

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

溫度、遮光與無機養分對彩葉鳳梨穴盤苗光合作用與生長之影響

Effects of Temperature, Shading, and Mineral Nutrient on Photosynthesis and Growth of *Neoregelia* Plug Seedlings

陳以萱

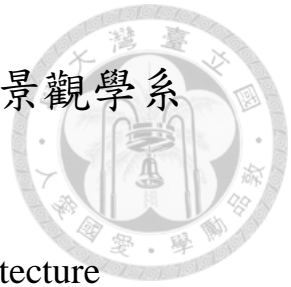
Yi-Shuan Chen

指導教授：葉德銘 教授

Advisor: Prof. Der-Ming Yeh

中華民國 105 年 6 月

June, 2016





誌謝

本論文承蒙恩師 葉德銘教授於試驗期間悉心的指導與鼓勵，也謝謝老師在論文寫作期間很有耐心、用心且不斷的給予指正修改，當試驗中遇到瓶頸時老師也適時的引導試驗方向及鼓勵，報告的時候給予的建議也非常受用，在和老師相處短短兩年的時光中，不僅僅是學業上，在待人處事及人生道理，也透過一言一行處處引導著我們，老師亦師亦父，所給予的教誨與感動，我將一輩子謹記在心，非常謝謝老師！複蒙沈榮壽老師、羅筱鳳老師及蔡智賢老師在論文成稿之初給予寶貴的建議及細心的修正，使本論文能更加完善，特置卷首對各位老師的用心表達真誠與衷心的感謝。

亦非常感謝花卉館的李晔老師及三位老師，能讓我們有充足空間與資源讓試驗得以順利完成，在學期間很安心及放鬆的待在花卉館，感謝仁伯伯細心維護花卉館各式植物，讓我們拍照時不愁找不著美景，謝謝小侯學長、韶妤學姊、小賴、文秋、孫姊、佩君、大牛等花卉館助理學長姐們撐起這個龐大的花卉館，謝謝指導我很多，也給予我很多試驗方向的群健學長，相信學長的觀賞鳳梨一定能變化出優秀的雜交組合。感謝祈男學長在試驗之初對文獻協尋的幫助。非常謝謝昭儀學姊，不僅是著作的參考、觀賞鳳梨產業資訊的協助，與學姊談天之際亦獲得許多不同的價值觀與對人生規劃的藍圖與鼓勵。小范學姊幽默風趣，跟學姊談天倍感溫馨，謝謝小荒學長在試驗上遇到的困難能給予我諮詢與協助，還有觀念與求職經驗的分享，一定會再去找學長聊聊。謝謝綿羊、慈華學姊的經驗分享及給予我的鼓勵，讓我在遇到挫折時想起學姊的話能勇往直前。亦感謝憲哥及狗狗學姊給予的關心，超哥與 Ella 學長回花卉館的經驗分享。謝謝葉老大實驗室最可靠的助理學長姊們，謝謝 PiPi 學長像哥哥一樣關心我們，當遇到任何困難請教學長總是能迎刃而解，也很有耐心的聽我們分享很多事情，很有家人般的溫馨感。謝謝蕙心學姊細心的提醒我們各項細節，也很開朗的陪伴著我們。謝謝昱鈞學姊在行政上種種的幫助，我們知道沒有了學姊默默的付出，實驗室就不完整了！謝謝學長姊們讓我們在實驗室有很多美好溫馨的回憶。

另外也感謝給予我幫助與建議的秀秀學長、connie 學姊，和雅婷學姊一同佈置建國花市的回憶還記憶猶新，還想再跟信文學姊一起多研究 Licor，學姊總是細心的帶我，都是我們學習的好榜樣。當然 R03 的你們，阿哲、之蘭、仁安、Amy、庭安、煥耿、乃潔、婉蓁、夢夢，四號館的馬力、士藝、昌昌、兆倫，加工館的尹丰，我們都是戰友，互相陪伴與幫忙，一起上進、一起吐槽、我這兩年的喜怒哀樂都有你們的存在，無論風雨歡笑我們共度，這種情誼是任何人事物都撼動不了的，非常謝謝你們，我們都共同成長了很多，也擁有了一輩子美好的回憶，祝福大家未來都能幸福快樂。

謝謝于賢、葉馨、智偉、培文未來的新生力軍，你們的幫忙與帶給我們的歡樂都是難忘的回憶。謝謝爸爸媽媽、姑姑給予我在唸書期間全力的支持及關心，也很支持我的各種決定，有你們真好！謹以此論文獻給每一位溫暖我心的你。





摘要

彩葉鳳梨(*Neoregelia* sp.)之花苞片顏色鮮豔且觀賞期可長達半年，深具戶外景觀及室內觀賞潛力，然而育苗期長且目前仍缺乏光度、溫度及養分需求之研究。因此本研究主要目的為瞭解溫度、光度及養液濃度、氮及鉀營養對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與營養生長之影響。

將彩葉鳳梨四個雜交組合之種子播於日夜溫 20/15、25/20、30/25 及 35/30°C 下，以 25/20、30/25°C 處理者達 50% 種子發芽時間少，20/15°C 處理延後發芽，而 35/30°C 處理不僅延後發芽且使最大發芽率下降。將三個彩葉鳳梨雜交組合、具 4-5 張本葉之小苗栽培於 15/13、20/15、25/20、30/25 及 35/30°C 下，亦以 25/20、30/25°C 處理者具較高全株淨光合作用速率、地上部、地下部乾重、葉片數、葉面積及葉綠素計讀值，20/15°C 處理者各項調查參數較 25/20 及 30/25°C 處理者低，而 15/13°C 處理對植株造成冷害，35/30°C 處理則使植株死亡。

將彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’第一張本葉展開之實生苗以 3 種遮光程度(20%、50%、77%，中午平均光度分別為 858、561、258 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)配合 3 種強生氏養液濃度(50%、100%、200%)與自來水栽培。結果顯示施用 100% 強生氏養液下，以 77% 遮光處理之光補償點、光飽和點、最大光合作用速率、暗呼吸速率較低。於 20% 遮光下，以 200% 強生氏養液處理之全株淨光合作用、光補償點、光飽和點、最大光合作用速率、暗呼吸速率較高。遮光程度與養液濃度處理間對植株生長具交感效應，以 20% 遮光程度搭配 200% 強生氏養液處理之地上部、地下部乾重、葉片數、葉面積、葉綠素計讀值較高；施用自來水者植株無明顯生長。

於彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生苗第一張本葉展開時，每週施用一次含 0、4、8、12、16、20、24、28、32 mM N 之強生氏養液。結果顯示隨養液 N 濃度由 0 增加至 20-28 mM 時，穴盤苗全株光飽和點、最大光合作用速率上升，光補償點無顯著變化。隨養液 N 濃度由 0 增加至 20-24 mM，地上部、地下部乾重、葉片數、葉面積、葉綠素計讀值增加，養液 N 濃度再提高至 24-32 mM 則不再顯著增加。隨養液 N 濃度增加植體 C 及 N 濃度增加，養液 N 濃度對植體 P 及 K 濃



度無顯著影響。養液 N 濃度由 0 增加至 8 mM 植體 Ca 濃度增加，由 12 至 32 mM N 處理則下降。隨養液 N 濃度增加，植體 Mg 濃度下降。

於彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生苗第一張本葉展開時，每週施用一次含 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 0:100、25:75、50:50、75:25 及 100:0 之強生氏養液。結果顯示 25:75、50:50 處理者之全株最大光合作用速率較高，光補償點較低。以 25:75 處理之地上部及地下部乾重、葉長、葉寬、葉片數、葉面積明顯較高。以 0:100 及 25:75 處理者植體 C 濃度較高，25:75、50:50 處理者植體 N 濃度較低，全銨態氮或全硝態氮處理者植體 N 濃度較高，0:100、50:50、100:0 處理者植體 P 及 K 濃度較 25:75 及 75:25 處理者低，養液氮型態對植體 Ca 及 Mg 濃度無顯著影響。

於彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生苗第一張本葉展開時，每週施用一次含 0、2、4、6、8、10 mM K 之強生氏養液。結果顯示以 0-2 mM K 處理之光補償點、光飽和點、暗呼吸速率較高，4-10 mM K 處理之光補償點、光飽和點、暗呼吸速率較低。養液 K 濃度由 0 增加至 6-8 mM 時，地上部、地下部乾重、葉片數、葉片長、寬、厚度增加，葉綠素計讀值降低。隨養液 K 濃度增加，植體 C、N 濃度下降，隨養液 K 濃度由 0 增加至 4-6 mM 植體 P 濃度增加，養液 K 濃度再提升則下降。隨養液 K 濃度增加，植體 K 濃度上升。養液 K 濃度對植體 Ca、Mg 濃度無顯著影響。

關鍵字：光補償點；光飽和點；銨硝比；乾重；營養元素分析

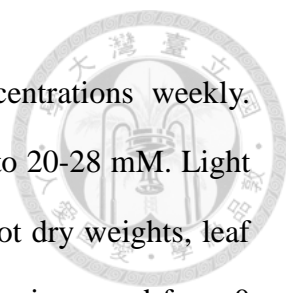
Abstract

Neoregelia species have long-lasting showy bracts and have been widely used in outdoor and indoor landscaping. Production was long and could be hastened by manipulating environmental conditions and nutrient management for seedling growth. The objectives of the study were to determine the effects of temperature, light, and nutrient solution concentration, and nitrogen and potassium nutrient requirement for leaf growth and photosynthesis.

Hybrid seeds of four *Neoregelia* cross combinations were sown under day/night temperatures of 20/15, 25/20, 30/25, and 35/30°C. Results showed that the time required to reach 50% seed germination was earlier at 25/20 and 30/25°C than 20/15 and 35/30°C. Maximum germination percentage were lower when sown at 35/30°C. Hybrid seedlings with 4-5 leaves of three *Neoregelia* cross combinations were grown under various temperatures. Results showed plants had higher whole plant net photosynthesis, shoot and root dry weights, leaf number, leaf area, and SPAD-502 reading value at 25/20 and 30/25°C than at 20/15°C. Plants at 15/13°C showed cooling injury, and all died when grown at 35/30°C.

Neoregelia 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' seedlings with the first expanded true leaf were grown under three shading levels (20%, 50%, and 77%, ca. 859, 567, and 258 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ averaged noon time *PPF*) with four Johnson's solution (J) strength (0%, 50%, 100%, and 200%). When supplied with 100% J, plants grown under 77% shading had lower light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated photosynthesis rate (*A*_{max}), and dark respiration (R_d). Plants supplied with 200% J and grown under 20% shading had the highest whole plant net photosynthesis, LCP, LSP, *A*_{max}, and R_d, shoot and root dry weights, leaf number, leaf area, and SPAD-502 value. Seedlings were stunted when supplied with tap water only.

Neoregelia 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' seedlings with the first expanded true



leaf were supplied with J containing various nitrogen (N) concentrations weekly. Results showed LSP and *Amax* increased with increasing N from 0 to 20-28 mM. Light compensation point did not differ between treatments. Shoot and root dry weights, leaf number, leaf area, and SPAD-502 value increased as N concentration increased from 0 to 20-24 mM, and saturated thereafter. Plant C and N concentration increased with increasing solution N concentration. Plant K and P concentration did not differ between solution N concentration treatments. Plant Ca concentration increased when solution N concentration increased from 0 to 8 mM, but decreased as solution N increased from 12 to 32 mM. Plant Mg concentration decreased with increasing solution N concentration.

Neoregelia 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' seedlings with the first expanded true leaf were supplied with J containing 0 : 100, 25 : 75, 50 : 50, 75 : 25, and 100 : 0 $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ weekly. Results showed plants had the highest *Amax* and lowest LCP when supplied with 25 : 75 and 50 : 50 $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$. Plants had the highest shoot and dry weights, leaf length, leaf width, leaf number, leaf area and plant C concentration but lowest plant N concentration when supplied with 25 : 75 $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$. Plant P and K concentrations were lower when supplied with 0 : 100, 50 : 50, and 100 : 0 $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$. Solution nitrogen form did not affect plant Ca and Mg concentrations.

Neoregelia 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' seedlings with the first expanded true leaf were supplied with J containing 0, 2, 4, 6, 8, 10 mM K. Results showed plants at 0-2 mM K had higher LCP, LSD, and Rd than those at 4-10 mM K. Shoot and root dry weights, leaf number, leaf length, leaf width, and thickness increased, but SPAD-502 value decreased, when solution K concentration increased from 0 to 6-8 mM. Plant C and N concentration decreased with increasing solution K concentration. Plant P concentration increased with increasing solution K concentration from 0 to 4-6 mM, but decreased when solution K concentration further increased. Plant K concentration increased with increasing solution K concentration. Solution K concentration did not

affect plant Ca and Mg concentration.



Additional index words: light compensation point; light saturation point; ammonium to nitrate ratio; dry weight; nutrition analysis



目錄



摘要	i
Abstract.....	iii
目錄	vii
表目錄	ix
圖目錄	xi
前言(Introduction).....	1
前人研究(Literature Review)	3
一、觀賞鳳梨之分類與生長習性	3
二、影響觀賞鳳梨生長之環境因子	4
三、觀賞鳳梨對無機養分之需求	7
材料與方法(Materials and Methods).....	13
試驗一、溫度對彩葉鳳梨雜交種子發芽之影響	13
試驗二、溫度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	14
試驗三、遮光與養液對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	16
試驗四、養液氮濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	17
試驗五、養液氮型態對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	20
試驗六、養液鉀濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	22
結果(Results).....	25
試驗一、溫度對彩葉鳳梨雜交種子發芽之影響	25
試驗二、溫度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	25
試驗三、遮光與養液對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	26
試驗四、養液氮濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響	27
試驗五、養液氮型態對彩葉鳳梨實生穴盤苗生長與光合作用之影響	28
試驗六、養液鉀濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗生長與光合作用之影響	29
討論(Discussion).....	75
綜合討論與結論(General Discussion and Conclusion)	87
參考文獻(References).....	89

附錄(Appendix).....99

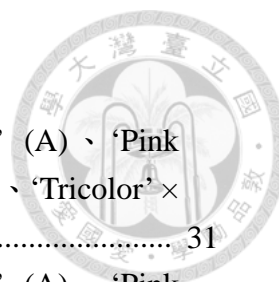




表目錄

表 1.	溫度對四種彩葉鳳梨雜交組合最大種子發芽率之影響.....	33
表 2.	溫度對四種彩葉鳳梨雜交組合由播種到 50%種子發芽率時間(T ₅₀)之影響.....	34
表 3.	溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重、根冠比之影響.....	37
表 4.	溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗葉數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響.....	38
表 5.	溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗處理後 102 天介質 EC 值及 pH 值之影響.....	39
表 6.	遮光程度對施用全量強生氏養液彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響.....	42
表 7.	強生氏養液濃度對遮光 20%之彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響.....	44
表 8.	遮光與養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重及根冠比之影響.....	45
表 9.	遮光與強生氏養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響.....	46
表 10.	遮光與強生氏養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響.....	47
表 11.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響.....	51
表 12.	氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響.....	60
表 13.	養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響.....	69
表 14.	養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重及根冠比之影響.....	71
表 15.	養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響.....	73





圖目錄

圖 1.	溫度對彩葉鳳梨雜交組合‘Pink Sensation’×‘Poney’(A)、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’(B)、‘Gold Fever’×‘Tricolor’(C)、‘Tricolor’×‘Gold Fever’(D)種子發芽外觀之影響.....	31
圖 2.	溫度對彩葉鳳梨雜交組合‘Pink Sensation’×‘Poney’(A)、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’(B)、‘Gold Fever’×‘Tricolor’(C)、‘Tricolor’×‘Gold Fever’(D)種子發芽反應曲線之影響.....	32
圖 3.	溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗地上部和地下部外觀之影響.....	35
圖 4.	溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗‘Pink Sensation’×‘Poney’(A)、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’(B)、‘Gold Fever’×‘Tricolor’(C)處理後 49 天之全株淨光合作用速率之影響.....	36
圖 5.	遮光與養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響.....	40
圖 6.	遮光程度對施用全量強生氏養液之彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天全株淨光合作用速率之影響.....	41
圖 7.	強生氏養液濃度對遮光 20%之彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天全株淨光合作用速率之影響.....	43
圖 8.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響.....	48
圖 9.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天全株淨光合作用速率之影響.....	49
圖 10.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天於較低光強度下之全株淨光合作用速率之影響.....	50
圖 11.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響.....	52
圖 12.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重(A)、地下部乾重(B)及根冠比(C)之影響.....	53
圖 13.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長(A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響.....	54
圖 14.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數(A)、葉面積(B)、葉綠素計讀值(C)及 Fv/Fm 值(D)之影響.....	55
圖 15.	養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度之影響.....	56
圖 16.	養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響.....	57

圖 17. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天全株淨光合作用速率之影響.....	58
圖 18. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天於較低光強度下全株淨光合作用速率之影響.....	59
圖 19. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響.....	61
圖 20. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗總乾重(A)、地上部乾重(B)、地下部乾重(C)及根冠比(D)之影響.....	62
圖 21. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長(A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響.....	63
圖 22. 養液氮型態比例濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數(A)、葉面積(B)、葉綠素計讀值(C)及 Fv/Fm 值(D)之影響.....	64
圖 23. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度的影響.....	65
圖 24. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響.....	66
圖 25. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天全株淨光合作用速率之影響.....	67
圖 26. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天於較低光強度下全株淨光合作用速率之影響.....	68
圖 27. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響.....	70
圖 28. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長(A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響.....	72
圖 29. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’× ‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度之影響.....	74



前言(Introduction)

觀賞鳳梨(Bromeliads)為鳳梨科(Bromeliaceae)植物，其下包含皮氏鳳梨亞科(Pitcarnioideae)、鳳梨亞科(Bromelioideae)及空氣鳳梨亞科(Tillandsioideae)三亞科(Benzing, 2000)。觀賞鳳梨具低維護管理，且葉片、花序及苞片形態和顏色極富變化特性，具戶外景觀及室內觀賞價值(Griffith, 2006)。臺灣地區生產擎天鳳梨(*Guzmania* spp.)為主，目前有育種者及業者投入其他種類觀賞鳳梨雜交育種。根據臺灣花卉發展協會指出，小規模栽培者目前仍以品種歧異度取勝，多供應於國內市場或觀賞鳳梨玩家為品種蒐集用途。

觀賞鳳梨在大陸市場躋身盆花及觀葉植物前二十名，銷售量可觀且種類多樣化，對於價格高但品質好的觀賞鳳梨仍有相當的需求(楊, 2014)。國外業者如荷蘭、比利時等地，觀賞鳳梨多以實生苗方式商業大量生產(Anthura, 2004)，目前國內業者自國外進口組培苗培育成株，但種苗成本約佔總成本的 35% (陳, 2005)。且育苗時間長達 37 週，如果能透過調節溫度、光度與無機養分等環境因子，自行生產品質好、發育健全的種苗，加速穴盤苗生產，將可降低生產成本，並促進觀賞鳳梨成為本土化的產業。

栽培手冊指出觀賞鳳梨適溫範圍為 13-29°C (Griffith, 2006)，彩葉鳳梨光度需求為 25000 lux (Anthura, 2004)。並參照原生地了解觀賞鳳梨對無機養分利用情形，僅需低濃度養分即能維持正常生理，並於短時間能累積大量養分(Benzing and Renfrow, 1974)。推測若能給予適當肥培條件，可能加速觀賞鳳梨生長。本試驗以彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗為試驗材料，探討溫度、光度、肥培管理等環境因子對其生長與品質的影響。目前對觀賞鳳梨穴盤育苗亟需栽培環境資訊，且育苗階段之營養管理對種苗品質影響甚鉅。因此本論文主要目的為瞭解溫度、光度及肥培管理等栽培條件對彩葉鳳梨(*Neoregelia* spp.)苗期營養生長之影響，以期發展種苗生產體系，探討之項目包括：

1. 溫度對彩葉鳳梨雜交種子發芽之影響
2. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與生長之影響
3. 遮光與養液濃度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與生長之影響
4. 養液氮濃度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與生長之影響
5. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與生長之影響
6. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗光合作用與生長之影響



前人研究(Literature Review)



一、觀賞鳳梨之分類與生長習性

鳳梨科植物起源於南美洲安地斯山，大部份分布於海拔 1500-2500 公尺之潮濕霧林帶，有些附生型鳳梨棲息於沿岸沙漠、沿海地區或岩壁環境(Reidl, 1990)。隨時間演進分佈範圍逐漸擴散，包括北美、中美的熱帶或亞熱帶地區，美國維吉尼亞州東南部、墨西哥、巴拿馬、阿根廷、巴西南部、哥倫比亞、智利、西非地區等地皆有分佈(Williams and Hodgson, 1990)。

觀賞鳳梨依其對二氧化碳利用方式及養分吸收策略，可分為五種生態生理型(ecophysiological type)：第一型觀賞鳳梨為具發達根系陸生型，葉片上的絨毛(trichome)不具吸收功能，光合作用類型多屬於 C₃ 或 CAM (Crassulacean Acid Metabolism)型。第二型為陸生型，葉片基部上的絨毛具吸收功能，光合作用類型屬於 CAM 型。第三型為附生型，葉片基部上的絨毛具吸收功能，光合作用類型屬於 CAM 型。第四型為附生型，葉片基部上的絨毛具吸收功能，光合作用類型為 C₃型。第五型為附生型，葉片披覆絨毛且具吸收功能，光合作用類型為 CAM 型(Benzing, 2000)。而分類學上鳳梨科植物三個亞科(Pitcairnioideae、Bromelioideae 和 Tillandsioideae)與生態生理型大致具關聯性：第一型多為 Pitcairnioideae 亞科；常見者有隱花鳳梨屬(*Cryptanthus*)。第二型包含大多數 Pitcairnioideae 亞科、及少數 Bromelioideae 亞科；常見者有食用鳳梨屬(*Ananas* spp.)。第三型多為 Bromelioideae 亞科；常見者有彩葉鳳梨屬(*Neoregelia* spp.)、尖萼鳳梨屬(*Aechmea* spp.)。第四型多屬於 Tillandsioideae 亞科，少數為 Bromelioideae 亞科；常見者有擎天鳳梨屬(*Guzmania* spp.)、鶯歌鳳梨屬(*Vreasia* spp.)。第五型為 Tillandsioideae 亞科；常見者有木柄鳳梨屬(*Tillandsia* spp.)。



二、影響觀賞鳳梨生長之環境因子

(一) 溫度

鳳梨科植物分布於中南美洲之亞熱帶或熱帶地區，原生環境之尖萼鳳梨 [*A. bracteata* (SW.) Griseb] 及沙漠鳳梨 [*Dyckia encholirioides* (Gaudichaud) Mez var. *encholirioides*] 於 20-30°C 有較高種子發芽率，低於 20°C 使發芽延遲，降低發芽率。高溫 35/27°C 會降低種子發芽率，彩葉鳳梨 [*N. cruenta* (R. Grah) L.B. Sm.] 及鶯歌鳳梨 (*V. neoglutinosa* Mez.) 在高溫 >27°C 會因水分散失而降低其種子發芽率 (Goode and Allen, 2009 ; Mantovvani and Iglesias, 2008 ; Pompelli et al., 2006)。

觀賞鳳梨生長適溫約 12.8-29.4°C (Griffith, 2006)。低溫不利觀賞鳳梨生長，於日/夜溫 20/15°C 生長之擎天鳳梨 (*G. lingulata* L. 'Cherry') 葉片短小、產生紫浸狀冷害病徵。原生環境之木柄鳳梨及尖萼鳳梨在 27°C 比 15°C 有較高光合作用速率 (Simth et al., 1986)。過高溫亦會影響觀賞鳳梨生長及外觀品質，高溫 30/25°C 生長之植株，則壞疽葉片數及內捲葉片數顯著較高 (林，2006)。郭 (2005) 指出擎天鳳梨葉片蒸散作用及氣孔導度皆隨溫度提高而增加，植株水分蒸散快速造成高溫下 (35/30、30/25°C) 葉片尖端發生壞疽。高溫亦會影響光合作用速率，鶯歌鳳梨及擎天鳳梨在高溫 (>31°C) 之原生環境中光合作用速率會降低 (Luttge et al., 1986)。Martin (1994) 指出較高夜溫具較高蒸氣壓差 (vapor pressure deficit) 使植株氣孔導度降低，因而減少光合作用速率。

(二) 光度

觀賞鳳梨生長所需光度依其光合作用形式而定，根據荷蘭觀賞鳳梨種苗公司 Anthura 栽培手冊指出，CAM 代謝型觀賞鳳梨適合較高光度，可於全日照或輕度遮陰下生產，常見者例如：彩葉鳳梨、尖萼鳳梨及木柄鳳梨生產之適合光度分別約為 25,000、30,000 及 25,000-30,000 lux (Anthura, 2004)，C₃ 代謝型則適合遮陰環境下生產，常見者如：擎天鳳梨及鶯歌鳳梨生產之適合光度分別約為 15,000-22,000 及 15,000-20,000 lux。

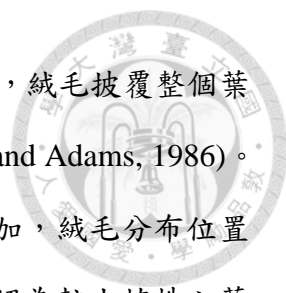
彩葉鳳梨(*Neoregelia* spp.)穴盤苗之光合作用形式類似於 C₃代謝型植物，然成株形態彩葉鳳梨多為 CAM 代謝型(Pierce et al., 2002)。

觀賞鳳梨的生長速率受到接收光量影響，低光環境生長之下彩葉鳳梨葉片細長且葉面積較大(Luciana et al., 1998)。將擎天鳳梨(*G. lingulata* 'Cherry')栽培於 77% 遮光下(中午平均光度 214 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，則植株總葉面積、新生葉片數、地上部乾重及根部生長明顯降低、綠色薄壁組織厚度減少、葉綠體數目及體積、類囊體數目及體積增加(林，2006；Maxwell et al., 1999)。Young 等人(1994)指出擎天鳳梨[*G. monostachia* (L.) Rusby ex Mez var. *monostachia*]在高光環境下會產生光抑制，使光合作用速率、光量子效率(quantum yield)降低，光補償點(light compensation point, LCP)提升。

探討觀賞鳳梨光合作用與呼吸作用，前人研究指出 C₃鳳梨科植物光合作用速率介於 1.0-1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 間，與 CAM 鳳梨科植物夜間所測得二氧化碳吸收速率相似。顯示鳳梨科植物生長速率較一般 C₃植物低(Griffths, 1986)。鶯歌鳳梨(*Vriesea amazonica*, *Vriesea jonghei*)、空氣鳳梨(*Tillandsia fendleri*)光合作用速率日變化顯示中午時段光合作用速率下降，可能為午間光強度及溫度過高，葉片氣孔關閉，減少光合作用速率及蒸散速率。下午光合作用速率回升(Smith, 1986)。光飽和點(light saturation point, LSP)於不同屬鳳梨科植物間略有差異，Medina(1977)等人研究指出，C₃空氣鳳梨(*T. spiculosa*) 光飽和點約為 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、擎天鳳梨(*G. lingulata*)光飽和點則為 400-500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Griffths, 1986)。不同光度與養液濃度處理，陸生鳳梨科植物光補償點介於 25-40 $\mu\text{mol O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光補償點受環境光度影響，低光環境光補償點下降。暗呼吸速率則介於 0.6-1.3 $\mu\text{mol O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fetene et al., 1990)。

(三) 水分及相對濕度

原生環境中，水分影響木柄鳳梨(*T. guatemalensis* L.B. Smith)種子萌發率及幼苗存活率，隨著植株增大，葉片可獲得及保持的水量皆隨之增加 (Castro-Hernandez et al., 1999)。於鶯歌鳳梨(*V. sanguinolenta* Cogn. & Marchal)及木柄鳳梨(*T. deppeana*




Stuedel.)研究中觀察到，幼年形態尚未形成協助蓄水之葉片構造，絨毛披覆整個葉片，隨個體發育逐漸由氣生形態轉變成近似於葉杯形態(Martin and Adams, 1986)。其因可能為隨個體發育葉杯構造逐漸形成且可容納水分體積增加，絨毛分布位置趨近於葉片基部，絨毛密度降低，儲水組織百分比減少，作者認為較大植株之葉杯儲水量增加，因此減少葉片所需儲水功能(Martin and Adams, 1986; Zotz et al., 2004)。取樣三個不同海拔山區其內各種葉杯型鳳梨之葉片元素，結果顯示不同樣區所得的鳳梨葉片 N 濃度無差異，而於最潮濕的雲霧林帶，葉杯型鳳梨葉片的 P、K、Ca、Mg、Fe 及 Mn 濃度最低，且觀察到此區鳳梨之生長速率較快，顯示生長稀釋了礦物元素。鳳梨科植物組織的元素濃度並非主要限制生長的因子，可能是雨量與空氣濕度跟著影響其生長速率(Richardson et al., 2000)。

據荷蘭觀賞鳳梨種苗公司 Anthura 栽培手冊指出，觀賞鳳梨種苗栽種相對濕度應維持在 60%-80%(Anthura, 2004)，多數觀賞鳳梨葉片為肉質或具有儲水功能，植株不容易因空氣濕度過低或土壤乾燥而萎凋，然而葉片會因此產生內捲、葉緣及葉尖出現褐色斑塊或壞疽等情況(Chase, 1997)。然葉片內捲可能與葉片老化有關，葉片老化使細胞崩解、養分與水分散失，最後導致細胞死亡(郭，2005)。將擎天鳳梨(*G. lingulata* Mez. 'Cherry')貯運前以 60 μ M BA 噴施全株能減少貯後之葉片內捲與壞疽數並維持苞片顏色(陳等，2011)。

另外根據觀賞鳳梨生產業者指出，過低的空氣濕度容易使花苞掉落或無法開花(Griffith, 2006)。溫室生產下，夜間濕度過高容易造成 CAM 型觀賞鳳梨葉片壞疽，Londer 等人(2005)指出 CAM 型尖萼鳳梨(*Aechmea*)，因夜間蘋果酸(malic acid)累積使葉片滲透勢及膨壓提高，特別於高濕環境下，葉片絨毛幫助吸收水分，致死的膨壓(lethal turgor pressure)造成細胞崩裂(cell bursting)，影響葉片品質，因此溫室生產 CAM 型觀賞鳳梨於夜間或儲運過程需避免環境濕度過高，以減少葉片壞疽產生。

(四) 介質



大部分觀賞鳳梨屬於附生型，栽培介質需通氣且排水良好，國外業者使用樹皮:泥炭苔:砂 = 2 : 1 : 1 (v/v) (Griffith, 2006)，國內業者則大多以椰纖栽培。觀賞鳳梨若種植於過度潮濕的介質，使影響根系發育不佳，雖然植株即使完全沒有根仍可以存活一段時間，但容易造成抽花不完全且生長狀態不佳。

(五) 病蟲害

觀賞鳳梨病蟲害較少見，商業生產偶見介殼蟲(scale)、粉介殼蟲(mealy bug)、粉蝨(white fly)、蚜蟲(aphids)、穿孔線蟲(burrowing nematodes)等(Parkhurst, 2000)。

三、觀賞鳳梨對無機養分之需求

陸生型觀賞鳳梨具有發達的根系以吸收土壤之氮源及礦物元素(Martin, 1994)，附生型觀賞鳳梨則利用葉片絨毛(trichome)吸收大氣或樹幹逕流中的養分(Benzing et al., 1976)。Benzing 等人(1976)以含 ^3H 的甘胺酸及白氨酸配合微放射線自顯影像 (autoradiographic) 研究，認為不同鳳梨亞科的絨毛吸收功能有差異；Pitcairnioideae 亞科植物多為陸生型，缺少葉鞘，葉片上絨毛不具吸收功能，而 Bromelioideae 亞科植物多有葉鞘所構成的葉杯構造，葉鞘絨毛具穩定而較弱的吸收能力。Tillandsioideae 亞科葉鞘上絨毛亦有明顯的吸收能力。而 Nadkarni 與 Primack (1989) 利用 ^{54}Mn 、 ^{75}Se 、 ^{65}Zn 與 ^{137}Cs 等同位素，進一步證實擎天鳳梨 [*Guzmania lingulata* (L.) Mez.] 主要藉由葉片獲取無機養分，在潮濕的熱帶雨林中不很依賴根部吸收礦物質元素。

附生葉杯型(tank-form)鳳梨在原生地利用枯枝落葉分解後產生之無機養分，附生氣生型鳳梨則利用葉片絨毛增加吸收養分或水分的效率(Benzing et al., 1976)。對附生型鳳梨而言，葉杯面積與枯枝落葉收集效率呈高度直線相關，經由氮同位素值的變化可觀察到原棲地之擎天鳳梨 [*G. monostachya* (Linnaeus) Rusby ex Mez] 與鶯歌鳳梨 [*Vriesea gladioliflora* (H. Wendl.)] 氮來源之轉變情形：幼苗時期有 77%-80% 氮來自空氣，而成株時期枯枝落葉或動物分解之比例氮源提升至

