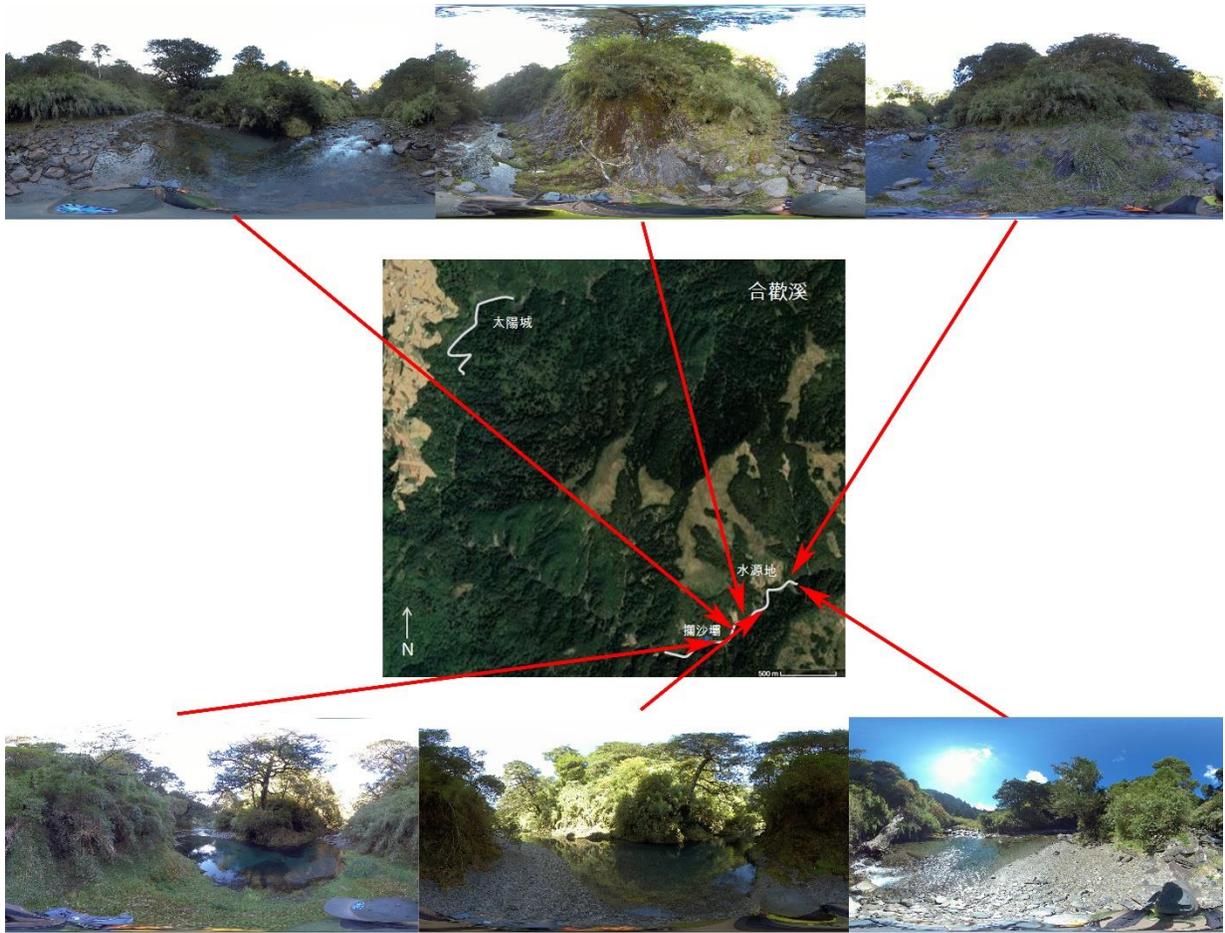
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)



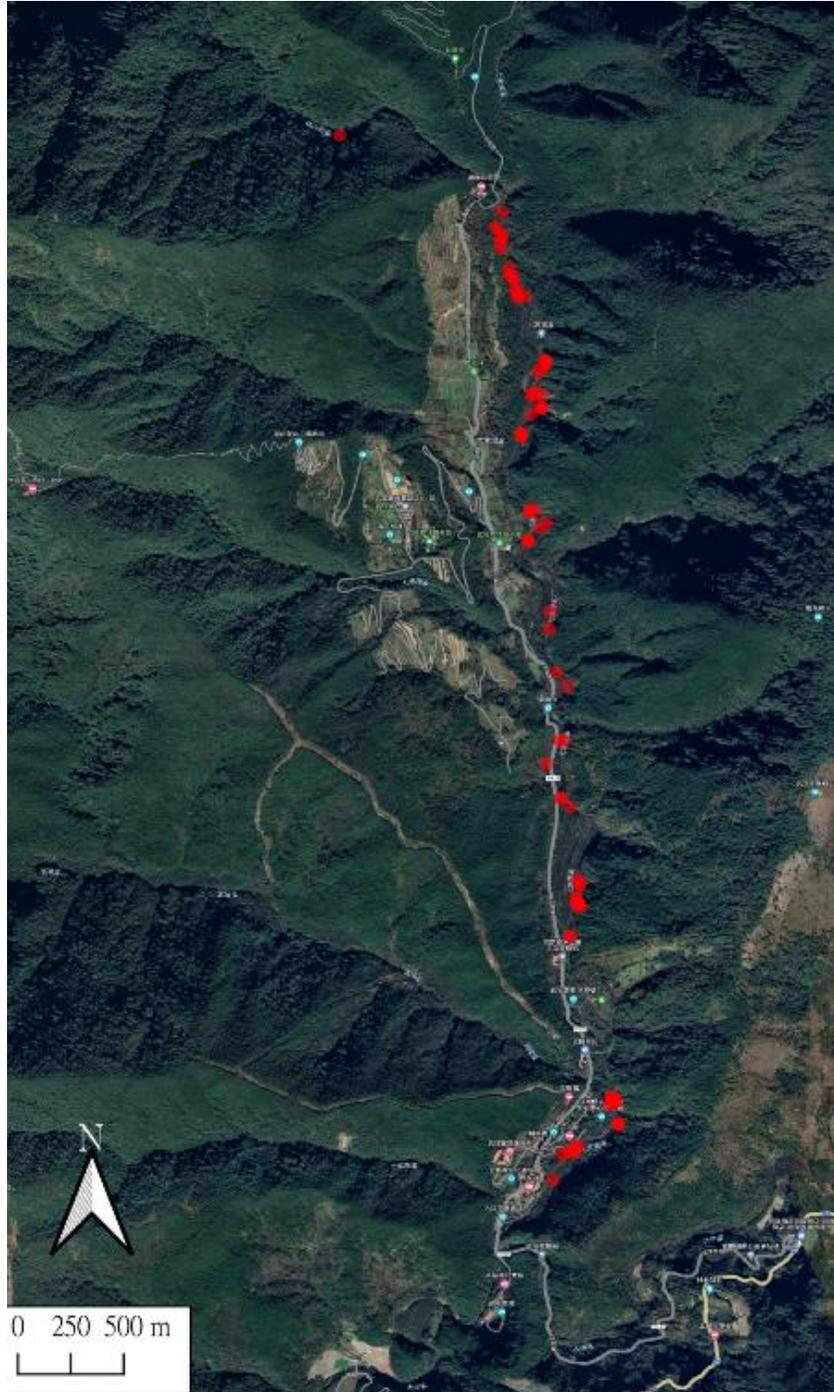
圖三十八：合歡溪流域太陽城樣線的全景照
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)



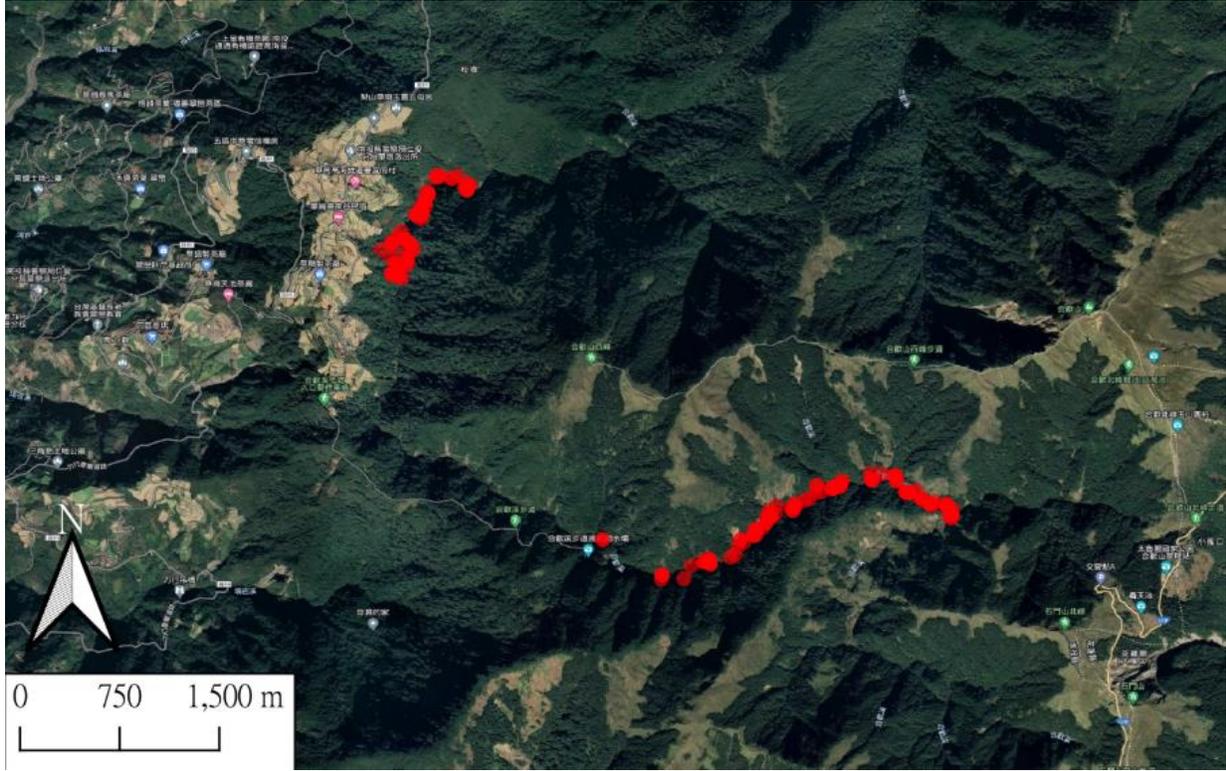
圖三十九：合歡溪流流域水源池樣線的全景照
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)



圖四十：合歡溪流域水源地攔沙壩以上的樣線的全景照
白色標記為拍攝地點。(資料來源：本計畫)



圖四十一：2022年七家灣溪記錄的鮭魚巢位地理位置分布圖
共 123 巢，紅色點顏色越飽和表示巢的數量越多。(資料來源：本計畫)

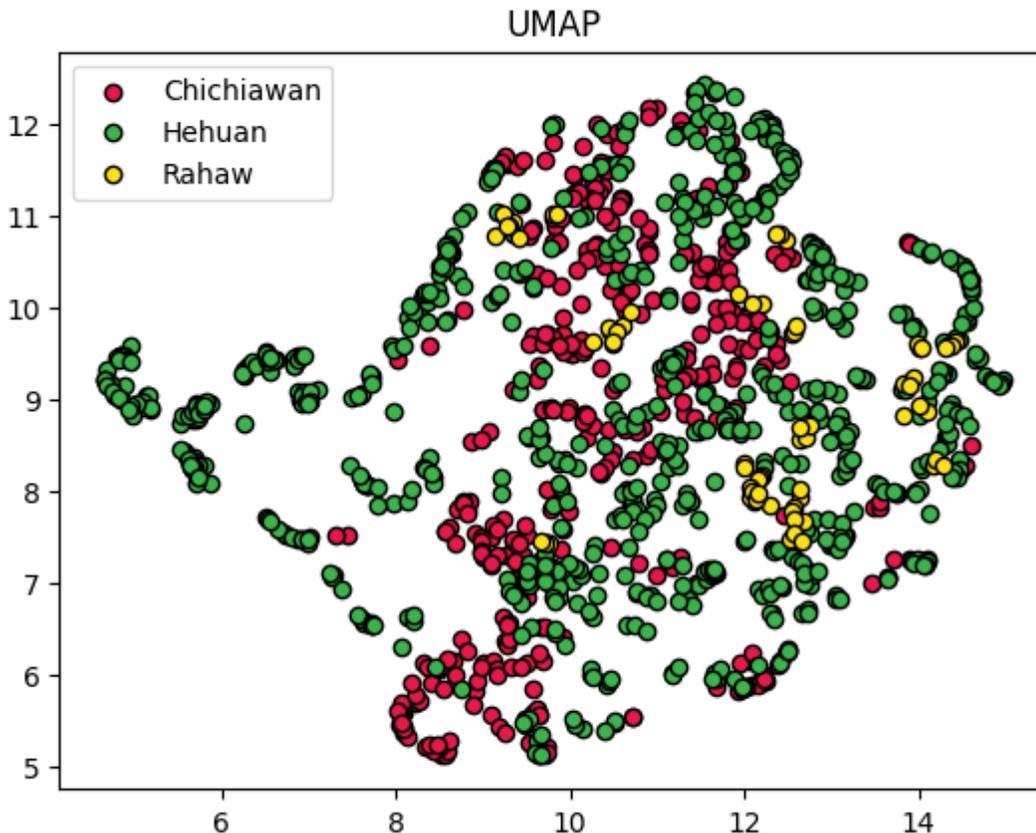


圖四十二：2022年合歡溪記錄的鮭魚巢位地理位置分布圖
水源地 128 巢，太陽城 104 巢，紅色點顏色越飽和表示巢的數量越多。(資料來源：本計畫)

七、 鮭魚族群形態與溪流環境因子資料之整合分析

研究團隊使用釣魚方式捕捉，總共拍攝了 296 隻魚，包括七家灣溪 (n = 84)、合歡溪 (n = 190) 與羅葉尾溪 (n = 22)，每隻魚拍攝一到多張不等，共 1198 張標準影像。

