

陸域動物廊道型式之探討

林世強^{1,2}

(收稿日期：2005年4月12日；接受日期：2005年9月9日)

摘要

道路可能是對生態衝擊最大之人為構造物，道路不僅提高動物因車輛撞擊致死之機率，同時也形成鄰近生物交流之阻隔，更可能造成區域生物基因單一化，降低生物之多樣性，甚至導致動物之局部滅絕。針對此課題生態學家提出迴避措施 (Avoidance)，減緩措施 (Mitigation) 與補償措施 (Compensation) 作為降低道路對生態衝擊之三項作法，然而當新道路開通或現有道路改善時，減緩措施即應予規劃設計，其中動物廊道之設置最具成效，且在國外陸續建造多年，相關之研究已漸成主流，而在我國提倡生態工法之際，有關動物廊道之規劃設計仍十分欠缺，影響台灣地區生態保育之改善，因此本文針對各種穿越道路之物動廊道型式與設計進行評估，並探討動物特性與廊道之關係。

本研究共整理六類常見種動物廊道之型式，並探討各類動物對廊道之偏好程度，以作為工程設計之參考。雖然本文中各型式之廊道皆為外國對當地動物所作之設計或評估，然而在我國尚無類似之調查與研究之前，將各種動物常用或偏好之廊道型式進行瞭解或引進，對台灣動物保育應有正面之助益。針對部份動物而言，廊道之設置位置，周邊生態環境之維護，可能較廊道本身之型式及其大小更為重要，而在探討或設計動物廊道前整體之生態調查應是最基本之要求，如此方能獲致最適宜之規劃。

關鍵詞：動物廊道，道路生態，保育

一、前言

人類為運輸交通之便捷而建造了不同型式之道路，以我國台澎金馬為例，道路之總長已達 38,202 km (中華民國交通部公路總局，2002)，道路密度更達 1.06 km/km^2 (Lin, 2004)，道路對生態系統之破壞顯而易見。雖然國內土木工程界正倡導生態工法，但生態工法不應僅止於河川之近自然工法，邊坡打樁編柵工法，透水鋪面等工程，更應考慮生存於台灣之各種動植物所在

1. 國立金門技術學院營建工程系。

2. 通訊作者。E-mail: sclin@mail.kmit.edu.tw

之生態系統，結合被動之生態工法與主動之保育措施，進行合宜之道路工程。台灣西部地區大量之土地開發與道路建設，已使動物棲地遭嚴重之破壞，自然棲地之破碎與隔絕已顯現，更使台灣西部生態系統趨於單一化與均質化，為防止動物棲地受到道路之嚴重影響，新建與既有之道路應更強調對動物之保育。歸納道路生態學之研究，道路對生物之衝擊主要有四項：破壞棲地、干擾生物、動物車禍、阻絕效應(Seiler)，然若更細分道路對生態之影響則可有(1)棲地之直接破壞，(2)大型棲地遭破碎小型化，(3)增加棲地之邊界效應，(4)外來種與特有種之不當引入，(5)動物之直接車禍致死，(6)阻礙生物之遷移並造成物種之隔離，(7)長期的人類干擾，(8)增加人類狩獵之機會，(9)改變生態之穩定變遷（如造成不定期之火災，散播疾病及引入外來昆蟲以及土壤之流失等），(10)改變表面水與地下水之水流模式(Saunders et al., 2002)，每一項對生態皆有嚴重的打擊，然而道路是人類生活與文明發展所不可或缺，如何降低道路對生態之衝擊，甚至利用道路作為生態保育之工具，應是交通規劃者與土木工程師之職責。

雖然良好的道路植栽可作為動物縱向之遷移通道(Seiler)，但橫向穿越性之通道常受到道路之阻隔，無法使陸域動物自由遷徙。另外道路之開闢改變地面水之流向、製造粉塵與沈澱、行車產生之污染與化學物質等對整體生態系統皆有長遠之負面效應(Forman and Alexander, 1998)，例如道路車輛揚塵飄落於濕地中而沈澱，此沈澱物破壞蝌蚪之食物品質進而導致成蛙之體質不佳，影響其族群發展(Gillespie, 2002)。根據調查距離濕地 250 公尺內之高速公路將造成年間 10% 之成蛙車禍致死(Hels and Buchwald, 2001)，而高交通量更導致世界兩棲動物密度之降低(Fahrig et al., 1995)，雖然道路本身提供小型哺乳動物之食物來源以及路旁植栽可作為遮避(Adams and Geis, 1983)，但也提高了動物車禍死亡之頻率(Oxley et al., 1974)，而對濕地兩棲動物而言道路亦造成之其棲地破碎，且此情形一直遭到低估(Vos and Chardon, 1998)。歐洲豪豬(*Erinaceus europaeus*)亦因道路陸續開發而降低族群密度之 30%(Huijser and Bergers, 2000)，諸如此類種種道路對動物之直接或間接影響可見於各類研究(Forman et al., 2003)。道路亦有傳播火蟻之效應，最近台灣嚴重之火蟻(*Solenopsis invicta*)入侵問題，喜日照之火蟻因道路之缺乏樹蔭而大量繁殖(Stiles and Jones, 1998)，又可能因車輛之攜帶與沿道路平坦草地提供路徑而擴張棲地(Forgs et al., 2002)，由此可見道路對生態之影響。以生態保育之觀點，為防止或降低道路對生態之衝擊，在規劃道路建設時應考慮三步驟(Forman et al., 2003)，(1)迴避措施：考慮停建道路、改變路線、道路地下化、關閉道路，(2)減緩措施：在無法作到迴避措施時可考慮施作動物廊道、增加植栽、使用生態友善材、使用清淨燃料、減少車流量、降低噪音等，(3)補償措施：當道路必須破壞生物棲地時，則應在鄰近地區重建或擴大遭破壞之生態區或於他處建立新的集中型高品質之生態區，以吸引生物移棲於新區。

