

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學系

碩士論文

Department of Horticulture

College of Bioresources and Agriculture

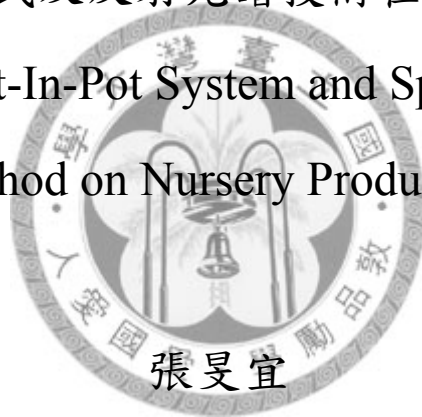
National Taiwan University

Master Thesis

盆中盆育苗模式及反射光譜技術在苗木生產之應用

Application of Pot-In-Pot System and Spectral Reflectance

Method on Nursery Production



Min-Yi Chang

指導教授：張育森教授

Advisor: Prof. Yu-Sen Chang

中華民國九十七年十二月

December, 2008

園藝學系
國立臺灣大學

碩士論文

盆中盆育苗模式及反射光譜技術在苗木生產之應用

張旻宜

97
12

目錄

目錄.....	i
表目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
摘要.....	viii
Abstract.....	x
第一章 前言.....	1
Chapter 1. Introduction.....	1
第二章 前人研究.....	4
Chapter 2. Literature Review.....	4
一、盆中盆育苗模式.....	4
二、遙感技術.....	6
(一) 光譜遙測之原理與應用.....	6
(二) 植生指數 (Vegetation index, IV).....	7
(三) 葉綠素與光譜遙測估算.....	8
三、逆境對植物之影響.....	9
(一) 高土溫對植物生長發育之影響.....	10
(二) 缺肥對植物生長發育之影響.....	12
(三) 乾旱對植物生長發育之影響.....	13
四、葉綠素螢光.....	15
第三章 不同育苗模式在冬、春、夏季對介質溫度之影響.....	20
Chapter 3. Effects of Different Production Methods on Substrate Temperature in Winter, Spring, and Summer.....	20
一、前言 (Introduction).....	21
二、材料方法 (Materials and Methods).....	22
(一) AGC、IGPIP 對冬季介質溫度變化之影響.....	22
(二) AGC、IGPIP、IF 對春季介質溫度變化之影響.....	23
(三) AGC、IGPIP、IF 對夏季介質溫度變化之影響.....	23
(四) AGC、AGPIP、IGPIP 對夏季介質溫度變化之影響.....	24
三、結果 (Results).....	24
四、討論 (Discussion).....	27
五、結論 (Conclusions).....	29
第四章 地下盆中盆育苗模式對三種草花生育表現及葉片光譜反應之影響.....	34

Chapter 4. Effects of In-Ground Pot-In-Pot System on Growth and Spectral Reflectance in Three Bedding Plants.....	34
一、前言 (Introduction)	35
二、材料方法 (Materials and Methods)	37
(一) AGC、AGPIP、IGPIP 對羽狀雞冠花生育表現之影響	37
(二) AGC、IGPIP 對紫芳草生育表現之影響.....	37
(三) AGC、IGPIP 對四季秋海棠生育表現之影響.....	38
(四) 缺水逆境對以 AGC、AGPIP 及 IGPIP 栽植之四季秋海棠生育表現及光譜反應之影響	39
三、結果 (Results)	43
四、討論 (Discussion)	46
五、結論 (Conclusions)	53
第五章 不同育苗模式對翠蘆莉及黃金金露華生育表現及定(移)植後生長勢恢復情況之影響.....	65
Chapter 5. Effects of Production Methods on Growth and Recovery from Transplanting of <i>Ruellia brittoniana</i> and <i>Duranta repens</i> L.....	65
一、前言 (Introduction)	66
二、材料方法 (Materials and Methods)	69
(一) AGC、IGPIP 及 IF 對翠蘆莉生育表現及定植後生長勢恢復情況之影響	69
(二) AGC、IGPIP 及 IF 對黃金金露華生育表現及移植後生長勢恢復情況之影響	70
三、結果 (Results)	71
四、討論 (Discussion)	72
五、結論 (Conclusions)	76
第六章 肥料施用濃度對四季秋海棠生長勢及光譜表現之影響.....	83
Chapter 6. Effects of Fertilization Rates on Growth and Spectral Reflectance of <i>Begonia semperflorens-cultorum</i> ‘Super Olympia White’.....	83
一、前言 (Introduction)	84
二、材料與方法 (Materials and Methods)	85
三、結果 (Results)	88
四、討論 (Discussion)	90
五、結論 (Conclusions)	97
第七章 缺水逆境對四季秋海棠生長勢及光譜表現之影響.....	106

Chapter 7. Effects of Drought on Growth and Spectral Reflectance of <i>Begonia</i> <i>semperflorens-cultorum</i> ‘Super Olympia White’	106
一、前言 (Introduction)	107
二、材料與方法 (Materials and Methods)	108
三、結果 (Results)	111
四、討論 (Discussion)	113
五、結論 (Conclusions)	118
第八章 結論	129
Chapter 8. Conclusions.....	129
參考文獻 (Reference)	132
附錄 (Appendix).....	144



表目錄

表 4.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對羽狀雞冠花生長狀況及開花表現之影響	55
表 4.2. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草‘天星’生長狀況及開花表現之影響 (調查日期 2007/09/14)	55
表 4.3. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草‘天星’生長狀況及葉片傷害度之影響 (調查日期 2007/10/14)	56
表 4.4. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia Red’生長狀況及開花表現之影響	56
表 4.5. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆(AGPIP)及地下盆中盆(IGPIP)對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於非缺水逆境與缺水逆境下最小螢光(F_0)、最大螢光(F_m)、PSII 最大光量子產能(F_v/F_m)、光化學猝熄係數(Q_p)、非光化學猝熄係數(Q_n)及光子產量(Φ_{psII})之影響.....	57
表 4.6. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於非缺水逆境與缺水逆境下葉綠素計讀值及葉溫之影響	58
表 4.7. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率之影響 (調查日期 2008/9/10, 停止供水 11 天)	58
表 4.8. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率之影響 (調查日期 2008/9/27, 恢復正常供水)	59
表 4.9. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’生育表現之影響	59
表 4.10. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於缺水逆境下各波長反射率之影響 (調查日期: 2008/9/17)	60
表 4.11. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於缺水逆境下 PRI、SR、NDVI、CHL 四植生指數數值之影響	61
表 5.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對翠蘆荊生長狀況之影響	77
表 5.2. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次及第二次移植時株高與幅寬之影響	77
表 6.1. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長狀況之影響	98
表 6.2. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’最小螢光(F_0)、最大螢光 (F_m)、PSII 最大光量子產能(F_v/F_m)、光化學猝熄係數(Q_p)、非光化學猝熄	

係數(Qn)及光子產量(Φ_{psII})之影響.....	98
表 6.3. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之 影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性 分析	99
表 7.1. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長狀況及 PWC 之影響	120
表 7.2. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’最小螢光(F_0)、最 大螢光(F_m)、PSII 最大光量子產能(F_v/F_m)、光化學猝熄係數(Q_p)、非光化學 猝熄係數(Q_n)及光子產量(Φ_{psII})之影響.....	120



圖目錄

圖 3.1. 冬季傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆系統 (IGPIP) 之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/01/30-2008/02/06, 試驗地點為台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場, 栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質)	30
圖 3.2. 春季傳統容器育苗(AGC)、地下盆中盆系統(IGPIP)及田間栽培(IF)之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/04/06-2008/04/13, 試驗地點為公館自來水園區水源地苗圃, 栽培介質為混合有機堆肥)	31
圖 3.3. 夏季傳統容器育苗(AGC)、地下盆中盆系統(IGPIP)及田間栽培(IF)之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/07/20 至 2008/07/27, 試驗地點為台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚, 栽培介質為田土)	32
圖 3.4. 夏季傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆系統 (AGPIP) 及地下盆中盆系統 (IGPIP) 之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/08/26-2008/09/02, 試驗地點為台灣大學園藝學系花卉館一樓簡易遮雨棚, 栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質)	33
圖 4.1. 羽狀雞冠花地下盆中盆 (IGPIP) 育苗模式圖	62
圖 4.2. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草開花數之影響	63
圖 4.3. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於缺水逆境下葉片反射光譜之影響 (測量日期: 2008/9/17)	64
圖 5.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 對翠蘆荊枝條生長數量及枝條長度之影響	78
圖 5.2. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對翠蘆荊定植後一週 (A) 及一個月 (B) 生長表現之影響	79
圖 5.3. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植時生長情形之影響	80
圖 5.4. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第二次移植時生長情形之影響	80
圖 5.5. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植後 17 天內植株 Fv/Fm 值之影響	81
圖 5.6. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植後 12 天生長情形之影響	81
圖 5.7. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第二次移植後 18 天內植株 Fv/Fm 值之影響	82
圖 6.1. 肥料施用濃度對四季秋海棠 'Super Olympia White' 葉綠素計讀值之影響	101
圖 6.2. 四季秋海棠 'Super Olympia White' 在不同施肥濃度下之植株生長狀況	101
圖 6.3. 肥料施用濃度對四季秋海棠 'Super Olympia White' 淨光合作用效率之影響	102

圖 6.4. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度下葉綠素計讀值與淨光合作用速率之回歸分析	102
圖 6.5. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片反射光譜之影響	103
圖 6.6. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度下葉綠素計讀值與(A)NDVI, (B)SR, (C)Chl, (D)NIR/G 及(E)G/R 等植生指數之相關度分析	104
圖 6.7. 肥料施用濃度對 NDVI 值之影響	105
圖 7.1. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉綠素計讀值之影響	123
圖 7.2. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’(A)淨光合作用效率, (B)氣孔導度及(C)蒸散作用速率之影響	124
圖 7.3. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下 PWC 與(A)淨光合作用速率, (B)氣孔導度, (C)蒸散作用速率之相關性分析	125
圖 7.4. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下之葉片反射光譜	126
圖 7.5. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下 PWC 與(A)NDVI, (B)PRI, (C)Chl, (D)NIR/G 及(E)G/R 等植生指數之相關度分析	127
圖 7.6. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’ NDVI 值之影響	128



摘要

本論文欲瞭解盆中盆育苗模式及光譜反射技術在台灣苗木產業之應用潛力。盆中盆育苗模式可分為地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 與地上盆中盆 (above-ground pot-in-pot system, AGPIP) 兩種，使用之目的為避免陽光直射盆壁而導致之高土溫現象，IGPIP 因使用效益較佳，近幾年在國外發展迅速。春夏季高溫時，相較於傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC)，IGPIP 之介質溫度明顯較低 (低 4-7.5 °C)，且介質溫度較為穩定，避免劇烈土溫變動對植株產生不良影響。當冬季氣溫降至 20°C 以下，IGPIP 與 AGC 兩者之介質溫度則沒有明顯差異。AGPIP 並不如預期中具有降低介質溫度之效果，AGPIP 介質溫度之變動情形與 AGC 類似。

以雞冠花 (*Celosia argentea* var. *plumosa*)、紫芳草 (*Exacum affine*)、四季秋海棠 (*Begonia semperflorens-cultorum*) 為材料，調查在 2007 年及 2008 年夏季，不同栽培模式 (AGC、AGPIP、IGPIP) 對植物生育表現之影響。結果顯示 IGPIP 可顯著提高雞冠花、紫芳草及四季秋海棠之株高、幅寬、地上部乾鮮重及根乾鮮重，且植株開花表現較佳。IGPIP 栽植之四季秋海棠淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率明顯較 AGC 及 AGPIP 兩處理高。乾旱逆境下，相較於 AGC、AGPIP 兩處理，IGPIP 栽植之植株葉綠素計讀值及 Fv/Fm 較高，而葉溫較低。

以翠蘆莉 (*Ruellia brittoniana*) 及黃金金露華 (*Duranta repens* L.) 為材料，調查 AGC、IGPIP 及田間栽培 (in-field production method, IF) 三種育苗模式對植株生育表現及移植後生長勢恢復情況之影響。結果顯示：1. 育苗期間翠蘆莉與黃金金露華之地上部生長量以 IF 處理最高、IGPIP 次之、AGC 最低；2. 植株移植後相較於 IF 處理，IGPIP 與 AGC 兩種育苗模式生產之苗木恢復速度快，生長狀況良好；3. 水分逆境下，黃金金露華移植初期之 Fv/Fm 以 IGPIP 植株最高、IF 次之、AGC 最低；移植後 7 天 AGC 植株之生長勢逐漸恢復；移植後 IF 植株之 Fv/Fm 逐漸下降，直至移植後 11 天 Fv/Fm 才開始上升；IGPIP 植株移植後之 Fv/Fm 始終維持在

0.8 以上。

植物遭受環境逆境時，葉片光合色素含量及組織結構發生改變，明顯地改變葉片的反射光譜。以四季秋海棠 (*Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia') 為材料，分別進行栽培模式、肥料施用濃度及缺水逆境三個試驗：栽培模式為 AGC、AGPIP、IGPIP；肥料施用濃度為 0、0.5、1.0、2.0、4.0 g·L⁻¹；缺水逆境分為四組，分別於試驗期間每 5 天(control)、10 天、20 天、35 天澆水一次。結果顯示缺水逆境下，AGC 栽培之植株在紅移區(720 nm-690 nm)、紅光波段(660 nm-630 nm)及綠光波段(660 nm-500 nm)之反射率明顯高於 AGPIP 及 IGPIP 兩種處理；近紅外光部分，860 nm、840 nm、780 nm 三波長之反射率以 IGPIP 栽植之植株最高、AGPIP 次之、AGC 最低。肥料濃度效應在綠光波段、紅光波段及紅移區最為明顯，各波段與葉綠素計讀值 (CMR 值) 呈極顯著負相關，即施用肥料濃度愈高，葉綠素含量愈高，而波長反射率愈低。缺水逆境則對近紅外光波段影響最大，PWC (plant water content) 和近紅外光波段之反射率成顯著正相關。

植生指數 (vegetation index, VI) 部分，IGPIP 栽培之四季秋海棠 PRI (photochemical reflectance index)、NDVI (normalized difference vegetation index)、SR (simple ratio vegetation index)、CHL (chlorophyll index) 皆明顯高於 AGC 處理；肥料濃度試驗中，NDVI、SR、CHL、NIR/G (NIR-to green ratio) 及 G/R (green-to-red ratio) 與四季秋海棠葉片 CMR 值之相關係數(r) 分別 0.78^{***}、0.78^{***}、0.92^{***}、0.67^{***}、及 0.81^{***}，顯示 CHL 為評估植物體葉綠素含量之最佳指標；缺水試驗中，NDVI、PRI 和 PWC 呈顯著正相關，亦即植物遭受缺水逆境時，NDVI 值和 PRI 值降低。

本研究探究盆中盆育苗模式及反射光譜技術在台灣苗木產業之應用潛力。春夏季高溫時，IGPIP 之介質溫度明顯較低，有利於植株生育期間及移植後之表現，尤以在水分逆境下之使用效益更高，適於粗放栽培或降雨不足之地區使用；關於 AGPIP 之推廣價值需要進一步評估。反射光譜與植生指數可精準反應植物體之生理狀態 (葉綠素含量、水分含量)，為一快速判斷苗木生長品質之方法。

Abstract

Pot-in-pot system (PIP) can be divided into above-ground pot-in-pot (AGPIP) and in-ground pot-in-pot (IGPIP). IGPIP has been expanding rapidly during the past decade because of many advantages. In a below ground pot-in-pot system, a holder or socket pot is permanently positioned in ground and a container plant is then placed inside the socket pot. In our researches, the substrate temperature of IGPIP is lower (4-7.5 °C) than above-ground conventional production method (AGC) in spring and summer. In winter, the substrate temperatures of IGPIP and AGC have no significant difference. Furthermore, AGPIP can't lower the substrate temperature that it shows slight variations with AGC.

Height, canopy diameter, shoot dry weight, and root dry weight of *Begonia* (*Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia Red'), celosia (*Celosia argentea* var. *plumosa*), mexican violet (*Exacum affine*) produced IGPIP are greater, respectively, than plants grown AGC in summer. Besides, the flower condition (such as the first day of visible bud or anthesis, flower number, flower size, and inflorescence dry weight) of plants grown IGPIP are still better than plants produced AGC. For begonia grown IGPIP, net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate are greater than plants grown AGC and AGPIP. In water deficient condition, begonia grown IGPIP have greater CMR and Fv/Fm values but lower leaf temperature.

To examine the effects of AGC, IGPIP, and in-field production method (IF) on growth and recovery rate after transplanting of britton's wild petunia (*Ruellia brittoniana*) and golden dewdrop (*Duranta repens* L.). Compared with AGC, plants grown IGPIP have greater biomass and Fv/Fm value (in drought condition). Compared with IF, plants grown IGPIP have fast recovery rate.

Leaf spectral reflectance is sensitive to stress such as nutrient deficiency and

drought. Begonias are treated with different production methods (AGC、AGPIP、IGPIP), fertilization rates (0、0.5、1.0、2.0、4.0 g·L⁻¹) and drought (frequency of irrigations are 5 days, 10 days, 20 days, 35 days, respectively). Reflectance ratio in red edge position(720-690 nm), red lights and green lights (660-500 nm) of plant grown AGC are higher than plants grown AGPIP and IGPIP; in the near-infrared potions, plant grown IGPIP have the greatest reflectance ratio, especially 860nm, 840 nm, and 780 nm. The wavelengths of green lights, red lights, and red edge positions are apparently affected by fertilization rates (negative linear correlation). However, the near-infrared potions are affected by different drought treatments (plant water content is positive linear correlation with reflectance ratio in the near-infrared potions).

Plant grown IGPIP has higher PRI, NDVI, SR, CHL values than plant grown AGC. Vegetation indices of NDVI, SR, CHL, NIR/G and G/R could successfully assess chlorophyll content. Under drought treatments, NDVI and PRI are positive linearly related to plant water content (PWC).

In the research, we prove that IGPIP and spectral reflectance methods have great potential can be used in nursery production in Taiwan.

第一章 前言

Chapter 1. Introduction

盆中盆育苗系統可分為地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 與地上盆中盆 (above-ground pot-in-pot system, AGPIP) 兩種，使用之目的為避免陽光直射盆壁，導致栽培介質溫度過高。IGPIP 因使用效益較佳，近幾年在國外發展迅速 (Zhu et al., 2005)。

IGPIP 將內徑較大的外盆 (a holder、socket pot) 長時間放在土壤中，邊緣露出土面 2-3cm，並將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中，此種育苗模式不僅可以解決田間栽培及傳統容器育苗遭遇到的困境，更結合兩種育苗方法之優點，為栽培者創造更高利潤 (Parkerson, 1990)。

Martin 等人 (1999) 夏季測量傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種育苗模式對介質溫度變化之影響，結果顯示 IGPIP 之介質溫度明顯較低且較穩定，能有效減緩高土溫及劇烈根溫變動對植株造成之不良影響。Cardoso 等人 (2005) 利用 AGC、IGPIP 栽植六種多年生野花，測量介質溫度及水分含量變化，結果顯示 IGPIP 之介質溫度平均較 AGC 低 10°C，且 IGPIP 之水分蒸發量較 AGC 低 10%。地下盆中盆之介質溫度較低，減緩介質水分蒸發速率，能維持一相對較高的水分含量。

以 AGC、IGPIP 兩種模式栽植庭園櫻花 (*Prunus×incamp* 'Okame') 與樺木 (*Betula nigra*)，結果顯示 IGPIP 栽植之植株地上部乾重、根乾重皆明顯高於 AGC 處理 (Ruter, 1997; 1998)。Martin 等人 (1999) 利用金合歡 (*Acacia smallii* L.) 進行 AGC、IGPIP 兩種育苗模式試驗，其中以 IGPIP 栽植之植株株高較高、徑粗較大，且地上部及根的乾重皆明顯高於 AGC 處理。以 IGPIP、AGC 栽植美人蕉 (*Canna flaccida*)、鳶尾 (*Iris versicolor*)、燈心草 (*Juncus effusus*) 等三种植物，比較兩處理對植株生長表現之影響，結果顯示 IGPIP 栽植之美人蕉與燈心草株高較高且根量較多；鳶尾部分，IGPIP 栽植之鳶尾分支數明顯高於 AGC 處理 (Merritt et al., 1996)。地

下盆中盆 (IGPIP) 在國外行之有年，但國內業者並未聽聞有使用紀錄。

利用遙測技術可以感測植物因逆境而產生的改變，遙測可以利用包括數種非破壞性的方法，例如：光譜儀(spectrophotometer)、光譜輻射計(radiometry)、攝影術(photography)、電視攝影(videography)、熱紅外線影像(IR termography)、多光譜影像分析(multispectral images analysis)及核磁共振影像(nuclear magnetic resonance imaging, NMRI)等(Chaerle and Straeten, 2000)。逆境導致植物生理上之傷害，使葉片色素含量減少，明顯地改變葉片反射光譜。相對的，葉片反射光譜對於逆境所造成的植株生長抑制具有明顯的反應，例如在可見光波段反射率上升、近紅外光波段反射率下降即為葉片反射光譜對逆境之明顯反應(Carter, 1993; Rossotti, 1983)。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，俾藉由光譜特徵估測作物植被外觀物理性狀，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。植生指數計算公式之變數，多取自綠光、紅光及近紅外光等波段輻射值。以不同波段反射比值所計算之各種植生指數受到植被的發育及組織介量，如葉面積指數、水分含量、氮含量、生質量(biomass)、色素含量、細胞壁組成、葉表面特徵及葉片內部構造等之影響(Kanemasu, 1974; Tucker, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。關於以葉片、冠層反射光譜偵測色素含量或植株遭遇逆境程度之研究，常用之植生指數多以紅光、近紅外光反射率做評估 (ex:NDVI、SR)，另對植株光合色素含量及水分含量具有最大反應的光譜波段或波長仍未完全明確。此外，光譜相關研究之對象多以農藝作物為主。

本論文欲瞭解盆中盆育苗模式與光譜反射技術在台灣苗木生產之應用潛力，將探討之項目如下：

1. 調查傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (in-field production method, IF) 等育苗模式之介質溫度變化情形。

2. 以雞冠花、紫芳草、四季秋海棠、翠蘆莉、黃金金露華為試驗材料，探討地下盆中盆 (IGPIP) 對植株生育表現之影響。
3. 探討傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP)、地下盆中盆 (IGPIP) 在缺水逆境下，對四季秋海棠‘Super Olympia Red’葉片反射光譜及植生指數之影響。
4. 瞭解四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度及缺水試驗下之葉片反射光譜差異，並分析具有最大反應之波長或波段。
5. 分析NDVI $[(R_{800} - R_{660}) / (R_{800} + R_{660})]$ 、SR (R_{800} / R_{660}) 、CHL $[(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})]$ 、NIR/G (R_{780} / R_{550}) 、G/R (R_{550} / R_{670}) 五植生指數與光合色素含量之相關性，瞭解其在光合色素含量評估之應用潛力。
6. 分析NDVI $[(R_{800} - R_{660}) / (R_{800} + R_{660})]$ 、PRI $[(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})]$ 、CHL $[(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})]$ 、NIR/G (R_{780} / R_{550}) 、G/R (R_{550} / R_{670}) 五植生指數與PWC (plant water content) 之相關性，瞭解其在水分逆境評估上之應用潛力。



第二章 前人研究

Chapter 2. Literature Review

一、盆中盆育苗模式

盆中盆育苗模式可分為地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 與地上盆中盆 (above-ground pot-in-pot system, AGPIP) 兩種，使用之目的為避免陽光直射盆壁而導致之高土溫情形。地下盆中盆 (IGPIP) 因使用效益較佳，近幾年在國外發展迅速 (Zhu et al., 2005)。

IGPIP 將內徑較大的外盆 (a holder、socket pot) 長時間放在土壤中，邊緣露出土面 2-3cm，並將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中 (Parkerson, 1990)。春夏季高溫時，IGPIP 之介質溫度明顯較低且較穩定，並具有較高之介質水分含量，可維持植株較佳之生長表現。

Martin 等人(1999)於夏季測量傳統容器育苗(traditional above-ground container production method, AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種育苗模式之介質溫度變化情況 (試驗地點: Desierto Verde Wholesale Nursery in Tempe, 33.5N 112W, AZ)，結果顯示 IGPIP 之介質溫度明顯較低，至多可比 AGC 低 19 °C，亦可盡量使介質溫度保持在 40 °C 以下，避免土溫過高對植物根部產生傷害。此外，作者測量盆內東側、西側及中央之介質溫度，IGPIP 盆內介質溫度較為穩定，而 AGC 盆內不同區域之介質溫度變動劇烈，以西側介質溫度最高(16:00 西曬期間，介質溫度可飆升 50 °C)，故作者認為夏季高溫時，IGPIP 確實能有效維持較低且穩定之介質溫度，減緩高土溫及劇烈根溫變動對植株造成之不良影響。

Martin 等人(1999)進一步研究 AGC 及 IGPIP 介質水分變化，以土壤濕度記(soil moisture sensor) 偵測介質水分含量，將土壤水勢控制在-0.005 至-0.010 Mpa (90 % 含水量)，當水勢過低，儀器會自動給水。結果顯示一週內，AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式之給水量以 IGPIP 給水量比 AGC 少 40%。Cardoso 等人 (2005) 利用 AGC、IGPIP 栽植六種多年生野花，測量介質溫度及水分含量變化，結果顯示 IGPIP

之介質溫度平均較 AGC 低 10 °C，且 IGPIP 之水分蒸發量較 AGC 低 10%。前人研究顯示 IGPIP 之介質溫度較低，減緩介質之水分蒸發速率，能維持一相對較高的水分含量，此舉可成功減緩根溫之劇烈變動。

以 AGC、IGPIP 兩種模式栽植庭園櫻花(*Prunus×incamp*‘Okame’)與樺木(*Betula nigra*)，結果顯示 IGPIP 栽植之植株地上部乾重、根乾重皆明顯高於 AGC 處理 (Ruter, 1997; 1998)。Martin 等人(1999)利用金合歡(*Acacia smallii* L.)進行 AGC、IGPIP 兩種栽培試驗，其中以 IGPIP 栽植之植株株高較高、徑粗較大，且地上部及根的乾重皆明顯高於 AGC 處理。以 IGPIP、AGC 栽植美人蕉 (*Canna flaccida*)、鳶尾 (*Iris versicolor*)、燈心草 (*Juncus effusus*) 等三種植物，比較兩處理對植株生長表現之影響，結果顯示 IGPIP 栽植之美人蕉與燈心草株高較高且根量較多；鳶尾部分，IGPIP 栽植之鳶尾分支數明顯高於 AGC 處理 (Merritt et al., 1996)。

使用 IGPIP 系統對金合歡生長有促進效果，但對假紫荊 (*Cercidium floridum* Benth. ex A. Gray) 卻無，推測可能原因為兩種植物根的致死溫度不同所導致 (Martin et al., 1999)。金合歡根的致死溫度(TM)為 45.3 ± 1.8 °C，而假紫荊根的致死溫度(TM)則為 49.4 ± 0.8 °C，明顯可看出假紫荊對高土溫耐受度較佳。IGPIP 之介質溫度較低，春夏季可減輕高土溫對植物根部之傷害，但假紫荊對高土溫耐受性佳，使用 IGPIP 栽培以促進生長之效果有限。

使用 AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式種植樺木 (*Betula nigra* L. ‘Cully’)，測量施肥後 15 天、30 天、60 天、120 天淋溶出的可溶性鹽類與硝酸態氮含量，發現在施肥後 60 天 IGPIP 系統淋溶出的可溶性鹽類與硝酸態氮的量明顯低於 AGC；施肥 120 天後 IGPIP 淋溶出的硝酸態氮仍明顯較 AGC 低。推測可能原因為：(1)植物種植在 IGPIP 系統中，對肥料的吸收力較佳，(2)肥料釋放速率較慢，此因土溫較低所致(Ruter, 1998)。

Adrian 等人 (1998) 比較田間栽培 (in-field production method, IF)、傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 三種育苗模式種植紫薇 (*Lagerstroemia indica*)

之投資效益，結果顯示3年的栽植期中，IGPIP的投資效益最高，平均生產一棵紫薇只需\$21.52，低於AGC的\$23.71與IF的\$23.73。使用IGPIP之所以能降低生產成本，主要是因為其與AGC相比較不需集約管理、也不需打樁固定以防強風吹倒，且單位生產量較高。若與IF相較，IGPIP收穫時不需斷根，節省勞力並減輕對植物根部的傷害，可快速生產品質較佳的植物。

使用IGPIP系統有諸多好處，但因一開始投資的金額過大；在排水不良地區，外盆有潛在的排水問題；根可能會從內盆延伸到外盆，進一步伸入土壤中（root out）；外盆一旦設置後，變更種植其他作物之彈性下降等限制因素，令栽培者望之卻步(Adrian et al., 1998)。然而若經過謹慎考量、做好長遠的規劃，此種育苗模式不僅可以解決田間栽培及傳統容器育苗遭遇到的困境，更結合兩種育苗方法的優點，為栽培者創造更高利潤（Parkerson, 1990）。

二、遙感技術

遙感探測(remote sensing)或稱遙測，係一門利用感測儀器，不與被測目標及地區接觸，便能獲得被測目標物測量資料或特性的科學與技術，能蒐集與傳遞遠端事件之即時資訊，同時完成觀測、判讀與決策等系列過程。遙測技術現今已被廣泛應用於環境保護、資源探索、氣候預測、天氣預報、海洋探測、地理地形勘查及農業生產等多樣層面之實際作業中。遙測技術在農業上的應用領域相當多樣化，包括土壤調查、耕地估計、作物生長狀態評估、病蟲害偵測、天然災害區域的定位與測量、乃至於各種農業活動及自然資源探測等，具有即時、廣域及非破壞性(non-destructive)等特點(Barrett and Curtis, 1982)。

(一) 光譜遙測之原理與應用

當電磁能(electromagnetic energy)投射在任一物體表面時，會產生反射(reflectance)、穿透(transmittance)及吸收(absorption)三種作用。遙測即為利用感測器紀錄物體反射或放射電磁能的變化。電磁能依波長之不同可分為無線電波、微

波、熱紅外線、反射紅外線、可見光、紫外線、X 射線等。應用於遙測的主要反射光譜波段涵蓋紫外光($< 400 \text{ nm}$)、可見光($400\text{-}700 \text{ nm}$)、近紅外光($700\text{-}1300 \text{ nm}$)及中紅外光($1300\text{-}2500 \text{ nm}$)等，在此等波段範圍下植被及地物皆可描繪出典型的反射光譜特徵曲線(Fuchs, 1990)。

光譜遙測即利用各種作物在各波段的反射，辨別出不同作物之植被、監視生長狀態及偵測受災地區等。光譜遙測之應用層面甚廣。在環境遙測上如地貌地物景觀、植被分佈與植相鑑別、水體分佈、河川溝渠、土地利用、交通與工程、地形與土質及水質與水源等。在作物生產上，諸如作物分佈與面積、生育階段、生長狀態、產量預測、逆境效應及災害檢測等，同時也可應用於農地使用監測，產業動態追蹤、農業資源利用、土地管理及地圖更新等用途。

在作物生長與產量方面，常用的波段以綠光($520\text{-}600 \text{ nm}$)、紅光($630\text{-}700 \text{ nm}$)、近紅外光($700\text{-}1300 \text{ nm}$)為主(Ma et al., 1996)。在可見光區和近紅外光區的反射光譜可被用於作物地表覆蓋率(Maas, 1989)、葉面積指數(leaf area index, LAI) (Peterson et al., 1987)、葉綠素含量(Ercoli et al., 1993)、植株營養狀況(Adams et al., 1993; Blackmer et al., 1996; Ma et al., 1996)、乾旱逆境(Peñuelas et al., 1994)及作物產量(Thenkabail et al., 1994)之估測。另外在中紅外光區的反射光譜可用於葉片水分含量測定(Inoue et al., 1993)。

(二) 植生指數 (Vegetation index, IV)

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，俾藉由光譜特徵估測作物植被外觀物理性狀，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。植生指數計算公式之變數，多取自綠光、紅光及近紅外光等波段輻射值。因綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，可用於植物資源之探測，且多使用可見光與近紅外光之比值或差值，尤其以紅光及近紅外光波段為主。Taiz和Zeiger (1991)指出在健康的綠色葉片，由於葉綠體及其他細胞色素，包含葉綠素、類胡蘿蔔素及花青

素等，對可見光的吸收，反射或穿透的光輻射很少，其中Chl a與Chl b為吸收可見光波段最主要色素(達65%)，尤以藍光及紅光為大量吸收帶，Chl a的吸收波長大約在430 nm及660 nm 各有一吸收峰，Chl b高吸收帶係在460及640 nm附近。葉片色素及細胞壁纖維素(cellulose)對介於750~1350 nm的近紅外光波段幾乎透明，因此入射的光輻射絕大多數被植體反射或穿透，故近紅外光有較大的反射率。因此，綠色植物生長越旺盛，其吸收之紅光越多，而反射之近紅外光越強，紅光及近紅外光之差即越大(Green et al., 1997)。

由植被反射光譜之分析，發現不同波段反射比值的變化與作物的生理反應及生長狀況有密切關係(Bauer, 1975; Walburg et al., 1982; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)，而以不同波段反射比值所計算之各種植生指數則受到植被的發育及組織介量，如葉面積指數、株高、水分含量、生質量(biomass)、色素含量、細胞壁組成、葉表面特徵及葉片內部構造等之影響，此性質可利用於作物植被的分類及發育階段的判定(Kanemasu, 1974; Tucker, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。較常使用的植生指數以常態化差異植生指數(NDVI)為主，NDVI 廣泛應用於分析評估綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生質量等。Mojarro (1988)以NDVI作為反應乾物質產量之指標。Gilbert等(1990)亦利用NDVI分辨柑橘受霜害的程度。Cihlar 等(1991)應用植生指數NDVI來監測生態系內植物生長情形及潛在蒸發散量的變異。

(三) 葉綠素與光譜遙測估算

光能在被植物利用前，首先必須被吸收，因此需要有吸光的分子參與，此吸光分子稱為光合色素(photosynthetic pigments)。綠色植物的葉片含有大量的光合色素，包括葉綠素(chlorophyll, Chl)和類胡蘿蔔素(carotenoids, Car)，能有效地吸收可見光的部份波段進行光合作用，將光能轉變為化學能以供利用。葉綠素主要吸收藍光及紅光進行光合作用以產生能量，於乙醚溶劑中，Chl a的兩處吸收峰(peak)的位置分別是430 nm與660 nm，而Chl b的兩處吸收峰則為435 nm及643

nm(Goodwin, 1988)。Chl a及Chl b對藍光及紅光波段具有最高之光合有效性，對520-600 nm之綠光所具的光合有效性則最低。

葉綠素含量的多寡直接影響光合作用能力的高低，其含量之變化亦反應出植物本身之生理狀況。植物葉片的葉綠素含量不僅在不同的發育階段有所變化，在老化的過程中亦逐漸地減少色素含量而改變顏色。落葉植物在秋天葉片老化過程中，其葉片色素質量產生變化，葉片顏色也因而轉變(Matile et al., 1992)。植物遭受逆境時，譬如淹水、乾旱、高低溫、缺肥、除草劑或病蟲害時，葉片色素含量與顏色變化與自然老化時之情形相似(Hendry et al., 1987)。因此，葉綠素含量可作為諸如光合作用能力、生長發育階段、生產力及逆境危害之生理指標(Whittaker and Marks, 1975; Danks et al., 1983)。

用來估算葉綠素含量之植生指數主要以紅光及近紅外光波段計算而得。葉綠素位於紅光之吸收峰波段約在675 nm，此一波段之反射率亦常用於計算植生指數估算葉綠素含量(Thomas and Gausman, 1977)。Gitelson和Merzlyak (1996)以兩種落葉樹楓樹與栗樹的研究中，指出675 nm附近波段反射率(R_{675})所計算之植生指數不適用於估算高濃度之葉綠素含量，以 R_{700} 取代 R_{675} 計算之NDVI與葉綠素含量間則具有高度相關。另外在許多研究中顯示，以綠光波段計算之植生指數亦可做為葉綠素含量的指標(Buschmann and Nagel, 1993; Carter, 1994; Gitelson and Merzlyak, 1997)。以 $\log(R_{800}/R_{550})$ 計算之植生指數可做為菜豆葉綠素含量之指標，另 R_{800}/R_{550} 比值對Chl a含量亦具有高相關性($R^2 > 0.88$) (Buschmann and Nagel, 1993)。以多種無相關聯之植物為材料的研究顯示， R_{750}/R_{550} 與葉綠素含量具有高度的直線相關，而 $NDVI_{green}$ 則與葉綠素含量具有高度的指數曲線相關。

三、逆境對植物之影響

抑制植物正常功能的不利因子即為植物逆境(Jones, 1989)。逆境之含意廣泛，主要可分為生物及非生物因素兩部分，其中生物因素即為病原菌或植物間之競爭；而非生物因素則包含高溫、低溫、淹水、乾旱、缺肥、鹽份、化學物質(農藥、

重金屬、空氣污染)等。當植物所遭遇之環境逆境具危害或是可能危害的影響，會呈現一種或一種以上的代謝失常，但因各物種植物對環境的感受性具有極大差異，故亦可能藉由適應機制使植物在逆境環境下生長，基本上任何逆境對植物生長與分化之影響，乃是由於生理反應改變所造成。通常，若逆境是輕微且短暫的，傷害可是暫時的，當移除逆境時，植物即可恢復正常功能；若逆境相當嚴重時，它會使植物無法開花或產生種子，甚至損及植物的存活。

(一) 高土溫對植物生長發育之影響

根部對植物生長和發育有很重要之影響，因地上部生長有賴於根部供應礦物元素與水分，根部除了支持固定功能之外，亦具有合成、轉移和積貯等重要功能，可將根部合成之生長素及營養代謝物質，轉移到地上部，所以根部發育良好，則地上部生長亦好。

由於植物的根系生長在土壤中，土壤溫度會影響根系生長活動，所以也稱為根溫。根溫的高低會直接影響植物根部的生長、吸收、儲藏及生長素合成能力 (Ashby, 1960; Nordin, 1977; Skene and Kerridge, 1967)，改變土壤溫度亦影響植株的高度、乾物重、葉片數、生長速率和花、果形成等多種生長反應 (Barr and Pellett, 1972; Brown and Ormrod, 1980; Gosselin and Trudel, 1983; Gur et al., 1972; Hammond and Seeley, 1978; Robbins and Pharr, 1989; Truder and Gosselin, 1982; Wilcox et al., 1983)。

Martin (1990) 指出當根溫超過 40 °C，即會對苗木之根系及地上部生長造成影響。Yeager 等人 (1991) 以 28 °C、34 °C 及 40 °C 三種根溫處理冬青 (*Ilex crenata* Thunb. 'Rotundifolia')，40 °C 處理之植株根乾重及地上部乾重明顯較低，且隨著根溫上升，根及地上部的氮累積速率逐漸下降。當土溫達 40 °C 時，福桂 (*Fouquieria aplenden*) 和薔薇 (*Rose spp.*) 根生長減緩且根尖發生死亡現象 (Wang et al., 1971)。每天 6 小時，連續 7 星期以高土溫 40 °C 處理海桐 (*Pittosporum tobira*) 後，植株之地上部生長量減少 (Johnson and Ingram, 1984)。Graves 等人 (1989) 指出，

植物根系在 36 °C 時，連續 5 星期後根組織會變得較老或鬆弛。天竺葵 (*Pelargonium ×hortorum* L.H. Bailey, 'Mustang') 當其土溫達 28 °C 即會降低植物的乾鮮重及高度，一般適合天竺葵的土壤溫度為 18-24 °C，此時的天竺葵生長效率最高 (Merritt and Kohl, 1985)。

高土溫會降低植物的光合作用，當土溫高於 32 °C，每天 6 小時，連續 7 天後，將造成圓葉冬青的光合作用降低和根的呼吸作用增加 (Foster, 1991)。當土溫達 40 °C，每天 6 小時，連續 7 星期後，海桐的光合作用、蒸散作用和淨同化作用降低 (Johnson and Ingram, 1984)。Ramcharan 等人 (1991) 調查 28 °C、33 °C、38 °C、43 °C 四種土溫對香蕉 (*Musa* spp. (AAA) 'Grande Naine') 二氧化碳同化速率之影響，結果顯示 43 °C 土溫處理之植株二氧化碳同化速率最低，土溫 28 °C-33 °C 較適合香蕉光合作用之進行。Stafne 等人 (2001) 調查 20 °C、25 °C、30 °C、35 °C 四種土溫對 *Rubus idaeus* L. 'Reveille' 光合作用表現之影響，結果顯示 35 °C 高土溫會顯著降低植株之淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率。Nada 等人 (2003) 以胡瓜進行的試驗發現，38 °C 的高根溫 and 30 °C 比較起來，高根溫造成葉片及根系中的 ABA 含量升高，葉片氣孔導度及二氧化碳交換速率 (CER) 的明顯下降，同時 Rubisco 的活性也跟著根溫提高而下降。植株生長於高根溫時，ABA 含量增加造成的氣孔關閉以及 Rubisco 活性的降低，兩者導致光合作用能力大幅下降。

當土溫增加時，苗木枝條的水勢潛勢下降，引起蒸散速率下降，促使氣孔關閉以調節植物逆境下的水分平衡。高土溫引起水分缺乏的原因為蒸散作用之進行不適合在土溫 36 °C 以上，高土溫將改變根收集水分的方式，因而影響木本植物根細胞的耐熱性，造成細胞的傷害，改變細胞膜脂質的組成，使根系對水分之吸收能力下降 (Graves et al., 1989)。

直接的熱傷害為短期暴露在極端的溫度所引起的傷害，此種高溫會立即對細胞構成傷害，一般可利用電解質滲漏技術來測出根部細胞膜的傷害。不同的植物種類和基因型對熱逆境的耐性不同，大豆、馬鈴薯、蕃茄及柑橘經過馴化後的耐

熱性會增加，蘋果根部若持續置於46 °C時，會造成根部的死亡。許多木本植物的根尖在45 °C時，持續4小時後會死亡；胡桃的根則在43 °C下，持續4天時死亡；而柑橘在50 °C時，根尖會受傷且其功能受損 (Ingram, 1984)；當溫度達44 °C至45 °C間時，持續20分鐘後，巒大八角 (*Illicium tashiroi* Maxim.) 的根部之細胞質滲漏相當嚴重，顯示根部直接受到高熱的傷害 (Ingram and Buchanan, 1981)。

過高的介質溫度會顯著影響植株之開花表現，草莓 (*Fragaria xananassa*) 以 11 °C、17 °C、23 °C、29 °C、35 °C 五種根溫處理，在35 °C根溫處理下，植株氣孔導度及蒸散作用速率明顯降低，葉及根的生長受到抑制，且開花數及結果數最少 (Biela et al., 1998)。許多花卉作物於高溫下花朵數減少且花徑下降，金魚草 (*Antirrhinum majus* 'Rochet Rose')、金盞花 (*Calendula officinalis*)、非洲鳳仙花 (*Impatiens wallerana*)、龍頭花 (*Mimulus × hybridus*) 與夏堇 (*Torenia fournieri*) 於高溫32 °C之花苞數及花徑皆低於20 °C (Warner and Erwin, 2005)。高土溫會延遲花朵發育 (Biela et al., 1999)。高溫造成許多作物開花延遲，金盞花於高溫32 °C之到花日數較20 °C者長 (Warner and Erwin, 2005)，菊花 'Bright Golden Anne' 到花天數亦隨栽培溫度由20 °C提高為30 °C而增加 (Karlsson et al., 1989)。

(二) 缺肥對植物生長發育之影響

礦物養分 (營養元素) 為植物生長發育過程中，不可或缺之分子化合物，各種礦物養分元素中，氮、磷、鉀不但是植物生長所必須，且植物對其需要量極大，故被稱為主要肥料要素 (范，1993)。許多報告指出施肥與否顯著影響幼苗之生長 (Stoneman et al., 1996; Clearwater and Meinzer, 2001)。全日照下將緩效性肥料 (Osmocote) 施用量由每盆0 g提高至36 g，金黃百合竹 (*Dracaena reflexa*)、叢立孔雀椰子 (*Caryota mitis*)、*Veitchia mcdanielsii* 等觀葉植物葉色及乾重隨之增加 (Broschat, 2002)。

增加土壤養分的供應，通常可以提高植株之光合作用能力。多數研究認為在所有養分中，對光合作用影響最大的是氮元素。氮為蛋白質之主要成份，蛋白質

則為細胞質之基礎物質，在植物生長發育過程中，必須有蛋白質之參與，否則植物體內新細胞之形成將受抑制，且嚴重影響各種代謝反應(柯勇, 2004)。Medhurst和Beadle (2005) 的研究指出桉樹類植物 (*Eucalyptus nitens*) 之葉片氮濃度與光合作用兩者間呈正相關。光合作用與葉部氮量之間呈高度相關，主要是因為葉綠體基質酵素與類囊體蛋白質量佔了葉部氮量之絕大部分(Makino *et al.*, 1992)，若氮素缺乏，則光合色素合成量不足，會導致葉片黃化，影響植株光合作用表現。

