

臺灣櫻花鉤吻鮭棲地保護—水質與水中微塑膠監測

胡璦陽¹，官文惠^{1,2,3}

¹明志科技大學環境與安全衛生工程系暨環境工程研究所；²明志科技大學環境永續與人類健康研究中心；³通訊作者 E-mail: whkuan@mail.mcut.edu.tw

[摘要] 臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 過去遍及大甲溪上游各溪流中，直至目前僅生存於七家灣溪、高山溪、桃山西溪與北溪等。雪霸國家公園管理處致力於櫻花鉤吻鮭之復育工作，自 2009 年起開始陸續放流鮭魚，目前放流個體已可於羅葉尾溪棲地自然繁殖。水質為魚體生存之最基本條件，本研究匯集 2019 至 2023 年間的水質監測數據，以及近年受到高度關注之新興污染物微塑膠，深入分析了各項水質指標與微塑膠在武陵地區溪流中的濃度。監測結果顯示，硝酸鹽氮、氯鹽、微塑膠等項目於有勝溪測站中都有較高的濃度與數目，該測站為遊客進出、周遭農地密集之河段，顯示人為活動對溪流水質影響重大。本研究透過水溫、pH 值、導電度、溶氧以及營養鹽濃度等關鍵指標之監測與時空變化研析，提出棲地保護策略的建議，包括遊憩活動人數管控、污水妥善處理及查核、濱岸與水域短期施工之水質保護措施等，作為臺灣櫻花鉤吻鮭保育工作之參考。

關鍵字：水質監測、保育、雪霸國家公園、微塑膠

Conservation of the Formosan Landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) Habitats—Water Quality and Microplastics Monitoring

Tsan-Yang Hu¹ and Wen-Hui Kuan^{1,2,3}

¹Department of Safety, Health and Environmental Engineering, Master Program in Environmental Engineering, Ming Chi University of Technology; ²Center for Environmental Sustainability and Human Health, Ming Chi University of Technology; ³Corresponding author E-mail: whkuan@mail.mcut.edu.tw

ABSTRACT In the past, the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) inhabited various streams in the upper reaches of Dajia River. However, now it is only distributed in a few streams, such as Qijiawan Creek, Gaoshan Creek, Taoshan West Creek, and Beixi Creek. The Shei-Pa National Park Administration is dedicated to the conservation of the Formosan landlocked salmon. Since 2009, the salmon has been released into the historically distributed streams, and currently, released individuals can naturally reproduce in the habitat of Luoyewei Creek. Water quality is the most basic requirement for the survival of the salmon. This study collected water quality monitoring data from 2019 to 2023, including data on emerging pollutant microplastics, to analyze various water quality indicators in the Wuling area streams. The monitoring results showed that Yousheng Creek monitoring station had higher concentrations of nitrate, chloride, microplastics, and other pollutants. This station is located in a section frequented

by tourists and surrounded by densely cultivated agricultural land, indicating a significant impact of human activities on stream water quality. Through analyzing key indicators such as water temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, and nutrient concentrations, this study proposes habitat conservation strategies for the conservation of the Formosan landlocked salmon, including crowd control for recreational activities, sewage treatment and inspection, water quality protective measures for short-term engineering work in coastal and water areas.

Keywords: water quality monitoring, conservation, Shei-Pa National Park, microplastics

前言

雪霸國家公園位於臺灣本島之中北部，境內高山林立景觀壯麗，園區內涵蓋了觀霧、武陵與雪見三個遊憩區。武陵地區七家灣溪流域為國寶魚臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 之主要棲息地，該地區的土地利用型態包含了林地、崩塌地、果菜園、遊憩設施等，故自然與人為活動對溪流水質造成顯著的衝擊，並間接影響該生態系之平衡 (王敏昭 1998, 官文惠 2013)。農地中肥料與遊憩活動的排出物常在大雨沖刷後流入河川，造成溪水中的營養鹽或人為污染物濃度上升，進而影響臺灣櫻花鉤吻鮭主要棲息地之溪流水質，故有必要長期監測該地水質變化 (王敏昭 2003)。

微塑膠 (microplastics)，近年來為全球關注之新興污染物，依產生的過程，可將其分為初級與次級微塑膠兩類。初級微塑膠由直徑小於 5 mm 之塑膠組成，包括塑膠顆粒、製造一次性餐具之原始顆粒、以及目前已禁用的個人護理產品中的塑膠微珠等。次級微塑膠，則由一些較大的塑膠碎片，在環境中會因光降解、水解、磨損、微生物分解等作用破碎成微塑膠，合成纖維也屬於次級微塑膠。單件衣服每次洗滌會釋放超過 1900 根纖維 (Cesa *et al.* 2017)。以 65 萬人的生活污水處理廠為例，即便污水處理場可去除 98.4% 生活污水中的微塑膠，但仍有 6500 萬個微塑膠殘留在放流水與污泥中，從而釋出進入地表水體 (Murphy *et al.* 2016, Yusuf *et al.* 2022)。

根據國際 ISO/FDIS 24187 定義在水中不

可溶之塑膠顆粒，尺寸在 1 mm 至 5 mm 為大型微塑膠，尺寸在 1 μ m 至 1000 μ m (1 mm) 之間則為微塑膠，尺寸大小以顆粒之最長長度定義之。在自然環境中，由於微塑膠體積小且與天然食物相似，容易被魚類無意或有意地攝入，除了造成物理性的影響，如消化道阻塞、腸道損傷外，亦可能因微塑膠具有大表面積、疏水性等特性，積聚有害化學物質，如疏水性有機物、添加劑等，造成魚類營養和生長問題，故有必要進行水體環境中微塑膠的監測，以及魚隻暴露情形評估，以了解實際環境之影響 (Wang *et al.* 2020)。

臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地之水質條件對魚隻生存繁衍具有重要的影響。櫻花鉤吻鮭對水質極為敏感，特別是水溫、pH 值、溶氧量、濁度以及特定化學物質濃度等條件 (張石角 1989, 陳弘成 1998)。為深入瞭解臺灣櫻花鉤吻鮭對水質變化的敏感性及其對棲息地選擇的偏好，雪霸國家公園管理處長期支持相關監測調查計畫。本研究於七家灣溪上中下游、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪等關鍵生態區域 (即臺灣櫻花鉤吻鮭現存主要活動區域)，進行全面的水質監測與分析，包括水溫、pH 值、溶氧量、濁度、生化需氧量、硝酸鹽、亞硝酸鹽和氨氮等關鍵水質指標 (係指農業與遊憩活動有關之水質指標) 與微塑膠的數量與特性，並透過當地的土地利用情形與人為活動調查，研析這些因素如何在時間與空間上影響櫻花鉤吻鮭生存的水環境。最後，提出水質保護策略的建議，期能使瀕危物種臺灣櫻花鉤吻鮭在武陵地區溪流中持續生存和繁衍。