64%-72% (Reich et al., 2003)。附生鳳梨科植物相對於其他陸生植物，每單位比葉面積(specific leaf area)所含的N濃度較低 (Zotz and Hietz, 2001)。而氣生型觀賞鳳梨僅需要極少量的無機養分即可維持正常生理，其葉部能在短時間內大量吸收累積Ca、P、Zn、N等元素，推測此種能力是為了適應自然環境下某特定短暫時期(例如雨季)所能獲得的養分(Benzing and Renfrow, 1974)。


(一) 氮對觀賞鳳梨生理及生長之影響

1. 氮濃度

一般植物體中的N濃度為5-60 g·kg⁻¹ (Epstein and Bloom, 2005)，適當提升葉片中N濃度能增加其光合作用效率及乾物重的累積(Evans, 1989) N是易移動的元素，典型缺乏徵狀為下位葉黃化。擎天鳳梨(*G. lingulata* L. 'Cherry')對氮需求低、低利用效率高，在施用0-32 mM N之試驗中，當施用氮濃度由0提升至4 mM，生長量由最大生長量之49.2%大幅增加至76.7%；而施用氮濃度由增加為8 mM時，生長量由最大生長量之76.7%僅增加至85% (林, 2006)。Zotz與Hietz (2001)指出葉杯型附生觀賞鳳梨不論生育地的養分是否充足，其植體內氮濃度皆很低，顯示營養生長階段時，自然環境的缺水逆境比養分不足對附生型觀賞鳳梨生長之影響更大。

2. 氮型態

植物根部吸收土壤中氮的型式主要為銨態氮(ammonium nitrogen, NH₄-N)及硝酸態氮(nitrate nitrogen, NO₃-N)，多數植物傾向優先吸收銨態氮 (Mengel and Kirkby, 2001)。Inselsbacher (2007)研究鶯歌鳳梨葉杯中氮素型態轉換過程，結果顯示經由葉杯所吸收的蛋白質，大部分經礦化作用形成銨態氮被植物體利用。植物根系吸收銨態氮會釋放氫離子(H⁺)，藉以平衡根域附近環境電荷，因而根系吸收銨態氮會使介質pH值降低(Schubert and Yan, 1997)；而吸收硝酸態氮為一耗能的主動吸收，細胞膜上的H⁺-ATPase能將ATP轉換成ADP並將H⁺排出細胞外，使得硝酸態氮伴隨



$2H^+$ 被吸收 (Crawford and Glass, 1998)。不同物種對氮型態的喜好亦不相同，多數物種在銨態氮及硝酸態氮共存環境下有較高的 N 吸收效率(Mengel and Kirkby, 2001)。施用尿素及銨態氮對不同屬的鳳梨科植物效果不同。相較於食用鳳梨 [*Ananas comosus* (L.) Merrill]，鶯歌鳳梨(*V. gigantean*)吸收利用尿素態氮的能力明顯較高，且吸收氮素並進行同化作用的速率較快(Endres and Mercier, 2001)。Nievola 等人(2001)分別對鶯歌鳳梨(*V. fosteriana* L.B. Smith)與木柄鳳梨(*Tillandsia pohliana*)施用 NO_3^- 、 NH_4^+ 及 NH_4NO_3 三種氮肥，僅施 NO_3^- 的鶯歌鳳梨鮮重及乾重明顯較低， NH_4^+ 則明顯促進生長；施用 NH_4NO_3 的木柄鳳梨具有最大生長量，鮮乾重近為其他處理的 2 倍。鶯歌鳳梨(*V. philippocoburgii* Wawra)、木柄鳳梨(*T. pohliana* Mez)分別施用 NO_3^- 、 NH_4^+ 及尿素三種氮肥，結果皆以尿素處理具有最大的鮮重及乾重，同時可測得莖部具有大量的 IAA (Mercier et al., 1997)。鶯歌鳳梨[*Vriesea gigantean* Gaudich.]細胞壁與細胞膜內含尿素分解酶，推測此特性可協助尿素態氮水解為銨態氮吸收利用 (Cambui et al., 2009)。

3. 光合作用之氣體交換與葉綠素螢光參數

植物葉片中有 75% 的 N 被用於光合作用系統中(Evans, 1989)，一部分用於合成葉綠體中類囊膜(thylakoid membranes)上的色素蛋白複合體(pigment-protein complexes)、電子傳遞鏈(electron transport chain)等光反應(light reaction)，另一部分用於合成可溶性蛋白(soluble leaf protein)、Rubisco (ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase)及參與卡氏循環(Calvin cycle)的酵素(Evans,1989)，故缺氮會影響植物光合作用。隨 N 濃度增加至 8 mM 處理使擎天鳳梨(*G. lingulata* L. 'Cherry')之淨光合作用效率逐漸提升，而 32 mM N 處理對擎天鳳梨而言已過高，使淨光合作用速率及葉片綠色組織厚度皆減少(林，2006)。

未受逆境影響的葉片 Fv/Fm 值在 0.75-0.85 之間(Bolhar-NordenKampf et al., 1989)，缺氮會使菜豆(*Phaseolus vulgaris* L. 'Negrito') 之 Fv/Fm 值下降，影響光系統 II (photosystem II, PS II)之電子傳遞鏈 (Lima et al., 1999)。然玉米(*Zea mays* L.,

‘Contessa’)則不會因缺 N 而使 Fv/Fm 值下降(Khamis et al., 1990)。彩葉鳳梨(*N. cruenta*)在低光環境，無論 N 濃度高低對葉片 Fv/Fm 值並無顯著影響，然在高光環境中具缺 N 的葉片 Fv/Fm 值下降，顯示缺氮之彩葉鳳梨在高光環境易產生葉片之光抑制反應(Fernandes et al., 2002)。

(二) 鉀對觀賞鳳梨生理及生長之影響

1. 鉀離子濃度

一般植物體中的 K^+ 濃度為 $8-80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Epstein and Bloom, 2005)，其參與滲透壓調節、氣孔開閉、光合產物運移等重要生理功能相， K^+ 是易移動的元素，典型缺乏徵狀為下位葉出現不均勻黃色斑點的壞死組織或葉緣焦枯等徵狀(Epstein and Bloom, 2005)。細胞中大部分的 K^+ 位於細胞質中，外施 K^+ 越多，細胞質內 K^+ 濃度越高，維持細胞質的 K^+ 濃度是維持植物滲透壓與酵素活性的重要因子(Mengel and Kirkby, 2001)。養液鉀濃度由 0 提升至 6 mM，對擎天鳳梨(*G. lingulata* L. ‘Cherry’)生長量無顯著影響，但隨養液鉀濃度提升，葉片上表皮的儲水薄壁細胞厚度增加(Lin and Yeh, 2008)。尖萼鳳梨(*Aechmea fasciata* Baker)生長量亦不隨鉀濃度提升而增加(Poole and Conover, 1976)。缺 K 時，擎天鳳梨第 6 片葉無顯著差異，第 15 片葉中葉綠素含量、儲水細胞組織厚度及葉綠素計讀值顯著降低並伴隨黃色斑點出現，由於儲水細胞組織厚度減少，缺 K^+ 葉片更易在水分逆境下發生葉片內捲(Lin and Yeh, 2008)。

2. 光合作用之氣體交換與葉綠素螢光參數

鉀會影響植物氣孔開閉、光合作用效率，能促進光磷酸化反應、光合作用系統還原力及 Rubisco 的重新合成。缺 K 之大豆[*Glycine Max* (L.) Merr. ‘Tiefeng31’]因氣孔關閉而導致細胞間隙二氧化碳濃度降低，使光合作用速率下降，此時氣孔因素為光合作用限制因子(Li et al., 2011)。而缺 K 使棉花氣孔關閉，細胞間隙二氧化碳濃度上升，顯示光合作用系統無法有效代謝 CO_2 ，影響光合作用速率，此時

氣孔並非限制光合作用速率下降之主要因子，而是因缺 K 棉花葉片之光合作用產物(source)無法運移至積儲(sink)，造成反應中心數量和結構受影響等非氣孔因子所致(Zhao et al., 2001)。

缺 K 亦會影響光反應系統，缺 K 使大豆‘Tiefeng31’之 Fv/Fm 值降低，顯示光系統 II 的作用效率下降(Li et al., 2011)。此情形亦反映在對 K 利用效率較差的水稻品種葉片上(Jia et al., 2008)。



材料與方法(Materials and Methods)



試驗一、溫度對彩葉鳳梨雜交種子發芽之影響

參試植物材料包括彩葉鳳梨親本：*Neoregelia* ‘Pink Sensation’、‘Poney’、‘Gold Fever’、‘Tricolor’。於 2013 年 5 月至 7 月間授粉，雜交組合包含‘Pink Sensation’×‘Poney’、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’、‘Tricolor’×‘Gold Fever’。2013 年 10 月 8 日採收漿果取出種子，將種子密封於 6 號密封拉鍊袋貯藏於 25°C 黑暗乾燥箱中。

植物材料及發芽試驗用器具均於試驗前照射紫外光 10 分鐘消毒後方開始進行試驗，藉以避免試驗期間種子發霉。將雜交種子於 2014 年 8 月 24 日消毒完後，隨即播於直徑 9 cm 之培養皿中，將培養皿底及蓋對調，使直徑較大的蓋為底部，鋪上兩層直徑 9 cm 之圓形濾紙。下層的濾紙為完整圓形，上層濾紙以打洞機打 16 個直徑 6 mm 的孔洞(4 行 × 4 列)，每孔上下左右距離約 1.5 - 2.0 cm，每孔放置一顆種子。每培養皿加入 5 mL 之一次水，於室溫下(25°C)吸水 24 小時。

翌日將浸泡過之種子移入日/夜溫 35/30、30/25、25/20 及 20/15°C 自然光照型人工氣候室。試驗期間平均最大光度為 860 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，平均日長約 12-13 小時。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/ Light/ External Data Logger, Onset Computer Co., MA, USA)記錄。給水頻率視濾紙乾燥程度以滴管適量加入一次水，使濾紙吸飽水，以不淹過種子為原則。

試驗期間為 2014 年 8 月 25 日至 2014 年 9 月 30 日，每 24 小時調查記錄一次，以胚根伸出種皮且大於 1 mm 始計為發芽，並記錄發芽數。由調查結果計算種子發芽率、最大種子發芽率，並進行迴歸分析(Hill and Luck, 1991)。迴歸曲線之公式為 $y = a / [1 + e^{-(x-x_0)/b}]$ ，其中 y 代表在 x 小時下累積之發芽率， x_0 代表第一顆種子發芽之時間， a 代表該品種於該溫度下能達到的理論最大發芽率； b 則代表發芽之速率常數，計算達 50% 種子發芽之時間(T_{50})。

本試驗採完全隨機設計(Completely randomized design, CRD)。每培養皿內有




16 種子視為 1 重複，每處理 4 重複。

試驗二、溫度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

本試驗使用試驗一獲得之彩葉鳳梨實生幼苗為材料，然試驗一之‘Tricolor’×‘Gold Fever’雜交組合發芽率不佳，所得小苗數少，故未採用此雜交組合於試驗二。於 2014 年 12 月 20 日將不同雜交組合之實生幼苗移植於 288 格穴盤(每穴格 2.0×2.0×3 cm)，介質採用泥炭苔(Fafrad Co., Agawan, MA, USA)：椰纖(福埠股份有限公司，台北，臺灣)：椰土(Euro substrates, Pitukotte, Sri Lanka) = 1:1:1 (體積比)並以 1 cm 孔徑的篩網過篩，將介質填實於穴格內但不壓實，每穴格一幼苗。椰纖與椰土使用前以清水浸泡清洗三天以上，將其泡軟並去除製造過程之酸鹼溶劑及降低淋洗水 EC 值至 1 dS·m⁻¹以下。移植完成後以底部吸水方式給水，將介質浸溼。並將穴盤移入日/夜溫 25/20 °C 的自然光照型人工氣候室育苗。另於 2015 年 4 月 14 日將長為 20.4 cm，寬為 72.0 cm 之穴盤剪為長 8.5 cm 與寬 12 cm 之小穴盤，每個小穴盤內含 20 穴格，每穴格一實生幼苗。當幼苗具 4-5 片葉時，將每個小穴盤分別移入日/夜溫 35/30、30/25、25/20、20/15 及 15/13 °C 自然光照型人工氣候室。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer, MA, USA)記錄。試驗期間平均最大光度為 950.8 μmol·m⁻²·s⁻¹，平均日長約為 13.6 h，以頂部噴施方式每週施予一次 100% 強生氏養液(Johnson et al., 1957)，每穴格(株)施用 5 mL 強生氏養液。施用前測量養液 EC 值為 1.80±0.2 dS·m⁻¹，養液 pH 值為 6.5±0.2。養液 EC 和 pH 值以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測定。除施肥隔一日不澆水外，試驗期間每日視天氣狀況而定以噴霧方式從頂部給水，使穴盤內介質隨時保持濕潤狀態。

處理 49 天後，於 2015 年 6 月 4 日至 6 月 16 日，分析於 0800-1200 HR、1400-1600 HR 期間，使用可攜式光合作用測定儀(LI-6400 XT portable photosynthesis system, Licor, Lincoln, Nebraska, USA)外接阿拉伯芥葉箱(LI-6400-17 Whole Plant

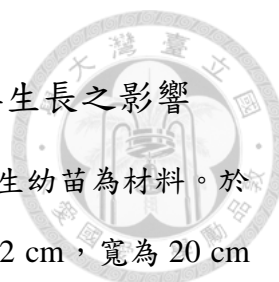


Arabidopsis Chamber) 測量全株氣體交換速率並記錄淨光合作用值 (net photosynthetic rate, Pn)。以紅綠藍人工混合光源 (LI-6400-18 RGB light source, LI-6400 XT)，控制葉箱內光度為 0、30、60、120、250、500、750、1000、1500 及 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，葉溫為自然光照型人工氣候室之溫度。利用乾燥劑 (Drierites, 97% 硫酸鈣及 3% 氯化亞鈷, W. A. Hammond Drierite Company Ltd., Xenia, OH, USA) 及蘇打石灰 (soda lime, Licor Inc., Lincoln, NE, USA) 吸收進入迴路之大氣水氣及二氧化碳，葉箱中平均相對濕度控制在 60%-80% 之間。並將流速 (Flow) 設定為 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度維持在 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。光合作用測量每株為 1 重複，每處理 3 重複。

於 2015 年 7 月 23 日，經 25 °C 暗馴化 30 分鐘後，以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM (TEACHING-PAM chlorophyll fluorimeter, Heina Walz GmbH, Germany) 測量完全展開葉之葉綠素螢光參數值，包括最小螢光值 (minimum fluorescence, F_0)、最大螢光值 (maximum fluorescence, F_m) 與光系統 II 最大光子利用效率 (maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry, F_v/F_m)， F_v 值為 $F_m - F_0$ 。

處理 102 天後，於 2015 年 7 月 23 日調查生長狀況。記錄總葉片數，並以葉面積儀 (portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln, Nebr.) 測量總葉面積。取中心往外數第 4 片完全展開葉測量長度、寬度。量測葉身正中央葉片厚度。以葉綠素計 (SPAD-502, Minolta Camera Co., Tokyo, Japan) 測量葉身的正中間處，記錄讀值。另以 Press extraction 法 (Scoggins et al., 2002) 取得介質溶液，使用可攜式酸鹼度及電導度計測量 EC 和 pH 值。

於 2015 年 7 月 24 日將植株分為地上部和地下部，放入牛皮紙袋置於 70°C 烘箱至少 3 天，至重量不再變化後秤其地上與地下部乾重，並計算根冠比。本試驗採完全隨機試驗設計 (Completely randomized design, CRD)。每株為 1 重複，每處理 6 重複。



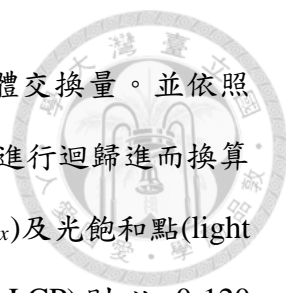
試驗三、遮光與養液對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

本試驗使用‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’彩葉鳳梨雜交實生幼苗為材料。於2015年6月10日以288格穴盤(2.0×2.0×3.0 cm)播種，將長為72 cm，寬為20 cm之288格穴盤剪為10 cm長與4 cm寬之小穴盤，每個穴盤有10穴格。介質採用泥炭苔(Fafrad Co., Agawan, MA, USA)：椰纖(福埠股份有限公司，台北，臺灣)：椰土(Euro substrates, Pitukotte, Sri Lanka) = 1:1:1 (體積比)並以1 cm孔徑的過篩網過篩，將介質填實於穴格內但不壓實，每穴格播一種子。椰纖(越南)與椰土(印度)使用前以清水浸泡清洗三天以上，將其泡軟並去除製造過程之酸鹼溶劑及降低EC值至1 dS·m⁻¹以下。播種完成後以底部吸水方式給水，將介質浸溼。置於日夜溫25/20°C、中午平均光度1131 μmol·m⁻²·s⁻¹，種子約7天發芽，於第21天小苗本葉展開。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer, MA, USA)記錄。

於2015年7月10日，小苗第1片本葉展開，將穴盤移入日夜溫25/20°C的自然光照型人工氣候室進行不同遮光處理：20%、50%、77% (中午平均光度分別為898、561、258 μmol·m⁻²·s⁻¹)，配合施用三種養液濃度[50%、100%、200%強生氏養液(Johnson’s solution)]及自來水，共12處理。自來水及養液EC值分別為0.13、0.98、1.80、3.35 dS·m⁻¹，養液pH值以1N NaOH調整至6.5。養液EC和pH值以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測定。

以頂部噴施方式施肥，每週一次，施肥的隔一天不澆水，其餘時間每天會以噴施的方式從頂部給水，澆水量視天氣狀況而定，讓穴盤內介質保持濕潤狀態。試驗期間總共施肥12次。每穴格(株)施用10 mL強生氏養液。

處理後52天，於2015年8月30日至9月8日期間，0800-1200 HR、1400-1600 HR，取20%遮光搭配4種養液處理、100%強生氏養液搭配3種遮光處理之穴盤苗測量全株淨光合作用速率。測量方式如試驗二所述。光合作用測量每株為1重複，每處理3重複。另以葉面積儀(portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln,



Nebr.)計算植株上所有展開葉片的葉面積，換算單位面積的氣體交換量。並依照 Chang 和 Lin (2007)之方式以 $y = y_0 + a \times [1 - \exp^{-bx}]$ 對所得數據進行迴歸進而換算最大淨光合作用速率(light saturated rates of photosynthesis, A_{max})及光飽和點(light saturation point, LSP)。光補償點(light compensation point, LCP)則以 0-120 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF 測得之數據行一次迴歸，計算二氧化碳交換速率為 0 時之 PPF。呼吸作用速率(dark respiration rate, R_d)則為光度 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之 CO_2 值。

於 2015 年 10 月 1 日以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM (TEACHING-PAM chlorophyll fluorimeter, Heina Walz GmbH, Germany)測量由上往下數第 4 片完全展開葉之葉綠素螢光參數值，詳如試驗二所述。葉綠素螢光測量每株為 1 重複，每處理 5 重複。


處理後 84 天，於 2015 年 10 月 1 日調查生長狀況，記錄肉眼可見大小之葉片數。以葉面積儀(portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)測量總葉面積。取由上往下數第 4 片完全展開葉測量葉片厚度、長度、寬度。以葉綠素計(SPAD-502, Minolta, Camera Co., Tokyo, Japan)測量葉身的正中間處，記錄讀值。於 2015 年 10 月 2 日將植株分為地上部和地下部，放入牛皮紙袋置於 70°C 烘箱 3 天，至重量不再變化後秤其地上與地下部乾重，並計算根冠比。生長調查每株為 1 重複，每處理 5 重複。

試驗結束時以 Press extraction 法(Scoggins et al., 2002)取得介質溶液，介質溶液以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測量 EC 和 pH 值。介質溶液測量每株為 1 重複，每處理 5 重複。

本試驗採 3 遮光 \times 4 養液濃度之複因子完全逢機設計(Completely randomized design, CRD)。每株視為 1 重複，每處理 10 重複。

試驗四、養液氮濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

本試驗使用 'Pink Sensation' \times 'Gold Fever' 彩葉鳳梨雜交實生幼苗為材料。於



2015年10月6日以288格穴盤(2.0×2.0×3.0 cm)播種，將長為72 cm，寬為20 cm之288格穴盤剪為8 cm長與6 cm寬之小穴盤，每個穴盤有12穴格。介質採用泥炭苔(Fafrad Co., Agawan, MA, USA)：椰纖(福埠股份有限公司，台北，臺灣)：椰土(Euro substrates, Pitukotte, Sri Lanka) = 1:1:1 (體積比)並以1 cm孔徑的篩網過篩，將介質填實於穴格內但不壓實，每穴格播一種子。椰纖與椰土使用前以清水浸泡清洗三天以上，將其泡軟並去除製造過程之酸鹼溶劑及降低EC值至1 dS·m⁻¹以下。播種完成後以底部吸水方式給水，將介質浸溼。置於日夜溫25/20°C、中午平均光度736 μmol·m⁻²·s⁻¹，種子約7天發芽，於第21天小苗本葉展開。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer, MA, USA)記錄。

於2015年10月28日，當小苗本葉展開時給予不同N濃度的養液，以頂部噴施的方式每週施用含0、4、8、12、16、20、24、28、32 mM N的養液1次，養液另含1 mM P，8 mM K，4 mM Ca，1mM Mg。微量元素依照強生氏養液(Johnson's solution)養液配方(Johnson et al., 1957)。養液EC值分別為0.82、1.96、2.18、2.47、2.60、2.81、3.05、3.33、3.44 dS·m⁻¹，養液pH值以1N NaOH調整至6.5。養液EC和pH值以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測定。

以頂部噴施方式施肥，每週一次，施肥的隔一天不澆水，其餘時間每天會以噴施的方式從頂部給水，澆水量視天氣狀況而定，讓穴盤內介質保持濕潤狀態。試驗期間總共施肥12次。每穴格(株)施用10 mL強生氏養液。

施肥前一天和施肥後一小時以Press extraction法(Scoggins et al., 2002)取得介質溶液，以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測量EC和pH值。每穴格(株)施用10 mL養液。介質溶液測量每株為1重複，每處理5重複。

處理後78天，於2016年1月14日至1月23日期間，0800-1200 HR、1400-1600 HR測量穴盤苗全株淨光合作用速率的變化。測量方式如試驗二所述。光合作用測


量每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。換算光合參數方法詳如試驗三所述。

於 2016 年 1 月 19 日以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM (TEACHING-PAM® chlorophyll fluorimeter, Heina Walz GmbH, Germany) 測量由上往下數第 4 片完全展開葉之葉綠素螢光參數值，詳如試驗二所述。葉綠素螢光測量每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。

處理後 83 天，於 2016 年 1 月 19 日調查生長狀況，以肉眼觀察記錄總葉片數。葉片之測量項目皆取剛完全展開葉量測，以葉面積儀(portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln, Nebr.) 測量總葉面積。取由上往下數第 4 片完全展開葉測量葉片厚度、長度、寬度。以葉綠素計(SPAD-502, Minolta, Camera Co., Tokyo, Japan) 測量葉身的正中間處，記錄讀值。於 2016 年 1 月 20 日將植株分為地上部和地下部，放入牛皮紙袋置於 70°C 烘箱 3 天，至重量不再變化後秤其地上與地下部乾重，並計算根冠比。生長調查每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。

於 2016 年 3 月 7 日將秤完乾重的植體再經 70°C 烘乾磨成粉狀，每一樣品秤取 1 mg，精秤至 1 µg，以 8 mm × 5 mm 錫囊緊密包裹。樣品製備完成後放入自動送樣機，經碳氮分析儀(NC Analyzer, Flash EA 1112 Series, Thermo Fisher Scientific, Rodano Milano, Italy) 分析。檢量線以阿托品 (Atropina, C₁₇H₂₃NO₃, Fisons Instruments S.p.A., Rodano, Milano, Italy) 標準品製作，利用分析圖譜之積分面積，計算樣品內的氮濃度(g·kg⁻¹)。

於 2016 年 3 月 10 日參考 du Preez 和 Bate (1989) 之方法分析植體磷(P)、鉀(K)、鈣(Ca)、和鎂(Mg)濃度。將每個處理取 10-15 株穴盤苗全株混合在一起，烘乾後視為 1 重複，共 5 重複。烘乾後的 10-15 株穴盤苗，取 0.1g 植株放入硝化管中，每管再加入約 0.2g 水楊酸(Salicylic acid)及 8 mL 95%-97% 之硫酸(sulfuric acid)，震盪過後以石蠟膜(parafilm)封口，置於實驗桌上過夜。加入 0.3g Na₂S₂O₃·5H₂O，搖晃硝化管後放置抽氣櫃中以 100 °C 加熱 0.5 h，使水蒸發，之後每 0.5 h 升溫 50 °C，至 350°C 為止，最後加熱時間視情況而定。待溶液呈醬油色後，將硝化管移出加熱器，沿管壁緩緩加入約 6 mL 30% 之 H₂O₂(Hydrogen peroxide solution)使溶液褪色。




硝化管放回加熱器，並將加熱器降溫至 280°C，20-30 分鐘後觀察溶液是否為無色透明，若沒褪色需再加入 H₂O₂，直到褪色為止。加入少量去離子水使溶液較快冷卻，將硝化管震盪後，將溶液到入漏斗中，漏斗下方擺 50 mL 之定量瓶盛接溶液，再以前去離子水清洗剩餘在硝化管及漏斗中之溶液，最後以前去離子水定積至 50 mL。將定量瓶上下轉動使溶液均勻混合，將溶液到入裝有 1 號濾紙(直徑 90 mm)之漏斗中過濾，漏斗下方擺放塑膠樣品瓶盛接過濾之溶液，收及完濾液後將蓋子蓋上轉緊，至於室溫下保存(du Preez and Bate, 1989)，將分解液稀釋 10 倍以感應耦合電漿光譜分析儀(Inductivity coupled plasma, ICP-OES, Optima, 2000 DV, Perkin Elmer, Wellesley, Mass, USA)磷、鉀、鈣和鎂之濃度。

本試驗採 9 種 N 濃度處理之完全逢機設計(Completely randomized design, CRD)。每 12 株視為 1 重複，每處理 5 重複。

試驗五、養液氮型態對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

於 2015 年 11 月 6 日以 288 格穴盤(2.0×2.0×3.0 cm)播種，將長為 72 cm，寬為 20 cm 之 288 格穴盤剪為 8 cm 長與 6 cm 寬之小穴盤，每個穴盤有 12 穴格。介質採用泥炭苔(Fafrad Co., Agawan, MA, USA)：椰纖(福埠股份有限公司，台北，臺灣)：椰土(Euro substrates, Pitukotte, Sri Lanka) = 1:1:1 (體積比)並以 1cm 孔徑的過篩網過篩，將介質填實於穴格內但不壓實，每穴格播一種子。椰纖與椰土使用前以清水浸泡清洗三天以上，將其泡軟並去除製造過程之酸鹼溶劑及降低 EC 值至 1 dS·m⁻¹ 以下。播種完成後以底部吸水方式給水，將介質浸溼。置於日夜溫 25/20°C、中午平均光度 736 μmol·m⁻²·s⁻¹，種子約 7 天發芽，於第 21 天小苗本葉展開。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer Corporation, MA, USA)記錄。

於 2015 年 11 月 28 日，當小苗本葉展開時給予不同氮型態的養液，以頂部噴施的方式每週施用含銨硝比(NH₄⁺:NO₃⁻)為 0:100、25:75、50:50、75:25、100:0 等



五種不同氮型態的養液 1 次，養液另含 1 mM P，8 mM K，4-6 mM Ca，1mM Mg。微量元素依照強生氏養液(Johnson's solution)養液配方(Johnson et al., 1957)。養液 EC 值分別為 2.48、2.72、3.18、3.47、3.91 dS·m⁻¹，養液 pH 值以 1N NaOH 調整至 6.5。養液 EC 和 pH 值以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測定。

以頂部噴施方式施肥，每週一次，施肥的隔一天不澆水，其餘時間每天會以噴施的方式從頂部給水，澆水量視天氣狀況而定，讓穴盤內介質保持濕潤狀態。試驗期間總共施肥 12 次。每穴格(株)施用 10 mL 養液。施肥前一天和施肥後一小時以 Press extraction 法(Scoggins et al., 2002)取得介質溶液，以攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測量 EC 和 pH 值。介質溶液測量每株為 1 重複，每處理 5 重複。

處理後 75 天，於 2016 年 2 月 11 日至 2 月 14 日期間，0800-1200 HR、1400-1600 HR 測量穴盤苗全株淨光合作用速率的變化。測量方式如試驗二所述。光合作用測量每株為 1 重複，每處理 3 重複。換算光合參數方法詳如試驗三所述。

於 2016 年 2 月 12 日以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM (TEACHING-PAM chlorophyll fluorimeter, Heina Walz GmbH, Germany)測量由上往下數第 4 片完全展開葉之葉綠素螢光參數值。詳如試驗二所述。葉綠素螢光測量為每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。

處理 80 天後，另取一批植株於 2016 年 2 月 16 日試驗結束時調查生長狀況，以肉眼觀察記錄總葉片數。葉片之測量項目皆取剛完全展開葉量測，以葉面積儀(portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln, Nebr.)測量總葉面積。取由上往下數第 4 片完全展開葉測量葉片厚度、長度、寬度。以葉綠素計(SPAD-502, Minolta, Camera Co., Tokyo, Japan)測量葉身的正中間處，記錄讀值。於 2016 年 2 月 16 日將植株分為地上部和地下部，放入牛皮紙袋置於 70°C 烘箱 3 天，至重量不再變化後稱其地上與地下部乾重，並計算根冠比。生長調查為每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。



於 2016 年 3 月 7 日將秤完乾重的植體再經 70°C 烘乾磨成粉狀，進行植體元素分析，詳如試驗四所述。

本試驗採 5 種氮型態比例之完全逢機設計(Completely randomized design, CRD)。每 12 株視為 1 重複，每處理 5 重複。

試驗六、養液鉀濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

於 2015 年 11 月 6 日以 288 格穴盤(2.0×2.0×3.0 cm) 播種，將長為 72 cm，寬為 20 cm 之 288 格穴盤剪為 8 cm 長與 6 cm 寬之小穴盤，每個穴盤有 12 穴格。介質採用泥炭苔(Fafrad Co., Agawan, MA, USA)：椰纖(福埠股份有限公司，台北，臺灣)：椰土(Euro substrates, Pitukotte, Sri Lanka) = 1:1:1 (體積比)並以 1cm 孔徑的過篩網過篩，將介質填實於穴格內但不壓實，每穴格播一種子。椰纖與椰土使用前以清水浸泡清洗三天以上，將其泡軟並去除製造過程之酸鹼溶劑及降低 EC 值至 1 dS·m⁻¹以下。播種完成後以底部吸水方式給水，將介質浸溼。置於日夜溫 25/20°C、中午平均光度 736 μmol·m⁻²·s⁻¹，種子約 7 天發芽，於第 21 天小苗本葉展開。環境溫度和光度以環境監測資料紀錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer Corporation, MA, USA)記錄。

於 2015 年 11 月 28 日，當小苗本葉展開時給予不同鉀濃度的養液，以頂部噴施的方式每週施用含鉀濃度為 0、2、4、6、8、10 等六種不同氮型態的養液 1 次，養液另含 16 mM N，1 mM P，4 mM Ca，1mM Mg。微量元素依照強生氏養液(Johnson's solution)養液配方(Johnson et al., 1957)。養液 EC 值分別為 1.80、1.96、2.18、2.39、2.53 dS·m⁻¹，養液 pH 值以 1N NaOH 調整至 6.5。養液 EC 和 pH 值以可攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測定。

以頂部噴施方式施肥，每週一次，施肥的隔一天不澆水，其餘時間每天會以噴施的方式從頂部給水，澆水量視天氣狀況而定，讓穴盤內介質保持濕潤狀態。試驗期間總共施肥 12 次。每穴格(株)施用 10 mL 養液。施肥前一天和施肥後一小



時以 Press extraction 法(Scoggins et al., 2002)取得介質溶液，以攜式酸鹼度及電導度計(IQ170, IQ Scientific Instruments, Carisad, CA)測量 EC 和 pH 值。介質溶液測量每株為 1 重複，每處理 5 重複。

處理後 79 天，於 2016 年 2 月 15 日至 2 月 19 日期間，0800-1200 HR、1400-1600 HR 測量穴盤苗全株淨光合作用速率的變化。測量方式如試驗二所述。光合作用測量每株為 1 重複，每處理 3 重複。換算光合參數方法詳如試驗三所述。

於 2016 年 2 月 16 日以可攜式葉綠素螢光測定儀 Mini-PAM (TEACHING-PAM chlorophyll fluorimeter, Heina Walz GmbH, Germany)測量由上往下數第 4 片完全展開葉之葉綠素螢光參數值。詳如試驗二所述。葉綠素螢光測量每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。

