

研究報告

臺東太麻里溪堤內洪氾區八種闊葉樹種造林之 初期生長表現及施肥效應

黃俊元^{1*} 林奐宇¹ 張繼中²

【摘要】臺灣常因颱風帶來強降雨引發洪水及山崩，將中央山脈岩塊及礫石沖積至河川洪氾區，形成礫石含量高的貧瘠地，一般植物難以生長，屬於造林困難之不良環境，因多數洪氾區緊鄰城鄉地區，與當地居住環境及生活品質具有密切關係，有其必要進行復育造林之研究，提供洪氾區之造林技術。本研究選擇木麻黃、相思樹、臺灣欒樹、光蠟樹、欖仁、水黃皮、苦楝及黃槿等樹種於臺東太麻里溪堤內洪氾區進行造林試驗，試驗結果顯示八種造林樹種初期生長表現，對照組以木麻黃、相思樹及水黃皮的生長表現最佳，可為洪氾區內優先選擇的造林樹種。施肥試驗結果，施肥處理造林木的平均地徑淨生長為2.9 cm優於對照組2.0 cm，平均樹高淨生長為109.0 cm優於對照組66.0 cm，平均樹冠幅淨生長為105.0 cm優於對照組74.0 cm，以苦楝、欖仁、相思樹及黃槿的生長量增加最多，具有顯著差異。因此對於石礫含量高的貧瘠地，造林木可藉由適當的施肥，促進林木生長及提高適應逆境的能力。

【關鍵詞】洪氾區、造林、施肥。

Research paper

Initial growth performance and fertilization effect among eight broad-leaved species on the floodplain of Taimali stream in Taitung

Chun-Yuan Huang^{1*} Huan-Yu Lin¹ Chi-Chung Chang²

【Abstract】Heavy rains during typhoon season are main factors that cause flood and landslide in Taiwan. Tremendous rocks erode from the Central Mountain Ridge and flow downstream, creating barren floodplains which fill with gravel that is inappropriate for afforestation. However, most of the floodplains in Taiwan are close to residential area and play important roles in the agricultural industry and water

1. 林業試驗所。

Taiwan Forestry Research Institute.

2. 臺東區農業改良場。

Taitung District Agricultural Research and Extension Station.

* 通訊作者，96431台東縣太麻里鄉大王村橋頭6號。

Corresponding author: 6 Qiaotou, Dawang Village, Taimali Township, Taitung County 96431, Taiwan. Email: chun-yuan@tfri.gov.tw.

conservancy, it is important for us to construct afforestation techniques for barren floodplains. This study has focused on the initial growth performance of eight broad-leaved species, *Casuarina equisetifolia*, *Acacia confusa*, *Koelreuteria henryi*, *Fraxinus griffithii*, *Terminalia catappa*, *Millettia pinnata*, *Melia azedarach*, and *Hibiscus tiliaceus*, on floodplains and compared their differences between fertilization treatments. The results showed that *Casuarina equisetifolia*, *Acacia confusa* and *Millettia pinnata* represent higher growth performances without fertilization, which could be practical tree species for floodplain afforestation. Furthermore, we found all species perform a significant growth increase under fertilization treatment with 2.9 cm in ground diameter (2.0 cm in control), 109.0 cm in tree height (66.0 cm in control) and 105.0 cm in canopy diameter (74.0 cm in control). It also reveals that *Melia azedarach*, *Terminalia catappa*, *Acacia confusa*, and *Hibiscus tiliaceus* exhibit the highest growth performance with fertilization. We believe that to cultivate with appropriate fertilization is a prominent approach to promote growth and adaptability of afforestation on barren lands.

【Key words】 floodplain、afforestation、fertilization.

一、前言

洪氾區 (floodplain) 為河道 (channel) 外側經洪水長期沖積形成的氾濫平原，地質是屬於現代沖積層，係岩石、礫石因搬運作用堆積形成卵礫石層，土壤由礫岩、礫石、細砂及黏土組成，根據美國於1975年新的土壤分類系統 (soil taxonomy)，土壤被分類為氾原新成土 (fluvents)，沖積物呈層疊狀，屬於年輕土不具化育層 (張仲民 2005)，分佈於河口沖積三角洲及新沖積平原等地。臺灣由於地狹人稠，河川下游洪氾區已興建河堤避免遭洪水侵襲，堤內 (指堤防之臨陸面，即堤後) 多數已被開發利用，作為農地、保安林、河濱公園及其他用途的土地利用等，但由於全球環境變遷造成極端氣候的強度及頻率更甚以往，2009年臺灣各地因莫拉克颱風帶來的強降雨引起嚴重山崩及土石流災害 (顧承宇等 2012)，造成臺東太麻里溪下游地區河堤潰堤，土石洪水侵襲堤內洪氾區，使原有穩定的生態結構與功能遭受破壞，致使生態系因而產生退化，脫離原有健康狀態 (邱清安 2012)。依據2006年「國土復育策略方案暨行動計畫」訂定劣化土地類型，河川生態環境嚴重退化地區，屬於急需進行復育地

區 (王鑫等 2007)，對於退化程度高及修復彈性差的退化地，有必要採行積極的人工生態復育 (邱清安&徐憲生 2015)。

林木於生育地中的適應力，除了本身遺傳因子外，亦受到環境中的氣候及土壤等因子交互作用的影響 (王子定 1993)，尤其是影響復舊造林初期最關鍵的環境因子 (Walters & Reich 2000)，因此從事造林需瞭解生育地環境對林木生長的影響，依造林地海拔、氣候、土壤、逆境型態及造林目的，以適地適木原則及適當的造林方法，可增加造林成功的機率，降低造林失敗的風險 (黃俊元&張繼中 2016)，若未充分瞭解植物對環境的適應性即貿然種植不當樹種，造林成效必然不彰，造成資源浪費 (邱清安&徐憲生 2015)。

不良環境係生育地 (habitat) 受到環境變遷或人為干擾，形成特殊的地質環境，導致生育地環境衰退惡化，使得該生育地的植物需具有特殊生理機制或構造，才得生存繁衍，形成特殊的森林植相 (林務局 2009)。因此，瞭解那些樹種能夠適應何種類型的不良環境，以適地適木原則進行復育造林是成功與否的重要關鍵，在臺灣西部河川溪床適應

