

107 年度陽明山國家公園生態廊道監測

Monitoring the wildlife corridors in Yangmingshan National Park



陽明山國家公園管理處委託報告

中 華 民 國 1 0 7 年 1 2 月

(本報告內容及建議純係研究小組觀點，不應引申為本機關之意見)

珠璣
珠璣
珠璣

107 年度陽明山國家公園生態廊道監測

Monitoring the wildlife corridors in Yangmingshan National Park

計畫執行單位：中國文化大學生命科學系

計畫主持人：陳怡惠 副教授

計畫期程：中華民國 107 年 4 月至 12 月

計畫經費：新台幣 89 萬 5 千元整

陽明山國家公園管理處委託報告

中 華 民 國 1 0 7 年 1 2 月

(本報告內容及建議純係研究小組觀點，不應引申為本機關之意見)

目次

表次.....	5
圖次.....	6
摘要.....	7
ABSTRACT	8
第一章、計畫緣起及目標.....	1
第一節、背景與緣起.....	1
第二節、計畫工作項目與目標.....	6
第二章、材料與方法.....	8
第一節、路殺調查與分析.....	8
第二節、動物利用廊道的影像資料建檔與分析.....	12
第三節、生態廊道監測的研究與應用工作坊.....	14
第三章、結果.....	15
第一節、陽金公路、101 甲公路及萬溪產業道路的路殺拾遺調查.....	17
第二節、觸發式自動相機記錄到的利用廊道動物資料.....	26
第三節、定時記錄自動相機記錄到的利用廊道動物資料.....	30
第四節、生態廊道監測的研究與應用工作坊.....	32
第四章、討論與建議.....	33
第一節、陽金公路、101 甲公路及萬溪產業道路的路殺拾遺調查.....	33
第二節、生態廊道影像監測.....	34
第三節、具體建議.....	35
致謝.....	38
參考書目.....	39
附錄.....	42

表次

表 1、2018 年路殺調查時間及路殺紀錄	15
表 2、2018 年各路線的路殺動物名錄與數量	16
表 3、2016-2018 年有廊道圍籬與緊鄰但沒有廊道圍籬涵蓋的路段之路殺量比較	25
表 4、廊道相機所錄製的有效影片數	26
表 5、廊道相機記錄到的動物種類及使用廊道次數	28
表 6、廊道定時相機記錄到的動物種類及使用廊道次數	31
表 7、生態廊道工作坊活動主旨、時間地點說明及課程表	32

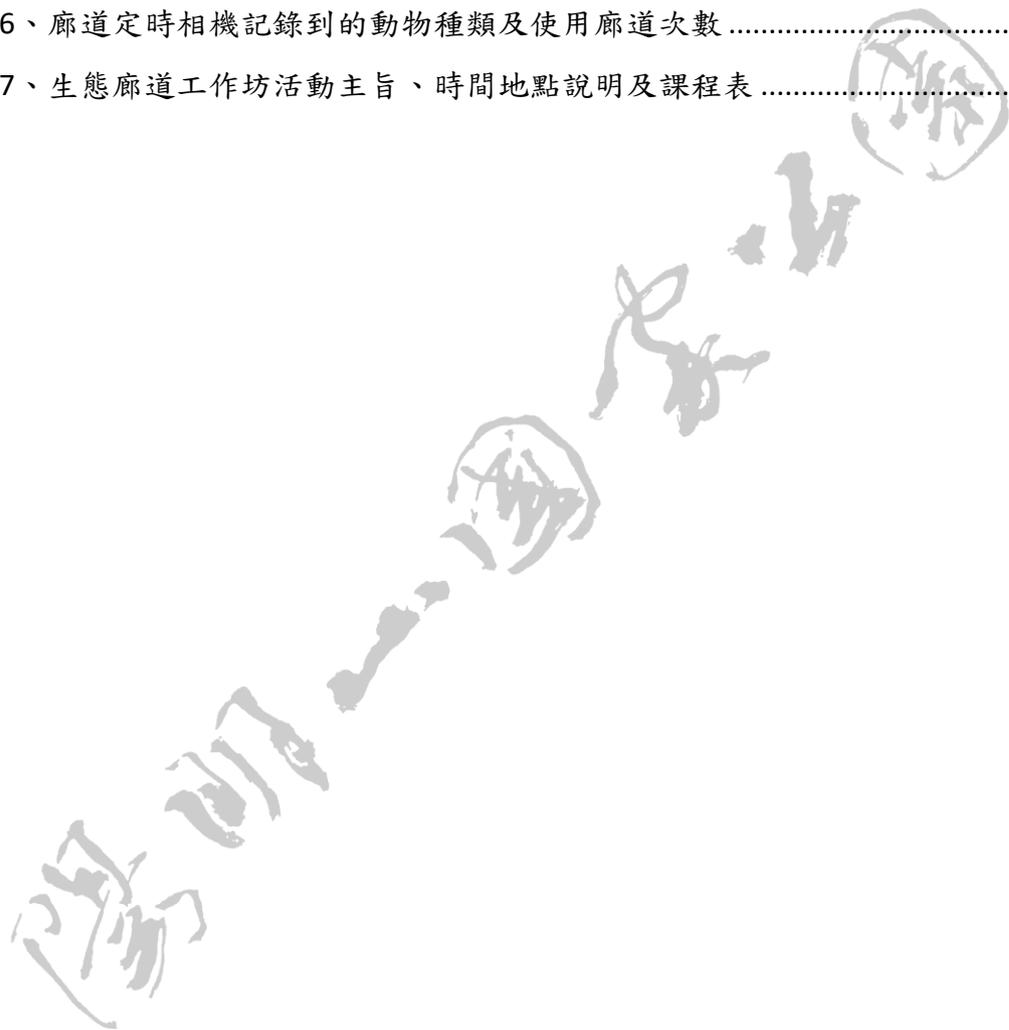


圖 次

圖 1、本計畫進行路殺拾遺調查的路線圖	9
圖 2、比較路殺量差異的生態廊道與圍籬有涵蓋路段與沒有涵蓋的道路路段示意圖	12
圖 3、陽金公路上各路段(以 0.5 公里為單位)的路殺量空間分布圖.....	20
圖 4、陽金公路上每月各動物類群的路殺平均數量	20
圖 5、101 甲公路上各路段(以 0.5 公里為單位)的路殺量空間分布圖.....	21
圖 6、101 甲公路上每月各動物類群的路殺平均數量	21
圖 7、萬溪產業道路各路段(以 0.5 公里為單位)的路殺量空間分布圖.....	22
圖 8、萬溪產業道路上每月各動物類群的路殺平均數量	22
圖 9、今年度調查路線中各類群動物的路殺量比例	23
圖 10、今年度所有調查路線中脊椎動物的路殺熱點分布	23
圖 11、今年度盤古蟾蜍在所有調查路線上的路殺熱點	24
圖 12、今年度調查路線上蛇類的路殺熱點	24
圖 13、各號廊道在一天當中的各個時段的動物利用次數百分比	29

摘要

本計畫自 2018 年 1 月至 12 月，針對陽金公路、101 甲公路及萬溪產業道路、大屯山車道進行道路拾遺及路殺量調查，並分析 1-5 號動物廊道的監測影像資料，目標為監測陽明山國家公園的道路路殺量及動物對現有廊道的利用情形，期使野生動物的保育工作更加完善。本計畫今年度的主要結果包括：(1) 路殺量最多動物物種為盤古蟾蜍，次多為斯文豪氏赤蛙，第三為黃口攀蜥。(2) 各路段的路殺高峰期略有不同，但路殺量的高峰時段多落在 5-9 月。(3) 路殺量最高的熱點路段，是位在陽金公路左轉 101 甲公路的入口處至中央氣象局鞍部氣象站附近，萬溪產業道路路段的路殺熱點路段溪底新興宮(媽祖廟)公車站附近路段。(4) 以有廊道與圍籬涵蓋的路段與緊鄰但沒有廊道與圍籬涵蓋的路段，進行路殺數量比較，結果發現若以每次調查的路殺量配對比較時，兩者間無顯著差異。(5) 動物利用廊道的有效紀錄中，以鼬獾、刺鼠與無法鑑定至種的鼬鼯為利用廊道的優勢類群，利用廊道的頻度以夜間為主。利用廊道的包括 6 種保育類動物：白鼻心、麝香貓、穿山甲、黑眉錦蛇、中華眼鏡蛇及雨傘節。

關鍵詞：路殺熱點、動物廊道、萬溪產業道路、陽金公路、101 甲公路

Abstract

The objectives of this project was to investigate (1) the species at risk of roadkill, (2) the temporal patterns of the roadkills, (3) the spatial distributions and hotspots of the roadkills in Yangmingshan National Park. Also, we monitored the use rates of the wildlife crossing structures (tunnel 1-5) and evaluate the effectiveness of these tunnels in roadkill mitigation. Four roads (Wanxi Industrial Road, Yangjin Highway, and 101A County Highway) were surveyed and 266 roadkills were recorded in this year. The major findings included: (1) *Bufo bankorensis*, *Odorrana swinhoana*, and *Japalura polygonata* were the top three species in the risk of roadkill, (2) the peak of roadkill amount was during May to September, (3) 1km road section in 101A County Highway and 0.5 km road section in Wanxi Industrial Road were located as roadkill hotspot, (4) the tunnels were frequently by mammals, especially by *Melogale moschata*, *Niviventer coxingi*, and *Soricidae* spp.

Keyword : Roadkill hotspot, Wildlife crossing, Wanxi Industrial Road, Yangjin Highway, 101A County Highway.

第一章、計畫緣起及目標

第一節、背景與緣起

一、道路對野生動物的影響

在人類社會及經濟的發展下，交通道路的建設使人們的物料運輸與生活聯繫更加便利，在人類無限追求便利的需求下，臺灣各地建設越來越多的道路，形成廣大的道路網(road network)。道路網的形成，使人類的活動範圍更加擴張，這對於在道路附近棲息的野生動物來說，卻帶來許多的負面影響(Spellerberg 1998, Forman 2003, Coffin 2007)，形成一個無可脫逃的道路陷阱。根據道路與交通對野生動物的數量與分布影響的研究文獻回顧，道路對兩棲類、爬蟲類、鳥類及中大型哺乳類動物來說，帶來的幾乎都是負面影響，但對於小型哺乳動物來說，負面影響、沒有影響或正面影響皆存在。雖然道路對不同動物類群的影響有不盡相同的趨勢，然而，整體而論，道路對絕大部分野生動物的族群帶來的多是負面影響(Fahrig and Rytwinski 2009, Cosentino et al. 2014, Rytwinski and Fahrig 2015)。

道路對野生動物的負面影響包括許多面向，在對動物棲地的影響方面，最常被提到的包括：可用棲地面積減少、不適宜的棲地環境因子增加(邊緣效應)、棲地破碎化使棲地間的連結性(connectivity)降低；而對動物本身的直接影響則包括：路殺(roadkill)、對道路的退避行為(road avoidance behavior)、及動物在棲地間的遷移數量或頻度降低(Forman and Alexander 1998, Trombulak and Frissell 2000, Coffin 2007)。其中路殺是指當動物經過人為開發的道路時，被行經的交通工具當場輾斃或是撞擊後重傷致死的事件，是最直接衝擊到野生動物個體存活的負面因素(Forman 2003, Rytwinski and Fahrig 2015)。

路殺事件在幾乎所有會在陸地活動的動物類群都有報導與研究，從無脊椎的軟體動物(如：蝸牛)、環節動物(如：蚯蚓)與節肢動物(如：昆蟲及路蟹)，到脊椎動物的兩棲類、爬蟲類、鳥類與哺乳類(Rytwinski and Fahrig 2015)。在這些動物類群中，路殺率較高的動物類群常具有以下特性：(1)個體常在柏油或水泥地面活動。以蜥蜴、蛇或烏龜這類外溫動物來說，白天常在道路上或路旁的開闊地曬太陽可以提高體溫，

因此，常出現在道路的路面上(Enge and Wood 2002)。而青蛙及蟾蜍等無尾目的動物，則以較常會於夜間出現在道路周圍活動與覓食的陸棲物種為主(Beebee 2013)。(2)活動範圍(home range)相對較大。中大型哺乳類動物在活動或覓食時需要較大的棲地空間，因此，當個體在一個被道路切割的地區生存時，常會需要跨越馬路活動(Rytwinski and Fahrig 2012)。(3)有大規模生殖遷移的行為。澳洲紅蟹與梭德氏赤蛙等，平時居住地與生殖棲地在不同地點，生殖季時會有大量個體從居住地移往生殖棲地，當其生殖遷移路徑必須經過馬路時，可能會造成短時間有大量個體被路殺(Timm et al. 2007, Sillero 2008, Brzeziński et al. 2012, Rytwinski and Fahrig 2012)。

過往許多研究皆證實，高路殺率造成的高死亡率，會造成動物族群量的明顯下降，降低族群的遺傳多樣性及族群間的遺傳交流，並可能會增加族群或物種的滅絕風險(Gibbs and Shriver 2002, 2005, Row et al. 2007, Dixo et al. 2009, Holderegger and Di Giulio 2010, Jackson and Fahrig 2011, Garcia-Gonzalez et al. 2012, Langen et al. 2012, Beebee 2013)。由此可見，動物個體發生路殺不但會直接影響到族群及物種的生存，也會間接連結影響到生物群落及整個生態系的結構與功能，影響層面非常廣泛。因此，減少路殺已經成為全球生物多樣性保育的重要議題之一，還形成了一門稱為道路生態學(Road Ecology)的新學術領域(Coffin 2007)。

二、國際上的路殺改善措施

路殺事件的發生頻度在不同道路及不同路段會有明顯的差異，這些差異可能與道路與動物活動範圍或遷移路線重疊程度、道路旁的棲地環境因子、道路寬度、交通流量多寡、及車速等因子有關(Gibbs and Shriver 2005, Hobday and Minstrell 2008, 劉小如 2008, Elzanowski et al. 2009, Beaudry et al. 2010, Garriga et al. 2012, D'Amico et al. 2015)。道路上發生路殺事件最多的路段或地點，被稱為路殺熱點(hotspot)。在路殺熱點路段採取路殺改善方案或設置改善設施，被認為有最高的保育效益(van der Ree et al. 2015b)。因此，評估道路上的路殺熱點是進行路殺改善方案或決定路殺改善設施設置位置前必備的基礎研究。

針對減少道路上的動物路殺熱點，國際上一般常採用的減少路殺方法包括以下數種。第一，進行道路的封路措施，例如：在澳洲聖誕島的紅蟹(*Gecarcoidea natalis*)每年生殖遷移季開始時，澳洲政府會針對某些道路進行交通管制並封閉道路，讓紅蟹能安全地來回棲息地與生殖地(Adamczewska and Morris 1998)。然而，從人類的角度來看，動物遷移路徑上不一定會有替代道路可以讓人車通行，封閉道路勢必會造成一定程度上的交通不便。第二種方法為採用人力協助動物過馬路的方法，例如：澳洲聖誕島的幫紅蟹過馬路及新竹大山背地區的幫梭德氏赤蛙(*Rana sauteri*)過馬路活動。以新竹大山背地區的護蛙活動來說，在每年梭德氏赤蛙開始進行產卵遷移的夜間(約10月到11月)，新竹荒野協會就會號召志工，以人力的方式協助成蛙安全抵達產卵溪流或返回森林，減少其在路上逗留的時間。但是，人力協助動物過馬路的方法需有相當的人數並耗費大量時間才能進行。以上這兩種方式針對生殖季短且有大量生殖遷移活動的個體生物物種，可在特定的時間進行應用，但是，要長期採用這些策略就會有執行層面上的困難。

第三種減緩路殺的方式是針對道路及路邊設施進行硬體設計上的改良或改善，這被認為是最不會造成交通不便，且省時省力又經濟實惠的方式(Forman 2003, Clevenger 2005, Smith et al. 2010)。道路設施改善的作法之一是在路旁設立警告標誌及警語，或在路上設立減速帶或路脊(speed bump line)，提醒或迫使駕駛人降低車速，減低野生動物在穿越馬路時被路殺的機率(Hobday and Minstrell 2008)。建造動物廊道或稱動物通道(Wildlife corrido or wildlife crossing)與路邊引導式圍籬(fence)則為更積極主動的路殺改善措施。路邊引導式圍籬可防止動物移動到道路上，並引導動物進入天橋式(overpass)或地下式(underpass)動物通道，增加動物利用動物廊道的機率，減少動物進入路面及發生車禍的機率。