磷是核酸 (DNA、RNA) 的主要成分，在植物生長、發育、代謝、繁殖等生命過程中扮演極重要角色。磷元素與植物之光合磷酸化作用 (photophosphorylation) 及葉肉細胞阻力有密切關係，探討缺磷對光合作用之影響，結果顯示缺磷會導致葉綠素含量降低 (Zhang *et al.*, 2004)，使光合作用速率下降，惟其影響性不如氮顯著 (范, 1993)。台灣原種蝴蝶蘭 (*Phalaenopsis amabilis*) 缺氮七天後光合作用顯著降低，而缺磷之處理，在處理28天後光合作用才開始略為下降。另外，磷能提高原生質膠體的親水性和細胞結構之充水度，使其維持膠體狀態，並增加原生質之黏度和彈性，因此增強了原生質之抗脫水能力 (柯勇, 2004)，可提高植物之抗逆境與適應能力。

鉀元素則是保衛細胞產生膨壓的主要溶質，與氣孔的開關機制有關，鉀的濃度越高則氣孔的保衛細胞開度越大，氣孔阻抗及葉肉阻抗減少，光合作用速率因而增加，因此，植物缺鉀亦會降低光合作用速率 (Peoples and Koch, 1979)。

(三) 乾旱對植物生長發育之影響

作物生長和發育必須適當供給水分，水分不足或過多均會造成作物傷害。一般對缺水的認定為：植物細胞的水分潛勢 (water potential) 或膨壓 (turgor) 降低，以致於細胞失去膨潤 (turgid) 狀態，妨礙細胞正常生長代謝作用，即表示植物體發生缺水 (朱, 1995)。

引發缺水的原因甚複雜，簡言之，當作物的水分吸收不足或蒸散過盛時即會造成上述狀況發生。朱 (1995) 指出，不同缺水原因會造成植株的凋萎性質不同，

大體上可區分為「暫時性凋萎」與「永久性凋萎」。暫時性凋萎 (temporary wilting) 主要成因為植物本身失水過快所致，例如夏季中午時，高日照與高溫會使植株蒸散旺盛，當根部吸水速率不及葉片蒸散率，便容易導致植株萎凋，至傍晚時分，由於日照與溫度不再強烈，植株便可逐漸恢復正常；永久性凋萎(permanent wilting) 主要肇因於植株根部吸水不足。這種萎凋對植物生長影響甚大，甚至可能導致植株死亡。

植株缺水後，其生理反應相當複雜，每一反應或單獨產生，或逐次產生，反應之間相互影響彼此牽制。當植物面臨水分逆境時，由於植物體內缺水使細胞質收縮、細胞壁鬆弛，導致膨壓降低，膨壓的下降會使細胞停止分裂、生長，造成結構和代謝上的嚴重傷害。

乾旱時，植物為了避免水分過度散失，會關閉氣孔，導致蒸散作用速率降低，並限制二氧化碳進入葉片，細胞內二氧化碳濃度不足，會降低暗反應效能，而使得過剩光能增加，引發光抑制現象。一般植物在逆境中，其光合效能常受到抑制，使得光反應吸收光能產生之能量超過暗反應所需，而產生過剩光能，若無法排除時，會使植物體內產生有毒物質(O_2^- 、 H_2O_2 、 $\cdot OH$ 等)，並破壞胞器上的D1蛋白質，造成PSII不活化(Taiz and Zeiger, 2002)，使光合作用降低，即所謂的光抑制(photoinhibition)。

光合作用對缺水敏感 (Lawlor and Cornic, 2002)。缺水逆境降低植物光合作用率之原因大致可分為四類：(1)氣孔因子；(2)葉肉組織的擴散阻力 (mesophyll resistance)；(3)葉綠體構造及功能的改變；(4)光合產物的累積，後三項亦可統一歸類為非氣孔因子。基本上，葉肉組織的擴散阻力及光合產物累積回饋抑制光合作用之現象均僅發生於缺水嚴重植株 (Pena-Rojas et al., 2005)。反之，氣孔因子與葉綠體構造及功能對缺水逆境較為敏感。

為釐清影響缺水初期或輕微缺水之植株葉片光合作用的因子究竟為何，已有多位學者廣泛地針對氣孔因子與葉綠體構造及功能二者進行研究。Souza 等人

(2004) 以豇豆為材料，探討其在缺水逆境下的生理變化。結果發現缺水初期植株光合作用速率、氣孔導度與細胞間隙的CO₂濃度即明顯下降，Fv/Fm則在缺水多天後才有些微變化。此乃說明光合作用速率下降並非導因於光合作用系統本身的改變，氣孔閉合造成細胞間隙CO₂濃度降低似乎才是導致缺水初期光合作用速率下降的主因。也有報導並不認為氣孔因子會率先影響缺水植物的光合作用，一些非氣孔因子（例如：rubisco 的數量與活性、ATP 的合成、葉綠素與可溶性蛋白質含量等）在作物缺水初期的重要性不斷地被提出（Tezara et al., 1999）。或許氣孔因子與非氣孔因子二者對光合作用的影響可並存不悖，端看缺水植株種類為何（Lawlor and Cornic, 2002）。總而言之，確切的影響機制仍有待進一步的探討。值得注意的是，根據Cornic等人(1989)利用*Phaseolus vulgaris*為材料所進行的試驗發現，缺水會造成葉片氣孔容易產生關閉不一致的現象，而此氣孔不調和現象（stomatal patchiness）可能會造成部分研究者錯誤解讀試驗數據。

四、葉綠素螢光

葉綠素是植物界最普遍的吸光色素(pigments)，也是光合作用中最主要捕捉光能之光合色素，吸收波長主要在420-450 nm (藍光波段)和650-680 nm (紅光波段)。通常葉綠素分子吸收光能後，分子會由基態(ground state, S₀)跳渡到激發態(excited states, S₁和S₂)，因被激發的葉綠素分子很不穩定，會放出一些熱能(heat)以快速地沉降到S₁。接著葉綠素分子從S₁回到S₀時，其能量的釋放有幾種不同的路徑：(1)光化學消散(photochemical quenching)：天線分子吸收光能，將能量傳給反應中心，反應中心再射出電子，經電子傳遞鏈產生ATP及NADPH供暗反應使用，這是屬於光化學消散(Taiz and Zeiger, 2002; Demmig-Adams et al., 1996)。(2)非光化學消散(Non-photochemical fluorescence quenching, NPQ)：天線分子主要以熱的型式消散能量。(3)釋放螢光(fluorescence)：螢光是一種光的型式，釋放之螢光波長約為670-690nm。若經由(1)至(3)仍無法消散過剩能量會產生活性氧，易引起膜組織傷害(Gilmore et al., 1995; Eskling et al., 1997; Kato et al., 2003)。

光化學消散之作用方式，即為光化學反應(photochemistry)，其利用光能的轉換以推動電子傳遞，是光合作用的精髓所在。光能從葉綠素吸光天線到P680 (屬於激發能量的傳遞)，再從P680到Phe (屬於電子的傳遞)的過程是可逆的(reversible)。意即被激發傳遞至反應中心的能量有機會回到葉綠素天線分子。事實上，吸光天線吸收光子後的10-15 psec (10-12 sec)內，整個傳遞過程很快就達到平衡狀態(equilibrium)，此時一部份激發能量進入反應中心，但也有一部份激發能量仍停留在葉綠素吸光天線中。當植物行光合作用時，天線分子將吸收足夠光能，匯集到光系統的反應中心PSII (P680)，並激發成P680*(激發態)，進行電荷分離，即傳送一個電子給其電子接受者。電子傳遞過程中，primary quinone acceptor (QA)是PSII的第一個電子接受者，是影響PSII平衡反應及葉綠素螢光反應的重要因子，當QA處於氧化態時，電荷平衡趨向於反應中心(PSII)，即大部分被激發的能量進入反應中心(PSII)；環境逆境下，電子傳遞鏈會降低或中止，造成反應中心無法將電子傳至電子傳遞鏈，此時QA處於還原態，由於電場排斥力的關係，平衡趨向於葉綠素天線分子(antenna)，使大部分被激發的能量停在天線分子。激發能量停在葉綠素時間越長，釋放螢光機會越高，其螢光的產量也越高。因此QA的氧化還原態可決定光系統所放出螢光的高低。故一葉綠體中，越多的QA處於還原態，其所放出的螢光越強。

一般氧化態的QA，其電子由PSII傳向PSI，導致葉綠體的螢光降低，此現象稱之為photochemical quenching (qP)。在許多情況下，葉綠體中存有過多的激發能量，植物為自我保護，會建立pH gradient、state transition 和光抑制作用(photoinhibition)以消耗或釋放多餘的激發能量，亦使螢光下降，此現象稱之為non-photochemical quenching (qN)。葉綠素螢光測量乃應用Kautsky effect (Kautsky and Hirsch, 1931)，主要測量來自於PSII 所釋放之螢光，當葉片或葉綠體處於dark-adapted 狀態，電子傳遞路徑的氧化還原中間代謝物皆回到還原狀態，採用葉綠素螢光儀(chlorophyll fluorometer)，並以不同種類之人工光源透過濾鏡(filter)照射在待測葉片

上，促進PSII螢光迅速發射，則葉片的反射光譜經濾鏡存留螢光波長部分，再經放大器將訊號強化，由記錄器記錄螢光測值。目前測量葉綠素螢光最常用的方法就是紀錄fluorescence induction，即在連續光照下，紀錄螢光強度隨時間的變化，依其測量時間的長短又分為快慢兩種的fluorescence induction。一般典型之fluorescence induction測量，可從induction curve的變化，量化光合作用，計算出一些螢光參數，有助於評估植株本身生理表現及生化反應，及早偵測出傷害。這些螢光參數可分為：

(一) F_0 ：最小螢光值(minimum fluorescence)

在 dark-adapted sample 中，所有 PSII 呈現開啟狀態(即 QA 處於氧化態)，而非-photochemical quenching 也在最低狀態，此時釋放之螢光量稱為最小螢光值(DeEll et al., 1999)。最小螢光值反應光子吸收之能量傳送到 PSII 反應中心之效率(Vidaver et al., 1991)。 F_0 上升表示 PSII 反應中心捕抓能量之效率降低(Neuner and Larcher, 1991)，此因 PS II 反應中心電子流受阻，QA 無法完全氧化(Krause, 1991)；或是 PS II 核心複合體內捕光天線蛋白質與反應中心分離，造成電子傳遞效率較低所致(Schreiber and Armond, 1978)。

(二) F_m ：最大螢光值(maximum fluorescence)

在 dark-adapted sample 中，所有 PSII 呈現關閉狀態(即 QA 處於還原態)，此時釋放之螢光量稱為最大螢光值。最大螢光值是在 PSII 反應中心關閉時釋放之螢光量，且是在光合作用系統原處於黑暗或低光下，而後被激發，將 QA 完全還原且排除所有淬熄係數時才會達到(DeEll et al., 1999)。

(三) F_v/F_m ：PSII 最大光量子產能(maximum quantum yield)

F_v (variable fluorescence)為黑暗下最大螢光值(F_m)與黑暗下最小螢光值(F_0)之差，即 $F_v = (F_m - F_0)$ ，因此， $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$ 。主為描述光合作用胞器之生理狀況，是 PSII 反應中心及光捕捉複合物完整性之指標(DeEll et al., 1999)， F_v/F_m 亦

反應出膜之完整性，故其對膜之改變及損害敏感(DeEll et al., 1999)。健康植株之 F_v/F_m 值為一常數，約介於0.75-0.85 (Bolhar-Nordenkam et al., 1989)，但當植物處在逆境時，其值往往下降，亦為photoinhibition的最佳指標。

(四) Q_p ：光化學淬熄係數(photochemical quenching)

$Q_p = (F_m' - F_s) / (F_m' - F_o')$ 。代表PSII的photochemical capacity，即在light-adapted情況下，PSII呈現開啟狀態(即QA處於氧化態)的數目。光化學淬熄係數表示能量轉化成光化學的比例 (Peterson et al., 1988)，且和PS II 電子接受者氧化還原狀態及能量供需間之平衡有關 (DeEll et al., 1999)。當發生光抑制時，過高之能量無法順利經由光合途徑傳出，導致PS II 蛋白D1裂解，此時測到之 Q_p 值近似於0 (Ohad et al., 1990)，故 Q_p 值下降表示正常調節能量之機制，已無法改變逆境造成的能量不平衡情形。

(五) Q_n ：非光化學消光(non-photochemical quenching)

$Q_n = 1 - (F_m' - F_o') / (F_m - F_o)$ 。代表在light-adapted情況下，能量不用於光化學反應，而是以螢光或熱的方式釋放。非光化學淬熄係數和類囊膜兩邊光誘導之質子梯度有關(DeEll et al., 1999)，類囊膜內之低pH會降低光化學效能，且將激發能量轉化成熱能，以作為當激發能過多會造成傷害時之保護機制 (Weis and Berry, 1987)。非化學淬熄係數也和類囊膜上以激發能形成ATP有關 (Peterson et al., 1988)。

(六) Φ_{PSII} ：光化學之光子產量(quantum yield of photochemistry)

即PSII在light-adapted情況下的有效光量子產量 (effective quantum yield)，計算公式為 $\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s) / F_m'$ 。其與 F_v/F_m 的差別在於， Φ_{PSII} 不需dark-adapted，也不需 F_o' ，因此為田間試驗(陽光下)最常測的指標。

由於評估環境不良所導致植物生長傷害，通常只能透過植株本身的特徵加以偵測，但當植株外觀有明顯改變時，受害已較嚴重，不易回復。但因光合作用是

作物產生能量的主要來源，光合作用胞器生理反應和產量有極高相關性，葉綠素螢光即以光合作用胞器作為逆境適應性之選拔工具，透過植體本身生理表現及生化反應，早期偵測出傷害。

利用此特性Krupa et al. (1992)發現重金屬鎘處理植株， Φ PSII和 Q_p 值降低，同時 Q_n 明顯增加，顯示碳代謝的光合作用能量利用率減低時，葉綠素中高能量狀態會以熱能釋放。Lu and Zhang (1999)利用小麥幼苗進行缺水和高溫處理，在乾旱處理時葉片 Q_n 增加，但 Q_p 和 Φ PSII不受影響；在熱處理時，當溫度超過35 °C，其Fv/Fm、 Q_p 、Fm 及 Φ PSII值降低， F_o 則上升。

葉綠素螢光常作為植株受高溫逆境之指標，Yang等人(1996)將玉米(*Zea mays*L.)葉片暴露在48-55 °C 高溫下兩小時，結果顯示隨溫度提高，其葉片之Fv/Fm值降低。Hassan(2006)提出小麥(*Triticum aestivum* L.)種植於40-42 °C 其 Φ PSII較種植於25 °C者降低12%，顯示高溫會造成 Φ PSII降低。Costa等人(2003)將菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.)植株置於25-48 °C 48小時後測量葉片之 Q_n ，結果顯示置於48 °C 植株之 Q_n 最高，可知溫度增加會造成植株非光化學淬熄係數上升。

一般植物在逆境時其螢光參數有明顯的改變，即當植株遭受逆境時，多有 F_o 、 Q_n 增加，Fm、Fv/Fm、 Q_p 、 Φ PSII下降的現象。而在植物生化方面，當植物處於逆境下， F_o 增加，表示激發能進入反應中心的速率降低，或有部分chlorophyll antenna與反應中心分離；若Fm下降，主要和水解酵素活性降低或PSII內及環繞PS II之電子傳送減緩有關。

第三章 不同育苗模式在冬、春、夏季對介質溫度之影響

Chapter 3. Effects of Different Production Methods on Substrate Temperature in Winter, Spring, and Summer

摘要 (Abstract)

根溫的高低會直接影響植物根部之生長、吸收、儲藏及生長素合成能力，改變土壤溫度亦影響植株的高度、乾物重、葉片數、生長速率和花、果形成等多種生長反應。本試驗擬探討盆中盆育苗模式（包括地上盆中盆與地下盆中盆）在台灣的氣候條件下，高溫時是否具有顯著降低土溫之效果，同時瞭解傳統容器育苗（traditional above-ground container production method, AGC）及田間栽培（in-field production method, IF）之介質溫度變化情形，評估盆中盆育苗模式在台灣苗木生產上之應用潛力。結果顯示春夏季高溫時，地下盆中盆（in-ground pot-in-pot system, IGPIP）之介質溫度明顯較 AGC 低 4-7.5 °C 不等且較穩定；當冬季氣溫降至 20 °C 以下，IGPIP 與 AGC 兩者之介質溫度則沒有明顯差異。地上盆中盆（above-ground pot-in-pot system, AGPIP）之介質溫度並不若預期中較 AGC 低，兩者變動情形類似。夏季 IF 之介質溫度變動較 IGPIP 劇烈，最高溫超過 40 °C。春夏季高溫時，IGPIP 之介質溫度明顯較低且較穩定，避免土溫劇烈變動對植物生育表現產生不良影響，在苗木生產上深具應用潛力，而 AGPIP 之效力則需進一步評估。

一、前言 (Introduction)

根部對植物之生長和發育很重要，因地上部生長有賴於根部供應礦物元素與水分，根部除了支持固定功能之外，亦具有合成、轉移和積貯等重要功能，可於將根部合成生長素及營養代謝物質，轉移到地上部，因此，根部發育良好，則地上部生長亦好。

大多數植物的根系生長在土壤中，土壤溫度會影響根系生長活動，所以也稱為根溫。根溫的高低會直接影響植物根部的生長、吸收、儲藏及生長素合成能力 (Ashby, 1960; Nordin, 1977; Skene and Kerridge, 1967)，改變土壤溫度亦影響植株的高度、乾物重、葉片數、生長速率和花、果形成等多種生長反應(Barr and Pellett, 1972; Brown and Ormrod, 1980; Gosselin and Trudel, 1983; Gur et al., 1972; Hammond and Seeley, 1978; Robbins and Pharr, 1989; Truder and Gosselin, 1982; Wilcox et al., 1983)。

高土溫會降低植物的光合作用，當土溫高於32 °C，每天6小時，連續7天後，將造成圓葉冬青 (*Ilex crenata* 'Rotundifolia') 的光合作用降低和根的呼吸作用增加 (Foster, 1991)。當土溫達40 °C，每天6小時，連續7星期後，海桐 (*Pittosporum tobira*) 的光合作用、蒸散作用和淨同化作用降低 (Johnson and Ingram, 1984)。

短期暴露在極端高溫所引起之傷害是為『直接的熱傷害』，此種高溫會立即對細胞構成傷害，一般可利用電解質滲漏技術來量測。不同的植物種類和基因型對熱逆境的耐性不同。大豆、馬鈴薯、蕃茄及柑橘經過馴化後耐熱性會增加，蘋果根部若持續置於46 °C則會造成根部的死亡。許多木本植物的根尖在45 °C時，持續4小時後會死亡；胡桃的根則在43 °C下，持續4天時死亡；而柑橘在50 °C時，根尖受傷且其功能受損 (Ingram, 1984)；當溫度達44 °C至45 °C間時，持續20分鐘後，巒大八角 (*Illicium tashiroi* Maxim.) 根部之細胞質滲漏相當嚴重，顯示根部直接受到高熱的傷害 (Ingram and Buchanan, 1981)。

地下盆中盆 (In-ground pot-in-pot system, IGPIP) 近幾年在國外發展迅速 (Zhu et al., 2005)，其為將內徑較大的外盆 (a holder、socket pot) 長時間放在土壤中，邊緣露出土面，並將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中，此種育苗模式之介質溫度較低且較穩定，能有效減緩因日曬而造成的高土溫情形(Martin et al., 1999；Schluckebier and Martin, 1997)，使內盆土溫盡量維持在低於 40 °C 的狀態，避免植物生長勢下降(Martin et al., 1999)。

儘管地下盆中盆 (IGPIP) 在國外行之有年，但國內業者似乎未有使用紀錄。本試驗欲探討盆中盆育苗模式 (包括地下盆中盆與地上盆中盆) 在台灣的氣候條件下，是否同樣具有顯著降低土溫之效果 (主要將重點放在 IGPIP)，同時瞭解傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC) 及田間栽培 (in-field production method, IF) 之介質溫度變化情形，評估盆中盆育苗模式在台灣苗木生產上之應用潛力。

二、材料方法 (Materials and Methods)

以氣溫計 (RH/Temperature Data Logger, LASCAR electronics, America.) 及土溫計 (Temperature Data Logger, LASCAR electronics, America.) 24 小時記錄介質溫度變化，每 30min 記錄一次，記錄日期、育苗模式及試驗地點等如下所述：

(一) AGC、IGPIP 對冬季介質溫度變化之影響

紀錄日期自 2008 年 01 月 30 日 00:00 起至 2008 年 02 月 06 日 00:00 止。以土溫計 24 小時紀錄傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度變化情形。

地下盆中盆 (IGPIP)：長寬高為 60 cm × 40 cm × 30 cm 之塑膠籃邊緣以黑色網子圍住，填入含有 20% 真珠石之濕潤泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada) 至 9 分滿，將 4 個 4.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣

露出土面 2cm，將栽植四季秋海棠之 4 寸盆（內盆）放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射，土溫計記錄內盆溫度變化情形。傳統容器育苗（AGC）則為 4 寸盆直接放置在床架上，沒有任何額外裝置。氣溫計放置至通風且陽光無法直射之處。栽培介質為含有 20% (v/v) 真珠石之泥碳苔商業介質（Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada），試驗地點在國立台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場。

（二）AGC、IGPIP、IF 對春季介質溫度變化之影響

紀錄日期自 2008 年 04 月 06 日 00:00 起至 2008 年 04 月 13 日 00:00 止。以土溫計 24 小時紀錄傳統容器育苗（AGC）、地下盆中盆（IGPIP）及田間栽培（IF）之介質溫度變化情形。

地下盆中盆（IGPIP）：長寬高為 250 cm × 200 cm × 50 cm 之大型花箱填入植物殘骸有機堆肥至 9 分滿，將 20 個 6.5 寸盆（外盆）埋入介質中，邊緣露出土面 2cm，將栽植翠蘆荊之 6 寸盆內盆放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射，土溫計記錄內盆介質溫度變化情況，IGPIP 育苗模式佔花箱一半之空間。田間栽培（IF）：扦插苗直接栽植入大型花箱的另一半空間以模擬田間栽培，使根系自由伸展不受限於盆子，土溫計記錄花箱內介質溫度變化情況。傳統容器育苗（AGC）則為 6 寸盆直接放置在地面上，沒有任何額外裝置。氣溫計放置至通風且陽光無法直射之處。栽培介質為植物殘骸有機堆肥，試驗地點在公館自來水園區水源地苗圃。

（三）AGC、IGPIP、IF 對夏季介質溫度變化之影響

紀錄日期自 2008 年 07 月 20 日 00:00 起至 2008 年 07 月 27 日 00:00 止。以土溫計 24 小時紀錄傳統容器育苗（AGC）、地下盆中盆（IGPIP）及田間栽培（IF）之介質溫度變化情形。

地下盆中盆（IGPIP）：將 8 個 6.5 寸盆埋入田土中，邊緣露出土面 2cm，將

栽植黃金金露華之 6 寸盆內盆放置至外盆內，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射，土溫計記錄內盆介質溫度變化情況。田間栽培 (IF)：黃金金露華植株直接栽植在田土中，使根系自由伸展不受限於盆子，土溫計記錄田土溫度變化情況。傳統容器育苗 (AGC) 則為 6 寸盆直接放置在地面上，沒有任何額外裝置。氣溫計放置至通風且陽光無法直射之處。栽培介質為田土，試驗地點在國立台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚。

(四) AGC、AGPIP、IGPIP 對夏季介質溫度變化之影響

紀錄日期自 2008 年 08 月 26 日 00:00 起至 2008 年 09 月 02 日 00:00 止。以土溫計 24 小時紀錄傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度變化情形。

地下盆中盆 (IGPIP)：長寬高為 60 cm × 40 cm × 30 cm 之塑膠籃邊緣以黑色網子圍住，填入含有 20% 真珠石之濕潤泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada) 至 9 分滿。將 3 個 5.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣露出土面 2cm，內盆為栽植四季秋海棠之 5 寸盆，放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射，土溫計記錄內盆溫度變化情形。地上盆中盆 (AGPIP)：5.5 寸盆 (外盆) 直接放置在床架上，未埋入介質中，內盆為栽植四季秋海棠之 5 寸盆，放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射，土溫計記錄內盆溫度變化情形。傳統容器育苗 (AGC) 則為 5 寸盆直接放置在床架上，沒有任何額外裝置。氣溫計放置至通風且陽光無法直射之處。栽培介質為含有 20% 真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，試驗地點在國立台灣大學園藝學系花卉館一樓簡易溫室。

三、結果 (Results)

(一) 試驗一：AGC、IGPIP 對冬季介質溫度變化之影響

圖 3.1 為 2008 年 1 月 30 日至 2008 年 2 月 6 日氣溫與 AGC、IGPIP 兩種育苗模式介質溫度之變化情形，栽培介質為含有 20% 真珠石之泥碳苔商業介質 (Canada Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，試驗地點在台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場溫室。

此段時間氣溫大致在 20 °C 以下，其中以 2 月 3 日氣溫最低為 10.5 °C。AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式之介質溫度隨氣溫變動，介質溫度僅略低於氣溫或與氣溫相同，而兩種栽培處理之介質溫度沒有明顯差異。

(二) 試驗二：AGC、IGPIP、IF 對春季介質溫度變化之影響

圖 3.2 為 2008 年 4 月 6 日至 2008 年 4 月 13 日氣溫與 AGC、IGPIP、IF 三種育苗模式之介質溫度變化情形，栽培介質為植物殘骸有機堆肥，試驗地點在公館自來水園區水源地苗圃。4 月 6 日、4 月 7 日、4 月 8 日三天中午氣溫皆達 35 °C 以上，而 4 月 10 日、4 月 11 日、4 月 12 日三天中午氣溫則降至 25 °C 以下。根據氣溫計與土溫計之紀錄，4 月 6 日、4 月 7 日、4 月 8 日三天中午 13:00 氣溫分別為 38 °C、39 °C、38.5 °C，此時，AGC 介質溫度僅略低於氣溫，分別為 35.5 °C、36.5 °C、36 °C，而 IGPIP 與 IF 之介質溫度則明顯低於氣溫，分別為 28 °C、29 °C、29 °C 及 27.5 °C、28 °C、28 °C。此結果指出 AGC 介質溫度受氣溫影響最大，且在氣溫高時，AGC 介質溫度明顯高於 IGPIP 及 IF 兩種處理，幅度高達 7-8.5 °C 不等。

4 月 10 日、4 月 11 日、4 月 12 日三天中午 13:00 氣溫降至 20.5 °C、21 °C、22.5 °C，此時之介質溫度，AGC 為 20.5 °C、21 °C、23 °C；IGPIP 為 20 °C、20 °C、22 °C；IF 為 20.5 °C、20 °C、22 °C，三種處理之介質溫度差異並不大 (圖 3.2)。因此，氣溫較低時，AGC、IGPIP 及 IF 三種育苗模式對介質溫度之影響，彼此間差異不大。

高溫時，觀察單日內介質溫度之變化情況，結果顯示 AGC 之介質溫度日變化最大。以 4 月 7 日為例 (圖 3.2)，AGC 單日內介質最高溫為 39.5 °C，最低溫為 20.5 °C，介質溫度日變化達 19 °C，明顯高於同日 IGPIP 及 IF 兩種處理 (IGPIP 介質最

高溫 29.0 °C，最低溫 21.5 °C，介質溫度日變化為 7.5 °C；IF 介質最高溫 28.0 °C，最低溫 21.5 °C，介質溫度日變化為 6.5 °C)。

(三) 試驗三：AGC、IGPIP、IF 對夏季介質溫度變化之影響

圖 3.3 為 2008 年 7 月 20 日至 2008 年 7 月 27 日氣溫與 AGC、IGPIP、IF 三種育苗模式之介質溫度變化情形，栽培介質為田土，試驗地點在台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚。根據氣溫計紀錄，7 月 20 日至 7 月 27 日此段時間，中午最高溫皆達 40 °C 以上。

以 7 月 24 日為例，說明 AGC、IGPIP、IF 三種育苗模式對介質溫度變化之影響。7 月 24 日上午 6:00 氣溫為最低 26.5 °C，7:30 氣溫即超過 30 °C，10:30 氣溫超過 40 °C，14:00 氣溫達到最高為 46.5 °C；介質溫度變化部分：上午 5:30 AGC 之介質溫度為最低 26 °C，8:00 介質溫度即超過 30 °C，12:00 介質溫度超過 40 °C，13:30 介質溫度達到最高為 42.5 °C；上午 5:30 IGPIP 之介質溫度為最低 26.5 °C，8:30 介質溫度即超過 30 °C，14:00 介質溫度達 38.5 °C 為最高溫，整日介質溫度並未超過 40 °C；上午 5:00 IF 之介質溫度為最低 27 °C，8:30 介質溫度即超過 30 °C，11:30 介質溫度超過 40 °C，13:30 介質溫度達到最高為 41.5 °C。由此結果可知，夏季高溫時，IGPIP 之介質溫度較低(7 月 24 日 IGPIP 介質最高溫比 AGC 低 4 °C)，令人感到驚訝的是 IF 之介質最高溫竟也高達 40 °C 以上。另外，7 月 24 日介質溫度日變化以 IGPIP 最低 (12 °C)、IF 次之 (14.5 °C)、AGC 最高 (16.5 °C)。

IGPIP 之介質溫度較低，2008 年 7 月 20 日至 2008 年 7 月 26 日期間僅有一天中午 IGPIP 介質溫度達 40 °C(7 月 25 日)，其餘天數 IGPIP 介質溫度皆在 40 °C 以下。使用 AGC 栽植植株，介質溫度明顯較 IGPIP 高，且介質溫度日變化劇烈，容易對植物生長產生不良影響。

(四) 試驗四：AGC、AGPIP、IGPIP 對夏季介質溫度變化之影響

圖 3.4 為 2008 年 8 月 26 日至 2008 年 9 月 2 日氣溫與 AGC、AGPIP、IGPIP

三種育苗模式之介質溫度變化情形，栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，試驗地點在台灣大學園藝學系花卉館一樓簡易溫室。

IGPIP 之介質溫度明顯較 AGC 及 AGPIP 兩種處理低，且 IGPIP 之介質溫度較為穩定，變動程度較小。以 2008 年 8 月 29 日為例，IGPIP 當日介質最高溫為 31.5 °C，明顯低於 AGC (35.5 °C) 及 AGPIP (36.0 °C) 兩種處理，且 IGPIP 介質溫度之日變化較小為 5.5 °C，AGC 為 10.5 °C，AGPIP 為 11 °C。

地上盆中盆 (AGPIP) 之介質溫度並不如預期較 AGC 低，兩者介質溫度變動情形類似，正午時，AGPIP 介質溫度甚至會高過 AGC。

四、討論 (Discussion)

綜合上述試驗結果，氣溫高時，地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度明顯較低且較穩定，避免劇烈介質溫度變動對植物產生之不良影響 (圖 3.2; 圖 3.3; 圖 3.4)。Martin 等人 (1999) 於夏季測量傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種處理之介質溫度變化情況 (試驗地點: Desierto Verde Wholesale Nursery in Tempe, 33.5N 112W, AZ)，結果顯示地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度明顯較低，至多可比 AGC 低 19 °C，亦可盡量使介質溫度保持在 40 °C 以下，避免土溫過高對植物根部產生傷害。此外，作者測量盆內東側、西側及中央之介質溫度，IGPIP 盆內介質溫度較為穩定，而 AGC 盆內不同區域之介質溫度變動劇烈，以西側介質溫度最高 (16:00 西曬期間，介質溫度可飆升到 50 °C)，故作者認為夏季高溫時，IGPIP 確實能有效維持較低且穩定之介質溫度，減緩高土溫及劇烈根溫變動對植株造成之不良影響。

Martin 等人 (1999) 進一步研究 AGC 及 IGPIP 介質水分變化，以濕度感應器 (soil moisture sensor) 偵測介質水分含量，將土壤水勢控制在 -0.005 至 -0.010 Mpa (90 % 含水量)，當水勢過低，儀器會自動給水。結果顯示一週內，AGC 與 IGPIP 兩

種處理之給水量以 IGPIP 給水量較少（比 AGC 少 40%）。Cardoso 等人（2005）利用 AGC、IGPIP 栽植六種多年生野花，測量介質溫度及水分含量變化，結果顯示 IGPIP 之介質溫度平均較 AGC 低 10 °C，且 IGPIP 之水分蒸發量較 AGC 低 10 %。前人研究顯示地下盆中盆之介質溫度較低，可減緩介質之水分蒸發速率，維持一相對較高的水分含量，此舉可成功減緩根溫之劇烈變動，本次試驗結果也有相同情形者，以 IGPIP 之介質溫度日變化明顯較 AGC 低（圖 3.2; 圖 3.3; 圖 3.4）。

當氣溫降至 20 °C 以下，IGPIP 與 AGC 兩者之介質溫度沒有明顯差異（圖 3.1）。Young 和 Bachman（1996）冬季調查 AGC 及 IGPIP 兩者育苗模式對介質溫度變化之影響（試驗地點：Carolina Nursery, Inc., Moncks Corner, SC），結果顯示當氣溫降至 -5 °C，此時 AGC、IGPIP 之介質溫度分別為 -0.5 °C 及 2 °C，說明當氣溫降至冰點，IGPIP 反而能維持一相對較高的介質溫度，減輕低溫對植株根部之傷害。台灣冬季寒流來臨時，氣溫會降至 10 °C 以下，使用 IGPIP 或許能減輕在露天環境下作物遭遇寒害之程度，但此試驗需進一步探討。

地上盆中盆（AGPIP）並不如預期中具有降低介質溫度之效果，其介質溫度變動情形與 AGC 類似（圖 3.4）明顯高於 IGPIP。London 等人（1998）試驗也有相同結果，於五月中測量 AGC、AGPIP 及 IGPIP 等栽培處理對介質溫度之影響（試驗地點：a nursery in Moncks Corner, S.C.），結果指出 AGPIP 之介質最高溫與 AGC 相近，降低介質溫度效果不佳。但在 Schluckebier 和 Martin(1997)的研究中（試驗地點：Arizona State University Horticulture Resource Center in Tempe, 33.5N 112W），AGPIP 相較於 AGC 處理，在夏季具有明顯降低土溫之效果；作者使用黑色硬盆（black polyethylene container）進行試驗，夏季 AGC 介質最高溫可達 58 °C，而 AGPIP 介質最高溫僅為 42 °C。林（1999）指出 AGPIP 因有外盆遮蔽陽光直射於盆壁的熱能並減少熱能傳導至容器介質中，因此介質溫度較 AGC 低。本試驗之 AGPIP 介質溫度與 AGC 類似，甚至正午時之溫度會略高於 AGC，可能與外盆尺寸及顏色（紅褐色）選用不佳導致熱能蓄積有關，此部分需要進一步試驗並作探

討，以評估 AGPIP 在苗木生產上之應用潛力。

夏季 IF 之介質溫度紀錄值並不若想像中穩定（試驗三），可能原因為：1. 試驗中使用之土溫計長度僅能插入土壤中 5 cm 處，表層土壤溫度易受外界環境影響。2. 擺放位置不佳，此區土壤易被陽光直射。上述原因導致 IF 介質溫度紀錄值變化劇烈，最高溫甚至達 40 °C 以上，若能調整擺放位置並將土溫計插入土壤更深處，相信能測得更具代表性之數值。

五、結論 (Conclusions)

春夏季高溫時，地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度明顯較低且較穩定，避免土溫劇烈變動對植物生育表現產生不良影響，在苗木生產上深具應用潛力。冬季當氣溫降至 20 °C 以下，IGPIP 與傳統容器育苗 (AGC) 兩者之介質溫度則沒有明顯差異。



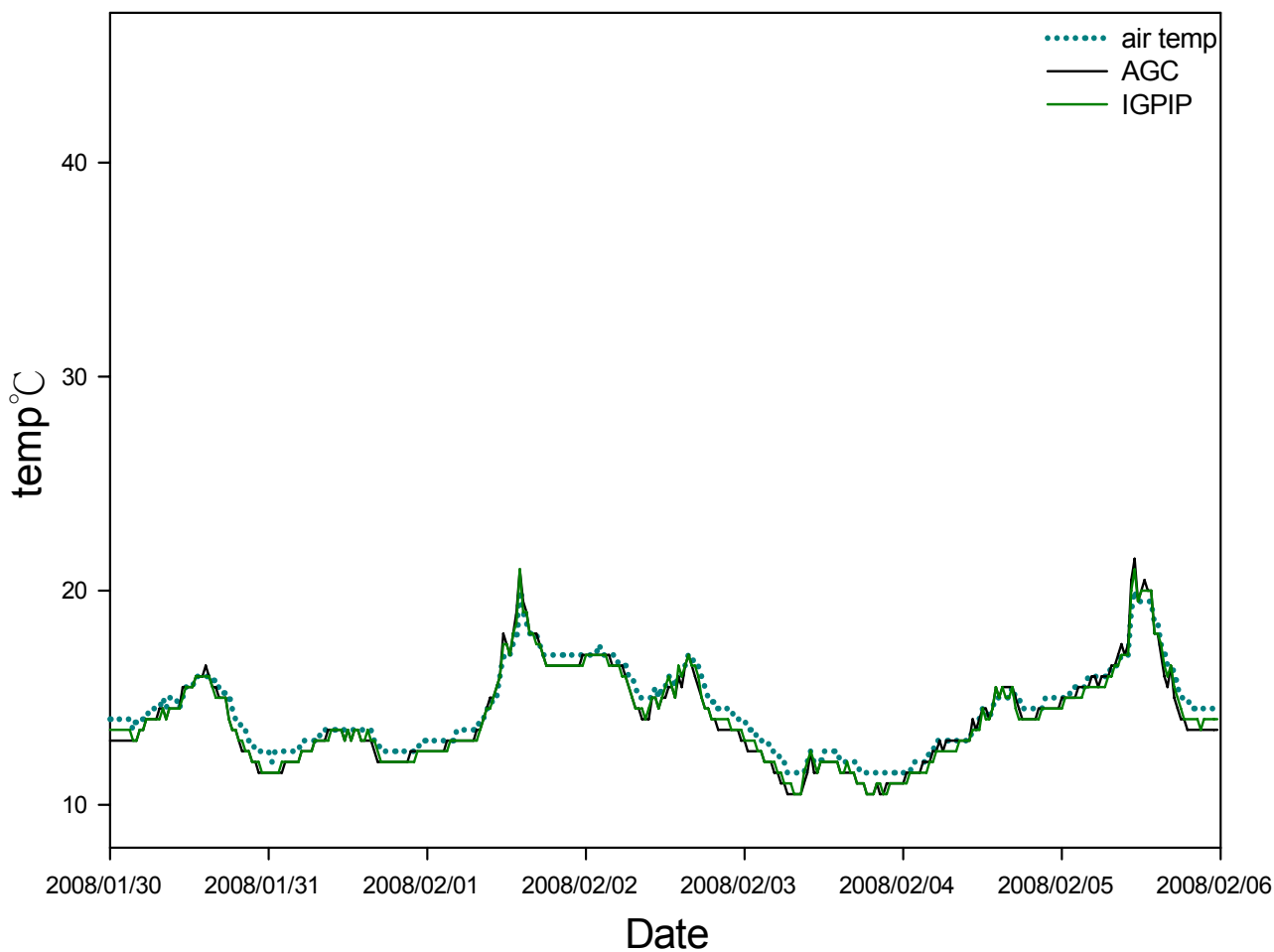


圖 3.1. 冬季傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆系統 (IGPIP) 之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/01/30-2008/02/06, 試驗地點為台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場, 栽培介質為含有 20% 真珠石之泥碳苔商業介質)

Fig. 3.1. Container substrate temperature patterns in the center of containers above ground (AGC) or placed in ground pot-in-pot (IGPIP) during January 30 to February 6, 2008.

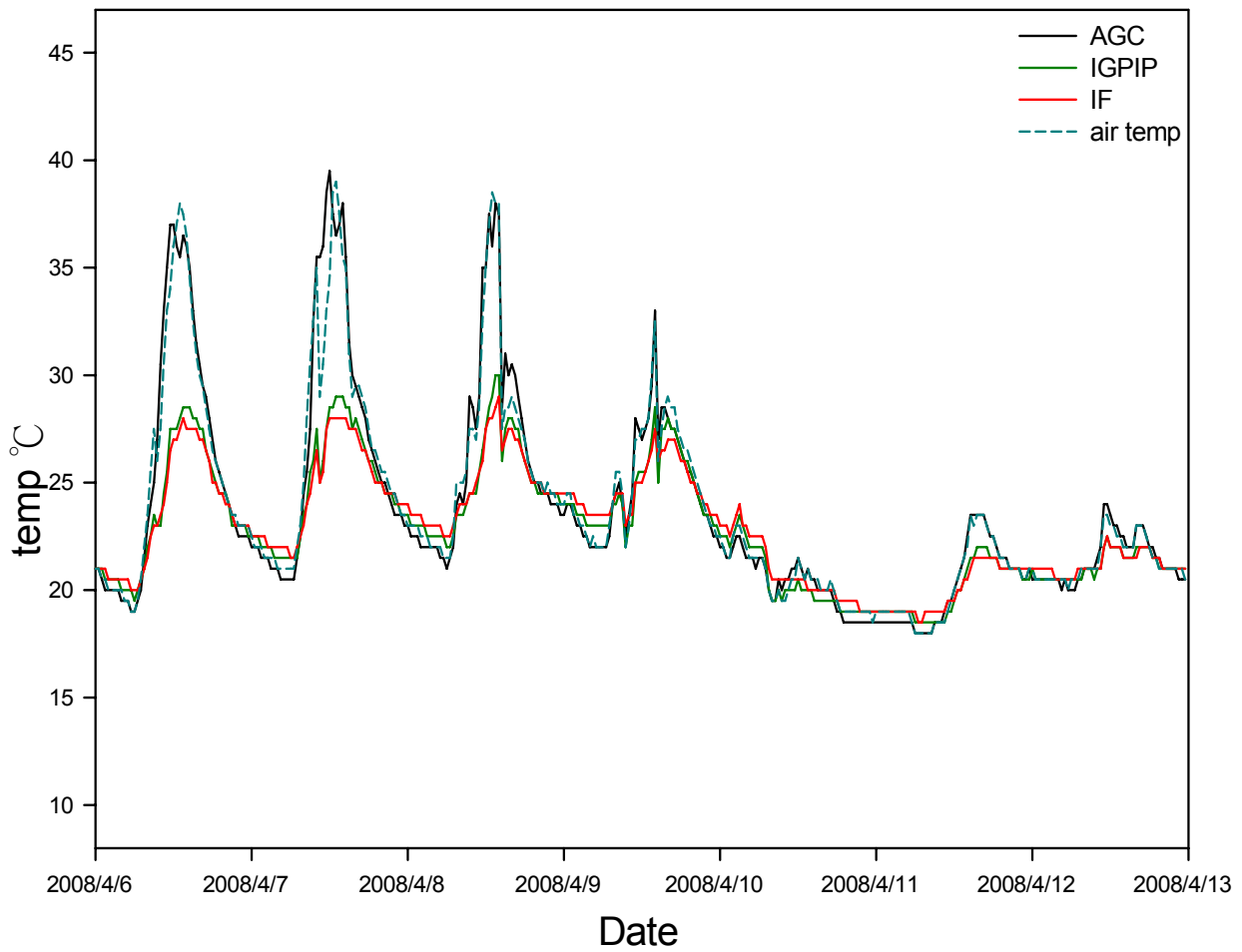


圖 3.2. 春季傳統容器育苗(AGC)、地下盆中盆系統(IGPIP)及田間栽培(IF)之介質溫度與氣溫紀錄(紀錄時間為 2008/04/06-2008/04/13, 試驗地點為公館自來水園區水源地苗圃, 栽培介質為混合有機堆肥)

Fig. 3.2. Substrate temperature patterns of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) during April 6 to 13, 2008.

