

行政院農業委員會林務局保育研究系列 94-16 號

行政院農業委員會林務局委託研究系列 94-05-8-1 號

阿里山地區阿里山山椒魚的分布和棲地利用之研究(4/4)—
就地復育試驗(二)

Distribution and Habitat Preference of *Hynobius arisanensis*
in Alishan Areas (4/4)—Habitat Restoration Pilot Study (2)

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

中華民國 九十五年 四 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	19
七、建議	22
八、參考文獻	23
附錄	24
附表	24
附圖	28

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，四個年度在姐妹潭樣區內共調查到 278 隻次山椒魚，其中 97 隻次為再捕獲。利用 Jolly-Seber 法估算每月族群數量在 13~305 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 64.9 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 10 隻小椒魚及 2 隻成體，已檢測的 4 隻小山椒魚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。除此之外，新增第二期的試驗地，並進行山椒魚喜好遮蔽物及植被的試驗。

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 is: From April 2002 to March 2006, totally we caught 278 salamanders, among these 97 individuals were recaptured. Using Jolly-Seber method, the population size estimated at the study site was between 10 and 305 individuals per month. Most individuals are adult. The estimated home ranges were between 0 and 509 m².

We chose an abandoned *Eutrema japonica* field for *in situ* restoration experiments. We constructed four habitat types, including trail, flowing water,

standing water, and vegetation covered areas. Stones and decaying woods were arranged in the covered area as shelters for salamanders. Released individuals were collected from Zhu-Chung, about 12 km from Alishan. After restoration arrangements were completed, vegetations began to grow. Two months later until now, we caught 10 juvenile and 2 adult salamanders in this area. The genetic analyses showed that they are offsprings from local population. In this year, we appended new restoration site, and started experiments on the selection of cover objects and vegetation types by salamanders.

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，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。

在本計畫至今的調查中，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 1, 2 林班及大埔 206、207、208、209、212 林班調查到山椒魚(表一)，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。

本計畫在第三年度時開始嘗試利用山椒魚棲地的特性來復育山椒魚。我們選定森林遊樂區內貴賓館旁回收的山葵田為試驗地，移除了地表上的植被並且重塑了地形，營造出靜水域、流水域及陸域棲地等分區。然後放置了許多山椒魚喜歡利用的遮蔽物，並從自忠地區引入山椒魚。試驗地在營造好後，約經過半年，山椒魚開始在此地活動，並且捕獲小山椒魚。初步而言，試驗在此是成功的。

本年度的工作除了監測各樣區的族群變動及棲地變化之外，主要的重點在擴大就地復育試驗的面積，並藉由試驗設計來瞭解遮蔽物及地表植被對山椒魚的棲息的影響。本研究的成果將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
4. 試驗微棲地營造之地表遮蔽物及植被對山椒魚的影響

四、研究材料與方法

1. 姐妹潭樣區阿里山山椒魚族群數量監測

調查樣區：

持續於前三年的樣區中進行監測。樣區位置在姐妹潭北方的山谷內(圖 1)，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 2 及圖 3。

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*)、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 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)山椒魚尋找及微棲地記錄

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，尋獲的個體紀錄日期、時間及微棲地的資料(見表二記錄範例)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。從 2005 年 11 開始使用螢光標記(Visible Implant Fluorescent Elastomers (VIE tags), Northwest Marine Technologies, Inc.)，以不同顏色的螢光標打在山椒魚四肢基部的皮下，藉以辨視個體。然後拍照記錄個體，作為個體辨識的輔助，並將個體的位置畫於樣區圖上。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。

為瞭解吻肛長和年齡之間的關係，以骨骼鑑齡法(Skeletochronology)

來進行年齡的估算(Ento & Matsui, 2002)。

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. 試驗就地復育阿里山山椒魚

1. 第一期復育試驗點的後續監測

研究方式：

第一期復育試驗點在森林遊樂區中的位置見圖 1，圖 4 為去年度營造的試驗地，圖 5 為復育棲地的全景示意圖。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，沿著在樣區內橫縱軸每 4 公尺設置植被高度測量點(圖 5)。計算(1)測點中具有植被的百分比、(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及靜水域。先將遮蔽物區分為石塊及木塊二類，先將木塊及石塊編號，測量其長寬高求出概略體積，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，本年度起以每個月一次的頻率，如同姐妹潭樣區的監測記錄每一隻捕獲的個體。經由去年已發展出的族群特徵性分子標記的檢測，除瞭解引入後的個體存活及繁殖的狀況，同時得知是否在棲地營造後會有從其他族群遷入的個體。

2. 第二期復育試驗地的營造

試驗地選定：

經勘察後，決定在第一期試驗地的北方進行此項試驗(圖 1, 圖 6)。此地點約當阿里山事業區第一林班，面積在 1000 平方公尺左右。此試驗地大致具有山椒魚利用微棲地的特性：鄰近溪流水源且溪水終年不斷；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。其原為鄰近步道區的山葵田，屬已收回產權的山葵田，符合本試驗的需要。

試驗地山椒魚微棲地營造：

前三年的研究顯示，山椒魚不在地表覆滿草本植被的地點活動，故在試驗地內先清除地表植物。依據地區的地形的樣貌，將此試驗地劃分為 9 個小區，以配合後續微棲地營造的試驗。其餘部分說明於下個試驗。

3. 試驗微棲地營造之地表遮蔽物及植被對山椒魚的影響

試驗設計及微棲地重建：

採用巢式設計(Nested design)，即以植被試驗小區為基礎(圖 7)，於試驗小區周圍再擺放不同材質及大小的遮蔽物。3 種地表植被分別為山葵、山芹及自然生長(原來的地表植被移除後，任其生長)，每種地表植被都各有 3 個試驗小區，因此共有 9 個試驗小區。遮蔽物的材質有 2 種——石塊(天然石塊)及木塊(廢棄枕木)；遮蔽物面積 2 種——大及小，因此後二者的配對組合成的遮蔽物及大小如下：(1)大石塊：長 30-35 cm、寬 10-15 cm；(2)小石塊：長 10-15 cm、寬度 10-15 cm；(3)大木塊：長 150 cm、寬 15 cm 的枕木；(4)小木塊：長 50 cm、寬 15 cm 的枕木。每個試驗小區四周擺放上述 4 類遮蔽物各 4 個。植被在試驗前進行處理及種植。

資料記錄及分析

每二個月一次至試驗區翻找山椒魚，若找到山椒魚則記錄微棲地各項參數並個體相關形值(如其他二樣區的族群監測方法)。以巢式設計的統計法檢測各處理因子的主效應及其間的交感作用。

調查頻度：

每二個月一次。

由於復育的時間較為長久，在計畫執行的過程中，配合林管處現場工作人員進行調查，使第一線工作者瞭解監測方法，即使是在計畫結束後，仍舊可以自行進行監測，以使整個復育試驗計畫趨於長期且完整。

五、研究調查資料分析

1. 阿里山山椒魚族群生態監測

四個年度至今在姐妹潭樣區內共調查到 278 隻次山椒魚，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(2004 年 4 月至 2005 年 3 月)捕獲 84 隻次，36 隻次再捕獲，新標放了 48 隻；第四年度(2005 年 4 月至 2006 年 3 月)捕獲 63 隻次，19 隻次再捕獲，新標放了 44 隻；總計共捕捉到 278 隻次山椒魚，其中 97 隻次為再捕獲，共標放了 181 隻山椒魚。圖 8 顯示每個月捕捉的數量，以及這些個體中標記及未標記的數量。每次捕獲量，因月別而異，2002 年 5、7 兩月 15 隻最高，2003 年 12 月、2005 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%，有些月份則沒有再捕獲的個體。在個體被捕捉次數方面(圖 9)，133 隻個體僅被捕捉一次，48 隻個體有再捕獲的記錄，而單一個體被捕捉次數最高為 10 次，平均每隻捕獲 1.54 次。個體捕獲間隔時間由 13 天(半個月)至 1193 天(39 個月)不等(圖 10)，平均捕獲間隔日數為 197.5 日。以捕獲間隔日數的分布而言，最多的個體在 100 天(三個月)以內再次被捕捉，除 15 隻個體以外，再捕獲皆發生在一年之內。捕獲的個體有 4 隻曾在 A 區及 B 區間移動。

個體的持續捕獲時間(最初及最近捕獲的時間差)，最高為 1307 天，最低為 14 天，以年為單位的時間分布如圖 11。圖中顯示在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 4 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 11。估計的族群量最高為 2005 年 3 月，族群數量為 305 (231~2451) 隻，最低為 2002 年 10 月，數量為 10 (10~10) 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。2005 年初開始增加，但是 6 月開始又開始減少。

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 52.1 ± 9.4 mm、尾長 36.4 ± 8.0 mm、頭長為 12.9 ± 2.1 mm、頭寬為 8.0 ± 1.3 mm。不同月份不同的年度的吻肛長分布如圖 13，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。未成熟個體(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)在每年的 2、3、4 月發現。

各年度間捕獲個體的吻肛長趨勢方面，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。2005 年度則是二類個體互有消長的現象。

測量個體的體重範圍從 0.1 g 至 5.8 g，平均體重為 2.9 ± 1.1 g。將體重劃分為每 0.5g 一個級數，作出其體重分布如圖 14。其中 2.5~3.0 g 的個體最多(62 隻)，體重小於 0.5 g 有 13 隻而大於 5.0 g 的個體皆僅有 2 隻。圖 15 為體重對吻肛長的相關圖，圖中顯示山椒魚的體重隨著吻肛長的增加而增加。

年齡估算

利用本系舊有採於阿里山的標本，以長骨鑑齡法來估算山椒魚年齡與吻肛長的關係。由於標本有限，故選取具代表性的吻肛長個體來切片。圖 16A 為剛變態的幼體，其骨骼尚未出現生長停滯線(Lines of Arrested Growth, LAGs)。體長在 35mm 左右的個體(圖 16B)，有二條的生長停滯線，表示已經過二個冬天，推算應是三歲的個體。體長達 60mm 以上的個體，生長停滯線已經達到 10 條(圖 16C)，故山椒魚的存活年數應可達到 10 年以上。

將鑑定年齡個體的吻肛長對LAG數作圖(圖 17)，以雄性的個體而言，吻肛長與LAG數呈現明顯的對數關係($R^2=0.9223$)。這指出山椒魚在最初幾年的成長較快，在吻肛長達 50mm 後，吻肛長的增加速度就減緩了。50mm 以上的個體屬於成體，這表示成體的成長是十分緩慢的。雌性因為鑑定的個體數較少，故曲線趨勢較不明顯。

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 19 隻，依其出現點以最小凸多邊形法(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 18 及 19。估算的個體活動範圍，在MCP法在 0 至 509.4 m²之間，平均值 64.9m²。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 58.64 m²。用以計算的位置點數以個體 039 為最多，被捕獲了 9 次出現在 5 個點，而個體 060 亦被捕獲 10 次，但是僅出現在兩個點。而被捕獲了 8 次的個體 017，則是每次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 14.2 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(表三)，吻肛長(個體最大測量值)從 45.4 至 64.0 mm，平均值為 56.3 mm，而捕捉次數在三次以下的個體(不含幼體)的吻肛長平均值為 52.3 mm，二者間呈顯著差異($F_{1,166}=5.81$, $p<0.05$)。

圖 18 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，若是重疊也僅在邊緣的部分。B 樣區的 5 隻個體，也呈現相同的情形(圖 19)。

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

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，當時此地點尚未種植山葵，在此地曾調查到山椒魚。

(2) 試驗地山椒魚微棲地營造

營造好的棲地照片見圖 4，示意圖如圖 5。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：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。
- B. 流水域：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。

C.靜水域：靜水域區分為石堆區及水池區，石堆區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。池邊種植有阿里山遊樂區內典型的草本地表植被，並放置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：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。

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。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

試驗地現況如圖 20。在試驗地建構完成後半年時間，陸地及水域的比例沒變化。水域的深度在進入雨季後開始增加(圖 21)，從 2005 年 5 月起靜水域的面積及深度就持續增加。到 7 月的調查中，由於颱風帶來的雨水，使得間隔靜水域和流水域的步道幾乎完全淹沒。水量大的情形持續到 8 月。從 9 月開始，累積的水慢慢消退，慢慢轉成非雨季的型態。至 2006 年 3 月，流水域呈乾涸，僅剩幾個點有積水，而靜水域則水量

十分有限。這些乾涸後的水域，植被生長的速度非常的快。

各區植被恢復的狀況方面，以植被的高度作指標(圖 22)。在工程時受到擾動最大的陸域棲地，在雨季時因為雨量大沖刷強，造成表土的流失，細小石塊裸露使土質堅硬。從 2005 年 9 月開始，山葵的成長因為水份充足而增快。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(*Pratia mummularia*)。從 1 月開始，三葉山芹菜(*Sanicula lamelligera*)開始出現，經過 8 個月，山芹菜已遍布在靜水域的水陸交界帶；靜水域的陸地，則是以戟葉蓼為主。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。溪右側以戟葉蓼為優勢植物，且成長快速；溪流左側在水域面積減少後，植被的成長也相當快速。

