

## 研究報告

## 恆春海岸地區銀合歡移除造林初期之苗木生長表現

郭家和<sup>1</sup> 陳朝圳<sup>2\*</sup>

【摘要】銀合歡入侵已造成恆春半島海岸林生態系的嚴重衝擊。本研究為探討恆春地區不同海岸林生育地銀合歡移除造林後之苗木初期生長之表現，以屏東林區管理處2015年進行銀合歡移除造林之海口海岸造林區、小尖山海岸造林區及小尖山山坡造林區為研究區，於各造林區中各設置3個0.05 ha之調查樣區，進行土壤及造林苗木之生長調查，以各樹種苗木之高生長、地徑生長、健壯指數及枯死率並配合土壤性質，以變異分析探討各造林樹種苗木之生長表現，及其與土壤性質之關係。研究結果顯示海口海岸造林區因土壤質地屬於砂質土，土壤保水力較差且土壤相對貧瘠，6種造林木(木麻黃、欖仁、相思樹、台灣欒樹、黃槿及水黃皮)之生長表現較差，與小尖山海岸造林區(壤質砂土)及小尖山山坡造林區(黏壤土)有顯著差異，利用各樣區之健壯指數及成活率，以群集分類探討造林樹種對不同生育地的適生性分析，結果顯示黃槿適生於砂質土的海口海岸造林區；欖仁、水黃皮、黃槿適生於壤質砂土的小尖山海岸造林區；而欖仁、臺灣欒樹、黃槿適生於黏壤土的小尖山山坡造林區。

【關鍵詞】全面整地造林作業、海岸造林、生態復舊、土壤養分。

## Research Paper

## Growth performance of seedlings at the early stage of afforestation on removal of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in Henchun coastal area

Chia-Ho Kuo<sup>1</sup> Chaur-Tzuhn Chen<sup>2\*</sup>

【Abstract】The invasion of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit had caused the serious impact of the Henchun coastal forest ecosystem. In this study, we used Haikou Coastal Afforestation site, Xiaoxian Coastal Afforestation site and Xiaoxian Hillside Afforestation site which would be removal *L. leucocephala* and afforestation by Pingtung forest district office in 2015. Three 0.05 ha sampling plots were set up in each afforestation site. The soil properties and seedlings height, diameter at above ground, sturdiness quotient

1. 國立屏東科技大學生物資源研究所

Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology

2. 國立屏東科技大學森林系

Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology

\* 通訊作者，91201屏東縣內埔鄉老埤村學府路1號

Corresponding author. 1 Shuefu Rd., Neipu, Pingtung City 91201, Taiwan

Email: cct@mail.npust.edu.tw

and survival rate were investigated after 18 months of afforestation. The seedlings growing performance and relationship between soil properties were been explored by variance analysis. The results showed that Haikou coastal afforestation site, the soil texture belong to a sandy that had poor soil water retention and barren, the six afforestation species (*Casuarina equisetifolia* L., *Acacia confusa* Merr., *Terminalia catappa* L., *Pongamia pinnata* (L.) Pierre, *Koelreuteria henryi* Dummer, *Hibiscus tiliaceus* L.) were a significantly poor growing performance with Xiaoxian Coastal Afforestation site(loamy sand) and Xiaoxian Hillside Afforestation site (clay loam). The sturdiness quotient and survival rate of all species in each study site were analyzed using cluster analysis so as to fit growing adaptability for each site. The results showed that *Hibiscus tiliaceus* L. would be suited for Haikou coastal afforestation site, *Terminalia catappa* L., *Pongamia pinnata* (L.) Pierre, *Hibiscus tiliaceus* L. be suited for Xiaoxian Coastal afforestation site, and *Koelreuteria henryi* Dummer, *Hibiscus tiliaceus* L., be suited for Xiaoxian Hillside afforestation site.

【Key words】 clear cutting silvicultural system; coastal afforestation; ecological restoration; soil nutrients.

## 一、前言

銀合歡 (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) 入侵是目前臺灣地區受關注的環境議題，其已帶來本土植群社會組成及結構的改變，並影響森林生態系的功能；包含生態系的劣化、生物多樣性與林地生產力的下降及水分、養份循環的改變等 (Rabitsch et al. 2016)。恆春地區早期因銀合歡生長快速、對貧瘠土地有較高適應性，植株葉部具有豐富的蛋白質等特性，曾供為飼料、紙漿及薪炭材之用，而以經濟林木加以引進造林 (呂福原&陳民安 2002)，隨著經濟社會環境的改變，銀合歡逐漸喪失原有的經濟價值，任其生長蔓延，加上早期山坡地以生產繩索材料之瓊麻，受到代替材料成本降低之衝擊，原有的瓊麻地廢耕後，帶來銀合歡入侵的機會，而銀合歡因全株具有含羞草素 (Mimosine)，透過直接或間接方式釋放於土壤中，其對於其它植物種子之發芽與幼苗生長有強烈的相剋作用 (Chou & Kou 1986; Xuan et al. 2006)，會抑制及排擠原生植物而取得生長優勢 (Downey & Richardson 2016)，進而形成大面積的銀合歡純林，造成嚴重的外來植物生態入侵問題 (金絜之等 2007；吳坤真等 2013)。

長期以來政府及相關單位投入大量人力物力，進行銀合歡移除及防治工作。而為加速

銀合歡的移除工作，屏東林區管理處於2014年擬訂銀合歡移除復育計畫，由國有林班地為主體，進行全面性的銀合歡移除造林，進而協調各國、公有地管理機關投入防治工作，並擴及私有土地之防治工作輔導，期能於5年內將恆春半島之景觀區、道路兩側或可及性較高的國有林班地，及海岸林之銀合歡進行移除復育，並期望10年內能將銀合歡全面自恆春半島移除，以保育臺灣特有的熱帶森林生態系 (朱育儀等 2017)。政府機關及試驗單位從2002年開始進行不同銀合歡移除方法及試驗，過去雖然曾採用化學藥劑處理 (王相華&洪聖峰 2005) 或採用生物防治 (吳立心等 2008)，但其效果不如預期。經過十幾年的觀察發現以物理機械剷除方式，進行銀合歡移除選擇適生樹種進行造林，並定期進行撫育作業，至目前為止為降低銀合歡族群量之最有效方法 (朱育儀等 2017；Wolfe & Bloem 2012)。

本研究以屏東林區管理處2015年所推動之「恆春半島外來入侵種銀合歡移除復育造林」計畫為範圍，利用海岸地區之銀合歡移除造林為調查區，以不同樹種苗木之枯死率、生長性狀及其與土壤性質之關係，探討造林初期之苗木生長表現，並藉由苗木成活率及健壯指數以集群分類，探討不同土壤性質之適生樹種，以

供未來恆春半島其它海岸地區，銀合歡移除復育造林作業之參考。

## 二、材料與方法

### (一) 研究區概況

研究區位於屏東縣車城鄉內，屬林務局屏東林區管理處於2015年所推動之「恆春半島外來入侵種銀合歡移除復育造林」計畫之海岸地區銀合歡移除復育造林範圍。該造林區原為海岸保安林，早期為達成保安功能以木麻黃 (*Casuarina equisetifolia* L.) 樹種進行更新造林，隨著木麻黃逐漸老化枯死，使銀合歡有入侵機會，而形成以銀合歡為優勢及少數木麻黃、相思樹 (*Acacia confusa* Merr.) 及月橘 (*Murraya paniculata* (L.) Jack.) 混生的林相如圖1。海岸造林區可分兩種地質及地形型態，

離海岸線約30 m以內之造林區，因造林區靠近海邊，屬於砂質土，在落山風及海風作用下形成沙丘地形，而離海岸線30 m以外則為地勢較平坦之淺山地形，其地質土壤則屬紅棕色磚紅化土、黃棕色磚紅化土，兩種不同類型之海岸造林區由台26線道路穿越。以恆春氣象站1981~2016年之氣象資料繪製之生態氣候圖如圖2 (交通部中央氣象局 2017)，研究區之氣候屬熱帶性氣候，年均溫為25.4°C，溫差不大，1月最冷，平均氣溫為20.6°C；7月最熱，平均氣溫為28.9°C。年降雨量2,238.4 mm，分布於5至10月，佔全年降雨量92.4%，11月至隔年4月為乾季。平均相對溼度介於73%~87%，年平均風速3.91 m/sec，7月至9月有颱風，10月至隔年3月東北季風特強，每秒達10~17 m。



圖1. 恆春海岸地區銀合歡入侵情形。

Figure 1. Invasion status of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in Hengchun coastal area.

