

## 研究報告

## 相思樹在台灣種源後裔試驗 之6年生長與樹幹性狀之遺傳變異

陳永修<sup>1)</sup> 黃菊美<sup>2)</sup> 陳舜英<sup>3)</sup> 廖淑女<sup>2)</sup> 何政坤<sup>2,4)</sup>

### 摘要

相思樹為台灣林木改良重要的計畫，主要原因是相思樹是菇蕈業太空包培養香菇的重要木屑來源，支撐約百億元台幣的菇蕈業產值。台灣政府在2014年起獎勵相思樹在休耕地造林。為了評估相思樹的遺傳增益及快速提供改良種子，在2011年時，我們從台灣六地區具有千株優良林分各10株優勢木(選擇強度1%)，利用嫁接種子苗建立營養系苗。本研究將台灣中西部的嘉義、東北部的宜蘭、及東南部的台東共3種源17家系自然授粉種子培育成苗，在2012年12月於台灣中東部花蓮光復建立逢機不完全區集的種源後裔試驗，試區共10區集，其中8區集有17家系，2區集有15家系，每小區栽植10株，栽植距離 $2 \times 2$  m。試區調查3至6年生的生長性狀，包括：樹高、胸徑、每公頃材積，形質性狀包括：樹幹通直度、分叉位置、分叉角度、及側枝數，分析這些性狀的遺傳參數與年齡間相關性。本研究顯示所有性狀在種源間與種源內家系間差異顯著，僅有樹幹通直度在家系間差異不顯著。6年生材積生長為例，宜蘭、台東與嘉義種源各為 $80.6$ 、 $32.1$ 、 $25.3$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ，而家系間差異則宜蘭最佳家系Y-1對最差的嘉義家系C-4之6為 $105.8$ 與 $20.0$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ，顯示種源家系的選育非常重要。材積生長的3年生年齡與6年生間的相關分析係數 $0.83$ ，為極顯著正相關，顯示早期選育是可行的。3至6年生的樹高、胸徑與材積的單株遺傳力( $h^2$ )數值變化不大，各為 $0.27$ ~ $0.22$ 、 $0.43$ ~ $0.43$ 、 $0.30$ ~ $0.32$ 。而家系遺傳力( $h^2$ )則呈現上升趨勢：3性狀各為 $0.04$ ~ $0.08$ 、 $0.11$ ~ $0.32$ 、與 $0.10$ ~ $0.39$ 。遺傳增益( $\Delta G$  (%))在胸徑及材積生長在各年齡各為 $25.2$ ~ $23.9$ 與 $46.9$ ~ $50.6$ ，數值變化不大，但樹高則呈現下滑從 $11.7$ 降至 $5.3$ 。樹幹性狀中通直度、分叉位置與分叉角度的單株與家系遺傳力都低於 $0.1$ ，但側枝數的遺傳力較高各為 $0.34$ 與 $0.30$ 。林木樹幹性狀的低遺傳力，可能與颱風侵襲傷害林木有關，2013至2017年每年直接侵襲的中、強度颱風都有1至2個。在相關分析中，側枝數與生長性狀無顯著相關，側枝數的多寡並沒有影響林木生長。不過通直度與分叉角度與6年生樹高、胸徑與材積均呈顯著負相關，由於通直度與分叉位置數值越高，樹幹扭曲度越大而分叉位置越低，因此可選育出生長快速兼具良好樹幹形質。分叉角度與林木生長性狀呈極顯著相關，顯示冠幅開展的林木生長較佳。

關鍵詞：相思樹、種源後裔試驗、遺傳力、遺傳增益、選育。

陳永修、黃菊美、陳舜英、廖淑女、何政坤。2021。相思樹在台灣種源後裔試驗之6年生長與樹幹性狀之遺傳變異。台灣林業科學36(4):267-86。

<sup>1)</sup> 林業試驗所六龜研究中心退休研究員，84443高雄六龜區中興里198號 Liukuei Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, 198 Chunghsing Village, Liukuei, Kaohsiung 84443, Taiwan.

<sup>2)</sup> 林業試驗所育林組退休研究員，10066台北市南海路53號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066 Taiwan.

<sup>3)</sup> 林業試驗所蓮華池研究中心，55543南投縣魚池鄉五城村華龍巷43號 Lienhuachih Research Center, 43 Hualong Lane, Yuchi Township, Nantou County 55543, Taiwan.

<sup>4)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:ckho1112@gmail.com

2020年12月送審 2021年8月通過 Received December 2020, Accepted August 2021.

Research Paper

## Genetic Variations in 6-Year-Old Tree Growth and Stem Traits in Provenance and Progeny Trials of *Acacia confusa* in Taiwan

Yung-Hsiu Chen<sup>1)</sup> Chu-Mei Huang<sup>2)</sup> Shun-Ying Chen<sup>3)</sup>  
Liao Shu-Nu<sup>2)</sup> Cheng-Kuen Ho<sup>2,4)</sup>

### [ Summary ]

Tree improvement of *Acacia confusa* has been an important project in Taiwan. Its sawdust is a major source of culture bags for culturing mushrooms. To support the requirement of the mushroom industry valued at about New Taiwan (NT)\$10 billion ( $\approx$ US\$333 million), the Taiwanese government promoted a policy of subsidizing reforestation of this tree species on fallow land in 2014. To estimate genetic gains and rapidly supply improved seeds, we selected 60 plus trees from 7 better stands called provenances located in northern, central, southern, northeastern, southeastern, and southern parts of Taiwan, with a selection intensity of 1% plus trees selected in each stand in 2011. All of them were cloned by grafting onto seedlings, and a seed orchard was established at Liukuei, Kaohsiung City in 2012. Seedlings raised from openly pollinated seeds collected from 17 families within 3 stands called provenances from Chiayi in west-central Taiwan, Yilan in northeastern Taiwan, and Taitung in southeastern Taiwan were planted in Guangfu, Hualien County, east-central Taiwan in December 2012, using a randomized incomplete block design in 10 blocks with 10 trees per plot, with 8 of each block including 17 families, and the other 2 blocks including 15 families. The planting density was  $2 \times 2$  m. Genetic parameters, performances of the provenances and families, and age-age correlations with tree growth characteristics, such as height, diameter at breast height (DBH), volume per hectare, and survival rate, and stem traits, such as the degree of stem straightness, forking position, forking angle, and branching number were investigated at the ages of 3~6 yr. This study revealed significant variance among provenances and families within provenances for all traits [not traits/strains], except for no significance of stem straightness among families. For example, growth volumes of 6-yr-old trees in the Yilan, Taitung, and Chiayi provenances were 80.6, 32.1, and 25.3  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , respectively, while the best family of Yilan-1 vs. the worst family Chiayi-4 was 105.8 vs. 20.0  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , showing both provenance and family selection are very important for *A. confusa* breeding. Age-age correlations of volume (a 0.83 correlation coefficient for 3~6-yr-old trees) were very significant strong and positive, indicating that early selection could be made. Individual heritability ( $h^2_i$ ) of height, DBH, and volume for 3~6-yr-old trees appeared to be minor changes which ranged 0.27~0.22, 0.43~0.43, 0.30~0.32, respectively, while family heritability ( $h^2_f$ ) showed a growing trend which ranged 0.04~0.08, 0.11~0.32, and 0.10~0.39, respectively. Genetic gains ( $\Delta G$  (%)) indicated few changes in DBH and volume ranging 25.2~23.9 and 46.9~50.6, respectively, but height dropped from 11.7 to 5.3. The  $h^2_i$  and  $h^2_f$  values of stem straightness, forking position, and forking angle were  $< 0.1$ , but branching number showed higher

heritability at 0.34 and 0.30, respectively. The lower heritability of stem traits might be related to some injury by typhoon damage. In 2013 to 2017, 1 or 2 moderate or strong typhoons every year directly affected the plantation. In the correlation analysis, the branching number did not affect tree growth as there was no significant correlation between them; however, stem straightness and forking were negatively correlated with 6-yr-old height, DBH, and volume. Greater values of stem straightness and forking position indicating less stem distortion and a lower forking position means that we can select rapidly growing trees coupled with good stem traits. However, growth traits were positively and significantly correlated with forking angle, indicating that trees with a wider crown had better growth.

**Key words:** *Acacia confusa*, provenance and progeny test, heritability, genetic gain, selection and breeding.

**Chen YH, Huang CM, Chen SY, Liao SN, Ho CK. 2021.** Genetic variations in 6-year-old tree growth and stem traits in provenance and progeny trials of *Acacia confusa* in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 36(4):267-86.

## 緒言

相思樹(*Acacia confusa* Merr.)用途廣泛且適應力強，是台灣闊葉樹人工造林面積最大的樹種，根據林務局公告的第四次全國森林調查，相思樹人工林面積達16,513公頃(Taiwan Forest Bureau 2020)。相思樹為目前栽培香菇太空包最主要的木屑來源，估算年需求約54,900 tons (Lin et al. 2015)。由於菇蕈業者需求太空包木屑量大，產業估算需求相思樹造林面積達836 ha。為配合產業需求，2014年政府推動休耕地造林，相思樹即為推動的四樹種之一(Chen et al. 2014)。相思樹做為香菇太空包木屑的價值約3300元ton<sup>-1</sup> (Chang et al. 2017)，由於菇蕈業者計價太空包木屑是以調整木屑含水量50-55%計算，如換算成乾重，則約會增加2倍價格(意指即林木伐採後生材在打成木屑時之含水量約25%估算) (Li et al. 2012)，因此相思樹木屑乾重的價格可能會高達6600元ton<sup>-1</sup>。Chang et al. (2017)利用短伐期樹種5.3年生幼齡相思樹與6年生赤桉之木屑以不同比例組合，並以商品用相思樹(約20年生以上成熟相思樹)+幼齡赤桉，及商業太空包為對照共11種，結果發現有些幼齡木組合之太空包鮮菇產量都不亞於商業太空包，顯示相思樹不需到成熟期就能生產香菇。近年相思樹木材可生產板材，材質堅硬，花紋色澤媲美市場之胡桃木及黑檀木，依據林務局近10年木材市價資訊系統中等木材之相思

樹由2000元m<sup>-3</sup>，增加到4500元m<sup>-3</sup> (woodprice.forest.gov.tw)。此外，相思樹具有全株利用的價值：心材、樹皮、枝條等之二次代謝物具有極佳的抗氧化、抗發炎、保肝、抑制尿酸等保健功效，相思花具有發展成健康花茶—「相思花茶」或保健飲、食品之重大潛力，這些特殊功能都發表在學術期刊(Chang 2015)。

相思樹育種在台灣曾進行過四次育種試驗計畫，第1次在1968年時，Chang and Wang (1969)曾分別在台灣西北部從陽明山至南部恆春，選擇海拔高500 m以下，樹齡10~15年生採種進行種源試驗，調查林木樹幹、葉片、莢果種子性狀差異，依據樹幹與分枝幹區分通直度、分叉度、分叉高度等進行分級，葉片則調查長、寬、厚差異，莢果調查長、寬與種子數，種子則調查大小、重量等，唯後續無相關種源試驗生長報告。第2次育種在1995年，潘富俊採集南部甲仙、東部玉里、瑞穗，東北部冬山共4種源12家系，在林業試驗所恆春里德建立種源後裔試驗，目前試驗地仍維持，尚無報告發表(潘富俊私人通訊)。第3次育種試驗為本研究，由於許多優勢木無法採集種子，故發展相思樹嫁接技術，在2011年將大部分營養系嫁接成活(Hung et al. 2016)，並於2012年在六龜建立種子園，在2017年在中興大學新化林場建立種子園後裔試驗。第4次育種試驗為2015年時林

試所與林務局合作試驗，在8個林管處採集枝下高大於6.5 m，胸徑35 cm以上優良母樹枝穗嫁接在種子苗，母樹採集海拔從16~1050 m (Tsai et al. 2018)。Tsai et al. (2020)又在2018年在屏東車城建立南投與高雄2種源7家系種源後裔試驗，指出種源間高生長有差異。