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(圖 23)，初期呈小塊狀分布，面積皆不超過 10%，平均僅為 1.2%；其後石塊上苔類覆蓋的面積快速增加，最近已達 70%以上。本區木塊為人工擺放的木板，植物附著的狀況較差，在 25%左右就不再增加了。靜水域的遮蔽物的生長呈現相反的情形，石塊的植物覆蓋率一直很低，而木塊的植物覆蓋率則增加的很快。二類遮蔽物的基質特性十分接近，pH 皆在 6.3~6.6 左右(圖 24)。含水量在乾季(11-3 月)時較低(圖 25)，但呈現明顯的年間差異。木板的保水能力較差。木板下常棲息著喜歡乾燥環境的蜘蛛，從 5 月開始，這種現象就慢慢減少了。靜水域方面，遮蔽物的植物覆蓋率，石塊上的植物長的非常慢，7 月因為浸在水中，至 9 月才開始有苔類生長。而在木塊上的成長較快，苔類附著平均佔 36.7%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(圖 23)。靜水域的土壤含水量皆接近 100%，而土壤硬度也較低(圖 26)。一開始呈現下降的趨勢，5 月開始升高，維持在穩定的狀態。

族群監測方面，在 2004 年 12 月及 2005 年 1 月分別放入了 1 隻及

4 隻的山椒魚成體。而於 2 月份的調查時發現了 4 隻小山椒魚、3 月份又調查到 3 隻小山椒魚、5 及 6 月各 1 隻成體。7 月至 12 月未再觀察到，從 2006 年 1 月又再觀察到山椒魚(圖 27 及 28)，而今年度出現的個體以小椒魚為主。山椒魚出現的地點皆在陸域棲地中，所利用的遮蔽物在去年皆為石塊，而今年以木板為多數。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 5.6~6.8(平均值 6.4);含水量 70~100%(平均值 80.8);硬度 3~20(平均值 11.7)。檢測各月所捕獲山椒魚 COX I 基因型，依基因型序列的遺傳距離，皆屬阿里山族群。故營造後第一年已達族群的個體遷入利用並繁殖的狀態，且此情況持續至第二年。

2. 第二期復育試驗地的營造

試驗地山椒魚微棲地營造：

前三年的研究顯示，山椒魚不在地表覆滿草本植被的地點活動，故在試驗地內先清除地表植物。由於第一期的復育地中，至今僅陸域棲地有山椒魚棲息，故第二期僅營造陸域棲地。再則因為大量的擾動，植被復原較慢，不利後續試驗，故依據地區的地形的樣貌，僅將原植被及遮蔽物移除。移除後，將此試驗地劃分為 9 個小區，以配合後續微棲地營造的試驗。植被移除後，擺放木塊及石塊，並種植試驗植被。(圖 6、7)

4. 試驗微棲地營造之地表遮蔽物及植被對山椒魚的影響

營造好至今的監測中，尚未觀察到任何的山椒魚。此部分的監測及試驗結果，仍有待後續的研究。

六、結果與討論

1. 阿里山山椒魚族群生態監測

監測至今年初，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。從 2 月後，族群數量的高低變動很大，3 月的估計量達 300 隻，其後數量就慢慢的變少，今年的年初數量又變得較少。這種現象推測應該是山椒魚的地表面活動呈現很大的月份差異，當觀察到的數量較多時，估計的量也會較多，當觀察數量開始下降時，估計量就突然變得很低。雨量的增加，草本植物的生長幾已包住了大部分的遮蔽物，植物的根部伸入，造成了基質特性明顯地漸不適合山椒魚棲息，也可能是估計族群量下降的原因之一。我們已定期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。

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。後三年度較為類似，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 13)。後三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 m^2 、體型(吻肛長)明顯較捕獲個體均值为高(表三)、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？進行分析的結果，成幼體微棲地各項因子上大都沒有差異。以遮蔽物類型(圖 29)為例，體型小的個體遮蔽物皆利用石塊，體型愈大利用木塊的比例愈高，但統計上不顯著。而基質類型(圖 30)，幼體統計上顯著較成體喜歡利用腐植土，但這有可能是有限

資料在分析上所造成的偏差。

在估算活動範圍上，大部分的方法皆利用空間軸如經緯度，XY 軸的出現地點。常用的方法有：

1. 最小凸多邊形法(Minimum Convex Polygon)

方法簡單，廣泛用於鳥類及哺乳類的研究。此法是將最外面的出現點相連形成多邊形，而多邊形的內角不超過 180 度。雖然這個方法對粗略領域及活動範圍的估算很有效率，但求出的面積受到最外面點很大的影響，同時亦對活動頻繁的中心區較無反應。再者，若活動區域為長形、彎曲或折曲則會有一大部份未活動區域也被包括在凸多邊形中。

2. 二變數常態估算(Bivariate Normal Estimate)

此法假設動物在兩個軸上出現的機率是常態分布的，而兩個常態分布曲線交會重疊的地方就是活動中心。活動中心樣子從圓形(雙軸為等長)至橢圓形(雙軸不等長)。因為此法假設出現的機率由活動中心向兩側遞減，計算出來的區域就可以用百分比來表示，例如 95% 的活動範圍。此法的弱點很顯然的就是區域為圓形或橢圓形以及活動對某點而言是常態分布的假設。此種假設的後果之一是，如果動物活動的區域為 U 形的，計算出的範圍將以動物從未出現過的地點為中心。

3. 調和均值估算法(Harmonic Mean Estimate)

Dixon and Chapman (1980) 提出一個無母數的方法，此法利用出現點到樣區每一格線點(grid point)的徑線。此數值的平均值則稱為調和均值(Harmonic Mean)。例如，對任一格線點的調和均值，即為此格線點到所有出現點徑線距離的倒數，而具有高調和均值的格線點因為是大部分出現點聚集的地方所以是活動中心。然後，我們可以再求算等值線(isocline)而得到出現機率。此方法的缺點是當出現點很接近格線點時調和均值的計算會被扭曲，所以格線必需放置在區域之外以避免如此接近。

4. 核心估算法(Kernel Estimates)

Worton(1989)建議了另一無母數的估算法。這個方法假設每一個出現點在效果上就是活動範圍或領域的局部中心。數學上則以一個雙變數常態

分布(核心)加諸於每一個出現點上，以反應這個活動。核心分布重疊處，接著聚積起來以產生整體的活動分布，並且有一或多個高峰。在固定核心法(fixed kernel method)中，此分布不會平滑化，而適應核心法(adaptive kernel method)所產生整體分布的平面則被平滑化，即應用不同的參數值，使活動頻率高的中心區許稍許平滑化，低活動的邊緣區域則高度平滑。

核心法在近年來成為估算活動範圍最廣泛使用的方法(Seaman et al., 1999)。模擬實驗的結果建議固定核心法較為正確(Seaman and Powell 1996)，而要得到活動範圍面積準確估算值最少需要 30 個觀察(Seaman et al. 1999)。

在本研究所使用的是簡略的最小多邊形法及適應核心法，二種方法所得的估算值並沒有太大的差異，這是因為沒有足夠的樣本數，表三中大部分的個體都共有捕捉三次，或者說僅是達到能計算活動範圍的最低標準，也因此估算值的準確性仍有疑問。但若要達到核心估算法

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。這個點已受到骨骼鑑齡法支持。

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。然而這種狀況，經過長期的監測的結果似乎是會隨著雨量而變。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。但今年度的雨量似乎過大，沖掉了陸域棲地大量的表土，致使土壤變硬，也影響了整個棲地的復原狀況。

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，至今更已累計 14 隻次，共 12 隻個體，體型有大有小。小山椒魚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。然而，由於原先設計時陸域棲地面積較小，且由於土壤過硬，並不能吸引山椒魚在此長期定居，這點有待持續的進行人為經營管理，創造合適牠們存活的棲地。

至於今年度所進行的地表遮蔽物及植被試驗，至今尚未有山椒魚進入利用。這種狀況相當出乎我們的預料之外，原先在這塊區域山椒魚的數量還不少，卻沒有任何個體利用我們所建構出來的微棲地。推測原因有以下幾點：(1)遮蔽物的擺設：因為試驗的設計，我們在每塊試驗區都擺設固定的遮蔽物，這往往造成遮蔽物間呈不連續的狀態，可能增加了山椒魚在進入遮蔽物前的風險，使山椒魚不喜歡利用。(2)遮蔽物的材質的影響，木塊遮蔽物是以枕木為材料，由於枕木在製作的過程中曾經過防蟲防腐處理，釋放出的毒物可能不利山椒魚棲息。然而，這些枕木是回收的腐爛枕木，應當這種影響已十分有限。木材類的遮蔽物，在第一期的試驗地在第二年才有山椒魚利用，或許再放置久一點的時間就會有山椒魚棲息。(3)棲地的差異，雖然與第一期相鄰，但是此試驗地旁的溪流呈乾涸的狀態，在我們第一年對山椒魚會棲息的山葵田的調查中，終年不乾涸的溪流是非常重要的條件，這可能也是影響之一。(4)使用的枕木可能還需要更長的時間才能達到山椒魚可棲息的標準，由於山椒魚在自然棲地中所利用的枯倒木通常都已經將近 20~30 年，人工擺放的木塊要達到能讓山椒魚利用時間上可能

也要相當長。就初步的研究成果看來，第二期復育地應該要在遮蔽物上有更多的修改，未來需要增加遮蔽物的數量及使用自然枯倒木。(5)由於在第一期復育地利用的個體以幼體為主，有可能第二期復育地未見到山椒魚是受到族群的動態特別是徵召率(recruitment rate)的影響，當徵召率低時，幼體產生的數量較少，會進入營造棲地的個體就較少。第一期復育地去年捕獲的幼體有 7 隻，今年只有 3 隻(5 隻次)(圖 28)，或多或少可以說明這點。

七、建議

本研究進行至今，已達最初設定的目標，研究單位在此提出幾點建議，供管理單位作為經營管理的參考，有些屬於短期目標，有些則是長期目標。

阿里山山椒魚的長期監測

1. 姐妹潭樣區山椒魚族群的監測已進行了四年，若因計畫停止而不再進行監測，殊為可惜。建議管理單位能指派專人持續的收集資料。至於監測的方法及標準流程將由受委託單位另外寫成手冊，供管理處參考。
2. 由於山椒魚活動模式有明顯的季節特性，未來由管理處自行派專人監測時，可將監測頻率更改為一季一次。
3. 姐妹潭樣區地表的植被遮滿樣區，且包覆了大部分的遮蔽物，已造成山椒魚在地表的活動量減少，故定期除草工作仍是必需的。建議的除草方式是以人工將遮蔽物旁的植物連根拔起，除草的頻率半年一次，每年的三月及九月進行。
4. 阿里山山椒魚生殖資料的缺乏，是未來亟需得到的。
5. 長期監測可再增加監測的族群，在研究曾找到的族群都是適合監測的族群，以期對大阿里山地區山椒魚的變動模式有更全面的瞭解。

復育地的經營管理

6. 第一期復育試驗應可說是成功，然而由於草類快速繁衍，亦需要時常的進行除雜草的工作。此部分主要針對步道區兩側，使用機械除草，當草長超過 40 公分即可進行。而第二期復育地需控制自然生長植被區的高度。
7. 陸域棲地的土壤由於表土的流失，使得土壤的硬度增加。可從鄰近地點收集枯枝敗葉撒在土壤上，增加土壤的腐質植含量，使土壤的保水性升高。
8. 增加遮蔽物的擺放：可在第二期復育地多放石塊及自然枯倒木，使

山椒魚有更多的棲息地。

教育解說

9. 管理單位可嚐試以圈養方式展示阿里山山椒魚，未來可配合高山博物館的改善，參考台北市立動物園在有尾兩生類養殖及展示方面的經驗，將阿里山山椒魚作一常態性的教育解說教材。
10. 保育影片的拍攝：四年的學術研究資料希望能透過影片的轉化成為民眾的保育常識，特別是旅館業者、農夫及一般遊客都能認知自己在保育阿里山山椒魚應當扮演的角色。

整體的復育規畫草案，特別是人為工程或自然所造成棲地的改變的因應對策，受限於報告的篇幅及時效性，實需作完整的討論及參照相關國外有尾類保育的策略，容未來再作補充。

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.
- Dixon, K. R., and J. A. Chapman. 1980. Harmonic mean measure of animal activity areas. *Ecology* 61:1040-1044.
- Ento, K., and M. Matsui. 2002. Estimation of Age Structure by Skeletochronology of a Population of *Hynobius nebulosus* in a Breeding Season (Amphibia, Urodela). *Zoological Science* 19, 241-247.
- 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.
- Seamand, D. E., J. J. Millspaugh, B. J. Kernohan, G. C. Brundige, K. J. Raedeke, and R. A. Gitzen. 1999. Effects of sample size on kernel home range estimates. *Journal of Wildlife*

Management 63:739-737.

