

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 46 卷 第 3 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 46 No.3 May 2020

交通部公路總局

中華民國 109 年 5 月 15 日



封 面 說 明

台26線70k+707~79k+924
港仔旭海路段

林文貴 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 46 卷 第 3 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

陳 彥 伯

社長

許 鈺 漳

總編輯

陳 敬 明

總幹事

李 崇 堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 黃三哲

蔡宗成 劉雅玲

何鴻文 陳松堂

薛讚添 陳營富

劉世桐 吳昭煌

李順成 謝哲雄

詹益祥 江金璋

邵厚潔 顏召宜

專題研究

國際糙度指標(IRI)應用於新鋪路面平整度驗收之探討

.....吳秉翰、顏召宜、朱建東... (2)

實務報導

台 26 線香蕉灣-砂島地區陸蟹路殺研究

.....古清芳、吳昭煌、王嘉祥、劉烘昌... (19)

國際糙度指標 (IRI) 應用於新鋪路面平整度驗收之探討

吳秉翰¹、顏召宜²、朱建東³

摘要

鋪面平整度良窳為國內常關注之焦點，現行高低平坦儀檢測方式，因檢測費時且容易影響交通，另國際間目前大多使用慣性剖面儀量測國際糙度指標 (IRI) 以評估鋪面平整度，因檢測快速且較能反映民眾對於行車舒適性感受。爰本文係探討高低平坦儀標準差 (SD) 與 IRI 之間關連性及鋪面與伸縮縫高低差對 IRI 數值影響，希冀將 IRI 應用於新鋪路面平整度驗收層面。

研究成果顯示，鋪面平整度指標標準差 (SD) 與 IRI 之間關連性，藉由現地試驗所蒐集資料經迴歸分析結果，判定係數 R^2 在 0.80 以上，顯示兩者之間具有良好線性關係。快速公路及一般公路鋪面平整度之允收、減價收受及採取改善措施標準差數值在 2.4、2.8 及 3.4mm 時，其對應 IRI 值約為 3.20、3.68 及 4.38 m/km。

由 107 年「專案 IRI 檢測資料」之鋪面平整度標準差 (SD) 分析結果，顯示現行驗收標準有檢討精進空間。本文中採 1% 及 0.1% 不合格率來建議快速公路及一般公路鋪面平整度標準差 (SD) 規定值，在快速道路部分，鋪面平整度之允收、減價收受及採取改善措施標準差數值為 2.06mm 及 2.30mm，所對應 IRI 值約為 2.81 及 3.10m/km，一般公路標準差數值則為 2.37mm 及 2.62mm，對應之 IRI 值約為 3.19 及 3.49m/km。

關鍵詞：路面平整度、國際糙度指標、IRI、高低平坦儀、標準差 (SD)

壹、前言

鋪面平整度為評估鋪面使用性能重要指標之一，車輛行駛在不平整道路上，不但會影響用路人行車安全及舒適性，而且會造成車輛損耗及降低鋪面使用壽命等，因此鋪面平整度長久以來皆為公路主管機關及用路人關切課題，目前國內道路平整度檢測，大多以三公尺直規或高低平坦儀 (HiLo Detector) 進行檢測，使用判斷之指標以

¹ 交通部公路總局材料試驗所技術科 科長

² 交通部公路總局材料試驗所 所長

³ 交通部公路總局材料試驗所 副所長

單點高低差與標準差為主，然該檢測方法之檢測速度緩慢，且為維持檢測過程中人員之安全，交通維持工作實為必要之措施，所以高低平坦儀進行檢測時，往往會影響交通及檢測人員安全。另高低平坦儀檢測偏屬靜態量測方式，該量測指標較難以描述對用路人行車舒適度之感受。

目前國際間對於鋪面平整度檢測，普遍使用國際糙度指標(International Roughness Index,以下簡稱 IRI)，除能真實反應用路人感受，且有作業快速及安全之優點。國際上目前普遍使用具有作業安全性及檢測快速之慣性剖面儀量測 IRI，做為鋪面驗收及管理方面指標。

目前工程會施工綱要規範 02742 章^[4]關於鋪面平整度驗收，在使用高低平坦儀或慣性剖面儀檢測平整度，皆有相對應建議驗收值，然兩者檢測原理、計算指標皆不同，無法從理論去分析兩者相互關連性。另公路總局對於新鋪路面平整度要求依施工說明書第 02724 章「瀝青混凝土一般要求」內容^[5]，僅採用高低平坦儀進行檢測，以檢測結果之標準差(SD)來做為驗收標準。

公路總局對於 IRI 應用於道路管養方面，源自於民國 96 年起由材料試驗所每年定期辦理全省省道 IRI 檢測，並將檢測資料函送各養護工程處，做為轄養道路平時養護之參考，並適時進行鋪面養護工作，提升用路人行車安全及舒適性。另為精進新鋪路面施工品質，公路總局亦於 104 年 10 月實施交通部公路總局新鋪路面平整度獎懲作業要點，進一步地將 IRI 由道路維護指標，擴大應用於新鋪路面工程成效之評量。前述 IRI 之應用尚未實施於鋪面平整度驗收方面，本研究主題係探討標準差(SD)與 IRI 之間關連性，希冀研究成果對鋪面平整度採用 IRI 值驗收有所助益。

貳、文獻回顧

2.1 國際糙度指標 IRI 簡介 (International Roughness Index, IRI)^(1,2,7)

對於鋪面平整度之評估，國際間存在許多評估指標，目前以國際糙度指標 (International Roughness Index, IRI) 最廣為使用。IRI 發展源於世界銀行 1982 年在巴西進行國際糙度試驗 (International Road Roughness Experiment, IRRE)，參與之研究機構包括巴西運輸規劃局、巴西公路研究所、英國運輸與道路研究實驗室、美國密西根大學運輸研究所及比利時道路研究中心等。總計有 4 種鋪面 (瀝青混凝土、表面處理、礫石與泥土) 等 49 處試驗路段，分別使用不同型式之儀器與方法 (包括人工操作平坦儀、慣性式平坦儀、反應式平坦儀及主觀評分) 進行平整度量測，經過分析選擇之結果，推導出符合「在時間軸上具穩定性的」(time-stable)、「在空間中可移轉的」(transportable)、「顯著且代表性的」(relevant) 與「有效的」(valid) 4 項準則之國際糙度指標 (IRI)。

IRI 乃採用數學模型模擬 1/4 車 (Quarter car, 如圖 1), 以時速 80Km/hr 行駛在鋪面上, 將行駛距離內動態反應懸吊系統的垂直方向位移量累加計算, 經分析得到每單位距離之鋪面累積高程變化量, 其測定結果以 m/km 表示。

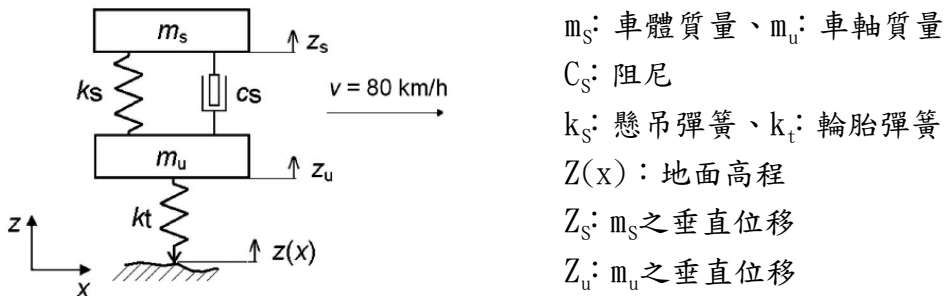


圖 1 IRI 1/4 車模擬示意圖

該模型包含輪胎車體及車軸質量、輪胎及懸吊系統所建置之機械系統, 其運動方程式如下:

$$m_s \ddot{Z}_s + C_s \left(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u \right) + k_s (Z_s - Z_u) = 0$$

$$m_u \ddot{Z}_u + C_s \left(\dot{Z}_u - \dot{Z}_s \right) + k_s (Z_u - Z_s) + k_t Z_u = k_t Z(x)$$

由上述方程式可解出 4 個變數之 4 組聯立方程式, 如下:

$$Z_1 = S_{11} * Z'_1 + S_{12} * Z'_2 + S_{13} * Z'_3 + S_{14} * Z'_4 + p_1 * Y'$$

$$Z_2 = S_{21} * Z'_1 + S_{22} * Z'_2 + S_{23} * Z'_3 + S_{24} * Z'_4 + p_2 * Y'$$

$$Z_3 = S_{31} * Z'_1 + S_{32} * Z'_2 + S_{33} * Z'_3 + S_{34} * Z'_4 + p_3 * Y'$$

$$Z_4 = S_{41} * Z'_1 + S_{42} * Z'_2 + S_{43} * Z'_3 + S_{44} * Z'_4 + p_4 * Y'$$

其中 $Z_1 \dots Z_4$ 依序表示現在位置之車體質量及車軸質量之速度與加速度, $Z'_1 \dots Z'_4$ 則表示前一點位置相對應數值。 $Y' = (Y_i - Y_{i-1})/dx$, S_{ij} 、 p_j ($i, j = 1, 2, 3, 4$) 分別為係數矩陣, 該數值會隨著取樣間距不同而有所改變。

$$\text{起始條件: } Z'_1 = Z'_3 = (Y_a - Y_1)/11$$

$$Z'_2 = Z'_4 = 0$$

$$a = 11/dx + 1$$

其中 Y_a 為第 a 次所量測之剖面高程, Y_1 為起始點剖面高程, dx 為取樣間距。以 $dx=0.25m$ 為例, Y_a 為第 45 點剖面高程。

將上述起始條件帶入上述公式可求得 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 等數值, 而該檢測點之剖面修正坡度 (RS) 計算如下:

$$RS_i = |Z_3 - Z_1|$$

$$IRI = \frac{1}{n-2} \sum_{i=2}^n RS_i$$

IRI具備以下優點與特性：

1. 具有不因時間變化而改變其量測之特性。
2. 國際間使用之平整度量測儀器均可以直接或間接計算得到IRI。
3. 可應用於所有型式之道路鋪面，且涵蓋所有等級之鋪面。
4. 可以客觀顯示鋪面狀況，不受人為因素干擾，了解鋪面狀況對於使用者成本、行駛品質及安全性所造成之影響。

圖 2 源自世界銀行 No.46 技術文件及 ASTM E1926，為柔性鋪面 IRI 評估尺度範圍，IRI 數值愈大表示平整度愈差，IRI=0 表示鋪面絕對平整無糙度，IRI 無最大值限制，一般幾乎不可能出現 IRI > 20 情形。

IRI (m/km)

0		A：IRI 約在 1.3~2.4m/km 之間
1		
2		
3		B：IRI 約在 4~5.3m/km 之間
4		
5		
6		C：IRI 約在 7~8m/km 之間
7		
8		
9		D：IRI 約在 9~10m/km 之間
10		
11		
12		E：IRI 約在 11~12m/km 之間

圖 2 柔性鋪面國際糙度指標 (IRI) 評估圖

2.2 國內外鋪面平整度規定

1. 國外鋪面平整度允收規定

目前國際對於新鋪設路面大多用高低平坦儀、慣性剖面儀等試驗量測鋪面平整度狀況，以其所測得之指標標準差 (SD) 或國際糙度指數 IRI 來做為驗收依據。其中又因 IRI 具有檢測速度快、安全性及較能反應行車舒適性，故 IRI 為目前國際之間常用來進行評估鋪面平整度之量測指標。

由於各國道路地形及施工條件皆迥然不同，因此對於新鋪道路平整度驗收門檻亦有所差異，Peter Múčka^[3] 提出了下列論述：

- (1) IRI 驗收門檻值主要是依據路面類型，道路的功能，功能類別，道路限速和AADT (平均日交通流量) 等因素決定之。IRI 門檻值一般被指定為驗收長度之區段內的常數值，或是整個施工區段的 IRI 平均值，或某一 IRI 值之一個或多個百分位數。
- (2) IRI 數值可以單個檢測輪跡之 IRI 數值或左右檢測輪跡之 IRI 平均值 (MRI) 的方式表示之。
- (3) IRI 驗收長度在美國各州主要以 161 公尺為主 (即 0.1mile)，在非美國國家 IRI 驗收長度分布範圍很廣，小至 20 公尺，大至整個施工路段長度，大部分以 100 公尺居多。
- (4) 美國各州在瀝青混凝土道路其 IRI 驗收門檻值分布於 0.55~1.97 (m/km)，對於非美國國家，新道路的 IRI 驗收門檻值一般較美國各州為高。
- (5) 在非美國家中，瑞典採用 2 階段分析區間、多種道路速限及日平均交通流量以及 IRI 標準差，來訂定較為詳細 IRI 門檻值。

2. 國內鋪面平整度允收規定

行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02742 章^[4]對於新鋪路面平整度規定如下：新鋪設路面、全部厚度或部分厚度之銑刨加鋪路面及管線挖掘回填路面，完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。路面之平整度得以 3m 長之直規、高低平坦儀或慣性剖面儀擇一執行。

以 3m 長之直規或高低平坦儀量測道路平整度時，應沿平行於或垂直於路中心線之方向檢測時，其任何一點高低差，一般公路之面層不得超過 $[\pm 0.6\text{cm}]$ ，平整度標準差不得大於 $[0.26\text{cm}]$ ；高速公路之面層不得超過 $[\pm 0.3\text{cm}]$ ，平整度標準差不得大於 $[0.24\text{cm}]$ 。以慣性剖面儀量測道路平整度時，一般公路面層之國際糙度指標 (IRI) 應小於 $[3.5\text{m/Km}]$ ，高速公路面層之 IRI 值應小於 $[1.75\text{m/Km}]$ 。

公路總局施工說明書第 02742 章^[5]對於新鋪路面平整度要求，採 3m 直規或高低平坦儀，按公路總局公路工程材料手冊規定方法，就平行於路線方向檢驗其平整

度。一般公路平整度標準差合格標準為不大於 2.8mm，快速公路平整度標準差合格標準為不大於 2.4mm。

參、高低平坦儀與慣性剖面儀之量測指標關聯性探討

3.1 量測設備介紹

1. IRI 檢測車

本研究所採用慣性剖面儀如圖 3 所示，檢測設備裝於本所路面檢測車前方左右儀器箱內，計有 2 具雷射測距儀，用於量測車輛與鋪面之高程差，取樣頻率 1250Hz，以一般檢測車速約 50km/hr 而言，取樣點距約 11mm，符合 CNS 15046 等級一與 ASTM E950 class 1 規定 ($\leq 25\text{mm}$)。2 具加速度規分別裝置於左右儀器箱內，用途為建立參考基準線供平整度計算。左後輪裝有行車距離量測儀 (DMI)，用於量測車行距離。以上各感測器所量測訊號傳輸至車內資料擷取主機，再傳至筆記型電腦經軟體計算分析出每 25cm IRI 數據，進而彙整出 100 公尺 IRI 數據。



2. 高低平坦儀

高低平坦儀為三公尺長直規檢測儀，該設備兩端各具有 1 滾輪，兩輪相距 300 公分，能手推進與轉彎，中點附有一偵測輪，可隨路面高低而自由升降，量測路面高低變化，如圖 4。此處所量得高度變化非為實際剖面高程數據，而是以前後滾輪與路面之接觸點所建立參考剖面與偵測輪之間之高度差（即 $d_i = h_i - 0.5 * (h_{i-1} + h_{i+1})$ ），如圖 5，然後以每 1.5m 間距讀取一個高低差數據，並由這些高低差數據計算標準差（Standard Deviation, SD），其 SD 為該檢測區段鋪面之平整度量測指標。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(d_i)^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

