

# 墾丁國家公園地景變遷與銀合歡入侵之關係

吳坤真<sup>1</sup>，何莞薇<sup>1</sup>，陳建璋<sup>1,2</sup>，陳朝圳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立屏東科技大學森林系；<sup>2</sup>通訊作者 E-mail: zzzjohn@mail.npust.edu.tw

**[摘要]** 墾丁國家公園位於臺灣恆春半島南端，受到土地利用的轉變，致使銀合歡(*Leucaena leucocephala*)大量擴散成為生態危害力最高的入侵種；瞭解地景變化對於銀合歡入侵之關係是為對於制定自然資源經營管理重要依據。本研究目的是以地景變遷研究，探討變遷後地景結構對銀合歡入侵之影響。藉由 1988、1997 及 2009 年之多期 SPOT 衛星影像進行土地利用分類，探討土地利用變遷與地景結構變化之影響；並以 2009 年航空照片判釋繪製銀合歡空間分布，探討土地利用類型與銀合歡入侵現況之關係；本文研究分析透過計算地景指數及銀合歡面積比例，以卡方獨立性檢定探討地景破碎程度與銀合歡入侵程度之關聯性；以相關分析探討銀合歡面積比例與地景指數變化的關係。研究結果顯示，在地景結構變遷方面，全區地景結構以 2009 年最為破碎，在形狀指數方面，指出 1988、1997、2009 三期衛星影像分類結果之形狀指數均呈增加的趨勢，其中以 2009 年平均形狀指數值最高。本研究藉由銀合歡分布之面積比例與其地景指數之分析得知，地景破碎程度與銀合歡入侵程度具有關聯性，相關性分析之最大嵌塊體指數呈負相關，與 Shannon's 地景多樣性指數呈正相關。本研究證實地景嵌塊體類型越複雜將增加銀合歡的入侵。

**關鍵字：**地景指數、地景結構、銀合歡

## The Relationship between Landscape Change and Invasion of *Leucaena leucocephala* in Kenting National Park

Kun-Jen Wu<sup>1</sup>, Yuan-Wei Ho<sup>1</sup>, Jan-Chang Chen<sup>1,2</sup> and Chaur-Tzuhn Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology; <sup>2</sup>Corresponding author E-mail: zzzjohn@mail.npust.edu.tw

**ABSTRACT** Kenting National Park (KTNP) is located in the most southern part of Hengchuen Peninsula in Taiwan. The land-use change in this area has resulted in a great spillover of *Leucaena leucocephala*, a serious invasive alien species. Therefore, to understand the invasion of *Leucaena leucocephala* in the changing landscape has become the most important task before formulating forest management strategies. The purpose of this study is to explore how landscape structure change influences the invasion of *Leucaena leucocephala*. Basing on landscape change data, multi-temporal SPOT satellite images from 1988, 1997 and 2009 were used to generate land cover maps and study the effects of land use change on the variation of landscape structure. High resolution aerial ortho-rectified images were used to map the distribution of *Leucaena leucocephala* and study the species' invasiveness in different land use types. Landscape metrics and the proportion of *Leucaena leucocephala* cover calculated from 46 randomized sub-landscapes of 1 km<sup>2</sup> were used to investigate the relationship between

landscape fragmentation and the invasiveness of *Leucaena leucocephala* using chi-square and correlation analyses. The results showed that the landscape structure was most fragmented in 2009. The shape index showed an increasing trend from 1988 to 1997 and 2009. Among them, the average shape index value of 2009 is higher. The proportion of *Leucaena leucocephala* and landscape index analysis showed a positive relationship between the degree of landscape fragmentation and the invasion level of *Leucaena leucocephala*. The correlation analysis has shown that the correlation of the largest patches index is negative, while the Shannon's diversity index is positive. This study confirmed that the invasion of *Leucaena leucocephala* will worsen if the type of landscape patch becomes more complex.

