

牛樟育種、繁殖與造林

◎林業試驗所育林組・何政坤 (ckho@tfri.gov.tw)、張淑華

牛樟(*Cinnamoum kanehirae* Hay.)為臺灣特有原生樹種，木材性質優異，為臺灣珍貴闊五木之一。近年因寄生於牛樟木頭的牛樟芝(*Androdia cinnamomea*)，經研究具有抗發炎、防癌、保肝等功效，價格昂貴，造成牛樟大量被盜伐。牛樟在日據時代(1927)調查臺灣西部森林資源，約有370千m³材積，1990林務局森林調查全台牛樟材積僅剩約33千m³。時隔20年因牛樟段木培養牛樟芝技術純熟，牛樟遭盜伐壓力越形嚴重，全台牛樟資源更岌岌可危。產業為永續經營牛樟芝資源，開始投入牛樟育苗造林，牛樟苗價也被炒高，供不應求。由於牛樟採種困難，目前苗木來源主要來自扦插育苗，估計種苗業界每年至少生產百萬株以上苗木。為了大量繁殖扦插苗，發根率高的營養系將被大量繁殖，造成大部分苗木來源的遺傳基因窄化，不良造林品質可以預期。

根據林試所10年來針對288個營養系檢定發根率與造林表現相比對，造林表現優良營養系發根率在80%以上者，僅佔8.5%(表1)，因此以發根率高的育苗導向，將使表現不良苗成為市場苗木來源。牛樟目前苗木主要來源，大多是來自林務局早期建立的採穗園育苗造林流出到民間的苗木，經過不斷以發根高的條件篩選，營養系數目相當有限，且這些營養系可能來自高海拔，可能造成民間造林不易成功的原因之一。適地適種為林業界奉為圭臬，但營養系不明的結果，除影響造林成敗，純系造林木的病蟲害風險增加外，近親交配種子的生產機率增加，近親花粉的傳播對未來牛樟遺傳資源的窄化及種子苗生產造林投入高度風險。

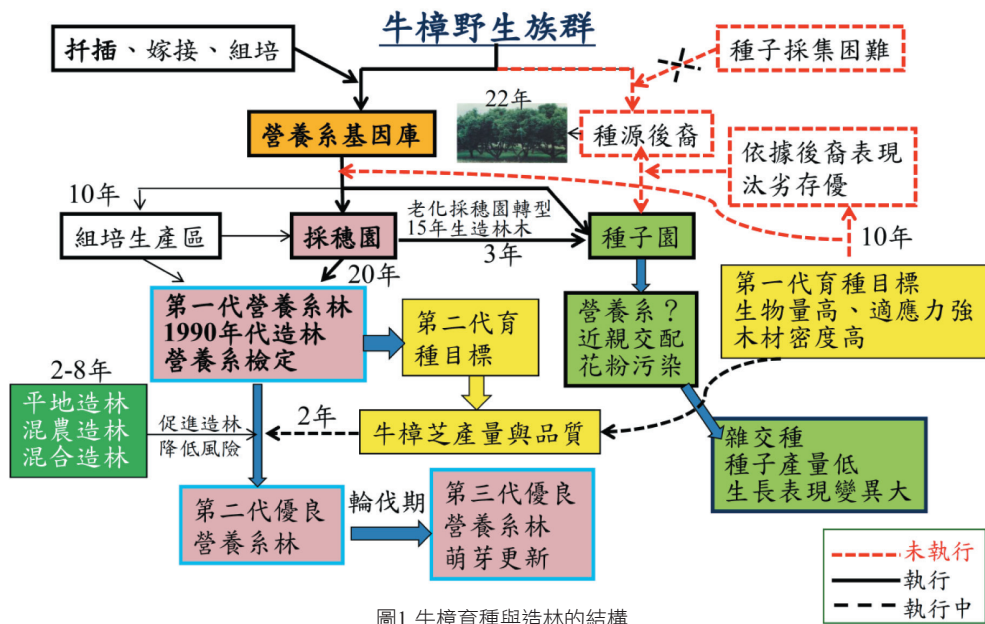
表1 林試所288營養系發根率與造林表現優異前10名之比較

發根級	發根率(%)	優良營養系數	分布率(%)
1	> 90	3	6.3
2	89~80	1	2.1
3	79~70	4	8.3
4	69~60	7	14.6
5	59~50	9	18.8
6	49~40	5	10.4
7	39~30	8	16.7
8	29~20	4	8.3
9	19~10	3	6.3
10	< 9	4	8.3
總數		48	100.0

