

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

青楓及樟樹容器苗生產關鍵技術之探討

The Key Techniques for Container Production of

Acer serrulatum and *Cinnamomum camphora*

劉育勳

Yu-Syun Liou

指導教授：張育森 教授

Advisor: Prof. Yu-Sen Chang

中華民國 105 年 6 月

June, 2016



摘要

景觀樹木在園藝產業上具有相當重要之地位，其生產潛力相當可觀。常見的苗木生產方式分成田間生產和容器生產。田間生產分為裸根移植苗和土球包裹苗，出貨前需要斷根、修枝，常造成苗木生長勢衰落和存活率低等問題。為了改善苗木品質，容器育苗技術為臺灣未來景觀綠化應用的發展趨勢。容器生產又分為實生型容器苗和容器化苗，生長迅速、節約土地及成活率高等為其優點，但根系限縮容器內，為了確保容器苗的正常生長，需要在其生長過程中適時適量補充水分和養分。實生型容器苗受容器效應影響，生長速度較田間生產慢；容器化苗地植時不受容器效應影響，生長速度較快，惟臺灣苗木業者移植前常過分修枝，並於地上部地下部尚未平衡時出售，致使苗木品質和存活率沒有明顯上升。本試驗擬就灌溉和氮肥試驗，設法加快小苗培育的速度，再就容器化苗移植前的修剪作探討，期能加快生產進程並提升臺灣的苗木品質。

灌溉試驗以 2 種介質和 4 種不同灌溉時機作為處理。介質分別是田土和田土加椰纖(v/v=1:1)，兩介質保水力不同，灌溉頻度亦不同(S>S+C)；灌溉時機分別是介質含水量降低至 15%、25%、35%和 45%時進行灌溉。結果顯示，青楓冬季生長受阻，且介質含水量維持 15%和 25%以上的青楓冬季落葉後無法重新長葉；樟樹則無明顯休眠期。青楓和樟樹之介質含水量降低至 35%時為最佳灌溉時機，約為田間容水量的 65%，此時青楓和樟樹在株高、莖徑、冠幅和分枝數有較好的表現，樟樹的地下部表現亦佳，惟樟樹應斟酌使用追肥，避免植物生長旺盛或灌溉淋洗導致介質肥份不足，進而造成生長速度趨緩、苗木品質變差。

氮肥試驗每週施用一次氮肥，氮素濃度分別是 0、4、8、16、32 mM。結果顯示，氮肥濃度對正值落葉期的落葉樹種青楓影響不大，而常綠樹種樟樹則是一年四季皆有影響。樹種不同對氮肥濃度的喜好也不同，氮肥濃度過低造成苗木品質低弱，氮肥濃度過高則造成生長延緩，地下部衰弱。青楓建議施用的氮肥濃度為 4-8 mM 左右，樟樹則是較需要肥份的作物，建議濃度為 8-16 mM。如欲增加分枝數，則可

提高施用的氮肥濃度，青楓建議使用 8-16 mM，樟樹則可提高至 16-32 mM。

修剪比例試驗則分為移植前重修剪(移除 90%枝葉)和移植前輕修剪(僅移除枯枝、病枝)兩處理。結果顯示，輕修剪處理於試驗初期面臨較嚴重的乾旱逆境，存活率較低，但脫離乾旱逆境後有較佳的新根發展。試驗結束時，輕修剪處理的莖徑變化和光合作用皆優於重修剪處理，有利於移植後的再生長。建議移植前進行適當的微量修剪，雖需較繁複的管理，但後續的新根發展和苗木品質較佳，有助於對抗栽植地的逆境。

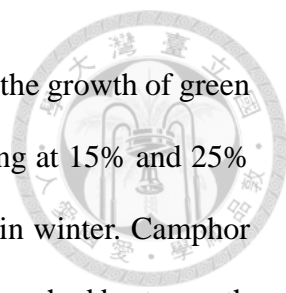
綜合上述結果，青楓於介質含水量低於 35%時灌溉，並施以氮素濃度 4-8 mM 的養液，欲增加分枝數則提升濃度至 8-16 mM；樟樹於介質含水量低於 35%時灌溉，並施以氮素濃度 8-16 mM 的養液，欲增加分枝數則提升濃度至 16-32 mM，且應斟酌使用堆肥，避免因頻繁灌溉或生長旺盛造成營養缺乏。移植前應進行適當的微量修剪，克服乾旱逆境後，可擁有較佳的新根發展和苗木品質。

Abstract



Trees play important role in landscape, and thereby the tree production for landscaping owns great commercial values. Conventional tree nurseries grow trees in field and in pots. Due to the fact that the transplantation of the field-grown trees often accompany with a great loss of root and increase vulnerability to post-transplantation shocks for trees, the techniques of producing high quality containerized trees will become the major option for Taiwanese nurseries in the future. Containerized tree can be categorized into container-grown seedling and containerized seedling. These two types of seedlings have the advantages of fast growing, land area saving and high survival rate, but since their root system is restricted by container, proper irrigation and nutrient should be supplied routinely for maintaining normal growth and development. The container-grown seedling is started from container, which limited the tree growth by the container effect, consequently the growth rate is slower than field-grown trees. The containerized tree seedlings are originally grown in field, so the growth rate is faster than the container-grown seedlings. However, Taiwanese tree nurseries often heavily prune seedlings before transplanting the field-grown seedlings into container as well as the containerized seedlings are sold when their underground and upper-ground part have not reach a balance yet. This results in low tree quality and survival rate. This study applied various irrigation and nitrogen fertilization practices to accelerate the tree seedling growth, and investigated the pruning methods before transplantation to container, hoping to improve the speed and quality of tree production in Taiwan.

The irrigation experiment employed two different growth media and four different irrigation timings. The media used were field soil (S) and a equal-volume mixture of field soil with coconut fiber (S+C). The timings of irrigation were set at the media water



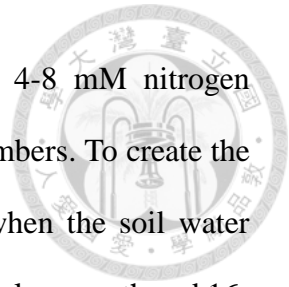
content dropped to 15%, 25%, 35% and 45%. The result showed that the growth of green maple ceased in winter, and the green maple with the irrigation timing at 15% and 25% soil water content did not flush out new leaves after leaf abscission in winter. Camphor trees did not exhibit an evident dormancy. Green maple and camphor tree had best growth performances characterized by tree height, stem diameter, canopy width and branching numbers when irrigated at the timing of 35% soil water content, which was 65% of the field water capacity. Adding additional fertilizers should be cautious on camphor trees to avoid over-growth and over-irrigation that could even reduce the nutrient level in soil.

The nitrogen fertilizer was applied weekly with the concentrations of 0, 4, 8, 16 and 32 mM. The result showed that the different concentrations of nitrogen did not have evident effect on the green maples growth during their defoliation period, but had significant effect on camphor tree growth year round. Different tree species had different optimum nitrogen concentration. The suggested nitrogen concentration level for green maple was 4-8 mM and for camphor tree was 8-16 mM. When increasing branching numbers became a priority, the suggested nitrogen concentration was 8-16 mM for green maple and 16-32 mM for camphor tree.

The pruning experiment employed heavy pruning (90% shoot removal) and light pruning which merely removed dead branches and infected branches. The result showed that the lightly-pruned trees suffered from more severe drought stress in the beginning of the experiment than the heavily-pruned tree, but once they overcome the stress, the root establishment was better than the heavily-pruned trees. On the other hand, the secondary growth and photosynthesis of the lightly-pruned tree were better than the heavily-pruned trees, which favored the growth after transplantation. In shorts, although light pruning required more labor works and better management than heavy pruning, its created higher tree quality and decreased the vulnerability to stresses.

Above all, to create the best tree quality of green maple, it was suggested to be

irrigated when the soil water content dropped below 35%, with 4-8 mM nitrogen fertilization for regular growth and 8-16 mM for more branching numbers. To create the best quality of camphor, the trees was suggested to be irrigated when the soil water content dropped below 35%, with 8-16 mM nitrogen fertilizer for regular growth and 16-32 mM for greater branching numbers. Adding additional fertilizers shall be cautious to avoid over growth or nutrient insufficiency. Light pruning is suggested before transplantation. The light-pruned trees should be well-managed to overcome drought stress, and the consequent tree quality was higher than heavily-pruned trees.



目錄



摘要	i
Abstract.....	iii
目錄	vi
表目錄	vii
圖目錄	ix
第一章 前言	1
第二章 前人研究	3
一、苗木生產方式	3
二、土壤含水量對植物生長及生理之影響	6
三、氮素對植物生長及生理之影響	7
四、樹木移植成功關鍵	8
第三章 介質種類和含水量對青楓與樟樹生長和生理之影響	10
摘要(Abstract).....	10
一、前言(Introduction).....	11
二、材料方法(Materials and Methods).....	12
三、結果(Results).....	15
四、討論(Discussion).....	19
五、結論(Conclusion)	21
第四章 氮肥施用濃度對樟樹與青楓生長和生理之影響	42
摘要(Abstract).....	42
一、前言(Introduction).....	43
二、試驗方法(Materials and Methods).....	44
三、結果(Results).....	46
四、討論(Discussion).....	48
五、結論(Conclusion)	50
第五章 移植前修剪比例對樟樹容器化苗之影響	67
摘要(Abstract).....	67
一、前言(Introduction).....	68
二、試驗方法(Materials and Methods).....	69
三、結果(Results).....	71
四、討論(Discussion).....	73
五、結論(Conclusion)	77
第六章 結論	96
參考文獻	98
附錄(Appendix).....	106



表目錄

表 3.1. 介質與灌溉處理對青楓容器苗株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響	22
表 3.2. 介質與灌溉處理對青楓容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值及植生指數之影響	23
表 3.3. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響	24
表 3.4. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值及植生指數之影響	25
表 3.5. 介質與灌溉處理對青楓容器苗之取樣葉鮮重、乾重、厚度及葉面積之影響	26
表 3.6. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗之取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度及葉面積之影響	27
表 3.7. 介質與灌溉處理對青楓容器苗介質電導度、pH 值、硬度、土壤氧氣擴散速率之影響	28
表 3.8. 以不同介質種植樟樹後電導度、pH 值、硬度、土壤氧氣擴散速率之變化	29
表 4.1. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗之株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響	51
表 4.2. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數之影響	52
表 4.3. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗之株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響	53
表 4.4. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數之影響	54
表 4.5. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度、葉面積之影響	55
表 4.6. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度、葉面積之影響	56
表 4.7. 氮肥濃度處理種植青楓後，對土壤電導度、pH 值、硬度之影響	57
表 4.8. 氮肥濃度處理種植樟樹後，對土壤電導度、pH 值、硬度之影響	58
表 5.1. 移植前經過不同程度補償修剪後的樟樹容器化苗之枝條水分潛勢	78
表 5.2. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之株高變化、莖徑變化、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數、葉綠素螢光、葉片厚度	79
表 5.3. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之葉片數、葉片鮮重、根部鮮重及根部活性	80

表 5.4. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之淨光合作用、氣孔
導度、細胞間隙 CO₂ 濃度及蒸散作用速率..... 81





圖目錄

圖 3. 1. 以重量法與水分測定儀 WET 測得之土壤體積含水量關係	30
圖 3. 2. 青楓容器苗以純田土為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC. 31	
圖 3. 3. 青楓容器苗以田土+椰纖(v/v=1:1)為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC	32
圖 3. 4. 樟樹容器苗以純田土為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC. 33	
圖 3. 5. 樟樹容器苗以田土+椰纖(v/v=1:1)為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A)<15% VWC、(B)<25% VWC、(C)<35% VWC、(D)<45% VWC.....	34
圖 3. 6. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質種植，於 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下株高變化情形。	35
圖 3. 7. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下莖徑變化情形。	36
圖 3. 8. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC (由左至右)灌溉處理下之外觀情形。	37
圖 3. 9. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下株高變化情形。	38
圖 3. 10. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下莖徑變化情形。	39
圖 3. 11. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC(由左至右)灌溉處理下之外觀情形。	40
圖 3. 12. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質種植，於 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下之根系情形。	41
圖 4. 1. 青楓容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的株高變化情形。	59
圖 4. 2. 青楓容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的莖徑變化情形。	60
圖 4. 3. 青楓容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之根系比較。	61
圖 4. 4. 青楓容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之外觀比較。	62
圖 4. 5. 樟樹容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的株高變化情形。	63
圖 4. 6. 樟樹容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的莖徑變化情形。	64
圖 4. 7. 樟樹容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之根系比較	65

圖 4.8. 樟樹容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之外觀比較	66
圖 5.1. 移植前經過輕修剪後的樟樹容器化苗死亡植株調查(2015.02.20).....	82
圖 5.2. 移植前經過輕修剪後的樟樹容器化苗死亡植株之土球觀察(2015.02.20). 83	
圖 5.3. 移植前經過輕修剪的樟樹容器化苗死亡植株之地下部觀察(2015.02.20). 84	
圖 5.4. 移植前經過不同程度補償修剪，樟樹容器化苗的株高變化情形	85
圖 5.5. 移植前經過不同程度的補償修剪後，樟樹容器化苗的莖徑變化情形	86
圖 5.6. 移植前經過不同程度的補償修剪後，樟樹容器化苗的新葉萌發比較 (2015.02.27) (A)重修剪 (B)輕修剪	87
圖 5.7. 試驗經過 53 天，移植前經過不同程度的補償修剪後之樟樹容器化苗的枝條水分潛勢變化情形	88
圖 5.8. 移植前經過不同程度補償修剪後，樟樹容器化苗逆境植株比率的變化 . 89	
圖 5.9. 移植前經過不同程度補償修剪後，樟樹容器化苗的氣孔導度變化情形 . 90	
圖 5.10. 樟樹容器化苗經過重修剪後五個月的外觀情形。(2015.04.07).....	91
圖 5.11. 試驗結束時，樟樹容器化苗之土球外觀 (2015.12.30) (A)重修剪 (B)輕修剪	92
圖 5.12. 試驗結束時，樟樹容器化苗之根系外觀 (2015.12.30) (A)重修剪 (B)輕修剪	93
圖 5.13. 移植前經過不同程度補償修剪的樟樹容器化苗，移植七個月後拍攝熱像儀 (2015.06.05) (A)重修剪植株的熱像 (B)重修剪植株 (C)輕修剪植株的熱像 (D)輕修剪植株.....	94
圖 5.14. 移植前經過不同程度補償修剪後的樟樹容器化苗之葉片切片	95

第一章 前言

Chapter 1. Introduction



苗木依生產的方式大致可分為田間苗(field seedlings)和容器苗(container seedlings)兩種(Davidson et al., 1988)。田間苗依出貨的方式又分成裸根苗(bare-root seedlings)和土球包裹苗(balled and burlapped, B & B seedlings)，容器苗則依生產過程分成實生型容器苗(container-grown seedlings)和容器化苗(containerized seedlings)(Sharon, 2010)。然而田間苗出貨前須斷根，常造成移植後樹勢衰弱和存活率不高(Richardson and Harris, 2005)等問題。容器苗移植時根系完整，使容器苗不受移植時間限制，恢復期短且存活率高，是世界上苗木產業之趨勢(Young and Evans, 2000)。然而，容器苗根系受限容器中，介質緩衝能力差，且根系無法延伸獲得需要的水分和養分，假使管理不當將造成損失。

水是植物生存的必要元素之一(Welsh and Zajicek, 1993)，過分給水不僅浪費資源，也造成苗木根系缺氧導致生長不良(鄭，2008)，缺水則使氣孔關閉，氣孔導度下降使光合作用速率變慢(Souza et al., 2003)，碳水化合物累積減少，苗木生長勢減弱。水分管理為容器育苗的重要環節之一，應配合介質種類和天氣狀況，發展出一套適地適種的苗木灌溉技術。

氮則是影響作物生長和產量最大的礦物元素(Marschner, 1995)。容器苗為了固定和支持，常選用比重較重但養分不足的田土(鄧，2008)，氮素管理便成為容器苗的重要課題。缺氮使植株生長慢、下位葉黃化；氮素過多則使植物肥傷，且有增加病蟲害的可能(黃，2013)。適量的氮素施肥可協調地上部地下部生長，促進移植後的根系發育，增強移植的競爭力(Timmer et al., 2004)。

田間苗在栽培過程中根系可自由伸展，植株需要的水分和養分可以經由根系延伸而獲得，介質緩衝能力較高(謝，2014)，管理較粗放，且植株生長速度快；容器苗根系則受限容器中，容器形成的壁障和微氣候使容器苗生長速度較田間苗慢(Cole et al., 1998)。容器化苗的來源是田間苗，田間生產容器馴化的生產模式

讓容器化苗同時擁有田間苗和容器苗的優點。然而，將田間苗移植至容器中的地下部受損，造成移植後的移植休克(transplant shock) (Grossnickle, 2005)，需搭配移植前處理和移植後馴化方能克服。補償修剪(compensatory pruning)即移植前常用的處理(Grossnickle, 2005)，但補償修剪去除葉片使光合產物減少(Watson et al., 1986)，可能影響根系再生的能力。

為提升容器苗木出貨速度和苗木品質，實生型容器苗的水分和氮肥管理應依植物種類不同而有不同建議，容器化苗移植前的修剪幅度也應該被了解。因此，本論文主要研究之內容如下：

- (一) 藉由介質含水量作為灌溉時機的依據，探討不同介質含水量對容器苗生長和生理的影響。
- (二) 施用不同氮素濃度，探討不同氮素濃度對容器苗生長和生理的影響。
- (三) 藉由移植前不同幅度的修剪，探討修剪幅度對容器化苗移植後克服移植休克能力和苗木品質的影響。

第二章 前人研究

Chapter 2. Literature Review



一、 苗木生產方式

苗木依生產的方式大致可分為田間苗和容器苗兩種(Davidson et al., 1988)。田間苗依出貨的方式又分成裸根苗和土球包裹苗，容器苗則依生產過程分成實生型容器苗和容器化苗(Sharon, 2010)。

(一) 田間苗

即將苗木種植於田間，待出貨時再掘苗移植的栽培方式(謝，2014)。苗木在栽植的過程中，根系可自由伸展，植株生長速度快且管理粗放，生產成本較為低廉，但其出貨前須斷根造成根部的損失，影響根部吸收水分和肥份的能力(Daniel, 2009)，且移植須配合植株生長季節，否則存活率低落(Richardson and Harris, 2005)。田間苗依出貨方式分成下列兩種：

(1) 裸根苗(bare-root seedlings)

由於裸根苗的根沒有土壤包覆，所以有重量輕、運輸成本低及好種植等優點，但在處理過程中會有更多的根損失，以致在種植前須保持根部濕潤，如暴露於空氣中達 192 小時的歐洲黑松(*Pinus nigra*)植株，有 90%再定植 2 年內相繼死亡(Girard, 1996)。移植後的存活率和生長表現亦不佳，櫟樹(*Quercus rubra* L.)裸根苗在移植後僅 75%的存活率，且枝條乾枯、不穩定生長且地下部發展不佳(Wilson et al., 2007)。

(2) 土球包裹苗(balled and burlapped, B & B seedlings)

田間苗木崛起時，根系外附有苗木胸徑 8-12 倍之土球，並以布、粗繩或其他可生物分解材料包裹，以防止土球崩落(謝，2014)，雖然在移植過程中，仍然

有 90% 的吸收根被移除，但土球包裹可減少根系暴露於乾旱的時間，並降低移植後根系重生的門檻(Sharon, 2010)。土球包裹苗相較於裸根苗存活率較不受季節影響(Buckstrup, 2000)。



(二) 容器苗

容器苗的定義為苗木在容器中培育一定時間，並於出售前在容器中達生長平衡之狀態，且具有完整土團且無過度盤根者(許, 1986)。容器苗根系受限容器中，介質相互隔離，不能相通，緩衝能力減弱，根系不能經由延伸獲得需要的水分和養分補充(鄧, 2008)，因此容器苗需要較高的成本(Johnson et al., 1996)和較繁複的管理，相對的，可縮減栽植面積，有利空間分配、方便運輸(Salifu, 2000)，且生長表現較為一致。容器苗移植時根系完整，使得容器苗較不受移植時間限制、恢復期短且存活率高，可立即發揮景觀功能，移植後第一年也有較多的新根生長(Burdett et al., 1984)。櫟樹(*Quercus rubra* L.)容器苗在移植後達 100% 的存活率，根系發育佳且在各項調查項目優於裸根苗的表現(Wilson et al., 2007)。容器苗依照生產過程分為兩種：

(1) 實生型容器苗(container-grown seedlings)

實生型容器苗在種苗或幼苗時已容器化，並隨植株生長不斷更換容器大小，並於適當規格時出售(謝, 2014)。在臺灣小型苗木多以容器化，以避免田間的不確定因子影響小型苗木的生長。此外，實生型容器苗木須掌握換盆時機，以防止盤根現象(Amoroso, 2010)，或根系突破容器，於出貨時造成根系不必要的損傷。

(2) 容器化苗(containerized seedlings)

容器化苗之來源是田間苗，於出貨前將苗木移至容器中栽培，使植株地上部與地下部達平衡時出售(Sharon, 2010)。自田間移植至容器的過程中，會造成根部損失，但容器化苗的生產方式利用田間苗生長迅速和容器育苗條件易於調整的

特性，加速苗木達出貨品質的時間。惟臺灣業者在上盆後之馴化技術尚未純熟，常於地上部和地下部尚未平衡時出售，致使苗木品質和存活率沒有明顯上升(謝，2014)。



容器苗生產過程中，有兩個須注意的現象，分別是：

(1) 盤根效應(root-circling)

盤根為苗木根部接觸容器壁時，因為根生長空間限制而產生的現象(Svenson and Johnston, 1944)，盤根的根系會呈現蓬亂、糾結、捲繞、偏斜和畸形等情形(Arnold, 1992)，且在移植後根系仍會迂迴生長，造成根系輻射擴散至土壤較為緩慢(Arnold and Young, 1991)，且根系淺、無支撐根(青木，1992)。目前除了以人工修剪盤根區域外，亦可使用物理性空氣修剪的控根容器或化學性銅修剪(林，1999)，達改善或預防盤根的效果。

(2) 容器效應(container effect)

以容器栽培植物，植物根系會產生型態上或物理上的改變，以適應容器為氣候環境和鉢障條件(pot bound)，其反應亦會影響到容器苗之品質和外觀表現(NeSmith and Duval, 1998)，應慎選容器形狀與材質以減緩容器效應(黃，1999)。義大利石松(*Pinus pinea*)在深度、直徑比值 3-4 間的容器中生長，莖徑有較佳的表現(Dominguez-Lerena et al., 2006)。榕樹(*Ficus retusa*)於容積較大的容器中生長，地上部和地下部的鮮重都有顯著的成長(Biran and Eliassaf, 1980)。應於適當時機換盆，避免容器效應造成苗木品質的低落。

二、土壤含水量對植物生長及生理之影響

水是植物生長的限制因子(Welsh, 1993;Silva et al., 2007)，土壤水分狀態會直接影響植物的生長，因此快速、準確且方便的測量土壤水分狀態對植物水分管理具有重要之意義(涂，2015)。土壤水分的動態變化反映了作物的水分供需狀況，因此快速、準確地測定土壤含水量對農田水分管理有重要意義(王等，2000)。重量法被視為測定土壤含水量較準確的方法，但屬於破壞性的測定方法，且費力、費時(邱和葉，2012)。土壤水分測定儀 WET sensor 是利用頻域反射法測定介質體積含水量(Hamed et al., 2006)，測定方式為非破壞性，且有校正容易、操作迅速、方便讀值的特性(Burnett and van Iersel, 2008)。

利用重量法測量土壤含水量，指出當土壤含水量低於飽和含水量之 50%時，對植物而言為中度之乾旱逆境(moderate drought stress)(Sanchez-Rodriguez et al., 2010)，當達土壤含水量達飽和含水量之 30%-10%時，對植物而言為嚴重之乾旱逆境(severe drought stress)(Stegman, 1982)，而對大部分植物最適宜生長的土壤水分含量介於田間含水量之 60%至 80%，但此範圍因土壤物理特性或植物種類而有些微差異(林，1991)。

不當的水分管理會對植物生理過程造成影響，如影響光合作用、氣孔導度、蒸散作用(Ceulemans et al., 1983; Shao et al., 2008)，進而影響生長，如株高(Zainudin et al., 2003; Sharp and Lenoble, 2002)、莖徑(Gilman et al., 1998; Zainudin et al., 2003)。石楠(*Photinia×fraseri*)於水分過多或過少的環境，枝條生長量和新葉數量都受到限制(Welsh and Zajicek, 1993)。

葉片的葉綠素含量可作為植物遭受乾旱逆境的指標(Ueda et al., 2003)隨著灌溉頻度減少，葉片葉綠素讀值逐漸上升，可能是乾旱逆境下，葉片數、葉面積減少所造成的補償反應(Nezami et al., 2008)，切花用菊花隨著土壤灌溉水量下降，其葉綠素讀值亦逐漸上升(邱，2012)。



三、 氮素對植物生長及生理之影響

氮(nitrogen, N)是植物最重要的礦物元素，是構成蛋白質、胺基酸和核酸等重要物質的原料(黃，2013)。氮肥的用量決定了作物的產量(Mengel and Kirkby, 2001)，適當提高葉片氮濃度，植株光合作用效率會上升(Evans, 1989)。

缺氮或施低氮肥，會使植株生長慢，葉面積小、葉黃綠、乾物重下降、地下部乾重增加，主根變長、側根增多以利從土壤吸收更多的氮(黃，2013)。根冠比(root-shoot ratio)會上升(Worrall et al., 1987)，植物會將較多的同化物往地下部分配(Mengel and Kirkby, 2001)。

植物生長量隨施用氮肥濃度增加而增加，並隨施用氮肥濃度上升大幅增加表現量後，有趨緩的情形(Marschner, 1995)。又養分供給增加，生物量卻沒有隨之上升，亦沒有顯著下降時，可能是處在養分承載的狀態，即苗木吸收超過正常需求的養分，並將養分積累在植體內(Hawkins et al., 2005)，積累的養分不僅促進移植後的根系發育，也間接促進根系的養分吸收，使苗木可以更快萌出新芽，提前生長，增強移植的競爭力(Timmer et al., 2004)。

一旦養分供給超過養分承載的最大量，生長量會下降(魏等，2010)。過高的氮會使葉片葉色濃綠，植株吸收大量的氮會降低其他礦物元素的吸收，且因為細胞內未與碳骨架結合的游離態氮較多，使植株易受病蟲害影響(黃，2013；Pitchay et al., 2007)。

葉綠素測計為一攜帶式輕巧葉綠素測計，可用來表示葉片的濃綠程度，值越大，葉色越濃綠，代表葉片葉綠素濃度高(Netto et al., 2005)。葉綠素計測值CMR亦與葉片氮濃度呈現高度之相關性(涂，2014)，葉片中大部分的N分布於葉綠素中是主要的原因(Mengel and Kirkby, 2011)。因此，葉片顏色濃綠是氮肥充足的重要外觀指標(黃，2013)。



四、 樹木移植成功關鍵

移植造成根部的損失，也影響了根部吸收水分和肥份的能力(Daniel, 2009)，由於樹木的根系可以延伸到滴水線的 1-3 倍，有 90% 的吸收根會在移植的過程中遺失(Sharon, 2010)，即使挖掘的土球大小遵造規範(Gilman and Beeson, 1990；Watson and Himelick, 1992)。因移植造成受傷和功能受損，以致地下部對水分、養分的吸收無法滿足地上部的需求(Harris and Bassuk, 1995)，較少的碳水化合物致使新根萌發不足(Watson, 1983)，並且需要一段時間復原，適應新環境，這稱為移植休克(transplant shock)(Rietveld, 1989)。菩提樹在移植後的第一年，枝條生長速度減緩，直到第二年才恢復原先的生長速度(Solfjeld and Hansen, 2004)，為移植休克的症狀。移植休克的症狀與乾旱逆境相似，如：枝條生長速度減緩、新葉變小、老葉枯萎、莖幹回枯甚至死亡(Barton and Walsh, 2000)。

根系重生可說是克服移植休克的關鍵，新根吸收水分的能力較木質化的根要好很多，藉著新根生長可改善植株的水分逆境(Grossnickle, 2005)，因為些微的新根生長，可使根部吸水能力大增。新根增加，根系吸收水分的阻力越小(Hinckley et al., 1978)，可使白天植株的水勢上升，也使植物生理恢復正常，促使植株重返正常的狀態(Grossnickle, 2005)。

根系生長受到土壤溫度和水分的影響(Struve, 2009)，在根系重生前適當的地上部地下部平衡對於正常生長是重要的(Watson, 1985)，縮小地上部地下部的不平衡，可以增加存活率並減少恢復正常生長的時間(Watson and Sydner, 1987)，補償修剪正是縮小地上部地下部不平衡的一個方法(Castle, 1983)。然而移植後的水分逆境使得快速的新葉萌發並不被建議，且新葉萌發致使地上部和地下部競爭有限的碳水化合物，造成新根萌發減緩(Harris and Faneli, 1999)。植物根部被認為是養分需求的部位(Robbins and Pharr, 1988)，葉片進行光合作用得到的養分將有助於新根萌發(Watson, 1986)。