其中，

SD：平整度標準差（mm）

d_i ：個別測得高低差（mm）

n ：量測點數

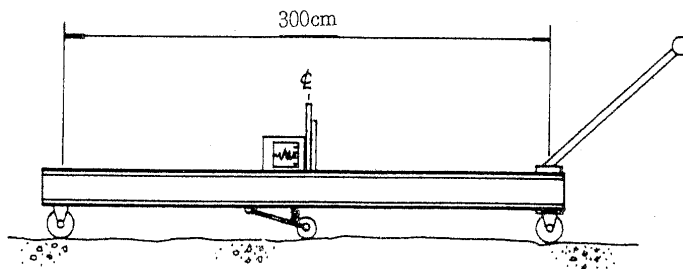


圖 4 高低平坦儀儀器示意圖

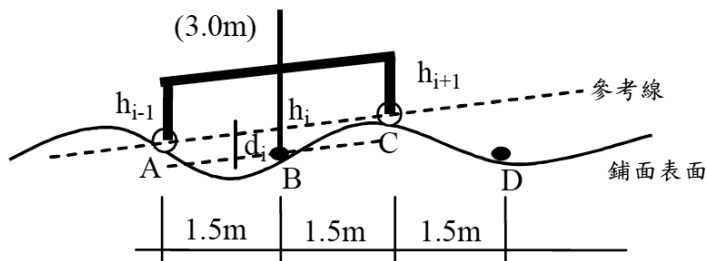


圖 5 高低平坦儀量測方式示意圖

依日本道路協會出版鋪裝調查・試驗法便覽手冊中⁽⁹⁾，提及早期因計算工具較不普及，依上述標準差公式計算較不便利，又因統計學上樣本標準差與平均全距有相當良好的統計關係，故採用平均全距法來概算平整度標準差 SD，平均全距法亦為本局現行計算鋪面平整度標準差之方式。現今計算機技術已普遍成熟，於西元 1986 年時將平整度標準差 SD 計算公式由平均全距概算法修訂為統計學樣本標準差公式，爰本研究平整度標準差計算方式將採統計學樣本標準差定義公式進行。

3.2 試驗規劃及檢測步驟說明

採用慣性剖面儀與高低平坦儀量測得之 IRI 與標準差 (SD) 皆為鋪面平整度評估指標，但因彼此之間量測原理及計算方法不同，無法以公式推導方式來探討 IRI 與標準差 (SD) 兩者之間關聯性，故本研究藉由現地試驗結果來分析兩者之間關係。另考量此 2 種試驗方法之數據擷取間距不同 (IRI 分析間距為 25 公分 1 點，標準差 (SD) 則為 1.5 公尺 1 點)，為降低試驗結果誤差，現地試驗路段選擇新鋪路面工程，試驗步驟如下：

1. 選定檢測區域，並進行檢測起訖點位置標記。
2. 檢視檢測區域清潔情形，避免影響檢測結果。
3. 採 IRI 檢測車進行檢測，過程中儘可能使檢測車保持在左右輪距車道邊線相同距離，並儘量保持速度穩定，避免檢測車速突然變化。
4. 採高低平坦儀分別量測 IRI 檢測車之左右檢測輪跡之縱向剖面的高低差數據。
5. 因 IRI 與標準差 (SD) 常用驗收長度分別為 100 公尺與 200 公尺，為瞭解兩者差異性，採區間長度 100 及 200 公尺，計算 IRI 與標準差 (SD) 數值。
6. 彙整 IRI 及標準差 (SD) 試驗結果，以統計方式分析 IRI 與標準差 (SD) 之間關係。

3.3 試驗結果分析與比較

現地試驗選擇之試驗路段皆為本局新鋪路面工程，相關工程資訊如表 1 所示。在經由高低平坦儀及 IRI 檢測車之現地檢測所蒐集試驗資料，以驗收長度 200 公尺而言，共蒐集 512 組標準差 (SD) 及 IRI 試驗資料，驗收長度為 100 公尺時，則有 1024 組標準差 (SD) 及 IRI 資料，後續進行標準差 (SD) 與 IRI 關連性分析。

表 1 高低平坦儀及 IRI 檢測車現地試驗路段資料

項次	工程名稱
1	台 9 線蘇花公路蘇澳永樂段新建工程 (A1 標)
2	西濱快速公路 WH09-A 標 48K+970~54K+320 主線新建工程
3	西濱快速公路 195K+995~199K+348.5 (WH50-2) 王功至永興段新建工程
4	台 9 線蘇花公路東澳隧道新建工程 (A2 標)
5	西濱快速公路房裡大安主線高架工程 (130K+123~134K+271) 新建工程
6	西部濱快速公路 WH10-A 標 54K+320~60K+312 主線新建工程

驗收長度為 200 公尺時，將試驗結果之標準差 (SD) 與 IRI 數值繪製 SD-IRI 分布圖 (如圖 6)，並採線性迴歸方式進行分析，結果顯示標準差 (SD) 數值在 0.5mm 與 3.1mm 區間內，標準差 (SD) 與 IRI 間之迴歸方程式： $IRI=1.2168*SD+0.3026$ ，判定係數 $R^2=0.8514$ ，顯示該迴歸方程式解釋能力良好。

驗收長度為 100 公尺時，將試驗結果之標準差 (SD) 與 IRI 數值繪製 SD-IRI 分布圖 (如圖 7)，採線性迴歸方式進行分析，結果顯示標準差 (SD) 數值在 0.5mm 與 3.4mm 區間內，SD 與 IRI 間之迴歸方程式： $IRI=1.1457*SD+0.4287$ ，判定係數 $R^2=0.7963$ ，顯示該迴歸方程式解釋能力良好。

綜合上述，無論驗收長度採 200 或 100 公尺，分析結果皆表示 IRI 與標準差 (SD) 之間有良好線性關係。

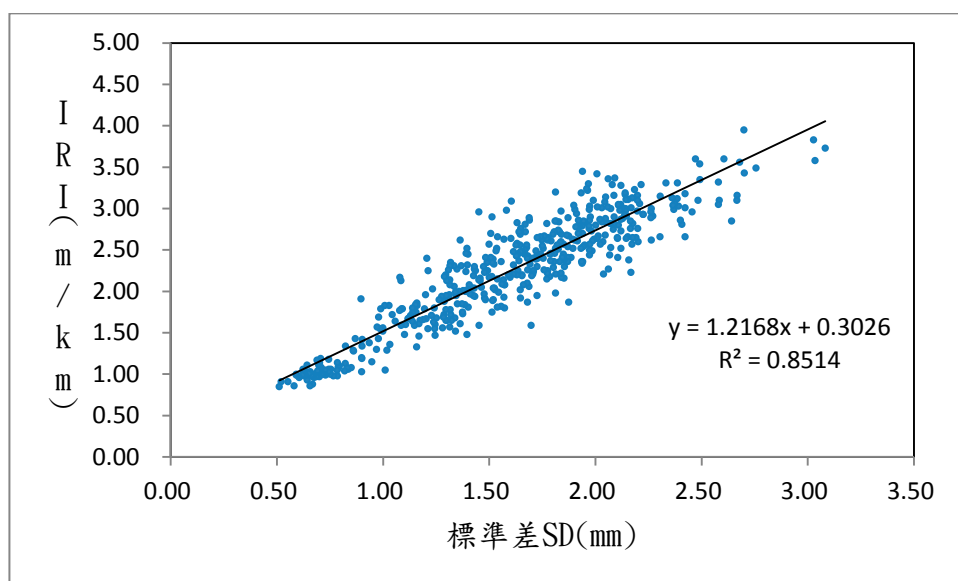


圖 6 標準差 SD (200m) 與 IRI (200m) 關係分布圖

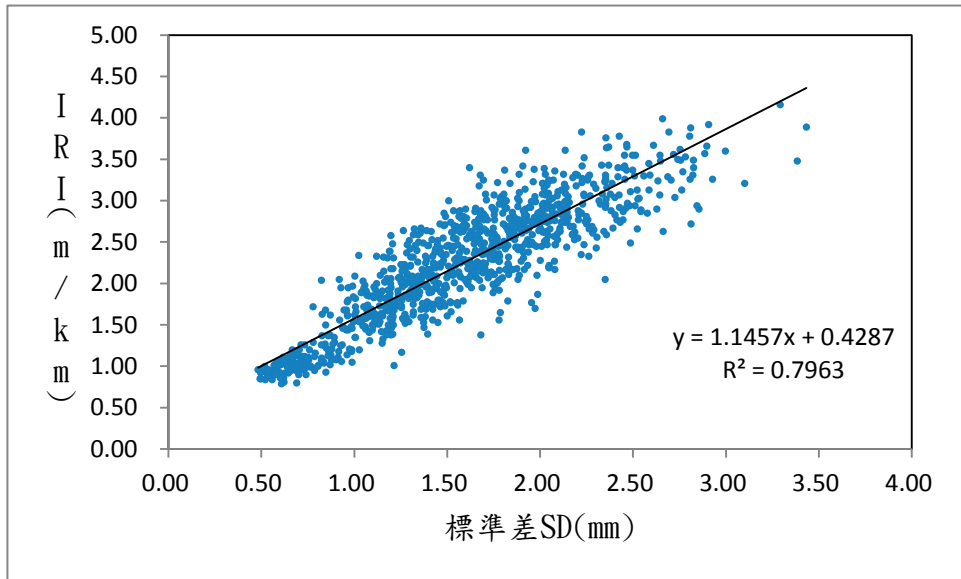


圖 7 標準差 SD (100m) 與 IRI (100m) 關係分布圖

爰就工程會施工綱規範及本局施工說明書對新鋪路面平整度之標準差 (SD) 規定，藉由上述分析所得之 IRI 與標準差 (SD) 之間迴歸公式，來推估相對應 IRI 數值。

1. 工程會施工綱要規範

工程會施工綱要規範對於新鋪路面平整度要求，一般公路之面層平整度標準差不得大於[0.26cm]；高速公路之面層平整度標準差不得大於[0.24cm]。一般公路面層之國際糙度指標 (IRI) 應小於[3.5m/Km]，高速公路面層之 IRI 值應小於[1.75m/Km]。

表 2 係以新鋪路面平整度之標準差 (SD) 規定所推估出相對應 IRI 數值，由表可知，一般公路之面層平整度標準差為 2.6mm 時，在驗收長度為 100 及 200 公尺時，所推估之 IRI 數值分別為 3.41 及 3.47 (m/km)，該數值與一般公路面層之國際糙度指標 (IRI) 應小於 3.5 (m/km)，彼此之間數值相當接近。

高速公路之面層平整度標準差在標準差 (SD) 2.4mm 下，所推估之 IRI 數值分別為 3.18 及 3.22 (m/km)，該數值與規定高速公路面層之國際糙度指標 (IRI) 應小於 1.75 (m/km)，兩者差異頗大。若以 IRI 值 1.75 (m/km) 為基準，依據研究成果所推估之標準差 (SD) 應在 1.2mm 附近，與規定值略有矛盾，值得再加以探討。

表 2 鋪面平整度標準差規定值相對應之 IRI 數值表

驗收長度	標準差 SD (mm)				
	工程會		公路總局		
	2.4	2.6	2.4	2.8	3.4
100m	3.18	3.41	3.18	3.64	4.32
200m	3.22	3.47	3.22	3.71	4.44
平均值	3.20	3.44	3.20	3.68	4.38
相對誤差 (%)	1.2	1.7	1.2	1.9	2.7

2. 公路總局施工說明書

公路總局施工說明書對於一般公路平整度標準差 (SD) 不大於 2.8mm，快速公路平整度標準差 (SD) 不大於 2.4mm，一般公路平整度標準差 (SD) 大於 3.4mm 時，快速公路平整度標準差 (SD) 大於 2.8mm 時，須進行相關改善措施。

由表 2 可知，平整度標準差在 2.8mm 時，在驗收長度為 100 及 200 公尺時，所推估之 IRI 數值分別為 3.64 及 3.71 (m/km)，平均值為 3.68 (m/km)。標準差在 3.4mm 時，該數值與一般所推估之 IRI 數值分別為 4.32 及 4.44 (m/km)，平均值為 4.38 (m/km)。

從表 2 亦可得知，無論標準差數值為何，採驗收長度 100 及 200 公尺個別分析結果所推估之 IRI 數值，發現兩者之間 IRI 數值差異不大，最大相對誤差僅為 2.7%，顯示無論採 100 或 200 公尺分析長度，所得到之標準差 (SD) 與 IRI 兩者關係，進而推估所得到之 IRI 數值，兩者之間數值差異不大。

3.4 現行鋪面平整度標準差規定值探討

現行施工說明書對於鋪面平整度之標準差驗收規定值，係於民國 94 年修訂，迄今已逾 10 餘年未進行檢討，且由前述標準差 (SD) 與 IRI 關聯性之分析結果可知，在驗收長度 200 公尺，快速道路平整度標準差驗收值 2.4mm 所對應 IRI 推估值約為 3.22 (m/km)，一般公路標準差驗收值 2.8mm 時，IRI 數值則為 3.71 (m/km)，顯示現行標準差 (SD) 規定值所推估之 IRI 數值，可能較不符合用路人對於行車舒適性期待。

為瞭解本局目前鋪面工程之平整度標準差分布情形，爰採各養護工程處依 103 年局頒「路面平整度 IRI 檢測手冊」內容所提送材試所之 107 年「專案 IRI 檢測資料」進行分析，資料種類區分「快速道路」及「一般公路」，將檢測資料進行統計分析，結果如表 3、圖 8 及圖 9。由表 3 可知，「快速道路」標準差資料有 472 組數據，其平均數 1.22mm，標準差 0.36 mm。「一般公路」則為 1851 組，平均數 1.48mm，標準差 0.38 mm。下列分就「快速道路」及「一般公路」之標準差分布情形進行說明。

表 3 鋪面平整度標準差 (SD) 分析結果表

平整度標準差 (SD) 統計數據	快速道路	一般公路
分析組數	472	1851
平均數 (mm)	1.22	1.48
標準差 (mm)	0.36	0.38

1. 快速道路

由圖 8 快速道路平整度標準差 (SD) 之分佈百分比及累積曲線圖，顯示標準差大於現行驗收規定值 2.4mm 僅有 1 組數據約占 0.2%。在累積百分比 50%時，標準差數值位於 1.0~1.2mm 區間，累積百分比 90%時，標準差約落在 1.4~1.6mm 區間，累積百分比 95%時，標準差位於 1.6~1.8mm 區間。

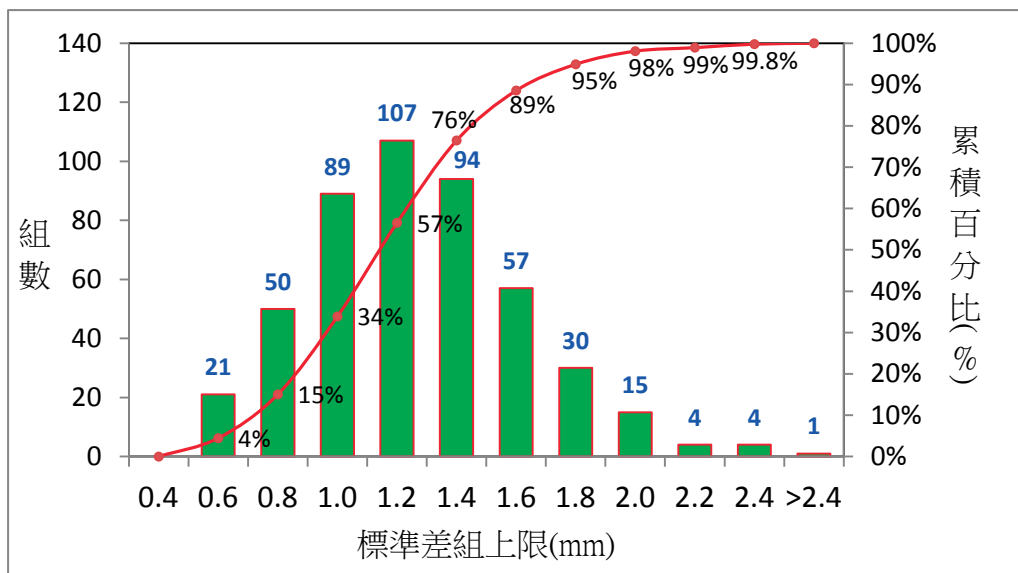


圖 8 快速道路平整度標準差 (SD) 之分佈圖

2. 一般公路

由圖 9 一般公路平整度標準差 (SD) 之分佈百分比及累積曲線圖，顯示標準差大於現行驗收規定值 2.8mm 僅有 6 組數據約占 0.3%。在累積百分比 50%時，標準差數值位於 1.2~1.4mm 區間，累積百分比 90%時，標準差約落在 1.8~2.0mm 區間，累積百分比 95%時，標準差位於 2.1~2.2mm 區間。

