

研究報告**不同種源山木麻黃在台灣之初期生長表現**陳財輝¹⁾ 潘冠良²⁾ 廖天賜^{2,3)}**摘 要**

本試驗為澳洲CSIRO統籌山木麻黃國際種源試驗之一部分，以印尼原生種及非洲栽培種共28個種源為試驗材料，在台灣海岸及山地等4個不同生育地進行栽植試驗。本試驗調查山木麻黃2年生造林木之12項定量及定性之生長與形態性狀資料，並進行變方分析，結果顯示各試區種源間各性狀皆達顯著差異，且具有顯著的種源遺傳與環境之交感效應。山木麻黃28個種源於四湖試區之成活率、樹高及胸徑生長皆以帝汶(Timor)島的17號種源表現較佳，而在台中港試區之成活率則以帝汶島的20號種源最高，樹高生長則以帝汶島的16, 17, 18, 19號種源表現優異，胸徑生長則以帝汶島的19號種源為最佳，另在多納試區則以4號種源之成活率和樹高生長表現最佳，而胸徑生長則以巴厘(Bali)島的10號種源最佳；於太麻里試區之成活率以肯亞(Kenya)的23號種源最佳，而樹高與胸徑生長方面皆以倫巴(Lombok)島的14號種源表現最佳。經由迴歸分析顯示，於低海拔之四湖與台中港試區，種源間之造林成活率、樹高及胸徑生長隨著原產地海拔之升高而降低，而於中高海拔之多納試區，其成活率則會隨著經度、緯度的增加而增加，這表示種源間具有沿地理分布而分化的情形。進一步進行主成分因子分析與歸群分析，以了解種源間之地理變異趨勢，低海拔之威特島(Wetar)之21號種源在空間分布上與其它種源之距離最遠，而印尼中海拔之帝汶島16~20號等5個種源則明顯歸為一群，其中中高海拔之種源則另自成一集團，由此推估山木麻黃種源是以海拔高為分化方向。

關鍵詞：山木麻黃、種源試驗、歸群分析。

陳財輝、潘冠良、廖天賜。2006。不同種源山木麻黃在台灣之初期生長表現。台灣林業科學 21(4):421-31。

Research paper**A Study of the Primary Growth of
Casuarina junghuhniana Provenances in Taiwan**Tsai-Huei Chen,¹⁾ Kuan-Liang Pan,²⁾ Tien-Szu Liao^{2,3)}

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，10066台北市南海路53號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, No. 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 國立中興大學森林學系，40227台中市國光路250號 Department of Forestry, National Chung Hsing University, 250 Kuokuang Rd., Taichung 40227, Taiwan.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:tsliao@dragon.nchu.edu.tw

2005年12月送審 2006年5月通過 Received December 2005, Accepted May 2006.

【 Summary 】

This study was undertaken as a part of international provenance trials of *Casuarina junghuhniana* coordinated by CSIRO, Australia. The present trial compared 28 provenances of *C. junghuhniana* from natural occurrence and land races, and variations in 12 growth and morphological characteristics were assessed in 2-yr-old stands at 4 sites in Taiwan. Considerable genetic variations among natural provenance and land races of *C. junghuhniana* with a significant site-by-provenance interaction were revealed. Provenance nos. 16, 17, 18, 19, and 20 from Timor Island, Indonesia, and no. 21 from Old Uhak NE Wetar, Indonesia, were selected as the superior seed sources for all 4 sites, based on Scheffe's multiple range tests of their survival rate, height, and diameter growth. Regression analyses of data obtained in the Suhu coastal area and Taichung Harbor area revealed a significant negative relationship of elevation with survival percentage, height, and diameter growth of *C. junghuhniana*. A significant positive relationship was observed for the survival rate of *C. junghuhniana* and the longitude and elevation of the Duona area. Results from both cluster and factor analyses with a principal component solution suggested that the 28 provenances could be classified into 3 geographical groups. The first group originated from Old Uhak NE Wetar, Indonesia and was far distant from the other provenances. The second group consisted of 5 provenances from Timor, with the remaining provenances being classified into the third group. These results suggest that the ecoclines of *C. junghuhniana* might be affected by elevation.

Key words: *Casuarina junghuhniana*, provenance trials, cluster analysis.

Chen TH, Pan KL, Liao TS. 2006. A study of the primary growth of *Casuarina junghuhniana* provenances in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 21(4):421-31.

緒言

山木麻黃(*Casuarina junghuhniana*)為木麻黃科木麻黃屬，原產於印尼，在南緯7~10°及東經110~127°一帶，海拔高由0~3,100 m皆可見其自然分布。原產地之年降水量為700~2,000 mm，年均溫為13~28℃，自然生育地的環境條件變異極大(Midgley et al. 1981)。山木麻黃為固氮樹種，其樹幹端直、樹冠狹長呈圓錐狀，樹型優美，生長迅速，並具極佳的抗旱性及耐貧瘠之能力。由於具有極佳之生長潛勢，為第三世界國家所期待發展之能源及原木利用樹種(Fahmy et al. 1970, Phengpricha 1977, Pinyopusarerk and Boland 1990, Zhong 1990)。由於過去在泰國及印度等地作為柱材及用材之山木麻黃實為山木麻黃與木賊葉木麻黃之雜交種，其無法生產種子，惟因具有雜交優勢特性，以無性繁殖方法培育苗木反而能保持較高的產量(Doran and Hall 1983, Kondas 1983,