乾旱逆境會影響植物的光合作用、氣孔導度和蒸散作用(Souza et al., 2004)；

乾旱逆境對光合作用之影響，導因於根部感受缺水訊號，葉片累積 ABA，使得氣孔關閉，細胞間隙 CO₂ 下降，造成光合作用下降(Taiz and Zeiger, 2010)，移植休克的乾旱逆境亦有類似之情形(Barton and Walsh, 2000)。許多研究測定植株的枝條水勢作為水分逆境的指標，正常的枝條水勢在 0 至-0.9 MPa 之間，當作物在接近萎凋點之介質中，其枝條水勢約在-1.5 至-2.0 MPa 之間(Raviv and Blom, 2001)。

苗木移植應增加根部與介質的適當接觸，並保持介質濕潤減少苗木的水分逆境，減少植栽暴露在逆境的時間(Grossnickle, 2005)。當植物逆境消失，移植後的植株將和不曾移植的植株有相似的生長(South and Zwolinski, 1997)。

第三章 介質種類和含水量對青楓與樟樹生長和生理之影響

Chapter 3. Effect of Volumetric Water Content of Medium on the Physiology and Growth of *Acer serrulatum* and *Cinnamomum camphora*

摘要(Abstract)

容器苗根系限縮容器內，水分管理成為植株表現的重要關鍵。本試驗藉由介質含水量作為灌溉時機的依據，探討不同介質含水量對容器苗生長和生理的影響。青楓(*Acer serrulatum* Hayata.)和樟樹 (*Cinnamomum camphora* (J). Presl.) 6 cm 袋植苗為試驗材料，田土(soil, S)與田土:椰纖=1:1(v/v) (soil+coir, S+C)為介質，試驗期間分別在介質含水量低於 15%、25%、35%及 45%時進行澆灌。青楓僅維持介質含水量 15%和 25%之處理，冬季落葉後生長受阻。當青楓和樟樹維持介質含水量 35%和 45%，其株高、莖徑、分枝數及冠幅皆有較好的表現。惟樟樹的葉綠素讀值(chlorophyll meter reading, CMR)、常態化差異植生指數(normalized Difference Vegetation Index, NDVI)以介質含水量維持在 15%和 25%之處理表現較好，主因為低水分管理(介質含水量維持在 15%和 25%)造成補償效應和高水分管理(介質含水量維持在 35%和 45%)生長旺盛導致的肥分不足。介質對青楓和樟樹大部分調查項目沒有顯著影響，但青楓於 S+C 處理有較佳的分枝數，且各項數值雖無統計上的差異，但整體表現較 S 佳；樟樹於 S+C 處理有較佳的葉厚度和葉面積，且地下部較 S 佳。建議青楓和樟樹使用 S+C 為介質，且青楓維持介質含水量在 35%，樟樹則維持介質含水量在 35%，並斟酌使用追肥，能有較佳的苗木品質。

一、前言(Introduction)

水分是植物生長的限制因子(Welsh, 1993)，容器苗根系限縮容器內，水分管理更成為植株表現的重要關鍵，為了確保容器苗的正常生長，需要在其生長過程適時適量補充水分，避免因水分過少造成的苗木生長勢減弱或水分過於飽和造成苗木缺氧(鄧，2008)。水分逆境在容器苗栽培中導致牛油果樹(*Persea americana*)之株高和莖徑較低(Zainudin et al., 2003)；灌溉的頻度亦影響櫟樹(*Quercus ilex*)在莖徑上的生長速率(Gilman et al., 1998; Zainudin et al., 2003)。

介質中的水分並非完全由植物吸收，有一部分為介質表面散失，因此，灌溉與否除了和植株種類相關，介質種類、土壤濕度與天氣狀況亦為重要變因，故灌溉模式因各地環境而異。Management allowed deficit (MAD)是根據蒸散量和田間容水量提出的灌溉模型，即田間容水量低於某標準量時澆水，而該標準量應該在灌溉成本和植株品質間達到最高經濟價值的平衡點(Welsh, 1993)。藉由長時間觀察土壤含水量的消長，並調查灌溉方式對植株表現之影響，可有一套適地適種的苗木灌溉技術。



二、材料方法(Materials and Methods)

試驗一、土壤水分測定儀讀值與重量法測得知含水量相關性

3.1 試驗材料

參試材料分別是購自彰化縣恭笙園藝的田土和臺北市丁蘭園藝的椰纖。準備 8 個容量為 750 ml 的附蓋紙碗，碗內分別裝填田土和田土+椰纖(v/v=1:1)兩種介質(代號分別是 S、S+C)，塑膠蓋以美工刀平均地割出 5 個洞口作為吸排水孔，並於塑膠蓋和介質間鋪上一層濾網避免介質流失。試驗期間為 2015 年 7 月 15 日至 2015 年 9 月 7 日，置於臺灣大學花卉館大教室。

3.2 試驗方法

將每盆材料壓入水中浸泡 16 小時至介質飽和，取出後倒放 24 小時使盆內重力水排除，再插入 WET sensor (Type HH2, Delta-T Devices, Cambridge, UK)簡稱 WET，將 WET 模式調為 organic base。本試驗分為田土和田土+椰纖(v/v=1:1)兩處理，每處理四盆，每盆隨機取樣 3 次，均為 1 重複，共 4 重複。每天以 WET sensor 測量介質含水量後，隨即秤重為 W1，再將介質置於 65°C 烘乾至重量不再變化時，秤重為 W2。 $(W1-W2)/W2$ 為介質相對重量含水量。將 WET sensor 讀值與重量法測得之介質相對重量含水量以 Sigma Plot 10.0 軟體(Systat Software Inc., Richmond, CA, USA)進行回歸分析與繪圖，檢測兩者之相關性。

3.3 調查分析項目

(1) 介質含水量 (Volumetric water content, VWC)：使用土壤水分測定儀 WET sensor (Type HH2, Delta-T Devices, Cambridge, UK)測量，簡稱 WET，以 Organic base 模式測定。

(2) 介質重量(The weight of substrate)：以電子磅秤秤量。

試驗二、介質種類和水分含量對青楓和樟樹生長、生理之影響

3.1 試驗材料


參試材料為 2013 年 9 月 30 日購自彰化縣田尾美之園之青楓(*Acer Serrulatum* Hayata.)和樟樹 (*Cinnamomum camphora* (J). Presl.) 6 cm 袋植苗。青楓選取的株高約為 30-40 cm、幹徑為 6 mm；樟樹選取的株高約為 60-70 cm、幹徑為 6 mm。於 2013 年 10 月 1 日換至 15 cm 紅色塑膠盆，上盆時於盆器底部施用好康多緩效肥 10 g，馴化 1 週後開始試驗，試驗時間為 2013 年 10 月 10 日至 2013 年 6 月 20 日。試驗地點為國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場園藝分場溫室 103 室。

3.2 試驗方法

本試驗以青楓和樟樹作為試驗材料，以田土、田土+椰纖(v/v=1:1)為試驗介質，於馴化一週後進行試驗。將植株充分澆水，間隔三小時排除重力水後以 WET sensor 測量介質含水量，即飽和容水量，此後每天監測兩介質的介質含水量，每當介質含水量分別低於 15%、25%、35%和 45%時進行灌溉，每次灌溉至飽和，這是更改自 MAD (management allowed deficit)的灌溉方式。試驗期間，每 2 週調查一次株高、莖徑，並於試驗結束時進行其他項目的調查。本試驗分為兩介質、每介質四處理，共八處理，每盆為一重複，每處理 5 重複。

3.3 調查分析項目

- (1) 介質含水量(Volumetric water content, VWC):使用土壤水分測定儀 WET sensor (Type HH2, Delta-T Devices, Cambridge, UK)測量，簡稱 WET，以 Organic base 模式測定。
- (2) 株高(Height):由介質表面至植株頂端生長點的高度(cm)。
- (3) 株高變化(Δ Height):實驗結束時的株高減去最初的株高(cm)。
- (4) 莖徑(Stem caliper):測量距離介質表面 5 cm 處之莖幹粗(mm)。
- (5) 莖徑變化(Δ Stem caliper):實驗結束時的株高減去最初的莖徑(mm)。

- 
- (6) 冠幅(Crown diameter)：測量全株植物最大開展生長點距離，與其垂直 90°之長度(cm)，兩數取平均值。
- (7) 分枝數(The number of branches)：著生於主幹上的亞主枝數量。
- (8) 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter readings, CMR, SPAD-502 value)：每植株取任意 3 枝梢之第 2 片完全展開葉，每片葉測定 2 次，共 6 次取平均值，並以 CMR 表示。於葉中肋和葉緣間進行測量，以免影響葉綠素計判讀。葉綠素計原理為利用葉片對 650 nm 及 940 nm 兩波長吸收率的差異，估算葉綠素含量。
- (9) 常態化差異植生指數(Normalized difference vegetation index, NDVI)：每植株中任意選取兩枝條，以可攜式簡易光譜測量儀(NDVI 300, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech)測量由頂端向下數第 2 片完全展開葉，取其平均值，並以 NDVI 表示。
- (10) 取樣葉鮮重(Sampled leaf fresh weight)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以電子天秤(GR-120, A&D, Japan)測量其葉片鮮重，取其平均值。
- (11) 取樣葉乾重(Sampled leaf dry weight)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，置於 85°C 烘箱烘乾至重量不再變化，以電子天秤(GR-120, A&D, Japan)測量其葉片乾重，取其平均值。
- (12) 取樣葉片厚度(Sampled leaf thickness)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以葉片厚度計(SM-112, Teclock, Japan)測量其葉片厚度(mm)，取其平均值。下壓後隨即記錄，避免因葉片擠壓造成誤差。
- (13) 取樣葉片面積(Sampled leaf area)
- (14) 介質電導度(Electrical conductivity, EC)：於介質澆透後一天，使用野外土壤及溶液電導度測定計(Spectrum Technologies, 2265F, Illinois, USA)測量介質 EC 值。
- (15) 介質酸鹼度(pH)：使用手提式酸鹼度/電壓/溫度測定計(IQ Scientific Instruments, Type 2162S, USA)測量介質酸鹼度。
- (16) 介質硬度(Substrate hardness)：使用山中式土壤硬度計(soil hardness tester,

Yamanaka type, Yenstron corp., Taiwan)於介質表面隨機插入測量，每盆一重覆。

(17) 介質氧氣擴散速率(Oxygen diffusion rate, ODR)：於介質澆透後一天，以介質氧氣擴散速率儀(oxygen diffusion meter, Eijkelkamp, the Netherlands)，分別接上白金電極、黃銅電極與參考電極，將三電極插入介質 5-10 cm 深，測量其介質間之氧氣擴散速率。每盆 1 重複。

統計分析

試驗採完全隨機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4 (CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，進行最小顯著差異分析(least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著差異($P \leq 0.05$)，繪圖採用 SigmaPlot 10.0 軟體(Systat Software Inc., Richmond, CA, U.S.A.)。

三、結果(Results)

試驗一、土壤水分測定儀讀值與重量法測得知含水量相關性

以傳統的重量法測出實際上的介質含水量，與土壤水分測定儀 WET 測得之數值進行比較和回歸分析，結果發現 WET 用於 S 和 S+C 兩介質皆可有效呈現介質水分狀態，兩者皆呈高度相關(S 的 $R^2=0.96$ ；S+C 的 $R^2=0.99$)(圖 3.1)。

S+C 的飽和含水量較高，WET 測值約為 65%，且在相同的試驗時間下，介質水分含量下降的幅度較 S 小；S 的飽和含水量較低，WET 測值約為 55%，且在相同的試驗時間下，介質水分含量下降的幅度較 S+C 大。

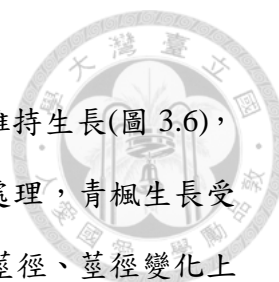
試驗二、介質種類和水分含量對青楓和樟樹生長、生理之影響

2.1. 介質含水量變化

試驗期間以兩介質種植青楓和樟樹容器苗，各處理之每日平均介質含水量如圖 3.2、3.3、3.4、3.5 所示，處理開始時先將介質澆水至飽和含水量，VWC 下降

至設定之數值再進行復水灌溉。

青楓於 S 中，介質含水量維持在 15% 的處理約在停水後 9 天達 15% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 12%-40% 間；介質含水量維持在 25% 的處理約在停水後 4-5 天達 25% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 18%-42% 間；介質含水量維持在 35% 的處理約在停水後 1-2 天達 35% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 28%-40% 間；介質含水量維持在 45% 的處理約在停水後 1 天達 45% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 28%-45% 間(圖 3.2)。青楓於 S+C 中，介質含水量維持在 15% 的處理約在停水後 14-17 天達 15% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 12%-45% 間；介質含水量維持在 25% 的處理約在停水後 7 天達 25% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 18%-48% 間；介質含水量維持在 35% 的處理約在停水後 5-6 天達 35% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 30%-50% 間；介質含水量維持在 45% 的處理約在停水後 2-3 天達 45% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 38%-58% 間(圖 3.3)。樟樹於 S 中，介質含水量維持在 15% 的處理約在停水後 5-7 天達 15% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 12%-35% 間；介質含水量維持在 25% 的處理約在停水後 3-5 天達 25% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 20%-40% 間；介質含水量維持在 35% 的處理約在停水後 1-2 天達 35% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 27%-38% 間；介質含水量維持在 45% 的處理約在停水後 1 天達 45% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 27%-40% 間(圖 3.4)。樟樹於 S+C 中，介質含水量維持在 15% 的處理約在停水後 9-11 天達 15% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 14%-42% 間；介質含水量維持在 25% 的處理約在停水後 6 天達 25% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 20%-45% 間；介質含水量維持在 35% 的處理約在停水後 4-5 天達 35% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 25%-45% 間；介質含水量維持在 45% 的處理約在停水後 2-3 天達 45% VWC，再行復水灌溉，變動範圍介於 35%-52% 間(圖 3.5)。



2.2. 青楓和樟樹的植物生長量

當介質含水量維持在 35% 時，青楓冬季不落葉，且株高可維持生長(圖 3.6)，莖徑亦緩慢成長(圖 3.7)；但介質含水量維持在 15% 和 25% 之處理，青楓生長受阻，且冬季落葉後無法重新長葉(圖 3.8)。在株高、株高變化、莖徑、莖徑變化上介質含水量維持在 35% 和 45% 明顯優於介質含水量維持在 15% 和 25% 之處理，不論青楓容器苗種植在 S 或 S+C(表 3.1)。冠幅則是介質含水量維持在 45% 之處理較好，亦不受介質的影響(表 3.2)。分枝數則是種植在 S+C 的青楓容器苗優於種植在 S 的青楓容器苗(表 3.2)。

樟樹方面，不論使用何種灌溉方式，冬季都沒有落葉或生長緩慢的情形(圖 3.9、3.10)。株高、株高變化、莖徑、莖徑變化(表 3.3)、冠幅(表 3.4)都以介質含水量維持在 35%、45% 的處理表現較好(圖 3.11)，且與介質都不相關。分枝數則以介質含水量維持在 25%、35%、45% 的處理有較多的分枝數(表 3.4)。不論是何種介質，介質含水量維持在 35%、45% 的處理根系數量較介質含水量維持在 15%、25% 的處理多，根也較介質含水量維持在 15%、25% 的處理粗，即根系較為旺盛；雖在各個調查項目中介質對樟樹生長的影響不大，比較兩種介質的根系發現，S+C 介質的根系較 S 介質來的旺盛(圖 3.12)。

2.3. 青楓和樟樹的植物生理數據

介質含水量僅僅維持在 15%、25% 的處理，青楓生長受阻，且冬季落葉後無法重新長葉，無法調查葉片的植物生理數據。而介質含水量維持在 35%、45% 的處理 CMR、NDVI 皆不受灌溉頻度和介質種類的影響(表 3.2)。

樟樹方面，CMR 和 NDVI 皆不受介質影響。不論種植在 S 或 S+C，CMR 皆隨灌溉頻度增加而下降，介質含水量維持在 35%、45% 的處理有葉片黃化的情形。種植在 S 的樟樹 NDVI 以介質含水量維持在 15% 以上的處理表現較差，介質含水量維持在 35%、45% 的處理表現較好；種植在 S+C 的樟樹 NDVI 以介質含水量維持在 45% 的處理表現較差，介質含水量維持在 15% 的處理表現較好(表 3.4)。



2.4. 青楓和樟樹的取樣葉數據

介質含水量維持在 35%、45% 的青楓取樣葉鮮重、取樣葉乾重、葉片厚度及葉片面積皆不受灌溉頻度和介質種類的影響(表 3.5)。

種植於 S 的樟樹取樣葉鮮重、取樣葉乾重皆以介質含水量維持在 25%、35% 及 45% 的處理表現較佳；種植於 S+C 的樟樹取樣葉鮮重無顯著差異，取樣葉乾重皆以介質含水量維持在 25%、35% 及 45% 的處理表現較佳。種植於 S+C 的樟樹葉片厚度較厚，且隨灌溉頻度增加，葉片厚度有增厚的趨勢。種植於 S 的樟樹葉片面積以介質含水量維持在 25%、35% 的處理表現較佳；種植於 S+C 的樟樹葉片面積則以介質含水量維持在 35% 的處理表現較佳(表 3.6)。

2.5. 試驗後介質物理化學特性

試驗後，不論青楓種在 S 或 S+C，介質的電導度皆隨灌溉頻度的增加而下降，且 S 的電導度大於 S+C。S 的 pH 值大於 S+C，不論青楓種在 S 或 S+C 都以介質含水量維持在 15% 的處理 pH 值最低。S 的介質硬度顯著大於 S+C，且隨灌溉頻度的增加，介質硬度有下降的趨勢。不論青楓種在 S 或 S+C，土壤氧氣擴散速率都以介質含水量維持在 35% 的處理較高。

試驗後，種植樟樹的 S 電導度隨著灌溉頻度增加而下降，S+C 電導度不受灌溉頻度的影響。S 的 pH 值大於 S+C。種植樟樹的 S 以介質含水量維持在 15% 較硬，為 15.8 mm；種植樟樹的 S+C 則不因灌溉頻度的不同而有所差異。

2.6. 介質對青楓和樟樹之影響

青楓在分枝數方面以 S+C 表現較佳，其他調查項目雖然在統計上沒有顯著差異，但數值大致以 S+C 表現優於 S。樟樹在葉片厚度和葉面積以 S+C 表現較佳，其他項目則無顯著差異。



四、討論(Discussion)

試驗一、土壤水分測定儀讀值與重量法測得知含水量相關性

土壤水分的動態變化反映了作物的水分供需狀況，因此快速、準確地測定土壤含水量對農田水分管理有重要意義(王等，2000)。重量法被視為測定土壤含水量較準確的方法，但屬於破壞性的測定方法，且費力、費時(邱，2012)。土壤水分測定儀 WET sensor 是利用頻域反射法測定介質體積含水量(Hamed et al., 2006)，測定方式為非破壞性，且有校正容易、操作迅速、方便讀值的特性(Burnett and van Iersel, 2008)。本研究利用 WET organic 模式量測 S 和 S+C(v/v=1:1)的介質含水量，並與重量法進行迴歸分析。結果顯示，不論以 WET organic 模式量測 S 或 S+C(v/v=1:1)，皆與重量法呈高度正相關(圖 3.1)。因此可使用 WET organic 模式作為測量 S 和 S+C(v/v=1:1)介質水分含量的測量工具。

本研究使用之 S 在混合椰纖後，飽和含水量自 60% 提升至 70%，且每日介質含水量下降的幅度減緩，前人研究亦指出添加椰纖可增加保水力(謝，2014)。

試驗二、介質種類和水分含量對青楓和樟樹生長、生理之影響

本試驗採用更改自 MAD 的灌溉方式，不論是青楓或樟樹，灌溉頻度皆隨須灌溉的灌溉層級上升而上升，即灌溉間隔天數縮短、灌溉次數增加(圖 3.2、3.3、3.4、3.5)，與前人研究相符(Welsh and Zajicek, 1993)。介質含水量維持在 15% 的處理，青楓的介質含水量變動範圍是 12%-45%(圖 3.2、3.3)，樟樹的介質含水量變動範圍是 12%-42%(圖 3.4、3.5)，而介質含水量 20% 屬於對大部分植物皆會造成水分逆境的環境(Baghalian et al., 2011)。本試驗中的 S 飽和含水量約 57%，S+C 飽和含水量約 67%，而前人研究指出，以重量法測量當土壤含水量低於飽和含水量之 50% 時會對植物造成中度乾旱逆境(Sanchez-Rodriguez et al., 2010)，當土壤含水量低於飽和含水量之 30% 時為嚴重乾旱逆境(Stegman, 1982)，對照重量法換算 WET 測值，中度乾旱逆境時 S 的 WET 測值約為 25%，S+C 測值 WET 測值

約為 33%，因此介質含水量維持在 35%、45% 的處理都在適合植物生長，不會造成植物逆境的範圍。

水管理是容器育苗技術的關鍵之一，不當的水管理會對植物生理過程造成影響，如影響光合作用、氣孔導度、蒸散作用(Ceulemans et al., 1983; Shao et al., 2008)，進而影響生長，如株高(Zainudin et al., 2003; Sharp and Lenoble, 2002)、莖徑(Gilman et al., 1998; Zainudin et al., 2003)。本試驗中，青楓、樟樹的株高和莖徑在介質含水量維持在 35%、45% 時，有優於介質含水量維持在 15%、25% 的結果(表 3.1、3.3)，與前人研究相符。

當植株於缺水狀態，根長較長(Zainudin et al., 2003)，然而影響根部發展的原因有水分逆境和機械障礙，且機械障礙為主要因子(Bengough et al., 2011)。本試驗中，種植於 S 和 S+C 並維持介質含水量 15% 的樟樹介質硬度分別達 15.8、13.3(表 3.8)，限制了根部的發展。S 和 S+C 的物理性狀調查中，S 的硬度大於 S+C，亦為種植於 S+C 的樟樹根系較為旺盛的原因。

葉片的葉綠素含量可作為植物遭受乾旱逆境的指標(Ueda et al., 2003)，樟樹不論以 S 或 S+C 作為介質，介質含水量維持在 15% 的處理其任意枝條第二片完全展開葉的 CMR 最高，介質含水量維持在 45% 的處理其任意枝條第二片完全展開葉的 CMR 最低(表 3.4)，隨著灌溉頻度減少，葉片葉綠素讀值逐漸上升，可能是乾旱逆境下，葉片數、葉面積減少所造成的補償反應(Nezami et al., 2008)，於前人研究中，切花用菊花隨著土壤灌溉水量下降，其葉綠素讀值也逐漸上升(邱，2012)之結果類似。

當植株於缺水狀態下，其葉片因脫水而收縮，改變葉片細胞的結構(Scoffoni et al., 2014)，造成葉片變薄。本試驗中，種植於 S+C 的樟樹葉厚度顯著優於 S，推測是因為 S+C 的保水力優於 S，即使是高水分的管理(介質含水量維持在 35%、45%)，S 介質含水量的變動範圍最低 27% VWC，S+C 介質含水量變動範圍最低 25% VWC，但 S+C 處理 4-5 天出現一次低點，S 處理 1-2 天即出現低點，估計介質含水量變動幅度大，致使 S+C 葉片厚度優於 S。

五、結論(Conclusion)

在冬季，落葉樹種青楓在低水分管理(介質含水量僅僅維持在15%、25%)的栽培下生長受阻，且冬季落葉後無法重新長葉。而高水分管理(介質含水量維持在35%、45%)的栽培有較好的苗木品質。考量灌溉頻度和成本的問題，建議青楓維持介質含水量35% (約田間容水量的65%)，可避免冬季落葉，維持生長並有較好的苗木品質。樟樹方面，也是高水分管理(介質含水量維持在35%、45%)的栽培下苗木品質較佳，且高水分管理和低水分管理間差異顯著並有較好的根系發展，建議樟樹維持介質含水量35% (約田間容水量的65%)，相較維持介質含水量45%可減少灌溉頻率、降低灌溉成本，且應斟酌使用追肥，避免植物生長旺盛或灌溉淋洗導致介質肥份不足，進而造成生長速度趨緩、苗木品質變差。

表 3. 1. 介質與灌溉處理對青楓容器苗株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響
 Table 3. 1. Effects of cultural substrate and irrigation on height, Δ height, stem caliper, Δ stem caliper of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

介質種類 Kinds of substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	株高 Height (cm)	株高變化 Δ Height (cm)	莖徑 Stem caliper (mm)	莖徑變化 Δ Stem caliper (mm)
Soil	< 15%	40.2 b ^z	2.0 b	5.29 b	0.11 b
	< 25%	47.6 b	12.5 b	5.30 b	0.14 b
	< 35%	92.0 a	52.8 a	6.74 a	1.60 a
	< 45%	96.8 a	61.8 a	7.43 a	2.29 a
Soil+coir (1:1)	< 15%	41.6 c	4.0 c	4.95 c	-0.03 c
	< 25%	66.2 bc	28.9 bc	5.80 bc	0.41 bc
	< 35%	108.8 a	71.9 a	8.24 a	3.24 a
	< 45%	100.8 ab	64.8 ab	7.52 ab	2.41 ab
Significance					
Substrate		NS	NS	NS	NS
Irrigation		***	***	***	***
Substrate \times Irrigation		NS	NS	NS	NS

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.001$, respectively.

表 3. 2. 介質與灌溉處理對青楓容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值及植生指數之影響

Table 3. 2. Effect of cultural substrate and irrigation on canopy diameter, branch number, CMR, and NDVI of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	冠幅 Canopy diameter (cm)	分枝數 Branch number	葉綠素計 讀值 CMR	常態化差異 植生指數 NDVI
Soil	< 15%	- ^z	-	-	-
	< 25%	-	-	-	-
	< 35%	22.5	1.0	53.1	0.759
	< 45%	27.5	2.2	57.5	0.785
Soil+coir (1:1)	< 15%	-	-	-	-
	< 25%	-	-	-	-
	< 35%	20.5	3.33	49.9	0.772
	< 45%	34.9	3.25	52.2	0.757
Significance					
Substrate		NS	*	NS	NS
Irrigation		*	NS	NS	NS
Substrate × Irrigation		NS	NS	NS	NS

^zDue to irrigation treatments no leaf emerged after dormancy.

NS. * Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, respectively.

表 3.3. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響
 Table 3.3. Effect of cultural substrate and irrigation on height, Δ height, stem caliper, Δ stem caliper of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation Original point	株高 Height (cm)	株高變化 Δ Height (cm)	莖徑 Stem caliper (mm)	莖徑變化 Δ Stem caliper (mm)
Soil	< 15%	104.0 b ^z	31.8 b	6.50 c	1.76 c
	< 25%	121.4 b	47.1 b	9.85 b	5.05 b
	< 35%	149.8 a	74.2 a	12.14 a	7.00 a
	< 45%	145.2 a	72.3 a	12.05 a	6.93 a
Soil+coir (1:1)	< 15%	101.3 b	24.0 c	7.19 c	1.59 c
	< 25%	129.0 a	52.8 b	10.28 b	5.24 b
	< 35%	148.6 a	73.6 a	12.14 a	6.83 a
	< 45%	146.8 a	70.9 ab	12.77 a	7.59 a
Significance					
Substrate		NS	NS	NS	NS
Irrigation		***	***	***	***
Substrate \times Irrigation		NS	NS	NS	NS

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.001$, respectively.

表 3. 4. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值及植生指數之影響

Table 3. 4. Effect of cultural substrate and irrigation on canopy diameter, branch number, CMR, and NDVI of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	冠幅 Canopy diameter (cm)	分枝數 Branch number	葉綠素計 讀值 CMR	常態化差異 植生指數 NDVI
Soil	< 15%	45.4 c ^z	4.4 b	41.4 a	0.781 a
	< 25%	73.0 b	11.4 a	40.3 ab	0.789 a
	< 35%	91.7 a	12.2 a	38.9 ab	0.770 ab
	< 45%	97.6 a	15.4 a	34.9 b	0.742 b
Soil+coir (1:1)	< 15%	52.1 c	9.0 a	40.4 a	0.790 a
	< 25%	76.0 b	13.2 a	40.1 a	0.758 ab
	< 35%	94.1 ab	13.8 a	38.0 ab	0.767 a
	< 45%	95.3 a	13.8 a	32.5 b	0.716 b
Significance					
Substrate		NS	NS	NS	NS
Irrigation		***	***	**	**
Substrate × Irrigation		NS	NS	NS	NS

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001, respectively.

