

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系



碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

馬拉巴栗新栽培模式

An Approach of New Seeding Production

in Malabar Chestnut

江柏慶

Po-Ching Chiang

指導教授：張育森 教授

Advisor: Prof. Yu-Sen Chang

中華民國一〇三年七月

July, 2014

誌謝



感謝主帶領我進入園藝的領域，讓我能看見園藝世界的美好，也感謝主帶領我加入張育森老師充滿愛的實驗室。我要感謝我的指導老師 張育森老師這幾年來的提點、關心、教導以及包容，使我能夠完成碩士學業；感謝張祖亮老師擔任指導委員，在我研究方法與試驗設計上，皆給予我寶貴的建議；初稿完成時，要感謝朱玉老師、沈榮壽老師以及張祖亮特別撥空出席口試，給予許多實用且珍貴的建議，特此誌謝。也感謝以前國立中興大學園藝學系與所有教導過我的老師們，感謝你們的細心栽培、施肥，以及必要時的整枝與修剪，使得我就像連在葡萄樹上的果子般成長茁壯。

撰寫論文的期間，特別感謝子耀學長教導許多論文撰寫的技巧與格式設定，也解答我許多資料的統計分析和製圖；特別感謝好泓助理不留餘力地幫助我審核論文，許多不合邏輯的用詞、語法，以及不統一的格式、規格，都經由她一字一句地反覆閱讀，再把建議修改之處加註在我的論文草稿上；感謝明昱學長和采依學姊在我論文格式與編排上給予諸多寶貴的建議；感謝允慧學姊幫我審查英文摘要；感謝 101 屆的學弟妹，能有幸跟你們撰寫論文，撰寫論文的空檔一同聚餐放鬆；最後感謝花卉館所有同仁，在我忙碌以致於無法抽身購買晚餐時，助理、同學或學弟妹總是不嫌麻煩地代為購買；感謝讚美主，在我撰寫論文時，為我安營這樣多的天使在我身邊，使我不致感到孤單寂寞。

在花卉館的日子，感謝葉德銘老師與張耀乾老師，在我身體健康和學業上的關心；而特別要感謝永良學長帶領我認識馬拉巴栗，教導我試驗設計及試驗時應有的態度，還有多次的陪伴，使我在園藝分場時不會感到孤單；感謝博士班的允慧學姊、明治學長、俊偉學長及廷奕學長，總在學業上和人生方向上給予相當實用的建議。感謝與我同屆的好泓、慈華、孟諺、炳丞學長、陳琳、凱淳、舒馨、群哲、鈺婷、楊颺，與你們同窗的經驗實在美好，雖然我因為身體健康因素休學一學期，但你們也不撇下我，令我感到相當溫暖、十足窩心。

最後要感謝我親愛的家人，感謝父母從我選擇大學起到研究所，對我的選擇都只有建議，但不加以干涉，感謝有一個愛我的兄長，在我的成長過程中時常地給予鼓勵，感謝主讓我有這樣完美的家人；還有我教會裡的弟兄姊妹，常吉小組就是我第二個家，感謝常吉哥、冠伶姊、亞晞哥、韻如姊、藝生哥、明娥姊、庭偉哥、秀珍姊、Vinit 哥、文寧姊、敏華姊、智仁哥、茜茶姊、靜芝姊、延任、欣蓓以及宛梅，和其他因工作關係不常見面的小組員，因為有你們時常為我的學業和未來人生方向代禱，使我主愛滿溢，感謝主賜予我這樣滿有恩典的小組。

一路唸到研究所，所走的一步步都是恩典之路，路途上雖有高山和低谷，但也都是難忘的回憶，感謝主，感謝至今在生命路上遇見的所有人，感謝花卉館那些關心及愛我的師長、學長姊、同學及學弟妹，若不是你們，這本論文不會完成，在此至上由衷的感謝，願你們的一生中都蒙神的祝福與保守，感謝讚美主。

江柏慶 謹至於

國立臺灣大學園藝暨景觀學系花卉館

2014 年 7 月

摘要



馬拉巴栗 (*Pachira marcocarpa*) 原生於中美墨西哥一帶，屬於木棉科 (Bombacaceae) 的熱帶喬木，農民多以田土露天育苗及栽培。馬拉巴栗以外銷為主，自民國 95 到 102 年，其出口總金額高達 51,105 千美元。雖馬拉巴栗生長勢強且容易栽培，但若管理不當容易感染疫病與根腐病，而帶病植株日後編辦苗也會因為失編而失去其商品價值。因此，本研究以研發新式栽培法取代慣行栽培，以改善產業現況，首先探討無土介質栽培馬拉巴栗對植株生長之影響，接著再探討以水耕栽培馬拉巴栗合適之育苗無土介質，之後再進一步討論馬拉巴栗以水耕養液栽培生長之影響，最後再探討養液中添加釋氧物質之可行性。

使用無土介質栽培馬拉巴栗實生苗，若要使用單一無土介質，推薦使用泥炭苔(P)，可得最佳株高、莖徑、CMR、NDVI、葉綠素螢光、地上部及地下部乾重，但泥炭苔為非再生性之資源，而椰纖(C)處理植株所得之植株外觀和乾重，皆與泥炭苔處理組無顯著差異，故若考慮到環保，也可選擇使用椰纖搭配肥培管理。單一介質無法應付所有環境，且理化特性難以調整，因此選擇混合介質之生長較佳，故試驗結果以 PVPe221 在 DQI 與 QI 上表現皆最優。

以液體作為育苗介質之自來水處理容易腐敗、通氣水處理和流動水處理則因下胚軸皆呈現彎曲不規則，品質不如固體介質育苗，因此馬拉巴栗育苗時期仍是採用固體介質育苗較佳。以蛭石(V)、水苔(S)及 1-P 栽培土(1-P)等固體介質育苗後之 QI 值相差不大，但馬拉巴栗根系易與水苔糾纏，使得後期移植水耕栽培時反而費工，因此推薦以蛭石或 1-P 栽培土作為最佳馬拉巴栗水耕前適用育苗介質。低光環境($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗，以山崎萬苣養液配方表現最佳，臺中場養液配方次之，而 Hoagland 養液配方表現最差，因此推薦處理結果最佳之山崎萬苣養液配方作為水耕養液。高光環境($1100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗以臺中場養液配方表現最佳，然以 QI 值來看，臺中場養液配方處理數值 6.83 與山崎萬苣養液配方之 6.63 差距不大，且皆超過 6 級分；以試藥等級配置成本為例，山崎萬苣養液配方藥劑成本明顯低於臺中場養液配方，為故推薦使用山崎萬苣養液配方為水耕養液最佳。

一次水中加入 $0.01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值從原本的 6.01 上升到 9.33，濃度提高至 $0.02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值則是上升到 10.98，呈強鹼性。水中加入釋氧物質並調整 pH (ORC+pH) 處理後的水中溶氧量(DO)於調查其間皆維持最高，而水中打入空氣處理(WA)與水中加入釋氧物質處理(ORC)差異不顯著，純水處理(W)則是最低。試驗結束時，ORC 處理之 DO 值顯著高於 W 處理，與前人研究結果相同。

綜合以上，馬拉巴栗無土實生苗栽培介質選用 PVPe221 其生長品質最優。而水耕馬拉巴栗前，最好以蛭石(V)或 1-P 栽培土(1-P)作為介質育苗，而後移入水時，在低光度($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)與高光度($1100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)環境下則是以養液成本最低且處理結果佳之日本山崎萬苣配方(Y)作為推薦之養液配方。釋氧物質加入水中雖會使溶液呈強鹼性，但 DO 值也會上升；ORC+pH 處理組之 DO 值表現最佳，而 ORC 處理能取代打氣，可節省打氣機具器材支出，又能達到節能減碳之附加價值。

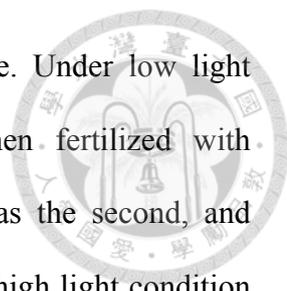
Abstract



Malabar chestnut [*Pachira macrocarpa* (Cham. & Schltdl.) Walp.] (Bombacaceae) is a tropical small tree native to Mexico to central America. Growers in Taiwan usually use field soil for nursery and culture of this species. Most Malabar chestnut plants were exported and total valued 51,105 thousand U.S. dollars from 2006 to 2013. Malabar chestnut has strong growth and can be easily cultured, however, *Phytophthora* and *Lasiodiplodia* infection may cause severe lose due to stem rot and braid loss. Therefore, developing new culturing system to overtake the conventional one is expected. This study was aimed to 1) test the effect of soilless medium on growth of Malabar chestnut, 2) find the optimal nursery medium for subsequent hydroponic culture, 3) elucidate the effect of nutrient solution of hydroponic culture on growth of plants, and 4) test the feasibility of additional oxygen releasing compounds to the nutrient solution.

Malabar chestnut plants had the highest growth performance and dry mass when grown with peatmoss without other soilless medium. Plants grown with coir dust had similar appearance and dry weight compared to the peatmoss-grown. Coir dust could be a substitute for peatmoss based on eco-friendly consideration. However, coir dust did not suit for all environments and was difficult for physical and chemical adjustment. Thus, soilless mixture PVPe221 was recommended because of the plants had the best Dickson quality index (DQI) and quality index (QI) value.

Seedlings easily rotted during tap water nursery. Aerated tap water and running tap water treatments resulted in curved hypocotyls. Seedling quality was better when grown with solid medium than liquids. Seedlings grown with vermiculite (V), moss (S), and 1-P soilless mix (1-P) had similar QI value. But moss could not remove easily from root system and could increase transplanting labor cost. Malabar chestnut were



recommended to nursed with V or 1-P before hydroponic culture. Under low light condition ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), plants had best performance when fertilized with Yamazaki lettuce nutrient (Y) solution, Taichung (T) solution was the second, and Hoagland solution treatment resulted in worst plant growth. Under high light condition ($1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), the best was with T solution. However, QI value was not significantly different between T solution (6.83) and Y solution (6.63). Y solution had lower chemical cost than T solution. Therefore, Y solution was recommended for hydroponic culture of Malabar chestnut.

When 0.01 g oxygen releasing compound (ORC) was added to distilled water, pH increased from 6.01 to 9.33, and pH to 10.98 when 0.02 g ORC was added. Dissolve oxygen (DO) maintained the highest during experiment period after adding ORC and pH adjustment (ORC+pH). Aerated distilled water had similar DO with ORC+pH. Distilled water without ORC or aeration had significant lower DO.

In summary, Malabar chestnut could be grown with soilless mix PVPe221 to achieve the best plant quality. Seedlings should be nursed with vermiculite or 1-P soilless mix before hydroponic culture. During hydroponic culture, Yamazaki lettuce nutrient solution was recommended both under low ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and high ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) light conditions for better growth and lower cost. Additional oxygen releasing compounds (ORC) resulted in higher pH and dissolve oxygen (DO). ORC plus pH adjustment had the highest DO. ORC treatment could be a substitute for aeration system and had lower energy cost.

目錄



摘要	i
Abstract	iii
第一章 前言	9
第二章 前人研究	11
第三章 馬拉巴栗最適無土栽培介質之探討	18
摘要(Abstract)	18
一、前言(Introduction)	19
二、材料與方法(Materials and Methods)	20
試驗一、馬拉巴栗種植於單一無土介質之影響	20
試驗二、馬拉巴栗種植於混合無土介質之影響	22
三、結果(Result)	23
四、討論(Discussion)	26
五、結論(Conclusion)	30
第四章 水耕對馬拉巴栗生長之影響	40
摘要(Abstract)	40
一、前言(Introduction)	41
二、材料與方法(Materials and Methods)	42
試驗一、最適馬拉巴栗水耕栽培育苗無土介質之探討	42
試驗二、低光環境下三種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響	44
試驗三、高光環境下四種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響	45
三、結果(Result)	47
四、討論(Discussion)	50
五、結論(Conclusion)	56
第五章 釋氧物質與新栽培法	66
摘要(Abstract)	66
一、前言(Introduction)	67
二、材料與方法(Materials and Methods)	68
試驗一、釋氧物質性質之探討	68
試驗二、馬拉巴栗最適栽培法之探討	68
三、結果(Result)	71
四、討論(Discussion)	74
五、結論(Conclusion)	77
第六章 結論	83

參考文獻(References).....

85



表目錄



表 3. 1. 馬拉巴栗以四種單一介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重	31
表 3. 2. 馬拉巴栗以三種混合介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重	32
表 3. 3. 馬拉巴栗以七種介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重	33
表 4. 1. 馬拉巴栗以四種介質作為水耕前介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、地上部及地下部乾重	57
表 4. 2. 低光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理後之品株高、莖徑、CMR、Fv/Fm、NDVI、地上部及地下部乾重	58
表 4. 3. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理後之品株高、莖徑、CMR、Fv/Fm、NDVI、地上部及地下部乾重	59
表 5. 1. 馬拉巴栗以混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕配方處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、地上部及地下部乾重。	78

圖目錄



圖 3. 1. 四種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響	34
圖 3. 2. 馬拉巴栗以四種介質處理之品質指標	35
圖 3. 3. 三種混合介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響	36
圖 3. 4. 馬拉巴栗以三種混合介質處理之品質指標	37
圖 3. 5. 七種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響	38
圖 3. 6. 馬拉巴栗以七種介質處理之品質指標	39
圖 4. 1. 四種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響	60
圖 4. 2. 馬拉巴栗以四種介質處理之品質指標	61
圖 4. 3. 低光環境下以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理對馬拉 巴栗育苗狄克森指數之影響	62
圖 4. 4. 低光環境下以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理對馬拉 巴栗育苗之品質指標	63
圖 4. 5. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理對馬拉巴栗育苗狄克森指數之影響	64
圖 4. 6. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理對馬拉巴栗育苗之品質指標	65
圖 5. 1. 釋氧物質用量與酸鹼值之關係圖	79
圖 5. 2. 四種處理在 29 天內對水中溶氧量之影響	80
圖 5. 3. 混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕配方處理對馬拉巴栗 狄克森指數之影響	81
圖 5. 4. 馬拉巴栗以混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕 配方處理之品質指標	82

第一章 前言

Chapter 1. Introduction



馬拉巴栗(*Pachira marcocarpa* L.)以外銷為主，自民國 95 到 102 年，其出口總金額高達 51,105 千美元(行政院農委會農業統計資料庫)，為臺灣重要木本出口花卉。出口國家多為歐美國家與高緯度國家，因這些地區居民冬季大多皆待在室內，故冬季時期有更多時間待在室內，且室外植物皆被白雪覆蓋，因此對室內觀賞作物需求量大增。馬拉巴栗對光度要求不嚴，是理想的室內觀賞作物，因此馬拉巴栗以外銷歐美地區為主。若長期待於密閉性建築內，容易造成過敏、頭痛、易感冒、嗜睡、噁心、無法專心、疲勞等症狀，稱為「病態建築症候群」(Sick Building Syndrome, SBS) (Seidner, 1999; Mahnoudi and Gershwin, 2000; Niven et al., 2000)，何(2012)指出馬拉巴栗每片葉可移除 $366 \pm 24 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2} \text{CO}_2$ ；全株可移除 $885 \pm 96 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2} \text{CO}_2$ 。

馬拉巴栗之栽培手續繁多，因馬拉巴栗皆為實生苗基部才會膨大，在產地上才具有商品價值，而馬拉巴栗種子定植後，依照產品不同規格需求，需要留置田間約一年，接著將植株挖出田間，將植株分為兩種產品：單幹苗或苗編苗，單幹苗即為將植株去葉後，再去根(頭)去頂(尾)，接著種回田間；而苗編苗即為植株去葉後，再去頭去尾，之後挑選長度品質一致植株，之後將其三支、五支綁成馬尾狀，再種植回田間。但兩種去頭後皆會造成傷口，即使馬拉巴栗生長勢雖強且容易栽培，但若播種或回種在連作田，或是與馬拉巴栗苗木為鄰，萌芽後之幼苗與回種苗非常容易罹患疫病菌(*Phytophthora parasitica*)引起的疫病、霉腐菌(*Pytnium splendens*)所引起之根腐病、黑腐菌(*Lasiodiplodia thiobromae*)引起的苗編苗根腐病，而如果遇到降雨季節，發病率可達 70%以上，可能出現苗株大量死亡與缺株情形；未死亡的苗木即使勉強長大，在編苗時亦很容易導致失編，幾乎全無經濟價值(蘇等，2012)，造成農民損失，而謝(2014)指出臺灣之景觀苗木有品質參差不齊的問題，因此期能以發展出有別於馬拉巴栗慣行栽培之新式栽培法。

基於馬拉巴栗為我國外銷木本花卉之大宗，而近年來根腐病有日益嚴重的趨勢，外銷時即使入貨櫃植株完好，但到出口國開貨櫃時就會發現植株腐敗，只要

腐敗 30-40%以上，進口商有權利退貨櫃，因此發展新栽培法是現在較迫切的課題。

本研究首先探討無土介質栽培馬拉巴栗對植株生長之影響，接著再探討以水耕栽培馬拉巴栗之合適育苗無土介質，再進一步討論馬拉巴栗以水耕養液栽培生長之影響，最後再探討養液中添加釋氧物質之可行性，期能生產出高品質之植株。

第二章 前人研究

Chapter 2. Literature Review



一、馬拉巴栗簡介及產業現狀

(一) 馬拉巴栗的型態簡介

馬拉巴栗 (*Pachira marocopa*) 原生於中美墨西哥一帶，屬於木棉科 (Bombacaceae) 的熱帶小喬木。臺灣於民國 20 年由嘉義農業試驗分所自夏威夷作為果樹類引進栽培，馬拉巴栗 9 年生之植株高度約 5.6 m，樹徑可達 13 cm，樹冠開展約 5 m，主枝與主幹成直角，呈放射狀伸展，有整齊的層次，每層著生 5~6 主枝。樹皮青綠色或灰色，光滑粗大，側根常自地面凸起。葉為掌狀複葉，小葉 4~7 枚，而以 6 枚為最多。果實為蒴果，果皮為堅硬革質，呈卵形，有 5 條縱縫線。種子與果殼之間有褐色的棉狀物，種子呈不規則橢圓形，每果平均含 13 粒種子，種皮呈黃褐色。其種子蒸煮炒熟後可食，其口感如花生，故又稱為美國花生，而在嘉義的氣候環境下，其生育結實情形良好(蔡和傳，1951)。

(二) 馬拉巴栗產業現狀

馬拉巴栗的生長勢極強，對土質要求不嚴，容易栽培，因此農民多以田土露天育苗及栽培，而馬拉巴栗在各種不同生長時期皆能作為商品販售。樹型優美，廣泛應用於大型盆栽、行道樹及庭園木等(沈，2005)。在臺灣，馬拉巴栗栽種面積約有 1000 公頃，以彰化縣及屏東縣最多，其中彰化縣 650 公頃，又占全臺種植面積八成左右。馬拉巴栗初期以單幹型銷售，後來臺灣業者發展出三編或五編髮辮編織型產品後，蔚為風行。目前外銷以編織型為主，挖起去根與葉經水洗、風乾後，即可裝櫃海運，自民國 95 到 102 年，其出口總金額高達 51,105 千美元(行政院農委會農業統計資料庫)。臺灣為供應更高品質的馬拉巴栗，不斷改進栽培與處理技術。目前五編的產品規格從 30、45、60、75、90、120 到 150 公分均有，編織產品因株行優美葉片茂密，而較具有觀賞價值(臺灣農產品外銷網;蔡等，2012)。

馬拉巴栗生長勢雖強且容易生長，但若是播種在連作田，或是與馬拉巴栗苗木為鄰，萌芽後之幼苗非常容易罹患疫病，如果遇到降雨季節，發病率可達 70% 以上(蘇等，2012)。而帶病植株即使勉強長大，日後編辮苗也容易失編(編辮苗中



有一株以上植株腐敗稱為失編)，並失去其商品價值。

二、常用無土介質

(一) 有機無土介質

有機無土介質如泥炭苔、椰纖、水苔、樹皮、稻殼等，一般具有較高之保水性及保肥性。

1. 泥炭苔(Peat moss)

泥炭為植株殘體，於高緯度之寒冷地區經幾萬年腐化累積而成，主要產地為芬蘭、瑞典及加拿大等。泥炭苔保水性佳，可保存本身體積 60%的水分，但栽種過的泥炭苔於乾燥後再濕性差。泥炭苔陽離子交換能容量高且保肥性佳，而 pH 值偏低僅 3.0-4.0，因此使用前須先調整 pH 值(Dole and Wilkins, 2005)。

2. 椰纖(Coconut dust)

椰纖來自椰子(*Cocos nucifera* L.)中果皮部分的纖維物質(Merrow, 1994)。椰纖有較高的保水力，但通氣性較低(Awang et al., 2009)。而椰纖的物理特性則會因處理方式或顆粒大小不同而有差異，保水力可由 50%至 81%，充氣孔隙度可由 11%至 53%，粒徑越大者，充氣孔隙度越高，而含水量越少(Abad et al., 2002; Abad et al., 2005)。椰纖介質之氯離子含量較高，因此使用前應先經過淋洗較佳(Handreck, 1993)。

3. 水苔(Sphagnum)

水苔來自於乾燥的泥炭蘚(*Sphagnum palustre*)，為泥炭蘚科泥炭蘚屬下的一個種，如線條狀生長於多濕的溫帶林中，柔軟如棉而富有彈性，乾燥後有如海綿，吸水性特佳(Tung, 1980)，可吸收自身乾重的 30 倍。水苔酸鹼值約為 4.5，EC 值約為 0.4 ± 0.1 ds/m，充氣孔隙度為 $84.5 \pm 14.8\%$ ，容器容水量為 $320 \pm 60.8\%$ ，總體密度為 1.27 ± 0.4 kg/l (蔡，1999)。

(二) 無機無土介質

無機無土介質的內文與介紹，如蛭石、珍珠石、水陶石、砂及發泡煉石等，主要以增加介質內大孔隙比例，以提高介質排水與通氣性。其中蛭石、珍珠石及水陶石簡介如下：

1. 蛭石(Vermiculite)

蛭石為矽酸岩礦物經 770°C 高溫燒製而成，內部具有層狀結構，結構間可保存

水分與養分，使具有良好的保水與保肥性。蛭石含有微量鈣、鎂及鉀成分，pH 值為 7-9 間，陽離子交換容量高。蛭石顆粒大小不同用途也不同，顆粒較小介質多用於植物扦插介質，顆粒較大者可用於盆栽栽培。但蛭石結構疏鬆，易受外力破壞而降低介質通氣性(Dole and Wilkins, 2005)。

2. 真珠石(Perlite)

真珠石為矽酸鋁火成岩先經粉碎後，再經 900°C 高溫燒製而成。真珠石經高溫膨脹後，內部分子結構使之能提供通氣與排水性。充氣孔隙度高達 74.5%，保水力僅 21.3%-46.3% (Grillas et al., 2001)。真珠石本身並不會吸收水分，但水分可附著於孔隙中，且可攜帶本身重量 3 至 4 倍的水分(Grillas et al., 2001)。真珠石 pH 值為 6.5-7.5，近中性，陽離子交換容量低，僅 0.15 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ，保肥力差。因質地輕，常被用於取代砂以增加介質通氣性(Dole and Wilkins, 2005)。

3. 水陶石(Ceramic hydrous media)

水陶石為臺灣本地之新興介質，是利用臺灣水庫沉積淤泥為主要材料，經由特定配方高溫鍛燒而成，顆粒內部呈現多孔隙構造能提高介質吸水性，外殼則提供顆粒強度與通氣排水性。質地堅硬且不易粉碎，特性穩定可重複使用。

三、栽培介質之理化特性

適合植物生長之介質需具備良好保水與通氣性，理想介質需有 20%至 30%的有效水，空氣則佔介質體積之 20% (Verdonck et al., 1983)。園藝栽培介質特性範圍為總體密度 0.19-0.70 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、總孔隙度 50%-85%、充氣孔隙度 10%-30%、容器含水量 45%-65% (Bilderback et al., 2005)。

(一) 物理特性

1. 總體密度

總體密度表示單位容積內介質乾重。適宜之總體密度為介質浸水後在 0.64-1.2 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，介質總體密度太低則植物易倒伏；總體密度太高則不利搬運(Bilderback et al., 2005; Nelson, 2003)。總體密度降低，而介質之總孔隙度則呈線性增加(Bunt, 1983)。

2. 保水性

容器容水量(Container capacity, CC)為單位容積內介質最大容水量，容器容水

量包括有效水與無效水。一般土壤之有效性水分為田間容水量與永久凋萎點間之含水量。無土介質多以水分張力 10-100 cm 間之介質水分為有效性水分，極有效性水分(Easily available water, EAW)為介質水分張力為 10-50 cm 內之體積含水量，緩衝水含量(water buffer capacity, WBC)為介質水分張力為 50-100 cm 內之體積含水量(De Boodt and Verdonck, 1972)。使用保水力高的栽培介質，可減少灌溉次數，若介質保水力過高，亦會造成植物根部缺氧與腐爛。