### (二) 調查樣區設置及苗木生長調查

本研究選擇銀合歡移除復育造林範圍內之車城海口村海岸林地、小尖山停車場前海岸林地及小尖山山坡造林地等3處，樣區設置位置如圖3，3個樣區銀合歡移除造林作業方式，皆

採用保留林地原生樹木，並透過機具進行銀合歡移除及全面整地，銀合歡移除後選擇9種適生樹種進行造林，3個造林區內共同樹種分別為木麻黃、相思樹、欖仁 (*Terminalia catappa* L.)、水黃皮 (*Pongamia pinnata* (L.) Pierre)、

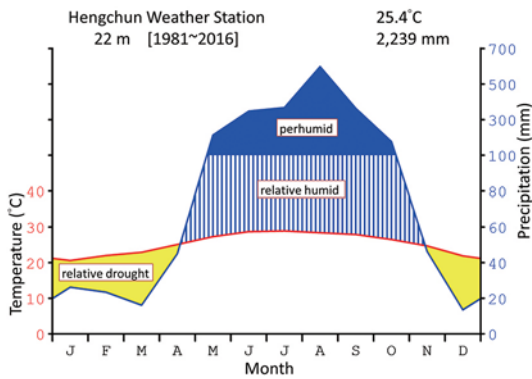


圖2. 研究區生態氣候圖(恆春氣象站)。  
Figure 2. Climate diagram for the study area (Hengchun Weather Station)

臺灣欒樹 (*Koelreuteria henryi* Dummer) 及黃槿 (*Hibiscus tiliaceus* L.)。瓊崖海棠 (*Calophyllum inophyllum* L.) 及草海桐 (*Scaevola sericea* Vahl)

植於海口海岸造林區，而海欒果 (*Cerbera manghas* L.) 僅在小尖山山坡造林區進行栽植。栽植採密植方式，苗木間距視造林區地形略有差異，苗間間距約1 m左右、行間間距約在1.5 ~2 m。由於造林地緊鄰海岸，易受強風吹襲，銀合歡移除後同時每隔10 m設置高1.8 m的防風籬用以保護初植苗木；防風籬材質部份，海口海岸、小尖山海岸樣區為竹製防風籬，小尖山山坡樣區則以塑膠網防風籬為主，兩種不同材質之防風籬，在造林初期對於苗木具有相同的防風效果。本研究於3個造林區內各設置3個0.05 ha調查樣區，調查造林苗木之地徑、苗高及枯死率等資料。苗高量測係以苗木主幹之生長點頂部至地面根與莖交接之長度，苗徑為小苗主幹接近地面和根交接處之直徑，調查時並記錄苗木是否死亡，以估算苗木枯死率。調查時間於2015年9月開始，每3個月

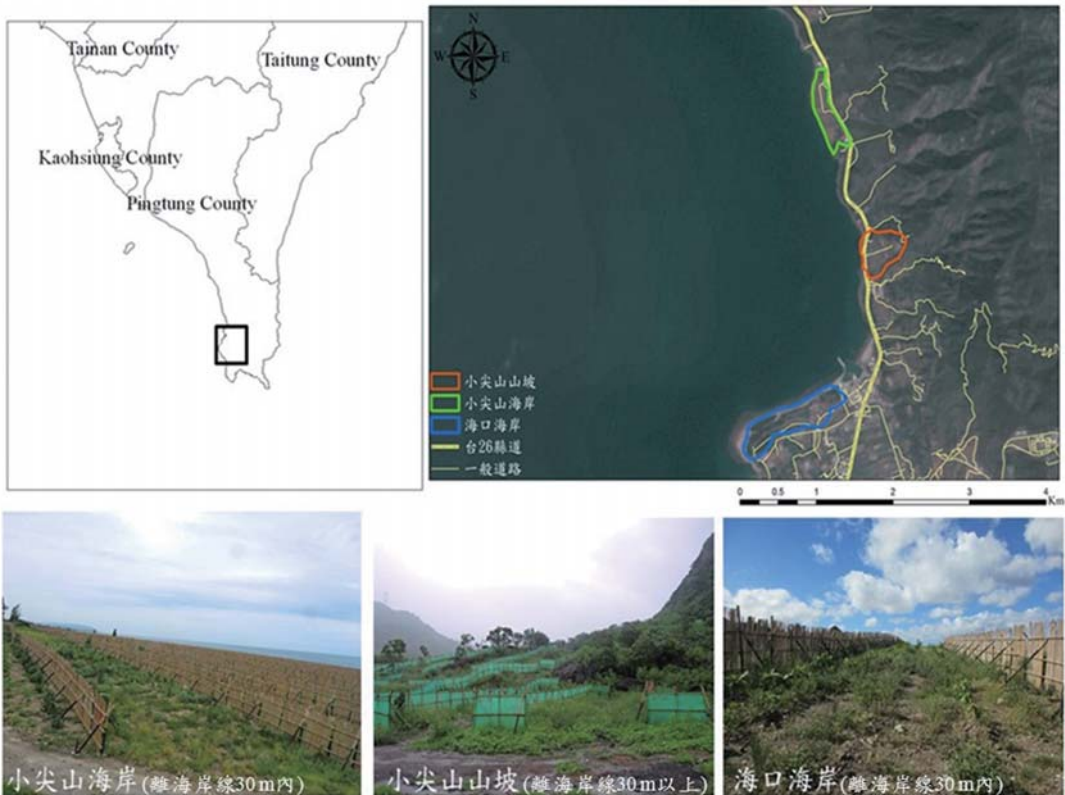


圖3. 研究區位置及造林作業方式。  
Figure 3. Location of the study site and silviculture system.

進行1次調查，共計調查6次，調查期間計18個月，橫跨兩個生長季節。

### (三) 土壤調查

為探討各造林區苗木生長與土壤性質之關係，於各不同造林地點，以隨機方式選取10個土壤採集點，收集地表土層0-30 cm深度之土壤樣本，並將10個樣本之土壤混合，土壤樣本經風乾磨碎後利用2 mm網目篩網，以取得土壤性質分析之樣本，土壤樣本以夾鍊袋封裝並放置乾燥皿中保存，並從中取5重覆之土壤樣本，進行土壤性質分析。

### (四) 資料分析

#### 1. 土壤樣品檢測

##### (1) 土壤質地 (Soil texture)

利用鮑氏比重法 (Bouyoucos hydrometer method) 進行分析，將土壤樣本加入100 mL蒸餾水及50 mL之5%偏磷酸鈉，利用攪拌機打散之懸浮液加水至1,000 mL後透過比重計，進行量測並記錄讀數 (Beretta et al. 2014)。

##### (2) 酸鹼值 (pH)

以20 g土壤樣本及20 mL的蒸餾水，置於50 mL的塑膠杯中，並以玻璃棒充分攪拌之。放置1 hr，並不間斷予以攪拌2次，以酸鹼值測定儀 (pH meter, WTW, pH 720) 測定之。

##### (3) 電導度 (Soil Electrical Conductivity, EC)

以10 g土壤樣本及50 mL的蒸餾水，置於於250 mL三角錐瓶中，震盪1 hr後倒入布氏漏斗 (Buchner funnel) 中，抽氣收集濾液，取定量濾液 (即飽和抽出液 (Saturated extract))，並以電導度計 (EC meter, TOADKK, CM-25R) 測定之。

##### (4) 有機質含量 (Organic Matter, OM)

以Walkley Black濕式氧化法測定。稱取1 g土壤樣本依序加入10 mL N  $K_2Cr_2O_7$ 、10 mL 98%  $H_2SO_4$ 及80 mL逆滲透水，離心後取上層清液，以波長260 nm之分光光譜 (Spectrophotometer, HITACHI, U-2001) 測定之。

