

# 觀霧山椒魚偏好環境選擇及潛在分布 推估

雪霸國家公園管理處委託辦理研究報告

中華民國 105 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)

# 觀霧山椒魚偏好環境選擇及潛在分布 推估

受委託者：中國文化大學 生命科學系

中國文化大學 森林暨自然保育系

研究主持人：巫奇勳 助理教授

協同主持人：謝佳宏 助理教授

研究人員：李昱、洪念民(中國文化大學 地理系 副教授)、劉鎮、楊

智誠、鐘意淳、梁桓瑄、周家成、陳汲緘

雪霸國家公園管理處委託辦理研究報告

中華民國 105 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

目次.....	III
誌謝.....	IV
表次.....	V
圖次.....	VI
摘要.....	VIII
第一章、緒論.....	10
第二章、材料與方法 .....	13
第三章、結果與討論 .....	22
第四章、結論與建議 .....	63
第五章、參考文獻 .....	67
附錄.....	72

## 誌謝

本研究的完成要感謝以下參與人員，主要參與野外調查與室內實驗執行的李昱、劉鎮與楊智誠，以及執行分生實驗的周家成與鐘意淳。感謝本校地理系洪念民副教授協助分析山椒魚分布預測與氣候變遷推估。此外，也要感謝以下人員協助野外調查，包括梁桓瑄、陳汲緘、薛永志、陳昱承、李育賢以及李修竹。研究初期，要特別感謝與感念已故的國立台灣師範大學生命科學系的賴俊祥博士(於今年6月27日意外過世)，以及感謝國立宜蘭大學毛俊傑助理教授分別提供北插天山與棲蘭山採集樣點的資訊。本研究部分的資料分析來自國立中興大學生命科學系的吳聲海教授研究室與賴俊祥博士。

## 表次

表 3-1. 觀霧山椒魚捕獲記錄 .....	25
表 3-2. 觀霧地區山椒魚的捕獲率比較 .....	27
表 3-3. 山椒魚最大垂直與水平移動距離 .....	32
表 3-4. 各測站與鄰近氣象站相關係數 .....	47
表 3-5 日溫度特性相關係數 .....	50
表 3-6 日溫度特性差值相關係數表 .....	50
表 3-7 乾溼兩測站溫度日資料線性迴歸結果 .....	52
表 3-8 觀霧山椒魚( <i>Hynobius fuca</i> )粒線體 <i>cyt-b</i> 基因遺傳多樣性分析，包括單 倍基因型多樣性 ( $h$ )、核苷酸多樣性 ( $\pi$ )、Tajima's $D$ 和 Fay and Wu's $F$ 檢測.....	59
表 3-9 觀霧山椒魚( <i>Hynobius fuca</i> )族群間粒線體 <i>cyt-b</i> 基因遺傳距離 (Genetic distance) 與遺傳分化指數 (Fixation index, $F_{ST}$ ) (粗體字)..	60
附錄 審議資料.....	72

## 圖次

圖 2-1. 觀霧長期監測的樣區 .....	13
圖 3-1. 山椒魚下頷圖譜 .....	28
圖 3-2. 觀霧地區山椒魚的月數量變化 .....	29
圖 3-3. 各調查點遮蔽物底下所調查到的其他動物與利用比率 .....	29
圖 3-4. 重複捕捉個體的活動範圍推估。圖例不同顏色的圓圈表示不同個體 .....	30
圖 3-5. 重複捕捉個體的經緯度分布。圖例不同顏色的圓圈表示不同個體 .....	31
圖 3-6. 觀霧山椒魚的平均移動海拔 .....	31
圖 3-7. 線團裝置由背心(A 款背心)與線團所組成 .....	33
圖 3-8. 背心套在山椒魚後的背面觀 .....	33
圖 3-9. 嘗試過的背心設計(B 款背心) .....	33
圖 3-10. 嘗試過的背心設計範例(C 款背心) .....	33
圖 3-11. 巨木群步道遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	36
圖 3-12. 大鹿林道西線遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	37
圖 3-13. 試驗棲地遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	38
圖 3-14. 大鹿林道東線遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	39
圖 3-15. 榛山步道遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	39
圖 3-16. 北插天山遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化 .....	40
圖 3-17. 所有樣區遮蔽物底下同時期(2016/5/1~2016/6/18)的均溫變化比較 .....	41
圖 3-18. 觀霧地區(巨木與大鹿林道西線)與北插天山氣溫濕度變化 .....	42
圖 3-19. 不同樣區個體未馴化個體的溫度耐受度表現 .....	44
圖 3-20. 不同樣區個體在 15°C 馴化後的溫度耐受度表現 .....	45
圖 3-21. 不同樣區個體在 20°C 馴化後的溫度耐受度表現 .....	45
圖 3-22. 不同地區個體在 15°C 與 20°C 馴化後的溫度偏好 .....	45
圖 3-23. (a)小時溫度資料變化情形 .....	48
圖 3-23. (b)小時溫度資料變化情形 .....	49
圖 3-23. (c)小時溫度資料變化情形 .....	50
圖 3-24. 月平均觀測資料與氣象站資料月 .....	54

圖 3-25. 氣象站在世紀中與世紀中各月份溫度情形(GISS).....	55
圖 3-26. 觀測點在氣候變遷下溫度變化情形 .....	56
圖 3-27. 世紀中在濕潤條件下山椒魚棲地環境的衝擊 .....	57
圖 3-28. 世紀中在乾燥條件下山椒魚棲地環境的衝擊 .....	57
圖 3-29. 山椒魚粒線體 cyt-b 基因序列利用最大似然性法(ML)重建之親緣 關係樹，分支節點值表支持程度，分別為最大似然性法、最大儉約 法(MP)、鄰域加入法(NJ)之 bootstrap 與貝葉氏導出式之後檢驗概 率值(BI).....	62
圖 3-30. 觀山椒魚粒線體 cyt-b 基因序列利用最大似然性法(ML)重建之親 緣關係樹，分支節點值表支持程度，分別為最大似然性法、最大儉 約法(MP)、鄰域加入法(NJ)之 bootstrap 與貝葉氏導出式之後檢驗概 率值(BI).....	62

## 摘要

全球暖化潛在地影響物種的分布，對於熱帶及亞熱帶地區物種衝擊更為嚴重，如生活在低緯度高海拔的山椒魚。欲瞭解全球暖化對山椒魚的可能衝擊，整合微棲地溫度資料、個體活動模式、溫度生理學與族群遺傳學的資料分析有其必要性，將有助於更深入的評估氣候暖化對牠們的潛在影響。本計畫主要目標在透過個體追蹤方法瞭解觀霧山椒魚的微棲地利用與活動模式、研究溫度偏好以及預測氣候變遷對其分布的影響。透過重複捕捉個體資料，顯示個體對棲地的高依戀性與低移動性。觀霧山椒魚的選溫偏好不受馴化溫度所影響，顯示觀霧山椒魚面對氣候暖化時，可能無法即時反應棲地溫度環境的改變去調整溫度偏好以適應新的環境，如此我們會預期暖化會對族群產生一定的衝擊。在模擬氣候變遷衝擊的評估方面，目前的結果顯示，乾燥環境條件的棲地所受到衝擊會較大，是未來棲地保育應注意的地方。親緣關係樹分析，顯示觀霧山椒魚可區分為3大支系，觀霧支系(GW)、北橫支系(NCIH)與棲蘭山支系(K)。族群遺傳多樣性分析，顯示觀霧支系族群間無顯著遺傳分化，可視為單一族群。大鹿林道西線相對觀霧地區其他族群遺傳多樣性較高，推測棲地環境的多樣性助於遺傳多樣性維持，未來氣候變遷下利於族群的適應演化。親緣地理分析，支持觀霧山椒魚由低海拔往高海拔拓殖假說，山脈的地質變動事件，可能導致族群分化與種化。

**關鍵字:** 觀霧山椒魚、溫度偏好、馴化能力、族群遺傳、氣候暖化



## Abstract

Global warming potentially influences species distribution, especially for tropical and subtropical species, such as *Hynobius* salamanders living on high mountains at low latitudes. Integrating data of microhabitat temperature, patterns of individual movement, thermal physiology, and population genetics of *Hynobius* salamanders is necessary if we want to predict the potential effects of global warming on them. The main aims of this project are to investigate microhabitat selection and patterns of individual movement by tracking methods, to study preferred temperature, and to predict impacts of climate change on distribution of *Hynobius fuca*. A limited mark-recapture data showed that *H. fuca* moved little and exhibited strong site-fidelity. Acclimation temperature did not influence the selected temperature of *H. fuca*, suggesting they may not adjust preferred temperature in response to temperature variation of habitat for adaptation to new environment. Therefore, we predict they would be impacted by climate change. Additionally, modeling climate change impacts on their habitats indicated that a dry area they distribute is expected to be strongly impacted by climate change. Phylogenetic analysis revealed that *H. fuca* could be divided into three clades, the GW clade, the NCIH clade and the K clade. Population genetic analysis indicated no significant genetic differentiation among populations in Guanwu region. The four populations of Guanwu region could be combined into a single population. The genetic diversity of SW was higher than other populations. The higher habitat heterogeneity might help to maintain the higher genetic diversity. Phylogeographic analysis supported that *H. fuca* dispersed from low altitude to high altitude. Geological events might induce population differentiation and speciation.

**Keyword:** *Hynobius fuca*, thermal selection, acclimation capacity, population genetics, and climate warming

# 第一章、緒論

## 一、研究緣起與目的

面對氣候暖化的威脅，棲息於高海拔的物種，特別是外溫動物，被認為首當其衝。目前一些研究認為亞熱帶或熱帶物種會比溫帶物種面臨更大的暖化危機(Deutsch et al. 2008; Tewksbury et al. 2008)。生活在低緯度高海拔的山椒魚被認為是最適合用來評估氣候暖化對生態系影響的指標生物(呂與賴 2010)。台灣是世界山椒魚科動物分布的最南界，即台灣的山椒魚是分布在世界緯度最低的區域，由於山椒魚屬於偏好低溫條件的溫帶生物，因此預期牠們未來將是受暖化威脅影響最大的物種類群之一。要評估氣候暖化對山椒魚的影響，整合野外棲地溫度變化資料、溫度生理學與族群遺傳學的資料分析有其必要性，將有助於更深入的評估(巫與謝 2015)。

觀霧山椒魚為台灣晚近才發表的山椒魚，是台灣海拔可分布最低的山椒魚(Lai and Lue 2008)。觀霧山椒魚在台灣分布皆在雪山山脈西北側，由北至南，目前已知的分布地點包括北插天山、南插天山、拉拉山、明池、100 線林道、霞喀羅、170 線林道、觀霧與大鹿林道西線(呂與賴 2010)。北插天山為目前已知海拔分布的最低點(海拔 1310 公尺)，而觀霧地區則是目前已知海拔分布的最高地點(海拔 2230 公尺)(呂與賴 2010)，此兩區也是目前已知觀霧山椒魚族群較穩定的地區(呂與賴 2010；歐等 2014；巫與謝 2015)。從目前初步完成的觀霧山椒魚族群遺傳分析資料顯示地區遺傳多樣性偏低，地區內的樣點間無顯著遺傳分化，評估全球暖化發生時，遺傳結構單純，可能影響對環境的適應性改變，有導致滅絕的可能；而從有效族群大小變動分析，則指出最近一次最大冰期時的觀霧山椒魚呈現族群擴張現象，冰河退去進入間冰期時則顯示族群衰退現象(巫與謝 2015)。此

外，初步分子親緣關係樹與親緣地理已顯示觀霧族群與北橫族群(低海拔族群)有顯著遺傳分化，也指出觀霧山椒魚由低海拔往高海拔拓殖(巫與謝 2015)，因此，可預期其族群差異也可能反應在溫度生理的表現上。

從觀霧山椒魚所利用的微棲地的溫度資料可知，微棲地維持相對穩定的低溫，可能是吸引觀霧山椒魚利用的主要因素之一(巫與謝 2015)。觀霧山椒魚的高溫耐受度(Critical Temperature Maximum: CTMax)約 30°C，會表現一定的溫度馴化能力，從不同樣點觀霧山椒魚的暖化耐受度表現不同來看，顯示不同棲地個體未來面臨氣候暖化威脅不同，凸顯維護山椒魚棲地的重要性(巫與謝 2015)。然而，雖然目前我們已經對觀霧山椒魚的微棲地的基本條件(毛 2009; 呂與賴 2010; 歐等 2014)，特別是溫度條件與變化(巫與謝 2015)，以及溫度生理表現有基礎的瞭解，但對於其活動模式、活動距離與範圍，以及微棲地選擇與溫度偏好之間的關係所知仍十分有限。呂與賴(2010)曾依據北插天山觀霧山椒魚的重複捕捉資料，估計其活動範圍約 2.5 至 55.8 m<sup>2</sup>，但沒有實際使用追蹤技術去實際瞭解其活動模式與範圍。從有尾類的微棲地利用習性來看，其微棲地利用常受到濕度所限制，因此牠們利用的微棲地可能都屬於溫度異質性較低的環境(即較不能提供多樣溫度選擇條件的微棲地)，這使得牠們常被認為不善於以行為方式選溫(Camp et al. 2013)，倘若如此，在氣候暖化下，牠們將無法因應環境溫度條件改變去適當調整自己的溫度偏好，而限制牠們的棲地利用與分布，進而影響族群的延續。然而，目前我們缺乏對觀霧山椒魚的溫度偏好的瞭解，這將不利於未來的保育以及評估氣候暖化對牠們的可能威脅。透過野外與室內的基礎生理生態資料收集，無論對於觀霧山椒魚潛在的分布範圍，或者預測暖化對其分布改變上的模擬也將非常重要。

## 二、研究目標

- (一) 觀霧山椒魚潛在分布模擬及活動範圍追蹤試驗。
- (二) 辦理觀霧山椒魚偏好環境(溫、濕度)選擇的生理試驗，以瞭解山椒魚傾向棲息物理環境。
- (三) 以偏好環境資料，預測大環境溫度改變對山椒魚分布的可能影響。
- (四) 辦理觀霧山椒魚巨棲地與微棲地溫度與濕度的監測及觀霧山椒魚族群數量與時空分布監測。

執行重點將包括：(1) 進行不同的個體追蹤方法測試，評估個體野外追蹤的可行性，進而能瞭解其日夜與季節性的活動模式、活動距離與範圍，以及微棲地選擇與環境因子(特別是溫度)之間的關係；(2) 透過室內的選溫裝置以瞭解山椒魚的溫度偏好、選溫能力與溫度馴化對選溫的影響。(3) 延續過去監測樣點，持續執行山椒魚族群的時空分布調查與微棲地溫度資料收集。

此外，遺傳多樣性的維持對於觀霧山椒魚的環境適應與保育策略將扮演重要的角色，而現存各族群的遺傳多樣性分析有其必要性。北橫沿線是除了觀霧地區外，族群數量較穩定的地區，特別是北插天山(呂與賴 2010)。本年度將針對北橫族群進行採樣與遺傳多樣分析，並與觀霧族群進行比較，結合北橫與觀霧地區的族群樣本，可得知兩地族群基因交流程度，分子資料將可更完整評估觀霧山椒魚有效族群量，提供遺傳結構資訊，將有助於擬定遺傳多樣性維持的策略。此外，透過進一步的族群間的遺傳分化與溫度生理表現比較，將可能凸顯觀霧地區觀霧山椒魚保育上的重要性與特殊性。

## 第二章、材料與方法

### 一、研究地區

本研究的主要研究地點包括：(1)觀霧地區(平均海拔高度約2100公尺)：包括遊憩區及周邊地區，包括觀霧山椒魚試驗棲地及其周邊、大鹿林道東線及西線、巨木群步道、榛山步道等地區；(2)棲蘭山地區(平均海拔高度約1900公尺)：主要包括該區100、130與160線林道；(3)北插天山族群(平均海拔高度約1300公尺)。族群長期監測與個體追蹤以觀霧地區的族群為主(圖2-1)，其他地區的個體與微棲地資料收集主要做為遺傳多樣性、溫度生理學的研究比較以及之後的潛在分布推估。



圖2-1. 觀霧長期監測的樣區。

## 二、研究方法

### A. 族群調查方法與監測

自 2016 年 3 月開始進行調查。族群調查與監測方式將採固定範圍法 (area-constrained survey)，此法為國內山椒魚調查所建議採用(呂光洋 and 賴俊祥 2010, 2012)。觀霧地區的監測頻度每個月一次，其他地區則視採集需求調整頻度。調查時採多人進行。調查時，沿著樣區，徒手翻開石頭或倒木(並記錄翻閱數)，檢視是否有山椒魚，記錄調查開始與結束時間，並記錄當時的氣溫與天候。此外，在翻尋的過程中，若在遮蔽物底下有發現其他動物(主要是脊椎動物與蟻窩等資料)也會一併做記錄。翻到山椒魚時，會在發現處旁插入標牌並編號，同時紀錄微棲息地的相關資料，包括遮蔽物類型(石頭或木頭)以及記錄上面是否長有苔蘚或其他植物。會將捕獲的山椒魚進行體重測量，並將個體擺放至方格紙上拍照記錄；由於觀霧山椒魚的下頷斑紋可做為個體辨識(歐辰雄 et al. 2014)，因此也特別針對下頷進行拍照。頭長、頭寬、體長以及尾長的測量是使用 image J 軟體 (<http://imagej.nih.gov/ij/>)進行照片上的測量。

### B. 動物採集與微環境測量

不定期自各樣區採集山椒魚以做為之後的溫度耐受度測量使用。採集時會同時記錄當時的氣溫。動物採集後均置於塑膠罐內，並擺放沾濕的海綿或落葉，然後擺入內有冰磚的冰桶內，目的是為了維持運送過程中的低溫條件以及避免溫度有太大的波動。動物帶回實驗室後，會飼養在加蓋的塑膠箱內，並擺入有自然光周期(12 小時光亮與 12 小時黑暗)的動物生長箱內，飼養溫度維持在 15°C(為原棲地的平均氣溫，數據參考自歐等 2014)。飼養期間會提供水、充足的食物(以蚯蚓為主)與石塊提供躲藏。所有採集飼養的動物最後都會帶回原發現環境釋放。

一旦發現山椒魚，會在其躲藏環境底下擺放溫度自動記錄器(HOBO data logger)，以記錄這些被山椒魚所利用環境的溫度時間變化，溫度計設定每 4 小時記錄一次。之後會計算月均溫、月平均高溫以及月平均低溫，月平均高溫是每天記錄到的最高溫平均值，月平均低溫則是每天記錄到的最低溫平均值。此外，也在觀霧地區的巨木群林道與大鹿林道西線，以及北插天山架設自動溫濕度記錄器，記錄氣溫(°C)與相對濕度變化(%)。

### C. 個體活動範圍與移動距離推估，以及追蹤方法測試

為推估山椒魚的活動範圍以及水平與垂直的移動距離，本研究利用歷年(歐等 2014; 巫與謝 2015)與本年度重複捕捉到個體資料進行分析，於地理資訊系統(Geography information system, GIS)繪製其活動範圍。使用開源軟體 Quantum GIS 2.12 版分析數位地理資訊，底圖來源源自 Google earth 2016 年衛星圖資。若個體被重複捕捉至少兩次，計算重複捕捉樣點間的水平距離與海拔高度差。若有個體被重複捕捉少三次，可利用最小凸多邊形法(minimum convex polygon)分析觀霧山椒魚個體活動範圍，可得知其大略活動範圍與活動範圍面積。

本研究測試線團追蹤法(thread bobbin tracking)追蹤山椒魚活動模式的可行性，此方法是目前常被用來追蹤小型兩棲類動物的方式之一 (Rittenhouse et al. 2006)，在國內已被應用在追蹤森林活動的兩棲類動物，研究其微棲地利用與活動距離(張 2002)。目的是希望透過野外個體的追蹤，瞭解包括個體微棲地選擇與其條件(微棲地類型、底質溫度或濕度)、活動模式(日夜、季節)、移動距離、繁殖遷移以及活動範圍推估。測試時，會嘗試製作各種如背心的裝置將線團固定在個體背上。利用白色釣魚線 (Master-F 0.1 號規格的釣魚線，SAKI 株氏會社，日本製造)製成繭狀線團，然後固定在預設的背心讓山椒魚背在身上。考量山椒魚的負重能力，預設山椒魚身上所背負的線團重量約 0.2g 至 0.3g 之間，線長約 20m，整組線團系統小於動物體重的 5% (張 2002)。線團以測試束線帶繞過胸部，如背

包式穿戴方法固定於山椒魚背上。之後預計將另一端的線頭綁在參考點的固定物(如樹枝、大型石頭)上，並以 GPS 紀錄參考點的座標，裝置完成後，利用螢光標記做為個體辨識之用，再將山椒魚放回原棲地，並量測山椒魚施放地點與參考點的距離，以及量測與北方夾角的角度，並在起始地點插上標記竿，並於標記竿上註明編號。調查於調查進行日的早上 8:00 與晚上 20:00 時進行追蹤，追蹤到山椒魚定位點後插上標記竿，並註明標記竿編號。再以上一個紀錄點為基準，量測其距離與直線路徑與北方的夾角並記錄。若線團長度不足，將替換新的線團，並更換參考點，量測新參考點的距離以及與北方的夾角，並用 GPS 重新定位參考點。線團更換完畢後，於捕捉點釋放。透過地理資訊系統(Geography information system,GIS)將野外記錄的點位繪製其活動範圍與評估移動距離。以最小凸多邊形法(minimum convex polygon)與核空間法(kernel method)程序計算其 MCP 活動範圍面積，95%核密度活動範圍面積與 50%核密度活動範圍面積。

