

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

碩士學位論文

排遺偵測犬在臺灣石虎保育之應用

Application of the scat detection dog in the conservation of
leopard cats in Taiwan

指導教授：黃美秀 博士

研究生：李彩玉

中華民國 104 年 7 月 16 日

摘要

學號：M10017005

論文題目：排遺偵測犬在臺灣石虎保育之應用

總頁數：91

學校名稱：國立屏東科技大學 系(所)別：野生動物保育研究所

畢業時間及摘要別：103 學年度第 2 學期碩士學位論文摘要

研究生：李彩玉 指導教授：黃美秀 博士

論文摘要內容：

瞭解物種的地理分布範圍和其對棲息地的偏好和需求對制定有效的物種管理和保育政策來說相當重要。利用排遺偵測犬搜尋活動範圍大、隱密性高又稀有的物種排遺，不僅提升效率，同時節省了 DNA 檢測費用。本研究旨在訓練排遺偵測犬搜尋及辨識石虎和貓的排遺，並彙整苗栗地區的石虎點位資料製作石虎地理分布預測圖。排遺偵測犬的室內外的正確率分別為 86 % 和 83 %，而室外的偵測率為 75 %。在苗栗地區共進行 32 條樣線調查，總計搜尋到 18 個目標排遺，並確認其中 12 個為石虎排遺，排遺正確率 100%。利用 2004-2013 年的 128 筆石虎點位資料，以 MaxEnt 建構石虎預測模式，模式的訓練和驗證資料平均 AUC 值分別為 0.917 和 0.874，顯示模式適合度良好。預測結果顯示有 296.56 平方公里為石虎的地理分布，為樣區面積的 15 %，以海拔、坡度、森林覆蓋度和離道路最近距離為影響分布的主要因子。

關鍵字：苗栗地區、石虎、地理分布、排遺偵測犬、MaxEnt

Abstract

Student ID: M10017005

Title of Thesis: Application of the scat detection dog in the conservation of the leopard cats in Taiwan

Total Page: 91

Name of Institute: Institute of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology

Graduate Date: July 2015 Degree Conferred: Master

Name of Student: Lee Choy Yuh Adviser: Dr. Mei-Hsiu Hwang

The Contents of Abstract in This Thesis:

Geographic distribution and habitat use are critical information for effective wildlife conservation and management. Using scat detection dog in surveying for scats on endangered species can save expense of DNA analysis and be more effectively. This study objective to use a scat detection dog to find and distinguish scats of leopard cats (*Prionailurus bengalensis chinensis*) and domestic cats (*Felis catus*). Additionally, this study collected the presence locations in Miaoli County to establish the predicted distribution maps of leopard cats. The accuracy rate of the dog scat detection in indoor and outdoor was 86 % and 83 %, respectively. The detection rate in outdoor was 75 %. In 32 surveys, the scat detection dog found 18 scats, including 12 leopard cat scats after DNA identification. In the MaxEnt model, 128 presence locations of leopard cats collected in 2004-2013 were applied to establish the distribution prediction model of leopard cats, the AUC of

training and test data were 0.917 and 0.874, respectively. The predicted distribution covered 296.56 km² (15 % of the study area). Among the environmental factors, elevation, aspect, coverage of the forest and distance to the nearest road were the most important factors to explain the geographic distribution of leopard cats.

Keywords: Miaoli County, *Prionailurus bengalensis chinensis*, geographic distribution, scat detection dogs, MaxEnt

謝誌

本研究承蒙 103 年度臺北市立動物園委託動物認養保育計畫之經費支持，各位審查委員的指教與臺北市立動物園認養小組王儷靜小姐等人於行政事務上熱心提供各項協助，讓研究得以順利完成。

感謝指導教授黃美秀老師這 4 年半來對我循循善誘的教導和栽培。不但在課堂上授予許多科學保育的知識，野外調查時也身體力行告訴學生做科學的嚴謹態度，同時關心學生的學習狀況。

本研究感謝保育計畫主持人裴家騏老師在研究報告和行政事務上給予的指導和協助，口試委員賴玉菁老師和姜博仁博士對論文的修改和建議。同時感謝中興大學生命科學系吳聲海老師和觀察家生態顧問有限公司劉威廷經理提供苗栗地區的石虎點位資料，臺灣大學動物科學技術學系朱有田老師及助理王翎協助排遺的 DNA 鑑定事宜。

在偵測犬訓練上，本研究特別感謝屏東科技大學偵測犬訓練中心紐西蘭籍訓練師 Rene Gloor、王嘉瑩訓練師、蔣美君訓練師協助排遺偵測犬的訓練，並指導領犬員解決訓練所遇到的問題。感謝偵測犬訓練中心助理林欣燕小姐在偵測犬的照養及住宿上的協助，感謝過去排遺偵測犬工讀生品愆、雅筑、琦雯、健鑫、好庭和凱祥在偵測犬日常照養之協助，讓我在訓練之餘不用操心偵測犬的其他事務。

本研究感謝行政院農業委員會特有生物保育研究中心和屏東科技大學野生動物收容中心提供圈養石虎排遺作為偵測犬訓練和測試之用途。感謝宏遠興業股份有限公司提供之「學生野外調查裝備獎助」，讓學生在野外調查期間穿著合適的服裝。感謝苗栗縣通霄鎮楓樹里里民阮光明和徐璟蓉熱心提供野外調查期間的住宿。

感謝始終為石虎保育鞠躬盡瘁的陳美汀博士，在研究期間不斷鼓勵我。當我在苗栗地區進行野外調查時，帶領我熟悉當地環境，並無私地和我分享搜尋石虎排遺的經驗，提供我需要的意見和幫助。特別感謝潘怡如學姐，不僅在偵測犬訓練上無私授予寶貴的經驗並提供建議，偵測犬野外調查初期，亦陪同前往苗栗地區，指導我野外調查進行模式。感謝楊富強先生協助製作室內測試所使用之實驗平台，感謝獸醫師陳芸詩提供偵測犬野外調查期間的醫療協助。

感謝特生中心助理林冠甫、林育秀及收容中心食肉目組照養員協助石虎排遺樣本採集，熱心提供貓排遺的趙羚雅、汪采葳、潘鈺婷、蔡其芯和霍凱婷。感謝野外調查期間的所有志工，包括林靜芬、蔣杰安、李婉伶、李亭蓉、游顯光、張淑萍、劉怡君、廖靖婷和孫緣美，感謝苗栗縣通霄鎮楓樹里石虎米團隊和巡守隊的好朋友，包括林義雄、徐昌田夫婦、李隆樺夫婦、徐金發夫婦，及已故徐吉宗先生和其遺孀。同時感謝所辦行政助理潘郡筠、本研究室行政助理林湘羚和蘇莉婷，以及裴老師實驗室助理陳秀萍和草莓在行政事務和研究經費核銷上的諸多幫忙。

感謝這 4 年半一起在哺乳動物生態研究室為了野生動物保育奮鬥的所有成員，包括林容安、高嘉孜、秦庭妮、陳昇衛、曾貴鴻、蔡蕙雯和林宛青。另外，要特別感謝研究助理蔡幸蒨和郭彥仁協助論文的寫作及修改，並感謝兩位學長姐在實驗室野外調查時的帶領和教導。謝謝從一年級就互相扶持的 100 級野保所成員，包括杜昆盈、陳仁真、葉川逢、賴智恩和梁瑋，及學姐莊琬琪和李文瑄，感謝大家一直以來對我的照顧。

特別感謝我親愛的夥伴 Colby，謝謝你總在我陷入低潮時帶給我希望，讓我相信我們可以做到，才能一起走到今天，完成研究。感謝親愛的夥伴孫緣美，不管心情好壞，難過或開心，謝謝妳一直陪著我完成它。

最後，謝謝我的爸爸媽媽李日新先生和莫秀蓮女士，辛苦工作撫養我、供養我，直到碩士畢業。每次回家都不忍心看你們日益蒼白稀疏的頭髮，感謝你們總是如此寵愛我這個叛逆的女兒。

目錄

摘要	I
Abstract	II
謝誌	IV
目錄	VI
圖表目錄	VIII
壹、前言	1
貳、文獻回顧	4
一、物種分布預測模式	4
二、石虎	5
三、排遺偵測犬	7
參、材料與方法	9
一、研究樣區	9
二、排遺偵測犬	9
三、偵測率實驗	11
四、偵測犬野外調查	14
五、石虎預測分布圖	16
肆、結果	21

一、偵測率實驗.....	21
二、偵測犬野外調查.....	21
三、石虎預測分布圖.....	23
伍、討論.....	26
一、排遺偵測犬.....	26
二、石虎預測分布圖.....	28
陸、結論.....	31
參考文獻.....	32
附錄 1、苗栗地區的野外環境和排遺偵測犬組野外工作照。.....	78
附錄 2、內政部國土測繪中心在 2006 年-2008 年度所建置的國土利用調查 成果圖層說明。.....	79
附錄 3、偵測犬搜尋的石虎排遺和麝香貓排遺照片。.....	89
附錄 4、103 年度臺北市立動物園委託動物認養保育計畫成果報告審查意 見。.....	90
作者簡介.....	91

圖表目錄

圖 1、苗栗縣位置圖。.....	42
圖 2、排遺偵測犬 Colby。.....	43
圖 3、室內實驗測試平台。.....	44
圖 4、室外實驗示意圖。.....	44
圖 5、排遺偵測犬在苗栗地區搜尋的樣線圖。.....	45
圖 6、MaxEnt 預測模式之受方操作曲線 (Receiver Operating Characteristic, ROC)。.....	46
圖 7、以拆刀分析法分析 MaxEnt 模式中各環境因子之單一獲益和損失關係與訓練和驗證獲益之關係。.....	47
圖 8、以拆刀分析法分析 MaxEnt 模式中各環境因子之單一獲益和損失關係與 AUC 之關係。.....	48
圖 9、MaxEnt 模式所預測之石虎分布圖，樣區以藍色代表，預測有石虎分布的網格以黃色代表。.....	49
圖 10、石虎預測分布圖 (南部地區-苑裡鎮和通霄鎮)。.....	50
圖 11、石虎預測分布圖 (南部地區-三義鄉、銅鑼鄉和卓蘭鎮)。.....	51
圖 12、石虎預測分布圖 (中部地區-後龍鎮、西湖鄉和苗栗市)。.....	52
圖 13、石虎預測分布圖 (中部地區-造橋鄉、頭屋鄉和獅潭鄉)。.....	53
圖 14、石虎預測分布圖 (北部地區-三灣鄉和頭份鎮)。.....	54

圖 15、以排遺偵測犬搜尋的石虎排遺點位，檢核石虎預測分布圖。 ..	55
圖 16、樣區和預測有石虎的網格之海拔及坡度的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。	56
圖 17、樣區和預測有石虎的網格之森林覆蓋度及離森林最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。	57
圖 18、樣區和預測有石虎的網格之道路密度及離道路最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。	58
圖 19、樣區和預測有石虎的網格之離水源最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。	59
圖 20、連結南部兩大主要石虎分布區域的生態廊道設置地點建議。 ..	60
圖 21、連結中部兩大主要石虎分布區域的生態廊道設置地點建議。 ..	61

表 1、世界十二種石虎的亞種及分布概況。.....	62
表 2、以非入侵式方法調查短尾貓 (<i>Lynx rufus</i>)之比較。.....	63
表 3、土地利用類型圖層分類依據，以及其在「內政部國土利用調查」 中的代碼對照表。.....	64
表 4、室內測試結果。.....	65
表 5、室外測試結果。.....	66
表 6、野外調查的出差天數及搜尋的排遺數量。.....	67
表 7、偵測犬野外調查初期練習搜尋排遺狀況。.....	68
表 8、偵測犬搜尋樣線和其環境因素基本資料。.....	69
表 9、偵測犬野外調查樣線搜尋的石虎排遺點位和其環境因素基本資 料。.....	73
表 10、偵測犬野外調查樣線搜尋的排遺 (DNA 鑑定失敗)點位和其環境 因素基本資料。.....	75
表 11、各預測因子之間的皮爾森相關係數 (Pearson's correlation coefficient)。.....	76
表 12、以 Mann-Whitney U 檢定比較研究樣區和預測有石虎分布的網格 各項因子的差異，結果顯示石虎對相關因子具有選擇性。.....	77

壹、前言

人類活動所導致的氣候變遷和棲息地破壞是陸生動物生物多樣性的主要威脅 (Cuyckens *et al.*, 2015)。自公元 1500 年以來，已經有 322 種陸生脊椎動物滅絕；截至目前為止，全球共有 16-33% 脊椎動物的生存受到威脅或是瀕臨絕種 (Dirzo *et al.*, 2014)。由世界自然基金會 (World Wide Fund for Nature, WWF) 在 2014 年發表的《地球生命力報告》(Living Planet Report) 指出從 1970-2010 年間，陸生動物的生命地球指數 (Living Planet Index, LPI) 下降了 39% (WWF, 2014)。生命地球指數是檢測全球生物多樣性的眾多指標之一，其反映自 1970 年以來地球生態系統 (森林、淡水及海洋) 及生物多樣性的改變，該指數也被用來衡量地球自然生態之健康狀況。

人類不斷開發和砍伐森林，壓縮了大多數動物的棲息地，棲息地的喪失和破碎化增加了物種滅絕的危機。想要制定有效的物種管理和保育政策，詳細且持續性的生物族群資料為經營管理的重要依據，而瞭解相關物種地理分布範圍和它們對棲息地的偏好和需求即為最重要的資料 (Phillips *et al.*, 2004; Hernandez *et al.*, 2006; Pearce and Boyce, 2006; Harrington *et al.*, 2010)。瞭解物種的地理分布之後，可以更進一步調查其相關生態資料如監測族群變化、確認物種受威脅程度，以及制訂相對的保育措施如設立保護區等。

瀕危物種數量稀少、活動範圍廣且隱蔽性高的特性，增加了野外調查的難度。利用傳統的野生動物調查方法如捕捉標記再捕捉法和動物痕跡調查法等直接或間接的方法，往往消耗了許多的時間、人力和金錢，通常得到的相關資料卻非常有限，難以在短時間內完成完整的地理分布調查，或是因為方法學上的限制而造成調查結果有所誤差 (Smith *et al.*, 2003; 黃美秀, 2004; Dematteo *et al.*, 2009; 蔡幸蓓, 2011)。

物種分布模式(Species Distribution Model, SDM) 近年來被廣泛使用，其利用統計的方法量化物種點位與環境因子之間的相關性，進一步推估物種潛在的地理分布範圍。物種分布模式結合遙測資訊 (Remote Sensing)、地理資訊系統 (Geographic Information System)和全球定位系統 (Global Positional System)更成為近年來廣泛使用於生態學和保育生物學的分析方法。利用這種方法預測尚未調查地區物種的分布情形，大大地改善了野外調查研究在人力、財力和時間上的限制，尤其適用於分佈範圍廣、隱蔽性高且具有領域性的物種。

對於隱密性高又稀有的動物而言，物種存在的點位資料取得不易，非侵入式調查方法相對於傳統調查方法需要捕捉或是觀察動物個體來說，可行性較高 (Smith *et al.*, 2003)。在臺灣，目前調查野生動物最廣泛被使用的非入侵性調查方法是自動相機。自動相機可以在不干擾動物的情況下，確認物種的存在，並且透過收集其棲息地的環境特徵資料，進一步反映物種對棲息地的選擇性，同時在研究經費和人力資源較缺乏的情況下有效地進行長期且連續的資料收集 (黃美秀，2004)。

在野外，排遺是最容易收集到的動物副產品，可以在不干擾動物的情況下收集 (Wasser *et al.*, 2009)。從排遺可以得知動物的分布地點、食性、寄生蟲疾病等。早在 1890 年，紐西蘭的學者就已經利用狗尋找紐西蘭特有種的鴉鸚鵡 (*Strigops habroptilus*)和奇威鳥 (*Apteryx australis australis*, *Apteryx owenii*)的排遺 (MacKay *et al.*, 2008)。自 1990 年代晚期，人們開始利用狗的敏銳嗅覺，訓練成專門尋找排遺的「排遺偵測犬(Scat Detection Dog)」。

繼臺灣雲豹在 2014 年被學者宣布可能已滅絕之後 (Chiang *et al.*, 2015)，石虎就成為了臺灣碩果僅存的野生貓科動物，然而目前在臺灣關於石虎的生態資訊仍十分缺乏。根據林良恭等人 (2008)的資料收集文獻指出，石虎早期曾廣泛分佈於臺灣全島地區，在海拔 1500 公尺以下的低海拔地區均可發現其蹤跡。近年由於人類不斷開發發展，石虎和人類的活動範圍重疊性日益增加，但棲息地卻不斷縮小，棲息地破碎化日益嚴重。目前臺灣的石虎族群數量已經較從前大幅度減少許多，僅在苗栗到

嘉義之間的低海拔丘陵山區還有零星的石虎族群出現 (張簡琳玫等人, 2004), 前景令人堪憂, 然而過往的點位資料只能零星的點出臺灣石虎分布的區域, 卻無法瞭解實際上分布的範圍和其偏好的棲地環境。

由於石虎棲息地和人類的活動範圍重疊性非常高, 和一般野貓的活動範圍重疊性也非常高, 過去即使是研究者在野外發現排遺, 也因為其排遺和野貓的排遺相似度太高而無法有效辨別真偽。雖然隨後可以利用 DNA 鑑定技術分辨, 但檢測的費用卻會隨著所收集到的排遺數量而提升, 成為相關研究的一大負擔。利用排遺偵測犬在範圍較廣的研究樣區有系統的收集目標物種的排遺, 不僅大大提升了調查的效率, 同時也節省了不少時間和人力還有後續的檢測費用。

雖然排遺偵測犬在國外早已行之有年, 臺灣目前卻未有任何排遺偵測犬相關的研究。因此本研究目的為訓練排遺偵測犬在室內和戶外環境搜尋及分辨石虎和貓的排遺, 並以排遺偵測犬搜尋在苗栗地區的石虎排遺。除此之外, 也收集過去在苗栗地區石虎的點位資料並且結合地理資訊系統和物種分布模式 MaxEnt 製作石虎在苗栗地區的地理分布預測圖。本研究包括以下 3 項:

- (1) 排遺偵測犬在室內和室外偵測及區分石虎和貓之排遺的實驗。
- (2) 利用排遺偵測犬搜尋苗栗地區的石虎排遺。
- (3) 預測石虎分布圖和瞭解影響其分布的因子。

貳、文獻回顧

一、物種分布預測模式

物種的分布一般並非呈現隨機分布，其對棲息地的偏好通常由非單一環境因子所造成，除了海拔、植被等自然因素之外，人為干擾也是重要的因素之一。透過物種分布模式，我們可以瞭解物種和各因子之間的關係，藉此釐清影響物種分布的重要因子，也可以進一步規劃生態廊道或是保護區的設立。

物種分布模式種類繁多，大致上共分為 2 類：(1)只需要物種出現的點位資料 (presence)；(2)需要物種出現的點位和沒出現的點位資料 (presence/absence)。由於在調查密度低、隱密性高的稀有物種時，沒有分布的資料容易因為實際上存在但研究人員沒發現而產生誤差，進而影響預測模式的準確性。因此只需要物種存在資料的預測模式，近年來迅速發展並且被應用於各種野生動物的研究上 (Hernandez *et al.*, 2006；Wilting *et al.*, 2010；蔡幸蒨，2011 年；賴智恩，2013 年)。

只需要物種出現資料的預測分布模式 MaxEnt (Maximum Entropy，最大熵演算法)，是近年來被廣泛運用物種分布模式之一，利用 MaxEnt 和地理資訊系統結合的分析方法已被廣泛地應用在國內外各物種的研究上。MaxEnt 的優點包括：(1)只需要物種存在的資料；(2)可以同時利用連續和分類的因子，結合不同因子間的相互作用；(3)就算只有較少的資料，也能有良好的預測能力；(4)預測結果易於分析 (Philips *et al.*, 2006)。

在臺灣，利用 MaxEnt 進行預測分布的研究包括臺灣水青岡、臺灣赤楊、穿山甲和臺灣黑熊等等 (蔡幸蒨，2011 年；賴智恩，2013 年；江鴻猷等人，2014；邱清安等人，2014)。在國外，MaxEnt 也被廣泛地運用於預測貓科動物地理分布的研究上，包括安第斯山貓 (*Leopardus jacobita*)、潘帕斯貓 (*Leopardus colocolo*)、美洲獅 (*Puma concolor*)、豹貓 (*Prionailurus bengalensis*)、豹 (*Panthera pardus*)、扁頭豹貓 (*Prionailurus*

planiceps)、歐洲野貓 (*Felis silvestris silvestris*) 等等，並且代表模擬準確度的接收者操作特徵曲線下面積 (Area Under the receiver operating characteristic Curve, AUC) 都達到 0.85 以上，顯示模擬成效良好 (Monterroso *et al.*, 2009; Wilting *et al.*, 2010; Marino *et al.*, 2011; Mondal *et al.*, 2013; Cuykens *et al.*, 2015; McCarthy *et al.*, 2015)。

二、石虎

石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 為廣泛分布於亞洲的一種貓科動物，包括中俄邊界、中國、韓國、日本、臺灣、東南亞、印度和巴基斯坦北部都有其分布 (Sanderson *et al.*, 2008)。全世界共有十二種亞種 (International Society for Endangered Cats, ISEC, 2014) (表 1)，臺灣和中國 (雲南除外) 的亞種 (*Prionailurus bengalensis chinensis*) 被歸類為同一種亞種 (Ellerman *et al.*, 1966)。石虎體型與家貓大致相仿，但各亞種之間體型差異很大，如蘇門達臘的亞種體重一般約 2.5 公斤，而西伯利亞和中國東北部的亞種體重可達 8.2 至 9.9 公斤 (Sunquist and Sunquist *et al.*, 2002)。石虎體重約 3-6 公斤，吻部短，耳朵圓，尾巴長度約為體長的 40-50%，全身的毛皮都有如錢幣大小的棕黑色斑點，體色也由灰褐色到黃褐色不一 (林良恭等人, 2009)。