良好的樹種，人工林則以木麻黃 (*Casuarina equisetifolia* L.)、黃槿 (*Hibiscus tiliaceus* L.) 及水黃皮 (*Millettia pinnata* (L.) G. Panigrahi) 的生長最佳，而自行演替樹種以構樹 (*Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit. ex Vent.)、苦楝 (*Melia azedarach* Linn.)、朴樹 (*Celtis sinensis* Pers.)、血桐 (*Macaranga tanarius* (L.) Muell.-Arg.) 與榕樹 (*Ficus microcarpa* L. f.) 適應情況良好 (林務局 2010)；惡地地形適應良好的樹種有刺裸實 (*Gymnosporia diversifolia* Maxim.)、魯花樹 (*Scolopia oldhamii* Hance)、臺灣海棗 (*Phoenix hanceana* Naudin)、羅氏鹽膚木 (*Rhus javanica* L. var. *roxburghiana* (DC.) Rehd. & Willson)、欖仁 (*Terminalia catappa* L.)、苦楝及相思樹 (*Acacia confusa* Merr.) (林務局 2009)；光蠟樹 (*Fraxinus griffithii* C. B. Clarke) 於低海拔石礫地、崩塌地及土質不良地，乾燥及水分涵養不易之地，生長適應良好 (郭寶章 1989)。

土壤是支持植物及提供生長所需養分的主要供應者，植物的生長發育與土壤具有密切的關係。因此，河川洪氾區遭洪水土石淹沒，造成土壤理化性質及環境改變，土層堆積大量岩塊、礫石、細砂及少量黏土，造成土壤保水率低、有機質含量低及肥力貧瘠，地質堅硬緊密，林木難以生長。根據臺灣農地造林的林分調查結果，顯示造林木生長於土壤淺薄及含石量高的生育地，其生長量比土層深厚的生育地差 (鄭智馨等 2016)，另於臺東太麻里溪下游沖積平原不同土壤類型比較造林木生長表現試驗，顯示造林木於新成土環境之生長，較黑沃土環境緩慢許多 (黃俊元&張繼中 2016)。因此，面對嚴重退化的林地，除以適地適木進行人工復育外，對於瘠劣地造林，施肥有助於林木生長及改善生育地品質，增加適應逆壓環境及對抗病蟲害能力 (程煒兒等 1996)。

臺灣地區河川下游洪氾區多數緊鄰城鄉地區，與當地居住環境、生活品質及休閒活動具有密切關係，了解洪氾區造林逆境及適合樹種與復育其環境是有其必要性。面對礫石含量高

的貧瘠地 (barren land) 的逆境造林，選用那些樹種造林及採用何種造林工法是值得探討的議題。因此，本研究選擇多種常見造林木進行生長適應性比較試驗，篩選耐旱、耐貧瘠及生長快速特性的樹種，並藉由施肥促進造林成效，提供河川堤內洪氾區或礫石含量高之地區造林之參考。

二、材料與方法

(一) 研究區概況

試區位於臺東縣太麻里溪下游北岸堤內洪氾區 (TWD97座標：279703, 2499724)，海拔高3 m，地勢平坦，坡度低於5°以下 (圖1)，地質屬於現代沖積層，土壤質地主要由岩塊、礫石、細砂及黏土組成 (魏迺雄 2002)。2009年莫拉克颱風帶來豪雨導致太麻里溪溪水暴漲沖毀堤防，土石洪水侵襲太麻里溪下游洪氾區，堆積大量礫石及細砂，為土壤保水性差、土質堅硬的貧瘠地。災後經自然演替，形成以銀合歡 (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit)、木麻黃及甜根子草 (*Saccharum spontaneum* L.) 為優勢的植被形相。

根據鄰近試區林業試驗所太麻里研究中心氣象測站2011年6月至2016年5月氣象統計資料，年平均溫度為24.2°C，最高月均溫為7月33.3°C，最低月均溫為1月16.1°C；每年平均降雨量為2,118 mm，集中在5-11月，梅雨及颱風季節為主要的降雨期，其他月份每月平均降雨量低於60 mm以下，全年有明顯的乾溼季之分。

(二) 試驗造林木

本研究選用木麻黃、相思樹、臺灣欖樹 (*Koelreuteria henryi* Dummer)、光蠟樹、欖仁、水黃皮、苦楝及黃槿等八種造林木進行適應性生長及施肥試驗。