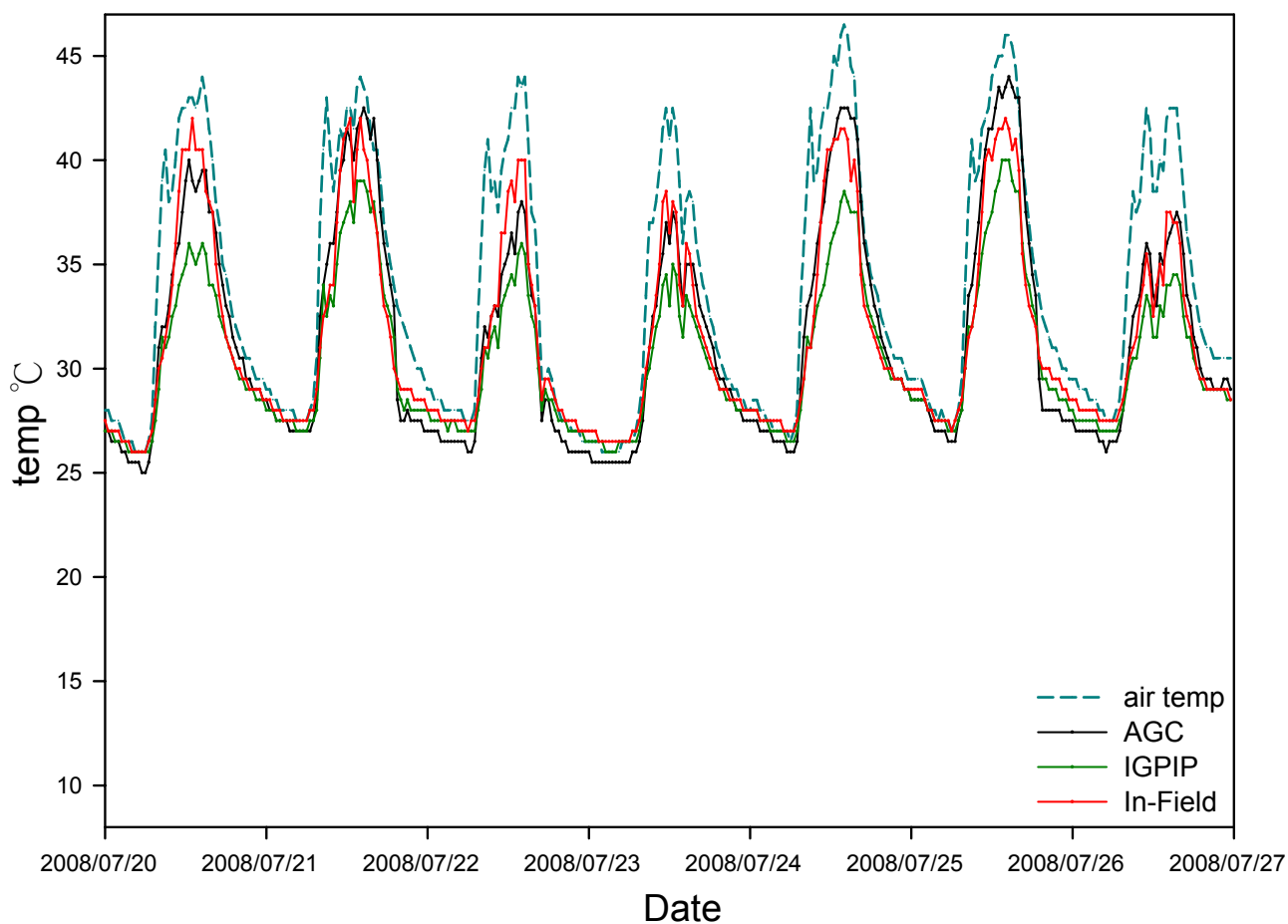


圖 3.3. 夏季傳統容器育苗(AGC)、地下盆中盆系統(IGPIP)及田間栽培(IF)之介質溫度與氣溫紀錄(紀錄時間為 2008/07/20 至 2008/07/27, 試驗地點為台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚, 栽培介質為田土)

Fig. 3.3. Soil temperature patterns of traditional above-ground container production method(AGC), in-ground pot-in-pot system(IGPIP), and in-field production method (IF) during July 20 to July 27, 2008.

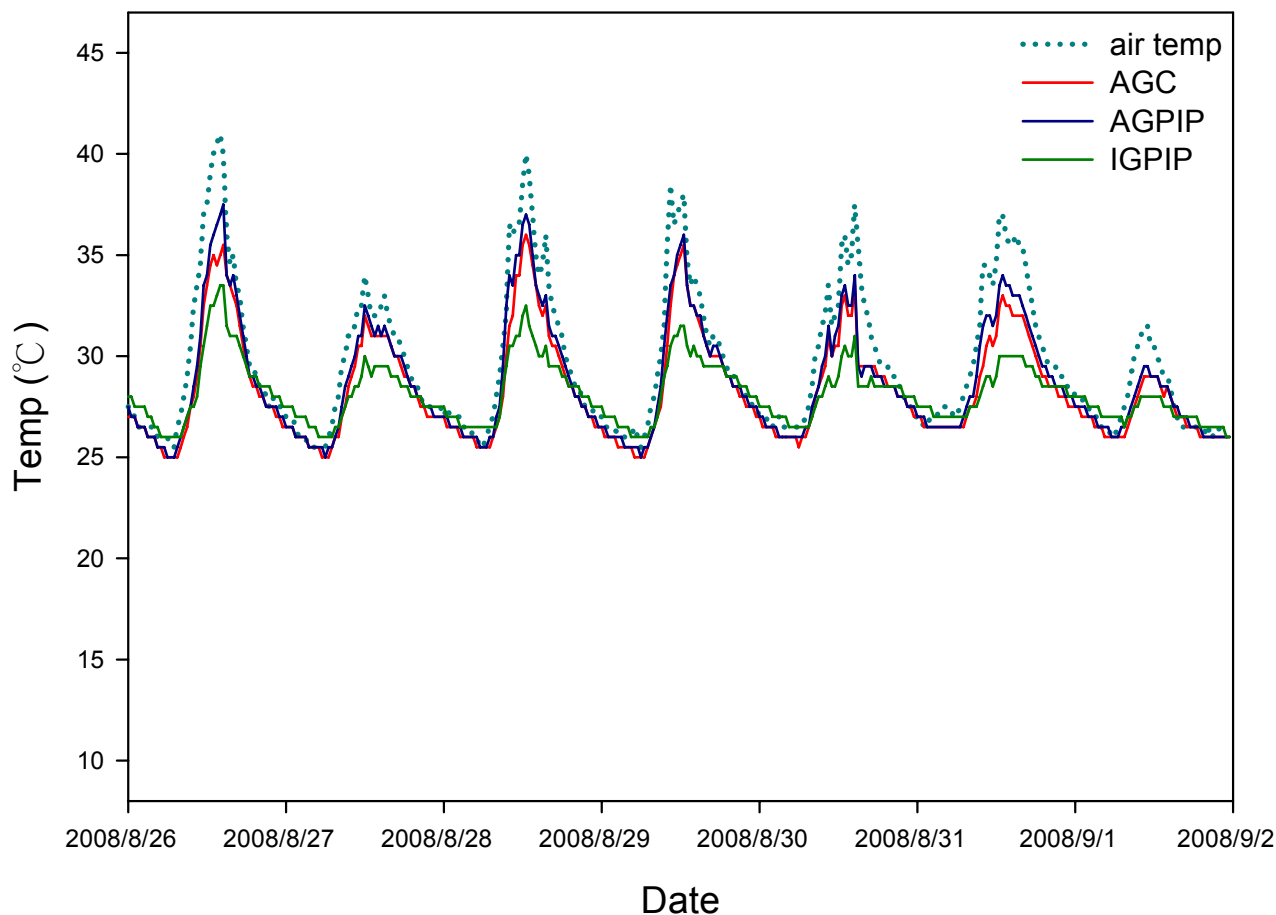


圖 3.4. 夏季傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆系統 (AGPIP) 及地下盆中盆系統 (IGPIP) 之介質溫度與氣溫紀錄 (紀錄時間為 2008/08/26-2008/09/02, 試驗地點為台灣大學園藝學系花卉館一樓簡易遮雨棚, 栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質)

Fig. 3.4. Substrate temperature patterns of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) during August 26 to September 2, 2008.

第四章 地下盆中盆育苗模式對三種草花生育表現及葉片光譜反應之 影響

Chapter 4. Effects of In-Ground Pot-In-Pot System on Growth and Spectral Reflectance in Three Bedding Plants

摘要 (Abstract)

地下盆中盆育苗模式 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 結合田間栽培 (in-field production method, IF) 與傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC) 之優點, 近幾年在國外發展迅速。本試驗以雞冠花 (*Celosia argentea* var. *plumosa*)、紫芳草 (*Exacum affine*)、四季秋海棠 (*Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia') 為材料, 調查在 2007 年及 2008 年夏季, 不同育苗模式 (AGC、AGPIP、IGPIP) 對植物生育表現之影響。結果顯示 IGPIP 可顯著提高雞冠花、紫芳草及四季秋海棠之株高、幅寬、地上部乾鮮重及根乾鮮重, 且植株開花表現較佳; IGPIP 栽植之四季秋海棠淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率明顯較 AGC 及 AGPIP 兩處理高。

缺水逆境下, 相較於 AGC、AGPIP 兩處理, IGPIP 栽植之植株葉綠素計讀值及 Fv/Fm 較高, 而葉溫較低。觀察不同育苗模式在缺水逆境下對四季秋海棠葉片反射光譜之影響, 結果顯示 AGC 栽培之植株在紅移區 (720 nm-690 nm)、紅光區 (660 nm-630 nm) 及綠光區 (600 nm-520 nm) 之反射率明顯高於 AGPIP 與 IGPIP 兩種處理; 近紅外光部分, 860 nm、840 nm、780 nm 三波長之反射率以 IGPIP 栽植之植株最高、AGPIP 次之、AGC 最低。植生指數 (vegetation index, VI) 方面, IGPIP 栽培之植株 PRI (photochemical reflectance index)、NDVI (normalized difference vegetation index)、SR (simple ratio vegetation index)、CHL (chlorophyll index) 皆明顯高於 AGC 處理。IGPIP 栽植之植株表現較佳, 在台灣育苗產業上深具應用潛力。

一、前言 (Introduction)

盆中盆育苗模式可分為地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 與地上盆中盆 (above-ground pot-in-pot system, AGPIP) 兩種，使用之目的為避免陽光直射盆壁，導致栽培介質溫度過高。地下盆中盆 (IGPIP) 因使用效益較佳，近幾年在國外發展迅速 (Zhu et al., 2005)。

IGPIP 將內徑較大的外盆 (a holder、socket pot) 長時間放在土壤中，邊緣露出土面 2-3cm，並將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中，此種育苗模式不僅可以解決田間栽培及傳統容器育苗遭遇到的困境，更結合兩種育苗方法的優點，能為栽培者創造更高利潤 (Parkerson, 1990)。

苗木依生產的方式大致分為田間苗和容器苗兩類。苗木生產從繁殖、培育到成木或其應用過程在容器內進行者稱為容器苗 (許, 1995)。而日本建設省、日本造園建設業協會及日本植木協會對於容器苗所下的定義為：植物栽培於容器內一段時間，根發育良好且不伸出容器外，並具有完整土團且無過度盤根者(進藤 等人, 1998)。

容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC) 相對於田間栽培 (In-field production method, IF)，具有以下優點：1. 苗圃較易選擇，技術移轉容易；2. 植株表現一致性較高；3. 育苗週期較短；4. 移植時不需挖掘操作，節省人力、機械成本；5. 移植時不需斷根，根系較為完整；6. 移植較不受季節限制；7. 容易包裝運送，降低運送成本；8. 苗木移植後的存活率高、恢復期短等。但容器育苗之介質溫度在陽光直射的環境中容易過高，尤以夏季最為明顯，過高之介質溫度會對植物生長產生不良影響 (張, 2004)。

地下盆中盆 (IGPIP) 將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中，而外盆埋在土壤裡，此一育苗模式在春夏季高溫時之介質溫度明顯較低且較穩定，可減緩根溫劇烈變動及維持較高之介質水分含量，維持植株較佳之生長表現。

Martin 等人 (1999) 於夏季測量傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP)

兩種育苗模式之介質溫度變化情況(試驗地點:Desierto Verde Wholesale Nursery in Tempe, 33.5N 112W, AZ),結果顯示地下盆中盆(IGPIP)之介質溫度明顯較低,至多可比 AGC 低 19 °C,亦可盡量使介質溫度保持在 40 °C 以下,避免土溫過高對植物根部產生傷害。此外,作者測量盆內東側、西側及中央之介質溫度,IGPIP 盆內介質溫度較為穩定,而 AGC 盆內不同區域之介質溫度變動劇烈,以西側介質溫度最高(16:00 西曬期間,介質溫度可飆升 50 °C),故作者認為夏季高溫時,IGPIP 確實能有效維持較低且穩定之介質溫度,減緩高土溫及劇烈根溫變動對植株造成之不良影響。

Martin 等人(1999)進一步研究 AGC 及 IGPIP 介質水分變化,以土壤濕度記(soil moisture sensor)偵測介質水分含量,將土壤水勢控制在-0.005 至-0.010 Mpa (90 % 含水量),當水勢過低,儀器會自動給水。結果顯示一週內,AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式之給水量以 IGPIP 給水量比 AGC 少 40%。Cardoso 等人(2005)利用 AGC、IGPIP 栽植六種多年生野花,測量介質溫度及水分含量變化,結果顯示 IGPIP 之介質溫度平均較 AGC 低 10 °C,且 IGPIP 之水分蒸發量較 AGC 低 10%。前人研究顯示地下盆中盆之介質溫度較低,介質水分蒸發速率較慢,可維持一相對較高的水分含量,減緩根溫之劇烈變動。

根據第三章之研究結果,春夏季高溫時,IGPIP 之介質溫度明顯較低且較穩定,但當冬季氣溫降至 20 °C 以下,IGPIP 與 AGC 兩者之介質溫度則沒有明顯差異。

本試驗以雞冠花、紫芳草、四季秋海棠為材料,分別於 2007 年及 2008 年夏季進行實驗,調查地下盆中盆(IGPIP)在台灣之氣候條件下,對常用草花生育表現之影響。

二、材料方法 (Materials and Methods)

(一) AGC、AGPIP、IGPIP 對羽狀雞冠花生育表現之影響

參試材料為公館自來水園區水源地苗圃自行播種之羽狀雞冠花實生苗 (*Celosia argentea* var. *plumosa*)，於 2007 年 7 月 30 日上盆至 6 寸盆，每一盆種植 3 株雞冠花苗，栽培介質為植物殘骸有機堆肥。2007 年 8 月 6 日開始進行傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 三種育苗模式試驗，此時苗高 15 cm，試驗期間沒有遮陰。

地下盆中盆 (IGPIP)：長寬高為 250 cm × 200 cm × 50 cm 之大型花箱填入植物殘骸有機堆肥至 9 分滿，將 20 個 6.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣露出土面 2cm，將栽植羽狀雞冠花之 6 寸盆內盆放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射 (圖 4.1)。地上盆中盆 (AGPIP)：6.5 寸盆 (外盆) 直接放置在地面上，未埋入介質中，將栽植羽狀雞冠花之 6 寸盆內盆放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。傳統容器育苗 (AGC)：6 寸盆直接放置在地面上，沒有任何額外裝置。

試驗於 2007 年 09 月 07 日結束。每天澆水 1 至 2 次，平均 1 至 2 週進行一次施肥，試驗地點在公館自來水園區水源地苗圃，每種處理 20 重複，每重複各一盆。試驗結束後隨機取六重複調查地上部鮮重、根鮮重、花序鮮重，接著置入 70 °C 烘箱內，烘乾一星期後，取出秤取地上部、根及花序乾重。

(二) AGC、IGPIP 對紫芳草生育表現之影響

參試材料為 2007 年 7 月 05 日訂購自屏東穗耕種苗公司 (ASUSA SPIKE SEEDS, INC.) 之紫芳草‘天星’ (*Exacum affine*) 288 格穴盤實生苗，於 2007 年 7 月 14 日移盆至 3 寸方形黑軟盆並開始進行傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種育苗模式試驗，此時苗高 5 cm，栽培介質為含有 20% 真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，架設遮光度 50% 之遮陰

網。

地下盆中盆 (IGPIP)：長寬高為 60 cm × 40 cm × 30 cm 之塑膠籃邊緣以黑色網子圍住，填入含有 20% 真珠石之濕潤泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada) 至 9 分滿。將 6 個 3 寸方形黑軟盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣露出土面 1.5 cm，將同樣大小栽植紫芳草之 3 寸盆內盆放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。傳統容器育苗 (AGC)：3 寸方形黑軟盆直接放置在床架上，沒有任何額外裝置。

試驗期間 2-3 天澆水一次，平均 10 天進行一次施肥，施以 200 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)，試驗地點在台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場，每種處理為 12 重複，每重複各一盆。試驗進行兩個月時 (2007 年 9 月 14 日) 隨機選取 6 重複，調查植株株高、幅寬、花朵鮮重，並以分光測光儀 (Spectrophotometer, CM-2600d, KONICA MINOLTA sensing, Inc., Japan) 測量紫芳草花朵之明度與色彩。試驗進行期間調查花朵累積數，記錄日期自 8 月 10 日至 10 月 10 日 (n=12)。試驗於 2007 年 10 月 14 日結束，試驗結束後隨機選取 6 重複，調查株高、幅寬、地上部鮮重、根鮮重及葉片傷害度指數，接著置入 70 °C 烘箱內，烘乾一星期後，取出秤取地上部及根乾重。

葉片傷害度之計算方法參考 Chang 和 Yu (2001)。將葉片乾枯程度分為五級：0 級—無乾枯；1 級—乾枯佔葉面積 1/4 以下；2 級—乾枯佔葉面積 1/4-1/2；3 級—乾枯佔葉面積 1/2 以上；4 級—整片葉都已乾枯。葉片傷害度 (%) = $\{[(N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4)] / (N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + N_4)\} \times 100\%$ 。其中 N₀, N₁, N₂, N₃ 及 N₄ 分別代表 0 級、1 級、2 級、3 級、4 級傷害度之葉片數。

(三) AGC、IGPIP 對四季秋海棠生育表現之影響

參試材料為 2007 年 8 月 05 日訂購自屏東穗耕種苗公司 (ASUSA SPIKE SEEDS, INC.) 之四季秋海棠 (*Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia Red') 288

格穴盤實生苗，於 2007 年 8 月 11 日上盆至 1.5 寸盆並移至台灣大學生農學院附設農業試驗場園藝分場溫室中進行栽培，栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，栽培期間架設遮光度 75%之遮陰網。2007 年 8 月 24 日移盆至 4 寸盆並開始進行傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種栽培試驗，此時苗高 10.5 cm，栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，架設遮光度 50%之遮陰網。

地下盆中盆 (IGPIP)：長寬高為 60 cm × 40 cm × 30 cm 之塑膠籃邊緣以黑色網子圍住，填入含有 20%真珠石之濕潤泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada) 至 9 分滿。將 4 個 4.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣露出土面 2cm，將栽植四季秋海棠之 4 寸盆內盆放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。傳統容器育苗 (AGC)：4 寸盆直接放置在床架上，沒有任何額外裝置。

試驗於 2007 年 10 月 1 日結束。試驗期間 2-3 天澆水一次，平均 10 天進行一次施肥，施以 200 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)，試驗地點為園藝分場溫室，每種處理為 8 重複，每重複各一盆。試驗期間隨機選取 6 重複，調查可見花苞天數、到花天數，並於試驗結束後調查株高、幅寬、地上部鮮重、根鮮重，接著置入 70 °C 烘箱內，烘乾一星期後，取出秤取地上部及根乾重。

(四) 缺水逆境對以 AGC、AGPIP 及 IGPIP 栽植之四季秋海棠生育表現及光譜反應之影響

參試材料為 2008 年 7 月 25 日訂購自屏東穗耕種苗公司 (ASUSA SPIKE SEEDS, INC.) 之四季秋海棠 'Super Olympia White' 288 格穴盤實生苗，於 2008 年 8 月 3 日移植至 5 寸盆中，栽培介質為含有 20%真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，於 2008 年 8 月 5 日進行第一次施肥，

施以 200 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) , 栽培地點在台灣大學園藝學系花卉館頂樓半遮陰玻璃溫室, 正午光度約為 $50-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF (photosynthetic photon flux) 。

2008 年 8 月 12 日將植株移植台灣大學園藝學系花卉館一樓簡易溫室, 並開始進行傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 三種育苗模式試驗, 此時苗高約 6 cm, 架設遮光度 50% 之遮陰網。

地下盆中盆系統 (IGPIP) : 長寬高為 60 cm × 40 cm × 30 cm 之塑膠籃邊緣以黑色網子圍住, 填入含有 20% 真珠石之濕潤泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada) 至 9 分滿。將 3 個 5.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中, 邊緣露出土面 2cm, 將栽植四季秋海棠之 5 寸盆內盆放置至外盆中, 避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。地上盆中盆 (AGPIP) : 5.5 寸盆 (外盆) 直接放置在床架上, 未埋入介質中, 將栽植四季秋海棠之 5 寸盆內盆放置至外盆中, 避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。傳統容器育苗 (AGC) 則為 5 寸盆直接放置在床架上, 沒有任何額外裝置。

2008 年 8 月 12 日至 2008 年 8 月 30 日試驗期間, 植株正常澆水施肥, 約 3-4 天澆水一次, 並於 8 月 19 日及 8 月 30 日施以 200 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) 。2008 年 8 月 31 日至 2008 年 9 月 17 日停止供水, 觀察停水期間不同育苗模式對四季秋海棠生育表現及光譜反應之影響。2008 年 9 月 18 日重新正常給水, 試驗於 2008 年 9 月 27 日結束。

試驗期間測量植株剛完全展開葉之葉綠素螢光值、葉綠素計讀值、葉溫、光合作用表現及光譜反射情況, 並於試驗結束時 (9 月 27 日) 調查株高、幅寬、地上部鮮重及根鮮重, 然後置入 70 °C 烘箱內, 烘乾一星期後, 取出秤取地上部乾重及根乾重。

1. 葉綠素螢光值測定 :

2008年8月27日（停水處理前）及2008年9月17日（植株18天未澆水）上午11:00於花卉館一樓簡易溫室，以可攜式葉綠素螢光測定儀（Mini-PAM, Walz GmbH, Effeltrich, Germany）給予波長665 nm之測量紅光，測定暗馴化後最小螢光值（minimum fluorescence, F_0 ）、最大螢光值（maximal fluorescence, F_m ）、PS II 最大光量子產能（excitation transfer efficiency, F_v/F_m ），隨後當植株於光適應狀態下再給予 $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之飽和強光，測量光量子產量(quantum yield of photochemistry, $\Phi_{ps II}$)、光化學淬熄係數(photochemical quenching, Q_p)及非光化學淬熄係數(non-photochemical quenching, Q_n)。每株測定一片剛完全展開葉，約為第三到四片葉，測定前先利用專用之暗馴化葉夾夾於葉身長度之中間，盡可能避開葉脈，關閉葉夾中央圓形開口進行暗馴化30分鐘，暗馴化後以光纖連接葉夾中央圓形開口與葉綠素螢光測定儀，開啟圓型開口並馬上測定 F_0 、 F_m 及 F_v/F_m ，待2.5秒後當植株於光適應狀態下再測量 $\Phi_{ps II}$ 、 Q_p 及 Q_n ，比較葉綠素螢光值於處理間之變化差異。每一處理隨機取樣6株調查，每株為一重複。

2. 葉綠素計讀值(CMR, SPAD 502-value)：

2008年9月4日（植株5天未澆水）及2008年9月17日（植株18天未澆水）以葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Tokyo)測量剛完全展開葉(約為第三到四片葉)之葉綠素計讀值，分散四點測量取平均值代表，葉綠素計利用葉片對650 nm及940 nm兩波長吸收率的差異，估算葉綠素含量。每一處理隨機取樣6株調查，每株為一重複。

3. 葉溫：

2008年8月20日（停水處理前）及2008年9月17日（植株18天未澆水）中午13:00於花卉館一樓簡易溫室以紅外光感溫儀（Precision Infrared Thermometer, 572, Fluke co., USA）測量剛完全展開葉（約為第三到四片葉）之葉片溫度，此時氣溫分別為 38.5°C 及 38°C 。測量時，葉溫儀約距葉片表面15cm，分散三點測量取平均值代表。

每一處理隨機取樣6株調查，每株為一重複。

4. 光合作用表現：

2008年9月10日（11天未澆水）及2008年9月27日（重新恢復供水期間）上午10:30-12:00以可攜帶式光合作用測定儀（LI-6400 portable photosynthesis system, LI-COR, Lincoln, Nebraska）於花卉館一樓簡易溫室測量剛完全展開葉（約為第三到四片葉）之淨光合作用速率。可攜帶光合作用測定儀使用前先暖機30分鐘，之後進行流速、遠紅外光氣體分析（IRGA）零點及滿點校正，並利用可拆式人工光源（6400-02 LED light source）進行設定。2008年9月10日可拆式人工光源設定測量時波長為670 nm，光強度為 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度控制在 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，流速設定為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，葉片溫度設定為 25°C ，上下氣孔比例設定為0。2008年9月27日可拆式人工光源設定測量時波長為670 nm，光強度為 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度控制在 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，流速設定為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，葉片溫度設定為 22°C ，上下氣孔比例設定為0。每一處理隨機取樣3株調查，每一株測量兩次，每一測量值為一重複，共6重複。

5. 葉片光譜反射：

2008年9月17日（18天未澆水）以配備積分球(integrating sphere)套件之Hitachi U-3010 光譜儀(spectrophotometer)進行葉片反射光譜測定。光譜掃描速率為600 nm/min，波段範圍自300至900 nm，光譜解析力為1 nm。測定時以硫酸鋇白板為參考對比。葉片測定反射光譜時以葉脈間之區域為主，反射率為葉片反射輻射值對參考白板反射輻射值之比值。用來評估植物生育表現之植生指數如下：(Field et al., 1994; Gamon and Surfus, 1999; Gómez-Casero et al., 2007; Peñuelas et al., 1993a, 1993b, 1995; Peñuelas and Filella, 1998; Serrano et al., 2000)

$$\text{PRI (photochemical reflectance index)} = (\text{R}_{531} - \text{R}_{570}) / (\text{R}_{531} + \text{R}_{570})$$

$$\text{NDVI (normalized difference vegetation index)} = (\text{R}_{800} - \text{R}_{660}) / (\text{R}_{800} + \text{R}_{660})$$

SR (simple ratio vegetation index) = R_{800}/R_{660}

CHL (Chlorophyll index) = $(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$

所有試驗皆採完全逢機設計 (Complete randomized design, CRD)。試驗結果以變方分析 (Analysis of variance, ANOVA) 測驗其顯著性，以最小顯著差異 (Least significant difference, LSD) 分析處理間有無顯著差異 ($P \leq 0.05$)。統計軟體為 COSTAT 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)，繪圖軟體及相關性分析則用 SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

三、結果 (Results)

(一) AGC、AGPIP、IGPIP 對羽狀雞冠花生育表現之影響

2007 年 8 月 6 日至 2007 年 9 月 7 日使用傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 三種育苗模式種植羽狀雞冠花，表 4.1 顯示以 IGPIP 栽植之植株生長量明顯高於以 AGC、AGPIP 栽植之植株，其地上部乾鮮重、根乾鮮重及花序乾鮮重皆明顯較高。

(二) AGC、IGPIP 對紫芳草生育表現之影響

2007 年 7 月 14 日至 2007 年 10 月 14 日使用傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 兩種育苗模式種植紫芳草‘天星’，試驗進行 2 個月時 (9 月 14 日) 調查植株之生育表現，表 4.2 顯示 IGPIP 栽培之植株株高較高、幅寬較大且花朵鮮重較重 (10 朵/mg)，另花瓣之明度與色彩，處理間沒有顯著差異。

紀錄植株自 8 月 10 日至 10 月 10 日之開花情形 ($n=12$)，圖 4.2 顯示 8 月 15 日 IGPIP 栽植之紫芳草開始開花，但 AGC 栽植之植株直至 8 月 29 日才有第一朵花出現，計算總花朵累積數，IGPIP 栽植之紫芳草累積至 10 月 10 日之總花數為 416 朵，遠遠高於 AGC 栽培之 346 朵。

試驗結束時 (2007 年 10 月 14 日)，調查植株生長狀況，IGPIP 栽培之植株株

高較高、幅寬較大，且地上部乾鮮重、根乾重皆明顯高於 AGC 栽培之植株(表 4.3)。試驗在夏季、初秋進行，雖有遮陰但光度對紫芳草而言仍舊太高，因此，葉片有日燒現象，IGPIP 栽培之紫芳草葉片傷害度為 11.11%，明顯低於 AGC 栽培之植株（葉片傷害度為 28.12%）。

（三）AGC、IGPIP 對四季秋海棠生育表現之影響

2007 年 8 月 24 日至 2007 年 10 月 01 日使用傳統容器育苗（AGC）及地下盆中盆（IGPIP）兩種育苗模式種植四季秋海棠‘Super Olympia Red’，表 4.4 顯示以 IGPIP 栽植之植株生長量明顯高於以 AGC 栽植之植株，其株高、地上部乾鮮重、根乾重皆明顯較高。調查植株開花表現，IGPIP 栽植之植株可見花苞及到花天數較少，可見花苞天數比 AGC 栽植之植株少 5 天，到花天數比 AGC 栽植之植株少 6 天。

（四）缺水逆境對以 AGC、AGPIP 及 IGPIP 栽植之四季秋海棠生育表現及光譜反應之影響

2008 年 8 月 12 日至 2008 年 9 月 27 日使用傳統容器育苗（AGC）、地上盆中盆（AGPIP）及地下盆中盆（IGPIP）三種育苗模式種植四季秋海棠‘Super Olympia White’，並於 2008 年 8 月 31 日至 2008 年 9 月 17 日停止供水，觀察停水期間不同育苗模式對四季秋海棠生育表現及光譜反應之影響。2008 年 9 月 18 日重新正常給水，試驗於 2008 年 9 月 27 日結束。

欲瞭解不同育苗模式對植株光合系統 II 之影響（表 4.5）。在供水充足的情況下，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對植株光系統 II 之影響彼此間沒有顯著差異，Fv/Fm 值分別為 0.80、0.81、0.81。當停止供水 18 天，植株之 Fv/Fm 值明顯下降，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式植株之 Fv/Fm 值分別為 0.69、0.71、0.73。缺水逆境會導致 Fv/Fm 值下降，但 IGPIP 栽植之植株相較於 AGC、AGPIP 兩種處理，在缺水時有較高的 Fv/Fm 值。植株缺水達 18 天，比較其他的葉綠素螢

光參數，IGPIP 栽培之植株 Fm、Qp、 Φ_{psII} 較 AGC、AGPIP 栽培之植株高，而 Qn 值則明顯較低。

欲瞭解 AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對葉綠素計讀值之影響(表 4.6)。9 月 4 日(停止供水 5 天)測量之葉綠素計讀值，AGC、AGPIP、IGPIP 三種育苗模式分別為 29.64、28.25、29.02，處理間沒有顯著差異。9 月 17 日當植株處於缺水逆境時(停止供水 18 天)，再度測量植株之葉綠素計讀值，AGC、AGPIP、IGPIP 三種育苗模式分別為 18.83、19.22、21.99。上述結果顯示，當植株處於缺水逆境時，葉綠素計讀值明顯降低；而缺水嚴重時，IGPIP 栽培之植株相較於 AGC、AGPIP 兩種處理，有較高的葉綠素計讀值。

調查 AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對葉溫之影響(表 4.6)。8 月 20 日 13:00 測量葉溫(此時未進行停水處理，氣溫為 38.5 °C)，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式之植株葉溫分別為 35.64 °C、35.58 °C、35.02 °C，彼此間沒有顯著差異。9 月 17 日 13:00 當植株處於缺水逆境時(停止供水 18 天)，再度測量葉溫(此時氣溫 38 °C)，IGPIP 栽培之植株葉溫為 39.95 °C，明顯低於 AGC (41.07 °C) 及 AGPIP (41.16) 兩種處理。上述結果顯示，當植株處於缺水逆境時，葉溫明顯較供水充足時高，此外，在供水充足的情況下，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對葉溫沒有顯著影響，但當植株處於缺水逆境，IGPIP 栽培之植株相較於其他兩種處理，葉溫較低。

9 月 10 日(停止供水 11 天，光度設定為 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)調查 AGC、AGPIP、IGPIP 三種育苗模式對植株光合作用表現之影響(表 4.7)，結果顯示 IGPIP 栽植之植株淨光合作用效率最高，且氣孔導度及蒸散作用速率皆明顯高於 AGC、AGPIP 兩種處理。9 月 27 日重新供水後(光度設定為 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，再度測量植株之光合作用表現(表 4.8)，IGPIP 栽培之植株淨光合作用效率最高、AGPIP 次之、AGC 再次之；比較氣孔導度與蒸散作用速率，IGPIP 栽培之植株氣孔導度及蒸散作用速率皆較高，AGC、AGPIP 彼此間則沒有顯著差異。

試驗結束時（9月27日），調查 AGC、AGPIP、IGPIP 三種育苗模式對四季秋海棠生長狀況之影響（表 4.9），結果顯示 IGPIP 栽培之植株幅寬、地上部乾鮮重、根乾鮮重皆明顯高於 AGC、AGPIP 兩種處理；另外，AGC、AGPIP 兩種育苗模式對植株株高、幅寬、地上部乾鮮重、根乾鮮重彼此間沒有顯著差異。

2008年9月17日（停止供水18天）以光譜儀分析不同育苗模式對植株葉片反射光譜之影響（以10 nm為間隔作統計分析,圖4.3; 表4.10; 附錄1）。AGC栽培之植株在紅移區（720 nm-690 nm）、紅光區（660 nm-630 nm）及綠光區（600 nm-520 nm）之反射率明顯高於AGPIP及IGPIP兩種處理；近紅外光部分，IGPIP栽植之四季秋海棠對近紅外光有較高之反射率，860 nm、840 nm、780 nm三波長最為明顯；490 nm-310 nm等19個波長之反射率AGC、AGPIP、IGPIP三種處理間沒有顯著差異。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。本研究使用 PRI、SR、NDVI 及 CHL 四種植生指數，欲瞭解其在苗木品質評估上之應用潛力。表 4.11 顯示 IGPIP 栽培之植株 PRI 值明顯高於 AGC 處理；SR、NDVI 及 CHL 三植生指數在 AGPIP、IGPIP 兩處理間沒有顯著差異，但皆明顯高於 AGC 處理。

四、討論 (Discussion)

相較於 AGC，使用 IGPIP 栽植植株可顯著提高羽狀雞冠花（表 4.1）、紫芳草（4.3）及四季秋海棠（表 4.4; 表 4.9）之地上部與根的生長量，且植株開花表現較佳：花數較多（圖 4.2）、花期較早（表 4.4）且花朵鮮重較重（表 4.1；4.2）。另 AGC 栽培之四季秋海棠淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率明顯低於 IGPIP 處理（表 4.7; 表 4.8）。

Ruter (1997; 1998)以 AGC、IGPIP 兩種育苗模式栽植庭園櫻花 (*Prunus×incamp* ‘Okame’) 與樺木 (*Betula nigra*)，結果顯示 IGPIP 栽植之植株地上部乾重、根乾

重皆明顯高於 AGC 處理。Martin 等人 (1999) 利用金合歡 (*Acacia smallii* L.) 進行 AGC、IGPIP 兩種育苗模式試驗，其中以 IGPIP 栽植之植株株高較高、徑粗較大，且地上部及根的乾重皆明顯高於 AGC 處理。以 IGPIP、AGC 栽植美人蕉 (*Canna flaccida*)、鳶尾 (*Iris versicolor*)、燈心草 (*Juncus effusus*) 等三種植物，比較兩處理對植株生長表現之影響，結果顯示 IGPIP 栽植之美人蕉與燈心草株高較高且根量較多；鳶尾則以 IGPIP 栽植者分枝數明顯高於 AGC 處理 (Merritt et al., 1996)。

使用地下盆中盆 (IGPIP) 可顯著提高植株地上部與根之生長量，此與 IGPIP 之介質溫度較低且較穩定有關，可減少根溫劇烈變動及維持較高之介質水分含量 (詳見第三章)。前人研究指出 IGPIP 之介質溫度明顯較 AGC 低，且可保持較高之介質水分含量，減緩根溫劇烈變動對植株造成之不良影響 (Martin et al., 1999; Cardoso et al., 2005)。試驗進行時，觀察到 IGPIP 栽培之植株失水較慢，但未進行葉片水勢量測，未來可針對此一部份做進一步研究。

土壤溫度會影響根系生長活動，所以也稱為根溫。根溫的高低會直接影響植物根部的生長、吸收、儲藏及生長素合成能力 (Ashby, 1960; Nordin, 1977; Skene and Kerridge, 1967)，改變土壤溫度亦影響植株地上部之生長情況。

Martin (1990) 指出當根溫超過 40 °C，即會對苗木之根系及地上部生長造成影響。本研究中，除少數例外，IGPIP 之介質溫度可盡量維持在 40 °C 以下 (圖 3.2; 圖 3.3; 圖 3.4)。Yeager 等人 (1991) 以 28 °C、34 °C 及 40 °C 三種根溫處理冬青 (*Ilex crenata* Thunb. 'Rotundifolia')，40 °C 處理之植株根乾重及地上部乾重明顯較低，且隨著根溫上升，根及地上部的氮累積速率逐漸下降。當土溫達 40 °C 時，福桂 (*Fouquieria splendens*) 和薔薇 (*Rose spp.*) 根生長減緩且根尖發生死亡現象 (Wang et al., 1971)。每天 6 小時，連續 7 星期以高土溫 40 °C 處理海桐 (*Pittosporum tobira*) 後，植株之地上部生長量減少 (Johnson and Ingram, 1984)。

夏季高溫時，植物根部的呼吸速率明顯較高，根據 Wang 等人 (1998) 之試驗結果，夏季根部的呼吸速率較春秋兩季高 10-20%。Foster 等人 (1991) 連續一週，

每天六小時，分別以 28 °C、32 °C、36 °C、40 °C 之土溫處理圓葉冬青 (*Ilex crenata* ‘Rotundifolia’)，結果顯示隨著土溫提高，根部之呼吸作用速率上升。當根溫達 35 °C 時，完整根系的呼吸速率顯著高於 25 °C，但此時根系的呼吸作用提高是由於替代路徑的呼吸作用大幅增加，而根細胞正常之細胞色素呼吸減少。高根溫同時影響根系碳水化合物的代謝，抑制根系正常生長並導致根系吸收無機養份之功能受損，使地上部大部分的元素含量減少 (Du and Tachibana., 1994)。

過高的介質溫度會顯著影響植株之開花表現，草莓 (*Fragaria xananassa*) 以 11 °C、17 °C、23 °C、29 °C、35 °C 五種根溫處理，在 35 °C 根溫處理下，植株氣孔導度及蒸散作用速率明顯降低，葉及根的生長受到抑制，且開花數及結果數最少 (Biela et al., 1998)。許多花卉作物於高溫下花朵數減少且花徑下降，金魚草 (*Antirrhinum majus* ‘Rochet Rose’)、金盞花 (*Calendula officinalis*)、非洲鳳仙花 (*Impatiens wallerana*)、龍頭花 (*Mimulus × hybridus*) 與夏堇 (*Torenia fournieri*) 於高溫 32 °C 之花苞數及花徑皆低於 20 °C (Warner and Erwin, 2005)。另高土溫會延遲花朵發育 (Biela et al., 1999) 造成許多作物開花延遲。金盞花於高溫 32 °C 之到花日數較 20 °C 者長 (Warner and Erwin, 2005)，菊花 ‘Bright Golden Anne’ 到花天數亦隨栽培溫度由 20 °C 提高為 30 °C 而增加 (Karlsson et al., 1989)。

根據 Ruter (1995) 的研究，IGPIP 栽植之 *Magnolia grandiflora* ‘St. Mary’ 淨光合作用速率及氣孔導度高於 AGC 處理。Ramcharan 等人 (1991) 調查 28 °C、33 °C、38 °C、43 °C 四種土溫對香蕉 (*Musa spp.* (AAA) ‘Grande Naine’) 二氧化碳同化速率之影響，結果顯示 43 °C 土溫處理之植株二氧化碳同化速率最低，土溫 28 °C-33 °C 較適合香蕉光合作用之進行。Stafne 等人 (2001) 調查 20 °C、25 °C、30 °C、35 °C 四種土溫對 *Rubus idaeus* L. ‘Reveille’ 光合作用表現之影響，結果顯示 35 °C 高土溫會顯著降低植株之淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率。Nada 等人 (2003) 以胡瓜進行的試驗發現，38 °C 的高根溫和 30 °C 比較起來，高根溫造成葉片及根系中的 ABA 含量升高，葉片氣孔導度及二氧化碳交換速率明顯下降，同時 Rubisco 的

活性也跟著根溫提高而下降。植株生長於高根溫時，ABA 含量增加造成的氣孔關閉以及Rubisco 活性的降低，兩者導致光合作用能力大幅下降。

過高之介質溫度會『降低植株淨光合作用速率』及『提高根部呼吸作用速率』，此舉嚴重影響植株根部與地上部之生長表現 (Foster et al., 1991)。隨著溫度提高，植株光合作用速率下降、呼吸作用速率增加，當呼吸作用速率等於光合作用速率時，此時之溫度稱為『溫度補償點 (temperature compensation point)』，植物處於溫度補償點時，沒有光合產物累積 (Levitt, 1980)。若溫度繼續升高，呼吸作用速率大於光合作用速率，消耗植物體內之碳水化合物，嚴重影響植株之生長勢。

春夏季高溫時，IGPIP 之介質溫度明顯較低，避免根溫過高導致植物生長勢下降 (表 4.1; 表 4.3; 表 4.4; 表 4.9)。本章所進行的 4 個試驗中，其中試驗(一)、(二)、(三)在 2007 年進行，試驗進行時未使用土溫計 24 小時偵測介質溫度變化，僅利用酒精溫度計測量不同育苗模式對介質溫度之影響，結果顯示地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度如同第三章所述，明顯較 AGC 低 (data not show)。夏季高土溫會影響冷季草種小糠草 (*Agrotis palustris* L.) 地上部及根的生長，影響草坪品質 (Carrow, 1996)，隨著土溫由 35 °C 降至 30 °C、25 °C、20 °C，小糠草的地上部鮮重、根數、根鮮重逐步增加，且草坪品質上升 (Xu et al., 2003)；即使土溫僅降低 3 °C (35 °C 降至 32 °C)，仍可顯著提高草坪品質 (Xu and Huang, 2001)。在台灣的氣候條件下，春夏季 IGPIP 之介質溫度較 AGC 低 4-7.5 °C (圖 3.2; 圖 3.3; 圖 3.4)，具有高度應用潛力。

地上盆中盆 (AGPIP) 並不如預期中具有降低介質溫度之效果，其介質溫度變動情形與 AGC 類似 (圖 3.4) 明顯高於 IGPIP。在植物生長表現上，AGPIP 栽植之雞冠花 (表 4.1) 與四季秋海棠 (表 4.9)，其地上部乾鮮重及根乾鮮重皆與 AGC 處理沒有顯著差異，明顯低於 IGPIP 栽植之植株。

London 等人 (1998) 之試驗也有相同結果，於五月中測量 AGC、AGPIP 及 IGPIP 等栽培處理對介質溫度之影響 (試驗地點：a nursery in Moncks Corner,

S.C.)，結果指出 AGPIP 之介質最高溫與 AGC 相近，降低介質溫度效果不佳。London 等人 (1998) 並觀察不同育苗模式對日本女貞 (*Ligustrum japonicum*) 生長表現之影響，結果顯示 IGPIP 栽培之植株生長量明顯高於 AGC 及 AGPIP，而 AGC 及 AGPIP 兩種處理間並沒有顯著差異。但在 Schluckebier 和 Martin(1997)的研究中(試驗地點：Arizona State University Horticulture Resource Center in Tempe, 33.5N 112W)，AGPIP 相較於 AGC 處理，在夏季具有明顯降低土溫之效果；作者使用黑色硬盆進行試驗，夏季 AGC 介質最高溫可達 58 °C，而 AGPIP 介質最高溫僅為 42 °C。林 (1999) 指出 AGPIP 因有外盆遮蔽陽光直射於盆壁的熱能並減少熱能傳導至容器介質中，因此介質溫度較 AGC 低。本試驗之 AGPIP 介質溫度與 AGC 類似，甚至正午時之溫度會略高於 AGC，可能與外盆尺寸及顏色 (紅褐色) 選用不佳導致熱能蓄積有關，此部分需要進一步試驗並作探討，以評估 AGPIP 在苗木生產上之應用潛力。

當植株處於缺水逆境時，葉溫明顯較供水充足時高 (表 4.6)。介質水分含量顯著影響葉溫，Radovich 等人 (2004) 偵測不同介質水分含量對葉溫之影響，介質水分含量分別為 40%-60% (control)、20% - 30% (中度缺水) 及 10%- 20% (嚴重缺水)，結果顯示隨著缺水程度提高，植物之葉片溫度隨之上升，而蒸發散量 (evapotranspiration)、葉片氣孔導度及植株生長量則下降。當植物處於缺水逆境時，氣孔關閉，減緩蒸散作用之進行，避免體內水分過渡散失，此舉將使葉溫顯著提高 (Idoso et al.,1987)，而過高之葉溫不利於光合作用之進行。

在供水充足的情況下，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對葉溫沒有顯著影響，但當植株處於缺水逆境，IGPIP 栽培之植株相較於其他兩種處理，葉溫較低 (表 4.6)。地下盆中盆 (IGPIP) 相對於傳統容器育苗 (AGC) 可顯著降低介質溫度並維持較高之水分含量，維持氣孔正常開閉，因此，在缺水逆境下，IGPIP 栽培之植株葉溫較低。