石虎屬於瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約 (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES) 附錄二物種 (Appendix II)，即雖然沒有立即的滅絕危機，仍需要管制交易情況以避免影響其存續。同時也在 2002 年被國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄 (The IUCN Red List of Threatened Species) 列為無危物種 (Least Concern, LC) (Sanderson *et al.*, 2008)，雖然如此，但石虎在各地的分布狀況和數量卻差異很大。

中國瀕危動物紅皮書中將石虎列為易危種 (汪松, 1998)，韓國野生動物保育法 (Wildlife Conservation Act) 將石虎列為 Type II 的瀕危物種 (Rho, 2009)，意即除非消除或減輕威脅其生存的因素，否則在不久的將來會面臨滅絕。西表山貓 (*Prionailurus bengalensis iriomotensis*) 和對馬山貓

(*Prionailurus bengalensis euptailurus*) 已被日本列為瀕危物種 (National Endangered Species) (Izawa *et al.*, 2009)，菲律賓的亞種 (*Prionailurus bengalensis rabori*) 分別在 2004 年和 2008 年被當地環境和自然資源部 (Philippine Department of Environment and Natural Resources) 及 IUCN 列為易危物種 (Vulnerable, VU) (Lorica and Heaney, 2013)。臺灣野生動物保育法更在 2008 年將原本位在第 II 級「珍貴稀有保育類動物」的石虎，提升為第 I 級的「瀕臨絕種保育類動物」，可見石虎在臺灣已面臨極大的生存危機。

石虎廣泛分布於亞洲，分布的海拔和棲息地種類範圍非常廣，包括濕地、雨林、闊葉林、針葉林、次生林、農墾地，甚至是油棕園、果園等。在巴基斯坦的自由喀什米爾區，石虎分布的海拔介於 2,500-4,000 公尺，偏好溫帶針葉林地區 (Awan *et al.*, 2004)。在東喜馬拉雅地區，影響石虎地理分布的主要因素為海拔、啮齒目的豐富度和森林覆蓋度，其中海拔和分布呈現負相關 (Bashir *et al.*, 2014)。在韓國，石虎遠離道路、在靠近稜線的闊葉林中或是附近活動 (Rho, 2009)。降雨量、離森林邊界距離和海拔則是影響蘇門答臘石虎地理分布的主要因素 (McCarthy *et al.*, 2015)。Rajaratnam 等人 (2007) 在沙巴州研究 6 隻成年石虎的活動範圍，顯示平均有 48.2% 的活動範圍位在油棕園，其中 3 隻有 46.1% 的活動範圍集中在次生林中。上述研究資料顯示，植被因子、人為干擾和地理因素為影響豹貓分布的主要因素。

石虎不僅數量稀少，也是夜行性動物，靈敏性高，行動快速且隱密，更添加其野外調查的困難度。近年來因臺灣雲豹的滅絕議題受到了更多的關注，但目前臺灣針對石虎的相關研究並不多，主要包括族群遺傳結構、人虎衝突、獵捕狀況、食性和疾病等 (裴家騏等人, 2011; 莊琬琪, 2012; 高嘉孜, 2013; 麥錦萱, 2013; 王翎, 2014)。另外一些小型食肉目相關的研究有時也涵蓋石虎狀況的零星資料，包括活動範圍、活動模式和保育現況等 (裴家騏、陳美汀, 2006、2007、2008; 裴家騏等人, 2011)。

石虎的食性中，相對頻度最高的為哺乳動物 (57.6%)，其中又以鼠科動物 (39.4%)為最高，相對頻度次高的為鳥類 (26.4%) (莊琬琪，2012)。因此純食肉性的石虎可謂是淺山地區生態金字塔頂端的高級消費者，其族群的存在可以控制淺山地區生態系統的平衡。一旦消失，會破壞淺山地區的生態，造成重大的影響，可說是淺山地區的關鍵物種 (Keystone Species)，其存在會影響生態系中其他物種的生存和多樣性。

三、排遺偵測犬

狗不僅是對人類忠心耿耿的好朋友，更因為其靈敏的嗅覺成為人們工作的好夥伴。某些大型犬的鼻內甚至有高達 2 億 5 千萬個嗅覺受器細胞 (Olfactory Receptor Cells)，是人類的 50 倍之多，正因有如此敏銳的氣味偵測系統，狗可以偵測和區分好幾種混合物中的微小氣味 (MacKay *et al.*, 2008)。偵測犬的應用在國外早已行之有年，除了臺灣常見的檢疫偵測犬和搜救犬之外，在國外，訓練有素的排遺偵測犬也普遍應用於搜尋野生動物排遺，包括美洲貂 (*Neovison vison*)、美洲黑熊 (*Ursus americanus*)、漁貂 (*Martes pennanti*)、露脊鯨 (*Eubalaena glacialis*)、美洲小狐 (*Vulpes macrotis mutica*)等等 (Smith *et al.*, 2003；Wasser *et al.*, 2004；Rolland *et al.*, 2006；Long *et al.*, 2007；Harrington *et al.*, 2010)。

國外曾經比較排遺偵測犬和其他非侵入式調查方法—自動相機、毛髮陷阱和排遺偵測犬調查貓科動物—短尾貓 (*Lynx rufus*)的偵測率，顯示排遺偵測犬為一高偵測率的工具(Harrison, 2006；Long *et al.*, 2007；Clare *et al.*, 2015)。另外再比較各方法的成本，自動相機和毛髮陷阱所需花費時間較長，卻比排遺偵測犬來得節省成本 (表 2) (Clare *et al.*, 2015；Long *et al.*, 2007；Harrison, 2006)。

排遺偵測犬不需要氣味劑當誘餌、搜尋範圍廣、對野生動物干擾低，不僅可以搜尋特定物種的排遺，也可以當作鑑定個體的工具 (Wasser *et al.*, 2009)。其花費的金錢和時間卻不會隨著樣本數量的增加而提升，大大地減少了研究者的負擔。國外的研究也指出排遺偵測犬可以有效地區分

相似度高的小狐 (*Vulpes macrotis mutica*) 和紅狐 (*Vulpes vulpes*) 的排遺，其正確率甚至高達八成以上 (Smith *et al.*, 2003)。

排遺偵測犬不是一個固定的機器，其偵測率也並非如機器般為一固定值，每一隻排遺偵測犬的偵測率也有差別。偵測率有可能受到偵測期間各種環境因素 (降雨量、風向、氣溫、地勢等)，生理因素 (犬隻和領犬員的生理狀況等) 和排遺本身的狀況 (新鮮程度、所吃的食物等) 所影響，導致產生錯誤的偵測 (Reed *et al.*, 2011)。另外，搜尋距離也是影響偵測率的關鍵因子，國外搜尋烏龜的研究顯示，排遺偵測犬可以在 0.5-62.82 公尺的範圍內搜尋到烏龜，平均搜尋距離為 13.91 公尺 (Cablak *et al.*, 2008)。也有研究指出，在距離 10 公尺內的範圍，排遺偵測犬的偵測率為 75% (Reed *et al.* 2011)。

在進行野外調查之前，必須先對排遺偵測犬進行偵測率和正確率的測試，以瞭解排遺偵測犬的偵測率並確認其正確率。假使不進行測試就直接到野外進行調查有可能導致誤差產生，例如錯誤地將物種分布的區域偵測為物種沒有分布的區域，在估算物種分布範圍時就會產生誤差。

參、材料與方法

一、研究樣區

苗栗縣位於臺灣本島西北部，北與新竹縣市為鄰，南與臺中市接壤，西濱臺灣海峽。全縣東西寬約 64 公里，南北長約 50 公里，面積共有 1,820.31 平方公里。苗栗縣共分為 18 個鄉鎮，其中泰安鄉為苗栗縣面積最大的鄉鎮，總面積約 614.51 平方公里，佔全縣總面積三分之一(圖 1)(臺灣鄉土書目資料庫，2012)。

苗栗縣海拔高度介於 0-3,859 公尺之間，全縣平均海拔為 799 公尺，以山地為主要地形的泰安鄉平均海拔為 1,764 公尺。西部沿海平原地區及鄰近丘陵，屬副熱帶氣候，1,000 公尺以上的山區，屬溫帶氣候。雨量分佈山區多於丘陵地，丘陵地多於平原，東部山區年雨量平均 2,500 毫米以上，西部沿海約 1,200 毫米，降雨集中在 5-8 月。受到季風的影響，夏季時吹西南季風，冬季時則東北季風盛行(臺灣鄉土書目資料庫，2012)。

二、排遺偵測犬

本研究所使用的排遺偵測犬德國短毛波音達犬 (German Shorthaired Pointer，以下簡稱波音達)，取名為「Colby」(圖 2)。該犬為 2008 年出生，本研究進行前已接受系列的專業培訓課程和篩選過程(訓練師為 Rene Gloor)，並完成搜尋臺灣黑熊排遺的專業訓練。波音達是一種友善、聰明、體力充沛和熱愛玩樂的狗。本研究與屏東科技大學偵測犬訓練中心合作，利用該波音達對球的狂熱和專注力，讓偵測犬對玩球和工作產生連結，進行排遺偵測犬的訓練。在幼犬時，偵測犬必須接受社會化訓練，確保其在陌生環境不會感到害怕或是緊張，並且測試其對球類的執著是否足以勝任工作，測試都通過之後，才會進入正式的訓練期。

增強原則是指利用增強物(正增強物為希望獲得的事物，負增強物為希望避開的事物)，加強特定行為出現的頻率(Pryor, 2007)。本研究偵測犬的訓練以增強原則為基礎，正增強物為最愛的網球，負增強物則為錯

失玩球的機會。初期的訓練是將偵測犬最愛的網球和新鮮的石虎排遺放在一個木箱內，木箱內有機關可以讓網球自動彈出。由領犬員帶領偵測犬搜尋木箱，並指示木箱引起偵測犬的注意，再啟動機關讓網球彈出。重複幾次正增強訓練之後，偵測犬會主動搜尋木箱，這時候再加入偵測犬在木箱旁坐下等待的指示，在找到木箱的當下，偵測犬會順勢聞到石虎排遺的味道。過後由領犬員帶領偵測犬搜尋新鮮的石虎排遺，教導偵測犬嗅聞石虎排遺，並立即給予偵測犬玩球作為獎勵。至此，偵測犬會產生“找到石虎排遺就可以得到球來玩”的連結。

本研究偵測犬後期的訓練是讓偵測犬主動去搜尋新鮮石虎排遺，並且坐下等待，由領犬員上前確認之後再給予玩球作為獎勵。等到偵測犬都可以很輕易地找到新鮮的石虎排遺之後，再加入不同新鮮程度的石虎排遺供其搜尋，讓偵測犬自己概化它認知裡石虎排遺獨特的味道，作為以後搜尋石虎排遺的根據。

待初期基本的訓練都和測試都完成之後，訓練場地就由室內的訓練教室、室外的一般草地轉為更複雜的林子裡，而搜尋的距離、時間、地形複雜度和排遺的數量也循序漸進地增加。最後，在訓練中加入在外觀及形狀上和石虎排遺相似的貓排遺，訓練偵測犬分辨石虎排遺和貓排遺的能力。其中偵測犬若找到石虎排遺的時候，則需坐下以等待領犬員之獎勵；然如果是其他的排遺，則領犬員令該犬一律忽視。

每一階段的訓練都必須循序漸進，領犬員必須進行多次訓練確認偵測犬完成該階段的訓練，才能進入下一階段。如果在某個階段的訓練成果不理想，則必須退回至前階段的訓練。重複進行訓練，並確認偵測犬可以勝任所有的訓練，才能繼續下階段的訓練。本研究在偵測犬完成了所有的訓練之後，再進行偵測率實驗。

三、偵測率實驗

(一)試驗排遺樣本及處理

1. 本研究所使用的石虎排遺分別來自不同單位和個體，包括特有生物研究保育中心 10 隻，屏東科技大學野生動物收容中心 3 隻，總共 13 隻。
2. 家貓排遺則從養貓友人收集 10 隻不同個體的貓排遺，同時到屏東內埔廟口附近野貓聚集的廣場和屏科大附近的學生宿舍收集野貓的排遺作為實驗用。
3. 將收集到的排遺冷藏保存。
4. 每 1 隻石虎個體的排遺有不同的新鮮程度，所以是從超過 40 個排遺中隨機取樣，再配合不同新鮮程度的貓排遺進行實驗。

(二)偵測率與正確率測試

本研究之偵測率與正確率測試的定義分別如下：

正確率，即偵測犬的正確反應（正確指示出石虎排遺）佔所有反應的百分比。

偵測率，即偵測犬所找出的石虎排遺數量佔總石虎排遺數量的百分比。

1. 室內實驗

(1)實驗準備

本研究在 2012 年 11 月和 12 月期間進行 37 趟室內實驗，其中 12 趟僅有貓排遺，完全沒有石虎排遺，以下簡稱為空白試驗。空白試驗是為了確定偵測犬搜尋石虎排遺的專一性。每次實驗至少連續進行 3 趟，實驗的時間為早上 7-9 點，地點在屏科大偵測犬訓練中心的訓練教室內。

本研究參考國外文獻 (Oesterhelweg *et al.*, 2008)，利用三夾板製作一個平台，平台上再加上一層塑膠瓦楞板 (PP 板)，並且保留 6 個洞口，每

個洞口之間距離 55 公分，可供裝入實驗用的罐子(圖 3)。每趟實驗平台上只會有 1 個石虎排遺和 5 個貓排遺；或是 6 個都是貓排遺。

選擇擺放試驗排遺的罐子皆為綠色，高 16.7 公分，寬 5 公分，這樣的大小剛好可以配合偵測犬的鼻子寬度，能讓排遺的味道更集中。裝石虎排遺和貓排遺的罐子雖然外觀近似，但底部會用鉛字筆個別標記，實驗進行時，領犬員並不會看到底部的標記。裝石虎排遺和貓排遺的罐子不能混合使用，避免在訓練過程中讓偵測犬對氣味產生混淆。

由於不同的排遺大小不一，為了確保取樣大小的一致性，本研究在實驗前先讓排遺至少退冰 1 小時之後，再將排遺折半，用 2*2 吋濕潤的紗布沾被折開來的排遺中間部分 1 秒 (避免取樣到排遺外面的其他味道)，再將紗布放入罐子中，靜置 5 分鐘。

觀察者期望效應是指在科學實驗中，觀察者預期某些測試結果，無意識地以某種形式操縱了實驗步驟，或錯誤解釋實驗結果以達至他們希望得到的結論。本研究為了避免觀察者期望效應的產生，每次實驗都會準備至少 3 個石虎排遺和 6 個貓排遺供實驗用。實驗開始前，領犬員和偵測犬會在等待室中等待，此時協助實驗進行的人員則將實驗的罐子隨機擺放在平台上，領犬員和偵測犬在實驗進行中只會在平台上看到罐子的上半部，不會看到罐子底部的標記，也不知道當次實驗是否為空白試驗。

(2)實驗步驟

- a. 每次測時會進行至少連續 3 趟的實驗，都必須全程錄影存證。
- b. 領犬員用牽繩帶領偵測犬從第 1 個罐子開始，指示偵測犬嗅聞罐子口，並給予指令“find it”。如果第 1 趟聞完了 6 個罐子後都沒有反應 (沒有坐下)，會再從最後一個罐子順序聞回來，假設偵測犬都沒有任何坐下的反應，則視為都是貓排遺。
- c. 如果偵測犬有反應 (坐下)，領犬員會給予偵測犬指令“show me”，請偵測犬再次指示出所選擇的罐子，並詢問實驗協助人員是否該罐子就

是裝有石虎排遺的罐子。如果該員回答“是”，才能夠給予偵測犬玩球作為獎勵，反之則無。

- d. 獲得獎勵後領犬員帶偵測犬到一旁玩球，玩球結束後回到等待室的運輸籠。然如果偵測犬的反應是錯誤的，則實驗結束，偵測犬會被帶回等待室的運輸籠休息。
- e. 每一天實驗完畢之後，皆用 75 % 的酒精清潔平台 PP 板，之後將平台放置在訓練教室外吹風，避免平台上殘留的味道影響下一次實驗。實驗結束之後，用清潔劑將所有罐子浸泡在水桶內，刷洗後再拿到戶外風乾至少 1 天，移除味道後供下一次實驗使用。

2. 室外實驗

(1) 實驗準備

本研究在 2013 年 1 月和 2 月期間進行 20 趟室外實驗，其中有 4 趟是空白試驗。實驗進行時間為早上 7-10 點或是下午 4-6 點，地點在屏科大校內黑森林後段。

每趟實驗搜尋距離為長 500 公尺，寬 10 公尺，20 趟總共有 40 個石虎排遺。每一趟試驗包括石虎排遺和貓排遺總共至少會有 4 個排遺。石虎排遺的數量隨機分配，每趟會有 1-3 個不等，排遺和排遺之間的最短距離為 5 公尺(圖 4)。

在實驗進行前至少 3 小時將不同新鮮程度的排遺隨機放置在實驗進行的地點範圍內，模擬野外排遺的狀況排遺。為了避免偵測犬根據人走的路線偵測到排遺，會在放好排遺之後在實驗範圍內到處走動，四處留下人的味道。

(2) 實驗步驟

- a. 由於室外實驗較耗時，因此一天最多只能進行 2 次實驗（早上、下午各 1 次）。另外由於實驗地點行走不易，因此沒有錄影。

- b. 實驗開始時由領犬員帶領偵測犬(放開牽繩)開始搜尋，領犬員會引導偵測犬搜尋未搜尋到的範圍。
- c. 如果偵測犬出現找到石虎排遺的反應(坐下)，領犬員上前後會先給予指令“show me”，請偵測犬指示出排遺的位置之後再確認。
- d. 如果確認為石虎排遺之後，領犬員會給予獎勵(玩球)；反之，則繼續尋找。
- e. 玩球結束之後會再繼續搜尋，直到五百公尺長的搜尋路線結束。

四、偵測犬野外調查

除了黑熊排遺偵測犬之外，在臺灣目前仍未有實際應用偵測犬於野外調查之研究。雖然在野外調查之前，偵測犬已經通過測試，但是測試結果並不是完全正確。因此本研究會將偵測犬在野外調查搜尋的排遺會送到臺灣大學動物科學技術學系遺傳研究室進行 DNA 檢驗，確認所屬之目標物種，以瞭解偵測犬在野外的正確率。野外調查前期(3-5 月)，領犬員會先讓偵測犬練習搜尋野外的石虎排遺和熟悉苗栗地區的野外環境(附錄 1)，並以 DNA 檢驗結果調整偵測犬的訓練狀況。

根據裴家騏等人(2008)的無線電追蹤研究指出，苗栗地區石虎的活動範圍約為 1.51-6.25 平方公里，且雄性石虎的活動範圍和核心區域都較雌性石虎來得大。本研究的石虎預測分布圖原本預計使用 1*1 公里作為網格大小，但在進行圖層資料分析時，發現苗栗地區的土地利用類型相嵌程度高，如果以 1*1 公里或是 500*500 公尺作為網格大小，土地利用類型的分類可能會影響後續預測模式結果的準確性。假設以 250*250 公尺作為網格的大小，在計算離水源、森林和道路最近距離時，精確度可能不足。因此，本研究最後將苗栗縣劃分為 100*100 公尺大小的網格，總共有 189,700 個網格，調查時間從 2014 年 5 月到 9 月。

本研究目的之一為預測石虎的地理分布，除了以自動相機取得石虎點位之外，也希望藉由排遺偵測犬的搜尋，增加石虎的點位資料。因此，在調查進行之前先將現有從 2004-2013 年間利用自動相機在苗栗收集的

石虎點位資料套入網格內，調查路線盡可能避開目前已經有石虎點位資料的地方，以沒有石虎點位資料的區域為優先。

調查人員共兩名再加上偵測犬，除了領犬員之外，另一名人員負責拍照記錄和協助指引搜尋方向。考量偵測犬的體能和生理狀況（喘氣太大會影響偵測犬的效率），調查時間為早上剛天亮時和傍晚太陽下山前天氣較溫和的時段，實際調查的天數也會視偵測犬的狀況作調整，原則是工作 1 天休息 1 天。

由於苗栗屬於淺山地區，地圖上預定搜尋的路線或區域，抵達現場時可能發現並不適合偵測犬進行搜尋。因此，領犬員必須在偵測犬調查前先探路，除了瞭解搜尋路線長度是否足夠之外，有些區域可能是私人土地不方便搜尋或是附近可能有其他的犬隻活動，會盡量避開以免引起犬隻打架。由於當地各種地形相嵌程度高，地區破碎化程度也相當高，因此偵測犬搜尋的距離也會視現場狀況作調整，但至少每次都會搜尋 100 公尺。根據前人研究者的經驗，石虎排遺多在底部較乾淨的相思林稜線上被發現，因此偵測犬的搜尋路線也以此為參考，以相思林為主。

進行調查時，領犬員會放開偵測犬的牽繩讓偵測犬自由走動搜尋(附錄 1)，偵測犬搜尋路線並非直線前進，而是以“S”字形的路線前進，領犬員也會為偵測犬指引搜尋方向。由於偵測犬移動速度快，領犬員必須隨時跟進，可能會因此迷失方向，這時另一名人員（導向者）會適時地指示領犬員正確的方向。當偵測犬發現排遺時，會坐下等待領犬員上前，領犬員再給予指令“show me”，偵測犬會指示出排遺的確切位置，待領犬員確認後，就給予玩球作為獎勵。發現排遺的位置皆以 GPS (GARMIN Dakota 20)記錄其點位位置，座標系統採用 TWD 97 系統。為了更進一步檢視偵測犬野外調查的正確率，所搜尋到的石虎排遺會再送至臺灣大學動物科學技術學系遺傳研究室，進行 DNA 檢驗做確認。

五、石虎預測分布圖

(一)石虎點位資料收集

透過近幾年在苗栗縣進行生態調查的屏東科技大學裴家騏老師研究室、中興大學吳聲海老師研究室和觀察家生態顧問有限公司，收集彙整過去在苗栗縣內石虎的點位資料，包括自動相機拍攝、路殺和發現石虎個體的點位資料。