從前人對相思樹在台灣各區生長與形質性狀調查顯示變異頗大，這些變異究竟是因遺傳或環境影響，亟待評估，以做為推廣造林的指標。本研究選擇優良林分中具有樹幹通直且生長量高的優勢木進行遺傳評估，雖然相思樹輪伐期為20年(Taiwan Forest Bureau 2014)，但休耕地短伐期造林獎勵為6至10年，對提供種苗的林務局與木材需求的產業而言，相思樹育種成效是極為迫切的需要。一般育種成效可在輪伐期的一半，即可推估成效。本研究6年的種源後裔試驗成果，分析相思樹各樹齡間的材積生產、遺傳力與遺傳增益，除可瞭解相思樹育種的潛力，並可作為短伐期10年採收的預測，輪伐期20年的參考，及可提供後續種子園汰劣留良的經營方向。

## 材料與方法

### 一、優勢木選拔與種子採集

2011年將相思樹分布分成6區：北區桃竹苗、中區雲嘉南、南區高高屏、南端(里德、港口)、東南區台東、及東北區宜蘭，選擇同齡造林約20~30年生1~2 ha以上，據Clark and Wilson (2005)原則，選擇具優良林分株數約1千株中，選拔具有比林相林木高約20%以上之樹高、胸徑與枝下高表形良好之優勢木各約10株共60株。由於相思樹直幹且有較高的枝下高者不多，經巡視整區林相後，以目測方式直接標示選拔調查。調查方式以備製之優勢木調查表，內容包括母樹經緯度、樹高、胸徑、枝下高、地被林相、母樹照片等資訊，並建立相思樹生產履歷(Ho et al. 2010)。選拔之優勢木有種子者進行採種育苗，無種子者採枝條進行接穗到相思樹種子苗，作為建立種子園的營養系苗。

### 二、種子處理、發芽檢定與育苗

由於相思樹種子蟲蛀頗多，依Wang and Chien (2016)建議以水選健康沈水種子300粒進行發芽試驗與育苗。為使來自各種源母樹單株各種子組(seedlots)各別發芽育苗，培育各母樹家系苗，以磨破種皮方式促進發芽。將磨破種皮種子，每百粒種子置於有濕濾紙的發芽盤內，每單株種子重複3發芽盤，放在30°C 10 h/20°C 14 h之日夜變溫之生長箱培育經3日後開始發芽，以胚根超過2 mm以上為發芽，每週計數發芽率至4週止，為最終發芽率。部分種子組數量較少如東南種源有3個、中區種源有2個，東北區種源有6個，則將所有種子數量分成3等分，進行3重複發芽試驗，這些重複不足百粒種子組的重複數多在50粒種子以上，僅東南區種源1種子組重複數為18粒。東南區種子組T-1之種子數量超過千粒以上，逢機取10粒種子，重複4次，秤取種子重，計算平均千粒種子重。在131°C烘乾約2小時，計算含水率% = (鮮重 - 烘乾重)/鮮重 × 100。逢機選取東南區種源8種子組各20粒種子，量測種子長、寬、厚及種子體積(種子長、寬、厚相乘數)，測定種子發芽率與種子大小的相關性。種子發芽期間將計數已發芽2 mm胚根之種子，移植到盛裝有陽明山土與有機堆肥(8:2體積比)之混和介質之黑色塑膠軟鉢(徑\*長為7 × 14 cm)，培養約1年後苗高平均58.3 ± 11.5 cm，運送到花蓮光復區進行造林試驗。

### 三、試區規劃與栽植

相思樹種源單親後裔試驗試區參試苗木經選擇健康苗後，在2012年12月26日栽植在花蓮光復鄉海拔116 m之台灣糖業股份有限公司之大富農場，參試種源為宜蘭3家系、嘉義5家系及台東9家系等3種源共17個家系之1年生苗。試驗設計採均衡不完全逢機區集設計(balanced incomplete block design)，每區集逢機栽植17家系，每小區之家系栽植10株，栽植行株距2 × 2 m，周圍以雜交牛樟栽植二行作為保護行。其中有2家系僅各有40株，將2家系併成1小區，逢機分配在8區集。試區以大型耕耘機翻土深度約30 cm，再以



推平機推平，每植穴深度約25 cm，放入1 kg之有機堆肥(中華紙漿木漿牌有機質肥料7號，肥製(質)字第0208005號)，及100 g (台肥特1號有機質複合肥料，N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-有機質= 20-5-10-60，肥製(複)字第0792034號)。

#### 四、栽植區土壤與氣候

本區原為甘蔗廢田區轉作，經造林約1.5年後，在2014年7月在栽培區取4樣點，依據 Cheng et al. (1997)方法分析，挖取0~15、15~30、30~40、40~60 cm深度土樣進行養分分析，土壤pH值5.53±0.1，在各層土壤相當均勻。土壤營養都集中在土壤表層，大量元素養分在中至高的含量(Table 1)。惟土壤在40 cm以下多呈壓實或部分土層下為石礫層，顯示本區土壤經長期重機械耕作，只有40 cm以上土壤經常性鬆土與施肥。本區氣象依據中央氣象局長期記錄，年均溫為23.4℃，春、夏、秋、冬季月均溫各為20.2~25.1℃、27.1~28.2℃、26.8~22.8℃、及19.3~18.0℃。年均降雨量為2177 mm，春、夏、秋、冬季月均降雨量各為85.9~195.4、212.7~242.0、399.2~152.1、及62.2~94.2 mm；雨量多集中在春末夏季中旬，尤其夏秋季颱風侵襲常帶來豪大雨，常造成積水，颱風過後帶來焚風與強烈光照。本區栽植期間侵襲本區的颱風有：2013年7月蘇力中颱與9月天兔強颱，2014年7月麥德姆中颱，2015年

8月蘇迪勒強颱及9月杜鵑強颱，2016年7月尼伯特強颱及9月梅姬中颱，2017年7月尼莎中颱，2018年後無颱風侵襲。

#### 五、生長性狀調查

生長調查從2012年12月試區建立後，每年底11月開始調查連年生長，本研究配合休耕地獎勵造林6年期為基準，以栽植6年(2018年11月底)進行為初期結果探討種源後裔試驗的成效。每年調查生長性狀，其中樹高與胸徑(DBH)分別以5 m高測桿及胸徑尺測量。胸徑生長從第3年開始調查並計算材積，材積式以國有林林產物處分規則之立木材積式，以每單株每公頃栽植2500株計算材積。材積式： $V = 0.45 \times 0.79 \times Ht$  (樹高height)  $\times DBH^2 \times 2500$ 株ha<sup>-1</sup>，死亡株或無胸徑者以0計算。本區幼苗生長較重要的前2年適逢3個颱風侵襲，對幼苗傷害較大，約有15%受損死亡。因此以生長2年的株數為基準計算存活率，及每家系每株的樹高計算含括死亡的單株或無胸徑者，但胸徑與材積計為0，作為評估家系與種源之胸徑與材積生長表現。

#### 六、樹幹性狀調查

依據 Chang and Wang (1969)及 Clark and Wilson (2005)對相思樹及闊葉樹的樹幹與側枝形質分類方法，分成不同等級調查：(1)樹幹通直度(straight degree)分成3級，調查樹幹中心

**Table 1. Chemical analysis of soil in an *Acacia* plantation at Hualien County, Taiwan**

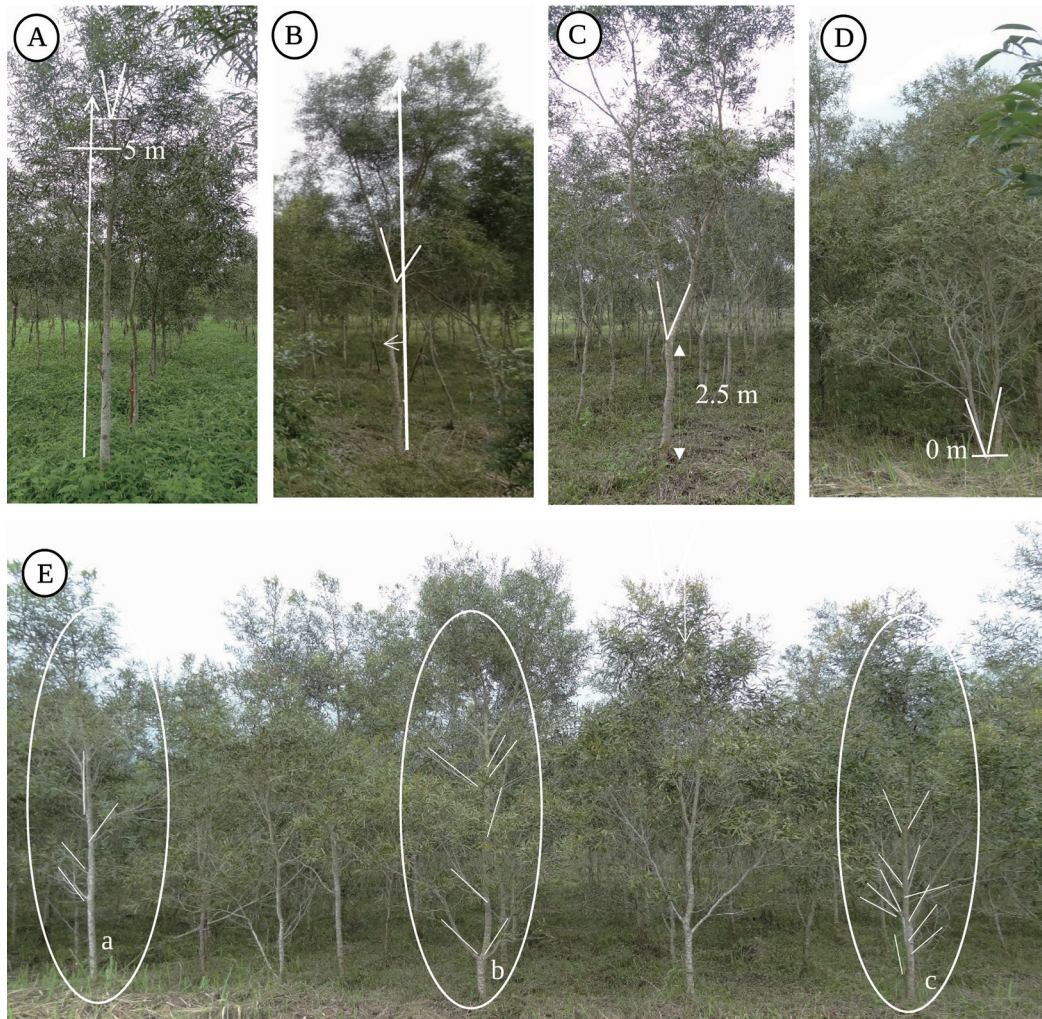
Soil depth (cm)	pH	TN (g/kg)	C/N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0~15	5.40	1.10	8.67	105.62	55.97	306.10	50.37	368.75	34.23	2.86
15~30	5.53	0.83	8.21	96.19	29.48	242.25	39.87	405.18	31.60	3.02
30~40	5.54	0.67	7.70	96.17	22.59	188.21	32.39	382.93	26.18	2.88
40~60	5.64	0.55	6.59	57.94	19.38	130.92	25.02	304.87	28.32	2.44
Average	5.53	0.79	7.79	88.98	31.86	216.87	36.91	365.43	30.08	2.80
SD	0.10	0.24	0.90	21.17	16.62	74.87	10.83	43.07	3.55	0.25
CV (%)	1.79	30.78	11.50	23.79	52.18	34.52	29.34	11.79	11.81	8.87
Fertility <sup>1)</sup>		medium		high	medium	high	medium			

<sup>1)</sup> Fertility estimated according to the classification by Cheng et al. (1997).