牛樟育種與造林架構

一、牛樟遺傳資源與育種

牛樟遺傳資源的蒐集，經早期前輩如黃松根、高毓斌、黃瑞祥、林鴻忠先生等的努力，建立珍貴牛樟遺傳資源。這些牛樟遺傳資源的遺傳歧異度，經林讚標、黃士穎、鄭育斌、何國傑、郭大璋等(1997~2011)利用同功酶、粒腺體DNA、核基因等分析，均顯示林試所在六龜建立西部3族群與東部1族群的165個營養系的遺傳歧異度極高，也指出西北部之新竹苗栗族群及東南部花東族群為冰河期的避難中心，具有最高的遺傳歧異度，而東西二族群有遺傳分化的差異。這些基因庫的蒐集完成於20年前，營養系檢定造林則完成於12年前，其育種與造林架構如圖1。牛樟因採種困難，多數都利用牛樟伐採後之萌蘗芽條扦插繁殖保存下來，建立營養系基因庫後，再採穗繁殖建立採穗園，



部分的營養系因發根欠佳，最後以發根較佳的營養系所建立，欠佳的營養系則以組織培養繁殖培育苗木。營養系的檢定多建立在林業試驗所太麻里研究中心，小部分建立在六龜研究中心。營養系檢定經8至10年的調查，優良營養系的標準以成活率、材積高、比重高、與分叉少為選育標的。造林10年時，最佳營養系的年存活林木材積生長可達 $30 \text{ m}^3/\text{yr}$ ，優良的一般為 $15\text{-}20 \text{ m}^3/\text{yr}$ 。可生產樹幹生材重 $100\text{-}200 \text{ ton}$ ，對產業投資造林產生經濟誘因，目前產業寧可不申請造林補貼，以免受限於20年伐採的限制，同時造林地選在海拔 $200\text{-}500 \text{ m}$ 山坡農牧用地，尤其是低經濟產力的檳榔、果園與茶園，以作物方式經營，提高林木材積生長。

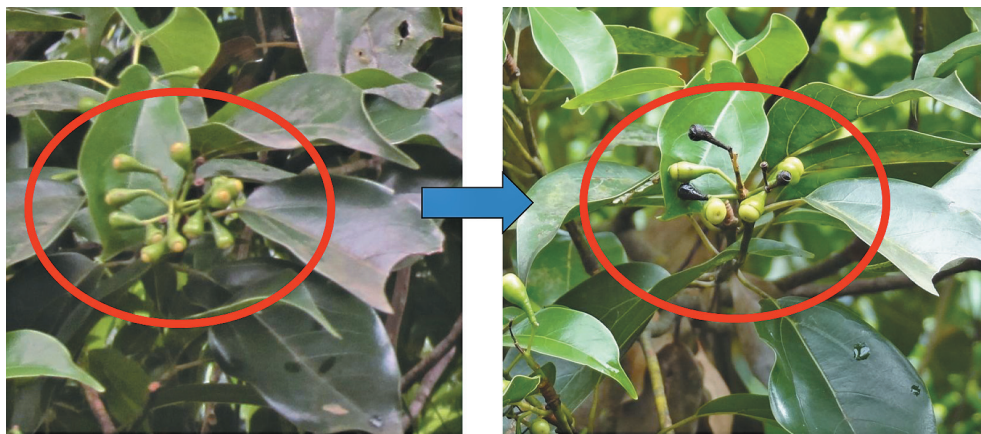
二、優良營養系選育

牛樟輪伐期與樟樹相同為30年，林木育種的選育多以 $1/3$ 輪伐期即可作為優良品

種的選育基準，因此造林10年後，第一代的優量營養系已大致確定，並可作為優良品種繁殖，進行第一代育種造林。林試所伐採部分優良品種，將段木提供進行牛樟芝生產評估，作為第二代適合生產牛樟芝品種的選育。伐採後優良品種根株萌芽條作為採穗，扦插育苗，作為各地區造林苗木的來源，以估算第一代育種造林的遺傳增益。

