

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

硼、氯化鈉及儲運對擎天鳳梨葉片生長與產後品質之影響 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2313-B-002-072-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學園藝學系暨研究所

計畫主持人：葉德銘

計畫參與人員：碩士級-專任助理：郭倩妤

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年07月06日

摘要

施以 0、1 或 3 mg·L⁻¹ 硼酸之擎天鳳梨‘Cherry’老葉並無壞疽，但 5 mg·L⁻¹ 以上的硼酸，會使老葉葉尖壞疽面積、壞疽葉片數、內捲葉片數增加，且株高及葉綠素計讀值均下降。每週施以 10 mg·L⁻¹ 硼酸，經 6 月後全葉中含 200 μg·g⁻¹ 硼，以葉尖濃度最高，葉片基部最低。葉片不同部位之葉綠素螢光值與葉綠素計讀值呈直線正相關，且硼酸濃度與葉片壞疽長度間呈直線正相關。以 40% 遮光之擎天鳳梨‘Cherry’葉色淺綠，生長勢、蒸散作用速率及氣孔導度均較 76% 處理者高。在 40% 及 76% 遮光下，分別以 0、1 或 3 mg·L⁻¹ 硼酸處理者，綠色薄壁細胞中的葉綠體呈綠色，5 mg·L⁻¹ 硼酸處理者則為褐色。綠色薄壁組織以遮光率 76% 之處理者厚度較薄。隨著硼酸濃度的增加，葉長、壞疽長度、壞疽及反捲葉片數均增加。以 76% 遮光率配合 5 mg·L⁻¹ 硼酸，擎天鳳梨‘Cherry’壞疽葉片數最多且增加之葉數最少。每週施以 0 mM 氯化鈉，經 6 個月後，擎天鳳梨‘Cherry’植株老葉葉尖未出現壞疽，但 10、20 及 50 mM 氯化鈉處理者，老葉均出現葉尖壞疽的症狀。地上部乾重及葉片數均以 0 mM 氯化鈉處理者最高，而 50 mM 氯化鈉處理者植株地上部乾重最低。隨著氯化鈉濃度的增加，擎天鳳梨‘Cherry’葉片蒸散作用速率及氣孔導度均下降，但介質淋洗液之 EC 值、壞疽葉片數及葉片中之鈉濃度均上升。葉片基部鈉濃度高於葉尖及葉片中段。內捲葉片以 10 mM 氯化鈉處理者最多。

擎天鳳梨‘Cherry’正常葉片外觀為深綠色且無壞疽，硼毒害及氯化鈉毒害之葉片，葉尖均有壞疽。硼毒害之症狀為葉尖呈黃褐色乾燥狀，壞疽的葉尖與綠色的葉基中央有一黃色條帶，葉尖壞疽面積佔整片葉面積約 1/3 – 1/2。氯化鈉鹽害之葉片，葉尖呈黑褐色，壞疽的葉尖與綠色的葉基中央有一黃色條帶，鹽害嚴重者整片均會褐化。正常的葉片其綠色薄壁細胞中葉綠體呈綠色，硼毒害及氯化鈉鹽害之葉片，綠色薄壁細胞中葉綠體均呈褐色，但氯化鈉鹽害之葉片，靠近下表皮之儲水組織有萎縮的情形。

Summary

Guzmania ‘Cherry’ treated with 0, 1, or 3 ppm boric acid did not produce any necrotic old-leaves, but necrotic leaf area increased, necrotic and curled leaves increased, plant height and CMR value decreased while 5 ppm or higher boric acid concentration was applied. Plants treated with 10 ppm boric acid for 6 months contained 200 ppm B in single whole leaf. Maximum B concentration was measured in leaf tip but minimum in leaf base. A linear relationship existed between Fv/Fm and CMR value. There was also a linear relationship between boric acid concentration and leaf necrotic length.

Guzmania 'Cherry' were observed better growth under 40% than 76% shading by lighter green leaves, higher transpiration rate and stomatal conductivity. Plants treated with 0, 1, or 3 ppm boric acid had green chloroplasts in chlorenchyma, while plants treated with 5 ppm boric acid exhibited brown chloroplasts in chlorenchyma ether under 40% or 76% shading. Chlorenchyma cells were thinner under 76% than 40% shading treatment. Leaf length, necrotic leaf length, necrotic and curled leaf number increased as boric acid concentration increased. *Guzmania* 'Cherry' treated with 76% shading and 5 ppm boric acid reduced leaf initiation and produced highest necrotic leaf number.

Guzmania 'Cherry' treated with 0 mM sodium chloride for 6 month did not produce any necrotic old-leaves, but plants treated with 10, 20, or 50 mM sodium chloride did. Plants at 0 mM NaCl had maximum shoot dry weight and leaf number, while those at 50 mM NaCl had minimum shoot dry weight. As solution NaCl concentration increased, transpiration rate and stomatal conductivity decreased but medium EC, necrotic leaf number, leaf Na concentration increased. Leaf base Na concentration was higher than tip or middle leaf portions. Plants at 10 mM NaCl produced most curled leaves.

For *Guzmania* 'Cherry', healthy leaves showed dark green appearance without necrosis, while boron toxic or sodium chloride injured leaves showed leaf-tip necrosis. Boron toxic leaves of expressed with leaf-tip drying and browning symptoms. There was a yellow band between necrotic and green leaf portion. The necrosis was from 1/3 to 1/2 area of whole leaf. Leaf tip browning was caused by NaCl injury, and there was also a yellow bend between necrotic and green leaf portion. Whole leaf would exhibit necrosis under serious NaCl injury. Green chloroplasts in chlorenchyma were observed in healthy leaves, while brown chloroplasts were seen in leaves under boron toxicity or NaCl injury. Water storage tissue above hyperdermis exhibited dehydration in leaves under excessive sodium chloride.

關鍵詞：葉片形態、硼毒害、鹽害、遮陰

前言與研究目的

擎天鳳梨屬 (*Guzmania*) 為台灣栽培最多之觀賞鳳梨，產地集中在高雄及屏東地區 (阮, 2003)。由於該地區多以地下水作為灌溉水之來源，根據 2003 年行政院環保署環境水質監測年報顯示，地下水中常富含可溶性鹽類，如氯鹽、硫酸鹽、硝酸氮、銨態氮等，當鹽類濃度過高常導致灌溉水及介質電導度值 (EC) 上升。若長期使用高 EC 值的水灌溉觀賞鳳梨，容易造成植株老葉葉尖褐化焦枯 (Griffith, 2002)。另外，台灣地區栽培擎天鳳梨主要以椰纖為介質，由於某些地區生產之椰纖中常含有高濃度之 K^+ 、 Cl^- 、 Na^+ 等鹽類 (Evans et al., 1996)，若是使用前浸泡不完全容易造成 EC 值過高而使植株出現鹽害的症狀。Griffith (2002) 也指出，大部分鳳梨科植物對於 Cl^- 與 Na^+ 敏感，當該兩種離子濃度過高時會造成植株老葉葉尖及葉緣壞疽。

Griffith (2002) 觀察指出，擎天鳳梨屬之植物對於過量的硼敏感；根據荷蘭觀賞鳳梨種苗公司 Corn Bak 指出，當硼濃度過高時常會造成擎天鳳梨葉尖焦枯而降低盆花品質。硼在植物體內會隨著蒸散流在木質部中移動並累積於葉尖或葉緣，一般植物葉片發生毒害之硼濃度為 $85-100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，其症狀包括葉尖黃化、葉尖壞疽等，若無即時校正硼毒害的情形，植株會發生葉片捲曲等現象 (Gilliam 和 Smith, 1982)。至今尚未有科學性研究指出觀賞鳳梨對硼及氯化鈉濃度的忍受範圍，因此本計畫擬探討硼與氯化鈉對擎天鳳梨 'Cherry' 葉片形態與生理之影響，並比較此二生理障礙症狀之異同。