表 3. 5. 介質與灌溉處理對青楓容器苗之取樣葉鮮重、乾重、厚度及葉面積之影響

Table 3. 5. Effect of cultural substrate and irrigation on sampled leaf fresh weight, dry weight, thickness, and leaf area of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	取樣葉 Sampled leaf			
		鮮重	乾重	葉片厚度	葉面積
		Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Thickness (mm)	Leaf area (cm ²)
Soil	< 15%	- ^z	-	-	-
	< 25%	-	-	-	-
	< 35%	0.52	0.19	0.239	32.2
	< 45%	0.38	0.14	0.217	24
Soil+coir (1:1)	< 15%	-	-	-	-
	< 25%	-	-	-	-
	< 35%	0.64	0.24	0.209	39.2
	< 45%	0.46	0.18	0.223	28.3
Significance					
Substrate		NS	NS	NS	NS
Irrigation		NS	NS	NS	NS
Substrate × Irrigation		NS	NS	NS	NS

^zDue to irrigation treatments no leaf emerged after dormancy.

^{NS}Nonsignificant.

表 3. 6. 介質與灌溉處理對樟樹容器苗之取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度及葉面積之影響

Table 3. 6. Effect of cultural substrate and irrigation on sampled leaf fresh weight, dry weight, thickness, and leaf area of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	取樣葉 Sampled leaf			
		鮮重 Fresh weight (g)	乾重 Dry weight (g)	葉片厚度 Thickness (mm)	葉面積 Leaf area (cm ²)
Soil	< 15%	0.41 b ^z	0.07 b	20.6 a	12.8 b
	< 25%	0.78 a	0.13 a	21.7 a	19.3 a
	< 35%	0.67 a	0.17 a	22.5 a	21.4 a
	< 45%	0.65 ab	0.14 a	21.2 a	18.5 ab
Soil+coir (1:1)	< 15%	0.59 a	0.10 b	20.5 b	18.9 b
	< 25%	0.65 a	0.14 ab	23.7 a	19.8 b
	< 35%	0.67 a	0.15 ab	24.3 a	48.0 a
	< 45%	0.67 a	0.15 a	25.1 a	18.1 b
Significance					
Substrate		NS	NS	**	***
Irrigation		NS	**	**	***
Substrate × Irrigation		NS	NS	NS	***

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001, respectively.

表 3.7. 介質與灌溉處理對青楓容器苗介質電導度、pH 值、硬度、土壤氧氣擴散速率之影響

Table 3. 7. Effect of cultural substrate and irrigation on substrate electrical conductivity (EC), pH, hardness, and oxygen diffusion rate (ODR) of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata at the end of the experiment.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	電導度 EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH 值	介質硬度 Substrate hardness (mm)	土壤氧氣 擴散速率 ODR
Soil	< 15%	1436.2 a ^z	6.85 b	0.138 a	54.28 a
	< 25%	964.4 b	7.29 a	0.150 a	51.02 ab
	< 35%	436.4 c	7.04 ab	0.088 b	55.40 a
	< 45%	313.2 c	7.23 a	0.076 b	48.15 b
Soil+coir (1:1)	< 15%	927.8 a	6.33 b	0.080 a	48.76 b
	< 25%	534.8 b	6.80 ab	0.076 a	50.72 b
	< 35%	308.4 c	6.80 ab	0.083 a	56.08 a
	< 45%	256.2 c	7.12 a	0.072 a	48.65 b
Significance					
Substrate		***	**	***	NS
Irrigation		***	**	***	**
Substrate× Irrigation		NS	NS	**	NS

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001, respectively.

表 3.8. 以不同介質種植樟樹後電導度、pH 值、硬度、土壤氧氣擴散速率之變化
 Table 3. 8. Effect of cultural substrate and irrigation on substrate electrical conductivity
 (EC), pH, hardness, and oxygen diffusion rate (ODR) of the container-grown
Cinnamomum camphora (J). Presl. at the end of the experiment.

介質種類 Substrate	灌溉起始點 Irrigation original point	電導度 EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH 值	介質硬度 Substrate hardness (mm)	土壤氧氣 擴散速率 ODR
Soil	< 15%	1436.2 a ^z	7.25 a	0.158 a	52.50 a
	< 25%	964.4 b	7.07 ab	0.146 a	53.42 a
	< 35%	343.4 c	6.73 b	0.118 b	54.28 a
	< 45%	407.4 c	6.98 ab	0.114 b	54.10 a
Soil+coir (1:1)	< 15%	295.0 a	6.46 b	0.133 a	48.40 b
	< 25%	301.6 a	6.85 a	0.120 a	52.54 ab
	< 35%	322.8 a	6.66 ab	0.140 a	54.78 a
	< 45%	308.4 a	6.69 ab	0.126 a	56.18 a
Significance					
Substrate		***	**	NS	NS
Irrigation		***	NS	NS	*
Substrate × Irrigation		***	NS	*	NS

^zMean separation within columns by LSD test at $P < 0.05$ (n=5).

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

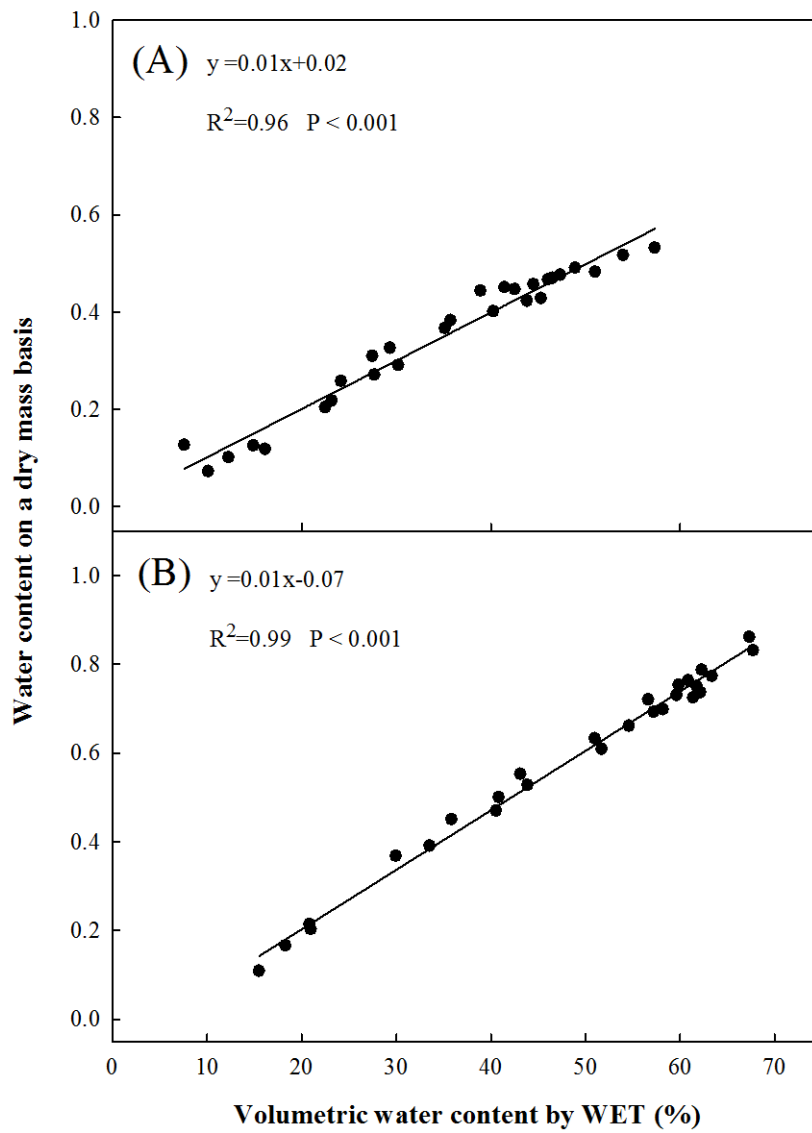


圖 3. 1. 以重量法與水分測定儀 WET 測得之土壤體積含水量關係

Fig. 3. 1. Relationship between dry mass-based and WET-measured volumetric water content-based water content. (A) Soil and (B) Soil+coir (v/v=1:1).

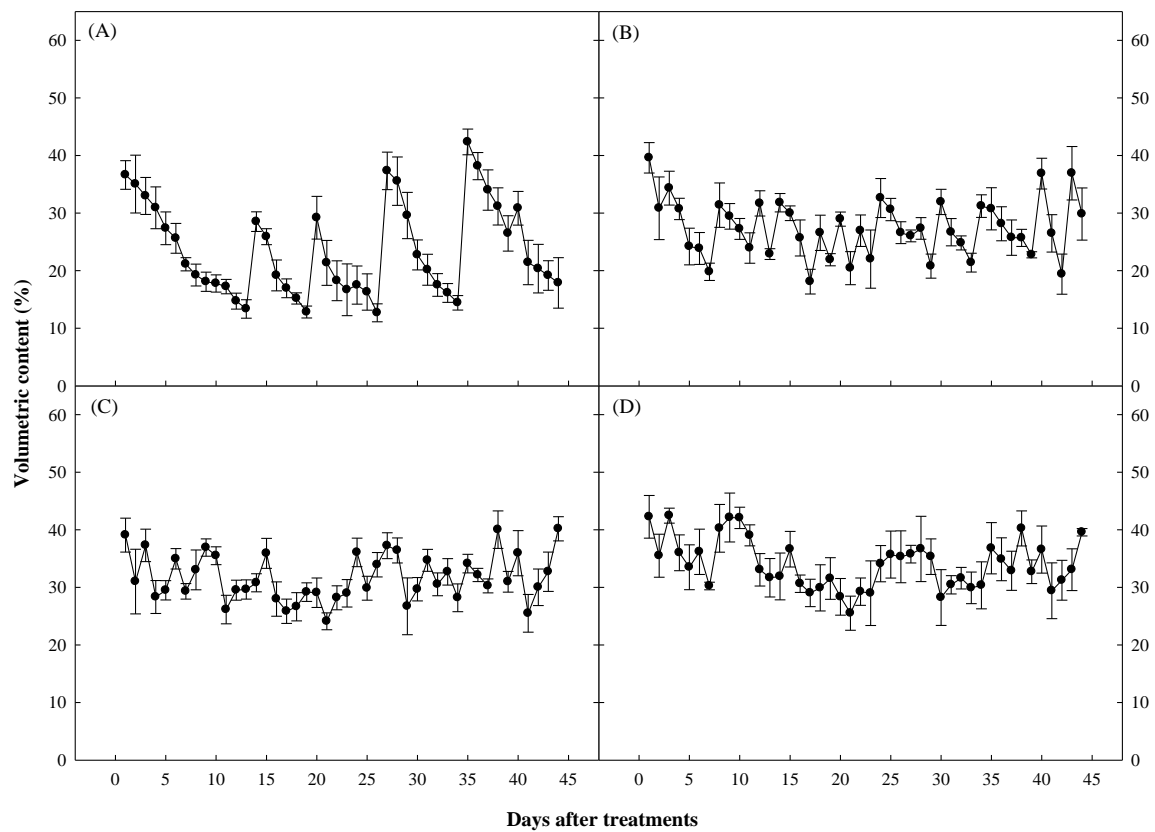


圖 3. 2. 青楓容器苗以純田土為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC
 Fig. 3. 2. Average daily volumetric water content (VWC) for container-grown *Acer serrulatum* Hayata with soil. The irrigation original points are (A) <15% VWC, (B) <25% VWC, (C) <35% VWC and (D) <45% VWC. Bars indicate standard error of the mean (n=4).

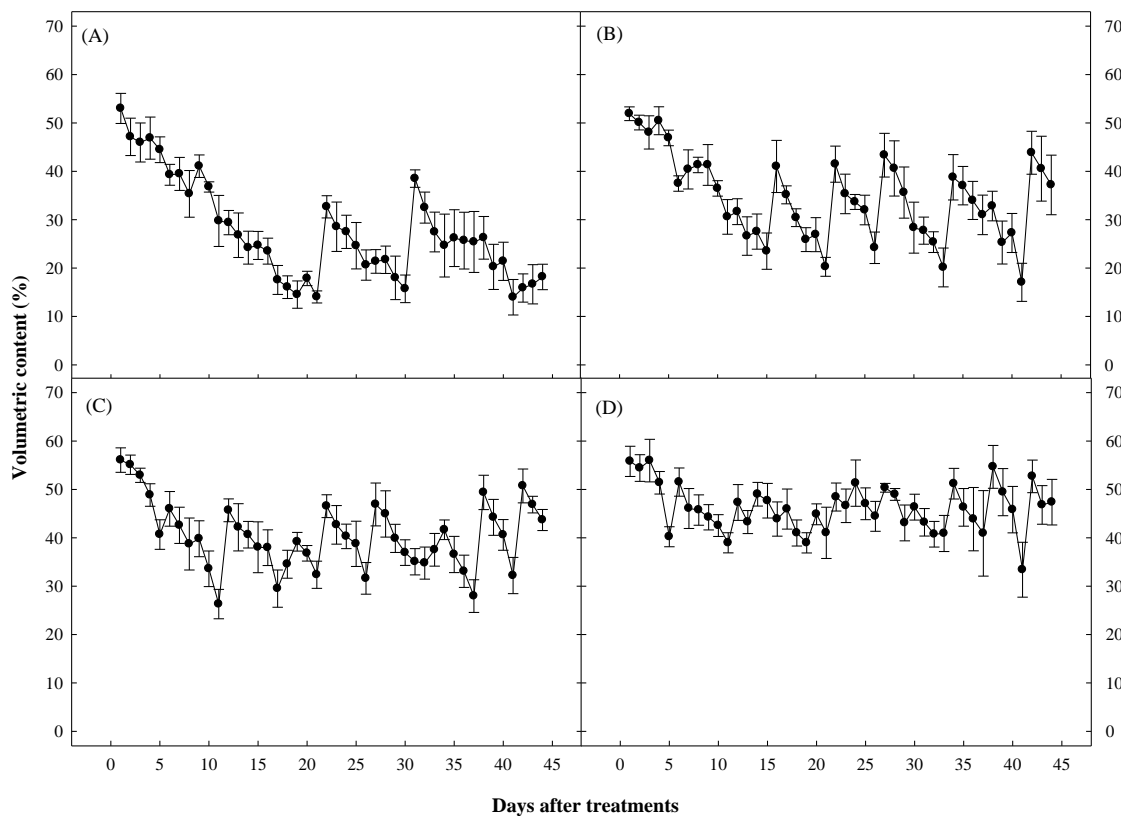


圖 3.3. 青楓容器苗以田土+椰纖(v/v=1:1)為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC

Fig. 3. 3. Average daily volumetric water content (VWC) for container-grown *Acer serrulatum* Hayata with soil+coir (v/v=1:1). The irrigation original points are (A) <15% VWC, (B) <25% VWC, (C) <35% VWC and (D) <45% VWC. Error bar is the standard error of mean(n=4).

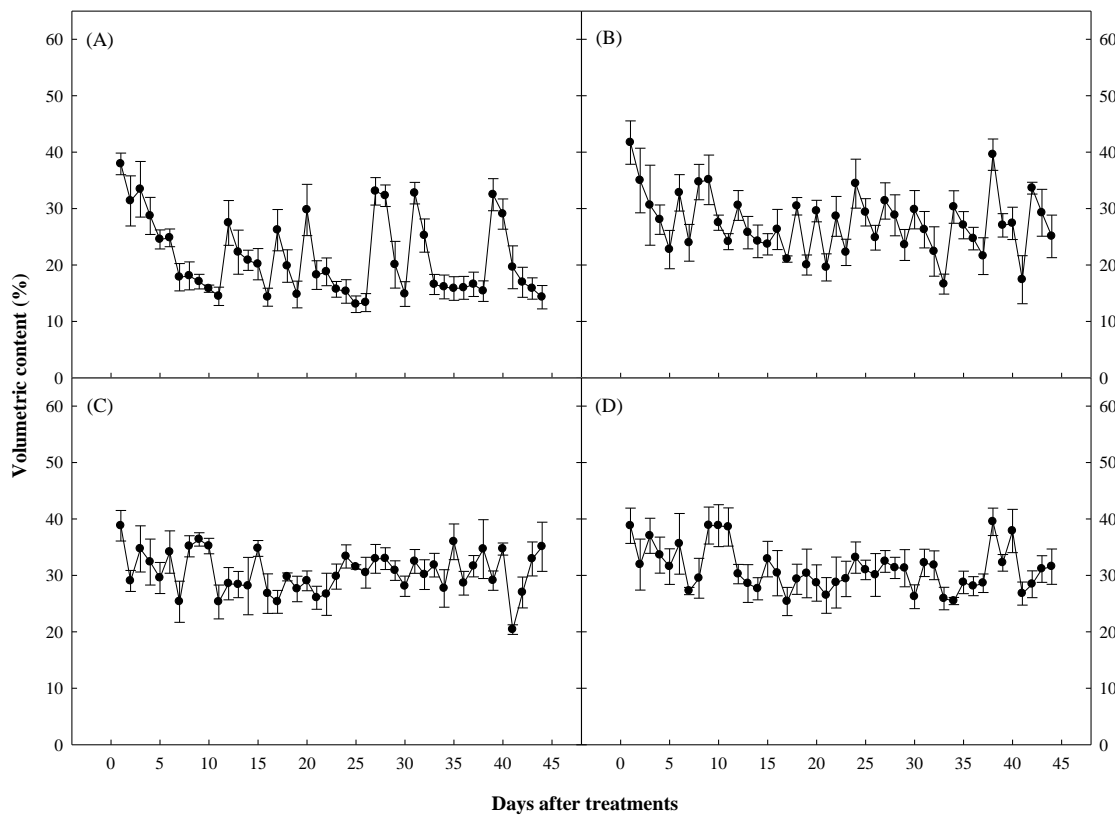


圖 3. 4. 樟樹容器苗以純田土為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A) <15% VWC、(B) <25% VWC、(C) <35% VWC、(D) <45% VWC
 Fig. 3. 4. Average daily volumetric water content (VWC) for container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl. with soil. The irrigation original points are (A) <15% VWC, (B) <25% VWC, (C) <35% VWC and (D) <45% VWC. Error bar is the standard error of mean(n=4).

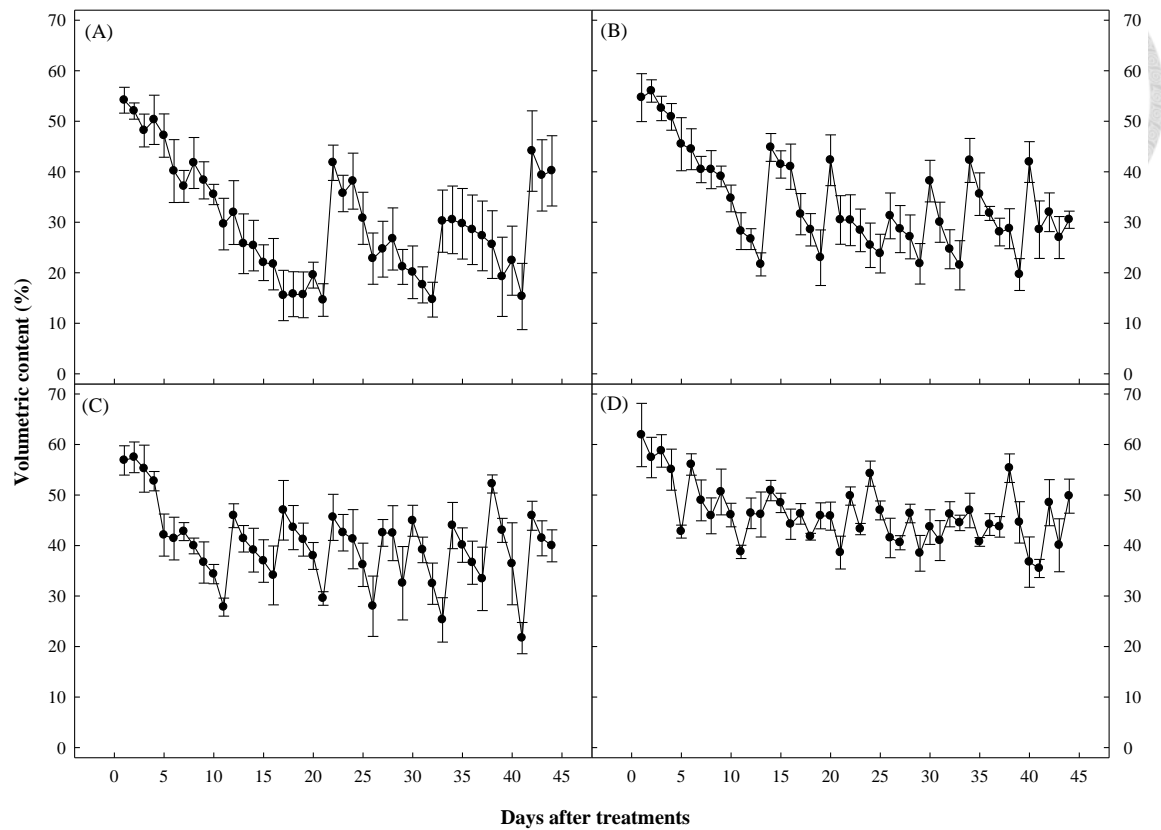


圖 3.5. 樟樹容器苗以田土+椰纖(v/v=1:1)為介質之每日平均介質含水量變化。灌溉起始點分別為 (A)<15% VWC、(B)<25% VWC、(C)<35% VWC、(D)<45% VWC

Fig. 3. 5. Average daily volumetric water content (VWC) for container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl. with soil+coir (v/v=1:1). The irrigation original points are (A)<15% VWC, (B)<25% VWC, (C)<35% VWC and (D)<45% VWC. Error bar is the standard error of mean(n=4).

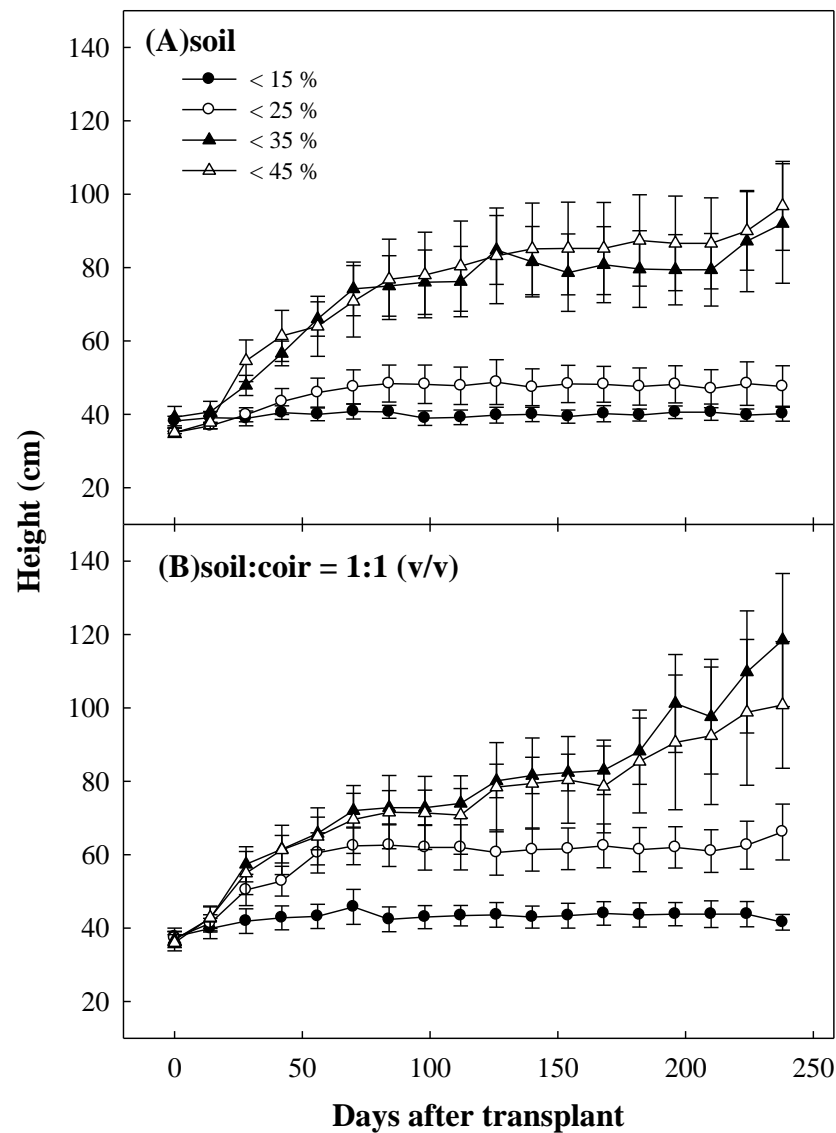


圖 3.6. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質種植,於15%、25%、35%及45% VWC 灌溉處理下株高變化情形。

Fig. 3.6. Effects of irrigation original point at 15%, 25%, 35%, 45% VWC on height of container-grown *Acer serrulatum* Hayata with (A) soil and (B) soil+coir (v/v=1:1). Bars indicate standard error of the mean (n=5).

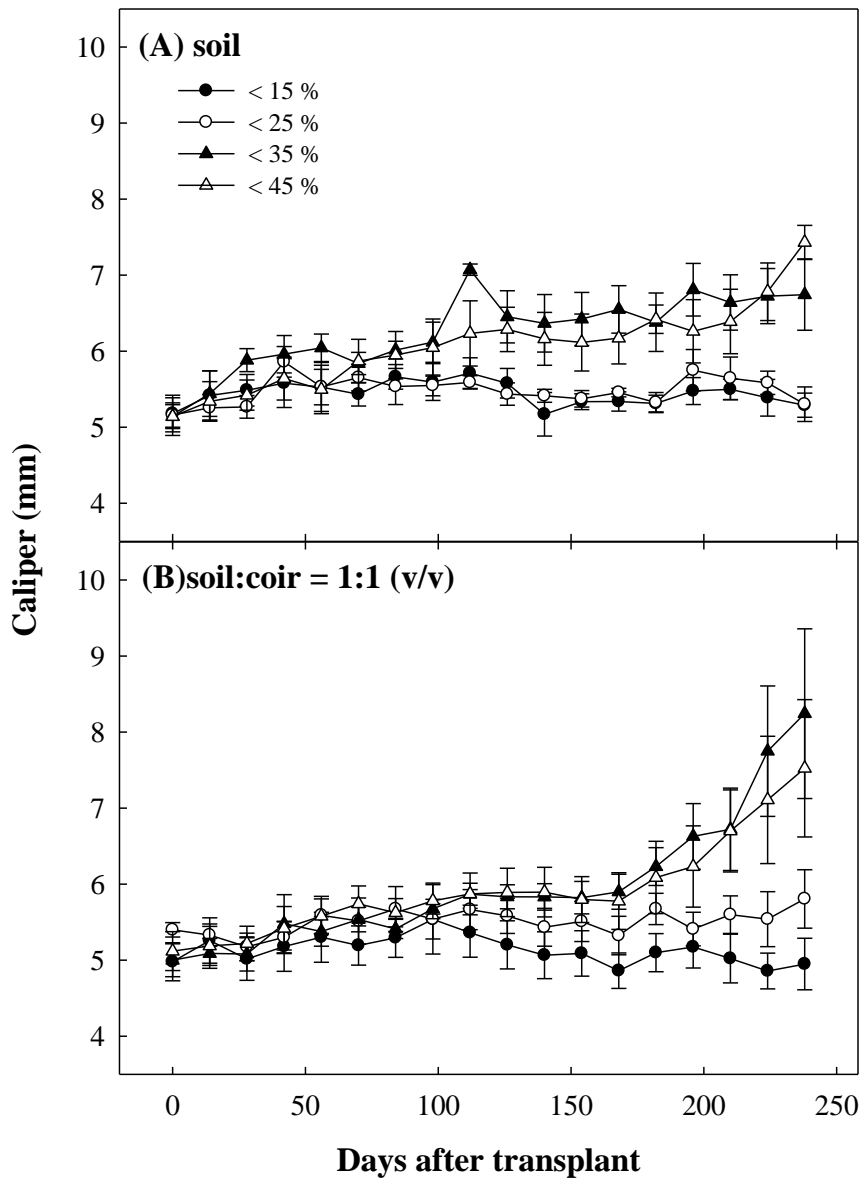


圖 3.7. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下莖徑變化情形。

Fig. 3.7. Effects of irrigation original point on 15%, 25%, 35%, 45% VWC irrigation on stem caliper of *Acer serrulatum* Hayata in (A) soil and (B) soil+coir(v/v=1:1). Bars indicate standard error of the mean (n=5).