道路對鄰近生態系統之衝擊可由建造廊道連結鄰近棲地而獲得部份舒解，一般而言，廊道可分為生態廊道(Corridor，如連結棲地之線形林地、沿溪流之河岸等)與人造之動物廊道(Wildlife Passage，如提供動物穿越道路之結構物)，近年針對自然生態廊道的研究發現廊道之建立可提高物種之密度(Haddad and Baum, 2003)，加強棲地間物種之交流頻率(Mech and Hallett, 2001)，以及增加物種之遷徙機率(Haddad, 1999)。但仍有部份調查研究指出，生態廊道無法吸引物種於棲

地間之遷移(Mabry and Barrett, 2002; Hannou and Schmiegelow, 2002)，或增加物種之豐度(abundance)(Hannou and Schmiegelow, 2002)，且可能傳播害蟲與疾病、引進外來種以及產生重大干擾(Simberloff et al., 1992; Forman, 1995)，惟整體而言廊道之缺點並不嚴重，但其優點對動物保育卻十分重要(Forman, 1995)，因此廊道(自然或人為)之存在仍是具有價值之保育工具(Beier and Noss, 1998)。影響廊道成功之因素相當多，諸如廊道所在之位置、周遭環境、食物鏈、地形、土壤、水文等，在排除其他因素，生態廊道對維持生態健全之成效仍獲得多數生態學者之肯定(Forman et al., 2003; Van der Zee et al., 1992; Befker et al., 1995; Maehr et al., 1991)，但具體成效其實並不明確。

針對穿越道路之人造動物廊道而言，歐美地區已有不同型式之動物廊道，許多是利用既有之穿越設施，如排水箱涵、地下道、橋梁等，部份則依動物特性而建造。美國佛羅里達州為防止動物車禍而建造道路柵欄與箱涵，完成使用後經研究發現，短期內動物車禍頻率即急速下降(Dodd Jr. et al., 2004)，成效頗佳。在加拿大班芙國家公園(Banff National Park)的實驗，也觀察到小型哺乳動物利用高速公路下之涵洞通行(McDonald and St Clair, 2004)，不同研究也發現大型哺乳動物依其特性使用不同之廊道穿越道路(Forman et al., 2003; Foster and Humphrey, 1995; Ng et al., 2004)，可見廊道之成效。另一方面，部份對道路敏感之瀕臨絕種與保育類動物而言，減緩道路對其棲地之影響是當務之急。以金門為例，金門道路密度為全國各縣份中最高者(Lin, 2004)，僅存為數不多之保育類動物歐亞水獺 (*Lutra lutra chinensis Gray*)，近年曾發生水獺遭汽車撞死之事件(李玲玲, 1997)，在英國亦有此情形(The Otter Trust, 2004)，研究亦發現水獺可於不同流域間遷移(洪志銘, 2003)，雖然道路是否亦因此而形成水獺遷移覓食繁殖之阻攔(Barrier)效應則尚未可知，當水獺棲息之各河流部份沿岸已遭水泥化，若其遷移路徑又遭阻斷，則此一度曾繁盛的保育類稀有動物可能將於金門消失，為防止水獺棲地品質之持續惡化與路徑遭阻絕，適合水獺通行之廊道應於其棲地附近之道路儘速施作，以利水獺自由繁衍與覓食。

另一方面，在設計動物廊道時必須瞭解到不同動物有其不同之需求與適合之廊道型式，也因此規畫道路之前必須先進行沿線詳細之生態調查，確定物種種類，數量，棲地範圍與品質，動物之遷移路徑等，由此資料據以規畫廊道之位置與數目，以及廊道之型式或材料，方得吸引動物之使用，發揮廊道之最佳效果。本文針對各種陸域動物之廊道型式進行探討，並檢驗其效果，但因國內未有相關之野外調查，因此本文僅就國外相關研究調查結果進行綜合性之評估與探究。

二、動物廊道之型式

動物廊道之興建開始於1970年代(Clevenger and Waltho, 2000; Reed et al., 1975; Hunt et al., 1987)，其後評估廊道效應之研究數量不多，而且大都針對單一物種進行研究，然而道路對鄰近生態之影響為全面性的，單一物種之保育無法使生態維持健全，因此評估動物廊道之成功與否

有六項準則足資判斷(Forman et al., 2003)：(1)動物車禍發生率是否降低，(2)棲地是否能保持連結，(3)基因交流是否維持，(4)生物之各項機能是否確保，(5)物種是否得散佈與移居(re-colonization)，(6)食物鏈與生態系統是否健全。而廊道之設置應具備區域之針對性，依原活動於道路鄰近棲地之動物作合宜之設計，提供不同動物合適之廊道並應維持該區域生態之完整性，同時考量稀有物種或保育類動物之特性。動物廊道之型式與尺寸是決定廊道是否成功之關鍵因素之一(Yanes et al., 1995)，因此需要進行必要之探討，以下則針對各常見且既有之田野調查結果，討論個別廊道之型式與適用性。

(一)、田鼠與野鼠 (Vole and Mouse)

齧齒類動物如田鼠(Meadow mouse, *Microtus pennsylvanicus*)、鹿鼠(Deer mouse, *Peromyscus maniculatus*)與紅背田鼠(Red-backed voles, *Chethrionomys gapperi*)為小型哺乳類動物，也是食物鏈中較底層之動物，一定數量之田鼠，方可提供較高階掠食動物之食物來源，也是維持生態完整之必要條件。加拿大的調查研究中(McDonald and St Clair, 2004)比較直徑為 0.3m 與 3.0m 之涵洞及上廊道等三種通道，鼠類對 0.3m 之涵洞使用率最高，其次為 3.0m 涵洞，上廊道使用率最低，除此之外，洞口隱密性愈佳，使用率也愈高，一般而言田鼠與野鼠喜小型之廊道，且喜茂密之植被提供安全感以躲避掠食動物，惟廊道距離棲地不宜超過 60m，否則鼠類可能迷失而無法到達。針對田鼠與野鼠之廊道特性如表一。

(二)、兩棲類動物 (Amphibian)

