

107 年度「國土生態保育綠色網絡建置」之  
「瀕危野生物保育優先性評估、行動計畫與  
推動」-「石虎保育策略研擬與研究案」

委辦單位：行政院農業委員會特有生物研究保育中心

執行單位：國立嘉義大學

計畫主持人：劉建男助理教授

研究人員：洪語晨、顏全佑、陳盈如、姚怡瑄

中華民國 107 年 12 月



## 摘要

石虎為野生動物保育法所公告之「瀕臨絕種保育類野生動物」，其地理分布從日據時代的全島普遍分布至目前主要分布在西部苗栗到南投的淺山地區。石虎目前族群數量估計不到 1 千隻，但仍面臨數個嚴重影響其族群存續的威脅，包括棲地嚴重的喪失及破碎化、車禍致死、攻擊放養家禽導致農戶與石虎的衝突、流浪犬貓的競爭及疾病威脅等，實施有效的保育策略以避免其滅絕刻不容緩。過去數年雖然石虎的生態學資料逐漸累積，但仍有許多不足之處，更缺乏長期監測模式及中長程保育策略。本研究之目的有四：(1)建立石虎族群密度估算方法，以利全台灣或局部區域的族群量估算；(2)建立石虎年齡鑑定方法，作為探討族群年齡結構之工具；(3)進行石虎族群及棲地續存力評估 (PHVA)，找出影響石虎族群存續之最重要因子，提供保育策略擬定之參考；(4)建立石虎監測模式及中長程保育目標及策略，作為發展石虎保育行動綱領之基礎。本研究在南投中寮及鄰近地區劃設樣區，並劃設 30 個 1km x1km 的小方格樣區，每個小樣區設置 1 部自動相機進行石虎拍攝。結果顯示，自 2018 年 7 月至 11 月，共拍到哺乳動物有效照片數 749 張，其中石虎有 61 張。石虎可利用身體體側及四肢的斑點紋路特徵進行個體辨識，但本研究因為石虎照片數太少，尚無法進行密度估算。年齡鑑定部分，16 個樣本中，生長輪介於 0-6 輪之間，多數為 0 或 1 輪，本研究成功建立犬齒切片技術，並建立生長輪及犬齒磨損程度之關係式。石虎族群續存力分析部份，基礎模型顯示 100 年石虎滅絕機率為 2%，但災難模型結果顯示滅絕機率提升到 32.5%。敏感性分析結果顯示成體雌性繁殖比例及雌性死亡率對族群成長率有相對較大的影響。本研究並提出石虎長期監測模式及保育策略的建議，作為未來石虎保育行動綱領之參考。

關鍵字：年齡判定、個體辨識、監測、族群密度、族群續存力分析、自動相機

## Abstract

Leopard cat (*Prionailurus bengalensis chinensis*) is listed as Endangered Species under Taiwanese Wildlife Conservation Act; it used to be distributed island-wide but its current distribution range primarily limits in lowland areas between Miaoli and Nantou County. With population size less than 1,000 individuals, the leopard cat continues to face threats such as habitat loss and fragmentation, road-kills, mortality due to human-animal conflicts, competition from feral dogs and cats, and diseases. Although a few studies have focused on ecology of leopard cat in last few years, much more information about ecology and biology of leopard cat are still lacking. In this study, we aimed to (1) establish a method to estimate population density of leopard cat, (2) establish a method to determine age of leopard cat, (3) conduct Population Viability Analysis (PVA) and sensitive analysis for leopard cat, and (4) develop a long-term monitoring plan and provide conservation strategies. We created a 30 1kmx1km study site in Nantou County. In each grid, we deployed a remote camera to take photos of leopard cat. From July to November, 2018, we collected 61 leopard cat photos. In 2 of the 30 sampling sites we were able to identify different individuals using coat patterns. However, we were not able to estimate population density due to insufficient effective photos in each grid. We collected 16 leopard cat canine samples; among them, the number of cementum growth layer ranged between 0 and 6 with majority of 0 and 1. Our PVA result showed that under the Baseline model the extinction rate of leopard cat during 100 years is 2%; the extinction rate increases to 24% under the Catastrophe model, which included annual mortality caused by road-killed. Sensitive analysis showed that percentage of adult females breeding and mortality of adult females are the most important factors determining the population growth rate and extinction rate. We propose a long-term monitoring plan and several conservation strategies for developing leopard cat conservation action plan in the future.

Keywords: age determination, individual identification, monitoring, population density, population viability analysis, remote camera

## 目錄

一、前言.....	1
二、擬解決問題.....	2
三、委辦工作項目.....	3
四、計畫目標.....	3
五、前人研究概況.....	4
六、重要工作與實施方法.....	7
七、結果與討論.....	14
八、結論與建議.....	34
九、致謝.....	36
十、參考文獻.....	37
十一、附表.....	44
十二、附圖.....	56
十三、附錄.....	58

## 圖目錄

圖 1、南投中寮地區石虎密度估算相機樣點圖.....	10
圖 2、南投中寮地區 6 個石虎捕捉籠具位置圖，藍色底為捕捉樣.....	11
圖 3、2018 年 7 月至 11 月 13 日在南投中寮及鄰近地區以自動相機記錄石虎的相對豐富度.....	18
圖 4、石虎調查樣區 MJ03 樣點石虎個體之特徵差異.....	19
圖 5、石虎調查樣區 MJ06 樣點石虎個體之特徵差異.....	19
圖 6、石虎調查樣區有拍到石虎樣點之有效照片數及可辨識出的個體數.....	20
圖 7、石虎(特生中心典藏編號:C1251)犬齒切片，切片厚度 15um.....	24
圖 8、石虎(特生中心典藏編號:水井)犬齒切片，切片厚度 15um.....	24
圖 9、石虎犬齒生長輪數與長寬比(磨損程度)之關係圖.....	26
圖 10、敏感性分析了解影響隨機成長率之相對重要因子.....	29
圖 11、敏感性分析了解影響最後族群量之相對重要因子.....	30

## 表目錄

表 1、石虎調查之自動相機樣點、工作時數及 OI 值.....	17
表 2、哺乳動物之有效照片數、出現樣點數及 OI 值範圍.....	18
表 3、石虎犬齒樣本基本資料.....	23
表 4、石虎犬齒測量值及生長輪輪數.....	25
表 5、石虎 PVA 基礎模型及災難模型模擬結果.....	28

## 一、前言

台灣地區的石虎(*Prionailurus bengalensis chinensis*)是亞洲豹貓(*Prionailurus bengalensis*)12個亞種之一。日據時代時，石虎普遍分布在台灣低海拔丘陵地區(鹿野忠雄，1930)，然而，到了1970年代，石虎於各地數量已不普遍(McCullough, 1974)。近期的研究顯示石虎僅在嘉義至苗栗間的低海拔丘陵地帶有發現紀錄(楊吉宗等，2004；裴家騏，2008；裴家騏等，2014；林良恭等，2015，2017；劉建男等，2016；裴家騏和陳美汀，2017；陳美汀，2018；劉建男及特生中心未發表資料)。雖然2017年及2018年分別在彰化縣及嘉義縣有石虎的路殺及自動相機拍攝記錄，但石虎分布範圍仍相當侷限且數量稀少。行政院農業委員會於2008年依據野生動物保育法將石虎公告為「瀕臨絕種保育類野生動物」以加強保護。

台灣地區的石虎主要於夜間及晨昏活動，但日間有少許活動跡象(裴家騏，2008；陳美汀，2015；房兆屏，2016)。陳美汀(2015)以無線電追蹤苗栗地區6隻石虎，發現石虎平均活動範圍以Fixed Kernel 95%及50%估算分別為4.7 km<sup>2</sup>和1.0 km<sup>2</sup>；在南投地區，1隻雌性石虎的活動範圍以Fixed Kernel 95%及50%估算僅分別為2.2 km<sup>2</sup>和0.45 km<sup>2</sup>(劉建男等，2016)。莊琬琪(2012)從排遺分析石虎的食性，發現石虎以啮齒類哺乳動物為主食，鳥類次之，也包含少數爬行類及昆蟲。石虎懷孕期約60天，每胎約產下2-4隻幼獸(趙明杰，1993；林育秀，私人通訊)。王翎等(2014)利用來自苗栗、南投、臺中、嘉義及臺南的42個石虎組織樣本來分析臺灣石虎族群遺傳變異性，結果顯示石虎的整體遺傳變異度低。棲地利用部分，陳美汀(2015)在苗栗的研究發現石虎活動範圍內偏好天然林，其次為非天然林、草地與農墾地；在南投地區，房兆屏(2016)的研究顯示影響石虎分布最重要的環境因子包括與路寬16 m以上道路的距離、森林覆蓋度及海拔。

劉建男等(2016)利用已知石虎的分布點位，採用物種分布預測模式之最大熵值法(Maximum Entropy, MaxEnt)來預測南投地區石虎可利用棲地的範圍及面積，並以苗栗地區每隻石虎活動範圍2-6 km<sup>2</sup>為基礎，估算南投地區約有 89-268 隻石虎，林良恭等(2017)利用相同的方法，預測全島已知有石虎分布的區域約有 468-669 隻石虎。

石虎面臨數個嚴重影響其族群存續的威脅，包括棲地嚴重的喪失及破碎化、車禍致死、攻擊放養家禽導致農戶與石虎的衝突、流浪犬貓的競爭及疾病威脅等(裴家騏等, 2011; 高嘉孜, 2013; 裴家騏等, 2014; 劉建男等, 2016)。根據特生中心的統計，自2011年11月至2018年3月的路殺案例累積多達50起(林育秀，私人通訊)。石虎是淺山生態系的頂級掠食者，在淺山生態系的穩定上扮演重要的角色，且石虎可有效控制野生嚙齒類的族群，嚙齒類與許多人畜共通傳染病有關(Hofmeester *et al.*, 2017)，石虎的存在可降低疾病傳播的機會(Ostfeld and Holt, 2004)。石虎具有許多生態系統服務功能，積極保育石虎以避免其族群持續減少甚至滅絕刻不容緩。

## 二、擬解決問題

了解一個物種的生態需求及其面臨的威脅，是物種保育的必要條件。儘管亞洲豹貓在國外不同地區已累積相當多的生態學資料(e.g. Grassman *et al.*, 2005; Rajaratnam *et al.*, 2007; Izawa *et al.*, 2009; Oh *et al.*, 2010; Bashir *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015)，台灣地區石虎的生態學研究仍不足。舉例而言，劉建男等(2016)及林良恭等(2017)利用最大熵值法(MaxEnt)分別針對南投地區及全島進行石虎可利用棲地及族群量之預測，但在缺乏族群密度資料的情況下，族群量估算的準確度有待商榷。此外，石虎的族群年齡結構資料亦闕如。近年來，林務局及所轄林區管理

處、台中及苗栗縣政府以及公路局等單位雖積極針對石虎進行委託研究，希望從道路預警系統、友善石虎農業及降低人與石虎的衝突著手，以降低石虎的威脅(姜博仁等，2018；林育秀未發表資料)，但石虎的長期監測模式及整體的保育策略擬定，皆尚未有完整的規劃。族群及棲地存續力評估(Population and Habitat Viability Assessment, PHVA)常被用來建構稀有或瀕臨絕種物種的保育策略框架，PHVA 評估過程中，利用族群續存力分析(Population Viability Analysis, PVA)來預測物種或族群滅絕機率及找出影響族群存續的關鍵因子，有助於經營管理及保育策略優先順序的擬定。PHVA 及 PVA 可應用於石虎保育策略的擬定。

### 三、委辦工作項目

- (一) 建立石虎族群密度評估方法：以紅外線動相機、無線電追蹤、個體花紋辨識或其他方式建立石虎族群密度估算方法，並選取樣區進行密度評估。
- (二) 建立石虎年齡鑑定方法：以牙齒生長輪、磨損程度或其他方式建立石虎個體年齡鑑定方法，作為未來探討石虎族群年齡結構的基礎。
- (三) 石虎族群續存力評估：蒐集石虎生物學及生態學資料，以族群與棲地存續分析(Population and Habitat Viability Analysis)來評估石虎族群滅絕機率及找出影響族群存續的敏感因子。
- (四) 建立監測模式及中長程保育目標及策略：建立長期監測方法，並以石虎之族群現況及面臨之威脅，研擬中長期的保育策略。

### 四、計畫目標

- (一) 建立石虎族群密度估算方法，以利族群量估算。
- (二) 建立石虎年齡鑑定方法，作為探討族群年齡結構之工具。

- (三) 進行石虎族群及棲地續存力評估(PHVA)，找出影響石虎族群存續之最重要因子，提供保育策略擬定之參考。
- (四) 建立石虎監測模式及中長程保育目標及策略，作為發展石虎保育行動綱領之基礎。

## 五、前人研究概況

### (一) 石虎族群密度估算方式

野生動物族群量或族群密度估算常用的方法為捕捉標放法(Molles, 2002)，將標的物種個體捕捉後，予以標記後放回原族群，再行捕捉後以模型估算族群量。許多貓科動物身上具有特殊的紋路或斑點特徵，可作為個體辨識之用，此種非侵入性的方式可以減少對野生動物的傷害。國外已有許多研究利用相機所拍攝貓科動物的花紋或特徵來進行個體辨識，進而推估族群密度，例如華南虎(*Panthera tigris amoyensis*) (Karanth and Nichols, 1998)、獵豹(*Acinonyx jubatus*) (Marnewick *et al.*, 2008)、豹(*Panthera pardus*)及山獅(*Puma concolor*)(Rosas-Rosas and Bender, 2012)等。Bashir *et al.*, (2013)利用自動相機照片作為亞洲豹貓(*Prionailurus bengalensis bengalensis*)個體辨識工具，並利用重複拍到的照片作為重複捕捉的資料，估算出族群密度每 100 km<sup>2</sup> 約為 17 隻。Soisalo and Cavalcanti(2006)則結合自動相機照片及無線電追蹤資料，來估算美洲豹(*Panthera onca*)的族群密度。

台灣近年來廣泛使用紅外線自動相機來進行石虎的調查工作(裴家騏，2008；劉建男等，2016)，照片提供絕佳機會來利用石虎身體的特殊紋路或斑點特徵進行個體辨識，同時結合無線電追蹤的個體被相機重複拍照之資料，建立石虎族群密度估算的方法。

### (二) 食肉目野生動物年齡鑑定方法

哺乳動物的年齡判定方法有許多種，例如檢視牙髓腔的閉合、下肢骨的骨骺、頭骨縫合線之收合程度、測量眼睛水晶體的重量、陰莖骨之重量與長度、牙齒磨損程度及牙骨質生長輪等(Harris *et al.*, 1992; Hancox, 1988; Mbizah *et al.*, 2016)。