##### (5) N測定

以凱氏氮測定法進行測定。稱取1 g土壤樣本，置於分解管中，並加入8 mL之濃硫酸及

還原鐵5 g，放置於分解爐上加熱2 hr後靜置冷卻，加入30 mL蒸餾水並置於蒸餾系統中，開始加熱蒸餾7 min後，取出燒杯並以0.1 NNaOH標準溶液滴定0.1  $NH_2SO_4$ 標準溶液之殘餘量，以計算出全氮含量。

##### (6) P測定

以鉬藍法 (Bray No.1) 測定。稱取1 g土壤樣本，加入10 mL P抽出液，並振盪1 min後以1A濾紙過濾，取5 mL澄清濾液，依序加入3滴鉬鉍銨及3滴還原劑，靜置15 min待其呈色，後以波長560 nm之分光光譜儀測定。

##### (7) K、Ca及Mg測定

稱取5 g土壤樣本，加入20 mL K抽出液 (0.05  $NHCl$ -0.25  $NH_2SO_4$ )，振盪5 min後以5A濾紙過濾後，以原子吸收光譜儀 (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) 測定之。

##### (8) 陽離子交換容量 (Cation Exchange Capacity, CEC)

利用1N醋酸銨淋洗土壤樣本，使銨離子和土壤中存在可交換的陽離子，利用鈉離子將土壤中已交換的銨離子移除後，測定已交換銨離子之量，由銨離子含量，計算土壤中陽離子交換容量 (Rhoades 1982)。

#### 2. 資料分析

各樣區之土壤性質、造林苗木之苗高、地徑、枯死率等，以雙因子變異數分析，探討不同造林區之初期造林苗木生長表現的差異性。分析項目包括苗木成活率：(樣區之苗木成活株數/苗木栽植株數) × 100。健壯指數 (Sturdiness Quotient, SQ)：苗高 (cm)/苗徑 (cm) 比值 (苗木生長形質，數值越大表示越纖弱)、苗徑生長率 (Growth rate)：(當期苗徑-前期苗徑)/前期苗徑。苗高生長率：(當期苗高-前期苗高)/前期苗高。以SPSS 22.0統計軟體進行雙因子變異數分析 (Two-Way ANOVA) 及Scheffe事後檢定，探討不同造林區之初期造林苗木生長表現的差異性。並利用健壯指數及苗木存活率，以k平均數叢集分析法，進行林木適生性之類群分類，建立各造林樹種於生育區的適生性。

### 三、結果與討論

#### (一) 土壤性質分析

造林苗木之生長表現其主要影響因子，包括樹種的生長特性、氣候條件及土壤性質，其中土壤性質在造林初期，將會影響苗木生

長的表現 (Wilcke et al. 2008; Ellen & Richard 2011)，本研究為探討不同造林區之土壤性質對造林木之生長影響，進行各樣區之土壤性質分析，其結果如表1所示。

表1. 不同造林樣區之土壤性質的差異性。

Table 1. Soil properties in different afforestation site.

| 項目                  | 造林樣區                     |                          |                          |      |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|
|                     | 海口海岸                     | 小尖山海岸                    | 小尖山山坡                    |      |
| 土壤質地(%)             | 砂粒                       | 87.2                     | 52.8                     | 42.2 |
|                     | 黏粒                       | 6.7                      | 31.2                     | 30.1 |
|                     | 粉粒                       | 6.1                      | 16.0                     | 27.7 |
|                     | 砂土                       | 壤質砂土                     | 黏壤土                      |      |
| pH                  | 8.3(0.7) <sup>a</sup>    | 7.5(1.5) <sup>b</sup>    | 7.4(1.3) <sup>b</sup>    |      |
| EC(ms/cm)           | 3.1(0.2) <sup>a</sup>    | 2.2(0.4) <sup>b</sup>    | 1.9(0.7) <sup>b</sup>    |      |
| O.M (g/kg)          | 0.25(0.06) <sup>a</sup>  | 0.30(0.04) <sup>a</sup>  | 0.29(0.08) <sup>a</sup>  |      |
| Total N(%)          | 0.36(0.08) <sup>a</sup>  | 0.40(0.07) <sup>a</sup>  | 0.41(0.10) <sup>a</sup>  |      |
| P(cmol+)/kg soil)   | 3.69(0.37) <sup>a</sup>  | 3.58(0.45) <sup>a</sup>  | 3.56(0.34) <sup>a</sup>  |      |
| K(cmol+)/kg soil)   | 0.05(0.01) <sup>b</sup>  | 0.03(0.02) <sup>b</sup>  | 0.08(0.02) <sup>a</sup>  |      |
| Ca(cmol+)/kg soil)  | 14.28(1.28) <sup>a</sup> | 14.39(1.90) <sup>a</sup> | 12.46(1.20) <sup>a</sup> |      |
| Mg(cmol+)/kg soil)  | 0.03(0.02) <sup>a</sup>  | 0.02(0.01) <sup>a</sup>  | 0.02(0.01) <sup>a</sup>  |      |
| CEC(cmol+)/kg soil) | 0.83(0.05) <sup>c</sup>  | 1.22(0.28) <sup>b</sup>  | 1.79(0.30) <sup>a</sup>  |      |

\* 平均值(標準差), 每一數據為5個土壤樣本之平均值, 橫向數值後之字母不同, 表示其間具有顯著差異( $P < 0.05$ )

#### 1. 土壤質地

土壤質地會影響土壤有效水含量、養分含量、通氣性、透水性及土壤溫度變化等，進而影響林木生長 (Pan & Bassuk 1985)。由表1可知3個造林區在土壤質地有所差異，海口海岸造林區因緊鄰海岸線屬砂質土；小尖山海岸造林區離海岸線30 m以上屬壤質砂土；小尖山山坡造林區則離海岸線30 m以上之小型山坡屬黏壤土。3個造林區中土壤的保水力如依土壤質地組成比例，理論上以小尖山山坡造林區之土壤保水力最佳，其次為小尖山海岸造林區，最差為海口海岸造林區。

#### 2. 土壤pH值

土壤pH值為土壤化學性質的基本指標，其對植物生長發育具有影響作用，不同的植物皆有其適合生長的土壤pH值範圍，過高或過低之pH值，除造成植物生長逆境外，亦會造成毒害現象而影響植物養分吸收 (Malh et al. 1998)。因此，土壤pH值常用以判定土壤的基本特性，及作物生長不良的可能原因。一般而言，植物最適生長pH值於5~6間 (卓家榮 2005)。3個不同造林區之土壤pH值介於7.4~8.3之間，小尖山海岸及小尖山山坡造林區屬於輕度鹼性土壤 (Mildly alkaline, pH 7.4-7.8)，對苗

木生長已產生不利影響，而海口海岸造林區則屬中度鹼性土壤 (Moderately alkaline, pH 7.9-8.4) (Soil Survey Staff 2014)，更不利於苗木生長。

### 3. 土壤電導度 (EC)

藉由土壤電導度 (EC) 值可判定土壤中可溶性鹽類含量的多寡，可供為土壤鹽土分級之依據，若EC值太高，則會造成土壤水分滲透壓升高，造成植物難以吸收水分及養分而形成鹽害 (Salinization) (Singh 2015)。3個研究樣區內EC值介於1.9-3.1 ms/cm間，以海口海岸造林區 ( $3.1 \pm 0.2$ ) 顯著高於其它2個造林區 ( $F=49.69$ ,  $P=0.00$ )；各造林樣區之土壤有機碳含量在0.25~0.30 cmol (+)/kg soil之間，樣區間並無顯著性差異 ( $F=0.86$ ,  $P=0.47$ )。3個樣區之EC值皆高於一般正常土壤EC值 (0.5~1ms/cm)，當土壤電導度超過1.5 ms/cm時，則對多數植物生長有負面影響 (陳鴻堂等 1994)。海口海岸造林區因緊鄰海岸，在海風吹襲下，鹽分經由海風攜帶附著於樹體，而經由雨水淋洗後，將滲入土層及地下水，造成土壤具有較高濃度的鹽分，其對於一般植物生長將造成負面影響 (許博行 2006)。