#### **D. 高溫耐受度、溫度偏好與溫度馴化能力**

##### **1. 高溫耐受度測量**

溫度耐受度是以 CTM (Critical Thermal Maximum)作為指標，所謂臨界溫度是指動物失去平衡、緊急逃開等正常反應時的臨界溫度值，這種判定方法被廣泛使用(Hutchison 1961; Wu and Kam 2005)，其測量方式對動物的傷害也最小。

本實驗是以恆溫循環水槽作為升溫裝置，在水槽內放置一個玻璃缸，然後在玻璃缸內置入塑膠水族箱，水族箱底部擺放過濾綿，過濾棉可墊高山椒魚以利其頭部探出水面；加水後的水位為 2 cm，並以裝有氣泡石的幫浦進行打氣，這樣可使水溫上升較為均質，也可避免動物因高溫缺氧而造成實驗判斷上的誤差。透過測量山椒魚失去正常反應時的水溫來代表其溫



度耐受度。本實驗裝置的水溫上升速率是平均每分鐘  $0.4^{\circ}\text{C}$ ，比過去研究有尾類溫度耐受度所採用的溫度上升速率慢( $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ ) (Hutchison 1961; Howard and Wallace 1983)，水溫改變速率緩慢可以減少動物體溫與水溫間的延遲效應(Hoppe 1978; Howard and Wallace 1983)。

每回合實驗使用 1 隻山椒魚，實驗前一天不進行餵食，測量前，會先以電子天秤秤重(濕重)。實驗的起始或下降溫度設定為飼養的溫度，在升溫或降溫前，會讓動物在預設環境中先適應 30 分鐘，之後才開始加熱(從  $10^{\circ}\text{C}$  開始升溫)，待動物達到 CTMax 定義的反應時(失去平衡，以溫度探棒反覆刺激沒有產生緊急逃開的行為)，將動物迅速撈到起始的水溫中，若山椒魚沒有清醒過來則將結果捨去。

從不同地點採集山椒魚回實驗室，於三天內進行溫度耐受度的測量(未馴化個體)。此外，之後會將個體分成兩組，一組馴化  $15^{\circ}\text{C}$ ，另一組馴化在  $20^{\circ}\text{C}$ 。山椒魚轉至  $20^{\circ}\text{C}$  馴化前，會以每一天升溫  $1^{\circ}\text{C}$  的方式，從  $15^{\circ}\text{C}$  開始進行升溫，以避免升溫速度太快而對山椒魚產生壓力。馴化至少一周後，個別測量兩組動物的高溫耐受度。

## 2. 溫度偏好與溫度馴化能力

儀器設計主要參考 Wu and Kam (2005)所設計的梯度箱，再做改裝設計，基本原理是透過一端升溫，一端降溫的方式來產生溫度梯度。儀器是以一個長方形水族箱( $150\text{cm}\times 20\text{cm}\times 20\text{cm}$ )為主體，溫度是由兩個恆溫循環水槽所提供，一端設定為加熱端，另一端設定為冷卻端，透過恆溫水槽的水流循環，在水流經銅圈時，會將溫度傳導到水槽兩端而達到升溫降溫的效果。水道會以塑膠板隔間，共分成 11 個區段，每個區段正中央並加裝一個小型氣泡石，以幫浦進行打氣，如此的設計可以避免箱內水溫有垂直分層現象(Hutchison and Dupre 1992; Stauffer et al. 1983)。實驗進行時，先在水槽中加水，水位為 3.5 公分，底下以過濾棉墊高以利山椒魚在水中能

仰頭，整個裝置在啟動 1.5 小時至 2 小時之後，會形成 8.9°C 至 23.4°C 範圍的梯溫，每個區段間的溫差介於 1~2°C。

山椒魚於採集後三天內進行選溫實驗。此外，會將個體馴化在 15°C 與 20°C，馴化方式同溫度耐受度馴化能力實驗，比較馴化溫度對山椒魚選溫的影響。實驗在早上 8:00 至下午 18:00 之間進行。每次實驗時，隨機將 1 隻山椒魚自梯溫箱的熱端、中端(15.2°C)或冷端擺放，之後每隔 15 分鐘記錄一次山椒魚出現的位置與水溫(量個體附近的水溫)，連續監測 135 分鐘。前段的 75 分鐘當作是適應期，只採用最後 60 分鐘的數據求平均值做比較。游到水槽兩個末端的個體不納入數據分析，因為這表示牠們可能有更進一步(更低或更高)的選溫需求。最後以變方分析(ANOVA)比較不同馴化溫度後的溫度偏好是否有差異。

## **E. 族群分布與預測氣候暖化影響的推估**

以下方法主要參考邱與黃(2008)的研究方式。由於推估資料前我們需要知道氣溫與微棲地變化之間的關係，所以選擇微棲地溫度資料收集的樣點，除了要有山椒魚分布，鄰近地方也需要有氣象站以利氣溫資料的收集；萬一當地沒有氣象站，將選定適合地方，於離地 1.5 公尺的位置架設自動溫度計(HOBO data logger)記錄氣溫變化。原預設收集觀霧山椒魚主要分布點(主要以雪山山脈西北側為範圍)的資料作為分析，但因為只有觀霧地區的微棲地與氣溫資料收集較完整，因此以此區的資料為基礎做分析。

### **1. 推估月平均氣溫與微棲地溫度的迴歸式**

氣象資料分析主要分析觀測資料、氣象站資料與大尺度資料之關係，以建立三者之關聯性，初步將各資料進行會彙整與比較；依照時間尺度不同，分為小時觀測資料、日觀測資料與月觀測資料進行分析。進一步將以

氣象資料繁衍模式與大氣環流模式推估未來日資料，以評估山椒魚棲地的存在風險。

## 2. 建立觀霧山椒魚的微棲地溫度單站在氣候變遷影響

本研究以台灣地區 TCCIP 五公里的格網氣象資料，歷史資料包括月雨量、月平均溫度、月最高溫與月最低溫；同時也包括近期與長期的氣候預測資料。氣候變遷影響是以 GISS 模式推估結果，進行分析。

## 3. 以年均溫增加情境模擬氣候變遷衝擊

受限於目前的資料，僅能就最高溫度與最低溫的變化資料進行棲地評估，且在時間尺度上，年月的資料未來仍須進一步分析，且需要更多觀測點資料以建立棲地與區域之關係，以確定空間上的差異；因此，目前是假設單一氣象站與微棲地環境之間的最高溫度與最低溫度的關係是確立的，且季節上此關聯性沒有極大差異。綜合上述，本研究以歷史年平均溫度(TCCIP)，建立最高度與最低溫度，所建立山椒魚微棲地溫度分布的模糊隸屬函數(FMF)。當微棲地溫度值等於平均值，其 FMF=1，若值高於或低於平均值時，FMF 將低於 1，並以高於最高溫兩度及低於最低溫兩度為生存極限。運用此模糊隸屬函數，在氣候變遷下，可由 1 減去分布隸屬度來代表溫度對於棲地的衝擊。

## F. 族群遺傳資料分析

### 1. DNA 粹取

做完溫度耐受實驗後的山椒魚個體，會先以 MS-222 (0.5 g/L) 進行麻醉(Green 2001)，從尾部剪取 0.2~0.5 公分的組織，進行 DNA 粹取。本研究使用 ALS 組織 DNA 萃取試劑套組(ALS Tissue Genomic DNA Extraction

Kit, Kaohsiung, Taiwan) 萃取DNA。根據操作手冊步驟完成DNA粹取，保存於-20°C 冷凍櫃待用。

## 2.粒線體基因增幅與定序

根據 MVZ-15L/MVZ16H 引子組，利用鏈聚合酶反應器增幅粒線體 *cyt-b* 基因序列(Moritz et al., 1992)。PCR 之反應條件為：(1) 預熱 (prewarming) 94°C 3 分鐘；(2) 變性 (denaturing) 94°C 30 秒；(3) 黏合 (annealing) 48°C 1 分鐘；(4) 延伸 (extension) 72°C 1 分鐘；(5) 重複步驟 (2) 至 (4) 共 40 個循環；(6) 最終延長 (final extension) 72°C 10 分鐘，使反應更完全。PCR 產物以含 SYBR Green I stain (Bio Basic, Ontario, Canada) 之 TAE 緩衝溶液用 1% 之瓊脂電泳膠片進行電泳分析，於 UV 光下觀察、拍照並觀察其擴增片段。PCR 產物送至生技公司，利用 ABI 3730 DNA Analyzer (Applied Biosystems, CA, USA)定序儀來獲得 DNA 序列。全部序列利用 Clustal X 2.0 (Larkin et al. 2007) 軟體進行序列排序。

## 3.親緣關係樹之建立

分子親緣關係樹利用四種不同方法來重建：距離方法方面，以 Kimura 2 parameter 為運算模式來計算所有序列對的成對性演化距離並以鄰域加入法 (Neighbor-joining) 來重建親緣關係樹。不連續特徵法方面，最大儉約法 (Maximum Parsimony) 假設生物進化以最小數目改變為前提，將序列的每個點 (site) 視為不同的特徵 (character)，利用個分類單元享有的共衍徵推演共祖的關係，透過儉約性原理選出特徵改變次數最少的為最佳的樹。最大似然性法 (Maximum Likelihood) 以適合之核苷酸替換模式，做出所有可能的親緣關係樹並給於統計值，評估並選出似然性最高的親緣關係樹。以上使用利用MEGA6軟體來製作(Tamura et al., 2013)，並利用bootstrap來檢測樹型支持程度。本研究亦利用貝葉氏導出式 (Bayesian inference) 來重建親緣關係樹。MrBayes version 3.1.2 程式 (Huelsenbeck and Ronquist 2001) 用來重建親緣關係樹，隨機選取的樹為

起始樹，Markov Chain Monte Carlo (MCMC)總共運算  $1 \times 10^6$  generations，而每 100 generations 取樣一次，並刪除前面不穩定的 10% generations，重建之親緣關係樹以 50% majority-rule consensus trees 來表示，而分支節點值為後檢驗概率值表支持程度。

#### 4.親緣地理分析

最小關聯網狀圖(Minimum spanning network)，計算各單倍基因型之間核苷酸的最大改變量，將具有單一改變量的單倍基因型彼此連接，形成一個網狀圖 (Templeton et al 1993)。此網狀圖與親緣關係樹比較，可以推測物種演化過程、可能散播途徑與地理分布的關係。利用Hapview軟體來製作單倍基因型網狀圖 (<http://www.cibiv.at/~greg/haploviewer>)。

#### 5.族群遺傳分析

單倍型多樣性 (haplotype diversity,  $h$ )、核苷酸多樣性 (nucleotide diversity,  $\pi$ )、Tajima's  $D$  和 Fay and Wu's  $F$ 利用 DnaSP version 5.10.1(Librado and Rozas 2009)軟體來計算。族群分化指數 (Fixation index,  $F_{ST}$ )估算族群間之遺傳分化程度，計算族群內與族群間之平均核苷酸差異，以求得族群間遺傳差異程度。族群間遺傳距離以Kimura's two-parameter model來估算，利用MEGA6軟體來計算(Tamura et al. 2013)。

### 第三章、結果與討論

#### 一、山椒魚普查和固定樣區調查

本年度調查總共在觀霧地區翻閱 22403 個遮蔽物(石頭與木頭)，共調查到 26 隻次觀霧山椒魚(表 3-1)，其中 4 隻為再捕獲個體，有兩隻為去年所捕捉過的個體(編號分別是 f1520 與 f1523)(巫與謝 2015)，而另外 2 隻為歐等(2014)所捕捉過的個體(f1317 與 f1401)。

北插天山(遮蔽物翻閱數:6022，其中 4 月與 5 月調查沒有記錄翻閱數，以 5 月後所翻閱到的個體來算，捕獲率約 2 隻/10000 翻閱數)調查到 2 隻個體，棲蘭山(遮蔽物翻閱數:1832 個，只調查到 1 隻個體(由於颱風導致道路中斷，九月份後就無法再前往)。因此，三個地區(觀霧、棲蘭山與北插天山)共調查到的個體為 29 隻，除了亞成體與重複捕捉個體外，其他新個體都建立下頷斑紋圖譜(圖 3-1)。

在觀霧地區的調查中，只在巨木群步道、大鹿林道西線與山椒魚試驗棲地等三個樣區發現觀霧山椒魚，而蜜月小徑、大鹿林道東線與榛山步道均沒有記錄。試驗棲地在去年沒有記錄到山椒魚，此次發現(N=2)是距離上一次(2014 年 8 月 15 日)(歐等 2014)在此區調查間隔約一年八個月再度記錄到個體，其中一隻判定為新個體(f1607)。從數量分布來看，以巨木群步道所調查到的數量最多(18 隻次，15 隻新個體)，大鹿林道西線次之(6 隻次，均為新個體)，試驗棲地最少(2 隻次，1 隻為新個體)。比較捕獲率(表 3-2)，巨木林道為獲率 0.002 隻/翻閱數(約 20 隻/10000 翻閱數)，大鹿林道西線捕獲率 0.001(約 10 隻/10000 翻閱數)，試驗棲地捕獲率為 0.001(約 10 隻/10000 翻閱數)，其他地區捕獲率為 0。與往年調查比較，巨木群步道仍為本區最穩定能發現山椒魚的地區(呂與賴 2010；歐等 2014；巫與謝 2015)。整體而言，以月份來看，三月份調查到的數量最

多，六月開始變少(圖 3-2)，與往年調查結果相符(歐等 2014；巫與謝 2015)。巨木地區僅六月沒有發現個體，而大鹿林道西線四至八月均有發現個體，但去年此區在五月後就沒有發現個體山椒魚(巫與謝 2015)。

所有個體都在石塊下被翻閱到，與先前的研究結果相符(毛 2009；呂與賴 2010；歐等 2014)；其中有超過一半的遮蔽物上面有苔蘚附著。這些遮蔽物上頭適合生長這些植物，通常也反映這些環境濕度與位置穩定性較高(呂與賴 2010)。

觀霧地區捕捉到的最大的個體吻肛長為 64.5 mm (體重 5.47 g)，是試驗棲地所發現的個體(f1401)，最小的個體(f1617)吻肛長 25.8 mm (體重 0.59 g)，個體的平均吻肛長為  $50.0 \pm 0.8$  mm (N=26)，平均體重為  $3.3 \pm 1$  g (N=26)，與去年所調查的個體資料(吻肛長： $50.2 \pm 9.9$  mm；體重： $3.3 \pm 1.5$  g) (巫與謝, 2015)以及歐等(2014)累積三年的資料 (吻肛長： $52.0 \pm 10.8$  mm；體重： $3.4 \pm 1.6$  g)相近。目前調查到的個體僅有一隻為亞成體(f1617)(以 30 mm 做為成體判定標準，呂與賴 2010)，成體捕獲機率較高的情況與先前研究相符(歐等 2014；巫與謝 2015)。此外，有一隻個體出現斷尾重生的情況(表 3-1)，經比對歐等(2014)過去所標記的個體特徵，加上個體並沒有發現螢光標記，因此認定為新個體(f1613)，然而，並不清楚斷趾原因。棲蘭山個體吻肛長 50.24 mm(體重 4.15g)(N=1)，北插天山兩隻個體，其中一隻為成體，吻肛長為 43.3 mm (體重 2.06g)，另一隻為亞成體，吻肛長為 28.3 mm (體重 0.75g)。

五月份之後，就沒有重覆捕捉個體被記錄。本年度所發現的 4 隻再捕獲個體中，f1317 上一次被捕捉時間是 2013 年 4 月 1 日，歷經約三年(約 1095 天)再被捕捉，「前後被捕捉間隔時間記錄」超過去年所抓到的個體(f1307, 約 970 天後被重複捕捉)，然而體全長變化不大(約 8 公分)，但體重(3.68g)較先前記錄(4.49g)輕。在試驗棲地所發現的個體 f1401，過去(2014 年)曾有兩次捕捉記錄(一次為在捕捉)，上一次被捕捉時間是 2014 年 7 月 25 日(歐等 2014)，歷經約一年八個月再被捕捉，其體全長變化不大(約 10

公分)，但體重(5.47g)較先前記錄(7.62g)輕。個體 f1520 與 f1523 上一次被捕捉時間是 2015 年 11 月 21 日，前者體重(4.02g)較去年(3.87g)增加，後者體重(3.1g)較去年(4.97g)減少。目前調查結果仍顯是下頷花斑是可靠的個體辨識特徵，且螢光色標可保留在觀霧山椒魚身上的時間(f1317，約 1095 天)又比之前所記錄的時間(f1307，約 970 天)更長。

調查過程中，在遮蔽物底下所發現的其他脊椎動物，包括兩棲類 2 科 2 種(盤古蟾蜍與梭德氏赤蛙)；爬行動物 4 科 5 種，紀錄到的爬行動物在先前觀霧地區的研究調查中都有發現(歐等 2014；巫與謝 2015)。以地點分布來看(圖 3-3)，大鹿林道西線記錄到的脊椎動物最多種(6 種)且數量也最多。以山椒魚為食的史氏斜鱗蛇(李與呂 1996)是觀霧山椒魚的潛在掠食者(毛 2009)，去年僅在蜜月小徑有翻閱到，今年則在大鹿林道西線有翻閱到。標蛇今年首度在巨木林步道發現，此蛇在試驗棲地、大鹿林道東線與西線均有紀錄，是目前調查樣區內所知分布最廣的蛇類。在無脊椎動物方面，我們主要針對淡水蟹與蟻窩做記錄，這兩類動物的出現比率一般也反映環境的溫濕度條件。淡水蟹偏好濕度較高的環境，紀錄顯示主要出沒在巨木群步道，而試驗棲地、大鹿林道西線與榛山步道紀錄較少。蟻窩一般出現在濕度較低的環境，蟻窩在所有樣區都有分布，其中以蜜月小徑、大鹿林道東線與榛山步道所記錄到的比例(以遮蔽物為單位)較高，而巨木群步道被螞蟻利用的比率最低(圖 3-3)。



表 3-1. 觀霧山椒魚捕獲記錄。

個體編號	地點	海拔 (M)	日期	體重 (g)	肋溝數	四肢趾式	吻肛長 (mm)	頭長 (mm)	頭寬 (mm)	尾長 (mm)	備註
f1520	巨木群步道	2108	2016.03.05	4.02	12	4-4-4-4	5.558	1.337	0.919	2.640	重複捕捉
f1523	巨木群步道	2082	2016.03.05	3.1	11	4-4-4-4	5.392	1.346	0.806	2.748	重複捕捉
f1601	巨木群步道	2117	2016.03.05	3.23	11	4-4-4-4	4.837	1.168	0.707	3.447	
f1602	巨木群步道	2117	2016.03.05	2.79	12	4-4-3-3	4.868	1.160	0.817	2.987	
f1603	巨木群步道	2124	2016.03.05	3.41	12	4-4-4-4	5.348	1.323	0.842	3.347	
f1604	巨木群步道	2099	2016.03.05	2.84	12	4-4-4-4	4.906	1.293	0.800	3.309	
f1317	巨木群步道	2118	2016.04.01	3.68	12	4-4-4-4	5.294	1.253	0.960	2.973	重複捕捉
f1605	巨木群步道	2080	2016.04.01	3.44	12	4-4-4-4	5.666	1.349	0.969	3.720	死亡個體，標本編號為 PCCU-160401-2 參見附錄公文說明
f1606	大鹿林道西線	2017	2016.04.01	3.3	11	4-4-4-3	5.564	1.367	0.885	3.187	
f1607	試驗棲地	2117	2016.04.02	3.05	12	4-4-4-4	5.480	1.427	0.920	3.333	
f1401	試驗棲地	2116	2016.04.02	5.47	12	4-4-4-4	6.448	1.582	0.986	3.836	重複捕捉
f1608	巨木群步道	2128	2016.05.14	2.59	11	4-4-4-4	4.672	1.131	0.740	2.823	
f1609	巨木群步道	2111	2016.05.14	4.1	11	4-4-4-4	5.458	1.276	0.882	3.302	
f1610	巨木群步道	2077	2016.05.14	3.68	11	4-4-4-4	4.933	1.297	0.957	3.891	
f1611	巨木群步道	2099	2016.05.14	3.21	9	4-4-4-4	5.003	1.412	0.804	2.690	
f1612	大鹿林道西線	2138	2016.05.14	1.52	9	4-4-4-4	3.482	0.907	0.573	2.521	