Chen et al. 1995)。由於山木麻黃能廣泛適應強酸性及鹽鹼性等各種瘠劣生育地條件，故本樹種已被引種至泰國、非洲、印度以及中國大陸等地，應用於山地及平原土壤條件較差地區，作為造林先驅、防風林、土壤改良、水土保持和風景林樹種等多種用途(El-Lakany et al. 1990)。

一般林木在進行引種造林時，往往會面臨了遺傳多樣性的單純化及適當種源的問題(Ho et al. 2004)，為了能具體了解山木麻黃不同種源在國內各生育地之生長表現，並保存木麻黃類樹種的遺傳多樣性。行政院農業委員會林業試驗所於1995年7月參與澳洲聯邦科學及工業研究所(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)研究主持之山木麻黃國際種源試驗。本試驗與木賊葉木麻黃(*C. equisetifolia*)國際種源試驗一樣，係由澳洲

CSIRO國際發展基金提供經費，執行由CSIRO的研究人員負責規劃種源試驗之試驗設計、試驗種子組(seedlot)篩選，提供種子發芽、育苗技術及造林規範，並由CSIRO統合各國之研究調查事項及彙整分析各地之調查資料，本試驗則僅以台灣不同生育地的生長資料進行木麻黃類種源之生長與遺傳性親緣關係之研究(Yang et al. 1995, Ho et al. 2001, Ho et al. 2004)。

本研究即分析探討從低海拔到中高海拔分布之28個山木麻黃種源，在台灣不同生育地條件生長及形態性狀表現之變異特性，藉以瞭解山木麻黃種源是否適合在台灣山地或海岸生長，做為今後國際性推廣具有極佳生長潛力之山木麻黃的引種範圍界定，或是未來供山地或海岸增加木麻黃類樹種多樣性選擇之參考。

材料與方法

一、試驗材料

本研究材料為分布在印尼的山木麻黃原生種源(native provenance)以及引種到肯亞和坦尚尼亞之栽培種源(cultivated provenance)，由澳洲CSIRO篩選提供共計28個種子組供育苗及造林試驗所需(Table 1)。

本試驗在1995年12月接獲澳洲寄來種子後，隨即在嘉義市之林業試驗所中埔分所埤子頭苗圃(現為中埔研究中心現址)進行種子發芽及造林用苗木的培育工作，並於1996年7月底完成高雄縣多納試驗地(22°52'N, 120°46'E, 1,110 m, 2,488 mm)，同年8月底完成同規格之雲林縣四湖試驗地(23°41'N, 120°11'E, 10 m, 1,014 mm)之造林工作；並於隔年1月上旬完成台東縣太麻里試驗地(22°37'N, 120°56'E, 1,110 m, 1,186 mm)，同年2月下旬完成台中縣台中港試驗地(24°17'N, 120°32'E, 3 m, 1,506 mm)之造林工作。各試驗地栽植方式皆依照CSIRO所規劃的拉丁行列設計(latinized row-column design)，方區之行列組合為4×7共28小區，4重複，每小區栽植造林木25株，栽植距離為2×2 m，造林總株數為2,800株(Pinyopusarerk et al. 1996, Pinyopusarerk 1995)。

二、調查評估方法

山木麻黃種源性狀之變異特性調查，依照CSIRO所訂之標準化調查步驟，定期調查樹高、胸徑及成活率。另於1999年3月間進行2年生林木形態之定性調查，項目為：主幹維持性(1~6個等級)、主幹直立性(1~6個等級)、永存性枝條之密度(1~4個等級)、粗細度(1~4個等級)、角度(1~2個等級)、長度(1~2個等級)，加上落葉小枝之長度(1~2個等級)、粗細度(1~2個等級)，以及幹受害(1~2個等級)、葉受害(1~2個等級)等共12個，各個定性項目分成不同等級藉以區分型態之差異性(Table 2)，以供後續參與試驗之各國所需評估各種源的生長表現，並做為調查各種源在台灣不同生育地之生長適應性。

三、統計分析

(一)變方分析(Analysis of variance, ANOVA)

資料分析皆以SPSS10.0版套裝統計軟體進行野外調查數據之計算(Melanie et al. 2003)，並參照Pinyopusarerk et al. (2004)及Williams et al. (2006)所發表的國際種源試驗報告中所使用之統計方法，以單因子變方分析計算單一試驗地種源間性狀之變異，其模型為 $Y = \mu + B_i + R_{j(i)} + C_{j(i)} + G_k + C_{ijk}$ ，並以綜合變方分析(combined ANOVA)計算種源與不同環境試區之交互效應，其模型為 $Y = \mu + S_j + B_i + R_{i(j,i)} + C_{i(j,i)} + G_k + GS_{jk} + C_{ijk}$ ，其中Y為觀測值(表現型變方)， μ 為總平均值， B_i 為區集效應， S_j 為試驗地點效應(環境變方)， G_k 為種源效應(遺傳變方)， GS_{jk} 為種源及試驗地點之交互效應， C_{ijk} 及 $C_{i(j,i)}$ 則為誤差效應，其中成活率之分析經由反正弦轉換，各因子間如達到顯著性差異，則進一步以雪費S法(Scheffe's S method)分析進行事後檢定。

(二)迴歸分析(Regression analysis)

以直線迴歸分析計算各種源之成活率、樹高及胸徑生長等定量性狀與各種源產地之緯度、經度及海拔高的地理變異相關性。

(三)主成分因子分析(Factor analysis with principal components)

Table 1. Details of the seed origin of *Casuarina junghuhniana* in international provenance trials (Pinyopusarerk 1995)