在供水充足的情況下，AGC、AGPIP 及 IGPIP 三種育苗模式對植株光系統 II

之影響彼此間沒有顯著差異；當停止供水 18 天，植株處於缺水逆境下，Fv/Fm 值明顯下降，但 IGPIP 栽植之植株相較於 AGC、AGPIP 兩種處理，在缺水時有較高的 Fv/Fm 值(表 4.5)。Fv/Fm 為 PS II 反應中心及光捕捉複合體完整性之指標(DeEll et al., 1999)，健康植株之 Fv/Fm 值為一常數，約介於 0.75-0.85 (Bolhar-Nordenkam et al., 1989)，Fv/Fm 降低代表逆境造成光抑制之傷害 (Mena-Petite et al., 2003)。植株在缺水情形下，PS II 反應中心因蒸散作用受阻、葉片溫度升高，造成過多之能量累積，導致反應中心不活化 (Fv/Fm 值降低)。

缺水逆境下比較其他的葉綠素螢光參數，IGPIP栽培之植株Fm、Qp、ΦpsII較AGC、AGPIP栽培之植株高，而Qn值則明顯較低(表4.5)，顯示IGPIP植株之PS II效能較佳。AGC植株Fm下降可能與葉片水解酵素活性下降和葉綠體內電子傳遞速率減緩有關(Mohanty et al., 1989)。Qp表示能量轉為光化學的比例(Peterson et al., 1988)；ΦpsII和電子的實際流動有關(DeEll et al., 1999)；Qn和類囊體光誘導之質子梯度(Peterson et al., 1988)和類囊膜上激發能形成ATP有關(DeEll et al., 1999)。Lu and Zhang (1999)利用小麥幼苗進行缺水和高溫處理，在缺水處理時葉片Qn值增加，但Qp值和光量子產量(ΦpsII)值不受影響；在熱處理時，當溫度超過35℃，其Fv/Fm、Qp、Fm及ΦpsII降低，Fo則上升。番茄葉溫與Fv/Fm值呈高度負相關(Willits and Peet, 2001)，隨著葉溫上升，Fv/Fm會下降，顯示高葉溫會對植物之第二光合作用系統造成嚴重損傷。缺水逆境下，IGPIP育苗模式相對而言可維持較高之介質水分含量，緩和高葉溫現象(表4.6)，降低逆境對光系統II造成之損傷。

當植株處於缺水逆境時，葉綠素計讀值明顯降低，另外，缺水嚴重時，IGPIP栽培之植株相較於AGC、AGPIP兩種處理，有較高的葉綠素計讀值(表4.6)。水分缺乏會改變多種生理、生化過程，影響植物體內的蛋白質之生合成，導致植物光合色素減少(Baquedano and Castillo, 2006)。根溫的升高降低了根系以及葉片中Cytokinin的濃度，此因高根溫抑制根部合成Cytokinin，Cytokinin在植物體內扮

演重要角色，包括細胞分裂及伸長、葉綠體形成、葉綠素及蛋白質的生合成等 (Tachibana *et al.*, 1997)。另外，當根溫過高時，較高的介質水分含量可以減緩高土溫對植物的傷害 (Nielsen, 1974)。IGPIP育苗模式相對而言可維持較高之介質水分含量並顯著降低土溫，減緩介質水分不足及高根溫對葉綠素合成造成之不良影響，因此，缺水逆境下相較於AGC、AGPIP兩種處理，以IGPIP栽植之四季秋海棠有較高的葉綠素計讀值。

2008年9月17日（停止供水18天）以光譜儀分析不同育苗模式對植株葉片反射光譜之影響（圖4.3; 表4.10; 附錄1）。結果顯示AGC栽培之植株在紅移區（720 nm-690 nm）、紅光區（660 nm-630 nm）及綠光區（660 nm-520 nm）之反射率明顯高於AGPIP及IGPIP兩種處理；近紅外光部分，IGPIP栽植之四季秋海棠對近紅外光有較高之反射率，860 nm、840 nm、780 nm三波長最為明顯。

植物遭受環境逆境時，葉片光合色素含量及組織結構發生改變，明顯地影響葉片反射光譜之表現。分析葉綠素計讀值與各波長之相關性，表6.3顯示綠光波段、紅光波段及紅移區之波長反射率與葉綠素計讀值呈極顯著負相關，即葉綠素含量愈高，波長反射率愈低，此結果說明綠光波段、紅光波段及紅移區之波長具有評估植物體葉綠素含量之潛力（詳見第六章）。在缺水逆境下（表4.6），地下盆中盆（IGPIP）可維持較高之葉綠素計讀值，此種育苗模式導致之葉綠素含量差異反應在光譜表現上。

地上盆中盆（AGPIP）栽培之四季秋海棠，當其處於缺水逆境時，葉綠素計讀值與AGC處理沒有顯著差異，且兩種處理之葉綠素含量皆明顯較IGPIP處理低（表4.6），但在光譜表現上，AGPIP之反射光譜卻與IGPIP類似（圖4.3），表4.10之分析結果顯示AGPIP與IGPIP兩種育苗模式，對四季秋海棠各波長反射率之影響彼此間沒有顯著差異。關於AGPIP育苗模式對植株生長、葉綠素含量及反射光譜之影響，需要進一步探討。

隨著缺水天數的增加，植株對近紅外光之反射率逐漸下降（圖7.4），即水分

含量愈少，近紅外光區的反射率愈低（詳見第七章）。葉片結構強烈影響植物體對近紅外光之反射表現，當植物發生缺水現象，細胞膨壓下降，葉片內各種組織、細胞的接觸介面發生變化（ex:葉肉細胞排列緊密，此因葉肉細胞間的空腔（air space）減少所致，而此空腔可強烈反射近紅外光；細胞間隙的水分含量大幅下降，使得組織內細胞壁的彈性變差），此種變化導致葉片對近紅外光之反射率下降（Peñuelas et al., 1993a）。缺水逆境下，IGPIP可維持較高之介質水分含量，葉片失水速率較慢，因此，葉片對近紅外光有較高之反射率（圖4.3）。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。表 4.11 顯示 IGPIP 栽培之植株 PRI 值、NDVI、SR、CHL 皆明顯高於 AGC 處理。PRI、NDVI 及 SR 與植株之光合作用表現呈正相關，另 NDVI、SR 與 CHL 可用來評估植物體葉綠素含量（Gamon et al., 1995; Peñuelas et al., 1993b; Peñuelas et al., 1995; Richardson et al., 2002）。IGPIP 栽植之四季秋海棠淨光合作用效率明顯較高（表 4.7; 表 4.8）；缺水逆境下，IGPIP 栽植之植株擁有較高之葉綠素計讀值（表 4.6），顯示植物體內葉綠素含量較高。植生指數可以精準反應植物體之生理狀態，在苗木品質之評估上，具有高度應用潛力。

五、結論 (Conclusions)

夏季高溫時，使用 IGPIP 系統具有以下效益：

1. 介質溫度較低且較穩定，減緩根溫劇烈變動。
2. 維持較高之介質水分含量。
3. 提高植株地上部與根的生長量。
4. 有利於植株光合作用表現。
5. 有利於植株之開花表現，花數較多、花期較早且花朵鮮重較重。
6. 過高之葉溫不利於光合作用之進行，缺水逆境時，使用 IGPIP 可降

低植株葉溫，減緩高溫對光系統II造成之損傷。

7. IGPIP 栽培之植株相較於 AGC、AGPIP 兩種處理，在缺水逆境下有較高的葉綠素計讀值。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。IGPIP 栽培之植株 PRI 值、NDVI、SR、CHL 皆明顯高於 AGC 處理。PRI、NDVI 及 SR 與植株之光合作用表現呈正相關，另 NDVI、SR 與 CHL 可用來評估植物體葉綠素含量。IGPIP 栽植之四季秋海棠淨光合作用效率明顯較高；缺水逆境下，IGPIP 栽植之植株擁有較高之葉綠素含量。植生指數可以精準反應植物體之生理狀態，在苗木品質之評估上，具有高度應用潛力。



表 4.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對羽狀雞冠花生長狀況及開花表現之影響

Table 4.1. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on growth and flowering of *Celosia argentea* var. *plumosa*^z. n=6.

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	shoot	root	inflorescence	shoot	root	Inflorescence
AGC	75.07 b ^y	31.17 b	7.33 b	4.08 b	4.01 b	0.44 b
AGPIP	74.12 b	32.16 b	6.31 c	4.10 b	4.18 b	0.47 b
IGPIP	126.37 a	44.16 a	8.91 a	6.89 a	5.02 a	0.54 a

^zExperimental duration:2007/08/06-2008/09/07

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.2. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草‘天星’生長狀況及開花表現之影響 (調查日期 2007/09/14)

Table 4.2. Effects of traditional above-ground container production method (AGC) and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on growth and flowering of *Exacum affine*^z. n=6. (Measuring date: 2007/09/14)

Treatment	Plant height (cm)	Canopy diameter (cm)	Flower fresh weight ^y (mg)	L*	a*	b*
AGC	10.42 b ^x	10.22 b	539.84 b	51.93 a	17.87 a	-29.75 a
IGPIP	11.25 a	11.28 a	614.45 a	52.64 a	17.06 a	-24.99 a

^zExperimental duration:2007/07/14-2007/09/14

^yFlower fresh weight is the sum of ten flowers.

^xMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.3. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草‘天星’生長狀況及葉片傷害度之影響 (調查日期 2007/10/14)

Table 4.3. Effects of traditional above-ground container production method (AGC) and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on growth and degree of foliage injury (%) of *Exacum affine*^z. n=6. (Measuring date: 2007/10/14)

Treatment	Plant height (cm)	Canopy diameter (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Degree of foliage injury (%)
			shoot	root	shoot	root	
AGC	15.12 b ^y	14.62 a	13.22 b	2.53 a	1.37 b	0.10 b	28.12 a
IGPIP	17.10 a	17.34 a	21.63 a	2.60 a	1.96 a	0.17 a	11.11 b

^zExperimental duration:2007/07/14-2007/10/14

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.4. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia Red’生長狀況及開花表現之影響

Table 4.4. Effects of traditional above-ground container production method (AGC) and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on growth and flowering of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia Red’^z. n=6.

Treatment	Plant height (cm)	Canopy diameter (cm)	Days to first visible bud	Days to first flowering	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
					shoot	root	shoot	root
AGC	11.92 b ^y	16.83 a	23 a	34 a	71.48 b	4.12 a	1.80 b	0.21 b
IGPIP	18.00 a	18.17 a	18 b	28 b	95.60 a	4.52 a	2.38 a	0.30 a

^zExperimental duration:2007/08/28-2007/10/01

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.5. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆(AGPIP)及地下盆中盆(IGPIP)對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於非缺水逆境與缺水逆境下最小螢光(Fo)、最大螢光(Fm)、PSII 最大光量子產能(Fv/Fm)、光化學猝熄係數(Qp)、非光化學猝熄係數(Qn)及光子產量(Φ_{psII})之影響

Table 4.5. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on Fo, Fm, Fv/Fm, Qp, Qn, and Φ_{psII} of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under no drought or drought conditions . n=6.

Treatment	Fo	Fm	Fv/Fm	Qp	Qn	Φ_{psII}
No drought stress ^z						
AGC	315.8 a ^y	1645.6 a	0.80 a	0.77 a	0.04 a	0.62 a
AGPIP	320.2 a	1661.4 a	0.81 a	0.77 a	0.04 a	0.62 a
IGPIP	304.2 a	1637.4 a	0.81 a	0.76 a	0.03 a	0.62 a
Under drought stress						
AGC	359.0 a	1196.8 b	0.69 b	0.69 b	0.31 a	0.42 b
AGPIP	343.6 a	1210.7 b	0.71 ab	0.71 b	0.28 a	0.46 b
IGPIP	353.3 a	1337.2 a	0.73 a	0.74 a	0.18 b	0.51 a

^zMeasure date of no drought stress and under drought stress are 2008/8/27 and 2008/9/17.

^yMean separation within columns and drought treatments by LSD test at $P \leq 0.05$.

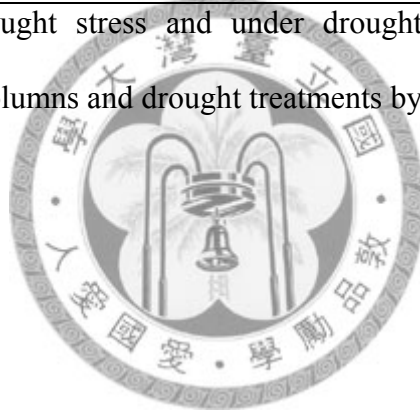


表 4.6. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於非缺水逆境與缺水逆境下葉綠素計讀值及葉溫之影響

Table 4.6. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on CMR (SPAD-502 value) and foliage temperature of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White' under no drought or drought conditions. n=6.

	CMR		Foliage temperature	
	No drought stress ^z	Under drought stress	No drought stress ^y (38.5 °C ^x)	Under drought stress (38.0 °C)
AGC	29.64 a A ^w	18.83 b B	35.64 a B	41.07 a A
AGPIP	28.25 a A	19.22 b B	35.58 a B	41.16 a A
IGPIP	29.02 a A	21.99 a B	35.02 a B	39.95 b A

^zMeasure date of no drought stress and under drought stress of CMR are 2008/9/4 and 2008/9/17.

^yMeasure date of no drought stress and under drought stress of foliage temperature are 2008/8/20 and 2008/9/17.

^xAir temperature at the time when measuring foliage temperature.

^wMeans separation within the same rows (upper case) and columns (lower case) by different letters were significantly at 5% level by LSD test.

表 4.7. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率之影響 (調查日期 2008/9/10, 停止供水 11 天)

Table 4.7. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (gs), and transpiration rate (E) of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White'. n=6. (Measure date: 2008/9/10, stop watering for 11 days)

	Pn ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
AGC	3.51 b ^z	0.18 b	1.38 b
AGPIP	4.09 ab	0.25 b	1.62 b
IGPIP	4.43 a	0.40 a	2.47 a

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.8. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率之影響 (調查日期 2008/9/27, 恢復正常供水)

Table 4.8. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (gs), and transpiration rate (E) of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White'. n=6. (Measure date: 2008/9/27, return to water)

	Pn ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
AGC	2.55 c ^z	0.09 b	0.51 b
AGPIP	2.98 b	0.10 b	0.54 b
IGPIP	3.73 a	0.12 a	0.64 a

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.9. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 生育表現之影響

Table 4.9. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on growth of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White'^z. n=6.

Treatment	Plant height (cm)	Canopy diameter (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
			shoot	root	shoot	root
AGC	201.0 b ^y	174.2 b	78.8 b	1.80 b	2.14 b	0.22 b
AGPIP	217.5 ab	175.8 b	79.9 b	1.71 b	2.17 b	0.21 b
IGPIP	234.2 a	197.5 a	101.9 a	2.44 a	2.68 a	0.28 a

^zExperimental duration: 2008/8/12-2008/9/27

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 4.10. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於缺水逆境下各波長反射率之影響 (調查日期: 2008/9/17)

Table 4.10. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on the reflectance at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White' under drought treatments. n=5. (Measure date:2008/9/17)

	860 nm	840 nm	780 nm	720 nm	710 nm	700 nm	690 nm	660 nm	650 nm	640 nm
AGC	57.01 b ^z	58.23 b	58.47 b	43.55 a	31.21 a	16.84 a	6.62 a	5.64 a	6.07 a	7.14 a
AGPIP	57.88 ab	58.58 ab	58.88 ab	41.65 b	28.56 b	14.48 b	5.80 b	5.21 b	5.51 b	6.31 b
IGPIP	58.55 a	59.64 a	59.91 a	41.88 b	28.32 b	14.11 b	5.77 b	5.20 b	5.47 b	6.21 b
	**	*	*	*	**	***	***	*	**	**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

*, **, *** Significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.



表 4.10.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於缺水逆境下各波長反射率之影響 (調查日期: 2008/9/17)

Table 4.10. Continued.

	630 nm	600 nm	590 nm	580 nm	570 nm	560 nm	550 nm	540 nm	530 nm	520 nm
AGC	8.04 a ^z	10.18 a	10.87 a	12.25 a	14.92 a	17.88 a	18.53 a	17.97 a	16.04 a	11.41 a
AGPIP	7.01 b	8.75 b	9.28 b	10.53 b	12.81 b	15.48 b	16.15 b	15.61 b	13.86 b	9.76 b
IGPIP	6.81 b	8.52 b	9.05 b	10.27 b	12.57 b	15.26 b	15.96 b	15.46 b	13.70 b	9.60 b
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

** Significant at $P < 0.01$.

表 4.11. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’處於缺水逆境下 PRI、SR、NDVI、CHL 四植生指數數值之影響

Table 4.11. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on the values of PRI, SR, NDVI and CHL of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under drought treatments. n=5.

	PRI ^x	SR	Chl	NDVI
AGC	0.047 b ^z	10.402 b	0.414 b	0.824 b
AGPIP	0.050 ab	11.334 a	0.463 a	0.837 a
IGPIP	0.054 a	11.532 a	0.475 a	0.840 a

^zMean separation in columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yPRI=(R₅₃₁-R₅₇₀)/(R₅₃₁+R₅₇₀), SR=R₈₀₀/R₆₆₀, NDVI=(R₈₀₀-R₆₆₀)/(R₈₀₀+R₆₆₀)

CHL=(R₇₅₀-R₇₀₅)/(R₇₅₀+R₇₀₅),





圖 4.1. 羽狀雞冠花地下盆中盆 (IGPIP) 育苗模式圖

Fig. 4.1. The picture of in-ground pot-in-pot system of *Celosia argentea* var. *plumose*.

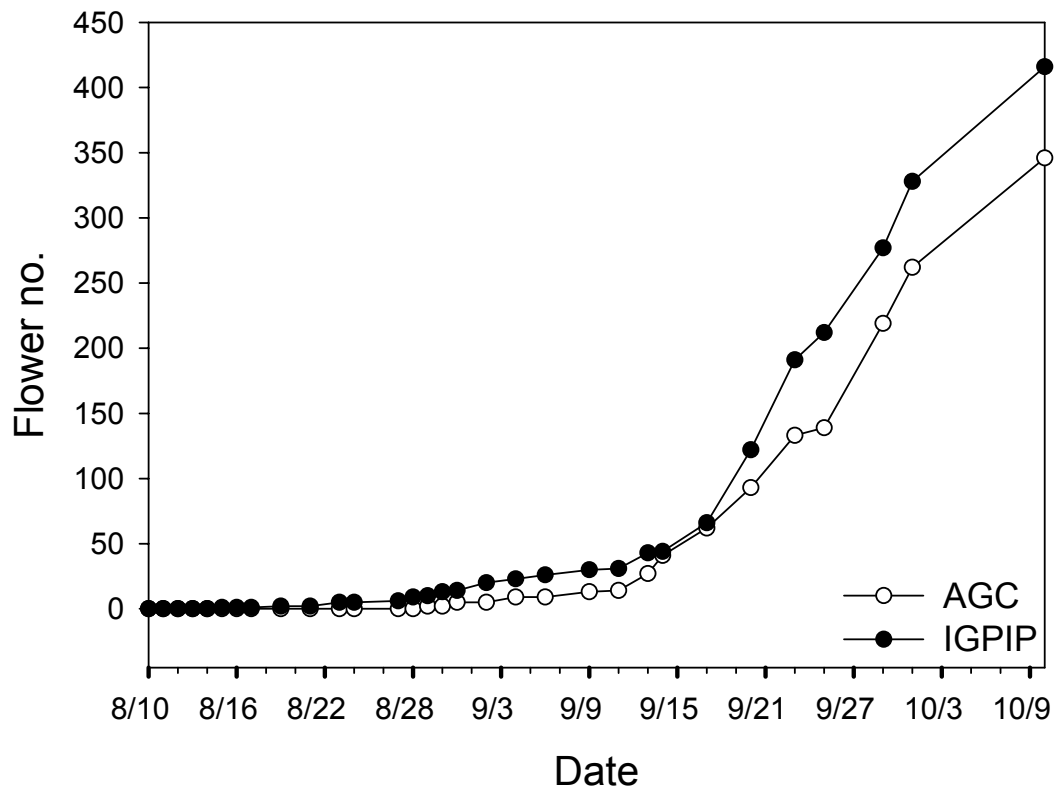


圖 4.2. 傳統容器育苗 (AGC) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對紫芳草開花數之影響 (n=12, 記錄日期 2007/8/10-2007/10/10)

Fig. 4.2. Effects of traditional above-ground container production method (AGC) and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on flowering number of *Exacum affine*^z from 2008/8/10 to 2008/10/10.n=12.

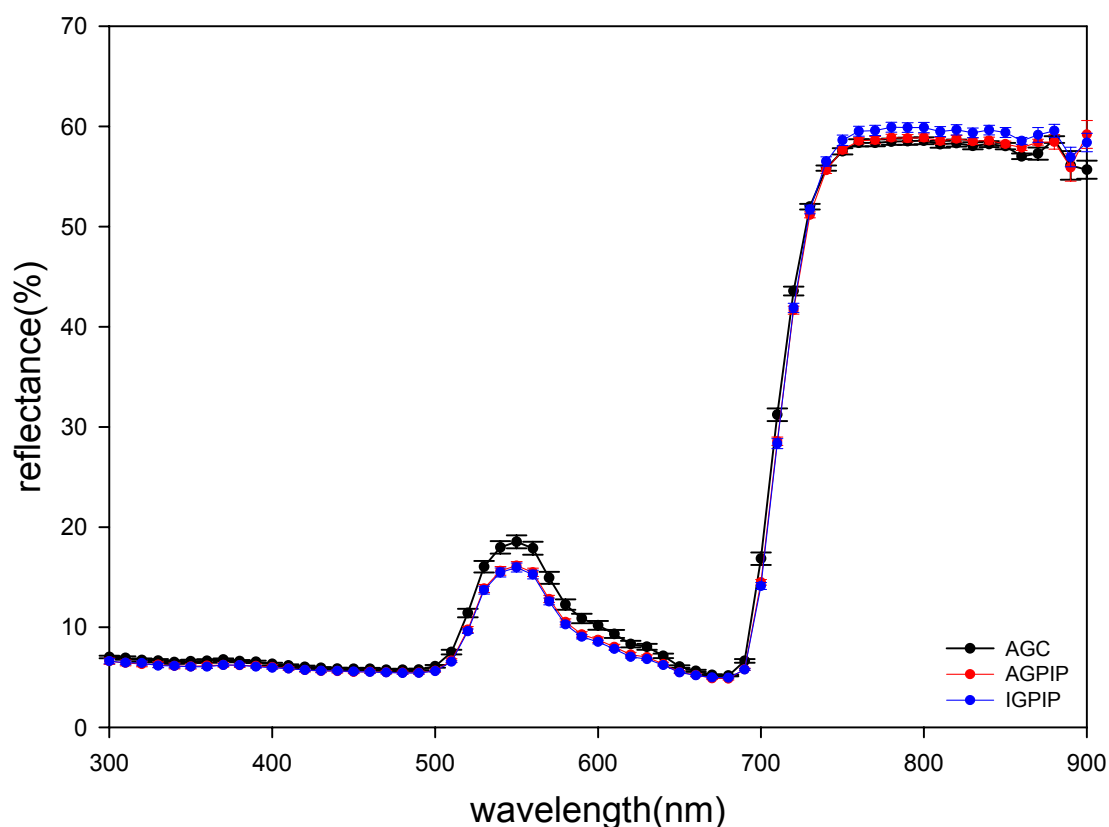


圖 4.3. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於缺水逆境下葉片反射光譜之影響 (測量日期: 2008/9/17)

Fig. 4.3. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on the reflectance curves of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White'. Bars indicate standard errors of the mean; n=5. (Measure date:2008/9/17)

第五章 不同育苗模式對翠蘆荊及黃金金露華生育表現及定(移)植後生長勢恢復情況之影響

Chapter 5. Effects of Production Methods on Growth and Recovery from Transplanting of *Ruellia brittoniana* and *Duranta repens* L.

摘要 (Abstract)

苗木依生產方式大致可分為田間苗與容器苗，容器苗木在容器的尺寸和苗圃管理上較具規格化與標準化，極可能成為台灣未來景觀綠化應用的發展趨勢。本試驗以翠蘆荊 (*Ruellia brittoniana*) 及黃金金露華 (*Duranta repens* L.) 為材料，進行傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC)、地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 及田間栽培 (in-field production method, IF) 三種育苗模式，探討其對植株育苗期生育表現及移植後生長情形之影響。結果顯示：1. 育苗期間翠蘆荊與黃金金露華之地上部生長量以IF處理最高、IGPIP次之、AGC最低；2. 植株移植後相較於IF處理，IGPIP與AGC兩種育苗模式生產之苗木恢復速度快，生長狀況良好；3. 水分逆境下，黃金金露華移植初期之Fv/Fm以IGPIP植株最高、IF次之、AGC最低；移植後7天AGC植株之生長勢逐漸恢復；移植後IF植株之Fv/Fm逐漸下降，直至移植後11天Fv/Fm才開始上升；IGPIP植株移植後之Fv/Fm始終維持在0.8以上。由於IGPIP育苗模式可顯著提高植株生長量，且缺水逆境下生產之苗木品質與移植後之表現均較AGC植株與IF植株為佳，因此，在台灣的育苗產業上深具應用潛力。

一、前言 (Introduction)

苗木依生產方式大致可分為田間苗與容器苗 (Davidson et al., 1988)，田間栽培 (In-field production method, IF) 生產之田間苗，其移植前苗木需要經過斷根、枝葉修剪和起苗等繁雜措施，易造成苗木的移植受季節限制、定植後的恢復期較長及移植後的存活率較低等缺點。現今先進國家的苗木生產已廣為採用容器苗木，在容器的尺寸和苗圃管理上較具規格化與標準化，所以容器苗木亦極可能成為台灣未來景觀綠化應用的發展趨勢 (張, 2004)。

所謂容器苗是指苗木生產從繁殖、培育到成木或其應用的過程在容器內進行者 (許圳塗, 1995)。而日本建設省、日本造園建設業協會及日本植木協會對於容器苗所下的定義為：植物栽培於容器內一段時間，根發育良好且不伸出容器外，並具有完整土團且無過度盤根者 (進藤 等人, 1998)。

容器苗木生產通常具有以下優點。單位面積產量較田間栽培高，土地需求較小，同時因栽植密度高，可有效控制人力分配及調節生產週期；節省田間管理工作，包括灌溉、施肥、雜草防制、施藥、整株等工作；容器苗木育成之完整植株，移植過程無根球之傷害，所以不需修枝除葉，週年皆可栽植且成活率高、恢復迅速；使用容器栽培，介質量輕、產品容易規格化管理、儲運方便，可降低管運成本；產品外觀完整優美，產品評價高，週年皆可供應 (蕭, 2006)。

容器育苗雖有上述優點，但仍有其使用上之限制。包括管理密集，所需設備較多 (防風設施、容器材料)，投資成本高；容器空間有限，介質保水量較田間栽培差，水源供應需充足，水質較為講究；苗木易受環境條件之影響，根部易受日曬燒傷、缺水乾燥或寒凍傷害等；容器限制根部伸展，苗木在容器內養成時間過長，會形成盤根，妨害日後正常發育 (蕭, 2006)。

地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 將欲生產之容器苗木(內盆)放入外盆中，而外盆埋在土壤裡，此種育苗模式不僅可以解決田間栽培及傳統容

器育苗遭遇到的困境，更結合兩種育苗方法的優點，能為栽培者創造更高利潤（Parkerson, 1990）。

Martin 等人(1999)於夏季測量傳統容器育苗(traditional above-ground container production method, AGC)及地下盆中盆(IGPIP)兩種育苗模式之介質溫度變化情況(試驗地點:Desierto Verde Wholesale Nursery in Tempe, 33.5N 112W, AZ)，結果顯示 IGPIP 之介質溫度明顯較低，至多可比 AGC 低 19 °C，亦可盡量使介質溫度保持在 40 °C 以下，避免土溫過高對植物根部產生傷害。此外，作者測量盆內東側、西側及中央之介質溫度，IGPIP 盆內介質溫度較為穩定，而 AGC 盆內不同區域之介質溫度變動劇烈，以西側介質溫度最高(16:00 西曬期間，介質溫度可飆升 50 °C)，故作者認為夏季高溫時，IGPIP 確實能有效維持較低且穩定之介質溫度，減緩高土溫及劇烈根溫變動對植株造成之不良影響。

Martin 等人(1999)進一步研究 AGC 及 IGPIP 介質水分變化，以土壤濕度記(soil moisture sensor)偵測介質水分含量，將土壤水勢控制在-0.005 至-0.010 Mpa (90 % 含水量)，當水勢過低，儀器會自動給水。結果顯示一週內，AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式之給水量以 IGPIP 給水量比 AGC 少 40%。Cardoso 等人(2005)利用 AGC、IGPIP 栽植六種多年生野花，測量介質溫度及水分含量變化，結果顯示 IGPIP 之介質溫度平均較 AGC 低 10 °C，且 IGPIP 之水分蒸發量較 AGC 低 10%。前人研究顯示 IGPIP 之介質溫度較低，可減緩介質之水分蒸發速率，維持一相對較高的水分含量，此舉可成功減緩根溫之劇烈變動。

比較傳統容器育苗法(AGC)、地下盆中盆(IGPIP)及田間栽培(IF)三種育苗模式之投資效益(Adrian et al., 1998)，結果顯示在 3 年的栽植期中，IGPIP 的投資效益最高，平均生產一棵紫薇(*Lagerstroemia indica*)只需 \$ 21.52，低於 AGC 的 \$ 23.71 與 IF 的 \$ 23.73。使用 IGPIP 可降低生產成本，主要是因為與 AGC 相比較不需集約管理、植株不需打樁固定以防強風吹倒，且單位生產量較高；相較於 IF，則 IGPIP 植株收穫時不需斷根，節省勞力並減輕對植物根部的傷害，可快速生

產品質較佳的植物。

本試驗以翠蘆莉 (*Ruellia brittoniana*) 及黃金金露華 (*Duranta repens* L.) 為材料，進行傳統容器育苗法 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式試驗，欲瞭解在台灣之氣候條件下，三種模式對植株育苗期生育表現及移植後生長情形之影響，並評估地下盆中盆 (IGPIP) 在台灣育苗產業上之應用潛力。



二、材料方法 (Materials and Methods)

(一) AGC、IGPIP 及 IF 對翠蘆莉生育表現及定植後生長勢恢復情況之影響

參試材料為公館自來水園區水源地苗圃自行繁殖之翠蘆莉 (*Ruellia brittoniana*) 扦插苗，2007 年 9 月 30 日移植至 6 寸盆並開始進行傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式。此時苗高 10cm，栽培介質為植物殘骸有機堆肥，試驗地點在公館自來水園區水源地苗圃，試驗期間沒有遮陰。

三種育苗模式：

1. 地下盆中盆育苗模式 (In-ground pot-in-pot system, IGPIP)：長寬高為 250 cm × 200 cm × 50 cm 之大型花箱填入植物殘骸堆肥至 9 分滿，將 20 個 6.5 寸盆 (外盆) 埋入介質中，邊緣露出土面 2cm，內盆為栽植翠蘆莉之 6 寸盆，放置至外盆中，避免內盆盆壁直接遭受陽光照射。IGPIP 育苗模式佔花箱一半的空間。
2. 田間栽培 (In-field production method, IF)：扦插苗直接栽植入大型花箱的另一半空間，以模擬田間栽培模式，使根系自由伸展不受限於盆子。
3. 傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC)：6 寸盆直接放置在地面上，沒有任何額外裝置。

2008 年 2 月 15 日調查植株枝條長度與枝條數 (n=6)，育苗模式試驗於 2008 年 04 月 20 日結束。每天澆水 1 至 2 次，平均 1 至 2 週進行一次施肥，每種栽培處理 20 重複，每重複各 1 盆，每盆 1 株植物。試驗結束後隨機取六重複調查株高、節數、地上部鮮重及地下部鮮重 (地下莖+根)。2008 年 04 月 21 日每處理隨機取 6 重複進行定植，定植地點在台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚，觀察移植後一週及一個月之植物生長勢恢復情況。

(二) AGC、IGPIP 及 IF 對黃金金露華生育表現及移植後生長勢恢復情況之影響

參試材料為 2008 年 3 月 2 日訂購自彰化埔茂園藝之黃金金露華 (*Duranta repens* L.) 三寸黑軟盆小苗，於 2008 年 3 月 24 日移植至 6 寸盆，3 月 25 日開始進行傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式試驗，此時苗高 12cm，栽培介質為田土並拌入緩效性肥料 (Osmocote 14-14-14, 5 g/pot)，試驗地點在台灣大學生農學院附設農業試驗場簡易遮雨棚，育苗模式試驗於 2008 年 8 月 28 日結束。

三種育苗模式試驗 (以下所述之畦床分別 A、B 兩組，每組每種處理 8 盆，1 盆 1 重複，共 16 重複)：

1. 地下盆中盆育苗模式 (IGPIP)：長寬高為 250 cm × 200 cm × 60 cm 之畦床填入田土至 8 分滿，放置方法同試驗一之 IGPIP。
2. 田間栽培 (IF)：放置方法同試驗一之 IF。
3. 傳統容器育苗 (AGC)：放置方法同試驗一之 AGC。

8 月 1 日進行第一次移植，每種栽培處理於 A 組中隨機選取 4 株移植。8 月 16 日至 8 月 28 日停止供水 (共 12 天)，8 月 28 日進行第二次移植，每種栽培處理於 B 組中隨機選取 4 株移植。移植進行時調查株高及幅寬，並將三種育苗模式生產之植株移植至 10 寸盆 (試驗地點：台灣大學園藝學系花卉館頂樓溫室)，栽培介質為含有 20% 真珠石之泥碳苔商業介質 (Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)。植株移植後約 3-4 天澆水一次，1-2 週施肥一次，施以 200 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)。

8 月 5 日、8 日、11 日、13 日、18 日調查黃金金露華第一次移植後植株之 Fv/Fm (調查時間：14:00-15:00，測量之葉片為第 10-12 片)，並於 8 月 13 日拍攝植物生長情形。8 月 28 日、9 月 4 日、8 日、11 日、15 日調查黃金金露華第二次移

植後植株之 Fv/Fm (時間、測量方法同第一次移植)，用以瞭解不同育苗模式對植株移植後表現之影響。一盆測 4 片葉子，共四盆 16 重複。

所有試驗皆採完全逢機設計 (Complete randomized design, CRD)。試驗結果以變方分析 (Analysis of variance, ANOVA) 測驗其顯著性，以最小顯著差異 (Least significant difference, LSD) 分析處理間有無顯著差異 ($P \leq 0.05$)。統計軟體為 COSTAT 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)，繪圖軟體為 SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

三、結果 (Results)

(一) AGC、IGPIP 及 IF 對翠蘆荊生育期間及移植後表現之影響

2007 年 9 月 30 日至 2008 年 4 月 20 日使用傳統容器育苗 (AGC)、地下盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種模式種植翠蘆荊。2008 年 2 月 15 日調查枝條長度與枝條數 (圖 5.1)，AGC 植株缺乏長度大於 50 cm 之枝條，且總枝條數明顯低於 IGPIP 植株及 IF 植株。

試驗結束後 (2008 年 4 月 20 日) 調查植株生長狀況，表 5.1 顯示株高、節數、地上部生長量皆以 IF 植株最高、IGPIP 次之、AGC 最低。IF 植株移植時需要斷根，因此，計算地下部生長量時沒有地下莖數據，且拔取後之根鮮重明顯較其他兩種處理低，僅有 10.75 g。比較 AGC 與 IGPIP 兩種處理對翠蘆荊地下部生長之影響，IGPIP 栽培之植株地下莖生長量 (84.24 g) 明顯較 AGC (39.82 g) 高，但根生長量則以 AGC 栽培之翠蘆荊較高。

2008 年 4 月 21 日隨機選取 6 株植株進行定植，觀察定植後植株之生長勢恢復情況。移植後一週，三種處理中以 IF 栽植之翠蘆荊苗恢復情況最差，植株呈現倒伏狀態 (圖 5.2 A)；移植後一個月，IGPIP 及 AGC 兩種育苗模式生產之翠蘆荊苗恢復情況良好，而 IF 植株樹形明顯不佳 (圖 5.2 B)。

(二) AGC、IGPIP 及 IF 對黃金金露華生育表現及移植後生長勢恢復情況之影響

2008 年 3 月 25 日至 2008 年 8 月 27 使用傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種模式種植黃金金露華，黃金金露華分別於 2008 年 8 月 1 日及 2008 年 8 月 28 日進行兩次移植，第一次移植時，植株未遭遇缺水逆境；第二次移植時，植株遭遇缺水逆境 (移植前停止供水 12 天)。

移植時，調查植株之株高及幅寬，結果顯示兩次移植時 (表 5.2；圖 5.3；圖 5.4)，株高及幅寬皆以 IF 植株最大、IGPIP 植株次之、AGC 植株最低。圖 5.4 為第二次移植時 (停止供水 12 天) 黃金金露華之生長情形，由圖中可清楚看到 AGC 植株失水情形嚴重。

調查植株移植後之 Fv/Fm 值變化情形。第一次移植後 (圖 5.5)，田間苗之 Fv/Fm 值明顯低於 AGC、IGPIP 兩種育苗模式，且隨著移植天數增加，Fv/Fm 值由 0.73 降至 0.42；AGC 及 IGPIP 植株，移植後之 Fv/Fm 值皆高於 0.8，隨著移植天數增加，AGC 植株之 Fv/Fm 值略有上升 (由 0.82 升至 0.84)，IGPIP 植株之 Fv/Fm 值變化較不明顯，維持在 0.84 左右。觀察第一次移植後 12 天 (8 月 13 日) AGC、IGPIP 及 IF 植株之生長情形，圖 5.6 顯示 IF 植株葉片嚴重乾枯，AGC 與 IGPIP 植株恢復狀況良好。

2008 年 8 月 28 日進行第二次移植 (移植前植株停止供水 12 天)，圖 5.7 顯示移植時，IF (0.84) 與 IGPIP (0.85) 植株之 Fv/Fm 值明顯高於 AGC 植株 (0.26)。隨著移植天數增加，IF 植株之 Fv/Fm 值下降，9 月 8 日 Fv/Fm 值降至最低 (0.50)，隨後逐漸上升至 0.77。AGC 植株移植時植株嚴重缺水，導致 Fv/Fm 值僅為 0.26，隨著移植天數增加，植株逐漸恢復活力，萌出新葉，9 月 8 日測量新葉之 Fv/Fm 值上升至 0.80。IGPIP 植株相較於 AGC、IF 兩種育苗模式，移植後 Fv/Fm 值較為穩定 (維持在 0.83 以上)。

四、討論 (Discussion)

使用傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式種植翠蘆荊及黃金金露華，結果顯示 IF 植株地上部生長量最高、IGPIP 植株次之、AGC 植株地上部生長量最低 (表 5.1、5.2；圖 5.3、5.4)。

IGPIP 植株與 AGC 植株之地上部生長量明顯較 IF 植株低，此因容器會限制根系生長，且介質水分含量容易不足所致。Meter 和 Cunliffe (2004) 以 480 ml、2.7L 及 6.4L 三種尺寸之塑膠盆種植觀賞性草類，結果顯示塑膠盆尺寸愈大，植株地上部乾重及根乾重明顯增加。以田間栽培生產之膠皮糖香樹 (*Liquidambar styraciflus* L.)、維吉尼亞櫟 (*Quercus virginiana* Mill.)、銀槭 (*Acer saccharinum* L.)、白臘樹 (*Fraxinus Pennsylvania* Marsh.)、冬青 (*Ilex attenuata* Ashe. 'East Palatka')、橡樹 (*Quercus laurifolia* Michx.) 等苗木地上部生長量均較容器苗高 (Cole et al., 1998; Gilman and Beeson, 1996; Ingram et al., 1987)。

IGPIP 植株之地上部生長量明顯較 AGC 植株高。Ruter (1997; 1998) 以 AGC、IGPIP 兩種模式栽植庭園櫻花 (*Prunus incamp* 'Okame') 與樺木 (*Betula nigra*)，結果顯示 IGPIP 栽植之植株地上部乾重、根乾重皆明顯高於 AGC 處理。Martin 等人 (1999) 利用金合歡 (*Acacia smallii* L.) 進行 AGC、IGPIP 兩種處理，其中以 IGPIP 栽植之植株株高較高、徑粗較大，且地上部及根的乾重皆明顯高於 AGC 處理。以 IGPIP、AGC 栽植美人蕉 (*Canna flaccida*)、鳶尾 (*Iris versicolor*) 及燈心草 (*Juncus effusus*)，結果顯示 IGPIP 栽植之美人蕉與燈心草株高較高且根量較多；鳶尾則以 IGPIP 栽植者分枝數明顯高於 AGC 處理 (Merritt et al., 1996)。

相較於傳統容器育苗 (AGC)，使用地下盆中盆 (IGPIP) 可顯著提高植株地上部生長量，此與 IGPIP 之介質溫度較低、根溫變動較不激烈及水分含量較高有關 (詳見第三章)。前人研究指出 IGPIP 之介質溫度明顯較 AGC 低，並可維持較高之介質水分含量，減緩根溫劇烈變動對植株造成之不良影響 (Martin et al., 1999; Cardoso et al., 2005)。

IF 栽培之翠蘆荊移植時根鮮重僅有 10.75 g，明顯低於 AGC 與 IGPIP 植株，

此因 IF 植株移植時需要斷根，根系嚴重受損所致（缺乏地下莖數據）（表 5.1）。比較 AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式對翠蘆荊地下部（地下莖+根）生長量之影響，IGPIP 植株之地下莖生長量（84.24 g）明顯高於 AGC 植株（39.82 g），此有助於地上部枝條數之增加（圖 5.1），但因盆子空間有限，過多之地下莖反而壓縮到根系生長空間，導致 IGPIP 根生長量（30.60 g）反而較 AGC 植株（51.52 g）低。

觀察翠蘆荊及黃金金露華植株移植後之生長勢恢復情形。圖 5.2 A 顯示田間栽培之翠蘆荊移植後恢復速度緩慢，移植後一週植株仍呈現倒伏狀態；比較 AGC、IGPIP、IF 植株移植後一個月之生長情況（圖 5.2 B），IF 植株樹形明顯不佳，而 IGPIP 植株之根生長量雖然移植時較 AGC 植株低，但移植後兩者恢復情況類似。圖 5.5 顯示第一次移植時（植株未遭遇缺水逆境），IF 栽植之黃金金露華移植後表現不佳，Fv/Fm 顯著低於 AGC 與 IGPIP 植株，而 AGC 與 IGPIP 植株之 Fv/Fm 彼此間無顯著差異；圖 5.7 顯示第二次移植時（植株遭遇缺水逆境），IF 栽植之黃金金露華移植後恢復速度緩慢，移植後 11 天 Fv/Fm 值才開始上升，移植後 18 天 Fv/Fm 上升至 0.77，但仍較移植時低（移植時 IF 植株之 Fv/Fm 值為 0.84）。田間苗移植時需要起苗、斷根等措施，容易對根系造成嚴重損傷，導致植株移植後生長勢恢復速度緩慢（張, 2004; Davidson et al., 1988）；容器苗移植時根系受損情形輕微，移植後植株之恢復情形較佳（蕭, 2006）。另外，當育苗期間無顯著逆境時，AGC 與 IGPIP 兩種育苗模式生產之苗木，植株移植後之恢復情形皆良好（圖 5.2；圖 5.5.）。

葉部所吸收的輻射能僅部分用於光化學過程，其餘則以葉綠素螢光、磷光、及熱能等方式散失。此等消散激發葉綠素能量的過程是相互競爭的，一旦光合作用速率、熱量散失過程發生改變，將伴隨葉綠素螢光的釋放量亦隨之改變。如今，「葉綠素螢光分析」已成為一項強有力且廣泛被採用的技術，用以分析葉片之光合作用能力與瞭解光合作用組成狀態的一種非破壞性且快速的方法(Maxwell and Johnson, 2000)。健康植株之 Fv/Fm 值為一常數，約介於 0.75-0.85(Bolhar-Nordenkam

et al., 1989), 當植株遭受逆境時 Fv/Fm 值會下降 (Lu and Zhang ; 1999; Yang et al., 1996) 。

田間栽培之黃金金露華植株第一次移植後之 Fv/Fm 值明顯較 AGC 及 IGPIP 植株低, 且隨著移植天數增加, Fv/Fm 值逐步下降, 移植後 17 天 Fv/Fm 值甚至降至 0.42 (圖 5.5)。Fv/Fm 為 PS II 反應中心及光捕捉複合體完整性之指標 (DeEll et al., 1999), Fv/Fm 降低代表逆境造成光抑制之傷害 (Mena-Petite et al., 2003) 。田間苗由於移植時根系受損, 吸水能力下降, 易引起植株水分之缺乏 (Ferree et al., 1992), 導致移植後氣孔導度降低、光合作用速率下降 (Harris and Gilman, 1993), 影響 PS II 反應中心及光捕捉複合體之活性與完整性。Thomas 和 Turner (2001) 指出植株在缺水情形下, PS II 反應中心因蒸散作用受阻、葉片溫度升高, 造成過多之能量累積, 導致反應中心不活化 (Fv/Fm 值降低) 。

觀察植株第一次移植後 12 天之生長情形 (圖 5.6), AGC 與 IGPIP 植株之恢復情況良好, 而 IF 植株移植後葉片嚴重乾枯, 顯示其遭遇嚴重缺水逆境。苗木在移植時若能保留大量根團並具有較完整根系, 則移植後之生長及恢復速度較為迅速 (張, 2004) 。AGC 及 IGPIP 植株皆為容器苗, 移植時可減少挖掘、根系完整性高、移植較不受季節限制, 且植株移植後存活率高、恢復期短 (陳和周, 1995) 。

比較第一次移植 (植株未遭遇缺水逆境) 與第二次移植 (移植前刻意予以缺水處理) 後, AGC 與 IGPIP 植株之 Fv/Fm 變化。結果顯示第一次移植後 AGC 與 IGPIP 植株之 Fv/Fm 值彼此間沒有顯著差異 (圖 5.5) ; 第二次移植後 IGPIP 植株之 Fv/Fm 值皆維持在 0.83 以上, 而 AGC 植株移植時植株嚴重缺水, 導致 Fv/Fm 值僅為 0.26 (圖 5.7), 直至移植後 11 天才觀察到有新葉萌發 (Fv/Fm 上升至 0.80) 。此結果與第四章以四季秋海棠進行之乾旱試驗結果相符。在供水充足的情況下, AGC 及 IGPIP 兩種育苗模式對植株光系統 II 之影響沒有顯著差異, 但當植株處於乾旱逆境下, IGPIP 栽植之植株相較於 AGC 處理, 在缺水時有較高之 Fv/Fm 值。此因 IGPIP 相對而言可維持較高之介質水分含量 (與介質溫度較低有關), 降低逆境對光系統 II 造成之

損傷。水分逆境下，IGPIP相較於AGC及IF兩種育苗模式，植株移植後之Fv/Fm值較高且較穩定，在粗放栽培或降雨不足之地區具有高度應用潛力。

五、結論 (Conclusions)

地下盆中盆 (IGPIP) 相較於傳統容器育苗 (AGC) 及田間栽培 (IF) 具有以下優勢：

1. IGPIP栽培之翠蘆莉與黃金金露華地上部生長量明顯較AGC植株高。
2. 相較於IF，IGPIP植株移植後恢復速度快，生長狀況良好。
3. 水分逆境下，IGPIP相較於AGC，植株移植時與移植後之Fv/Fm值明顯較高 (Fv/Fm值維持在0.83以上)，此因在缺水逆境下，IGPIP相對而言可維持較高之介質水分含量 (與介質溫度較低有關)，降低逆境對光系統II造成之損傷。但當育苗期間無顯著逆境時，AGC與IGPIP兩種育苗模式生產之苗木，植株移植後之恢復情形皆良好。

由本試驗可知，地下盆中盆 (IGPIP) 在台灣的苗木生產上深具應用潛力，水分逆境下之使用效益更高。

表 5.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對翠蘆荊生長狀況之影響

Table 5.1. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on growth of *Ruellia brittoniana*^z. (n=6)

Treatments	Plant height (cm)	Node no.	Fresh weight (g)			
			shoot	all underground parts	underground stem	root
AGC	49.2 c ^y	11.8 c	188.30 c	96.62 b	39.82 b	51.52 a
IGPIP	69.1 b	14.8 b	290.58 b	125.92 a	84.24 a	30.60 b
IF	101.5 a	16.7 a	603.38 a	---	---	10.75 c

^zExperimental duration:2007/09/30-2008/04/20

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 5.2. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次及第二次移植時株高與幅寬之影響

Table 5.2. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on plant height and canopy diameter of *Duranta repens* L. at the first time and the second time of transplanting. (n=4)

Treatments	Plant height (cm)	Canopy diameter (cm)	
		First transplanting ^z	
AGC	21.5 c ^x	28.0 c	
IGPIP	35.8 b	40.3 b	
IF	62.0 a	72.0 a	
		Second transplanting ^y	
AGC	22.0 c	33.5 b	
IGPIP	34.0 b	38.3 b	
IF	82.3 a	77.5 a	

^zFirst transplanting date: 2008/8/1

^ySecond transplanting date: 2008/8/28

^xMean separation within columns and treatments by LSD test at $P \leq 0.05$.