3. 通氣性

充氣孔隙度(Air filled porosity, AFP)為單位容積內介質最小容氣量，指介質通氣性。充氣孔隙度定義為水分張力 0-10 cm 內之體積含水量。介質於灌溉後水分達飽和時，全部孔隙皆充滿水，而經由重力排水後，小孔隙依然會保存水分，而大孔隙則充滿空氣，因此，大孔隙比例較高，則使通氣性較佳(De Boodt and Verdonck, 1972)。

混合介質之充氣孔隙度會比單一介質低。此外，通氣性亦受到介質顆粒大小所影響，隨著粗顆粒介質增加，則混合介質之充氣孔隙度則增加(Bunt, 1983; Spomer, 1975)。栽培介質之通氣性和保水力呈負相關，通氣性較高之栽培介質，通常保水力較低。一般介質經過長期栽培後，因介質體積萎縮與植株根部生長，介質之容器容水量與充氣孔隙度皆會下降。

(二) 化學特性

1. 酸鹼值(pH)

介質之 pH 值通常是測定介質溶液中氫離子濃度，並以氫離子濃度負對數值表示。pH 值高低對植物吸收養分有很大的影響，pH 值太高，則會使得微量元素(鐵、錳、銅、鋅)不易被植物所吸收。此外 pH 值大於 9 或低於 4，則對植株根部造成傷害。一般土壤之 pH 值以 6.2-6.8 較佳，而無土介質應介於 5.4-6.0 間(Dole and Wilkins, 2005; Nelson, 2003)。

2. 電導度(Electrical conductivity, EC)

電導度為介質所含可溶性鹽類離子濃度，栽培前介質理想的 EC 值介於 0.4-1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。EC 值低顯示介質未含有過量鹽類離子，同時也表示介質未含有足夠的養分供植株生長，因此，不會造成植物產生鹽害，而 EC 值過高則可能會使植株產生鹽害(Nelson, 2003)。



3. 陽離子交換容量(Cation exchange capacity, CEC)

陽離子交換容量是指膠體表面可吸附之所有交換性陽離子含量。土壤中的黏粒、介質中有機物及蛭石顆粒表面帶有負電荷，可吸附帶正電荷之陽離子，吸附之陽離子可再被其他陽離子交換取代。此可以吸附帶正電荷之養分，以減少養分因降雨或灌溉而流失。一般理想之陽離子交換容量為 $6-15 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ 。CEC越大者，吸附的養分越多，且這些養分容易被植物吸收，故保肥力較高(Nelson, 2003)。

4. 氧氣擴散速率(Oxygen diffusion rate, ODR)

氧氣擴散速率會受到氧氣含量、水分含量、孔隙度、壓實狀況及土壤溶液的擴散係數所影響。理想氧氣擴散速率須至少大於 $0.2-0.3 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ，以維持植物生長良好。土壤氧氣擴散速率若低於 $0.17 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ，會造成酪梨(*Persea americana*)44%至 100%根部受損(Stoley et al., 1967)。

四、水耕栽培源起

養液栽培為一無土栽培技術，指不用土壤而以人工調配之營養液供作物生長的栽培方式，而以液體作為栽培介質即為水耕栽培。而培養液的組成可為養液栽培的關鍵，自 1860 年德國 Knop 學者開發養液栽培的培養液後，於 1930 年美國 Gericke 教授水耕蔬菜試驗成功即受多方關注，並開始導入商業界使用。二次世界大戰結束後，駐守於日本東京調布市的美軍無法適應東方人以水肥生產之蔬果，故於東京調布市與滋賀縣大津市分別設立 22 公頃與 10 公頃的礫耕蔬菜栽培場，生產萵苣、番茄及胡瓜等供應日本境內之美軍與眷屬，便是日本水耕技術之創始，也位現今水耕栽培方向奠定發展基礎(李和傳，1988)。

五、栽培環境對水耕蔬菜生長之影響

(一) 養液成分與濃度

當必要元素供應受限時，生理機能無法順利進行，典型的反應即為生長減緩；將造就最大生長量之營養濃度，稱為臨界濃度(critical concentration)；臨界濃度後為合適期(adequate range)；經過合適期再增施營養元素，植株產量亦不增加，達奢侈性浪費(luxury consumption)(徐和廖，2005)；當養分濃度達到植株生理機能與乾物重無法同增加，反而因受害而減少時，此階段為養分過剩的毒害(王，1988)。

各種植物生理特性不同，若以不合適的養液管理，則無法達到最佳成效，而

且還有可能發生生理障礙，甚至無法收穫。作物養分吸收的基本形式在葉菜和果菜上有很大的差異，葉菜的栽培管理是要使葉片生長旺盛，只要供應營養生長良好的養液即可；而果菜類收穫的目標為果實，要使植體生長還必須顧與開花、結實之生殖生長才為適合的栽培液。適合作物的養液配方，不僅栽培期間養液組成和濃度的變化小，還要達成提高生產量或品質的效果(沈和許，1989)。

在栽培尖葉萵苣與小白菜前，測量一倍全量 Hoagland 水耕養液與山崎萵苣養液配方水耕養液之 EC 值，顯示 Hoagland 養液配方之水耕養液 EC 值為 $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 以上，顯著高於山崎萵苣養液配方之 $0.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (李，2006)。配方中大量元素的用量上，山崎萵苣養液配方 N-P-K 濃度為 91.3、16.17 及 $154 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而 Hoagland 養液配方所含 N-P-K 濃度則為 210、31 及 $234 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。明顯可見 Hoagland 養液配方所含之 N-P-K 顯著高於山崎萵苣養液配方，造成養液 EC 值 Hoagland 顯著高於山崎萵苣養液配方。再以 Hoagland 與山崎萵苣兩養液配方水耕養液栽培尖葉萵苣與小白菜，其地上部葉片數、鮮重、葉面積等生育性狀，Hoagland 養液配方之處理皆顯著優於山崎萵苣養液配方處理組。

根部能夠吸收硝態氮與銨態氮，多數植物會比較傾向吸收銨態氮。而大多數的植物在硝態氮與銨態氮共存的環境下，會擁有較高的氮吸收效率，而植株生長表現也較佳(Mengel and Kirkby, 2001)。前人研究指出含硝態氮與銨態氮兩種氮源之養液中，對番茄與胡瓜葉片生長量與植株鮮重表現明顯優於僅以硝態氮處理者(Matrinez and Cerda, 1989; Siddiqi et al., 2002)。山崎萵苣養液配方含有 KNO_3 與 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 兩種氮源，而 Hoagland 養液配方則只有 KNO_3 作為氮素來源，缺乏銨態氮的供應。但山崎萵苣養液配方所含各種巨量營養元素皆顯著低於 Hoagland 養液配方，因此 Hoagland 養液配方即便缺乏銨態氮，但仍能以較高濃度之硝酸態氮與其他大量元素彌補銨態氮之不足。因此 Hoagland 養液配方對於尖葉萵苣與小白菜生長量之生育性狀，顯著高於山崎萵苣養液配方。

(二) 光強度

多數 C_3 植物單片葉的光飽和量約為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，但某些種的植物在全植株加總後其光飽和量可超過單片葉之光飽和量，甚至達 $1,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，或更高(Taiz and Zeiger, 2006)；熱那亞甜羅勒(*Ocimum basilicum*)之光飽和點約為 $1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Chang et al., 2007)。馬拉巴栗之光飽和點測得約為 800-900



$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之間(彭, 2012, 未發表)。

(三) 養液濃度與光強度交感

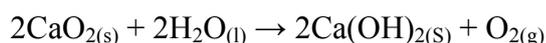
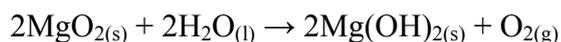
養分與光為影響植物生長的兩個重要因子(Henriques and Marcelis, 2000)。植株生長量由植株冠幅可接收到的光量與植株能量轉換效能所決定(Barneix, 1990)，而養分則決定植株葉片單位面積上的光合作用能力(Novoa and Loomis, 1981; Grindlay, 1997)。前人文獻也多次探討光與養分對於自營生物生長之作用與其交感效應，包括藻類(Alen, 1960; Brian and Kenneth, 1981)、森林植物(Veenendaal et al., 1996)、觀賞植物(林, 2006; Eriksen and Whitney, 1981)及食用作物(Cantliffe, 1973; Corine et al., 2002; Jean et al., 1991)等。

提高光強度可使萵苣‘Salad Bowl’、‘Bibb’與‘Grand Rapids’增產，然當光強度至 $644 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上，葉片顏色出現黃化與紫色斑塊，推測為植株缺肥情形，經提升養液濃度後有明顯改善且乾重再增加，其中以養液內只提高氮濃度($5 \text{ mM NH}_4^+ + 25 \text{ mM NO}_3^-$)之處理可得最佳乾物量表現。

藉由提高光強度能使植株冠幅可接收光量增加，提升光合效能達增產效果(Henriques and Marcelis, 2000)。而 Jean 等(1991)也發現提高光強度至 $67.2 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (約 $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、氮濃度提升至 $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 時，可有效提升芹菜、萵苣、甘藍與番茄的總乾重，而 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氮肥濃度在光強度 55.7 與 $67.2 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (約 250 與 $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 時為生長限制臨界氮濃度。

五、釋氧物質 (Oxygen-releasing compound, ORC)

釋氧物質主要是以過氧化鎂或過氧化鈣組成，釋氧物質與水反應後，會產生之副產物為氧與氫氧化物，產生之氫氧化物通常為無害乳狀固體物質。而釋氧物質與水接觸後產生反應如下：



釋氧物質一般多用於增加地下水中溶氧量，以用於現地整治或復育受有機物污染之地下水居多。添加濃度越高之釋氧物質，釋氧能力越強，而添加 0.5% 至 2% 釋氧物質於水中，其 pH 值不論濃度多寡都上升至 9.5-10.0。而試驗期間四個多月，釋氧物質之釋氧能力未明顯降低，顯示具有長效釋氧特性(Chang et al., 2006)。



第三章 馬拉巴栗最適無土栽培介質之探討

Chapter 3. Effect of Different Soilless Media Treatments of *Pachira macrocarpa*

摘要(Abstract)

馬拉巴栗(*Pachira macrocarpa*)慣行栽培多使用田土作為栽培介質，並以露天栽培為主，而田土含有多數馬拉巴栗之病原菌，易導致植株腐敗失編，故本試驗使用乾淨的無土介質栽培馬拉巴栗，欲知其對馬拉巴栗的生長表現影響，以期找出馬拉巴栗之最適無土介質。試驗針對馬拉巴栗以泥炭苔(peatmoss, P)、蛭石(vermiculite, V)、真珠石(perlite, Pe)以及椰纖(coil, C)等四種單一介質處理；並以不同混合介質分別為泥炭苔：蛭石：真珠石(PVPe221)=2：2：1 (v/v/v)，椰纖：水陶石=3：1 (v/v) (CCh)及泥炭苔：水陶石=3：1 (v/v) (PCh)作為混合介質的處理栽培馬拉巴栗實生苗。結果顯示：單一介質，以 P 表現最好，V 和 C 次之，而 Pe 表現最差；而在混合介質方面，PVPe221 在植株株高、莖徑及乾重有最好的表現，但在生理表現，如葉綠素計讀值(CMR)、植生指數(NDVI)及葉綠素螢光(Fv/Fm)，則是 CCh 表現較佳。總合單一和混合介質的試驗結果顯示 PVPe221 作為栽培介質總體表現最佳，故推薦 PVPe221 為最適栽培馬拉巴栗之介質。



一、前言(Introduction)

現今馬拉巴栗產業無專門的種子生產商，一般皆由農民自行採收成熟果實後播於田間，進行田間露天育苗(沈，2005)。且若播種在連作田，或是與馬拉巴栗苗木為鄰，萌芽後之幼苗非常容易罹患疫病，如果遇到降雨季節，發病率可達 70% 以上，可能出現苗株大量死亡與缺株情形；未死亡的苗木即使勉強長大，在編苗時亦很容易導致失編，幾乎全無經濟價值(蘇等，2012)。如何生產乾淨且品質一致的馬拉巴栗苗株，為產業上之重要關鍵。優良的無土介質在栽培過程中，不因植材之分解而減少體積，影響未來植株的發育，也不含有害作物生長之成分、病原菌等(黃，2002)，可知以無土介質栽培是一種乾淨且安全的栽培模式。無土介質種類繁多，且可以不同比例混合使用。而馬拉巴栗在無土介質栽培方面的研究仍少，故本章欲以四種單一無土介質和三種混合無土介質栽培馬拉巴栗實生苗，探討栽培馬拉巴栗之最適無土介質。



二、材料與方法(Materials and Methods)

試驗一、馬拉巴栗種植於單一無土介質之影響

(一) 植物材料

馬拉巴栗果實於 2013 年 9 月 10 日購自農家蕭有羚(屏東，臺灣)後，將果實平鋪置於溫度 25/23°C，光度 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之育苗室，避免果實之田間熱影響發芽力。

(二) 試驗方法與調查項目

果實自行開裂後，自裂縫處撥開挑選 3.3 ± 0.1 g 之成熟褐色飽滿種子，洗淨棉絮後進行播種。將四種無土介質分別為泥炭苔(peatmoss, P)、3 號蛭石(vermiculite, V)、3 號真珠石(perlite, Pe)以及椰纖(coir, C)裝填於當代模矩化植物苗盆(苗盆大小 45×30×11cm)，其中泥炭苔購自 Fafard 公司 (Fafard No. 1, Fafard Co., Agawazm, MA, U.S.A)，蛭石與真珠石購自南海蛭石工業股份有限公司(臺北，臺灣)。每植物苗盆播 8 種子，以正方形播種，每粒種子之行株距 8 cm，觀察種子在四種介質中的後續生長情形。每處理 8 重複，每重複 1 棵植株。本試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，試驗期間以 HOBO[®] 溫光度數據記錄儀記錄試驗期間之溫度與光度(附錄 1)，試驗期間之平均溫度 25.7°C，平均最大光強度 50,268 lux，植株介質表面乾燥時予以澆灌。試驗時間自 2013 年 9 月 13 日至 11 月 22 日，共 77 天。

試驗結束當日記錄株高、莖徑。植物之非破壞性生理數值測量，以葉綠素計讀值(SPAD-502, Minolta Camera Co., Japan)、植生指數儀(PlantPen, Type NDVI300, Photon Systems Instruments, Drasov)及葉綠素螢光儀器(Mini-Pam, Walz Co., Germany)測定。調查項目如下：

1. 株高(Plant height, Plant ht)

以皮尺量測植株與介質交界處為基準，向上測量至頂芽位置，單位為公分(cm)。

2. 莖徑(Stem diameter, Steam diam)

以游標尺測量植株與介質交界處之莖部最寬處寬度，單位為公釐(mm)。

3. 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter reading value, CMR)



以葉綠素計(SPAD-502)測量每植株中選取自頂端數下來第三片完全成熟展開葉，每片小葉均測量後給予平均；診測點須集中於葉片中間與避開葉脈，以免影響葉綠素計之判讀。

4. 植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

以植生指數儀測量植株自頂端數下來第三片完全成熟展開葉中最大之小葉的植生指數。NDVI 值介於-1 到1 之間，數值越趨近1 表示植株生長狀態越佳。計算方式是以紅光/近紅外光反射作為計算因數，公式如下：

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

NIR：近紅外光輻射值，波長740 nm。

VIS：紅光輻射值，波長 660 nm。

5. 葉綠素螢光(Fv/Fm)

葉綠素螢光之取樣位置為同 NDVI 選取之小葉，經暗馴化半小時後以葉綠素螢光測定儀測定標定葉片於光適應狀態下 Fv/Fm。

6. 狄克森品質指數(Dickson quality index, DQI)

全株乾重(g)

$$DQI = \frac{\text{株高(cm)}}{\text{莖徑(mm)}} + \frac{\text{地上部乾重(g)}}{\text{地下部乾重(g)}}$$

(modified from Dickson et al., 1960)

7. 品質指數(Quality Index, QI)

各處理之調查項目經統計分析後，將每個測量項目中平均最高數值者當作分母，每個測量項目之平均值當作分子，做出指數表，最大值為 1，最小值為 0；將所有項目指數相加，最後所得之指數即為品質指數。

$$QI = \frac{\text{平均株高(cm)}}{\text{最大平均株高(cm)}} + \frac{\text{平均莖徑(mm)}}{\text{最大平均莖徑(mm)}} + \dots + \frac{\text{平均地下部乾重(g)}}{\text{最大平均地下部乾重(g)}}$$

(三) 統計分析

試驗採完全逢機設計(Complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, U.S.A)統計軟體整理,以最小顯著差異(Least

significant difference, LSD)分析處理有無顯著差異($P \leq 0.05$)；繪圖採用 SigmaPlot Version 8.0 軟體(Systat software INC., Richmond, CA, U.S.A)。



試驗二、馬拉巴栗種植於混合無土介質之影響

(一)植物材料

同試驗一。

(二)試驗方法與調查項目

種子處理同試驗一。

將泥炭苔(P)：蛭石(V)：真珠石(Pe) = 2：2：1 (v/v/v) (PVPe221)、椰纖(C)：水陶石(Ceramic hydrous media, Ch) = 3：1(v/v) (CCh)及泥炭苔(P)：水陶石(Ch) = 3：1 (v/v) (PCh)等三種混合無土介質分別裝填於當代模矩化植物苗盆(苗盆大小45×30×11cm)，其中泥炭苔、蛭石與真珠石來源同試驗一，水陶石(粒徑5-13 mm佔75%，粒徑 < 5 mm，佔25%)由金碩實業股份有限公司(臺南，臺灣)提供，椰纖(粒徑0.5-2.0 mm)購自翠筠有限公司(臺北，臺灣)，每個植物苗盆播8種子，以正方形播種，每粒種子之行株距 8 cm，觀察種子在這三種介質中的後續生長情形。每處理8重複，每重複1棵植株。本試驗於臺灣大學園藝試驗分場103進行，試驗時間與環境條件同試驗一。

試驗結束後之測量項目同試驗一。

(三)統計分析

同試驗一。



三、結果(Result)

試驗一、馬拉巴栗種植於單一無土介質之影響

本試驗以泥炭苔(P)、3 號蛭石(V)、3 號真珠石(Pe)及椰纖(C)等四種單一無土介質，種植馬拉巴栗 77 天於臺灣大學園藝試驗分場 103 內，試驗期間之平均溫度 25.7°C，平均最大光強度 50,268 lux 的環境下，比較單一無土介質對其生育之影響。

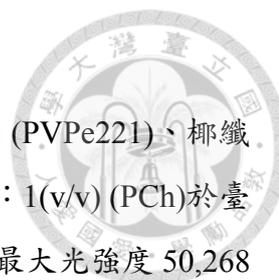
植株外觀上，在株高方面，P 處理株高達 15.2 cm、V 處理 15.0 cm 及 C 處理 15.2 cm 三處理間無顯著差異，但與 Pe 處理 13.8 cm 有顯著差異。莖徑方面，P 處理 8.8 mm 和 C 處理 8.6 mm 之間無顯著差異，而 V 處理 7.5 mm 較差，Pe 處理 6.2 mm 最差(表 3.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，以 P 處理 34.70、V 處理 33.22 及 Pe 處理之 31.37 表現最好，C 處理 20.22 最差。而在 NDVI 表現，統計上以 P 處理 0.78、V 處理 0.77 及 Pe 處理 0.76 表現最好，C 處理 0.65 最差。葉綠素螢光(Fv/Fm)方面，以 V 處理 0.82 和 Pe 處理 0.82 最好，P 處理 0.81 次之，而 C 處理 0.77 表現最差(表 3.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，P 處理 1.05 g 最好，與 V 處理 0.90 g 和 C 處理 0.90 g 次之，且兩處理間無顯著差異，但 Pe 處理 0.75 g 表現最差。而在地下部乾重方面，P 處理 0.38 g 和 V 處理 0.39 g 無顯著差異且表現最好，C 處理 0.28 g 次之，Pe 處理 0.19 g 表現最差(表 3.1)。

在 DQI 方面，P 處理 0.32 為最高，C 處理 0.24 為第二，而 V 處理 0.30 與 P 處理及 C 處理之間無顯著差異，Pe 處理則是 0.15 為最差(圖 3.1)。QI 方面，P 處理 6.96 為最高，V 處理 6.64，C 處理 5.91，而 Pe 處理 5.68 為最低(圖 3.2)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 P 處理表現最好，V 處理和 C 處理次之，而 Pe 處理表現最差。



試驗二、馬拉巴栗種植於混合無土介質之影響

本試驗以泥炭苔(P)：蛭石(V)：真珠石(Pe) = 2：2：1(v/v/v) (PVPe221)、椰纖(C)：水陶石(Ch) = 3：1(v/v) (CCh)及泥炭苔(P)：水陶石(Ch) = 3：1(v/v) (PCh)於臺灣大學園藝試驗分場 103 內，試驗期間之平均溫度 25.7°C，平均最大光強度 50,268 lux 環境下種植馬拉巴栗 77 天，比較混合無土介質對其生育之影響。

植株外觀來看，在株高方面，統計上以 PVPe221 處理 17.5 cm 最好，CCh 處理 14.8 cm 和 PCh 處理 13.7 cm 則較差。而在莖徑方面，以 PVPe221 處理 9.4 mm 表現最好，PCh 處理 7.0 mm 次之，CCh 處理 5.9 mm 最差(表 3.2)。

在非破壞性觀測技術來看，在 CMR 表現上是以 CCh 處理 40.00 表現最好，PCh 處理 35.92 次之，PVPe221 處理 33.83 表現最差。而在 NDVI 方面，則是 CCh 處理 0.80 最好，PVPe221 處理 0.77 和 PCh 處理 0.77 較差。Fv/Fm 方面，CCh 處理 0.83 表現最好，PCh 處理 0.82 次之，PVPe221 處理 0.81 表現最差(表 3.2)。

從植株乾重來看，地上部乾重方面，PVPe221 處理 1.53 g 表現最佳，CCh 處理 0.92 g 和 PCh 處理 0.73 g 表現較差。在地下部乾重方面，PVPe221 處理 0.50 g 表現最佳，CCh 處理 0.14 g 和 PCh 處理 0.14 g 表現較差(表 3.2)。

在 DQI 方面，PVPe221 處理 0.41 為最高，PCh 處理 0.12 和 CCh 處理 0.11 無顯著差異(圖 3.3)。QI 方面，PVPe221 處理 6.80 為最高，CCh 處理 5.34，而 PCh 處理 5.14 最低(圖 3.4)。

總體而言，在植株株高和莖徑和乾重來看，以 PVPe221 處理最佳，但在生理表現方面，則是 CCh 處理較佳。

綜合探討單一栽培無土介質和混合栽培無土介質，從植株外觀來看，株高方面，以 PVPe221 處理表現最好，P 處理、C 處理、V 處理及 CCh 處理四處理間無顯著差異，而 Pe 處理與 PCh 處理之間無顯著差異。而在莖徑方面，則是 PVPe221 處理、P 處理及 C 處理表現最好，V 處理和 PCh 處理之間無顯著差異，而 PCh 處理和 Pe 處理間無顯著差異，Pe 處理與 CCh 處理表現最差，兩處理間無顯著差異(表 3.3)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面以 CCh 處理和 PCh 處理表現最好，兩處理間無顯著差異，而 PCh 處理、P 處理、PVPe221 處理、V 處理以及 Pe 處理五處理間無顯著差異，而 C 處理表現最差。在 NDVI 方面則是除了 C 處理表現最差

以外，其餘各處理皆無顯著差異。而在 Fv/Fm 方面，一樣是除了 C 處理以外，其餘各處理皆無顯著差異(表 3.3)。

而以植株生長量來看，在地上部乾重方面，以 PVPe221 處理表現最好，P 處理、CCh 處理、C 處理及 V 處理四處理間無顯著差異，而 CCh 處理、C 處理、V 處理、Pe 處理及 PCh 處理地五種處理間皆無顯著差。在地下部乾重方面，以 PVPe221 處理表現最好，V 處理和 P 處理第二且無顯著差異，C 處理第三，而 Pe 處理、CCh 處理及 PCh 處理表現最差(表 3.3)。

在 DQI 方面，PVPe221 處理 0.41 最高，P 處理 0.32 和 V 處理 0.30 第二，C 處理 0.24 第三，而 Pe 處理 0.15、PCh 處理 0.12 及 CCh 處理 0.11 為最低(圖 3.5)。QI 方面，PVPe221 處理 6.80 為最高，P 處理 6.09，V 處理 5.83，C 處理 5.20，CCh 處理 5.35，PCh 處理 5.15，而 Pe 處理 5.05 為最低(圖 3.6)。