(三) 樣區設計及生長量調查

以挖土機進行篩土整地，將地表深度0.5 m以內之直徑大於8 cm以上的石頭篩除。造林試驗分為不施肥處理 (對照組) 及施肥處理，

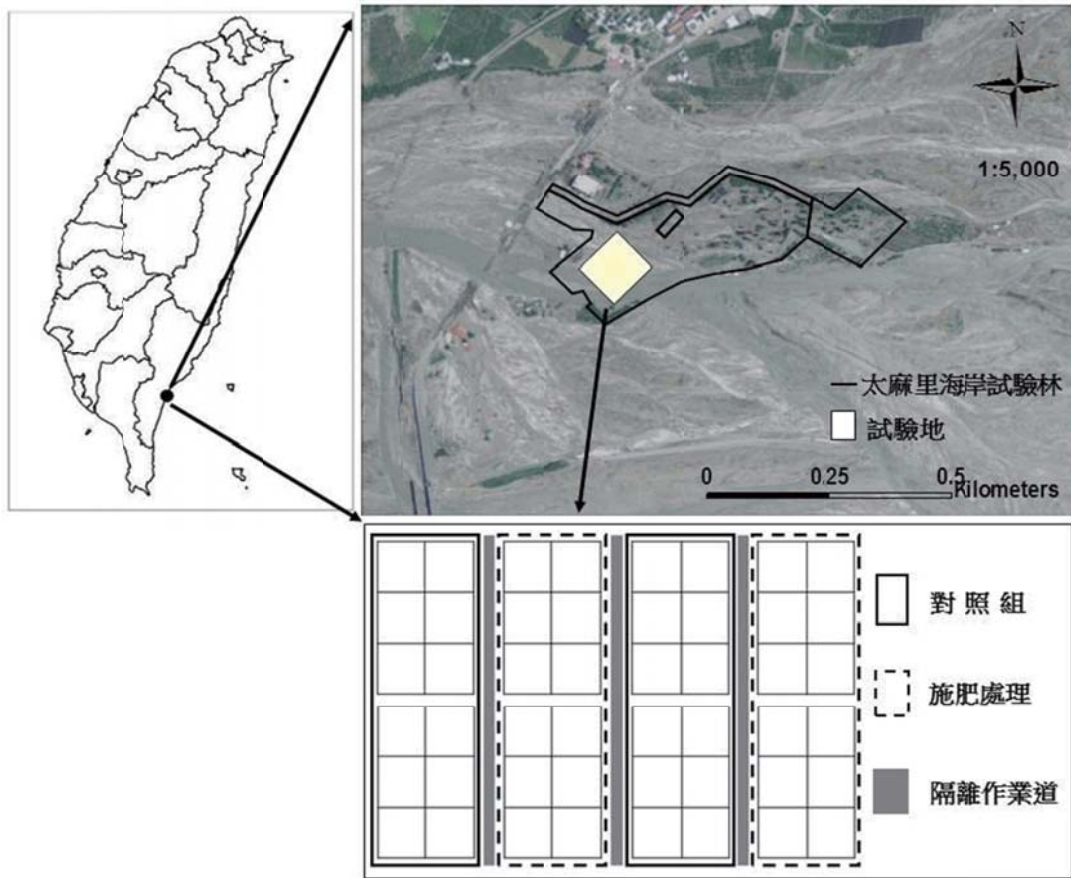


圖1. 臺東太麻里地區試驗地位置圖。

Fig. 1. The experimental site in Taimali, Taitung.

每個處理各為2個造林區塊，採兩兩間隔方式排列，每個造林區塊長寬為72 m×23 m，其內劃設12個10 m×10 m樣區，合計每個處理各有24個樣區（圖1）。在不同處理組內採用完全逢機設計（RCD）方法進行造林樹種樣區配置，每一樹種設置3個樣區，每個樣區種植1年生苗木36株，總計108株，行株距為2 m×2 m。為避免施肥肥分隨雨水擴散而影響不同處理之樣區，造林區塊之間挖掘3 m寬及1.5 m之深溝，將篩除之石頭置於溝內填至高於地面30 cm整平為造林作業道進行隔離。試區於2015年3月整地，並配合春雨季節於2015年4月種植。施肥處理於2015年4月採用定點施肥法，施植物性有機肥（台肥生技3號：N-P-K=5-2.5-2.5-88

（有機質）），施肥位置距植穴30 cm外挖穴（長30 cm×寬30 cm×高30 cm），每株造林木施2 kg與土壤充分混合做為基肥；造林1年後，2016年3月施長效型複合肥料（好康多180天型：N-P-K=14-11-13），施肥位置選定造林木樹冠幅緣垂直投影兩端點各挖乙穴（長30 cm×寬15 cm×高15 cm），每株造林木施500 g後覆土。造林木於5月~10月（溼季）期間，每2個月（6月、8月及10月）進行刈草切蔓1次，11月~4月（乾季）期間，每3個月（1月及4月）進行刈草切蔓1次。造林木栽植一個月後，2015年5月進行地徑、樹高及樹冠幅調查，並於2015年10月、2016年5月及2016年10月各實施複查乙次。為了解造林木於氾原新成土環境的生長適應情

形，依據造林木生長狀態、葉片黃化株數比例及成活率，進行各造林木之生長適應分析。

(四) 土壤調查及分析

每個處理逢機選擇1造林區塊採取土壤樣本，選取造林區塊的東北、東南、西南、西北及中間等5處為取樣點，挖取土壤深度10~20 cm的土壤樣本，土壤樣本置於室內自然風乾，以2 mm篩網進行過篩，進行造林前之土壤分析。土壤分析方法依據臺灣省農業試驗所第13特刊進行(張愛華 1981)：(1) 土壤pH之測定：玻璃電極法(土：水=1：1)。(2) 土壤中有機質含量測定：比色法。(3) 土壤中全氮量測定：元素分析儀法。(4) 土壤中有效磷含量測定：白雷氏第一法(Bray P₁ method)。(5) 土壤中交換性陽離子鉀(Exch. K)、鈣(Exch. Ca)、鎂(Exch. Mg)含量測定：孟立克氏法(Mehlich's method)。

(五) 生長量比較分析

使用R統計軟體進行不同處理之種內及種間淨生長量比較，並以單因子變異數分析(One-way ANOVA)及Tukey法進行統計顯著性比較。

三、結果與討論

(一) 土壤調查

試區造林前土壤分析結果(表1)，除了土壤酸鹼值、電導度、交換性鎂含量在參考值範圍內，而有機質含量、全氮、有效性磷及交換性鉀含量皆低於參考值，而交換性鈣含量則高於參考值。土壤中的有機質為土壤養分重要的來源，可改善土壤理化性質，促進團粒構造，增加土壤保水力(王子定 1993)。土壤中的全氮、有效性磷及交換性鉀含量若偏低，植物可能會發生營養缺乏障礙的問題(張繼中等 2015)，若土壤中巨量元素不足供應植物生長所需，會造成植物生長阻礙(張仲民 2005)，土壤中的巨量元素氮和磷含量低，而鈣含量高可能導致養分不平衡(Landon 1984; 程煒兒等 1996)，而苗木在生長期間缺氮會造成生長停滯之現象(蔡佳彬&趙惠德 2000)。根據土壤分析結果，顯示洪汜區的土壤屬於養分明顯缺乏及不均衡的貧瘠地，土壤養分明顯不足，妨礙植物正常生長。

表1. 試區土壤分析。

Table 1. Analysis of soil properties of the experimental site.