Prov. No.	CSIRO Seedlot No.	Location	Latitude (S)	Longitude (E)	Elevation (m)	No. of parents
1	18952	Mt. Willis, East Java, Indonesia	7° 50'	111° 47'	1500	10
2	18948	Mt. Kawi, East Java, Indonesia	7° 55'	112° 25'	2000	10
3	18951	Mt. Arjuno, East Java, Indonesia	7° 45'	112° 35'	1350	10
4	18950	Mt. Bromo, East Java, Indonesia	7° 55'	112° 55'	1600	10
5	18954	Mt. Bromo, East Java, Indonesia	7° 55'	112° 55'	2500	10
6	18949	Mt. Argopuro, East Java, Indonesia	8° 00'	113° 35'	1500	10
7	18847	East Batu Kawu, Bali, Indonesia	8° 40'	115° 05'	1500	10
8	18845	Mt. Pohen, Bali, Indonesia	8° 40'	115° 05'	2000	10
9	18844	Mt. Tapak, Bali, Indonesia	8° 45'	115° 15'	1500	10
10	18846	Mt. Pengalongan, Bali, Indonesia	8° 50'	115° 15'	1500	10
11	18849	Kintamani, Bali, Indonesia	8° 13'	115° 20'	1500	10
12	18848	Mt. Abang, Bali, Indonesia	8° 55'	115° 25'	1500	10
13	18850	Mt. Santong, Lombok, Indonesia	8° 25'	116° 28'	1500	5
14	18851	Mt. Lamore, Lombok, Indonesia	8° 25'	116° 45'	1500	5
15	18852	Mt. Tambora, Sumbawa, Indonesia	8° 20'	117° 55'	1500	5
16	19489	Kapan, Kupang, Timor, Indonesia	10° 13'	123° 38'	600	10
17	19490	Camplong, Timor, Indonesia	10° 05'	123° 57'	600	15
18	17878	Noelmina River, Timor, Indonesia	9° 59'	124° 06'	170	10
19	17877	25 km SW Soc, Timor, Indonesia	9° 54'	124° 14'	550	6
20	19491	Buat, Soc, Timor, Indonesia	9° 51'	124° 16'	800	25
21	17844	Old Uhak NE Wetar, Indonesia	7° 36'	126° 30'	5	10
22	19239	Kari-Muguga, Kenya	1° 16'	36° 36'	2060	10
23	19240	Muka Mukuu, Kenya	1° 05'	36° 39'	1460	10
24	19238	KEFRI Headquarters, Kenya	1° 13'	36° 39'	2080	10
25	19242	Kabiruini, Kenya	0° 23'	36° 56'	1800	12
26	19241	Thika, Kenya	1° 02'	37° 12'	1440	10
27	19237	Meru, Kenya	0° 07'	37° 37'	1750	10
28	18853	Kwai Mission, Tanga, Tanzania	4° 19'	38° 14'	1600	unknown

以SPSS10.0將12個生長及形態性狀變量經由標準化轉換後，計算出相關係數矩陣，並以最大變異法進行轉軸(varimax rotation method)，再計算出各變項與各因子之間的相關係數(亦稱因子負荷, factor loading)。將前2個因子轉換成因子分數，並繪出2維之座標圖，以了解各種源在空間之分布型式(Johnson and Wichern 2002)。其標準化公式如下： $Z = (X - \bar{x}) / S$ ，其中Z為標準值，X為原始數據， $\bar{x}$ 為平均值，S為標準差。

因子負荷之公式如下： $R_{x_{ij}} = a_{ij} \sqrt{\lambda_j} / s_i$ ，其中 λ_j 為第j個主成分的特徵值， a_{ij} 為對應於 λ_j 之特徵向量，而 s_i 為第i個變數的標準差。

(四)歸群分析(Cluster analysis)

以歐基里德距離平方法(squared Euclidean distance method)計算山木麻黃各種源間之距離，再以平均聯結法(average linkage method)，進行歸群分析，並建立各種源之樹狀分布圖(Johnson and Wichern 2002)。

Table 2. Characteristics assessed on each tree in the *Casuarina junghuhniana* provenance trials (Pinyopusarerk 1995, Pinyopusarerk et al. 1996)

Characteristic		Unit	Explanation
Quantitative traits			
1	Height	m	Height of the tallest stem
2	Diameter	cm	Measured at 1.3 m above ground
Qualitative traits			
Stem form			
3	Axis persistence	1~6	Ability of tree to retain its primary stem axis 1 = Multistems from ground 2 = Forking in 1st (lowest) quarter of stem 3 = Forking in 2nd quarter 4 = Forking in 3rd quarter 5 = Forking in 4th quarter 6 = No forking
4	Stem straightness	1~6	1 = Not vertical, > 2 bends 2 = Roughly vertical, > 2 bends 3 = Not vertical, 1~2 bends 4 = Roughly vertical, 1~2 bends 5 = Roughly vertical and straight 6 = Completely vertical and straight
Branching habit			
Permanent branches			
5	Density	1~4	First-order branches originating from the main stem 1 = Regularly branched, internode 15 cm 2 = Irregularly branched, internode mainly 15 cm 3 = Irregularly branched, internode 30 cm 4 = Irregularly branched, internode generally 30 cm
6	Thickness	1~4	1 = > 3 branches diameters > 1/3 of adjacent stem 2 = 1~3 branches diameters > 1/3 of adjacent stem 3 = Branch diameter up to 1/3 of adjacent stem 4 = Branch diameter < 1/4 of adjacent stem
7	Angle	1~2	1 = Upright, < 60° 2 = Horizontal, > 60°
8	Length	1~2	1 = Long, ≥ 1/4 of total tree height 2 = Short, < 1/4 of total tree height
Deciduous branchlets			
9	Length	1~2	Needle-like foliage 1 = Long, ≥ 15 cm 2 = Short, < 15 cm
10	Thickness	1~2	1 = Coarse 2 = Fine
Health			
11	Stem damage	1~2	1 = Yes (irrespective of causes by pest or disease) 2 = No
12	Foliage damage	1~2	1 = Yes (irrespective of causes by pest or disease) 2 = No