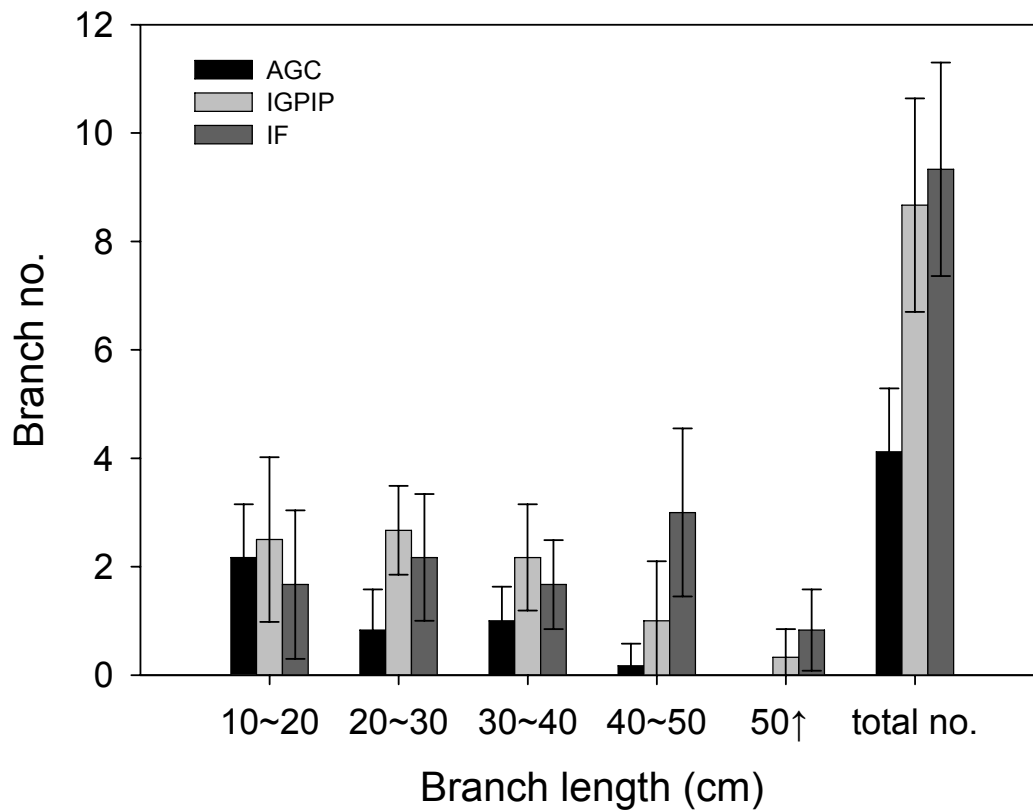


圖 5.1. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 對翠蘆荊枝條生長數量及枝條長度之影響

Fig. 5.1. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on branch no. and branch length of *Ruellia brittoniana*. Bars indicate standard errors of the mean. (n=6)

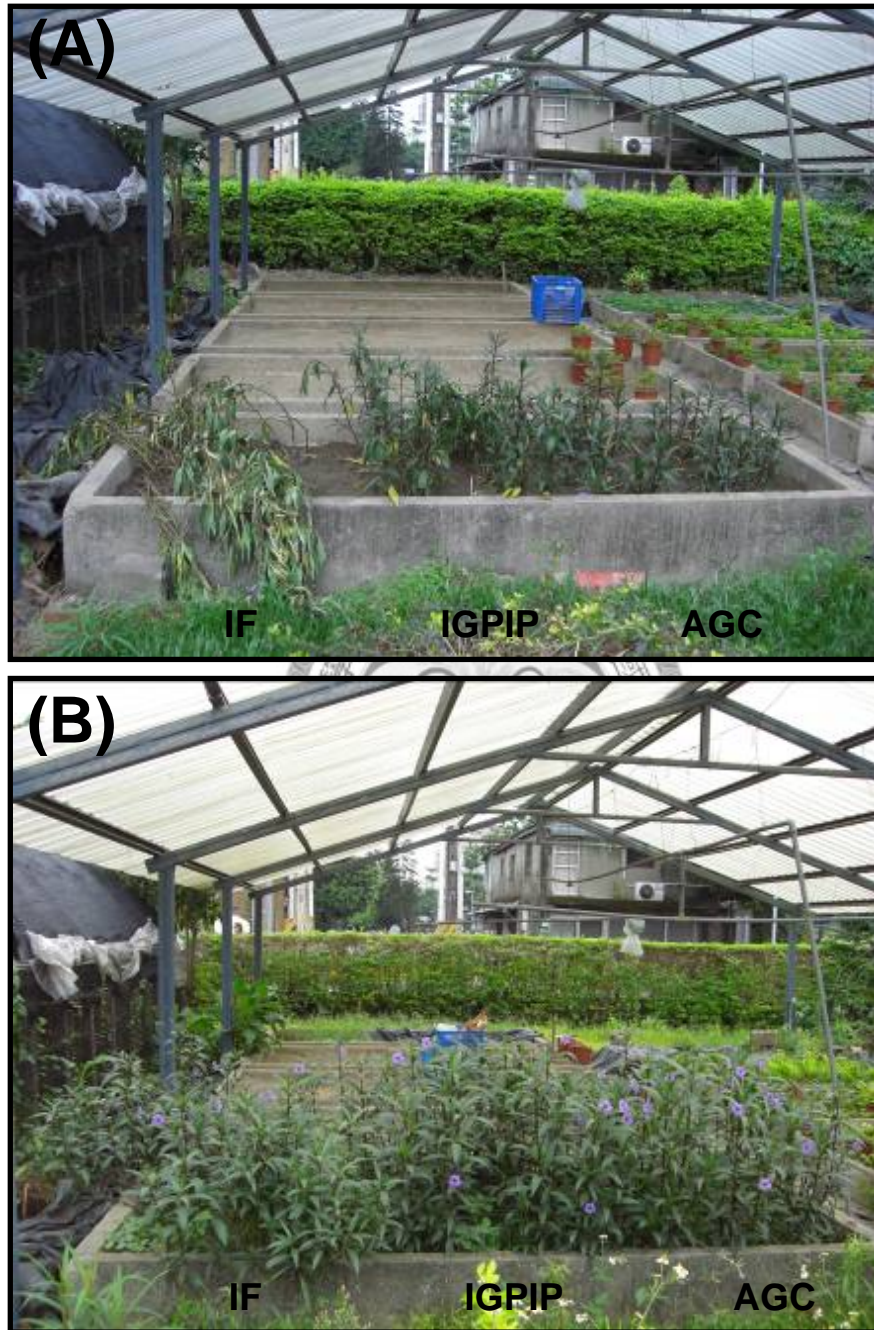


圖 5.2. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對翠蘆荊定植後一週 (A) 及一個月 (B) 生長表現之影響

Fig. 5.2. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on growth of *Ruellia brittoniana* after transplanting one week (A) and one month (B).



圖 5.3. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植時生長情形之影響

Table 5.3. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on growth of *Duranta repens* L. at the first time of transplanting.



圖 5.4. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第二次移植時生長情形之影響

Table 5.4. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on growth of *Duranta repens* L. at the second time of transplanting.

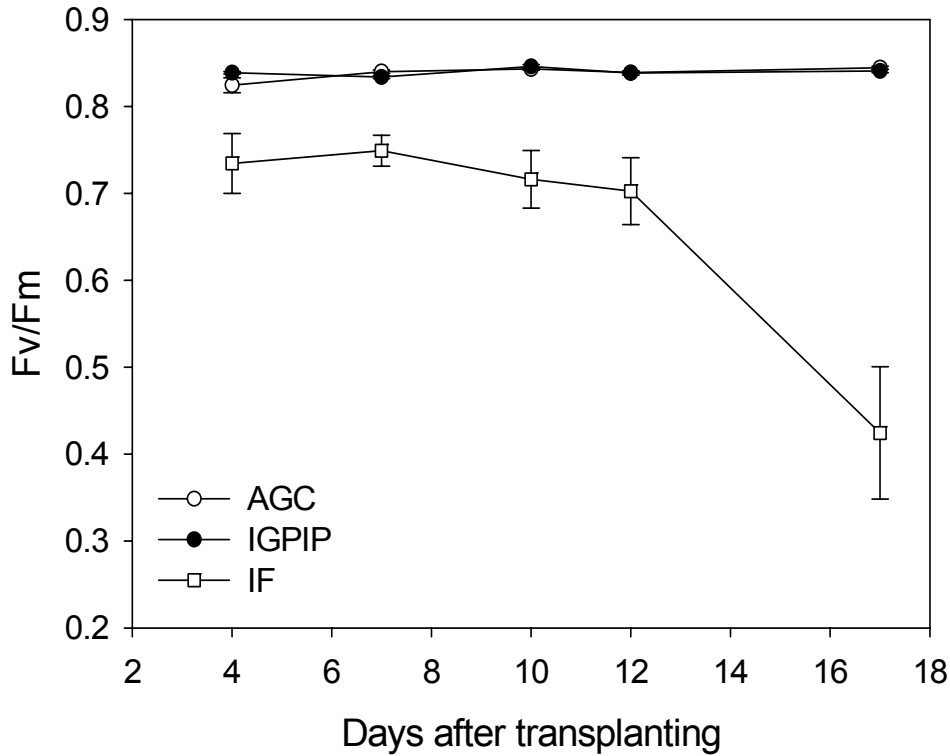


圖 5.5. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植後 17 天內植株 Fv/Fm 值之影響

Table 5.5. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on Fv/Fm of *Duranta repens* L. after the first time of transplanting. Bars indicate standard errors of the mean. (n=16)

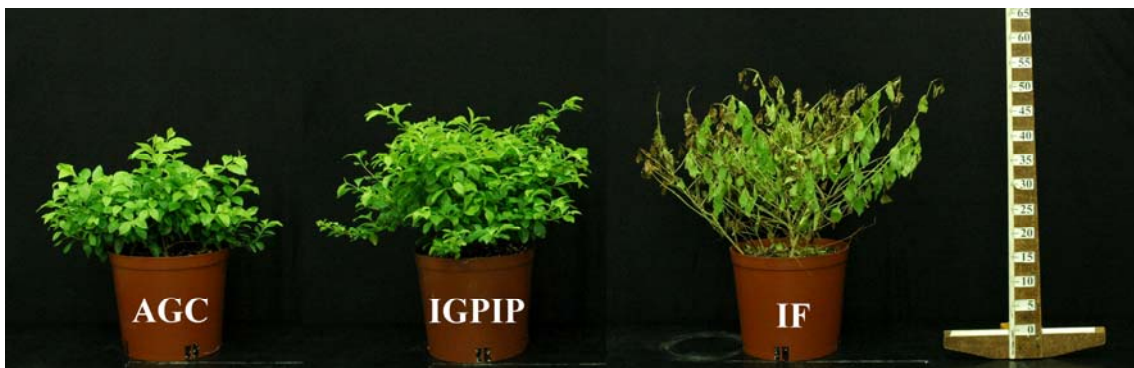


圖 5.6. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第一次移植後 12 天生長情形之影響 (調查日期: 2008/8/13)

Table 5.6. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on growth of *Duranta repens* L. after 13 days of fist transplanting.

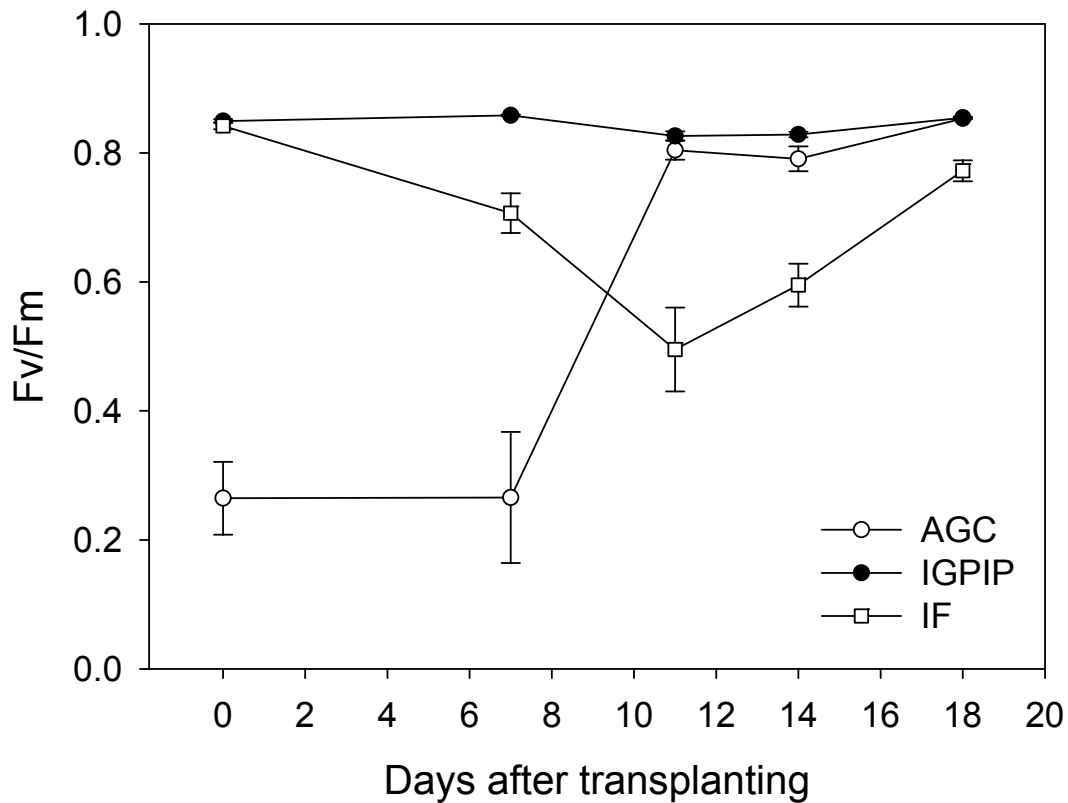


圖 5.7. 傳統容器育苗 (AGC)、地下盆中盆 (IGPIP) 及田間栽培 (IF) 三種育苗模式對黃金金露華第二次移植後 18 天內植株 Fv/Fm 值之影響

Table 5.7. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), in-ground pot-in-pot system (IGPIP), and in-field production method (IF) on Fv/Fm of *Duranta repens* L. after the second time of transplanting. Bars indicate standard errors of the mean. (n=16)

第六章 肥料施用濃度對四季秋海棠生長勢及光譜表現之影響

Chapter 6. Effects of Fertilization Rates on Growth and Spectral Reflectance of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’

摘要 (Abstract)

植物遭受環境逆境時，葉片光合色素含量及組織結構發生改變，明顯地影響葉片反射光譜之表現。本試驗以四季秋海棠(*Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’)為材料，施用 Peter’s 20-20-20 (20.0N-8.8P-16.6K) 五種肥料濃度 (0、0.5、1.0、2.0、4.0 g·L⁻¹)。試驗結果顯示缺肥會影響四季秋海棠‘Super Olympia White’之生育表現，使葉綠素含量下降、破壞光系統II穩定性，導致植株光合作用速率下降，降低植株生長量。光譜表現部分，肥料濃度效應在綠光波段、紅光波段及紅移區 (The red edge position) 最為明顯，各波段與葉綠素計讀值 (CMR 值) 呈極顯著負相關，即施用肥料濃度愈高，葉綠素含量愈高，而波長反射率愈低；近紅外光波段之反射率五處理間沒有顯著差異。植生指數 (vegetation index, VI) 方面，NDVI (normalized difference vegetation index)、SR (simple ratio vegetation index)、CHL (chlorophyll index)、NIR/G (NIR-to green ratio) 及 G/R (green-to-red ratio) 五植生指數與四季秋海棠葉片CMR 值之相關係數(r)分別 0.78^{***}、0.78^{***}、0.92^{***}、0.67^{***}、及 0.81^{***}，顯示 CHL 為評估植物體葉綠素含量之最佳指標，G/R 次之，SR 及 NDVI 再次之。相對而言 NIR/G 則較不具評估四季秋海棠葉片葉綠素含量之應用潛力。

一、前言 (Introduction)

礦物養分 (營養元素) 為植物生長發育過程中, 不可或缺之分子化合物, 各種礦物養分元素中, 氮、磷、鉀不但是植物生長所必須, 且植物對其需要量極大, 故被稱為主要肥料要素 (范, 1993)。許多報告指出施肥與否顯著影響幼苗之生長 (Stoneman et al., 1996; Clearwater and Meinzer, 2001)。全日照下將緩效性肥料 (Osmocote) 施用量由每盆 0 g 提高至 36 g, 金黃百合竹 (*Dracaena reflexa*)、叢立孔雀椰子 (*Caryota mitis*)、*Veitchia mcdanielsii* 等觀葉植物葉色及乾重隨之增加 (Broschat, 2002)。

增加土壤養分的供應, 通常可以提高植株之光合作用能力。多數研究認為在所有養分中, 對光合作用影響最大的是氮元素。氮為蛋白質之主要成份, 蛋白質則為細胞質之基礎物質, 在植物生長發育過程中, 必須有蛋白質之參與, 否則植物體內新細胞之形成將受抑制, 且嚴重影響各種代謝反應 (柯勇, 2004)。Medhurst 和 Beadle (2005) 的研究指出桉樹類植物 (*Eucalyptus nitens*) 之葉片氮濃度與光合作用兩者間呈正相關。光合作用與葉部氮量之間呈高度相關, 主要是因為葉綠體基質酵素與類囊體蛋白質佔了葉部氮量之絕大部分 (Makino et al., 1992), 若氮素缺乏, 則光合色素合成量不足, 會導致葉片黃化, 影響植株光合作用表現。

綠色植物的葉片含有大量的光合色素 (photosynthetic pigments), 包括葉綠素 (chlorophyll, Chl) 和類胡蘿蔔素 (carotenoids, Car), 能有效地吸收可見光的部份波段進行光合作用, 將光能轉變為化學能以供利用。植物遭受逆境時, 譬如缺肥、淹水、乾旱、高低溫時, 葉片光合色素含量減少, 發展非破壞性方法測定葉片色素含量可監控作物生長狀況, 在遭受逆境危害時可提供即時預警。

時至今日, 非破壞性測定葉片色素含量之技術中, 較常用之方法為以葉片或植冠反射光譜來估算色素含量 (Buschmann and Nagel, 1993)。反射光譜是電磁能 (electromagnetic energy) 在遙測的一種應用, 其主要光譜波段涵蓋紫外光 (<400 nm)、可見光 (400-700 nm)、近紅外光 (700-1300 nm) 及中紅外光 (1300-2500 nm) 等,

在此等波段範圍下植物葉片或植冠皆可描繪出的反射光譜特徵曲線(Fuchs, 1990)。在作物生長與產量方面，常用的波段以綠光(520-600 nm)、紅光(630-700 nm)、近紅外光(700-1300 nm)為主(Ma et al., 1996)。

由反射光譜的分析，發現不同波段反射比值的變化與作物的生理反應及生長狀況有密切關係(Bauer, 1975; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)，而以不同波段反射比值所計算之各種植生指數(vegetation index)，則受到冠層結構、葉面積指數、生長量、水分含量、氮含量、色素含量、細胞壁組成、葉表面特徵及葉片內部構造等之影響(Kanemasu, 1974; Tucker, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。生物性的逆境，包括養分逆境(Thomas and Oerther, 1972; Al-Abbas et al., 1974; Nelson et al., 1986)及物理化學性的逆境包括土壤鹽害(Peñuelas et al., 1997)、缺水(Peñuelas et al., 1994)等，皆可影響葉片反射光譜在可見光及近紅外光波段的變化。

關於以葉片、冠層反射光譜偵測色素含量或植株遭遇逆境程度之研究，常用的植生指數多以紅光、近紅外光反射率做評估(ex:NDVI、SR)，另對光合色素含量具有最大反應的光譜波段或波長，仍未完全明確。此外，光譜相關研究之對象多以農藝作物為主。本研究以四季秋海棠‘Super Olympia White’為材料，試驗目的如下：

- (一) 瞭解不同肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長勢之影響。
- (二) 瞭解四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度下葉片反射光譜之差異，並分析具有最大反應之波長或波段。
- (三) 除了NDVI $[(R_{800}-R_{660})/(R_{800}+R_{660})]$ 及SR (R_{800}/R_{660}) 外，加入CHL $[(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})]$ 、NIR/G (R_{780}/R_{550}) 及G/R (R_{550}/R_{670}) 等植生指數，瞭解其在光合色素含量評估之應用潛力。

二、材料與方法 (Materials and Methods)

參試材料為2008年7月25日訂購自屏東穗耕種苗公司(ASUSA SPIKE SEEDS, INC.)之四季秋海棠‘Super Olympia White’ 288格穴盤實生苗，於2008年8月3日移植至5寸盆中，栽培介質為含有20%真珠石之泥碳苔商業介質(Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，於2008年8月5日進行第一次施肥，施以200 ppm N之20.0N-8.8P-16.6K可溶性速效完全肥料(Peter’s 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) 500ml，試驗地點為花卉館頂樓半遮陰玻璃溫室，正午光度約為50-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF (photosynthetic photon flux)，待植株生長至7.5 cm高，進行不同肥料濃度試驗。

以Peter’s 20-20-20為肥料(20.0N-8.8P-16.6K)，配成5種濃度(0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、1.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、2.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、4.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。四季秋海棠‘Super Olympia White’分別於2008年8月19日、2008年8月29日及2008年9月9日施用5種濃度之肥料，每種肥料濃度處理為10重複，每重複各一盆，每盆每次施用量為500 ml。三次施肥處理後，測量植株剛完全展開葉之葉綠素螢光值、CMR (SPAD 讀值)、光合作用表現及光譜反射情況，並於2008年9月27日測量株高、幅寬及植株鮮重，然後置入70°C烘箱內，烘乾一星期後，取出秤取乾重。

1. 葉綠素螢光值測定：

2008年9月17日上午11:00於花卉館頂樓溫室，以可攜式葉綠素螢光測定儀(Mini-PAM, Walz GmbH, Effeltrich, Germany)給予波長665 nm之測量紅光，測定暗馴化後最小螢光值(minimum fluorescence, F_0)、最大螢光值(maximal fluorescence, F_m)、PS II最大光量子產能(excitation transfer efficiency, F_v/F_m)，隨後當植株於光適應狀態下再給予2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之飽和強光，測量光量子產量(quantum yield of photochemistry, $\Phi_{ps II}$)、光化學淬熄係數(photochemical quenching, Q_p)及非光化學淬熄係數(non-photochemical quenching, Q_n)。每株測定一片剛完全展開葉，約為第三到四片葉，測定前先利用專用之暗馴化葉夾夾於葉身長度之中間，盡可能避開葉脈，關閉葉夾中央圓形開口進行暗馴化30分鐘，暗馴化後以光

纖連接葉夾中央圓形開口與葉綠素螢光測定儀，開啟圓型開口並馬上測定 F_0 、 F_m 及 F_v/F_m ，待2.5秒後當植株於光適應狀態下再測量 Φ_{psII} 、 Q_p 及 Q_n ，比較葉綠素螢光值於處理間之變化差異，每一濃度處理取樣八株調查，每株為一重複。

2. 葉綠素計讀值(CMR, SPAD 502-value)：

2008年9月16日以葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Tokyo)測量剛完全展開葉（約為第三到四片葉）之葉綠素計讀值，分散四點測量取平均值代表，葉綠素計利用葉片對650 nm及940 nm兩波長吸收率的差異，估算葉綠素含量。每一濃度處理取樣八株調查，每株為一重複。

3. 光合作用表現：

2008年9月24日上午9:30-11:00以可攜帶式光合作用測定儀（LI-6400 portable photosynthesis system, LI-COR, Lincoln, Nebraska）於花卉館頂樓溫室測量剛完全展開葉（約為第三到四片葉）之淨光合作用速率。可攜帶光合作用測定儀使用前先暖機30分鐘，之後進行流速、遠紅外光氣體分析（IRGA）零點及滿點校正，並利用可拆式人工光源（6400-02 LED light source）設定測量時波長為670 nm，光強度為 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度控制在 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，流速設定為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，葉片溫度設定為 22°C ，上下氣孔比例設定為0。每一濃度處理取樣四株調查，每一株測量兩次，每一測量值為一重複。

4. 葉片光譜反射：

葉片反射光譜於2008年9月16日以配備積分球(integrating sphere)套件之Hitachi U-3010 光譜儀(spectrophotometer)進行測定。光譜掃描速率為600 nm/min，波段範圍自300至900 nm，光譜解析力為1 nm。測定時以硫酸鋇白板為參考對比。葉片測定反射光譜時以葉脈間之區域為主，反射率為葉片反射輻射值對參考白板反射輻射值之比值。用來評估植物生育表現之植生指數如下：(Field et al., 1994; Gamon and Surfus, 1999; Gómez-Casero et al., 2007; Peñuelas et al., 1993a, 1993b, 1995; Peñuelas

and Filella, 1998; Serrano et al., 2000)

NDVI (normalized difference vegetation index) $= (R_{800} - R_{660}) / (R_{800} + R_{660})$

SR (simple ratio vegetation index) $= R_{800} / R_{660}$

CHL (Chlorophyll index) $= (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$

G/R (green-to-red ratio) $= R_{550} / R_{670}$

NIR/G (NIR-to green ratio) $= R_{780} / R_{550}$

5. 試驗設計與統計分析：

所有試驗皆採完全逢機設計 (Complete randomized design, CRD)。試驗結果以變方分析 (Analysis of variance, ANOVA) 測驗其顯著性，以最小顯著差異 (Least significant difference, LSD) 分析處理間有無顯著差異 ($P \leq 0.05$)。統計軟體為 COSTAT 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)，繪圖軟體及相關性分析採用 SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

三、結果 (Results)

試驗以四季秋海棠 'Super Olympia White' 為材料，施用 $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 五種濃度之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)。測量植株葉片之 CMR 值 (SPAD 讀值)，其中以 $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株 CMR 值最高，分別為 28.18 及 29.72； $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株 CMR 值次之，分別為 23.75 及 23.0； $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株 CMR 值最低，僅為 17.9。分析施肥濃度與 CMR 值之回歸關係，顯示其呈顯著正回歸 ($R^2=0.71, P<0.001$) (圖 6.1)，即在 $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ - $4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的施用範圍內 (Peter's 20-20-20, 20.0N-8.8P-16.6K)，施用的肥料濃度愈高，CMR 值愈高。

5 種濃度 ($0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) 觀察植株外觀， $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之四季秋海棠葉色呈現黃綠素， $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株葉色呈現深綠

色，而 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株葉色介於兩者中間（圖 6.2），對照圖 6.1 之結果顯示施肥濃度處理會影響植株之葉綠素濃度，施用的肥料濃度愈高，植株葉片之葉綠素含量愈高，進一步影響葉色之表現。

調查不同施肥濃度對四季秋海棠光合作用表現之影響，結果顯示施用肥料可使植株之淨光合作用效率提高，但 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 三種濃度對植株淨光合作用效率之影響，彼此間沒有顯著差異；施用 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 反而會使淨光合作用效率下降（圖 6.3）。進一步分析植株葉片 CMR 值與淨光合作用效率之相關性，圖 6.4 顯示兩者間呈二次回歸（ $R^2=0.36^{**}$ ）。試驗結束後，測量四季秋海棠植株之株高、幅寬及乾鮮重， $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株生長量明顯高於 $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理， $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 三處理間沒有顯著差異（表 6.1）。

欲瞭解不同施肥濃度對植株光合系統 II 之影響，表 6.2 顯示隨著施肥濃度提高，植株葉片之 F_0 值顯著下降。此外，有施用肥料之植株，其 F_v/F_m 值較 $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理組高，但 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 四個處理經變方分析後，其對植株 F_v/F_m 之影響彼此間沒有顯著差異。另外，不同濃度肥料處理對植株之 F_m 、 Q_p 、 Q_n 及 $\Phi_{ps} II$ 沒有顯著影響。

圖 6.5 為典型葉片反射光譜，正常之綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，圖 6.5 清楚顯示此種情形，植株葉片在近紅外光區的反射率達 60% 以上，遠高於可見光波段的反射率，可見光波段的反射率範圍自 4.35% 至 25% 皆有。另因光合色素對綠光波段的吸收力低，導致綠光波段的反射率最高達 25%，明顯高於紅光波段及藍光波段。

觀察不同施肥濃度對四季秋海棠葉片反射光譜之影響（圖 6.5），隨著施肥濃度提高，葉片在可見光的反射率逐漸下降，尤其在綠光波段及紅光波段反應最為明顯。另外，730 nm、720 nm、710 nm 與 700 nm 四波段對不同施肥濃度也具有明顯反應（表 6.3）。

分析各波長（900 nm-300 nm，以 10 nm 為間隔）反射率與 CMR 值之相關性，

表 6.3.顯示 740 nm-520 nm 23 個波長反射率，與植株葉片 CMR 值呈極顯著負相關（相關係數 $r = -0.69^{***}$ ↑），其中 720 nm、710 nm、700 nm 三波長反射率與 CMR 值之相關係數更高達 -0.90^{***} 以上。上述結果顯示在 740 nm-520 nm 波段範圍內，隨著植株葉片 CMR 值上升，光譜反射率則有明顯下降趨勢，即葉綠素濃度愈高，植株吸收之光線愈多，導致光譜反射率下降。除少數波長，近紅外光區與紫外線區之波長反射率與 CMR 值沒有顯著相關性（附錄 2）。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。本研究使用 NDVI、SR、CHL、NIR/G 及 G/R 五種植生指數，分析其與四季秋海棠葉片 CMR 值之相關性，圖 6.6 顯示各植生指標與 CMR 值之相關係數(r)分別 0.78^{***} (NDVI)、 0.78^{***} (SR)、 0.92^{***} (CHL)、 0.67^{***} (NIR/G)、及 0.81^{***} (G/R)，以上結果顯示 CHL 為評估植物體葉綠素含量之最佳指標，G/R 次之，SR 及 NDVI 再次之。相對而言 NIR/G 則較不具評估四季秋海棠葉片葉綠素含量之應用潛力。

欲瞭解不同肥料濃度對 NDVI 值之影響，圖 6.7 顯示 $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株 NDVI 值明顯低於其他處理，但 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 四處理間彼此沒有顯著差異。

四、討論 (Discussion)

(一) 肥料濃度對四季秋海棠生長勢之影響

缺肥會影響四季秋海棠‘Super Olympia White’之生育表現，使葉綠素含量下降（圖6.1）、破壞光系統 II 穩定性（表6.2），導致植株光合作用速率下降（圖6.3），降低植株生長量（表6.1）。許多報告指出施肥與否顯著影響幼苗之生長（Stoneman et al., 1996；Clearwater and Meinzer, 2001）。全日照下將緩效性肥料(Osmocote)施用量由每盆0 g提高至36 g，金黃百合竹(*Dracaena reflexa*)、叢立孔雀椰子(*Caryota*

mitis)、*Veitchia mcdanielsii* 等觀葉植物葉色及乾重隨之增加 (Broschat, 2002)。

葉綠素計 (SPAD-502) 是以非破壞性的方法測定葉片的綠色度，在許多植物中葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 與使用80%丙酮或dimethyl sulfoxide (DMSO) 萃取的葉綠素含量呈現正相關，故可用來測定植物相對的葉綠素含量 (Yadava, 1986); 又葉片中葉綠素含量與氮濃度具有高度相關性 (Madakadze et al., 1999)，因此，葉綠素計讀值可以相對代表葉片氮濃度 (Davenport et al., 2005; Richardson et al., 2002)。

葉綠素含量之多寡直接影響植物光反應之能力。施肥濃度 $0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 時，四季秋海棠葉片之CMR值僅有17.9，顯示細胞內葉綠素含量不足 (圖6.1)，導致老葉呈現淺綠或黃化的生理徵狀 (圖6.2)，並使植株淨光合作用速率降低 (圖6.3)，進而減少碳水化合物之形成，降低植株生長量 (表6.1)。

增加土壤中養分的供應，通常可以提高植株之光合作用效率。多數研究認為在所有養分中，對光合作用影響最大的是氮元素。氮為蛋白質的主成份，蛋白質則為細胞質之基礎物質，在植物生長、發育過程中，必須有蛋白質之參與，否則植物體內新細胞之形成將受抑制，生長發育減緩，甚至停止 (柯勇, 2004)。Medhurst 和 Beadle (2005) 的研究指出桉樹類植物 (*Eucalyptus nitens*) 之葉片氮濃度與光合作用兩者間呈正相關。光合作用與葉部氮量之間呈高度相關，主要是因為葉綠體基質酵素與類囊體蛋白質佔了葉部氮量之絕大部分 (Makino et al., 1992)。Evans (1983) 以小麥 (*Triticum aestivum* L.) 為試驗材料施以5種氮濃度處理，葉綠素含量與rubisco活性均明顯地隨葉總氮量增加而增加。當植株缺氮時 (施肥濃度為 $0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)，蛋白質合成受阻，葉片中葉綠素生合成量減少，使葉片發生黃化現象並導致光合作用速率及光合產物生合成量下降。

當施肥濃度為 $0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 時，除了氮元素，磷與鉀之提供量同樣缺乏。磷元素與植物之光合磷酸化作用 (photophosphorylation) 及葉肉細胞阻力有密切關係，探討缺磷對光合作用之影響，結果顯示缺磷會導致葉綠素含量降低 (Zhang et al., 2004)，

使光合作用速率下降，惟其影響性不如氮顯著（范，1993）。鉀元素則是保衛細胞產生膨壓的主要溶質，與氣孔的開關機制有關，鉀的濃度越高則氣孔的保衛細胞開度越大，氣孔阻抗及葉肉阻抗減少，光合作用速率因而增加，因此，植物缺鉀亦會降低光合作用速率（范，1993; Peoples and Koch, 1979）。

比較 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 三種施肥濃度對四季秋海棠淨光合作用速率及生長量之影響，發現彼此間沒有顯著差異（圖6.3, 表6.1），意味著在光度較低的環境下， $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的施肥濃度已足夠四季秋海棠生長所需（試驗地點：花卉館頂樓半遮陰玻璃溫室，正午光度約為 $50\text{-}100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF）。

$4.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的施肥濃度會使植株之淨光合作用速率及生長量下降（圖6.3, 表6.1）。Høgh-Jensen等(1997)指出氮與碳同化作用是相關連的，二者之間分享直接來自光合作用電子傳遞鏈與 CO_2 固定所產生的還原物質與能量，或間接使用來自呼吸作用所提供的有機碳與能量。當氮肥施用過多時，氮代謝過程會與光合作用反應競爭電子、能量及還原物質，此外，也會與碳水化合物合成途徑競爭碳骨架。因此，葉片氮濃度太高時，會導致光合作用速率下降、可溶性糖濃度降低(Alfoldi et al., 1992)，造成植物體中碳氮比下降，對植物體生長造成不良影響，這也對圖6.4為何CMR值與淨光合作用速率呈二次回歸提出一合理說明。

葉部所吸收的輻射能僅部分用於光化學過程，其餘則以葉綠素螢光、磷光、及熱能等方式散失。此等消散激發葉綠素能量的過程是相互競爭的，一旦光合作用速率、熱量散失過程發生改變，將伴隨葉綠素螢光的釋放量亦隨之改變。如今，「葉綠素螢光分析」已成為一項強有力且廣泛被採用的技術，用以分析葉片之光合作用能力與瞭解光合作用組成狀態的一種非破壞性且快速的方法(Maxwell and Johnson, 2000)。健康植株之 F_v/F_m 值為一常數，約介於 $0.75\text{-}0.85$ (Bolhar-Nordenkam et al., 1989)，當植株遭受逆境時，多有 F_o 增加， F_m 、 F_v/F_m 及 $\Phi_{ps\ II}$ 下降的現象發生 (Costa et al., 2003; Hassan, 2006; Lu and Zhang ; 1999; Yang et al., 1996) 。

$0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的施肥濃度會導致 F_v/F_m 值下降，且 F_o 明顯較其他處理高，顯示光系統

II 受到損傷 (表6.2)。葉部含氮量約有75%分配至葉綠體，因此，缺乏氮養分將直接影響光合系統中富含氮的結構，如葉綠素、光捕獲複合體與rubisco，也造成葉綠體大小與堆疊的葉綠餅數目減少(Bondada and Syvertsen, 2003)，影響光化學反應的正常運作，使PSII 最大光量子產能(Fv/Fm)下降。比較0.5 g·L⁻¹、1.0 g·L⁻¹、2.0 g·L⁻¹、4.0 g·L⁻¹四種施肥濃度對Fv/Fm之影響，結果顯示彼此間沒有顯著差異，為何4.0 g·L⁻¹的施肥濃度不會對光系統II造成損傷，需要進一步探討 (表6.2)。

綜合以上結果，0.5 g·L⁻¹、1.0 g·L⁻¹及2.0 g·L⁻¹三種施肥濃度對植株之淨光合作用效率、Fv/Fm及植株生長量並無顯著影響，因此，四季秋海棠‘Super Olympia White’在低光度的環境下(試驗地點正午時之光度，約為50-100 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF)，施肥濃度0.5 g·L⁻¹即可維持植株正常生長。若施肥濃度達4.0 g·L⁻¹則會對植株生長勢產生不良影響。

(二) 施肥濃度對四季秋海棠光譜表現之影響

圖6.5為四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同施肥濃度下之光譜表現。應用於遙感的主要反射光譜波段涵蓋紫外光(<400 nm)、可見光(400-700 nm)、近紅外光(700-1300 nm)及中紅外光(1300-2500 nm)，在此波段範圍下植被及地物皆可描繪出典型的反射光譜特徵曲線(Fuchs, 1990)。試驗使用U-3010光譜儀(spectrophotometer)進行測定，波段範圍自300至900 nm，因此，圖6.5顯現出典型的反射光譜曲線。健康的綠色葉片由於光合色素對可見光的吸收(尤以藍光及紅光為大宗吸收帶)，在可見光波段反射或穿透的光輻射很少(Peñuelas et al., 1993a)；另外，根據文獻報告，葉片光合色素及細胞壁纖維素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，入射的光輻射絕大多數被植體反射或穿透(Davenport et al., 2005; Guyot, 1990; Peñuelas et al., 1993a; Peñuelas et al. 1993b; Xue et al., 2004)。故植物的典型反射光譜為：可見光區反射率低，而近紅外光區則明顯有較大的反射率，另光合色素對綠光吸收率低，因此，可見光區的綠光波段有一坡峰出現。

由植被反射光譜分析，發現不同波段反射率的變化與作物的生理反應及生長

狀況有密切關係(Walburg et al., 1982; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)。隨著肥料施用濃度的提高，葉片在可見光的反射率逐漸下降，顯示施肥處理可提高植株對可見光之吸收；而在近紅外光區，處理間之光譜反射率則沒有顯著差異(圖6.5)。此結果與Gómez-Casero等人(2007)的實驗結果相符，Gómez-Casero等人比較0 kg、0.5 kg、1.0 kg N/tree三種氮施用濃度對橄欖樹冠層光譜反射之影響，結果顯示隨著氮施用濃度的提高，葉片在可見光的反射率逐漸下降。造成此種光譜反射率差異之原因，主要為不同施肥濃度導致葉片葉綠素含量改變所致(圖5.1)，葉綠素為主要的吸光色素，葉綠素含量愈高，植株對光線的吸收效率愈佳，導致可見光區的光譜反射率下降。另外，由於光合色素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，在近紅外光區之波長反射率處理間沒有顯著差異。

肥料濃度效應在綠光波段、紅光波段及紅移區(The red edge position)最為明顯(圖6.5)。分析CMR值與各波長之相關性，表6.3顯示綠光波段、紅光波段及紅移區之波長反射率與CMR值呈極顯著負相關，即肥料施用濃度愈高，葉綠素含量愈高，波長反射率愈低。此結果說明綠光波段、紅光波段及紅移區之波長具有評估植物體葉綠素含量之潛力，甚至可進一步推估植物體的氮含量。Haboudane等人(2002)指出，550-680nm的植被光譜反射值與葉綠素濃度具有相關性。

綠光波段中以550 nm附近之反射率與CMR值相關性最高(表6.3)。Xue等人(2004)指出隨著施用的氮濃度提高，稻米在560 nm的反射率明顯降低，560 nm為評估植物體氮含量的最佳波長。Inoue等人(1998)的研究顯示，560 nm之反射率可用來評估LNA(N accumulation per unit ground area)。顯示在植物體氮含量的評估上，綠光波段具有高度應用潛力。

葉綠素位於紅光之吸收峰波段約在675 nm，此一波段之反射率亦常用於估算葉綠素含量(Chappelle et al., 1992; Thomas and Gausman, 1977)。由於葉綠素對675 nm附近波段具有強吸收之故，因此，葉綠素含量的少量降低對於此一波段之反射率並未有明顯增加之趨勢(Hoff and Amesz, 1991)。此外，波長675 nm附近之反射率