三、種子園的建立

雖然種子園建立困難，1980年林務局採集玉里林區原生50母樹枝穗嫁接在樟樹砧木，建立牛樟嫁接種子園，1993年生產種子培育種子苗，除在玉里造林外，分別提供林試所與國立中興大學。林試所將30個後裔種子苗栽植在扇平作為採穗園，經扦插育苗後以每後裔苗6株在太麻里造林，並與太麻里天然林31株母樹營養系苗作為對照，造林10年



101年4月17日

101年5月10日

圖2 落果觀察：受精2個月(左圖)和3個月(右圖；著果率40%)之著果情形(何政坤 攝)

後，結果玉里後裔苗優良營養系的生長表現優於從太麻里天然林母樹的優良營養系。雖然種子苗營養系造林存活率平均49%，並未比扦插苗的54%表現佳，但具有遺傳歧異度的後裔苗除有年輕化特性外，累加基因表現，使優良營養系表更突出。因此建立第一代選育優良營養系的種子園，其遺傳增益當可預期。但如營養系種子園的營養系不明或過少，將造成近親交配，例如八仙山由老化採穗園改建成種子園，2009與2010年有21與30株母樹大量開花，但飽滿種子僅807與1,036粒，培育出來的種子苗汰苗率約40%。林試所信賢苗圃17年生牛樟造林木開花率高，初期都可發育，但在5月與7月大量落果，果實的胚都發育不完全，可能都屬近親交配的胚敗育所致(圖2)。

建立牛樟健康育苗作業流程

牛樟木材的經濟誘因，使牛樟育苗業特別發達，多數牛樟育苗區多在低海拔區，病蟲害發生率高，且因大量育苗，苗圃各自買

入來源不明的培養土育苗。如果培養土含有褐根病等高危險性疫病，則容器苗將帶病到處傳播，對牛樟造林成為潛在威脅。目前林試所已經發展出重要土壤疫病之專一引子，可快速檢查土壤是否含有重要傳染疫病。另外牛樟扦插苗之母樹來源不明，原母樹的分布海拔及生長表現缺乏履歷，扦插苗的適應力不明，造林成功率風險高(圖3)。因此牛樟苗木不管來自種子、組織培養與扦插苗，原營養系在造林區的造林表現均應檢附，以減少造林風險。海拔高來源營養系，需要較高的冷激需求(chilling requirement)促進休眠芽的綻放，低溫不足將使該營養系春芽抽出延緩，生長勢衰弱。在低海拔造林需選育低需冷性的品種，否則造林生長不佳。因此牛樟營養系需有其造林表現履歷，以降低造林失敗率。

牛樟無性繁殖

目前牛樟無性繁殖主要有2種，最常用一種為扦插繁殖，是目前市場苗木來源的主

建立育苗SOP



圖3 建立育苗SOP(張淑華、吳孟玲、施欣慧 攝)

流，需要建立與經營採穗園，提供品質優良的穗條扦插育苗。另一種為組織培養，需要實驗設施，利用體胚與芽體增殖方式，生產年輕化苗木。

一、牛樟採穗園建立與經營

採穗園的建立首重營養系的履歷，同時營養系苗必須年輕化且生長旺盛的苗木組成，同時需每5至10年更新一次，以提供優良品質的扦插苗。採穗園的土壤養分需均衡，避免過多氮肥及不均衡的基肥，切忌養分不足。由於穗條都扦插在高溫濕與遮陰的環境發根，有利病原體與病蟲的滋生，因此採穗園的健康管理甚為重要，目前的穗條處理都