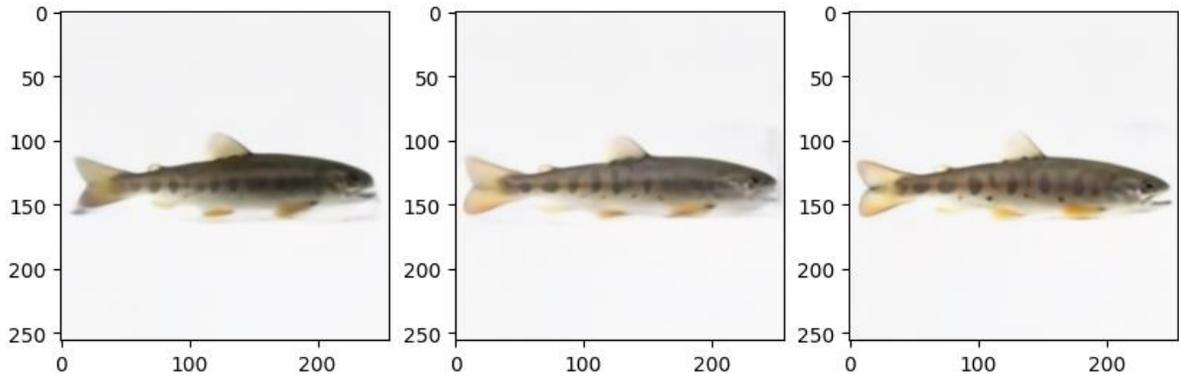
研究團隊對每張標準化照片抽取 512 維特徵，並透過 UMAP 演算法將其降至二維，呈現影像在形態空間中的位置鑲嵌。假設不同溪流段會有不同的環境條件，於 UMAP 圖中以不同色彩標記溪流段，初步可見不同溪流段的影像資料分布 (圖四十三)。



圖四十三：降維後視覺化呈現影像在形態空間中的位置鑲嵌以溪流作為分群顏色標記。(資料來源：本計畫)

進一步將每隻魚個體的特徵做平均，並以特徵平均值當做預測因子，以溪流資訊做為標籤，進行邏輯回歸分類器（Logistic Regression）訓練與預測，觀察是否可由特徵區分出不同溪流族群。

由於各溪流取樣個體樣本數差異大，我們的訓練採取 bootstrap 的形式，以樣本數最少的類群為抽樣數基準，對每個族群抽取同數量的個體，以平衡樣本數；每次的抽樣中，樣本取後不放回，取樣後進行邏輯回歸分類器訓練，訓練與測試樣本數為 8：2。我們重複此過程 1000 次，比較每次的訓練準確率（train accuracy）與測試準確率（test accuracy）的平均值與標準差。若以七家灣溪、合歡溪、羅葉尾溪族群作為預測目標，抽樣數基準為羅葉尾溪（ $n = 22$ ），總個體樣本數為 $22 * 3 = 66$ ，平均訓練準確率為 0.814（STD = 0.055），平均測試準確度為 0.661（STD = 0.132）。根據 UMAP，我們可見羅葉尾溪的影像資料點大多與合歡溪跟七家灣溪重合。我們進一步合併標記，以「是否為七家灣溪」作為預測目標，抽樣數基準為七家灣溪（ $n = 84$ ），總個體樣本數為 $84 * 2 = 168$ ，平均訓練準確率可提升為 0.840（STD = 0.024），平均測試準確度則提升為 0.791（STD = 0.048），這個結果顯示不同溪流之鮭魚族群確實存在可分辨的形態差異。我們也利用各溪流段的 512 維特徵向量，透過模型解碼（decode）畫出各溪流的鮭魚平均形態（圖四十四）。



圖四十四：各溪流的鮭魚平均形態

由左至右族群為：七家灣溪、合歡溪、羅葉尾溪。(資料來源：本計畫)

另外，為了理解抽取出的特徵，如何構成視覺上的差異，我們對每個體的平均特徵進行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)，並加以視覺化。前 8 軸主成了解釋力 (explained variance) 即超過 90%，前三軸解釋力可達 44.6%。視覺化的方法為：對各 PC 軸 (在此取前 3 軸) 各自取 -3 等差遞增至 3 的 PC 值，並將其餘軸設定為 0，而後進行反向投影 (inverse transform) 回 512 維特徵。最終透過模型解碼，生成各軸的形態變異 (圖四十五)。

PC1



PC2



PC3



圖四十五：PCA 前三軸形態

由上至下為鮭魚形態對 PC1、PC2、PC3 值各自由-3 等差遞增為 3 的變異。

(資料來源：本計畫)

八、樣區親魚與巢位的地理標定，分析不同溪段鮭魚族群密度及其繁殖表現

由於臺灣櫻花鉤吻鮭是一個瀕臨絕種的物種，自 1987 年以來，雪霸國家公園組織的志願者、工作人員和研究人員每年在每條溪流中使用浮潛調查一次或兩次，以計算相對種群密度。我們取用了在 2021 與 2022 年，來自雪霸國家公園在七家灣溪和合歡溪進行鮭魚族群調查所獲得的資料。結果發現，合歡溪的族群數量明顯地高於七家灣溪。七家灣溪流域則以三號壩附近有較高的族群密度，但仍低於合歡溪的兩個樣區（圖四十六：研究地點與鮭魚族群參數）。為了解環境如何影響台灣鮭魚的族群密度，我們也於 2021-2022 年在調查範圍內的隨機選定位置測量了水質與流速（ $n=80$ ，每個溪流 40 個位置）並記錄了水溫（ $n=50$ ，七家灣溪 27 個位置，合歡溪 23 個位置）。我們發現水的 pH 值顯著影響了台灣鮭魚成魚的族群密度。pH 值愈低（接近中性）時，鮭魚族群密度愈高（GLM, $P<0.001$ ）

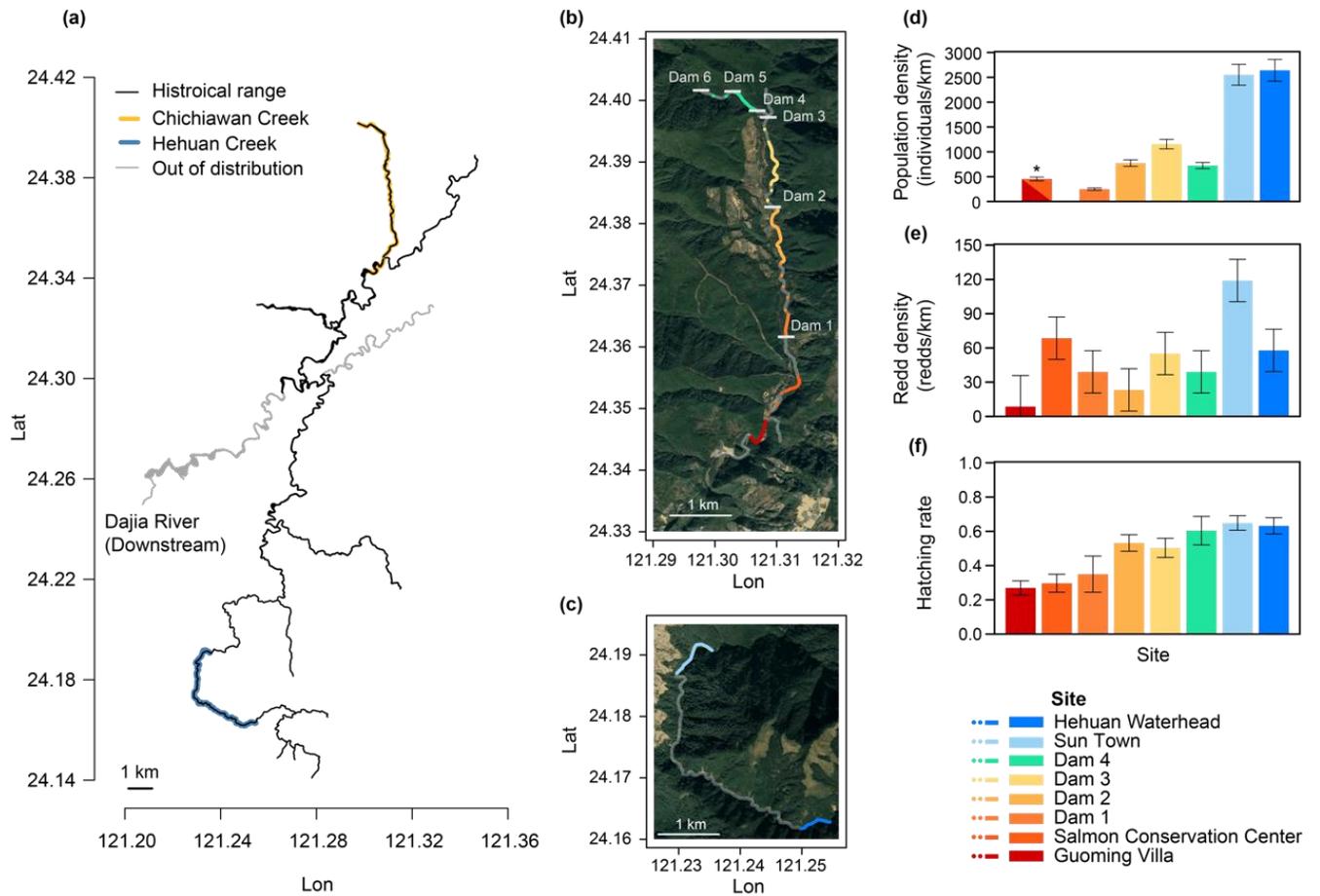
為了量化比較環境因子對不同生活史階段影響程度的差異，我們使用生態位超體積方法量化了台灣鮭魚在巢位選擇和胚胎孵化階段的生態位空間的範圍及大小的差異（圖四十七）。我們透過比較自然產卵場地（ $n=283$ ）與每個溪流中隨機選定的位置（ $n=205$ ）之間的環境因子（水質、流速和水溫），來研究環境因子如何影響臺灣櫻花鉤吻鮭的巢位選擇。接著，為了量化胚胎孵化率，我們於研究期間每年在靠近自然產卵場地的七家灣溪（ $n=17$ ）和合歡溪（ $n=15$ ）選定了 32 個樣點。每個樣點放置了三個 Whitlock Vibert box，在箱子裡置入具眼胚胎以評估環境因子對孵化率的影響。我們考慮了 pH 值、水流速度、溶解氧、水電導率及日平均水溫這五個環境因素，來計算生態位超體積的大小。這些因子又可以透過 PCA 歸納為三個較為重要的獨立

環境維度，依序為離子與導電度壓力（PC1, 40.2%）、優養化程度（PC2, 26.2%）、與水流速度（PC3, 14.9%）。這三個主要環境維度中，鮭魚築巢與胚胎孵化的生態棲位空間位置明顯不同（PERMANOVA: $F=7065$, $p=0.001$ ；圖四十八）。接著我們分析兩個階段超空間的交集僅佔兩階段聯集的 22.6%，顯示這兩個階段主要的環境需求明顯不同。此外，鮭魚胚胎孵化成功的超體積僅大小為巢位的超體積的 60%（ $188.9/316.6$ ），顯示胚胎孵化的環境需求較築巢更為嚴格。

其次，我們分析各別環境因子如何影響臺灣櫻花鉤吻鮭的巢位選擇（圖四十九）。依據環境因子的 effect size（i.e., SHAP value 絕對值的平均值）從大至小，我們發現臺灣櫻花鉤吻鮭偏好築巢在流速較低（GLM, $P<0.001$ ）、pH 值接近中性（GLM, $P<0.001$ ），水溫接近 14.1 度的水域（GLM, Temperature, $P<0.001$; Temperature2, $P=0.02$ ）。導電度對鮭魚的築巢選擇則沒有影響（GLM, $P=0.84$ ）。有趣的是，儘管鮭魚在高溶氧水域築巢的機率在統計上顯著較高（GLM, $P=0.002$ ），但其實際 effect size 卻是最小的。接著，我們也分析了三個主要環境維度如何影響巢位選擇，結果顯示流速（PC3）為影響最大的維度（GLM, $P<0.001$ ），其次為溫度與離子壓力（PC1; GLM, $P<0.001$ ），優養化程度則影響不明顯（PC2; GLM, $P=0.26$ ）。

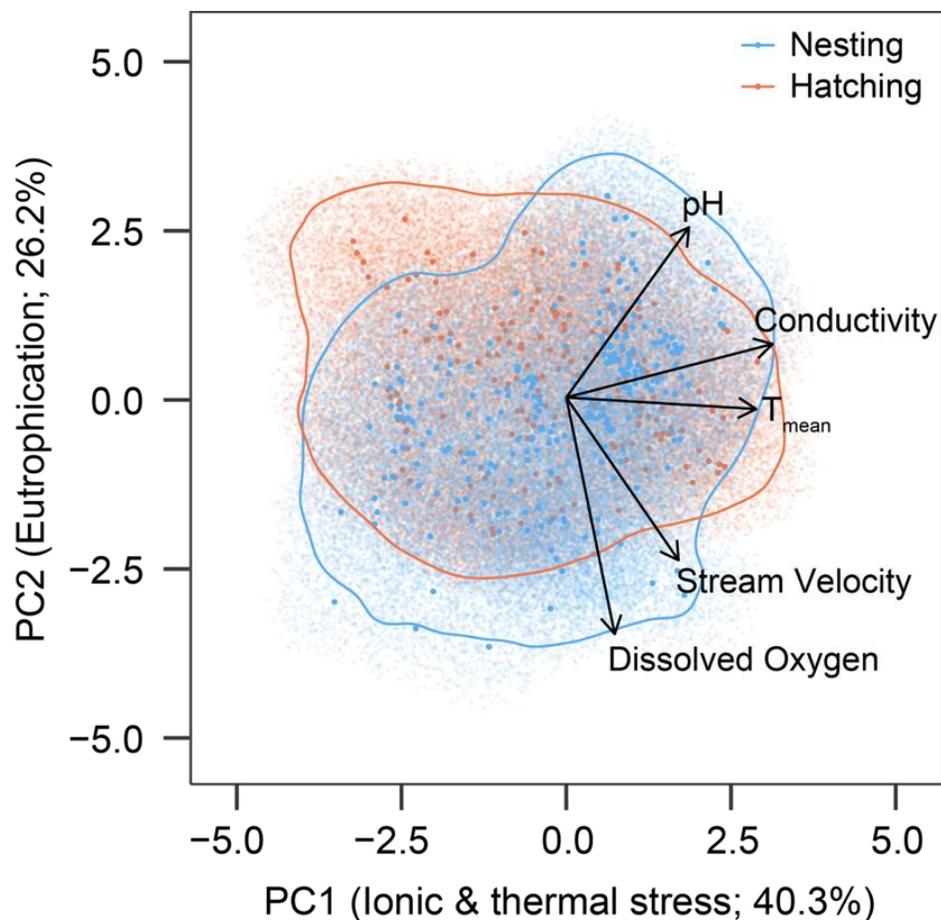
接著，我們分析各別環境因子如何影響臺灣櫻花鉤吻鮭發眼卵的孵化率（圖五十，圖五十一）。依據環境因子的 effect size（i.e., SHAP value 絕對值的平均值）由大至小，我們發現臺灣櫻花鉤吻鮭的發眼卵在流速較低（GLM, $P=0.002$ ）、pH 值接近中性（GLM, $P=0.02$ ），導電度接近 0.117 mS/cm（GLM, Conductivity, $P=0.11$; Conductivity2, $P=0.04$ ）的水域。水溫對孵化率沒有影響（GLM, $P=0.74$ ）。有趣的是，在高溶氧水域的孵化率在統計上顯