**Keywords:** landscape metrics, landscape structure, *Leucaena leucocephala*

## 前言

近年來由於人口增加及社會經濟快速發展之下，土地利用類型(Land Use Type)不斷的被轉變，而土地利用會改變原有地景，對棲地環境、物種組成及生態系都有可能造成衝擊，尤其在人為開發活動頻繁處，容易增加外來種入侵機會，對於本地的生物多樣性造成衝擊的重要因素。外來植物成功入侵的主要原因不完全是生態幅度因素，人為干擾破壞原生植物群落，則是造成外來植物入侵的最大影響因素(Kitayama and Muellerdombois 1995)；通常干擾越強烈，入侵越容易發生(Duggin and Gentle 1998)，尤其是廢棄的農耕地與開墾過的閒置地，更易使入侵種生長(Cramer *et al.* 2008)。因此，外來入侵植物的干擾易構成地景之變遷，亦會造成自然生態系破碎化。Hobbs (1997)指出不論是土地使用計畫或生物多樣性保存皆需考慮到地景生態的觀點；生態系的變遷有其方向性，唯有透過監測地景變遷的時間序列，才能了解其變化的自然機制。而地景生態學可研究地景在不同尺度的時空變化，更能進一步探討地景結構、功能及變遷對生態的影響(Forman and Godron 1986, Hobbs 1997)。由於地景功能與變遷與其地景結構密切相關，因此地景分析之先決條件便是量化地景結構。地景之空間結構則可利用地景指數(Landscape Index)加以量化及描述，藉此瞭解地景空間型態，以及空間變化過程的相互作用(McGarigal and Marks 1995)。遙航測技之應用能有效監測

植物分布位置，且航空照片空間解析力佳，應用前後期航空照片進行定點區域之生態變遷立體判釋，透過應用航空照片監測外來入侵植物使地景產生變化的範圍，擴散程度繪製為分布圖已有豐碩的成果(金絜之等 2007，馮郁筑等 2009)；金絜之等(2007)透過航空照片，利用人工判釋法探討銀合歡入侵情形，而陳建璋等(2011)應用不同年度之土地利用情形及銀合歡發展狀況，瞭解銀合歡之擴散現象與土地利用之關係。

墾丁國家公園位於臺灣南端，區內擁有豐富的自然景觀及資源，並為保護熱帶生物多樣性之地區，隨著土地利用類型之轉變，又因銀合歡生長快速，對生育地要求不高，使外來植物銀合歡(*Leucaena leucocephala*)成為全島性低海拔生物多樣性的入侵種(劉靜榆、曾彥學 2007)。過去多數的報告針對墾丁國家公園銀合歡入侵擴散與空間分布特性等進行探討(鍾玉龍、呂明倫 2006，馮郁筑 2008，郭昱君 2008)，較少由地景生態學的角度探討外來物種入侵的問題；而運用地景指標可測定鑲嵌區塊之大小、形狀、類別及分布等空間資訊，能有效的掌握變遷方向與程度。隨著人為開發與過度利用致使自然環境產生結構的改變，故有必要探討地景變遷對生態系結構與功能的影響。本研究以地景生態學的觀點，期望瞭解墾丁國家公園地景變遷與銀合歡入侵分布之關係，並對外來種入侵之空間分布關係有較為深入之探討。

## 材料與方法

### 一、研究區概述

墾丁國家公園位於臺灣南端的恆春半島(圖 1)，於 1984 年成立，是臺灣第一個成立的國家公園。其位置三面環海，東面太平洋，西鄰臺灣海峽，南瀕巴士海峽。陸地範圍西邊包括龜山向南至紅柴之台地崖與海濱地帶，北至南仁山區，陸域面積達 18,083.50 ha，海拔高度範圍為 0~520 m，全區地形以低山及丘陵台地為主，西部平緩台地，中部為丘陵地形，最高點為南仁山生態保護區內之萬里得山，海拔 520 m。墾丁國家公園屬熱帶性氣候，年平均氣溫 23℃，夏季特長，冬季不明顯，1 月最冷，平均氣溫為 20.5℃；7 月最熱，平均氣溫為 28.3℃，全年氣候溫暖。年平均降雨量約為 2,200 mm，分佈不均，集中於 5 月至 10 月，約占全年降雨量之 82%，11 月至翌年 4 月則為乾旱季節。本區在 10 月至翌年 3 月東北季風特強，每秒達 10~17 m，俗稱『落山風』，為本區特有現象(墾丁國家公園管理處 2008)。