在歐洲特殊之“兩棲廊道”(Amphibian tunnel)已被廣泛施作(Forman et al., 2003; Dodd Jr. et al., 2004)，兩棲類動物繁殖或覓食之遷徙路徑遭道路阻隔時，廊道可提供其自由通行之機會，在美洲大陸較少施作此類廊道，而在台灣更是未見，但應可考慮開始施作。調查研究(Dodd Jr. et al., 2004)發現兩棲類動物喜潮溼之環境，故涵洞內應予覆土，蛙類與蛇類會爬過樹木進入道路而遭輾斃，若洞口雜草或樹木生長過高時，應予以清除。兩棲類動物之廊道特性如表一。

(三)、水獺 (Otter)

水獺屬貂科(*Mustelidae*)，早期台灣水獺分佈於沿海至海拔 1,500 公尺以下之山區河流之間(中華民國行政院農業委員會特有生物保育中心, 2004)，目前台灣之水獺幾已絕跡，但金門仍有少數之水獺存活。近年利用水獺排遺 DNA 標定法探討金門兩河域(後水金沙溪與前浦溪)發現仍有一定數量之水獺活動於金門(洪志銘, 2003)。由於水獺可遊走於不同流域間，距離可達 30 公里(李玲玲, 1997)，甚至 40 公里(Sussex Otters and Rivers Partnership, 2004)，部份遷移路徑通過道路，因此水獺廊道與阻攔措施應加以設計施作，Philcox 等人之研究(Philcox et al., 1999)發現，水獺因車禍致死發生之地點 91.4%位於道路通過河流或濕地之交會處，因此在水獺出沒之河川與海岸處，其間之橋梁與涵管應需特別考量。依歐洲各國之經驗與建議，水獺下廊道之特性如表一。

(四)、鹿 (Deer)

台灣現有之鹿科動物有梅花鹿(*Cervus nippon taiouanus*)、山羌(*Muntiacus reevesii micrurus*)和水鹿(*Cervus unicolor swinhoei*)，政府現有梅花鹿復育與野放計劃(台灣畜產種原資訊網, 2004)，若未來野放計劃得以成功，則道路對鹿種之影響以及鹿種與車輛可能發生之車禍則應予

以預防。國外野生之鹿種數量極多，亦常發生車禍事件，美國平均每年發生 720,000 次汽車與鹿種之撞擊事件，造成 29,000 人受傷，211 人死亡(Forman et al., 2003)，為此美國高速公路廣設置鹿廊道以利鹿之通行，減少動物車禍之次數。加拿大之研究發現鹿大多迴避潮溼之下廊道(Clevenger and Waltho, 2000)，同樣的在佛羅里達州之研究(Foster and Humphrey, 1995)觀察到鹿(*Odocoileus virginianus*)大多於白天(尤其是清晨)使用乾燥之下廊道，同時少數鹿隻在廊道內食草，調查亦發現鹿本能的選擇與掠食動物不同之廊道，可能與廊道存在掠食動物之氣味有關，一般理想鹿之廊道間隔為 1.61 km~1.77 km。鹿廊道之特性如表一。

(五)、爬蟲類 (Reptile)

台灣常見之爬蟲類動物如蛇類，蜥蜴類與龜鱉類等三大類，由於爬行速度緩慢亦無法警覺路上之來車，常遭汽車輾斃，因此更須設置爬蟲類之廊道供其通行。西班牙研究人員(Rodriguez et al., 1996)調查爬蟲類動物通過高速鐵路下涵洞的情形時，觀察到爬蟲類多於春末與夏季出現並通過涵洞，而於九月時數量快速減少，同時亦發現位於農地與灌木叢間之涵洞使用率為位於農地或灌木叢者之 2~3 倍，該研究經常發現爬蟲類動物喜於涵洞壁或洞口之沙堆曬日取暖，此因爬蟲類皆為冷血動物，其覓食與活動時之能量部份需靠日照之補充，對溫度之特殊需求亦必須於廊道設計中予以考量，因此於廊道設計時必須考慮洞口之日照情況以供其調節體溫，另一項研究則發現爬蟲類動物不喜碎石洞口(Yanes et al., 1995)，因此設計時可改為斜坡入口，其廊道設計之特色如表一。

(六)、其他中大型陸域動物

大型動物(如灰熊、黑熊、狼、麋鹿、獅、豹、山豬、山羊等)多數僅能存活於大陸型地區，如美國、加拿大及歐洲等地，以上地區之國家皆有較完整之紀錄與研究，多數大型動物可使用之廊道亦可提供中小型動物通行(如兔、貓、狐、野狗、獾等)，供中大型動物通行之廊道可分為下廊道(underpass)與上廊道(overpass)，但二種廊道皆應配合路旁柵欄之設置，以達到引導動物使用既有廊道之效果。此二類廊道之通用型式設計如表一。

表一. 各類動物之廊道設計一覽表

動物	型式	尺寸	材料	特性
兩棲類動物 (1)(2)	圓形或方型 (下廊道)	(1) 長度小於 20m 時， $0.3\text{m} \leq D(\text{or } W) \leq 1.0\text{m}$ (2) 長度大於 50 m 時， $D(\text{or } W) \geq 1.5\text{m}$ (W：寬度)	1. 混凝土 2. 金屬 3. 塑膠	(1) 廊道底層應有土質材料。 (2) 廊道內應保濕潤。
爬蟲類 ⁽¹⁾⁽³⁾	圓形(下廊道)	$2.0\text{m} \leq D \leq 3.5\text{m}$ (D：直徑)	混凝土	此類廊道洞口應有充足之日照，以利爬蟲動物自由往返日照與陰涼區，調節其體溫。

表一. 各類動物之廊道設計一覽表(續)