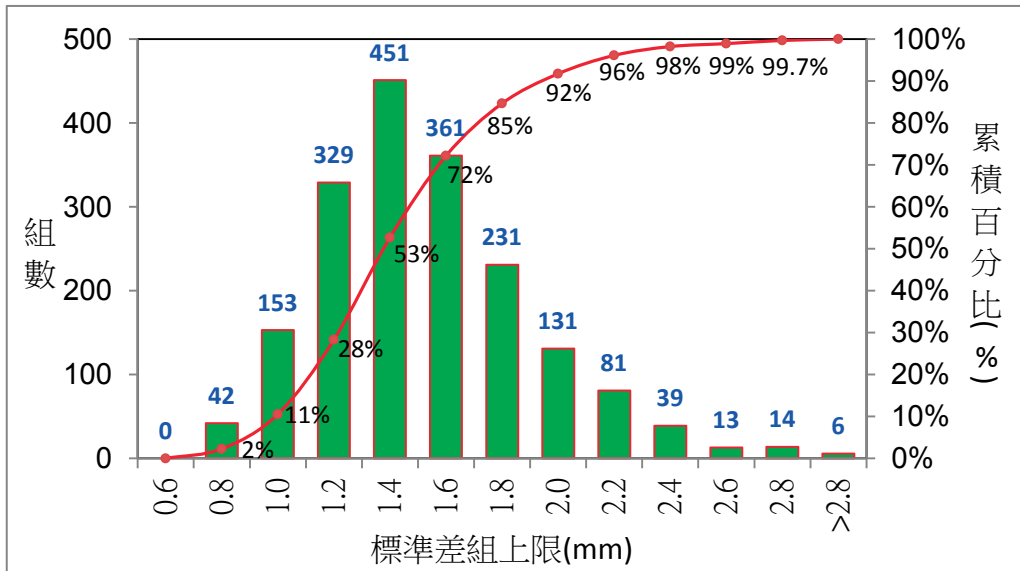
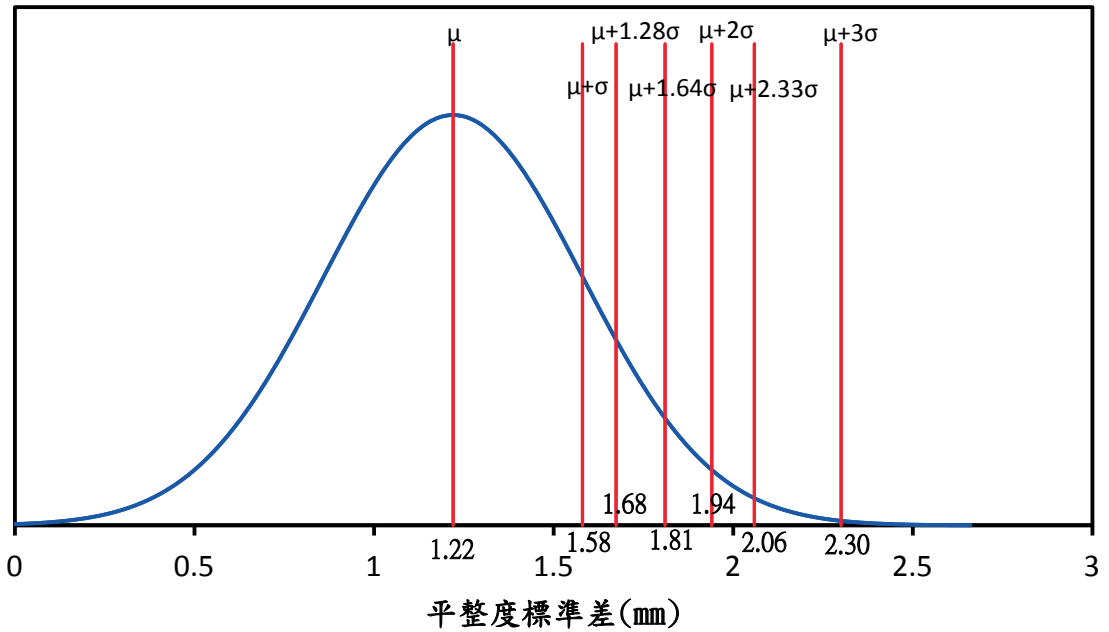


圖 9 一般公路平整度標準差之分佈圖

藉由 107 年快速道路及一般公路平整度標準差 (SD) 資料分析結果顯示，以現行快速道路及一般公路平整度標準差 (SD) 驗收規定值 2.4mm 及 2.8mm 而言，超出驗收規定比例僅為 0.2~0.3%，顯示目前平整度標準差驗收規定值仍有檢討精進空間。

另由圖 8 及圖 9 顯示，快速道路及一般公路平整度標準差 (SD) 分布情形約呈現常態分佈趨勢，茲以統計學觀點分析在不同標準差 (SD) 數值下，其可能發生之機率。以鋪面平整度標準差 (SD) 之 (μ, σ) 繪製標準常態分佈曲線，依統計學觀點可知，標準差 (SD) 值大於 $(\mu + \sigma)$ 、 $(\mu + 1.28\sigma)$ 、 $(\mu + 1.64\sigma)$ 、 $(\mu + 2\sigma)$ 、 $(\mu + 2.33\sigma)$ 、 $(\mu + 3\sigma)$ 之可能發生機率分別為 16%、10%、5%、2.3%、1.0% 及 0.1%。

在快速道路部分，依表 3 分析結果，將平均數 $\mu = 1.22\text{mm}$ ，標準差 $\sigma = 0.36\text{mm}$ 代入，可分別求出 $(\mu + \sigma) = 1.58$ 、 $(\mu + 1.28\sigma) = 1.68$ 、 $(\mu + 1.64\sigma) = 1.81$ 、 $(\mu + 2\sigma) = 1.94$ 、 $(\mu + 2.33\sigma) = 2.06$ 、 $(\mu + 3\sigma) = 2.30$ 之數值，如圖 10。



在一般公路部分，將平均數 $\mu=1.48\text{mm}$ ，標準差 $\sigma=0.38\text{mm}$ 代入，可分別求出 $(\mu+\sigma)=1.86$ 、 $(\mu+1.28\sigma)=1.96$ 、 $(\mu+1.64\sigma)=2.10$ 、 $(\mu+2\sigma)=2.24$ 、 $(\mu+2.33\sigma)=2.37$ 、 $(\mu+3\sigma)=2.62$ 之數值，如圖 11。

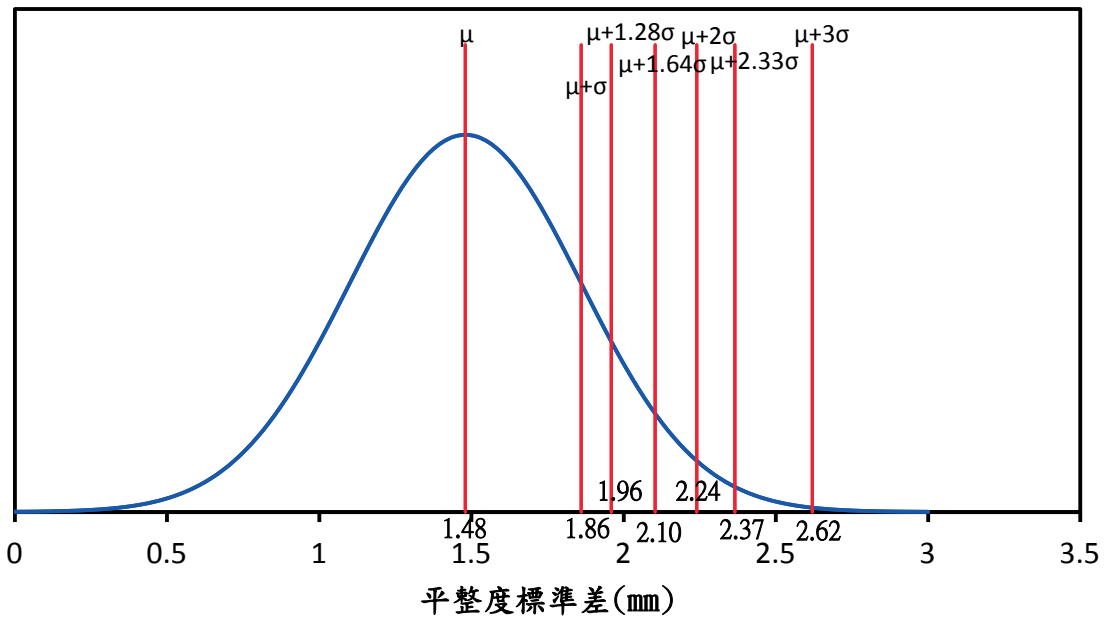


表 4 為快速道路及一般公路在不同超越機率下，所對應之標準差數值彙整表，其對應之 IRI 推估值係採驗收長度為 200 公尺之標準差 (SD) 與 IRI 線性迴歸公式計算所得之。

表 4 標準差與 IRI 推估值對應表

超越機率 (%)	快速道路		一般公路	
	標準差 (mm)	IRI 推估值 (m/km)	標準差 (mm)	IRI 推估值 (m/km)
50	1.22	1.79	1.48	2.10
16	1.58	2.23	1.86	2.57
10	1.67	2.33	1.96	2.69
5	1.81	2.51	2.10	2.86
2.3	1.94	2.66	2.24	3.03
1	2.06	2.81	2.37	3.19
0.1	2.30	3.10	2.62	3.49

現行新鋪路面平整度標準差 (SD) 驗收規定值係於民國 94 年訂定，隨著鋪面施工機具進步及施工水準提升，鋪面平整度亦較過去有顯著提升，且據上述 107 年「專案 IRI 檢測資料」分析結果，顯示現行鋪面平整度標準差 (SD) 驗收標準有檢討精進空間，以符實務面需求。在此採實務上一般較能接受之不合格率 1% (約 2.33σ) 來研議鋪面平整度標準差 (SD) 驗收合格規定值，另外以 0.1% (約 3σ) 來建議鋪面刨除重鋪之標準差 (SD) 規定值。

依上述不合格率查表 4 可知，在快速道路部分，建議鋪面平整度標準差 (SD) 的合格與減價收受界線值由 2.4mm 調降至 2.06mm，減價收受與刨除重鋪界線值則由 2.8mm 調降至 2.30mm。在一般公路部分，鋪面平整度標準差 (SD) 的合格與減價收受界線值由 2.8mm 調降至 2.37mm，減價收受與刨除重鋪界線值則由 3.4mm 調降至 2.62mm。再以所建議之標準差數值依驗收長度為 200 公尺之標準差 (SD) 與 IRI 線性迴歸公式計算相對應之 IRI 推估之，彙整如表 5。

表 5 新鋪路面平整度標準差 (SD) 建議規定值

項目	快速道路		一般公路	
	標準差 (mm)	IRI 推估值 (m/km)	標準差 (mm)	IRI 推估值 (m/km)
合格與減價收受界線值	2.06	2.81	2.37	3.19
減價收受與刨除重鋪界線值	2.30	3.10	2.62	3.49

肆、結論

鋪面平整度良窳為國內道路主管機關之維護績效指標，現行檢測方式大多採用高低平坦儀所量測之鋪面平整度標準差 (SD) 來進行驗收依據，然該檢測方法之檢測速度緩慢，且為維持檢測過程中人員之安全，交通維持工作實為必要之措施，所以高低平坦儀進行檢測時，往往會影響交通及檢測人員安全，再者高低平坦儀檢測結果較無法反映出用路人行車舒適性之感受度。國際間目前大多已採用國際糙度指數 (IRI) 進行鋪面平整度檢測，除能降低傳統檢測方法之檢測人員曝露於現地之危安風險，避免造成交通問題，且較能反應用路人行車舒適性，滿足民眾對於行車品質的期待。

藉由現地試驗分析結果顯示，採用慣性剖面儀及高低平坦儀所量測之鋪面平整度指標 IRI 與標準差 (SD)，無論分析長度採 100 或 200 公尺，兩者之間皆有良好線性迴歸關係，且在同一標準差 (SD) 數值所推估之 IRI 值亦相當接近。另由 107 年本局新鋪路面工程平整度之標準差 (SD) 數據分析結果，顯示現行鋪面平整度施作水準整體而言良好，爰以分析結果提出鋪面平整度標準差 (SD) 建議規定值，以符實務狀況。

最後，希冀本研究案之成果能提供總局對於鋪面平整度採用 IRI 來做為評估指標能有所助益，並使工程司對於 IRI 檢測相關認知有進一步之了解。

參考文獻

1. Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and Cesar A. V. Queiroz , The International Road Roughness Experiment Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements , The World Bank Washington, D.C., U.S.A.
2. Michael W: Sayers, Thomas D. Gillespie, and William D. O. Paterson , Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements , The World Bank Washington, D.C., U.S.A.
3. Peter Múčka , International Roughness Index specifications around the world , Road Materials and Pavement Design , 2017 Vol.18,No.4,929-965 。
4. 行政院公共工程委員會施工綱要規範第02742章〔瀝青混凝土鋪面〕
5. 交通部公路總局施工說明書第02742章〔瀝青混凝土鋪面〕
6. 公路總局材料試驗所公路總局省道路面檢測報告
7. 公路工程材料手冊，台灣省公路局材料試驗所編印
8. 日本道路協會，鋪裝調查・試驗法便覽，昭和61年
9. 林惠玲、陳正倉，現代統計學

台 26 線香蕉灣—砂島地區陸蟹路殺研究

古清芳¹、吳昭煌²、王嘉祥³、劉烘昌⁴

摘要

墾丁國家公園香蕉灣—砂島地區海岸林下棲息著高物種歧異度的各類陸蟹，是已知世界上海岸林棲地中陸蟹物種多樣性最高的地區。由於這些陸蟹的抱卵雌蟹進行降海釋幼遷徙前往海邊時；必須通過高交通流量的台 26 線，導致面臨嚴重的路殺問題。研究團隊自 2018 年 10 月開始進行陸蟹的路殺調查，在 9 個月調查期間，於台 26 線 38.5-42.5K 的香蕉灣至砂島路段記錄到路殺陸蟹 18 種，1573 隻。面臨路殺最嚴重的前五名陸蟹依序為陸寄居蟹 (*Coenobita* spp.)、奧氏後相手蟹 (*Metasesarma aubryi*)、印痕仿相手蟹 (*Sesarmops impressum*)、紫地蟹 (*Gecarcoidea lalandii*) 及毛足圓軸蟹 (*Cardisoma hirtipes*)，這幾種陸蟹的路殺總數為 1401 隻，佔全部陸蟹路殺的 89.1%。大部分面臨嚴重路殺的陸蟹之路殺與其降海釋幼遷徙有密切關聯，這些陸蟹的路殺熱點是解決陸蟹路殺問題的關鍵地點。

關鍵詞：陸蟹、路殺、公路、台 26 線、墾丁國家公園

壹、前言

1.1 公路與動物的路殺

公路的建設為人類帶來生活上的便利，但也造成自然環境的切割與傷害。公路對自然環境的影響包括非生命的部分及生物的部分，前者包括對地形、水文、空氣的影響，後者包括對野生動植物棲地的直接破壞及通行車輛對動物的傷害⁽¹⁾。公路會切割連續的自然環境，使其變得破碎不連續。而棲地的零碎化現象被認為是造成自然生態系之生物多樣性喪失的主要因素之一⁽²⁾。而且，除了公路本身的切割效應外，奔馳在