對低濃度之葉綠素含量變化具有較高之敏感度，而葉綠素含量達一定濃度後對此波段之吸收即達飽和，亦即 R_{675} 對於較高濃度葉綠素含量變化之敏感度較低 (Gitelson and Merzlyak, 1996)。表6.3可看到類似狀況， $0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株在675 nm附近之光譜反射率明顯較低，但 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 四種處理彼此間沒有顯著差異，顯示CMR值達23以上 (圖6.1)，對675 nm附近之波長吸收率即以達到飽和。

紅移區 (red edge) 約位於680 nm-740 nm (Filella and Peñuelas, 1994)，在此範圍內反射光譜曲線會有突然升高的現象 (red edge is the point of maximum slope in reflectance spectra)。前人研究指出，植物體葉綠素含量、氮施用量會顯著影響紅移區各波長的反射情況 (Filella and Peñuelas, 1994; Fridgen and Varco, 2004)，圖6.5及表6.3可看到同樣結果。

(三) 植生指數對四季秋海棠生長勢及葉綠素含量評估之應用潛力

植物遭受逆境時，譬如淹水、乾旱、缺肥、高低溫或病蟲害時，葉片色素含量、生化成分及組織結構會發生改變，明顯地改變葉片的反射光譜，植生指數 (vegetation index, VI) 常用來作為逆境傷害之指標 (Hunt et al., 1987; Ripple, 1986) 且具評估植物體內生化成分之潛力。

$0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株NDVI值最低 (圖6.7)。NDVI為最常使用之逆境評估植生指數，當植株遭遇環境逆境時，NDVI值降低 (Peñuelas and Filella, 1998)，健康植株之NDVI值較高，此因綠色植物有吸收紅光及強烈反射紅外光之特性，植物生長越旺盛，其吸收的紅光越多 (即反射之紅光越少)，而反射的近紅外光越強，此舉造成紅光與近紅外光之反射差異變大 (Green et al., 1997; Price and Bausch, 1995)。 $0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株NDVI值明顯低於 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 四種施肥處理，顯示植株遭遇缺肥逆境。 $4.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理之植株淨光合作用速率及生長量明顯較 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 三種處理低，但NDVI值無法顯示此種結果 ($0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $4.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 四種施肥處理之葉片NDVI值皆為0.85)，

可能原因為我們使用之光譜儀只能偵測葉片單點的光譜反應，若改用偵測植物冠層反射光譜之儀器，加入冠層結構、葉面積指數等相關評估，將可更精準偵測植物生長勢。

圖6.6顯示SR及NDVI與葉綠素含量具有高度正相關，可非破壞性估算植物體葉綠素含量及氮含量。NDVI $[(R_{800}-R_{660})/(R_{800}+R_{660})]$ 是使用最為普遍的植生指數，可用來評估植物體的生育表現，包括光合作用速率、葉綠素含量、初級生長量及氮含量等 (Bell et al., 2004; Peñuelas et al., 1993; Sellers, 1987)。NDVI與SR (R_{800}/R_{660}) 皆利用紅光、遠紅光進行估算，兩者變化趨勢相同。本研究中，NDVI及SR皆與CMR值成顯著正相關，顯示其可用來估算四季秋海棠葉片之葉綠素含量。

CHL $[(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})]$ 與CMR值之相關性高達0.92^{***} (圖6.6)，應用潛力較NDVI及SR兩植生指數高。Richardson等人 (2002) 指出使用CHL評估葉綠素含量，其效果較NDVI及red edge更佳。CHL用來表示葉片之相對葉綠素含量 (expresses relative chlorophyll content)，非單位葉面積之葉綠素含量 (absolute Chl content per unit leaf area) 或單位葉組織之葉綠素濃度 (concentration per gram of leaf tissue)，在葉綠素表現之評估上深具應用潛力。

NIR/G、G/R與CMR值成正相關 (圖6.6)。在許多研究中顯示，以綠光波段計算之植生指數可做為葉綠素含量的指標 (Carter, 1994; Gitelson and Merzlyak, 1996, 1997; Gitelson et al., 1996)。另根據Buschmann 和 Nagel (1993) 的研究， $\log(R_{800}/R_{550})$ 計算之指數可做為菜豆單位葉面積葉綠素含量之指標，且 R_{800}/R_{550} 比值對Chl a含量亦具有高度相關性。Schmidhalter等人 (2003) 以冬小麥為材料，分析植物體氮含量與NIR/G、NDVI及G/R三植生指數之相關性，結果顯示在冬小麥氮含量之評估上，NIR/G ($r=0.82$) 優於NDVI ($r=0.42$)，但G/R ($r=0.01$) 與氮含量沒有相關性。Gómez-Casero等人 (2007) 的研究則指出，NIR/G及G/R皆具有評估植物體內N含量之潛力。

五、結論 (Conclusions)

缺肥會影響四季秋海棠‘Super Olympia White’之生育表現，使葉綠素含量下降、破壞光系統II穩定性，導致植株光合作用速率下降，降低植株生長量。0.5 g·L⁻¹、1.0 g·L⁻¹及2.0 g·L⁻¹三種施肥濃度對植株之淨光合作用效率、Fv/Fm及植株生長量並無顯著影響，因此，四季秋海棠‘Super Olympia White’在低光度的環境下（試驗地點正午時之光度，約為50-100 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF），施肥濃度0.5 g·L⁻¹即可維持植株正常生長。若施肥濃度達4.0 g·L⁻¹則會對植株生長勢產生不良影響。

健康的綠色葉片由於光合色素對可見光的吸收（尤以藍光及紅光為大宗吸收帶），在可見光波段反射或穿透的光輻射很少；另外，根據文獻報告，葉片光合色素及細胞壁纖維素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，入射的近紅外光輻射絕大多數被植體反射或穿透。故植物的典型反射光譜為：可見光區反射率低，近紅外光區反射率高，另光合色素對綠光吸收率較低，因此，可見光區的綠光波段有一坡峰出現。

肥料濃度效應在綠光波段、紅光波段及紅移區（The red edge position）最為明顯。此結果說明綠光波段、紅光波段及紅移區之波長具有評估植物體葉綠素含量之潛力，甚至可進一步推估植物體的氮含量。由於光合色素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，在近紅外光區之波長反射率處理間沒有顯著差異。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能。NDVI、SR、CHL、NIR/G及G/R皆與葉綠素含量具有高度正相關，其中CHL[(R₇₅₀-R₇₀₅)/(R₇₅₀+R₇₀₅)]與葉綠素計讀值之相關性高達0.92^{***}，在植物體葉綠素含量之評估上最具應用潛力。

表 6.1. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長狀況之影響

Table 6.1. Effects of different fertilization rates on growth of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. n=8.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	plant height	plant width	shoot fresh weight	shoot dry weight
0	15.5 b ^z	14.0 b	32.9 b	1.16 b
0.5	20.7 a	18.3 a	73.3 a	1.76 a
1.0	22.8 a	16.8 a	72.7 a	1.68 a
2.0	20.9 a	17.3 a	61.5 a	1.58 a
4.0	13.8 b	13.1 b	23.9 b	0.99 b

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 6.2. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’最小螢光(Fo)、最大螢光(Fm)、PSII 最大光量子產能(Fv/Fm)、光化學猝熄係數(Qp)、非光化學猝熄係數(Qn)及光子產量(Φ_{psII})之影響

Table 6.2. Effects of different fertilization rates on Fo, Fm, Fv/Fm, Qp, Qn, and Φ_{psII} of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. n=8.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	Fo ^z	Fm	Fv/Fm	Qp	Qn	Φ_{psII}
0	415.13 a ^y	1731.13 a	0.76 b	0.810 a	0.038 a	0.608 b
0.5	385.12 b	1728.29 a	0.78 ab	0.790 a	0.036 a	0.609 b
1.0	361.75 bc	1712.38 ab	0.79 a	0.808 a	0.036 a	0.632 a
2.0	345.33 cd	1672.89 ab	0.79 a	0.796 a	0.039 a	0.626 ab
4.0	327.66 d	1586.33 b	0.79 a	0.796 a	0.038 a	0.626 ab

^zFo: minimal fluorescence, Fm: maximal fluorescence, Fv/Fm: excitation transfer efficiency (dark), Qp: photochemical quenching, Qn: non-photochemical quenching, Φ_{psII} : quantum yield of photochemistry.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 6.3. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Table 6.3. Effects of different fertilization rates on the reflectances at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral ,and the linear correlation analysis between the reflectance of each wavelength and CMR(SPAD-502 value) of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under nitrogen treatments.n=5.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	740 nm	730 nm	720 nm	710 nm	700 nm	690 nm	680 nm	670 nm
0	56.60 a ^y	53.60 a	46.56 a	35.38 a	20.58 a	7.88 a	5.46 a	5.58 a
0.5	56.45 a	52.61 ab	44.35 ab	31.75 b	16.43 b	5.80 b	4.53 b	4.55 b
1.0	55.76 ab	51.76 b	43.38 b	30.81 b	15.86 b	5.68 bc	4.35 b	4.36 b
2.0	54.85 bc	50.08 c	40.58 c	27.23 c	13.15 c	5.21 bc	4.50 b	4.48 b
4.0	54.43 c	49.15 c	38.85 c	25.10 c	11.73 c	5.00 c	4.46 b	4.46 b
	**	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	-0.69***	-0.84***	-0.90***	-0.91***	-0.91***	-0.86***	-0.71***	-0.72***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

,* Significant at $P < 0.01$, or 0.001 , respectively.

表 6.3.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Table 6.3. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	660 nm	650 nm	640 nm	630 nm	620 nm	610 nm	600 nm	590 nm
0	6.50 a ^y	7.28 a	9.06 a	10.34 a	10.80 a	12.28 a	13.44 a	14.34 a
0.5	4.88 b	5.26 b	6.30 b	7.18 b	7.48 b	8.51 b	9.45 b	10.15 b
1.0	4.73 b	5.15 b	6.20 bc	7.01 b	7.43 b	5.48 b	9.45 b	10.23 b
2.0	4.66 b	4.85 b	5.51 bc	6.05 bc	6.31 bc	7.06 bc	7.78 bc	8.37 bc
4.0	4.58 b	4.78 b	5.28 c	5.75 c	5.98 c	6.61 c	7.27 c	7.75 c
	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	-0.79***	-0.82***	-0.85***	-0.86***	-0.86***	-0.87***	-0.81***	-0.82***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

*** Significant at $P < 0.001$.

表 6.3.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Table 6.3. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	580 nm	570 nm	560 nm	550 nm	540 nm	530 nm	520 nm
0	16.18 a ^y	19.42 a	22.80 a	23.58 a	23.04 a	20.98 a	15.40 a
0.5	11.70 b	14.62 b	17.73 b	18.57 b	18.12 b	16.35 b	11.50 b
1.0	11.77 b	14.63 b	17.72 b	18.48 b	18.00 b	16.23 b	11.52 b
2.0	9.53 c	11.88 c	14.53 c	15.25 c	14.90 c	13.40 c	9.53 bc
4.0	8.72 c	10.78 c	13.17 c	13.82 c	13.43 c	12.12 c	8.73 c
	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	-0.83***	-0.85***	-0.86***	-0.86***	-0.86***	-0.85***	-0.84***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

*** Significant at $P < 0.001$.



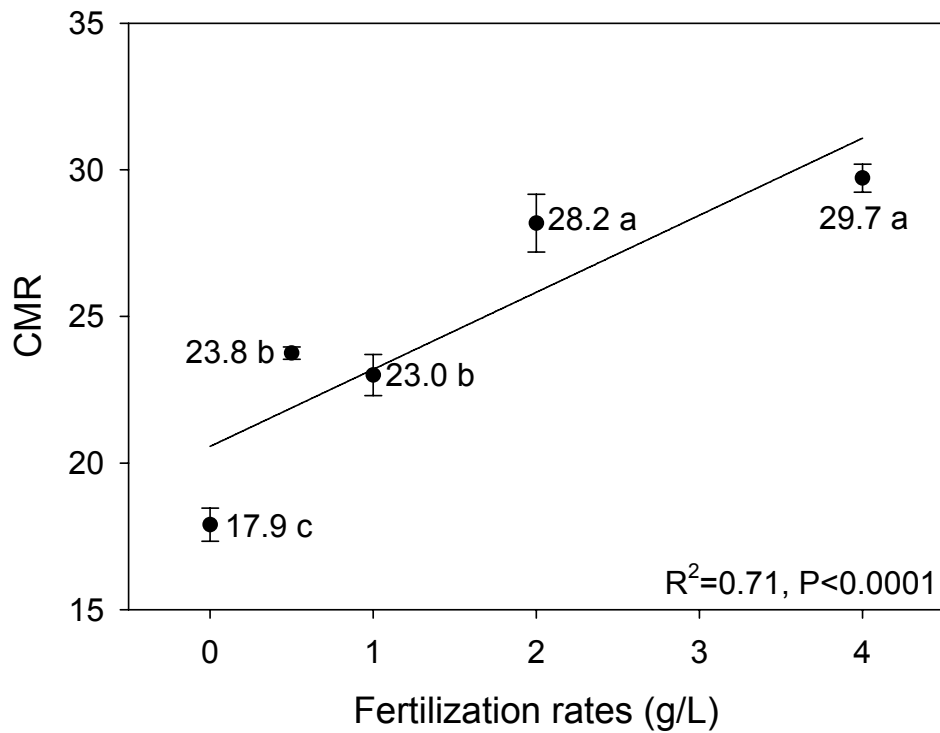


圖 6.1. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉綠素計讀值之影響
 Fig. 6.1. Effects of different fertilization rates on CMR (SPAD-502 value) of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. Bars indicate standard errors of the mean; n=8.

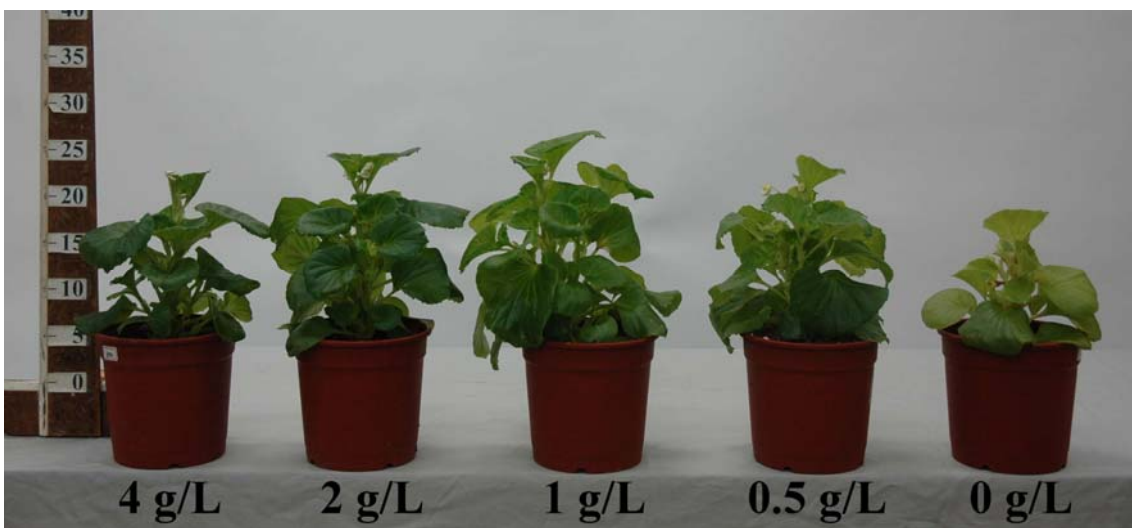


圖 6.2. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同施肥濃度下之植株生長狀況
 Fig. 6.2. The appearance of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different fertilization rates.

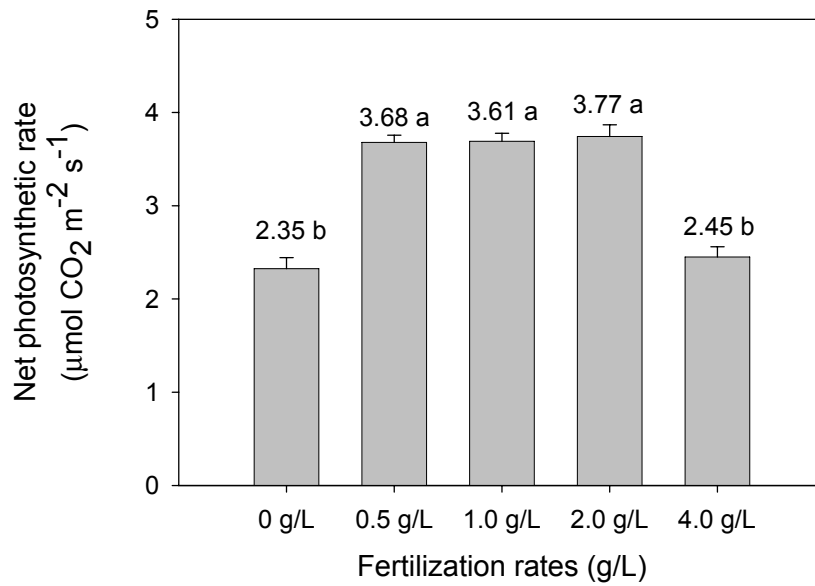


圖 6.3. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’淨光合作用效率之影響
 Fig. 6.3. Effects of different fertilization rates on leaf net photosynthetic rate of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. Bars indicate standard errors of the mean; n=8.

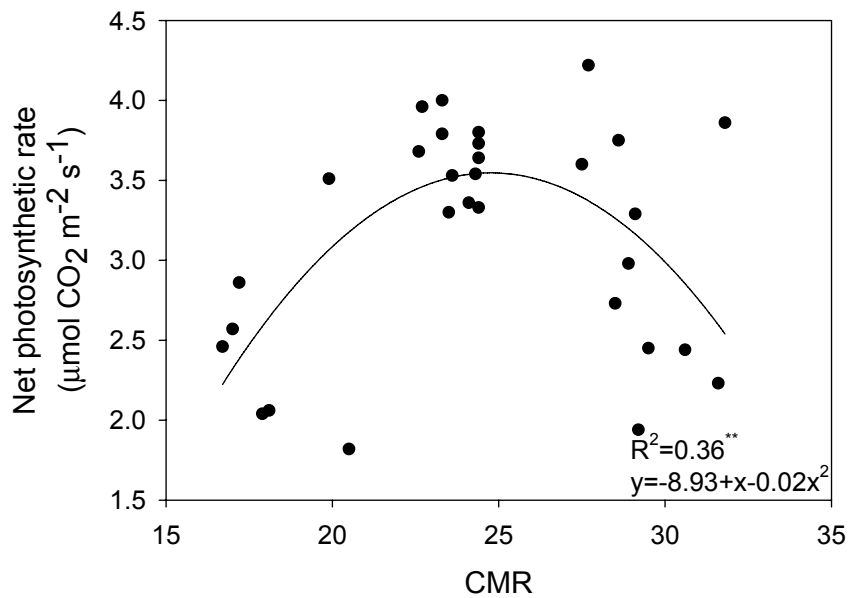


圖 6.4. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度下葉綠素計讀值與淨光合作用速率之回歸分析
 Fig. 6.4. Regression analysis of CMR and leaf net photosynthetic rate of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different fertilization rates.

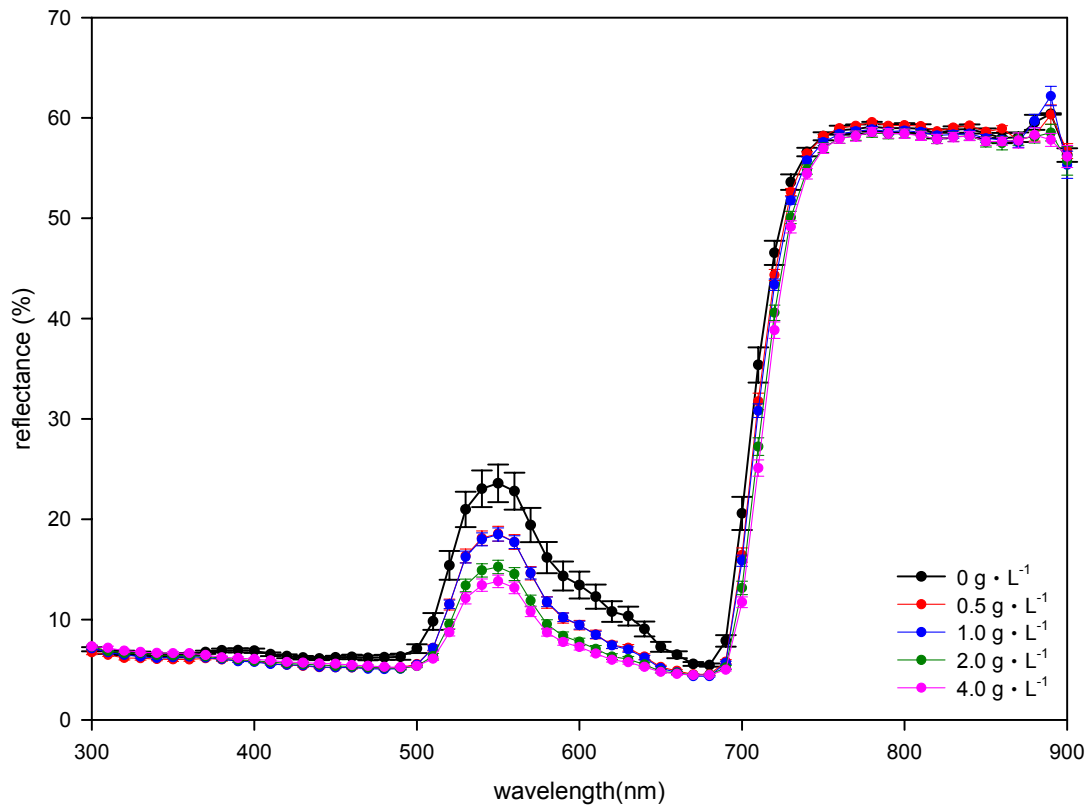


圖 6.5. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片反射光譜之影響
 Fig. 6.5. Reflectance curves of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different fertilization rates. Bars indicate standard errors of the mean; n=5.

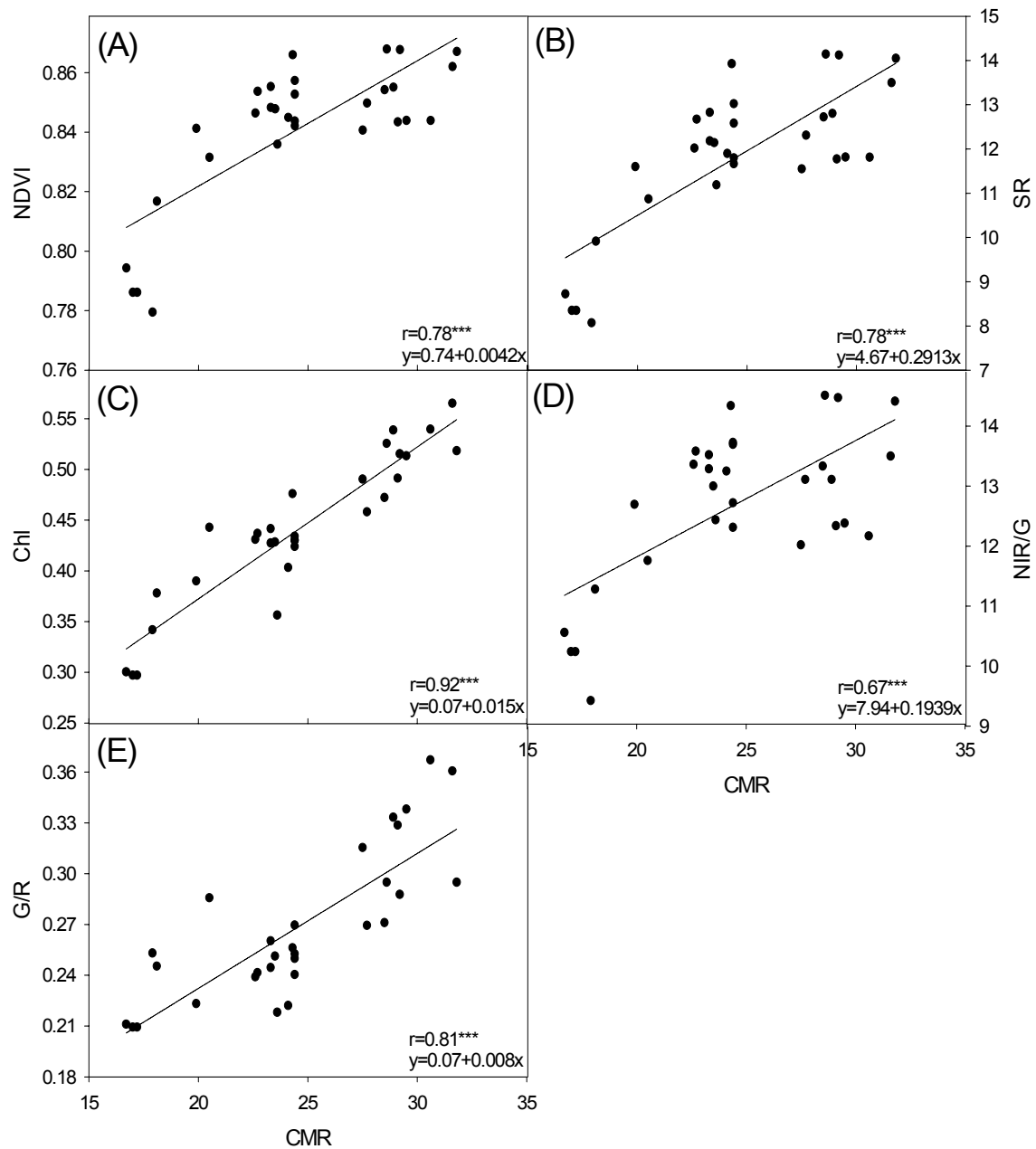


圖 6.6. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同肥料施用濃度下葉綠素計讀值與 (A)NDVI, (B)SR, (C)Chl, (D)NIR/G 及(E)G/R 等植生指數之相關度分析

Fig. 6.6. The linear correlation between CMR(SPAD-502 value) and various vegetation index: (A)NDVI, (B)SR, (C)Chl, (D)NIR/G, and (E)G/R of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different fertilization rates.

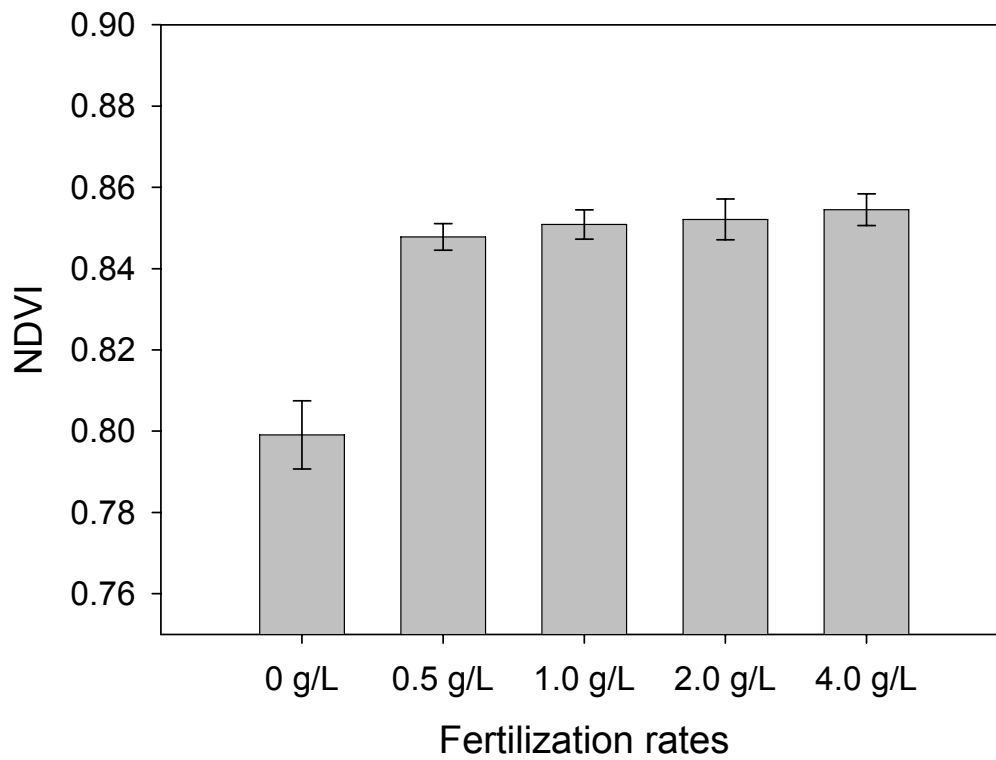


圖 6.7. 肥料施用濃度對 NDVI 值之影響

Fig. 6.7. Effects of different fertilization rates on NDVI of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White'. Bars indicate standard errors of the mean; n=5.

第七章 缺水逆境對四季秋海棠生長勢及光譜表現之影響

Chapter 7. Effects of Drought on Growth and Spectral Reflectance of

Begonia semperflorens-cultorum ‘Super Olympia White’

摘要 (Abstract)

植物遭受環境逆境時，葉片光合色素含量及組織結構發生改變，明顯地改變葉片的反射光譜。本試驗以四季秋海棠 (*Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’) 為材料，進行不同程度缺水試驗，分別於試驗期間每 5 天、10 天、20 天、35 天澆水一次。試驗結果指出缺水會影響四季秋海棠 ‘Super Olympia White’ 之生育表現，使葉綠素含量下降、破壞光系統 II 穩定性，導致植株光合作用速率下降，降低植株生長量。光譜表現部分，隨著缺水天數增加，植株在近紅外光波段的反射率下降（近紅外光各波長反射率與 PWC 呈顯著正相關）；另紅移區各波長之反射率亦和 PWC (plant water content) 呈顯著正相關；紅光波段中，680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率與 PWC 呈顯著負相關，絕對係數(r)分別為-0.74^{***}、-0.74^{***}、-0.72^{***}。植生指數 (Vegetation index, VI) 方面，以 NDVI (normalized difference vegetation index) 和 PRI (photochemical reflectance index) 與 PWC 呈顯著正相關，亦即植物遭受缺水逆境時，NDVI 和 PRI 降低；另 CHL (chlorophyll index)、NIR/G (NIR-to green ratio) 及 G/R (green-to-red ratio) 三植生指數較不適合用於評估 PWC。

一、前言 (Introduction)

當植物面臨水分逆境時，由於植物體內缺水使細胞質收縮、細胞壁鬆弛，導致膨壓降低，膨壓的下降會使細胞停止分裂、生長，造成結構和代謝上的嚴重傷害。水分逆境會破壞葉的正常雙層結構、影響光合色素合成，此外，植物為了避免水分過度散失，會關閉氣孔，使葉綠體所需的二氧化碳缺乏，降低光合作用效率。當植物葉片吸收過多光能，卻不能及時利用或消散時，植物就會受到強光的傷害，發生光抑制現象，對光合作用系統造成損傷(Taiz and Zeiger, 2002)。

利用遙測技術可以感測植物因逆境而產生的改變，遙測可以利用包括數種非破壞性的方法，例如：光譜輻射計(radiometry)、攝影術(photography)、電視攝影(videography)、熱紅外線影像(IR thermography)、多光譜影像分析(multispectral images analysis)及核磁共振影像(nuclear magnetic resonance imaging, NMRI)等(Chaerle and Straeten, 2000)。逆境導致植物生理上之傷害，使葉片色素含量減少，明顯地改變葉片反射光譜。相對的，葉片反射光譜對於逆境所造成的植株生長抑制具有明顯的反應，例如在可見光波段反射率上升、近紅外光波段反射率下降即為葉片反射光譜對逆境之明顯反應(Carter, 1993)。

經由反射光譜分析，發現不同波段反射比值的變化與作物的生理反應及生長狀況有密切關係(Bauer, 1975; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)，在作物生長與產量方面，常用的波段以綠光(520-600 nm)、紅光(630-700 nm)、近紅外光(700-1300 nm)為主(Ma et al., 1996)。

以不同波段反射比值所計算之各種植生指數(vegetation index)，受到冠層結構、葉面積指數、生長量、水分含量、氮含量、色素含量、細胞壁組成、葉表面特徵及葉片內部構造等之影響(Kanemasu, 1974; Tucker, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。

關於以葉片、冠層反射光譜偵測植株遭遇環境逆境程度之研究，常用之植生指數為NDVI及SR，另對水分含量具有最大反應的光譜波段或波長，仍未完全明

確。此外，光譜相關研究之對象多以農藝作物為主。本研究以四季秋海棠‘Super Olympia White’為材料，試驗目的如下：

(四) 瞭解不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長勢之影響。

(五) 瞭解四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下葉片反射光譜之差異，並分析具有最大反應之波長或波段。

(六) 除了NDVI $[(R_{800}-R_{660})/(R_{800}+R_{660})]$ 外，加入PRI $[(R_{531}-R_{570})/(R_{531}+R_{570})]$ 、CHL $[(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})]$ 、NIR/G (R_{780}/R_{550}) 及G/R (R_{550}/R_{670}) 等植生指數，分析其與PWC (plant water content) 之相關性並瞭解其在逆境評估上之應用潛力。

二、材料與方法 (Materials and Methods)

參試材料為2008年7月25日訂購自屏東穗耕種苗公司(ASUSA SPIKE SEEDS, INC.)之四季秋海棠‘Super Olympia White’ 288格穴盤實生苗，於2008年8月3日移植至5寸盆中，栽培介質為含有20%真珠石之泥碳苔商業介質(Canadia Growing Mix 1-P, Fafard, Agawam, Canada)，於2008年8月5日進行第一次施肥，施以200 ppm N之20.0N-8.8P-16.6K可溶性速效完全肥料(Peter’s 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)，試驗地點為台灣大學園藝學系花卉館頂樓半遮陰玻璃溫室，正午光度約為 $50-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF(photosynthetic photon flux)，待植株生長至7.5 cm高，進行不同程度缺水試驗。

四季秋海棠‘Super Olympia White’於2008年8月19日施以200 ppm N之20.0N-8.8P-16.6K可溶性速效完全肥料(Peter’s 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA)，並隨之開始進行水分試驗(第0天)，2008年9月23日試驗結束，總計天數為35天。試驗期間A組每5天澆水一次，共澆水6次；B組每10天澆水一次，共澆水3次；C組於缺水20天(2008年9月8日)時澆水1次；D組則自試驗開始至結束皆未澆水，植株缺水35天。A組每次澆水施以25 ppm N之

20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料(Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) ; B 組每次澆水施以 50 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) ; C 組澆水時則施用 150 ppm N 之 20.0N-8.8P-16.6K 可溶性速效完全肥料 (Peter's 20-20-20, The Scotts Co., Marysville, Ohio, USA) ; D 組因試驗期間未澆水，因此，並未施用肥料。A、B、C、D 每組處理為十重複，每重複一盆。試驗結束後，測量植株剛完全展開葉之葉綠素螢光值、葉綠素計讀值、光合作用表現及光譜反射情況，並於 2008 年 9 月 23 日測量株高、幅寬及植株鮮重，然後置入 70°C 烘箱內，烘乾一星期後，取出秤取乾重，並計算植物體地上部之 PWC (plant water content)，PWC 之計算公式為 $[(\text{fresh weight} - \text{dry weight}) / \text{dry weight}] \times 100$ (Peñulas et al., 1997)。

1. 葉綠素螢光值測定：

2008年9月23日上午11：00於台灣大學園藝學系花卉館頂樓溫室，以可攜式葉綠素螢光測定儀 (Mini-PAM, Walz GmbH, Effeltrich, Germany) 給予波長665 nm之測量紅光，測定暗馴化後最小螢光值 (minimum fluorescence, F_0)、最大螢光值 (maximal fluorescence, F_m)、PS II 最大光量子產能 (excitation transfer efficiency, F_v/F_m)，隨後當植株於光適應狀態下再給予 $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之飽和強光，測量光量子產量(quantum yield of photochemistry, $\Phi_{ps II}$)、光化學淬熄係數(photochemical quenching, Q_p)及非光化學淬熄係數(non-photochemical quenching, Q_n)。每株測定一片剛完全展開葉，約為第三到四片葉，測定前先利用專用之暗馴化葉夾夾於葉身長度之中間，盡可能避開葉脈，關閉葉夾中央圓形開口進行暗馴化30 分鐘，暗馴化後以光纖連接葉夾中央圓形開口與葉綠素螢光測定儀，開啟圓型開口並馬上測定 F_0 、 F_m 及 F_v/F_m ，待2.5秒後當植株於光適應狀態下再測量 $\Phi_{ps II}$ 、 Q_p 及 Q_n ，比較葉綠素螢光值於處理間之變化差異，每一處理取樣六株調查，每株為一重複。

2. 葉綠素計讀值(CMR, SPAD 502-value) :

2008年9月23日以葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Tokyo)測量剛完全展開葉(約為第三到四片葉)之葉綠素計讀值,分散四點測量取平均值代表,葉綠素計利用葉片對650 nm及940 nm兩波長吸收率的差異,估算葉綠素含量。每一濃度處理取樣六株調查,每株為一重複。

3. 光合作用表現 :

2008年9月22日上午9:30-11:00以可攜帶式光合作用測定儀(LI-6400 portable photosynthesis system, LI-COR, Lincoln, Nebraska)於台灣大學園藝學系花卉館頂樓溫室測量剛完全展開葉(約為第三到四片葉)之淨光合作用速率、氣孔導度、細胞內二氧化碳濃度及蒸散作用速率。可攜帶光合作用測定儀使用前先暖機30分鐘,之後進行流速、遠紅外光氣體分析(IRGA)零點及滿點校正,並利用可拆式人工光源(6400-02 LED light source)設定測量時波長為670 nm,光強度為 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 濃度控制在 $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,流速設定為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,葉片溫度設定為 25°C ,上下氣孔比例設定為0。每一處理取樣3株調查,每一株測量兩次,每一測量值為一重複。

4. 葉片光譜反射 :

葉片反射光譜於2008年9月23日以配備積分球(integrating sphere)套件之Hitachi U-3010光譜儀(spectrophotometer)進行測定。光譜掃描速率為600 nm/min,波段範圍自300至900 nm,光譜解析力為1 nm。測定時以硫酸鋁白板為參考對比。葉片測定反射光譜時以葉脈間之區域為主,反射率為葉片反射輻射值對參考白板反射輻射值之比值。用來評估植物生育表現之植生指數如下:(Field et al., 1994; Gamon and Surfus, 1999; Gómez-Casero et al., 2007; Peñuelas et al., 1993a, 1993b, 1995; Peñuelas and Filella, 1998; Serrano et al., 2000)

NDVI (normalized difference vegetation index) $= (R_{800} - R_{660}) / (R_{800} + R_{660})$

PRI (photochemical reflectance index) $= (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$

CHL (Chlorophyll index) $= (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$

G/R (green-to-red ratio) $= R_{550} / R_{670}$

NIR/G (NIR-to green ratio) $= R_{780} / R_{550}$

5. 試驗設計與統計分析：

所有試驗皆採完全逢機設計 (Complete randomized design, CRD)。試驗結果以變方分析 (Analysis of variance, ANOVA) 測驗其顯著性，以最小顯著差異 (Least significant difference, LSD) 分析處理間有無顯著差異 ($P \leq 0.05$)。統計軟體為 COSTAT 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)，繪圖軟體及相關性分析採用 SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

三、結果 (Results)

試驗以四季秋海棠 'Super Olympia White' 為材料進行水分試驗，試驗期間 (2008 年 8 月 19 日-2008 年 9 月 23 日) A 組每 5 天澆水一次，共澆水 6 次；B 組每 10 天澆水一次，共澆水 3 次；C 組於缺水 20 天 (2008 年 9 月 8 日) 時澆水一次；D 組則自試驗開始至結束皆未澆水，植株共缺水 35 天。試驗結束後，測量植物體地上部生長量及 PWC (plant water content)，表 7.1 顯示隨著缺水天數增加，植株地上部生長量及 PWC 顯著下降，但 A、B 兩組沒有顯著差異。

試驗期間觀察植株的葉色變化，隨著缺水天數增加，葉片之葉綠素計讀值顯著下降，但 B 組之 CMR 值反而高於 A 組 (圖 7.1)。

調查不同程度缺水試驗對四季秋海棠光合作用表現之影響，隨著缺水程度上升，植株之淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率明顯下降 (圖 7.2)，其中 D 組之淨光合作用速率為負值，表示植株呼吸作用速率大於光合作用速率。另 A、B 兩組之氣孔導度與蒸散作用速率，經 ANOVA 分析後彼此間沒有顯著差異，又 B

組之淨光合作用速率僅略低於 A 組。

分析 PWC 與淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率之相關性，圖 7.3 顯示皆呈現極顯著正相關。上述結果說明隨著缺水天數增加，PWC 下降，嚴重影響植株之光合作用表現，使淨光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率明顯下降。

不同程度缺水試驗對植株光合系統 II 具有顯著影響，D 組（35 天未澆水）植株之 F_m 、 F_v/F_m 、 Q_p 及 $\Phi_{ps II}$ 值最低、 Q_n 值最高，顯示植株遭遇嚴重環境逆境，導致光合系統 II 受到破壞。另 A、B 兩組彼此間沒有顯著差異（表 7.2）。

圖 7.4 為典型葉片反射光譜，正常之綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，圖 7.4 清楚顯示此種情形，植株葉片在近紅外光區的反射率約為 60%，遠高於可見光波段的反射率，另因光合色素對綠光波段的吸收力低，導致綠光波段的反射率最高達 16%，明顯高於紅光波段及藍光波段。

不同缺水程度對各波段反射率影響如下：1) 隨著缺水天數增加，近紅外光的反射率逐漸下降；2) 紅移區（740 nm-720 nm），D 組反射率最低；3) 可見光區，700 nm-510 nm 各波長反射率的變化狀況較不穩定，而 500 nm-400 nm 波段，C、D 組之反射率明顯高於 A、B 兩組；4) 紫外線區（390 nm-350 nm 波段）C、D 組的反射率高於 A、B 組（圖 7.4；表 7.3；附錄 3）。

分析各波長（900 nm-300 nm，以 10 nm 為間隔）反射率與 PWC 之相關性，表 7.3 顯示 890 nm-720 nm 18 個波長反射率與 PWC 呈顯著正相關，其中 890-750 nm 為近紅外光波段、740-720 nm 為紅移區波段；710 nm 與 700 nm 兩波長反射率與 PWC 沒有相關性；690 nm-620 nm 八個波長反射率與 PWC 呈顯著負相關，其中 680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率與 PWC 相關性最高（絕對係數(r)分別為 -0.74^{***} 、 -0.74^{***} 、 -0.72^{***} ）；610 nm-520 nm 10 個波長反射率與 PWC 沒有相關性；510 nm-350 nm 17 個波長反射率與 PWC 呈顯著負相關，其中 500 nm-410 nm 10 個波長反射率與 PWC 相關性達 0.69^{***} 以上；340 nm-310 nm 四個波長反射率與 PWC 沒有相關性（詳見附錄 3）。

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換,此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能,即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。本研究使用 NDVI、PRI、CHL、NIR/G 及 G/R 五種植生指數,分析其與 PWC 之相關性。圖 7.5 顯示各植生指標與 PWC 之相關係數(r)分別 0.74^{***} (NDVI)、0.65^{**} (PRI)、-0.12^{ns} (CHL)、-0.06^{ns} (NIR/G) 及 0.59^{**} (G/R),以上結果說明 PRI、SR 及 NDVI 三植生指數可用來評估 PWC,相對而言 G/R 應用潛力較低,另 CHL 及 NIR/G 兩植生指數與 PWC 沒有相關性。

欲瞭解不同缺水逆境下,植株 NDVI 值之變化情況。A、B 兩組之 NDVI 值彼此間沒有顯著差異,但皆明顯高於 C、D 兩組。顯示缺水達 20 天植株才遭遇缺水逆境(圖 7.6)。

四、討論 (Discussion)

(一) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠生長勢之影響

缺水會影響四季秋海棠‘Super Olympia White’之生育表現,使葉綠素含量下降、破壞光系統 II 穩定性,導致植株光合作用速率下降,降低植株生長量。

當植物面臨水分逆境時,由於植物體內缺水使細胞質收縮、細胞壁鬆弛,導致膨壓(turgor)降低。膨壓的下降會使細胞停止分裂、生長,影響植物體內正常代謝作用的進行(Taiz and Zeiger, 2002)。

水是光合作用之主要原料之一,陸生植物用在光合作用之水,不及其吸收的1%,當葉內水分含量減低至成為限制條件時,光合作用速率才急速下降(劉, 1999)。圖7.2顯示 A、B兩組之淨光合作用速率仍達 $3.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上,而 C、D兩組之淨光合作用速率則急速下降,此結果說明四季秋海棠‘Super Olympia White’缺水10天時,葉片之水分含量仍足夠供應光合作用所需,但缺水20天時,葉內水分含量已降低至影響光合作用速率之程度。