(二)圖層資料

1.製作苗栗縣網格

以中央研究院人社中心地理資訊研究專題中心 (2012)所提供之臺灣 30 公尺數值地形模型資料 (Digital Elevation Model)，重新轉換為解析度 100 公尺的網格式資料，並以 ArcGIS 中的 Data Management Tools/Create Fishnet 功能製作出 100*100 公尺的網格的向量式資料。同時以地理資訊圖資雲服務平台所提供的縣 (市)行政區域界線圖層(內政部地政司，2013)，利用 ArcGIS 擷取苗栗縣的範圍。再利用 Spatial Analyst Tools/Extract by Mask 的功能擷取出涵蓋苗栗縣的網格，共獲得 189,700 個 100*100 公尺的網格。

2.環境圖層選擇

裴家騏等人 (2008)的研究報告指出，在苗栗地區，石虎在低海拔和人為干擾過的地景環境有較高之出現機率。本研究參考國內外石虎分布相關研究作為依據 (Rajaratnam *et al.*, 2007；裴家騏、陳美汀，2008；Rho, 2009；Mohamed *et al.*, 2013；Bashir *et al.*, 2014；McCarthy *et al.*, 2015)，並考量臺灣相關圖層的可得性，選用 8 種可能影響石虎分布的因素：海拔、坡度、土地利用類型、離水源最近距離、森林覆蓋度、離森林最近距離、道路密度和離道路最近距離。原本預定使用 NDVI 值的圖層，因為考量到淺山地區土地利用類型相嵌程度高，因此以土地利用類型圖層取代。

(1)海拔

利用擷取出來的苗栗縣 100*100 公尺網格，以 Data Management Tools/Feature to Points 功能製作出每個網格的中心點，再以 Spatial Analyst Tools/Extract Values to Points 功能萃取每個網格的平均海拔。海拔範圍從 0 到 3,859 公尺，平均海拔為 799 公尺。

(2)坡度

利用海拔的網格式資料，以 Spatial Analyst Tools/Slope 功能轉換成坡度圖，再以 Spatial Analyst Tools/Extract Values to Points 功能萃取每個網格的平均坡度。坡度範圍從 0 到 62 度，平均坡度為 15.7 度。

(3)土地利用類型

土地利用類型圖層取自內政部國土測繪中心在 2006-2008 年委託台灣世曦工程顧問股份有限公司、財團法人工業技術研究院和亞新國土科技股份有限公司所建置的國土利用調查成果圖層，擷取涵蓋苗栗縣網格的範圍。原本的土地利用類型分類詳細，共分為九大類型（附錄 2）。考量石虎的習性和生活環境，本研究將土地利用類型重新分類為農業用地、高開發地、低開發地、針葉林、闊葉林和針闊葉混合林 6 類（表 3），再以每個網格內佔最高比例的類別作為該網格的土地利用類型代表。重新分類以後，以針闊葉混合林為最主要的類型。

(4)離水源最近距離

考量過往的紀錄都沒有顯示石虎會出沒於鄰近海水的地區，也考量溝渠是否能充分表達水源圖層的意義，因此剔除了海水還有溝渠這兩類水源，選擇的水源圖層則以河川、水庫、湖泊三種主要淡水水源為主。利用國土利用調查成果圖層擷取出水源的圖層，以 intersect 功能計算每個網格內的水源長度，利用 Select by Location 的功能擷取出水源長度大於 0 的網格，再以 Analysis Tools/Generate Near Table 計算網格中心點和全部網格中心點的最近距離，範圍從 0-4,776 公尺，平均距離為 990.7 公尺。

(5) 森林覆蓋度

從國土利用調查成果圖層中森林使用土地裡，擷取出針葉林、闊葉林、竹林和針闊葉混合林，以 dissolve 功能合併。利用 intersect 工具計算出每個網格森林所佔面積，再除以網格的面積 (10,000 平方公尺)，即可得到每個網格森林的百分比，是為森林覆蓋度，從 0-100 %，平均覆蓋度為 67.4 %。

(6) 離森林最近距離

從上述森林覆蓋度的圖層中選擇森林覆蓋度大於 50% 的網格進行分析。以 Analysis Tools/Generate Near Table 計算網格中心點和全部網格的最近距離，範圍從 0-2,500 公尺，平均距離為 121.4 公尺。

(7) 道路密度

本研究中的道路圖層來源為勤威科技有限公司之行動商務電子地圖 (papago map)，原本的電子地圖並沒有鐵路，因此再加入高鐵和臺鐵的鐵路圖層，合併為道路圖層。計算圖層之前先剔除車子沒有辦法駛入的大雪山 210 縣道、230 縣道、233 縣道、大鹿林道東西支線及司馬限林道。之後利用 merge 功能將鐵路和道路圖層合併，再計算每個網格內的道路長度除以網格面積 (10,000 平方公尺)，即可得出每個網格內的道路密度，範圍從 0-8.21 公尺/10,000 平方公尺，平均為 0.47 公尺/10,000 平方公尺。

(8) 離道路最近距離

從上述道路密度的圖層中選擇道路密度大於 0 的網格進行分析。以 Analysis Tools/Generate Near Table 計算網格中心點和全部網格中心點的最近距離，範圍從 0-13,341.7 公尺，平均距離為 1103.6 公尺。

(三)MaxEnt

由於石虎的數量稀少、密度低並具有隱蔽性，難以取得實際上沒有分布的資料。本研究參考國外貓科動物的相關文獻 (Cuyckens *et. al.*, 2015 ; McCarthy *et. al.*, 2015)，選擇以只需要物種出現點位並且具有較良好預測能力的 MaxEnt 進行石虎的地理分布預測。

本研究使用 3.3.3k 版本的 MaxEnt 軟體，來源自網址：<https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>。MaxEnt 的預測結果為一介於 0-1 之間的機率值，表示物種的出現機率。

進行 MaxEnt 預測分布時，所有圖層設為連續型資料 (Continuous data)。隨機挑選 75%的資料為訓練資料，25%的資料為驗證資料，並且勾選 Create response curves、Makes pictures of predictions、Do jackknife to measure variable importance、random seed，運行 100 次的重複，replicated run type 選擇 bootstrap (Cuyckens *et. al.*, 2015)，其餘保持原有設定。

MaxEnt 以 AUC 值作為模式預測品質的準確度評估，AUC 介於 0-1 之間。一般認為當 AUC 值為 0.5-0.6，不及格；0.6-0.7，較差；0.7-0.8，一般；0.8-0.9，良好；0.9-1.0，傑出 (Swets, 1988)。MaxEnt 利用拆刀分析法，藉由重複操作之過程，可以得知單獨採用該環境因子所得的單一獲益 (single gain)和模式單獨不採用該環境因子時的獨缺損失 (single loss)，單一獲益和獨缺損失可以協助我們瞭解各因子對模式整體運算結果的影響程度。

偵測犬在苗栗搜尋的石虎排遺經過 DNA 鑑定，經確認為石虎排遺後，其點位資料將套疊在石虎預測分布圖上，以進一步檢核預測分布圖的準確度。

(四)資料分析

利用 Kolmogorov-Smirnov 檢定石虎點位資料，皆不符合常態分布，因此所有的資料皆以無母數統計進行分析。利用 Mann-Whitney U 檢

定比較預測有石虎分布的網格和研究樣區各項因子的平均值是否有差異。另以棲地選擇指數 (Modified Ivlev's Electivity Index, E_i) 進一步分析石虎的預測分布和各因子之間是否有選擇性，進行運算前必須先將各因子分級為類別變數 (categorical variables) (Reynolds-Hogland *et al.*, 2007)。 E_i 值介於-1 和 1 之間。 E_i 值為正值，表示偏好； E_i 值為 0，表示隨機選擇； E_i 值為負值，表示迴避 (Strauss, 1979)。

E_i 值的計算公式如下：

$$E_i = \frac{2 * (\text{use of habitat } i - \text{availability of habitat } i)}{1 + (\text{use of habitat } i + \text{availability of habitat } i)}$$

肆、結果

一、偵測率實驗

本研究在 2012 年 11 月和 12 月期間在屏科大偵測犬訓練中心的訓練教室內進行 37 趟室內實驗，其中包含了 12 趟為空白試驗，占了實驗總數的 32%。

偵測犬於室內的正確率為 87 %，即 37 趟中有 32 趟正確的地指示出石虎排遺的位置。偵測錯誤的那 5 趟當中，其中有 4 趟為空白試驗 (表 4)。

本研究在 2013 年 1 月和 2 月期間在屏科大校內黑森林後段進行 20 趟室外實驗，其中包含了 4 趟是空白試驗。

偵測犬於戶外的正確率為 83 %，整個實驗中偵測犬出現了 36 個坐下的行為 (顯示為找到石虎排遺)，但其中只有 30 個是真的找到石虎排遺；偵測犬的偵測率為 75%，即成功地偵測出 40 個排遺中的 30 個 (表 5)。

二、偵測犬野外調查

本研究偵測犬樣線的野外調查時間從 2014 年 3 月到 9 月，共出差 88 天，偵測犬實際工作天數為 46 天 (表 6)。由於野外的石虎排遺不易取得，因此偵測犬訓練時，都以圈養單位的石虎排遺為搜尋目標。但這樣的訓練，可能導致偵測犬誤會它僅需搜尋固定個體的排遺。故為讓偵測犬組熟悉野外的調查環境，正式樣線調查前先於 3 月至 5 月初至樣區進行初步先驅調查。領犬員先帶偵測犬到石虎密度較高的三義鄉和通霄鎮進行測試並觀察。

偵測犬總共搜尋 12 個排遺。後續將這些排遺樣本送往臺灣大學動物科學技術學系遺傳研究室進行 DNA 檢驗鑑定，結果顯示，4 個為石虎排

遺，1 個是麝香貓的排遺 (附錄 3)，其他 7 個無法鑑定，故偵測犬的正確率為 80 % (即 1/5) (表 7)。

苗栗縣內多淺山丘陵地，野生動物的種類繁多，排遺形狀及大小和石虎相似的物種包括白鼻心 (*Paguma larvata taivana*)、麝香貓 (*Viverricula indica taivana*)、食蟹獾 (*Herpestes urva*)等都分布於此。經過 DNA 檢驗鑑定後，發現偵測犬在 3 月份的野外調查時，誤將麝香貓的排遺認為是石虎排遺。領犬員利用在苗栗所收集其他物種的野外排遺重新給予偵測犬訓練，並將 4-5 月份野外調查所蒐集的石虎排遺送驗。待 DNA 鑑定結果確認偵測犬都沒有再次搜尋非石虎排遺後，才正式進行偵測犬的野外調查並列入調查結果。

偵測犬共搜尋了 32 條樣線(表 8)，涵蓋了 234 個網格，樣線長度從 114-3100 公尺不等，取決於當地的環境狀況。最短的樣線在造橋鄉，為臺一線隔鄰的一小片相思林稜線，下方是新開墾的果園；最長的樣線在頭屋鄉的鳴鳳古道。樣線長度小於 500 公尺以下的有 10 條，長於 1 公里的有 5 條，500-1000 公尺則有 17 條。

32 條樣線分別在苑裡鎮、三義鄉、卓蘭鎮、通霄鎮、大湖鄉、西湖鄉、南庄鄉、三灣鄉、竹南鎮、頭份鎮、頭屋鄉、造橋鄉、苗栗市、銅鑼鄉、公館鄉和獅潭鄉共 16 個鄉鎮，後龍鎮和泰安鄉則因為找不到適合的區域而沒有進行調查搜尋。找到排遺的 10 條樣線分別在三義鄉、通霄鎮、苗栗市、銅鑼鄉、西湖鄉、頭屋鄉、造橋鄉、卓蘭鎮和頭份鎮 9 個鄉鎮。

偵測犬在 10 條樣線上發現 18 個排遺。後續的 DNA 鑑定結果顯示，12 個是石虎排遺，其他 6 個無法鑑定，偵測犬的正確率為 100% (即 12/12)。確定為石虎排遺者分布於 8 條樣線上 (圖 5)，海拔 23-1078 公尺(表 9)。6 個無法鑑定是否為石虎的排遺則分布於 5 條樣線上 (表 10)。

三、石虎預測分布圖

物種的地理分布和影響其分布的因子是建立保育管理政策不可或缺的資料。石虎的活動區域和人類重疊性高，族群數量不斷減少，但臺灣尚未有完整的石虎分布資訊。本研究收集彙整過去在苗栗縣內石虎的點位資料，包括自動相機拍攝、路殺和發現石虎個體的點位資料，預測苗栗地區的石虎分布。

本研究自屏東科技大學裴家騏老師實驗室、觀察家生態顧問有限公司和中興大學吳聲海老師實驗室收集從 2004 年到 2013 年之間所架設的自動相機拍攝到的石虎點位資料，共 115 筆(裴家騏老師實驗室 92 筆、觀察家生態顧問有限公司 9 筆和吳聲海老師實驗室 13 筆)。除自動相機的資料外，同時收集過往路殺和發現石虎個體的點位資料，共 24 筆 (裴家騏老師實驗室 22 筆、觀察家生態顧問有限公司 2 筆)，全部共有 138 筆石虎點位資料。

為避免各預測因子之間的相關性太高而影響預測模式的準確度，本研究在進行分布預測之前利用皮爾森相關係數 (Pearson's correlation coefficient)分析各因子之間的相關性 (表 11)。森林覆蓋度和土地利用類型的相關性 >0.8 ，考慮預測因子對預測模式的解釋度，因而選擇刪除土地利用類型。最後利用海拔、坡度、離水源最近距離、森林覆蓋度、離森林最近距離、道路密度和離道路最近距離共 7 個因子建模。

(一)MaxEnt

本研究參考 Cuyckens 等人 (2015)的文獻，將 MaxEnt 進行 100 次的重複運算，再取其平均值作為最後的預測結果，重複的運算可以避免不小心採用誤差較大的結果而影響了模式的準確性。隨機挑選 75 %的資料，共 96 筆為訓練資料，25 %的資料，共 32 筆為驗證資料，進行 100 次的重複運算，再得出平均值。模式的訓練和驗證資料平均 AUC 值分別為 0.917 和 0.874 (圖 6)，顯示模式適合度良好。預測模式結果產生後，選擇一適當閾值作為分隔物種的預測分布狀況。MaxEnt 模式結果包含 11

個最佳閾值，其中以 minimum training presence、10 % percentile training presence 和 equal training sensitivity and specificity 為最常見。本研究選擇以 equal training sensitivity and specificity 為最佳閾值 (Cuyckens *et al.*, 2015)，閾值為 0.3517。

以拆刀分析法解釋各環境因子對預測結果的影響。訓練獲益和驗證獲益都顯示海拔 (0.61, 0.60) 為解釋預測結果最有效的因子，其次為坡度 (0.53, 0.51)、離道路最近距離 (0.43) 和森林覆蓋度 (0.34)，解釋力最差的為離水源最近距離 (0.09, 0.07) (圖 7)。AUC 獲益拆刀分析法中，各變因的單一獲益和獨缺損失與訓練獲益和驗證獲益的結果一致，皆以海拔、坡度、離道路最近距離和森林覆蓋度為解釋力較強的因子，唯森林覆蓋度的解釋力較離道路最近距離來得強 (圖 8)。總結各獲益拆刀法的結果，海拔、坡度、森林覆蓋度和離道路最近距離為影響石虎分布的重要因子。

MaxEnt 預測有 29,656 個網格為石虎分布的範圍 (圖 9)，占樣區的 15%，面積為 296.56 平方公里。預測分布圖結果顯示，苗栗石虎分布在 5 大區塊：(1) 南部通霄鎮和苑裡鎮 (圖 10)、(2) 南部三義鄉、銅鑼鄉和卓蘭鎮 (圖 11)、(3) 中部後龍鎮和西湖鄉 (圖 12)、(4) 中部造橋鄉、頭屋鄉、公館鄉和獅潭鄉 (圖 13)、(5) 北部三灣鄉和頭份鎮 (圖 14)。泰安鄉雖然是面積最大的鄉鎮，但泰安鄉和南庄鄉卻只有零星的分布，而最多石虎分布的鄉鎮是通霄鎮 (14.9%)。

預測有石虎分布的網格資料顯示，石虎可能分布區域的平均海拔介於 4-877 公尺，平均坡度介於 0-37 度，森林覆蓋度為 0-100 %，離森林、道路和水源最近距離分別為 0-141 公尺、0-1,166 公尺和 0-4,123 公尺，道路密度則在 0-5.19 公尺/10,000 平方公尺之間。

將偵測犬所收集的石虎排遺點位套疊在預測分布圖上，進一步檢核預測分布的準確度 (圖 15)。檢核結果顯示，偵測犬收集的石虎排遺點都位在預測有石虎分布的網格內。

(二)資料分析

利用 Mann-Whitney U 檢定比較預測有石虎分布的網格和研究樣區各項因子的平均值是否有差異，結果顯示各項因子之間都有顯著差異(表 12)，顯示石虎對相關因子具有選擇性。

以棲地選擇指數 E_i 值分析石虎對各因子的偏好程度。石虎對海拔的偏好和海拔高度呈現負相關(圖 16)，並偏好海拔 500 公尺以下 ($E_i > 0.1$)，和東喜馬拉雅及蘇門答臘相似。石虎偏好坡度 > 20 度的地區，尤其當坡度 > 10 度時，偏好更加明顯 ($E_i = 0.28$) (圖 16)。森林覆蓋度和的 E_i 值呈現正相關，在森林覆蓋度 60% 以上地區， E_i 值 > 0.1 ，顯示石虎偏好分布於森林覆蓋度較多的地區。只有離森林最近距離為 0 時 (表示為在森林中)， E_i 值為 0.2，其他距離的 E_i 值皆 < 0 ，顯示石虎對森林的偏好非常顯著(圖 17)。在道路密度為 0-4 公尺/10000 平方公尺和離道路最近距離為 250 公尺以內的地區， E_i 值皆 > 0 ，顯示石虎雖然偏好在距離道路較近的區域活動，卻也會迴避高密度的道路區域(圖 18)。離水源最近距離為 500-3,000 公尺時 E_i 值 > 0 ，並且在 1,000-2,000 公尺時達到巔峰 (0.15)；最小的 E_i 值 (-0.16) 位於離水源最近距離在 0-250 m 之間，顯示石虎對離水源最近的距離沒有特別偏好 (圖 19)。

本研究結果顯示，苗栗地區的石虎偏好在海拔 < 500 公尺、坡度 < 20 度、森林覆蓋度 $> 60\%$ 、離森林最近距離為 0 公尺、離道路最近距離 < 250 公尺、道路密度為 0-4 公尺/10,000 平方公尺及離水源最近距離為 500-3,000 公尺內的區域。

伍、討論

一、排遺偵測犬

偵測犬的在室內和室外實驗中的正確率分別為 86% 和 83%。國外學者也曾經利用偵測犬區別小狐和紅狐排遺，當實驗中只有小狐的排遺時，偵測犬的正確率是 100 %；但當小狐和紅狐的排遺同時存在時，正確率為 82 % - 89 % (Smith *et al.*, 2003)。雖然偵測犬的正確率並沒有達到 100%，卻也高達 86%，證實偵測犬可以作為區分石虎和貓排遺的有效工具。

可能造成偵測犬產生誤差的原因有：(1)訓練不足(2)排遺樣本多樣性不足(3)觀察者期望效應(4)偵測犬本身的狀況和專注程度(5)排遺放置的周遭環境和天候(6)領犬員的狀況 (Smith *et al.*, 2003；MacKay *et al.*, 2008；Lit *et al.*, 2011；Reed *et al.*, 2011)。

平常針對空白試驗的訓練不夠扎實，導致偵測犬過於習慣訓練中會有石虎排遺的存在。當遇到空白試驗時，偵測犬產生混淆，誤將貓排遺認為是石虎排遺。平日訓練應該增加空白試驗的頻度，讓偵測犬增加對空白試驗的熟悉度。另外，平日訓練使用圈養個體的排遺，但圈養個體數量也不多，且食物來源和野貓的食物來源重疊性也很高。利用更多不同個體的排遺讓偵測犬進行訓練，可以讓偵測犬學習更精準地概化目標物種的氣味連接。

Lit 等人 (2011)比較在 4 種情況下 (沒有標記的對照組、利用紙本做標記、利用引誘劑和在引誘劑上做標記)，偵測犬的搜尋成效。結果顯示，在完全沒有任何標記的對照組，偵測犬的正確率較高，證實領犬員的信念會影響偵測犬的搜尋結果 (Lit *et al.*, 2011)。本研究實驗進行時，領犬員的潛意識可能覺得有石虎排遺，不自覺地反映在身體語言上，雖然看似微不足道，卻讓偵測犬產生誤會，以為這是一種暗示，進而做出錯誤的指示。

偵測犬透過嚴格訓練，盡量不受外界環境干擾，不過，本研究使用的偵測犬品種為波音達獵犬，該品系對於鳥類仍具有狩獵的天性。即便是受過訓練，鳥類的活動仍然對該品系偵測犬有其干擾狀況。除此之外，野外的環境較為複雜，環境中常有其他動物遺留的氣味，這些都有可能造成偵測犬因此分心，造成誤差。

本研究中的室外實驗，偵測犬的偵測率和正確率個別為 75 % 和 83 %。研究指出，在 10 公尺內的範圍，偵測犬的平均偵測率為 75 %，偵測率也會隨著搜尋距離的拉長而降低 (Reed *et al.* 2011)。國外學者在控制的野外範圍內進行偵測率實驗，以偵測犬搜尋印度食蛇獾 (*Herpestes javanicus*) 的排遺，偵測率為 88 % 和 97 % (Fukuhara *et al.*, 2010)。本研究曾發生過一次的錯誤反應是受到小型動物活動而產生，因此推測錯誤反應可能是被其它味道或是好奇的事物所吸引而導致。

原本的研究設計是想要藉由偵測犬的搜尋增加石虎排遺的點位資料，再和其他的點位資料一起建模，預測石虎分布。實際進行野外調查時，發現偵測犬的效益並不如預期來得理想，只在 10 條樣線上搜尋到石虎排遺。如果在短時間密集對同一樣線進行調查，偵測犬的反應會顯得心不在焉，考量調查區域的涵蓋度和時間，本研究只讓偵測犬對一樣線進行一次性的調查。為了避免偏差，本研究偵測犬所收集的資料並不納入預測分布的分析中，僅作為石虎分布預測圖檢核之用。針對已知石虎分布區域，如果想快速蒐集石虎的排遺進行相關研究，偵測犬可以在短時間內獲得較多的排遺，是一有效率的研究工具。

