

行政院農業委員會林務局委託研究計畫 98-00-5-18

期末報告

光度對相思樹、烏心石及大葉楠苗木之碳水化合物累積及分配之影響

Effects of carbohydrate accumulation and allocation of the seedlings under
different light environment



主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行機構：國立中興大學

中華民國九十八年十二月

中文摘要

本試驗目的在於瞭解不同光度下的三種樹種之形質生長、光合作用與碳水化合物的分配情況。試驗結果顯示，所選用的烏心石、相思樹、大葉楠皆在全光下有最大的生物量累積，其中以相思樹有最大的生物量的累積，苗木生長二個月後，單株生物量約有 $1.23 \pm 0.67 \text{ g seedling}^{-1}$ 。而相思樹不論在哪一種光環境下，葉部的生物量都為最大，烏心石與大葉楠的根部生物量，則隨著光度的增加而增加。在光合作用的部份，光合作用的大小會隨著光度的增加而上升，相思樹的光合作用率大於大葉楠與烏心石，相思樹全光下光合作用可高達 $6.98 \pm 3.62 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，而相對光度 5% 的環境下僅剩 $1.33 \pm 0.75 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。可溶糖與澱粉的含量上，可發現到其含量會隨著光度的增加而有上升的趨勢，相思樹可溶糖含量在全光環境下是三個樹種之中最高的，可高達 294 mg g^{-1} ，顯示其高光合作用後快速累積生物量的特性。

【關鍵詞】 光度、形質生長、碳水化合物、相思樹、大葉楠、烏心石

英文摘要

In this study, we set *Acacia confuse*, *Michelia formosana*, and *Machilus thunbergii* seedlings on the artificial treatment shaded with the different relative light intensities (RLI) controlled to understand morphological growth, photosynthesis and carbohydrate. Results showed that seedlings have the biggest biomass accumulation under full light, especially, *Acacia confuse* up to 1.23 ± 0.67 g seedling⁻¹ after 2 months' growth. And *Acacia confuse* under which one kind of light environment, leaf biomass is the biggest. Root biomass of *Michelia formosana* and *Machilus thunbergii* increase along with relative light intensities. In photosynthesis part, photosynthesis rate increase along with relative light intensities. The photosynthesis rate of *Acacia confuse* reach as high as 6.98 ± 3.62 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, but under the RLI 5 % will only remain 1.33 ± 0.75 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. In term of soluble sugar and starch content, the results showed the content increase along with relative light intensities rises. *Acacia confuse* had the highest soluble sugar and starch content among three species under the full light, it reaches as high as 304 mg g⁻¹. The result demonstrates its fast accumulation biomass characteristic.

【Key word】 Light intensity, Morphological growth, Carbohydrate, *Acacia confuse*, *Michelia formosana*, *Machilus thunbergii*

目錄

中文摘要	1
英文摘要	2
目錄	3
表目錄	4
圖目錄	5
壹、前言	
一、研究緣起	7
二、研究目的	8
貳、前人研究	
一、光度與苗木的關係	8
二、碳水化合物的重要性	9
三、光度與植物的關係	10
參、材料與方法	
一、試驗樹種	12
二、試驗地點	15
三、試驗流程	15
四、試驗環境因子監測	19
五、形質生長之測定	19
六、碳水化合物的測定	22
肆、結果與討論	
一、形質生長	23
二、各個部位的生物量累積	26
三、葉部形態參數	30
四、光合作用	31
五、碳水化合物的測定	32
伍、結論	37
陸、參考文獻	37
附件一意見辦理情形表	41

表目次

表 1 三種樹種不同光度下的淨光合作用率

圖目次

- 圖 1 相思樹種子與苗木示意圖。
- 圖 2 烏心石種子與苗木示意圖。
- 圖 3 大葉楠種子與苗木示意圖。
- 圖 4 介質調配過程與栽培盆裝入介質的情況。
- 圖 5 試驗苗木移植與栽種。
- 圖 6 試驗溫室外觀與內部各種不同遮陰處理的小溫室。
- 圖 7 不同光度處理之環境示概況，圖 A 為全光處理，圖 B 為相對光度 5.06 % 處理。
- 圖 8 不同光度處理之環境示概況，圖 A 為相對光度 21.28 % 處理，圖 B 為相對光度 35.01 % 處理。
- 圖 9 苗木處理光度與分配位置。
- 圖 10 試驗流程圖。
- 圖 11 苗高與地徑的測定和紀錄。
- 圖 12 光合作用的測定情形。
- 圖 13 樣苗分割為根莖根、稱重、葉面積的測量。
- 圖 14 相思樹在不同光度環境下苗木的外觀形態。
- 圖 15 烏心石在不同光度環境下苗木的外觀形態。
- 圖 16 大葉楠在不同光度環境下苗木的外觀形態。
- 圖 17 相思樹、烏心石、大葉楠在全光環境下苗木的外觀形態。
- 圖 18 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)各別在不同光度處理下的單株生物量。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。
- 圖 19 烏心石、相思樹、大葉楠在四種光度處理下的單株生物量。使用最小顯著差異法，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。
- 圖 20 烏心石、相思樹、大葉楠在相對光度 100%(A)、35%(B)、21%(C)、5%(D)

下之根、莖、葉的乾重。各個光度使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 21 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度處理下的根重率 (RMR)、莖重率 (SMR) 與葉重率 (LMR)。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 22 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度處理下的根莖比。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 23 烏心石、相思樹、大葉楠不同光度下的比葉面積。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 24 烏心石、相思樹、大葉楠不同光度下的葉面積比。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 25 相思樹 (A)、烏心石 (B)、大葉楠 (C) 在不同光度下根、莖、葉的可溶糖含量。

圖 26 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度下根與葉的可溶糖含量。不同光度處理使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

圖 27 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度下根與葉的澱粉含量。不同光度處理使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P<0.05$)。

壹、前言

一、研究緣起

森林生態系中，光是為影響植物建立、分布、生長及存活的最主要環境因子，植物藉由太陽輻射提供能量的來源以進行光合作用，將光能轉換為化學能，以供生長之用。光合作用的進行，可固定碳大氣中的碳素，產出含有碳素的光合產物。

光度會直接地影響林木之生理作用，進而產生外表型態及內在生理上的變化（郭耀綸，2000；郭耀綸等，2004；朱珮綺、許博行；2005；鍾欣民，2008；Kozlowski *et al.*, 1991）。野外的森林，因其各自的各種環境因子的差異（光度、溫度、濕度、土壤、二氧化碳）而產生各種結構不同的森林（劉崇瑞、蘇鴻傑，1983；張安璫，1999）。隨著不同的冠層樹種組成，對光輻射有不同的吸收、截留、反射情況，使得林內的光環境有所不同。此外，在不同的季節，光輻射的照射情況也是不同的，所以生存在林內的植物需不斷的適整外表型態及內在生理以適應多變的環境。

不同時期出現的樹種對於光度的需求情況是不同的，從早期需光量較大的陽性樹種，到後期需光量較少的陰性與耐陰性樹種，森林的組成不斷的調整以增加其適應的能力。森林中孔隙的出現，使得該區域受到的陽光的直接照射，氣溫、土壤溫度、濕度等環境條件都產生了大幅度的改變，影響到林下原有的陰性樹種的生存（鄭鈞騰、郭耀綸，2004；尤國霖，2006；Niinemets, 1997；Ozanne, 2003）。所以，瞭解不同樹種小苗時期在不同光環境中的形態發育及生理情況，將有助於瞭解不同樹種適應環境的機制。

在適當的光度範圍之下，一般而言，陽性樹種光合作用速率會隨著光量的增加而遞增；陰性樹種只要照射到過量的光量，其光合作用的情況就會減弱，甚至會產生光抑制的現象；耐陰性樹種則可藉由較大部份的改變葉部構造型態，以適應不同的光照環境，但其生化代謝上的改變情況則不如陽性樹種的變化。苗木的生長發育與造林成果息息相關，若能了解苗木培育時對光度的需求，將有助其苗

木培育的成效。

二、研究目的

碳水化合物是為植物光合作用中極為重要的產物，然而目前國內光度相關研究較少探討植物體內碳水化合物的分配情況與其外觀形態上之關聯。因此，本研究選用三種不同耐陰能力之台灣原生樹種，即以相思樹 (*Acacia confusa*)、烏心石 (*Michelia formosana*)、大葉楠 (*Machilus kusanoi*) 之苗木為試驗對象，進行不同光度下，三種樹種之根、莖、葉所含的碳水化合物之分配調節與植物外觀型態關聯性之研究，作為苗木出栽時生長潛能的評估參考標準。

貳、前人研究

一、光度與苗木的關係

光合作用為植物將光能合成有機物累積生物量，發揮其碳收存與初級生產力功能的過程，而影響的環境因子除了大環境的緯度、高度、氣候因子外，還包含光、二氧化碳濃度、溫度、濕度等這些微環境因子的影響，而在這麼多的影響因子當中，又以光度對植物光合作用的影響最為重要。

光量的增加，一般來說，對於植物的光合作用都有增益的功能，但照射的光量若大於植物的光飽和點，光量對光合作用率的影響則會減退，甚至使植物產生光抑制現象 (郭耀綸, 2000)。而在林木冠層中，由於上層冠層對下層冠層的遮蔽，造成林分下層光量比上層冠層還少 (游啟皓等, 2003)。

由於內在生理機制的不同，耐陰性樹種及非耐陰性樹種都有其適宜的光量範圍，對於耐陰性樹種而言，其光飽和點比較低，而非耐陰性樹種則比較高，可以隨著受光量的增加來增加其光合作用的速率。郭耀綸 (2000) 針對南仁山地區白榕冠層光合作用的研究發現，白榕在光量未達 $1000 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的時候，光合作用率會隨著光量的增加而增加；光量在 $1000 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 到 $1600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之間的時候，光合作用率則不受光量的影響，幾乎維持在一個定值；光量在超過 1600

$\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之後，若處在高溫環境下，光合作用率會出現受抑制的現象（郭耀綸，2000；謝桂禎等，2003；Turnbull *et al.*, 2003）。

光質的不同，對林木的生長有著相當的影響。林木生存所需吸收的波段，多半落在波長為 400-700 nm 的範圍之內，不同波段的光對林木生長也會帶來不同的影響（Taiz *et al.*, 2002；柯勇，2002）。例如：紅光波段對於醣類化合物的合成、藍光對於蛋白質利用的影響，此外，橙紅光與紫藍光波段，對林木早期生長有促進的效果，紅光可持續性的促進，藍光則在後期才會顯現其促進功效。黃光與綠光波段則較少被林木生長利用。其次，自然環境中太陽輻射穿越冠層時，因為葉部對紅光與遠紅外光吸收能力的不同，會造成林內 R/FR 比值的變動，進而造成林木形態的改變。在低光度環境，較低的 R/FR 會造成苗木地徑、乾重累積降低，以及降低部份樹種之苗木生長（李志王民，2002；李金梅，2003）。

二、碳水化合物的重要性

有機質多半是由碳、氫、氧所組成。植物體內的碳，是來自於吸收大氣中的二氧化碳，再經暗反應使二氧化碳還原成醣提供植物生長利用。大部份的碳被用來構成植物組織的骨架（如纖維素、半纖維素與木質素），而另外碳的功能也包括用來進行養分的運輸、貯存之用（如澱粉、各種醣類）。