研究材料與方法

試驗一、高濃度的硼與氯化鈉對擎天鳳梨葉片形態與生理影響

植株選擇 *Guzmania* 'Cherry' 未抽花植株，具有 25 片完全展開葉，依生長栽培條件定植於直徑 13 cm (容積 0.9 L) 之塑膠盆中，盆內盛以粒徑 1-2 cm 椰塊，置於台灣大學園藝分場之簡易遮雨棚，其內搭設兩層遮光率 50% 之黑色遮陰網。

本試驗採完全隨機設計，共計 7 種處理，分別為 3 種硼酸 (H_3BO_3) 濃度 (0、10 或 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 與 4 種氯化鈉 ($NaCl$) 濃度 (0、20、40 或 100 mM)。每一處理重複 6 株，每株每星期施用一次 500 mL 經修改之 Johnson's 養液 (1957)。試驗一個月後，測量最上方完全展開葉 (由頂端數來第 5 及第 6 片葉) 之蒸散作用速率及氣孔導度、葉綠素計讀值。並利用徒手切片觀察 0 mM 氯化鈉處理者 (正常葉片) 距葉尖 3 cm 處， $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸處理者 (硼毒害) 及 50 mM 氯化鈉處理者 (氯化鈉鹽害) 之葉片尖端黃色區域。試驗結束時調查每株植株之壞疽葉片數、內捲葉片數、壞疽總葉面積、葉面積、介質淋洗液之 EC 值及 pH 值秤量每株植株之植株地上部鮮重、乾重 (以 70°C 烘乾至恆重再以電子天平秤量)。取第 5-8 片已烘乾之葉片，將樣品分為葉尖、葉片中段、葉片基部及完

整葉片四個部分，以磨粉機磨粉並過篩（200 mesh），利用薑黃色呈色法進行植體內硼含量之分析，並以原子吸光儀進行鈉的測定。

試驗二、硼濃度對葉綠素螢光參數之影響

由於試驗一中參試之硼濃度範圍較大，因此在試驗二中將硼酸濃度範圍縮小為 0、1、5、10 及 15 mg·L⁻¹。植株選擇 *Guzmania* ‘Cherry’ 未抽花植株，具有 25 片完全展開葉，定植之介質、容器及試驗環境如試驗一。

本試驗採完全逢機設計，計有 5 種硼酸濃度（0、1、5、10 或 15 mg·L⁻¹）共 5 種處理，其他元素經修正過之 Johnson’s 養液（1957）配方。每一處理重複 6 株，每株每星期施用一次 500 mL。當 5 mg·L⁻¹、10 mg·L⁻¹ 及 15 mg·L⁻¹ 處理者出現硼毒害之病徵時，進行各種參數之調查，調查項目如試驗一，另取由頂端數來第 10 片葉，每隔 5 cm 測量一次葉綠素讀值及測量葉綠素螢光值。調查結束後，進行葉片硼濃度之分析，取樣及分析方法如試驗一。

試驗三、硼與遮光對擎天鳳梨葉片解剖構造之影響

由於不同遮光環境下，植物之蒸散作用速率與硼在植體之移動速率也不同，因此在試驗三中以 0、1、3、5 mg·L⁻¹ 硼酸配合兩種遮光率（40% 及 76%）處理，探討硼酸及遮光對擎天鳳梨葉片形態及解剖構造之影響。

植株選擇 *Guzmania* ‘Cherry’ 未抽花植株，約帶有 25 片完全展開葉，置於台灣大學園藝分場之簡易遮雨棚，其內分別搭設遮光率 40% 及 76% 之綠色遮陰網（百吉牌，台灣）。

本試驗採完全逢機設計，計有 4 種硼酸濃度（0、1、3、5 mg·L⁻¹），其他元素經修正過之 Johnson’s 養液（1957）配方，配合 2 種遮陰處理（遮光率 76% 及 40%），每一處理重複 6 株，每株每星期施用一次 500 mL。試驗期間記錄之參數如試驗一。試驗結束當天（當 3 mg·L⁻¹ 及 5 mg·L⁻¹ 處理者出現硼毒害之病徵時），調查每株植株之增加葉片數、第 5 片葉鮮重、乾重（以 70°C 烘箱烘乾至恆重後以天平秤重）、葉長、葉寬、壞疽長度、距離葉尖 5 cm 處之葉綠素計讀值，壞疽葉片數、內捲葉片數。利用樹脂塗抹於第 6 片葉葉尖下表皮處，待樹脂風乾後將之撕下置於載玻片上，利用光學顯微鏡（Nikon-104, Nikon, Japan），觀察單位面積氣孔數，並利用徒手切片觀察距葉尖 3 cm 處（0 mg·L⁻¹ 及 1 mg·L⁻¹ 處理者）或葉尖黃色區域（3 mg·L⁻¹ 及 5 mg·L⁻¹ 處理者）之葉片上表皮組織、儲水組織、綠色薄壁組織及下表皮組織，並以光學顯微鏡配合測微器測量上

述組織之厚度。之後將每株植株地上部裝入牛皮紙袋中，以 70°C 烘箱烘乾至恆重後，以磨粉機磨粉並過篩（200 mesh），利用薑黃素呈色法進行植體硼含量之測定。

二、調查項目與方法

- (一) 介質含水量：將 W. E. T. sensor kit (Delta-T, England) 之介質種類設定為椰纖 (coir)，之後將 W. E. T. sensor 完全插入介質中，量測介質含水量。
- (二) 內捲葉片數：由葉片上方俯瞰，可見葉背者視為內捲。
- (三) 壞疽葉片數：葉尖壞疽大於 2 cm 者視為該葉片已壞疽。
- (四) 葉綠素計讀值：以葉綠素計 (CMR-502, Minolta Camera Co., Tokyo) 測量之，每片處理測量 6 片葉片，視為 6 重複。測量時儘量測量葉片中央處。
- (五) 葉綠素螢光值：植株經暗馴化至少 30 分鐘後，以 MiniPam (Walz, Effeltrich, Germany) 測量其最小螢光值 (Fo) 與最大螢光值 (Fm)，並以此測得 Fv / Fm 值，代表 PS II 之最大光化學效率。
- (六) 蒸散作用速率、氣孔導度：將氣孔蒸散測定器 (Steady state porometer, LI-1600, LI-COR, Lincoln, Nebr., USA) 移至試驗場地，測量植株在試驗場地之蒸散作用速率與氣孔導度。
- (七) 介質淋洗液 EC 值與 pH 值：利用 pour through 法 (Yeager et al., 1983) 進行植株介質 EC 值與 pH 值之測定，於施肥後 6 天進行介質淋洗，淋洗時先將介質以自來水澆透，使介質水分呈飽和狀態，經 1 小時後，於直徑 13 cm 盆 (容積約 0.9 L) 中每盆以 50 mL 自來水淋洗，並以乾淨之 100 mL 耐酸鹼之塑膠瓶收集淋洗液 50 mL，再利用電導度計 (conductivity meter, SC-170, Suntext, Taipei, Taiwan) 測量淋洗液之 EC 值及以酸鹼度計 (microcomputer pH/ meter, 6171, San Diego, USA) 測量 pH 值。
- (八) 葉片硼濃度分析：利用薑黃素呈色法進行葉片硼濃度之分析 (Wolf, 1971)，其原理如下。

硼酸 (H_3BO_3) 與薑黃素 (Curcumin) 在有草酸 (oxalic acid) 的環境下加熱至 $55\pm 3^\circ C$ ，會產生紅色的 rosecyanine 結晶，其在 550 nm 有最大吸光值。以 95% 酒精將 rosecyanine 結晶溶解，並與標準溶液進行比色，將可推算出樣品硼之濃度。