與目前常使用的自動相機調查法相比，排遺偵測犬具有主動搜尋、調查範圍廣泛、調查時間成本短等優點 (MacKay *et.al.*, 2008)。但裴家騏等人 (2004) 指出，自動相機調查的金錢成本較少、沒有體能的考量、可以進行全天候 24 小時的調查、不需要在沒工作時花費大量的時間和精力照顧，還可以避免因為研究人員經驗不足所造成的影響雖然利用排遺偵測犬進行調查所花費的時間較少。

偵測犬訓練必須投入大量的金錢、時間和精力。雖然利用偵測犬進行調查可以縮短研究時間，但需要考量偵測犬的福利與退役之後的照養配套措施，一旦決定利用偵測犬進行調查，就必須衡量研究結束之後的相關照養議題。以本研究中所使用的偵測犬 Colby 為例，一年所需的照養費用包括飼料、醫療、照養人力等成本估算，大約需要花費 4 萬 5 千元。根據統計，有 60% 最初因為其熱愛玩球的特性，而挑選作為偵測犬訓練的狗，最後會被淘汰 (MacKay *et.al.*, 2008)。除了一開始的大量訓練以確保偵測犬的工作效率，不間斷的訓練會一直持續在偵測犬的工作生涯，直到偵測犬退休為止。在訓練偵測犬的過程中也會遇到各種問題，例如偵測犬可能會把排遺吃掉或是在排遺上打滾，領犬員必須針對所發生的問題進行訓練以避免影響後續的調查 (MacKay *et.al.*, 2008)。

領犬員也是影響偵測犬成敗與否的關鍵。領犬員必須有良好的體能，以應付野外環境中各種突發的狀況。同時，也必須具備敏銳的觀察力，並且熟悉偵測犬的行為和反應，和偵測犬溝通良好，在對的時機給予偵測犬獎勵，正增強偵測犬對目標物種的連結。此外，領犬員必須具有正面積極的態度，如果領犬員缺乏注意力或是挫折，偵測犬很可能會受到影響，進而導致工作表現不佳。

在國外，偵測犬已被廣泛應用。臺灣由於野外的環境和外國仍有所差異，偵測犬在臺灣的應用也無法如法炮製，因此多年來從來沒有使用排遺偵測犬進行調查研究。過去雖然有黑熊排遺偵測犬，礙於黑熊分布區域主要以深山為主，偵測犬體力消耗大，導致偵測犬應用於黑熊排遺研究的效益不高。

二、石虎預測分布圖

目前已知國內最高海拔的石虎點位資料為東海大學林良恭老師研究室於南投人倫林道所拍攝的 1,500 公尺 (林良恭等人, 2008)。國外的最高海拔分布記錄則是 2012 年位在尼泊爾東部喜馬拉雅山脈的干城章嘉峰保護區內 (Kanchanjungha Conservation Area)，位於海拔 4,500 公尺 (Wildlife Conservation Nepal, 2012)。

本研究中使用的石虎點位資料最高海拔只有 701 公尺，而預測結果顯示石虎的分布地區海拔介於 4-877 公尺之間，可能因為石虎的點位資料樣本數不足而導致在海拔 1,000 公尺以上可能有石虎出沒的地區被低估了。但國內學者分別在 2004、2007 和 2008 年在雪霸國家公園內以自動相機調查野生動物的報告顯示，所有的相機都沒有拍到任何石虎（裴家騏，2004；蘇秀慧，2007；蘇秀慧，2008）；而林良恭老師研究室在 1,500 公尺的人倫林道也只拍到 1 張石虎，顯示近年來石虎可能只分布在較低海拔的地區。

本研究參考 103 年度臺北動物園動物認養保育計畫審查結果（附錄 4）意見，把泰安鄉剔除，其餘保持原有設定，進行 MaxEnt 預測分布。模式的 AUC 值為 0.868，訓練獲益、驗證獲益和 AUC 獲益皆顯示森林覆蓋度、坡度、離森林最近距離和海拔為對預測結果皆實力較強的因子。比較兩個 MaxEnt 預測模式，以全部樣區建模的模式，AUC 值為 0.917，有更好的預測能力，故被本研究所採納。

苗栗縣較多人居住的中西部地區多為沿海平原地區及丘陵地形，往東邊延伸就是海拔逐漸遞增的山區，相對於中西部來說，居民較少。石虎的食性中，以哺乳動物出現的的相對頻度最高（莊琬琪，2012）。平原地區多以種值稻米為主，稻田中的動物包括鼠類和鳥類都提供了石虎豐富的食物來源，因此食物資源的分布可能和石虎偏好此海拔和坡度有關。國外也有研究貓科動物的文獻，在預測因子方面加入目標物種的獵物的豐富度（Bashir *et al.*, 2014），未來如果還有進行石虎預測分布的相關研究，可以考慮加入鼠類和鳥類的豐富度圖層資料，其產生的預測分布模式準確性和可信度應該會更高。

棲地選擇指數顯示，石虎並沒有特定偏好於道路密度為 0 的地區，反而偏好於道路密度為 0-4 公尺/10,000 平方公尺及離道路最近距離為 250 公尺以下的地區。一般而言，野生動物會盡可能迴避有道路的地區並且活動範圍以離道路越遠越好。苗栗地區道路分布密度高，石虎雖然無法完全迴避道路，Ei 值卻也顯示石虎會迴避道路密度較高的地區。另外，

部分點位資料 (24 筆, 17%) 為路殺資料, 正位於道路上, 也可能影響了石虎對道路密度和離道路最近距離的偏好程度。

本研究所使用的水源圖層僅包含河川、水庫和湖泊三種水源, 而苗栗地區主要的水庫已發展為觀光勝地 (如明德水庫)。周遭發展所帶來的人為干擾影響, 可能是造成石虎的分布並沒有特別偏好離水源較近的區域。

由預測圖 (圖 9) 顯示, 預測有石虎分布的網格約占全部網格的 15%, 近 1/5 分布在通霄鎮內, 通霄鎮、三義鄉和銅鑼鄉石虎的分布機率最高, 也有較完整的大片棲地分布, 對於石虎族群來說是較良好的棲地選擇。可以考慮在通霄鎮和三義鄉預測有石虎分布地區之間最接近的位置, 即三義鄉西湖村和勝興村的三義交流道附近, 建立生態廊道 (圖 20), 給予石虎安全通往兩大區塊的管道, 避免更多的石虎遭遇路殺的危險。

造橋鄉和頭屋鄉兩大分布區塊是苗栗縣北部石虎分布預測機率較高且較完整的區塊。兩大區塊主要由明德水庫和臺 13 線尖豐公路附近的社區所區隔, 臺 13 線為苗栗縣的主要道路之一, 其中尖豐公路路段更是前往明德水庫的主要幹道。本研究建議在北坑村和象山村之間建立一條生態廊道, 以減緩北部的棲地破碎化和族群分隔, 並減少路殺 (圖 21)。

陸、結論

本研究測試偵測犬在室內外對石虎排遺的偵測率和正確率，通過測試後再利用偵測犬在苗栗地區搜尋野外的石虎排遺。偵測犬室內外測試結果顯示，室內正確率 86%，室外偵測率為 75%，正確率為 86%。經過初期的野外探索階段後，樣帶調查發現的排遺經過 DNA 鑑定後，偵測犬在野外的正確率為 100%，顯示偵測犬可以當做一個快速辨識排遺的有效工具，應用於野外石虎排遺的調查，成效良好。

面對數量日益減少的石虎，研究者迫切需要更有效率的野外調查方法來進行研究。過去在苗栗的研究以自動相機和無線電追蹤為主，花費的時間較長。礙於時間和人力的考量，如果要在短期內執行更多的石虎相關研究，則應該利用可以在短時間內收集最多樣本資料的調查方法如利用排遺偵測犬，可以在短時間內收集更多資料，但相關費用較高。

MaxEnt 預測石虎分布的面積為 296.56 平方公里，模式的訓練和驗證資料平均 AUC 值分別為 0.917 和 0.874，顯示模式適合度良好。以棲地選擇指數 E_i 值分析，苗栗地區的石虎是低海拔的森林性物種，偏好在道路密度低的地區活動。分析結果顯示石虎沒有完全迴避道路，推測是苗栗地區的道路密度高，造成石虎只能迴避道路密度高的地區。由此可見，森林仍是影響石虎存續的重要因子。

苗栗近年來開發速度非常快，為了興建大量的農舍或別墅，不斷砍伐森林用地，造成石虎棲息地的喪失和破碎化程度日益嚴重。棲息地減少造成的食物資源短缺和為了穿越道路而造成的路殺事件，還有當地居民對石虎的誤解而產生的殺機，都對當地石虎的生存帶來極大的威脅。在苗栗地區，石虎和人類的人虎衝突一直持續著，如何讓當地居民接受石虎的存在並且一起共同保育石虎是研究者的一大考驗。

參考文獻

- 王翎 (2014) 利用粒線體與微衛星分子標記分析臺灣石虎族群遺傳結構。國立臺灣大學碩士論文。98 頁。
- 江鴻猷、曾喜育、邱清安、曾彥學 (2014) 樣本數量對最大熵物種分布模式準確度之影響：以臺灣水青岡為例。林業研究季刊 36(2):101-114。
- 邱清安、徐憲生、林信輝 (2014) 結合 GBIF 與 MaxEnt 預測臺灣赤楊之適宜生育地。中華水土保持學報 45(3):198-206。
- 汪松 (編) (1998) 中國瀕危動物紅皮書：獸類。科學出版社，417 頁。
- 林良恭、關永才、Dr. Cara Lin Bridgman、林艾德、侯惠美、張育誠、陳廣霖、朱巧雯、童淑媚、王豫煌、袁守立、陳家鴻、吳榮笙、陳柏豪、賴正慧、蔡翰征、陳逸文、蔡政修、楊怡明、陳姿言、林俊良、王詩婷、葉韋稔、詹雯惠、李毓文、廖千慧、羅美娟、蔡子晴、馮盈捷、彭良維、高敏雅、巫奇勳、莊銘豐、劉宛宜、徐睿伶、劉俊良、鄭偉群、林譯賢 (2008) 人工林不同疏伐強度作業對脊椎動物族群及群聚組成之影響。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫。NSC 96-2621-Z-029-001。東海大學生命科學系。
- 林良恭、關永才、卓逸民、汪碧涵、楊宗愈、賴伯琦 (2008) 雪霸國家公園-日據時代雪山地區生物資源研究文獻彙編與經典論文之翻譯研究。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫。9723。東海大學熱帶生態學與生物多樣性研究中心、國立自然科學博物館植物組、大葉大學生物資源學系。
- 林良恭、姜博仁、陳美汀、陳家鴻、張燕伶 (2009) 保育類哺乳動物生息現況分析與生態資訊建置。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 97-03 號。台灣哺乳動物學會。

- 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。國立屏東科技大學碩士論文。175 頁。
- 麥錦萱 (2013) 苗栗農村小型食肉目動物被獵捕之現況。國立屏東科技大
學碩士論文。62 頁。
- 莊琬琪 (2012) 苗栗通霄地區石虎 (*Prionailurus bengalensis chinensis*)及
家貓 (*Felis catus*)之食性分析。國立屏東科技大學碩士論文。59 頁。
- 陳厚昌、羅南璋、張偉顛、黃凱易 (2011) 微地形效應對預測模式外推空
間分布功效的影響。2011 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會
論，台灣地理資訊學會主辦。台北：台大醫院國際會議中心。
- 張簡琳玟、張簡琳玲、劉建男 (2004) 台灣貓科動物的分布調查與遺傳變
異度研究 (2/3)。特有生物研究保育中心研究報告。
- 黃美秀、裴家騏、陳美汀、張星雯、梁又仁、孫敬閔 (2004) 自動照相機
應用於中大型野生動物族群監測之研究。內政部營建署雪霸國家公
園管理處委託研究報告。093-301020500G-015。屏東科技大學。
- 黃美秀、潘怡如 (2009) 野生動物排遺偵測犬。大自然季刊 105:46-53。
- 裴家騏、陳美汀、張星雯、梁又仁、孫敬閔 (2004) 雪霸國家公園哺乳類
調查研究—大雪山地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研
究報告。093-301020500G-005。屏東科技大學。
- 裴家騏、陳美汀、張星雯、梁又仁、孫敬閔 (2004) 自動照相機應用於中
大型野生動物族群監測之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處
委託研究報告。093-301020500G-015。屏東科技大學。
- 裴家騏、陳美汀 (2006) 新竹、苗栗之淺山地區小型食肉目動物之現況與
保育研究 (1/3)。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 94-05
號。國立屏東科技大學。

- 裴家騏、陳美汀 (2007) 新竹、苗栗之淺山地區小型食肉目動物之現況與保育研究 (2/3)。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 95-03 號。國立屏東科技大學。
- 裴家騏、陳美汀 (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第 96-01 號。國立屏東科技大學。
- 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 (第 1 年/全程 1 年)。行政院農業委員會林務局 100 年度科技計畫研究報告。100 農科-8.2.1-務-e1。屏東科技大學。
- 裴家騏、陳美汀 (2011) 台灣淺山地區哺乳動物保育的迫切議題。國道永續經營環境復育研討會，交通部臺灣區國道高速公路局主辦。臺北：交通部運輸研究所國際會議廳。119-133。
- 蔡幸蒨 (2011) 臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 族群相對豐富度及分布預測模式。國立屏東科技大學碩士論文。115 頁。
- 劉磊 (2011) 基於基因算法的物種分布模型研究。北京大學本科畢業論文。25 頁。
- 賴智恩 (2013) 以物種分佈模式預測海岸山脈穿山甲之棲地分布。國立屏東科技大學碩士論文。61 頁。
- Awan, M. S., R. A. Minhaz, K. B. Ahmed, and N. I. Dar (2004) Distribution, food and habitat preferences of small mammals in Machiara National Park, District Muzaffarabad, Azad Kashmir, Pakistan. *Punjab University Journal of Zoology*. 19:17-31.
- Bashir, T., T. Bhattacharya, K. Poudyal, S. Sathyakumar, and Q. Qureshi (2014) Integrating aspects of ecology and predictive modelling:

implications for the conservation of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in the Eastern Himalaya. *Acta Theriologica*. 59(1):35-47.

Cablk, M. E., J. C. Sagebiel, J. S. Heaton, and C. Valentin (2008) Olfaction-based Detection Distance: A Quantitative Analysis of How Far Away Dogs Recognize Tortoise Odor and Follow It to Source. *Sensor*. 8(4):2208-2222.

Chiang, P. J., K. J. C. Pei, M. R. Vaughan, C. F. Li, M. T. Chen, J. N. Liu, C. Y. Lin, L. K. Lin, and Y. C. Lai (2015) Is the clouded leopard *Neofelis nebulosa* extinct in Taiwan, and could it be reintroduced? An assessment of prey and habitat. *Oryx*. 49(2):261-269.

Clare, J. D. J., E. M. Anderson, D. M. MacFarland, and B. L. Sloss (2015) Comparing the costs and detectability of bobcat using scat-detecting dog and remote camera surveys in central Wisconsin. *Wildlife Society Bulletin*. 39(1):210-217.

Cuyckens, G.A.E., M. M. Morales, and M. F. Tognelli (2014) Assessing the distribution of a Vulnerable felid species: threats from human land use and climate change to the kodkod *Leopardus guigna*. *Oryx*, online October 2014.

Cuyckens, G. A. E., P. G. Perovic, and L. Cristobal (2015) How are wetlands and biological interactions related to carnivore distributions at high altitude? *Journal of Arid Environments*. 115:14–18.

Dematteo, K. E., M. A. Rinas, M. M. Sede, B. Davenport, C. F. Argüelles, K. Lovett, and P. G. Parker (2009) Detection Dogs: An Effective Technique for Bush Dogs Surveys. *The Journal of Wildlife Management*. 73(8):1436-1440.

- Dirzo, R., H. S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N. J. B. Isaac, and B. Collen (2014) Defaunation in the Anthropocene. *Science*. 345(6195):401-406.
- Ellerman, J. R., and T. C. S. Morrison-Scott (1966) Checklist of Palaearctic and Indian mammals, 1758 to 1946. Trustees of the British Museum (Natural History), 2nd Revised edition edition. 810pp.
- Fukuhara, R., T. Yamaguchi, H. Ukuta, S. Roy, J. Tanaka, and G. Ogura (2010) Development and introduction of detection dogs in surveying for scats of small Indian mongoose as invasive alien species. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*. 5(2):101-111.
- Harrington, L. A., A. L. Harrington, J. Hughes, D. Stirling, and D. W. Macdonald (2010) The accuracy of scat identification in distribution surveys: American mink, *Neovison vison*, in the northern highlands of Scotland. *European Journal of Wildlife Research*. 56(3): 377-384.
- Harrison, R. L (2006) A Comparison of Survey Methods for Detecting Bobcats. *Wildlife Society Bulletin*. 34(2):548-552.
- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master, and D. L. Albert (2006) The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecorgraphy*. 29(5):773-785.
- 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(9):1884-1890.
- Lit, L., J. B. Schweitzer and A. M. Oberbauer (2011) Handler beliefs affect scent detection dog outcomes. *Animal Cognition*. 14(3):387-394.

- Long, R. A., T. M. Donovan, P. Mackay, W. J. Zielinski, and J. S. Buzas (2007) Effectiveness of Scat Detection Dogs for Detecting Forest Carnivores. *The Journal of Wildlife Management*. 71(6):2007–2017.
- Lorica, M. R. P., and L. R. Heaney (2013) Survival of a native mammalian carnivore, the Leopard cat *Prionailurus bengalensis* Kerr, 1792 (Carnivora: Felidae), in an agricultural landscape on an oceanic Philippine Island. *Journal of Threatened Taxa*. 5(10):4451-4560.
- MacKay, P., D. A. Smith, R. A. Long, and M. Parker (2008) Scat Detection Dogs. p.183-222. In: Long, R. A., P. Mackay, J. Ray, W. Zielinski (eds.) *Noninvasive Survey Methods for Carnivores*. Island Press, Washington.
- Marino, J., M. Bennett, D. Cossios, A. Iriarte, M. Lucherini, P. Pliscoff, C. Sillero-Zubiri, L. Villalba, and S. Walker (2011) Bioclimatic constraints to Andean cat distribution: a modelling application for rare species. *Diversity and Distributions* 17(2):311–322.
- McCarthy, J. L., H. T. Wibisono, K. P. McCarthy, T. K. Fuller, and N. Andayani (2015) Assessing the distribution and habitat use of four felid species in Bukit Barisan Selatan National Park, Sumatra, Indonesia. *Global Ecology and Conservation*. 3:210–221.
- Mohamed, A., R. Sollmann, H. Bernard, L. N. Ambu, P. Lagan, S. Mannan, H. Hofer, and A. Wilting (2013) Density and habitat use of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in three commercial forest reserves in Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Mammalogy*. 94(1):82-89.
- Mondal, K., K. Sandar, and Q. Qureshi (2013) Factors influencing the distribution of leopard in a semiarid landscape of Western India. *Acta Theriologica*. 58(2): 179-187.

- Monterroso, P., J. C. Brito, P. Ferreras, and P. C. Alves (2009) Spatial ecology of the European wildcat in a Mediterranean ecosystem: dealing with small radio-tracking datasets in species conservation. *Journal of Zoology*. 279(1): 27–35.
- Oesterhelweg, L., S. Kröber, K. Rottmann, J. Willhöft, C. Braun, N. Thies, K. Püschel, J. Silkenath, and A. Gehl (2008) Cadaver dogs—a study on detection of contaminated carpet squares. *Forensic Science International*. 174(1):35–39.
- Pearce, J. L., and M.S. Boyce. (2006) Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of Applied Ecology*. 43: 405-412.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190(3-4):231-259.
- Phillips, S. J., M. Dudik, and R. E. Schapire (2004) A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modelling. P655-662. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning (ICML-04)*. 2004. Banff, Alberta, Canada.
- Pryor, K (2007) *Don't Shoot the Dog!: The New Art of Teaching and Training*. 黃薇菁譯。商周出版， 256 頁。
- 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(2):209-217.
- Reed, S. E., A. L. Bidlack, A. Hurt, and W. M. Getz (2011) Detection distance and environmental factors in conservation detection dog surveys. *The Journal of Wildlife Management*. 75(1):243-251.

- Reynolds-Hogland, M. J., and M. S. Mitchell (2007) Effects of Roads on Habitat Quality for Bears in the Southern Appalachians: A Long-term Study. *Journal of Mammalogy*. 88(4):1050-1061.
- Rho, P. H (2009) Use of GIS to Develop a Multivariate Habitat Model for the Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) in Mountainous Region of Korea. *Journal of Ecology and Field Biology*. 32(4):229-236.
- Rolland, R. M., P. K. Hamilton, S. D. Kraus, B. Davenport, R. M. Gillett, and S. K. Wasser (2006) Faecal sampling using detection dogs to study reproduction and health in North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*). *Journal of Cetacean Research and Management*. 8(2):121-125.
- Smith, D. A., K. Ralls, A. Hurt, B. Adams, M. Parker, B. Davenport, M. C. Smith, and J. E. Maldonado (2003) Detection and accuracy rates of dogs trained to find scats of San Joaquin kit foxes (*Vulpes macrotis mutica*). *Animal Conservation*. 6:339-346.
- Strauss, R. E (1979) Reliability Estimates for Ivlev's Electivity Index, the Forage Ratio, and a Proposed Linear Index of Food Selection. *Transactions of the American Fisheries Society*. 108(4):344-352.
- Sunquist, M., and F. Sunquist (2002) *Wild Cats of the World*. The University of Chicago Press, Chicago. 462pp.
- Swets, J. A (1988) Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*. 240(4857):1285-1293.
- Wasser, S. K., H. Smith, L. Madden, N. Marks, and C. Vynne (2009) Scent-Matching Dogs Determine Number of Unique Individuals From Scat. *The Journal of Wildlife Management*. 73(7): 1233–1240.
- Wasser, S. K., B. Davenport, E. R. Ramage, K. E. Hunt, M. Parker, C. Clarke, and G. Stenhouse (2004) Scat detection dogs in wildlife research and

management: application to grizzly and black bears in the Yellowhead Ecosystem, Alberta, Canada. *Canadian Journal of Zoology*. 82(3):475-492.