TN, total nitrogen; C/N, carbon-to-nitrogen ratio; P, phosphorus; K, potassium; Ca, calcium; Mg, magnesium; Fe, iron; Mn, manganese; Cu, copper; SD, standard deviation; CV, coefficient of variation.

的扭曲度，通直為第1級(Fig. 1A)，樹幹扭曲離樹幹中心線在1 cm以內為第2級，超過1 cm為第3級(Fig. 1B)。(2)樹幹分叉位置(forking position)，為與第1主幹粗細相當之第2主幹發生位置：分成4級，第1級為樹幹5 m以下均未分叉(Fig. 1A)，第2級為2~5 m處分叉(Fig. 1C)，第3級從1~2 m處分叉，第4級從基幹處分叉或無

主幹(Fig. 1D)。(3)樹幹分叉角度(forking angle)分3級，第1級分叉 $< 30^\circ$  (Fig. 1A)，第2級分叉 $30^\circ\sim 45^\circ$  (Fig. 1C, D)，第3級分叉 $> 45^\circ$  (Fig. 1B)。(4)主幹5 m以下之側枝數(branching no.)分成3級，第1級側枝數 $< 5$ 支(Fig. 1Ea)，第2級側枝數5~10支間(Fig. 1Eb)，第3級側枝數 $> 10$ 支(Fig. 1Ec)；如5 m以下有2分叉主幹之側枝數均



**Fig. 1.** Stem straightness degree shown as A (class 1, erect) and B (class 3, bending  $> 1$  cm), stem forking position shown as A (class 1 where forking occurred at above 5 m), C (class 2, forking at 2~5 m), and D (class 4, forking below ground), stem forking angle shown as A (class 1, angle  $< 30^\circ$ ), B (class 3, angle  $> 45^\circ$ ), and CD (class 2 angle  $30^\circ\sim 45^\circ$ ), and branching no. after forking stem shown as Ea (class 1, fewer than 5 branches), Eb (class 2, 5~10 branches), and Ec (class 3, more than 10 branches).

合計計算。

### 七、統計分析

統計分析係用以SAS之GLM分析(Cary 1999)，變異來源各參數分別為：區集(Block，簡稱B，區集數*i* = 1~10)、種源(provenance，簡稱P，種源數*j* = 1~3)、種源內家系(families within provenance簡稱F(P)，*k* = 1~17)、區集與種源交感(P × B，簡稱PB)、區集\*種源內家系交感效應(families within provenance × block，簡稱F(P)B)，及機誤(error，簡稱En(*ijk*))，其中*n*為每區集內種源之各家系在小區內家系栽植數(trees within plot)，*n* = 1~10)。各項參數之變異分析依據Falconer and Mackay (1996)、Sebbenn et al. (2003)、及Sudrajat et al. (2016)方法統計。

每一性狀觀測值的公式為： $Y_{ijkn} = \mu + B_i + P_j + F(P)k(j) + BP_{ij} + BF(P)ik(j) + En(ijk)$ ，其中 $\mu$ 為總平均值， $B_i$ 為第*i*區集的效應值， $P_j$ 為第*j*種源效應值， $F(P)k(j)$ 為第*j*種源第*k*家系的效應值， $BP_{ij}$ 為第*i*區集與第*j*種源效應， $BF(P)ik(j)$ 第*i*區集與第*j*種源內第*k*家系的效應， $En(ijk)$ 為機誤。各性狀均方期望值的分析，依據Giertych and van de Sype (1990)計算各項區集、種源、家系等均方期望值及係數，因有缺項及死亡株數，經由SAS MIXED程式，計算各項*i*, *j*, *k*, *n*等之係數值(Table 2)，作為遺傳力與遺傳增益的計算值，計算公式如下：

狹義遺傳力計算2種遺傳力：分別為單株遺

傳力 $h^2i$  與家系遺傳力 $h^2f$ ：

單株遺傳力公式： $h^2i = \sigma_A^2 / \sigma^2\mu = 4 \sigma_{F(P)}^2 / \sigma^2\mu$ ，各代號說明如下：

$\sigma_A^2$  =累加型基因變方(additive genetic variance)

$4\sigma_{F(P)}^2$  =種源內家系間變異成分

$\sigma^2\mu$  =表型變方(phenotypic variance)，公式為

$$\sigma^2\mu = \sigma_{F(P)}^2 + \sigma_{BF(P)}^2 + \sigma_E^2$$

$\sigma_{BF(P)}^2$  =區集與種源內家系間交感變異成分，屬試驗機誤。

$\sigma_E^2$  =家系內單株間變方，屬取樣機誤。

家系遺傳力公式： $h^2f = \sigma_{F(P)}^2 / \sigma^2fm$ ，各代號說明如下：

$\sigma^2fm$ 為家系表型變方

$$= \sigma_{F(P)}^2 + i\sigma_{BF(P)}^2 + (1/n)\sigma_E^2$$

遺傳增益(genetic gain ( $\Delta G$ ))的計算公式：

$\Delta Gi = I \times h^2i CV$ ，各代號說明如下：

*I*為種源選擇優勢木數的選擇強度，本研究約每千株林相中選擇10株優勢木為1%的選擇強度，此強度下之 $I = 2.67$ ，*CV*為表型變異係數，為各性狀表型均值/標準差(Hayatgheibi et al. 2019)。

## 結果

### 一、優勢木選擇

選拔之優勢木所處地區與生長性狀及其可採種母樹株數如Table 3所示，各區海拔分布平均約60~400 m間，除屏東南端種源海拔較低外，一般都位在海拔約400 m山坡地的相思樹

**Table 2. Expected mean square (MS) of each component of the variance**

Source of variation	FD	MS	Expected MS
Block (B)	9	Mb	$\sigma_E^2 + n\sigma_{BF(P)}^2 + nk\sigma_{BP}^2 + njk\sigma_B^2$
Provenance (P)	2	Mp	$\sigma_E^2 + n\sigma_{BF(P)}^2 + nk\sigma_{BP}^2 + nik\sigma^2$
B × P	15	Mbp	$\sigma_E^2 + n\sigma_{BF(P)}^2 + nk\sigma_{BP}^2$
Families within provenances (F(P))	14	Mf	$\sigma_E^2 + n\sigma_{BF(P)}^2 + ni\sigma_{F(P)}^2$
B × F(P)	94	Mfb	$\sigma_E^2 + n\sigma_{BF(P)}^2$
Error	803	Me	$\sigma_E^2$

Note: Means of each characters are expressed as  $Y_{ijkn} = \mu + B_i + P_j + F(P)k(j) + BP_{ij} + BF(P)ik(j) + En(ijk)$ , where *i*, *j*, *k*, and *n* are the numbers of blocks, provenances, families, and trees in a plot, respectively. Because of some fewer trees in plots and some in blocks during the planting period of 6 years, the coefficients of *i*, *j*, *k*, and *n* were counted following a SAS MIXED Procedure.



林。選擇優勢木平均枝下高為 $6.5 \pm 3.2$  m，低於均值的地區分別為東南區、東北區、與南端區，尤以東南區最低僅為 $2.2 \pm 0.6$  m。平均材積為 $1.30 \pm 0.92$  m<sup>3</sup> tree<sup>-1</sup>，生長最佳的優勢木地區前3名分別為東北區、東南區、與南區，平均單株材積各為 $2.34 \pm 0.97$ 、 $1.87 \pm 0.96$ 、 $1.58 \pm 0.49$  m<sup>3</sup> tree<sup>-1</sup>，而以南端區的優勢木單株材積最低僅 $0.32 \pm 0.14$  m<sup>3</sup> tree<sup>-1</sup>，其次為南區與中部西區。其中可採集到種子的種源與株數：中區種源4株母樹、東北區種源2株母樹及東南區種源9株母樹。

## 二、種子大小與發芽率

相思樹種子經磨皮後種子發芽達最高的時間為8~9天，新採種子含水量 $18.8 \pm 0.9\%$ 。東南區相思樹種源的種子產量與品質都優於其他種源，種子發芽率72.9%，顯著高於其他2種源，

3種源內種子組間的發芽率變異都頗大，顯示母樹間種子生產品質不一(Table 4)。調查東南種源種子性狀，平均種子粒數為 $29,000 \pm 816$ 粒 kg<sup>-1</sup>，千粒種子重 $33.53 \pm 0.75$  g (1000 seeds)<sup>-1</sup>，種子長 $6.13 \pm 0.35$  mm，寬 $4.65 \pm 0.23$  mm，厚 $1.76 \pm 0.20$  mm與體積 $49.9 \pm 4.9$  mm<sup>3</sup> (Table 5)。種子長、寬、厚與體積大小，在種子組間變異不大，種子大小與發芽率並無相關性，種子組T-9種子體積小，但發芽率100%；T-1有最大體積，發芽率74.4%。

## 三、種源後裔變方分析

各項生長與形質性狀變異顯著分析如Table 6所示：3至6年生樹高生長性狀在區集、種源間、種源內家系間、及區集與種源和區集與種源內家系之交感效應等，都呈顯著及極顯著差異。胸徑生長則隨年齡增加，種源與種源內家

**Table 3. *Acacia confusa* plus trees selected in man-made stands of 6 areas in Taiwan which exhibited 20% greater growth than the average trees of each stand**

Location in Taiwan	City	Elev (m)	Plus trees	Trees with seeds	Average growth parameters of plus trees			
					Height (m)	DBH (cm)	Under branch height (m)	Volume tree <sup>-1</sup> (m <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>
Northwest	Taoyuan, Hsinchu	200	9	0	15.5±1.7	40.9±16.8	4.8±1.9	1.05±0.97
Midwest	Chiayi, Tainan	400	10	5	18.6±2.3	39.4±9.9	9.8±2.9	1.10±0.64
Southwest	Kaohsiung	400	10	0	17.0±2.5	50.5±6.8	7.9±1.4	1.58±0.49
Southern-end	Pingtung	60	13	0	11.2±2.1	27.9±3.5	5.7±1.3	0.32±0.14
Northeast	Yilan	260	8	7	20.4±2.9	55.8±12.2	9.0±2.9	2.34±0.97
Southeast	Taitung	400	10	9	18.0±1.9	51.9±13.1	2.2±0.6	1.87±0.96
Trees and averages		287	60	21	16.4±3.8	43.3±13.3	6.5±3.2	1.30±0.92

<sup>1)</sup> Volume per tree =  $0.79 \times \text{tree height} \times (\text{DBH})^2 \times 0.45$  (form factor) according to “Regulations governing disposition of forest products of state-owned forests”.

**Table 4. Variations in germination rates of different seedlots among provenances of *Acacia confusa***

Provenance	Seedlot	Germination rate (%)	Range of germination (%)
Chiayi	3	41.9±27.9b <sup>1)</sup>	20.7~87.1
Yilan	7	24.9±35.2bc	1.3~90.0
Taitung	9	82.1±22.5a	63.3~100

<sup>1)</sup> The same letters indicate no significant difference among germination rates at  $p < 0.05$  using Tukey's test after angle transformation of percentages.



**Table 5. Relationship between seed sizes and germination rates for seedlots from the Taitung provenance of *Acacia confusa***

Seedlot	Seed size				Germination (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>	
T-1	6.23	4.96	1.86	57.3	74.4
T-2	5.51	4.43	1.76	42.9	76.3
T-4	6.20	4.87	1.70	51.2	89.3
T-5	6.49	4.82	1.53	48.0	63.3
T-6	5.81	4.49	1.93	50.4	93.3
T-7	6.02	4.67	1.86	52.3	85.7
T-9	6.58	4.66	1.42	43.6	100.0
T-10	6.19	4.32	2.00	53.5	74.7
Average	6.13	4.65	1.76	49.9	82.1
SE	0.35	0.23	0.20	4.9	12.0
CV (%)	5.7%	4.8%	11.3%	9.8%	14.6%

<sup>1)</sup> Seed volume = seed length × seed width × seed thickness.