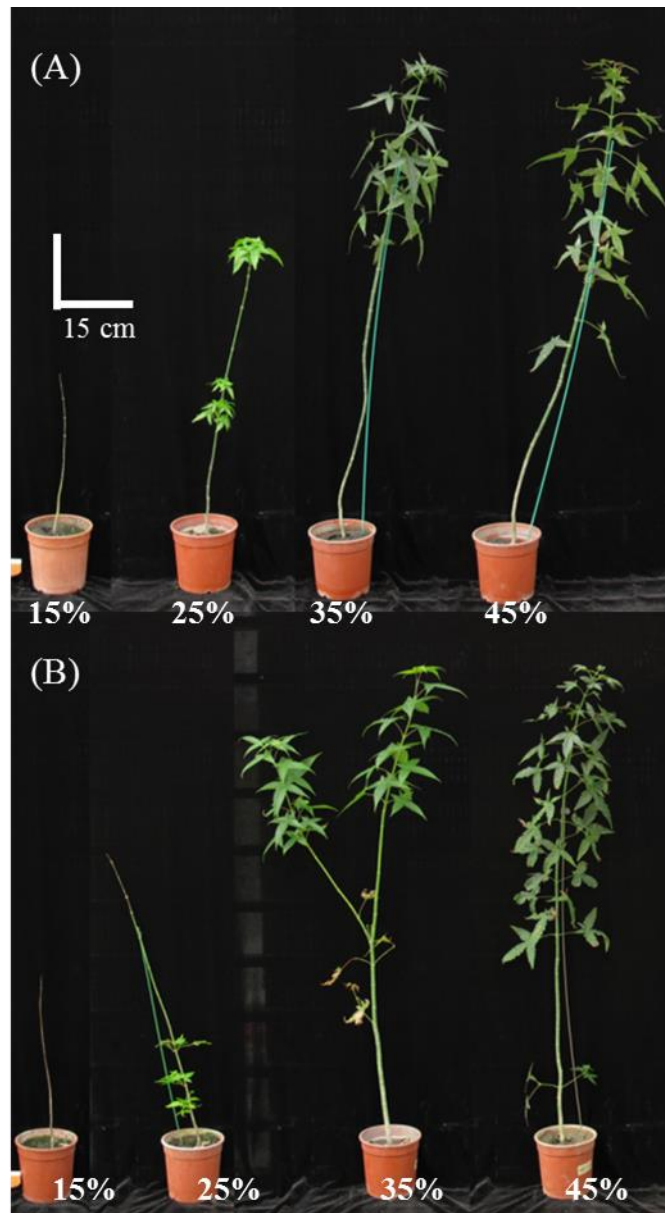


圖 3.8. 青楓容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC (由左至右)灌溉處理下之外觀情形。

Fig. 3.8. Effects of irrigation original point at 15%, 25%, 35%, 45% VWC on plant appearance of container-grown *Acer serrulatum* Hayata with (A) soil and (B) soil+coir (v/v=1:1). Bar = 15 cm.

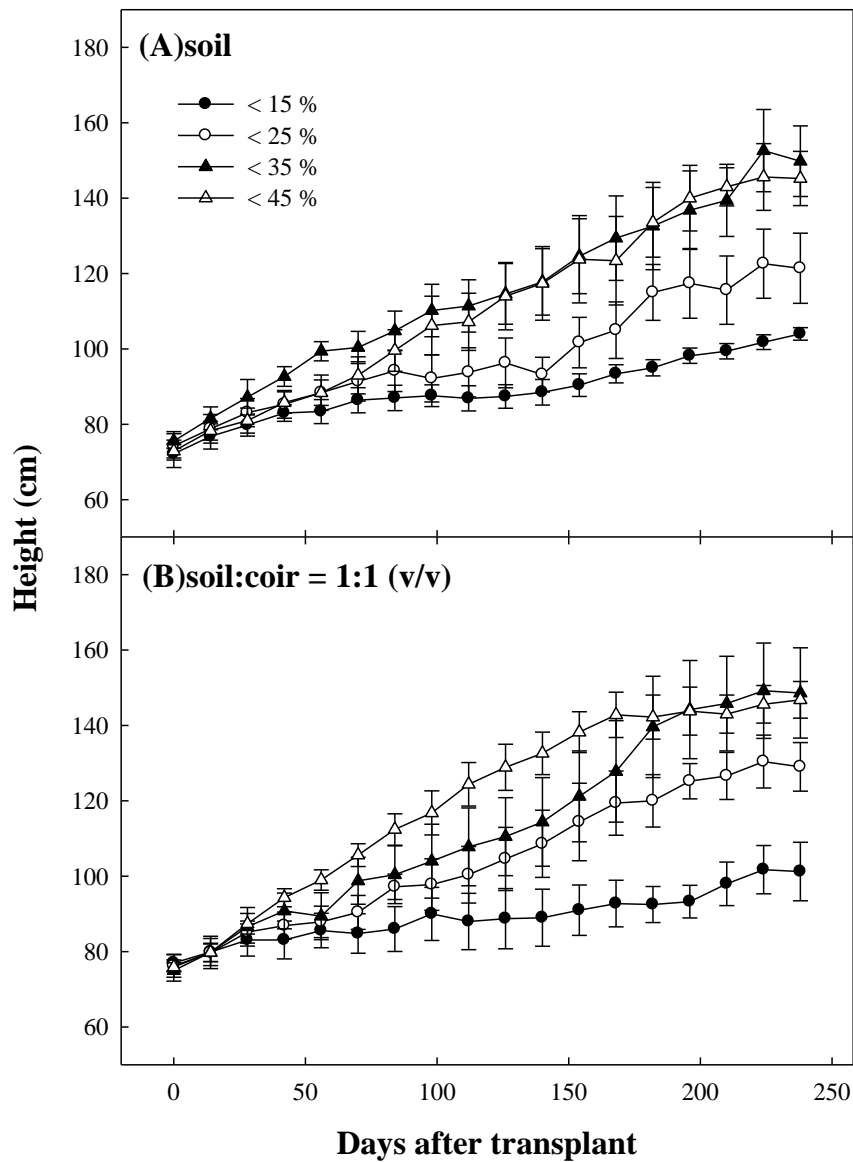


圖 3.9. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下株高變化情形。

Fig. 3.9. Effects of irrigation original point on 15%, 25%, 35%, 45% VWC irrigation on height of *Cinnamomum camphora* (J. Presl.) in (A) soil and (B) soil+coir(v/v=1:1). Bars indicate standard error of the mean (n=5).

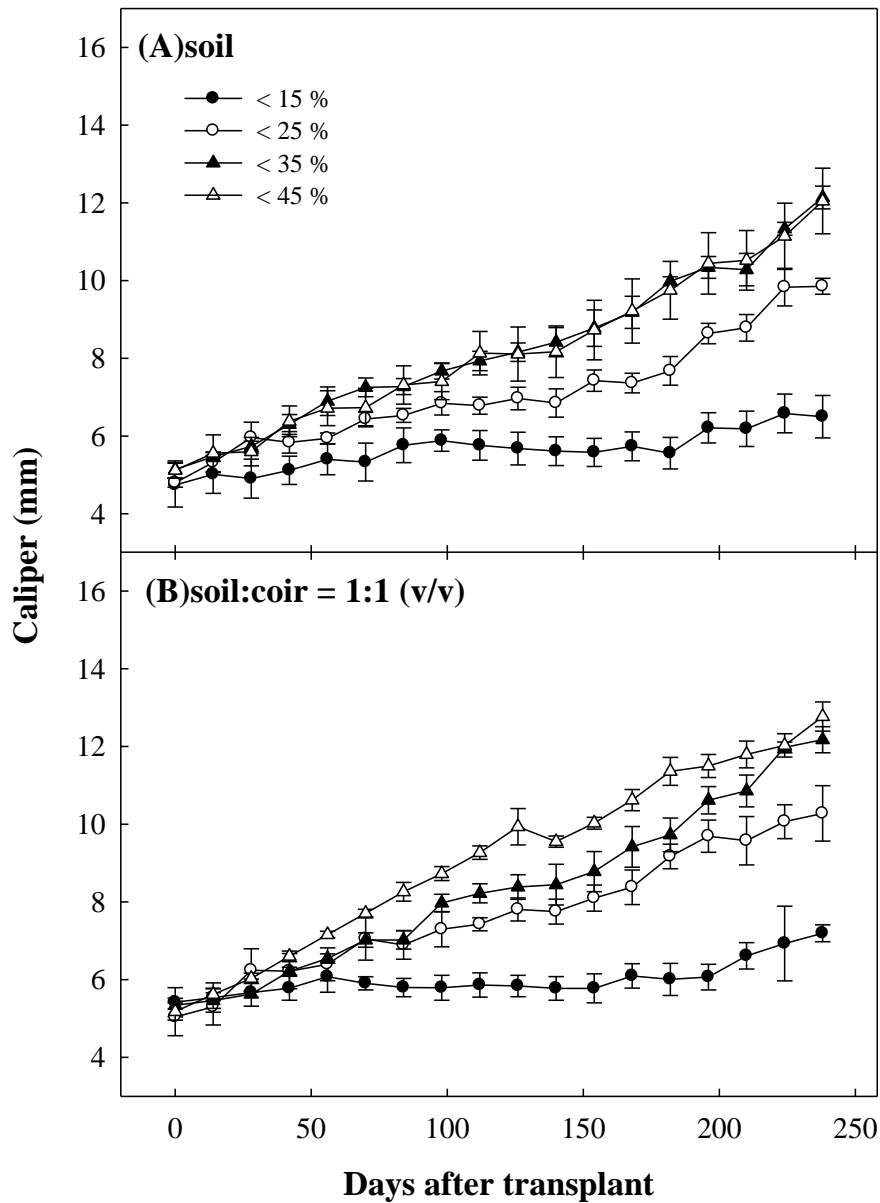


圖 3.10. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下莖徑變化情形。

Fig. 3.10. Effects of irrigation original point on 15%, 25%, 35%, 45% VWC irrigation on stem caliper of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. in (A) soil and (B) soil+coir(v/v=1:1). Bars indicate standard error of the mean (n=5).



圖 3.11. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質中，以 15%、25%、35%及 45% VWC(由左至右)灌溉處理下之外觀情形。
Fig. 3.11. Effects of irrigation original point on 15%, 25%, 35%, 45% VWC irrigation on plant appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. in (A) soil and (B) soil+coir(v/v=1:1).

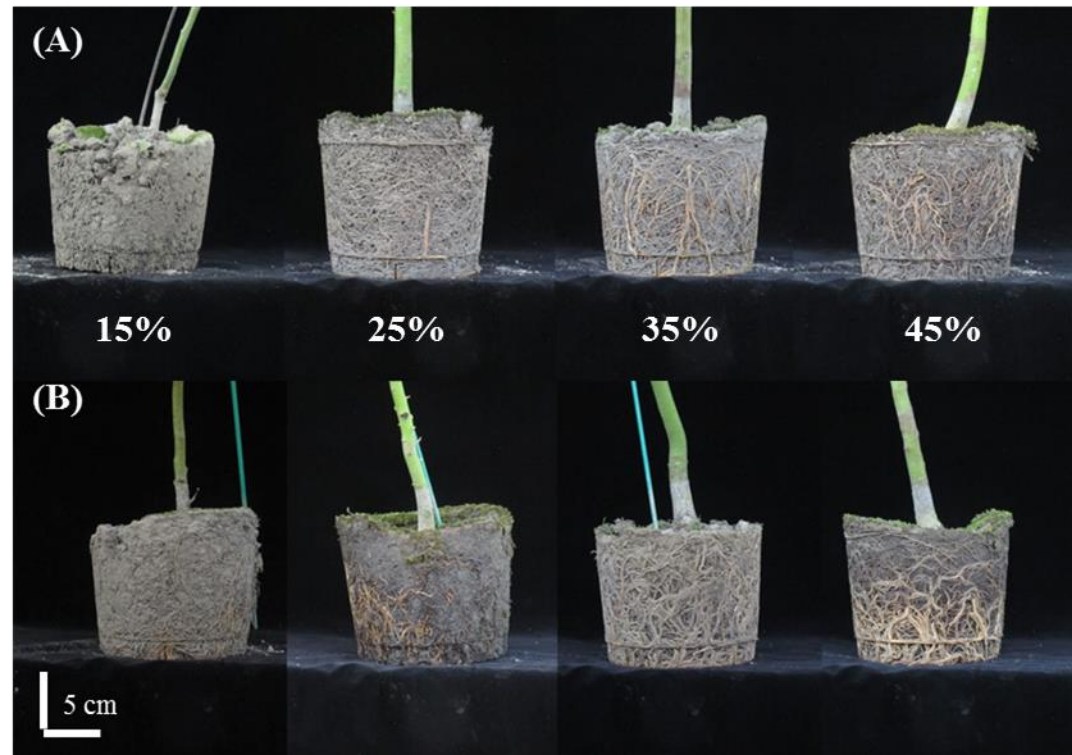


圖 3.12. 樟樹容器苗以(A)純田土與(B)田土:椰纖=1:1 (v/v)介質種植，於 15%、25%、35%及 45% VWC 灌溉處理下之根系情形。

Fig. 3.12. Effects of irrigation original point at 15%, 25%, 35%, 45% VWC on root appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. with (A) soil and (B) soil+coir (v/v=1:1). Bar = 5 cm.

第四章 氮肥施用濃度對樟樹與青楓生長和生理之影響

Chapter 4. Effect of Nitrogen Concentration on the Physiology and Growth of *Acer serrulatum* and *Cinnamomum camphora*

摘要(Abstract)

氮是影響作物生長和產量最大的礦物元素，容器苗根系限縮容器內，介質淋洗快，緩衝能力弱，氮肥管理更成為植株表現的重要關鍵。藉由施用不同氮素濃度，探討不同氮素濃度對容器苗生長和生理的影響。本試驗以青楓和樟樹6 cm袋植苗為試驗材料，每週施用一次氮肥，氮肥濃度分別是0、4、8、16、32 mM。結果顯示，氮肥濃度對正值落葉期的落葉樹種青楓影響不大，而常綠樹種樟樹則是一年四季皆有影響。不同樹種對氮肥濃度的喜好也不同，氮肥濃度過低造成苗木品質低弱，氮肥濃度過高則造成生長延緩，地下部衰弱。青楓施用氮肥濃度4 mM以上的處理在株高、莖徑、冠幅、CMR有較好的表現，與0 mM有顯著差異，青楓建議施用的氮肥濃度為4-8 mM左右，如欲增加分枝數，則可提高施用的氮肥濃度至8-16 mM；樟樹施用氮肥濃度8 mM以上的處理在株高、莖徑、冠幅、分枝數有較好的表現，大於8 mM處理間無差異，但與0、4 mM有顯著差異，樟樹較需要肥份的作物，建議濃度為8-16 mM。如欲增加分枝數，則可提高施用的氮肥濃度至16-32 mM。



一、前言(Introduction)

苗木業者常希望苗木生長能在最短的時間內達到最大化，以求最大的利潤，而氮就是影響作物生長和產量最大的礦物元素(Marschner, 1995)。容器苗為了支持和固定，介質常使用無肥或低肥的田土，隨著根系出現，介質原先的肥力常遠遠不足。容器苗根系限縮容器內，介質淋洗快，緩衝能力弱，氮肥管理更成為植株表現的重要關鍵(鄧，2008)。適當的氮肥供給可以提高作物的生物量和組織中的氮含量(魏等，2010)，但過高的氮濃度將造成植物傷害，生物量因此降低，且隨著施氮濃度的增加，在植物組織中的氮濃度隨之下降，說明了氮元素使用效率下降(Cabrera, 2003)。除了造成生物量減少，過多的氮肥施用亦會產生高鹽分之滲出液，對土壤、環境造成傷害(Cabrera, 1993)。本試驗藉由施用氮素濃度的不同，試圖找出在容器中生長的青楓和樟樹適合並擁有最大生物量的氮素濃度，提供苗木業者參考。



二、試驗方法(Materials and Methods)

2.1. 試驗材料


參試材料為 2013 年 9 月 30 日購自彰化縣田尾美之園之青楓(*Acer Serrulatum* Hayata.)和樟樹 (*Cinnamomum camphora* (J). Presl.) 6 cm 袋植苗。青楓選取的株高為 30-40 cm、幹徑約為 6 mm；樟樹選取的株高為 60-70 cm、幹徑約為 6 mm。於 2013 年 10 月 1 日換至 15 cm 紅色塑膠盆，上盆後馴化 1 週開始試驗，馴化期間每週給水 2 次至介質澆透，並每週施予 Peter's (20-20-20) 1000 倍養液 150 mL。試驗時間為 2013 年 10 月 10 日至 2013 年 6 月 20 日。試驗地點為國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場園藝分場溫室 103 室。

2.2. 試驗方法

本試驗以青楓和樟樹作為試驗材料，以田土+椰纖(v/v=1:1)(S+C)為試驗介質，於馴化一週後進行試驗。本試驗以不同氮素濃度處理，配方修正自 Honland's 養液，分別為氮素濃度 0、4、8、16 及 32 mM，試驗期間植株每週施用 150 mL 養液，並於澆施養液後 3 天進行灌溉。試驗期間，每 2 週調查一次株高、莖徑，並於試驗結束時進行其他項目的調查。本試驗分為五處理，每盆為一重複，每處理七重複。

2.3. 調查分析項目

- (1) 株高(Height)：由介質表面至植株頂端生長點的高度(cm)。
- (2) 株高變化(Δ Height)：實驗結束時的株高減去最初的株高(cm)。
- (3) 莖徑(Stem caliper)：測量距離介質表面 5 cm 處之莖幹粗(mm)。
- (4) 莖徑變化(Δ Stem caliper)：實驗結束時的株高減去最初的莖徑(mm)。
- (5) 冠幅(Canopy diameter)：測量全株植物最大開展生長點距離，與其垂直 90°之長度(cm)，兩數取平均值。

- 
- (6) 分枝數(The number of branches)：著生於主幹上的亞主枝數量。
- (7) 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter readings, CMR, SPAD-502 value)：每植株取任意 3 枝梢之第 2 片完全展開葉，每片葉測定 2 次，共 6 次取平均值，並以 CMR 表示。於葉中肋和葉緣間進行測量，以免影響葉綠素計判讀。葉綠素計原理為利用葉片對 650 nm 及 940 nm 兩波長吸收率的差異，估算葉綠素含量。
- (8) 常態化差異植生指數(Normalized difference vegetation index, NDVI)：每植株中任意選取兩枝條，以可攜式簡易光譜測量儀(NDVI 300, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech)測量由頂端向下數第 2 片完全展開葉，取其平均值，並以 NDVI 表示。
- (9) 取樣葉鮮重(Sampled leaf fresh weight)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以電子天秤(GR-120, A&D, Japan)測量其葉片鮮重，取其平均值。
- (10) 取樣葉乾重(Sampled leaf dry weight)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，置於 85°C 烘箱烘乾至重量不再變化，以電子天秤(GR-120, A&D, Japan)測量其葉片乾重，取其平均值。
- (11) 取樣葉片厚度(Sampled leaf thickness)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以葉片厚度計(SM-112, Teclock, Japan)測量其葉片厚度(mm)，取其平均值。下壓後隨即記錄，避免因葉片擠壓造成誤差。
- (12) 取樣葉片面積(Sampled leaf area)：以 LI-3000A(LI-COR, Lincoln, Neb)葉面積偵測儀測定葉面積。
- (13) 介質電導度(Electrical conductivity, EC)：介質澆透後一天，使用野外土壤及溶液電導度測定計(Spectrum Technologies, 2265F, Illinois, USA)測量介質 EC 值。
- (14) 介質酸鹼度(pH)：使用手提式酸鹼度/電壓/溫度測定計(IQ Scientific Instruments, Type 2162S, USA)測量介質酸鹼度。
- (15) 介質硬度(Substrate hardness)：使用山中式土壤硬度計(soil hardness tester, Yamanaka type, Yenstron corp., Taiwan)於介質表面隨機插入測量，每盆一重複。



統計分析

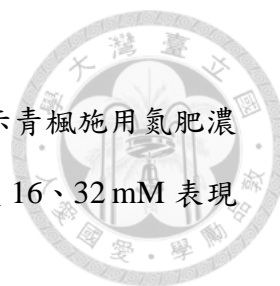
試驗採完全隨機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，進行最小顯著差異分析(least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著差異($P \leq 0.05$)，繪圖採用 SigmaPlot 10.0 軟體(Systat Software Inc., Richmond, CA, U.S.A.)。

三、結果(Results)

3.1. 青楓、樟樹的植物生長量

以含有 0、4、8、16 及 32 mM 的氮素養液處理，結果顯示青楓不論施用何種氮肥濃度在 10-3 月皆有明顯的休眠期，完全落葉，生長停滯，致使株高(圖 4.1)、莖徑(圖 4.2)的數值受氮肥處理影響不大。隔年 3 月以後，生長開始復甦，試驗結束時，氮肥濃度大於 4 mM 的各項處理於株高、株高變化、莖徑、莖徑變化(表 4.1)及冠幅(表 4.2)表現較佳，與 0 mM 有顯著差異。分枝數則隨氮素濃度增加而增加，以 32 mM 表現最佳，達 4.8 枝(表 4.2)。從土球外觀觀察青楓根系可以發現，32 mM 的處理根的數量較少、根毛亦較細；8、16 mM 的處理根的數量較多、根毛較粗，地下部較為旺盛(圖 4.3)。

樟樹與青楓相較下則無明顯的休眠期，試驗期間株高(圖 4.5)、莖徑(圖 4.6)皆穩定成長。株高、株高變化、莖徑、莖徑變化(表 4.4)、冠幅及分枝數(表 4.5)以 8、16、32 mM 處理的表現較佳，且 8 mM 和 4 mM 的表現數值有明顯差距，分枝數亦隨氮肥濃度增加而增加。從植株外觀觀察發現，地上部隨氮肥濃度增加越趨旺盛，0、4 mM 外觀孱弱且葉片黃化(圖 4.7)。從土球外觀觀察樟樹根系可以發現，32 mM 的處理根的數量較少且根毛較細；16、8、4 mM 的根數量較多，8、4 mM 的根毛較粗(圖 4.8)。



3.2. 青楓和樟樹的植物生理數據

以含有 0、4、8、16 及 32 mM 的氮肥養液處理，結果顯示青楓施用氮肥濃度大於 4 mM 的各項處理 CMR 表現較佳，NDVI 則以氮肥濃度 16、32 mM 表現較佳，分別達 0.791、0.795 (表 4.2)。

樟樹 CMR 以氮肥濃度 16、32 mM 表現較佳，分別達 45.03、47.26，8 mM 與上述 2 個處理有顯著落差；NDVI 亦以氮肥濃度 16、32 mM 表現較佳，分別達 0.779、0.798(表 4.4)。

3.3. 青楓和樟樹的取樣葉數據

試驗結束時，選取任一枝條由上往下第二片成熟展開葉為取樣葉。青楓的取樣葉鮮重以氮肥濃度 4 mM 最重，為 0.48 g，8、32 mM 次之，分別為 0.38、0.41 g。青楓的取樣葉乾重以氮肥濃度 4 mM 最重，為 0.18 g，8、32 mM 次之，分別為 0.15、0.15 g。取樣葉片厚度、取樣葉片面積處理間沒有顯著差異(表 4.5)。

樟樹的取樣葉鮮重、取樣葉乾重在各處理間亦沒有顯著差異。取樣葉厚度以氮肥濃度 4 mM 最厚，為 24.67 mm。取樣葉面積亦以氮肥濃度 4 mM 最大，為 24.12 cm²(表 4.6)。

3.4. 試驗後介質物理化學特性

試驗結束後，種植青楓的 S+C 介質電導度隨施用氮肥濃度增加而增加；介質 pH 值隨施用氮肥濃度增加而下降，即越趨酸化；介質表面硬度處理間無顯著差異，介於 7.50-9.58 mm。

種植樟樹的 S+C 介質電導度隨施用氮肥濃度增加而增加；介質 pH 值隨施用氮肥濃度增加而下降，即越趨酸化。種植樟樹的 S+C 介質電導度和介質 pH 值調查結果與種植青楓的 S+C 介質調查結果相似。介質表面硬度則以 8、32 mM 最硬，但各處理的介質表面硬度僅在 10.50-13.14 mm 之間。



四、討論(Discussion)

青楓於氮肥濃度大於 4 mM 的各項處理於株高、株高變化、莖徑、莖徑變化(表 4.1)及冠幅(表 4.2)表現較佳，且 4 mM 和 0 mM 的表現有明顯差異；樟樹則在 8、16、32 mM 處理株高、株高變化、莖徑、莖徑變化(表 4.4)、冠幅及分枝數(表 4.5)的表現較佳且 8 mM 和 4 mM 的表現有明顯差異。不論是青楓或樟樹，植物生長量皆隨施用氮肥濃度的增加而增加，並隨施用氮肥濃度上升大幅增加表現量後，有趨緩的情形，與前人研究相符(Marschner, 1995)。又養分供給增加，生物量卻沒有隨之上升，亦沒有顯著下降時，可能是處在養分承載的狀態，即苗木吸收超過正常需求的養分，並將養分積累在植體內(Hawkins et al., 2005)，積累的養分不僅促進移植後的根系發育，也間接促進根系的養分吸收，使苗木可以更快萌出新芽，提前生長，增強移植的競爭力(Timmer et al., 2004)。

一旦養分供給超過養分承載的最大量，生長量會下降(魏等，2010)。紫薇施用氮肥濃度 15-60 mg/L 時，生長量隨氮肥濃度上升而上升，超過 60 mg/L 後生長量大幅下降(Cabrera, 2003)。紅楓相較於其他木本植物，能在較低的氮肥濃度達到最大生長量，而 50-100 mg/L 就是大部分木本植物觀察到最大生長量的氮肥濃度(Gilliam et al., 1980)，本試驗的青楓於氮肥濃度 4 mM 有最大生長量，為氮肥濃度 56 mg/L，與前人研究相符。本試驗的樟樹在 8 mM 和 4 mM 間觀察到顯著差異，8、16、32 mM 間則沒有太大變化，於前人研究中，施用氮肥濃度 448 和 896 mg/L(即 32 和 64 mM)僅對樟樹生長造成些微影響(林和許, 2003)，顯示樟樹相較於其他木本植物是比較需要肥份或比較耐鹽的作物。分枝數隨氮肥濃度增加而增加，與前人研究相符(Brix and Ebell, 1969)。

觀察青楓和樟樹的土球外觀，施用氮肥濃度 32 mM 的植株，根的數量較少、根的粗細較細。植物在高 N 濃度的環境下，會分配較多的碳水化合物供地上部生長(Kang and van Iersel, 2004；Yeager and Wright, 1981)，隨著氮肥濃度增加，根的乾重先上升後下降(Kang and van Iersel, 2004；Henry et al., 1992)，而莖根比

(shoot-root ratio)則隨濃度增加而增加(Worrall et al., 1987)。

葉綠素測計為一攜帶式輕巧葉綠素測計，可用來表示葉片的濃綠程度，值越大，葉色越濃綠，代表葉片葉綠素濃度高(Netto et al., 2005)。葉綠素計測值 CMR 亦與葉片氮濃度呈現高度之相關性(涂，2014)，葉片中大部分的 N 分布於葉綠素中是主要的原因(Mengel and Kirkby, 2011)。因此，葉片顏色濃綠是氮肥充足的重要外觀指標(黃，2013)。本試驗推薦青楓施用氮肥濃度 4-8 mM、樟樹施用氮肥濃度 8-16 mM，CMR 分別是 50.1-52.0、38.2-45.0，可利用 CMR 與植體氮素的關係，達到間接而合理估測植體氮素狀態之目的(楊，2002)。

當養液中的氮肥濃度上升，植株的鮮乾重和葉面積隨之增加(van Iersel et al., 1998)。但本試驗中，青楓的取樣葉葉片面積在處理間無顯著差異，取樣葉鮮乾重則因氮素濃度處理不同，呈不規則的變化；樟樹的取樣葉鮮乾重在處理間無顯著差異，葉片面積則因氮素濃度處理不同，呈不規則的變化。這可能是因為青楓、樟樹葉片較多，僅取樣 2 片葉不足以代表全株狀況所致。

隨試驗的天數增加而介質 EC 值逐漸累積，提高養液氮素濃度，介質的 EC 值也會上升(黃，2013)。本試驗不論是種植青楓或樟樹的介質 EC 值皆隨施用氮素濃度提高而增加，與前人研究相符。新幾內亞鳳仙(*Impatiens hawkeri* Bull.)和麗格海棠(*Begonia × tuberybrida* Voss)之介質淋洗液，亦隨氮素濃度提高而使 pH 值下降(Pitchay et al., 2007)，本試驗亦有相似之情形，可能是青楓和樟樹的根部偏好吸收銨態氮，為維持電荷平衡，吸收銨態氮時，根系會放出氫離子(H⁺ proton)作為交換，因此導致根域環境的 pH 值下降(Schubert and Yan, 1997)。

五、結論(Conclusion)

不論施用何種氮肥濃度，落葉樹種青楓在10-3月皆有明顯的休眠期，完全落葉，致使植株表現受氮肥處理影響不大。3月之後，4-8 mM的處理有較佳的苗木品質和植株生長環境，故推薦青楓使用4-8 mM的氮肥養液，如需增加分枝數則可提高氮肥濃度至8-16 mM。常綠樹種樟樹則無明顯休眠期，一年四季皆受氮肥處理的影響。8-16 mM的氮肥處理有較好的植株表現和地下部，因此推薦樟樹使用8-16 mM的氮肥養液，如需增加分枝數則可提高氮肥濃度至16-32 mM。

表 4. 1. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗之株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響

Table 4.1. Effects of nutrient nitrogen concentration on the height, Δ height, stem caliper and Δ stem caliper of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	株高 Height (cm)	株高變化 Δ Height (cm)	莖徑 Stem caliper (mm)	莖徑變化 Δ Stem caliper (mm)
0 mM	55.6 b	19.5 b	6.23 b	0.77 b
4 mM	72.4 a	37.0 a	7.47 a	2.14 a
8 mM	60.6 ab	23.9 ab	6.57 ab	1.11 ab
16 mM	59.0 ab	21.3 b	6.81 ab	1.54 ab
32 mM	68.3 ab	33.9 ab	7.66 a	2.11 ab
Significance	NS	NS	NS	NS
LSD _{0.05}	15.6	15.3	1.34	1.43

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

^{NS}Nonsignificant.