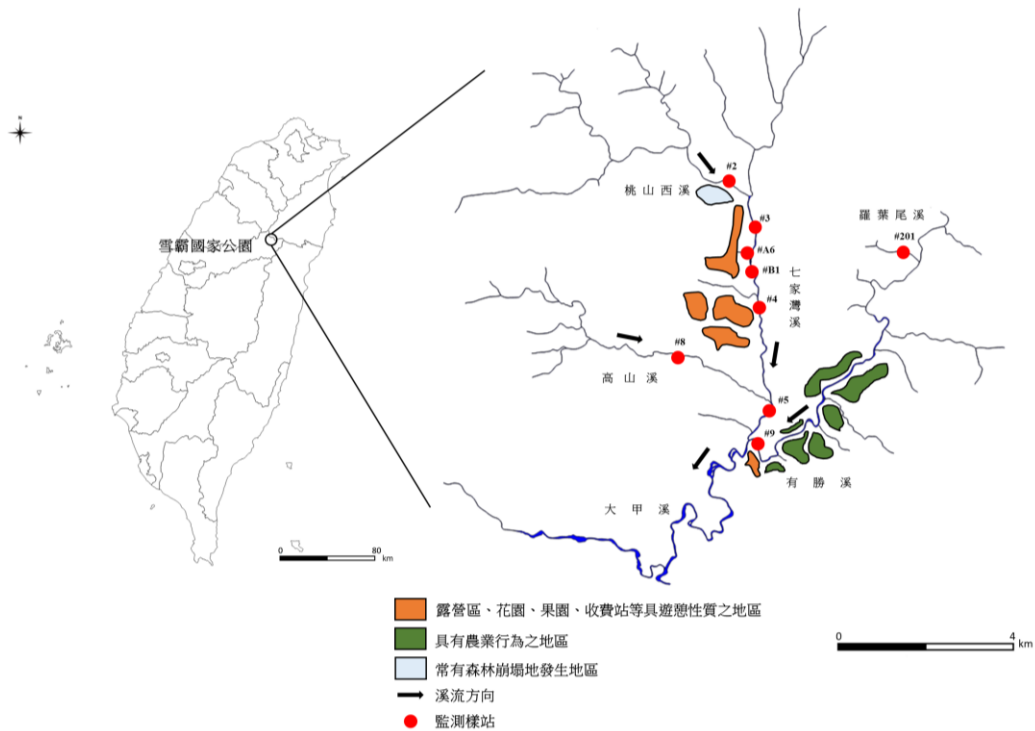


圖 1. 雪霸國家公園武陵地區七家灣溪流流域水質監測測站地理位置圖。

採樣地點包括櫻花鉤吻鮭生存之七家灣溪流流域、高山溪流流域、放流成功之羅葉尾溪以及附近有農田施作的有勝溪流流域。橘色色塊為具有遊憩性質之地區，綠色色塊為具有農業行為之地區，淺藍色色塊為崩塌地發生地區。

材料與方法

一、採樣地點介紹

本研究之水樣與水中微塑膠監測測站分布如圖 1，各測站座標與周邊環境特性如表 1 所示。主流域由上游至下分別是桃山西溪 (#2)、二號壩 (#3)、觀魚台 (#4)、繁殖場 (#5)、有勝溪 (#9)，與支流高山溪 (#8)、以及鮭魚放流點羅葉尾溪 (#201)。另外，在七家灣溪中游右岸設有山溝 (#A6)與排水溝 (#B1)兩測站，僅進行水質監測。

二、水質採樣與分析方法

由於武陵地區溪流深度較淺，研究人員可於各測站溪流的中央定點採樣。首先打開瓶口潤洗三次後朝向水流，並在水深約 8-10 cm 處蒐集樣品，待樣品裝滿後立即將瓶口旋緊，帶至一旁的岸上使用便攜式儀器 (HACH

sension1、Metrohm 914)測定溫度、溶氧量、pH 值、與導電度。採樣時間從為每年的 1、4、7、10 月進行採樣一次。若天氣狀況佳，全數採樣會於一天內完成，若遇大雨則順延至隔日進行採樣。樣本量採取三重複，測得數值均為三重複下平均之結果，待現場測定完成後，以 4°C 並密封保存，運回實驗室進行其他項目分析。

研究方法皆以國家環境研究院公告之標準方法進行，濁度的濃度使用濁度計 (WTW TURB350IR)測定。矽酸鹽使用感應耦合電漿發射光譜儀 (Avio 200)，根據元素特定的波長 (251.611 nm)來定量樣品中的矽酸鹽含量。硝酸鹽氮 (NO_3^- -N)、硫酸鹽 (SO_4^{2-})和氯鹽 (Cl⁻)的濃度是採用離子交換層析管 (DIONEX AS20 4*250 mm)，並使用離子層析儀 (DIONEX ICS-1500)進行分析。亞硝酸鹽 (NO_2^- -N)、氨氮 (NH_4^+ -N)和正磷酸鹽 (PO_4^{3-})的濃度則是透過分光光度計(Perkin Elmer

表 1. 採樣地點地理座標

站號	站名	溪流	地理座標(經緯度)	海拔(m)	環境說明
#2	桃山西溪	桃山西溪	E 121°18'27.0 N 24°23'52.9	1927 m	最上游測站，集水區林地時有崩塌情形，旁有遊客來往之桃山橋為遊客熱門景點。
#3	二號壩	七家灣溪	E 121°18'36.4 N 24°22'55.7	1787 m	測站旁為農場員工休憩地。
#4	觀魚台	七家灣溪	E 121°18'38.0 N 24°22'15.0	1743 m	熱門遊客景點，測站旁設有供遊客觀賞溪岸之平台。
#5	繁殖場	七家灣溪	E 121°18'49.8 N 24°21'16.1	1727 m	溪流旁設有櫻花鉤吻鮭復育池以及生態館，熱門遊客景點。
#8	高山溪	高山溪	E 121°18'30.5 N 24°21'28.3	1786 m	為七家灣溪支流，周遭為原始自然樣貌。
#9	有勝溪	有勝溪	E 121°18'37.9 N 24°20'50.9	1776 m	測站上游有密集的農業活動，測站旁為武陵農場收費口，人車流通頻繁。
#201	羅葉尾溪 放流點	羅葉尾溪	E 121.34758 N 24.39468	2309 m	櫻花鉤吻鮭放流點，長年保持原始自然樣貌。
#A6	山溝	七家灣溪	E 121.30859 N 24.37730	1809 m	上游為密集露營區、花海。
#B1	排水溝	七家灣溪	E 121.31053 N 24.37438	1768 m	上游為密集露營區、花海。

UV/VIS Spectrometer Lambda 16)測定。樣品中的總有機碳 (TOC)使用總有機碳分析儀 (Shimadzu TOC-L^{CPH})測定。

三、微塑膠採樣與分析方法

水中微塑膠僅進行一次 (2023 年 2 月)調查。採樣方法與水質一致，潤洗三次後取水深 8-10 cm 的位置之樣品。採樣瓶則使用不鏽鋼瓶當作容器，容量為 1 L，一個測站採集兩罐，一罐為熱觸法使用，另一罐則是為顯微紅外光譜儀使用。運送過程以 4°C 保存，並且全程密封。微塑膠監測可分為熱觸法 (NIEA M909.00C)的初步觀察以及顯微紅外光譜儀 (μ -FTIR)微粒成分性質辨識。