牙骨質切片及染色後，會呈現並排生長的深色線與淺色線，深色線於秋末、冬初或春初時生成，淺色線則是在春季或夏季生成，深色線和淺色線合稱為生長輪(growth layer)，通常一輪為一年，計算深色線的數量可作為年齡判斷依據(Nakanishi *et al.*, 2009; Signe *et al.*, 2010)。利用犬齒牙骨質輪數來估計年齡已被應用在許多食肉目動物(e.g., Linhart *et al.*, 1967; Cavallini and Santini, 1995; Medill *et al.*, 2009; Christensen-Dalsgaard *et al.*, 2010)，包含多種貓科動物(Crowe, 1972; Garcia-Perea and Baquero, 1999; Nakanishi *et al.*, 2009)。

牙齒的磨損程度亦可用以估計活體哺乳動物年齡(Stander, 1997)，然而食物種類及遺傳等差異會造成牙齒磨損程度的不同，可能導致年齡判斷上的誤差。研究顯示，利用牙齒磨損程度來判定年齡的準確度約 40-80% (Grau *et al.*, 1970)。Stander (1997)探討豹(*Panthera pardus*)犬齒的磨損程度與年齡的關係，發現 1.5-2 歲前恆齒已發育完全但幾乎沒有磨損的痕跡，3 歲時磨損的痕跡開始從門齒犬齒蔓延至白齒，至 7 歲時牙齒呈現廣泛的磨損、退色以及珐瑯質的剝落。Nakanishi *et al.*, (2009)將西表山貓(*Prionailurus bengalensis iriomotensis*)犬齒磨損程度分成七級，該研究發現磨損程度越高的犬齒，其牙骨質生長輪也越多，性別之間沒有顯著差異。利用該研究結果，活的西表山貓實際年齡可依據牙齒磨損程度分成三個等級：1 歲(磨損級別 1)、2-6 歲(磨損級別 2-5)及 7 歲以上(磨損級別 6-7)。Linhart (1967)將北美小狼(*Canis latrans*)之犬齒磨損程度分成 10 個等級，結果顯示牙齒磨損程度隨著牙骨質生長輪數的增加而增加( $r=0.96$ )。

### (三) 族群與棲地續存力分析

族群與棲地續存力評估(PHVA)是一種匯集及整合特定物種相關資訊、評估經營管理或保育措施、並作為建構各項保育行動框架的工具。

在 PHVA 的評估過程中，族群存續力分析(Population viability analysis, PVA)是很重要的一環。PVA 是以電腦模擬模型整合物種生活史、生物學、生態學、棲地現況及需求及面臨的威脅等資訊，模擬在環境及生物因子變動的不同情境下，去預測一個物種或族群未來可能的滅絕機率(Shaffer, 1990)，其可進行敏感性分析(sensitivity analysis)以找出影響族群存續最關鍵的因子，提供經營管理或保育措施優先順序的擬定參考。PVA 已被應用於多種物種的保育及經營管理，例如 Unger *et al.* (2013)利用 PVA 預測美洲大鮎(*Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis*)50 年內的滅絕機率，敏感性分析則發現雌性成體的存活率是影響族群存續最重要的因子，因此降低成體雌性個體的死亡率為應最優先執行的保育策略。PVA 亦被應用於估算灰熊(*Ursus arctos*)、黑足貂(*Mustela nigripes*)及其他物種的最小存續族群量(Minimum viable population, MVP)、估算保護區面積的最小需求(Clark, 1989; Boyce, 1992; Morris *et al.*, 1999; Wielgus, 2002)、狩獵物種的管理(Elliott, 1996)，及經營管理策略的優先順序擬定(Armstrong and Ewen, 2001; Basse *et al.*, 2003)等。

國內物種中，臺北市立動物園分別在 2004 年(Taipei Zoo, 2004)及 2017 年(林育秀，私人通訊)進行穿山甲的 PHVA 評估。另林容安(2013)針對臺灣黑熊(*Ursus thibetanus formosanus*)進行 PVA 分析，發現影響台灣黑熊滅絕率最關鍵的因是狩獵程度，如有效的控制雌性死亡率與非法狩獵，將有效提升台灣黑熊的存續力。

值得注意的是，在進行 PVA 時，如果族群生物學及生態學資料不充分或不準確，可能造成預測結果的不確定性(Beissinger and Westphal, 1998)。PVA 模擬過程亦可了解缺乏哪些重要的生物學及生態學資料，提供未來研究方向的參考。

## 六、重要工作項目及實施方法：

### (一) 建立石虎族群密度估算方法：

劉建男等(2016)於南投地區以紅外線自動相機進行石虎的調查，在 179 個相機樣點中有 67 個拍攝到石虎，以中寮鄉及集集鎮有最多的紀錄。本研究以中寮鄉及鄰近的集集鎮、名間鄉及南投市部分區域為研究樣區，主要以台 16 線為南界、福爾摩沙高速公路(國道 3 號)為西、及 139 縣道為東及北界，劃設 1 個面積約 30 km<sup>2</sup> 的樣區，並繪製 1km<sup>2</sup> 網格為方格樣區(圖 1)，每個方格樣區設置 1 部自動相機(Browning, Reconyx HyperFire HC500 或 Reconyx HyperFire 2, Reconyx Inc.)，相機架設高度約離地面 30 cm 水平拍攝，近距離拍攝石虎的頭部、側面及尾部花紋或特徵，藉由個體差異來進行石虎個體辨識。為協助個體辨識，在自動相機前約 2 公尺處之畫面中央架設一比例尺，其上方寬度固定為 10cm，並漆成黑白交錯利於在夜間紅外線模式辨識，另外也以該比例尺為中心地面以童軍繩(附圖 1)拉開一垂直與水平於相機拍攝方向擺放，上方每 10cm 標記片段便於辨識並了解個體移動之狀況。相機架設完成後，以手持 GPS(Garmin Vista HCx)定位樣點座標，誤差值控制於 5 m 下，地理座標統一採用 TWD97 (Taiwan Datum 1997)系統。

本計畫以 1 小時內同 1 隻個體的連拍視為 1 張有效照片，以第 1 張照片的時間當作有效活動時間，如 1 張照片裡有 2 隻以上的不同個體，則每隻個體都視為 1 筆有效紀錄。在假設族群數量越多的地區，該物種被自動相機拍攝到的機會也越高之前提下，

本計畫以某種動物在某個樣點的出現頻度指數(Occurrence Index, OI)來作為相對豐富度比較的基準，OI 值之計算採用裴家騏與姜博仁(2004)之計算公式： $OI = (\text{一物種在該樣點的有效照片數} / \text{該樣點的總工作時數}) \times 1000$  小時。石虎各分布樣點的 OI 值繪製成相對豐富度的分布圖，OI 值分為 4 個等級，分別為某樣點的 OI 值  $>$  所有地區的平均值  $+1.5$  SD、某樣點的 OI 值介於所有地區的平均值  $+0.5$  SD 和所有地區的平均值  $+1.5$  SD 之間、某樣點的 OI 值介於所有地區的平均值  $\pm 0.5$  SD 及某樣點的 OI 值  $<$  所有地區的平均值  $-0.5$  SD。

此外，在樣區內選擇 6 個有拍到石虎的樣點(圖 2)，在該樣點附近找尋明顯之獸徑設置籠具(Tomahawk 609 - XL Feral Cat and Raccoon Trap, Tomahawk Live Trap Inc.)進行捕捉，其尺寸長寬高分別為 36 x 12 x 14 英吋，其特點為籠具後端能夠開啟以方便更換新鮮餌料。本研究以新鮮肉類或小雞作為誘餌，為避免被捕動物或誘餌受直接日曬或雨淋，另外在籠具外以 PP 塑膠網楞版做出適當的遮蓋(附圖 2)。開籠期間，在人力許可下原則上每日早上巡籠 1 次，但為降低每日巡籠的龐大人力需求，本研究在籠具旁設置簡訊式相機(MG984G-30M, Boly Media Communications Co.Ltd.)，當捕獲動物導致籠具關閉或動物出現在籠具前，進行拍攝並以簡訊通知研究人員，以利馬上處理以避免個體長期關在籠具內。開籠期間，簡訊式相機開啟曠時拍照，即固定時間回傳照片以確認相機正常運作。如捕獲石虎個體，將配戴約 25 g 之無線電發報器(M1656, Advanced Telemetry Systems, USA)，除作為個體標示以提供作為重複捕捉個體進行族群密度估算外，將進行長期追蹤以了解其活動範圍。石虎個體活動範圍(home range)以最小凸多邊形法(Minimum convex polygon, MCP)及核密度估計法(Kernel Density Estimate, KDE)進行估算，並參考過去文獻常用的 95%與 50%分別估算活動範圍與核心區域，以利與不同豹

貓亞種或台灣其它地區石虎的研究進行比較。石虎之捕捉及後續處理，業依程序提出保育類野生動物利用申請，並獲主管機關同意(行政院農業委員會農授林務字第 1070729521 號函，附錄 1)。

本研究石虎密度估算方法如下：(1)利用自動相機拍得之照片進行個體辨識，計算每個樣點的石虎個體數；(2)樣區內石虎族群量及密度將以 Spatial Explicit Capture-Recapture model (SECR model)進行估算(Bashir *et al.*, 2013)，以 Density 5.0 軟體執行。

