

國立臺灣大學生農學院生物環境系統工程學系

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

影響淺山道路兩棲爬蟲動物路殺熱點分佈之主因

以新北市土城區承天路與龍泉路為例

Factors influencing the distribution of roadkill hotspots for amphibians  
and reptiles in suburban hills: A case study of Tucheng District, New  
Taipei City

周禹辰

Yu-Chen Chou

指導教授：林裕彬 博士

Advisor: Yu-Pin Lin, Ph.D.

中華民國 112 年 7 月

July 2023

## 摘要

隨著人類社會與經濟的發展、都市化進程加速，道路的建設和擴張與日俱增。然而，道路的建設會切割原有的自然地景，對野生動物的棲息地產生負面影響，包括棲息地的破碎化、外來物種沿著道路入侵、人類活動干擾和車輛碰撞等，這些現象對野生動物族群的存續和生物多樣性造成威脅。而在這些影響中，野生動物與車輛的碰撞是對生態系統影響最直接且顯著的，尤其兩棲爬蟲動物因其生活史特性、體型較小等原因，使其更容易受到路殺事件的影響。

許多研究指出，道路環境、交通流量和氣候條件等因素對兩棲爬蟲動物的路殺風險有顯著影響。路殺事件不僅會對生物個體造成威脅，還可能對整個生態系統產生負面效應，甚至導致物種滅絕。為了降低道路對野生動物的影響，研究人員和相關團體已開始尋求有效的保護措施。

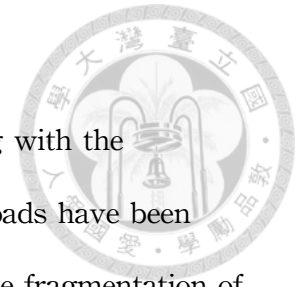
本研究旨在探討影響淺山道路兩棲爬蟲動物路殺熱點分佈的主要因素。本研究選擇新北市土城區的承天路與龍泉路作為研究區域，這些地區擁有豐富的兩棲爬蟲動物資源。延續前人與新北市農業局合作的調查計劃，本研究進行了為期一年的現地調查和數據收集。通過統計和分析所收集的數據，本研究試圖找出影響路殺熱點分佈的主要因素，並提出相應的保護建議，減輕路殺對野生動物的負面影響。

研究結果顯示，新北市土城區承天路與龍泉路的路殺物種以兩棲類大宗，爬蟲類次之，其路殺高峰期為春夏兩季。本研究以核密度估計來判斷路殺熱點位置分佈，並使用羅吉斯回歸分析來找出哪些影響因子對於路殺熱點的產生有較高影響力與解釋力。本研究發現路殺熱點的形成與道路兩側之明渠排水溝分佈、道路受植物遮蔽邊界情形、植生邊坡分佈、漿砌卵石擋土牆分佈以及道路坡度有一定的關聯性。同時本研究將路殺熱點之分佈與歷史資料做比對，發現熱點位置與過往分佈區域有所出入，影響原因為新北市農業局有針對過往之路殺熱點區域進行路殺改善工程，其工程結果有效的降低了路殺事件的發生。

本研究之調查資料及分析結果可以提供未來擁有類似道路條件之路段進行參考，作為路殺調查之監測基礎以及路殺改善工程之參酌。但因本調查之時間尺度僅有一個年度，若需要更詳盡的調查資料，則需要更深入且為期更長的調查。

關鍵詞：路殺、路殺熱點、路殺影響因子、路殺改善工程、兩棲類、爬蟲類、核密度估計、羅吉斯回歸。

## Abstract



With the development of human society and economy, along with the acceleration of urbanization, the construction and expansion of roads have been increasing rapidly. However, road construction often results in the fragmentation of natural landscapes, negatively impacting wildlife habitats. This includes habitat fragmentation, the invasion of alien species along roadsides, disturbance from human activities, and vehicle collisions. These phenomena pose threats to the survival of wildlife populations and the biodiversity of ecosystems. Among these impacts, wildlife-vehicle collisions have the most direct and significant influence on the ecosystem, particularly for amphibians and reptiles who are more susceptible to roadkill due to their life history characteristics and smaller body size.

Numerous studies have indicated that road conditions, traffic flow, and climate factors significantly influence the risk of roadkill for amphibians and reptiles. Roadkill incidents not only pose threats to individual organisms but can also have negative effects on the entire ecosystem, potentially leading to species extinction. In order to mitigate the impact of roads on wildlife, researchers and relevant organizations have begun to seek effective conservation measures.

The aim of this study is to investigate the main factors influencing the distribution of roadkill hotspots for amphibians and reptiles on shallow mountain roads. We selected the areas of Chengtian Road and Longquan Road in Tucheng District, New Taipei City as our research area, as these locations possess abundant amphibian and reptile resources. Building upon previous research that collaborated with the New Taipei City Agriculture Bureau, we conducted a one-year field survey and data collection. Through statistical analysis of the collected data, our objective is to identify the primary factors influencing the distribution of roadkill hotspots and

propose corresponding conservation recommendations to mitigate the negative impact of roadkill on wildlife.

The results of the study reveal that the majority of roadkill species on Chengtian Road and Longquan Road in Tucheng District, New Taipei City are amphibians, followed by reptiles, with the peak period of roadkill occurring in spring and summer seasons. We utilized kernel density estimation to determine the distribution of roadkill hotspots and employed logistic regression analysis to identify influential factors with higher explanatory power in hotspot formation. Our findings indicate a correlation between the formation of roadkill hotspots and the distribution of open drainage ditches, crown coverage, retaining walls, vegetation slopes, and road gradients. Furthermore, comparing the distribution of roadkill hotspots with historical data, we observed differences in hotspot locations, which can be attributed to roadkill improvement projects implemented by the New Taipei City Agriculture Bureau in previously identified hotspot areas. The results of these engineering interventions have effectively reduced the occurrence of roadkill incidents.

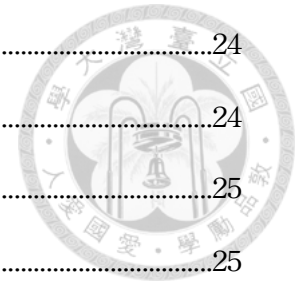
The survey data and analysis results of this study can serve as a reference for future road sections with similar conditions, providing a basis for roadkill monitoring and guidance for roadkill improvement projects. However, it should be noted that the timeframe of this investigation was limited to a single year. For more comprehensive data, a more in-depth and longer-term survey would be necessary.

Keywords: roadkill, roadkill hotspots, roadkill influencing factors, roadkill improvement projects, amphibians, reptiles, kernel density estimation, logistic regression.

## 目錄

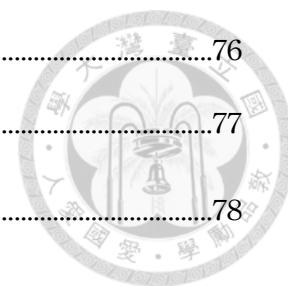


第一章 前言 .....	1
第二章 目的 .....	3
第三章 研究架構 .....	4
第四章 文獻回顧 .....	6
4.1 國內外路殺研究的發展與案例 .....	6
4.2 造成路殺事件發生的可能因素 .....	7
4.2.1 生物學因素 .....	8
4.2.2 環境因素 .....	8
4.2.3 人為因素 .....	9
4.3 路殺事件對於兩棲與爬蟲動物的影響與案例 .....	10
4.4 以核密度估計來進行路殺事件的熱點分析 .....	12
4.5 應用羅吉斯回歸來分析可能的路殺熱點影響因子 .....	14
4.6 兩棲爬蟲動物之路殺改善工程 .....	15
第五章 研究方法 .....	17
5.1 研究區域 .....	17
5.2 路殺資料調查 .....	19
5.2.1 調查方式 .....	19
5.2.2 調查頻率 .....	19
5.3 路殺熱點分析 .....	21
5.4 可能的路殺熱點影響因子分析 .....	23
5.4.1 影響因子搜集與資料處理 .....	23
1. 土地利用類別 .....	23
2. 人造結構物 .....	24



3. 水體.....	24
4. 坡度.....	24
5. 植物遮蔽區域.....	25
5.4.2 以羅吉斯回歸進行路殺熱點的影響因子分析.....	25
第六章 結果.....	26
6.1 路殺調查結果.....	26
6.2.1 路殺物種紀錄.....	26
6.2.2 路殺焦點物種.....	36
1. 盤古蟾蜍 ( <i>Bufo bankorensis</i> ).....	36
2. 印度蜓蜥 ( <i>Sphenomorphus indicus</i> ).....	38
3. 拉都希氏赤蛙 ( <i>Hylarana latouchii</i> ).....	40
6.2 路殺熱點分佈.....	42
6.3 路殺熱點影響因子分析.....	56
6.3.1 土地利用類型.....	56
6.3.2 道路兩側人造結構物.....	59
6.3.3 水體.....	64
6.3.4 坡度.....	67
6.3.5 植物遮蔽.....	68
6.4 以羅吉斯回歸分析各項路殺熱點影響因子.....	72
1. 明渠：.....	74
2. 遮蔽邊界與遮蔽佔比：.....	75
3. 坡度.....	75
4. 漿砌卵石擋土牆.....	75
5. 植生邊坡.....	76
6. 水泥擋土牆.....	76

7. 建築用地.....	76
8. 水泥護欄.....	77
第七章 討論.....	78
7.1 路殺調查情形及其偏誤.....	78
7.2 熱點分析.....	81
7.3 相關研究比較.....	83
7.4 路殺改善工程及其影響.....	85
第八章 結論與建議.....	89
8.1 結論.....	89
8.2 建議.....	91
第九章 參考文獻.....	92
第十章 附錄.....	102
10.1 道路兩側影響因子之圖例.....	102





## 圖目錄



圖 1、研究流程圖 .....	5
圖 2、研究區域分佈位置圖 1 .....	17
圖 3、研究樣線分佈位置圖 2 .....	18
圖 4、研究樣線航照圖 .....	18
圖 5、各月份路殺調查數據 .....	26
圖 6、總年度路殺點位分佈圖 .....	30
圖 7、各季節路殺點位分佈圖 .....	31
圖 8、總年度兩棲類路殺點位分佈圖 .....	32
圖 9、各季節兩棲類路殺點位分佈圖 .....	33
圖 10、總年度爬蟲類路殺點位分佈圖 .....	34
圖 11、各季節爬蟲類路殺點位分佈圖 .....	35
圖 12、盤古蟾蜍(來源：基隆生物多樣性資料庫) .....	36
圖 13、研究樣區盤古蟾蜍路殺位置分佈圖 .....	37
圖 14、印度蜓蜥(來源：基隆生物多樣性資料庫) .....	38
圖 15、研究樣區印度蜓蜥路殺位置分佈圖 .....	39
圖 16、拉都希氏赤蛙(來源：台灣地區兩棲類物種描述資料) .....	40
圖 17、研究樣區拉都希氏赤蛙路殺位置分佈圖 .....	41
圖 18、帶寬 5 公尺之二維核密度熱點分佈 .....	43
圖 19、帶寬 5 公尺之二維核密度閾值分佈 .....	43
圖 20、帶寬 10 公尺之二維核密度熱點分佈 .....	44
圖 21、帶寬 10 公尺之二維核密度閾值分佈 .....	44
圖 22、帶寬 20 公尺之二維核密度熱點分佈 .....	45
圖 23、帶寬 20 公尺之二維核密度閾值分佈 .....	45
圖 24、帶寬 50 公尺之二維核密度熱點分佈 .....	46

圖 25、帶寬 50 公尺之二維核密度閾值分佈 .....	46
圖 26、帶寬 10 公尺之二維核密度熱點分佈 .....	47
圖 27、熱點 A 實景圖 .....	48
圖 28、熱點 B 實景圖 .....	49
圖 29、熱點 C 實景圖 .....	50
圖 30、熱點 D 實景圖 .....	51
圖 31、熱點 E 實景圖 .....	52
圖 32、熱點 F 實景圖 .....	53
圖 33、帶寬 10 公尺之兩棲類路殺熱點分佈圖 .....	54
圖 34、帶寬 10 公尺之爬蟲類路殺熱點分佈圖 .....	55
圖 35、路殺點位距離最近土地利用類別距離箱型圖 .....	57
圖 36、路殺點位環域 50 公尺內土地利用類別比例箱型圖 .....	58
圖 37、路殺點位最近人造結構物平均距離箱型圖 .....	61
圖 38、路殺點位環域 50 公尺內人造結構物類別比例箱型圖 .....	63
圖 39、水體分佈圖 .....	65
圖 40、路殺點位最近水體距離箱型圖 .....	66
圖 41、路殺點位環域 50 公尺內水體比例箱型圖 .....	66
圖 42、路殺點位坡度箱型圖 .....	67
圖 43、植物遮蔽圖(綠色：覆蓋、紅色、未覆蓋) .....	70
圖 44、路殺點位最近遮蔽邊界距離箱型圖 .....	71
圖 45、路殺點位環域 50 公尺道路遮蔽比例箱型圖 .....	71
圖 46、民國 108 年路殺熱點分佈圖 .....	85
圖 47、工程改善前，漿砌卵石擋土牆阻礙動物通行 .....	85
圖 48、工程改善後，採非網狀誘導設施引導生物通行 .....	86
圖 49、工程改善後，非網狀誘導設施引導生物通過截水溝穿越道路 .....	86

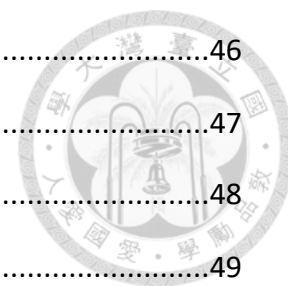


圖 50、本研究之路殺熱點分佈圖 .....87



## 表目錄



表格 1、路殺調查各項資料之欄位說明 .....	20
表格 2、各月份路殺調查數據統計 .....	27
表格 3、各物種類群路殺統計表 .....	28
表格 4、路殺點位距離最近土地利用類別平均距離(單位：公尺).....	56
表格 5、路殺點位環域 50 公尺內土地利用類別比例 .....	57
表格 6、路殺點位最近人造結構物平均距離(單位：公尺).....	60
表格 7、路殺點位環域 50 公尺內人造結構物類別比例 .....	62
表格 8、路殺點位最近水體平均距離(單位：公尺).....	66
表格 9、路殺點位環域 50 公尺內水體比例 .....	66
表格 10、路殺點位之平均坡度(單位：度) .....	67
表格 11、路殺點位與最近遮蔽邊界之平均距離(單位：公尺).....	71
表格 12、路殺點位環域 50 公尺內道路遮蔽比例 .....	71
表格 13、分析方式 A 之羅吉斯回歸結果 .....	72
表格 14、分析方式 B 之羅吉斯回歸結果 .....	73
表格 15、兩種自變項之羅吉斯回歸分析結果差異 .....	74
表格 16、相關研究之比較 .....	83
表格 17、道路兩側影響因子之圖例 .....	102

## 第一章 前言



隨著人類的發展、都市化進程加速，道路的建設和擴張變得越來越普遍，為人類帶來了許多益處。但因為道路切割了原始的生態環境，對當地的生態系統造成了嚴重的負面影響，使越來越多的學者開始重視道路對於生態環境產生的效應 (Forman, 2003)。道路對野生動物的影響主要包括棲地破碎化、外來物種隨著道路擴散入侵、人類活動的干擾以及車輛與野生動物的直接碰撞等等。這些現象威脅著野生動物族群的存續和生物多樣性的流失。(Andrews & Gibbons, 2005; Fahrig, 2003; Jacobson, Bliss-Ketchum, de Rivera & Smith, 2016; Laurance & Balmford, 2013; Maschi, Santos-Costa & Prudente, 2016; Van Der Ree, Smith & Grilo, 2015)。其中以野生動物與機動車輛的碰撞為道路對於生態系統最為直接且顯著的影響 (Beckmann & Shine, 2015; D'Amico, Roman, De los Reyes & Revilla, 2015; Spellerberg, 1998)。

近年來，兩棲爬蟲動物的路殺問題已經引起了學術界和公眾的廣泛關注。因為與中大型哺乳類、鳥類相比，兩棲爬蟲類的體型較小，使機動車輛的駕駛常常在輾壓兩棲爬蟲動物後仍不知情，甚至有相關研究指出，部分駕駛有刻意碾壓蛇類的行為出現 (Andrews & Gibbons, 2005; Secco, Ratton, Castro, Da Lucas & Bager, 2014; Teixeira, Coelho, Esperandio & Kindel, 2013)。

過去的研究中，學者們發現道路環境、交通流量、氣候條件等多種因素對兩棲爬蟲動物的路殺風險具有顯著的影響 (Beebee, 2013; Jochimsen, Peterson, Andrews, Gibbons & Drawer, 2004)。而這些路殺現象不僅對兩棲爬蟲動物個體造成威脅，還可能對整個生態系統產生負面效應。例如在某些兩棲類的繁殖季節，大量的蛙類在穿越道路時與汽車碰撞死亡，這樣大量的路殺現象除了造成物種數量的減少外，更有可能導致物種滅絕 (Bohm, Collen, Baillie, Bowles, Chanson, Cox

& Mateo, 2013; Gibbs & Shriver, 2005; Jochimsen et al., 2004)，多方研究結果都顯示兩棲類與爬蟲類成為受路殺威脅的高風險族群。

為了降低道路對野生動物的影響，學者和許多團體已經開始尋求各種有效的保護措施，如設置野生動物通道、生態陸橋、減速帶等 (Langen, Ogden & Schwarting, 2009)。這些措施旨在提高動物穿越道路的成功率，減少與車輛的碰撞風險，因此路殺熱點的分析 and 影響因素的探討對於野生動物保護和道路安全具有重要意義。

本研究旨在探討影響淺山道路兩棲爬蟲動物路殺熱點分佈的主因，而新北市土城區的承天路與龍泉路為兩棲爬蟲動物豐富的生態區域，使其成為理想的研究區域。同時在民國 108 年時，新北市農業局在這兩條道路上進行「新北市研究路殺改善道路附屬設施生態調查規劃」，並於調查完成後施作路殺改善工程，本研究希望透過延續前人的研究，針對新北市土城區承天路與龍泉路的路殺事件進行調查，找出影響路殺事件發生的主要因素，為野生動物保護和道路安全提供科學依據。同時，這些研究成果也將對區域內生物多樣性以及提高道路與生態系統共存的可持續性具有重要意義。為了達到這一目的，本研究進行了長達一年的現地調查和資料收集。通過對所收集的數據進行統計與分析，試圖找出影響兩棲爬蟲動物路殺熱點分佈的主要因素，並提出相應的保護建議，期望能夠對當地的生態環境保護和道路建設提供一定的參考價值，減輕路殺對於野生動物所造成的負面影響。

## 第二章 目的



近年來，隨著台灣道路的建設與擴張，大至國道、小至產業道路屢屢頻傳野生動物路殺事件，如國道六號的石虎路殺事件、台 61 線西濱快速道路的鳥類路殺事件等。除了較易被察覺到的鳥類與哺乳類路殺事件外，兩棲爬蟲類的體型較小、行動較為緩慢且生活史較常於地表附近活動，使機動車輛的駕駛常常在輾壓兩棲爬蟲動物後仍毫不知情，造成兩棲類與爬蟲類成為受路殺威脅的高風險族群。而社會大眾對於野生動物路殺事件的關注逐漸增加，也促使了公民科學的興起。臺灣動物路死觀察網 (Taiwan Roadkill Observation Network)、又稱路殺社，便是由許多對於路殺議題有興趣的民眾所組成，是目前全台灣最大的公民科學組織，藉由公民科學家的調查，至今已經搜集了 14 萬筆的路殺數據，有助於幫助政府單位、學者釐清偏遠山區以及農路可能的路殺情形。

而新北市農業局針對其土城區的承天路與龍泉路在民國 108 年時委託本研究室人員進行路殺相關調查，並於承天路的桐花公園處施作了路殺改善工程。因此本研究除了承先前研究，調查施作路殺改善工程後之路殺情形，同時也將探討影響淺山道路脊椎動物路殺熱點分佈之主要因素，其調查結果可以提供給相關單位在後續道路建設及生態保育方面的參考依據。具體目標包括：

1. 比較各季節與月份之路殺事件發生地點、發生數量，並以個動物類群進行分類，找出路殺高峰期與鑑別各路段之路殺熱點位置。
2. 針對各項道路周邊環境因子來分析影響淺山道路兩棲與爬蟲動物路殺熱點分佈的主要因素為何。
3. 針對淺山道路兩棲與爬蟲動物路殺熱點提出生態保育及道路改善建議。
4. 找出過往施作路殺改善工程後，路殺位置、熱點分佈是否有改變？

### 第三章 研究架構



1. 以新北市土城區的承天路與龍泉路作為研究樣線，定期進行現地路殺調查，記錄調查當日之各項數據，如日期、時間、天氣等。建立各次現地調查之記錄表，並拍攝與記錄各筆路殺資料之各項數據，如經緯度座標、物種名稱等，以建立路殺的資料庫。
2. 根據資料庫中各路殺之點位，以二維核密度估計方法來找出研究樣線的路殺熱點位置，並針對核密度估計的帶寬及閾值進行驗證，選擇合適的數值來判定路段上的熱點與非熱點區域。
3. 根據研究樣線周遭之可能影響環境因子建立資料庫，如國土利用調查、明渠排水溝位置、人造結構物等等，以羅吉斯回歸來判別各筆路殺點位位於熱點與非熱點路段上受不同環境因子影響之大小，以找出最有可能影響路殺熱點發生位置的因子，建立該路段的路殺預測模型。
4. 比較施作路殺改善工程前後之路殺熱點差異。
5. 分別針對路殺高峰季節、路殺熱點分佈位置、路殺影響因子進行討論。
6. 將各項分析結果進行整理與討論，並給予可改進或是對於未來相關研究方向之建議。