植物體內含有的碳水化合物，有三種類型，即為單醣（monosaccharides）、雙醣（disaccharides）以及多醣（polysaccharides）（Taiz *et al.*, 2002；柯勇，2002）。單醣類有三碳醣（triose）、四碳醣（tetrose）、五碳醣（pentose）與六碳醣（hexose）。其中三碳醣包含呼吸作用的中間物質二羥丙酮磷酸（dihydroxyacetone）以及 D-甘油醛 3-磷酸（D-glyceraldehyde 3-phosphate），四碳醣含有芳香族化合物，五碳醣則含有決定遺傳物質的去氧核糖核酸以及核苷酸，六碳醣則有常見的葡萄糖（glucose）、半乳糖（galactose）以及甘露糖（mannose），皆為光合作用和呼吸作用當中重要的中間產物。雙醣類則是以蔗糖（sucrose）、麥芽糖（maltose）和蜜糖（raffinose）較為重要，蔗糖是多數植物體內重要的碳水化合物運送形態，

也與澱粉相同是為碳水化合物的貯藏形式。多醣類以澱粉 (starch) 和纖維素 (cellulose) 為主，澱粉是植物體內碳水化合物重要的貯存形態，纖維素則是植物細胞壁的重要組成成分 (康家韶，2008；鍾欣民，2008；柯勇，2002)。

此外，按照碳水化合物功能性的不同可區分為結構性碳 (structural carbon) 及非結構性碳 (non-structural carbon)。結構性碳是構成細胞壁的成分，以高分子多醣體形式的纖維素、半纖維素及木質素 (lignin) 等為主；非結構性碳則包含各種小分子醣類 (康家韶，2008；鍾欣民，2008；柯勇，2002)。植物碳量合成情況，即為其進行光合作用，進行碳捕捉的能力，可作為對於一地區淨初級生產力 (net primary productive) 大小評估的重要指標 (劉崇瑞、蘇鴻傑，1983；康家韶，2008)。森林樹冠層的碳分配受光適應機制的影響，冠層高度若是越高，即相對光度也越高，此時冠層之非結構性碳含量也會出現增高的現象 (Niinemets, 1997；康家韶，2008)。

三、光度與植物的關係

環境中有效光量的改變可對植物型態及生長情況產生改變，而植體內的光合作用的能力也會隨著光量的變動而有所調整，以適應環境，提高碳收穫量，維持生存與生長。不同的植物因遺傳物質的差異，對於光量的馴化範圍也有所不同，林木的最適光量會隨著不同的樹種、樹齡、生育地環境及育苗方式 (扦插、嫁接或播種) 而有所差異。一般而言，耐陰性樹種在苗木階段略為遮陰可達其最佳生長狀態，而非耐陰性樹種在高光量環境下則有較佳的樹高生長 (黃進輝，1994)。Myers and Kiyajima (2007) 的研究指出，耐陰性樹種移至低光環境生長，其生物量與葉面積所受的影響會比較小。

光度的變化在自然環境中是無所不在的，因此可說所有的植物都曾經歷過不同程度的遮陰。光度對植物具有直接或間接的影響，光合作用即是光度對植物直接的影響，間接影響的部份，則是光度透過光合作用來進一步的影響到植物的生長和發育，上述的這兩種改變的結果，皆是經由立即的代謝反應與細微的型態改

變發生所造成的 (Valladares and Niinemets, 2008; 郭耀綸等, 2004)。就同一個樹種來說, 生長在遮陰環境中的苗木能透過外觀型態改變, 以適應低光環境, 其中最明顯的就是生物量累積和分配上的改變, 而在高光環境下, 苗木的生物量累積, 會傾向於累積在地下部, 相反地, 在遮陰的弱光環境下, 苗木生物量會傾向於累積在莖和葉的比例會較根部來的多, 以致於地上部的生物量分配比例增加 (Niels and Tadaki, 1998)。郭耀綸等 (2004) 將牛樟 (*Cinnamomum kanehirae*) 扦插苗栽植於林冠下方, 孔隙 (gap)、65 %、35 %、10 % 相對光度, 在此五種光度處理下栽植九個月後, 結果發現牛樟扦插苗在相對光度 65 %、35 %、10 % 處理時, 生物量的累積差異雖未達顯著水準, 但是仍有隨光度增加而累積量逐漸增加的趨勢, 同時此研究也發現, 牛樟扦插苗在不同光度處理下, 生物量的分配有很大的差異, 高光度顯著促進根系生物量的累積, 低光度則促進莖部及葉部生物量的累積, 此結果顯示, 強光下植物投入更多的資源在根系的生長, 以滿足較高的光飽和點、淨同化速率以及較為快速的葉片更新所帶來的高水分蒸散損失, 相對於低光下生長的苗木, 將資源分配於葉片則有助於提高光能捕捉的能力。

光合作用情況的改變, 可能會造成碳水化合物在不同部位累積分配的差異, 就同一品系的植物而言, 生長在遮陰的弱光環境下, 澱粉與可溶性醣類的含量會有下降的趨勢, Veneklaas and Ouden (2005) 種植白榕 (*Ficus benjamina*) 與細葉榕 (*Ficus binnendijkii*) 於全光與 5 % 相對光度的遮陰處理 30 日, 以 3、7、15 天為取樣日進行化學分析, 該研究結果表示, 白榕與細葉榕在二種光度處理後, 表現一致, 從第一次取樣開始, 栽植於全光下的苗木, 葉片與莖部的可溶性醣類與澱粉皆高於遮陰處理的試驗苗木, 尤其在第一、二次的取樣, 差異較為顯著, 但最後一次結果則顯示, 二者差異未達到顯著水準, 造成此結果的過程可能為:

- (1) 光度降低後, 光合作用速率低於光補償點, 但呼吸作用仍維持高光環境的速率, 以致於碳平衡呈現負值;
- (2) 大量使用貯藏的碳, 以滿足對碳的需求;
- (3) 暗呼吸速率下降, 光合作用上升, 導致碳平衡受到影響;
- (4) 造成較低的生長速率以及較少的總碳水化合物含量。

Tian *et al.* (2006) 將二種不同品系的稻米栽植

於全光與遮陰的環境下 9 個星期，每三天量測並收穫一次，其研究結果顯示，每次取樣時，全光處理的植株，葉片中的澱粉與蔗糖含量皆高於遮陰處理生長的稻米，這可能是因為光度降低造成澱粉合成酶活性下降，並同時影響澱粉合成其他途徑的酵素活性，以致於使得澱粉累積量降低。

參、材料與方法

一、試驗材料

本次試驗選用的樹種為台灣原生的相思樹 (*Acacia confusa*)、烏心石 (*Michelia formosana*)、大葉楠 (*Machilus thunbergii*) 苗木，其中烏心石苗木取得來源為苗栗南庄之私人苗圃；大葉楠與相思樹則取自嘉義中埔。茲將試驗選用的 3 個樹種型態特徵簡介 (劉業經等，1994)：

1. 相思樹 (*Acacia confusa*)

葉：幼樹具二回羽狀複葉，成樹由葉柄演化成假葉，葉互生，披針形呈鐮刀狀彎曲，全緣，革質，平行脈。

花：頭狀花序金黃色的球形小花在 5、6 月間盛開，生於葉腋，花萼鐘形，花瓣 4 片，雄蕊多數。

果：莢果深褐色，表面平滑，約手指長，內藏種子 5~8 粒。

特徵：相思樹有相當發達的根系，又具有耐風抗旱、適應貧瘠地，是為綠化荒山、保水固土的優良樹種。

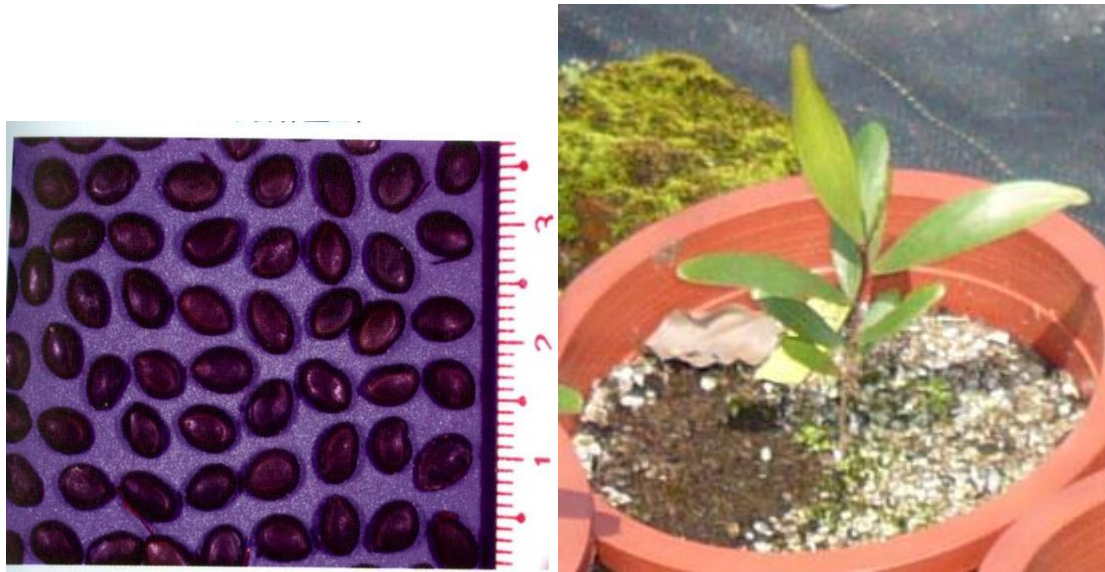


圖 1 相思樹種子與苗木示意圖。

2. 烏心石 (*Michelia formosana*)

葉：單葉互生，葉薄革質或革質，披針形至長橢圓形，表面光滑深綠色，背面略帶粉白，葉芽由托葉所包覆，托葉密佈茶褐色絹毛，葉全緣，長 8~10 公分。

花：花單一腋生，花瓣與花萼不分，統稱花被片，約 9~12 枚，淡黃白色，雄蕊與心皮多數而離生，呈螺旋狀排列，有香味。

果：果實穗狀著生，成熟時形成分離的蓇葖果，種子具有桃紅色的種皮，果皮有白色斑點，內含紅色種子。

特徵：烏心石為常綠喬木，具有良好抗病蟲害能力之優良樹種。材質十分優良，屬台灣闊葉樹一級木。



圖 2 烏心石種子與苗木示意圖。

3. 大葉楠 (*Machilus kusanoi*)

葉：葉大，長橢圓倒披針形，先端尖，全緣，葉緣稍呈波浪狀，互生，革質，多著生枝端，春天發芽時具有多枚淡紅色苞片，新葉淡紫綠色，老葉濃綠色。長 14-22 公分，寬 3-6 公分。