水分缺乏會改變多種生化和生理過程,影響植物體內的蛋白質生合成。一般

而言，水分逆境也會導致植物光合色素減少，包括葉綠素及類胡蘿蔔素，但類胡蘿蔔素比值(Caro/Chl)則會增加，以減少光能吸收並幫助消散過剩能量(Baquedano and Castillo, 2006)。隨著缺水天數增加，植株葉片之葉綠素計讀值下降(圖7.1)，顯示葉綠素的生合成受到抑制，但B組植株之葉綠素計讀值反而高於A組，可能因為在試驗期間的氣候條件下，10天為cycle的缺水處理並不會對葉綠素的合成途徑造成影響，輕微缺水反而使葉片的葉綠素含量具有濃縮效果。郭(1988)的報告中指出，輕微的水分逆境時，葉綠素含量並未明顯下降。

當植株缺水達20天(C組)及35天(D組)時，氣孔導度降至0.07及0.06 mol H₂O m⁻² s⁻¹、蒸散作用速率降至0.71及0.66 mmol m⁻² s⁻¹，且淨光合作用速率大幅下降(圖7.2)。缺水時葉片氣孔經常關閉，導致蒸散作用速率降低，並限制二氧化碳進入葉片，細胞內二氧化碳濃度不足，會降低暗反應效能，而使得過剩光能增加，引發光抑制現象。一般植物在逆境中，其光合效能常受到抑制，使得光反應吸收光能產生之能量超過暗反應所需，而產生過剩光能，若無法排除時，會使植物體內產生有毒物質(O²⁻、H₂O₂、·OH等)，並破壞胞器上的D1蛋白質，造成PSII不活化(Taiz and Zeiger, 2002)，使光合作用降低，即所謂的光抑制(photoinhibition)。

葉部所吸收的輻射能僅部分用於光化學過程，其餘則以葉綠素螢光、磷光、及熱能等方式散失。此等消散激發葉綠素能量的過程是相互競爭的，一旦光合作用速率、熱量散失過程發生改變，將伴隨葉綠素螢光的釋放量亦隨之改變。如今，「葉綠素螢光分析」已成為一項強有力且廣泛被採用的技術，用以分析葉片之光合作用能力與瞭解光合作用組成狀態的一種非破壞性且快速的方法(Maxwell and Johnson, 2000)。健康植株之Fv/Fm值為一常數，約介於0.75-0.85(Bolhar-Nordenkam et al., 1989)，當植株遭受逆境時，多有Fo增加，Fm、Fv/Fm及Φps II下降的現象發生(Costa et al., 2003; Hassan, 2006; Lu and Zhang; 1999; Yang et al., 1996)。

根據前人研究，一般植物在逆境時其螢光參數有明顯的改變，即當植株遭受逆境時，PSII 最大光量子產能(Fv/Fm)值有下降的現象。Fv/Fm對於缺水逆境不

甚敏感，顯示光系統II (PSII) 對於缺水逆境的忍耐力甚強 (Souza et al., 2004) 。Lu and Zhang (1999)利用小麥幼苗進行缺水和高溫處理，在缺水處理時葉片Qn值增加，但Qp值和光量子產量 ($\Phi_{ps II}$) 值不受影響；在熱處理時，當溫度超過35°C，其Fv/Fm、Qp、Fm 及 $\Phi_{ps II}$ 降低，Fo 則上升。當四季秋海棠‘Super Olympia White’缺水達35天(D組)，Fv/Fm才有顯著下降情況，顯示此時之缺水程度已達到影響光系統II之程度，另外，D組植株之Fm、Qp及 $\Phi_{ps II}$ 值最低且Qn值最高，說明了嚴重缺水的負面影響。B組處理之植株，Fo、Fm、Fv/Fm、Qp、Qn及 $\Phi_{ps II}$ 皆與A組沒有顯著差異，顯示10天缺水cycle對四季秋海棠‘Super Olympia White’並未達到逆境程度 (表7.2) 。

綜合以上所述，10天缺水cycle (B組) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’光合作用能力影響不大，且其植株生長量、PWC及葉綠素螢光參數皆與5天缺水cycle處理 (A組) 間沒有顯著差異。因此，四季秋海棠‘Super Olympia White’在光度較低之環境下 (試驗地點：花卉館頂樓溫室，正午光度約為50-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF)，10天一次的澆水頻度，即可維持植株正常生長。

(二) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠光譜表現之影響

圖7.4為四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下的葉片反射光譜。健康的綠色葉片由於光合色素對可見光的吸收 (尤以藍光及紅光為大宗吸收帶)，在可見光波段反射或穿透的光輻射很少 (Peñuelas et al., 1993b)；另外，由於葉片光合色素及細胞壁纖維素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，入射的光輻射絕大多數被植體反射或穿透(Davenport et al., 2005; Guyot, 1990; Peñuelas et al., 1993a; Peñuelas et al. 1993b; Xue et al., 2004)。故植物的典型反射光譜為：可見光區反射率低，而近紅外光區則明顯有較大的反射率，又因光合色素對綠光吸收率低，所以可見光區的綠光波段有一坡峰出現。

由植被反射光譜分析，發現不同波段反射率的變化與作物的生理反應及生長狀況有密切關係(Walburg et al., 1982; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)。隨著缺水

天數的增加，植株在近紅外光區的反射率逐漸下降（圖7.4），此結果與Filella 和 Peñuelas（1994）以*Phaseolus vulgaris*進行水分試驗的結果相符。

表7.3顯示890 nm-750 nm 15個波長反射率與PWC呈顯著正相關，即PWC愈低，近紅外光區的反射率愈低。近紅外光區的反射率受到植物體葉片結構的影響，例如葉肉細胞的排列(Boyer et al., 1988)，當植物發生缺水現象，細胞膨壓下降，葉片內各種組織、細胞的接觸介面(interfaces)發生變化，影響近紅外光反射率(Sinclair et al., 1971)。缺水會導致葉肉細胞排列緊密，此因葉肉細胞間的空腔 (air space) 減少，而此空腔可強烈反射近紅外光；另外，缺水時細胞間隙的水分大幅下降，使得組織內細胞壁的彈性(elasticity)變差，造成其對近紅外光的反射率下降 (Peñuelas et al., 1993a)。

紅移區之 720nm、730 nm 與 740 nm 三波長與 PWC 呈顯著正相關（表 7.3），紅移區亦可評估 PWC 之變化，此與水分逆境造成葉片結構改變及水的氫鍵鍵結有關（Filella and Peñuelas, 1994; Grant, 1987）。

紅光波段中，680 nm-650 nm四波長反射率與PWC呈極顯著負相關（表7.3），絕對係數（r）分別為-0.74^{***}、-0.74^{***}、-0.72^{***}、-0.68^{***}，即PWC愈低，波長反射率愈高，此結果與葉綠素含量多寡有關。缺水逆境影響植物體內的蛋白質合成，導致葉綠素含量下降。光合色素含量的多寡直接影響吸光效能，又葉綠素位於紅光之吸收峰波段約在675 nm附近，因此，缺水逆境下，葉綠素合成量不足，葉片在675 nm附近之吸光效能嚴重受到影響，導致680 nm-650nm等波長反射率明顯上升。

藍光波段500 nm-410 nm與PWC呈極顯著負相關（表7.3）。乙醚溶劑中，Chl a 和Chl b在藍光區之吸收峰位分別於430 nm與435 nm（Goodwin, 1988），但因藍光波段較少用於計算葉綠素含量，此部分需要更進一步探討。

光譜研究中，關於PWC的直接評估多使用近紅外光，尤以970 nm具有最佳效果(Peñuelas et al., 1993a)，本研究因儀器限制，偵測範圍僅至900 nm，關於缺水

逆境對反射光譜之影響，未來尚有研究空間。

(三) 植生指數對四季秋海棠生長勢及 PWC 評估之應用潛力

植物遭受逆境時，譬如淹水、乾旱、缺氮、高低溫或病蟲害時，葉片色素含量及組織結構發生改變，明顯地改變葉片的反射光譜，植生指數(vegetation index, VI)常用來作為逆境傷害之指標(Hunt et al., 1987; Ripple, 1986)。

C、D兩組處理之葉片反射光譜在近紅外光反射率下降、紅光區反射率上升(圖7.4)，導致NDVI值明顯低於A、B兩組，顯示植株遭遇缺水逆境(圖7.6)。NDVI為最常使用之逆境評估植生指數，當植株遭遇環境逆境時，NDVI值降低。健康植株之NDVI值較高，此因綠色植物有吸收紅光及強烈反射紅外光之特性，植物生長越旺盛，其吸收的紅光越多(即反射之紅光越少)，而反射的近紅外光越強，此舉造成紅光與近紅外光之反射差異變大(Green et al., 1997; Price and Bausch, 1995)。

NDVI值與PWC成顯著正相關($r=0.74^{***}$ ，圖7.5)。隨著缺水天數增加，PWC下降(表7.1)，植物遭受缺水逆境，導致NDVI降低。

PRI值 $[(R_{531}-R_{570})/(R_{531} + R_{570})]$ 與PWC成顯著正相關(圖7.5)。Peñuelas等人(1995)使用PRI評估*Hedera canariensis*、*Phaseolus vulgaris*、*Rhus integrifolia*、*Heteromeles arbutifolia*等四種植物的光合作用效率，結果顯示PRI和光合作用效率呈高度正相關。水分逆境嚴重影響光合作用速率(圖7.2)，隨著缺水天數增加，植物淨光合作用速率顯著下降，因此，分析PRI與PWC之相關性，可得到一顯著正相關($r=0.65^{**}$)。

CHL、G/R與PWC沒有相關性，G/R與PWC之相關性僅有 0.59^* (圖7.5)，顯示此三植生指數較不適合用於評估PWC。

WI(R_{900}/R_{970})在水分評估上具有高度應用潛力(Devitt et al., 2005)，本研究因儀器限制，偵測範圍僅至900 nm，無法分析以WI進行分析。關於四季秋海棠‘Super Olympia White’在缺水逆境之光譜分析，未來尚有研究空間。

五、結論 (Conclusions)

缺水會影響四季秋海棠‘Super Olympia White’之生育表現，使葉綠素含量下降、破壞光系統II穩定性，導致植株光合作用速率下降，降低植株生長量。10天缺水cycle (B組) 對四季秋海棠‘Super Olympia White’光合作用能力影響不大，且其植株生長量、PWC及Fv/Fm皆與5天缺水cycle (A組) 沒有顯著差異。因此，四季秋海棠‘Super Olympia White’光度較低的環境下 (試驗地點：台灣大學園藝學系花卉館頂樓溫室，正午光度約為 $50-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF)，10天一次的澆水頻度，即可維持植株正常生長。

健康的綠色葉片由於光合色素對可見光的吸收 (尤以藍光400-500 nm及紅光650-690 nm為大宗吸收帶)，在可見光波段反射或穿透的光輻射很少；另外，根據文獻報告，葉片光合色素及細胞壁纖維素對於近紅外光750 nm-1350 nm波段幾乎不吸收，因此，入射的近紅外光輻射絕大多數被植體反射或穿透。故植物的典型反射光譜為：可見光區反射率低，近紅外光區反射率高，另光合色素對綠光吸收率較低，因此，可見光區的綠光波段有一波峰出現。

隨著缺水天數的增加，植株在近紅外光區的反射率逐漸下降。近紅外光區的反射率受到植物體葉片結構的影響，當植物發生缺水現象，細胞膨壓下降，葉片內各種組織、細胞的接觸介面(interfaces)發生變化，影響近紅外光反射率。缺水會導致葉肉細胞排列緊密，此因葉肉細胞間的空腔 (air space) 減少，而此空腔可強烈反射近紅外光；另外，缺水時細胞間隙的水分大幅下降，使得組織內細胞壁的彈性(elasticity)變差，造成其對近紅外光的反射率下降。

紅移區亦可評估 PWC 之變化 (740 nm-720 nm 之波長反射率與 PWC 呈顯著正相關)，此與水分逆境造成葉片結構改變及水的氫鍵鍵結有關。

紅光波段中，680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率與 PWC 呈極顯著負相關。此結果與葉綠素含量多寡有關。缺水逆境下，葉綠素合成量不足，葉片在 675 nm 附近之吸光效能嚴重受到影響，導致 680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率

明顯上升。

NDVI 值與 PWC 成顯著正相關，隨著缺水天數增加，PWC 下降，植物遭受缺水逆境，導致 NDVI 降低。PRI 值 $[(R_{531}-R_{570})/(R_{531} + R_{570})]$ 與 PWC 成顯著正相關，PRI 可有效評估淨光合作用速率，又缺水處理嚴重影響植株光合作用表現，因此，分析 PRI 與 PWC 之相關性，可得到一顯著正相關。CHL、G/R 與 PWC 沒有相關性，G/R 與 PWC 之相關性僅有 0.59^{*}，顯示此三植生指數較不適合用於評估 PWC。

WI (R_{900}/R_{970}) 在水分評估上具有高度應用潛力，本研究因儀器限制，偵測範圍僅至 900 nm，無法分析以 WI 進行分析。關於四季秋海棠‘Super Olympia White’在缺水逆境之光譜分析，未來尚有研究空間。



表 7.1. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’生長狀況及PWC之影響

Table 7.1. Effects of different drought treatments on growth of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. n=6.

Drought treatment	plant height (cm)	plant width (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	PWC ^z
A : 5 days	18.8 a ^y	17.8 a	54.2 a	1.51 a	34.3 a
B : 10 days	18.5 a	16.9 a	51.0 a	1.39 a	35.8 a
C : 20 days	11.8 b	13.4 b	16.9 b	0.75 b	21.1 b
D : 35 days	5.6 c	10.3 c	4.9 c	0.48 c	8.1 c

^zPWC (plant water content) =[(fresh weight-dry weight)/dry weight]

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 7.2. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’最小螢光(Fo)、最大螢光(Fm)、PSII 最大光量子產能(Fv/Fm)、光化學猝熄係數(Qp)、非光化學猝熄係數(Qn)及光子產量(Φ_{psII})之影響

Table 7.2. Effects of different drought treatments on Fo, Fm, Fv/Fm, Qp, Qn, and Φ_{psII} of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. n=6.

Drought treatment	Fo ^z	Fm	Fv/Fm	Qp	Qn	Φ_{psII}
A : 5 days	373.00 a ^y	1780.67 a	0.79 a	0.799 a	0.042 b	0.626 a
B : 10 days	357.80 ab	1932.80 a	0.79 a	0.780 a	0.039 b	0.614 a
C : 20 days	304.83 b	1344.33 b	0.77 a	0.706 b	0.071 b	0.536 b
D : 35 days	326.00 ab	1174.78 c	0.72 b	0.660 c	0.099 a	0.463 c

^zFo: minimal fluorescence, Fm: maximal fluorescence, Fv/Fm: excitation transfer efficiency (dark), Qp: photochemical quenching, Qn: non-photochemical quenching, Φ_{psII} : quantum yield of photochemistry.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 7.3. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與 PWC 之線性相關性分析

Table 7.3. Effects of different drought treatments on the reflectance at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral, and the linear correlation analysis between the reflectance of each wavelength and PWC of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different drought treatments.

Drought treatment	890 nm	880 nm	870 nm	860 nm	850 nm	840 nm	830 nm	820 nm
A : 5 days	59.50 a ^y	59.98 a	58.62 a	60.18 a	60.34 a	60.62 a	60.40 a	60.60 a
B : 10 days	59.36 a	59.34 ab	56.94 b	58.78 b	59.30 a	59.50 b	59.28 b	59.40 b
C : 20 days	55.61 b	57.78 bc	55.40 bc	56.98 c	57.42 b	57.52 c	57.57 c	57.71 c
D : 35 days	55.20 b	57.13 c	54.97 c	56.98 c	57.41 b	57.63 c	57.48 c	57.51 c
	*	*	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	0.51*	0.48*	0.57**	0.63**	0.62**	0.68**	0.67**	0.67**

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

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

表 7.3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Table 7.3. Continued.

Drought treatment	810 nm	800 nm	790 nm	780 nm	770 nm	760 nm	750 nm	740 nm
A : 5 days	60.70 a ^y	60.80 a	60.54 a	60.54 a	60.72 a	60.48 a	59.58 a	57.48 a
B : 10 days	59.72 a	59.72 b	59.46 a	59.40 b	59.62 b	59.32 b	58.42 b	56.16 b
C : 20 days	57.92 b	58.01 c	57.68 b	57.36 c	57.90 c	57.22 c	56.72 c	54.50 c
D : 35 days	57.76 b	57.85 c	57.68 b	57.66 c	57.66 c	57.38 c	56.16 c	53.38 c
	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	0.66**	0.67**	0.63**	0.65**	0.68**	0.68**	0.70***	0.74***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

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

表 7.3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Table 7.3. Continued.

Drought treatment	730 nm	720 nm	680 nm	670 nm	660 nm	650 nm	500 nm	490 nm
A : 5 days	52.86 a ^y	43.42 a	4.22 c	4.32 b	4.60 b	4.94 b	5.20 b ^z	5.00 b
B : 10 days	51.06 b	41.04 a	4.60 b	4.62 b	4.74 b	4.86 b	5.26 b	5.10 b
C : 20 days	50.34 b	41.40 a	5.04 a	5.10 a	5.44 a	5.78 a	6.01 a	5.75 a
D : 35 days	48.15 c	38.11 b	5.35 a	5.40 a	5.71 a	5.96 a	6.20 a	5.96 a
	***	***	***	***	***	**	***	***
linear correlation ^z	0.73***	0.61**	-0.74***	-0.74***	-0.72***	-0.68**	-0.73***	-0.76***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

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

表 7.3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Table 7.3. Continued.

Drought treatment	480 nm	470 nm	460 nm	450 nm	440 nm	430 nm	420 nm	410 nm
A : 5 days	5.00 b ^y	5.04 b	5.06 b	5.06 b	5.1 b	5.16 b	5.28 b	5.42 b
B : 10 days	5.12 b	5.14 b	5.2 b	5.24 b	5.38 b	5.46 b	5.60 b	5.68 b
C : 20 days	5.74 a	5.80 a	5.87 a	5.85 a	5.9 a	5.92 a	6.00 a	6.15 a
D : 35 days	6.01 a	6.01 a	6.08 a	6.08 a	6.13 a	6.20 a	6.25 a	6.40 a
	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^z	-0.76***	-0.73***	-0.75***	-0.74***	-0.72***	-0.71***	-0.69***	-0.70***

^zThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

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

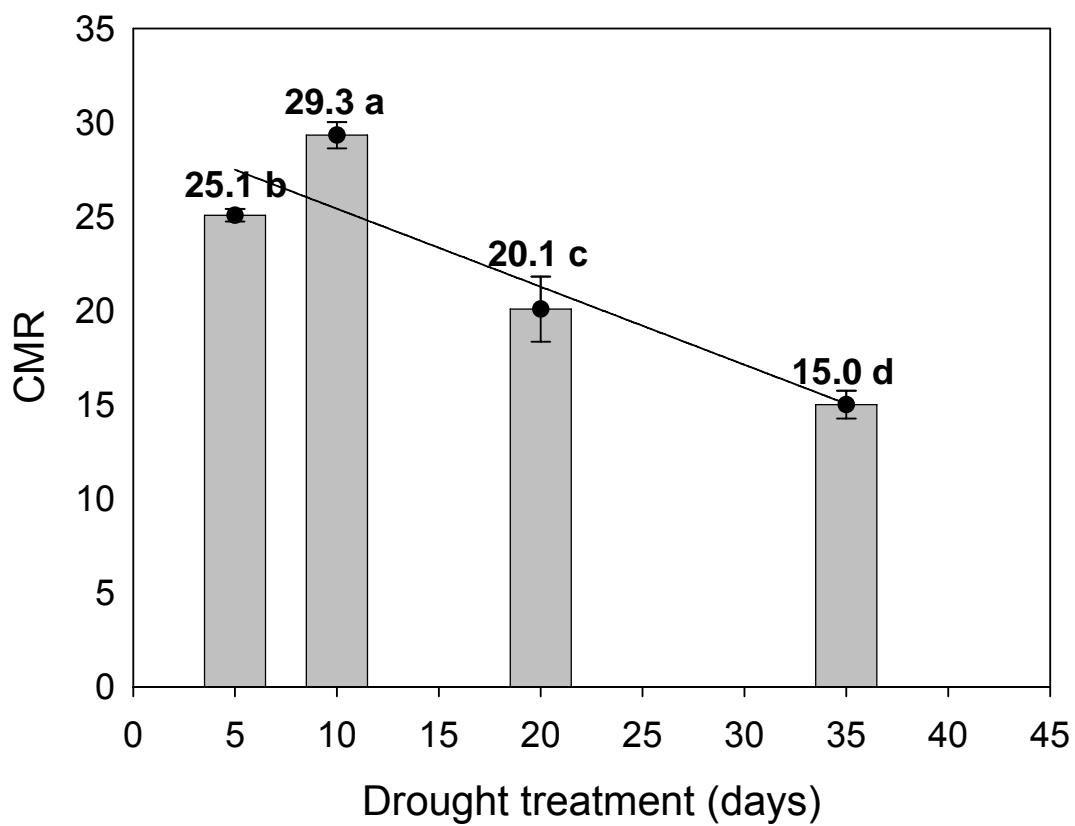


圖 7.1. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉綠素計讀值之影響

Fig. 7.1. Effects of different drought treatments on CMR (SPAD-502 value) of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. Bars indicate standard errors of the mean; n=6.

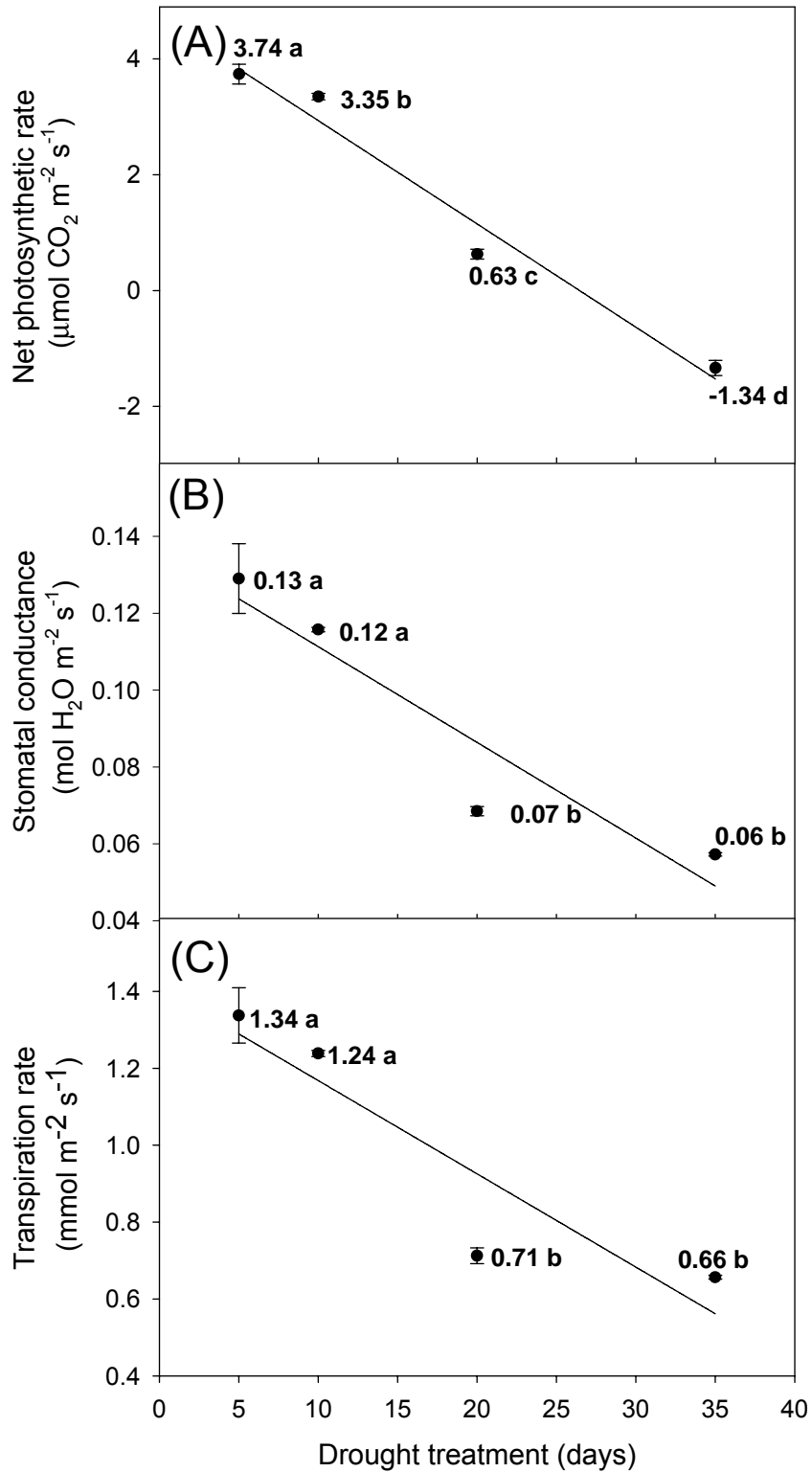


圖 7.2. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’(A)淨光合作用效率，(B)氣孔導度及(C)蒸散作用速率之影響

Fig. 7.2. Effects of different drought treatments on leaf (A)net photosynthetic rate, (B)stomatal conductance, and (C)transpiration rate of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. n=6.

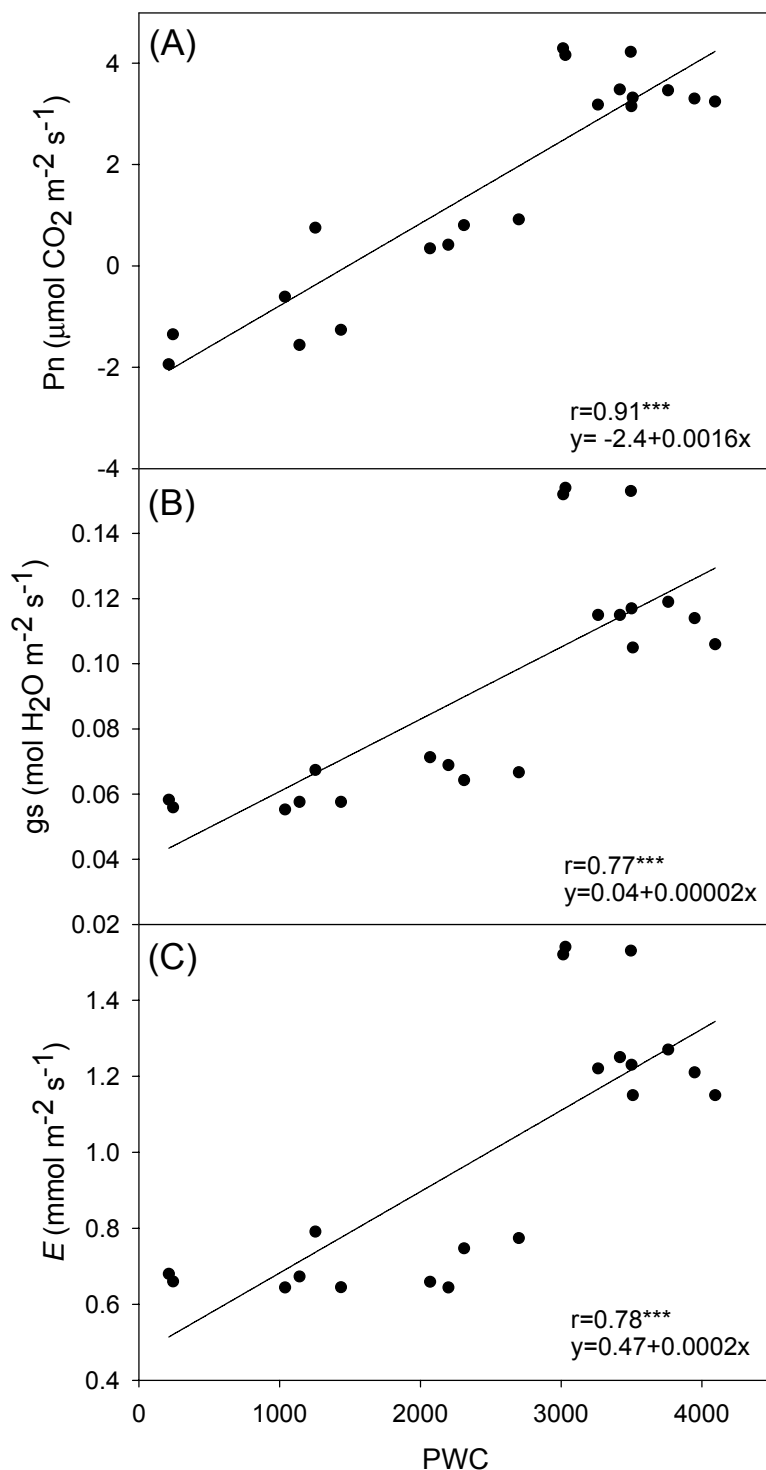


圖 7.3. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下 PWC 與(A)淨光合作用速率, (B)氣孔導度, (C)蒸散作用速率之相關性分析

Fig. 7.3. The linear correlation between PWC and (A)net photosynthetic rate, (B)stomatal conductance, and (C)transpiration rate of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different drought treatments. n=6.

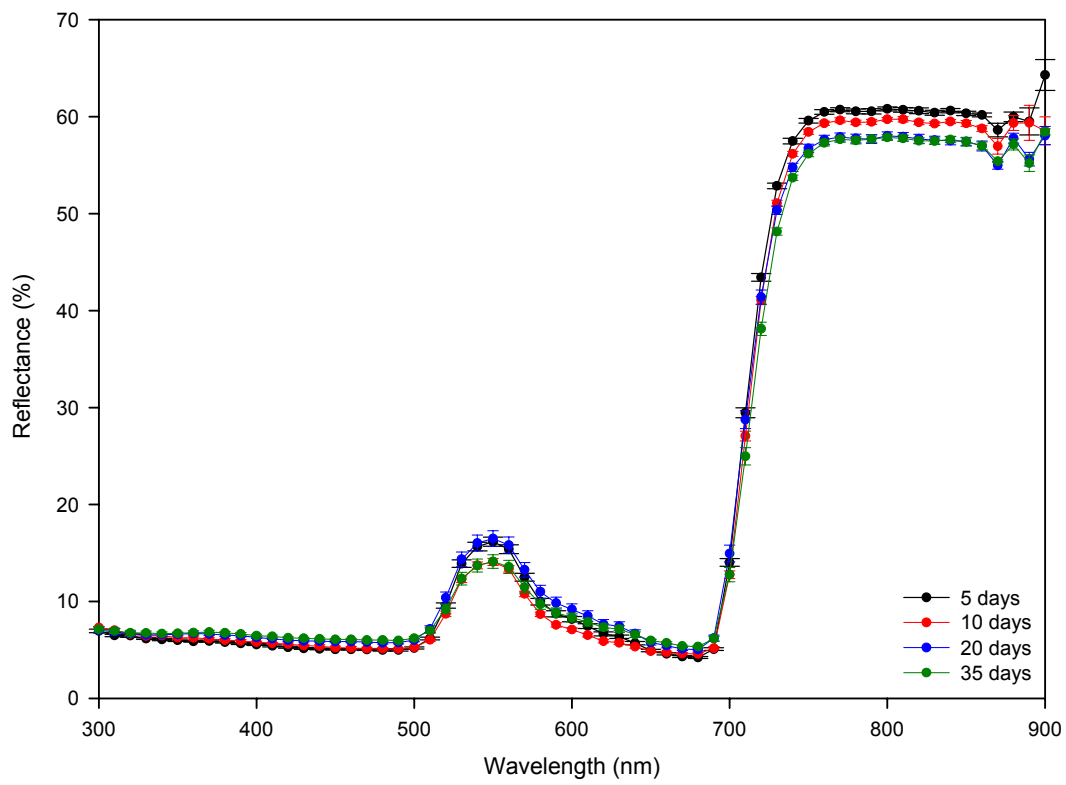


圖 7.4. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下之葉片反射光譜

Fig. 7.4. Reflectance curves of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different drought treatments. Bars indicate standard errors of the mean; n=6.

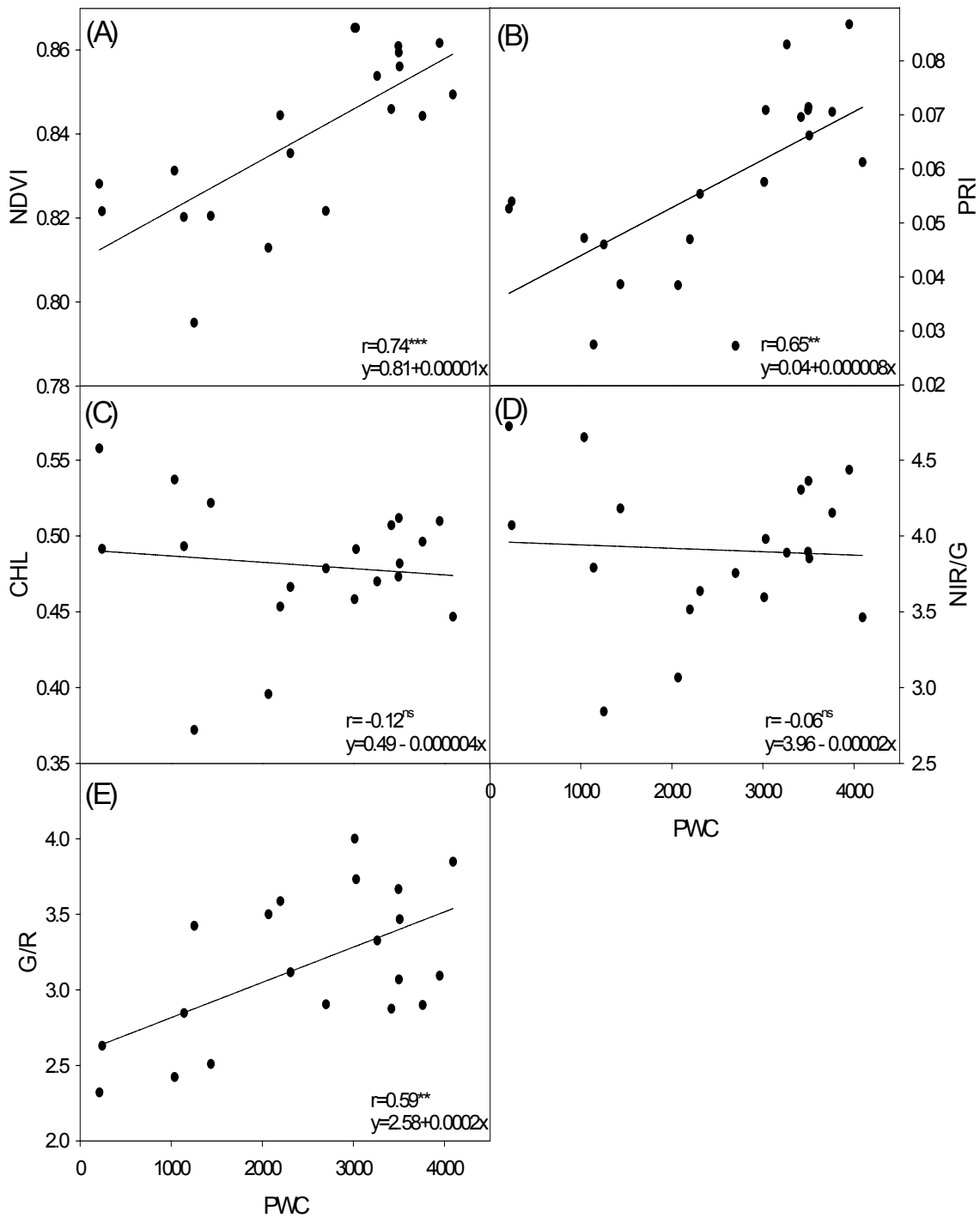


圖 7.5. 四季秋海棠‘Super Olympia White’在不同程度缺水試驗下 PWC 與(A)NDVI, (B)PRI, (C)Chl, (D)NIR/G 及(E)G/R 等植生指數之相關度分析

Fig. 7.5. The linear correlation between PWC and various vegetation index: (A)NDVI, (B)PRI, (C)Chl, (D)NIR/G, and (E)G/R of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different drought treatments.

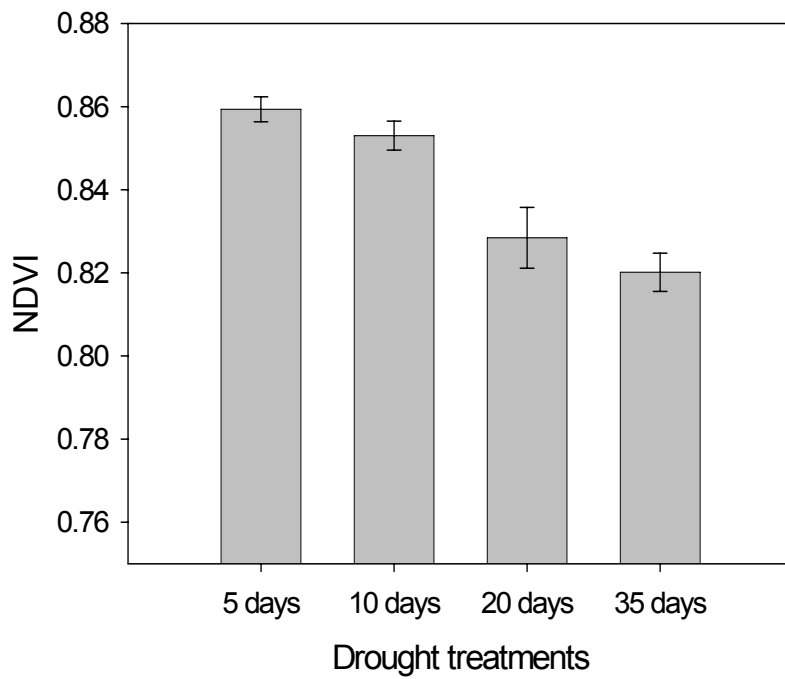


圖 7.6. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’ NDVI 值之影響
Fig. 7.6. Effects of different drought treatments on NDVI of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’. Bars indicate standard errors of the mean; n=6.

第八章 結論

Chapter 8. Conclusions

本論文欲瞭解盆中盆育苗模式及光譜反射技術在台灣苗木產業之應用潛力。盆中盆育苗模式可分為地下盆中盆 (in-ground pot-in-pot system, IGPIP) 與地上盆中盆 (above-ground pot-in-pot system, AGPIP) 兩種，使用之目的為避免陽光直射盆壁而導致之高土溫現象。IGPIP 因使用效益較佳，近幾年在國外發展迅速，因此，本篇論文在盆中盆育苗模式部分，主要將重點放在 IGPIP。另欲瞭解不同育苗模式、缺肥逆境、缺水逆境對葉片反射光譜之影響，希望找出具有評估植株生理狀態之光譜波段及植生指數，以作為快速判斷苗木品質之依據。試驗結果如下：

一、地下盆中盆育苗模式 (IGPIP)：

春夏季高溫時，地下盆中盆 (IGPIP) 之介質溫度明顯較低且較穩定，可避免土溫劇烈變動對植物生育表現產生之不良影響；冬季當氣溫降至 20 °C 以下，IGPIP 與傳統容器育苗 (traditional above-ground container production method, AGC) 兩者之介質溫度則沒有明顯差異，此結果顯示 IGPIP 在春夏季之使用效益較高。使用 IGPIP 具有以下效益：

1. 提高植株地上部與根的生長量。
2. 有利於植株光合作用表現。
3. 有利於植株之開花表現，花數較多、花期較早且花朵鮮重較重。
4. 缺水逆境下，使用 IGPIP 可降低植株葉溫，減緩高溫對光系統 II 造成之損傷，且植株之葉綠素計讀值較 AGC 植株高。
5. 相較於田間栽培育苗模式 (in-field production method, IF)，以 IGPIP 栽植之植株移植後恢復速度快，生長狀況良好。
6. 水分逆境下，IGPIP 相較於 AGC，植株移植時與移植後之 Fv/Fm 值明顯較高 (Fv/Fm 值維持在 0.83 以上)，此因在缺水逆境下，IGPIP 相對而言可維持較高之介質水分含量 (與介質溫度較低有關)，降低逆境對光系統 II

造成之損傷。

地下盆中盆 (IGPIP) 在台灣的苗木生產上深具應用潛力，水分逆境下之使用效益更高。

二、葉片反射光譜技術：

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換，此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能，即排除作物生長環境差異造成之光譜偵測值差異。IGPIP 栽培之植株 PRI (photochemical reflectance index)、NDVI (normalized difference vegetation index)、SR (simple ratio vegetation index)、CHL (chlorophyll index) 皆明顯高於 AGC 處理。前人研究指出 PRI、NDVI 及 SR 與植株之光合作用表現呈正相關，另 NDVI、SR 與 CHL 可用來評估植物體葉綠素含量。調查不同育苗模式對四季秋海棠淨光合作用速率及葉綠素計讀值之影響，結果顯示 IGPIP 栽植之四季秋海棠淨光合作用效率明顯較高；而在缺水逆境下，IGPIP 栽植之植株擁有較高之葉綠素含量。

肥料濃度效應在綠光波段、紅光波段及紅移區 (The red edge position) 最為明顯，此結果說明綠光波段、紅光波段及紅移區之波長具有評估植物體葉綠素含量之潛力，甚至可進一步推估植物體的氮含量。NDVI、SR、CHL、NIR/G (NIR-to green ratio) 及 G/R (green-to-red ratio) 皆與葉綠素含量具有高度正相關，其中 CHL 與葉綠素計讀值之相關性高達 0.92^{***}，在植物體葉綠素含量之評估上最具應用潛力。

隨著缺水天數的增加，植株在近紅外光區的反射率逐漸下降。當植物發生缺水現象，細胞膨壓下降，葉片內各種組織、細胞的接觸介面(interfaces)發生變化，影響近紅外光反射率。缺水會導致葉肉細胞排列緊密，此因葉肉細胞間的空腔 (air space) 減少，而此空腔可強烈反射近紅外光；另外，缺水時細胞間隙的水分大幅下降，使得組織內細胞壁的彈性(elasticity)變差，造成其對近紅外光的反射率下降。

紅光波段中，680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率與 PWC 呈極顯著負相關，此結果與葉綠素含量多寡有關。缺水逆境下，葉綠素合成量不足，葉片在 675

nm 附近之吸光效能嚴重受到影響，導致 680 nm、670 nm、660 nm 三波長反射率明顯上升。

NDVI 值與 PWC 成顯著正相關，隨著缺水天數增加，PWC 下降，植物遭受缺水逆境，導致 NDVI 降低。PRI 與 PWC 成顯著正相關，PRI 可有效評估淨光合作用速率，又缺水處理嚴重影響植株光合作用表現，因此，分析 PRI 與 PWC 之相關性，可得到一顯著正相關。CHL、G/R 與 PWC 沒有相關性，G/R 與 PWC 之相關性僅有 0.59^{*}，顯示此三植生指數較不適合用於評估 PWC。

反射光譜技術可精準反應植物體之生理狀態，在苗木品質之評估上具有高度應用潛力。



參考文獻 (Reference)

- 朱德明. 1995. 植物與環境逆境. P: 13-64. 明文書局股份有限公司. 台北.
- 林楨祐. 1999. 黑板樹和樟樹容器苗木生產技術之研究. 國立台灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 柯勇. 2004. 植物的礦物營養. 植物生理學. 藝軒. 台北.
- 范貴珠. 1993. 施肥對瓊崖海棠苗木生長及生理反應之影響. 國立中興大學森林學研究所碩士論文.
- 張育森. 2004. 從都市園藝之需求對台灣苗圃產業之期許. 台灣花卉園藝. 200: 66-69.
- 許圳塗. 1995. 庭園苗木. p. 685-698. 台灣農家要覽. 台北.
- 許明晃. 2003. 甘藷葉片色素含量與反射光譜關係之研究. 國立台灣大學農藝學系博士論文.
- 郭幸榮. 1988. 台灣杉苗木對水分逆境調節之反應. 台大實驗林研究報告. 2(1): 39-62.
- 陳哲、周建華. 1995. 庭園木容器苗之生產. 造園季刊. p.104-111.
- 進藤三雄、加藤守宏、小池英憲、河村止. 1998. 都市綠化用樹木的生產技術與綠化. p.208. 地景企業股份有限公司. 台北.
- 劉賢祥. 1999. 植物生理學. P.179-180. 徐氏文教基金會出版.
- 蕭英倫. 2006. 景觀容器苗木的生產與推廣應用. 台灣花卉園藝. 232:50-55.
- Adams, M. L., W.A. Norvell, J.H. Peverly, and W.D. Philpot. 1993. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: Effect of leaf age and choice of leaflet. *Plant and Soil*. 156:235-238.
- Adrian, J.L., C.C. Montgomery, B.K. Behe, P.A. Duffy, and K.M. Tilt. 1998. Cost comparisons for infield, above ground container and pot-in-pot production systems. *J. Environ. Hort.* 16:65-68.
- Al-Abbas, A. H., Barr, R., Hall, J. D., Crane, F. L. and Baumgardner, M. F. 1974. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. *Agron. J.* 66:16-20.
- Alfoldi, Z., L. Pinter., and B. Feil. 1992. Accumulation and partitioning of biomass and soluble carbohydrates in maize seedlings as affected by source of nitrogen, nitrogen concentration, and cultivar. *J. Plant Nutr.* 15:2567-2583.
- Ashby, W. C. 1960. Seedling growth and water uptake by *Tilia Americana* at several root temperatures. *Bot. Gaz.* 121:228-232.
- Baquedano, F. J. and F. J. Castillo. 2006. Comparative ecophysiological effect of drought on seedlings of the Mediterranean water-saver *Pinus halepensis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. *Trees* 20 : 689-700.
- Barr, W. and H. Pellett. 1972. Effect of soil temperature on growth and development of some woody plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97:632-635.