結果與討論

一、不同種源林木生長之變異

(一)造林成活率

山木麻黃2年生種源之成活率，各試驗地之種源間皆達顯著差異，且各試區間及種源與試區間之交感效應皆達顯著差異(Table 3)。在四湖、台中港及多納試區中，第16~21號種源皆有較佳的表現(Table 4)，成活率達94%以上之種源，在四湖試區有1, 7~10, 12, 14~22號種源，在台中港試區則為16~21號種源，而多納試區則為1, 4, 15號種源。至於太麻里試區則以4, 15, 17, 24號種源為較佳，但最高僅達93%。

(二)樹高生長

山木麻黃樹高生長方面，各試區之種源間皆達顯著差異，且各試區間及種源與試區間之交感效應皆達顯著差異(Table 3)。在低海拔之四湖、台中港試區之16~21號種源皆有一致生長較佳之趨勢，其中17, 19號種源於四湖試區更可高達5 m以上(Table 4)，至於在台中港試區生長最佳的為19號種源，但僅達2.12 m。在中高海拔之多納與太麻里試區其種源生長趨勢並不一致，於多納試區以4, 5, 10, 15號種源為佳，其中又以4號種源為最佳，可達5.18 m，而太麻里試區則是以14號種源為最佳，可達3.87 m。

(三)胸徑生長

山木麻黃胸徑生長方面，各試區之種源間皆達顯著差異，且各試區間及種源與試區間之交感效應皆達顯著差異(Table 3)。在低海拔之四湖與台中港試區中，第16~21號種源亦皆表現較佳，其中16, 17, 19, 20號種源在四湖試區皆可高達4 cm以上，而台中港試區則是以19號種源為最佳，但僅達1.93 cm。至於在中高海拔之多納與太麻里試區其亦沒有一致生長較佳的種源，在多納試區生長最佳的為10號種源，可達3.7 cm。而於太麻里試區生長最佳的則為14號種源，可達3.08 cm。

林木個體間生長性狀之差異，常藉由變方(variance)予以解釋，即其個體間所表現出之差異是由遺傳變方、環境變方以及遺傳與環境之交感變方所綜合影響(Bhargava et al. 1966, Bauerle et al. 2003, Sengloun et al. 2004)。由結果得知山木麻黃之成活率、樹高及胸徑生長性狀於種源間(遺傳變方)達極顯著差異，顯然山木麻黃種源間存在明顯的遺傳變異。一般而言，分布範圍廣袤的樹種，為了能適應不同立地環境的選擇壓力，普遍會產生形態、生理及開花結實等變異的現象(Danselman and Flint 1982, Bauerle et al. 2003)，而種源與試驗地之交互作用達極顯著差異，說明了種源不僅受遺傳控制且受環境條件的交互影響，所以在不同

Table 3. Results of variance analysis for survival rate, tree height, and diameter breast height (dbh) of *Casuarina junghuhniana* provenance trials

Item	DF	Survival rate (%)			Height (m)			dbh (cm)	
		SS	F value		SS	F value		SS	F value
Suhu	27	43554.85	3.77 ***		509.747	54.106 ***		566.828	34.232 ***
Duona	27	26477.00	3.76 ***		148.219	11.205 ***		117.076	7.498 ***
Taichung harbor	27	92875.42	15.55 ***		61.723	25.740 ***		93.283	15.257 ***
Taimalee	27	16901.71	2.97 ***		50.782	7.502 ***		89.064	7.984 ***
Site	3	5629.59	17.59 ***		1878.165	1248.223 ***		718.349	358.969 ***
Seedlot	27	10814.50	3.75 ***		215.259	15.896 ***		247.912	13.765 ***
Site x Seedlot	81	12872.32	1.49 ***		555.213	13.666 ***		618.147	11.441 ***

*, **, and *** indicate a significant difference in *F* values at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

Table 4. Results of Scheffe's multiple range test for survival rate, height, and diameter breast height (dbh) of *Casuarina junghuhniana* provenance trials

