

行政院農業委員會林務局保育研究系列 93-13 號

行政院農業委員會林務局委託研究系列 93-05-8-1 號

阿里山地區阿里山山椒魚的分布和棲地利用之研究(3/4)—
就地復育試驗

Distribution and Habitat Preference of *Hynobius arisanensis*
in Alishan Areas (3/4)—Habitat Restoration Pilot Study

委託單位：林務局嘉義林區管理處

執行單位：國立臺灣師範大學

研究主持人：呂光洋

研究人員：賴俊祥、梁高賓

中華民國 九十四 年 三 月



目錄

一、中、英文摘要	2
二、前言	4
三、研究目的	6
四、研究材料與方法	7
五、研究調查資料分析	11
六、結果與討論	20
七、建議	26
八、參考文獻	27
附錄	28
附表	28
附圖	32

一、中、英文摘要

本研究今年度主要目標為持續監測阿里山地區阿里山山椒魚的族群生態並進行棲地復育試驗。

在族群生態監測方面，三個年度至今在姐妹潭樣區內共調查到 215 隻山椒魚，其中 78 隻為再捕獲。利用 Jolly-Seber 法估算每月族群數量在為 5.3~148.0 之間，族群數量尚稱平穩。年齡結構方面，皆以中大型成體為主。估算的個體活動範圍在 0 至 509 平方公尺之間，平均值 77.7 平方公尺。

棲地復育試驗方面，試驗地選定於阿里山貴賓館(先總統行館)旁回收的廢棄山葵田。微棲地營造分為步道、流水域、靜水域及陸域棲地等四大部分，以陸域棲地為主要的試驗區。於試驗區內擺設石塊及木塊作為供山椒魚躲藏的地表物，並引入自忠族群的個體。這些個體在 COX I 基因型上與阿里山族群的不同，以便判別引入個體在此地的生存及繁衍狀況。後續試驗地棲地狀況的監測顯示植被在恢復中，族群監測則捕獲了 7 隻小椒魚，已檢測的 4 隻基因型屬阿里山族群。棲地復育試驗至此初步顯示山椒魚已可在復育地生存及繁衍。

The purposes of this year's project are monitoring population of *Hynobius arisanensis* in Alishan areas, and starting *in situ* habitat restoration.

The current status of *Hynobius arisanensis* population in this area as following: From April 2002 to March 2005, totally we caught 215 salamanders, among these 78 individuals were recaptured. Using Jolly-Seber method, we estimated the population size in the study site was between 5.3 and 148.0 individuals/month. Most individuals are adult. The estimated home ranges were 0 to 509 m².

We chose an abandoned *Eutrema japonica* field to practice *in situ* restoration experiments. We constructed four habitat types, including trail, flowing water, standing water and vegetation covered areas. Stones and dead woods used as

shelters in the covered area were arranged for salamander. Released individuals were from Zhu-Chung. After restoration arrangements being completed, vegetations start to recover. Two months after restoration, we caught 7 juvenile salamanders in this area. The genotypic analysis showed that they are offspring from local population.

二、前言

阿里山山椒魚(*Hynobius arisanensis*)為兩生類有尾目(Urodela)、小鯢科(Hynobiidae)的種類，體長 11 公分左右，體背深紅褐色，腹部灰黑色，後肢一般為五趾。在台灣廣泛分布於中央山脈中南段，北起丹大山、南至北大武山；海拔分布範圍在 2000 公尺以上，而分布區的年平均溫度多在 20°C 以下。小鯢科的種類主要分布於亞洲大陸及日本等溫帶及寒帶地區，而台灣的種類是此類群唯一分布於亞熱帶地區者。學者們因為這種分布特性認為小鯢科的種類應該是冰河時期擴散到台灣，當冰河退卻後因為台灣高山區就因具有寒溫帶氣候特性而被保留下來，生物地理學上稱此類生物為冰河子遺物種(glacial relict)。

阿里山山椒魚在棲地的特性上，一般生活在森林底層較潮溼處，又以小溪流或天然滲水處附近較為常見。習性隱蔽，白天躲藏在石頭或朽木下，鮮少於地表面活動，故不易觀察。夜間偶會出現在地表面。生殖季大約在晚冬至早春之時段，每年 2 至 4 月可發現小山椒魚。

台灣的山椒魚的發現記錄早在廿世紀初，然而由於其稀少性且行為隱蔽，在台灣的山椒魚的研究上，大多以分類為主(見陳及呂(1987)的回顧)，對於山椒魚的生態研究方面，至今僅只本實驗室進行過相關的研究(陳及呂，1986、葉等，1994)。

阿里山地區的山椒魚生態研究最早由陳及呂(1986)進行，他們的研究開始於 1982 年 12 月，持續至 1985 年 6 月，當時即選定了阿里山森林遊樂區內的山葵田進行研究。在此研究中，研究者劃設了 A、B 兩個樣區，主要以山椒魚的棲所、乾雨季分布的差異、活動範圍、及 A、B 樣區間比較為主。葉等(1994)亦接續在這個樣區進行研究，此外亦將整個研究地點擴展到玉山國家公園，他們共選定了 6 個樣區，包括阿里山、自忠、石山、鹿林、塔塔加及神木林道。在他們的研究結果，單位面積捕獲率方面，以自忠樣區最高，鹿林樣區最低，而阿里山的族群量及族群的年齡結構最為穩定。在後者的研究，除阿里山樣區為山葵田外，而自忠樣區亦為一山葵田，這引發了一個疑問--是否山葵田有較多的山椒魚分布呢？如果是，那是來自於山葵田的農作型態？或者僅僅是他們調查的山葵田有特殊的棲地因子使族群

量較高？因此本計畫目的之一，即是在阿里山地區的山葵田進行山椒魚分布狀況的調查，瞭解是不是所有的山葵田皆有分布。若結果為是，則可能是山葵田的耕作型態對山椒魚的生存有正向作用；如果不是，則僅是隨機造成的。同時用較長時間來監測其族群動態，並調查其微棲地的需求

在本計畫的前二年，我們在阿里山事業區第 1 至 11、16 至 20 林班、大埔事業區第 190~191, 195~197, 206~214, 215~220 等林班中的山葵田進行了分布調查，僅在阿里山 2 林班及大埔 207、209 林班調查到山椒魚，經過分析發現，有山椒魚分布的山葵田共同特色為坡度平緩且有穩定水源。棲地利用方面，山椒魚停棲的遮蔽物的特性方面，遮蔽物絕大部分為石塊及木塊，山椒魚偏好使用木塊作為遮蔽物，不論何種遮蔽物皆偏好體積較大者。遮蔽物上皆有植物附著，偏好以同時有苔類及高等植物附著者為主。而棲息地的基質方面，偏好單純的泥土基質。土壤的性質方面，山椒魚顯著喜歡利用微酸性(5.0~6.2)、含水量在 60%以上、硬度值 5~10 的土壤。這兩項研究的結果說明，山椒魚的分布主要是受到巨棲息地特色的影響，並非是山葵田的存在。但是當巨棲息地的環境適合，山葵田的耕作方式，會創造山椒魚喜歡利用的微棲地，這也就是在山葵田的樣區中會有較多山椒魚棲息的主因。

本年度則利用前二年對山椒魚利用微棲地的瞭解，嚐試於回收的山葵田中進行山椒魚的就地復育試驗，同時亦持續在姐妹潭樣區進行族群量的監測，冀由研究的成果，提供管理處對於阿里山山椒魚的保育及經營管理最佳的策略。

三、研究目的

1. 姐妹潭樣區族群數量監測
2. 就地復育棲地營造
3. 就地復育棲地族群數量的監測

四、研究材料與方法

1. 阿里山山椒魚族群生態監測

調查樣區：

持續於前二年的樣區中進行監測。樣區位置在姐妹潭北方的山谷內，屬阿里山事業區 2 林班。整個樣區中間被溪流及樹木分隔為上下兩個不連續的部分，因此將樣區分為 A、B 兩區，兩區間相距約 20 公尺，A 區及 B 區的示意圖分別見圖 1 及圖 2。

A 區大致與陳及呂(1986)及葉等(1994)A 樣區位置相當，但田畦形狀及耕作狀態有差異。A 區總面積約為 3000 平方公尺，長約 100 公尺，寬約 30 公尺，為柳杉(*Cryptomeria japonica*)和紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)混合林地，由東南向西北方傾斜約 15 度。森林鐵路塔山線位於本樣區東邊 20 公尺上方的山腰上，南北兩面則以高大箭竹與外界隔離，西邊為山谷的出口，樣區內有三條主要小水道，一在樣區的東南邊，二條在樣區的西北邊，二者皆由南向西流。地表為當地居民依山勢闢為梯田，種植山葵(*Eutrema japonica*)，田畦四周以石塊或木板或枕木堆砌而成，約 61 畦山葵田，其中有 52 畦在種植，9 畦為休耕地(圖 1，淡綠色區域為休耕地)。此外，本區草本植物以絨莖樓梯草(*Elatostema minutum*)、長梗盤麻花(*Lecanthus sasakii*)、阿里山赤車使者(*Pellionia arisanensis*)、台灣噴啞草(*Mitella formosana*)、戟葉蓼(*Polygonum thunbergii* f. *biconvexum*)、單花鳳仙花(*Impatiens uniflora*)、阿里山天胡荽(*Hydrocotyle setulosa*)、曲莖蘭嵌馬藍(*Parachampinella flexicaulis*)及苔蘚植物和蕨類等陰性植物為主，樣區邊緣一公尺內，則有較高大樹種或灌木及蔓性植物等，如玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)、深紅茵芋(*Skimmia revesiana*)、銳葉柃木(*Eurya acuminata*)、台灣鵝掌柴(*Schefflera taiwaniana*)、玉山假沙梨(*Strancaesia niitakayamensis*)和懸鉤子屬(*Rubus* spp.)植物。

B 區約在 A 區北方 10 公尺處，概為西北向東南的長方形，長約 80 公尺、寬約為 40 公尺，總面積約 3200 平方公尺，由東西兩側向來自 A

區的溪流凹陷，兩側坡度約 20 度。B 樣區的位置約當陳及呂(1986)的 B 樣區，但面積較大。本區共有 24 畦山葵田，亦為柳杉及紅檜的造林地，但種植較為稀疏，樣區中央一部分整日直射陽光，其底層植被狀況似 A 區，但以樣區四週樹木的下層較多。

調查方式及分析方法：

(1)棲地利用

在樣區內徒手翻找所有可能被山椒魚利用為遮蔽物的土表物體，尋獲的個體紀錄記錄日期、時間及微棲地的資料(見表一記錄範例)包括遮蔽物的特性(類型、表面附著植物、體積(測量長度、寬度及高度))與基質的特性(類型、酸鹼度、土壤含水量、土壤硬度)等，並予以拍照記錄。

(2)個體記錄

個體接著以 0.1% benzocaine 麻醉後，測量個體的形質資料如吻肛長、尾長、頭長、體重等，若可分辨出性別亦記錄下來，再依 Martof (1953) 的去趾標記系統編號。照相記錄每隻個體身體背腹面的斑紋或色彩，作為個體辨識的輔助，並將個體的位置點於樣區圖上。麻醉後的個體，放入清水中，待其甦醒後，放回原來的遮蔽物下，並儘量回復原有棲地形態。

(3)族群生態

個體及族群相關參數估算上，我們利用 Jolly-Seber 法 (Krebs, 1999) 估算族群數量、並依據其吻肛長計算其族群的年齡結構、並以最小凸多邊形法(minimum convex polygon method, MCP)(Stickel, 1950)及適應核心法(adaptive kernel)(Worton, 1989)計算個體的活動範圍(home range)，後者能更進一步瞭解個體活動中心的大小。Jolly-Seber 法使用 Krebs ver.0.9 軟體(Bruzstowski, 1997)計算，而活動範圍使用 Calhome 軟體。

調查頻度：

每月一次至樣區調查，將樣區內所有的遮蔽物皆翻找過一次。

2. 阿里山山椒魚棲地復育試驗

試驗地的選址及營造:

(1) 試驗地選定

在阿里山地區嘉義林管處轄區內選擇一個試驗地，現已選定於森林遊樂區貴賓館旁已收回的山葵田作為試驗地點，位置在阿里山事業區第一林班。試驗地在未經營造之前特性如下：面積在 1000 平方公尺左右，區內有溪流水源且溪流終年不斷；坡度在 10 度以下的平坦地；樹冠層遮蔽度在 70% 以上；土壤有機質含量高、溼度高、硬度中等；草本植被覆蓋整個地表，以戟葉蓼為主要的優勢種。

(2) 試驗地山椒魚微棲地營造

在選定的試驗地中，先移除現有底層的地表植被。再於其中營造出步道、流水域、靜水域及陸域棲地的環境(圖 3)。詳細描述見調查資料分析部分。

個體引入

在整地前，未發現有山椒魚在此地棲息，因此從族群較穩定的自忠地區引入 5 隻個體至試驗地中，並安置於石塊或木板下。在引入之前先依據族群監測的方法記錄個體的形值及剪趾，並拍照以利未來的追蹤比對，同時剪尾採取組織，進行後續的分子標記檢測。

建立族群特徵性分子標記

以粒線體上 Cytochrome Oxidase subunit I (COX I) 基因為分子標記建立族群特徵性的分子標記。由自忠(引入個體)及阿里山姐妹潭地區兩個族群所採取的個體組織，經過 total genomic DNA 抽取，以引子(primers)經 PCR 反應放大粒線體上 COX I 基因，經定序後，可找出族群特有的基因型，作為族群特徵性的分子標記。因為考慮到以自忠所採得的少數個體，無法反應整個地區的遺傳變異，因此將新中橫公路沿線的族群作

一整體的檢測，總計自忠及鄰近新中橫地區的族群定序了 13 隻個體，阿里山族群則有 18 隻。

試驗地棲地及族群監測

試驗地棲地變動監測分為底層植物覆蓋狀況及遮蔽物二部分。底層植物覆蓋狀況方法為，沿著在樣區內橫軸及縱軸每 4 公尺設置植被高度測量點(圖 4)，共 53 個。計算(1)植被覆蓋點數：53 個測點中多少個具有植被；(2)不同分區(陸域、流水、靜水域)的平均植被高度。記錄不同監測時期的變化，以瞭解植被復原的整個過程

遮蔽物及底質特性的變化方面，監測區域分別在陸域棲地中間及靜水域邊緣(圖 4)。先將遮蔽物區分為石塊及木塊二類，測量其長寬高並求出概略體積，記錄遮蔽物表面附著植被類型及覆蓋百分比，接著記錄基質的特性(基質 pH 值、基質溼度與土壤硬度)等數據。