- Seaman D. E., and R. A. Powell. 1996. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology* 77:2075-2085.
- 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、調查林班地的山葵田相關資料與山椒魚數量表。

林班地	海拔 (m)	數量	田 數	面積 m ³	坡 向	坡 度 (°)	水源	轄區	備註
阿里山 1	2200	12	3	2500	北	10		阿里山	
阿里山 2	2100	10	3	9000	北	10		阿里山	
阿里山 3	2200	0	2	8000	南	30		阿里山	
阿里山 4	2200	0	1	500	北	30		阿里山	
阿里山 5	2200	0	3	2400	南	20		阿里山	
阿里山 6	2200	0	1	400	北	40		阿里山	
阿里山 7	2000	0	3	5000	西	30	×	阿里山	
阿里山 8	2100	0	1	600	北	45	×	阿里山	
阿里山 9	1700	0	1	500	西	30		阿里山	
阿里山 10	1800	0	2	3000	東	30	×	阿里山	
阿里山 11	1800	0	1	1000	東	30	×	阿里山	
阿里山 16	2400	0	1	300	西	40	×	阿里山	
阿里山 17	2300	0	1	400	西	30		阿里山	
阿里山 18	2300	0	1	500	西	30		阿里山	
阿里山 19	2400	0	1	3000	西	20		阿里山	
阿里山 20	2400	0	1	2000	西	20		阿里山	
大埔 190	1849	0	1	8600	南	15	×	奮起湖	
大埔 191	1779	1	2	5000	北	25	×	奮起湖	訪問
大埔 195	1714	0	2	5200	西	8	◎	奮起湖	
大埔 196	1780	1	3	10300	西	30	◎	奮起湖	訪問
大埔 197	1749	0	3	6300	西北	7	×	奮起湖	
大埔 206	2286	4	1	3600	南	21	◎	阿里山	步道旁
大埔 207	2270	15	1	600	東	40	◎	阿里山	步道旁
大埔 208	2260	8	3	2100	東	20	◎	阿里山	
大埔 209	2500	2	3	6000	西	15		阿里山	
大埔 210	2400	0	3	3000	西	15		阿里山	
大埔 211	2400	0	3	3000	西	20	×	阿里山	
大埔 212	2400	6	4	6400	西	40		阿里山	
大埔 213	2300	0	1	600	南	25	×	阿里山	
大埔 214	2400	0	3	2400	西	20		阿里山	
大埔 215	2329	0	3	3000	西	12	水庫	阿里山	
大埔 216	2298	0	2	6000	西北	29	×	阿里山	
大埔 217	2281	0	2	1000	西	24	×	阿里山	
大埔 218	2120	0	4	7500	北	20	×	阿里山	
大埔 219	1820	0	2	4300	東南	7	◎	阿里山	
大埔 220	1790	0	1	800	東	12	×	阿里山	
總計			73	124800					

註 1： ◎：有溪流； ○：有溪流但乾涸； ×：無水源

表二、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



表三、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	
12	52.4	3	40.30	53.89	53.89		石塊	
17	60.3	8	0.00	0.00	0.00	0.00	木塊	於同點
25	62.3	5	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	10	0.40	0.00	0.06	0.97	木塊	於 2 個點
70	61.1	4	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	
87	45.4	3	12.70	6.37	6.37		石塊	
93	53.0	3	2.70	0.14	0.14		石塊	
110	54.2	6	5.50	0.00	0.51	37.70	布袋	於 2 個點
118	56.8	3	8.70	6.84	6.84		石塊	
126	58.0	5	2.57	12.77	0.10	27.32	石塊木塊	
平均值	58.3	4.5	13.64	128.92	121.0849	121.08		