處理後 85 天，另取一批植株於 2016 年 2 月 21 日時調查生長狀況，以肉眼觀察記錄總葉片數。葉片之測量項目皆取剛完全展開葉量測，以葉面積儀(portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln, Nebr.)測量總葉面積。取由上往下數第 4 片完全展開葉測量葉片厚度、長度、寬度。以葉綠素計(SPAD-502, Minolta, Camera Co., Tokyo, Japan)測量葉身的正中間處，記錄讀值。於 2016 年 2 月 21 日將植株分為地上部和地下部，放入牛皮紙袋置於 70°C 烘箱 3 天，至重量不再變化後秤其地上與地下部乾重，並計算根冠比。生長調查每 3 株為 1 重複，每處理 5 重複。

於 2016 年 3 月 7 日將秤完乾重的植體再經 70°C 烘乾磨成粉狀，進行植體元素分析。詳如試驗四所述。

本試驗採 6 種 K 濃度之完全逢機設計(Completely randomized design, CRD)。每 12 株視為 1 重複，每處理 5 重複。

本研究資料以 CoStat 6.4 (CoHort Software, Monterey, CA)統計軟體，進行迴歸(regression analysis)及最小顯著差異(Least significant difference, LSD)分析。並利用 SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., USA)進行繪圖。試驗數據為百分比時，以 Bliss 轉換後分析。



結果(Results)



試驗一、溫度對彩葉鳳梨雜交種子發芽之影響

本試驗將四種彩葉鳳梨雜交組合種子以不同溫度處理 30 天後，發芽情形如圖 1 所示。

參試雜交組合彩葉鳳梨種子在各溫度處理之下，發芽率隨時間增加皆呈 S 型 (sigmoidal) 曲線變化，播種後 10-20 天期間快速發芽(圖 2)。日/夜溫 20/15、25/20、30/25 °C 處理間‘Pink Sensation’×‘Poney’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’最大發芽率無顯著差異。‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’最大發芽率於 30/25 °C 處理者較低，20/15、25/20 °C 處理者較高。‘Tricolor’×‘Gold Fever’最大發芽率於 25/20、30/25 °C 處理者較低，20/15 °C 處理者較高。35/30 °C 處理使所有參試組合發芽率降低。‘Tricolor’×‘Gold Fever’最大發芽率較其他之參試組合低(表 1)。

依公式計算各雜交組合到達 50% 種子發芽率(T_{50})之時間(表 2)。於日/夜溫 25/20、30/25 °C 處理之‘Pink Sensation’×‘Poney’、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’之 T_{50} 較小，約為 12-14 天。‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’於 35/30 °C 處理者次之，‘Pink Sensation’×‘Poney’於 35/30 °C 處理則未達 50% 發芽率。參試組合發芽率於 20/15 °C 處理者 T_{50} 較大，發芽延遲。顯示彩葉鳳梨種子於 20-30 °C 所需發芽時間較短。20/15 °C 或 35/30 °C 不利發芽。參試的‘Tricolor’×‘Gold Fever’僅於 20/15 °C 處理達 50% 發芽率(表 2)。

試驗二、溫度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

將試驗一所得之三種彩葉鳳梨雜交組合實生穴盤苗，續於日/夜溫 15/13、20/15、25/20、30/25 及 35/30 °C 之人工氣候室內育苗，處理 3 個月後植株外觀如圖 3 所示。

溫度處理 49 天後測量全株淨光合作用速率，結果顯示，以 30/25 與 25/20 °C 處理者全株淨光合作用速率較高，20/15 與 15/13 °C 處理者數值偏低，35/30 °C 處理者數值最低，所有參試雜交組合均有相似結果(圖 4)。

參試雜交組合種植於日/夜溫 35/30°C 的穴盤苗 30 天後自葉片尖端開始出現乾枯，102 天後該溫度處理之穴盤苗皆枯萎死亡。所有參試雜交組合以日/夜溫 25/20°C 處理者生長最快且有較高地上部、地下部乾重，20/15°C、15/13°C 處理者則生長緩慢，地上部、地下部乾重較低。根冠比隨溫度增加而提升(表 3)。各雜交組合皆以 25/20°C 處理者有較大葉面積，葉片數隨溫度增加而提升。以 30/25°C 及 25/20°C 處理之葉綠素計讀值較大，葉色濃綠；20/15°C 及 15/13°C 處理之葉綠素計讀值較低，葉色偏黃。20/15°C 及 15/13°C 處理之植株葉片 Fv/Fm 值皆低於 0.7，顯示 20/15°C 以下之溫度不利參試彩葉鳳梨之 PS II 電子傳遞(表 4)。

溫度處理 102 天之介質溶液 EC 值均介於 0.4-0.7 dS·m⁻¹，pH 值介於 7.1-7.4 間(表 5)。

試驗三、遮光與養液對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

以 20%、50% 或 77% 三種遮光(中午平均光度分別為 898、561、258 μmol·m⁻²·s⁻¹) 處理配合施用 0%、50%、100% 或 200% 強生氏營養液等四種養液濃度，共 12 處理，處理 3 個月後之植株外觀如圖 5 所示。

遮光與養液濃度處理第 52 天後測量全株淨光合作用速率，試驗結果顯示，不同遮光程度搭配 100% 強生氏養液全株淨光合作用速率無顯著差異(圖 6)。遮光 20% 與 50% 處理之光補償點、最大光合作用速率、呼吸作用無顯著差異；70% 遮光使光補償點、最大光合作用速率、呼吸作用降低(表 6)。

於 20% 遮光環境，以 200% 強生氏養液處理之全株淨光合作用速率值最高，100%、50% 強生氏養液處理者無顯著差異，不施肥處理者最低(圖 7)。隨養液濃度提升使光補償點、光飽和點、最大光合作用速率、呼吸作用有增加趨勢(表 7)。

於 20%、50%、77% 遮光程度，搭配養液施用處理 84 天後。結果顯示，遮光處理與養液濃度處理間具交感效應，遮光 20% 搭配 200% 強生氏養液處理者有較高地上部、地下部乾重，較大葉片數、葉面積、葉綠素計讀值。未施用養液之植株

生長、葉綠素計讀值、Fv/Fm 值較低(表 8、9)。養液濃度量增加使介質溶液 EC 值提升，遮光程度對介質溶液 EC 值無顯著影響。養液濃度量增加使介質溶液 pH 值下降(表 10)。



試驗四、養液氮濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗光合作用與生長之影響

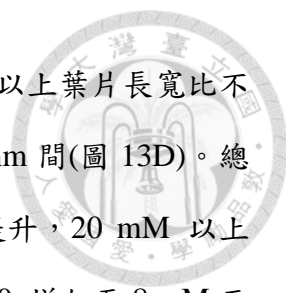
本試驗於彩葉鳳梨育苗至本葉展開時，每週施用含 0、4、8、12、16、20、24、28、32 mM N 的養液一次，處理 12 週後之植株外觀如圖 8 所示。

於 N 濃度處理 78 天時，以可攜式光合作用測定儀量測全株淨光合作用速率。結果顯示彩葉鳳梨全株最大淨光合作用速率約在 $0.5-1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，隨養液 N 濃度由 0 提高至 20-24 mM，全株淨光合作用速率增加，而 24-32 mM N 處理間無顯著差異(圖 9)。隨養液 N 濃度增加， $0-120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 全株淨光合作用速率增加(圖 10)。經由換算光合參數顯示，光補償點於各處理間無顯著差異，介於 $48-65 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；養液 N 濃度由 0 增加至 24-28 mM 使，光飽和點上升，但 N 再增加處理間不再顯著變化；養液 N 濃度由 0 增加至 20-24 mM 使最大光合作用速率提升，但 N 再增加處理間不再顯著變化；養液 N 濃度由 0 增加至 8 mM 暗呼吸速率上升，但 N 再增加處理間不再顯著變化(表 11)。

試驗期間，養液 N 濃度處理間之介質溶液 EC 值(圖 11A)無顯著差異。介質溶液的 pH 值隨處理後天數增加而逐漸下降，且亦會隨養液 N 濃度增加而下降，尤以 24、28、32 mM N 處理之介質溶液的 pH 值降至 4-5 (圖 11B)。

養液 N 濃度由 0 提高至 20 mM 時，地上部乾重隨之提升(圖 12A)，而 20 至 32 mM N 處理，地上部乾重不再顯著變化甚至下降。養液 N 濃度對地下部乾重影響無顯著差異(圖 12B)。根冠比隨養液 N 濃度由 0 提高至 20 mM 而下降，20 至 32 mM N 處理間不再顯著變化(圖 12C)。

養液 N 濃度由 0 至 20 mM 時，葉片長度、葉片寬度增加，20 至 32 mM N 處理間葉片長度、寬度變化趨緩不再增加(圖 13A、B)。葉片長寬比隨養液 N 濃度由




0 增加至 20 mM 而提升，顯示葉片逐漸狹長(圖 13C)，20 mM N 以上葉片長寬比不再上升。不同養液 N 濃度處理之葉片厚度皆維持在 0.49-0.67 mm 間(圖 13D)。總葉片數、總葉面積及葉綠素計讀值隨 N 濃度增加至 20 mM 而提升，20 mM 以上處理不再顯著變化(圖 14A、B、C)。葉片 Fv/Fm 值隨 N 濃度由 0 增加至 8 mM 而增加，除 0 mM N 處理，所有處理之 Fv/Fm 值皆於 0.75-0.85 之間(圖 14D)。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示，隨養液 N 濃度由 0 增加至 20 mM，植體 C 濃度提升，20 至 32 mM N 處理則不再顯著變化(圖 15A)。隨養液 N 濃度增加，植體 N 濃度呈線性提升(圖 15B)。0 mM N 處理之植體 P 濃度較低，其餘處理間無顯著差異(圖 15C)。而隨養液 N 濃度提升，植體 K 變化無顯著差異(圖 15D)。養液 N 濃度由 0 增加至 8 mM 植體 Ca 濃度提升，12 至 32 mM N 處理則有下降趨勢(圖 15E)。而隨養液 N 濃度提升，Mg 濃度下降(圖 15F)。

試驗五、養液氮型態對彩葉鳳梨實生穴盤苗生長與光合作用之影響

本試驗於彩葉鳳梨育苗至本葉展開時，每週施用為 0:100、25:75、50:50、75:25、100:0 之 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 的養液一次，處理 12 週後之植株外觀如圖 16 所示。

於氮型態處理 75 天時，以可攜式光合作用測定儀量測全株淨光合作用速率。結果顯示彩葉鳳梨全株最大淨光合作用速率約在 $0.5\text{-}1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，以 25:75、50:50 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 處理者之全株淨光合作用速率較高，0:100 處理者次之，75:25、100:0 處理者全株淨光合作用速率較低(圖 17)。所有養液氮型態處理 $0\text{-}120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之全株淨光合作用速率增加(圖 18)。經由換算光合參數顯示，光補償點於養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 25:75、50:50 處理者較低，0:100、100:0 處理者次之，75:25 處理者較高；光飽和點於養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 25:75、50:50、100:0 處理較低，0:100、75:25 處理者較高；養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 25:75、50:50 處理者最大光合作用速率較高，其餘三種處理最大光合作用速率較低；暗呼吸速率以液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 75:25 處理者較高(表 12)。



試驗期間，隨處理後天數增加，介質 EC 值漸漸累積，且隨養液比例提高，介質溶液 EC 值上升，但處理間無顯著差異(圖 19A)。以養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 75:25、100:0 處理之介質溶液 pH 值隨處理後天數增加而明顯下降至 5.9，其餘處理介質溶液的 pH 值無顯著下降至 6.7 (圖 19B)。

施用 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75、50:50 者全株、地上部乾重較大， $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、75:25、100:0 者全株、地上部乾重無顯著差異(圖 20A、B)；施用 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、25:75、50:50 者地下部乾重較大， $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 75:25、100:0 者地下部乾重無顯著差異(圖 20C)； $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75、50:50 者根冠比較小，100:0 者根冠比較大(圖 20D)。

以養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75 者有較佳葉長、葉寬表現(圖 21A、B)。養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 50:50 者有較佳長寬比，75:25 長寬比較低(圖 21C)。所有養液氮型態比例對葉厚影響無顯著差異(圖 21D)以養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75 者有較佳總葉片數表現，其餘處理間則無顯著影響(圖 22A)；養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75、50:50 者有較佳葉面積表現，其餘處理間則無顯著差異(圖 22B)；所有養液氮型態比例對葉綠素計讀值、Fv/Fm 值測量數值無顯著影響，Fv/Fm 值測量數值皆於 0.75-0.85 之間，顯示植株葉片未受逆境影響(圖 22D)。五種含 NH_4^+ 及 NO_3^- 處理中，皆以 75:25 者生長表現較差。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示，養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、25:75，植體 C 濃度較高，其餘處理間無顯著差異(圖 23A)；養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 50:50，植體 N 濃度較低(圖 23B)；養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、50:50、100:0 植體 P 濃度較低，25:75、75:25 植體 P 濃度較高(圖 23C)；養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、50:50、100:0 植體 K 濃度較低，25:75、75:25 植體 K 濃度較高(圖 23D)；Ca、Mg 於各養液處理間無顯著差異及趨勢(圖 23E、F)。

試驗六、養液鉀濃度對彩葉鳳梨實生穴盤苗生長與光合作用之影響



本試驗於彩葉鳳梨育苗至本葉展開時，每週施用含 0、2、4、6、8、10 mM K 的養液一次，處理 12 週後之植株外觀如圖 24 所示。

於 K 濃度處理 79 天時，以可攜式光合作用測定儀量測全株淨光合作用速率。結果顯示彩葉鳳梨全株最大淨光合作用速率約在 $0.5-1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，隨養液 K 濃度由 0 提高至 8 mM，全株淨光合作用速率增加，而 10 mM K 處理則全株淨光合作用速率降低(圖 25)。隨養液 K 濃度增加， $0-120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 全株淨光合作用速率增加(圖 26)。經由換算光合參數顯示，養液 0 和 2 mM K 處理者光補償點、光飽和點、暗呼吸速率較高，4 至 10 mM K 處理者光補償點、光飽和點、暗呼吸速率較低；隨養液 K 濃度由 0 增加至 8 mM，最大光合作用速率提升，10 mM 最大光合作用速率下降(表 13)。

試驗期間，介質 EC 值介於 $1.0-2.0 \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，於處理間無顯著差異(圖 27A)。介質溶液的 pH 值隨處理後天數增加而下降，0 至 4 mM K 處理者介質溶液 pH 值較低，6 至 8 mM K 處理者次之，10 mM K 處理者較高(圖 27B)。

養液 K 濃度由 0 提高至 10 mM 時，地上部及地下部乾重呈提升趨勢，根冠比間無顯著差異(表 14)。

養液 K 濃度由 0 至 6-8 mM 時，葉片長度、長寬比、厚度增加，8 至 10 mM K 處理間葉片長度、長寬比、厚度變化趨緩不再增加(圖 28A、B、D)。葉片寬度隨養液 K 濃度由 0 增加至 10 mM 而呈線性提升趨勢(圖 28B)。總葉片數隨養液 K 濃度增加至 10 mM 而呈線性提升趨勢，葉面積變化無顯著差異，葉綠素計讀值則隨養液 K 濃度增加至 10 mM 而呈線性下降趨勢。葉片 Fv/Fm 值皆於 0.62-0.68 之間(表 15)。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示，隨養液 K 濃度增加，植體 C、N 濃度呈線性下降(圖 29A、B)。0 至 4-6 mM K 處理之植體 P 濃度增加，8 至 10 mM K 處理之植體 P 濃度則下降(圖 29C)。而隨養液 K 濃度由 0 至 8 mM 提升，植體 K 濃度增加，8 至 10 mM K 處理之植體 K 則不再顯著增加(圖 29D)。養液 K 濃度對植體 Ca、Mg 影響無顯著差異(圖 29E、F)。

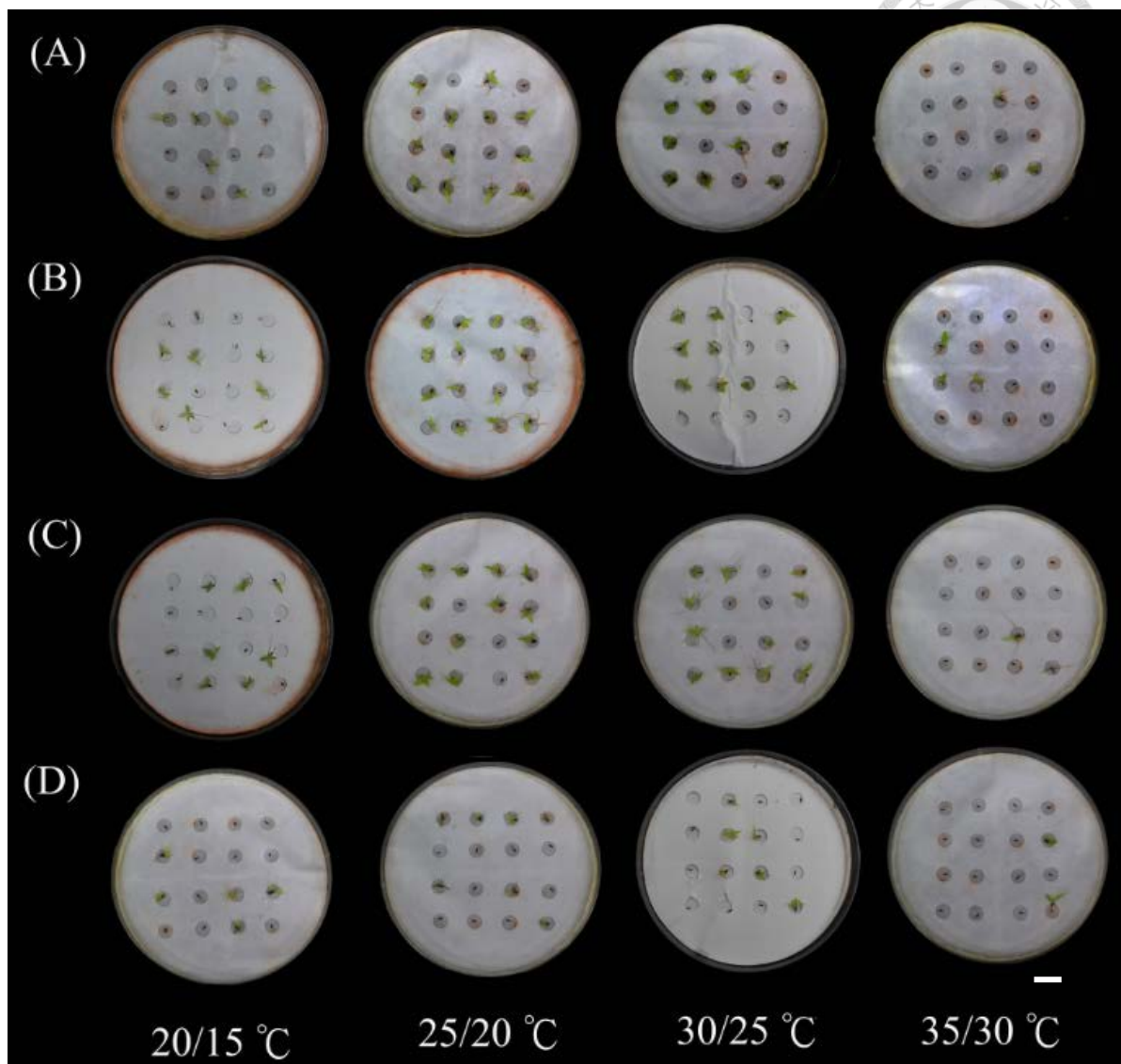


圖 1. 溫度對彩葉鳳梨雜交組合‘Pink Sensation’×‘Poney’ (A)、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’ (B)、‘Gold Fever’×‘Tricolor’ (C)、‘Tricolor’×‘Gold Fever’ (D)種子發芽外觀之影響

Fig. 1. Effect of temperature on seed germination appearance in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ ×‘Poney’ (A), ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ (B), ‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’ (C), and ‘Tricolor’ × ‘Gold Fever’ (D). Bar = 1cm.

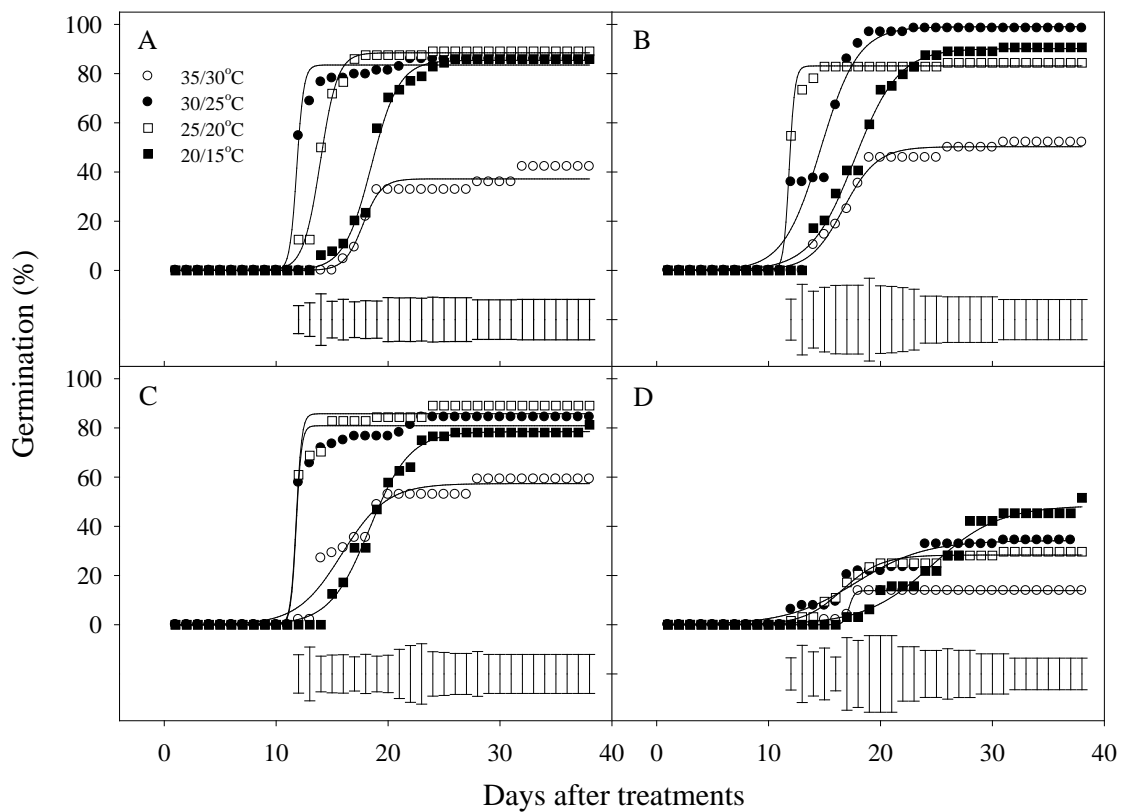


圖 2. 溫度對彩葉鳳梨雜交組合‘Pink Sensation’ × ‘Poney’ (A)、‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ (B)、‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’ (C)、‘Tricolor’ × ‘Gold Fever’ (D)種子發芽反應曲線之影響

Fig. 2. Effect of temperature on seed germination response curve in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Poney’ (A), ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ (B), ‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’ (C), and ‘Tricolor’ × ‘Gold Fever’ (D) seeds. Bars were $LSD_{0.05}$ value at respective day. Coefficients fitted to the seed germination response curves in tested *Neoregelia* at four temperatures:

‘Pink Sensation’ × ‘Poney’

$$20/15^{\circ}\text{C}: y = 85.4 / [1 + e^{-(X-19.5)/1.2}], R^2 = 0.97^{***}$$

$$25/20^{\circ}\text{C}: y = 88.4 / [1 + e^{-(X-13.9)/0.8}], R^2 = 0.95^{***}$$

$$30/25^{\circ}\text{C}: y = 83.5 / [1 + e^{-(X-11.8)/0.3}], R^2 = 0.91^{***}$$

$$35/30^{\circ}\text{C}: y = 37.2 / [1 + e^{-(X-17.8)/0.8}], R^2 = 0.91^{***}$$

‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’

$$20/15^{\circ}\text{C}: y = 78.4 / [1 + e^{-(X-18.4)/1.8}], R^2 = 0.97^{***}$$

$$25/20^{\circ}\text{C}: y = 85.7 / [1 + e^{-(X-11.8)/0.2}], R^2 = 0.92^{***}$$

$$30/25^{\circ}\text{C}: y = 80.9 / [1 + e^{-(X-11.8)/0.2}], R^2 = 0.91^{***}$$

$$35/30^{\circ}\text{C}: y = 57.3 / [1 + e^{-(X-15.8)/2.0}], R^2 = 0.92^{***}$$

‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’

$$20/15^{\circ}\text{C}: y = 90.1 / [1 + e^{-(X-17.7)/2.0}], R^2 = 0.95^{***}$$

$$25/20^{\circ}\text{C}: y = 83.1 / [1 + e^{-(X-11.8)/0.3}], R^2 = 0.96^{***}$$

$$30/25^{\circ}\text{C}: y = 99.0 / [1 + e^{-(X-14.7)/1.7}], R^2 = 0.96^{***}$$

$$35/30^{\circ}\text{C}: y = 50.3 / [1 + e^{-(X-16.7)/1.5}], R^2 = 0.96^{***}$$

‘Tricolor’ × ‘Gold Fever’

$$20/15^{\circ}\text{C}: y = 48.5 / [1 + e^{-(X-24.6)/3.0}], R^2 = 0.88^{***}$$

$$25/20^{\circ}\text{C}: y = 28.3 / [1 + e^{-(X-16.6)/1.7}], R^2 = 0.82^{***}$$

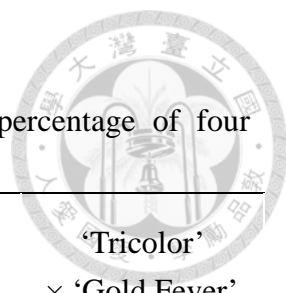
$$30/25^{\circ}\text{C}: y = 34.2 / [1 + e^{-(X-17.8)/3.1}], R^2 = 0.69^{***}$$

$$35/30^{\circ}\text{C}: y = 13.9 / [1 + e^{-(X-17.2)/0.2}], R^2 = 0.85^{***}$$

*** Significant at $P < 0.001$.

表 1. 溫度對四種彩葉鳳梨雜交組合最大種子發芽率之影響

Table 1. Effect of temperature on maximum seed germination percentage of four *Neoregelia* crosses.



Day/night temperature (°C)	'Pink Sensation' × 'Poney'	'Pink Sensation' × 'Gold Fever'	'Gold Fever' × 'Tricolor'	'Tricolor' × 'Gold Fever'
20/15	85.9 a A ^z	90.6 ab A	81.3 a A	51.6 a B
25/20	89.1 a A	98.4 a A	89.1 a A	29.7 bc B
30/25	85.9 a A	84.4 b A	84.4 a A	34.4 ab B
35/30	41.7 b B	53.1 c A	59.2 b A	13.8 c C

^z Means followed by the same lowercase or uppercase letters were not significantly different by LSD test at $P < 0.05$ within columns and rows, respectively.

表 2. 溫度對四種彩葉鳳梨雜交組合由播種到 50% 種子發芽率時間(T₅₀)之影響
 Table 2. Effect of temperature on time from sowing to 50% seed germination of four *Neoregelia* crosses.

Day/night temperature (°C)	'Pink Sensation' × 'Poney'	'Pink Sensation' × 'Gold Fever'	'Gold Fever' × 'Tricolor'	'Tricolor' × 'Gold Fever'
20/15	19.5 a B ^z	17.7 a C	18.5 a BC	25.0 a A
25/20	13.9 b A	11.9 d A	11.8 c B	-
30/25	11.8 c A	14.4 c A	11.8 c A	-
35/30	-	16.8 b A	15.9 b B	-

^z Means followed by the same lowercase or uppercase letters were not significantly different by LSD test at $P < 0.05$ within columns and rows, respectively.

- Did not reach 50% germination.

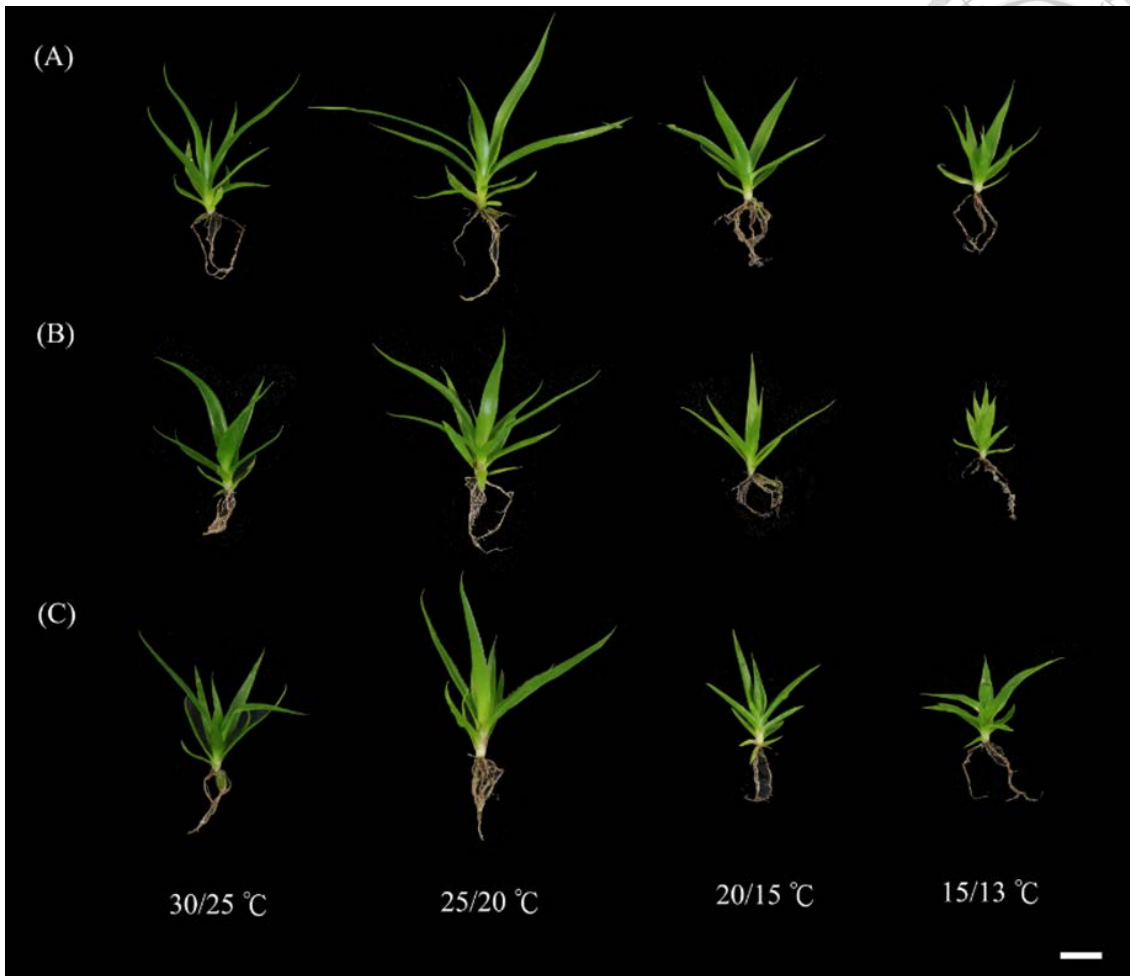
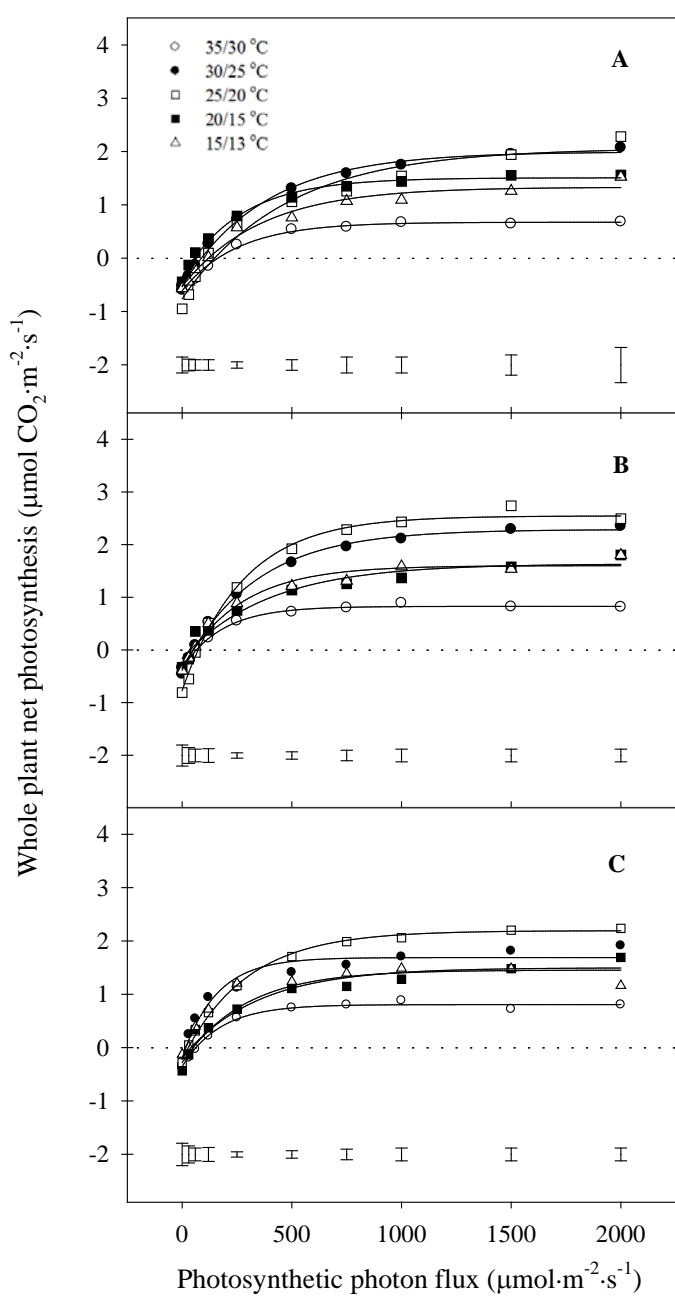


圖 3. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗地上部和地下部外觀之影響。參試組合分別為‘Pink Sensation’ × ‘Poney’ (A)、‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ (B)及‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’ (C)。

Fig. 3. Effect of temperature on shoot and root appearance of *Neoregelia* hybrid plug seedlings. Tested hybrids were ‘Pink Sensation’ × ‘Poney’ (A), ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ (B), and ‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’ (C). Bar = 2 cm.