### 二、研究材料

#### 1. 遙測資料

本研究為探討試驗區內長期土地利用及地景變遷情形，蒐集 1988 年 2 月 5 日、1997 年 11 月 10 日及 2009 年 1 月 19 日三期之法國 SPOT 衛星影像資料(表 1)，做為影像分類之材料；將地被(land cover)組成分為高植生量植群、中植生量植群、低植生量植群、農作地、建成地裸露地以及水體，6 類。經由監督式分類的最大概似法進行影像分類，1988 年之總體準確度為 83.33%，總體 kappa 值 0.80；1997 年總體準確度 83.67%，總體 kappa 值 0.804；2009 年影像分類準確度達 85.33%，總體 kappa 值為 0.824。

#### 2. 航空照片

本研究為建置墾丁國家公園銀合歡分布現況之情形，採用農委會農林航空測量所製作之 2009 年彩色航空正射影像(圖 2)，其空間解

析力為 25cm×25cm。銀合歡在航空照片上於其他樹種不同，能呈現不同的樹冠結構特徵及不同的色調，利用 ESRI Arc GIS 9.2 地理資訊系統軟體，以形狀、大小、色調與顏色、陰影模樣與組織等判釋基本要素(陳朝圳等 1996)進行人工判釋，並以 GPS 於現地收集座標位置，作為判釋之地面參考，以螢幕數化方式建立墾丁國家公園銀合歡分布圖層之地理資料。

### 三、研究方法

#### 1. 墾丁國家公園地景變遷之探討

為量化墾丁國家公園在 1988 年、1997 年及 2009 年間地景變遷之情形，本研究使用衛星影像分類產生之土地利用圖層，使用 Fragstats 3.3 空間格局分析軟體，計算地景與地被組成類別層級的地景指數。本研究依前人文獻最廣應用之 8 種地景指數(陳朝圳、鍾玉龍，2003；Jomaa *et al.* 2008)；依據指數功能之不同，分為一般性指數、形狀指數、鄰近度與連接性指數、多樣性指數等四大類。選用的一般性指數為：嵌塊體數量(Patch Number, PN)、嵌塊體密度(Patch Density, PD)、最大嵌塊體指數(Largest Patch Index, LPI)、平均嵌塊體大小(Mean Patch Size, MPS)；形狀指數為平均形狀指數(Mean Shape Index, MSI)、嵌塊體平均碎形維度(Mean Patch Fractal Dimension, MPFD)；地景多樣性指數為 Shannon' s 多樣性指數(Shanon' s Diversity Index, SHDI)；各項指數計算公式如附錄 1。

#### 2. 銀合歡入侵分布之現況

為了瞭解銀合歡的入侵情形，將完成後的銀合歡分布圖與土地利用類型圖層，利用地理資訊系統軟體的套疊分析工具(overlay)，以計算銀合歡在各土地利用類型所佔之面積及百分比，並探討銀合歡不同土地利用類型之入侵現況。