動物廊通道有效減少動物被路殺的案例曾多次被報導過(Dodd Jr. et al. 2004, Aresco 2005, Pagnucco 2010, Bager and Fontoura 2013)，如：加拿大紅雀湖地區的動物廊道有效減少長趾蠵龜的路殺率(Pagnucco et al. 2011, 2012)，美國佛羅里達州在US Highway 441 下架設的動物廊道對當地大多數的兩棲爬蟲及哺乳類動物都十分有效的減少了路殺量(Dodd Jr. et al. 2004)。然而，在不同地區及對不同動物類群有時會有不一致的效用(Beebee 2013)，例如：美國佛羅里達州的動物廊道架設後的一年內

對樹蟾科的物種就沒有顯著降低路殺量的功效(Dodd Jr. et al. 2004)。此外，動物廊道的功效也不僅止於降低路殺，更有連接被隔離的棲地間的動物遷移及基因交流的功能。因此，廊道的功效及不同物種的使用效率有時是需要長期進行監測才會顯現的(Gagnon et al. 2011, Beebee 2013, Hamer et al. 2014)。

三、陽明山國家公園歷年路殺監測資料的保育應用與措施

陽明山國家公園為鄰近臺北都會區的國家公園，園區內的道路密集，加上大眾交通工具及各式車輛往來頻繁，使得路殺事件頻傳。根據交通部的統計，臺北市是全國每公里道路汽車數最高、道路密度第二高的縣市。陽明山雖然並不是臺北市交通路網密度最高的地區，但是因為陽明山國家公園素為鄰近地區民眾重要的觀光休憩場所，且園區內的幾條道路亦為連結臺北市及北海岸各鄉鎮的重要道路，因此，交通流量十分大。有鑑於此，陽明山國家公園管理處針對園區內的道路系統，於 1998 年即著手進行路殺調查，並評估出陽金公路及 101 甲公路的路殺熱點路段(黃光瀛 2001, 2002)。2004 年，管理處分別在陽金公路及 101 甲公路(即巴拉卡公路)路段的熱點路段，設置 2 座及 3 座動物廊道，除了有供動物地下通行的通道外，也在其兩側設置引導圍籬，期望廊道-圍籬系統設施可以連結因道路而分隔的棲地，提供野生動物在棲地移動時的安全通路，有效降低路殺事件發生。

此外，為使陽明山國家公園的野生動物保育工作更加完善，2008 年，陽明山國家公園委託劉小如老師團隊對國家公園境內的所有主要道路系統，再次進行大規模的調查，研究結果發現國家公園範圍內的萬溪產業道路也是發生路殺量相當多的熱點道路(劉小如 2008)，是第一階段動物廊道規劃的遺珠之憾。因此，針對萬溪產業道路，十分有必要繼續進行長期的路殺量監測，作為未來該處設置減少路殺的道路設施或廊道的規劃基礎。

了解減少路殺用的廊道-圍籬系統設施對野生動物的族群保育是否發揮效用，需要針對路殺量及動物對廊道的利用頻度進行長期且持續的監測，才能提出充分可信的資訊(van der Ree et al. 2015a)。自 2004 年起，針對已經設置的動物廊道，陽明山國家公園管理處陸續建立了感應式自動相機與影像監視系統，監測野生動物使用地

下通道的情形。利用廊道內監測設備獲得的影像資料，了解野生動物是否真的有利利用廊道在道路兩側移動，證明廊道連結棲地功能的效用，且能獲得使用動物廊道的生物之特性，例如：動物物種或類群、使用頻率、時段、數量等基本資料(Pagnucco 2010, Pagnucco et al. 2011, Beebee 2013)。而不同廊道間的影像監測資料，也能分析動物對廊道的使用是否有特定的空間型式，並可藉此探討環境特性是否影響動物的使用意願(Lesbarrères et al. 2004, Pagnucco et al. 2012)。

廊道-圍籬系統對野生動物是否為完全正面的效益，也需要長期的監測資料才能正確的評估。舉例來說，早期人們認為只要在路邊建造完整的圍籬，避免動物移動到道路上，即可成功避免路殺的發生，但是經過研究後卻發現，太多圍籬也可能造成棲地間的隔離效應增加，造成族群間的基因交流被阻隔，導致遺傳多樣性下降，反而可能不利於動物族群的存續(Jaeger and Fahrig 2004, Ascensão et al. 2013)。而廊道內因為可躲避的空間有限，因此也可能成為某些動物類群被捕食率增高的場所(Prey-Trap Hypothesis) (Little et al. 2002, Taylor and Goldingay 2003, Pagnucco et al. 2011)，反而對特定動物類群造成傷害。例如：蛇類若棲息或經過動物通道，可能造成同時使用廊道的蛙類被大量捕食。因此，廊道長期監測影像的分析結果，將可以針對這些保育設施是否需要改良提供基礎(Clevenger 2005)。

利用廊道內設置的監測設備雖然可以證明野生動物會利用廊道通行，但是對於廊道-圍籬系統的設置是否顯著降低路殺量，並無法提供量化的成效分析。因此，需要針對該廊道設置路段進行長期且持續的路殺調查，並與早期的路殺量資料進行比較，才能有減少路殺成效的有效統計。根據黃光瀛(2006, 2007)的報告，陽明山國家公園的生態廊道所在路段的路殺量，在建設廊道後與廊道設立前相比，確實有下降的趨勢。然而，廊道是否有持續性的成效，及是否因交通及設施的改變而需要更新，則須仰賴後續的路殺資料持續監測，才能有效地因應新的動態而進行維護與改善。

減少路殺量的評估也可考量同年間相近路段的路殺量比較。因為若只針對廊道所在路段進行路殺調查，並無法排除年間路殺量下降的趨勢可能是由其他混淆因子(confounding factors)造成的，如：年間的遊客數量、交通量、動物的族群量的差異…等(Garriga et al. 2012, Eberhardt et al. 2013, D'Amico et al. 2015)。因此，若能選擇交通

量、動物族群量、環境因子與道路特性皆相近的相鄰路段，在同一時間進行針對有廊道-圍籬系統及沒有廊道-圍籬系統的路段的路殺量調查與比較，減低交通、遊客、環境與道路特徵對路殺量結果的干擾因素，能有效地每年進行廊道對降低路殺量成效的分析與量化(Dodd Jr. et al. 2004)。

四、陽明山國家公園近兩年的路殺監測與廊道影像資料之應用展望

過去兩年(2016-2017)，本實驗室針對已設立廊道的陽金公路及 101 甲公路的路殺及動物利用廊道情形的監測計畫中，著重於調查與分析生態廊道在減少路殺量上的成效，及動物利用廊道情形的影像資料建檔與分析。監測結果發現兩棲及爬蟲動物是路殺紀錄中數量較多的路殺高危險類群(如：盤古蟾蜍、黃口攀蜥)，但卻是最少利用動物廊道通行的動物類群(陳怡惠 2016, 2017)。因此，了解路殺高危險動物類群(兩棲及爬蟲類)對生態廊道使用率低的現象，是因為監測設備或監測技術上的限制，或是兩棲爬蟲類動物對通行環境上的偏好性造成，是陽金公路及 101 甲公路的路殺改善措施中需要優先釐清的問題。而在尚未有動物廊道設施的萬溪產業道路的路殺監測中，過去兩年發現路殺高危險動物同樣也是兩棲動物，如：盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙與黑眶蟾蜍。因此，兩棲爬行動物對廊道的使用率改善，是未來若考慮要在萬溪產業道路上，針對兩棲爬蟲動物新設置動物生態廊道時，需要在設計規劃階段就考量的議題。

路殺及生態廊道監測的研究成果，除了能作為保育措施的規劃依據之外，也能作為加強保育觀念宣導的環境教育素材。過去廊道的監測影像在遊客中心播放並配合解說，吸引了許多遊客對國家公園野生動物保育議題的注意力。若能藉由與監測計畫相關主題的演講及實作課程設計，讓國家公園的工作者與志工，甚至學生與一般民眾能參與課程，透過研究資料的實作，練習實際參與國家公園的監測工作或資料建檔的工作，除了能讓參與者深入了解國家公園監測及研究計畫的目標及科學內涵，更有機會能進作為培養未來能成為實際參與國家公園的研究與保育工作之公民科學家。

第二節、計畫工作項目與目標

本計畫今年度的工作包含以下四個主要項目，其中前三項為路殺調查及廊道影像監測的工作，第四項為生態廊道監測計畫的環境教育應用。其工作內容及目標分述如下。

一、陽金公路、101 甲公路及萬溪產業道路的路殺拾遺調查

針對陽金公路、101 甲公路及針對萬溪產業道路，本計畫延續 105 及 106 年度的方式進行系統性的路殺調查及拾遺工作。分析不同動物類群的路殺量、路殺量的時間型式、及路殺熱點，並比較有廊道與圍籬所涵蓋的路段及其前段或後段沒有廊道與圍籬所涵蓋的路段之路殺量，分析廊道與圍籬對降低路殺量的成效。具體目標包括：

- (1) 比較不同動物類群的路殺量，鑑定容易被路殺的高危險物種(Species at Risk)。
- (2) 比較不同月份的路殺量，探討路殺量的時間型式，評估路殺發生的高峰期。
- (3) 比較不同路段的路殺量，探討路殺量的空間分布型式，評估路殺的熱點路段。
- (4) 比較廊道與圍籬有涵蓋與沒有涵蓋的道路路段之路殺量差異，探討廊道與圍籬對降低路殺量的成效。
- (5) 整合本計畫及管理處人員及志工所收集的路殺拾遺資料，建置標準化資料庫。

二、陽金公路與 101 甲公路生態廊道影像監測資料蒐集、整理及分析

針對陽明山國家公園陽金公路上的 1 號及 2 號廊道，以及位於 101 甲公路上的 3、4、5 號廊道內所獲得的生態廊道監測影像資料，本計畫進行資料庫建檔及資料分析，具體目標包括：

- (1) 利用廊道的動物種類及隻次分析，探討是否有利用頻度上的優勢物種。
- (2) 動物對廊道的利用是否有特定的空間型式，藉由比較不同廊道間種類及利用頻度上的差異，討論廊道位置或特徵是否影響動物的使用頻度。
- (3) 動物利用廊道是否有特定的季節性或日夜差異的時間型式。
- (4) 觀察廊道中掠食事件的發生次數，檢測廊道是否可能會成為造成某些動物類群被捕食的場所。

三、探究路殺量高的兩棲及爬蟲類動物類群對生態廊道使用率低的原因

針對兩棲爬蟲類的路殺高危險類群，在過去的調查紀錄中，發現就算在有廊道及圍籬的路段也有不少路殺紀錄，但在廊道中被記錄到的使用次數卻很低。因此，了解兩棲爬蟲動物是真的對現有的廊道的利用次數很低，或者是因為現在市面上的自動相機設計多以拍攝高體溫的哺乳類動物為主，因此，對體溫相對較低的兩棲爬蟲類動物無法感應並觸發相機拍攝，導致廊道影像紀錄中出現率低，是首先需要釐清的問題。

因此，配合第二項工作項目，本計畫利用同一個廊道同時架設觸發感應及定時兩種不同的影像監測方式，評估過去兩棲爬行動物很少在過去的影像紀錄中出現的原因。藉由比較不同的相機拍攝設定方式所紀錄到的動物種類及使用次數差異。評估兩棲爬行動物是因相機的感應限制沒有被記錄到利用廊道，或者真的對廊道的利用率很低。

另外，與國外學者討論及探勘陽明山國家公園現有廊道的結構及環境，針對提高兩棲爬行動物利用現有廊道的改善方法提出建議。

四、舉辦「生態廊道監測研究與應用工作坊」，並撰寫教育訓練教材

利用演講與實做性質的工作坊方式，讓參與者了解國家公園研究及監測計畫的目標及科學內涵，並透過操作體驗及共同參與，讓參與者深入認識國家公園的生物多樣性及保育工作。本計畫辦理「生態廊道監測研究與應用工作坊」，以科學及環境教育作為基礎，提升公民科學之推廣與實踐。具體目標：

- (1) 撰寫生態廊道監測之教育訓練教材。
- (2) 舉辦 1 場次「生態廊道監測的研究與應用工作坊」，並安排實際操作課程。

第二章、材料與方法

第一節、路殺調查與分析

一、調查路段與物種

本計畫今年度路殺及拾遺調查的路段包括：(1)陽金公路及 101 甲公路上生態廊道所在的相連及延伸路段(6.5 km 及 2.4 km)，(2)萬溪產業道路(12.2 km)。調查的對象以脊椎動物動物類群為主，因為無脊椎動物的體型一般較小，被路殺後屍體容易消失，因此較不容易發現無脊椎動物的路殺屍體。

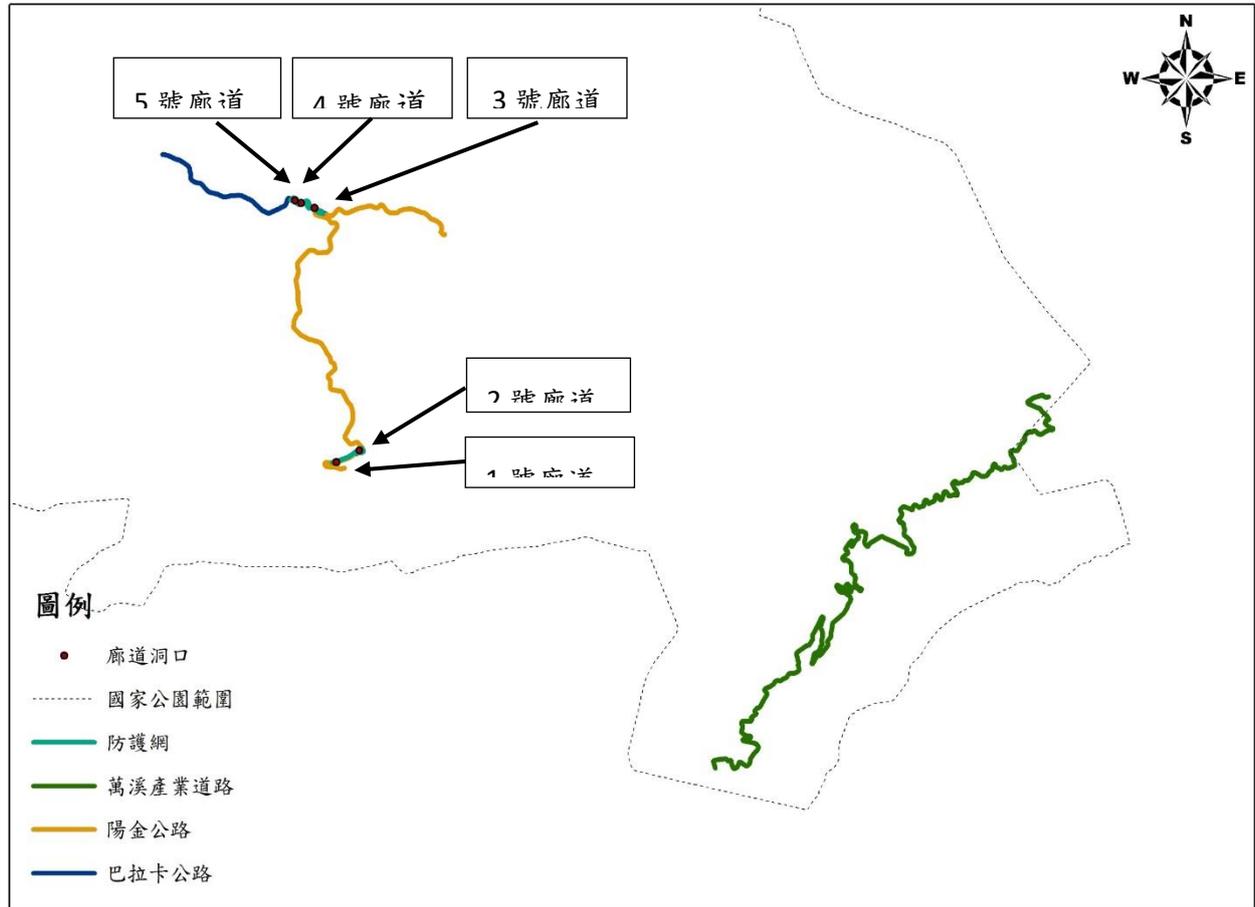


圖 1、本計畫進行路殺拾遺調查的路線圖

二、調查頻率與時間

自今年 1 月起至 12 月止，每條路線以每兩週一次的頻率進行路殺調查，陽金公路與 101 甲公路為同一日進行調查，萬溪產業道路則為另週進行調查。在過去的路殺研究中，調查頻度的選擇有很大的變異，依據不同地點與對象，從每天一次、每週一次、每月兩次、每月一次、到每季一次都有人採用(Collinson et al. 2014)，目前