'Pink Sensation' × 'Poney'
 35/30: $y = -0.6101 + 1.2860 \times [1 - e^{(-0.0004x)}]$
 30/25: $y = -0.5196 + 2.5166 \times [1 - e^{(-0.0026x)}]$
 25/25: $y = -0.7602 + 2.8265 \times [1 - e^{(-0.0021x)}]$
 20/15: $y = -0.3473 + 1.8580 \times [1 - e^{(-0.0037x)}]$
 15/13: $y = -0.5315 + 1.8677 \times [1 - e^{(-0.0028x)}]$

'Pink Sensation' × 'Gold Fever'
 35/30: $y = -0.3337 + 1.9350 \times [1 - e^{(-0.0038x)}]$
 30/25: $y = -0.1582 + 1.7956 \times [1 - e^{(-0.0026x)}]$
 25/20: $y = -0.7708 + 3.3177 \times [1 - e^{(-0.0036x)}]$
 20/15: $y = -0.3817 + 2.6715 \times [1 - e^{(-0.0030x)}]$
 15/13: $y = -0.3535 + 1.1846 \times [1 - e^{(-0.0055x)}]$

'Gold Fever' × 'Tricolor'
 35/30: $y = -0.3557 + 1.1655 \times [1 - e^{(-0.0058x)}]$
 30/25: $y = -0.1944 + 1.8859 \times [1 - e^{(-0.0065x)}]$
 25/20: $y = -0.2224 + 2.4174 \times [1 - e^{(-0.0034x)}]$
 20/15: $y = -0.1898 + 1.6880 \times [1 - e^{(-0.0029x)}]$
 15/13: $y = -0.2790 + 1.7364 \times [1 - e^{(-0.0035x)}]$

圖 4. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗 'Pink Sensation' × 'Poney' (A)、'Pink Sensation' × 'Gold Fever' (B)、'Gold Fever' × 'Tricolor' (C) 處理後 49 天之全株淨光合作用速率之影響

Fig. 4. Effect of temperature on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* 'Pink Sensation' × 'Poney' (A), 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' and (B), 'Gold Fever' × 'Tricolor' (C) hybrid plug seedlings at 49 days after treatments. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux and genetic cross (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

表 3. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重、冠根比之影響
 Table 3. Effects of temperature on shoot and root dry weights, and shoot to root ratio in *Neoregelia* hybrid plug seedlings.

Day/night temperature (°C)	Dry weight (mg per plant)		Shoot to root ratio
	Shoot	Root	
'Pink Sensation' × 'Poney'			
15/13	18.4 b ^z	3.3 b	5.6 c
20/15	24.6 b	3.3 b	7.5 bc
25/20	49.2 a	5.2 a	9.5 b
30/25	57.9 a	4.2 ab	13.8 a
'Pink Sensation' × 'Gold Fever'			
15/13	7.3 c	2.7 b	2.7 b
20/15	27.4 b	2.8 b	9.8 ab
25/20	65.3 a	7.1 a	9.2 ab
30/25	25.9 b	2.1 b	12.3 a
'Gold Fever' × 'Tricolor'			
15/13	9.6 b	2.2 b	4.3 c
20/15	15.2 b	2.1 b	7.2 b
25/20	46.0 a	5.6 a	8.2 b
30/25	38.2 a	2.2 b	17.4 a

^zMean separation within columns and crosses by LSD test at $P < 0.05$.

表 4. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗葉數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響

Table 4. Effects of temperature on leaf number, leaf area, SPAD-502 value, and Fv/Fm value in *Neoregelia* plug hybrid seedlings.

Day/night temperature (°C)	Leaf no.	Leaf area (cm ² /plant)	SPAD-502 value	Fv/Fm value
'Pink Sensation' × 'Poney'				
15/13	8.3 c ^z	5.2 c	19.4 b	0.44 b
20/15	9.3 bc	12.7 b	22.9 b	0.46 b
25/20	12.3 a	27.1 a	37.5 a	0.68 a
30/25	11.5 ab	14.0 b	34.8 a	0.77 a
'Pink Sensation' × 'Gold Fever'				
15/13	8.2 b	7.5 c	20.1 b	0.51 b
20/15	10.7 ab	13.7 b	25.1 b	0.59 b
25/20	11.8 a	18.9 a	36.0 a	0.72 a
30/25	11.8 a	13.3 b	34.9 a	0.74 a
'Gold Fever' × 'Tricolor'				
15/13	6.7 c	5.6 c	20.1 c	0.21 c
20/15	11.0 ab	10.4 b	24.7 b	0.55 b
25/20	11.3 ab	16.3 a	37.5 a	0.69 a
30/25	14.0 a	11.7 b	34.0 a	0.72 a

^z Mean separation within columns and crosses by LSD test at $P < 0.05$.

表 5. 溫度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗處理後 102 天後之介質 EC 及 pH 值之影響
 Table 5. Effect of temperature on medium EC and pH in *Neoregelia* hybrid plug seedlings grown under different temperatures for 102 days.

Day/night temperature (°C)	EC (dS·m ⁻¹)	pH
‘Pink Sensation’ × ‘Poney’		
15/13	0.73 a ^z	7.14 b
20/15	0.47 b	7.42 a
25/20	0.54 b	7.10 b
30/25	0.43 b	7.46 a
‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’		
15/13	0.48 a	7.33 b
20/15	0.54 a	7.35 ab
25/20	0.57 a	7.10 c
30/25	0.46 a	7.46 a
‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’		
15/13	0.57 a	7.25 b
20/15	0.54 ab	7.28 ab
25/20	0.57 ab	7.28 ab
30/25	0.46 b	7.34 a

^zMean separation within columns and crosses by LSD test at $P < 0.05$.

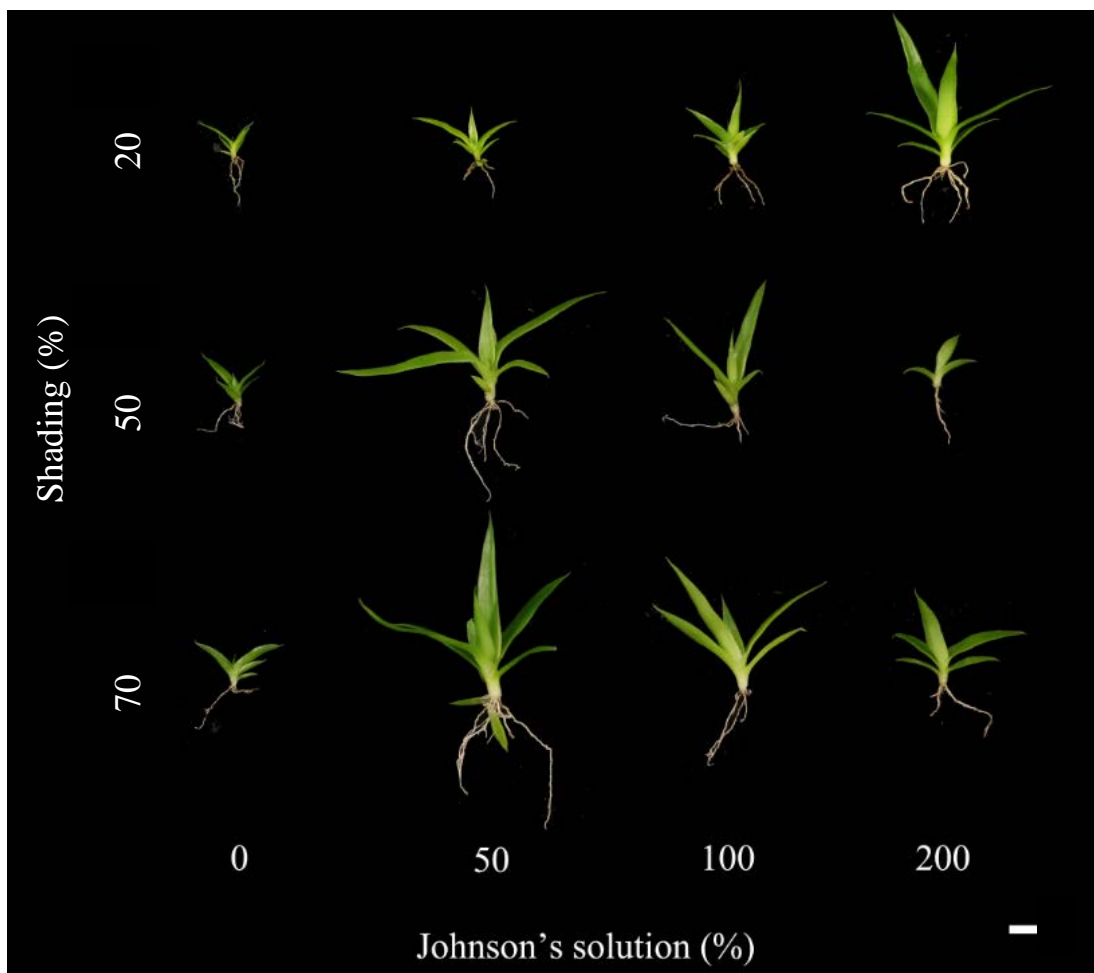
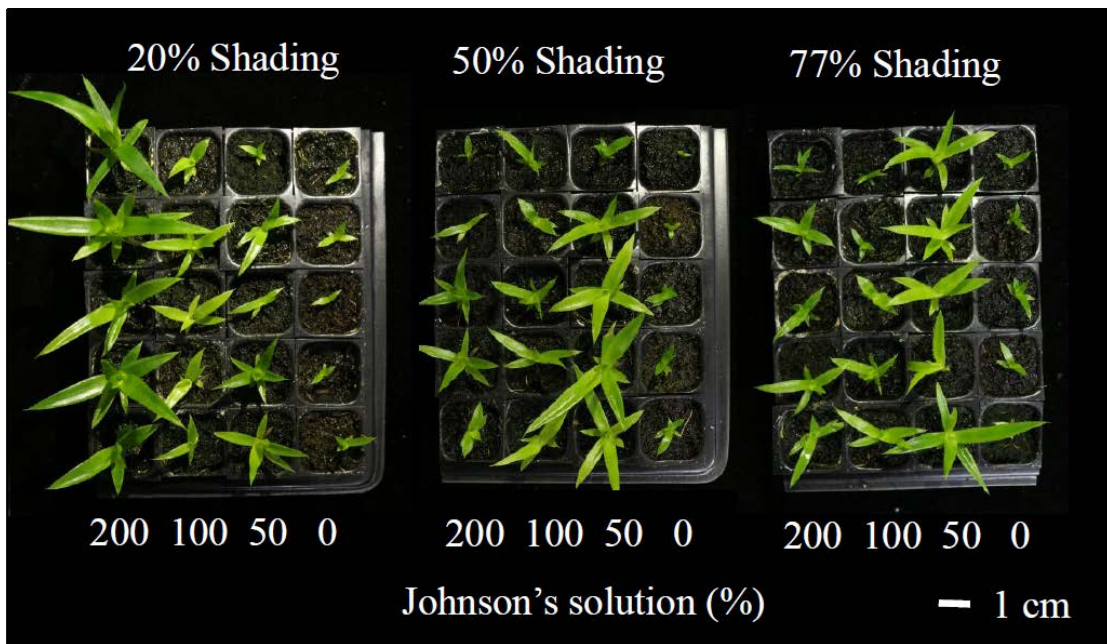


圖 5. 遮光與養液濃度對彩葉鳳梨 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' 實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響

Fig. 5. Effects of shading and nutrient solution concentration on growth performance, shoot and root appearance in *Neoregelia* 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' plug seedling. Bar = 1 cm.

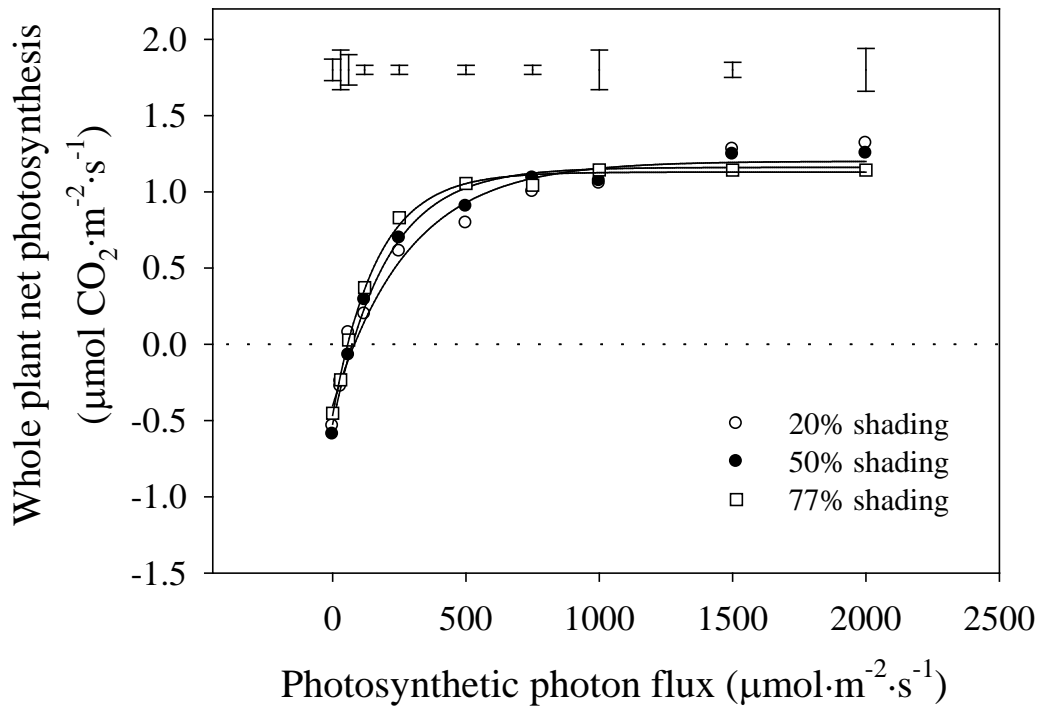
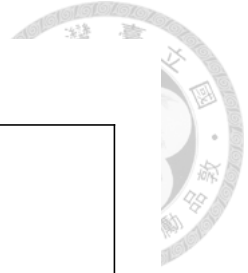


圖 6. 遮光程度對施用全量強生氏養液之彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天全株淨光合作用速率之影響

Fig. 6. Effect of shading level on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings supplied with full strength Johnson’s solution for 52 days. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

$$20\% \text{ shading : } y = -0.4525 + 1.6031 \times [1 - e^{(-0.0052x)}]$$

$$50\% \text{ shading : } y = -0.5235 + 1.6839 \times [1 - e^{(-0.0064x)}]$$

$$77\% \text{ shading : } y = -0.3661 + 1.3954 \times [1 - e^{(-0.0086x)}]$$

表 6. 遮光程度對施用全量強生氏養液彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 52 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響

Table 6. Effects of shading level on light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated rate of photosynthesis (*Amax*), and dark respiration rate (Rd) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings supplied with full strength Johnson’s solution for 52 days.

Shading (%)	LCP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	<i>Amax</i> ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Rd ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
20	63.9 a ^z	639.9 a	1.10 a	0.5 a
50	59.8 a	526.3 b	1.10 a	0.5 a
77	32.3 b	383.7 c	0.98 b	0.4 b
LSD (<i>P</i> = 0.05)	7.4	25.9	0.04	0.05

^z Mean separation within columns by LSD test at *P* < 0.05.

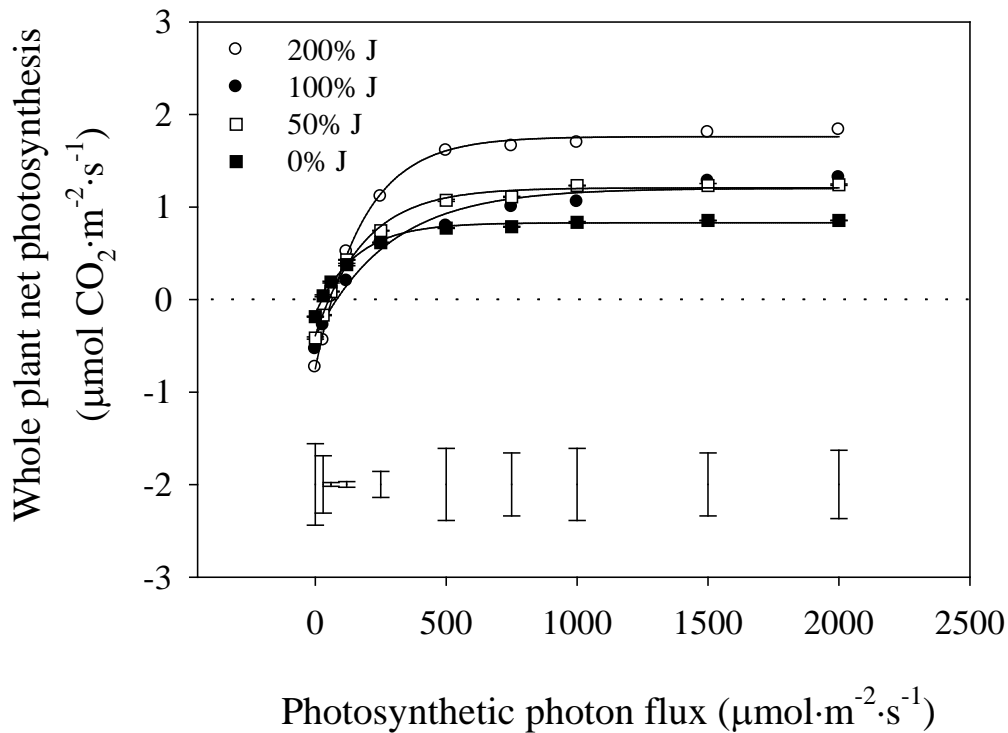


圖 7. 強生氏養液濃度對遮光 20% 之彩葉鳳梨 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' 實生穴盤苗處理後 52 天全株淨光合作用速率之影響

Fig. 7. Effect of Johnson's solution (J) strength on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' plug seedlings grown under 20% shading for 52 days. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

$$200\% \text{ J} : y = -0.7470 + 2.5073 [1 - e^{(-0.0049x)}]$$

$$100\% \text{ J} : y = -0.4525 + 1.6031 [1 - e^{(-0.0052x)}]$$

$$50\% \text{ J} : y = -0.3912 + 1.5967 [1 - e^{(-0.0054x)}]$$

$$0\% \text{ J} : y = -0.1562 + 0.9841 [1 - e^{(-0.0065x)}]$$

表 7. 強生氏養液濃度對遮光 20% 之彩葉鳳梨 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' 實生穴盤苗處理後 52 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響

Table 7. Effects of Johnson's solution strength on light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated rate of photosynthesis (A_{max}), and dark respiration rate (R_d) in *Neoregelia* 'Pink Sensation' × 'Gold Fever' grown under 20% shading for 52 days.

Johnson's solution (%)	LCP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	A_{max} ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	R_d ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
0	29.5 c ^z	487.5 d	0.8 c	0.11 d
50	55.2 b	606.8 c	1.1 b	0.40 c
100	63.9 ab	639.9 b	1.1 b	0.45 b
200	74.0 a	683.6 a	1.7 a	0.74 a
LSD ($P = 0.05$)	11.9	28.0	0.08	0.03
Significance	L***Q***	L***Q**	L***Q*	L***Q***

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

***, ** Significant at $P < 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively. Linear = L, quadratic = Q.

表 8. 遮光與養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重及冠根比之影響

Table 8. Effects of shading and Johnson’s solution strength on shoot and root dry weights, and shoot to root ratio in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings.

Treatment		Dry weight (mg per plant)		Shoot to root ratio
Shading (%)	Johnson’s solution (%)	Shoot	Root	
20	0	1.0 d ^z	0.3 e	3.3 b
	50	5.0 bcd	1.2 bc	4.2 b
	100	6.9 bcd	1.4 b	4.9 b
	200	17.0 a	2.9 a	5.9 ab
50	0	1.1 d	0.3 e	3.7 b
	50	6.7 bcd	0.9 bcde	7.4 ab
	100	9.3 bc	0.6 cde	15.5 a
	200	2.3 cd	0.4 de	5.8 ab
77	0	1.0 d	0.3 e	3.7 b
	50	11.3 ab	1.4 b	8.1 ab
	100	6.8 bcd	1.5 b	4.5 b
	200	4.1 cd	1.1 bcd	3.7 b
LSD ($P = 0.05$)		7.15	0.68	6.56
Significance				
Shading (S)		NS	NS	NS
Johnson’s solution (J)		L*	L**	NS
S × J		**	***	NS

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

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

表 9. 遮光與強生氏養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響

Table 9. Effects of shading and Johnson’s solution strength on leaf number, leaf area, SPAD-502 value, and Fv/Fm value in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings.

Treatment		Leaf number	Leaf area (cm ² per plant)	SPAD-502 value	Fv/Fm value
Shading (%)	Johnson’s solution (%)				
20	0	5.3 bc ^z	0.68 c	15.6 e	0.58 c
	50	6.4 bc	4.57 b	18.0 cde	0.61 bc
	100	5.3 bc	3.27 bc	20.9 bcd	0.61 bc
	200	8.4 a	9.30 a	31.5 a	0.72 a
50	0	4.5 c	0.83 c	15.2 e	0.58 c
	50	7.0 ab	4.50 b	18.4 cde	0.64 abc
	100	7.0 ab	3.59 bc	17.8 cde	0.66 abc
	200	4.5 bc	1.34 c	16.0 e	0.63 abc
77	0	5.3 bc	0.86 c	14.5 e	0.62 bc
	50	7.0 ab	4.93 b	22.1 bc	0.66 abc
	100	6.2 bc	4.57 b	17.2 de	0.65 abc
	200	5.5 bc	3.08 bc	23.2 b	0.71 ab
LSD ($P = 0.05$)		2.86	3.12	4.57	0.097
Significance					
Shading (S)		Q*	NS	NS	NS
Johnson’s solution (J)		NS	L*	L***	L**
S × J		*	**	***	NS

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

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively. Linear = L, quadratic = Q.

表 10. 遮光與強生氏養液濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤
苗介質 EC 及 pH 值之影響

Table 10. Effects of shading and Johnson’s solution strength on medium EC and pH of
Neoregelia ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings

Treatment		EC	pH
Shading (%)	Johnson’s solution (%)	(dS·m ⁻¹)	
20	0	0.25 c ^z	7.26 a
	50	0.27 c	7.13 ab
	100	0.76 ab	6.94 bc
	200	0.88 ab	6.40 d
50	0	0.50 bc	7.08 ab
	50	0.42 bc	7.27 a
	100	0.62 abc	6.97 abc
	200	1.04 a	6.76 c
77	0	0.61 abc	7.00 abc
	50	0.64 abc	7.19 ab
	100	0.84 ab	6.98 abc
	200	0.89 ab	6.33 d
LSD (<i>P</i> = 0.05)		0.48	0.31
Significance			
Shading (S)		NS	NS
Johnson’s (J)		L***	L***
S × J		NS	NS

^z Mean separation within columns by LSD test at *P* < 0.05.

NS, *** Nonsignificant or significant at *P* < 0.001, respectively. Linear = L.

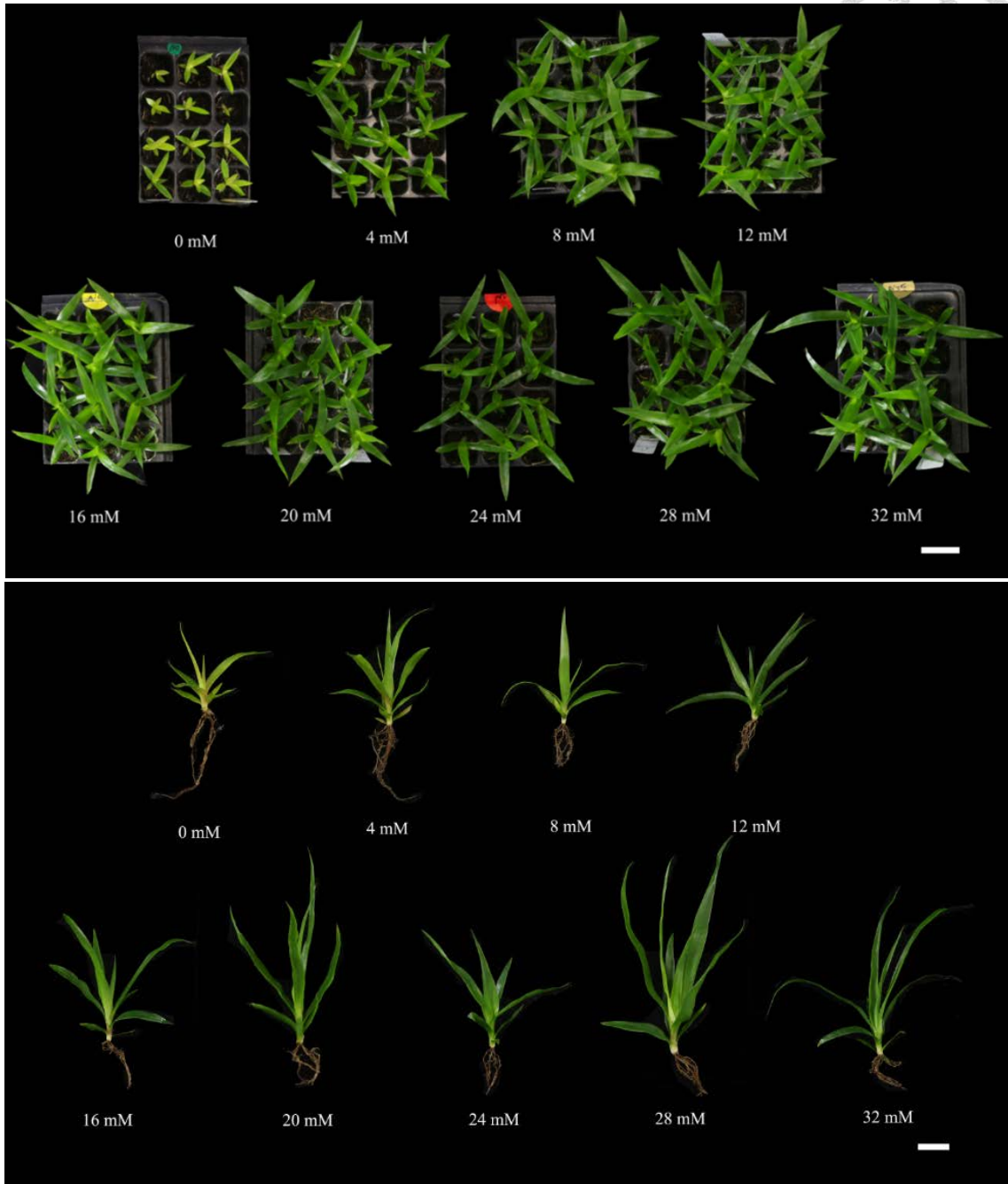


圖 8. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響

Fig. 8. Effect of nutrient solution nitrogen concentration on growth performance, shoot and root appearance in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bar = 2 cm.

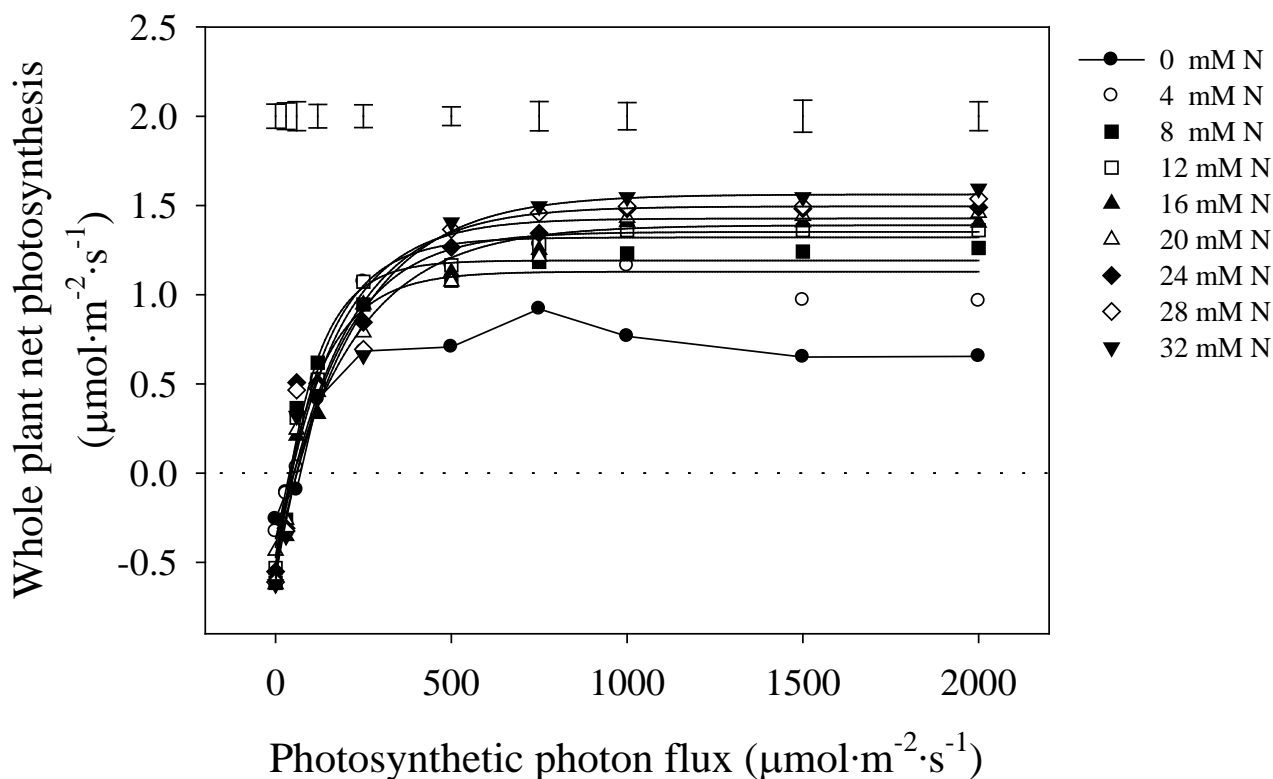


圖 9. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天全株淨光合作用速率之影響

Fig. 9. Effect of nutrient solution nitrogen concentration on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 78 days after treatments. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

$$4 \text{ mM N: } y = -0.4158 + 1.5444 \times [1 - e^{(-0.0079x)}]$$

$$8 \text{ mM N: } y = -0.6183 + 1.8092 \times [1 - e^{(-0.0099x)}]$$

$$12 \text{ mM N: } y = -0.5575 + 1.8774 \times [1 - e^{(-0.0077x)}]$$

$$16 \text{ mM N: } y = -0.5858 + 1.9364 \times [1 - e^{(-0.0060x)}]$$

$$20 \text{ mM N: } y = -0.3680 + 1.7558 \times [1 - e^{(-0.0045x)}]$$

$$24 \text{ mM N: } y = -0.4645 + 1.8898 \times [1 - e^{(-0.0061x)}]$$

$$28 \text{ mM N: } y = -0.4739 + 1.9669 \times [1 - e^{(-0.0052x)}]$$

$$32 \text{ mM N: } y = -0.5053 + 2.0651 \times [1 - e^{(-0.0046x)}]$$

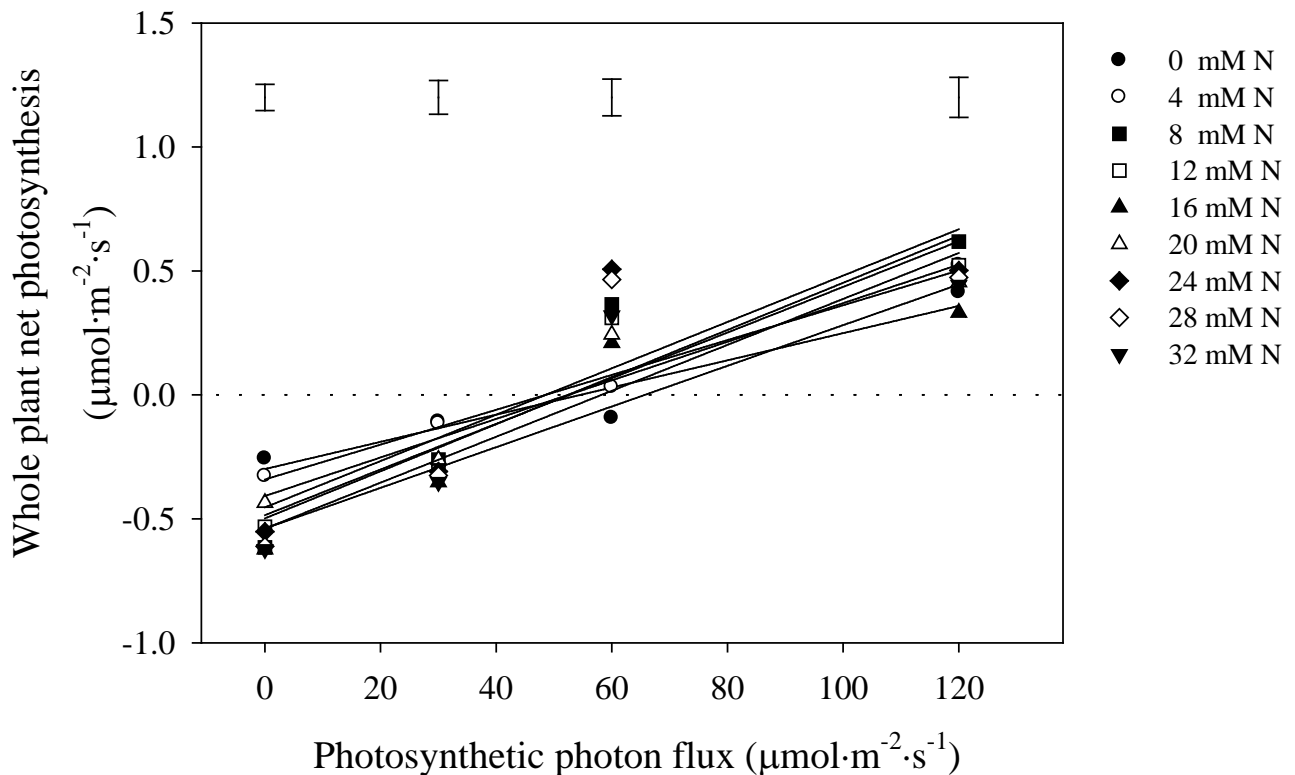


圖 10. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天於較低光強度下之全株淨光合作用速率之影響

Fig. 10. Effect of nutrient solution nitrogen concentration on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 78 days after treatments measured at lower photosynthetic photon flux (*PPF*). Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective *PPF* (n=3). The equation of the response curve is $y = ax + b$.