¹ 社團法人屏東縣環境保護聯盟 會員

² 交通部公路總局第三區養護工程處 處長

³ 社團法人屏東縣環境保護聯盟 陸蟹計畫協同主持人

⁴ 社團法人屏東縣環境保護聯盟 陸蟹計畫主持人

道路上的車輛也讓橫越公路的動物面臨路殺 (Roadkill) 的死亡威脅，每年喪命於奔馳車輛的野生動物數量驚人。在澳洲，估計每年喪命於公路車輛的哺乳動物數量高達 4 百萬隻⁽³⁾。在美國，每天喪命於公路車輛的脊椎動物數量高達 100 萬隻⁽⁴⁾。根據巴西道路生態研究中心的研究結果顯示：巴西每天喪命於公路車輛的動物數量高達 130 萬隻，換算 1 年數量高達 4 億 7 千 500 萬隻⁽⁵⁾。動物遭受大量的路殺會使動物族群數量減少。因路殺導致族群數量降低的動物種類繁多，包括無脊椎動物的昆蟲、脊椎動物的兩生類、爬蟲類、鳥類及哺乳動物，僅有少數動物 (例如禿鷹) 因公路的車輛路殺得利，使族群密度增加⁽⁶⁾。而大型動物的路殺不僅僅是動物的死亡，還會導致車輛的損壞及駕駛的傷亡。2005 年的統計顯示，美國 1 年有 25 萬 3 千件車輛與動物碰撞的交通事故紀錄，其中有 90% 是車輛與鹿的交通事故，導致 200 人的死亡及平均每輛車 2000 美金的維修費用⁽⁴⁾。因此避免動物的路殺發生不僅僅是保護動物，對駕駛的生命安全及車輛也都具有保護作用。

臺灣對動物在公路上的路殺問題關注較晚，一直到 2000 以後才開始有系統的調查研究。例如黃光瀛在 2001 年於陽明山國家公園定期進行公路的動物路殺調查，總共記錄了 1355 隻脊椎動物的路殺，包括爬行類 655 隻、兩生類 533 隻、鳥類 32 隻及哺乳類 127 隻⁽⁷⁾。劉小如於 2008 年 3 月至 10 月，在陽明山國家公園範圍內 110.5 公里長的道路系統進行動物路殺調查，總共記錄野生脊椎動物的路殺 11267 隻，可辨識的種類有 76 種，包括哺乳類 11 種 163 隻，鳥類 11 種 45 隻，爬行類 38 種 3000 隻及兩生類 16 種 8059 隻⁽⁸⁾。2011 年開始有臉書虛擬社團：「路殺社」的成立 (全名「臺灣動物路死觀察網」(Taiwan Roadkill Observation Network))，透過社會大眾的協助來記錄臺灣動物的路殺，希望建構生態友善道路以改善野生動物的路殺現象，推廣全民關心環境議題並加入科學研究的行列，建立所有物種生而平等、生命等值的觀念⁽⁹⁾。「路殺社」目前有 4542 個參與者，記錄上傳 85913 筆、97852 隻次的動物路殺照片及相關資訊⁽⁹⁾。動物的路殺事件發生頻率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和動物活動範圍或遷徙路線的重疊程度、道路旁的棲地環境、道路寬度、交通流量高低及車速等因子有關⁽⁸⁾。而透過動物路殺的調查可以了解何種動物在什麼時間在公路的哪一個路段容易發生路殺。道路上發生路殺事件最多的路段或地點，被稱為路殺熱點 (Roadkill Hotspot)，在路殺熱點採取路殺改善方案或設置改善設施，被認為具有最高的保育效益⁽¹⁰⁾。

1.2 陸蟹簡介

臺灣位處熱帶與亞熱帶的交接處，因此公路上除了各種脊椎動物的路殺外，還大量出現溫帶國家少有的一類動物路殺：「陸蟹的路殺」。陸蟹顧名思義是指生活在陸地上的蟹類。廣義的陸蟹定義涵蓋所有能在陸地上維持一定活力的蟹類⁽¹¹⁾，依照此定義涵括的蟹類種類繁多，幾乎所有棲息在潮間帶、溪流及陸地上的螃蟹與寄居蟹類都可列入。陸蟹在蟹類中所佔的種類比例雖然不高，但因為陸蟹是提供研究生物從水生環

境演化到陸地生活的絕佳題材^[11]，許多大型陸蟹是熱帶地區居民重要的蛋白質及經濟來源^[12]，陸蟹在許多大陸的熱帶地區海岸與島嶼具有龐大的族群，扮演重要的生態角色^[13]。因此陸蟹吸引了眾多學術研究。

在繁殖方面，大多數棲息在海岸地區的陸蟹與海洋蟹類有著類似的繁殖方式，產下小而量多的卵，卵均附著在雌蟹腹部的附肢剛毛上，孵化出浮游性的蚤狀幼蟲（zoeae），幼蟲在海洋中過著浮游生活，經歷二至六次的脫殼後成為大眼幼蟲（megalopae），之後再脫殼成為一隻小螃蟹^[14]。由於陸蟹從卵剛孵化的蚤狀幼蟲不具有滲透壓調節能力，在淡水環境中會很快死亡，必須要在與螃蟹幼蟲體液滲透壓濃度較為接近的海水中才能生存。因此這些陸蟹的抱卵雌蟹需要將孵化的幼蟲釋放到海洋中^[15]。這種繁殖特性使得棲息在海岸地區的陸蟹在繁殖季時產生集體的遷移行為，如聖誕島的紅地蟹（*Gecarcoidea natalis*）^[16]；或陸蟹的抱卵雌蟹於特定時間集體至海邊釋放幼蟲，如紫地蟹（*Gecarcoidea lalandii*）、關氏圓軸蟹（*Cardisoma guanhumi*）、*Gecarcinus planatus* ^[15]。這些陸蟹的幼蟲在海洋中進行浮游生活，脫殼成長到大眼幼蟲或第一期幼蟹階段時再返回陸地生活。棲息在海岸地區陸蟹的這種繁殖特性讓抱卵陸蟹必須要前往海邊釋幼，在海洋完成變態過程後的幼體也必須返回陸地生活。因此，若在陸蟹遷徙路程範圍的海岸地區有公路的存在，則陸蟹就會面臨車輛路殺的情況。

坐落於南臺灣恆春半島的墾丁國家公園擁有豐富的陸蟹資源。根據劉烘昌（2009）及（2010）兩年的陸蟹資源調查結果顯示：墾丁國家公園範圍的陸蟹生物多樣性熱點地區有「香蕉灣海岸林」、「港口溪河口」、「溪仔口至出風鼻間海岸」及「後灣遊憩區海岸」等四個地點（附件一），其中「香蕉灣海岸林」棲息在高潮線以上的陸蟹種類達26種，是目前世界上海岸林棲地中擁有最高陸蟹物種多樣性的地區^[17,18]。此外，香蕉灣海岸林內棲息的大型陸蟹種類與數量也在臺灣及墾丁國家公園範圍內所有陸蟹棲地中佔最重要的地位，也是目前族群數量稀少的樹棲性蟹類：樹蟹（*Labuanium sacndens*）在世界的最大族群棲地^[17,18]。目前墾丁國家公園範圍內的陸蟹族群以奧氏後相手蟹（*Metasesarma aubryi*）、中型仿相手蟹（*Sesarmops intermedium*）及黃灰澤蟹（*Geothelphusa albogilva*）數量較多；紫地蟹（*Gecarcoidea lalandii*）、毛足圓軸蟹（*Cardisoma hirtipes*）、圓形圓軸蟹（*Cardisoma rotundum*）等大型陸蟹的抱卵降海釋幼雌蟹的數量與過去記錄數量相比均大為減少^[17]。墾丁國家公園範圍內的陸蟹目前面臨各種生存威脅。劉烘昌（2009）及（2010）的陸蟹資源調查研究結論認為墾丁國家公園內陸蟹族群數量銳減可能來自三方面，包括棲地破壞、人為捕捉及環境氣候變遷^[17,18]。而劉烘昌（2016）的陸蟹調查結果顯示香蕉灣海岸地區的陸蟹面臨新的生存威脅，外來入侵種黃瘋蟻（*Anoplolepis gracilipes*）（圖 1.1）嚴重威脅陸蟹的生存，已經導致多種陸蟹的族群數量銳減^[19]。



圖 1.1 搬運抱卵陸蟹屍體的黃瘋蟻 (*Anoplolepis gracilipes*)。

1.3 陸蟹的路殺

相較於棲地破壞、氣候變遷及外來入侵種帶來的生存威脅，對一般民眾而言，陸蟹的路殺是墾丁國家公園陸蟹生存的最明顯威脅。公路上飛馳而過的車輛是降海釋幼抱卵雌蟹橫越馬路時面臨的最大挑戰，許多雌蟹常連同數萬至數十萬個來不及孵化的卵一起被壓成肉醬，造成陸蟹的繁殖失敗，也嚴重威脅陸蟹族群的存續。除了抱卵雌蟹外，許多陸蟹還有遊蕩行為，通常是發生在下雨時或雨後地面仍潮濕時。當這些遊蕩個體出現在馬路上時，也同樣面臨路殺的風險。

當陸蟹與車輛同時出現在馬路上，就會產生陸蟹的路殺狀況。設置生態廊道是野生動物專家想到解決野生動物路殺問題的辦法，這個方法對解決許多野生動物的路殺具有一定成效。例如陽明山國家公園就針對動物的路殺問題設置了多座生態廊道，也透過紅外線照相機的拍攝證明野生動物的確會利用這些廊道來通過馬路⁽¹⁰⁾。動物生態廊道解決了道路切割野生動物棲地造成的物種基因隔離，而伴隨生態廊道設施所設置的阻隔設施可避免野生動物進入道路，有效降低野生動物的路殺情形。

但降海釋幼抱卵陸蟹通過馬路的路殺問題，相較於一般動物穿越馬路的路殺問題複雜許多。在馬路上遊蕩陸蟹的路殺情況與一般穿越馬路動物面臨的路殺情況相近，但降海釋幼陸蟹則有著全然不同的情況。陸蟹的抱卵雌蟹利用與生俱來的導航系統進行降海遷徙，必須要在卵孵化前抵達海邊才能夠成功的繁衍下一代。因此防止陸蟹的路殺不僅僅是要讓陸蟹雌蟹不走上馬路上被車輛壓死，還必須要讓雌蟹能夠順利且及

時的趕到海邊進行幼蟲釋放。解決台 26 線香蕉灣－砂島路段的陸蟹路殺問題關鍵必須對此區域陸蟹具備詳實的各類研究，透過海岸林內陸蟹棲地的陸蟹分布情形詳細調查，對陸蟹橫越馬路熱點區域的確認，還需要對抱卵陸蟹的降海遷徙行為有深入的研究，綜合這些陸蟹的研究結果，才能夠提出有效解決陸蟹路殺的對策。而陸蟹的路殺調查可提供陸蟹橫越馬路熱點區域的確認，是解決陸蟹路殺問題的第一步。

貳、調查方法

為了解台 26 線香蕉灣－砂島地區的陸蟹路殺情形，調查人員於每日清晨 05:00-07:30 期間巡邏檢視台 26 線 38.5K-42.5K；香蕉灣－砂島 4 公里路段（請參考附件一、附件二）遭受路殺的陸蟹種類及數量。調查人員 1 人騎乘機車（圖 2.1）以每小時 10 公里的時速進行陸蟹路殺調查。發現遭受路殺的陸蟹屍體時，停車檢視陸蟹的路殺屍體，鑑定遭受路殺的陸蟹種類及性別，並檢視陸蟹是否抱卵，測量記錄該陸蟹路殺位置的 G.P.S.坐標（為確保調查人員安全，非實際記錄馬路上之陸蟹路殺位置點，而是於道路邊線進行 G.P.S.坐標記錄），之後移除陸蟹屍體，以避免重複計算。每日清晨持續進行陸蟹路殺調查，總共進行 268 天的調查工作。



圖 2.1 調查人員騎乘機車進行陸蟹路殺調查。

參、結果

3.1 陸蟹的路殺種類與數量

陸蟹是台 26 線香蕉灣—砂島路段遭受車輛路殺最嚴重的動物類群，路殺總數佔所有遭受路殺動物的 95.2%。在 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間；9 個月 268 天的動物路殺調查結果顯示，台 26 線 38.5-42.5K 香蕉灣—砂島 4 公里路段遭受路殺的動物計有 1652 隻；種類數超過 42 種，包括 18 種以上的陸蟹；1573 隻、爬行動物 9 種 27 隻、鳥類 23 隻、哺乳動物 20 隻、兩棲動物 1 種 6 隻、其它動物 2 種 3 隻（表 3.1）。其中部分動物的路殺屍體因為過於殘破，因此只能確定動物的類別，無法確認動物的種類。陸蟹以外遭受路殺的動物以爬行動物總類及數量最多，其中又以龜殼花的數量最多，總計達 12 隻。具有飛翔能力的鳥類及蝙蝠亦面臨路殺威脅，總計有 9 隻蝙蝠及 23 隻鳥類遭到路殺。遭受路殺的保育類動物只有椰子蟹 (*Birgus latro*) 1 種，有 12 隻個體遭到路殺。

表 3.1 台 26 線 38.5-42.5K 香蕉灣—砂島 4 公里路段；於 2018 年 10/6 日至 2019 年 6/30 日期間遭路殺的動物類別與數量

排序	動物類別	路殺種類數	路殺數量	路殺百分比
1	陸蟹	18 種以上 ^{註1}	1573	95.2%
2	爬行動物	9 種	27	1.6%
3	鳥類	7 種以上 ^{註2}	23	1.4%
4	哺乳動物	5 種以上 ^{註2}	20	1.2%
5	兩棲動物	1 種	6	0.4%
6	其它動物	2 種	3	0.2%
		42 種以上	1652	100%

註 1：陸寄居蟹會因為路殺導致無法確認種類特徵，可能包含 2 至 4 種的陸寄居蟹於其中。

註 2：多隻鳥類及哺乳動物中之老鼠與蝙蝠無法精確鑑定種類，故以最保守之種類數目估計。

目前陸蟹在香蕉灣—砂島 4 公里路段面臨路殺最嚴重的前五名種類依序為陸寄居蟹 (*Coenobita* spp.)、奧氏後相手蟹 (*Metasesarma aubryi*)、印痕仿相手蟹 (*Sesarmops impressum*)、紫地蟹 (*Gecarcoidea lalandii*) 及毛足圓軸蟹 (*Cardisoma hirtipes*)，這 5 種陸蟹遭受路殺的總數為 1401 隻，佔陸蟹路殺總數的 89.1%。雖然目前已調查達 9 個月的時間，但調查時間尚未涵蓋 7、8、9 月的陸蟹主要繁殖期，因此遭受路殺的陸蟹種類還有增加的機會，遭路殺的陸蟹名次順序亦有變動的可能。香蕉灣—砂島 4 公里路段各種陸蟹的路殺數量、性別及抱卵雌蟹遭路殺的數量與百分比詳見表 3.2，路殺數量前十名陸蟹物種請參考附錄三的陸蟹照片。保育類野生動物的椰子蟹 (*Birgus latro*)

在臺灣本島的數量已經甚為稀有，在野外不易見到，但在本次的台 26 線陸蟹路殺調查中佔約 0.8% 的路殺比率。

3.2 陸蟹的路殺熱點

根據目前的路殺調查結果顯示，台 26 線香蕉灣—砂島路段的不同種類陸蟹具有不同的路殺熱點。根據圖 3.1 顯示，台 26 線里程 38.5K 至 42.5K 的 4 公里路段均有陸蟹的路殺事件發生，在 9 個月的調查期間，每 100 公尺道路路面出現 50 隻以上陸蟹路殺的公路里程位置出現在 39.4K-39.8K、41.1K-41.6K 及 42.1K-42.5K 等 3 個路段，總長度為 1.3 公里；39.8K 至 40.8K 間的 1 公里範圍則是陸蟹路殺數量最少的區域，每 100 公尺道路遭受路殺的陸蟹總數均不超過 20 隻。

表 3.2 台 26 線 38.5-42.5K 香蕉灣—砂島 4 公里路段；於 2018 年 10/6 日至 2019 年 6/30 日期間遭受路殺的陸蟹種類、數量、性別、抱卵雌蟹之數量及比率表