花：花被細小，無萼瓣之分。

果：果實為核果，球形，徑約 1 公分，成熟為紫黑色，基部宿存花被反捲。

特徵：常綠大喬木，樹皮灰白色，有暗紅色斑點，生長速度較快。

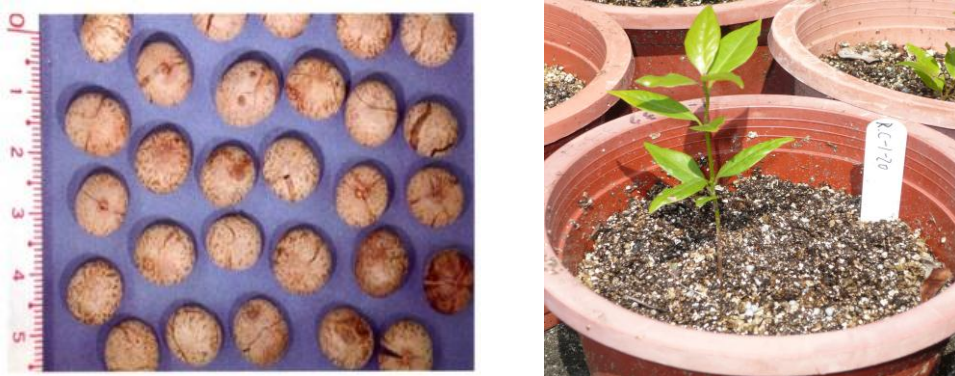


圖 3 大葉楠種子與苗木示意圖。

二、試驗地點

試驗選用之 3 種樹種苗木以蛭石：泥炭土=1：1 (v/v) 為介質，植於容量 8.7L 的栽培盆之中（上徑 25 cm，底徑 20 cm，高 23.5 cm），放置於林業試驗所六龜研究中心苗圃培育。試驗初期，每盆苗木皆添加 10 g 的緩效性肥料仙肥丹（多寶佳 180 日型，NPK 14-12-14）。並於培育數日後，選擇形質相近之苗木，放入 4 種不同光度處理的環境當中。



圖 4 介質調配過程與栽培盆裝入介質的情況。



圖 5 試驗苗木移植與栽種。

三、試驗流程

不同光度處理係採人工遮陰，以 3M 黑色塑膠布分別設置於網架上，控制網架內的相對光度。其光度分別為相對光度 5%、21%、35% 及全光（100%），而實際值以實測一日之有效光量（PPDF, photosynthetic photo flux density）為準。



圖 6 試驗溫室外觀與內部各種不同遮陰處理的小溫室。



圖 7 不同光度處理之環境示概況，圖 A 為全光處理，圖 B 為相對光度 5% 處理。



圖 8 不同光度處理之環境示概況，圖 A 為相對光度 21% 處理，圖 B 為相對光度 35 % 處理。

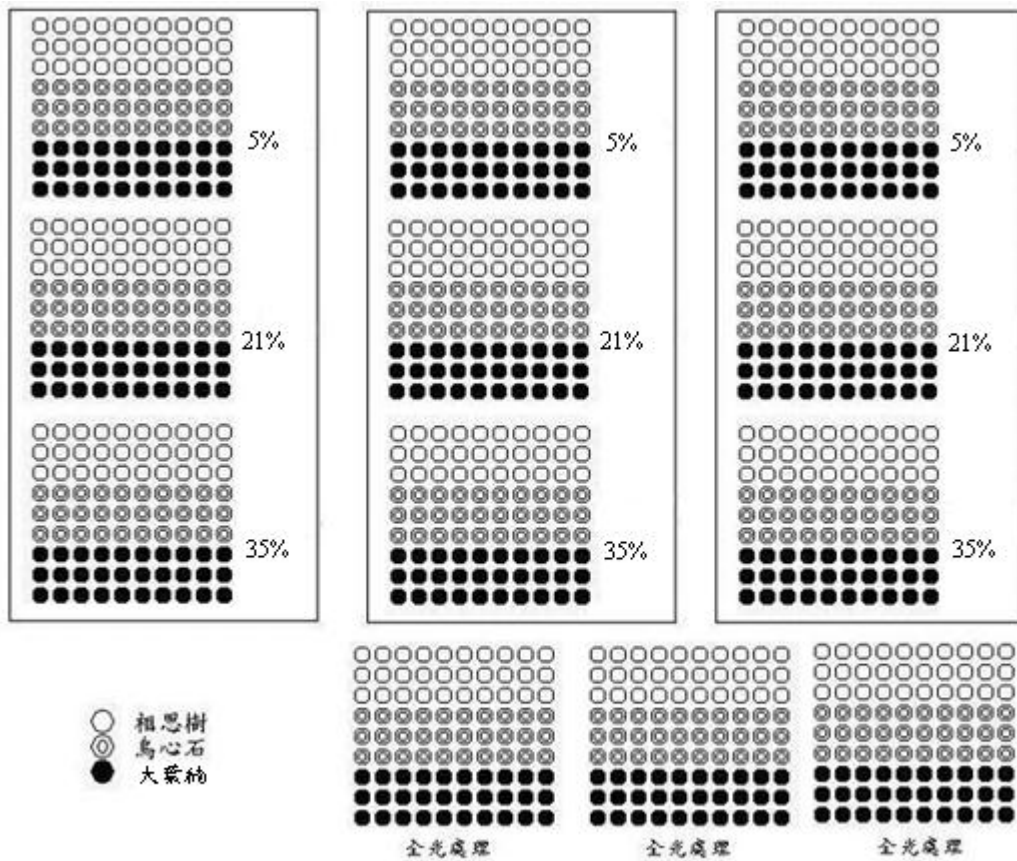


圖 9 苗木處理光度與分配位置。

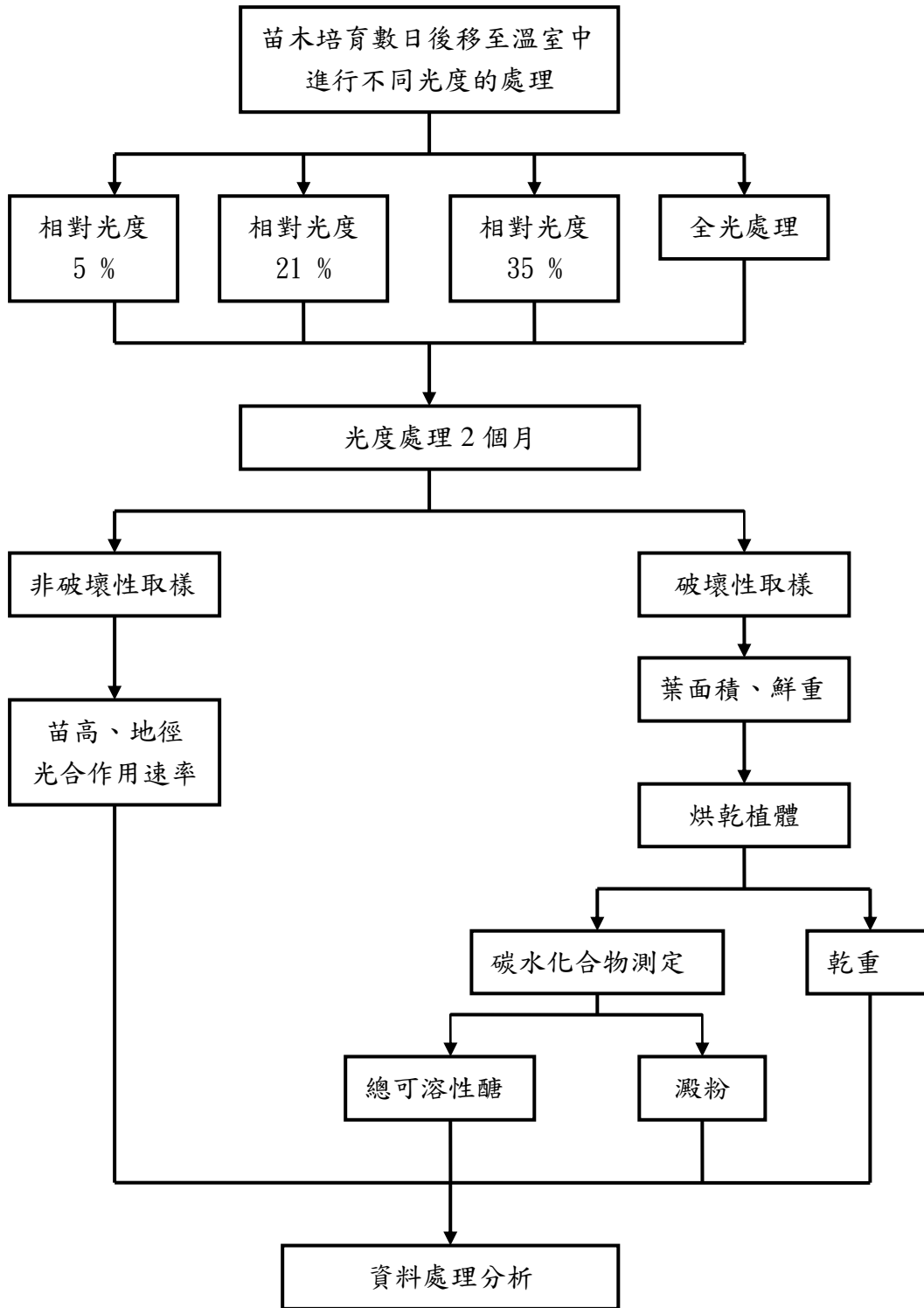


圖 10 試驗流程圖。

四、試驗環境因子的監測

此 4 種遮蔭環境的實際光量值之測定，係以選擇一日天氣晴朗無雲，於上午 8:00 至下午 16:00，每隔兩小時以光量計於 4 種不同光度處理之環境中測定。

五、形質生長之測定

1. 取樣調查

試驗開始時立即調查所有試驗苗木之苗高與地際直徑，後每二個月進行取樣。各個不同的光度處理皆分別設有進行測定苗木生長情況的非破壞性取樣組，以及進行後續碳水化合物分析使用的破壞性取樣組。前者每次皆進行苗高、地際直徑與淨光合作用率的測定，後者則是測定完取樣苗木的苗高與地際直徑後，即進行破壞性取樣以供後續碳水化合物分析使用。

2. 苗高與地際直徑的測定

每二個月進行一次非破壞性取樣組的苗高與地際直徑測定



圖11 苗高與地徑的測定和紀錄。

3. 苗木光合作用測定

苗木光合作用的測定係以攜帶式光合作用儀（LCi portable photosynthesis system, ADC）來進行，將測定不同樹種葉片的淨光合作用速率。光合參數的測定天氣是以晴朗無雲的好天氣來進行。

儀器測定的操作方法如下所述：選擇欲進行測定之苗木，避開過老或未成熟之葉片，而以合適的葉片夾入儀器之樣本室（chamber）中，開始進行氣體交換的測量。必須等待儀器暖機完畢穩定，直到二氧化碳固定率（CO₂ assimilation rate, A）讀值穩定，才可進行測量。測量時間應為林木生理活動時間，故測定時間是由上午9點至下午3點。



圖12 光合作用的測定情形。

4. 葉面積與生物量之測定

每一光度處理的一重複中選取6株樣苗，以水洗淨後擦拭乾淨，再將樣苗切分為根、莖、葉三部分。先用葉面積儀（LI-3000A, LI-COR）測定葉部之葉面積，而後測量其各部位鮮重。然後再將樣苗置於70°C的烘箱中烘至恆重，以得各部位之乾重。