SE, standard error; CV, coefficient of variation.

系跟區集의 交互作用의 顯著性至6年生時均無顯著差異。材積生長也呈相似趨勢，僅有種源與區集有極顯著效應，顯示隨樹齡增加，環境對生長의 效應降低。4項林木形質性狀中，通直度僅在區集間與種源間呈顯著差異，種源與種源內家系跟區集都無交互作用；主幹分叉位置除種源\*區集無顯著差異外，其他都呈顯著差異；分叉角度除種源內家系\*區集無交互作用外，其他都呈顯著差異。而側枝數則所有變異來源都呈顯著差異。

#### 四、種源後裔生長表現與存活率

從種源內家系顯著差異表現，在Table 7可以顯示宜蘭種源及其家系在生長性狀的樹高、胸徑及材積與存活率都顯著高於其他家系，6年生宜蘭種源平均樹高8.9 m、胸徑9.9 cm、材積80.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>及存活率93.6%，遠高於台東種源的7.7 m、6.9 cm與32.1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>、存活率80.6%，及嘉義種源的7.2 m、6.3 cm、25.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>及存活率80.3%。宜蘭家系生長最佳的Y-1之6年生材積生長105.8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>，是生長最差嘉義家系C-4材積生長20.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>的5倍生長以上。從3年生至6年生之生長性狀成長趨勢成長而言，3年生具生長優勢家系，到6年生時仍保持優勢生長。

以優勢家系選擇而言，以宜蘭3家系及台東T-6家系表現最佳，6年生材積生長都達50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>以上。以種源生長表現栽植區位置的關係而言，東部種源栽植在東部花蓮生長都顯著優於西部種源，顯示似有適地適種的效應。

#### 五、樹幹性狀生長表現

樹幹通直度分成3級，以台東種源2.78級顯著優於嘉義種源的2.90級，但與宜蘭種源2.88級無顯著差異，家系間未呈現顯著差異，通直度2.69~3.00 (Table 7)，樹幹彎曲都離樹幹中心1 cm以上，並無標準的通直主幹，具有直幹性狀只可在少數家系內的單株可以發現(未呈現raw data)。樹幹分歧位置分成4級，家系分佈在3.50至4.00級間，也就是多在樹幹1~2 m處(3級)及基部(4級)開始有分叉主幹發生，以嘉義種源分叉位置最低，所有家系在基部都有類主幹粗細級發生。宜蘭種源雖顯著低於其他種源，但分叉位置也有3.67級，在所有家系內都未發現有低於3級的單株，顯示在樹幹基部普遍有類主幹發生，如不在幼年期剪除，將產生多主幹。主幹分叉角度分成3級，分叉度數< 30、30~45、及> 45°，家系分叉角度級數分佈在1.29~3.00級間，以宜蘭種源級數顯著最高2.23級，嘉義最

**Table 6. Mean squares (MSs) of growth in annual growth variables of height, diameter at breast height (DBH), and volume, and tree form characteristics of *Acacia confusa* in a trial of provenance and progeny tests**

Source of variation	df	MS for height at each age				MS for DBH at each age			
		3 yr	4 yr	5 yr	6 yr	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr
Block (B)	9	1809 <sup>b</sup>	2362 <sup>b</sup>	1906 <sup>b</sup>	1704 <sup>b</sup>	31.6 <sup>b</sup>	27.5 <sup>b</sup>	27.1 <sup>b</sup>	26.4 <sup>b</sup>
Provenance (P)	2	2118 <sup>b</sup>	2799 <sup>b</sup>	3204 <sup>b</sup>	5941 <sup>b</sup>	22.5 <sup>b</sup>	62.1 <sup>b</sup>	99.1 <sup>b</sup>	169.8 <sup>b</sup>
B × P	15	439 <sup>b</sup>	356 <sup>b</sup>	211 <sup>a</sup>	313 <sup>a</sup>	5.1 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	6.8 <sup>b</sup>	6.5 <sup>ns</sup>
Families within provenances (F(P))	14	487 <sup>b</sup>	460 <sup>b</sup>	737 <sup>b</sup>	892 <sup>b</sup>	10.1 <sup>b</sup>	17.0 <sup>b</sup>	22.9 <sup>b</sup>	27.5 <sup>b</sup>
B × F(P)	94	168 <sup>b</sup>	180 <sup>b</sup>	164 <sup>a</sup>	248 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.8 <sup>a</sup>	3.3 <sup>ns</sup>	4.2 <sup>ns</sup>
Error	803	67	93	120	186	1.3	2.1	3.1	4.0

Source of variation	df	MS for volume at each age				MS for tree form			
		3 yr	4 yr	5 yr	6 yr	Straightness degree	Forking position	Forking angle	Branching no.
Block (B)	9	462 <sup>b</sup>	1578 <sup>b</sup>	3124 <sup>b</sup>	5085 <sup>b</sup>	2.817 <sup>a</sup>	1.709 <sup>a</sup>	3.973 <sup>b</sup>	1.897 <sup>b</sup>
Provenance (P)	2	671 <sup>b</sup>	5535 <sup>b</sup>	18224 <sup>b</sup>	51286 <sup>b</sup>	0.511 <sup>b</sup>	0.369 <sup>a</sup>	1.700 <sup>a</sup>	0.571 <sup>a</sup>
B × P	15	92 <sup>b</sup>	462 <sup>b</sup>	1081 <sup>b</sup>	2178 <sup>b</sup>	0.122 <sup>ns</sup>	0.195 <sup>ns</sup>	0.850 <sup>b</sup>	0.359 <sup>a</sup>
Families within provenances (F(P))	14	191 <sup>b</sup>	957 <sup>b</sup>	2475 <sup>b</sup>	5253 <sup>b</sup>	0.239 <sup>ns</sup>	0.389 <sup>a</sup>	2.345 <sup>b</sup>	0.589 <sup>b</sup>
B × F(P)	94	45 <sup>a</sup>	175 <sup>ns</sup>	421 <sup>ns</sup>	946 <sup>ns</sup>	0.194 <sup>ns</sup>	0.220 <sup>a</sup>	0.418 <sup>ns</sup>	0.246 <sup>a</sup>
Errors	803	33	157	420	983	0.167	0.136	0.411	0.189

Note: a, significant at  $p < 0.05$ ; b, significant at  $p < 0.01$ ; ns, not significant.

低1.49級，顯示宜蘭種源的主幹角度大，往外擴張大，其中尤以材積生長最大的Y-1家系側枝角度3.00級，角度超過45°以上最為顯著。側枝數分成3級，分布由< 5支、5~10支至> 10支以上，家系平均分佈在1.5~2.0級間，即5至10支側枝數間，以台東種源顯著低於其他種源。家系內單株可以發現許多小於5支的單株，可供選育(資料未呈現)。

#### 六、遺傳力與遺傳增益

依據Table 6計算各性狀之區集、種源、種源內家系、種源與種源內家系與區集交感、及家系內單株的變方及各變方占總變異成分百分比如Table 8。所有生長性狀(樹高、胸徑、材積)的區集變方 $\sigma^2_B$ 均隨樹齡增加而降低百分比，顯示環境的影響降低。種源 $\sigma^2_P$ 的影響在樹高、胸徑、及材積的比率均隨樹齡增加而增大，在6年生時，各占4.5、5.9、7.5%，區集對種源的影響

$\sigma^2_{BP}$ 比率幾近0。種源內家系的影響率 $\sigma^2_{F(P)}$ 在3種生長性狀各占5.1、9.8、7.1%，比率與種源相當，但家系對胸徑的影響率較高。家系與區集的關係 $\sigma^2_{BF(P)}$ 也隨樹齡增加降低至不影響，但樹高仍有5.2%影響率。3種生長性狀的主要變異來源都在家系內單株的變異 $\sigma^2_E$ ，隨樹齡增加而增大，到6年生時都高達80%以上，顯示家系內單株變異量極大。4項林木形質以家系內單株的變異成分( $\sigma^2_E$ )占84.5~90.5%，為主要的變異成分來源，其他各項變異成分率較大的為：樹幹通直度受區集變方( $\sigma^2_B$ )的影響占9.8%，樹幹分叉位置及側枝數都以區集( $\sigma^2_B$ )及種源內家系\*區集( $\sigma^2_{BF(P)}$ )變方占比較高，分別各占6.3%與9.8%、4.9%與5.1%。分叉角度則以種源內家系變異( $\sigma^2_{F(P)}$ )最大，占8.1%，其次是區集變方( $\sigma^2_B$ )4.4%。

根據均方期望值計算的單株遺傳力 $h^2_i$ ，各項生長性狀在不同樹齡都呈現變化不大，僅樹高遺傳力略有波動，其中以胸徑遺傳力最高，

**Table 7. Performances of growth, survival, and tree form characteristics of *Acacia confusa* family plants among provenances after they had been planted for 3~6 yr**

Families		Height (m) at 3~6 yr old				DBH (cm) at 3~6 yr old			
		3 yr	4 yr	5 yr	6 yr	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr
Chiayi	C-1	4.1 <sup>cdef</sup>	5.7 <sup>bde</sup>	6.5 <sup>cde</sup>	7.6 <sup>bde</sup>	3.9 <sup>bdef</sup>	5.2 <sup>cd</sup>	6.1	6.8 <sup>e</sup>
	C-2	4.1 <sup>cdef</sup>	5.8 <sup>bde</sup>	6.7 <sup>cde</sup>	7.6 <sup>bde</sup>	3.7 <sup>def</sup>	5.0 <sup>de</sup>	6.1 <sup>def</sup>	6.8 <sup>e</sup>
	C-3	2.7 <sup>g</sup>	5.5 <sup>cdef</sup>	6.2 <sup>def</sup>	7.3 <sup>def</sup>	3.4 <sup>ef</sup>	4.6 <sup>de</sup>	5.5 <sup>ef</sup>	5.8 <sup>e</sup>
	C-4	3.5 <sup>fg</sup>	5.0 <sup>ef</sup>	6.0 <sup>ef</sup>	6.8 <sup>ef</sup>	3.0 <sup>fg</sup>	4.6 <sup>de</sup>	5.5 <sup>ef</sup>	6.0 <sup>ef</sup>
	C-5	3.6 <sup>ef</sup>	5.2 <sup>def</sup>	6.2 <sup>def</sup>	6.9 <sup>def</sup>	3.4 <sup>ef</sup>	4.7 <sup>de</sup>	5.7 <sup>ef</sup>	6.3 <sup>ef</sup>
Yilan	Y-1	5.5 <sup>a</sup>	6.3 <sup>abc</sup>	7.7 <sup>ab</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	6.8 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>
	Y-2	5.1 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>a</sup>	8.0 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	4.8 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>	8.1 <sup>b</sup>	9.4 <sup>b</sup>
	Y-8	4.8 <sup>abc</sup>	6.5 <sup>ab</sup>	7.2 <sup>abcd</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	4.6 <sup>bcd</sup>	6.4 <sup>bc</sup>	7.6 <sup>bcd</sup>	8.8 <sup>bc</sup>
Taitung	T-1	4.1 <sup>cdef</sup>	5.8 <sup>bde</sup>	6.4 <sup>cdef</sup>	7.2 <sup>def</sup>	3.6 <sup>def</sup>	4.8 <sup>de</sup>	5.6 <sup>ef</sup>	6.1 <sup>ef</sup>
	T-2	4.1 <sup>cdef</sup>	5.7 <sup>bde</sup>	6.4 <sup>cdef</sup>	7.4 <sup>def</sup>	3.7 <sup>cdef</sup>	5.1 <sup>de</sup>	6.0 <sup>ef</sup>	6.7 <sup>e</sup>
	T-4	4.0 <sup>cdef</sup>	5.5 <sup>cdef</sup>	6.2 <sup>def</sup>	7.5 <sup>cde</sup>	3.4 <sup>ef</sup>	4.7 <sup>de</sup>	5.5 <sup>ef</sup>	6.3 <sup>ef</sup>
	T-5	3.8 <sup>def</sup>	5.5 <sup>bdef</sup>	6.2 <sup>def</sup>	7.3 <sup>def</sup>	3.2 <sup>efg</sup>	4.4 <sup>de</sup>	5.3 <sup>ef</sup>	6.0 <sup>ef</sup>
	T-6	4.8 <sup>abc</sup>	6.4 <sup>abc</sup>	7.4 <sup>abc</sup>	8.7 <sup>abc</sup>	4.7 <sup>bc</sup>	6.4 <sup>bc</sup>	7.7 <sup>bc</sup>	8.7 <sup>bcd</sup>
	T-7	4.3 <sup>bdef</sup>	6.0 <sup>abcde</sup>	6.9 <sup>bde</sup>	8.0 <sup>abcde</sup>	4.2 <sup>bde</sup>	5.7 <sup>bcd</sup>	6.7 <sup>bcd</sup>	7.4 <sup>cde</sup>
	T-8	3.9 <sup>def</sup>	5.6 <sup>bdef</sup>	6.3 <sup>def</sup>	7.4 <sup>cde</sup>	3.7 <sup>bdef</sup>	4.8 <sup>de</sup>	5.9 <sup>ef</sup>	6.5 <sup>e</sup>
	T-9	4.4 <sup>bde</sup>	6.0 <sup>abcd</sup>	6.8 <sup>bde</sup>	8.0 <sup>abcde</sup>	4.1 <sup>bde</sup>	5.5 <sup>bcd</sup>	6.4 <sup>cde</sup>	7.0 <sup>de</sup>
	T-10	4.5 <sup>bcd</sup>	6.1 <sup>abcd</sup>	7.0 <sup>abcde</sup>	8.2 <sup>abcd</sup>	4.3 <sup>bde</sup>	5.6 <sup>bcd</sup>	6.5 <sup>cde</sup>	7.3 <sup>cde</sup>
	Provenance								
Chiayi		3.6 <sup>b</sup>	5.4 <sup>b</sup>	6.3 <sup>b</sup>	7.2 <sup>b</sup>	3.5 <sup>b</sup>	4.8 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	6.3 <sup>b</sup>
Yilan		5.2 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	5.4 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	8.7 <sup>a</sup>	9.9 <sup>a</sup>
Taitung		4.2 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	6.6 <sup>b</sup>	7.7 <sup>b</sup>	3.9 <sup>b</sup>	5.2 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>	6.9 <sup>b</sup>