Watanabe, S., N. Nakanishi, and M. Izawa (2003) Habitat and prey resource overlap between the Iriomote cat *Prionailurus iriomotensis* and introduced feral cat *Felis catus* based on assessment of scat content and distribution. *Mammal Study*. 28(1):47-56.

Wenger, S. J., and M. C. Freeman (2008) Estimating species occurrence, abundance, and detection probability using zero-inflated distributions. *Ecology*. 89(10) :2953-2959.

Wilting, A., A. Cord, A. J. Hearn, D. Hesse, A. Mohamed, C. Traeholdt, S. M. Cheyne, S. Sunarto, M. Jayasilan, J. Ross, A. C. Shapiro, A. Sebastian, S. Dech, C. Breitenmoser, J. Sanderson, J. W. Duckworth, and H. Hofer (2010) Modelling the Species Distribution of Flat-Headed Cats (*Prionailurus planiceps*), an Endangered South-East Asian Small Felid. *PLoS ONE*. 5(3): e9612.

WWF (2014) Species and spaces, people and places. Living Planet Report 2014. WWF International, Gland, Switzerland

網路參考文獻

中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心 (2012) 臺灣 30 米數值地形模型資料(DEM)第二版。2015 年 8 月 12 日，取自「Quantum GIS 資源網@Sinica」：<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/qgis/?p=1619>

內政部地政司 (2013) 縣(市)行政區域界線。開放地理空間資料。2015 年 1 月 20 日，取自「地理資訊圖資雲服務平台」：

http://tgos.nat.gov.tw/tgos/Web/MetaData/TGOS_MetaData_View.aspx?MID=TW-09-301000000A-000005&SHOW_BACK_BUTTON=false

臺灣鄉土書目資料庫 (2012) 瀏覽服務：地圖瀏覽 (苗栗縣)。2015 年 8 月 12 日，取自 http://localdoc.ncl.edu.tw/tmld/browse_map.jsp?map=0600

International Society for Endangered Cats (ISEC) Canada (2014) Leopard Cat. Retrieved August 12, 2015, from World Wide Web: <http://www.wildcatconservation.org/wild-cats/asia/leopard-cat/>

Sanderson, J., S. Sunarto, A. Wilting, C. Driscoll, R. Lorica, J. Ross, A. Hearn, S. Mujkherjee, J. A. Khan, B. Habib, and L. Grassman (2008) *Prionailurus bengalensis*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. Retrieved August 12, 2015, from World Wide Web: <http://www.iucnredlist.org/details/18146/0>

Wildlife Conservation Nepal (2012) Leopard Cat found at 4500m. Retrieved April 23, 2015, from World Wide Web: <http://www.wcn.org.np/2012/09/17/News/Leopard-Cat-found-at-4500m-149.html>

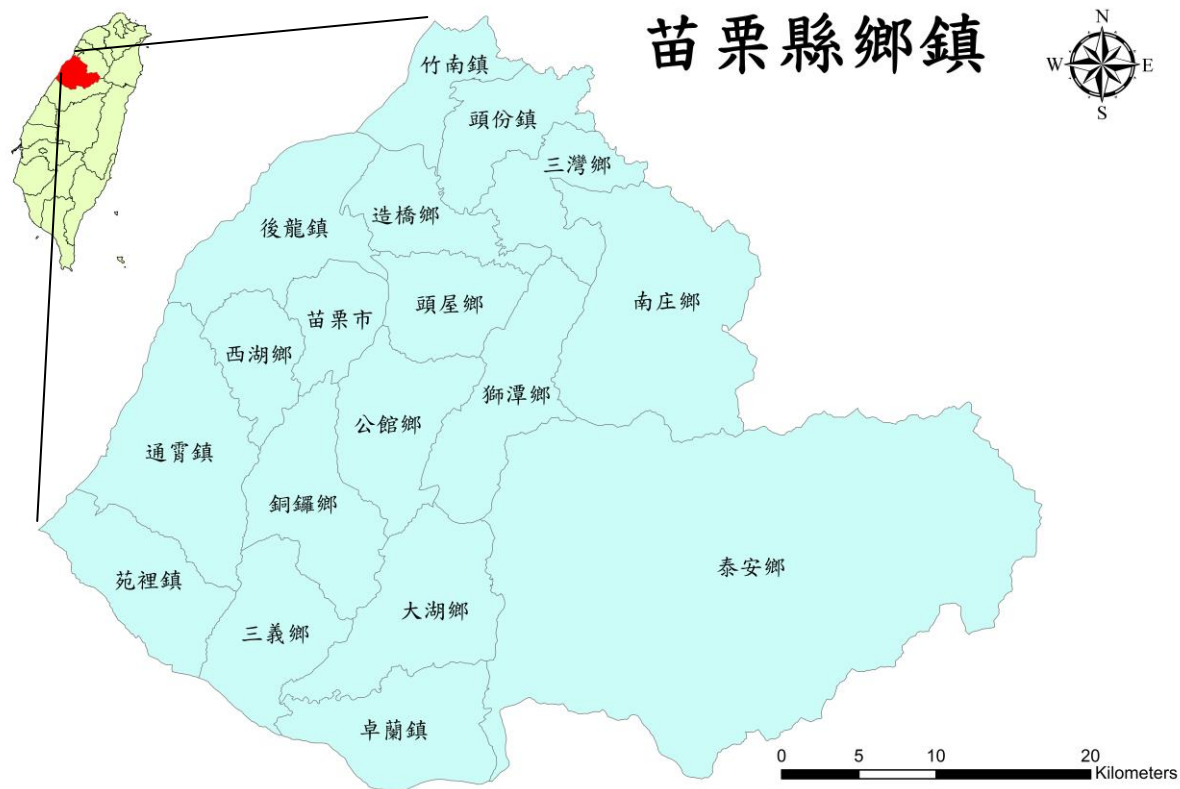


圖 1、苗栗縣位於臺灣本島西北部，縣內共有 18 個鄉鎮，面積共 1,820.31 平方公里。



圖 2、排遺偵測犬 Colby，為 2008 年出生的德國短毛波音達犬 (German Shorthaired Pointer) 。



圖 3、本研究參考國外文獻 (Oesterhelweg *et al.*, 2008)，所製作之室內實驗測試平台。

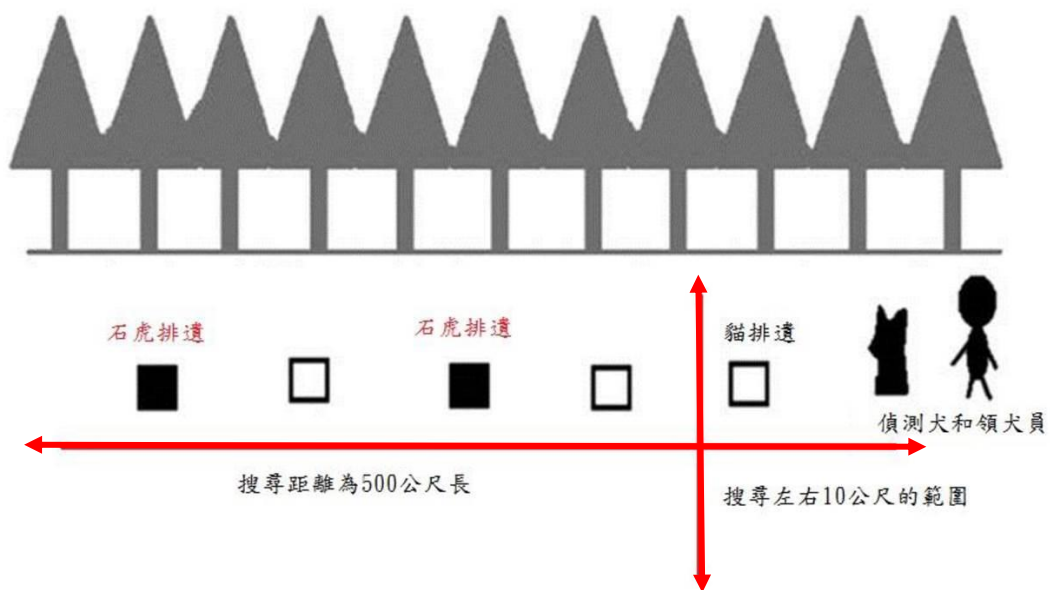


圖 4、偵測犬室外實驗搜尋範圍和排遺擺放位置示意圖 (改編自 Fukuhara *et al.*, 2010)。

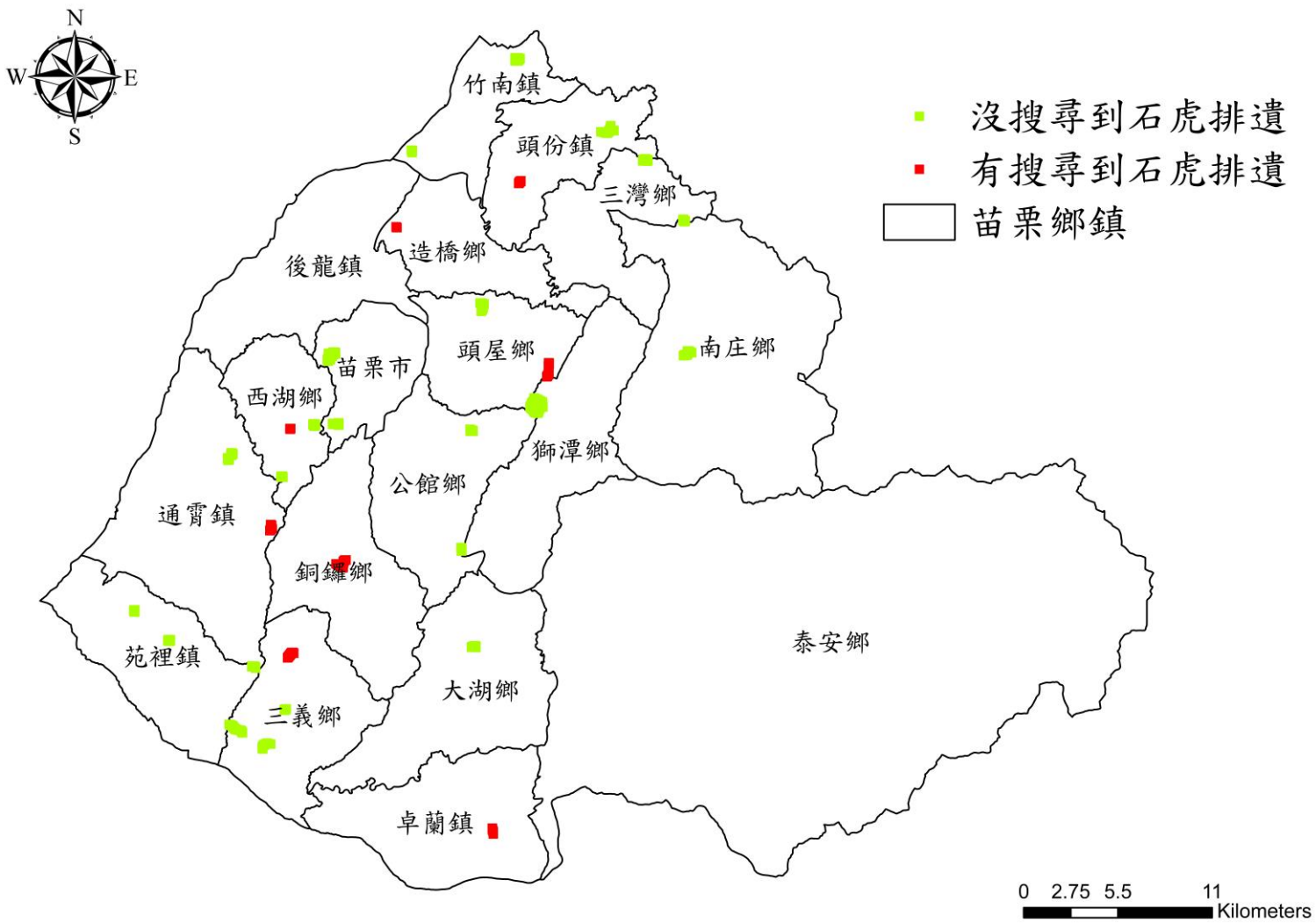


圖 5、排遺偵測犬在苗栗地區搜尋的樣線圖 (n=32)，以紅色代表有找到石虎排遺 (經 DNA 鑑定確認)的樣線，綠色代表沒有找到石虎排遺的樣線。

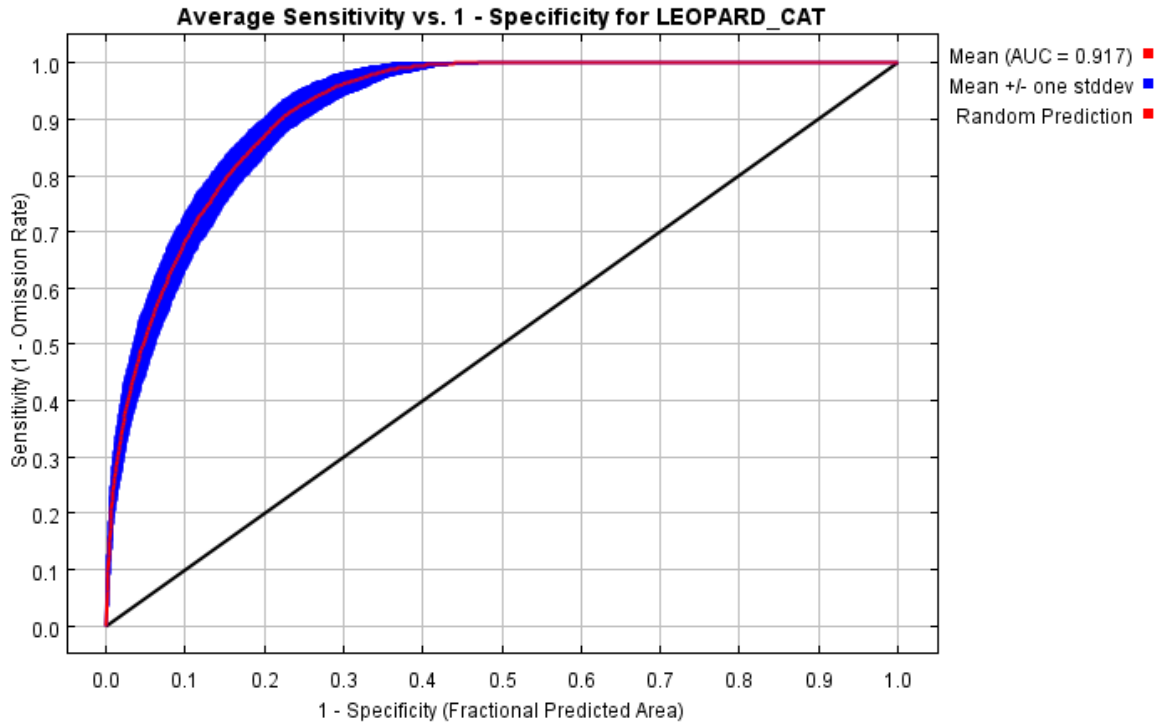


圖 6、MaxEnt 預測模式之受方操作曲線 (Receiver Operating Characteristic, ROC)。本研究進行 100 次重複運算，取其平均值，AUC 值為 0.917。

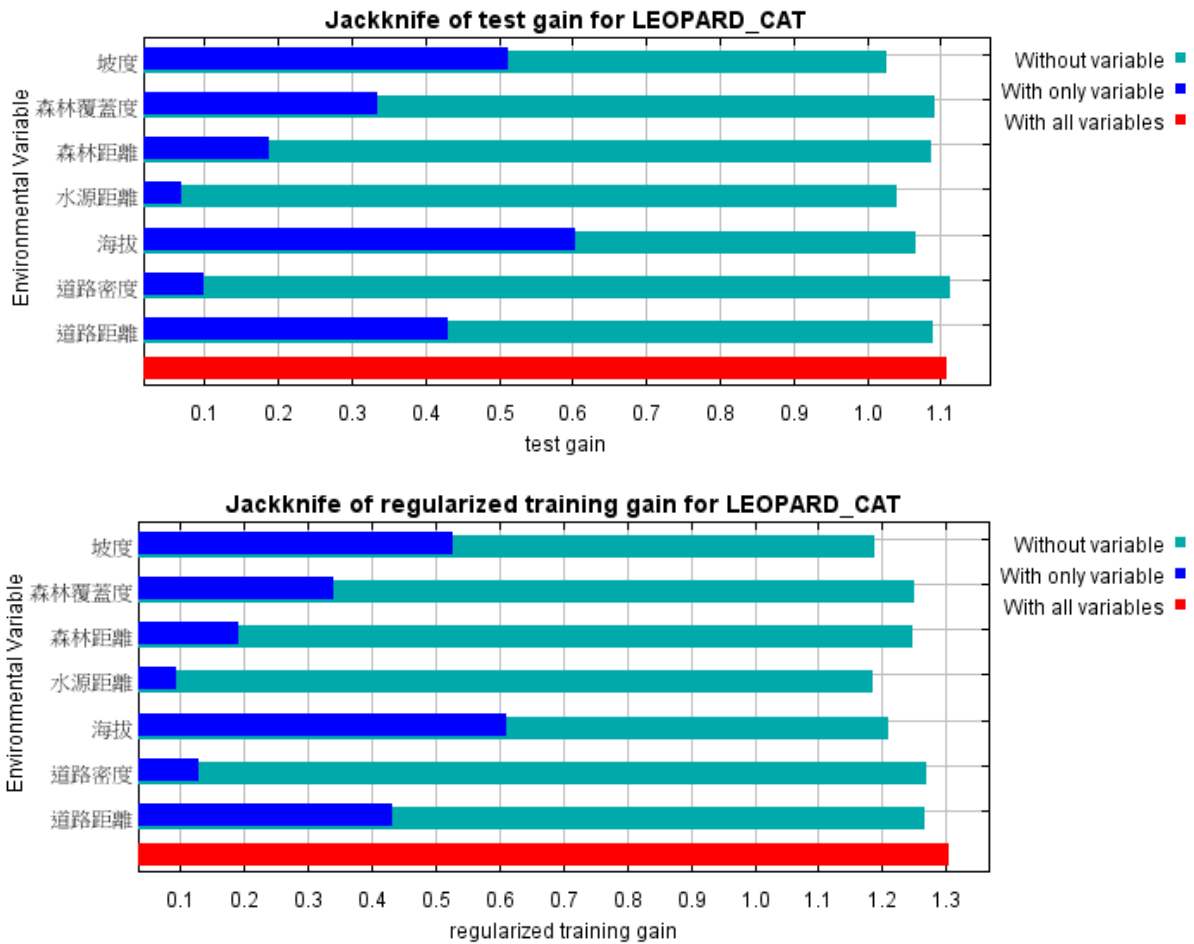


圖 7、以拆刀分析法分析 MaxEnt 模式中各環境因子之單一獲益和損失關係與驗證和訓練獲益之關係。橫軸表示獲益值 (gain)，縱軸表示各項環境因子。紅色長條為整體獲益 (regularized gain)，藍色長條為單一獲益 (single gain)。紅色長條長度減藍綠色長條長度之差，為各環境因子之獨缺損失。

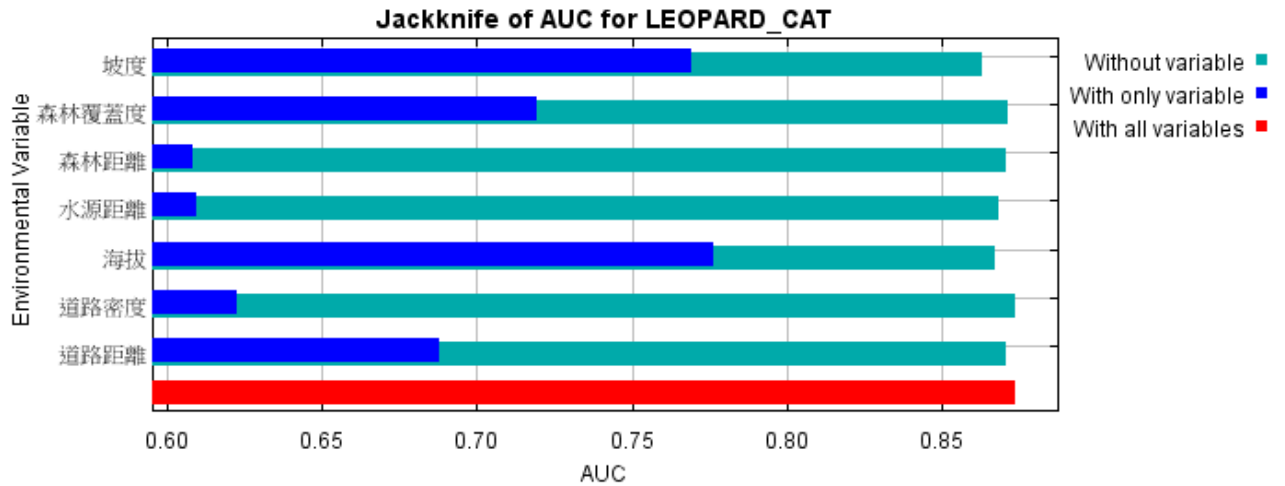


圖 8、以拆刀分析法分析 MaxEnt 模式中各環境因子之單一獲益和損失關係與 AUC 之關係。橫軸表示獲益值 (gain)，縱軸表示各項環境因子。紅色長條為整體獲益 (regularized gain)，藍色長條為單一獲益 (single gain)。紅色長條長度減藍綠色長條長度之差，為各環境因子之獨缺損失。