<b>f1613</b>	大鹿林道西線	2075	2016.06.19	5.96	11	4-4-4-4	5.913	1.498	0.878	2.858	有斷尾痕跡
<b>f1614</b>	大鹿林道西線	2082	2016.06.19	3.69	11	4-4-4-4	5.052	1.310	0.871	3.633	
<b>f1615</b>	巨木群步道	2079	2016.07.18	2.11	11	4-4-4-4	3.811	1.014	0.641	2.585	
<b>f1616</b>	大鹿西線	2040	2016.07.18	2.83	11	4-4-4-4	4.635	1.7	0.804	3.486	
<b>f1617</b>	巨木群步道	2076	2016.08.19	0.59	9	4-4-3-4	2.580	0.773	0.572	1.743	
<b>f1618</b>	大鹿林道西線	2096	2016.08.19	3.7	11	4-4-4-4	5.436	1.338	0.955	4.186	
<b>f1619</b>	巨木群步道	2121	2016.10.02	4.917	11	4-4-4-4	5.465	1.297	1.069	4.228	
<b>f1620</b>	巨木群步道	2112	2016.10.02	3.426	9	4-4-4-4	4.866	1.201	0.869	3.338	
<b>f1621</b>	巨木群步道	2070	2016.11.06	2.5	11	4-4-4-4	4.583	1.153	0.792	3.073	
<b>f1622</b>	巨木群步道	2084	2016.11.06	2.5	11	4-4-4-4	4.303	1.172	0.767	2.963	
<b>fn1601</b>	北插天山	1338	2016.05.06	2.061	9	4-4-4-4	4.331	1.064	0.665	2.878	
<b>fn1602</b>	北插天山	1352	2016.11.07	0.75		4-4-4-4	2.833	0.810	0.508	1.517	
<b>fk1601</b>	棲蘭山	1900	2016.06.07	4.15	11	4-4-4-4	5.024	1.349	0.952	3.702	

表 3-2. 觀霧地區山椒魚的捕獲率比較。

	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	10 月	11 月
巨木林道								
翻閱數	493	541	514	938	591	1373	1426	2212
捕獲率	0.0121704	0.00369686	0.0077821	0.00107	0.00162	0.0007283	0.0014025	0.0009041
大鹿東線								
翻閱數	905	521	--	710	1072	355	--	461
捕獲率	0	0	--	0	0	0	--	0
蜜月小徑								
翻閱數	39	201	350	160	--	92	58	109
捕獲率	0	0	0	0	--	0	0	0
大鹿西線								
翻閱數	1129	639	799	242	1408	1121	1001	1364
捕獲率	0	0.0015649	0.0012516	0.0082645	0.00071	0.000892	0	0
榛山步道								
翻閱數	343	122	--	261	165	200	277	211
捕獲率	0	0	--	0	0	0	0	0
試驗棲地								
翻閱數	60	255	106	210	225	244	175	342
捕獲率	0	0.0077843	0	0	0	0	0	0

觀霧				
				
f1601	f1602	f1603	f1604	f1605
				
f1606	f1607	f1608	f1609	f1610
				
f1611	f1612	f1613	f1614	f1615
				
f1616	f1617	f1618	f1619	f1620
				
f1621	f1622	fk1601(棲蘭)	fn1601 (北插)	fn1602 (北插)

圖 3-1. 山椒魚下頷圖譜 (照片主要是李昱、楊智誠與劉鎮所拍攝)

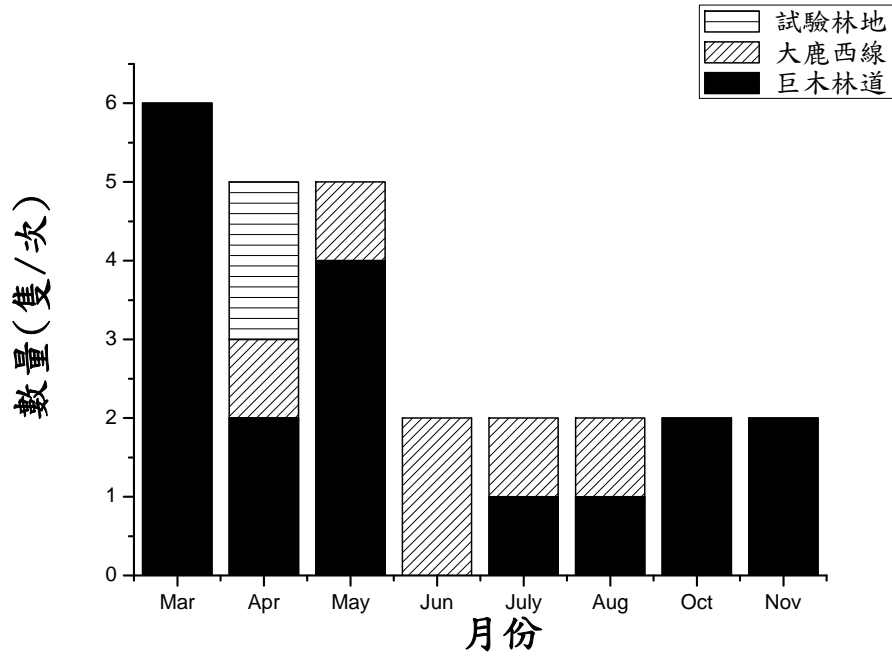


圖 3-2. 觀霧地區山椒魚的月數量變化。

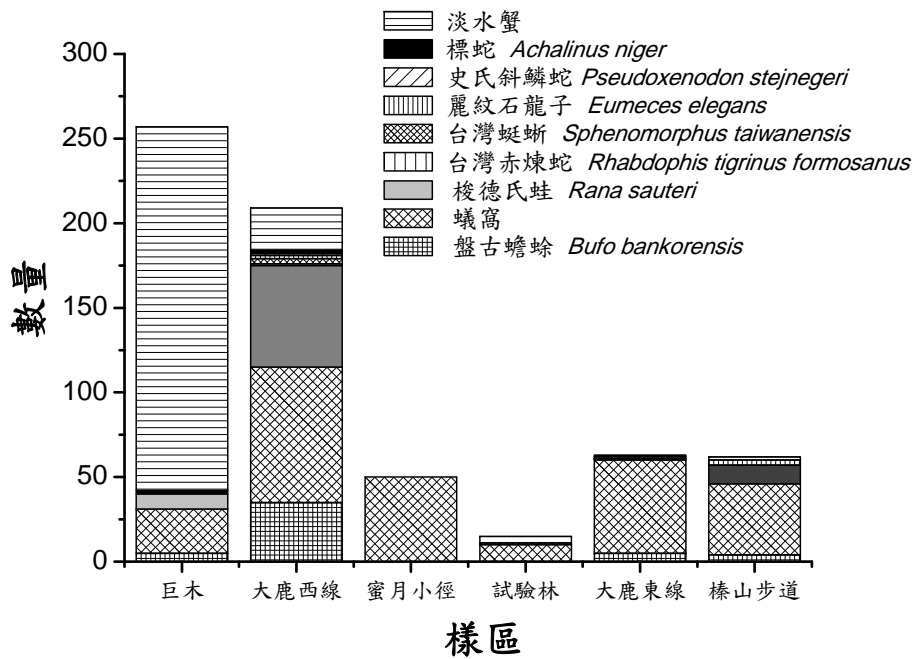


圖 3-3. 各調查點遮蔽物底下所調查到的其他動物與利用比率

## 二、個體活動範圍與移動距離推估，以及追蹤方法測試

我們以歷年所調查到的 13 隻重複捕捉個體的經緯度分布資料，去推估活動範圍(圖 3-4、圖 3-5)與最大垂直與水平距離(表 3-3)，其中只有兩隻個體可推估活動範圍。f1306 的活動範圍最廣，估計達  $303.3 \text{ m}^2$ ，而 f1401 的活動範圍為  $3.3 \text{ m}^2$ (圖 3-4)，其中 f1306 所推估的活動範圍較呂與賴(2010)依據北插天山族群所估計的範圍大(約 2.5 至  $55.8 \text{ m}^2$ )。從最大垂直距離來看，移動距離界於 0 至 86 m，多數個體最大垂直距離低於 50 m(圖 3-6、表 3-3)；而從最大水平距離來看，移動距離差距很大，界於 0 至 666.7m，多數個體最大水平距離低於 50 m，但 f 1306 與 f1307 的最大水平距離分別可達 101.1 與 666.7 公尺，顯示觀霧山椒魚仍會進行較長距離的移動。然而，從歷年與目前觀霧地區重複捕捉的最高海拔與水平移動來看，無論個體前後次發現的時間距離有多久，這些個體通常都出現在原始發現的同一塊樣區，這結果與過去調查的結果推估相符(毛 2009；巫與謝 2015)，顯示其個體對棲地的高依戀性與低移動性。

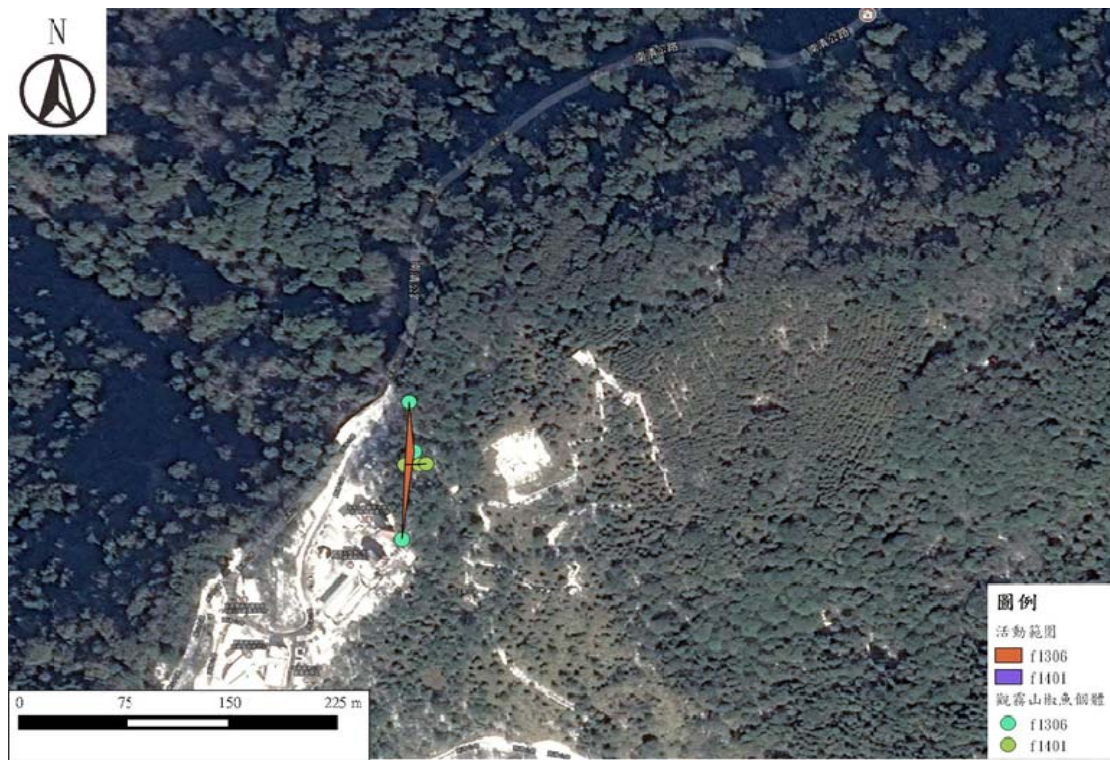


圖 3-4. 重複捕捉個體活動範圍推估。圖例不同顏色的圓圈表示不同個體。

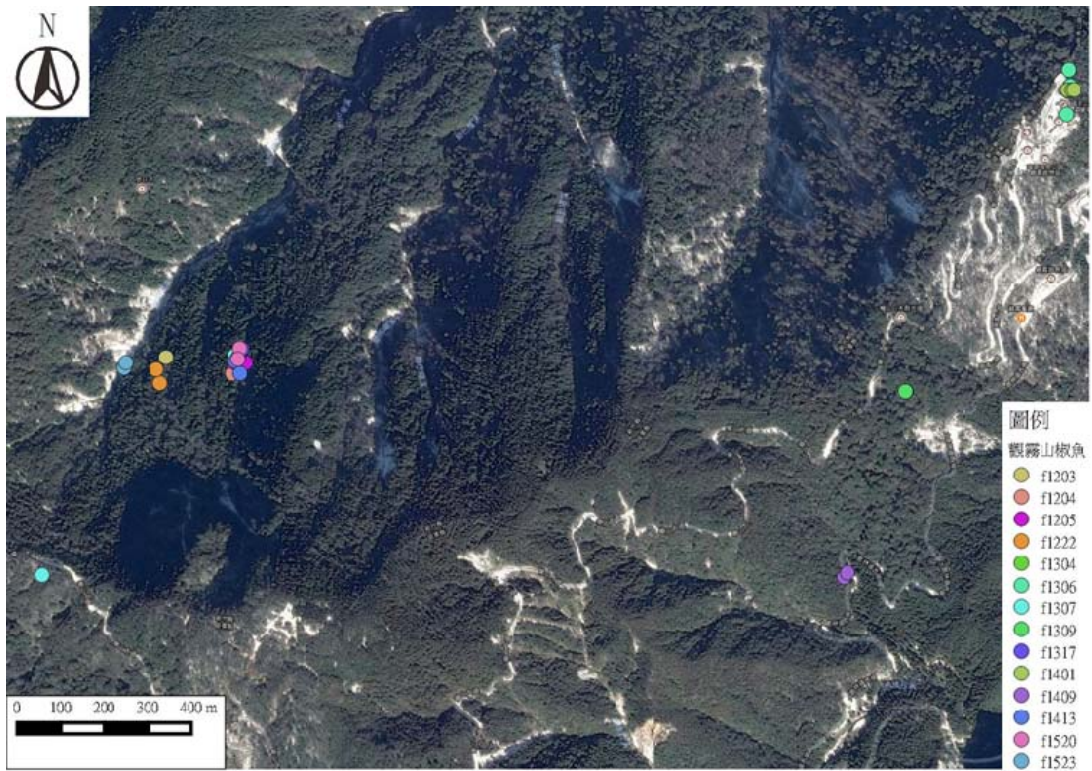


圖 3-5. 重複捕捉個體的經緯度分布。圖例不同顏色的圓圈表示不同個體。

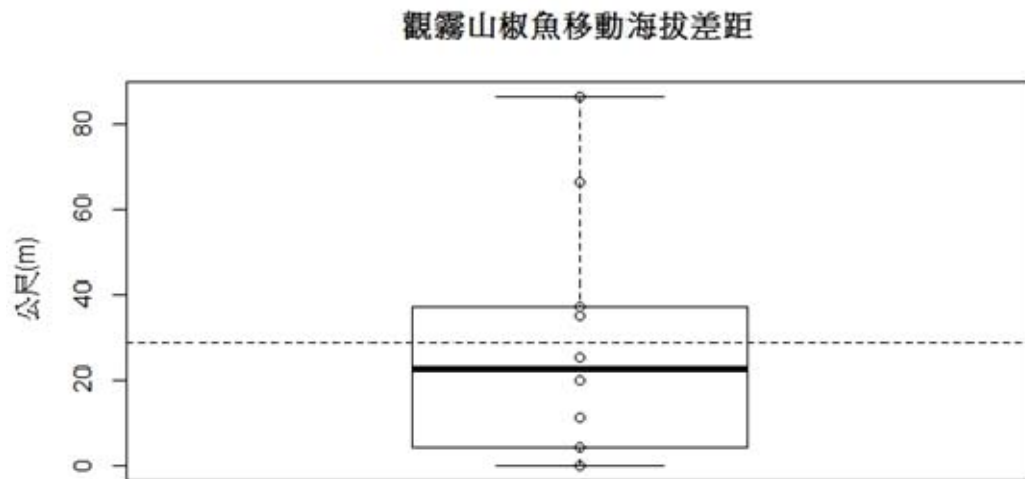


圖 3-6. 觀霧山椒魚的平均移動海拔。

表 3-3. 山椒魚最大垂直與水平移動距離。

山椒魚編號	最大垂直移動距離 (m)	最大水平移動距離(m)
f 1204	0	0
f1205	--	25.3
f 1222	11	31.9
f 1304	0	0
f 1306	86	101.1
f 1307	0	666.7
f 1309	0	9.2
f 1317	20	20.9
f 1401	66	5.0
f 1409	37	20.7
f 1413	25	30.1
f 1520	35	24.7
f 1523	4	12.8

本研究原本規畫應用線團追蹤法(thread bobbin tracking)或螢光標記法(fluorescent pigment)追蹤山椒魚活動模式，但其中螢光標記法所需的螢光粉國內沒有進口，加上國外的原物料工廠只接受大量訂單，所以此法目前不考慮，因此，我們將方法鎖定在線團追蹤的可行性。我們使用線徑 0.052 mm 的釣線(Master-F 0.1 號規格的釣魚線，SAKI 株氏會社，日本製造)製作線團(圖 3-7)，如此可以在降低山椒魚背負的線團重量下，延長潛在的追蹤距離。但由於線團必須能長時間固定在山椒魚身上，所以必須設計類似背心的衣物讓山椒魚穿戴(圖 3-9~圖 3-10)，設計的考量點除了方便線團固定在牠身上，一方面不能干擾山椒魚的正常行為(須考量材質通透性與重量以及背心的鬆緊程度)。然而，雖然目前我們已經完成線團的製作，但仍無法克服穿戴背心容易脫落的問題，因此如何克服技術問題，仍是追蹤山椒魚首待克服的問題。



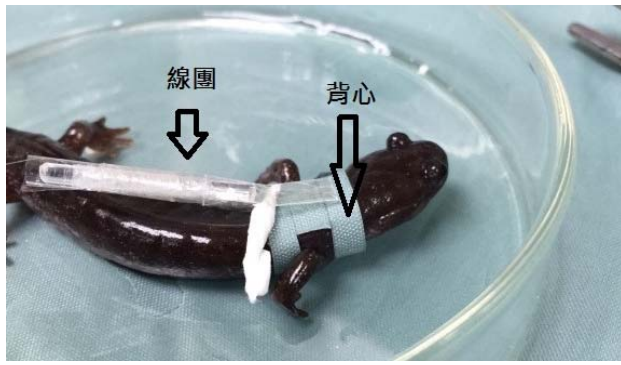


圖 3-7. 線團裝置由背心(A 款背心)與線團所組成。



圖 3-8. 背心套在山椒魚後的背面觀。



圖 3-9. 嘗試過的背心設計(B 款背心)。



圖 3-10. 嘗試過的背心設計範例(C 款背心)。

### 三、山椒魚微棲地的溫度監測

從去年度四月開始至今，在觀霧地區總共擺放 17 個溫度自動記錄器於各樣區下的遮蔽物，其中本年度新增的溫度計共 4 個，分別擺放至試驗棲地(2 個)、大鹿林道東線與榛山步道。擺放在巨木群步道地區的數量仍是最多(6 個)，其次是大鹿林道西線與試驗棲地(分別是 4 個)，其餘地點包括蜜月小徑、大鹿林道東線與榛山步道均擺放 1 個。觀霧地區以外的地點，分別在北插天山放置 3 個以及棲蘭山放置 5 個溫度計，其中都有各涵蓋一個有翻到山椒魚的遮蔽物。此外，在觀霧地區的巨木群步道與大鹿林道西線，以及北插天山與棲蘭山均設置氣溫與濕度自動記錄器。目前只在觀霧地區的巨木群步道與大鹿林道西線，以及北插天山樣區收到較完整的氣溫濕度計資料。

在觀霧地區，今年首度紀錄到巨木群步道、大鹿林道西線與蜜月小徑等三個地區山椒魚遮蔽物底下的冬季溫度變化。整體而言，十一月至三月間，所有樣區遮蔽物底下溫度都維持在 10°C 以下，四月才開始有較明顯的上升(圖 3-11~圖 3-13)。巨木群步道的遮蔽物下的月高低溫差通常介於 1~2°C (圖 3-11)。大鹿林道西線屬於靠近路邊的遮蔽物的高低溫差較大，至少達到 2°C，最高達 6°C(圖 3-12)；溫差比較低的遮蔽物是位在森林底層，記錄期間的月高低溫差最高不超過 1°C(圖 3-12)。從一到五月，試驗棲地微棲地均溫與山椒魚的主要分布區域(巨木群步道與大鹿林道西線)均溫接近，但四月過後，月高低溫差有變高趨勢；而從去年 10-11 月的資料來看，也顯示試驗棲地微棲地均溫明顯高於其他樣點(巫與謝 2015)，因此，長時間的資料收集顯示此區除十二月至四月外，其餘月份都有溫度偏高的狀況(相較於其他樣區)(圖 3-13)。

目前仍沒有發現山椒魚的大鹿林道東線與榛山步道，以大鹿林道東線的微棲地溫度條件(圖 3-14、圖 3-17)與主要分布區域(巨木群步道與大鹿林道西線)均溫較接近，榛山步道均溫與月溫差(一般高低溫差都約 2°C)較偏高(圖 3-15)。大鹿林道東線過去曾有觀霧山椒魚的紀錄(參考呂與賴

2010 的文獻回顧)，榛山步道則沒有記錄，是否與榛山步道微棲地溫度與溫差偏高有關(圖 3-14、圖 3-15)，有賴更多資料進一步推論。

本年度首度有北插天山的微棲地溫度資料(圖 3-16)做對照，結果顯示屬於低海拔的北插天山月均溫都明顯高於觀霧地區所測得的月均溫溫度(圖 3-16、圖 3-17)，均溫至少都高觀霧地區至少約 3.5°C，與預期相符，顯示北插天山的微棲地溫度條件與觀霧有很大的差異。此外，從野外整體氣溫濕度變化來看，觀霧的巨木群步道樣區與北插天山終年都維持較高的濕度，而觀霧的大鹿林道西線溼度變化較大，氣溫上，北插天山明顯較觀霧地區高(圖 3-18)。