著較高 (GLM, $P=0.05$)，但其實際 effect size 卻仍是最小的。接著，我們分析了三個主要環境維度對孵化率的影響，結果顯示溫度與離子壓力 (PC1) 是影響最大的因素 (GLM, $P<0.001$)，其次是流速 (PC3) 為最重要的維度 (GLM, $P=0.02$)，優養化程度 (PC2) 則影響不明顯 (GLM, $P=0.20$)。上述結果顯示水質和水溫對於孵化率的影響大於對巢位選擇影響。



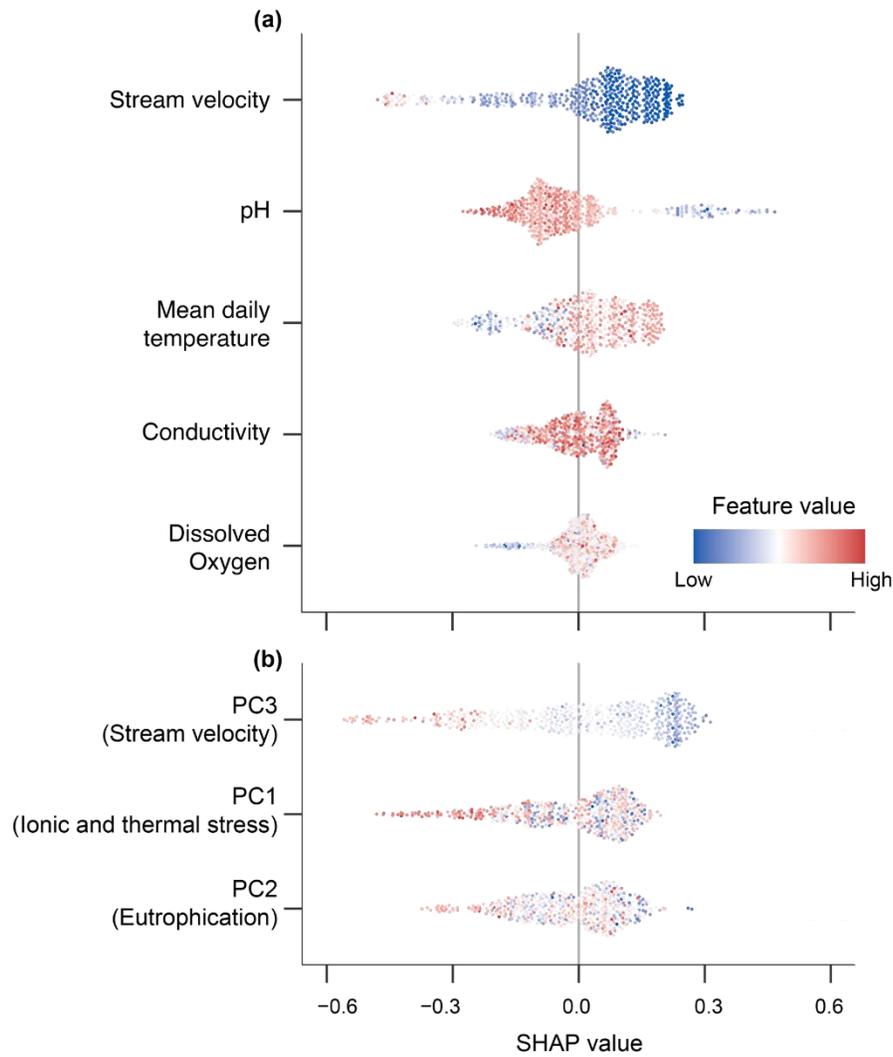
圖四十六：研究地點與鮭魚族群參數

(a) 臺灣櫻花鉤吻鮭的歷史分布範圍及我們採樣溪流的位置。(b & c) (b) 七家灣溪和 (c) 合歡溪研究地點的區域地圖。(d-f) 每個地點的鮭魚族群參數，包括 (d) 族群密度、(e) 繁殖床密度和 (f) 卵孵化率。在 b 和 c 中，半透明的白線代表溪流。不同顏色的線條描繪出族群密度調查的範圍。實線表示進行巢密度和孵化率調查的區域，而虛線標示國家公園進行族群密度調查的區域。在 d-f 中，長條高度表示平均值，誤差線表示標準誤差。* 族群密度調查將鮭魚館和國民賓館包括在同一個樣區。(資料來源：本計畫)



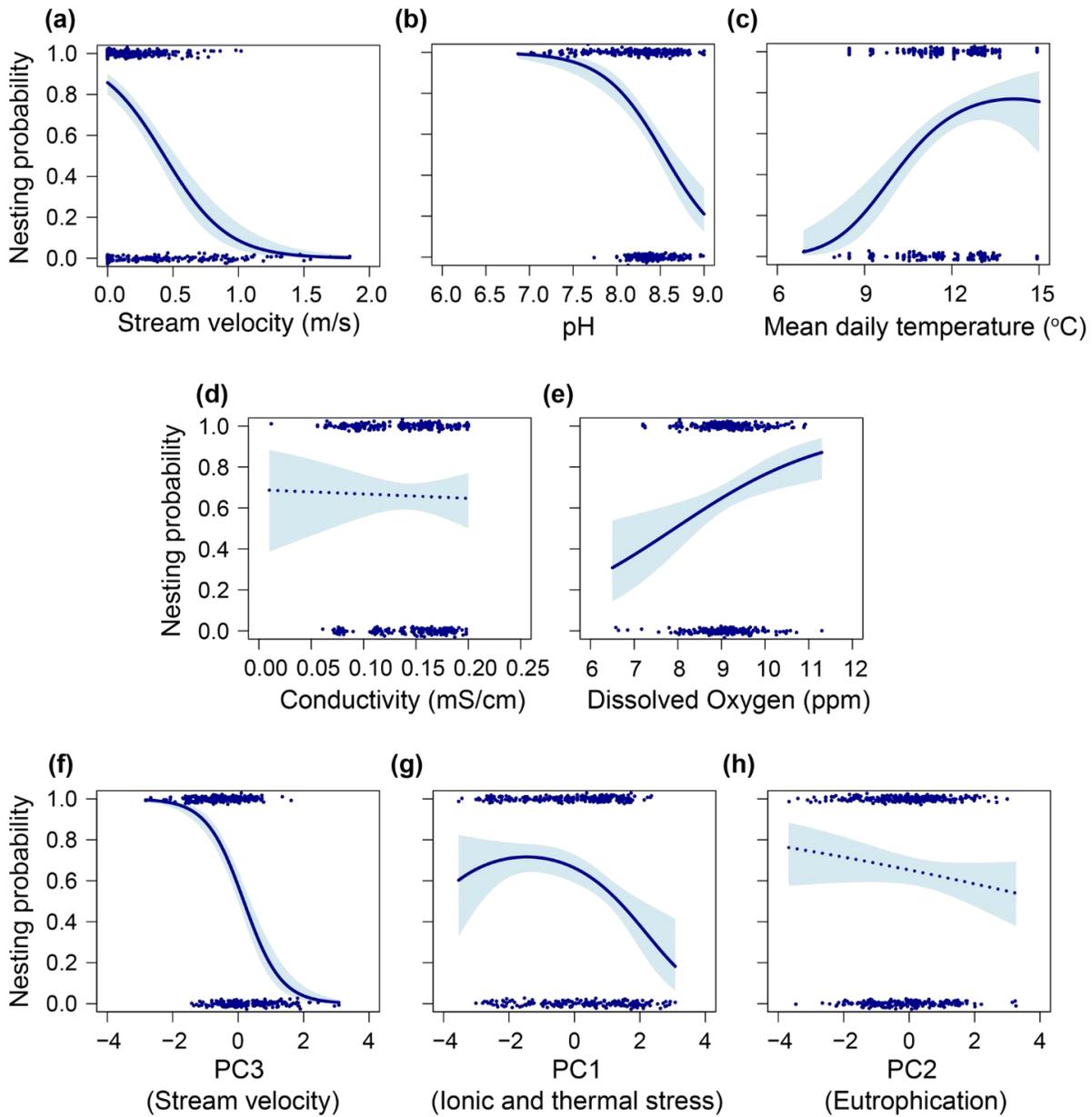
圖四十七：臺灣櫻花鉤吻鮭的築巢與孵化超體積

資料點和估計的超體積被投影在溪流環境因子的主成分分析雙坐標圖上，使用前兩個主成分（PC1 & PC2）。PC1 數值愈大，代表水溫愈高且導電度愈高；PC2 愈大代表（日間的）pH 值愈高，溶氧愈低且水流速愈低，可能反映的是優養化程度略高。實心點表示實際的野外樣本（藍色代表築巢地點，橙色代表孵化盒實驗中，觀察到的孵化率大於零的樣本）。半透明點是通過 R 函數 `kernel.build` 進行重複抽樣生成後，經過巢位或孵化率加權後的隨機點。實線圍繞的區域顯示透過隨機點密度估算出的超體積範圍。箭頭顯示環境變量與主成分之間的相關性方向和強度。（資料來源：本計畫）



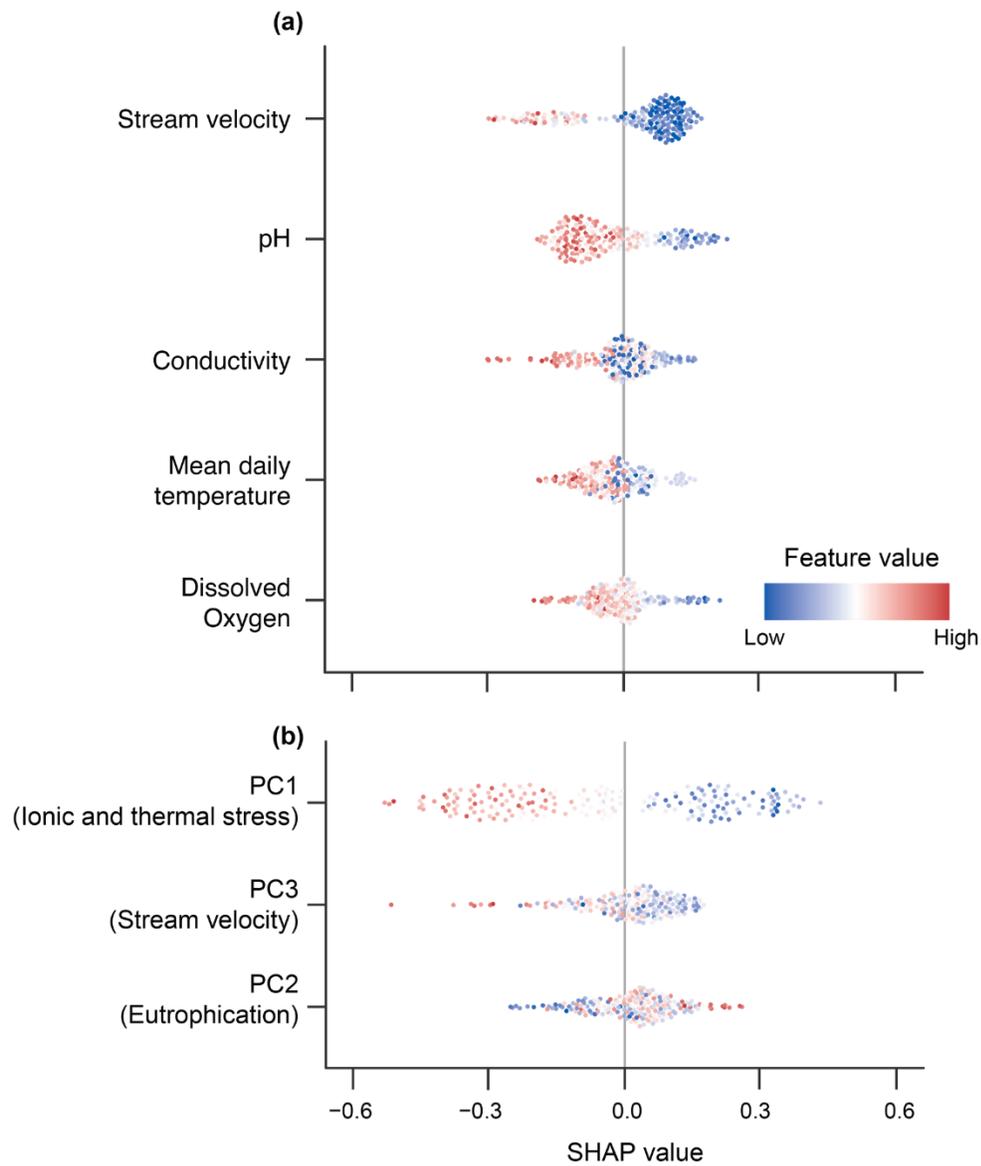
圖四十八：環境因子對鮭魚築巢機率的影響的相對重要性

(a) 環境變量對築巢機率影響的 SHAP 重要性排序圖。(b) 環境主成分分析軸對築巢機率影響的 SHAP 重要性排序圖。在 a 和 b 中，變量根據影響大小（即平均絕對 SHAP 值）由上至下排序。（資料來源：本計畫）