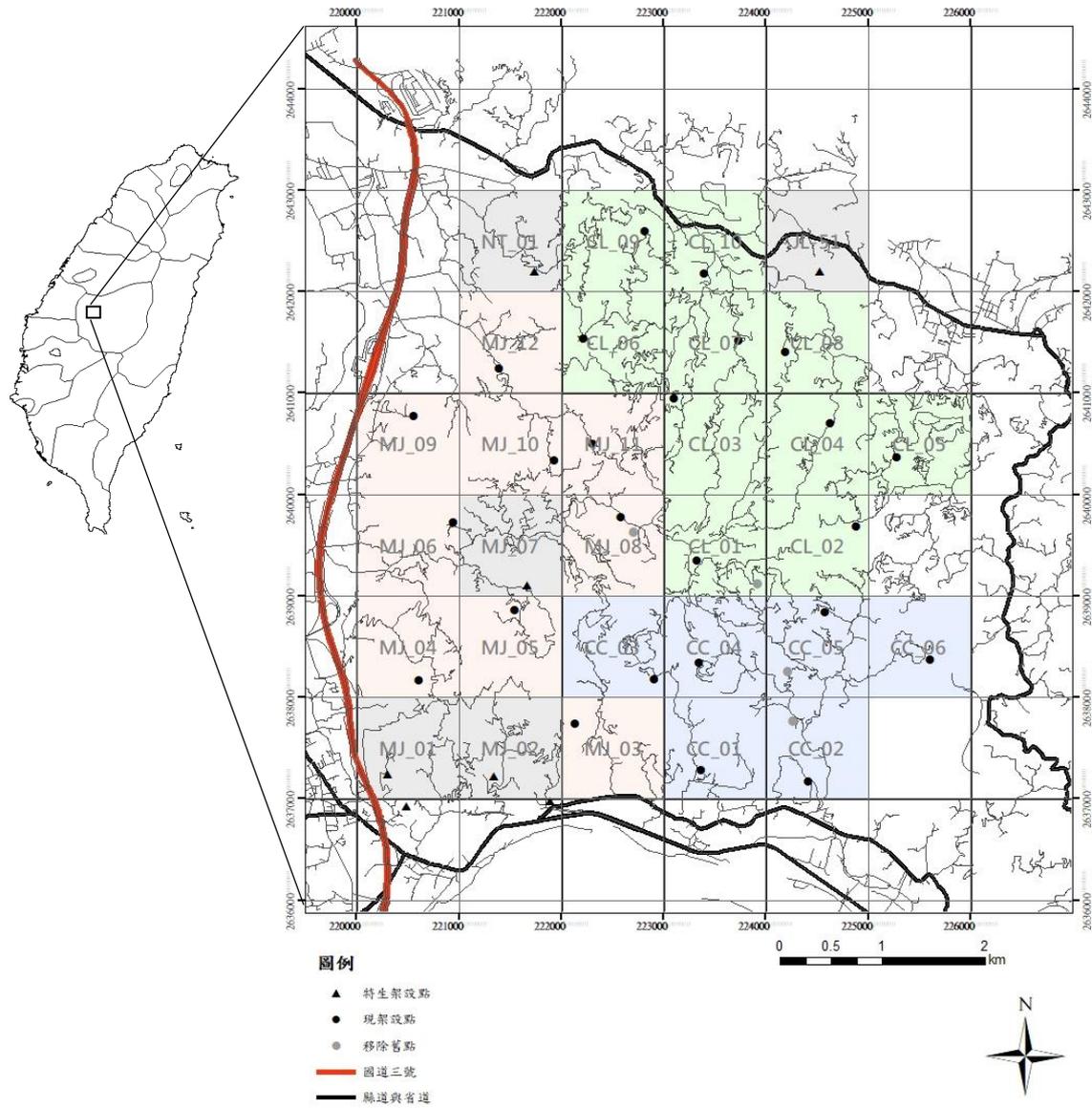


圖 1、南投中寮地區石虎密度估算相機樣點圖。

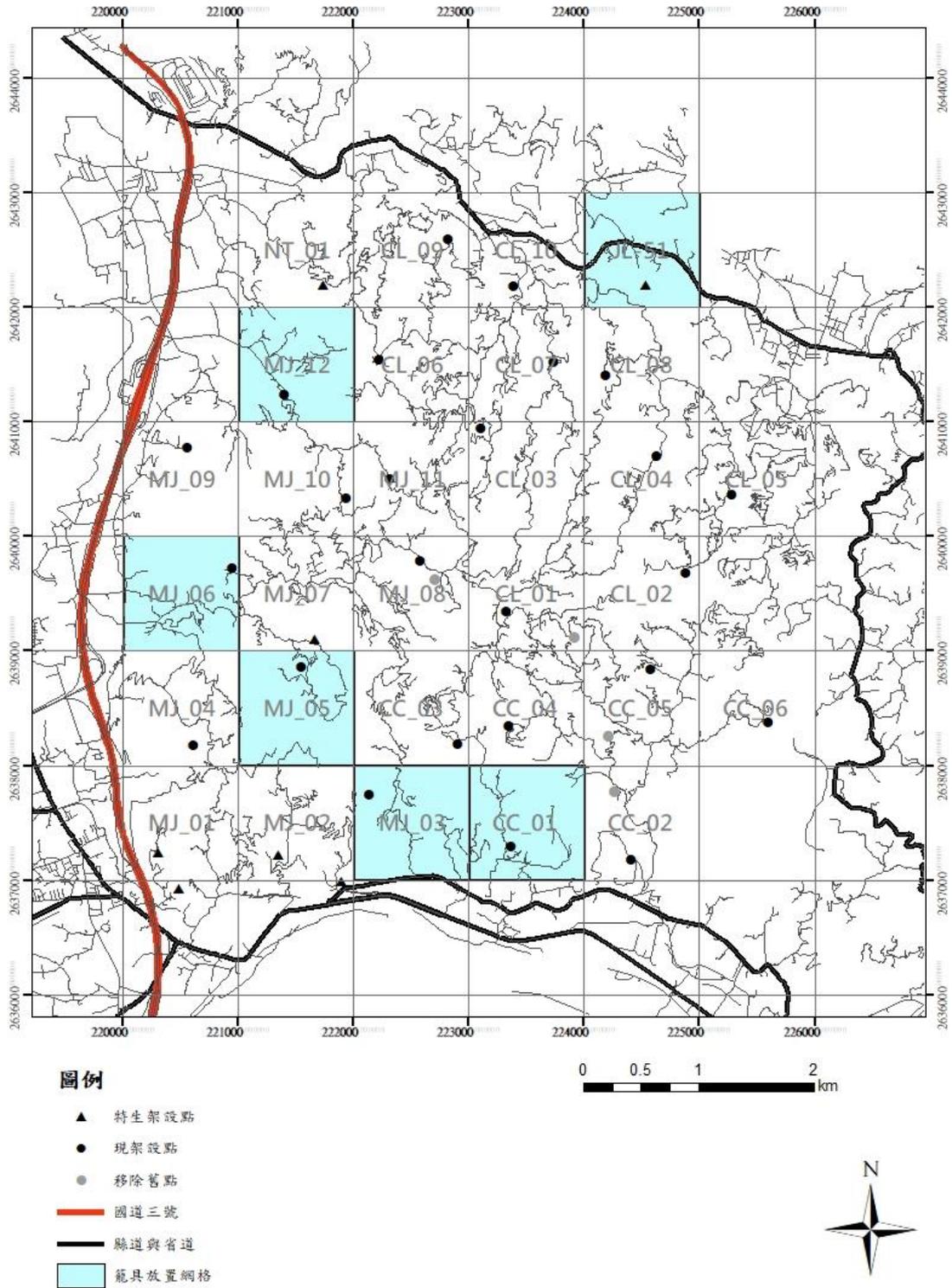


圖 2、南投中寮地區 6 個石虎捕捉籠具位置圖，藍色底為捕捉樣區。

## (二) 建立石虎年齡鑑定方法

本計畫利用道路致死或傷病死亡石虎之犬齒樣本，建立以牙骨質生長輪數量作為年齡判定的技術，同時建立犬齒磨損程度與生長輪數(年齡)的關係式，作為野生石虎年齡估計的方法。

本研究採用特生中心、國立自然科學博物館或其他單位所典藏之道路致死或傷病致死之石虎的犬齒樣本作為實驗材料。每隻個體皆有記錄發現地點、發現日期，性別及形質資料。每隻石虎個體原則上僅取左上犬齒，若左上犬齒有毀損，則取右上犬齒。

犬齒取下後，用游標尺測量犬齒的長(牙齦線到牙冠的部分)、寬(牙齦線所在之寬度)、全長(牙冠到牙根)及全寬(犬齒最寬處)。完成上述之形質測量後，利用印模粉加水製作犬齒的模具(印模粉:水之比例為 5ml:3ml，各品牌之印模粉和水之比例不同，依實際情形而定)，在模具尚未凝固前將犬齒放入並輕拍出氣泡，模具凝固後將裡面的犬齒取出，再將配好的石膏(石膏:水之比例為 2.5ml:1.4ml)倒入模具中，帶石膏凝固後將其小心地取出，盡量保存模具及石膏模型的完整，犬齒模型完成後，模具一併保留，以供未來有需要之研究者使用。

將犬齒浸泡於 4%硝酸溶液 1 天去除琺瑯質，之後用一次蒸餾水沖洗，再浸泡 25% 甲酸溶液(formic acid)中 2 天進行脫鈣反應，將牙齒鈣化的部分去除使其方便切片，之後將犬齒用一次蒸餾水沖洗，並浸泡於一次蒸餾水下 1 天將殘存的甲酸溶液清洗乾淨。用冷凍包埋劑以包埋法將犬齒固定在組織標本台上，再將其放入 -20°C 的冷凍切片機(冷凍切片機為國立嘉義大學農藝系莊愷瑋教授提供)中進行切片，切片厚度為 15  $\mu\text{m}$ 。之後縱切犬齒，以十刀為一間隔，取其切片，判斷牙齒不同部位牙骨質生長輪的生長狀況。切片用一次蒸餾水清洗切片數次(約 5 次)將冷凍包埋劑清洗乾淨。之後以 Ehrlich hematoxylin 進行染色 24 小時，染色後用一次蒸餾水清洗數次(約 3 次)，利用光學顯微鏡(10x，或

依實際狀況挑選適宜之倍率)觀察、拍照並計算生長輪 (Fancy, 1980; Stewart *et al.*, 1996; Nakanishi *et al.*, 2009)。

一輪牙齒牙骨質生長輪為一深色線和淺色線組成，本研究計算石虎犬齒牙根牙骨質生長輪輪數時，以計算深色線為主。牙骨質生長輪輪數的辨識可能因為主觀的判讀產生偏差(Monson *et al.*, 1973; Gasaway, 1978; Nellis *et al.*, 1978)，因此除了本研究兩位研究人員的判斷外，亦將切片照片寄送日本學者中西希(Nozomi Nakanishi)博士提供專業意見。所判斷的輪數與測量的犬齒長寬比率進行相關性分析並建立相關式。未來野外捕獲石虎時，可測量犬齒磨損程度，利用所建立的關係式來估算年齡。

### (三) 族群及棲地續存力分析：

本研究蒐集石虎生活史、族群生物學、族群現況、族群動態、棲地現況及棲地需求及面臨的威脅等資訊，利用電腦模擬模型，來預測物種或族群的滅絕機率及找出影響族群存續最重要的因子。

本研究以 VORTEX 10

(<http://www.vortex10.org/Vortex10.aspx>) 來執行族群續存力分析。各項參數值的設定將蒐集文獻中的資料或諮詢石虎相關研究人員，若無台灣地區石虎的研究資料，將參考其他地區不同豹貓亞種的資料。所得結果將提供經營管理及保育措施優先順序的建議及未來石虎生物學及生態學研究方向的參考。

### (四) 長期監測與保育策略擬定

依照蒐集到的石虎生活史、生物學及生態學資料，提出長期監測方式，並以本研所得之族群密度評估方法及 PVHA 與 PVA 評估結果，找出影響石虎族群存續的關鍵因子，據以擬定保育策優先順序，作為建立石虎保育行動綱領的基礎。

## 七、結果與討論

### (一) 建立石虎族群密度估算方法

自 2018 年 7 月至 11 月，於樣區共設置 34 個樣點，其中 4 個因拍攝動物狀況不佳而撤掉，並於同一個方格內的鄰近地區重新選擇點位架設(圖 1)，總工作時數為 49580.3 小時，共記錄到哺乳動物有效照片數 749 張，其中在 16 個樣點拍攝到 61 張石虎有效照片，拍到石虎樣點的 OI 值介於 0.53 到 3.92 之間(表 1)，平均為  $0.99 \pm 1.29$ (表 2)。各樣點石虎相對豐富度如圖 3。

其他哺乳動物部分，還記錄到包括白鼻心、鼬獾、台灣獼猴、山羌、台灣野山羊、赤腹松鼠及沒有辨識到種的鼠科鼠類等(表 2)。

6 具籠具共累計 27 個捕捉籠夜，尚未捕捉到石虎，但 MJ12 樣區於 2018/11/18 捕捉到家貓 1 隻。簡訊式相機與紅外線自動相機記錄到石虎在 3 個籠具附近出沒(樣區編號: CC01、MJ05、JL-51)，其中 1 具籠具(樣區編號: JL-51)由簡訊式相機記錄到石虎在籠具前之畫面(附圖 3)，但未捕獲。簡訊式相機亦拍攝到包含鳳頭蒼鷹、家犬、家貓及黑枕藍鶺鴒等動物。

本研究為了解各樣點的石虎相對豐富度，使用自動相機時並未使用誘引物來吸引石虎，因此在 16 個拍攝到石虎的樣點中，有 6 個樣點僅拍攝到 1 張有效照片、5 個樣點拍攝到 2 張，僅有 5 個樣點拍攝到較多之有效照片，分別為 5、6、8、13 及 13 張有效照片。其中拍攝到 13 張及 5 張有效照片之樣點使用之相機為 Browning 型，拍攝品質較差，無法清楚拍出石虎特徵作為個體辨識的基準；Reconyx 相機拍攝品質則較為清晰，可作為特徵辨識使用。然而，石虎身體的斑紋呈現橢圓形斑塊，不侷老虎有較明顯的條紋，與東南亞其他地區豹貓亞種相較，石虎的塊狀斑較小且變異不大，因此要利用身體特徵來作為個體辨識的依據，須找出具有非常明顯差異的特徵。本研究的結果顯示，石虎以身

體軀幹及四肢內外側的斑點較容易找到可辨識的特徵，但常因拍攝角度而無法拍到該特徵。本研究先建立各樣點石虎之基本特徵資料庫(例如附表 1)，並利用各樣點拍到照片上石虎特徵之差異，來進行個體辨識，目前在樣點 MJ03 可辨識出 2 隻不同個體(圖 4)，MJ06 至少有 3 隻以上不同個體(圖 5)，其餘樣點由於照片數過少或不夠清楚，尚無法分辨出不同個體(圖 6)。也因為資料過少，目前尚無法針對樣區內的石虎進行密度估算。未來可利用誘餌方式來增加照片數，或是同一個樣點使用 2 台以上自動相機來增加不同部位的照片數。

在相機架設方面，由於每個架設樣點不見得為平坦，故相機之固定高度應以畫面中央高度 50cm 再對應到架設之樹木上之位置作為架設高度，比此高度高太多難以觀察到石虎四肢斑紋等細節，而低於此高度則常常受限於視角問題而使畫面無法拍攝整隻個體。截至目前，本研究所架設之比例尺在個體辨識之判讀上並無明顯助益，因為石虎成體個體間的體型差異不大，除非亞成體才會有較明顯體型差異。

表 1、2018 年 7 月至 11 月 13 日在南投中寮及鄰近地區調查石虎之自動相機樣點、工作時數及 OI 值

鄉鎮	GPS_X	GPS_Y	海拔 (m)	起始日期	結束日期	總工作 時	有效照 片數	OI 值
集 集 鎮 (6)	223XXX	2637XXX	371	2018/8/6	working	2011.90	2	0.99
	224XXX	2637XXX	269	2018/8/6	2018/10/31	1714.62		
	224XXX	2637XXX	295	2018/10/31	working	268.88		
	222XXX	2638XXX	329	2018/8/6	working	2275.55	2	0.88
	223XXX	2638XXX	322	2018/8/6	working	1558.33	1	0.64
	224XXX	2638XXX	317	2018/8/6	2018/10/30	1569.27		
	224XXX	2638XXX	286	2018/10/30	working	286.48		
	225XXX	2638XXX	285	2018/8/6	working	1874.38	1	0.53
中 寮 鄉 (10)	223XXX	2639XXX	373	2018/8/6	2018/10/31	1106.25	1	0.90
	223XXX	2639XXX	364	2018/10/31	working	265.63		
	224XXX	2639XXX	215	2018/10/9	working	796.23		
	223XXX	2640XXX	243	2018/10/10	working	815.88		
	224XXX	2640XXX	193	2018/10/10	working	769.07	1	1.3
	225XXX	2640XXX	184	2018/10/9	working	795.32		
	222XXX	2641XXX	329	2018/10/10	working	816.38		
	223XXX	2641XXX	221	2018/10/9	working	833.62		
	224XXX	2641XXX	293	2018/10/10	working	771.80	2	2.59
	222XXX	2642XXX	204	2018/10/10	working	809.60		
	223XXX	2642XXX	144	2018/10/10	working	768.08		
224XXX	2642XXX	251	2016/5/13	working	3658.23	13	3.55	
南 投 市 (1)	221XXX	2642XXX	339	2015/3/13	working	3657.28	13	3.55
名 間 鄉 (11)	222XXX	2637XXX	298	2018/8/6	working	2321.87	2	0.86
	220XXX	2638XXX	235	2018/8/7	working	1627.07		
	221XXX	2638XXX	292	2018/8/7	working	2329.13	6	2.58
	220XXX	2639XXX	272	2018/8/7	working	2040.30	8	3.92

	222XXX	2639XXX	346	2018/8/7	2018/10/29	1570.32		
	222XXX	2639XXX	322	2018/10/29	working	354.88		
	220XXX	2640XXX	206	2018/10/10	working	818.60		
	221XXX	2640XXX	269	2018/10/10	working	817.93		
	222XXX	2640XXX	265	2018/10/10	working	336.57	1	2.97
	221XXX	2641XXX	136	2018/10/10	working	799.85	2	2.50
	221XXX	2637XXX	294	2018/7/1	working	3592.10		
	220XXX	2637XXX	240	2018/5/4	working	2611.25	1	0.38
	221XXX	2639XXX	238	2015/10/13	working	2937.63	5	1.7
總計						49580.28		

表 2、2018 年 7 月至 11 月 13 日在南投中寮及鄰近地區自動相機拍攝到哺乳動物之有效照片數、出現樣點數及 OI 值範圍

物種名	有效照片數	出現樣點數	單一樣點 OI 值範圍 <sup>a</sup>
石虎	61	16	0.53-3.92
白鼻心	33	15	0.43-3.43
臺灣獼猴	2	2	0.43-0.44
鼬獾	18	9	0.43-6.25
山羌	3	3	0.43-0.53
台灣野山羊	1	1	1.23
赤腹松鼠	8	5	0.85-2.97
鼠科鼠類	10	7	0.43-3.67
狗	226	10	0.43-107.77
貓	124	6	0.43-69.4
人	25	8	0.53-9.04
總計	749		