分析項目	單位	對照組試區	施肥處理試區	參考值
酸鹼度	-	5.87	5.96	5.0~6.8
電導度 (EC)	mS/cm	0.06	0.05	<0.6
有機質 (O.M)	%	0.55	0.59	>2.0
全氮 (N)	%	0.045	0.050	0.12~0.58
有效性磷 (P)	ppm	6.93	6.88	50~250
交換性鉀 (K)	ppm	40.43	36.52	200~500
交換性鈣 (Ca)	ppm	6092.33	6586.58	1000~3000
交換性鎂 (Mg)	ppm	106.66	102.36	50~200
鐵 (Fe)	ppm	313.09	271.63	-
錳 (Mn)	ppm	169.79	183.76	-
銅 (Cu)	ppm	3.09	3.37	-
鋅 (Zn)	ppm	3.74	4.2	-

(二) 造林木生長表現

1. 存活率

根據2015年5月至2016年10月間調查結果，施肥處理造林木平均存活率88%，而對照組造林木平均存活率為83%。對照組造林木2015年10月的存活率，以木麻黃及苦楝為最高99% (表2)，其次為欖仁、相思樹、水黃皮及黃槿均超過90%，臺灣欖樹71%，最低為光蠟樹56%；造林1年後 (2016年5月) 的存活率僅臺灣欖樹的存活率降低至69%，其他樹種的存活率則無改變；造林1.5年後 (2016年10月)，欖仁及水黃皮的存活率維持不變，而木麻黃、黃槿、苦楝及相思樹的成活率下降1~4%，此六種樹種存活率仍超過90%，光蠟樹及臺灣欖樹的存活率則低於50%。施肥處理造林木於

2015年10月的成活率，以苦楝及欖仁最高為100%，其次為臺灣欖樹及黃槿的存活率超過90%，而木麻黃、相思樹及水黃皮的存活率則介於80~90%之間，以光蠟樹最低72%；造林1年後 (2016年5月) 各樹種的存活率則無改變；1.5年後 (2016年10月)，木麻黃、相思樹、苦楝、臺灣欖樹及欖仁的成活率下降1~3%，而水黃皮、光蠟樹及黃槿的存活率則維持不變。

試驗期間 (2015年5月至2016年10月) 造林木的死亡率為15% (對照組佔9%；施肥處理佔6%)，雖然臺東地區最主要的降雨量分佈於5月至11月之間，但雨量過於集中分配不均，而臺東地區特殊的氣候形態，造林木於夏季承受高溫及焚風的危害，加上試區土壤貧瘠及保水性

表2. 不同處理下造林木存活株數及存活率 (%)。

Table 2. Survival individual and survival rate (%) among species with different fertilization treatments.

處理	調查日期 (年/月)	樹種							
		欖仁	木麻黃	相思樹	苦楝	水黃皮	黃槿	光蠟樹	臺灣欖樹
對照組	2015/05	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)
	2015/10	106 (98%)	107 (99%)	104 (96%)	107 (99%)	102 (94%)	102 (94%)	60 (56%)	77 (71%)
	2016/05	106 (98%)	107 (99%)	104 (96%)	107 (99%)	102 (94%)	102 (94%)	60 (56%)	75 (69%)
	2016/10	106 (98%)	105 (97%)	103 (95%)	103 (95%)	102 (94%)	98 (91%)	51 (47%)	45 (42%)
施肥處理	2015/05	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)	108 (100%)
	2015/10	108 (100%)	94 (87%)	89 (82%)	108 (100%)	88 (81%)	101 (94%)	78 (72%)	104 (96%)
	2016/05	108 (100%)	94 (87%)	89 (82%)	108 (100%)	88 (81%)	101 (94%)	78 (72%)	104 (96%)
	2016/10	107 (99%)	92 (85%)	87 (81%)	106 (98%)	88 (81%)	101 (94%)	78 (72%)	100 (93%)

※括號內為存活率。

不佳，導致造林木死亡數中99%於5月至10月間死亡，但入秋之後造林木不受高溫危害，因此10月至5月間造林木的死亡率不到1%。

試區經挖土機篩除多數礫岩後，八種試驗木於試驗期間造林結果，施肥處理造林木整體存活率88%，優於對照組存活率83%。造林木經施肥後欖仁、苦楝、黃槿、光蠟樹及臺灣欒樹的存活率優於對照組，但施肥後的木麻黃、相思樹及水黃皮的成活率低於對照組，經比對此三種樹種的施肥處理各樣區成活率，發現此三樹種各有1個樣區互相毗連且位於試區雜草生長最旺盛及覆蓋率最高的區域，存活率約僅於60~70%間，然而在雜草覆蓋率較低的其餘樣區，此三樹種之存活率均超過90%，且與對照組的成活率無明顯差異。本研究推測，上述現象可能與造林樣區間環境異質性有關，導致單一様區出現較大的存活率差異。相關研究亦指出，樹種生長情形取決於土壤性質之空間變異，土壤水分含量是決定復舊造林樹種存活及生長最大的關鍵 (王相華等 2012)，也是造成造林苗木死亡最主要的因子 (Lamont et al. 1993; Lauenroth et al. 1994)，造林地應加強撫育管理去除雜草，可減少水分及養分的競爭 (程煒兒等 1996; 何坤益 2006)。因此，本研究於2016年3月至2017年2月期間使用土壤水分感測器，分別針對於地被植物覆蓋率高 (100%) 及覆蓋率低 (50%) 之樣區進行土壤水分監測，結果顯示，在連續10日以上未降雨期間，地被植物覆蓋率高的土壤水分顯著低於地被植物覆蓋率低的區域，形成生育地土壤水分呈現顯著的差異，可能是造成施肥處理中木麻黃、相思樹及水黃皮的單一様區成活率較低的原因之一。

2. 生長量及施肥效應

造林1.5年後調查八種造林木之生長量顯示，對照組的地徑淨生長量以木麻黃5.6 cm最高，其次為相思樹3.5 cm、黃槿1.5 cm、水黃皮1.4 cm及欖仁1.0 cm，其餘樹種小於1.0 cm，以臺灣欒樹0.2 cm最低 (表3)。施肥處理的平

均地徑淨生長量以木麻黃5.3 cm及相思樹5.0 cm最高，以光蠟樹1.3 cm及臺灣欒樹1.1 cm最低，種間比較顯示木麻黃、相思樹、苦楝及欖仁之平均生長可超過3.0 cm，並與其他樹種具有顯著差異。種內比較部份，顯示除木麻黃無顯著差異外，其餘樹種在施肥處理下均呈現顯著的生長量提升，施肥使苦楝地徑增加2.5 cm最多，而欖仁及相思樹地徑增加亦超過1.5 cm，顯示此三種樹種施肥效應明顯優於其他樹種 (圖2)。