1. 葉片前處理

取由頂端數第 5–6 片經 70°C 烘乾之葉片，依葉片長度將樣品分為葉尖(葉片前 1/3)、葉片中段(葉片中段 1/3)、葉片基部(葉片基部 1/3)，將第 5 片及第 6 片葉合併成一個樣本；取由頂端數來第 7–8 片經 70°C 烘乾之葉片，合併成一個樣本；分別以磨粉機磨碎並過篩(200 mesh)，每一處理每一部位共計 3 重複。若取整株植株地上部進行硼濃度分析，則以剪刀將植株地上部剪下，置於牛皮紙袋中，以 70°C 烘箱烘乾至重量不再下降，以磨粉機磨碎並過篩(200 mesh) 每一處理 6 株植株，每一植株為 1 重複。

2. 硼標準液的配製

精秤經 40°C 烘箱乾燥過之硼酸 (H_3BO_3) 0.5716 g 置於 1000 mL 定量瓶中，加純水至 1000 mL，此即 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸原液。取此原液 50 mL 置於 500 mL 定量瓶中，加純水至 500 mL，此即為 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸原液。將 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸原液分別稀釋成 0、2、4、6、8 及 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 共 6 種硼酸濃度，並保存於 100 mL 耐酸鹼之乾淨塑膠瓶中。

3. 薑黃素草酸 (Curcumin-oxalic acid) 試劑的配製

秤取 0.1 g 薑黃素 (curcumin) 及 12.5 g 草酸 (oxalic acid) 並加入 250 mL 95% 酒精，若試劑無法完全溶解則需過濾。此試劑保存於塑膠瓶中，儲存於冰箱，有效時間為 1 星期。

4. 葉片硼的萃取

秤取樣品 0.5 g 置於 100 mL 耐酸鹼之乾淨塑膠瓶中，加入 25 mL 0.5 N HCl，經震盪器震盪 2 小時後，以 Watman No. 1 濾紙及塑膠漏斗將萃取液過濾至乾淨的 100 mL 耐酸鹼之塑膠瓶中。另外以 0.5 N HCl 25 mL 作為空白處理 (blank)。

5. 葉片硼的測定

取樣品萃取液、空白處理及硼標準液 (包括 $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 各 1 mL，置於 100 mL 耐酸鹼之乾淨塑膠瓶中，加入薑黃素草酸試劑 4 mL 混合均勻，置於 $55\pm 3^\circ\text{C}$ 恆溫水浴中蒸發至完全乾燥，乾燥後將其置於室溫下冷卻 15 分鐘，加入 15 mL 95% 酒精溶解，倒入 50 mL 塑膠離心管中，以 1500–2000 rpm 離心 5 分鐘，光電比色計 (Thermo Unicam, UV-300, Cambridge, UK) 測其在 540 nm 之吸光值 ($0\text{--}2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)，超過 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 者，測其在 580 nm 之吸光值。

(九) 葉片鈉濃度分析

1. 葉片前處理與「葉片硼濃度分析」相同。
2. 樣品灰化

參考楊 (1991) 樣品灰化步驟，精秤樣品 0.2 g 置於消化管中，每管加入 5 mL 濃硫酸 (98%)。將已加入濃硫酸的消化管放入分解爐後，以 100°C 預熱 1 小時，1 小時後將溫度調至 380°C，待分解爐溫度升至 380°C 時，計時 4 小時。4 小時後將消化管移出冷卻 30 分鐘，加入 4 mL 30% 之 H₂O₂，在放回分解爐，計時 1 小時，之後將消化管移出冷卻 30 分鐘，每管加入二次水 25 mL，以 2 號濾紙將分解液過濾至 50 mL 定量瓶中，以二次水定量至 50 mL。定量之後將液體裝於 50 mL 耐酸鹼之塑膠瓶中。

3. 葉片鈉的測定

以原子吸光儀 (atomic absorption / flame emission spectrophotometer, AA-680, Shimadzu, Tokyo, Japan) 進行鈉的測定。

- (十) 地上部乾重：將植株地上部以剪刀剪下，以自來水略微沖洗後，至於牛皮紙袋中，以 70°C 烘箱烘乾至重量不再減少，即為該植株之地上部乾重。
- (十一) 葉面積及壞疽葉面積百分比：以鉛筆將植株葉片壞疽之部位描畫在白紙上，再將描畫在白紙上的面積剪下，以葉面積測定儀 (Portable leaf area meter, LI-3000, LI-COR, Lincoln, Nebr., USA) 測量之，視為該植株之壞疽葉面積。將該植株之所有葉片以葉面積測定儀測量之，視為該植株之總葉面積。將壞疽葉面積除以該植株之總葉面積，再乘以 100，即為該植株之壞疽葉面積百分比。
- (十二) 葉片氣孔觀察：利用樹脂塗抹於葉片下表皮處，待樹脂風乾後將之撕下置於載玻片上，利用光學顯微鏡 (Nikon-104, Nikon, Japan)，以 10 倍目鏡 (Nikon-CFW, Nikon, Japan) 配合 10 倍物鏡 (Nikon-234338, Nikon, Japan) 觀察單位面積氣孔數
- (十三) 統計分析：所有試驗皆採完全隨機設計。以 COSTAT 6.2 統計軟體 (CoHort Software, USA) 進行最小顯著差異分析 (Least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著差異 ($P=0.05$)，並進行變方分析。繪圖程式採用 SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., USA)，並以此程式進行最適迴歸分析 (best fit regression)，迴歸方程式之決定由 r^2 或 R^2 值與顯著水準較高者判定。

結果

(一) 高濃度的硼與氯化鈉對擎天鳳梨葉片形態與生理影響

將擎天鳳梨 'Cherry' 分別施以含有 0、10、20 mg·L⁻¹ 硼酸之養液，以 0 mg·L⁻¹ 硼酸處理者，植株老葉葉尖並未出現壞疽，但是 10 mg·L⁻¹ 及 20 mg·L⁻¹ 硼酸處理者，自老葉首

先出現葉尖壞疽的症狀，嚴重者將蔓延至新葉，且隨著硼酸濃度的增加，老葉葉尖壞疽面積亦有增加（圖 1）。壞疽的症狀為葉尖呈現黃褐色乾燥狀，在壞疽的葉尖與綠色的葉基中央有一黃色條帶，為硼毒害之初期症狀。且受到硼毒害之葉片，其葉尖壞疽面積佔整片葉面積約 1/3 – 1/2，並未出現整片葉片壞疽的現象。施用不同濃度之硼酸對於擎天鳳梨之葉片數、展幅、地上部乾重、地下部乾重並無顯著差異；但隨著硼酸濃度的增加，擎天鳳梨株高有下降的情形（表 1）。當硼酸濃度由 0 mg·L⁻¹ 增加至 20 mg·L⁻¹ 時，擎天鳳梨‘Cherry’葉片之葉綠素計讀值由 44.3 下降至 9.3。蒸散作用速率方面，以 0 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高，為 0.9 mmol·m⁻²·s⁻¹，以 10 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最低，為 0.5 mmol·m⁻²·s⁻¹。氣孔導度以 0 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高，為 61.1 mmol·m⁻²·s⁻¹；以 10 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最低，為 31.8 mmol·m⁻²·s⁻¹（表 2）。在介質淋洗液之 EC 值方面，以 20 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高，為 0.31 dS·m⁻¹，以 10 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最低，為 0.25 dS·m⁻¹。pH 值方面，各處理間無顯著差異。壞疽葉片數、內捲葉片數及壞疽面積均以 20 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高，分別為 25.8 片、11.0 片及 38.7%（表 3）。以 0 mg·L⁻¹ 硼酸處理之擎天鳳梨完整葉片中所含的硼最少，隨著施用硼酸濃度的增加，擎天鳳梨葉片中硼含量顯著增加。添加 10 或 20 mg·L⁻¹ 硼酸處理者，均以葉尖所含的硼最多，其次為葉片中段，葉片基部含量最低，顯示擎天鳳梨葉片中的硼會自葉尖向葉片基部逐漸累積。當擎天鳳梨‘Cherry’葉尖硼濃度超過 500 µg·g⁻¹ 時，植株已有多片老葉葉尖壞疽的情形（圖 2、表 3）。