排序	種類	總數量	性別數量			抱卵雌蟹	
			雄蟹	雌蟹	不確定 ^{註1}	數量	百分率
1	陸寄居蟹	387	0	30	357	27	-
2	奧氏後相手蟹	320	117	194	9	44	23%
3	印痕仿相手蟹	282	41	210	31	73	35%
4	紫地蟹	232	75	134	23	2	1%
5	毛足圓軸蟹	180	42	118	20	54	46%
6	橙螯隱蟹	85	22	57	6	32	56%
7	短腕陸寄居蟹	30	2	5	23	0	0
8	椰子蟹	12	0	1	11	1	-
9	黃灰澤蟹	10	0	10	0	0	0
10	格雷陸方蟹	10	3	6	1	0	0
11	字紋弓蟹	9	3	6	0	0	0
12	中型仿相手蟹	5	4	1	0	0	0
13	中華沙蟹	3	0	3	0	0	0
14	白紋方蟹	3	0	2	1	0	0
15	兇狠圓軸蟹	2	2	0	0	0	0
16	小隱蟹	1	1	0	0	0	0
17	毛足陸方蟹	1	0	1	0	0	0
18	中華沙蟹	1	1	0	0	0	0
	總計	1573	313	778	482	233	30%

註 1：部分陸蟹路殺後屍體過於殘破，導致無法確認性別。

註 2：陸寄居蟹與椰子蟹能鑑定出性別的個體不多，抱卵的陸寄居蟹是較為容易鑑定性別的個體，故不計算其路殺抱卵雌蟹的抱卵百分率，避免誤導。

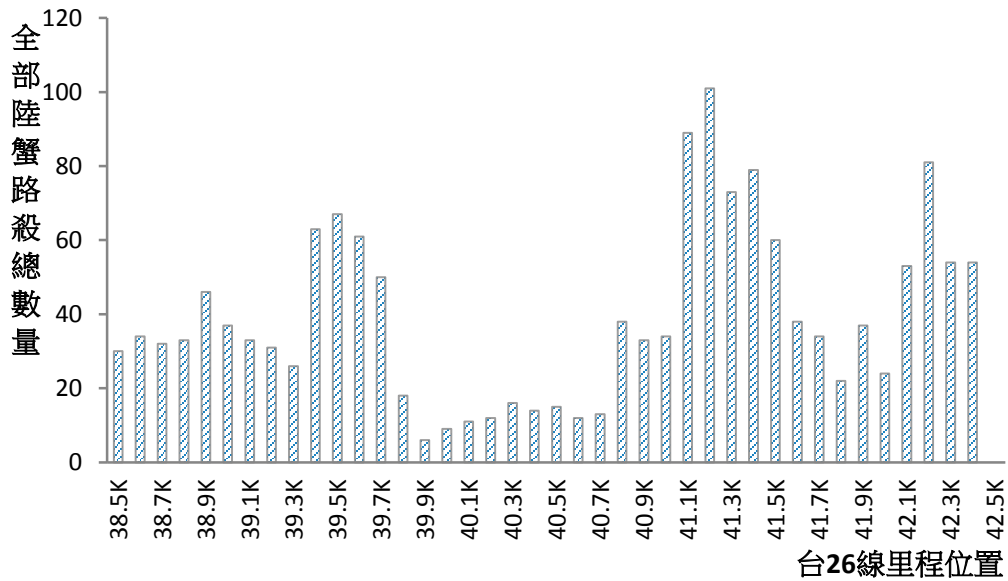


圖 3.1 陸蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=1573)。

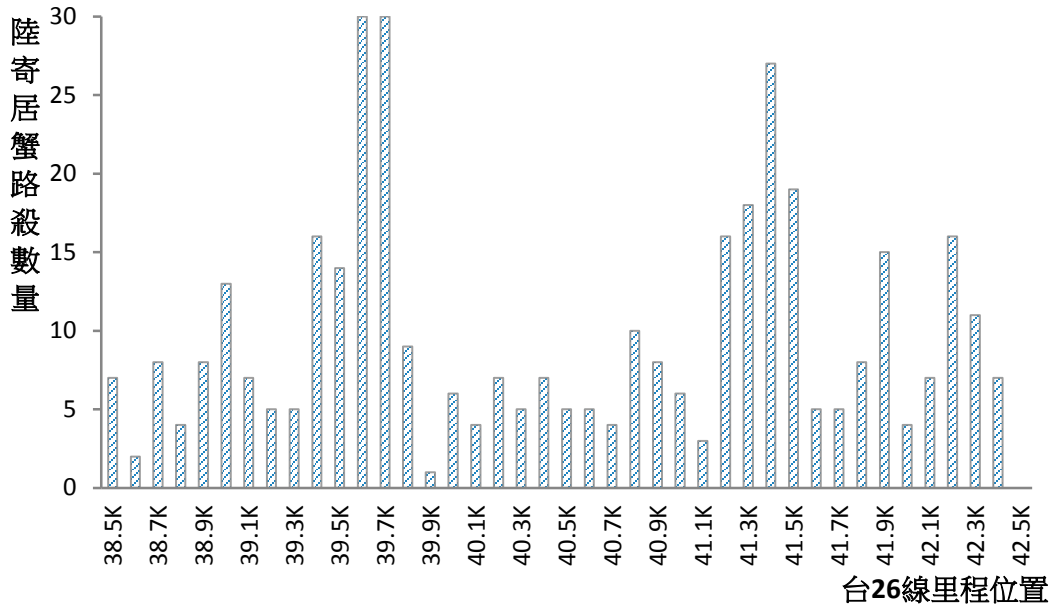


圖 3.2 陸寄居蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=387)。

陸寄居蟹是目前在香蕉灣—砂島路段路殺數量排名第一高的陸蟹，較集中的路殺熱點區域出現在 39.4-39.8K 及 41.2-41.6K 這兩個路段，但整個路殺調查範圍 4 公里都有不少的路殺紀錄（圖 3.2）。陸寄居蟹除了抱卵雌蟹以外，路殺的屍體由於過於殘破，因此不容易鑑定路殺個體的性別。陸寄居蟹在 2018 年 10 月及 11 月有少量抱卵雌蟹遭受路殺的紀錄，2019 年 1 月則有 1 隻抱卵雌蟹遭到路殺，之後則是到 5 月中才再有抱卵雌蟹遭到路殺紀錄，但數量不多，1 個月僅有 3 隻。6 月開始有較多的抱卵雌蟹遭受路殺，共有 20 隻。但相較於其它主要遭受路殺的陸蟹，陸寄居蟹抱卵雌蟹遭到路殺的比例仍然較低。

奧氏後相手蟹是目前在香蕉灣—砂島路段路殺數量第二高的陸蟹，但路殺分布較為均勻，並沒有特別明顯集中在特定路段。奧氏後相手蟹目前最主要的路殺熱點集中在墾丁國家公園砂島展示館南邊的 42.1K 至 42.5K 的 400 公尺路段，但只有佔路殺總數量的 27.8%，其餘各路段也還是有不少的個體遭到路殺（圖 3.3）。奧氏後相手蟹雌蟹遭路殺的比例為 60.6%，與雄蟹路殺所佔的比率 36.6%（另有 2.8%無法確定性別）相差不算太大。抱卵雌蟹遭路殺的月份出現在 5、6、10 及 11 月，顯示其繁殖季是從 5 月開始至 11 月結束，但抱卵雌蟹遭路殺比率僅佔所有雌蟹的 23%，比例不到四分之一。

印痕仿相手蟹是目前在香蕉灣—砂島路段遭受路殺數量第三高的陸蟹，路殺熱點明顯集中在馬路內陸側有淡水湧泉的區域。印痕仿相手蟹最主要的路殺熱點集中在砂島的 41.1K 至 41.5K 的 400 公尺路段，路殺個體達 183 隻；佔印痕仿相手蟹路殺總數量的 64.9%（圖 3.4）。39.4K 至 39.8K 處的香蕉灣路段雖然也算是印痕仿相手蟹路殺較高的區域，但僅有 31 隻印痕仿相手蟹在此路段遭到路殺，僅佔 11%。印痕仿相手蟹雌蟹遭路殺的比例為 74.5%，雄蟹路殺所佔的比率僅 14.5%（另有 11%無法確定性別），雌雄比例差異懸殊。抱卵雌蟹遭路殺的月份出現在 6、10 及 11 月，顯示其繁殖季從 6 月開始至 11 月結束，但 11 月及 6 月的抱卵雌蟹數量很少。印痕仿相手蟹抱卵雌蟹遭路殺比率佔所有雌蟹的 35%，比例超過三分之一。由於雌蟹及抱卵雌蟹佔路殺比率較高，顯示印痕仿相手蟹的路殺與其降海釋幼遷徙有密切的關係，許多雌蟹可能是在釋幼後返回內陸時遭受路殺。

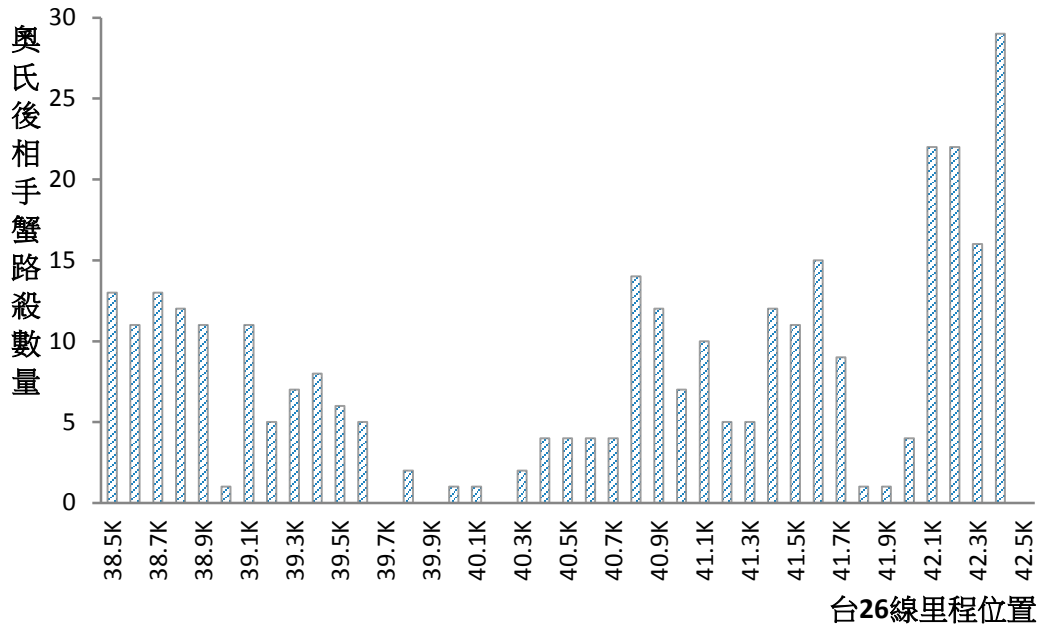


圖 3.3 奧氏後相手蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=320)。

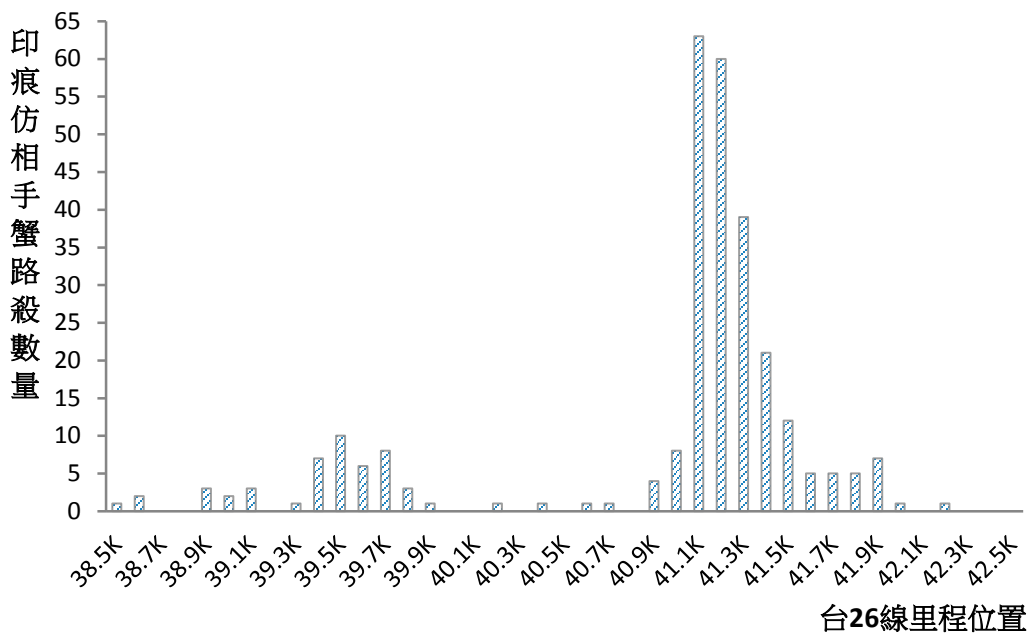


圖 3.4 印痕仿相手蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=282)。

紫地蟹在香蕉灣—砂島路段遭受路殺數量名列第四，路殺熱點主要集中在香蕉灣熱帶海岸林態保護區的 38.9K 至 39.3K 及墾丁國家公園砂島展示館南邊的 42.2K 至 42.5K 等兩個路段，佔路殺總數量的 42.2%（圖 3.5）。紫地蟹雌蟹遭路殺的比例為 57.8%，雄蟹路殺所佔的比率為 32.3%，另有 9.9%無法確定性別，雌雄路殺比例約為 2 比 1。抱卵雌蟹遭路殺的月份目前僅出現在 5 月，但 6 月在香蕉灣海岸有見到數量不少的抱卵雌蟹降海釋幼，顯示其繁殖季從 5 月開始，10 至 12 月則見不到抱卵雌蟹。紫地蟹抱卵雌蟹僅有 2 隻遭到路殺，佔所有雌蟹的 1.5%，比例極低。

毛足圓軸蟹在香蕉灣—砂島路段遭受路殺數量名列第五，路殺熱點則與印痕仿相手蟹類似，也是集中在馬路內陸側有淡水湧泉的區域。毛足圓軸蟹最主要的路殺熱點集中在香蕉灣地區 39.4K 至 39.7K 處的 300 公尺路段，路殺數量達 41 隻，佔路殺個體總數量的 22.8%（圖 3.6）。砂島湧泉區路段則沒有特別高的路殺情形。毛足圓軸蟹雌蟹遭路殺的比例為 65.6%，雄蟹路殺所佔的比率僅 23.3%，另有 11.1%無法確定性別，雌雄比例約為 3 比 1。抱卵雌蟹遭路殺的月份出現在 5、6、10 及 11 月，顯示其繁殖季從 5 月開始至 11 月結束，但 5 月僅有 1 隻抱卵雌蟹遭到路殺。毛足圓軸蟹抱卵雌蟹遭路殺比率佔所有雌蟹的 46%，接近二分之一。由於雌蟹及抱卵雌蟹佔路殺比率較高，顯示毛足圓軸蟹的路殺與其降海釋幼遷徙有密切關係，許多雌蟹可能是在釋幼後返回內陸時遭受路殺。

路殺數量第六名的橙螯隱蟹路殺也明顯與抱卵雌蟹的降海釋幼遷徙有關，抱卵雌蟹佔路殺比例的 56%。第七名以後的陸蟹路殺比率均低於陸蟹路殺總數 2%，且其中僅有 1 隻椰子蟹為抱卵雌蟹。