對照組造林木的平均樹高淨生長量以木麻黃271.0 cm及相思樹77.0 cm最高，以臺灣欒樹-42.0 cm負成長最低，其餘樹種的樹高淨生長則介於10.0~45.0 cm之間 (表4)。造林木經施肥後的平均樹高淨生長量以木麻黃、苦楝及相思樹超過100.0 cm以上，以木麻黃306.0 cm最高，臺灣欒樹21.0 cm最低，種間比較顯示以木麻黃、苦楝、相思樹、欖仁及黃槿優於其他樹種具有顯著差異。施肥處理對各樹種種內之樹高生長差異影響均達顯著，以苦楝樹高增加126.0 cm為最高，另欖仁、相思樹及黃槿增加50.0 cm以上，以臺灣欒樹增加最少21.0 cm，但已改善未施肥時呈現負成長的情形 (圖3)。

對照組造林木的平均樹冠幅生長情形，以木麻黃216.0 cm及相思樹163.0 cm最高，其餘樹種均低於40.0 cm以下，以臺灣欒樹1.0 cm最低 (表5)。經施肥後的木麻黃、相思樹、欖仁及苦楝之樹冠幅生長量超過100.0 cm以上，優於其他樹種具有顯著差異，其餘樹種增加30.0~70.0 cm之間。種內比較樹冠幅生長情形，施肥除木麻黃及相思樹無顯著差異，其餘樹種具有顯著差異，以欖仁及苦楝增加近100.0 cm最多，其餘樹種低於40.0 cm以下 (圖4)。

就對照組的造林木生長表現試驗結果而言 (表3~5)，以木麻黃及相思樹的生長表現優於其他造林木，係因這二種樹種可與土壤中的菌根菌 (mycorrhizal fungi) 共生形成菌根 (mycorrhizae)，促進吸收土壤中的水分及養分，可促進植株生長，增加其耐旱性、抗病力

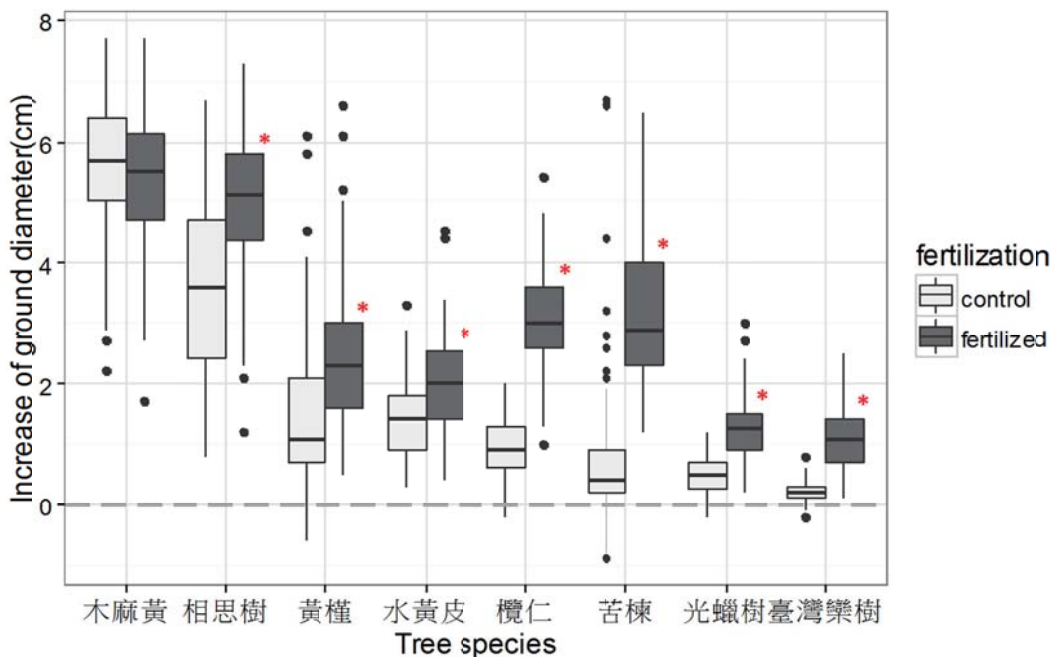
表3. 造林木不同生長期平均地徑及淨生長 (cm) 比較。

Table 3. Comparison of average ground diameter (cm) among species at different afforestation periods and its net growth.

處理	調查日期 (年/月)	樹種							
		木麻黃	相思樹	黃槿	水黃皮	欖仁	苦楝	光蠟樹	臺灣欒樹
對照組	2015/05	0.9(0.2)	0.9(0.2)	0.9(0.2)	1.2(0.2)	0.9(0.2)	0.9(0.2)	0.7(0.2)	0.9(0.2)
	2015/10	1.5(0.3)	1.0(0.3)	1.3(0.3)	1.4(0.2)	1.1(0.3)	1.0(0.3)	0.7(0.2)	1.0(0.3)
	2016/05	4.3(0.8)	2.5(0.8)	1.6(0.6)	2.2(0.5)	1.4(0.4)	1.3(0.6)	0.8(0.2)	1.0(0.2)
	2016/10	6.5(1.1)	4.4(1.4)	2.5(1.2)	2.6(0.7)	1.9(0.5)	1.6(1.2)	1.2(0.3)	1.2(0.3)
	淨生長	5.6(1.0) ^e	3.5(1.3) ^d	1.5(1.2) ^c	1.4(0.6) ^c	1.0(0.5) ^b	0.7(1.2) ^b	0.5(0.3) ^{ab}	0.2(0.2) ^a
施肥處理	2015/05	0.7(0.2)	0.9(0.2)	0.8(0.1)	1.0(0.2)	0.8(0.2)	0.8(0.1)	0.6(0.1)	0.9(0.2)
	2015/10	1.5(0.4)	1.3(0.3)	1.6(0.5)	1.3(0.3)	1.7(0.5)	1.7(0.5)	0.6(0.1)	1.1(0.3)
	2016/05	4.3(1.0)	3.4(0.9)	2.3(0.8)	2.3(0.7)	2.4(0.6)	2.5(0.8)	1.1(0.3)	1.5(0.4)
	2016/10	6.1(1.2)	5.9(1.3)	3.2(1.2)	3.0(0.9)	3.9(0.8)	4.0(1.2)	1.8(0.5)	2.0(0.5)
	淨生長	5.3(1.2) ^e	5.0(1.2) ^e	2.4(1.1) ^c	2.0(0.9) ^b	3.1(0.8) ^d	3.2(1.2) ^d	1.3(0.5) ^a	1.1(0.5) ^a

※平均值 (±1個標準差) 方式表示。

※利用Tukey法進行各處理樹種間淨生長量差異之檢定 (p<0.05)。



* 種內差異之T-test比較, p<0.05。

圖2. 造林1.5年後造林木平均地徑淨生長 (cm) 比較。

Fig. 2. Comparison of the average net growth of ground diameter (cm) among species with a period of 1.5 years afforestation.