熱觸法 (NIEA M909.00C)是將水樣過濾至孔徑 1 μ m、大小 47 mm 的濾紙上後，以解剖顯微鏡 (Microtech SZ5T.M2)下觀察濾紙上的物體，並且使用加熱過的金屬解剖針進行試探計數。若濾紙上的物體遇熱後有明顯捲曲、融化等具有塑膠的性質皆予以計算。

微粒成分辨識是將樣品消化過濾至孔徑 25 μ m、大小 1 cm x 1 cm 的不鏽鋼濾片上，並以 μ -FTIR (micro-FTIR iN10 Thermo

Scientific)進行全圖掃描，以 ultra-scan 模式下光圈設定 50 μ m x 50 μ m 進行全掃描，掃完樣品後以其圖譜結果進行分析對比資料庫七大塑膠 (PET、PE、PVC、PP、PS、PC、PA)以及人造纖維等，並以圖像結果說明微塑膠的尺寸大小與樣式，並透過比例尺計算微塑膠大致上的長寬，與進行數量上的計算，其形狀簡易可分為塊狀 (Fragment)與纖維狀 (Fiber)，定義是以長寬比進行分別。如果長寬比大於 3:1，即定義為纖維狀，其餘則定義為塊狀。

四、統計分析

水質研究資料分析是使用 IBM SPSS Statistics 29.0.2.0 軟體 (IBM Corp., Armonk NY)進行，敘述性統計資料圖是使用 OriginPro 2022b 9.9.5.167 (OriginLab Corporation)進行統計資料視覺化處理。每個測站與各數據監測資料互為獨立關係且樣本數為 21 筆，監測濃度資料依測站分組為桃山西溪、二號壩、觀魚台、繁殖場、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪共 7 組，因樣本數未超過 30 不能直接視為常態，故本研究資料使用 Shapiro-Wilk 常態檢定事先評估研究資料是否為常態分佈 ($p=0.05$)，結果得知

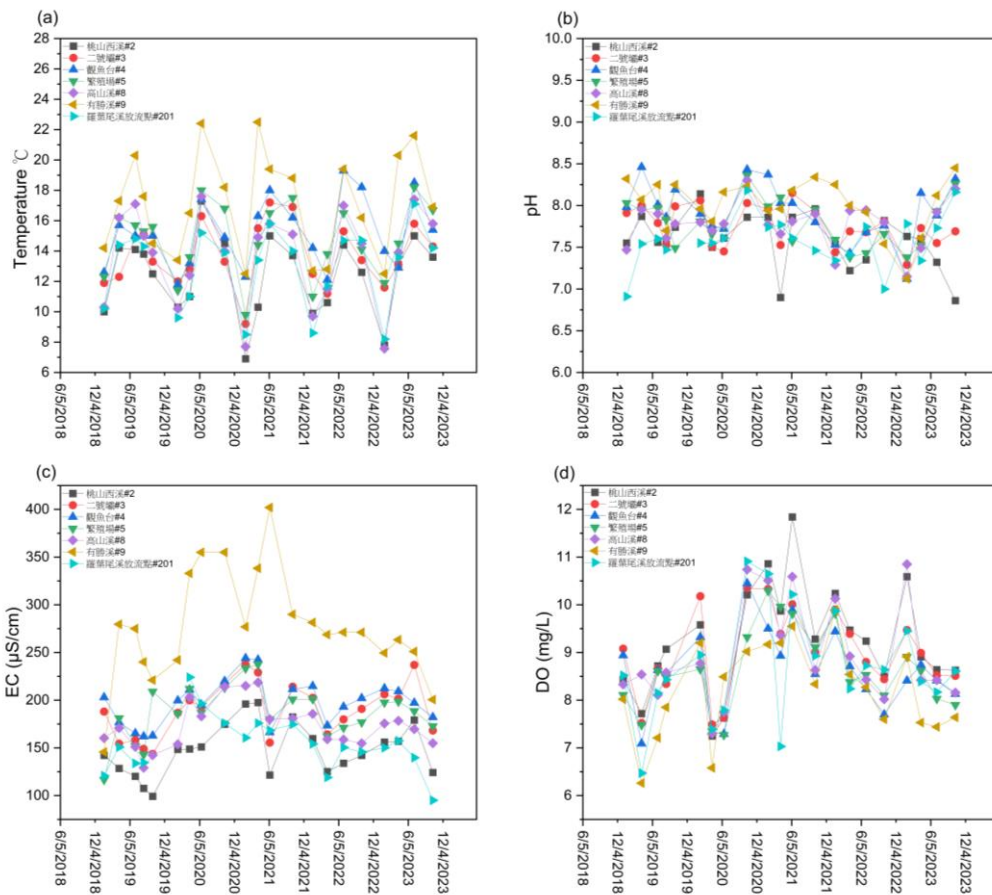


圖 2. 2019-2023 現場測定水質項目 (a)水溫；(b) pH 值；(c)導電度；(d)溶氧量之時間變化情形

資料不全部為常態分佈 ($p < 0.05$)。使用 Kruskal-Wallis test (獨立)多樣本中位數差異檢定 7 組獨立群組中位數是否有差異 ($p = 0.05$)，結果得知欲檢測之資料(Cl^- 、 NO_3^- -N、 EC 、 NO_2^- -N、 SO_4^{2-})在 7 組測站具有顯著差異 ($p < 0.05$)，最後以 Dunn test 進行事後比較測站數值之間的差異性，分析結果之資料量多因此比較之結果以視覺化盒形圖呈現，且列出組間總中位數說明測站間之差異。山溝與排水溝之監測項目 (Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_2)共 9 個設站同上述方法進行統計分析。微塑膠資料量計數與敘述性統計使用 Microsoft Excel 2019 進行處理，計數平均值為全測站加總/測站數，其餘計數則為單測站加總。

結果

一、各測站水質監測數據比較

每個監測項目共有 147 筆資料，分別為 2019-2023 年間，以明顯的乾濕四季 (1 月、4 月、7 月與 10 月)進行七家灣流域水質的各項資料監測。本研究將水質監測結果分群呈現，包括與氣候變遷有關之項目 (圖 2)、與農業施用料有關之項目 (圖 3)、與崩塌及乾濕季有關之項目 (圖 4)，並以折線圖呈現每季與各年間的水質濃度變化。為了解各水質參數在武陵地區不同測站間之差異，以探討周邊土地利用情形對水質之可能影響，本研究以 (獨立)多樣本中位數差異檢定各測站之營養鹽濃度並進行比較分析，結果顯示有勝溪(#9)在導電度、硝酸鹽、亞硝酸鹽、氯鹽、硫酸鹽與其他測站相比均具有差異 ($p < 0.05$) (圖 5)。山溝 (#A6)與排水溝 (#B1)的水質監測在矽酸鹽、磷酸鹽中濃度浮動值高於七家灣溪測站($p < 0.05$) (圖 6)。