0 mM N: $y = -0.2990 + 0.0055x$

4 mM N: $y = -0.3411 + 0.0070x$

8 mM N: $y = -0.5242 + 0.0105x$

12 mM N: $y = -0.4851 + 0.0092x$

16 mM N: $y = -0.5390 + 0.0082x$

20 mM N: $y = -0.4080 + 0.0078x$

24 mM N: $y = -0.4538 + 0.0094x$

28 mM N: $y = -0.4981 + 0.0095x$

32 mM N: $y = -0.5394 + 0.0093x$

表 11. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 78 天之光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響

Table 11. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated rate of photosynthesis (*Amax*), and dark respiration rate (Rd) of *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 78 days after treatments.

N concn (mM)	LCP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	<i>Amax</i> ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Rd ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
0	54.4	424.9	0.7	0.2
4	48.7	418.9	1.0	0.3
8	49.9	401.6	1.1	0.5
12	52.7	507.0	1.2	0.4
16	65.7	559.3	1.2	0.5
20	52.3	680.3	1.1	0.4
24	48.2	705.9	1.5	0.5
28	52.4	723.6	1.5	0.5
32	58.0	709.0	1.5	0.5
Significance	NS	L***	L*** Q***	L***Q**

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001 , respectively. Linear = L, quadratic = Q.

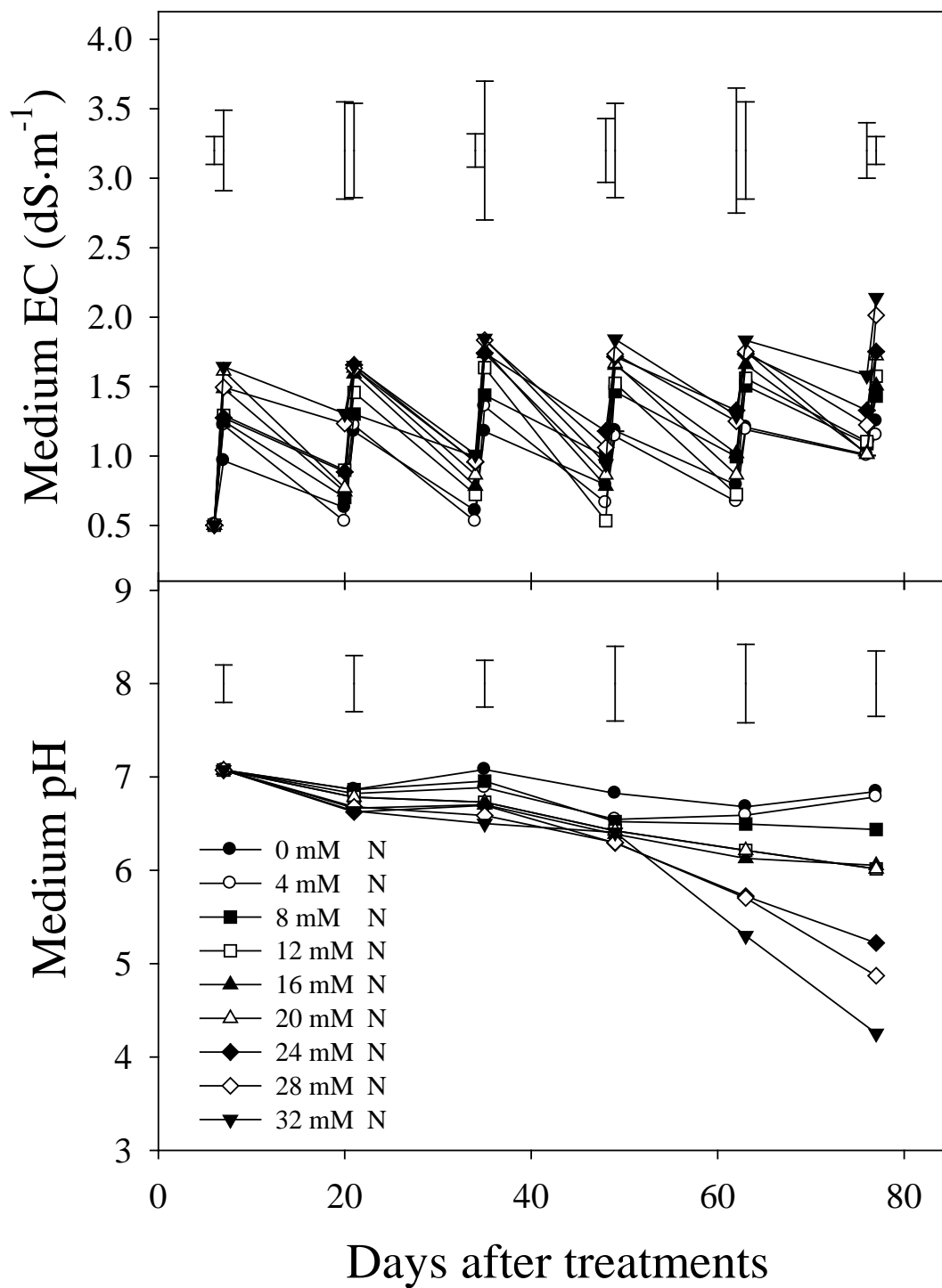


圖 11. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 值及 pH 值之影響

Fig. 11. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on medium EC and pH of *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent $LSD_{0.05}$ among treatments on a given day.

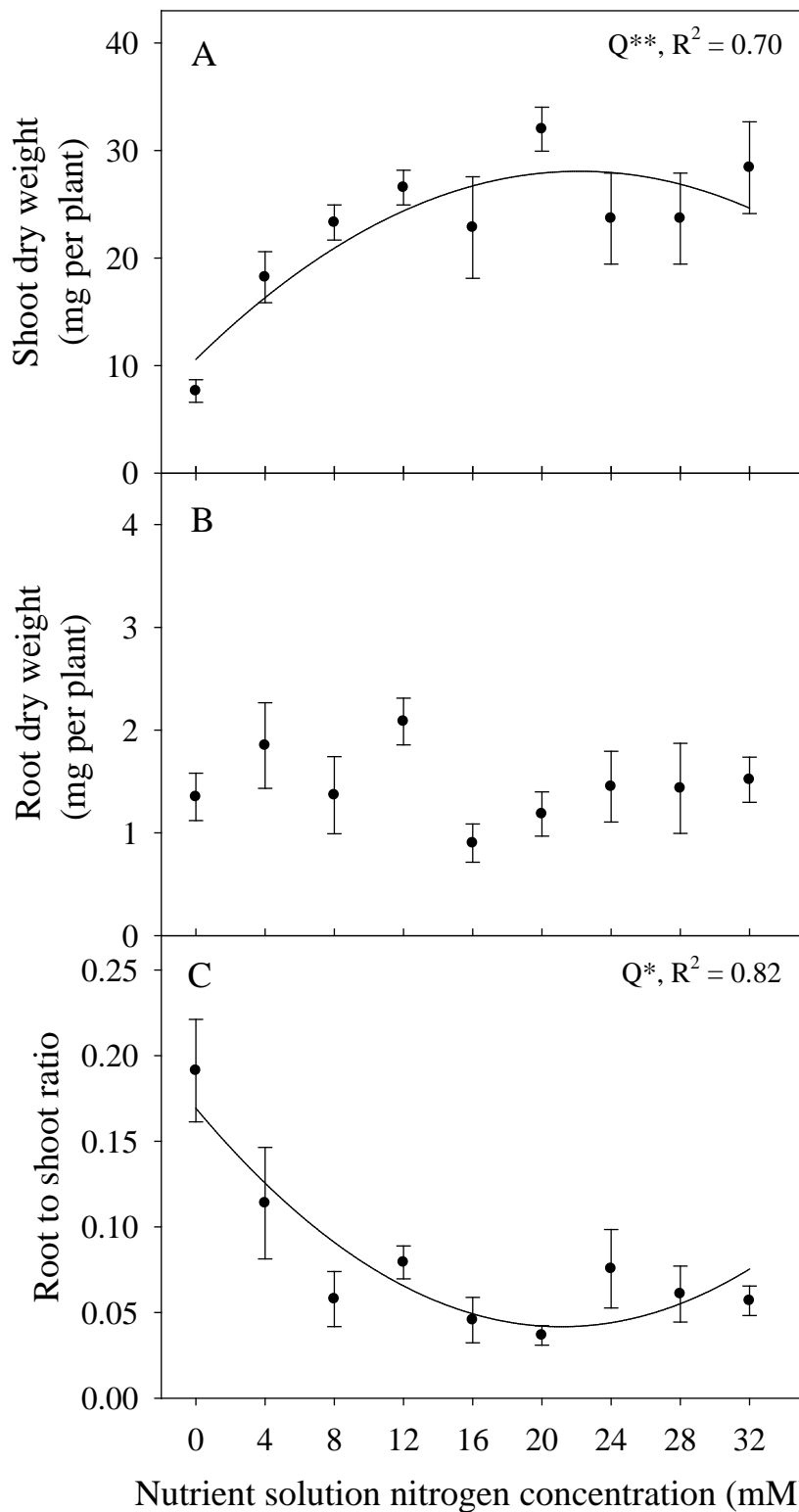


圖 12. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重(A)、地下部乾重(B)及根冠比(C)之影響

Fig. 12. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on shoot dry weight (A), root dry weight (B), and root to shoot ratio (C) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

*,** Significant at $P < 0.05$ or 0.01 , respectively. Quadratic = Q.

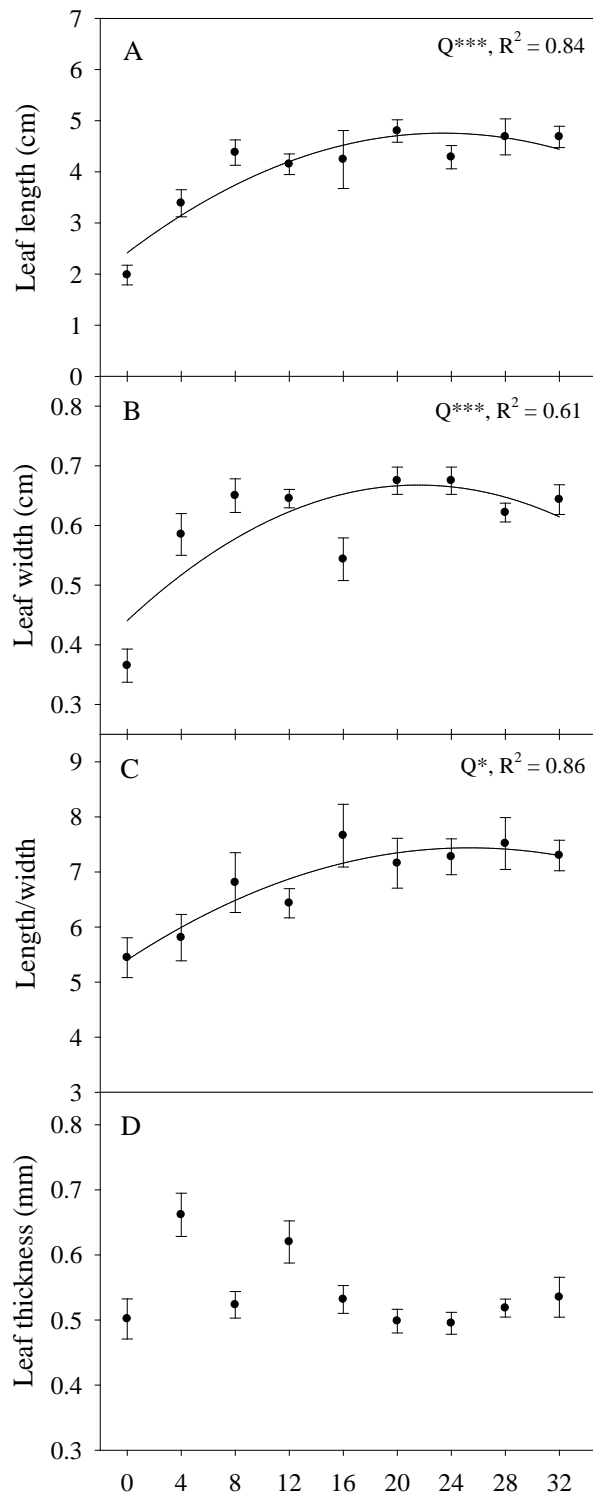


圖 13. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長 (A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響

Fig. 13. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on leaf length (A), leaf width (B), leaf length / width (C), and leaf thickness (D) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

*,***, Significant at $P < 0.05$ or 0.001 , respectively. Quadratic = Q.

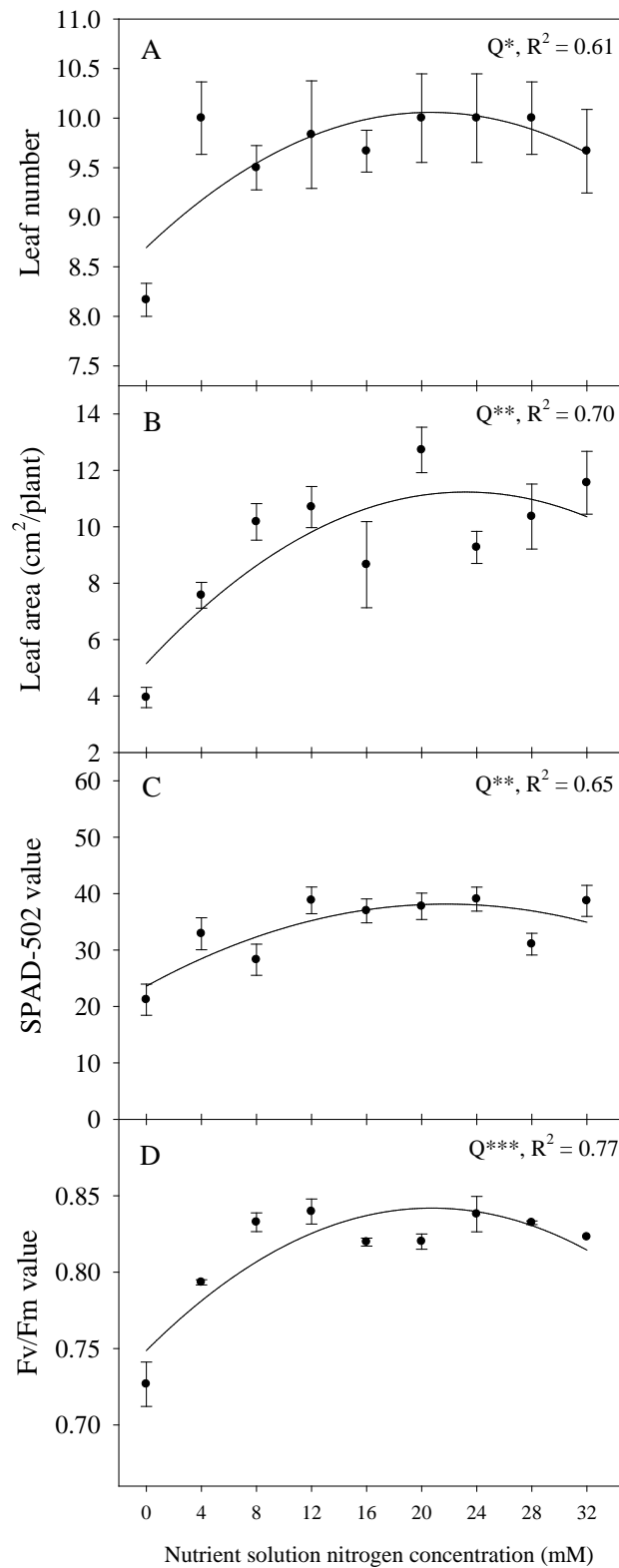


圖 14. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數 (A)、葉面積(B)、葉綠素計讀值(C)及 Fv/Fm 值(D)之影響

Fig. 14. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on leaf number (A), leaf area (B), SPAD-502 value (C), and Fv/Fm value (D) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

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

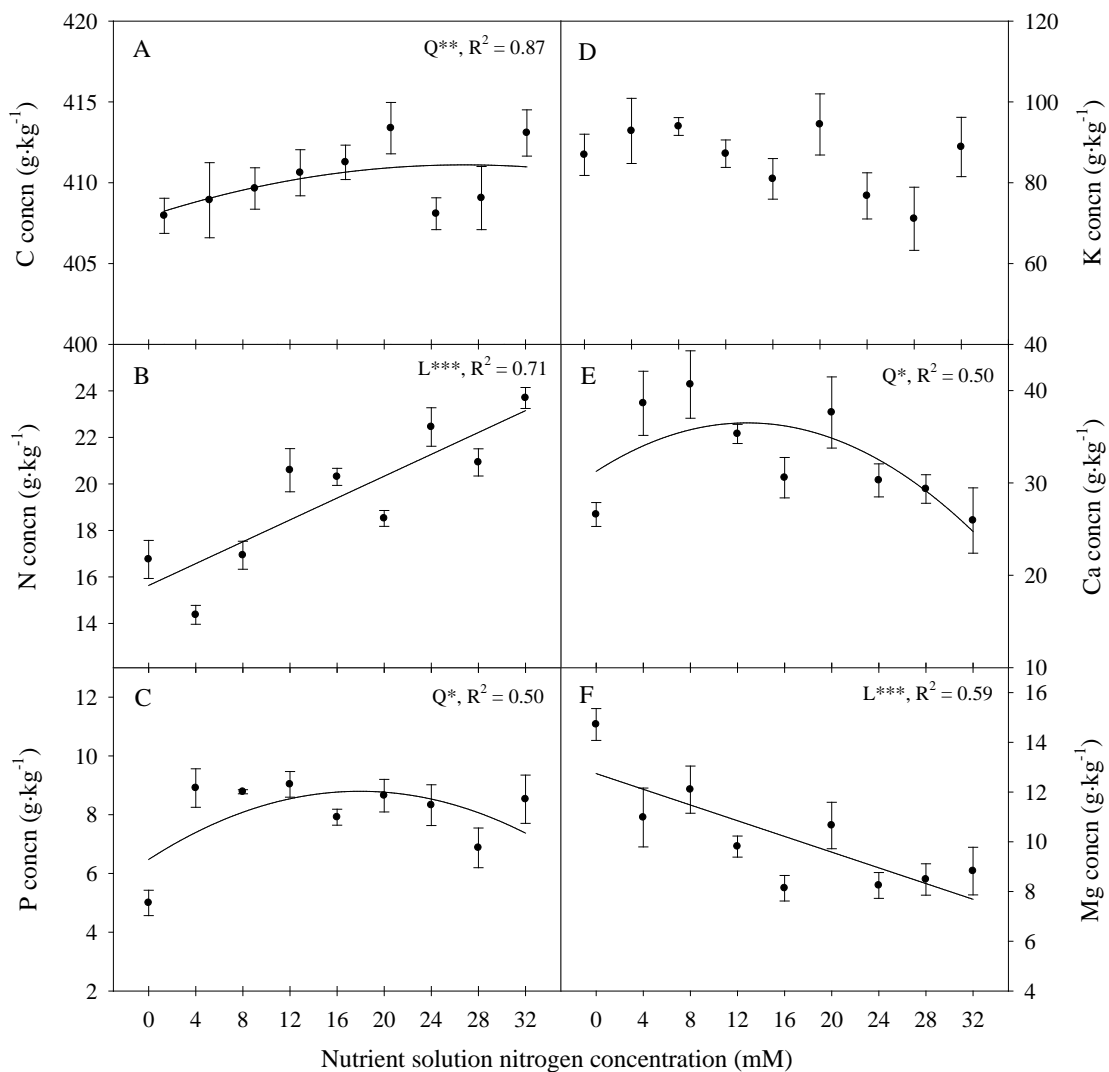


圖 15. 養液氮濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度之影響

Fig. 15. Effects of nutrient solution nitrogen concentration on plant carbon (A), nitrogen (B), phosphorus (C), potassium (D), calcium (E), and magnesium (F) concentrations in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

*, **, *** Significant at $P < 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively. Linear = L, quadratic = Q.

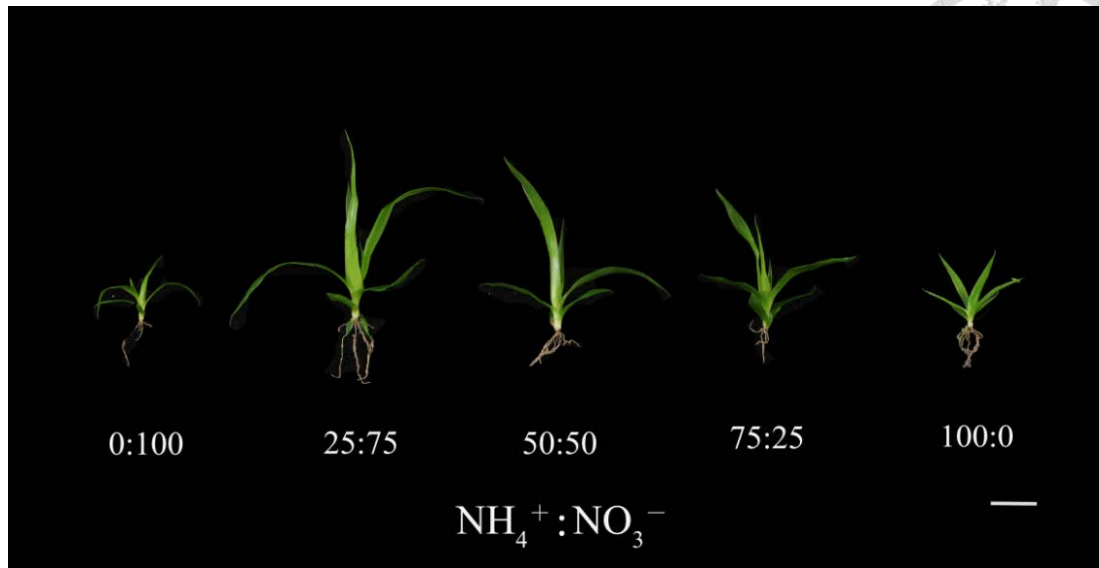


圖 16. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部和地下部外觀之影響

Fig. 16. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on shoot, and root appearance in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars = 2 cm.

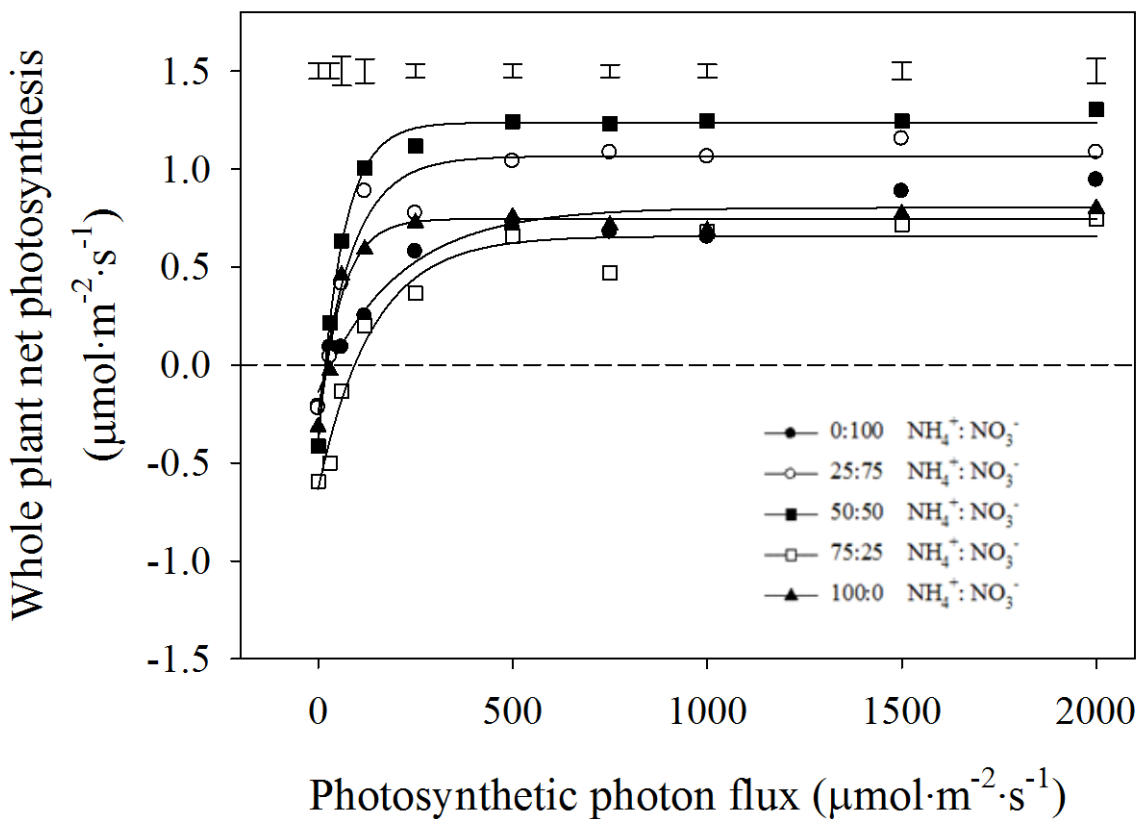


圖 17. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天全株淨光合作用速率之影響

Fig. 17. Effect of nutrient solution nitrogen form on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 75 days after treatments. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

$$\begin{aligned}
 0\% \text{ NH}_4\text{-N} : 100\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.1391 + 0.9415 \times [1 - e^{(-0.0049x)}] \\
 25\% \text{ NH}_4\text{-N} : 75\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.2514 + 1.3158 \times [1 - e^{(-0.0115x)}] \\
 50\% \text{ NH}_4\text{-N} : 50\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.4121 + 1.6493 \times [1 - e^{(-0.0162x)}] \\
 75\% \text{ NH}_4\text{-N} : 25\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.6352 + 1.2922 \times [1 - e^{(-0.0072x)}] \\
 100\% \text{ NH}_4\text{-N} : 0\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.3489 + 1.0951 \times [1 - e^{(-0.0169x)}]
 \end{aligned}$$

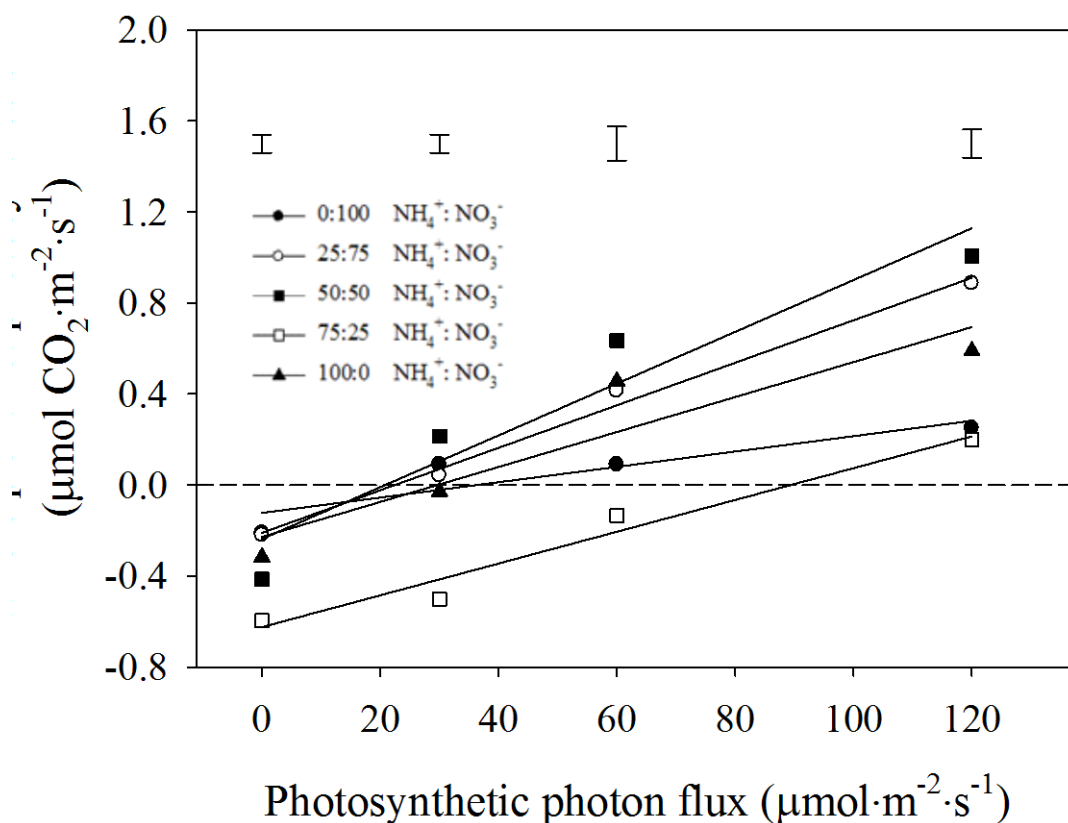


圖 18. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天於較低光強度下全株淨光合作用速率之影響

Fig. 18. Effect of nutrient solution nitrogen form on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 75 days after treatments measured at lower photosynthetic photon flux (*PPF*). Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective *PPF* (n=3). The equation of the response curve is $y = ax + b$.

$$\begin{aligned}
 0\% \text{ NH}_4\text{-N} : 100\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.1223 + 0.0034x \\
 25\% \text{ NH}_4\text{-N} : 75\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.2097 + 0.0093x \\
 50\% \text{ NH}_4\text{-N} : 50\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.2368 + 0.0114x \\
 75\% \text{ NH}_4\text{-N} : 25\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.6239 + 0.0070x \\
 100\% \text{ NH}_4\text{-N} : 0\% \text{ NO}_3\text{-N} &: y = -0.2276 + 0.0077x
 \end{aligned}$$

表 12. 氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 75 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響

Table 12. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated rate of photosynthesis (A_{max}), and dark respiration rate (Rd) of *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 75 days after treatments.