<sup>a</sup> 個別樣點中該物種的 OI 值範圍。若該樣點為 0，不予列入

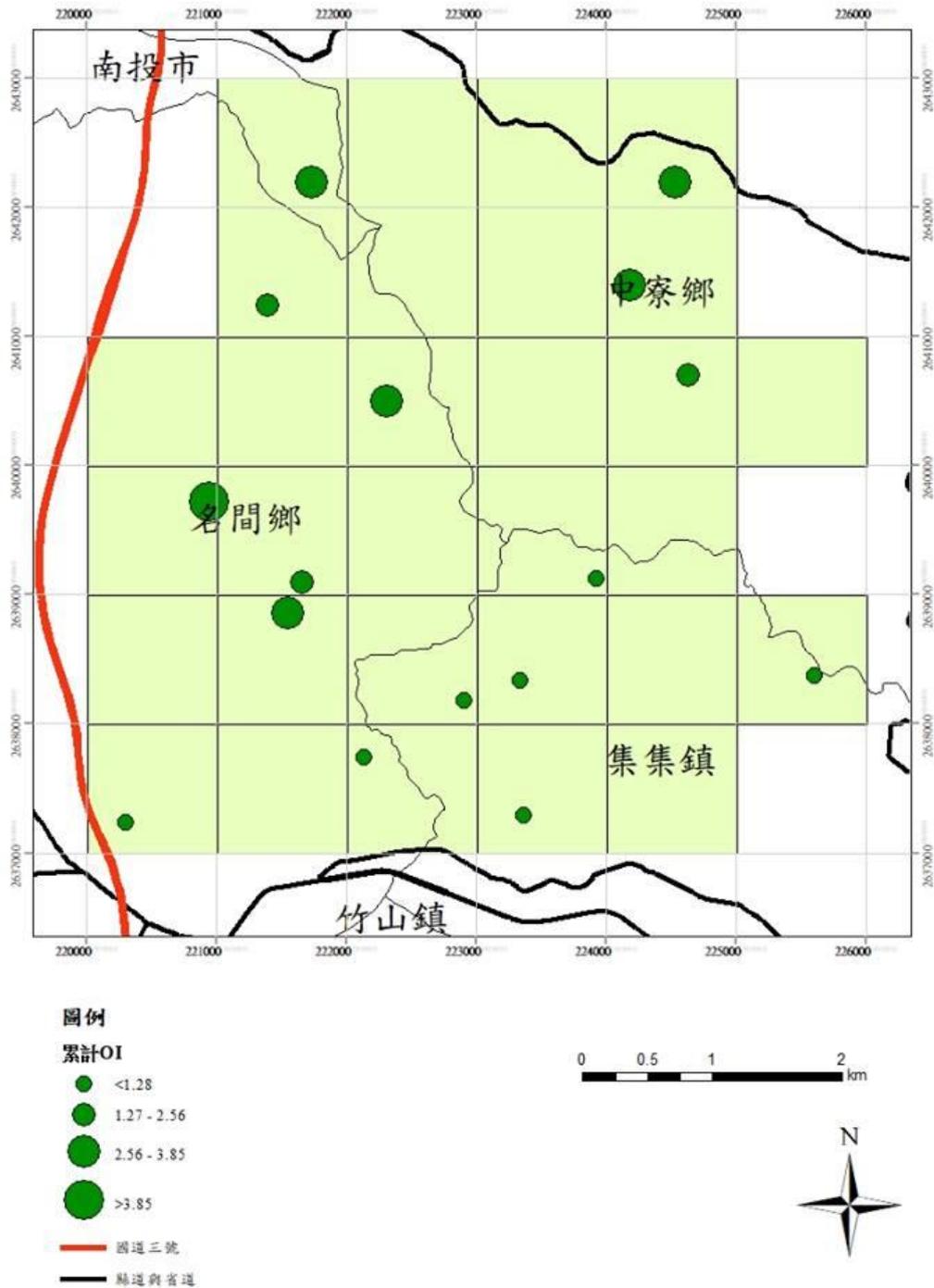


圖 3、2018 年 7 月至 11 月 13 日在南投中寮及鄰近地區以自動相機記錄石虎的相對豐富度。OI 值分為 4 個等級，分別為某樣點的 OI 值  $>$  所有地區的平均值  $+1.5$  SD (2.84)、某樣點的 OI 值介於所有地區的平均值  $+0.5$  SD (1.59) 和所有地區的平均值  $+1.5$  SD (2.84) 之間、某樣點的 OI 值介於所有地區的平均值  $\pm 0.5$  SD (0.33-1.59) 及某樣點的 OI 值  $<$  所有地區的平均值  $-0.5$  SD (0.33)。

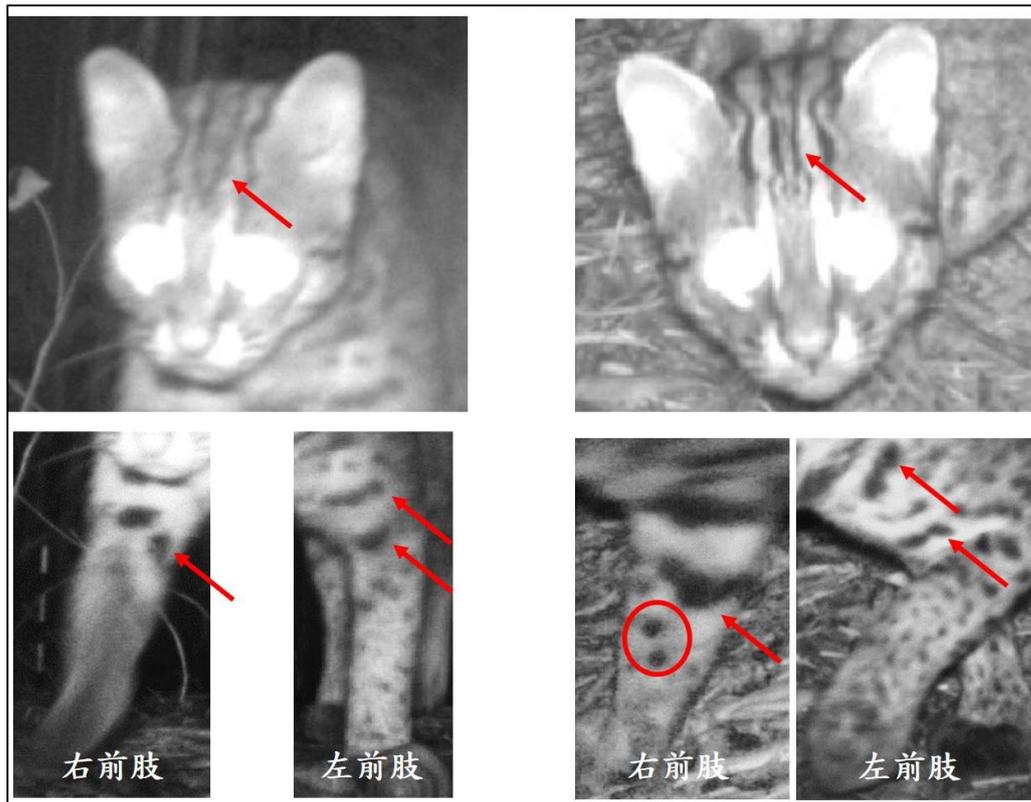


圖 4、石虎調查樣區 MJ03 樣點石虎個體之特徵差異

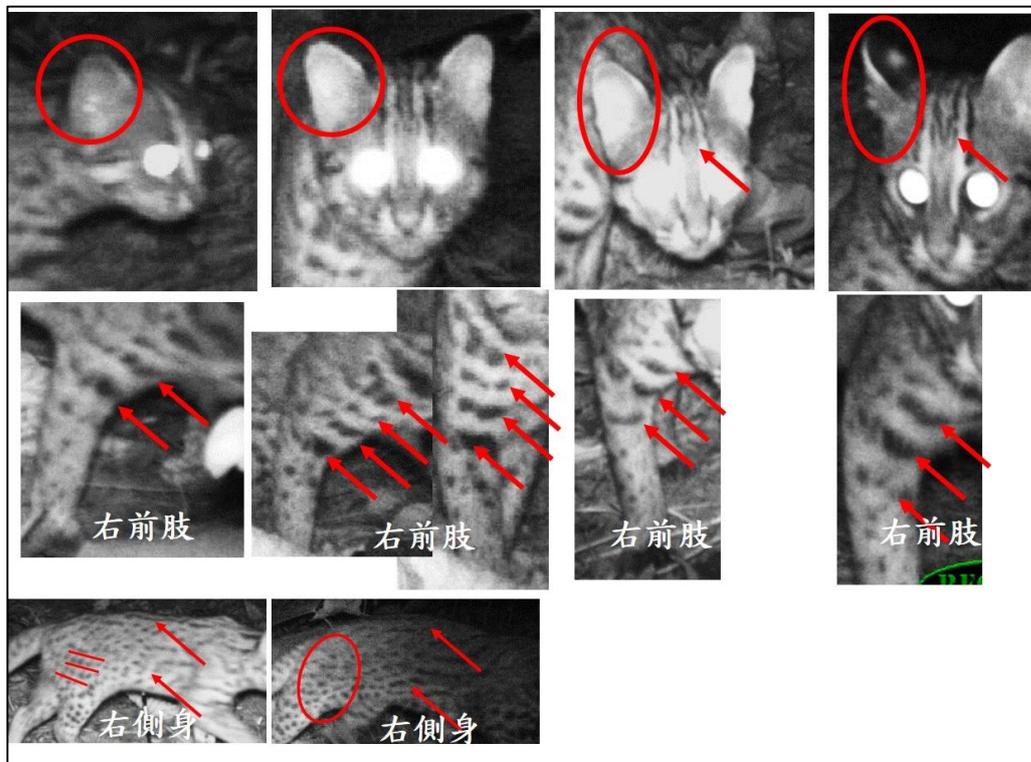


圖 5、石虎調查樣區 MJ06 樣點石虎個體之特徵差異

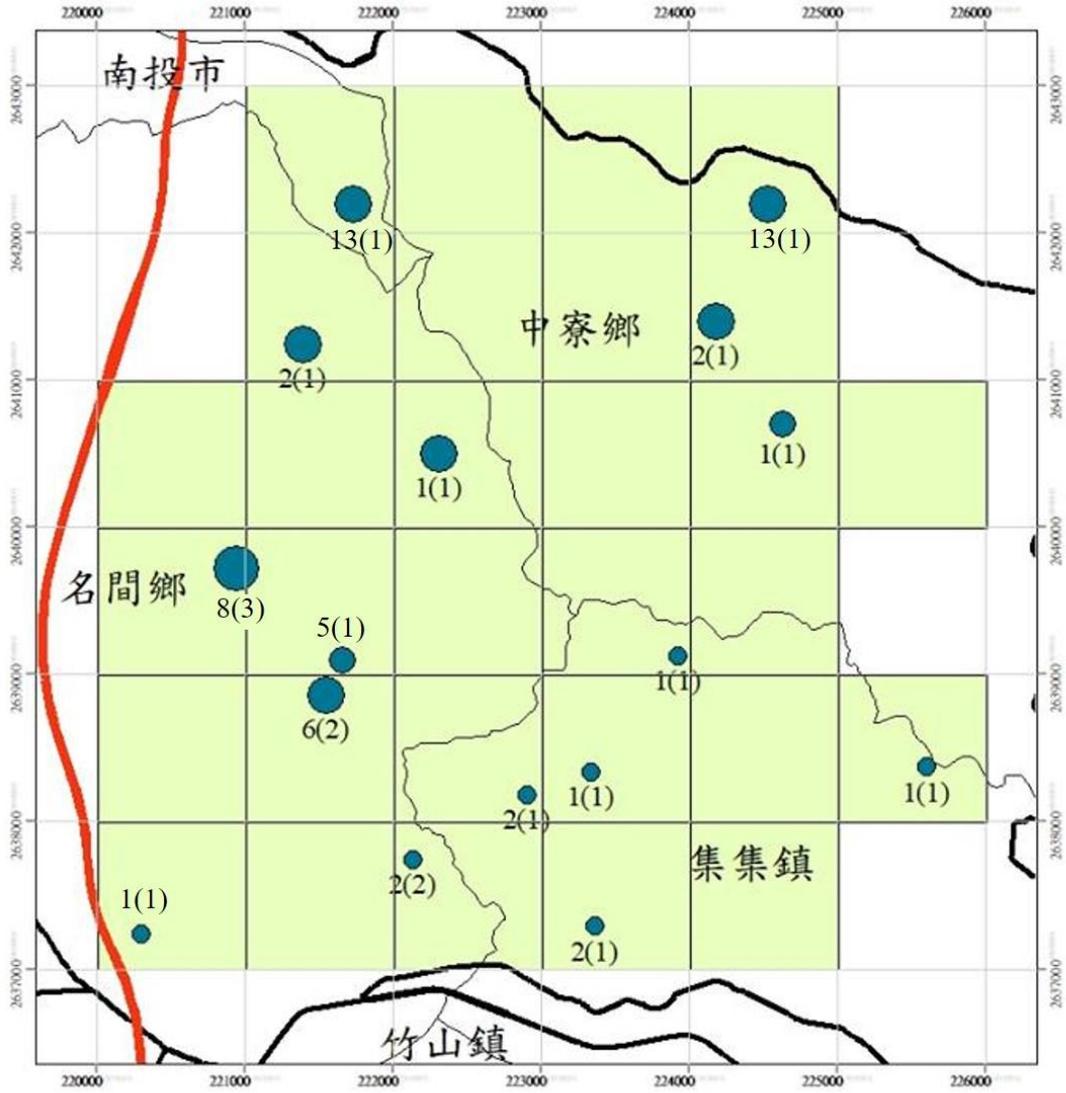


圖 6、石虎調查樣區有拍到石虎樣點之有效照片數及可辨識出的個體數(括弧內數字)。

## (二) 建立石虎年齡鑑定方法

本研究自農委會特有生物研究保育中心及國立自然科學博物館現有典藏石虎標本分別取得犬齒樣本 14 份及 2 份(編號 T24080 及 T22333)，共 16 份，個體資料如表 3。結果顯示 16 個樣本生長輪數介於 0-6 之間(表 4)，其中 0 輪跟 1 輪的個體佔了大多數，分別有 8 個及 6 個樣本，顯示多為年輕的個體。本研究因為未有已知年齡的石虎犬齒樣本，尚無法證明石虎牙骨質生長輪為 1 年生長 1 輪，然而 Nakanishi *et al.* (2009) 以犬齒牙骨質生長輪之輪數來判斷西表山貓(*Prionailurus bengalensis iriomotensis*) 的年齡，由已知年齡的個體確認西表山貓的牙骨質為一年生長一輪。由於哺乳類第一年時乳齒會更換回恆齒，因此大多數物種是以犬齒牙骨質生長輪輪數再加 1 來估計實際年齡(Grue and Jensen, 1979)，但 Garcia-Perea and Baquero (1999) 以犬齒生長輪判斷伊比利亞山貓(*Felis silvestris*)年齡時，表示應加入個體出生和死亡時間等資料，來獲得更準確的估計，而不是直接加 1 來估算。然而，亦有些物種的牙齒牙骨質生長輪輪數和已知年齡動物的歲數不同(e.g., Wolfe, 1969; Monson *et al.*, 1973; Gasaway *et al.*, 1978)。針對台灣地區的石虎，後續仍需取得已知年齡的個體進行生長輪地判定，方能準確的來估算年齡。此外，未來亦可加入個體死亡的時間與生長輪開始生長的時間等因素，來推斷石虎的出生時間及更準確的估計年齡。