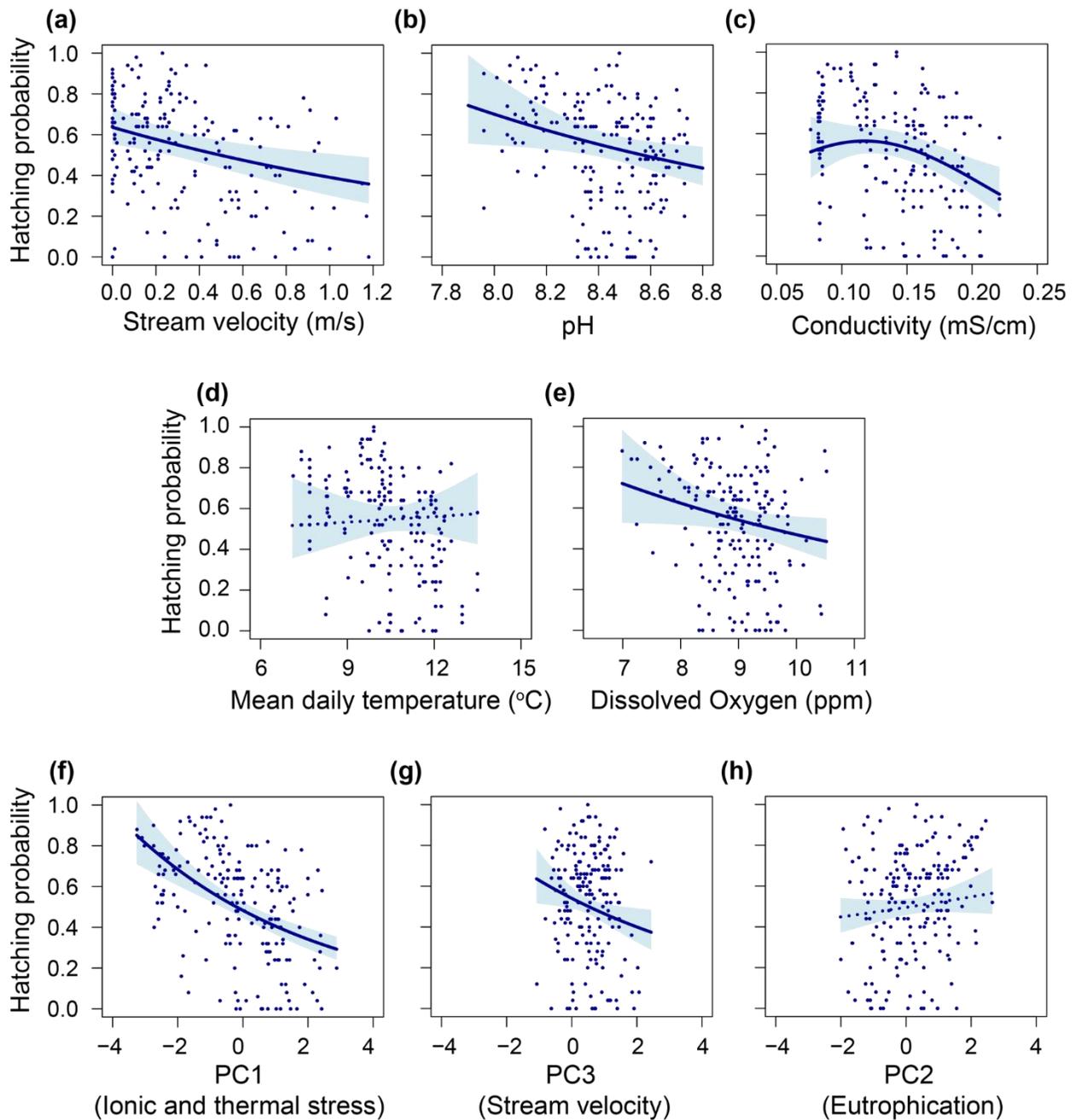
圖四十九：環境因子對鮭魚築巢機率的影響

(a-e) 每個環境因子對築巢機率的影響。(f-h) 每個環境主成分分析軸對築巢機率的影響。圖中的點表示樣本，線條和陰影區域代表由二項分布的 GLM 所估計的趨勢和信賴區間。實線表示顯著趨勢 ($P < 0.05$)，而虛線表示不顯著的趨勢 ($P > 0.05$)。縱軸為的 1 的點代表築巢點，縱軸為 0 的是隨機點。(資料來源：本計畫)



圖五十：環境因子對鮭魚發眼卵孵化機率的影響的相對重要性

(a) 環境變量對孵化機率影響的 SHAP 重要性排序圖。(b) 環境主成分分析軸對孵化機率影響的 SHAP 重要性排序圖。在 a 和 b 中，變量根據影響大小（即平均絕對 SHAP 值）由上至下排序。（資料來源：本計畫）



圖五十一：環境因子對發眼卵孵化機率的影響

(a-e) 每個環境因子對孵化機率的影響。(f-h) 每個環境主成分分析軸對孵化機率的影響。圖中的點表示樣本，線條和陰影區域代表由負二項分布的 GLM 所估計的趨勢和信賴區間。實線表示顯著趨勢 ($P < 0.05$)，而虛線表示不顯著的趨勢 ($P > 0.05$)。(資料來源：本計畫)

九、結論

研究結果顯示，鮭魚的形態變異與所處溪流呈現一定的相關性。這一發現為未來深入研究提供了有價值的基礎。後續除了能夠探討形態變異與更細緻的環境因子之間的潛在關係，以進一步了解這些因子如何影響鮭魚的形態特徵，更能透過不同維度特徵的視覺化，具體了解與環境相關的魚類外觀樣貌。

研究團隊發現，七家灣溪的鮭魚族群和重新引入合歡溪的鮭魚族群在卵孵化的生態區位上表現出明顯的差異。兩個族群所佔據的生態區位範圍呈現出明顯的區隔，這意味著合歡溪的棲地不僅僅是七家灣溪棲地的替代品，更可能代表了鮭魚整體生態位空間的不同部分，這使得結果傾向支持分散滅絕假說。除此之外，透過超體積的分析也發現，臺灣櫻花鉤吻鮭築巢與孵化時期有不同程度的生態需求，孵化期的生態需求較嚴苛，生態位空間較為狹窄，形成了生活史上關鍵的瓶頸階段。值得注意的是，研究結果顯示，不同生命階段對環境和/或營養的要求有所不同，因此保育的決策需要全面考慮環境在物種整體生命週期上造成的影響。以臺灣櫻花鉤吻鮭為例，臺灣櫻花鉤吻鮭在不同的生命階段對於環境和營養的需求存在顯著差異，即使某些水域的條件不完全滿足其卵的孵化需求，成熟的臺灣櫻花鉤吻鮭仍可能選擇在該地區生存和築巢。再者，由於臺灣櫻花鉤吻鮭在不同生命階段對於環境因子的敏感度可能有所變化，這現象強調了瞭解生命階段間相互作用的重要性。結果顯示，考慮到物種的每一生命階段對於微氣候條件的反應都可能會有所不同，保育上必須要考慮到物種物候因應環境變化的適應策略。

十、建議事項

一、經營管理上建議繁殖季時加強人為活動的相關管制措施。

本計畫成果顯示對鮭魚最重要的生活史為孵化階段，在繁殖季前開始的幾個月（10月至12月）最為重要，4號壩以下的汙染較為嚴重，該處的孵化率有很大的提升空間。另外合歡溪的太陽城附近農業活動多，原預期孵化率會較差，但調查成果顯示水溫低的地方，即使汙染較嚴重，其孵化率仍然很好，而下游處水溫升高後加上水質汙染，對於孵化率就有影響。

二、建議選擇歷史棲地進行鮭魚復育

在孵化盒實驗中，合歡溪的鮭魚孵化率整體上比七家灣溪還要高，另外過去因為攔沙壩阻隔而使鮭魚消失的七家灣溪四號壩以上的水域，也有較高的孵化率。上述結果顯示這些歷史棲地對於鮭魚而言可能是更為理想的棲息地，人為再引入鮭魚族群實際上確實有助於鮭魚族群的復育。

三、建議建立鮭魚影像與地景資料庫

因為本次計畫成果已表明了使用標準化方法進行鮭魚影像辨識的可行性，建議未來可收集更多影像資訊，讓深度學習的資料庫加速建立，對於未來魚群估計與個體辨認將有應用的潛力。

誌謝

感謝雪霸國家公園管理處提供經費與各種相關協助。

參考文獻

1. 陳弘成。(1998)。武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查(四)。內政部營建署雪霸國家公園研究報告。
2. 曾晴賢。(1997)。櫻花鉤吻鮭族群生態調查與育種場位址評估。內政部營建署雪霸國家公園研究報告。
3. 廖林彥。(2008)。台灣臺灣櫻花鉤吻鮭繁殖特性之研究。雪霸國家公園管理處自行研究報告。
4. 官文惠、李俊緯、郭韋鑫、彭君傑、范淑雅。(2015)。武陵地區七家灣溪及有勝河流域壩體改善後棲地水質監測期末報告。雪霸國家公園管理處
5. 官文惠、郭美華、葉昭憲。(2016)。武陵地區七家灣溪壩體改善後臺灣櫻花鉤吻鮭棲地監測暨現存其它棲地調查與改善評估期末報告。雪霸國家公園管理處
6. 廖林彥、陳建均、陳瑀訢、藍智鴻。(2020)。2020年臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與放流。雪霸國家公園管理處、太魯閣國家公園管理處。台中。
7. Blonder, B., Lamanna, C., Violle, C. & Enquist, B.J. (2014). The n-dimensional hypervolume. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 595-609.
8. Blonder, B., Morrow, C.B., Maitner, B., Harris, D.J., Lamanna, C., Violle, C. *et al.* (2018). New approaches for delineating n-dimensional hypervolumes. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 305-319.
9. Carvalho, J.C. & Cardoso, P. (2020). Decomposing the causes for niche differentiation between species using hypervolumes. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 243.

10. Chiu, M.C., Chang, S.H., Yen, Y.T., Liao, L.Y. & Lin, H.J. (2021). Timing and magnitude of climatic extremes differentially elevate mortality but enhance recovery in a fish population. *Global Change Biology*, 27, 6117-6128.
11. Colwell, R.K. & Rangel, T.F. (2009). Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 19651-19658.
12. Dahlke, F.T., Wohlrab, S., Butzin, M. & Pörtner, H.-O. (2020). Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science*, 369, 65-70.
13. Ficetola, G.F., Thuiller, W. & Padoa-Schioppa, E. (2009). From introduction to the establishment of alien species: bioclimatic differences between presence and reproduction localities in the slider turtle. *Diversity and Distributions*, 15, 108-116.
14. Hsu, T.-H., Wang, Z.-Y., Takata, K., Onozato, H., Hara, T. & Gwo, J.-C. (2010). Use of microsatellite DNA and amplified fragment length polymorphism for Cherry salmon (*Oncorhynchus masou*) complex identification. *Aquaculture Research*, 41, e316-e325.
15. Kearney, M. & Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12, 334-350.
16. Lin, J.-Y., Tsao, E.H., Lee, T.-C. & Shaw, L.Y. (2004). Stream physical parameters and habitat requirement: the case of the Formosan salmon. *Ecological Engineering*, 22, 305-309.
17. Lin, Y. & Chang, K. (1989). Conservation of the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus* in Taiwan, a historical review. *Physiology and Ecology Japan Special* 1, 647-652.

18. Oshima, M. (1936). Ecological study on the masu of the Taiko River. *Botany and Zoology*, 4, 1-13.
19. Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. *et al.* (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, N.J.
20. Pulliam, H.R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3, 349-361.
21. Soulsby, C., Youngson, A.F., Moir, H.J. & Malcolm, I.A. (2001). Fine sediment influence on salmonid spawning habitat in a lowland agricultural stream: a preliminary assessment. *Science of The Total Environment*, 265, 295-307.
22. Tonolini, F., Jensen, B. S. & Murray-Smith, R. (2019). Variational Sparse Coding. In: *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2019)*, Tel Aviv, Israel, 22-25 July 2019
23. Tsao, E.H., Lin, Y.-S., Behnke, R.J. & Bergersen, E.P. (1998). Microhabitat use by Formosan landlocked salmon, *Oncorhynchus masou formosanus*. *Zoological studies*, 37, 269-281.
24. Whitlock, D. (1977). *The Whitlock Vibert Box Handbook*. Federation of Fly Fishermen, Livingston, M.T.

「探討不同棲地對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響」

附錄一：第 1 次報告審查會議委員意見回覆表

壹、開會日期：111 年 8 月 8 日（星期一）上午 10 時

貳、開會地點：視訊會議

參、主持人：張處長維銓

紀錄：董于瑄技士

肆、出席單位人員：詳如簽到單

伍、討論事項

委員	委員審查意見	回覆
嚴宏洋委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議摘要的呈現，至少可以分成三個段落，會使得閱讀較為容易。畢竟這不是科學論文，是要繳交給公部門的報告。應該要考量讀者端的接受難易度。另外，摘要中提及「深度學習」的方法和使用「全景相機」，但在報告本文中卻完全沒有提及。 2. 第 2 頁提到「檢查壩」這是我從未讀過的專有名詞。應該是「攔砂壩」。 3. 第 2 頁倒數第 3 行「如河流流速和 pH 值要量化」，但這種大尺度的變數，是管理單位無法控制的，那研究的意義是什麼呢？ 4. 第 2 頁倒數第 1、2 行「因此，我們的研究回應了，以前對發展物種分佈模型機制的呼籲」，這是句很空泛的措詞，到底是呼應了什麼呼籲？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理，我們已經加上闡述，改正用詞（p.1）。 2. 遵照辦理，已改正（p.4）。 3. 遵照辦理，我們已經重新闡述，並且加上對經營管理單位的建議：『在高水位時期，水質污染對胚胎存活率的影響更可以忽略不計。但是相反的，在低水位時期，水污染對胚胎存活有非常明顯的負面影響。因此，從保護的角度來看，管理部門可以利用我們的研究結果，重點改善繁殖季節的水質（特別是在鮭魚胚胎發育的 11 月至 12 月），如減少繁殖季節允許的過夜遊客數量，以提高武陵地區對櫻花鉤吻鮭的繁殖成功率（p.5）。 4. 感謝指正。我們已經重新闡述（p.5） 『也就是呼應上述文獻所倡導的，對於根據重要的生態位維度在不同生活史階段的量化，如流

<p>5. 圖一的圖說過於籠統，除非讀者學過「主成分分析（Principal component analysis）」，報告中應該以白話文字，解釋PCA是如何運算，它能告訴讀者的是什麼？而每一個環境因子所佔的比重為何，也要有詳細的交待。</p> <p>6. 第6頁表2水中溶氧的數字偏高，都已是過飽合的數字。請確定使用的溶氧測定儀經過校正。</p> <p>7. 第15頁第16行應該有文字描述孵化盒的構造和運作的原理。畢竟這是美國的產品，在台灣幾乎沒人在使用。再者，一旦胚胎孵化後，魚苗就可以透過柵欄細縫離開孵化盒。你們的研究，要如何計算3週後，有多少尾幼苗已離開孵化盒？</p> <p>8. 第15頁（四）實驗方法測試，沒有交待為何馬口魚會出現在這份報告中？打上 Vie Tag 的目的，應該是日後要追蹤牠們的移動。但這實驗與這計畫有何關連？卻沒有交待清楚。</p> <p>9. 第18頁引用的第10篇文獻，呈現方式有瑕疵，正確的方式應該是：Lin, Y. S. & Chang, K. H.</p> <p>10. 整體而言，這是份很令人失望的期中報告。計畫主持人在撰</p>	<p>速，pH 值，水中導電度等因子，我們對於以往傳統的物種分布模型機制有更近一度的解釋能力與預測能力。』</p> <p>5. 感謝指正。我們已經用白話文字重新闡述，並且刪除了專有名詞及圖一，並且將圖一的資訊併入文獻回顧之中（p.4）（賴委員建議）</p> <p>6. 感謝指正。我們已經著手進行校正。</p> <p>7. 遵照辦理，我們在研究計畫書中已有加列方法以及詳加敘述。</p> <p>8. 感謝指正。因為合約中沒有這項測試要求，我們已經將此測試刪除。</p> <p>9. 感謝指正，已於內文修正（p.30）。</p> <p>10. 感謝指正。我們已經另列方法，資料及敘述，遵照國家公園的格式重新修訂。</p>
---	---