表 4. 2. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數之影響

Table 4.2 Effects of nutrient nitrogen concentration on the canopy diameter, branch number, CMR, NDVI of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	冠幅 Canopy diameter (cm)	分枝數 Branch number	葉綠素計讀值 CMR	常態化 差異 植生指數 NDVI
0 mM	22.3 b	1.3 b	40.9 b	0.753 c
4 mM	31.2 ab	1.9 b	50.1 a	0.773 b
8 mM	27.3 ab	2.5 b	52.0 a	0.772 b
16 mM	28.6 ab	2.8 b	47.5 ab	0.791 a
32 mM	32.6 a	4.8 a	52.8 a	0.795 a
Significance	NS	**	**	***
LSD _{0.05}	10.5	1.7	7.0	0.02

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001 , respectively.

表 4. 3. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗之株高、株高變化、莖徑及莖徑變化之影響

Table 4.3. Effects of nutrient nitrogen concentration on the height, Δ height, stem caliper and Δ stem caliper of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	株高 Height (cm)	株高變化 Δ Height (cm)	莖徑 Stem caliper (mm)	莖徑變化 Δ Stem caliper (mm)
0 mM	87.1 c	10.4 c	6.81 c	1.61 c
4 mM	98.9 b	21.2 b	8.37 b	3.20 b
8 mM	116.9 a	38.3 a	9.13 ab	3.71 ab
16 mM	116.3 a	37.7 a	8.98 ab	3.83 ab
32 mM	119.8 a	42.8 a	9.41 a	4.30 a
Significance	***	***	***	***
LSD _{0.05}	10.6	8.4	0.83	1.06

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

***Significant at $P < 0.001$.

表 4. 4. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗之冠幅、分枝數、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數之影響

Table 4.4. Effects of nutrient nitrogen concentration on the canopy diameter, branch number, CMR, NDVI of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	冠幅 Canopy diameter (cm)	分枝數 Branch number	葉綠素計讀值 CMR	常態化 差異 植生指數 NDVI
0 mM	34.8 c	3.3 c	33.44 c	0.746 cd
4 mM	50.8 b	6.9 b	33.44 c	0.721 d
8 mM	65.7 a	9.4 a	38.17 b	0.760 bc
16 mM	70.0 a	9.7 a	45.03 a	0.779 ab
32 mM	65.9 a	10.0 a	47.26 a	0.798 a
Significance	***	***	***	***
LSD _{0.05}	6.18	2.27	5.05	0.031

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

*** Significant at $P < 0.001$.

表 4. 5. 不同濃度之氮肥處理對青楓容器苗取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度、葉面積之影響

Table 4.5. Effect of nutrient nitrogen concentration on sampled leaf fresh weight, dry weight, thickness, and leaf area of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	取樣葉 Sampled leaf			
	鮮重 Fresh weight (g)	乾重 Dry weight (g)	葉片厚度 Thickness (mm)	葉面積 Leaf area (cm ²)
	0 mM	0.31 b	0.09 c	0.205 a
4 mM	0.48 a	0.18 a	0.227 a	29.5 a
8 mM	0.38 ab	0.15 ab	0.216 a	26.3 a
16 mM	0.32 b	0.11 bc	0.186 a	24.1 a
32 mM	0.41 ab	0.15 ab	0.225 a	25.6 a
Significance	NS	**	NS	NS
LSD _{0.05}	0.14	0.05	5.29	9.6

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

NS, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$, respectively.

表 4. 6. 不同濃度之氮肥處理對樟樹容器苗取樣葉鮮重、乾重、葉片厚度、葉面積之影響

Table 4.6. Effect of nutrient nitrogen concentration on sampled leaf fresh weight, dry weight, thickness, and leaf area of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl.

氮素濃度 Nitrogen Conc.	取樣葉 Sampled leaf			
	鮮重 Fresh weight (g)	乾重 Dry weight (g)	葉片厚度 Thickness (mm)	葉面積 Leaf area (cm ²)
	0 mM	0.38 a	0.17 a	0.224 b
4 mM	0.35 a	0.16 a	0.247 a	24.12 a
8 mM	0.33 a	0.14 a	0.222 b	17.76 b
16 mM	0.36 a	0.15 a	0.227 b	22.75 ab
32 mM	0.37 a	0.15 a	0.211 b	22.26 ab
Significance	NS	NS	**	NS
LSD _{0.05}	0.15	0.06	1.89	6.61

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

NS, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$, respectively.

表 4.7. 氮肥濃度處理種植青楓後，對土壤電導度、pH 值、硬度之影響
 Table 4.7. Effect of nutrient nitrogen concentration on substrate electrical conductivity (EC), pH and hardness of the container-grown *Acer serrulatum* Hayata at the end of the experiment.

氮素濃度處理 Nitrogen Conc. Treatment	電導度 EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	酸鹼值 pH	介質硬度 Substrate hardness (mm)
0 mM	455.4 bc	7.42 a	7.50 a
4 mM	547.3 b	7.37 a	9.14 a
8 mM	398.4 c	7.11 b	8.85 a
16 mM	561.2 ab	6.92 bc	8.41 a
32 mM	709.2 a	6.77 c	9.58 a
Significance	**	***	NS
LSD _{0.05}	170.8	0.215	2.81

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001 , respectively.

表 4.8. 氮肥濃度處理種植樟樹後，對土壤電導度、pH 值、硬度之影響
 Table 4.8. Effect of nutrient nitrogen concentration on substrate electrical conductivity (EC), pH and hardness of the container-grown *Cinnamomum camphora* (J). Presl. at the end of the experiment.

氮素濃度處理 Nitrogen Conc. Treatment	電導度 EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	酸鹼值 pH	介質硬度 Substrate hardness (mm)
0 mM	482.0 b	7.18 ab	10.50 b
4 mM	488.6 b	7.27 a	12.57 ab
8 mM	579.5 ab	7.05 ab	13.14 a
16 mM	568.4 ab	6.95 b	12.43 ab
32 mM	605.3 a	6.50 c	12.86 a
Significance	NS	***	NS
LSD _{0.05}	111.4	0.30	2.24

²Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$. (n=7)

NS, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.001$.

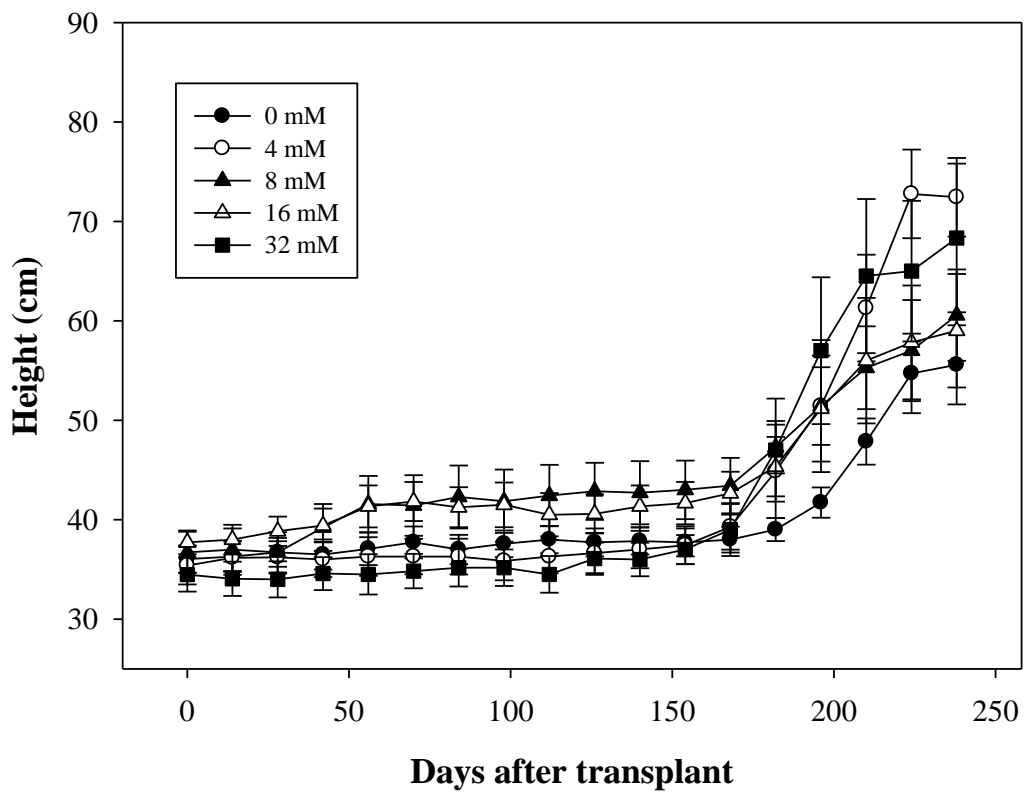


圖 4.1. 青楓容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的株高變化情形。

Fig. 4.1. Effects of nutrient nitrogen concentration on height of *Acer serrulatum* Hayata.

Bars indicate standard error of the mean (n=7).

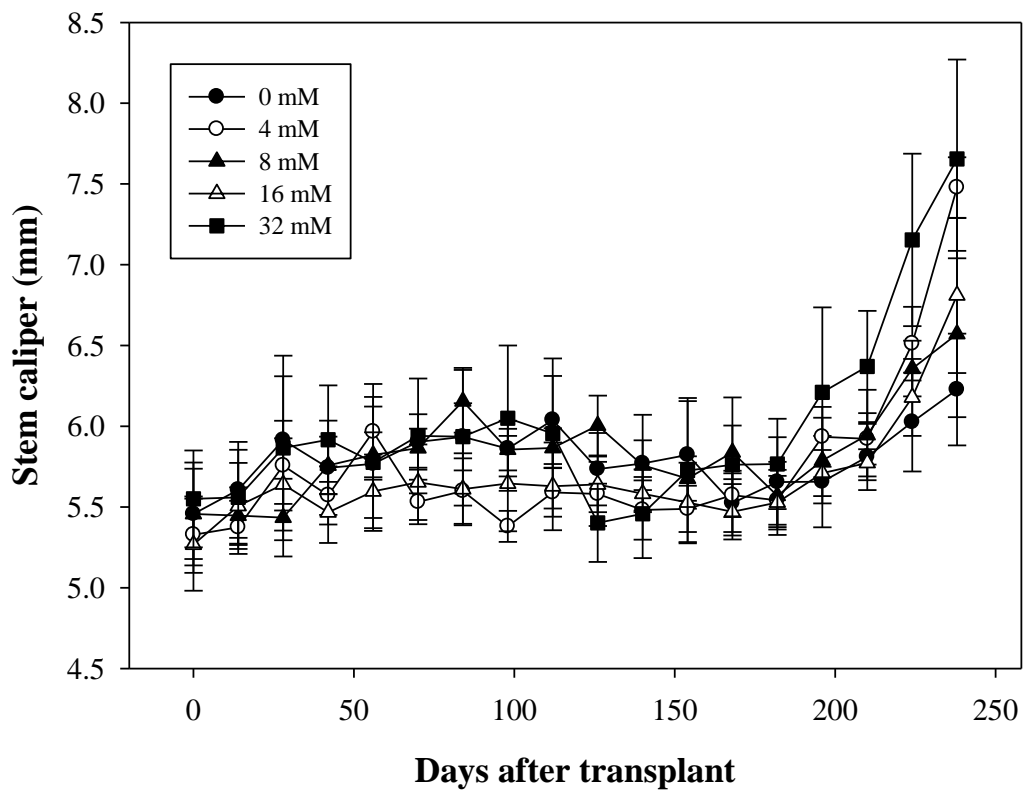


圖 4.2. 青楓容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的莖徑變化情形。

Fig. 4.2. Effects of nutrient nitrogen concentration on stem caliper of *Acer serrulatum* Hayata. Bars indicate standard error of the mean (n=7).

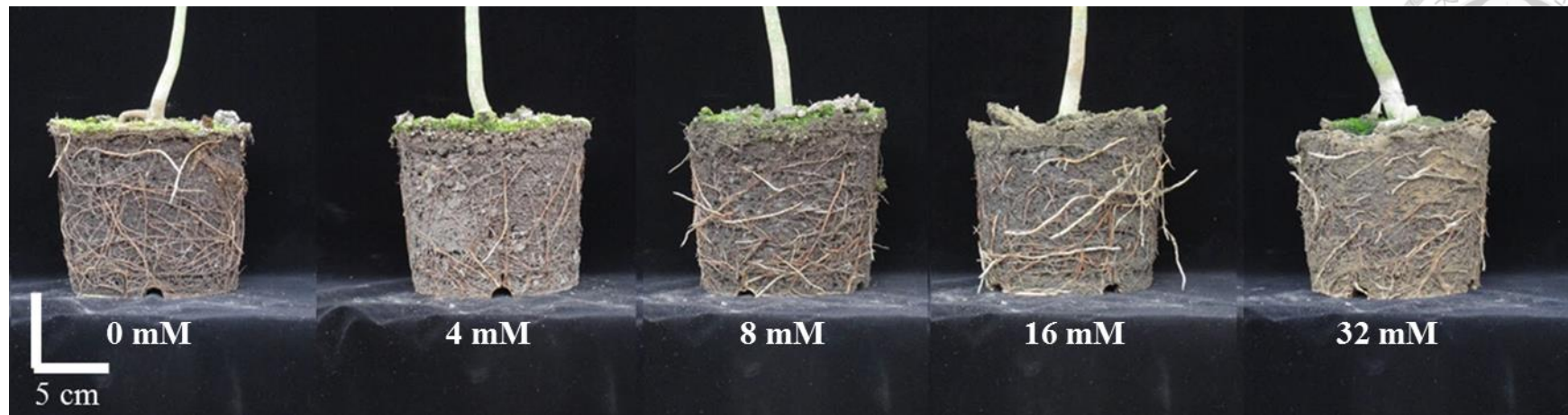


圖 4.3. 青楓容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之根系比較。
Fig. 4.3. Effects of nutrient nitrogen concentration on root of *Acer serrulatum* Hayata. Bar = 5 cm.

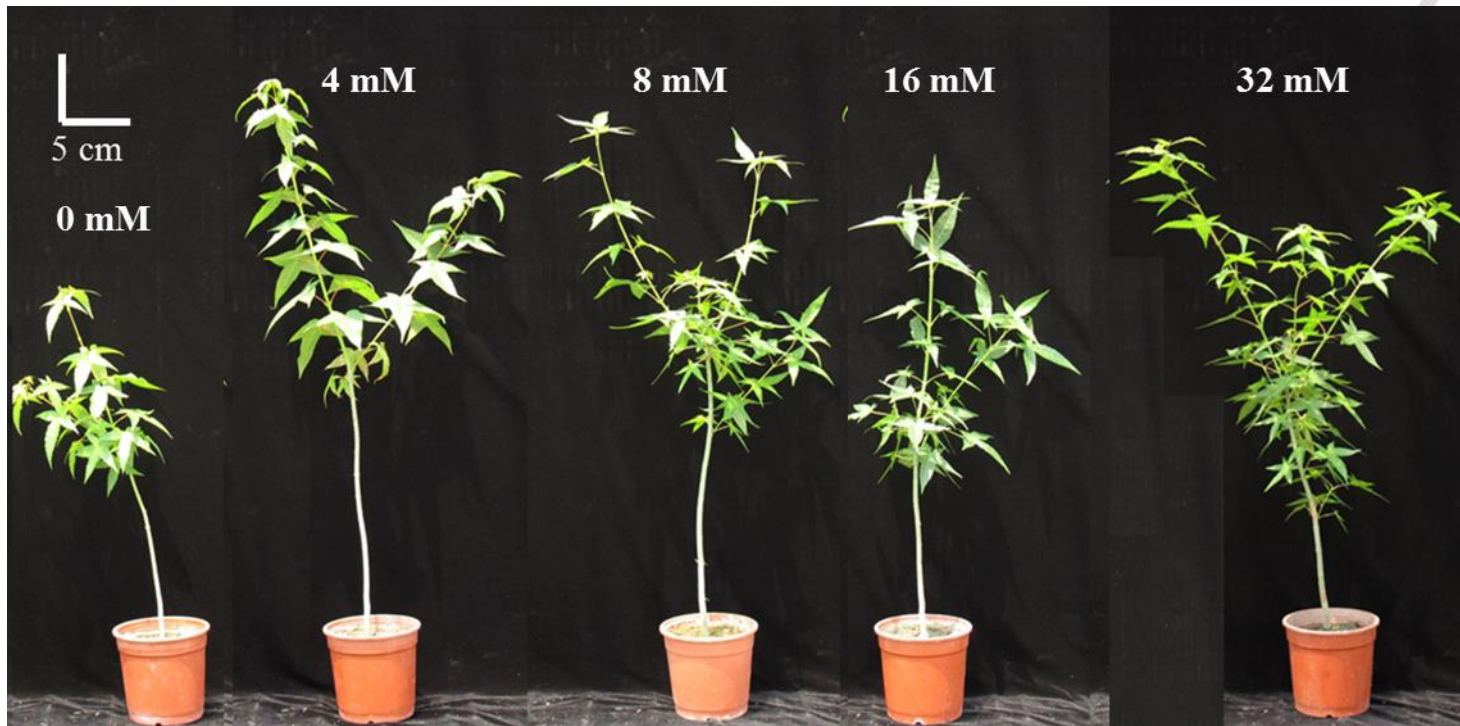


圖 4.4. 青楓容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之外觀比較。

Fig. 4.4. Effects of nutrient nitrogen concentration on plant appearance of *Acer serrulatum* Hayata. Bar = 5 cm.

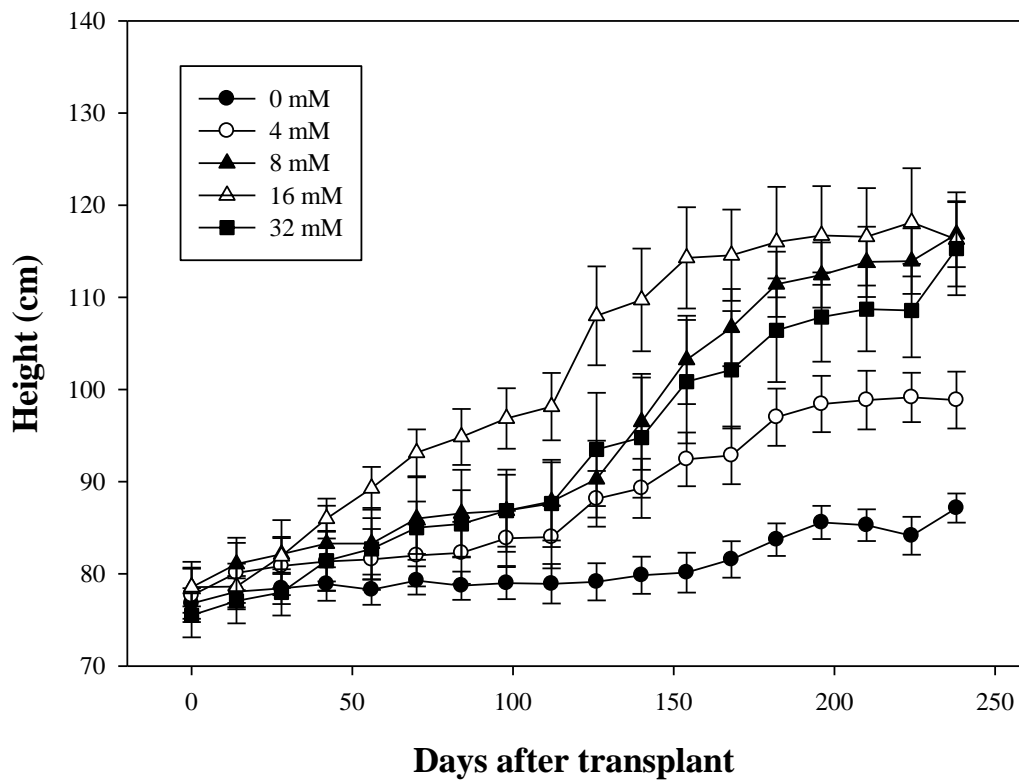


圖 4.5. 樟樹容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的株高變化情形。

Fig. 4.5. Effects of nutrient nitrogen concentration on height of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. Bars indicate standard error of the mean (n=7).

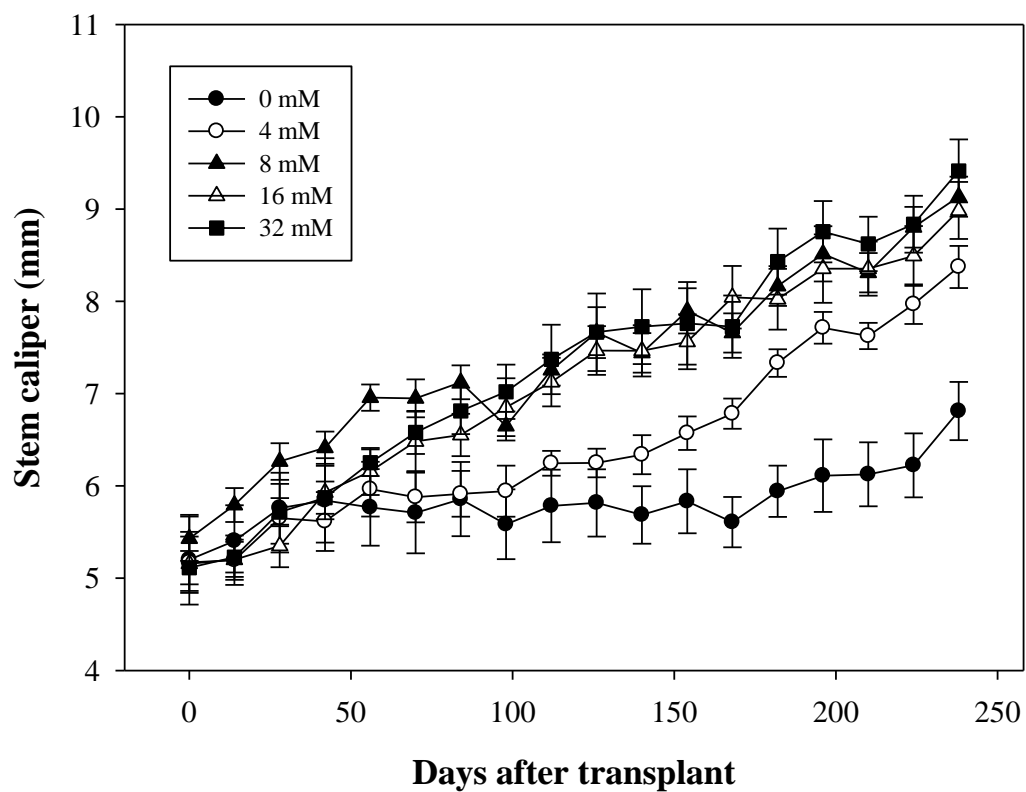


圖 4.6. 樟樹容器苗以不同濃度氮肥養液處理後的莖徑變化情形。

Fig. 4.6. Effects of nutrient nitrogen concentration on stem caliper of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. Bars indicate standard error of the mean (n=7).

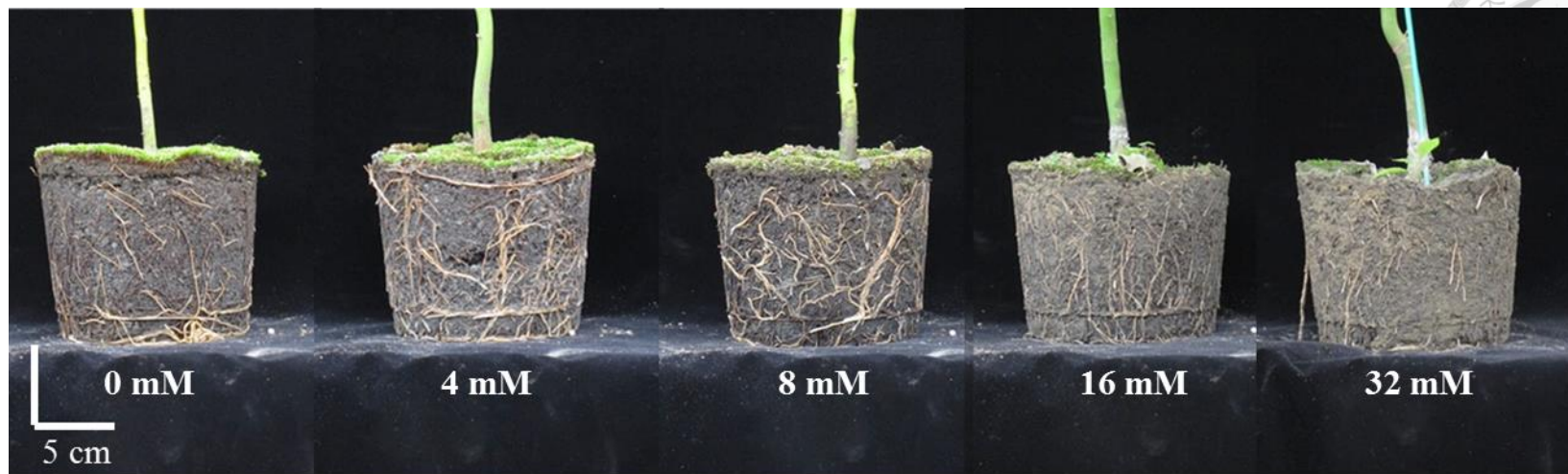


圖 4.7. 樟樹容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之根系比較
Fig. 4.7. Effects of nutrient nitrogen concentration on root of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. Bar = 5 cm.



圖 4.8. 樟樹容器苗以 0、4、8、16 與 32 mM(由左至右)氮肥養液處理，試驗後之外觀比較

Fig. 4.8. Effects of nutrient nitrogen concentration on plant appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl. Bar = 10 cm.