先浸泡殺菌劑，如能健康管理採穗園，此一步驟並不需要。牛樟採穗園從新植至大量採穗，在良好管理的苗圃地條件，約2~3年就可達到量產(圖4)，一般600株苗木，3年後可年產4萬支插穗。為了使採穗園的穗條生產供應鏈穩定，可規劃建立不同苗齡的採穗園，以穩定提供扦插苗齡整齊的扦插苗。目前林試所與林務局的牛樟採穗園苗齡都在10~20年生，苗齡老化，扦插苗的發根率都比新建時的發根率降低約一半，苗木也呈現明顯生長惰性，除生長緩慢外，苗木生長傾斜惰性也嚴重，造林存活率也偏低，採穗園的更新極為重要，尤其是更新營養系的履歷必須注意，以提供有履歷的營養系苗。

600株採穗園/1×1.5 m行株距

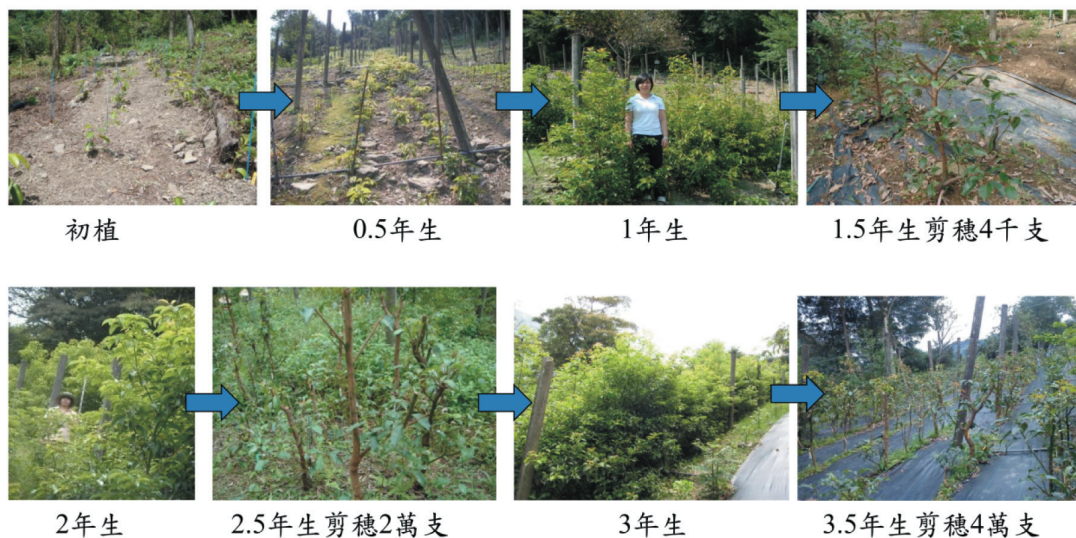


圖4 採穗園更新與經營管理(何政坤 攝)

二、牛樟扦插育苗

牛樟的採穗扦插模式各試驗機關、種苗業都有各自模式，穗條大致以5~15 cm的枝稍為主，扦插介質有泥炭土、蛭石、珍珠石、椰纖、岩棉等各有配方，扦插容器有穴植管、穴植盤、軟鉢、籃框等多樣化。扦插季節也因各地物候，一年四季都可扦插，扦插效率最高的大致在夏秋之際。此時牛樟枝葉成熟，芽苞正準備第二次抽芽。通常我們採取9月扦插，11月根系完整，將扦插於穴植盤或穴植管移植2吋軟鉢，為防止冬天休眠，在溫室內加裝光照，或將苗木移運至南方，使苗木繼續生長至30~40 cm高，隔年春天即可造林。如讓苗木進入冬眠，通常到4、5月，新芽才會抽出，苗木必須移植到5吋盆，多培育一年，苗高60~80 cm以上造林(圖5)。