	<p>寫報告時，忘了要讀這份報告的對象是政府官員，而不是學界的研究者。而事實上，即使是科學的呈現，也不是很令人滿意的。因而我建議：整份工作報告要重寫。換句話說，就是要用科普文章的白話文詞句，去呈現數據，也解釋這些數據的生物意義。</p>	
<p>賴弘智委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請教管理處的報告是否有規定的制式格式？如封面、摘要、目錄、背景、材料方法、結果與討論等。如果有，請執行團隊的報告應該依照格式進行修訂。 2. 建議報告一開始應先對整體計畫的執行內容、期程、及目前的執行進度做一摘要說明。 3. 建議報告的材料方法及參考依據內容應該再增加，例如監測設備及受精卵放置位置、預計與實際實驗日期、與魚類繁殖季的相關性等資料。 4. 非魚類繁殖期，本實驗如何進行？ 5. 請教PCA這兩個維度是如何確定？是國外的文獻建議或貴單位自行實驗鑑定所得？ 6. 有測試過其他的水質因子嗎？ 7. P.3 前三句不清楚其說明內容的意義。 8. 報告內應予補充說明： <ol style="list-style-type: none"> (1) 圖二中的 reds 為何意？ (2) 為何合歡溪中游段皆發現無 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指正。我們已經另列方法，資料及敘述，遵照國家公園的格式重新修訂。 2. 感謝指正。我們已經增列方法，資料及敘述令其更完整。 3. 感謝指正。報告內容我們已再增加，充實許多細節包括 方法，研究源起，相關數據，放置位置與繁殖季的實驗程序。（p.7-12） 4. 我們已增加於實驗方法部分，在其中解釋（p.7）。 5. 感謝指正。我們已增加結果敘述，並採用嚴委員的建議以白話文的方式來敘述初步結果。 6. 目前會考慮增加混濁度測量。 7. 感謝指正。我們已增加敘述，重新闡述（p.14）『也就是呼應上述文獻所倡導的，對於根據重要的生態位維度在不同生活史階段的量化，如流速，pH 值，水中導電度等因子，我們對於以往傳統的物種分布模型機制有更近一度的解釋能力與預測能力。』 8.

	<p>產卵巢？原因與棲地形態有關係嗎？</p> <p>(3) 與兩種水質因子是否有顯著關係？</p> <p>(4) 與溶氧或水溫是否有關係？若為人為汙水或優養化干擾，溶氧應為主要的影響水質因子。</p> <p>(5) 圖中的 alevin 是指產出鱒魚苗或產卵區？標示的點位是以受精卵或初鱒魚苗為依據？</p> <p>9. 水質測定的項目不多，請直接說明測定項目，不要用「水質」代表。</p> <p>10. 期中報告進度應完成兩次調查，2021 年資料可以作為文獻回顧資料，不宜作為計畫期中報告成果。</p> <p>11. 圖三及其他圖中的大圖小圖皆應說明其內容，建議標明北方方向，其餘附圖亦應標明。</p> <p>12. p.10. 20 個網格點為何是「未來」？樣點是否已經選定？</p> <p>13. 樣區內的人為汙水是否有經過適當處理再排入七家灣溪呢？</p>	<p>(1) redds 是鱒魚巢。</p> <p>(2) 目前合歡溪中游無取樣樣線。我們已增加方法敘述。</p> <p>(3) 感謝指正。我們已增加結果敘述，並採用嚴委員的建議以白話文的方式來敘述初步結果 (p.13)。刪除不相關的圖二。</p> <p>(4) 我們已增加結果敘述，目前已將 2021 年的初步研究簡化，待今年更完整的數據搜集完成之後再一併呈現 (p.13)</p> <p>(5) alevin 是剛孵化鱒魚尚帶有卵黃囊的階段的意思。我們 2021 年的研究簡化，待今年更完整的數據搜集完成之後再一併呈現。</p> <p>9. 遵照辦理，已修改 (p.13)。</p> <p>10. 遵照辦理 (p.13)。</p> <p>11. 感謝指正。已遵照修改。</p> <p>12. 感謝指正。已遵照修改 (p.14) 目前樣線已依計畫目標確定，樣線內鱒魚產卵樣點必須待繁殖季開始實地探查後才能確定。</p> <p>13. 感謝建議。目前只有以地緣推測人為汙水影響水質的可能性，若要了解實際影響在實驗進行時團隊會再進行後續調查。</p>
本處遊憩	1. 建議報告書架構再予以適度調整，讓讀者更清楚本案計畫目標與各階段成果的關聯性。	1. 遵照辦理。

<p>服務 課謝 銘銓 課 長</p>		
<p>本處 保育 研究 課于 淑芬 課 長</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書 p.11 提及七家灣溪主流共選擇 4 個樣點，p.14 則是提到選定的七家灣溪流流域樣線有 3 個河段，建請整合並詳細敘明樣點規劃與數目。 2. P.6 表 1 為去年 10 月至 12 月的水質測量數據，七家灣溪水溫最高為 12.77°C、國民賓館為 14.07°C，一般認為繁殖期的水溫不超過 12°C，但去年測量數據皆已超過此溫度，因放置的儀器是連續記錄的儀器，應可提供水溫的連續變化，建請補充不同樣點的連續變化圖。 3. 本處歷年在此區域進行的溶氧 (DO) 數據皆不超過 10 mg/L，因此表 2 溶氧數值應有問題，可能並未準確校正；另測量的時間點為何？因不同時段測量，溶氧數值也將有所變動，建議應固定測量時間。 4. 表 2 的 pH 值偏高，歷年監測數據主要在農耕較多的有勝溪才會測量到 8 左右的數值，故請再確認研究團隊所測量的數值準確性。 5. 研究團隊擇選樣點時是否有考 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指正。已遵照修改。我們重新製作研究樣線，樣點地圖。七家灣溪流流域有三個河段：上游的桃山西溪，中游七家灣溪主流，下游的伊卡丸溪。其中在七家灣溪主流有設定 4 個樣點。詳細說明請見：p.14。 2. 感謝指正。已遵照修改。水溫的連續變化圖請見 (p.14)。 3. 感謝指正。我們的溶氧測量值的確過高許多，我們會進行儀器的檢測與校正。水質測量時間介於白天的 10:00-14:00 時段。 4. 感謝指正。我們這次測試的 pH 值與七家灣溪過去的水質資料進行比較發現沒有過高或過低現象。可參考表二 (p.13)。 5. 我們選擇測量水質的地點有分為三類：第一類是鮭魚產卵巢的水質，所以待鮭魚產卵完畢，直接量測產卵地點的水質與物理環境。第二類是隨機抽樣的樣點水質，用來作為鮭魚產卵地點水質的對照組。如此互相比較一來我們即可推測鮭魚產卵時的水質是否與隨機取樣的水質不同，因此可以推測鮭魚產卵時對水質是否

	慮「鬱閉度」？	有偏好性的選則。第三類是人工孵化盒的樣點的水質。我們在鮭魚產卵巢的鄰近地點測試發眼卵的孵化程度，並同時量測水質。地點的選定是依照鮭魚的先前選定的築巢環境而定。
本處 武陵 管理 站廖 林彥 主任	<ol style="list-style-type: none"> 1. 紫外線對於鮭魚卵影響甚鉅，且日本學者亦提及湧泉區有利於魚卵孵化，個人認為七家灣溪應有隱藏的湧泉區，當初提出此計畫構想是希望透過 AI 去彌補傳統調查的不足，且能提供即時性的反應。 2. 研究團隊預計以捕捉、標識放流及再捕捉的內插法計算鮭魚族群數量，請教此方法對於鮭魚並非平均分布於整條溪流的情形下，如何放大並準確計算其族群數量？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝建議。紫外線部分可能以日溫差計算鬱閉度後代表，繁殖試驗時因埋起來可控制此變因；湧泉目前尚未進行調查，後續若確定進行此項因子研究，則須擇選湧泉處及非湧泉處進行環境因子測量，目前的調查項目無法確定是否與湧泉相關。 2. 團隊今年所申請的捕捉與標識數量為每流域各 100 隻，由於近年來鮭魚的數量眾多，而且捉放法的計算假設是標識族群能與為標誌的族群充分的混合以利再取樣的進行。所以我們會在各流域只針對特定的一個河段進行推估。如果成效良好，明年會在繼續申請捕捉標記。
本處 保育 研究 課董 于瑄 技士	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告格式應採中文摘要、Abstract、計畫緣由、計畫目標、前人研究、研究地區、研究方法、研究進度.....等格式整理撰寫。 2. p.5、10 河道空照圖分成網格後，隨機挑選網格進行水質與流速測量作為對照組，挑選網格數量於 P.5 提到七家灣溪與合歡溪各挑選 40 個網格，p.10 則是以「會在兩個流域隨機挑 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會依照建議的格式進行彙整。 2. 感謝指正。已於內文改正 (p.14)。 3. <ol style="list-style-type: none"> (1) 是一個月的溫度記錄。6 月是設置水溫計，7 月是收取測試的水溫資料。詳見內文 (p.14)。 (2) 目前三個月測試了 8 條樣線，共 26 個水溫水質樣點。其中每個樣線平均為 2-

<p>選對照組 20 個網格點進行測量」，前後數量不一致，請予以確認或修正。</p> <p>3. p.6 表 1 及表 2 相關問題：</p> <p>(1) 欄位只有 2022 年 6-7 月，請問表格中數值為完整兩個月連續紀錄，抑或只有 6/19-6/21 及 7/24-7/25 共 5 天的調查數據？</p> <p>(2) 環境因子測量平均採用的樣點數量為何？</p> <p>(3) 另監測環境因子只呈現平均測量值，未見標準差等相關統計分析，建議應予以補充，以呈現該測量樣點之數據。</p> <p>4. p.6-9 表 1 及表 2 的樣點名稱（如合歡溪（上）、合歡溪（下）、國民賓館）等與圖三至圖五標示的溪段名稱（水源地溪段、太陽城溪段、伊卡丸溪）不一致，建議統一名稱或標示清楚。</p> <p>5. p.10-14 各溪段挑選之樣點應補充其 GPS 點位，並可將海拔高度等其他環境資訊一併以表格清楚整理。</p> <p>6. p.12-14 伊卡丸溪、合歡溪上游與中游都未敘述樣點設置數量，建請補充各溪段人為活動程度之評估依據。</p> <p>7. 報告書應將本案工作計畫書預計執行的研究方法及進度完整寫出，且依據工作計畫書實地</p>	<p>3 個樣點。詳見內文（p.14-22）。</p> <p>(3) 感謝指正。我們主要是針對平均日溫與日夜溫差的分佈（DTR：Daily Temperature range）來描述各個測站，標準差是同線不同測站的離散程度估計值，對於我們的分析用處不大，而且就微棲地的實驗設計而言，不使用標準差，而以使用日溫差來代表每一個獨特的棲息地測量值，將會於繁殖季後的資料收集分析後於第二次報告闡述。</p> <p>4. 感謝指正。我們已經將調查溪段名稱統一改正（p.14）。</p> <p>5. 感謝指正。我們已改正（p.27）。</p> <p>6. 人為活動並未量化，只是主觀描述，例如該樣點位於國民賓館排水口附近，若需要確認因果關係，需要更直接的證據。</p> <p>7. 已補充資訊。在運輸時程的潛在阻礙因素主要來自於合歡溪段的水源地及太陽城樣區。由於合歡溪路途遙遠以及林道路況欠佳，我們曾經嘗試使用小發財車與機車搬運器材，並同時受到武陵管理站的大量的人力協助。目前已經可以將大部分的器材在既定時間內搬運至指定地點，但是由於道路系統在雨季的維護仍是一個不確定因素。我們目前還在尋求</p>
---	---

	<p>調查將包含「進行調查路線評估，包含總長度、現地描述。配合往年的研究，將會評估巢位熱點等資訊，簡述各個選址位置的環境，交通，人員，器材運輸（特別是運輸時程的規劃）的潛在阻礙因素……」，相關內容並未於報告書中呈現，應予以補充。</p>	<p>更具機動性的替代方案。（p.15-22）</p>
--	--	-----------------------------

「探討不同棲地對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響」

附錄二：第 2 次報告審查會議委員意見回覆表

壹、開會日期：111 年 12 月 20 日（星期一）上午 10 時

貳、開會地點：視訊會議

參、主持人：張處長維銓

紀錄：董于瑄技士

肆、出席單位人員：詳如簽到單

伍、討論事項

委員	委員審查意見	回覆
嚴宏洋委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 表二列出八處採樣點。有四處標明是七家灣溪，其餘四處是否是屬於合灣溪流域？若是，就必須加以標識，否則無法與圖十三、十四的數據相對應。 2. 圖十二的曲線無法判讀兩流域的所在。Y 軸應標識溫度（C）而不該由讀者自己去猜。左側測站雖然有號碼可用來與表三的記錄器編號相對應，但因顏色相似很難判讀，應設法改進呈現的方式。 3. 圖十三的圖說解說有遺漏的用字：「將各種水質因子以包含 氧化還原值（ORP）」。只有主詞卻沒有受詞和動詞，讀起來像是不完整的一句話。 4. 圖十四的圖說，也如同圖十三的圖說，是不完整的一句話。圖十四用不同顏色標識出八處採樣點，但是合歡溪水源地和 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已於 p35 表五修正。 2. 已修改表示方法與圖說於 p34 圖二十四，希望更易閱讀。 3. 已更正 p35 圖二十五之圖說 4. 已更正 p36 圖二十六之圖與表示之顏色 5. 本意是為表示兩流域的環境（水質因子）有區隔，已更正 p30 文中敘述。 6. 已更正為圖二十七（p38），原意是為表示我們設置溫度計位置，因數量多點位產生重疊，已更改呈現方法，把地圖分開同時表示點位與編號。 7. 生態研究會有不同尺度的研究方式，目標為瞭解哪些棲地適合鮭魚或是可以進行哪些改善，本計畫進行水面上環境的紀錄應可具體反映鮭魚的棲地狀況。 8. 在遺傳上基因體接近甚至是完全相同的個體，存在有可檢測的差異是可以驗證的。例如：同卵雙