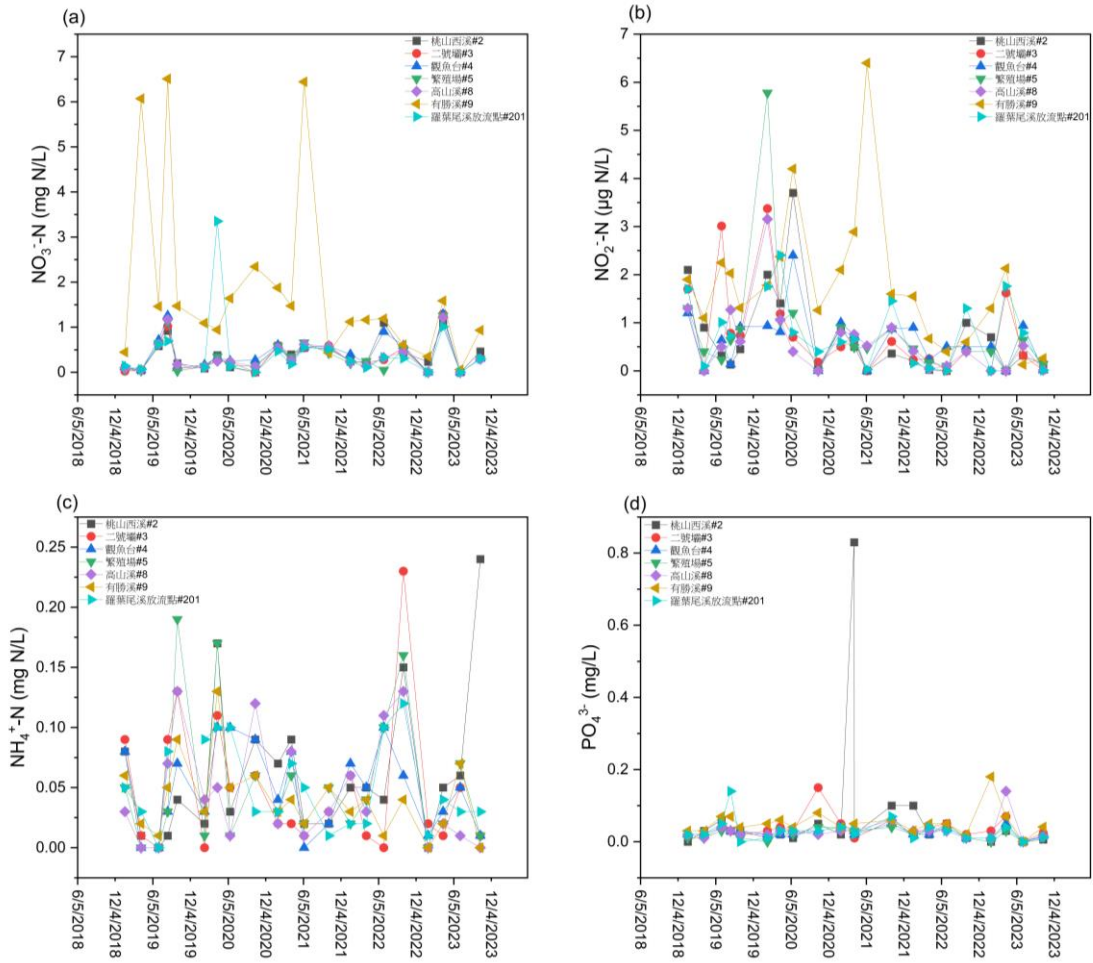


圖 3. 2019-2023 與農業行為有關之營養鹽濃度時間變化。營養鹽濃度會因乾濕季、周遭農業活動而有時空變化。(a)硝酸鹽(b)亞硝酸鹽(c)氨氮(d)磷酸鹽。