前述之測點若是在水域中，則記錄水深，比較每次監測不同水域水深的變化趨勢。

族群監測方面，以每二個月一次的頻率，如同姐妹潭樣區的監測記錄每一隻捕獲的個體，除瞭解引入後的個體存活的狀況，亦得知是否在棲地營造後會有從其他族群遷入的個體，當然若捕獲到小山椒魚，則代表此棲地已成為適合山椒魚棲息及繁衍的地點，表示此棲地的營造及棲地復育試驗計畫是成功的。為了瞭解小山椒魚是否是由引入族群所繁殖的，可採取小山椒魚的組織，並利用前項的族群特徵性分子標記的基因座來檢測比對，若具有自忠的基因型則表示引入族群已成功的定居，若為阿里山的基因型亦表示已創造出適合山椒魚棲息的棲地。

五、研究調查資料分析

1. 阿里山山椒魚族群生態監測

本年度仍持續於去年的樣區進行調查，樣區的狀況已如研究材料與方法中所述。三個年度至今在此樣區內共調查到 215 隻山椒魚，將記錄資料統計歸納樣區內山椒魚的族群資料分項描述如下：

捕獲率

各年度的捕獲數方面，第一年度(2002 年 4 月至 2003 年 3 月)捕捉了 70 隻次山椒魚，16 隻次為再捕獲，共標放了 54 隻；第二年度(2003 年 4 月至 2004 年 3 月)則捕捉了 61 隻次，26 隻次為再捕獲，新標放了 35 隻；第三年度迄今捕獲 84 隻次，36 隻次再捕獲，新標放了 48 隻；總計共捕捉到 215 隻次山椒魚，其中 78 隻次為再捕獲，共標放了 137 隻山椒魚(圖 5)。每次捕獲量，因月別而異，2002 年 5、7 兩月 15 隻最高，2003 年 12 月 0 隻最低。再捕獲個體數方面，以 2004 年 4 月 6 隻最高，2003 年 3、10、11、12 月、2004 年 1 及 10 月皆為 0 隻最低。再捕獲率方面，2002 年 12 月為 100%，不具再捕獲個體的月份為 0%。在個體被捕捉次數方面(圖 6)，99 隻個體僅被捕捉一次，38 隻個體有再捕獲的記錄，而單一個體被捕捉次數最高為 9 次，平均每隻捕獲 1.57 次。個體捕獲間隔時間由 14 天(半個月)至 934 天(31 個月)不等(圖 7)，平均捕獲間隔日數為 165.1 日。以捕獲間隔日數的分布而言，最多的個體在 60 天(二個月)以內再次被捕捉，除 8 隻個體以外，再捕獲皆發生在一年之內。捕獲的個體有 3 隻曾在 A 區及 B 區之移動。

個體的持續捕獲時間(最初及最近捕獲的時間差)，最高為 981 天，最低為 14 天，以年為單位的時間分布如圖 8。圖中顯示在有再捕獲的個體記錄中，持續捕獲以 1 年內者佔大多數，但將近三分之一已存活天數高於 1 年，最長者已將近 3 年。

族群數量

依據每個月標放再捕捉資料，利用 Jolly-Seber 法估算每月族群量 (population size)，將族群量估值及 95% 信賴區間如圖 9。估計的族群量最高為 2003 年 1 月，族群數量為 148.0(37.8~572.1) 隻，最低為 2004 年 11 月，數量為 5.3(3.3~17.8) 隻，族群數量在 2002 年至 2003 上半年呈劇烈變動形式，然後族群呈數量平穩約一年左右，2004 下半年略呈下降的趨勢。

體長與體重

捕獲個體的各形值之均值及標準差在吻肛長(體長)為 53.5 ± 7.2 mm、尾長 37.0 ± 6.6 mm、頭長為 13.0 ± 1.6 mm。不同月份不同的年度的吻肛長分布如圖 10，樣區內捕獲的個體主要的吻肛長在 45 至 65 mm 之間，幾乎每個調查的月份都可捕獲，這些都是性成熟的成體(依據賴及呂(1996)的解剖資料)，故在樣區內活動者以成體為主。未成熟(25~45 mm)，在調查中偶有發現，但是在出現的月份上沒有規律。而幼體(<25 mm, 剛變態完成)僅在後二年的 2、3 月發現。

各年度間捕獲個體的體長趨勢方面，2002 年度以 45 至 55 mm 的個體較多，每個月的數量皆高於其他體長類別，次多的體長類別為 55~65 mm 的個體。2003 年度在 4 至 7 月則以 55~65 mm 個體較多，之後的體長分布則較為平均。2004 年度的上半年也以 55~65 mm 個體較多，11 月之後則以 45~55 mm 個體居多。

測量個體的體重範圍從 0.1 g 至 5.8 g，平均體重為 2.9 ± 1.06 g。將體重劃分為每 0.5g 一個級數，作出其體重分布如圖 11。其中 2.5~3.0 g 的個體最多(47 隻)，體重小於 0.5 g 有 9 隻而大於 5.0 g 的個體皆僅有 2 隻。

圖 12 為體重對體長的相關圖，圖中顯示山椒魚的體重隨著體全長的增加而增加。以線性迴歸所得之 r^2 值為 0.7117，而指數迴歸的 r^2 值為 0.8667，表示後者較符合山椒魚的體重-吻肛長的關係。

水平分布與活動範圍

將A、B二樣區內捕獲3次以上的個體共計15隻，依其出現點的座標並以最小凸多邊形法(MCP)及適應核心法(ADK)估算其活動範圍，所得面積值列於表二，而個體的活動範圍圖如圖13及14。估算的個體活動範圍，在MCP法在0至509.4 m²之間，平均值77.77 m²。在ADK法中，近活動中心的50%的出現點面積在0至417.5 m²之間，平均值66.89 m²。用以計算的位置點數方面，最多為個體039，捕獲了9次出現在5個點，而017及060二隻個體，每次發現都固定在同一塊遮蔽物下。而編號004的個體，在A區及B區皆有捕獲的記錄。山椒魚個體在不同發現位置間的平均移動的距離在0.0至52.7公尺之間，個體間平均值為13.5公尺。調查中，曾有三次在同一遮蔽物下同時發現兩隻個體，一次為071與072，另二次皆為109及110，亦僅有一遮蔽物先後發現不同的個體(017, 078)。

能計算活動範圍的個體皆為成體(表二)，吻肛長(個體最大測量值)從53.8至64.0 mm，平均值為59.1 mm，高於全部捕獲個體的平均值($F_{1,228}=8.19, p<0.005$)。

圖13為A樣區內個體的活動範圍圖，圖中顯示個體的活動範圍在邊緣的部分有重疊，然而由於個體出現的年度不同，我們將不同年度以不同顏色標示後可以發現，個體的活動範圍基本上是不重疊的。B樣區雖然能得到的資料的個體僅有2隻，但是也呈現相同的情形(圖14)。

棲地利用—遮蔽物

山椒魚利用的遮蔽物特性方面，統計這三年的資料，在遮蔽物類型方面，山椒魚以利用石塊為主，比例為76%；少部分為木塊(18.3%)，有5隻次是在布袋下發現，僅4隻個體在無遮蔽物狀況下發現(圖15)。而樣區內的遮蔽物(可搬動者)依據全取樣調查的結果，96.8%為石塊，木塊僅3.0%。山椒魚利用遮蔽物類型的比例與樣區內遮蔽物的比例顯

著不同($\chi^2_2=522.1, p<0.0001$)，山椒魚顯著地偏好利用木塊遮蔽物。山椒魚利用的石塊遮蔽物體積的範圍從 75 至 42875 cm^3 ，平均值為 6627 cm^3 ，樣區內石塊遮蔽物的體積範圍從 75 至 79764 cm^3 ，平均值為 5081 cm^3 。比較山椒魚利用石塊的體積與樣區內石塊體積(圖 16)，統計上達顯著的差異($\chi^2_6=275.0, p<0.0001$)，山椒魚利用的石塊大小是有偏好的，傾向使用較大石塊。山椒魚利用的木塊遮蔽物體積的範圍從 2700 至 128000 cm^3 ，平均值為 20264 cm^3 。樣區內木塊遮蔽物體積的範圍從 75 至 174000 cm^3 ，平均值為 22636 cm^3 ，比較山椒魚所利用與樣區內木塊體積(圖 17)，統計上不具顯著差異($\chi^2_5=8.4, p=0.1362$)，山椒魚對木塊大小的選擇沒有特殊的喜好。

有記錄的遮蔽物中，其上皆有植物附著，在附著的植物中包括了苔類、蘚類及高等植物，附著情形有單類、二類、三類植物混合。山椒魚所利用遮蔽物上以僅苔類附著者與同時有苔類及高等植物附著者(苔高)佔大部分，前者為 42.0%、後者為 40.5%(圖 18)。而樣區內遮蔽物附著植物的類型以僅有苔類附著者最多，卡方檢測的結果具有顯著的差異($\chi^2_7=1021, p<0.0001$)，山椒魚利用苔類及高等植物混生的比例明顯較高，而利用三類植物同時混合者(蘚苔高)的比例明顯較低。

棲地利用—基質

基質的特性方面，在樣區內及林班的調查中，發現的類型包括了石塊、泥土、草根(含土)、腐植土、碎石土及混合類型等。山椒魚主要棲息的基質為僅為泥土者(57.5%)。比較山椒魚所棲息與樣區內基質類型的比例(圖 19)，我們可以發現樣區內的基質分布以泥土、腐植土及草根土最多，但山椒魚利用腐植土及草根土的比例較低，較為偏好使用單純泥土基質及碎石底質，在統計上達顯著的差異($\chi^2_{10}=1171, p<0.0001$)。

土壤的性質方面，我們又更進一步記錄了土壤pH值、土壤含水量及土壤硬度等因子。山椒魚利用棲地土壤的pH值在 4.8~7.0 之間，平均值為 6.0，而樣區土壤pH值在 4.4~7.0 之間，平均值為 6.3(圖 20)。山椒魚利用與棲地內的pH的範圍比例具有顯著的差異($\chi^2_6=422.5, p<0.0001$)，山椒魚顯著喜歡利用偏中性(5.8~7.0)的土壤。

土壤含水量方面(圖 21)，樣區土壤含水量的範圍從 5~100%，均值為 78.0%，而山椒魚利用土壤的含水量範圍在 40~100%，均值為 77.4%，兩者含水量類別的比例上有顯著的差異($\chi^2_7=1619, p<0.0001$)，山椒魚偏好利用含水量在 60%~90%的土壤。

樣區內土壤硬度值的分布介於 0.5 與 35 之間(圖 22)，均值為 9.52，山椒魚利用的土壤硬度值則介於 0.5 至 15 之間，均值為 8.4。兩者在比例上亦有顯著的差異($\chi^2_4=194, p<0.0001$)，山椒魚顯著的偏好利用硬度值 5~10 的土壤。

2. 阿里山山椒魚棲地復育試驗

試驗地的選址及營造:

(1) 試驗地選定

在計畫執行之初，曾依山椒魚利用的棲地特性勘察二點地點，一為阿里山工作站旁已收回之山葵田，另一則為現址。前者因在工作站旁具有維護及管理方便、遊客不容易干擾及樹冠層較為茂密的優點，但是阿里山賓館現正執行擴建工程且此地坡度較陡施工不易，故放棄此地點。現址則位於阿里山貴賓館(先總統行館)旁，此地未營造前，曾回收山葵田，在荒廢多年後，地表已繁生出大量的草本植物；在復育區的左側有一條溪流，內有旅館業者施作之引水設備；樹冠層較不茂密，在復育區中央的位置有林相透空之處。此地點在本實驗室於民國 83 至 85 年間執行農委會計畫時曾進行調查，當時此地點尚種植山葵，在此地曾調查到山椒魚，故我們認為若於此地進行棲地營造，必可使在此地點已絕跡的山椒魚再重新遷徙進入此地，來定居甚至繁衍。

(2) 試驗地山椒魚微棲地營造

在微棲地的營造上，我們與愛魚生態工程有限公司一起進行規劃，並且由愛魚生態公司來施工。初步規劃的理念以提供適當的棲息地為優先考量，再次為展示及研究。因為山椒魚為高山濕地生態的代表性物

種，而具有棲地偏好的山椒魚，亟其需要合適的棲地重建，以達到保育復育的目的。再者環顧國內並沒有以高山濕地生態為主題的教育解說展覽場所，藉由此次的棲地營造設計初步展示功能，有助於生態保育的宣導。對研究而言，人為可操控及布置的微棲地環境，可隨時進行調整，供研究人員瞭解棲地包括陸域的地表物及植被、水域溪流的石塊要如何來擺設，可增加山椒魚的利用率。

營造好的棲地示意圖如圖 4、相關照片見圖 3 及 23。在移除底層的植被後，經過地形的重塑，再於其中營造出步道區、流水域、靜水域及陸域棲地的環境。各部分詳細配置說明如下：

- A. 步道區(圖 3、23A)：以舊枕木為材質，中間鋪滿碎石。由道路邊通往陸域棲地，其左側為流水域、右側為靜水域。步道的功能是方便人員進出，亦方便研究者觀察流水域及靜水域的狀態。步道也可防止遊客隨意的踩踏，即使遊客好奇心起，在有步道的狀況下，大部分仍會沿步道行走，不致破壞辛苦營造好的棲地。
- B. 流水域(圖 3、23A)：以姐妹潭樣區內溪流的樣式為設計藍本，依據原溪流形態為主體，將溪的寬度增加，同時在溪底鋪上大量的礫石，岸邊再以較為大型的石塊作為護坡，並於流速較緩的小水池放置大型的石塊。增加溪寬及護坡的目的在使水流的量及位置較為穩定，在未營造前此溪流常會因山區大雨在不同的位置流動或者產生大量的沖刷。流水域的建置在 2004 年 7 月已經完成，至今經歷多次颱風暴雨的考驗，皆未改變建構好的流水域形態。由於此地原有旅館業者的取水口，為免業者各自為政、亂接水管而破壞流水域，故我們將此溪流的水於下游處集中並配上水管，使業者能取用。此外於溪流的上半段接管引水，作為靜水域的水源。
- C. 靜水域(圖 3、23B 及 C)：靜水域的設置亦參考姐妹潭樣區的水域特性，因為樣區在姐妹潭此大面積靜水域的旁邊，故靜水域可能在山椒魚的生存上扮演某種角色。靜水域區分為石堆區及水池區，石堆區(圖 23B)是由許多石塊堆積起來，而流水域引入的水由石塊間滲出，這部分是模擬山椒魚所喜歡出現的溪流天然滲水域。水池區在石堆區的下方(圖 23C)，這是以怪手將此區域中大型石塊及朽木移