牛樟扦插苗一般都有生長惰性，會隨穗條採取的部位及枝條的角度，扦插苗呈現傾斜生長及生長速率不一的現象。接近根部的直立穗條，生長惰性影響較小，樹冠部位直立枝條傾斜惰性小，生長勢較弱，若採取樹冠側枝，則傾斜與生長慢兼具(圖6)。此種生長惰性會隨採穗園苗齡的老化而增加，年輕的採穗園雖然扦插苗仍有惰性，但苗木的根基常會抽出生長快速的直立芽，取代傾斜苗幹(圖7)，從老化採穗園或天然母樹的扦插苗，直立芽發生時間較長，培育苗木的時間會延長，如造林則第一年的生長緩慢，必須增加除草撫育的成本，否則不易與雜草競爭而死亡。

牛樟組織培養苗

組織培養可用來保存不易發根的珍貴天然母樹及優良營養系，採集春季飽滿的芽苞，

育苗配合造林季節縮短育苗時間

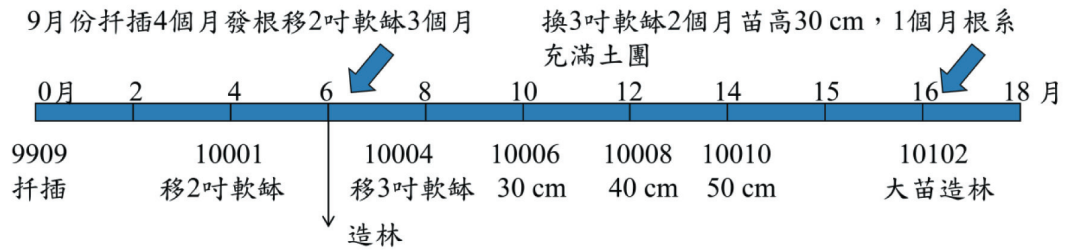


圖5 扦插苗木培育至造林流程(何政坤 攝)



10月生30-60度插穗(15 cm)與<30度插穗苗(40 cm)表現
 圖6 傾斜角度穗條對苗木生長影響(何政坤 攝)



天然林之3年生扦插苗 30公分高
 2年生採穗園之扦插苗 萌蘖芽從根基抽出比率高
 圖7 扦插苗的惰性及恢復能力(何政坤 攝)

經表面消毒後去除芽苞的外苞片，在含有生長激素的培養基增殖成多芽體，這些多芽體再移植到新培養基，大約每1.5月更換一次，平均每移植一次每個芽體都可在長出2-4個芽體，培養1年後，就會繁殖出數千個芽體，這些芽體移植到含有發根劑的培養基，約1個月幾乎

100%發根即可出栽。另一種繁殖法，則採集牛樟未成熟種子，誘導成體胚，每個體胚都可發育成一株苗(圖8)，效率比芽體培養高，但因種子變異大，培育出來的苗木須經田間檢定確認表現後，才適量產繁殖。此外牛樟與樟樹可能有雜交發生，因此從牛樟種子誘導的體胚，可能就培育出雜種牛樟出來。