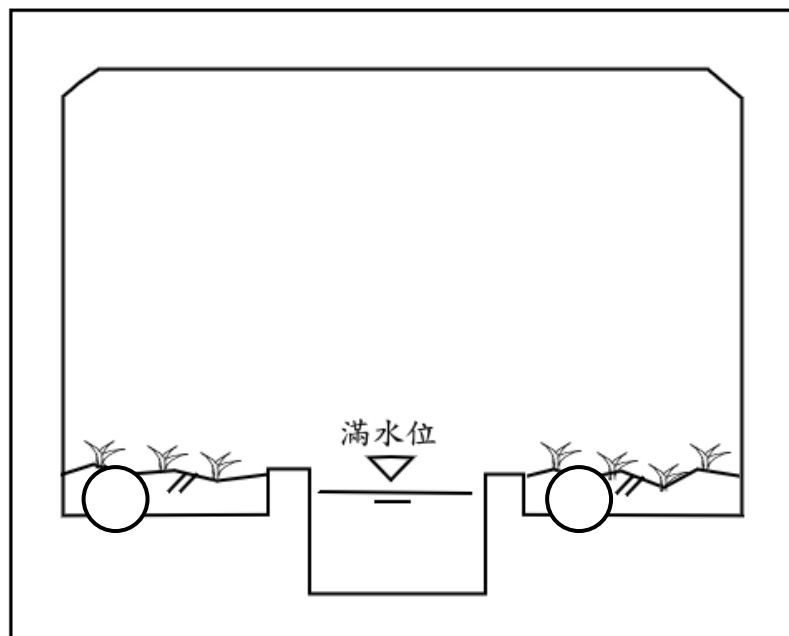
動物	型式	尺寸	材料	特性
田鼠、野鼠 (2)(4)(5)	圓形(下廊道)	$0.3\text{m} \leq D \leq 0.9\text{m}$	混凝土管	(1) 洞口鄰近應有茂密植被。 (2) 距離棲地不宜超過60m。
水獺	(1) 大跨度橋樑 (下廊道) ⁽⁶⁾	--	混凝土或鋼構	於雨季或河流滿水位時應有未淹沒之草地河岸供水獺遷徙。(如圖一)
	(2) 大型箱涵 (下廊道) ⁽⁶⁾	--	混凝土	箱涵內應設置小溝渠, 惟於雨季或河流滿水位時應有土質空間供水獺行走。(如圖二)
	(3) 圓形(下廊道)	$D \leq 0.9\text{m}^{(1)}$ $D = 0.6\text{m}^{(7)}$ $D = 0.33\text{m}^{(8)}$	混凝土	(1) 鄰近之道路路旁應設置1m高之柵欄, 除避免水獺闖入道路內, 亦可引道水獺使用廊道。 (2) 獸穴50m內不可有人為干擾。
鹿	(1) 橋梁 (下廊道) ⁽⁹⁾	$W > 40\text{m}$ $H > 5\text{m}$ (H: 高度)		橋樑周遭應儘量保持自然之棲地型態以利鹿之通行。
	(2) 方形箱涵 (下廊道)(含其他有蹄類動物, 如山豬等) (1)(10)	$W > 7\text{m}$ $H > 2.4\text{m}$	混凝土	一般而言鹿喜好上廊道, 但足夠寬闊之下廊道仍能吸引部分鹿之通行, 惟鄰近應有綠覆。
大型陸域動物	圓形或方形 (下廊道) ⁽¹⁾	$2\text{m} < W < 100\text{m}$ $2\text{m} < H < 5\text{m}$	混凝土	(1) 應依動物選用特殊之個別型式與尺寸。 (2) 可考慮於道路旁設置柵欄, 防止動物進入 ⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ 。

表一. 各類動物之廊道設計一覽表(續)

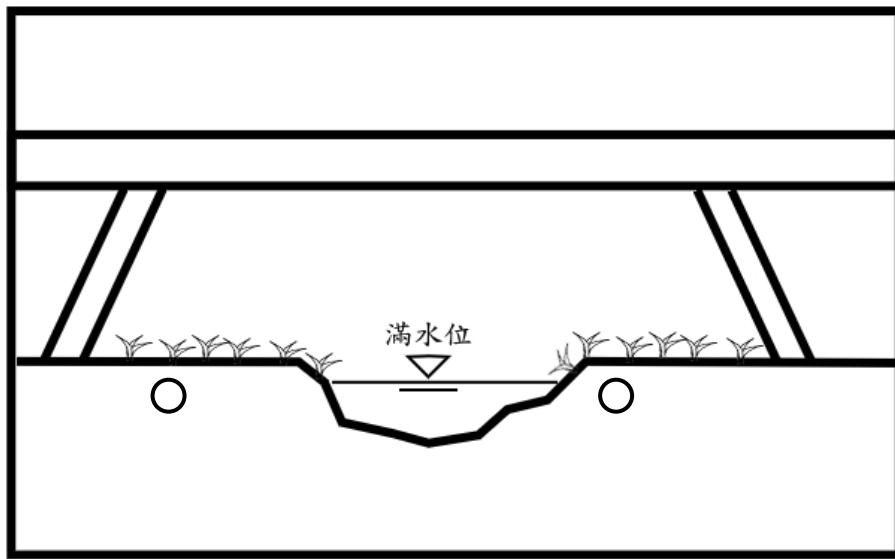
動物	型式	尺寸	材料	特性
大型陸域動物 (續)	砂漏型 ⁽¹⁾⁽¹²⁾ (上廊道, 如圖三)	中間寬 $W_1 \geq 30m$ 兩端寬 $W_2 \geq 80m$	混凝土	(1) 上廊道兩旁應有柵欄配以灌木叢, 防止動物摔落路面。 (2) 廊道上應有植土與濃密植栽, 並與前後端景致相似。 (3) 歐洲之野豬經常使用此類廊道, 可提供保育台灣山豬之參考。
	一般長條型 (上廊道) ⁽¹⁾	$50m \leq W \leq 60m$	混凝土	(1) 較少動物使用寬度小於 20m 之上廊道。 (2) 廊道上之植栽與植土仍是必要的。

(1) Forman et al., 2003; (2) Dodd Jr. et al., 2004; (3) Rodriguez et al., 1996; (4) McDonald and St Clair, 2004; (5) Andreasen et al., 1996; (6) Philcok et al., 1999; (7) Devon County Council, 2004; (8) The Otter Trust, 2004; (9) Ng et al., 2004; (10) Foster and Humphrey, 1995; (11) 蔡厚男、邱銘源、呂慧穎, 2003; (12) Bekker et al., 1995.

