雪霸國家公園園區山椒魚族群生態及生物學調查

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 113 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）

雪霸國家公園園區山椒魚族群生態及生物學調查

受委託者：國立臺灣大學

研究主持人：朱有田

研究期程：中華民國 112 年 1 月至 113 年 12 月

研究人員：林春富、蕭旭峰、鄭勝文、林祐竹、陳柔安、伍思聰、莊可萱、林宗翰、羅時玟

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 113 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）

目次

圖次.....iii

表次.....v

摘要.....1

Abstracts.....3

第一章 緒論.....7

第一節 計畫緣由.....7

第二節 逐年計畫目標.....8

第三節 前人研究.....10

第二章 材料與方法.....17

第一節 研究地區.....17

第二節 研究方法.....17

第三章 結果與討論.....29

一、 調查雪霸國家公園所轄園區及鄰近山域的山椒魚分布.....29

二、 收集及探討園區內山椒魚的微棲地與地表無脊椎動物相資訊.....36

三、 觀霧地區山椒魚永久樣區監測調查與標準化調查流程建立.....53

四、 觀霧山椒魚與臺灣山椒魚之族群遺傳結構探討.....63

五、 觀霧山椒魚生活史.....73

第四章 結論.....79

第五章 經營管理建議.....81

附錄一、第一次審查會議意見處理情形.....83

附錄二、第二次審查會議意見處理情形.....89

附錄三、第三次審查會議意見處理情形.....95

附錄四、第四次審查會議意見處理情形.....101

附錄五、辦理雪霸國家公園山椒魚教育訓練.....107

參考文獻.....113

圖次

圖一、雪霸國家公園及周邊地區山椒魚分布。.....11
圖二、測量形值與 VIE-tag 標記施打位置。.....19
圖 1- 1、雪霸國家公園園內與園區周遭山椒魚分布地圖。.....34
圖 1- 2、檜山巨木步道的觀霧山椒魚 2020 年至 2024 年調查數與再捕捉數變化。
.....35
圖 2- 1、於觀霧地區進行土壤樣本收集。.....44
圖 2- 2、於觀霧地區進行掉落式陷阱架設。.....44
圖 2- 3、觀霧地區土壤表層動物取樣 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。.....45
圖 2- 4、觀霧地區土壤表層動物取樣 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。.....45
圖 2- 5、觀霧地區掉落式陷阱 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。.....46
圖 2- 6、觀霧地區掉落式陷阱 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。.....46
圖 2- 7、觀霧地區馬氏網 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。.....47
圖 2- 8、觀霧地區馬氏網 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。.....47
圖 2- 9、觀霧地區 2023 年 6 月土壤表層取樣昆蟲綱各目動物總數相對占比。.48
圖 2- 10、觀霧地區 2023 年 6 月掉落式陷阱昆蟲綱各目動物總數相對占比。...48
圖 2- 11、觀霧地區 2023 年 6 月馬氏網陷阱昆蟲綱各目動物總數相對占比。...49
圖 2- 12、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日最高溫變化。.....49
圖 2- 13、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日最低溫變化。.....50
圖 2- 14、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日均溫變化。.....50
圖 2- 15、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日均溫變化。.....50
圖 2- 16、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日平均相對濕度變化。.51
圖 2- 17、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日最高溫變化。.....51
圖 2- 18、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日最低溫變化。.....51
圖 2- 19、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日均溫變化。.....52
圖 2- 20、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日均溫變化。.....52
圖 2- 21、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月日平均土壤含水量變化。.....52
圖 3- 1、觀霧地區觀霧山椒魚永久樣區設置。.....54
圖 3- 2、大鹿林道西線與榛山步道觀霧山椒魚樣區之棲地豐富化與調查標準化。

.....56
圖 3- 3、2023 年 10 月 16 日裁切鋪設柳杉木片。.....56
圖 3- 4、新鋪設柳杉木片於鋪設後 142 天發現觀霧山椒魚利用。.....57
圖 3- 5、山椒魚測量形值位置示意圖。.....62
圖 3- 6、 山椒魚 VIE-tag 標記施打位置示意圖。.....62
圖 4- 1、觀霧山椒魚遺傳樣本分析族群。.....69
圖 4- 2、臺灣山椒魚遺傳樣本分析族群。.....69
圖 4- 3、臺灣山椒魚與觀霧山椒魚粒線體細胞色素 b 基因核苷酸全長序列親緣關係樹。.....70
圖 4- 4、觀霧山椒魚潛在遺傳分群數。.....71
圖 4- 5、觀霧山椒魚種內族群分派檢定。.....71
圖 4- 6、臺灣山椒魚潛在遺傳分群數.....72
圖 4- 7、臺灣山椒魚種內族群分派檢定。.....72
圖 5- 1、2022 年 12 月觀霧山椒魚產卵的缸子設計（A）與 2023 年新設計的繁殖缸（B）。.....74
圖 5- 2、三隻雄性觀霧山椒魚生殖影像資料。.....76
圖 5- 3、五隻雌性觀霧山椒魚生殖影像資料。.....78
圖 5- 4、性別未知觀霧山椒魚生殖影像資料。.....78

表次

表一、山椒魚分布調查記錄表.....19
表二、二十組表現序列微衛星螢光標記引子對資訊.....26
表 1- 1、雪霸國家公園山椒魚族群分布與生態調查.....31
表 1- 2、檜山巨木林道觀霧山椒魚再捕捉個體資訊.....32
表 2- 1、雪霸國家公園與周邊山域觀霧山椒魚分布永久監測樣區微棲地資訊...41
表 2- 2、雪霸國家公園與周邊山域臺灣山椒魚分布永久監測樣區微棲地資訊...42
表 3- 1、山椒魚棲地利用調查表.....61
表 3- 2、VIE-tag 螢光標記顏色代碼.....61
表 4- 1、觀霧山椒魚於 20 組微衛星基因座（標記）之多型性資訊分析.....67
表 4- 2、臺灣山椒魚於 20 組微衛星基因座（標記）之多型性資訊分析.....68

摘要

臺灣的五種特有種山椒魚都棲息在海拔 1,300 公尺以上的山區高山溪流源頭，根據 109-111 年執行「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」計畫調查結果顯示觀霧山椒魚分佈於觀霧地區以北，雪山山脈北段及中央山脈太平山山區；臺灣山椒魚則分佈雪山山脈鎮西堡至小雪山間，東界至合歡山，能高越嶺則是分佈的南界。雪霸國家公園園區內有臺灣山椒魚及觀霧山椒魚分布。園區內觀霧山椒魚的棲地是觀霧山椒魚分布的最南界，臺灣山椒魚則是族群位於雪山山脈的最北族群，研究牠們的遺傳結構有助於保育單位的制定。在親緣遺傳分析研究，經由粒線體 DNA （mtDNA） 序列多型性的比較，觀霧山椒魚的 mtDNA 主要分成兩類群，觀霧地區的山椒魚與北橫及太平山的山椒魚被分成一群，棲蘭山的被分成另一類群。雪霸國家公園的臺灣山椒魚則具有獨特的 mtDNA 遺傳特徵與中央山脈地區的族群不同，且園區內雪山西稜東西兩側的臺灣山椒魚具有顯著的 mtDNA 遺傳差異。但細胞核基因的遺傳結構是否與粒線體一樣，尚待進一步研究。藉由多個核 DNA 微衛星基因座進行觀霧山椒魚與臺灣山椒魚族群內的族群遺傳結構分析，可提供更細緻的保育單位劃分的資訊。本計畫的目標：1、針對園區內與臨近山域臺灣山椒魚及觀霧山椒魚進行棲地分布調查；2、以轉錄體微衛星 DNA 標記分析臺灣山椒魚及觀霧山椒魚的族群遺傳結構分析；3、進行生活史與食性相關地表無脊椎動物相等生態學調查；4、並嘗試建立觀霧地區山椒魚後續監測標準化作業方式；5、根據遺傳資料、分佈點位與生態環境資料，提出保育單位劃分；6、將計畫成果轉化提供解說教育應用及未來經營管理之參考。

因此，本計畫執行兩年，完成包含（一）山椒魚分布地區調查：進行 12 次的山椒魚分布永久監測樣區族群量調查，累計 77 隻次調查紀錄，其中包含觀霧山椒魚 32 隻次，以及臺灣山椒魚 45 隻次，另累計施打軟性螢光標記 72 筆螢光標記埋植；（二）微棲地資訊與無脊椎動物相研究：完成收集 77 筆山椒魚分布的微棲地資訊分析，另進行底棲無脊椎動物相調查，架設掉落式陷阱共 18 座，並完成 6 月份與 8 月份掉落式陷阱無脊椎動物相物種鑑定；（三）永久監測樣區流程建立：完成擬定觀霧地區山椒魚監測標準化（SOP）作業；（四）雪霸國家公園周邊地區山椒魚遺傳結構釐清：完成雪霸國家公園境內與周邊山域之遺傳樣本收

集，自新採集組織中鑑定出 10 種粒線體細胞色素 *b* 基因單套型，並整合過去獲取累計的 62 筆單套型序列資料，針對觀霧山椒魚與臺灣山椒魚進行粒線體遺傳分化程度分析，另外於核基因的 20 組表現序列微衛星標記應用，亦完成臺灣山椒魚與觀霧山椒魚於 20 組基因座的鑑別能力分析，並使用分派檢定檢視兩物種的次族群分化情形;(五)進行觀霧山椒魚生殖腺核磁共振掃描照影(micro-MRI)，獲取 9 隻圈養觀霧山椒魚個體 4 月與 8 月之影像資料，並對比相同個體過去性腺影像，探討不同時間尺度下觀霧山椒魚性腺的發育模式變化。

提供經營管理單位建議如下：(一）觀霧山椒魚是臺灣五種山椒魚分布海拔最低，棲地範圍僅略大於南湖山椒魚。由於分布海拔低，棲地易受人為活動干擾。經由雪霸國家公園的委託研究，其族群現況與遺傳多樣性逐漸明朗。「2024 臺灣陸域脊椎動物紅皮書名錄」將觀霧山椒魚列為「瀕危物種」。觀霧地區為觀霧山椒魚重要的種原棲地，因此建議除加強山椒魚的保育宣導外，在觀霧地區重要且遊客易到達棲地加裝監視設備，嚇阻遊客外也可以計算棲地受干擾程度與干擾樣態；(二）建議可以引進企業能量強化雪霸國家公園的山椒魚保育研究。企業為達到永續發展的績效指標（ESG）也樂於與目標明確的國家公園合作。合作項目可包括山椒魚保育宣導、棲地保育監測、棲地與山椒魚族群監測等等；(三）觀霧山椒魚現今的科學學名有混用 *Hynobius fuca* 與 *H. fucus* 兩種。若依國際動物命名法規 ICZN（International Commission on Zoological Nomenclature）規範，建議未來統一以 *Hynobius fucus* 為觀霧山椒魚科學學名；(四）本研究以細胞核表現體微衛星遺傳標記，進行觀霧山椒魚的族群遺傳結構分析，顯示觀霧山椒魚遺傳分化為南北兩群。南部族群以觀霧地區被研究最久，族群量穩定又位於國家公園保護區內，可視為重要保育單位。臺灣山椒魚可分為東西兩群，雪山山脈一群，中央山脈一群。羅葉尾山與雲陵棲地則同時具有這兩群遺傳特徵，推測緊鄰兩山脈的思源啞口稜線可能為這兩群臺灣山椒魚在間冰期的基因交流廊道。

關鍵字：臺灣山椒魚、觀霧山椒魚、雪霸國家公園、永久監測流程、生殖腺核磁共振掃描照影

Abstracts

The five endemic species of *Hynobius* salamanders in Taiwan inhabit alpine stream headwaters above 1,300 meters. According to the findings of the "High Mountain National Park Salamander Distribution, Genetic Structure, and Biological Investigation" conducted from 2020 to 2022, *Hynobius fucus* is distributed north of the Guan Wu area, in the northern Snow Mountain Range, and in the Taipingshan region of the Central Mountain Range. *H. formosanus* is found from Zhenxibao to Xiaoxueshan, extending eastward to Hehuanshan, with the southern boundary at Nenggao Trail. Within Shei-Pa National Park, *H. formosanus* and *H. fucus* both occur. The habitats in the park represent the southernmost distribution of *H. fucus* and the northernmost population of *H. formosanus* in the Snow Mountain Range. Research on their genetic structure can inform conservation strategies. Phylogenetic studies based on mitochondrial DNA (mtDNA) polymorphism indicate that *H. fucus* mtDNA falls into two major clades: salamanders from Guan Wu, and Taipingshan group together, while those from Qilan Mountain form a distinct clade. In contrast, the mtDNA of *H. formosanus* in Shei-Pa National Park shows unique genetic features distinct from populations in the Central Mountain Range, with significant mtDNA genetic differences between populations on the east and west sides of the Snow Mountain Range. However, whether nuclear DNA genetic structure mirrors mtDNA patterns requires further investigation. Using multiple nuclear microsatellite loci, population genetic analyses of *H. fucus* and *H. formosanus* can provide finer information for conservation unit delineation. Here are the objectives in this research: (1) Investigate the habitat distribution of *H. formosanus* and *H. fucus* within the park and surrounding mountain ranges; (2) Analyze population genetic structures of *H. formosanus* and *H. fucus* using transcriptome-based microsatellite DNA markers; (3) Conduct ecological

surveys of life history traits, feeding habits, and terrestrial invertebrate assemblages; (4) Establish standardized monitoring protocols for salamander populations in Guan Wu; (5) Propose conservation units based on genetic, distribution, and ecological data; (6) Convert project findings into materials for education and management reference.

This two-year research project achieved the following objectives: (1) Distribution surveys: Conducted 12 permanent monitoring surveys, recording 77 salamander observations, including 32 *H. fucus* and 45 *H. formosanus*; (2) Microhabitat and invertebrate studies: Collected 77 microhabitat data points, deployed 18 pitfall traps, and identified terrestrial invertebrate species from June and August samples; (3) Standardized monitoring: Developed SOPs for *H. fucus* monitoring in Guan Wu; (4) Genetic structure analysis: Collected genetic samples, identifying 10 cytochrome *b* mtDNA haplotypes and analyzing 62 additional sequences. Applied 20 nuclear microsatellite loci to assess population differentiation in *H. formosanus* and *H. fucus*; (5) Reproductive analysis: Conducted micro-MRI imaging of nine captive *H. fucus* individuals in April and August, comparing gonadal development over time. We provided the recommendations for the management authorities as follows: (1) *H. fucus* inhabits the lowest elevations among Taiwan's five salamander species and has a limited habitat range, slightly larger than *H. glacialis*. Due to low elevation, its habitat is prone to human disturbances. Listed as "Endangered" in the "2024 Red List of Terrestrial Vertebrates in Taiwan," Guan Wu is a critical source habitat. Enhanced conservation outreach and surveillance equipment in accessible habitats are recommended to deter disturbances and quantify interference patterns; (2) Collaborate with corporations to strengthen *H. fucus* conservation research. Such partnerships align with corporate ESG goals and may include awareness campaigns, habitat monitoring, and population studies; (3) Standardize the scientific name of *H. fucus* following ICZN rules, unifying

its nomenclature as *Hynobius fucus*; (4) Genetic analyses reveal two major *H. fucus* groups—northern and southern populations. The Guan Wu population, stable and within protected areas, should be a key conservation unit.

Keywords: *Hynobius formosanus*, *H. fucus*, Shi-Pa National Park, Permanent monitoring protocol, Gonadal micro-MRI

第一章 緒論

第一節 計畫緣由

雪霸國家公園園區內分布觀霧山椒魚與臺灣山椒魚等二種臺灣的特有種有尾目兩棲類。雪霸國家公園中的山椒魚族群有二大特色：第一是雪霸國家公園為觀霧山椒魚分布最南界，是其重要棲息地與重要保育族群。觀霧山椒魚的數量與分佈範圍僅略高於南湖山椒魚，棲地侷限且不連續，族群數量少，監測不易。第二個的特色是雪霸國家公園及其北側山域，是臺灣山椒魚在雪山山脈最北端的棲地。本研究團隊自 109 年至 111 年「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」計畫，依據粒線體 cyt*b* 的 DNA 多型性進行親緣遺傳關係研究，顯示臺灣山椒魚是觀霧山椒魚的近緣種，且兩者在園區內分布相鄰，若能釐清兩物種族群的遺傳結構，則有利於探討臺灣山椒魚與觀霧山椒魚的遺傳分化與親緣地理關係。在臺灣山椒魚的 mtDNA 遺傳研究方面，雪霸國家公園的臺灣山椒魚族群有兩個親緣關係疏遠的類群（lineage），其中一群具有獨特的 mtDNA 遺傳特徵，只分佈在雪山山脈西側；另一類群則與中央山脈地區的臺灣山椒魚族群被編派在同一類群。這兩個具有顯著的 mtDNA 遺傳分化的類群卻分別分佈在地理距離極近的雪山西稜東西兩側。故雪霸國家公園內的兩種山椒魚極適合做為研究臺灣的山椒魚物種的分子演化歷程。瞭解山椒魚的演化歷史及遺傳結構，界定出種內階層的種群，再依據種群的親緣地理結構、獨特性與管理現況劃分山椒魚的保育單位（conservation units）。

依據 109 年至 111 年「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」的計畫，我們分析胃內含物以瞭解觀霧地區山椒魚的食性，顯示觀霧山椒魚的食性以地表活動的昆蟲綱為大宗、軟甲綱（鼠婦、潮蟲）、蛛形綱次之。因此，調查棲地地表的無脊椎動物相的豐富度，應可反應山椒魚棲地的概況。結合過去我們團隊執行嘉義林區管理處「阿里山地區阿里山山椒魚族群分布、食性調查及保育遺傳學研究計畫」，探討阿里山山椒魚食性與地表的無脊椎動物相豐富度的關係，發現結合柏氏漏斗與掉落式陷阱方法所捕捉到的地表的無脊椎動物相種類與山椒魚食性較為類似，而這幾種方法掉落式陷阱所捕獲的無脊椎動物最能反應山椒魚的食性。因此，我們計畫在每年 4 月、6 月與 8 月以柏氏漏斗與掉落式陷阱進行觀霧地區地表的無脊椎動物相的資料蒐集，瞭解棲地地表無脊椎動

物相的豐富度並與山椒魚食性進行相關性分析。

觀霧山椒魚的數量少，調查監測不易，且調查品質也會因執行人員與調查方法上的差異而可能產生誤差。為了建立長期監測的方法，我們依據過去的調查資料與執行狀況，擬在觀霧地區榛山步道建立長久監測樣區。監測的方法採固定範圍法（Area constrained），輔以柳杉木片以遮板法（Cover board）進行固定地區、固定遮板數目進行標準化採樣監測。另一方面，雪霸國家公園的臺灣山椒魚大都分佈在人跡罕見的溪流源頭，不易進行長期的調查監測。因此，雪霸國家公園尚未建立任何臺灣山椒魚的長期監測樣區。在臺灣山椒魚的監測方面，109 年至 111 年「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」研究顯示，人員較能輕易到達且方便長期監測的樣線為西勢山林道（原 230 林道），且此區域的山椒魚族群（大安溪上游），於 mtDNA 的遺傳特徵與大甲溪上有的臺灣山椒魚有極顯著的差異。若能在西勢山林道以沿線調查法，在一定的步道兩側調查遮蔽物下的臺灣山椒魚，進行彈性螢光標記（VIE-tag）之標放研究。未來若能進行長期監測將可提供園區內西勢山林道臺灣山椒魚的族群變動的基礎資料。

在生活史研究方面，109 年至 111 年「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」計畫，成功的讓在自然棲地域內圈養的觀霧山椒魚產卵、孵化、進行變態與開始陸棲生活史。唯成體山椒魚體內的生殖器官發育是否有季節性變化，至今無相關資料。因此，本計畫預計繼續在觀霧山椒魚棲地內繼續圈養 6 隻成體觀霧山椒魚（公母各半），並於每年 3 月、6 月、9 月與 12 月進行核磁造影，收集生殖系統發育影像資料。

第二節 逐年計畫目標

本二年期研究計畫目的擬瞭解：一、雪霸國家公園與周邊山域觀霧山椒魚、臺灣山椒魚的山椒魚分布現況；二、遺傳結構與親緣地理關係；三、生活史與微棲地環境因子；四、建立觀霧地區山椒魚後續監測標準化作業方式，使未來山椒魚族群的長期監測工作與資料能客觀比較。逐年計畫目標項目如下：

一、112 年目標

1. 至少進行 1 次園區及周邊山域山椒魚空間分布的調查：

   【園區】檜山巨木步道、大鹿林道、榛山登山步道、西勢山林道

   【周邊山域】薩克亞金溪上游、塔克金溪上游。

2. 於雪霸國家公園園區及周邊山域監測樣區進行至少 1 次螢光標放作業。
3. 提出觀霧地區山椒魚監測標準化（SOP）作業初稿版本。
4. 收集山椒魚棲地微環境資料。
5. 收集監測觀霧樣區地表及土壤的無脊椎動物相樣本。
6. 至少進行 1 次山椒魚分布的探勘與遺傳樣本的收集。
7. 進行園區及周邊山域山椒魚微衛星基因座基因型分析。
8. 收集觀霧山椒魚生活史資料。
9. 完成圈養箱山椒魚成體的性別鑑定，取得生殖腺 mMRI 影像。

二、113 年目標

1. 調查園區及周邊山域山椒魚的空間分布：

   【園區】檜山巨木步道、大鹿林道、榛山登山步道、西勢山林道

   【周邊山域】大安溪上游、大甲溪上游與太平山。

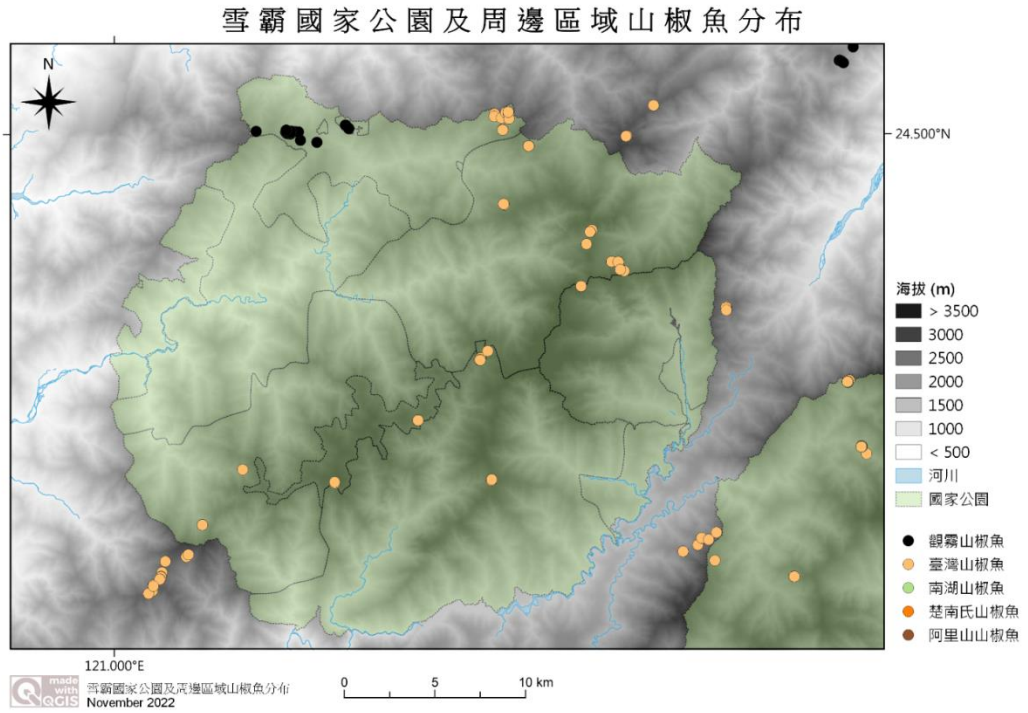
2. 建立雪霸國家公園園區及鄰近山域山椒魚的空間分布地圖。
3. 分析山椒魚棲地微環境資訊。
4. 完成觀霧樣區的地表無脊椎動物相分析。
5. 建立不同季節圈養觀霧山椒魚生殖系統核磁造影影像。
6. 提出觀霧山椒魚生活史資料。
7. 提出觀霧地區山椒魚監測標準化（SOP）作業最終版本，辦理 1 場次教育訓練研習。
8. 完成觀霧山椒魚及臺灣山椒魚的族群遺傳結構分析。
9. 提供觀霧山椒魚與臺灣山椒魚的保育單位建議。
10. 完成觀霧山椒魚生活史研究報告。

第三節 前人研究

一、山椒魚的分類地位、雪霸國家公園山椒魚的分布

山椒魚為兩生綱（Amphibia）有尾目（Caudata）小鯢科（Hynobiidae）小鯢屬（*Hynobius*）物種之俗稱，小鯢屬為該科底下最大的一個屬，現生有 55 個物種（Okamiya et al., 2018；Frost, 2021）。山椒魚多數分布在亞洲東部的溫帶區域涼爽濕潤的棲息環境，如東北亞、日本、韓國等地，緯度的最南界可至亞熱帶的臺灣（賴，2008；朱，2019；游，2022），分布有 5 個已發表的物種。分別為觀霧山椒魚（*Hynobius fucus*）、臺灣山椒魚（*H. formosanus*）、楚南氏山椒魚（*H. sonani*）、南湖山椒魚（*H. glacialis*）與阿里山山椒魚（*H. arisanensis*），除在少數山區有發現楚南氏山椒魚、臺灣山椒魚與南湖山椒魚的分布彼此緊鄰甚至共域之外，這 5 種山椒魚各自棲息於臺灣 4 座主要山脈的特定區域。觀霧山椒魚及臺灣山椒魚便為分布在臺灣北部代表性的山脈：雪山山脈與中央山脈的山椒魚，亦為雪山山脈僅有的兩種山椒魚。觀霧山椒魚分布範圍的最北界為卡保山，最南與最西可至雪霸國家公園觀霧地區，主要沿雪山山脈北段海拔約 1,300-2,200 公尺中海拔山區分布。最東側則可至中央山脈北段太平山一帶。臺灣山椒魚分布範圍包含雪山山脈主脈、白姑山彙，以及中央山脈北段海拔 2,000-3,350 公尺的中高海拔地區。分布範圍北界自薩克亞金溪上游區域，最南界至奇萊南華。臺灣山椒魚在雪山山脈主脈的兩側皆有族群分布，最北約在馬洋山，最南分布至鞍馬山，分布海拔約 2,400-3,350 公尺（朱，2022a）。

雪霸國家公園位於雪山山脈，同時分布有觀霧山椒魚與臺灣山椒魚兩種。觀霧山椒魚在園內的分布僅觀霧地區（巨木步道、樂山林道、大鹿林道），位於頭前溪與大安溪上游爺巴勘溪與馬達拉溪交會地帶。臺灣山椒魚於園內的分布包含大鹿林道、境界山、九九山莊、大霸尖山、武陵四秀（品田山、池有山）、大劍山、博可爾山、大南山、大雪山、中雪山 230 林道等地，主要沿雪山山脈主脈分布於大安溪與大甲溪的上游區域。臺灣山椒魚在園內的分布範圍較觀霧山椒魚廣，較常被研究的族群為大鹿林道及 230 林道兩處（圖一）。



圖一、雪霸國家公園及周邊地區山椒魚分布。

1：200000 比例尺（圖引用自朱，2022a）

二、雪霸國家公園內山椒魚的遺傳結構

雪霸國家公園觀霧地區為觀霧山椒魚緯度分布最南端的族群（朱，2022a），根據過去對觀霧山椒魚分布調查與基於粒線體 DNA 及微衛星標記分析遺傳結構的研究（巫及謝，2015；歐等，2014；鍾，2020；朱，2022a；游，2022），此族群位於雪山山脈的西側，加上鄰近的羅山林道南線的族群共同構成觀霧山椒魚三大系群：棲蘭、北橫、觀霧之中的觀霧群，與位於雪山山脈東側的棲蘭群明顯分化，而與北橫群的親緣關係較接近。但目前對觀霧山椒魚三大系群演化的先後，乃至觀霧山椒魚與鄰近北部的淡水河、西部頭前溪大安溪，或者由東部的蘭陽溪河口在水源與族群遺傳分化上的關聯，因爲族群少，仍沒有明確定論。而 2022 年，原先認為僅分布於雪山山脈的觀霧山椒魚在中央山脈最北段太平山一帶確認也有分布，粒線體 cyt*b* 的分析結果顯示該族群為當地特殊的單倍型類群，與北橫群的親緣關係較接近而非分布位置較接近的棲蘭群。此發現不只將觀霧山椒魚的分布界線向東推進至中央山脈，但太平山族群與原先雪山山脈三大系群的親緣關係仍需更多的族群數量與細胞核基因的資訊，有待進一步釐清。

先前對臺灣山椒魚粒線體 cyt*b* 的親緣地理分析（朱，2019、2022；游，2022），雪山山脈的臺灣山椒魚與中央山脈太魯閣地區的臺灣山椒魚在粒線體遺傳系譜有明顯分化，表示其可能歷經與中央山脈族群不同的演化歷史。前述研究也發現臺灣山椒魚在雪霸國家公園內以雪山山脈的東西兩側為界同樣有明顯遺傳分化的兩大族群，加上雪山山脈遺留的冰河地形如雪山冰斗（王等，1998、1999），加深雪山歷第四紀冰期，進而影響族群遺傳分化的可能。臺灣山椒魚在雪山山脈東西側明顯遺傳分化的現象，是否亦為冰期影響適應中高海拔溫帶氣候物種生物地理隔離的結果？因前述對臺灣山椒魚，以及太平山地區的觀霧山椒魚族群的研究所使用的遺傳標記僅有粒線體 DNA 一個基因座，無法得知是否同樣的演化歷史或族群隔離也反映在核基因的遺傳結構上。

為探討上述的問題，本計畫預計分析粒線體遺傳標記 cyt*b* DNA 序列，微衛星標記分析核基因座，探討 (1) 園區內臺灣山椒魚的遺傳結構，以及 (2) 觀霧地區的觀霧山椒魚與其他山系族群的遺傳背景，作為劃分山椒魚保育單位（conservation units）依據。

三、表現序列微衛星遺傳標記（EST-SSRs）

粒線體 DNA 序列的多態性，在過去文獻中常被利用進行物種種間或種內的遺傳親緣關係研究（朱，2022b；Hsiao et al., 2022），而位於核基因的微衛星遺傳標記（microsatellite genetic marker），則因具有更高解析度的遺傳資料，可用來做為以個體為單位的遺傳鑑別。依篩選標記來源，微衛星遺傳標記可分為基因體微衛星標記（genomic SSRs）與轉錄體微衛星標記（expressed sequence tag-Simple Sequence Repeats），由於基因體微衛星序列篩選出的標記序列可能不是位於基因的外顯子（exon），會造成引子序列於不同個體或種間的演化保留性（conservation）低。因此，藉由 mRNA 選殖的轉錄體微衛星標記，會因高專一性與 PCR 時較好的擴增效率，在進行跨物種（cross-species）的分析時具有較好的轉移性（cross-species transferability）（Rungis et al., 2004）。

在瀕危物種的保育上，如西伯利亞老虎（*Panthera tigris altaica*）與百花矮牽牛（*Petunia axillaris*），亦曾開發 EST-SSRs 標記進行族群遺傳監測（Lu et al., 2016；Turchetto et al., 2015）。另外，也有文獻指出，EST-SSRs 標記可用於分析

較難以外表型態區分、或是物種分布界線較為模糊的物種（Méndez-Rodríguez et al., 2021）。在兩棲類動物的應用上，過去日本團隊已開發出 *Hynobius tokyoensis* 的微衛星 DNA 標記（Sugawara et al., 2016），用於探討種內不同族群之遺傳結構與基因交流，也有研究團隊以微衛星標記針對火蠑螈（*Salamandra salamandra*）的不同亞種進行族群遺傳分析，以瞭解影響物種分化的因子（Velo-Antón et al., 2021）。因此，為研究雪霸國家公園及周邊山域觀霧山椒魚與臺灣山椒魚之族群遺傳結構，以 EST-SSRs 標記進行分析有其存在的必要性。