$\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$	LCP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	A_{max} ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Rd ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
0:100	34.0 b ^z	615.2 a	0.8 c	0.12 d
25:75	22.5 d	280.5 c	1.0 b	0.21 c
50:50	20.9 d	203.1 d	1.2 a	0.24 b
75:25	88.7 a	509.8 b	0.6 e	0.62 a
100:0	29.6 c	199.3 d	0.7 d	0.23 b
LSD ($P = 0.05$)	2.9	26.0	0.01	0.01

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

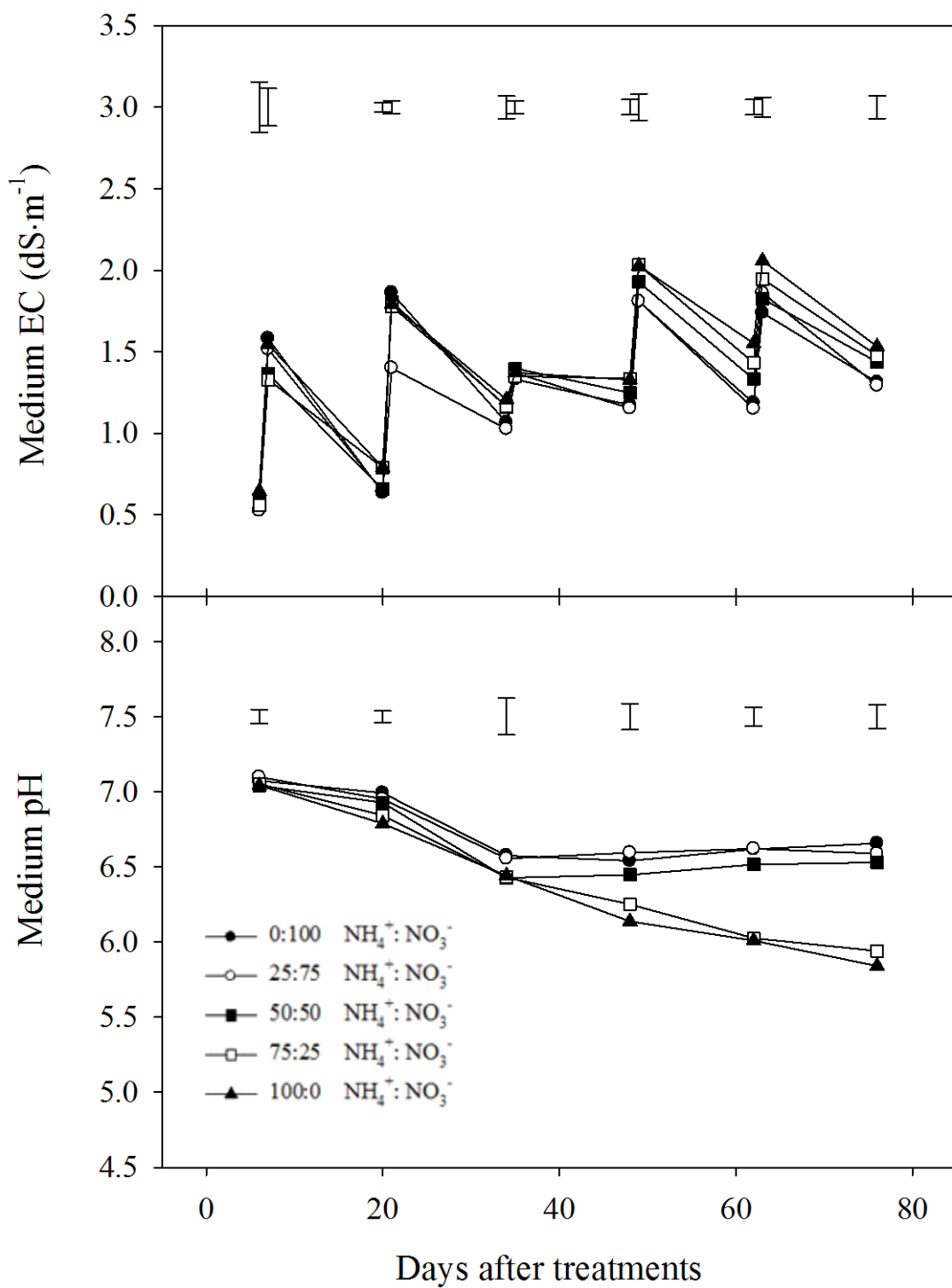


圖 19. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響

Fig. 19. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on medium EC and pH in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent $LSD_{0.05}$ among treatments on a given day.

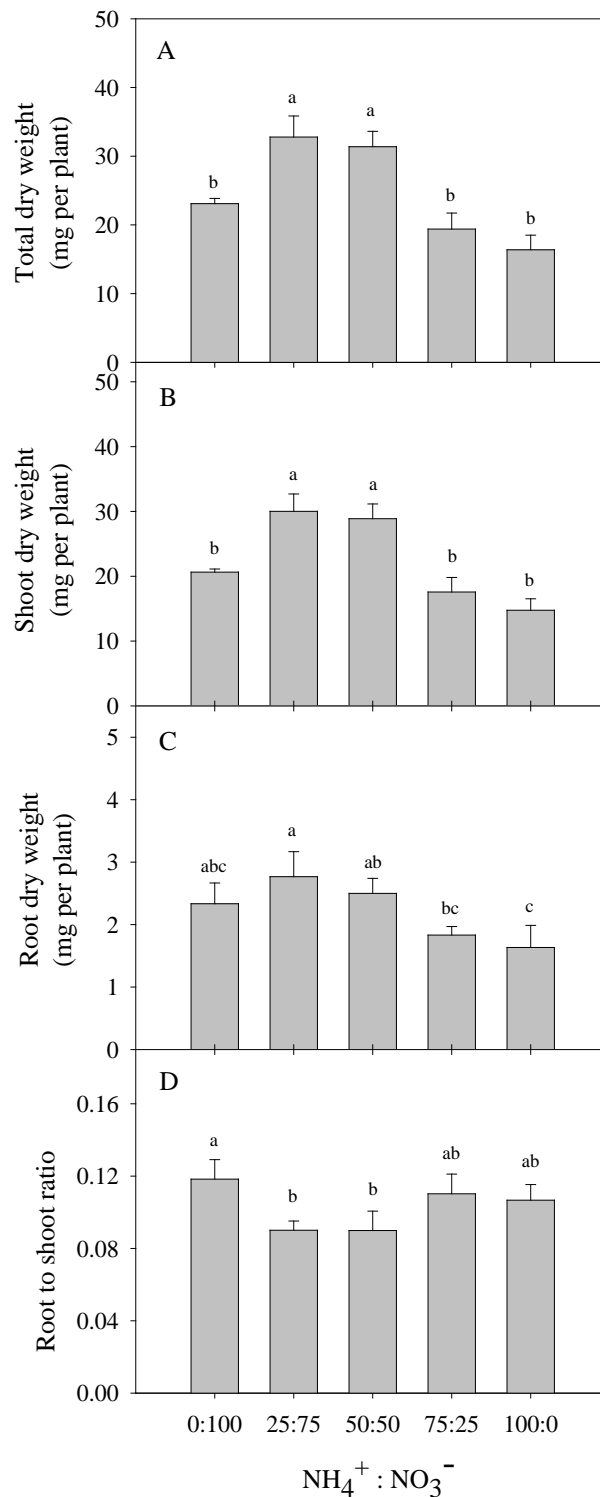


圖 20. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗總乾重(A)、地上部乾重(B)、地下部乾重(C)及根冠比(D)之影響

Fig. 20. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on total dry weight (A), shoot dry weight (B) root dry weight (C), and root to shoot ratio (D) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Mean separation by LSD test at $P < 0.05$. Bars represent standard error of the mean (n=5).

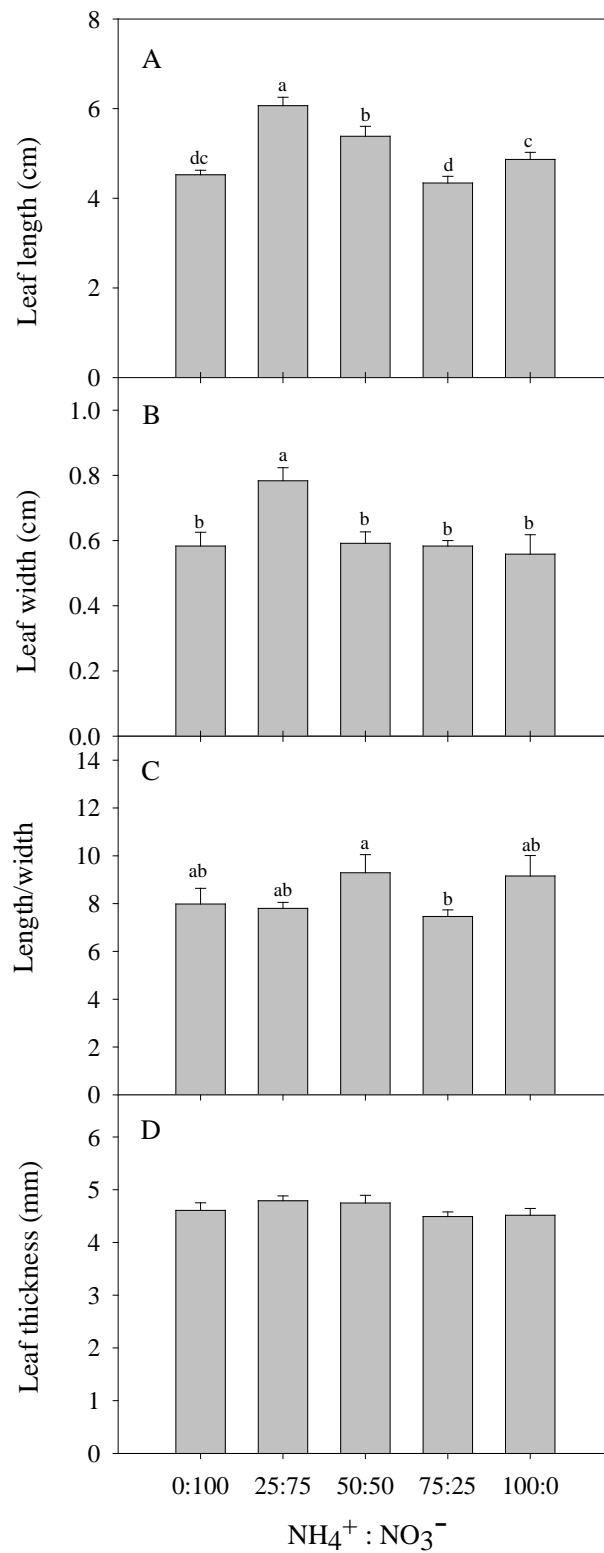


圖 21. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長(A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響

Fig. 21. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on leaf length (A), leaf width (B), leaf length / width (C), and leaf thickness (D) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Mean separation by LSD test at $P < 0.05$. Bars represent standard error of the mean (n=5).

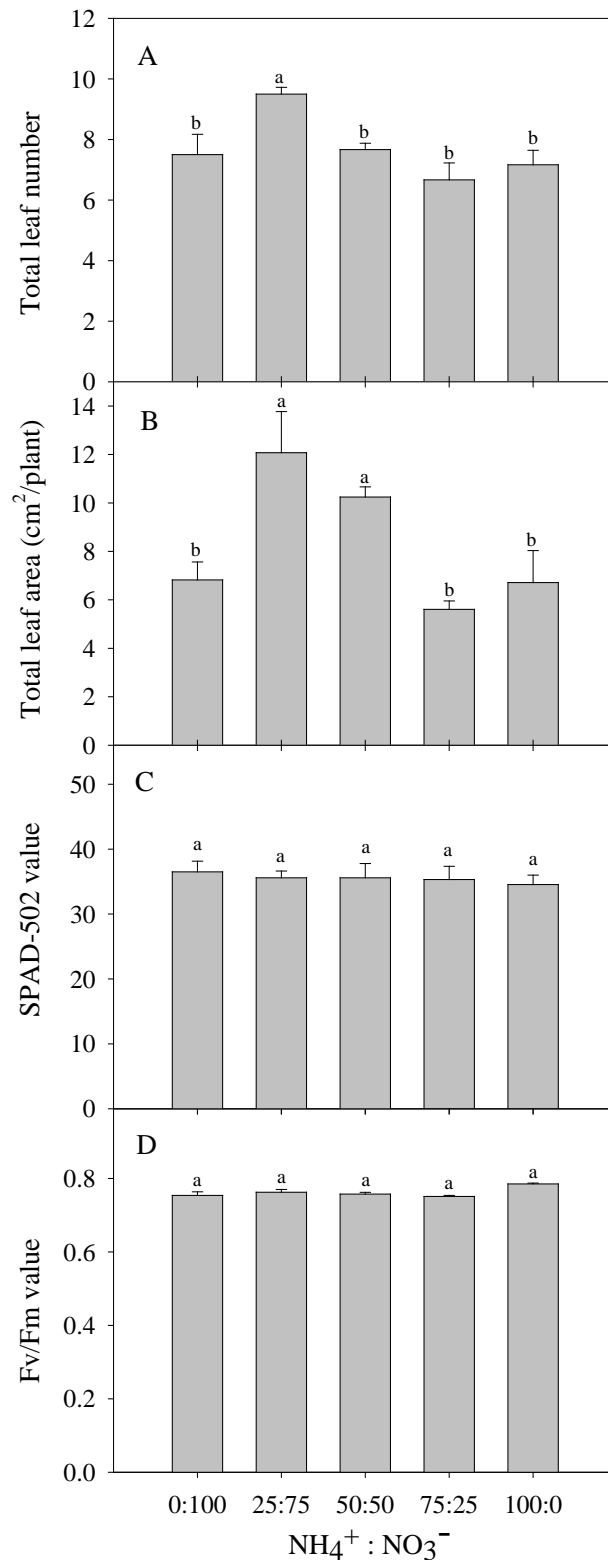


圖 22. 養液氮型態比例濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數(A)、葉面積(B)、葉綠素計讀值(C)及 Fv/Fm 值(D)之影響

Fig. 22. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on leaf number (A), leaf area (B), SPAD-502 value (C), and Fv/Fm value (D) in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Mean separation by LSD test at $P < 0.05$. Bars represent standard error of the mean ($n=5$).

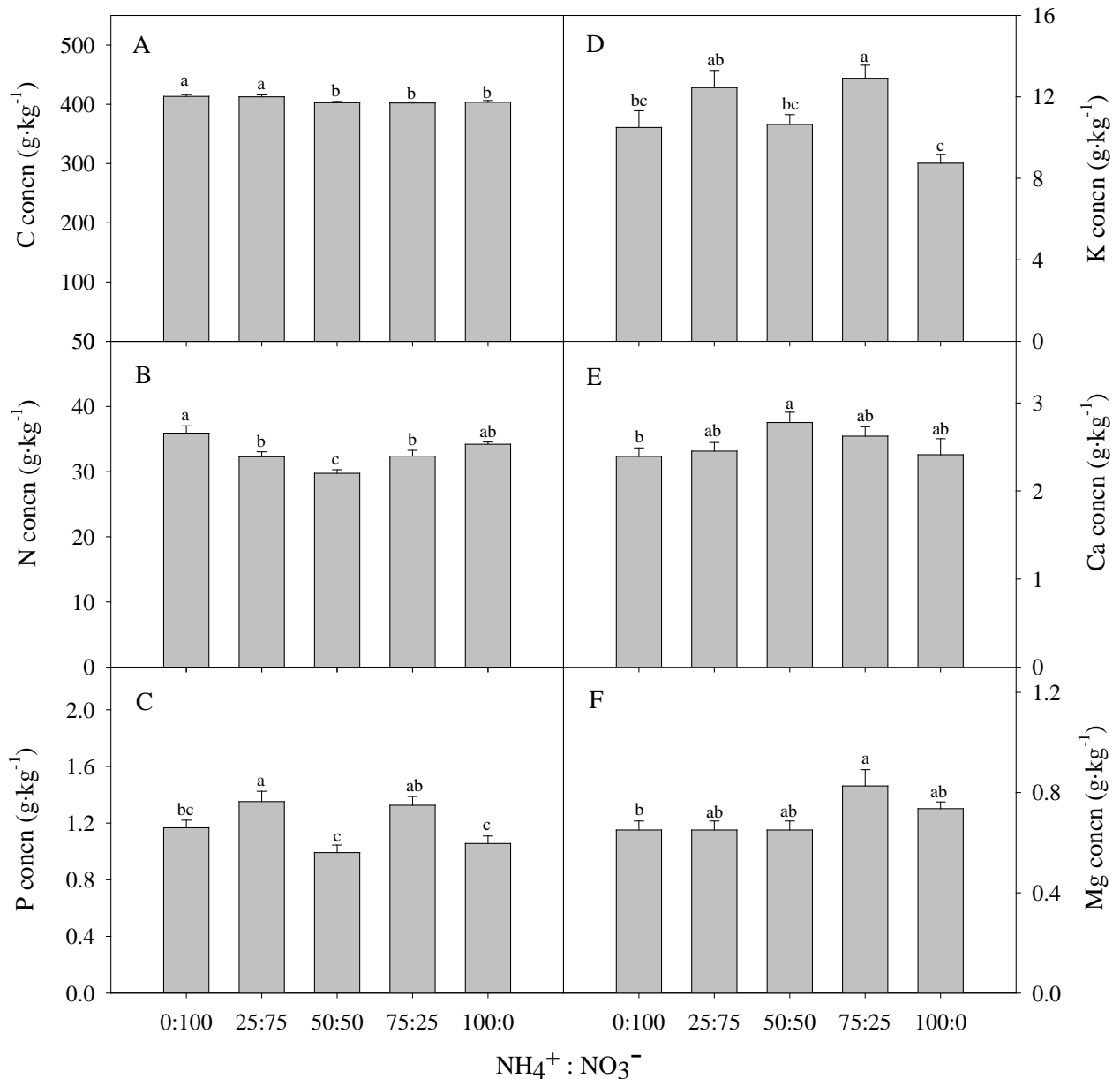


圖 23. 養液氮型態比例對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度的影響

Fig. 23. Effects of nutrient solution nitrogen form ratio on plant carbon (A), nitrogen (B), phosphorus (C), potassium (D), calcium (E), and magnesium (F) concentrations in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Mean separation by LSD test at $P < 0.05$. Bars represent standard error of the mean (n=5).

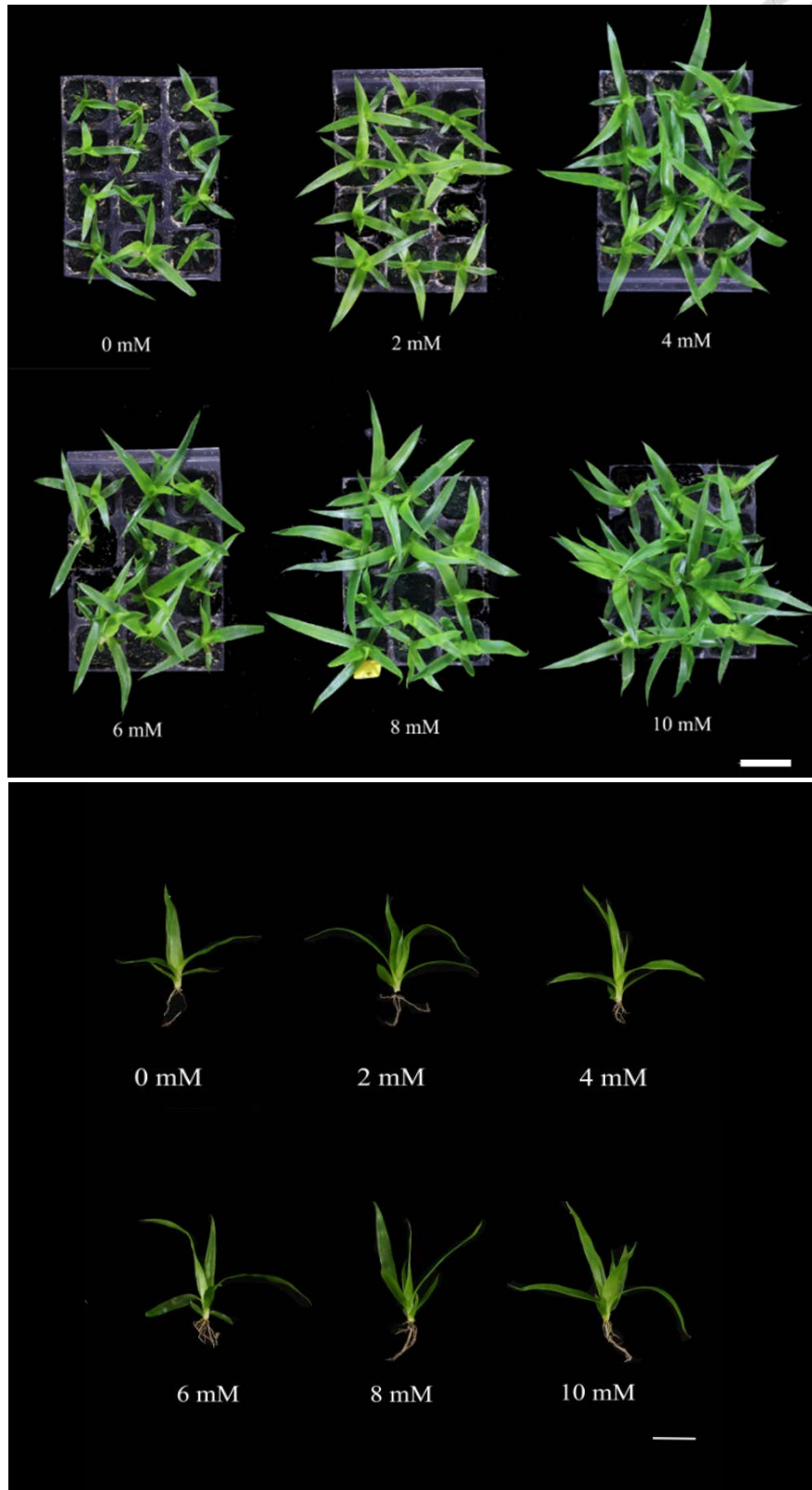


圖 24. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗生長表現、地上部和地下部外觀之影響

Fig. 24. Effect of nutrient solution potassium concentration on growth performance, shoot, and root appearance in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars = 2 cm.

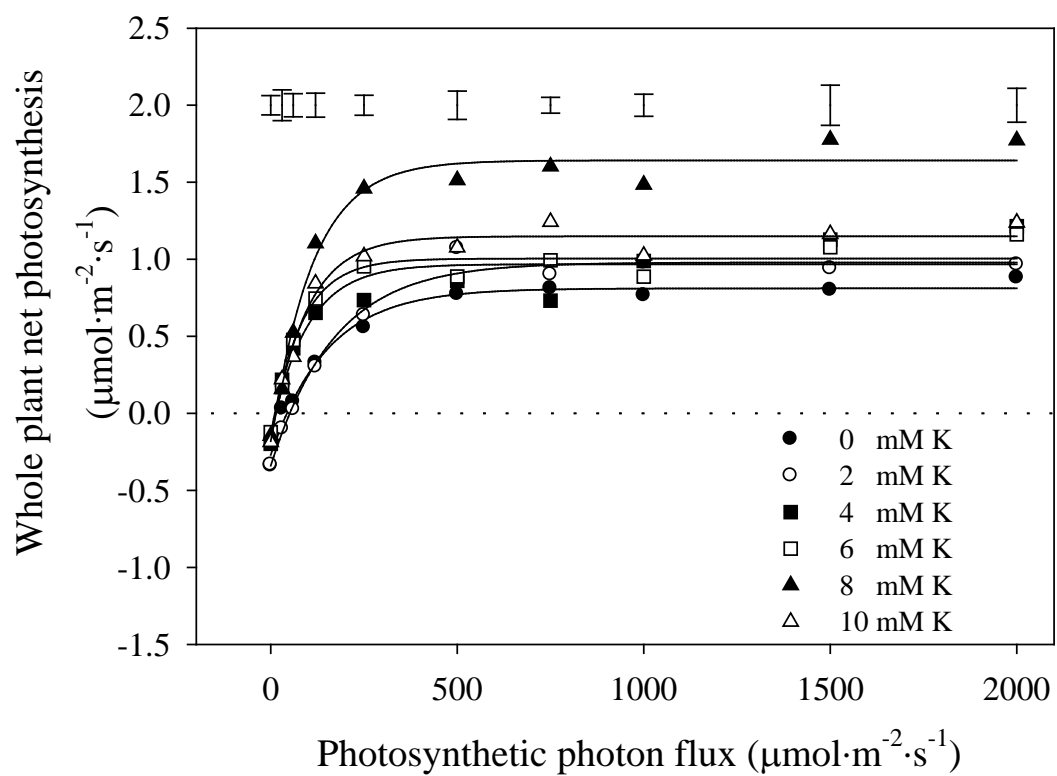
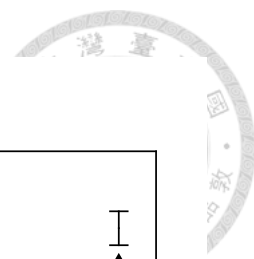


圖 25. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天全株淨光合作用速率之影響

Fig. 25. Effects of nutrient solution potassium concentration on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 79 days after treatments. Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective photosynthetic photon flux (n=3). The equation of the response curve is $y = y_0 + a \times [1 - e^{(-bx)}]$.

0 mM K: $y = -0.2696 + 1.0807 \times [1 - e^{(-0.0066x)}]$
 2 mM K: $y = -0.3398 + 1.3189 \times [1 - e^{(-0.0058x)}]$
 4 mM K: $y = -0.1356 + 1.1034 \times [1 - e^{(-0.0103x)}]$
 6 mM K: $y = -0.1371 + 1.1415 \times [1 - e^{(-0.0121x)}]$
 8 mM K: $y = -0.2003 + 1.8420 \times [1 - e^{(-0.0090x)}]$
 10 mM K: $y = -0.1812 + 1.3301 \times [1 - e^{(-0.0106x)}]$

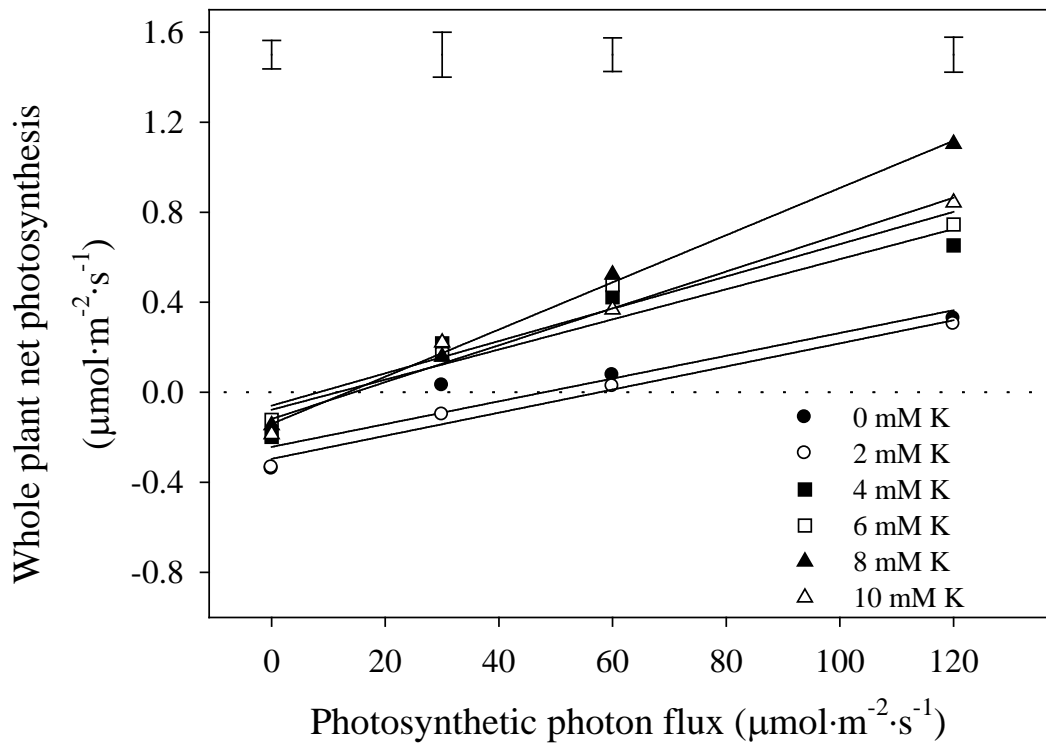
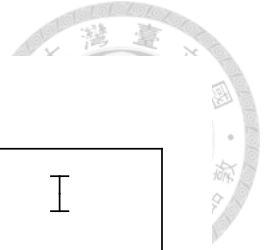


圖 26. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天於較低光強度下全株淨光合作用速率之影響

Fig. 26. Effects of nutrient solution potassium concentration on whole plant net photosynthesis in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 79 days after treatments measured at lower photosynthetic photon flux (*PPF*). Measurements were taken at 25°C, 2.0 kPa (vapor pressure deficit), and 400 ppm CO₂. Bars represent LSD_{0.05} at respective *PPF* (n=3). The equation of the response curve is $y = ax + b$.

表 13. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗處理後 79 天光補償點、光飽和點、最大光合作用速率及暗呼吸速率之影響

Table 13. Effects of nutrient solution potassium concentration on light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), light saturated rate of photosynthesis (*A_{max}*), and dark respiration rate (Rd) of *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings at 79 days after treatments.

K concn (mM)	LCP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	<i>A_{max}</i> ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Rd ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
0	47.6	497.4	0.78	0.2
2	58.0	567.9	0.93	0.3
4	11.6	303.6	0.92	0.1
6	8.2	258.2	0.95	0.1
8	13.4	345.7	1.56	0.1
10	14.5	296.4	1.09	0.1
Significance	L***Q*	L***	L**	L***Q*

*, **, *** Significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively. Linear = L, quadratic = Q.

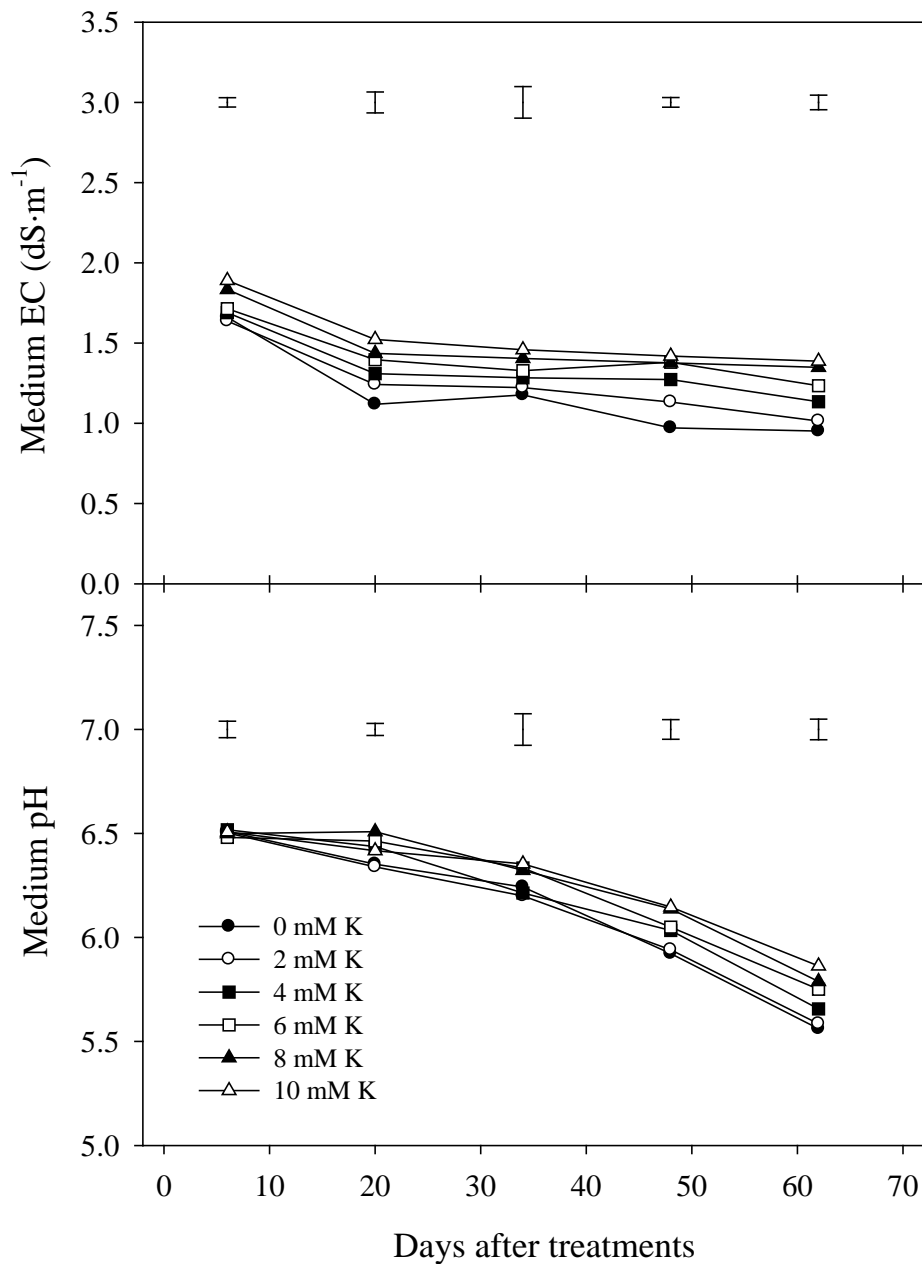


圖 27. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗介質 EC 及 pH 值之影響

Fig. 27. Effects of nutrient solution potassium concentration on medium EC and pH in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent LSD_{0.05} among treatments on a given day.

表 14. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗地上部乾重、地下部乾重及根冠比之影響

Table 14. Effects of nutrient solution potassium concentration on shoot and root dry weights, and root to shoot ratio in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings.