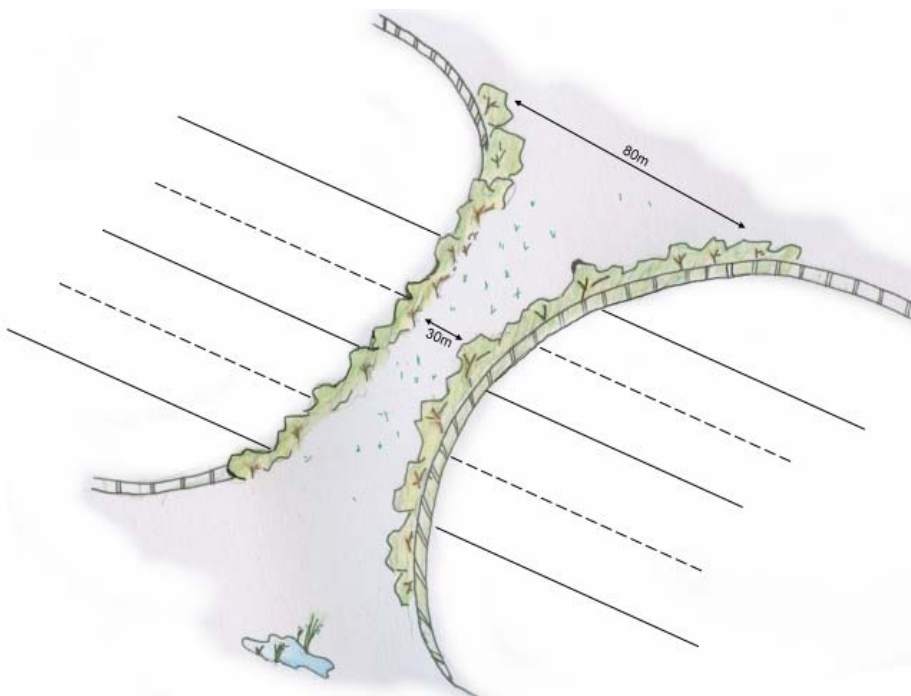
目前比較成熟定型之廊道有水獺廊道與大型動物之上廊道, 其型式如圖一、圖二、圖三。



圖一. 箱涵內水獺廊道, 左右兩側設置直徑 60 公分之圓管供水獺通行 (Devon County Council, 2004)



圖二. 橋梁下水獺廊道，左右兩側設置直徑 60 公分之圓管供水獺通行(Devon County Council, 2004)



圖三. 砂漏型之上廊道，廊道上之雨水可收集於濕地並提供兩棲類動物接近(Forman et al., 2003)

三、動物對廊道之偏好

動物對道路有直接或間接關係者亦為數眾多，我們無法對各個物種設計其專屬之廊道，但保育類與稀有動物則應有特別之措施以保護其生存。於規劃設計動物廊道前，應清楚目標動物對廊道之行為模式，儘可能瞭解該物種之棲地、分佈、數量、行為與習性。

除上節所探討之動物與其合適之廊道外，動物對廊道之喜好與親近程度亦十分重要，整體而言小型動物偏好小廊道，因其隱密性提高小型動物之安全感，而大型動物則較能接受大型廊道，尤其上廊道，其原因除動物的體型外，大廊道較寬闊之視野，使動物易於警覺掠食者之接近。針對一般動物對廊道之接受程度可歸納如表二，工程人員可由表二所列之動物習性，設計合宜之廊道。

表二. 動物對廊道型式之偏好 (Cevenger and Waltho, 2000; Dodd Jr. et al., 2004; Forman et al., 2003; McDonald and St Clair, 2004; Ng et al., 2004; Rodriguez et al., 1996; Yanes et al., 1995)

	小型哺乳動物	爬蟲類	中大型哺乳類動物	
			肉食動物	有蹄類
長度	↓	↔	↓	↓
寬度	↑	↔ ⁽¹⁾	↔	↑
高度	↑	↔ ⁽¹⁾	↔	↑
潮溼	↑	↑	↑	↓
開放程度 (斷面積/長度)	↑	↔ ⁽¹⁾	↑	↑
洞口隱密性	↑	↑	↑	↔
人類干擾	↓	↔ ⁽²⁾	↓	↔
上廊道	↓	↓	↓	↑

↑：偏好， ↓：迴避，↔：無影響。

(1)：爬蟲類動物偏好中型之圓形廊道。(2)：人類與爬蟲類偏好相同之廊道溫度調節作用。

四、動物廊道之設置地點

由各國之研究可發現廊道設置之地點較廊道之型式重要，某些動物對於廊道大小或型式之忍受度極高，如獾(*Badger, Meles meles*)可通過 0.25m 直徑之涵管，鼬(*Melogale moschata subaurantiaca*)與靈貓類(*Viverrid*)可使用 0.53m 直徑之圓管至 3m 寬度之方型箱涵，而 20m 寬度之大型下廊道，浣熊(*Procyon lotor*)和美洲黑熊(*Ursus americanus*)皆可使用(Rodriguez et al., 1996)，但若廊道距離棲地過遠，則廊道之效用將極為有限。因此在考慮廊道之型式前，其設置所在位置與鄰近條件將決定此廊道之成功與否，另外於廊道所在位置，周遭應考慮(1)施作人工濕地可吸引兩棲類動物接近廊道，(2)洞口定期檢查整理，防止過於雜亂隱密，阻礙動物通行或接近，(3)道路近廊道路段設置柵欄，以防止動物直接闖入道路造成危險，然柵欄之設置必須考慮道路兩側動物族群特徵(Jaeger and Fahrig, 2004) (4)製作動物引導設施，如斜坡、彎道、溝渠，以指引動物進入廊道，(5)減少人為干擾，廊道若經常為人類所使用，則將降低動物之親近程度，妨礙動物之通行。若無相關之配合措施，即使有完善之廊道設置，亦將無法吸引動物之使用，降低廊道之成效。而有關廊道位置之選定有幾項原則。

(一)、接近該動物之棲地 (Forman et al., 2003; Rodriguez et al., 1996; McDonald and St Clair, 2004)