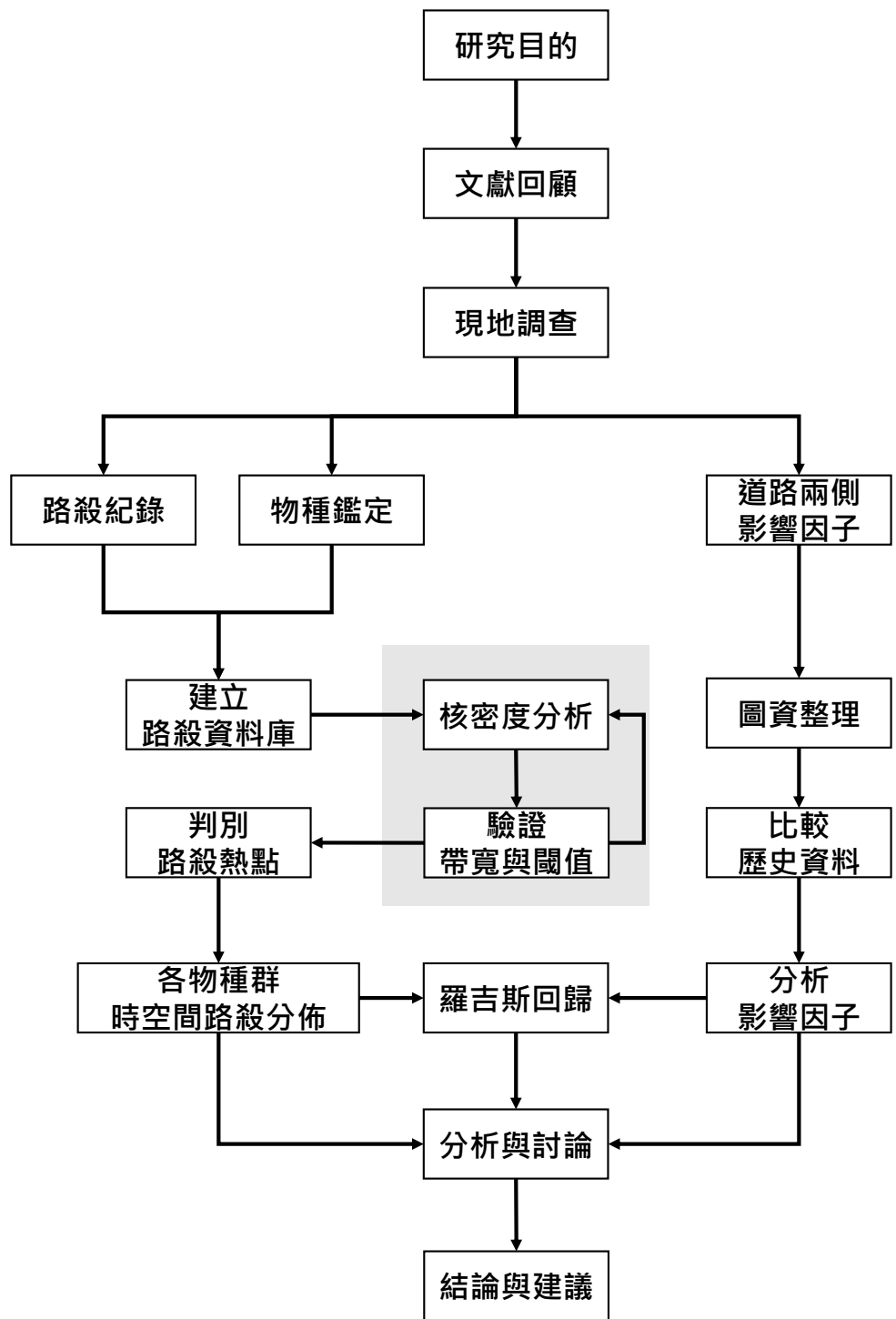


圖 1、研究流程圖

## 第四章 文獻回顧



### 4.1 國內外路殺研究的發展與案例

路殺，指的是因機動車輛的碰撞或碾壓而造成的野生動物死亡現象 (Forman & Alexander, 1998)。路殺研究的起源可以追溯到 20 世紀初，那時的研究者們開始關注機動車輛對野生動物的影響，以及道路建設對生態環境所帶來的衝擊，同時當機動車輛與較大型的哺乳類動物發生碰撞時，更容易造成駕駛人受傷或死亡的風險或是財產上的損失，在這樣的氛圍下路殺研究也受到越來越多政府與民間團體的重視 (Erritzoe, Mazgajski & Rejt, 2003; Forman, 2003; Hell, Plavy, Slamecka & Gasparík, 2005; Lode, 2000; Olson, Bissonette, Cramer, Green, Davis, Jackson & Coster, 2014; Ramp, Wilson & Croft, 2006)。

許多研究人員便會以定期調查的方式來長期監測不同地區野生動物所受到的路殺狀況，以探討可能造成路殺的原因。如 Gomes, Grilo, Silva & Mira (2009) 於葡萄牙進行為期兩年的貓頭鷹路殺事件調查時，便是每 15 天進行一次現地調查。國內的路殺情形也遠比想像的要嚴重，每天都有野生動物因機動車輛碰撞死亡 (陳冠儒, 鄭瑞富 & 許金寶, 2014)，而近年受大眾矚目的石虎、歐亞水獺等珍稀野生動物的路殺事件屢屢頻傳，即使相關部門於物種出沒地點設立生物廊道、警告標示，其路殺案例仍時有見聞。

近年來，路殺研究已經涵蓋了各種生物類群，包括哺乳動物、鳥類、兩棲爬行動物和無脊椎動物 (Glista, DeVault & DeWoody, 2008; Laurance, Goosem & Laurance, 2009)，並且開始著重於多物種間的路殺模式及其影響 (Trombulak & Frissell, 2000)。同時研究人員發現，路殺不僅會改變物種間的相互作用，還會對生態系統的平衡在物種多樣性、種群動態和生態連接性等方面產生影響 (Forman, 2003; Van Der Ree et al., 2015)。

隨著技術的發展，路殺研究的方法逐漸進步，從最初的人工記錄，到後來的新興技術如遙感、無人機、生物標識、GPS 追蹤系統、遠紅外攝影機等工具等在路殺研究中的應用也取得了顯著進展，以深入了解路殺事件的發生與頻率 (Periquet, Roxburgh, Le Roux & Collinson, 2018; Rytwinski, Soanes, Jaeger, Fahrig, Findlay, Houlahan & van der Grift, 2016; Maschio et al., 2016; Galantinho, Eufrazio, Silva, Carvalho, Alpizar-Jara & Mira, 2017)。

#### 4.2 造成路殺事件發生的可能因素

造成路殺事件發生的原因有很多種，其中包括道路特性 (如道路類型、寬度和速度限制)、交通流量、生境類型以及動物的行為特徵等 (Clevenger, Chruszcz & Gunson, 2003)，許多文獻也針對這個議題進行探討。根據綜合文獻，影響路殺發生的因素可分為以下因素：

1. 生物學因素
2. 環境因素
3. 人為因素

#### 4.2.1 生物學因素

包括動物習性、棲息地、繁殖季節等。許多脊椎動物的路殺熱點通常與樹木茂密、建築物較少的地區有關，這些地區具有較高的棲息地品質 (Malo, Suarez & Diez, 2004; Nielsen, Herrero, Boyce, Mace, Benn, Gibeau & Jevons, 2004)。棲息在河川周邊的動物，則可能因為道路切割了牠們的棲息地而被迫穿越道路，增加了被撞擊的風險 (Rytwinski et al., 2016)。在濕季和降雨後，兩棲爬行動物的活動度增加，從而導致路殺事件的增多 (Puky, 2003)。一些動物在交配期時活動頻繁，也容易出現在路面上，因此容易受到車輛的撞擊 (Forman, 2003; Santos, Santos, Santos-Reis, Picanço de Figueiredo, Bager, Aguiar & Ascensao, 2016)。甚至動物的性別也是一項影響路殺因素，研究人員發現赫曼陸龜中雄性的移動速度比雌性快，造成雌性在相同環境條件下受到的路殺機率較高 (Iosif, Rozyłowicz & Popescu, 2013)。

#### 4.2.2 環境因素

包括光害、天氣等。不同的路段和環境條件可能對路殺的影響產生差異，比如兩生類和爬蟲類在不同的季節和天氣狀況下對於道路的穿越率和死亡率有所不同 (Hels & Buchwald, 2001)。一些研究發現，光害會影響某些動物對路面上的車輛的反應，增加了牠們被撞擊的機會 (Rich & Longcore, 2013; Longcore & Rich, 2004)。如夜間閃爍的汽車燈光可能會造成貓頭鷹的短暫失明，增加其受撞擊的風險 (Hernandez, 1988)。另外，降雨天氣也可能增加路面的滑濕程度，降低了車輛的抓地力，增加了事故發生的風險。

### 4.2.3 人為因素

包括交通量、人為活動、道路設計、道路照明等。交通量的增加會提高路殺事件的發生機率 (Forman, 2003)，根據 van Langevelde & Jaarsma (2005)的研究，交通流量和車輛行駛速度是影響動物路殺率的關鍵因素。高交通流量對於行動速度較慢的物種不利，而較低的車速則增加了駕駛和動物作出反應的時間，因此增加了野生動物成功穿越道路的機率。Clarke, White & Harris (1998)研究指出，當車流量高於一定值時，對於獾等動物來說，似乎產生了嚇阻效應，進而降低了它們穿越道路的機率。該研究還提出了一個論點，即交通流量與不同物種族群之間的路殺事件並不一定呈現簡單的相關性。

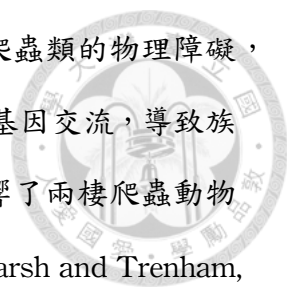
而道路切割導致棲息地破碎化和人類農業活動也會對路殺事件有所影響 (Findlay & Bourdages, 2000; Trombulak & Frissell, 2000)。此外，道路設計及其照明也會影響路殺事件的發生。例如，某些道路設計不良的路段，可能導致動物無法正常穿越道路，使其在路面上停留的時間增加、提升被撞擊的機率 (Rytwinski et al., 2016)，在道路的轉彎、岔路和下坡處，野生動物可能受到的路殺機率也較高 (林世強, 2009)。道路夜間照明則可能增加了某些夜間活動動物被撞擊的風險 (Rich and Longcore, 2013)。

綜合以上幾種因素，可以發現路殺事件的發生並非單一原因所造成，而不同因素對於不同地區的路殺現象影響程度不同，並且可能與當地生態系統的脆弱性有關 (Coffin, 2007; Delgado et al., 2010)。而人造的保護措施，如生態廊道和道路圍欄，也被證明可以有效減少路殺事件 (van der Grift & Pouwels, 2006)。

### 4.3 路殺事件對於兩棲與爬蟲動物的影響與案例

研究表明，路殺對於兩生類和爬蟲類的影響可能比哺乳動物更加複雜，有許多國內外研究都指出兩棲爬蟲類動物是受到路殺威脅最嚴重的脊椎動物類群 (Andrews & Gibbons, 2005; Enge & Wood, 2002; Garriga, Santos, Montori, Richter-Boix, Franch & Llorente, 2012; Hels & Buchwald, 2001; Marsh & Trenham, 2001)。兩棲與爬蟲動物因為生活史特點、移動行為和對環境變化的敏感性使它們更容易受到道路和交通的影響，因為體型較小，導致兩棲爬蟲類的移動速度較緩慢，使其停留於道路上的時間較長，使其受到車輛碰撞或碾壓的風險更高 (Blaustein, Wake & Sousa, 1994; Gibbons, Scott, Ryan, Buhlmann, Tuberville, Metts & Winne, 2000; Ashley & Robinson, 1996; Beebee, 2013)。柏油或水泥製的道路在入夜後仍能保持一定的溫度，部分的兩棲爬蟲類會喜好停留在道路上調節體溫，變相地成為了一種兩棲爬蟲動物喜好的棲地類型 (Andrews & Gibbons, 2005; Ashley & Robinson, 1996; Bernardino Jr & Dalrymple, 1992; Krempin & Sullivan, 1981; Pechmann, Scott, Whitfield Gibbons & Semlitsch, 1989; Pinowski, 2005; 朱哲民, 1996)。

其中以棲息地破碎化、交通死亡率和基因交流上影響較大 (Fahrig, Pedlar, Pope, Taylor & Wegner, 1995; Marsh, Milam, Gorham & Beckman, 2005)，因為兩棲類水陸兩棲的生活史導致在季節變換時期需要穿越道路至不同的棲地 (Crosby, 2014)，同時在繁殖季節兩棲類也會有大規模遷徙至繁殖地點的習性，如池塘、溪流 (Grant, Chadwick & Halliday, 2009)。而不同的兩生類和爬蟲類物種對於道路的敏感度又不盡相同，有些物種對於車輛的影響比較明顯，有些則相對較少 (Marsh & Trenham, 2001)。使得兩棲爬蟲類在面對交通規劃、道路建設、棲地開發等人為活動時會受到較大的影響，是造成野外族群數量減少的一大原因 (Aresco, 2005; Blaustein et al., 1994; Harper, Rittenhouse & Semlitsch, 2008; Series, 2008)。



在葡萄牙的一項研究中，研究者發現道路成為了兩生類和爬蟲類的物理障礙，使其移動範圍和族群遷徙產生了限制，阻礙了道路兩側之間的基因交流，導致族群規模下降，使得族群數量受到了嚴重影響，直接或間接的影響了兩棲爬蟲動物的種群動態和遺傳多樣性 (Eigenbrod, Hecnar & Fahrig, 2009; Marsh and Trenham, 2001; Marsh, Page, Hanlon, Corritone, Little, Seifert, & Cabe, 2008.; Rytwinski et al., 2016; Santos et al., 2016)。在南韓也有學者在對脊椎動物的路殺事件進行研究後，發現兩棲類的路殺熱點與景觀因子有所相關。這些因子包括靠近河川與溪流的距離、道路兩旁的植被生長程度，以及道路的筆直路段長度和道路坡度。而爬蟲類的路殺事件則更容易發生在車速較慢或是靠近森林和農田的交界區域 (Seo, Thorne, Choi, Kwon & Park, 2015)。此外，由於兩棲爬蟲動物的繁殖和覓食行為與水體有密切相關，水源附近的道路可能對這些物種的生存和繁衍造成更大的影響 (Hels & Buchwald, 2001; Mazerolle, 2004)。

兩棲和爬蟲動物的活動偏好環境因素以及行為模式也是重要的研究指標之一。在國內的一項研究中，研究人員對太魯閣國家公園砂卡礑流域的斯文豪氏赤蛙進行了調查。研究結果指出，斯文豪氏赤蛙停棲的位置與周圍環境所提供的遮蔽程度與多樣性有關。例如在樣區中的水泥路面周圍主要是闊葉林植被，包括草本植物、灌木層等多樣的林相環境所提供的遮蔽空間，所以比起只有單一人工種植山蘇的泥土路面，停棲在水泥路面上的斯文豪氏赤蛙的數量是更多的 (黃榮千，2007)。

針對兩生類和爬蟲類的路殺問題，需要進行相應的研究和保護措施，以減少對於這些物種族群的影響，透過對兩棲爬蟲動物行為及習性的研究和調查，有助於了解路殺事件常發生的路段是否擁有吸引這些動物的棲息地條件，進而增加路殺的機率。

#### 4.4 以核密度估計來進行路殺事件的熱點分析

熱點分析是一種可以運用的空間統計技術，用來識別事件或現象的高發地區，如環境保護、交通安全、疾病傳播、路殺事件等等 (Kumara, Sharma, Kumar & Singh, 2000; Periquet et al., 2018)。而野生動物的路殺事件是有空間聚集性的，會有路殺熱點產生 (Clevenger et al., 2003; Krisp & Durot, 2007; Ramp, Caldwell, Edwards, Warton & Croft, 2005)。

核密度估計法(KDE)是一種處理點空間模式的工具，運用二維核密度估計方法進行熱點分析，這種方法常被用於分析空間分佈模式並確定熱點區域。(Bivand & Wong, 2018; Cai, Wu & Cheng, 2013)。通過計算點數據周圍一定半徑內的密度，將點數據轉化為連續的密度分布圖，以更直觀地展示路殺熱點 (Chainey, Tompson & Uhlig, 2008; Worton, 1989)。核密度函數的帶寬選擇可以因應不同尺度大小的需求來調整，帶寬的選擇越大、生成的核密度函數越平滑，反之亦然 (Gatrell, Bailey, Diggle & Rowlingson, 1996; Ramp et al., 2005)，能夠依據對道路交通事故的不確定性進行帶寬大小調整，從而更準確地識別熱點區域。近年來核密度估計已經在各種領域受到的應用，如人口密度、犯罪熱點、土壤污染、野生動物棲地範圍、路殺事件等等 (Bailey & Gatrell, 1995; Chainey, 2013; Lin, Chu, Wu, Chang & Chen, 2011; McLafferty, Williamson & McGuire, 2000; Wood, Naef-Daenzer, Prince & Croxall, 2000; Worton, 1987)。

在過去的研究中已經成功運用核密度估計來分析不同動物類群的路殺熱點，如哺乳動物、鳥類和兩棲爬行動物 (Gibbs & Shriver, 2005; Meekan, Duarte, Fernandez-Gracia, Thums, Sequeira, Harcourt & Eguiluz, 2017; Seo et al., 2015)。Mountrakis & Gunson (2009)也曾利用核密度估計與 Ripley's K 函數來分析駝鹿路殺事件的空間聚集位置。Gomes 等人(2009)在他們針對貓頭鷹路殺的研究中，運用多種分析方法進行解釋，包括二元羅吉斯回歸、生態區位因子分析、核密度估計、最近鄰階級聚類，並與符合泊松分布的路殺事件進行比較，以評估這些方



法在熱點識別上的適用性和準確度。研究結果顯示，核密度估計在解釋能力和彈性方面最為適合。

早期研究人員在使用核密度估計方法來判別熱點時，有碰到統計顯著性不足的狀況 (Bil, Andrasik & Janoška, 2013)，無法準確識別熱點。因此近年捷克共和國道路運輸研究中心為了解決統計顯著性不足的問題，研發了一款結合蒙地卡羅模擬的核密度估計軟體，稱之為 KDE+，該軟體專門用於辨識交通事故發生之熱點 (Bil et al., 2013)。蒙地卡羅方法的應用能夠幫助研究者檢驗熱點分析的結果，並確保結果具有足夠的顯著性 (Levine & Kim, 1998)。是以隨機生成的點位進行模擬，再基於隨機抽樣估計事件在空間上的概率分布，用於確定統計值高於顯著性水平的熱點路段及其在空間上的概率分布 (Hastings, 1970; Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, Teller & Teller, 1953)。

KDE+除了用於車禍熱點的判別之外，也有許多研究將其應用於路殺事件上 (Bartoniccka, Andrasik, Dula, Sedonik & Bil, 2018; Bil, Andrasik, Bartoniccka, Krivankova & Sedonik, 2018; Bil, Andrasik, Dula & Sedonik, 2019.; Favilli, Bil, Sedonik, Andrasik, Kasal, Agreiter & Streifeneder, 2018; Periquet et al., 2018)。如 Bil, Andrasik, Svoboda & Sedonik (2016) 使用了 KDE+ 來識別捷克境內野生動物與車輛碰撞的熱點。Arnold (2016) 以 KDE+ 針對洲際公路上穀倉貓頭鷹的路殺事件進行分析，發現路殺熱點是有隨著時間變化的，有可能是熱點的轉移或者是貓頭鷹數量減少所導致。Sjolund (2016) 成功使用 KDE+ 來識別有蹄類動物的路殺事件發生熱點，並能夠篩選出較為嚴重的熱點路段。

#### 4.5 應用羅吉斯回歸來分析可能的路殺熱點影響因子

羅吉斯回歸是一種常用的統計方法，可用於解釋和預測二元變量之間的關係 (Hosmer Jr, Lemeshow & Sturdivant, 2013)。該方法在路殺研究中被廣泛應用，尤其是用於探討各種可能的影響因素(如道路特性、生境類型、氣候條件等)與路殺事件之間的關係 (Barrientos & Bolonio, 2009; Clevenger et al., 2003; Jaeger & Fahrig, 2004)。

Clevenger et al. (2003)進行了一項關於道路交通流量、周圍景觀配置與路殺事件之間關聯性的研究。研究人員蒐集了為期三年的數據，並運用了鄰近 K 統計法和羅吉斯回歸分析，以了解路殺事件的空間分布模式和發生因素。研究結果顯示，在交通流量較低的公路上，鳥類和哺乳類的路殺事件比在高速公路上更加頻繁。此外，這些事件主要發生在植被覆蓋較多的區域，且距離野生動物通道較遠的位置。而 Sjolund (2016)也以羅吉斯回歸方法來分析可能影響有蹄類動物與車輛碰撞的因素，其中包含了 15 項道路因子、17 項景觀因子。研究結果明確指出，景觀的多樣性、存在森林嵌塊體和湖泊等能吸引野生動物的因子，或是道路位於開放區域且無阻隔野生動物的圍欄處，都會增加路殺事件發生的機率。Gomes et al.(2009)於葡萄牙進行了為期兩年的貓頭鷹路殺事件調查，透過羅吉斯回歸和生態區位因子分析，研究了 22 個環境變數對路殺事件的影響程度，發現道路兩側的結構物會影響貓頭鷹的路殺機率，尤其是當貓頭鷹以靠近道路的樹木、圍欄、電線桿作為棲木時更會提高其風險。

過去的研究已經成功運用羅吉斯回歸分析來確定路殺風險的主要影響因素，本研究也因此可以確定哪些因素在統計上顯著影響路殺熱點分佈，從而為野生動物保護和交通規劃提供了重要的參考依據 (Clarke et al., 1998; Grilo, Bissonette & Santos-Reis, 2009.; Mimet, Clauzel & Foltete, 2016)。

#### 4.6 兩棲爬蟲動物之路殺改善工程

已經有許多研究針對兩棲爬蟲類動物的路殺改善工程相關研究提出建議，專門為兩棲爬蟲類所設計的生物通道需要考慮其孔徑、長度、透光性、底層類型及圍欄高度 (Cramer & Bissonette, 2005)，孔徑的大小會影響通道內的溫度和氣流量，並且有研究指出出蛙類在不同管徑通道的情況下，首選的都是直徑大於 0.5 公尺的通道 (Jackson & Griffin, 1996; Woltz, Gibbs & Ducey, 2008) 環境光線是否能穿透至通道內對於兩棲爬蟲動物來說也是重要的因素，可以藉由使用較大孔徑的通道或在通道頂部裝設有縫隙的格柵板來改善，還能達到調節濕度及溫度的功能 (Jochimsen, Peterson, Andrews, Gibbons & Drawer, 2004)

Lesbarreres, Lode, & Merila (2004) 的研究發現，比起裸露的混凝土，蛙類較偏好使用底層有土壤覆蓋的通道，而蟾蜍類則不受影響，可能的原因為混凝土中的鹼性物質對於蛙類有趨避作用 (Mougey, 1996)，且土壤對於皮膚構造較無耐旱能力的蛙類而言較能維持濕度有關。因此在越靠近兩棲類活動地點所設置之生物通道，其使用率越高 (Jochimsen et al., 2004)。除了涵洞本體外，兩棲爬蟲類的生物通道也需要與周遭的圍欄等障礙物搭配，以阻止兩棲爬蟲類進入路面，透過漏斗似的結構將其引導至涵洞入口 (Glista, DeVault & DeWoody, 2009; Woltz et al., 2008)，已有許多研究使用不同的材料如塑膠、混凝土和金屬來製作兩棲爬蟲類生物通道之導引圍欄，取決於目標物種及預算的限制。值得注意的是，許多小型兩棲動物能夠爬上 0.6 公尺高的圍籬 (Aresco, 2005)，因此也有相關研究考量各物種群之行為能力，探討合適的結構物使用。張源修與吳秉諭 (2014) 便研究台灣 11 種兩棲蛙類之跳高及跳遠能力，以探討其行為能力模式與生態友善工程結構之設計的關聯性。

侯文祥與張源修 (2005) 針對臺灣 7 種蛙類進行了水岸邊坡之攀附實驗，結果顯示不同品種之蛙類在水岸邊坡的基底材質及坡度需求存在差異性，其中吸附能力較佳之基質為 芒草、木質及卵石，水岸邊坡傾斜度則建議須低於 60 度以下。

然而針對特定的生物類群之通道難以滿足不同物種的需求，反而可能會成為其他物種的阻礙，因此通道系統需經過縝密的設計、適當的選位及建造，並在完工後定期維護 (Jackson, 2003)。



## 第五章 研究方法



### 5.1 研究區域

新北市土城區位於台灣北部，地勢多為丘陵和平原，擁有豐富的生物多樣性。此區域內的承天路與龍泉路穿越淺山地區，與兩棲爬蟲動物的棲息地相互交織。然而，這些道路的建設和擴建對兩棲爬蟲動物的棲息地造成了破碎化，增加了動物穿越道路的風險，從而導致了大量的路殺事件 (Gibbs & Shriver, 2005)。