K concn (mM)	Dry weight (mg per plant)		Root to shoot ratio
	Shoot	Root	
0	12.5 d ^z	1.6 d	0.11 a
2	25.7 bc	2.9 bcd	0.12 a
4	31.5 ab	4.1 ab	0.13 a
6	18.1 cd	2.2 cd	0.12 a
8	30.7 ab	3.9 abc	0.13 a
10	39.5 a	4.9 a	0.12 a
LSD ($P = 0.05$)	11.3	1.8	0.034
Significance	L ^{**}	L ^{**}	NS

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

NS, ^{**} Nonsignificant or significant at $P < 0.001$, respectively. Linear = L.

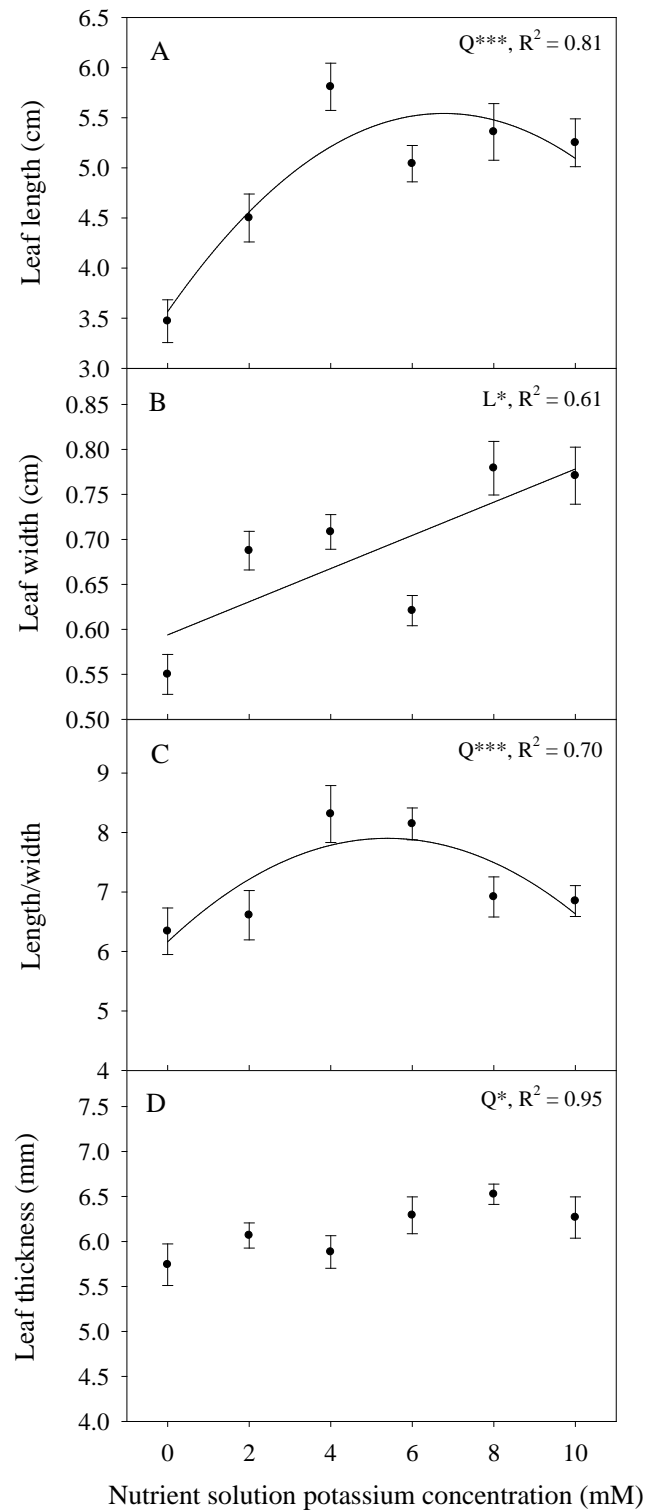


圖 28. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片長 (A)、葉片寬(B)、葉片長寬比(C)及葉片厚度(D)之影響

Fig. 28. Effects of nutrient solution potassium concentration on leaf length (A), leaf width (B), leaf length / width (C), and leaf thickness (D) of *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

*,*** Significant at $P < 0.05$ or 0.001 , respectively. Linear = L, quadratic = Q.

表 15. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’實生穴盤苗葉片數、葉面積、葉綠素計讀值及 Fv/Fm 值之影響

Table 15. Effects of nutrient solution potassium concentration on leaf number, leaf area, SPAD-502 value, and Fv/Fm value in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings.

K concn (mM)	Leaf number	Leaf area (cm ² /plant)	SPAD-502 value	Fv/Fm value
0	8.0 c ^z	5.3 d	31.3 a	0.65 a
2	9.2 ab	9.2 bc	33.2 a	0.63 a
4	10.0 a	11.5 a	30.8 a	0.62 a
6	8.6 bc	7.9 c	31.0 a	0.66 a
8	9.8 a	12.1 a	26.0 b	0.66 a
10	9.8 a	11.2 ab	30.0 ab	0.67 a
LSD ($P = 0.05$)	1.1	2.1	4.1	0.09
Significance	L**	NS	L*	Q*

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

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01, respectively. Linear = L, quadratic = Q.

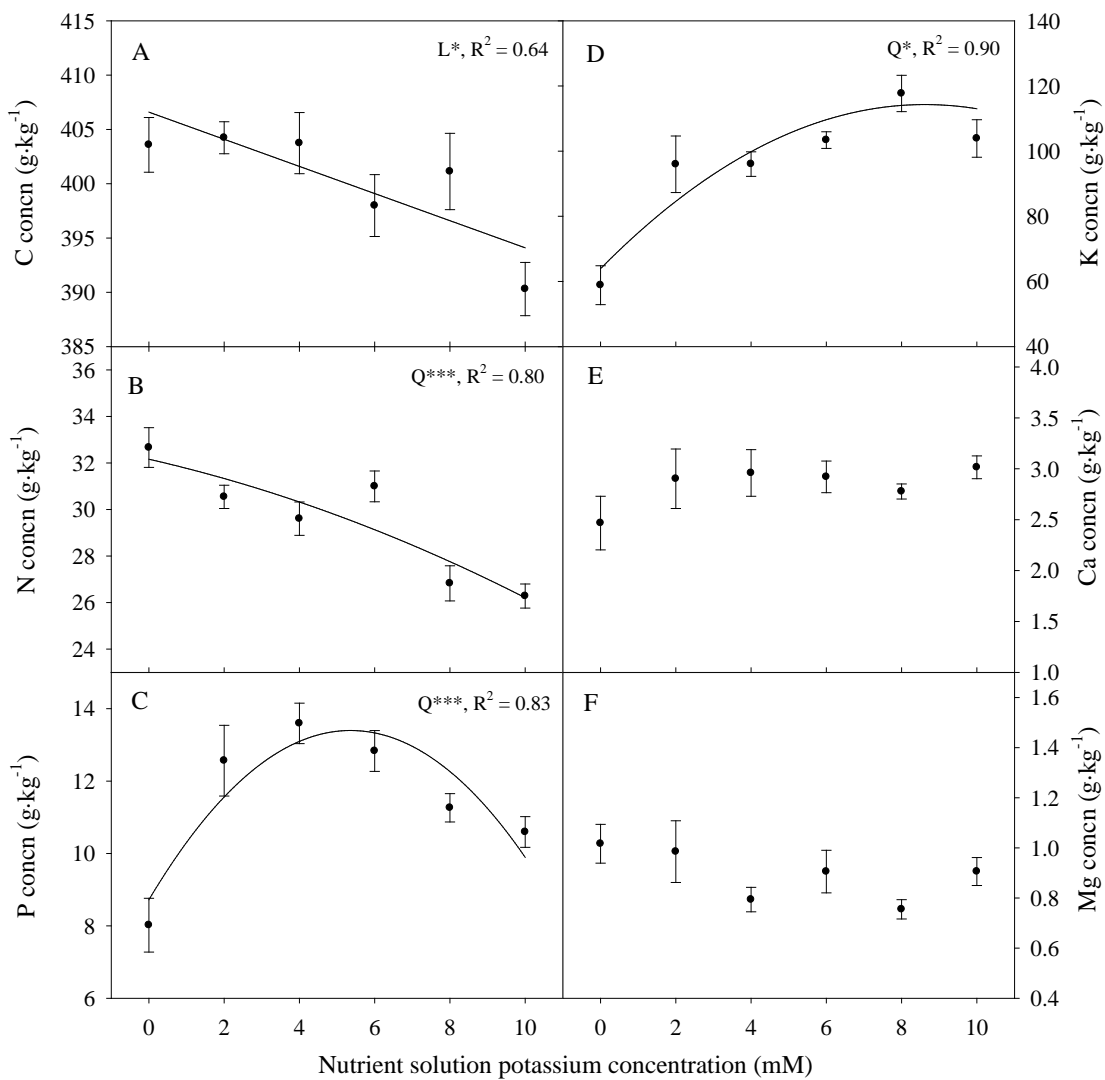


圖 29. 養液鉀濃度對彩葉鳳梨‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’實生穴盤苗植體碳(A)、氮(B)、磷(C)、鉀(D)、鈣(E)和鎂(F)濃度之影響

Fig. 29. Effects of nutrient solution potassium concentration on plant carbon (A), nitrogen (B), phosphorus (C), potassium (D), calcium (E), and magnesium (F) concentrations in *Neoregelia* ‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’ plug seedlings. Bars represent standard error of the mean (n=5).

*,*** Significant at $P < 0.05$ or 0.001 , respectively. Linear = L, quadratic = Q.

討論(Discussion)



彩葉鳳梨種子發芽反應曲線在四個溫度處理下皆呈 S 型曲線，並於播種後 10-20 天間快速發芽(圖 1)。尖萼鳳梨 [*A. bracteata* (SW.) Griseb] 種子發芽曲線亦呈 S 型，播種後集中在 5-15 天間快速發芽(Goode and Allen, 2009)。另有許多作物種子如小麥(Abernethy et al., 1989)、白藜(*Chenopodium quinoa* Willd.; Jacobsen and Bach, 1998)、白花三葉草(*Trifolium repens* L.; Hill and Luck, 1991)、龍葵(*Solanum nigrum* L.; del Monte and Tarquis, 1997)等，種子發芽率亦呈 S 型曲線。

在本試驗中，‘Poney’ × ‘Pink Sensation’、‘Pink Sensation’ × ‘Gold Fever’、‘Gold Fever’ × ‘Tricolor’最大發芽率於 20/15、25/20°C 處理間無顯著差異(表 1)。尖萼鳳梨(*A. bracteata*)種子最大發芽率於 20/16、24/20°C 處理間亦無顯著差異(Goode and Allen, 2009)。三種雜交組合在 25/20、30/25°C 最大發芽率皆大於 80% (表 1)。前人研究指出在原生環境中，尖萼鳳梨(*A. bracteata*)及沙漠鳳梨[*Dyckia encholirioides* (Gaudichaud) Mez var. *encholirioides*]於 20-30°C 有較高種子發芽率(Goode and Allen, 2009; Mantovani and Iglesias, 2008)，顯示在 20-30°C 之間，彩葉鳳梨種子可順利發芽。Goode 和 Allen (2009)亦指出在水分充足的情形下，尖萼鳳梨種子在日/夜溫 28/24°C 低蒸氣壓差(Vapour pressure deficit, VPD)的環境下有高於 80%之發芽率。所有參試雜交組合於 35/30 °C 處理下最大發芽率均低於 60% (表 1)。觀賞鳳梨種子在高於 35/27°C 下降低發芽率，其因可能為種子水分散失而致。於高溫缺水環境會降低其種子發芽率及幼苗存活率，因此當胚根突出時宜覆土栽培藉以隔絕高溫乾燥環境(Mantovani and Iglesias, 2008)。


彩葉鳳梨‘Tricolor’與‘Gold Fever’正反交間最大發芽率反應相異，以‘Tricolor’為種子親與‘Gold Fever’雜交所得種子，於 4 個參試溫度下最大發芽率均低於 52% (表 1)。Parton 等人(2001)將兩個尖萼鳳梨屬(*Aechmea*)品種進行正反交，結果顯示正交所得雜交種子有 61%以上的發芽率，然反交之雜交種子發芽率趨近於零。原因可能為花粉管延伸入子房，但無法全部延伸入胚珠中，因而造成低雜交種子數



量及發芽率。

以‘Poney’×‘Pink Sensation’、‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’於日/夜溫 20/15°C 處理者之種子 T₅₀較大(表 2)，顯示過低溫不利於彩葉鳳梨種子胚根伸出。觀賞鳳梨原生於熱帶、亞熱帶潮濕森林環境，若給予尖萼鳳梨(*A. bracteata*) 20°C 以下低溫，亦可觀察到延遲發芽情形(Goode and Allen, 2009)。帝王鳳梨種子於低溫 15/15°C 下有發芽延遲現象，需 50 天方能達 80%發芽率，而於 5°C 處理之種子皆未發芽。低溫延遲種子發芽可能與種子在低溫環境降低生理代謝有關(Pompelli et al., 2006)。三種雜交組合於 25/20、30/25°C 處理間有較低 T₅₀，約 11-14 天(表 2)。帝王鳳梨種子於 30/30°C 處理者亦僅需 14 天即能達 80%發芽率(Mollo et al., 2011)。而在‘Pink Sensation’×‘Gold Fever’、‘Gold Fever’×‘Tricolor’雜交組合中，高溫 35/30°C 亦會延遲種子發芽，顯示過高溫亦不利於彩葉鳳梨種子胚根伸出，然 35/30°C 延遲程度不及 20/15°C(表 2)。


除去發芽率不佳之‘Tricolor’×‘Gold Fever’雜交組合，延用發芽試驗獲得之彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗進行溫度試驗。測量穴盤苗全株淨光合作用速率結果與生長反應趨勢相符，以 15/13、20/15°C 處理者數值偏低(圖 4)。前人研究指出，於原生環境中木柄鳳梨(Griffiths et al., 2006)和尖萼鳳梨(Simth et al., 1986)分別於 15°C 及 12°C 以下光合作用速率較低。低溫影響光合作用速率可能為觀賞鳳梨適應低溫環境的反應；遇低溫逆境時，植物會藉由降低光合作用能力及增加類胡蘿蔔素比例、葉綠組織等反應，適應低溫環境(Verhoeven et al., 1999)。以 25/20、30/35°C 處理之彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗全株淨光合作用速率較高(圖 4)。此結果與前人研究相符；木柄鳳梨(Griffiths et al., 2006)和尖萼鳳梨(Simth et al., 1986)分別於 27°C 及 25°C 有較高光合作用速率。全株淨光合作用速率以 35/30°C 處理者最低，且伴隨較高暗呼吸速率(圖 4)。鶯歌鳳梨及擎天鳳梨在大於 31°C 原生環境中，光合作用速率下降，暗呼吸速率上升(Griffiths et al., 2006; Luttge et al., 1986)，觀賞鳳梨 *Bromelia humilis* Jacq.於 35/30、40/35°C 處理者相較於 25/20、30/25°C 處理者，淨二氧化碳



吸收速率下降，暗呼吸速率提升(Fetene et al., 1990)。食用鳳梨亦有此現象；隨夜溫自 15 提升至 35°C 二氧化碳吸收速率降低，暗呼吸速率提升(Fetene et al., 1990)。光合作用在高溫時降低之原因，可能與高溫時暗呼吸和光呼吸加強，淨光合作用速率因而降低有關(潘和王，2011)。另亦有可能與蒸氣壓差相關；高夜溫具較高蒸氣壓差(vapor pressure deficit, VPD)使植株氣孔導度降低，而減少夜間吸收二氧化碳之物種二氧化碳同化速率(Martin, 1994)。提升蒸氣壓差從 7.46 Pa·kPa⁻¹到 15.49 Pa·kPa⁻¹會降低植株的氣孔導度及蒸散作用，而導致二氧化碳吸收速率降低。此結果亦於氣孔反應對於高蒸氣壓差敏感之 CAM 植物中得到應證(Lange and Medina, 1979；Medina, 1982)。

溫度影響彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗生長結果顯示，15/13、20/15°C 處理者生長緩慢，地上部、地下部乾重、地上部乾重/地下部乾重比值均較低(表 3)。低溫 20/15°C 使擎天鳳梨生長緩慢(林，2006)，鶯歌鳳梨[*Vriesea inflata* (Wawra) Wawra]於 15°C 處理者生長較慢，地上部及地下部乾鮮重較低(Pedroso et al., 2010)，帝王鳳梨在 15/15°C 之低溫環境地上部及地下部乾鮮重較低(Mollo et al., 2011)。本研究中，彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗地上部乾重/地下部乾重比值變化主要因素為地上部乾重改變(表 3)。前人指出植物在低溫下偏好將生物量分配給地下部(Carvalho and Dietrich, 1993)，然帝王鳳梨在 15/15°C 的低溫環境下偏好將生物量分配給地上部，地下部乾重於溫度處理間並無太大變化，推測可能原因為帝王鳳梨地下部主要功能為固定植株，次要功能才是吸收及貯藏養分(Mollo et al., 2011)。而 25/20、30/25°C 處理者生長較快且有較高地上部、地下部乾重，又以 30/25°C 處理者有較高地上部乾重/地下部乾重比值(表 3)。以 25/20°C 處理有利於擎天鳳梨營養生長(林，2006)，28°C 為較適鶯歌鳳梨生長之溫度(Pedroso et al., 2010)，顯示鳳梨類植物大略以 20 至 30°C 為生長適溫，且偏好將生物量分配予地上部(Clarkson et al., 1986)。

葉片生長情形中，以 15/13°C 處理者葉片數、葉面積較低，15/13、20/15°C 處理者葉綠素計讀值較低、葉色偏黃，Fv/Fm 值顯示受溫度逆境(表 4)。帝王鳳梨生長於 15/15°C 下，葉片數、可溶性糖及澱粉含量降低，生長受抑制(Mollo et al., 2011)。




擎天鳳梨(*G. lingulata* L. 'Cherry')於 20/15°C 處理,每月新生葉片數、葉面積、Fv/Fm 值降低,葉色偏黃(林, 2006)。低溫環境中植物會降低代謝速率而減緩生長,然不至死亡。帝王鳳梨於低溫環境下,亦可分析得主要可溶性糖類組成與暖溫栽培者不同,多為具滲透勢調節功能之小分子碳水化合物,可能藉以提供滲透保護、抵抗低溫逆境(Drennan et al., 1993; Klerk and Pumisitapon, 2008)。

彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗於 25/20°C 處理者有較大葉片數、葉面積,25/20、30/25°C 處理者有較大葉綠素計讀值,Fv/Fm 值顯示未受逆境(表 4)。擎天鳳梨 'Cherry' 亦以 25/20°C 搭配 100% 強生氏養液處理有較高葉面積及新生葉片數(林, 2006)。

本研究之彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗於 35/30°C 處理 102 天後即全部葉片枯萎。Chase (1997)提到較低空氣濕度容易造成觀賞鳳梨葉片內捲及葉尖枯萎壞疽,因此應避免過高光度及溫度,並保持較高空氣相對溼度,可減少葉尖焦枯情形的發生。郭(2005)亦指出擎天鳳梨葉片蒸散作用及氣孔導度皆隨溫度提高而增加,植株水分蒸散快速造成高溫下(35/30、30/25°C)葉片尖端發生壞疽。彩葉鳳梨原生於巴西東南部、亞馬遜森林一帶,原生地約為 50%-70% 半遮陰環境(Griffith, 2006),推測彩葉鳳梨屬植株較不耐熱。

將彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗以三種遮光(中午平均光強度分別為 898、561、258 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)搭配四種養液濃度處理進行試驗。測量穴盤苗全株淨光合作用速率,結果顯示全株淨光合作用速率介於 1.0-1.5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (圖 6)。前人研究指出 C₃ 型鳳梨科植物淨光合作用速率介於 1.0-1.5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 間,與 CAM 鳳梨科植物夜間所測得淨二氧化碳吸收速率相似。

遮光程度對彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗全株淨光合作用速率無顯著影響(圖 6)。Martin 等人(1985)指出空氣鳳梨(*Tillandsia usneoides* L.)的淨光合作用速率不受生長光強度影響,擎天鳳梨(*G. monostachia*)淨光合作用速率亦對生長光強度無顯著反應(Smith, 1989)。亦可能為彩葉鳳梨的氣孔對光適應性高或成株彩葉鳳梨為 CAM 型植物,白天氣孔關閉或僅微開所致。



換算光合參數顯示 70%遮光使彩葉鳳梨光飽和點降低(表 6)。C₃型鶯歌鳳梨 (*Vriesea amazonica*、*V. jonghei*)、空氣鳳梨(*T. fendleri*)栽培於低光強度下(200-300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)會有光飽和點降低之情形(Martin, 1985)。許多觀葉植物，如澳洲鴨腳木、波士頓腎蕨、黃金葛等觀葉植物之光飽和點亦隨光馴化程度提升而降低(Pass and Hartley, 1979)。低光環境中，光線為光合作用的主要限制因子，植物藉由改變葉片光合作用生理以適應低光環境(Yamada et al., 2000)。本研究中遮光 20%與 50%處理之光飽和點較高，分別為 526、640 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 6)。前人研究指出 C₃型空氣鳳梨(*T. spiculosa*)光飽和點約為 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、擎天鳳梨(*G. lingulata*)光飽和點則落於 400-500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Medina, 1977)。本研究測得彩葉鳳梨光飽和點約於 500-600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 間，與上述 C₃型空氣鳳梨較為接近。光合參數顯示 70%遮光使彩葉鳳梨光補償點、暗呼吸作用速率降低(表 6)。鳳梨屬(*Bromelia*)觀賞鳳梨於遮光環境下生長，光補償點與暗呼吸作用速率降低，光子利用效能較高(Lichtenthaler et al., 1982)。

於 20%遮光環境，不施肥處理之彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗全株淨光合作用速率較低，但未出現明顯光抑制情形(圖 7)。前人研究指出於高光、低 N 的環境，彩葉鳳梨光合作用速率降低，光子捕獲能力低(Anderson, 1986)，鳳梨屬(*Bromelia*)觀賞鳳梨淨二氧化碳吸收速率亦降低，並可測得葉片中有玉米黃素等葉黃素存在。玉米黃素等葉黃素在非光化學消耗中扮演重要角色，能降低抵達光合作用中心能量的機制，為抵抗光抑制發生的主要途徑，可能在高光、低 N 環境中能緩解光抑制的發生(Demmig-Adams, 1989)。在 20%遮光環境配合施用 200%強生氏養液處理者全株淨光合作用速率較高(圖 7)。前人研究指出彩葉鳳梨於高光、高 N 處理下，光合作用速率較高，推測彩葉鳳梨葉片 N 含量充足時具有光保護作用(Fernandes et al., 2002)。

栽培於 50%與 77%遮光下，彩葉鳳梨生長的合適養液濃度有降低情形，乾物重及葉片生長表現低於高光、重肥處理者，但其他處理間差異不顯著(表 8、9)。在不同遮光下，即使只給予椒草(*Peperomia obtusifolia* L.)少量養液，植株乾鮮重並不

會因此減少，推測可能為椒草生長緩慢；僅於缺 N 處理後 8-10 週可觀察到葉色黃綠(Shen and Seeley, 1983)。推測彩葉鳳梨穴盤苗相對生長速率緩慢，故對不同遮光程度處理下其生長量皆無顯著差異，僅遮光 20% 搭配 200% 強生氏養液處理者生長量表現最佳。

本研究結果顯示遮光與養液濃度兩因子對彩葉鳳梨生長具交互效應，遮光 20% 搭配 200% 強生氏養液處理者地上部、地下部乾重較高(表 8)，且葉片數、葉面積、葉綠素計讀值較大(表 9)。空氣鳳梨(*T. brachycaulos*)於原生環境之高光($720 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)樹冠層中有較高每月新生葉片數(Garcia-Suarez et al., 2003)，彩葉鳳梨亦於高光、高 N 處理者葉片生長表現佳(Fernandes et al., 2002)。顯示鳳梨類植物需要相對較強的光線，但若環境中缺乏生長所需養分，則無法快速生長，因此栽培觀賞鳳梨時應同時注意環境光強度與施用之肥料，以達到最大生長效益。

養液濃度增加使介質溶液 EC 值提升、pH 值下降，遮光程度對溶液 EC 值無顯著影響(表 10)。以 press extraction method 測量，穴盤苗建議的 EC 值在 $0.75\text{-}2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，試驗期間介質溶液 EC 值以各遮光程度搭配施用 100%、200% 強生氏養液處理者符合建議 EC 值。而溶液 pH 值降低，應為根系吸收陽離子釋放出 H^+ 交換，造成根域環境 pH 值下降所致(Schubert and Yan, 1997)。

以含 $0\text{-}32 \text{ mM N}$ 之養液處理 78 天後測量穴盤苗全株光合作用速率，結果顯示隨養液 N 濃度由 0 提高至 $20\text{-}24 \text{ mM}$ ，全株淨光合作用速率增加(圖 9)。前人研究顯示鳳梨屬植物於高 N 環境有較高光合作用速率且對 N 的利用效率較高，有利於葉肉組織生成(Field and Mooney, 1986)。其因可能為高 N 環境中，植株能利用 N 作為光化學電子傳遞鏈的貯池，因而增加最大光合作用能力(Aparicio et al., 1985)。換算光合參數顯示，養液 N 濃度由 0 增加至 $24\text{-}28 \text{ mM}$ 使光飽和點上升，而 N 濃度由 0 增加至 $20\text{-}24 \text{ mM}$ 時最大光合作用速率提升，又由 0 增加至 8 mM N 時暗呼吸作用速率提升(表 11)。鳳梨屬植物於高 N 環境有較高光飽和點、最大光合作用速率、暗呼吸作用速率，且光子利用效能及碳同化速率增加(Field and Mooney, 1986)。而最大光合作用速率與 Rubisco 的活性相關性高達 0.96 (Björkman, 1981)，葉片氮


濃度和 Rubisco 的含量呈正相關(Evans, 1989)，推測隨養液 N 濃度增加，植體 N 濃度提升，Rubisco 的含量及活性上升，有助於彩葉鳳梨光合作用速率之提升。

以 press extraction method 測量，穴盤苗建議的 EC 值在 0.75-2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，試驗期間介質溶液 EC 值皆未超過 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (圖 11A)。而介質溶液 pH 值隨著 N 濃度增加而下降(圖 11B)，應為根系吸收陽離子交換 H^+ 造成介質酸化(Barker and Mills, 1979; Roude *et al.*, 1991; Wang and Konow, 2002; Xu *et al.*, 2002)。

養液 N 濃度由 0 增加至 20 mM 時，地上部乾重隨之提升(圖 12A)。前人研究指出鳥巢鳳梨屬植物(*Nidularium minutum* Mez)於缺 N 環境中，地上部及地下部乾重亦顯著降低(de Andrade and Tamaki, 2016)。然而，本研究顯示養液 N 濃度對地下部乾重無顯著影響(圖 12B)。Kanashiro (2005)指出無論養液 N 濃度高低，尖萼鳳梨屬植物(*Aechmea nudicaulis* L.)根部生長量皆低，作者推測附生性的 *A. nudicaulis* 地下部主要功能為固定植株，次要功能才是吸收及貯藏養分。彩葉鳳梨於原生地，多數著生於樹幹，且其成株葉片聚生成杯狀，可蓄水及收集有機物質供水分、養分需求；有可能根部主要功能為固定植株，故地下部乾重對養液 N 濃度反應不顯著。根冠比隨養液 N 濃度由 0 增加至 20 mM 而下降(圖 12C)。Larcher (2006)研究中顯示充足 N 環境中，植株會優先生長地上部，較少比例分配於地下部組織生長。隨養液 N 濃度增加，對鳥巢鳳梨屬植物地下部乾重、根部數量並無顯著影響。

養液 N 濃度由 0 至 20 mM 時，葉片長度、葉片數及葉綠素計讀值隨之增加(圖 13A、14A-C)。前人研究指出，提升養液 N 濃度使尖萼鳳梨(*A. fasciata*)葉片長度增加，葉色濃綠(Poole and Conover, 1976)。缺 N 環境中，鳥巢鳳梨屬植物(*N. minutum* Mez)葉片數減少，葉色偏黃且有老葉黃化衰老現象，但植株仍存活(de Andrade and Tamaki, 2016)。缺 N 植株老葉黃化與植體葉片 N 優先分配給新葉生長有關(Epstein and Bloom, 2006)。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示植體 N 濃度介於 14-23 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (圖 15B)。目前彩葉鳳梨尚未有植體分析各元素合理濃度標準，參照擎天鳳梨成株葉片植體分析，則葉片組織植體 N 濃度為 17-24 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (林, 2006)，本研究所測得植



體 N 濃度與其相似。Zotz 與 Hietz (2001)指出葉杯型附生觀賞鳳梨不論生育地的養分是否充足，其植體內氮濃度皆很低，推測觀賞鳳梨對養分耐受性高。隨養液 N 濃度增加，植體 N 濃度呈線性提升(圖 15B)。尖萼鳳梨植體 N 濃度亦會隨養液 N 濃度增加而增加，且葉綠素含量亦提升(Prado, 2008)。以 0 mM N 處理之彩葉鳳梨植體 P 濃度較低，其餘處理間無顯著差異(圖 15C)。前人文獻指出觀賞鳳梨可非常有效率地以葉杯吸收 P，且迅速運移至對 P 需求較高的生長中葉片，多餘之 P 則以 phytin 型式貯藏於所有葉片中(Winkler and Zotz, 2009)。另外以抑制 ATP 合成酶之藥劑處理尖萼鳳梨，則葉杯 P 吸收減少 93%，顯示觀賞鳳梨對 P 吸收為一耗能之過程(Winkler and Zotz, 2009)。推測以 0 mM N 處理彩葉鳳梨時，可能因光合作用速率顯著降低(表 11)，使 ATP 生成過程亦受影響，而使 P 吸收減少。養液 N 濃度由 0 增加至 8 mM，植體 Ca 濃度提升，12 至 32 mM N 處理則有下降趨勢(圖 15E)。擎天鳳梨葉片植體素分析中顯示，隨養液 N 濃度提升，葉片 K、Ca 濃度有逐漸降低的趨勢，其因可能為養液配方中銨硝比為 50%， NH_4^+ 與陽離子間產生競爭作用(林，2006)。

以 5 種氮型態比例之養液處理 75 天後測量穴盤苗全株光合作用速率，結果以 25:75、50:50 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 處理者之全株淨光合作用速率較高(圖 17)，光反應曲線與生長表現趨勢一致(圖 20-22)。前人研究顯示當環境中 NH_4NO_3 供給量增加，光合作用速率相較僅有 NO_3^- 或 NH_4^+ 為 N 源者有較高光合作用速率(Geiger et al., 1999)。Aparicio 等人(1985)指出採用氧化態氮源不僅有同化作用產生亦伴隨消耗作用。植物器官能使用氧化態氮陰離子作為電子傳遞鍊的 sink，去除過多的能量及 NO_2^- 或 NH_4^+ ，增加光合作用能力。

隨處理後天數增加，介質 EC 值漸漸累積，且隨養液 NH_4^+ 比例提高，介質溶液 EC 值上升，但處理間無顯著差異(圖 19A)。以 press extraction method 測量穴盤苗，建議 EC 值為 0.75-2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，試驗期間介質溶 EC 值皆未超過 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。以養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例為 75:25、100:0 處理之介質溶液 pH 值隨處理後天數增加而明顯下降至 5.9，其餘處理介質溶液的 pH 值無顯著下降，約為 6.7(圖 19B)。介質溶

液之 pH 值於 75:25、100:0 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 降低，應為根系吸收 NH_4^+ 陽離子，交換釋出 H^+ 造成介質酸化；而 0:100、25:75、50:50 處理者介質溶液 pH 值無顯著下降，可能原因為根系吸收陰離子，伴隨介質中 H^+ 吸收進入細胞所致(Barker and Mills, 1979；Roude *et al.*, 1991；Wang and Konow, 2002；Xu *et al.*, 2002)。