第五章 移植前修剪比例對樟樹容器化苗之影響



Chapter 5. Effect of Canopy Pruning Ratio on Transplanted *Cinnamomum Camphora* Containerized Seedlings

摘要(Abstract)

容器化苗於移植前常施行補償性修剪，但葉片的去除使光合產物減少，可能削減苗木恢復地上部地下部平衡的能力。本試驗試圖了解移植前修剪比例對苗木馴化和後續品質的影響。本試驗以地徑約 3 cm 的樟樹苗木為試驗材料，分成重修剪(90% 修剪除葉)和輕修剪(僅修剪枯枝病枝)兩種處理。結果顯示，輕修剪的處理在試驗初期面臨水分逆境甚至死亡，且新葉萌發的時間較重修剪的處理晚一個月，但新根發展較為完整。輕修剪的處理莖徑變化、淨光合作用速率顯著優於重修剪的處理，且蒸散作用較旺盛，致使葉片溫度較低，乾旱逆境亦使輕修剪處理有較厚的角質層。因此，容器化苗於移植前輕修剪，需要較繁複的管理，但後續新根發展旺盛、角質層加厚和苗木品質較佳，將有助於對抗栽植地的逆境。

一、前言(Introduction)

樹木根系可延伸至滴水線的 1-3 倍，為了降低人力成本和移植費用，移植常以土球的方式進行(Sharon, 2010)。然而，移植造成的根部損失，影響了根部吸收水分和肥份的能力(Daniel, 2009)，致使乾旱逆境的發生。苗木業者為減緩乾旱逆境，常在移植前執行補償修剪(compensatory pruning)，但葉片進行光合作用得到的養分將有助於新根萌發(Watson et al., 1986)，補償修剪去除葉片使光合產物減少，可能削減苗木恢復地上部地下部平衡的能力。因此，本試驗藉由移植前修剪比例的不同，試圖了解移植前修剪比例對苗木馴化和後續品質的影響。



二、 試驗方法(Materials and Methods)

2.1. 試驗材料

參試材料為 2014 年 12 月 18 日購自彰化縣農民李坤榮之樟樹(*Cinnamomum camphora* (J.) Presl.) 斷根土球苗，土球直徑約 18 cm，並在移植前進行重修剪(移除 90% 枝葉)和輕修剪(僅移除枯枝、病枝)。樟樹的株高約為 220-250 cm、幹徑為 28-30 mm。2014 年 12 月 18 日到貨後立即種植在直徑 30 cm 不織布袋內，種植後每天澆水 1 次，連續澆水 2 週。試驗時間為 2014 年 12 月 18 日至 2015 年 12 月 30 日。試驗地點為國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場園藝分場戶外實驗地。

2.2. 試驗方法

本試驗以樟樹斷根土球苗作為試驗材料，以田土+椰纖(v/v=1:1)為試驗介質，種植後連續澆水兩週，之後每週澆水 2 次。本試驗以不同程度的補償修剪作為處理，分別為重修剪(移除 90% 枝葉)和輕修剪(僅移除枯枝、病枝)。試驗開始兩個月後，每月每盆施用好康多緩效肥(20-20-20)15g。試驗期間，每月調查一次株高、莖徑，並於試驗間和結束時進行其他項目的調查。本試驗分為兩處理，每盆為一重複，每處理六重複。

2.3. 調查分析項目

- (1) 株高(Height)：由介質表面至植株頂端生長點的高度(cm)。
- (2) 莖徑(Caliper)：測量距離介質表面 10 cm 處之莖幹粗(mm)。
- (3) 冠幅(Crown diameter)：測量全株植物最大開展生長點距離，與其垂直 90°之長度(cm)，兩數取平均值。
- (4) 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter readings, CMR, SPAD-502 value)：每植株取任意 3 枝梢之第 2 片完全展開葉，每片葉測定 2 次，共 6 次取平均值，並以

- CMR 表示。於葉中肋和葉緣間進行測量，以免影響葉綠素計判讀。葉綠素計原理為利用葉片對 650 nm 及 940 nm 兩波長吸收率的差異，估算葉綠素含量。
- (5) 常態化差異植生指數(Normalized difference vegetation index, NDVI)：每植株中任意選取兩枝條，以可攜式簡易光譜測量儀(NDVI 300, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech)測量由頂端向下數第 2 片完全展開葉，取其平均值，並以 NDVI 表示。
- (6) 葉綠素螢光(Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)：以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM(TEACHING-PAM chlorophyll fluoremeter, Heina GmbH, Germany)測量任意枝梢之第 2 片完全展開葉。測定前先暗馴化 30 分鐘後，給予波長 665 nm 紅光，並測量最小螢光值(minimum fluorescence, Fo)、最大螢光值(maximum fluorescence, Fm)與光系統 II 最大光子利用效率(maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry, Fv/Fm)，Fv 值為 Fm-Fo。
- (7) 取樣葉片厚度(Sampled leaf thickness)：每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以葉片厚度計(SM-112, Teclock, Japan)測量其葉片厚度(mm)，取其平均值。下壓後隨即記錄，避免因葉片擠壓造成誤差。
- (8) 氣孔導度(Stomatal conductance)：試驗前期，每植株取任意 2 枝條之第 2 片成熟展開葉，以輕便型氣孔導度測定儀(SC-1, Dicagon, USA)測量其葉下表皮的氣孔導度。
- (9) 枝條水分潛勢(Shoot water potential)：於充分澆水隔天，使用植物水勢儀(Model 1000, PMS Interument company, OR, USA)，將枝條夾在樣品室中，切口一端朝外，樣品室通過氣體加壓，觀察第一滴組織液滲出時的壓力，此時壓力表的讀值即為植物組織的水勢值(MPa)。
- (10) 葉片光合作用：於試驗結束時，以光合作用測定儀(LI-6400 portable photosynthetic rate, Pn)、氣孔導度(stomatal conductance, Gs)、細胞間隙二氧化碳濃度(intercellular CO₂ concentration, Ci)及蒸散作用(transpiration, Tr)。葉箱(6 cm²)內光源以可拆式人工光源(6400-02B Redblue LED light source, LI-COR

Inc., Nebraska, USA) 調控，波長為 670 nm，光度為 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度 0.04%，相對溼度 60%，溫度 25°C 。

(11) 樹冠溫度：於灌溉隔天，以紅外線熱像儀(TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)自樹冠上方拍攝熱影像進行分析，測量單位 $^\circ\text{C}$ 。

統計分析

試驗採完全逢機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，進行最小顯著差異分析(least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著差異($P \leq 0.05$)，繪圖採用 SigmaPlot 10.0 軟體(Systat Software Inc., Richmond, CA, U.S.A.)。

三、 結果(Results)

3.1. 試驗初期，重修剪和輕修剪的植株比較

試驗初期，兩處理的植株出現葉片下垂、落葉、莖幹回枯的現象，甚至發生死亡。移植當天(2014 年 12 月 18 日)兩處理的枝條水勢並無顯著差異，但兩週後輕修剪處理的枝條水勢顯著低於重修剪處理的植株，移植七週後的枝條水勢雖未脫離水分逆境，但兩處理間無顯著差異。

於試驗初期，重修剪處理的存活率 100%，而輕修剪處理存活率僅 75%，於 2015 年 2 月 20 號拆開死亡植株的不織布袋調查地下部狀況，結果發現土球外觀並無新根竄出，且舊土球與新放介質可輕易分開(圖 5.2)，進一步洗根發現，植株地下部並無新生根，大多為木質化老根，且沒有腐爛的狀況發生(圖 5.3)，研判應為移植前僅施以輕修剪的樟樹容器化苗，因地下部受傷造成吸水困難，而地上部葉片較多，加快了水分蒸散，使植株面臨較嚴重的乾旱逆境。

3.2. 新葉萌發至脫離水分逆境

不論是移植前施以重修剪或是輕修剪的植株，於試驗前兩個月皆呈現生長停滯的情形(圖 5.4.和圖 5.5)，為移植休克 (transplanting shock)。於 2015 年 2 月 7 號陸續發現重修剪處理新葉萌發，但輕修剪處理直至 3 月 5 日才發現新葉萌發。

試驗經過 53 天，樟樹容器化苗經過重修剪和輕修剪後的枝條水勢依然在水份逆境的範圍(<-0.9 MPa)，但呈現相似的狀況(圖 5.7)，並於試驗經過 99 天後，陸續脫離水分逆境，重修剪處理於試驗經過 130 天後完全擺脫水分逆境，輕修剪處理則於試驗經過 178 天後才完全脫離水分逆境(圖 5.8)。試驗開始後 137 天，重修剪處理氣孔導度於每次調查皆顯著優於輕修剪處理，但兩處理都有緩慢上升的趨勢。

兩處理各挑選一棵脫離水分逆境之植株，進行新生枝條和地下部觀察。重修剪處理新生枝條較長，土球側面並無觀察到新生根，土球底部則有些許新根竄出(圖 5.9)；輕修剪處理新生枝條較短，葉片數較少，觀察土球側面則於靠近底部邊緣處發現些許新根，土球底部則有較多的新根竄出(圖 5.10)。輕修剪處理於脫離水分逆境時，地下部發育較重修剪處理地下部旺盛，但地上部則以重修剪處理有較佳的發展。

3.3. 植物生長量和生理數值

重修剪處理新葉較早萌發，於試驗結束時有較佳的株高變化，為 13.5 cm，但在統計上輕修剪處理並無顯著差異。輕修剪處理莖徑變化有較好的表現，為 1.96 cm，且與重修剪處理有顯著差異。輕修剪處理的地下部較為旺盛(圖 5.11、圖 5.12)，雖根部活性並無顯著差異，但根部鮮重顯著優於重修剪處理(表 5.2)。葉綠素計讀值(CMR)、常態化植生指數(NDVI)、葉綠素螢光及葉片厚度處理間未達顯著差異，但數值上皆是輕修剪處理優於重修剪處理(表 5.3)。



3.4. 葉片光合作用

試驗結束時測量植株葉片光合作用數值，輕修剪處理的淨光合作用、氣孔導度及蒸散作用速率有較佳表現，且與重修剪處理的光合作用有顯著差異。細胞間隙二氧化碳濃度於兩處理雖無顯著差異，但輕修剪處理有較佳的數值(表 5.4)。

3.5. 葉片型態變化

以紅外線熱像儀自樹冠頂端拍攝兩處理整體植株之溫度，結果顯示輕修剪處理整體葉片溫度較低，重修剪處理整體葉片溫度較高(圖 5.13)。選取任意枝條由上而下第二片成熟展開葉進行切片，發現輕修剪處理葉片角質層較厚，重修剪處理葉片角質層較薄(圖 5.14)。

四、 討論(Discussion)

移植造成根部的損失，也影響了根部吸收水分和肥份的能力(Daniel, 2009)，由於樹木的根系可以延伸到滴水線的 1-3 倍，有 90% 的吸收根會在移植的過程中遺失(Sharon, 2010)，即使挖掘的土球大小遵造規範(Gilman, 1990；Watson and Himelick, 1983)。因移植造成受傷和功能受損，以致地下部對水分、養分的吸收無法滿足地上部的需求(Harris and Bassuk, 1995)，並且需要一段時間復原，適應新環境，這稱為移植休克(transplant shock)(Rietveld, 1989)。菩提樹在移植後的第一年，枝條生長速度減緩，直到第二年才恢復原先的生長速度(Solfjeld and Hansen, 2004)，為移植休克的症狀。移植休克的症狀與乾旱逆境相似，如：枝條生長速度減緩、新葉變小、老葉枯萎、莖幹回枯甚至死亡，本試驗不論移植前施以重修剪或輕修剪的植株，皆有類似之情形(圖 5.4 和圖 5.5)

根系重生可說是克服移植休克的關鍵(Steven, 2005)，而根系生長受到土壤溫度和水分的影響(Struve, 2009)，在根系重生前適當的地上部地下部平衡對於正常生長是重要的(Watson, 1985)，縮小地上部地下部的不平衡，可以增加存活率並減

少恢復正常生長的時間(Watson and Sydner, 1987)，補償修剪正是縮小地上部地下部不平衡的一個方法(Castle, 1983)。本試驗中重修剪處理的存活率 100%，而輕修剪處理存活率僅 75%，此結果與前人研究相符。

許多研究測定植株的枝條水勢作為水分逆境的指標，正常的枝條水勢在 0 至 -0.9 MPa 之間，當作物在接近萎凋點之介質中，其枝條水勢約在 -1.5 至 -2.0 MPa 之間(Raviv and Blom, 2001)。移植當天(2014 年 12 月 18 日)兩處理的枝條水勢並無顯著差異，但兩週後的枝條水勢輕修剪處理枝條水勢顯著低於重修剪處理的枝條水勢，移植七週後的枝條水勢雖未脫離水分逆境，但兩處理間無顯著差異(表 5.1)，顯示造成輕修剪處理存活率偏低的水分逆境是短期且較為巨大的，與前人研究相符(Castle, 1983)。比較後續的枝條水勢，兩處理間並無顯著差異，但輕修剪處理較晚脫離水分逆境(圖 5.8)，顯示補償修剪可有效的縮短脫離水分逆境的時間。

海欖雌(*Avicennia marina*)在落葉後，葉片快速的萌發，顯示落葉有利於新葉的抽出(Anderson and Lee, 1995)。然而移植後的水分逆境使得快速的新葉萌發並不被建議，且新葉萌發致使地上部和地下部競爭有限的碳水化合物，造成新根萌發減緩(Harris and Faneli, 1999)。植物根部被認為是養分需求的部位(Robbins and Pharr, 1988)，葉片進行光合作用得到的養分將有助於新根萌發(Watson et al., 1986)。本試驗中，重修剪處理較輕修剪處理更快萌出新葉，但地下部則以輕修剪處理較為旺盛(圖 5.9 和圖 5.10)，與前人研究相符。

乾旱逆境會影響植物的光合作用、氣孔導度和蒸散作用(Souza et al., 2004)；乾旱逆境對光合作用之影響，導因於根部感受缺水訊號，葉片累積 ABA，使得氣孔關閉，細胞間隙 CO₂ 下降，造成光合作用下降(Taiz and Zeiger, 2010)，移植休克的乾旱逆境亦有類似之情形(Barton and Walsh, 2000)。大多數木本植物經由氣孔調節水分，以平衡植株水分需求(Cameron et al., 2006)。本試驗中，試驗開始後 137 天，重修剪處理氣孔導度於每次調查皆顯著優於輕修剪處理，顯示輕修剪處理面臨較嚴重的逆境(圖 5.9)。然而，於試驗結束時測量兩處理的光合作用數

值，發現輕修剪處理氣孔導度有較佳表現，進而使淨光合作用速率、蒸散速率優於重修剪處理，顯示於試驗結束時，輕修剪處理擁有較健康的生長狀態。較佳的光合作用使輕修剪處理的莖徑顯著大於重修剪處理，但株高、葉綠素計讀值(CMR)、常態化植生指數(NDVI)、葉綠素螢光及葉片厚度處理間未達顯著差異，但數值上皆是輕修剪處理優於移植前施以重修剪處理(表 5.3)。水欖樹(*Quercus nigra* L.)和核桃樹(*Carya illinoensis*)於移植後一年生長遲緩，移植後五年與種植於田間的對照組差異不顯著(Toliver et al., 1980)。本試驗兩處理間植物生長量和生理數值差異不顯著，應是試驗時間太短所致，但輕修剪處理有較佳的根系發育，根系吸水的功能，與新根數量相關，旺盛的根系有助於再移植(Grossnickle, 2005)。

由於氣孔關閉，蒸散作用同步降低，使得乾旱逆境的植株葉片溫度上升，聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)之葉片溫度隨著土壤含水量降低，有逐漸上升的趨勢(吳，2015)。以葉片溫度偵測植物乾旱逆境的技術，以被用在許多作物的生產上，如水稻(楊等，1998)和火鶴花(周，2003)等。本試驗以紅外線熱像儀由植株上方拍攝兩處理整體植株之溫度，發現葉溫以重修剪處理(36.88°C)顯著高於輕修剪(35.66°C)，顯示輕修剪處理於灌溉隔天的水分狀態較佳。

Ramos 和 Kaufmann (1979)指出粗皮檸檬(*Citrus jambhiri* Lush.)根部細胞壁增加木栓質來對抗乾旱逆境。在植物表面最外層之保護構造為角質層(cuticle)，角質層為廣義的脂質，具有高度的疏水性，此疏水性除防止雨水大量滲入外，亦可阻礙水分自植體中溢失，也就是抑制非氣孔性之蒸散作用，達到抑制水分散失之目的(陳和夏，2004)。本試驗中，經葉片切片發現輕修剪處理的角質層較厚(圖 5.14)，可能是移植初期受到較嚴重逆境的結果，角質層的加厚將有助於容器化苗移植至都市惡劣環境時的抗逆境能力。

較佳的光合作用使輕修剪處理的莖徑顯著大於重修剪處理，但株高、葉綠素計讀值(CMR)、常態化植生指數(NDVI)、葉綠素螢光及葉片厚度處理間未達顯著差異，但數值上皆是移植前施以輕修剪的植株優於移植前施以重修剪的植株(表 5.3)。移植後一年內，黑欖(*Quercus nigra* L.)和長山核桃(*Carya illinoensis*)生長

遲緩，移植後五年生長與種植於田間的對照組差異不顯著(Toliver et al., 1980)。本試驗兩處理間植物生長量和生理數值差異不顯著，應是試驗時間太短所致，但輕修剪處理有較佳的根系發育、較佳的光合作用數值和較厚的角質層，可以期待未來有較好的苗木品質和抗逆境能力。



五、 結論(Conclusion)

不論移植前施以重修剪或輕修剪，移植後的樟樹容器化苗皆有移植休克的症狀，如葉片下垂、落葉及莖幹回枯等，甚至發生死亡。輕修剪處理於移植初期面臨一段短暫但嚴重的乾旱逆境，存活率較低，且完全脫離乾旱逆境的時間較晚。重修剪處理新葉萌發較輕修剪處理早，但脫離乾旱逆境時，輕修剪處理的地下部發展較重修剪佳。試驗結束時，輕修剪處理的淨光合作用、氣孔導度、蒸散速率有較佳表現，且莖徑顯著大於重修剪處理，有利於再移植後的生長。重修剪有利於移植後的存活率，輕修剪有利於移植後的根系發育。建議移植前進行適當的微量修剪，輔以適當管理使其克服短暫但嚴重的乾旱逆境，後續的新根發展、角質層加厚和苗木品質，將有助於對抗栽植地的逆境。

表 5.1. 移植前經過不同程度補償修剪後的樟樹容器化苗之枝條水分潛勢
 Table 5.1. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on
 shoot water potential of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

不同程度的 補償修剪 Compensatory pruning in different level	2014.12.18	2015.01.05	2015.02.08
Heavily-pruned	-1.50	-1.61	-1.60
Slightly-pruned	-1.49	-2.28	-1.32
Significance	NS	*	NS

NS, * Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, respectively.



表 5.2. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之株高變化、莖徑變化、葉綠素計讀值、常態化差異植生指數、葉綠素螢光、葉片厚度

Table 5.2. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on Δ height, Δ caliper, CMR, NDVI, Fv/Fm and sampled leaf thickness of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

不同程度的 補償修剪 Compensatory pruning in different level	株高變化 Δ Height (cm)	莖徑變化 Δ Caliper (cm)	葉綠素計讀值 CMR	常態化 差異 植生指數 NDVI	葉綠素螢光 Fv/Fm	葉片厚度 Sampled leaf thickness (mm)
Heavily-pruned	13.5	0.35	31.32	0.554	0.75	0.23
Slightly-pruned	11.2	1.96	32.72	0.593	0.75	0.25
<i>t</i> -test	NS	*	NS	NS	NS	NS

NS, * Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, respectively.

表 5.3. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之葉片數、葉片鮮重、根部鮮重及根部活性

Table 5.3. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on number of leaves, leaf fresh weight, root fresh weight and root activity of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

不同程度的 補償修剪 Compensatory pruning in different level	葉片數 Number of leaves (No.)	葉片鮮重 Leaf fresh weight (g)	根部鮮重 Root fresh weight (g)	根部活 性 Root activity
Heavily-pruned	382.0	50.7	180.8	0.154
Slightly-pruned	679.3	87.8	387.0	0.150
<i>t</i> -test	NS	NS	**	NS

NS, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$, respectively

表 5.4. 移植前經過不同程度的補償修剪後的樟樹容器化苗之淨光合作用、氣孔導度、細胞間隙 CO₂ 濃度及蒸散作用速率

Table 5.4. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on net photosynthesis rate(Pn), stomatal conductance(Gs), intercellular CO₂ concentration(Ci) and transpiration rate(Tr) of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

不同程度的 補償修剪 Compensatory pruning in different level	淨光合作用 Pn ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	氣孔導度 Gs ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	細胞間隙 CO ₂ 濃度 Ci ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	蒸散作用速率 Tr ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Heavily-pruned	8.33	0.07	180.5	2.18
Slightly-pruned	13.25	0.14	200.8	4.17
<i>t</i> -test	**	**	NS	*

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01 , respectively.



圖 5.1. 移植前經過輕修剪後的樟樹容器化苗死亡植株調查(2015.02.20)

Fig. 5.1. *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings after slightly-pruned and died (2015.02.20).

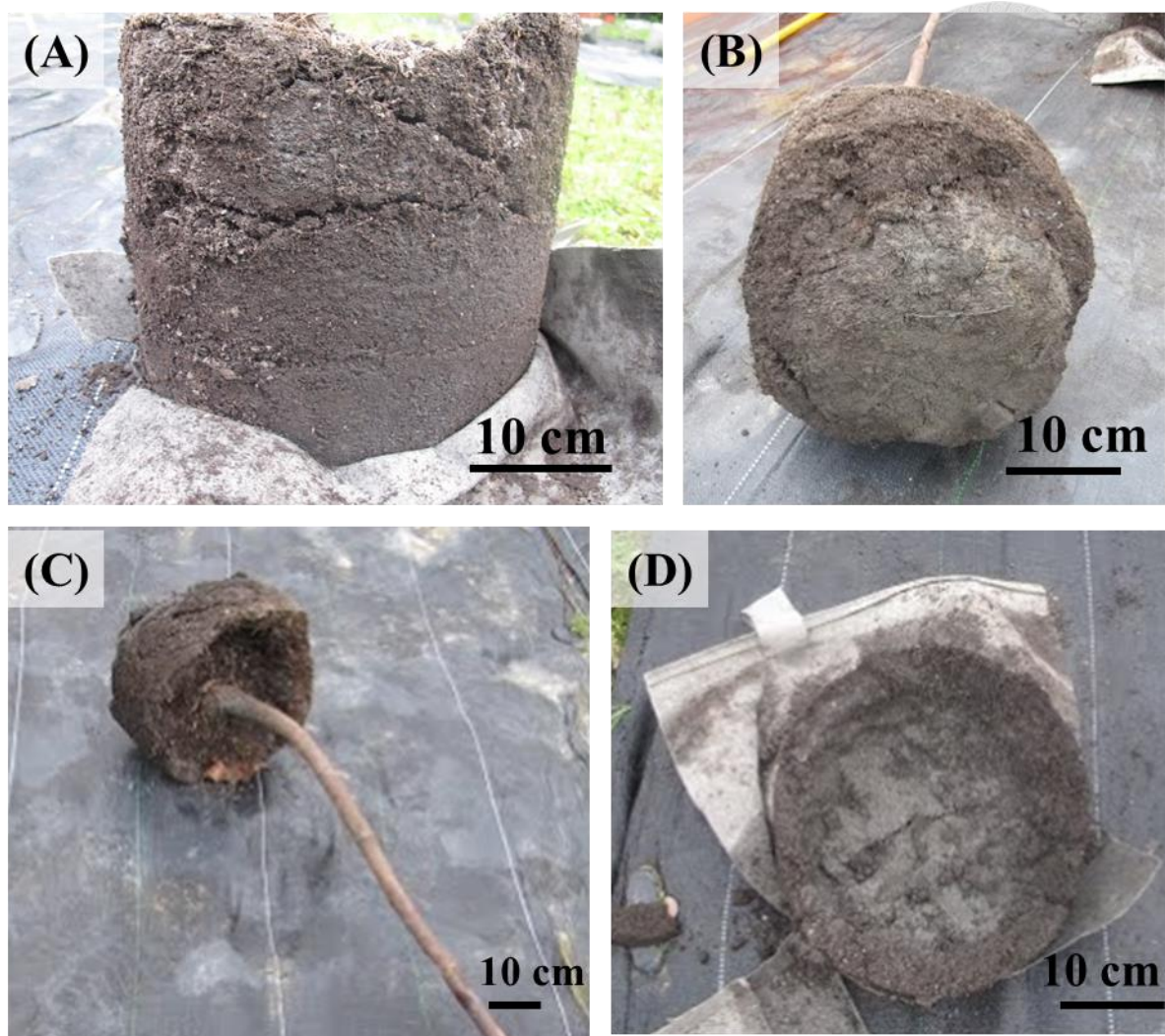


圖 5.2. 移植前經過輕修剪後的樟樹容器化苗死亡植株之土球觀察(2015.02.20)
Fig. 5.2. The root ball of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings
after slightly-pruned and died(2015.02.20). Bar = 10 cm.

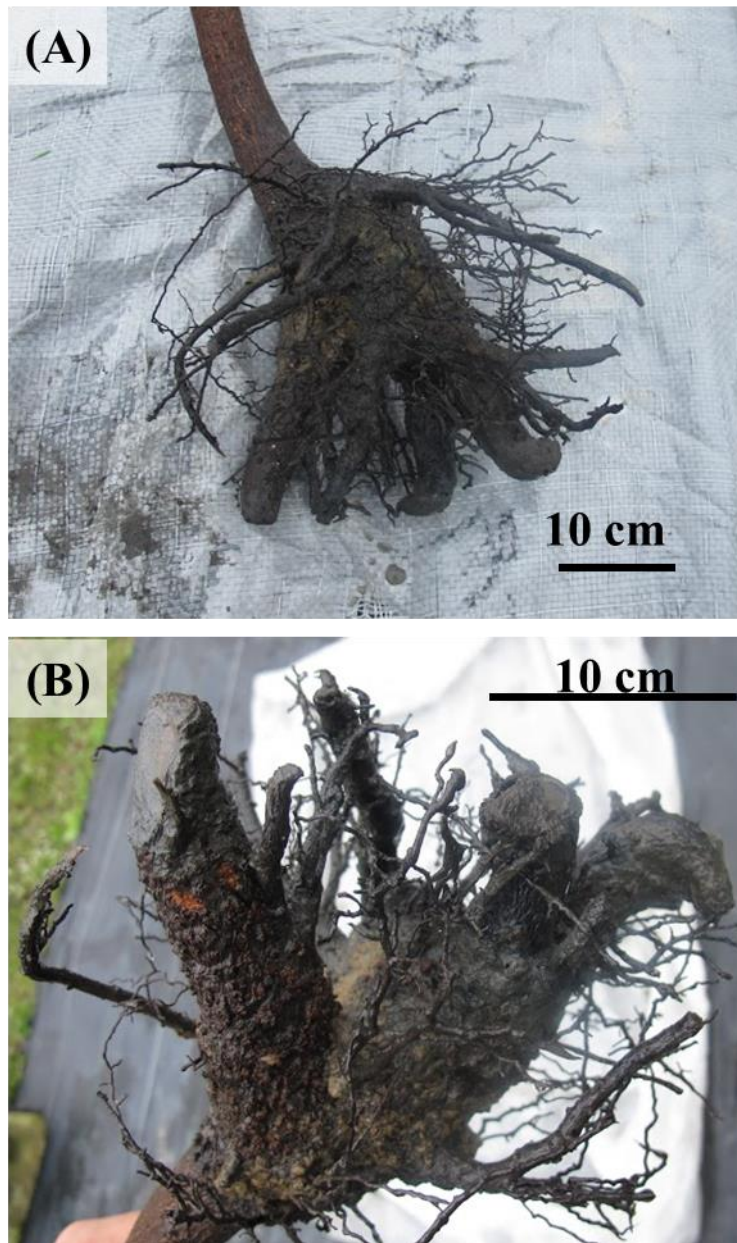


圖 5.3. 移植前經過輕修剪的樟樹容器化苗死亡植株之地下部觀察(2015.02.20)
Fig. 5.3. The root of *Cinnamomum camphora* (J. Presl) containerized seedlings after slightly-pruned and died(2015.02.20). Bar = 10 cm.

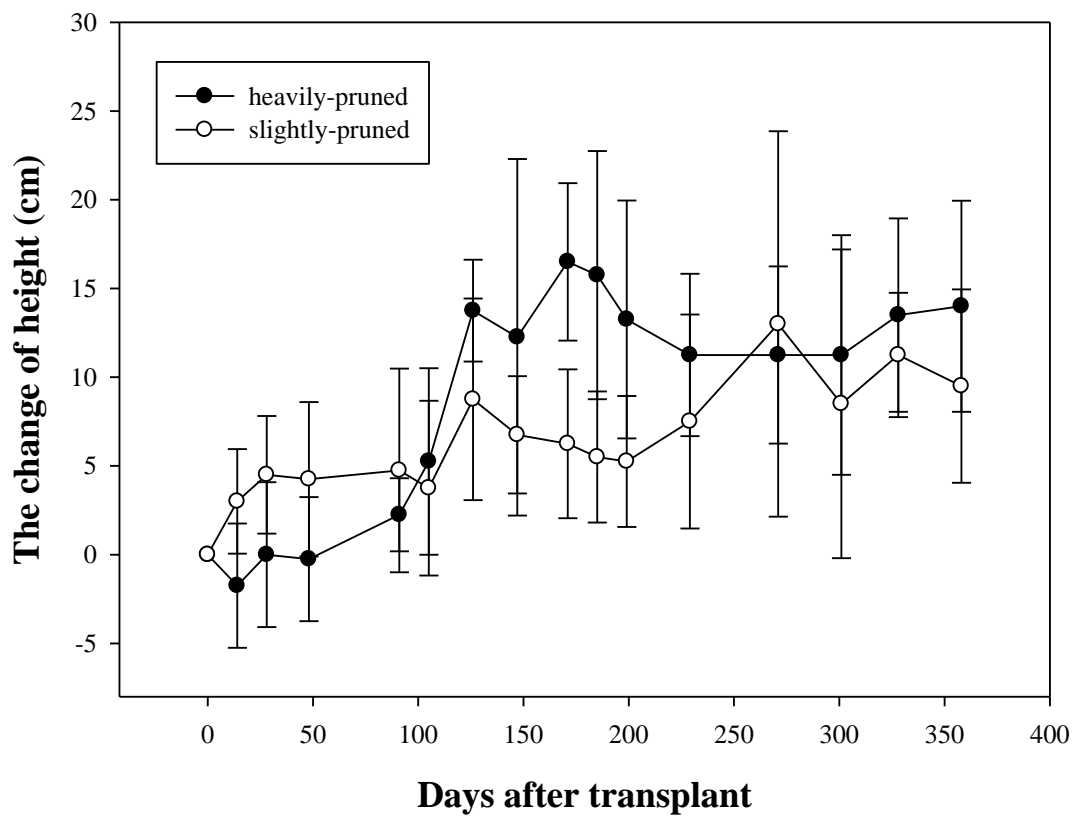


圖 5.4. 移植前經過不同程度補償修剪，樟樹容器化苗的株高變化情形

Fig. 5.4. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on height of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. Bars indicate standard error of the mean (n=6).