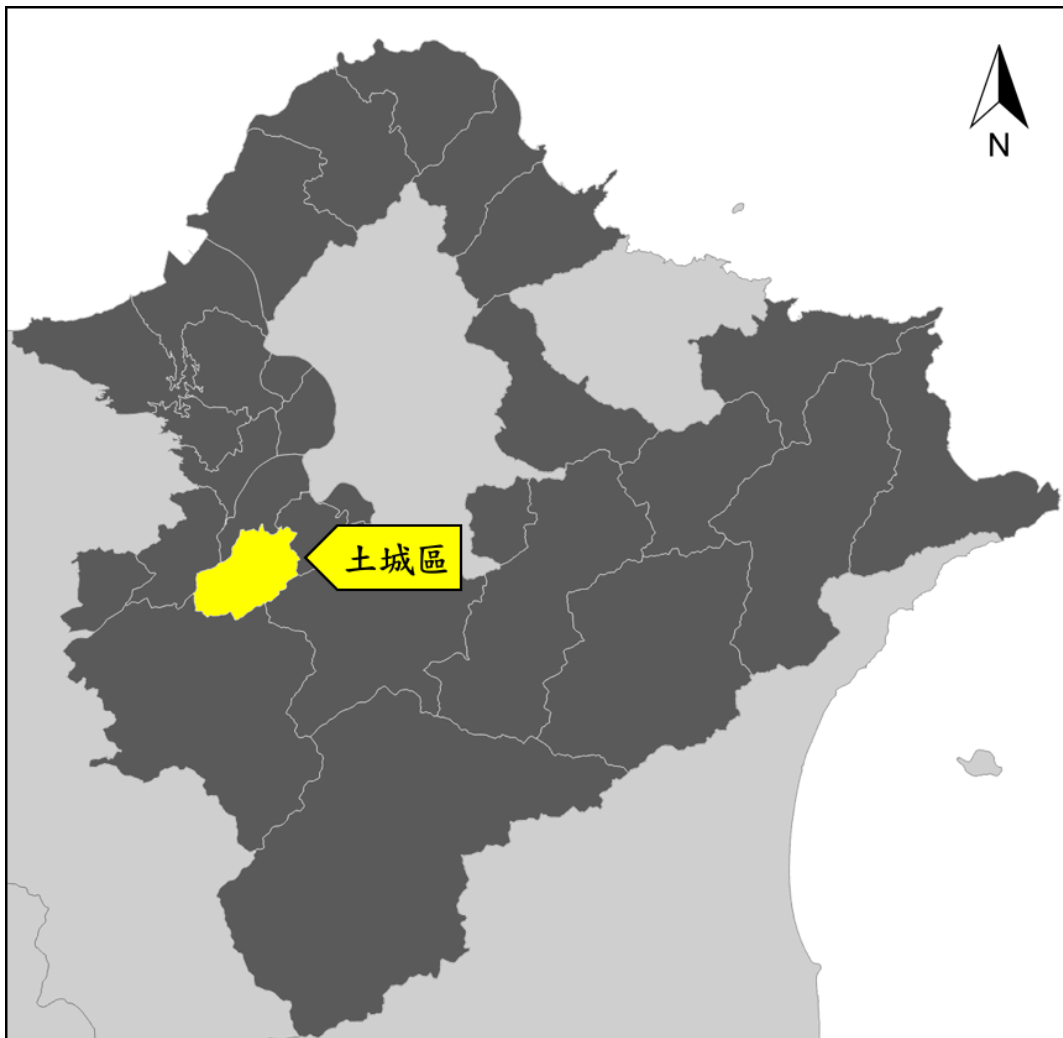


圖 2、研究區域分佈位置圖 1



圖 3、研究樣線分佈位置圖 2

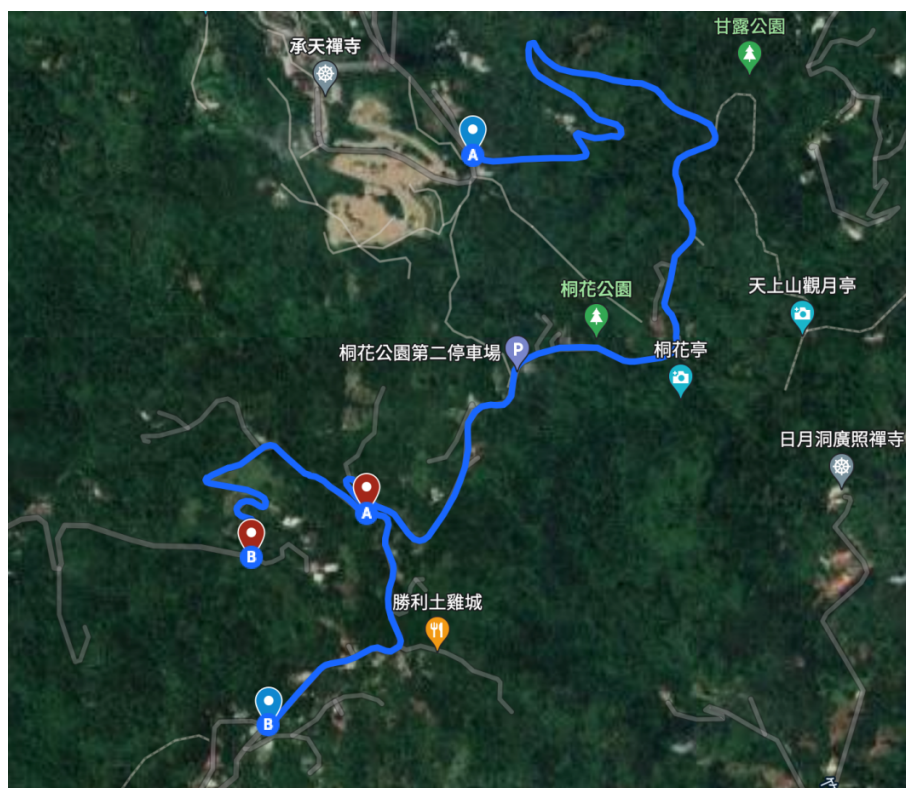


圖 4、研究樣線航照圖

## 5.2 路殺資料調查

### 5.2.1 調查方式

調查方式採用沿線調查法，這種方法常用於野生動物路殺調查 (Collinson, Parker, Bernard, Reilly & Davies-Mostert, 2014)，Gomes et al. (2009)在葡萄牙調查貓頭鷹路殺事件時，研究人員以時速30公里沿著道路兩側行駛，在發現貓頭鷹屍體時，使用GPS定位並進行紀錄。

本研究以步行的方式沿道路進行目視調查，在發現生物屍體時以手機進行拍攝，同時使用GPS定位器記錄當下位置的經緯度座標，並以紙本記錄表記錄調查日期、調查時間、調查地點、天氣型態、氣溫、濕度、發現時間、綱名、目名、科名、屬名、種名、座標等，爾後將記錄資料以excel工作表彙整建檔。這種資料蒐集方法不僅能確保調查的有效性，還有利於後續的熱點分析和影響因子分析。

### 5.2.2 調查頻率

本研究之調查頻率為每個月四次、平均一週一次的野外現地調查，共持續一年的時間，以確保研究能夠涵蓋兩棲爬行動物在不同季節的活動情況。

調查時間由清晨開始，以避免動物屍體被車輛輾壓難以辨識，自北至南進行調查。於2022年5月6日起開始持續為期一年的路殺紀錄，在5月6日、5月12日、5月20日、5月26日、6月3日、6月8日、6月18日、6月24日、6月30日、7月8日、7月15日、7月21日、7月29日、8月4日、8月12日、8月19日、8月25日、9月4日、9月9日、9月14日、9月25日、10月1日、10月7日、10月14日、10月21日、10月26日、11月3日、11月11日、11月17日、11月27日、12月3日、12月10日、12月16日、12月23日、12月29日、2023年1月6日、1月12日、1月17日、1月29日、2月3日、2月11日、2



月 18 日、2 月 23 日、3 月 2 日、3 月 10 日、3 月 17 日、3 月 23 日、3 月 31 日、  
4 月 7 日、4 月 14 日、4 月 21 日、4 月 28 日完成共計 52 次調查。



表格 1、路殺調查各項資料之欄位說明

項目	說明
調查日期	該次野外調查之調查日期
調查時間	該次野外調查之開始與結束之時間
調查地點	該次野外調查之調查路段
天氣型態	該次野外調查之天氣狀況
氣溫	該次野外調查之攝氏溫度
濕度	該次野外調查之相對濕度百分比
發現時間	發現屍體當下之時間
座標	發現屍體位置之座標(WGS84)
綱名	發現屍體之分類層級，綱
目名	發現屍體之分類層級，目
科名	發現屍體之分類層級，科
屬名	發現屍體之分類層級，屬
種名	發現屍體之分類層級，種



### 5.3 路殺熱點分析

本研究採用二維核密度估計 (Kernel density estimation)來進行熱點分析，這種方法常用於分析空間分佈模式並確定熱點區域 (Bivand & Wong, 2018)。其作法參考捷克共和國道路運輸研究中心所開發之 KDE+軟體，該軟體專門用於辨識交通事故發生之熱點，以核密度估計之帶寬大小來彌補交通事故發生位置之不確定性。基於蒙地卡羅方法進行隨機生成的點位模擬，以確定統計值高於第 95 百分位之顯著性水平，進而找出可能的路殺熱點路段。蒙地卡羅方法的應用能夠幫助研究者檢驗熱點分析的結果，並確保結果具有足夠的顯著性 (Levine & Kim, 1998)。

參考 KDE+軟體的運作基礎，並因應本研究尺度較小之特性調整與自行設定其帶寬及閾值，並參考 108 年新北市「研究路殺改善道路附屬設施」生態調查在核密度估計所使用之核密度函數來進行分析。所使用之軟體為 R 語言 4.2.3 版本以及 QGIS 3.26 版本，實際的操作方式如下：

1. 在 R 語言中將研究樣線 2 維的道路圖資切割為 1 公尺乘 1 公尺的網格，並讀入整理好的路殺點位坐標。
2. 使用蒙地卡羅模擬將與實際路殺紀錄相同數量的點位隨機散佈在解析度為 1 公尺乘 1 公尺的 2 維調查樣線網格上，重複 10000 次。再選擇合適的核密度函數(epanechnikov)，及較為合適的帶寬大小(10m)對真實與模擬的點位進行核密度估計(選擇 10 公尺作為帶寬距離是因為測試過 50、20、10、5 公尺等不同長度後發現 10 公尺所呈現出之熱點最為顯著且符合真實路殺點位分佈，後續章節有實例)。
3. 依照三個顯著性水平(90%、95%、99%)，取每一格道路網格對應顯著性水平百分比高度的核密度函數值，取其平均值為每一網格的閾值。
4. 若真實點位所生成的核密度曲線高於閾值，則判定為路殺熱點網格。

5. 將不同顯著性水平(90%、95%、99%)之路殺熱點網格匯入 QGIS 中，依照三種閾值分別以橘色、紅色、深紅色會至於樣線位置處，即可判斷路殺熱點分佈位置。



## 5.4 可能的路殺熱點影響因子分析

本研究採用羅吉斯回歸來探討可能影響路殺發生的因素，參考了Gomes et al. (2009)在進行貓頭鷹路殺事件熱點分析時探討的22項環境變數以及Seo et al. (2015)的研究中指出的可能顯著影響兩棲爬蟲類路殺熱點的因素。本研究將研究區域的各種土地利用類型、人造結構物、水體距離、坡度及植物覆蓋等因素納入分析，以研究它們與路殺熱點之間的關係 (Jaeger & Fahrig, 2004)。另外在QGIS軟體的幫助下，本研究對各個路殺點位進行空間分析，計算它們與不同影響因子之間的距離，或是各項因子佔路殺點位環域50公尺之佔比。透過羅吉斯回歸分析，本研究可以確定哪些因素在統計上顯著地影響路殺熱點分佈，從而為野生動物保護和道路規劃提供有價值的參考。

### 5.4.1 影響因子搜集與資料處理

#### 1. 土地利用類別

使用2014年亞新國土科技股份有限公司調查之土地利用圖資第 I 級分類(分類包含：農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽、其他)。根據和密度分析的結果，以QGIS計算上述之各土地利用分類類型與路殺點位之最短距離數值以及不同土地利用分類類型佔路殺點位環域50公尺之佔比，比較熱點與非熱點點位距離不同土地利用類型之距離平均值差異、環域50公尺之佔比差異(單位：公尺)。



## 2. 人造結構物

採沿線調查法，紀錄道路兩側人造結構物起始經緯度座標。包含：植生邊坡、水泥擋土牆、漿砌卵石擋土牆、木製矮擋土牆、蛇籠擋土牆、水泥護欄、鋼板護欄、木製圍欄、鐵皮圍欄、護欄網、磚製人行道、木製人行道、明渠排水溝。將各項人造結構物之分布位置和範圍於 QGIS 軟體中繪製成 Shape file 圖層，根據和密度分析的結果，以 QGIS 計算各種類人造結構物與路殺點位之最短距離數值以及不同人造結構物佔路殺點位環域 50 公尺道路兩側之佔比，並且比較熱點與非熱點點位距離不同人造結構物類型之距離平均值差異、環域 50 公尺道路之佔比差異(單位：公尺)。

## 3. 水體

採沿線調查法，紀錄道路兩側水體設施之經緯度座標。包含：明渠排水溝、蓄水池、溪流等等經常性地表逕流或潮濕環境。將各項水體設施之分布位置和範圍於 QGIS 軟體中繪製成 Shape file 圖層，根據和密度分析的結果，以 QGIS 計算水體與路殺點位之最短距離數值以及不同水體佔路殺點位環域 50 公尺道路兩側之佔比，並且比較熱點與非熱點點位距離不同水體之距離平均值差異、環域 50 公尺道路之佔比差異(單位：公尺)。

## 4. 坡度

採沿線調查法，以 iPhone 13 的水平儀功能每五公尺一次測量各段道路傾斜角度並記錄。再將各段道路之傾斜角度匯入 QGIS 中，繪製整條樣線坡度區段圖層，並擷取各個路殺點位之道路傾斜角度。根據和密度分析的結果，比較熱點與非熱點點位之坡度差異(單位：角度)

## 5. 植物遮蔽區域

採沿線調查法，沿著道路以無人機拍攝正射影像。將正射影像匯入 QGIS 中製作 shapefile 檔判別道路被遮蔽區域圖層，分別計算各路殺點位是否位於遮蔽區域及距離陰影處與非陰影處交界處之最短距離，未被遮蔽之點位距離紀錄為正數；被遮蔽之點位距離紀錄為負數。根據和密度分析的結果，以 QGIS 計算各個路殺點位距離陰影交界處之最短距離數值以及不同路殺點位環域 50 公尺被遮蔽區域之佔比，並且比較熱點與非熱點點位距離陰影交界處之最短距離數值之平均值差異、環域 50 公尺之佔比差異(單位：公尺)。

### 5.4.2 以羅吉斯回歸進行路殺熱點的影響因子分析

依據核密度估計結果，將路殺點位是否位於熱點路段上作為依變項(熱點記為1，非熱點記為0)。分別以：

1. 各路殺點位之「道路坡度值」、「各項人造結構物最近距離」、「各類土地利用最近距離」、「水體結構最近距離」、「距離植物覆蓋交界處之最短距離(被遮蔽為負數、未遮蔽為正數)」為自變項。
2. 各路殺點位之「道路坡度值」、「各項人造結構物環域50公尺之佔比」、「各類土地利用環域50公尺之佔比」、「水體結構於道路環域50公尺之佔比」、「環域50公尺之植物覆蓋佔比」為自變項。

進行羅吉斯回歸分析，藉此判別在淺山道路上哪一種因子能顯著影響路殺熱點路段產生的機率。

## 第六章 結果



### 6.1 路殺調查結果

#### 6.2.1 路殺物種紀錄

本研究自 2022 年 5 月 6 日至 2023 年 4 月 28 日於新北市土城區承天路與龍泉路搜集了共 433 筆路殺紀錄，完成物種鑑定之紀錄包含了兩棲類 337 筆、爬蟲類 86 筆、哺乳類 7 筆、鳥類 2 筆，並有 1 筆未完成物種鑑定之路殺紀錄。考量到路殺事件之發生與分佈可能會因不同物種群之習性而有所差異，因此本研究針對兩棲類與爬蟲類繪製不同季節之分佈圖。

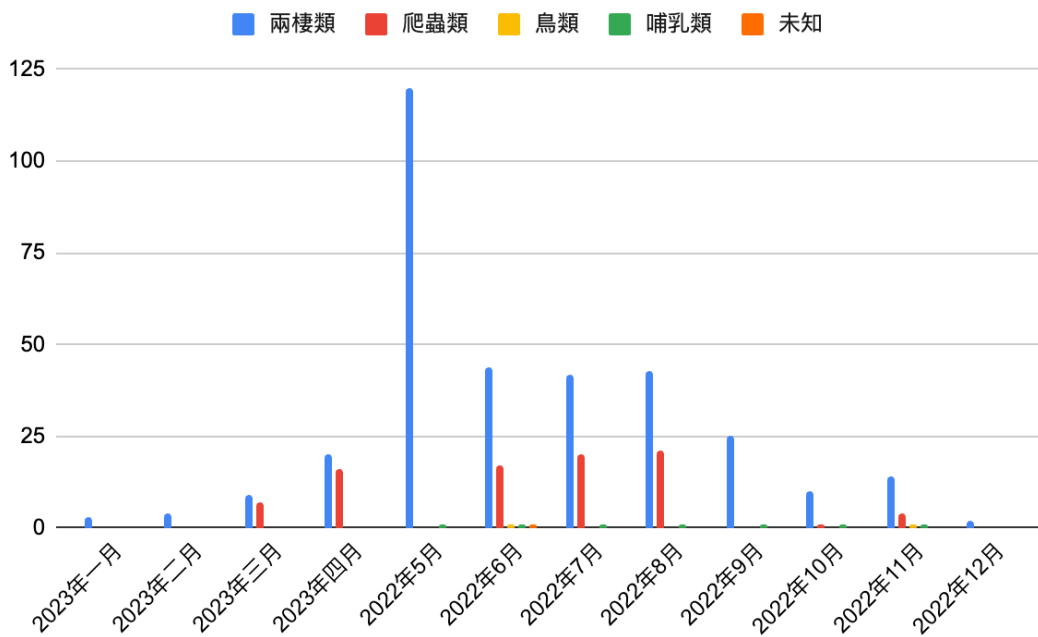


圖 5、各月份路殺調查數據

表格 2、各月份路殺調查數據統計

	兩棲類	爬蟲類	鳥類	哺乳類	未知	總計
2022 年						
5 月	120	0	0	1	0	121
6 月	44	17	1	1	1	64
7 月	42	20	0	1	0	63
8 月	43	21	0	1	0	65
9 月	25	0	0	1	0	26
10 月	10	1	0	1	0	12
11 月	15	4	1	1	0	21
12 月	2	0	0	0	0	2
2023 年						
1 月	3	0	0	0	0	3
2 月	4	0	0	0	0	4
3 月	9	7	0	0	0	16
4 月	20	16	0	0	0	36
總計	337	86	2	7	1	433

表格 3、各物種類群路殺統計表

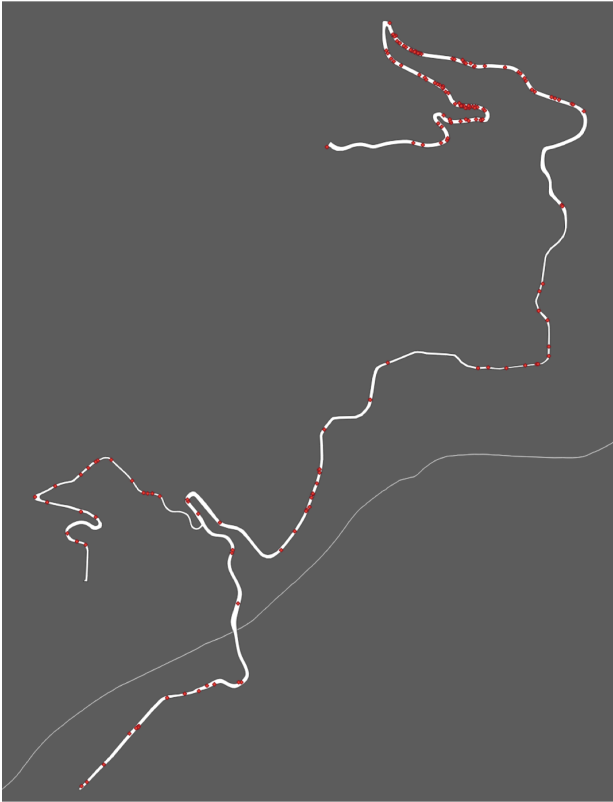
綱	目	數量	科	數量	屬	種	數量	
兩棲綱	無尾目	337	蟾蜍科	268	蟾蜍屬	盤古蟾蜍	132	
					頭棱蟾屬	黑框蟾蜍	21	
					未鑑定		75	
			赤蛙科	63	水蛙		拉都希氏赤蛙	24
							貢德氏赤蛙	2
						臭蛙屬	斯文豪氏赤蛙	18
					琴蛙屬	腹斑蛙	1	
					未鑑定		18	
			叉舌蛙科	3		大頭蛙屬	福建大頭蛙	1
						虎紋蛙屬	虎皮蛙	2
						溪樹蛙屬	褐樹蛙	1
			樹蛙科	3		張樹蛙屬	翡翠樹蛙	1
						樹蛙屬	斑腿樹蛙	1
					未鑑定		40	
			爬蟲綱	有鱗目	50	石龍子科	46	蜓蜥屬
真稜蜥屬	長尾真稜蜥	1						
		未鑑定					1	
正蜥科	3	草蜥屬				翠斑草蜥	3	
		未鑑定					1	



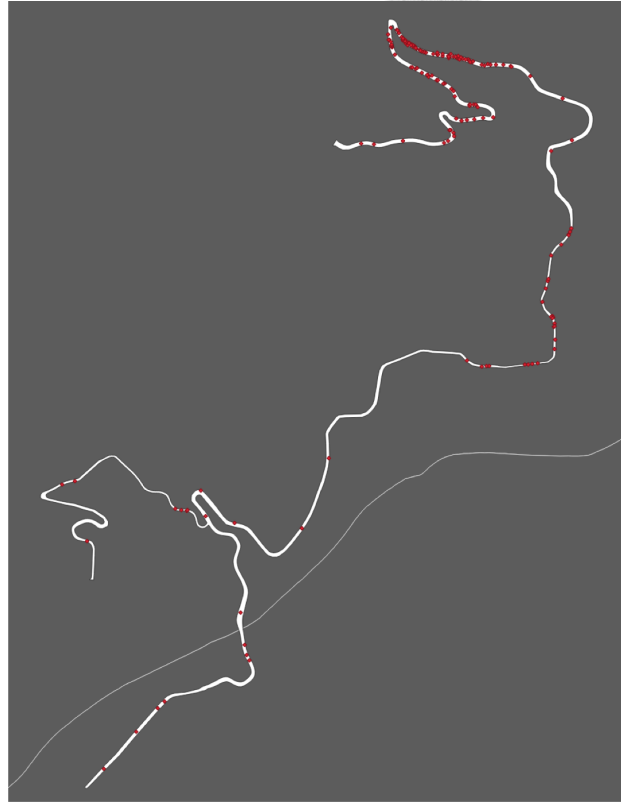
					斯文豪氏攀蜥	11		
鬣蜥亞目	31	飛蜥科	31	攀蜥屬	黃口攀蜥	5		
					未鑑定	15		
				小頭蛇屬	赤背松柏根	1		
		黃領蛇科	2	紫沙蛇屬	茶斑蛇	1		
蛇亞目	5	鈍頭蛇科	2	鈍頭蛇屬	泰雅鈍頭蛇	2		
		眼鏡蛇科	1	環蛇屬	雨傘節	1		
真盲缺目	2	鮑鱧科	2	未鑑定		2		
		鼠科	2	板齒鼠屬	鬼鼠	1		
哺乳綱		未鑑定				1		
啮齒目	5	松鼠科	2	麗松鼠屬	赤腹松鼠	2		
		未鑑定				1		
鳥綱		鸚形目	1	鬚鸚科	1	擬啄木屬	五色鳥	1
		雀形目	1	鴉科	1	藍鵲屬	臺灣藍鵲	1
未鑑定							1	
總計							433	