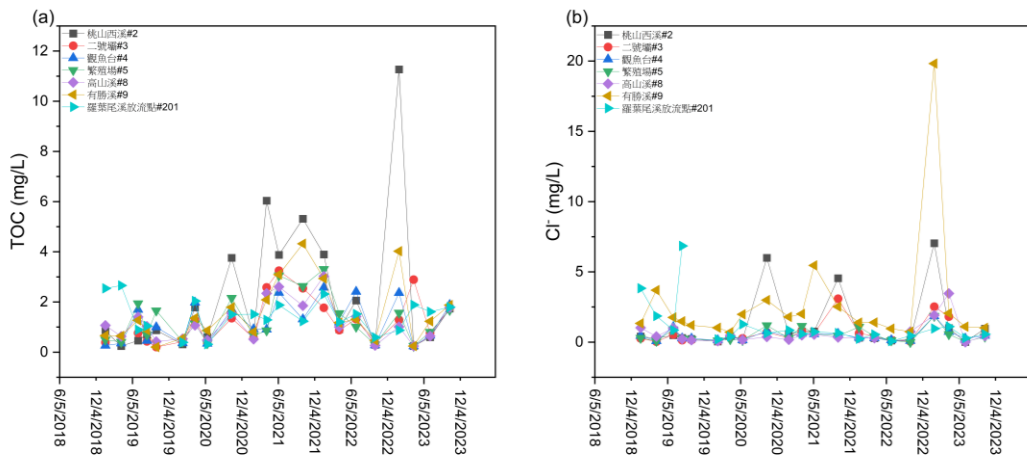


圖 4. 2019-2023 TOC 與濁度之時間變化情形，濃度可能受乾濕季、邊坡崩塌地情形影響。(a)TOC (b)氯鹽。

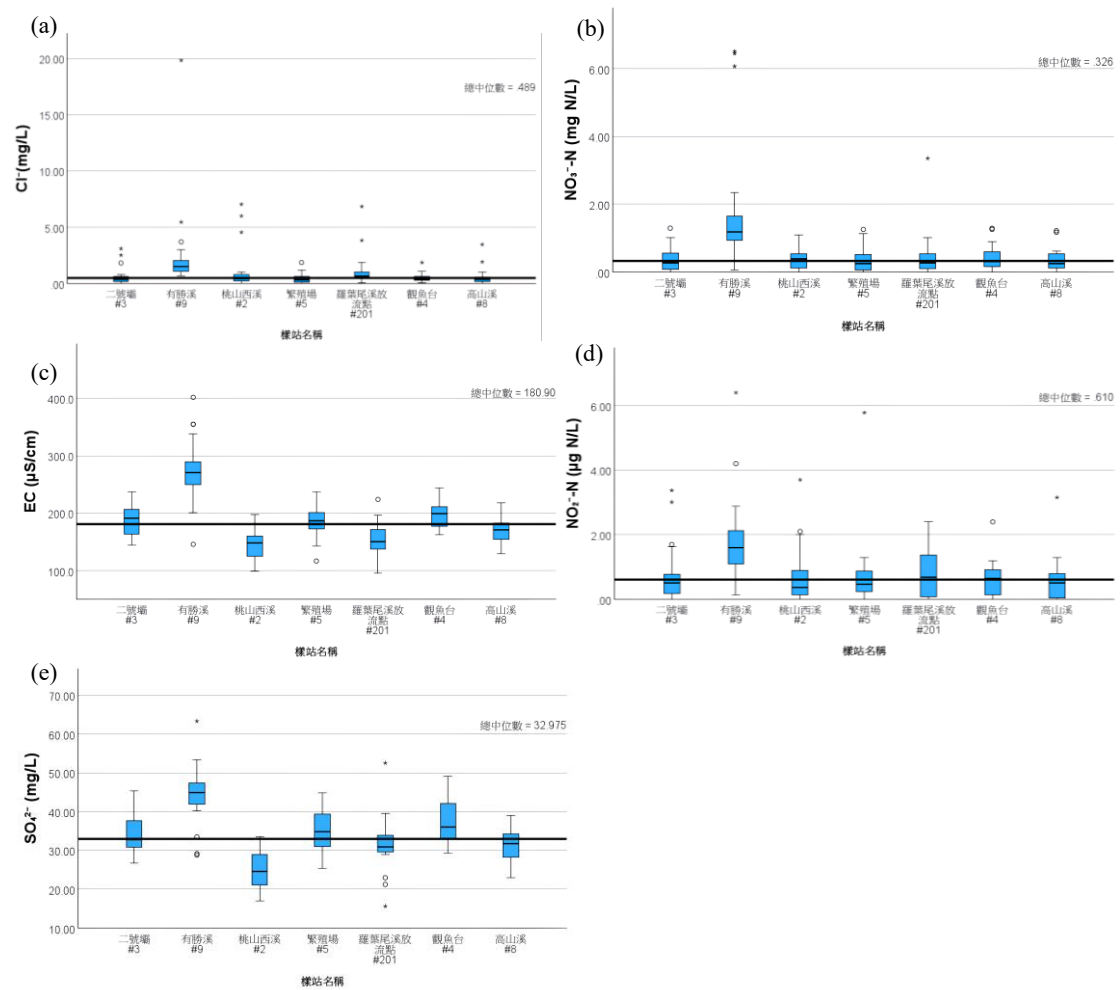


圖 5. 2019-2023 年 Kruskal-Wallis test (獨立)多樣本中位數差異檢定後比較各測站內營養鹽濃度盒形圖。依序為(a)氯鹽(b)硝酸鹽氮(c)導電度(d)亞硝酸鹽氮(e)硫酸鹽，比較結果顯示出有勝溪的各類營養鹽濃度均高於其他測站。盒形圖內三條橫線分別代表上四分位數、中位數和下四分位數；圓形點是偏離值，星號圖案表示極端偏離值，即未落在內籬中的值；盒子外的上下橫線為最大值與最小值，黑色粗線為所有資料的總中位數。

二、熱觸法分析水中微塑膠結果

表 2 為利用熱觸法分析各測站水中微塑膠之結果，僅觀魚台 (#4)與繁殖場 (#5)測得表現出遇熱捲曲的現象 (圖 7)，整體微塑膠數量僅 3 個。藉由熱觸法，可快速簡單初步瞭解在武陵地區溪中，具有纖維狀的物體的存在，但圓珠、片狀等形狀則未觀察到具熱捲曲性之微塑膠，惟因熱觸法為目前國環院唯一公告的水中微塑膠分析方法，故其結果仍具有初篩之代表性。微塑膠長度大小國際定義區間在 1 μm 至 5 mm，熱觸法由於顯微鏡的倍率可視

範圍有限，更小的物體有可能被疏忽，加上只有操作人員使用肉眼上的判斷會造成的誤差，因此不排除有其他微塑膠的可能性。

三、 $\mu\text{-FTIR}$ 定性與定量

使用加熱金屬針配合顯微鏡觀察，未能瞭解微塑膠的化學成分，因此透過 $\mu\text{-FTIR}$ 掃描過濾消化後的樣品，藉由儀器偵測樣品的光譜訊號特性與強度，再與塑膠成分 FTIR 資料庫進行比對，七個測站的水中微塑膠調查結果如表 3 所示。武陵地區七個測站平均值為 2.43

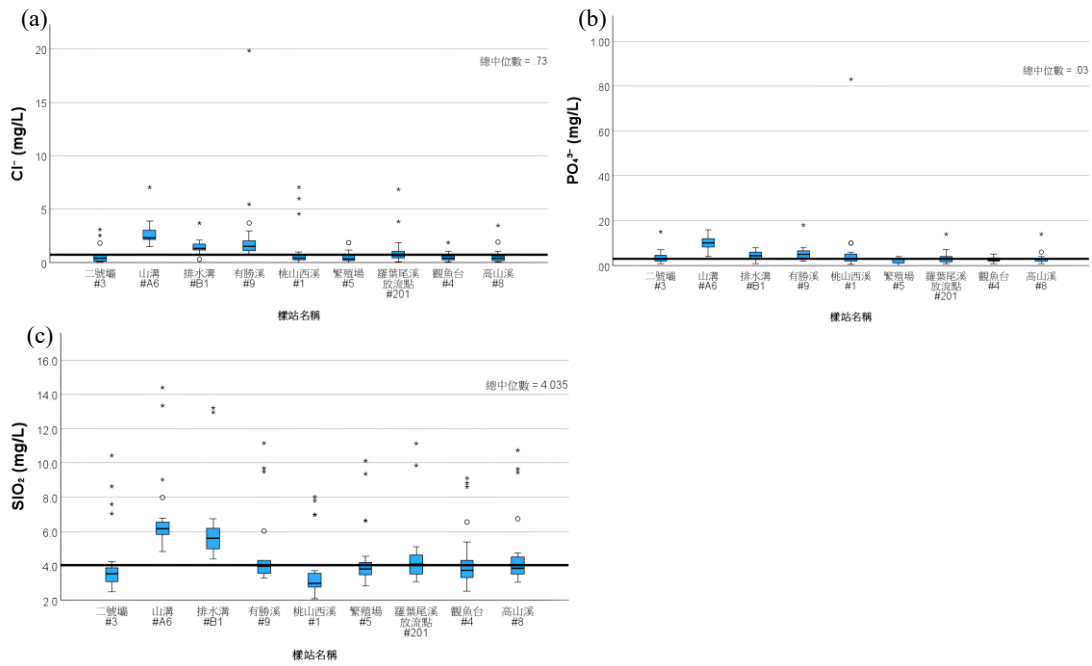


圖 6. 2019-2023 山溝(#A6)、排水溝(#B1)與其他測站進行 Kruskal-Wallis test (獨立)多樣本中位數差異檢定後比較因遊憩行為可能導致的污染盒形圖。依順序分別為(a)氯鹽(b)磷酸鹽(c)矽酸鹽，在三個比較中，以山溝(#A6)測站具有明顯的差異；排水溝則以矽酸鹽類與主流域有明顯差異。盒形圖內三條橫線代表上四分位數、中位數和下四分位數；圓形點是偏離值，星號圖案表示極端偏離值，即未落在內籬中的值；盒子外的上下橫線為最大值與最小值，黑色粗線為所有資料的總中位數。

表 2. 使用熱觸法分析各測站水中微塑膠數量濃度之結果 (#/L)