施用 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75、50:50 者全株、地上部乾重較大， $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 0:100、75:25、100:0 者全株、地上部乾重無顯著差異(圖 20A、B)。前人研究指出空氣鳳梨(*T. pohliana*)於 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NH_4NO_3 三種不同 N 源供給下生長，於 NH_4NO_3 有較佳乾鮮重表現。當生長環境中硝酸態氮(nitrate nitrogen, $\text{NO}_3\text{-N}$)及銨態氮(ammonium nitrogen, $\text{NH}_4\text{-N}$)共存時，多數植物會有最高的氮吸收效率(Ku and Hershey, 1997)，生長量增加原因可能為 NO_3^- 能調節植株對 NH_4^+ 的吸收代謝。Endres 與 Mercier (2001)對鶯歌鳳梨、食用鳳梨只施用銨態氮為氮源時，觀察到植株乾重下降，生長受到抑制。Pia 等人(2000)整理許多前人研究，指出銨態氮對植物生育造成不良效應之原因包括：使 pH 值異常，自由銨離子造成毒害，缺乏 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等礦物元素， NH_4^+ 同化作用造成可溶性醣過度消耗使碳水化合物累積受到限制，缺少 NO_3^- 影響滲透調節，減少水分吸收造成缺水等。養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 為 25:75、50:50 者有較佳葉面積表現，其餘處理間則無顯著差異(圖 22B)。推測彩葉鳳梨幼苗偏好吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。前人研究指出以 0:100、25:75、50:50、75:25、100:0 養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 比例處理聖誕紅，隨養液 $\text{NO}_3\text{-N}$ 比例提高，葉面積較大(Scoggins and Mills, 1998)。偏好吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 者尚有三色堇(*Viola tricolor* L.)、蝴蝶蘭(*Phalaenopsis*)等。然僅有 NO_3^- 為唯一 N 源時，鳳梨科植物生長表現並不理想(Nievola *et al.*, 2001)。類似的趨勢於附生蘭科植物研究中亦有出現(Majerowicz *et al.*, 2000)。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示 50:50 養液 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 處理植體 N 濃度較低，25:75、75:25 次之，0:100 較高(圖 23B)。推測可能為 25:75、75:25、0:100 處理之營養生長受到抑制，因而無植體元素稀釋效應，而有較高植體 N 濃度。以 100:0 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 處理之植體 K 濃度較低(圖 23D)。由於 NH_4^+ 及 K^+ 皆屬於陽離子，

在植物養分吸收上會存在競爭關係(Vergutz et al., 2012)，而 100:0 處理之養液中僅有 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，可能因此造成植體 K 濃度較低。

以 6 種養液 K 濃度處理 79 天後測量穴盤苗全株光合作用速率，結果顯示隨養液 K 濃度由 0 提高至 8 mM，全株淨光合作用速率增加，而 10 mM K 處理則降低(圖 25)，光合作用與生長反應相似(圖 28；表 14、15)。前人研究指出 K 離子與光合酵素活性及氣孔運動有重要關聯，K 離子牽涉激發酵素(kinase)、合成酵素(synthase)的活性與細胞滲透勢。缺 K 環境導致光合酵素活性下降，保衛細胞、液胞內部滲透勢降低，而細胞排水降低膨壓，使氣孔關閉，因二氧化碳交換受限而使光合作用速率降低(Prado, 2008)。Farquhar 及 Sharkey (1982)研究中提到 K 離子在氣孔開閉上扮演重要因子；當光合作用速率下降為氣孔因素時，會有氣孔導度、 CO_2 利用效率、最大光合作用速率下降之表現(Comstock and Ehleringer, 1984)。若氣孔因子為淨光合作用速率下降的主要原因，能觀察到細胞間係二氧化碳濃度降低；然而主因若為非氣孔因子造成淨光合作用速率下降，則細胞間係二氧化碳濃度提升(Long and Hallgren, 1985)。

換算光合參數顯示養液 0 和 2 mM K 處理者光補償點、光飽和點、暗呼吸速率較高(表 13)。前人研究指出缺 K 環境使植物呼吸作用增加，固碳能力下降，植體中 C 累積較少而影響植株生長表現(Bednarz et al., 1998)。缺 K 環境亦會造成植株 RuBP 合成酵素及光合蛋白含量降低， CO_2 補償點增加。Ozbun 等人(1965)研究結果顯示缺 K 環境中會有光呼吸增加情形。

以 press extraction method 測量穴盤苗，建議 EC 值為 $0.75\text{-}2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，試驗期間介質溶液 EC 值介於 $1.0\text{-}2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，處理間無顯著差異(圖 27A)，皆未超過 $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。介質溶液的 pH 值隨處理後天數增加而下降(圖 27B)。介質溶液的 pH 值下降應為根系吸收陽離子交換 H^+ 造成介質酸化(Barker and Mills, 1979；Roude *et al.*, 1991；Wang and Konow, 2002；Xu *et al.*, 2002)。然而，隨養液 K 濃度提高，介質溶液 pH 值下降幅度反而較少(圖 27B)，由介質溶液 pH 值下降與陽離子交換有關，推測養液 K 濃度過高時，儘管根域中有充足的 K^+ 可供吸收，但彩葉鳳梨可能反而



減少吸收包括 K^+ 在內的陽離子。

養液 K 濃度由 0 提高至 10 mM 時，地上部及地下部乾重呈上升趨勢，根冠比於處理間則無顯著差異(表 14)。前人研究指出提升養液 K 濃度可使尖萼鳳梨植株較大，葉色較淺(Tavares et al., 2012)。缺 K 則會使 *Nidularium minutum* Mez 乾鮮重下降(de Andrade and Tamaki, 2016)。養液 K 濃度由 0 提高至 6-8 mM 時，葉片長度、長寬比、厚度增加，8 至 10 mM K 處理間葉片長度、長寬比、厚度變化趨緩不再增加(圖 28A、B、D)。隨養液 K 濃度提升，*Aechmea blanchetiana* 地上部及地下部乾重、葉片長度、葉片寬度增加(Tavares and Jocy, 2012)。

另，一般植物缺 K 會有葉先端、邊緣黃點，後漸發展成壞疽之症狀(Epstein and Bloom, 2005)。本研究即使於 0 mM K 處理者亦未觀察到明顯缺 K 症狀(圖 24；表 15)。可能為觀賞鳳梨對低養分環境耐受性強，亦或是處理期間較短，因而未出現明顯的症狀(Bednarz et al., 1998)。此外，本研究所採用之栽培介質為泥炭苔、椰纖及椰土之混合介質，除泥炭苔生產過程可能加入少量肥料外，椰纖類製品可能富含 K，即使於使用前已以清水浸泡清洗，但可能仍有少量殘留，而觀賞鳳梨對低養分環境耐受性強，可能更不易在試驗中觀察到缺鉀症狀。

取樣烘乾並分析植體元素濃度，結果顯示隨養液 K 濃度增加，植體 C、N 濃度呈線性下降(圖 29A、B)。推測可能為隨養液 K 濃度提升，彩葉鳳梨營養生長增加，因而元素受到稀釋而降低。養液 K 濃度對植體 Ca、Mg 影響無顯著影響(圖 29E、F)。然 Botrel 等人(2004)研究指出食用鳳梨葉片中 K 濃度高時，對 Ca、Mg 離子吸收會有競爭或拮抗作用的產生而造成植體 Mg、Ca 濃度降低。





綜合討論與結論(General Discussion and Conclusion)

觀葉植物栽培手冊(Griffith, 2006)及觀賞鳳梨栽培手冊(Anthura, 2004)皆指出，觀賞鳳梨適合栽培溫度介於 13-29°C。本研究顯示不論種子發芽或幼苗生長階段，過低溫或過高溫皆不利生長，以日/夜溫 25/20 及 30/25°C 為較適溫度，與前人所述生長適溫範圍相符(Goode and Allen, 2009; Mantovani and Iglesias, 2008)。種子發芽階段過低溫延遲彩葉鳳梨種子胚根突出(表 2)；過高溫種子可能因水分散失而降低發芽率(表 1; Mantovani and Iglesias, 2008)。幼苗生長階段過低溫光系統 II 受影響而降低全株淨光合作用速率，生長代謝素率低；過高溫暗呼吸作用速率下降光合作用速率降低，不利於生長(圖 4)。

以五種溫度栽培彩葉鳳梨 'Pink Sensation' × 'Gold Fever'，其全株淨光合作用速率介於 0.5-2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (圖 4)；而在以三種遮光程度搭配四種養液濃度試驗當中，最大光合作用速率介於 0.8-1.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 6、7)；又在養液氮濃度、氮型態、鉀濃度試驗當中最大光合作用速率介於 0.6-1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 11、12、13)。前人研究指出原生環境 C₃型鳳梨科植物葉片光合作用速率介於 1.0-1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，均較一般 C₃植物低(Griffiths et al., 1986)，本研究測得最大光合作用速率與其相符。所有試驗皆以 25/20°C 栽培，故若給予適當栽培管理，彩葉鳳梨幼苗最大光合作用速率皆介於此範圍。試驗雖於不同月份進行，然平均光強度均不會低於 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；而遮光與養液濃度試驗中顯示，遮光程度對全株淨光合作用速率無顯著影響(圖 6、7)，最大光合作用速率僅以 77% 遮光(258 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)處理者較低，推測因此不同試驗間，適合彩葉鳳梨生長之處理其最大光合作用速率差異不大。遮光與養液濃度試驗指出高光搭配重肥可使彩葉鳳梨生長表現佳(表 8、9)，故彩葉鳳梨栽培光強度不宜太低。

養液氮濃度試驗中顯示，合適養液氮濃度介於 20-24 mM (圖 12)；遮光與養液濃度試驗中，於 20% 遮陰下，100% 強生氏養液所含氮濃度為 16 mM，低於養液氮濃度試驗所指出之合適養液氮濃度範圍，而 200% 強生氏養液處理者，養液氮濃度

已達 32 mM，於氮濃度試驗中此 N 濃度已達飽和反應，故以 200% 強生氏養液濃度較 100% 處理者會有較佳生長表現。

養液鉀濃度試驗中顯示合適養液鉀濃度介於 6-8 mM，隨養液鉀濃度提升，植體氮濃度下降(圖 29)、最大光合作用速率上升(表 13)，而鉀濃度試驗所用養液鉞硝比例為 50:50。推測養液 K 濃度提高時，與同為陽離子之 NH_4^+ 間會產生競爭或拮抗反應，導致氮吸收量下降，而使植體氮濃度較低，葉片 SPAD-502 讀值下降、葉片較黃(圖 14、15)。養液氮型態試驗中顯示彩葉鳳梨幼苗偏好吸收硝態氮，以 25:75 鉞硝比為佳(圖 20)。缺氮會使幼苗乾重及葉片生長表現較差，故提升養液鉀濃度時宜同時提高養液中硝態氮比例，使幼苗吸收鉀離子同時亦能有足夠的氮供應。

綜合上述試驗結果，彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗自本葉展開時，建議栽培於 25/20°C，光強度 $800-900 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 環境，每週施 20-24 mM N，且 $\text{NO}_3\text{-N}$ 比例應大於 50%；6-8 mM K 1 次，能使彩葉鳳梨雜交實生穴盤苗有較高的光合作用速率和較大的乾物重與葉片生長量。

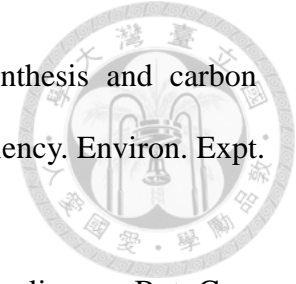
觀賞鳳梨栽培手冊(Anthura, 2004)對總體觀賞鳳梨提出之養液配方中含氮濃度 9.4 mM、鉀濃度 3.6 mM。養液鉞硝比例約為 1:4。相較於本研究合適養液氮濃度及鉀濃度偏低，養液鉞硝比大致相符。栽培手冊內建議彩葉鳳梨栽培光強度約於 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，可能因此養液中氮、鉀濃度偏低，然若增加光強度與養液氮、鉀濃度有助於加速彩葉鳳梨幼苗營養生長，且並非所有觀賞鳳梨皆偏好吸收硝態氮，前人研究提及鶯歌鳳梨較偏好吸收鉞態氮(Nievola et al., 2001)，故養液鉞硝比例應依照不同觀賞鳳梨給予適當調整。

目前臺灣有育種者及業者投入觀賞鳳梨雜交育種，若能提供適當栽培環境資訊，能加速觀賞鳳梨實生苗生長，縮短育苗時間，有助於提升臺灣觀賞鳳梨產業發展。

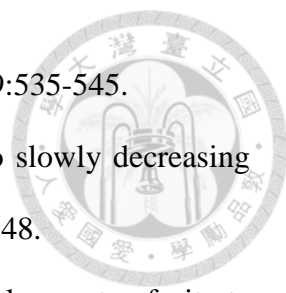
參考文獻(References)

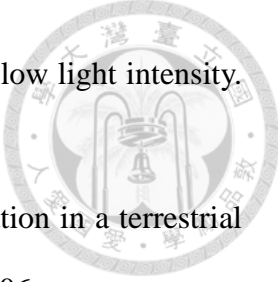



- 阮育雄. 2003. 鳳梨外銷中國大陸之潛力與策略. 臺灣花卉園藝 193:16-20.
- 林昭儀. 2006. 遮光、溫度與無機養分對擎天鳳梨‘Cherry’生長之影響. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 臺北.
- 林嘉洋. 2006. 耐熱矮牽牛之耐熱性與耐熱指標. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 臺北.
- 郭倩妤. 2005. 硼、氯化鈉、儲運、溫度與澆水頻率對擎天鳳梨葉片生長與產後品質之影響. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 臺北.
- 陳柏文. 2005. 彩葉屬(*Neoregelia*)、鶯歌屬(*Vriesea*)及空氣屬(*Tillandsia*)觀賞鳳梨組織培養器官發生與體胚發生之研究. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 臺北.
- 陳祈男、葉德銘、林宗賢. 2011. 化學藥劑處理改善擎天鳳梨盆花貯後品質之效果. 臺灣園藝 57:183-195.
- 楊子億. 2014. 2012年與2013年高雄花市盆花交易品前10大銷售排行概況. 臺灣花卉園藝 328:59-62.
- Abernethy, R.H., D.S. Thiel, N.S. Petersen, and K. Helm. 1989. Thermotolerance is developmentally dependent in germinating wheat seed. *Plant Physiol.* 89:569-576.
- Adams, W.W. and C.E. Martin. 1986. Morphological changes accompanying the transition from juvenile (atmospheric) to adult (tank) forms in the Mexican epiphyte *Tillandsia deppeana* (Bromeliaceae). *Amer. J. Bot.* 73:1207-1214.
- Anthura. 2004. *Cultivation Guidelines Bromeliad*. Anthura, Holland.
- Aparicio, P.J., M.P. Azuara, A. Ballesteros, and V.M. Fernández. 1985. Effects of light intensity and oxidized nitrogen sources on hydrogen production by *Chlamydomonas reinhardtii*. *Amer. Soc. Plant Biol.* 78:803-806.
- Barker, A. and H.A. Mills. 1979. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural plants. *Hort. Rev.* 1:395-423.

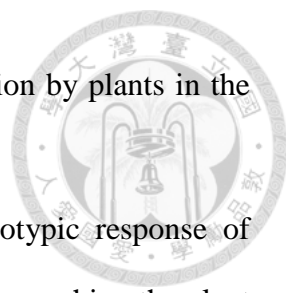


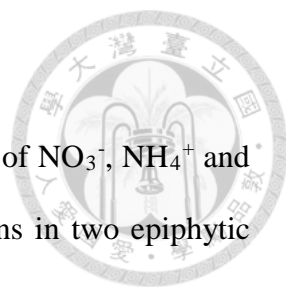
- Bednarz, C., D. Oosterhuis, and R. Evans. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. *Environ. Expt. Bot.* 39:131-139.
- Benzing, D.H. and A. Renfrow. 1974. The mineral nutrition of Bromeliaceae. *Bot. Gaz.* 135:281-288.
- Benzing, D.H., K. Henderson, B. Kessel, and J. Sulak. 1976. The absorptive capacities of bromeliad trichomes. *Amer. J. Bot.* 63:1009-1014.
- Bolhar-Nordenlampf, H., S. Long, N. Baker, G. Oquist, U. Schreiber, and E. 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.
- Botrel, N., L.F.S. Souza, A.G. Soares, V.F. Medina, and S.C. Freitas. 2004. Influência do potássio na suscetibilidade ao escurecimento interno do abacaxi 'Pérola' (*Ananas comosus* L.). *Rev. Iber. Tec. Postc.* 6:17-23.
- Cambuí, C.A., M. Gaspar, and H. Mercier. 2009. Detection of urease in the cell wall and membranes from leaf tissues of bromeliad species. *Physiol. Plant.* 136:86-93.
- Carvalho, M.A., S. de Machado, and M.C. Dietrich. 1993. Variation in fructan content in the underground organs of *Vernonia herbacea* (Veil.) Rusby at different phenological phases. *New Phytol.* 123:735-740.
- Castro-Hernandez, J.C., J.H.D. Wolf, J.G. Garcia-Franco, and M. Gonzalez-Espinosa. 1999. The influence of humidity, nutrients and light on the establishment of the epiphytic bromeliad *Tillandsia guatemalensis* in the highlands of Chiapas, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 47:763-773.
- Chase, A.R. 1997. Foliage plant diseases: Diagnosis and control. The American Phytopathological Society, USA.
- Clarkson, D.T., M.J. Hopper, and L.H.P. Jonse. 1986. The effect of root temperature on uptake of nitrogen and the relative size of the root system in *Lolium perenne*. I.

- 
- Solutions containing both NH_4^+ and NO_3^- . *Plant Cell Environ.* 9:535-545.
- Comstock, J. and J.L. Ehleringer. 1984. Photosynthetic response to slowly decreasing leaf water potentials in *Encelia frutescens*. *Oecologia* 61:241-248.
- Crawford, N.M. and A.D. Glass. 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends Plant Sci.* 3:389-395.
- del Monte, J.P. and A.M. Tarquis. 1997. The role of temperature in the seed germination of two species of the *Solanum nigrum* complex. *J. Expt. Bot.* 48:2087-2093.
- Demig-Adams, B. 1989. Lichtstre und Lichtschutz bei Pflanzen. *Naturwissenschaften* 76:262-267.
- Drennan, P., M. Simth, D. Goldsworthy, and J. Stasen. 1993. The occurrence of trehalose in the leaves of the desiccation tolerant angiosperm *Myrothamnus flabellifolius* Welw. *Plant Physiol.* 142:493-496.
- du Preez, D. and G. Bate. 1989. A simple method for the quantitative recovery of nitrate-N during Kjeldahl analysis of dry soil and plant samples. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 20:345-357.
- Endres, L. and H. Mercier. 2001a. Ammonium and urea as nitrogen sources for bromeliads. *J. Plant Physiol.* 158:205-212.
- Endres, L. and H. Mercier. 2001b. Influence of nitrogen forms on the growth and nitrogen metabolism of bromeliads. *J. Plant Nutr.* 24:29-42.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Sinauer Associates, USA.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C_3 plants. *Oecologia* 78:9-19.
- Farquhar, G.D. and T.D. Sharkey, 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 33:317-345.
- Fernandes, J., R.M. Chaloub, and F. Reinert. 2002. Influence of nitrogen supply on the

- 
- photoprotective response of *Neoregelia cruenta* under high and low light intensity. *Funct. Plant Biol.* 29:757-762.
- Fetene, M., H.S.J. Lee, and U. Lüttge. 1990. Photosynthetic acclimation in a terrestrial CAM bromeliad: *Bromelia humilis* Jacq. *New Phytol.* 114:399-406.
- Field, C. and H.A. Mooney. 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants, p. 25-55. In: T.J. Givnish (ed.). *On the economy of plant form and function.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Geiger, M., V. Haake, F. Ludewig, U. Sonnewald, and M. Stitt. 1999. The nitrate and ammonium nitrate supply have a major influence on the response of photosynthesis, carbon metabolism, nitrogen metabolism and growth to elevated carbon dioxide in tobacco. *Plant Cell Environ.* 22:1177-1199.
- Goode, L.K. and M.F. Allen. 2009. Seed germination conditions and implications for establishment of an epiphyte, *Aechmea bracteata* (Bromeliaceae). *Plant Ecol.* 204:179-188.
- Griffith, L.P. 2006. *Tropical foliage plants: A grower's guide.* Ball publishing, USA.
- Hill, M.J. and R. Luck. 1991. The effect of temperature on germination and seedling growth of temperate perennial pasture legumes. *Aust. J. Agr. Res.* 42:175-189.
- Inselsbacher, E., C.A. Cambui, A. Richter, C.F. Stange, and H. Mercier. 2007. Microbial activities and foliar uptake of nitrogen in the epiphytic bromeliad *Vriesea gigantea*. *New Phytol.* 175:311-320.
- Jacobsen, S.E. and A.P. Bach. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Sci. Technol.* 26:515-523.
- Jia, Y., X. Yang, E. Islam, and Y. Feng. 2008. Effect of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient and efficient genotypes of rice. *J. Plant Nutr.* 31:2105-2118.
- Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer, and A.B. Carlton. 1957. Comparative chlorine

- 
- requirements of different plant species. *Plant Soil*. 4:337-353.
- Kanashiro, S. 2005. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and the in vitro growth of *Aechmea blanchetiana* (Backer) L.B. Smith plantlets. Universidade de São Paulo, Piracicaba, PhD Diss.
- Khamis, S., T. Lamaze, Y. Lemoine, and C. Foyer. 1990. Adaptation of the photosynthetic apparatus in maize leaves as a result of nitrogen limitation relationships between electron transport and carbon assimilation. *Plant Physiol*. 94:1436-1443.
- Klerk, G.J., and P. Pumisitapon. 2008. Protection of in vitro grown *Arabidopsis* seedlings against abiotic stress. *Plant Cell Tiss. Organ Cult*. 95:149-154.
- Ku, C.S.M. and D.R. Hershey. 1997. Growth response, nutrient leaching and mass balance for potted poinsettia. I. Nitrogen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 122:452-458.
- Lange, O.L. and E. Media. 1979 Stomata of the CAM plant *Tillandsia recurvate* respond directly to humidity. *Oecologia* 40:357-363.
- Li, X.T., P. Cao, X.G. Wang, M.J. Cao, and H.Q. Yu. 2011. Comparison of gas exchange and chlorophyll fluorescence of low-potassium-tolerant and -sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars under low-potassium condition. *Photosynthetica* 49:633-636.
- Lichtenthaler, H. K., G. Kuhn, U. Prenzel, C. Bushman, and D. Meier. 1982. Adaptation of chloroplast ultra-structure and of chlorophyll protein levels to high light and low light growth conditions. *Zeitschrift für Naturforschung* 37:464-475.
- Lima, J., P. Mosquin, and F. Da Matta. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. *Photosynthetica* 37:113-121.
- Lin, C.Y. and D.M. Yeh. 2008. Potassium nutrition affects leaf growth, anatomy and macrolelements of *Guzmania*. *HortScience*. 43:146-148.

- 
- Long, S.P. and J.E. Hallgren. 1985. Measurement of CO₂ assimilation by plants in the field and laboratory. Tech. Bioprod. Photosyn. 4:62-94.
- Luciana, C.C., D.R. de Almeida, and C.F.D. Rocha. 1998. Phenotypic response of *Neoregelia johannis* (Bromeliaceae) dependent on light intensity reaching the plant microhabitat. Selbyana 19:240-244.
- Luttge, U., K.H. Stimmel., J.A.C. Smith., and H. Griffiths. 1986. Comparative ecophysiology of CAM and C₃ bromeliads. II. Field measurements of gas exchange of CAM bromeliads in the humid tropics. Plant Cell Environ. 9:377-383.
- Majerowicz, N., G.B. Kerbauy, C.C. Nievola, and R.M. Suzuki. 2000. Growth and nitrogen metabolism of *Catasetum fimbriatum* (Orchidaceae) grown with different nitrogen sources. Environ. Expt. Bot. 44:195-206.
- Mantovvain, A. and R.R. Iglesias. 2008. Factors limiting seed germination of terrestrial bromeliads in the sandy coastal plants of Marica, Rio de Janeiro, Brazil. Rodriguesia 59:135-150.
- Martin, C.E. 1994. Physiological ecology of the Bromeliaceae. Bot. Rev. 60:1-82.
- Martin, C.E., K.W. McLeod, C.A. Eades, and A.F. Pitzer. 1985. Morphological and physiological responses to irradiance in the CAM epiphyte *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae). Bot. Gaz. 146:489-494.
- Maxwell, K., J.L. Marrison, R.M. Leech, H. Griffiths, and P. Horton. 1999. Chloroplast acclimation in leaves of *Guzmania monostachia* in response to high light. Plant Physiol. 121:89-95.
- Medina, E. 1982. Physiological ecology of neotropical savanna plants. Ecol. Trop. Savannas 42:308-335.
- Medina, E., M. Delgado, J.H. Troughton, and J.D. Medina. 1977. Physiological ecology of CO₂ fixation in Bromeliaceae. Flora 166:137-152
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th. ed. Kluwer

- 
- Academic Publishers, MA., U.S.A.
- Mercier, H., G.B. Kerbauy, B. Sotta, and E. Miginiac. 1997. Effects of NO_3^- , NH_4^+ and urea nutrition on endogenous levels of IAA and four cytokinins in two epiphytic bromeliads. *Plant Cell Environ.* 20:387-392.
- Nadkarni, N.M. and R.B. Primack. 1989. The use of gamma spectrometry to measure within-plant nutrient allocation of a tank bromeliad, *Guzmania lingulata*. *Selbyana* 11:22-25.
- Nievola, C.C., H. Mercier, and N. Majerowicz. 2001. Levels of nitrogen assimilation in bromeliads with different growth habits. *J. Plant Nutr.* 24:1387-1398.
- Ozbun, J.L., R.J. Volk, and W.A. Jackson. 1965. Effect of potassium deficiency on photosynthesis, respiration and the utilization of photosynthetic reductant by immature bean leaves. *Crop Sci.* 5:69-75.
- Parkhurst, R.W. 2000. The book of bromeliads and Hawaiian tropical flowers. Pacific Isle Publish, U.S.A.
- Parton, E., I. Vervaeke, R. Deroose, and M.P. de Proft. 2001. Interspecific and intergeneric fertilization barriers in Bromeliaceae. *Acta. Hort.* 552:43-53.
- Pedroso, A.N.V., R.A. de Lazarin, V. Tamaki, and C.C. Nievola. 2010. In vitro culture at low temperature and ex vitro acclimatization of *Vriesea inflata*, an ornamental bromeliad. *Rev. Brasil Bot.* 33:407-414.
- Pia, W.L., N. Günter, B. Fritz, and E. Christof. 2000. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. *J. Expt. Bot.* 51:227-237.
- Pierce, S., K. Winter, and H. Griffiths. 2002. Carbon isotope ratio and the extent of daily CAM use by Bromeliaceae. *New Phytol.* 156:75-83.
- Pompelli, M.F., D. Fernandes., and M.P. Guerra. 2006. Germination of *Dyckia encholirioides* (Gaudichaud) Mez var. *encholirioides* under saline conditions. *Seed Sci. Technol.* 34:759-763.



- Prado, R.M. 2008. Plant nutrition. São Paulo.
- Reich, A., J.J. Ewel, and N.M. Nadkarni. 2003. Nitrogen isotope ratios shift with plant size in tropical bromeliads. *Oecologia* 137:587-590.
- Reidl, R. 1990. Origin, distribution and ecology. In: B.E. Williams and I. Hodgson (eds.). *Growing bromeliads*. Timber Press, Portland, U.S.A.
- Richardson, B.A., M.J. Richardson, F.N. Scatena, and W.H. McDowell. 2000. Effects of nutrient availability and other elevational changes on bromeliad populations and their invertebrate communities in a humid tropical forest in Puerto Rico. *J. Trop. Ecol.* 16:167-188.
- Roude, N., T.A. Nell, and J.E. Barrett. 1991. Nitrogen source and concentration, growing medium, and cultivar affect longevity of potted chrysanthemums. *HortScience* 26:49-52.
- Schubert, S. and F. Yan. 1997. Nitrate and ammonium nutrition of plants: Effects on acid/base balance and adaptation of root cell plasmalemma H⁺ATPase. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 160:275-281.
- Scoggins, H.L. and H.A. Mills. 1998. Poinsettia growth, tissue nutrient concentration, and nutrient uptake as influenced by nitrogen form and stage of growth. *J. Plant Nutr.* 21:191-198.
- Scoggins, H.L., D.A. Bailey, and P.V. Nelson. 2002. Efficacy of the press extraction method for bedding plant plug nutrient monitoring. *HortScience* 37:108-112.
- Shen, G.W.H. and J.G. Seeley. 1983. The effect of shading and nutrient supply on variegation and nutrient content of variegated cultivars of *Peperomia obtusifolia*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:429-433.
- Smith, J.A.C., H. Griffiths., and U. Luttge. 1986. Comparative ecophysiology of CAM and C₃ bromeliads. I. The ecology of the Bromeliaceae in Trinidad. *Plant Cell Environ.* 9:359-376.

Smith, J.A.C. 1989. Epiphytic Bromeliads, p.109-138. In: L. Ulrich (ed.). Vascular plants as epiphytes. Springer-Verlag, Berlin.

Tavares, A.R., S. Kanashiro, T. Jocys, R.C.S. Ribeiro, and A.N. Gonçalves. 2012. Effect of potassium on growth and nutrients contents in ornamental bromeliad cultured in vitro. *Acta Hort.* 938:315-320.

Vergutz, L., S. Manzoni, A. Porporato, R.F. Novais, and R.B. Jackson. 2012. Global resorption efficiencies and concentrations of carbon and nutrients in leaves of terrestrial plants. *Ecol. Monogr.* 82:205-220.

Verhoeven, A.S., W.W. Adams, and B.A. Demmig. 1999. The xanthophyll cycle and acclimatization of *Pinus ponderosa* and *Malva neglecta* to winter stress. *Oecologia* 18:277-287.

Wang, Y.T. and E.A. Konow. 2002. Fertilizer source and medium composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid moth orchid. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:442-447.

Williams, B.E. and I. Hodgson. 1990. Growing bromeliads. Christopher Helm, London.

Winkler, U. and G. Zotz. 2009. Highly efficient uptake of phosphorus in epiphytic bromeliads. *Ann. Bot.* 103:477-484.

Xu, G., S. Wolf, and U. Kafkafi. 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *J. Plant Nutr.* 25:719-734.

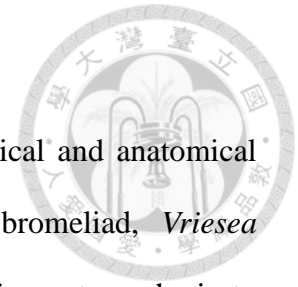
Yamada, T., T. Okuda, M. Abdullah, M. Awang, and A. Furukawa. 2000. The leaf development process and its significance for reducing self-shading of a tropical pioneer tree species. *Oecologia* 125:476-482.

Zhao, D.L., D.M. Oosterhus, and C.W. Bednarz. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39:103-109.

Zotz, G. and P. Hietz. 2001. The physiological ecology of vascular epiphytes: Current

knowledge, open questions. J. Expt. Bot. 52:2067-2078.

Zotz, G., A. Enslin, W. Hartung, and H. Ziegler. 2004. Physiological and anatomical changes during the early ontogeny of the heteroblastic bromeliad, *Vriesea sanguinolenta*, do not concur with the morphological change from atmospheric to tank form. Plant Cell Environ. 27:1341-1350.



附錄(Appendix)



附錄 1. 強生氏養液配方

Appendix 1. Composition of Johnson's solution.

Chemical composition	Full strength (mM)
Macro nutrient	
KNO ₃	6
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	4
NH ₄ H ₂ PO ₄	2
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1
Micro nutrient	
KCl	0.05
H ₃ BO ₃	0.025
MnSO ₄ · H ₂ O	0.005
Fe-EDTA	0.004
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.002
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.0005
H ₂ MoO ₄	0.0001

附錄 2. 氮濃度試驗巨量元素之養液配方

Appendix 2. Composition of major elements for nitrogen concentration experiment modified from Johnson's solution.

Chemical composition	Nitrogen concentration (mM)								
	0.0	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0
NH ₄ NO ₃	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0
NaH ₂ PO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
K ₂ SO ₄	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
MgSO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CaSO ₄	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

^z All nutrient solutions contained micronutrients in the following concentration (μM): Ni, 0.05; Mn, 2.5; Zn, 1; Cu, 0.25; Mo, 0.05; Fe, 2; Na 4.

附錄 3. 氮型態比例試驗巨量元素之養液配方

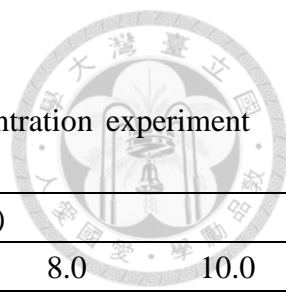
Appendix 3. Composition of major elements for nitrogen form ratio experiment modified from Johnson's solution.

Chemical composition	NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻ (mM)				
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0
NH ₄ NO ₃	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
Ca(NO ₃) ₂	6.0	5.0	5.0	2.5	0.0
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.0	0.0	5.0	7.5	10.0
KNO ₃	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NaH ₂ PO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
K ₂ SO ₄	0.0	4.0	4.0	4.0	4.0
CaSO ₄	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0
MgSO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

^z All nutrient solutions contained micronutrients in the following concentration (μM): Ni, 0.05; Mn, 2.5; Zn, 1; Cu, 0.25; Mo, 0.05; Fe, 2; Na 4.

附錄 4. 鉀濃度試驗巨量元素之養液配方

Appendix 4. Composition of major elements for potassium concentration experiment modified from Johnson's solution.



Chemical composition	Potassium concentration (mM)					
	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
Ca(NO ₃) ₂	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
(NH ₄) ₂ SO ₄	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
NaH ₂ PO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
K ₂ SO ₄	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
MgSO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

^z All nutrient solutions contained micronutrients in the following concentration (μM): Ni, 0.05; Mn, 2.5; Zn, 1; Cu, 0.25; Mo, 0.05; Fe, 2; Na 4.