圖13 樣苗分割為根莖根、稱重、葉面積的測量。

測得不同部位之生物量可進行以下各個形質生長參數的計算：比葉重（Leaf mass area, LMA）、葉重率（Leaf mass ratio, LMR）、莖重率（Stem mass ratio, SMR）、根重率（Root mass ratio, RMR）、根莖比（R/S）、比葉面積（Specific leaf area, SLA）、葉面積比（Leaf area ratio, LAR），計算方式如下：

$$\text{LMR} = \text{總葉片乾重} / \text{全株乾重}$$

SMR = 莖乾重/全株乾重

RMR = 根乾重/全株乾重

R/S = 地下部乾重/地上部乾重

SLA = 葉面積/葉部乾重

LAR = 葉面積/全株乾重

六、碳水化合物的測定

1. 可溶糖測定

可溶糖這個部份的測定方式是參考Dubois *et al.* (1956) 與Smith (1969) 的萃取和呈色方法。萃取步驟如下：先將乾燥植體磨成粉末後過篩，秤取0.2 g植體粉末於試管內，加入7 ml的去離子水震盪均勻，後放入80~85°C的熱水浴30分鐘，再以3000 rpm離心13分鐘，取上述澄清液置入100 ml之定量瓶中，重複上述萃取步驟2次後定量至100 ml，即完成可溶糖的萃取。

可溶糖濃度測定之前，需製作一組 R square 大於0.995的標準曲線，先利用葡萄糖 (glucose) 配置100 ppm的標準溶液，再依序稀釋為10 ppm、20 ppm、30 ppm、40 ppm、50 ppm和60 ppm，以此製作標準曲線。可溶糖濃度測定的部份如下所述：取可溶糖萃取液1 ml，將其加入5 ml之濃硫酸，再加入0.5 ml的 9% 苯酚 (phenol) 混合均勻，呈色5分鐘後，便可以分光光度計測定波長為485 nm之吸光值，即可得植物體可溶糖之濃度。

2. 澱粉的測定

可溶糖萃取後的沉澱物氣乾後，加入 1.4 ml、9.2 N 的過氯酸，震盪使沉澱物打散，萃取 15 分鐘後加入 5 ml 的去離子水，混合均勻後，以 3000 rpm 離心 13 分鐘，並取其澄清液置於 100 ml 的定量瓶，再重複進行二次上述的萃取動作。第二次萃取以 1.4 ml 之 4.6 N 過氯酸萃取 15 分鐘，以相同步驟得其澄清液置於之前定量瓶中。第三次萃取以 2 ml 之 0.46 N 過氯酸萃取 15 分鐘，以相同步驟得

其澄清液置於之前 100 ml 定量瓶中，並定量到 100 ml。澱粉的測定的部份，拿取萃取液 2 ml，加入 5 ml 之濃硫酸震盪均勻，再將之與 0.5 ml、9 % 之苯酚混合均勻，混合均勻後呈色 5 分鐘，最後以分光光度計測定波長為 485 nm 之吸光值，即可得植物體澱粉之濃度。

肆、結果與討論

一、形質生長

本次試驗所取用的三種苗木，相思樹、烏心石、大葉楠，其樹種之特性各分別為非耐陰性、耐陰性、陰性樹種。在經過不同光度處理後的結果顯示，苗木的平均生物量，以相思樹苗木為最大，大葉楠次之，而烏心石為最小，顯示陽性樹種生長快速的特性。而各個樹種在不同的光度環境之中，其生物量的分配都大致呈現隨著光量的增加而有增加的趨勢，各個樹種亦皆在全光環境下具有最大的生物量，而在相對光度為 5 % 的環境下則是最少。

外觀形態部份，3 種樹種彼此間或是單一樹種在不同光度處理之下，皆尚無太大的差異，並未出現苗高在黑暗環境中，會有徒長而增加苗高的現象(李金梅，2003；李志王民，2002)，推測這應該與光度處理的時間有關係。



圖 14 相思樹在不同光度環境下苗木的外觀形態。

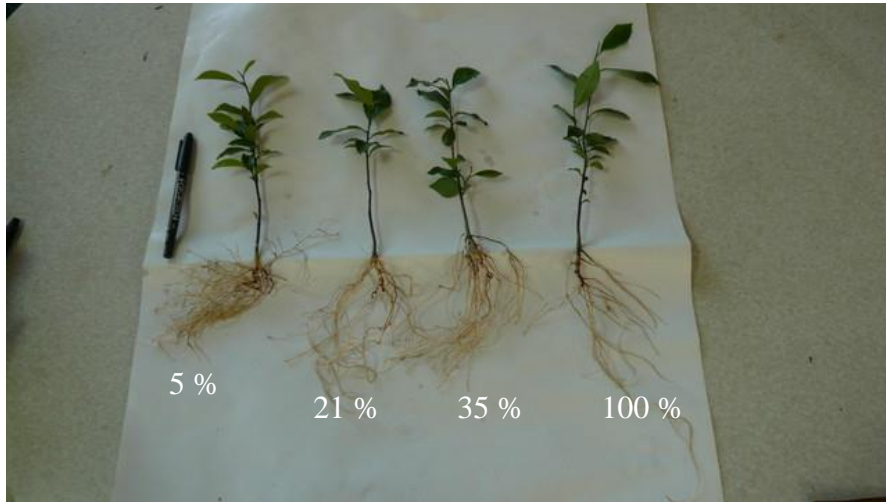


圖 15 烏心石在不同光度環境下苗木的外觀形態。



圖 16 大葉楠在不同光度環境下苗木的外觀形態。



圖 17 相思樹、烏心石、大葉楠在全光環境下苗木的外觀形態。

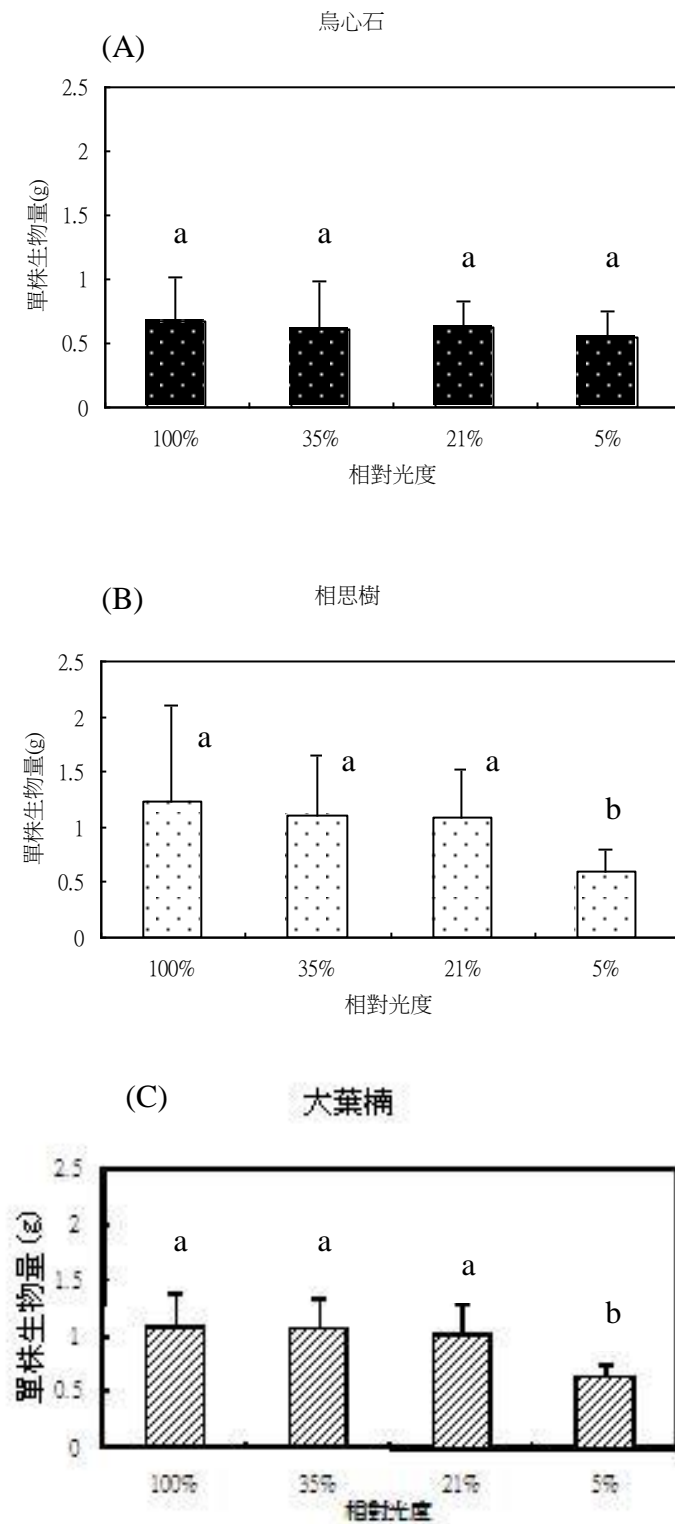


圖 18 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)各別在不同光度處理下的單株生物量。

使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著(P<0.05)。

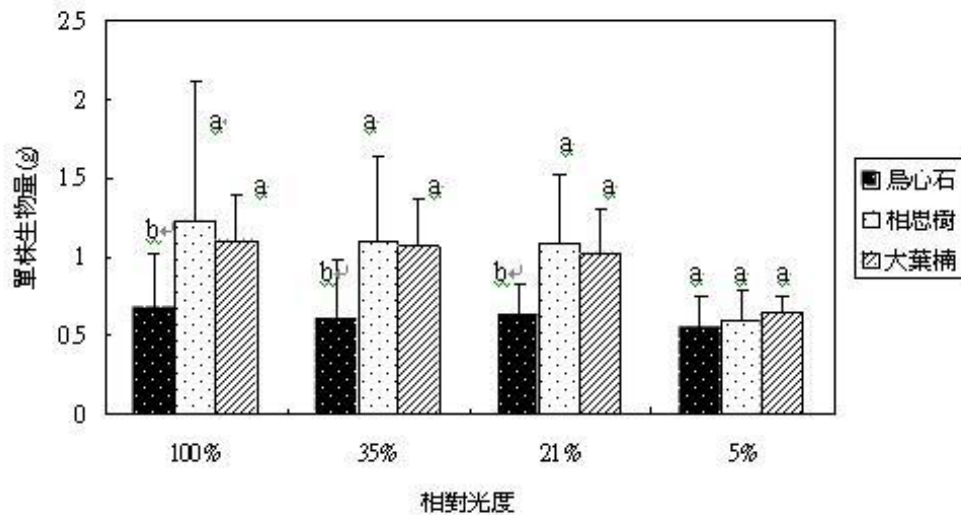


圖 19 烏心石、相思樹、大葉楠在四種不同處理下的單株生物量。使用最小顯著差異法，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。