#### 3. 墾丁國家公園地景變遷對銀合歡分布之關係

為瞭解地景變遷之結果與銀合歡入侵分布之關係，以 2009 年土地利用類型圖層，於

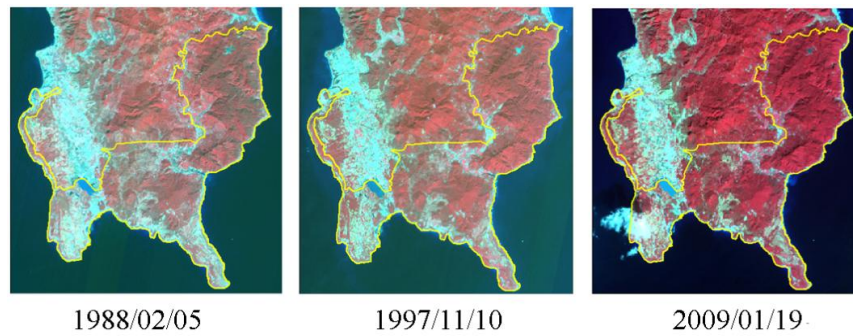


圖 1. 三期 SPOT 衛星影像

表 1. 研究區域三期SPOT衛星影像基本資料

拍攝日期	衛星名稱	空間解析力(m)	視角(°)	太陽方位角(°)	太陽高度角(°)
1988/02/05	SPOT1	12.5×12.5	-26.85	145.15	44.38
1997/11/10	SPOT1	12.5×12.5	-21.99	154.05	47.21
2009/01/19	SPOT5	10×10	-22.43	147.78	37.33

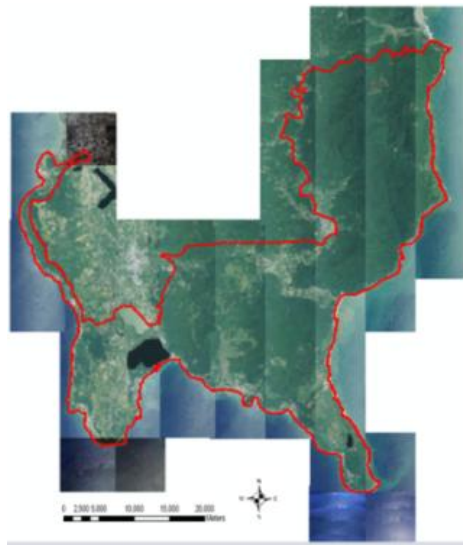


圖 2. 墾丁國家公園範圍彩色正射航空照片

墾丁國家公園區域內考量地景結構的變異性，故設立 1,000m×1,000m (100 ha)的方形樣區，採用 GIS 軟體隨機取 50 個樣區，排除 4 個範圍超過國家公園邊界，共選取 46 個樣區。利用各地景層級的地景指數(NP, PD, MPS,LPI, MSI, MPFD, SHDI)量化各樣區之地景結構與計算各樣區中銀合歡之面積比例，對各樣區的嵌塊體平均大小等級區分出高度破

碎(< 1.4 ha)、中度破碎(1.41 ha 至 2.22 ha)、低度破碎(>2.23 ha)三個等級區分地景結構破碎之程度，並將各樣區銀合歡之面積比例定訂入侵程度分別為無入侵 (0%)、低度入侵 (0%~10%)、中度入侵(10%~20%)、高度入侵 (20%~30%以上)，以不同破碎程度與銀合歡入侵程度利用卡方獨立性檢定探討地景破碎化與銀合歡入侵程度的關聯性。為了進一步瞭解

地景結構變化與銀合歡分布之關係，以 7 個地景指數分別與銀合歡面積比例繪製散佈圖，利用各指數與銀合歡面積比例進行相關性分析，探討銀合歡面積比例與地景指數變化的關係。

## 結果與討論

### 一、墾丁國家公園全區地景結構

計算墾丁國家公園全區三個時期地景層級的地景指數，其結果分別如圖 3、表 2 所示：

由表 2 可得知墾丁國家公園全區之地景結構：1988-1997-2009 年在一般性指數中的嵌塊體數量與嵌塊體密度有先減後增的趨勢，單位面積內的嵌塊體數量增加，嵌塊體密度也隨之增加；平均嵌塊體大小與最大嵌塊體指數之值則呈現先增後減的趨勢，由此可知 1997 年嵌塊體數量較少，但平均嵌塊體大小與最大嵌塊體指數是三時期中最高，由分類影像中可看出許多高植生量植群與農作地集合成較大的嵌塊體，因此嵌塊體數量會減少，而 1988 年的最大嵌塊體指數最低，2009 年的平均嵌塊體大小最小，此值表示在 1988 年與 2009 年大面積的嵌塊體為較少，在單位面積下，嵌塊體面積逐漸縮小。