四、山椒魚的食性研究

了解動物的食性為研究野生動物生態的一環，因食物資源往往也是影響族群生存與成長的因素，進而成為經營管理與保育時的參考（葉，2011；Rogers, 1976）。有關臺灣的山椒魚的食性研究，阿里山山椒魚的食性被研究的最詳細。杜和呂（1982）解剖阿里山地區 2 隻山椒魚的胃含物分析，食性以等足目的鼠婦居多。陳世煌等（1984）進行臺灣產山椒魚之生物學研究時，由胃部的解剖得知食性以昆蟲綱（Insecta）為主。林明杰（2007）進行阿里山地區山椒魚食性研究，以催吐法探討食性與棲地利用之間的關係，顯示：

阿里山山椒魚食性以節肢動物為主，包含鞘翅目（17%）、等足目（11%）、鱗翅目（10%）和蜘蛛目（9.3%）。之後，陳世煌（2010）重新檢視近三十年前阿里山山椒魚標本的胃內含物，所得的食物項目包含最多的三類為雙翅目、鞘翅目和等足目。由前述文獻可得知，鞘翅目及等足目在不同的食性分析方法下仍占有阿里山山椒魚獵物種類的一定比例。

楚南氏山椒魚的食性分析，林春富等（2009）分析 14 隻楚南氏山椒魚排遺，發現以鞘翅目、蜘蛛目和雙翅目節肢動物的數量最多(前 3 項占所有鑑定之動物隻次的（81%）。張立宜（2011）以催吐法探討了臺灣山椒魚與楚南氏山椒魚食性與棲地利用的關係。

南湖山椒魚的食性研究在 2022 年以前僅有陳（1984）一筆記錄，但當時因南湖山椒魚的分類地位尚未確立，陳的研究所分析的南湖型山椒魚中，後肢 5 趾與後肢 4 趾的個體皆有，採集的地點包含雪山、南湖大山與中央尖山，同時有南湖與臺灣山椒魚的分布地，這些樣本因而無法區別究竟是南湖山椒魚或臺灣山椒

魚的食性。2022 年雪霸國家公園委託研究案「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」中，分析 31 份畢祿林道（820 林道）後段南湖山椒魚的胃內容物，分析的結果顯示南湖山椒魚的獵物種類包含昆蟲綱、倍足綱、唇足綱、軟甲綱、蛛形綱、內口綱、腹足綱、寡毛亞綱與蛭亞綱等多種類的獵物，並以昆蟲綱（前 3 名為鞘翅目、雙翅目、半翅目）最多，其次是唇足綱（石蜈蚣目）及蛛形綱（蜘蛛目、盲蛛目）獵物。

臺灣山椒魚的食性分析，同樣在「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」的調查結果，以催吐法分析 61 份合歡山畢祿林道（820 林道）的臺灣山椒魚胃內容物，顯示以該區域的臺灣山椒魚以昆蟲綱鞘翅目、雙翅目、半翅目的獵物為主（昆蟲綱占獵物出現頻率約 5 成），蛛形綱（絨螨目、蜘蛛目）及軟甲綱（等足目）為其次。而雪山山脈（即雪霸國家公園內）臺灣山椒魚的食性，則尚未有進一步的調查。

觀霧山椒魚的食性研究有中興大學吳聲海老師執行觀霧地區觀霧山椒魚研究時（歐等，2014），以洗胃法分析了 91 隻觀霧山椒魚的食性，主要以蜈蚣、馬陸、蚯蚓、鞘翅目、雙翅目與鼠婦等為大宗，但未洗出任何東西的個體比率高達 73.6%；該研究也蒐集了山椒魚排遺 15 份，不過所分析的食性與洗胃法的食性略有差異，在 9 項獵物類群中，兩種方法共同採得者僅有 3 類，該報告認為若要了解山椒魚的食性，並行洗胃法和排遺法才能獲得完整的資料。歐等（2014）亦以胃沖提法與排遺分析兩種方法研究觀霧山椒魚的胃內食物種類，發現包括蜱蟎目、鞘翅目、雙翅目、半翅目、膜翅目、蜈蚣、馬陸、蚯蚓與鼠婦。胃沖提法與排遺分析可以觀察到的獵物種類數量不一。朱（2022）分析 41 份觀霧地區巨木步道的觀霧山椒魚胃內容物，同樣發現有 9 項獵物類群，獵物出現頻率最多者為昆蟲綱 41.46%，其次是軟甲綱（29.27%）、倍足綱（29.27%）。可以發現，與其他種山椒魚相比，軟甲綱在觀霧山椒魚的獵物組成中佔有較高的比例。此現象是由於各棲息地無脊椎動物相的差異所導致，或是對獵物種類的取食偏好在不同種山椒魚之間具有種間差異，需配合對園區內山椒魚棲地的無脊椎動物相進行調查才能下進一步的推論。

五、山椒魚棲地地表無脊椎動物相研究

為了瞭解阿里山國家森林風景區內的阿里山山椒魚食性與地表無脊椎動物相豐富度及多樣性的關係，我們於 2021 年與 2022 年期間同時進行食性與地表無脊椎動物相資料收集與分析。地表無脊椎動物的樣本採集，我們總共利用地表土壤採樣（柏氏漏斗法）、地表昆蟲黏板設置、馬氏網與掉落式陷阱法（pitfall trap）進行地表動物捕捉採集。結果顯示柏氏漏斗的調查結果中主要以體型較小的彈尾綱（49.33%）、蠕蜱亞綱（27.39%）為大宗，但在食性分析中彈尾綱僅佔 3.93% 及蠕蜱亞綱 0.56%。雖然如此，柏氏漏斗可以捕捉到較多的鞘翅目、雙翅目幼蟲，與山椒魚食性相似。比較食性分析與馬氏網的調查結果發現，鑑定至目別時，兩者鑑定出的昆蟲綱種類一致（鱗翅目、雙翅目、膜翅目、鞘翅目、半翅目、直翅目、毛翅目），但以成蟲為主，山椒魚食性不相似。而誘蟲黏板主要捕捉到的物種以雙翅目為主，山椒魚食性較不相似。掉落式陷阱則可以捕捉到鞘翅目、雙翅目幼蟲、蛛形目、等足目與倍足目，與山椒魚食性相似。根據上述，掉落式陷阱與柏氏漏斗法所捕捉到的地表無脊椎動物相與山椒魚食性較為相關。

第二章 材料與方法

第一節 研究地區

本計畫研究地區為雪霸國家公園所轄園區及鄰近山域。雪霸國家公園位於雪山山脈，範圍東起羅葉尾山，西迄東洗水山，南至宇羅尾山，北抵境界山，橫跨新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、臺中市和平區。園區的高海拔地區（如大雪山、武陵四秀等）植物相以高山針葉林、玉山箭竹矮灌叢等類群為主，林線以上具有大面積的高山草原，中海拔地區（如觀霧）植物相豐富，以闊葉、針闊葉混和林為主（楊及徐，2004）。鄰近山域則包含北側淡水河，西側與南側的大安溪，以及東側大甲溪等河川流域的上游地帶。112 至 113 年雪霸國家公園及周邊地區預計的調查樣線包括：檜山巨木步道、榛山登山步道、大鹿林道、雪霸國家公園周邊地區如薩克亞金溪、塔克金溪上游流域、與中央山脈太平山地區。

第二節 研究方法

一、調查雪霸國家公園所轄園區及鄰近山域的山椒魚分布

1. 山椒魚分布調查

觀霧山椒魚為五種臺灣的山椒魚分布緯度最北者，其次為臺灣山椒魚。觀霧山椒魚在雪山山脈的東西側各有其分布的界線：雪霸國家公園內觀霧地區為其在雪山山脈西側的最南界，與臺灣山椒魚的分布以大鹿林道東支線為界線。雪山山脈東側的觀霧山椒魚分布南界則在棲蘭山一帶，而棲蘭地區的族群與觀霧地區的族群之間的薩克亞金溪與塔克金溪上游流域，也與臺灣山椒魚已知的北界（馬洋山）相鄰。本計畫預計調查薩克亞金溪、塔克金溪上游的山椒魚分布及種類，期能釐清臺灣山椒魚與觀霧山椒魚分布的界線。

2. 園區內觀霧山椒魚族群監測

在雪霸國家公園所轄園區內，為了解山椒魚的壽命與族群評估，本研究預計調查具有較穩定觀霧山椒魚族群及調查記錄的觀霧地區，包含巨木步道、大鹿林道及鄰近的榛山登山步道作為族群調查的監測範圍，

在山椒魚於地表較活躍的 3 月至 9 月，選擇每年的 4 月、6 月及 8 月進行例行的族群監測，包含山椒魚的分布與數量調查、個體標示及捉放。

觀霧地區觀霧山椒魚監測範圍，依棲地性質對山椒魚長期監測的方法採固定範圍法（或稱範圍限制調查法，Area-Constrained Survey，ACS）或沿線調查法等兩種方法。固定範圍的樣區以遮板法（Cover board）進行採樣監測；沿線調查法則在一定的步道兩側找尋與調查遮蔽物下躲藏的山椒魚。

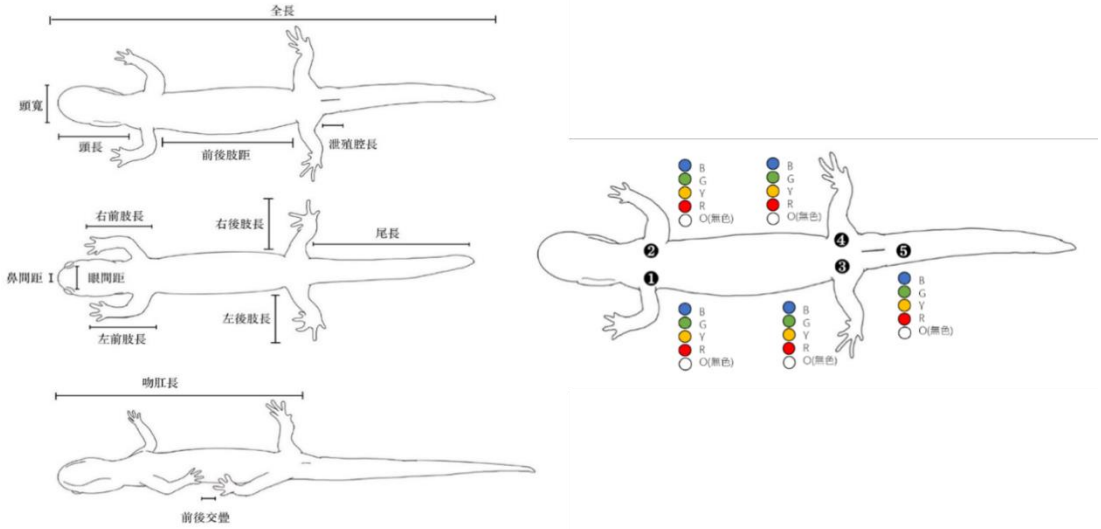
3. 山椒魚的沿線調查與螢光標放

於族群調查的指定樣區進行山椒魚的可見螢光埋植彈性標記（visible implant elastomer tags，VIE）標識。以徒手方式翻開石頭或倒木找尋山椒魚，以 pH 7.0 之 MS-222（Tricaine Methanesulfonate）水溶液浸泡麻醉，劑量 0.8-1 g/L（成體），麻醉誘導時間低於 5 分鐘，成體依前述劑量可維持約 25 至 45 分鐘無翻正反射（righting reflex）。麻醉期間依山椒魚分布調查記錄表（表一）進行體型量測、拍照記錄個體外觀與 VIE-tag 標識或標記（圖二），等待山椒魚清醒後於原捕獲地釋放。

表一、山椒魚分布調查記錄表

調查日期：　　/　　/　　調查天候：　　調查時間：　　調查人數：　　人

地點	GPS 座標		海拔	林相			罩蓋度		
溪流水量 □整年有水 □乾季缺水 □整年乾涸			山椒魚種類	現地	麻前	麻後	氣溫	土溫	肛溫
覆蓋物 □石 □木									
覆蓋植物 □蘚苔 □草本植物 □無			底質 □土 □碎石 □腐質土 □草根土 □水 □木						
吻肛長	尾長	頭長	頭寬	泄殖腔長	體重		色標		
眼間距	鼻間距	前後肢距	肋間溝數	前後交疊	左前肢長	左後肢長	樣本狀態		
尋獲者			距活水　　m		性別		心跳/食性		
個體特徵			編號與備註				不含泄殖腔吻肛長		



圖二、測量形值與 VIE-tag 標記施打位置。

（圖片引用自朱，2022b）

二、收集分析園區山椒魚的微棲地與底棲無脊椎動物相資訊

1. 調查方式:於樣區沿線有水源處以徒手翻找地表物之方式,尋找山椒魚。

2. 記錄資料：於樣區發現山椒魚後，記錄當日調查資訊、棲地資料與樣本採集紀錄（表一），如：

   (1) 調查資訊：日期、時間、氣溫、天氣狀態、翻找時數、調查人數。

   (2) 巨棲地類型：主要植被類型箭竹草原、針葉林、混合林、闊葉林。

   (3) 微棲地類型：記錄山椒魚周遭微棲地特性，包含遮蔽物類別（石頭或木頭）、遮蔽物體積（測量遮蔽物最長、最寬與最高，三者數值相乘而得）、附著植物類型（草本植物、蘚苔）、底質類型（碎石、腐植土、草根土或泥土）、坡向、海拔高度、水源狀態（穩定、季節性乾涸、無水源）與座標（TWD97-GPS 定位座標系統），並於檜山巨木林道與觀霧管理站後方復育區架設 HOBO 氣象觀測站，收集土壤表層溫濕度資訊。

   (4) 個體資訊：記錄山椒魚種類與性別，並測量體長、尾長、頭長、頭寬、吻肛長、眼間距、鼻間距、肋間溝數、前後肢距、泄殖腔長、左前肢長與左後肢長形值資料,測量體重並拍照記錄。採集組織後，將山椒魚釋放回原棲地，並將環境復原。

3. 土壤表層無脊椎動物相調查：

   根據本研究團隊過去資料,每年 4 月至 8 月為地表山椒魚數量調查高峰，且地表無脊椎動物相亦高於其他月份。為了解觀霧山椒魚於生態鏈中扮演的角色，以及山椒魚數量與地表無脊椎動物相之關聯性，本研究團隊欲結合山椒魚食性資料，於每年 4 月至 8 月期間，每 2 個月於永久監測樣區之巨木步道（樣區代號 KSGM）與較少山椒魚分布之復育區（樣區代號 FU）進行採樣，探討山椒魚棲地中的無脊椎動物相。我們預計於檜山巨木步道與復育區進行土壤表層動物取樣、掉落式陷阱和馬氏網陷阱的設置：

   (1) 土壤表層動物取樣：

地表土壤內動物相研究之採樣，預計每 2 個月進行一次，於各樣區逢機採 3 個土壤表層土樣於相同樣區內隨機採集三份長15公分 × 寬 15 公分 × 深 5 公分之表土，保存於夾鏈袋中密封。採集的土壤樣本每次約取 10 × 10 × 4 立方公分體積盛裝於柏氏漏斗（Berlese funnel）上方的篩網，利用土棲生物的負趨光性以及趨地性，以白熱燈光由上方照射並通風乾燥一週。而後，收集到之昆蟲以 70 %酒精固定，登錄編號並利用立體顯微鏡進行照片紀錄與鑑定，記錄之樣本將挑出後保存於 70%酒精中。

(2) 掉落式陷阱（pit-fall trap）：

為了解觀霧地區地表無脊椎動物相組成，利用無脊椎動物生活習性於土壤表層移動路徑中放置陷阱進行捕捉，並預期於每年 4 月至 8 月期間每 2 個月進行一次掉落式陷阱收集，以檢視昆蟲相組成。以 50 毫升離心管添加 35 毫升丙二醇，埋設於地表下，並於管身上方架設 15 cm × 15 cm 塑膠檔板，以防止雨水或落葉枝條掉入。本研究計畫已於觀霧地區內兩樣區內分別進行掉落式陷阱架設：檜山巨木步道（KSGM）與復育區（FU），每樣區擺放 9 組掉落式陷阱。經收集之樣本已保存於丙二醇中，樣本會於送抵國立臺灣大學動物科學技術學系遺傳研究室後，進行編號並利用立體顯微鏡進行照片記錄與鑑定，記錄之樣本將挑出後保存於 70% 酒精中。

(3) 馬氏網陷阱：

馬氏網陷阱網面可用於攔截低空飛行及地表底棲之無脊椎動物，其中又以前者為主要對象，透過物種的趨光性、負趨地性，收集如昆蟲綱雙翅目、鞘翅目等成蟲，此類昆蟲在變態前為山椒魚食性物種之一的昆蟲。馬氏網架設於觀霧地區內兩樣區檜山巨木步道（KSGM）與復育地（FU），每樣區擺放 1 組馬氏網陷阱，總計架設 2 帳，並以營釘將馬氏網固定於地面。於透過白色帳頂的趨光性將攀附在網子上之無脊椎動物收集至帳下的收集罐，收集罐內含丙二醇以固定與保存樣本，樣本會於送達國立臺灣大學動物科學技術學系遺傳研究室後，進行編號並利用立體顯微鏡進行照片記錄與鑑

定，記錄之樣本將挑出後保存於 70% 酒精中。

(4) 食性與土壤表層無脊椎動物相相關性資料分析：

觀霧山椒魚的食性資料主要來自 109 年至 111 年執行「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」時觀霧山椒魚的食性分析資料。巨木步道完成 41 份樣本鑑定，樣本採集時間自 2020 年 3 月至 2022 年 8 月。共發現 9 個大分類階層的獵物種類：節肢動物門的昆蟲綱、倍足綱、唇足綱、軟甲綱、蛛形綱、內口綱，環節動物門的寡毛亞綱，軟體動物門的腹足綱，及脊索動物門的兩棲綱（山椒魚皮蛻）。觀霧巨木步道的觀霧山椒魚胃內容物的獵物數量最多者為昆蟲綱，其次是軟甲綱。獵物出現頻率中昆蟲綱的出現頻率為 41.46%，次高的出現頻率為軟甲綱（29.27%），組成以等足目為主，以及倍足綱（29.27%）。最後，利用上述資料與巨木步道與復育區所獲得的土壤表層無脊椎動物相進行相關性分析。

三、進行觀霧地區永久樣區監測調查與擬定監測標準化（SOP）流程

於觀霧地區，本計劃選定檜山巨木步道、大鹿林道、榛山登山步道三處為觀霧地區的山椒魚監測地點。依監測地點的棲地性質，在檜山巨木步道及大鹿林道採用沿線調查法，榛山登山步道預計設立固定範圍法樣區，在樣區內放置固定數量的木片，木片直徑為 30 公分以上，厚 6 公分以上。每一木片旁插上短竹竿標記，並於竹竿頂端設置螢光綁標凸顯位置。每次調查時，每個竹竿綁上另一種顏色的一條螢光緞帶用以計算與確定每個樣區的翻找數量。依計劃期間的調查成果，比較三個監測地點的山椒魚活躍的期間、相對數量等資訊，並盤點觀霧地區山椒魚分布熱點，將調查方法擬定為觀霧地區山椒魚監測標準化作業。

四、族群遺傳結構

為探討 (1) 園區內臺灣山椒魚的遺傳結構及 (2) 觀霧地區的觀霧山椒魚與其他山系族群的遺傳背景，作為劃分山椒魚保育單位（conservation units）依據，本計劃預計分析粒線體遺傳標記 cyt*b* DNA 序列，核基因座微衛星標記。分析方法如下：

1. 基因組 DNA 萃取

基因組 DNA 萃取自山椒魚尾部組織，以 Wizard® Genomic DNA Purification Kit （Promega，USA） 套組萃取基因組 DNA，以全波長光譜分析儀檢測濃度。

2. 粒線體細胞色素 b 序列分析

(1) 聚合酶鏈鎖反應（PCR）擴增 cytb 全長序列

聚合酶鏈鎖反應使用引子對 HT cytb L 14014（5'-ACAAACAGCCGCCA ACACTAA-3'）& HT cytb H 15444（5'-GAGAGGCCTGGAAGAAATGGA-3'）擴增臺灣山椒魚粒線體 cytb 全長序列，觀霧山椒魚使用引子對 HF ND6 L13994（5’-ACAAACAGCCGCCAATACTAA-3’）& HF tRNA H15424（5’-GAAAGGCCTGGAAAAAATAGA-3’），擴增產物長度約 1,400-1,500 bps

（朱，2019、2022；游，2022）。PCR 反應條件依 TOBOYO® Blend Taq-Plus（TOBOYO，Japan）說明書，以 25 μL 反應體積，0.2 mM dNTP、0.2 μM 引子、100 ng 模板 DNA、0.625U / 25 μL 反應體積的 Blend Taq®-Plus DNA 聚合酶（2.5 U/μl）進行 PCR 反應。溫度作用條件：94℃反應 2 分鐘，接續 94℃反應 30 秒（變性），61℃反應 30 秒（接合），72℃反應 1 分 40 秒（延長），重複共 32-36 循環，最後以 72℃反應 10 分鐘後結束 PCR 作用。在 1.0 - 1.2%瓊脂膠體/0.5X TBE 下分析反應產物。

(2) 序列分析

反應完成的 PCR 產物利用 GenepHlow™ Gel/PCR Kit (Geneaid，Taiwan)進行純化，3730xl DNA 定序儀(Applied Biosystems™，USA)進行定序獲得 DNA 序列，編輯、合併重疊的序列獲得 cytb 全長 DNA 序列。編輯完成的序列使用演化分析軟體 MEGA X(molecular evolution genetics analysis，DNASTAR Inc.)（Kumar et al., 2018）利用 Clustal W 進行序列比對，尋找核苷酸替代位點判定單套型。

(3) 親緣分析

所獲得的 cytb 全長序列（1,141 bp），結合過去所獲得的山椒魚序列作為參考序列，另以 NCBI 網站公布之日本的飛騨山椒魚（*Hynobius kimurae*）等小鯢屬的序列為外群，MEGA X 選擇最低 BIC 值的核苷酸替代模型建構親緣關係樹。同時進行 1000 次靴帶式（Bootstrap）重複計算樹圖分支支持度（Bootstrap value）。

3. 核基因遺傳標記：表現序列微衛星標記（EST-SSR）

(1) 微衛星標記引子對及聚合酶鏈鎖反應

預計使用朱（2022）的團隊所開發之 20 組臺灣產山椒魚表現序列體微衛星標記（表二）分析核基因。PCR 反應使用 TOBOYO® Blend Taq-Plus（TOBOYO，Japan），以總反應體積 10 μl，1/10X 反應體積 PCR buffer for Blend Taq、0.2 mM each dNTP Mix、0.2 μM 引子、50 ng 模板 DNA、0.25 U / 10 μl 反應體積的 Blend Taq Plus

DNA 聚合酶（2.5 U/μl）。溫度作用條件：94℃反應 5 分鐘，接續 94℃反應 30 秒，依據不同微衛星標記之最適黏合溫度反應 30 秒，72℃反應 30 秒，重複共 35 循環，最後以 72℃反應 10 分鐘後結束 PCR 作用。在 1.8%瓊脂膠體/0.5X TBE 下分析反應產物。增幅產物委由中央研究院國家基因體醫學研究中心（NCGM STRP）進行毛細管電泳（Capillary Genetic Analyzer）分析，測定微衛星片段增幅之長度，以標準品 GeneScanTW 500 LIZ Size Standard（Thermo, U.S.A.）與 Hi-di Formamide（Applied Biosystems, U.S.A.）作為對偶基因長度校正之標準液，利用 3730 DNA 分析儀（Applied Biosystems, U.S.A.）標定增幅序列長度。毛細管電泳的分析結果以 Peak ScannerTM Software version 1.0（Applied Biosystems, U.S.A.）判讀樣本之序列長度，再以人工檢視波形結果。

(2) 分析微衛星基因座的鑒別能力與分派檢定

分析微衛星基因座的對偶基因數、有效對偶基因、資訊含量多型性分析（polymorphism information content，PIC），決定篩選哪幾個微衛星基因座作為未來分析的遺傳標記。方法如下：利用 CERVUS Version 3.0.7（Kalinowski et al., 2007）軟體分析基因型頻率、多型性指數（polymorphism information content，PIC）及雜合度，其中多型性指數可代表該族群遺傳多型性之程度，並計算有效對偶基因（effective number of alleles）與族群哈溫平衡（Hardy Weinberg equilibrium）檢定。

(3) 族群分派檢定

分派檢定則藉由 structure 2.3.4 軟體（Pritchard et al., 2000）進行，利用毛細管電泳後之基因型分析結果，經隨機分派至相似族群後，來獲取最佳之分群可能，可用於比較山椒魚不同族群在遺傳上的相似度，以協助釐清不同山椒魚種間的親緣地理關係。

表二、二十組表現序列微衛星螢光標記引子對資訊

引子對	重複單元		引子序列（5'→3'）	產物長度（bps）	TA（℃）[1]	Fluorescent dye [2]
H54	GTG	F	GGCAGGTGGCAACAAAGG	245	61	VIC
		R	CGTCACTCTCATTGGCTTCC			
H2667	TCAA	F	TCTTATGGTCCTGGGATTGC	199	59	6-FAM
		R	TGCACTGATAGAGATGGATGC			
H3108	GTG	F	CCCTCCCCCTCATATTTCC	210	59	6-FAM
		R	GAGCTACTTGGCATCACTTGC			
H3455	GTTGA	F	CCGGTTCTCCTGTTAGTTGC	202	61	6-FAM
		R	GACCGCGCTATACAAAGTCC			
T13	ATAC	F	ACACTCCGGCAATACACACC	296	57	VIC
		R	TCGTGCACTGACTGAACAGG			
T41	ATT	F	AAGACAGCGCTATATAAGACTTGC	250	61	VIC
		R	AGTCTGGCATCAACGTCTCC			
T45	TCT	F	CCCCAAATCTGATATTATTATTGGTAA	232	59	VIC
		R	GAGCAGTAGTGGCCTGGAAC			
H346	AGG	F	TGAAAAGGAAGCCAGTGAGG	198	59	6-FAM
		R	CTCTCATCGTCGTCGCTACC			
H405	GTG	F	GTGCCACAAACTTGGAAACC	181	57	PET
		R	TTATTAAGCGGGCCAAACAC			
H1305	GAG	F	TACAACATTCTGACCAGGAG	287	57	VIC
		R	CGGCTTCTCATCACCTGAG			
H1664	TGGA	F	TTGCAGTTGCATGCTTTAGTG	232	59	VIC
		R	CCGTCTGGTCTTCATTAGCAG			
H2222	GAT	F	CTGCCACAGCACTTAGATTACC	228	59	6-FAM
		R	TGACAACATCGTATCGGAAGG			
H2784	CACT	F	GGAGCAAATAAACAGCACACC	151	57	PET
		R	AACAGACGTGGGATACATAGG			
H3478	GCA	F	ACCGTCTCAGCAGCTAAACC	226	57	6-FAM
		R	TTTGTGCTCCTCTGAATGG			
H08	AC	F	TGAGCCCAGAGGGTATAAAGC	215	61	6-FAM
		R	TGGTGACCTAAGTGCTGTGC			
H58	AT	F	AGACTCGGAGCCCTAAATGC	203	61	VIC
		R	TATTGCGAATATGGCCAAGC			
H330	GT	F	TGTCCAACCTGCAGACTCC	223	57	6-FAM
		R	GGCAAGCCTACACCTGTGC			
H1284	AT	F	GCTCCCATAACGGTTCCTTAG	225	61	VIC
		R	CGATCACAAATTCCCAAAGAC			
H243	AT	F	CTTAAATCGCTTGCATGACC	228	61	6-FAM
		R	AGCTATGTCAACACGCAACC			
H3099	CT	F	ACCAAAGGACATCGTTCC	183	61	VIC
		R	AAGACAGAGACAGCCAACC			

[1]TA：經梯溫 PCR 測試後最佳黏合溫度。

[2]Fluorescent dye：為正向引子所標記之螢光標記種類，VIC 為綠色，6-FAM 為藍色，PET 為紅色。

五、觀霧山椒魚生活史

1. 觀霧山椒魚之生長曲線

本計畫延續雪霸國家公園委託研究案「高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查」對觀霧山椒魚生活史的觀察，持續於觀霧管理站人工圈養箱圈養的觀霧山椒魚，於 3 月、6 月、9 月與 12 月收集圈養箱內 6 隻山椒魚體型量測形值(吻肛長)及體重，記錄生長曲線。

2. 觀霧山椒魚生殖腺的季節變化

以微型磁振造影（micro MRI）作為雌雄鑑別及生殖腺季節變化的追蹤方法（Sanches et al., 2017；朱，2022a），追蹤的對象為觀霧管理站圈養箱的成體觀霧山椒魚。山椒魚經微型磁振造影確定性別後，於 3 月、6 月、9 月與 12 月進行一次微型磁振造影，觀察公母山椒魚的生殖腺如精巢、輸精管、卵巢、輸卵管等構造的型態在不同季節的變化，如精巢長度或卵泡直徑對前一季節的相對長度等，以釐清臺灣產山椒魚的生殖週期。

第三章 結果與討論

一、 調查雪霸國家公園所轄園區及鄰近山域的山椒魚分布

1. 山椒魚分布永久監測樣區調查與族群監測

本研究計畫執行期間，共計於雪霸國家公園境內與園區周邊進行山椒魚分布永久監測樣區族群數量調查共 12 次，累計 77 筆山椒魚族群調查記錄，包含觀霧山椒魚 32 筆，與臺灣山椒魚 45 筆（表 1-1）。針對觀霧地區的檜山巨木林道維持每 2 個月一次的調查頻度，累積 26 筆調查紀錄，而另新調查觀霧地區佐藤駐在所共計 2 筆調查紀錄，720 林道與投 89 縣道松嶺共計 8 筆山椒魚調查紀錄，230 林道共計 7 筆調查紀錄、200 林道 2 筆調查紀錄與 231 林道 28 筆調查紀錄。

整合 2020 年至今研究團隊累積的調查資料，顯示雪霸國家公園內以及園區周邊山域，於雪山地區（聖稜線 O 型）、塔克金溪上游（品田山）、觀霧地區（巨木步道、樂山林道）、大雪山地區（大雪山林道鞍馬山、230 林道、200 林道、231 林道）等地皆調查到山椒魚分布。其中，在 720 林道、大雪山地區、薩克亞金溪流域、塔克金溪流域、西勢山、羅葉尾山、九九山莊、大南山西鞍、大鹿林道東支線、匹匹達水源、巴紗拉雲山屋、巨木步道、素密達斷崖、新達山屋及境界山東南鞍調查到臺灣山椒魚（圖 1-1）；而觀霧地區的巨木步道、樂山林道、大鹿林道東支線及西支線，以及羅山林道、棲蘭山、太平山等地，則調查到觀霧山椒魚（圖 1-1）。

2. 山椒魚沿線調查與螢光標放（VIE-tag）

為探討山椒魚於原生棲地的壽命與進行長期族群監測，本計畫持續於雪霸國家公園的特定樣區進行山椒魚的可見螢光埋植彈性標記（visible implant elastomer tags，VIE）標識。本期於雪霸國家公園園區內與周邊山椒魚分布永久監測樣區總計完成 72 筆螢光標記埋植，包含：檜山巨木步道 21 筆、720 林道 6 筆、投 89 縣松嶺 2 筆、佐藤駐在所 2 筆、大鹿林道西線 3 筆、大鹿林道東線 1 筆、231 林道 28 筆、200 林道 2 筆與 230 林道 7 筆。其中以物種別區分，共包含觀霧山椒