二、各個部位的生物量累積

在生物量累積的部份，本次試驗三種樹種的莖重率 (SMR) 最小，即苗木莖部的生物量都是所佔比例最少，而葉部明顯較多，在相思樹的部份能夠清楚地觀察到這個現象，顯示此種樹種在不同的光度環境之下，皆以葉部生物量的累積為最重要，其中相思樹在葉部的生物量投資最多 (張安邦等，2000)，如此可以維持其較高的光合作用率和高生長量累積有關係，這個現象與相思樹屬於陽性樹種有很大的關係。而烏心石的葉重率 (LMR) 與根重率 (RMR) 差不多，根部的生物量佔全株的比例相當的高，顯示可適應於強光與弱光的耐陰性樹種除了將光合產物分配於葉片外，也會分配一定生物量到地下部，以幫助植株對養分的吸收。陽性樹種具有較高的光合作用潛力與生長迅速的特性，因此通常具有較大的地上部生物量累積，反之耐陰性樹種則會傾向累積地下部的生物量累積，以能夠充分的吸收到養分 (尤國霖，2006；李淑貞、郭耀綸，1998；郭耀綸、陳佐治、鄭鈞騰，2004；柯勇，2002；Taiz, 2002；Poorter, 2001)。

苗木根莖比的數值，可用來作為瞭解苗木將光合產物累積在地下部的根部生長情形，本研究的結果發現三種樹種在全光下的根莖比皆為最小，顯示在高光量

的環境下，此三種樹種會對根部的生物量有較大的投資，因生長在高光量的環境下，植物進行光合作用所需要的光量已不再是限制因子，因此生活在高光的同時，植物會將較多的生物量分配到地下部以幫助根部對養分的吸收和抵抗高蒸散環境下的水分逆境（陳凌雲，2008；張安邦等，2000；陳忠義，2007）。

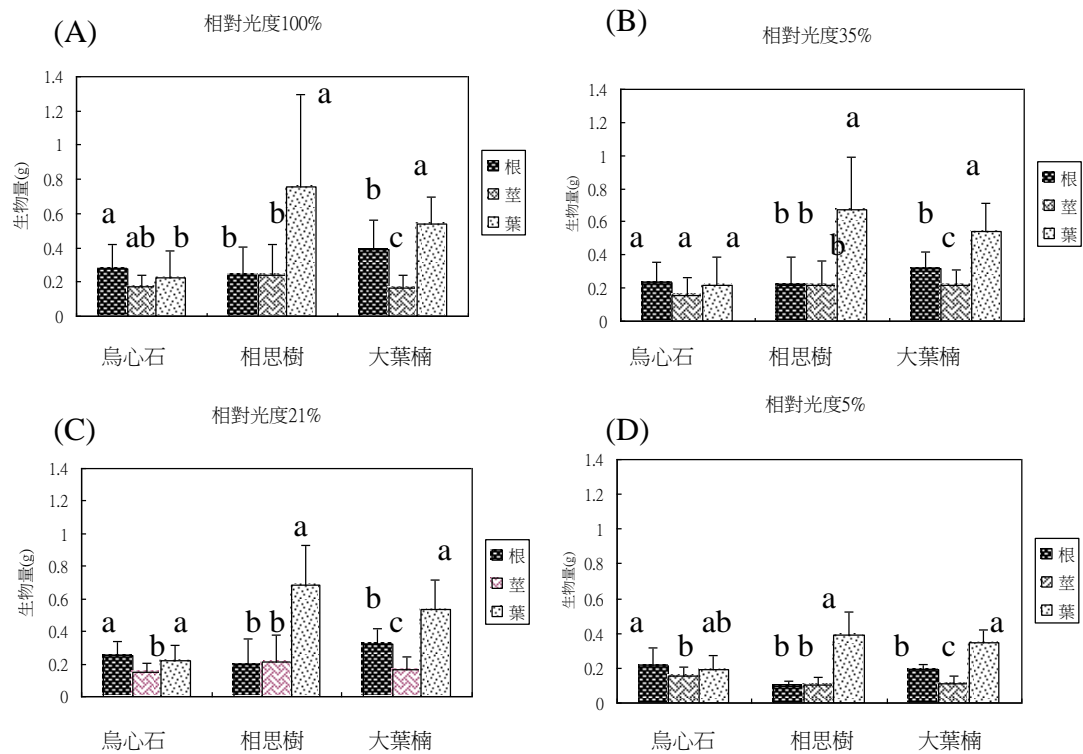


圖 20 烏心石、相思樹、大葉楠在相對光度 100%(A)、35%(B)、21%(C)、5%(D) 下之根、莖、葉各別之乾重。各個光度使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著(P<0.05)。

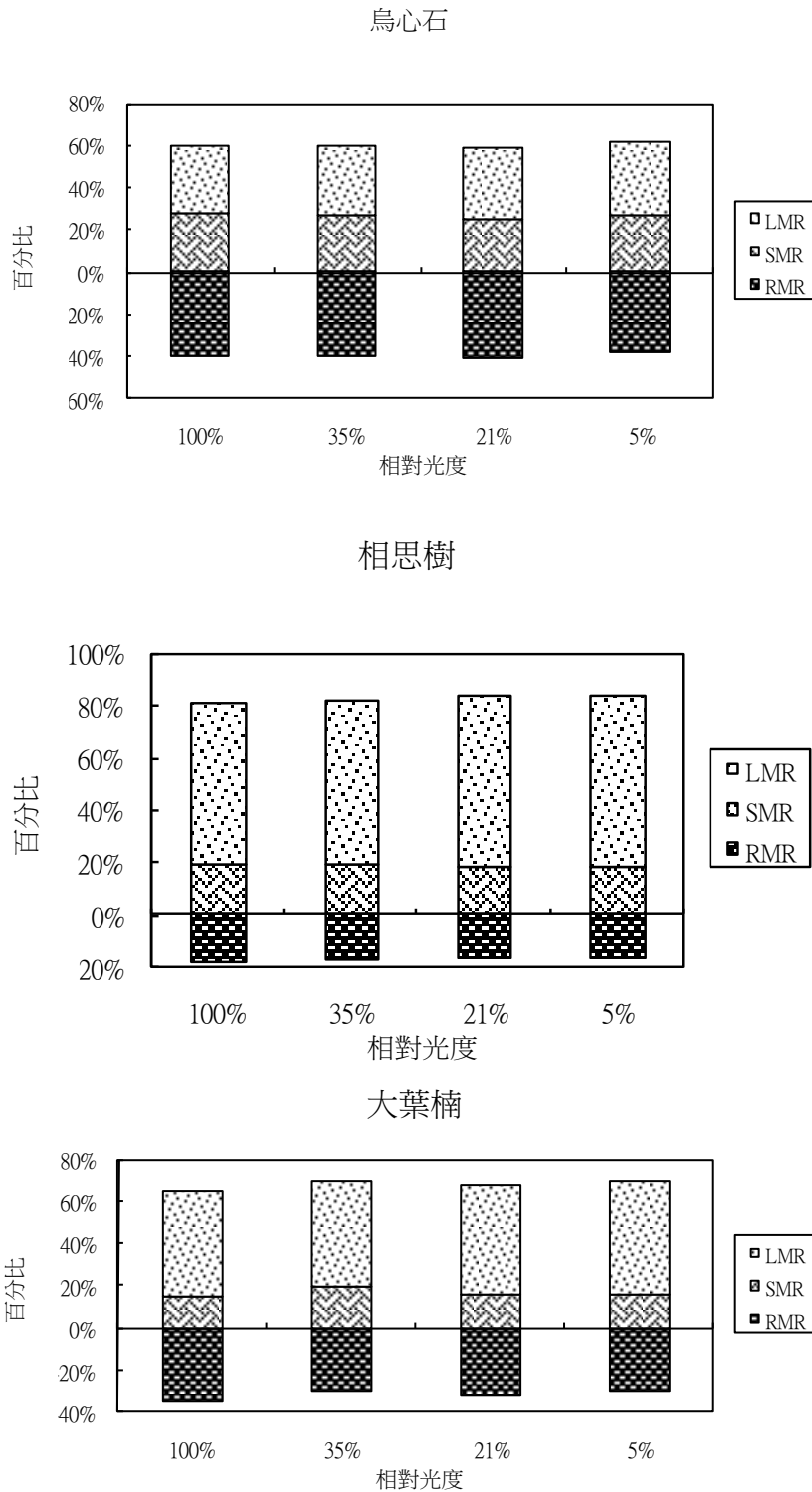


圖 21 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度處理下的根重率 (RMR)、莖重率 (SMR) 與葉重率 (LMR)。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。

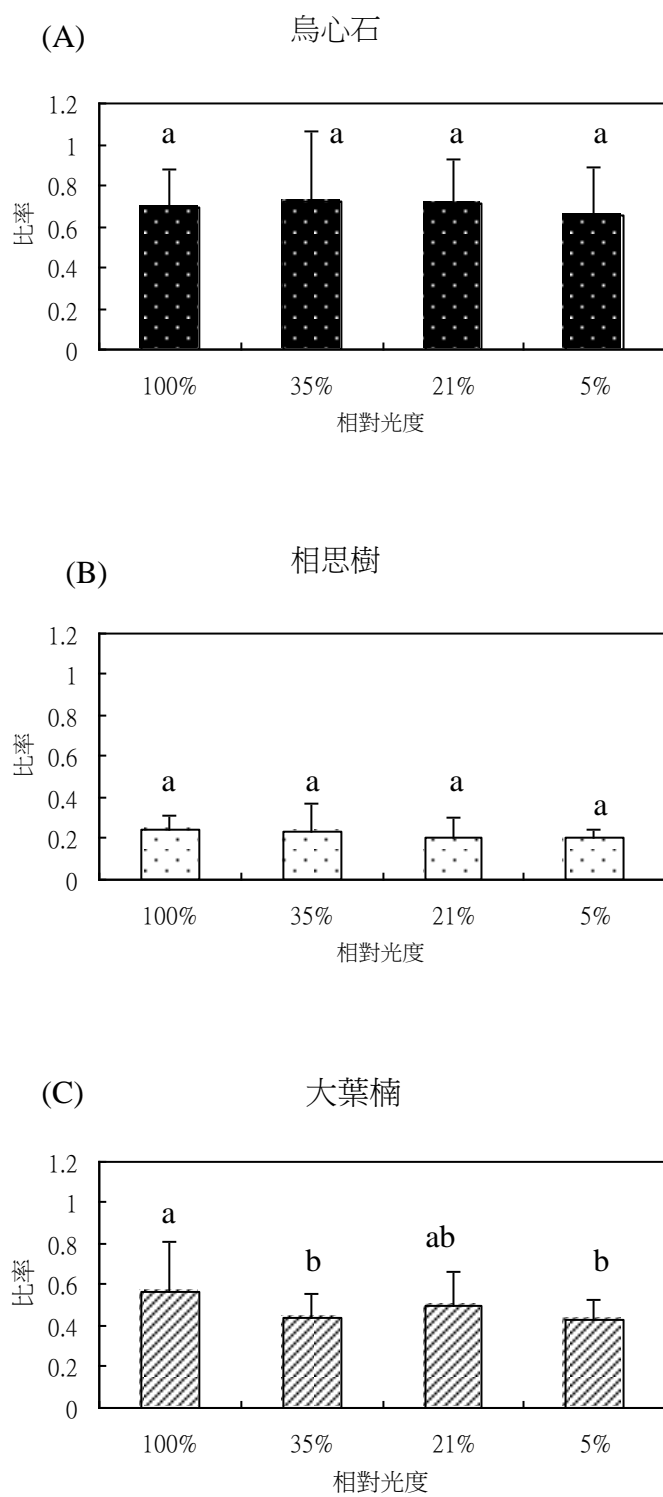


圖 22 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度處理下的根莖比。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。