生長輪沉積的規律受環境(氣候變遷、食物的數量和質量)以及代謝波動(包含繁殖周期和攝食習慣)的影響，因此對於在活動和生活飲食方面有明顯季節差異的動物而言，生長輪會非常明顯(Jankauskas *et al.*, 2009)。本研究已建立製備利用犬齒切片來判斷生長輪的技術，未來可加強嘗試不同的染色時間或比較同一切片不同部位的生長輪，以獲得更加的生長輪解析度。

本研究 16 個石虎犬齒樣本生長輪數與磨損程度的結果如圖 5。結果顯示隨著牙骨質生長輪數越多，犬齒長寬比變小(磨損程度越大)，但解釋力低( $R^2 < 0.11$ )。推測主要原因為多數個體是年輕個體，僅有 1 輪或 0 輪，3 輪或以上的個體僅有 2 隻所致。此外，犬齒磨損程度與生活棲地之食物資源、個體習慣及遺傳有關(Stander, 1997)，因此可見即使都是 1 輪的個體，但犬齒長寬比仍有具有一定程度的變異。未來可持續增加樣本數，如能增加 2 輪以上的個體，方能準確的檢視利用犬齒磨損程度來估算年齡的可行性。

表 3、石虎犬齒樣本基本資料

編號	性別	發現地點	發現日期	備註
C0649	-	-	-	
水井	-	-	-	
T2026	-	台 16 線 4km	2014/11/12	
T1573	♂	-	2012/10/24	
C0652	♂	-	-	
C0315	♀	后里	2003/-/-	
C0947	♂	埔里	2007/6/22	
C1251	♀	國姓	2010/6/4	
C0651	♀	中寮	-	1998/11/23 於 急救站死亡
C0872	♀	公館	2008/4/6	2008/4/12 於 急救站死亡
C1543	♀	仁愛昆陽	2004/3/30	
C0996	♂	三義	2005/12/20	
C0231	♀	楊梅農場	2001/1/21	
C1542	♂	中寮	2011/-/-	
T24080	♀	苗栗	2016/2/29	
T22333	♀	苗栗	2013/4/7	

註：T24080 及 T22333 由科博館提供，其餘由特生中心提供



圖 7、石虎(特生中心典藏編號：C1251)犬齒切片，切片厚度 15um。

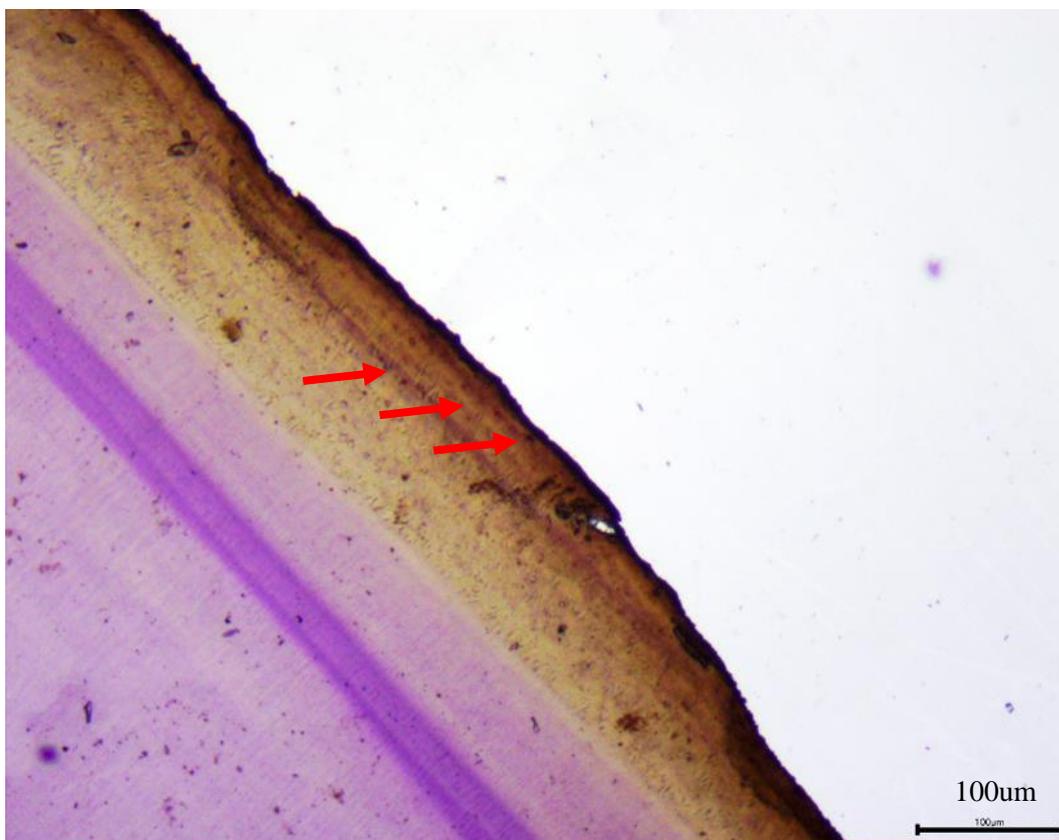


圖 8、石虎(特生中心典藏編號：水井)犬齒切片，切片厚度 15um。

表 4、石虎犬齒測量值及生長輪輪數

編號	長(mm)	寬(mm)	長寬比	判定之輪數
C0649	11.86	5.57	2.12	1
水井	9.1	4.79	1.90	3
T2026	10.23	5.03	2.03	1
T1573	11.52	5.7	2.02	0
C0652	9.85	5.04	1.95	0
C0315	9.06	4.93	1.84	1
C0947	5.21	2.55	2.04	0
C1251	8.91	4.54	1.96	6
C0651	8.99	4.21	2.14	0
C0872	9.21	4.71	1.96	1
C1543	6.04	3.03	1.99	0
C0996	9.83	4.61	2.13	0
C0231	8.27	4.49	1.84	1
C1542	11.24	5.74	1.96	0
T24080	9.45	4.41	2.14	0
T22333	9.79	4.9	2.00	1

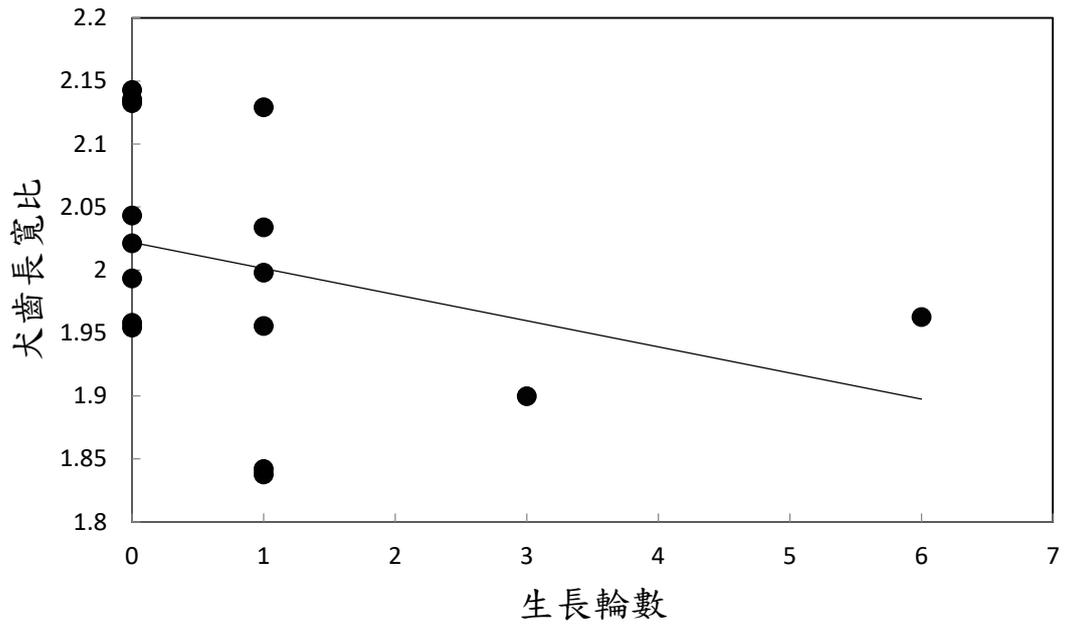


圖 9、石虎犬齒生長輪數與長寬比(磨損程度)之關係圖。關係式  $Y=-0.021x+2.02, R^2=0.11$ 。

### (三) 族群及棲地續存力分析：

參考日本對馬山貓生物學資料，建立台灣石虎 PVA 模型所需之 VORTEX 參數，如附表 2。模擬期間為 100 年，模擬 1,000 次，物種滅絕定義為僅剩單一性別。本研究進行基礎模型以及災難模型(每年加入 1 次災難發生造成額外的死亡，我們把每年道路致死造成的死亡來模擬災難對生殖及存活帶來的影響，依據特有生物中心資料，2015-2018 年共記錄 39 隻石虎路殺個體，其中 10 隻為雌性個體，以族群量 400 隻計算，路死對 reproduction 的影響設定為 0.994，對 survival 的影響設定為 0.977)進行模擬及推估對族群成長率、族群量及滅絕機率的影像。敏感性分析部分，為了解每項參數值如何影響模擬的模型結果。挑選幾項關鍵參數分別改變 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 和 $\pm 20\%$ ，在其他參數保持不變的情況下，比較各個參數值對族群成長率及族群量的影響程度。敏感性分析檢測的參數包含初始族群量、環境承載量、雌性幼體死亡率、雌性亞成體死亡率、雌性成體死亡率、雄性幼體死亡率、雄性亞成體死亡率、雄性成體死亡率及雌性成體每年繁殖的個體比例等 10 項參數。

PVA 模擬結果如表 4，基礎模型中決定性族群成長率(det-r)為 0.0118，隨機性族群成長率(stoch-r)為-0.035，最後族群量為 227 隻，滅絕機率為 0.02。路殺模型中決定性族群成長率為-1，隨機族群成長率為 -0.03，最後族群量為 63 隻個體，滅絕機率為 0.24。

敏感性分析結果如圖 6 及圖 7，顯示成年雌性個體的繁殖比例對族群成長率及最後的族群量皆有最大的影響，其次為雌性幼體(0-1 歲)的死亡率及雌性成體(2 歲以上)死亡率。雄性個體的死亡率及初始族群量影響相對較小。

當成體雌性繁殖率從 50%增為 55%時，族群成長率會由負(-0.0087)轉正(0.0175)，增為 70%時族群成長率達到 0.848。然而，

要提升成體雌性繁殖率並不容易。雌性幼體死亡率從 50% 減為 42.5% 時族群成長率為變成正數(0.0016)，而雌性成體死亡率即使從 8% 減少到 6.4%，整體族群成長率仍為負值。

災難模型結果顯示災難會顯著造成族群成長率的下降，而滅絕機率也 2% 上升到 32.5%。

表 5. 石虎 PVA 基礎模型及災難模型模擬結果

<b>Scenario</b>	<b>det-r</b>	<b>stoch-r</b>	<b>SD(r)</b>	<b>PE</b>	<b>N-extant</b>	<b>SD(Next)</b>	<b>N-all</b>	<b>SD(Nall)</b>
Baseline	0.012	-0.0087	0.094	0.02	231.34	135.43	226.72	137.92
Catastrophe	-99.99	-0.0305	0.1163	0.24	63.68	62.46	48.34	60.75

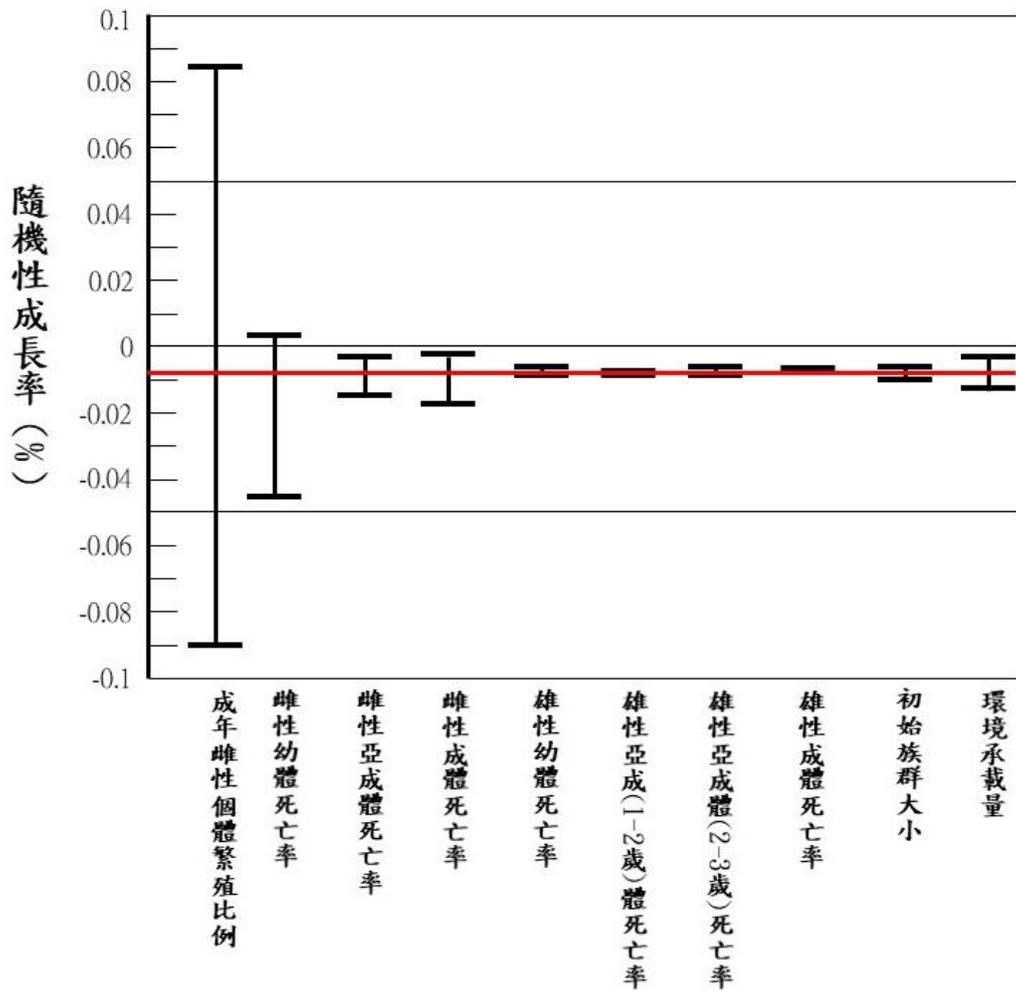


圖 10、石虎 10 個參數分別改變 $\pm 5$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 和 $\pm 20\%$ 對隨機性族群成長率 (stoc-r) 之敏感性分析。紅色實線為基礎模型所得之結果 (stoc-r = -0.0087)。