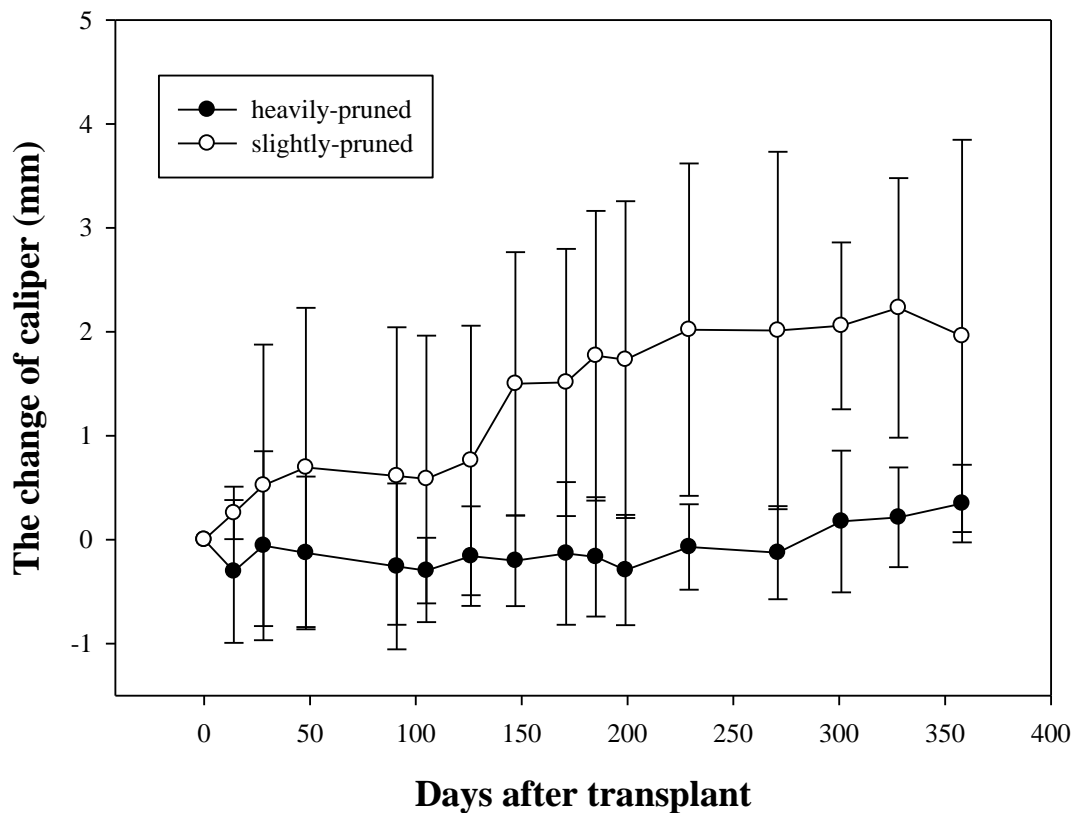


圖 5.5. 移植前經過不同程度的補償修剪後，樟樹容器化苗的莖徑變化情形

Fig. 5.5. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on caliper of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. Bars indicate standard error of the mean (n=6).

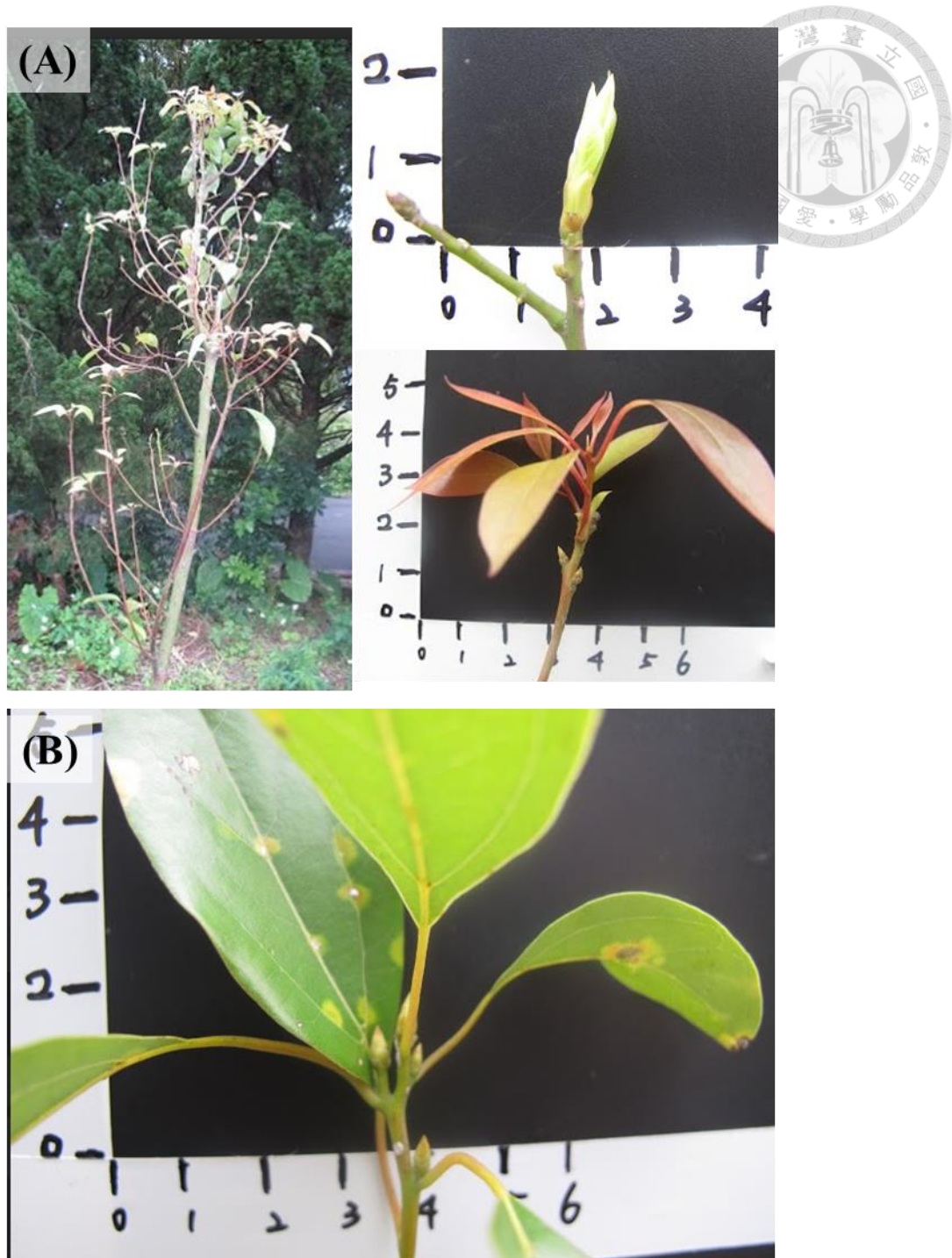


圖 5.6. 移植前經過不同程度的補償修剪後，樟樹容器化苗的新葉萌發比較
(2015.02.27) (A)重修剪 (B)輕修剪

Fig. 5.6. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on the new leaves germination of *Cinnamomum camphora* (J. Presl) containerized seedlings. (A)heavily-pruned (B)slightly-pruned

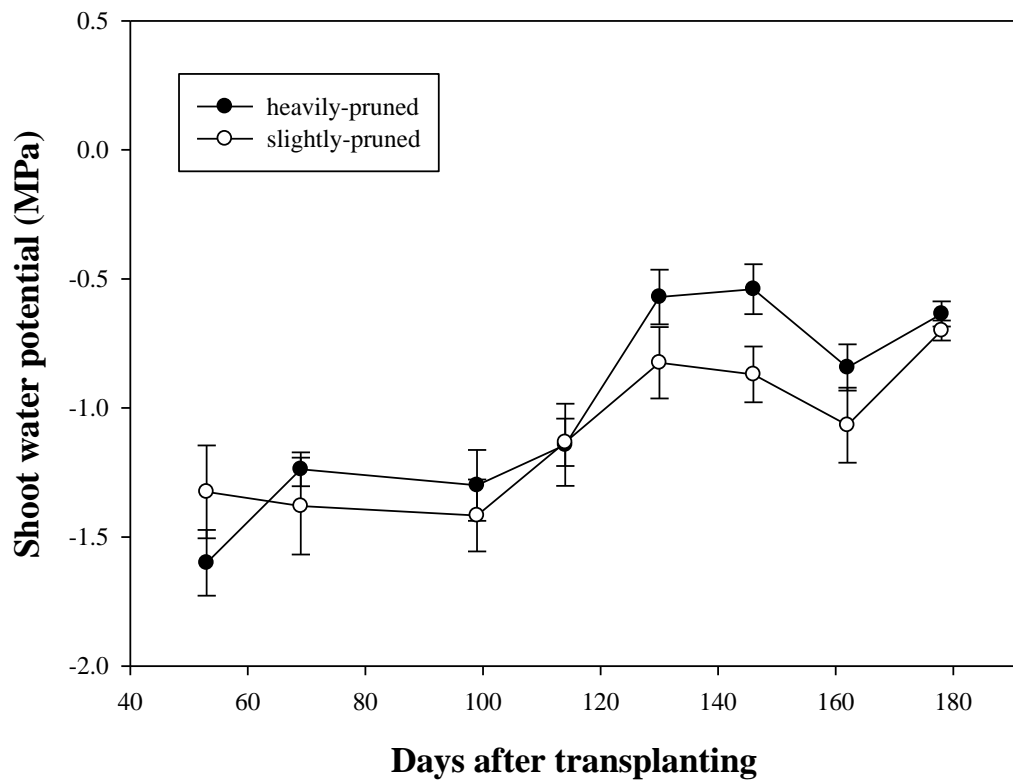


圖 5.7. 試驗經過 53 天，移植前經過不同程度的補償修剪後之樟樹容器化苗的枝條水分潛勢變化情形

Fig. 5.7. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on shoot water potential of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings after 53 days. Bars indicate standard error of the mean (n=6).

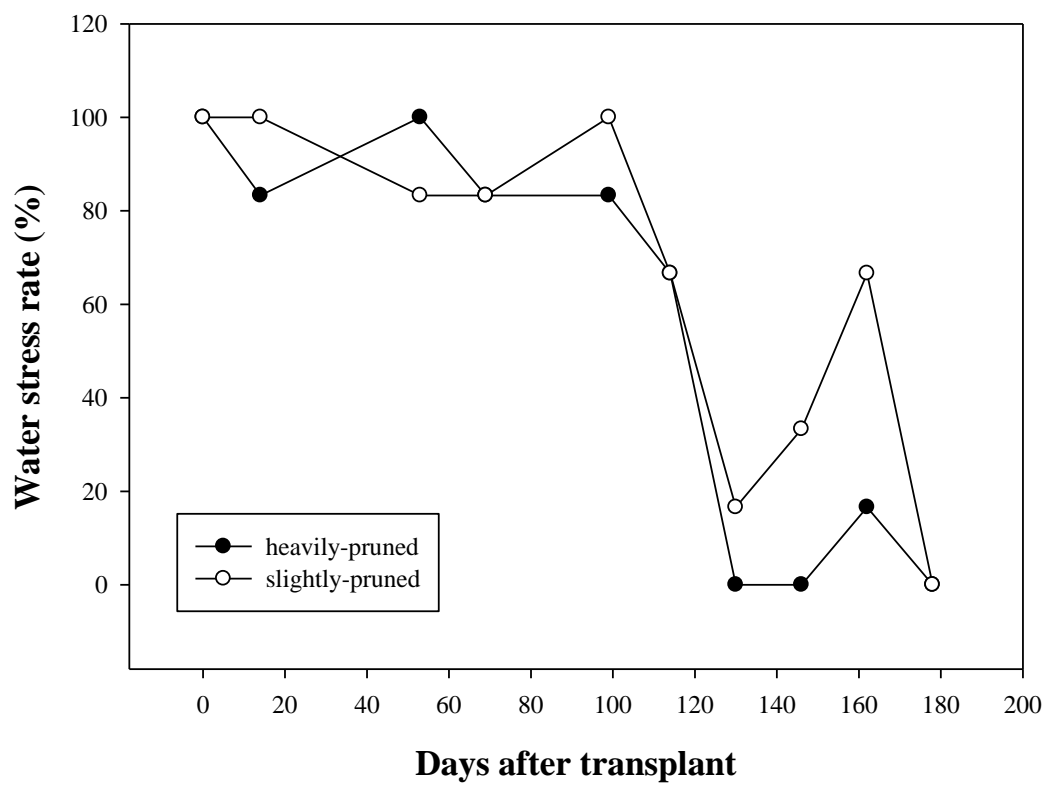


圖 5.8. 移植前經過不同程度補償修剪後，樟樹容器化苗逆境植株比率的變化
Fig. 5.8. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on water stress rate of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

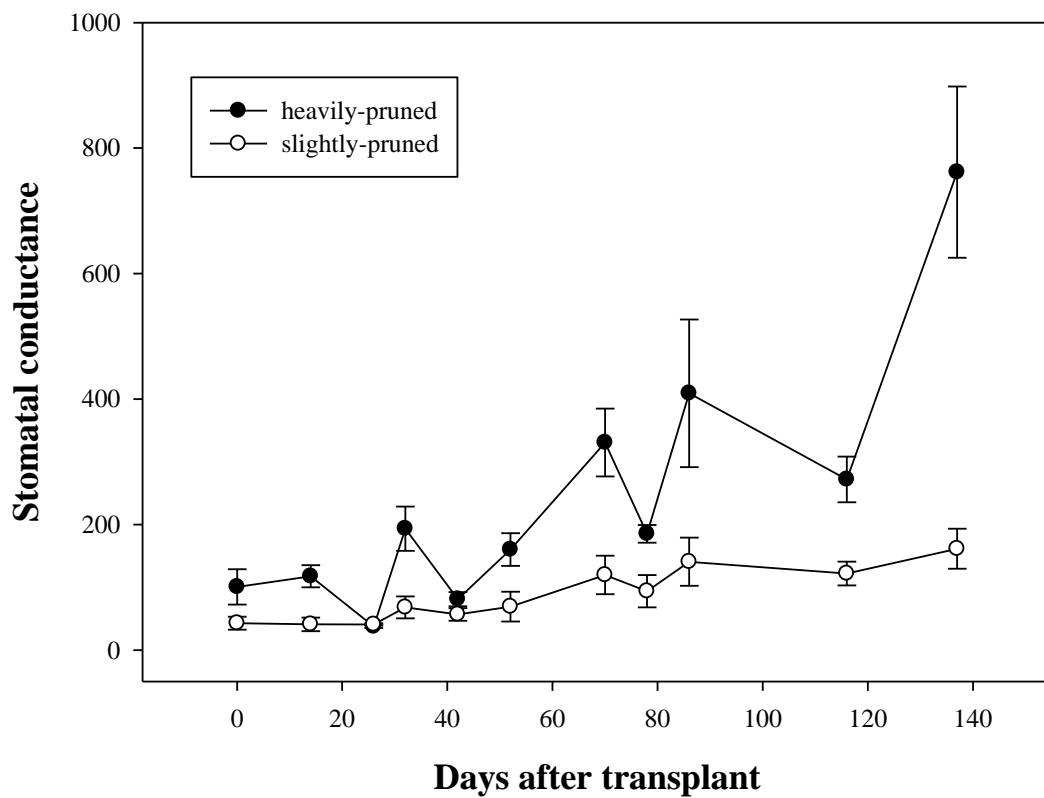


圖 5.9. 移植前經過不同程度補償修剪後，樟樹容器化苗的氣孔導度變化情形
 Fig. 5.9. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on stomatal conductance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. Bars indicate standard error of the mean (n=6).

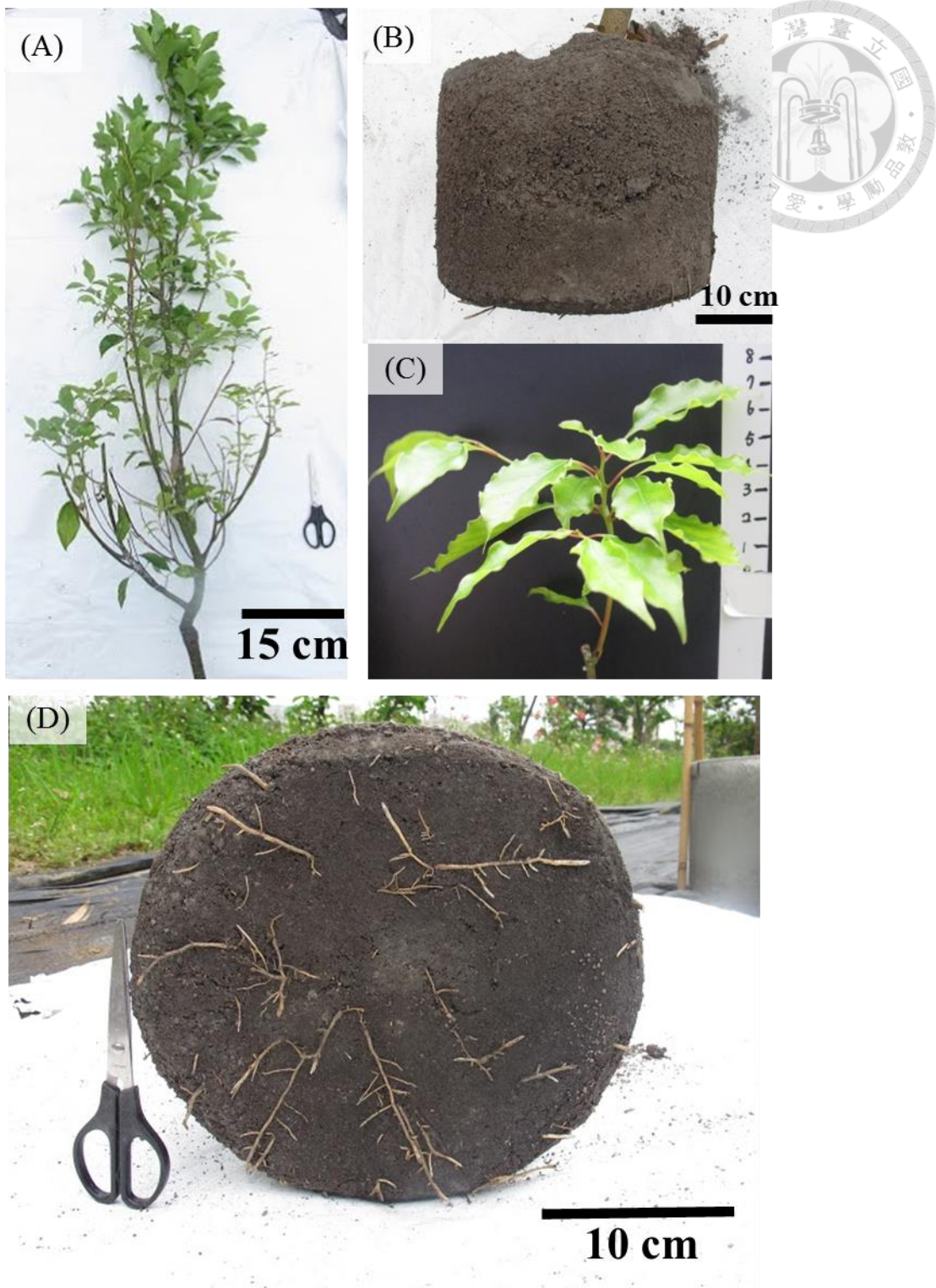


圖 5.10. 樟樹容器化苗經過重修剪後五個月的外觀情形。(2015.04.07)

(A)地上部 (B)土球 (C)新生枝條 (D)土球底部

Fig. 5.10. Effects of slightly-pruned on appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. (2015.04.07) (A)overground part (B)root ball (C)new shoot (D)the bottom of root ball

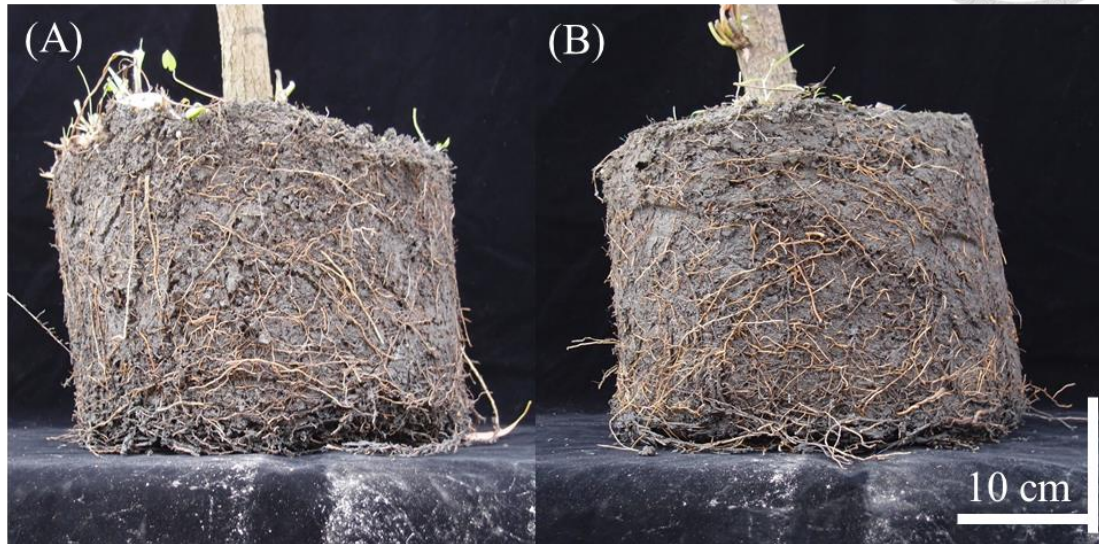


圖 5.11. 試驗結束時，樟樹容器化苗之土球外觀 (2015.12.30) (A)重修剪 (B)輕修剪

Fig. 5.11. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on soil ball appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. (2015.12.30) (A) heavily-pruned (B) slightly-pruned. Bar = 10 cm.

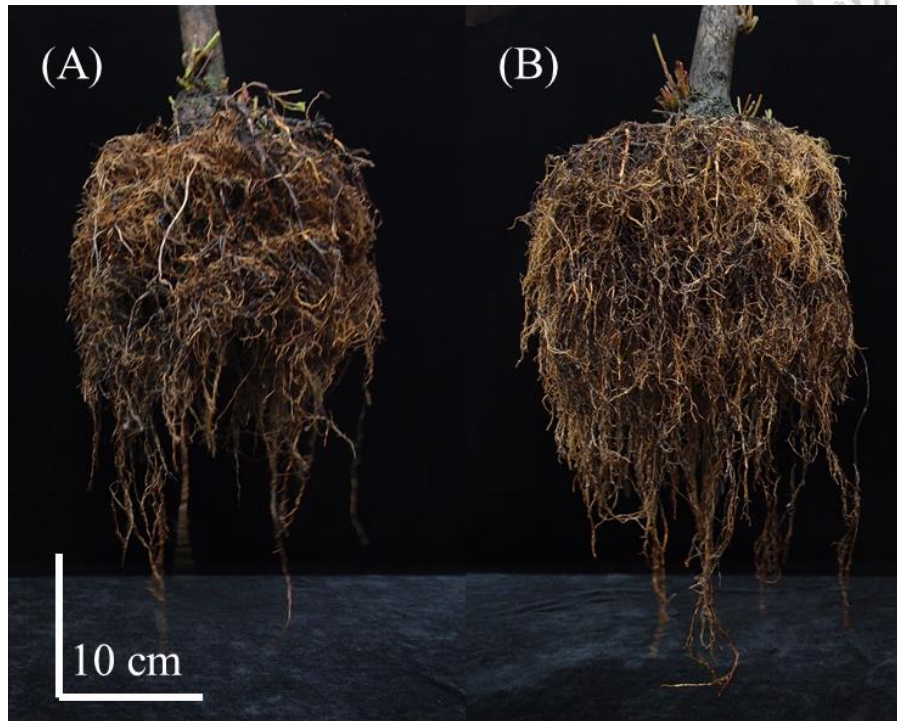


圖 5.12. 試驗結束時,樟樹容器化苗之根系外觀 (2015.12.30) (A)重修剪 (B)輕修剪

Fig. 5.12. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on root appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. (2015.12.30) (A) heavily-pruned (B) slightly-pruned. Bar = 10 cm.

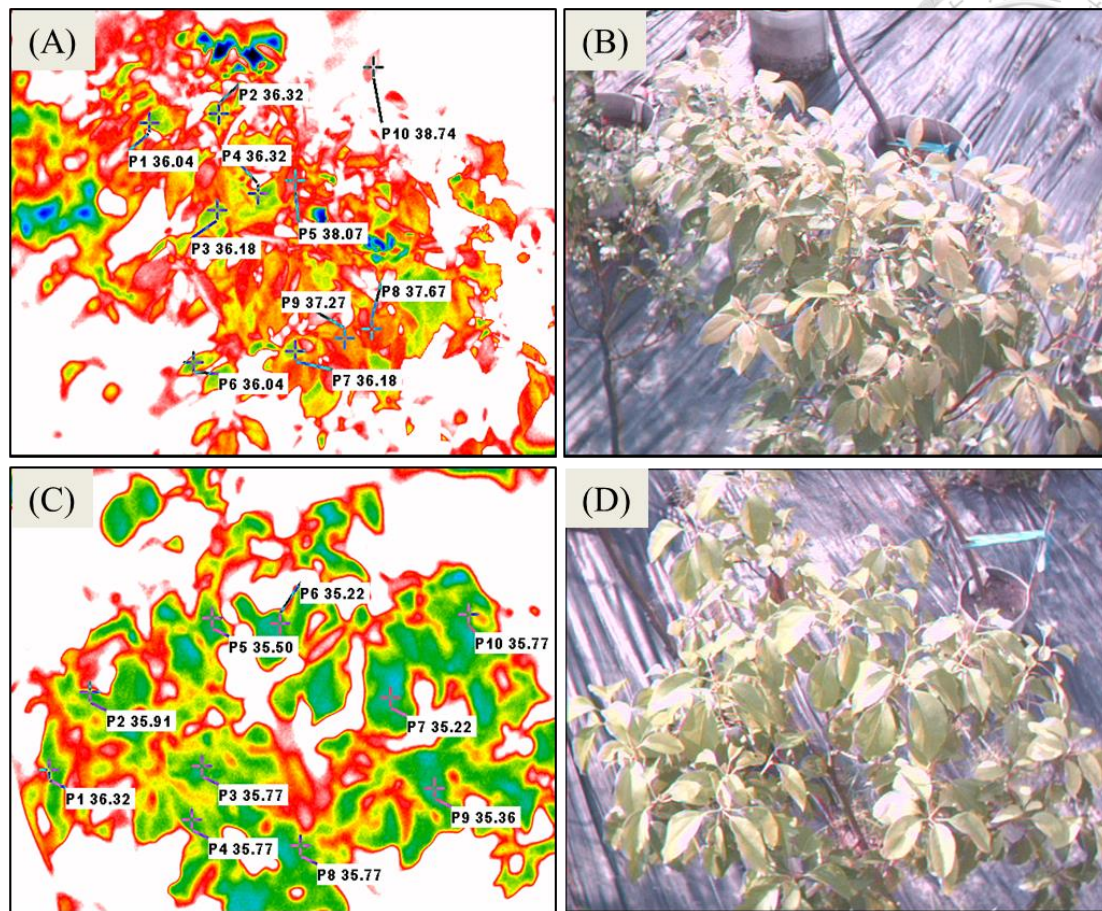


圖 5. 13. 移植前經過不同程度補償修剪的樟樹容器化苗，移植七個月後拍攝熱像儀 (2015.06.05) (A)重修剪植株的熱像 (B)重修剪植株 (C)輕修剪植株的熱像 (D)輕修剪植株

Fig. 5.13. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on appearance of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings. (2015.04.07)

- (A) thermograph of heavily-pruned plant
- (B) appearance of heavily-pruned plant
- (C) thermograph of slightly-pruned plant
- (D) appearance of slightly-pruned plant

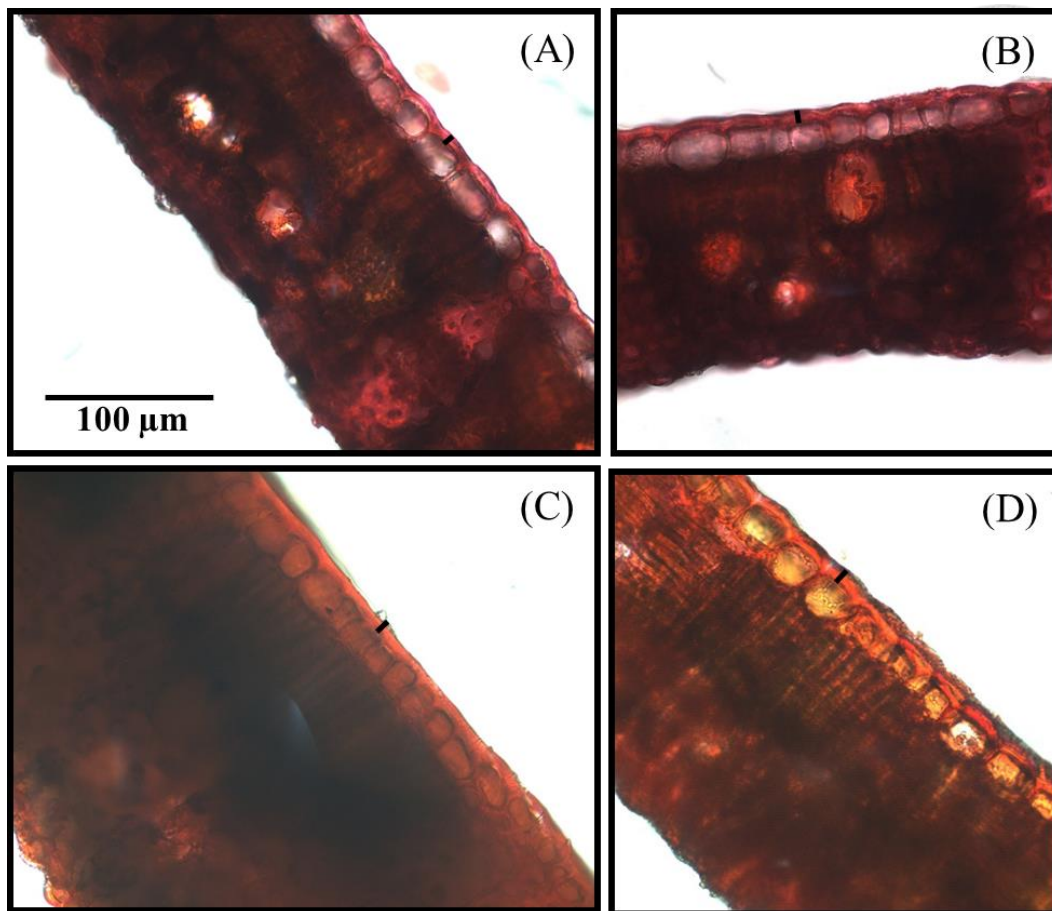


圖 5.14. 移植前經過不同程度補償修剪後的樟樹容器化苗之葉片切片

(A)重修剪，角質層厚度= 6.97 μm (B)重修剪，角質層厚度= 7.65 μm

(C)輕修剪，角質層厚度= 8.83 μm (D)輕修剪，角質層厚度= 9.36 μm

Fig. 5.14. Effects of compensatory pruning in different level before transplanting on the leaves of *Cinnamomum camphora* (J). Presl containerized seedlings.