將擎天鳳梨‘Cherry’分別施以含有 0、10、20 及 50 mM 氯化鈉之養液，以 0 mM 氯化鈉處理者，植株老葉葉尖並未出現壞疽，但是以 10 mM、20mM 及 50 mM 氯化鈉處理者，老葉首先出現葉尖壞疽的症狀，嚴重者將蔓延至整片老葉，且隨著氯化鈉濃度的增加，擎天鳳梨老葉葉尖壞疽面積亦增加（圖 3）。擎天鳳梨老葉葉尖壞疽的症狀為葉尖呈現黑褐色，在壞疽的葉尖與綠色的葉基中央有一黃色條帶，為擎天鳳梨葉片受氯化鈉鹽害之初期症狀。試驗結果顯示，氯化鈉對植株之展幅及根乾重各濃度處理間並無顯著差異。在株高方面以 10 mM 氯化鈉處理者最高，達 18.5 cm，地上部乾重則以 0 mM 氯化鈉處理者最重，達 19.9 g，而 50 mM 氯化鈉處理者植株地上部最輕；在葉片數方面，以 0 mM 氯化鈉處理者最多，為 26.7 片，以 50 mM 處理者葉片數最少，為 24.3 片（表 4），顯示過量的氯化鈉會抑制擎天鳳梨‘Cherry’葉片及地上部之生長。當氯化鈉濃度由 0 mM 增加至 50 mM 時，擎天鳳梨‘Cherry’第 5 片葉距離葉尖 5 cm 處之葉綠素計讀值各處理間並無顯著差異。但隨著氯化鈉濃度的增加，葉片蒸散作用速率由 0.9 mmol·m⁻²·s⁻¹ 下降至 0.4 mmol·m⁻²·s⁻¹。氣孔導度由 57.5 mmol·m⁻²·s⁻¹ 下降至 25.4 mmol·m⁻²·s⁻¹（表 5）。介質淋洗液之 EC 值、及壞疽葉片數均會隨著氯化鈉濃度上升而增加。但介質淋洗液 pH 值方面，以 0 mM 氯化鈉處理者最低，而 10、20 及 50mM 氯化鈉處理者則無顯著差異。內捲葉片數方面，以 10 mM 氯化鈉處理者最多，達 13.8 片，以 0 mM 氯化鈉處理者最少，達 4.2 片（表 6）。隨著氯化鈉濃度的增加，擎天鳳梨完整葉片中之鈉濃度有增加的

情形，而鈉含量以葉片基部高於葉片中段及葉尖（圖 4）。

在葉片外觀形態方面，正常的葉片外觀為深綠色且無壞疽，硼毒害及氯化鈉鹽害之葉片葉尖均有壞疽的情形（圖 5）。由徒手切片觀察，正常的葉片其綠色薄壁細胞中葉綠體呈綠色，硼毒害及氯化鈉鹽害之葉片，綠色薄壁細胞中葉綠體均呈褐色，但氯化鈉鹽害之葉片，靠近下表皮之儲水組織有萎縮的情形（圖 6）。

（二）硼濃度對葉綠素螢光參數之影響

施以含有 0、1、5、10、15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸之 Johnson's 養液，於試驗結束當天觀察植株外觀形態。以 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理之擎天鳳梨 'Cherry' 並無老葉壞疽的情形，隨著硼酸濃度的增加，老葉葉尖壞疽的症狀越嚴重（圖 7）。株高以 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最高，達 18.3 cm；以 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最矮，達 15.8 cm。展幅以 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最大，達 81.7 cm，以 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最小，達 71.7 cm。在葉片數方面，各濃度處理之間並無顯著差異（表 7）。以 10 或 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者，葉綠素計讀值較低。在壞疽葉片數方面，以 5、10 及 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最多，以 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者次之，0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最少（表 8）。在壞疽長度與面積方面，以 0 及 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者最小。隨著硼酸濃度由 5 增加至 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，壞疽面積隨之增加。以 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理者蒸散作用速率最高，氣孔導度也最大，分別為 0.61 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 及 105.02 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ （表 9）。介質淋洗液 EC 值與 pH 值於 0 - 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理間無顯著差異（表 10）。隨著施用硼酸濃度由 0 增加至 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，擎天鳳梨葉尖及完整葉片中硼含量逐漸增加，當養液中含 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸時，葉片尖端含 550 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 硼且全葉中含 200 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 硼濃度達到飽和（圖 8）。在相同濃度處理下的葉片，葉片中硼濃度以葉尖最高，其次為葉片中段，葉片基部含硼最少，顯示擎天鳳梨葉片中的硼會向葉尖累積。

選取每株擎天鳳梨 'Cherry' 之第 10 片葉，自葉片尖端起每隔 5 cm 量測一次葉綠素螢光值與葉綠素讀值（圖 9）。以 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸濃度處理者，葉片各部位之葉綠素螢光值均維持在 0.8 以上，葉綠素讀值則維持在 50 - 60 之間（圖 9），顯示 0 或 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸處理下之第 10 片葉依然維持正常之光合作用及正常之葉色。但是 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸濃度處理者，葉綠素螢光值已下降至 0.2，葉綠素讀值也下降至 25；距離葉尖 10 cm 處，葉綠素螢光值已下降至 0.65，葉綠素讀值也下降至 40，顯示在該濃度硼酸處理下，第 10 片葉距離葉尖 5 cm 處光合作用已受抑制且葉色轉黃，離葉尖 10 cm 處光合作用部分受抑制且葉色逐漸轉黃。隨著硼酸濃度的增加，葉片光合作用受抑制的範圍逐漸由葉尖像葉片基部擴大，葉色轉黃或壞疽的面積也逐漸自葉尖向葉片基部擴大。各濃度處理

之擎天鳳梨，第 10 片葉不同部位之葉綠素螢光值與葉綠素讀值之間趨勢類似。將葉綠素螢光值與葉綠素讀值進行迴，結果兩者呈現直線正相關（圖 10）。硼酸濃度與擎天鳳梨‘Cherry’葉片壞疽長度之間呈直線正相關，顯示當硼酸濃度增加時，擎天鳳梨‘Cherry’葉片壞疽長度也會增加（圖 11）。

（三）硼與遮光對擎天鳳梨葉片解剖構造之影響

將擎天鳳梨‘Cherry’分別施以 0、1、3 及 5 mg·L⁻¹ 硼酸並配合 76% 及 40% 遮光處理，於試驗開始後 6 個月紀錄其對株高、展幅與葉片數之影響。遮光率 40% 者株高與葉片數均較 76% 者高，在展幅方面，以 3 mg·L⁻¹ 及 5 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理配合 76% 遮光者最大，分別為 29.8 cm 及 29.7 cm，以 3 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理配合 40% 遮光率者最小，為 26.0 cm。葉片數於處理間差異不顯著（表 11）。在 40% 遮光下生長的植株葉片較寬，葉片數也較多（圖 12）。取各處理之植株最上方之完全展開葉觀察其葉片之外觀，如圖 13。在 40% 遮光下生長的植株葉片較寬，76% 遮光下生長者葉片較細長。在 0、1 及 3 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理者，老葉均無壞疽的發生，以 5 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理者均出現老葉壞疽的情形，且以遮光率 76% 下生長之植株老葉壞疽較嚴重。