圖 6、總年度路殺點位分佈圖



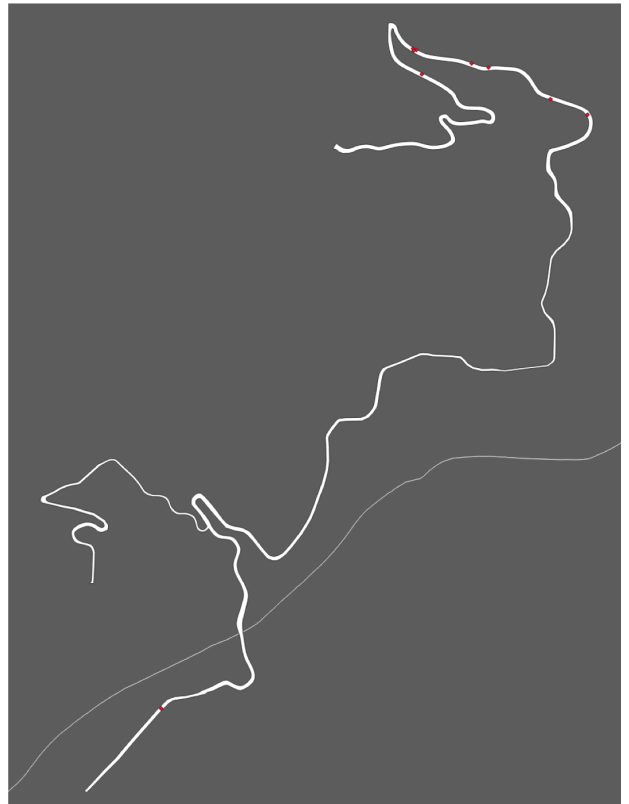
春季



夏季



秋季



冬季

圖 7、各季節路殺點位分佈圖



圖 8、總年度兩棲類路殺點位分佈圖



春季



夏季



秋季



冬季

圖 9、各季節兩棲類路殺點位分佈圖

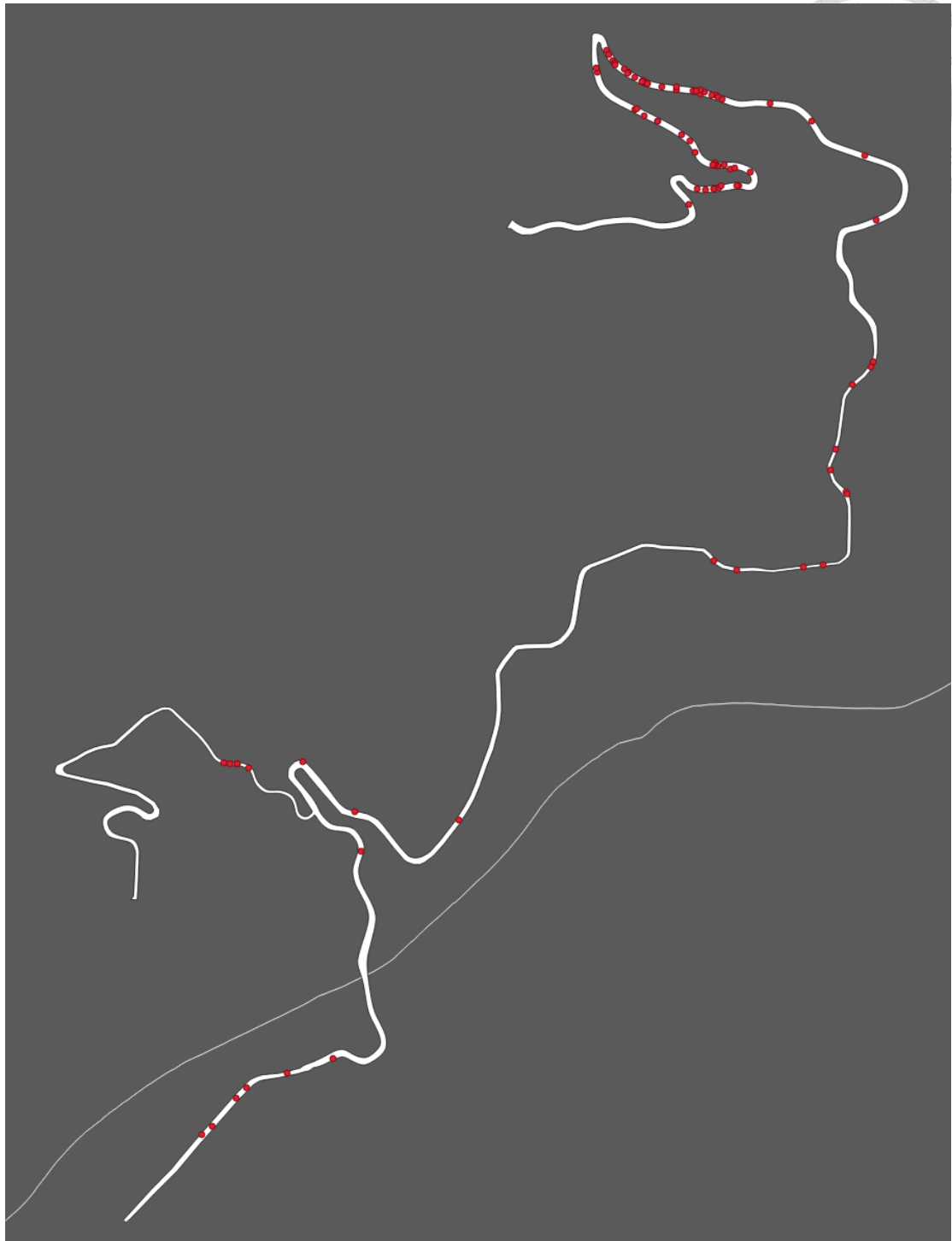
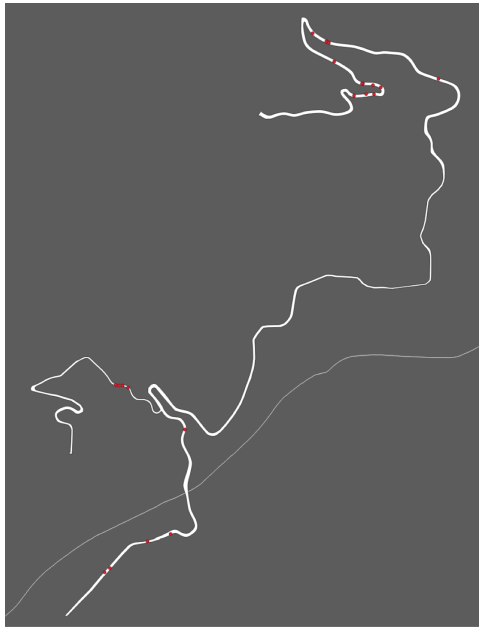


圖 10、總年度爬蟲類路殺點位分佈圖



春季



夏季



秋季



冬季

圖 11、各季節爬蟲類路殺點位分佈圖

## 6.2.2 路殺焦點物種

調查結果顯示，完成鑑定之路殺紀錄中，研究樣區路殺數量前三名之物種分別為兩棲綱的盤古蟾蜍 121 隻次、拉都希氏赤蛙 24 隻次以及爬蟲綱的印度蜓蜥 44 隻次，因此選定上述三種物種為本研究樣區之焦點物種。但由於仍有許多筆路殺紀錄未鑑定至物種級別，因此本排名可能無法真實呈現樣區受路殺威脅之物種排序，且受到不同生物特徵辨識難易度的影響，使得某些物種有較高的鑑定數目，以下針對各物種進行簡述：

### 1. 盤古蟾蜍 (*Bufo bankorensis*)

盤古蟾蜍是台灣特有種，其分布範圍涵蓋台灣全島的平地至海拔三千公尺。牠們的體長約在 6 至 11 公分之間，不同個體間在體色和體型方面呈現顯著的差異。其皮膚佈滿小疣且在眼後具有突出的耳後腺，具有分泌毒液的防禦機制，繁殖季節主要集中於秋季和冬季。本研究於每個月份皆有記錄到盤古蟾蜍的路殺事件，並且因其屍體在路面上有較長的保存時間，相較於其他無尾目物種，其物種鑑定的成功率可能較高。



圖 12、盤古蟾蜍 (來源：基隆生物多樣性資料庫)



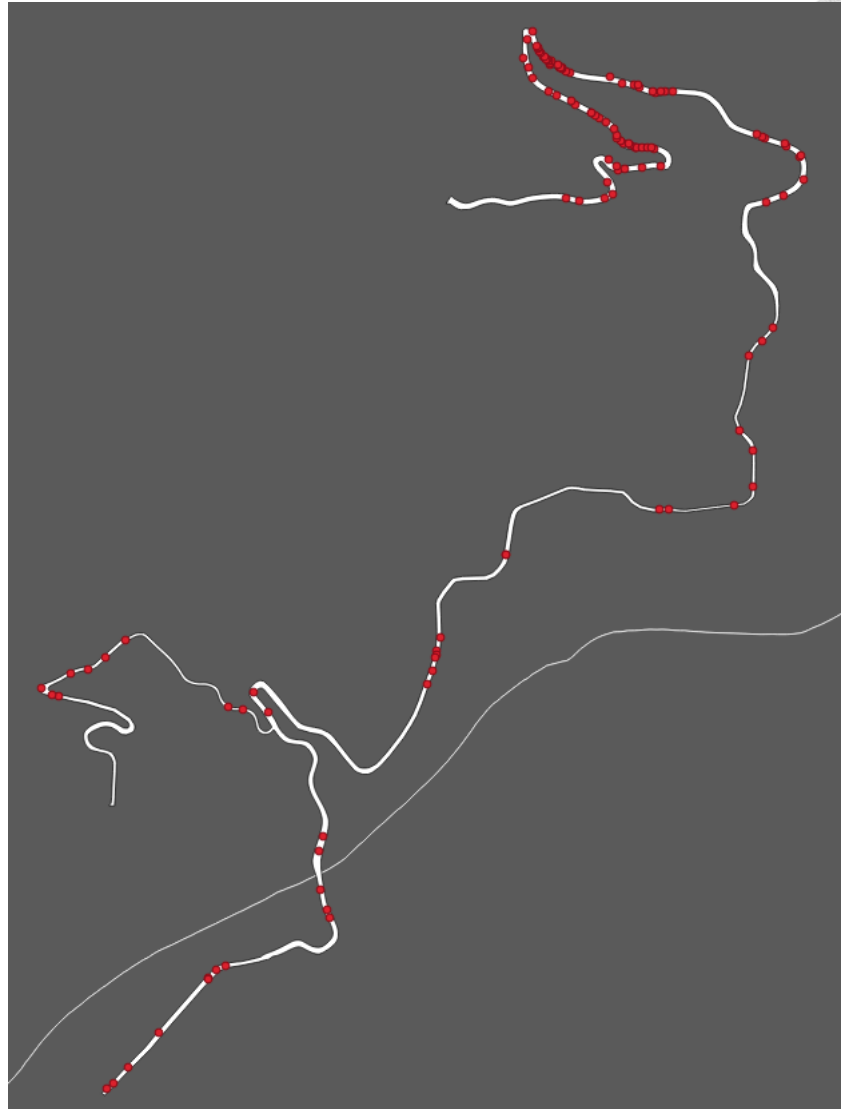


圖 13、研究樣區盤古蟾蜍路殺位置分佈圖

## 2. 印度蜓蜥 (*Sphenomorphus indicus*)

印度蜓蜥主要分布在海拔 2000 米以下的低海拔地區，包括平原、山地陰濕草叢以及荒石堆或帶有裂縫的石壁處。這種石龍子科蜥蜴的體長約為 12.5 公分，最大可達 24 公分。它們的體背主要呈褐色，散佈著許多暗色的雜斑，而從吻端經過眼部延伸至尾部基部的位置則有一黑色的寬縱帶，繁殖期在每年的 5 月至 8 月。由於其屍體有較易辨識的生物特徵，且其鱗片較不易受外在因素而快速腐爛，因此於本研究中有較高的鑑定成功率。



圖 14、印度蜓蜥 (來源：基隆生物多樣性資料庫)

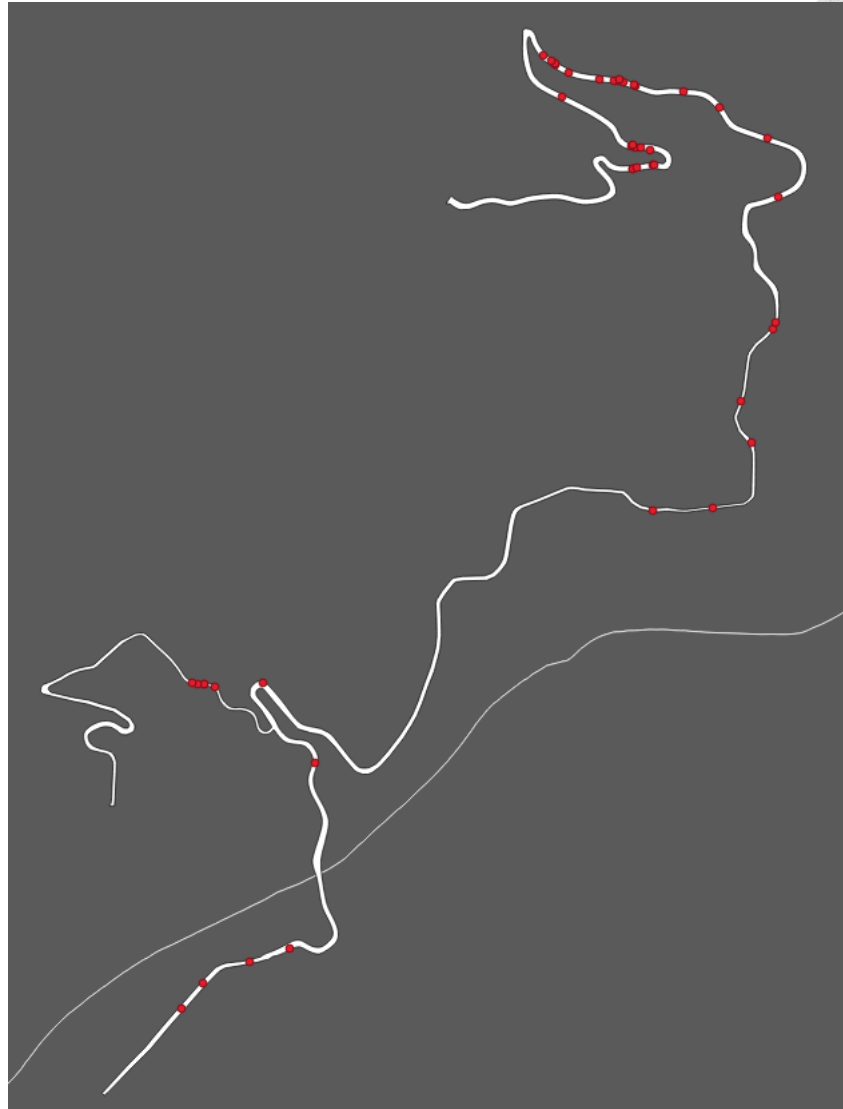


圖 15、研究樣區印度蜓蜥路殺位置分佈圖

### 3. 拉都希氏赤蛙 (*Hylarana latouchii*)

拉都希氏赤蛙廣泛分佈於平地以及中低海拔山區。它們背部兩側具有突出的棒狀結構，背部的體色呈現棕紅色調，而側腹部則布滿許多黑色斑點。這種蛙的體長範圍在 4 至 6 公分之間，具有強大的環境適應能力。拉都希氏赤蛙幾乎整年都處於繁殖季節，但本研究樣區中的路殺紀錄集中於 4 至 5 月。此外，由於它們體側的棒狀突起和黑色斑點等特徵相對容易識別，使得在本研究中的鑑定成功率較高。



圖 16、拉都希氏赤蛙 (來源：台灣地區兩棲類物種描述資料)

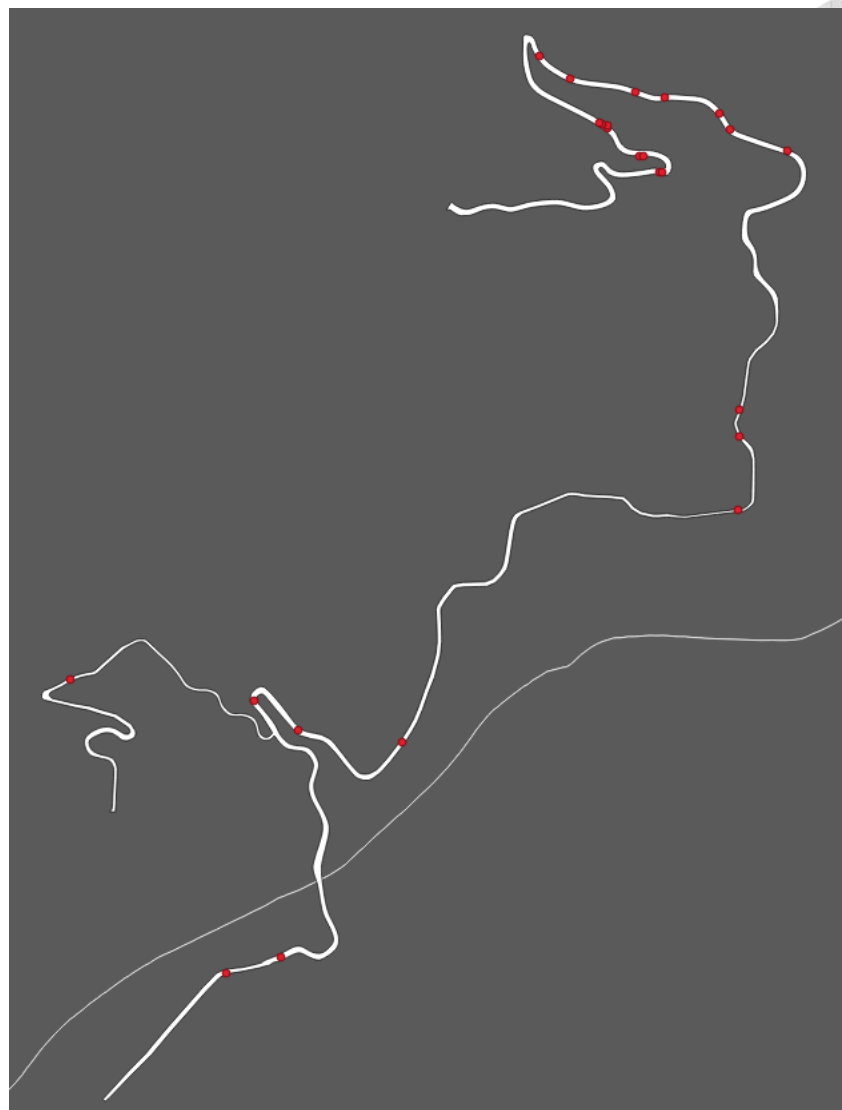


圖 17、研究樣區拉都希氏赤蛙路殺位置分佈圖

## 6.2 路殺熱點分佈

本研究嘗試了 5、10、20、50 公尺等四個不同的帶寬來比較較為合適的帶寬大小，並採用相對有彈性的閾值(95%)來作為熱點分析的參數 Gomes et al. (2009)，分別以橘色、紅色、深紅色來代表 90、95、99 閾值信心區間，灰色曲線為模擬出的曲線圖，藍色為真實路殺點位之核密度曲線。結果顯示，433 筆路殺紀錄中共有 234 筆資料是位於熱點區域，佔總路殺紀錄的 54.04%。