綜合以上，栽培馬拉巴栗實生苗以 PVPe221 處理作為栽培介質之總體表現最佳。



四、討論(Discussion)

試驗一、馬拉巴栗種植於單一介質之影響

馬拉巴栗在泥炭苔中株高和乾重的表現較佳，與廖等(1989)所做的馬鈴薯試驗相符合。推測是 P 處理的保水能力較高，可以保存本身體積 60% 的水分，且陽離子交換容積偏高(Dole and Wilkins, 2005)，使得植株在生長過程中水份較為恆定，不易缺肥，因此生長表現較佳。而蛭石的保水能力佳，陽離子交換容積高，但在濕潤時結構特別脆弱，不利於長期種植作物(Dole and Wilkins, 2005)，所以植株之生長表現和乾重與 P 處理大致相同(莖徑除外)。

泥炭苔具有理想的理化特性，為商業栽培上最常使用之介質。然而，泥炭苔屬有限資源，若不斷開採下，未來總會日益匱乏。因此，考量環保與成本因素，找尋相關介質取代泥炭苔為重要課題(陳，2012)，所以試驗中將椰纖作為其中一種處理。而椰纖來自椰子(*Cocos nucifera* L.)中果皮部分的纖維物質(Merrow, 1994)。椰纖物理特性類似泥炭苔，容積則較泥炭苔低(Evans and Stamps, 1996)，因此推測 CMR、NDVI 及 Fv/Fm 皆與 P 處理有顯著差異(圖 3.2)之原因可能是陽離子交換容積較低之緣故。將繁星花(*Pentas lanceolata*)栽培於椰纖和泥炭苔中皆有良好的生長表現，而仙丹花(*Ixora coccinea* L.)栽培於椰纖中之植株表現和乾重較差，故認為椰纖雖然可以替代泥炭苔，但不一定對所有作物都適合，因此在使用上可以針對不同植株調整施肥量，一般需補充較多的鈣、硫、銅和鐵離子，但要減少鉀離子施用(Handreck, 1993; Merrow, 1994)。

真珠石是一種灰白色的礦物，來自於岩漿火成岩，成分是矽酸鋁，再經過 900-1000°C 高溫燒製而成，真珠石經高溫膨脹後，體積會增大到原本的 4 到 20 倍，而內部結構像海綿(Olypios, 1992)。而以真珠石當做馬鈴薯之出瓶栽培介質時，在產量方面，真珠石的表現最差；在薯數方面也有一樣的趨勢(廖等，1989)，真珠石會使植株地下部乾重表現不佳，與本試驗相符合。真珠石透氣性相當高，相對地保水能力較低，且真珠石的陽離子交換容積非常低，保肥力極差(Dole and Wilkins, 2005)，因此造成馬拉巴栗植株地下部乾枯，生長遲滯。

以泥炭苔作為栽培介質種植馬拉巴栗，在株高、莖徑、CMR、Fv/Fm、NDVI、地上部乾重與地下部乾重方面，在統計上皆表現最佳；而以蛭石作為栽培介質，

則是在莖徑方面表現較差；以椰纖作為栽培介質則是在 CMR、NDVI、Fv/Fm 及地下部乾重表現較差(表 3.1)。通常植物生長於逆境環境下，光合作用之光量子利用率會下降，進而增加熱散失與葉綠素螢光量。因此葉綠素螢光的測定可廣泛的應用於在各種逆境中光合作用的受損與修復(Smillie and Nott, 1982)。不同逆境下的葉綠素螢光的反應，大致上會有 Fo 增加，Fm'、光量子產量及 PSII 效率下降的現象(Mohnry et al., 1989; Ouzounidou et al., 1995)。Fv/Fm 代表的是暗馴化下 PSII 的最高光效率(maximum quantum yield)，也就是最常使用的參數。而對健康植物而言，Fv/Fm 幾乎是個常數(0.832±0.004)，受到傷害的植物其值往往會下降。椰纖雖然不如泥炭苔一般理想，但以栽培繁星花和杜鵑來說，若經由良好的肥培管理，一樣會是個穩定且理化性質與泥炭苔相當接近的介質之一(Abad, 2005; Meerow, 1994; Scagel, 2003)。而以真珠石作為栽培介質種植馬拉巴栗時，則是除了 CMR、NDVI 及 Fv/Fm 表現較佳之外，其餘表現都是最差(表 3.1)。

狄克森品質指數(Dickson's quality index, DQI)最早是由 Dickson (1960)應用在白雲杉(white spruce, *Picea glauca*)、脂松(red pine, *Pinus resinosa*)及北美喬松(white pine, *Pinus strobus*)之品質鑑定方式，其是以破壞性方式測量植株之株高、莖徑、地上部乾重、地下部乾重及總乾重，經由換算所得之品質指數。DQI 一般作為客觀之綜合型態的性狀表現，且因同時考量乾重與健壯商數等幾個重要參數之分配，被認為是木本植物品質之指標(Johnson and Cline, 1991; Fonseca et al., 2002)。而大桉(*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid.)與濕地松 (*Pinus elliottii* var. *elliottii*)之二樹種之 DQI 與莖徑的迴歸相關度最高，與根、莖及葉片鮮乾重亦具有相當高的相關度，而與葉片數相關度最低(Binotto and Kenneth, 2010)。本試驗中，馬拉巴栗之 DQI 在 P 處理和 V 處理之間雖無顯著差異，但 P 處理之平均值略較 V 處理高，Pe 處理為最差，其他測量數據相符合，證明馬拉巴栗以 P 處理時，其生長性狀與其生長量皆為四種處理中表現最佳，而以 Pe 處理時，其值顯著最低，這也證明以 Pe 處理馬拉巴栗會使植株生長品質不甚理想(圖 3.1)。

因本試驗還有測量非破壞性測量技術，所以單靠 DQI 無法完全作為依據，故將試驗數據中每項目經統計後各項木之平均最大值作為標準值(standard)，又令每項統計後的平均數據除以標準值製成品質指數(Quality Index, QI)，量化並且簡化數據。其結果是 P 處理數值最高，而 Pe 數值最低，也證明了 P 處理之馬拉巴栗的



確生長情形較佳，而 Pe 處理較差(圖 3.2)。

綜合上述結果討論，若欲以單一介質栽培馬拉巴栗，推薦以泥炭苔為栽培介質最為理想。而若要顧與環保，椰纖會是另一種選擇。

試驗二、馬拉巴栗種植於混合介質之影響

以 PVPe221 處理栽培馬拉巴栗，在株高、莖徑、地上部乾重及地下部乾重皆為最好(表 3.2)，而由試驗一可得知。馬拉巴栗適合栽培於保水性較高之介質中，陽離子交換容積高之介質對馬拉巴栗的生長也有幫助。在前人研究中指出 PVPe221 處理、PVPe222 處理及 PVPe224 處理中，以 PVPe221 處理之田間含水量和陽離子交換容積都是最高，PVPe224 處理之陽離子交換容積較低，顯示陽離子交換容積會隨真珠石的比例增加而減少(陳,2012)。現今用於栽培園藝作物的介質雖然不少，但多數環保介質還是得仰賴國外進口，故本試驗採用水陶石(Ch)作為試驗處理之一。水陶石為臺灣本地之新興環保介質，是利用臺灣水庫沉積淤泥為主要材料，經由特定配方調製再經過高溫鍛燒而成，顆粒內部呈現多孔隙構造能提高介質吸水性，而外殼則提供顆粒強度與通氣排水性。質地堅硬且不易粉碎，特性穩定可重複使用(陳,2012)。以試驗表現較佳之 P 處理與 C 處理混入 Ch 處理後，其結果顯示，CCh 處理和 PCh 處理對馬拉巴栗生長生長兩者間表現不顯著(表 3.2, 莖徑除外)，可能與前人研究中 CCh 處理和 PCh 處理的容器含水量不顯著有關(陳,2012)。以 DQI 來看，PVPe221 處理遠高出 CCh 處理和 PCh 處理，表示木本植物以 CCh 處理和 PCh 處理之品質相當不良(圖 3.3)。而在 QI 方面，雖然 CCh 處理在非破壞性測量技術皆為滿分，但其餘部分如株高、莖徑及乾重表現太差，故數據表現仍然不甚理想(圖 3.4)。

綜合比較單一無土介質與混合無土介質，植株在株高、莖徑、NDVI、Fv/Fm、地上部乾重及地下部乾重方面皆為 PVPe221 表現最好(表 3.3)。馬鈴薯種植在混合介質中，植株會產生較多數目的薯球(廖等,1989)；在文心蘭的切花生產上，混合介質較單一介質對植株成長較快，以水苔與木炭、蛇木、煉石或椰殼混合，及保綠土與椰殼混合，對植株生長有所助益(謝,1993)，兩研究結果皆與本試驗混合介質對植株生長較佳相符合。應是混合介質中，各個不同理化性質的介質相互截長補短所致。

以 DQI 來看，也是 PVPe221 處理表現最好，表示單以植株外觀和乾重來看，PVPe221 處理最佳(圖 3.5)，而 QI 也是 PVPe221 處理最好，這也顯示出，即使加入了非破壞性測量技術測值作為評分依據，其表現仍然最好(圖 3.6)。

綜合上述結果討論，若欲栽培馬拉巴栗，推薦以 PVPe221 作為栽培介質最為理想。



五、結論(Conclusion)

使用無土介質栽培馬拉巴栗，若要使用單一介質，推薦使用泥炭苔，可得最佳株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部乾重及地下部乾重。但椰纖處理植株所得之植株外觀和乾重，皆與泥炭苔處理組無顯著差異，因此，若考慮到環保，也可選擇使用椰纖搭配肥培管理。單一介質無法應付所有環境，且理化特性難以調整，因此選擇混合介質之生長表現，會比單一介質還要好，而椰纖和水陶石皆為環保介質，且在非破壞性觀測技術測得之數值比 PVPe221 還要好，但椰纖和水陶石之 DQI 沒有 PVPe221 來得較佳，且在馬拉巴栗產業上，植株外觀和乾重更為重要，因膨大的下胚軸就是馬拉巴栗最具觀賞價值的部位，PVPe221 在植株外觀和生長量方面有最好的表現。此外，七種處理之 QI 值仍以 PVPe221 最好，因此總體來說，混合介質推薦在本試驗中具有最佳表現的 PVPe221。

椰纖和水陶石皆為環保介質，因此本試驗中表現雖然不甚理想，但若肥培管理得宜，在植株外觀和生長量方面也許可達到 PVPe221 處理之品質表現。而水陶石的相關研究相對較少，對於這類新興環保栽培介質的性質還有許多尚未明瞭的地方，這些可能可以作為未來研究的方向。

表 3.1. 馬拉巴栗以四種單一介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重

Table 3.1. Effect of four growing media cultivation on plant height, stem diameter, CMR, NDVI, Fv/Fm, shoot dry weight and root dry weight of *Parchira marcocapa*.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^x	NDVI ^w	Fv/Fm	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
P ^z	15.2 a ^y	8.8 a	34.70 a	0.78 a	0.81 ab	1.05 a	0.38 a
V	15.0 a	7.5 b	33.22 a	0.77 a	0.82 a	0.90 ab	0.39 a
Pe	13.8 b	6.2 c	31.37 a	0.76 a	0.82 a	0.75 b	0.19 c
C	15.2 a	8.6 a	20.22 b	0.65 b	0.77 b	0.90 ab	0.28 b
Significant	**	***	**	***	*	**	***
LSD _{0.05}	0.84	0.86	2.835	0.038	0.348	0.155	0.076

^z P: Peatmoss; V: Vermiculite; Pe: Perlite; C: Coil.

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

^x CMR: Chlorophyll Meter Reading.

^w NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

表 3.2. 馬拉巴栗以三種混合介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重

Table 3.2. Effect of three mix growing media cultivation on plant height, stem diameter, CMR, NDVI, Fv/Fm, shoot dry weight and root dry weight of *Pachira marcocapa*.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^x	NDVI ^w	Fv/Fm	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
PVPe221 ^z	17.5 a ^y	9.4 a	33.83 b	0.77 b	0.81 b	1.53 a	0.50 a
CCh	14.8 b	5.9 c	40.00 a	0.80 a	0.83 a	0.92 b	0.14 b
PCh	13.7 b	7.0 b	35.92 ab	0.77 b	0.82 ab	0.73 b	0.14 b
Significant	***	***	*	*	*	***	***
LSD _{0.05}	1.24	0.80	4.807	0.020	0.009	0.184	0.040

^z PVPe221: Peatmoss : Vermiculite : Perlite = 2 : 1 : 1 (v/v/v); CCh: Coil : Ceramic hydrous media = 1 : 1 (v/v); PCh: Peatmoss : Ceramic hydrous media = 1 : 1 (v/v).

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

^x CMR: Chorophyll Meter Reading.

^w NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

表 3.3. 馬拉巴栗以七種介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、Fv/Fm、地上部及地下部乾重

Table 3.3. Effect of seven different growing media cultivation on plant height, stem diameter, CMR, NDVI, Fv/Fm, shoot dry weight and root dry weight of *Parchira marcocapa*.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^x	NDVI ^w	Fv/Fm	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
P ^z	15.2 b ^y	8.8 a	34.70 b	0.78 a	0.81 a	1.05 b	0.38 b
V	15.0 b	7.5 b	33.22 b	0.77 a	0.82 a	0.90 bc	0.39 b
Pe	13.8 c	6.2 cd	31.37 b	0.76 a	0.82 a	0.75 c	0.19 d
C	15.2 b	8.6 a	20.22 c	0.65 b	0.77 b	0.90 bc	0.28 c
PVPe221	17.5 a	9.4 a	33.83 b	0.77 a	0.81 a	1.53 a	0.50 a
CCh	14.8 b	5.9 d	40.00 a	0.80 a	0.83 a	0.92 bc	0.14 d
PCh	13.7 c	7.0 bc	35.92 ab	0.77 a	0.82 a	0.73 c	0.14 d
Significant	***	***	***	***	**	***	***
LSD _{0.05}	0.99	0.81	4.501	0.034	0.026	0.162	0.061

^z P: Peatmoss; V: Vermiculite; Pe: Perlite; C: Coil; Peatmoss : Vermiculite : Perlite = 2 : 1 : 1 (v/v/v); CCh: Coil : Ceramic hydrous media = 1 : 1 (v/v); PCh: Peatmoss : Ceramic hydrous media = 1 : 1 (v/v).

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

^x CMR: Chorophyll Meter Reading.

^w NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

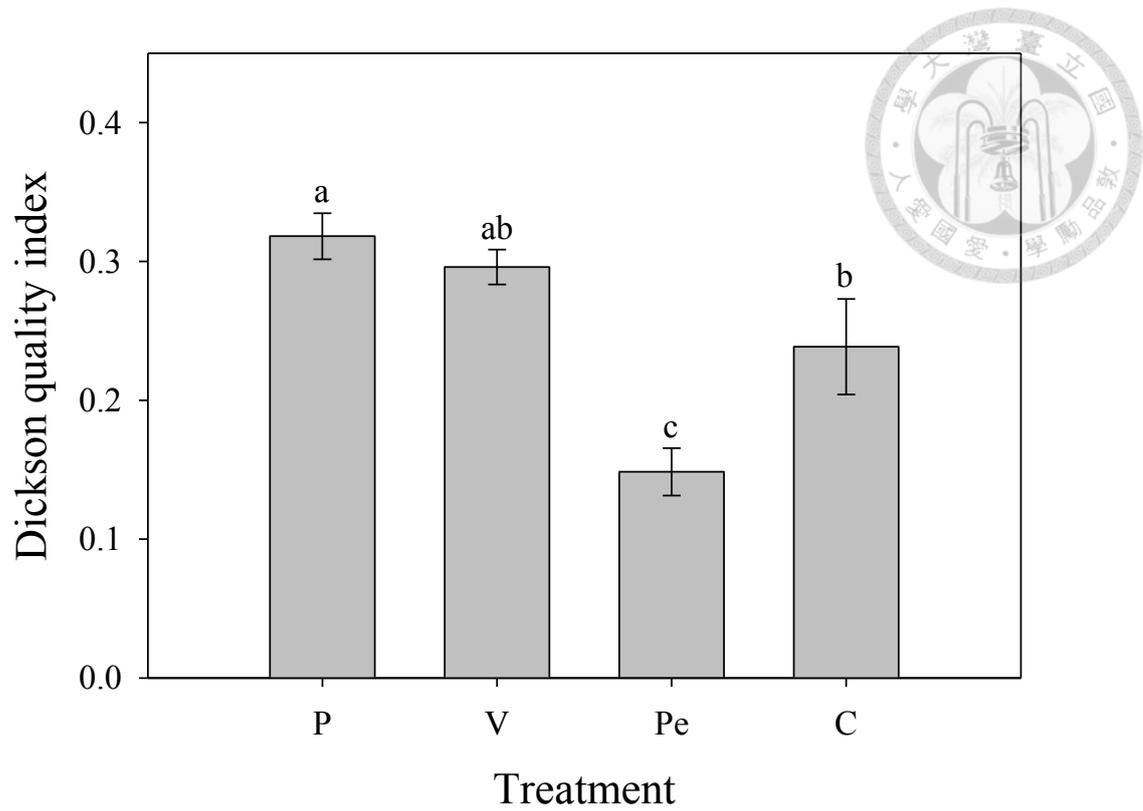


圖 3. 1. 四種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響

Fig. 3.1. Effect of four different growing media cultivation on dickson quality index of *Pachira marcocapa*.

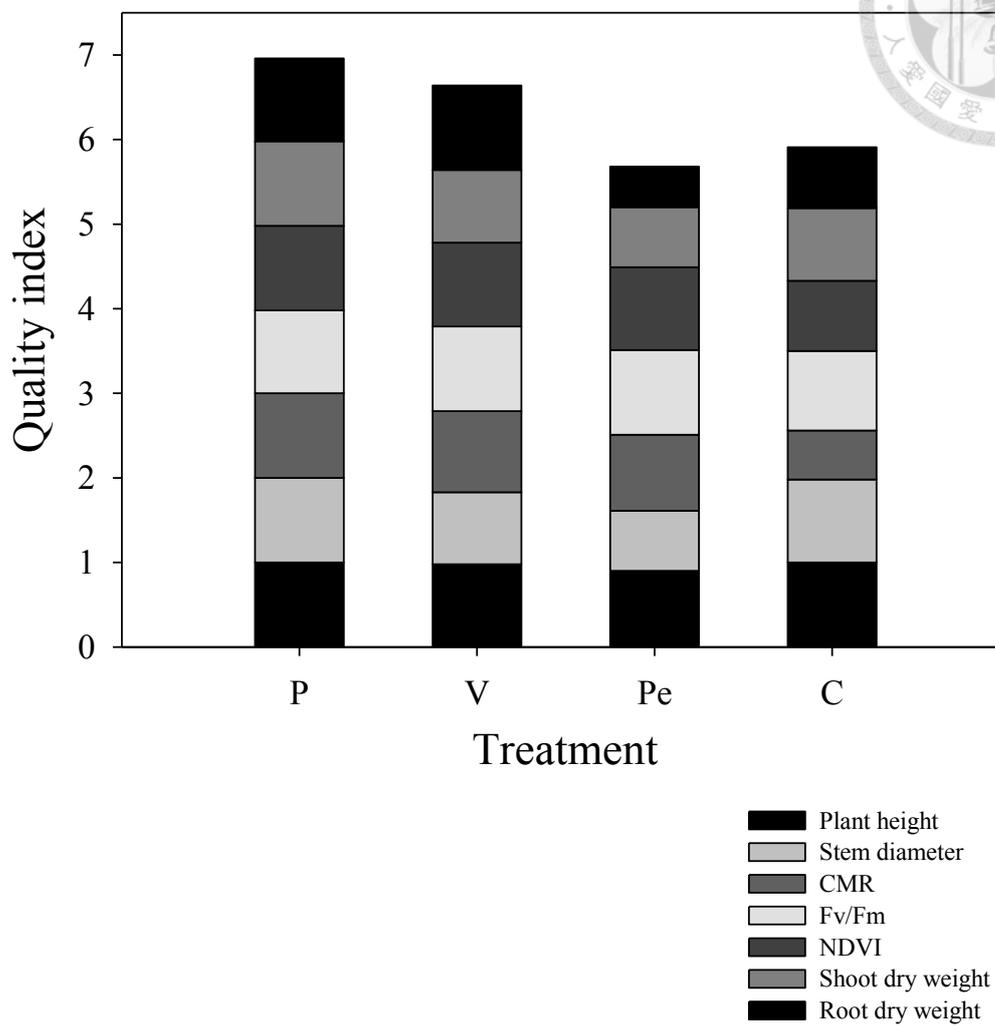


圖 3.2. 馬拉巴栗以四種介質處理之品質指標

Fig. 3.2. Quality index of *Parchira marcocapa* for four different growing media treatment.

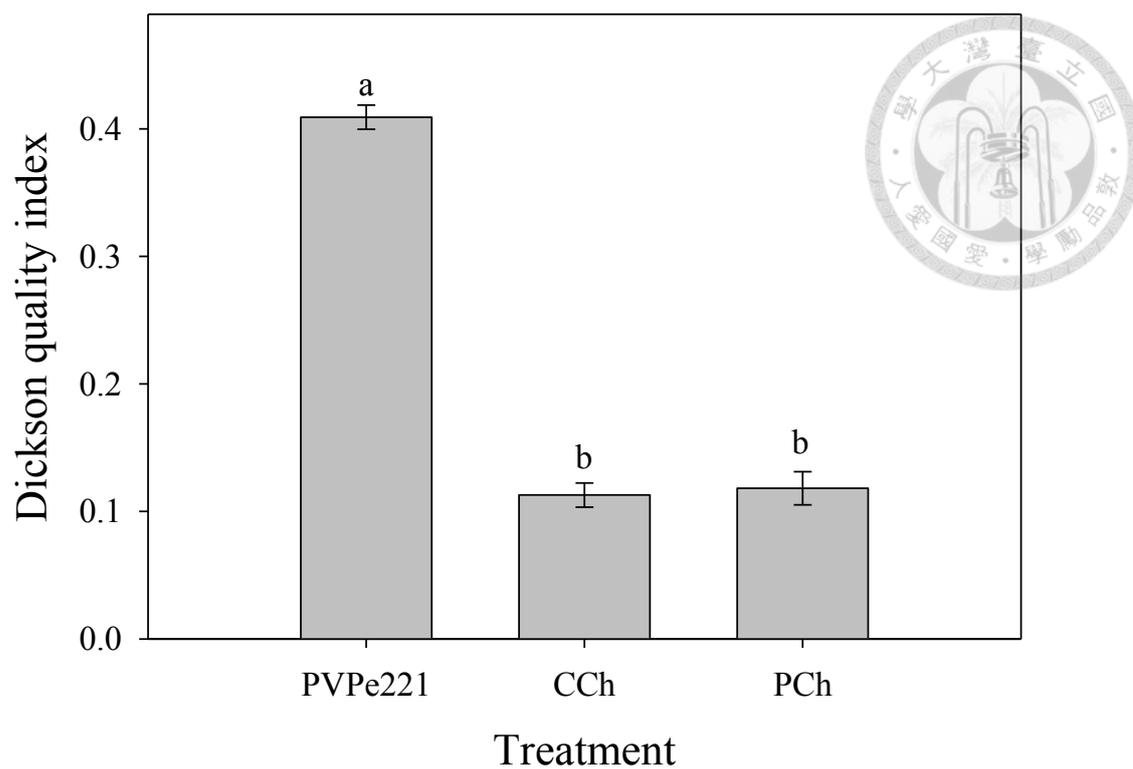


圖 3.3. 三種混合介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響

Fig. 3.3. Effect of three mix growing cultivation media on dickson quality index of *Pachira marcocapa*.