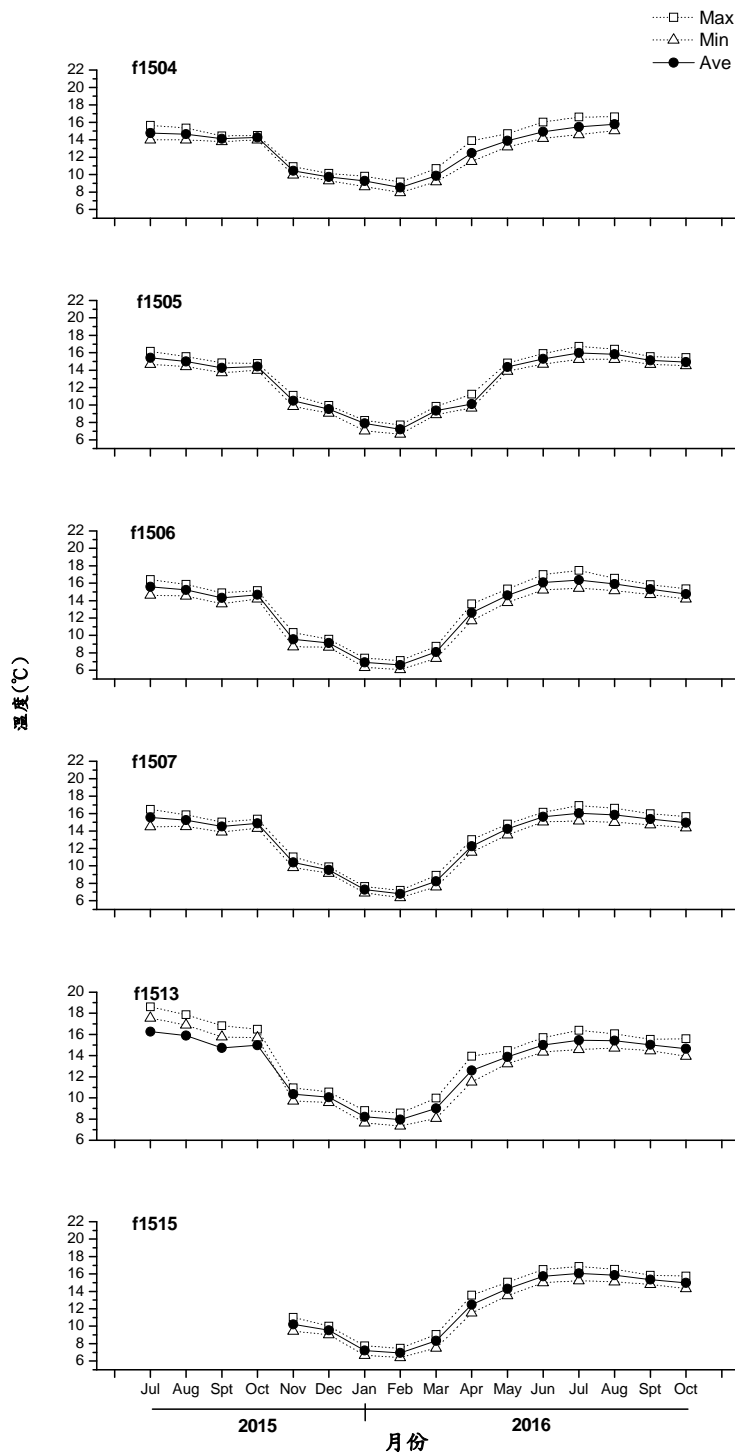


圖 3-11. 巨木群步道遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化。每個圖左上的編號為遮蔽物所屬的山椒魚編號。

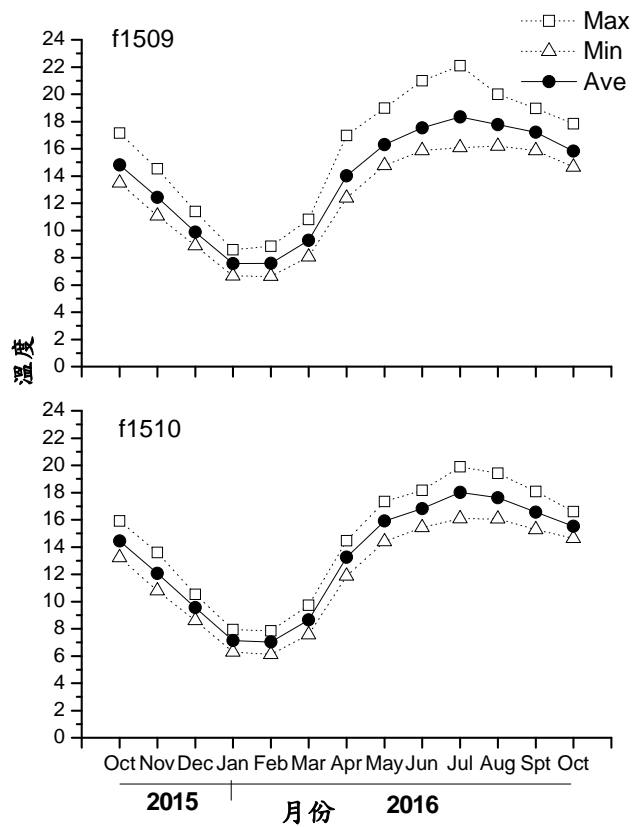


圖 3-12. 大鹿林道西線遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化。每個圖左上的編號為遮蔽物所屬的山椒魚編號。

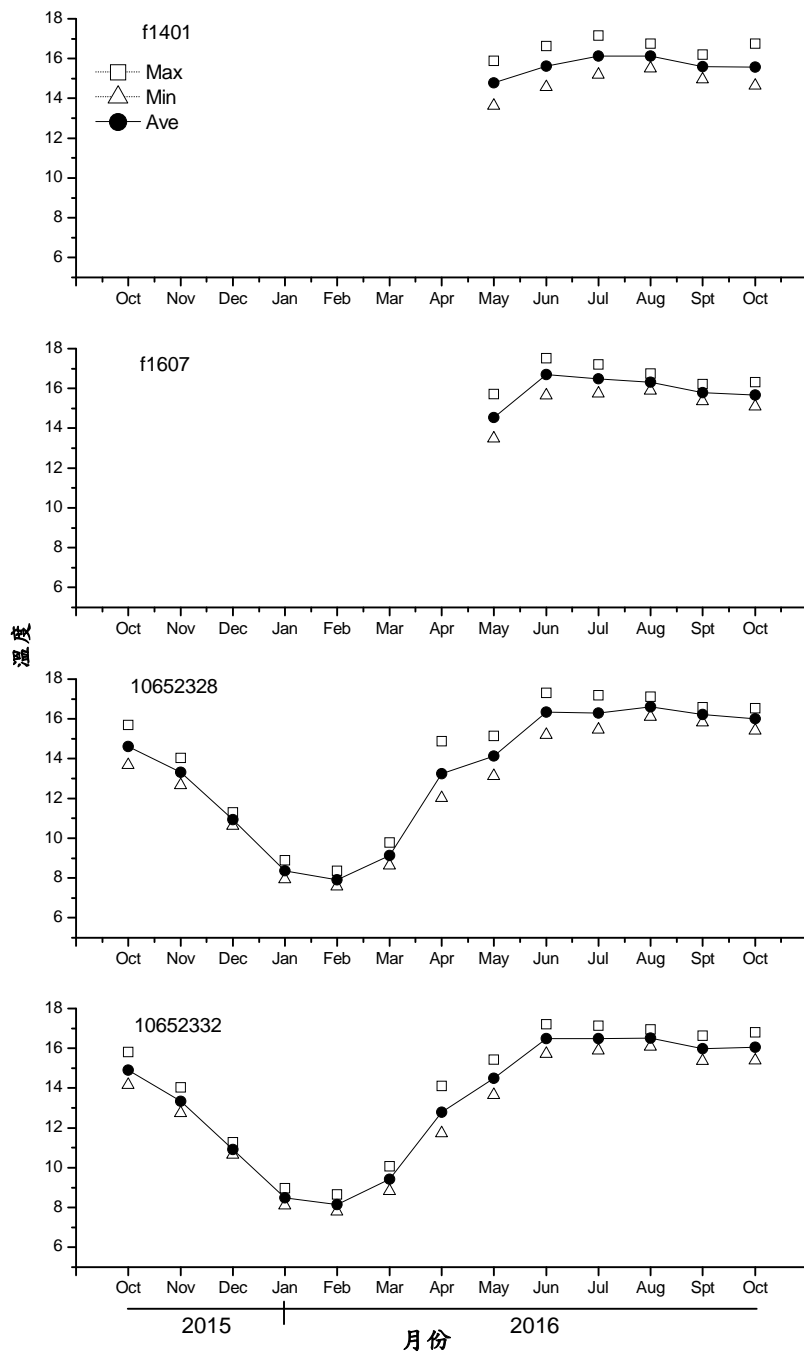


圖 3-13. 試驗棲地遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化。每個圖左上的編號為遮蔽物所屬的山椒魚編號。其中 f1607 溫度計遺失 5/14-6/21 資料，10652332 溫度計遺失 5/14-6/20 資料，10652328 溫度計遺失 5/14-5/20 資料。

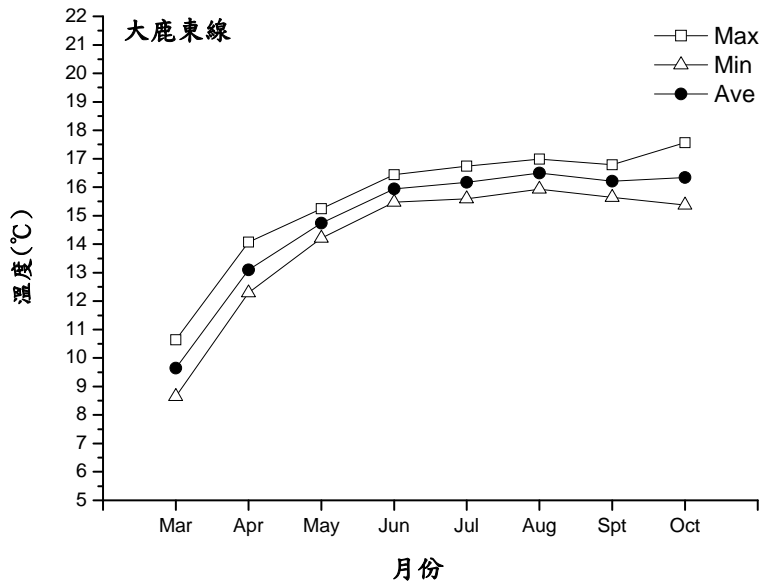


圖 3-14. 大鹿林道東線遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化(2016/3/6~2016/10/31)。

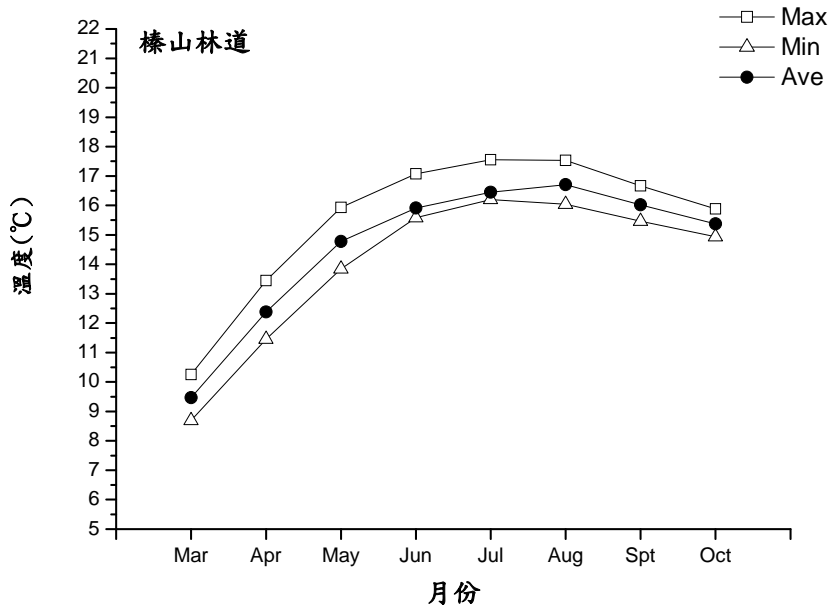


圖 3-15. 榛山步道遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化(2016/3/5~2016/10/31)。

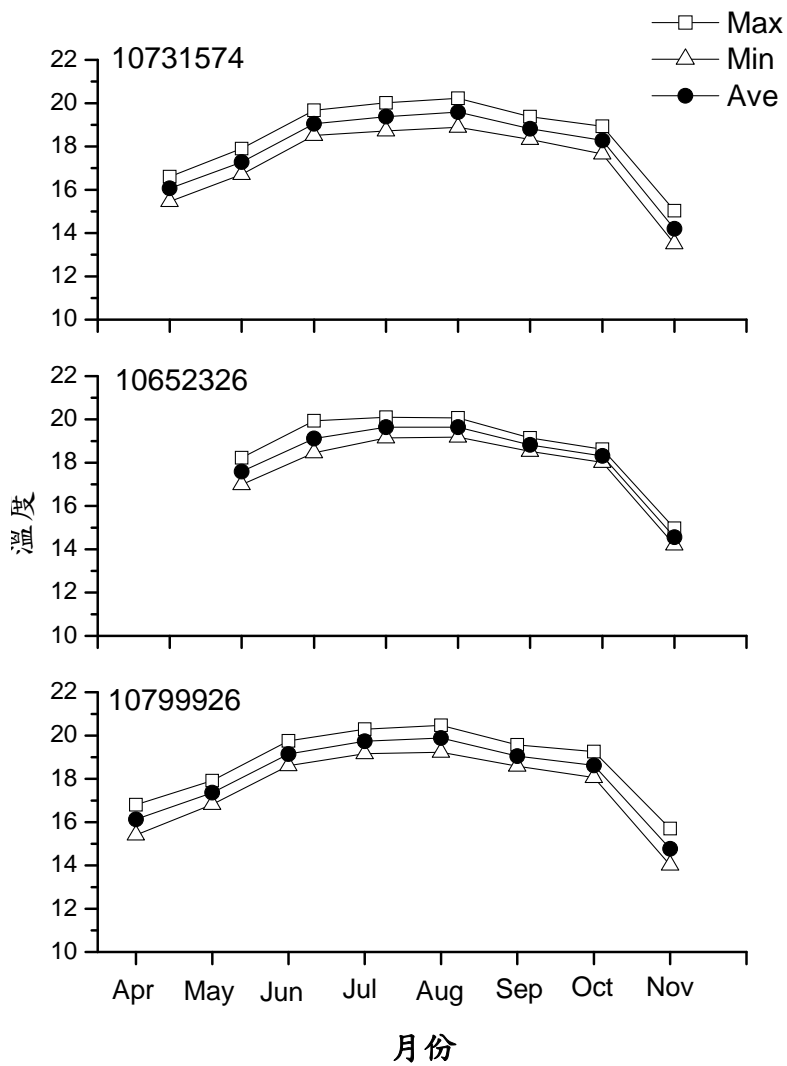


圖 3-16. 北插天山遮蔽物下「月平均最高溫」、「月均溫」與「月平均最低溫」變化。圖左上角編號為溫度計出廠編號。編號 10652326 為今年有翻到個體的石頭所放置，另外兩個溫度計都擺在過去曾發現過山椒魚的石頭下(資訊為賴俊祥博士所提供)。



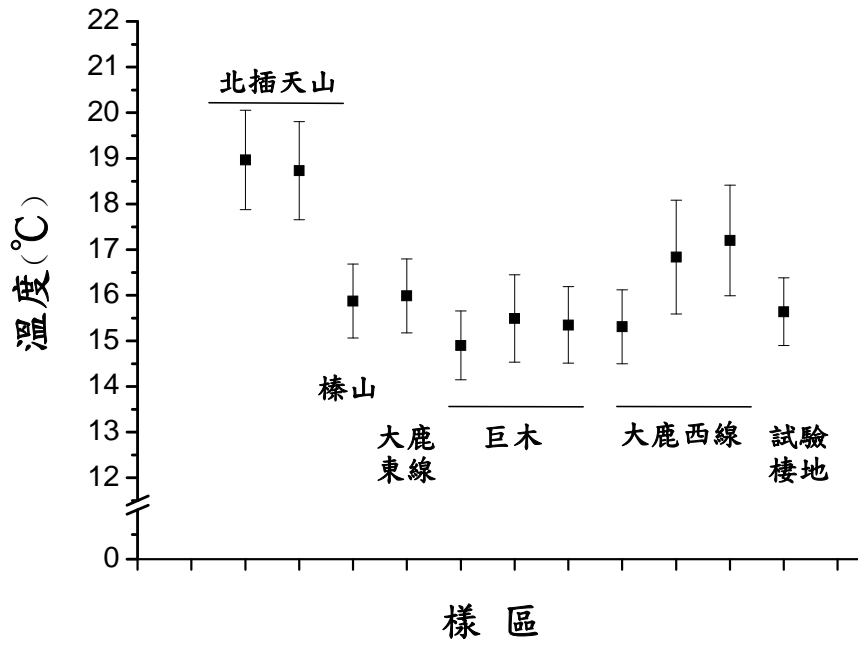


圖 3-17. 所有樣區遮蔽物底下同時期(2016/5/1~2016/10/31)的均溫變化比較。所有值以平均值±標準差(SD)表示。

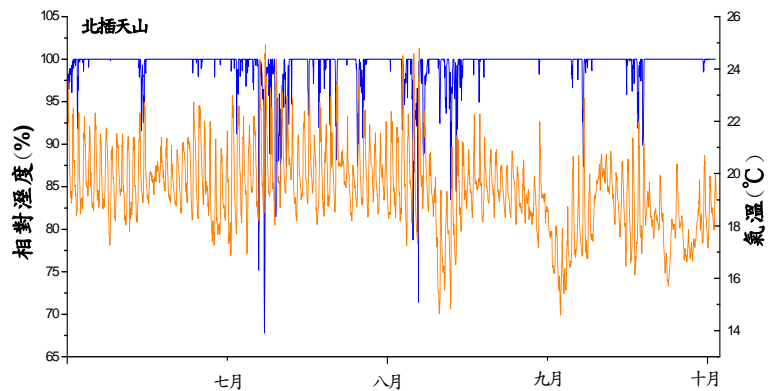
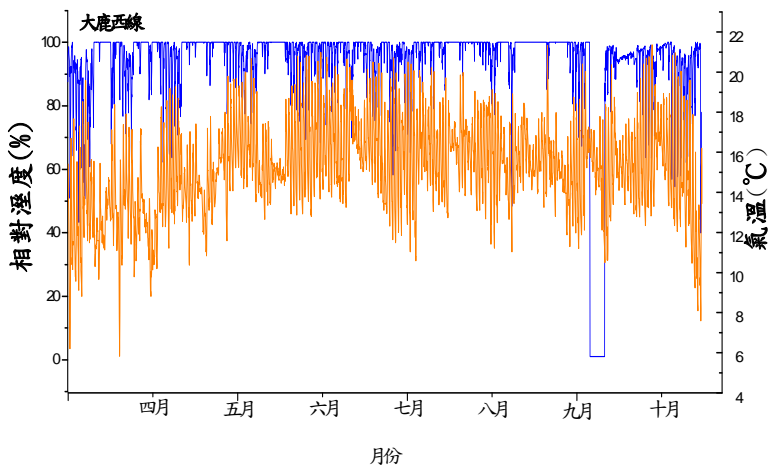
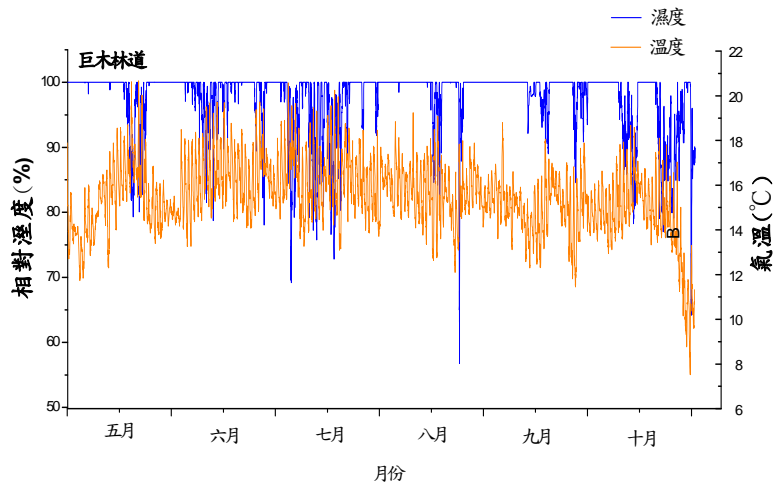


圖 3-18. 觀霧地區(巨木群步道與大鹿林道西線)與北插天山氣溫濕度變化。巨木群步道為每半小時紀錄一筆資料，北插天山與大鹿林道西線均為每小時紀錄一筆資料。大鹿林道西線有出現濕度為零的狀態，可能為儀器異常。