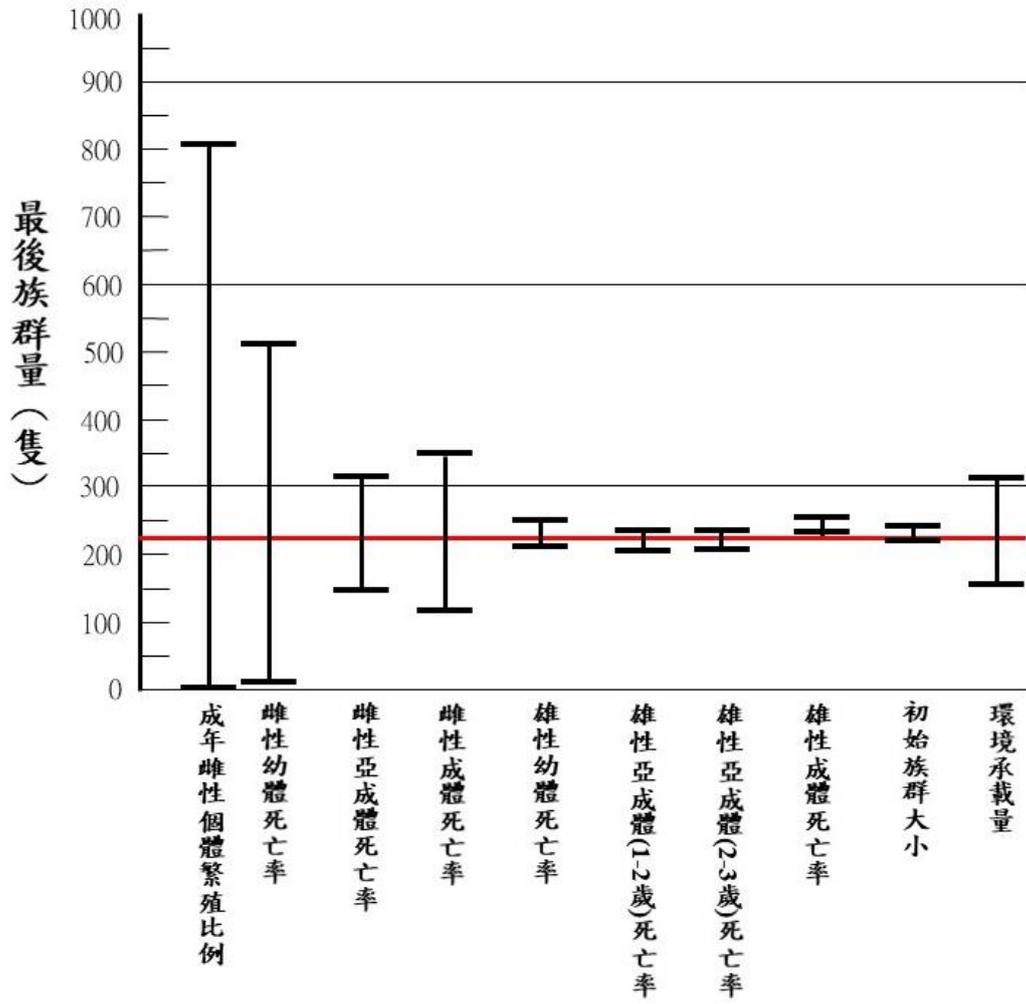


圖 11、石虎 10 個參數分別改變 $\pm 5$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 和 $\pm 20\%$ 對最後族群量 (N-all) 之敏感性分析。紅色實線為基礎模型所得之結果 (N-all = 227)。

#### (四) 長期監測與保育策略擬定

石虎面臨數個嚴重影響其族群存續的威脅，包括棲地嚴重的喪失及破碎化、車禍致死、攻擊放養家禽導致農戶與石虎的衝突、流浪犬貓的競爭及疾病威脅及老鼠藥及農藥中毒等（裴家騏等，2011；高嘉孜，2013；裴家騏等，2014；劉建男等，2016）。為確保石虎的永續生存，擬定長期監測與保育策略，為刻不容緩的工作。

在長期監測部分，目前對石虎的族群密度、族群動態變化等了解有限，必須依賴系統性且可量化的監測系統，進行長期研究方得知。紅外線自動相機具有可長時間工作、減少人為干擾、操作容易、可量化及標準化等優點，可做為石虎長期監測的工具。

長期監測樣區選定部分，建議以目前石虎豐富度較高的苗栗縣、南投縣及台中市，每個縣市選定至少 2 個 30 km<sup>2</sup> 的長期監測樣區，以每 1km x 1km 劃設小樣區，每個小樣區設置 1 部紅外線自動相機，進行系統性的調查，以 5 年為一期進行複查及探討變化趨勢。相機資料除了每個樣點計算 OI 值以了解相對豐富度隨時間的變化外，可依照本研究使用之方法進行個體辨識並估算密度。由於利用身體特徵來進行個體辨識需要清晰之照片，因此自動相機選擇以 Reconyx 較佳，拍攝照片比影片更容易辨識特徵。

保育策略的擬定部分，應針對面臨威脅提出改善策略，並加強基礎資料的蒐集。石虎保育策略優先順序建議如下：

1. 加強石虎分布調查：過去兩年分別在彰化縣及嘉義縣有石虎的發現紀錄，而林良恭等(2017)的預測結果指出除了苗栗到南投的淺山地區以外，全台仍有部分淺山地區為適合石虎的棲地，但缺乏密集且系統性的調查。因此，建議在雲林、嘉義、台南、高雄及新竹等地之淺山區域，以自動相機進行石虎及其獵物的分布及相對豐富度調查，確認石虎的分布。

2. 人與石虎衝突的解決：石虎補食家禽遭致農民獵捕或毒殺是造成石虎傷亡的主因之一。劉建男等(2016)及姜博仁等(2018)皆指出完善的家禽籠舍或以圍網來減少石虎捕食家禽機會，為減少人與石虎衝突的有效方法。未來各地方主管機關可加強與淺山地區養禽戶的溝通，建立石虎危害通報管道，並編列經費來協助遭受石虎危害的養禽戶來修繕籠舍，減少危害發生。
3. 降低道路致死的發生：2011年至2018年有59起石虎道路致死的事件(特生中心資料)，減少道路致死造成的傷亡為當務之急。本研究PVA敏感性分析結果顯示，雌性個體死亡率是影響石虎族群存續的關鍵因子，而道路致死是造成死亡的重要原因。除在部分路段設置圍籬及地下動物通道及設置警告標示牌等來提醒用路人減速慢行外，應積極開發利用聲音或光學等警示裝置來降低路殺事件的發生。
4. 加強石虎生物學及生態學研究：加強石虎活動模式(尤其是亞成體播遷)及棲地利用的研究，了解石虎棲地間的連結性(connectivity)，避免因棲地零碎化造成的基因交流阻隔。此外，本研究PVA模擬過程也發現石虎基礎資料的不足，可能造成PVA模擬結果的不準確性提高。因此，加強石虎出生率、死亡率、族群年齡結構等資料蒐集有其必要性。
5. 石虎保育醫學：最近的研究顯示道路致死的石虎個體有相當高的比例感染小病毒(陳貞志未發表資料)，而家貓與家犬與石虎共域，亦可能將疾病傳染給石虎。未來應積極針對石虎個體進行各種可能疾病的檢驗，以及早提出因應之道。
6. 友善農業地推動：推動友善環境的農業，減少老鼠藥及農藥的使用，可避免石虎取食中毒或受汙染的食物，提供石虎更健康的棲息環境。

7. 妥善管理圈養族群：建立石虎救治與野放專職機構及標準作業準則，建立石虎繁殖技術及野化訓練標準流程，進行傷救或人與石虎產生衝突的石虎個體的野放地點評估，以及加強各圈養單位的飼養管理技術與訊息交流等。
8. 降低流浪犬貓的威脅：流浪犬貓會與石虎競爭食物、空間，甚至攻擊石虎，亦可能造成犬瘟熱、小病毒感染等疾病傳染。要將野外的流浪犬貓全部移除非短期內可達成，但建議相關單位應擬定計畫及時程，逐步移除或以絕育來避免族群量持續增加。
9. 設立石虎保護區或野生動物重要棲息環境：石虎棲地因土地開發而消失或零碎化的案例有所聞，因此，劃設保護區以避免不當的開發導致的棲地破壞有其必要性。然而，由於石虎棲息地多數屬於私有地，要劃設野生動物保護區可能遭致私有地主反彈。建議短期以林班地為主來劃設保護區，提供庇護場所，但長期而言，仍應透過宣導或與地主溝通，在不損害私有地主權益下，劃設涵蓋私有地的石虎野生動物重要棲息環境或保護區，在面臨開發的壓力時，要求開發單位進行環境影響評估或研擬減輕或補償策略，降低對石虎的傷害。
10. 石虎保育行動綱領的制定：設定短、中、長期保育目標，結合 PVA 及敏感性分析結果，針對各項威脅及減緩措施擬定優先順序，凝聚所有相關單位的共識及了解相關權責等。

## 八、結論與建議

本研究結果顯示石虎的身體體側及四肢的斑點紋路特徵可以用來辨識個體，進而評估族群密度，但相機品牌及架設方式會影響到拍攝到照片的清晰程度及是否拍攝到容易辨識的部位。本研究亦建立石虎犬齒牙骨質的生長輪的切片及染色技術，可以應用於石虎個體年齡的推估，未來可增加已知年齡的石虎犬齒樣本，來確定生長輪數與實際年齡的關係，並持續增加樣本數來了解石虎族群的年齡結構以及建立石虎年齡與犬齒磨損程度的相關性，應用於野生石虎個體的年齡估算。石虎族群續存力分析部份，基礎模型顯示 100 年石虎滅絕機率約為 2%，但災難模型結果顯示滅絕機率提升到 24%。敏感性分析結果顯示成體雌性繁殖比例及雌性死亡率對石虎族群的影響較大，未來應積極降低路殺或雞舍危害造成的個體死亡，尤其是雌性個體。

本研究受限於時間，仍有不足之處，雖然 2 個樣點有較多照片可以辨識出不同個體，但多數相機樣點尚未蒐集到足夠的相片來進行個體辨識，因此無法進行族群密度估算。後續相關研究建議可先設置密度更高的相機、同一個樣點使用兩台相機或使用誘餌吸引石虎以在短期內獲得大量的照片，建立樣區內石虎個體的資料庫後，再以相機照片作為再捕捉資料來估算族群密度。此外，目前自動相機廣泛應用在哺乳動物之調查，相關研究多以出現頻度指數(OI 值)作為不同研究或不同樣點之相對豐富度比較。然而，尚無研究證實 OI 值與物種實際密度有相關性。因此，未來利用照片來辨識石虎個體及估算族群密度後，探討每個點位石虎出現的個體數是否與該樣點石虎的 OI 值有相關。

石虎 PVA 是否可以準確預測其滅絕機率，取決於所使用參數的準確性。本研究 PVA 模擬過程，發現許多參數資料(例如出生率、死亡率、族群量等)的嚴重不足，許多資料參考對馬山貓，可能影

響到預測的準確性。建議未來仍應積極蒐集石虎生物學及生態學之資料，以提升 PVA 預測的準確率，提供石虎保育綱領研擬的基礎。

## 九、誌謝

本研究承蒙農業委員會特有生物研究保育中心的經費補助，研究期間，特生中心李訓煌副主任、林旭宏主任秘書、鄭錫奇組長、林育秀助理研究員及朱汶偵助理研究員給予相當多寶貴的意見，特此感謝。此外，感謝特生中心張仕緯副研究員及國立自然科學博物館陳彥君助理研究員協助石虎犬齒樣本的提供，並感謝國立嘉義大學農藝系莊愷瑋教授不吝提供冷凍切片機，沒有你們的協助，本研究無法順利完成。特生中心林冠甫及房兆屏在石虎生態調查及捕捉上提供許多寶貴的建議，以及日本學者 Nozomi Nakanishi 博士撥冗對犬齒切片生長輪判斷提供專業意見，在此一併致上最誠摯的謝意。

## 十、參考文獻

- 王翎、陳美汀、林育秀、李冠逸、劉建男、朱有田、裴家騏、袁孝維、盧道杰 (2014) 台灣石虎族群演化歷史之研究。2014 年動物行為暨生態學研討會。東海大學，台中。
- 林容安 (2013) 臺灣黑熊族群存續力分析。國立屏東科技大學碩士論文。
- 林良恭、姜博仁、王豫煌 (2017) 重要石虎棲地保育評析(2/2)。行政院農業委員會林務局 105-林發-07.1-保-30。
- 房兆屏 (2016) 南投地區石虎的分布與棲地利用。國立嘉義大學森林暨自然資源學系暨研究所碩士論文。
- 姜博仁、陳美汀、王玉婷、蔡作明、曾威、李佩珍、柯伶樺 (2018) 石虎補食利用模式研究-以苗栗地區放養家禽場所及森林作業空隙為例。農委會林務局新竹林區管理處。
- 莊琬琪 (2012) 苗栗通霄地區石虎(*Prionailurus bengalensis chinensis*)及貓(*Felis catus*)之食性分析。國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。
- 高嘉孜 (2013) 苗栗縣通霄鎮石虎(*Prionailurus bengalensis chinensis*)之移除模式及衝突探討。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。
- 陳美汀 (2015) 台灣淺山地區石虎(*Prionailurus bengalensis chinensis*)的空間生態學。國立屏東科技大學生物資源研究所博士學位論文。
- 陳美汀 (2018) 106 年度台中地區石虎族群調查及保育計畫。台中市政府農業局，台中，台灣。
- 鹿野忠雄 (1930) 台灣產哺乳類的分布及習性(二)。動物學雜誌 42:165-173。
- 楊吉宗、詹芳澤、何東輯、毛嘉洪、劉建男、張簡琳玲 (2004) 特有及稀有哺乳類保育生物學之研究-台灣黑熊及石虎 (3/3)。行政院農

- 委會特有生物研究保育中心 93 年度試驗研究計畫執行成果。16 頁。
- 裴家騏 (2008) 新竹、苗栗之淺山地區小型食肉目動物之現況與保育研究 (3/3)。行政院農業委員會林務局保育研究系列 96-01 號。
- 裴家騏和陳美汀 (2017) 105 年度台中地區石虎族群調查及保育計畫。台中市政府農業局，台中，台灣。
- 裴家騏和姜博仁 (2004) 大武山自然保留區及其周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物之現況與保育研究(三)。行政院農業委員會林務局保育研究 92-02 號。159 頁。
- 裴家騏、黃美秀、楊瑋誠、陳貞志、徐維莉、陳美汀、蔡其芯、梁又仁、潘怡如、王常宇 (2011) 瀕臨絕種野生動物保育醫學研究發展之石虎疾病研究 (1/1)。行政院農業委員會林務局 100 年度科技計畫研究報告。
- 裴家騏、盧道杰、黃美秀、趙芝良、陳美汀 (2014) 苗栗地區社區參與石虎保育工作推動計畫。行政院農業委員會林務局保育研究計畫系列 100-02-08-02。
- 趙明杰 (1993) 石虎的繁殖。動物園雜誌 50: 24-27。
- 劉建男、林金樹、林育秀等 (2016) 南投地區石虎族群調查及保育之研究委託計畫(2/2)。行政院農業委員會林務局保育研究系列 103-05 號。
- Armstrong, D.P. and J. G. Ewen (2001) Assessing the value of follow-up translocations: a case study using New Zealand robins. *Biological Conservation* 101:239–247.
- Bashir, T., T. Bhattacharya, K. Poudyal, S. Sathyakumar and Q. Qureshi (2013) Estimating leopard cat *Prionailurus bengalensis* densities using photographic captures and recaptures. *Wildlife Biology* 19:462-472.