除後，形成的自然凹陷，經引水流入即形成。池中埋設有排水管，可依位置的高低來調查水量。池邊種植有阿里山遊樂區內典型的草本地表植被，並且放置了許多由池中挖出來朽壞的木塊以作為山椒魚躲藏的遮蔽物。

D.陸域棲地(圖 3、23D)：陸域棲地的設計是以山葵田的樣式為基礎，整個棲地的周圍皆以石塊及木板圍邊界，能防止因下雨而沖刷下來的土壤，石塊及木板的縫隙亦可作為山椒魚躲藏遮蔽物的功能。我們將上方以石頭再區分為兩塊，分別放入不同的土壤，左側為一般土壤，右側則加入少許的肥料，以增加整個土中的養份，冀望能使於此地活動的土棲節肢動物增多，使山椒魚有更豐富的食物來源。上半部的地表在左右兩側各選一半的面積種植山葵，另一半任由其自然生長。

個體引入

在棲地營造初步完成後，我們立即將 2004 年 2 月於自忠所捕獲的山椒魚放入棲地中。野放的地點僅在陸域棲地中，野放過程很簡單，先將野放個體進行形值測量(由於 2004 年 2 月時已剪趾編號並剪取組織進行分子標記檢測，故僅進行形值測量)。翻開樣區較為中段的石塊，略為檢視下方是否有空隙，在石塊放回後，將山椒魚放在石塊旁，讓山椒魚自行爬入石塊下(圖 24)。

建立族群特徵性分子標記

在檢視阿里山的 18 隻個體 COX I 的序列後，在 711 個鹼基(位點)僅有 4 隻個體在 1 個位點有變異，即得到二種的基因型(haplotype)；而自忠及新中橫的族群的 13 隻體，同樣的片段中，共得到 6 種基因型，二個族群間沒有共有的基因型(圖 25)。因此由 COX I 的基因型即可判別個體的親本屬於哪個族群。

試驗地棲地及族群監測

在三次的監測中，在 53 個樣區植被覆蓋率監測點皆為 48 個陸地及 5 個水域點(表三)，這表示水域及陸地的面積在這半年來都沒有變化。

而有長植物的監測點數目持續在增加，表示植被覆蓋的面積愈來愈廣，植被漸漸有恢復自然狀態的跡象。(表三)(比較圖 3 及 26)

各區植被恢復的狀況方面，以植被的高度作指標，測量結果見表三。在工程時受到擾動最大的陸域棲地，至今尚未有天然的植被長出，僅有所種植的山葵，山葵逐漸在成長。靜水域在工程時也近乎是全部擾動，在剛完工時，僅在地面稀疏散布著貼地生長的普拉特草(*Pratiatum mummularia*)。從一月開始，三葉山芹菜(*Sanicula lamelligera*)開始出現，現已成為靜水域旁的主要植物種類。以增加的高度而言，靜水域的植株的生長較為緩慢，可能是受到雨量的影響。而流水域在設計時，是依原溪流的樣式進行工程，而工程所擾動的範圍以溪流的左側為主，除去了所有的植被，相對地，溪的右側僅受到少許的破壞。此區植被的生長事實上呈現兩岸的差異，溪右側以戟葉蓼為優勢植物，且成長快速；溪流左側則是剛出現而已。

二個水域區的水深方面，靜水域由於監測期在雨量較少的時節，故大部分的監測點都在水面上，僅有一監測點而這三次的監測水深都沒有改變。流水域的水深則是慢慢增加，且面積有逐漸擴大的現象。

遮蔽物及底質變化的狀況方面，監測位置為陸域及靜水域的岸邊，將遮蔽物區分為石塊及木塊二類進行監測。陸域棲地的石塊在經過 4 個月的時間，少數石塊開始有苔類附著，初期呈小塊狀分布，面積皆不超過 10%，平均僅為 1.2%；本區木塊為人工擺放的木板，放置至今尚未見到植物附著。二類遮蔽物的基質特性十分接近，唯含水量差異較大，木板下方的保水能力較差，較為乾燥，此反應在監測時幾乎每一塊都棲息著喜歡乾燥環境的蜘蛛。靜水域方面，遮蔽物的植物覆蓋率，石塊為 0，而在木塊上的成長較快，有些已有苔類附著佔了將近 30% 的面積，由於此區的木塊為天然朽木，故木材來源上的差異，可能會造成附著植被生長的速率產生差異。此區土壤含水量皆接近 100%，土壤硬度較高。

族群監測方面，在十一月及一月皆未發現任何山椒魚。於二月份的調查時發現了 4 隻小山椒魚(圖 27)、三月份則又調查到 3 隻小山椒魚。出現的地點皆在陸域棲地中，所利用的遮蔽物皆為石塊，其中有一石塊前後共出現了 3 隻小山椒魚，此石塊上附滿苔類及高等植物(不在遮蔽

物監測線上)，基質為碎石土。其餘個體皆在光滑的石頭下發現，基質為泥土。出現的底質性質在 pH 值為 5.6~6.6；含水量 70~100%；硬度 3~14。檢測二月所捕獲的小山椒魚 COX I 基因型，依基因型序列的遺傳距離，以 Neighbor-joining 法進行群集，能定序的 3 隻皆屬阿里山族群(圖 25)，故初步的檢測結果說明，此營造地點已有鄰近族群的個體遷入利用並繁殖。

六、結果與討論

1. 阿里山山椒魚族群生態監測

監測至今年上半年，若依據 Jolly-Seber 法所估算的族群量來看，姐妹潭樣區的族群略呈現數量穩定的狀態，而今年下半年開始，族群略呈下降的趨勢，推測的原因是由於此樣區廢耕已久，草本植物大量的生長，大量的包住了整個石頭，植物的根部伸入了石塊下，造成了基質特性明顯地漸不適合山椒魚棲息，這種現象在本年度愈來愈明顯，在最近半年的調查中數量確實在下降。針對此點，我們已請阿里山工作站雇工清除較為高而茂密的植被，同時在翻找山椒魚的過程中也儘量除去根部已延伸進入石塊下的植物，希望能維持基質為單純泥土的環境。這部分將在未來的監測過程中，進行相關的比較。

估計的族群量與陳及呂(1986)的估計來比較，他們使用的 Weight mean 法來估算，族群數量在 1 至 105.2 之間，與我們的差異不大，故族群量在這些年間尚屬穩定。Jolly-Seber 族群估算法在再捕獲率低的情況下，往往會使得族群估算值的 95%信賴區間範圍很大，在圖 9 中未顯示的部分，有些是大於 1000 的。利用 Jolly-Seber 族群估算的主要原因是山椒魚在樣區被捕獲時皆屬於其地表活動期，許多的個體仍然存活但是未被我們找到，要得知這個部分就必需利用 Jolly-Seber 的假設。而整體估算值的結果，大致在一個合理的範圍內。若要討論月份間的變動，可以從每月的捕獲數來得知。在材料方法中已述明，不論人數或時間的長短，每次調查都是將樣區的遮蔽物檢視一遍，故可假設總調查遮蔽物數固定，而捕獲數量的變動即為族群數量的變動。葉等(1994)在 1990 年 1 月至 1991 年 4 月在此樣區進行調查，研究期間共找到了 149 隻山椒魚，最低的月份為 1 隻，最高的月份有 28 隻。本研究若取同樣研究時間長短，在 2003 年 1 月至 2004 年 4 月捕獲 87 隻、在 2004 年 1 月至 2005 年 3 月則有 97 隻，本研究在這二段期間的捕獲量明顯低於當年的調查。單月捕獲量方面，整個研究過程最高也僅 15 隻，且是在 A 樣區山葵田休耕前所進行的調查。因此從捕獲量的觀點，樣區的族群數量似有下降的趨勢。葉等(1994)在進行研究時，山葵田仍舊在耕作狀態，本研究則是在 2003 年初就不再耕作了，是否山葵田的存在會影響到山椒魚

的存活呢？或者是山椒魚較少到地表來活動呢？未來透過合適的分析將可比較存活率及遭遇率(Encounter rate)的差異將可進一步的瞭解。

比較各年度間捕獲個體的體長分布，2002 年度以 45 至 55 mm 的個體較多，每個月的數量皆高於其他體長類別，次多的體長類別為 55~65 mm 的個體。2003 年度及 2004 年度較為類似，在前半年(4 至 9 月)大致以 55~65 mm 個體較多，從 12 月開始就可以找到各種體長的個體(圖 10)。2003 年度及 2004 年度捕獲個體體長的趨勢類似，這種趨勢可能是姐妹潭族群個體的典型。山椒魚在冬季進行生殖後，從 2 月的春季開始，就會有各種體型的個體出現在樣區內，至春末許多體型較小的個體就可能遷移到其他類型的棲地，僅體型較大者停留在樣區內，一直到下個生殖季。就 2002 年度而言，由於該年雨量少使得山椒魚停止生殖，體型較小的個體就不出現了，直到隔年才又恢復出現。

在本研究中能定出活動範圍的個體中 50%活動範圍都小於 10 m²、體型(吻肛長)明顯較捕獲個體均值为高(表二)、且活動範圍不重疊的現象都指出可能成體會建立領域，這種現象在陸棲的蝾螈類是常見的(eg. Smyers, 2002)。由於僅有成體能定出固定的活動範圍，亞成體及幼體在樣區內通常僅發現一次，是否成幼體的棲地不同呢？葉(1994)曾比較不同體型大小的個體在離水距離及使用石塊面積上的差異，不同體型大小的山椒魚在這二項都沒有差異，表示成幼體在棲地利用上沒有差別。由於葉(1994)及我們監測的範圍較為侷限在離水距離固定的範圍內，要推得此項因子是否有成幼體的差異較為偏頗，未來可嚐試用人工遮蔽物法(後述)擴大監測範圍，再來分析。

從持續捕獲的時間差異，可以概略推估山椒魚的存活時間，在樣區中山椒魚最長的持續捕獲時間將近 3 年，這表示山椒魚在野外的壽命至少是 3 年的時間。3 隻存活接近 3 年者，有 2 隻最初捕獲時吻肛長已達 60 mm，而三年來吻肛長增加僅 1~2 mm，所以可說是已達最大吻肛長，另一隻吻肛長則增加了近 5 mm，亦達到 60 mm 左右。從這些有限的數據推測，山椒魚的壽命應該遠高於 3 年，若從 50 mm 成長到 60 mm 需 3 年，至少就有 6 年的生命。在本研究中，捕獲的剛變態幼體吻肛長僅 18 mm 左右，而至下一生殖季前捕獲的幼體吻肛為 28 mm (僅 1 隻)，故僅成長了 10 mm，依此速度，

幼體從 17 mm 成長至 50 mm 的時間估計也需 3 年，山椒魚應該能存活 9 年。然而這僅是推估，證明就有待未來使用一些估算年齡的方法，如骨骼鑑齡法就可得知。

在棲地利用方面，比較陳及呂(1986)、葉等(1994)與我們的調查結果基本上沒有很大的差異，在遮蔽物類型皆以石塊為主，基質以泥土為主。然而他們的研究中未在對遮蔽物及基質的情形作更細的分類，故我們未能進一步分析山椒魚在這些年間是否在棲地的使用上是否有明確地改變。葉等(1994)曾在樣區內設穿越線以調查樣區的遮蔽物及底質狀況，並依以檢定山椒魚對棲地的偏好，他們指出山椒魚利用的棲地並沒有偏好的情形，山椒魚利用的微棲地是隨地點而變的。本計畫更全面調查的結果，發現山椒魚對棲地的偏好是十分明顯的，故說明了山椒魚為什麼在非常侷限的地域內才有分布。

矩陣族群分析模式(Matrix population growth model)為近年來所發展對於族群的成長及分析影響存活率重要因子的分析法。綜合文獻上有關於山椒魚各階段的存活率及本研究所得的數據，我們進行了此項分析。首先，將山椒魚的生活史分為四個階段：卵、水生幼體、陸生幼體及成體期。各時期的存活率數值：卵至水生幼體存活率為 0.3(Lue & Chuang, 1992)、水生幼體至陸生幼體為 0.4、陸生幼體及成體存活率皆為 0.7，但陸生幼體需 2 年才能達成體，故留在陸生幼體期的存活率為 0.35，轉換為成體的存活率為 0.35。生殖率方面，雌性成體的窩卵數為 16 (Kakegawa et al. 1989)、族群雌性比例為 0.5，因此生殖量為 $0.7 \times 0.5 \times 16 = 5.6$ 。將這些數據放入 Poptool 軟體中分析。

此分析中可得到許多族群參數，重要的有

- ❖ 族群的成長率(λ)：姐妹潭族群此數值為 1.028，表示這個族群為接近靜態($\lambda=1.000$)有些許成長的族群。這個結果符合我們對姐妹潭族群數量穩定的觀察結果。
- ❖ 敏感度分析(Sensitivity analysis)：族群的成長率受到單項參數的絕對影響，其提供了我們許多有用的資訊包括(1)單項參數對成長率的重要性；(2)野外研究未能準確估算的參數的效應；(3)環境干擾效應的定

量。而經營管理可將重點放在最重要的參數上。分析的結果如表五，其中最敏感的參數為卵至幼體的存活率(0.5152)，整體的生殖前期的存活率佔了 75.9%、成體期(生殖期)僅佔 22.8%，而生殖率僅 1.3% (0.0276)。這表示在族群的數量的成長率上最重要的是各年齡期個體的存活。

- ❖ 塑性分析(Elasticity analysis)：族群成長率的敏感度受到單項參數改變的比例量，此分析避免了不同測量刻度的問題，而總和是 1。此分析(1)評估關鍵的生活史轉變及時期；(2)評估存活率及生殖率對一個物種存活的相對重要性。姐妹潭族群在此項分析的結果見表六，表中可見數值最高的是成體存活率，而生殖率及存活率的塑性比例分別為 15.04%及 84.96%。

姐妹潭族群的成長率顯示，姐妹潭的族群呈現數量穩定或些許成長的現象，而影響整個族群長存與否的因素隨著不同分析而不同，在敏感性分析指出絕對的量上為卵孵化為水生幼體的存活率，而塑性分析指出比例上是成體的存活率。依據這樣的結果，在訂定經營管理對策時，首先依敏感性分析的結果，山椒魚的卵及水生幼體都是生活在溪流中，故樣區內溪流的狀態必需維持，特別是在冬季生殖期時絕對不能完全乾涸。而依塑性分析的結果，山椒魚成體的存活率的維持也很重要。從此觀點我們猜測，山椒魚在地表活動主要的目的為覓食，而山葵田的經營提供了牠們良好的躲藏及覓食的場所，造成個體存活率的增加，使得此地的族群密度很高，各種體型的山椒魚分布也較均勻。整體而言，因為各時期的存活率對整個族群很重要，故若能維持此地環境不變，甚至增加成體能存活的環境，將能有效的提高族群的密度。