取各處理之植株最上方之完全展開葉之葉尖，利用徒手切片觀察葉片之解剖構造（圖 14）。40% 遮光下生長的植株葉片較 76% 遮光者厚，在 0、1 或 3 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理者，綠色薄壁細胞中的葉綠體呈現正常的綠色；但是 5 mg·L⁻¹ 硼酸濃度處理者，綠色薄壁細胞中的葉綠體則呈現褐色，顯示硼酸濃度過高時，擎天鳳梨葉片發生老葉葉尖壞疽的症狀，主要是因為綠色薄壁細胞中的葉綠體呈現褐色所致。擎天鳳梨葉片之上表皮細胞、儲水組織、下表皮細胞於各處理間並無顯著差異（表 12），顯示遮光與硼濃度並不會對上述細胞或組織造成顯著之改變，但在綠色薄壁組織及葉片厚度方面主要受到遮光率之影響，以遮光率 76% 之處理組合葉片厚度較薄。

在介質含水量於各處理間並無顯著差異（表 13）。以 76% 遮光與 5 mg·L⁻¹ 硼酸處理者，植株地上部之硼含量顯著高於其他處理（表 14）。在介質淋洗液 EC 值方面，以 40% 遮光與 3 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高。在 pH 值方面，以 76% 遮光與 3 mg·L⁻¹ 硼酸處理者最高。76% 遮光之植株葉綠素讀值較 40% 遮光者高，顯示光度較高的環境下擎天鳳梨葉片葉色呈現淺綠色。在植株蒸散作用速率與氣孔導度方面，以 40% 遮光者較高。且隨著硼酸濃度的增加，蒸散作用速率與氣孔導度均有增加的情形。硼酸濃度與遮光率對擎天鳳梨氣孔密度有交感作用。由表 15 可知，以 40% 遮光處理之植株增加的葉片數、葉片鮮重及乾重、葉寬均較 76% 遮光率處理之植株高。葉片鮮重及乾重、葉寬主要受到遮光率之影響。隨著硼酸濃度的增加，葉長、壞疽長度、壞疽及內捲葉片數均有增加的情形。

以 76% 遮光率配合 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸處理時，擎天鳳梨‘Cherry’ 壞疽葉片數最多，而增加之葉數最少。

討論

試驗結果指出，隨著硼酸濃度的增加，植株蒸散作用速率及氣孔導度並沒有因此而下降（表 2、9），此與 Chartzoulakis 等人（2002）試驗結果相似，顯示硼酸濃度並不影響植株蒸散作用速率及氣孔導度。根據表 3、表 10 顯示，各硼酸濃度處理之介質淋洗液 EC 值均小於 $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，且 pH 值也在正常範圍 6.0–7.0 之間（Griffith, 1997），顯示試驗中之擎天鳳梨植株發生葉尖壞疽之症狀，並非因為 EC 值過高或 pH 值異常所致。由植體硼濃度分析可知，當擎天鳳梨完整葉片中硼濃度為 $80 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 時，葉尖尚未出現壞疽的現象，當完整葉片中硼濃度為 $180 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 時，植株葉片已有壞疽的情形（圖 1、2、7、8）。當植株硼濃度超過 $72.3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 時，植株出現老葉葉尖壞疽的症狀（圖 12、13；表 13）。根據前人研究指出，當菜豆葉片中硼濃度超過 $125 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，番茄超過 $172 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，玉米超過 $98 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，提磨西草超過 $176 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，菊花‘Improved Albatross’超過 $158 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，菊花‘CF No. 2 Good News’超過 $144 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ，奇異果超過 $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 時，會出現葉緣壞疽，葉尖褐化等硼毒害症狀（Gogue and Sanderson, 1973; Gupta, 1983; Smith and Clark, 1989），且大部分植物葉片發生毒害之硼濃度為 $85 - 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ （Gilliam and Smith, 1982）。本試驗結果顯示，擎天鳳梨葉片之硼毒害濃度與前人研究相似。

由於硼在植物中主要藉著蒸散流而在木質部中移動，最後會累積在葉緣（雙子葉植物）或葉尖（單子葉植物），當濃度過高時會造成老葉葉緣或葉尖壞疽褐化（Gilliam and Smith, 1982）。試驗一及試驗二中顯示，擎天鳳梨葉片中硼的濃度以葉尖最高，葉片中段次之，葉片基部最少（圖 2、8），此與 Sotiropoulos 等人（2002）指出，奇異果硼毒害之症狀為老葉葉緣壞疽，且葉緣硼含量大於葉身及葉柄之結果相似。

除了硼酸濃度對植株所產生的影響之外，進行植體硼的萃取與分析方法也會影響試驗之結果。Brown 和 Sah（1997）將目前已發表之硼的偵測方式加以整理並比較，文中指出，用來萃取植體中硼的溶劑包括：鹽酸、硫酸、硝酸、王水等，各種溶劑所能萃取硼的能力並不相同，一般會根據欲進行之分析方法加以選擇，而分析時使用的儀器種類及原理有所差異，各種分析方法之靈敏度也不同，因此在比較兩試驗植體分析之結果需選擇利用相同萃取及分析方式者才有意義。由於試驗一、二、三均是利用比色法（薑黃素呈色法），而 Gupta（1983）亦是利用比色法，因此試驗一、二、三植體分析之結果可與之相比較。

除了施用的硼酸濃度之外，植物葉片中硼的累積與蒸散作用速率也有相關。Oertli

(1994) 試驗指出，低光及高鹽分的環境下可減少大麥葉片蒸散作用速率。Sotiropoulos 等人 (2004) 亦指出，當光強度及施用之硼酸濃度越高時，奇異果葉片中之硼含量也越高。由試驗三中得知，在兩種遮光率 (40% 及 76%) 及四種硼酸濃度 (0 、 1 、 3 、 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 共八種處理組合中，以 76% 遮光率及 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸濃度處理之植株所含之硼濃度最多 (表 13)，此與 Sotiropoulos 等人 (2004) 所述：高光及高硼酸濃度下，葉片中所含之硼濃度較高有所差異。但在蒸散作用方面，以遮光率 40% 之植株較高 (表 14)，此與 Sotiropoulos 等人 (2004) 試驗結果相符。試驗三結果顯示，遮光率 40% 之植株增加之葉片數高於 76% 處理者，故推測遮光率 40% 之植株，植體內之硼因生長而被稀釋。

試驗三中利用徒手切片觀察各處理組合之葉片構造，結果施用 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸之植株葉片葉綠素褐化 (圖 14)，且遮光率 76% 下之葉片明顯較遮光率 40% 者薄，主要是因為遮光率 76% 下之葉片綠色薄壁組織厚度減少之緣故 (表 12)。除了葉片內部結構的改變，在遮光率 40% 及 76% 下之葉片外觀形態也有所差異。由圖 13 及表 15 可知，遮光率 76% 下之葉片鮮重及乾重較低，葉寬也較遮光率 40% 者要窄。上述現象部分與低光下生長之垂榕相似，如低光下馴化之垂榕具有較少的葉片數，葉綠餅發育較完全，葉片厚度較薄，葉色濃綠等 (Conover and Poole, 1977, Fails et al., 1982ab; Johnson et al., 1979ab; Joiner et al., 1980)。但是在擎天鳳梨葉片寬度方面，遮光率 40% 處理者大於 76% 處理者，此與四季秋海棠相似。Nemali 和 Iersel (2004) 以四季秋海棠為試驗材料，探討其在不同光強度下之光合作用、呼吸作用、葉綠素含量。試驗結果顯示，隨著光強度的增加，四季秋海棠的葉面積增加。由上述可知，植物為了在低光環境下生存，在形態及生理上所做之改變，此一改變的過程並不可逆。