並沒有絕對較好的選擇。過去研究顯示對爬蟲類或相似體型的動物來說，每週一次或每月兩次是合適的調查頻率(Barthelmeß and Brooks 2010, Bager and Da Rosa 2011)。

調查工作於調查日當日 8 點開始到路線行進完為止，由於調查時必須同時進行道路拾遺工作，因此，調查耗費時間較長，最長約需 5 小時才能完成整個路段的調查工作。道路拾遺是將在路面上發現的動物屍體作為動物被路殺的數量計數，是調查路殺量的一項標準方法(Taylor and Goldingay 2004)。依據過去在陽明山國家公園內的相關研究發現，動物車禍屍體通常在死亡後 3 天尚可被發現，超過 3 天屍體才會分解消失(黃光瀛 2001; 黃光瀛 2002)，而其他研究也顯示道路上的動物屍體存留在路上的時間最長應該是一週(Taylor and Goldingay 2004)。因此，本研究在同一路段連續兩次調查的時間盡量間隔一週以上，可避免動物屍體拾遺或移除有遺漏時，因時間間隔短造成重複計數的問題。

三、調查方法及記錄事項

慢速行進、調查間隔短、累積足夠的調查日數及調查路徑長度，是使道路拾遺工作能真實反應道路路殺量的重要因素(Collinson et al. 2014)。慢速行進為路殺調查中不遺漏記錄路死動物並獲得完整資料的重要方式(Collinson et al. 2014)。本計畫中的調查人員在進行調查時，是以騎乘機車的方式沿單向車道進行目視偵測，機車行駛的時速維持在 30 公里以下。一旦發現動物屍體時，調查人員會停下機車，紀錄發現日期、時間、位置、動物種類、數量，之後利用手持式全球衛星定位儀(Global Positioning System, GPS)記下發現地點座標，並以數位相機進行拍照。每個動物屍體視為一筆路殺資料。

資料記錄工作結束後，調查人員會立即進行拾遺工作。路殺個體的屍體常都被碾壓的支離破碎，無法在當場立即就能辨認出物種，且對調查人員來說，在車輛行駛的道路上進行物種辨認有安全上的疑慮，因此，路殺個體是需要被帶回實驗室進行物種辨認。針對新鮮的動物屍體，將採集全部或部分組織至入封口袋或標本瓶中，待調查結束帶回實驗室後，進行物種辨認，並採取組織以酒精保存。道路拾遺的動

物組織保存，未來有機會可以應用在探討族群遺傳多樣性減少或遺傳分化的問題之材料(Holderegger and Di Giulio 2010)。若遇無法拾遺的動物屍體，則以鏢子挑起置於路旁，避免其他動物前來取食而發生二次路殺事件，也避免動物屍體存留至下次調查時間，造成重複計數的問題。

動物屍體帶回實驗室後，會仔細檢查動物屍體遺留的外形特徵作為鑑定物種的依據，當路殺個體碾壓的支離破碎或已經死亡多日成乾扁狀，無法鑑定至種時，則鑑定至可辨認的分類階層，如：無法鑑定至科的兩棲綱或無尾目等。

四、路殺量的物種差異比較及時空分布型式分析

考量到地理位置及交通流量的差異，路殺量的資料會依調查路線分開計數與分析，分析項目包括：物種間的整年的累計路殺量比較、路殺量的月份分布型式、及路殺熱點。每條路線一個月基本上一定會調查 2 次，但是因為我們是每週皆固定調查，因此有些月份會調查 3 次，因此，每月的路殺數量以每個月的平均數(路殺總數量除以調查次數)表示。因為每個年度單月份調查次數的樣本數小(2-3 次)，因此，路殺的時間型式並不進行統計分析，僅以數量高低進行比較說明。

在路殺熱點分析時，只包括有完整 GPS 經緯度資料的紀錄。路殺熱點分析分為 2 種方式呈現，首先，為了能與過去的資料相比較，因此採用與劉小如(2008)相同的計算與呈現方式，先利用地理資訊系統(ArcGIS v.10.3.1)針對各別路線以 0.5 公里為單位分路段，計算各路段中全部或各別分類群的路殺數量，並以 natural breaks (Jenks) 方式分級，以評估與確認路殺量最高的所在路段。此外，我們另以 ArcGIS 的空間分析模組中的熱點分析(Hot spot analysis)工具，合併所有調查路線，分析出路殺量在統計上顯著較其他路段高的路殺熱點路段。

五、陽金及 101 甲公路的廊道與圍籬對降低路殺量的成效評估

為探討動物廊道與圍籬對降低路殺量的成效，比較有廊道與圍籬所涵蓋的路段及其前段或後段約等長但沒有廊道與圍籬所涵蓋的路段之整年累計路殺量(圖 2)，

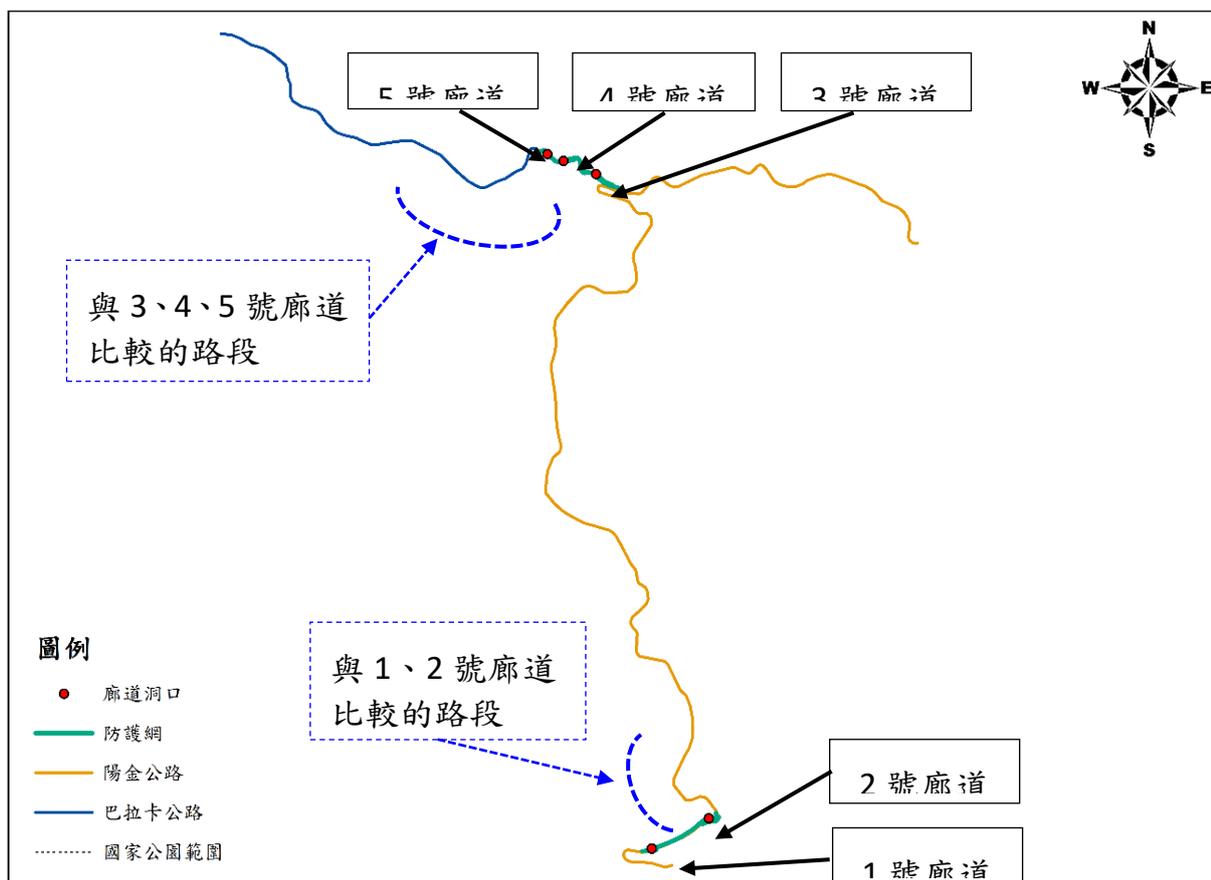


圖 2、比較路殺量差異的生態廊道與圍籬有涵蓋路段與沒有涵蓋的道路路段示意圖

第二節、動物利用廊道的影像資料建檔與分析

一、監測範圍與資料來源

陽明山國家公園已於轄區內設置多處穿越公路下方的地下涵道型廊道，位在陽金公路的 1、2 號廊道以及巴拉卡公路(即 101 甲公路)的 3、4、5 號廊道，均於靠近山壁的廊道口安裝 1 台自動相機。自動相機設定為觸發式啟動，即在有動物經過相機的感應範圍時，相機會被啟動並以錄影的方式錄製 1 段 15 秒的影像檔案，作為監測並評估廊道被野生動物利用情形的方法。

今年度本研究室在 2 與 3 號廊道架設每分鐘定時啟動拍照的自動相機，與原本的觸發啟動的自動相機架設在相同位置，比較兩種相機監測模式是否造成所記錄到的動物種類及使用次數差異。選擇在 2 與 3 號廊道架設定時相機，是因為這兩個廊道分別是陽金公路及 101 甲公路上使用次數最多的廊道，也是過去有兩棲爬蟲動物

使用紀錄的廊道，因此，適合作為評估兩棲爬行動物是因相機的感應限制沒有被拍到利用廊道，或者真的對廊道的利用率低。2 號廊道自 1 月中開始定時拍照，3 號廊道則從 5 月開始定時拍照。

針對每條廊道的自動相機，我們以一週一次的頻率至現場將記錄影像的記憶卡取回實驗室進行資料收集與整理，同時以空白的記憶卡替換之。以鹼性電池運作時，紅外線感應自動相機，其運作時間約可維持 0.5-1 個月，但為了確保運作無誤，本研究室是以平均兩週一次的頻率更換電池，而定時啟動拍照的自動相機，因為每分鐘皆需啟動，因此耗電量較高，須每周更換一次電池。然而鹼性電池為一次性使用的消耗物品，高頻度地更換電池會產生相當大量的垃圾，基於環境保育考量，本研究室今年改以較高容量及輸出量的充電電池取代鹼性電池。充電電池可以重複使用的次數較多，但電力輸出在電池量偏低時會不穩定，因此為確保所有相機正常運作，本研究室是以 1 週 1 次的頻率更換電池。

二、廊道影像資料建檔與分析

在取得影像檔案後，在電腦以定速的方式播放影片，並針對影片的下列資料項目進行記錄：相機位置(所在廊道編號)、日期、時間、使用廊道的動物物種中文名(當無法鑑定至種時，則另記錄高階分類群名稱)、數量及行為。

影片檔案中的影像需符合有效影像的原則才用於後續分析，有效影像的定義為畫面上確定有動物出現或經過，且確定不是同一隻個體被連續拍攝。若確定為同一隻個體在相機附近活動，造成相機被連續啟動錄製，則只能視為一筆有效影像紀錄(李玲玲 2007)。此外，會群體活動的動物以群為單位做計算，一群當作一筆有效紀錄，但會計數一群內有幾隻個體，作為額外的資料訊息。

除了相機故障的日數外，5 個廊道中的監視設備都是整年連續每天 24 小時在使用狀態，所以，我們以影片錄製到的動物出現次數來估算各類群動物利用廊道的相對頻度。雖然這個估算方式無法知道實際利用廊道的動物個體數量，也不能以廊道中的影像資料推估周圍棲地環境中的野生動物數量。但是，使用廊道的相對頻度可

以用來比較不同動物廊道被動物利用的頻率，可以估算不同動物類群對同一廊道的使用率差異，也可以比較同一動物物種在不同時段或季節對廊道的使用頻率。實際上，利用廊道頻度越高的物種，顯示其應該是懂得利用動物廊道穿越道路，而其遭到路殺的機率理論上也相對較低。

第三節、生態廊道監測的研究與應用工作坊

本計畫在 2018 年 8 月 14 日完成舉辦一場次工作坊，並請上課講師撰寫文章或提供 PPT 製作成工作坊當天上課用教材，課程主題及時間規劃請見結果。

第三章、結果

在路殺與拾遺調查方面，本研究室自今年 1 月 2 日起至 12 月 21 日止，在陽金公路、101 甲公路共進行了 26 次路殺調查，在萬溪產業道路進行了 25 次的路殺調查。三條路線總計累計獲得 266 筆路殺紀錄(表 1)，有至少 4 綱 6 目 17 科 35 種的脊椎動物被路殺(表 2)。

除了本研究室的調查之外，今年另有 2 筆接獲通報的路殺紀錄，1 筆為位在菁山路 54 巷草山窯附近的鼬獾路殺，及 1 筆在光華路 61 巷 4 弄的龜殼花路殺。這兩筆紀錄皆在國家公園園區外，因此沒有納入後續分析中。

表 1、2018 年路殺調查時間及路殺紀錄

月份	陽金公路			101 甲公路			萬溪產業道路		
	調查 次數	無路殺 次數	路殺 個體數	調查 次數	無路殺 次數	路殺 個體數	調查 次數	無路殺 次數	路殺 個體數
1	3	1	2	3	1	2	2		13
2	2	2		2	2		2	1	1
3	2	2		2	1	1	2		9
4	2	2		2	1	3	2		6
5	2		3	2		19	3		18
6	2	1	5	2	1	5	2	1	3
7	2		11	2		28	2		19
8	2		5	2	1	5	2		6
9	3		14	3		18	2		11
10	2		6	2	1	2	2		7
11	3	1	6	3	2	2	2		19
12	1		2	1		1	2		14
總計	26	9	54	26	10	86	25	2	126

表 2、2018 年各路線的路殺動物名錄與數量

綱	目	科	物種中文名/路段	保育 等級	101 甲 公路	陽金 公路	萬溪產 業道路	總計		
兩棲綱	無尾目	蟾蜍科	黑眶蟾蜍		1	1	13	15		
			盤古蟾蜍		16	18	51	85		
			叉舌蛙科	澤蛙				1	1	
			赤蛙科	拉都希氏赤蛙		1	2	4	7	
		長腳赤蛙					1	1		
				貢德氏赤蛙				3	3	
				斯文豪氏赤蛙		6	2	21	29	
			樹蛙科	臺北樹蛙	III		1	5	6	
		布氏樹蛙			1			1		
				無法鑑定至科的無尾目(非蟾蜍)					1	1
		爬蟲綱	有鱗目	正蜥科	翠斑草蜥				1	1
石龍子科	印度蜓蜥					1	2	3		
	麗紋石龍子						1	1		
飛蜥科	黃口攀蜥				23	8	2	33		
鈍頭蛇科	泰雅鈍頭蛇				7	5	7	19		
黃領蛇科	大頭蛇						3	1	4	
	白梅花蛇						1		1	
	赤背松柏根				4				4	
	赤腹松柏根						1		1	
	青蛇				1	4	1	6		
	紅竹蛇					1		1		
	紅斑蛇				3			3		
	茶斑蛇						1	1		
	梭德氏游蛇				2			2		
	過山刀				6	1	1	8		
	擬龜殼花				4			4		
蝙蝠蛇科	中華眼鏡蛇			III				1	1	
	環紋赤蛇			III	1				1	
蝮蛇科	赤尾青竹絲				1	1	4	6		
	阿里山龜殼花			II			1	1		
	龜殼花			III	2	3		5		
				無法鑑定至科的蛇類			1			1
哺乳綱	食肉目			貂科	鼬獾		1		2	3
	翼手目	無法鑑定至科的蝙蝠					1	1		
	啮齒目	松鼠科	赤腹松鼠			2		2		
		鼠科	刺鼠			2		2		
鳥綱	鴉形目	鴉科	領角鴉	II		1		1		
	無法鑑定至目的鳥類						1	1		
筆數總計					81	59	126	266		
物種數 (最小值)					17	20	22	35		

備註：1.保育等級依據農委會野生動物保育法。2.#表示雖無法鑑定出物種，但可確定與其他類群不重疊，因此計數為至少 1 種。

第一節、陽金公路、101甲公路及萬溪產業道路的路殺拾遺調查

一、陽金公路

本年度在陽金公路共進行了 26 次的路殺調查，其中有 9 次的調查沒有發現任何路殺個體，總計獲得 54 筆路殺紀錄(表 1)。以 0.5 公里分段計算的每個路段路殺數量如圖 3。