魚共計 27 筆，與臺灣山椒魚共計 45 筆。

此外，結合研究團隊於 2020 年起累積的標放資料，檢視觀霧山椒魚分布永久監測樣區檜山巨木步道的族群再捕捉次數變化。我們自 2020 年起執行檜山巨木步道樣區觀霧山椒魚標放，至今已累積完成檜山巨木步道 114 隻觀霧山椒魚標記，本計畫執行兩年至今，檜山巨木林道共累積 11 隻觀霧山椒魚的再捕捉資料（表 1-2），其中兩隻個體有兩次再捕捉紀錄（BNNNG、BNPBP），故總計有 13 次的個體再捕捉紀錄。其中，再捕捉的平均間隔為 11 月，最長間隔為 32 個月，最短為 1 個月，評估檜山巨木林道分布的觀霧山椒魚再捕捉率（recapture rate）約為 11.40%（13/114）。評估調查總數變化情形（2023 年至 2024 年調查期間），顯示該區域觀霧山椒魚調查數量有下降的趨勢（圖 1-2），此結果是否為族群數下降、抑或是調查努力量誤差或特定棲地受到人為活動干擾引響，仍需團隊持續追蹤。

表 1- 1、雪霸國家公園山椒魚族群分布與生態調查

調查日期	調查地點	操作[1]
2023/3/27	檜山巨木步道	族群調查 (5 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2023/5/27	檜山巨木步道	族群調查 (2 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2023/7/23 - 2023/7/24	720 林道、松嶺(投 89 縣道)	族群調查 (8 隻，臺灣山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記、遺傳樣本收集
2023/8/7 - 2023/8/9	檜山巨木步道、佐藤駐在所	族群調查 (4 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記、遺傳樣本收集
2023/9/21	檜山巨木步道	族群調查 (2 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2023/10/23 - 2023/10/24	230 林道、231 林道、200 林道	族群調查 (6 隻，臺灣山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記、遺傳樣本收集
2023/10/27	檜山巨木步道	族群調查 (4 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2024/4/10	檜山巨木步道	族群調查 (7 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2024/5/14 - 2024/5/16	200 林道、230 林道、231 林道	族群調查 (18 隻，臺灣山椒魚)、微棲地紀錄、遺傳樣本收集、VIE-tag 標記
2024/6/23 - 2024/6/27	檜山巨木步道、大鹿林道西線	族群調查(5 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2024/7/31	檜山巨木步道、大鹿林道東線	族群調查(3 隻，觀霧山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記
2024/8/15	231 林道	族群調查(13 隻，臺灣山椒魚)、微棲地紀錄、VIE-tag 標記、遺傳樣本收集

註 1：過去已進行族群遺傳分析之樣區，不另行遺傳樣本採集。

（本研究資料）

表 1- 2、檜山巨木林道觀霧山椒魚再捕捉個體資訊

物種	記錄	色標	日期	再捕捉間隔 (月)	形態量測值 (mm)							
					眼間距	鼻間距	左前肢	左後肢	吻肛長	尾長	頭長	頭寬
H. fuca	1	BGOPG	2020/8/10	-	2.85	2.65	12.41	14.20	54.93	28.14	12.52	8.52
			2022/8/1	24	2.99	2.59	12.17	13.55	58.68	30.15	12.22	9.09
	2	BGRPN	2021/4/14	-	2.12	1.99	8.41	9.83	38.30	17.85	9.10	6.80
			2021/8/27	4	2.51	2.32	9.69	11.38	43.65	20.45	9.82	7.21
	3	BGRPR	2021/4/14	-	3.19	2.48	11.45	13.62	56.11	24.73	13.25	9.59
			2022/5/5	13	2.88	2.55	11.55	13.91	57.72	24.50	12.77	10.07
	4	BGYNY	2021/6/20	-	2.64	2.28	9.01	10.62	43.75	19.00	10.20	7.61
			2022/5/5	11	2.64	2.22	10.85	11.97	50.28	22.71	11.13	8.40
	5	BNGNY	2021/8/27	-	2.76	2.19	9.26	10.84	46.05	19.06	10.13	8.25
			2022/5/5	9	2.58	2.22	8.99	11.88	48.68	22.42	10.83	8.86
	6	BNNNG	2021/11/21	-	2.81	2.77	11.22	13.66	58.62	24.97	13.10	8.91
			2022/5/5	6	3.13	2.73	11.31	13.26	57.70	26.14	13.41	9.02
			2023/3/27	10	3.13	2.87	11.45	13.79	59.20	27.13	12.93	9.33
	7	BNPBG	2022/5/5	-	2.63	2.14	8.67	9.99	44.50	19.59	10.10	7.59
			2023/3/27	10	3.13	2.26	10.76	12.49	49.65	23.58	11.38	8.47

物種	記錄	色標	日期	再捕捉間隔 (月)	形態量測值 (mm)							
					眼間距	鼻間距	左前肢	左後肢	吻肛長	尾長	頭長	頭寬
	8	BNPBP	2022/5/5	-	3.25	2.86	10.40	13.03	57.03	31.28	12.49	9.20
			2022/6/13	13	3.35	2.91	11.36	13.66	57.31	33.28	12.81	9.61
			2023/3/27	9	3.30	2.78	11.99	14.68	58.52	33.31	13.13	9.30
	9	BNPYO	2022/8/1	-	3.68	2.80	11.83	12.87	55.82	28.50	13.05	9.68
			2022/9/19	1	3.40	2.60	11.21	13.17	56.53	28.12	12.98	9.24
	10	BNNGB	2021/10/19	-	3.24	2.47	11.35	12.95	60.61	30.66	13.59	10.04
			2024/6/23	32	3.00	2.22	11.84	14.47	63.85	30.29	13.14	10.70
	11	BOOYO	2024/6/23	-	3.22	2.36	10.41	13.56	58.35	28.44	12.55	9.74
			2024/7/31	1	2.92	2.77	10.30	13.50	57.87	28.11	12.46	9.71

（本研究資料）

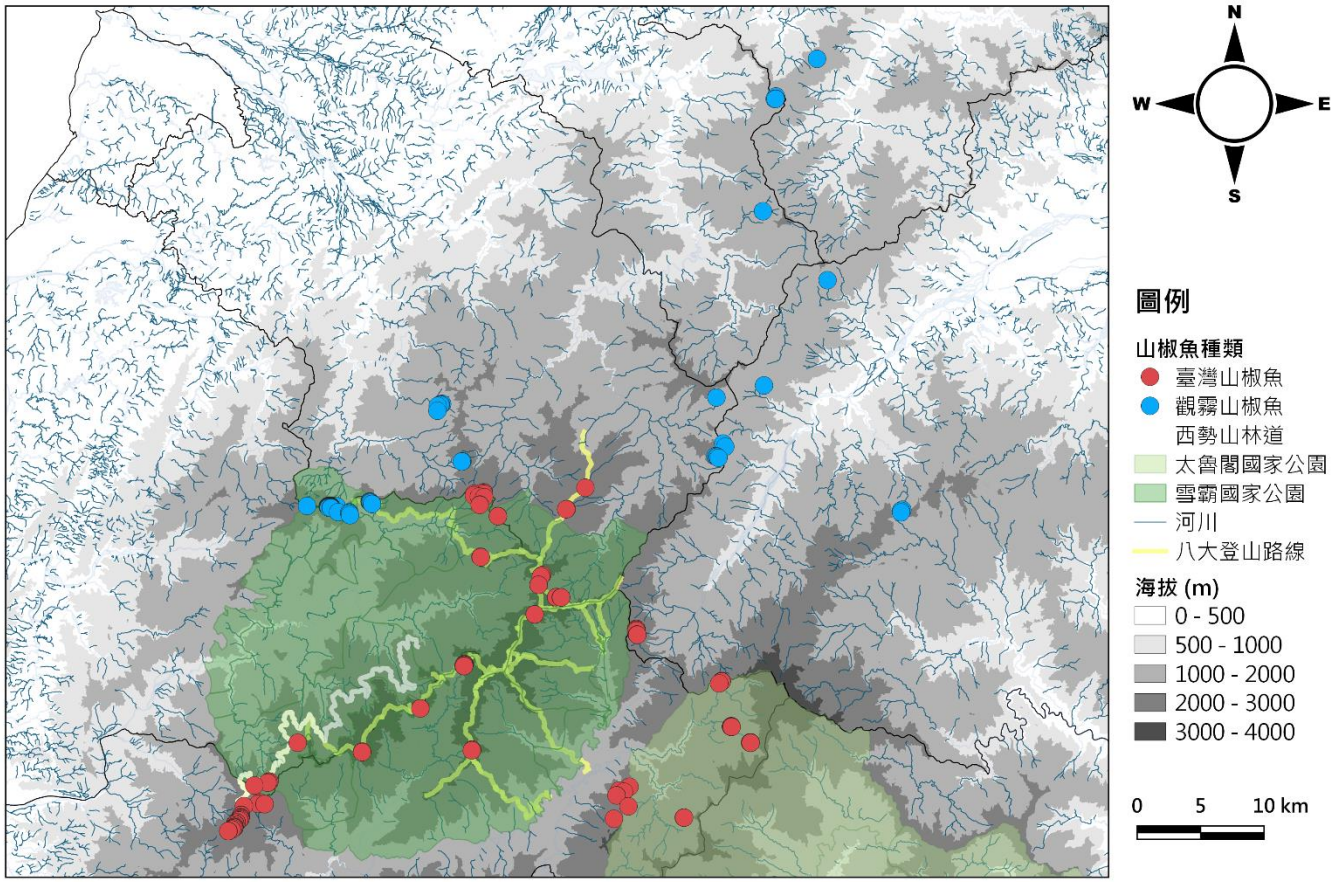


圖 1- 1、雪霸國家公園園內與園區周遭山椒魚分布地圖。

整合 2020 年至 2024 年山椒魚調查資料，繪製觀霧山椒魚（藍色）及臺灣山椒魚（紅色）分布地圖。

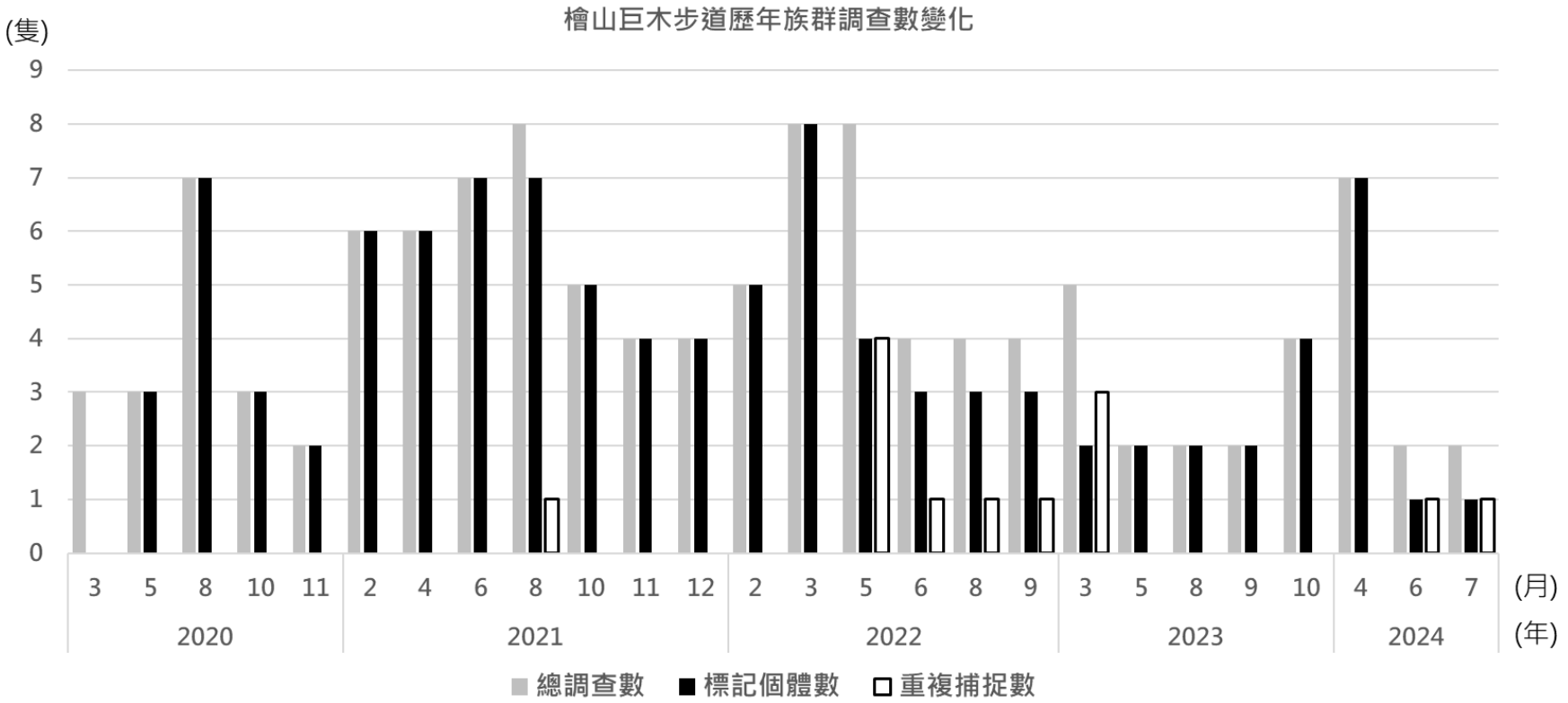


圖 1- 2、檜山巨木步道的觀霧山椒魚 2020 年至 2024 年調查數與再捕捉數變化。

橫軸表示調查年度與月份區間，縱軸為調查到的個體數量，分別記錄總調查數、進行標記的個體數及記錄到再捕捉的個體數。

二、 收集及探討園區內山椒魚的微棲地與地表無脊椎動物相資訊

1. 微棲地資料收集

本計畫執行自 2023 年 4 月起至 2024 年 8 月止，共收集 77 筆雪霸國家公園的山椒魚微棲地資訊，包含檜山巨木步道 26 筆、佐藤駐在所 2 筆、大鹿林道西線 3 筆、大鹿林道東線 1 筆、720 林道 6 筆、松嶺 2 筆、230 林道 7 筆、200 林道 2 筆與 231 林道 28 筆，共累計收集觀霧山椒魚微棲地資料 32 筆與臺灣山椒魚微棲地資料共 45 筆。將本計畫兩年度收集之微棲地資訊，與過去 2020 年起團隊執行雪霸國家公園園區內及園區周邊的山椒魚微棲地調查資料整合，檢視山椒魚分布永久監測樣區中的微棲地組成類型。微棲地分析項目涵蓋樣區鄰近水源狀態、遮蔽物類型、遮蔽物上方覆蓋植物與底質種類。山椒魚在棲地利用上多以使用土壤層以下的地底伏流為主，且僅於繁殖期間、成體個體會進入地表活水或地底伏流，進行繁殖與產卵。調查棲地鄰近地表的活水，則可協助判斷此棲地作為潛在繁殖棲所的可能。

經檢視，觀霧山椒魚共有 157 筆有效資料（表 2-1），樣區範圍包含雪霸國家公園內觀霧地區的檜山巨木步道、樂山林道、大鹿林道東西線與羅山林道，以及園區周遭樣區包含佐藤駐在所、北插天山樣區、棲蘭山樣區與中央山脈的太平山樣區，並以檜山巨木步道累積的 117 筆微棲地資訊為大宗。在鄰近水源狀況，觀霧山椒魚所在棲地有 84.71%呈現整年乾涸，然大鹿林道西線及太平山樣區則以整年有水為主；在遮蔽物利用上，95.54%的觀霧山椒魚偏好以石塊作為遮蔽物，又以大鹿林道西線與北插天山地區具有較高的木塊遮蔽物利用比例；遮蔽物上植物種類可反應該遮蔽物近期是否遭受擾動或形成時間，顯示觀霧山椒魚的遮蔽物中，約有 89.81%具有蘚苔，僅大鹿林道西線的山椒魚 80%的遮蔽物上方沒有植物；在山椒魚利用的底質上，則以腐質土佔比 42.68%為大宗，其次為碎石及腐質土（24.84%）與腐質土及草根土（7.64%），顯示觀霧山椒魚在腐質土混合的底質類型上具有較高的偏好。

臺灣山椒魚則具有 122 筆有效資料（表 2-2），在雪霸國家公園園

區內以及園區鄰近區域的臺灣山椒魚永久監測樣區範圍，涵蓋大雪山地區的 200 林道、230 林道、231 林道，以及 720 林道、721 林道、2699 峰、九九山莊、志樂溪流域、大鹿林道東支線、匹匹達山、巴紗拉雲山、投 89 縣道、品田山、素密達斷崖、薩克亞金溪、塔克金溪、境界山與霸南，總計 18 處分布於雪山山脈上的樣區。在樣區鄰近水源上，亦以整年乾涸為大宗（63.93%），部分樣區如 721 林道、2699 峰、志樂溪流域、素密達斷崖、薩克亞金溪、塔克金溪、境界山與霸南則以整年有水為主；在遮蔽物種類上，雪山山脈上的臺灣山椒魚利用的遮蔽物類型也以石塊為主（93.44%），僅薩克亞金溪分布的個體尚未有利用石塊作為遮蔽物的紀錄；在遮蔽物上的植物類型，仍以蘚苔作為大宗（80.33%），僅 2699 峰分布的個體尚未有蘚苔的紀錄；在底質類型上，以腐質土為大宗（38.52%），並以碎石及腐植土的混合底質（16.39%）與碎石及土的混合底質（10.66%）次之，其中又以品田山的山椒魚有發現利用砂質底質（20%）、土及砂混合底質（20%）與土及水混合底質（20%）。

2. 土壤表層無脊椎動物相調查

為探討觀霧山椒魚族群分布永久監測樣區，於地表底棲無脊椎動物相的組成差異，研究團隊於 2023 年 6 月起至 2024 年 10 月止，已完成檜山巨木步道（KSGM）與復育區（FU）土壤表層動物取樣、掉落式陷阱以及馬氏網陷阱之樣本收集（圖 2-1、圖 2-2）。柏氏漏斗法（土壤表層動物取樣）收集之樣本保存於 70%酒精（-20℃），與掉落式陷阱以及馬氏網陷阱的樣本委由國立臺灣大學昆蟲系蕭旭峰老師團隊以及農業部生物多樣性研究所林春富副研究員協助進行物種鑑定，以利後續進行物種組成與相對物種豐度探討。然樣本採集後，無脊椎動物樣本拍攝紀錄與鑑定需要較久的時間，固本期計畫先就 2023 年 6 月份已全數完成分析的資料進行結果討論。

根據 2023 年 6 月份之土壤表層動物取樣、掉落式陷阱與馬氏網陷阱的記錄與鑑定。土壤表層動物取樣結果顯示，檜山巨木步道共採集到 5 個大類群的無脊椎動物：昆蟲綱、蛛形綱、彈尾綱、環節動物

門以及圓形動物門;復育區採集到 7 個大類群的無脊椎動物:昆蟲綱、蛛形綱、彈尾綱、唇足綱、結合綱、環節動物門以及圓形動物門（圖 2-3）。兩區的土壤表層動物取樣皆以昆蟲綱（KSGM：44.0%；FU：36.5%）與蛛型綱（KSGM：28.0%；FU：36.5%）佔多數（圖 2-4）。

掉落式陷阱無脊椎動物組成分析結果顯示，檜山巨木步道共採集到 8 個大類群的無脊椎動物：昆蟲綱、蛛形綱、彈尾綱、倍足綱、軟甲綱、內口綱、唇足綱與結合綱；復育區則採集到 7 個大類群的無脊椎動物：昆蟲綱、彈尾綱、蛛形綱、倍足綱、軟甲綱、內口綱與環節動物門（圖 2-5）。兩區的掉落式陷阱皆以彈尾綱（KSGM：53.6%；FU：54.3%)與昆蟲綱（KSGM：38.2%；FU：32.7%）佔多數（圖 2-6）。

馬氏網陷阱無脊椎動物組成分析結果顯示，檜山巨木步道共採集到的無脊椎動物可分為 5 個大類群：昆蟲綱、彈尾綱、蛛形綱、倍足綱及渦蟲綱；復育地則為 3 個大類群：昆蟲綱、蛛形綱及彈尾綱（圖 2-7）。兩區的馬氏網陷阱皆以昆蟲綱（KSGM：85.5%；FU：85.2%）與彈尾綱（KSGM：12.6%；FU：14.3%）佔多數（圖 2-8）。復育地於 2023 年 6 月所捕獲的無脊椎動物數量較檜山巨木步道要來得多。在檜山巨木步道及復育地的土壤表層動物取樣中以昆蟲綱及蛛形綱為主。掉落式陷阱與馬氏網陷阱採集之無脊椎動物組成則皆以彈尾綱與昆蟲綱為主，但掉落式陷阱以前者居多，馬氏網則以後者居多。

檜山巨木步道土壤表層動物取樣所捕獲之昆蟲綱，底下各目在總昆蟲綱動物的占比主要以膜翅目（31.8%）、鞘翅目（27.3%）、鱗翅目（18.2%)和雙翅目（18.2%)為主;復育地則主要以鞘翅目（51.4%)、膜翅目（22.9%）及雙翅目（11.4%）為主（圖 2-9）。檜山巨木步道掉落式陷阱捕獲之昆蟲綱，底下各目在總昆蟲綱動物的占比主要以雙翅目（53.7%）、鞘翅目（23.1%）及膜翅目（16.7%）為主；復育區則以雙翅目（46.8%）、膜翅目（21.4%）及鞘翅目（20.9%）為主（圖 2-10）。檜山巨木步道馬氏網陷阱捕獲之昆蟲綱，底下各目在總昆蟲綱動物的占比主要以雙翅目（36.8%)、半翅目（15.4%)、膜翅目（13.3%）及鞘翅目（11.9%)為主;復育地則以雙翅目（35.1%)、鞘翅目（34.6%)、

膜翅目（13.4%）及半翅目（10.5%）為主（圖 2-11）。

3. 以 HOBO 記錄檜山巨木樣區與復育區樣區之空氣與土壤因子變化

為收集觀霧山椒魚分布樣區（檜山巨木樣區）與未分布樣區（復育區樣區）在大氣中溫度、濕度，以及土壤底層溫度與含水量之數據差異，研究團隊於 2023 年 11 月以及 2024 年 4 月於檜山巨木步道與復育地架設地表（型號 MX2301A）及土壤（型號 MX2307）中的 HOBO 溫溼度記錄器，以每小時為單位記錄兩區的地表及土壤中的溫度及濕度數據，時間持續到 2024 年 10 月。地表的記錄器記錄項目包含溫度以及相對溼度，架設地點會避免曬到太陽並離地不超過 1 公尺；土壤中的記錄器記錄的項目包含土壤溫度及土壤含水量，於架設地點將記錄器埋入土壤深度約 20 公分處。根據地表溫濕度記錄器數據，計算兩區地表每日最高溫、最低溫、日均溫、日溫差以及日平均相對濕度；根據土壤中溫濕度記錄器數據，計算兩區土壤中每日最高溫、最低溫、日均溫、日溫差以及日平均土壤含水量。

我們自 2023 年 11 月起偵測兩區地表溫溼度數據，地表溫度皆隨季節變化，越接近 1、2 月溫度逐漸降低，接近 7、8 月則逐漸升高。復育區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月的日最高溫普遍比檜山巨木步道要來得高一點（圖 2-11），但兩區的日最低溫則相近（圖 2-12），解釋復育地的日溫差相比檜山巨木步道普遍要來得大的現象（圖 2-14）。在日均溫比較上，復育區亦比檜山巨木步道稍高（圖 2-13）。相比較每日平均相對濕度，每日平均相對溼度方面，復育區每日平均相對濕度的起伏多大於檜山巨木步道，代表復育區的溼度的變化可能比檜山巨木步道要來得大（圖 2-15）。自 2024 年 3 月起偵測兩區土壤溫溼度數據，土壤溫度隨季節變化，接近 7、8 月時逐漸升高。兩區的日最高溫（圖 2-16）、日最低溫（圖 2-17）、日均溫（圖 2-18）及日溫差（圖 2-19）數值及變化相近；每日平均土壤含水量方面，兩區含水量起伏趨勢大致相同，但復育區土壤含水量高於檜山巨木步道（圖 2-20）。

復育區相對檜山巨木步道，其植被較為稀疏，使其環境條件可能較後者易受陽光及空氣流動影響，造成其地表溫度及濕度有相較檜山

巨木步道有較大的變化。兩區在土壤相關數值方面，復育區土壤含水量普遍大於檜山巨木步道，推測原因為該地有架設灑水系統使其土壤濕度上升。作為兩棲動物，山椒魚的體溫與水分調節和所處的環境溫溼度相關，藉由記錄與比較山椒魚分布永久監測樣區的相關數據，可作為未來研究山椒魚棲地偏好的依據。

表 2-1、雪霸國家公園與周邊山域觀霧山椒魚分布永久監測樣區微棲地資訊

微棲地樣區	物種	N	鄰近水源狀況（%）			遮蔽物（%）		遮蔽物上覆蓋植物（%）			底質（%）										
			整年有水	整年乾涸	乾季缺水	木	石	無	蘚苔	苔蘚及草本植物	草根土	腐質土	土	砂土	碎石	碎石/草根土	碎石/腐質土	碎石/土	腐質土/草根土	土/草根土	土/腐質土
檜山巨木步道	*H. fucus*	117	5.13	92.31	2.56	0.85	99.15	1.71	94.02	4.27	5.13	44.44	0.85	0.00	2.56	5.13	28.21	5.13	7.69	0.85	0.00
樂山林道	*H. fucus*	2	50.00	50.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
大鹿林道西線	*H. fucus*	5	60.00	20.00	20.00	60.00	40.00	80.00	20.00	0.00	0.00	60.00	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
大鹿林道東線	*H. fucus*	9	22.22	77.78	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	33.33	22.22	0.00	22.22	0.00	11.11	0.00	0.00	0.00	11.11
羅山林道	*H. fucus*	5	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00
佐藤駐在所	*H. fucus*	2	50.00	50.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
北插天山地區	*H. fucus*	5	100.00	0.00	0.00	60.00	40.00	0.00	100.00	0.00	0.00	80.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
棲蘭山地區	*H. fucus*	9	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	11.11	44.44	44.44	44.44	11.11	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	11.11	22.22	0.00	0.00
太平山地區	*H. fucus*	3	66.67	33.33	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	33.33	0.00	0.00
Total	*H. fucus*	157	12.74	84.71	2.55	4.46	95.54	4.46	89.81	5.73	6.37	42.68	3.82	0.64	3.82	3.82	24.84	5.10	7.64	0.64	0.64

N 為各微棲地樣區中有效樣本數，微棲地中各分析項目單位百分比，灰底範圍為該分析項目中佔筆最高者。

（本研究資料）

表 2- 2、雪霸國家公園與周邊山域臺灣山椒魚分布永久監測樣區微棲地資訊

微棲地樣區	物種別	N	鄰近水源狀況(%)			遮蔽物(%)		遮蔽物上覆蓋植物(%)		
			整年有水	整年乾涸	乾季缺水	木	石	無	蘚苔	苔蘚及草本植物
200 林道	*H. formosanus*	4	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
230 林道	*H. formosanus*	14	7.14	92.86	0.00	7.14	92.86	0.00	92.86	7.14
231 林道	*H. formosanus*	35	0.00	100.00	0.00	8.57	91.43	34.29	62.86	2.86
720 林道	*H. formosanus*	8	12.50	87.50	0.00	0.00	100.00	0.00	87.50	12.50
721 林道	*H. formosanus*	1	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
2699 峰	*H. formosanus*	1	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
九九山莊	*H. formosanus*	2	50.00	50.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
志樂溪流域	*H. formosanus*	23	91.30	8.70	0.00	8.70	91.30	8.70	91.30	0.00
大鹿林道東支線	*H. formosanus*	10	30.00	60.00	10.00	10.00	90.00	10.00	90.00	0.00
匹匹達山	*H. formosanus*	2	50.00	50.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
巴紗拉雲山	*H. formosanus*	3	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
投 89 縣道(松嶺)	*H. formosanus*	2	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
品田山	*H. formosanus*	5	20.00	80.00	0.00	0.00	100.00	40.00	60.00	0.00
素密達斷崖	*H. formosanus*	2	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	50.00	50.00	0.00
薩克亞金溪	*H. formosanus*	1	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00
塔克金溪	*H. formosanus*	2	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
境界山	*H. formosanus*	4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	75.00	25.00
霸南	*H. formosanus*	3	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	33.33	66.67	0.00
Total	*H. formosanus*	122	35.25	63.93	0.82	6.56	93.44	16.39	80.33	3.28

（續下頁）

表 2- 2（續）、雪霸國家公園與周邊山域臺灣山椒魚分布永久監測樣區微棲地資訊

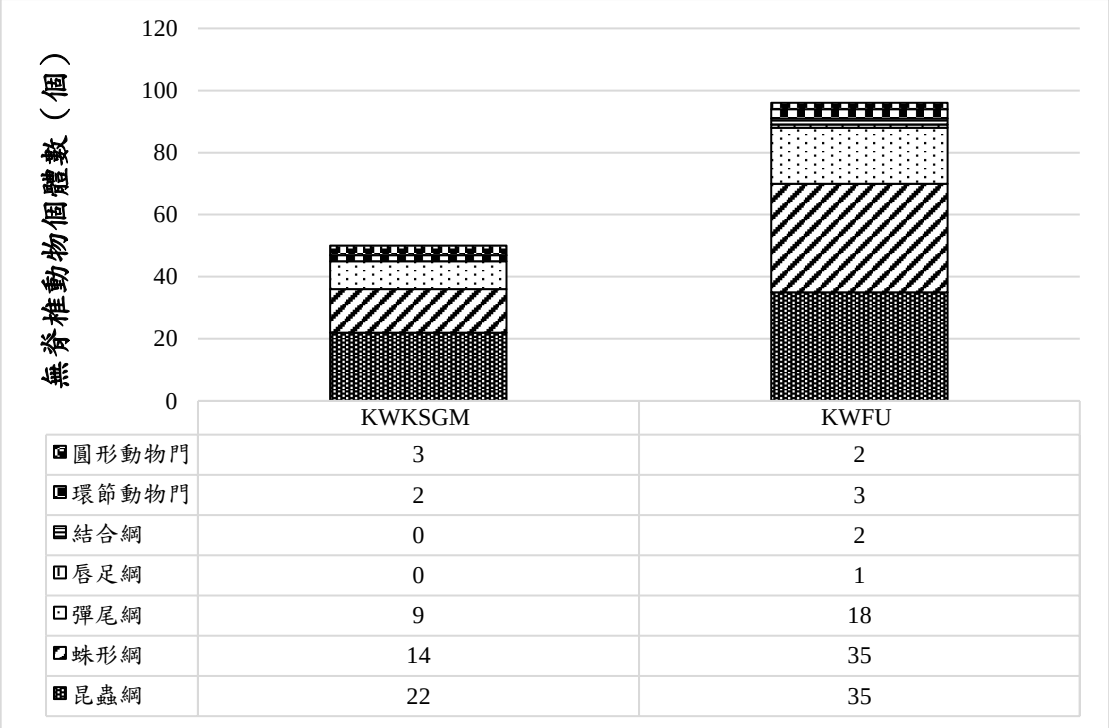
微棲地樣區	底質(%)															
	草根土	腐質土	土	木	碎石	砂	木	碎石/草根土	碎石/腐質土	碎石/土	土/砂	土/水	腐質土/草根土	土/草根土	土/腐質土	碎石/水/砂
200 林道	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
230 林道	7.14	28.57	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.57	14.29	0.00	0.00	7.14	7.14	0.00	0.00
231 林道	17.14	65.71	11.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	0.00
720 林道	12.50	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	25.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	12.50
721 林道	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2699 峰	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
九九山莊	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
志樂溪流域	0.00	56.52	4.35	4.35	4.35	0.00	0.00	8.70	17.39	0.00	0.00	0.00	0.00	4.35	0.00	0.00
大鹿林道東支線	10.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	30.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
匹匹達山	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
巴紗拉雲山	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00
投 89 縣道(松嶺)	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
品田山	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	40.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
素密達斷崖	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
薩克亞金溪	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
塔克金溪	0.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
境界山	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
霸南	0.00	66.67	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	8.20	38.52	9.02	0.82	3.28	0.82	0.82	3.28	16.39	10.66	0.82	0.82	3.28	1.64	0.82	0.82