圖 18、帶寬 5 公尺之二維核密度熱點分佈

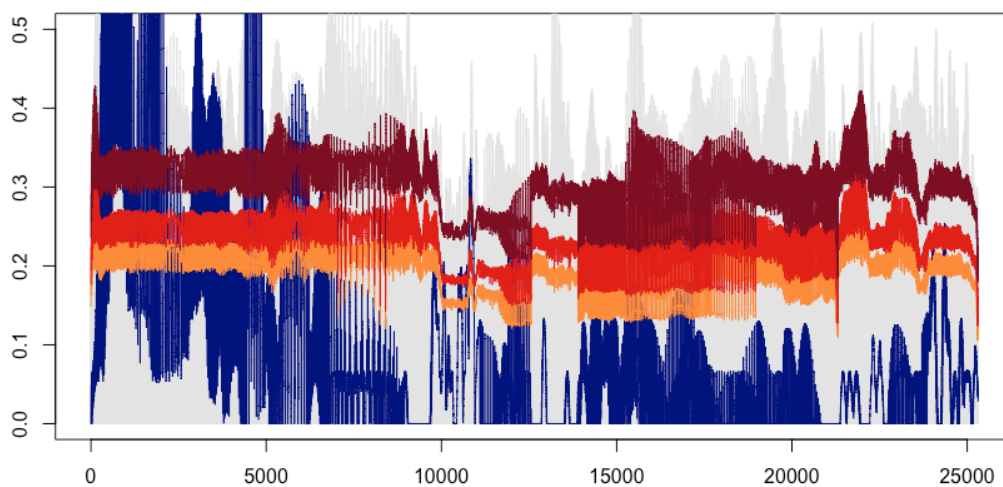


圖 19、帶寬 5 公尺之二維核密度閾值分佈



圖 20、帶寬 10 公尺之二維核密度熱點分佈

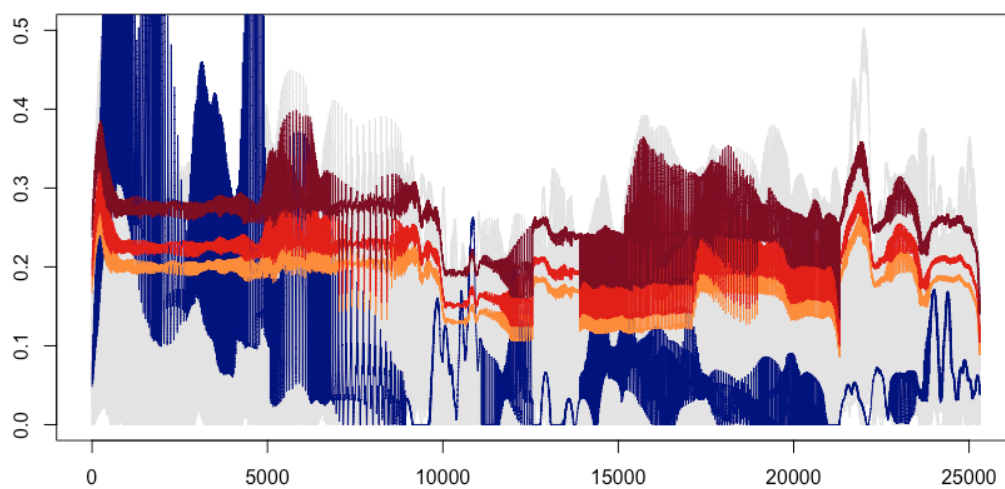


圖 21、帶寬 10 公尺之二維核密度閾值分佈





圖 22、帶寬 20 公尺之二維核密度熱點分佈

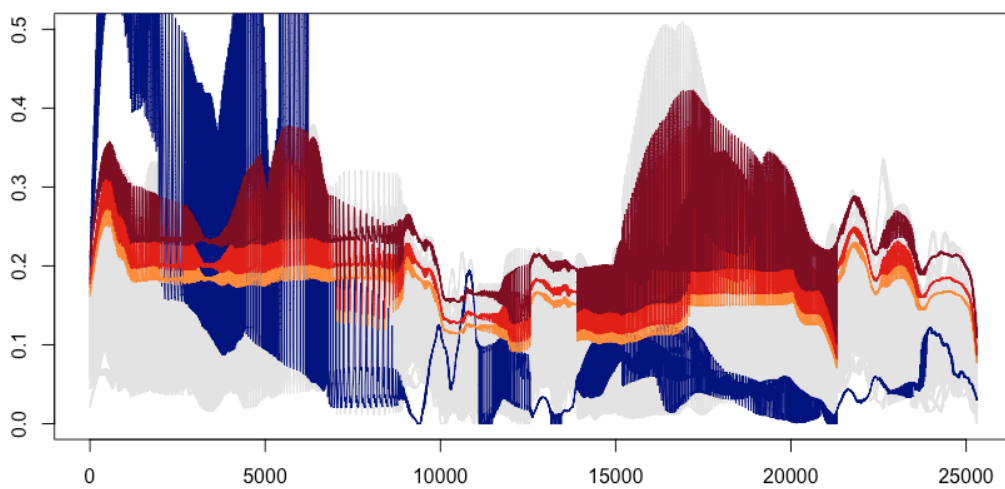


圖 23、帶寬 20 公尺之二維核密度閾值分佈



圖 24、帶寬 50 公尺之二維核密度熱點分佈

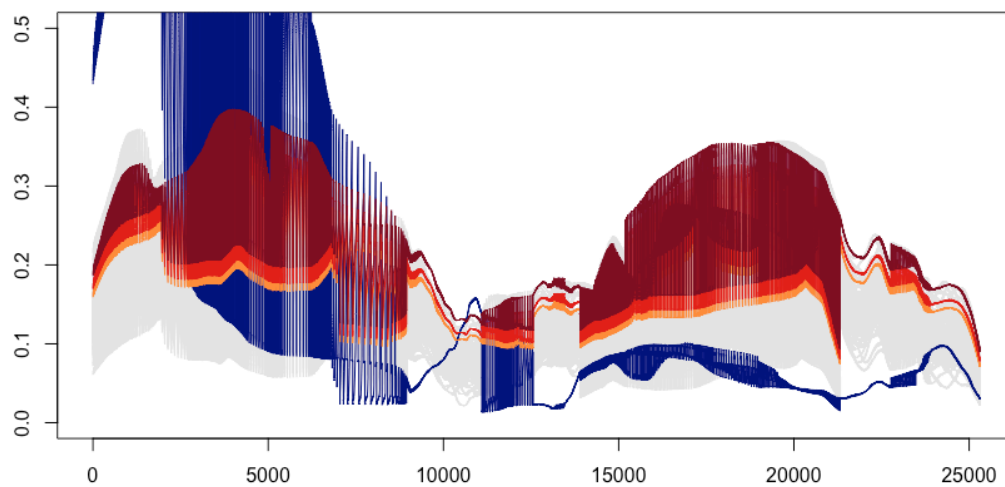


圖 25、帶寬 50 公尺之二維核密度閾值分佈

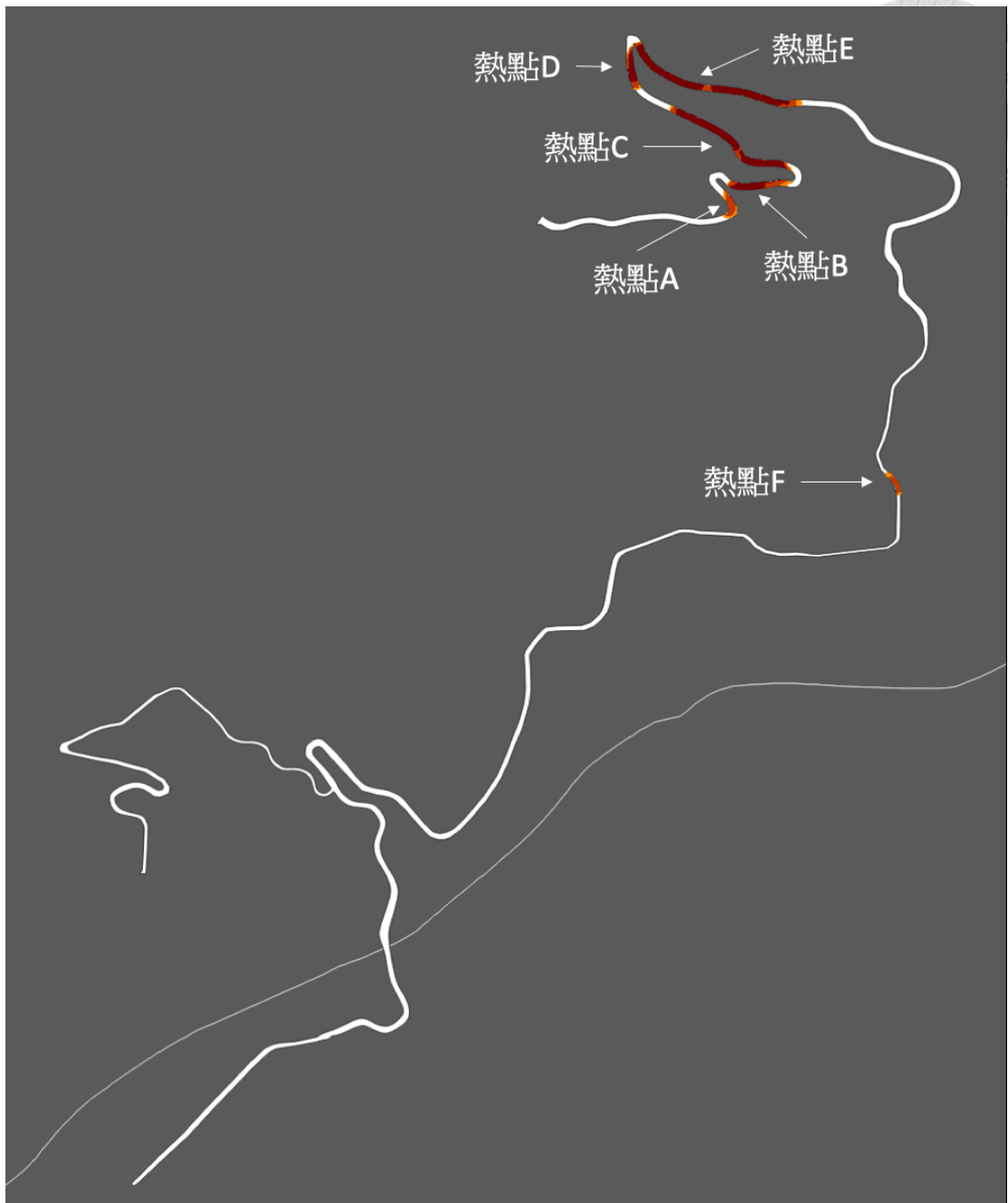


圖 26、帶寬 10 公尺之二維核密度熱點分佈

圖 37 將研究樣區較為顯著之熱點細分為 A~F 等六段，此六段熱點較為共通處為道路兩側環境較能被野生動物作為棲地利用，如濕度、隱蔽度、植被原始程度較高等等，將於後段分別作簡述與討論。



圖 27、熱點 A 實景圖

熱點 A 周圍之土地利用類型以森林用地為主，一旁有民用住宅，時常會有車輛進出。此路段之坡度陡峭，會影響汽車駕駛人之視線，車速也可能較快。道路兩側人造結構物以水泥護欄、植生邊坡及鋼板護欄所組成，且因鄰近小型野溪，其濕度較高。



圖 28、熱點 B 實景圖

熱點 B 周圍之土地利用類型以森林用地為主，一旁有民用住宅，道路兩側人造結構物以植生邊坡及明渠排水溝為主，無阻擋生物進出道路之結構物存在。另外道路上方之遮蔽比例較高，於現地調查過程中經常能觀察到鬣蜥亞目之活體活動。



圖 29、熱點 C 實景圖

熱點 C 周圍之土地利用類型以森林用地為主，道路兩側人造結構物以植生邊坡、漿砌卵石擋土牆及明渠排水溝為主，道路上方之遮蔽比例較高，是濕度相對較高的路段，於現地調查過程有在道路旁的明渠排水溝觀察到大量的拉都希式赤蛙及盤古蟾蜍等兩棲類棲息。



圖 30、熱點 D 實景圖

熱點 D 周圍之土地利用類型以森林用地為主，道路兩側人造結構物以植生邊坡、漿砌卵石擋土牆及明渠排水溝為主，道路上方之遮蔽比例較高，但與熱點 C 相比濕度相對較低，路殺物種以爬蟲類較大宗。



圖 31、熱點 E 實景圖

熱點 E 周圍之土地利用類型以農業用地與森林用地為主，道路兩側人造結構物以植生邊坡及明渠排水溝為主，無阻擋生物進出道路之結構物存在，道路上之遮蔽比例較高，路面之濕度相對較高，是研究樣區路殺事件最為嚴重的路段，路殺物種以盤古蟾蜍為最大宗。





圖 32、熱點 F 實景圖

熱點 F 周圍之土地利用類型以建築用地及民用住宅為主，道路兩側人造結構物以植生邊坡及漿砌卵石擋土牆為主，阻擋生物進出道路之結構物比例較低，但其道路坡度較大，汽車駕駛人之視線可能會被影響到，車速也可能較快。



圖 33、帶寬 10 公尺之兩棲類路殺熱點分佈圖

兩棲類的路殺紀錄佔整體路殺紀錄之 77.83%，因此兩棲類的熱點分佈圖與整體路殺點位所匯出的熱點分佈圖差異不大。

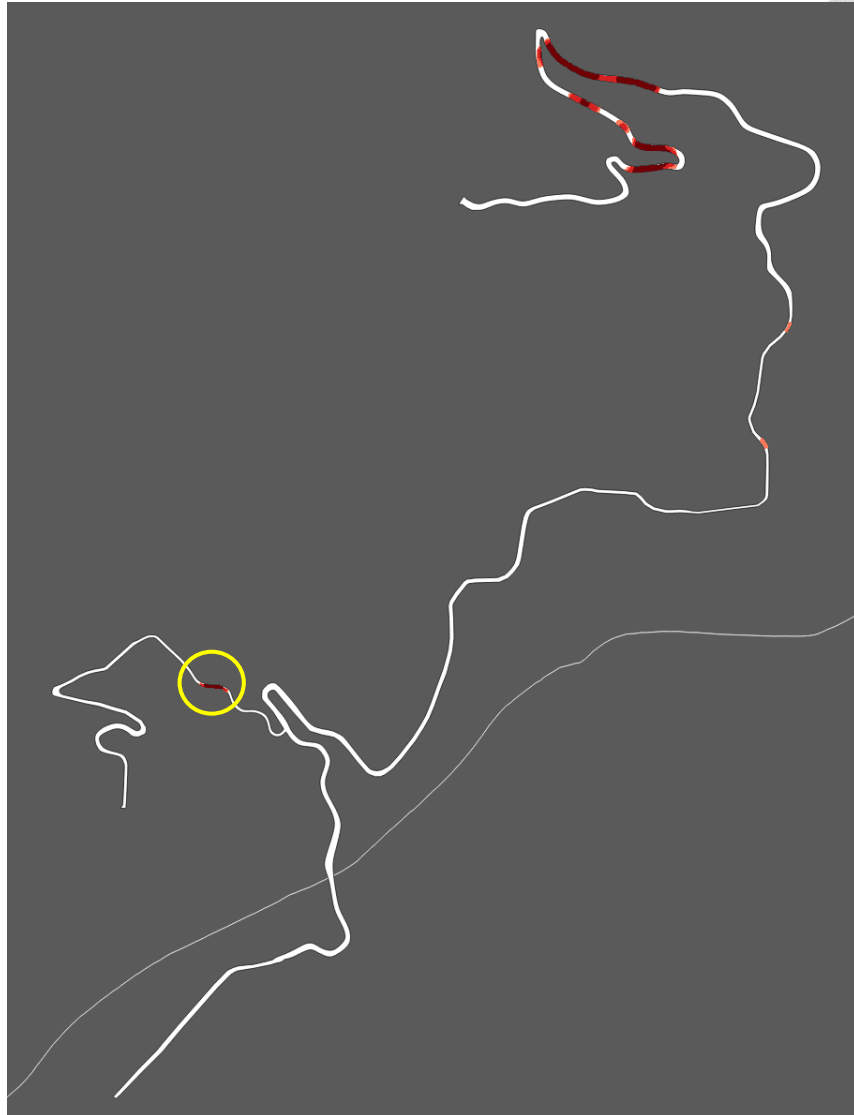


圖 34、帶寬 10 公尺之爬蟲類路殺熱點分佈圖

雖然爬蟲類路殺紀錄僅佔整體路殺紀錄之 19.86%，且熱點主要分布範圍與兩棲類之路殺點位差異不大。但需要注意的是黃色圓圈處為印度蜓蜴於 2023 年 5 月時記錄到大量路殺事件發生之位置，可能原因為繁殖季節導致路殺數量上升，若要確認此路段上是否真實的產生路殺熱點，是會需要更長時間尺度的紀錄與調查。



### 6.3 路殺熱點影響因子分析

#### 6.3.1 土地利用類型

整體路殺紀錄距離農用及林用土地利用類型較為接近，然而位於路殺熱點與否之路殺點位中，農用和林用土地類型的距離並無太大差異，並且路殺點位若距離特定土地利用類型達一定距離後，路殺的行成因素便與該土地利用類型較無關(如：礦鹽土地利用類型可能對於距離 1 公里之外的路殺較無關聯性)。另外，環域 50 公尺土地利用類別佔比中，路殺熱點之林用及交通土地利用類別比例略高於非熱點處，而農用、建築、遊憩及其他土地利用類別則略低於非熱點路段處，但整體比例上並無太大的差異。因此僅以土地利用距離或是環域 50 公尺土地利用類別佔比來說明與路殺熱點成因之間的關聯性較低且較沒有解釋力。

表格 4、路殺點位距離最近土地利用類別平均距離(單位：公尺)

	整體	熱點	非熱點
農用	54.086	56.671	51.047
林用	3.341	3.014	3.725
交通	0.000	0.000	0.000
水利	275.920	255.336	300.126
建築	62.270	64.667	59.451
公用	467.972	473.369	461.626
遊憩	338.135	448.643	208.190
礦鹽	1652.198	1807.494	1469.588
其他	181.896	219.289	137.926

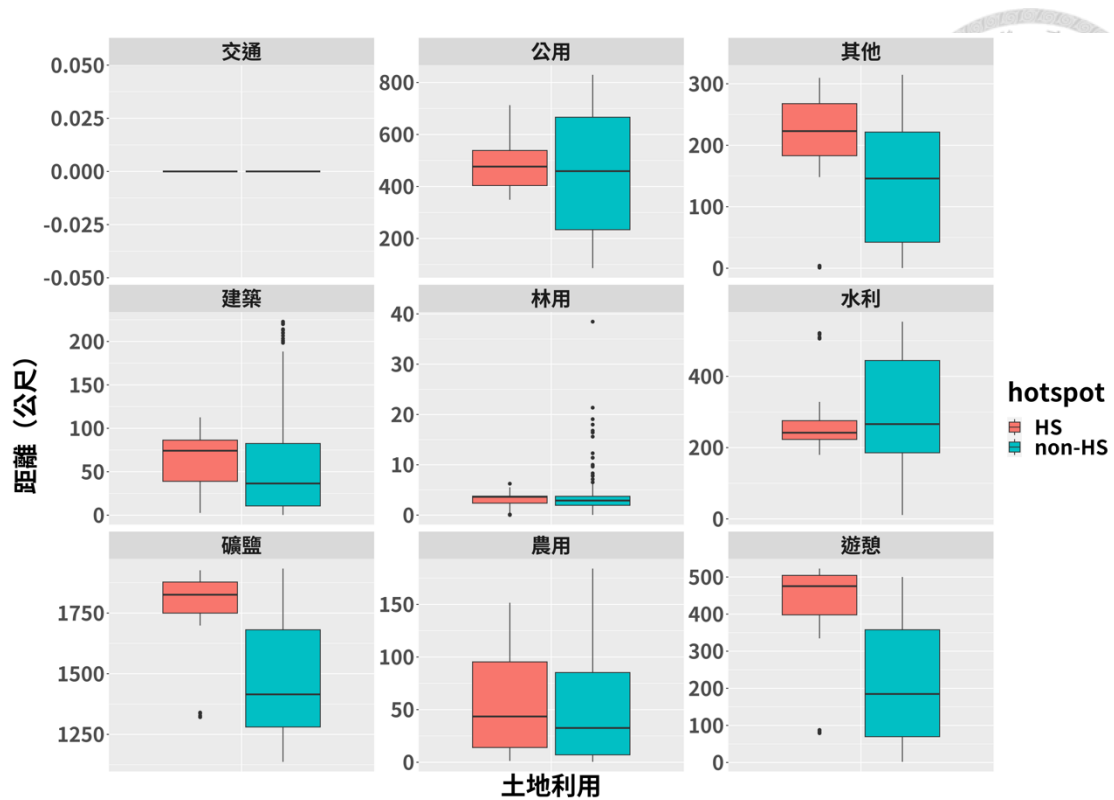


圖 35、路殺點位距離最近土地利用類別距離箱型圖

表格 5、路殺點位環域 50 公尺內土地利用類別比例

	整體	熱點	非熱點
農用	0.095	0.056	0.142
林用	0.724	0.764	0.678
交通	0.132	0.155	0.105
水利	0.000	0.000	0.000
建築	0.033	0.021	0.047
公共	0.000	0.000	0.000
遊憩	0.008	0.000	0.017
礦鹽	0.000	0.000	0.000
其他	0.007	0.004	0.012

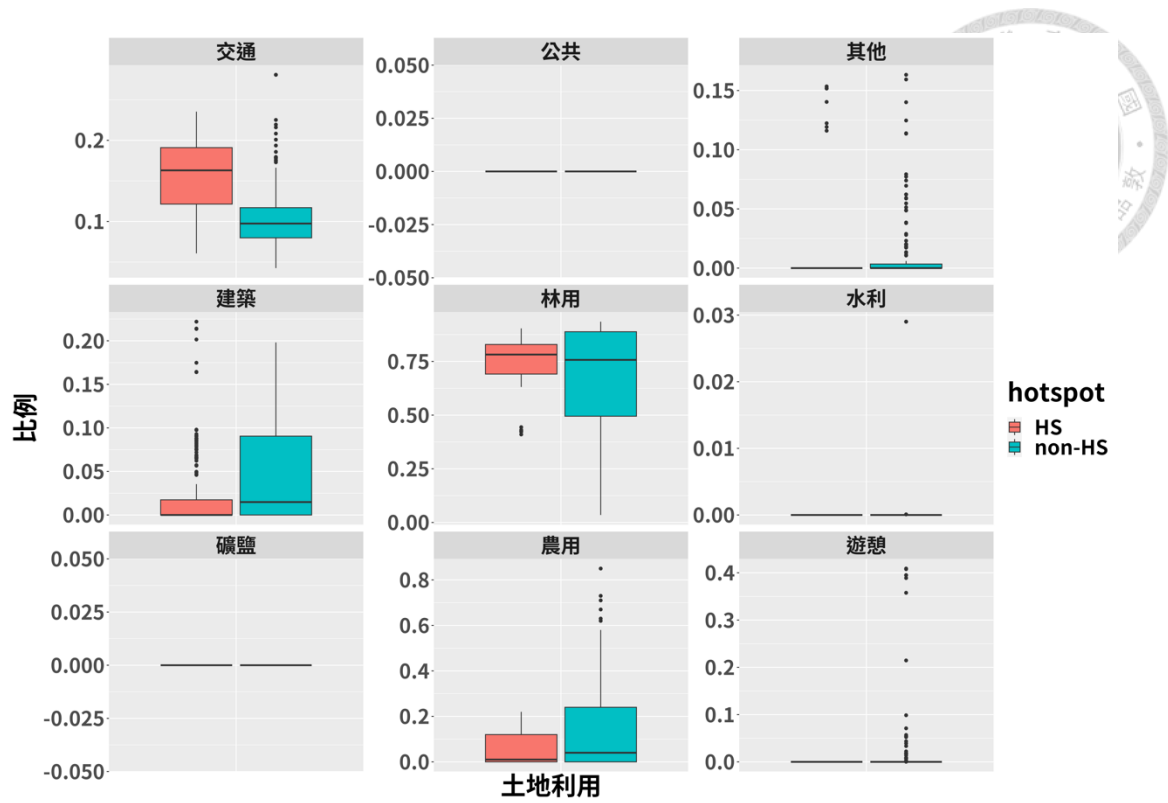



圖 36、路殺點位環域 50 公尺內土地利用類別比例箱型圖

### 6.3.2 道路兩側人造結構物



研究結果顯示研究樣區之路殺點位距離植生邊坡及漿砌卵石擋土牆之平均距離較為接近，而其他類型之結構物在熱點與非熱點的距離差異較大。環域 50 公尺內人造結構物類別比例中，熱點路段之植生邊坡比例較高，漿砌卵石擋土牆差異不大，其餘結構物皆低於非熱點路段，同時植生邊坡及漿砌卵石擋土牆本身佔整體研究樣線之比例較高、其他幾項人造結構物的比例較低。植生邊坡本身便可能是兩棲爬蟲類喜好的環境，而在漿砌卵石擋土牆的壁面裂縫間能找到生物躲藏，牆面上的植物則成為了蛙類和蜥蜴攀附的地方，因此整體的路殺點位與這兩種結構物之關係有較為足夠的解釋力，而其他人造結構物可能影響生物進出道路的難易度，進而影響路殺事件發生的機率。根據實地觀察的經驗，該道路下邊坡往往呈現開放式的植生邊坡，而上邊坡則主要是擋土牆，少有兩側皆為人工結構物的情況。對於體型較小且具有良好攀附能力的兩棲爬蟲類物種而言，上邊坡並不會妨礙其穿越道路，而且部分人工結構物可能成為其適應和利用的微棲地，例如植生邊坡。因此，對於兩棲爬蟲類物種群而言，道路兩側的結構物並非一定會對生物產生不良影響。然而，對於體型較大的物種群(例如哺乳類)，穿越道路時可能會受到上邊坡擋土牆的阻礙，進而產生負面效應。

表格 6、路殺點位最近人造結構物平均距離(單位：公尺)

	整體	熱點	非熱點
植生邊坡	4.424	3.304	5.741
漿砌卵石 擋土牆	21.779	22.178	21.308
水泥 擋土牆	157.722	175.366	136.976
蛇籠 擋土牆	420.539	256.543	613.379
木頭矮 擋土牆	729.371	896.374	532.995
鋼板護欄	160.078	128.658	197.025
水泥護欄	123.489	102.414	148.270
水泥護欄 (含網子)	244.133	252.068	234.802
護欄網	205.160	237.657	166.948
鐵皮圍欄	521.445	568.443	466.182
木製圍籬	488.720	603.800	353.400
磚製人行道	480.249	494.253	463.783
木製人行道	487.033	497.344	474.909