今年度的陽金公路有至少 17 種脊椎動物的路殺紀錄，包括 5 種 24 隻兩棲類、11 種 30 隻爬蟲類、2 種 4 隻哺乳類、1 種 1 隻鳥類(表 2)，其中包括臺北樹蛙、阿里山龜殼花、龜殼花、及領角鴉 4 種保育類動物(表 2)。以各綱動物的路殺個體數量來說，被路殺最多個體數以爬蟲類居多(表 2)。就所有可鑑定至種的紀錄(n=59)來說，路殺個體數量最多的前 3 個物種為盤古蟾蜍(n=18)、其次為黃口攀蜥(n=8)、泰雅鈍頭蛇(n=5)(表 2)。

陽金公路的路殺紀錄中，所有動物類群的月平均路殺個體數量在 5-9 月(夏季及秋季)相對較其他月份多(圖 4)，這個趨勢與兩棲類和爬蟲類動物的每月平均路殺量起伏一致。而哺乳類及鳥類只有零星的路殺紀錄，因此看不出時間趨勢(圖 4)。

二、101 甲公路路殺量

本年度在 101 甲公路共進行了 26 次的路殺調查，其中有 10 次的調查沒有發現任何路殺個體，調查期間總計獲得 81 筆路殺紀錄(表 1)。以 0.5 公里分段計算的每個路段路殺數量如圖 5。

今年度的 101 甲公路有至少 17 種脊椎動物的路殺紀錄，包括 5 種 25 隻兩棲類、11 種 59 隻爬蟲類、1 種 1 隻哺乳類(表 2)，其中包括環紋赤蛇與龜殼花 2 種保育類動物。以綱這個分類階層來看，路殺物種數最多的為爬蟲類，被路殺個體數最多的也是爬蟲類，佔全部個體的 73%(表 2)。而在所有可鑑定至物種的路殺個體(n=80)中，數量最多的前 3 個物種為黃口攀蜥(n=23)、其次為盤古蟾蜍(n=16)、泰雅鈍頭蛇第三(n=7)(表 2)。

在 101 甲公路的路殺紀錄中，所有動物類群的路殺量在 5 月、7 月及 9 月相對較其他月份多(圖 6)，這個趨勢與爬蟲類的路殺量高峰完全一致(圖 6)。哺乳類及鳥類只有零星的路殺紀錄，因此並無任何時間趨勢(圖 6)。

三、萬溪產業道路

本年度在萬溪產業道路共進行了 25 次的路殺調查，其中有 2 次的調查沒有發現任何路殺個體，調查期間總計獲得 126 筆路殺紀錄(表 1)。以 0.5 公里分段計算的每個路段路殺數量如圖 7。

在萬溪產業道路上有至少 21 種脊椎動物的路殺紀錄，包括至少 8 種 100 隻兩棲類、11 種 22 隻爬蟲類、2 種 3 隻哺乳類、1 種 1 隻鳥類(表 2)，其中包括臺北樹蛙及中華眼鏡蛇 2 種保育類物種(表 2)。在路殺數量上，萬溪產業道路上被路殺數量最多的動物為兩棲動物，占本路段全部紀錄的 79%(表 2)。就可鑑定至種的數量($n=126$)來說，路殺個體數量最多的前 3 個物種為盤古蟾蜍($n=51$)、其次為斯文豪氏赤蛙($n=21$)、第三為黑眶蟾蜍($n=13$)(表 2)，泰雅鈍頭蛇排在第四多($n=7$)。

萬溪產業道路上所有動物類群的月平均路殺個體數量在 7 月和 11 月最高，但無特別明顯的高峰期(圖 8)，路殺量起伏趨勢與兩棲類動物路殺量一致。而哺乳類及鳥類同樣只有零星的路殺紀錄，看不出時間趨勢(圖 8)。

四、所有調查路線的路殺量綜合分析

比較三條路線整年度的路殺量，各路線上比例最高的動物類群不太一致，陽金公路兩棲和爬蟲類路殺比例相近，101 甲公路的路殺明顯以爬蟲類動物居多，萬溪產業道路則以明顯兩棲類居多(圖 9)。綜合三條路線整年度所有動物的路殺量空間分析，結果以 101 甲公路上中央氣象局鞍部氣象站附近的 1 公里路段(圖 10 中的紅色路段)有顯著最高的路殺量，與今年度蛇類的路殺熱點路段相同(圖 12)，很可惜此路段也正位在 3-5 號廊道所在的路段。路殺量顯著次高的路段是位在萬溪產業道上的溪底新興宮(媽祖廟公車站)附近路段(圖 10)，與今年度盤古蟾蜍的路殺熱點重疊(圖 11)。

今年度所有路殺調查的加總紀錄中，以兩棲類有最多數量的路殺筆數，其中盤古蟾蜍是路殺數量最多的物種(表 2)，是兩棲類中的路殺高危險物種。盤古蟾蜍今年度的路殺熱點在萬溪產業道路上溪底新興宮(媽祖廟公車站)附近路段(圖 11 的紅色路段)。兩棲類路殺數量次多的物種為斯文豪氏赤蛙，其路殺量也主要集中在萬溪產業道路上(表 2)。

爬蟲類為今年度路殺數量次多的類群，其中黃口攀蜥為路殺數量最多的物種(表 2)，其路殺數量在 101 甲公路較多。此外，值得注意的是蛇類的路殺，雖然其各種路殺數量少，但涵蓋的物種相當多，其中包括數種保育類物種(表 2)。以路殺數量來看，泰雅鈍頭蛇是路殺紀錄中數量最多的物種($n=19$)，且這個物種在所有路線中都有路殺紀錄。蛇類今年度的路殺熱點分在 101 甲公路中央氣象局鞍部氣象站附近的 1 公里路段(圖 12)。