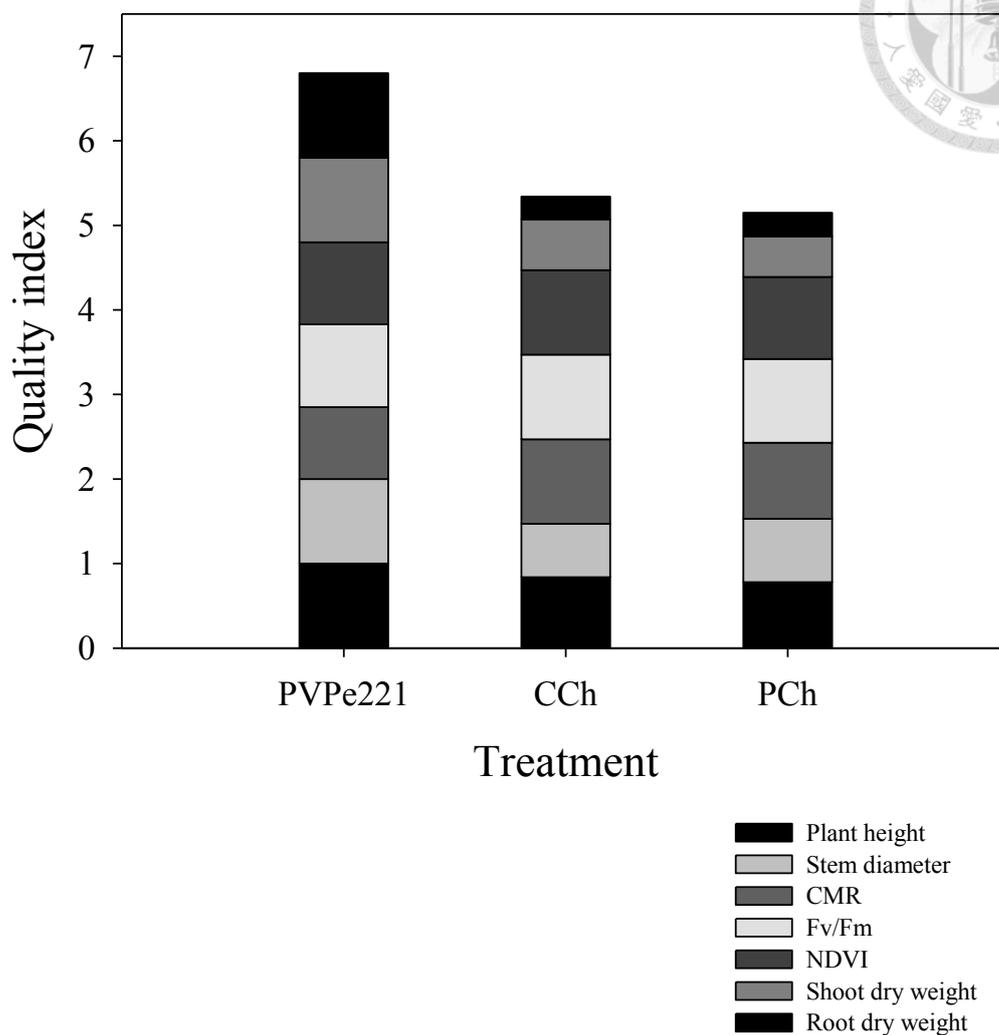


圖 3.4. 馬拉巴栗以三種混合介質處理之品質指標

Fig. 3.4. Quality index of *Parchira marcocapa* for three mix growing media treatment.

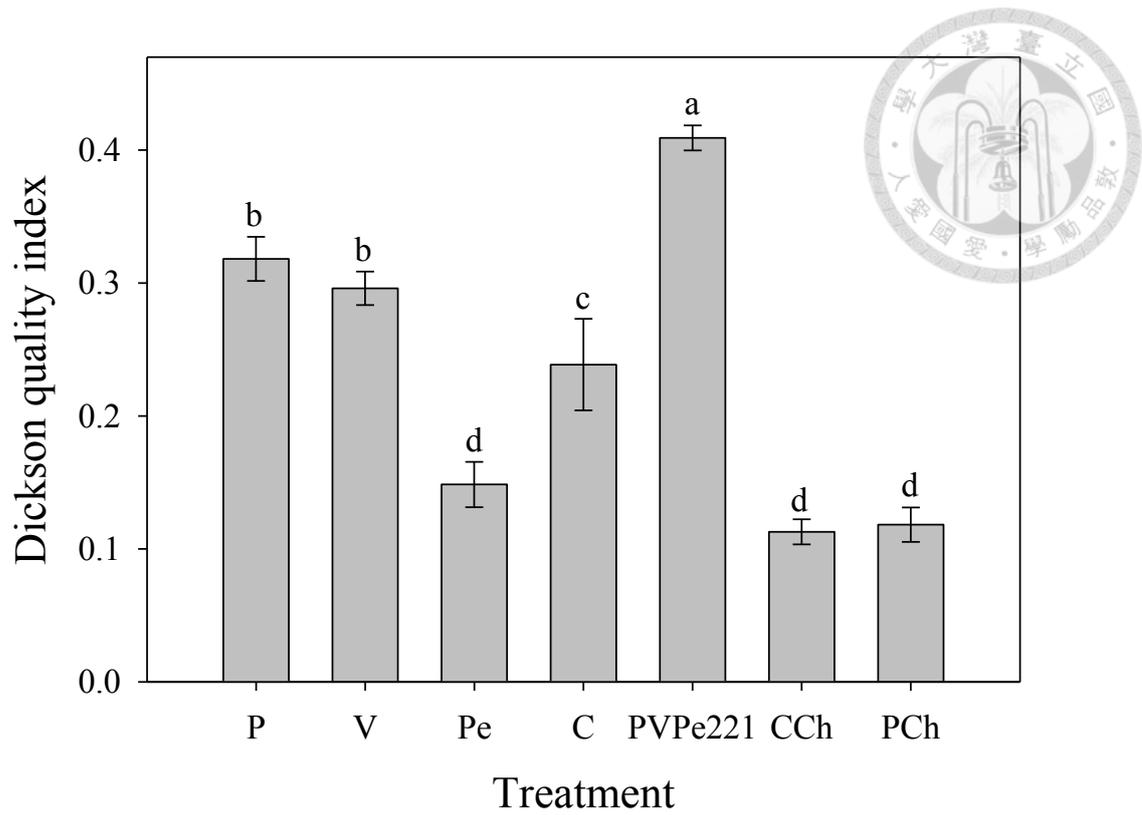


圖 3.5. 七種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響

Fig. 3.5. Effect of seven different growing media cultivation on dickson quality index of *Pachira marcocapa*.

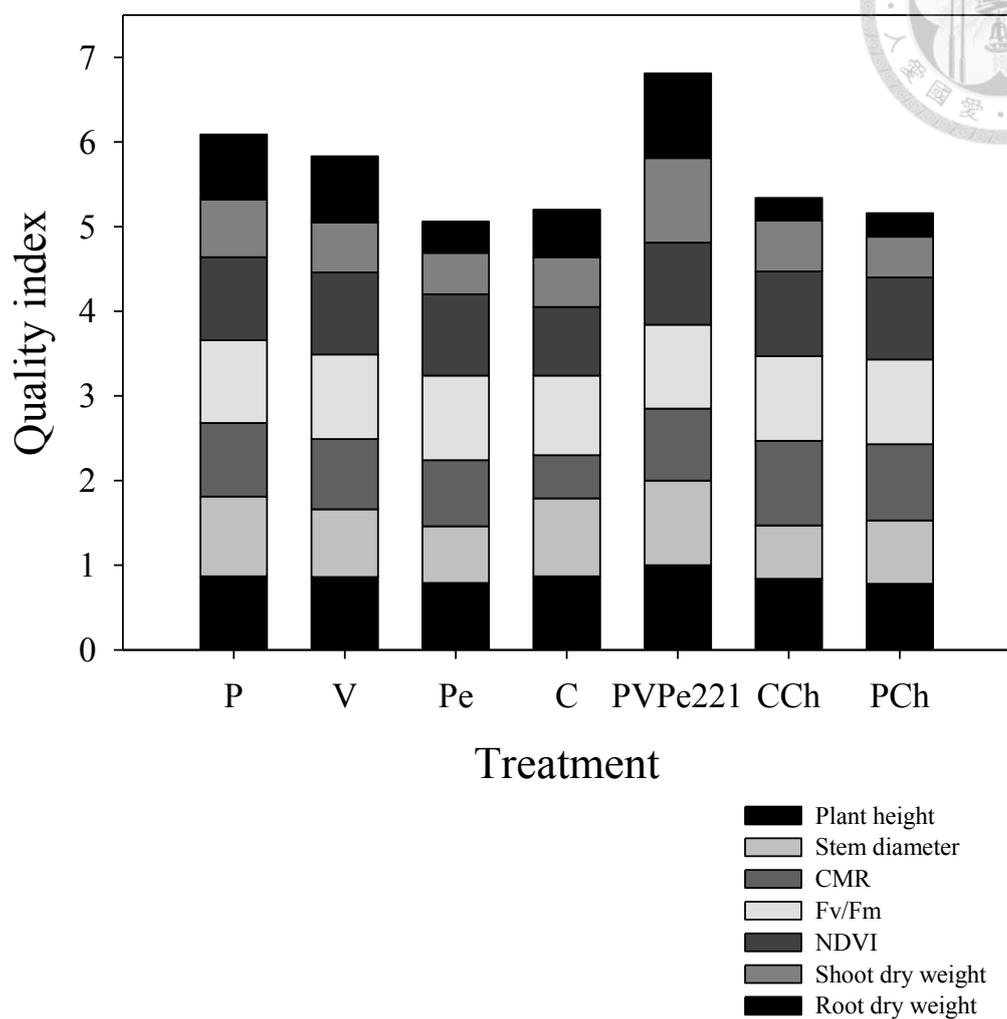


圖 3.6. 馬拉巴栗以七種介質處理之品質指標

Fig. 3.6. Quality index of *Parchira marcocapa* for seven different growing media treatment.

第四章 水耕對馬拉巴栗生長之影響

Chapter 4. Effect of Different Nutrient Solutions of

Pachira macrocarpa



摘要(Abstract)

水耕栽培為一無土栽培技術，係指不用土壤配合人工調配之營養液供作物生長的栽培方式，本試驗目的為找出馬拉巴栗(*Pachira macrocarpa*)最適水耕栽培前育苗方式與探討馬拉巴栗最適水耕養液配方。試驗結果顯示：各處理對植株的影響，以 Vermiculite 處理(V)表現最佳，Sphagnum 處理(S)和 1-P 栽培土(Pe : P = 1 : 4) (v/v)處理次之，而 Perlite 處理(Pe)表現最差，因此選擇馬拉巴栗水耕前適用育苗介質，推薦以 V 處理作為栽培介質最佳。而低光環境下以水耕養液種植馬拉巴栗，以日本山崎萬苜配方表現最佳，臺中區農業改良場水耕養液配方次之，而 Hoagland 水耕養液配方表現最差，故推薦以日本山崎萬苜配方作為水耕養液最佳。而若欲在高光環境下以水耕養液種植馬拉巴栗，則以臺中區農業改良場水耕養液配方表現最佳，日本山崎萬苜配方次之，而強生氏水耕養液配方表現最差，因此推薦以臺中區農業改良場水耕養液配方作為水耕養液最佳。但若考量養液成本，則是推薦使用日本山崎萬苜配方，不僅成本最低且處理結果佳。



一、前言(Introduction)

第三章提及馬拉巴栗(*Pachira macrocarpa*)慣行栽培多使用田土作為栽培介質，並以露天栽培為主。因此欲改善其栽培方法，第三章將植株種植於無土介質中；本章則是將植株以水耕栽培，欲求高品質且具全新觀賞價值之馬拉巴栗。

水耕栽培為一無土栽培技術，係指不用土壤而以人工調配之營養液供作物生長的栽培方式，為設施園藝栽培中較新穎的技術。而各種植物營養特性不同，當必要元素供應受限時，生理機能無法順利進行，典型的反應即為生長減緩；將造就最大生長量之營養濃度，稱為臨界濃度(critical concentration)；臨界濃度後為合適期(adequate range)；經過合適期再增施營養元素，植株產量亦不增加，達奢侈性浪費(luxury consumption) (徐和廖，2003)；當養分濃度達到植株生理機能與乾物重無法同增加，反而因受害而減少時，此階段為養分過剩的毒害(王，1987)，因此如不合適的養液將無法達到豐收或是提高品質，而且易發生生理障礙，甚至無法收穫。多數 C_3 植物單片葉的光飽和量約為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，但某些種的植物在全植株加總後其光飽和量可超過單片葉之光飽和量，甚至達 $1,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 或更高 (Taiz and Zeiger, 2006)。養分和光為影響植物生長的兩個重要因子(Henriques and Marcelis, 2000)，故本試驗設計在低光度與高光度栽培馬拉巴栗，欲找出不同光度環境下所適用之水耕養液配方。



二、材料與方法(Materials and Methods)

試驗一、最適馬拉巴栗水耕栽培育苗無土介質之探討

(一) 植物材料

馬拉巴栗果實於 2013 年 1 月 16 日購自農家蕭有羚(屏東，臺灣)後，將果實平鋪置於溫度 25/23°C，光度 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之育苗室，避免果實之田間熱影響發芽力。

(二) 試驗方法與調查項目

待果實自行開裂後，將種子自裂縫處撥開挑選 3.3 ± 0.1 g 之成熟褐色飽滿種子，洗淨棉絮後即將種子置於自來水(Tap Water, W)、通氣水(Bubble Water, WA)、流動水(Running Water, FW)中(容器大小 365×285×80 mm);無土介質處理分別為 3 號蛭石(vermiculite, V)、3 號真珠石(perlite, Pe)、水苔(sphagnum, S)、1-P 栽培土(Pe:P=1:4) (v/v) (1-P)以及泥炭苔(P):蛭石(V):真珠石(Pe) = 2:2:1 (v/v/v) (PVPe221) (播種於 35 格圓形穴盤)，共 8 種處理中育苗 7 天，而後將其移植入水中，觀察其在這 8 種處理移植水耕之後續生長情形，每處理 8 重複，每重複 1 棵植株，水耕試驗作物皆行打氣處理。其中通氣水所使用之打氣機購自 OTTO 大展水族有限公司(SA-2500, 新北, 臺灣), 1-P 購自 Fafard 公司(Fafard No. 1, Fafard Co., Agawazm, MA, USA), 蛭石與真珠石購自南海蛭石工業股份有限公司(臺北, 臺灣)。本試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，試驗期間以 HOBO[®]溫光度數據記錄儀記錄試驗期間之溫度與光度(附錄 2)，試驗期間之平均溫度 22.8°C，平均最大光強度 46,124 Lux。試驗時間自 2013 年 1 月 19 日至 6 月 5 日，共 137 天。

試驗期間觀察發芽率，而試驗結束當日記錄株高、莖徑。植物之非破壞性生理數值測量，以葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Japan)、植生指數儀(PlantPen, Type NDVI300, Photon Systems Instruments, Drasov)與葉綠素螢光儀器(Mini-Pam, Walz Co., Germany)測定。

1. 發芽率(Germination Rate)



觀察種子三天後是否發芽，以下胚軸突破種皮伸長 1 公分定義為發芽。

2. 株高(Plant height, Plant ht)

以皮尺量測植株與介質交界處為基準，向上測量至頂芽位置，單位為公分(cm)。

3. 莖徑(Stem diameter, Stea diam)

以游標尺測量植株與介質交界處之莖部最寬處寬度，單位為公釐(mm)。

4. 地上部乾重(Shoot dry weight)

將植株從莖頂至第一條根的部份定義為地上部，於試驗結束後，將樣本放入 70°C 烘箱，放置時間為一週，而後以電子天平測量其乾重，單位為克(g)。

5. 地下部乾重(Root dry weight)

將植株自第一條根以下的部份定義為地下部，於試驗結束後，將樣本放入 70°C 烘箱，放置時間為一週，而後以電子天平測量其乾重，單位為克(g)。

6. 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter reading value, CMR)

以葉綠素計(SPAD-502)測量每植株中選取自頂端數下來第三片完全成熟展開葉，每片小葉均測量後給予平均；診測點須集中於葉片中間與避開葉脈，以免影響葉綠素計之判讀。

7. 植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

以植生指數儀測量植株之頂端數下來第三片完全成熟展開葉中最大之小葉的植生指數。NDVI 值介於-1 到1 之間，數值越趨近1 表示植株生長狀態越佳。計算方式是以紅光/近紅外光反射作為計算因數，公式如下：

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{VIS})}{(\text{NIR} + \text{VIS})}$$

NIR：近紅外光輻射值，波長740 nm。

VIS：紅光輻射值，波長 660 nm。

8. 葉綠素螢光(Fv/Fm)



葉綠素螢光之取樣位置與植生指數相同，經暗馴化半小時後以葉綠素螢光測定儀測定標定葉片於光適應狀態下 Fv/Fm。

9. 狄克森品質指數(Dickson quality index, DQI)

$$DQI = \frac{\frac{\text{全株乾重(g)}}{\text{株高(cm)}}}{\frac{\text{地上部乾重(g)}}{\text{莖徑(mm)}} + \frac{\text{地下部乾重(g)}}{\text{地下部乾重(g)}}}$$

(modified from Dickson et al., 1960)

10. 品質指數(Quality Index, QI)

各處理之調查項目經統計分析後，將每個測量項目中平均最高數值者當作分母，每個測量項目之平均值當作分子，做出指數表，最大值為 1，最小值為 0；將所有項目指數相加，最後所得之指數即為品質指數。

$$QI = \frac{\frac{\text{平均株高(cm)}}{\text{最大平均株高(cm)}}}{\frac{\text{平均莖徑(mm)}}{\text{最大平均莖徑(mm)}} + \dots + \frac{\text{平均地下部乾重(g)}}{\text{最大平均地下部乾重(g)}}$$

(三)統計分析

試驗採完全逢機設計(Complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.2 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，以最小顯著差異(Least significant difference, LSD)分析處理有無顯著差異($P \leq 0.05$)；繪圖採用 SigmaPlot Version 8.0 軟體(Systat software INC., Richmond, CA, USA)。

試驗二、低光環境下三種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

(一) 植物材料

馬拉巴栗果實於 2012 年 8 月 7 日購自農家蕭有鈴(屏東，臺灣)後，將果實平鋪置於溫度 25/23°C，光度 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之大育苗室，避免果實之田間熱影響發芽力。

(二)試驗方法與調查項目



果實自行開裂後，自裂縫處撥開挑選 3.3 ± 0.1 g 之成熟褐色飽滿種子，洗淨棉絮後進行播種。將 1-P 栽培土 (Pe:P=1:4) (v/v) (1-P) 裝填於當代模矩化植物苗盆(苗盆大小 $45 \times 30 \times 11$ cm)，每植物苗盆播 30 種子，以正方形播種，每粒種子之行株距 8 cm，將實生苗於介質中育苗 7 天，而後挑選 30 株高度、大小一致之植株移植入密林 380 型水耕盆(水耕盆大小 $365 \times 285 \times 80$ mm)。將植株以一倍全量臺中區農業改良場水耕養液配方(T, 附錄 3)、Hoagland 水耕養液配方(H, 附錄 4)及山崎萵苣配方(Y, 附錄 5)處理，以花卉館自來水配製養液(花卉館自來水 $EC: 0.1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$)，每處理 10 重複，每重複 1 棵植株，水耕試驗期間作物皆行打氣處理。其中 1-P 購自 Fafard 公司 (Fafard No. 1, Fafard Co., Agawazm, MA, U.S.A)，水耕盆購於震嶸塑膠有限公司(臺南，臺灣)，其中所使用之打氣機購自 OTTO 大展水族有限公司(SA-2500，新北，臺灣)。本試驗於臺灣大學園藝暨景觀學系花卉館 B1 之大育苗室進行，平均溫度 $25/23^\circ\text{C}$ 光強度 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。試驗時間自 2012 年 8 月 10 日至 9 月 3 日，共 31 天。

試驗結束當日測量項目除增加葉綠素螢光儀器(Mini-Pam, Walz Co., Germany)測定外，其餘皆與試驗一相同。

葉綠素螢光(Fv/Fm)

葉綠素螢光之取樣位置與植生指數相同，經暗馴化半小時後以葉綠素螢光測定儀測定標定葉片於光適應狀態下 Fv/Fm。

(三)統計分析

同試驗一。

試驗三、高光環境下四種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

(一) 植物材料

馬拉巴栗果實於 2013 年 10 月 2 日購自農家蕭有矜(屏東，臺灣)後，將果實平鋪置於溫度 $25/23^\circ\text{C}$ ，光度 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之大育苗室，避免果實之田間熱影響發



芽力。

(二)試驗方法與調查項目

果實處理，種子挑選與播種方式同試驗二，將植株於介質中育苗 7 天，而後挑選 30 株高度、大小一致之植株移植入密林 380 型水耕盆(水耕盆大小 365×285×80mm)。將植株以四種養液分別是臺中區農業改良場水耕養液配方(T)、Hoagland 水耕養液配方(H)、山崎萬苜配方(Y)、強生氏水耕養液配方(J，附錄 6)以及自來水對照組(CK)處理，以分場自來水配製養液(分場自來水 EC: 0.1 dS·m⁻¹)，每處理 6 重複，每重複 1 棵植株，水耕試驗期間作物皆行打氣處理。其中 1-P 購自 Fafard 公司 (Fafard No. 1, Fafard Co., Agawazm, MA, USA)，水耕盆購於震巖塑膠有限公司(臺南，臺灣)，其中所使用之打氣機購自 OTTO 大展水族有限公司(SA-2500，新北，臺灣)。本試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，試驗期間以 HOBO[®]溫光度數據記錄儀記錄試驗期間之溫度與光度(附錄 2)，試驗期間之平均溫度 25.1℃，平均最大光強度 54,930 lux。試驗時間自 2013 年 10 月 6 日至 11 月 14 日，共 39 天。

試驗結束後之測量項目同試驗二。

(三)統計分析

同試驗一。



三、結果(Result)

試驗一、最適馬拉巴栗水耕栽培育苗無土介質之探討

本試驗以液體：自來水(Tap water, W)、通氣水(Bubble water, WA)、流動水(Running Water, FW)中(容器大小 365×285×80 mm)以及 3 號蛭石(vermiculite, V)、3 號珍珠石(perlite, Pe)、1-P 栽培土 (Pe:P=1:4) (v/v) (1-P)及水苔(sphagnum, S)等 8 種處理作水耕前育苗，試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 內，試驗期間之平均溫度 22.8°C，平均最大光強度 46,124 Lux 之環境種植馬拉巴栗 137 天後，比較無土介質對其育苗之影響。

發芽率方面，以 W 處理之植株為 12.5%，WA 處理為 25%，而 FW 處理為 37.5%，其餘 4 處理：V 處理、Pe 處理、1-P 處理以及 S 處理發芽率皆為 100% (資料未顯示)。

植株外觀上，在株高方面，在統計上以 S 處理 29.0 cm 和 1-P 處理 28.5 cm 為最高，V 處理 24.0 cm 為第二，Pe 處理 16.7 cm 最差。莖徑方面，1-P 處理是 11.2 mm，V 處理是 10.9 mm，S 處理是 10.5 mm，以及 Pe 處理是 9.3 mm，各處理皆無顯著差異(表 4.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，S 處理 32.6 g 為最佳，與 V 處理 25.9 g 有顯著差異，但兩處理皆與 1-P 處理 28.1 g 無顯著差異，Pe 處理 17.1 g 顯著最差。而在 NDVI 方面，S 處理 0.80 為最佳，1-P 處理 0.71 為第二，V 處理 0.64 為第三，Pe 處理 0.57 為最差(表 4.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，1-P 處理 2.0 g，S 處理 1.7 g，V 處理 1.6 g，三處理間無顯著差異，Pe 處理 1.1 g 表現為最差。地下部乾重方面，V 處理 0.54 g 為最佳，Pe 處理 0.28 g 最差，兩處理與 1-P 處理 0.39 g 和 S 處理 0.33 g 之間無顯著差異(表 4.1)。

DQI 方面，V 處理為 0.42，1-P 處理為 0.31，Pe 處理為 0.25 及 S 處理為 0.24，四處理間皆無顯著差異(圖 4.1)。而 QI 方面，則是 1-P 處理 5.44 最高，S 處理 5.40



次之，V 處理 5.17 第三，Pe 處理 3.68 最差(圖 4.2)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 1-P 處理表現最佳，S 處理和 V 處理次之，而 Pe 處理表現最差。

試驗二、低光環境下三種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

本試驗將植株以三種養液，分別是臺中區農業改良場水耕養液配方(T)、Hoagland 水耕養液配方(H)及山崎萵苣配方(Y)處理植株，觀察其在低光環境下的適用水耕養液配方。本試驗於臺灣大學園藝暨景觀學系花卉館 B1 之大育苗室進行，試驗期間之平均溫度 25/23°C，光度 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 處理 31 天後作調查。

植株外觀上，在株高方面，以 H 配方 19.5 cm 最佳，T 配方 18.0 cm 最差，兩處理皆與 Y 配方 19.0 cm 無顯著差異。莖徑方面，Y 配方 7.6 mm，H 配方 7.3 mm 及 T 配方 7.0 mm 三處理間皆無顯著差異(表 4.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，Y 配方 28.59 為最佳，T 配方 24.09 為第二，H 配方 21.00 為最差。而在 NDVI 方面，Y 配方 0.76 表現最佳，T 配方 0.72 第二，H 配方 0.67 表現最差。而葉綠素螢光(Fv/Fm)方面，則是 T 配方 0.79 和 Y 配方 0.78 最佳，兩處理間無顯著差異，H 配方為 0.75 表現最差(表 4.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，T 配方 2.2 g，Y 配方 1.6 g 及 H 配方 1.6 g 三處理間無顯著差異。而地下部乾重方面，H 配方 1.2 g，Y 配方 1.2 g 及 T 配方 1.0 g 三處理間無顯著差異(表 4.1)。