N 為各微棲地樣區中有效樣本數，微棲地中各分析項目單位百分比，灰底範圍為該分析項目中佔筆最高者。

（本研究資料）

圖 2- 1、於觀霧地區進行土壤樣本收集。

圖 2- 2、於觀霧地區進行掉落式陷阱架設。



	KWKSGM	KWFU
圓形動物門	3	2
環節動物門	2	3
結合綱	0	2
唇足綱	0	1
彈尾綱	9	18
蛛形綱	14	35
昆蟲綱	22	35

圖 2- 3、觀霧地區土壤表層動物取樣 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

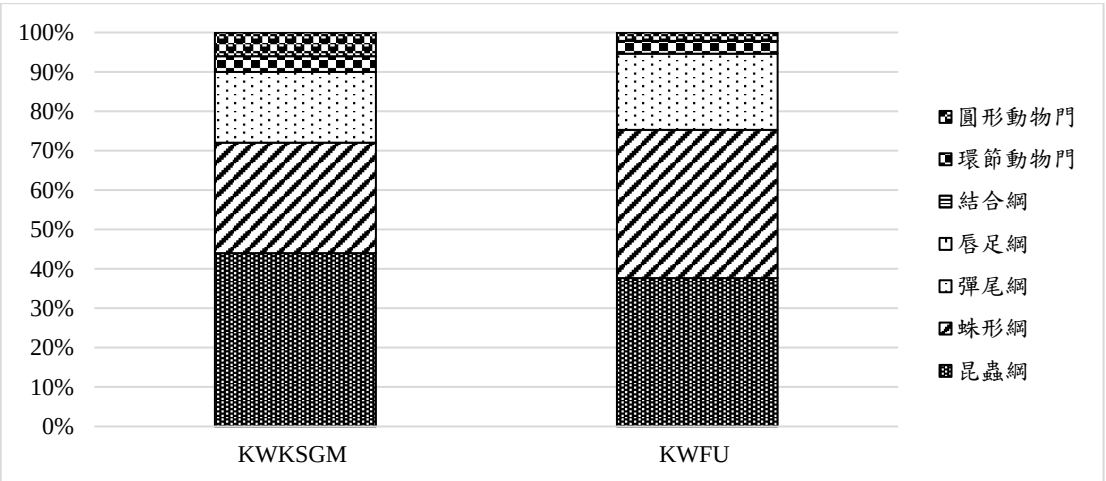
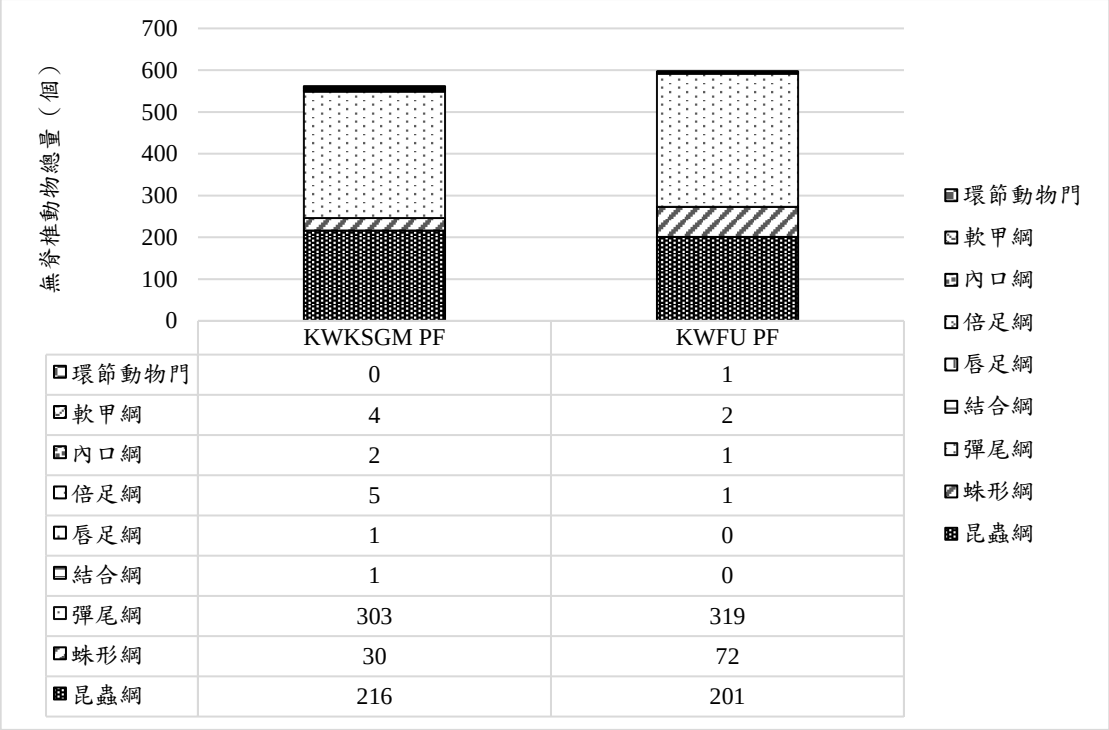


圖 2- 4、觀霧地區土壤表層動物取樣 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)



	KWKSGM PF	KWFU PF
環節動物門	0	1
軟甲綱	4	2
內口綱	2	1
倍足綱	5	1
唇足綱	1	0
結合綱	1	0
彈尾綱	303	319
蛛形綱	30	72
昆蟲綱	216	201

圖 2- 5、觀霧地區掉落式陷阱 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

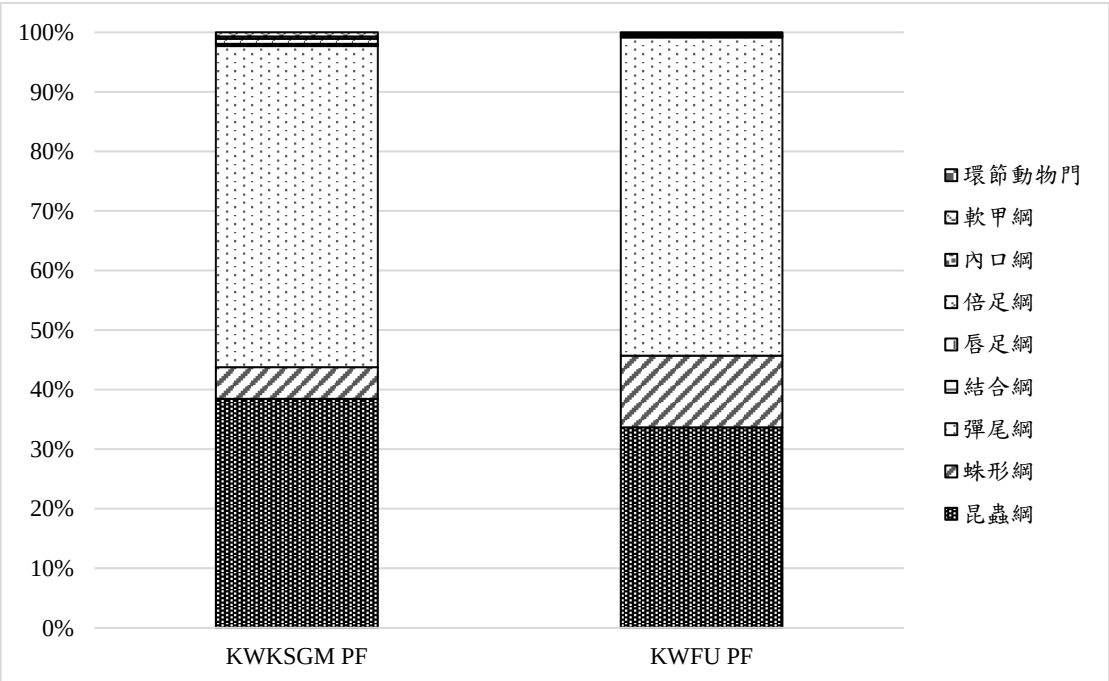
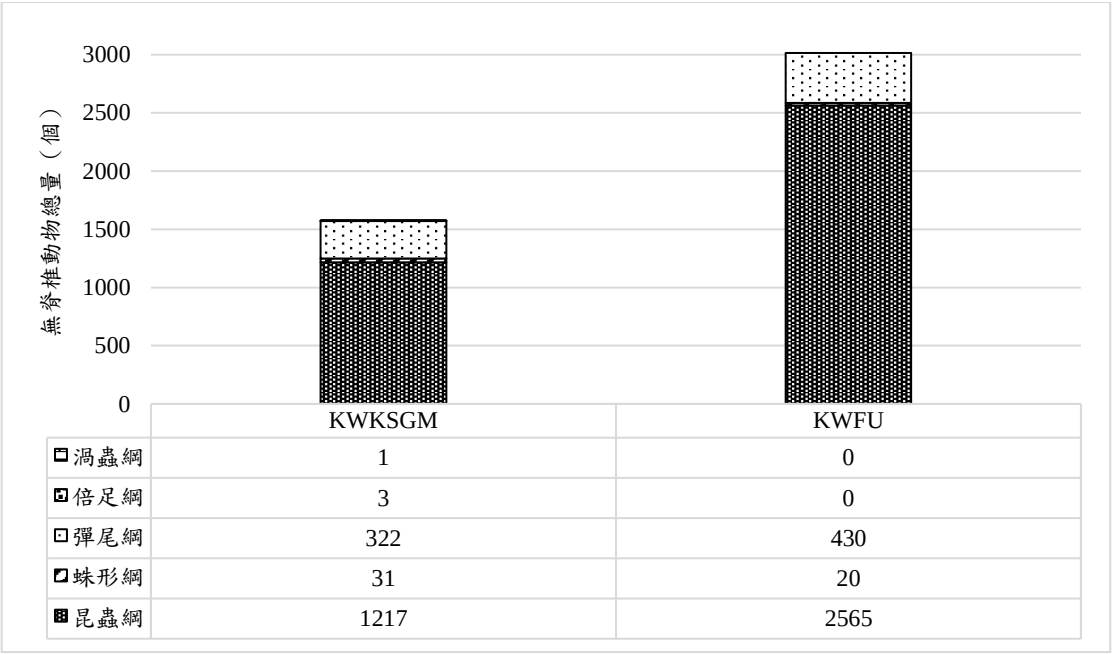


圖 2- 6、觀霧地區掉落式陷阱 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)



	KWKSGM	KWFU
渦蟲綱	1	0
倍足綱	3	0
彈尾綱	322	430
蛛形綱	31	20
昆蟲綱	1217	2565

圖 2- 7、觀霧地區馬氏網 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物總量。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

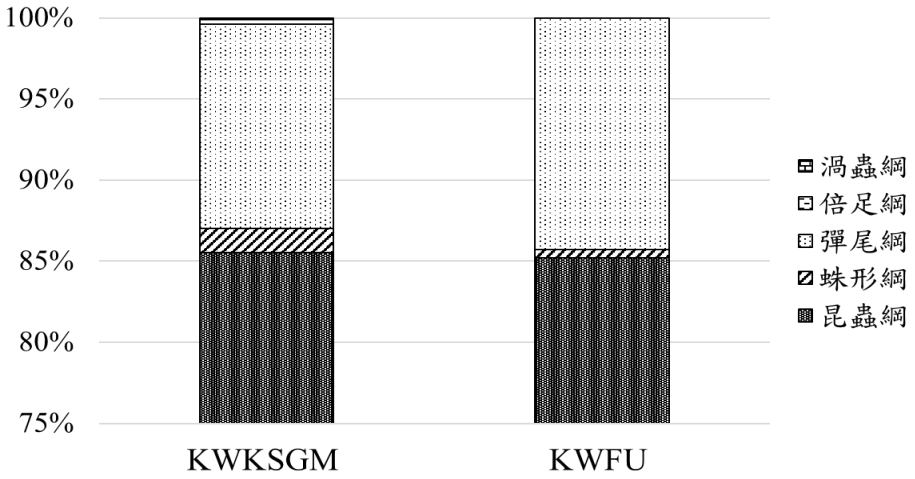


圖 2- 8、觀霧地區馬氏網 2023 年 6 月捕獲無脊椎動物比例。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

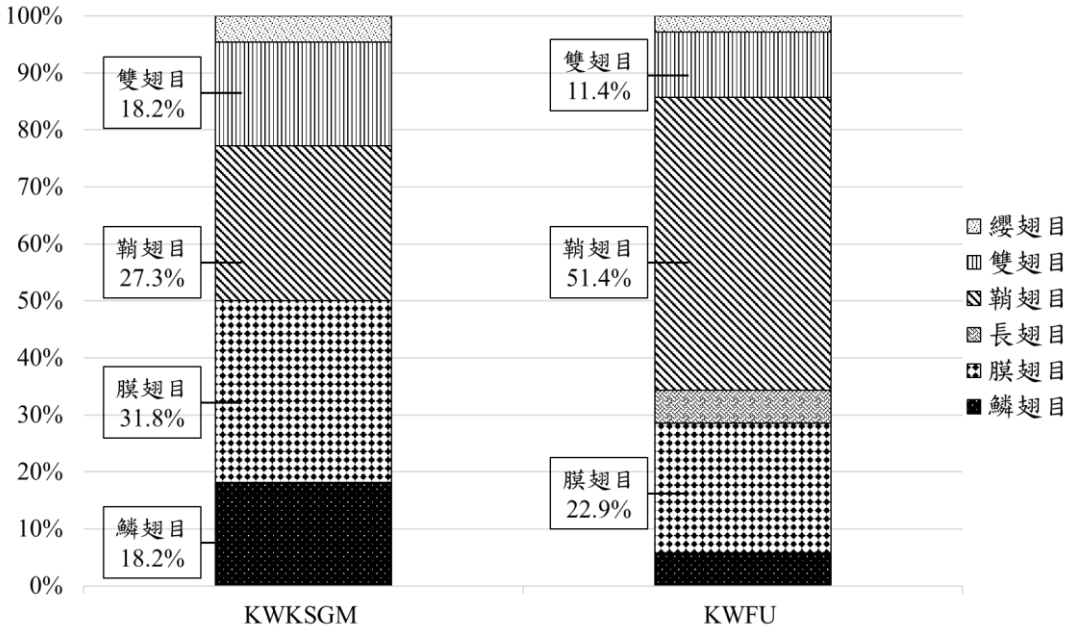


圖 2- 9、觀霧地區 2023 年 6 月土壤表層取樣昆蟲網各目動物總數相對占比。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

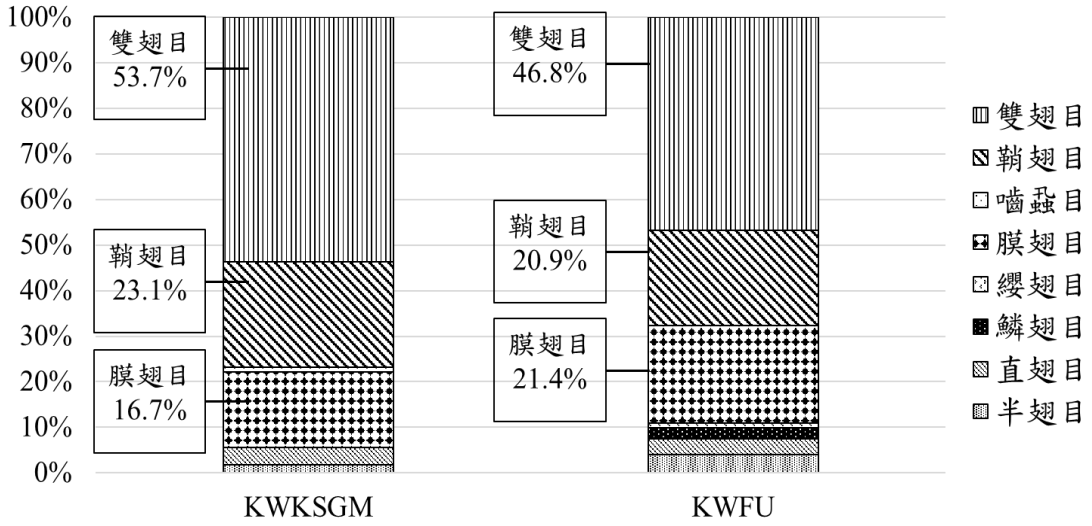


圖 2- 10、觀霧地區 2023 年 6 月掉落式陷阱昆蟲網各目動物總數相對占比。

KWKSGM：檜山巨木步道；KWFU：復育區。

(本研究資料)

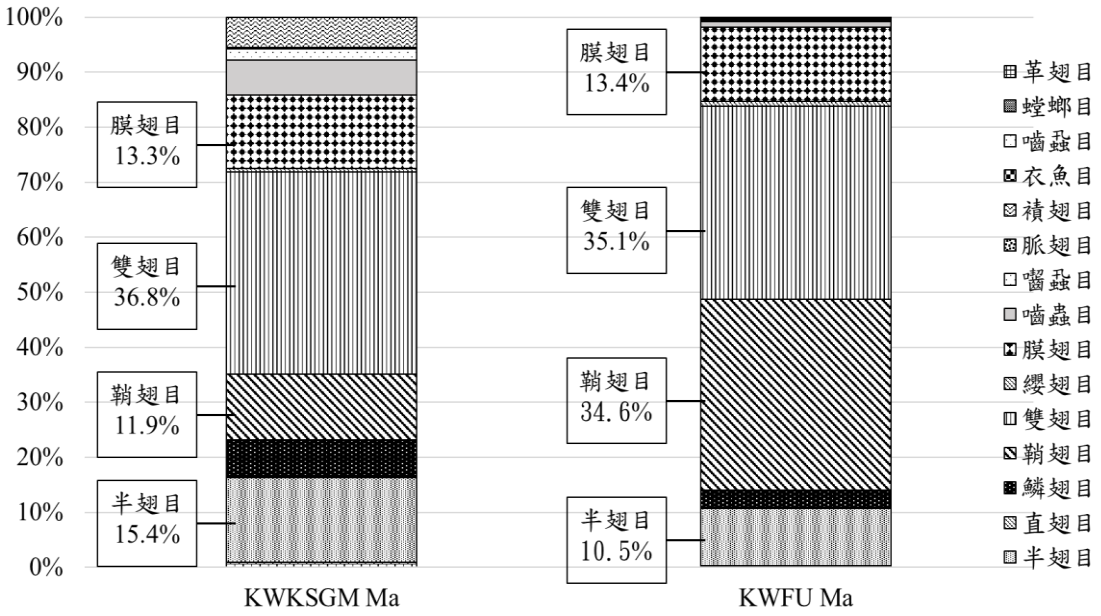


圖 2- 11、觀霧地區 2023 年 6 月馬氏網陷阱昆蟲網各目動物總數相對占比。

KWKSGM Ma：檜山巨木步道馬氏網陷阱；KWFU Ma：復育區馬氏網陷阱。

(本研究資料)

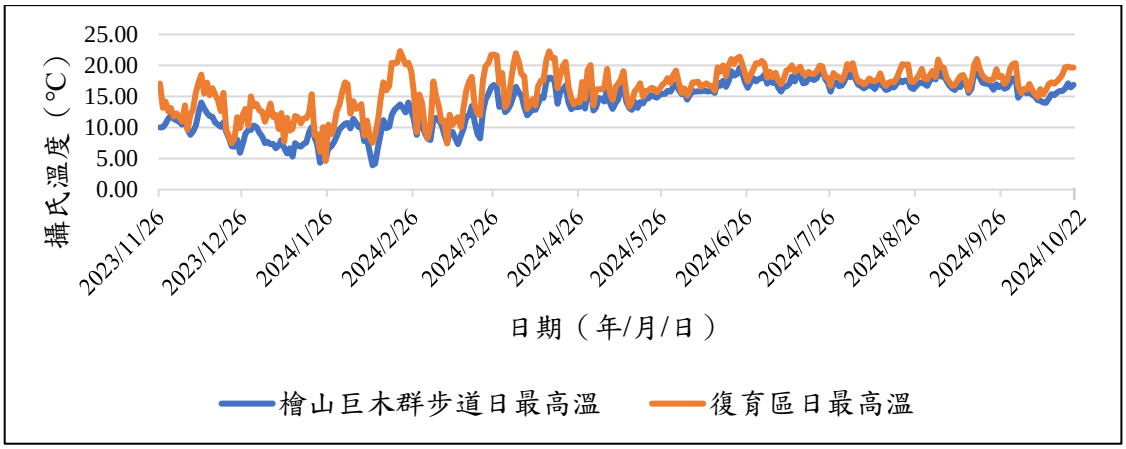


圖 2- 12、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日最高溫變化。

(本研究資料)

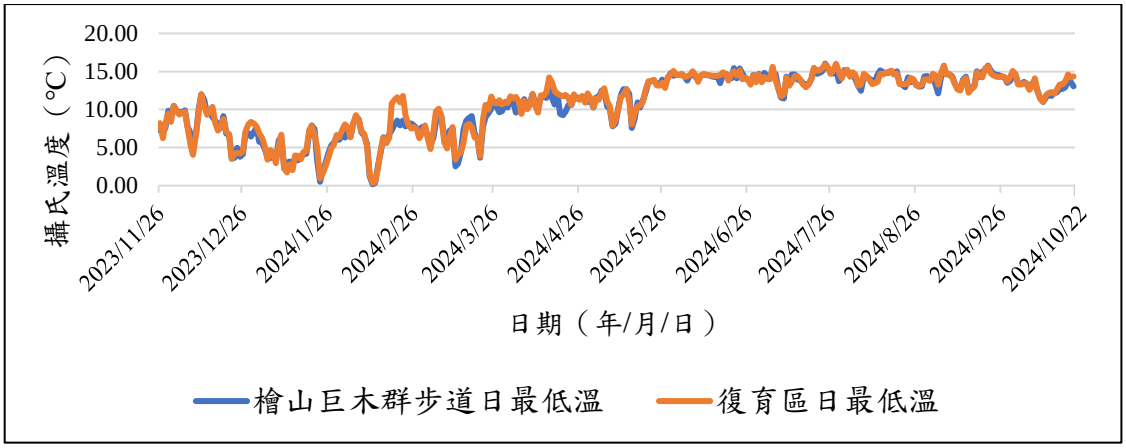


圖 2- 13、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日最低溫變化。

(本研究資料)

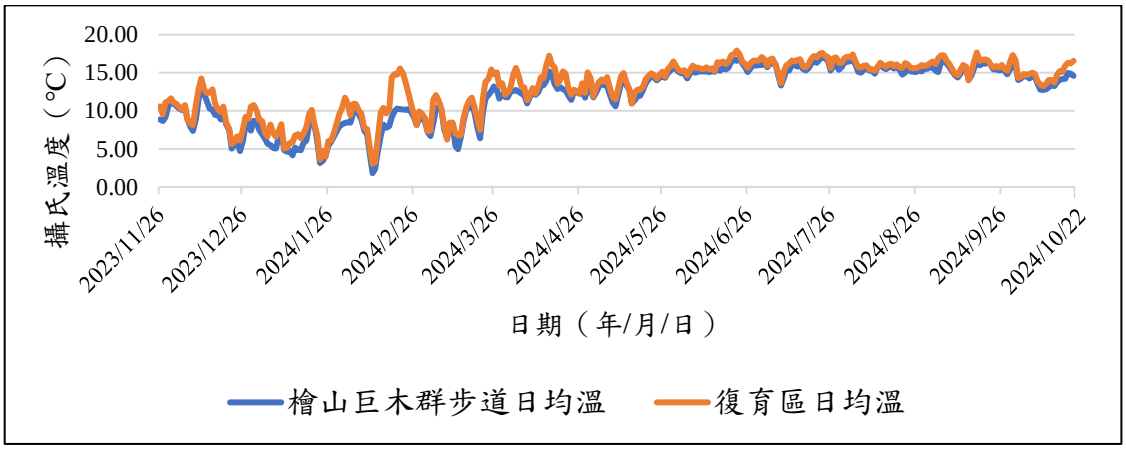


圖 2- 14、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日均溫變化。

(本研究資料)

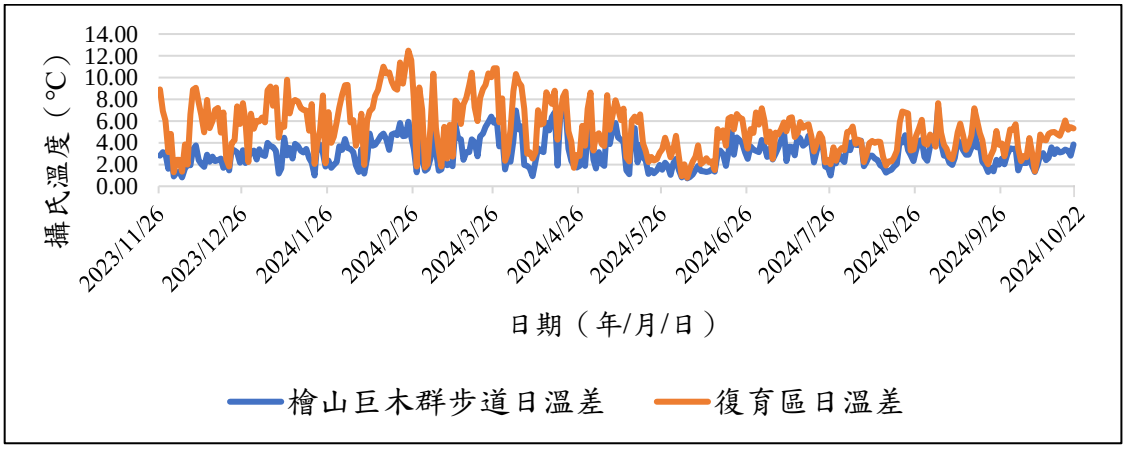


圖 2- 15、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日均溫變化。

(本研究資料)

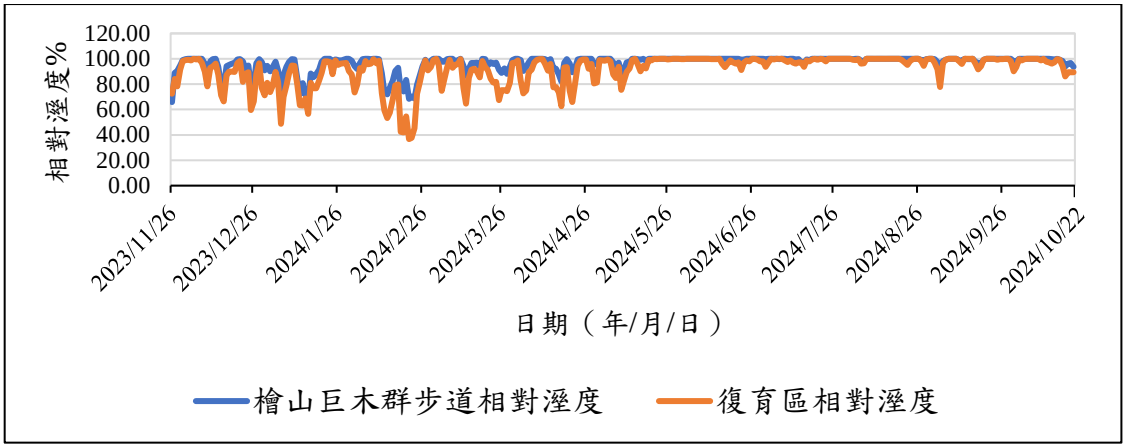


圖 2- 16、觀霧地區 2023 年 11 月至 2024 年 10 月地表日平均相對濕度變化。

(本研究資料)

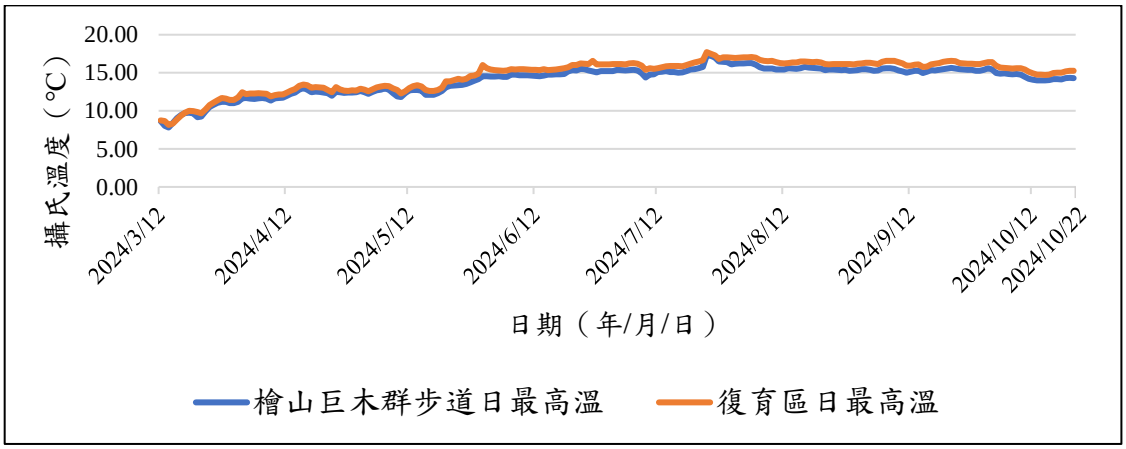


圖 2- 17、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日最高溫變化。

(本研究資料)

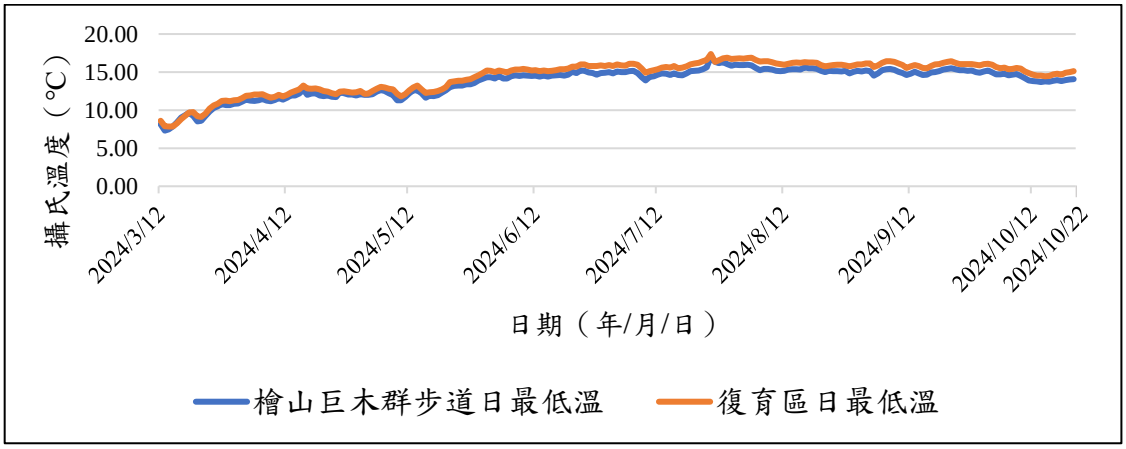


圖 2- 18、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日最低溫變化。

(本研究資料)