Code	Seedlot	Suhu			Duona			Taimalee			Taichung Harbor		
		Survival rate (%)	Height (m)	dbh (cm)	Survival rate (%)	Height (m)	dbh (cm)	Survival rate (%)	Height (m)	dbh (cm)	Survival rate (%)	Height (m)	dbh (cm)
1	18952	95 ^{ab1)}	2.27 ^e	1.38 ^d	95 ^a	4.28 ^{abcd}	3.01 ^{ab}	82 ^{abc}	3.38 ^{ab}	2.58 ^{ab}	54 ^c	1.10 ^f	0.82 ^{def}
2	18948	91 ^{ab}	2.18 ^e	1.26 ^d	93 ^{abc}	4.43 ^{abcd}	2.94 ^{ab}	89 ^{abc}	3.46 ^{ab}	2.47 ^{ab}	71 ^{de}	1.17 ^{ef}	0.83 ^{def}
3	18951	87 ^{ab}	2.31 ^e	1.30 ^d	85 ^{abcd}	4.62 ^{abc}	3.34 ^{ab}	90 ^{abc}	3.04 ^{ab}	1.90 ^{ab}	71 ^{de}	1.23 ^{ef}	0.95 ^{bcdef}
4	18950	89 ^{ab}	2.63 ^e	1.68 ^{cd}	96 ^a	5.18 ^a	3.33 ^{ab}	93 ^a	3.66 ^{ab}	2.72 ^{ab}	65 ^{de}	1.37 ^{cdef}	0.98 ^{abcdef}
5	18954	92 ^{ab}	2.42 ^e	1.61 ^{cd}	87 ^{abcd}	4.75 ^{ab}	3.22 ^{ab}	90 ^{abc}	2.79 ^b	1.74 ^b	76 ^{bde}	1.12 ^{ef}	0.80 ^{def}
6	18949	91 ^{ab}	2.38 ^e	1.48 ^d	86 ^{abcd}	3.99 ^{abcd}	2.56 ^{ab}	87 ^{abc}	2.79 ^b	1.71 ^b	67 ^{de}	1.20 ^{ef}	0.72 ^{ef}
7	18847	97 ^{ab}	2.74 ^{de}	1.76 ^{bcd}	85 ^{abcd}	4.03 ^{abcd}	2.80 ^{ab}	87 ^{abc}	3.06 ^{ab}	1.99 ^{ab}	66 ^{de}	1.36 ^{cdef}	0.91 ^{bcdef}
8	18845	94 ^{ab}	2.46 ^e	1.18 ^d	93 ^{abc}	4.46 ^{abcd}	2.89 ^{ab}	91 ^{ab}	3.53 ^{ab}	2.71 ^{ab}	82 ^{abcd}	1.27 ^{def}	0.90 ^{cdef}
9	18844	94 ^{ab}	2.37 ^e	1.49 ^d	91 ^{abc}	4.28 ^{abcd}	3.02 ^{ab}	91 ^{ab}	2.79 ^b	1.66 ^b	81 ^{abcd}	1.39 ^{bcd}	0.88 ^{cdef}
10	18846	94 ^{ab}	2.58 ^e	1.80 ^{bcd}	86 ^{abcd}	4.90 ^{ab}	3.70 ^a	89 ^{abc}	3.48 ^{ab}	2.40 ^{ab}	80 ^{abcd}	1.55 ^{abc}	0.73 ^{ef}
11	18849	85 ^{ab}	2.07 ^e	1.22 ^d	85 ^{abcd}	3.98 ^{abcd}	2.53 ^{ab}	91 ^{ab}	2.82 ^b	1.55 ^b	68 ^{de}	1.14 ^{ef}	0.82 ^{def}
12	18848	99 ^a	2.82 ^{de}	1.80 ^{bcd}	83 ^{abcd}	4.17 ^{abcd}	2.57 ^{ab}	80 ^{abc}	3.47 ^{ab}	2.59 ^{ab}	73 ^{cde}	1.15 ^{ef}	0.86 ^{cdef}
13	18850	92 ^{ab}	2.29 ^e	1.36 ^d	83 ^{abcd}	3.86 ^{abcd}	2.29 ^{ab}	91 ^{ab}	3.15 ^{ab}	1.86 ^{ab}	74 ^{cde}	1.23 ^{ef}	0.85 ^{cdef}
14	18851	96 ^{ab}	2.57 ^e	1.43 ^d	92 ^{abc}	4.42 ^{abcd}	2.86 ^{ab}	80 ^{abc}	3.87 ^a	3.08 ^a	71 ^{de}	1.30 ^{def}	0.63 ^f
15	18852	94 ^{ab}	2.63 ^e	1.73 ^{cd}	95 ^{ab}	4.75 ^{ab}	3.08 ^{ab}	92 ^a	2.98 ^{ab}	1.84 ^{ab}	85 ^{abcd}	1.34 ^{cdef}	0.84 ^{def}
16	19489	98 ^a	4.18 ^{bc}	4.01 ^a	91 ^{abc}	3.66 ^{bcd}	2.21 ^{ab}	88 ^{abc}	2.94 ^{ab}	1.86 ^{ab}	95 ^{abc}	2.01 ^a	1.74 ^{abcd}
17	19490	99 ^a	5.37 ^{ab}	4.51 ^a	91 ^{abc}	4.05 ^{abcd}	2.59 ^{ab}	93 ^a	3.15 ^{ab}	2.21 ^{ab}	98 ^{ab}	2.01 ^a	1.81 ^{abc}
18	17878	94 ^{ab}	4.32 ^{abc}	3.07 ^{abc}	88 ^{abcd}	4.04 ^{abcd}	2.50 ^{ab}	86 ^{abc}	3.25 ^{ab}	2.35 ^{ab}	99 ^{ab}	2.06 ^a	1.87 ^{ab}
19	17877	94 ^{ab}	5.43 ^a	4.41 ^a	93 ^{abc}	3.73 ^{bcd}	2.61 ^{ab}	91 ^{ab}	2.94 ^{ab}	1.84 ^{ab}	98 ^{ab}	2.12 ^a	1.93 ^a
20	19491	95 ^{ab}	4.71 ^{abc}	4.08 ^a	92 ^{abc}	3.70 ^{bcd}	2.38 ^{ab}	88 ^{abc}	3.11 ^{ab}	2.07 ^{ab}	99 ^a	1.98 ^{ab}	1.87 ^{ab}
21	17844	98 ^a	3.93 ^{cd}	3.32 ^{ab}	86 ^{abcd}	3.33 ^{cd}	2.04 ^b	83 ^{abc}	2.80 ^b	1.63 ^b	98 ^{ab}	1.99 ^{ab}	1.73 ^{abcd}
22	19239	94 ^{ab}	2.50 ^e	1.69 ^{cd}	87 ^{abcd}	3.85 ^{abcd}	2.67 ^{ab}	91 ^{ab}	3.35 ^{ab}	2.51 ^{ab}	72 ^{cde}	1.58 ^{abc}	0.99 ^{abc}
23	19240	89 ^{ab}	2.82 ^{de}	2.03 ^{bcd}	79 ^{cd}	4.46 ^{abcd}	3.15 ^{ab}	86 ^{abc}	3.38 ^{ab}	2.36 ^{ab}	86 ^{abcd}	1.84 ^{abcd}	1.59 ^{abc}
24	19238	92 ^{ab}	2.70 ^e	1.76 ^{bcd}	90 ^{abc}	4.37 ^{abcd}	3.09 ^{ab}	92 ^a	3.39 ^{ab}	2.65 ^{ab}	70 ^{de}	1.61 ^{abc}	0.99 ^{abc}
25	19242	91 ^{ab}	2.83 ^{de}	2.10 ^{bcd}	80 ^{cd}	3.24 ^{cd}	1.86 ^b	88 ^{abc}	2.76 ^b	1.84 ^{ab}	85 ^{abcd}	1.91 ^{abc}	1.19 ^{abc}
26	19241	91 ^{ab}	2.40 ^e	1.73 ^{cd}	85 ^{abcd}	3.20 ^d	1.91 ^b	89 ^{abc}	3.03 ^{ab}	2.15 ^{ab}	87 ^{abcd}	1.54 ^{abc}	0.94 ^{bc}
27	19237	92 ^{ab}	2.27 ^e	1.53 ^{cd}	81 ^{bcd}	3.17 ^d	2.02 ^b	78 ^{bc}	2.85 ^b	1.84 ^{ab}	81 ^{abcd}	1.53 ^{abc}	1.06 ^{abc}
28	18853	83 ^b	2.25 ^e	1.51 ^{cd}	74 ^d	3.62 ^{bcd}	2.42 ^{ab}	77 ^c	2.87 ^{ab}	1.92 ^{ab}	82 ^{abcd}	1.72 ^{bcd}	1.27 ^{abc}