- Basse, B., I. Flux, and J. Innes (2003) Recovery and maintenance of North Island kokako (*Callaeas cinerea wilsoni*) populations through pulsed pest control. *Biological Conservation* 109:259–270.
- Beissinger, S. R. and M. I. Westphal (1998) On the use of demographic models of population viability in endangered species management. *The Journal of wildlife management* 62(3):821-841.
- Boyce, M. S. (1992) Population viability analysis. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23:481-506.
- Cavallini, P. and S. Santini (1995) Age determination in the red fox in a Mediterranean habitat. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 60:136-142.
- Christensen-Dalsgaard, S., J. Aars, M. Andersen, C. Lockyer and N. Yoccoz (2010) Accuracy and precision in estimation of age of Norwegian Arctic polar bears (*Ursus maritimus*) using dental cementum layers from known-age individuals. *Polar Biology* 33:589-597.
- Clark, T. W. (1989) Conservation biology of the black-footed ferret *Mustela nigripes*. Wildlife Preservation Trust Special Scientific Report No. 3.
- Crowe, D. M. (1972). The presence of annuli in bobcat tooth cementum layers. *Journal of Wildlife Management* 36:1330-1332.
- Elliott, G.P. (1996) Mohua and stoats: a population viability analysis. *New Zealand Journal of Zoology* 23: 239–247.
- Fancy, S. G. (1980) Preparation of mammalian teeth for age determination by cementum layers: a review. *Wildlife Society Bulletin* 8(3):242-248.
- Garcia-Perea, R. and R. A. Baquero (1999) Age estimation in Iberian wildcats (*Felis silvestris*) by canine tooth sections. *Acta Theriologica* 44 (3):321-327, 1999.

- Gasaway, W. C., D. B. Harkness and R. A. Rausch (1978) Accuracy of moose age determination from incisor cementum layers. *Journal of Wildlife Management* 42:558-563.
- Grassman, L. I., E. T. Michael, J. S. Nova and K. Kreetiyutanont (2005) Spatial organization and diet of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in north central Thailand. *Zoology* 266:45-54.
- Grau, G., G. Sanderson and J. Rogers (1970) Age determination of raccoons. *Wildlife Management* 34:364-72.
- Grue, H. and Jensen, B. (1979) Review of the formation of incremental line in tooth cementum of terrestrial mammals. *Danish Review of Game Biology* 11:1-48.
- Hancox, M. (1988) Field age determination in the European badger. *The Annual Review of Ecology* 43:399-404.
- Harris, S., W. J. Cresswell and C. L. Cheeseman (1992) Age determination of badger (*Meles Meles*) from tooth wear: the need for a pragmatic approach. *Journal of Zoology* 228:679-684.
- Hofmeester, T. R. *et al.*, (2017) Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk. *Proceeding of Royal Society B* 284:20170453.
- Izawa, M., T. Doi, N. Nakanishi and A. Teranishi (2009) Ecology and conservation of two endangered subspecies of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) on Japanese islands. *Biological Conservation* 142:1884-1890.
- Karanth, K. U. and J. D. Nichols (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* 79:2852-2862.
- Lee, M.-J., W. Song and S. Lee (2015) Habitat mapping of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in South Korea using GIS. *Sustainability* 7:4668-4688.

- Linhart, S. and F. Knowlton (1967) Determining age of coyotes by tooth cementum layers. *The Journal of Wildlife Management* 31(2):362-365.
- Marnewick, K., P. J. Funston, and K. U. Karanth. (2008) Evaluating camera trapping as a method for estimating cheetah abundance in ranching areas. *South African Journal of Wildlife Research* 38:59–65.
- Mbizah, M. M., G. Steenkamp and R. J. Groom (2016) Evaluation of the applicability of different age determination methods for estimating age of the endangered African Wild Dog (*Lycaon Pictus*). *PloS One* 11(10):1-21.
- McCullough, D. R. (1974) Status of larger mammals in Taiwan. Tourism Bureau, Taipei, Taiwan. 35pp.
- Medill, S., A. Deocher, I. Stirling, N. Lunn and R. Moses (2009) Estimating cementum annuli width in polar bears: identifying sources of variation and error. *Journal of Mammalogy* 90(5):1256–1264.
- Molles Jr., M. C. (2002) *Ecology: Concepts and applications*. McGraw-Hill Companies Press.
- Monson, R. A., W. B. Stone, and E. Parks (1973) Aging red foxes (*Vulpes fulva*) by counting the annular cementum rings of their teeth. *New York fish and game journal* 20:54-61.
- Morris, W., D. Doak, M. Groom, P. Kareiva, J. Fieberg, L. Gerber, P. Murphy, and D. Thomson (1999) *A practical handbook for population viability analysis*. The Nature Conservancy, Washington, D.C., USA.
- Nakanishi, N., F. Ichinose, G. Higa and M. Izawa (2009) Age determination of the Iriomote cat by using cementum annuli. *Journal of Zoology* 279:338–348.
- Nellis, C. H., S. P. Wetmore and L. B. Keith (1978) Age-related characteristics of coyote canines. *Journal of Wildlife Management* 42:680-683.

- Oh, D. -H., S. Moteki, N. Nakanish and M. Izawa (2010) Effects of human activities on home range size and habitat use of the Tsushima leopard cat *Prionailurus bengalensis euptilurus* in a suburban area on the Tsushima islands, Japan. *Ecology and Field Biology* 33(1): 3-13.
- Ostfeld, R. S. and R. D. Holt (2004) Are predators good for your health? Evaluating evidence for top-down regulation of zoonotic disease reservoirs. *Frontal Ecology. and Environment* 2(1):13-20.
- Rajaratnam, R., M. Sunquist, L. Rajaratnam, and L. Ambu (2007) Diet and habitat selection of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis borneoensis*) in an agricultural landscape in Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Tropical Ecology* 23:209-217.
- Rosas-Rosas, O. C. and L. C. Bender (2012) Population status of Jaguars (*Panthera onca*) and Pumas (*Puma concolor*) in northeastern Sonora, Mexico. *Acta Zoologica Mexicana* 28(1):86-101.
- Shaffer, M. L. (1990) Population viability analysis. *Conservation Biology* 4:39–40.
- Signe N., M. Andersen and G. Nigel (2010) Accuracy and precision in estimation of age of Norwegian Arctic polar bears (*Ursus maritimus*) using dental cementum layers from known-age individuals. *Polar Biology* 33:589-597.
- Soisalo, M. K., and S. M. C. Cavalcanti. (2006) Estimating the density of a jaguar population in the Brazilian Pantanal using camera-traps and capture–recapture sampling in combination with GPS radio-telemetry. *Biological Conservation* 129:487–496.
- Stander, P. (1997) Field age determination of leopards by tooth wear. *African Journal of Ecology* 35:156–161.

- Stewart, R., B. Stewart, I. Stirling and E. Street (1996) Counts of growth layer groups in cementum in seals. *Marine Mammal Science* 12(3):383-401.
- Taipei Zoo (2004) Formosan Pangolin PHVA. Final Report. Taipei, Taiwan.
- Unger, S. D., T. M. Sutton and R. N. Williams (2013) Projected population persistence of eastern hellbenders (*Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis*) using a stage-structured life-history model and population viability analysis. *Journal for Nature Conservation* 21(6):423-432.
- Wielgus, R. B. (2002) Minimum viable population and reserve sizes for naturally regulated grizzly bears in British Columbia. *Biological Conservation* 106(3):381-388.
- Wolfe, M. L. (1969) Age determination in moose from cementum layer of molar teeth. *Journal of Wildlife Management* 33:428-431.

## 十一、附表

附表 1. 2018 年 7 月至 11 月 13 日南投中寮及鄰近地區石虎個體資料  
表(以 CC06-1 為例)

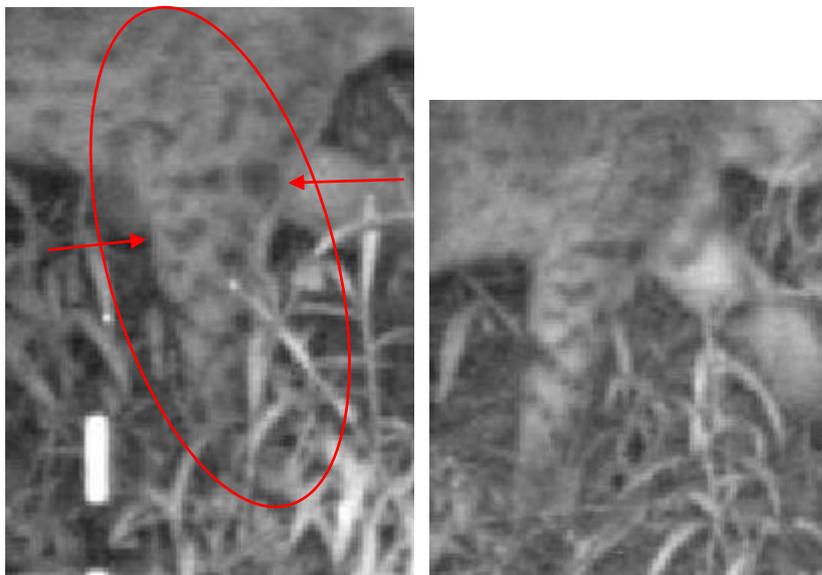
個體流水號		CC06-1	
性別		unknown	
首次拍攝日期		2018/09/05	
首次拍攝地點		CC06C01	
辨識強度			
比對出現			
日期	拍攝地點	照片編號	確認
2018/09/05	CC06C01	CC06-C01-S03-20180905-01~12	done
備註			
特徵描述：			
			
主幹：左側頸部有一 V 字黑斑			



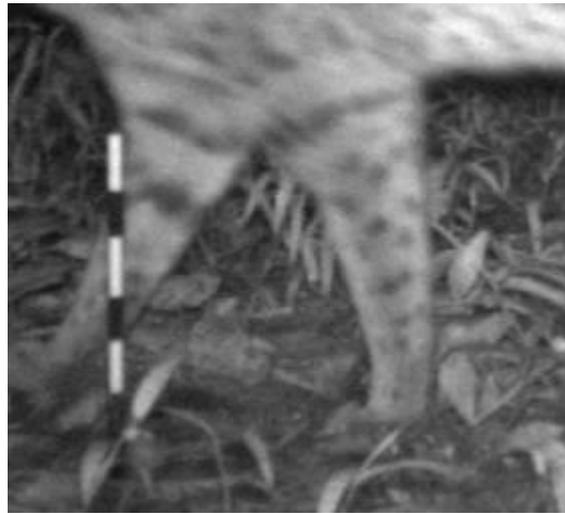
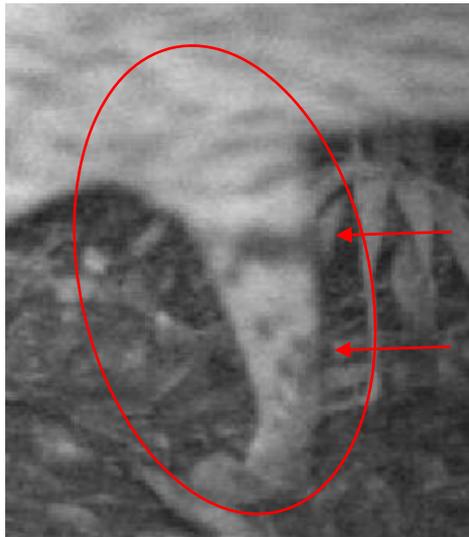
主幹：左前肢上方背側有一環形斑，其位於腿基部處上方。其上方有個V行波紋



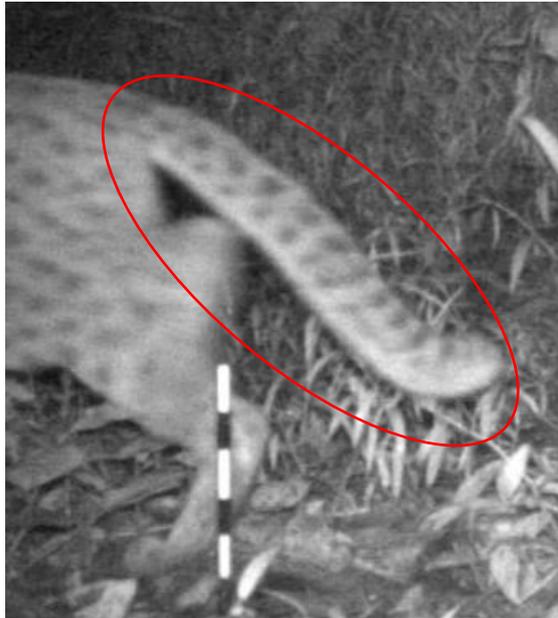
附肢：右前肢外側基部斑點呈橫帶且靠頭側斑塊大



附肢：左前肢外側基部有一列點斑，下方均勻



尾巴：尾紋寬屬於中等者



附表 2、本研究 PVA 使用之石虎生物學及生態學參數

Parameter	Baseline model	Roadkill model
<b>Scenario setting</b>		
Number of Iterations 模擬次數	1000	1000
Number of years 模擬多少年	100	100
Duration of each "year" in days 一年有幾天	365	365
Extinction Definition 滅絕的定義	only 1 sex remains	only 1 sex remains
Number of Populations 多少個族群	1	1
<b>Species Description</b>		
Inbreeding Depression 近交衰退		
Lethal equivalent	6.29	6.29
Percent due to recessive lethal alleles	50	50
EV Concordance of Reproduction & Survival	0.5	0.5
<b>Reproductive System</b>		
Mate 配偶制	long-term polygynous	long-term polygynous
Age of First Offspring Females 雌性首次繁殖 年齡	2	2
Age of First Offspring Males 雄性首次繁殖年 齡	3	3