三、葉部形態參數

葉部形態測定的部份，我們進行了比葉面積 (SLA) 與葉面積比 (LAR) 這二個參數的計算測比較。比葉面積的大小可作為瞭解苗木葉片厚薄程度的一個指標，在不同的光照環境下，為了適應這種光度的差異，在同一個的植株內，通常會有二種不同形態的葉片，分別是陰葉與陽葉，陰葉具有較大的葉面積，而陽葉則相反，但陽葉有較厚的葉片，這都是植物為了適應外在的環境因子，進而產生的調適現象；葉面積比則能夠說明，苗木將生物量應用於進行光合作用的葉面積的大小程度。由本次試驗的結果可以發現選用的三種樹種都有隨著光度下降逐漸增加其比葉面積與葉面積比的現象，相對光度100%與5%都有達顯著 ($P < 0.05$)。顯示隨著環境中光度的下降，三種試驗樹種會傾向於分配較多的資源給葉片，而比較在低光的環境與高光環境下的比葉面積，也可發現在低光環境下葉片會呈現陰葉的那種厚度較薄的特性 (Hieke *et al.*, 2002；林信輝、劉坤樹，1997)。

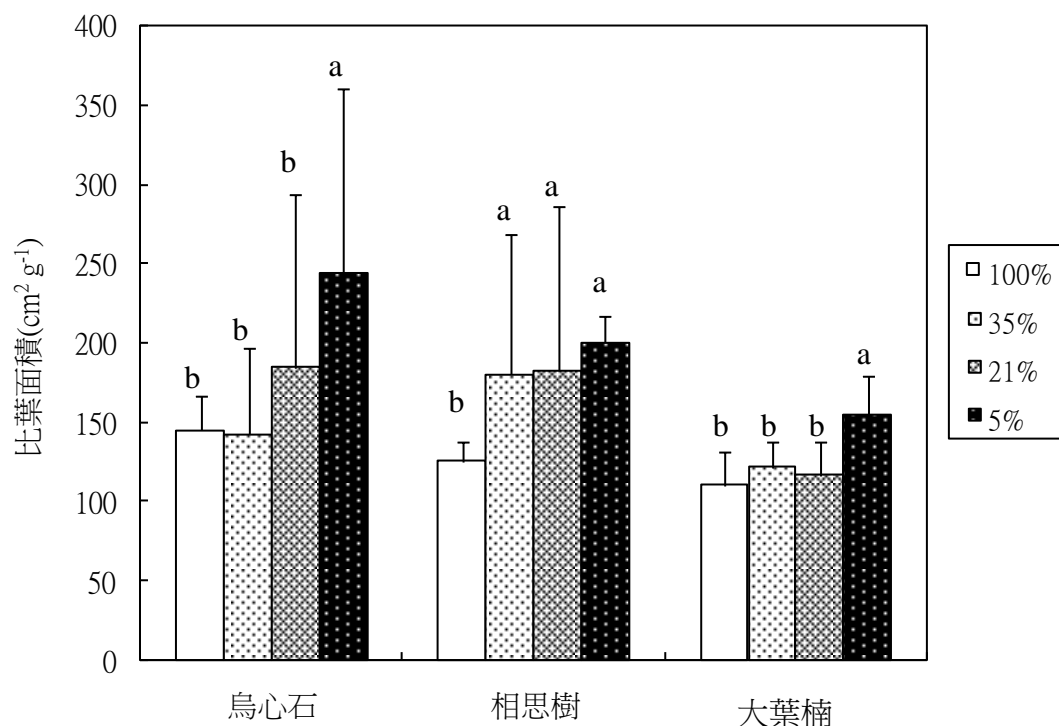


圖 23 烏心石、相思樹、紅楠不同光度下的比葉面積。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著 ($P < 0.05$)。

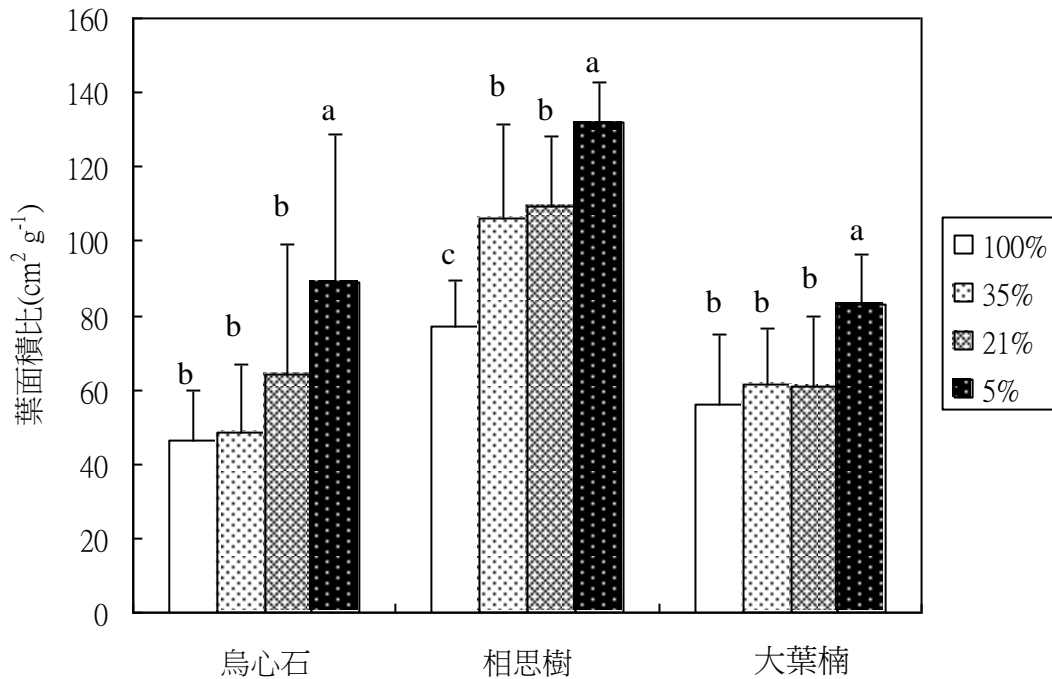


圖 24 烏心石、相思樹、大葉楠不同光度下的葉面積比。使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著(P<0.05)。

四、光合作用

光合作用的速率大小與苗木生物量的累積相當密切的相關性，一般而言，具有高光合潛力的陽性樹種，常常具有相當高的光飽和點及光補償點，因此可以有效地利用大量的光資源，進而能夠快速的累積植物體內的生物量(郭耀綸，2000；郭耀綸等，2004；Poorter, 2001)。本試驗結果中可發現到淨光合作用速率以屬於陽性樹種的相思樹為最大，瞬間最大的光合作用率可高達將近 $11 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，符合上述的論述。此外，在不同的光度下，可以發現到淨光合作用速率會隨著光度的減低而逐漸下降，其中下降的幅度以相思樹為最大，而屬於耐陰性樹種與陰性樹種的烏心石與大葉楠下降的幅度則低的許多，顯示烏心石與大葉楠對低光環境的調適能力。而在低光下的光合作用率我們也可發現到偏屬陰性樹種的大葉楠有著較佳的光合作用率，顯示其對低光良好的光利用效率。

表 1 三種樹種不同光度下的淨光合作用率

	淨光合作用速率 ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) ⁽¹⁾			
	100%	35%	21%	5%
相思樹 ⁽²⁾	6.98 ^{a(6)}	2.99 ^b	2.19 ^b	1.33 ^b
S.D. ⁽³⁾	(3.62)	(1.21)	(1.07)	(0.75)
烏心石 ⁽⁴⁾	4.24 ^a	2.73 ^b	2.06 ^{bc}	1.37 ^c
S.D.	(1.90)	(2.04)	(1.07)	(0.58)
大葉楠 ⁽⁵⁾	3.73 ^a	3.56 ^{ab}	2.64 ^b	1.33 ^c
S.D.	(1.35)	(1.18)	(1.26)	(0.41)

註：(1) 淨光合作用速率的測定在白天 10:00-15:00 植物生理活動期間進行。

(2) 相思樹為進行光度處理二個月後之小苗。

(3) S. D.表示為標準差 (standard deviation)。

(4) 烏心石為進行光度處理二個月後之小苗。

(5) 大葉楠為進行光度處理二個月後之小苗。

(6) 使用最小顯著差異測驗法進行分析，同列數值後之英文字母不同，表示差異有達到顯著 ($P < 0.05$)。

五、碳水化合物的測定

可溶糖是在植物體內主要的以運送型式存在的碳水化合物，這種類型的碳水化合物存在多半是用於將養分傳遞到體內的各個部位，或是作為能量貯存使用；而澱粉則是多醣類的碳水化合物，主要是用來貯存在體內留用的。因此藉由測量二者的含量的多寡、分配的部位，可以使我們對此三種不同性質樹種的碳水化合物的分配，有一個更為清楚的了解。

由本次試驗數據可以發現到在植體總可溶糖的濃度，在烏心石與大葉楠的部份並沒有一個明顯的趨勢，只在相思樹的部份，則可以發現到其可溶糖的總量有隨著光度增加而上升的情況，但不同光度處理下並無達顯著差異。相思樹的可溶糖的含量在全光環境下是為最高的，可高達 294 mg g^{-1} 左右，而在其他光度的情況下，則可發現到大葉楠和烏心石的可溶糖濃度高於相思樹的現象，大葉楠在相對光度 5% 時尚含有高達 285 mg g^{-1} 的可溶糖濃度，相同的光度烏心石也有 290