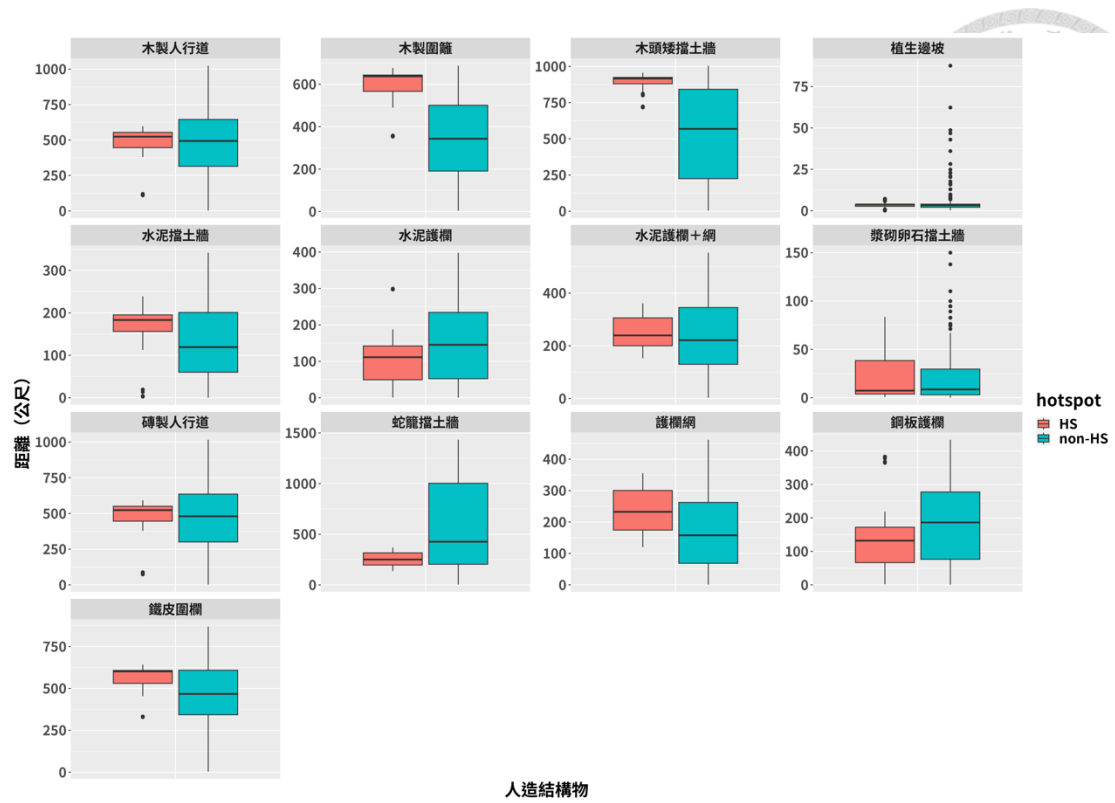


圖 37、路殺點位最近人造結構物平均距離箱型圖

表格 7、路殺點位環域 50 公尺內人造結構物類別比例

	整體	熱點	非熱點
植生邊坡	0.597	0.685	0.493
漿砌卵石 擋土牆	0.193	0.191	0.195
水泥 擋土牆	0.020	0.006	0.037
蛇籠 擋土牆	0.002	0.000	0.004
木頭矮 擋土牆	0.002	0.000	0.003
鋼板護欄	0.007	0.003	0.012
水泥護欄	0.024	0.020	0.028
水泥護欄 (含網子)	0.007	0.000	0.014
護欄網	0.022	0.000	0.047
鐵皮圍欄	0.001	0.000	0.001
木製圍籬	0.001	0.000	0.002
磚製人行道	0.006	0.000	0.013
木製人行道	0.006	0.000	0.013

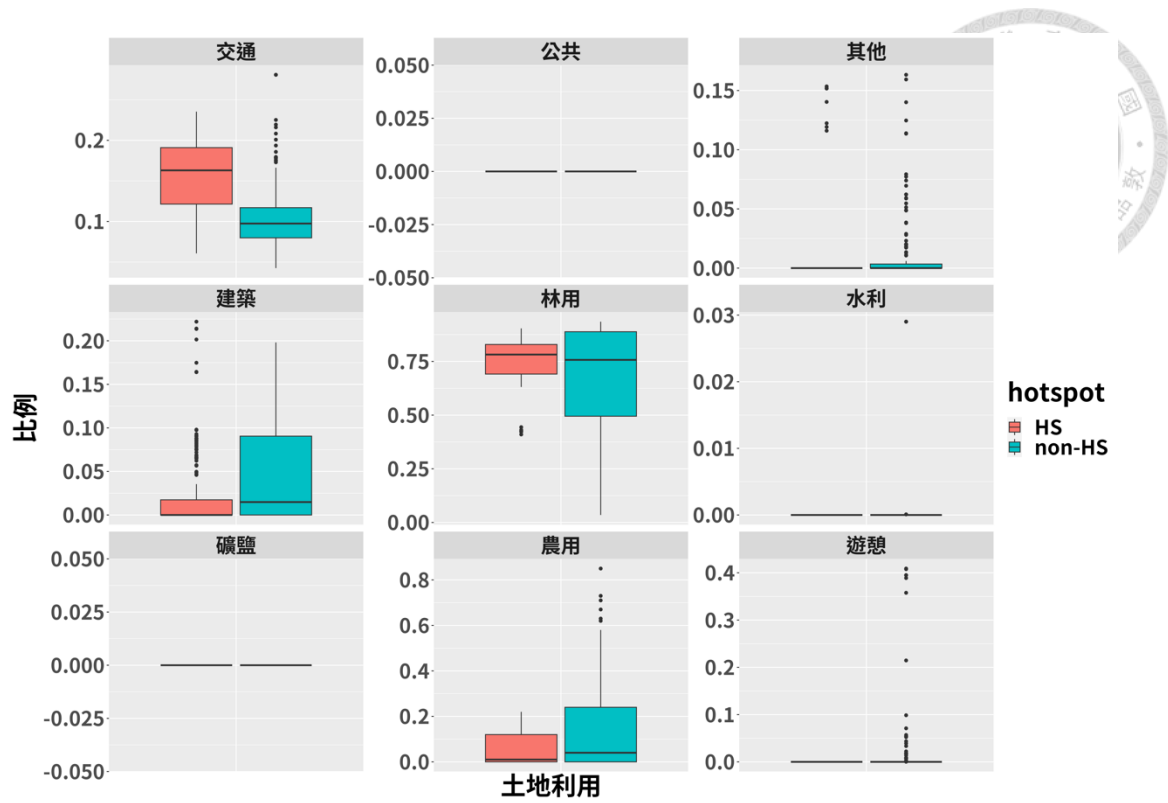


圖 38、路殺點位環域 50 公尺內人造結構物類別比例箱型圖

### 6.3.3 水體

水體包含明渠排水溝、蓄水池、溪流等經常性地表逕流或潮濕環境，而現地調查結果顯示承天路與龍泉路的水體以明渠排水溝為主，明渠排水都對於兩棲爬蟲類而言是可以利用並適應的微棲地。對兩棲類而言，明渠排水溝經常為潮濕環境，調查過程中可以看到活體在排水溝中活動，並且在其繁殖季節可於排水溝內見其卵泡或蝌蚪。對爬蟲類而言，明渠排水溝是一個良好躲避天敵的空間，在調查過程中可以看到兩棲類在發現調查人員時，往排水溝逃竄的現象出現。

調查資料顯示，在水體周圍路殺點位之熱點與非熱點距離就有較明顯的差異，熱點區域的路殺點位比起非路殺區域明顯較為靠近水體(明渠排水溝)位置，同時環域 50 公尺內水體佔比中，熱點區域之水體佔比也顯著的高於非熱點區域，因此也有較為足夠的解釋力來判斷此因子是否影響路殺熱點的形成。



圖 39、水體分佈圖

表格 8、路殺點位最近水體平均距離(單位：公尺)

	整體	熱點	非熱點
明渠	11.261	3.798	19.926

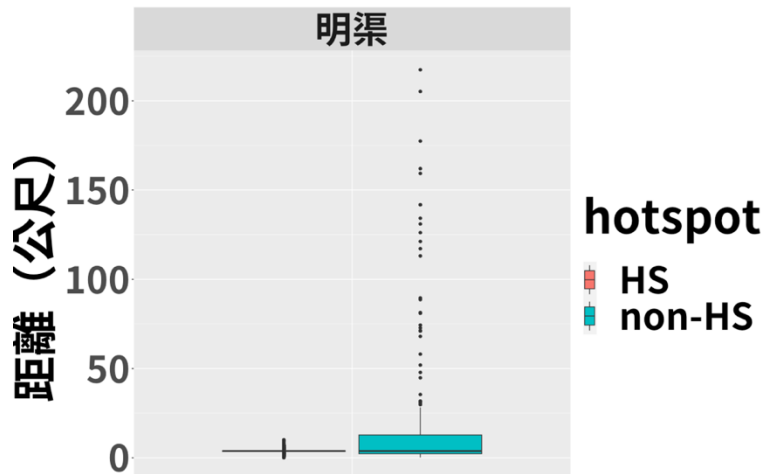


圖 40、路殺點位最近水體距離箱型圖

表格 9、路殺點位環域 50 公尺內水體比例

	整體	熱點	非熱點
明渠	0.388	0.445	0.321

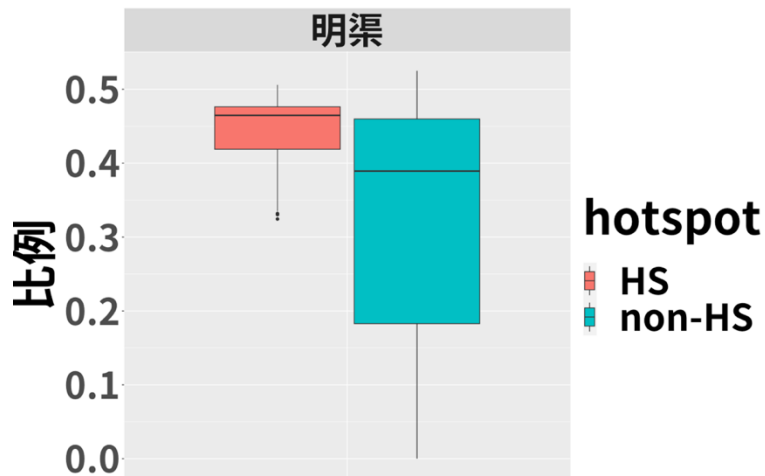


圖 41、路殺點位環域 50 公尺內水體比例箱型圖

### 6.3.4 坡度

本研究樣區的坡度大小主要會影響汽車駕駛的行車速度以及上下坡時的視野，分析結果顯示，熱點區域之坡度高於非熱點區域。樣區之路段較為蜿蜒且道路寬度較為狹窄、車輛需要在特定區域才能會車，因此在特定區域坡度極有可能成為影響熱點形成的因素之一。

表格 10、路殺點位之平均坡度(單位：度)

	整體	熱點	非熱點
坡度	5.982	6.433	5.450

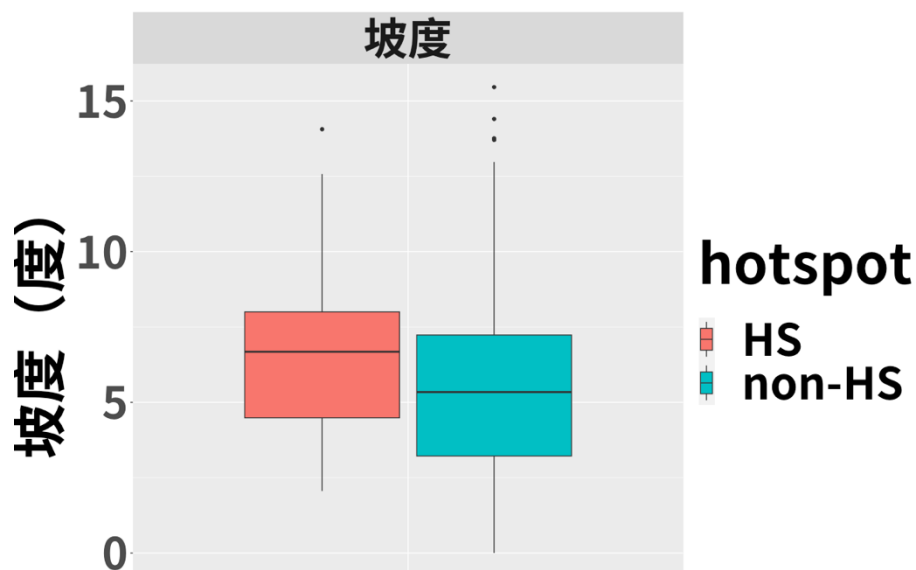


圖 42、路殺點位坡度箱型圖

### 6.3.5 植物遮蔽

植物覆蓋程度會影響地表水分蒸發散的速率、地表溫度的變化，進而影響到兩棲爬蟲類停留在道路上的時間，同時一定的遮蔽也會影響是否容易被鳥類等掠食者所捕食的機率。研究結果顯示，路殺熱點距離遮蔽邊界比起非熱點區域更為遙遠，但整體平均數值上都與植物所覆蓋的區域距離不遠。反而 50 公尺道路環域內之遮蔽比例中，熱點區域所遮蔽的比例顯著的高於非熱點區域，因此此項因子在熱點的形成上具有一定的解釋力。



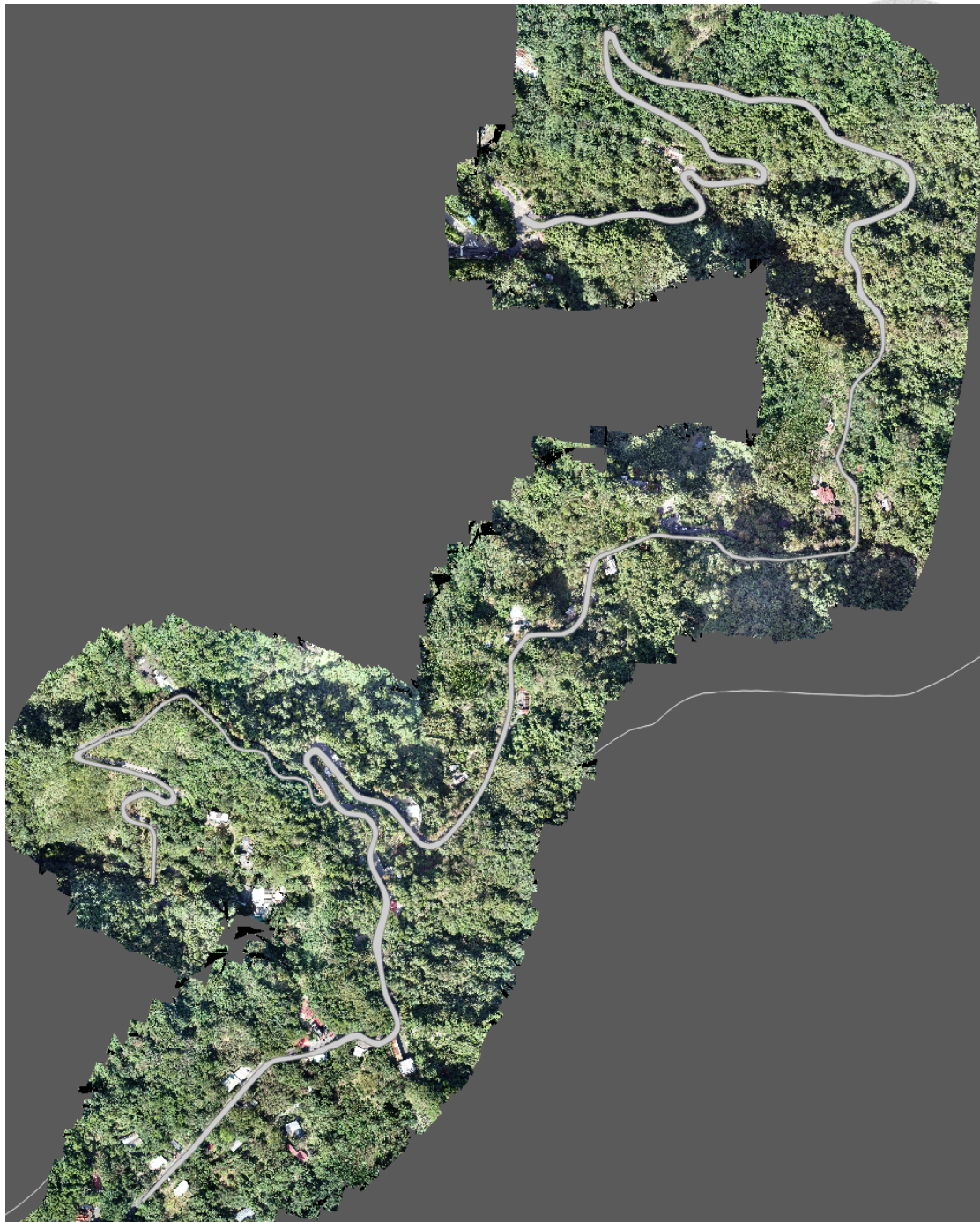


圖 44、植物覆蓋區域正射影像

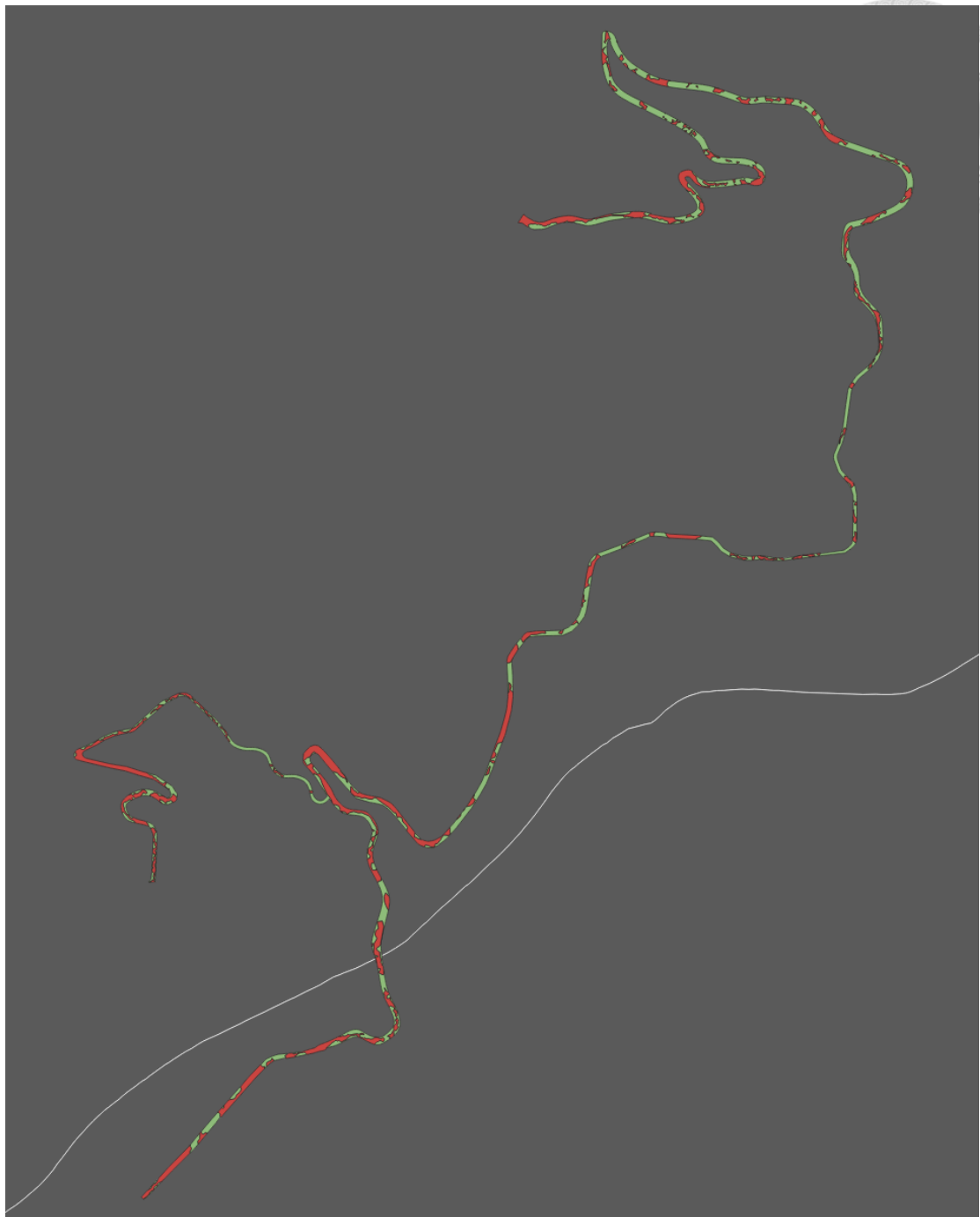


圖 43、植物遮蔽圖(綠色：覆蓋、紅色、未覆蓋)

表格 11、路殺點位與最近遮蔽邊界之平均距離(單位：公尺)

	整體	熱點	非熱點
遮蔽邊界	1.316	2.075	0.424

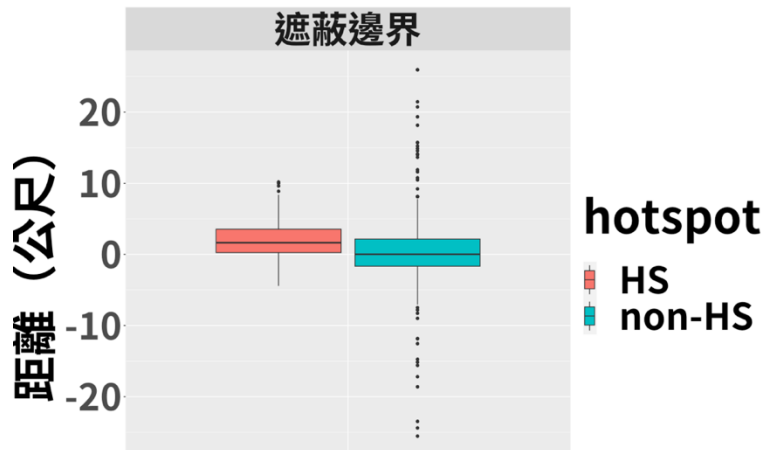


圖 44、路殺點位最近遮蔽邊界距離箱型圖

表格 12、路殺點位環域50公尺內道路遮蔽比例

	整體	熱點	非熱點
遮蔽	0.674	0.749	0.586

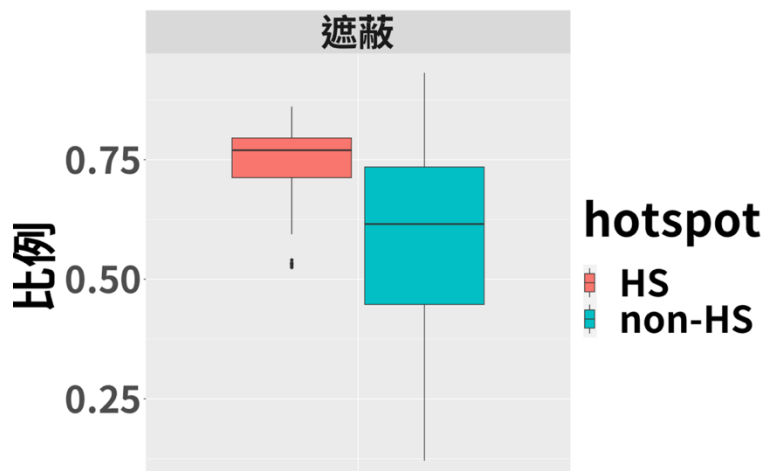


圖 45、路殺點位環域 50 公尺道路遮蔽比例箱型圖

#### 6.4 以羅吉斯回歸分析各項路殺熱點影響因子



本研究分別以：

- A. 各項因子與路殺點位之最近距離及各路殺點位之坡度作為自變項
- B. 路殺點位 50 公尺環域中各項因子之佔比及各路殺點位之坡度作為自變項

將路殺點位是否位於熱點路段上作為依變項，以逐步選取法 (Stepwise selection method) 來剔除較不具影響力之因子，再以羅吉斯回歸進行分析找出對於路殺熱點形成之可能影響因子。

表格 13、分析方式 A 之羅吉斯回歸結果

以各項因子與路殺點位之最近距離及各路殺點位之坡度作為自變項

	Estimate	Std. Error	z value	Pr (> z )
Intercept	0.492	0.447	1.100	0.271
明渠	-0.116	0.028	-4.150	3.32e-5
坡度	0.128	0.388	2.739	0.006
漿砌卵石 擋土牆	0.016	0.006	2.801	0.005
植生邊坡	-0.100	0.039	-2.571	0.010
建築用地	-0.005	0.002	-2.203	0.028
模型預測準確度			0.723	

表格 14、分析方式 B 之羅吉斯回歸結果

路殺點位 50 公尺環域中各項因子之佔比及各路殺點位之坡度作為自變項

	Estimate	Std. Error	z value	Pr (> z )
Intercept	-1.089e+02	1.442e+02	-0.755	0.450
遮蔽	1.819e+01	4.400e+00	4.134	3.56e-05
明渠	3.347+01	1.113e+01	3.006	0.003
漿砌卵石 擋土牆	-1.819e+01	5.857e+00	-3.105	0.002
植生邊坡	- 1.763e+01	6.197e+00	- 2.844	0.004
水泥擋土牆	-3.821e+01	1.211e+01	-3.156	0.002
水泥護欄	-1.900e+01	7.953e+00	-2.388	0.017
模型預測準確度			0.931	