<p>七家灣一號壩顏色相近，難以分辨應更改顏色和形狀。例如：圓形和三角形，以利區分。</p> <p>5. 第 15 頁第 10~11 行提到「而其中主要影響結果的是溫度與導電度與溶解性總固體值」但是圖十三和圖十四，卻是顯示這三因子集結在一起。那為何能解讀成是「主要影響結果」？</p> <p>6. 圖十五只有 22 個溫度計佈放點，圖十六只有 10 個溫度計佈放點，與表三條列的 52 個測站不符合。建議圖上佈放點應加上對應的記錄器編號。</p> <p>7. 第 24~29 頁呈現的繁殖棲息地全景影像的拍攝，究竟有何科學上的意義？在前一次的審查會議上，我已很直白的表示對水生生物棲所特性而言，水底下微棲地的攝影，會更能反應其生態上的意義。也有建議可以使用 GoPro 攝影機，配合防水盒記錄。計畫主持人不是水族生態專長，建議可請教貴中心相關的同仁給予協助。</p> <p>8. 第 30 頁第 9 行「來自這兩條小溪的鮭魚可能存在可檢測的形態差異」，根據曾、王（1999）的研究，他們發現到在同功異構酶電泳分析中，23 個基因座只有一個有遺傳變異，平均觀測 (H_o) 與平均理論質異度 (H_e) 為 0 與</p>	<p>胞胎在不同環境長大的結果。表觀遺傳學 (epigenetics) 的研究也提供了許多經典例子。因為環境不同有可能導致特定基因表現或不表現，所以目前還不能說遺傳基因接近就會沒有形態上的差異。卷積神經網路訓練模型的使用方式是讓使用者只輸入圖形本身，使電腦本身去解析、分類圖片。此方法在機器學習已行之有年，比起人類的主觀判斷，更有機會提供客觀的結果，在下年度的成果報告應有更詳盡的呈現。</p> <p>9. 感謝老師提供意見。</p>
--	---

0.0115，表示其基因多樣性偏低。利用 F-統計分析結果，族群之近交係數 (FIS) 為 1，顯示台灣櫻花鉤吻鮭傾向於近親交配，族群間變異指數 (FST) 為 0.081，表示族群幾乎沒有分化。在粒線體 DNA 序列分析方面，共定序了 12 尾台灣櫻花鉤吻鮭粒線體 DNA 的控制區 (D-Loop)。結果發現，12 尾台灣櫻花鉤吻鮭只分成兩個基因型，而且兩種基因型中只有一個鹼基對的變異，遺傳距離僅有 0.001，顯示台灣櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性已經相當貧乏。再者 Hsu et al. (2015) 的研究顯示，2004~2008 年櫻花鉤吻鮭的族群基因相似度 (similarity value, S) 為 0.968~0.999 而基因歧異度 (genetic diversity, He) 只有 0.056~0.001。(下表取自 Hsu et al., 2015)。上述兩組不同團隊的研就結果，雖是相隔了 16 年，但都指出櫻花鉤吻鮭的族群基因很均質化，幾乎沒什麼變異。但這份期中報告卻是說「可能存在可檢測的形態差異」。這些年來放流的鮭魚，都是來自生態中心所孵化的。在短短的 23 年中，居然會有可檢測的形態差異的存在，這論點真是令人驚訝。

	<p>上述的疑竇，反應出研究團隊強調使用卷積神經網路訓練模型。但任何神經網路系統，都有其先天條件的限制。團隊是如何校正？不同神經網路系統，是否會有不同的結果？在這研究中都沒提出來討論。</p> <p>9. 總結而言，這份第二次期中報告初稿雖然有瑕疵存在，但可以透過後續的文字修正給予改善。整體而言，本報告有提供了創新的研究方法，對未來櫻花鉤吻鮭的保育工作的推動應可提供助力的。</p>	
<p>賴弘智委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 期中報告的編排請仍須依照委託單位的報告格式進行，如「目錄」、「章節」等。 2. 摘要中應該摘要敘述第 1 期報告的成果，報告內容也應納入前期的報告內容 3. 因為魚體是捕捉到盒中拍照，比例尺建議可直接至作為清晰可見的規格，不宜再使用硬幣或鋼尺，以利報告的解讀。 4. 圖 23 中因為圖片過小，似乎未見文中提到的「色卡」。 5. P.6 文中的圖七，應為圖二。 6. 應補充說明魚體的捕捉、拍攝及放回溪流的過程細節流程，此外，若魚體有受傷，如何進行處置。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已參考過去雪霸國家公園的結報格式作修正。 2. 已將第一期成果於摘要與本期報告內文補充。 3. 我們會再配合更改為標準尺，以利報告判讀。 4. 已將 p48 內容更正為白平衡卡，我們利用白底作為影像處理時的白平衡校正基準。 5. 已更正編號。 6. 補充更正內文於 7. 本計畫的研究方向主要還是希望分析出水面上環境如何反映鮭魚的棲地狀況。未來執行其他計畫時有機會可以加入分析。 8. 硝酸鹽是為了檢視武陵地區周

	<p>7. 結果中，除了直接得到產卵處的影像資料外，是否也考慮直接採取魚巢處底質進行材質與粒徑分析，並將數據與影像收集資料配合，增進 AI 影像的學習效果。</p> <p>8. 水質分析項目為何選擇硝酸鹽，其理由為何？若考慮人為汙染，建議應該考慮分析氮鹽或濁度，可直接瞭解人為排放汙染的影響程度。</p> <p>9. 實驗採取為發眼卵，請問該魚苗為幾日齡？請補充說明。</p> <p>10. P.13 第 1 行中說明已卵及精液進行人工受精，請再確認魚苗是採取發眼卵或自行人工授精後進行。</p> <p>11. 文中「溫度」建議皆改為「水溫」，以利與氣溫區分。水溫的單位也請都補上。</p>	<p>邊農業的影響，依據本案測量的結果確實可以看出農業對水質的影響，但目前看起來對於巢位選擇及孵化率影響不大，而是其他因子影響較大，此部分將於後續報告中補充。</p> <p>9. 25 日齡，補充於 p13。</p> <p>10. 我們使用的是發眼卵，已於 p14 內文中修正。</p> <p>11. 內文已依老師建議更正。</p>
<p>本處 保育 研究 課于 淑芬 課 長</p>	<p>1. 運用深度學習分辨鮭魚族群部分，材料方法中並未敘明研究團隊執行細節，例如捕捉方法、在什麼季節拍攝、捕捉多大體型的鮭魚...等，目前已進行 15 隻的拍攝作業，建請補充這 15 隻的捕捉季節與體長等資訊。</p> <p>2. 建請補充 PCA 分析部分的說明，以利參閱，並且圖 14 合歡溪水源地與七家灣溪一號壩圖示顏色太過相近不易辨別，亦請予以調整。</p>	<p>1. 我們將資料補充於表四表五</p> <p>2. 已補充 PCA 分析部分的說明，並調整圖二十六 (p36) 之顏色</p> <p>3. 已依建議修正 (p37)。</p>

	3. P.20 架設溫度計位置圖之圖片較模糊，建議調整並將溫度記錄器編號一併標示於圖上。	
本處 武陵 管理 站廖 林彥 主任	<p>3. 紫外線對於魚類孵化影響甚鉅，研究團隊埋設孵化槽時是否是在黑暗或是光線相似的狀況下進行。說明實驗方法</p> <p>4. 溶氧越高孵化率越低與原有的認知不同，過往都認為流動的溪水含有充足的溶氧有助於魚卵的孵化，因此請研究團隊補充說明。</p> <p>5. 個體辨識預計進行數量為 100 隻，目前尚未達一半的數量，來年預計如何規劃後續的調查研究。</p>	<p>3. 我們在孵化盒實驗時，會使用布蓋住裝有鮭魚卵的保溫箱，攜帶至樣區時，在全程有遮蔭的狀況下將孵化盒迅速埋入溪中用石頭掩蓋，以確保紫外線的影響降到最小。</p> <p>4. 目前初步判斷可看到量測溶氧值高的地方，人類活動剛好也較多，因為這是統計的相關性顯著，並不代表因果關係，團隊在後續分析會想辦法找出實際影響因子。</p> <p>5. 我們會在 2023 年的繁殖期以外在許可規定數量內積極採集鮭魚，增加資料量，希望能在下一期產出初步的 AI 分析資料。</p>
本處 保育 研究 課董 于瑄 技師	<p>1. p.6 「全景相機使用腳架固定於相似高度...」此高度是否有固定數值範圍，建請明確敘述。</p> <p>2. p.9 報告書全文未見圖三的相關描述，建議修正補充。</p> <p>3. p.16 環境因子只呈現平均測量值，未見標準差等相關統計分析，建議應予以補充，以呈現該測量樣點之數據。</p> <p>4. p.17 圖 12 中圖示或圖說應清楚呈現編號，且目前圖上所顯示的測站數量與 52 個測站數量不符。</p> <p>5. p.30 因樣本小，所以對每</p>	<p>1. 我們利用人力背負機器，固定在離地 2 公尺拍攝影像。</p> <p>2. 已加入標示於 p7 文中。</p> <p>3. 已更新資料並加上標準差表示為表五 (p33)。</p> <p>4. 已修改表示方法與圖說於 p35 圖二十七，希望更易閱讀。</p> <p>5. 因為申請隻保育類利用數量有限，未來若可以採集更多數量，將有助於資料的收集與 AI 判讀的學習。同 1 隻鮭魚拍攝不同角度的照片仍有助於 AI 辨識，但最佳的方式確實是取得更多不同隻鮭魚的照片，讓我們更容易建立資料庫進行分析。</p>

	<p>隻魚拍攝多張照片增加 AI 資料庫，此種方式是否合理，是否應採集較多樣本來增加 AI 資料庫；另目前模型準確判斷的成功率為何？在 AI 判讀領域，成功率需達多少才可視為此模型為可行？</p> <p>6. p.32 「樣區親魚與巢位的地理標定，初步分析不同溪段鮭魚數量及其繁殖表現」部分是否已有進行野外不同溪段成魚數量計算？請補充說明。</p> <p>7. 報告書摘要應包含研究初步成果、研究進度呈現應包含上半年度的調查成果，且應附上第一次報告審查會議修正意見及回復情形對照表。</p>	<p>6. 不同河段成魚的數量主要會向武陵管理站索取數魚的資料，本計畫主要會擇選 1 個河段進行捉放法，再與管理站的浮潛數魚的數據進行比較探討。</p> <p>7. 已補充初步成果於摘要中，並增加上半年度與最近日期收集得到之研究進度成果；會附上第一次報告審查會議修正意見及回復情形對照表。</p>
--	---	--

「探討不同棲地對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響」

附錄三：第 3 次報告審查會議委員意見回覆表

壹、開會日期：112 年 6 月 29 日（星期四）下午 2 時

貳、開會地點：本處第 1 會議室

參、主持人：張處長維銓

紀錄：董于瑄技士

肆、出席單位人員：詳如簽到單

伍、討論事項

委員	委員審查意見	受託單位回應
賴弘智委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究報告優點在於可獲取多樣點的長期魚類與生態環境監測資料，佐以 AI 影像收集分析與學習，未來可增加影像分析判斷項目。 2. 報告的內容格式與目錄編排請參考委託單位的要求或其他報告編排，另外成果項目中的「2022 年繁殖地前後棲地環境的調查」，其中「前後」是指時間或空間(上下游)？ 3. 報告指出低水位時期對胚胎發育影響較顯著，去年底到今年上半年乾旱情況嚴重，對調查區域的溪流水域環境及水質(如水溫、水深、pH 等)影響為何，請說明？哪幾項在溪流現地實務上是關鍵項目？是否有影響到的水域魚類生態(如棲息密度、分布及孵化率等)？ 4. P.6 全景相機置放高度兩米，是指距水面高度？ 5. 若水質因子對胚胎孵化影響嚴重，且在實務操作上，短時間無法限制 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定，團隊正在分析資料，在結報會以研究期間的資料提出結果報告。 2. 已參考其他結報格式再編排。「前後」是指繁殖季時間前後，已修改。 3. 目前分析結果可知孵化率對溶氧量很敏感，如溶氧量與流速、水深為同一方向，表示溶氧與流速有很大的相關，故築巢時環境具有適當的溶氧量較佳。去年水位較淺，但是在調查巢位時並未覺得有很大差異，水淺時的確較容易找尋巢位，因為每年的氣候狀況不同，因此期望透過本研究成果未來可以更快速估算棲地。 4. 全景相機的高度是離地高度，將相機架在防震的背包上沿線進行研究。 5. 水質因子經由統計結果有相關程度，但提供建議值並不在計畫範

<p>遊客數量，建議也可朝向水質完善處理的方向進行，但水質無影響的標準為何？本報告中是否有建議值？</p> <p>6. 續上一點，選擇的水質檢測因子(如pH、水溫、硝酸鹽等)與其有何關係？</p> <p>7. 如果溫度資料收集僅為水溫，建議報告中皆以「水溫」表示，較為明確。若另有收集氣溫資料，也請分開陳述，不宜皆以「溫度」表示。</p> <p>8. 報告中有進行「棲地環境」的評估，除水域及水質環境資料外，建議也挑選部分產卵密度高的地點，分析其底質狀況(如底質材質、粒徑分布、流速等)資訊，以使報告成果更具參考性，也利於委託單位為來可作為棲地經營管理的依據。</p> <p>9. 孵化盒放至三周後取出測量的根據為何？魚卵的孵化度天(degree-day)大約為何？孵化盒是否有被泥砂掩埋的狀況？</p> <p>10. 報告文句中有許多”將”、”預計”、”我們將”及”我們預計”等，建議報告中若已經開始進行該方法，甚至已經完成，都不宜使用期的語句，並應說明已經完成。另外，建議報告中也盡量不用如”我”、”我們”等詞句。</p> <p>11. P.17 在兩個流域隨機各挑選對照組20個網格點未來進行微棲地的環境因子測量，請問是已經或尚未測量？”未來”會是在何時測量？</p> <p>12. 表四將水溫資料整合成五個樣區的</p>	<p>圍內，建議需要請教相關專業人士。</p> <p>6. 硝酸鹽確實與農業活動較為相關，主要是去年在合歡溪樣區兩旁有許多農業活動，為了進一步瞭解其影響，故加入此項因子。在經營管理上可提供的建議部分，分析鮭魚的生存、巢位與孵化率時，孵化時期最易受到水質的影響，所以建議孵化期(11月)時可減少露營乘載量。</p> <p>7. 已將報告中數處”溫度”改為”水溫”。</p> <p>8. 底質、深度等資訊確實可以量測，但認為經營管理效用有限，因為一方面已知這些因子的關係，一方面收集資料時需有大範圍的收集，較難兼顧。</p> <p>9. 團隊採用的孵化盒是由美國引進，在日本已有標準化的調查方式及文獻，放置孵化盒至試驗結束的3週時間也是參照文獻訂定。孵化盒內放置發眼卵，一段時間孵化後將沉降到盒子下方的空間，以上述時間評估是否成功孵化，孵化後的小魚不會進入野生環境。孵化盒設置時會以石塊固定，所以目前都未發生孵化盒沖走的狀況，的確有發現一些孵化盒內的沙子較多，這些孵化盒的確孵化率略差，不過我們絕大部分的孵化盒孵化數據都有納入統計分析中</p> <p>10. 已配合時序修改、更正第一人稱</p>
--	--