DQI 方面，以 Y 配方 0.51、H 配方 0.48 及 T 配方 0.44，三處理間皆無顯著差異(圖 4.3)。而在 QI 方面，Y 配方 7.58 為最高，T 配方 7.41 次之，H 配方 7.24 表現最差(圖 4.4)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 Y 配方表現最佳，T 配方次之，而 H 配方表現最差。

試驗三、高光環境下四種養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

本試驗將植株以四種養液，分別是臺中區農業改良場水耕養液配方(T)、Hoagland 水耕養液配方(H)、山崎萬苣配方(Y)、強生氏水耕養液配方(J)以及自來水對照組(CK)處理植株，觀察其在高光環境下最適用於馬拉巴栗之水耕養液配方。本試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，試驗期間之平均溫度 25.1°C，平均最大光強度 54,930 lux，並於植株處理 39 天後作調查。

植株外觀上，在株高方面，以 Y 配方 38.3 cm，T 配方 37.0 cm 以及 H 配方 36.2 cm 三處理最佳，處理間無顯著差異，而 CK 處理 29.3 cm 和 J 配方 28.9 cm 最差，兩處理間無顯著差異。莖徑方面，T 配方 19.4 mm、Y 配方 19.2 mm、CK 處理 17.8 mm、H 配方 17.4 mm 及 J 配方 15.2 mm 五處理間皆無顯著差異(表 4.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，Y 配方 41.35，T 配方 37.62 及 CK 處理 36.32 三處理為最佳，且處理間無顯著差異，而 J 配方 8.90 和 H 配方 5.00 最差，兩處理間無顯著差異。而在 NDVI 方面，Y 配方 0.80，T 配方 0.79 及 CK 處理 0.78 表現最佳，三處理間無顯著差異，而 J 配方 0.41 和 H 配方 0.13 表現最差。而 Fv/Fm 方面，則是 H 配方 0.58 表現最差，其餘四組處理皆無顯著差異(表 4.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，T 配方 11.32 g，Y 配方 9.73 g 及 H 配方 8.45 g，CK 處理 6.67 g，J 配方 5.95 g，五處理間無顯著差異。而地下部乾重方面，Y 配方 3.65 g，T 配方 4.68 g，H 配方 4.10 g，CK 處理 3.42 g，J 配方 2.92 g，五處理間無顯著差異(表 4.1)。

DQI 方面，T 配方 3.68，H 配方 3.10，Y 配方 2.91，CK 處理 2.83，J 配方 2.29，五處理間無顯著差異(圖 4.5)。QI 方面，T 配方 6.83 最佳，Y 配方 6.63 次之，CK 處理 5.80 第三，H 配方 4.45 第四，J 配方 4.27 表現最差(圖 4.6)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 T 配方表現最佳，Y 配方次之，CK 處理第三，H 配方第四，而 J 配方表現最差。



四、討論(Discussion)

試驗一、最適馬拉巴栗水耕栽培育苗無土介質之探討

為開發馬拉巴栗之新栽培法，故打破傳統栽培對馬拉巴栗生育環境忌高濕的觀念，將馬拉巴栗移入水中作栽培。為此，本試驗之目的為選擇馬拉巴栗水耕栽培育苗前最適之無土介質。而為了日後馬拉巴栗移植至水耕養液中時，避免經歷斷根，以及將許多根毛之土生根，轉變為沒有根毛之水生根的傷害，因此設計 W 處理、WA 處理及 FW 處理，三種完全以液體介質處理育苗，以期種子能直接以水生根的形態生長。發芽率方面，以 W 處理之植株為 12.5%，WA 處理為 25%，而 FW 處理為 37.5%，皆較其餘固體介質的處理如 V 處理、Pe 處理、1-P 處理以及 S 處理發芽率皆為 100% 明顯還差，應是馬拉巴栗種子內有兩片肥厚多肉乳黃色的子葉，若直接泡在水中如 W 處理容易腐敗，因 W 處理之水中溶氧量不足，而種子發芽需要氧氣，又馬拉巴栗胚根撐破種皮同時，會辦隨著大量黏液狀物質，促使種子腐敗；而 WA 處理和 FW 處理則因溶氧量較高，所以發芽率也較高，但發芽率都不如固體介質育苗處理。且在馬拉巴栗產業上，下胚軸筆直肥大而優美才具有商品價值，而在液體中育苗之植株，無論是 W 處理、WA 處理或 FW 處理，三處理之下胚軸皆呈現彎曲不規則，推測是因為種子在生長時，周圍水份過於充沛，導致根系不受限制，往各個方向生長都能吸收水份，不如種植於無土介質，因為種植於無土介質中之植株，根系可能會因向地性和下層介質水份含量較多，如 V 處理、Pe 處理、1-P 處理及 S 處理中之植株，不但發芽率皆為 100%，且下胚軸皆生長筆直。在液體中生長之馬拉巴栗種子，其主根過於彎曲不規則，在產業上全無商品價值，故與觀察移至水耕之後續情形，而以 V 處理、Pe 處理、1-P 處理及 S 處理來作後續移植入水中栽培之調查。

因本試驗後期會將馬拉巴栗實生幼苗移植入水耕，故植株前期育苗階段的品質相當重要。而有關無土介質與馬拉巴栗植株的關係，先前在第三章已作充分討論，保水力高之無土介質，如泥炭苔和 PVPe221，其處理栽培之馬拉巴栗植株生



長表現與 QI 都較高(圖 4.2)，故預期將這些植株移植入水中後生長也會較好，推測為種植在保水力較高之介質，其根毛數較少，因此日後移植入水中栽培適應時間較短。

在株高方面，S 處理和 1-P 處理為最高，Pe 處理最低，因 S 處理和 1-P 處理的保水力在四種試驗介質中屬於較高的，因此植株的根系在 S 處理和 1-P 處理是比較接近根毛少的水生根型態，故日後植株移植入水中傷害較小；而 Pe 處理則是含水量最低，因此在 Pe 處理中育苗之植株，根系偏向根毛較多的土生根，使得植株移植入水時，植株根系容易受到傷害，植體養分流向修補移植休克(transplant shock)。莖徑方面，因為馬拉巴栗水份充足時莖部容易膨大，而本試驗四種處理皆移植入水中，因此各處理間差異不顯著(表 4.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，S 處理最佳，與 V 處理有顯著差異，但兩處理皆與 1-P 處理無顯著差異，Pe 處理最差，推測是因在育苗階段植株潛力即被固定下來，因此之後放入水中栽培也不會有太大的差異；而在 NDVI 方面，S 處理最佳，1-P 處理次之，V 處理為第三，Pe 處理最差，推測其與 CMR 原因相同(表 4.1)。

從植株乾重來看，地上部乾重方面，1-P 處理、S 處理以及 V 處理之間無顯著差異，而 Pe 處理表現最差，推測是因 Pe 處理之根系在育苗階段就不甚健全，因此移植入水中，其吸水效率較其他三處理來得低，而同化作用效率也就較其他三組處理來得低，所以其地上部乾重也會較差。地下部乾重方面，V 處理為最佳，Pe 處理最差，而兩處理與 1-P 處理和 S 處理之間無顯著差異，推測是因為前期育苗階段時，由於 V 處理之 CEC 值較高，所以地下部較為健壯所致(表 4.1)。

DQI 方面，四處理間皆無顯著差異，可能是 DQI 於不適用水耕的植株上，因水耕植株根枝比不同於介質耕，因此未來希望能夠建立一套水耕植物專屬的品質指標(圖 4.1)。而 QI 方面，因 V 處理、S 處理和 1-P 處理含水量較高，Pe 處理保水力最低，因此在試驗 QI 的表現上，以 V 表現最佳，S 處理和 1-P 處理次之，而 Pe

處理表現最差，V之所以會最高，也許是因為其CEC值較高所致，使其在育苗階段時期之根系較健壯，進而影響到日後移植入水中之生理和生長勢(圖4.1)。

總體而言，各處理對植株的影響，以V處理表現最佳，S處理和1-P處理次之，而Pe處理表現最差，而V表現、S處理及1-P處理之QI值相差不大，但馬拉巴栗根系容易與水苔糾纏，使得後期移植水耕栽培時反而費工，因此若欲選擇馬拉巴栗水耕前適用育苗介質，推薦以V處理或1-P處理作為栽培介質最佳。

試驗二、低光環境下三種水耕養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

土壤電導度(Electrical Conductivity, EC)為表示土壤中可溶性鹽類濃度的一種指標。因為土壤溶液的鹽類濃度與其電導度大小呈正比關係，因此以土壤電導度可以直接表示可溶性鹽類存在於土壤溶液中的濃度為一定體積內溶液內離子的導電能力。可移動而且帶正負電的離子愈多，電阻就愈小，導電能力愈強，進而EC值愈高。對作物而言，多餘的離子鹽份可能來自水、泥土、介質、肥料等。主要的來源包括 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^- 、 K^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 、 SO_4^{-2} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 及 Cl^- 。一些有機肥例如尿素在分解之後產生的離子也影響EC值。本試驗利用野外土壤與溶液電導度測定計(Spectrum Technologies, 2265F, Illinois, U.S.A)來測量養液之EC值，測得T配方、H配方及Y配方之EC值分別約為1.6、2.0及0.8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

植株外觀上，在株高方面，以H配方最佳，T配方最差，兩處理皆與Y配方無顯著差異。而莖徑方面，Y配方、H配方及T配方三處理間皆無顯著差異(表4.1)。

前人研究指出葉綠素計可非破壞性的測定葉色濃綠之程度，在許多植物中葉綠素計讀值(CMR)與葉綠素含量有正相關。而葉綠素概括葉片中70%的氮(Madakadze et al., 1999)，所以葉綠素含量與葉片氮濃度有顯著相關性，因此葉綠素計讀值(CMR)也可相對代表葉片氮濃度多寡。本試驗在CMR上Y配方最佳，T配方第二，而H配方最差，推測是因為在約 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 低光度下，馬拉巴栗無需過多養分，而前人研究中也提到當必要元素供應受限時，生理機能無法順利



進行，典型的反應即為生長減緩；將造就最大生長量之營養濃度，稱為臨界濃度(critical concentration)；臨界濃度後為合適期(adequate range)；經過合適期再增施營養元素，植株產量亦不增加，達奢侈性浪費(luxury consumption) (徐和廖，2003) 毒害的濃度，因此由 EC 值最低的 Y 配方之 CMR 最高，而 EC 值第二的 T 配方其次，EC 值最低的 Y 配方 CMR 值最低(表 4.1)。

目前已有許多非破壞性檢測技術可評估植株生長，早期瞭解植株是否處於逆境狀態。植株於逆境狀態下可能引起次級代謝物累積以及光合色素分解，因而改變植株葉片的光反射率，故可利用測量可見光與近紅外光波長的反射率瞭解其影響(Chaerle and Van Der Straeten, 2000)。以 NDVI 測量葉片之反射光譜可評估植株生長狀態(Peñuelas and Filella, 1998)，且 NDVI 與葉面積指數、綠色葉片生物量、有關(Goward et al., 1994)。而馬拉巴栗在 NDVI 的表現上，以 Y 配方表現最佳，T 配方第二，H 配方表現最差(表 4.1)。

而馬拉巴栗在 Fv/Fm 方面，則是 T 配方和 Y 配方最佳，兩處理間無顯著差異，H 配方為表現最差，表示 H 配方相較於 T 配方和 Y 配方，有顯著受到逆境傷害的趨勢(表 4.1)。

從植株乾重來看，在地上部和地下部乾重方面，三處理間皆無顯著差異(表 4.1)，顯示出在低光度環境，無論使用 T 配方、H 配方或 Y 配方，其乾重皆相同，可能是 T 配方和 H 配方之養分已達先前提過的奢侈性浪費(luxury consumption) (徐和廖，2003)，因此差異不顯著。

DQI 方面，以 Y 配方、H 配方及 T 配方，三處理間皆無顯著差異，可能是水耕作物與介質耕作物之生理生長性狀之間相距甚遠，包括根枝比、株高及莖徑之比例，皆與介質耕作物不同，因此導致 DQI 沒有顯著差異(圖 4.3)。而在 QI 方面，Y 配方最高，T 配方次之，H 配方表現最差(圖 4.4)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 Y 配方表現最佳，T 配方次之，而 H 配方表現最差。除此之外，在養液成本上，以試藥等級配置成本為例，山崎萬苣養

液配方約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，Hoagland 養液配方約 $2.47 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，臺中場養液配方則約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，因此欲在低光環境下種植馬拉巴栗，推薦以成本最低且處理結果最佳之 Y 配方作為水耕養液最佳。



試驗三、高光環境下四種養液配方對馬拉巴栗水耕栽培生長之影響

以野外土壤與溶液電導度測定計(Spectrum Technologies, 2265F, Illinois, U.S.A)來測量養液之 EC 值，測得 T 配方、H 配方、Y 配方 J 配方及 CK 處理之 EC 值分別約為 1.6 、 2.0 、 0.8 、 1.0 及 $0.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ；銨態氮的濃度分別是 152 、 0 、 60 、 36 以及 0 ppm ，又 T 配方、Y 配方及 J 配方之銨硝比為 0.16 、 0.07 及 0.04 。而在前人研究中提到，根部能吸收硝態氮與銨態氮，多數植物會比較傾向吸收銨態氮。而多數物種在硝態氮與銨態氮共存的环境會有較高的氮吸收效率，植株也會有較佳的生長表現(Mengel and Kirkby, 2001)，因此在植株外觀上，在株高方面，以 Y 配方、T 配方以及 H 配方三處理最佳，處理間無顯著差異，而 CK 處理和 J 配方最差，兩處理間無顯著差異，其原因可能是養液中銨態氮含量的多寡有關，或是銨硝比的範圍有關，但 H 配方中並沒有銨態氮，因此推測也許跟其他微量元素有關。莖徑方面，T 配方、Y 配方、CK 處理、H 配方及 J 配方五處理間皆無顯著差異，也許是因為栽培法的關係，植株皆種植於水耕養液中，水份充足且穩定，導致莖部不斷膨大，因此莖部膨大與否與養液種類無關，而是栽培方式有關(表 4.1)。

在非破壞性觀測技術來看，由於 J 配方和 H 配方的測量葉片黃化相當嚴重，懷疑是環境光度不均勻或是營養元素缺乏，因此數據呈現較不理想。CMR 方面，Y 配方、T 配方及 CK 處理最佳，三處理間無顯著差異，而 J 配方與 H 配方最差，兩處理間無顯著差異。而在 NDVI 方面，Y 配方、T 配方及 CK 處理表現最佳，三處理間無顯著差異，而 J 配方和 H 配方表現最差。而在 Fv/Fm 方面，則是 H 配方表現最差以外，其餘四組處理皆無顯著差異，但 J 配方和 H 配方在 CMR 方面，數值皆表示植株測定部位已黃化，與 Fv/Fm 數值不符合，應是試驗誤差所致，可能

測定位置有偏差，或是儀器沒有避開葉脈測量(表 4.1)。

前人研究指出含硝態氮與銨態氮兩種氮源之養液，對番茄與胡瓜葉片生長量與植株鮮重優於僅以硝態氮處理者(Matrinez and Cerda, 1989; Siddiqi et al., 2002)，而 T 配方、Y 配方及 J 配方之中皆含有銨態氮，但試驗中所有處理之地上部與地下部乾重無顯著差異，與前人研究不符，可能是因前人研究中所使用之作物皆為草本植物，而草本植物含水量較木本植物來得高，而木本作物吸收養分後，多供給作為同化作用成乾物質，因此地上部與地下部乾重皆無顯著差異。

DQI 方面，五處理間皆無顯著差異，原因同試驗二之討論(圖 4.5)。QI 方面，T 配方最佳，Y 配方次之，CK 處理第三，H 配方第四，J 配方表現最差(圖 4.6)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 T 配方表現最佳，而 J 配方表現最差，但以 QI 值來看，T 配方 6.83 與 Y 配方 6.63 差距不大，且皆超過 6 級分，因此若欲在高光環境下種植馬拉巴栗，推薦以 T 配方或 Y 配方作為水耕養液最佳，但在養液成本上，以試藥等級配置成本為例，山崎萬苣養液配方(Y)約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而臺中場養液配方(T)約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，因此推薦使用 Y 配方作為水耕養液最佳。



五、結論(Conclusion)

由試驗結果得知，因水中育苗 W 處理容易腐敗；而 WA 處理和 FW 處理則因下胚軸皆呈現彎曲不規則，而不如固體介質育苗，因此馬拉巴栗育苗時期仍是採用介質育苗較佳，而 V 處理表現、S 處理及 1-P 處理之 QI 值相差不大，但馬拉巴栗根系容易與水苔糾纏，而因馬拉巴栗移植水耕時，介質需要完全去除，因此使得後期移植水耕栽培時反而費工，因此若欲選擇馬拉巴栗水耕前適用育苗介質，推薦以 V 處理或 1-P 處理作為栽培介質最佳。而若欲在低光環境($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗，各處理對植株的影響，以 Y 配方表現最佳，T 配方次之，而 H 配方表現最差。而在養液成本上，以試藥等級配置成本為例，山崎萬苜養液配方約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，Hoagland 養液配方約 $2.47 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ 臺中場養液配方則約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，因此推薦以成本最低且處理結果最佳之 Y 配方作為水耕養液最佳；而若欲在高光環境($1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗，各處理對植株的影響，以 T 配方表現最佳，而 J 配方表現最差，但以 QI 值來看，T 配方 6.83 與 Y 配方 6.63 差距不大，且皆超過 6 級分，因此推薦以 T 配方或 Y 配方作為水耕養液最佳且養液成本上，以試藥等級配置成本為例，Y 配方約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，T 配方則約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，故推薦使用 Y 配方作為水耕養液最佳。

總合以上，水耕馬拉巴栗前最好使用蛭石(V)或 1-P 作為介質育苗，而後期移植入水時，在低光度($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)與高光度($1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)環境下栽培，水耕養液則是推薦使用日本山崎萬苜配方(Y)，其養液成本最低且處理結果最佳。

表 4.1. 馬拉巴栗以四種介質作為水耕前介質處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、地上部及地下部乾重

Table 4.1. Effect of four different growing media of pre-hydroponic nursery on plant height, stem diameter, CMR, NDVI, shoot dry weight and root dry weight on *Parchira marcocapa*.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^x	NDVI ^w	Dry weight (g plant ⁻¹)	
					Shoot	Root
1-P ^z	28.5 a ^y	11.2 a	28.12 ab	0.71 b	2.01 a	0.39 ab
V	24.0 b	10.9 a	25.87 b	0.64 c	1.57 a	0.55 a
Pe	16.7 c	9.3 a	17.07 c	0.57 d	1.08 b	0.28 b
S	29.0 a	10.5 a	32.63 a	0.80 a	1.73 a	0.33 ab
Significant	***	NS	***	***	**	*
LSD _{0.05}	3.74	1.57	4.619	0.058	0.493	0.191

^z 1-P: Perlite:Peatmoss =1:4 (v/v); V: Vermiculite; Pe: Perlite; S: Sphagnum.

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

^x CMR: Chorophyll Meter Reading.

^w NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

表 4.2. 低光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理後之品株高、莖徑、CMR、Fv/Fm、NDVI、地上部及地下部乾重

Table 4.2. Comparison of plant height, stem diameter, CMR, Fv/Fm, NDVI, shoot dry weight and root dry weight of hydroponic *Pachira marocopa* in Taichung (T), Hoagland (H) and Yamazaki (Y) nutrient solution under low light condition.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^y	Fv/Fm	NDVI	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
T	18.0 b ^z	7.0 a	24.09 b	0.79 a	0.75 b	2.23 a	9.95 a
H	19.5 a	7.3 a	21.00 c	0.75 b	0.67 c	1.56 a	11.88 a
Y	19.0 ab	7.6 a	28.59 a	0.78 a	0.76 a	1.65 a	11.69 a
Significant	NS	NS	***	**	***	NS	NS
LSD _{0.05}	1.23	0.77	2.336	0.023	0.032	0.144	0.196

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

^y CMR: Chlorophyll Meter Reading.

^x NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

表 4.3. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理後之品株高、莖徑、CMR、Fv/Fm、NDVI、地上部及地下部乾重

Table 4.3. Comparison of plant height, stem diameter, CMR, Fv/Fm, NDVI, shoot dry weight and root dry weight of hydroponic *Pachira marocopa* in Taichung (T), Hoagland (H), Yamazaki (Y) Johnson's (J) nutrient solution and tap water (CK) under high light condition.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^y	Fv/Fm	NDVI	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
T	37.0a ^z	19.4a	37.62a	0.97a	0.79a	11.32a	4.68a
H	36.2a	17.4a	5.00b	0.71b	0.13c	8.45a	4.10a
Y	38.3a	19.2a	41.35a	1.00a	0.80a	9.73a	3.68a
J	28.9b	15.2a	8.90b	0.86a	0.41b	5.95a	2.92a
CK	29.3b	17.8a	36.32a	0.95a	0.78a	6.67a	3.42a
Significant	***	NS	***	***	***	NS	NS
LSD0.05	4.33	3.33	14.685	0.085	0.084	4.275	6.806

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

^y CMR: Chlorophyll Meter Reading.

^x NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

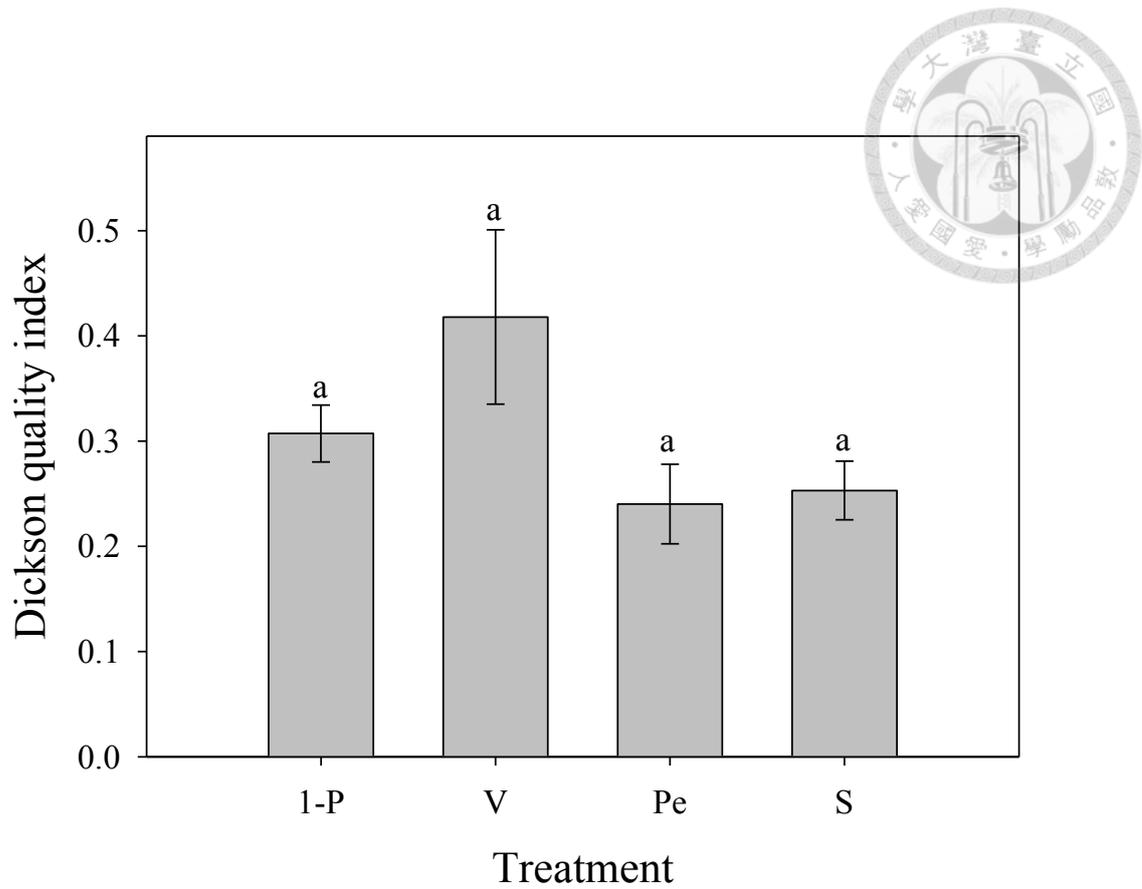


圖 4.1. 四種介質對馬拉巴栗狄克森指數之影響

Fig. 4.1. Effect of four growing media treatment on dickson quality index of *Pachira marcocapa*.