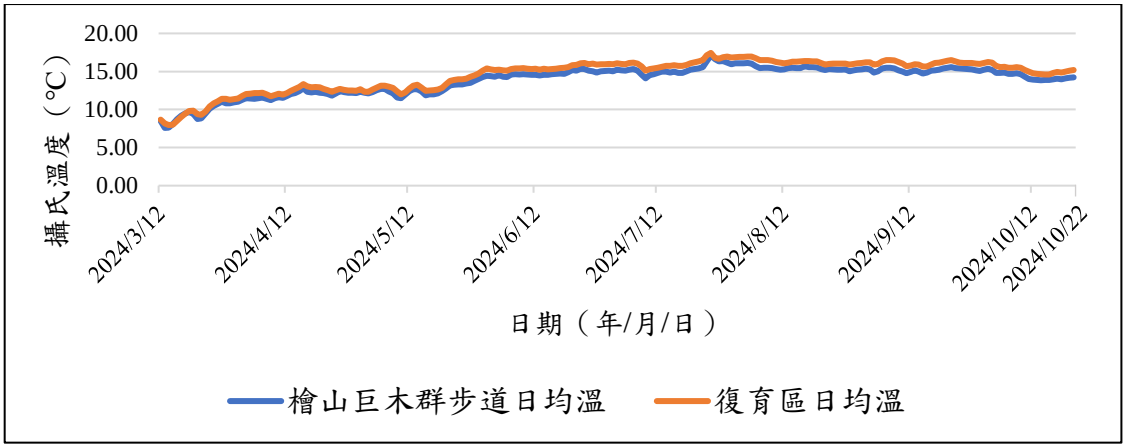


圖 2- 19、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日均溫變化。

(本研究資料)

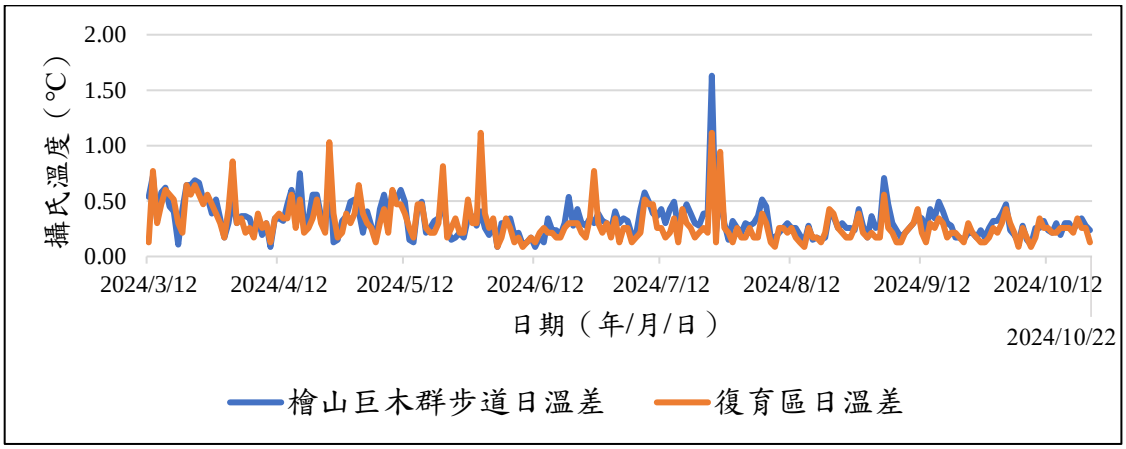


圖 2- 20、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月土壤日均溫變化。

(本研究資料)

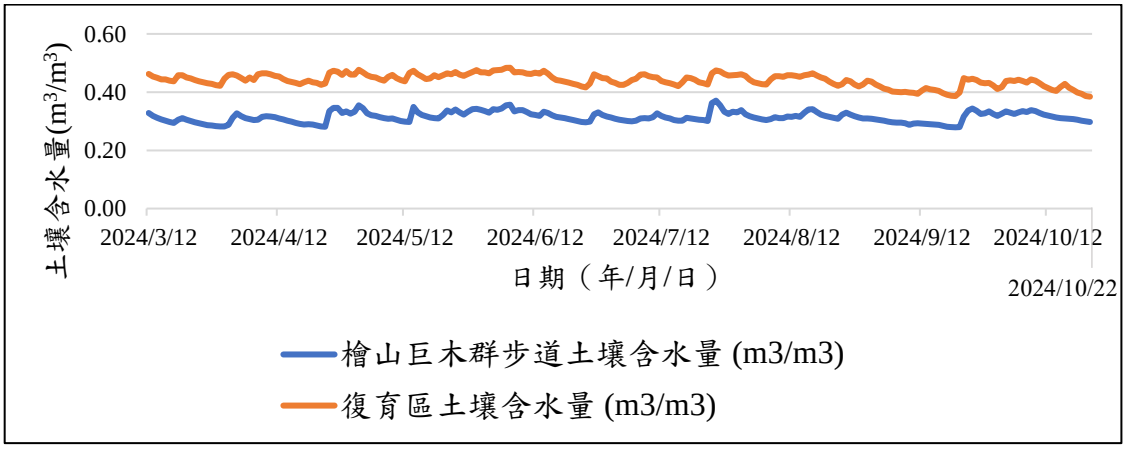


圖 2- 21、觀霧地區 2024 年 3 月至 2024 年 10 月日平均土壤含水量變化。

(本研究資料)

三、 觀霧地區山椒魚永久樣區監測調查與標準化調查流程建立

1. 執行背景

氣候變遷與人為活動而不斷加劇全球地景的改變，森林管理的作為在生態系統服務和野生動物棲息地越來越重要。因此，森林管理與生物多樣性保護之間的平衡至關重要。在永續的森林管理，指標物種（根據環境敏感性或生態影響性）通常被用來評估環境變化如何影響生態系統功能和生物多樣性。於是，有複雜生活史和因利用皮膚呼吸（cutaneous respiration）對環境壓力具有敏感性的山椒魚一直被認為有意義的指標物種。另外，許多山椒魚的棲地位於溪流源頭（headwater forest）附近的森林地表，又因其繁殖需要依賴乾淨水源，山椒魚是為中高海拔森林生態系功能（ecosystem function）的指標物種。永久樣區的設立與樣區內山椒魚的長期監測，可以反應氣候變遷與人為活動對中高海拔森林生態系功能的影響。

觀霧地區是觀霧山椒魚分佈的最南界，海拔約在介於 1,400 - 2,500 公尺之間。過去對觀霧地區觀霧山椒魚主要的調查樣區為檜山巨木步道、大鹿林道西線、大鹿林道西線至榛山步道口。依據過去的研究，平均調查到數量較多且較穩定的族群位於檜山巨木步道與大鹿林道西線（賴俊祥與呂光洋，2010；巫奇勳，2015；朱有田，2022）。由於檜山巨木步道與大鹿林道西線的觀霧山椒魚樣區是位於觀霧山椒魚分佈的最南界，族群數量穩定且交通便利，因此適合作為永久樣區進行族群數量變動監測。本研究，我們分別在樂山林道（稜線）的兩側，檜山巨木步道與大鹿林道西線設置兩個觀霧山椒魚的永久樣區：

(1) 檜山巨木步道永久樣區：檜山巨木步道全長 4 公里，起點在樂山林道 1.2 公里處。步道位於海拔 2,050 至 2,350 公尺，是頭前溪上游爺巴堪溪的源頭。我們在海拔 2,050 – 2,100 公尺林道設置寬 250 公尺的永久樣區，並設置 HOBO 為氣象站長期記錄空氣溫度、濕度與地表含水量與地表溫度（圖 3-1）。

(2) 大鹿林道西線與榛山步道永久樣區：過去的研究，大鹿林道西

線步道與榛山步道也有零星觀霧山椒魚被發現。這兩個步道是大安溪上游馬搭拉溪的溪流源頭，海拔 2,050 至 2,100 公尺。大鹿林道西線步道、榛山步道與檜山巨木步道分別位於樂山林道（稜線）的兩側，因此推測大鹿林道西線步道與榛山步道的山椒魚族群實際數量應該比過去的調查還多。我們在海拔 2,050 -2,100 公尺，由賞鳥步道與大鹿林道西線步道之後，設置約 1.5 公里沿線調查樣區（圖 3-1）。為了未來可以進行長期監測，且希望未來調查的努力量一致，我們在大鹿林道西線步道與榛山步道沿線設置 4 個鋪有固定數量柳杉木片的永久樣區，進行調查監測。

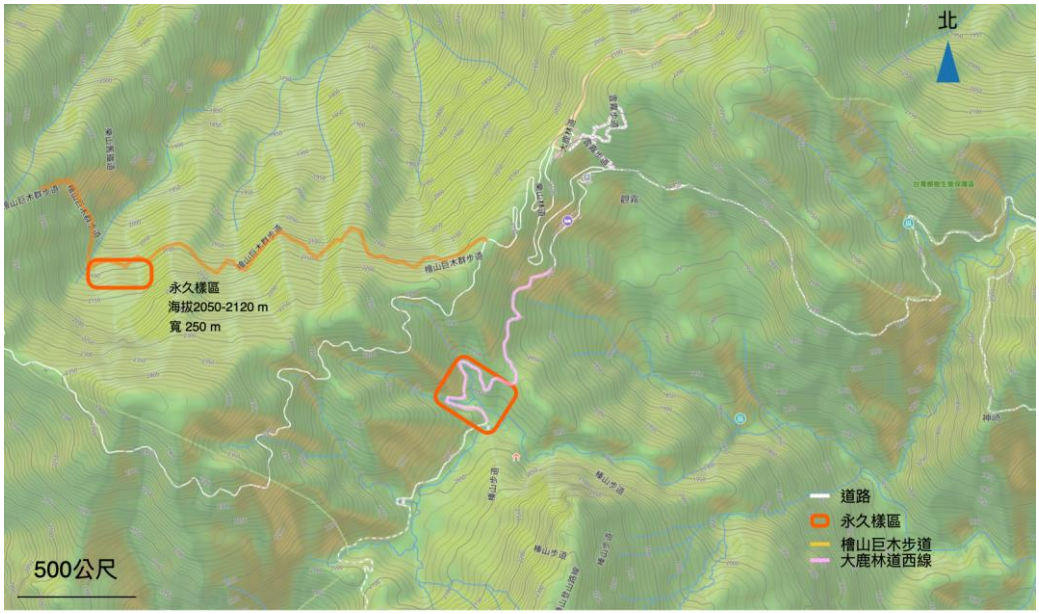


圖 3- 1、觀霧地區觀霧山椒魚永久樣區設置。

2. 以柳杉木片進行棲地豐富化

由於大鹿林道西線步道與檜山巨木步道分別位於樂山林道的兩側。過去研究顯示在檜山巨木步道溪流源頭有穩定的觀霧山椒魚族群。推測大鹿林道西線步道與榛山步道的溪流源頭山椒魚族群實際數量應該比過去的調查還多。因此，我們在大鹿林道西線與榛山步道樣區內的溪流源頭濕地設置 4 個樣區，分別為：蜜月小徑樣區；大鹿西線樣區（包括大鹿西線、水站前與水站後）；秘密花園；與橋旁小島等四個樣區（圖 3 - 2）。

(1) 柳杉木片覆蓋物的設置：過去觀霧山椒魚的調查研究，皆以翻找石頭或木頭覆蓋下的山椒魚為標的，且大部分的觀霧山椒魚喜歡躲藏在長 10 公分以上（10 - 70 公分）的覆蓋物下坊。因此，我們於 2023 年 10 月 16 日裁切因森林大火死亡的柳杉木頭，選取直徑大於 30 公分，厚度超過 6 公分的木片，共 600 片。分別在蜜月小徑樣區鋪設 140 片；大鹿西線樣區（包括大鹿西線、水站前與水站後），鋪設 196 片；秘密花園鋪設 116 片；與橋旁小島樣區鋪設 88 片柳杉木片（圖 3 - 2）。並在木片旁豎立綁有螢光綁帶的竹竿（圖 3 - 2、圖、3 - 3）。

(2) 柳杉木片覆蓋物的設置與棲地豐富化：我們於 2024 年 3 月 6 日與 5 月 3 日進行第一次與第二次的大鹿林道西線步道與檜山巨木步道的觀霧山椒魚調查，觀察觀霧山椒魚利用柳杉木片的情形。

結果 2024 年 3 月 6 日共調查到 5 隻山椒魚；5 月 3 日調查到 2 隻山椒魚。調查到的皆位於大鹿西線樣區。其中 6 隻在柳杉木片下方被找尋到，1 隻在木片旁的石頭下方被發現，顯示新鋪設柳杉木片於鋪設後 142 天，觀霧山椒魚即會利用（圖 3 - 4）。同時發現，有山椒魚的木片下底質皆為正在腐爛的柳杉葉與細樹枝，而不似過去石頭下發山椒魚的腐植土與碎石底質。這結果顯示，觀霧山椒魚也會使用潮濕、多孔隙正在腐爛的柳杉葉與細樹枝的底質。

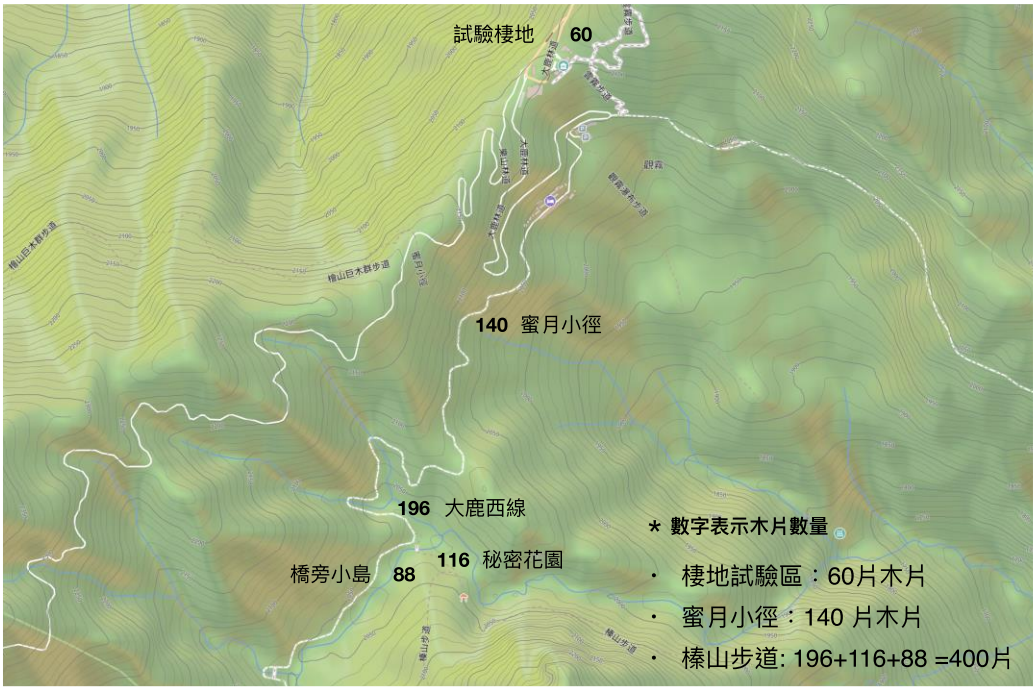


圖 3- 2、大鹿林道西線與榛山步道觀霧山椒魚樣區之棲地豐富化與調查標準化。

圖 3- 3、2023 年 10 月 16 日裁切鋪設柳杉木片。

木片旁豎立綁有螢光綁帶的竹竿。

圖 3- 4、新鋪設柳杉木片於鋪設後 142 天發現觀霧山椒魚利用。

A、B、C 位於大鹿林道西線。D 位於榛山步道口，水站前。

3. 建立雪霸國家公園山椒魚長期監測標準流程

(1) 目的：建立雪霸國家公園山椒魚熱點棲地調查方法，協助本處人員執行觀霧山椒魚與臺灣山椒魚兩個永久樣區進行長期監測。

(2) 永久樣區：觀霧山椒魚永久樣區位於觀霧地區檜山巨木步道、大鹿林道西線與榛山步道；臺灣山椒魚永久樣區位於大雪山地區 230 林道 5k - 8k。

(3) 監測項目分為以下兩點。

A. 不同年度永久樣區山椒魚數量變動調查：每年於雪霸國家公園內永久調查樣區進行山椒魚數量監測，瞭解不同年度與季節山椒魚的數量變化。協助雪霸國家公園藉由山椒魚數量變化趨勢評估氣候變遷、棲地條件、人為活動等等可能導致數量變化可能因素。

B. 藉由過去施打軟性螢光標記（VIE-tag）個體記錄資料。量

測再捕捉個體的形值資料，繪製山椒魚生長曲線，推估山椒魚年齡與生長狀態。

C. 山椒魚分布調查：每年於雪霸國家內過去有發現山椒魚紀錄的最高海拔樣點、最低海拔樣點、最南緯度樣點與最北緯度樣點進行山椒魚分布與數量調查。再依比較年份進行山椒魚分布區域比對，瞭解山椒魚分布區域的變化狀態。

(4) 永久樣區監測與監測頻度：永久樣區監測頻率為每年進行三次（每年 4、6、8 月）。

(5) 材料：

A. 手持式 GPS 定位器

B. 相機

C. 游標卡尺、、電池

D. 比例尺

E. UV 手電筒

F. 攜帶式電子秤、秤紙、電池。

G. 山椒魚分布調查紀錄表、筆

H. 塑膠夾鏈袋

I. 頭燈

(6) 操作流程：

A. 採用範圍限制尋找法(Area-Constrained Survey，ACS)，於調查區域內以徒手翻找地表的方式，針對所有可能有山椒魚躲藏的石頭與倒木進行翻找山椒魚。翻起遮蔽物時須注意掀起面背對自己，並於檢視後將遮蔽物輕放回原處。

B. 人員在山椒魚棲地進行族群調查，最好遵循固定路線，於石頭或倒木等遮蔽物下翻到山椒魚時，先不抓取 (避免驚動造成山椒魚警戒逃走)，放上比例尺。以相機進行（1）

山椒魚、(2)山椒魚與比例尺、(3)山椒魚、比例尺與 GPS、(4) 山椒魚、比例尺與微棲地進行拍攝、紀錄。而後將山椒魚放入透明夾鏈袋，必放入潮濕苔蘚保濕，降低山椒魚緊迫。進行調查資訊、棲地資料與樣本採集之紀錄（如下表 3-1），包括：

i. GPS 座標：以手持式 GPS 定位器紀錄發現山椒魚之座標點位，並記錄於調查記錄表格。

ii. 調查資訊：調查日期、時間、氣溫、天氣狀態、調查時數與調查人數。

iii. 巨棲地環境：主要植被林相類型（針葉林、混合林或箭竹）、坡向、海拔高度與罩蓋度（%）。

iv. 微棲地環境：依發現山椒魚位置紀錄微棲地環境特性，如遮蔽物位置、遮蔽物體積、遮蔽物上附著植物、底質（碎石、泥土、草根土或腐質土）、鄰近水源狀況（穩定、季節性乾涸、無水源）。

v. 個體資料：記錄山椒魚種類（以外觀判別）、測量形值資料後拍照記錄。

C. 形值量測：人員於棲地調查到山椒魚後，於形值量測前，先以苔蘚包覆山椒魚裝入塑膠夾鏈袋中，防止山椒魚逃走並避免直接接觸造成山椒魚的緊迫，再以游標卡尺記錄山椒魚之體長（SVL）、尾長（TL）、頭長（HL）、頭寬（HW）等形值資料（圖 3 - 5），並以攜帶式電子秤記錄山椒魚體重，記錄於調查表格中。

D. 色標紀錄：VIE-tag 標記可協助往後調查的再捕捉（recapture）個體記錄，藉由紅、藍、黃、綠、四種顏色的螢光標記，施打在山椒魚的四肢與腹面尾部下方，以協助辨識個體，判讀部位如圖 3 - 6。判讀時必須以 UV 燈照射判讀。人員於尋獲再捕捉山椒魚後，可比對色標卡與阿

里山山椒魚個體對照表（表 3-2），以對應該個體先前被捕捉情形。

E. 場地復原：人員於完成調查表格後，於翻找面放置若干個小石塊或木塊，再將遮蔽物放回原處，以避免棲地表層土壤於反覆翻找過程中壓實。隨後，將山椒魚輕放在遮蔽物旁，並協助確認山椒魚鑽回遮蔽物下方。

4. 地表無脊椎動物相調查方法

掉落式陷阱：掉落式陷阱可反應山椒魚食性的獵物組成。透過掉落式陷阱的架設與分析，可反應棲地中在地表爬行無脊椎動物相組成、物種多樣性與物種豐度，以了解棲地中適合山椒魚獵食的無脊椎動物多寡。掉落式陷阱架設主要在地表埋設無蓋容器，內置酒精，以固定所掉落至容器內的無脊椎動物。容器需進行編號後埋置 2 至 3 週，陷阱上方以 15 cm × 15 cm 塑膠檔板遮覆，以防止雨水、落石或塵土影響無脊椎動物樣本收集。收集到之樣本會於送至實驗室後，登錄並利用立體顯微鏡進行鑑定與照片紀錄。

5. 微棲地溫濕度資料收集

微棲地溫濕度收集以 HOBO MX2300 藍芽溫濕度記錄器與藍牙土壤水分溫度記錄器（MX2307）收集，機器以 1 小時收集資料一次。地表與地底下 15 公分的資料皆需收集。

表 3- 1、山椒魚棲地利用調查表

<table>
<tr><td colspan="10">調查日期： 年/ 月 / 日 調查天候： 調查時間： ~ 調查人數： 人</td></tr>
<tr><td colspan="2">地點</td><td colspan="2">GPS 座標 (twd-97)</td><td colspan="2">海拔 (m)</td><td colspan="2">林相</td><td colspan="2">罩蓋度 (%)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">與活水距離 (m)</td><td colspan="2">尋獲者</td><td colspan="2">山椒魚種類</td><td colspan="4">編號</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">個體特徵</td><td colspan="4">環境溫度 (°C)</td><td colspan="4">重複捕捉/色標</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2">氣溫</td><td colspan="2">土溫</td><td colspan="2">重複捕捉？</td><td colspan="2">色標</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="10">微棲地特性</td></tr>
<tr><td colspan="2">溪流水量</td><td colspan="3">覆蓋植物</td><td colspan="3">底質</td><td colspan="2">覆蓋物</td></tr>
<tr><td colspan="2">☐整年有水
☐乾季缺水
☐整年乾涸</td><td colspan="3">☐蘚苔
☐草本植物
☐無</td><td colspan="3">☐土 ☐碎石
☐腐植土 ☐草根土
☐水 ☐木</td><td colspan="2">☐土
☐石
☐木片（木頭）</td></tr>
<tr><td colspan="10">形值量測 (mm)</td></tr>
<tr><td>吻肛長</td><td>尾長</td><td>頭長</td><td>頭寬</td><td>泄殖腔長</td><td>眼間距</td><td>鼻間距</td><td>前後肢距</td><td>左前肢長</td><td>左後肢長</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">肋間溝數</td><td colspan="3">前後交疊</td><td colspan="2">體重 (g)</td><td colspan="4">編號與備註</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3"></td><td colspan="2"></td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

表 3- 2、VIE-tag 螢光標記顏色代碼

螢光標記顏色代碼		
代碼	**染劑顏色**	VIE-light
B●	**藍色 Blue**	藍色
G●	**綠色 Green**	深綠色
N●	**橘色**	黃色
O○	**無色(不打染劑)**	無色
P●	**粉紅色 Pink**	紫色
R●	**紅色 Red**	深紅色
Y●	**黃色 Yellow**	亮螢光綠

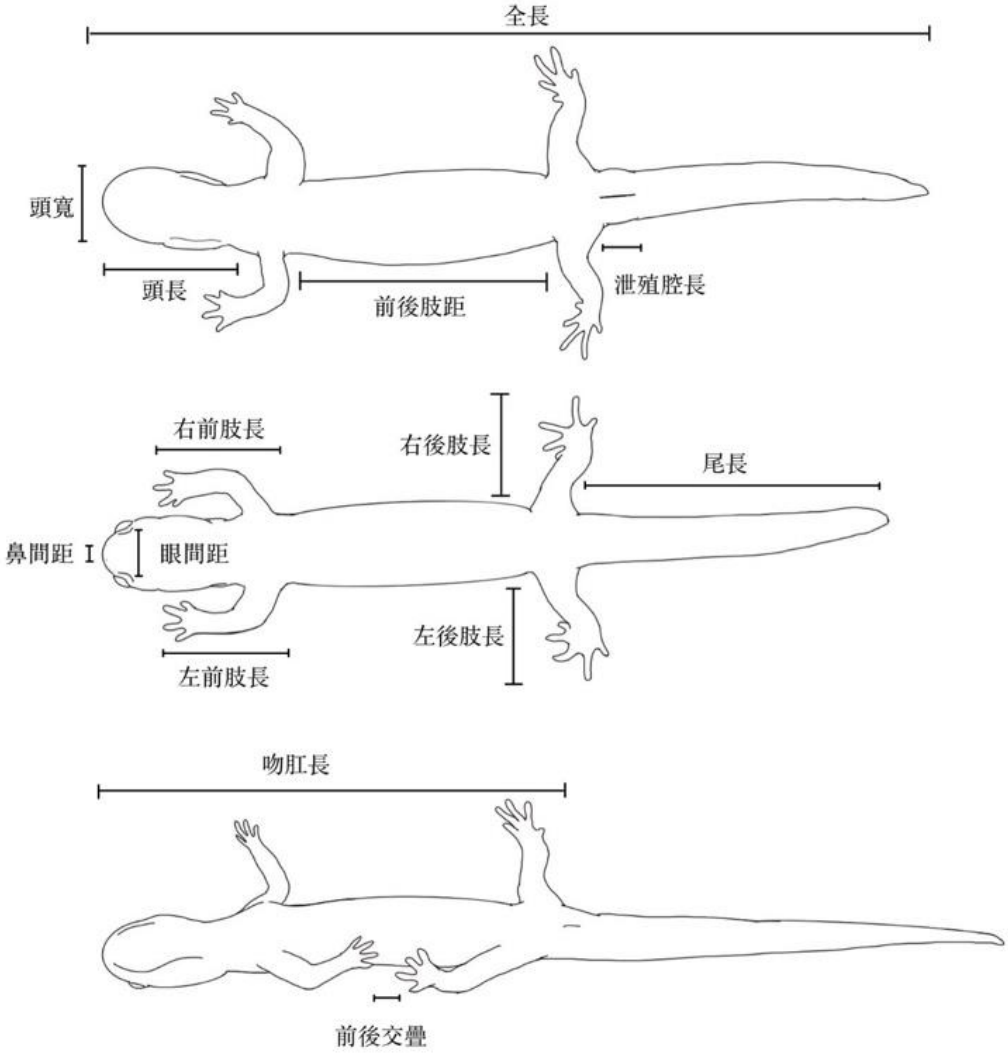


圖 3- 5、山椒魚測量形值位置示意圖。

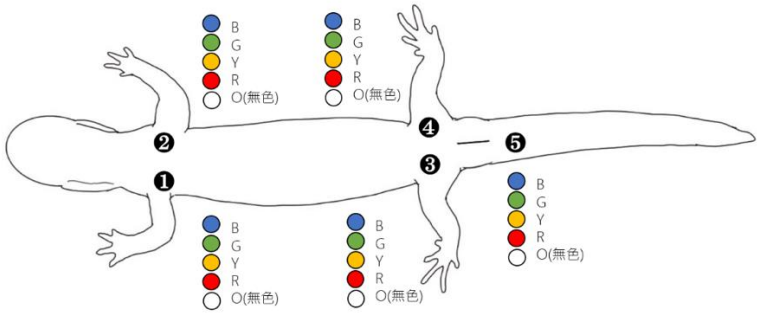


圖 3- 6、 山椒魚 VIE-tag 標記施打位置示意圖。

四、 觀霧山椒魚與臺灣山椒魚之族群遺傳結構探討

1. 遺傳樣本採集

團隊整合本次計劃執行期間，與過去自 2020 年起執行雪霸國家公園與園區周遭山椒魚族群調查時，累積之遺傳資料，總涵蓋觀霧山椒魚 10 個樣區（圖 4-1）與臺灣山椒魚 32 個樣區（圖 4-2）進行調查。雪霸國家公園與其周遭山域，於觀霧山椒魚分布棲地包含樂山林道、巨木步道、大鹿林道、羅山林道、佐藤駐在所、棲蘭山、北插天山、卡保山、巴博庫魯山、與中央山脈的太平山；雪霸國家公園與其周遭山域，於臺灣山椒魚分布棲地則包含薩克亞金溪、塔克金溪、大鹿林道、境界山、九九山莊、霸南、巴紗拉雲山、品田山、素密達斷崖、志樂溪、匹匹達水源、230 林道、200 林道、231 林道、雲稜、香菇寮、中央尖溪、730 林道、遠多志山、更孟山、松泉崗、720 林道、塔班山、白姑大山、畢祿山、屏風山、翠峰、塔羅灣溪與雲海。

2. 粒線體細胞色素 *b*（cytochrome *b*）單套型分析與親緣關係樹繪製

結合過去於臺灣山椒魚與觀霧山椒魚獲得的粒線體 cytochrome b 全長序列，分析共獲得 62 種單套型，以演化分析軟體 MEGA11 藉由 Maximum Likelihood 法，選擇具有最大-log 的 General Time Reversible 核苷酸替代模型建構最大似然法親緣關係樹（圖 4-3）。顯示觀霧山椒魚大致分為 3 個遺傳次類群，分別為雪山山脈觀霧地區類群（HF03）、雪山山脈棲蘭山類群（HF01）以及同時包含雪山山脈北橫地區與中央山脈太平山地區的類群（HF02），其中，HF02 類群內北橫地區與平山地區的次類群亦具有分化。觀察觀霧山椒魚不同次類群間的遺傳分群，大致呈現屬於同一河川流域的族群在 cytb 核苷酸序列上越相似：北橫地區的 HF02 次類群均位於淡水河流域，頭前溪上游爺巴勘溪的巨木步道族群、頭前溪支流麥巴來溪的羅山林道族群及頭前溪上游爺巴勘溪的樂山林道族群，均皆編派至 HF03 的觀霧次類群，蘭陽溪流域的梵梵溪（明池）與天狗溪（太平山），兩族群雖位於不同的山脈（明池於雪山山脈，太平山於中央山脈北端），仍被編派至 HF02 的分支中。

臺灣山椒魚分布跨越雪山山脈與中央山脈，分析結果支持臺灣山椒魚有兩個界線明顯的大系群，第一大群分布在雪山山脈，涵蓋大安溪（馬達拉溪、大雪溪、南坑溪與雪山坑溪）及大甲溪（志樂溪）流域，又可再細分為 3 個次類群：雪山山脈的中雪山—鞍馬山類群（HT05）、雪山山脈大雪山類群（HT06）及雪山山脈的境界山類群（HT07），並以大雪山與境界山的遺傳距離較接近（HT06、HT07）。第二大群則同時分布在中央山脈及雪山山脈，涵蓋流域廣（包含淡水河、大甲溪、烏溪與濁水溪上游），並可細分成 4 個次類群：包含中央山脈大甲溪支流合歡溪 820 林道、立霧溪源頭屏風山、濁水溪上游塔羅灣溪雲海，加上烏溪流域瑞岩溪西側支流的白姑大山一帶（HT01）；中央山脈大甲溪上游志樂溪、淡水河上游塔克金溪及薩克金溪，自雪山山脈馬洋山沿雪劍線東側至大霸尖山一帶（HT02）；北一段南湖溪、北二段 730 林道耳無溪（HT03）；與雪山山脈羅葉尾山、中央山脈南湖大山南湖溪及審馬陣山一帶（HT04）。分群結果顯示，地理位置分布於雪山山脈的臺灣山椒魚，屬於大甲溪流域志樂溪上游的次類群，相較於其他雪山山脈樣區的族群，反而與中央山脈大甲溪流域的山椒魚具有較近的遺傳距離。