高氯化鈉濃度下，擎天鳳梨植株的生長、蒸散作用速率及氣孔導度均下降 (表 4、5)。Drew 等人 (1990) 亦指出，在 50 mM 氯化鈉濃度下生長之胡瓜，二氧化碳固定速率比 0 mM 氯化鈉處理者下降約 33% - 48%，葉片蒸散作用速率及氣孔導度比 0 mM 處理者下降約 50%。Chartzoulakis 等人 (2002) 亦以橄欖 (*Olea europea* L.) 為材料結果指出 100 mM 氯化鈉處理之植株出現葉尖焦枯的症狀， 200 mM 氯化鈉處理者則出現嚴重落葉的情形。隨著氯化鈉濃度的增加，植株葉片之氣孔導度與二氧化碳固定速率有下降的情形，且當濃度高於 25 mM ，植株總葉面積有下降的趨勢。由上述試驗結果推測，高濃度氯化鈉濃度下擎天鳳梨生長受抑制，可能因為氣孔導度較低，導致二氧化碳固定速率降低而影響植株生長所致。

經植體分析得知，葉片基部的鈉濃度高於葉片中段及葉尖 (圖 4)，且隨著養液中氯化鈉濃度的增加，此一趨勢更加顯著，從表 6 中可知，擎天鳳梨介質淋洗液之 EC 值與 pH 值均未過高，顯示植株出現葉尖壞疽並非過量的鈉累積於葉片尖端或 EC 值過

高所致。Grattan 和 Grieve (1999) 指出，作物在鹽害的環境下可能會表現出營養元素異常 (disorder) 的症狀，這些異常的症狀可能是因為鹽害本身所造成，或是植物體內營養元素吸收障礙 (nutrition availability)，吸收競爭 (competitive uptake)，運輸 (transport) 或分配 (partitioning) 異常所致。根據圖 8 顯示，擎天鳳梨葉片中鈉的濃度以葉片基部最高，但是其所產生壞疽的部位卻在葉尖，顯示氯化鈉毒害下，植株產生葉尖壞疽並非葉尖鈉濃度過高所致，可能是鹽害間接影響植物體內其他礦物元素的吸收，或是鈉離子與其他離子產生吸收競爭 (competitive uptake) 的結果。擎天鳳梨受到氯化鈉毒害會產生老葉葉尖壞疽的現象，此一症狀與多數單子葉植物如：玉米，發生缺鉀的症狀及發生部位相似。由於鈉離子與鉀離子將具有競爭的關係，換言之在高鈉濃度的環境中，會抑制植物對於鉀的吸收。

在鹽分逆境下，鉀離子是植物用來維持根部膨壓勢的重要無機鹽類。雖然增加葉片中鈉的濃度可以幫助植物維持細胞膨壓，但是鈉無法完全取代鉀的角色，因為某些蛋白質的合成及酵素的活化需要鉀的參與 (Marschner, 1995)。Chow 等人 (1990) 試驗指出，在含有 250 mM 氯化鈉水耕養液中生長的菠菜，其葉片中鉀需要的濃度為 0 mM 氯化鈉處理者的 2 倍，作者推測可能在鹽害的環境中，植物葉綠體基質 (stroma) 中需要更多鉀的參與才能維持正常的光合作用有關。

在擎天鳳梨生長方面，隨著硼酸濃度的增加，株高有下降的趨勢，其中 15 mg·L⁻¹ 硼酸處理者株高明顯受抑制 (表 7)。隨著氯化鈉濃度的增加，地上部乾重有下降的情形 (表 4)。上述結果顯示，高濃度的硼酸或氯化鈉均會抑制擎天鳳梨之生長，在許多植物如：奇異果、菜豆、番茄、提磨西草、菊花等 (Gupta, 1983; Smith and Clark, 1989)，也有類似的情形。研究指出，硼與植物體內醣類的運輸、醣類與澱粉的平衡、植物細胞分裂有關，過量的硼會導致植物葉片呼吸作用速率的上升，且抑制植物體內澱粉的形成，造成澱粉含量下降，醣類含量上升 (Scott, 1960)。

為了進一步瞭解擎天鳳梨葉片受到硼毒害時，各種生理指標、葉片形態及植株生長之關係，試驗二中每隔 5 cm 測量植株第 10 片葉之葉綠素讀值及葉綠素螢光值，結果顯示，壞疽之部位葉綠素讀值及葉綠素螢光值均下降 (圖 9)，顯示硼毒害造成該葉片部位葉綠素褐化進而影響植株之光合作用系統 II，此一結果也為硼毒害及氯化鈉鹽害之植株生長受抑制提供直接之證據。

比較硼毒害與氯化鈉鹽害對擎天鳳梨葉片形態之影響，試驗一顯示高濃度的硼及氯化鈉均導致老葉葉尖壞疽。在硼毒害發生初期，擎天鳳梨葉尖出現黃化的症狀，之後逐漸轉為黑褐色焦枯狀 (tip burn)，此一症狀的發展與多數前人研究觀察相符 (Gogue and Sanderson, 1973; Woodbridge, 1955)。比較硼毒害葉片與氯化鈉毒害葉片之症狀可知，硼

毒害所造成黃褐色且乾燥之壞疽分佈於葉尖 2/3 的範圍，葉片基部為正常之綠色，在兩者間葉色呈黃色；氯化鈉所造成的鹽害導致葉尖呈現黑褐色壞疽，葉片基部為正常之綠色，嚴重者壞疽可擴散至整片葉（圖 1、3、5）。在葉片內部結構方面，受到硼毒害與氯化鈉鹽害之葉片，葉綠體均為褐色，有別於正常葉片葉綠體之綠色，但是受到氯化鈉鹽害之葉片，靠近下表皮之透明薄壁細胞有萎縮的情形，硼毒害葉片則否。受到硼毒害之植物葉片與正常葉片在形態及構造上有所差異，Sotiropoulos 等人（2002）切片觀察受硼毒害之奇異果葉片，結果顯示奇異果葉片受到硼毒害初期葉綠素有褐化的情形，隨著硼毒害程度的增加，奇異果葉片下表皮細胞排列出現異於正常之葉片。

綜合上述試驗結果，當擎天鳳梨‘Cherry’葉片累積之硼濃度超過 $200\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 時，會出現老葉葉尖黃褐色且乾燥，葉片基部為正常綠色之硼毒害症狀。當葉片累積之鈉濃度超過 0.3% 時，會出現老葉葉尖黑褐色，葉片基部為正常綠色之症狀。

參考文獻

1. 李宗儒. 2002. 台灣鳳梨外銷中國大陸潛力與策略之研究. 台灣重要花卉外銷中國大陸潛力與策略之研究計畫成果說明及座談會. p.86-108.
2. 阮育雄. 2003. 鳳梨外銷中國大陸之潛力與策略. 台灣花卉園藝 193:16-20.
3. 楊光盛. 1991. 肥料推薦量系統模式建立研究. 台大農化所博士論文 168 pp.
4. Benzing, D. H. 2000. Bromeliaceae: Profile of an adaptive radiation. Cambridge University Press, UK.
5. Billings, F. H. 1904. A study of *Tillandsia usneoides*. Bot. Gaz. 38:99-121.
6. Brown, P. H. and R. N. Sah. 1997. Boron determination – a review of analytical methods. Microchemical J. 56:285-304.
7. Chartzoulakis, K., M. Loupassaki, M. Bertaki, and I. Androulakis. 2002. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate of six olive cultivars. Sci. Hort. 96:235-247.
8. Chow, W. S., M. C. Ball, and J. M. Anderson. 1990. Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: Implications of K⁺ nutrition for salt tolerance. Aust. J. Plant Physiol. 17:563-578.
9. Conover, C. A. and R. T. Poole. 1977. Effects of cultural practices on acclimatization of *Ficus benjamina* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102:529-531.