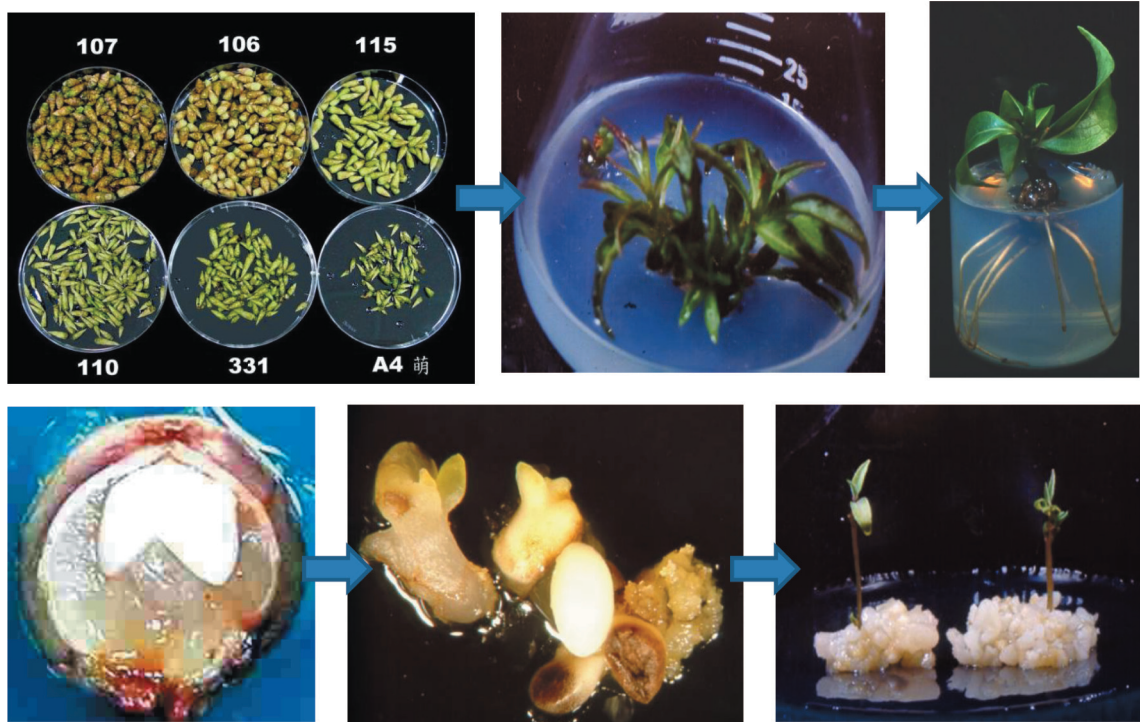


圖8 組織培養繁殖系統(張淑華 攝)



種子苗 組培苗 1年生採穗園扦插苗 20年生採穗園扦插苗

圖9 不同來源苗木根系比較(何政坤 攝)

目前因大部分扦插苗多來自10年以上樹齡的採穗園，生長表現與造林存活率都有衰退現象，種子苗與組培苗就成為許多產業希望的造林苗木。我們比較種子苗、組培苗、1年生與20年生採穗園扦插苗根系，種子苗與組培苗的根系中的細根多，而扦插苗都為粗根(圖9)，吸收水分與養分明顯不如前二者。

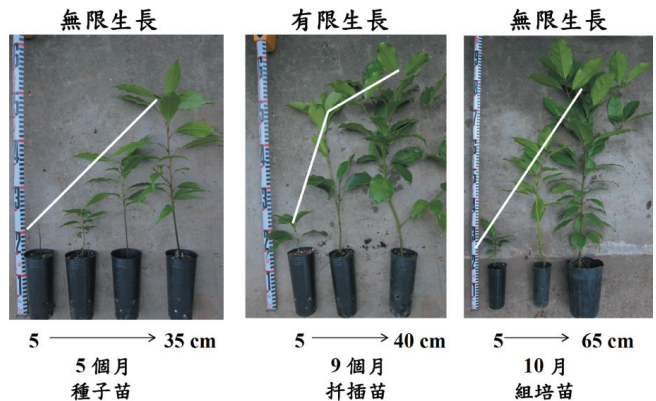


圖10 盆栽生長表現(何政坤 攝)

此3種苗木以軟鉢培養，種子苗與組培苗的頂芽生長呈現無限生長型，在初春培養1年中，頂芽不形成芽苞，一直抽芽生長。而扦插苗則呈有限生長，去年休眠芽苞抽芽生長完成後，頂芽形成芽苞後再抽芽生長(圖10)。無限行生長的種子苗生長呈線形生長模式，生長快速，而扦插苗呈二階段生長，生長會停滯1至2個月。如直接栽植在苗床上1年比較高生