### 4. 土壤陽離子交換能力 (CEC)

土壤陽離子交換能力 (CEC) 係指單位重量土壤可吸附可交換性陽離子的總量，當土壤表面帶電量愈多，其CEC值愈大；CEC值會依土性種類、腐植含量的不同，而影響CEC值的大小。一般而言，黏土或腐植含量愈多的土壤，CEC值會較高，一般正常森林土壤CEC值約為20~30 cmol (+)/kg soil (Soil Survey Staff 2014)。3個研究區之CEC值介於 $0.83 \pm 0.05$ ~ $1.79 \pm 0.30$  cmol (+)/kg-1，樣區間具有顯著差異 ( $F=20.68$ ,  $P=0.00$ )；其中以小尖山山坡造林區 ( $1.79 \pm 0.30$  cmol (+)/kg-1) 最高、其次為小尖山海岸造林區 ( $1.22 \pm 0.28$  cmol (+)/kg-1)、最低為海口海岸造林區 ( $0.83 \pm 0.05$  cmol (+)/kg-1)，各樣區之CEC值與一般正常森林土壤相比顯著偏低，其主要原因在於土性與腐植含量偏低所造成 (Soil Survey Staff 2014)，將來可藉由密集式的刈草、修枝等

撫育作業，使枯枝落葉堆積於林地上，以提高造林地有機質含量，才可確保造林的成功。

### 5. 土壤有機碳 (OM) 及氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K)、鈣 (Ca)、鎂 (Mg)

研究區之土壤有機碳 (OM) 含量在 $0.25 \pm 0.06$ ~ $0.30 \pm 0.04$  g/kg之間，樣區間無顯著差異，而土壤層之氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K)、鈣 (Ca)、鎂 (Mg) 養分方面，除了K在小尖山山坡造林區 ( $0.08$  cmol (+)/kg soil) 略高於海口海岸 ( $0.05 \pm 0.01$  cmol (+)/kg soil)、小尖山海岸 ( $0.03 \pm 0.02$  cmol (+)/kg soil) 兩造林區外，其他N、P、Ca及Mg樣區間皆無顯著差異。通常土壤中有機碳僅佔土壤0.5%~3%，但大部分植物與微生物皆仰賴此少數比例之有機質，以獲得能源和養分 (Franzluebbers et al. 2010)。由表1可知樣區內土壤有機質含量，皆少於正常土壤有機碳含量，一般而言土壤有機碳主要來自於植物凋落物、植物根系、地被植群殘株、死亡之動植物殘體等 (Williams & Wardle 2007)，而樣區早期多為銀合歡純林，銀合歡葉及果實含有植物鹼，且銀合歡葉子含具毒性的含羞草素、酚酸 (Phenolic acids) 及黃酮類 (Flavonoid) 等化合物，土壤微生物對於此類物質分解速率較慢 (Chou & Kou, 1986; Sandhu et al. 1990; Xuan et al. 2006)，因此，受到銀合歡凋落物不易分解，使土壤有機碳累積含量較少，造成土壤中可交換性K, Mg ( $0.02$ ~ $0.08$  cmol (+)/kg soil), N ( $0.36$ ~ $0.41$  cmol (+)/kg soil)及P ( $3.56$ ~ $3.69$  cmol (+)/kg soil) 的含量低，而可交換性鈣的含量相對較高，其主要原因為樣區內地形靠近海岸土壤層較薄，隆起之珊瑚礁及岩石易受到雨水淋洗情況下而沉積在土壤表層中。

### (二) 造林初期之苗木生長

本研究所選擇之3個造林區皆於2015年4月~5月間，進行銀合歡移除造林，造林作業完畢後，在2015年9月開始進行造林苗木的生長調查，調查內容包括株數、地徑、樹高、健壯指數及枯死率。3個造林區造林後18個月之株數、地徑、樹高如表2。

表2. 不同造林區苗木在兩個生長季後之生長表現。

Table 2. Growth performance of seedlings after two growing seasons in different afforestation site.

| 造林樣區  | 樹種  | 株數(n/ha) | 平均地徑(mm)   | 平均樹高(cm)   |
|-------|---|----------|------------|------------|
| 海口海岸  | 木麻黃( <i>Casuarina equisetifolia</i> L.)   | 467      | 13.3(0.7)* | 104.4(2.9) |
|       | 相思樹( <i>Acacia confusa</i> Merr.)         | 473      | 7.4(0.5)   | 67.0(4.3)  |
|       | 欖仁( <i>Terminalia catappa</i> L.)         | 360      | 11.7(0.7)  | 79.7(3.7)  |
|       | 水黃皮( <i>Pongamia pinnata</i> (L.) Pierre) | 233      | 13.6(0.4)  | 69.9(2.9)  |
|       | 臺灣欒樹( <i>Koelreuteria henryi</i> Dummer)  | 320      | 9.6(0.2)   | 107.4(5.0) |
|       | 黃槿( <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.)         | 233      | 13.7(1.1)  | 88.3(2.7)  |
|       | 瓊崖海棠( <i>Calophyllum inophyllum</i> L.)   | 220      | 7.5(1.0)   | 73.0(2.0)  |
|       | 草海桐( <i>Scaevola sericea</i> Vahl)        | 140      | 13.8(0.8)  | 128.4(5.7) |
| 小尖山海岸 | 木麻黃( <i>Casuarina equisetifolia</i> L.)   | 493      | 22.8(1.2)  | 143.3(3.5) |
|       | 相思樹( <i>Acacia confusa</i> Merr.)         | 313      | 33.7(1.6)  | 115.0(2.6) |
|       | 欖仁( <i>Terminalia catappa</i> L.)         | 600      | 20.7(1.0)  | 107.6(2.4) |
|       | 水黃皮( <i>Pongamia pinnata</i> (L.) Pierre) | 280      | 22.9(0.9)  | 90.1(0.9)  |
|       | 臺灣欒樹( <i>Koelreuteria henryi</i> Dummer)  | 327      | 15.7(0.5)  | 149.7(4.3) |
|       | 黃槿( <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.)         | 293      | 17.9(0.6)  | 79.7(1.5)  |
| 小尖山山坡 | 木麻黃( <i>Casuarina equisetifolia</i> L.)   | 307      | 15.0(0.9)  | 130.0(1.4) |
|       | 相思樹( <i>Acacia confusa</i> Merr.)         | 467      | 13.7(0.6)  | 98.4(0.6)  |
|       | 欖仁( <i>Terminalia catappa</i> L.)         | 567      | 13.0(0.3)  | 91.0(1.2)  |
|       | 水黃皮( <i>Pongamia pinnata</i> (L.) Pierre) | 286      | 13.8(0.2)  | 83.5(0.7)  |
|       | 臺灣欒樹( <i>Koelreuteria henryi</i> Dummer)  | 387      | 10.6(0.4)  | 106.7(0.4) |
|       | 黃槿( <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.)         | 147      | 14.6(0.2)  | 112.6(1.9) |
|       | 海欖果( <i>Cerbera manghas</i> L.)           | 247      | 14.0(0.6)  | 98.5(2.7)  |

\* 平均值(標準差)

### 1. 造林樹種之選擇

研究區以9種原生或適於海岸地區生長之樹種進行造林，其中有6種樹種包括木麻黃、相思樹、欖仁、水黃皮、臺灣欒樹及黃槿，為3個造林區共同選用的造林樹種，瓊崖海棠及草海桐僅植於海口海岸造林區，而海欖果僅在小尖山山坡造林區進行栽植。在造林樹種選擇方面，一方面必須考慮造林木生長能與銀合歡競爭，另須考慮原生樹種的復育，因此所選用之造林樹種，以海岸原生且能於海邊生長快速之樹種。因銀合歡移除後，土壤中仍具有包括銀合歡及其他樹種之種子庫，經整地擾動後隔年會大量發芽(田玉娟&王相華 2012)，而土壤

種子庫除了會增加銀合歡的發芽機會，亦會增加其他原生樹種的天然更新機會(王相華等 2009)，因此配合栽植生長快速之非先驅樹種如木麻黃、欖仁、相思樹、黃槿等，可預期達到加速林冠層鬱閉、抑制銀合歡更新、提高物種多樣性，及加速演替進行等森林復育的作業目標。Blakesley et al. (2002) 研究指出，初期演替或後期演替所選用樹種之特徵必須是(1)成活率及生長率高；(2)樹冠可延伸以增加遮蔽力；(3)具有種子傳播力等條件，且於造林一年內高生長可達50~60 cm者，以上述之樹種選擇特徵條件，研究區所選用之造林樹種大致符合初期演替且可適生於海岸地區環境之樹種。