若道路經過動物主要之棲地而未設置適合該動物之廊道，反而在較遠處施作，則動物可能無法到達廊道，進而阻斷其遷移之路徑。以小型哺乳動物為例，廊道距離其棲地超過 60m，則小型哺乳動物即不易到達(McDonald and St Clair, 2004)，因此廊道與棲地之距離為十分重要之因素，但最大容忍距離與物種特性有關，需另行調查。另一方面，設置於棲地附近之廊道其周遭應儘可能復育該物種之棲地形貌，使廊道更接近該物種之天然廊道(natural corridor)，以吸引動物之使用進出。

(二)、接近動物遷移路徑上

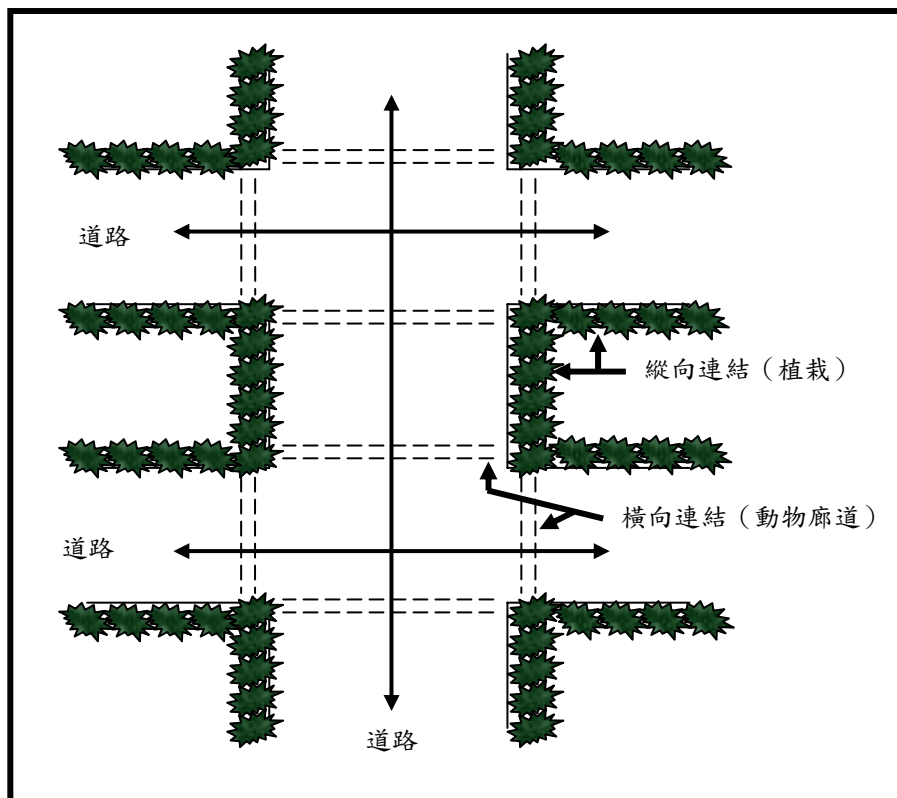
某些動物因季節、覓食或求偶之因素固定遷徙於某一路徑上，為此適合該物種之廊道應於該路段予以施作，若阻斷其自由遷移，將可能影響動物族群。以南太平洋聖誕節島(Christmas Island)為例，每年紅蟹(*Red Crab, Gecarcoidea natalis*)固定於雨季來臨時(10, 11 月)遷移至海邊交配產卵，此時地方政府規定相交會之道路須暫時封閉或車輛改道，防止造成紅蟹之傷亡，同時政府亦設置所謂紅蟹廊道(*Crab Crossing*)減少受人類與道路車輛之干擾(Australian Department of Environment and Heritage, 2004)。因此在道路規劃前動物遷移路徑應由生態調查予以確認，以作為廊道設置之依據。

(三)、接近動物經常出沒或經常發生車禍之地點

對於既有之道路而言，經常發生動物車禍之地點應是鄰近區域存在有吸引動物之特質，如在英國，道路與河流或濕地交會處經常發生水獺遭汽車撞斃之意外，尤其在河流或濕地滿水位時，水獺必須穿越道路遷移，因而遭輾斃，此類情形佔水獺車禍致死之 91%(Sussex Otters and Rivers Partnership, 2004)，因此廊道位置雖未必是遷徙路徑，但由於車禍次數多，或動物出沒機率高，即應於此地帶設計施作適合該動物之廊道，除減少動物之死亡亦可提高行車之安全。

(四)、考慮整體棲地之連結性

動物棲地與森林區受道路建設或區域開發而呈分散破碎狀，此情況非常不利動物之生存與生態之健全，以島嶼生物地理學理論及生物保育學觀點，棲地愈大愈完整則物種數量愈多愈豐富，棲地之破碎化(Fragmentation)及小型化皆有可能導致物種之局部滅絕，道路之興建更阻斷陸域間際族群(Metapopulation)之散播(disperse)路徑，無法重新移居(re-colonize)已局部滅絕之棲地，因此應將破碎之棲地予以連結建立散播廊道，以創造大型連續之棲地及生態系統。為減緩道路造成之棲地破碎，可利用道路邊緣植栽與動物廊道建構之綠網連結連破碎之棲地，主要之作法是在路旁種植隱密多樣之植物，提供動物沿道路方向遷移，而穿越式之人造動物廊道(上廊道或下廊道)，則可作為動物連結道路兩側棲地之通道，如圖四，動物可於道路縱向與橫向之廊道網絡中自由遷移於各棲地，從而降低棲地破碎化之影響，增加動物活動範圍與基因交流，維持動物之穩定數量。



圖四. 道路綠網示意圖

動物廊道設置地點與數量應首重整體性考慮棲地之完整性，以巨觀分配廊道向位，而後依遷移路徑，棲地距離與動物出沒處決定個別廊道位置，故整體而言動物廊道之設計應以生態系統健全為基礎，以保育稀有或瀕臨絕種之動物為要件，追求個別物種之穩定生存為目標，如此方是兼顧生態永續與交通便捷之作為。