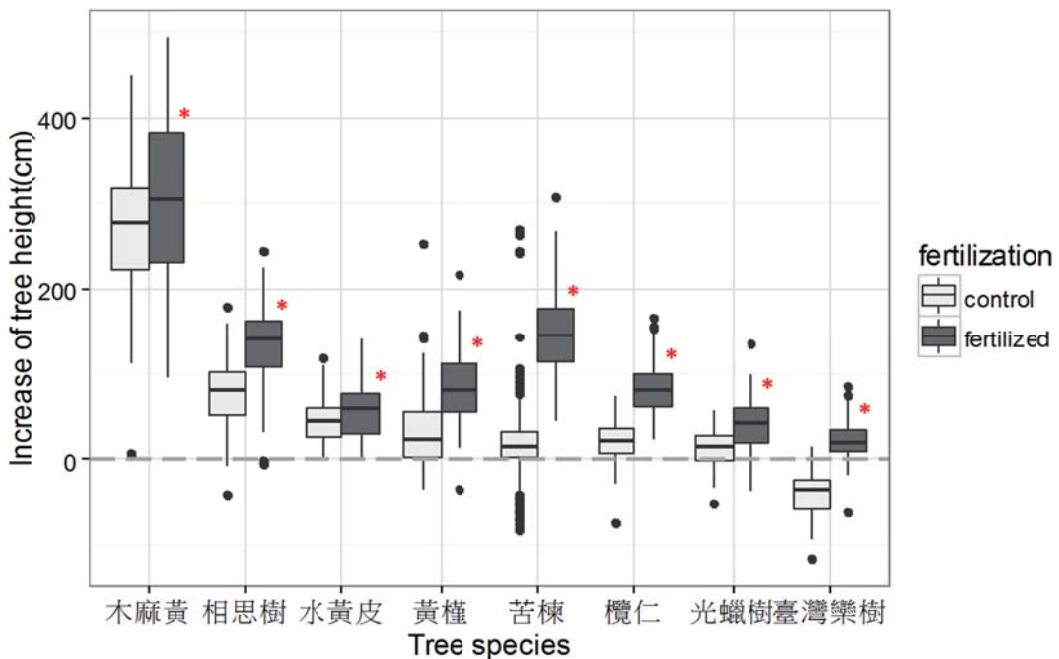
表4. 造林木不同生長期平均樹高及淨生長 (cm) 比較。

Table 4. Comparison of average tree height (cm) among species at different afforestation periods and its net growth.

處理	調查日期 (年/月)	樹種							
		木麻黃	相思樹	水黃皮	黃槿	苦楝	欖仁	光蠟樹	臺灣欒樹
對照組	2015/05	91(12)	78(14)	60(14)	47(7)	80(12)	46(20)	76(20)	76(18)
	2015/10	117(23)	83(19)	70(16)	57(16)	90(19)	49(19)	78(22)	61(30)
	2016/05	246(57)	89(31)	86(25)	64(28)	93(29)	54(19)	78(27)	30(18)
	2016/10	363(71)	155(42)	105(29)	82(51)	102(62)	67(20)	89(26)	38(17)
	淨生長	271(69) ^e	77(41) ^d	45(24) ^c	35(49) ^{bc}	21(63) ^b	20(24) ^b	11(24) ^b	-42(26) ^a
施肥處理	2015/05	87(9)	82(15)	55(15)	42(8)	80(11)	38(17)	78(17)	80(12)
	2015/10	140(37)	88(19)	67(20)	71(23)	107(26)	59(19)	81(19)	86(21)
	2016/05	292(81)	146(33)	84(25)	89(31)	160(41)	72(20)	90(19)	84(20)
	2016/10	394(98)	215(46)	111(31)	126(43)	227(49)	121(25)	120(28)	102(22)
	淨生長	306(97) ^e	134(47) ^d	56(31) ^b	84(40) ^c	147(51) ^d	82(30) ^c	42(29) ^{ab}	21(24) ^{ab}

※平均值 (±1個標準差) 方式表示。

※利用Tukey法進行各處理樹種間淨生長量差異之檢定 (p<0.05)。



* 種內差異之T-test比較，p<0.05。

圖3. 造林1.5年後造林木平均樹高淨生長 (cm) 比較。

Fig. 3. Comparison of the average net growth of tree height (cm) among species with a period of 1.5 years afforestation.