mg g^{-1} 的可溶糖濃度，顯示相思樹在高光下生長較大葉楠和烏心石良好，而在低光環境生長則較另外兩種樹種差一些。

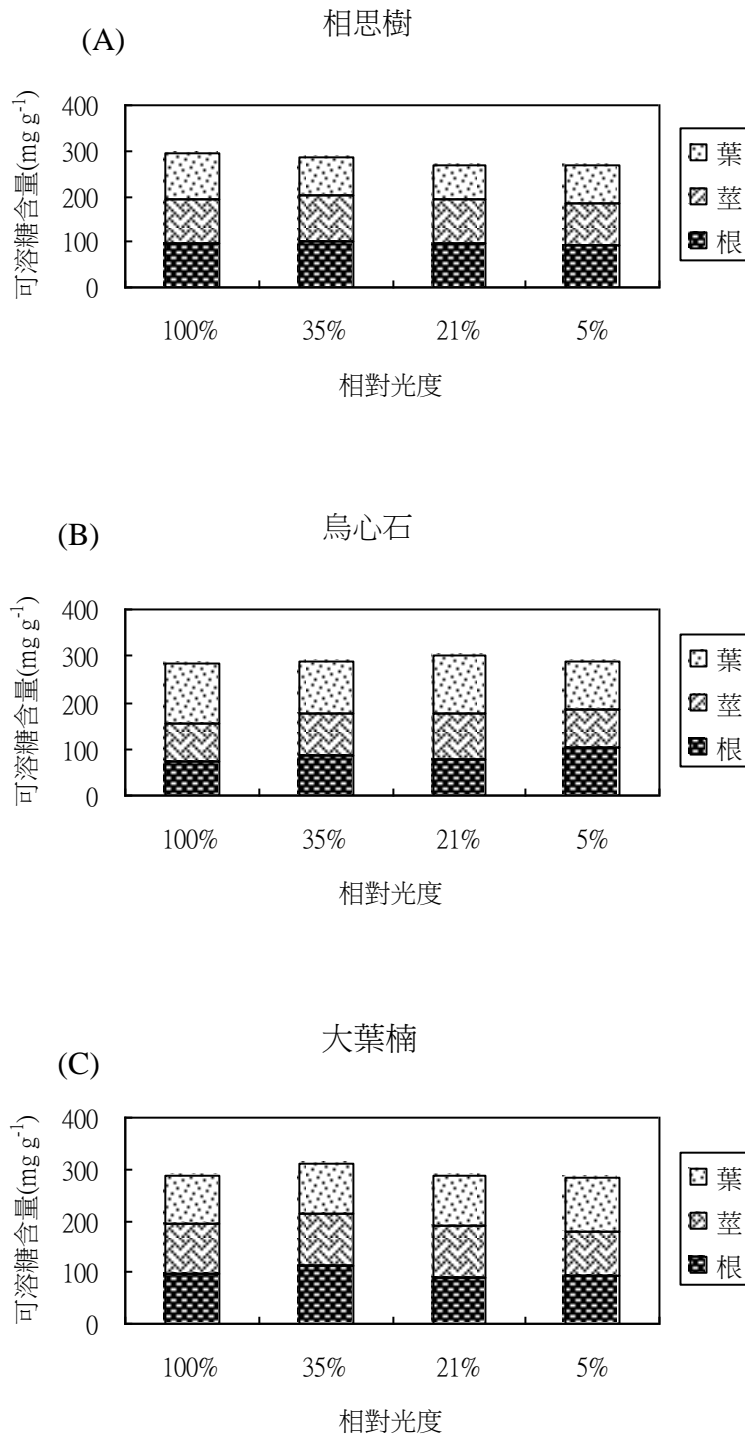


圖 25 相思樹 (A)、烏心石 (B)、大葉楠 (C) 在不同光度下根、莖、葉的可溶糖含量。

澱粉的部份，屬於植物體不能夠直接利用，主要功能是用來作為能量貯藏的碳水化合物（柯勇，2002；陳凌雲，2008；張安邦等，2000；陳忠義，2007）。試驗結果發現澱粉含量以大葉楠為最高，高達 765 mg g^{-1} 。而相思樹的澱粉含量則為最低，與可溶糖含量的結果相反，推測此現象為相思樹為了適應高光量的環境，增加其吸水力，避免產生缺水逆境，有將碳水化合物分解為小分子醣類累積的傾向（陳凌雲，2008；Dickson *et al.*, 1996）。

另外，在非結構性碳水化合物分配到各個部位的部份，主要探討與植物生長有較為直接關係的根部以及葉部，而由試驗結果可以發現到因為不同樹種的關係，其適應不同光環境的機制也有所不同，故碳水化合物的分配也有所不同（Ericsson *et al.*, 1996；鍾欣芸，2008）。

相思樹對於根部與葉部的非結構性碳水化合物分配結果，皆有相同的趨勢，不論是在可溶糖的部份還是在澱粉的部份，不同光度下對根部與葉部的分配皆是相同的趨勢，以根部的非結構性碳水化合物含量大於葉部的分配，推測可能與其屬於先驅性的陽性樹種特性有關，其對水份的需求比較大。本試驗結果發現到在相思樹則是將可溶糖分布在根部多過分配在葉部，推測是為了提供地下部有較多的資源得以吸收水份，以利進行快速的光合作用之消耗。

烏心石非結構性碳水化合物的分配趨勢，則與相思樹相反，在可溶糖的部份是以葉部為多，而在澱粉的部份則是以根部為多，二者正好相反。由試驗結果可觀察到全光下的烏心石苗木把較多的可溶醣分配在葉部的部位，顯示全光時烏心石選擇將較多的可溶醣留存在葉片等待植物體行光合作用使用，而未運送到其他部位。在澱粉的分配上，烏心石則選擇將澱粉累積在根部，以作為能量的貯存。

大葉楠在各個不同的光量時，可溶醣的分配則較為均勻，沒有一個明顯的趨勢。不過其大葉楠在高光量下根部有較大的可溶醣分配比例，與生物量累積的部份有相同的趨勢，推測其目的應該是為了增加植物根部對養分的吸收，並抵抗高光量下帶來的乾旱的情況。而澱粉分配的部份，則可發現到大葉楠以地上部為澱粉的分配位置。

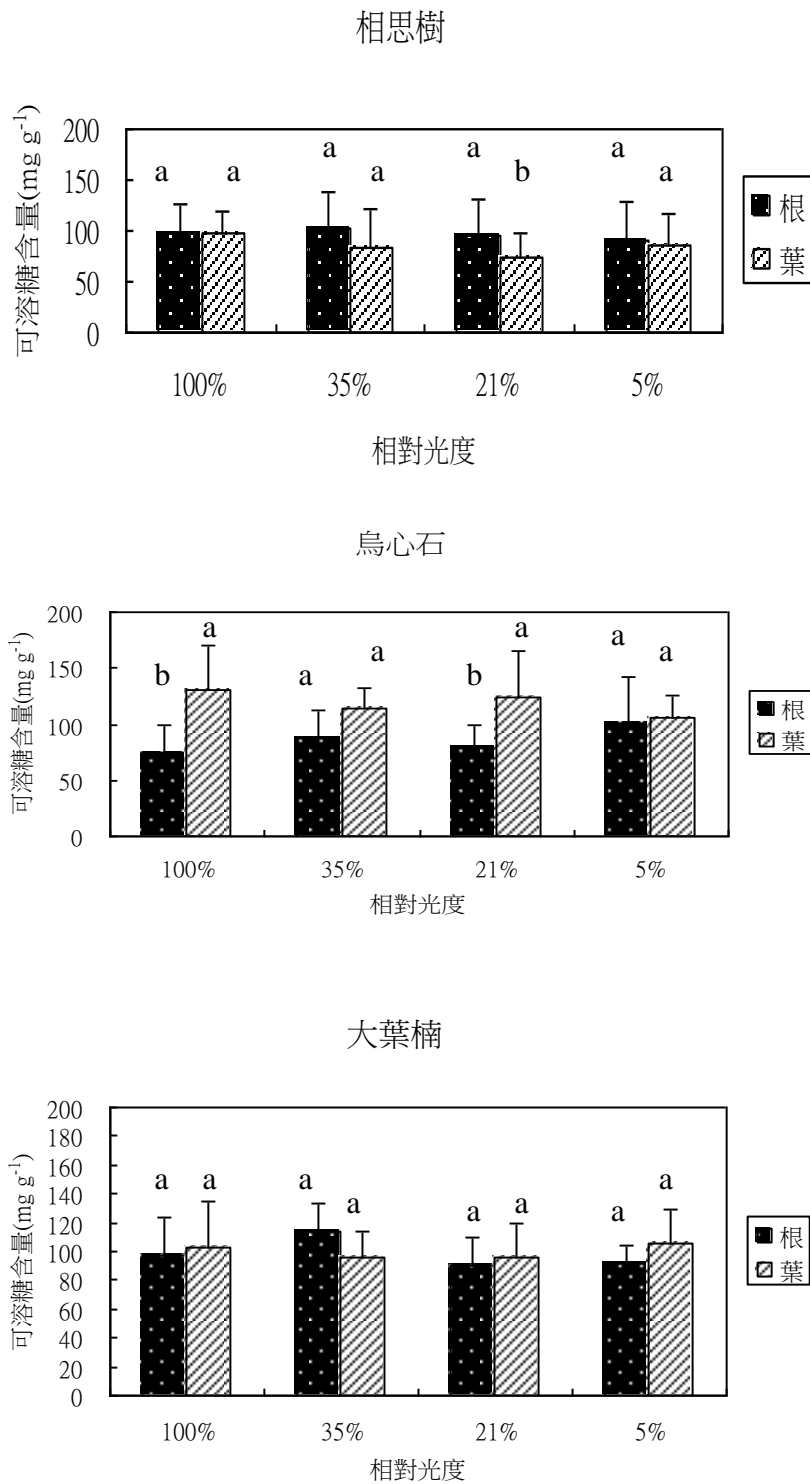


圖 26 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度下根與葉的可溶糖含量。不同光度處理使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著($P < 0.05$)。