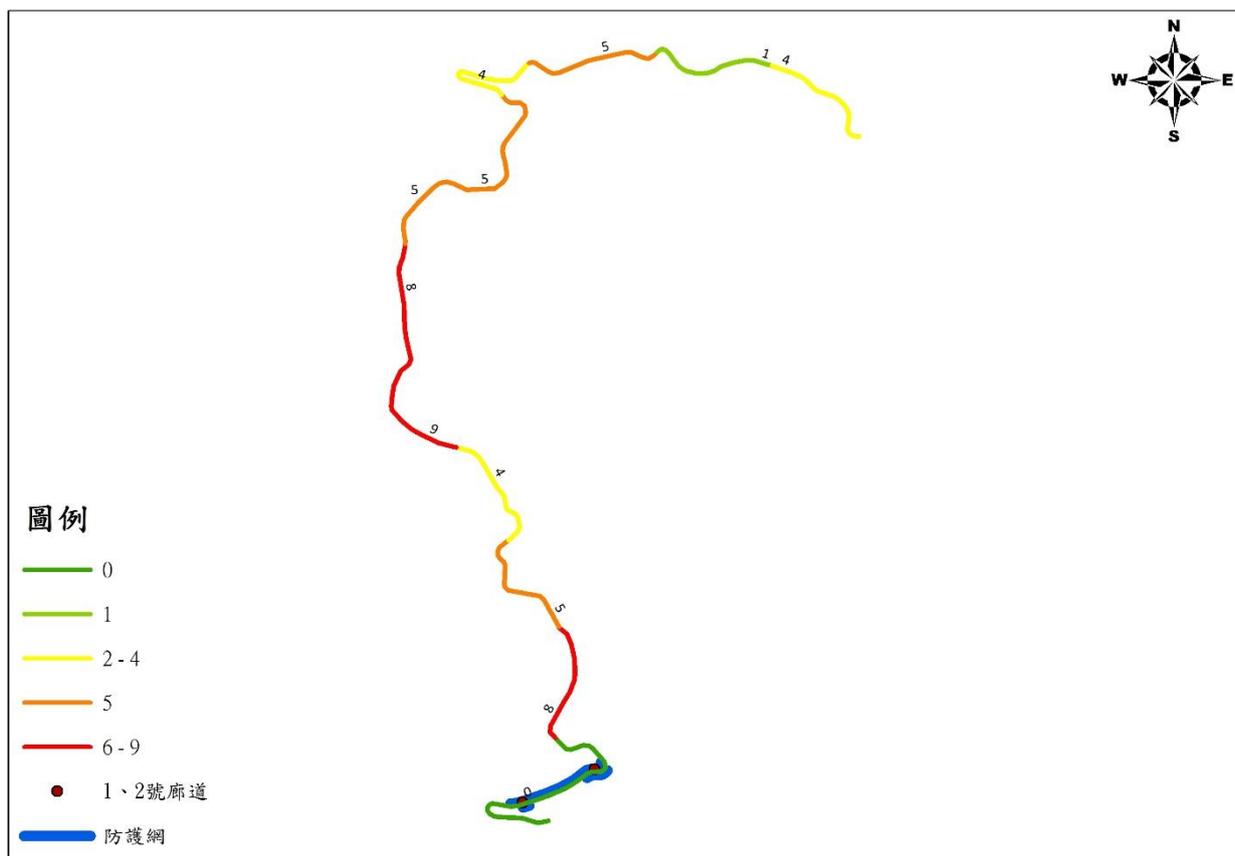


圖 3、陽金公路上各路段(以0.5公里為單位)的路殺量空間分布圖

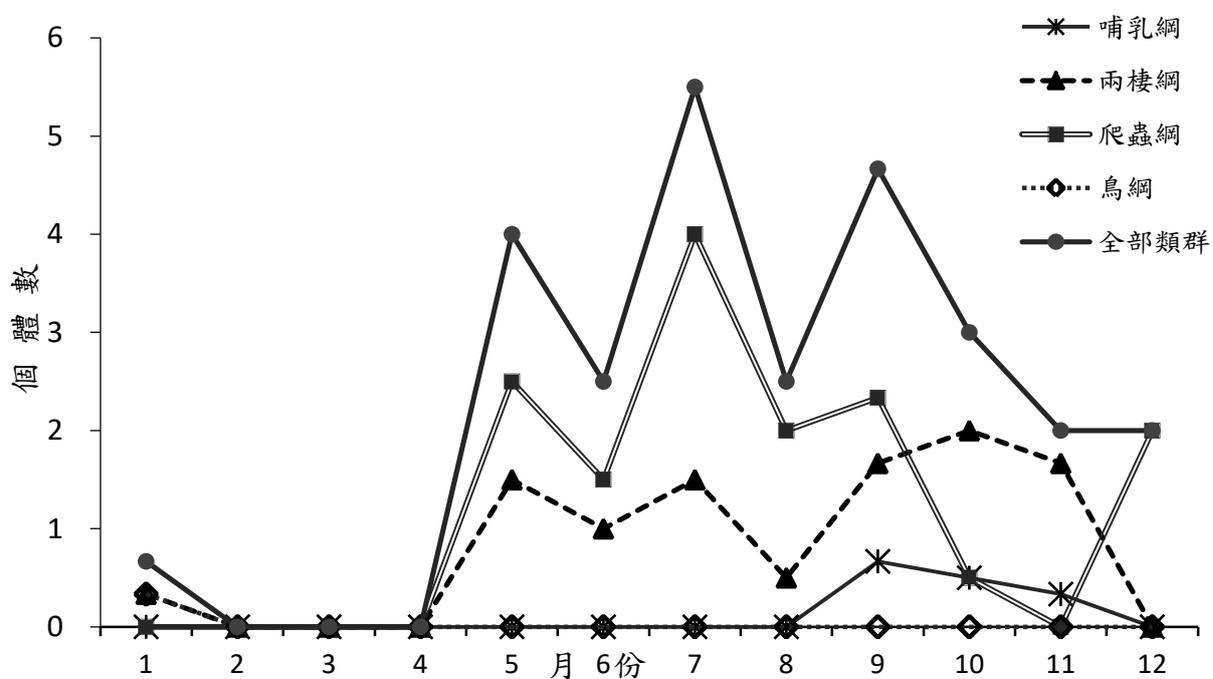


圖 4、陽金公路上每月各動物類群的路殺平均數量

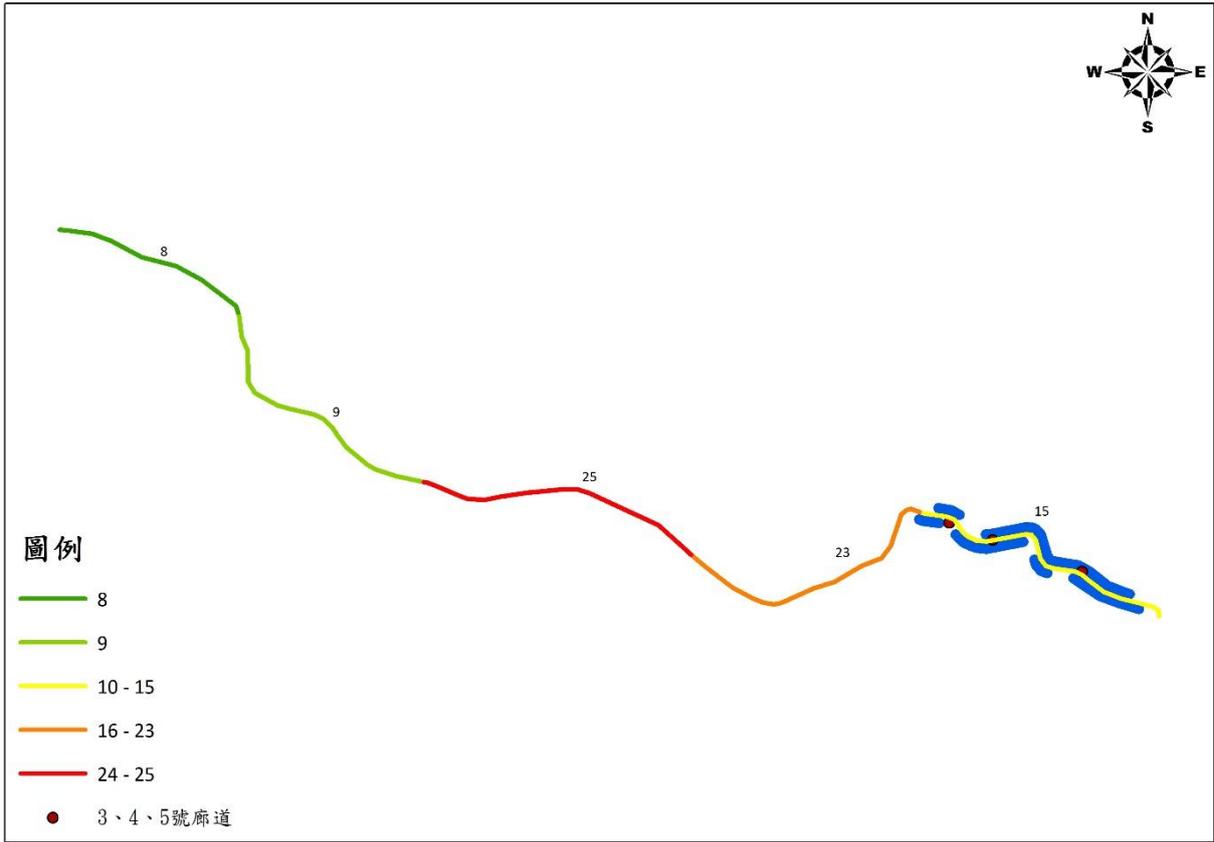


圖 5、101甲公路上各路段(以0.5公里為單位)的路殺量空間分布圖

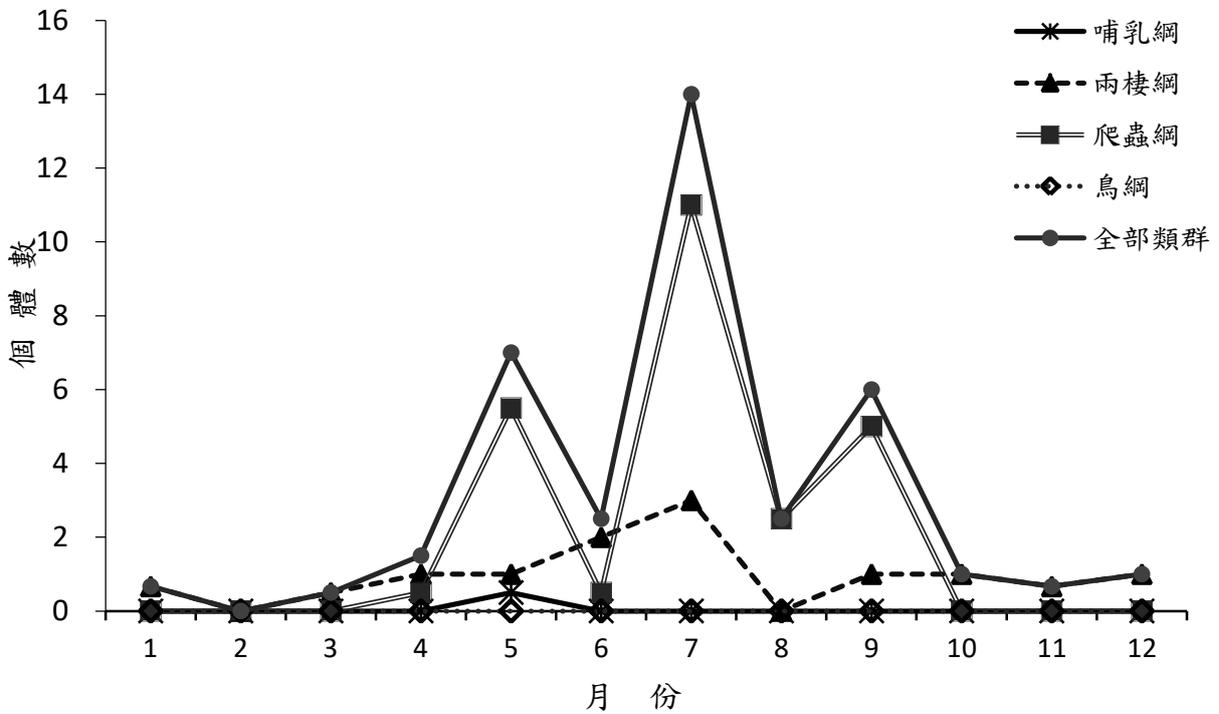


圖 6、101甲公路上每月各動物類群的路殺平均數量

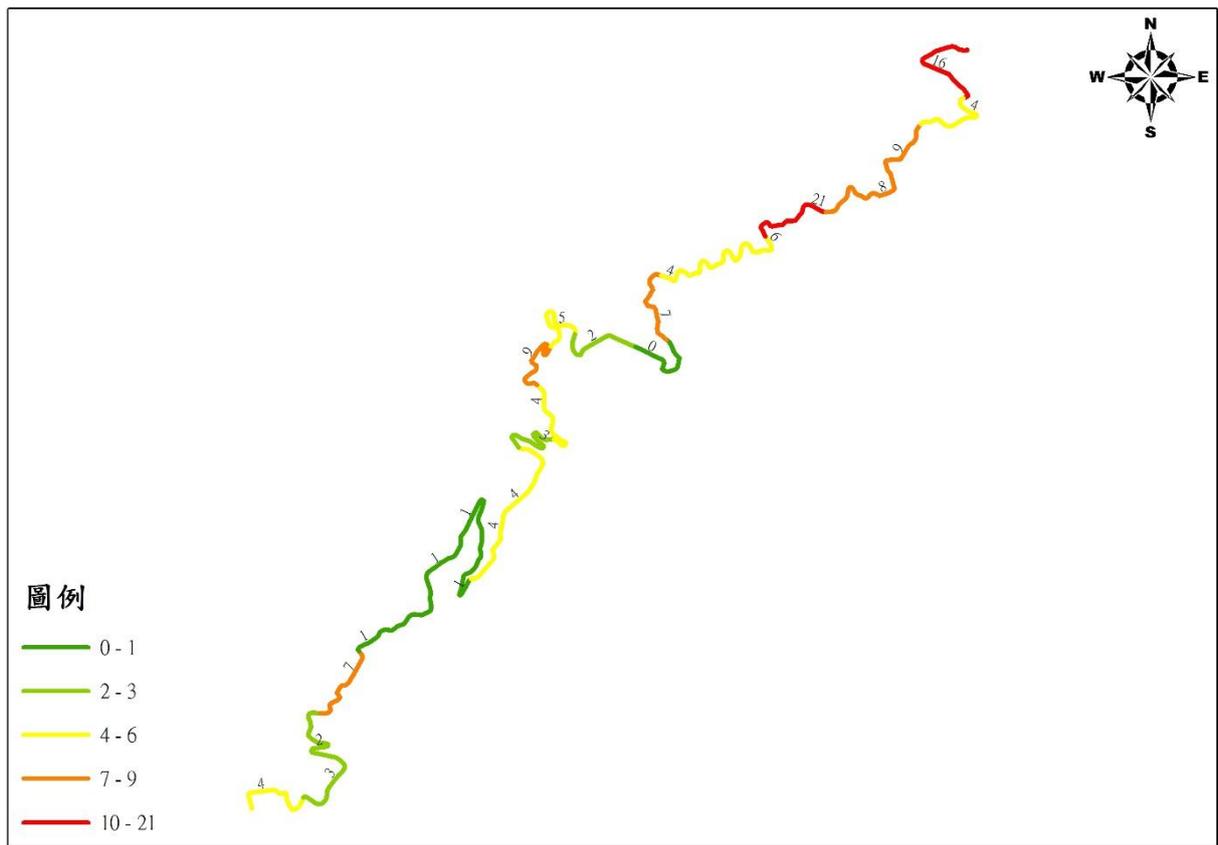


圖 7、萬溪產業道路各路段(以0.5公里為單位)的路殺量空間分布圖

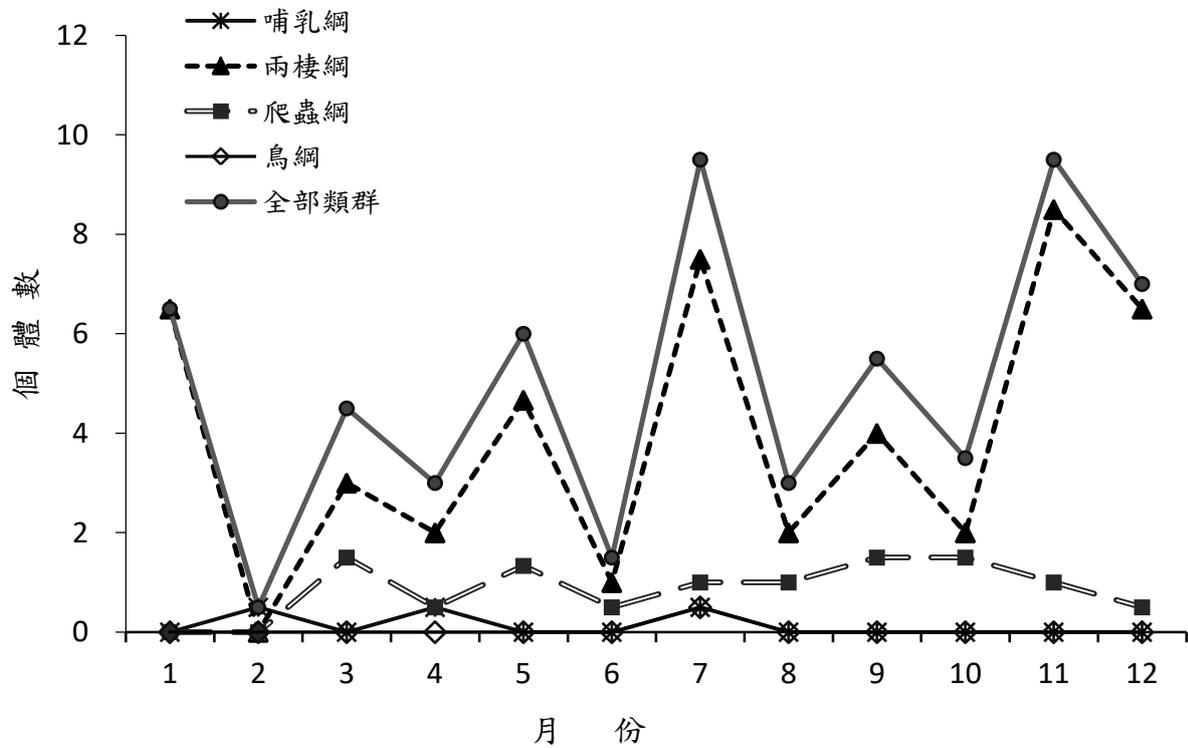


圖 8、萬溪產業道路上每月各動物類群的路殺平均數量

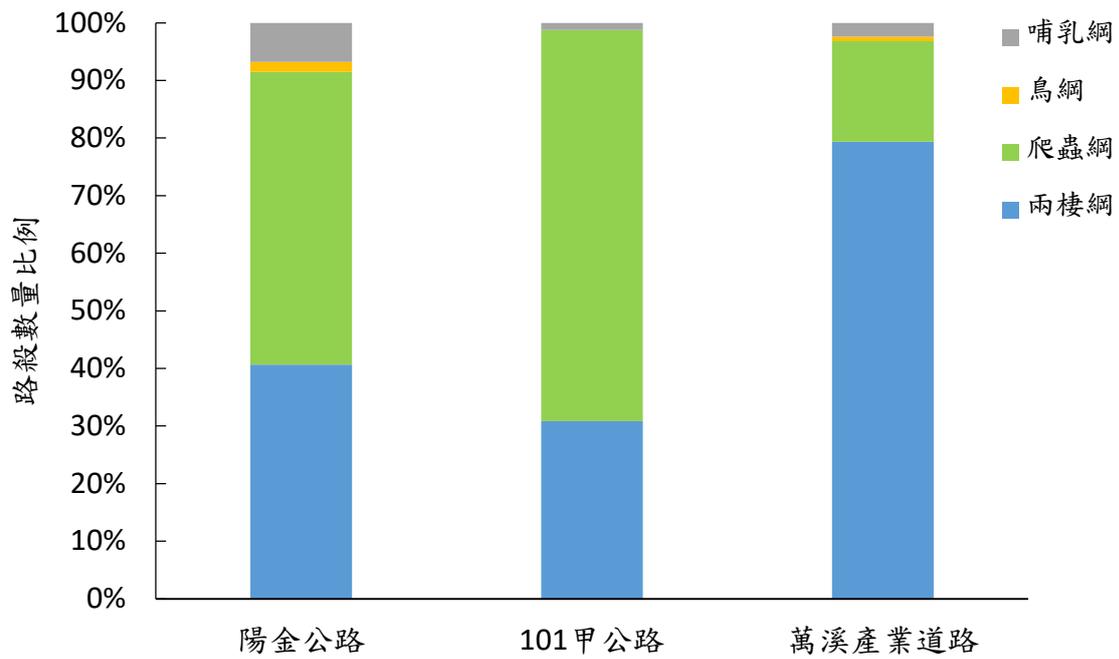


圖 9、今年度調查路線中各類群動物的路殺量比例

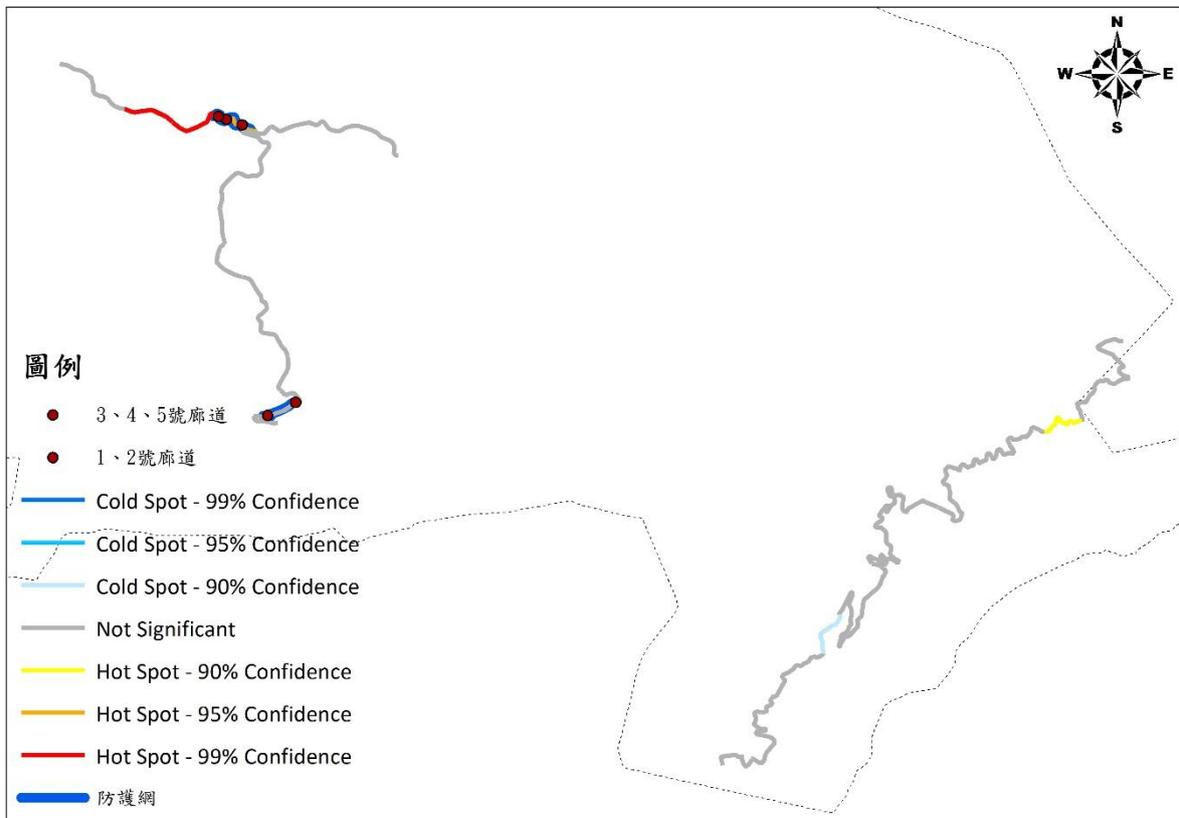


圖 10、今年度所有調查路線中脊椎動物的路殺熱點分布

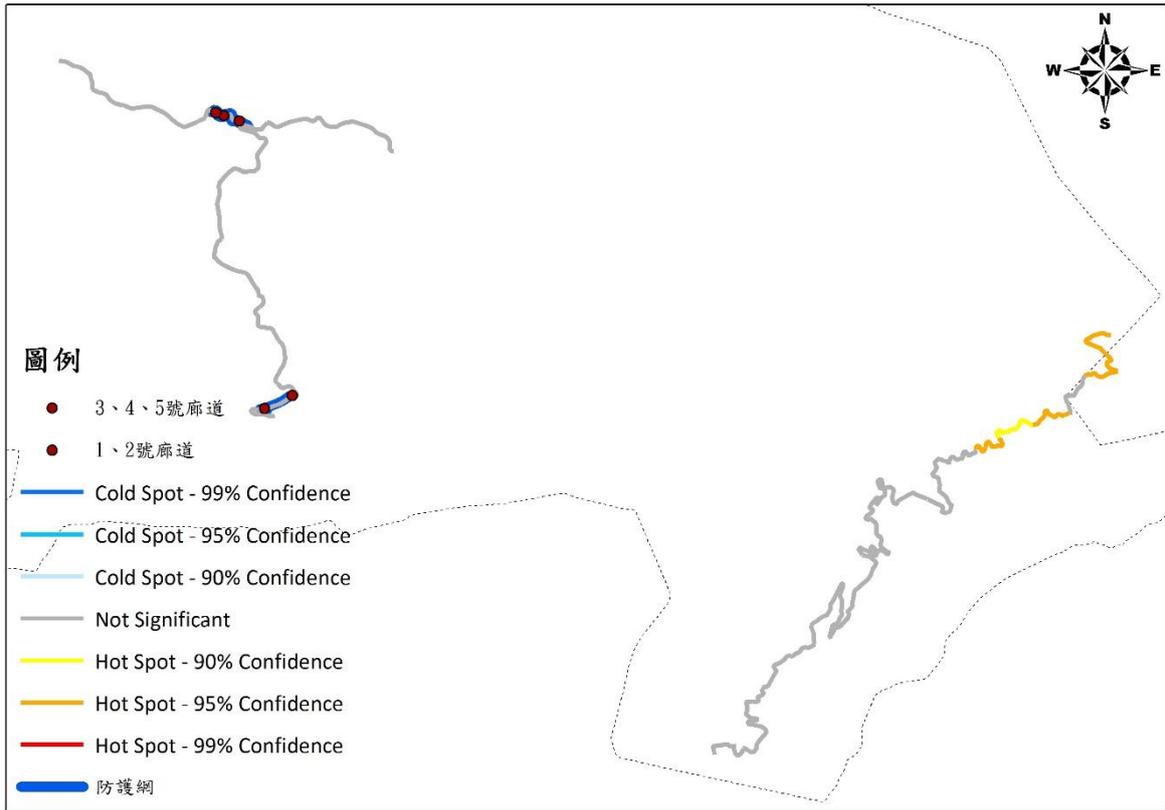


圖 11、今年度盤古蟾蜍在所有調查路線上的路殺熱點

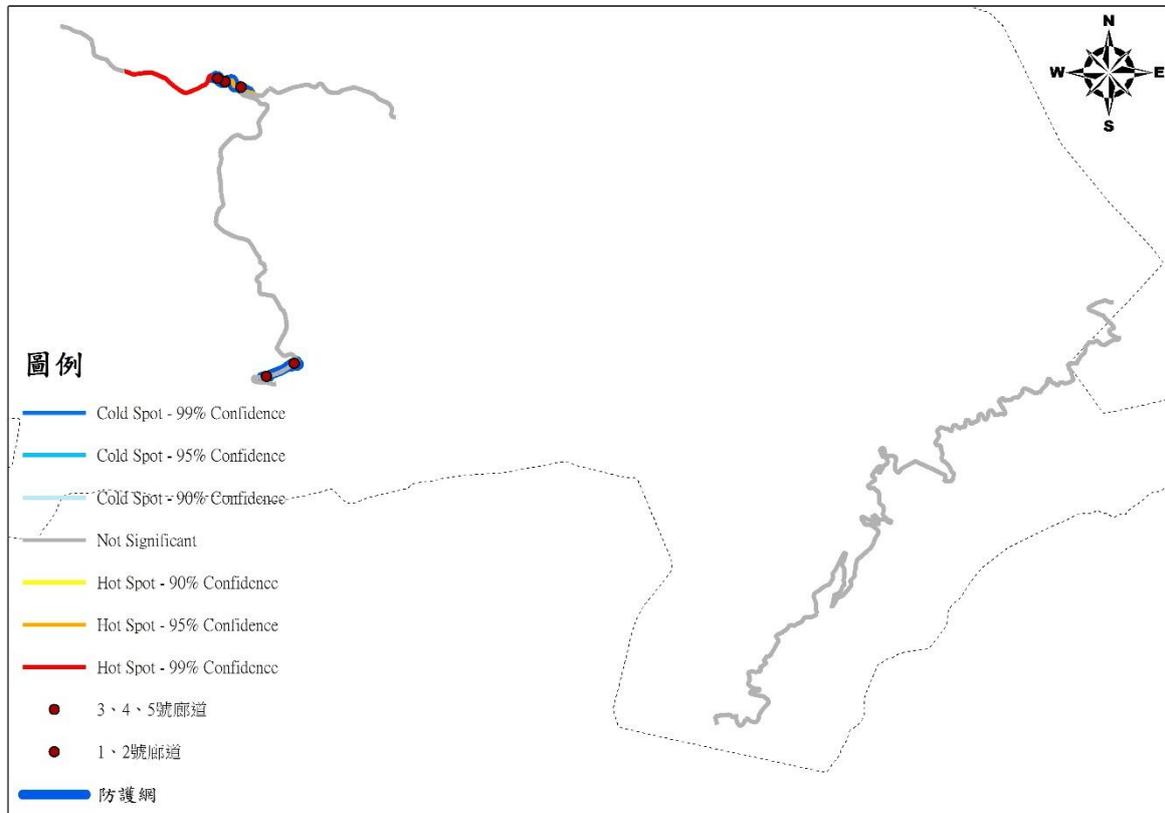


圖 12、今年度調查路線上蛇類的路殺熱點

五、動物廊道與圍籬對降低路殺量的成效評估

我們將有廊道與圍籬涵蓋的路段，與緊鄰但沒有廊道與圍籬涵蓋的路段，進行路殺量比較，以今年累計的路殺量來看，陽金公路上的 1 號及 2 號廊道所在路段的路殺量為 0，相鄰路段為 1；101 甲公路上 3-5 號廊道及圍籬所處的路段路殺量為 15，相鄰路段為 23，有廊道與圍籬涵蓋的路段路殺量較沒有廊道與圍籬涵蓋的路段的路殺量少(表 3)。若僅以路殺較多的兩棲及爬蟲類計算 3 年的累計路殺量比較，在陽金公路上，兩棲及爬蟲類在有廊道路段量都較少；在 101 甲公路上，兩棲類累計數量較少，但爬蟲類數量相差不多。

表 3、2016-2018 年有廊道圍籬與緊鄰但沒有廊道圍籬涵蓋的路段之路殺量比較

年份	動物類群	陽金公路：1-2 號廊道		101 甲公路：3-5 號廊道	
		廊道+圍籬的路段	相鄰 2 號廊道，但無圍籬的路段	廊道+圍籬的路段	相鄰 5 號廊道，但無圍籬的路段
2016	兩棲類	7	13	34	52
	爬蟲類	5	12	23	23
	哺乳類	3	3	0	0
	鳥類	0	1	0	0
	2016 小計	15	29	57	75
2017	兩棲類	1	5	18	13
	爬蟲類	5	4	9	13
	哺乳類	2	0	3	0
	鳥類	0	0	2	0
	2017 小計	8	9	32	26
2018	兩棲類	0	0	4	14
	爬蟲類	0	1	10	9
	哺乳類	0	0	1	0
	鳥類	0	0	0	0
	2018 小計	0	1	15	23
2016-2018 累計隻數	兩棲類	8	18	56	79
	爬蟲類	10	17	42	45

*單位:個體數。

第二節、觸發式自動相機記錄到的利用廊道動物資料

今年度 1-5 號廊道中，觸發式相機共錄製了 22972 個影片檔案，排除沒有動物及確定為重複個體的影片數之後，有效檔案為 3751 個(表 4)，動物對廊道利用情形的所有後續分析皆僅使用有效影片。

表 4、廊道相機所錄製的有效影片數

廊道編號	有動物影片數	重複個體的影片數	有效影片數
1	809	141	668
2	1595	106	1489
3	516	40	476
4	562	17	545
5	598	25	573
總計	4080	329	3751

一、利用廊道的動物物種數

所有廊道的相機影像紀錄中，利用廊道的動物種類有至少 20 種，其中哺乳類動物至少 11 種、爬蟲類動物 6 種、兩棲類動物至少 1 種，鳥類 2 種曾利用廊道(表 5)。以利用廊道的動物物種數來看，哺乳類動物的物種數最多，爬蟲類次之，最少種類數的是兩棲類及鳥類，拉都希氏赤蛙為今年觸發式相機唯一有利用廊道且可被確認的兩棲類物種。利用廊道的動物中包括中華眼鏡蛇、白鼻心、麝香貓、及穿山甲 4 種保育類物種。

二、不同動物類群對廊道的利用次數