測站	形狀	顆粒	片狀	纖維
桃山西溪(#2)		-	-	-
二號壩(#3)		-	-	-
觀魚台(#4)		-	-	1
繁殖場(#5)		-	-	2
高山溪(#8)		-	-	-
有勝溪(#9)		-	-	-
羅葉尾溪放流點(#201)		-	-	-

-: 未觀察到熱捲曲性微塑膠



圖 7. 熱觸法計數，左圖為物體在加熱金屬針靠近前的原樣，右圖為加熱金屬針接近纖維狀物體時發生捲曲、形狀改變等特性。

表 3. 使用 μ -FTIR 儀器分析各測站水中微塑膠成分與數量濃度之結果 (#/L)

測站 微塑膠	桃山西溪 (#2)	二號壩 (#3)	觀魚台 (#4)	繁殖場 (#5)	高山溪 (#8)	有勝溪 (#9)	羅葉尾溪 (#201)
PET*	1	-	-	-	-	-	-
PE	-	1	-	-	-	1	-
PVC	-	-	-	-	-	-	-
PP	-	-	-	-	-	-	-
PS	1	-	-	-	-	-	-
PC	-	-	-	-	-	-	-
PA	2	-	-	-	-	-	-
RAYON	-	1	-	1	3	6	-

*polyethylene terephthalate (PET, 聚對苯二甲酸乙二酯); polyethylene (PE, 聚乙烯); polyvinyl chloride (PVC, 聚氯乙烯); polystyrene (PS, 聚苯乙烯); polycarbonate (PC, 聚碳酸酯); polyamide (PA, 聚醯胺); rayon (縲縲, 一種人造絲)。-: 未測得該種成分

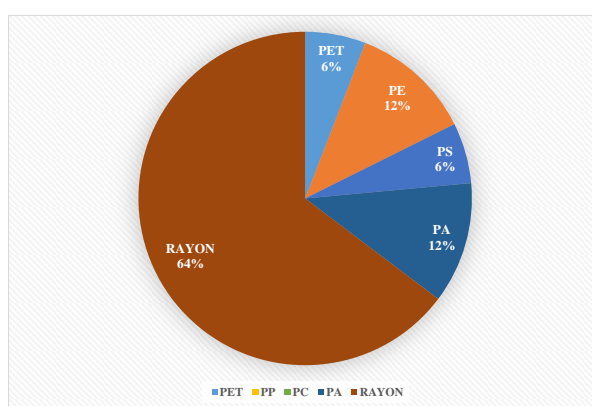


圖 8. 七個測站聚合物成分比例分布情形

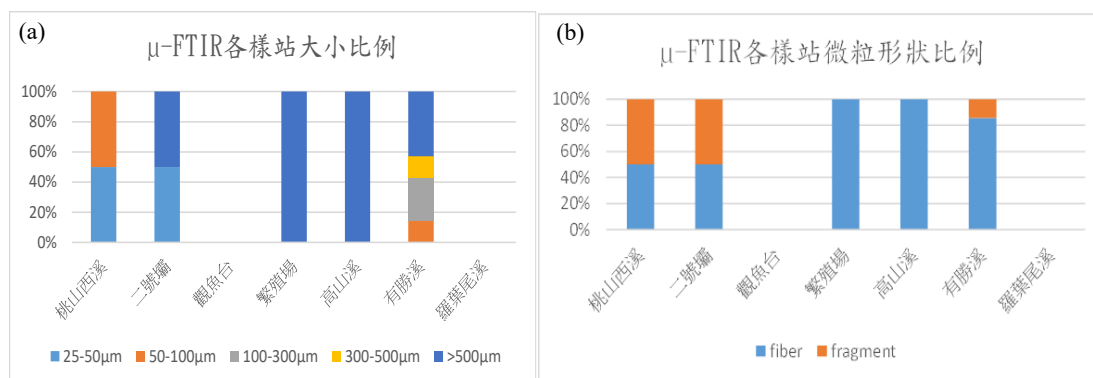


圖 9. 利用 μ -FTIR 測得各測站水中微塑膠之大小與形狀分布情形。(a)大小比例(b)形狀比例

個/L，包含大小不一、材質多樣的微塑膠。各測站中，有勝溪測得最多，共 7 個/L 微塑膠。若以各測站微塑膠的成分進行統計分析（圖 8），縲縲 (Rayon) 佔最大宗約為 64%，其次為聚醯胺 (PA)、聚乙烯 (PE) 各佔 12%，最低則是聚對苯二甲酸乙二酯 (PET)、聚苯乙烯 (PS) 各佔 6%。若以形狀大小進行各測站比較（圖

9），微粒的形式主要為纖維狀 (Fiber)，大小分布在 50->500 μ m 之間，佔 82.3%；17.6% 是以塊狀 (Fragment) 形式出現在大小 25-100 μ m 之間。由上述 μ -FTIR 的結果可知，較小長度的微粒容易呈現塊狀，而較大長度的微粒則多為纖維狀；此外，武陵地區水中微塑膠以人造纖維佔多數，反而常見的七大塑膠成分總和佔



圖 10. 乾濕季水量有明顯差異。七家灣溪流域近觀魚台測站(#4)同一年度分別於(a)豐水期 10 月與(b)枯水期 1 月之對比照片。

比低於四成。

討論

溪流水質受人為活動與季節氣候變化影響甚鉅，這些因子間亦有複雜的交互作用，進而影響水域生態，以及國寶魚臺灣櫻花鉤吻鮭的生存。透過調查監測與數據研析，本研究討論歸納數項重要的影響因子，並據以提出具體可行之棲地保護措施。

一、氣候因子影響水質條件

氣候因子對水質條件的影響是一個複雜而多維的問題，涉及溫度變化、降雨模式以及季節性氣候波動等多個方面。

2019-2023 年期間依季節性變化的溫度上下限大，這一變化對鮭魚棲息可能會有影響。且溫度的上升會影響水體的溶氧濃度和生物活性，還可能加速有機物的分解速率，從而影響水質。

武陵地區水域的乾濕季變化更是加劇了這種影響 (圖 10)。同測站在乾季時水量減少，水體內監測值濃度相對增高，造成濃縮效應；水量大則會導致監測值被稀釋。如圖 4 可發現，2023 年 1 月份桃山西溪測站 (#2) 氯鹽、TOC 的濃度大幅增加，隨後在濕季減少，回復往年的監測範圍。

此外極端氣候的出現更加劇生態系的變化。武陵地區七家灣溪於 2011 年進行一號壩

體拆除工作，經調查結果顯著影響了溪流生態系統的營養結構和功能 (Lin & Lin 2023)。壩體拆除不僅使溪流的連通性恢復，更讓臺灣櫻花鉤吻鮭的生存環境得以改善。然而極端洪水事件對生態系統係數如初級總生產量除以總呼吸量 (total primary production/total respiration) 和生態循環指數 (Finn's cycling index) 有顯著影響，且通常在洪水事件後會下降 (Lin & Lin 2023)。研究指出氣候變遷和極端天氣事件會加劇溪流生態系統的變異，對於長期的生態監測和管理是一項挑戰。