#### 四、溫度耐受度、溫度偏好與溫度馴化能力

本年度新加入觀霧地區試驗棲地，以及北插天山與棲蘭山個體的溫度耐受度資料進行比較，結果顯示，未馴化的個體，以巨木群步道個體的溫度耐受度最低( $29.2 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ， $N=11$ )，其次是試驗棲地個體，北插天山( $N=1$ )與棲蘭山( $N=1$ )個體的溫度耐受度約  $30^\circ\text{C}$ ，大鹿林道西線的個體溫度耐受度最高( $30.9 \pm 1.8^\circ\text{C}$ ， $N=3$ ) (圖 3-19)。兩棲類的溫度耐受度會受馴化溫度影響，高溫馴化下的個體溫度耐受度會表現比低溫馴化下的個體高 (Hutchison and Dupre 1992; Wu and Kam 2005)。從現有的野外溫度資料來看(圖 3-19)，族群個體間的溫度耐受度差異可能與環境差異有關，所以低海拔的族群會較高海拔的族群高。然而，屬於高海拔的大鹿林道西線個體的溫度耐受度卻高於低海拔的北插天山(採自五月初的個體)族群，可能與大鹿林道西線個體分布的微棲地溫度歧異度較大，加上目前所使用的樣本是零星採自四月(野外溫度較低，個體溫度耐受度較低)與六月(野外溫度較高，個體溫度耐受度較高)有關，資料上的確也顯示大鹿林道西線的個體溫度耐受度變異度較大(圖 3-19)。

未馴化個體的溫度耐受度會受野外溫度歷史所影響，因此要比較不同族群的溫度耐受度是否是族群間(先天遺傳上)的表現差異，可透過將不同族群個體馴化在相同溫度下進行比較。結果顯示馴化在  $15^\circ\text{C}$  下，北插天山( $33.2^\circ\text{C}$ )與棲蘭山( $33^\circ\text{C}$ )個體的溫度耐受度比觀霧的族群( $31.4\sim 32.8$ )高(圖 3-20)，而比較不同族群馴化在  $20^\circ\text{C}$  下的個體溫度耐受度，則顯示北插天山的個體( $31.2^\circ\text{C}$ )反而低於其他海拔分布較高的個體( $33.1\sim 33.3^\circ\text{C}$ ) (圖 3-21)，然而，由於北插族群只有 2 隻樣本，且其中 1 隻為亞成體，因此族群內差異很可能受不同個體大小或發育階段所影響，有限數據無法證明族群間有差異。從目前的資料來看，顯示低海拔與高海拔族群的溫度耐受度可能存在族群間的差異(比較馴化  $15^\circ\text{C}$  的族群間差異)，觀霧族群的溫度耐受度較低，表示環境升溫對其影響可能較大，即未來受氣候變遷的影響較大。然而，目前觀霧以外族群的樣本數仍不足，要解釋族群的溫度

耐受度差異原因仍有賴更多個體的資料收集比較。

關於觀霧山椒魚的溫度偏好，受限於觀霧以外族群的樣本數不足，目前只能針對觀霧族群的溫度偏好結果進行討論。在 15°C 馴化的個體，其溫度偏好值為  $11.8 \pm 4.3^\circ\text{C}$  (N=8)，而 20°C 馴化的個體，其溫度偏好值為  $14.7 \pm 6.7^\circ\text{C}$  (N=8)，然而，統計的結果顯示馴化溫度不影響觀霧山椒魚的選溫偏好 (ANOVA,  $F_{1,4} = 0.935$ ,  $P = 0.350$ ) (圖 3-22)。一般來說，溫度馴化會影響兩棲類的溫度偏好，甚至高低溫馴化所產生的影響不同。例如，Stauffer et al. (1983) 的研究顯示，高溫產生的馴化效應對共域蝾螈的溫度偏好影響較大，而低溫馴化對蝾螈溫度偏好的影響較小。棲地溫度條件不同除了會影響兩棲類的溫度偏好，也可能影響其選溫能力 (Wu and Kam, 2005)，如生活在溫泉的日本蝌蚪會有較強的選溫能力，可能與溫泉的水溫變化較冷水環境劇烈，蝌蚪在這樣的環境下須要有精確的選溫能力以因應溫泉的高溫變化，或者是因為相較於溫泉提供的溫度梯度環境，冷水域水溫變化幅度小，較缺乏選溫的條件所致 (Wu and Kam, 2005)。有尾類的微棲地利用常受到濕度所限制，因此牠們利用的微棲地可能都屬於溫度異質性較低的環境，這使得牠們常被認為不善於以行為方式選溫 (Camp et al. 2013)。如前面所述，觀霧地區的觀霧山椒魚微棲地溫差不大 (圖 3-17)，顯示野外環境的溫度變化幅度不大，因此，才使得觀霧山椒魚的溫度偏好不易受到馴化溫度的影響。

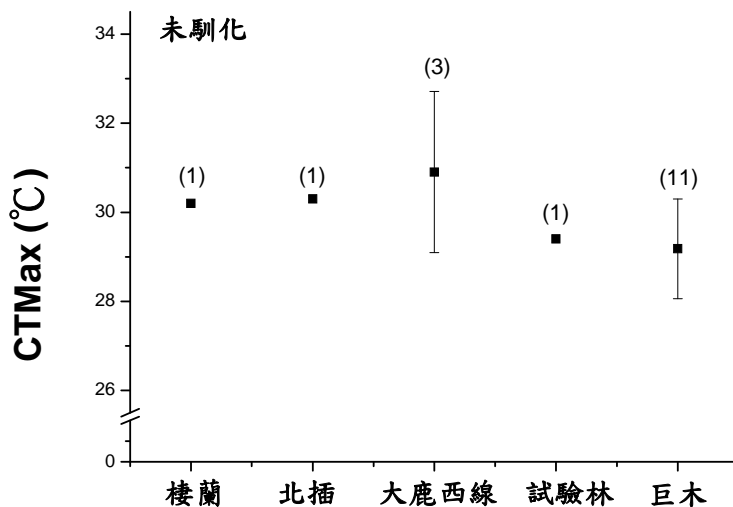


圖 3-19. 不同樣區個體未馴化個體的溫度耐受度表現。括號內為樣本數。

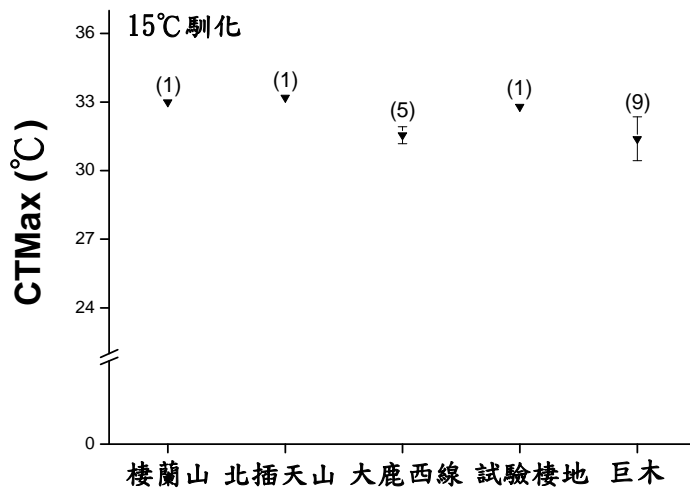


圖 3-20. 不同樣區個體在 15°C 馴化後的溫度耐受度表現。括號內為樣本數。

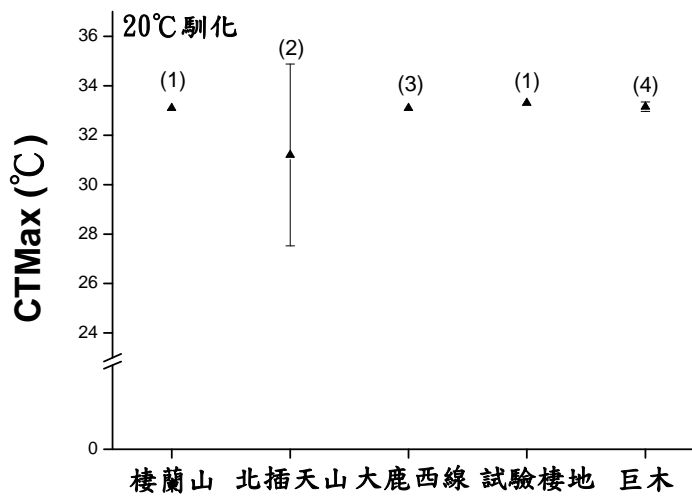


圖 3-21. 不同樣區個體在 20°C 馴化後的溫度耐受度表現。括號內為樣本數。

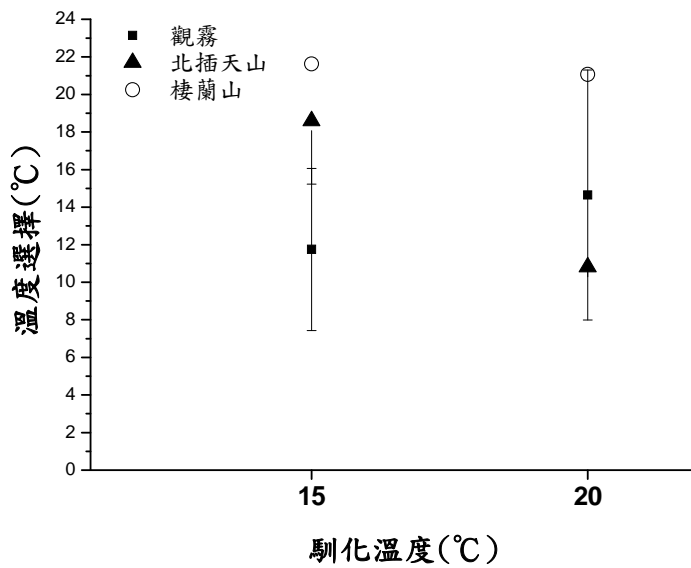


圖 3-22. 不同地區個體在 15°C 與 20°C 馴化後的溫度偏好。

## 五、族群分布與預測氣候暖化影響的推估

### 1. 小時觀測

小時觀測資料如表 3-4 與圖 3-23 所示，鄰近氣象站為 COU730，相關係數約介於 0.76~0.84 之間，大致而言相關係高，B150403-1、B150403-2、B150403-3、B150403-4、B150502-4 等 5 站，觀測值的變動範圍較氣站資料為低(圖 3-23)，D150403-6 與 D150213-3 溫度變動範圍則與氣象站變動範圍較為接近，但低溫的變動則低於氣象站。小時觀測資料與氣象站資料間的關係，大致可分為兩類，第一類為觀測點溫度會隨著氣溫變化，但是變化幅度較小，如 B150403-1；第二類為溫度會隨著氣象站溫度變化，且溫度變化較為劇烈，如 D150213-3。

表 3-4. 各測站與鄰近氣象站相關係數

測站編號	平均數	標準差	相關係數
B150403-1	13.64	2.17	0.8041
B150403-2	13.65	2.17	0.8051
B150403-3	13.73	2.52	0.8354
B150403-4	13.76	2.28	0.8397
B150502-4	13.63	1.98	0.8072
D150403-6	15.37	3.39	0.7885
D150213-2	13.48	1.83	0.7806
D150213-3	15.73	3.35	0.7835
D150502-1	14.91	3.05	0.8363
C150403-5	14.95	2.31	0.7618

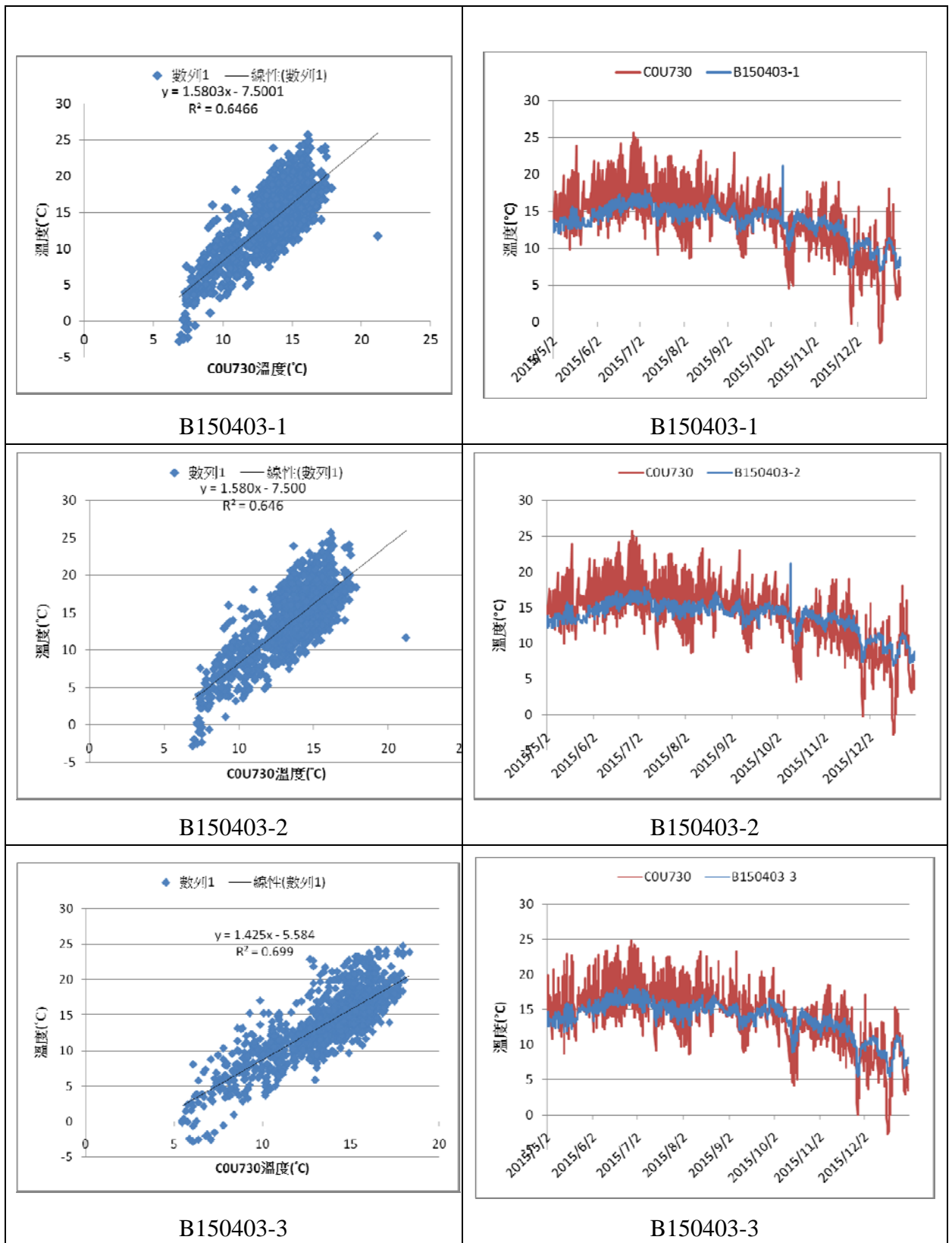


圖 3-23. (a)小時溫度資料變化情形



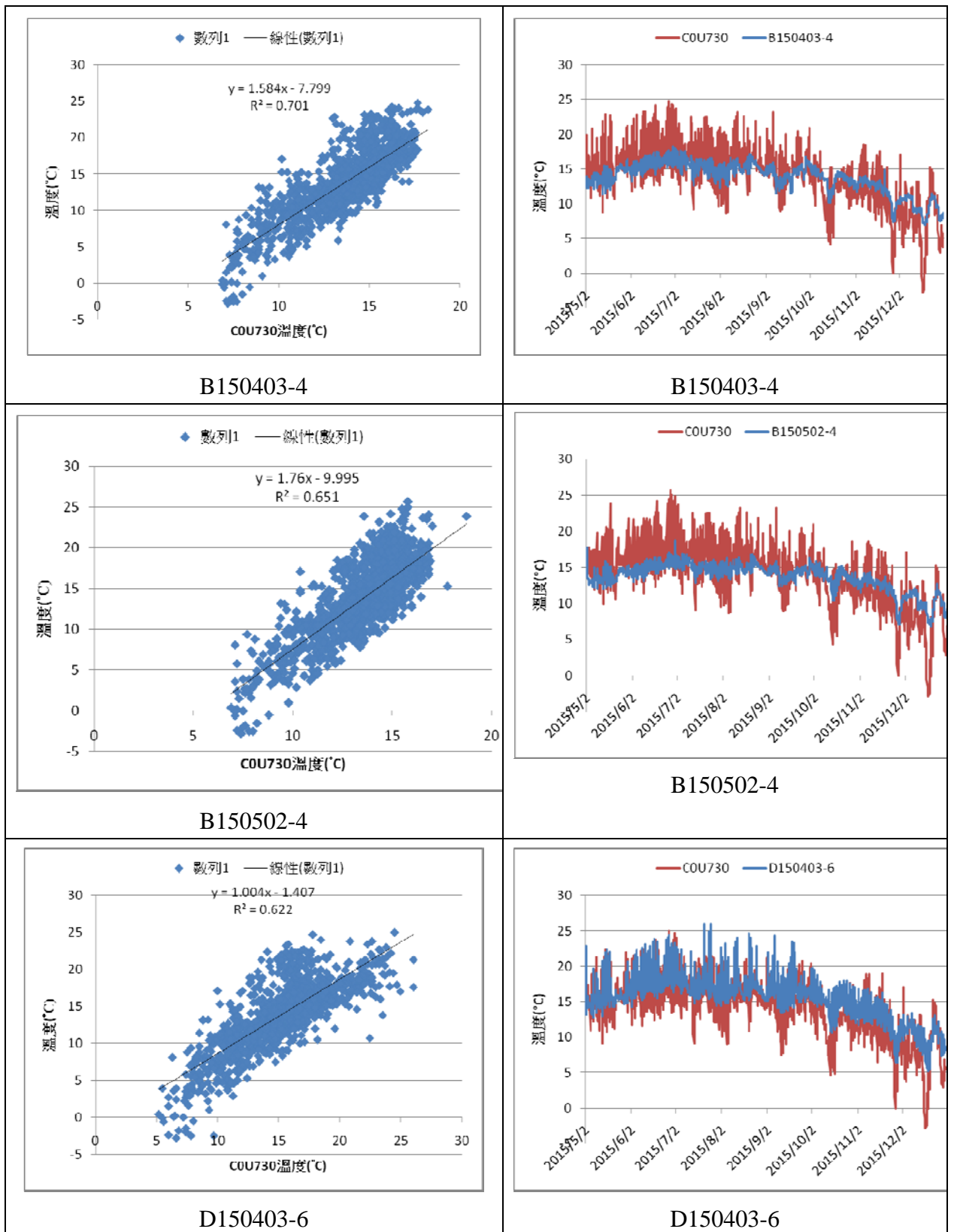


圖 3-23. (b)小時溫度資料變化情形

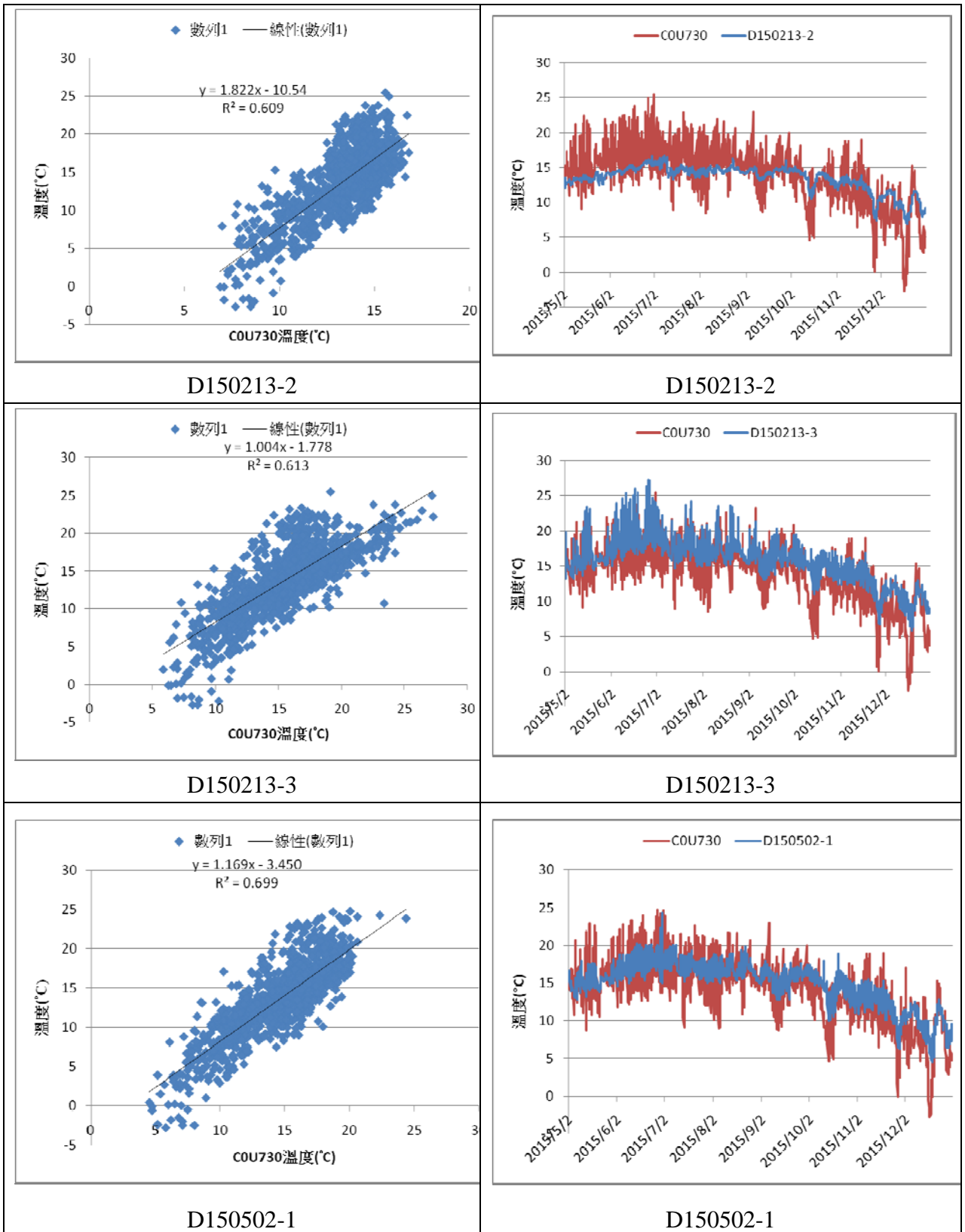


圖 3-23. (c)小時溫度資料變化情形

## 2. 日觀測資料

以日溫度資料而言，以平均溫度的相關性最高(表 3-5 與表 3-6)，次者為最低溫、最高溫；而以高低差相關係數最低；這有兩種可能一為目前監測資料時間期距(4 小時)與氣象站觀測資料期距(1 小時)不同；另一種可能則為測站資料與氣象站資料的差異。進一步以分析日資料分析日最高溫、日最低溫與平均溫度間之關係，分別以「最高溫-最低溫」、「最高溫-平均溫」與「最低溫-平均溫」，則各測站與氣象站間相關性，以「最低溫-平均溫」最高，前五站與後五站在「最高溫-最低溫」最低。此結果顯示，日溫度資料在不同觀測點間具有一定差異。