<p>目的或根據為何？</p> <p>13. 溶氧計除了由廠商調校外，在每次開機使用前也需要現地校正，請補充說明其程序。</p> <p>14. 圖 25 說明內容有重複，請修訂。另外，其項目中的氧化還原電位在材料與方法中並未有此項說明，請問增加此項目分析的目的為何？</p> <p>15. P.60 的水質因子影響已有初步結論，但太高值有負面影響，太低值是否也有影響？對築巢的最佳條件，如 pH、溶氧、導電度及流速等因子，是否有最佳建議值？硝酸鹽若改為氨鹽是否更符合現地人為影響狀況？</p> <p>16. P.68 年份與文字格式錯誤，請予以修訂。</p>	<p>用詞。</p> <p>11. 在實驗初期規劃網格為鮭魚巢位標定的環境因子對照組，測量的資料已經使用於水質影響築巢機率的分析中。</p> <p>12. 五個樣區的比較是為與前測的資料作比較，報告內容中已經將水溫資料使用於八個樣區水質水溫的比較，</p> <p>13. 我們現地校正的步驟參照代理商全拓科技提供的多參數水質量測儀 U - 50 系列操作手冊 p16-17 內容，因篇幅較大，不易改為簡短陳述，可以另外提供檔案參考。</p> <p>14. 已修正圖 25 說明內容。在水質測量，ORP 亦是常用的檢測，我們加入在水質因子的 PCA 分析中做為一個項目。</p> <p>15. 理論上任何環境因子都有一個最適值，無論高於或低於該值都會對魚的繁殖造成負面影響，例如我們所觀察到的孵化率最適溫度是 9.2°C（圖五十八）。然而實際上最適值在自然環境的範圍內並不一定存在，例如雖然我們也可合理推測過酸的水也會影響鮭魚繁殖，實際在我們的樣區範圍內卻不存在有低於 pH6.5 的水域，但大約 pH7-8 的水域大致都適合鮭魚築巢。我們現有的分析結果源自於我們在樣區內大範圍現地採樣所獲得的數據，得到的統計結果應可充分代表樣區範圍</p>
---	--

		<p>內鮭魚築巢偏好。然而超過環境測量值的特殊情況，則需另外設計實驗測量。銨鹽的測量分析雖然並未包含於計畫中，是未來發展可以考慮的方向</p> <p>16. 已修正年份與格式</p>
楊正雄委員	<p>1. 同意本計畫目前規劃與預期成果對於未來鮭魚後續保育研究的開創性與重要性。</p> <p>2. 研究進度如果涉及到與合約書規定或進度事項有關者，建議可不必在每個段落中呈現，可以專節(例如放在研究進度中，或是報告第一頁中)，以表格對照或是 grant 表方式呈現即可。</p> <p>3. 目前野外工作資料並非每月進行，如何可以量化成生態位超容積 (the niche hypervolume method) 預計將使用的各項參數？並可以呈現不同生活史時期的重要性？建議在報告中說明或是引用說明。</p> <p>4. 本計畫方法在微棲地與巢位調查規劃使用樣線、樣點與網格等不同尺度區分，實際作業上如何選擇，以及不同尺度的長度或是網格大小也並未說明，建議請補充在方法內。</p> <p>5. 巢位 360 度全景拍攝是針對巢位拍照或是繁殖棲地陸域環境的周邊？另依據過往經驗，煽巢處容易在水面上偵測，但與實際有產卵位置可能仍有差異，因深潭區的底層環境仍可見鮭魚煽巢痕跡，但在水面上不見得可以完全透過目視搜尋每個巢位點，目前的操作是否一個特定樣</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 將柒：研究進度以表格表示。</p> <p>3. 野外工作調查時間其實不只 1 年 4 次，繁殖季期間研究團隊住宿於武陵地區，兩個多月期間幾乎每日都會進行調查研究，每個河段的巢位約每 3 天會巡過一次。我們主要目標是分析繁殖季棲地的資料並找出可能的繁殖棲地位置，目前已有使用的參數包含：DO、導電度、pH 值、溪水流速。</p> <p>4. 當初在試驗規劃設計時，共有七家灣溪跟合歡溪兩條，所以就稱其為兩條溪流為樣線，而合歡溪有太陽城及水源地，所以將其視為樣點，七家灣溪則根據地理上的壩體位置區分樣點，網格部分為在地圖上劃設後隨機選取進行測量，這部分後續報告會再詳細說明。</p> <p>5. 目前使用全景相機的目的是將整個溪段包含巢位所有的影像特徵皆拍攝下來。因為繁殖季研究團隊都待在武陵地區，所以大致上目視可見的巢位都有納入記錄，水深處的地區會以手持 Gopro 進行檢視。</p>

<p>線內的巢區都全數發現並進行拍照與量測？</p> <p>6. 結論中有提到巢位 360 度全景拍攝的方法與成果，但在討論與結果中並未看到相關論述，如果已有初步成果可以呈現，建議可再補充。</p> <p>7. 巢位棲地發現後是否有針對巢位中是否實際有魚卵進行測試性觀察？因為過往觀察經驗中，部分地點會因為魚群數量較多，部分巢位明顯是大面積擾動的狀況，推測有不同個體使用同個巢區的狀況，以及目前(GLMM)分析中僅能呈現巢位使用的有無(0/100)，如果能有更具體量化的數據，應該可以更細緻呈現各項因子的影響程度。</p> <p>8. (1)目前巢位棲地與孵化箱棲地項目的棲地因子測量有所不同，兩者棲地差異的顯著性如何解讀？(2)巢位棲地並未包含通常文獻中覺得最重要的水溫、底質與伏流(aquifers)有無，但包含比較多的水質項目，目前成果中以實驗組和對照組比對方式，一定會有各項目中個別高低的差異，如何釐清哪幾個項目是實際上有影響的？(3)孵化箱棲地項目中 GLMM 分析中，水溫的點位似乎明顯比其他測量項目少，是否有其他原因？</p>	<p>6. 目前巢位的預測還不夠理想，正在調整模型分析中。</p> <p>7. 若要確認巢位中是否有卵，則需翻開大量的巢，在實際調查上有執行的困難，目前找到的巢位可以視為至少是鮭魚產卵的候選位置，並且考量不要干擾鮭魚野外孵化環境，改採用孵化盒進行試驗。</p> <p>8. (1)實際上各項棲地因子對築巢及孵化率的影響，只有溶氧量的影響較為不同，其餘趨勢均一致，例如 pH 愈高，築巢機率愈低（圖四十八），孵化率也愈低（圖五十六）。顯示鮭魚所選擇巢位的準則就是能使其孵化率較高的環境條件。然而雖然在孵化盒實驗中，溶氧量低時有較高的孵化率（圖五十六），但過低的溶氧可能不利於成體活動，因此巢位選擇有一最適之溶氧值（9.75ppm；圖五十一），可能是存活與繁殖需求權衡（trade-off）的結果。</p> <p>(2)我們分析所建立的 GLMM 模型，是在一個模型中同時考慮了所有測量到的水質因子的影響的複回歸形式的模型，這樣的模型架構可避免將不重要的水質因子誤認為重要（因為間接與其他重要因子相關）的誤判狀況。</p> <p>(3)水溫的測量是從 ibutton 長時間的水溫紀錄資料中擷取，亦即相鄰水域的孵化盒採用的溫度資</p>
--	--

		料可能相同，但其他水質資料則是直接測量每個孵化盒位置的水質。另外有少量 ibutton 在研究過程中被沖失。基於上述原因，水溫的資料點數較少。
陳俊山副處長	1. 水溫 11 度時飽和溶氧量可達 11 mg/L，本案測得水溫在 12 度左右，其測得溶氧量數值近 10.5 mg/L，應該在合理範圍內。	1. 感謝副處長熱心補充數據。
于淑芬課長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 巢位全景照是否因每個區域差異很大，導致後續放入模式分析後結果不盡理想？ 2. 報告中提及後續應用包含希望找出潛在的巢位點，因為每年氣候不同，可能暴雨後改變棲地的底質，研究團隊後續將如何預測巢位點，是預測全河段嗎？ 3. 有關分析鮭魚形質部分，報告書中提及七家灣溪跟羅葉尾溪各捕捉 30 隻，但剛剛簡報內容似乎不只這個數量，數量有差異的原因為何？另當初申請的保育利用為 200 隻，目前採集的數量未達半數，後續請掌握相關進度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前結果尚待調整模型才能確定。 2. 目前仍然是嘗試以影像分析尋找巢位點。使用全景相機的目的是將所有的影像特徵皆拍攝下來，1 個相機有 6 個鏡頭且都是高解析度的影像，巢位的預測還不夠理想，即使現在已標定 300 多個巢位，目前提供給 AI 的照片中沒有巢位的影像仍較多，還需要進一步微調，若是年底前還未能順利完成，可能就要考量加入測量的因子，加入測量的因子有助於 AI 的預測，但後續應用就必須也要有相關的量測數據，在應用上會較困難。 3. 目前已採集 50 幾隻鮭魚，明年希望可以採集 500 隻，主要的採集額度會使用在繁殖季採集。

<p>廖林彥主任</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因為台灣四季氣候不分明，且臺灣櫻花鉤吻鮭的生活史也沒有降海洄游時期，所以如何能像溫帶的物種利用鱗片估算年齡？ 2. 本研究重要成果之一為標示出河段上所有鮭魚巢位，例如根據七家灣溪的調查結果，可以看出鮭魚分布的熱區，沒有成魚分布也就不會有巢位，雖然沒有水下的紀錄，但已知流速小於 45cm/s 且深度少於 45 公分適合作為鮭魚的巢位，之後可與 AI 的成果予以驗證搭配檢視。 3. 管理站給予的受精卵都是同一親代，所以品質應該也是相同的，P.22 的孵化率數據請再重新檢視。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大島正滿的研究中即有提及鮭魚鱗片鑑定年齡，在日本已進行銀鱒類似研究，武陵地區的氣候並不會比九州炎熱，目前日本的研究成果發現鱗片可像年輪判斷出年齡，未來希望透過此方法可以瞭解七家灣溪跟合歡溪鮭魚的族群組成結構。 2. 感謝主任提供意見。 3. 研究團隊執行時為了確定實驗品質，攜帶孵化盒至野外時也會同時攜帶一組孵化盒做為控制組，野外試驗後攜回管理站養殖中心，最後檢視其孵化結果相同，孵化率皆可達 99%，表示攜帶過程並未對其造成影響，造成孵化率的差異是卵受野外環境影響的結果。
<p>董于瑄技士</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. p.43-44 圖 31 至圖 34，圖說部分建請補充比例尺。 2. p.46 報告中提及「由於輸入的資料維度是 256 x 64 x 64，我們將 ResNet50 模型最前面的 Convolution Layer、Batch Normalization、ReLU 與 MaxPooling 移除」，是否可進一步補充說明其因果關係？ 3. 目前所收集七家灣溪與合歡溪鮭魚族群形態資料，是否已可利用深度學習模型初步比較不同溪段族群的形態特徵之差異？ 4. 第 2 次報告審查會議提問「樣區親魚與巢位的地理標定，初步分析不同溪段鮭魚數量及其繁殖表現部分是否已有進行野外不同溪段成魚數量 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已補充說明(p49)。 2. 補充敘述內容在 p46-47。 3. 七家灣溪跟合歡溪的鮭魚外表形態差異不小，目前要區分不是太困難，但模型的判讀上還不盡理想，希望下半年能有比較完整的結果，可以明確看出哪些特徵可用來判讀。 4. 因為捉放法需要有一定的回收率，目前在一小段河段採集 50 隻，皆無法回收到標定過的鮭魚，因此需要標定更多個體才能規算族群大小， 5. 我們期望可以先達到七至八成的預測準確率，但準確率多高並非我們主要關注的重點，更重要的

<p>計算？請補充說明」，受託單位回復會向管理站索取數魚的資料，並擇選 1 個河段進行捉放法，再與管理站的數據進行比較探討，惟第 3 次報告書中未見相關內容，建請予以補充說明。</p> <p>5. 目前模型準確判斷的成功率為何？在 AI 判讀領域，成功率需達多少才可視為此模型為可行？</p> <p>6. 報告中常見「去年」或「今年」等用詞，因本案為跨年度計畫，建議統一調整為 2022 年或 2023 年等明確年份，以避免混淆。</p>	<p>是把模型判讀的依據，即量化出來的特徵，拿來做後續應用分析。</p> <p>6. 已修改用詞為明確年份</p>
---	---

「探討不同棲地對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群之影響」

附錄四：期末報告審查會議委員意見回覆表

壹、開會日期：112 年 12 月 14 日（星期四）下午 1 時 45 分

貳、開會地點：本處第 1 會議室

參、主持人：林處長文和

紀錄：董于瑄技士

肆、出席單位人員：詳如簽到單

伍、討論事項

委員	委員審查意見	受託單位回應
賴弘智委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 計畫進行過程中，是否有鮭魚死傷？應補充說明。 2. 孵化盒實驗數量 2022 年 26 個，2023 年只有 6 個，兩年度差異大，請說明原因。 3. P22 的表一，標題為四項因子，但表中只有 2 項，且其中之一為” 2022”？請補充說明。 4. 建議還是應有一張大範圍地圖，說明標示出所有樣點。 5. 圖 40、41，應在圖上標示出各樣站或易識明點位。 6. 表五中合歡溪僅有 2 樣點，但結果認為合歡溪優於七家灣溪，是否足夠客觀？ 7. 表五中各水質樣站間是否有作統計比較？各樣點間是否有顯著差異？其數值是兩年的綜整資料嗎？應在內文及圖上都補充說明。 8. 結論說明結果傾向支持「分散滅絕」假說，此部分在計畫書內容未 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫 2 年期間總共有 1 隻鮭魚死亡，死亡的魚隻已製成標本存放於中央研究院。 2. 2023 年孵化盒的實驗數量只有 6 個，主要因為經過第一年實驗後當初所申請的利用保育類野生動物額度只剩 450 顆卵，所以只能再放 6 盒，以結果來看第一年的實驗結果已初步具代表性，可惜利用額度有限，第二年無法在合歡溪源頭放置孵化盒進行實驗。 3. 已更正表格錯誤。 4. 已增列在報告中。 5. 已增列在報告中。 6. 合歡溪整條溪都有鮭魚分布，團隊從最源頭開始往下游走，調查點因交通關係有中斷；探討棲地對經營管理的影響，本計畫成果顯示對鮭魚最重要的生活史為孵化階段，所以從分析數據看在繁