在形狀指數方面，為敘述地景嵌塊體的形狀複雜程度，其結果顯示三期的形狀指數皆呈增加的趨勢，其中以 2009 年的平均形狀指數值較高，表示 2009 年的地景可能有較多的邊緣生育地。而在 Shannon's 多樣性指數則表示地景多樣性與複雜性的程度，結果顯示多樣性指數有先增加後減少的趨勢，其中以 1997 年的值最高，有較多的地被類型，且 1997 年的平均嵌塊體大小與最大嵌塊體指數最大。

墾丁國家公園在近 10 年來，人工硬體的興建如 2000 年後灣的國立海洋生物博物館開幕，及後壁湖的後壁湖遊艇碼頭開幕，遊客量持續增加為因應遊客的增加，因此在 2009 年嵌塊體數量會大量增加，由此在當地景多樣性增加，銀合歡的面積則具有較高的比例。利用

地景變遷後近期資料，2009 年的地景結構與銀合歡之分布，進行關聯性測定，結果顯示地景破碎化程度在銀合歡的入侵程度上是具有關聯性，符合前人研究有關破碎化有利於入侵種的論點。

### 二、銀合歡入侵分布之現況

#### 1. 銀合歡空間分布圖之建立

利用螢幕數化繪製銀合歡空間分布之結果如圖 3 所示。計算銀合歡在墾丁國家公園區域內之面積為 872.3 ha，佔陸域總面積 4.82%。

#### 2. 地景變遷對銀合歡入侵分布之影響

本研究以卡方獨立性檢定探討地景結構破碎程度與銀合歡入侵程度的關聯性，所得結果得知二者之間具有顯著的關聯性 ( $\chi^2=21.86043$ ,  $df=11$ ,  $p<0.05$ )，故地景破碎化程度在銀合歡的入侵程度上是具有關聯性。為了進一步瞭解地景結構變化與銀合歡分布之關係，首先以 7 個地景指數分別與銀合歡面積比例繪製散佈圖，其結果如圖 4 所示。

利用各指數與銀合歡面積比例進行相關性分析，以探討指數的變化對於銀合歡分布的影響。結果如表 3 所示。

表 3 可知，最大嵌塊體及地景多樣性指數與銀合歡面積比例具有顯著關係，其中與最大嵌塊體指數呈現負相關，此指數為測定樣區中最大嵌塊體面積佔總面積之比例，當最大嵌塊體比例越大，銀合歡面積比例越小；與地景多樣性指數呈正相關，此指數反映地景中類型的多樣性及複雜性，指數值越大表示該樣區的地景多樣性越大。

在地景指數與銀合歡分布之關係，本研究結果以最大嵌塊體與銀合歡面積比例呈現負相關，與地景多樣性指數呈正相關，由此可知銀合歡在小嵌塊體中所佔比例較高，隨著最大嵌塊體比例增加時，銀合歡的面積也有逐漸變小的趨勢，表示銀合歡在較完整的嵌塊體可能不易入侵。Song *et al.* (2005) 使用土地利用變化情況、區塊特徵與入侵植物分布格局，進行

表 2. 墾丁國家公園地景層級之地景指數計算結果

地景指數	1988 年	1997 年	2009 年
嵌塊體數(NP)	12,667	12,619	14,291
嵌塊體密度(PD)	70.25	69.99	79.26
平均嵌塊體大小(MPS)	1.42	1.43	1.26
最大嵌塊體指數(LPI)	25.96	28.79	27.91
平均形狀指數(MSI)	1.34	1.34	1.37
嵌塊體平均碎形維度(MPFD)	1.062	1.065	1.067
Shannon's 多樣性指數(SHDI)	1.36	1.42	1.39