表 3-5.日溫度特性相關係數

	最高溫	最低溫	平均溫	高低差
B150403-1	0.829	0.854	0.893	0.525
B150403-2	0.794	0.861	0.905	0.286
B150403-3	0.821	0.891	0.922	0.401
B150403-4	0.809	0.883	0.916	0.376
B150502-4	0.808	0.89	0.919	0.417
D150403-6	0.8	0.884	0.919	0.54
D150213-2	0.647	0.866	0.89	0.282
D150213-3	0.811	0.875	0.906	0.576
D150502-1	0.814	0.883	0.911	0.578
C150403-5	0.824	0.879	0.91	0.603

表 3-6 日溫度特性差值相關係數表

	最高溫-最低溫	最高溫-平均溫	最低溫-平均溫
B150403-1	0.9179	0.9724	0.9821
B150403-2	0.9318	0.9687	0.9859
B150403-3	0.9297	0.9702	0.984
B150403-4	0.9225	0.9693	0.9791
B150502-4	0.9001	0.953	0.9813
D150403-6	0.7459	0.8786	0.9598
D150213-2	0.7053	0.8341	0.9689
D150213-3	0.7309	0.8778	0.9473

D150502-1	0.7268	0.8987	0.9397
C150403-5	0.7179	0.8828	0.945

### 3.月尺度

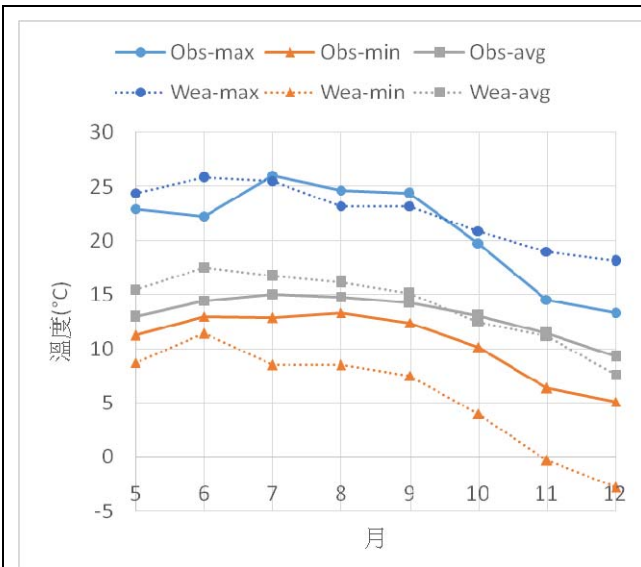
以月溫度資料而言，結果如圖 3-24，大致而言，平均溫度資料上，觀測值與氣象站資料相近；最高溫而言，氣象站資料高於觀測資料；最低溫季節性差較大，在冬季時，觀測資料遠高於氣象站資料，也就是測站受土溫與地下水溫控制。因此，在未來氣候變遷評估上，以 B150403-1 與 D150213-3 為代表，分別建立日平均資料與最高溫及最低溫之線性關係；前者代表較潮濕的環境條件，後者代表較乾燥的環境條件。

本研究分別以個觀測點平均日溫度與氣象站日溫度最迴歸，並以各觀測點的日溫度與觀測日資料最高溫度與最低溫度做迴歸，成果如表 3-7 所示，相關係數是高於 0.89，且可以發現較濕潤環境(B150403-1)的斜率較低，受到大氣溫度影響較小；反之，較乾燥環境(D150213-3)的斜率較高，溫度受到大氣影響顯著。

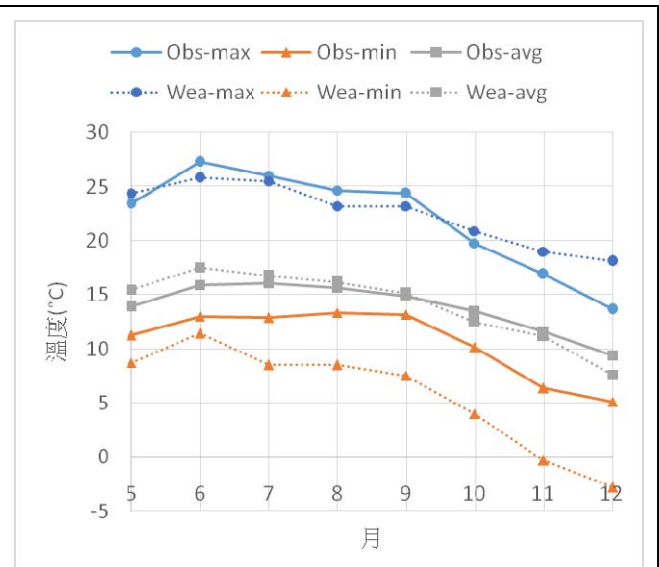
表 3-7. 乾溼兩測站溫度日資料線性迴歸結果

觀測點	變數	氣象站	日最高溫度	日最低溫度
B150403-1	相關係數	0.893	0.972	0.982
	斜率	0.47	1.076	0.951
	截距	6.871	-0.405	0.116
D150213-3	相關係數	0.906	0.878	0.947
	斜率	0.622	1.403	0.82
	截距	5.936	-2.571	0.896

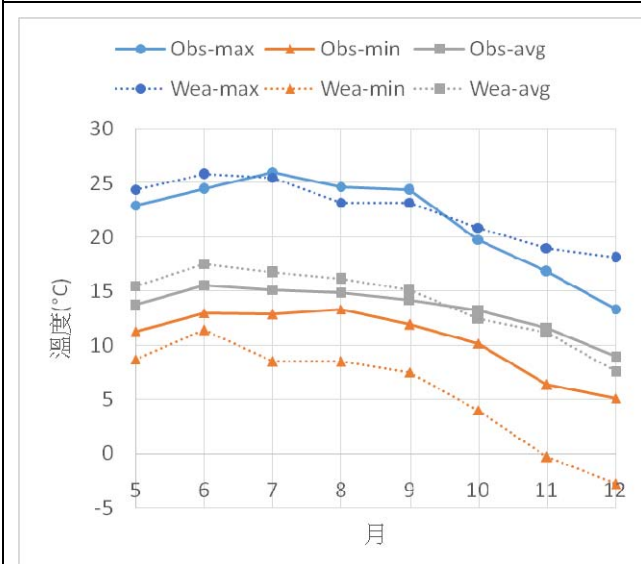




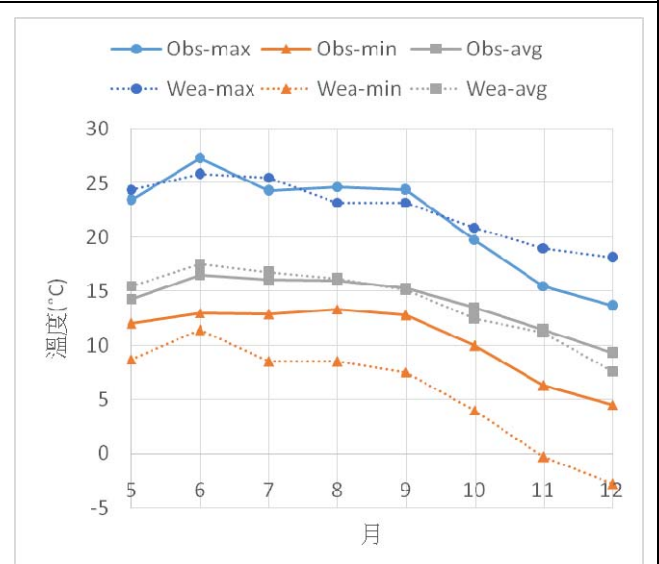
D150213-2



D150213-3



D150403-6



D150502-1

圖 3-24. 月平均觀測資料與氣象站資料月

#### 4. 建立觀霧山椒魚的微棲地溫度單站在氣候變遷影響

各月份在世紀中及世紀末的溫度變化，如圖 3-25 所示，平均年資料在世紀中約 1.62 度，至世紀末約增加 2.74 度。本研究依照各月份的平均溫度，繁衍出日資料，並配合上述建立之日最高溫度與日最低溫度的迴歸方程式，推估各日平均溫度、日最高溫度與日最低溫度三個變數；結果顯示，在乾燥條件下(D150213-3)，最高溫與最低溫變化較為劇烈(圖 3-26)。

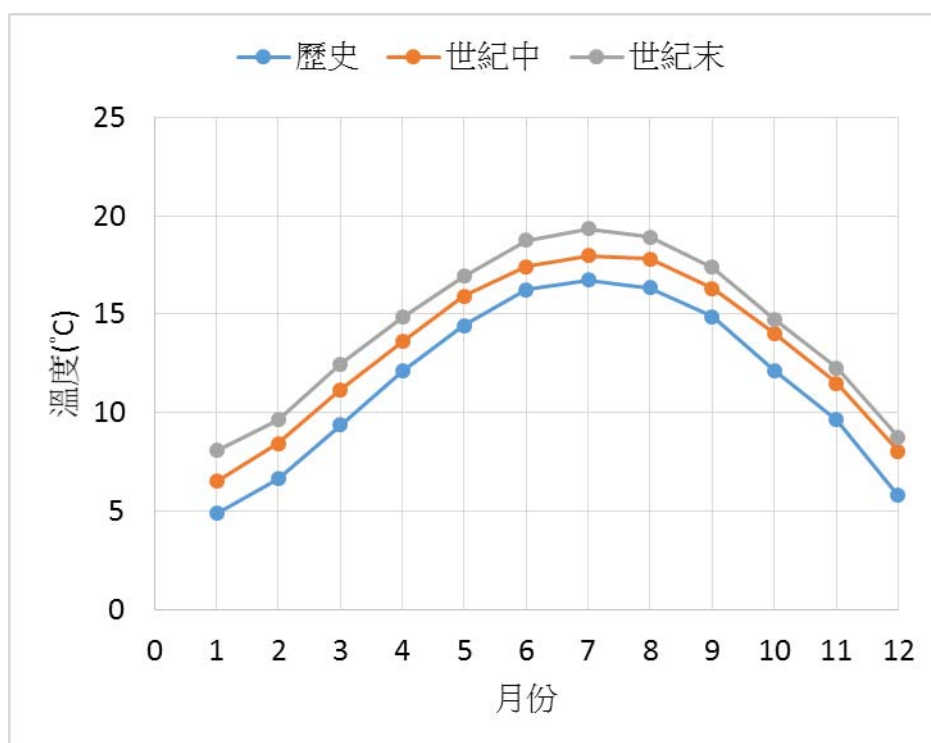


圖 3-25. 氣象站在世紀中與世紀中各月份溫度情形(GISS)

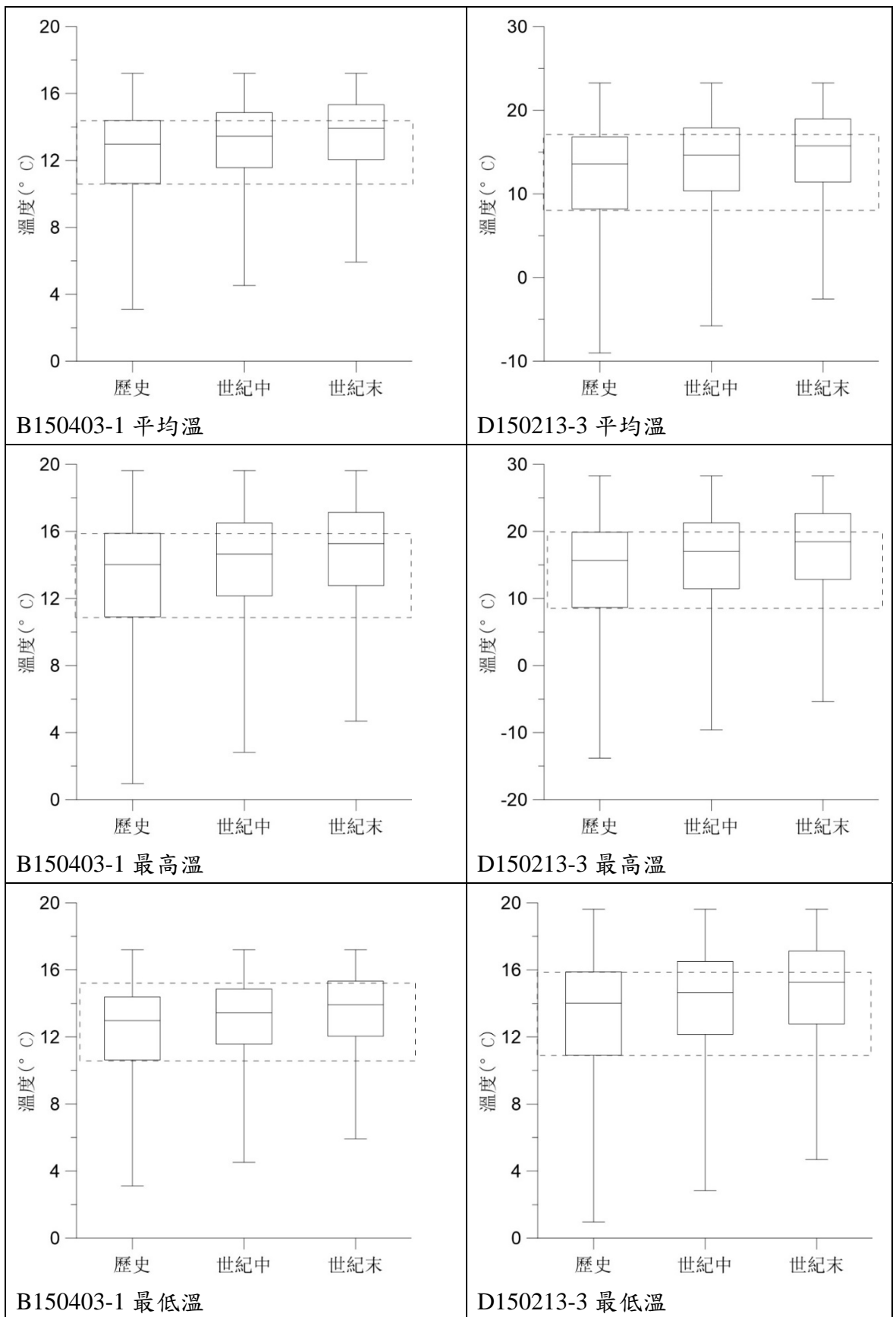


圖 3-26. 觀測點在氣候變遷下溫度變化情形



## 5. 以年均溫增加情境模擬氣候變遷衝擊

研究結果如圖 3-27 與圖 3-28 所示，衝擊的結果分為五級，顏色越深代表溫度衝擊越大，圖 3-27 為濕潤條件下的影響，圖 3-28 為乾燥條件下的影響，結果顯示，在乾燥條件下(圖 3-28)，受到溫度影響甚大，影響的區域與範圍都遠大於濕潤條件。

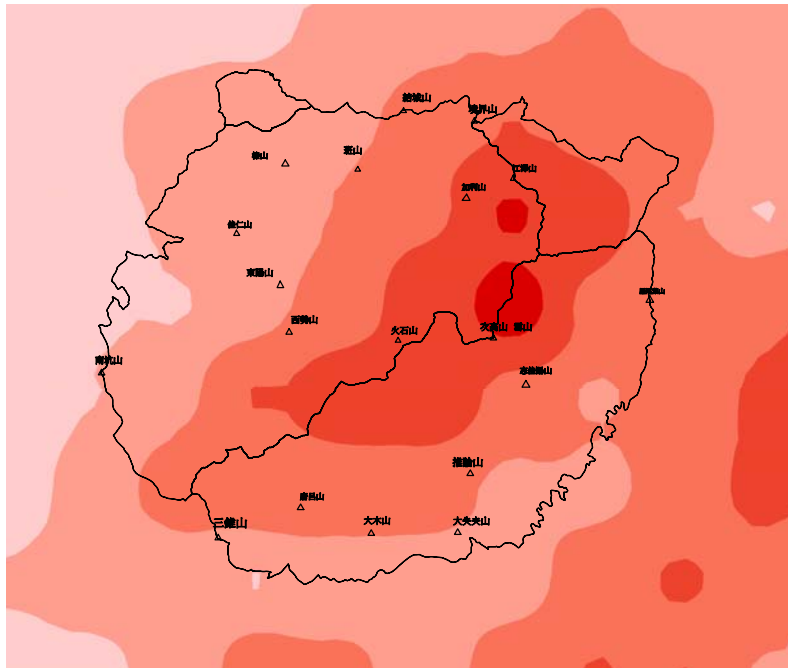


圖 3-27. 世紀中在濕潤條件下山椒魚棲地環境的衝擊

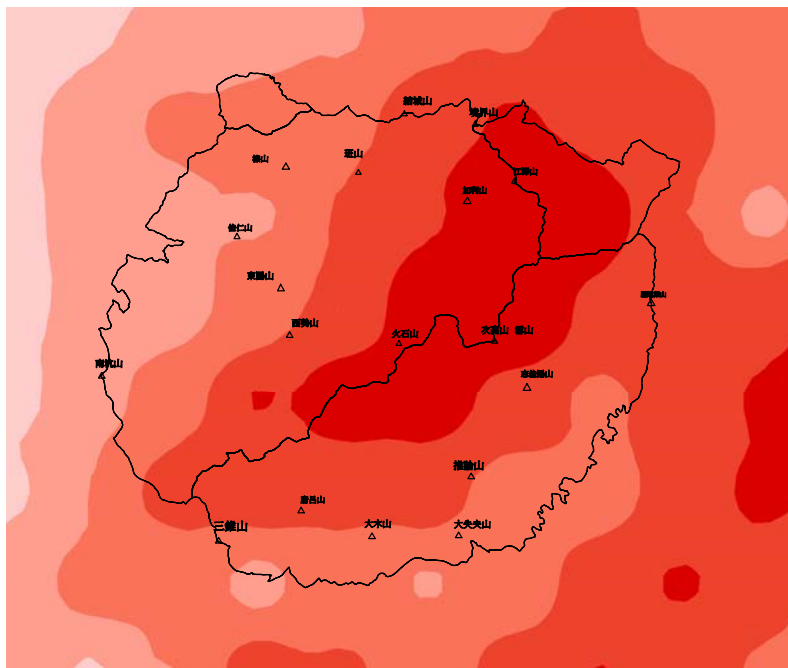


圖 3-28. 世紀中在乾燥條件下山椒魚棲地環境的衝擊

## 六、族群遺傳資料分析

觀霧山椒魚 DNA 樣本採集自觀霧(GW)、北橫(NCIH)與棲蘭山(K)等三個主要地點共 135 筆樣本(表 3-8)。觀霧地區累積共 116 筆樣本數量最多，區分為 4 個族群，分別為巨木群步道(SB)92 筆，大鹿林道西線(SW)15 筆，蜜月小徑(SH) 5 筆，試驗棲地(EH)4 筆。北橫地區累積共 18 筆樣本，區分為 2 族群，分別為拉拉山(LLS)9 筆與北插天山(NCTM)9 筆。棲蘭山族群數量最少僅 1 筆樣本。粒線體 *cyt-b* 基因序列經過排序後，進行親緣關係與族群遺傳分析。全部樣本經分析後，共可區分為 12 種單倍基因型(haplotype)，觀霧共有 7 種單倍基因型，北橫共有 4 種單倍基因型，棲蘭山 1 種單倍基因型(表 3-8)。觀霧地區以 H2 單倍基因型數量最多，4 個族群皆可發現分佈最為廣泛，而 H1、H4、H6 和 H7 則各僅分佈於單一族群。大鹿林道西線族群單倍基因型分佈最多，共有 5 種單倍基因型，試驗棲地族群僅有 1 種單倍基因型為最少(表 3-8)。北橫地區共有 4 種單倍基因型，北插天山族群 4 種單倍基因型皆有分佈，而拉拉山僅有 2 種單倍基因型且與北插天山族群共享(表 3-8)。觀霧 4 個族群的單倍基因型多樣性指數 ( $h$ ) 中，大鹿林道西線指數最高，個體數量最多的巨木群步道指數卻偏低，主要因為大多數個體為 H2 單倍基因型，而試驗棲地僅有 1 種單倍基因型，所以單倍基因型多樣性指數為 0 (表 3-8)。北橫地區的北插天山族群的單倍基因型多樣性指數 ( $h$ ) 皆呈現高指數，拉拉山大多數個體為 H8 單倍基因型則呈現低指數(表 3-8)。觀霧 4 個族群核苷酸多樣性指數 ( $\pi$ ) 皆呈現低指數值，試驗棲地族群指數為 0，族群內個體基因序列無差異。北插天山族群相對於觀霧 4 個族群核苷酸多樣性指數呈現高指數值，拉拉山族群指數與觀霧 4 個族群相似呈現低指數。中性假說檢測(表 3-8)，觀霧山椒魚各族群 Tajima's D 與 Fu and Li's F 雖皆未顯著偏離 0，並未偏離中性假說，亦無受到選擇。整體而言，北橫地區相較於觀霧地區，遺傳多樣性皆較高，其中又以北插天山族群遺傳多樣性為最高。棲蘭山樣本僅有 1 個體，不列入計算各項指數。