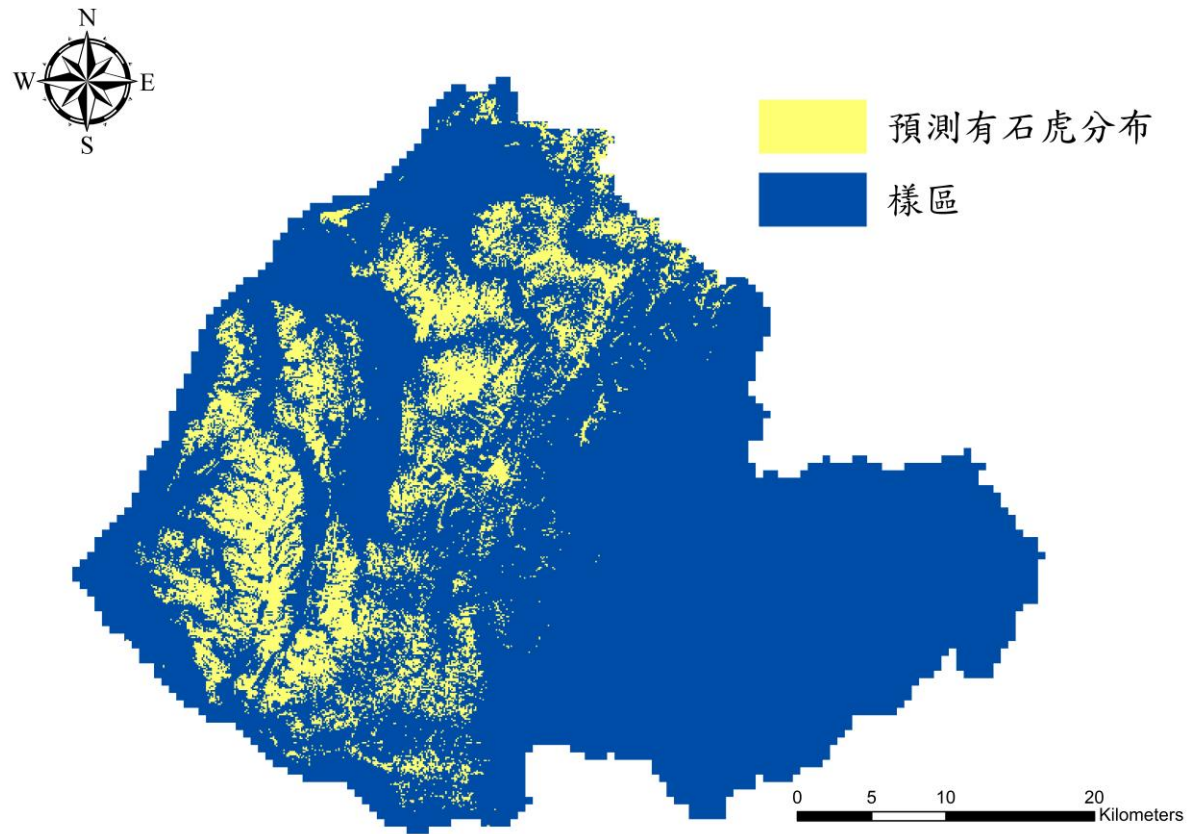


圖 9、MaxEnt 模式所預測之石虎分布圖，樣區以藍色代表，預測有石虎分布的網格以黃色代表，網格大小為 100*100 公尺。



圖 10、石虎預測分布圖 (南部地區-苑裡鎮和通霄鎮)。

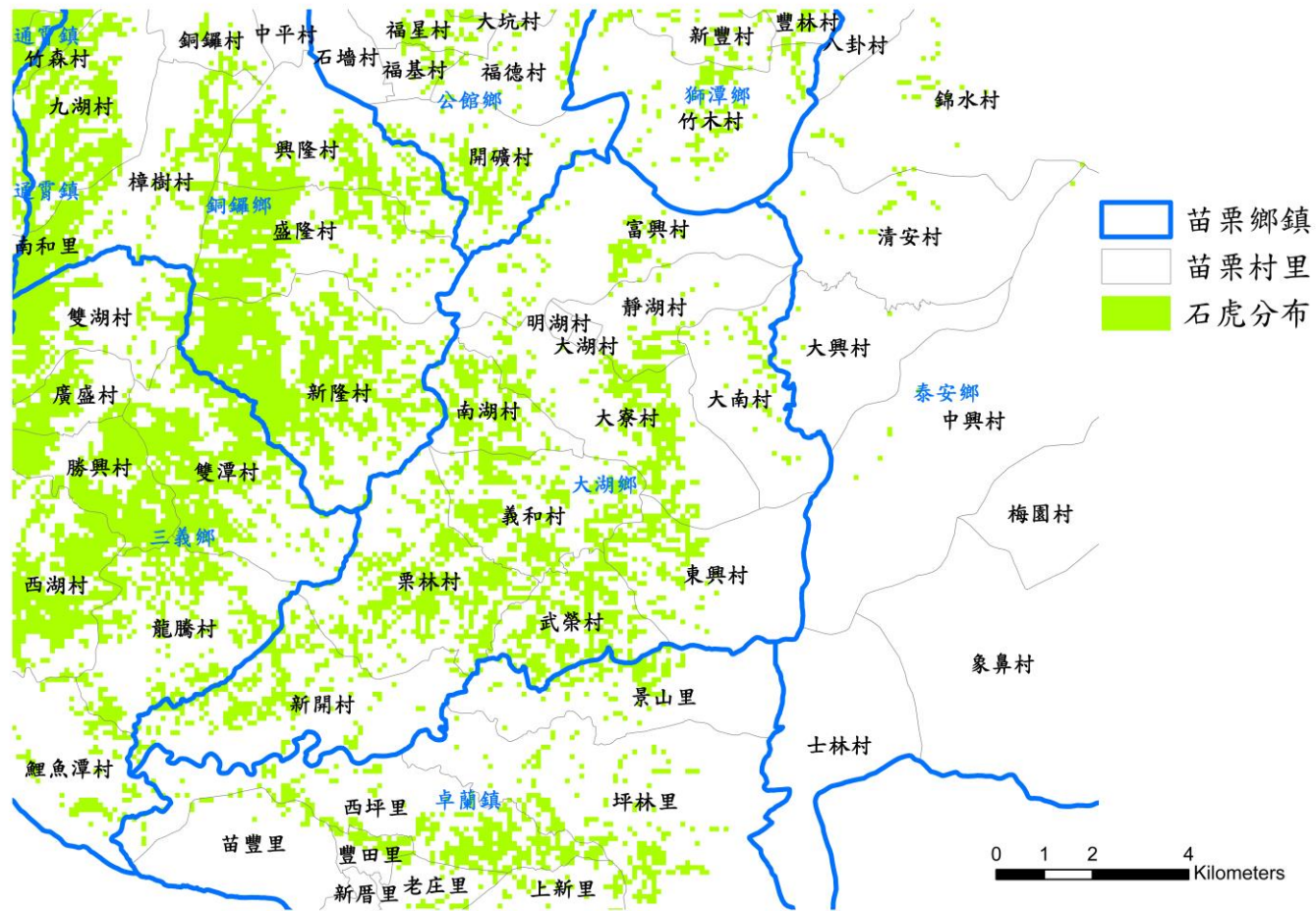


圖 11、石虎預測分布圖 (南部地區-三義鄉、銅鑼鄉和卓蘭鎮)。



圖 12、石虎預測分布圖 (中部地區-後龍鎮、西湖鄉和苗栗市)。



圖 13、石虎預測分布圖 (中部地區-造橋鄉、頭屋鄉、公館鄉和獅潭鄉)。

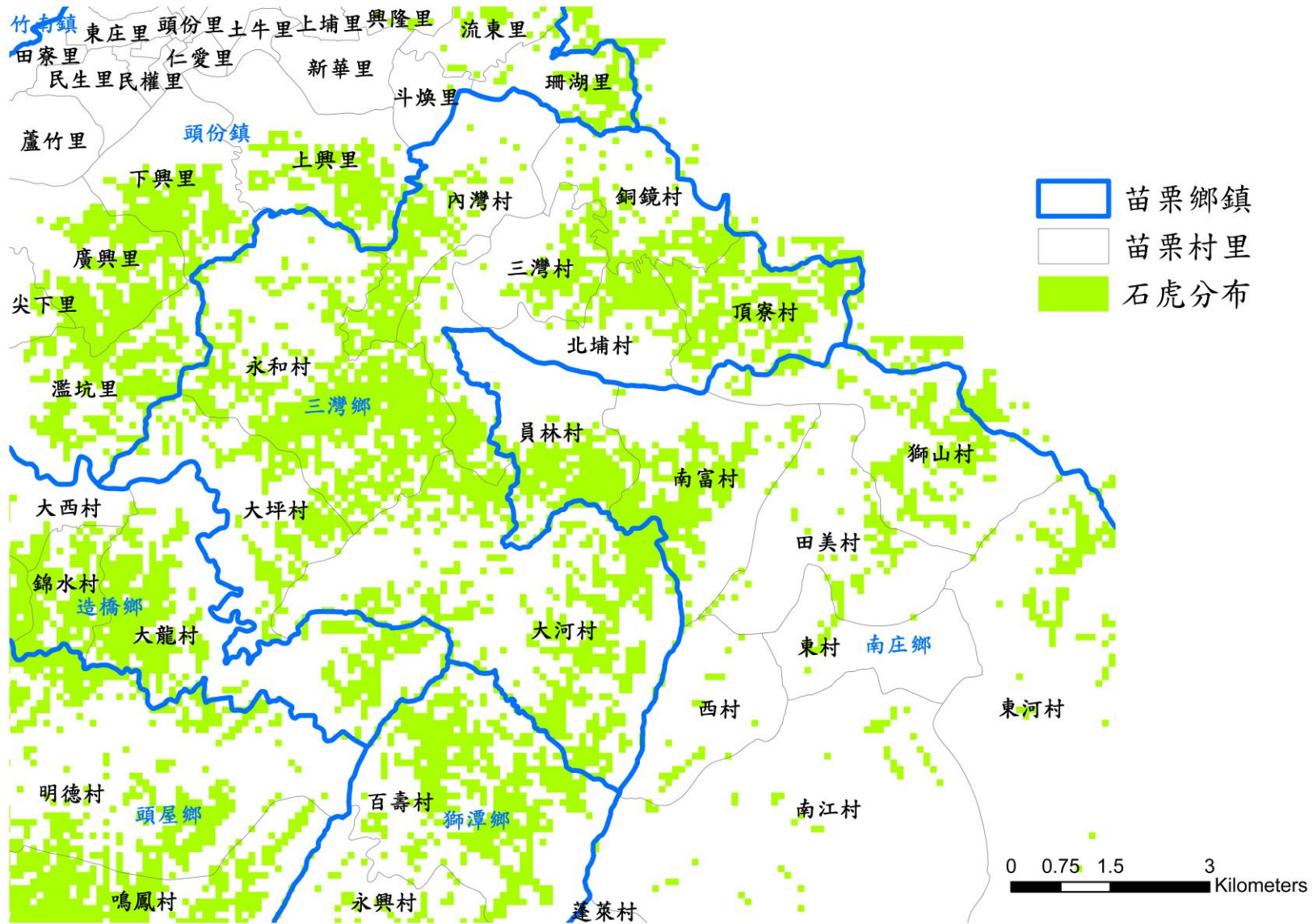


圖 14、石虎預測分布圖 (北部地區-三灣鄉和頭份鎮)。

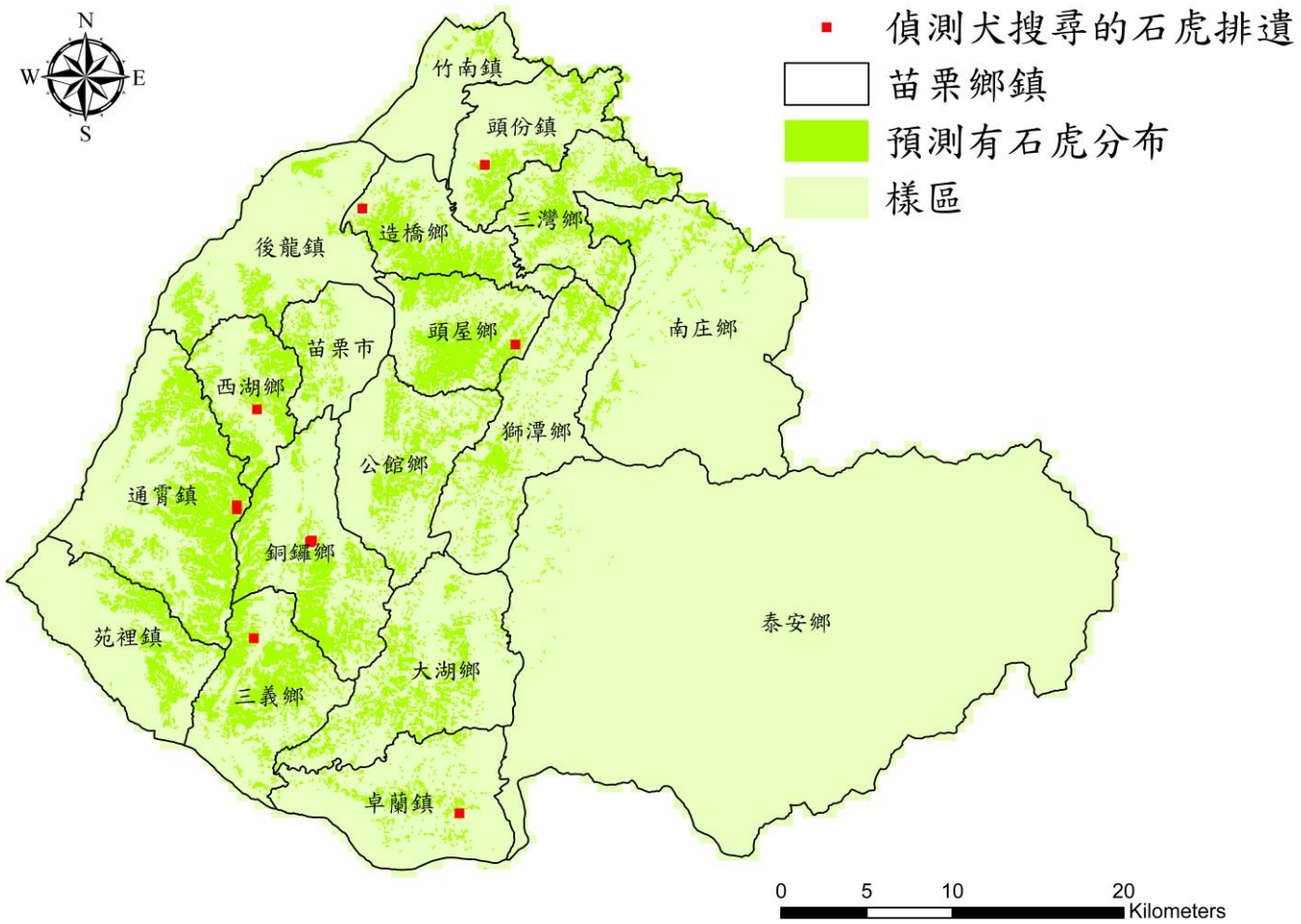


圖 15、以排遺偵測犬搜尋的石虎排遺點位，進一步檢核石虎預測分布圖。

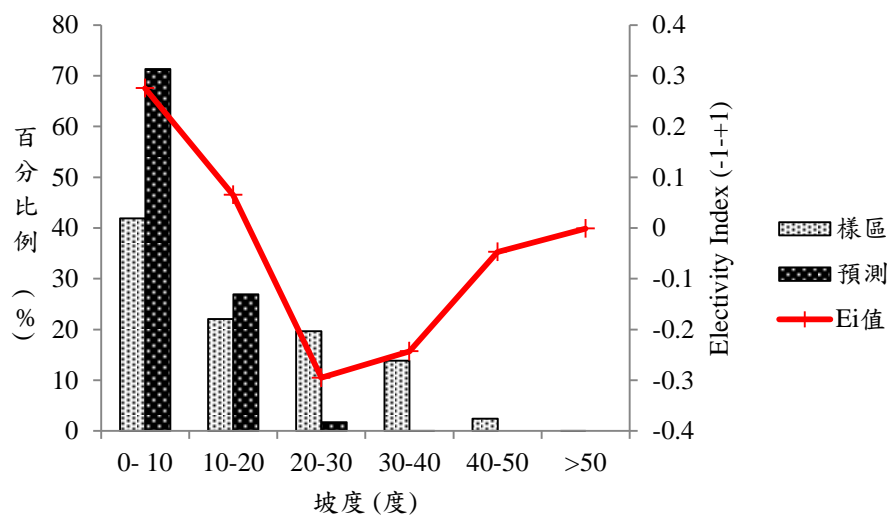
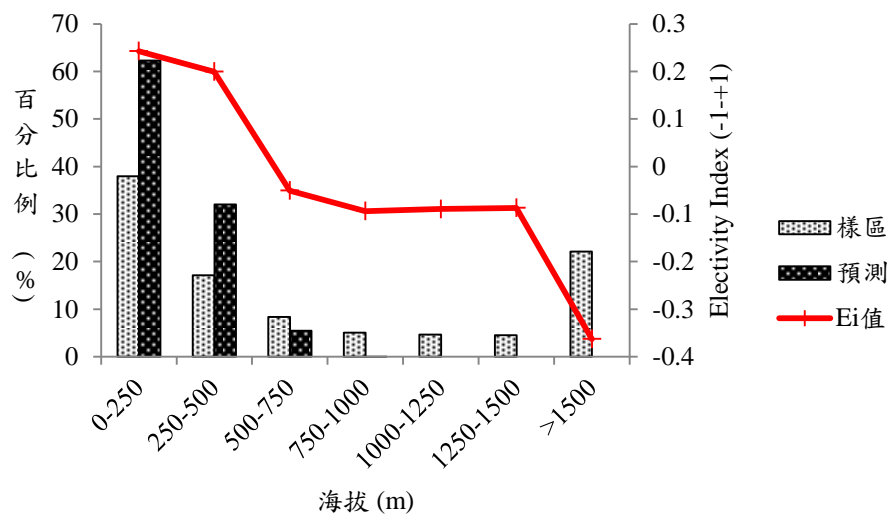


圖 16、樣區和預測有石虎的網格之海拔及坡度的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。

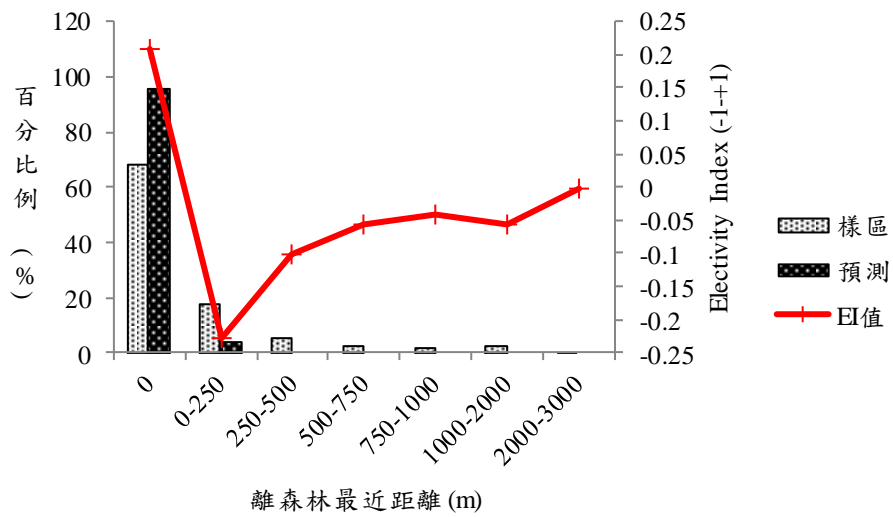
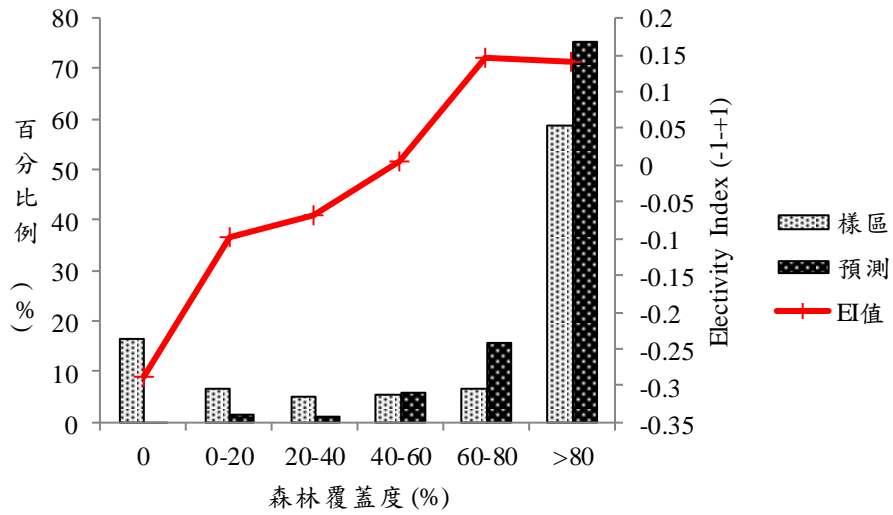


圖 17、樣區和預測有石虎的網格之森林覆蓋度及離森林最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, E_i)。