Families		Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) at 3~6 yr old				Survival (%)	Straightness degree	Forking position	Forking angle	Branching no.
		3 yr	4 yr	5 yr	6 yr					
Chiayi	C-1	6.1 <sup>cdef</sup>	14.0 <sup>cdef</sup>	22.6 <sup>cdef</sup>	30.6 <sup>def</sup>	85.7 <sup>bc</sup>	2.76 <sup>a</sup>	3.92 <sup>ab</sup>	1.47 <sup>cde</sup>	1.50 <sup>b</sup>
	C-2	6.2 <sup>cdef</sup>	14.6 <sup>cdef</sup>	23.1 <sup>cdef</sup>	32.7 <sup>def</sup>	79.1 <sup>cd</sup>	2.80 <sup>a</sup>	3.77 <sup>abc</sup>	1.79 <sup>bcd</sup>	1.64 <sup>ab</sup>
	C-3	4.4 <sup>def</sup>	10.4 <sup>ef</sup>	16.4 <sup>ef</sup>	22.5 <sup>def</sup>	70.6 <sup>de</sup>	2.93 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	1.29 <sup>e</sup>	1.77 <sup>ab</sup>
	C-4	3.7 <sup>ef</sup>	9.1 <sup>ef</sup>	15.6 <sup>ef</sup>	20.0 <sup>ef</sup>	89.8 <sup>bc</sup>	3.00 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	1.29 <sup>de</sup>	1.86 <sup>ab</sup>
	C-5	4.7 <sup>def</sup>	10.9 <sup>ef</sup>	16.7 <sup>ef</sup>	20.9 <sup>ef</sup>	76.5 <sup>cde</sup>	3.00 <sup>a</sup>	3.93 <sup>ab</sup>	1.60 <sup>bcd</sup>	1.87 <sup>ab</sup>
Yilan	Y-1	22.7 <sup>a</sup>	46.6 <sup>a</sup>	75.7 <sup>a</sup>	105.8 <sup>a</sup>	100.0 <sup>a</sup>	3.00 <sup>a</sup>	3.50 <sup>c</sup>	3.00 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>
	Y-2	11.6 <sup>b</sup>	29.1 <sup>b</sup>	49.6 <sup>b</sup>	76.9 <sup>b</sup>	95.7 <sup>bc</sup>	2.84 <sup>a</sup>	3.82 <sup>abc</sup>	1.93 <sup>bc</sup>	1.60 <sup>ab</sup>
	Y-8	9.8 <sup>bcd</sup>	24.5 <sup>bc</sup>	39.2 <sup>bc</sup>	59.0 <sup>bc</sup>	85.0 <sup>bc</sup>	2.79 <sup>a</sup>	3.68 <sup>abc</sup>	1.76 <sup>bcd</sup>	1.62 <sup>ab</sup>
Taitung	T-1	6.0 <sup>cdef</sup>	13.1 <sup>def</sup>	19.8 <sup>def</sup>	26.4 <sup>def</sup>	82.6 <sup>cd</sup>	2.79 <sup>a</sup>	3.81 <sup>abc</sup>	1.52 <sup>cde</sup>	1.67 <sup>ab</sup>
	T-2	5.5 <sup>cdef</sup>	13.8 <sup>cdef</sup>	21.0 <sup>def</sup>	29.0 <sup>def</sup>	81.9 <sup>cd</sup>	2.75 <sup>a</sup>	3.77 <sup>abc</sup>	1.68 <sup>bcd</sup>	1.60 <sup>ab</sup>
	T-4	5.0 <sup>cdef</sup>	11.5 <sup>ef</sup>	17.2 <sup>ef</sup>	24.9 <sup>ef</sup>	78.7 <sup>cd</sup>	2.71 <sup>a</sup>	3.88 <sup>ab</sup>	1.39 <sup>cde</sup>	1.59 <sup>ab</sup>
	T-5	4.2 <sup>ef</sup>	9.9 <sup>ef</sup>	15.0 <sup>ef</sup>	21.3 <sup>ef</sup>	72.4 <sup>de</sup>	2.80 <sup>a</sup>	3.77 <sup>abc</sup>	1.37 <sup>cde</sup>	1.58 <sup>b</sup>
	T-6	10.2 <sup>bc</sup>	23.2 <sup>bcd</sup>	36.1 <sup>bcd</sup>	51.8 <sup>cd</sup>	78.0 <sup>cd</sup>	2.79 <sup>a</sup>	3.63 <sup>bc</sup>	2.12 <sup>b</sup>	1.72 <sup>ab</sup>
	T-7	7.2 <sup>bde</sup>	17.6 <sup>cde</sup>	27.3 <sup>cde</sup>	38.3 <sup>cde</sup>	87.4 <sup>bcd</sup>	2.86 <sup>a</sup>	3.80 <sup>abc</sup>	1.84 <sup>bcd</sup>	1.82 <sup>ab</sup>
	T-8	5.5 <sup>cdef</sup>	10.5 <sup>ef</sup>	16.0 <sup>ef</sup>	22.4 <sup>ef</sup>	68.6 <sup>e</sup>	2.84 <sup>a</sup>	3.78 <sup>abc</sup>	1.53 <sup>cde</sup>	1.66 <sup>ab</sup>
	T-9	7.8 <sup>bde</sup>	17.5 <sup>cde</sup>	25.4 <sup>cdef</sup>	35.0 <sup>cde</sup>	89.8 <sup>bc</sup>	2.69 <sup>a</sup>	3.84 <sup>abc</sup>	1.78 <sup>bcd</sup>	1.73 <sup>ab</sup>
	T-10	8.2 <sup>bde</sup>	18.3 <sup>cde</sup>	28.5 <sup>cde</sup>	39.4 <sup>cde</sup>	85.9 <sup>bc</sup>	2.75 <sup>a</sup>	3.82 <sup>abc</sup>	1.73 <sup>bcd</sup>	1.66 <sup>ab</sup>
	Provenance									
Chiayi		5.0 <sup>b</sup>	11.8 <sup>c</sup>	18.9 <sup>c</sup>	25.3 <sup>c</sup>	80.3 <sup>b</sup>	2.90 <sup>a</sup>	3.92 <sup>a</sup>	1.49 <sup>c</sup>	1.73 <sup>a</sup>
Yilan		14.7 <sup>a</sup>	33.4 <sup>a</sup>	54.8 <sup>a</sup>	80.6 <sup>a</sup>	93.6 <sup>a</sup>	2.88 <sup>ab</sup>	3.67 <sup>c</sup>	2.23 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>
Taitung		6.6 <sup>b</sup>	15.0 <sup>b</sup>	22.9 <sup>b</sup>	32.1 <sup>b</sup>	80.6 <sup>b</sup>	2.78 <sup>bc</sup>	3.79 <sup>b</sup>	1.66 <sup>b</sup>	1.67 <sup>b</sup>

Note: The same letters in the same column of families and provenances indicate no significant difference at  $p < 0.05$  using Tukey's test.

DBH, diameter at breast height.

**Table 8. Component percentages of variance for blocks ( $\sigma^2_B$ ), provenances ( $\sigma^2_P$ ), interactions between blocks and provenances ( $\sigma^2_{BP}$ ), families within provenances ( $\sigma^2_{F(P)}$ ), interactions between blocks and families ( $\sigma^2_{BF(P)}$ ) and individuals within families ( $\sigma^2_E$ ), heritabilities for individuals ( $h^2_i$ ) and families ( $h^2_f$ ), and genetic gains of tree growth at 6 yr old and tree stem traits**

Components of variance	Component % for height at each age				Component % for DBH at each age			
	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr
$\sigma^2_B$	8.6	10.2	7.4	4.1	9.8	5.2	3.6	2.7
$\sigma^2_P$	2.8	3.3	3.5	4.5	1.7	3.6	4.3	5.9
$\sigma^2_{BP}$	2.6	0.8	-0.6	-0.7	1.3	0.4	0.1	-0.5
$\sigma^2_{F(P)}$	5.9	3.5	7.3	5.1	9.3	10.7	10.8	9.8
$\sigma^2_{BF(P)}$	17.8	12.5	5.4	5.2	8.0	4.4	1.2	0.7
$\sigma^2_E$	62.3	69.7	77.1	81.8	69.8	75.7	79.9	81.4
Heritability and genetic gain								
$h^2_i$	0.27	0.16	0.33	0.22	0.43	0.47	0.47	0.43
$h^2_f$	0.04	0.03	0.12	0.08	0.11	0.18	0.31	0.32
$\Delta G$	11.7	3.5	7.9	5.3	25.2	26.5	25.2	23.9
Components of variance	Component % for volume at each age				Straightness degree	Forking position	Forking angle	Branching no.
	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr				
$\sigma^2_B$	6.0	3.9	2.7	1.7	9.8	6.3	4.4	4.9
$\sigma^2_P$	2.5	4.7	6.0	7.5	0.4	0.2	0.3	0.2
$\sigma^2_{BP}$	0.4	0.9	0.6	0.3	-1.7	-1.4	0.1	-0.5
$\sigma^2_{F(P)}$	6.8	8.1	8.1	7.1	-1.7	0.5	8.1	1.8
$\sigma^2_{BF(P)}$	5.8	1.7	0.0	-0.6	2.7	9.8	0.3	5.1
$\sigma^2_E$	78.5	80.8	82.5	84.0	90.5	84.5	86.8	88.5
Heritability and genetic gain								
$h^2_i$	0.30	0.36	0.36	0.32	-0.07	0.02	0.08	0.34
$h^2_f$	0.10	0.22	0.34	0.39	-0.05	0.01	0.03	0.30
$\Delta G$ (%)	46.9	51.5	54.2	50.6	-0.6	0.2	1.6	21.7