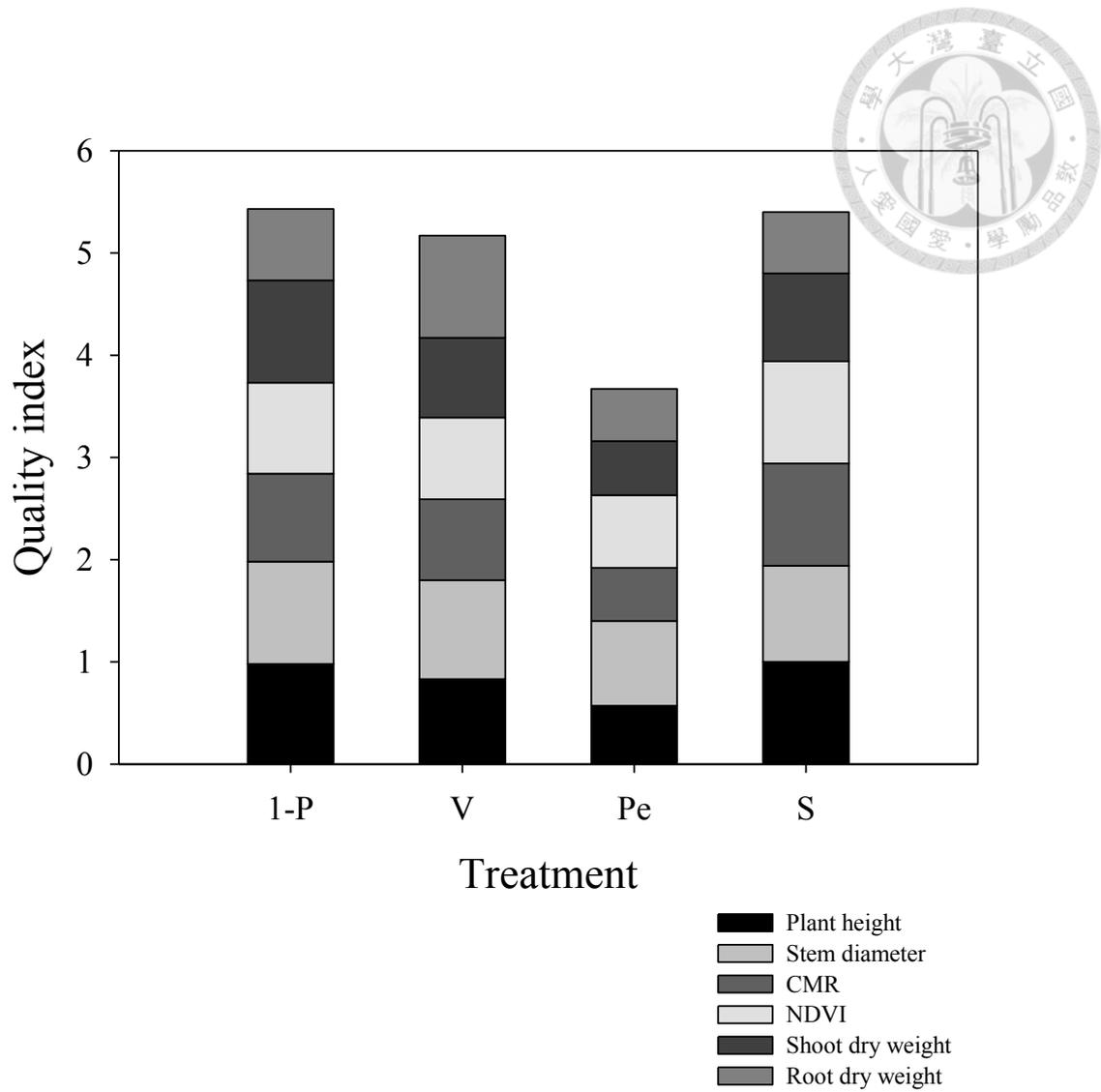


圖 4.2. 馬拉巴栗以四種介質處理之品質指標

Fig. 4.2. Quality index of *Parchira marcocapa* for four growing media treatment.

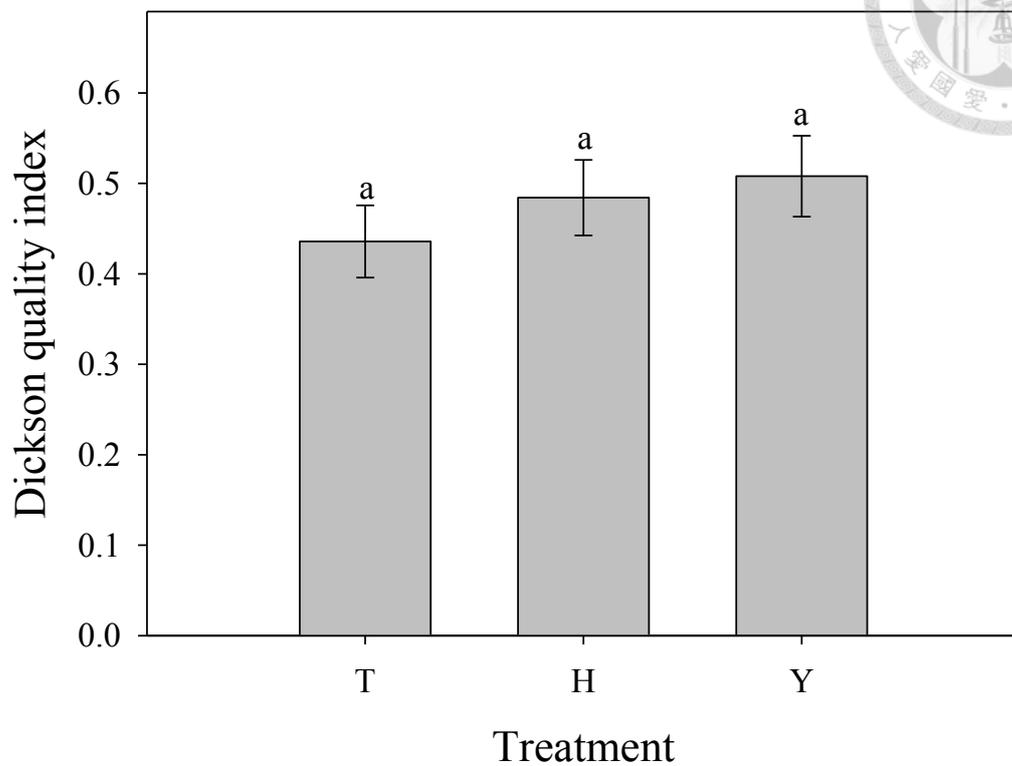


圖 4.3. 低光環境下以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理對馬拉巴栗育苗狄克森指數之影響

Fig. 4.3. Effect of Taichung (T), Hoagland (H) and Yamazaki (Y) nutrient solution treatments on dickson quality index of *Pachira marcocapa* under low light condition.

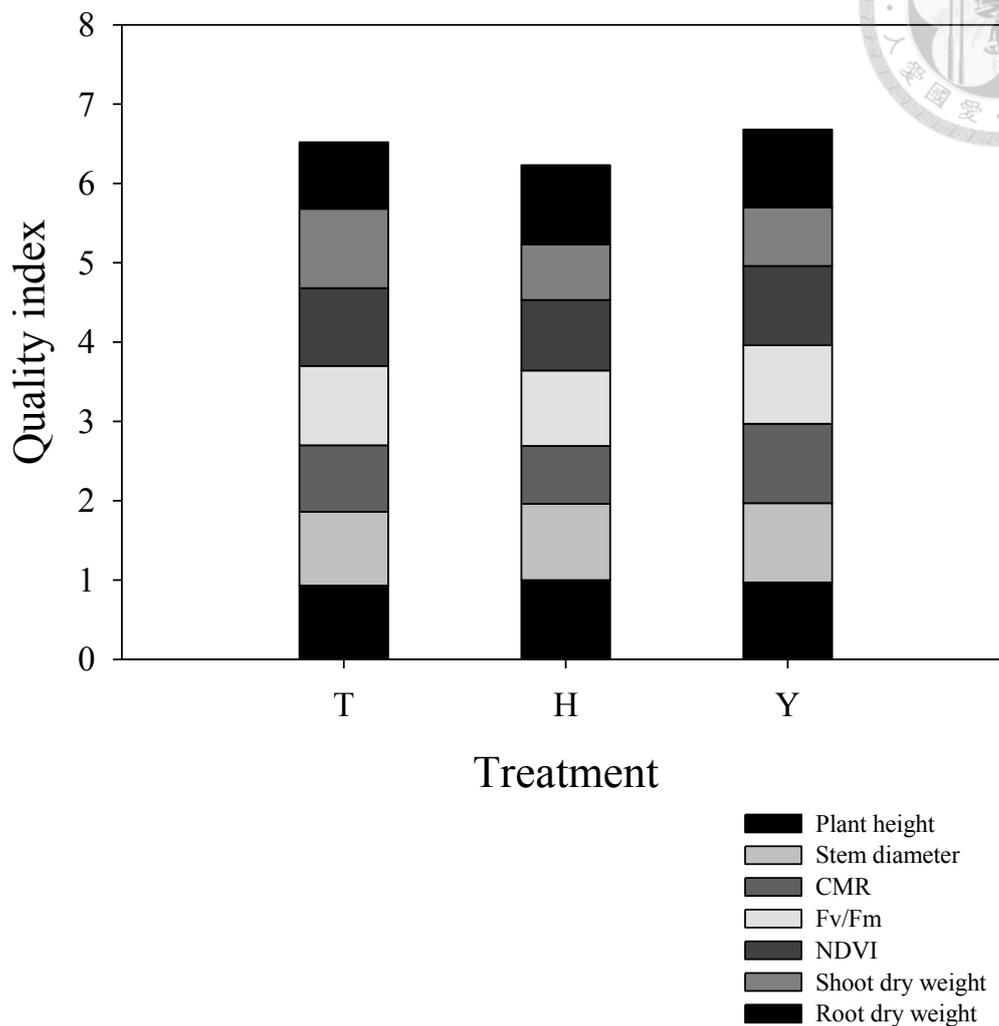


圖 4.4. 低光環境下以台中場(T)、Hoagland (H)及日本山崎(Y)養液配方處理對馬拉巴栗育苗之品質指標

Fig. 4.4. Quality index of *Pachira marocopa* for Taichung (T), Hoagland (H) and Yamazaki (Y) nutrient solution treatments under low light condition.

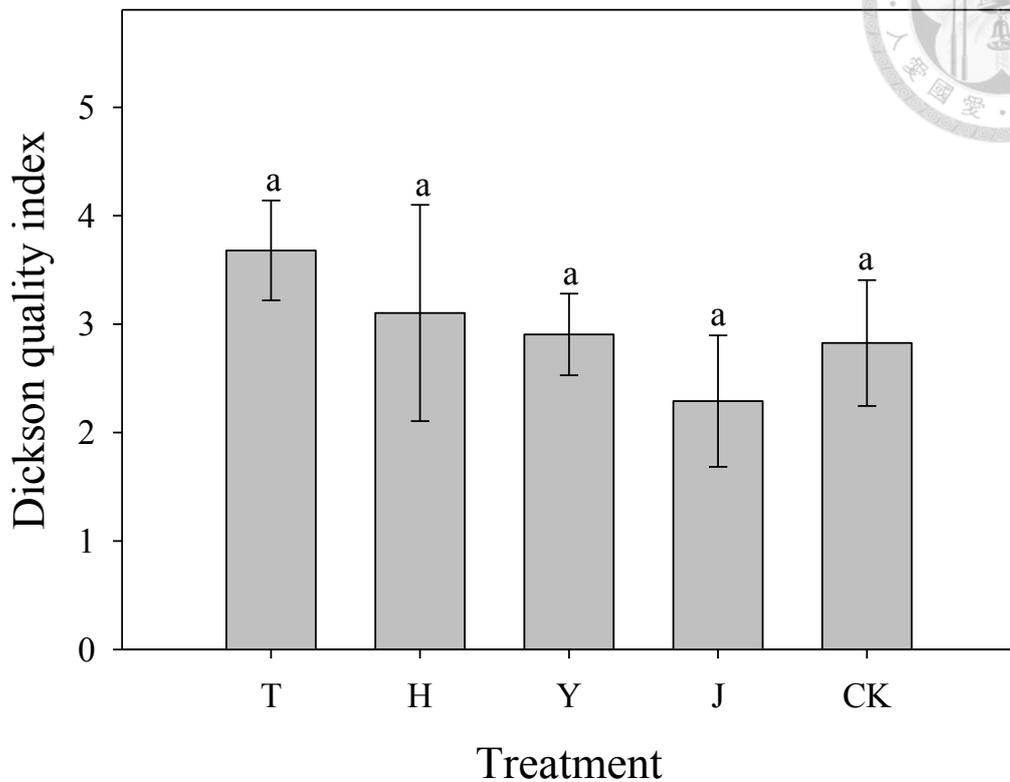


圖 4.5. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理對馬拉巴栗育苗狄克森指數之影響

Fig. 4.5. Effect of Taichung (T), Hoagland (H), Yamazaki (Y) Johnson's (J) nutrient solution and tap water (CK) treatments on dickson quality index of *Pachira marcocapa* under high light condition.

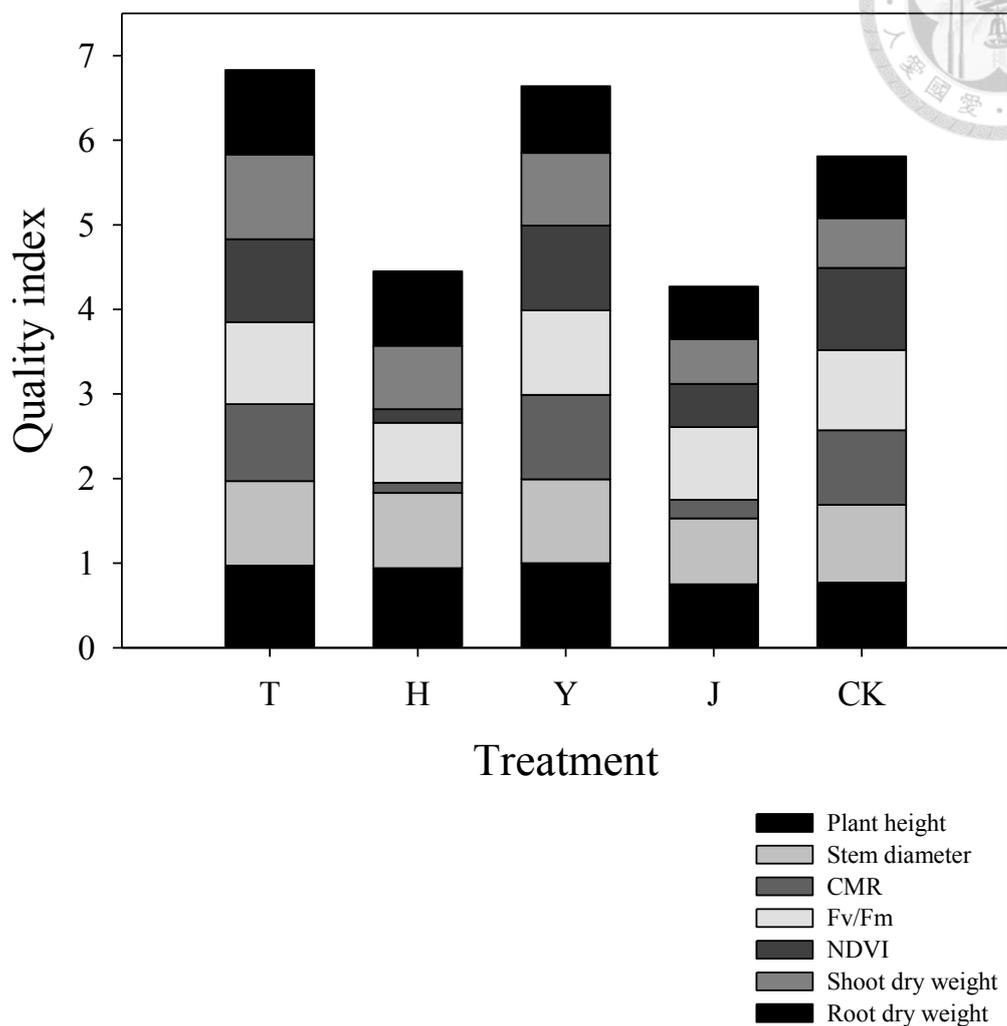


圖 4.6. 高光環境下馬拉巴栗以台中場(T)、Hoagland (H)、日本山崎(Y)及 Johnson's (J)養液配方與自來水(CK)處理對馬拉巴栗育苗之品質指標

Fig. 4.6. Quality index of *Parchira marcocapa* for Taichung (T), Hoagland (H), Yamazaki (Y) Johnson's (J) nutrient solution and tap water (CK) treatments under high light condition.

第五章 釋氧物質與新栽培法

Chapter 5. Oxygen Release Compounds and New Culture Method



摘要(Abstract)

釋氧物質只需 0.01 g 即可使溶液 pH 值大幅升高，而溶液溶氧量(Dissolve Oxygen, DO)也會隨之升高；釋氧能力表現上，則是 ORC+pH 處理表現最佳。以第四章結果深入探討，Y 處理加入釋氧物質後，植株生長之表現；最後是綜合前兩章之結果，探討 PVPe221 無土介質施以山崎萬苣養液栽培(PVPe221+ORC)、山崎萬苣養液配方栽培(Y)及山崎萬苣養液栽培配方加釋氧物質(Y+ORC7)，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，而 W 配方表現最差，而釋氧物質與養液同時施用並調整其 pH 值，會因 EC 值過高而傷害植株根系發展，而各處理對植株的影響。



一、前言(Introduction)

而提高溶液中溶氧量(Dissolve Oxygen, DO)，可能有助於增加水耕養液栽培植株品質，故本章節使用釋氧物質(Oxygen Release Compounds, ORC)，欲增加水中溶氧量欲求更高品質之植株。釋氧物質一般多用於增加地下水中溶氧量，以用於現地整治或復育受有機物污染之地下水居多。添加濃度越高之釋氧物質，釋氧能力越強，而添加 0.5% 至 2% 釋氧物質於水中，其 pH 值不論濃度多寡都上升至 9.5-10.0。試驗期間四個多月，釋氧物質之釋氧能力未明顯降低，顯示具有長效釋氧特性 (Chang et al., 2007)。

在第四章中所選用推薦之山崎萬苣養液配方加入釋氧物質，觀察結果是否較優。最後以第三章表現最佳之無土介質 PVPe221，並使用山崎萬苣養液配方隨水施肥，與栽培在山崎萬苣養液配方中之植株，及於山崎萬苣養液配方中加入釋氧物質，期能找出馬拉巴栗之最適新栽培法。



二、材料與方法(Materials and Methods)

試驗一、釋氧物質性質之探討

(一)試驗材料

試驗所使用之 EOX 釋氧物質由瑞昶科技股份有限公司(臺北，臺灣)提供。

(二)試驗方法與調查項目

試驗前以 0、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9、1.0 g 之釋氧物質，加入一次蒸餾水至 1 L，而後以手提式酸鹼度/電壓/溫度測定計(IQ Scientific Instruments, Type 2162S, Illinois, U.S.A)，測定其酸鹼值，預知其用量與酸鹼值之關係。爾後試驗分為四個處理，分別為水(W)、水中打入空氣(WA)、水中加入釋氧物質(ORC)以及水中加入釋氧物質並調整 pH(ORC+pH)，所加入釋氧物質濃度皆為 0.1 g·L⁻¹，四組處理中皆無植株，每處理 5 重複。試驗於國立臺灣大學園藝暨景觀學系環控溫度 26°C 下進行，試驗時間自 2013 年 8 月 28 日至 9 月 26 日，共 29 天。試驗期間每天調查其溶液溶氧量 Dissolve Oxygen (DO)。

1. 溶氧量

以手持式水中溶氧測定儀(pHionlab, DO10, Serangoon, Singapore)測定水中溶氧量，每 24 小時測量一次，單位是 mg·L⁻¹。

(三)統計分析

試驗設計皆採用完全隨機設計(Complete and randomized design, CRD)。試驗數據以變方分析(Analysis of variance, ANOVA)檢測顯著性，以最小顯著差異(Least significant difference, LSD)，分析各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, U.S.A)，製圖與相關性分析軟體為 SigmaPlot 8.0 (Systat software INC., Richmond, CA, U.S.A)

試驗二、馬拉巴栗最適栽培法之探討

(一)試驗材料

馬拉巴栗 15 cm 小苗於 2014 年 4 月 25 日購自農家蕭有羚(屏東，臺灣)後，

將小苗先於試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 作馴化。

(二)試驗方法與調查項目

將試驗分為四個處理，分別為水(W)、日本山崎萬苜配方(Y)、日本山崎萬苜配方加入釋氧物質(Y+ORC)以及 PVPe221 (以日本山崎萬苜配方作為肥料隨水施肥)，四組處理，每處理 10 重複，每重複 1 棵植株，試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，Y+ORC 處理與 PVPe221 處理每兩週補充一次養液，植株介質兩週澆灌一次養液。試驗時間自 2014 年 4 月 28 日至 7 月 15 日。

試驗期間記錄每次補充養液前水中之溶氧量、pH 值與 EC 值；試驗結束當日記錄株高、莖徑。植物之非破壞性生理數值測量，以葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Japan)、植生指數儀(PlantPen, Type NDVI300, Photon Systems Instruments, Drasov)及葉綠素螢光儀器(Mini-Pam, Walz Co., Germany)測定。

1. 溶氧量 Dissolve Oxygen (DO)

以手持式水中溶氧測定儀(pHionlab, DO10, Serangoon, Singapore)測定水中溶氧量，每次更換養液前測量一次，共測量四次，取平均值。

2. 株高(Plant height, Plant ht)

以皮尺量測植株與介質交界處為基準，向上測量至頂芽位置，單位為公分(cm)。

3. 莖徑(Stem diameter, Stem diam)

以游標尺測量植株與介質交界處之莖部最寬處寬度，單位為公釐(mm)。

4. 葉綠素計讀值(Chlorophyll meter reading value, CMR)

以葉綠素計(SPAD-502)測量每植株中選取自頂端數下來第三片完全成熟展開葉，每片小葉均測量後給予平均；診測點須集中於葉片中間與避開葉脈，以免影響葉綠素計之判讀。

5. 植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

以植生指數儀測量植株之頂端數下來第三片完全成熟展開葉中最大之小葉的植生指數。NDVI 值介於-1 到1 之間，數值越趨近1 表示植株生長狀態越佳。計算方式是以紅光/近紅外光反射作為計算因數，公式如下：

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$



NIR：近紅外光輻射值，波長740 nm。

VIS：紅光輻射值，波長 660 nm。

6. 葉綠素螢光(Fv/Fm)

葉綠素螢光之取樣位置為同 NDVI 選取之小葉，經暗馴化半小時後以葉綠素螢光測定儀測定標定葉片於光適應狀態下 Fv/Fm。

7. 狄克森品質指數(Dickson's quality index, DQI)

$$DQI = \frac{\text{全株乾重(g)}}{\frac{\text{株高(cm)}}{\text{莖徑(mm)}} + \frac{\text{地上部乾重(g)}}{\text{地下部乾重(g)}}}$$

(modified from Dickson et al., 1960)

8. 品質指數(Quality Index, QI)

各處理之調查項目經統計分析後，將每個測量項目中平均最高數值者當作分母，每個測量項目之平均值當作分子，做出指數表，最大值為 1，最小值為 0；將所有項目指數相加，最後所得之指數即為品質指數。

$$QI = \frac{\text{平均株高(cm)}}{\text{最大平均株高(cm)}} + \frac{\text{平均莖徑(mm)}}{\text{最大平均莖徑(mm)}} + \dots + \frac{\text{平均地下部乾重(g)}}{\text{最大平均地下部乾重(g)}}$$

(三)統計分析

同試驗一。



三、結果(Result)

試驗一、釋氧物質性質之探討

本試驗以不同克數之釋氧物質，加入一次蒸餾水至 1 L，而後以手提式酸鹼度/電壓/溫度測定計(IQ Scientific Instruments, Type 2162S, Illinois, USA)，測定其酸鹼值，預知其用量與酸鹼值之關係。其後再將試驗分為四個處理，分別為水(W)、水中打入空氣(WA)、水中加入釋氧物質(ORC)以及水中加入釋氧物質並調整 pH (ORC+pH)，所加入釋氧物質濃度皆為 $0.1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，觀察其再 29 天內每天之溶液溶氧量(Dissolve Oxygen, DO)。

水中無加入釋氧物質時($0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)，pH 值為 6.02，其後依序加入 0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9、1.0 g 之釋氧物質，最後溶液之 pH 值為 12.66，其中加入 0.01、0.02、0.05、0.1、0.5、1.0 g 釋氧物質溶液之 pH 值，依序為 9.33、10.98、11.76、12.3 以及 12.66 (圖 5.1)。