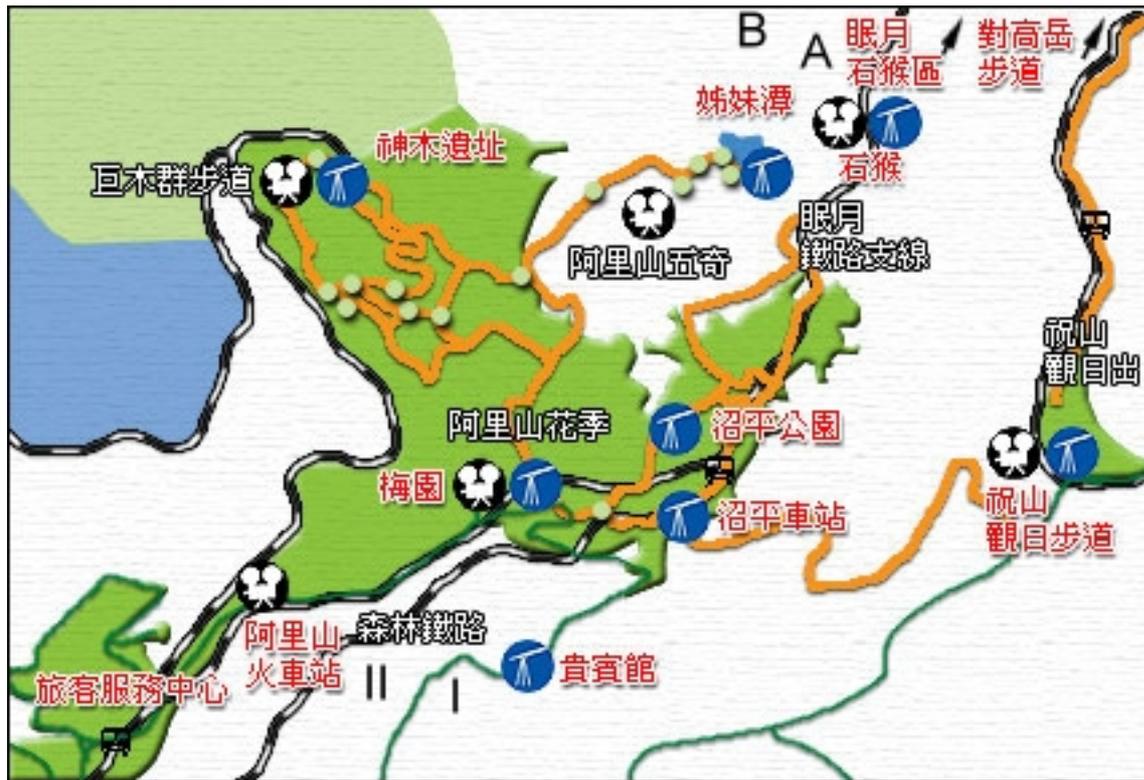


圖 1、研究樣區在阿里山森林遊樂區的位置圖。A：姊妹潭樣區 A 區；B：姊妹潭樣區的 B 區；I：第 1 期復育試驗地；II：第 2 期復育試驗地。

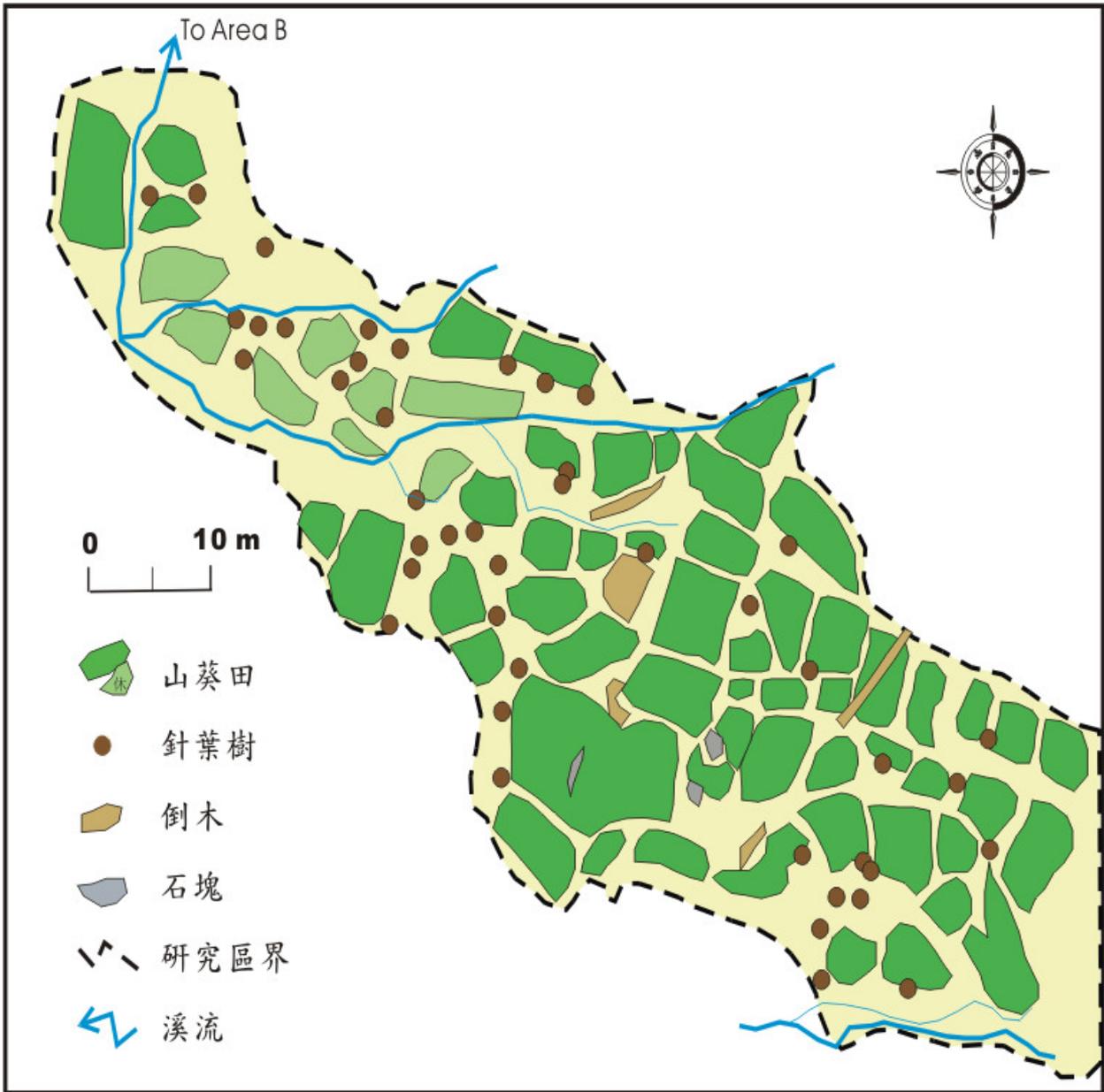


圖 2、姐妹潭樣區中 A 區的平面圖。

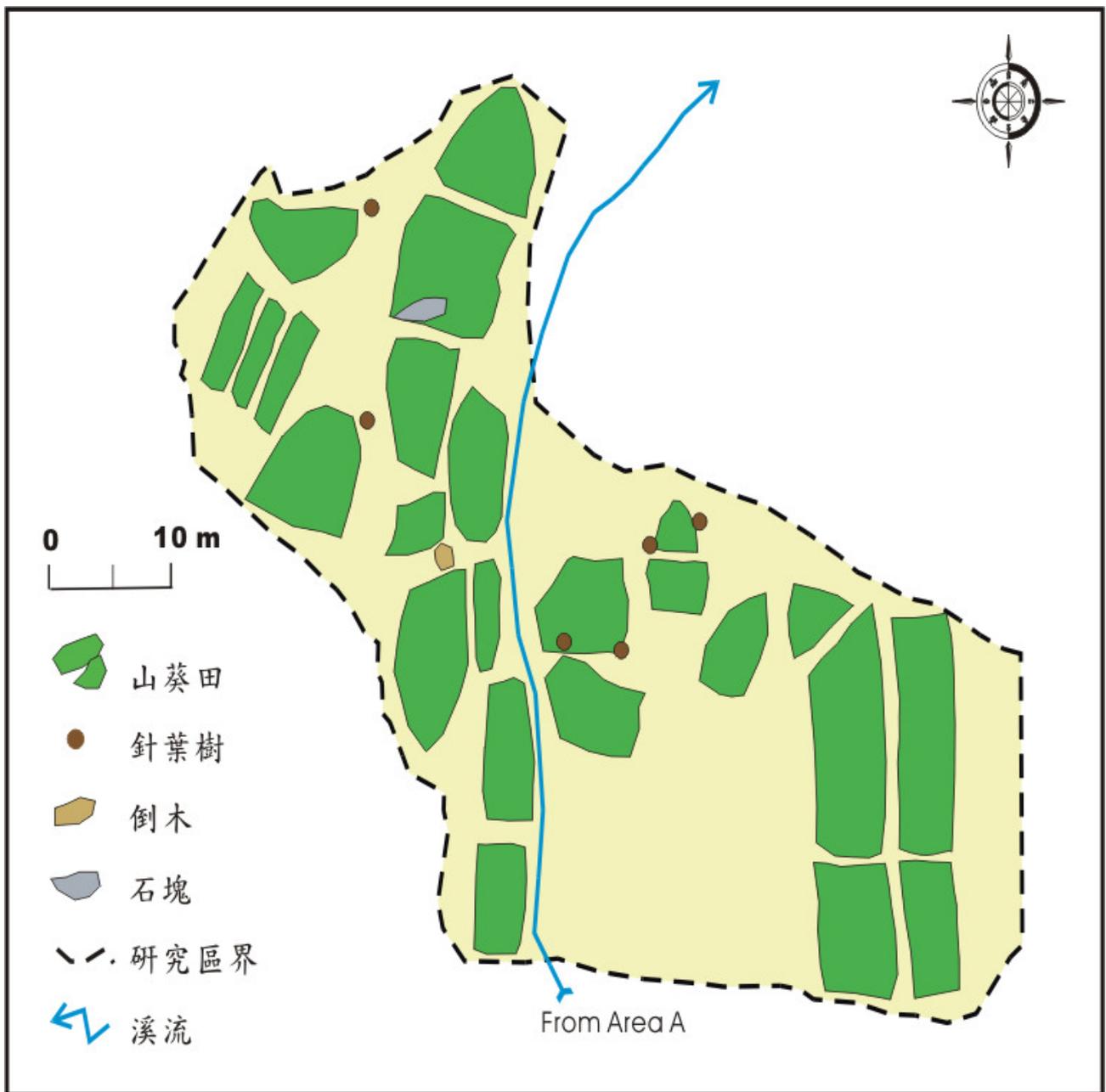


圖 3、姐妹潭樣區中 B 區的平面圖。



圖 4、營造完成後的棲地復育棲地的全景圖。

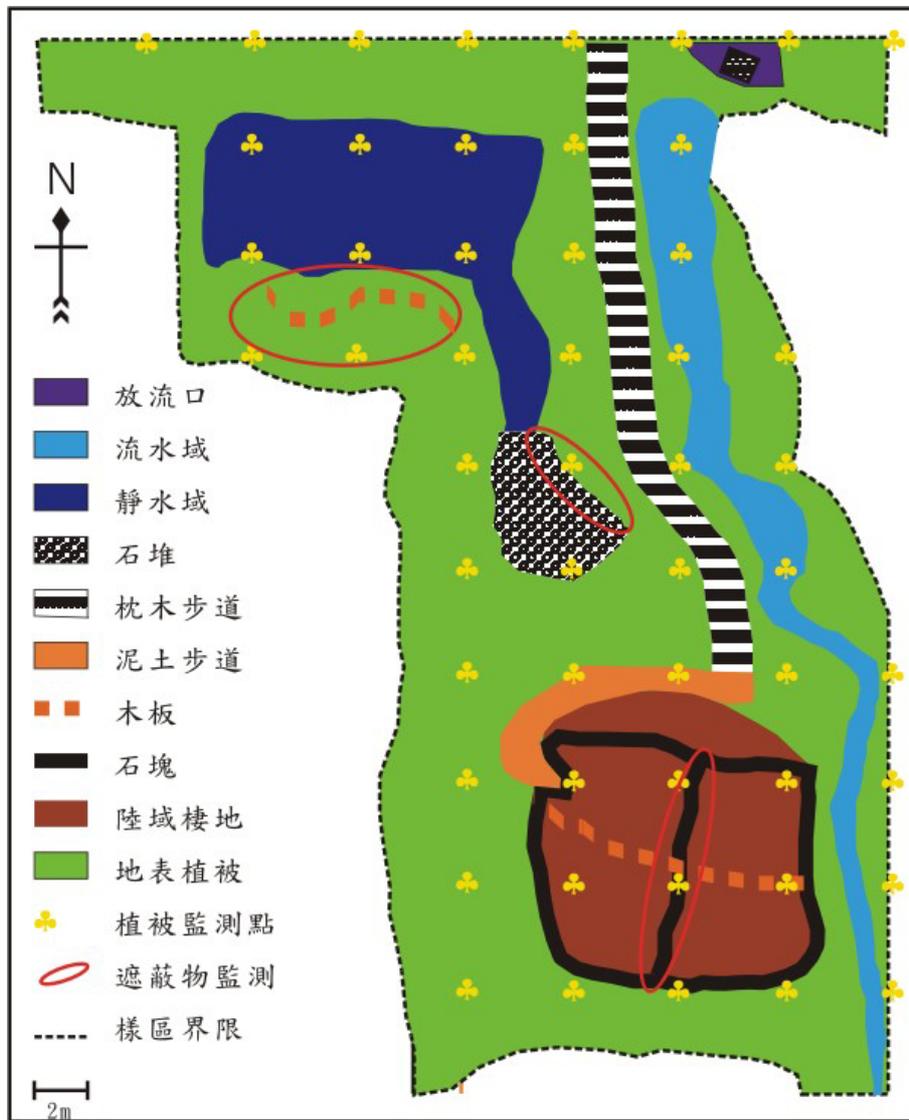


圖 5、營造完成後的棲地復育棲地的全景示意圖。



圖 6、第二期復育試驗地。



A



B



C

圖 7、三種地表植被處理。(A)山葵、(B)山芹、(C)自然生長。

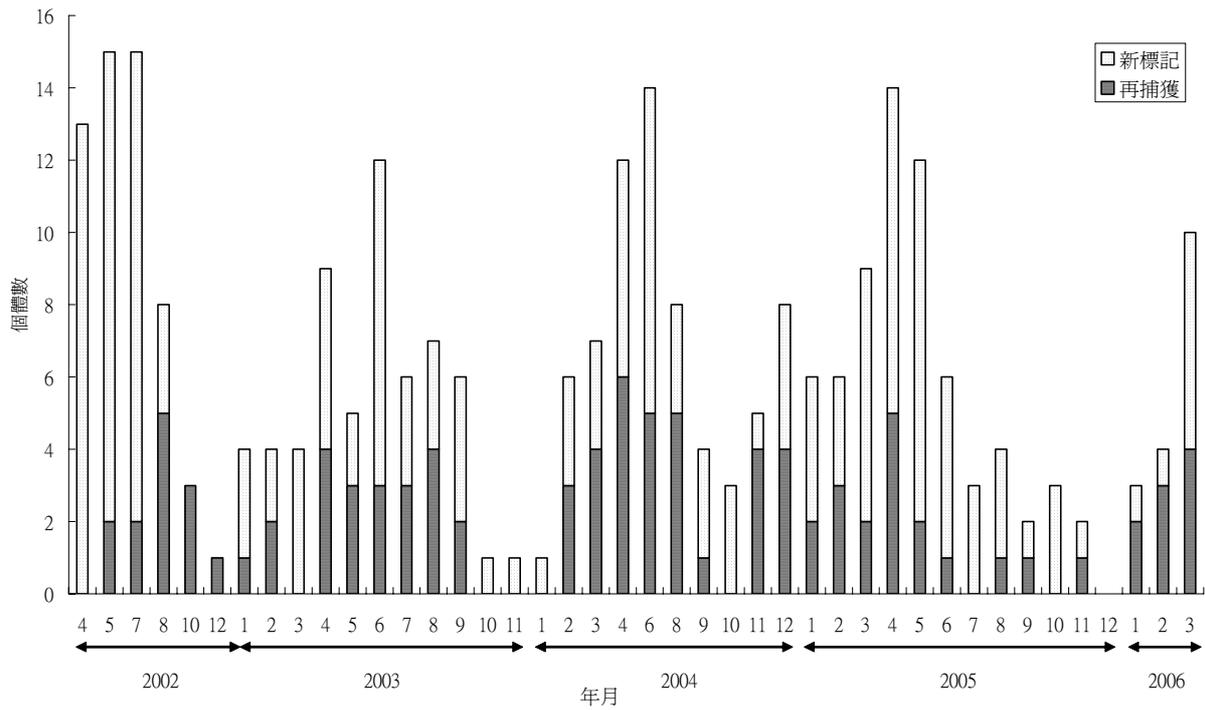


圖 8、姐妹潭樣區族群監測中，各月份捕捉之個體標記及未標記的數目圖。