近年來，許多陸棲蝾螈類的長期監測使用人工遮蔽物(Artificial Cover Object)的方法(Monti et al, 2001)。這個方法是以木板或金屬板擺放在蝾螈的棲地內，每年或每季定時翻動這些遮蔽物，記錄蝾螈的數量。這個方法的優點有：(1)擺放的數目固定，進行同一地點不同時間或者同時間不同地點的比較有個標準；(2)翻動的數目固定，不會因為人手及經驗而產生捕獲量上的差異；(3)擺放的位置可人為操控，可依據環境因子如水份、離水距離、植冠覆蓋度等等因子的差異，進行相關試驗設計，多方面瞭解環境因子對

山椒魚分布的影響；(4)人工擺放的遮蔽物提供更多適合蝾螈類利用的棲地，且在監測的過程中不會干擾到棲息於天然遮蔽物下的個體，減少自然棲地被破壞的可能性。由於阿里山山椒魚廣泛的分布於阿里山事業區及大埔事業區，受限於人力無法像姐妹潭一樣每個月進行監測，因此未來在這些地區可考慮採用此種方式來監測，不過目標可縮小為年度間數量及密度的比較。每年監測的時間上，依據文獻上的建議，應在每年的繁殖季後進行監測。依本研究調查的結果，這個時間可選擇每年的 2 月，因為此時開始見到剛變態的幼體，表示牠們的繁殖季已經結束，對牠們的年齡結構能有較佳的估算。

2. 阿里山山椒魚棲地復育試驗

棲地復育試驗是嶄新的嚐試，整個試驗經初期試驗地營造完成及半年的穩定後，山椒魚已開始在此區活動。在棲地環境的變遷上，隨著降雨量的增加，植被的覆度率也增加，遮蔽物也開始有苔類附著，底質的腐植質逐漸增加、pH 漸偏中性、含水量增加、土壤硬度降低，皆朝向山椒魚喜愛的狀況改變，但是這種狀況是暫時還是長久，有待更長期的監測。

氣候的變動不免會造成復育地有惡劣環境，影響最大應為雨量。復育地在規劃之初考量了台灣常有暴雨，故流水域有洪水預防的措施，同時在流水域引管入靜水域作為緩衝，若是水量更大有放流口可將水排入水溝中。而棲地乾旱現象在選址之初就先考量溪流終年有水的地點，再以靜水域的水池作為儲水的設施。

就地復育試驗初期的目標是山椒魚能進入復育區棲息，中長期的目標是山椒魚能在復育區內繁衍。幸運的是，在棲地工程完成後僅 4 個月，小山椒魚就出現在復育區內，並且記錄到 7 隻的個體，雖然以遺傳標記檢測顯示這些都是阿里山族群的後代，並非我們移入的個體的後代，但至少顯示復育試驗初期的目標——山椒魚進入棲息已經達成。山椒魚在生活史中有生活於溪流中的水生幼體期，此時牠們棲息在溪流的石塊或木塊下，變態後才往溪流兩側的陸地遷徙，因此我們可以推測此地的溪流已有鄰近族群移入進行生殖活動。因此整體而言，復育區已達成當初設計的目標。未來

可持續監測，更進一步瞭解整個棲地復原過程的各項因子的重要性。

由活動範圍的分析得知，山椒魚在活動範圍上是不重疊的，故可能會有領域行為，這種現象在北美洲的陸棲蝾螈類中是非常常見的(如 Smyers et al. 2002)。前段中曾說明山椒魚對微棲地有明顯的偏好，再加上明顯的領域行為，故復育棲地的合適度及大小會影響山椒魚的數量。以此觀點來看現在營造的棲地並不是很大，能棲息的山椒魚數量應相當有限，未來亟需再增加棲地復育的面積，供給更多的山椒魚來棲息。初步我們暫時選定於此次棲地營造地點的下方亦為收回的山葵田來進行，擴大整個棲地營造的面積。同時由於二地點的距離較近，也可小規模的建構個體移動的廊道，確保個體能在樣區間自由的遷徙。此部分已提在明年度的計畫中，在未來的準備時間內，將陸續進行相關的規劃及設計。

七、建議

1. 姐妹潭樣區的族群，決定族群長期穩定的主要因子為成體的存活率，因此未來復育的規劃應朝向使成體有更多覓食及生活的棲地來進行。姐妹潭樣區停止種植山椒魚有將近二年的時間，地表的植被遮滿樣區，變得不適山椒魚覓食，建議能定期在樣區內進行除草的工作。
2. 初步的復育試驗應可說是成功，應用此經驗，可增加試驗地的面積。初步看來山椒魚還是在陸域棲地出現較多，未來擴大的試驗地可將主題放在擴大陸域棲地的面積。流水域則可應不同地點的需求進行修飾，以保持水流能穩定供應。而靜水域則可在棲地有足夠空間時可進行。
3. 結果顯示山椒魚的復育在不算長的時間內就能略具成效，未來若欲進行展示，可以本試驗研究為基礎進行較為全方位的功能規劃。
4. 山椒魚長期的監測可考慮使用人工遮蔽物的方式。
5. 山椒魚的長期監測未來應將學術單位的監測技術傳遞給各第一線保育單位，建議可舉辦相關研習會，召集各林管區保育人員進行經驗傳承與交流。

八、參考文獻

- 陳世煌、呂光洋，1986，台灣產山椒魚之研究(二)—阿里山地區山椒魚之族群生態研究。師大生物學報 21: 46-72。
- 陳世煌、呂光洋，1987，台灣產山椒魚之研究(一)—研究歷史、分布和形態學之初步研究。野生動物保育研討會專集(一)國家公園和自然保留區之野生動物。頁 79-104。
- 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研究。師大生物學報 29(2): 79-87。
- 葉明欽，1991，臺灣山椒魚(*Hynobius formosanus*)棲地與族群變動之研究。國立臺灣師範大學生物研究所碩士論文。
- Bogert, C. M. 1952. Relative abundance, habits and normal thermal levels of some Virginia salamanders. *Ecology*, 33: 16-30.
- Bruce, R. C. 1988. Life history variation in the salamander *Desmognathus quadramaculatus*. *Herpetologica* 44: 218-227.
- Gill, D. G. 1979. Density dependence and homing behavior in adult red-spotted newts *Notophthalmus viridescens* (Rafinesque). *Ecology* 60(4):800-813.
- Jaeger, R. G. 1980. Microhabitats of a terrestrial forest salamander. *Copeia* 1980: 205-208.
- Jolly, G. M. 1982. Mark-recapture models with parameters constant in time. *Biometrics* 38: 301-321.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Welsey Educational Publishers, Inc. 620pp.
- Lue, K. Y., C. Y. Lin and K. S. Chuang. 1992. Notes on larva of *Hynobius formosanus* found on Yu-Shan National Park. *Acta Zoologica, Sinica* 31: 68-70.
- Martof, B. S. 1953. Territoriality in the green frog, *Rana clamitans*. *Ecology* 43(1): 165-174.
- Monti, L., M. Hunter, and J. Witham. 2001. An evaluation of the artificial cover object (ACO) method for monitoring populations of the redback salamander *Plethodon cinereus*. *Journal of Herpetology* 34: 624-629
- Schnabel, Z. E. 1938. The estimation of the total fish population of a lake. *American Mathematician Monthly* 45: 348-352.
- Seber, G. A. F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance*, 2nd edition. Charles Griffin and Company, London.
- Seber, G. A. F. 1992. A review of estimating animal abundance II. *International Statistical Review* 60: 129-166.
- Smyers, S. D., M. J. Rubbo, V. R. Townsend, Jr. and C. C. Swart. 2002. Intra- and interspecific characterization of burrow use and defense by juvenile Ambystomatid salamanders. *Herpetologica* 58(4):422-429.
- Stickel, L. F. 1950. Population and home range relationship of the box turtle, *Terrapene c. carolina* (L.). *Ecol. Mono.* 20(4): 353-378.
- Worton, B.J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology* 70: 164-168.

表一、山椒魚棲地利用調查表及記錄範例。

姐妹潭樣區

日期	編號	樣區	位置	前次捕獲	土壤硬度
20050126 1430	J110	A26	426, 436	2005/1/13	12
遮蔽物	長寬高	覆蓋植物	基質	土壤 pH	土壤溼度
石	45x36x13 cm	苔	泥土	6.6	55%
吻肛長	尾長	剪尾長	頭長	體重	性別
52.83 mm	35.34 mm	mm	13.61 mm	2.55g	F
尋獲者		個體特徵			

背面



腹面



石頭



洞穴



泄殖腔孔



表二、捕捉三次以上的個體地點間平均距離及活動範圍表

編號	體長 (mm)	捕捉 次數	點間平均 距離 (m)	活動範圍(m ²)			使用 遮蔽物	備註
				MCP	50%ADK	95%ADK		
3	54.1	3	18.40	46.06	46.06		石塊	
4	64.0	4	52.74	509.40	417.50	2982.00	石塊	樣區間移動
5	60.3	3	14.46	172.90	172.90		石塊	
17	60.1	7	0.00	0.00	0.00	0.00	木塊	於同點
25	62.3	4	3.02	2.86	1.18	2.86	石塊	
34	60.4	4	8.85	45.54	6.77		石塊	
39	57.0	9	2.88	22.75	4.52	19.33	石塊	
49	59.4	5	0.63	0.09	0.02	2.91	石塊	
57	57.7	3	32.64	278.30	278.30		石塊	
60	60.9	8	0.00	0.00	0.00	0.00	木塊	於同點
70	61.0	3	3.49	1.52	1.52		木塊	
75	62.5	3	52.58	67.21	67.21		石塊	
76	54.8	3	7.31	7.26	7.26		石塊	
110	53.8	5	3.40	0.00	0.00	0.00	布袋	2點為同地
126	58.0	5	2.57	12.77	0.10	27.32	石塊木塊	
平均值	59.1	4.6	13.53	77.78	66.89	379.30		

表三、復育試驗地各月份監測點資料表(平均值(樣本數))

監測項目		監測月份	2004年 11月	2005年 1月	2005年 3月
		陸地數	48	48	48
水域數	5	5	5		
植被覆蓋數 (%)	26 (49.0%)	27 (50.9%)	30 (56.6%)		
植被高度 與水深	陸域棲地植被高度	0.0 (9)	1.0 (9)	1.4 (9)	
	靜水域水深	1.0 (1)	1.0 (1)	1.0 (1)	
	靜水域植被高度	1.3 (22)	2.1 (22)	3.1 (22)	
	流水域水深	3.5 (4)	5.2 (4)	8.3 (4)	
	流水域植被高度	7.6 (9)	14.3 (9)	15.1 (9)	

註：植被覆蓋數為於樣區內設 53 個植被高度監測點具植被的點數。

表四、復育試驗地各月份不同地點遮蔽物及底質特性的平均值表。

監測點		樣本數	2004年 11月	2005年 1月	2005年 3月
陸域石塊	植物覆蓋率(%)	35	0.0	0.0	1.2
	底質 pH	35	6.5	6.5	6.4
	底質含水量(%)	35	73.5	60.6	83.7
	底質土壤硬度	35	7.4	8.5	3.9
陸域木塊	植物覆蓋率(%)	11	0.0	0.0	0.0
	底質 pH	11	6.4	6.5	6.6
	底質含水量(%)	11	68.2	55.5	75.0
	底質土壤硬度	11	8.7	8.8	2.0
靜水域石塊	植物覆蓋率(%)	10	0.0	0.0	0.0
	底質 pH	10	6.5	6.3	6.6
	底質含水量(%)	10	100	100	99.7
	底質土壤硬度	10	12.9	12.5	10.0
靜水域木塊	植物覆蓋率(%)	6	0.0	2.5	6.6
	底質 pH	6	6.5	6.5	6.4
	底質含水量(%)	6	100.0	95.0	100.0
	底質土壤硬度	6	11.4	10.3	7.2