以不同綱的動物對廊道的使用次數來看，哺乳類動物的使用次數最多(3695 次)，佔全部紀錄中的 98.5%(表 5)。爬蟲類的使用總次數第二多，但僅佔全部次數的 1.1%。由此可見，使用廊道的優勢動物類群為哺乳類動物，且以中小型的食肉目、嚙齒目

及鼬形目居多(表 5)。以不同物種的動物對廊道的使用次數來看，食肉目貂科的鼬獾是所有利用廊道的物種之中，使用廊道總次數最高的物種(1897 次)，佔全部紀錄中的 50.6 % (表 5)；其次為嚙齒目鼠科的刺鼠(1103 次)，佔全部紀錄中的 29.4% (表 5)。由以上至少 2 種的類哺乳動物就共佔了整年當中全部廊道使用次數的 80%，是使用廊道的優勢動物種類。

三、動物利用廊道的空間型式

比較利用廊道的動物物種數，1、2 及 3 號是今年度有最多物種使用的廊道，有 10-11 種動物種類利用(表 5)。在對個別廊道的利用次數上，以 2 號廊道有較多的利用次數，其他廊道被動物利用的次數則相對較少(表 5)。今年度哺乳類的影像紀錄中，食肉目的鼬獾、白鼻心、貓、嚙齒目的刺鼠、小黃腹鼠、以及鼬形目的鼬獾皆屬於廣布型，在 1-5 號廊道皆有利用廊道的紀錄(表 5)，其他動物則只在幾個廊道出現，如：穿山甲在 2 號和 3 號廊道出現過，麝香貓則僅出現在 3 號廊道(表 5)。

四、動物利用廊道的時間型式

一天當中各時段動物使用廊道次數的相對百分比，在所有廊道中皆有明顯的日夜差異(圖 13)，動物對廊道的使用都集中在夜間時段，在日間時間很少有動物通過廊道，這種日少夜多的利用比例，推測與鼬獾與刺鼠這些利用廊道較多的物種為夜行性動物有關(表 5、圖 13)。

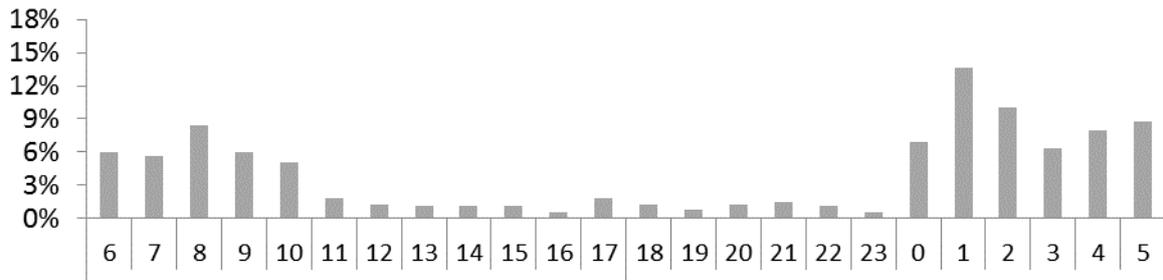
表 5、廊道相機記錄到的動物種類及使用廊道次數

綱	目	科	物種中文名	保育等級	廊道					總計	
					1	2	3	4	5		
兩棲綱	無尾目	赤蛙科	拉都希氏赤蛙		1					1	
爬蟲綱	有鱗目	蝙蝠蛇科	中華眼鏡蛇	II	1	26				27	
			黃領蛇科	王錦蛇		2	2				4
			過山刀					2	1		3
			紅斑蛇						1		1
			茶班蛇		1						1
			無法辨識科	蛇		2			1		3
			石龍子科	印度蜓蜥		1	1				2
鳥綱	雀形目	鴉科	臺灣藍鵲			1				1	
		畫眉科	大彎嘴畫眉				1			1	
哺乳綱	啮齒目	鼠科	刺鼠		129	481	192	181	120	1103	
			小黃腹鼠		23	54	5	11	34	127	
			無法辨識種		9	54	14	19	55	151	
			無法辨識科	無法辨識種		2	6	1	2	6	17
		食肉目	貂科	鼬獾		296	766	192	318	325	1897
			靈貓科	白鼻心	II	32	24	7	1	10	74
				麝香貓	II			42		1	43
			貓科	貓				4	2		6
	犬科		狗				1			1	
	無法辨識科		無法辨識種		7	9	3		10	29	
	鼯形目		尖鼠科	鼯髓		152	45	3	2	1	203
			無法辨識科	無法辨識種		1					1
	翼手目	無法辨識科	蝙蝠				1		1	2	
	鱗甲目	穿山甲科	穿山甲	II		9	1			10	
	無法辨識目	無法辨識科	無法辨識種		6	10	5	4	6	31	
	無法辨識綱			無法辨識種		3	1	2	2	4	12
使用廊道次數					668	1489	476	545	573	3751	
物種數(最小值)					11	10	12	8	7	20	

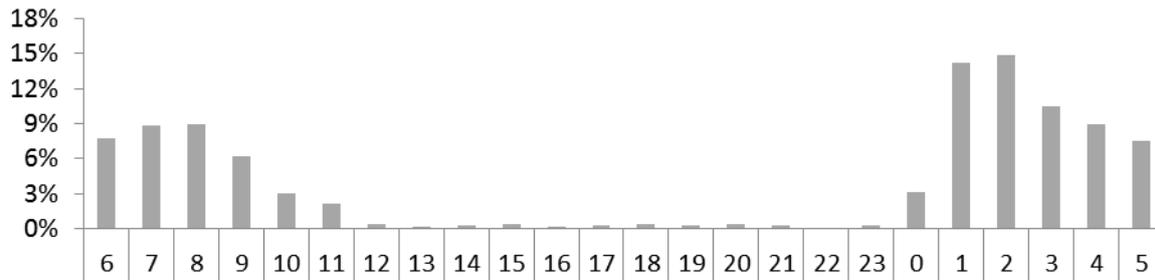
備註：

1. 保育等級標示依據農委會的保育動物名錄。
2. 無法鑑定出物種，若可確定與其他類群不重疊，計數為至少 1 種。

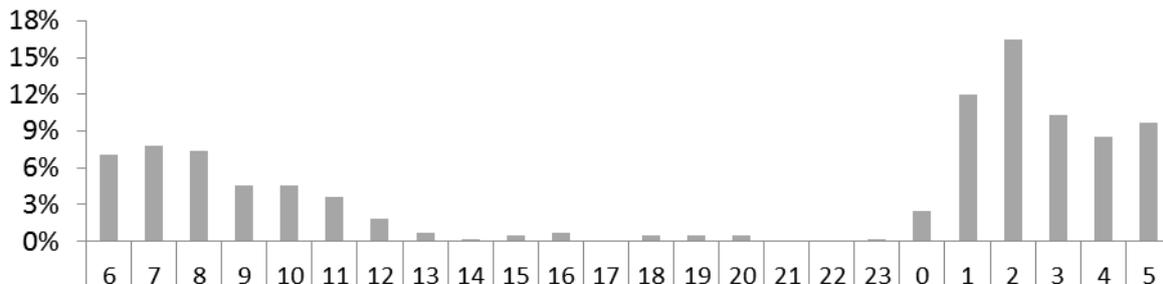
(a)1號廊道



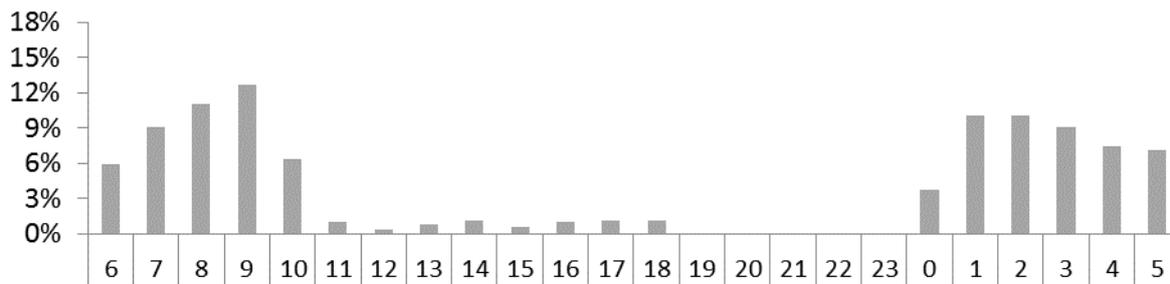
(b)2號廊道



(c)3號廊道



(d)4號廊道



(e)5號廊道

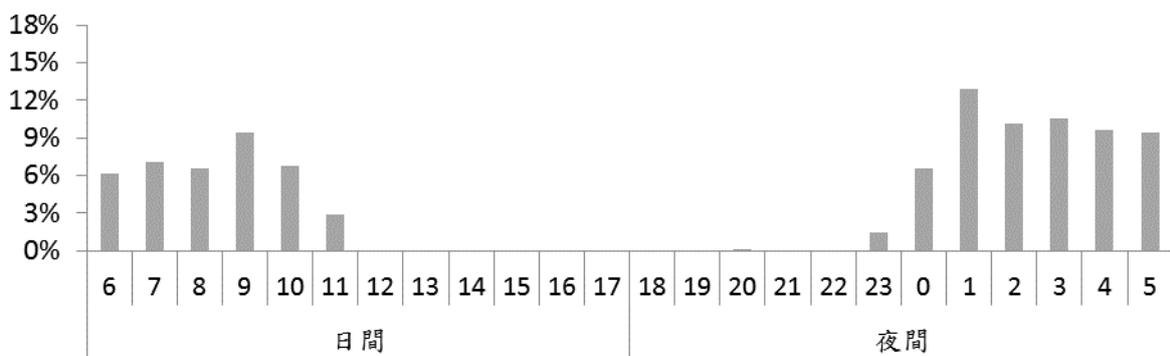


圖 13、各號廊道在一天當中的各個時段的動物利用次數百分比

五、廊道中的掠食事件

今年度的影像紀錄中，除了動物行走通過的行為外，只記錄到 1 次疑似掠食事件發生，為鼬獾捕食及啃咬某種生物事件。由於捕食事件發生次數少，因此無法依此評斷捕食的事件之發生頻率，及其是否為影響不同物種對廊道利用的次數差異的重要因素，但持續監測是必要進行的。