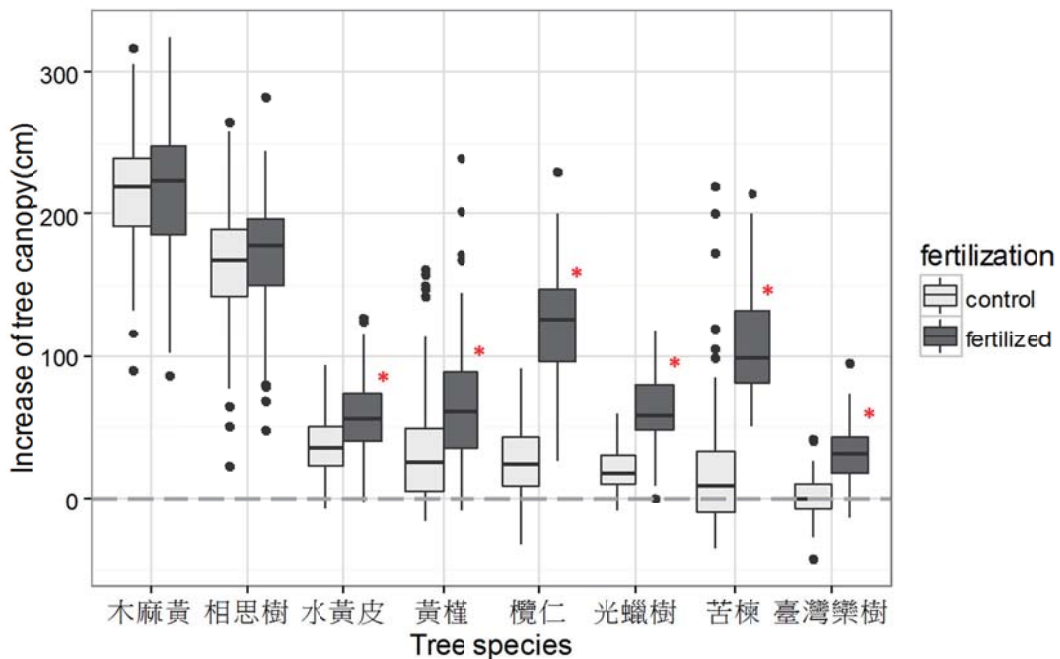
表5. 造林木不同生長期平均樹冠幅及淨生長 (cm) 比較。

Table 5. Comparison of average canopy width (cm) among species at different afforestation periods and its net growth.

處理	調查日期 (年/月)	樹種							
		木麻黃	相思樹	水黃皮	黃槿	欖仁	光蠟樹	苦楝	臺灣欒樹
對照組	2015/05	33(10)	28(9)	27(7)	20(4)	22(6)	19(6)	33(8)	29(10)
	2015/10	87(31)	42(17)	33(8)	23(12)	27(8)	18(5)	31(17)	20(7)
	2016/05	214(48)	110(27)	51(12)	33(22)	36(13)	27(9)	38(25)	23(9)
	2016/10	249(42)	191(43)	64(20)	55(42)	50(24)	40(15)	52(45)	31(14)
	淨生長	216(41) ^e	163(42) ^d	36(21) ^c	35(41) ^c	28(25) ^{bc}	21(15) ^{ac}	19(45) ^{ab}	1(17) ^a
施肥處理	2015/05	28(9)	28(11)	21(8)	20(5)	22(5)	18(5)	33(13)	39(12)
	2015/10	103(42)	59(24)	37(15)	37(17)	52(18)	25(7)	74(26)	50(17)
	2016/05	213(53)	145(35)	60(17)	59(28)	88(28)	56(14)	107(35)	63(18)
	2016/10	245(47)	200(43)	80(28)	87(45)	145(41)	79(22)	142(38)	71(17)
	淨生長	217(47) ^e	172(42) ^d	58(27) ^b	67(43) ^b	123(40) ^c	61(23) ^b	109(37) ^c	32(19) ^a

※平均值 (±1個標準差) 方式表示。

※利用Tukey法進行各處理樹種間淨生長量差異之檢定 (p<0.05)。



* 種內差異之T-test比較, p<0.05。

圖4. 造林1.5年後造林木平均樹冠幅淨生長 (cm) 比較。

Fig. 4. Comparison of the average net growth of canopy width (cm) among species with a period of 1.5 years afforestation.

表6. 八種造林樹種生長適應情形。

Table 6. Estimation of growth adaptability of eight afforestation species.

處理	評估項目	樹種							
		木麻黃	相思樹	水黃皮	黃槿	欖仁	苦楝	光蠟樹	臺灣欒樹
對照組	生長狀態	正常	正常	正常	緩慢	緩慢	緩慢	緩慢	停滯
	葉片黃化株數比例 (%)	0	0	1	22	19	41	41	87
	成活率 (%)	97	95	94	91	98	95	47	42
施肥處理	生長狀態	正常	正常	正常	正常	正常	正常	緩慢	緩慢
	葉片黃化株數比例 (%)	0	0	1	4	0	0	1	5
	成活率 (%)	85	81	81	94	99	98	72	93

及提高移植苗之存活率 (Newsham et al. 1995; 林子超&顏江河 2010)。整體而言，施肥處理造林木的平均地徑淨生長為2.9 cm優於對照組2.0 cm，平均樹高淨生長為109.0 cm優於對照組66.0 cm，平均樹冠幅淨生長為105.0 cm優於對照組74.0 cm，因試區土壤質地以礫石為主，壤土含量少，土壤理化性質不佳、保水性低及養分貧瘠，不利於林木生長，屬於缺乏水分及養分的逆境造林，因此造林木經施肥後，除木麻黃(地徑、樹冠幅)及相思樹(樹冠幅)的生長量無顯著差異外(圖2~4)，其餘樹種的生長量均增加具有顯著差異，因此於洪氾區造林，施肥確實有效促進林木生長，增進造林成效。造林木以苦楝、欖仁、相思樹及黃槿的施肥效果明顯優於其他樹種，以苦楝及欖仁吸收肥效表現最佳，呈現出與木麻黃及相思樹快速生長的特性；造林木以水黃皮及木麻黃的施肥效果最差，根據澎湖海岸林進行施肥研究結果顯示，施肥對木麻黃的地徑初期具有顯著差異，之後並無顯著差異，但對木麻黃樹高生長具有顯著差異，而水黃皮的生長則不具顯著差異(程煒兒等 1996)。

經調查八種造林樹種的生長量、葉片黃化

株數比例及成活率，分析八種造林樹種於洪氾區的生長適應情形，提供造林之參考(表6)。造林木在未施肥條件以木麻黃、相思樹及水黃皮生長量表現佳，生長快速、葉片顏色鮮綠及成活率高，為適應良好的樹種；黃槿、欖仁及苦楝雖成活率高於90%，20~40%的植株葉片呈現黃化情形，明顯係養分缺乏造成，生長呈現緩慢，但隨著造林時間增加，林木生長勢明顯優於造林初期，可逐漸適應生育地環境；光蠟樹及臺灣欒樹植株葉片黃化嚴重超過40%，生長緩慢及生長勢明顯衰退，成活率更低於50%，呈現適應不良的情形。黃槿、欖仁及苦楝經施肥後生長勢獲得改善，植株無呈現養分缺乏的情形，為適應良好的樹種，而光蠟樹及臺灣欒樹經施肥後成活率明顯提高至70%以上，植株葉片黃化比例降低至5%之內，生長勢明顯獲得改善。