3. 表現序列微衛星標記應用於兩種山椒魚種內之鑑別力分析

為檢測 20 組表現序列微衛星標記是否可以應用於臺灣山椒魚與觀霧山椒魚之族群遺傳結構，挑選遺傳資訊量足夠反映種內族群遺傳多樣性的核基因標記，先各選取兩種山椒魚不同採集地之 30 隻個體進行初步表現序列微衛星基因座多型性分析，並以軟體 Cervus version 3.0.7 計算觀測雜合度（Observed heterozygosity, Ho）、預期雜合度（Expected heterozygosity, He）、對偶基因數（number of allele, k）及多型性訊息含量（Polymorphic Information Content, PIC），結果如表 4-1、表 4-2。微衛星基因座資訊含量（PIC）值大於 0.5 視為高等資訊含量（highly informative），介於 0.25 與 0.5 之間為中等資訊含量（reasonably informative），低於 0.25 者視為低等資訊含量（slightly informative）。

結果顯示， 20 組表現序列微衛星基因座於 30 隻觀霧山椒魚的

分析結果中，少數基因座具低等資訊含量，其中基因座 T41 與 H243 僅具有一種對偶基因型，大部分基因座觀測雜合度均較低，顯示採樣可能具有潛在偏差，需增多分析個體數來探討完整的族群遺傳結構組成。在 20 組 EST-SSR 標記中，基因座 H54、H2667、H3108、H3455、T13、T45、H346、H1305、H1664、H2222、H3478、H08、H330 與 H3099 具有中等至高等資訊含量，且在對偶基因型上具有較好的多樣性，故此 14 組表現序列微衛星標記會接續應用於觀霧山椒魚族群之種內分析；在臺灣山椒魚中，則僅有基因座 H3108 具有低等資訊含量，其餘 19 組微衛星標記皆具有中等以上資訊含量，且在對偶基因長度組成與預期雜合度均具有多形性。

4. 探討觀霧山椒魚與臺灣山椒魚族群遺傳結構

為探討觀霧山椒魚與臺灣山椒魚兩物種於不同族群內遺傳的分化情形，以軟體 structure 2.3.4 針對觀霧山椒魚 10 個採樣點（圖 4-1），及臺灣山椒魚 32 個採樣點（圖 4-2）進行種內族群分派檢定，探討不同採集地的個體在遺傳組成上的相似性。

結果顯示，觀霧山椒魚根據 delta K 值與 Prob (K)值之計算結果，具有兩個明顯的大遺傳系群（圖 4-4、圖 4-5：第一大系群均位於雪山山脈，又可細分為兩個潛在的小次系群，包含均位於頭前溪支流流域、水系相同的觀霧地區（樂山林道、巨木步道、與羅山林道，編號 1 - 3），以及同時涵蓋頭前溪流域佐藤駐在所及大安溪流域的大鹿林道（編號 4 - 5）；第二大系群則包含雪山山脈北橫地區、棲蘭山地區，以及中央山脈太平山地區的觀霧山椒魚，並可細分為 3 個潛在的小系群，包含位於淡水河與蘭陽溪上游棲蘭山族群（編號 6）、位於淡水河上游大漢溪流域的北插天山與卡保山族群（編號 7 - 8）、位於蘭陽溪上游梵梵溪流域的族群（編號 9），及中央山脈太平山、蘭陽溪上游天狗溪流域的族群（編號 10）。

比對粒線體 cytb 序列單套型繪製的親緣關係樹圖，觀霧地區族群與北插天山、卡保山、太平山族群具有較相似的遺傳組成，而與棲蘭山族群具有較大的遺傳分化，然在核基因遺傳組成相似性中，北插天

山、卡保山、太平山族群則被與棲蘭山族群分入同一大系群中，又以觀霧地區的族群被認為與其具有較低的遺傳相似性，出現粒線體與核基因的不一致處。

在臺灣山椒魚的種內遺傳組成中，根據 delta K 值與 Prob (K)值之計算結果，亦具有兩個明顯的大遺傳系群，與 5 個潛在的小次類群（圖 4-6、圖 4-7）：第一大系群均位於雪山山脈，又可被拆為兩個潛在的小次類群，分別涵蓋大安溪（馬達拉溪、大雪溪、南坑溪、雪山坑溪）及部分大甲溪（志樂溪）流域（編號 1 – 10），以及大雪山、中雪山、小雪山山域（編號 11 – 13）；第二大系群則亦同時分布在中央山脈及雪山山脈，並可細分成 4 個次類群，包含：（編號 14 – 17）雪山山脈羅葉尾山、中央山脈雲稜、香菇寮至中央尖溪一帶，（編號 18 – 20）北一段南湖溪、北二段 730 林道耳無溪一帶，（編號 21 – 29）中央山脈大甲溪支流合歡溪 820 林道、立霧溪源頭屏風山及白姑大山一帶，（編號 30 – 32）濁水溪上游塔羅灣溪雲海、烏溪流域瑞岩溪一帶。相比較粒線體 cytb 序列單套型繪製的親緣關係樹圖，臺灣山椒魚的遺傳分化於粒線體組成及核基因組成大致相同，均指出位於雪山山脈羅葉尾山的山椒魚族群遺傳結構，與中央山脈的臺灣山椒魚組成相似，而與其他雪山山脈的臺灣山椒魚族群遺傳相似性較低。

表 4- 1、觀霧山椒魚於 20 組微衛星基因座（標記）之多型性資訊分析

微衛星基因座	觀霧山椒魚（*Hynobius fucus*）				
	k[1]	N[2]	H_O[3]	H_E[4]	PIC[5]
H54	3	30	0.310	0.630	0.538
H2667	4	30	0.633	0.539	0.421
H3108	3	30	0.133	0.513	0.407
H3455	2	30	0.400	0.427	0.332
T13	4	30	0.233	0.315	0.279
T41	1	30	0.000	0.000	0.000
T45	7	30	0.400	0.669	0.624
H346	5	30	0.233	0.740	0.684
H405	2	30	0.167	0.259	0.222
H1305	4	30	0.100	0.401	0.372
H1664	2	30	0.200	0.398	0.315
H2222	4	30	0.233	0.295	0.270
H2784	2	30	0.100	0.097	0.090
H3478	2	30	0.267	0.472	0.357
H58	2	30	0.103	0.216	0.190
H08	6	30	0.133	0.491	0.456
H243	1	30	0.000	0.000	0.000
H330	17	30	0.833	0.922	0.900
H3099	5	30	0.414	0.528	0.474
H1284	3	30	0.133	0.296	0.271

[1]k：對偶基因數；[2]N：成功獲得對偶基因型之對偶基因總數；[3]HO：觀測雜合度；[4]HE：預期雜合度；[5]PIC：多型性資訊含量。

表 4- 2、臺灣山椒魚於 20 組微衛星基因座（標記）之多型性資訊分析

微衛星基因座	臺灣山椒魚（*Hynobius formosanus*）				
	k[1]	N[2]	H_O[3]	H_E[4]	PIC[5]
H54	5	30	0.300	0.601	0.513
H2667	6	30	0.467	0.745	0.689
H3108	3	30	0.103	0.101	0.097
H3455	3	30	0.300	0.406	0.356
T13	13	30	0.567	0.900	0.874
T41	5	30	0.154	0.446	0.406
T45	5	30	0.233	0.769	0.721
H346	7	30	0.533	0.784	0.737
H405	2	30	0.300	0.503	0.372
H1305	6	30	0.367	0.688	0.619
H1664	4	30	0.167	0.368	0.331
H2222	9	30	0.600	0.840	0.804
H2784	4	30	0.233	0.408	0.360
H3478	4	30	0.267	0.611	0.539
H58	4	30	0.233	0.698	0.629
H08	5	30	0.167	0.675	0.608
H243	4	30	0.200	0.685	0.614
H330	15	30	0.464	0.864	0.837
H3099	8	30	0.333	0.824	0.783
H1284	3	30	0.233	0.310	0.268

[1]k：對偶基因數；[2]N：成功獲得對偶基因型之對偶基因總數；[3]H_O：觀測雜合度；[4]H_E：預期雜合度；[5]PIC：多型性資訊含量。

雪霸國家公園與園區周邊觀霧山椒魚遺傳分析樣區

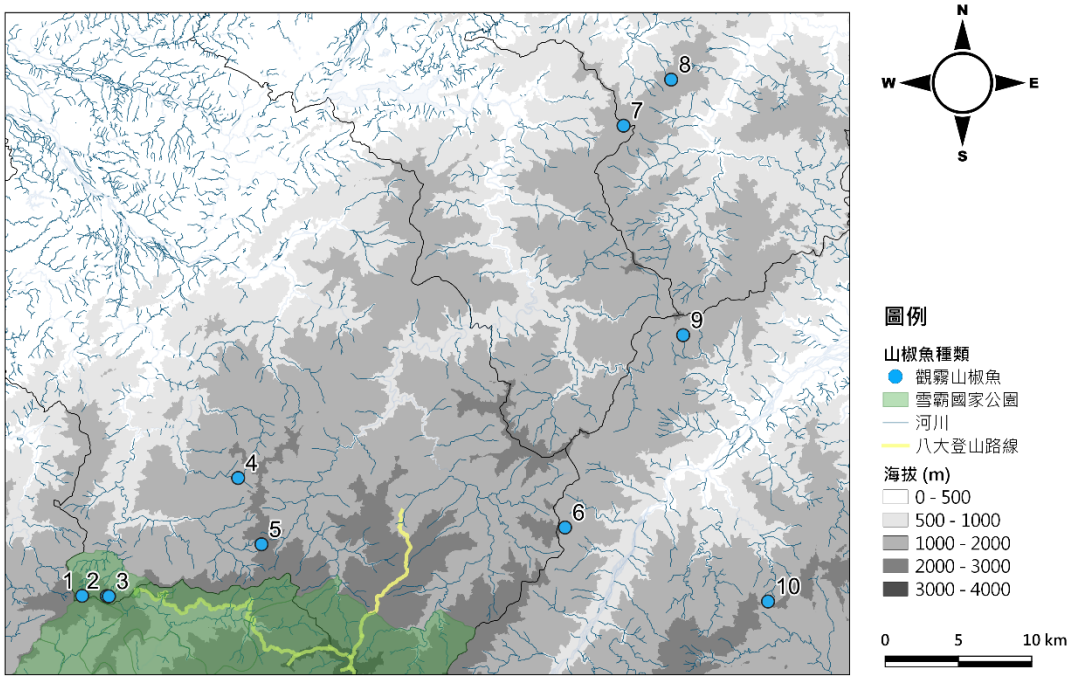


圖 4- 1、觀霧山椒魚遺傳樣本分析族群。

圖中藍點表示觀霧山椒魚族群，各採集點代號可對應至圖 4-5。

雪霸國家公園與園區周邊臺灣山椒魚遺傳分析樣區

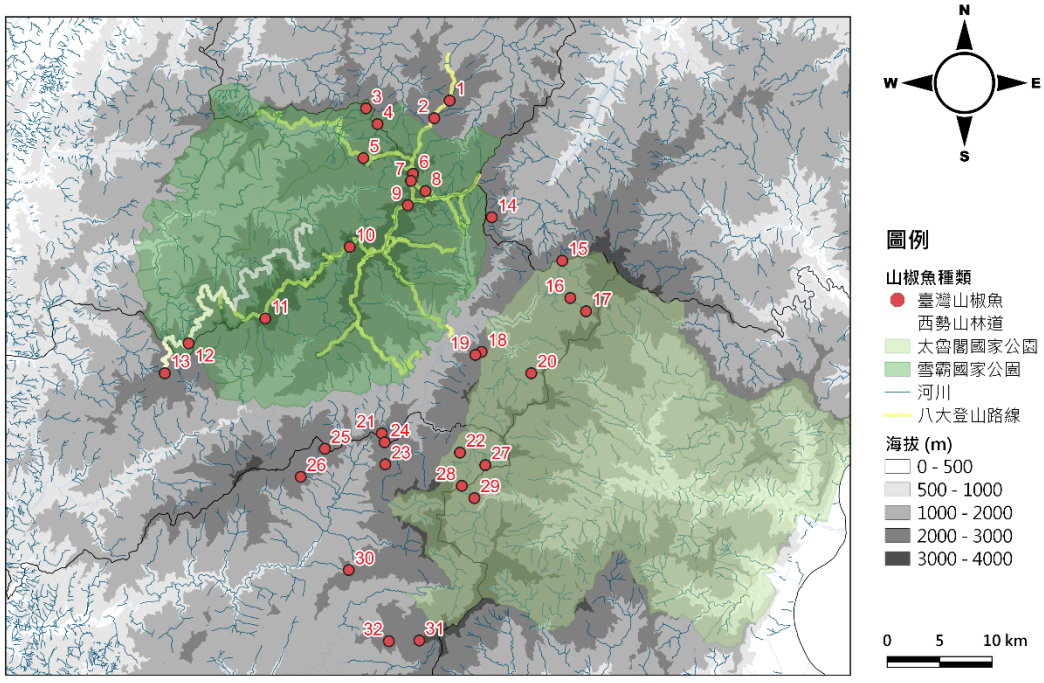


圖 4- 2、臺灣山椒魚遺傳樣本分析族群。

圖中紅點表示臺灣山椒魚族群，各採集點代號可對應至圖 4-7。

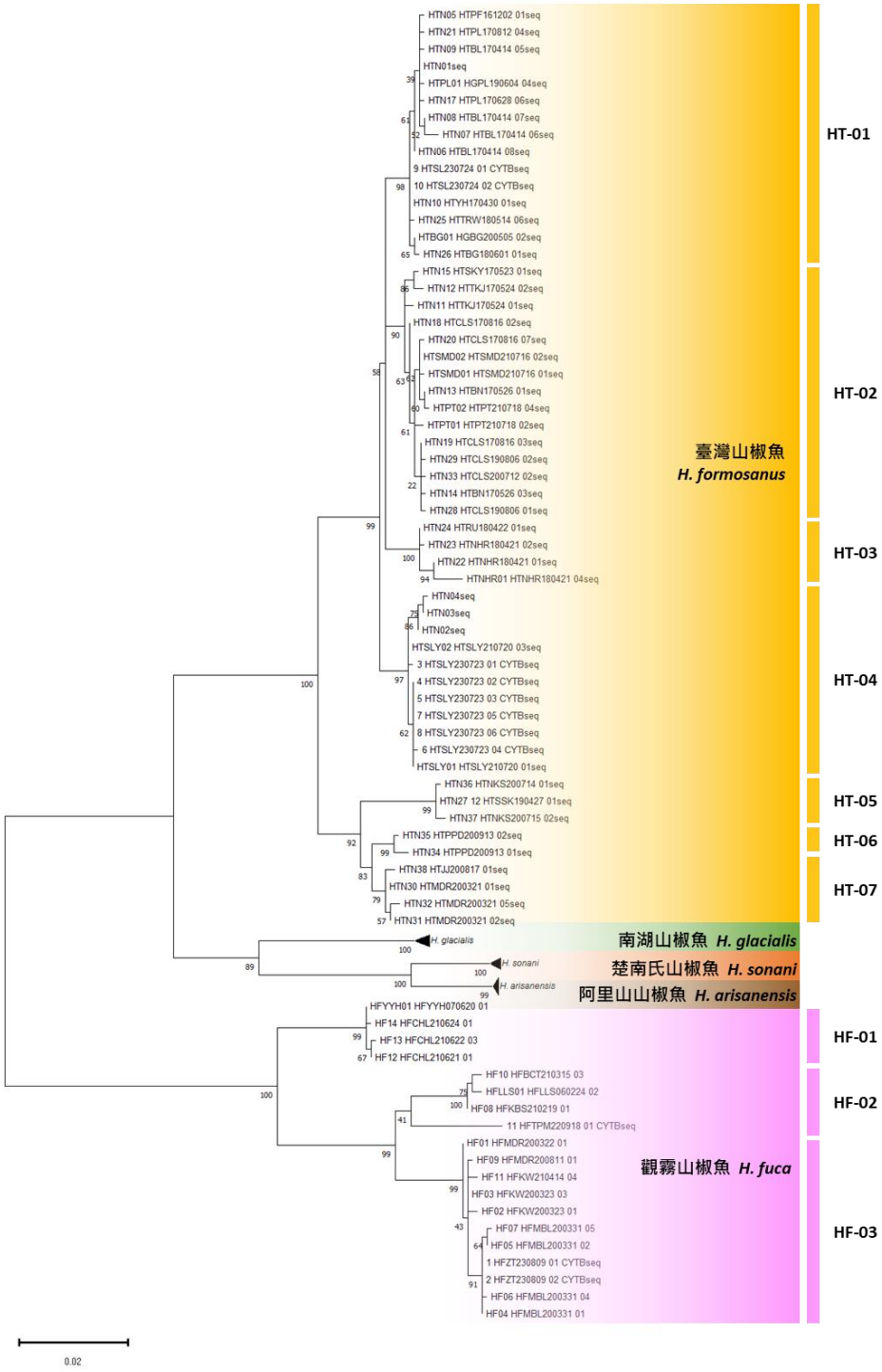


圖 4- 3、臺灣山椒魚與觀霧山椒魚粒線體細胞色素 b 基因核苷酸全長序列親緣關係樹。

以軟體 MEGA11 藉 Maximum likelihood 法基於 General Time Reversible 核苷酸替代模型推演有最高 log likelihood 的演化樹。

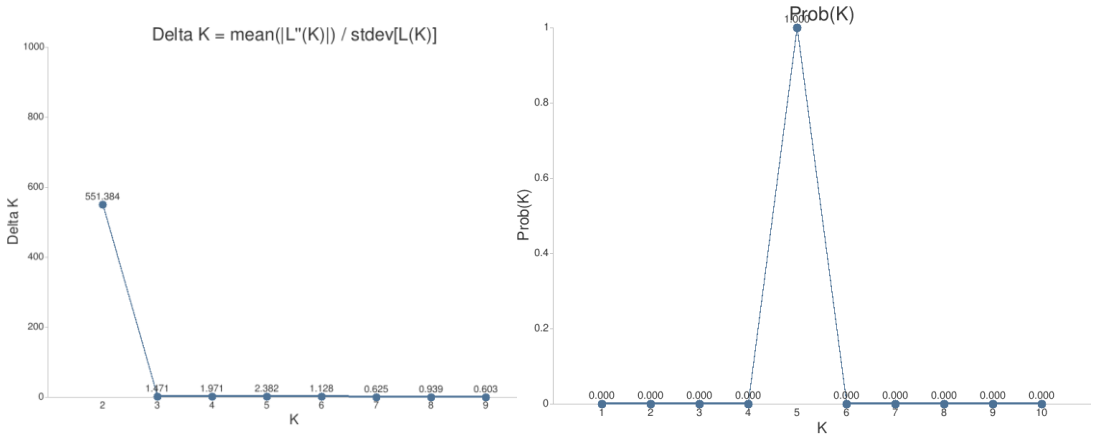


圖 4- 4、觀霧山椒魚潛在遺傳分群數。

根據 delta K 與 prob (K) 計算觀霧山椒魚潛在的種內遺傳組成分群數，K 值表示區分的族群數量，Y 軸表示對應的 delta K 數值（右圖）與分群機率（左圖），數值越大，表示相應的分群可信值越高。

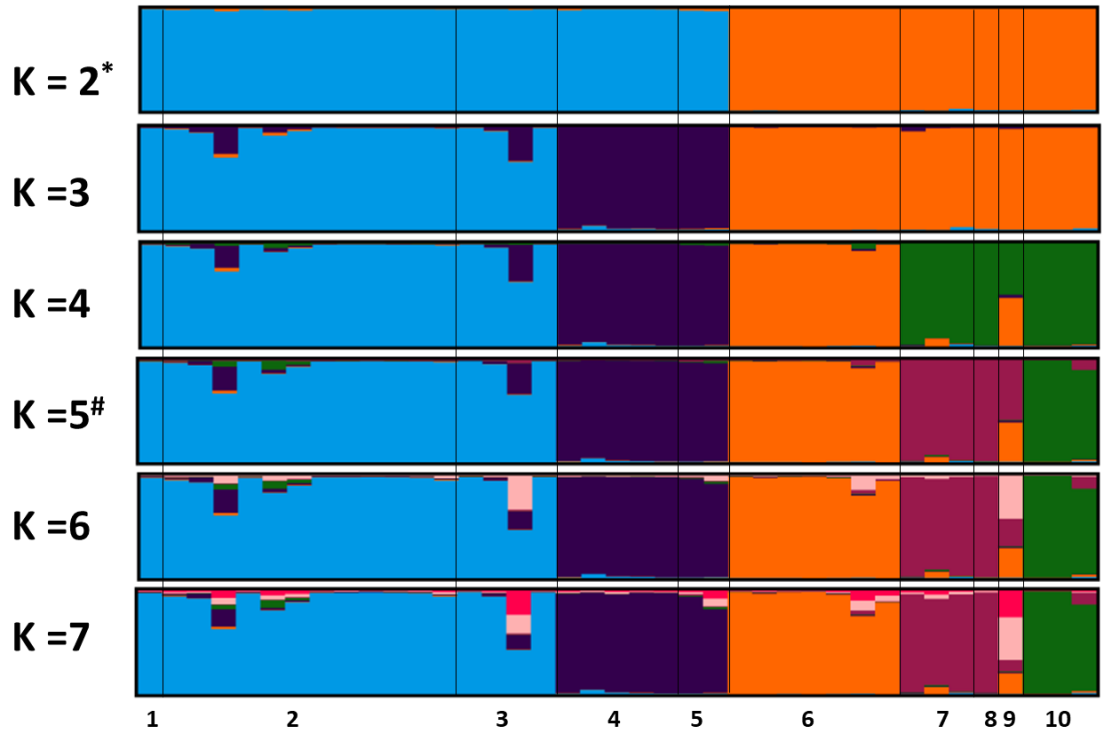


圖 4- 5、觀霧山椒魚種內族群分派檢定。

K 表示分群數，X 軸為個體，每個柱狀圖表示一個體，Y 軸為分派機率，相近顏色者表示分為同一群體，下方數字表示採樣點編號，可對應至圖 4 – 1。#為 Prob (K)認為最高的分群數值，*為 delta K 認為最高的分群數值。

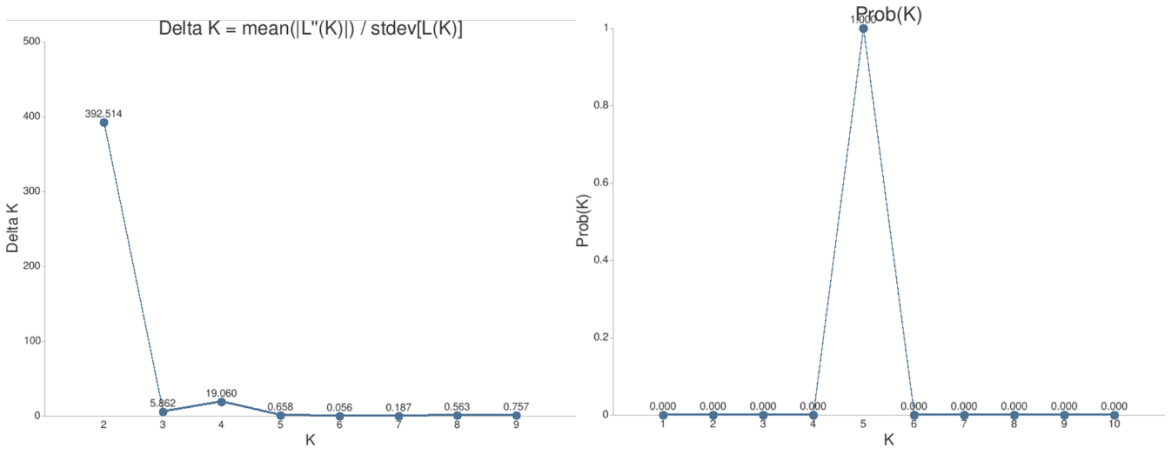


圖 4- 6、臺灣山椒魚潛在遺傳分群數

根據 delta K 與 prob (K) 計算臺灣山椒魚潛在的種內遺傳組成分群數，K 值表示區分的族群數量，Y 軸表示對應的 delta K 數值（右圖）與分群機率（左圖），數值越大，表示相應的分群可信值越高。

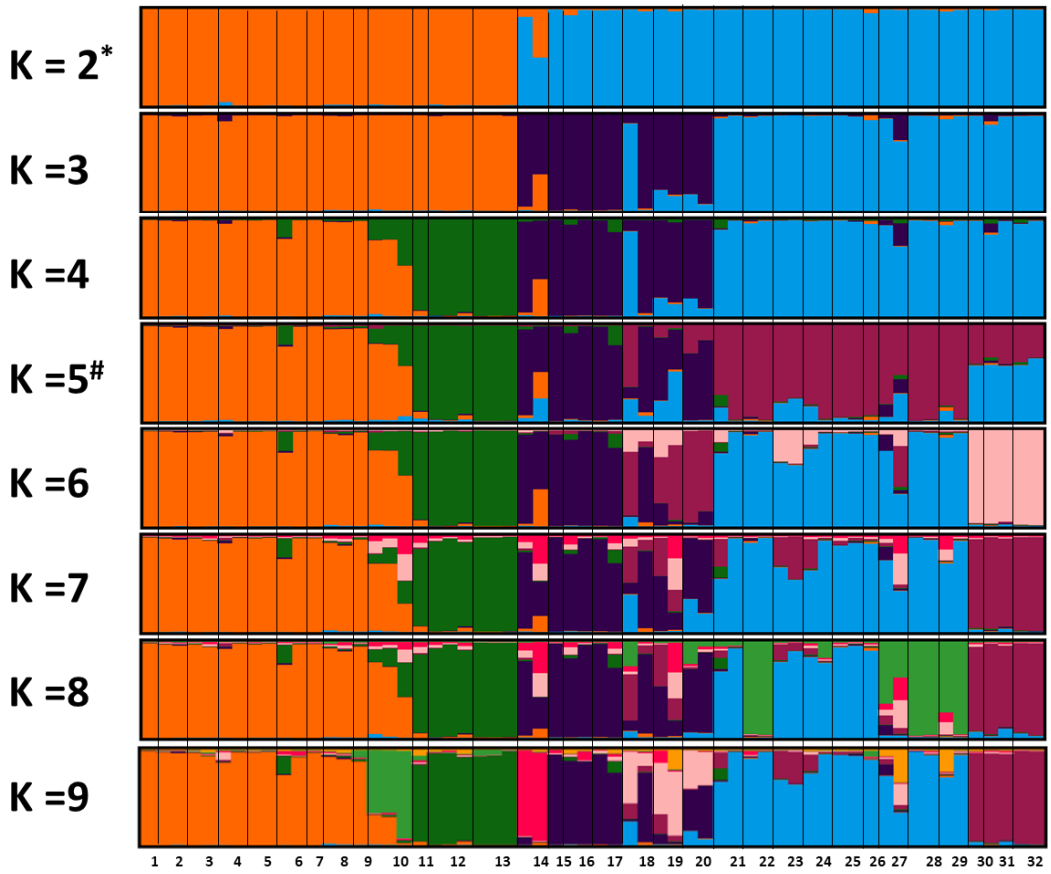


圖 4- 7、臺灣山椒魚種內族群分派檢定。

K 表示分群數，X 軸為個體，每個柱狀圖表示一個體，Y 軸為分派機率，相近顏色者表示分為同一群體，下方數字表示採樣點編號，可對應至圖 4 – 1。#為 Prob (K)認為最高的分群數值，*為 delta K 認為最高的分群數值。

五、 觀霧山椒魚生活史

1. 觀霧山椒魚之圈養繁殖試驗

觀霧山椒魚棲地圈養試驗開始於 2021 年 6 月，並於 2022 年 12 月 27 日成功產卵，2023 年 3 月 12 成功孵化，5 月 10 日完成變態，開始陸域生活史。我們於觀霧山椒魚展示中心二樓後方建立一適合進行山椒魚繁殖的人工圈養環境。其目地在瞭解與研究觀霧山椒魚生殖、護卵行為與早期生活史。我們將山椒魚棲地環境內設置人工圈養箱（水族箱）。依據國外文獻，養殖箱分為兩個不同缸，其中一缸為生長箱，以生長飼養為目的，另一缸為繁殖箱，營造黑暗潮濕適於繁殖的環境。生長箱與繁殖箱間以不透光塑膠管連接，讓環境有梯度變化。

(1) 生長箱：使用 3 尺缸，上覆紗網避免圈養個體逃脫，底鋪 3 - 10cm 不等之砂礫，佈置適於躲藏之石塊、苔蘚、朽木等材料，以模擬陸地棲息環境；砂礫較淺一側為經常有水環境，水深 5cm，使用原棲息地附近溪水，以幫浦營造流水環境，並設置過濾幫浦、風扇等等，保持水質乾淨與適當濕度。水的溫度保持 16 度。

(2) 繁殖箱：使用 2 尺缸，底鋪 3-5 cm 砂礫，設置相疊之石塊、石片等有利產卵環境；水深 5cm，使用原棲息地附近溪水；設置幫浦、外覆不透光黑布以模擬地下伏流狀態。圈養之山椒魚食餌以鼠婦、跳蟲、果蠅與蠟蟲之小型無脊椎動物為主。

(3) 繁殖箱與生長缸(底材以採集地的砂作或市售的粗粒徑沸石底砂作為底材，使用的底砂厚度為 5 cm，引入原棲地水體飼養。繁殖缸以扁平石片（紅磚）傾斜放置，作為卵囊黏附的基質，距離底部預留 0-5 公分的空隙供雌山椒魚貼附卵串，並使用沉水式幫浦與過濾器製造弱水流模擬野外繁殖環境並維持水質。繁殖箱的水溫維持溫在攝氏 12 度為基準。

原本（2021 年的設計）繁殖缸以扁平燒陶片傾斜放置，作為卵囊黏附的基質，距離底部預留 0 - 5 公分的空隙供雌山椒魚貼附卵串。但過去研究顯示，圈養觀霧山椒魚與圈養阿里山山椒魚皆無在此設計模式下產

卵，因此我們捨棄這種設計。2023 年為了希望能再紀錄更細緻的觀霧山椒魚繁殖與早期胚發育過程，同時保持山椒魚的生物安全。根據過去的研究結果，我們對繁殖缸的設計做了一些修正，繁殖缸還是採浮島與地下伏流概念，如設計壓克力浮島。但浮島下方多增設幾片摻有細沙粒的陶片。而支撐壓克力浮島的水下石柱也由原本的紅磚塊改為參有細沙粒的陶柱，希望山椒魚能將卵貼附在參有細沙粒的陶柱或陶片上。缸裏的最底部細砂礫（底質）全部來自馬達拉溪源頭溪床（圖 5 - 1）。但很可惜，2023 年我們於 9 月 5 日放入 4 隻山椒魚，但至今全部沒有生殖行為。

相同的設計，2023 年 11 月 23 日在塔塔加工作站成功的繁殖 20 隻阿里山山椒魚幼魚。我們推測，放入的山椒魚個體數太少，太強的光照以及山椒魚可能兩年繁殖一次等因素，導致 2023 年觀霧的圈養試驗沒有繁殖。

圖 5- 1、2022 年 12 月觀霧山椒魚產卵的缸子設計（A）與 2023 年新設計的繁殖缸（B）。

2. 觀霧山椒魚生殖腺的季節變化

本計畫執行兩年期間，以核磁共振掃描照影（micro-MRI）取得觀霧山椒魚 4 月份與 8 月影像資料，並結合自 2020 年以來圈養個體的生殖腺照影結果，進行不同月份性腺變化比對，以持續追蹤觀霧山椒魚生殖腺的季節變化。

分析方法利用保冷運輸袋維持低溫環境，將採集的山椒魚自圈養缸移至溫度維持在 15-18℃之間的低溫冷藏箱暫時飼養，並於掃描當日以保冷運輸袋移至國立臺灣大學電機二館 7T 實驗室進行 micro-MRI 造影。影