表五、姐妹潭族群矩陣族群成長模式的敏感度分析結果。

	卵	水生幼體	幼體	成體
卵				0.0276
水生幼體	0.5152			
幼體		0.3864	0.2281	
成體			0.4416	0.4714

表六、姐妹潭族群矩陣族群成長模式的塑性分析結果。

	卵	水生幼體	幼體	成體
卵				0.1503
水生幼體	0.1503			
幼體		0.1503	0.0776	
成體			0.1503	0.3210

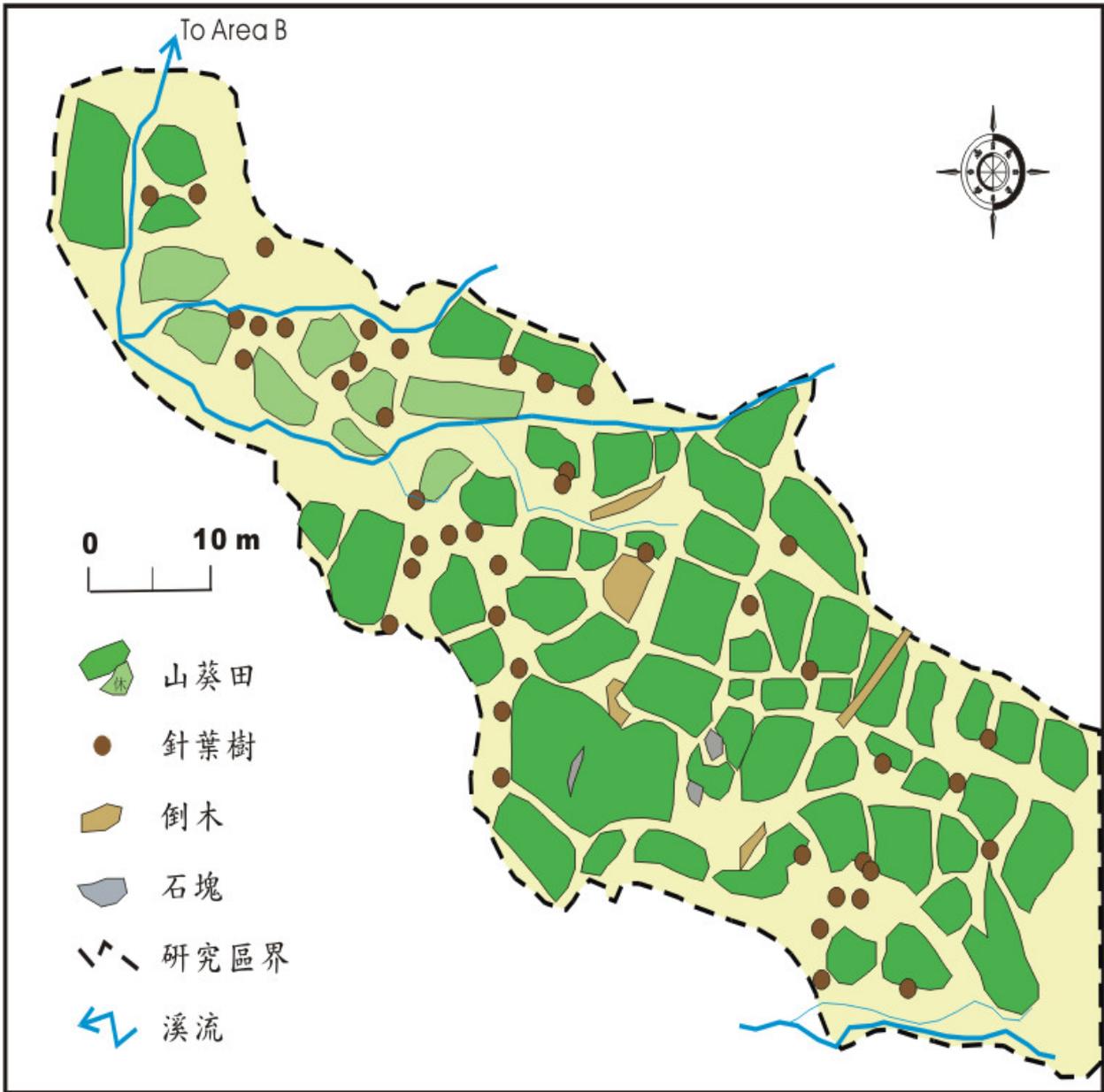


圖 1、姐妹潭樣區中 A 區的平面圖。

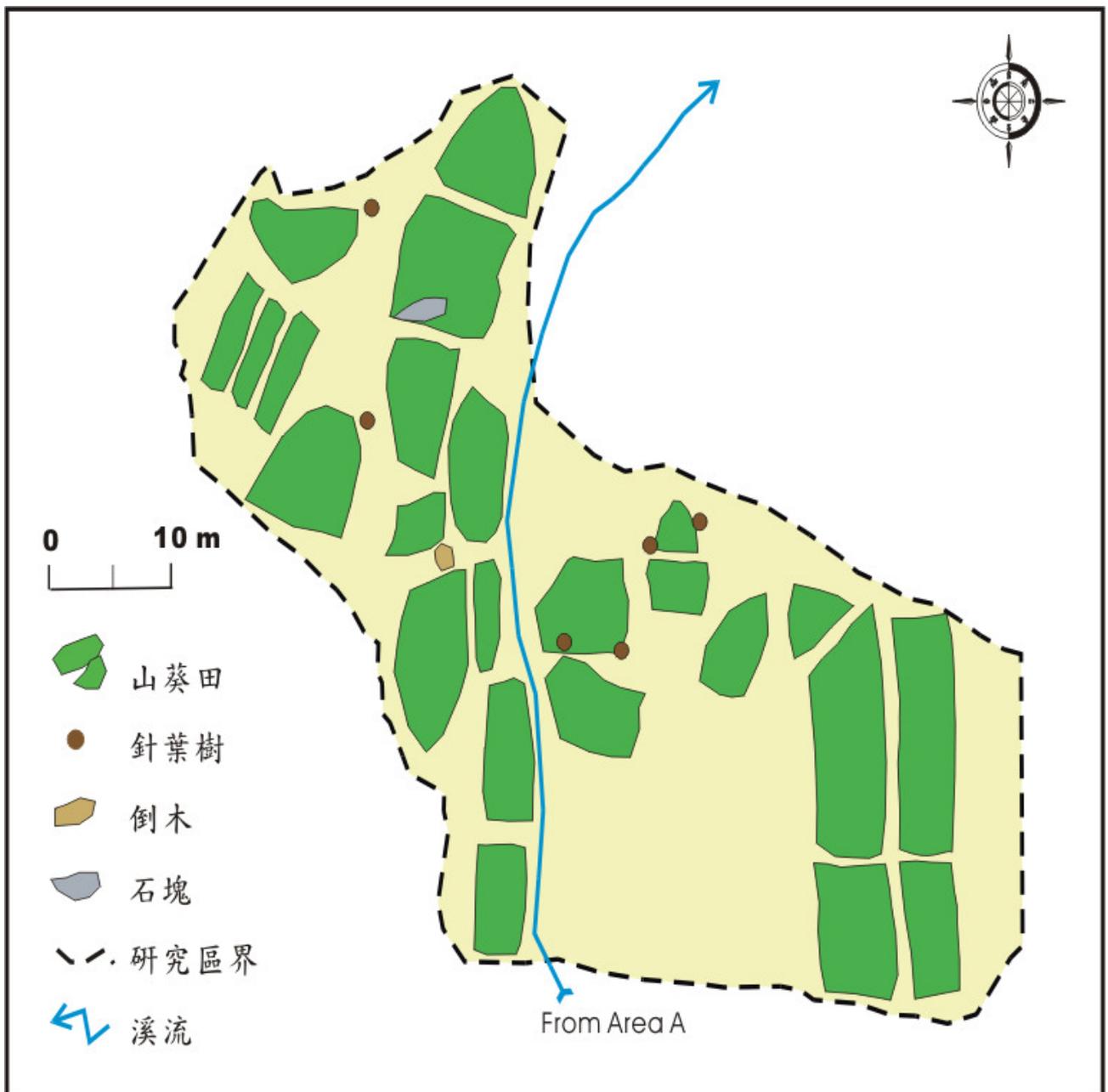


圖 2、姐妹潭樣區中 B 區的平面圖。



圖 3、營造完成後的棲地復育棲地的全景圖。

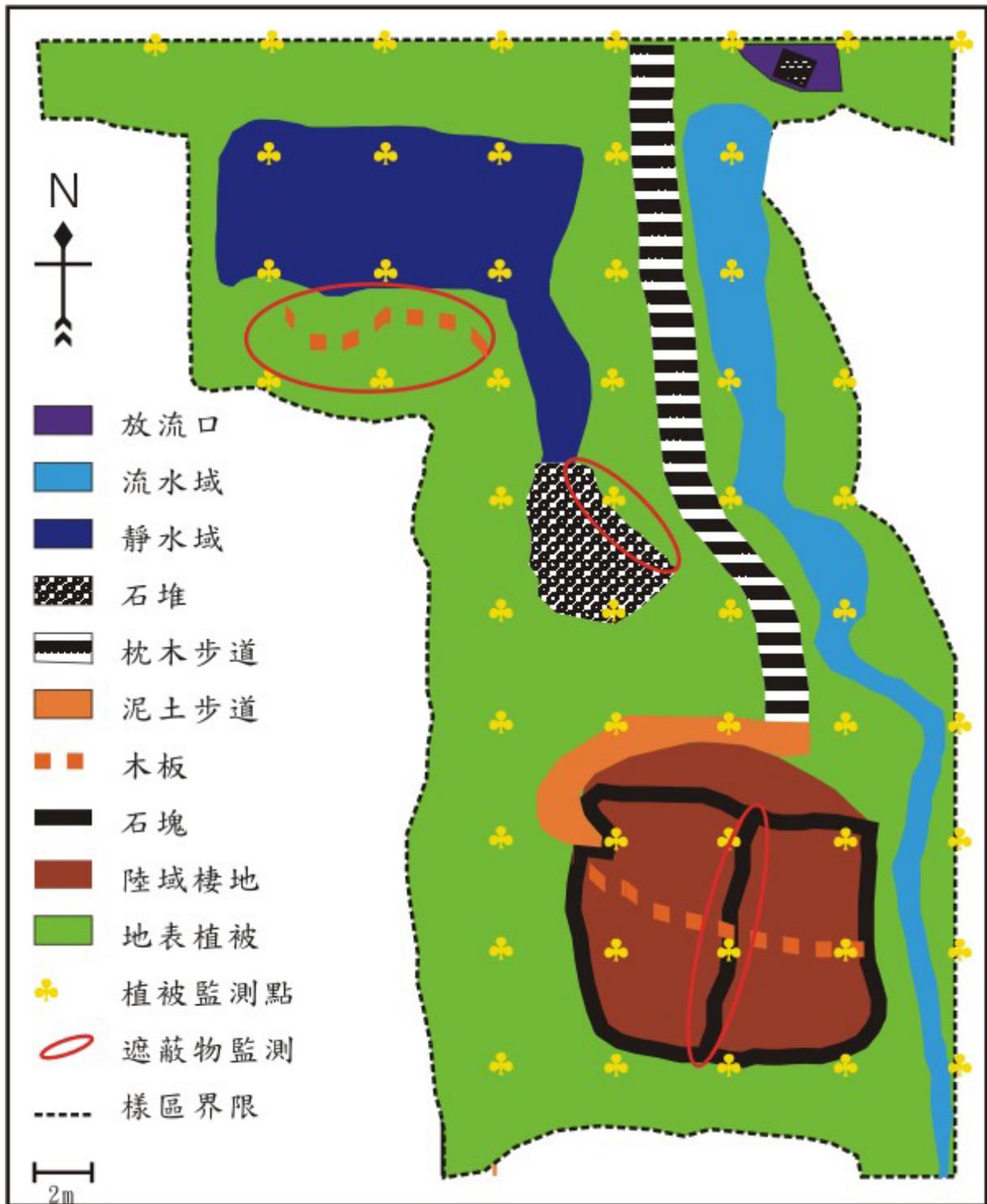


圖 4、營造完成後的棲地復育棲地的全景示意圖。

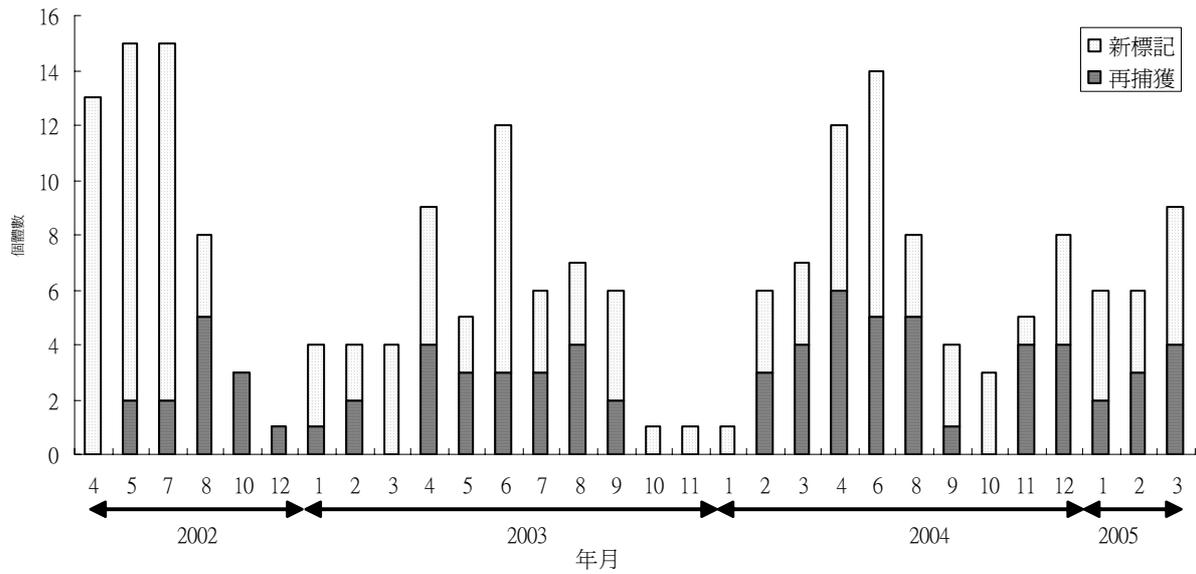