表格 15、兩種自變項之羅吉斯回歸分析結果差異

方式	點位距離(公尺)		環域佔比(%)	
	相關性	顯著性	相關性	顯著性
明渠	負相關	***	正相關	**
遮蔽			正相關	***
坡度	正相關		**	
漿砌卵石 擋土牆	正相關	**	負相關	**
植生邊坡	負相關	*	負相關	**
水泥擋土牆			負相關	**
建築用地	負相關	*		
水泥護欄			負相關	*
模型預測準確度	0.723		0.931	

研究結果顯示，以路殺點位 50 公尺環域中各項因子之佔比及各路殺點位之坡度作為自變項所預測出的預測模型準確度較高，以下將針對兩種分析方法得出之顯著性較高因子一一簡述：

1. 明渠：

兩種分析方法得出此因子皆十分顯著，分析方法 A 顯示距離明渠越接近，越容易產生路殺熱點；分析方法 B 顯示環域 50 公尺道路內，明渠佔比越高越容易產生路殺熱點。就現地調查之經驗，明渠排水溝為兩棲爬蟲類能適應且利用的微棲地環境，使得此項因子會增加該路段之物種數量，導致路殺機率上升，因此為一項顯著影響路殺熱點產生之因子。

## 2. 遮蔽邊界與遮蔽佔比：

此項因子在環域佔比做為自變數時有著極高的顯著性，於點位距離作為自變數時則被剔除於可能影響的因子之外。調查過程中是能發現多數路殺屍體是在遮蔽度較高的路段被記錄的，可能原因除了遮蔽程度高的區域會影響地表水的蒸發散情形，進而影響兩棲爬蟲類停留在路面上的時間外，也有可能是一定的遮蔽能降低鳥類等掠食者的捕食機率，使兩棲爬蟲類較傾向於停留在受到遮蔽的區域。結合現地調查經驗，道路所受到的遮蔽程度對於路殺熱點的生成是顯著影響的。

## 3. 坡度

本研究羅吉斯回歸之坡度值採用的是每一個路殺點位之坡度傾斜角度，分析結果顯示，在此研究樣區中坡度值越高，該路段成為路殺熱點的機率就越高。坡度大小可能影響汽車駕駛人的行車速度與上下坡時的視野，對於造成路殺熱點的形成具有一定解釋力，但需要更深入的研究與探討。

## 4. 漿砌卵石擋土牆

兩種分析方法之結果顯示此因子對於路殺熱點的形成具有一定解釋力，分析方法 A 顯示距離漿砌卵石擋土牆越遠，越容易產生路殺熱點；分析方法 B 顯示環域 50 公尺道路內，漿砌卵石擋土牆佔比越低越容易產生路殺熱點。就現地調查之經驗，漿砌卵石擋土牆雖能被爬蟲類所攀附，但其牆面會有效阻止生物進出道路，使得此項因子會降低生物進入路面的機率，導致路殺機率下降，因此為一項顯著影響路殺熱點產生之因子。



## 5. 植生邊坡

兩種分析方法得出此因子皆十分顯著，分析方法 A 顯示距離植生邊坡越接近，越容易產生路殺熱點；分析方法 B 顯示環域 50 公尺道路內，植生邊坡佔比越低越容易產生路殺熱點，兩項分析方法之結果有些矛盾，可能的原因為整體研究樣區之道路兩側結構物中植生邊坡為大宗，將低了其在方法 B 中的解釋力。就現地調查之經驗，植生邊坡為兩棲爬蟲類能適應且利用的微棲地環境，當道路兩側有植生邊坡的存在時往往也能在附近發現路殺屍體，同時植生邊坡也無法阻止生物進出道路，導致此項因子有可能會增加該路面上之生物數量，導致路殺機率上升，因此為一項顯著影響路殺熱點產生之因子。

## 6. 水泥擋土牆

此項因子在環域佔比做為自變數時有著一定的顯著性，分析結果環域 50 公尺道路中水泥擋土牆佔比越低，形成路殺熱點的機率越高。結合現地調查經驗，研究樣區之水泥擋土牆有著高聳直立之牆面、且多數無落腳點供生物攀附，使體型較小的兩棲爬蟲類無法輕易跨越牆體進入路面，進而降低路殺發生的機率，影響路殺熱點的形成。

## 7. 建築用地

此項因子在與路殺點位距離做為自變數時有著些許的顯著性，分析結果顯示距離建築用地則路殺熱點形成的機率越高。結合現地調查經驗，本研究樣區之建築用地以民用住宅為主，經常會有車輛出入，交通量較高可能導致路殺發生的機率上升，進而影響路殺熱點的形成。



## 8. 水泥護欄

此項因子在環域佔比做為自變數時有著一定的顯著性，分析結果環域 50 公尺道路中水泥護欄佔比越低，形成路殺熱點的機率越高。結合現地調查經驗，研究樣區之水泥擋土牆之高度介於 90 至 150 公分高、正好為體型較小的兩棲爬蟲類無法輕易跨越之障礙，因此在有水泥護欄的路段上發生路殺事件的機率會被其護欄所影響，進而影響路殺熱點的形成。

## 第七章 討論



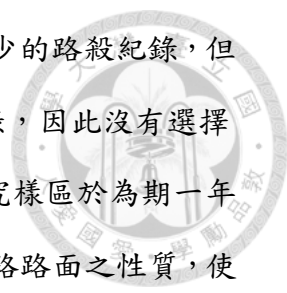
### 7.1 路殺調查情形及其偏誤

本研究自 2022 年 5 月 6 日至 2023 年 4 月 28 日於新北市土城區承天路與龍泉路進行了 52 次調查，調查頻率為每個月四次、平均一週一次的野外現地調查，搜集了共 433 筆路殺紀錄。紀錄中的路殺物種以兩棲類為大宗，佔 77.83%；爬蟲類次之，佔 19.86%。於現地調查的過程中，經常可以觀察到兩棲類活體於道路兩側的明渠排水溝中活動，如盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙等物種，在路面較為潮濕或毛毛雨的天氣型態下也能觀察到其穿越道路的行為。於夏季進行調查時能經常觀察到爬蟲類中的有鱗目、鬣蜥亞目類群物種穿越道路，且可以目視觀察到道路兩側之擋土牆及溝渠壁面有蜥蜴個體攀附。

調查結果顯示，兩棲類的路殺高峰期為春夏兩季(3 月~8 月)，於秋冬兩季(9 月~隔年 2 月)數量明顯下降的趨勢。而爬蟲綱的物種路殺紀錄更明顯集中於春夏兩季(3 月~8 月)，入秋之後數量驟減。主要因為春夏兩季是兩棲爬蟲類的繁殖高峰期，如研究樣區之拉都希氏赤蛙於 5 月份時有大量屍體被記錄到，於現地調查時也能觀察到活體在道路兩側之明渠排水溝活動，另外夏季所記錄到的爬蟲類屍體也有抱卵的情形出現。

回顧過往相關研究結果 (徐宗廷, 2019)，研究樣區之兩棲爬蟲類路殺高峰期同為春夏兩季，於入秋後有逐漸減少的情形。另於繁殖季節所記錄到的大量路殺屍體中，爬蟲類之路殺屍體常見腹內帶卵的情況，和本研究所觀察到之路殺情形相似。路殺焦點物種的選擇上則有些許出入，本研究選定盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙及印度蜓蜥為焦點物種，過往研究則選定鑑定成功數目較高之物種及研究樣區之保育類物種，分別為盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙、黃口攀蜥及翡翠樹蛙。

盤古蟾蜍與拉都希氏赤蛙同為樣區之路殺焦點物種，皆可以在現地調查的過程中能觀察到活體於道路兩側植生邊坡或明渠排水溝中活動，分佈情形也和過往



研究差異不大。黃口攀蜥則在本研究調查的過程中有著為數不少的路殺紀錄，但由於 2023 年春季時，本研究有大量記錄到印度蜓蜥的路殺紀錄，因此沒有選擇黃口攀蜥為本研究之路殺焦點物種。其可能的影響原因為，研究樣區於為期一年的調查過程中有碰到特定道路重新鋪設的情形，可能改變了道路路面之性質，使得本研究與過往研究之路殺物種數量產生了差異，但由於沒有針對這兩種物種的長期追蹤數據，無法確認此大量路殺情形是否為單一事件，須於後續年度持續觀測來確認是否有焦點物種更迭的情形。翡翠樹蛙屬於保育類物種，過往研究中有 10 隻次的路殺紀錄，而本研究僅有 1 隻次的紀錄，數量差異巨大，因此沒有列入本研究之焦點物種中。

在經過多日陽光曝曬、雨水沖刷以及車輛來回輾壓的情況下，大多數中小型脊椎動物的屍體可能會變得破碎且難以辨識。兩棲類動物的屍體尤其持久性較差，皮膚組織容易腐敗，導致沒有明顯的特徵供鑑定，而其中的蛙類和蟾蜍由於表皮構造不同，其分解速度也有所差異，蟾蜍的屍體在路面上可能保存得更長久。此外，屍體的大小對其在路面上的保存狀態至關重要，由於車輛的壓迫，較小型的屍體可能會黏附在車輪上，進一步加劇其損壞程度。種種因素導致物種的鑑定變得困難，結果可能僅能識別至目或科的層級，而無法確定具體物種，這成為目前研究所面臨的挑戰之一。

另外，許多生物具有食腐習性，儘管目前尚未確定本研究路段是否存在這種情況，但在調查中曾觀察到台灣藍鵲在斯文豪氏攀蜥的新鮮屍體附近停留，並且經常在明渠排水溝中覓食。儘管缺乏確鑿的證據，但也不能排除屍體可能因此類因素而被清理的可能性。因此，本研究的調查記錄可能因上述種種情形而嚴重低估了實際路殺數量。可以透過幾種方法來改善這種辨識率的缺失：

1. 配合兩棲類與爬蟲類日行性與夜行性的特性，分別於日間與夜間進行調查，有助於取得狀態最良好之屍體紀錄。

2. 調查人員需要提升對物種的辨識能力，於第一時間識別物種。
3. 由於屍體在受雨水沖刷後的保存時間大幅縮短，因此盡量避免在連日降雨的天氣條件下進行調查。



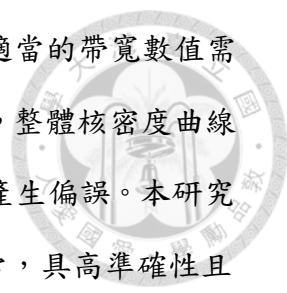
本研究的調查時間僅有一年，更長時間的監測可能有助於更全面地瞭解路殺事件的變化趨勢。對於盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙等焦點物種的觀察，未來可以採取標記追蹤或捉放法，追蹤其棲地範圍、族群數量及穿越道路的路線，以深入瞭解其遷徙與活動習性，進一步釐清路殺成因及影響。此外，對於食腐動物的影響也值得更進一步的研究，並採取措施減少可能因此而導致路殺數量低估情形。未來研究可透過進一步探討其他可能影響路殺事件的因子，如族群大小、活動範圍、物種偏好棲地、交通量、車速等等，以增加研究的全面性與準確性。此外，針對不同物種的繁殖、覓食、遷徙模式進行研究，有助於更準確地評估路殺事件的衝擊。長期追蹤各類物種的路殺情形，除了可提供更多資料作為減緩措施規劃的依據外，還能夠幫助瞭解路殺事件的長期趨勢，從而更有效地保護野生生物。

## 7.2 熱點分析

路殺熱點會是一個路段，因此核密度分析中的帶寬大小選擇便十分重要，需要考量真實情況來選用較合適的數值。帶寬的數值越大、表示單一路殺點位可能的影響範圍越大，其樣本點在核密度曲線中所佔的比重越低，會造成整體曲線趨向平坦，但是可能會隱藏部分有用的訊息。反之帶寬數值越小、單一路殺點位的影響範圍就會越小，但在核密度曲線中佔的比重就越大，但可能會使曲線過度擬合、產生偏誤。

本研究嘗試了不同的帶寬大小來判斷路殺熱點，在帶寬 5 公尺的情況下，熱點較為分散且破碎，雖然能夠反映出路殺點位在空間上的聚集情形，但過度的局部化容易造成偏誤的提高。而隨著帶寬大小的增加，可以發現熱點範圍變得較為一致、且核密度曲線趨向平坦。因此帶寬 10 公尺的大小可能會是本研究較為適當的數值，因為準確性較高、較符合真實路殺點位之分佈情形，且不會有熱點區域過度零散的狀況。分析結果中，433 筆路殺紀錄中共有 234 筆資料是位於熱點區域，佔總路殺紀錄的 54.04%。

本研究也分別以兩棲類與爬蟲類各別做熱點的模擬，發現兩者皆與整體路殺點位做出的熱點分布圖差異不大，但仍有一定的不穩定性，因為爬蟲類之路殺紀錄數量較少，且在秋冬兩季所記錄到之資料非常驟減，可能無法真實呈現出應有的路殺熱點分佈情形。參考過往研究之結果(徐宗廷，2019)，其路殺紀錄大宗物種為兩棲類 74.21%、爬蟲類 25.34%，與本研究之兩棲類 77.83%、爬蟲類 19.86% 差異不大，在熱點分佈與分析上有類似之窘境。另外在碰到特定生物繁殖季時有可能會有大量的路殺屍體，使特定路段成為熱點。在本來路殺事件就較少的路段上其可靠性較低，需要有後續的持續調查是否仍有相同物種或族群在同樣路段上受到大量路殺，才能判斷此熱點的真實性。



路殺熱點的判定受到核密度分析中帶寬大小的影響，選擇適當的帶寬數值需考量實際情況。較大的帶寬表示單一路殺點位的影響範圍更廣，整體核密度曲線趨平，但可能隱藏部分訊息；較小的帶寬則造成局部化，容易產生偏誤。本研究嘗試不同帶寬大小判定路殺熱點，發現帶寬 10 公尺相對較適當，具高準確性且較符合真實分布，避免熱點過度零散。分析結果顯示，234 筆路殺紀錄位於熱點區域，佔總路殺紀錄的 54.04%。另外分別以兩棲類與爬蟲類模擬熱點，與整體路殺點位分布相似，但由於爬蟲類紀錄較少，且秋冬紀錄稀少，模擬結果較不穩定，可能產生偏誤。特定生物繁殖季可能引發大量路殺，影響路段成為熱點。然而，在本來路殺較少的路段，需要持續調查是否有相同物種或族群在同樣路段受大量路殺，以確認其熱點真實性。


### 7.3 相關研究比較

參考國外路殺熱點相關研究，以下是三項使用羅吉斯回歸來判別野生動物路殺事件熱點影響因素之研究。與本研究相比，這三項研究之調查尺度與物種範疇更為廣泛，但在形成路殺熱點之影響因素有相似之結果。如：

1. 距離水體的距離、路殺點位環域水體之比例。
2. 有無生物能利用或躲藏的微棲地條件。
3. 交通量與車速的影響。

表格 16、相關研究之比較

	加拿大/中小型脊椎動物 (Clevenger et al, 2013)	南韓/中小型脊椎動物 (Seo et al, 2015)	瑞典/有蹄類動物 (Sjolund , 2016)	本研究/兩棲爬蟲類
熱點判別	無	Getis-Ord Gi*	KDE+	KDE+
因子分析	羅吉斯回歸	羅吉斯回歸	羅吉斯回歸	羅吉斯回歸
依變項	路殺點位=1 非路殺的隨機點位=0	是否位於熱點上 是=1 / 否=0	是否位於熱點上 是=1 / 否=0	是否位於熱點上 是=1 / 否=0
自變項	不同因子距離路殺點位的距離、路殺點位上因子的數值	不同因子佔路殺點位一定半徑內的比例/有無/距離、路殺點位上因子的數值	不同因子佔路殺點位一定半徑內的比例/有無/距離、路殺點位上因子的數值	不同因子距離路殺點位的距離、路殺點位上因子的數值
影響熱點形成因素	植被 植物遮蔽 生物廊道	水體 植被 有無路肩 排水系統 交通量 車速高低	水體 植被 野生動物圍欄 交通量 車速高低	水體 植被 植物遮蔽 坡度 阻隔物



Clevenger et al (2013) 於加拿大中小型脊椎動物的路殺研究結果顯示，路殺往往發生在植被覆蓋較多的地方，且遠離野生動物通道，這樣的條件下除了生物有一定的隱蔽區域外，對兩棲爬蟲類來說，較慢蒸發散的地表水會進而影響兩棲爬蟲類停留在路面上的時間。而南韓相關研究中，影響整體路殺熱點的顯著場所和景觀因素包括高比例的水體和稻田、低交通量、高比例的自然植被、無路肩、高路邊草生長和有無排水系統 (Seo et al, 2015)。瑞典有蹄類動物之路殺研究發現路殺事件容易發生在道路走廊對野生動物有吸引力、易於進入且開放的地區。這些地區以多樣化的景觀、森林區域和許多引導結構(如水流、其他道路、湖泊等)為特徵。這些特徵與交通和與道路相關的數據(速度、交通量、缺乏野生動物圍欄)相結合，能有效地解釋路殺發生的原因與路殺熱點的形成 (Sjolund , 2016)。

而本研究樣區之熱點路段與過往相關研究有著以下共通點：

1. 道路兩側環境具有能被野生動物利用之微棲地，如植生邊坡及明渠排水溝。其繁殖、幼體散佈和冬眠相關的活動皆能利用
2. 路段濕度較高，明渠排水溝及較高的植物遮蔽程度影響地表水的蒸發散情形會吸引兩棲爬蟲類聚集。
3. 道路兩側無結構物有效阻擋生物進入路面。



#### 7.4 路殺改善工程及其影響

民國 108 年時新北市農業局曾於本研究樣區進行路殺調查，並於圖 46 中的熱點 B 路段進行路殺改善工程。該路段兩旁分布有植生邊坡、漿砌卵石擋土牆、人行步道等人造結構物，且緊鄰桐花公園。桐花公園內的生態池成為眾多蛙類物種的棲息地，由於鄰近公園的車輛和人流頻繁，這一區域成為路殺事件的高發區。其改善工程包含採非網狀誘導設施引導生物通行，引導生物至擋土牆斜坡，通過截水溝穿越道路。

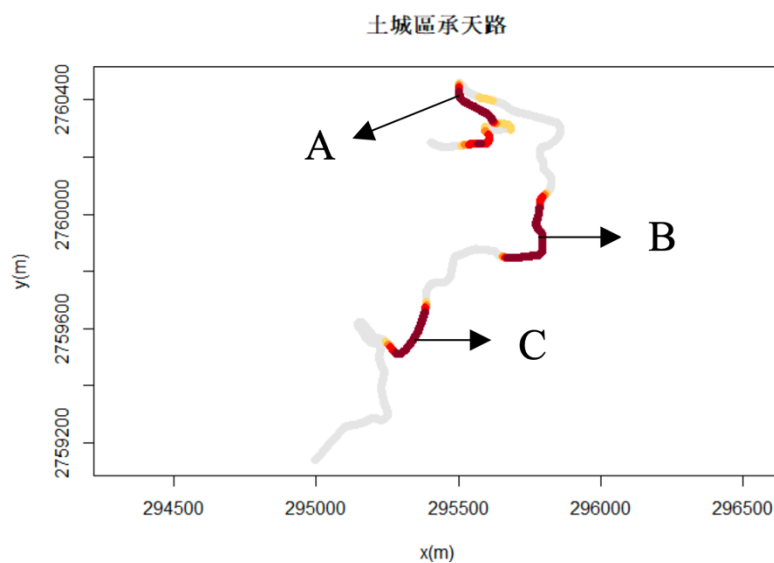


圖 46、民國 108 年路殺熱點分佈圖



圖 47、工程改善前，漿砌卵石擋土牆阻礙動物通行



圖 48、工程改善後，採非網狀誘導設施引導生物通行



圖 49、工程改善後，非網狀誘導設施引導生物通過截水溝穿越道路

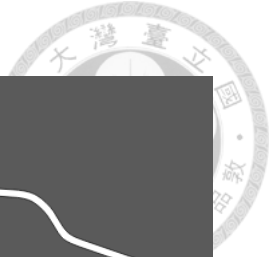


圖 50、本研究之路殺熱點分佈圖

自 108 年至今，原本的熱點 B(黃圈處)有熱點消失之情形，代表以引導圍籬與地下涵管、截水溝配合之路殺改善工程有一定的效益存在，能降低路殺熱點形成的機率。

儘管在本研究的熱點分布區域中，路殺事件頻繁發生，本研究仍需要謹慎評估最適合用於減緩路殺的方法，可以參考過去世界各地針對兩棲及爬蟲類所設立的路殺改善工程，這些工程主要著重於導引圍籬與涵洞的結合使用。

新北市農業局於 108 年所建設之路殺改善工程便是以排水涵洞的設計為主體，並透過引導圍籬有效地引導兩棲爬蟲類穿越道路進入涵洞。根據台灣蛙類跳躍能力的研究 (侯文祥 & 張源修, 2005)，本研究的路殺焦點物種，包括盤古蟾蜍和拉都希氏赤蛙，其跳躍能力雖然各有差異，但均不高於 40 公分。因此，引導圍籬的設計高度為 1 公尺，材質選用難以攀爬的塑膠材料，並在圍籬頂部增加一個垂直向內的擋板。涵洞的頂部則使用格柵式設計，以便光線穿越，同時在涵洞內部營造了較高濕度的底層基質，吸引蛙類利用。此外，在涵洞的出入口處選用了階梯式壁面代替垂直的水泥壁面，以方便生物攀爬進出。

## 第八章 結論與建議




### 8.1 結論

本研究自 2022 年 5 月 6 日至 2023 年 4 月 28 日於新北市土城區承天路及龍泉路進行為期一年的路殺調查，其調查結果顯示這兩條淺山道路的路殺物種以兩棲類及爬蟲類為大宗，其中兩棲類的路殺情形較為嚴重，佔整體路殺紀錄的 77.83%，爬蟲類次之，佔 19.86%。兩棲類的路殺高峰期為春夏兩季(3 月~8 月)，於秋冬兩季 (9 月~隔年 2 月)數量明顯下降的趨勢。而爬蟲綱的物種路殺紀錄更明顯集中於春夏兩季 (3 月~8 月)，入秋之後數量驟減。

於現地調查的過程中，經常可以觀察到兩棲類活體於道路兩側的明渠排水溝中活動，如盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙等物種，在路面較為潮濕或毛毛雨的天氣型態下也能觀察到其穿越道路的行為。於夏季進行調查時能經常觀察到爬蟲類中的有鱗目、鬣蜥亞目類群物種穿越道路，且可以目視觀察到道路兩側之擋土牆及溝渠壁面有蜥蜴個體攀附。對兩棲爬蟲類而言，並非所有的人造結構物都對其有負面影響，明渠排水溝、植生邊坡甚至是漿砌卵石擋土牆是許多生物能利用的微棲地種類(如盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙、印度蜓蜥等)，而水泥護欄或是高聳的擋土牆比較有可能成為進出路面之阻礙。在兩棲蛙類大規模遷移的繁殖季節，如果它們無法及時越過道路，滯留在路面上可能會增加遭受路殺的風險。此外，這種設計對其他物種群(如哺乳類)可能也產生負面影響。

本研究選擇 10 公尺作為帶寬長度來進行核密度估計以判別研究樣區之路殺熱點區域，以核密度曲線大於 90% 閾值之路段判定為熱點，其中分析結果中有 54.04% 的路殺紀錄位於熱點區域上。再以路殺點位是否位於熱點上作為依變項，不同的路殺影響因子作為自變項進行羅吉斯回歸分析以找出對於路殺熱點形成之可能的顯著影響因子。包含了各類型的土地利用、道路兩側人造結構物、水體、植物遮蔽與坡度，其結果顯示以路殺點位環域 50 公尺之範圍內各項因子佔比例