此外，今年度廊道影像中在 3 號廊道有 4 筆貓及 1 筆狗的影像紀錄，4 號廊道有 2 筆貓影像紀錄，在 2017 年在 1 及 4 號出現 17 及 13 次貓的出現紀錄，2016 年的紀錄中，貓出現在生態廊道 36 次，以 3 及 4 號廊道出現較多次(23 及 10 次)。貓這類流浪動物(或自由犬貓)的持續出現，加上去年有拍攝到貓捕捉鼠的行為紀錄，因此，對野生動物利用廊道是否造成影響，也需持續監測及注意。

第三節、定時記錄自動相機記錄到的利用廊道動物資料

今年度 2 號及 3 號廊道的定時相機共拍了 703006 張照片，排除沒有動物及確定為重複個體的影片數之後，有效照片為 2358 張(表 6)，所有後續分析皆僅使用有效影片。

2 號廊道的定時記錄模式相機獲得的有效相片數為 2179 張，利用 2 號廊道的動物種類有 19 種，其中兩棲類 2 種、爬蟲類 9 種、哺乳類動物至少 7 種、鳥類 1 種(表 6)。3 號廊道的定時記錄模式相機獲得的有效相片數為 179 張，利用 3 號廊道的動物種類有至少 16 種，其中兩棲類至少 3 種、爬蟲類 5 種、哺乳類動物 8 種(表 6)。定時模式的相機在兩棲爬蟲動物的種類偵測率上比觸發模式高，定時模式有拍到 14 種兩棲爬蟲類動物利用廊道(表 6)，但觸發模式只拍到 4 種。

表 6、廊道定時相機記錄到的動物種類及使用廊道次數

綱	目	科	物種中文名	保育等級			
				2	3		
爬蟲綱	有鱗目	石龍子科	印度蜓蜥	21			
			無法辨識種	2			
			黃領蛇科	王錦蛇	17	2	
				龜殼花	1		
				黑眉錦蛇	2	4	
				紅竹蛇	2	1	
				紅斑蛇		2	
				臭青公	2		
				過山刀		1	
				蝙蝠蛇科	雨傘節	37	
					眼鏡蛇	147	
				蝮蛇科	龜殼花	3	
				無法辨識科	蛇	45	
		哺乳綱	食肉目	貂科	鼬獾	896	35
				靈貓科	白鼻心	26	2
	麝香貓				1		
貓科	貓				2		
無法辨識科	無法辨識種			2			
翼手目	無法辨識科			蝙蝠	22	8	
啮齒目	鼠科			小黃腹鼠	140	11	
				刺鼠	502	47	
				無法辨識種	31		
	無法辨識科			無法辨識種	1	1	
	鼯形目			尖鼠科	鼯鼯	49	1
鱗甲目	穿山甲科	穿山甲	14				
無法辨識目	無法辨識科	無法辨識種	2	2			
鳥綱	雀形目	鴉科	台灣藍鵲	1			
兩棲綱	無尾目	赤蛙科	拉都希氏赤蛙	26	18		
			斯文豪氏赤蛙	1	6		
		蟾蜍科	盤古蟾蜍		14		
		無法辨識科	蛙	181	20		
		無法辨識綱	無法辨識目	無法辨識科	無法辨識種	6	1
使用廊道次數				2179	179		
物種數(最小值)				19	15		

第四節、生態廊道監測的研究與應用工作坊

本計畫在 2018 年 8 月 14 日完成舉辦一場次工作坊，課程主題及時間規劃請見表 7。當天參與人數共 23 人，學員來源包括：中正高中師生、中國文化大學生命科學系及森林暨自然保育學系師生、陽明山國家公園管理處保育志工、台大生工系研究生、新北市福連國民小學教師等人員出席(附錄 2)。上課情形請見附錄 3 照片。參與人員對陽明山國家公園的廊道監測的結果很感興趣，可以親自動手操作自動相機並觀看自己錄製的影片，也讓許多成員覺得獲益。上課講師皆撰寫文章或提供 PPT，製作成工作坊當天上課用教材(附錄 4)。

表 7、生態廊道工作坊活動主旨、時間地點說明及課程表

活動宗旨		
陽明山國家公園於 200 年起興建 5 處提供動物穿越馬路的地下生態廊道，以減少動物路殺及族群破碎化的負面影響。本工作坊期望讓參與者了解陽明山國家公園生態廊道的建置及長期監測的意義，並透過專題演講與自動相機實做體驗，讓參與者認識國家公園生物多樣性保育的實質工作。		
活動時間與地點		
時間：2018 年 8 月 14 日 (星期二) 09:00-16:30		
地點：中國文化大學 大義館 537 教室 (111 台北市士林區華岡路 55 號)		
課程主題		
時間	課程內容	主講
09:00	報到/開幕	
09:30	陽明山生態廊道建置歷史介紹	陽管處保育課 潘昱光 先生
10:00	自動相機監測動物生態的應用與實做	觀察家生態顧問公司 劉威廷 經理
12:00	午餐/架設自動相機	
13:00	動物廊道減少動物路殺的應用案例	特有生物研究中心 林德恩 研究員
15:30	陽明山生態廊道影像資料的建檔與分析	中國文化大學生命科學系 陳怡惠
16:30	結業式	

第四章、討論與建議

第一節、陽金公路、101甲公路及萬溪產業道路的路殺拾遺調查

了解發生路殺的高危險物種、時間高峰期及地點熱點是提供減少路殺保育措施最基礎也最重要的資訊(Forman and Alexander 1998, Trombulak and Frissell 2000, Garrah et al. 2015)。然而，這些訊息可能在年間會有很大的變異性，因此，唯有長期的調查才能了解年間資料變異的來源，並對路殺保育措施提供較一致性且穩定可行的方案(Sillero 2008, Beebee 2013, Lima Santos et al. 2017)。

由數量上來看，今年度路殺量仍以兩棲類最多，遠遠超過其他動物類群。過去研究顯示，路殺的高死亡率會對野生動物族群的存續會有相當大的負面影響，包括：族群的遺傳多樣性及數量動態，甚至可能導致族群滅絕(Gibbs and Shriver 2005, Dixo et al. 2009)。今年度路殺調查記錄到的整體路殺量為 249 筆，比 2016 年的 1031 筆及 2017 年的 592 筆紀錄少了許多，這與今年記錄到的兩棲類中的盤古蟾蜍及斯文豪氏赤蛙的路殺總量較去年大幅減少有關(表 2)。有許多面向的因素都可能影響年間的路殺量差異，人類及社會方面的變因可能有：交通流量改變、道路設施改變等，而野生生物方面的因素可能有：生物活動範圍改變、族群大小的年間波動、族群大小下降...等。以保育的角度來說，最不希望發生的路殺量發現量的減少是因為生物族群下降而導致(Teixeira et al. 2017)，因此，在監測路殺數量的同時，長期且固定的監測周圍族群大小的變化是有必要同時進行的。

路殺數量上的變化也造成不同路線的高危險動物類群有所變化，去年萬溪產業道路、陽金公路及 101 甲公路上路殺量最多的類群皆為兩棲類，今年在陽金及 101 甲上爬蟲類的路殺總量卻超過兩棲類(表 2)。值得注意的是，過去 3 年的資料皆顯示蛇類的路殺種類數相當的多。這當然與國家公園內有許多蛇類物種的分布有關，但今年的路殺紀錄中包括至少多種保育類的蛇類物種(表 2)，這些物種的野外數量可能不明或偏少，因此，雖然每一種的路殺個體數不多，但仍需要多加監測。蜥蜴及蛇類這類外溫動物因為會仰賴馬路的柏油路面進行日光浴或獲得輻射熱(Engel and

Wood 2002)，因此，常在路面上被發現。因此，也是需要被多加關注的生物類群。此外，蛇類為食物鏈中較高階的消費者，野外族群數量原本相對較低，因此，看似較少的路殺數量，卻可能對其族群帶來嚴重傷害。若為幼體往外播遷的時期造成較密集且數量較多的路殺紀錄，對野外族群的補充(recruitment)可能會有影響，因此，在未來的路殺調查中也應該注意到被路殺的個體的體型及年齡(Borda-de-Água et al. 2014)。

在各類群的可鑑定至種的路殺高危險物種上，過去 3 年的調查紀錄有相當的一致性，兩棲類以盤古蟾蜍為路殺最高的危險物種，而爬蟲類以黃口攀蜥及泰雅鈍頭蛇為路殺高危險類群。而這些路殺高危險物種的活動高峰季節也影響著各路線的路殺高峰期。這 4 個物種每年都有為數甚多的路殺死亡率，且所有的調查路線上皆有出現，顯示其在國家公園內的廣布性及危險性。因此，針對路殺量高的兩棲及爬行類動物進行減緩路殺的規劃，應是當前最需要的保育策略。而以各路線的調查來說，在 1-4 月及 11 月期間，有數次完全沒有發現路殺個體，推測可能與這些月份的氣溫較低，兩棲爬蟲動物的活動量少有關。

第二節、生態廊道影像監測

廊道的影像監測資料，利用廊道最少的動物類群正是路殺最嚴重的兩棲類及爬蟲類動物。上述的路殺高危險物種中，在觸發式影像紀錄中，僅有盤古蟾蜍被記錄到有使用廊道，且對廊道的使用次數十分的少。而定時相機有記錄到較多的兩棲及爬蟲類動物種類數及隻次，但相對於哺乳類來說，利用率仍是偏低。因此，今年度雖有確認兩棲及爬蟲類會因為相機的限制而低估利用廊道隻次，但是，就算以定時拍照方式，兩棲及爬蟲類對廊道的利用率仍偏低，因此需要進一步思考如何針對兩棲類及爬蟲類進行現有廊道及圍籬的改善規劃。

在 101 甲公路段，自入口開始後 3-5 號廊道觸的 1 公里處為脊椎動物的路殺熱點，這可能與附近環境為天然林，動物種類和數量分佈較多，且動物喜愛利用的自

然山澗溝渠多，造成路上發生路殺的動物種類與數量多有關(劉小如 2008, 毛俊傑 2014)。此區可以以改善現有廊道與圍籬的設施，減少動物穿越馬路或增加動物使用廊道頻度為優先考量的策略。

以原有的 5 號廊道的圍籬為基礎，延伸其長度是一項可以考慮的措施。除此之外，重新檢視路邊引導圍籬與地表的密合度，及廊道內的環境特性(Lesbarrères et al. 2004, Pagnucco et al. 2012)，都可能可以增加兩棲爬蟲動物對廊道的使用率。兩棲類對動物通道的使用率與廊道內環境有關，水泥動物通道可能因為通道內濕度不夠，會造成兩棲類有皮膚乾燥的危機，讓動物個體覺得具有威脅性，因此，兩棲類不傾向利用水泥動物通道，而傾向使用有覆蓋泥土的動物通道(Lesbarrères et al. 2004)。而兩棲類中的蛙類有許多物種的運動方式為跳躍，需要較相當的高度才吻合自然的活動模式，因此，當廊道高度不高時，也可能影響兩棲動物進入的意願。而國家公園現有的圍籬材質與結構是屬於堅硬的，可能無法與地表完全密合，加上雨季時地面或山坡表面徑流等因素，導致圍籬底部的土石流失，而使之與地面有縫隙。對地面活動且體型相對較小的兩棲類與爬蟲類動物來說，這些縫隙可能就足以讓牠們穿越圍籬並到達路面，因而導致圍籬的阻擋與引導功能減少或喪失(Baxter-Gilbert et al. 2013)。

第三節、具體建議

今年 6 月 20 日參與 2018 道路生態暨資料分析國際研討會，當天與與會國外學者討論陽明山國家公園的現有廊道及圍籬系統的運作狀況，6 月 21 日也偕同特有生物研究保育中心林德恩研究員與國外學者親自到現場探勘廊道與圍籬的設計及現況，現場所有參與學者皆對現有廊道及圍籬系統的有效性給予高度贊同，也針對改善的方法提出一些見解。配合本實驗室 3 年的調查資料，我將減輕路殺及改善廊道圍籬建議依短中長期分別說明。

在短期可行的改善策略方面，包括以下建議：

建議 1：針對路殺熱點路段，增設道路周邊的警告標誌。

說明：101 甲公路及萬溪產業道路的路殺熱點路段，可增設反光性小心野生動物及減速慢行的警告標誌，期能提醒駕駛在路殺熱點路段減低車速，減少路殺發生。

建議 2：針對 101 甲公路上 3-5 號廊道周邊的導引圍籬，進行監測與及時改善。

說明：根據連續 3 年的路殺調查，發現 101 甲公路上 3-5 號廊道所在路段及 5 號廊道往中央氣象局鞍部氣象站的路段為路殺量偏高的路段。在今年的現場勘察中發現，3-5 號廊道周邊導引圍籬的上方山坡，因為植物生長快速，高大的植被會覆蓋圍籬，讓動物容易攀附植物而跨越圍籬上方而穿越馬路。且現有圍籬可能因為大量降雨與土石崩落而有破損的情況發生。因此，建議可以針對圍籬進行監測，及時了解那些路段的圍籬需要砍除圍籬上方的植物，或有需要補強的地方，改善引導動物進入廊道的功能，藉此加強現有圍籬的功效。

建議 3：持續進行路殺調查及廊道此用監測。

說明：針對生態廊道所在的陽金公路與 101 甲公路路段，以及尚未設有廊道的萬溪產業道路，持續進行路殺調查及廊道使用監測，了解路殺的年間變化趨勢，及廊道是否持續有效地被動物使用。

在中程的改善規劃方面，包括以下建議：

建議 1：評估路殺熱點路段是否可增設路面上的車輛減速帶。

說明：降低車速是減輕路殺量的一項有效方案，針對路殺熱點路段評估是否可以增設路面上的車輛減速帶，迫使駕駛在路殺熱點路段減低車速，減少路殺發生。

建議 2：針對 101 甲公路上 3-5 號廊道周邊的導引圍籬，進行圍籬長度延伸。

說明：根據連續 3 年的路殺調查，發現 101 甲公路上 3-5 號廊道所在路段及 5 號廊道往中央氣象局鞍部氣象站的路段為路殺量偏高的路段。除了改善圍籬可能因植物覆蓋或破損而減低功效外，也可考量以原有的 5 號廊道圍籬為

基礎，往中央氣象局鞍部氣象站的路段延伸圍籬長度，或在路殺高峰期，於路邊增設一道暫時性圍籬，補強舊有圍籬的不足，藉此加強引導動物進入廊道的功能，並減少動物進入道路的機會。

建議 3：針對路殺熱點路段，進行野外動物族群生態的研究與監測。

說明：除了持續進行路殺調查了解年間路殺量的變動程度外，針對路殺高危險動物類群—兩棲爬蟲類，也應規劃及評估監測野外族群大小與數量變動的可行方法，以在未來了解到路旁的野生動物的族群大小或結構是否受到道路及路殺的影響。

在長程的改善規劃方面，包括以下建議：

建議 1：針對路殺熱點路段，進行增設廊道及圍籬的可行性評估。

說明：根據廊道使用的影像監測結果，以小型哺乳動物每年的使用次數來看，現有廊道的運作狀況可說非常有效，需要改善的是兩棲爬蟲動物對廊道的使用效率不高。針對兩棲爬蟲動物來說，現有廊道的內部完全沒有光線，可能讓移動速度相對較慢的兩棲爬蟲動物不敢輕易進入的然因之一，而對以跳躍運動方式為主的蛙類，現有廊道的高度可能不足，因此導致多數蛙類無法進入。但更動現有廊道，除了工程難度高之外，可能會導致哺乳動物對新環境的卻步，反而降低了現有廊道的使用效率。因此，在現有廊道附近，新設廊道反而可能是較佳的規劃。新設的廊道需設計成高度較高的地下廊道，並配合增加圍籬長度增加動物進入廊道機率，減少動物進入道路，減少路殺機率。