研究區以兩個生長季節之造林木生長狀況而言，造林地為了抑制銀合歡幼苗的生長及其他雜草藤類對造林木的危害，造林初期定期進行刈草撫育作業，經過擾動後之其他天然更新樹種，包括銀合歡皆會伐除，而造林更新係採用密植方式進行，每公頃約3000~4000株，因此為加速完成物種多樣性高的海岸林生態體系，未來在造林木形成鬱閉林分後，可利用林下栽植的方式，引入耐陰性之海岸林樹種，如棋盤腳 (*Barringtonia asiatica* (L.) Kurz)、樹青 (*Planchonella obovata* (R.Br.) Pierre)、蓮葉桐 (*Hernandia nymphaeifolia* (C. Presl) Kubitzki)、紅柴 (*Aglaiia formosana* Hayata)、瓊崖海棠、皮孫木 (*Pisonia umbellifera* (Forst.) Seem.) 等 (王相華等 2011)，使造林地加速完成海岸林復育工作。

2. 造林初期之苗高及地徑生長表現

由於苗高與地徑會因樹種的生長特性而有所差異，因此在造林初期很難直接利用苗高及地徑呈現林木的生長表現，本研究利用已生長兩個季節 (18個月) 的林木苗高及地徑兩變數，計算3個造林區共同選用之6種造林樹種的苗高及地徑生長率，比較3個不同生育區造林初期

苗木生長的表現，各造林樹種之苗高及地徑生長率之結果如圖4、圖5。由圖4、圖5可知各樹種之苗高及地徑生長率於3個研究區具有顯著性差異，各樹種之苗高及地徑生長率以小尖山海岸造林區最佳，小尖山山坡造林區次之，海口海岸造林區最差。由於海岸林生態環境極為複雜，不僅生育地常屬貧瘠，且鹽霧、高溫、乾燥、淹水等多項危害因子，皆為影響海岸地區造林木之生長 (陳財輝 1987)，而當造林基地之土壤溫度增加時，則土壤水分含量具有補償機制 (Reimbursement mechanism)，可促進苗木生長 (Zeps et al. 2017)。以本研究區而言，3個造林區皆採用全面性整地造林，造林基地雖然皆接近海邊，但土壤質地及pH值條件仍有顯著的差異性，海口海岸造林區屬於砂質土壤，為林木生長條件最差的生育地，土壤含鹽量較高，土壤保水力較差，造成各樹種之高生長及地徑生長顯著低於小尖山海岸造林區及小尖山山坡造林區；而小尖山海岸造林區其土壤質地屬於壤質砂土，其土壤結構相較於砂質土壤，因具有較高比例的黏粒 (31.2%) 及粉粒 (16.0%)，可調節土壤孔隙率，有利於土壤水的保留及養分的聚集，影響林木根系分佈的增

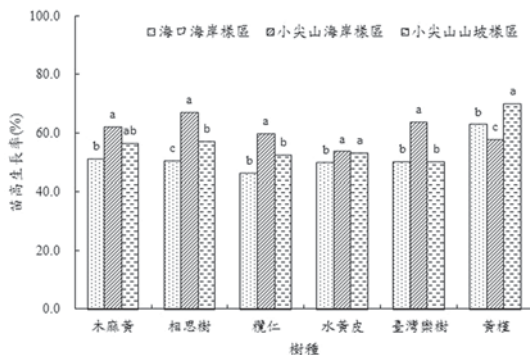


圖4. 不同復育造林區造林樹種之苗高生長率變異分析。

Figure 4. Analysis of variance for height growth rate of seedling in different afforestation site.

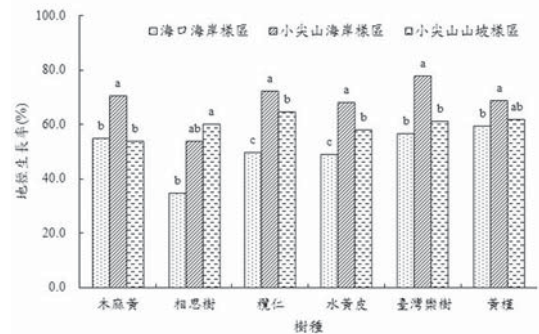


圖5. 不同造林區造林樹種之地徑生長率變異分析。

Figure 5. Analysis of variance for above-ground diameter growth rate of seedlings in different afforestation site.

長及養分取得的能力，增加水分和營養成分，進而影響林木的高生長及直徑生長 (Pardo et al. 2000)。而小尖山山坡造林區因其土壤質地屬於黏壤土，理論上其土壤結構相對較有利於林木生長 (Bronick & Lal 2005)，但因其造林區位於大約15° 的山坡上，受到地形的影響，土壤較容易遭受沖蝕，降低土壤有效深度，土層淺薄影響林木初期生長。各造林樹種於不同研究樣區之苗高及地徑平均月生長率的季節性變化如圖6所示，由圖6可知3~9月為造林樹種之生長季節，而10月至隔年2月因受到東北季風及乾旱之影響，各樹種之苗高及地徑平均月生長

率顯著下降。一般而言陽性樹種具有較高的生長速率，本研究區之6種共同選用之造林樹種中以臺灣欒樹、木麻黃、欖仁及黃槿具有較高的苗高生長率，木麻黃、相思樹及欖仁則具有較佳的地徑生長率，而臺灣欒樹雖然有最佳的苗高生長率，但卻是最低的地徑生長率，顯然會造成纖細的植株，當東北季風侵襲時容易倒伏，相思樹及木麻黃具有較佳的地徑生長率，唯對於生育地之選擇性與其他樹種相較更具敏感，其在砂質土壤的海口海岸樣區，其苗高及地徑生長率較差。

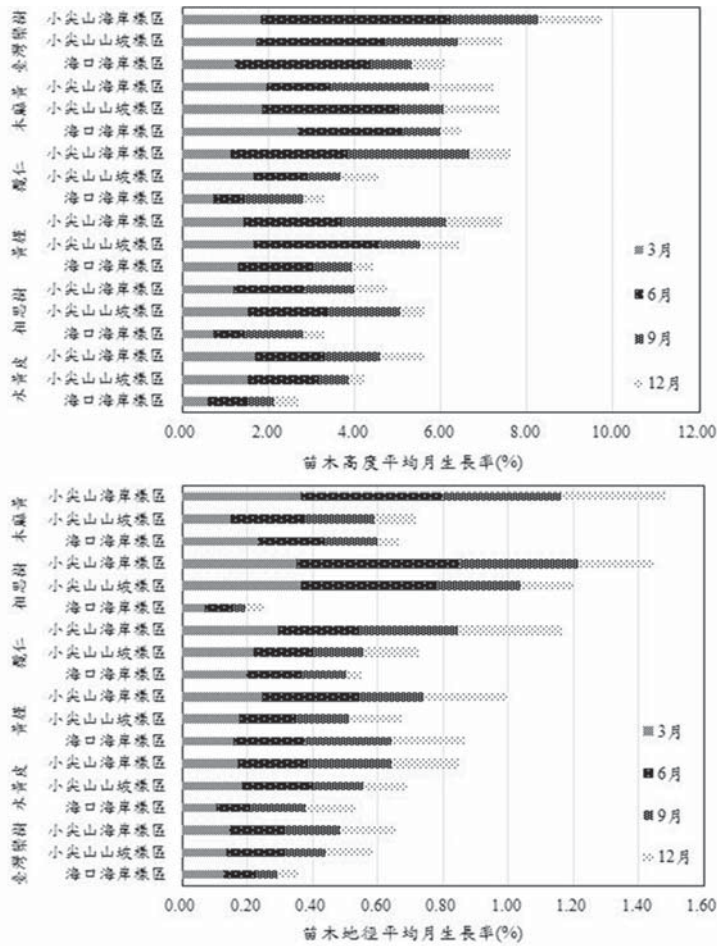


圖6. 不同造林區造林樹種之苗木高度及地徑平均月生長率之季節性變化。

Figure 6. Seasonal variability of above-ground diameter and height growth rate for seedlings in different afforestation site.