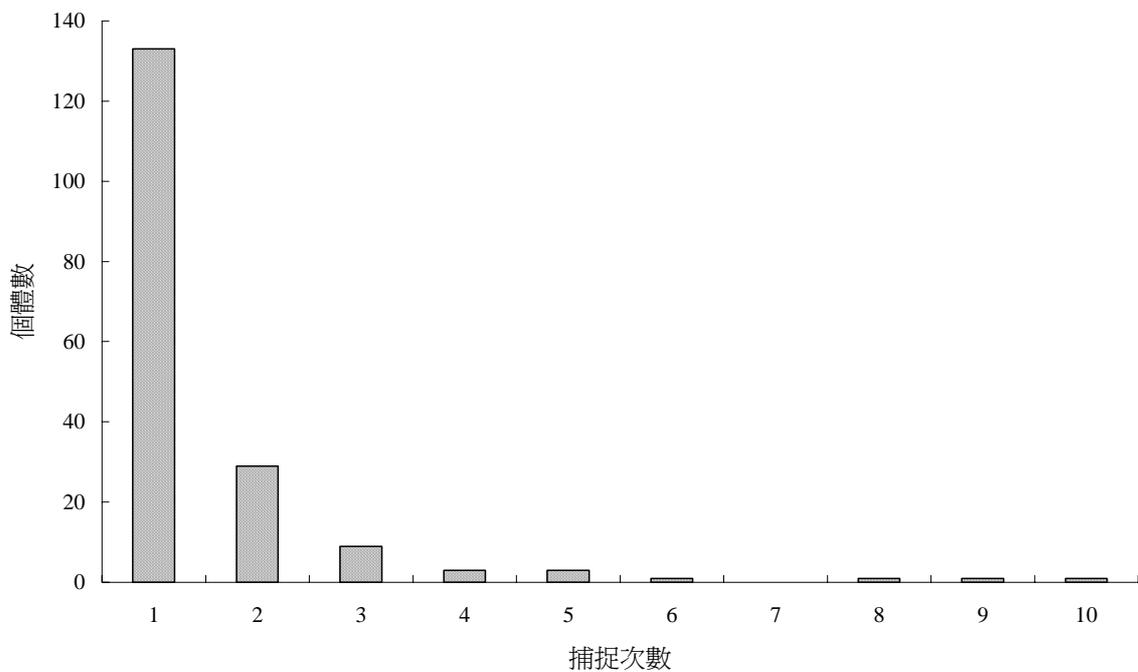


圖 9、姐妹潭樣區調查中，個體被捕捉的次數分布圖。

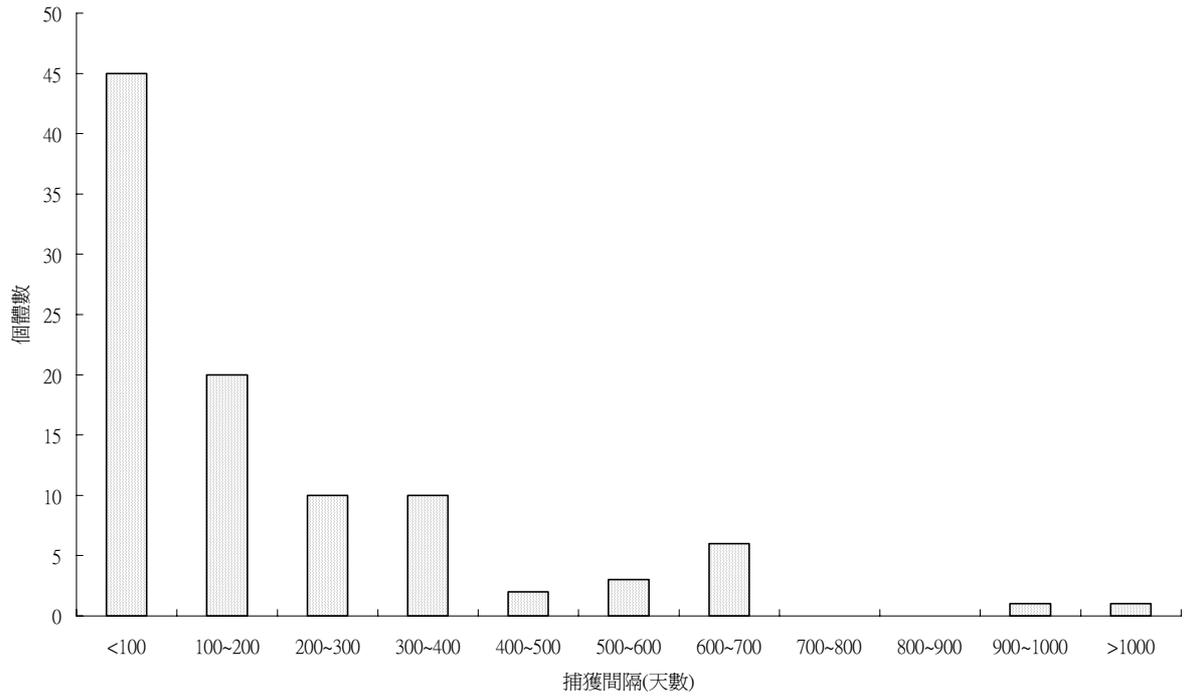


圖 10、再捕獲的山椒魚捕獲間隔天數的分布圖。

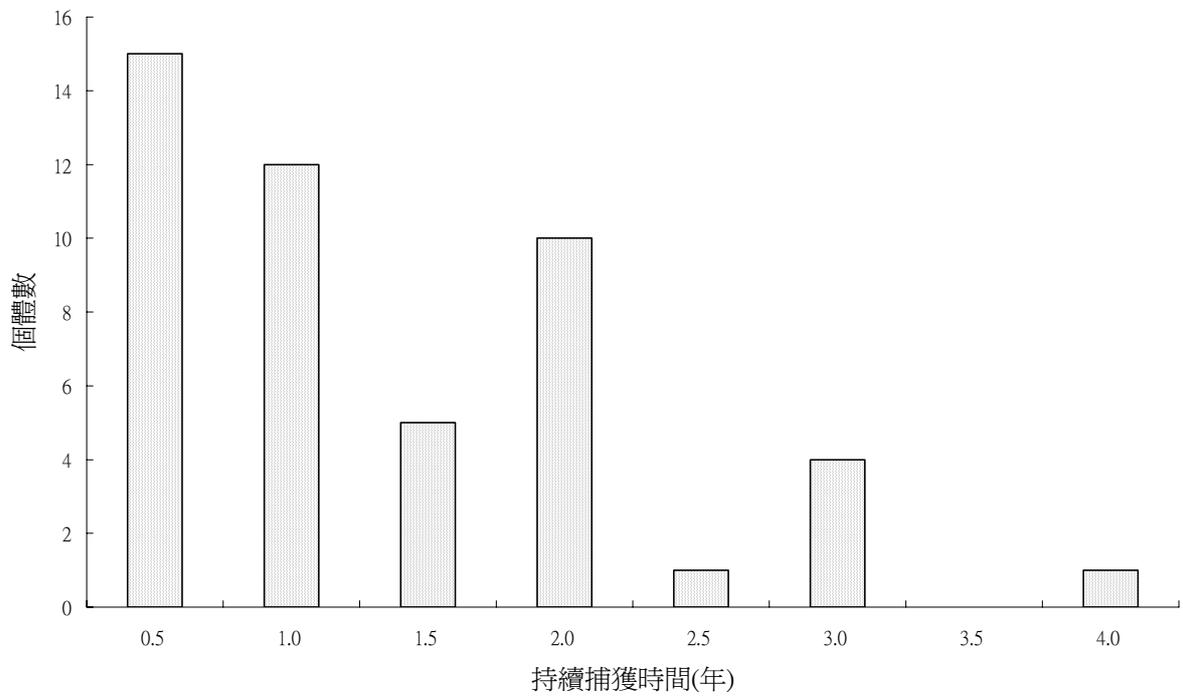


圖 11、再捕獲的山椒魚持續捕獲年數的分布圖。

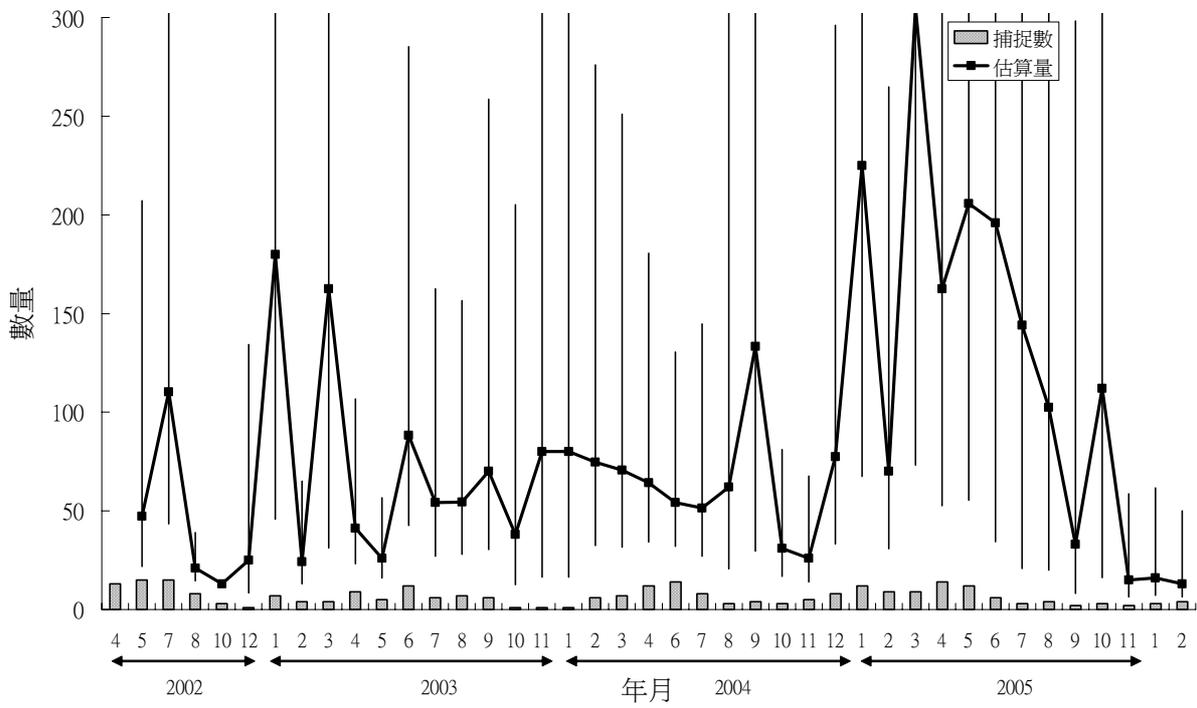


圖 12、姐妹潭樣區山椒魚的各月份捕捉量及族群量估算值曲線圖。細線代表為估算值的 95%信賴區間(大於 300 時僅顯示 300)。

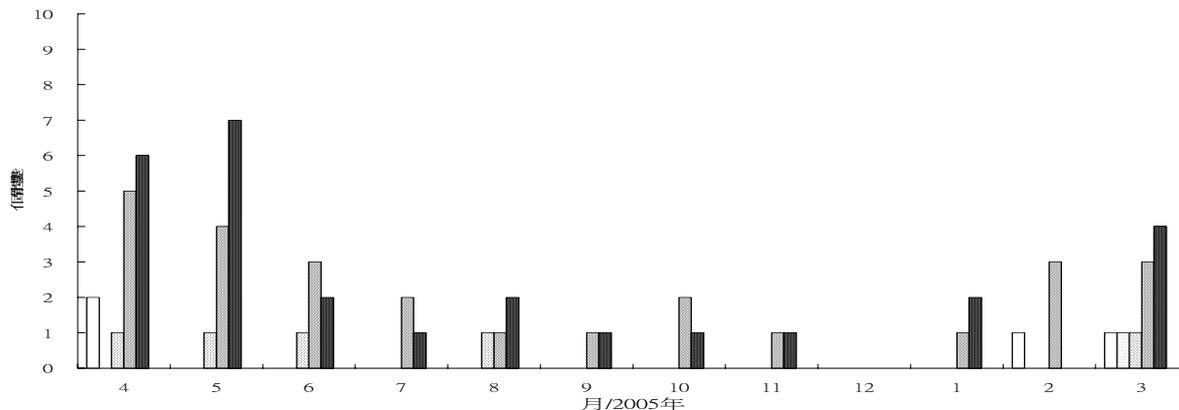
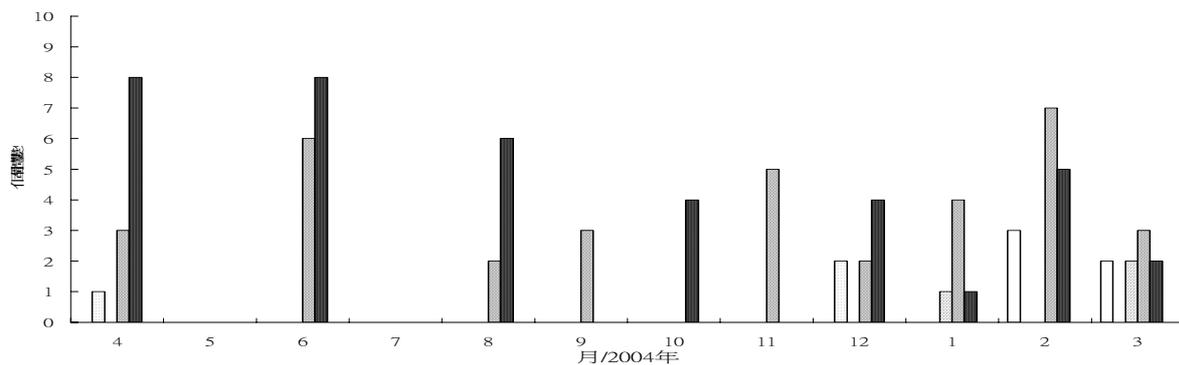
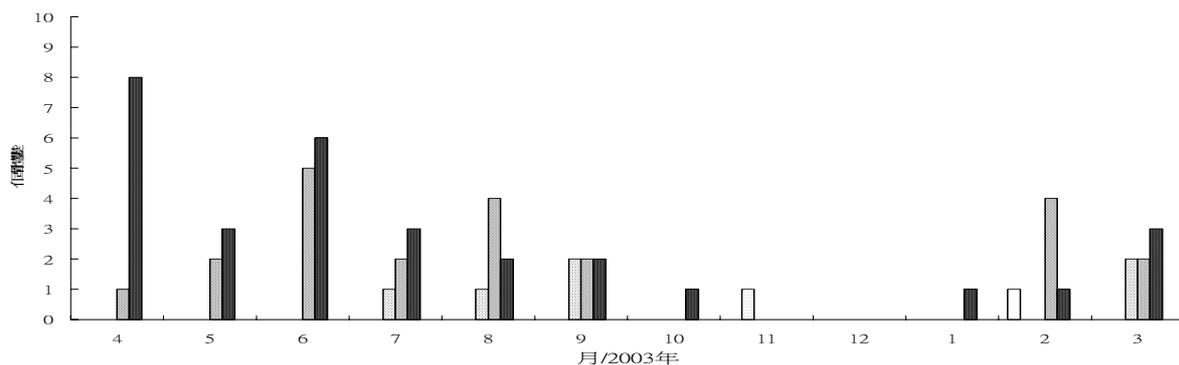
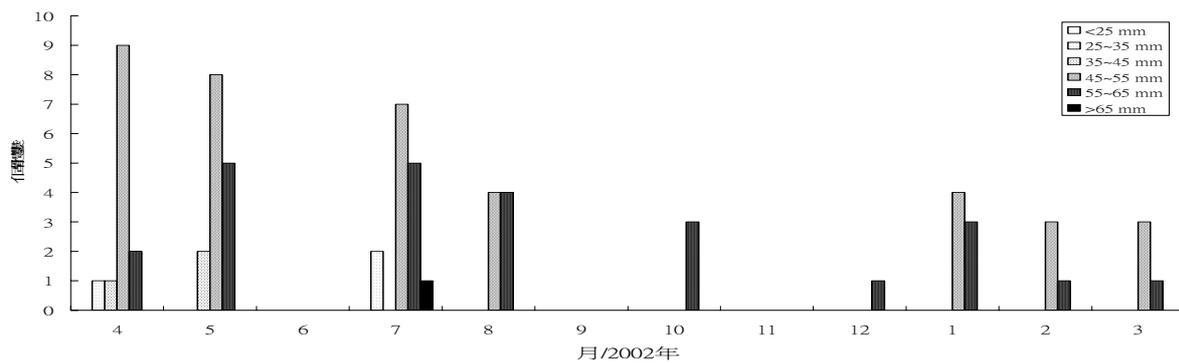