Maximum Age of Female Reproduction 最大的繁殖年齡	10	10
Maximum Age of Male Reproduction 最大的繁殖年齡	10	10
Maximum lifespan	13	13
Maximum Number of Broods per Year 每年最多可生產多少胎	1	1
Maximum Number of Progeny per Brood 每胎最多可生產多少子代	3	3
Sex Ratio at Birth 出生性別比	50	50
Density Dependent Reproduction 繁殖密度依賴效應	不模擬	不模擬
<b>Reproductive Rates</b>		
Adult Females Breeding % 雌性繁殖的百分比	$(50 - ((50 - 25) * ((N/K)^2))) * (N / (1 + N))$	$(50 - ((50 - 25) * ((N/K)^2))) * (N / (1 + N))$
EV in % Breeding Environment 環境變化 (EV) 其繁殖的百分比	10	10
Distribution of broods per year 每年窩數的比例		
0 Broods	0	0
1 Broods	100	100
Specify the distribution		

of number of offspring		
per female per brood		
每窩子代數的比例		
1 Offspring	35.5	35.5
2 Offspring	53	53
3 Offspring	11.5	11.5
<b>Mortality Rates</b>		
Females age from 0 to 1	50	50
雌性幼體死亡率		
SD in females 0 to 1 due to EV	15	15
Females age from 1 to 2	20	20
雌性亞成體死亡率		
SD in females 1 to 2 due to EV	6	6
Females after age 2	8	8
雌性成體死亡率		
SD in females after age 2 due to EV	2	2
Males age from 0 to 1	50	50
雄性幼體死亡率		
SD in females 0 to 1 due to EV	15	15
Males age from 1 to 2	20	20
雄性亞成體死亡率		
SD in females 1 to 2 due to EV	6	6
Males age from 2 to 3	8	8
雄性成體死亡率		
SD in females 2 to 3 due to EV	2	2

Males after age 3 雄性成體死亡率	8	8
SD in females after age 3 due to EV	2	2
<b>Mate Monopolization</b>		
%Males in breeding pool	47.5	47.5
Calculate from % males siring	40	40
Calculate from # males / successful sire	2.2	2.2
<b>Initial Population Size</b>		
Stable/specified age distribution	stable	stable
Initial population size 初始族群大小	400	400
<b>Carrying Capacity</b>		
Carrying capacity (K) 承載量	830	830
SD in K due to EV	10	10
<b>Catastrophes 災難</b>		
	不模擬	1
Frequency%		100
Reproduction		0.994
Survival		0.977

附表 3. 期中審查意見回覆

審查委員	審查意見	意見回覆
李委員 訓煌	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 引用文獻部分有誤，某篇有共同作者，只有呈現第一作者，請再確認。</li> <li>2. 相關研究可用表呈現。</li> <li>3. 自動相機剩餘的樣點還缺 18 區，預計何時能夠完成？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理。</li> <li>2. 前言之相關研究較為瑣碎，用表不容易呈現，因此維持原來以文字敘述的方式。</li> <li>3. 已於 2018 年 8 月份全部架設完成。</li> </ol>
林委員 旭宏	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 樣區規劃的方式是否跟本中心其他研究座標系統一致？</li> <li>2. 說明對馬山貓PVA的參數是否與面積有關？對馬島的大小與台灣不一樣，是否能跟台灣做比較？</li> <li>3. 以一百年的滅絕率3%在石虎族群算高或低?是否有其他相對應的物種可以做參考?是否有其他物種也使用此方式估算出的滅絕率是高的？</li> <li>4. 紅外線相機資料未來是否能夠匯入特生中心全臺灣相機資料庫？</li> <li>5. 現有架設相機的位置選用過去OI值高的地區是否再估算密度會有高估的情況？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已與中心棲地組林瑞興組長確認，使用座標系統一致。</li> <li>2. PVA 的參數與物種的生物學參數較相關，與島嶼面積無關。</li> <li>3. 每個物種因為生物特性不同，所以不容易比較。但 IUCN 以 PVA 所模擬的滅絕機率來作為物種保育等級的標準之一，若 100 年內滅絕機率大於 10%，列為易危(Vulnerable)等級，100 年滅絕機率小於 10%則列為低危險等級。</li> <li>4. 本研究相機資料將匯入特生全台灣相機資料庫。</li> <li>5. 本研究之目的之一在建立以相片中石虎可辨識特徵來作為個體辨識依據，並發展密度估算方法，越多的石虎相片有助個體判別，因此選擇 OI 值較高的區域。本方法如果可行，未來要估算全台灣石虎族群量時，仍應選擇數個不同地區的樣區來評估，才能避免產生誤差。</li> </ol>
鄭委員 錫奇	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 族群密度如何估算，可再詳述。</li> <li>2. 如何得知牙齒年輪一輪 (15<math>\mu</math>m) 所代表之年齡 (是代表一年、半年、一季之年齡)？</li> <li>3. 參考文獻 P.13 加上南投縣縮圖，再指出樣區之所在；P15 表2說明結尾不使用“。”；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 密度估算是先利用特徵來辨識個體後，利用自動相機照片來當作重複取樣(recapture)的工具，套入已開發之 Spatial Explicit Capture-Recapture (SECR)模型即可獲得。</li> <li>2. 通常要有已知年齡的個體來作</li> </ol>

	以及參考文獻P19 文獻順序需微調。	為佐證。包括西表山貓等許多物種都已經證實一年會有一個生長輪，但也有些物種不是。 3. 遵照委員意見辦理。
林委員 育秀	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PVA部分：台灣初始族群估算範圍很大，目前尚未看到以不同數值去估算PVA，現以500隻進行估算，不知道以400-600隻進行估算是否會有差異？</li> <li>2. 乘載量2000如何估算？以現有面積可能無法代表實際的分布狀況。乘載量2000是以現有石虎可能存在的面積所估算的2000或是以現有實際分布區域所估算的2000？</li> <li>3. 簡報中於PVA對馬山貓與台灣石虎之自然災害參數有誤。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PVA 部分，基礎模式的初始族群已更改為設定為 400 隻，敏感性分析則設定 320-480 隻 (400 隻±20%)，結果顯示對族群成長率及最後族群量的影響皆不大。</li> <li>2. 林良恭等(2017)估算全台石虎可利用棲地面積約為 3,453km<sup>2</sup>，約可容納 755-1079 隻石虎，承載量設定 2000 隻明顯高估，已修正為 664-996 隻 (830 隻±20%)進行模擬。</li> <li>3. 謝謝委員意見。</li> </ol>
朱委員 汶偵	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PVA 災難10%如何定義?災難如何評估對石虎影響，如何區分災難、路殺？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 PVA 模擬中，災難是指一次會造成大規模死亡(50%或以上的族群)的事件。Reed et al. (2003)根據 88 種脊椎動物的研究發現，平均每個世代約會有 14%的機率會有災難產生，為 PVA 的預設值。本研究模擬每年發生災難的機會是 10%，該災難包括棲地喪失、天然災害、疾病等所造成的死亡。</li> </ol>

附表 4. 期末審查意見回覆

審查委員	審查意見	意見回覆
李委員 訓煌	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告格式依照中心格式處理。</li> <li>2. 補上摘要、結論與建議。</li> <li>3. 附上歷年委員審查意見。</li> <li>4. 加上委辦工作項目內容。</li> <li>5. 保育策略部分是否能依照優先順序加以敘述？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理。</li> <li>2. 遵照委員意見辦理。</li> <li>3. 已附上期中跟期末審查意見回覆。</li> <li>4. 遵照委員意見辦理。</li> <li>5. 已依照優先順序敘述。</li> </ol>
林委員 旭宏	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 關於本計畫30平方公里的網格調查，在資源不充足的情況下，是否可使用其他地區的長期資料來進行相同的資料分析？</li> <li>2. 在石虎牙齒紀錄上使用的盲測，是否能用平均以外的方式來分析？</li> <li>3. 樣點座標資料部分建議可將TWD97換算成經緯度。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究設置 30 平方公里樣區網格調查的主要目的是在建立估計石虎族群密度的方法，並希望能建立單一相機樣點拍到石虎個體數與該相機樣點 OI 值的關係式，如果證實 OI 值能反映個體數，則此法可以應用於其他地區僅利用相機作為長期監測的資料分析。</li> <li>2. 本研究犬齒生長輪的判定，最後參考日本學者(Dr. Nozomi Nakanishi)的專業意見，不再使用盲測者的平均值。</li> <li>3. 參考南投(劉建男等 2016)、苗栗(姜博仁等 2018)等多個石虎相關的研究，皆以 TWD97 座標系統來呈現。本研究保留 TWD97 座標系統，將來有需要時再轉換成經緯度座標系統。</li> </ol>
鄭委員 錫奇 (書面 意見)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本報告內容充實，具有研究深度，執行成果大致良好。</li> <li>2. “建立石虎族群密度估算”為本計畫研究目的之一，然摘要提及“因為石虎照片數太少，尚無法進行密度估算”，請問可有預估需要多少張石虎照片，始可進行密度估算？</li> <li>3. 承前一題：雖然石虎目前在台灣分布相當侷限(主要為台灣西部之苗栗、台中、南投等)，然本計畫的研究樣區更侷限(僅選南投之中寮及鄰近地</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的肯定。</li> <li>2. 本研究之族群密度方法，必須先建立樣區內個體可辨識的特徵資料，作為分辨不同個體的判斷依據(capture)，再利用後續拍到的照片來作為「再捕捉」資料(recapture)，以評估密度。本研究可能因為相機架設時間短，雖然部分樣點有較多的有效照片，可以辨識出不同個體，但多數樣點僅拍到一筆有效照片數，在不同相機拍到的石虎是否屬於同一隻個體的判</li> </ol>

	<p>區)，是否為“因為石虎照片數太少，尚無法進行密度估算”的主因？由表2觀之，石虎拍得之照片數、OI值及出現樣點數，相較於研究樣區其他共域的野生哺乳動物似乎已然不少(低)。</p> <p>4. 目前本計畫已進行6具籠具27個捕捉籠之野外誘捕工作，然而尚未捕捉到石虎(且亦未捕獲其他野生食肉目動物?)。可能原因為何？</p> <p>5. 關於“石虎保育行動綱領”之訂定，可有國外其他案例可供參考？本計畫有關石虎保育策略擬訂部分(P.25)，重點在於“面臨威脅提出改善策略”及“加強基礎資料蒐集”而羅列8個項目。然而，對於石虎的重要棲地(淺山地區)之保育規劃似未著墨？是否有推行石虎“野生動物重要棲息地”之劃設必要？另若短期內無法改善生存威脅而促進族群量增加，為有效降低滅絕危機，是否有考量域外保育之繁殖生物學研究，以即時增加族群量(野放至野外棲所)？</p> <p>6. 於報告中考慮增加“結論與建議”項？</p>	<p>斷上尚有困難，因此無法有效估算族群密度。如果有較多照片(無法準確說需多少張照片才夠)，可以提供較多清楚、可辨識的特徵，對於估算密度會更準確。</p> <p>3. 本研究的目的之一在評估「利用自動相機拍到的石虎照片來估算族群密度」的可行性，因此一開始選擇的樣區即為石虎相對密度較高的區域。本研究因為照片不足，尚無法建立樣區內大多數石虎的特徵資料，因此尚無法進行密度評估。加強的方式可以在同一樣點架設兩台相機，增加辨識個體的機會，或是提高相機架設的密度，增加拍攝到石虎的機會。</p> <p>4. 有捕獲1隻貓，已於內文中說明。本研究有拍到石虎在捕捉籠附近徘徊，但推測因為生性謹慎，不易捕捉。如長期設籠，使其習慣籠具，應有機會捕獲。</p> <p>5. 國外文獻有針對貓科動物(e.g. 佛羅里達山獅)的保育行動方案(action plan)可供參考，但因為每個物種所面臨的威脅不同，因此有不同的保育策略。石虎棲地保育部分已加入說明。石虎自然棲地有許多威脅，例如棲地零碎、疾病、犬貓競爭等，因此降低這些威脅的域內保育是較優先的方式，如果這些威脅無法消除或降低，即使繁殖、野放再多個體仍無法有效提升野外族群量。但建立繁殖技術、妥善管理圈養個體有其必要性。</p> <p>6. 已增加結論與建議。</p>
<p>林委員 育秀</p>	<p>1. 建議加入“保育類核准文號”和相關資料。</p> <p>2. 在牙齒切片16個樣本的分析上，建議可以請有經驗之日本</p>	<p>1. 已於內文加入保育類利用核准文號，並於附錄附上核准公文。</p> <p>2. 本研究犬齒生長輪的判定，最後有參考日本學者(Dr.</p>

	<p>學者協助判斷以比對正確性</p> <p>3. 針對樣本中標本庫的資料，應可查詢製作標本前石虎的體重及相關資訊，用以比對減少判斷及分析上的誤差。</p> <p>4. 針對三個縣市各設置兩個30平方公里網格調查的建議是否得當？舉例來說台中調查密度低、拍攝狀況不佳，拿來比對密度可用資料又更少，可能只有苗栗、南投較有潛力執行，建議是否以日本西表島10年調查一次的頻度，且一次以2年做細部調查為建議方向。</p>	<p>Nozomi Nakanishi)的專業意見。</p> <p>3. 已加入樣本的基本資料。多數樣本來自道路致死個體，體重資料可能不準確，因此沒有放入。</p> <p>4. 要準確估計全台的石虎密度，樣區數必須夠多、且應涵蓋不同密度之區域，才不會產生太大的誤差。因此在經費及人力許可之前提下，才建議3個縣市各設置兩個樣區，進行密集且系統性的調查。可以不用每年評估一次密度，可以5年或10年評估一次。</p>
<p>朱委員 汶偵</p>	<p>1. 對於樣區流浪貓狗的問題是否有解決方法？流浪貓狗與石虎間有沒有關聯性？</p> <p>2. 不同樣區點位的石虎辨識上大多是一個樣區辨識出一隻石虎，部分樣點可辨識出2~3隻的石虎，那些樣點的石虎是成體還是亞成體？為何牠們會有共域的情況？</p>	<p>1. 全台灣低海拔地區皆發現有許多家犬、家貓，過去不同單位皆曾呼籲應妥善處理，然迄今尚無有效的解決方法。目前尚無證據顯示犬、貓的存在會造成石虎族群量下降，但近來之研究顯示遭致路死之石虎有相當高比例帶有小病毒，推測可能是犬、貓等所傳染，且犬、貓會與石虎競爭食物及空間，但實際的影響有多大仍未知。</p> <p>2. 除非體型有明顯差異，否則目前由斑紋無法判斷成體或亞成體。通常雄性成體間會有較明顯的領域，每一隻成體雄性領域內可能容許不同隻雌性成體或亞成體存在，因此會有不同個體共域情況。</p>

## 十二、附圖



附圖 1. 為協助石虎照片個體辨識，拍攝範圍內設置之比例尺示意圖。(a)比例尺，(b)標記之童軍繩。



附圖 2. 籠具遮蔽設施示意圖。



附圖 3. 簡訊相機拍攝到石虎在籠具附近活動。

### 十三、附錄

此部分涉及個資網路不公開