圖 5、姐妹潭樣區族群監測中，各月份捕捉之個體標記及未標記的數目圖。

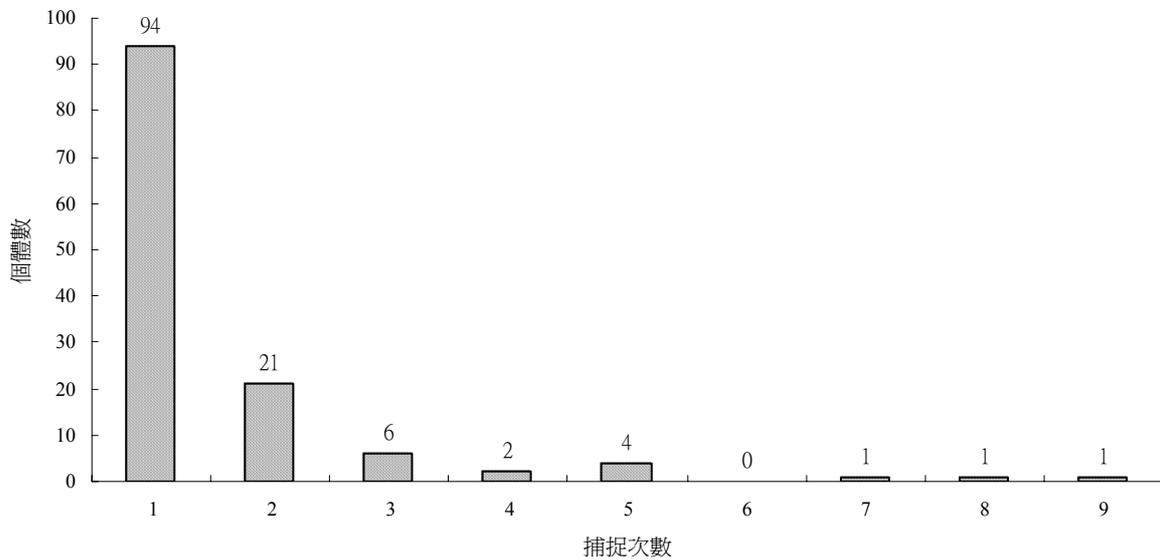


圖 6、姐妹潭樣區調查中，個體被捕捉的次數分布圖。

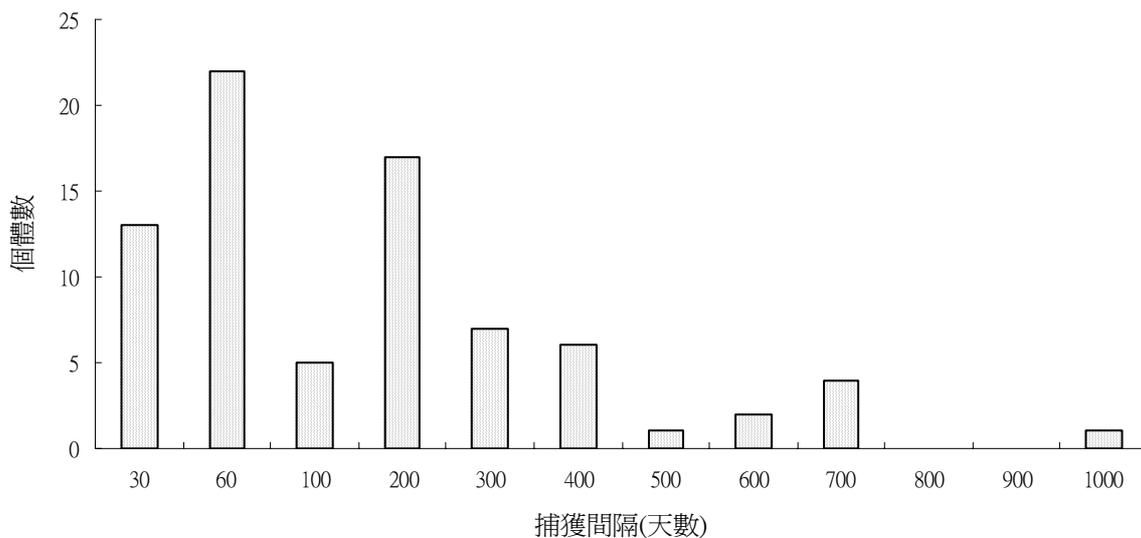


圖 7、再捕獲的山椒魚捕獲間隔天數的分布圖。

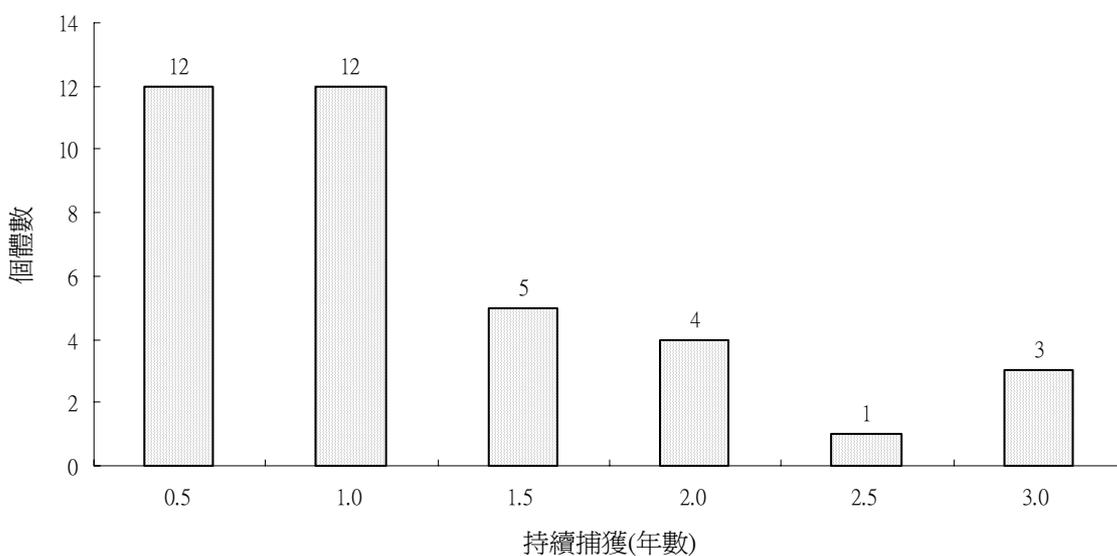


圖 8、再捕獲的山椒魚持續捕獲年數的分布圖。

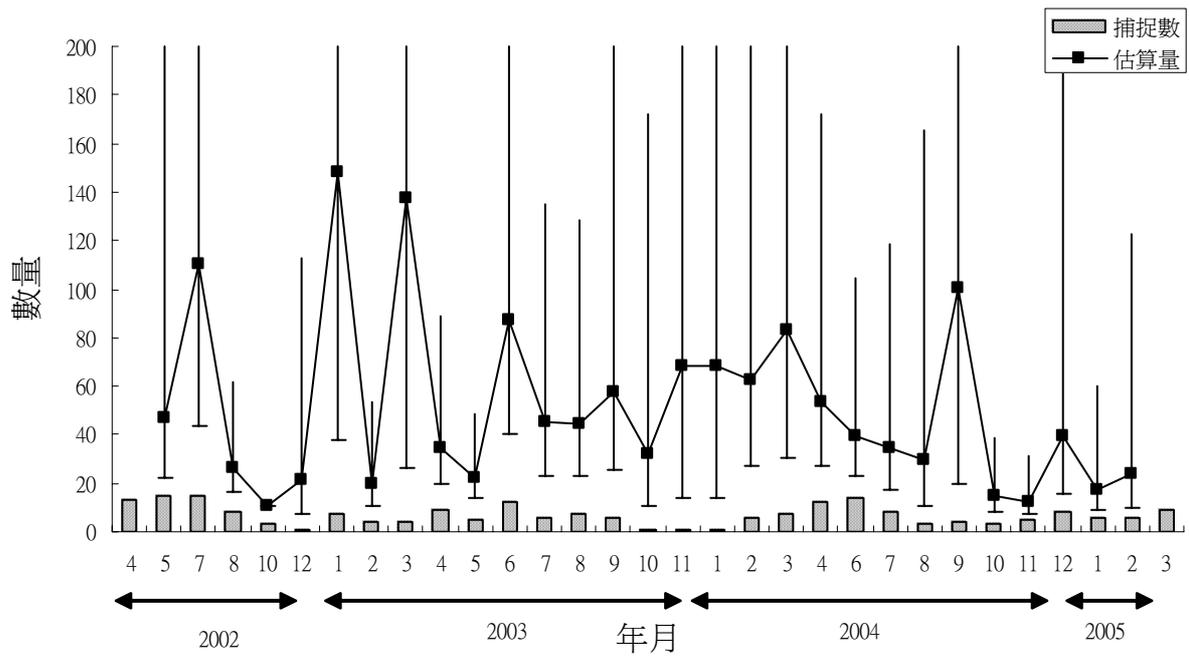


圖 9、姐妹潭樣區山椒魚的各月份捕捉量及族群量估算值曲線圖。
細線代表為估算值的 95% 信賴區間(大於 200 時僅顯示 200)。

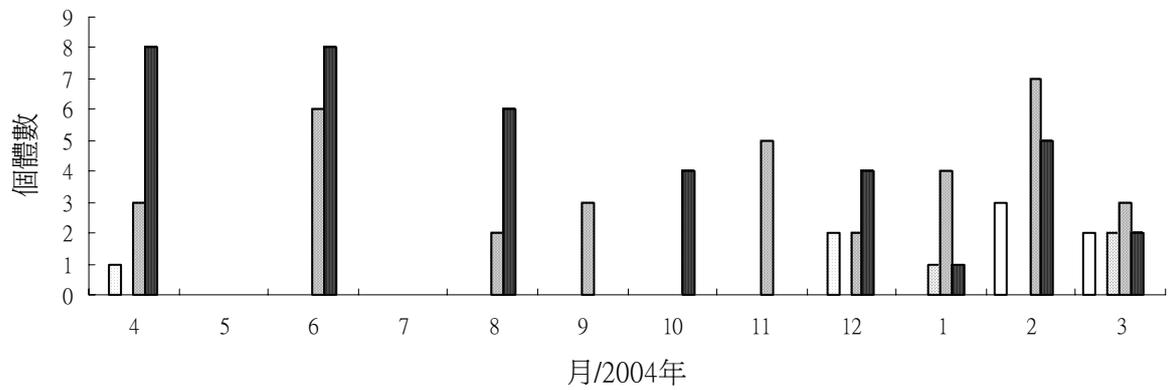
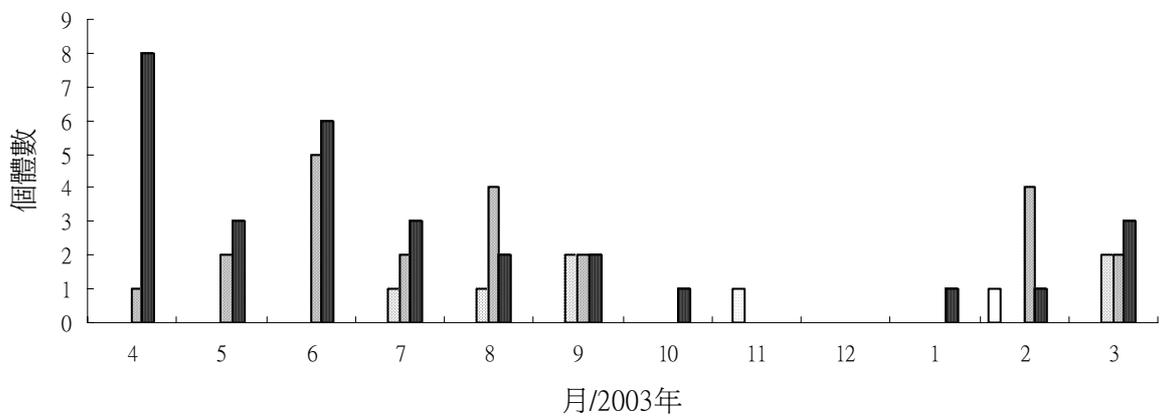
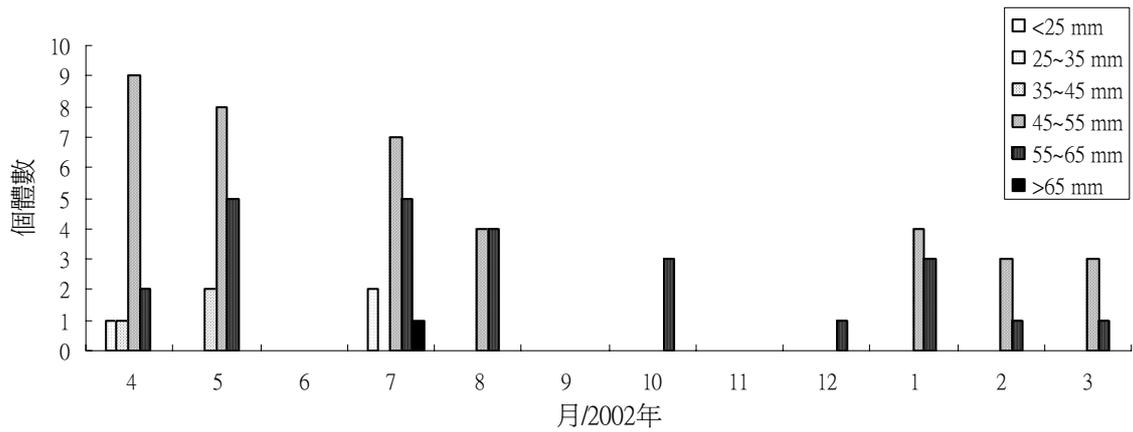