10. Drew, M. C., P. S. Hole, and G. A. Picchioni. 1990. Inhibition by NaCl of net CO₂ fixation and yield of cucumber. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:472-477.
11. Evans, M. R., S. Konduru, and R. H. Stamps. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 29:1514-1517.
12. Fails, B. S., A. J. Lewis, and J. A. Barden. 1982a. Anatomy and morphology of sun- and shade-grown *Ficus benjamina*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 754-757.
13. Fails, B. S., A. J. Lewis, and J. A. Barden. 1982b. Net photosynthesis and transpiration of sun- and shade-grown *Ficus benjamina* leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:758-761.
14. Gilliam, C. H. and E. M. Smith. 1982. Boron toxicity symptoms and suspected causes. *GrowerTalks* 46:53-59.
15. Gilliam, C. H., E. M. Smith, S. M. Still, and W. J. Sheppard. 1981. Treating boron toxicity in *Rhododendron catawbiense*. *HortScience* 16:764-765.
16. Gogue, G. J. and K. C. Sanderson. 1973. Boron toxicity of chrysanthemum. *HortScience* 8:473-475.
17. Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.* 78:127-157.
18. Griffith, L. 1997. Bromeliads. p.40-47. In: L. Griffith (ed.). *Tropical foliage plants: a grower's guide*.
19. Griffith, L. 2002. *Tropical foliage disorders*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, U.S.A.
20. Gupta, U. C. 1983. Boron deficiency and toxicity symptoms for several crops as related to tissue boron levels. *J. Plant Nutri.* 6:387-395.
21. Johnson, C. M., P. R. Stout, T. C. Broyer, and A. B. Carlton. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant and Soil.* 8:337-353.
22. Johnson, C. R., J. K. Krantz, J. N. Joiner, and C. A. Conover. 1979a. Light compensation point and leaf distribution of *Ficus benjamina* as affected by light intensity and nitrogen-potassium nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:335-338.
23. Johnson, C. R., T. A. Nell, J. N. Joiner, and J. K. Krantz. 1979b. Effects of light intensity and potassium on leaf stomatal activity of *Ficus benjamina*. *HortScience* 14: 277-278.
24. Joiner, J. N., C. R. Johnson, and J. K. Krantz. 1980. Effect of light and nutrition and potassium levels on growth and light compensation point of *Ficus benjamina* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:170-173.

25. Malézieux, E., F. Côte and D. P. Bartholomew. 2003. Crop environment, plant growth and physiology p.81. In: D. P. Bartholomew, R. E. Paull and K. G. Rohrbach. (eds.) The pineapple: botany, production and uses. CABI Publishing, New York,
26. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 889p.
27. Munns R. and A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. Austr. J. Plant Physiol. 13:143-160.
28. Nowak, E. J. and C. E. Martin. 1997. Physiological and anatomical responses to water deficits in the CAM epiphyte *Tillandsia ionantha* (Bromeliaceae). Intl. J. Plant Sci.158:818-826.
29. Oertli, J. J. 1994. Non-homogeneity of boron distribution in plants and consequences for foliage diagnosis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:1133-1147.
30. Reidl, R. 1990. Origin, distribution and ecology. p.1-5. In: B. E. Williams, and I. Hodgson (eds.). Growing bromeliads. Timber Press, Portland, U.S.A.
31. Scott, E. G. 1960. Effect of supra-optimal boron levels on respiration and carbohydrate metabolism of *Helianthus annuus*. Plant Physiol. 35:653-661.
32. Shelp, B. J. 1993. Physiology and biochemistry of boron in plants. p.53-85. In: U. C. Gupta (eds). Boron and its role in crop production. CRC Press, Boca Raton, FL. USA.
33. Smith, G. S. and C. J. Clark. 1989. Effect of excess boron on yield and post-harvest storage of kiwifruit. Sci. Hort. 38:105-115.
34. Sotiropoulos, T. E., I. N. Therios, and K. N. Dimassi. 2004. Uptake of boron by kiwifruit plant under various levels of shading and salinity. J. Plant Nutri. 27:1979-1989.
35. Sotiropoulos, T. E., I. N. Therios, K. N. Dimassi, A. Bosabalidis, and G. Kofidis. 2002. Nutritional status, growth, CO₂ assimilation, and leaf anatomical responses in two kiwifruit species under boron toxicity. J. Plant Nutri. 25:1249-1261.
36. Woodbridge, C. G. 1955. The boron requirements of stone fruit trees. Can. J. Agri. Sci. 35:282-286

研究成果自評

研究內容與原計畫目標相符，達成預期目標，研究成過具學術與應用價值，已發表於學術期刊 HortScience。

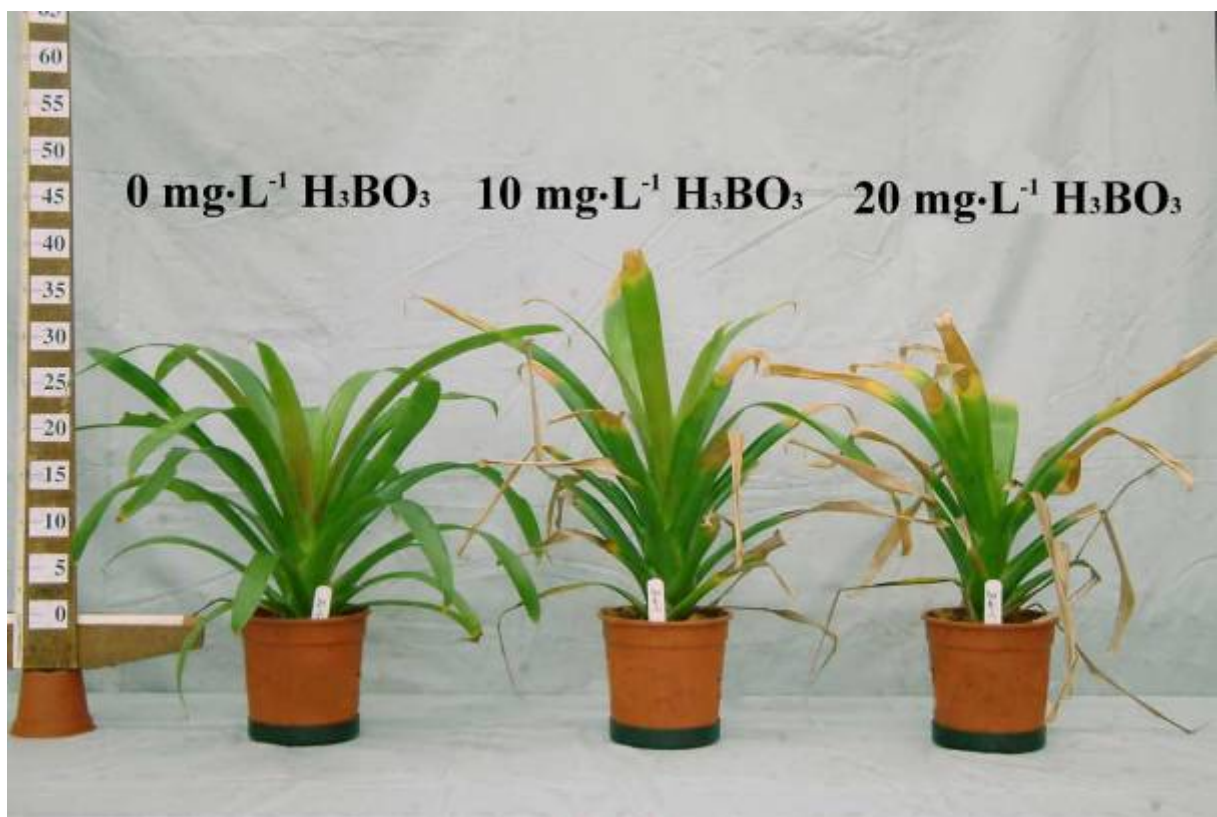


圖 1. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片壞疽之影響。

Fig. 1. Effect of boric acid concentration on leaf necrosis of *Guzmania* ‘Cherry’.