**表 3-8.** 觀霧山椒魚(*Hynobius fuca*)粒線體 *cyt-b* 基因遺傳多樣性分析，包括單倍基因型多樣性 ( $h$ )、核苷酸多樣性 ( $\pi$ )、Tajima's  $D$  和 Fay and Wu's  $F$  檢測

Population	$n$	Haplotype												$h$	$\pi$	Tajima's $D$	Fu and Li's $F$	
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12					
<b>GW</b>																		
SB	92		87	2	2								1		0.14	0.00020	-1.62609	-0.81076
SW	15	1	10	2		1	1								0.49	0.00074	-1.27826	-1.25085
SH	5		4			1									0.40	0.00054	-0.81650	-0.77152
EH	4		4												0	0	-	-
Subtotal	116	1	105	4	2	2	1	1							0.20	0.00027	-1.79717*	-0.84237
<b>NCIH</b>																		
LLS	9							8		1					0.22	0.00030	-1.08823	1.28293
NCTM	9							3	2	2	2				0.83	0.00172	0.60210	1.16307
Subtotal	18							11	2	3	2				0.61	0.00124	0.15692	0.90606
<b>K</b>	1											1			-	-	-	-

觀霧(GW) ，大鹿林道西線(SW)，巨木群步道(SB)，蜜月小徑(SH)，試驗棲地(EH) ，北橫(NCIH) ，拉拉山(LLS) ，北插天山(NCTM)，棲蘭山(K)

表 3-9 觀霧山椒魚(*Hynobius fuca*)族群間粒線體 *cyt-b* 基因遺傳距離 (Genetic distance) 與遺傳分化指數 (Fixation index,  $F_{ST}$ ) (粗體字)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	within
1 SB		<b>0.016</b>	<b>0.003</b>	<b>0.009</b>	<b>0.988</b>	<b>0.955</b>	-	-	-	-	0.0002
2 SW	0.0005		<b>-0.038</b>	<b>0.038</b>	<b>0.976</b>	<b>0.943</b>	-	-	-	-	0.0007
3 SH	0.0004	0.0006		<b>&lt;0.001</b>	<b>0.981</b>	<b>0.948</b>	-	-	-	-	0.0005
4 EH	0.0001	0.0004	0.0003		<b>0.993</b>	<b>0.96</b>	-	-	-	-	0
5 LLS	0.0218	0.0222	0.0221	0.0218		<b>0.302</b>	-	-	-	-	0.0003
6 NCTM	0.0217	0.0220	0.0219	0.0216	0.0014		-	-	-	-	0.0017
7 K	0.0507	0.0510	0.0509	0.0506	0.0460	0.0452		-	-	-	-
8 <i>Hynobius arisanensis</i>	0.1166	0.1167	0.1162	0.1165	0.1134	0.1143	0.1085		-	-	-
9 <i>Hynobius sonani</i>	0.1170	0.1171	0.1166	0.1169	0.1138	0.1147	0.1072	0.0361		-	-
10 <i>Hynobius glacialis</i>	0.1139	0.1141	0.1135	0.1138	0.1124	0.1133	0.1124	0.0595	0.0567		-
11 <i>Hynobius formosanus</i>	0.1217	0.1219	0.1213	0.1216	0.1185	0.1194	0.1103	0.0727	0.0699	0.0640	-

大鹿林道西線(SW)，巨木群步道(SB)，蜜月小徑(SH)，試驗棲地(EH)，拉拉山(LLS)，北插天山(NCTM)，棲蘭山(K)

觀霧 4 個族群間遺傳距離介於 0.0001-0.0006，顯示族群間遺傳組成相似，而族群內遺傳距離介於 0-0.0007，族群間與族群內遺傳距離相似，表示族群間無明顯區隔可視為同一族群(表 3-9)。北橫 2 族群間遺傳距離 0.0014，高於觀霧族群間遺傳距離，顯示此 2 族群應視為不同族群。拉拉山族群內遺傳距離為 0.0003 與觀霧各族群內相似，但北插天山族群內遺傳距離為 0.0017，顯示族群內遺傳變異相對較高。棲蘭山族群與觀霧及北橫各族群間遺傳距離介於 0.0452-0.0510，顯示棲蘭山族群與其他族群遺傳差異大而臺灣其他 4 種山椒魚種間遺傳距離介於 0.0361-0.727(表 3-9)，推測棲蘭山族群可能是隱蔽種為觀霧山椒魚之姊妹種。遺傳分化指數方面，觀霧 4 族群間遺傳分化指數皆接近 0 或為負值(表 3-9)，顯示此族群間無顯著分化現象，基因交流順暢，觀霧地區可視為同一族群。北橫 2 族群與觀霧 4 族群間，遺傳分化指數呈現高度分化，顯示兩地為明顯不同族群，無基因交流現象(表 3-9)。北插天山與拉拉山族群間遺傳分化指數 0.302，顯示 2 群間存在遺傳分化，基因交流程度低。

觀霧山椒魚的 12 種單倍基因型與 GenBank 下載樣本序列來進行親緣關係樹重建，結果顯示觀霧山椒魚為單系群(圖 3-29)。觀霧山椒魚可分為 3 大支系，觀霧(GW)、北橫(NCIH)與棲蘭山(K)支系，支系間具有明顯的地理隔離。前人研究並未加入棲蘭山樣本，系統發生分析僅指出觀霧山椒魚有 2 支系，觀霧與北橫支系(Lai and Lue, 2008)。本研究指出觀霧山椒魚有 3 支系，有 2 次主要的分化事件，觀霧山椒魚曾有一共同祖先，棲蘭山(K)支系最早分化出來，而北橫支系與觀霧支系亦曾有一共同祖先後分化而成(圖 3-29)。觀霧山椒魚僅分佈於雪山山脈，其他 4 種山椒魚大多分佈於中央山脈，部分亦分佈於雪山山脈(Lai and Lue, 2008)，推測雪山山脈的造山運動導致稜線隆起，地質運動可能造成地理分隔的因素。

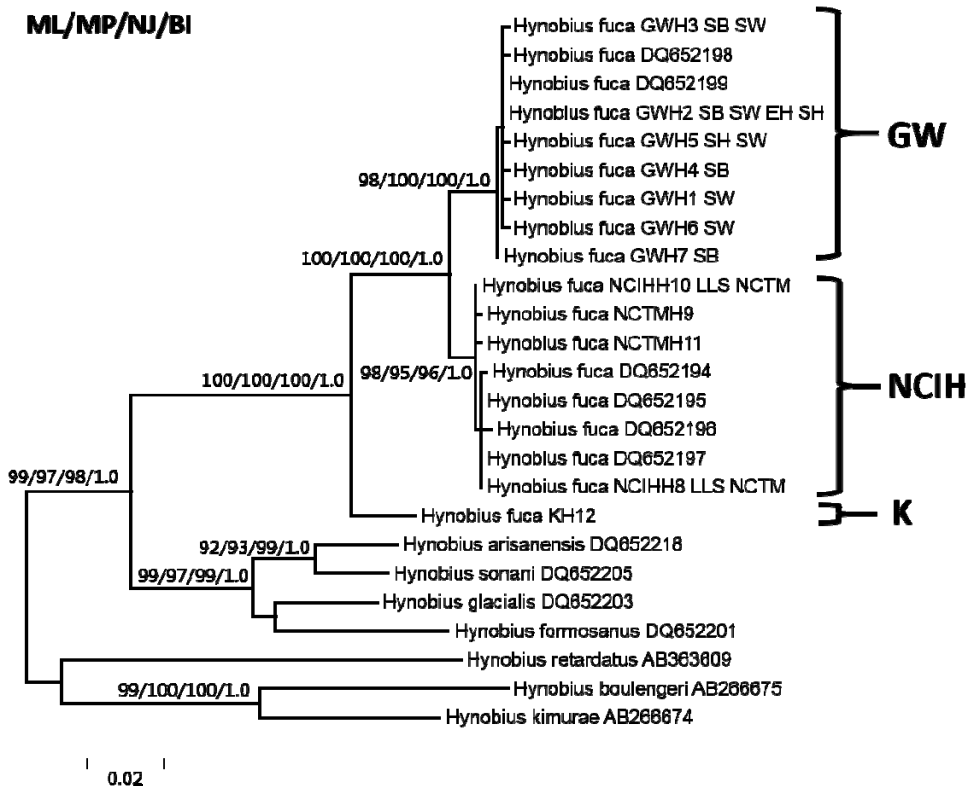


圖 3-29. 山椒魚粒線體 *cyt-b* 基因序列利用最大似然性法(ML)重建之親緣關係樹，分支節點值表支持程度，分別為最大似然性法、最大儉約法(MP)、鄰域加入法(NJ)之 bootstrap 與貝葉氏導出式之後檢驗概率值(BI)。觀霧山椒魚可分為三大分支，觀霧、北橫與棲蘭山支系；觀霧(GW)：大鹿林道西線(SW)，巨木群步道(SB)，蜜月小徑(SH)，試驗棲地(EH)；北橫(NCIH)：拉拉山(LLS)，北插天山(NCTM)，北插天山(K)。

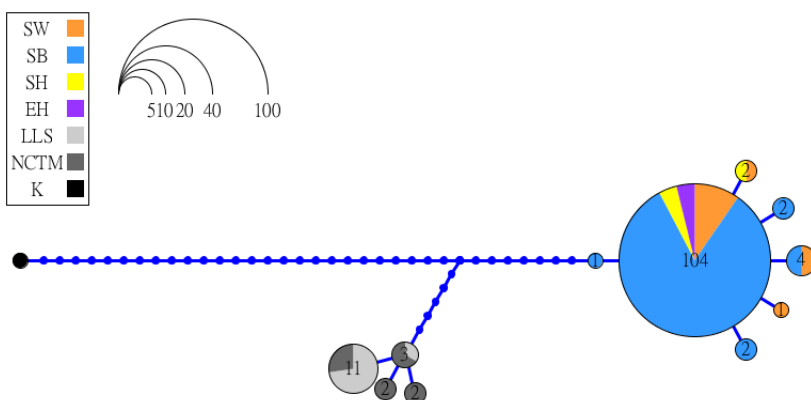


圖 3-30. 觀霧山椒魚(*Hynobius fuca*)粒線體 *cyt-b* 基因最小關聯網狀圖分析族群包含大鹿林道西線(SW)，巨木群步道(SB)，蜜月小徑(SH)，試驗棲地(EH)，拉拉山(LLS)，北插天山(NCTM)，棲蘭山(K)。觀霧山椒魚可分為三大地理分支，棲蘭山群、觀霧群與北橫群。

最小關聯網狀圖顯示觀霧山椒魚分3地理群，觀霧群、北橫群與棲蘭山群(圖3-30)，3群間呈現明顯的地理隔離現象。觀霧群H2單倍型數量最多為最主要的單倍型在觀霧4個樣點皆出現，觀霧其他單倍基因型皆是H2延伸出，顯示觀霧4個族群無明顯地理分化現象，可視為一個族群。北橫群共有4種單倍基因型，主要由H10衍生出另外3種單倍基因型，北插天山族群遺傳多樣性較高共有4種單倍基因型，遺傳多樣性較高處通常為起源中心，加上拉拉山僅有2種單倍基因型且與北插天山共享，推測拉拉山族群由北插天山族群拓殖建立，此結果支持觀霧山椒魚可能由低海拔往高海拔拓殖。棲蘭山群與其他2群遺傳差異甚大，具明顯地理隔離，加上遺傳距離與親緣關係分析的支持，棲蘭山群可能為不同種山椒魚。

#### 第四章、結論與建議

本年度的調查顯示巨木群步道所調查到的觀霧山椒魚數量最多，本區仍為最穩定能發現山椒魚的區域，顯示其棲地條件在觀霧地區有其不可取代性。相較於其他樣點，巨木群步道有較完整的林相遮蔽，這樣的環境似乎較有利於維持微棲地環境的濕度、以及相對且穩定的低溫。以歷年所調查到的重複捕捉個體的經緯度分布資料，發現活動範圍最廣的個體，估計達303.3 m<sup>2</sup>，遠較過去文獻所估計的範圍大。從最大垂直距離來看，多數個體最大垂直距離低於50 m；而從最大水平距離來看，多數個體最大水平距離低於50 m，但仍有個體可移動達666.7m，顯示觀霧山椒魚仍有較長距離的移動。然而，整體而言，結果仍呼應先前研究，顯示個體對棲地的高依戀性與低移動性。

微棲地環境條件與個體的活動模式可能也影響到個體的溫度偏好。結果顯示在15°C馴化的個體，其溫度偏好值約12°C，而20°C馴化的個體，其溫度偏好值為15°C，然而，統計上顯示選溫偏好不受馴化溫度所影響。結果反映出觀霧地區的山椒魚微棲地環境的月內高低溫度變化幅度不大，利用的微棲地屬於溫度異質性較低的環境，這使得牠們反應溫度改變的敏感度較低，因此溫度偏好不易受到馴化溫度的影響。這也顯示觀霧山椒魚面對氣候暖化時，在選溫偏好上可能缺乏生理調整能力，可能無法即時反應棲地溫度環境的改變去調整溫度偏好以適應新的環境，如此我們會預期暖化會

對族群產生一定的衝擊。這結果更凸顯維護現有山椒魚棲地的重要性，因為能維持低溫潮濕的棲息地有利於緩和氣候暖化的威脅。

在模擬氣候變遷衝擊的評估方面，依據目前成果，各測站的溫度資料由於棲地條件不同，可以分為濕潤條件與乾燥條件，可依照各測站的觀測資料與氣象站資料建立良好的迴歸關係，包括日資料中的測站日平均溫度與氣象站日平均溫度、測站日平均溫度與測站之最高溫度與最低溫度。依照各觀測資料進行評估，測站特性與溫度變化上大致分為兩類：一類為在低溫環境下，觀測溫度高於氣象站觀測，顯示棲地環境受到地下水與土壤水分溫度影響明顯，而一類棲地為受到氣溫影響高溫有明顯變化，因此本研究將棲地條件分為濕潤條件與乾燥條件兩類。在氣候變遷評估上，目前以單站氣象資料為做為降尺度依據，修正各月溫度的改變量，繁衍出日平均溫度。結果顯示，在乾燥條件，受到氣候變遷影響較顯著。此研究結果，當然與本研究假設有關係，但在目前資料顯示，日平均溫度與日最高溫度及最低溫度具有關聯性，在環境溫度上應可做合理評估。在區域方面，由於區域氣象站環境仍需進一步完整建構，且受限於目前觀測點的資料，較缺乏面資料，尚無推估至整個國家公園；初步以歷史溫度條件，並依照目前觀測點最高溫與最低溫度的關係進行溫度隸屬度評估，來評估溫度的衝擊，結果顯示，乾燥環境條件的棲地所受到衝擊會較大，是未來棲地保育應注意的地方。未來可針對更多的棲地位置調查與環境變數之關聯，並配合與量的改變資料，以進一步評估可能棲地位置與外來影響，建立區域性評估。

觀霧地區4族群遺傳多樣性極低，族群間與族群內遺傳距離相似，遺傳分化指數低，顯示族群間基因交流順暢，樣點間無顯著地理分化，整體觀霧地區可視為單一族群。巨木群步道採獲樣本為最多，族群數量最為穩定，但95%個體屬於H2單倍基因型，遺傳多樣性偏低不利於未來族群適應。大鹿林道西線採獲樣本雖比巨木群步道低，但各遺傳多樣性指數皆較高，推測大鹿林道西線氣候環境變化較大，利於族群遺傳多樣性的維持，棲地環境的多樣性助於維持較高的遺傳多樣性，未來氣候變遷下利於族群的適應演化。北橫地區相對於觀霧地區，族群具有較高的遺傳多樣性。北插天山族群遺傳多樣性較高具有4種單倍基因型，拉拉山遺傳多樣性較低僅具2種單倍基因型，但



拉拉山與北插天山族群共享這2種單倍基因型，根據遺傳多樣性較高為起源中心假說，拉拉山族群由北插天山族群衍生出，支持間冰期觀霧山椒魚由低海拔往高海拔拓殖假說。親緣關係樹與遺傳距離分析，顯示棲蘭山與北橫及觀霧族群遺傳差異極大，達到種間遺傳差異，推測棲蘭山族群可能為隱蔽種，未來需進一步確認是否新種為觀霧山椒魚的姊妹種，助於觀霧山椒魚保育地位與保育策略之擬定。本研究亦支持山脈的隔離限制了山椒魚的基因交流(賴 2008)，山脈的地質變動事件可能造成地理隔離，限制族群基因交流，導致族群分化或山椒魚獨立種化。

以下就本研究的結果，就立即可行建議及長期性建議，分別提出以下說明：

### 一、立即可行的建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：中國文化大學生命科學系

建議事項：

過去五年來，觀霧地區持續有研究團隊在此進行山椒魚族群的監測，已累積不少成果。山椒魚的野外調查時間投資報酬率低，須仰賴持續不斷的監測，才可能收集較多且能應用的基礎生物學資料，以利於山椒魚保育上的評估。過去所累積的組織樣本、重複捕捉個體資料以及微棲地環境與溫度生理資料目前也分別逐步應用在目前族群遺傳、活動範圍推估以及氣候變遷的模擬預測上。此外，如何減少棲地人為活動的干擾也很重要，巨木群林道為目前所知觀霧地區觀霧山椒魚族群密度最高的地方，日前已經重新開放，未開放前，此區山椒魚微棲地被擅入遊客進入翻閱的狀況時有所聞，這顯示持續的野外監測更是必要，特別是此區開放後的族群影響評估。因此，仍建議管理處應持續針對觀霧地區的山椒魚族群進行監測，以利對山椒魚族群動態的瞭解以及保育策略調整的參考。

## 二、長期性的建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：中國文化大學生命科學系

建議事項：

1. 無論從野外調查、個體活動範圍推估、室內溫度偏好實驗、模擬氣候變衝擊的評估以及族群遺傳的資料評估來看，都顯示氣候暖化可能對觀霧山椒魚產生一定的衝擊，而衝擊的差異可能會因區域氣候環境變化條件差異而有不同。屬於較乾燥的區域衝擊可能較大。未來保育政策執行上，除關切核心區域(如微棲地較能維持低溫與高濕度條件的巨木群步道樣區應屬其較偏好區域)的環境的維持，更要注意氣候環境變化條件較大地區的環境長期變化，如大鹿林道西線，因為這樣的區域有利於族群遺傳多樣性的維持，其棲地環境的多樣性助於維持較高的遺傳多樣性。
2. 關於山椒魚試驗棲地改善，去年曾建議可以考慮改善的方式是在該區鬱閉度較高的區域增加石塊放置，以提高山椒魚的利用可能，並同時監控遮蔽物溫度變化以評估持續改善的可能。從今年四月調查到兩隻個體的結果來看，無論是被重複補捉到個體或新個體的發現，以及現有較長期微棲地的溫度資料，至少顯示此區目前營造的微環境條件能滿足觀霧山椒魚的基本生存，然而，此區發現山椒魚的頻率仍不高且沒有生殖資料，且目前所收集的基礎資料仍不足，未來建議須持續監測，以評估棲地是否還有改善的空間。

## 第五章、參考文獻

- Calosi, P., D. T. Bilton, and J. I. Spicer. 2008. Thermal tolerance, acclimatory capacity and vulnerability to global climate change. *Biology Letters* **4**:99-102.
- Camp, C. D., J. A. Wooten, J. B. Jensen, and D. F. Bartek. 2013. Role of temperature in determining relative abundance in cave twilight zones by two species of lungless salamander (family Plethodontidae). *Canadian Journal of Zoology*, **92**: 119-127.
- Chen, T. C., Y. C. Kam, and Y. S. Lin. 2001. Thermal physiology and reproductive phenology of *Buergeria japonica* (Rhacophoridae) breeding in a stream and a geothermal hot spring in Taiwan. *Zoological Science* **18**:591-596.
- Cupp, J., P. V. 1980. Thermal tolerance of five salientian amphibians during development and metamorphosis. *Herpetologica* **36**:234-244.
- Delson, J. and W. G. Whitford. 1973. Stages in desert and montane populations of *Ambystoma tigrinum*. *Herpetologica* **29**:352-355.
- Deutsch, C. A., J. J. Tewksbury, R. B. Huey, K. S. Sheldon, C. K. Ghalambor, D. C. Haak, and P. R. Martin. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:6668-6672.
- Duarte, H., M. Tejedó, M. Katzenberger, F. Marangoni, D. Baldo, J. F. Beltrán, D. A. Martí, A. Richter-Boix, and A. Gonzalez-Voyer. 2011. Can amphibians take the heat? Vulnerability to climate warming in subtropical and temperate larval amphibian communities. *Global Change Biology* **18**:412-421.
- Drummond, A.J., M. A. Suchard, D. Xie, and A. Rambaut. 2012. Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. *Molecular Biology and Evolution* **29**: 1969-1973.
- Floyd, R. B. 1985. Effects of photoperiod and starvation on the temperature tolerance of larvae of Giant toad, *Bufo marinus*. *Copeia* **1985**:625-631.
- Green, D. E. 2001. Anesthesia of amphibians in the field. USGS Standard Operating Procedure. ARMI SOP.
- Holomuzki, J. R. 1986. Predator avoidance and diel patterns of microhabitat use by larval

- tiger salamanders. *Ecology* **67**:737-748.
- Hoppe, D. M. 1978. Thermal tolerance in tadpoles of the chorus frog *Pseudacris triseriata*. *Herpetologica* **34**:318-321.
- Howard, J. H. and R. L. Wallace. 1983. Critical thermal maxima in populations of *Ambystoma macrodactylum* from different elevations. *Journal of Herpetology* **17**:402-404.
- Huelsenbeck, J. P., and F. Ronquist. 2001. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. *Bioinformatics* **17**: 754-755.
- Hutchison, V. H. 1961. Critical thermal maxima in salamanders. *Physiological Zoology*:92-125.
- Hutchison, V. H. and R. K. Dupre. 1992. Thermoregulation. Pages 206-249 in M. E. Feder and W. W. Burggren, editors. *Environmental Physiology of the Amphibians*. The University of Chicago Press Chicago and London.
- Kirtman, B., S.B. Power, J.A. Adedoyin, G.J. Boer, R. Bojariu, I. Camilloni, F.J. Doblas-Reyes, A.M. Fiore, M. Kimoto, G.A. Meehl, M. Prather, A. Sarr, C. Schär, R. Sutton, G.J. van Oldenborgh, G. Vecchi and H.J. Wang, 2013: Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 953–1028, doi:10.1017/CBO9781107415324.023.
- Keen, W. H. and E. E. Schroeder. 1975. Temperature selection and tolerance in three species of *Ambystoma* larvae. *Copeia* **1975**:523-530.
- Lai, J.-S. and K.-Y. Lue. 2008. Two new *Hynobius* (Caudata: Hynobiidae) salamanders from Taiwan. *Herpetologica* **64**:63-80.
- Lai, J.-S. and K.-Y. Lue. 2013. Microhabitat Preference of the Alishan Salamander (*Hynobius arisanensis*). *Current Herpetology* **32**:125-134.