因此試驗結果顯示，八種樹種於堤內洪氾區之氾原新成土環境造林，造林樹種的選擇可依造林目的調配，以節省成本及成林速度而言，建議可種植木麻黃、相思樹及水黃皮等適應良好的樹種，不需施肥節省成本，達到快速成林的目的，若考量樹種多樣性，可增加黃

槿、欖仁及苦楝，此三樹種並可藉由施肥促進生長。

(三) 改善土壤結構及性質

土壤除提供植物體之固持功能外，植物必須從土壤中獲得必需的水分及養分才能夠正常生長，因此一旦土壤發生理化性質障礙，必會影響植物正常生長。洪氾區因石礫含量高，壤土含量少，屬於造林困難的不良環境，因含大量砂石造成土質緊密，林木根系發展困難。本研究經以挖土機全面將試區進行篩土作業，移除林地深度50 cm內直徑大於8 cm的岩石，經試驗結果除光蠟樹及臺灣欖樹適應不佳，其餘樹種成活率超過90%，並藉由施肥增加造林木的生長量，改善土壤養分缺乏情形。因此，對於石礫含量高的造林地，以挖土機篩土造林方式，可減少造林木生育地岩石含量及提高壤土比例，在做法上可採全面、區塊或點的作業方式，但其造林成效及成本取決於改善土壤環境的深度及範圍，並配合造林撫育及施肥作業，可增進造林成效。總而言之，洪氾區屬於生育地不良的逆境，造林成本及樹種為影響造林成效最大的因素，但需依其造林目的投入適當的成本，並以適地適木原則，種植適合樹種才是森林永續經營最佳的造林方式。

四、結論

本試驗選用木麻黃、相思樹、臺灣欖樹、光蠟樹、欖仁、水黃皮、苦楝及黃槿等八種造林木於臺東太麻里溪堤內洪氾區進行造林試驗，以挖土機進行篩土整地，並藉由施肥提供造林木養分，改善生育地環境及增進造林木適存能力。試驗結果，對照組以木麻黃、相思樹及水黃皮的生長量優於其他造林木，為適應良好的樹種，黃槿、欖仁及苦楝雖生長緩慢卻能適應臺東地區夏季焚風及高溫環境，為具有適應貧瘠地的潛力樹種，而光蠟樹及臺灣欖樹之生長幾近停滯及成活率<50%，為適應不良的樹種；施肥確實能促進林木生長具有顯著差異，以欖仁、苦楝及黃槿的施肥效果最佳，呈

現生長快速及適應良好的特性。

五、致謝

本研究承蒙行政院農業委員會林業試驗所計畫經費補助(計畫編號：105農科-12.1.2-森-G3 (1))，感謝杜清澤、黃菊美、歐書寰、成瑋、周彥旭、張劭彥等人於研究試驗之協助，以及兩位審查者對本研究的寶貴修正建議，謹此致謝。

六、引用文獻

- Lamont BB, Witkowski ETF, Enright NJ (1993) Post-fire litter microsites: safe for seeds, unsafe for seedlings. *Ecology* 74(2): 501-512.
- Landon GR (1984) *Booker Tropical Soil Manual*. Longman Inc. N.Y. pp 450.
- Lauenroth WK, Sala OE, Coffin DP, Kirchner TB (1994) The importance of soil water in the recruitment of *Bouteloua gracilis* in the shortgrass steppe. *Ecological Applications* 4(4): 741-749.
- Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR (1995) Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology & Evolution* 10(10): 407-411.
- Walters MB, Reich PB (2000) Seed size, nitrogen supply, and growth rate affect tree seedling survival in deep shade. *Ecology* 81(7): 1887-1901.
- 王子定(1993) 現代育林學(下)。國立編譯館。
- 王相華、陳芬蕙、許正一、郭耀綸、簡士豪(2012) 土壤性質對珊瑚礁地形上原生海岸林復舊之影響。 *台灣林業科學* 27(3): 283-98。
- 王鑫、許玲玉、白中科、王曉鴻(2007) 台灣劣化土地環境(採礦跡地)之鑑定、整治及復育策略研究(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。

- 何坤益 (2006) 台灣海岸林造林之撫育管理。臺灣林業 32(1) : 40-43。
- 邱清安 (2012) 復育生態學之初探。中華林學季刊 45(2) : 289-297。
- 邱清安、徐憲生 (2015) 面對退化地之抉擇：被動的自生演替恢復vs.主動的人為生態復育。林業研究季刊 37(2) : 85-98。
- 林子超、顏江河 (2010) 台灣西部海岸林適生植物內生菌根菌調查研究。林業研究季刊 32(4) : 23-34。
- 林務局 (2009) 不良環境造林樹種的篩選與調查。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列98-00-5-08。行政院農業委員會林務局。
- 林務局 (2010) 臺灣河岸防沙生態綠帶樹種篩選與現況調查計畫。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列編號99-00-5-12。行政院農業委員會林務局。
- 郭寶章 (1989) 育林學各論。國立編譯館。
- 張仲民 (2005) 普通土壤學。茂昌圖書有限公司。
- 張愛華 (1981) 本省現行土壤測定方法。臺灣省農業試驗所特刊第13號 : 9-26。
- 張繼中、廖勁穎、黃文益、盧柏松 (2015) 復耕番荔枝果園之肥料試驗。土壤肥力與植物營養應用回顧與展望研討會論文集。
- 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。
- 程煒兒、洪富文、陳財輝 (1996) 施肥對澎湖四種防風林樹種造林的初期效應。台灣林業科學 11(3) : 303-313。
- 鄭智馨、黃于軒、O. V. Menyailo、陳建德 (2016) 台灣農地造林之林分發展與地上部林木碳量蓄積。台灣林業科學 31(2) : 105-108。
- 蔡佳彬、趙惠德 (2000) 施肥對瓊楠與霧社槭楠苗木生長之影響。林業研究專訊 7(4) : 13-14。
- 魏迺雄 (2002) 林業試驗所太麻里海岸植物園水土保持計畫。行政院農業委員會林業試驗所。
- 顧承宇、陳建忠、張怡文、許世孟、陳耐錦、溫惠鈺 (2012) 氣候變遷下極端降雨引致廣域坡地災害評估技術之研究。中華水土保持學報 43(1) : 75-84。