圖 13、各年度各月份捕獲山椒魚的吻肛長分布圖。由上而下依序為 2002 年度、2003 年度、2004 年度及 2005 年度。

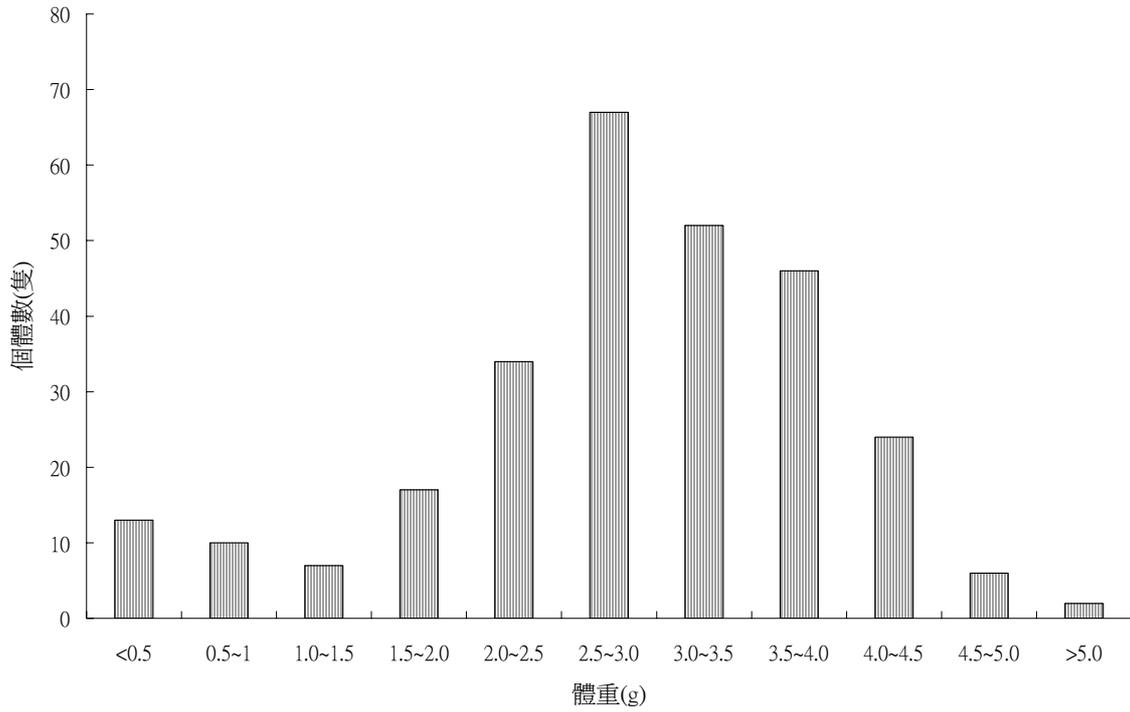


圖 14、姐妹潭樣區調查捕獲山椒魚體重分布圖

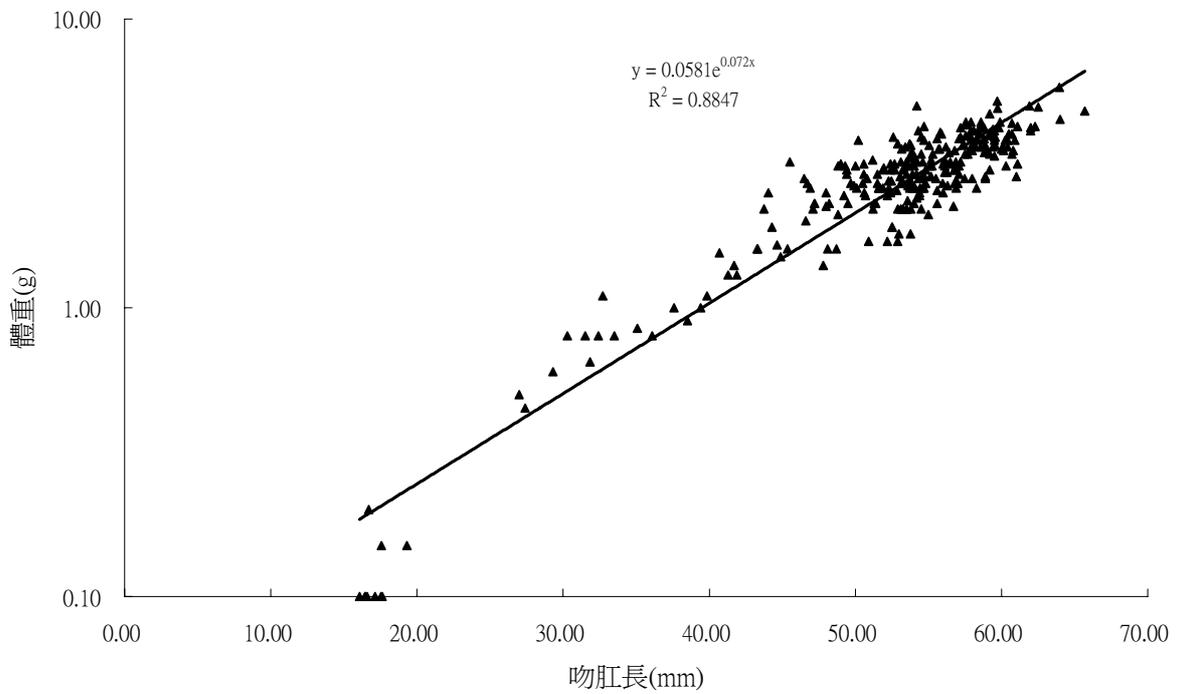
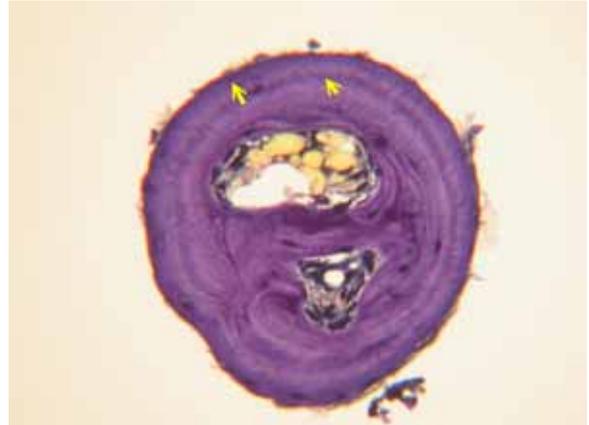


圖 15、姐妹潭樣區調查捕獲山椒魚體重—吻肛長關係圖，實線為

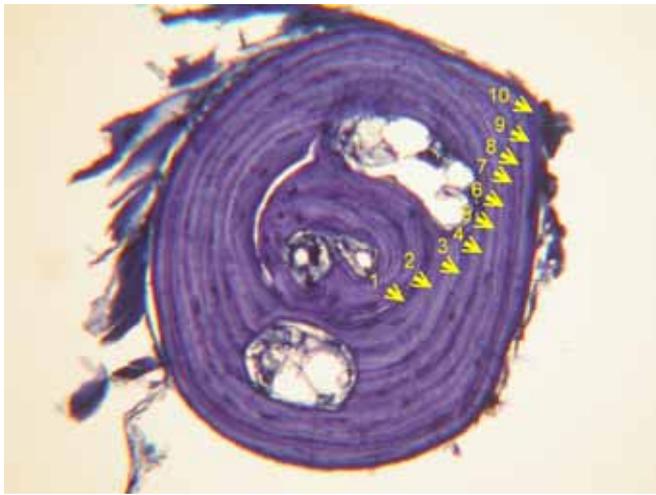
指數迴歸線。



A



B



C

圖 16、不同阿里山山椒魚個體腿骨切片中所見的 LAG 數目。(A) 幼體的腿體中未見任何 LAG；(B)此個體可見 2 圈 LAG；(C)所有個體中具有最多 LAG 數者。

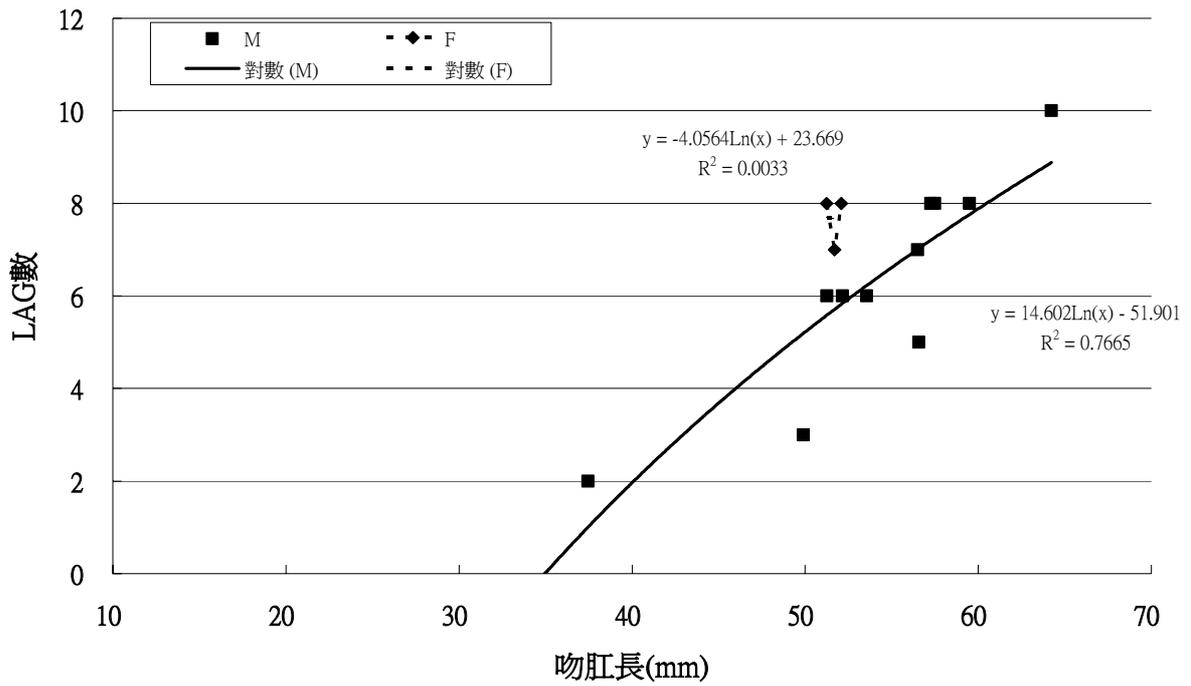


圖 17、阿里山山椒魚的吻肛長—LAG 數關係圖，實線為雄性個體的對數迴歸線、虛線為雌性個體的對數迴歸線。

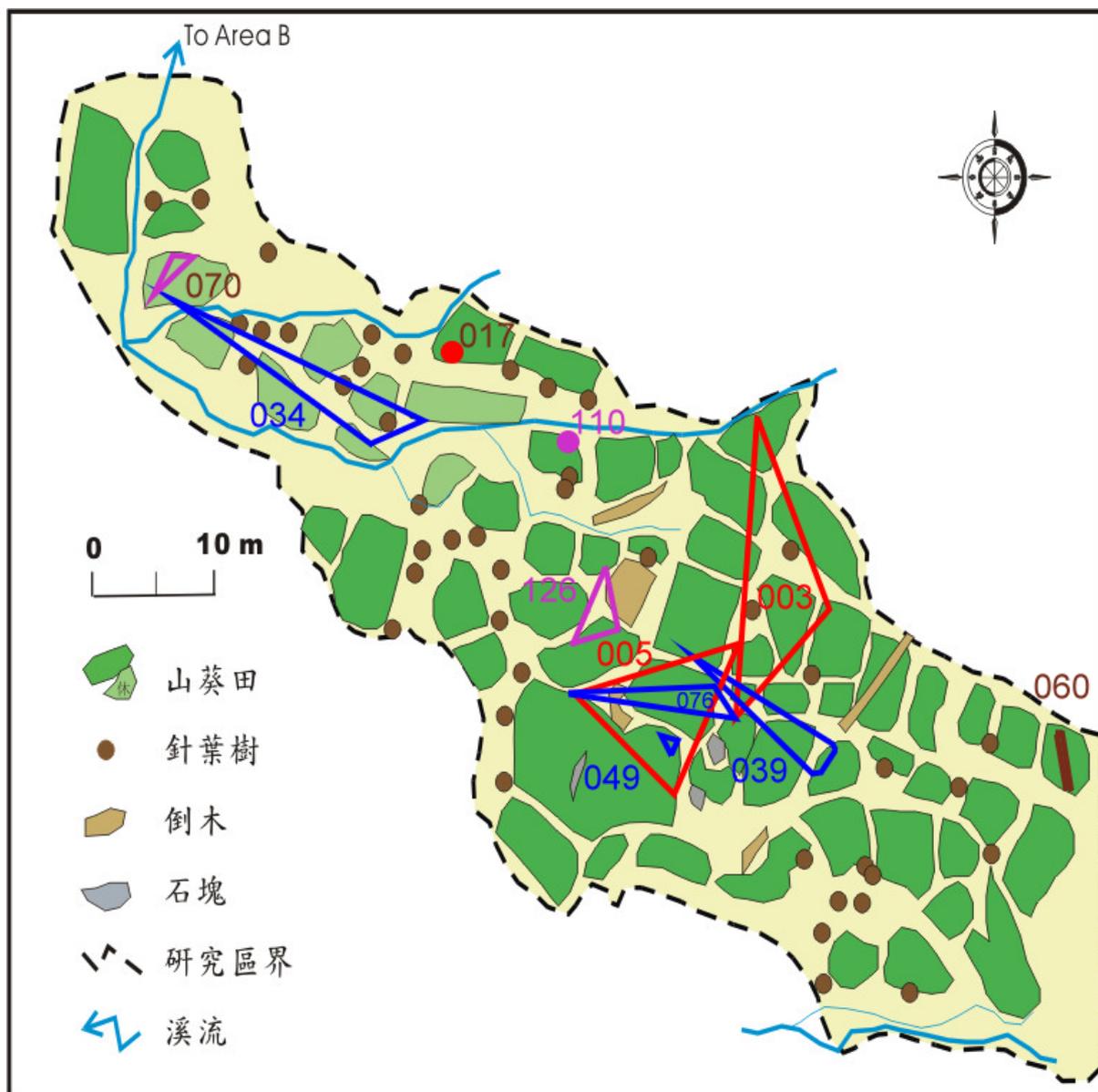


圖 18、姐妹潭 A 樣區捕獲三次以上個體的活動範圍圖。每個多邊形代表不同個體的活動範圍，圓點則表示此個體一直停留在同一點，顏色代表不同的年度(紅:2002 年；藍:2003 年；紫:2004 年；棕:2005 年)，數字為個體編號。

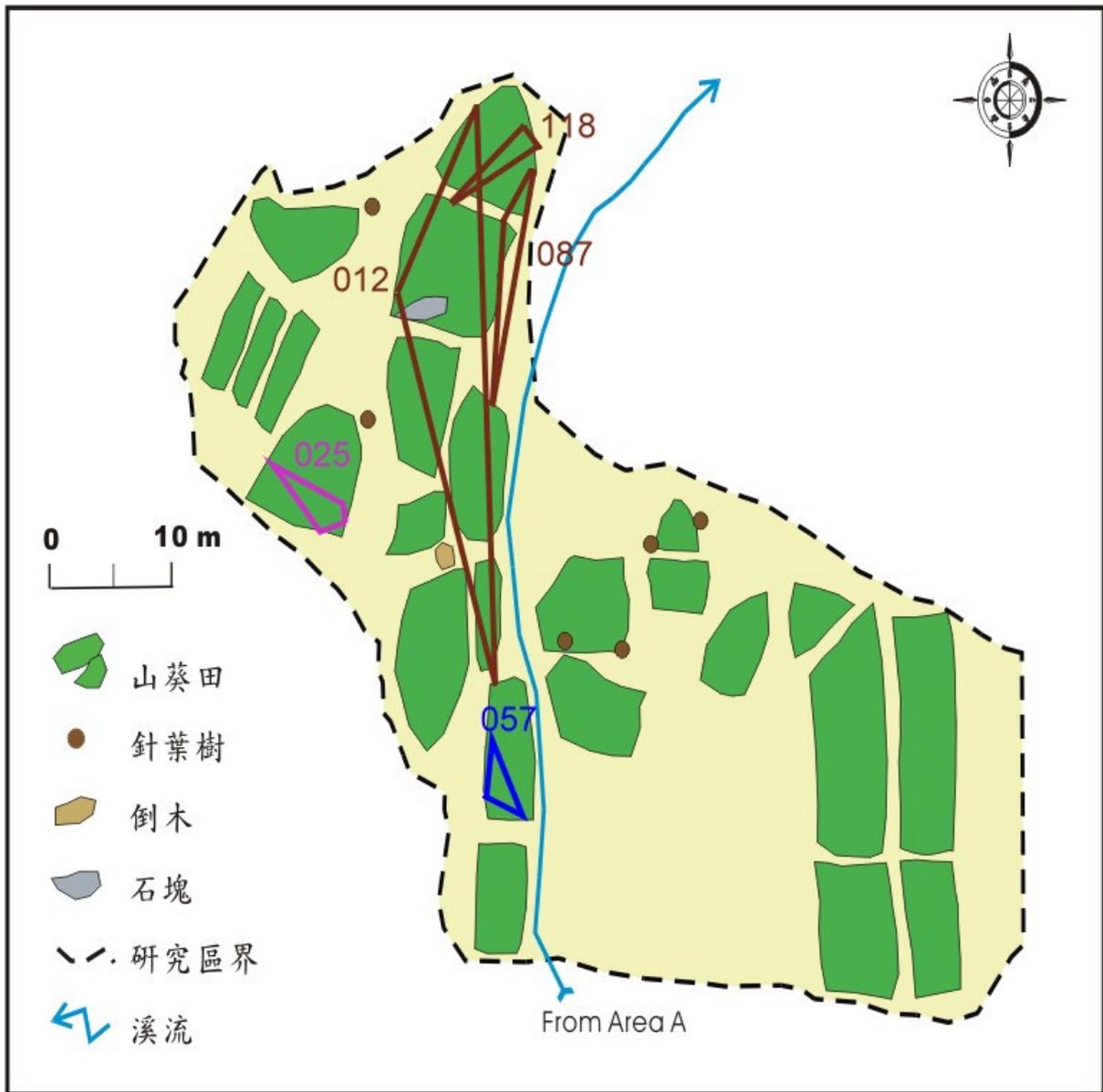


圖 19、姐妹潭 B 樣區捕獲三次以上個體的活動範圍圖。每個多邊形代表不同個體的活動範圍，顏色代表不同的年度(紅：2002 年；藍：2003 年；紫：2004 年；棕：2005 年)，數字為個體編號。