## (三) 造林樹種於不同海岸生育區的適生性

為探討銀合歡全面移除造林作業後，其不同海岸生育區內各造林樹種之適生性，分析各造林區各樹種之健壯指數及枯死率，其結果如表3。各造林區各樹種之健壯指數及枯死率，以雙因子變異性分析，並進行Scheffe事後檢定，其結果如圖7、圖8，由圖7及圖8可知各樹種之健壯指數及枯死率於不同造林區具有顯著差異(健壯指數:  $F=20.892$ ,  $P=0.00$ 、枯死率:  $F=2.9227$ ,  $P=0.0087$ )，顯示健壯指數及枯死率，可表達造林苗木在各造林區之生長表現，由健壯指數之分析結果顯示水黃皮、欖仁及黃槿具有較佳的健壯性態，臺灣欒樹、木麻黃較差，而相思樹在三個造林區中其健壯性態具有較大的變異，顯示其對於砂質土壤之適生性較差。在枯死率方面，黃槿、水黃皮及欖仁具有較低的枯死率，而木麻黃及相思樹則相對具有較高的枯死率，而發生造林苗木枯死之季節大部分樹種皆在9~12月之乾早期如圖9。本研究為綜合苗木之健壯指數及成活率，進行造林苗木

於各生育地之適生性探討，以華德法 (Ward's methods) 集群分析法，找出健壯指數及成活率之合適集群數目，再以k平均數法 (k-means methods)，進行各觀察值到各群中心值之距離遠近，重新計算出各集群之集結係數，並移動中心值之位置及重新計算集結係數，進行集群的解釋與命名，其結果如圖10。圖10之分群結果能將造林區內各樹種適生性可分為3類群，如表4所示。3個類群以苗木生長表現及成活率為分類依據，健壯指數會隨著植物成長高度、地徑直徑等因素而改變，利用健壯指數可以了解植體生長是否纖細或茁壯，當數值越高表示植體高生長比例較高、地徑直徑比例較低，屬於纖細型植株，反之，數值越低表示植體生長較為茁壯(行政院農業委員會林務局 2013)。由表4可知海口海岸造林區之適生性高之樹種為黃槿，其次為相思樹、臺灣欒樹；小尖山海岸造林區之適生高之樹種為欖仁、水黃皮、黃槿，其次為木麻黃、臺灣欒樹；而小尖山山坡造林區之適生高之樹種則為欖仁、臺灣欒樹、黃槿。

表3. 不同海岸造林區各造林樹種之健壯狀態及其枯死率。

Table 3. Sturdiness quotient and mortality rate of seedlings in different species of afforestation site.

| 造林樹種  | 健壯指數*       |            |             | 枯死率          |              |              |
|---|-------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|   | 海口海岸        | 小尖山海岸      | 小尖山山坡       | 海口海岸         | 小尖山海岸        | 小尖山山坡        |
| 木麻黃<br>( <i>Casuarina equisetifolia</i> L.)   | 7.85(0.23)  | 6.28(0.47) | 8.69(0.56)  | 0.203(0.078) | 0.090(0.049) | 0.100(0.011) |
| 相思樹<br>( <i>Acacia confusa</i> Merr.)         | 9.18(0.62)  | 3.42(0.22) | 7.16(0.37)  | 0.130(0.019) | 0.053(0.024) | 0.077(0.023) |
| 欖仁<br>( <i>Terminalia catappa</i> L.)         | 6.82(0.77)  | 5.21(0.34) | 6.64(0.16)  | 0.094(0.018) | 0.030(0.012) | 0.030(0.010) |
| 水黃皮<br>( <i>Pongamia pinnata</i> (L.) Pierre) | 5.09(0.24)  | 3.93(0.19) | 6.61(0.12)  | 0.063(0.007) | 0.060(0.027) | 0.093(0.009) |
| 臺灣欒樹<br>( <i>Koelreuteria henryi</i> Dummer)  | 11.19(0.63) | 9.5(0.13)  | 10.04(0.41) | 0.120(0.058) | 0.100(0.036) | 0.034(0.030) |
| 黃槿<br>( <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.)         | 6.4(0.30)   | 4.46(0.24) | 7.71(0.13)  | 0.043(0.046) | 0.053(0.019) | 0.052(0.006) |

\* 健壯指數值越高代表苗木之健壯狀態越差

\*\*平均數(標準差)

表4. 造林樹種於不同土壤性質生育地之適生性。

Table 4. Growing adaptability of seedling species in different soil texture.

| 造林樣區   | 土壤質地 | 適生性分群      |          |            |
|--------|------|------------|----------|------------|
|        |      | 適生性低       | 適生性中     | 適生性高       |
| 海口海岸   | 砂土   | 木麻黃、欖仁、水黃皮 | 相思樹、臺灣欖樹 | 黃槿         |
| 小尖山海岸  | 壤質砂土 | 相思樹        | 木麻黃、臺灣欖樹 | 欖仁、水黃皮、黃槿  |
| 小尖山山坡  | 黏壤土  | -          | 相思樹、水黃皮  | 欖仁、臺灣欖樹、黃槿 |
| 健壯指數   |      | 7.85       | 6.61     | 7.00       |
| 成活率(%) |      | 81.7       | 90.7     | 99.7       |

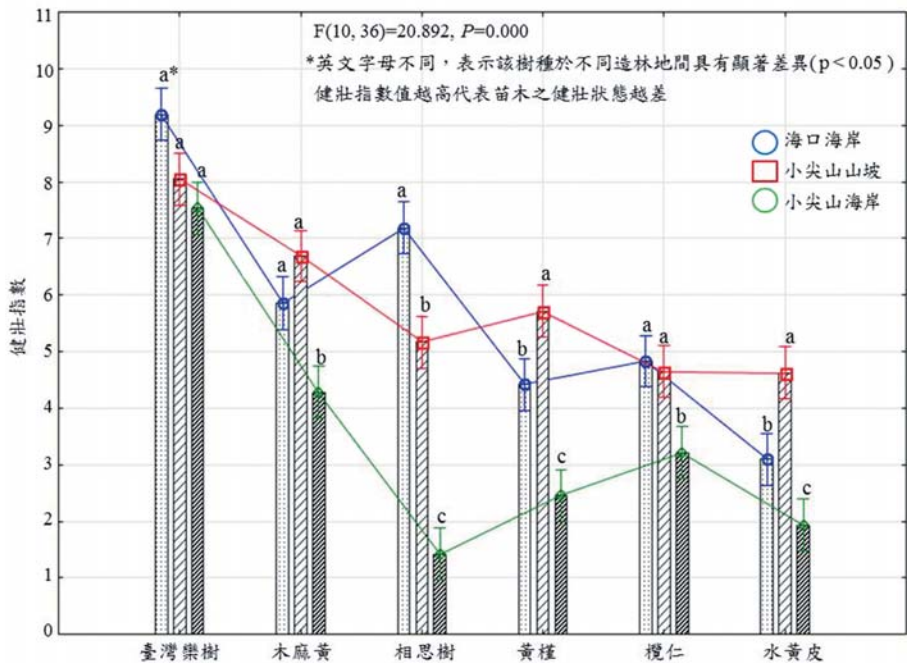


圖7. 不同生育地各造林樹種健壯指數之變異分析。

Figure 7. Analysis of variance for seedlings sturdiness quotient in different afforestation site.