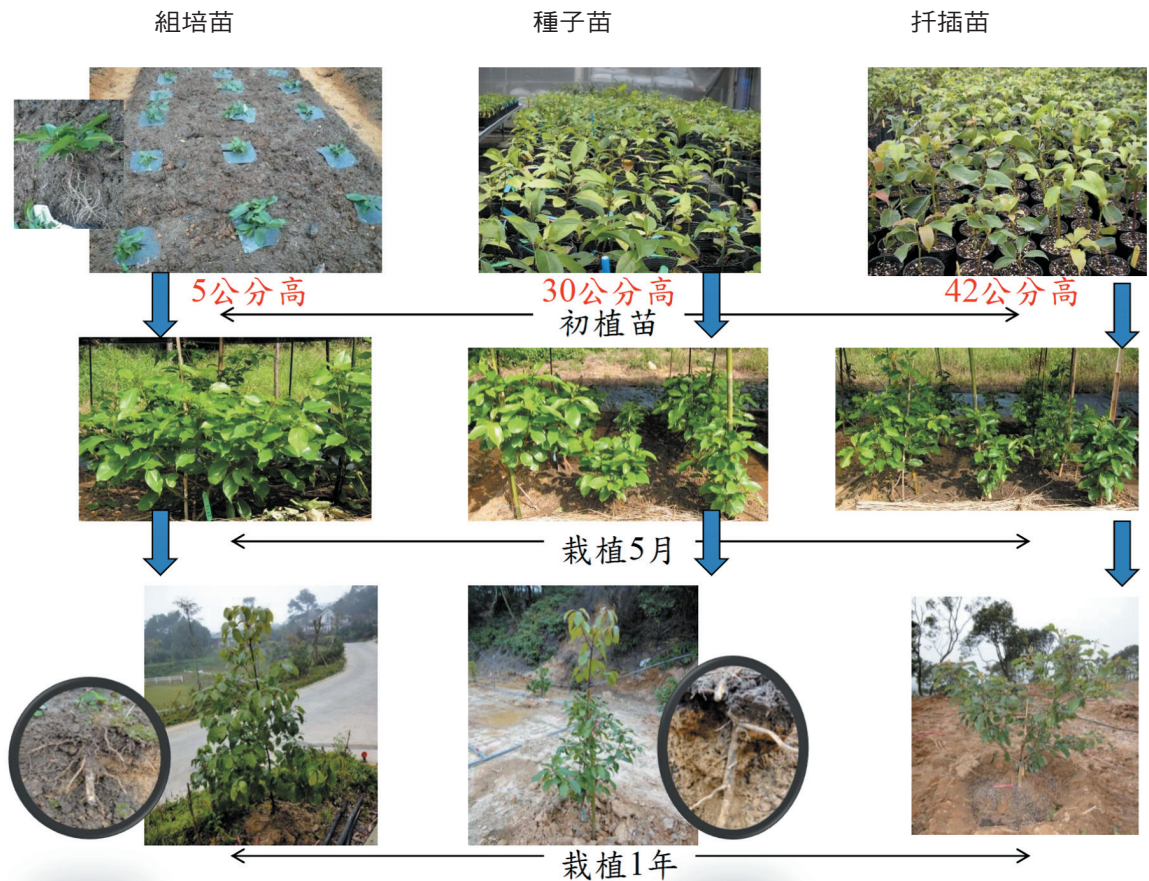


圖11 不同苗木來源苗圃生長1年比較(李明禹、何政坤 攝)

長，組培苗與扦插苗之苗高約160 cm，具有主根，而扦插苗約85 cm苗木缺乏主幹與主根(圖10)。如果組培苗的來源是經過檢定的優良品種，則可作為採穗園年輕苗木穗條的最佳母株。種子苗因變異大，則宜選取生長優勢苗木作為採穗園的母株。根據林務局提供玉里50個營養系組成種子園所生產的種子苗給林試所，林試所造林10年的生長調查顯示，此40個營養系年平均生長材積範圍為1-30 m³，變異極大，因此作為採穗園母株須慎選。