(A) heavily-pruned, cuticle thickness= 6.97 μm

(B) heavily-pruned, cuticle thickness= 7.65 μm

(C) slightly-pruned, cuticle thickness= 8.83 μm

(D) slightly-pruned, cuticle thickness= 9.36 μm

第六章 結論



Chapter 6. Conclusions

容器苗雖有恢復期短、存活率高等優點，但其根系限縮容器內且生長速度較慢。為確保容器苗的正常生長，需在其生長過程中適時補充水分和養分；田間生產小苗作為容器化苗的使用是加快苗木生產速度的方法，惟此技術尚未成熟。本研究擬就灌溉和氮肥試驗，加快小苗培育的速度，再就容器化苗移植前的修剪作探討，期能加快生產進程並提升臺灣的苗木品質。

灌溉方面，藉由介質水分含量測定儀(water content, electrical conductivity and temperature sensor, WET)測量介質中的介質含水量，並與重量法比較，發現 WET 可用來測量田土(S)和田土:椰纖=1:1(v/v)(soil+coir, S+C)的介質含水量。監測每天的介質含水量，發現 S+C 的飽和含水量較高，WET 測值約為 65%；S 的飽和含水量較低，WET 測值約為 55%。且 S 的灌溉頻率較 S+C 高，表示 S 保水力較差。維持高介質含水量(35%、45%)的青楓冬季不落葉，且株高可維持緩慢的生長，但維持低介質含水量(15%、25%)的青楓冬季落葉、生長受阻。建議青楓維持介質含水量 35% (約田間容水量的 65%)，避免冬季落葉且有較好的苗木品質，並使用 S+C 作為介質。樟樹不論何種處理，冬季皆無落葉或生長緩慢之情形發生。以維持高介質含水量(35%、45%)的處理表現較佳，並以 S+C 作為介質，地下部較為旺盛。建議樟樹維持介質含水量 35% (約田間容水量的 65%)，相較維持介質含水量 45% 可減少灌溉頻率、降低灌溉成本，且應斟酌使用追肥，避免植物生長旺盛或灌溉淋洗導致介質肥份不足，進而造成生長速度趨緩、苗木品質變差。

不論施用何種氮肥濃度，落葉樹種青楓在 10-3 月皆有明顯的休眠期，完全落葉，致使植株表現受氮肥處理影響不大。施用氮肥濃度大於 4 mM 的青楓生長量隨施用氮肥濃度上升大幅增加表現量後，有趨緩的現象，這可能是養分承載的狀態，分枝數則隨氮肥濃度增加而增加。高濃度氮肥(32 mM)使根的數量減少、

變細。8-16 mM 的處理地下部較為旺盛，且有較多的分枝數，但 4 mM 的處理於地上部即有不錯的表現，故推薦青楓使用 4-8 mM 的氮肥養液，如需增加分枝數則可提高氮肥濃度至 8-16 mM。樟樹與青楓相較下則無明顯的休眠期，試驗期間株高、莖徑皆穩定成長。樟樹生長量隨施用氮肥濃度上升大幅增加表現量後，亦有趨緩的現象。高濃度氮肥(32 mM)使根的數量減少、變細，4、8 和 16 mM 的處理地下部較為旺盛。因此推薦樟樹使用 8-16 mM 的氮肥養液，如需增加分枝數則可提高氮肥濃度至 16-32 mM。

容器化苗的試驗中，分成移植前重修剪和輕修剪兩種處理。不論移植前施以重修剪或輕修剪，移植後的樟樹容器化苗皆有移植休克(transplant shock)的症狀。移植當天(2014.12.18)兩處理的枝條水勢並無顯著差異，但三週後輕修剪處理的枝條水勢顯著低於重修剪處理；移植七週後，枝條水勢雖未脫離水分逆境，但兩處理間無差異，顯示造成植株死亡的水份逆境是短期且巨大的，其中輕修剪處理面臨較長的乾旱逆境，甚至發生死亡，但脫離乾旱逆境時，輕修剪處理的地下部發展較重修剪佳。試驗結束時，無論輕修剪或重修剪處理，一年來地上部生長緩慢，除輕修剪處理的莖徑顯著優於重修剪，其餘地上部生長量皆沒有顯著差異，但光合作用數值、地下部顯著優於重修剪處理，有利於再移植後的生長。輕修剪處理於灌溉隔天的水分狀態較佳，且葉片角質層較厚，有助於對抗栽植地的逆境。建議移植前進行適當的微量修剪，輔以適當管理使其克服短暫但嚴重的乾旱逆境，在移植後的存活率與苗木品質取得平衡。

綜合上述結果，小苗期間，建議青楓使用 S+C，維持介質含水量 35% (約 5-6 天灌溉)，氮肥濃度 4-8 mM，增加分枝數則施 8-16 mM；樟樹使用 S+C，維持介質含水量 35% (約 4-5 天灌溉)，氮肥濃度 8-16 mM，增加分枝數施 16-32 mM。移植至田間加快生產速度至所需規模，再以容器化苗生產，移植前進行適當的微量修剪，移植後予以妥善馴化，可加快生產進程，並提升苗木品質。

參考文獻



- 王貴彥、史秀捧、張建恒、梁衛理. 2000. TDR 法、中子法、重量法測定土壤含水量的比較研究. 河北農業大學學報 23:23-26.
- 吳承叡. 2015. 環保聖誕紅盆花生產體系之建立. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 李遠發、文嘉燕、黃曉倩、王凌暉. 2009. 水分脅迫對樂東擬單性木蘭幼苗生長和生理特性的影響. 安徽農業科學 37:7281-7282.
- 林君如、許博行. 2003. 二氧化碳濃度和氮肥對樟樹苗木生長與光合作用之影響. 林業研究季刊 25:1-14.
- 林姿君. 2009. 青剛櫟容器苗與田間苗生長之比較與肥培管理對賽赤楠生長之影響. 國立嘉義大學園藝學研究所碩士論文. 嘉義.
- 林禎佑. 1999. 黑板樹和樟樹容器苗木生產技術之研究. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北.
- 邱奕璇. 2012. 菊花耐淹水指標與水分生理. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 涂佩君. 2015. 公園綠地平戶杜鵑維護管理技術之改進. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 許圳塗. 1986. 容器苗圃與苗木生長. 中華民國造園學會-植物栽培技術. 淑馨出版社. 184頁.
- 陳威臣、夏奇鈺. 2004. 植物表皮蠟質與組織培養苗馴化之關係. 農業試驗所技術服務 58:32-35.
- 黃玉梅. 1999. 盤根現象對穴盤育苗根群發育之影響. 種苗科技專訊 26:12-16.
- 黃群哲. 2013. 養液氮、磷與鉀濃度及氮型態對洋桔梗穴盤苗生長及後續開花表現之影響. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北.
- 楊純明、沈百奎、余志儒、羅朝村、吳正宗. 2003. 利用葉綠素測計估測莧菜植體葉綠素及氮素狀態. 中華農業研究 52:107-118.
- 鄧華平. 2008. 林木容器育苗技術. 容器苗的撫育管理. 中國農業出版社. 289頁.
- 謝孟諺. 2014. 臺灣景觀樹木容器苗生產關鍵技術之探討. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 魏紅旭、徐程揚、馬履一、江俐妮. 2010. 苗木指數施肥技術研究進展. 林業科學 46:140-146.
- 嚴仕函. 2003. 栽培介質對文心蘭生育及裸根模擬儲運後生育之影響. 國立中興大學園藝學系所碩士論文. 臺中.
- Ackerson, R.C. 1980. Stomatal response of cotton to water stress and abscisic acid as affected by water stress history. *Plant Physiol.* 65:455-459.
- Anderson, C. and S.Y. Lee. 1995. Defoliation of the mangrove *Avicennia marina* in

- Hong Kong: cause and consequences. *Biotropica*. 27:218-226.
- Arnold, M. A. 1992. Timing, acclimation period, and cupric hydroxide concentration alter growth responses of the Ohio production system. *J. Environ. Hort.* 10(2):114-117.
- Arnold, M. A. and E. Young. 1991. CuCO₃-painted containers and root pruning affect apple and green ash root growth and cytokinin levels. *HortScience* 26(3):242-244.
- Baghalian, K., Sh. Abdoshah, F. Khalighi-Sigarodi, and F. Paknejad. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiol. Bioch.* 49, 201-207.
- Barton, A.J. and C.S. Walsh. 2000. Effect of transplanting on water relations and canopy development in *Acer*. *J. Environ. Hort.* 18:202-206.
- Beeson, R.C. 2006. Relationship of plant growth and actual evapotranspiration to irrigation frequency based on management allowed deficits for container nursery stock. *J. Amer. Soc. Hort.* 131:140-148.
- Beeson, R.C., M.A. Arnold, T.E. Bilderback, B. Bolusky, S. Chandler, H.M. Gramling, J.D. Lea-Cox, J.R. Harris, P.J. Klinger, H.M. Mathers, J.M. Ruter, and T.H. Yeager. 2004. Strategic vision of container nursery irrigation in the next ten years. *J. Environ. Hort.* 22:113–115.
- Bengough, A.G., B.M. McKenzie, P.D. Hallett, and T. A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *J. Experimental Botany* 62:59-68.
- Biermann, B. and R.G. Linderman. 1983. Effect of container plant growth medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *HortScience*. 108:962-971.
- Biran, I. and I. Eiasaf. 1980. The effect of container size and aeration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. *Scientia Hort.* 12: 305-394.
- Bondada, B.R., D.M. Oosterhuis, J.B. Murphy, and K.S. Kim. 1996. Effect of water stress on the epicuticular wax composition and ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum*) leaf, bract, and boll. *Environ. Exp. Bot.* 36:61-69.
- Brix, H. and L.F. Ebell. 1969. Effects of Nitrogen Fertilization on Growth, Leaf Area, and Photosynthesis Rate in Douglas-Fir. *For. Sci.* 15:189-196.
- Buckstrup, M.J. and N.L. Bassuk. 2000. Transplanting success of balled-and-burlapped versus bare-root trees in the urban landscape. *J. Arbor.* 26:298-308.
- Burdett, A.N., L.J. Herring, and C.F. Thompson. 1984. Early growth of planted spruce. *Can. J. For. Res.* 14:644-651.
- Burnett, S.E. and M.W. van Iersel. 2008. Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* Grown with capacitance sensor-controlled irrigation. *HortScience* 43:1555-1560.

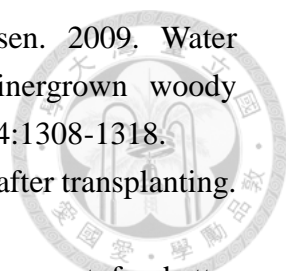
- Cabrera, R.I. 2003. Nitrogen balance for two container-grown woody ornamental plants. *Scientia Hort.* 97:297-308.
- Cabrera, R.I., R.Y. Evans, and J.L. Paul. Leaching losses of N from container-grown roses. *Scientia Hort.* 53:333-345.
- Cameron R.W.F., R.S. Harrison-Murray, C.J. Atkinson, and H.L. Judd. 2006. Regulated deficit irrigation - a means to control growth in woody ornamentals. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 81: 435-443.
- Castle, W.S. 1983. Antitranspirant and root and canopy pruning effects on mechanically transplanted eight-year old 'Murcott' Citrus Trees. *J. Amer. Soc. Hort.* 108:981-985.
- Ceulemans, R., R. Gabriels, and I. Impens. 1983. Antitranspirant effects on transpiration, net CO₂ exchange rate and water-use efficiency of azalea. *Scientia Hort.* 19:125-131.
- Cole, J.C., R. Kjelgren, and D.L. Hensley. 1998. In-ground fabric containers as an alternative nursery crop production system. *HortTechnol.* 8:159-163.
- Cruz, R.T., W.R. Jordan, and M.C. Drew. 1992. Structural changes and associated reduction of hydraulic conductance in roots of *Sorghum bicolor* L. following exposure to water deficit. *Plant Physiol.* 99:203-212.
- Dominguez-Lerena, S., N.H. Sierra, I.C. Manzano, L.O. Bueno, J.L.P. Rubira, and J.G. Mexal. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *For. Ecol. and Management.* 221:63-71.
- El-Kohen A. and M. Mousseau. 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and mineral nutrition on growth and CO₂ exchange of sweet chestnut seedlings (*Castanea sativa*). *Tree Physiol.* 14:697-690.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 78:9-19.
- Fernandez, R.T., B.M. Cregg, and J.A. Andresen. 2009. Water conservation, growth, and water use efficiency of container-grown woody ornamentals irrigated based on daily water use. *HortScience* 44:1308-1318.
- Fonteno, W.C. 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Acta Hort.* 238:66-73.
- Franco, J.A., S. Bañón, S. Fernández, and D.I. Leskovar. 2001. Effect of nursery regimes and establishment irrigation on root development of *Lotus creticus* seedlings following transplanting. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76:174-179.
- Gabriele, A., P. Frangi, R. Piatti, F. Ferrini, A. Fini, and M. Faoro. 2010. Effect of container design on plant growth and root deformation of littleleaf Linden and field Elm. *Hortscience.* 45:1824-1829.
- Gilliam, C.H., T.A. Fretz, and W.J. Sheppard. 1980. Effect of nitrogen form and rate on

- elemental content and growth of pyracantha, cotoneaster and weigela. *Scientia Hort.* 13:173-179.
- Gilman, E.F. 2001. Effect of Nursery Production Method, Irrigation, and Inoculation with Mycorrhize-Forming Fungi on Establishment of *Quercus virginiana*. *J. Arboricult.* 27:30-39.
- Gilman, E.F. and R.C. Beeson. 1990. Tree root growth and development. II. Response to culture, management and planting. *Environ. Hort.* 8:220-227.
- Gilman, E.F. and R.C. Beeson. 1996. Nursery production method affects root growth. *Environ. Hort.* 14:88-91.
- Gilman, E.F., R.J. Black, and B. Dehgan. 1998. Irrigation volume and frequency and tree size affect establishment rate. *J. Arboricult.* 24:1-9.
- Girard, S., A. Clement, H. Cochard, B.B. Gercourt, and J.M. Guehl. 1996. Effects of desiccation on post-planting stress in bare-root Corsican pine seedlings. *Tree Physiol.* 17:429-435.
- Gonzalez, A. and L. Ayerbe. 2010. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley. *Euphytica* 172:341-349.
- Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New For.* 30:273-294.
- Hamed, Y., G. Samy, and M. Persson. 2006. Evaluation of the WET sensor compared to time domain reflectometry. *Hydrol. Sci. J.* 51:671-681.
- Harris, J.R. and J. Fanelli. 1999. Root and shoot growth periodicity of pot-in-pot red and sugar maple. *J. Environ. Hort.* 17:80-83.
- Harris, J.R. and N.L. Bassuk. 1995. Effect of drought and phenological stage at transplanting on root hydraulic conductivity, growth indices, and photosynthesis of turkish hazelnut. *J. Environ. Hort.* 1:11-14.
- Harris, J.R. and N.L. Bassuk. 1995. Effect of drought and phonological stage at transplanting on root hydraulic conductivity, growth indices, and photosynthesis of Turkish Hazelnut. *J. Environ. Hort.* 13:11-14.
- Hawkins, B.J., D. Burgess, and A.K. Mitchell. 2005. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Can. J. For. Res.* 35:1002-1016.
- Henry, P.H., F.A. Blazich, and L. Eric Hinesley. 1992. Nitrogen nutrition of containerized eastern redcedar. I. Growth, mineral nutrient concentrations, and carbohydrate status. *J. Amer. Soc. Hort.* 117:563-567.
- Hinckley, T.M., J.P. Lassoie, and S.W. Running. 1978. Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. *For. Sci. Monogr* 20:70.
- Ingram, D.L. and T.H. Yeager. 1987. Effects of irrigation frequency and a water-absorbing polymer amendment on ligustrum growth and moisture retention by a

- container medium. *J. Environ. Hort.* 5:19-21.
- JuIP, L.G., S.L. Warren, and F.A. Blazich. 1994. Nitrogen nutrition of containerized *Cryptomeria japonica*'Elegans Aurea'. *J. Environ. Hort.* 12:212-215.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2004. Nutrient Solution Concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of cubirrigated salvia(*salvia splendens*). *HortScience* 39:49-54.
- Kitaoa, M., T.T. Leia, T. Koikea, H. Tobita, and Yutaka Maruyama. 2003. Higher electron transport rate observed at low intercellular CO₂ concentration in long-term drought-acclimated leaves of Japanese mountain birch (*Betula ermanii*). *Physiol. Plant.* 118: 406-413.
- Kohen, A.E. and M. Mousseau. 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and mineral nutrition on growth and CO₂ exchange of sweet chestnut seedlings (*Castanea sativa*). *Tree Physiol.* 14:679-690.
- Larimer, J., and D. Struve. 2002. Growth, dry weight and nitrogen distribution of red oak and 'Autumn Flame' red maple under different fertility levels. *Journal of Environmental Horticulture* 20:28-35.
- Larson, M.M. and F.W. Whitmore. 1970. Moisture stress affects root regeneration and early growth of red oak seedlings. *Fores Sci.* 16:495-498.
- Lauderdale. D.M., C.H. Gilliam., D.J. Eakes., G.J. Keever., and A.H. Chappelka. 1995. Tree transplant size influences post-transplant growth, gas exchange, and leaf, water potential of 'October Glory' red maple. *J. Environ. Hort.* 13:178-181.
- Mak, A.T.Y. and D.M. Yeh. Nitrogen nutrition of *Spathiphyllum*'Sensation'grown in Sphagnum peat-and coir-based media with two irrigation methods. *HortScience* 36:645-649.
- Masson, J., N. Tremblay, and Gosselin A. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. *J. Amer. Soc. Hort.* 116:594-598.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer Academic Publishers, MA., U.S.
- NeSmith, D.S. and J.R. Duval. 1998. The effect of container size. *HortTechnology* 8:495-498.
- Netto, A.T., E. Campostrini, J.G. de Oliveira, and R.E. Bressan-Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Hort.* 104:199-209.
- Nezami, A., H.R. Khazaei, Z. Boroumand Rezazadeh, and A. Hosseini. 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *Desert* 12:99-104.
- Pereira, L.S., T. Oweis, and A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity.

- Agricult. Water Management 57:175-206.
- Pereira, L.S., T. Oweis, and A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57:175-206.
- Pitchy, D.S., Frantz, J.M., Locke, J.C., and Fernandez, G.C.J. 2007. Impact of applied nitrogen concentration on growth of elatior Begonia and New Guinea impatiens and susceptibility of Begonia to Botrytis cinerea. *J. Amer. Soc. Hort.* 132:193-201.
- Ramos, C. and M.R. Kaufmann. 1979. Hydraulic Resistance of Rough Lemon Roots. *Physiol. Plant.* 45:311-314.
- Raviv, M. and T.J. Blom. 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Sci. Hortic.* 88:257-276.
- Richardson-Calfee, L.E. and J.R. Harris. 2005. A review of the effects of transplant timing on landscape establishment of field-grown deciduous trees in temperate climates. *HortTechnology* 15:132-135.
- Richardson-Calfee, L.E., J.R. Harris, and J.K. Fanelli. 2008. Root and shoot growth response of balled-and-burlapped and pot-in-pot sugar maple to transplanting at five phenological growth stages. *Environ. Hort.* 26:171-176.
- Richardson-Calfee, L.E. and J.R. Harris. 2005. A review of the effects of transplant timing on landscape establishment of field-grown deciduous trees in temperature climates. *HortTechnology*. 2005. 15:132-135
- Rietveld, W.J. 1989. Transplanting stress in bareroot conifer seedlings: its development and progression to establishment. *North. J. Appl. For.* 6:99-107.
- Ristvey, A.G., J.D. Lea-Cox, and D.S. Ross. 2007. Nitrogen and phosphorus uptake efficiency and partitioning of container-grown azalea during spring growth. *J. Amer. Soc. Hort.* 132:563-572.
- Robbins, N.S. and D.M. Pharr. 1988. Effect of restricted root growth on carbohydrate metabolism and whole plant growth of *Cucumis sativus* L. *Plant Physiol.* 87: 409-413.
- Sánchez-Rodríguez, E., M. del Mar Rubio Rubio-Wilhelmi, L.M. Cervilla, B. Blasco, J.J. Rios, R. Leyva, L. Romero, and J. M. Ruiz. 2010. Study of the ionome and uptake fluxes in cherry tomato plants under moderate water stress conditions. *Plant Soil* 335:339-347.
- Schubert, S. and F. Yan. 1997. Nitrate and ammonium nutrition of plants: effects on and adaptation of root cell plasmalemma H⁺ ATPase. *J. Plant Nutrition and Soil Science* 160:275-281.
- Scoffoni, C., C. Vuong, S. Diep, H. Cochard, and L. Sack. 2014. *Plant Physio.* 164:1772-1788
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, and C.X. Zhao. 2008. Water-deficit stress-induced

- anatomical changes in higher plants. C.R. Biologies 331:215-225.
- Sharon, J.L. 2010. Arborist's certification study guide. Kathy Ashmore. pp.366.
- Sharp, R.E. and M.E. LeNoble. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. J. Experimental Botany 53:33-37.
- Silva, M.d.A., J.L. Jifon, J.A.G.d. Silva, and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Braz. J. Plant Physiol. 19:193-201.
- Solfjeld, I. and O.B. Hansen. 2004. Post-transplant growth of five deciduous Nordic tree species as affected by transplanting date and root pruning. Urban For. Urban Green. 2:129-137.
- South, D.B. and J.B. Zwolinski. 1997. Transplant Stress Index: A proposed method of quantifying planting check. New For. 13:315-328.
- Souza, R.P., E.C. Machado, J.A.B. Silva, A.M.M.A. Lagoa, and J.A.G. Silveira. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. Environ. and Experimental Botany. 51:45-56.
- Stegman, E.C. 1982. Corn grain yield as influenced by timing of evapotranspiration deficits. Irrig.Sci. 3:75-87.
- Steven C.G. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. New Fores. 30:273-294.
- Struve, D.K. 2009. Tree establishment: a review of some of the factors affecting transplant survival and establishment. Arboriculture & Urban Forestry 35:10-13.
- Svenson, S. E. and D. L. Johnston. 1994. Root and shoot response of ten foliage species grown in cupric hydroxide treated containers. Proc. Fla. Hort. Soc. 107:192-193.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. Plant physiology, 5th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Timmer, V.R. and Y. Teng. 2004. Pretransplant fertilization of containerized *Picea mariana* seedlings: calibration and bioassay growth response. Can. J. For. Res. 34: 2089–2098.
- Toliver, J.R., R.C. Sparks, T. Hansborough. 1980. Effects of yop and lateral root pruning on survival and early growth-three bottomland hardwood tree species. Tree Planters' Notes 13-15.
- Ueda, A., M. Kanechi, Y. Uno, and N. Inagaki. 2003. Photosynthetic limitations of a halophyte sea aster (*Aster tripolium* L) under water stress and NaCl stress. J. 116:65-70.
- van Iersel, M.W.. 1998. Nutrient affects pre- and posttransplant growth of impatiens and petunia plugs. HortScience 33:1014-1018.

- 
- Warsaw, A.L., R.T. Fernandez, B.M. Cregg, and J.A. Andresen. 2009. Water conservation, growth, and water use efficiency of containergrown woody ornamentals irrigated based on daily water use. *HortScience*. 44:1308-1318.
- Watson, G. 1985. Tree size affects root regeneration and top growth after transplanting. *J. Arboricult.* 11:37-40.
- Watson, G.W. 1986. Cultural practices can influence root development for better transplanting success. *J. Environ. Hort.* 4: 32-34.
- Watson, G.W. and E.B. Himelick. 1982. Root distribution of nursery trees and its relationship to transplanting success. *J. Arboricult.* 8:225-229.
- Watson, G.W. and E.B. Himelick. 1983. Root regeneration of shade trees following transplanting. *J. Environ. Hort.* 1:50-52.
- Watson, G.W. and T.D. Sydnor. 1987. The effect of root pruning on the root system of nursery trees. *J. Arboricult.* 13:126-130.
- Watson, W.T. 2005. Influence of tree size on transplant establishment and growth. *HortTechnology*. 15:118-112.
- Welsh, D.F. and J.M. Zajicek. 1993. A model for irrigation scheduling in container-grown nursery crops utilizing management allowed deficit (MAD). *J. Environ. Hort.* 11:115-118.
- Wilson, E.R., K.C. Vitols, and A. Park. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.). *J. New For.* 34:163-176.
- Worrall, R.J., G.P. Lamont, M.A. O'Connell, and P.J. Nicholls. 1987. The growth response of container-grown woody ornamentals to controlled-release fertilizers. *Scientia Hort.* 32:275-286.
- Worrall, R.J., G.P. Lamont, M.A. O'Connell, and P.J. Nicholls. 1987. The growth response of container-grown woody ornamentals to controlled-release fertilizers. *Scientia Hort.* 32:175-286.
- Young, T.P., and R.Y. Evans. 2000. Container Stock Versus Direct Seeding for Woody Species in Restoration Sites. *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society*. 50:577-582.
- Zainudin, S.R., K. Awang, and A Hanif. 2003. Effects of combined nutrient and water stress on the growth of *Hopea odorata* Roxb. and *Mimusops elengi* Linn. seedlings. *J. Arboricult.* 29:79-83.

附錄(Appendix)



附錄 1. Hoagland 養液配方

Appendix 1. Composition of Hoagland solution.

Chemical composition	Macronutrient		
	Concentration (mg·L ⁻¹)	Element	Concn. of element (mg·L ⁻¹)
KNO ₃	808	N	210
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1180	P	31
KH ₂ PO ₄	135	K	234
MgSO ₄ ·7H ₂ O	495	Ca	200
		Mg	48
		S	64
Micronutrient			
	Concentration (mg·L ⁻¹)	Element	Concn. of element (mg·L ⁻¹)
Fe-EDTA	7.34	Fe	0.6304
HBO ₃	1.546	B	0.2834
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.845	Mn	0.3818
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.575	Cl	1.7764
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.125	Zn	0.1302
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.0184	Cu	0.0320
KCl	3.728	Mo	0.0100