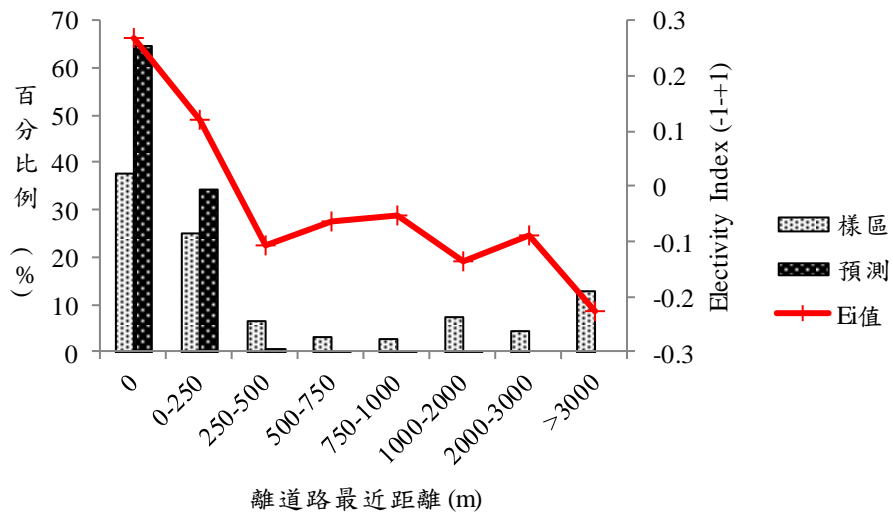
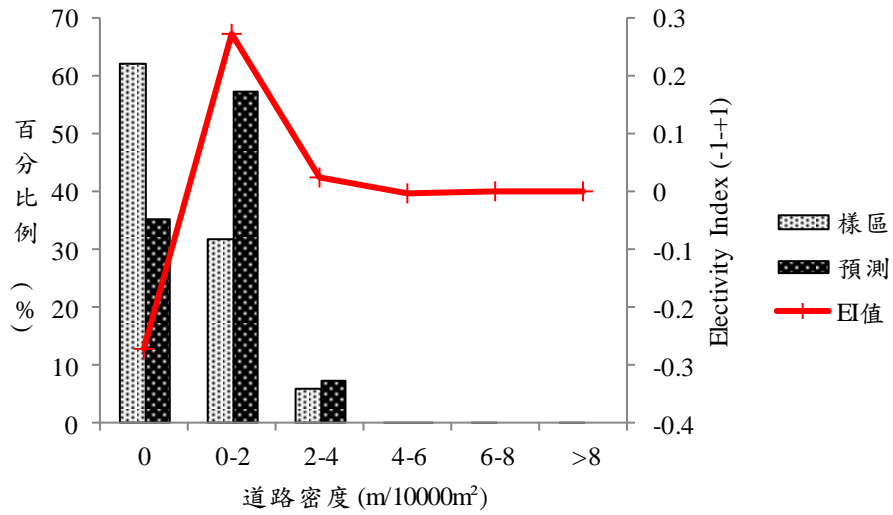


圖 18、樣區和預測有石虎的網格之道路密度及離道路最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。

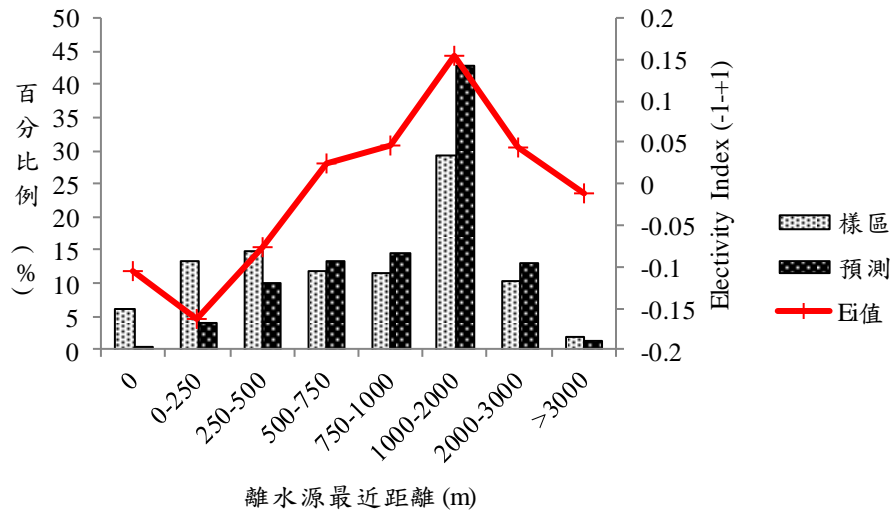


圖 19、樣區和預測有石虎的網格之離水源最近距離的分布百分比，以及石虎之選擇指數 (Electivity Index, Ei)。

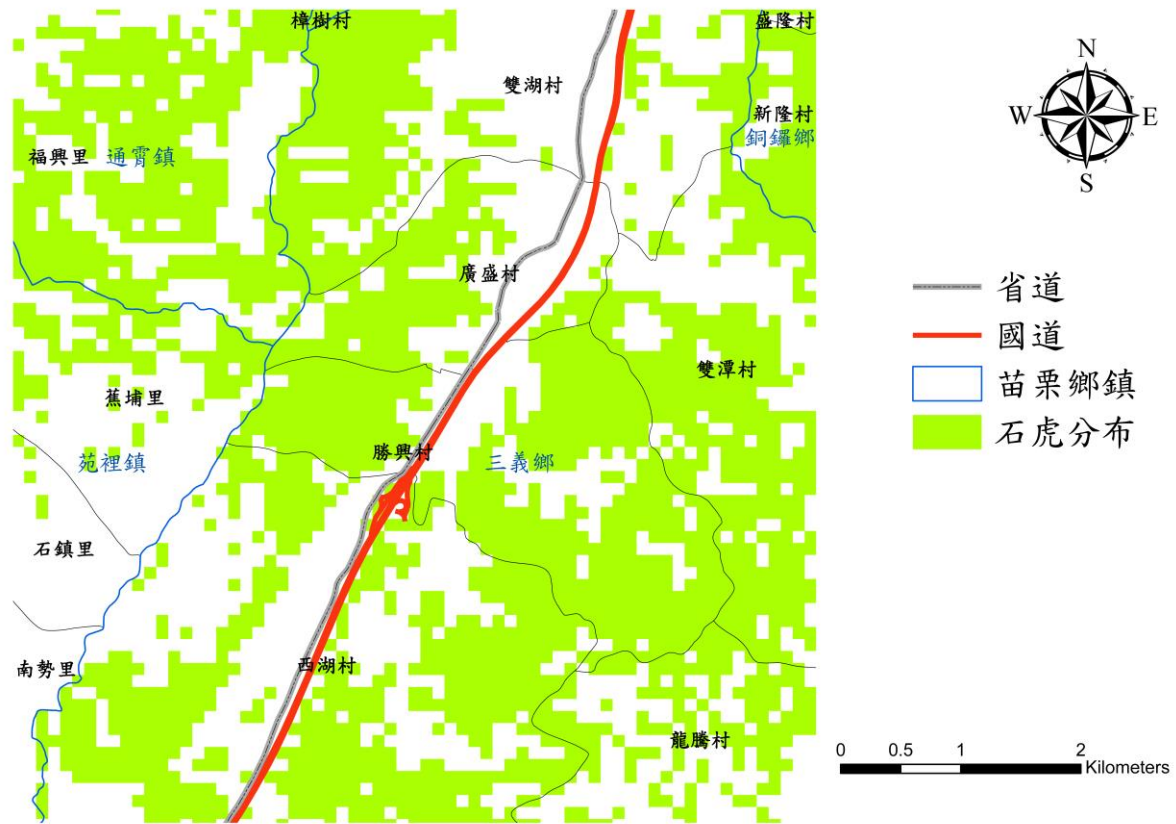


圖 20、連結南部兩大主要石虎分布區域的生態廊道設置地點建議。

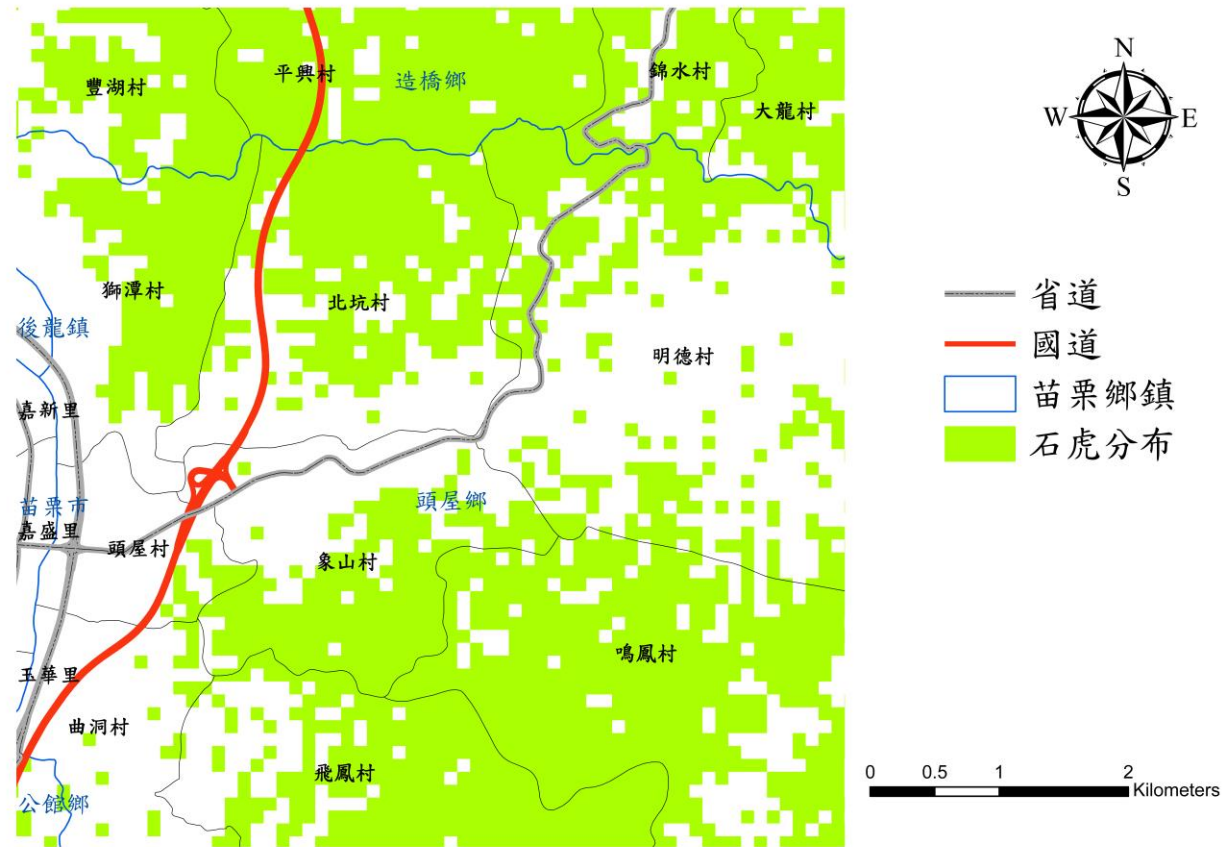


圖 21、連結中部兩大主要石虎分布區域的生態廊道設置地點建議。

表 1、世界十二種石虎的亞種及分布概況。

亞種	分布地區
<i>Prionailurus bengalensis bengalensis</i> (Kerr, 1792)	印度、孟加拉、緬甸、泰國、馬來半島、印尼和中國(除了雲南)
<i>Prionailurus bengalensis javanensis</i> (Desmarest, 1816)	爪哇島和巴厘島
<i>Prionailurus bengalensis sumatranus</i> (Horsfield ,1821)	蘇門答臘島
<i>Prionailurus bengalensis chinensis</i> (Gray ,1837)	中國(除了雲南)和臺灣
<i>Prionailurus bengalensis horsfieldi</i> (Gray,1842)	喀什米爾、旁遮普邦、庫馬盎專區、尼泊爾、錫金和不丹
<i>Prionailurus bengalensis euptilurus/euptilura</i> (Elliott, 1871)	西伯利亞、中國東北、韓國和對馬島
<i>Prionailurus bengalensis borneoensis</i> (Brongersma,1936)	婆羅洲
<i>Prionailurus bengalensis trevelyani</i> (Pocock, 1939)	喀什米爾北部、旁遮普邦和俾路支省南部
<i>Prionailurus bengalensis alleni</i> (Sody,1949)	海南島
<i>Prionailurus bengalensis iriomotensis</i> (Imaizumi,1967)	西表島
<i>Prionailurus bengalensis heaneyi</i> (Groves,1997)	巴拉望島
<i>Prionailurus bengalensis rabori</i> (Groves,1997)	內格羅斯島、宿霧和班乃島

表 2、以非入侵式方法調查短尾貓 (*Lynx rufus*)之比較。

文獻	偵測犬			自動相機			毛髮陷阱			研究樣區
	時間	效率	成本	時間	效率	成本	時間	效率	成本	
Harrison, 2006	5-10 ^a	62 ^b (91 ^c)	5400	3-5 ^a	5 張照片	>2275 ^d	3-5 ^a	1	277 ^d	Chihuahuan Desert
Long <i>et al.</i> , 2007	74 ^e	18.9 ^c	316 ^{d/e}	74 ^e	4 ^c	214 ^{d/e}	74 ^e	0	153 ^{d/e}	Vermont
Clare <i>et al.</i> , 2015	8.8 公里 ^a	14.75 偵測數量/趟	100 ^c	16-20 ^a	32 偵測數量/趟	36 ^c				central Wisconsin

^a單位為天數

^b單位為個

^c單位為百分比

^d單位為美金

^e單位為樣點

表 3、土地利用類型圖層分類依據，以及其在「內政部國土利用調查」中的代碼對照表。

土地利用類型分類	內政部國土利用調查代碼
農業用地	010101，010102，010103，010104
低開發區	010200，0103xx，04xxxx，08xxxx，09xxxx
高開發區	0104xx，03xxxx，05xxxx，06xxxx，07xxxx
針葉林	020101，020201
闊葉林	020102，020202
針闊葉混合林	020103，020104，020203，020204，0203xx

表 4、室內測試結果，正確率為 87%。

日期	放置的排遺		有反應的排遺 ^a		正確率 (%)
	石虎	貓	石虎	貓	
2012/11/2	3	2	3	2	60
2012/11/11	4	1	4	0	100
2012/11/12	2	1	2	0	100
2012/11/15	1	2	1	2	33
2012/11/20	2	1	2	0	100
2012/12/8	2	1	1	0	66
2012/12/12	2	1	2	0	100
2012/12/14	2	1	2	0	100
2012/12/17	3	0	3	0	100
2012/12/19	2	1	2	0	100
2012/12/24	2	1	2	0	100
總數	25	12	24	4	87

^a偵測犬有坐下反應表示認為是石虎排遺

表 5、室外測試結果，偵測率為 75%，正確率為 83%。

趟	日期	時間	放置的石 虎排遺	偵測的石 虎排遺	錯誤反 應	偵測率 (%) ^b	正確率 (%)
1	2013/1/21	傍晚	3	2	1	66	66
2	2013/1/22	清晨	3	2	0	66	100
3	2013/1/23	清晨	2	1	0	50	100
4	2013/1/23	傍晚	2	2	0	100	100
5	2013/1/24	清晨	4	1	0	25	100
6	2013/1/27	清晨	3	3	0	100	100
7	2013/1/27	傍晚	3	3	1	100	75
8	2013/1/28	清晨	2	1	0	50	100
9	2013/1/29	清晨	1	0	0	0	100
10	2013/1/30 ^a	清晨	0	0	1		0
11	2013/1/31	清晨	4	3	0	75	100
12	2013/1/31	傍晚	2	2	0	100	100
13	2013/2/1	清晨	2	2	0	100	100
14	2013/2/2 ^a	清晨	0	0	1		0
15	2013/2/2	傍晚	1	1	1	100	50
16	2013/2/3	清晨	4	3	0	75	100
17	2013/2/4 ^a	清晨	0	0	0		100
18	2013/2/4	傍晚	2	2	1	100	66
19	2013/2/5	清晨	2	2	0	100	100
20	2013/2/5 ^a	傍晚	0	0	0		100
總數			40	30	6	75	83

a 空白試驗

^b 偵測率指對石虎排遺的偵測率，因此空白試驗沒有偵測率

表 6、野外調查的出差天數及搜尋的排遺數量。

月份	出差天數	出差人數	實際工作天數	找到的排遺數量	確認為石虎排遺的數量
3	4	3	3	3	0
4	13	4	9	2	1
5	15	4	7	7	3
6	12	2	8	1	1
8	19	2	9	9	5
9	25	2	10	8	6
總數	88 天	8 人(重複)	46 天	30	16

表 7、偵測犬野外調查初期練習搜尋排遺狀況。

編碼	日期	地區	樣點	DNA 鑑定物種
F1	2014/3/9	通霄鎮	圳頭	麝香貓
F2	2014/3/11	通霄鎮	虎頭崁	失敗
F3	2014/3/11	三義鄉	大坑	失敗
F4	2014/4/3	三義鄉	大坑	失敗
F5	2014/4/3	三義鄉	大坑	石虎
F6	2014/5/3	通霄鎮	虎頭崁	石虎
F7	2014/5/3	三義鄉	建中國小	失敗
F8	2014/5/3	三義鄉	大坑	失敗
F9	2014/5/3	三義鄉	大坑	石虎
F10	2014/5/10	通霄鎮	坪頂	失敗
F11	2014/5/12	通霄鎮	紫雲寺	失敗
F12	2014/5/14	三義鄉	大坑	石虎

表 8、偵測犬搜尋樣線和其環境因素基本資料。

樣線代碼	日期	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	所佔網格數量 ^f	偵測到的目標排遺
T1	2014/5/7	568m	2	1-2	6	1	6	1	2-3	7	0
T2	2014/5/8	760m	1	1	2-6	1-2	6	2-3	1	6	0
T3	2014/5/12	436m	2	1	4-6	1-2	6	1	2	3	0
T4	2014/5/14	775m	2	1	2-6	1-2	7	1-2	1-2	4	0
T5	2014/6/4	1100m	2	1-2	6	1	6	1-2	1-2	14	0
T6	2014/6/8	1100m	1	1-2	6	1	2	1-2	1-2	4	0
T7	2014/6/9	620m	1	1	3	2	6	2	1	1	0
T7	2014/6/11	315m	1	1	1	2-3	6	1-2	1-2	3	0
T8	2014/6/12	366m	1	1	6	1	2	2-3	1	2	0
T8	2014/6/13	152m	1	1	6	1	2	2	1	1	0

^a 海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b 坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c 森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d 離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e 道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f 網格大小為 100*100 公尺

表 8(續)、偵測犬搜尋路線和其環境因素基本資料。

樣線代碼	日期	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	所佔網格數量 ^f	偵測到的目標排遺
T9	2014/6/14	719m	2	2	5-6	1	5-6	1-3	1-2	9	1
T10	2014/6/15	680m	1	1	1-6	1-2	4-6	1-3	1-2	8	0
T11	2014/8/6	943m	1	1-2	2-6	1-2	7	1-3	1-2	7	2
T12	2014/8/7	390m	1	1-2	2-6	1-2	4-5	1-2	1	7	1
T13	2014/8/8	1077m	1	1	1-6	1-2	3-5	1-3	1-2	12	0
T14	2014/8/10	791m	2	1-2	6	1	4-6	1-2	1-2	14	3
T15	2014/8/10	137m	1	1	6	1	3	2	1	1	1
T16	2014/8/12	954m	1	1-2	2-6	1-2	5-6	2-3	1	10	2
T17	2014/8/16	792m	2	1-2	3-6	1-2	5-6	2-3	1	10	0
T18	2014/8/18	1200m	1	1	2-6	1-2	6	1-3	1-2	10	0

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f網格大小為 100*100 公尺

表 8 (續)、偵測犬搜尋路線和其環境因素基本資料。

樣線代碼	日期	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	所佔網格數量 ^f	偵測到的目標排遺
T19	2014/8/19	307m	1	1	1	2-3	3	1-2	1-2	3	0
T20	2014/8/19	989m	1	1-2	2-6	1-2	3-5	1-3	1-2	11	0
T21	2014/8/30	690m	1	1-2	3-6	1-2	2-3	1-2	1-2	7	0
T22	2014/9/1	308m	1	1-2	4-6	1	4	1-2	1-2	4	0
T23	2014/9/4	114m	1	1	6	1	7	2	1	2	2
T24	2014/9/11	408m	3	1-2	6	1	6	1-2	1-2	4	1
T25	2014/9/14	429m	1	1	6	1	4	1-2	1-2	5	3
T26	2014/9/16	717m	1	1-3	3-6	1-2	3	1-2	1-2	4	0
T27	2014/9/16	951m	2-3	2-3	6	1	2-4	1	2	10	0
T28	2014/9/24	1000m	2	1-2	6	1	6	1-3	1-2	10	2

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f網格大小為 100*100 公尺

表 8 (續)、偵測犬搜尋路線和其環境因素基本資料

樣線代碼	日期	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	所佔網格數量 ^f	偵測到的目標排遺
T29	2014/9/25	3100m	2-3	1-3	4-6	1-2	5-6	1-2	1-2	33	0
T30	2014/9/26	629m	2	1-2	5-6	1	2-3	1-2	1-2	5	0
T31	2014/9/27	399m	2	1-2	6	1	4	1-2	1-2	4	0
T32	2014/9/28	350m	2	1-2	6	1	3-4	1	2	3	0

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f網格大小為 100*100 公尺

表 9、偵測犬野外調查樣線搜尋到並確認為石虎排遺點位(n=12)和其環境因素基本資料(座標系統為 TWD97)。

樣線代碼	日期	X	Y	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	排遺位置
T9	2014/6/14	226106	2700530	719m	2	2	6	1	6	1	2	522m
T11	2014/8/6	225120	2708065	943m	1	1	4	1	7	3	1	735m
T14	2014/8/10	229421	2706196	1303m	2	2	6	1	5	2	1	1044m
		229421	2706196		2	2	6	1	5	2	1	1044m
		229421	2706196		2	2	6	1	5	2	1	1044m
T15	2014/8/10	226291	2713906	137m	1	1	6	1	3	2	1	137m
T23	2014/9/4	232446	2725642	114m	1	1	6	1	7	2	1	65m
		232446	2725649		1	1	6	1	7	2	1	74m

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10度、2.10-20度、3.20-30度、4.30-40度、5.40-50度、6.>50度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f樣線結束之後往回走時搜尋到排遺的距離

表 9(續)、偵測犬野外調查樣線搜尋的石虎排遺 (經 DNA 鑑定)點位和其環境因素基本資料(座標系統為 TWD97)。

樣線代碼	日期	X	Y	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	排遺位置
T24	2014/9/11	238111	2690298	408m	3	2	6	1	6	1	2	469m ^f
T25	2014/9/14	239596	2728201	429m	1	1	6	1	4	2	1	23m
		239596	2728201		1	1	6	1	4	2	1	23m
T28	2014/9/24	241379	2717695	1000m	2	1	6	1	6	2	1	1078m ^f