¹⁾ Values in a column followed by the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) according to Scheffe's multiple range test.

生態環境引種時，必須進行種源試驗，以供選拔育種之依據(Zhong et al. 2002)。

對照目前已發表的山木麻黃國際種源試驗中發現，位在海拔80 m的泰國試驗地中，其3年生之樹高與胸徑生長皆以18, 19, 21號種源為較佳，而成活率則以14, 15, 18~21號種源較高(Sengloung et al. 2004)。至於位在中國大陸的福建省(海拔50 m)與廣東省(海拔15 m)之試區中，其2年生之山木麻黃種源生長皆以16~20號

種源生長為最佳，樹高可達5.16 m，胸徑可達4.05 cm (Zhong et al. 2002)。此與台灣低海拔試區之結果一致，由此推論原生於印尼帝汶島低海拔之16~20號及威特島之21號種源能適應於低海拔之立地中。至於中高海拔試區其種源之生長則無一致之趨勢，這是因為印尼位處熱帶，其高山雖可達2,500 m但卻鮮少結霜(Midgley et al. 1981)，但在多納現場觀察，山木麻黃林木則有遭受霜害而致樹冠梢端接合小枝枯萎現象。

二、不同種源林木生長之地理相關

經由迴歸分析得知於低海拔之四湖與台中港試區，山木麻黃種源間之造林成活率、樹高及胸徑生長情形皆隨著原產地海拔之升高而降低，且皆達極顯著相關，成活率亦與緯度呈顯著的正相關。而在中高海拔之多納試區，各種種源造林成活率則隨著採種地點的經度及緯度增加而增加(Table 5)。

由樹高、胸徑等單一性狀之迴歸分析，可看出種源分化之趨勢，位在低海拔之試區其趨勢為沿著海拔分化，而在中高海拔試區則顯示出沿緯度分化。造成這種地理變異的趨勢是由於山木麻黃分佈的海拔高度與緯度之分布幅度較大，其生態環境多樣，由地理或生殖隔離，長期自然和人工的選擇下，使得種內群體間的遺傳隨著地理的變異而分化(Bey 1973, Yu 1996)。

三、山木麻黃族群之地理變異

經以主成分因子分析計算山木麻黃種源12個生長及形態性狀，共可選取出4個主要因子，結果可由這4個因子可看出種源性狀的變異趨勢，其中第一因子在林木的樹高、胸徑生長、主幹維持性及側枝密度有一致相對較高的負荷量；第二因子以小枝長度、粗細度及主幹與小枝的健康狀況有較高的負荷量；而側枝長度、

粗細度及主幹直立性則在第三因子有較高的負荷量。第四因子則以側枝角度有較高的負荷量，其解釋原始數據的變異分別為30.57, 23.66, 12.39及11.21%，共可解釋77.83%的累積總變異量(Table 6)。

分別取前兩個因子繪出種源分布之座標圖(Fig. 1)共可解釋達54.23%之變異百分比，由座標圖中可看出低海拔之21號種源明顯與其它種源分離，從第一因子軸可看出中海拔之16~20號種源有群聚的現象，而其它種源則成一群團，總共可區分為3個群團。

再由階層式歸群法(hierarchical clustering)所繪出之樹形圖中(Fig. 2)，顯示21號種源與其它種源之距離最遠，若將各集群之距離係數定在14.863，則可將28個種源區分為3群，其中21號種源自為一群，而16~20號種源歸為一群，其它種源則另歸為一群；若將距離係數進一步移到10，則5號與21號種源各自分為一群，另16~20號種源可歸為一群，其它種源則再另歸為一群。