五、結 論

由於缺乏本土性之相關研究，本文整理國外道路動物廊道之型式與其成效，以及各類動物對廊道偏好之傾向，提供國內既有道路改善或新建道工程路設計參考，雖然其全面適用性有待進一步之研究，但動物廊道對於動物保育之優點仍多於缺點，在國內沒有相關之調查、實驗及設計標準之情況下，本文提供之評估結果或可作為設計之依據。然而廊道之設計除有物種之針對性外，整體生態系統之考量應置於首位，進而全面性檢討道路之合宜性，普遍設置動物廊道。倘若任由道路繼續切割生態，則未來僅有之野生動物必將陸續消失，屆時再行復育，可能為時已晚，不如現在就將該有之廊道綠網建立準備好，減少道路之破壞，慢慢復育既有生物，以待未來物種之繁盛。

本研究所提之設計與改進方案中生態學者之參與是不可或缺的，無論是物種之種類、數量、習性、棲地範圍，植被之合適性，動物遷移路徑、稀有物種或保育類之判定等皆需生態學者之現地調查，因此大型土木工程之前期規劃中應結合生態學者，共同研擬兼顧生態保育之道路建設。

由前文針對路域動物廊道設置之整理與研究，可歸納以下各點評估之原則：

1. 不同動物對廊道之偏好各異，其主要原因在於躲避掠食動物與遷移特性，大型動物喜視野較佳之上廊道與較寬廣之下廊道，而小型動物則喜較隱密之下廊道，因此廊道之施作應儘量針對該地區原有動物之特性而設置。
2. 當廊道所在地區有多種陸域動物棲地時，其型式之選擇應首先考慮稀有或保育類動物以及生態基石(Keystone)動物(缺乏此類動物鄰近生態系統將會崩潰)，其他重要考量物種也應包括族群數量較少之動物、生態敏感度高之動物以及大型動物。
3. 單一廊道提供給多種動物通行時，仍以大型廊道為優先，並配合適宜之植被、土壤與隱密性吸引小型動物使用。
4. 動物廊道之設置應考慮配合柵欄之施作，柵欄雖可降低動物車禍發生率，但卻會增加阻隔效應，因此柵欄設置之原則如下：(1)車流量高，或動物穿越道路成功率低，或鄰近之目標物種數量正減少時，應設置柵欄。(2)物種數量穩定，或數量上升，或動物必須使用道路兩側之資源時，則不應設置柵欄。

廊道完工使用後應定期維護(如檢視結構、清除障礙物、修剪不當之植物等)，並進行監視(如鋪灑石灰粉以確認動物足跡或紅外線自動攝影等方式)，而針對生態敏感區更應於廊道設置前後進行生態調查，其調查結果可用以評估廊道設置效益作為未來改善之參考依據。

六、致 謝

作者感謝二位審查委員對原稿之寶貴建議，本文係行政院國家科學委員會專題計畫(編號：NSC 92-2211-E-151-010 與 NSC：93-2815-C-507-003-E)之部份研究成果，特此致謝。

七、參考文獻

- 中華民國交通部公路總局資料，2002。台灣省公路密度-縣市別。
- 中華民國行政院農業委員會特有生物保育中心資料庫。http://nature.tesi.gov.tw/
- 台灣畜產種原資訊網，行政院農業委員會畜產試驗所。
- 台灣野生動物多媒體資料庫，兩棲類篇，台灣大學動物學系空間生態研究室。
- 李玲玲，1997。金門地區水獺之分佈與現況。台灣濕地，86年4月號第5期。
- 洪志銘，2003。以排遺 DNE 標定法探討金門地區兩條溪流流域水獺之族群結構，國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 蔡厚男、邱銘源、呂慧穎，2003。道路工程與生態工法，熊貓出版社，台北市。
- Adams, L.W. and A. D. Geis, 1983. Effects of roads on small mammals. *Journal of Applied Ecology* 20: 403-415.
- Andreasen, H. P., S. Halle and R. A. Ims. 1996. Optimal width of movement corridors for root voles: not too narrow and not too wide. *Journal of Applied Ecology* 33:63-70.
- Befker, H., B. Van den Hengel, H. Van Bohemen and H. van der Sluijs. 1995. Natuur over Wegen (Nature across motorways), Delft, Netherlands. Ministry of Transportation, Public Works and Water Management.
- Beier, P. and Noss, R. F. 1998. Do habitat corridors provide connectivity?. *Conservation Biology* 6:1241-1252.
- Bekker, H., B. van den Hengel, H. van Bohemen and H. van der Sluijs. 1995. Natuur over Wegen (Nature across motorways). Delft, Netherlands: Ministry of Transportation, Public Works and Water Management.
- Clevenger, A.P. and N. Waltho. 2000. Factors Influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14(1):47-56.
- Devon County Council. http://www.devon.gov.uk/otters.pdf/
- Dodd Jr. C. K., W. J. Barichivich and L. L. Smith. 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation* 118:619-631.
- Fahrig L., J. H. Pedlar, S. E. Pope, P. D. Taylor and J. F. Wegner. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 7:177-182.
- Forgs, E.A., C. R. Allen and D. P. Vojork. 2002. Influence of the proximity and amount of human development and roads on the occurrence of the red imported fire ant in the lower Florida Keys. *Biological Conservation* 108:27-33.
- Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press. Cambridge. UK. Pp832.
- Forman, R. T. T. and L. E. Alexander, 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Reviews of Ecological System* 29(99): 207-231
- Forman, R.T.T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, C. D. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahrig, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine and T. C. Winter, 2003. *Road Ecology, Science and Solutions*. Island Press, Washington,

pp481.