牛樟造林體系

早期牛樟造林：林試所在1992~2002年間，對牛樟造林曾進行115個牛樟營養系檢定、不同容器育苗造林試驗、牛樟與賽楠混合造林試驗、太麻里天然林營養系與玉里種子苗營養系苗造林試驗等，造林海拔多在800~1,000 m。累積的造林資料從5至16年生，共造林約16萬株，造林面積11.5 ha，造林存活率45~94%，年樹高生長55~88 cm，年胸徑生長1.1~1.7 cm。林務局在1991~1993年代曾



圖12 牛樟造林實例：A. 平地造林之屏東萬巒牛樟與檳榔混植1.4年生與泰和農場造林8年生(何政坤 攝)；B. 海拔200 m之古坑與瑞竹造林3年生(何政坤 攝)；C. 海拔500 m之坪林茶園混植牛樟1年生(陳芬蕙 攝)



圖13 泰和農場初春乾旱引起枯死及萬巒強降雨水淹苗木(何政坤、李明禹 攝)

大面積造林，目前仍持續小面積造林，總共造林約在14萬株，造林方式多與本土針闊葉樹種如臺灣杉、烏心石、臺灣檫、楓香、光蠟樹等混植，或在柳杉林行列疏伐帶栽植，栽植面積達196 ha，造林海拔在800~1,500 m，存活率12~50%，年樹高年生長41~125 cm，年胸徑生長0.64~1.8 cm (據林務局牛樟產業發展方案會議，2010)。依據許博行(1997)調查天然林的20年生平均數高生長40~50 cm與年胸徑生長1.3~1.5 cm，人工林高生長高於天然林，胸徑生長則相當。氣乾比重0.3-0.444則比天然林0.424~0.598低。

平地與淺山坡地造林：近年來配合產業積極建立牛樟人工林造林，牛樟造林地由原國有林海拔800~1500 m造林，下降到平地與山坡農牧用地0~500 m海拔的平地與山坡地造林。造林地選在低產力的檳榔園與茶園，平地造林為屏東萬巒與泰和農場，萬巒造林以檳榔林下造林存活率73%比伐除檳榔造林的54%高，樹高可達2 m(圖12A)。泰和農場造林8年，存活率47%，樹高5.4 m，胸徑13 cm (邱志明，2011)。海拔約200 m的古坑與瑞竹造林3年，最高樹高3 m，胸徑10 cm(圖12B)。海拔500 m之坪林造林1年生，樹高71 cm，存活率94%(圖12C)。平地與山坡地造林時間短，仍須長期觀察牛樟在平地與山坡地的造林潛力。

結論

牛樟與牛樟芝為臺灣特有之植物資源，因市場的需求使苗木、木材與牛樟菇體供不應求，市場價格居高不下。建立永續經營牛樟與牛樟芝產業，及保護牛樟天然資源，二者相關密切。牛樟的遺傳資源經前人努力，保存相當良好，經過10年的造林試驗顯示選育優良牛樟營養系，可提高造林存活與材積生長，10年生最佳營養系的年材積生長可達20 m²以上。唯早期試驗林都建在海拔800~1000 m林地，而產業經濟造林都選在平地與低海拔山坡地造林，牛樟適應力就備受考驗。目前平地造林時間最長的為屏東泰合農場，其年樹高與胸徑生長與早期造林表現最佳的人工林相當，存活率也相當，其死亡最大原因來自初春乾旱枯死(圖13左)，顯示生長季的降雨是牛樟淺山坡地造林的限制因子。在檳榔或茶園間植牛樟，有利牛樟存活率與初期苗木生長，萬巒地區這二年來因強降雨淹水1~2天(圖13右)，牛樟仍可存活，顯示牛樟的抗壓性。不過牛樟在山坡地造林面臨的病蟲害風險高，尤其是初春抽芽病蟲害嚴重，牛樟與檳榔與茶園混作，因農作集約經營定期施藥而降低，但大面積純林造林則風險增加，與闊葉樹混作以降低風險，是未來大面積造林必須考慮的方向。⊗