像拍攝過程以 MS-222（Tricaine methanesulfonate）80 mg / 100 mL 水溶液，碳酸氫鈉校正至 pH 7.0）麻醉山椒魚，裝入預先開有直徑 1-2 mm 透氣孔的 50 mL 離心管，淋上適量麻醉維持液（40 mg / 100 mL MS-222 水溶液）保持體表濕潤，勿使山椒魚在液體中滑動，維持鼻孔朝上高出水面，以 BRUKER BIOSPEC 70/30 MRI 影像儀進行矢狀切面與冠狀切面造影，造影時間約 10 - 20 分鐘，加上前導麻醉時間總共約 25 - 30 分鐘可完成一隻山椒魚的生殖腺造影。取得影像後，參考極北鯢（*Salamandrella keyserlingii*）於不同季節的精巢與卵巢形態鑑定山椒魚的性別。

結果如圖 5 – 2 至圖 5 - 4，自計畫執行日起至今，已累積造影 9 隻圈養觀霧山椒魚個體，累積 15 筆觀霧山椒魚性腺變化影像資料。依據 fMRI 造影判定結果，顯示圈養個體中有 3 隻成年雄性個體與 5 隻成年雌性個體。觀察不同月份觀霧山椒魚性腺發育變化，顯示 4 月與 8 月時雌性山椒魚卵泡發育普遍不明顯，呈現微小顆粒狀態，並無明顯中空的卵泡結構；雄性山椒魚精巢亦呈現萎縮狀態，並無明顯膨大特徵。若欲探討觀霧山椒魚性腺發育與繁殖月份間的變化情形，針對 8 月後至隔年 4 月的造影資料，仍具有收集的必要性。

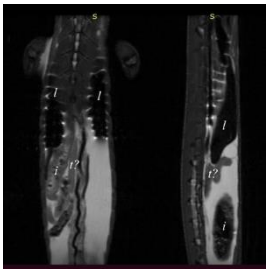
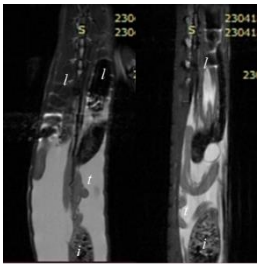
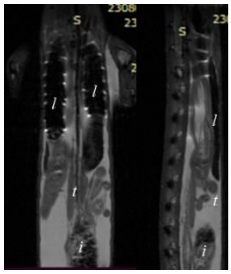
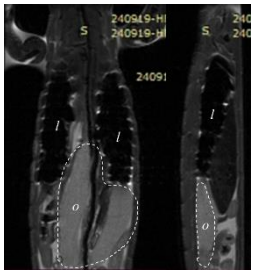
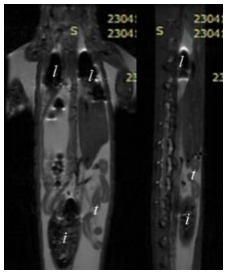
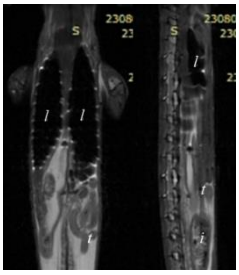
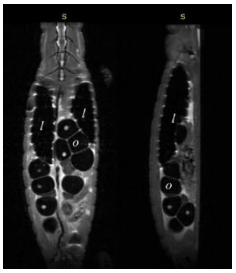
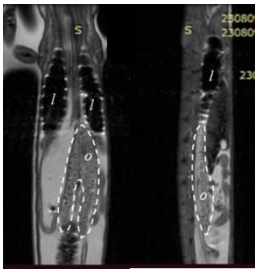
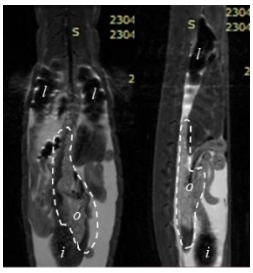
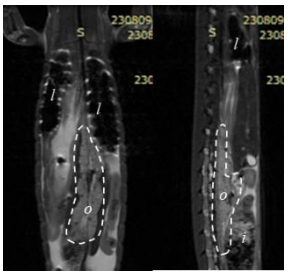
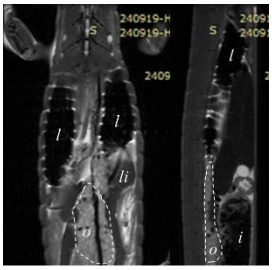
<table>
<tr><td colspan="3">色標 BNGNO，雄性</td></tr>
<tr><td>外表型</td><td>2021 年 9 月</td><td>2023 年 4 月</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">2023 年 8 月</td><td>2024 年 8 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">色標 BGBYR，雄性</td></tr>
<tr><td colspan="2">2023 年 4 月</td><td>2023 年 8 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">色標 BGGBB，雄性</td></tr>
<tr><td colspan="3">2024 年 8 月</td></tr>
<tr><td colspan="3"> </td></tr>
</table>

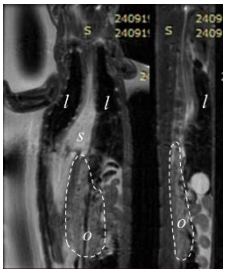
圖 5- 2、三隻雄性觀霧山椒魚生殖影像資料。

器官以字母縮寫表示：睪丸（testis）：*t*，肺臟（lung）：*l*，直腸（rectum）：*rec*，小腸（intestine）：*i*，胃（stomach）：*s*。

色標 BNGNB，雌性		
外表型	2021 年 9 月	2023 年 8 月
		

色標 BGBYB，雌性	
2023 年 4 月	2023 年 8 月
	

色標 BGGRR，雌性	
外表型	2024 年 8 月
	

色標 BGGRG，雌性	
外表型	2024 年 8 月
	

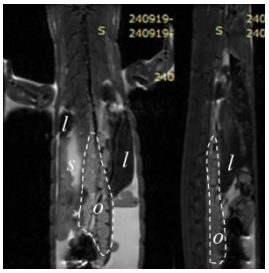
色標 BGGBG，雌性
2024 年 8 月


圖 5- 3、五隻雌性觀霧山椒魚生殖影像資料。

器官以字母縮寫表示：卵巢（ovary）：*o*，肺臟（lung）：*l*，直腸（rectum）：*rec*，小腸（intestine）：*i*，胃（stomach）：*s*。

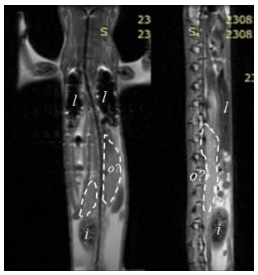
色標 BGBYG，疑似雌
2023 年 8 月


圖 5- 4、性別未知觀霧山椒魚生殖影像資料。

器官以字母縮寫表示：肺臟（lung）：*l*，直腸（rectum）：*rec*，小腸（intestine）：*i*，肝臟（liver）：*li*。

第四章 結論

本年度計畫執行進度，團隊已完成：(一) 進行 12 次的山椒魚分布永久監測樣區族群量調查，累計 77 隻次的調查紀錄，其中包含觀霧山椒魚 32 隻次，以及臺灣山椒魚 45 隻次，另累計施打軟性螢光標記 72 筆螢光標記埋植。(二) 完成收集 77 筆山椒魚分布的微棲地資訊分析，另進行底棲無脊椎動物相調查，架設掉落式陷阱共 18 座，並完成 6 月份與 8 月份掉落式陷阱無脊椎動物相物種鑑定。(三) 完成擬定觀霧地區山椒魚監測標準化 (SOP) 作業完成雪霸地區。(四) 完成雪霸國家公園境內與周邊山域之遺傳樣本收集，自新採集組織中鑑定出 10 種粒線體細胞色素 b 基因單套型，並整合過去獲取累計的 62 筆單套型序列資料，針對觀霧山椒魚與臺灣山椒魚進行粒線體遺傳分化程度分析，另外於核基因的 20 組表現序列微衛星標記應用，亦完成臺灣山椒魚與觀霧山椒魚於 20 組基因座的鑑別能力分析，並使用分派檢定檢視兩物種的次族群分化情形。(五) 進行觀霧山椒魚生殖腺核磁共振掃描照影 (micro-MRI)，獲取 9 隻圈養觀霧山椒魚個體於 4 月與 8 月之影像資料，並對比相同個體過去性腺影像，探討不同時間尺度下觀霧山椒魚性腺的發育模式變化。

第五章 經營管理建議

一、觀霧山椒魚是臺灣五種山椒魚分布海拔最低，棲地範圍僅略大於南湖山椒魚。由於分布海拔低，棲地易受人為活動干擾。經由雪霸國家公園的委託研究，其族群現況與遺傳多樣性逐漸明朗。「2024 臺灣陸域脊椎動物紅皮書名錄」將觀霧山椒魚列為「瀕危物種」。觀霧地區為觀霧山椒魚重要的種原棲地，因此建議除加強山椒魚的保育宣導外，在觀霧地區重要且遊客易到達棲地加裝監視設備，嚇阻遊客外也可以計算棲地受干擾程度與干擾樣態。

二、建議可以引進企業能量強化雪霸國家公園的山椒魚保育研究。企業為達到永續發展的績效指標（ESG）也樂於與目標明確的國家公園合作。合作項目可包括山椒魚保育宣導、棲地保育監測、棲地與山椒魚族群監測等等。

三、觀霧山椒魚現今的科學學名有混用 *Hynobius fuca* 與 *Hynobius fucus* 兩種。若依國際動物命名法規 ICZN（International Commission on Zoological Nomenclature）規範，建議未來統一以 *Hynobius fucus* 為觀霧山椒魚科學學名。

四、本研究以細胞核表現體微衛星遺傳標記，進行觀霧山椒魚的族群遺傳結構分析，顯示觀霧山椒魚遺傳分化為南北兩群。南部族群以觀霧地區被研究最久，族群量穩定又位於國家公園保護區內，可視為重要保育單位。

附錄一、第一次審查會議意見處理情形

外聘委員：

（一） 呂光洋委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 基本的調查及分子生物分析技術，大都延續高山型山椒魚計畫中所採用，故執行上應沒大問題。因還在初步階段，建議需要詳細的山椒魚分佈圖以對應山脈、溪流等地理特色資訊。 2. 臺灣山椒魚共有的特色是不連續、小族群的地理分布，但有些小族群較容易調查，有些則不易，這些分析後的遺傳訊息可能差異很大，以後要選定當做保育單位(conservation units)有什麼依據的標準？是否遺傳多樣性高的就會當作首先的族群？ 3. 觀霧山椒魚多數分佈於雪霸國家公園以外的地方，如：拉拉山、北插天山等。是否考量將拉拉山及北插天山納入監測族群？因國家公園外的各小族群分布、海拔落差相當大，會不會遺傳或外型上就可看出差異。 4. cover board 放置地點如何選定？須考慮遊客會不會干擾。 5. 記錄表上可增加體重、總體長的資料。	1. 分布圖在期末報告會用 ArcGIS 繪制並套疊地景與水系等資訊。 2. 保育單位在 IUCN 有不同的標準，有時候生物多樣性比較高的地方是比較需要保育的族群，另外有些是個體數少但比較獨特也是比較急迫需要保育的族群。我們會在期末報告將保育單位的選擇及定義寫得更詳細，並與老師和管理處同仁討論。 3. 目前長期監測的族群，主要是選擇過去調查累積的時間較久的樣區、比較穩定的族群、交通方便與具有代表性為主的族群，人力與經費才可負荷且監測上較有效率。若將海拔不同的北插天山、拉拉山的山椒魚族群納入長期監測，因目前受限調查人力，執行上恐有困難，需要再斟酌考量。 4. 榛山步道因容易到達，在鋪設木片上會比較容易操作，榛山步道（離觀霧山莊 2K）路旁因有針葉林遮蔽遊客視線，未來鋪設木片即使有遊客經過也不易看到裡面。而在榛山步道馬達拉溪的另一側，因有針闊葉林遮蔽，所以鋪設木片和插竹竿標記也是比較隱密的。若遊客可能可以看到的區域，這部分就會只鋪木片不插竹竿標記。另外復育區的部分，因非開放給一般遊客進入，在設置上比較沒有問題。蜜月小徑經我們初步勘查，會選定在遊客難看到的地方設置。會設置木片的地點主要都是過去比較難找到山椒魚的地方，因遮蔽物少、不容易翻找，所以想試著用設置木片的方式來增加遮蔽物，以利於翻找山

	椒魚。 5. 記錄表上增加體重和總體長，會再考量資料補充與更新紀錄表。

（二） 林思民委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 本山椒魚的研究計畫牽涉到廣泛的層面，從微觀的分子生物一直到宏觀的環境與族群。朱老師執行這麼多不同面相的研究，非常值得讚許。 2. 山椒魚被視為全球暖化的指標性物種之一。因此，其分布的海拔上限或下限較有可能是發生族群變動的地方。雖然定義物種的海拔上下限在技術上極為困難（尤其是上限的部分），但是我們是否有機會推測這些區域位置，進行較優先的監測？ 3. 在長期研究之中，現在的調查成果將會是後人重要的參考依據。請問是否有機會在調查過程中，將調查人員的努力量予以標準化，可供未來的調查進行比對？ 4. 放置躲藏木塊有機會將族群相對數量標準化，是很棒的構想。請問從新增木塊，到山椒魚開始利用它，中間大概要歷經多久的時間？ 5. 關於缸內飼養的設施，尤其是溫度控制的部分，可多予說明，以供未來的研究參考或予以改進。 6. 馬氏網可能較適合捕捉中大型的昆蟲，但這些昆蟲比較不像是山椒魚可以攝食的對象。未來在馬氏網的部分或許可酌予降低工作比例，而多採用地面掉落式陷阱來調查。	1. 感謝委員鼓勵，團隊會繼續努力。 2. 山椒魚分布的海拔上限、下限很難定出來。如阿里山國家森林遊樂區因有長久監測資料，故分佈下限比較確定。觀霧山椒魚在尋找下限的部分還需累積資料；上限的部分如委員所說有其困難度，會再思考如何尋找上限。 3. 努力量標準化是我們一直以來調查上所 遇到的問題，即使努力量相同，因調查人員經驗上的不同，所得到的結果就有所差異，但所得到的數據還是值得留存。因此才會想用設置木片樣區來標準化，即使不同的調查人員只要把樣區內的木片翻找完，來計算找到山椒魚數量，會是比較客觀的方法。 4. 以過去的經驗， 阿里山山椒魚 2 個月就會躲在我們所放置的木片下。我們團隊有同時圈養阿里山山椒魚和觀霧山椒魚，阿里山山椒魚不怕人且會出來威嚇，但觀霧山椒魚如果有光或干擾會立刻躲起來，兩種山椒魚的特性不同，因此放置木片多久會被利用，需要時間來驗證。 5. 飼養環境的溫控監測設計，是參考日本京都大學西川教授所提供的資料來修正。繁殖缸設定溫度上限在 12℃±2℃、生長缸是設定在 16±2℃左右，只要溫度超過，壓縮機就會啟動冷卻，並且透過水中和大氣中的 HOBO 做記錄。塔塔加飼養缸是設置在半室內， 溫濕度較穩定，而觀霧飼養缸是設置在陽

	台，溫濕度就會差異頗大。 6. 我們之前會認為柏氏漏斗地表 5cm 的土壤中無脊椎動物項比較適合山椒魚食性，但是我們發現柏氏漏斗下方的篩網太小，使得比較大的無脊椎動物（如蚯蚓）是無法掉落至下方，故會影響資料的準確性。因此篩網的網目需要再做變動調整。另外，柏氏漏斗篩出的蟲相非常多，分析上需消耗非常多的人力， 因此觀霧地區只規劃在 6 月和 8 月進行柏氏漏斗的調查。馬氏網確實會捕捉到在地表飛行與活動體型比較大的昆蟲，且大多為成蟲，而非幼蟲。掉落式陷阱所捕獲的動物較符合山椒魚食性，因此蕭旭峰老師和林春富老師建議掉落式陷阱設置多一些， 柏氏漏斗次之。馬氏網只在熱季設置（發現山椒魚較多地既季節），一年設置 2 至 3 次左右就足夠 。結論是：掉落式陷阱最能反應山椒魚的食性，其次是柏氏漏斗，接著才是馬氏網。

處內委員：

（一） 觀霧管理站 彭文禮解說員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 團隊先前已有在巨木步道找到山椒魚幼體，是否考慮增加入秋或冬季的調查頻度，以增加找到產卵地的機會。 2. 如果要設置木片在試驗棲地，建議可以延伸至後方的原始林。 3. 報告書中對於昆蟲相調查，分析到綱或是目，對於我們不是學昆蟲的人在閱讀上連結性較低， 是否可以適度寫出該綱所對應出的常見昆蟲。	1. 有關野外產卵地是否可以納入調查，未來希望可以在入秋後於熱點試著找尋繁殖地 。 2. 感謝委員建議，研究團隊會再將此建議納入考量。 3. 具有代表性的無脊椎動物分類鑑定會儘量再細分與舉出一些類群，讓大眾容易理解。

（二） 保育研究科 于淑芬科長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 目前預定在大鹿林道西線及蜜月小徑等設木片樣區，但該區域遊客量不少，有可能會受干擾，如何解決？是否再考量其他區域？	1. 依據過去的經驗，我們在阿里山森林遊樂區的姐妹潭進入約 10 公尺處亦有設置木片樣區，雖然姊妹潭遊客很多，但是放置地點與步道間有林木遮蔽是遊客不會察覺的地方，或許也可以考慮架設 wifi 攝影機監看是否有受到人為干擾 。

（三） 保育研究科 黃奕絲技士

意見	處理情形或參閱頁數
1. p.23 山椒魚幼體、青少年個體，如何定義區分? 2. p.24 表 1-2 觀霧地區今年度再捕捉到的 山椒魚個體，部分型態量測值比去年捕獲量測值還低，請問老師推測可能的因素為何? 3. p.39 研究方法中提及微型磁振造影將於 3、 6、 9、 12 月進行，初步結果章節 (圖 5-1)只有看到 4 月份的造影成果，是否已進行 6 月份的造影？並建議於圖 5-1 標記卵泡構造位置，以利閱讀 。 4. p.26 如何計算出微棲地種類之比例，請 於材料與方法中補充說明。	1. 幼體和青少年個體名詞的部分，後續都會改成幼體。日本的山椒魚性成熟約 5 歲左右 ，但是臺灣的山椒魚性成熟的年齡目前仍然未知，需再累積觀察資料以確認。 2. 再捕捉個體量測數值會縮短是因為太精細了，例如鼻間距和眼間距，有時候在儀器量測操作上會有些微誤差，但可以觀察長期的變化趨勢。 3. micro-MRI 造影缺少 6 月份資料 ，是因為正值畢業季，micro-MRI 機器預約學校以研究生為優先，故將改於 7 月份執行。 4. 微棲地種類之比例計算方式，後續會在報告中補充。

（四） 內政部國家公園署雪霸國家公園管理處 陳俊山副處長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 簡報上柏氏漏斗所採的土樣為什麼要把落葉層清的那麼乾淨？落葉層裡的生物應該蠻多的應多多取樣，雖然有用掉落式陷阱來補足。	1. 土壤採樣是直接切下去，會包含上面的落葉及植被，再回到實驗室用柏氏漏斗進行分析 。 簡報上照片是已取完樣的環境 。

（五） 內政部國家公園署雪霸國家公園管理處 張維銓處長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 林部長上任後希望各國家公園提出	1. 因為臺灣的山椒魚分佈，跨越不同

指標物種並跨域合作，因本處臺灣櫻花鉤吻鮭研究復育成效良好，因此將研提山椒魚和寬尾鳳蝶作為指標物種因此在分布有觀霧山椒魚的拉拉山和北插天山雖然不是雪霸園區範圍，屬新竹林區管理處轄區，但後續有機會跨域合作 。	山脈，也跨越不同管理單位的管轄區，如林務局與國家公園。在研究上，更需整合不同學術專長領域的研究團隊。未來我們非常期盼能跨地域域跨學術領域的合作。

附錄二、第二次審查會議意見處理情形

外聘委員：

（一） 呂光洋 委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 將塔克金溪和薩克金溪之調查記錄補上，並將松嶺和佐藤駐在所另外列出。 2. 表 1-2 中再捕捉兩次以上的山椒魚個體，後續看可否估算出個體成長速度。 3. 圖 4-2、圖 2-3、2-4、2-5 圖示是否可以更明確方式展現？ 4. 天然覆蓋物和柳杉覆蓋物找到之個體紀錄有否分開？	1. 感謝委員建議，已將調查資料修正並補入成果報告中。 2. 針對計畫執行期間的再捕捉山椒魚，後續將整合過去團隊調查資料，檢視個體於不同時期形質變化狀態，了解個體成長速度差異。 3. 感謝委員建議，團隊將整合山椒魚以及底棲無脊椎動物相採集區域的地理資料，調整現有成果呈現方式。 4. 雪霸國家公園內山椒魚棲地中目前現有的覆蓋物，僅依據木材與石塊等材質差異進行記錄，團隊於未來執行山椒魚穩定族群監測時，將進一步將棲地天然覆蓋物與試驗用之新增覆蓋物分別予以紀錄。

（二） 林思民 委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 本計畫有二年期的執行期間，本次為第二次期中報告。本研究計畫涵蓋山椒魚各階層的研究層級，從微觀的分子遺傳學到宏觀的棲地分析，具有非常好的學術與應用價值。 2. 由於研究團隊執行山椒魚相關計畫已經累積相當豐富的經驗，大多數的研究成果與預計進度均朝預期的方向邁進。針對本次期中審查，僅有少數針對文字和編輯的次要意見，陳述如後。這些文字修訂可交給計畫團隊，校正之後就沒有其他的問題了。 a. P10「三大類群」建議改為「三大系群」。目前所觀察的主要是由遺傳差異所構成的種內結構，尚未有分類上的確切定位，所以稱	1. 感謝委員鼓勵，團隊會繼續努力。 2. 感謝委員指正，已針對文字錯誤進行編輯與修正，並將定位模糊的字串進行替換。另針對山椒魚監測標準化流程，團隊接續會調整呈現方式，以協助管理單位可更直觀的理解，並有能力獨立進行山椒魚族群管理，以及長期監測工作。

為「類群」比較不合適。 b. P10 如果不同的山椒魚物種之間只是高山稜線之間的異域種化，那麼觀霧山椒魚不一定會有所謂「進入台灣」這樣的演化過程，導致這個假說本身較難被驗證。建議弱化這部分的論述。 c. P16 righting reflex 似乎不需要連字線、P18 建議將乘法的「X」取代為正統的乘法符號「×」，並於首次出現 KSGM 和 FU 這兩個字簡寫時先列出英文全稱，之後再引入簡寫。 d. P17 最後一段建議在正文中亦不厭其煩地列出所有測量值；P21 *Hynobius kimurae* 建議改為斜體；P28 及 P30「苔蘚」與「蘚苔」的稱建議予以統一。 e. P30 表格可再進行編輯，目前「水源狀況」下含兩個項次，「遮蔽物」一個項次，「遮蔽物上覆蓋植物」兩個項次，「底質」則有七個項次，但由於表格的編輯不佳，對內容不熟悉的讀者較難對第一行的「總目」和第二行的「項次」之間進行連結。 f. P34「我們已於 10 月 18 日將……」這段文字是實驗團隊專屬的，似乎不適合放在廣用的 SOP 之中，有兩個建議：首先，期末報告時的 SOP 似乎應該用一個獨立文件來呈現。其次，SOP 應該只需要標準作業流程的 protocol，感覺不需要前言，也不需要其他較複雜的解釋。 g. P36 及 P41 文中出現「形值」，「型值」，「型質」等三種不同用法，對照上下文，「形值」可能是本文中大多數所指，建議再予以統整。 h. P40「散色光」指的是「散色」還	

是「散射」？如果都不是這兩種狀況，是否改為「正確的色光」即可;「跑位」:建議改為「異位」、「易位」、或「移位」。 i. P43 此處 Structure 運算最佳的 K 值為多少？建議補充說明；另 P47 宜補充說明最佳的 K 值為多少及「觀霧山椒魚被分成了群」應為「觀霧山椒魚被分成了『兩』群」。	

處內委員：

（一） 觀霧管理站 吳宗穎 主任

意見	處理情形或參閱頁數
1. 摘要部分 A4 篇幅只一個段落，閱讀起來很辛苦，建議分段描述。 2. P19 選定檜山巨木、大鹿林道及榛山步道 3 處為山椒魚監測地點，請問是指大鹿林道指本線、東線、還是西線？ 3. P40 色標編碼順位為右前腳-左前腳-右後腳-左後腳-尾部，但圖 3-4 編號 NRROG 對應的順序卻為左前腳-右前腳-左後腳-右後腳-尾部，是否應為：RNORG？ 4. 今年 3 月森林大火延燒至東線 2 至 3k 上方，朱老師團隊之前在東線 2k 曾調查到觀霧山椒魚，但這二年的計畫調查範圍並未列入這個點，是否明年有機會將這個區塊納入棲地監測範圍，檢視 3 月份大火是否有影響山椒魚生態。 5. 本計畫山椒魚族群調查時間為 4、6、8 月，接近繁殖期是否有安排調查？從巨木步道調查到的山椒魚個體部份是幼體剛上陸地的資料，但並未找到卵串，顯示這個樣區是觀霧山椒魚可進行穩定繁殖的棲地，可否可能在這幾個月繁殖期間來進行調查(例如 12 至 3 月)。	1. 感謝委員建議，團隊會再針對摘要書寫方式進行改正。 2. 於雪霸國家公園內設立之觀霧山椒魚族群長期監測地點為大鹿林道西線，團隊後續會再改正書寫方式，並整理至成果報告中。 3. 成果報告圖 3-4 中呈現的為腹面朝上的色標施打示意圖，色標閱讀方向依序為山椒魚右前腳→左前腳→右後腳→左後腳→尾部。團隊後續會針對圖說中易混淆部分進行修改，感謝委員建議。 4. 根據過去調查判斷，此處火燒範圍東線也是山椒魚潛在分布區域之一，然目前評估之前火災造成的影響不大，團隊明年 4 至 10 月可安排再至此地點調查。 5. 針對國家公園內山椒魚繁殖季期間之族群調查，將與團隊成員共同討論安排，視氣候、安全性與人力情形評估是否於今年底至明年初，至檜山巨木步道建立標準化的調查方式尋找卵串。 6. 觀霧山椒魚棲地復育區內的缺水問題無法避免，建議管理單位建立現地的循環過濾系統，可降低缺水

6. 觀霧管理站每年10-2月間為缺水期(目前飲水來源為樂山林道 3K 水源地)，因缺水期常造成民生與山椒魚搶水窘境，而觀霧山椒魚棲地復育區現階段似乎已無發現山椒魚身影，無法達到棲地復育的預期成效，是否與水源不足有絕對關係？抑或棲地營造有需調整空間？預計 114 年建置完成大鹿林道西線供水系統(主供民生用水)，原樂山林道供水系統將完全保留給山椒魚棲地使用。期能活化山椒魚復育棲地原有功能。 7. 觀霧山椒魚生態中心自 101 年啟用至今已逾 10 年改館週期，惟未能取得觀霧山椒魚更完整生態資料，目前暫訂於 115 年進行改建先期計畫，屆時，亦請朱老師不吝協助提供改館意見。	問題。相較缺水現象，停電問題亦有待解決的緊迫性，因停電過濾系統停擺再加上西曬，會影響山椒魚的生長。團隊猜測去年的幼體沒有順利長大可能的原因為溫度的控制。最近已於檜山巨木步道熱點區及復育區放置兩台 HOBO 儀器，可每半小時記錄地表及地底溫度，期待未來收集到的資料。 7. 未來兩年若有觀霧山椒魚再次成功孵化，將進行相關影像紀錄，另後續將架設山椒魚繁養殖用的新缸，請觀霧管理站再提供相關協助。研究團隊也感謝管理單位給予的支持，團隊會盡己所能提供建議與幫助。

（二） 雪見管理站 潘振彰 主任

意見	處理情形或參閱頁數
1. 微衛星技術是否可分析出演化年代，例如雪霸與太魯閣之間的台灣山椒魚經由思源啞口進行基因交流，可否看出演化的方向？	1. 山椒魚演化分期年代部分的研究，目前已在去年發表，根據研究成果大約在 1700 萬年前分歧，剛好與台灣山脈抬升時間相近，若透過微衛星的相關技術可看到更為細緻的分析，但需要在思源啞口交界處加強採樣，因目前的樣本處仍太少，尚不足以進行分析。

（三） 保育研究科 于淑芬 科長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 山椒魚比較容易翻找之時期為 4 至 9 月，但 230 林道樣區卻在 10 月才去，但翻找到之數量比觀霧地區之觀霧山椒魚更多，是否顯示 230 林道之台灣山椒魚數量更多？另請再比較往年資料。 2. 表 1-2 再捕捉資訊中，有 2 隻再捕捉為 3 次，其吻肛長雖有增加，但	1. 今年 10 月份單次調查在 230 林道發現 7 隻臺灣山椒魚，推估夏季時候可以發現更多山椒魚，但 230 林道 8-9k 有崩壁，在 8K 處即可見到較多的山椒魚。團隊後續會再整併過去調查資料，呈現此樣區的臺灣山椒魚族群變化量。 2. 因每批次調查人員不同，進行形質

頭長或頭寬或眼間距等卻變小，是否為測量誤差或是有其他原因？ 3. 無脊椎動物調查結果發現，本年度與 109-111 年調查成果有明顯差異，但未有圖表詳細說明，建議補充。	量測時亦存有誤差，會再進行團隊內部會議，建立更穩定的形質量測流程。 3. 感謝委員建議，團隊後續會再將 109 至 111 年無脊椎動物相調查結果納入，並與本計畫執行成效進行比較討論。

（四） 保育研究科 董于瑄 技士

意見	處理情形或參閱頁數
1. 觀霧地區山椒魚監測標準化作業部分，建請團隊補充預估每處調查樣區或樣線所需天數及人力，且補充穿越線之長度與 GPS 位置。另請老師將未來監測標準調查人員能力部分納入標準化作業調查項目之評估。 2. 報告書部分內容誤植或錯漏字，建議修正：P15 第四行武「陵」四秀、P36 倒數第七行塑膠「封」口、P47 倒數第二行被分成「兩」群等。	1. 團隊會依管理單位人力，協助評估各山椒魚監測樣區單次調查努力量，並另行針對長期監測樣區補足地理資訊資料。 2. 感謝委員建議，已修正成果報告書中錯誤。

（五） 內政部國家公園署雪霸國家公園管理處 林文和 處長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 表 2-1 顯示觀霧地區山椒魚多使用遮蔽物為石塊，標準化監測部分使用柳杉木塊是否可行？ 2. 是否需要重新營造觀霧管理站後方復育區的棲地，抑或另擇棲地環境較好的地方進行維護即可？	1. 雪霸國家公園周邊進行之山椒魚族群調查，因棲地類型限制，大多數調查到的山椒魚個體皆利用石塊作為躲藏的遮蔽物。然根據團隊於阿里山國家森林遊樂區的研究經驗，顯示已於長期監測樣區中放置四年的柳杉塊，於近年調查成果中有近 95%的阿里山山椒魚利用作為遮蔽物。另考量大鹿林道西線及蜜月小徑的石塊較少，故團隊於今年度開始嘗試試驗此方式，後續還需調整鋪設木塊下的底質狀態。惟觀霧山椒魚跟阿里山山椒魚的習性仍有若干不同，目前還無法確認木塊試驗在觀霧地區是否可行。 2. 大鹿林道西線及蜜月小徑的棲地較復育區天然，復育區可視為指標