在0.43~0.47間，其次為材積在0.32~0.36間，樹高較低，在0.16~0.33間(Table 8)。家系遺傳力 $h^2_f$ 除樹高外，胸徑與材積均隨樹齡增加而增加，6年生胸徑與材積的家系遺傳力各為0.32與0.39。除6年生材積的家系遺傳力略高於單株遺傳力外，樹高與胸徑的遺傳力都低於單株遺傳力。樹幹性狀的遺傳力僅有分叉角度具有明顯的遺傳力，其單株與家系遺傳力各為0.34與0.30，其他樹幹通直度、分叉位置、及側枝數的遺傳力都趨近0。

遺傳增益的推估，胸徑與材積遺傳增益各樹齡相當一致，樹高增益偏低，且隨樹齡波

動。以材積的遺傳增益最高，6年生遺傳增益可達50.6%，其次為胸徑的23.9%，樹高增益僅5.3% (Table 8)。林木形質的遺傳增益，除分叉角度有21.7%增加角度的比率外，其他3種形質並無明顯增加的現象。

#### 七、生長相關分析

不同樹齡生長性狀相關分析顯示，3年生各項生長性狀與6年生各項性狀都呈極顯著相關(Table 9)，3年生長得快的樹高、胸徑及材積，6年生時仍保持高生長性狀。生長性狀與樹幹性狀中的通直度與分叉位置呈顯著或極顯



著負相關，與枝條的分叉度數呈極顯著正相關，與側枝數的多寡無顯著相關 (Table 10)。由於通直度與分叉位置級數越高，通直度越差，分叉位置越低，顯示生長快的林木樹幹通直度與樹枝在樹幹基部 2 m 以上的發生率高，有利於選育良好幹形。唯分叉度高，顯示粗側條展開的角度較大，樹形開展，大側枝角度大易造成節大及斷裂。

## 討論

### 一、優勢木選擇

優勢木選拔與選擇強度是測定林木遺傳力與遺傳增益的主要因子，一般優勢木選擇最優先從優良林分選擇開始。Clark and Wilson (2005) 建議闊葉樹種林優良林分中約有 30 株優良表形林木最佳。相思樹人工林栽植在不同生

育地等級，造林表現不一。Liu and Lin (1968) 建立的相思樹地位指數中，20 年生第 1 級之立木株數為 1100 株  $ha^{-1}$ ，胸徑級在 14.2~15.7 cm 間，本研究選拔都大於此徑級。本研究選擇林分都以海拔 400 m 以下林分為主，以約 20 年生，立木度約 1000 株  $ha^{-1}$  之林相為優先選擇。選擇優勢木的胸徑級除屏東區為 27.9 cm 較低外，其餘都約在 40 cm 以上優勢木。依據 Liu and Lin (1968) 調查中南部相思樹林相，屏東區的相思樹地位指數都屬 2~3 級 (20 年生材積 1 級為 205.5~241.5  $m^3 ha^{-1}$ 、2 級為 156.5~192.5  $m^3 ha^{-1}$ 、3 級為 107.5~145.0  $m^3 ha^{-1}$ ，級間差距約 36  $m^3 ha^{-1}$ )，生長表現較差，因此在此林相中選拔之優勢木可能具有抗逆性的特性，故納入選拔範圍。此種選擇方式與 Tsai et al. (2018) 以全台各地之單株優勢木標準 (枝下高大於 6.5 m，胸徑 35 cm 以上) 作為選育目標不同。

**Table 9. Correlation analysis between annual growth traits**

Variable	Ht3	DBH3	Vol3	Ht4	DBH4	Vol4	Ht5	DBH5	Vol5	Ht6	DBH6
DBH3	0.89 <sup>b</sup>										
Vol3	0.86 <sup>b</sup>	0.94 <sup>b</sup>									
Ht4	0.82 <sup>b</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>								
DBH4	0.87 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>	0.90 <sup>b</sup>	0.82 <sup>b</sup>							
Vol4	0.82 <sup>b</sup>	0.89 <sup>b</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.81 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>						
Ht5	0.80 <sup>b</sup>	0.80 <sup>b</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>	0.81 <sup>b</sup>					
DBH5	0.83 <sup>b</sup>	0.91 <sup>b</sup>	0.88 <sup>b</sup>	0.81 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>	0.94 <sup>b</sup>					
Vol5	0.77 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>	0.89 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.91 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>			
Ht6	0.79 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>	0.72 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.91 <sup>b</sup>	0.86 <sup>b</sup>	0.81 <sup>b</sup>		
DBH6	0.80 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.94 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>	0.99 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	
Vol6	0.73 <sup>b</sup>	0.78 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.72 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0.80 <sup>b</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>

Note: Ht, height; Vol, volume; DBH, diameter at breast height; and numbers after the variables represent ages (3~6 yr old). The letter b after a number indicates that it is significant at  $p < 0.01$ .

**Table 10. Correlation analysis between characteristics of annual growth and stem traits**

Variable	Ht6	DBH6	Vol6	Straightness degree	Forking position	Forking angle
Straightness degree	-0.14 <sup>b</sup>	-0.09 <sup>a</sup>	-0.09 <sup>a</sup>			
Forking position	-0.25 <sup>b</sup>	-0.30 <sup>b</sup>	-0.28 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>		
Forking angle	0.31 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>	0.39 <sup>b</sup>	0.10 <sup>b</sup>	-0.14 <sup>b</sup>	
Branching no.	0.01 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>b</sup>	0.14 <sup>b</sup>

Note: Ht, height; DBH, diameter at breast height; Vol, volume. Numbers after variables represent age (6 yr old). Letters after the numbers indicate the following: a, significant at  $p < 0.05$ ; b, significant at  $p < 0.01$ ; ns, not significant.

材積為本研究重要的參數，為包含存活率的適應表現，所有材積計算均包含死亡株數。材積式採用國有林產物處分規則之立木材積式  $V = 0.45 \times 0.79 \times Ht \times DBH^2 \times 2500$  株  $ha^{-1}$ ，未採用相思樹材積式  $V = 0.0002045 \times DBH^{1.4366684} Ht^{0.8490426} \times 2500$  株  $ha^{-1}$  (Lo and Feng 1986)，主要原因是該材積式建立在成熟林分，比較3、4、5、6年生平均材積會比林產物處分規則的材積式增加1.8、1.6、1.4、1.3倍遞減，因此隨樹齡增加DBH增加，二者所計算的材積會逐漸接近。為避免高估，故採用較保守的材積式，無論採用何者，統計的變異分析並不會受影響。另外也未採用Liu and Lin (1968)的材積表，因其建立在播種造林的相思樹林分上，4年生至6年生之立木株數為4956-6958株  $ha^{-1}$ ，所計算的材積偏大，其地位級I的4、6年生材積，接近本研究材積，但比Lo and Feng (1986)小。

## 二、種子大小與發芽率及生長表現

優勢木的相思樹種子因樹高採集不易，能採集的種子數量不大，採收的種子遭蟲蠹嚴重，經水選健康沈水種子，為使來自各種源母樹單株各種子組(seedlots)各別發芽育苗，以磨破種皮方式促進發芽，逐一將種子組各重複發芽。經磨破種皮的種子發芽時間為8~9天，種子含水量  $18.8 \pm 0.9\%$ ，種子粒數為  $29,000 \pm 816$  粒  $kg^{-1}$ ，千粒種子重  $33.53 \pm 0.75$  g (1000 seeds) $^{-1}$ ，種子長、寬、厚、體積各為  $6.13 \pm 0.35$ 、 $4.65 \pm 0.23$ 、 $1.76 \pm 0.20$  mm、與  $49.9 \pm 4.9$  mm<sup>3</sup> (Table 5)。比Chung and Chang (1990)報告之  $33,580$  粒  $kg^{-1}$ ， $30.3$  g (1000 seeds) $^{-1}$  數值大，可能因含水量較高故。Chang and Wang (1969)調查北、中、南共7個地區：陽明山、洞口、苗栗、中埔、燕巢、恆春的種子組，種子粒數  $34,037 \pm 3768$  粒  $kg^{-1}$ ，種子重  $29.77 \pm 3.68$  g (1000 seeds) $^{-1}$ ，此數值與Chung and Chang (1990)相當，但Chang and Wang也指出7區的種子呈現差異，苗栗區種子最輕  $25.28$  g (1000 seeds) $^{-1}$ ，陽明山區最重  $36.20$  g (1000 seeds) $^{-1}$ 。Chang and Wang也調查種子大小，種子長、

寬、厚、體積各為  $5.46 \pm 0.18$ 、 $4.11 \pm 0.19$ 、 $1.79 \pm 0.08$  mm與  $44.4 \pm 4.5$  mm<sup>3</sup>，均值均比台東種子長、寬小，但種子厚度相當。Tsai et al. (2018)調查照興與澗水相思樹種子園的種子大小，嘉義大埔2營養系種子之平均長、寬、厚與體積各為  $6.10 \pm 0.10$ 、 $4.73 \pm 0.41$ 、 $1.50 \pm 0.10$  mm與  $41.6 \pm 0.55$  mm<sup>3</sup>，南投丹大3營養系種子均值各為  $5.57 \pm 0.31$ 、 $4.23 \pm 0.06$ 、 $1.77 \pm 0.06$  mm與  $43.4 \pm 5.4$  mm<sup>3</sup>，高雄六龜2營養系種子均值則各為  $6.25 \pm 0.07$ 、 $4.80 \pm 0.28$ 、 $1.85 \pm 0.21$  mm與  $55.63 \pm 9.0$  mm<sup>3</sup>。以上研究成果均顯示相思樹種子大小在各種源間頗有差異。Zhang et al. (2017)指出許多研究報告指出：種子大小與重量被認為強烈影響發芽率、林木早期生長、存活率、抗逆境的能力，並以試驗證明麻櫟 (*Quercus acutissima*) 大小與種子重量中，種子寬度與苗高及地徑的相關性高，但隨苗齡增加降低。Pramono et al. (2019)指出大葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla*) 種子 < 6 cm長之發芽率顯著降低，此類種子應汰除。相思樹種子變異是否與生長與適應力有關，值得未來進一步研究驗證。

## 三、種源後裔試驗表現

### (一) 種源後裔生長表現

相思樹優勢母樹結實與採種不易，雖然調查的種源有7個，但能完整採集到種子育苗的僅3種源17家系，育苗數量也不等。受限於完整的試驗地尋找不易，僅建立在花蓮一區，未能在西部建立相對應的一區，以比較地區的差異。本研究採用較多的10區集可擴大試驗範圍、估算試驗誤差增加試驗的可靠性。環境的影響主要為土壤與颱風，土壤的分析顯示因長期農作關係，較為均勻，但颱風因方向不定的關係，會造成區集受損程度不一，各區集因頂芽、折斷及死亡等傷亡率為4~15%間(資料未呈現)。苗木受損存活或死亡會影響林木生長，抗風力較強的6年生宜蘭種源存活率最高達93.6%，材積生長也最高，均顯著高於嘉義與台東種源，後二者則存活率均約80%，彼此間無顯著差異，但材積生長台東種源