氣候變遷的效應不僅限於溫度上升和降雨模式的改變，還包括颱風強度與數量增加 (Walsh *et al.* 2016)。根據學者的模擬分析，颱風強度增加會對臺灣櫻花鉤吻鮭的數量產生負面影響，尤其是在壩拆除後，颱風所引發的洪水會進一步影響魚群的生存率 (Battle *et al.* 2020)。因此在進行生態系統管理和保育決策時，需充分考慮氣候變遷帶來的風險和挑戰，以確保生態系統的長期穩定和健康。

二、遊憩活動所帶來的水質與微塑膠影響

武陵地區因有櫻花季活動、露營區、雪霸登山口等遊憩活動與景點，每年均吸引不少遊客前往。因此本研究設置山溝與排水溝測站 (圖 1)，以瞭解可能之影響，兩測站集水區內有遊客露營與污水處理後土壤灌入地點。檢視監測結果與趨勢顯示，山溝與排水溝在矽酸鹽、氯鹽以及磷酸鹽均比七家灣流域來的不穩



圖 11. 溪流周邊之人為活動與天然災害可能對水質造成影響(a)有勝溪周遭農田的肥料袋，內含包括胺態氮、硝酸態氮、過磷酸鈣、硫酸銨等植物必須營養素；(b)2020 年桃山西溪測站旁邊坡地施工告示；(c)桃山西溪鄰近邊坡地發生崩塌裸露之情形。

定與較高的中位數 (圖 6)，這些無機鹽類的來源不乏是來自洗滌劑、個人護理產品等相關生活用品，經由山溝排水溝再流入七家灣溪，匯入點測站觀魚台 (#4)。雖因有七家灣溪水流稀釋，該些水質項目濃度上升浮動情形並不明顯，卻也是污染源之一。

本調查結果顯示，武陵地區溪流中已觀察到微塑膠的出現，數量約落在 0-7 個/L 之間，相比其他國家如中國海南 3-10 個/L (Wen *et al.* 2022)；伊拉克摩蘇爾 35-70 個/L、25-71 個/L (Sultan *et al.* 2023)；義大利天然洞穴與地下水 18-911 個/L (Sforzi *et al.* 2024)，武陵地區的濃度顯然低於其他國家檢測到之數量；惟本研究檢測數量較少可能影響研究結論，故仍需收集更長期之監測成果，以進行整體生態影響之評估。經由空間分布分析可發現，有勝溪 (#9)測站因為緊鄰武陵農場收費口人車出入頻繁，大氣沉降、車輛揚塵、遊客活動均可能增加水體受到微塑膠污染，另外遊憩活動產生的生活污水處理系統也應適時更新、確實操作與妥善稽核管理，避免微塑膠排入溪流水域。

三、農業行為的長期影響分析

過去 5 年的水質監測數據綜合分析結果顯示，農業活動對流域水質的影響甚大。導電度的變化反映了水中總礦物質含量及溶解固體物質 (圖 2)，與非農業區域如桃山西溪、七家灣溪、高山溪以及羅葉尾溪相比，有勝溪

(#9)測站的營養鹽類濃度明顯較高，顯示出與農業活動相關的顯著水質影響 (圖 5 (c))。在水質監測的現場工作中，有勝溪下游的採樣點旁記錄到了農業施用化學肥料的情形 (圖 11 (a))。這些肥料的使用與我們測站數據中觀察到的無機鹽類濃度增加有關如氮、磷等，顯示農業活動對周邊水體的直接影響，更可能對特定物種棲地造成潛在的影響。

四、水質保護措施

臺灣櫻花鉤吻鮭的棲息範圍已從日治時代遍及大甲溪上游溪流，減少至目前的七家灣溪、高山溪、桃山西溪與桃山北溪，以及人工放流的司界蘭溪與羅葉尾溪等區域。有勝溪曾為鮭魚自然生長的流域，但近年未見蹤跡，使得復育良好的羅葉尾溪魚群，無法與七家灣溪主流魚群，進行基因交流擴大多樣性。這一現象很可能與有勝溪水域較高的營養鹽濃度有關，這些營養鹽通常源於農業活動，特別是過度使用化學肥料。就長遠目標考量，針對有勝溪附近的農田實施徵收或轉型，將是促進鮭魚族群基因交流和生態系統健康的關鍵策略之一。藉鑑歷史，七家灣溪上游右岸在 2006 年回收 8.1 公頃農用地，直接降低水體中的營養鹽濃度，從而大幅改善水質 (官文惠 2013)，這為生態保護和物種恢復提供了成功的案例。

此外，氣候變化加劇的情況下，水溫的變化和極端天氣事件的增多將進一步限制鮭魚

的活動空間和繁殖機會，使得它們的生存環境變得更加嚴峻。因此，增加溪流兩岸的植被數量，創造更多遮蔭水域，提供適合鮭魚生存的水溫 (<17 °C) 環境，也是保育鮭魚的方法之一。

完備遊憩區生活污水處理設施功能、定期保養維護、確實操作，並強化稽核管理，可大幅降低各種污染物或生活用品成分，如矽酸鹽、磷酸鹽、氯鹽、含氮物質與微塑膠等進入溪流水體；其次，提倡綠色旅遊，鼓勵遊客減少使用一次性物品，使用環保型洗滌劑和個人護理產品，可減少微塑膠或污染物對水質之影響。根據遊憩區之承載量，適度管制遊客數，亦可避免過度的人為活動對自然環境造成破壞。另外，進行濱岸或水域施工時，應採取適當的工法與防護措施，如使用防濁幕或防污膜，以避免邊坡或浚挖的土石泥沙漫入水域，從而保護鮭魚棲地水質 (圖 11 (b) (c))。

結論

臺灣櫻花鉤吻鮭為瀕危的國家保育生物。雪霸國家公園管理處自 1992 年成立以來，透過長期監測擬定保育策略執行各項保育措施，使得國寶魚持續生存於武陵地區溪流中。本文聚焦影響鮭魚生存甚鉅的溪流水質監測與時空變化情形研析。研究結果顯示，受降雨及乾濕季影響，乾旱使得水中污染物因水量減少，產生濃縮效應。露營活動鄰近測站，山溝 (#A6)、排水溝 (#B1) 之水中磷酸鹽、矽酸鹽、氯鹽濃度較高，可能與排泄物與清潔用品使用有關。鄰近農業活動與觀光活動密集之有勝溪 (#9) 測站，則導電度、硝酸鹽、硫酸鹽、氯鹽與其他測站相比均具有顯著差異。利用 μ -FTIR 調查水中微塑膠之結果顯示，各測站中有勝溪 (#9) 微塑膠數量濃度最高。綜合全部測站結果，人造纖維佔比超過 60%，反而七大塑膠佔比較低。武陵地區微塑膠數量濃度落在 0-7 個/L，遠低於文獻中其他國家之數值。