	<p>說明，建議予以補充。</p> <p>9. 請在摘要與結論中，說明本計畫題目所要求的棲地對鮭魚族群的影響。</p>	<p>殖季前開始的幾個月（10月至12月）最為重要，應能客觀說明。</p> <p>7. 僅列出數值，未只有針對表五資料作統計比較。此處只列2022年收集之資料。</p> <p>8. 很多瀕危物種的滅絕，有兩種假說，其一自然狀況中，物種從邊緣、較不好的環境開始滅絕，另一種是分散滅絕假說，若對生物族群的影響是人為的，滅絕不一定從邊緣或環境不好處開始，本研究可顯示鮭魚當初的滅絕主要是人為的關係。</p> <p>9. 已加入說明。</p>
楊正雄委員	<p>9. 本計畫規劃與預期成果對於未來鮭魚後續保育研究具有開創與重要性，報告目前格式呈現偏於研究論文，因為書面報告書關心本議題民眾的主要來源資料，建請仍花點時間以報告型式彙整呈現，以下提供修改建議：摘要呈現目前過於簡化，且缺乏具體成果呈現。建請補充。另摘要格式是否應依循國家公園既有格式要求？例如：建議、英文摘要及關鍵字等，也請再與主辦單位確認。成果章節中也請納入期末簡報成果（特別是2023年成果資料）。</p> <p>10. 研究地區說明建議增補地圖，需可呈現臺灣/整個研究區域/2個流域/8個樣線/52個樣點的相對位置，以利其他對該地區不熟悉的人閱讀報告時可以理解（建議可使用圖45修改</p>	<p>1. 補充摘要內容，並加入英文摘要與格式。</p> <p>2. 已增列在報告中。</p> <p>3. 已將前人研究改寫內容。</p> <p>4. 已增列參考文獻至清單中。</p> <p>5. 針對機器學習的問題尺度，一般會盡可能增加目標資料數據的數量與多樣性，以避免擬合不足（underfit）或是過擬合（overfit）的問題。常見的處理法是在資料收集完成後，以程式對影像加入隨機翻轉、旋轉或亮度對比調整等處理。但在能力所及的情況下，也可以在資料收集時，針對試圖用機器學習解決的問題尺度，對目標重複取樣（例如對同個體拍攝多張略有差異的照片），增加樣本的數量與多樣性。</p>

<p>呈現)。</p> <p>11. 前人研究目前內容 (P5 最末段至 P7) 中有不少夾雜本計畫執行構想與方法的敘述，建議分別呈現或是改寫會比較合適標題。另外臺灣櫻花鉤吻鮭生殖生態學的研究雖然正式發表論文不多，但有些可在研究報告或碩博士論文中找到觀察或實驗資料，或許與本研究使用方法或有差異，但仍建議可擇要說明或納入。</p> <p>12. 部分報告內文提及參考文獻並未列入文獻清單，如和 Soulsby et al. 2001、Hsu et al. 2010、Tonolini et al. 2019 等，建請增補。</p> <p>13. 本文有提到拍照個體數過小，為了提高訓練基數，以多次拍照同一個體方式增加影像樣本數，請問這是否為通常增加影像樣本的標準程序？</p> <p>14. 在運用深度學習辨識不同族群鮭魚內容中，提到 512 維特徵的選取，以及後續成果中提到 256x64x64 維特徵選取，請問如何決定是選擇多少維度 (如 512 或 256x64x64) 這樣的數字或組合，以及是否可能知道其所選出的包含特徵為那些嗎？</p> <p>15. 市面上有很多全景相機 (甚至包含手機也號稱可以拍到全景)，目前所使用機型 (Insta360 Pro 2) 價格不斐，請教是否有其特殊功能或考量而使用？</p> <p>16. 報告中提到「鮭魚築巢與胚胎孵化的生態棲位空間位置明顯不同... (略)... 這兩個階段主要的環境需</p>	<p>6. 代表鮭魚形態的 512 維是常見的深度自動編碼器抽取的特徵維度，大約只佔原影像不到 0.3%，我們沿用這個設定。模型抽取之 512 維特徵向量，可以再透過模型解碼器重建原本的影像。報告中已提及，為了理解抽取出的特徵如何構成視覺上的差異，我們對每個體的平均特徵進行主成分分析 (PCA)，並加以視覺化。視覺化的方法為：對各 PC 軸 (在此取前 3 軸) 各自取 -3 等差遞增至 3 的 PC 值，並將其餘軸設定為 0，而後進行反向投影 (inverse transform) 回 512 維特徵。最終透過模型解碼，生成各軸的形態變異。同理亦可直接從 512 維中取感興趣之特徵，從最小值遞增至最大值，其餘特徵皆取平均值，再透過模型解碼，生成目標維度的形態變異。用於棲地全景巢位的 256x64x64 維為所使用之語意分割模型 Segment Anything Model (SAM) 的輸出形狀，由 256 維影像特徵與 64x64 維的平面空間位置構成。由於 SAM 已在數千萬筆影像，數十億個影像分割物件上進行預訓練，從中精煉出豐富的影像資訊，因此我們保留模型參數與其預設維度，並遷移至棲地全景巢位辨識用。然而與生成式模型不同的是，要準確知道每個特徵具體代表什麼是非常困難</p>
--	---

<p>求明顯不同。此外，鮭魚胚胎孵化成功的超體積僅大小為巢位的超體積的 60%，（略）...顯示胚胎孵化的環境需求較築巢更為嚴格」，此部分個人認為這或許可以用近年來各河川的鮭魚數量很多，成年鮭魚競爭繁殖棲地，導致有限的合適繁殖棲地可能被更多個體重複占用挖掘導致這樣的狀況來做為解釋。</p> <p>17. 報告中提到「由於 2375 張微棲地全景影像中，僅有 99 張可找到對應巢位，其餘 2276 張皆無對應巢位，巢位樣本數過少造成模型訓練過度擬合之結果。模型僅需猜測所有影像均無巢位，即可達到 95% 的高準確率。」顯示因樣本數的問題導致無法達到預期成果。目前建議「需要多年的時間與資源投入才能夠取得足夠的具有對應巢位的影像數據」，請問此工作未來的規畫？以及是否有其他方式可能調整？例如準確率提高到 99.9%？或是調整自監督方式（自監督的影像自編碼器，搭配大量資料與少量的人工標記）調整為更多人工標記的資料納入？</p> <p>18. 鮭魚形態分析結果中，UMAP 演算降維 2D（圖 42）結果看起來合歡溪包含另外兩條溪的數據，但文中提到七家灣溪和合歡溪可以區分？其後續如果真的可以區分，後續野外如果想要實際應用的話，是否也需比照研究標準程序進行拍照？或是可以適用各種狀況？</p> <p>19. 野外鮭魚捕抓方法中毛鈎釣魚和手</p>	<p>的，因為這些特徵是高度抽象化的，不是直觀可解釋的，並且必須同時考慮特徵與空間位置。但仍可透過辨識出與學習目標相關的特徵，將特徵與位置標記於原影像上，讓人可間接判讀出具體相關的棲地環境。我們亦可使用維度降低技術（如 PCA）來將高維特徵投影到低維空間，幫助觀察特徵間的關係和聚類，助於理解模型是如何將不同的圖像區域分類的。我們在鮭魚形態分析就有用到後者的技術。</p> <p>7. Insta360 Pro 2 可提供有限成本下，相較其他較陽春功能的全景攝影機完整的棲地全景影像資訊。</p> <p>8. 有關 pH 值對族群的影響，本研究針對族群密度、巢位及孵化率進行調查，族群密度為每個河段的資料，因此以河段平均來分析，巢位與孵化率為可計數的調查樣點；巢位指鮭魚自然築巢的位置，研究團隊並未翻動自然巢位，孵化率係用孵化盒計算的結果，因此與自然巢位不會一樣。二號壩密度高，計算巢位的量化超體積最廣，但孵化可以的範圍還是很小，表示該區域可能因為鮭魚數量很多競爭激烈，所以鮭魚到處築巢，但實際上很多巢並未使用，承載量若用魚的數量，大眾容易理解但意義不大。</p> <p>9. 棲地全景相機拍攝影像取得的資</p>
--	---

<p>拋網捕的 CPUE 差異有多少?</p> <p>20. 報告中提到「櫻花鉤吻鮭偏好築巢在流速較低、pH 值接近中性，水溫接近 14.1 度的水域」此部分與過往認知 12 度不同，後者 12 度可能是過往本人碩士論文所提結果，當時是指魚卵孵化時期的 11 月均溫數字，與本研究呈現結果並無衝突，過往對於水溫的觀察也發現七家灣溪個地點的水溫要降至 12 度以下約要到 10 月中以後（但有些地點會更晚）。</p> <p>21. 針對計畫成果結論中提到合歡溪是合適棲地，但可能因為捕抓導致絕種的問題說明：過往文獻提到合歡溪的鮭魚分布中並未指涉其數量或是分布上限，但合歡溪在華岡以上至水源地之間是有非常多天然阻礙或是人工壩體落差的，這些會限制魚類的原生分布，目前合歡溪鮭魚分布最穩定的水源地以上河段，在過往應該都是沒有鮭魚分布的地方才是。亦即合歡溪可歸屬為歷史分布溪流，但該河段並非歷史分布河段。</p>	<p>訊非常多，自監督指可以自行分類並重新學習，所以可以學習到棲地的特徵，但巢位仍需人工標定，所以若時間與人力充足的情況下，應該可以進行相關分析。</p> <p>10. 本研究中的邏輯回歸分類器測試時，若以七家灣溪、合歡溪、羅葉尾溪族群作為預測目標，準確度為 66.1%，若再進一步合併標記，以「是否為七家灣溪」作為預測目標，準確度則提升為 79.1%，顯示不同溪流之鮭魚族群確實存在可分辨的形態差異。合歡溪族群形態多樣性高，另兩溪流族群形態包含於其中為合理結果，報告中的 UMAP 為降至二維後的視覺化結果，難免會有點位重疊遮擋，在高維空間中應會有更明確的分布差異。</p> <p>以當下模型訓練的樣本數以及影像必經的前處理程序，若要實際應用於野外，建議使用標準程序拍攝，將個體在穩定的光源條件下拍攝清楚。我們的方法旨在將非結構化的影像資料予以標準量化，後續理論上在問題尺度與資料的時空尺度相當，並收集了足夠樣本的條件下，都可以應用。</p> <p>11. 使用毛鈎釣較能在多樣性的棲地（例如：深潭與急流）收集鮭魚個體，此外我們的研究內容並未包含比較兩種捕捉方法的 CPUE，或可待未來另外進行研究。</p> <p>12. 感謝楊委員補充說明。</p>
---	---

		13. 感謝楊委員補充。團隊從最源頭開始往下游走，合歡溪整條溪都有鮭魚分布。
林文和處長	4. 本計畫研究樣區為七家灣溪跟合歡溪，為何 P61、63 提及羅葉尾溪，請補充說明或予以調整。 5. 請於本案成果報告書補充未來建議事項，並與結論分開撰寫；新聞稿請以大眾化、科普的方式撰寫，以利宣導研究成果。	1. 羅葉尾溪屬於較小條的溪流，主要是基於科學上的好奇而另外進行的研究與分析，與本案的研究相關性較小，成果報告會予以調整或補充說明。 2. 成果報告書會以正式格式將結論與建議分開撰寫。
許嘉祥副處長	1. P75 誌謝與參考文獻不應納入報告書主要章節序號編排。	1. 已修改為建議的呈現方式。
于淑芬科長	1. P24~31、P54~59、P63~64 照片太模糊，解析度太差，無法看出全貌，請予以改進。 2. P66 築巢水溫接近 14.1°C，與以往認知 (12°C) 有差距，原因為何？ 3. 櫻花鉤吻鮭請調整為「臺灣」櫻花鉤吻鮭。	4. 已更新 P24~31、P54~59 的影像。P63~64 的影像模糊是正常的，首先基於硬體算力限制，輸入 VSC 模型的影像與解碼器生成的影像皆為 256x256 像素。再來解碼器是由僅有不到原本影像的 0.3% 的壓縮資訊來生成圖像，加上對影像差異評估演算法採用 mean squared error，勢必會讓生成的影像平滑化，沒有真實影像的銳利度，看起來較為模糊。 5. 本案呈現的溫度為各溪流的日平均溫度，巢位 1 日內的溫度也有高低，可能也與氣候暖化相關。

		<p>本案另一有趣的發現為七家灣溪與合歡溪水溫有差異，但鮭魚開始築巢的日期皆為10月1日，正常情況下，溫度不是穩定的指標，或許另與光週期相關。</p> <p>6. 已調整為正確用詞。</p>
廖林彥主任	<p>4. 建議研究團隊提供簡單易懂的文字給予科普論述或媒體宣傳的論點，以下的舉例是否正確？</p> <p>(1) 以拍照的方式套入深成研究的二維分析瞭解來自哪條溪流。</p> <p>(2) 水質的優劣對孵化有影響，尤其是水溫，在全球暖化的議題能有所著墨，尤其全世界分布最南處，又是最高海拔的放流與生存棲地。</p>	<p>1. 感謝廖主任提供合適舉例。或可稍微修改為：</p> <p>(1) 拍攝溪流中櫻花鉤吻鮭的照片，再利用 AI 深度學習技術，分析這些魚在不同溪流中的外觀有什麼不同。</p>
董于瑄技士	<p>7. 中文摘要請調整寫法，避免出現「我們」等字眼，且補充英文摘要。</p> <p>8. P16 第一行「根據過去研究顯示…」及 P74 最後一行「過去其他研究中也發現相似的例子…」，請補充內文敘述的參考文獻來源。</p> <p>9. P34 建議除了以表三方式呈現樣線資訊外，另補充 8 條樣線的分布圖。</p> <p>10. 建議調整章節等格式排版方式。</p> <p>11. 報告書部分內容誤植或錯漏字，建議修正：P12 倒數第十行將遺骸製「成」標本、P16 第十行並檢「查」裝置、P32「營」雪保字第、p61 使用「釣魚」方式等。</p>	<p>1. 已更正用詞並補充英文摘要。</p> <p>2. 已加入參考文獻，並修改用句。</p> <p>3. 加入分布圖</p> <p>4. 依建議修改排版。</p> <p>5. 已修改錯漏字等。</p>