呈顯著高於嘉義種源(Table 7)。

統計分析顯示：區集本身，與區集對林木生長性狀效應(交感效應)都呈現顯著差異，但隨樹齡增加而降低，對種源生長有影響；但對種源內家系在樹齡5、6年生時除樹高呈現顯著與極顯著差異外，對胸徑與材積生長已無影響(Table 6)，可能因苗木成長抗風力增強，及無颱風侵襲的干擾所致。從各變異成分分析(Table 8)更具體顯示：區集成分( $\sigma^2_B$ )從3年生至6年生時樹高、胸徑與材積占比，分別各由8.6%降至4.1%、由9.8%降至2.7%及由6.0%降至1.7%。同樣趨勢也呈現在區集對種源( $\sigma^2_{BP}$ )及對種源內家系( $\sigma^2_{BF(P)}$ )交感效應，除對樹高仍有約5%影響外，胸徑與材積生長已趨近0。隨著樹齡增加，家系內單株所有生長性狀的變異量 $\sigma^2_E$ 增加到80%以上，其中樹高增加幅度最大，由62.3%增加到81.3%，胸徑由69.8%增加到81.4%，而材積由78.5%增加到84.0%。因此相思樹生長性狀最大的變異來源，主要來自家系內單株的變異。以6年生林木生長材積看 $\sigma^2_P$ 與 $\sigma^2_{F(P)}$ 各占7.5%與7.1%，顯示在材積生長方面，種源與種源內家系的影響力相當。從不同樹齡的材積看，種源 $\sigma^2_P$ 的影響率隨樹齡而有增加趨勢。由Table 7的種源家系表現中，第3~5年材積生長中，部分嘉義種源家系和宜蘭家系材積生長差異不顯著，但到第6年，宜蘭家系都顯著優於嘉義家系的生長。從栽植第4年到第6年的連年淨材積生長顯示，宜蘭種源3年成長的趨勢由18.7、21.4、25.7  $m^3 ha^{-1}$ 的淨成長，成長方式是比前年淨生長材積再增加約4  $m^3 ha^{-1}$ 方式呈上升曲線成長。而台東與嘉義種源則各以每年約平均以8.4 與6.8  $m^3 ha^{-1}$ 之穩定材積生長量增加方式成長(Fig. 2)，顯示宜蘭種源表現優於其他二種源，更適應花蓮地區的成長。相關分析顯示3年生樹高、胸徑、與材積生長與6年生材積生長都呈極顯著關係(Table 9)，因此從3年生的生長表現就可推測其未來的生長量表現。

Tsai et al. (2020)在屏東車城以南投(鹿谷1家系與車埕2家系)及高雄(五里亭1混合家系與小關山3家系)共2種源7家系的2年生種源後裔試驗，我們將同一種源表現數據整合，結果

顯示栽植2年南投種源(平均海拔429 m)存活率80.7±7.2%，平均苗高163±2.0 cm；高雄種源(平均海拔776 m)存活率71.0±8.7%，平均苗高183±14 cm。存活率似有海拔效應，而生長又有種源效應，如高雄1K7家系平均苗高197±51.5 cm，顯著優於其他家系，但存活率73%，種源家系平均苗高為167±23 cm。本研究2年生種源家系平均苗高為273±72 cm，胸徑2.5±1.0 cm(資料未呈現)。花蓮高生長表現優於屏東生長表現，可能因為花蓮區雨量較為平均，冬季略少(年均雨量2177 mm)，而屏東區(年均雨量2411 mm)，雨量集中在生長季，在10月至翌年1月為乾季，生長處近停滯狀態，生長期間並未遭遇颱風。二者生育地條件可能影響相思樹生長頗大，因此選優勢木時，屏東種源林相雖生長表現不如各區，達不到標準仍須納入優勢木選育範圍內。

與相思樹同屬的相關樹種研究，也顯示育種對生長有顯著效益：Arnold and Cuevas (2003)在菲律賓檢定引種金合歡(*Acacia crassicaarpa*) 13種源164家系與直幹相思樹(*A. mangium*) 15種源150家系，經栽植3年後金合歡與直幹相思樹在種源與種源內家系的胸徑呈極顯著差異，與相思樹反應一致。Hai et al. (2008a)利用實生苗種子園生產的4年生耳莢相思樹(*A. auriculiformis*) 材積生長27.7  $m^3 ha^{-1}$ 顯著優於19.2  $m^3 ha^{-1}$ 來自天然種源的種子苗造林。Hai et al. (2008b)比較耳莢相思樹1~3 yr 樹齡間，具相同70營養系在3試驗區之材積生長在試驗區間差異顯著。營養系育種成分在3試驗區占比範圍在24.6~32.6%，比本研究單親育種值 $\sigma^2_{F(P)}$  6.8~8.1%高，由於相思樹家系內單株變異高 $\sigma^2_E$ 占78.5~84.0%，利用營養系繁殖具有提高生長量的潛力。同時1年生的生長表現與3年生表現呈顯著相關，但相關係數變異大，彼等認為在不同試驗區呈現不同相關性，遺傳與環境具有顯著相關。相思樹在年齡間的生長性狀相關性高與該報告一致，雖然相思樹僅在花蓮試驗，但因種源與種源內家系與區集之交感顯著，顯示相思樹也可能易受環境影響生長。

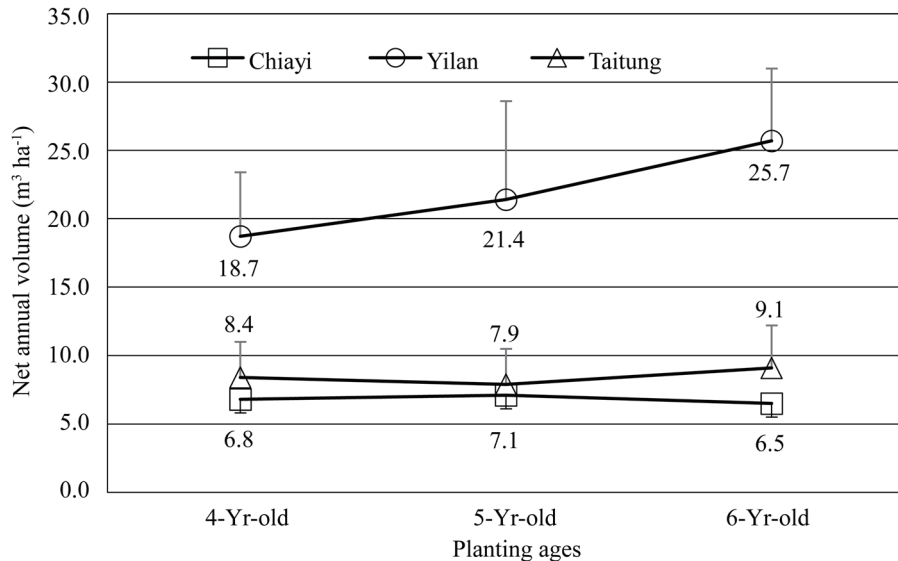


Fig. 2. Net annual volume growth of 3 provenances of *Acacia confusa* 4 to 6 yr after planting.

## (二) 種源後裔的樹幹性狀表現

初期苗木生長易受環境影響，栽培區土壤長期機械耕作，土壤條件差異不大，但試驗生長初期3年遭受颱風侵襲頗劇烈，對林木存活率與林木形質產生相當程度的影響，在調查時就記錄有些植株頂芽受損枯死、折斷、再萌芽與樹幹傾斜等，會影響樹形與分叉位置。通直度為育種重要的性狀，從變方分析(Table 6)顯示通直度在區集與種源均呈顯著差異，種源內家系間不顯著，台東種源通直性顯著高於嘉義種源2.78 vs. 2.90 (通直度指數低表示較為通直，Table 7)，相關分析顯示通直度指數與高生長呈極顯著負相關，與胸徑級材積生長呈顯著負相關(Table 9)，即樹幹彎曲度越小生長越佳。分叉位置在種源及種源內家系間都呈極顯著，宜蘭種源顯著<台東種源顯著<嘉義種源，跟材積生長表現一致，因此相關分析也顯示跟生長性狀都呈極顯著負相關。由於分叉位置越高，分叉位置指數越低，因此生長快速的林木，具有較高的分叉位置，對林木優良形質的選育有利。分叉角度在種源與種源內家系間都呈極顯著，宜蘭種源顯著>台東種源顯著>嘉義種源，即分叉角度越大，生長表現越好，相關分析呈現極顯著正相關。分叉角度大易造成枝

節大及斷裂風險，可以考慮用修枝方式先予剪除。側枝數在種源與種源內家系間也呈現極顯著差異，宜蘭種源與嘉義種源相當，二者顯著大於台東種源，跟生長性狀並無顯著相關性。

Arnold and Cuevas (2003)在菲律賓檢定引種金合歡與直幹相思樹，二樹種的通直度僅在種源內家系呈極顯著差異，而相思樹則在種源間呈極顯著差異。Hai et al. (2008b)分析耳莢相思樹生長量與通直度及側枝粗細都呈現正相關，其對通直度定義是級數越小越通直，而側枝粗細則相反，因此是樹幹越通直生長越佳，與相思樹一致；本研究並未測量側枝粗細，不過分叉角度越大，表示枝條越粗，相思樹角度跟生長呈正相關，跟耳莢相思樹反應相同。

## (三) 遺傳力與遺傳增益的表現

遺傳力與遺傳增益是育種成效的衡量指標，相思樹單株遺傳力 $h^2_i$ 胸徑(0.43~0.47)高於材積(0.30~0.36)，高於樹高(0.16~0.33)，遺傳力在年齡間波動幅度小。家系遺傳力 $h^2_f$ 則隨樹齡增加而增加，6年生材積家系遺傳力0.39，比樹高與胸徑遺傳力高。Wright (1976)認為家系遺傳力比由小區內單株樹木的平均較為可靠，是因家系遺傳力是小區內家系內單株的平均，反映



了該家系的表現。但計算小區各單株的性狀， $Me(\sigma^2_e)$ 才能計算出來，才可計算出單株遺傳力。一般而言家系遺傳力高於單株遺傳力，表示從家系選擇會獲得更多的遺傳增益，不過對於通直度、分叉位置、及分叉度遺傳力極低，遺傳增益低，尤其通直度呈現負值。Mihai and Mirancea (2016)指出單株與家系遺傳力在幼齡會增加，至成熟時會逐漸增加，老化時降低，主要原因是試區未疏伐，因競爭地力空間緣故而降低。由相思樹家系遺傳力及連年淨生長材積持續穩定成長的趨勢，顯示6年生相思樹仍處幼齡成長狀態，仍不適合伐採利用。Arnold and Cuevas (2003)檢定金合歡單株遺傳力 $h^2$ 為0.15比直幹相思樹0.08高，二者均比台灣的相思樹低。Hai et al. (2008b)對耳莢相思樹營養系檢定的廣義遺傳力，3個不同試區的材積遺傳力，第1試區1至3年生分別為0.25、0.26、0.36，第2試區2至3年生為0.17、0.21，第3試區1至4年生為0.09、0.41、0.52、0.54，因此栽培區不同、樹齡不同時遺傳力會有不同趨勢。以單一試區檢定遺傳力，將有高估情形(Wright 1976)。有關負遺傳力值(negative heritability)，Steinsaltz et al. (2020)指出最早報告出現在50年前，利用統計模式計算研究，認為這是很強烈的反應自然界的性狀、族群、與取樣過程的因素造成的，不過作者等也建議可把負遺傳值歸零表示。本研究通直度遺傳力負值極低，可以無遺傳力表示。變異數分析顯示通直度在家系間不顯著，但種源間顯著(Table 6)，各種源間通直度相當接近。這可能跟通直度形質的歸類多分佈在2至3級有關(Table 7)，由於幼年期連續3年都遭颱風侵襲，可能影響樹幹通直度，與Steinsaltz et al. (2020)指出的自然界與取樣因素相關。本研究預定在輪伐期一半10年生時，會再進行分析，將增加分級度，或直接測定在胸徑處以樹幹中心線與樹皮的偏離距離，減少分級不佳的誤差。