圖 20、復育棲地環境變化，上圖為 2005 年 3 月，下圖為 2006 年 3 月。

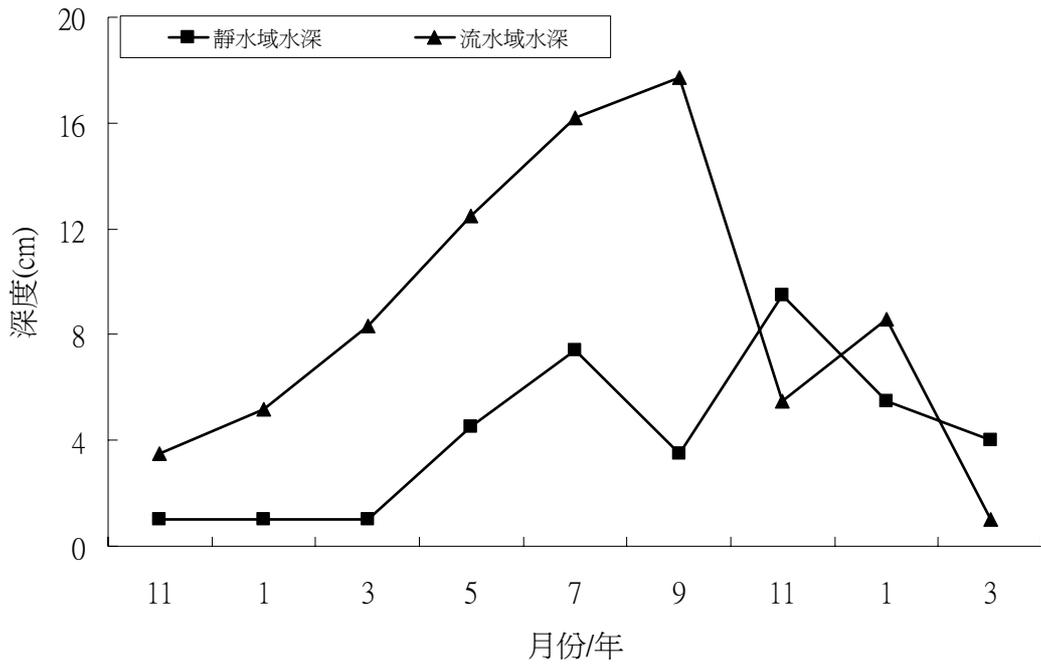


圖 21、第一期復育試驗地不同監測點的水深的月變化圖。

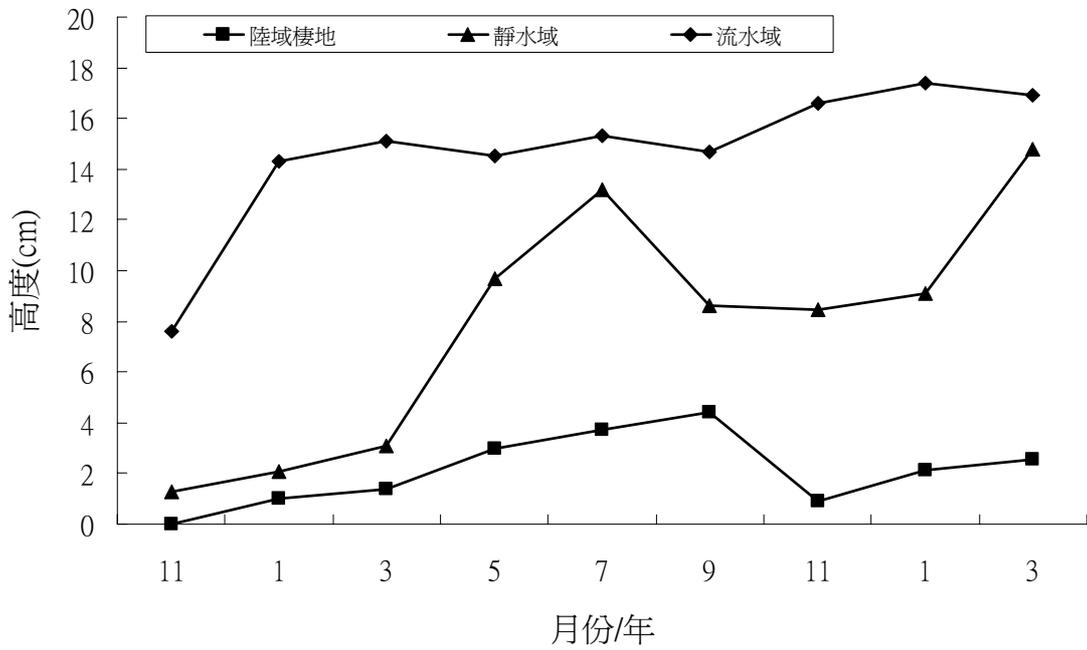


圖 22、第一期復育試驗地不同監測點的植被高度的月變化圖。

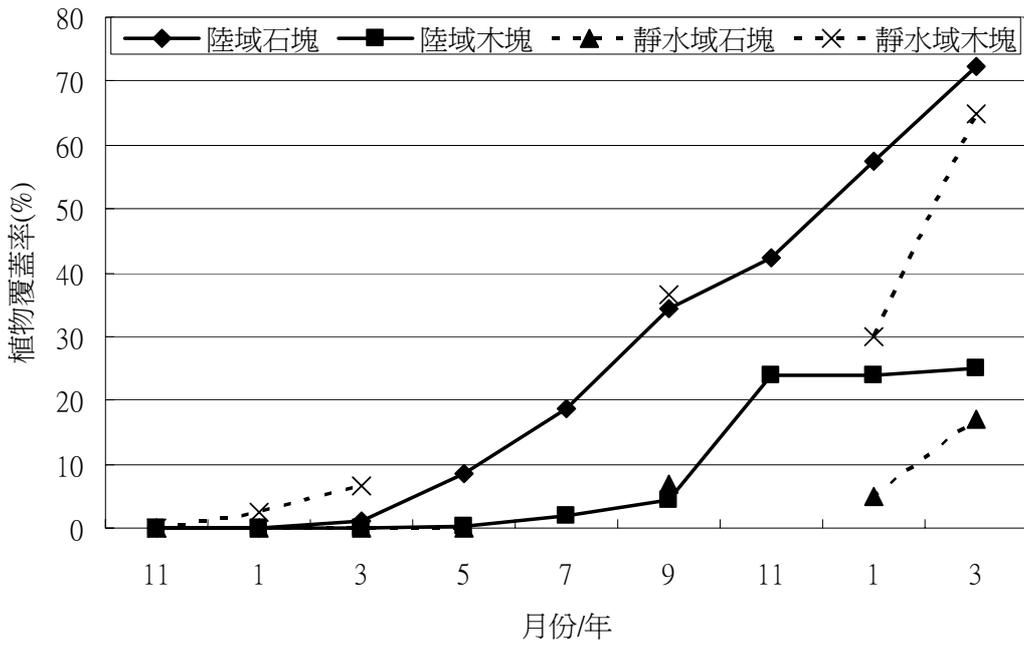


圖 23、第一期復育試驗地不同監測點的遮蔽物植物覆蓋率的月變化圖。

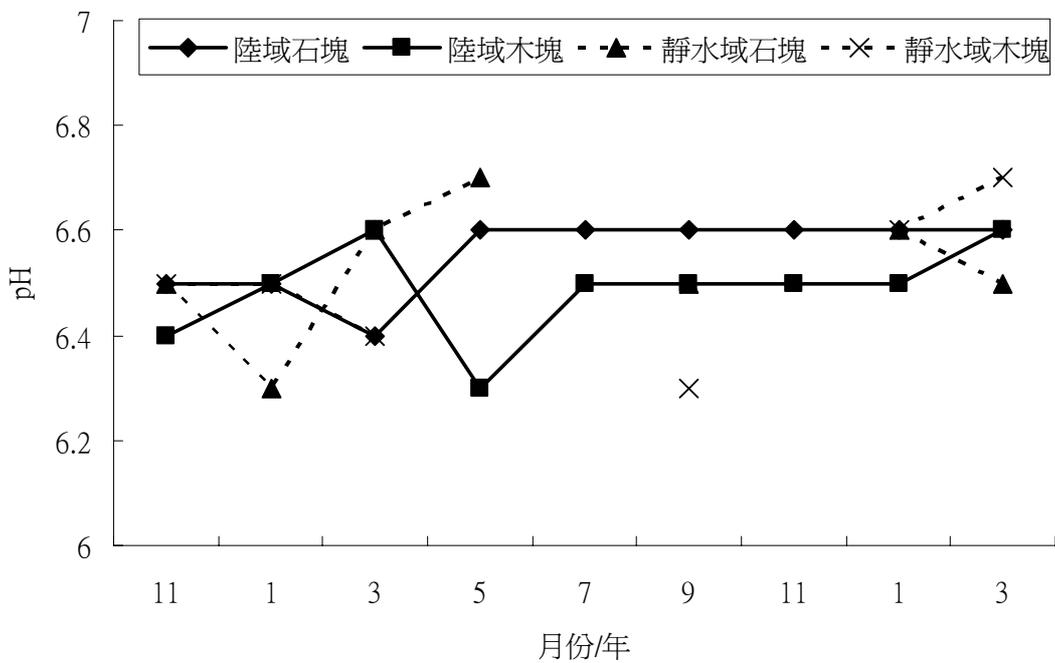


圖 24、第一期復育試驗地不同監測點的遮蔽物下底質的 pH 值的月變化圖。

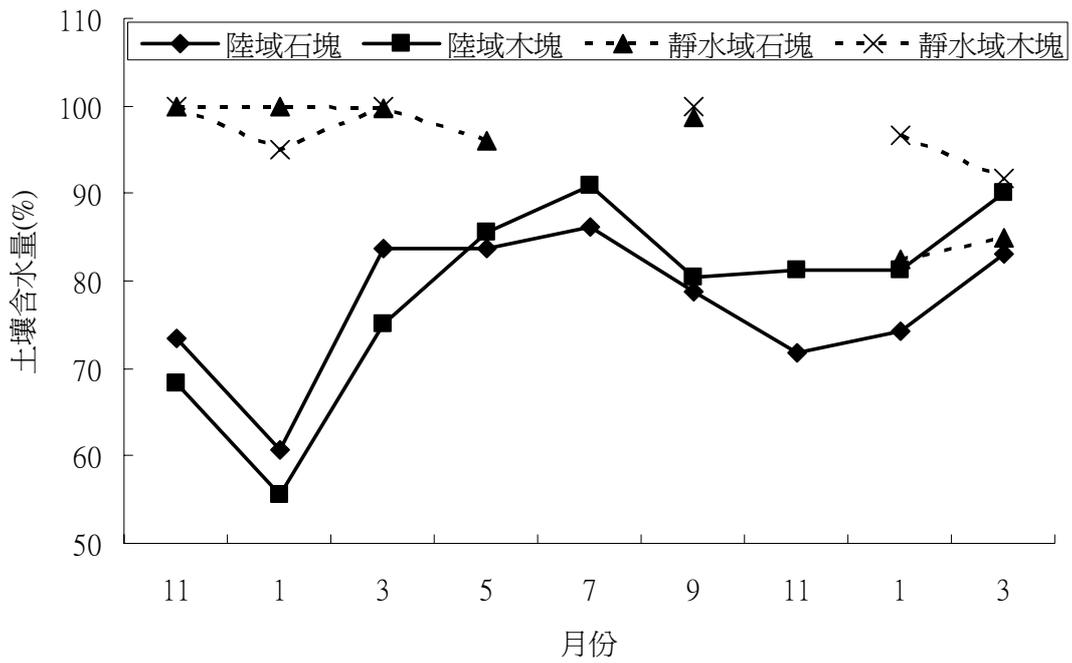


圖 25、第一期復育試驗地不同監測點的遮蔽物下土壤含水量的月變化圖。