為自變項的分析方式所得出之羅吉斯回歸模型預測準確度較高。其中以明渠以及植物遮蔽程度對於路殺熱點的形成影響力較高。而若只單純以土地利用類型來解釋路殺熱點的成因，可能解釋力較為薄弱，因為對於兩棲爬蟲類等小型脊椎動物來說，小尺度的棲地環境對於其生存之影響力較高。另外熱點路段的形成可能涉及多種複雜因素之間的相互作用，如暫時性水體的存在、族群分布、物種差異以及偏好的環境因素等。然而，目前的研究對於這些資訊的了解還不夠充分。

新北市農業局於民國 108 年時曾在此研究樣區進行路殺調查，並依據當時所繪製出的路殺熱點分佈圖進行其中一個路殺熱點路段之路殺改善工程。其改善工程包含採非網狀誘導設施引導生物通行，將生物引導至擋土牆斜坡，通過截水溝穿越道路。而本研究為期一年調查後所繪製出的熱點分佈圖中，過往有路殺熱點之路段在路殺改善工程的完工後，已沒有熱點的存在。儘管在本研究的熱點分布區域中，路殺事件頻繁發生，本研究仍需要謹慎評估最適合用於減緩路殺的方法。在評估可行性後，建立永久性的動物通道成為一項必要的需求，以降低野生動物路殺憾事。

本研究所記錄的路殺物種、路殺熱點位置等相關資訊，可為未來在該區域進行生態調查提供基礎。此外，各種分析方法也可成為未來路殺研究的參考典範。調查和研究數據可供相關機構查詢，為其轄區內的路殺物種提供基本數據，同時也可作為未來制定減緩措施的相關依據。

## 8.2 建議

路殺事件可能受到各種因素的影響，包括物種群的繁殖季節和活動時空間分佈等。例如，某些物種在繁殖季節時可能在特定區域發生大量路殺，導致該處成為路殺熱點。然而，要確定這些熱點的可靠性，需要在未來的年度中持續追蹤，確認是否仍有相同物種在同一地點受到大量路殺。

本研究之兩棲類無尾目物種的路殺數量較高，而其他物種群的數量較少，這可能使得路殺熱點的代表性不足，並帶來一些偏誤和不確定性。未來，若在調查中能夠收集到足夠的不同物種路殺樣本，本研究可以考慮進一步比較不同物種間的情況。此外，透過考慮物種的生活史和行動時段，有助於改善路殺屍體的確認，同時減少因屍體腐爛所產生的誤差。

路殺事件受到眾多不同因素的影響，包括物種族群的大小、活動範圍、對棲地的偏好、道路邊緣植被種類、物種大量發生期、交通量、行駛速度、土地使用情況、人為干擾、自然度等等。目前尚不清楚該區域內各物種的繁殖、覓食和遷徙模式，也無法評估它們對路殺事件的實際影響程度。

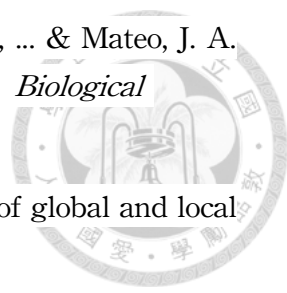
由於本研究只進行了一年的調查，若想獲得更詳盡的物種調查資料和路殺熱點信息，則需要進行更長時間尺度的監測。同時，根據不同物種的出現時段調整調查時間，有助於減少路殺調查的偏差和不確定性。若能追蹤各物種的棲息範圍、族群數量以及穿越道路的路線(如使用標記追蹤和捉放法)，並將這些資訊與路殺熱點位置相互參照，將更有助於釐清路殺事件的成因和影響。此外，在未來制定減緩措施時，可以使用長期觀測數據作為參考，以提高相關計畫的可行性。

## 第九章 參考文獻



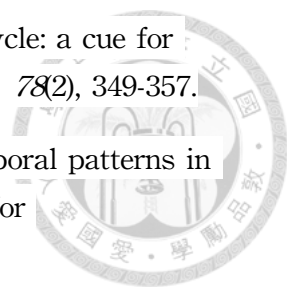
- Andrews, K. M., & Gibbons, J. W. (2005). How do highways influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia*, 2005(4), 772-782.
- Aresco, M. J. (2005). Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *The Journal of Wildlife Management*, 69(2), 549-560.
- Arnold, E. M. (2016). Spatial, Roadway, and Biotic Factors Associated with Barn Owl (*Tyto alba*) Mortality and Characteristics of Mortality Hotspots Along Interstates 84 and 86 in Idaho.
- Ashley, E. P., & Robinson, J. T. (1996). Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the Long Point Causeway, Lake Erie, Ontario. *Canadian Field Naturalist*, 110(3), 403-412.
- Bailey T. C. & Gatrell A. C. (1995). Interactive spatial data analysis. Longman Scientific & Technical : J. Wiley.
- Barrientos, R., & Bolonio, L. (2009). The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation*, 18, 405-418.
- Bartonicka, T., Andrasik, R., Dula, M., Sedonik, J., & Bil, M. (2018). Identification of local factors causing clustering of animal-vehicle collisions. *The Journal of Wildlife Management*, 82(5), 940-947.
- Beebee, T. J. (2013). Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27(4), 657-668.
- Beckmann, C., & Shine, R. (2015). Do the numbers and locations of road-killed anuran carcasses accurately reflect impacts of vehicular traffic?. *The Journal of Wildlife Management*, 79(1), 92-101.
- Bernardino Jr, F. S., & Dalrymple, G. H. (1992). Seasonal activity and road mortality of the snakes of the Pa-hay-okee wetlands of Everglades National Park, USA. *Biological Conservation*, 62(2), 71-75.
- Blaustein, A. R., Wake, D. B., & Sousa, W. P. (1994). Amphibian declines: judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation biology*, 8(1), 60-71.



- 
- Bohm, M., Collen, B., Baillie, J. E., Bowles, P., Chanson, J., Cox, N., ... & Mateo, J. A. (2013). The conservation status of the world's reptiles. *Biological conservation*, *157*, 372-385.
- Bivand, R. S., & Wong, D. W. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *Test*, *27*(3), 716-748
- Bil, M., Andrasik, R., Bartonicka, T., Krivankova, Z., & Sedonik, J. (2018). An evaluation of odor repellent effectiveness in prevention of wildlife-vehicle collisions. *Journal of environmental management*, *205*, 209-214.
- Bil, M., Andrasik, R., Dula, M., & Sedonik, J. (2019). On reliable identification of factors influencing wildlife-vehicle collisions along roads. *Journal of environmental management*, *237*, 297-304.
- Bil, M., Andrasik, R., & Janoska, Z. (2013). Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, *55*, 265-273.
- Bil, M., Andrasik, R., Svoboda, T., & Sedonik, J. (2016). The KDE+ software: a tool for effective identification and ranking of animal-vehicle collision hotspots along networks. *Landscape ecology*, *31*, 231-237.
- Cai, X., Wu, Z., & Cheng, J. (2013). Using kernel density estimation to assess the spatial pattern of road density and its impact on landscape fragmentation. *International Journal of Geographical Information Science*, *27*(2), 222-230.
- Chainey, S. P. (2013). Examining the influence of cell size and bandwidth size on kernel density estimation crime hotspot maps for predicting spatial patterns of crime. *Bulletin of the Geographical Society of Liege*, *60*, 7-19.
- Chainey, S., Tompson, L., & Uhlig, S. (2008). The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime. *Security journal*, *21*, 4-28.
- Clarke, G. P., White, P. C., & Harris, S. (1998). Effects of roads on badger *Meles meles* populations in south-west England. *Biological conservation*, *86*(2), 117-124.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological conservation*, *109*(1), 15-26.

- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396-406.
- Collinson, W. J., Parker, D. M., Bernard, R. T., Reilly, B. K., & Davies-Mostert, H. T. (2014). Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and evolution*, 4(15), 3060-3071.
- Cramer, P. C., & Bissonette, J. A. (2005). Wildlife crossings in North America: the state of the science and practice.
- Crosby, J. (2014). *Amphibian occurrence on South Okanagan roadways: investigating movement patterns, crossing hotspots, and roadkill mitigation structure use at the landscape scale* (Master's thesis, University of Waterloo).
- D'Amico, M., Roman, J., De los Reyes, L., & Revilla, E. (2015). Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. *Biological Conservation*, 191, 234-242.
- Delgado, J. D., Arroyo, N. L., Arevalo, J. R., & Fernandez-Palacios, J. M. (2007). Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban planning*, 81(4), 328-340.
- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J., & Fahrig, L. (2009). Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society*, 14(1).
- Enge, K. M., & Wood, K. N. (2002). A pedestrian road survey of an upland snake community in Florida. *Southeastern Naturalist*, 1(4), 365-380.
- Erritzoe, J., Mazgajski, T. D., & Rejt, Ł. (2003). Bird casualties on European roads—a review. *Acta Ornithologica*, 38(2), 77-93.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 34(1), 487-515.
- Fahrig, L., Pedlar, J. H., Pope, S. E., Taylor, P. D., & Wegner, J. F. (1995). Effect of road traffic on amphibian density. *Biological conservation*, 73(3), 177-182.
- Favilli, F., Bil, M., Sedonik, J., Andrasik, R., Kasal, P., Agreiter, A., & Streifeneder, T. (2018). Application of KDE+ software to identify collective risk hotspots of ungulate-vehicle collisions in South Tyrol, Northern Italy. *European Journal of Wildlife Research*, 64, 1-12.

- Findlay, C. S., & Bourdages, J. (2000). Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, 14(1), 86-94.
- Forman, R. T. (2003). *Road ecology: science and solutions*. Island press.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 207-231.
- Gatrell, A. C., Bailey, T. C., Diggle, P. J., & Rowlingson, B. S. (1996). Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Transactions of the Institute of British geographers*, 256-274.
- Garriga, N., Santos, X., Montori, A., Richter-Boix, A., Franch, M., & Llorente, G. A. (2012). Are protected areas truly protected? The impact of road traffic on vertebrate fauna. *Biodiversity and Conservation*, 21, 2761-2774.
- Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., ... & Winne, C. T. (2000). The Global Decline of Reptiles, Deja Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. *BioScience*, 50(8), 653-666.
- Gibbs, J. P., & Shriver, W. G. (2005). Can road mortality limit populations of pool-breeding amphibians?. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 281-289.
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2008). Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological conservation and Biology*, 3(1), 77-87.
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and urban planning*, 91(1), 1-7.
- Galantinho, A., Eufrazio, S., Silva, C., Carvalho, F., Alpizar-Jara, R., & Mira, A. (2017). Road effects on demographic traits of small mammal populations. *European Journal of Wildlife Research*, 63, 1-13.
- Gomes, L., Grilo, C., Silva, C., & Mira, A. (2009). Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological research*, 24, 355-370.

- 
- Grant, R. A., Chadwick, E. A., & Halliday, T. (2009). The lunar cycle: a cue for amphibian reproductive phenology?. *Animal Behaviour*, 78(2), 349-357.
- Grilo, C., Bissonette, J. A., & Santos-Reis, M. (2009). Spatial - temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: consequences for mitigation. *Biological conservation*, 142(2), 301-313..
- Harper, E. B., Rittenhouse, T. A., & Semlitsch, R. D. (2008). Demographic consequences of terrestrial habitat loss for pool-breeding amphibians: predicting extinction risks associated with inadequate size of buffer zones. *Conservation Biology*, 22(5), 1205-1215.
- Hastings, W. K. (1970). Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications.
- Hell, P., Plavy, R., Slamecka, J., & Gasparik, J. (2005). Losses of mammals (Mammalia) and birds (Aves) on roads in the Slovak part of the Danube Basin. *European Journal of Wildlife Research*, 51, 35-40.
- Hels, T., & Buchwald, E. (2001). The effect of road kills on amphibian populations. *Biological conservation*, 99(3), 331-340.
- Hernandez, M. A. U. R. O. (1988). Owl (*Athene noctua*) in Spain. *Journal of Raptor Research*, 22(3), 81-84.
- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). Applied logistic regression (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- Iosif, R., Rozyłowicz, L., & Popescu, V. D. (2013). Modeling road mortality hotspots of Eastern Hermann's tortoise in Romania. *Amphibia-Reptilia*, 34(2), 163-172.
- Jackson, S. D., & Griffin, C. R. (1996, April). Underpass systems for amphibians. In *Trends in Addressing Transportation Related Wildlife Mortality, proceedings of the transportation related wildlife mortality seminar* (pp. 224-227). Tallahassee: Florida Department of Transportation.
- Jackson, S. D. (2003). Proposed design and considerations for use of amphibian and reptile tunnels in New England. *University of Massachusetts Report*.
- Jacobson, S. L., Bliss-Ketchum, L. L., de Rivera, C. E., & Smith, W. P. (2016). A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere*, 7(4), e01345.

- Jaeger, J. A., & Fahrig, L. (2004). Effects of road fencing on population persistence. *Conservation biology*, 18(6), 1651-1657.
- Jochimsen, D. M., Peterson, C. R., Andrews, K. M., Gibbons, J. W., & Drawer, E. (2004). A literature review of the effects of roads on amphibians and reptiles and the measures used to minimize those effects. *Idaho Fish and Game Department, USDA Forest Service*.
- Kumara, H. N., Sharma, A. K., Kumar, A., & Singh, M. (2000). Roadkills of wild fauna in Indira Gandhi wildlife sanctuary, Western Ghats, India: implications for management. *Biosphere conservation: for nature, wildlife, and humans*, 3(1), 41-47
- Krempin, D. W., & Sullivan, C. W. (1981). The seasonal abundance, vertical distribution, and relative microbial biomass of chroococcoid cyanobacteria at a station in southern California coastal waters. *Canadian journal of microbiology*, 27(12), 1341-1344.
- Krisp, J. M., & Durot, S. (2007). Segmentation of lines based on point densities—An optimisation of wildlife warning sign placement in southern Finland. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 38-46.
- Langen, T. A., Ogden, K. M., & Schwarting, L. L. (2009). Predicting hot spots of herpetofauna road mortality along highway networks. *The Journal of Wildlife Management*, 73(1), 104-114.
- Laurance, W. F., & Balmford, A. (2013). A global map for road building. *Nature*, 495(7441), 308-309.
- Laurance, W. F., Goosem, M., & Laurance, S. G. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in ecology & evolution*, 24(12), 659-669.
- Lesbarreres, D., Lode, T., & Merila, J. (2004). What type of amphibian tunnel could reduce road kills?. *Oryx*, 38(2), 220-223.
- Levine, N., & Kim, K. E. (1998). The location of motor vehicle crashes in Honolulu: a methodology for geocoding intersections. *Computers, environment and urban systems*, 22(6), 557-576.
- Lin, Y. P., Chu, H. J., Wu, C. F., Chang, T. K., & Chen, C. Y. (2011). Hotspot analysis of spatial environmental pollutants using kernel density estimation and

geostatistical techniques. *International journal of environmental research and public health*, 8(1), 75-88.

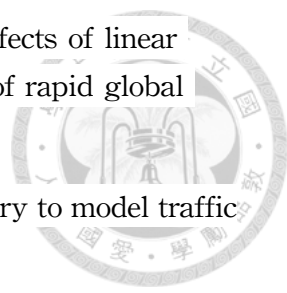


- Lode, T. (2000). Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3), 163-166.
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), 191-198.
- Malo, J. E., Suarez, F., & Diez, A. (2004). Can we mitigate animal - vehicle accidents using predictive models?. *Journal of applied ecology*, 41(4), 701-710.
- Marsh, D. M., Page, R. B., Hanlon, T. J., Corritone, R., Little, E. C., Seifert, D. E., & Cabe, P. R. (2008). Effects of roads on patterns of genetic differentiation in red-backed salamanders, *Plethodon cinereus*. *Conservation Genetics*, 9, 603-613.
- Marsh, D. M., Milam, G. S., Gorham, N. P., & Beckman, N. G. (2005). Forest roads as partial barriers to terrestrial salamander movement. *Conservation biology*, 19(6), 2004-2008.
- Marsh, D. M., & Trenham, P. C. (2001). Metapopulation dynamics and amphibian conservation. *Conservation biology*, 15(1), 40-49.
- Maschio, G. F., Santos-Costa, M. C., & Prudente, A. L. (2016). Road-kills of snakes in a tropical rainforest in the Central Amazon Basin, Brazil. *South American Journal of Herpetology*, 11(1), 46-53.
- Mazerolle, M. J. (2004). Amphibian road mortality in response to nightly variations in traffic intensity. *Herpetologica*, 60(1), 45-53.
- McLafferty, S., Williamson, D., & McGuire, P. G. (2000). Identifying crime hot spots using kernel smoothing. *V Goldsmith PO McGuire, JH Mollenkopf and TA Ross Crime Mapping and the Training needs of Law Enforcement*, 127.
- Meekan, M. G., Duarte, C. M., Fernandez-Gracia, J., Thums, M., Sequeira, A. M., Harcourt, R., & Eguíluz, V. M. (2017). The ecology of human mobility. *Trends in ecology & evolution*, 32(3), 198-210.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.

- Mimet, A., Clauzel, C., & Foltete, J. C. (2016). Locating wildlife crossings for multispecies connectivity across linear infrastructures. *Landscape Ecology*, *31*, 1955-1973.
- Mougey, T. (1996). Des tunnels pour les batraciens. *COURRIER DE LA NATURE-PARIS*, 22-28.
- Mountrakis, G., & Gunson, K. (2009). Multi-scale spatiotemporal analyses of moose - vehicle collisions: a case study in northern Vermont. *International Journal of Geographical Information Science*, *23*(11), 1389-1412.
- Nielsen, S. E., Herrero, S., Boyce, M. S., Mace, R. D., Benn, B., Gibeau, M. L., & Jevons, S. (2004). Modelling the spatial distribution of human-caused grizzly bear mortalities in the Central Rockies ecosystem of Canada. *Biological Conservation*, *120*(1), 101-113.
- Olson, D. D., Bissonette, J. A., Cramer, P. C., Green, A. D., Davis, S. T., Jackson, P. J., & Coster, D. C. (2014). Monitoring wildlife-vehicle collisions in the information age: how smartphones can improve data collection. *PloS one*, *9*(6), e98613.
- Pechmann, J. H., Scott, D. E., Whitfield Gibbons, J., & Semlitsch, R. D. (1989). Influence of wetland hydroperiod on diversity and abundance of metamorphosing juvenile amphibians. *Wetlands ecology and Management*, *1*, 3-11.
- Periquet, S., Roxburgh, L., Le Roux, A., & Collinson, W. J. (2018). Testing the value of citizen science for roadkill studies: A case study from South Africa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *6*, 15.
- Pinowski, J. (2005). Roadkills of vertebrates in Venezuela. *Revista Brasileira de Zoologia*, *22*, 191-196.
- Puky, M. (2003). Amphibian mitigation measures in Central-Europe.
- Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K. A., Warton, D., & Croft, D. B. (2005). Modelling of wildlife fatality hotspots along the snowy mountain highway in New South Wales, Australia. *Biological conservation*, *126*(4), 474-490.
- Ramp, D., Wilson, V. K., & Croft, D. B. (2006). Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, *129*(3), 348-359.

- Series, B. C. R. S. (2008). Recovery strategy for the Great Basin spadefoot (*Spea intermontana*) in British Columbia.
- Rich, C., & Longcore, T. (Eds.). (2013). *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press.
- Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J. A., Fahrig, L., Findlay, C. S., Houlihan, J., ... & van der Grift, E. A. (2016). How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. *PLoS one*, *11*(11), e0166941.
- Santos, R. A. L., Santos, S. M., Santos-Reis, M., Picanço de Figueiredo, A., Bager, A., Aguiar, L. M., & Ascensao, F. (2016). Carcass persistence and detectability: reducing the uncertainty surrounding wildlife-vehicle collision surveys. *PloS one*, *11*(11), e0165608.
- Secco, H., Ratton, P., Castro, E., Da Lucas, P. S., & Bager, A. (2014). Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. *Tropical Conservation Science*, *7*(3), 561-571.
- Seo, C., Thorne, J. H., Choi, T., Kwon, H., & Park, C. H. (2015). Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. *Landscape and ecological engineering*, *11*, 87-99.
- Sjolund, M. (2016). Road and landscape features affecting the aggregation of ungulate vehicle collisions in southern Sweden.
- Spellerberg, I. A. N. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology & Biogeography Letters*, *7*(5), 317-333.
- Teixeira, F. Z., Coelho, A. V. P., Esperandio, I. B., & Kindel, A. (2013). Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, *157*, 317-323.
- Trombulak, S. C., & Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation biology*, *14*(1), 18-30.
- van der Grift, E. A., & Pouwels, R. (2006). Restoring habitat connectivity across transport corridors: identifying high-priority locations for de-fragmentation with the use of an expert-based model. In *The ecology of transportation: managing mobility for the environment* (pp. 205-231). Dordrecht: Springer Netherlands



- 
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. *Handbook of road ecology*, 1-9.
- van Langevelde, F., & Jaarsma, C. F. (2005). Using traffic flow theory to model traffic mortality in mammals. *Landscape ecology*, 19, 895-907.
- Woltz, H. W., Gibbs, J. P., & Ducey, P. K. (2008). Road crossing structures for amphibians and reptiles: informing design through behavioral analysis. *Biological conservation*, 141(11), 2745-2750.
- Wood, A. G., Naef-Daenzer, B., Prince, P. A., & Croxall, J. P. (2000). Quantifying habitat use in satellite-tracked pelagic seabirds: application of kernel estimation to albatross locations. *Journal of avian biology*, 31(3), 278-286.
- Worton, B. J. (1987). A review of models of home range for animal movement. *Ecological modelling*, 38(3-4), 277-298.
- Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1), 164-168.
- 朱哲民 (1996)。臺灣北部溪流蛙類群聚之研究。
- 林世強 (2009)。金門動物車禍調查與分析。《國家公園學報》，31-46。
- 徐宗廷 (2019)。地景結構與路殺熱點之研究 - 以土城區大安里及三峽區有木里為例。
- 陳冠儒、鄭瑞富與許金寶 (2014)。淺談道路建設對環境及野生動物之影響。《自然保育季刊》，(86)，28-37。
- 黃榮千 (2007)。太魯閣國家公園砂卡礑溪流域斯文豪氏赤蛙族群生態研究。
- 侯文祥與張源修 (2005)。季節變化對台灣七種蛙類利用水岸邊坡之活動力影響研究。《農業工程學報》，51(4)，54-68。
- 張源修與吳秉諭 (2014)。臺灣十一種蛙類之行為能力比較之研究。《農業工程學報》，60(2)，1-9。

# 第十章 附錄

## 10.1 道路兩側影響因子之圖例

表格 17、道路兩側影響因子之圖例



明渠排水溝



植生邊坡



漿砌卵石擋土牆



水泥擋土牆



蛇籠擋土牆



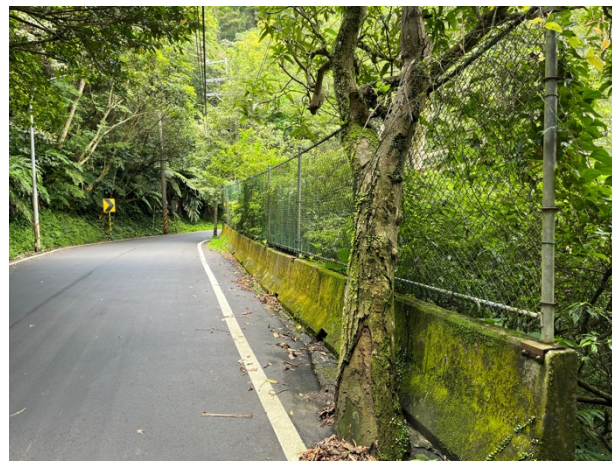
木頭矮擋土牆



鋼板護欄



水泥護欄



水泥護欄(含網子)



護欄網



鐵皮圍欄



木製圍籬



磚製人行道



木製人行道