在釋氧能力方面，加入釋氧物質第 0 天所測得，W 處理 DO 值為 $4.47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $4.51 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $4.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $4.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；第 5 天時，W 處理 DO 值為 $4.54 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $6.49 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $6.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 8.28；第 10 天時，W 處理 DO 值為 4.46，WA 處理 DO 值為 5.58，ORC 處理 DO 值為 $5.64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $6.78 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；第 15 天時，W 處理 DO 值為 $4.47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $5.72 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $5.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $6.61 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；第 20 天時，W 處理 DO 值為 $4.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $5.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $5.65 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $6.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；第 25 天時，W 處理 DO 值為 $4.90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $6.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $5.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $6.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；第 38 天時，W 處理 DO 值為 $4.92 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，WA 處理 DO 值為 $5.97 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，ORC 處理 DO 值為 $5.64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而 ORC+pH 處理 DO 值為 $6.52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (圖 5.2)。



總體看來，欲以加入釋氧物質增加溶氧量，僅施用少量釋氧物質，便會使 pH 值大幅升高，而釋氧能力方面，則是 ORC+pH 處理表現最佳，WA 處理與 ORC 處理表現不顯著，W 處理最差。

試驗二、馬拉巴栗最適栽培法之探討

本試驗將植株以混合無土介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與山崎萬苜配方(Y)、山崎萬苜配方加釋氧物質並調整 pH 值至 7 (Y+ORC7)以及自來水(W)栽培馬拉巴栗實生苗，本試驗於臺灣大學園藝試驗分場 103 進行，於植株處理 78 天後作調查。

水中溶氧量(Dissolve Oxygen, DO)方面，Y 配方 $6.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 為最高，Y+ORC7 配方 $6.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 次之，W 配方 $5.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 最低(資料未顯示)。

植株外觀上，在株高方面，以 Y 配方 38.3 cm 最佳，Y+ORC7 配方 32.4 cm 和 PVPe221+Y 處理 28.9 cm 次之，兩處理間無顯著差異，而 W 配方 20.3 cm 最差。莖徑方面，以 PVPe221+Y 處理 16.8 mm 最佳，Y+ORC7 配方 13.9 mm 次之，兩處理皆與 Y 配方 12.8 mm 無顯著差異，而 W 配方 10.7 mm 最差(表 5.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 方面，惟 Y+ORC7 配方 30.04 表現最差外，其餘 Y 配方 38.44、W 配方 35.44 及 PVPe221+Y 處理 35.20，三處理間無顯著差異。而在 NDVI 方面，惟 Y+ORC7 配方 0.73 表現最差外，其餘 Y 配方 0.78、PVPe221+Y 處理 0.77 及 W 配方 0.76，三處理間無顯著差異。而 Fv/Fm 方面，則是 Y+ORC7 配方 0.82、Y 配方 0.82、PVPe221+Y 處理 0.81 及 W 配方 0.80，四處理間無顯著差異(表 5.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，PVPe221+Y 處理 5.80 g 和 Y 配方 5.26 g 表現最優，Y+ORC7 配方 3.64 g 表現次之，W 配方 2.05 g 表現最差。而地下部乾重方面，以 PVPe221+Y 處理 2.52 g 表現最佳，Y 配方 1.66 g 表現次之，W 配方 0.92 g 表現最差，而兩處理皆與 Y+ORC7 配方 1.22 g 無顯著差異(表 5.1)。

DQI 方面，惟 PVPe221+Y 處理 2.08 表現最優，其餘 Y 配方 1.12、Y+ORC7

配方 0.92 及 W 配方 0.72，三處理間無顯著差異(圖 5.3)。QI 方面，以 PVPe221+Y 處理 6.65 最高，Y 配方 6.33 次之，Y+ORC7 配方 5.50 第三，W 配方 4.76 最差(圖 5.2)。

總體而言，各處理對植株的影響，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，而 W 配方表現最差。

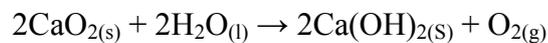
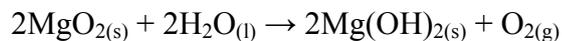


四、討論(Discussion)

試驗一、釋氧物質性質之探討

釋氧物質一般多用於增加地下水中溶氧量，以用於現地整治或復育受有機物污染之地下水居多。添加濃度越高之釋氧物質，釋氧能力越強，而添加 0.5%至 2% 釋氧物質於水中，其 pH 值不論濃度多寡都上升至 9.5-10 (Chang et al., 2007)，與本試驗結果相同，也就是一次水中加入 $0.01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值從原本的 6.01 上升到 9.33，而加入 $0.02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值則是上升到 10.98。

由釋氧物質濃度與酸鹼值試驗可知，釋氧物質為一強鹼性物質，因此接著設計釋氧物質釋氧能力試驗時，特別加入 ORC+pH 處理，由試驗結果可知，ORC+pH 處理 DO 值一直都是最高的，其原因是釋氧物質多為過氧化鎂(MgO_2)或過氧化鈣(CaO_2)，與水進行反應後成氫氧化鎂($\text{Mg}(\text{OH})_2$)或氫氧化鈣($\text{Ca}(\text{OH})_2$)與氧(O_2)，化學式如下：



因此溶液呈強鹼性，故將釋氧物質之水溶液調整 pH 值，以鹽酸(HCl)進行調整，調整 pH 值至與 W 處理一致，結果會使得 ORC+pH 處理之 DO 值大幅提昇，而 WA 處理與 ORC 處理差異不顯著，W 處理則是最低。試驗結束時，ORC 處理之 DO 值顯著高於 W 處理，與前人研究中提到其試驗期間四個多月，釋氧物質之釋氧能力未明顯降低，顯示具長效釋氧特性(Chang et al., 2007)，結果相同(圖 5.1)。

總合以上，釋氧物質加入水中雖會使溶液呈強鹼性，但 DO 值也會上升；ORC+pH 處理組之 DO 值表現最佳，而 ORC 處理能取代打氣，可節省打氣機具器材支出，又能達到節能減碳之目的。

試驗二、馬拉巴栗最適栽培法之探討

本試驗目的為綜合以上章節試驗，探討馬拉巴栗之最適栽培模式，以混合介質與三種水耕配方處理栽培，調查馬拉巴栗適合以介質耕抑或是水耕。試驗結果顯示：在株高方面，以 Y 配方最佳，推測因植株直接栽培於養液中，因此可以迅



速取得養分，而 Y+ORC7 配方和 PVPe221 處理次之，是因為 Y+ORC7 配方之 pH 值雖經調整至 7，但其 EC 值高達 $3.58 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (資料未顯示)，使得馬拉巴栗根尖燒傷壞死，造成傷害，阻礙其運輸養分，而 PVPe221 處理則是受限於介質之陽離子交換能力(Cation Exchange Capacity, CEC)，使得養分無法如水耕一般較不受限制，而 W 配方是自來水處理，因其中沒有添加任何營養成分，所以表現最差。莖徑方面，以 PVPe221+Y 處理最佳，Y+ORC7 配方次之，兩處理皆與 Y 配方無顯著差異，推測是養液影響莖徑粗細較大，與栽培法較無顯著關係，因此 W 配方最差(表 5.1)。

在非破壞性觀測技術來看，CMR 與 NDVI 方面，惟 Y+ORC7 配方表現最差外，其餘三處理間無顯著差異，推測仍與 Y+ORC7 配方 EC 值過高有密切關係。而 Fv/Fm 方面，則是四處理間無顯著差異，代表四處理方法皆不致於使得馬拉巴栗有嚴重之生理傷害(表 5.1)。

從植株乾重來看，在地上部乾重方面，PVPe221+Y 處理和 Y 配方表現最優，在文心蘭(*Oncidium*)的切花生產上，混合介質較單一介質對植株成長較快(謝，1993)，而以泥炭土施用日本山崎萬苣配方之東方甜瓜(*Cucumis melon* L.)，在葉面長、葉面寬與葉柄長等表現均較優，且在‘嘉玉’品種上，產量最佳(戴和蔡，2008)。Y+ORC7 配方表現次之，而 W 配方因沒有養份表現最差。地下部乾重方面，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，Y 配方表現次之，W 配方表現最差，而兩處理皆與 Y+ORC7 配方無顯著差異(表 5.1)，推測是因為生長於無土介質中的根部，需要長出較水耕栽培還要更多分支，且因介質耕環境不如水耕一般潮溼，因此根部需要更多角質和木質化，使得 PVPe221+Y 處理地下部乾重最重。

DQI 方面，惟 PVPe221+Y 處理表現最優，其餘三處理間無顯著差異(圖 5.3)，原因應是 PVPe221+Y 處理之總乾重較高所致。而在 QI 方面，以 PVPe221+Y 處理最高，Y 配方次之，但兩者相差不多，而 Y+ORC7 配方第三，W 配方最差(圖 5.2)，原以為養液中添加釋氧物質增加溶氧量會有最好的表現，但試驗結果與預期不盡相同，應是還未掌握釋氧物質正確之施用技術，且目前相關文獻資料多用於土壤、

污泥中，未來這方面應有相當的潛力。

總合以上，釋氧物質與養液同時施用並調整其 pH 值，會因 EC 值過高而傷害植株根系發展，而各處理對植株的影響，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，故推薦以 PVPe221+Y 處理栽培馬拉巴栗最佳。





五、結論(Conclusion)

一次水中加入濃度 $0.01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值從原本的 6.01 上升到 9.33，而加入濃度 $0.02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值則是上升到 10.98，呈強鹼性。由於釋氧物質溶於水後呈強鹼性，因此特別加入 ORC+pH 處理，由試驗結果可知，ORC+pH 處理 DO 值一直都是最高的，而 WA 處理與 ORC 處理差異不顯著，W 處理則是最低。試驗結束時，ORC 處理之 DO 值顯著高於 W 處理，與前人研究結果相同。

馬拉巴栗栽培於混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)、山崎萬苣配方(Y)、山崎萬苣配方加釋氧物質並調整 pH 值至 7 (Y+ORC7)以及自來水(W)時，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，Y 配方次之，Y+ORC7 第三，而 W 配方表現最差，而釋氧物質與養液同時施用並調整其 pH 值，會因 EC 值過高而傷害植株根系發展，而各處理對植株的影響。

總合以上，釋氧物質方面，以其加入水中雖會使溶液呈強鹼性，但 DO 值也會上升；ORC+pH 處理組之 DO 值表現最佳，而 ORC 處理能取代打氣，可節省打氣機具器材支出，又能達到節能減碳之目的。而最適栽培法方面，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，故推薦以 PVPe221+Y 處理栽培馬拉巴栗最佳。

表 5.1. 馬拉巴栗以混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕配方處理後之株高、莖徑、CMR、NDVI、地上部及地下部乾重。

Table 5.1. Effect of one mix growing media and three different nutrient solution cultivation on plant height, stem diameter, CMR, NDVI, Fv/Fm, shoot dry weight and root dry weight of *Parchira marcocapa*.

Treatment	Plant ht (cm)	Stem diam (mm)	CMR ^x	NDVI ^w	Fv/Fm	Dry weight (g plant ⁻¹)	
						Shoot	Root
PVPe221+Y ^z	28.9 b ^y	16.8 a	35.20 a	0.77 a	0.81 a	5.80 a	2.52 a
Y+ORC7	32.4 b	13.9 b	30.04 b	0.73 b	0.82 a	3.64 b	1.22 bc
Y	38.3 a	12.8 bc	38.44 a	0.78 a	0.82 a	5.26 a	1.66 b
W	20.3 c	10.7 c	35.44 a	0.76 a	0.80 a	2.05 c	0.92 c
Significant	***	***	***	***	NS	***	***
LSD _{0.05}	5.09	2.57	3.62	0.017	0.033	1.275	0.573

^z PVPe221+Y: Peatmoss : Vermiculite : Perlite = 2 : 1 : 1 (v/v/v) fertilized with Yamazaki nutrient solution; Y+ORC: Yamazaki nutrient solution with oxygen release compounds and adjusted pH value to 7; Y: Yamazaki nutrient solution; W: Tap water.

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

^x CMR: Chorophyll Meter Reading.

^w NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NS, *, **, *** Nonsignificant and significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

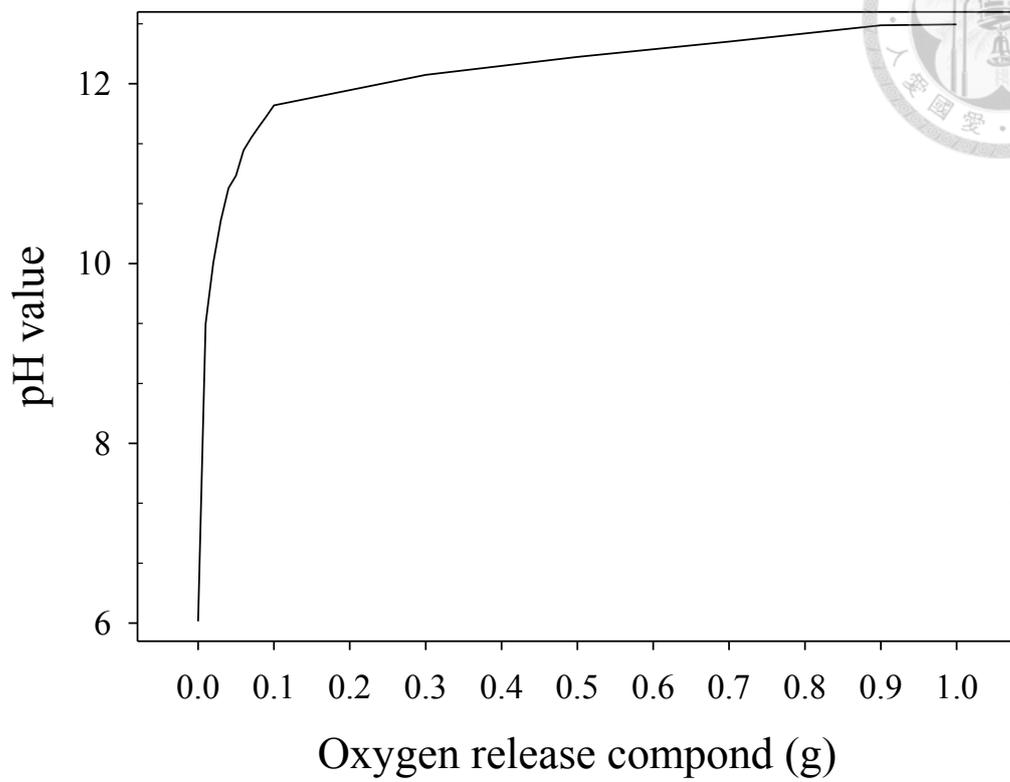


圖 5.1. 釋氧物質用量與酸鹼值之關係圖

Fig. 5.1. The relationship between the dose of oxygen release compound treatment and pH value.

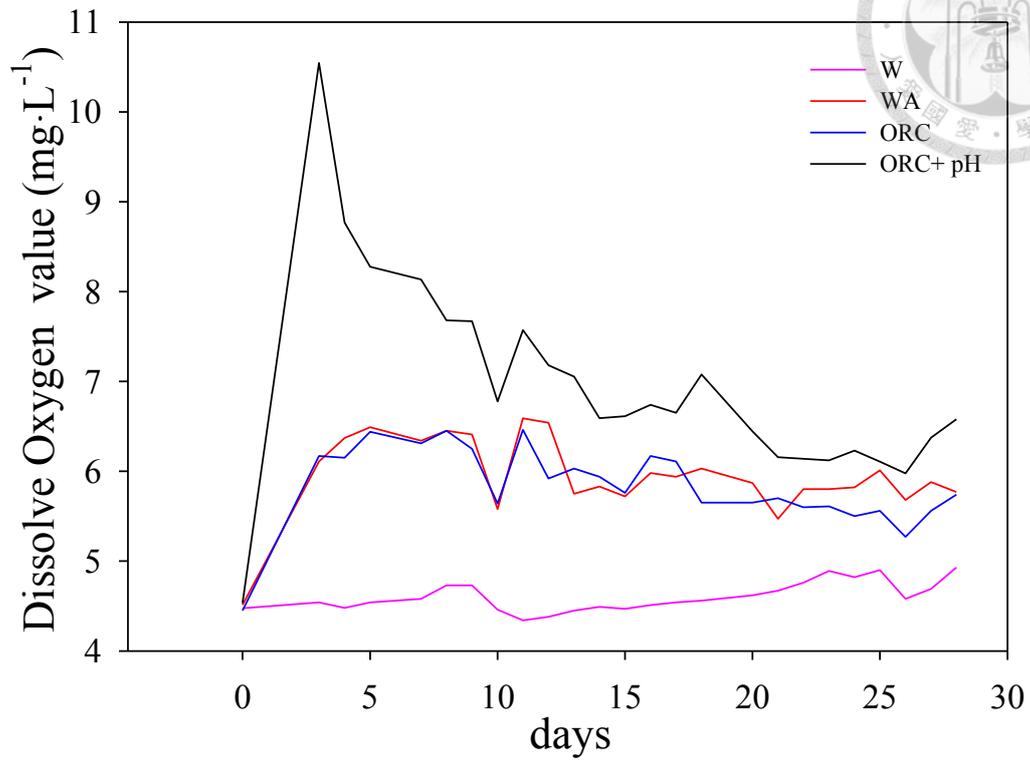


圖 5.2. 四種處理在 29 天內對水中溶氧量之影響

Fig. 5.2. Effect of four treatments for water dissolve oxygen (DO) in 29 days.

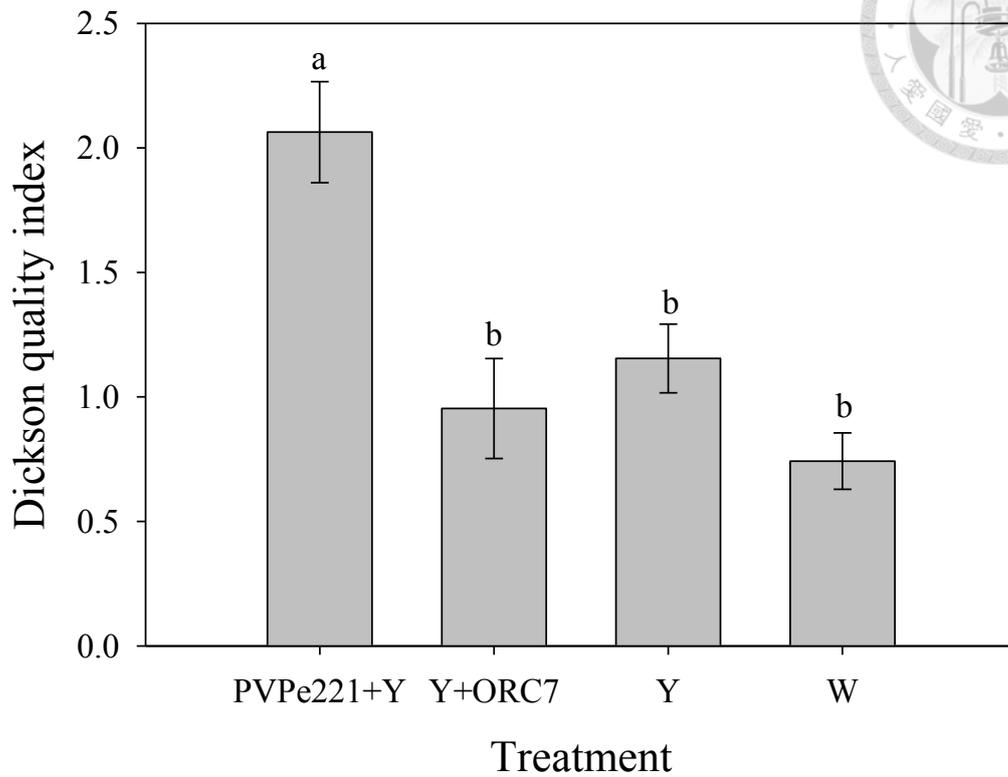


圖 5.3. 混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕配方處理對馬拉巴栗狄克森指數之影響

Fig. 5.3. Effect of one mix growing media and three different nutrient solution methods treatments on dickson quality index of *Pachira marcocapa*.

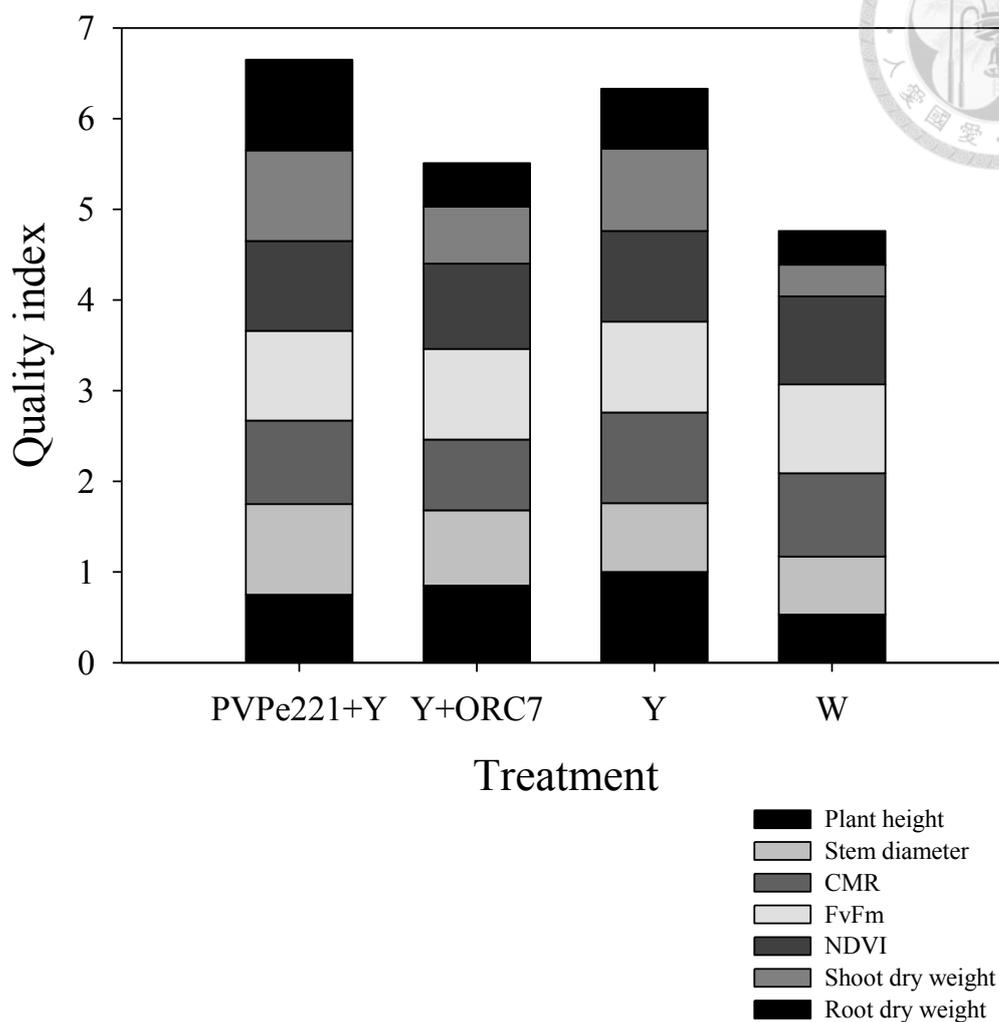
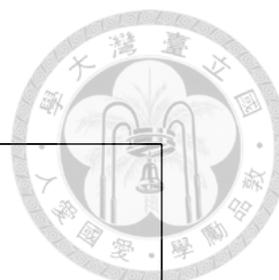


圖 5.4. 馬拉巴栗馬拉巴栗以混合介質施用日本山崎配方(PVPe221+Y)與三種水耕配方處理之品質指標

Fig. 5.4. Quality index of *Parchira marcocapa* for one mix growing media and three different nutrient solution methods.