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f樣線結束之後往回走時搜尋到排遺的距離

表 10、偵測犬野外調查樣線搜尋的排遺 (DNA 鑑定失敗)點位和其環境因素基本資料(座標系統為 TWD97)。

樣線代碼	日期	X	Y	樣線長度	海拔 ^a	坡度 ^b	森林覆蓋度 ^c	離森林最近距離 ^d	離水源最近距離 ^d	道路密度 ^e	離道路最近距離 ^d	排遺位置
T11	2014/8/6	225113	2708300	943m	1	1	6	1	7	3	1	439m
T12	2014/8/7	228432	2717911	1025m	1	2	6	1	5	2	1	811m
T16	2014/8/12	237426	2720761	954m	1	2	6	1	5	2	1	954m
		237426	2720761		1	2	6	1	5	2	1	954m
T25	2014/9/14	239596	2728201	429m	1	1	6	1	4	2	1	23m
T28	2014/9/24	241379	2717695	1000m	2	1	6	1	6	2	1	1078m ^f

^a海拔: 1.0-250m、2.250-500m、3.500-750m、4.750-1000m、5.1000-1250m、6.1250-1500m、7.>1500m

^b坡度: 1.0-10 度、2.10-20 度、3.20-30 度、4.30-40 度、5.40-50 度、6.>50 度

^c森林覆蓋度: 1.0%、2.0-20%、3.20-40%、4.40-60-%、5.60-80%、6.>80%

^d離森林、水源和道路最近距離: 1.0m、2.0-250m、3.250-500m、4.500-750m、5.750-1000m、6.1000-2000m、7.2000-3000m、8.>3000m

^e道路密度: 1.0/100m²、2.0-2/100m²、3.2-4/100m²、4.4-6/100m²、5.6-8/100m²、6.>8/100m²

^f樣線結束之後往回走時搜尋到排遺的距離

表 11、各預測因子之間的皮爾森相關係數(Pearson's correlation coefficient)，將和森林覆蓋度相關係數高於 0.8 的土地利用類型剔除。

	海拔	坡度	森林覆蓋度	道路密度	離道路最近距離	離森林最近距離	離水源最近距離	土地利用類型
海拔	1	.725**	.480**	-.424**	.770**	-.327**	.332**	.381**
坡度	.725**	1	.627**	-.453**	.528**	-.454**	.158**	.526**
森林覆蓋度	.480**	.627**	1	-.441**	.285**	-.664**	.198**	.886**
道路密度	-.424**	-.453**	-.441**	1	-.305**	.279**	-.098**	-.388**
離道路最近距離	.770**	.528**	.285**	-.305**	1	-.184**	.194**	.236**
離森林最近距離	-.327**	-.454**	-.664**	.279**	-.184**	1	-.085**	-.600**
離水源最近距離	.332**	.158**	.198**	-.098**	.194**	-.085**	1	.143**
土地利用類型	.381**	.526**	.886**	-.388**	.236**	-.600**	.143**	1

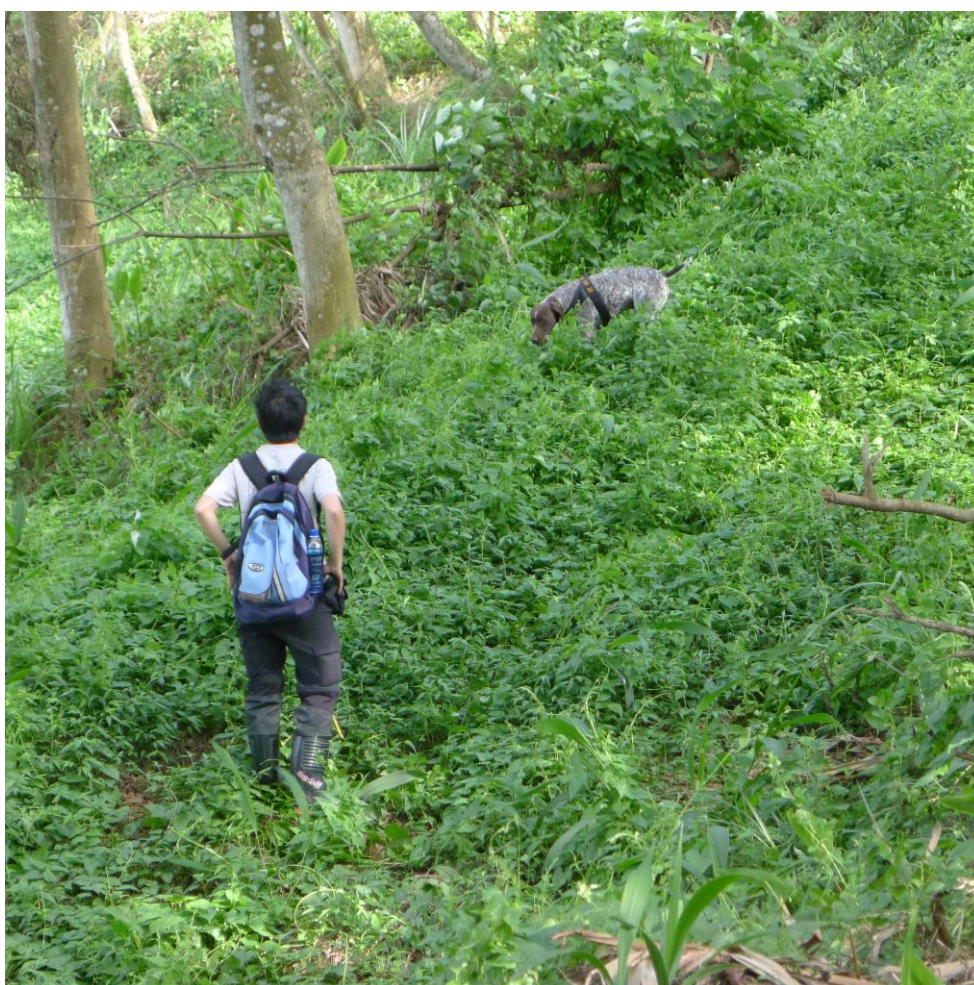
** . 相關性在 0.01 層上顯著 (雙尾)

表 12、利用 Mann-Whitney U 檢定比較研究樣區和預測有石虎分布的網格各項因子的差異，結果顯示石虎對相關因子具有選擇性。

	樣區		預測		漸進顯著性 ^a
	平均值	範圍	平均值	範圍	
海拔	799.183	0-3859	224.484	4-877	0.000**
坡度	15.724	0-61.79	8.211	0-37.02	0.000**
森林覆蓋度	67.389	0-100	87.011	0-100	0.000**
離森林最近距離	121.397	0-2500	4.102	0-141.42	0.000**
離水源最近距離	990.687	0-4775.98	1228.944	0-4123.11	0.000**
道路密度	0.469	0-8.21	0.769	0-5.19	0.000**
離道路最近距離	1103.647	0-13341.66	42.019	0-1166.19	0.000**

^aMann-Whitney U Test: *p<0.05, **p<0.01。

附錄 1、苗栗地區的野外環境和排遺偵測犬組野外工作照。



附錄 2、內政部國土測繪中心在 2006 年-2008 年度委託台灣世曦工程顧問股份有限公司、財團法人工業技術研究院和亞新國土科技股份有限公司所建置的國土利用調查成果圖層說明。

ID	LCODE_C3	類別	種類	說明
1	010101	農業使用土地	稻作	係指從事稻米栽培之土地。包括水稻、陸稻
2	010102		旱作	係指從事雜糧作物、特用作物及園藝作物栽培之土地。雜糧作物包括小麥、黑麥、蕎麥、紅豆、大豆、玉米、粟（小米）、大麥、甘藷、花豆、綠豆、薏仁、落花生、蜀黍（高粱）；特用作物包括係指從事纖維料、油料、糖料（甘蔗）、嗜好料、香料、藥料及工業原料等特用作物栽培之土地。包括棕櫚、苧麻、亞麻、大甲藺、苧苳（三角藺）、向日葵、油菜籽、葛鬱金（粉薯）、甜菜、茶葉、菸草、胡椒、花椒、香茅草、芥末籽、杭菊、除蟲菊、枸杞、黃蓍、麥門冬、桑樹、棉花、瓊麻、黃麻、洋麻（鐘麻）、芝麻、蓖麻籽、樹薯、甜菊、咖啡、可可豆、蛇麻、茴香、仙草、洛神葵、薄荷、魚藤、當歸、山藥、柴胡、牧草、綠肥作物；園藝作物包括蔬菜、食用菌菇類（包括木耳、香菇、草菇、食用菌菇類菌種、靈芝、洋菇、金針菇）及花卉（包括盆花植物、觀葉植物、切花植物）
3	010103		果樹	係指從事水果及乾果種植、栽培而以收穫其果實為目的之土地。包括李、杏、柿、栗、枇杷、橄欖、木瓜、楊桃、鳳梨、檳榔、葡萄、椰子、柑桔類、番石榴、梅、桃、棗、梨、芒果、胡桃、蘋果、龍眼、香蕉、蓮霧、荔枝、番荔枝、百香果

4	010104	農業使用土地	廢耕地	係指原為從事 010101 至 010103 分類項目栽培之使用，因廢耕而為草生之土地。如為從未栽植農作物及林木之草生荒地應屬 090300「草生地」	
5	010200		水產養殖	係指水產養殖所使用之土地	
6	010301		畜禽舍	係指飼育家畜、家禽所使用之土地	
7	010302		牧場	係指放牧家畜、家禽之土地	
8	010400		農業附帶設施		
9	010401		溫室	係指有固定基礎之透明採光設施。	
10	010402		倉儲設施	係指供糧食、肥料、資材存放之設施。	
11	010403		農產品展售場	係指供農產品之集貨、包裝、運銷、展售等設施。	
12	010404		其他設施	係指供農作、畜牧、漁業、休閒農業生產或經營所需之栽培場、機房、資材室、冷藏或冷凍庫、育苗作業室等之設施。	
13	020101		森林使用土地	天然針葉樹純林	係指天然針葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%
14	020102			天然闊葉樹純林	係指天然闊葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%
15	020103			天然竹林	係指各類竹林或竹林佔全林冠 75% 以上
16	020104	天然竹針闊葉混 淆林		係指天然針、闊葉樹、竹混淆林，其針（或闊）葉樹種蓄積總和或株數總和至少佔 25% 以上，75% 以下	
17	020201	人工針葉樹純林		係指人工針葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%	
18	020202	人工闊葉樹純林		係指人工闊葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%	
19	020203	人工竹林		係指各類竹林或竹林佔全林冠 75% 以上	
20	020204	人工竹針闊葉混 淆林		係指人工針、闊葉樹、竹混淆林，其針（或闊）葉樹種蓄積總和或株數總和至少佔 25% 以上，75% 以下	

21	020301	森林使	伐木跡地	林木伐採後尚未完成更新造林者
22	020302	用土地	苗圃	培育林木之園區及附帶道路、建物等相關設施之總括
23	030100	交通使用土地	機場	包括航空站、航空貨運站、飛行場、航空貨物集散站及機場相關設施如助航設施（導航台、助航台、儀降系統及塔台）及其他設施（空中廚房、飛機製造修理場等）。如為軍用機場應屬 090100「軍事用地」，但如為軍民合用之機場以及山區與離島之直昇機緊急停機坪亦屬本分類
24	030201		一般鐵路	包含一般鐵路線（供一般使用之鐵路線）、專用鐵路線（運糖、運鹽或運木材）及捷運鐵路線之類別
25	030202		高速鐵路	供高鐵使用之路線
26	030203		鐵路相關設施	包括鐵路車站、機廠及機務段、裝卸場、調車場、維修場、機電房及其他鐵路相關設施
27	030301		國道	係指道路系統分級為國道者
28	030302		省道、快速道路	係指道路系統分級為省道者
29	030303		一般道路	4 米以上，但不包含 030301 及 030302 以外，之道路，包括縣道、鄉道、市區道路和其他道路（堤防兩側道路視為水利用地，不屬於此類）
30	030304		道路相關設施	包括公路車站、停車場、車輛調度場、車輛檢修場、客貨運轉運站、服務區、休息站、監理機構及其他公路相關設施

31	030402	交通使用土地	漁港	包括碼頭、修造船廠、倉棧設施及其他公共設施
32	040100	水利使用土地	河道	
33	040101		河川	係指江、河川、溪等水流經過之地域
34	040104		堤防	包括河堤、海堤及離岸堤（含設計之消波塊）
35	040200		溝渠	包括灌溉、排水、給水及相關設施，其寬度 5M 以上者
36	040201		溝渠	
37	040301		水庫	係指建立堰壩所形成之水域及其附屬設施
38	040302		湖泊	係指該水域在當地以湖、泊稱之者
39	040303		其他蓄水池	包括池、埤、溜、潭等；如專供養殖使用者，應歸屬於 010200「水產養殖」類
40	040304		人工湖	係指作為水源使用者之人工湖泊，形狀整齊，有輸水幹管等相關設施。
41	040400		水道沙洲灘地	水利法 81 條，凡與水流宣洩或洪水停駐有礙之地區，包括湖沼、河口之海埔地與三角洲及指定之洩洪區
42	040501		水閘門	水閘門
43	040502		抽水站	抽水站
44	040503		水庫堰壩	水庫堰壩
45	040504		地下取水井	地下取水井
46	040505		其他設施	包括水土保持處理與維護施做之攔沙壩、跨河橋樑保護工程及其他設施

47	040600	水利使 用土地	防汛道路	係指位於堤內緊鄰堤防供防汛使用之道路，及堤外便道等
48	040700		海面	包括海面及海面上之附屬設施
49	050101	建築使 用土地	零售批發	係指從事買賣貨品活動之土地，包括零售、批發及量販店，如百貨公司、商店、市場、大型量販店和購物中心。其中零售業之銷售對象以一般民眾為主，批發業（意旨從事有形商品批發、經紀及代理）批發業係以銷售大宗商品為主，其銷售對象多為機構或產業（如中盤批發商、零售商、工廠、公司行號等）。相關細項業別包括農、畜、水產品業、食品什貨、布疋、衣著、服飾品、家庭電器、設備及用品零售（批發）業、藥品、化粧品及清潔用品、文教、育樂用品、鐘錶、眼鏡、首飾及貴金屬、建材、機械器具、汽機車及其零配件、用品、綜合商品及其他商品之零售或批發

50	050102	建築使用土地	服務業	係指提供個人或工商服服務務使用之土地包括住宿(如賓館、旅館、旅社、汽車旅館、民宿、觀光旅館、招待所)、餐飲(如餐廳、食堂、小吃店、速食店、鐵板燒店、日本料理店、飯館麵店、快餐店、牛排館自助火鍋店、飲酒店、啤酒屋)、運輸通信(如路上運輸、水上運輸、航空運輸、旅行、報關、郵政、電信、快遞)、金融保險(如銀行、信用合作社、農會、漁會信用部、信託投資)、不動產租賃、專業、科學及技術服務業(如法律及會計服務、建築及工程技術服務、專門設計服務、電腦系統設計服務業、資料處理及資訊供應、研究發展服務業、廣告、其他專業、科學及技術服務業(如市場研究及民意調查、攝影、翻譯服務、獸醫、環境檢測服務)、教育服務(如補習班、才藝班)、文化服務(如出版、電影製作、廣播電視、藝文及運動服務業)及其他服務(如洗衣、理髮及美容、殯葬服務、家事服務業、相片沖洗、浴室、駕訓班)
51	050201		純住宅	係指整體建築專供住宅使用者，不含其他使用之土地
52	050202		兼工業使用住宅	係指一樓供工業使用，其餘供住宅使用樓層比例超過 50%
53	050203		兼商業使用住宅	係指一樓供商業使用，其餘供住宅使用樓層比例超過 50%
54	050204		兼其他使用住宅	係指一樓供住宅、商業或工業以外之其他使用且其餘供住宅使用樓層比例超過 50%

55	050301	建築使用土地	製造業	係指從事製造業使用之土地。包括食品、飲料、菸草、紡織、成衣、服飾品、皮革、毛皮、木竹製品、家具、裝設品、紙漿、紙製品、印刷、化學材料、化學製品、石油、橡膠、塑膠、非金屬礦物、金屬、機械設備、電腦、通信、電子、電力機械、運輸工具、精密光學、醫療器材、鐘錶等製造業，製造品零組件之組裝（裝配業）亦歸於本類
56	050302		倉儲	從事經營租賃取酬之製造業相關原料、產品之堆棧、棚棧、倉庫、保稅倉庫等用地均屬之（不包括農業、林業場地儲存活動所使用之土地）
57	050401		宗教	包括供寺廟、教（會）堂和其他宗教建築使用，但不包含 070101 法定文化資產項目之土地
58	050402		殯葬設施	包含墓地、殯儀館、火化場和骨灰（骸）存放設施
59	050403		興建中	已興建地下層或地面層但在現況調查年度內無法建築完成者
60	050404		其他	係指宗教、殯葬設施、興建中以外之其他建築用地，包括人民團體、財團法人等類別
61	060100		公共使用土地	政府機關
62	060201	幼稚園		學校內如同時包括幼稚園、小學、中學等使用，以最高級之使用為主。如為托兒所則歸於 060400 社會福利設施
63	060202	小學		供國民小學使用之土地
64	060203	中學		供國民中學、高中（職）使用之土地
65	060204	大專院校		供大專院校使用之土地
66	060205	特種學校		包括啟聰學校、盲啞學校、感化院、輔育院等

67	060300	公共 使用 土地	醫療保健	包括醫院、診所、衛生所及衛生室、醫事技術及其他醫療保健服務之類別
68	060400		社會福利設施	包括兒童、少年、老人、婦女及身心障礙福利機構、社會救助機構、社區活動中心及其他社會福利設施，如為托兒所屬兒童福利機構之類別
69	060501		氣象	包括測候站、雷達站、地震、海象、天文等觀測站及相關措施，但氣象局應屬機關分類
70	060502		電力	包括火力、水利、核能、風力、潮汐、溫差、潮流發電廠、變電所、輸配電鐵塔及連接站及其他電業相關設施
71	060503		瓦斯	包括煤氣、天然氣整（加）壓站、分裝場及接收站
72	060504		自來水	包括自來水廠和抽水站、加壓站、配水池、其他自來水設施
73	060505		加油站	加油站及附屬設施
74	060600		環保設施	包括污水處理廠、污水抽水站、雨水及污水截流站、垃圾處理廠及垃圾掩埋場、廢物處理、空氣、噪音監測處理設施、資源回收設施
75	070101	遊憩 使用 土地	法定文化資產	係指具歷史、文化、藝術、科學等價值並經指定或登錄之古蹟、歷史建築、聚落、遺址、文化景觀、自然地景等土地
76	070102		一般文化設施	包括博物館、演藝廳、音樂廳、文化中心、史蹟陳列館、藝術館、紀念館、美術館、文物陳列館、工藝陳列館、圖書館、博物館、劇院

77	070103	遊憩使用土地	其他文化設施	包括教育部主管之社會教育館、動植物園、海洋生態館、海洋公園、科學館等
78	070201		公園綠地廣場	係指非營利性且供一般民眾休憩之土地，包括公園、綠地、廣場、花園及相關園藝設施
79	070202		遊樂場所	包括室內遊樂場（電影院、電子遊樂場、保齡球館、撞球場、上網專門店、釣蝦場）及戶外遊樂場（高爾夫球場、營利性公園、森林樂園、海底樂園、森林遊樂區、露營野餐地、海上樂園、海水浴場）之類別
80	070203		體育場所	包括巨蛋、體育館、體育場、球場及游泳池
81	080101	礦鹽使用土地	礦產	
82	080102		礦業相關設施	包括礦業開採設施、附屬設施及其他必要設施
83	080201		土石採取場	包括土石採取作業場所及其所需土石堆積場
84	080202		土石相關設施	包括土石採取場以外之土石加工及其他必要設施
85	080302		鹽業相關設施	包括鹽廠及食鹽加工廠、辦公廳等相關設施
86	090000	其他使用土地	軍事用地	包括軍事機關、軍事院校、軍用機場、軍港等相關軍事設施
87	090200		溼地	溼地、沼澤和紅樹林
88	090300		草生地	從未栽植農作物及林木之草生荒地
89	090401		灘地	沙灘、海灘、潮間帶等地
90	090402		崩塌地	係指水利用地以外之裸露地，包括落石、翻覆、滑動、側滑、流動等五類，涵蓋坍方、山崩、崩塌等土地
91	090403		礁岩	礁岩、海蝕平台、裸露岩石等地

92	090404	其他 使用 土地	裸露空地	裸露空地
93	090500		灌木荒地	灌木雜生之生荒地
94	090600		災害地	係指低海拔地區已發生災害之地區，包括因海水倒灌、土壤污染等無法利用之土地
95	090700		營建剩餘土石方	係指堆積、處理營建廢棄土之場所
96	090801		未使用地	係指土地空置，且尚無特定用途者
97	090802		人工改變中土地	係指已整地或正整地準備開發利用為某特定用途者，包含海埔新生地

附錄 3、偵測犬搜尋的石虎排遺（上圖）和麝香貓（下圖）排遺照片。



附錄 4、103 年度臺北市立動物園委託動物認養保育計畫 (計畫編號：103 保研 5) 成果報告審查意見。

審查意見	改善內容	於本論文 之頁次
1 是否應將高海拔的泰安鄉移除或把海拔和坡度圖層移除進行預測分布模擬	將泰安鄉移除進行預測分布模擬，結果顯示代表模式預測品質準確度之評估的 AUC 值為 0.868，較原本模擬之預測模式的 AUC 值低。因此本研究仍以 AUC 值為 0.917 之模式預測結果為石虎預測分布圖。	第 38 頁
2 偵測犬的成本計算	在文獻回顧列舉國外比較非入侵調查方法之成本和效益，另外也在討論中加入本研究所使用之偵測犬成本計算。	第 16 頁和 第 37 頁

作者簡介

作者姓名：李彩玉 Lee Choy Yuh

性別：女

通訊地址：912 屏東縣內埔鄉老埤村學府路 1 號

電子信箱：taosim1969@yahoo.com.tw

出生年月日：1988 年 8 月 22 日

學經歷：馬來西亞柔佛州永平中學

國立臺灣海洋大學水產養殖學系

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

國立屏東科技大學