	地點，若未來可克服枯水期造成的缺水問題，且可在復育區維持山椒魚穩定的數量，表示我們已可掌握其生活史。

附錄三、第三次審查會議意見處理情形

外聘委員：

（一） 呂光洋 委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 這兩種在雪霸國家公園內的山椒魚，因山脈及溪流的隔離作用，族群都呈現不連續小族群分布的情形，報告指出族群有遺傳分化的情形，未來要如何依分子的訊息來選定演化保育的單位，用以建議保育措施？ 2. 未來觀霧山椒魚和臺灣山椒魚，如何來選定監測地點。 3. 研究報告顯示，在園區內臺灣山椒魚的分布範圍比觀霧山椒魚稍廣，然臺灣山椒魚受關注的情形稍比不上觀霧山椒魚，建議臺灣山椒魚多收集資料。 4. 表 1-1 請指出採集記錄到的山椒魚是屬於哪種。	1. 有關保育單位擬定部分，觀霧山椒魚分為兩群，因此觀霧為極重要的保育地點，另一個重要的地點是北坑溪及北插天山一帶，臺灣山椒魚的長期監測地點目前規劃為大雪山地區，因屬於臺灣山椒魚分布的最南界，可及性高且未有其他山椒魚共域，監測效率較高，其餘區域鄰近太魯閣國家公園範圍，較難抵達且有遺傳分類的困難度。 2. 如上所述，目前根據遺傳分化結果，目前選定雪霸國家公園內觀霧地區與大雪山地區作為兩物種長期監測地點。 3. 感謝委員建議，團隊會再繼續努力。 4. 感謝委員建議，團隊將會於下次報告中新增物種類別記錄。

（二） 林思民 委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 本研究涵蓋微觀與宏觀，由各個不同的尺度進行山椒魚的研究，成果豐碩，值得予以鼓勵。有幾個建議，或許可以在未來長期研究的時候列入考量。 a. 穿越線：每個穿越線樣區的長度與規模有大有小，因此實際數量並未代表當地的相對豐度。執行族群調查的時候，建議列入每個穿越線的長度與人力，以標準化當地山椒魚的「相對」族群數量。 b. 重複捕捉率：由目前再捕捉的資料，顯示山椒魚可能是一個壽命長、行蹤隱密的動物。過去本實驗室進行過一些 R 策略物種的標	1. 感謝委員鼓勵與建議，已修正重複捕捉時間誤植、與採樣地圖編號錯誤。樣區穿越線的劃設已於今年七月進行沿線調查範圍長度量測，待後續計算每次調查人數，即可評估該樣區每次調查努力量。對於無山椒魚分布樣區，於試驗設計時，乃以具有山椒魚分布的檜山巨木步道與無山椒魚穩定分布族群的復育區進行比較，惟兩樣區間相距較遠，未來經費充足的話，將考慮再於大鹿林道西線山椒魚豐富度較低地區(例如賞鳥步道)收集微棲地變化資料，或許將有助於比較分析。

放捕捉，例如草蜥，牠們的族群動態是標放之後每個月都會被抓到，但是忽然有一個月之後個體就完全消失，推測可能是個體死亡。但是山椒魚的生活史特徵似乎跟草蜥完全相反，這可能會在族群的保育上會有不同的思維。另外，目前再捕捉表的時間間隔看起來與年份月份並不符合，可能有一些資料寫錯。 c. 微氣候：我們猜想山椒魚需要的可能是穩定的氣候環境，過度波動的微氣候可能對其生存不利。因此，在實驗設計上，是否需要設計幾個「確定沒有山椒魚」的樣區進行微氣候的比較？ d. 昆蟲相調查：昆蟲相與山椒魚的關聯性非常難證明，希望長遠的未來能有機會可以解決這樣的挑戰。 e. 木片棲地營造：擺置木片進行棲地營造是一個非常好的構想，而且適合志工進行標準化的調查，這應該是值得繼續推行的構想。 f. 採樣地圖：圖 4-1（遺傳樣本的採樣編號）有許多重複的樣區編號，可再檢查圖上是否有誤。	

處內委員：

（一） 觀霧管理站 吳宗穎 主任

意見	處理情形或參閱頁數
1. P.19 選擇每年的 4 月、6 月及 8 月進行例行性的族群監測，然 11-3 月(繁殖期)之調查資料較欠缺，因之前本區有發現山椒魚幼體，建議是否可增加在繁殖期之調查頻率？112 年 7 月 6 日及 112 年 12 月 5 日兩次審查會議審查會議觀霧站都已提出類似建議(P.73、87)，受託單位於回應：未來希望可以在入秋後於熱點試著找尋繁殖地。請	1. 考量山椒魚魚於地表淺層較易發現的月份是 4-8 月，因此規劃長期監測適合執行的月份為 4、6、8 月，野外繁殖期(11-2 月)較易於溪溝、深層、地表伏流處出現，計畫曾於後面溪溝調查，需以內視鏡輔助，會再評估於今年冬季進行調查。 2. 感謝委員提醒，已修正以下錯誤於

問老師今年是否已有規劃調查？另外 P.44 永久樣區監測頻度也設定在每年 4、6、8 月，一樣跳過繁殖期，原因為何？ 2. P.11、12、18、23 等多處提到山椒魚分佈空間-大鹿林道，請全文修正為大鹿林道西線(112 年 12 月 5 日觀霧站已提出同樣問題，如 P87)。另外部分錯別字也請一併修正，如計劃、規畫、臻山、大陸林道等，應修正為計畫、規劃、榛山、大鹿林道。 3. 建議將 2023 年 3 月大鹿林道本線森林大火延燒至大鹿林道東線 2-3K 之區塊，納入棲地監測範圍(P.87 觀霧站於 112 年 12 月 5 日審查會議提出建議，受託單位回覆：明年(113 年)4 至 10 月可安排調查。)是否已排定？或是已完成調查及調查結果如何？ 4. 生態中心 2F 陽台陽光直射影響圈養箱溫度之控制問題，若未來圈養箱有需要長期留置觀察，請老師提出改善方式，觀霧站或可幫忙處理。 5. P63 結論(一)累計 54 隻次調查記錄，應為誤植，請修正為 56 隻次。(P63 觀霧山椒魚 24 隻、臺灣山椒魚 32 隻次，總計應為 56 隻次)。 6. P63 結論(三)完成擬定觀霧地區山椒魚監測標準化(SOP)作業完成雪霸地區，「完成雪霸地區」文字應為誤植，請刪除。 7. 今年 5 月份林保署新竹分署巡山員在樂山林道 9K 附近發現觀霧山椒魚(坐標點位已提供給老師)，海拔高度約 2,400 公尺，應是目前發現到海拔最高的紀錄。若確認無誤，是否請老師將資料納入報告書記錄。 8. 觀霧山椒魚復育區本為人為建構之山椒魚棲地，研究資料顯示土壤溫	報告書中。 3. 針對森林大火延燒區域，已規劃於今年 8 月前至 2k 處進行視察，需再麻煩觀霧站協助確認森林火災的確切位置。 4. 團隊目前規劃新增架設 1 個可 360 度旋轉的圈養箱，預計 7-8 月間將設置此新型的圈養箱，使用的觀霧站空間不變。過往圈養箱中有設置每 15 分鐘進行拍攝的自動相機，該圈養箱環境問題其一為陽光，今年嘗試使用蘭花網遮蔽陽光，初步看來可有效降低溫度，另一個問題是有時會停電，若停電後溫度會上升，後續會再跟觀霧站討論改善措施。 5. 感謝委員提醒，已修正計畫書中錯誤。 6. 感謝委員提醒，已針對計畫書中誤植進行修改。 7. 感謝委員提醒，團隊會再將該筆調查資料彙整後呈現給管理處。 8. 團隊與管處一樣期待，若復育區棲地可提供穩定水源並配合棲地改善，後續可試著再引入山椒魚。

度偏高及濕度問題，然或許與水源供應不足因素造成土壤溫濕度差異有直接關係。期許未來供水問題解決後，能重新活化山椒魚棲地，也請老師於未來期末報告書中協助提出復原區活化建議。	

（二） 保育研究科 于淑芬 科長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 今年繁殖缸裡的 4 隻山椒魚是否與去年繁殖的山椒魚為同樣的個體，另玉管處養殖的阿里山山椒魚繁養殖成果為何？是否山椒魚為兩年繁殖 1 次？	1. 這幾年繁養殖缸裡的 4 隻山椒魚個體為同一批，玉管處圈養的阿里山山椒魚近兩年都有繁殖，目前所記錄到的產卵母山椒魚為不同個體，但護卵的公山椒魚為同一隻，兩年繁殖 1 次為日本山椒魚文獻，臺灣的山椒魚尚無法確認。玉管處圈養箱中放入 11 隻個體，觀霧只有 4 隻，推測群體數量較多時較易繁殖，今年規劃再放入 6 隻觀霧山椒魚。

（三） 保育研究科 董于瑄 技士

意見	處理情形或參閱頁數
1. 建議第二章材料與方法章節可補充相關調查方法照片(例如掉落式陷阱、馬氏網等)。 2. 表 1-2 觀霧山椒魚再捕捉個體資訊，編號第 8 及第 9 號紀錄日期有誤，請確認後修正。其中幾隻個體再捕捉時測量值減少，可能原因為何？ 3. 本次計畫收集及探討園區內山椒魚的微棲地與地表無脊椎動物相資訊，目前的調查結果偏向無脊椎動物相說明，未見與山椒魚生態(例如食性)之關聯，建議補充說明。 4. 山椒魚長期監測標準作業流程仍缺少人力規劃及相關細節之敘述(例如巨棲地環境中覆蓋度如何計算？為何是比對色標卡與阿里山山椒魚個體對照表？)，並請確認長期監測	1. 感謝委員建議，團隊會再進行補充與修正。 2. 感謝委員提醒，團隊會再進行修改。另形質量測造成偏差的因子諸多，如量測人、測量尺均可能是造成誤差的原因。 3. 棲地地表無脊椎動物相與山椒魚食性等關聯，將於期末報告進行綜合討論。 4. 教育訓練的監測項目會依照 7 月份教育訓練辦理情形再檢視調整，感謝委員提醒。 5. 感謝委員提醒，團隊會再進行計畫書誤植修改。

目的與調查項目的可行性。 5. 報告書部分內容錯漏字，建議修正：P60 第四行「福」島、「參」有細沙等。	

（四） 張杏枝 秘書

意見	處理情形或參閱頁數
1. 調查成果表格中若是屬於木片下發現的山椒魚，建議另外進行標註，以利掌握發現地點與數量。另後續是否會規劃於溪流旁鋪設長期監測的木片，以比較目前復育區不同環境復育效果。 2. 未來鋪木片的技術若長期監測後有效，考量機關正在推動 ESG，未來是否可以提列進行企業合作推動項目。	1. 感謝委員建議，復育區目前尚未有山椒魚穩定族群分布，團隊會再考量如何滾動調整調查表格記錄模式，提供給管理單位進行參考。 2. 團隊會再整併於樣區鋪設木片對山椒魚族群的調查成效，並提供管理單位參考，是否適合作為企業合作的項目。

（五） 內政部國家公園署雪霸國家公園管理處 林文和 處長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 長期監測樣區目前都位於大鹿林道溪線的林班地，且為民眾遊憩的步道旁，是否受遊憩行為干擾，後續又該如何維護及經營管理，請研究單位提供相關建議。 2. 利用飼養箱觀察生活史，目前成果未盡理想，後續該如何調整改善？	1. 有許多人知道大鹿林道西線的山椒魚棲地位置，因此有些人會去翻找石頭，本研究團隊將於長期監測樣區架設攝影設備，台灣大哥大也將捐贈可即時傳送影像資料設備，有助於瞭解長期監測樣區受干擾狀況，觀霧站的助理巡查員未來若有再進修也可進一步研究相關議題。 2. 去年因圈養箱中僅放入 4 隻觀霧山椒魚，相較放入玉管處圈養箱的個體少，推測群體數量較多時較易繁殖，團隊規劃再放入 6 隻觀霧山椒魚個體進行試驗。另根據過去試驗結果，影響圈養箱環境問題之一為陽光及停電問題，今年嘗試使用蘭花網遮蔽陽光，初步看來可有效降低溫度，停電則可能導致圈養環境溫度上升，後續會再跟觀霧站討論改善措施。

附錄四、第四次審查會議意見處理情形

外聘委員：

（一） 呂光洋 委員

意見	處理情形或參閱頁數
1. 企業合作要深入考慮合作對象，山椒魚是特殊動物類群，不適合多人到棲地活動，期待有企業研究發展處理登山民眾排遺問題。 2. 建議報告書中補充杉木木片的大小資料，以後能收集為棲地生態資料。 3. 臺灣山椒魚的永久樣區選在何處？ 4. 這兩種山椒魚在國家公園外的鄰近族群資料，希望能整合起來。	1. 感謝委員建議，若國家公園有企業研究合作的需求，團隊會盡力協助。 2. 木片是根據過往吳聲海老師及賴俊祥老師的研究成果，當初發現山椒魚顯著性傾向利用直徑 15 公分以上的石頭棲息，前幾年觀霧地區發生森林大火，因此利用當地火災後的枯木裁切成適合的大小後鋪設，團隊會再將相關細節補充入報告書中。 3. 臺灣山椒魚永久樣區設定在大雪山地區 230 林道 5-8K，因大約 5K 後進入雪霸國家公園園區範圍，且此區域的臺灣山椒魚評估應該尚無雜交的情形，此區不採用放置木片的方法，因擔心太明顯不利於棲地保護，且目前步道兩側皆有伐木後遺留的木頭，腐木可以提供山椒魚適合的棲地環境。 4. 謝謝委員提醒，此一部分團隊會再整合，並提供給國家公園參考。

（二） 林思民 委員

意見	處理情形或參閱頁數
本研究計畫牽涉各種巨觀與微觀的工作內容，非常辛苦而且執行不易，應予鼓勵。幾個審查意見彙整如下： 1. 經過研究團隊近年的努力，台灣各種山椒魚族群遺傳結構的瞭解已經漸趨完備。未來，除非在方法上或技術上有很大的改變，否則照目前增加樣本數量的方法，或許不會對現有看到的生物地理模式產生太大的翻轉。我評估在未來的短期內，或許可以漸漸減少遺傳部分的	1. 感謝委員的鼓勵，團隊會再調整族群遺傳結構下的研究面向。 2. 族群長期監測也是團隊努力的目標，在建立方法學後，團隊也會接續嘗試執行的可能性，進行滾動調整。 3. 感謝委員勉勵，團隊會持續追蹤有進行螢光標記的樣區，收集個體生活史與生命週期資料。 4. 謝謝委員的提醒，估算單一樣區

工作努力量。 2. 族群長期趨勢的監測是必要的，未來在台灣各種山椒魚身上也有標準化的必要。因此，方法學的建立是本研究非常重要的價值。 3. 螢光標記（VIE-tag）的研究有兩個現象可供討論。首先，我們看到最長的回收紀錄可以長達兩年半，顯示山椒魚或許是一個長壽且生命週期穩定的類群，也顯示這樣的標記效果可以在山椒魚身上長期維持。這個技術可以做為其生活史或壽命的長期評估方式，值得繼續執行。 4. 但是另一方面，我們也看到大多數的山椒魚即使壽命很長，中間被研究者重複捕捉的機率是非常低的，顯示 capture probability 非常低。在這種情形之下，要利用 capture-mark-recapure 來估算族群數量，程式運算會很難收斂，而且 95%信賴區間的上下限會非常大。因此，顯示螢光標記（VIE-tag）雖可進行長期標放，但是不適合作為族群估算的方式。 5. 相較之下，柳杉木片的擺放工作是一個較能進行族群估算的方法。首先，這個方法不需要破壞當地的巨石或植被，對原棲息環境的干擾較低。其次，可以利用標準化擺放木片的數量，來估算一個地方的族群密度。我對這方法有比較高的期待，也希望研究團隊在結果報告中，針對這個方法的應用性進行更多的評估。 6. 呈上所述，希望團隊可以分享柳杉木片調查方式在不同棲地、不同植被、甚至不同物種身上的使用效力。如果未來在不同物種身上都可以採用類似的研究方式，則它就很值得推廣到其他的高山環境。但如果不同棲地、不同物種的使用效能	族群數一直是我們努力的目標。團隊會再思考估算族群數的他種方法。 5. 我們觀察在擺放柳杉木片一年內，便可觀察到觀霧山椒魚的棲地利用現象，且對於計算調查努力量而言也是很好的方法。我們也規畫，希望透過標定木片下找到的山椒魚數量，來初步釐清山椒魚的活動範圍。 6. 在柳杉木片調查方法學上，阿里山山椒魚也有從事相同的試驗。謝謝委員建議，團隊會再回頭審視包含微棲地、植被等因子的效力差異。

不一樣，那就可能必須經過某種校準之後再進行分析。	

處內委員：

（一） 觀霧管理站 吳宗穎 主任

意見	處理情形或參閱頁數
1. P.28「至 2024 年 11 月累積 11 筆再捕捉資料(再捕捉隻次 13 隻)；截至 2024 年 6 月再捕捉率為 11.11%(13/117)，又自 2020 年標放已累積完成 114 隻標記，重複捕捉 13 隻次」。原標放數量究為 117 還是 114 隻？數據前後是否衝突？本段文法較難以閱讀理解，建議重整修飾。 2. P.28 所提巨木步道 2023-24 年調查與往年調查數量有下降趨勢，是否曾與之前調查的頻度進行比較？ 3. P.29 表 1-1 2024/7/31 調查檜山巨木步道及大鹿林道東線發現 3 隻山椒魚，未標示個別地點發現數量？若大鹿林道東線有調查到觀霧山椒魚，建議標示點位，供未來東線相關工程規劃參考，可避開工程對棲地之影響。 4. P.37 研究顯示復原區與巨木群生物量並無明顯差異；棲地溫度監測部分，復育區低溫與巨木原始棲地樣區相近，但高溫部分復育區起伏較大，除林木較稀疏外，應與位處稜線位置，氣流變化快速有關。未來若復原區供水穩定後進行棲地改善，包括噴灌設施改善、樹冠層處理增加全天光空域及促進灌木層物種多樣性等，或能有機會活化復原區並標放山椒魚。	1. 謝謝委員提醒，團隊會再修飾該段文字描述。 2. 自 2023 年至 2024 年巨木步道調查頻度與努力量相近，團隊會再重新整理報告書內容，對於族群數量降低部分會於成果報告書再詳細討論與評估。 3. 該次調查於大鹿林道東線僅發現 1 隻山椒魚，會再另外提供個體分布點位予管處參考。 4. 團隊目前設置 HOBO 於復育區與檜山巨木區，持續收集氣溫、相對濕度、土溫與土壤含水量等資料，未來有機會將持續嘗試在其他地點架設，或許可進一步瞭解觀霧山椒魚喜歡的環境溫濕度環境。

（二） 雪見管理站 傅國銘 主任

意見	處理情形或參閱頁數
1. 北坑山多年前有部落原住民採集	1. 謝謝委員建議，團隊會再評估進

到觀霧山椒魚案例。 2. 西勢山林道 4.7K(界碑)後山椒魚樣區，後續有無須雪見站保育巡查工作時協助監測的地方？或放置縮時攝影機？	行調查的必要性。 2. 若雪見站可以協助取回自動相機資料，可節省團隊人力，後續可以討論計畫細節，所得的資料也可雙方共享。

（三） 遊憩服務科 潘振彰 科長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 觀霧管理站旁的復育區為東向環境，檜山巨木區為西北向環境，觀霧地區上午通常陽光充足，下午才會起霧，因此建議團隊依時間詳細檢視復育區跟巨木區 HOBO 溫度差距大是否落在上午。 2. 檜山巨木區調查到觀霧山椒魚數量較多，是否因此區域的努力量較高所致，還是環境較適宜山椒魚棲息，所以容易紀錄到？	1. 感謝委員提醒，團隊會再檢視收集的資料，提供給管處參考。 2. 巨木步道因為是團隊穩定的調查樣區，因此累計較多的調查紀錄，我們會再針對表 2-1 進行補充修正。

（四） 保育研究科 于淑芬 科長

意見	處理情形或參閱頁數
1. 表 2-1 臺灣山椒魚與觀霧山椒魚的紀錄，資料看來是由 2020 年統計迄今的資料，建議於下方備註補充說明。 2. P.28 提及近年觀霧山椒魚數量下降，表 2-1 其他調查地區的觀霧山椒魚也有數量下降的現象嗎？ 3. 木片調查只有 3 月跟 5 月有紀錄到山椒魚，以往山椒魚較易發現於夏季，該區域夏季是否皆未發現，可能的原因為何？ 4. 觀霧站目前致力維持復育區濕度，且根據調查復育區的昆蟲相與檜山巨木區域差不多，故復育區是否有機會有山椒魚移動進入，另繁養殖缸若繁殖成功是否可野放於復育區？	1. 表 2-1 會請進行補充修正，感謝委員提醒。 2. 團隊目前僅有在觀霧地區規律地進行調查，所以無法比較其他地區的觀霧山椒魚是否數量也下降。 3. 木片調查樣區今年度只有前兩次有紀錄到山椒魚，後續調查包含 7 月進行志工訓練時皆未發現，後續可再持續進行監測。 4. 未來繁養殖缸復育的個體是否可野放至復育區部分，建議先進行復育區的事前調查，例如架設自動相機瞭解山椒魚掠食者狀況，再斟酌評估。至於山椒魚族群遷入的部分，團隊評估復育區有山椒魚移入的機率不高，過往其他團隊曾在賞鳥步道發現 1 隻山椒魚，但後來也沒有再有紀錄，因山椒魚屬兩棲類，需考慮的環境因子很多。

（五） 張杏枝 秘書

意見	處理情形或參閱頁數
230 林道邊堆置倒木形成數量頗豐山椒魚棲地，該調查區域是否有紀錄溫溼度等相關環境因子或樹種，以利瞭解山椒魚喜好的環境。	現該樣區無架設溫濕度計，但氣候環境與觀霧相似，腐朽的倒木主要都是柳杉，木頭可保濕並提供棲息的空隙。另國外山椒魚棲地保育策略包含在溪流兩旁 10-20 公尺不建議進行任何伐木，若需要疏伐也建議將伐除木留在原地。

（六） 內政部國家公園署雪霸國家公園管理處 林文和 處長

意見	處理情形或參閱頁數
1. ESG 是目前趨勢，國家公園也期望與企業共同進行保育，但確實需要慎選合作夥伴與合作項目。 2. 建議事項第 3 點有關觀霧山椒魚學名部分，是否可由本處自行發佈使用？	1. 感謝委員的建議，若有需要團隊也會盡力協助管處的企業合作研究。 2. 學名更動係為符合命名法規，有關觀霧山椒魚學名部分已撰擬科普文章並將於保育季刊發表，今年度兩棲類紅皮書也會進行統一，臺灣山椒魚及楚南氏山椒魚也有所變動，以利跟國際接軌。

附錄五、辦理雪霸國家公園山椒魚教育訓練

一、摘要：

臺灣有五種特有種小鯢屬山椒魚，也是小鯢科山椒魚分佈緯度最低的族群。這五種特有種山椒魚都棲息在海拔 1,300 公尺以上的高山溪流源頭，且分佈廣闊，包括雪山山脈、中央山脈、玉山山脈與阿里山山脈，棲地幾乎不重疊。兩棲動物的研究顯示族群的遺傳演化受到地形、河流、山脈與氣候動盪影響，是氣候動盪的指標。根據粒線體 DNA 的多形性，推算臺灣五種特有種山椒魚的共同祖先約於 2,400 萬年至 3,400 萬年前形成，臺灣五種特有種山椒魚的遺傳演化歷史提供研究臺灣島嶼形成與氣候動盪的一個獨特的動物模式。永久監測樣區的設立，進行長期監測與對牠們生活史的瞭解，可提供解釋臺灣五種的山椒魚演化機制、氣候與環境變遷對山椒魚族群存續的資料。雪霸國家公園園區內有臺灣山椒魚及觀霧山椒魚的分布，舉行本工作坊的內容包括：永久樣區山椒魚族群監測標準流程、生活史、食性、山椒魚在高山生態系的角色、棲地環境資訊收集、山椒魚保育醫學與現代分子遺傳學運用在山椒魚親緣地理演化的進展。族群的遺傳演化受到地形、河流、山脈與氣候動盪影響。

二、 教育訓練流程與課程大綱：

日期	時 間	課程內容	講師	地點
7 月 12 日	13:00-13:30	報到		山椒魚館視聽教室
	13:30-13:40	導言		
	14:40-16:10	山椒魚的親緣地理研究與臺灣山脈與水系的歷史印記	朱有田 教授	
	16:10-16:20	休息		
	16:20-17:40	山椒魚棲地特徵、食性與生活史研究	林春富 教授	
	17:50-19:00	晚餐		
	19:00-20:30	山椒魚保育醫學與形質測量		山椒魚館二樓或是山椒魚館大廳
		填寫教學回饋、意見與問題		
7 月 13 日	08:30-09:50	棲地觀察：土壤表層無脊椎動物相調查與山椒魚棲地保育	分 3 組 1. 山椒魚調查與棲地特色 2. 馬氏網架設 3. 掉落式陷阱架設	大鹿林道西線
	09:50-10:00	休息		
	10:10-11:20	沿線調查、棲地調查、調查紀錄	分組進行棲地調查	大鹿林道西線
	11:20-12:00	填寫教學回饋、意見與問題		

三、 當日活動影像紀錄：

圖、講者群與工作站同仁、志工合影留念。

圖、國立臺灣大學朱有田教授進行山椒魚親緣地理研究介紹。

圖、生物多樣性中心林春富副研究員介紹山椒魚的繁殖生活史。

圖、學員熱情與講者互動提問。

圖、朱有田教授帶領學員前往棲地學習架設掉落式陷阱。

圖、志工學員實際進行昆蟲陷阱架設。

參考文獻

王鑫、宋國城、崔之久。1998。《雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)》。雪霸國家公園管理處委託辦理報告。

王鑫、宋國城、崔之久。1999。《雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(II)》。雪霸國家公園管理處委託辦理報告。

朱有田。2019。太魯閣國家公園山椒魚棲地調查與族群遺傳結構研究。太魯閣國家公園委託辦理報告。

朱有田。2022a。高山型國家公園山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學調查。雪霸國家公園委託辦理報告。

朱有田。2022b。阿里山地區阿里山山椒魚族群分布、食性調查及保育遺傳學研究計畫。行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處保育研究系列109CRC14 號。

巫奇勳、謝佳宏。2015。觀霧山椒魚溫度生理耐受性測量及族群遺傳多樣性分析。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告。

杜銘章、呂光洋。1982。十一種台灣產兩棲類食性之研究（包括山椒魚科之台灣山椒魚）。臺灣省立博物館年刊，25 卷頁 225–234

林明杰。2007。阿里山地區阿里山山椒魚食性與棲地利用之研究。國立嘉義大學生物資源學系研究所碩士論文，嘉義市。 取自 https://hdl.handle.net/11296/b6fsrx

林春富、葉大詮、吳和瑾。2009。以排遺分析探討楚南氏山椒魚（Hynobius sonani）的食性。特有生物研究 11(1):21-25。

張立宜。2011。臺灣山椒魚與楚南氏山椒魚棲地及食性資源利用區隔之比較研究。國立臺灣師範大學生命科學研究所碩士論文，台北市。取自 https://hdl.handle.net/11296/52ngg4

陳世煌、呂光洋。1984。台灣產山椒魚之生物學研究。國立臺灣師範大學生物學研究所碩士論文。台北市。

陳世煌。2010。台灣地區山椒魚的食性探討。2010 一探冰河孑遺物種—台灣地區山椒魚研討會。台北。

游佩儒。2022。以粒線體與核基因 DNA 序列探討臺灣產山椒魚的親緣地理與歷

史族群動態。國立臺灣大學動物科學技術學研究所碩士論文。台北市。
楊遠波、徐國士。2004。太魯閣國家公園高山地區植物資源基礎調查之研究。太魯閣國家公園管理處委託研究報告。
葉炯章。2011。利用穩定同位素分析台灣黑熊食性。國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文，屏東縣。 取自 https://hdl.handle.net/11296/bshby7
歐辰雄、邵廣昭、吳聲海、陸聲山、邱清安。2014。觀霧地區觀霧山椒魚及相關物種調查。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告。
賴俊祥。2008。台灣產山椒魚的分類與阿里山山椒魚族群生態與族群遺傳研究。國立臺灣師範大學生命科學研究所博士論文。台北市。取自 https://hdl.handle.net/11296/g2j996
鐘意淳。2020。以粒線體、微衛星與核基因序列探討觀霧山椒魚的族群分化。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文，台北市。取自 https://hdl.handle.net/11296/ug5n6k
Frost, Darrel R. 2021. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1 (02-Sep-2021). Electronic Database accessible at https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php. American Museum of Natural History, New York, USA. doi:.10.5531/db.vz.0001
Hsiao, C., H. H. Lin, S. R. Kang, C. Y. Hung, P. Y. Sun, C. C. Yu, K. L. Toh, P. J. Yu, and Y. T. Ju. 2022. Development of 16 novel EST-SSR markers for species identification and cross-genus amplification in sambar, sika, and red deer. PLoS One. 17: e0265311. doi:10.1371/journal.pone.0265311
Kalinowski, S. T., M. L. Taper, T. C. Marshall. 2007. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. Mol. Ecol. 16:1099-1106. doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03089.x
Kumar, S., G. Stecher, M. Li, C. Knyaz, and K. Tamura. 2018. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. Molecular Biology and Evolution. 35:1547–1549. doi:10.1093/molbev/msy096.
Lu, T., Y. Sun, Q. Ma, M. Zhu, D. Liu, J. Ma, Y. Ma, H. Chen, and W. Guan. 2016. De novo transcriptomic analysis and development of EST-SSR markers in the Siberian tiger (Panthera tigris altaica). Mol. Genet. Genomics 291(6):2145-2157. doi: 10.1007/s00438-016-1246-4

Méndez-Rodríguez, A., J. Juste, A. Centeno-Cuadros, F. Rodríguez-Gómez, A. Serrato-Díaz, J. L. García-Mudarra, L. M. Guevara-Chumacero, and R. López-Wilchis. 2021. Genetic introgression and morphological variation in naked-back bats (Chiroptera: Mormoopidae: Pteronotus species) along their contact zone in Central America. Diversity. 13:194. doi:0.3390/d13050194.

Okamiya, H., H. Sugawara, M. Nagano, and N. A. Poyarkov. 2018. An integrative taxonomic analysis reveals a new species of lotic Hynobius salamander from Japan. PeerJ. 6:e5084. doi:10.7717/peerj.5084

Pritchard, J. K., M. Stephens, and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics. 155:945-959. doi:10.1093/genetics/155.2.945.

Rogers, L. 1976. Effects of Mast and Berry Crop Failures on Survival, Growth, and Reproductive Success of Black Bears. Aspen Bibliography. 41:431-438.

Rungis, D., Y. Berube, J. Zhang, S. Ralph, C. E. Ritland, B. E. Ellis, C. Douglas, J. Bohlmann, and K. Ritland. 2004. Robust simple sequence repeat markers for spruce (Picea spp.) from expressed sequence tags. Theor. Appl. Genet. 109:1283-1294.

Sanches P. G., R. C. Op 't Veld, W. de Graaf, G. J. Strijkers, H. Grüll. 2017. Novel axolotl cardiac function analysis method using magnetic resonance imaging. PLoS One. 2017 Aug 24;12(8):e0183446. doi: 10.1371/journal.pone.0183446.

Turchetto, C., A. L. Segatto, J. Beduschi, S. L. Bonatto, and L. B. Freitas. 2015. Genetic differentiation and hybrid identification using microsatellite markers in closely related wild species. AoB Plants 7.doi: 10.1093/aobpla/plv084

Velo-Antón, G., A. Lourenço, P. Galán, A. Nicieza, and P. Tarroso. 2021. Landscape resistance constrains hybridization across contact zones in a reproductively and morphologically polymorphic salamander. Sci. Rep. 11:1-16. doi: 10.1038/s41598-021-88349-7