以形態性狀進行多變量之歸群分析及主成分因子分析，所得到分群的結果往往被做為進行育種及保育工作之種子可調度範圍的依據(Danselman and Flint 1982, Bhargava et al. 1966, Pinyopusarerk et al. 2004)，由前述種源分布圖(Fig. 1)中可看出群團間的群聚現象是以

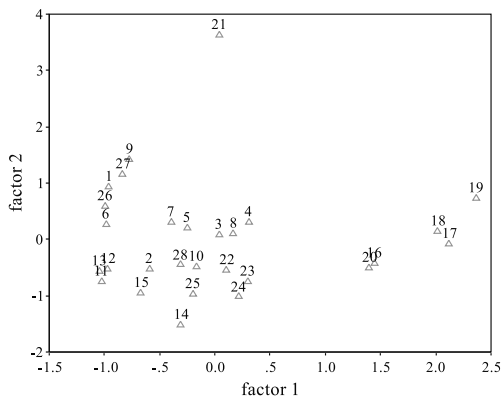
Table 5. Regression analysis among growth and geographic distribution of *Casuarina junghuhniana* provenances

Item		Suhu	Duona	Taimalee	Taichung Harbor
Survival rate (%)	Latitude	0.214	0.497**	-0.226	0.003
	Longitude	0.207	0.542**	-0.203	-0.012
	Elevation	-0.648***	-0.101	-0.322	-0.418*
Height (m)	Latitude	0.394*	0.359	0.082	-0.084
	Longitude	0.344	0.369	0.076	-0.149
	Elevation	-0.782***	0.343	0.183	-0.684***
DBH (cm)	Latitude	0.333	0.256	-0.061	0.132
	Longitude	0.282	0.256	-0.079	0.072
	Elevation	-0.780***	0.355	0.230	-0.777***

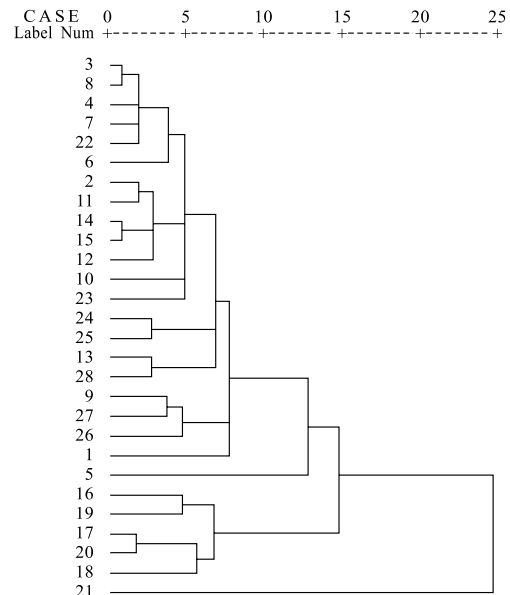
*, **, and *** indicate a significant difference of the coefficient of regression at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

Table 6. The first 4 factors for growth and morphological characteristics of *Casuarina junghuhniana* provenances

Variate	Loadings			
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4
Diameter at breast height	0.918	0.003	-0.244	-0.005
Height	0.895	-0.005	-0.252	-0.008
Branch density	0.846	0.196	-0.002	0.370
Axis persistence	0.840	-0.002	0.005	-0.003
Branchlet length	0.330	0.872	-0.001	-0.006
Stem damage	0.003	-0.818	0.009	-0.165
Branchlet thickness	-0.319	0.817	-0.003	0.001
Foliage damage	-0.563	-0.690	-0.005	0.242
Branch length	-0.112	0.001	0.847	-0.238
Stem straightness	0.007	0.461	-0.570	-0.107
Branch thickness	-0.219	0.102	0.541	0.505
Branch angle	0.009	-0.004	-0.120	0.887
Eigenvalue	3.668	2.839	1.478	1.345
Accumulated variance explained (%)	30.57	54.23	66.62	77.83

**Fig. 1. Factor scores of the factor analysis with a principal component solution of 28 *Casuarina junghuhniana* provenances.**

不同海拔高度為分類群，為中高海拔之1~15號種源、中海拔之16~20號種源及低海拔之21號種源，而反觀引種至肯亞及坦尚尼亞之栽培種源(22~28號)並未與原生種源明顯分離，由此推測栽培種之種源尚未明顯分化之情形。

**Fig. 2. Dendrogram based on variations in growth and morphological features of 28 *Casuarina junghuhniana* provenances using the average linkage method.**

結論

山木麻黃國際種源2年生造林木之生長及形態性狀於種源間、試驗地間，以及種源與試驗地之交感效應皆存在顯著差異。綜合4區之生長情形，以於印尼帝汶島的16~21號威特島種源之生長最佳，這些種源在台灣低海拔之生育地的適應性較佳。

以歸群分析及主成分因子分析所進行分群之結果，皆為以不同海拔梯度為分類群。分別為中高海拔之1~15號種源、中海拔之16~20號種源及低海拔之21號種源，共可區分為3個集團，由此推測山木麻黃是以海拔高為分化方向。本研究進行分群的結果，可有效區分出適合在台灣低海拔之地區栽植之種源組，即16~21號種源較適合在台灣西海岸沙地生長。惟本次調查尚無法有效區分出適合中高海拔地區之種源組，此一結果是否係山木麻黃種源在台灣中高海拔之氣候、土壤因子與分布於熱帶中高海拔的環境差異所致，有待進一步探討。