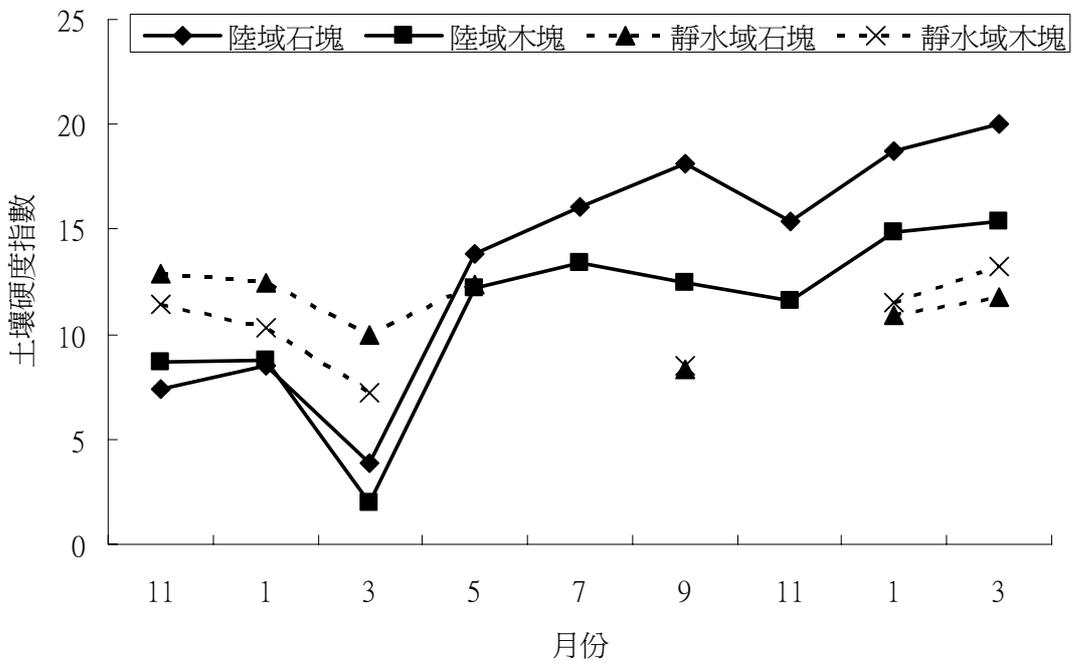


圖 26、第一期復育試驗地不同監測點的遮蔽物下土壤硬度指數的月變化圖。

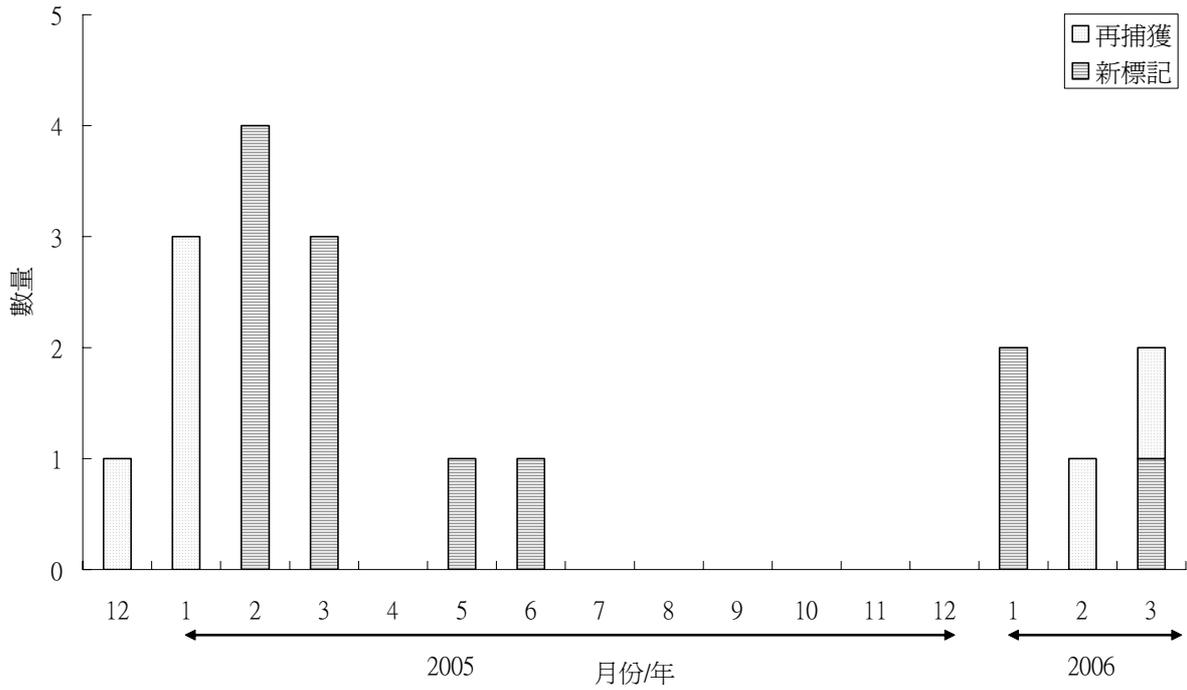


圖 27、第一期復育試驗地各月份標放再捕獲圖。

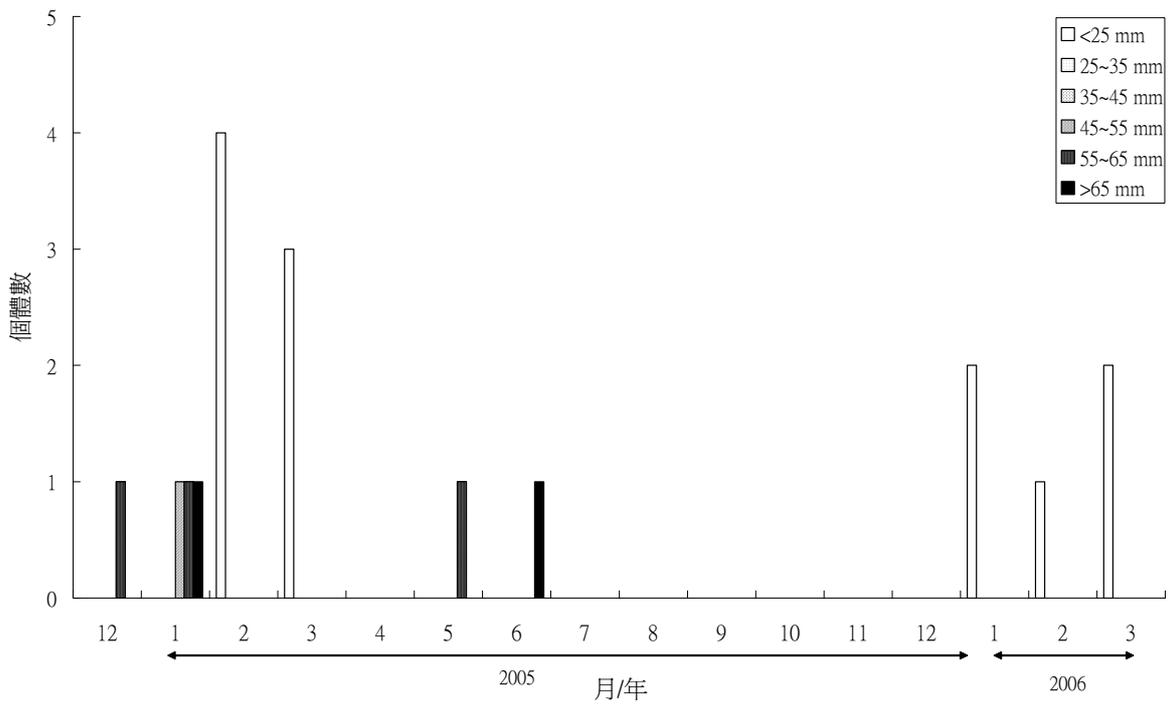


圖 28、第一期復育試驗地各月分捕獲個體的體長分布圖。

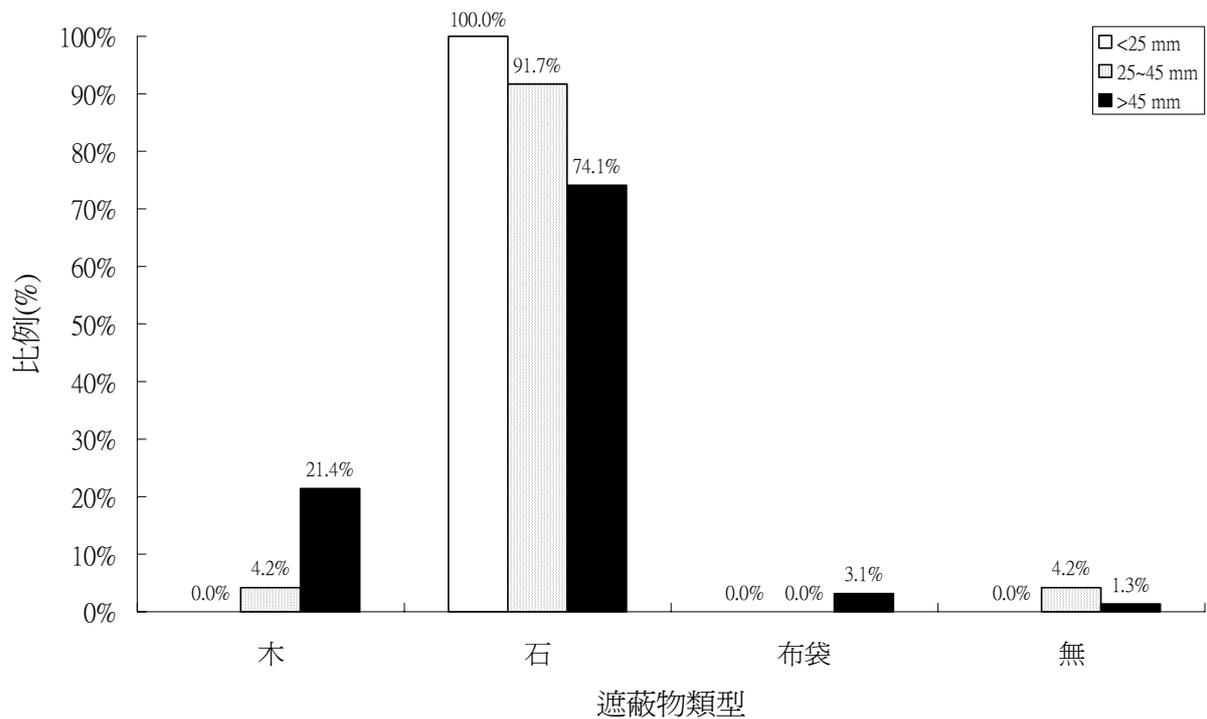


圖 29、不同體型大小的個體在利用遮蔽物上的比例圖。統計檢測結果 $\chi^2_6=8.6$ ($p=0.1937$)未呈顯著差異。

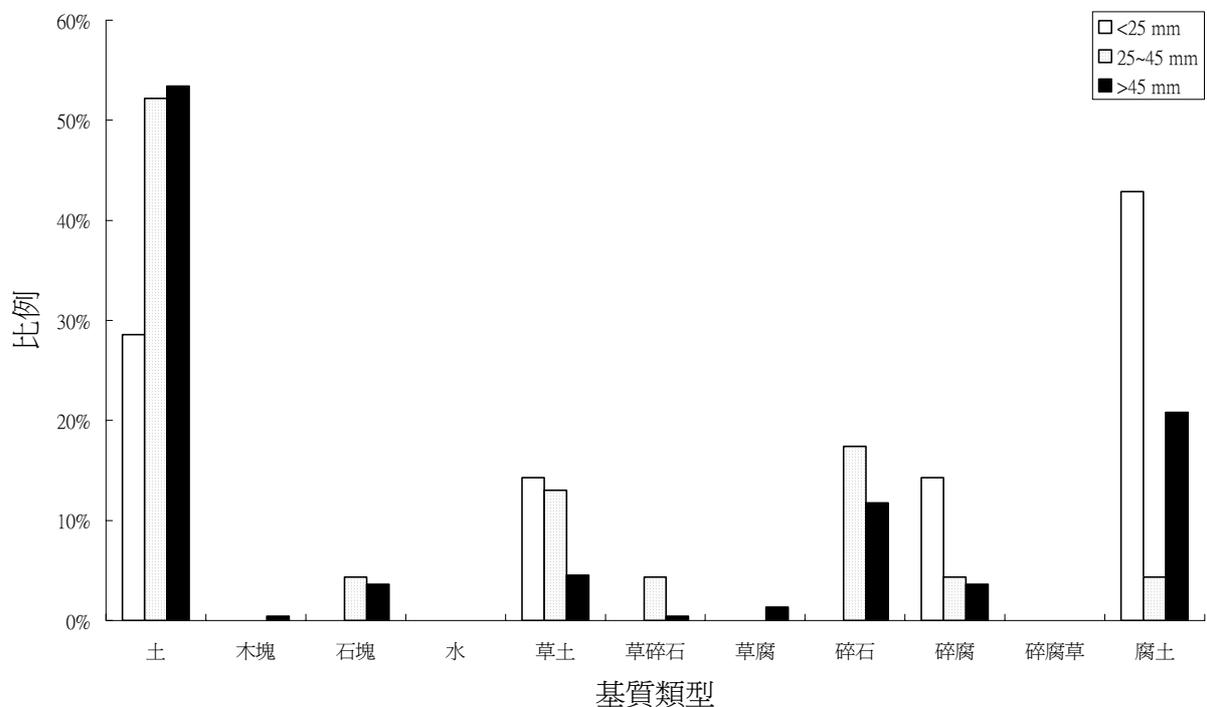


圖 30、不同體型大小的個體在利用基質類型的比例圖。統計檢測結果 $\chi^2_{16}=26.9$ ($p=0.0426$)呈顯著差異。