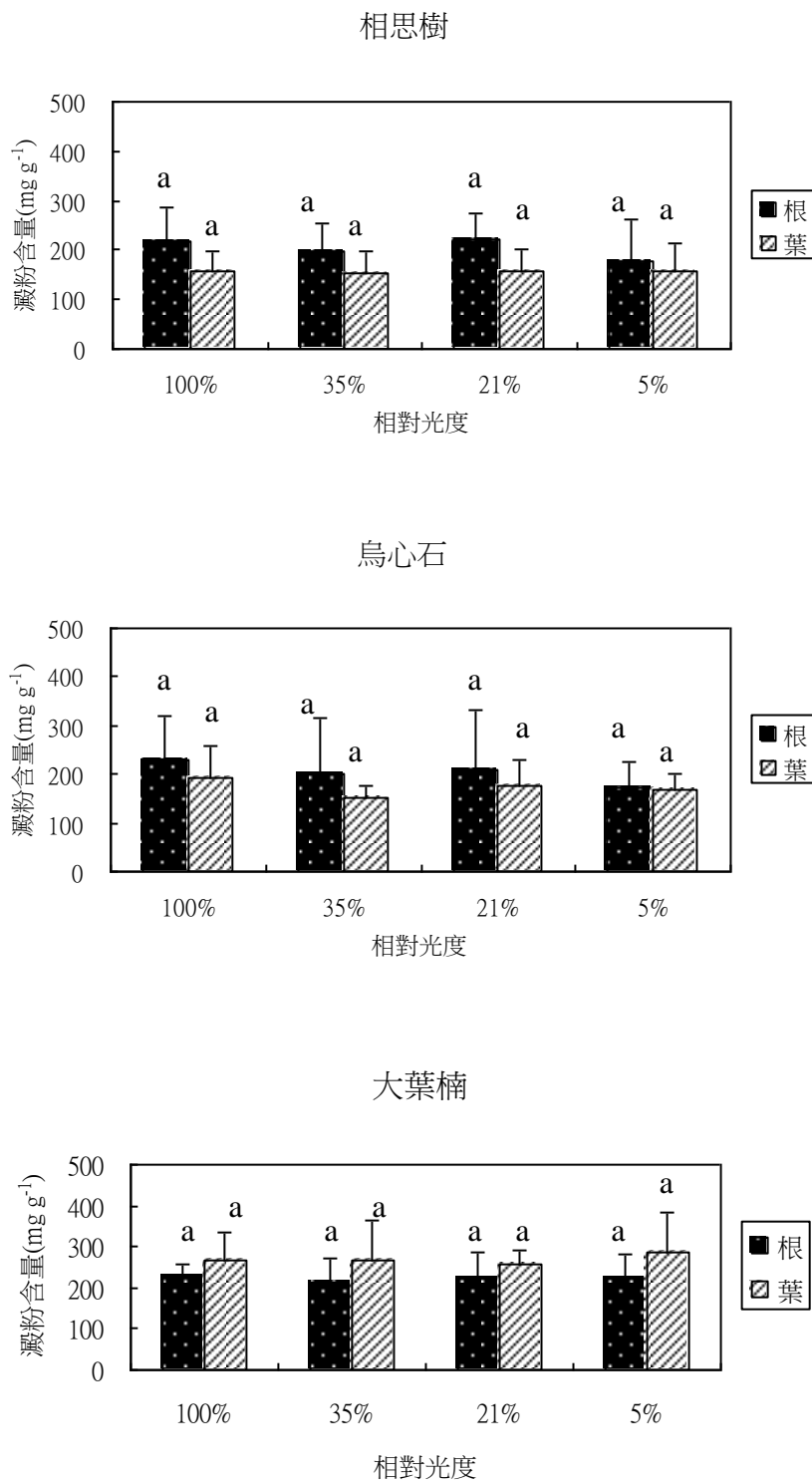


圖 27 烏心石(A)、相思樹(B)、大葉楠(C)在不同光度下根與葉的澱粉含量。不同光度處理使用最小顯著差異法分析，英文字母不同表示差異顯著(P<0.05)。

伍、結論

不同光度對三種苗木的影響，可由苗木的形質生長、光合作用速率及碳水化合物含量來瞭解。試驗結果顯示，在全光的環境下，屬於陽性樹種的相思樹有最大的生物量的累積，單株乾重約有 1.23 ± 0.67 g 左右。而在光合作用的部份，光合作用率呈現隨著光度下降而下降的情況，以相思樹的光合作用率大於大葉楠與烏心石，相思樹全光下光合作用可高達 $6.98 \pm 3.62 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，而相對光度 5% 的環境下僅剩 $1.33 \pm 0.75 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。在碳水化合物測定可溶糖與澱粉的含量部份，可發現到二者的含量，也會隨著光度的增加而略有上升的趨勢，相思樹總可溶糖含量在全光環境下是三個樹種之中最高的，可高達 294 mg g^{-1} ，顯示其高光合作用後快速累積生物量的特性。

陸、參考文獻

- 尤國霖 (2006) 墾丁高位珊瑚礁森林模擬颱風過後光量變化與七種苗木生長的關係。屏東科技大學碩士論文
- 林信輝、劉坤樹 (1997) 福山試驗林十種闊葉樹種之光合成率、蒸散率及葉片導度與氣象因子之關係。中華林學季刊 30(3):269-278
- 朱珮綺、許博行 (2005) 次生林下小苗對光能的利用與耐陰性之探討。林業研究季刊 27(2):23-34
- 李淑貞、郭耀綸 (1998) 南仁山不同海拔高六種苗木的生態生理研究。中華林學會八十七年度年會特刊
- 李志王民 (2002) 光對檫木種子發芽及苗木生長、形質及生理特性的效應。嘉義大學碩士論文
- 李金梅 (2003) 三種台灣原生闊葉樹種苗木在不同光環境中之生長暨葉片形態變化。台灣大學碩士論文
- 柯勇 (2002) 植物生理學。藝軒圖書出版社。台北市

- 郭耀綸 (2000) 南仁山熱帶低地雨林白榕冠層及林下植物的光合作用。台灣林業科學 15(3):351-363
- 郭耀綸、范開翔、黃慈薇、李彥屏、吳惠綸、蔡瑞芬 (2004) 台灣三十種闊葉樹陽葉氣體交換潛力之研究。台灣林業科學。19(4):375-386
- 郭耀綸、陳佐治、鄭鈞騰 (2004) 牛樟扦插曲的生長及光合作用對光亮的反應。台灣林業科學。19(3):215-224
- 陳凌雲 (2008) 二氧化碳與水分含量對樟樹苗木生長及養分的影響。中興大學森林系碩士論文
- 陳忠義 (2007) 構樹苗木對光度與水分之生理反應。中興大學森林系碩士論文
- 張安璫 (1999) 二氧化碳與溫度對樟樹苗木生長及生理反應之影響。中興大學森林系碩士論文
- 張安邦、廖天賜、方榮坤、翁仁憲、李丁松 (2000) 光度對大葉楠與香楠形質生長的影響。林業研究季刊 22 (1) : 11-20
- 黃進輝 (1994) 烏心石苗木在不同光度下形態暨生理的反應。國立台灣大學森林研究所 碩士論文。
- 游啟皓、郭幸榮、梁亞忠、許世宏 (2003) 紅檜人工林冠層下光度之水平變異。台灣林業科學 18(4):375-86
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。台灣商務印書館股份有限公司
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1994) 台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會
- 鄭鈞騰、郭耀綸 (2004) 南仁山森林內的二氧化碳濃度梯度及其對林下小苗光合作用的影響台灣林業科學 19(2):143-52
- 鍾欣民 (2008) 棲蘭山樣區台灣扁柏更新林不同冠層位置光合作用之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文
- 鍾欣芸 (2008) 栽植密度對樟樹苗木生長及生理反應之影響。中興大學森林系碩士論文
- Dickson, R. E. and P. T. Tomlinson. (1996) Oak growth, development and carbon

- metabolism in response to water stress. *Annals of Forest Science* 53: 181-196.
- DuBois, M., Giels, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and F. Smith. (1956)
Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28:350-356.
- Ericsson, T., L. Rytter and E. Bapaavuori. (1996) Physiology of carbon allocation in trees. *Biomass and Bioenergy* 11:115-127.
- Hieke S, Menzel CM, Lüdders P. (2002) Effects of light availability on leaf gas ex-change and expansion in lychee (*Litchi chinensis*). *Tree Physiol* 22:1249-56.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy. S.G. (1991) *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press, New York.
- Myers, J.A., Kiyajima, K. (2007) Carbohydrate storage enhances seedling shade and stress tolerance in a neotropical forest. *Journal of Ecology* 95: 383-395.
- Niels, P. R. A., and Tadaki, H. (1998) Biomass allocation and light partitioning among dominant and subordinate individuals in *xanthium canadense* stand. *Annals of botany* 82:665-673.
- Niinemets, U. (1997) Energy requirement for foliage construction depends in tree size in young *Picea abies* trees. *Trees* 11: 420-431.
- Ozanne, C. M. P., D. Anhof, S. L. Boulter, M. Keller, R. L. Kitching, C. Körner, F. C. Meinzer, A. W. Mitchell, T. Nakashizuka, P. L. Silva Dias, N. E. Stork, S. J. Wright, and M. Yoshimura (2003) Biodiversity Meets the Atmosphere: A Global View of Forest Canopies. *Science* 301(5630): 183-186.
- Poorter, L. (2001) Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Functional Ecology* 15:113-123
- Smith, D. (1969) Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue (Research report 41). *95:2*, 383-395.

- Taiz, L and E. Zeiger(2002)Plant physiology. Benjamin/Cummings Publishing. USA.
- Tian, L.,Ohsugi, R., Yamagishi, T., Sasaki, H. (2006) Effects of weak light on starch accumulation and starch synthesis enzyme activities in rice at grain filling stage. Rice science 13: 51-58
- Turnbull, M. H., D. Whitehead, D. T. Tissue, W. S. F. Schuster, K. J. Brown and K. L. Griffin. (2003) Scaling foliar respiration in two contrasting forest canopies. Functional Ecology 17: 101-114.
- Valladares, F., Niinemets, U. (2008) Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequence. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.39:237-251.
- Veneklaas, E. J., Ouden, F. D. (2005) Dynamics of non-structural carbohydrate in two *Ficus* species after transfer to deep shade. Environmental and Experimental Botany 54:148-154.

附件一意見辦理情形表

期中建議	回覆
李委員明仁	
1.本研究探討光度對相思樹、烏心石及大葉楠苗木之碳水化合物累積及分配之影響。	感謝委員。
2.圖的表示應採用三樹種在同一圖同一比例呈現。	感謝委員的指正；並已在結果和討論改進。
3.相對光度應考慮較大級距，效果才會顯著。	感謝委員的指正；試驗所設計的光度範圍係依據預備試驗所訂定，目的在於找尋林木適合生長的光度範圍，以利試驗進行並能提供科學性資料給林務局做應用推廣。
簡委員慶德	
1.可溶性醣類含量除了傳統測定外，可考慮用 HPLC 和 GC-MS 檢測不同醣類的含量。	感謝委員的建議；將在後續實驗進行。
2.烏心石及大葉楠苗木 6 個月後仍生長不良，苗高低於 10 公分，應該檢討生長不良的原因。	感謝委員的指正；應該是病蟲害導致。
林委員世宗	
1.相對光度是如何測定？	不同光度處理係採人工遮陰，以 3M 黑色塑膠布分別設置於網架上，控制網架內的相對光度。
2.其中 6 個光階中，有 5.06, 6.97, 7.56 % 之設計目的為何？苗木生長表現變化又如何解釋？	感謝委員的建議，已在期末報告改進說明清楚。

期末建議	回覆
簡委員慶德	
1. 英文摘要相思樹學名有誤。淨初級生產力之英文名稱有誤。光合作用速率單位表示 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 應該為 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，以示區分。	相思樹學名查證為 <i>Acacia confusa</i> 已確實改正。淨初級生產力之英文名稱依劉崇瑞、蘇鴻傑（1983）之著注，查證為 net primary productivity，已確定改正。光合作用速率單位已全部改正為 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。
2. 前人研究部份的 raffinose 為多醣類。	raffinose 經查證是為四醣體之多醣類，已將內文改正。
3. 圖 10 試驗流程圖每 2 個月進行取樣，共取幾次?結果資料?	本次光度試驗確定為將苗木光度處理 2 個月，已將內文改正。
圖 18 生物量 g 是指乾重?圖 19 葉重率、莖重率、根重率如何獲得?請考慮改為葉重比值、莖重比值、根重比值。	已改正。圖 18 生物量(g)確實是指苗木之乾重。圖 19 葉重率、莖重率、根重率已稱為葉重比值、莖重比值、根重比值，而以上三種比值的獲得是為葉、莖、根部之乾重與苗木全株之乾重相除的比值，即為所求。
林委員世宗	
1. 相對光度表現建議不要至小數位，以整數或 5% 等級方式展現。	已改正為以整數方式呈現。
2. 不同樹種苗木性狀光調適討論建議用相對性狀比較。	已納入討論訂正。
3. 摘要中對苗木之生長表現應說明苗木之生長時間。	苗木為培育數日後，進行二個月的光度處理後進行取樣，已列入摘要說明。
顏委員添明	
1. 英文摘要有列出光度百分比，但中文摘要未列出，此部分應予一致。	感謝委員建議，已改正。