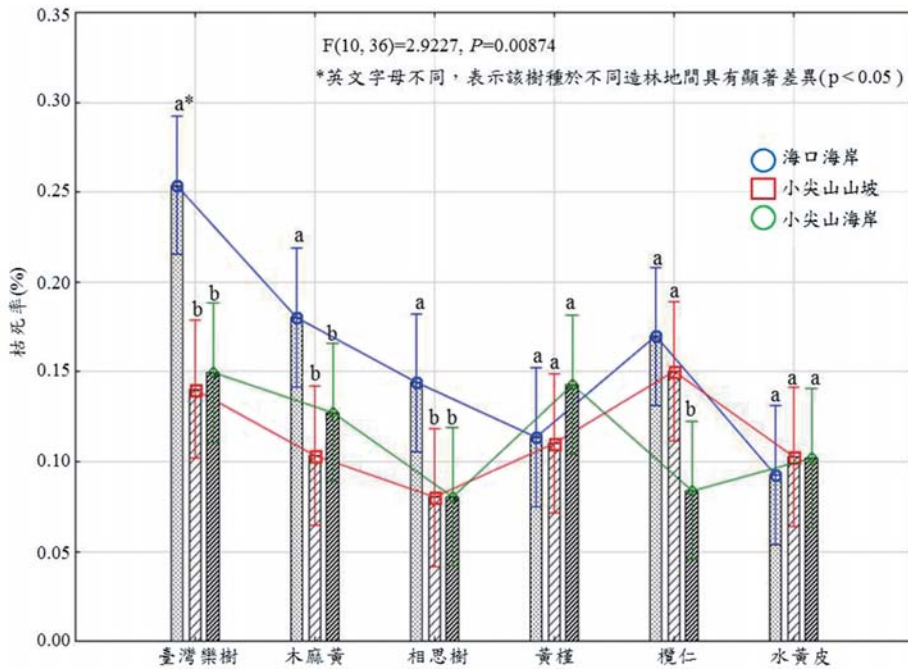


圖8. 不同生育地各造林樹種枯死率之變異分析。

Figure 8. Analysis of variance for seedlings mortality rate in different afforestation site.

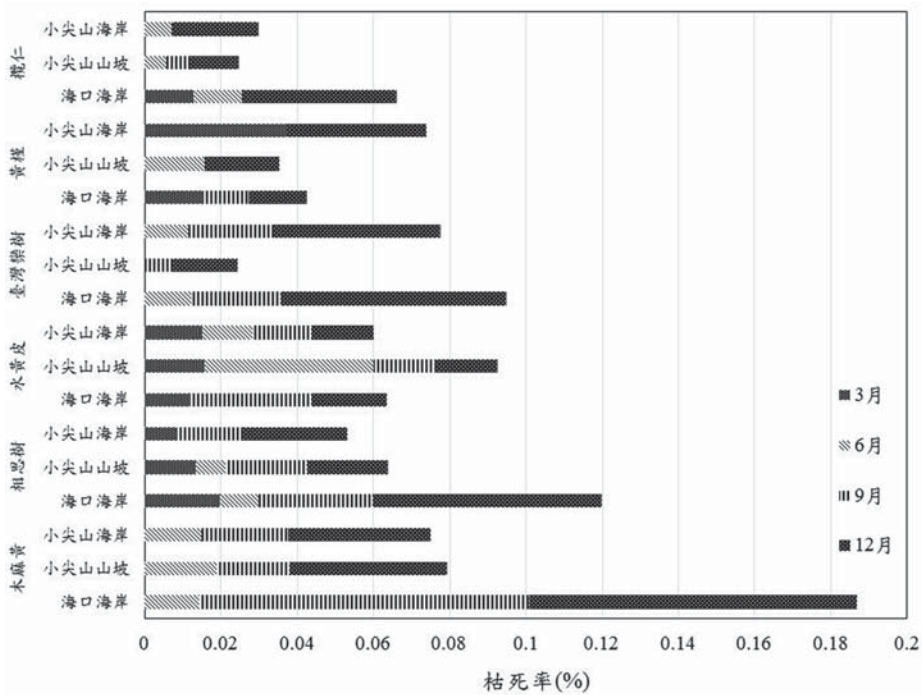


圖9. 不同生育地各造林樹種枯死率之季節性變化。

Figure 9. Seasonal variability of mortality rate for seedlings in different afforestation site.

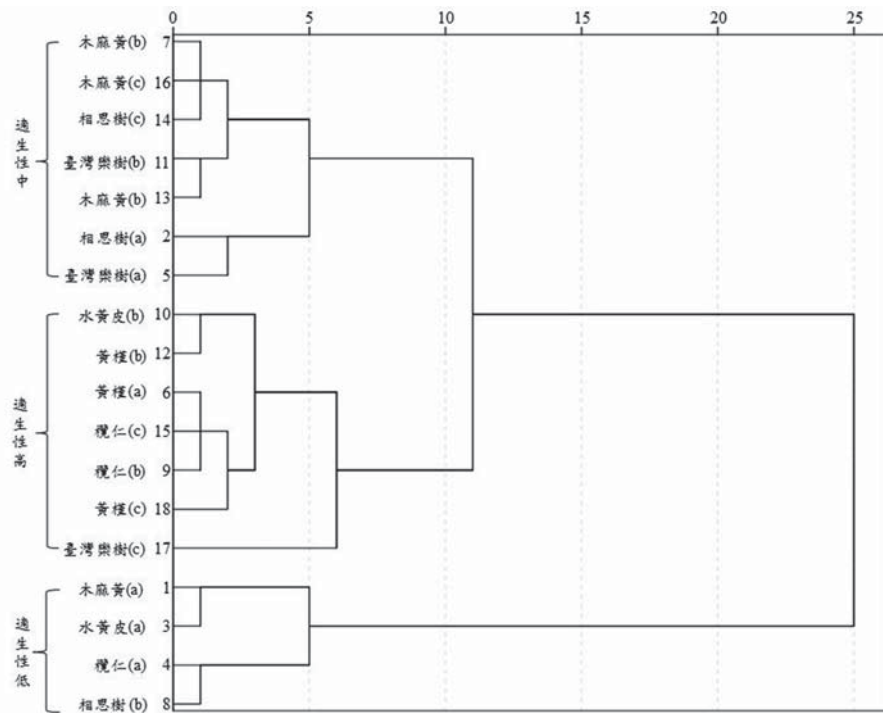


圖10. 各造林苗木種類生長表現之集群分類 (a.海口海岸造林區、b.小尖山海岸造林區、c.小尖山山坡造林區)。

Figure 10. Diagrams of clustering in different seedling growing performance (a. Haikou coastal afforestation site, b. Xiaoxian coastal afforestation site, c. Xiaoxian hillside afforestation site).

苗木在生長過程中易受到許多環境因子的影響，造成同一種造林苗木在不同環境下會有不同的生長表現 (Baquedano & Castillo 2006; Zeps et al. 2017)。由本研究土壤化學性質調查分析結果顯示，3個海岸造林區皆屬土壤貧瘠且為鹼性土壤，雖然不利於苗木初期生長，但因樹種具有不同生理特性，其對於環境逆境的適應力有所差別 (王相華等 2011)，本研究在適生樹種分群結果顯示，不同樹種在各樣區適生表現略有差異，其中以黃槿在3個樣區適生性皆有良好表現，其次則為欖仁、臺灣欒樹。適生性較差的第一類群主要為海口海岸造林樣區之木麻黃、相思樹及小尖山海岸造林樣區之相思樹。而相思樹在小尖山海岸造林樣區中雖然生長勢優，但枯死率高，其主要原因在於相思樹生長快速，容易遭受到東北季風及颱風影

響，造成林木的枝葉斷裂形成機械性的傷害及枯梢，最後造成林木枯死，其現象在王相華等 (2011) 及蔡呈奇等 (2014) 針對海岸林營造之研究中，亦有相同的情形。

由於海岸造林樹種會受到環境逆境的影響，不同樹種在適生性上皆有所差異，為達成海岸造林成功之目的，選擇適生樹種為主要關鍵因子 (王相華等 2011；郭耀綸&王相華 2011；黃俊元&張繼中 2016)。本研究樣區係以機械式整地方式進行銀合歡移除造林作業，造林初期在環境逆壓 (Environmental stress) 增加的情況下，選擇適生性樹種更顯重要，而未來必須搭配撫育及耐陰性原生樹種的林下栽植作業，如此才能達成抑制銀合歡入侵及復舊生態系之目標。

#### 四、結論

銀合歡入侵已造成恆春半島生態系的劣化，如何有效防治已成爲土地管理相關單位之重要議題。屏東林區管理處爲擴大辦理銀合歡移除造林，提出爲期10年的「恆春半島外來入侵種銀合歡移除復育造林」計畫案，由於復育區具有立地環境的差異性，其復育方式將因地適宜，爲掌握銀合歡移除復育後之林木生長及銀合歡之抑制情形，在計畫實施時引進適應性經營的概念，設置監測樣區以探討復育造林之成效。本研究利用2015年屏東林區管理處所進行銀合歡移除造林之海口海岸造林區、小尖山海岸造林區及小尖山山坡造林區爲研究樣區，進行土壤及造林苗木之生長調查，以各樹種苗木之高生長、地徑生長、健壯指數及枯死率並配合土壤性質，探討各造林樹種苗木之生長表現及其與土壤性質之關係，研究結果分述如下：