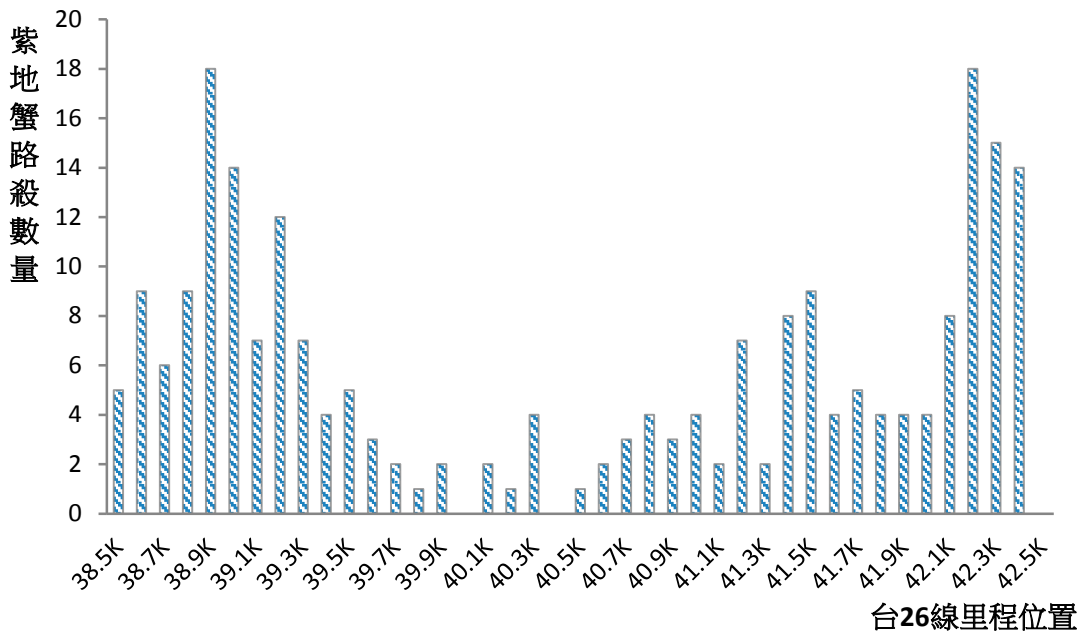


圖 3.5 紫地蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=232)。

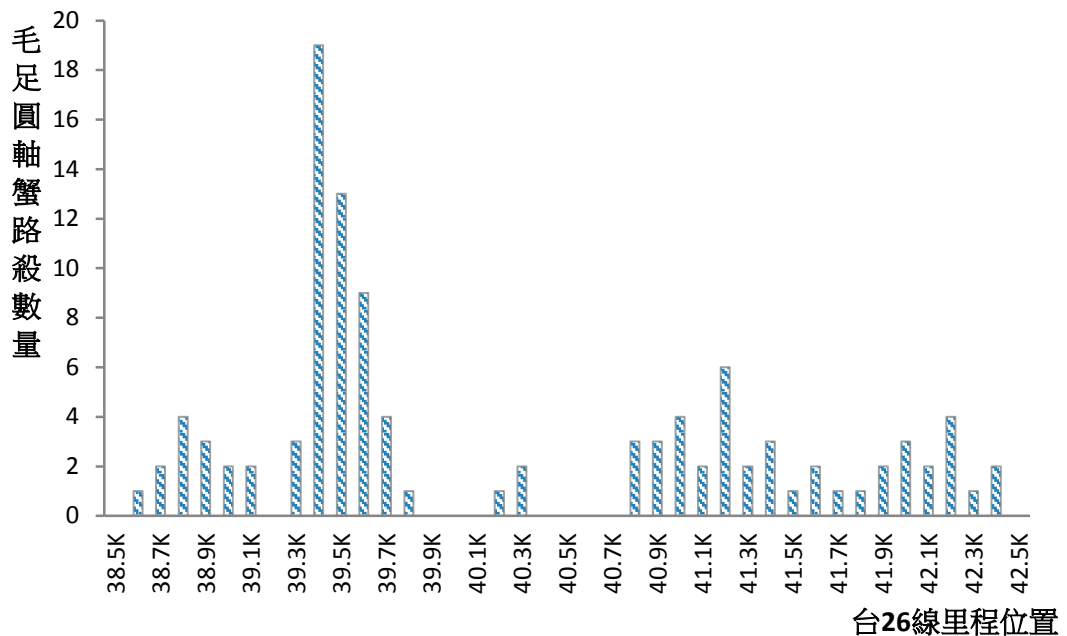


圖 3.6 毛足圓軸蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月 6 日至 2019 年 6 月 30 日期間每 100 公尺道路的路殺數量分布 (n=180)。

3.3 陸蟹的路殺時間

陸蟹在台 26 線香蕉灣—砂島路段的路殺數量有明顯的月變化。2018 年 10 月至 12 月有較大量路殺，但進入 2019 年 1 月後路殺數量開始大量降低，此低路殺狀況持續至 5 月雨季開始後才開始升高（圖 3.7）。抱卵雌蟹路殺數量的月變化更是顯著，10 月及 11 月期間還有為數不少的抱卵雌蟹遭受路殺，但 12 月至 4 月期間則僅有 2 隻抱卵雌蟹遭到路殺，分別出現在 12 月及 1 月，2 至 3 月完全沒有記錄到抱卵雌蟹的路殺。5 月開始又有 5 種陸蟹進行繁殖活動，但數量僅有 11 筆，且多集中在 5 月下旬的時段。6 月是截至目前為止九個月調查期間路殺數量最高的月份，總共有 13 種 458 隻陸蟹遭到路殺，其中抱卵雌蟹有 4 種 50 隻。1 至 4 月的路殺量均甚低，遭路殺的陸蟹種類雖然高達 14 種，但 4 個月僅有 144 隻陸蟹遭到路殺，平均一天僅有 1.2 隻陸蟹遭到路殺。

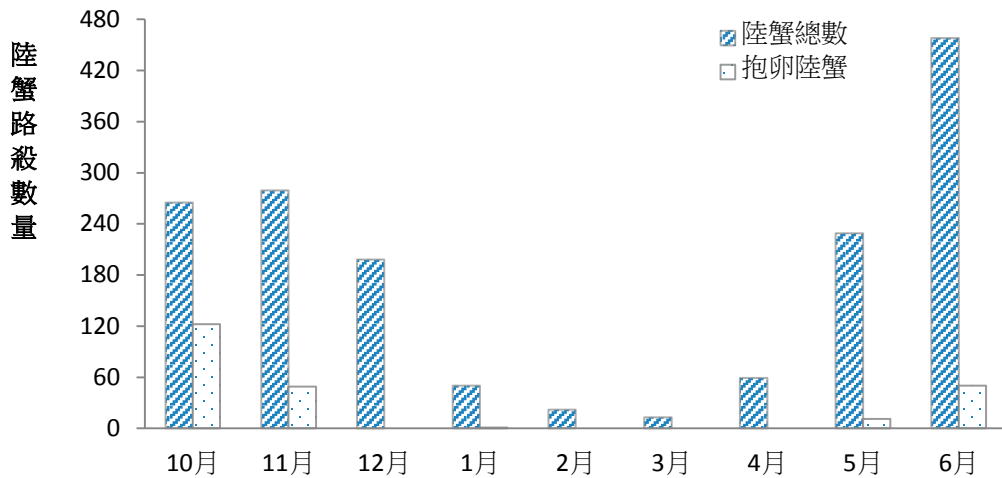


圖 3.7 陸蟹在台 26 線 38.5K 至 42.5K 間 4 公里路段；於 2018 年 10 月至 2019 年 6 月期間每月的路殺數量比較。

遭到嚴重路殺的前六名陸蟹中有 4 種的抱卵雌蟹比率較高，顯示這些陸蟹遭受大量路殺與其降海釋幼遷徙有關。遭受路殺的陸蟹中，扣除掉無法確認性別的個體，雄蟹僅佔全部路殺陸蟹的 19.9%，雌蟹則佔 49.5%，其中抱卵雌蟹又佔全部雌蟹的 30%（表 3.1）。抱卵陸寄居蟹遭路殺的比率佔陸寄居蟹全部路殺個體的 7%，顯示陸寄居蟹的抱卵雌蟹雖然也面臨路殺的威脅，但所占比例不高。

將所有陸蟹的路殺數量與農曆日期進行分析比較，顯示僅在新月前後的農曆初3與農曆25至29期間各有一路殺的高峰期，其餘時段則並無明顯的路殺高峰出現（圖 3.8）。農曆初3的路殺高峰期出現是由於印痕仿相手蟹的降海釋幼遷徙所導致，全部112隻的路殺陸蟹中，有61隻是印痕仿相手蟹。農曆25至29期間的路殺高峰則是紫地蟹與奧氏後相手蟹兩種陸蟹所導致，農曆25至29期間的陸蟹路殺數量為404隻，有95隻紫地蟹；103隻奧氏後相手蟹，兩種陸蟹佔了期間全部陸蟹路殺比率的49%。

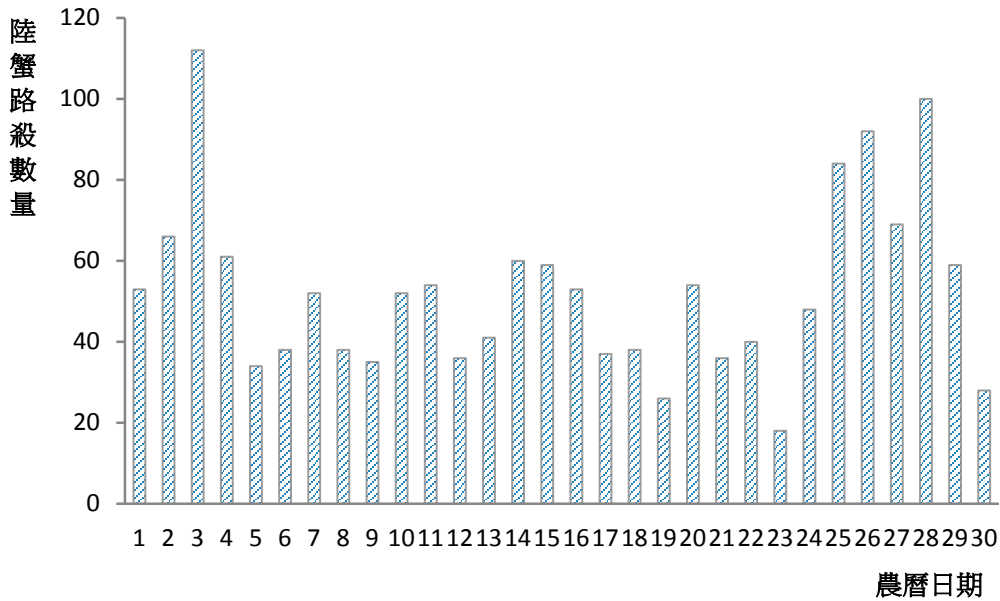


圖 3.8 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段所有種類陸蟹的路殺數量與農曆日期關係圖(n=1573)。

將陸寄居蟹的每日路殺數量與農曆日期進行分析比較，顯示並沒有特別的路殺高峰期出現，顯示陸寄居蟹的路殺與降海釋幼遷徙沒有密切的關聯（圖 3.9）。

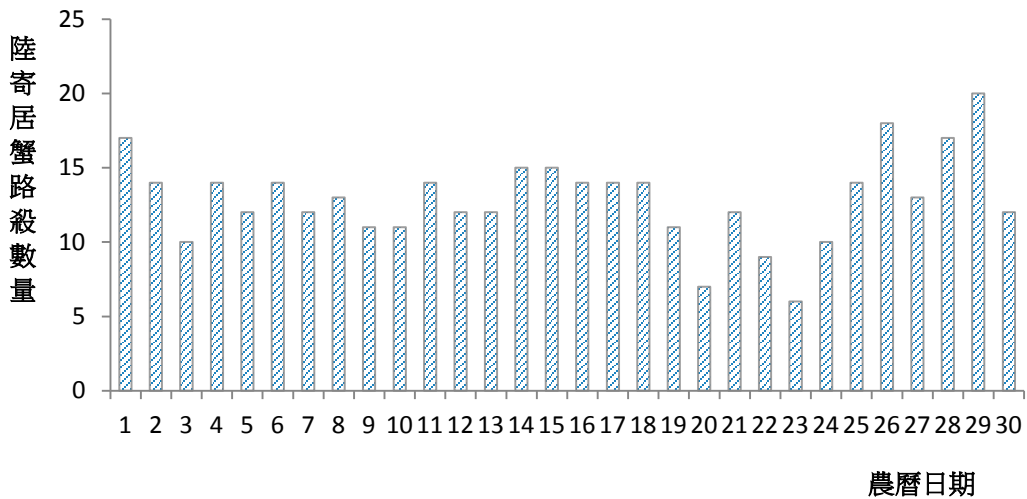


圖 3.9 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段；陸寄居蟹路殺數量與農曆日期關係圖 (n=387)。

將奧氏後相手蟹的每日路殺數量與農曆日期進行分析比較，顯示在農曆 10-11 與 25 及 28 有路殺的高峰期出現（圖 3.10）。農曆 25 及 28 的路殺高峰與奧氏後相手蟹的降海釋幼遷徙有關。

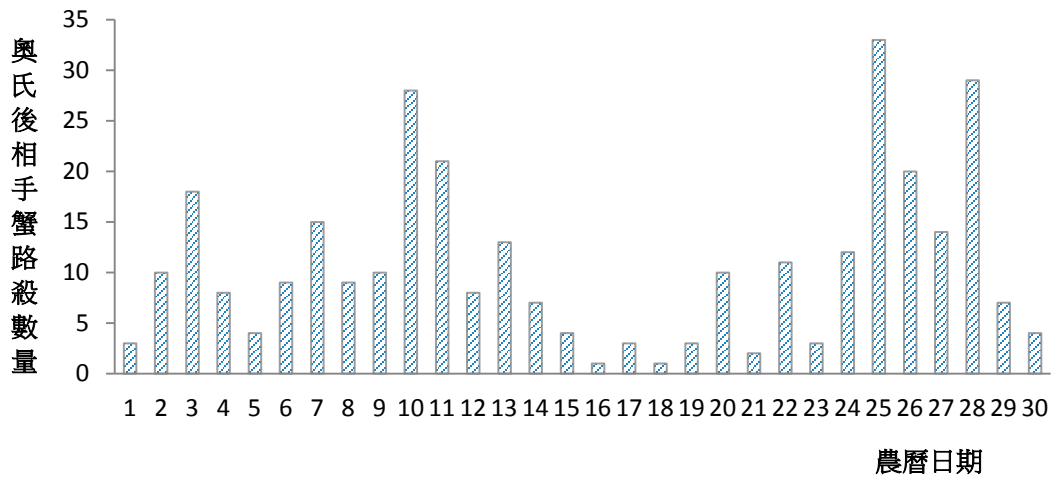


圖 3.10 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段；奧氏後相手蟹路殺數量與農曆日期關係圖 (n=320)。

印痕仿相手蟹的每日路殺數量與農曆日期進行分析比較，顯示在新月後的農曆初三前後有一路殺高峰期出現，3 天的路殺數量達 106 隻，佔總路殺比率的 37.6% (圖 3.11)。印痕仿相手蟹路殺高峰期的 3 天雖然僅有 40 隻抱卵雌蟹遭到路殺，但路殺雌蟹總數為 100 隻，佔這 3 天的路殺比率 94.3%。

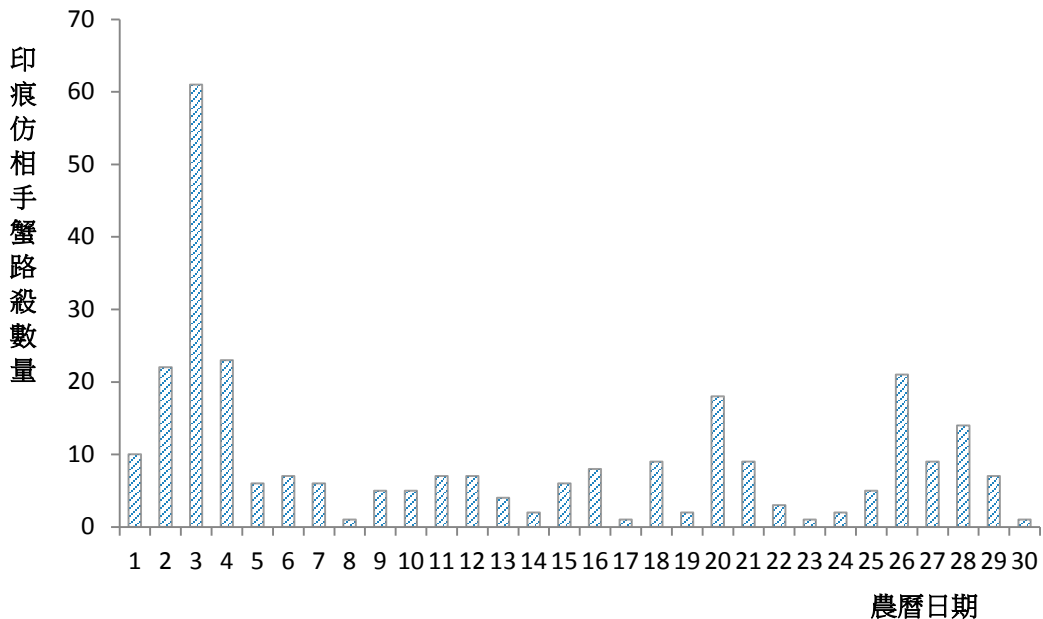


圖 3.11 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段；印痕仿相手蟹路殺數量與農曆日期關係圖 (n=282)。

將紫地蟹的每日路殺數量與農曆日期進行分析比較，顯示紫地蟹在其降海釋幼期間的農曆 24 至 29 期間出現路殺高峰期，6 天的路殺數量達 108 隻，佔總路殺比率的 46.6% (圖 3.12)。紫地蟹在農曆 24 至 29 的 6 天路殺高峰期間有 64 隻雌蟹遭到路殺，但其中僅有 1 隻為抱卵雌蟹。

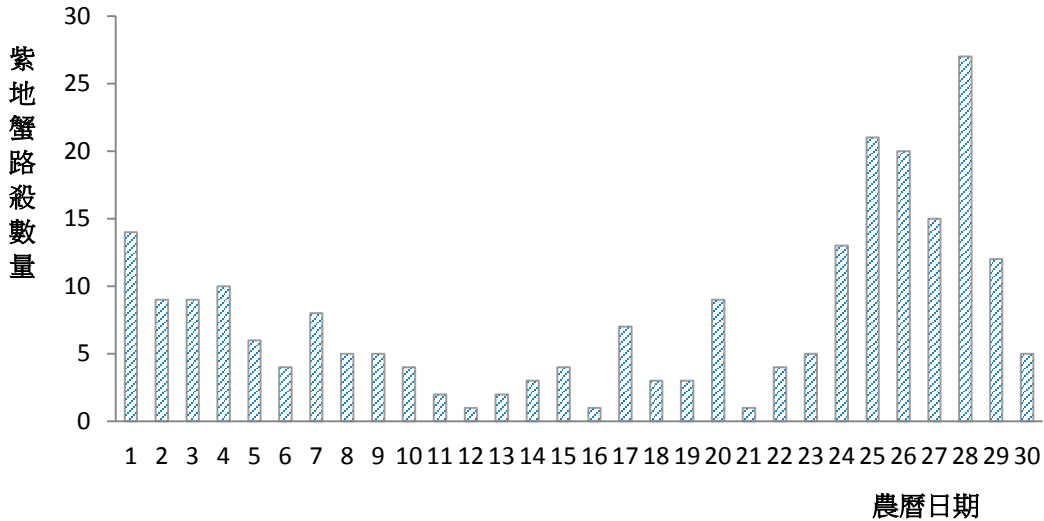


圖 3.12 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段；紫地蟹路殺數量與農曆日期關係圖 (n=232)。

毛足圓軸蟹的每日路殺數量在月圓前後有一明顯的路殺高峰期，3 天的路殺數量達 74 隻，佔總路殺比率的 41.1% (圖 3.13)。毛足圓軸蟹路殺高峰期 3 天的路殺陸蟹中雌蟹有 62 隻，佔期間全部路殺毛足圓軸蟹的 34.4%，其中又有 42 隻抱卵雌蟹遭到路殺，佔路殺雌蟹比率 67.7%，顯示路殺高峰期與毛足圓軸蟹的降海釋幼遷徙有密切的關聯。

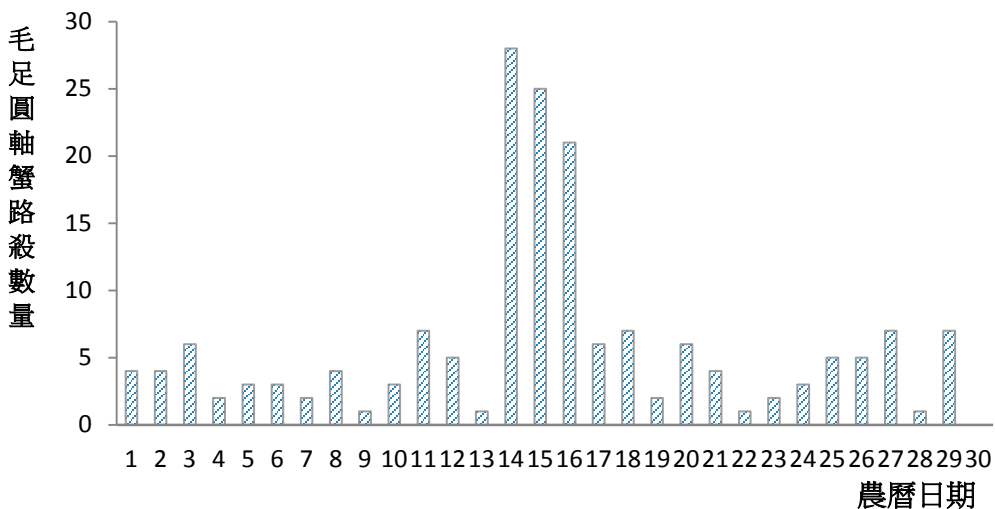


圖 3.13 香蕉灣—砂島地區 4 公里路段；毛足圓軸蟹路殺數量與農曆日期關係圖 (n=180)。

肆、討論

4.1 陸蟹的路殺特性

陸蟹是海岸公路路殺動物的主角，路殺的種類與數量均十分驚人。劉烘昌在2010執行墾丁國家公園陸蟹資源調查時，於8月10日至9月7日期間，調查台26線38.5-41.5K；船帆石至砂島間3公里路段的陸蟹路殺情形，調查期間共記錄了10種663隻遭到車輛路殺的陸蟹，其中至少有251隻為抱卵雌蟹，佔被壓死個體的40%，遭車輛壓死數量最多的陸蟹是印痕仿相手蟹，高達401隻，佔60.6%；第二高為毛足圓軸蟹，有151隻，佔22.8%；紫地蟹排名第三，遭壓死34隻，佔5.1%；保育類動物的椰子蟹遭壓死7隻，佔1.1%⁽¹⁷⁾。綠島環島公路的動物路殺研究顯示綠島的陸蟹路殺問題亦相當嚴重。吳郁蓉在2011年7月14日至8月25日期間進行連續43天的綠島20公里環島公路的動物路殺研究，共記錄到22種2697隻遭受路殺的各類動物，其中陸蟹有11種，佔所有路殺動物種類的一半，數量更高達2381隻，佔路殺總數量的88.3%⁽²⁰⁾。墾丁國家公園港口溪河口地區的茶山路2.1公里路段（位置請參考附件一地圖）是目前記錄到臺灣陸蟹路殺死亡種類與數量最高的路段。在2012年7月6日至8月18日的連續44天調查期間，在2.1公里長的茶山路路段，遭路殺陸蟹總計有19種，數量則高達7653隻⁽²¹⁾。本次的路殺調查則在台26線香蕉灣—砂島4公里路段記錄到18種陸蟹的路殺，陸蟹路殺數量更佔路殺動物總數的95.2%。

大部分陸蟹的路殺高峰期都發生在陸蟹降海釋幼遷徙時段。從陸蟹的路殺發生農曆日期及抱卵陸蟹的路殺比率顯示，台26線香蕉灣—砂島路段面臨嚴重路殺的陸蟹大部分與該種陸蟹的降海釋幼遷徙有關。香蕉灣—砂島路段陸蟹路殺排行榜前六名的陸蟹中，除了陸寄居蟹以外，其餘五種陸蟹的路殺都明顯與抱卵雌蟹的降海遷徙有關。奧氏後相手蟹、印痕仿相手蟹、毛足圓軸蟹及橙螯隱蟹都有高比例的抱卵雌蟹被路殺，路殺高峰發生的農曆日期也都是在該種陸蟹的降海釋幼遷徙期間。透過一天中不同時段的陸蟹路殺研究亦顯示陸蟹路殺的高峰期發生時段與抱卵雌蟹的降海遷徙時間有關。劉烘昌（2010）年的陸蟹路殺研究顯示：在一天的時段中，以傍晚天黑後至21:00期間壓死的陸蟹數量最多；21:00至第二天清晨06:00期間遭車輛壓死的個體較少，且大多數個體非抱卵雌蟹，陸蟹被壓死的路段分布亦較分散；白天06:00-18:00期間被壓死的陸蟹個體最少，只有11隻（1.6%），且從屍體的新鮮度判斷，大多數是在接近黃昏的時段被車輛壓死⁽¹⁷⁾。路殺排行榜第四名之紫地蟹的路殺情況較為特殊，紫地蟹的抱卵雌蟹在農曆月底期間進行幼蟲釋放⁽¹⁷⁾，其路殺高峰期的出現時間確實是在紫地蟹的降海釋幼遷徙期間，但卻只有2隻（1%）的抱卵雌蟹被路殺。低比例紫地蟹抱卵雌蟹遭到路殺的可能原因有二，一是紫地蟹在凌晨天亮前釋幼，抱卵雌蟹橫越馬路的

時段為深夜，車輛稀少，所以路殺個體極少。另一更可能原因是紫地蟹在雨季開始時即先行遷徙到台26線馬路外側的海岸地區，在靠海側的海岸林內進行抱卵，所以抱卵雌蟹不需要橫越馬路，因此只有極少數的抱卵雌蟹遭到路殺。紫地蟹在5月及6月時有高比例的雄蟹被路殺可做為遷徙到台26線馬路外側海岸林內進行繁殖的另一佐證。澳洲聖誕島紅地蟹的路殺也與其繁殖遷徙有關。在1981年底至1982年初的繁殖遷徙過程，估計有70萬至100萬隻紅地蟹遭到車輛路殺^[16]；2005年底至2006年初的繁殖遷徙過程估計約有40萬隻紅地蟹死於車輛路殺^[22]。

路殺排行第一名的陸寄居蟹的高路殺比率則與其降海釋幼遷徙無關。陸寄居蟹以貝殼為家，貝殼提供陸寄居蟹良好的保護，使捕食者無法捕食陸寄居蟹，貝殼也提供陸寄居蟹對乾燥環境的適應，使得陸寄居蟹比一般陸蟹更能耐受乾燥的環境，也比一般陸蟹有更大的活動範圍，因此夜晚時分常可見到陸寄居蟹在馬路上活動。陸寄居蟹高比率路殺的情況可能與這種特性有關。此外，相較於一般陸蟹，陸寄居蟹有更發達的第一觸角，嗅覺相對靈敏，更容易透過嗅覺發現道路上的路殺動物屍體並前往取食，並因而發生路殺。在2019年6月19日的路殺調查中，香蕉灣路段有一條鸚哥魚掉落路面，此鸚哥魚屍體周圍同時有5隻陸寄居蟹的路殺屍體，顯示陸寄居蟹取食路殺動物屍體的行為確實會提高其路殺機率。

陸蟹路殺的種類與數量與公路內陸側的自然環境特性有關。台26線香蕉灣—砂島路段的陸蟹路殺研究顯示台26線39.4K-39.7K的範圍是毛足圓軸蟹的路殺熱點，而此公路路段內陸側具有湧泉環境，湧泉周遭的潮濕環境正是毛足圓軸蟹的棲地。台26線41.1K-41.5K的範圍是印痕仿相手蟹的路殺熱點，而此公路路段內陸側具有湧泉環境，湧泉流經的水域正是印痕仿相手蟹的棲地。紫地蟹與奧氏後相手蟹的路殺熱點則是發生在公路內側較乾燥環境的海岸林路段。其它陸蟹的路殺熱點也是取決於其微棲地的環境特性。

保育類野生動物的椰子蟹 (*Birgus latro*) 面臨嚴重的路殺威脅。椰子蟹是陸地上體型最大的無脊椎動物，分布在印度—西太平洋地區，最大體型可達4公斤^[20]。椰子蟹由於體型龐大且肉質鮮美，在其分布範圍的各島嶼幾乎都變得極為罕見。臺灣本島、蘭嶼、綠島及小琉球都有椰子蟹的分布紀錄，但也都因為數量稀少，因此在野外調查中都極為罕見。但在台26線香蕉灣—砂島路段2010年及本次陸蟹路殺調查中，都有相當高數量的椰子蟹遭到路殺，其中在劉烘昌(2010)的陸蟹路殺調查中有7隻椰子蟹被路殺，佔所有陸蟹路殺比例1.1%^[17]，本次的陸蟹路殺調查則有12隻椰子蟹遭到路殺，佔所有陸蟹路殺比例0.8%。造成此特殊的椰子蟹高頻率路殺情形，可能與椰子蟹具有靈敏嗅覺及取食動物屍體的習性有關。在澳洲的聖誕島，椰子蟹常常會爬出森林，在道路上取食遭路殺的紅地蟹屍體，導致大量的椰子蟹遭受路殺^[20]。椰子蟹的路殺總數量雖然看起來不高，但因其總族群數量已經變得十分稀少，因此還是必須要重

視的一個陸蟹路殺課題，必須要能夠有效降低其路殺數量，才能夠維持此特殊物種的族群存續。

台26線香蕉灣—砂島路段的陸蟹路殺調查顯示此地區的陸蟹族群面臨極高的生存危機。以最受關注的毛足圓軸蟹為例，鍾奕霆在執行「墾丁國家公園陸蟹產卵生態構法及保育技術探討」計畫時記錄到433隻抱卵雌蟹橫越馬路，其中有50隻遭到路殺，佔抱卵個體10.4%^[23]，此結果顯示當時的毛足圓軸蟹路殺情形還不算太嚴重。2010年的1個月陸蟹路殺調查有663隻陸蟹遭受路殺，毛足圓軸蟹有151隻^[17]，顯示毛足圓軸蟹在2010年的路殺變得十分嚴重。而根據墾丁國家公園管理處保育課所提供的資料顯示：自2008年在香蕉灣至砂島路段展開護蟹行動以來，11年共記錄毛足圓軸蟹5666隻（86.8%為抱卵雌蟹），平均路殺率為11.6%。2018年的3個月9天護蟹期間，總共只記錄到毛足圓軸蟹486隻。而至今9個月的路殺調查，毛足圓軸蟹的路殺數量為180隻，超過2018年紀錄總數量的1/3，顯示路殺比率高得驚人。而至今9個月的路殺調查，路殺數量最高的6月份為458隻，只有2010年的69%，顯示香蕉灣—砂島地區的陸蟹總族群數量明顯降低。因此，解決台26線香蕉灣—砂島路段的陸蟹路殺問題變得刻不容緩，否則香蕉灣海岸林高歧異度的陸蟹物種多樣性將面臨消失命運。

4.2 陸蟹路殺的解決對策

當陸蟹與車輛同時出現在馬路上，就會產生陸蟹的路殺問題。設置生態廊道是野生動物專家想到解決野生動物路殺問題的辦法，這個方法對解決許多野生動物的路殺具有一定成效。例如陽明山國家公園就針對動物的路殺問題設置了多座生態廊道，也透過紅外線照相機的拍攝證明野生動物的確會利用這些廊道來通過馬路^[10]。動物生態廊道解決了道路切割野生動物棲地造成的物種基因隔離，而伴隨生態廊道設施所設置的阻隔設施避免野生動物進入道路，可降低野生動物的路殺情形。

但降海釋幼遷徙抱卵陸蟹通過馬路的路殺問題，相較於一般動物穿越馬路的路殺問題則複雜許多。在馬路上遊蕩的陸蟹之路殺情況與一般穿越馬路的動物面臨的路殺情況相近，但降海釋幼遷徙的陸蟹則有著全然不同的情況。陸蟹的抱卵雌蟹利用其與生俱來的導航系統進行降海遷徙，必須要在卵孵化前抵達海邊才能夠成功的繁衍下一代。因此防止陸蟹的路殺不僅僅是要讓陸蟹母蟹不走上馬路被車輛壓死，還必須要讓母蟹能夠順利且及時的趕到海邊進行幼蟲釋放。

目前的觀察研究顯示「現有的陸蟹生態廊道設置」對解決陸蟹的路殺問題幫助不大。澳洲聖誕島國家公園在紅地蟹橫越道路的範圍設置有一座天橋及46座隧道式的陸蟹生態廊道，沿著生態廊道入口的道路路邊則有設置PVC或金屬隔板之「阻隔設施」；用來防止紅地蟹進入道路及引導紅地蟹進入廊道^[22]（聖誕島廊道設施請參考附件四）。但根據通訊作者2012年至2018年的六次紅地蟹繁殖遷徙觀察結果顯示：僅有極少數的紅地蟹會使用地下生態廊道橫越馬路，天橋式的陸蟹廊道使用率則較高，但不同年份間使用率差異極大，廊道設置在路邊的PVC或金屬板阻隔圍籬雖然能夠防止紅

地蟹進入道路，但紅地蟹卻很少被其引導進入廊道，大多數紅地蟹是沿著阻隔設施遷徙，最後從阻隔圍籬的盡頭進入道路橫越公路，因此仍然面臨路殺的風險。這也是為何在陸蟹廊道設置後，2005 年底至 2006 年初的繁殖遷徙過程估計仍有 40 萬隻的紅地蟹死於道路路殺^[22]。而 2019 年的紅地蟹對隧道式廊道的使用研究結果顯示：隧道式廊道搭配平行道路的阻隔圍籬對陸蟹使用廊道通過馬路的效果很差，2489 隻繁殖完畢往內陸遷徙的紅地蟹在經過沒有裝設引導圍籬的廊道洞口時，只有 93 隻使用廊道通過馬路，僅佔遷徙總數量的 3.7%；即使在廊道洞口加裝引導圍籬，3621 隻繁殖完畢往內陸遷徙的紅地蟹在經過廊道洞口時，也只有 420 隻使用廊道通過馬路，僅佔遷徙總量的 11.6%^[24]。

臺灣的陸蟹廊道設置探討最早始於許海龍（2002、2004）執行「墾丁國家公園陸蟹產卵生態構法及保育技術探討」研究計畫，但該報告主要是指出毛足圓盤蟹（=毛足圓軸蟹）在香蕉灣—砂島地區的路殺熱點，對如何有效防止陸蟹路殺並無提出具體對策^[25,26]。綠島是臺灣目前唯一有設置陸蟹生態廊道的地方，但其對防止陸蟹路殺的效果不彰。過去綠島的陸蟹生態廊道有兩個（目前有新設置的廊道），在人權園區附近的廊道已經被沙淤積填滿（2012 年時觀察所見），完全不能發揮任何效應；燈塔附近的生態廊道設施（圖 4.1）是一個沿著馬路邊 200 公尺長的矮牆，大約在矮牆的 70 公尺處與 140 公尺處設置一條馬路下的排水溝及一條涵管，透過道路兩側的水泥矮牆做為阻隔設施，讓陸蟹在遇到阻隔設施後沿著阻隔壁行走，最後被引導到排水溝或涵管處通過馬路，這樣就不會在馬路上被車輛壓死，這是這個陸蟹生態廊道的構想^[27]。林修宇（2011）在 7 月 14 日至 8 月 25 日期間進行綠島陸蟹生態廊道的效益評估，並以廊道外側左右各一百公尺範圍；無阻隔設施路段做為研究的對照組，結果在陸蟹生態廊道區域範圍記錄到陸蟹 5 科 9 種，總數 165 隻，其中有 79 隻為抱卵雌蟹，但僅有兩隻使用生態廊道通道橫越道路，僅佔 1.28%，其餘陸蟹均攀爬阻隔設施橫越馬路，陸蟹廊道的阻隔設施未能有效防止陸蟹攀爬進入馬路路面，反而使陸蟹通過道路的時間大幅延長為 48±6 分鐘，增加陸蟹被車輛壓死的風險，生態廊道路段的陸蟹路殺數量反而超過廊道旁的對照路段，其研究結果顯示綠島的陸蟹生態廊道不但未能有效解決陸蟹降海釋幼的路殺問題，反而還延長抱卵雌蟹降海遷移時間及提高陸蟹路殺比率^[28]。最新的陸蟹廊道研究是曾晴賢在 2018 年執行墾丁國家公園管理處的「台 26 線香蕉灣至砂島路段陸蟹生態廊道系統設置可行性評估」計畫，其構想是透過帆布的阻隔圍籬引導降海遷徙路蟹至台 26 線現有的排水涵洞口，透過排水涵洞內的水泥凹槽及裝設的麻繩、木條等裝置，讓抱卵陸蟹攀爬通過涵洞前往海邊繁殖^[29]。由於與道路平行設置的阻隔帆布圍籬無法有效引導抱卵陸蟹前往排水涵洞入口，而現有涵洞入口的垂直排水井構造及排水涵洞中的水流環境也讓抱卵陸蟹很難利用排水涵洞橫越馬路。因此其廊道設施並未被墾丁國家公園管理處在進行 2019 年的護蟹行動時繼續採用。



圖4.1 綠島燈塔附近的陸蟹生態廊道設施是由沿著馬路兩側200公尺長的阻隔矮牆；及在矮牆的70公尺處與140公尺處設置一條馬路下的排水溝及一條涵管所組成。

香蕉灣—砂島地區陸蟹的路殺問題解決難度與複雜度遠遠高過聖誕島的陸蟹路殺問題。聖誕島的陸蟹生態廊道設計主要是要解決紅地蟹單一種大型陸蟹在非降海釋幼時期的遷徙路殺問題。而臺灣每一個面臨陸蟹路殺威脅的地點都是陸蟹種類繁多，不同種類的陸蟹體型差異極大，行為習性亦不相同，遷徙能力與脫水耐受程度也都有很大的差別，而且又有很高比例是降海釋幼遷徙的抱卵雌蟹，在在都使解決臺灣陸蟹的路殺問題複雜許多。在陸蟹降海釋幼遷徙的高峰時段封閉道路；禁止車輛通行是解決陸蟹路殺問題的最簡單方法，但台 26 線香蕉灣—砂島路段的交通流量甚大，封路勢必嚴重影響車輛的通行，惹來一般民眾的怨聲載道。目前研究團隊正在進行各種陸蟹的降海遷徙行為研究，希望透過對抱卵陸蟹降海釋幼遷徙行為的瞭解，配合其降海遷徙的特性，設計出能夠讓降海遷徙抱卵雌蟹有效利用的陸蟹廊道，以解決陸蟹的路殺問題。

參考文獻

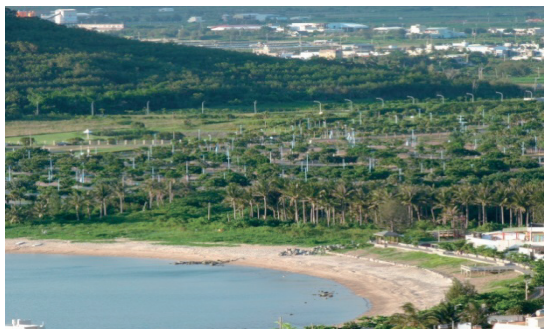
1. Coffin, A. M. (2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15: 396-406.
2. Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34: 487-515.
3. Englefield, B.; Starling, M. & McGreevy, P. (2018) A review of roadkill rescue: who cares for the mental, physical and financial welfare of Australian wildlife carers? *Wildlife Research*, 45: 103-118.
4. High Country News (2005) Roadkill statistics. https://www.hcn.org/issues/291/15268/print_view
5. Kelleher, S. (2015) More animals are killed by cars each day than we ever could have imagined. <https://www.thedodo.com/road-kill-every-day-1392772624.html#shareemail>
6. Fahrig, L. & Rytwinski, T. (2015) Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14(1): 21.
7. 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。內政部營建署陽明山國家公園管理處自行研究報告。
8. 劉小如 (2008) 陽明山國家公園生態廊道系統評估之研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
9. 臺灣動物路死觀察網 (Taiwan Roadkill Observation Network) <https://roadkill.tw/>
10. 陳怡惠 (2017) 106年度陽明山國家公園生態廊道監測工作計畫。內政部營建署陽明山國家公園管理處。48頁。
11. Burggren, W. W. & McMahon, B. R. (1988) Introduction. In: *Biology of the land crabs*, (Eds. W. W. Burggren & B. R. McMahon), p.1-10, Academic Press, Cambridge.
12. Wolcott, T. G. (1988) Ecology. In: *Biology of the land crabs*, (Eds. W. W. Burggren & B. R. McMahon), pp.55-96, Academic Press, Cambridge.
13. Lindquist, E. S. *et al.* (2009) Land crabs as key drivers in tropical coastal forest recruitment. *Biological Reviews (Cambridge)* 84, 203-223.
14. Warner, G. F. (1977) *The biology of crabs*. London: Elek Science, 202 pp.
15. Adiyodi, R. G. (1988) Reproduction and development. In: *Biology of the land crabs*, (Eds. W. W. Burggren & B. R. McMahon), pp.139-185, Academic Press, Cambridge.

16. Hicks, J. W. (1985) The breeding behaviour and migrations of the terrestrial crab *Gecarcoidea natalis* (Decapoda: Brachyura). *Australia Journal of Zoology*, 33: 127-142.
17. 劉烘昌 (2010) 99年度「墾丁國家公園陸蟹資源調查與經營管理計畫(2)」。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。88頁。
18. 劉烘昌 (2009) 98年度「墾丁國家公園陸蟹資源調查與經營管理計畫(1)」。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。77頁。
19. 劉烘昌 (2016) 104年「墾丁國家公園遊憩區(一)陸蟹生態監測及香蕉灣、砂島地區陸蟹資源調查」。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。93頁。
20. 吳郁蓉 (2011) 綠島陸蟹路殺調查。*靜宜大學生態學系專題報告*。30頁。(未發表)
21. 張宏逢 & 洪海庭 (2012) 路殺降低陸蟹釋幼成功率。*東海大學生命科學系大學部畢業論文*。
22. Orchard, M. (2012) *Crabs of Christmas Island*. Christmas Island Natural History Association Press. 288p.
23. 鍾奕霆 (2004) 毛足圓盤蟹 (*Discoplax hirtipes*) 生活史特性並應用於生態工法。*國立屏東科技大學碩士論文*。屏東。72頁。
24. 劉烘昌 & 王嘉祥 (2019) 「台26線香蕉灣—砂島地區陸蟹路殺及遷徙行為研究」期中報告書。*交通部公路總局第三區養護工程處*。74頁。
25. 許海龍 (2002) 墾丁國家公園陸蟹產卵生態構法及保育技術探討。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。25頁。
26. 許海龍 (2004) 93年度墾丁國家公園陸蟹產卵生態構法及保育技術探討。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。86頁。
27. 劉烘昌 (2014) 陸蟹的路殺:問題與對策。*生態台灣*, 43: 64-72。
28. 林修宇 (2011) 綠島陸蟹生態廊道之效益調查。*靜宜大學生態學系專題報告*。18頁。(未正式發表)
29. 曾晴賢 (2018) 107年度「台26線香蕉灣至砂島路段陸蟹生態廊道系統設置可行性評估」。*內政部營建署墾丁國家公園管理處*。

附錄一：墾丁國家公園重要陸蟹熱點位置分布圖及現地照片



墾丁國家公園重要陸蟹熱點位置分布圖（地圖擷取自 Google Earth）



後灣遊憩區海岸



香蕉灣海岸林

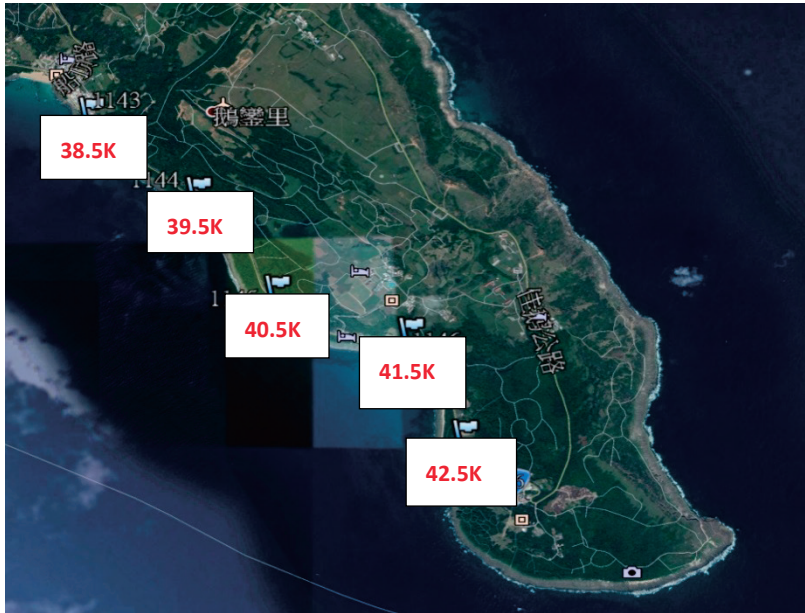


港口溪河口



溪仔口至出風鼻間的海岸

附錄二：陸蟹路殺調查範圍地圖及現場照片。



台 26 線 38.5K-42.5K；香蕉灣－砂島 4 公里路段地圖（地圖擷取自 Google Earth）



台 26 線 38.5K 往南路段



台 26 線 39.5K 往南路段



台 26 線 40.5K 往南路段



台 26 線 41.5K 往南路段

附錄三：香蕉灣—砂島地區陸蟹路殺數量前十名的種類



第一名：陸寄居蟹類 (CL：1.3 cm)



第二名：奧氏後相手蟹 (CW：1.8 cm)



第三名：印痕仿相手蟹 (CW：2.9 cm)



第四名：紫地蟹 (CW：5.3 cm)



第五名：毛足圓軸蟹 (CW：5.4 cm)



第六名：橙螯隱蟹 (CW：2.4 cm)



第七名：短腕陸寄居蟹 (CL：3.5 cm)



第八名：椰子蟹 (CL：7.0 cm)



第九名：黃灰澤蟹 (CW：3.0 cm)



第十名：格雷陸方蟹 (CW：3.2 cm)

註：螃蟹及寄居蟹的體型大小都是以身體的大小來描述，不包括腳的長度。螃蟹體型通常以頭胸甲寬 (CW：carapace width) 描述，寄居蟹體型則常以頭胸甲長 (CL：carapace length) 描述。又由於測量陸蟹抱卵母蟹的體型容易導致卵塊受到傷害，影響陸蟹繁殖，因此通常不會捕捉抱卵陸蟹進行體型測量，而是等到陸蟹釋幼完畢後才將陸蟹捕捉測量體型。此附件 10 種陸蟹的體型為本研究計劃期間調查到之該物種的平均體型。

附錄四：聖誕島陸蟹廊道照片

A：天橋式廊道



天橋式廊道側面照



天橋式廊道正面照



天橋式廊道靠海側阻隔及引導圍籬



天橋式廊道內陸側阻隔及引導圍籬



紅地蟹攀爬天橋式廊道跨越馬路



不使用天橋橫越馬路的紅地蟹群

B：隧道式廊道



隧道式廊道側面照



隧道式廊道正面照



隧道式廊道的水泥阻隔圍籬



隧道式廊道的金屬板阻隔圍籬



隧道式廊道口的引導金屬隔板



喇叭口型的水泥阻隔圍籬

臺灣公路工程月刊徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
 1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
 2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
 3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
 4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
 5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
 6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
 7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
 8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
 9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
 10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標不加括號序碼，按順序往下連續編號，再於文後條列說明。文稿中之數學式，函數請使用正體字、變數請使用斜體字。圖及表中之中文字請使用新細明體，英文字請使用 Times New Roman 字體，圖原則上不加框、繪圖物件以群組處理，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（圖書）題名、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿照片、圖片解析度需清楚（或附寄原版），凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 2010（含以上）版本之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本刊所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、來稿如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、投稿請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 109 年 5 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：先施印通股份有限公司

地 址：10491 臺北市中山區八德路二段 180 號

電 話：(02)8772-5566

中華民國 109 年 5 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123轉8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN200410003

定價新臺幣30元