- Larkin, M. A., G. Blackshields, N. Brown, R. Chenna, P. A. McGettigan, H. McWilliam, F. Valentin, I. M. Wallace, A. Wilm, and R. Lopez. 2007. Clustal W and Clustal X version 2.0. *Bioinformatics* **23**:2947-2948.
- Lee, P.-F., K.-Y. Lue, and S.-H. Wu. 2006. Predictive distribution of hynobiid salamanders in Taiwan. *Zoological Studies* **45**:244-254.
- Li J., Fu C., and G. Lei. 2011. Biogeographical Consequences of Cenozoic Tectonic Events within East Asian Margins: A Case Study of *Hynobius* Biogeography. *PLoS ONE* **6**(6): e21506. doi:10.1371/journal.pone.0021506.
- Librado, P., and J. Rozas. 2009. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics* **25**: 1451-1452.
- Licht, P. and A. G. Brown. 1967. Behavioral thermoregulation and its role in the ecology of the red-bellied newt, *Taricha rivularis*. *Ecology* **48**:598-611.
- Lue, K. and K. Chuang. 1992. The discovery of metamorphosed juveniles of formosan salamander (*Hynobius formosanus*) in Yu-Shan national park. *Bulletin Institute Zoology, Academia Sinica* **31**:312-316.
- Manis, M. L. and D. L. Claussen. 1986. Environmental and genetic influences on the thermal physiology of *Rana sylvatica*. *J. them. Bio.* **11**:31-36.
- Moritz, C., C. J. Schneider, and D. B. Wake. 1992. Evolutionary relationships within the *Ensatina eschscholtzii* complex confirm the ring species interpretation. *Systematic Biology* **41**:273-291.
- Noland, R. and G. R. Ultsch. 1981. The roles of temperature and dissolved oxygen in microhabitat selection by tadpoles of a frog (*Rana pipens*) and a toad (*Bufo terrestris*). *Copeia* **1981**:645-652.
- Rome, L. C., E. D. Stevens, and H. B. John-Alder. 1992. Environmental Physiology of the Amphibians. Pages 183-205 *in* M. E. Feder and W. W. Burggren, editors. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Seto, T. and T. Utsunomiya. 1987. Chromosome analysis of *Hynobius arisanensis* Maki, a salamander endemic to Taiwan. *Herpetologica*:117-119.

- Sinervo, B., F. Mendez-De-La-Cruz, D. B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, N. Martínez-Méndez, M. L. Calderón-Espinosa, and R. N. Meza-Lázaro. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* **328**:894-899.
- Stauffer, J. R. J., J. E. Gates, and W. L. Goodfellow. 1983. Preferred temperature of two sympatric *Ambystoma* larvae: a proximate factor in niche segregation? *Copeia* **1983**:1001-1005.
- Stillman, J. H. 2003. Acclimation capacity underlies susceptibility to climate change. *Science* **301**:65-65.
- Tsukada, M. 1966. Late Pleistocene vegetation and climate in Taiwan (Formosa). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **55**: 543-584.
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipski A, and S. Kumar. 2013 MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* **30**: 2725-2729.
- Templeton, A. R., and C. F. Sing. 1993. A cladistic analysis of phenotypic associations with haplotypes inferred from restriction endonuclease mapping. IV. Nested analysis with cladogram uncertainty and recombination. *Genetics* **134**: 659-669.
- Tewksbury, J. J., R. B. Huey, and C. A. Deutsch. 2008. Putting the heat on tropical animals. *Science* **320**:1296.
- Walton, B. M. 2013. Top-down regulation of litter invertebrates by a terrestrial salamander. *Herpetologica* **69**:127-146.
- Weisrock, D.W., J.R. Macey, I.H. Ugurtas, A. Larson, and T. J. Papenfuss. 2001. Molecular phylogenetics and historical biogeography among salamandrids of the “true” salamander clade: rapid branching of numerous highly divergent lineages in *Mertensiella luschani* associated with the rise of Anatolia. *Molecular Phylogenetic Evolution* **18**: 434-448.
- Wu, C. S. and Y. C. Kam. 2005. Thermal tolerance and thermoregulation by Taiwanese rhacophorid tadpoles (*Buergeria japonica*) living in geothermal hot springs and

- streams. *Herpetologica* **61**:35-46.
- Yeh, K., K. Chuang, K. Lue, and S. Chen. 1988. The study of antipredator behavior of formosan salamander (*Hynobius formosanus*). *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* **27**:37-48.
- 毛俊傑. 2009. 棲蘭山 100 線林道觀霧山椒魚之分布與環境. Page 31. 行政院退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處.
- 林博雄. 2010. 觀霧地區雲霧環境之監測與模式建立. 雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告.
- 呂光洋、賴俊祥. 2010. 觀霧山椒魚(*Hynobius fuca*)之分布及棲息地的調查. 國立臺灣師範大學.
- 呂光洋、賴俊祥. 2012. 阿里山山椒魚監測及監測模式標準作業程序制定. 國立臺灣師範大學.
- 李文傑、呂光洋. 1996. 台灣地區蛇類食性的初探. *師大生物學報* **31**:119-124.
- 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.
- 侯文祥、陳君翔. 2007. 台灣阿里山山椒魚活動力與水邊棲地狀態之關係研究. *臺灣水利* **55**:82-91.
- 陳世煌、呂光洋. 1986. 臺灣產山椒魚之研究 (二) 阿里山地區山椒魚之族群生態研究. *師大生物學報* **21**:47-72.
- 葉明欽、呂光洋、賴俊祥. 1994. 阿里山及玉山國家公園台灣山椒魚族群生態之研究. *師大生物學報* **29**:79-87.
- 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.
- 蔡尚惠、洪美珠. 2010. 觀霧山椒魚棲地改善後之族群監測. 林務局新竹林區管理處委託報告。
- 賴俊祥、呂光洋. 2007. 阿里山地區阿里山山椒魚的分布與族群監測. *Bio Formosa* **42**:105-117.

## 附錄

期中審查會議紀錄

期末審查會議紀錄

保育類野生動物利用核准公文

進入北插天山自然保留區核准公文

台北市動物保護處公文





出來的。

二、本處同仁審查意見：

- (一) P18 頁溫度耐受性試驗第二行蝌蚪應為山椒魚之誤寫；另報告書內的用字請統一。
- (二) 試驗棲地與蜜月小徑重複捕捉的樣本少，進行溫度馴化試驗時是否易受傷？
- (三) P29 頁圖 3-4 的比例尺有錯誤，請修正。
- (四) 建議將同意利用保育類相關公文放於報告書附錄供參。
- (五) 由成果看來，觀霧山椒魚具高依戀、低移動，但為何重複捕捉率低？
- (六) 能否透過老師的研究成果來推估潛在分布地點？能否比較有出現山椒魚跟沒有山椒魚棲地環境的差異？另是否支持巨木步道劃設為生態保護區？
- (七) 山椒魚水平移動距離的樣本 (f1306) 達 1 公里，是否資料有誤？另線團裝置的試驗方法容易脫落，有無找到解決的辦法？
- (八) 建議參考引用臺灣另 4 種山椒魚的相關資料，做為觀霧山椒魚的佐證。

受託單位回應：

- (一) 有關報告書錯字、統一用字及圖表比例尺部分會修正，並將期中、期末意見回覆、同意利用保育類相關公文放於報告書附錄。
- (二) 本研究進行不同溫度 (15 及 20 度) 馴化試驗時，都是有較長時間的適應期，並非一次溫度到位，所以申請利用的山椒魚都並未受到傷害。
- (三) 觀霧山椒魚重複捕捉率低的問題，目前也不太清楚，但本研究依翻閱石塊、木頭等遮蔽物的努力量未成正比，翻越多也不代表能找到越多山椒魚。從活動移動距離結果來看範圍都不大，但至於躲藏在哪裡？仍待後續進行調查。
- (四) 本研究成果有進行模擬溫度增加時山椒魚棲地環境的衝擊，來

預測推估雪霸園區潛在分布受衝擊最大的地方。

- (五) 有出現山椒魚跟沒有山椒魚棲地環境的差異，變因太多似乎難以比較；另是否建議巨木步道劃設保護區 1 事，非本研究單方面可以給予建議的。
- (六) 山椒魚水平移動距離的樣本 (f1306) 資料同樣有錯會修正；而線團裝置的試驗方法容易脫落，有改成小背包的方式測試，但受限於山椒魚體型太小且分泌黏液等，仍然成效不好。
- (七) 其餘建議事項遵照修改補充。

#### 陸、結論

- 一、本次審查會議原則通過，請受託單位依各與會人員之建議修正報告書內容。
- 二、請受託單位依契約規定繳交相關資料辦理驗收結案並撥付第 3 期款相關事宜。

柒、散會：下午 3 時 50 分

# 「觀霧山椒魚偏好環境選擇及潛在分布推估」 委託辦理案期末審查會議紀錄

壹、會議時間：105 年 12 月 19 日（星期一）下午 2 時整

貳、會議地點：雪霸國家公園管理處第 1 會議室

參、主席：鍾代理處長銘山                      記錄：傅國銘

肆、出(列)席單位及人員：詳如簽到簿

伍、討論事項

一、吳委員聲海審查意見：

- (一) 觀霧山椒魚移動的距離有 8 公里及 12 公里的部分，應是當初我們提供的座標資料有誤，建議這資料不要用。
- (二) 溫度馴化上應將各區域樣本數表格表示，有些地方樣本數很少甚至才 1 隻，較無代表性；另馴化試驗採集樣本的月份不同，亦可能造成影響。
- (三) 族群間粒線體 cyt-b 基因遺傳距離的資料請補充；另棲蘭山樣本是否為隱蔽種？因個體樣本數僅有 1 隻，在解釋上可能需保守點。
- (四) 親緣關係樹的結果來看，是否臺灣 5 種山椒魚為一群在同一時間來臺？其演化順序為何？

受託單位回應：

- (一) 錯誤及有疑慮的座標資料會修正不用。
- (二) 溫度馴化試驗上，成果報告書會彙整各區域樣本數並以表格表示；另採集樣本的月份時間會補充，是否會造成影響目前不清楚。
- (三) 族群間粒線體 cyt-b 基因遺傳距離的資料在 104 年度的調查報告書已經有提過，會於本案成果報告書補充。
- (四) 報告書親緣關係樹僅觀霧山椒魚的部分，而臺灣五種山椒魚為單係群，最早演化出來的為觀霧山椒魚，其餘 4 種為後續演化

出來的。

## 二、本處同仁審查意見：

- (一) P18 頁溫度耐受性試驗第二行蝌蚪應為山椒魚之誤寫；另報告書內的用字請統一。
- (二) 試驗棲地與蜜月小徑重複捕捉的樣本少，進行溫度馴化試驗時是否易受傷？
- (三) P29 頁圖 3-4 的比例尺有錯誤，請修正。
- (四) 建議將同意利用保育類相關公文放於報告書附錄供參。
- (五) 由成果看來，觀霧山椒魚具高依戀、低移動，但為何重複捕捉率低？
- (六) 能否透過老師的研究成果來推估潛在分布地點？能否比較有出現山椒魚跟沒有山椒魚棲地環境的差異？另是否支持巨木步道劃設為生態保護區？
- (七) 山椒魚水平移動距離的樣本 (f1306) 達 1 公里，是否資料有誤？另線團裝置的試驗方法容易脫落，有無找到解決的辦法？
- (八) 建議參考引用臺灣另 4 種山椒魚的相關資料，做為觀霧山椒魚的佐證。

## 受託單位回應：

- (一) 有關報告書錯字、統一用字及圖表比例尺部分會修正，並將期中、期末意見回覆、同意利用保育類相關公文放於報告書附錄。
- (二) 本研究進行不同溫度 (15 及 20 度) 馴化試驗時，都是有較長時間的適應期，並非一次溫度到位，所以申請利用的山椒魚都並未受到傷害。
- (三) 觀霧山椒魚重複捕捉率低的問題，目前也不太清楚，但本研究依翻閱石塊、木頭等遮蔽物的努力量未成正比，翻越多也不代表能找到越多山椒魚。從活動移動距離結果來看範圍都不大，但至於躲藏在哪裡？仍待後續進行調查。
- (四) 本研究成果有進行模擬溫度增加時山椒魚棲地環境的衝擊，來

預測推估雪霸園區潛在分布受衝擊最大的地方。

- (五) 有出現山椒魚跟沒有山椒魚棲地環境的差異，變因太多似乎難以比較；另是否建議巨木步道劃設保護區 1 事，非本研究單方面可以給予建議的。
- (六) 山椒魚水平移動距離的樣本 (f1306) 資料同樣有錯會修正；而線團裝置的試驗方法容易脫落，有改成小背包的方式測試，但受限於山椒魚體型太小且分泌黏液等，仍然成效不好。
- (七) 其餘建議事項遵照修改補充。

## 陸、結論

- 一、本次審查會議原則通過，請受託單位依各與會人員之建議修正報告書內容。
- 二、請受託單位依契約規定繳交相關資料辦理驗收結案並撥付第 3 期款相關事宜。

柒、散會：下午 3 時 50 分

# 行政院農業委員會 函

機關地址：10014臺北市中正區南海路37號

承辦人：謝書綺

電話：(02)23515441分機662

電子郵件：m6030@forest.gov.tw

受文者：雪霸國家公園管理處

發文日期：中華民國105年5月9日

發文字號：農授林務字第1051700756號

速別：速件

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：如說明二

主旨：本會同意貴校巫奇勳助理教授等8人申請利用保育類野生動物-觀霧山椒魚40隻，供學術研究案，詳如說明，請查照。

說明：

- 一、依據雪霸國家公園管理處105年4月7日營雪保字第1050001103號函暨貴校生命科學系105年5月3日電子郵件補正資料辦理。
- 二、同意自即日起至105年12月31日止，於雪霸國家公園(觀霧遊憩區)、觀霧國家森林遊樂區、棲蘭山100線林道、北插天山進行觀霧山椒魚標記與採集尾部組織分析族群變異、溫度生理實驗進行潛在分布推估，其調查方法及人員詳如附件「同意利用保育類野生動物事項」與「執行人員名冊」各1份。
- 三、調查地區如涉以下區域，應先取得該主管機關同意進入研究文件後，始得進行調查：
  - (一)棲蘭山100線林道25K前，屬棲蘭野生動物重要棲息環境；25K後，屬鴛鴦湖自然保留區，其林道出入需經國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處同意。



(二)北插天山地區如涉插天山自然保留區範圍，請至本會林務局自然保留區暨自然保護區進入申請系統(<http://pa.forest.gov.tw/ForestApply>)。

四、如需釋放野生動物，請依野生動物保育法第32條規定，經地方政府同意後辦理。

五、案倘涉原住民族利益，請踐行原住民族基本法第21條之規定。

六、請依下列事項辦理：

(一)本申請案係依據野生動物保育法第18條第1項第2款及其施行細則第21條之規定許可，如行為涉及其他法條或法規時(例如：動物保護法)，請申請人依相關規定辦理。申請利用期間如涉及瀕臨絕種及珍貴稀有野生動物因病或不明原因死亡時，應依野生動物保育法第38條規定辦理。

(二)請於進行研究時，攜帶本同意函(或相關核准函)影本及身分證明文件，並於採集及試驗1星期前以電話通知主管機關，俾視業務狀況派員瞭解及查驗執行利用情形。

(三)為建檔保存臺灣野生動物遺傳物質之需，如有採集遺傳物質時，請配合將研究賸餘之遺傳物質副份存放至本會補助成立之「臺灣野生動物遺傳物質冷凍儲存庫」(網址：<http://cryobank.sinica.edu.tw>)。

(四)請於本核准同意利用案截止日期後3個月內，將研究利用成果填寫「利用保育類野生動物成果報告書」及其結案報告函送本會備查，並依「林務局生態分布調查研究計畫-資料繳交與使用作業說明」規範，利用詮釋資料編輯軟體(Morpho)建立本案之詮釋資料，連同空間分布資料上傳至林務局生態調查資料庫(<http://>





metacat.forest.gov.tw)。

- (五) 本研究成果發表時，請於研究報告中註明本案核准日期及文號，並函送本會存參。
- (六) 實驗動物之使用應以尊重、悲憫與感恩的態度，並配合國際通用的3R原則—取代、減量、精緻化（Replacement、Reduction、Refinement），在飼養照顧和實驗過程中，儘量減少其所遭受的痛苦。
- (七) 相關表格及報告書請至本會林務局自然保育網(網址：<http://conservation.forest.gov.tw>) / 下載專區 / 申請書表 / 下載。

正本：中國文化大學

副本：內政部警政署保安警察第七總隊、國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處、雪霸國家公園管理處、本會林務局、本會林務局羅東林區管理處、本會林務局新竹林區管理處、本會動植物防疫檢疫局洪崇順君、臺北市政府、宜蘭縣政府、新竹縣政府、臺灣生物資源資料庫中心

105/05/09  
11:16:00  
電子圖章

檔 號：

保存年限：

# 行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 函

地址：30046新竹市中山路2號

承辦人：陳寬?

電話：03-5224163\*234

傳真：03-5225262

受文者：中國文化大學

發文日期：中華民國105年6月21日

發文字號：竹育字第1052107778號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：有關貴校生命科學系巫奇勳助理教授申請進入本轄「插天山自然保留區」範圍內，執行雪霸國家公園管理處委託之「觀霧山椒魚偏好環境溫度選擇及潛在分布推估」野外調查及採集標本案，同意所請，復請查照。

說明：

一、復貴校105年6月17日校理字第1050001955號函。

二、本案核准申請項目如下：

(一)核准期間：105年6月20日起至105年12月31日止。

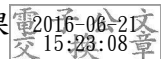
(二)核准進入地點：旨揭自然保留區範圍內國有林班地。

(三)核准申請進入人數：8人（巫奇勳、謝佳宏、李昱、劉鎮、梁桓瑄、陳汲緘、楊智誠、洪崇順）。

三、請於進入調查時攜帶本同意函影本及身分證明文件以供現場核對查驗。

正本：中國文化大學

副本：本處烏來工作站(含附件)、本處大溪工作站(含附件)、本處育樂課



裝

訂

線

檔 號：

保存年限：

## 臺北市動物保護處 函

地址：11048臺北市信義區吳興街600巷109  
號

承辦人：劉坤讓

電話：02-87897158轉7021

傳真：02-87864223

電子信箱：tcap0109@mail.taipei.gov.tw

受文者：中國文化大學

發文日期：中華民國105年6月20日

發文字號：動保產字第10531396400號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：為貴校生命科學系巫奇勳助理教授執行保育類野生動物—  
觀霧山椒魚利用研究因不明原因死亡1隻一案，復請查照  
。

說明：

- 一、依據野生動物保育法第38條規定辦理，並復貴校105年6月16日校理字第1050001938號函。
- 二、本案本處業於105年6月17日派員查核屬實，爰予以備查；至後續製作浸液標本相關事宜，仍請依同法條規定申辦。

正本：中國文化大學

副本：

裝

訂

線