- (一) 3個造林區在土壤質地有所差異，海口海岸造林區因鄰近海岸線屬砂土；小尖山海岸造林區屬壤質砂土；小尖山山坡造林區則屬黏壤土，整體而言，3個造林區之土壤條件皆屬於土壤貧瘠而不利於林木生長的生育環境。
- (二) 3個造林區之共同植栽樹種爲木麻黃、相思樹、欖仁、水黃皮、臺灣欒樹及黃槿，在造林後18個月其枯死率與生長表現，3個造林區因土壤質地具有顯著性差異，影響苗木初期的生長表現，在生長表現方面以屬壤質砂土之小尖山海岸造林區最佳，屬黏壤土之小尖山山坡造林區次之，而屬砂土之海口海岸造林區最差。
- (三) 利用苗木健壯指數及成活率以群集分析，以建立之分群類別，判定樹種之適生性。海口海岸造林區之適生樹種爲黃槿；小尖山海岸造林區之適生樹種爲欖仁、水黃皮、黃槿；而小尖山山坡造林區之適生樹種則爲欖仁、臺灣欒樹、黃槿。

#### 五、致謝

本研究承蒙行政院農業委員會林務局屏東林區管理處「銀合歡移除復育之生態效益評估」(計畫編號：104-6-5-01)計畫經費支持及提供不同復育造林地相關資料，並在樣區設置及調查方面給予協助及幫忙，以使本計畫更爲完整，一併謹申謝忱。

#### 六、參考文獻

- Baquedano FJ, Castillo FJ (2006) Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the Mediterranean water-saver *Pinus halepensis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. *Trees* 20: 689-700.
- Beretta AN, Silbermann AV, Paladino L, Torres D, Bassahun D, Musselli R, Garcia-Lamohte A (2014) Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Cienciae Investigacion Agraria* 41(2): 263-271.
- Blakesley D, Hardwick K, Elliott S (2002) Research needs for restoring tropical forests in Southeast Asia for wildlife conservation: framework species selection and seed propagation. *New Forests* 2(4): 165-174.
- Bronick CJ, Lal R (2005) Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Chou CH, Kou YL (1986) Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan III-allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Journal of Chemical Ecology* 12(6): 1431-1448.
- Downey PO, Richardson DM (2016) Alien plant invasions and native plant extinctions: a six-threshold framework. *Aob Plants* 8: 1-47.
- Elle KH, Richard KK (2011) Seedling growth responses to soil resources in the understory

- of a wet tropical forest. *Ecology* 92(9): 1828-1838.
- Franzluebbers AJ, Stuedemann JA, Schomberg HH, Wilkinson SR (2010) Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology and Biochemistry* 32(4): 469-478.
- Malh SS, Nyborg M, Harapiak JT (1998) Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. *Soil and Tillage Research* 48(1-2): 91-101.
- Pan E, Bassuk N (1985) Effects of soil type and compaction on the growth of *Ailanthus altissima* seedlings. *Journal Environmental Horticulture* 3(4): 158-162.
- Pan E, Bassuk N (1985) Effects of soil type and compaction on the growth of *Ailanthus altissima* seedlings. *The Journal of Environmental Horticulture* 3: 158-162.
- Pardo A, Amato M, Chiaranda FQ (2000) Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy* 13: 39-45.
- Rabitsch W, Genovesi P, Scalera R, Biała K, Josefsson M, Essl F (2016) Developing and testing alien species indicators for Europe. *Journal for Nature Conservation* 29: 89-96.
- Rhoades JD (1982) Exchangeable cations. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of Soil Analysis Agronomy* 9, 2<sup>nd</sup> ed. American Society Agronomy, Madison WI, pp 159-165.
- Sandhu J, Sinha M, Ambasht RS (1990) Nitrogen release from decomposing litter of *Leucaena leucocephala* in the dry tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 22(6): 859-863.
- Singh A (2015) Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. *Ecological Indicators* 57: 128-130.
- Soil Survey Staff (2014) *Keys to soil taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA.
- Wilcke W, Oelman Y, Schmitt A, Valarezo C, Zech W, Homeior J (2008) Soil properties and tree growth along on altitudinal transect in Ecuadorian tropical montane forest. *Journal Plant Nutrient Soil Science* 171: 220-230.
- Wilcke W, Yasin S, Schmitt A, Valarezo C, Zech W (2008) Soils along the along the altitudinal transect and in catchments. *Ecological Studies* 198: 75-85.
- Williams MC, Wardle GM (2007) Pine and eucalypt litterfall in a pine-invaded eucalypt woodland: The role of fire and canopy cover. *Forest Ecology and Management* 253(1-3): 1-10.
- Wolfe BT, Bloem SJV (2012) Subtropical dry forest regeneration in grass-invaded areas of Puerto Rico: Understanding why *Leucaena leucocephala* dominates and native species fail. *Forest Ecology and Management* 267: 253-261.
- Xuan TD, Elzaawely AA, Deba F, Furuta M, Tawata S (2006) Mimosine in *Leucaena* as a potent bio-herbicide. *Agronomy for Sustainable Development* 26: 89-97.
- Zeps M, Jansons Ā, Matisons R, Stenvall N, Pulkkinen P (2017) Growth and cold hardening of European aspen seedlings in response to an altered temperature and soil moisture regime. *Agricultural and Forest Meteorology* 242: 47-54.
- 王相華、洪聖峰 (2005) 銀合歡藥劑注射防除效



- 果及林相復舊方式。中華民國雜草學會會刊26(1) : 15-32。
- 王相華、洪聖峰、郭耀綸、陳芬蕙 (2009) 復舊苗木在墾丁熱帶海岸林銀合歡防除地之初期生長。國家公園學報19(1) : 9-22。
- 王相華、郭耀綸、陳芬蕙 (2011) 墾丁熱帶海岸林植生復舊操作技術手冊。墾丁國家公園管理處1-18頁。
- 田玉娟、王相華 (2012) 墾丁熱帶海岸林之土壤種子庫組成。國家公園學報22(2) : 37-46。
- 朱育儀、彭采宸、張智強 (2017) 恆春半島外來入侵種銀合歡移除復育造林概況。臺灣林業43(1) : 35-41。
- 行政院農業委員會林務局 (2013) 18種重要造林樹種育苗作業規範之制定。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列tfbc-1010532。
- 吳立心、吳文哲、王巧萍、陳玄武 (2008) 以銀合歡豆象進行銀合歡生物防治可行性評估。台灣林業34(4) : 31-37。
- 吳坤真、何芫薇、陳建璋、陳朝圳 (2013) 墾丁國家公園地景變遷與銀合歡入侵之關係。國家公園學報23(4) : 32-41。
- 呂福原、陳民安 (2002) 墾丁國家公園外來種植物對原生植物之影響-以銀合歡為例。內政部營建署墾管處研究報告第112號。
- 卓家榮 (2005) 土壤肥力檢測及營養診斷。台南區農業改良場技術專刊132 : 63-74。
- 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 : 41-52。
- 許博行 (2006) 海岸木麻黃林分易衰老原因之探討。台灣林業32(2) : 40-44。
- 郭耀綸、王相華 (2011) 墾丁熱帶海岸林生態復舊監測計畫。墾丁國家公園管理處研究計畫434-99-06。
- 陳財輝 (1987) 臺灣海岸林之生態環境與造林技術。現代育林3(1) : 49-63。
- 陳鴻堂、林景和、紀秋來、王銀波 (1994) 本省中部地區設施內土壤鹽分累積調查研究。臺中區農業改良場研究彙報45 : 19-26。
- 黃俊元、張繼中 (2016) 淺談七種原生海岸造林樹種-於臺東太麻里溪下游泛洪區的生長表現及潛力造林樹種。林業研究專訊23(4) : 76-80。
- 蔡呈奇、張瑀芳、陳尊賢、許正一 (2014) 臺灣東北部海岸防風林更新造林對土壤碳吸存之效應。土壤與環境17(1) : 51-63。
- 交通部中央氣象局 (2017) 1976-2016年恆春地區氣象統計資料。http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm