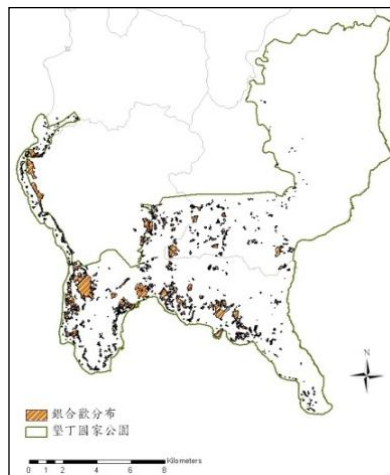


圖 3. 墾丁國家公園 2009 年銀合歡入侵分布圖

表 3. 地景指數與銀合歡入侵比例之相關性測試結果

	NP	PD	LPI	MPS	MSI	MPFD	SHDI	L area
NP	1.00	1.00**	-0.61**	-0.88**	-0.07	-0.11	0.66**	0.09
PD		1.00	-0.61**	-0.88**	-0.07	-0.11	0.67**	0.10
LPI			1.00	0.62**	-0.13	0.09	-0.90**	-0.31*
MPS				1.00	0.09	0.20	-0.70**	-0.21
MSI					1.00	0.86**	0.09	-0.23
MPFD						1.00	-0.05	-0.14
SHDI							1.00	0.45**
L area								1.00

\*p<0.05; \*\*p<0.01; NP: 嵌塊體數量; PD: 嵌塊體密度; LPI: 最大嵌塊體指數; MPS: 平均嵌塊體大小; MSI: 平均形狀指數; MPFD: 嵌塊體平均碎形維度; SHDI: Shannon's 地景多樣性指數; L area: 銀合歡面積比例。

地景指數與入侵植物之相關分析，其結果指出入侵植物與地景指數的嵌塊體大小、形狀以及邊緣具正相關。在本研究顯示當地景多樣性指數增加，銀合歡面積亦逐漸增加，陳朝圳等(2001)認為人為干擾對地景直接的影響，是增加地景類型的多樣性，地景多樣性增加也表示地景系統的不安定較大，相對的地景生態系統

較不穩定，由此可知人為活動所帶來的干擾，包括交通、農牧及土地開發及利用等，對地景嵌塊體類型越複雜而產生破碎化將導致增加銀合歡入侵的機會。

### 結論

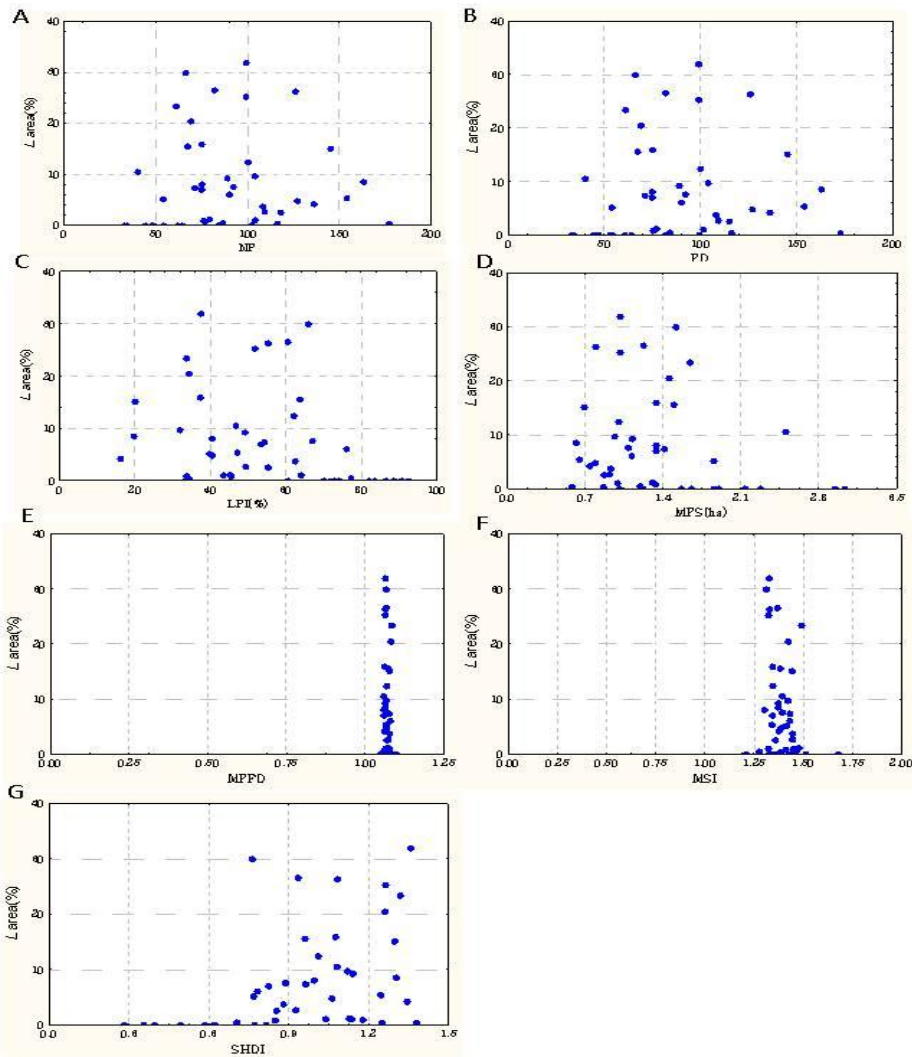


圖 4. 地景指數與銀合歡面積比例之關係

在地景結構方面，全區以 2009 年的嵌塊體數最多、嵌塊體密度最高以及平均嵌塊體大小最小，顯示地景破碎的程度大於 1988 年與 1997 年。在形狀指數方面，其結果顯示三期的形狀指數皆呈增加的趨勢，其中以 2009 年的平均形狀指數值較高，表示 2009 年的地景可能有較多的邊緣生育地；在 Shannon's 多樣性指數，結果顯示多樣性指數有增加及平緩的趨勢。

由地景結構的變化是否會影響銀合歡之分布結果得知，地景破碎化程度在銀合歡的入侵程度上是具有關聯性，地景結構與銀合歡入侵比例之相關性，以最大嵌塊體指數呈現負相

關，與地景多樣性指數呈正相關。最大嵌塊體比例增加時，銀合歡的面積也有逐漸變小的趨勢，其銀合歡在較完整的嵌塊體較不易入侵，地景多樣性之增加，銀合歡面積亦逐漸增加，因此可知地景嵌塊體類型越複雜而產生破碎化將導致增加銀合歡的入侵。