圖 10、各年度各月份捕獲山椒魚的吻肛長分布圖。上為第 2002 年，中為第 2003 年，下為第 2004 年。

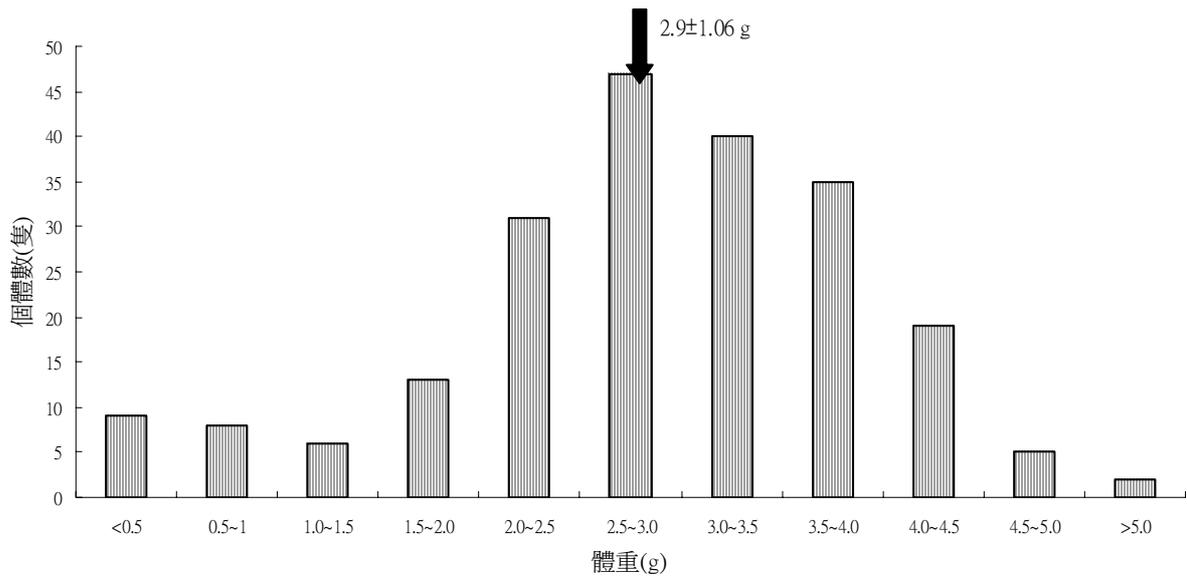


圖 11、姐妹潭樣區調查捕獲山椒魚體重分布圖，箭頭所指為平均值位置。

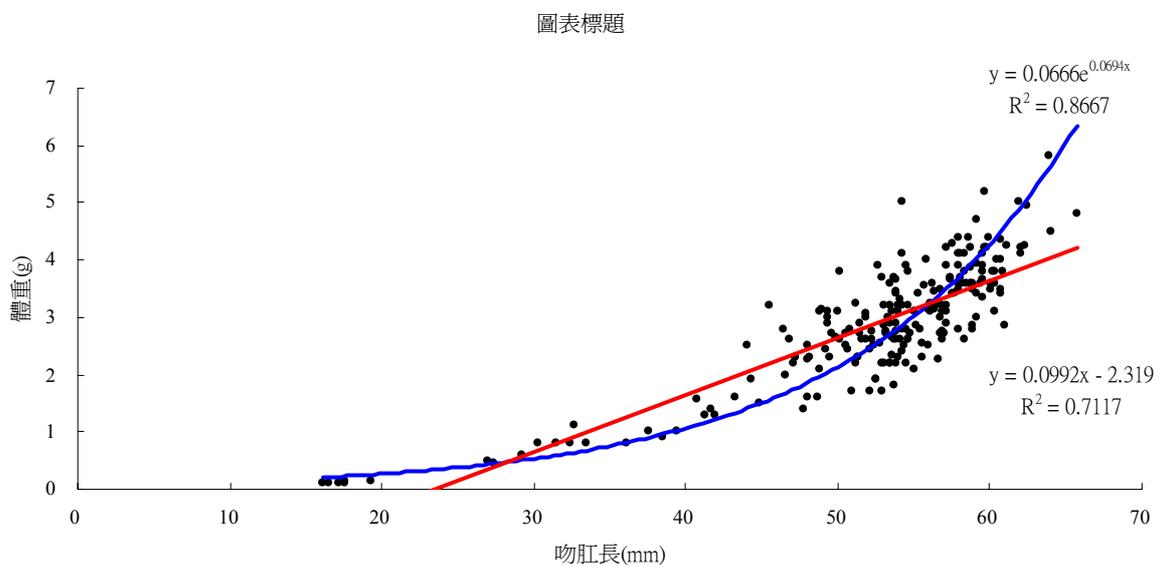


圖 12、姐妹潭樣區調查捕獲山椒魚體重—體全長關係圖，藍色線條為指數迴歸線、紅色為簡單線性迴歸線。

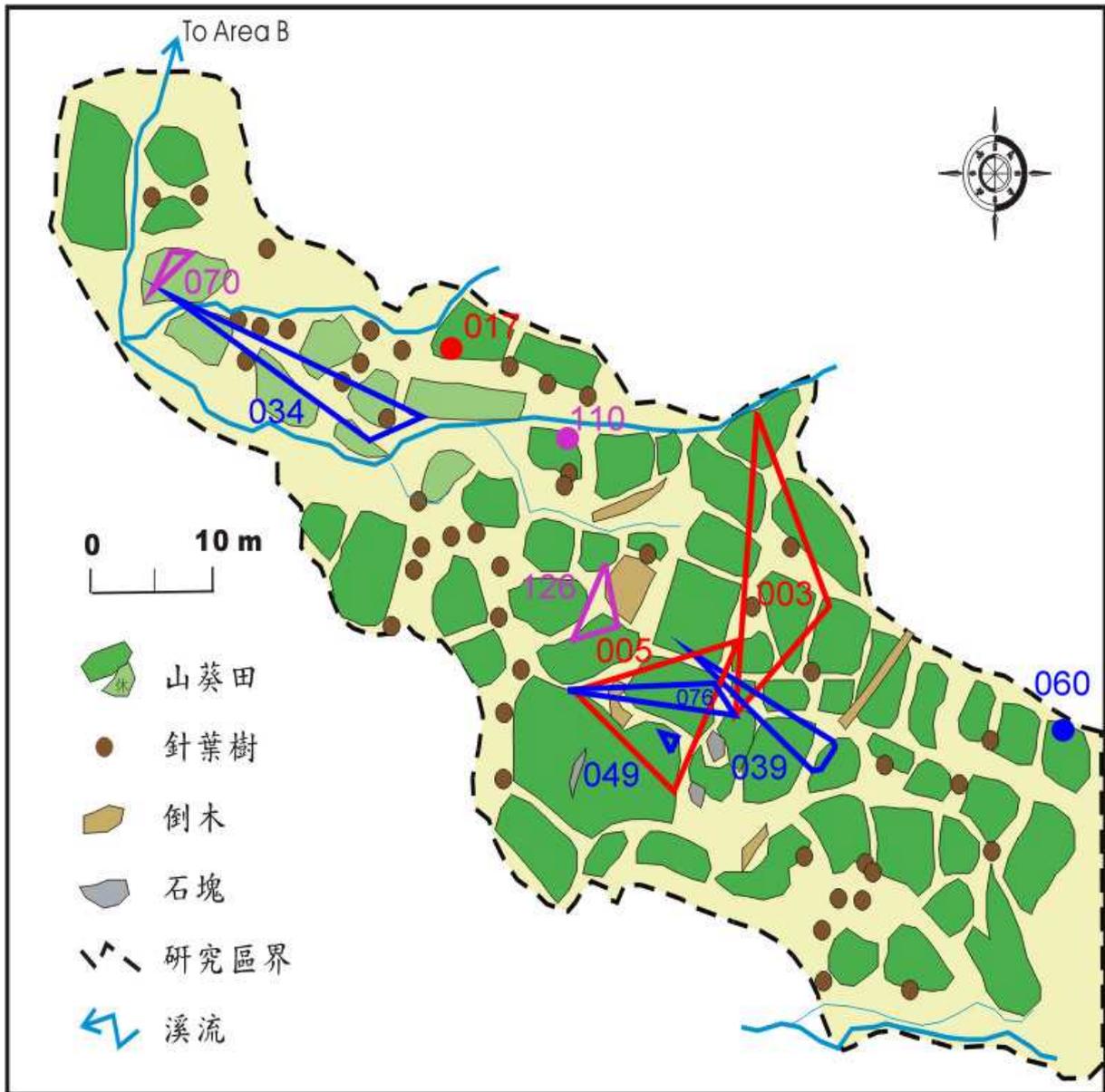


圖 13、姐妹潭 A 樣區捕獲三次以上個體的活動範圍圖。每個多邊形分代表不同個體的活動範圍，圓點則表示此個體一直停留在同一點，顏色代表不同的年度(紅:2002 年；藍：2003 年；紫：2004 年)，數字為個體編號。

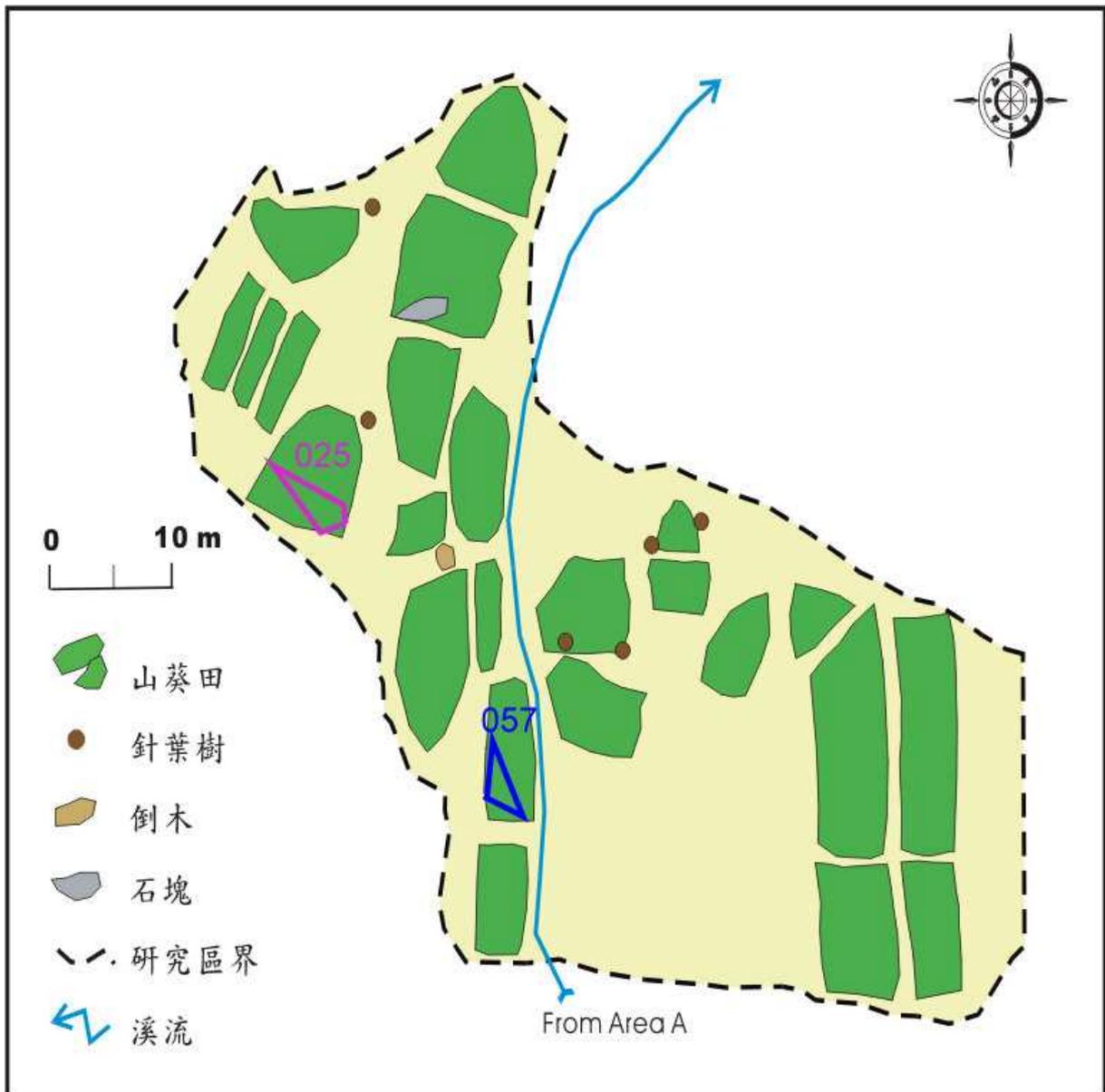


圖 14、姐妹潭 B 樣區捕獲三次以上個體的活動範圍圖。每個多邊形分代表不同個體的活動範圍，顏色代表不同的年度 (紅:2002 年；藍:2003 年；紫:2004 年)，數字為個體編號。