儘管武陵地區的一些流域展現出了明顯

的生態恢復成果，鮭魚族群仍然無法有效拓展至有勝溪，各項水質監測結果亦顯示有勝溪受人為活動影響顯著。從長遠目標考量，針對有勝溪附近的農田回收和轉型，將是促進鮭魚族群基因交流和生態系統健康的關鍵策略之一。氣候變化加劇的情況下，水溫的變化和極端天氣事件的增多將進一步限制鮭魚的活動空間和繁殖機會，使得它們的生存環境變得更加嚴峻。因此從短期水質目標考量，可以增加溪流兩岸的植被數量，從而製造更多遮蔭條件，以降低水溫。此外，遊憩活動人數管控、污水妥善收集與處理、濱岸與水域短期施工之水質保護措施等均需要跨部門的合作和社區的參與，以確保生態恢復計畫成功，並為當地居民提供永續發展的替代方案，從而平衡生態保護和社會經濟發展。

誌謝

感謝內政部國家公園署雪霸國家公園管理處、台中市政府、以及武陵農場協助團隊進行雪霸國家公園溪流棲地監測計畫 (SP112118) 之執行。

引用文獻

- 王敏昭。1998。七家灣溪濱岸保護帶地下水質之監測。內政部營建署雪霸國家公園研究報告。
- 王敏昭。2003。七家灣溪沿岸土地各利用型態對溪流生態影響之研究。內政部營建署雪霸國家公園研究報告。
- 吳易峰。2020。新武呂河流域之硫酸鹽來源與微生物黃鐵礦氧化作用。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 官文惠。2013。還給國寶魚一個乾淨的流域，淺談臺灣櫻花鉤吻鮭放流與歷史棲地調查。國家公園季刊。
- 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。
- 張石角。1989。櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農委會研究報告。
- 楊秋忠。1997。植物營養與施肥要領土壤與肥料第六版。農世股份有限公司。
- 鄒玲媛、承憲成。2002。非離子氨(UA)水質評價指標及換算方法。
- Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Kelly FJ, Dominguez AO & Jaafarzadeh N. 2019. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental pollution* 244:153-164.
- Allen S, Allen D, Phoenix VR, Le Roux, G, Durántez Jiménez P, Simonneau A, . . . Galop D. 2019. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience* 12(5):339-344.
- Amato-Lourenço LF, dos Santos Galvão L, de Weger LA, Hiemstra PS, Vijver MG, & Mauad T. 2020. An emerging class of air pollutants: potential effects of microplastics to respiratory human health? *Science of the total environment* 749, 141676.
- Battle L, Chang H-Y, Tzeng C-S. & Lin H-J. 2020. Modeling the impact of dam removal on the Formosan landlocked salmon in the context of climate change. *Aquatic Sciences* 82:1-11.
- Cesa FS, Turra A, & Baruque-Ramos J. 2017. Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Science of the total environment* 598:1116-1129.
- Chang C, Kuan W, Lui P, & Hu C. 2008. Relationship between landscape characteristics and surface water quality. *Environmental monitoring and assessment* 147:57-64.
- DIRECTIVE 2006/44/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 September 2006. on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Official Journal of the European Union.
- Dris R, Gasperi J, Rocher V, Saad M, Renault N, & Tassin B. 2015. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry* 12(5):592-599.
- Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, & Tassin B. 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Marine pollution bulletin* 104(1-2):290-293.
- Dubber D, & Gray NF. 2010. Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 45(12):1595-1600.
- Hsu C-B, Tzeng C-S, Yeh C-H, Kuan W-H, Kuo M-H, & Lin H-J. 2010. Habitat use by the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus*. *Aquatic Biology* 10(3):227-239.
- Jia Q, Duan Y, Han X, Sun X, Munyaneza J, Ma J, & Xiu G. 2022. Atmospheric deposition of microplastics in the megalopolis (Shanghai) during rainy season: Characteristics, influence factors, and source. *Science of the total environment* 847, 157609.
- Klein M, & Fischer EK. 2019. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the total environment* 685:96-103.
- Kuan W-H, & Chen Y-L. 2014. Land-use type of catchment varying nitrogen cycle in an endangered salmon inhabited stream. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(4).
- Kuo Y-M, Yu H-L, Kuan W-H, Kuo M-H, & Lin H-J. 2016. Factors controlling changes in epilithic algal biomass in the mountain streams of subtropical Taiwan. *Plos one* 11(11), e0166604.
- Kuan W, Chen Y, Yeh C, & Huang Y. 2019. Integrated habitat monitoring of environmental features to site the releasing of cultivated *Oncorhynchus masou formosanus*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Lin A-C, & Lin H-J. 2023. Long-term response of trophic structure and function to dam removal in a subtropical mountain stream. *Ecological Indicators* 156, 111136.
- Luo W, Su L, Craig NJ, Du F, Wu C, & Shi H. 2019. Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental pollution* 246:174-182.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. 2016. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology* 50(11):5800-5808.
- Sforzi L, Tabilio Di Camillo A, Di Lorenzo T, Galassi DMP, Balestra V, Piccini L, Chelazzi D. 2024. (Micro-) Plastics in Saturated and Unsaturated Groundwater Bodies: First Evidence of Presence in Groundwater Fauna and Habitats. *Sustainability* 16(6):2532.
- Sharpley A. 1995. Fate and transport of nutrients: Phosphorus: USDA.
- Shruti V, Pérez-Guevara F, Roy PD, & Kutralam-Muniasamy G. 2022. Analyzing microplastics with Nile Red: Emerging trends, challenges, and prospects. *Journal of hazardous materials* 423, 127171.
- Sultan MH, Al-Ahmady KK, & Mhemid RKS. 2023. Microplastics Evaluation in Tap Water in Left Side Districts of Mosul City, Iraq. *Journal of Ecological Engineering* 24(8).
- Walsh KJ, McBride JL, Klotzbach PJ, Balachandran S, Camargo SJ, Holland G, Sobel A. 2016.

- Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 7(1):65-89.
- Wang W, Ge J, & Yu X. 2020. Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and environmental safety* 189, 109913.
- Waziri M, & Ogugbuaja V. 2010. Interrelationships between physicochemical water pollution indicators: A case study of River Yobe-Nigeria. *American Journal of Scientific and Industrial Research* 1(1):76-80.
- Wen S, Yu C, Lin F, & Diao X 2022. Comparative Assessment of Microplastics in Surface Water and Sediments of Meishe River, Haikou, China. *Sustainability* 14(20):13099.
- Wh W. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook, 537.
- Yang J, Monnot M, Sun Y, Asia L, Wong-Wah-Chung P, Doumenq P, & Moulin P. 2023. Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Methodology approach for characterization using micro-FTIR spectroscopy. *Water research* 232, 119711.
- Yusuf A, Sodiq A, Giwa A, Eke J, Pikuda O, Eniola JO, Bilad MR. 2022. Updated review on microplastics in water, their occurrence, detection, measurement, environmental pollution, and the need for regulatory standards. *Environmental pollution* 292, 118421.
- Zhu X, Huang W, Fang M, Liao Z, Wang Y, Xu L, . . . Deng H. 2021. Airborne microplastic concentrations in five megacities of northern and southeast China. *Environmental science & technology* 55(19):12871-12881.