## 誌謝

本研究承內政部營建署墾丁國家公園管理處補助研究經費，謹此致謝。

## 引用文獻



- 金絜之、魏浚紘、陳朝圳。2007。墾丁國家公園銀合歡入侵之研究。華岡農科學報 20:1-52。
- 郭昱君。2008。土地利用變遷對入侵植物分布之影響-以墾丁國家公園銀合歡為例。國立臺灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所碩士論文，95 頁。
- 陳建璋、馮郁筑、魏浚紘、陳朝圳。2011。航空照片應用於恆春半島尖山、關山、後灣與大尖石山地區之銀合歡植群擴散。華岡農科學報 27:1-100。
- 陳朝圳、吳守從、鍾家正。1996。地理資訊系統應用於南化水庫集水區土地利用變遷之研究。國立中興大學實驗林研究彙刊 18(2):98-112。
- 陳朝圳、陳正華、吳守從。2001。人為干擾對南仁山生態保護區地景之影響。林業研究季刊 23(2):25-34。
- 陳朝圳、鍾玉龍。2003。應用遙感探測於墾丁國家公園計畫各分區長期植群生態變遷之調查與研究。墾丁國家公園管理處保育研究 123 號，105 頁。
- 馮郁筑、魏浚紘、陳建璋、陳朝圳。2009。恆春半島尖山、關山、後灣與大尖石山地區土地利用變遷對銀合歡入侵之影響。華岡農科學報 24:69-81。
- 馮郁筑。2008。航空照片應用於恆春半島之銀合歡植群擴散。國立屏東科技大學森林學系研究所碩士論文，81 頁。
- 劉靜榆、曾彥學。2007。高屏溪至保力溪口海岸地區之植群分類。中華林學季刊 40(4):459-480。
- 墾丁國家公園管理處。2008。墾丁國家公園 97 年年報，41 頁。
- 鍾玉龍、呂明倫。2006。SPOT 衛星影像於墾丁國家公園銀合歡入侵分布之繪製。台灣林業科學 21(2):167-177。
- Bailey S. 2007. Increasing connectivity in fragmented landscapes: An investigation of evidence for biodiversity gain in woodlands. *Forest Ecology and Management* 238:7-23.
- Cramer VA, RJ Hobbs and RJ Standish. 2008. What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology and Evolution* 23:104-112.
- Duggin JA and CB Gentle. 1998. Experimental evidence on the importance of disturbance intensity for invasion of *Lantana camara* L. in dry rainforest-open forest ecotones in northeastern NSW, Australia. *Forest Ecology and Management* 109(14):279-292.
- Ewers RM and RK Didham. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews* 81:117-142.
- Forman RTT and M Godron. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, NY. 620pp.
- Hobbs R. 1997. Future landscapes and future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning* 37:1-9.
- Jomaa I, Y Auda, BA Saleh, M Hamz, and S Safi. 2008. Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon. *Landscape and Urban Planning* 87: 67-75.
- Kitayama K and D Muellerdombois. 1995. Biological invasion on an oceanic island mountain: Do alien plant species have wider ecological ranges than native species. *Journal of Vegetation Science* 6(5):667-674.
- Song IJ, SK Hong, HO Kim, B Byun and Y Gin. 2005. The pattern of landscape patches and invasion of naturalized plants in developed areas of urban Seoul. *Landscape and Urban Planning* 70:205-219.



附錄 1. 地景指數計算公式

一、地景指數

(一) 一般性指數

1. 嵌塊體數量(Number of Patches, NP)

$$NP = n_i \tag{1}$$

$n_i$  = 類型 i 中所有嵌塊體數量。

2. 嵌塊體密度(Patchiness Density, PD)

$$PD = \frac{n_i}{A} \times 10,000 \times 100 \tag{2}$$

$n_i$  = 類型 i 中所有嵌塊體數量；

A = 總地景面積。

嵌塊體密度係計算每 100 ha 之單位面積上的嵌塊體總數量

3. 最大嵌塊體指數(Largest Patch index, LPI)

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100 \tag{3}$$

$a_{ij}$  = 類型 i 中第 j 個嵌塊體之面積；

$\max(a_{ij})$  = 類型 i 中最大 j 嵌塊體之面積；

A = 總地景面積；

單位：%；

區間：0 < LPI < 100。

4. 平均嵌塊體大小(Mean Patch Size, MPS)

$$MPS = \frac{A}{N} \times \frac{1}{10000} \tag{4}$$

MPS > 0; 單位：m<sup>2</sup>/ha；

A：嵌塊體面積；

N：嵌塊體數量。

(二) 形狀性指數

1. 平均形狀指數(Mean Shape Index, MSI)

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{\min(p_{ij})}}{n_i} \tag{5}$$

$p_{ij}$  = 類型 i 中第 j 個嵌塊體之周長；

$n_i$  = 類型 i 中所有嵌塊體數量；

$\min(p_{ij})$  = 類型 i 中最小 j 嵌塊體之面積；

單位：無；

區間：MSI ≥ 1，無限制。

2. 嵌塊體平均碎形維度(Mean Patch Fractal Dimension, MPFD)

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{N} \tag{6}$$

1 ≤ MPFD ≤ 2；

$p_{ij}$  = 某一類嵌塊體邊長；

$a_{ij}$  = 某一類嵌塊體面積；

N = 嵌塊體總數目。

二、地景多樣性指數

Shannon's 多樣性指數(Shannon's Diversity Index , SHDI)

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \times \ln p_i) \quad (7)$$

$p_i$  = 類型  $i$  中所有嵌塊體佔有地景之比例；

單位：bit；

區間：SHDI  $\geq 0$ ，無限制。