謝誌

本研究承蒙前林業試驗所楊政川所長鼎力支持，前中埔研究中心何坤益主任熱心協助育苗、造林及調查工作，本所育林組及中埔及蓮華池研究中心多位同仁協助現場調查工作，以及中埔、六龜、太麻里研究中心同仁協助造林地撫育管理工作，兩位匿名審查委員悉心指正，謹此誌謝。另對澳洲CSIRO Mr. K Pinyopusarerk無償提供造林用種子及部分提供造林經費，特此一併誌謝。

引用文獻

- Bauerle W, Whitlow TH, Setter TL, Bauerle TL, Vermeylen FM. 2003. Ecophysiology of *Acer rubrum* seedlings from contrasting hydrologic habitats: growth, gas exchange, tissue water relations, abscisic acid and carbon isotope discrimination. *Tree Physiol* 23:841-58.
- Bey CF. 1973. Growth of black walnut trees in eight midwestern states—a provenance test. USDA Forest Service Research Paper Note NC-91, 9 p. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minn.
- Bhargava PD, Johri SK, Sharma Bhatt BN. 1966. Morphological and genetic variability in green gram. *Indian J Genet Plant Breed* 26:370-3.
- Chen TH, Ho KY, Chung AC. 1995. Vegetative propagation of *Casuarina junghuhniana* Miq. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 10(2):145-51. [in Chinese with English summary].
- Danselman HM, Flint HL. 1982. Genecology of eastern redbud (*Cercus canadensis*). *Ecology* 63:962-71.
- Doran JC, Hall N. 1983. Notes on fifteen Australian *Casuarina* species. In: Midgley SJ, Turnbull JW, Johnston RD, editors. *Casuarina* ecology, management and utilization. Melbourne: CSIRO. p 19-25.
- El-Lakany MH, Turnbull JW, Brewbaker JL. 1990. Advances in *Casuarina* research and utilization. Cairo, Egypt: Desert Development Center & American University in Cairo.
- Fahmy IA, Heikal M, Iman MES, Sberbeni GEHEL. 1970. A study on the timber yield of *Casuarina* sp. *Agric Res Rev* 48(5):253-66.
- Ho KY, Chen TH, Yang JC. 2001. Morphological phylogeny of natural provenances of *Casuarina equisetifolia*. *Taiwan J For Sci* 16(4):285-93. [in Chinese with English summary].
- Ho KY, Yang JC, Deng SL, Chen TH. 2004. Assessment of genetic variation and relationships of international provenances of *Casuarina junghuhniana* using ISSR. *Taiwan J For Sci* 19(1):79-88. [in Chinese with English summary].
- Johnson RA, Wichern DW. 2002. Applied multivariate statistical analysis (5th ed). London: Prentice Hall. 668 p.

- Kondas S. 1983.** Mist tent vegetative propagation of *Casuarina junghuhniana* in Thailand. In: Midgley SJ, Turnbull JW, Johnston RD, editors. *Casuarina ecology, management and utilization*. Melbourne: CSIRO. p 102-6.
- Melanie CP, Braver SL, MacKinnon DP. 2003.** Levine's guide to SPSS for analysis of variance. Mahwah, N. J.: Erlbaum L.
- Midgley SJ, Turnbull JW, Johnston RD. 1981.** *Casuarina* ecology, management and utilization. Canberra: CSIRO.
- Phengpricha N. 1977.** Planting Casuarinas to become a millionaire. *Vanasarn* 35(4):415-8.
- Pinyopusarerk K. 1995.** International provenance trials of *Casuarina junghuhniana* operational manual. Canberra: CSIRO Division of Forestry. p 13.
- Pinyopusarerk K, Boland DJ. 1990.** *Casuarina junghuhniana* — an Indonesian species of promise for the tropics. *Advances in Casuarina research and utilization*. Proceedings of the 2nd International *Casuarina* Workshop, 15-20 January 1990. Cairo, Egypt: Desert Development Center, AUC, p 202-12.
- Pinyopusarerk K, Kalinganire A, Williams ER, Aken KM. 2004.** Evaluation on international provenance trials of *Casuarina equisetifolia*. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra: CSIRO Division of Forestry. p 24.
- Pinyopusarerk K, Midgley SJ, Turnbull JW. 1996.** Research and development. Proceedings of the 3rd International *Casuarina* Workshop. Canberra: CSIRO.
- Sengloung R, Kamolpun N, Lily K, Suree B, Damrong P. 2004.** Provenance variation on growth performance and some floral biology of *Casuarina junghuhniana*. Mia. Chachoensao, Thailand. Silvicultural research report. Bangkok: Department of Forestry.
- Williams ER, John JA, Whitaker D. 2006.** Construction of resolvable spatial row-column designs. *Biometrics* 62:103-8.
- Yang JC, Chang TY, Chen TH, Chen ZZ. 1995.** Provenance trial of *Casuarina equisetifolia* in Taiwan. I. Seed weight and seedling growth. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 10(2):170-95. [in Chinese with English summary].
- Yu X. 1996.** Study on geographic variation of *Cunninghamia lanceolata* provenance. *Mod Silvicult* 12(1):41-8.
- Zhong C. 1990.** *Casuarina* species and provenance trial on Hainan Island, China. In: El-Lakany MH, Turnbull JW, Brewbaker JL, editors. *Advances in Casuarina research and utilization*. Proceedings of the Second International *Casuarina* Workshop, Cairo, Egypt. p 32-9.
- Zhong C, Shi C, Wang W, Hong C, Pinyopusarerk K. 2002.** International provenance trials of *Casuarina junghuhniana* in southern China. *Scientia Silvae Sin* 38(6):58-65.