遺傳增益是依據遺傳力與選擇強度估算出來，本研究係從千株相思林相選擇10株的強度為1%。材積生長的增益，在3至6年生的材積增益相當穩定約保持在50%上下。許多研究在進行遺傳育種時，多會依不同選擇強度，估算不同

遺傳增益，作為育種計畫的重要一環。Hai et al. (2008b)就繪出一族群中不同選擇強度的耳莢相思樹營養系材積遺傳增益，選擇強度為10%時，材積遺傳增益在不同栽植區約增加50~67%的材積增益，當選擇強度為20%時則遺傳增益則降為42~55%。Mihai and Mirancea (2016)對34年生銀冷杉(*Abies alba*)後裔試驗中的家系表現，進行不同選擇強度選育的遺傳增益進行估算，如選擇前5%與10%優良家系育種的材積遺傳增益各為18%與15%，如選擇家系內優良單株則遺傳增益各為26%與23%。因此在本試區中強度選拔優良家系單株加入相思樹種子園，或用無性繁殖培育營養系苗，將可大幅增加遺傳增益。

## 結論

本研究顯示相思樹種源後裔試驗之種源與家系在生長性狀與樹幹性狀具有顯著的差異，選擇適合種源與種源內優良家系，可提高相思樹的材積增益。6年生單株與家系的材積遺傳力為0.32及0.39，遺傳增益可達50%以上，顯示採自相思樹優勢木可增加相思樹的材積收穫。目前休耕地補助造林可延長至10年後伐採，以本研究顯示，3至6年生的直線迴歸趨勢在3種源的相關係數都達0.99以上，在花蓮區選擇宜蘭種源，預測10後的材積生長可達約168  $m^3 ha^{-1}$ ，比Liu and Lin (1968)所指第1級地位指數10年生材積為75.6~89.8  $m^3 ha^{-1}$ 高約2倍，台東種源可達約66  $m^3 ha^{-1}$ ，相當於第2級地位指數55.4~70.0  $m^3 ha^{-1}$ 材積級間，而嘉義種源可達約52  $m^3 ha^{-1}$ ，約為第2級與第3級35.6~50.8  $m^3 ha^{-1}$ 之間(Fig. 3)。此生長曲線顯示種源的表現影響材積收穫頗大，雖然隨著樹齡提高，栽植密度會影響材積生長，但此一種源生長趨勢顯示：在種子園種子生產及種子園後裔檢定尚待建立之前，採集當地種源優勢木的種苗造林收益可大幅提昇。

## 致謝

本計畫研究經費承行政院農業委員會林業

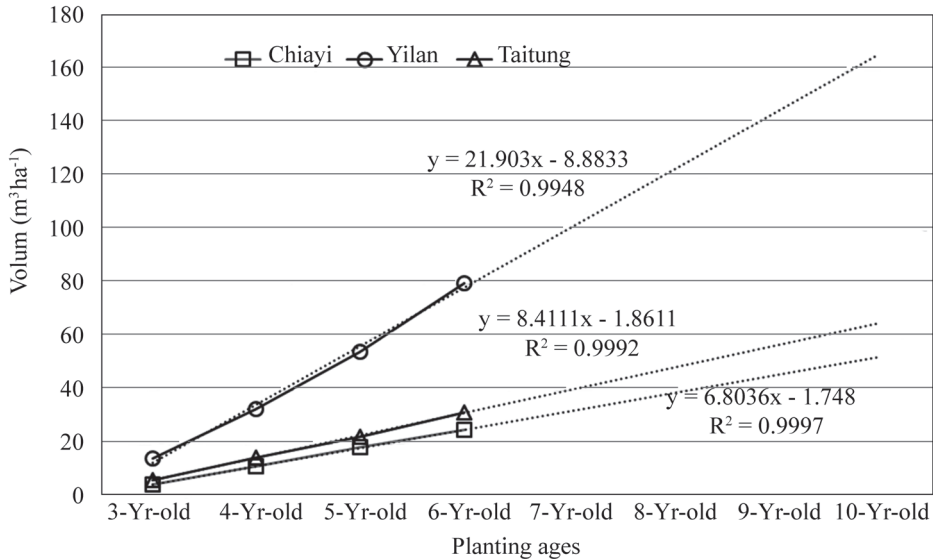


Fig. 3. Estimated volume growth of 3 provenances of *Acacia confusa* to 10 yr after planting.

試驗所計畫 (107農科-10.1.1-森-G2) 補助，研究執行之相思樹優良母樹調查與採種，北區承馬復京副研究員與宜蘭大學大教授林世宗博士、中區許原瑞主任與何雅齡助理研究員、南區陳永修主任與林政賢先生、東南區林俊成主任秘書與楊蒼叡助理研究員，僅此致謝。

## 引用文獻

**Arnold RJ, Cuevas E. 2003.** Genetic variation in early growth, stem straightness and survival in *Acacia crassicarpa*, *A. mangium* and *Eucalyptus urophylla* in Bukidnon Province, Philippines. *J Trop For Sci* 15(2):332-51.

**SAS. 1999.** SAS Procedures Guide vers. 8. Cary, NC: SAS Institute.

**Chang L-M, Wang R-L. 1969.** An overview of selection and breeding program for *Acacia confusa*. *Inst Newsl Taiwan Prov For Res Inst* 250:2839-44. [in Chinese].

**Chang S-H, Ho C-K, Hsui Y-R, Chen Y-H. 2017.** The potential production of shiitake mushroom in sawdust of short-rotation tree species. *For Res Newsl* 24(4):9-13. [in Chinese].

**Chang ST. 2015.** Discovery new value of Taiwan tree species – whole tree utilization of *Acacia confusa*. *Taiwan For Res Newsl* 22(2):40-44. [in Chinese].

**Chen YH, Ho CK, Shu YR. 2014.** Plantation test of *Acacia confusa* at low elevation in Taiwan. *Taiwan For Res Newsl* 21(4):1-5. [in Chinese].

**Cheng WE, Horng FW, Lin KC. 1997.** Comparison of testing methods for available nutrients of forest soils. *Taiwan J For Sci* 12(2):177-88. [in Chinese with English summary].

**Chung YL, Chang NH. 1990.** Technology guidance of the Taiwan important tree seeds. *Taiwan For Res Inst Ext Ser No 35*. 130 p. [in Chinese].

**Clark J, Wilson T. 2005.** The importance of plus-tree selection in the improvement of hardwoods. *Q J For* 99(1):45-50.

**Falconer DS, Mackay TFC. 1996.** Introduction to quantitative genetics 4<sup>th</sup> Ed. Essex, UK: Addison Wesley Longman.

**Giertych M, van de Sype H. 1990.** Consequences of reducing a full model of variance analysis in tree breeding experiments. *Ann For Sci* 47:17-29.

- Hai PH, Harwood C, Kha LD, Pinyopussarerk K, Thinh HH. 2008a.** Genetic gain from breeding *Acacia auriculiformis* in Vietnam. *J Trop For Sci* 20(4):313-27.
- Hai PH, Jansson G, Harwood C, Hannrup B, Thinh HH. 2008b** Genetic variation in growth, stem straightness and branch thickness in clonal trials of *Acacia auriculiformis* at three contrasting sites in Vietnam. *Ecol Manage* 255:156-67.
- Hayatgheibia H, Friesa A, Kroonb J, Wu HX. 2019.** Estimation of genetic parameters, provenance performances, and genotype by environment interactions for growth and stiffness in lodgepole pine (*Pinus contorta*). *Scandinavian J of For Res* 34:1-11.
- Ho CK, Chang SH, Chen J. 2010.** Passport of seedlings - traceable forestry products for tree seedlings. Taiwan For Res Inst Promotion Brochure no. 51. [in Chinese].
- Hung SF, Ho CK, Chen YS. 2016.** The reason speculation for grafting difficulty of *Acacia confusa*. In: Ho CK, Chen JD, Lia SN, editors. Proceedings of conservation and utilization of forest resources. 2016 Sept 9-10; Taipei, Taiwan: Taiwan For Res Inst. p 91-6. [in Chinese].
- Li WS, Lue YS, Chen MH. 2012.** Rice straw for production phoenix-tail mushroom, *Plurotus sajor-carjo*. *J Taiwan Agric Res* 61:90-9. [in Chinese with English summary].
- Lin JC, Chen YH, Chen TM, Tsai CJ. 2015.** The usage amount and source estimation for mushroom sawdust in Taiwan. *For Res Newsl* 22(2):56-60. [in Chinese].
- Liu SS, Lin TY. 1968.** Stand yield and volume tables of *Acacia confusa* in central southern Taiwan. Cooperative Research Report. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing Univ. 47 p. [in Chinese].
- Lo S-L, Feng F-L. 1986.** The first growth survey of Taiwan stand conversion plantation. Taiwan Forest Bureau Report. 88 p. In: Feng F-L, Lin T-Y. 1992. Stand and tree growth simulated modelling system built in Taiwan. *Bull Exp For Natl Chung Hsing Univ* 14(2):55-8. [in Chinese].
- Mihai G, Mirancea I. 2016.** Age trends in genetic parameters for growth and quality traits in *Abies alba*. *iForest* 9:954-9. doi: 10.3832/ifer1766-009. Accessed 7 July 2016.
- Pramono AA, Syamsuwida D, Putri KP. 2019.** Variation of seed sizes and its effect on germination and seedling growth of mahogany (*Swietenia macrophylla*). *Biodiversitas* 20(9):2576-82.
- Sebbenn AM, Pontinha AAS, Kageyama PY. 2003.** Genetic variation in provenance-progeny test of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in Sao Paulo, Brazil. *Silvae Genet* 52:5-6.
- Steinsaltz D, Dahl A, Wachter KW 2020.** On negative heritability and negative estimates of heritability. *Genetics* 215:343-57.
- Sudrajat DJ, Siregar IZ, Siregar UJ, Nurhasybi, Siregar IZ, Siregar UJ, et al. 2016.** Intraspecific variation on early growth of *Neolamarckia cadamba* Miq. in provenance-progeny tests in west Java Province, Indonesia. *Biotropia* 23(1):10-20, doi: 10.11598/btb.2016.23.1.439.
- Taiwan Forest Bureau 2014.** Compilation about explanation of reforestation subsidy business. Taipei, Taiwan: Reforestation and Production Division, Taiwan Forest Bureau Press. 58 p. [in Chinese].
- Taiwan Forest Bureau. 2020.** The forth forest resource survey in Taiwan. Available at <https://www.forest.gov.tw/0002393>. [in Chinese].
- Tsai JB, Chung JD, Du CZ, Chiang YY, Yu HM, Chang S, Sun YH. 2020.** Primary growth of progeny test for *Acacia confusa* plus trees. In: Yu HM, Chung JD, editors. Proceedings of conservation and utilization of forest resources. Taipei, Taiwan: Taiwan For Series, Taiwan For Res Inst. 294:31-5. [in Chinese].
- Tsai JB, Chung JD, Yu HM, Sun MY, Tsai YS, Chen YH, et al. 2018.** Flowering and

fruiting of clonal seed orchards of *Acacia confusa*. In: Ho CK, Chen TH, editors. Proceedings of conservation and utilization of forest resources. 13-14 Sept 2018; Taipei, Taiwan: Taiwan For Res Inst. p 37-42. [in Chinese].

**Wang BSP, Chien C-T. 2016.** Seeds of the economically important trees in Taiwan. Taipei, Taiwan: Taiwan For Series, Taiwan For

Res Inst. 268:30-1.

**Wright JW. 1976.** Introduction to forest genetics. where?: Elsevier. p 239-52.

**Zhang H, Yang X, Yu M, Han Y, Wu T. 2017.** Variation in seed size and seed mass related to tree growth over 5 years for 23 provenances of *Quercus acutissima*. J For Res doi 10/1007/s11676-0375x.