- Foster, M. L. and S. R. Humphrey. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 23 (1): 95-100.
- Gillespie, G.R. 2002. Impacts of sediment roads, tadpole density, and food type on the growth and development of tadpoles at the spotted tree frog *Litorra spen ceri*: 97 in-stream experiment. *Biological Conservation* 106: 145-150.
- Haddad, N. M. 1999. Corridor and distance effects with butterflies. *Ecological Application* 9:612-622.
- Haddad, N. M. and K. A. Baum. 2003 An experiment test of corridor effects on butterfly densities. *Ecological Applications* 9:623-633.
- Haddad, N. M., D. R. Bowne, A. Couningham, B. J. Danielson, D. J. Levey, S. Sargeut and T. Spria. 2003. Corridor use by diverse taxa *Ecology* 84:609-615.
- Hannou, S. J. and F. K. A. Schmiegelow. 2002 Corridor may not improve the conservation value of small reserves for most boreal birds. *Ecological Applications* 12:1457-1468.
- Hels, T, and E. Buchwald. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation* 99: 331-340.
- Huijser, M. P. and P. J. M. Bergers. 2000. The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. *Biological Conservation* 95: 111-116.
- Hunt, A., H. J. Dickens and R. J. Whelan. 1987. Movement of mammals through tunnels under railway lines. *Australian Zoologist* 24:429-441.
- Jaeger, J. A. G. and L. Fahrig. 2004. Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology* 6:1651-1657.
- Lin, S.C. 2004. Ideal road density for small islands, Proceeding, Islands of the world VIII International Conference, 1-7 November 2004, Kinmen Island (Quemoy), Taiwan, [2p 504-521]
- Mabry, K.E. and G. W. Barrett. 2002. Effects of corridors on home range sizes and interpatch movements of three small mammal species. *Landscape Ecology* 17: 629-636.
- Maehr, D. S., E. D. Laud and M. E. Roewe. 1991. Mortality patterns of panthers in Southwest Florida. *Proceedings of the Annual Conference of Southwestern Association Fish and Wildlife Agencies* 45:201-207.
- McDonald, W and C. C. St Clair. 2004. Elements that promote highway crossing structure use by small mammals in Banff National Park. *Journal of Applied Ecology* 41:82-93.
- Mech, S. G. and J. G. Hallett. 2001. Evaluating the effectiveness of corridors, a genetic Approach. *Conservation Biology* 15:467-474.
- Ng, S. J., J. W. Dole, R. M. Sauvajot, S. P. D. Riley and T. J. Valone. 2004. Use of highway undercrossings by wildlife in Southern California. *Biological Conservation* 115:499-507.
- Oxley, D.T, M. B. Fenton and G. R. Carmody. 1974. The effects of roads on populations of small mammals. *Journal of Applied Ecology* 11: 51-59.
- Philcox, C. K., A. L. Grogan and D. W. MacDonald. 1999. Patterns of Otter *Lutra lutra* Road Mortality in Britain. *Journal of Applied Ecology* 36:348-362.

- Reed, D. F., T. N. Woodward and T. M. Pojar, 1975, Behavioral response of mule deer to a highway underpass. *Journal of Wildlife Management*. 39:361-367.
- Rodriguez, A., G. Crema and M. Delibes. 1996. Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology*. 33:1527-1540.
- Saunders, S. C., M. R. Mislivets, J. Chen and D. T. Cleland. 2002. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. *Biological Conservation* 103:209-225.
- Seiler, A. Ecological effects of roads. Grimso Wildlife Research Station, Dept. of Conservation Biology, University of Agriculture Sciences, s-730, 91 Riddarhyttan, Sweden.
- Simberloff, D., J. A. Farr, J. Cox and D. W. Mehlman, 1992. movement corridor: conservation bargains or poor investment?. *Conservation Biology* 6:493-504.
- Stiles, J.H. and R. H. Jones. 1998. Distribution of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in road and powerline habitats. *Landscape Ecology* 335:335-346.
- Van der Zee, F. F., J. Wierste, C. J. F. Jer Braak and R. C. Apeldoorn. 1992. Landscape change as a possible cause of the badger *Meles meles L. hedline* in the Netherlands. *Biological Conservation* 61:17-22.
- Vos, C.C. and J. P. Chardon. 1998. Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. *Journal of Applied Ecology* 35:44-56.
- Yanes, M., J. M. Velasco and F. Suarez. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates the importance of culverts. *Biological Conservation* 71:217-222.
- Australian Department of Environment and Heritage.
<http://www.deh.gov.au/parks/christmas/fauna/redcrabs.html/> .(2004 引用)
- Sussex Otters and Rivers Partnership. 2004, Otters and Water Voles. Environment Agency UK.
[//www.sussexwt.org.uk/sorp.htm](http://www.sussexwt.org.uk/sorp.htm).(2004 引用)
- The Otter Trust, Earsham, Bungay, Suffolk, Nr35 2AF United Kingdom.
http://www.ottertrust.org.uk/Resources_Page/mortality.pdf.(2004 引用)

A review for the types of wildlife passages

Shyh-Chyang Lin^{1, 2}

(Manuscript received 12 April 2005 ; accepted 9 September 2005)

ABSTRACT : Road might be the most destructive object to the ecosystem. The effects of roads are road kills, barriers for animal interactions, decrease of genetic diversity and furthermore causes of local extinction. However ecologists have proposed guidelines for reducing road impacts on wildlife which are Avoidance, Mitigation and Compensation. Prior to road construction or maintenance, mitigation has to be carried out for keeping ecosystem intact. So called wildlife passages have been proven effective on conservation of wildlife. The passages have been built for years in Europe and North America and been a major research field, however there are only few studies regarding this issue in Taiwan. Road without wildlife passages is an obstacle of improving conservation in Taiwan. The aim of this paper is to introduce and assess various types of wildlife passages that have been design and built in Europe and North America. The possibility of local use for those wildlife passages will be discussed in this paper.

This paper summarized six types of regularly wildlife passages. The preferences of wildlife on the passages are also discussed and evaluated. Those passage features could be used as base for engineering design. Although most of the data collected in this research is not from local, however based on the similarity of animal behaviors we believe that there will be no negative impact on wildlife in Taiwan. Furthermore, the locations and maintenance of peripheral areas of wildlife passages are much more important than the types and sizes of passages. It can be concluded that full scale field survey and assessment is the foundation of establishing wildlife passages network. The success of conservation of wildlife lays on the collaboration of ecologists, transportation specialists and civil engineers.

KEYWORDS : wildlife passages, road ecology, conservation

1. National Kinmen Institute of Technology.
2. Corresponding author. E-mail: sclin@mail.kmit.edu.tw