- Barrett, E. C. and L.F. Curtis. 1982. Introduction to environmental remote sensing. 2nd ed. Chapman & Hall.
- Bauer, M.E. 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. *Adv. Agron.* 27:271-304.
- Bell, G.E., B.M. Howell, G.V. Johnson, W.R. Raun, J.B. Solie, M.L. Stone. 2004. Optical sensing of turfgrass chlorophyll content and tissue nitrogen. *HortScience.* 39(5):1130-1132.
- Biela, M.M., G.R. Nonnecke, and W.R. Graves. 1999. High root-zone temperature effects on floral initiation in 'Allstar' June-bearing strawberry. *HortScience.* 34:440-565.
- Biela, M.M., G.R. Nonnecke, W.R. Graves, and H.T. Horner. 1998. Effect of root-zone temperature on strawberry growth and development. *HortScience.* 33(3):460.
- Blackmer, T. M., J.S. Schepers, G.E. Varvel, and E.A. Walter-Shea. 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agron. J.* 88:1-5.
- Bondada, B. R. and J.P. Syvertsen. 2003. Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leave of different nitrogen status. *Tree Physiol.* 23: 553-559.
- Bolhar-Nordenkamp, H.R., S.P. Long, N.R. Baker, G. Oquist, U. Schreiber, and G. Lechner. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* 3:497-514.
- Boyer, M., J. Miller, M. Belanger, E. Hare, and J. Wu. 1988. Senescence and spectral reflection in leaves of northern pin oak (*Quercus palustris*). *Remote Sensing Environ.* 25:71-87.
- Broschat, T. K. 2002. Influence of light intensity on optimum fertilization rate in five species of tropical ornamental plants. *HortTechnology.* 12:226-229.
- Brown, W. W. and D. P. Ormrod. 1980. Soil temperature effects on greenhouse roses in relation to air temperature and nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:57-59.
- Buschmann, C. and E. Nagel. 1993. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *Int. J. Remote Sensing.* 14:711-722.
- Cardoso, G., R. Kjelgren, T. Cerny-Koenig, and R. Koenig. 2005. Pot-in-pot production of intermountain west native herbaceous perennials. *HortScience.* 40:993-1147.
- Carrow, R.B. 1996. Summer decline of bentgrass greens. *Golf Course Mgt.* 64:51-56.
- Carter, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicator of plant stress. *Int. J. Remote Sensing.* 15:697-703.
- Chaerle, L. and D. Straeten. 2000. Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends Plant Sci.* 5:495-501.
- Chappelle, E. W., M.S. Kim, and J.E. McMurtrey III. 1992. Ratio analysis of

- reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing Environ.* 39:239-247.
- Cihlar, J., L. St. Laurent, and J.A. Dyer. 1991. Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. *Remote Sensing Environ.* 35:279-298.
- Clearwater, M. J. and F. C. Meinzer. 2001. Relationships between Gydraulic architecture and leaf photosynthetic capacity in nitrogen-fertilized *Eucalyptus grandis* trees. *Tree Physiol.* 21: 683-690.
- Cole, J.C., R. Kjelgren, and D.L. Hensley. 1998. In-ground fabric container as an alternative nursery crop production system. *HortTechnology.* 8(2):159-163.
- Cornic, G., J. L. Le Gouallec, J. M. Briantais, and M. Hodges. 1989. Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two C3 plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Elatostema repens* (Lour.) Hall f.). *Planta.* 177: 84-90.
- Costa, E. S., R. Bressan-Smith, J. G. Oliveira, and E. Campostrini. 2003. Chlorophyll a fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. *Photosynthetica.* 41 : 77-82.
- Danks, S. M., E.H. Evans, and P.A. Wittaker. 1983. *Photosynthetic Systems. Structure Function and Assembly*, Wiley, New York.
- Davenport, J.R., E.M. Perry, N.S. Lang, and R.G. Stevens. 2005. Leaf spectral reflectance for nondestructive measurement of plant nutrient status. *HortTechnology.* 15(1):31-35.
- Davidson, H., R. Mecklenburg, and C. Peterson. 1988. *Nursery management.* USA.
- DeEll, J.R., O. van Kooten, R.K. Prange, and D.P. Murr. 1999. Application of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology. *Hort. Rev.* 23: 69-197.
- Demming-Adams B., W.W. Adams. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends Plant Sci.* 1: 21-26.
- Devitt, D.A., R.L. Morris, and L.K. Fenstermaker. 2005. Foliar damage, spectral reflectance, and tissue ion concentration of trees sprinkle irrigated with waters of similar salinity but different chemical composition. *HortScience.* 40(3):819-826.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1994. Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. *Scientia Horticulturae* 58:289-301.
- Elvidge, C. D. and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sensing Environ.* 54:38-48.
- Ercoli, L., M. Mariotti, A. Masoni, and F. Massantini. 1993. Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in corn leaves. *Eur. J. Agron.*

2:113-117.

- Eskling M., P.O. Arvidsson, and H.E. Akerlund. 1997. The xanthophyll cycle, its regulation and components. *Physiologia Plantarum* 100 : 806-816.
- Evans, J. R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* 72: 297-302.
- Ferree, D.C., S.C. Myers, and J.R. Schupp. 1992. Root purging and root restriction of fruit trees-current review. *Acta Hort.* 322:153-166.
- Field, C.B., J.A. Gamon, and J. Peñuelas. 1994. Remote sensing of terrestrial photosynthesis, p. 511–527. In: E.D. Schulze and M.M. Caldwell (eds.) *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer Verlag, New York.
- Filella, I. and J. Peñuelas. 1994. The red edge position and shape as indicator of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sensing.* 15(7):1459-1470.
- Foster, W.J., D.L. Ingram, and T.A. Nell. 1991. Photosynthesis and root respiration in *Ilex crenata* 'Rotundifolia' at supraoptimal root-zone temperatures. *HortScience.* 26(5):535-537.
- Fridgen, J.L. and J.J. Varco. 2004. Dependency of cotton leaf nitrogen, chlorophyll and reflectance on nitrogen and potassium availability. *Agron. J.* 96:63-69.
- Fuchs, M. 1990. Canopy thermal infrared observations, p.323-333. In: N.S. Goel and J. M. Norman (eds.). *Instrumentation for Studying Vegetation Canopies for Remote Sensing in Optical and Thermal Infrared Regions*. Harwood Acad. Publishers, Gmb H, U. K.
- Gamon, J.A. and J.S. Surfus. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol.* 143:105–117.
- Gamon, J.A., C.B. Field, M.L. Goulden, K.L. Griffin. 1995. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecol. Appl.* 5(1): 28-41.
- Gilbert, M. A., D. Seggara, and J. Melia. 1990. A simplified algorithm for the evaluation of frost-affected citrus, application of chlorophyll fluorescence. p.273-284. Lichtenthaler, H. K.
- Gilman, M.D. and R.C. Beeson. 1996. Nursery production method affects root growth. *J. Environ. Hort.* 14(2):88-91.
- Gilmore A.M., T. Hazlett, and L. Govindjee. 1995. Xanthophyll cycle-dependent quenching photosystem II chlorophyll a fluorescence : Formation of a quenching complex with a short fluorescence lifetime. *Plant Bio.* 92: 2273-2277.
- Gitelson, A. A. and M.N. Merzlyak. 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *Int. J. Remote Sensing.* 18:2691-2697.
- Gitelson, A. A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in

- remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing Environ.* 58:289-298.
- Gómez-Casero, M.T., F. López-Granados, J.M. Peña-Barragañ, M. Jurado-Expósito, and L. García-Torres. 2007. Assessing nitrogen and potassium deficiencies in olive orchards through discriminant analysis of hyperspectral data. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132(5):611–618.
- Goodwin, T. W. 1988. *Plant pigments*. Academic Press Inc. USA.
- Gosselin, A. and M. T. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato. II : Mineral composition of plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:906-909.
- Grant, L. 1987. Difuse and spactral characteristics of leaf relectance. *Remote Sensing Environ.* 22:309-322.
- Graves, W. R., M. N. Dana, and R. J. Joly. 1989. Root-zone temperature affects water status and growth of red maple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(3):406-410.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D. and Ellis, A. C. 1997. Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. *Aquat. Bot.* 132 (58):11-19.
- Gur. A., B. Bravdo, and Y. Mizrahi. 1972. Physiological responses of apple trees to supraoptimal root temperature. *Physiol. Plant.* 27:130-138.
- Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies, p. 19-43. In: M.D. Steven and J.A. Clark (eds.). *Applications of remote sensing in agriculture*. Cambridge Univ. Press, London.
- Haboudane, D., J. R. Miller, N. Tremblay, P. J. Zarco-Tejada, and L. Dextraze. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing Eviron.* 81:416-426.
- Hammond, M. W. and S. D. Seeley. 1978. Spring bud development of *Malus* and *Prunus* species in relation to soil temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103:655-657.
- Harris, J.R. and E.F. Gilman. 1993. Rroduction method affects growth and post-transplant establishment of 'East Palatka' holly. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(20):94-200.
- Hassan, I. A. 2006. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. *Photosynthetica.* 44 : 312-315.
- Hendry, G. A. F., J.D. Houghton, and S.B. Brown. 1987. The degradation of chlorophyll—a biological enigma. *New Phytol.* 107:255-302.
- Hoff, A. J. and J. Amesz. 1991. Visible absorption spectroscopy of chlorophylls, p.726-738. In: H. Scheer (ed.). *Chlorophylls*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Høgh-Jensen, H., B. Wollenwebe, and J.K. Schjoerring. 1997. Kinetics of nitrate and ammonium absorption and accompanying H⁺ fluxes in roots of *Lolium perenne* L.

- and N₂-fixing *Trifolium repens* L. *Plant Cell and Environ.* 20: 1184-1192.
- Hunt, E. R., Rock, B. R. and Nobel, P. S. 1987. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing Environ.* 22:429-435.
- Idoso, S.B., B.A. Kimball, and J.R. Mauney. 1987. Atmospheric carbon dioxide enrichment effects on cotton midday foliage temperature: implications for plant water use and crop yield. *Agron. J.* 79:667-672.
- Ingram, D. L. and D. Buchanan. 1981. Measurement of direct heat injury of roots of tree wood plants. *HortScience.* 16(6):769-771.
- Ingram, D. L. and D. Buchanan. 1984. Lethal high temperature for roots of three citrus rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(2):189-193.
- Ingram, D.L., U. Yadav, and C.A. Neal. 1987. Production system comparisons for selected woody plants in florida. *HortScience.* 22(6): 1285-1287.
- Inoue, Y., M.S. Moran, and T. Horie. 1998. Analysis of spectral measurements in paddy field for predicting rice growth and yield based on a simple crop simulation model. *Plant Rrod. Sci.* 1:269-279.
- Inoue, Y., S. Morinaga, and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. *Jap. J. Crop. Sci.* 62: 462-469.
- Johnson, C. R. and D. L. Ingram. 1984. *Pittosporum tobira* response to container medium temperature. *HortScience* 19(4):524-525.
- Jones J.G., L. Hardy. 1989. Stress and cognitive functioning in sport. *J. Sports Sci.* 7: 41-63.
- Kanemasu, E.T. 1974. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean. *Remote Sensing Environ.* 3:43-47.
- Karlsson, M.G., R.D. Hein, J.E. Erwin, and R.D. Berghage. 1989. Development rate during four phases of chrysanthemum growth as determined by preceding and prevailing temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:234-240.
- Kato M.C., K. Hikosaka, N. Hirotsu, A. Makino, and T. Hirose. 2003. The excess light energy that is neither utilized in photosynthesis nor dissipated by photoprotective mechanisms the rate of photoinactivation in photosystem II. *Plant Cell Physiol.* 44(3):318-325.
- Krause G. H., E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis : the basics. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:313-349.
- Krupa Z., G. Oquist, N. Huner. 1992. The influence of cadmium on primary photosystem II photochemistry in bean as revealed by chlorophyll a fluorescence - a preliminary study. *Acta Physiol. Plant.* 14:71-76.
- Lawlor, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25:

275-294.

- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. vol. 1. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic, New York.
- London, J.B., R.T. Fernandez, R.E. Young, and J.D. Christenbury. 1998. Media temperature in above-ground and in-ground pot-in-pot container systems. HortScience. 33:443-558.
- Lu C., J. Zhang. 1999. Effects of salt stress on PS II function and photoinhibition in the cyanobacterium *Spirulina platensis*. J. Plant Physiol. 155:740-745.
- Ma, B. L., M.J. Morrison, and L.M. Dwyer. 1996. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. Agron. J. 88:915-920.
- Madakadze, I.C., K.A. Stewart, R.M. Madakadze, P.R. Peterson, B.E. Coulman, and D.L. Smith. 1999. Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of switchgrass. J. Plant Nutr. 22:1001-1010.
- Makino, A., H. Sakashita, J. Hidema, T. Mae, K. Ojima, and B. Osmond. 1992. Distinctive responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and carbonic anhydrase in wheat leaves to nitrogen nutrition and their possible relationships to CO₂-transfer resistance. Plant Physiol. 100: 1737-1743.
- Martin, C.A., L.B. McDowell, and S. Bhattacharya. 1999. Below ground pot-in-pot effects on growth of two southwest landscape trees was related to root membrane thermostability. J. Environ. Hort. 17:63-68.
- Martin, C.H. 1990. Modeling temperature patterns in a container medium and acclimatization of three tree species to supraoptimal root-zone temperatures. PhD Diss. Univ. of Florida, Gainesville.
- Masoni, A., L. Ercoli, and M. Mariotti. 1997. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. Agron. J. 88:937-943.
- Mass, S. J. and J. R. Dunlap. 1989. Reflectance, transpiration, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. Agron. J. 81:105-110.
- Matile, P., M. Schellenberg, and C. Peisker. 1992. Production and release of a chlorophyll catabolite in isolated senescent chloroplasts. Planta. 187:230-235.
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659-668.
- Medhurst, J. L. and C. L. Beadle. 2005. Photosynthetic capacity and foliar nitrogen distribution in *Eucalyptus nitens* is altered by high-intensity thinning. Tree physiol. 25: 981-991.
- Mena-Petite A., A. Muñoz-Rueda, and M. Lacuesta. 2003. Effect of cold treatment and transplanting stress in gas exchange, chlorophyll fluorescence addn survival inder water limiting condition of *Pinus radiata* stock-types. Eur. J. Forest Res. 124:73-82.
- Merritt, P.A., D.J. Eakes, C.H. Gilliam, G.J. Keever. 1996. Container hole position

- affects growth of wet-land species. HortScience. 31:723-890.
- Merritt, R. H. and H. C. Kohl, Jr. 1985. Photoperiod and soil temperature effects on crop productivity efficiency and growth of seedling Geraniums in the greenhouse. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(2):204-207.
- Mohanty, N., I. Vass, and S. Demeter. 1989. Copper toxicity affects photosystem II electron transport the secondary quinone acceptor(QB). Plant Physiol. 90: 175-179.
- Mojarro, F. 1988. Analysis of the effect of water, nitrogen and weather on growth, grain yield, biomass production and light use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Ph. D. dissertation, Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Nada, K., X. H. Li, and S. Tachibana. 2003. Impaired photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by high root-zone temperature involves ABA-induced stomatal closure and reduction in ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72(6):504-510.
- Nelson, V. L., Gjerstad, D. H. and Glover, G. R. 1986. Determining nitrogen status of young loblolly pine by leaf reflectance. Tree Physiol. 1:333-339.
- Neuner, G. and W. Larcher. 1991. The effect of light, during and subsequent to chilling, on the photosynthetic activity of two soybean cultivars, measured by in vivo chlorophyll fluorescence. Photosynthetica 25:257-266.
- Nielsen, K.F. 1974. Roots and root temperatures, p. 293-333. In: E.W. Carson (ed.). Plant root and its environment. Univ. of Virginia Press, Charlottesville.
- Nordin, A. 1977. Effect of low root temperature on ion uptake and ion translocation in wheat. Physiol. Plant. 39:305-310.
- Ohad, I., N. Adir, H. Koike, D. J. Kyle, and Y. Inoue. 1990. Mechanism of photoinhibition in vivo. A reversible light-induced conformational change of reaction center is related to an irreversible modification of the D1 protein. J. Biol. Chem. 265:1972-1979.
- Parkerson, C. H. 1990. P&P: A new field-type operation. Proc. Intern. Plant Prop. Soc. 40:417-419.
- Pena-Rojas, K., X. Aranda, R. Joffre, and I. Fleck. 2005. Leaf morphology, photochemistry and water status changes in resprouting *Quercus ilex* during drought. Funct. Plant Biol. 32: 117-130.
- Peñuelas, J. , J.A. Gamon, A.L. Fredeen, J. Merino, and C.B. Field. 1994. Reflectance indices with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. Remote Sensing Environ. 48:135-146.
- Peñuelas, J. and I. Filella 1998. Visible and nearinfrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. Trends Plant Sci. 3:151-156.
- Peñuelas, J. and J.A. Gamon. 1995. Assessment of photosynthetic radiation-use

- efficiency with spectral reflectance. *New Phytol.* 131:196-291.
- Peñuelas, J. R., Filella, I. I. And Araus, J. L. 1997. Visible and near-infrared reflectance assessment of salinity effects on barley. *Crop Sci.* 37:198-202.
- Peñuelas, J., I. Filella, C. Biel, L. Serrano, and R. Save. 1993a. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *Intl. J. Remote Sensing* 14:1887–1905.
- Peñuelas, J., I. Filella, J.A. Gamon, and C. Field. 1997. Assessment photosynthetic radiation-use efficiency of emergent aquatic vegetation from spectral reflectance. *Aquatic Bot.* 58:307-315.
- Peñuelas, J., J.A. Gamon, K. Griffin, and C.B. Field. 1993b. Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing Environ.* 46:1–25.
- Peoples, T. R. and D. W. Koch. 1979. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Medicago sativa* L. *Plant Physiol.* 63:878-881.
- Peterson, D. L., M. A. Spanner, S.W. Running, and K.B. Teuber. 1987. Relationships of thematic mapper simulation data to leaf area index of temperate coniferous forests. *Remote Sensing Environ.* 22:323-341.
- Peterson, R. B., M. N. Sivak, and D. A. Walker. 1988. Relationship between steady-state fluorescence yield and photosynthetic efficiency in spinach leaf tissue. *Plant Physiol.* 88:158-163.
- Price, J. C. and Bausch, W. C. 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sensing Environ.* 52:55-65.
- Radovich, T.J.K., J.G. Streeter, P.P. Ling, and M.D. Kleinhenz. 2004. Radish (*Raphanus sativus*) as a model system for the study of soil moisture effects on the glucosinolate-myrosinase complex. *HortScience.* 39(4):896. (Abstr.).
- Ramcharan, C., D. L. Ingram, T. A. Nell, and J. E. Barrett. 1991. Fluctuations in leaf carbon assimilation as affected by root-zone temperature and growth environment. *HortScience.* 26(9):1200-1202.
- Richardson, A.D., S.P. Duigan, and G.P. Berlyn. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New phytol.* 153:185-194.
- Ripple, W. J. 1986. Spectral reflectance relationship to leaf water stress. *Photogramm. Eng. Remote Sensing.* 52:1669-1675.
- Robbins, N. S. and D. M. Pharr. 1989. Short-term cooling of cucumber roots alters leaf carbohydrate metabolism. *HortScience* 24:140-142.
- Ruter, J.M. 1995. Production system and copper hydroxide influences on growth and photosynthesis of *Magnolia grandiflora* ‘St. Mary’. *HortScience.* 30:195-914.
- Ruter, J.M. 1997. Pot-in-pot production and cyclic irrigation influences growth and evapotranspiration of ‘Okame’cherry. *HortScience.* 32:427-558.

- Ruter, J.M. 1998. Fertilizer rate and pot-in-pot production increases growth of Heritage River Birch. *J. Environ. Hort.* 16:135-138.
- Schluckebier, J. G. and C. A. Martin, 1997. Effects of above-ground pot-in-pot placement and Humic acid exytract on growth of crape myrtle. *J. Environ. Hort.* 15(1):41-44.
- Schmidhalter, U., S. Jungert, C. Bredemeier, R. Gutser, R. Manhart, B. Mistele, and G. Gerl. 2003. Field-scale validation of a tractor based multispectral crop scanner to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat, p. 615–620. In: J.V. Stafford and A. Werner (eds.). *Precision agriculture*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Schreiber, U. and P.A. Armond. 1978. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in isolated chloroplasts and related heat-damage at the pigment level. *Biochem. Biophys. Acta.* 502:138-151.
- Sellers, P.J. 1987. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence. *Remote Sensing Environ.* 21:143-183.
- Serrano L., S.L. Ustin, D.A. Roberts, J.A. Gamon, and J. Penuelas. 2000. Estimating water content of chaparral vegetation from AVIRIS data. *Remote Sensing Environ.* 74:570–581.
- Sinclair, T.R., R.M. Hoffer, and M.M. Schreiber. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. *Agro. J.* 63:864-868.
- Skene, K. G. M. and G. H. Kerridge. 1967. Effect of root temperature on cytokinin activity in root exudates of *Vitis vinifera* L. *Plant Physiol.* 42:1131-1139.
- Souza, R. P., E. C. Machado, J. A. B. Silva, A. M. M. A. Lagoa, and J. A. G. Silverira. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environ. Exp. Bot.* 51: 45-56.
- Stafne, E.T., J.R. Clark, and C.R. Rom. 2001. Leaf gas exchange response of ‘Arapaho’ blackberry and six red raspberry cultivars to moderate and high temperatures. *HortScience.* 36(5):880-883.
- Stoneman, G. L., D. S. Crombie, K. Whitford, F. J. Hingston, T. Giles, C. C. Portlock, J. H. Galbraith and G. M. Dimmock. 1996. Growth and water relations *Eucalyptus marginata* (jarrag) stands in response to thinning and fertilization. *Tree Physiol.* 16:267-274.
- Tachibana, S., C. D. Yong, Y. H. Wang, and F. Kitamura. 1997. Implication of endogenous cytokinins in the growth inhibition of cucumber plant by supraoptimal root-zone temperature., *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 66(3.4): 549-555.
- Taiz L., and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology* 3rd ed. pp 114, 137-162. Sinaure

- Associates Inc., Sunderland, Massachusetts.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. p.179-218. The Benjamin/Cummings, California.
- Tezara, W., V. J. Mitchell, S. D. Driscoll, and D. W. Lawlor. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*. 401: 914-917.
- Thenkabail, P. S., A.D. Ward, and J.G. Lyon. 1994. Impacts of agricultural management practices on soybean and corn crops evident in ground-truth data and thematic mapper vegetation indices. *Trans. ASAE*. 37:989-995.
- Thomas D.S. and D.W. Turner. 2001. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. *Scientia Hort.* 90 : 93-108.
- Thomas, J. R. and H.W. Gausman. 1977. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agron. J.* 69:799-802.
- Thomas, J.R. and G.F. Oerther. 1972. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. *Agron. J.* 64:11-13.
- Truder, M. J. and A. Gosselin. 1982. Influence of soil temperature in greenhouse tomato production. *HortScience* 17:928-929.
- Tucker, C. J. 1979. Monitoring corn and soybean development with hand-held radiometer spectral data. *Remote Sensing Environ.* 8:237-248.
- Walburg, G., M.E. Bauer, C.S. Daughtry, and T.L. Housley. 1982. Effects of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn. *Agron. J.* 74:677-683.
- Wang, L., D.M. Eissenstat, and D.E. Flores-Alva. 1998. Effects of Soil Temperature and Drought on Root–Soil Respiration in Apple under Field Conditions. *HortScience*. 33(3): 453.
- Wang, T. L., R. W. Harris, and R. E. Fissell. 1971. Influence of high soil temperature on five woody-plant species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(1):80-82.
- Warner, R.M. and J.E. Erwin. 2005. Prolonged high temperature exposure and daily light integral impact growth and flowering of five herbaceous ornamental species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:319-325.
- Weis, E. and J. Berry. 1987. Quantum efficiency of photosystem II in relation to 'energy dependent' quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta.* 894:198-207.
- Whittaker, R. H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. p.55-118. In: Lieth, H. and R.H. Whittaker. (eds.). *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, New York.
- Wilcox, D. A., F. S. Davies, and D. W. Buchanan. 1983. Root temperature, water relations, and cold hardiness in two Citrus rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:318-321.

- Willits, D. H. and M. M. Peet. 2001. Measurement of chlorophyll fluorescence as a heat stress indicator in tomato: Laboratory and greenhouse comparisons. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:188-194.
- Xu, Q. and B. Huang. 2001. Lowering soil temperatures improves creeping bentgrass growth under heat stress. *Crop Sci.* 41:1878–1883.
- Xu, Q., B. Huang, and Z. Wang. 2003. Differential effects of lower day and night soil temperatures on shoot and root growth of creeping bentgrass. *HortScience.* 38(3):449-454.
- Xue, L., W. Cao, W. Luo, T. Dai, and Y. Zhu. 2004. Monitoring leaf nitrogen status in rice canopy spectral reflectance. *Agron. J.* 96:135–142.
- Yadava, U.L. 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *HortScience.* 21:1449-1450.
- Yang, G. P., D. Rhodes, and R. J. Joly. 1996. Effects of high temperature on membranestability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and glycinebetaine-containing maize lines. *Austral. J. Plant Physiol.* 23 : 437-443.
- Yeager, T.H., R.H. Harrison, and D.L. Ingram. 1991. 'Rotundifolia' Holly Growth and Nitrogen Accumulation Influenced by Supraoptimal Root-zone Temperatures. *HortScience.* 26(11):1387-1388.
- Young, R.E. and G.R. Bachman. 1996. Temperature distribution in large, pot-in-pot nursery containers. *J. Environ. Hort.* 14(4):170-176.
- Zhang Y.L., Y. M. Li., K. Xiao., X. J. Li. 2004. Effects of N and P rates on photosynthetic characteristics of flag leaves in hybrid wheat. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 10: 231-236.
- Zhu, H., C.R. Krause, R.H. Zondag, R.D. Brazee, R.C. Derksen, M.E. Reding, and N.R. Fausey. 2005. A new system to monitor water and nutrient use in pot-in-pot nursery production systems. *J. Environ. Hort.* 23(1):47-53.

附錄 (Appendix)

附錄 1. 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Effects of traditional above-ground container production method (AGC), above-ground pot-in-pot system (AGPIP), and in-ground pot-in-pot system (IGPIP) on the reflectances at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral of *Begonia semperflorens-cultorum* 'Super Olympia White' under drought treatments. n=5. (Measure date:2008/9/17)

	900 nm	890 nm	880 nm	870 nm	860 nm	850 nm	840 nm	830 nm	820 nm	810 nm
AGC	55.67 a ^z	56.10 a	58.69 a	57.29 a	57.01 b	58.03 a	58.23 b	58.06 a	58.34 a	58.21 a
AGPIP	59.20 a	55.90 a	58.45 a	58.42 a	57.88 ab	58.23 a	58.58 ab	58.52 a	58.77 a	58.55 a
IGPIP	58.39 a	56.94 a	59.56 a	59.15 a	58.55 a	59.39 a	59.64 a	59.36 a	59.66 a	59.48 a
	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

附錄 1.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP) 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Continued.

	800 nm	790 nm	780 nm	770 nm	760 nm	750 nm	740 nm	730 nm	720 nm	710 nm
AGC	58.57 a ^z	58.51 a	58.47 b	58.37 a	58.35 a	57.51 a	55.84 a	51.98 a	43.55 a	31.21 a
AGPIP	58.88 a	58.81 a	58.88 ab	58.63 a	58.56 a	57.65 a	55.63 a	51.16 a	41.65 b	28.56 b
IGPIP	59.88 a	59.88 a	59.91 a	59.58 a	59.51 a	58.61 a	56.48 a	51.70 a	41.88 b	28.32 b
	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

附錄 1.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP)
對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查
日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Continued.

	700 nm	690 nm	680 nm	670 nm	660 nm	650 nm	640 nm	630 nm	620 nm	610 nm
AGC	16.84 a ^z	6.62 a	5.17 a	5.22 a	5.64 a	6.07 a	7.14 a	8.04 a	8.31 a	9.32 a
AGPIP	14.48 b	5.80 b	4.86 a	4.90 a	5.21 b	5.51 b	6.31 b	7.01 b	7.26 b	8.03 b
IGPIP	14.11 b	5.77 b	4.95 a	4.98 a	5.20 b	5.47 b	6.21 b	6.81 b	7.03 b	7.82 b
	***	***	ns	ns	*	**	**	**	**	**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

附錄 1.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP)
對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查
日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Continued.

	600 nm	590 nm	580 nm	570 nm	560 nm	550 nm	540 nm	530 nm	520 nm	510 nm
AGC	10.18 a ^z	10.87 a	12.25 a	14.92 a	17.88 a	18.53 a	17.97 a	16.04 a	11.41 a	7.51 a
AGPIP	8.75 b	9.28 b	10.53 b	12.81 b	15.48 b	16.15 b	15.61 b	13.86 b	9.76 b	6.65 b
IGPIP	8.52 b	9.05 b	10.27 b	12.57 b	15.26 b	15.96 b	15.46 b	13.70 b	9.60 b	6.56 b
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

附錄 1.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP)
對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查
日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Continued.

	500 nm	490 nm	480 nm	470 nm	460 nm	450 nm	440 nm	430 nm	420 nm	410 nm
AGC	6.10 a ^z	5.75 a	5.74 a	5.74 a	5.84 a	5.84 a	5.85 a	5.92 a	6.04 a	6.17 a
AGPIP	5.66 b	5.46 a	5.46 a	5.50 a	5.56 a	5.53 a	5.61 a	5.63 a	5.71 a	5.88 a
IGPIP	5.62 b	5.43 a	5.42 a	5.47 a	5.53 a	5.57 a	5.63 a	5.65 a	5.72 a	5.86 a
	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

附錄 1.(續) 傳統容器育苗 (AGC)、地上盆中盆 (AGPIP) 及地下盆中盆 (IGPIP)
 對四季秋海棠 'Super Olympia White' 處於乾旱逆境下各波長反射率之影響 (調查
 日期: 2008/9/17)

Appendix 1. Continued.

	400 nm	390 nm	380 nm	370 nm	360 nm	350 nm	340 nm	330 nm	320 nm	310 nm
AGC	6.32 a ^z	6.54 a	6.61 a	6.75 a	6.62 a	6.60 a	6.51 a	6.65 a	6.71 a	6.92 a
AGPIP	6.03 a	6.13 a	6.20 a	6.23 a	6.16 a	6.08 a	6.13 a	6.26 a	6.31 a	6.43 a
IGPIP	5.95 a	6.06 a	6.21 a	6.22 a	6.06 a	6.06 a	6.13 a	6.16 a	6.42 a	6.46 a
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.



附錄 2. 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Effects of different fertilization rates on the reflectances at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral ,and the linear correlation analysis between the reflectance of each wavelength and CMR(SPAD-502 value) of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under nitrogen treatments.n=5.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	900 nm	890 nm	880 nm	870 nm	860 nm	850 nm	840 nm	830 nm	820 nm	810 nm
0	26.30 a ^z	60.40 ab	59.26 a	58.08 a	58.00 a	58.48 a	58.90 a	58.84 a	58.42 a	58.92 a
0.5	26.70 a	60.30 ab	58.21 a	57.80 a	58.93 a	58.61 a	59.25 a	59.03 a	58.66 a	59.18 a
1.0	55.33 a	62.18 a	59.70 a	57.56 a	57.80 a	57.96 a	58.43 a	58.35 a	58.25 a	58.60 a
2.0	55.73 a	58.53 bc	58.12 a	57.91 a	57.48 a	57.60 a	58.21 a	58.11 a	57.85 a	58.25 a
4.0	56.15 a	57.82 c	58.30 a	57.75 a	57.66 a	57.66 a	58.20 a	58.08 a	57.90 a	58.21 a
	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
linear correlation ^y	0.01 ^{ns}	-0.45*	-0.17 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.31 ^{ns}

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

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

附錄 2.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	800 nm	790 nm	780 nm	770 nm	760 nm	750 nm	740 nm	730 nm	720 nm	710 nm
0	59.00 a ^z	58.96 a	59.14 a	58.90 a	58.78 a	58.18 a	56.60 a	53.60 a	46.56 a	35.38 a
0.5	59.26 a	59.21 a	59.58 a	59.21 a	58.96 a	58.20 a	56.45 a	52.61 ab	44.35 ab	31.75 b
1.0	58.73 a	58.63 a	58.85 a	58.66 a	58.40 a	57.58 a	55.76 ab	51.76 b	43.38 b	30.81 b
2.0	58.46 a	58.40 a	58.53 a	58.23 a	57.96 a	57.03 a	54.85 bc	50.08 c	40.58 c	27.23 c
4.0	58.43 a	58.46 a	58.61 a	58.18 a	57.95 a	56.95 a	54.43 c	49.15 c	38.85 c	25.10 c
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	***	***	***
linear correlation ^y	-0.25 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-0.31 ^{ns}	-0.38*	-0.49**	-0.69***	-0.84***	-0.90***	-0.91***

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

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

附錄 2.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	700 nm	690 nm	680 nm	670 nm	660 nm	650 nm	640 nm	630 nm	620 nm	610 nm
0	20.58 a ^z	7.88 a	5.46 a	5.58 a	6.50 a	7.28 a	9.06 a	10.34 a	10.80 a	12.28 a
0.5	16.43 b	5.80 b	4.53 b	4.55 b	4.88 b	5.26 b	6.30 b	7.18 b	7.48 b	8.51 b
1.0	15.86 b	5.68 bc	4.35 b	4.36 b	4.73 b	5.15 b	6.20 bc	7.01 b	7.43 b	5.48 b
2.0	13.15 c	5.21 bc	4.50 b	4.48 b	4.66 b	4.85 b	5.51 bc	6.05 bc	6.31 bc	7.06 bc
4.0	11.73 c	5.00 c	4.46 b	4.46 b	4.58 b	4.78 b	5.28 c	5.75 c	5.98 c	6.61 c
	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^y	-0.91***	-0.86***	-0.71***	-0.72***	-0.79***	-0.82***	-0.85***	-0.86***	-0.86***	-0.87***

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

*** Significant at $P < 0.001$.

附錄 2.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	600 nm	590 nm	580 nm	570 nm	560 nm	550 nm	540 nm	530 nm	520 nm	510 nm
0	13.44 a ^z	14.34 a	16.18 a	19.42 a	22.80 a	23.58 a	23.04 a	20.98 a	15.40 a	9.82 a
0.5	9.45 b	10.15 b	11.70 b	14.62 b	17.73 b	18.57 b	18.12 b	16.35 b	11.50 b	7.17 b
1.0	9.45 b	10.23 b	11.77 b	14.63 b	17.72 b	18.48 b	18.00 b	16.23 b	11.52 b	7.17 b
2.0	7.78 bc	8.37 bc	9.53 c	11.88 c	14.53 c	15.25 c	14.90 c	13.40 c	9.53 bc	6.35 b
4.0	7.27 c	7.75 c	8.72 c	10.78 c	13.17 c	13.82 c	13.43 c	12.12 c	8.73 c	6.10 b
	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^y	-0.81***	-0.82***	-0.83***	-0.85***	-0.86***	-0.86***	-0.86***	-0.85***	-0.84***	-0.80***

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

*** Significant at $P < 0.001$.

附錄 2.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	500 nm	490 nm	480 nm	470 nm	460 nm	450 nm	440 nm	430 nm	420 nm	410 nm
0	7.10 a ^z	6.30 a	6.24 a	6.18 a	6.28 a	6.22 a	6.12 a	6.20 a	6.34 a	6.54 a
0.5	5.56 b	5.21 b	5.15 b	5.18 b	5.21 b	5.23 c	5.25 c	5.38 b	5.48 b	5.63 b
1.0	5.48 b	5.10 b	5.06 b	5.10 b	5.23 b	5.23 c	5.28 bc	5.43 b	5.48 b	5.56 b
2.0	5.36 b	5.13 b	5.20 b	5.23 b	5.31 b	5.38 bc	5.48 bc	5.55 b	5.61 b	5.78 b
4.0	5.38 b	5.25 b	5.28 b	5.38 b	5.46 b	5.60 b	5.61 b	5.70 b	5.76 b	5.91 b
	***	***	***	***	***	***	***	**	***	***
linear correlation ^y	-0.71***	-0.60***	-0.56**	-0.50**	-0.52**	-0.44*	-0.36 ^{ns}	-0.41*	-0.44**	-0.44*

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

^{ns}, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

附錄 2.(續) 肥料施用濃度對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與葉綠素計讀值 (CMR, SPAD-502 value) 之線性相關性分析

Appendix 2. Continued.

Fertilization rates (g·L ⁻¹)	400 nm	390 nm	380 nm	370 nm	360 nm	350 nm	340 nm	330 nm	320 nm	310 nm
0	6.90 a ^z	6.94 a	6.92 a	6.74 a	6.54 a	6.40 ab	6.50 ab	6.64 ab	6.68 a	6.76 ab
0.5	5.85 b	5.91 b	6.01 b	6.13 b	6.01 b	6.03 b	6.06 b	6.15 c	6.16 b	6.48 b
1.0	5.78 b	5.85 b	6.05 b	6.21 b	6.30 ab	6.25 ab	6.16 b	6.30 bc	6.48 ab	6.73 b
2.0	5.88 b	6.01 b	6.15 b	6.33 b	6.43 a	6.41 ab	6.46 ab	6.65 ab	6.66 a	6.86 ab
4.0	6.06 b	6.16 b	6.23 b	6.46 ab	6.65 a	6.65 a	6.66 a	6.76 a	6.90 a	7.18 a
	***	***	**	*	*	ns	ns	*	*	*
linear correlation ^y	-0.54*	-0.51*	-0.52*	-0.29 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.22 ^{ns}

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and CMR.

^{ns}, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

附錄 3. 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Effects of different drought treatments on the reflectance at all the wavelengths from 900 nm to 300 nm of the leaf reflectance spectral ,and the linear correlation analysis between the reflectance of each wavelength and PWC of *Begonia semperflorens-cultorum* ‘Super Olympia White’ under different drought treatments.

Drought treatment	900 nm	890 nm	880 nm	870 nm	860 nm	850 nm	840 nm	830 nm	820 nm	810 nm
A : 5 days	64.30 a ^z	59.50 a	59.98 a	58.62 a	60.18 a	60.34 a	60.62 a	60.40 a	60.60 a	60.70 a
B : 10 days	58.54 b	59.36 a	59.34 ab	56.94 b	58.78 b	59.30 a	59.50 b	59.28 b	59.40 b	59.72 a
C : 20 days	58.43 b	55.61 b	57.78 bc	55.40 bc	56.98 c	57.42 b	57.52 c	57.57 c	57.71 c	57.92 b
D : 35 days	58.04 b	55.20 b	57.13 c	54.97 c	56.98 c	57.41 b	57.63 c	57.48 c	57.51 c	57.76 b
	**	*	*	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^y	0.40 ^{ns}	0.51*	0.48*	0.57**	0.63**	0.62**	0.68**	0.67**	0.67**	0.66**

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

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

附錄 3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Continued.

Drought treatment	800 nm	790 nm	780 nm	770 nm	760 nm	750 nm	740 nm	730 nm	720 nm	710 nm
A : 5 days	60.80 a ^z	60.54 a	60.54 a	60.72 a	60.48 a	59.58 a	57.48 a	52.86 a	43.42 a	29.46 a
B : 10 days	59.72 b	59.46 a	59.40 b	59.62 b	59.32 b	58.42 b	56.16 b	51.06 b	41.04 a	27.06 a
C : 20 days	58.01 c	57.68 b	57.36 c	57.90 c	57.22 c	56.72 c	54.50 c	50.34 b	41.40 a	29.42 a
D : 35 days	57.85 c	57.68 b	57.66 c	57.66 c	57.38 c	56.16 c	53.38 c	48.15 c	38.11 b	24.22 b
	***	***	***	***	***	***	***	***	***	**
linear correlation ^y	0.67**	0.63**	0.65**	0.68**	0.68**	0.70***	0.74***	0.73***	0.61**	0.42 ^{ns}

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

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

附錄 3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Continued.

Drought treatment	700 nm	690 nm	680 nm	670 nm	660 nm	650 nm	640 nm	630 nm	620 nm	610 nm
A : 5 days	14.02 ab ^z	5.08 b	4.22 c	4.32 b	4.60 b	4.94 b	5.70 bc	6.36 ab	6.66 ab	7.46 ab
B : 10 days	12.76 b	5.18 b	4.60 b	4.62 b	4.74 b	4.86 b	5.34 c	5.74 b	5.90 b	6.52 b
C : 20 days	14.94 a	6.21 a	5.04 a	5.10 a	5.44 a	5.78 a	7.06 a	7.44 a	7.65 a	8.50 a
D : 35 days	12.76 b	6.16 a	5.35 a	5.40 a	5.71 a	5.96 a	6.34 ab	7.15 a	7.33 a	7.86 ab
	**	**	***	***	***	**	*	*	*	*
linear correlation ^y	0.04 ^{ns}	-0.59 ^{**}	-0.74 ^{***}	-0.74 ^{***}	-0.72 ^{***}	-0.68 ^{**}	-0.54 [*]	-0.50 [*]	-0.47 [*]	-0.38 ^{ns}

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^{ns}, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

附錄 3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Continued.

Drought treatment	600 nm	590 nm	580 nm	570 nm	560 nm	550 nm	540 nm	530 nm	520 nm	510 nm
A : 5 days	8.18 ab ^z	8.72 ab	9.98 b	12.50 ab	15.38 a	16.16 a	15.66 a	13.90 ab	9.58 ab	6.18 b
B : 10 days	7.10 b	7.58 b	8.68 b	10.78 b	13.36 b	14.08 b	13.72 b	12.28 bc	8.72 b	6.04 b
C : 20 days	9.17 a	9.82 a	11.68 a	14.02 a	16.60 a	16.48 a	16.02 a	14.34 a	10.88 a	7.15 a
D : 35 days	8.33 ab	8.85 ab	9.30 b	11.00 b	13.02 b	14.11 b	13.70 b	12.35 c	8.80 b	6.98 ab
	*	*	**	**	**	**	**	**	**	*
linear correlation ^y	-0.30 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.52 [*]

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

^{ns}, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ and 0.01, respectively.

附錄 3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Continued.

Drought treatment	500 nm	490 nm	480 nm	470 nm	460 nm	450 nm	440 nm	430 nm	420 nm	410 nm
A : 5 days	5.20 b ^z	5.00 b	5.00 b	5.04 b	5.06 b	5.06 b	5.1 b	5.16 b	5.28 b	5.42 b
B : 10 days	5.26 b	5.10 b	5.12 b	5.14 b	5.2 b	5.24 b	5.38 b	5.46 b	5.60 b	5.68 b
C : 20 days	6.01 a	5.75 a	5.74 a	5.80 a	5.87 a	5.85 a	5.9 a	5.92 a	6.00 a	6.15 a
D : 35 days	6.20 a	5.96 a	6.01 a	6.01 a	6.08 a	6.08 a	6.13 a	6.20 a	6.25 a	6.40 a
	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
linear correlation ^y	-0.73***	-0.76***	-0.76***	-0.73***	-0.75***	-0.74***	-0.72***	-0.71***	-0.69***	-0.70***

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

*** Significant at $P < 0.001$.

附錄 3.(續) 不同程度缺水試驗對四季秋海棠‘Super Olympia White’葉片各波長反射率之影響及各波長反射率與PWC之線性相關性分析

Appendix 3. Continued.

Drought treatment	400 nm	390 nm	380 nm	370 nm	360 nm	350 nm	340 nm	330 nm	320 nm	310 nm
A : 5 days	5.56 b ^z	5.66 b	5.80 b	5.92 b	5.88 b	6.00 b	6.08 a	6.16 a	6.48 a	6.50 a
B : 10 days	5.80 b	5.92 b	6.02 b	6.14 b	6.24 ab	6.26 ab	6.48 a	6.44 a	6.64 a	7.02 a
C : 20 days	6.28 a	6.45 a	6.52 a	6.64 a	6.70 a	6.61 a	6.57 a	6.55 a	6.68 a	6.87 a
D : 35 days	6.46 a	6.65 a	6.76 a	6.85 a	6.78 a	6.71 a	6.68 a	6.75 a	6.76 a	6.96 a
	***	***	***	**	**	*	ns	ns	ns	ns
linear correlation ^y	-0.67**	-0.69***	-0.71***	-0.62**	-0.57**	-0.48*	-0.36 ^{ns}	-0.40 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.07 ^{ns}

^zMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^yThe linear correlation between reflectance of each wavelength and water content.

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