致謝

本計畫得以順利完成，首先感謝陽明山國家公園管理處提供計畫經費，陽明山國家公園保育課華予菁課長及潘昱光先生提供設備與行政支援。特別感謝鄭元誠與謝宜樺協助處理行政事務，以及黃敬濛、葉南希、謝凱傑、郭欣頤、張高銘、謝宜樺、蘇昱凱、陳壁亮等人，付出許多時間協助野外調查、影片觀看建檔以及資料分析等工作。特有生物研究保育中心林德恩研究員提供陽明山國家公園境內路殺社的路殺調查資料，謹此致謝。

參考書目

- Adamczewska, A. M. and S. Morris. 1998. Strategies for migration in the terrestrial Christmas Island red crab *Gecarcoidea natalis*: intermittent versus continuous locomotion. *The Journal of experimental biology* **201**:3221-3231.
- Aresco, M. J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *Journal Of Wildlife Management* **69**:549-560.
- Ascensão, F., A. Clevenger, M. Santos-Reis, P. Urbano, and N. Jackson. 2013. Wildlife–vehicle collision mitigation: Is partial fencing the answer? An agent-based model approach. *Ecological Modelling* **257**:36-43.
- Bager, A. and C. A. Da Rosa. 2011. Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrate wildlife. *Environmental Management* **47**:851-858.
- Bager, A. and V. Fontoura. 2013. Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering* **53**:31-38.
- Barthelmess, E. L. and M. S. Brooks. 2010. The influence of body-size and diet on road-kill trends in mammals. *Biodiversity and Conservation* **19**:1611-1629.
- Baxter-Gilbert, J., D. Lesbarrères, and J. D. Litzgus. 2013. On the Road Again: Measuring the Effectiveness of Mitigation Structures for Reducing Reptile Road Mortality and Maintaining Population Connectivity. *in* 2013 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2013).
- Beaudry, F., P. G. Demaynadier, and M. L. Hunter. 2010. Identifying hot moments in road-mortality risk for freshwater turtles. *The Journal of Wildlife Management* **74**:152-159.
- Beebee, T. J. C. 2013. Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology* **27**:657-668.
- Borda-de-Água, L., C. Grilo, and H. M. Pereira. 2014. Modeling the impact of road mortality on barn owl (*Tyto alba*) populations using age-structured models. *Ecological Modelling* **276**:29-37.
- Brzeziński, M., G. Eliava, and M. Żmihorski. 2012. Road mortality of pond-breeding amphibians during spring migrations in the Mazurian Lakeland, NE Poland. *European Journal of Wildlife Research* **58**:685-693.
- Clevenger, A. P. 2005. Conservation value of wildlife crossings: measures of performance and research directions. *Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society* **14**:124-129.
- Coffin, A. W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography* **15**:396-406.
- Collinson, W. J., D. M. Parker, R. T. Bernard, B. K. Reilly, and H. T. Davies-Mostert. 2014. Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and Evolution* **4**:3060-3071.
- Cosentino, B. J., D. M. Marsh, K. S. Jones, J. J. Apodaca, C. Bates, J. Beach, K. H. Beard, K. Becklin, J. M. Bell, and C. Crockett. 2014. Citizen science reveals widespread negative effects of roads on amphibian distributions. *Biological Conservation* **180**:31-38.
- D'Amico, M., J. Román, L. de los Reyes, and E. Revilla. 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation* **191**:234-242.
- Dixo, M., J. P. Metzger, J. S. Morgante, and K. R. Zamudio. 2009. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. *Biological Conservation* **142**:1560-1569.
- Dodd Jr., C. K., W. J. Barichivich, and L. L. Smith. 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation* **118**:619-631.
- Eberhardt, E., S. Mitchell, and L. Fahrig. 2013. Road kill hotspots do not effectively indicate mitigation locations when past road kill has depressed populations. *The Journal of Wildlife Management* **77**:1353-1359.

- Elzanowski, A., J. Ciesiolkiewicz, M. Kaczor, J. Radwanska, and R. Urban. 2009. Amphibian road mortality in Europe: a meta-analysis with new data from Poland. *Eur J Wildl Res* **55**.
- Enge, K. M. and K. N. Wood. 2002. A pedestrian road survey of an upland snake community in Florida. *Southeastern naturalist* **1**:365-380.
- Fahrig, L. and T. Rytwinski. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society* **14**:21.
- Forman, R. T. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press.
- Forman, R. T. and L. E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*:207-C202.
- Gagnon, J. W., N. L. Dodd, K. S. Ogren, and R. E. Schweinsburg. 2011. Factors associated with use of wildlife underpasses and importance of long-term monitoring. *The Journal of Wildlife Management* **75**:1477-1487.
- Garcia-Gonzalez, C., D. Campo, I. G. Pola, and E. Garcia-Vazquez. 2012. Rural road networks as barriers to gene flow for amphibians: Species-dependent mitigation by traffic calming. *Landscape and urban planning* **104**:171-180.
- Garrah, E., R. K. Danby, E. Eberhardt, G. M. Cunningham, and S. Mitchell. 2015. Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental Management* **56**:874-889.
- Garriga, N., X. Santos, A. Montori, A. Richter-Boix, M. Franch, and G. A. Llorente. 2012. Are protected areas truly protected? The impact of road traffic on vertebrate fauna. *Biodiversity and Conservation* **21**:2761-2774.
- Gibbs, J. P. and W. G. Shriver. 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology* **16**:1647-1652.
- Gibbs, J. P. and W. G. Shriver. 2005. Can road mortality limit populations of pool-breeding amphibians? *Wetlands Ecology and Management* **13**:281-289.
- Hamer, A., R. Ree, M. Mahony, and T. Langton. 2014. Usage rates of an under-road tunnel by three Australian frog species: implications for road mitigation. *Animal Conservation* **17**:379-387.
- Hobday, A. J. and M. L. Minstrell. 2008. Distribution and abundance of roadkill on Tasmanian highways: human management options. *Wildlife Research* **35**:712-726.
- Holderegger, R. and M. Di Giulio. 2010. The genetic effects of roads: a review of empirical evidence. *Basic and Applied Ecology* **11**:522-531.
- Jackson, N. D. and L. Fahrig. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation* **144**:3143-3148.
- Jaeger, J. A. and L. Fahrig. 2004. Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology* **18**:1651-1657.
- Langen, T. A., K. E. Gunson, C. A. Scheiner, and J. T. Boulerice. 2012. Road mortality in freshwater turtles: identifying causes of spatial patterns to optimize road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation* **21**:3017-3034.
- Lesbarrères, D., T. Lodé, and J. Merilä. 2004. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *Oryx* **38**:220-223.
- Lima Santos, R. A., F. Ascensão, M. L. Ribeiro, A. Bager, M. Santos-Reis, and L. M. S. Aguiar. 2017. Assessing the consistency of hotspot and hot-moment patterns of wildlife road mortality over time. *Perspectives in Ecology and Conservation* **15**:56-60.
- Little, S. J., R. G. Harcourt, and A. P. Clevenger. 2002. Do wildlife passages act as prey-traps? *Biological Conservation* **107**:135-145.
- Pagnucco, K. 2010. Using under-road tunnels to protect a declining population of Long-toed Salamanders (*Ambystoma macrodactylum*) in Waterton Lakes National Park. University of Alberta.

- Pagnucco, K. S., C. A. Paszkowski, and G. J. Scrimgeour. 2011. Using cameras to monitor tunnel use by long-toed salamanders (*Ambystoma macrodactylum*): an informative, cost-efficient technique. *Herpetological Conservation and Biology* **6**:277-286.
- Pagnucco, K. S., C. A. Paszkowski, and G. J. Scrimgeour. 2012. Characterizing movement patterns and spatio-temporal use of under-road tunnels by long-toed salamanders in Waterton Lakes National Park, Canada. *Copeia* **2012**:331-340.
- Row, J. R., G. Blouin-Demers, and P. J. Weatherhead. 2007. Demographic effects of road mortality in black ratsnakes (*Elaphe obsoleta*). *Biological Conservation* **137**:117-124.
- Rytwinski, T. and L. Fahrig. 2012. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation* **147**:87-98.
- Rytwinski, T. and L. Fahrig. 2015. The impacts of Roads and Traffic on Terrestrial Animal Populations. Pages 237-246 *Handbook of Road Ecology*.
- Sillero, N. 2008. Amphibian mortality levels on Spanish country roads: descriptive and spatial analysis. *Amphibia-Reptilia* **29**:337-347.
- Smith, C. M., K. Pagnucco, B. Johnston, C. Paszkowski, and G. Scrimgeour. 2010. Using Specialised Tunnels to Reduce Highway Mortality of Amphibians. *in* 2009 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2009).
- Spellerberg, I. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography* **7**:317-333.
- Taylor, B. D. and R. L. Goldingay. 2003. Cutting the carnage: wildlife usage of road culverts in north-eastern New South Wales. *Wildlife Research* **30**:529-537.
- Taylor, B. D. and R. L. Goldingay. 2004. Wildlife road-kills on three major roads in north-eastern New South Wales. *Wildlife Research* **31**:83-91.
- Teixeira, F. Z., A. Kindel, S. M. Hartz, S. Mitchell, and L. Fahrig. 2017. When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. *Journal of Applied Ecology*:n/a-n/a.
- Timm, B. C., K. McGarigal, and B. W. Compton. 2007. Timing of large movement events of pond-breeding amphibians in Western Massachusetts, USA. *Biological Conservation* **136**:442-454.
- Trombulak, S. C. and C. A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* **14**:18-30.
- van der Ree, R., J. A. Jaeger, T. Rytwinski, and E. A. van der Grift. 2015a. Good science and experimentation are needed in road ecology. *Handbook of Road Ecology*:71.
- van der Ree, R., D. J. Smith, and C. Grilo. 2015b. *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons.
- 毛俊傑. 2014. 陽明山國家公園兩棲類及爬蟲類生態資源調查. 陽明山國家公園管理處委託辦理報告.
- 陳怡惠. 2016. 105 年陽明山國家公園生態廊道監測. 陽明山國家公園管理處委託報告.
- 陳怡惠. 2017. 106 年陽明山國家公園生態廊道監測. 陽明山國家公園管理處委託報告.
- 黃光瀛. 2001. 公路對陽明山國家公園野生動物的影響及改進規劃. 陽明山國家公園管理處自行研究報告, 陽明山國家公園管理處
- 黃光瀛. 2002. 公路對陽明山國家公園野生動物的影響及改進規劃(二). 陽明山國家公園管理處自行研究報告, 陽明山國家公園管理處
- 黃光瀛. 2006. 陽明山國家公園野生動物穿越道路涵洞微型生態廊道系統. *in* 林曜松, editor. 2006 年生態工程博覽會-陽明山動物通道研討會, 台北.
- 黃光瀛. 2007. 道路對野生動物的影響及減輕對策. *in* 林曜松, editor. 野生動物保育與研究學術研討會, 國立台灣大學生物多樣性研究中心, 台北.
- 劉小如. 2008. 陽明山國家公園生態廊道系統評估之研究. 陽明山國家公園管理處委託研究報告, 陽明山國家公園管理處委託研究報告.

附錄

附錄 1、期末會議紀錄

陽明山國家公園管理處 107 年度「陽明山國家公園生態廊道監測」期末會議紀錄

壹、時間：中華民國 107 年 12 月 20 日（星期四）下午 2 時

貳、地點：本處 2 樓會議室

參、主持人：本處盧副處長淑妃

記錄：潘昱光

肆、出（列）席單位人員：（詳簽到簿）

伍、業務單位報告：略

陸、討論：

一、叢主任培芝

（一）建議將 101 甲生態廊道周邊圍籬植物覆蓋情形照片放進報告書中。

二、韓課長志武

（一）有關建議二再增設圍籬部分，建議需考量當地設施排水需求再行增設。

三、華課長予菁：

（一）各路殺路段或熱點請老師提供明確路段或 GPS 點位，另建議加設車輛減速帶之主辦單位非本處。

（二）建議一、二有關圍籬延伸部分，可作現場勘查，再行施作。

（三）有關國外學者建議部分請老師向其索取國外所使用材料、施工方法等資料。

（四）工作坊手冊建議可附於成果報告中，該成效為何？報告書中未有太多著墨，老師未來對此有何建議？

四、張秘書順發：

（一）報告書請補充定時式相機架設之原因，並與觸發式相機所得資料進行比較。

（二）今年路殺社在本園區內所作之路殺量趨勢是否與報告中的趨勢相同？

（三）建議圖上除了熱點位置標示外，並標註廊道與圍籬的位置。

（四）報告書中表 3 單位為何？需加以註明。

（五）建議增加定時式相機與觸發式相機資料的交叉分析與討論，並標註 2 定時相機啟動調查之時間與時段。

（六）建議結論增加敘述，並補充 105 至 107 年 3 年間之比較與探討。

(七) 具體建議應分為短、中、長期：

(1)短期：

- A.改善圍籬型式、圍籬延長與植被清理。
- B.路殺熱點周邊增設牌示。
- C.持續調查各路段路殺情形。

(2)中期：進行道路周邊物種族群調查。

(3)長期：視物種族群調查結果再考量是否建置新廊道。

五、盧副處長淑妃：

- (一)有關 101 甲生態廊道圍籬需要補強之處，請老師提供明確路段與相關資料。
- (二)請老師將今年觸發式相機所拍攝較精彩之動物影片予以剪輯，提供解說課置換遊客中心生態廊道影片。
- (三)建議是否能將定時式相機、觸發式相機與路殺情形進行比較，並補充相關討論。
- (四)建議報告書中 P.29 圖 13 之時間改以下午 6 時為起始點至隔天下午 6 時，可看出完整之波峰谷。
- (五)建議可匯入路殺社資料進行分析。
- (六)簡報中關於地上高架式廊道或許可於舊有廊道上方進行實驗，請再評估其可行性。
- (七)使用定時式相機記錄時兩棲爬蟲類使用次數有明顯增加，顯示兩棲爬蟲類使用廊道次數不低，建議進一步同時比對當下該路段觸發式相機監測之情形，並加以分析。

六、受託單位回應：

- (一)感謝長官所提各項建議，團隊會遵照辦理，並於成果報告改進呈現。
- (二)工作坊結束後有 2 位大學生主動加入研究團隊進行影像處理，校外人士大多比較難加入，未來可能至中正高中進行推廣，並以此方向為題參加科展。
- (三)目前國外使用圍籬之樣本交給野聲環境生態顧問有限公司姜博仁博士，將會向其聯繫索取。
- (四)有關今年路殺社資料已向特有生物研究保育中心林德恩助理研究員進行索取。
- (五)報告書中表 3 單位為隻數。
- (六)未來將調查道路周邊地棲型兩棲類族群數量。

陸、結論：

期末報告原則通過，並請受託單位續依與會同仁意見辦理修正及補充事項，後依契約規定辦理後續請款事宜。

柒、散會：下午 3 時 25 分。

陽明山國家公園管理處

107 年度「陽明山國家公園生態廊道監測工作計畫」

勞務採購案

期末會議簽到簿

時間：107 年 12 月 20 日（星期四）下午 2 時整

地點：本處 2 樓會議室

主席：本處詹處長德樞

詹和旭代

記錄：潘昱光

出席（列）席單位人員：

受託單位：中國文化大學 學生命科學系	職稱	簽到處
文化大學	副教授	陳怡惠
出席機關（單位）（人員）	職稱	簽到處
盧副處長淑妃	副處長	詹和旭
張秘書順發	秘書	張慎黎

企劃經理課		
環境維護課		
遊憩服務課		
解說教育課	課長	韓志彬
小油坑管理站		
龍鳳谷管理站		
擎天崗管理站		
陽明書屋管理站	技正	黃培芝
保育研究課	課長	吳子昂
	技佐	潘昱光

(107 年 12 月 20 日 107 年度「陽明山國家公園生態廊道監測工作計畫」勞務採購案期末會議簽到簿)

附錄 3、生態廊道工作坊照片



陽明山國家公園潘昱光先生介紹生態廊道建置歷史



觀察家生態顧問公司劉威廷經理介紹自動相機監測動物生態的應用與實做



特有生物研究中心林德恩研究員介紹動物廊道減少動物路殺的應用案例



中國文化大學生命科學系陳怡惠副教授說明陽明山生態廊道影像資料的建檔與分析



自動相機構造及社定解說



學員架設自動相機及錄製影像實做



學員架設自動相機及
錄製影像實做



學員讀取及觀賞自動
相機錄製的影像



學員讀取及觀賞自動
相機錄製的影像