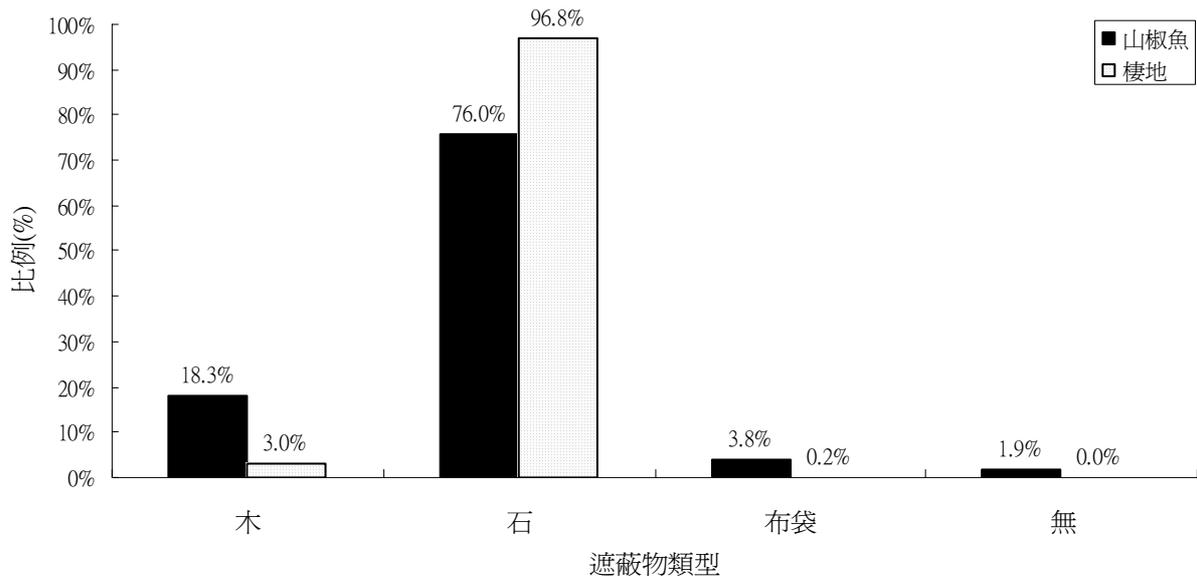


圖 15、山椒魚利用與樣區內可利用之遮蔽物類型的比例圖。

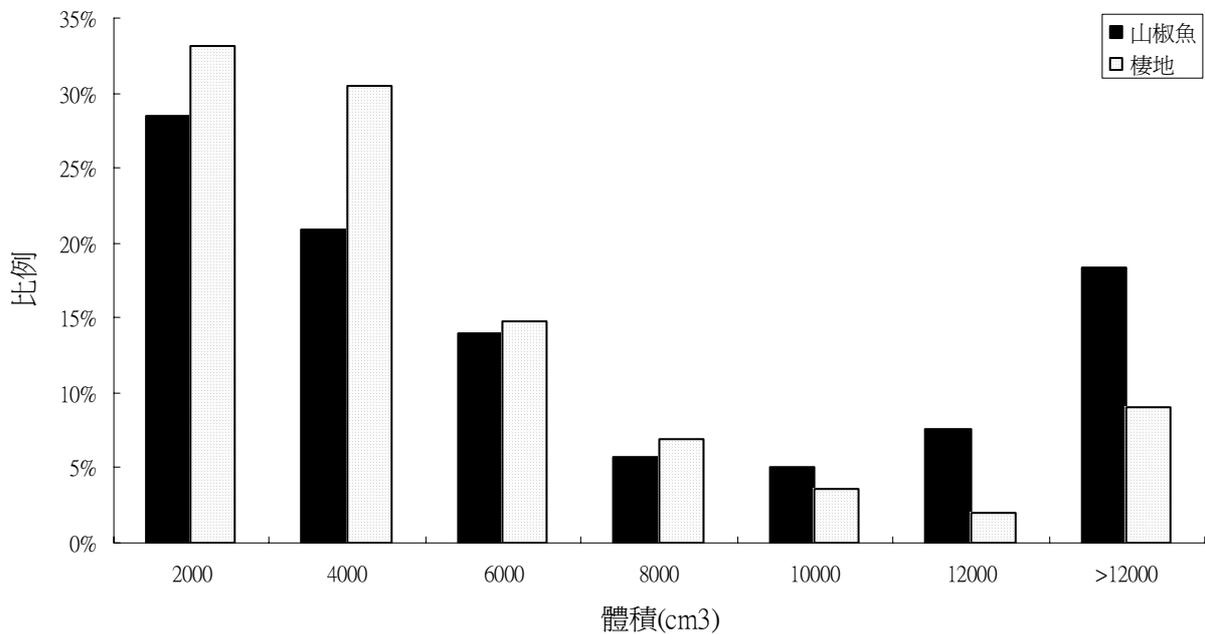


圖 16、山椒魚利用及樣區內石塊遮蔽物的體積分布圖。

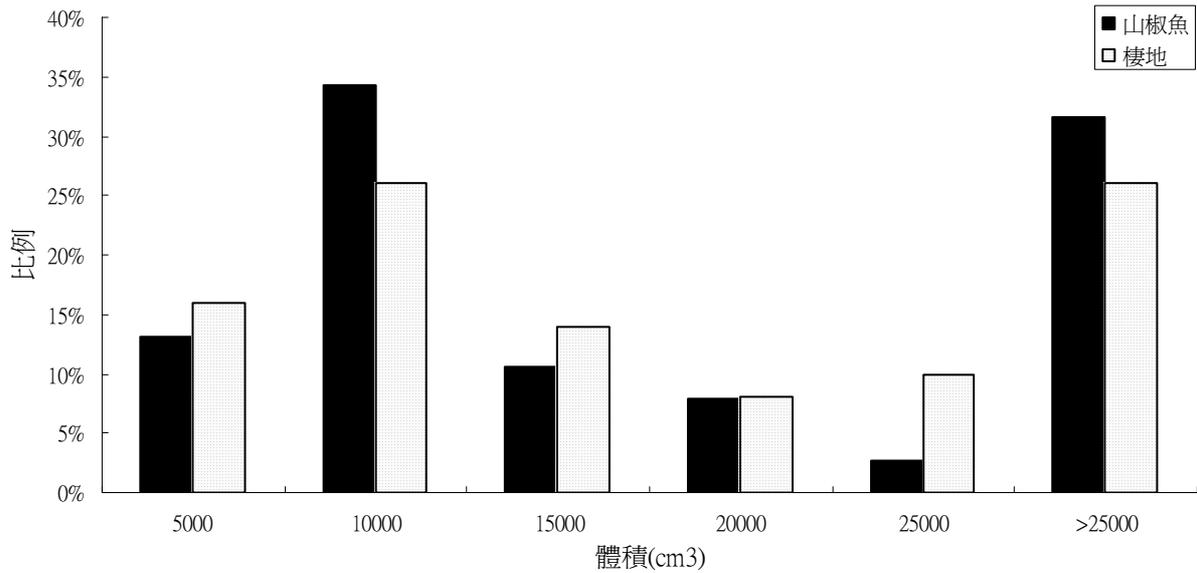


圖 17、山椒魚利用及樣區內木塊遮蔽物的體積分布圖。

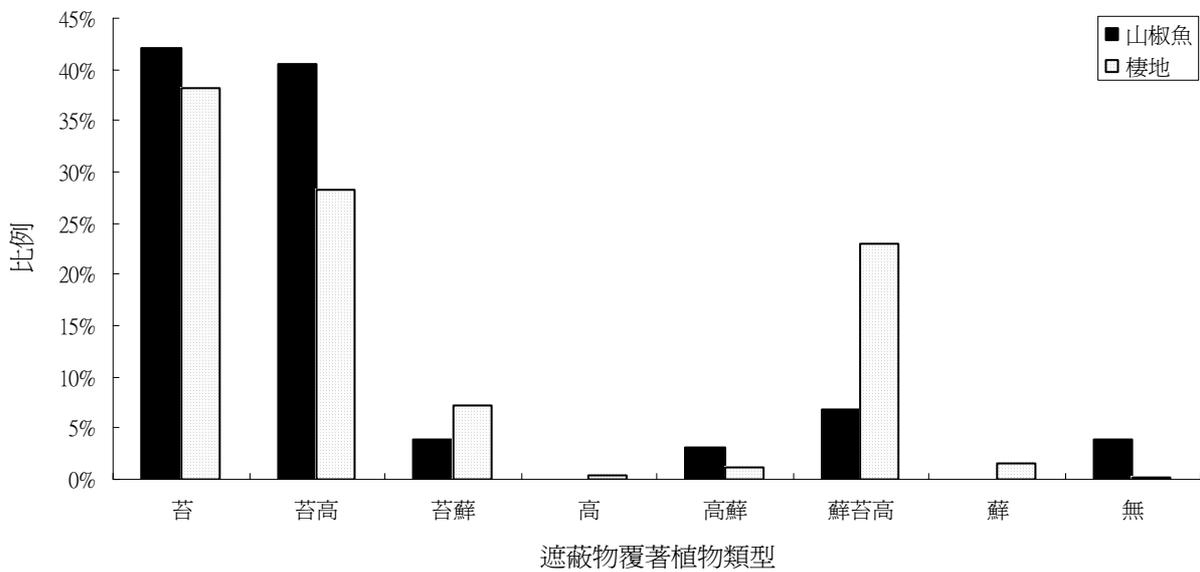


圖 18、山椒魚利用之遮蔽物與樣區內可利用遮蔽物上附著植物類別比例圖。(說明：苔高—苔類及高等植物，苔蘚—苔類及蘚類，高—高等植物，高蘚—高等植物與蘚類，蘚苔高—蘚、苔及高等植物)

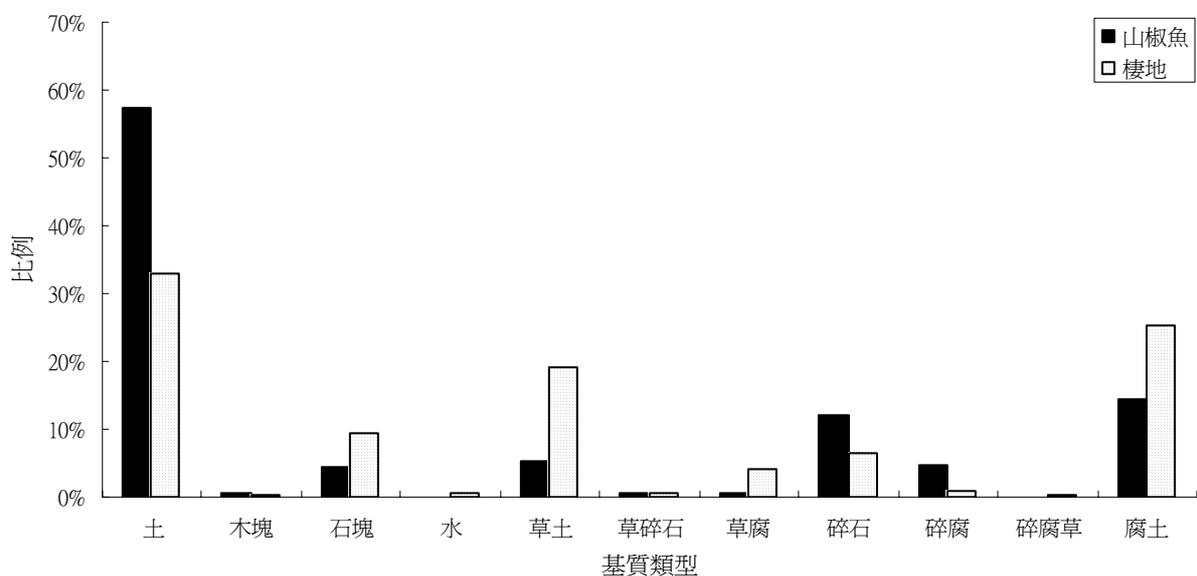


圖 19、山椒魚利用遮蔽物與樣區可利用遮蔽物下基質類型比例圖。(簡稱說明：泥土(土)、石塊、草根及泥土(草土)、草碎石(草根及碎石)、草腐(草根及腐植土)、碎石、碎腐(碎石及腐植土)、碎腐草(碎石、腐植土及草根)、腐植土(腐土))

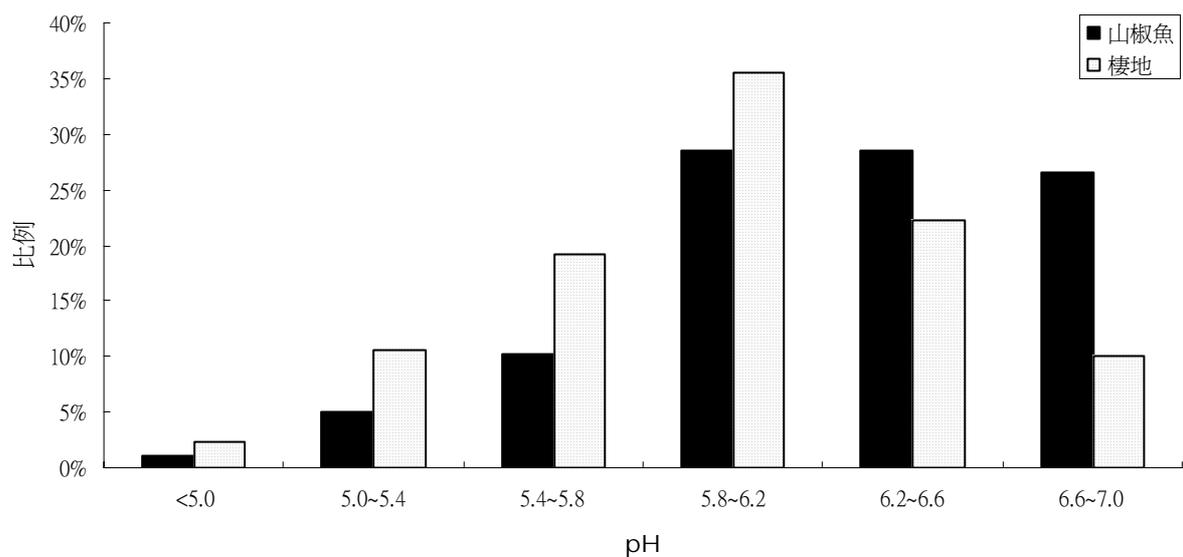


圖 20、山椒魚利用遮蔽物與樣區可利用遮蔽物下基質土壤酸鹼度值的比例圖。

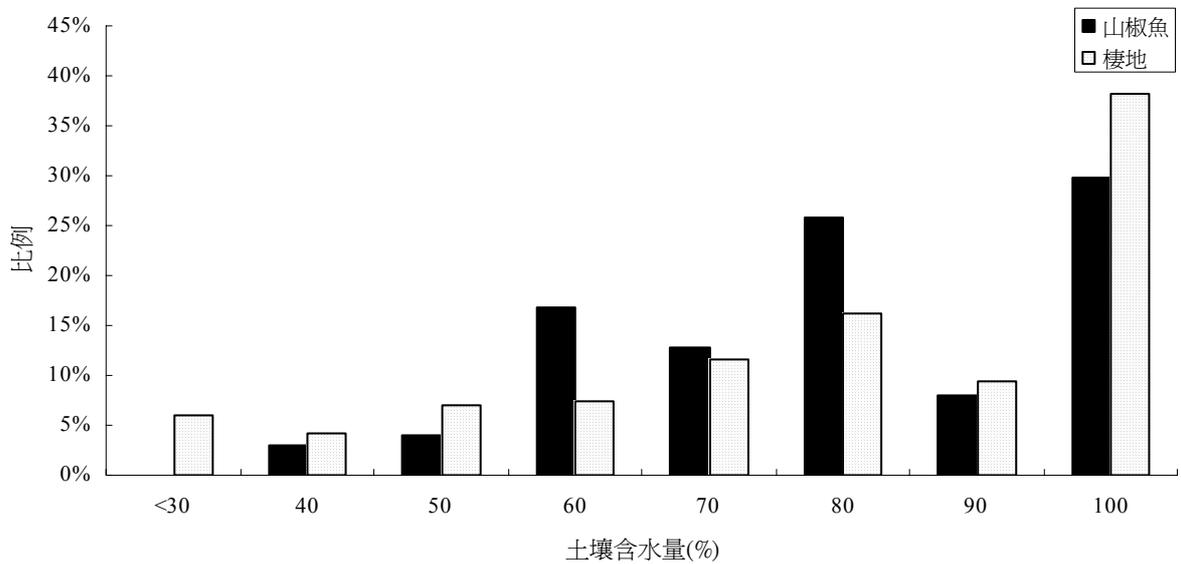


圖 21、山椒魚利用遮蔽物與樣區可利用遮蔽物下基質土壤含水量的比例圖。

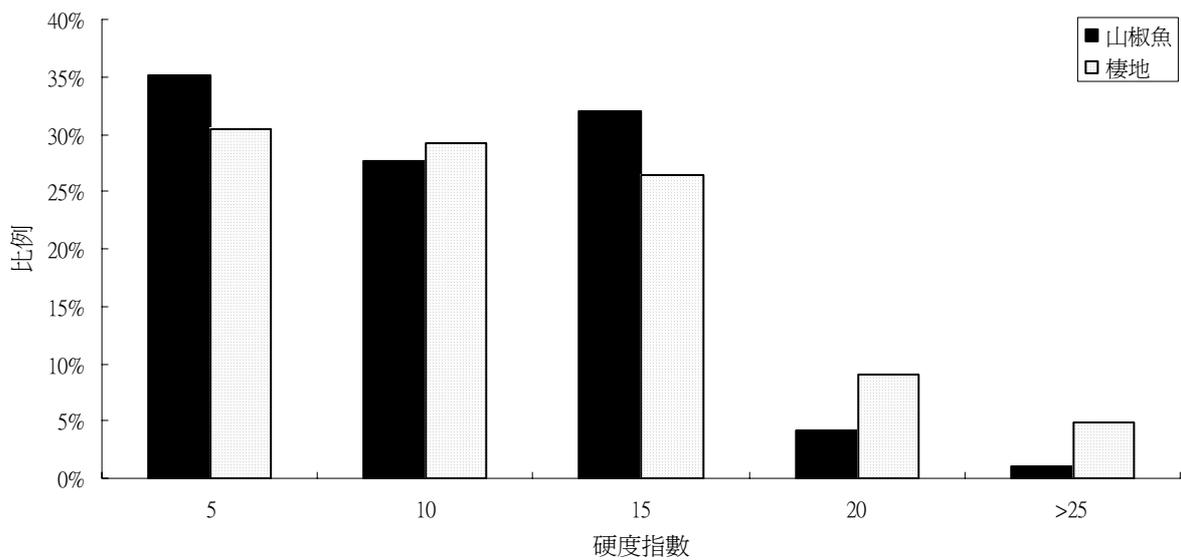


圖 22、山椒魚利用遮蔽物與樣區可利用遮蔽物下基質土壤硬度的比例圖。



A



B



C



D

圖 23、營造完成後的山椒魚就地復育棲地的(A)流水域、(B)靜水域石堆區、(C)靜水域水池區、(D)陸域之近觀。



A



B

圖 24、引入個體的過程，A 先選擇較為扁平且下方空隙的石塊，放入個體於石塊邊(或下方)，B 山椒魚進入石塊下躲藏。



圖 26、復育棲地之現況



圖 27、於復育地內捕獲之小山椒魚。上為背面，下為腹面，黃色標記長度為 10 mm。