第六章 結論

Chapter 6. Conclusion



使用無土介質栽培馬拉巴栗，若要使用單一無土介質，推薦使用泥炭苔(P)，植株表現最佳。但單一無土介質無法應付所有環境，且理化特性難以調整，因此選擇混合無土介質之生長表現，會比單一無土介質還要好，且在馬拉巴栗產業上，植株外觀和乾重更為重要，因膨大的下胚軸就是馬拉巴栗最具觀賞價值的部位，而泥炭苔(P)：蛭石(V)：真珠石(Pe) = 2：2：1 (v/v/v) (PVPe221)在植株外觀和生長量方面有最好的表現，此外，七種處理之 QI 值仍以 PVPe221 最好，因此總體來說，混合無土介質推薦 PVPe221，在試驗中具有最佳表現。

而馬拉巴栗育苗時期仍是採用介質育苗較佳，蛭石(V)表現、水苔(S)及 1-P 栽培土(1-P)之 QI 值相差不大，但 S 處理容易與馬拉巴栗根系糾纏，因此後期移植水耕栽培時反而費工，因此若欲選擇馬拉巴栗水耕前適用育苗介質，推薦以 V 處理或 1-P 處理作為栽培介質最佳。而若欲在低光環境($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗，各處理對植株的影響，以日本山崎萬苣(Y)配方表現最佳，臺中場養液(T)配方次之，而 Hoagland 養液(H)配方表現最差。而在養液成本上，以試藥等級配置成本為例，Y 配方約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，H 配方約 $2.47 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，T 配方則約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，因此推薦以成本最低且處理結果最佳之 Y 配方作為水耕養液最佳；而若欲在高光環境(約 $1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下種植馬拉巴栗，各處理對植株的影響，以 T 配方表現最佳，而 J 配方表現最差，但以 QI 值來看，T 配方 6.83 與 Y 配方 6.63 差距不大，且皆超過 6 級分，因此推薦以 T 配方或 Y 配方作為水耕養液最佳，但在養液成本上，以試藥等級配置成本為例，Y 配方約 $0.94 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，H 配方約 $2.47 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，T 配方則約 $2.06 \text{ 元}\cdot\text{L}^{-1}$ ，則是推薦使用 Y 配方作為水耕養液為佳。

一次水中加入濃度 $0.01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值從原本的 6.01 上升到



9.33，而加入濃度 $0.02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之釋氧物質時，水中 pH 值則是上升到 10.98，呈強鹼性。由於釋氧物質溶於水後呈強鹼性，因此特別加入 ORC+pH 處理，由試驗結果可知，ORC+pH 處理 Dissolve Oxygen (DO) 值一直都是最高的，而 WA 處理與 ORC 處理差異不顯著，W 處理則是最低。試驗結束時，ORC 處理之 DO 值顯著高於 W 處理，與前人研究結果相同。而馬拉巴栗栽培於混合介質施用日本山崎配方 (PVPe221+Y)、山崎萬苜配方(Y)、山崎萬苜配方加釋氧物質並調整 pH 值至 7 (Y+ORC7) 以及自來水(W)時，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，Y 配方次之，Y+ORC7 第三，而 W 配方表現最差，而釋氧物質與養液同時施用並調整其 pH 值，會因 EC 值過高而傷害植株根系發展，而各處理對植株的影響。

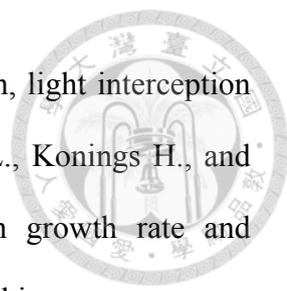
總合以上，馬拉巴栗以單一無土介質栽培時，推薦使用 P 處理，植株表現最佳。而混合無土介質推薦 PVPe221，在試驗中具有最佳表現。水耕馬拉巴栗前最好使用蛭石或 1-P 處理作為介質育苗，而後期移植入水時，在低光度($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)與高光度(約 $1,100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)環境下載培，水耕養液則是推薦使用 Y 配方，其養液成本最低且處理結果最佳。釋氧物質加入水中雖會使溶液呈強鹼性，但 DO 值也會上升；ORC+pH 處理組之 DO 值表現最佳，而 ORC 處理能取代打氣，可節省打氣機具器材支出，又能達到節能減碳之附加價值。而最適栽培法方面，以 PVPe221+Y 處理表現最佳，故推薦以 PVPe221+Y 處理栽培馬拉巴栗最佳。

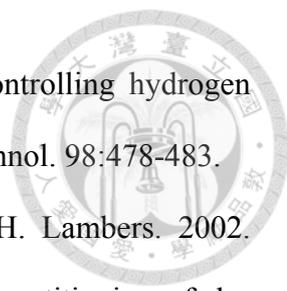
參考文獻(References)

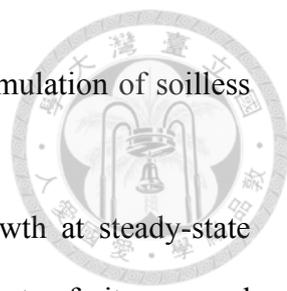


- 王銀波. 1988. 養液栽培之肥料與管理. p. 59-69. 刊於：沈再發、許淼淼編著. 養液栽培技術講習會專刊第一輯. 臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所. 高雄.
- 何明显. 2012. 室內植物移除二氧化碳能力之研究. 國立臺灣大學生物園藝研究所碩士論文. 臺北.
- 沈再發、許淼淼. 1989. 作物的營養特性及影響養液組成之因素. p. 44-59. 刊於：沈再發、許淼淼、徐森彥編著. 養液栽培技術講習會專刊第二輯. 臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所. 高雄.
- 沈榮壽. 2005. 馬拉巴栗. p877-882. 刊於：黃美華、方怡丹、林鈴娜. 臺灣農家要覽農作篇(二),增修訂三版.財團法人豐年社. 台北.
- 李郁淳. 2006. 氯化銨處理對尖葉萵苣及小白菜生育及硝酸鹽含量之影響. 國立中興大學園藝學研究所碩士論文. 臺中.
- 李金龍、傅季郁. 1988. 本省養液栽培之發展方向與重點. p 1-5. 刊於：沈再發、許淼淼編著. 養液栽培技術講習會專刊第一輯. 臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所. 高雄.
- 林昭儀. 2006. 遮光、溫度與無機養分對擎天鳳梨‘Cherry’生長之影響. 國立臺灣大學生物園藝研究所碩士論文. 臺北.
- 徐善德、廖玉婉譯. William, G. Hopkins and Norman P.A. Huner 編著. 2005. 第十二章：植物與無機養分. p. 225-294. 植物生理學第三版. 偉明圖書有限公司. 臺北.
- 黃敏展. 2002. 亞熱帶花卉學總論. 第十三章：花卉之土壤. p. 265-266. 中興大學園藝系. 臺中.
- 蔡宛育、陳彥樺. 2012. 馬拉巴栗. 臺灣中部地區外銷作物產業專集. 112:148-153.

- 
- 蔡淳瑩. 1999. 栽培介質及肥料對四季蘭假球莖增殖之影響. 行政院農業委員會花蓮區農業改良場研究彙報. 17:65-71.
- 廖文偉、何偉真、廖玉珠. 1989. 介質對馬鈴薯瓶苗扦插及種薯生產之影響. 中國園藝. 36(1):35-42.
- 戴振洋、蔡宜 . 2008. 不同養液肥料對介質栽培東方甜瓜之影響. 臺中區農業改良場研究彙報. 99:61-72.
- 謝孟諺. 2014. 臺灣景觀樹木容器苗生產關鍵技術之探討. 國立臺灣大學生物園藝研究所碩士論文. 臺北.
- 謝清祥. 1993. 文心蘭的栽培介質. 臺灣之種苗. 10:39-41.
- 蘇俊峯. 2012. 馬拉巴栗病害簡介與整合管理. 行政院農業委員會農業試驗所技術服務季刊. 91:15-18
- Abad, Z.G., F.J. Louws, G.E. Fernandez, and L.M. Ferguson. 2002. Predominance and pathogenicity of fungi and stramenopiles associated with black root rot (BRR) of strawberries. *Phytopathology* 92:S1.
- Abad, M., F. Fornes, C. Carrión, and V. Noguera. 2005. Physical properties of coconut coir dusts compared to peat. *HortSci*. 40(7):2138-2144.
- Alen, M.M. 1960. Actions and interactions of temperature, light intensity and nutrient concentration on the growth of the green alga, *Chlamydomonas reinhardi* Dangeard. *J. Fisheries Res. Board Can.* 17: 871-894.
- Alt, D. and A.M. Full. 1988. Control of the nitrogen status of lettuce by nitrate analysis of plant sap. *Acta Hort.* 222:23-27.
- Awang, Y., A.S. Shaharom, R.B. Mohamad, and A. Selamat. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *Amer. J. Agr. Biol. Sci.* 4:63-71.

- 
- Barneix, A.J. 1990. Yield variation in wheat: nitrogen accumulation, light interception and harvest index, p. 87-100. In: Lambers H. Cambridge M.L., Konings H., and Pons T.L. (eds.). Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. The Hague: SPB Academic Publishing.
- Bilderback, T.E., S.L. Warren, J.S. Owen, and J.P. Albano. 2005. Healthy substrates need physicals too. HortTechnology 15:747-751.
- Binotto, A.F., A.D. Lúcio, and S.J. Lopes. 2010. Correlations between growth variables and the dickson quality index in forest seedlings. Cerne. Lavras. 16:457-464.
- Brian, E.L. and R.T. Kenneth. 1981. Experimental outdoor study with *Ulva fasciata* Delile. I. Interaction of light and nitrogen on nutrient uptake, growth, and biochemical composition. J. Expt. Marine Biol. Ecol. 53:135-152.
- Bunt, A.C. 1983. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. Acta Hort. 150:143-153.
- Cantliffe D.J. 1973. Nitrate accumulation in spinach cultivars and plant introductions. Can. J. Plant Sci. 53:365-367.
- Chaerle, L. and D. Van Der Straeten. 2000. Imaging techniques and the early detection of plant stress. Trends in plant science 5:495-501.
- Chang, G. H., T. E. Dai, S. C. Huang, C. Y. Tsao, W. T. Tsai, F. N. Wang, A. H. Chang, and F. W. How. 2006. Application of artificial textile fiber as growing medium for *Phalaenopsis* cultivation. J. Taiwan Soc. Hortic. Sci. 52:71-80. (in Chinese with English abstract)
- Chang, X., P.G. Alderson, and C.J. Wright. 2008. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. Environ. Expt. Bot. 63:216-223.

- 
- Chang, Y.J., Y.T. Chang, and H.J. Chen. 2007. A method for controlling hydrogen sulfide in water by adding soil phase oxygen. *Bioresource Technol.* 98:478-483.
- Corine, C. de G., L.F.M. Marcelis, R. van den Boogaard, and H. Lambers. 2002. Interactive effects of nitrogen and irradiance on growth and partitioning of dry mass and nitrogen in young tomato plants. *Funct. Plant Biol.* 29:1319-1328.
- De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26:37-44.
- Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 2005. *Floriculture : principles and species*. 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Eriksen, F.I. and A.S. Whitney. 1981. Effects of light intensity on forage species: I. interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agron. J.* 73:427-433.
- Evans, M.R., R.H. Stamps. 1996. Growth of bedding plants in sphagnum peat and coir dust-based substrate. *J. Environ. Hort.* 14:187-190.
- Fonseca, E.P., S.V. Valéri, É. Miglioranza, N.A.N. Fonseca, and L. Couto. 2002. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Rev. Árvore.* 2:515-523.
- Goward, S.N., K.F. Huemmrich, and R.H. Waring. 1994. Visible-near infrared spectral reflectance of landscape components in western Oregon. *Remote Sensing of Environment.* 47:190-203.
- Grillas, S., M. Lucas, E. Bardopolou, S. Sarafopoulos, and M. Voulgari. 2001. Perlite based soilless culture system: current commercial applications and prospects. *Acta Hort.* 548:105-113.
- Grindlay D.J.C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimisation of Leaf nitrogen per unit Leaf area. *J. Agr. Sci.* 128:377-396.

- 
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 24:349-33.
- Henriques, A.R.D. and L.F.M. Marcelis. 2000. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): Interactive effects of nitrogen and irradiance. *Ann. Bot.* 86:1073–1080.
- Jean, M., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. transplant growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:594-598.
- Johnson, J.D., and M. L. Cline 1991. Seedling quality of southern pines, p.143-162. In: M.L. Duryea and P.M. Dougherty. (eds.). *Forestry re-generation manual*. Kluwer Academic. The Netherlands.
- 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.
- Mahmoudi, M. and M.E. Gershwin. 2000. Sick Building Syndrome III stachybotrys chartaarum. *J ASTHMA.* 37:191-198.
- Matrinez, V. and A. Cerda. 1989. Nitrate reductase activity in tomato and cucumber leaves as influenced by NaCl and N source. *J. Plant Nutri.* 12: 1335-1350.
- Meerow, A.W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *HortScience* 29:1484-1486.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of plant nutrition*. 5th ed. Kluwer Academic, Switzerland.
- Mohanry, N.I.V. and S. Demeter. 1989. *Plant Physiol.* 90:175-179.
- Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

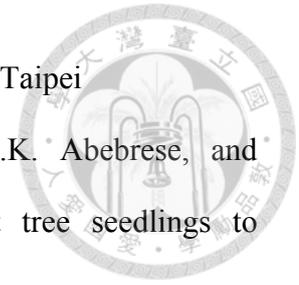
- 
- Niven, R.M.L., A.M. Fletcher, and C.A.C. Pickering. 2000. Building sickness syndrome in healthy and unhealthy buildings: an epidemiological and environmental assessment with cluster analysis. *OEM*. 57:627-634.
- Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58:177- 204.
- Olympios, C.M., 1992. Soilless Media Under Protected Cultivation Rockwool, Peat, Perlite and Qther Substrates. *Acta Hort*. 323:215-234.
- Ouzounidou, G., M. Moustakas, and R. Lannoye. 1995. *Physiol. Plant* 93:551-557.
- Peñuelas, J. and I. Filella. 1998. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in plant science* 3:151-156.
- Scagel, C.F. 2003. Growth and nutrient use of ericaceous plants grown in media admended with sphagnum moss peat or coir dust. *Hort. Sci.* 38(1):46-54.
- Seidner, A. 1999. Sick building syndrome. *Hosp Pract (Minneap)*. 34:127-129.
- Siddiqi, M.Y., B. Malhotra, X. Min, and A. D.M. Glass. 2002. Effect of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* 165: 191-197.
- Smillie, R.M. and R. Nott. 1982. Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence in vivo. *Plant Physiol.* 70: 1049-1054.
- Spomer, A.L. 1975. Small soil containers as experimental tools : soil water relations. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6:21-26.
- Stoley, L.H., Zentmyer, G.A., Klotz, L.J., and C.K. Labanauskas. 1967. Oxygen diffusion, water, and *Phytophthora cinnamomi* in root decay and nutrition of avocados. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 90:67-76.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. 4th ed. Sinauer Press, Inc., Sunderland. MA.

Tung, H. T. 1980. *New Orchid Culture*. IV, N. F. publisher. 332 pp. Taipei

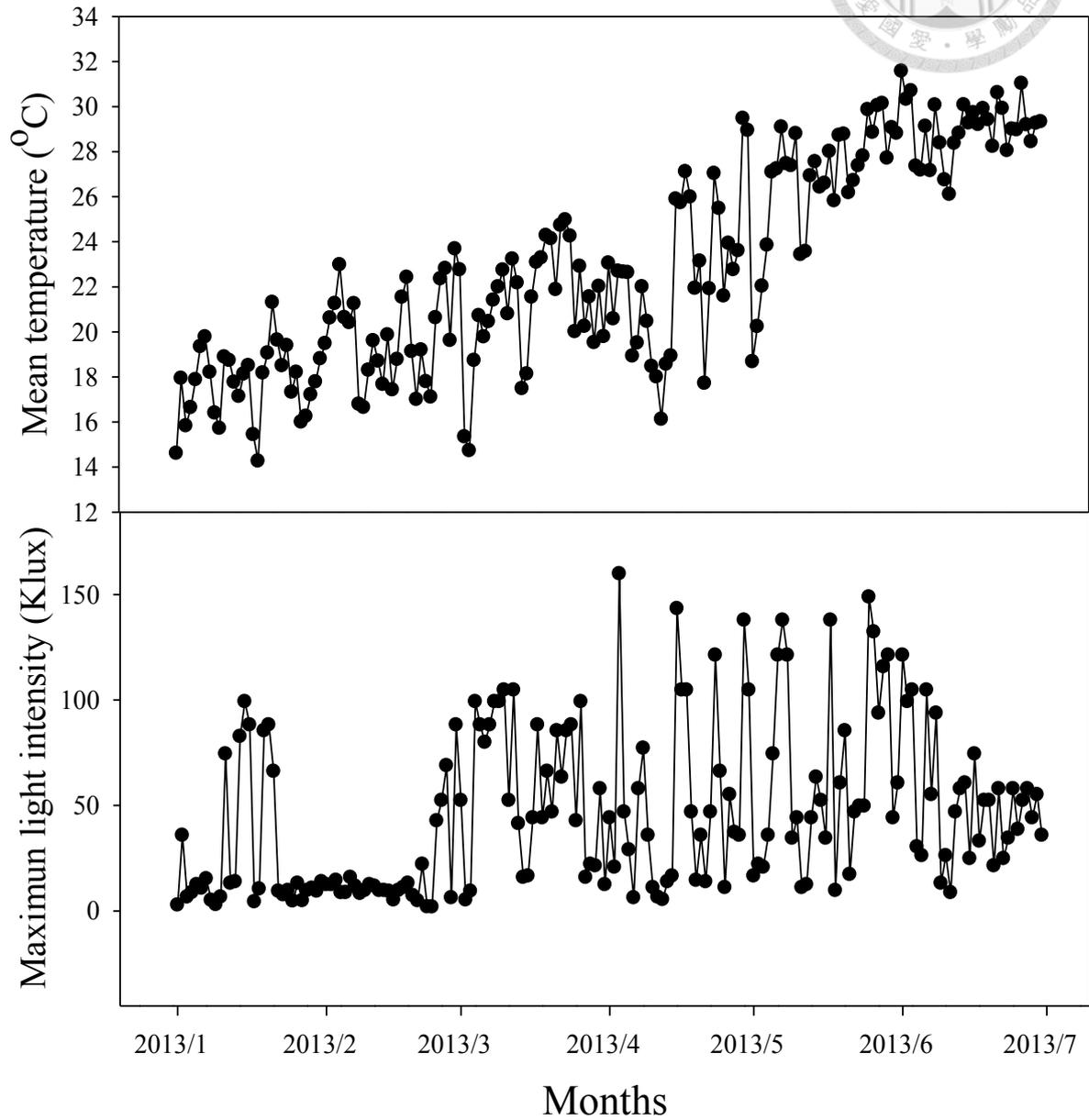
Veenendaal, E.M., M.D. Swaine, R.T. Lecha, M.F. Walsh, I.K. Abebrese, and

K.Owusu-Afriyie. 1996. Responses of west african forest tree seedlings to irradiance and soil fertility. *Functional Ecol.* 10:501-511.

Verdonck, O., R. Penninck, and M. De Boodt. 1983. The physical properties of different horticultural substrate . *Acta Hort.* 150:155-160.

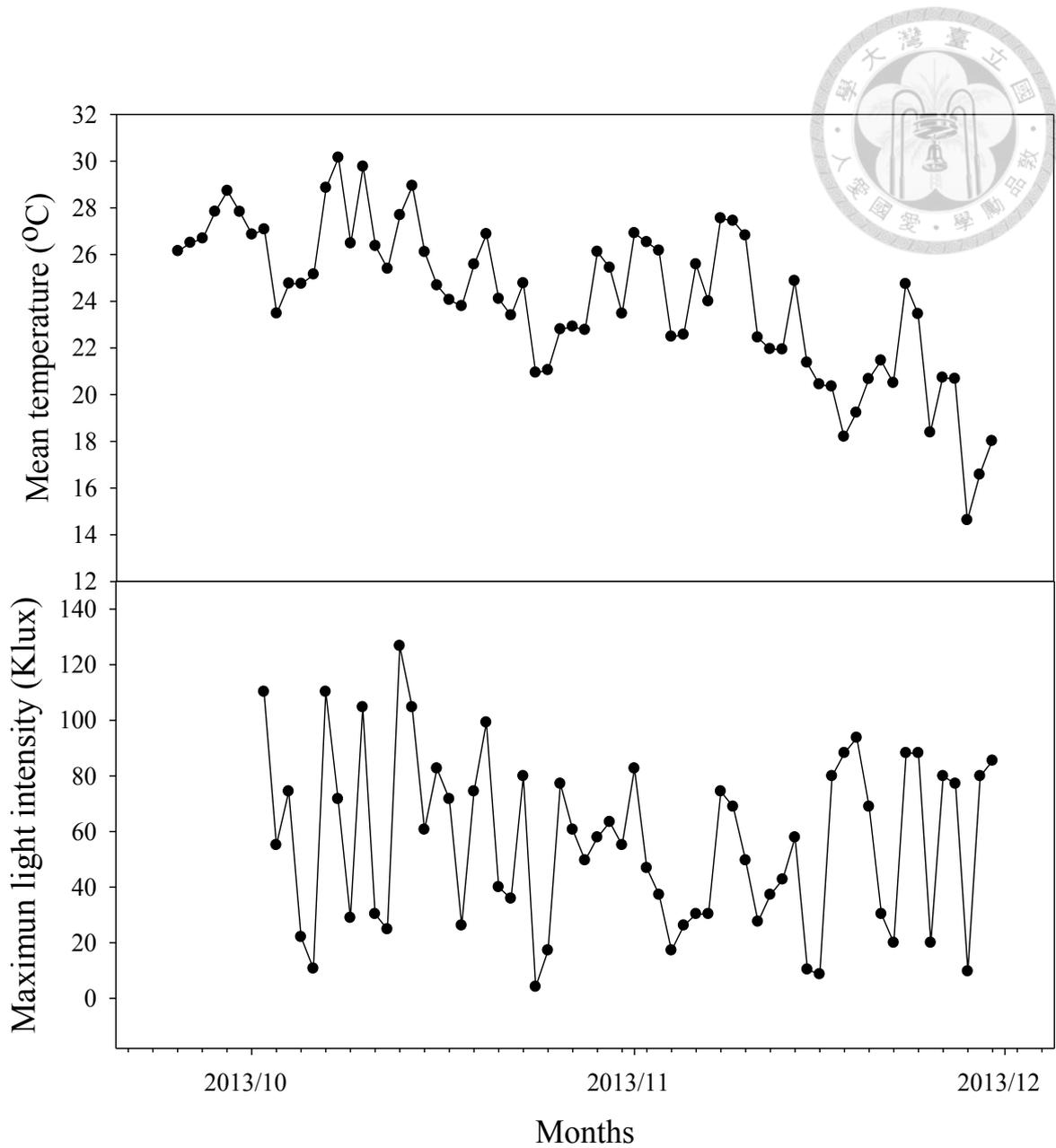


附錄(Appendix)



附錄 1、臺灣大學園藝試驗分場 103 氣象資料(2013/1/1-2013/6/30)

Appendix 1. Changes of mean temperature and maximum light intensity of greenhouse room 103(2013/1/1-2013/6/30).



附錄 2、臺灣大學園藝試驗分場 103 氣象資料(2013/9/25-2013/11/30)

Appendix 2. Changes of mean temperature and maximum light intensity of greenhouse room 103 (2013/9/25-2013/11/30).

附錄 3. 台中場養液配方

Appendix 3. Composition of Taichung solution.

Chemical composition	Macronutrient		
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
KNO ₃	808	N	186
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	472	P	41
NH ₄ H ₂ PO ₄	152	K	312
MgSO ₄ ·7H ₂ O	492	Ca	80
		Mg	48
		S	64
Micronutrient			
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
Fe-EDTA	16.0	Fe	1.3742
HBO ₃	1.2	B	0.22
MnCl ₂	0.72	Mn	0.3124
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.09	Cl	1.4009
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.04	Zn	0.0203
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.01	Cu	0.0102
NaCl	1.64	Mo	0.0054
		Na	0.2516

附錄 4. Hoagland 養液配方

Appendix 4. Composition of Hoagland solution.

Chemical composition	Macronutrient		
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
KNO ₃	808	N	210
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1180	P	31
KH ₂ PO ₄	135	K	234
MgSO ₄ ·7H ₂ O	495	Ca	200
		Mg	48
		S	64
Micronutrient			
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
Fe-EDTA	7.34	Fe	0.6304
HBO ₃	1.546	B	0.2834
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.845	Mn	0.3818
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.575	Cl	1.7764
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.125	Zn	0.1302
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.0184	Cu	0.0320
KCl	3.728	Mo	0.0100

附錄 5. 日本山崎萬苜配方

Appendix 5. Composition of Yamazaki solution.

Chemical composition	Macronutrient		
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
KNO ₃	400	N	91
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	240	P	16
NH ₄ H ₂ PO ₄	60	K	154
MgSO ₄ ·7H ₂ O	125	Ca	41
		Mg	12
		S	16
Micronutrient			
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
Fe-EDTA	20.0	Fe	1.7178
HBO ₃	1.2	B	0.22
MnSO ₄ ·H ₂ O	1.82	Mn	0.8225
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.04	Zn	0.0090
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.09	Cu	0.0230
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.01	Mo	0.0039
		Na	0.0019

附錄 6. 強生氏營養液配方

Appendix 6. Composition of Johnson's solution.

Chemical composition	Macronutrient		
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
KNO ₃	606	N	224
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	944	P	62
NH ₄ H ₂ PO ₄	230	K	235
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246	Ca	160
		Mg	24
		S	32
Micronutrient			
	Concentration (g·1000L ⁻¹)	Element	Concn. of element (ppm)
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1.112	Fe	0.22
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	1.488	Na	0.184
HBO ₃	1.5	B	0.27
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.845	Mn	0.274
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.575	Zn	0.131
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.125	Cu	0.032
H ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.0198	Mo	0.0096
NiSO ₄ ·6H ₂ O	0.0263	Ni	0.0059
KCl	3.725	Cl	1.77