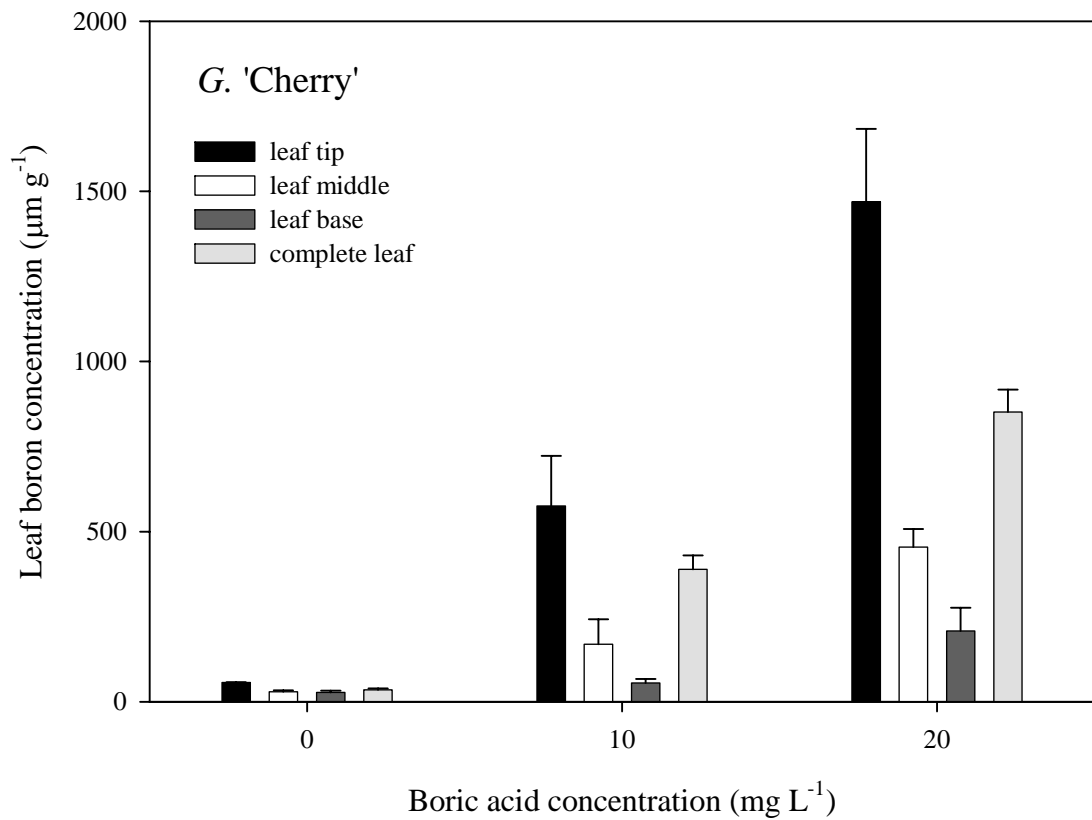


圖 2. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片尖端、中央、基部及完整葉片硼含量之影響。
 Fig. 2. Effect of solution boric acid concentration on leaf tip, middle, base, and whole leaf boron concentration of *Guzmania* ‘Cherry’. Bars indicate standard error of the mean.



圖 3. 氯化鈉濃度對擎天鳳梨‘Cherry’植株外觀形態之影響。

Fig. 3. Effect of sodium chloride concentration on plant morphology of *Guzmania* ‘Cherry’.

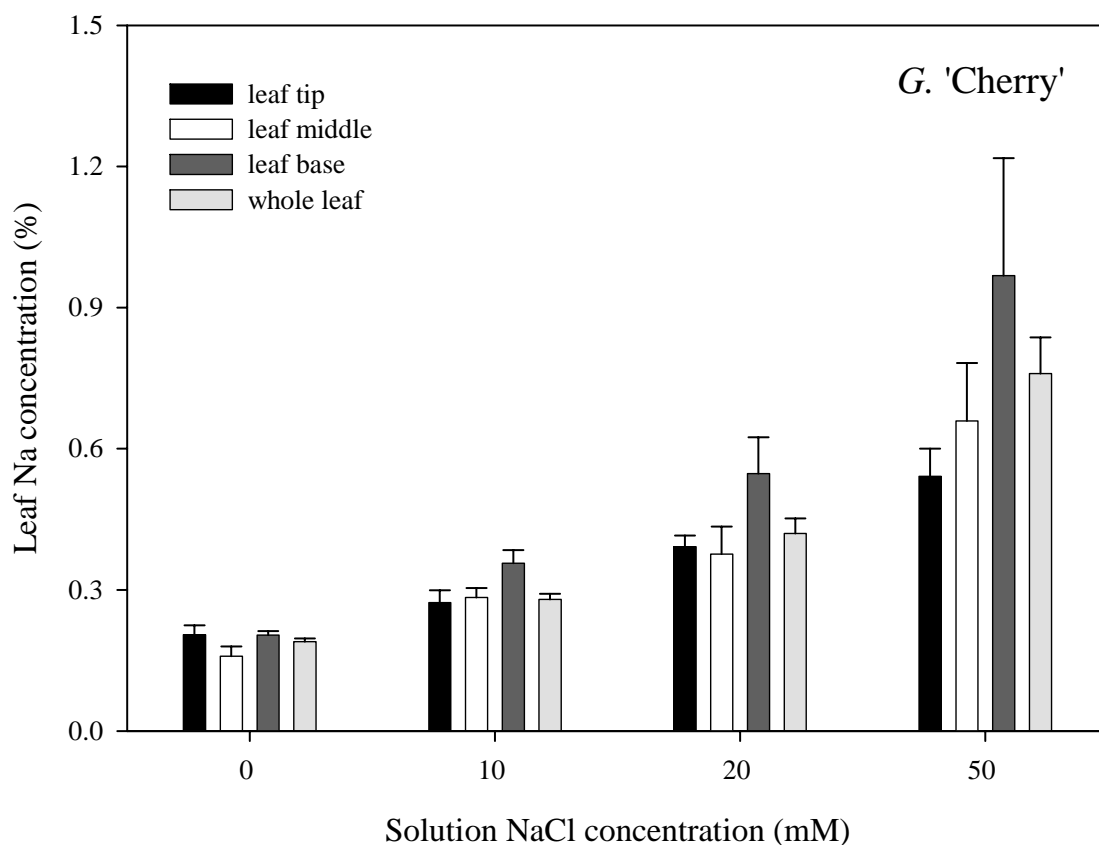


圖 4. 氯化鈉濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片尖端、中央、基部及完整葉片鈉含量之影響。

Fig. 4. Effect of solution sodium chloride concentration on leaf tip, middle, base, and whole leaf sodium concentration of *Guzmania* ‘Cherry’. Bars indicate standard error of the mean.



圖 5. 擎天鳳梨‘Cherry’硼毒害葉片、氯化鈉鹽害葉片與正常葉片外觀形態之差異。
Fig. 5. Leaf appearances expressed with boron toxicity (upper), sodium chloride injury (middle) and normal morphology (lower) of *Guzmania* ‘Cherry’.

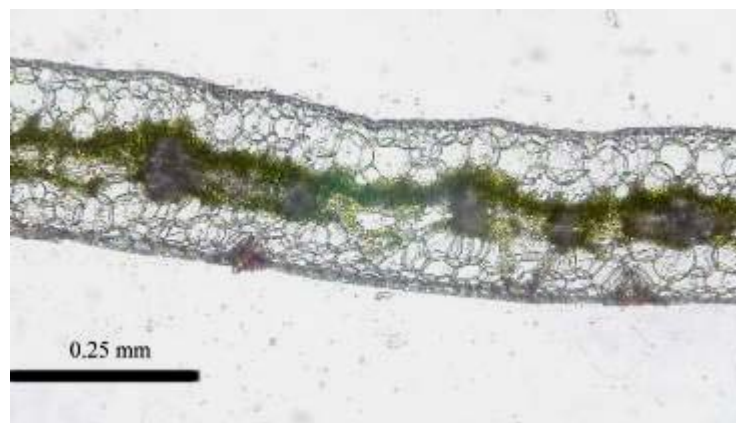
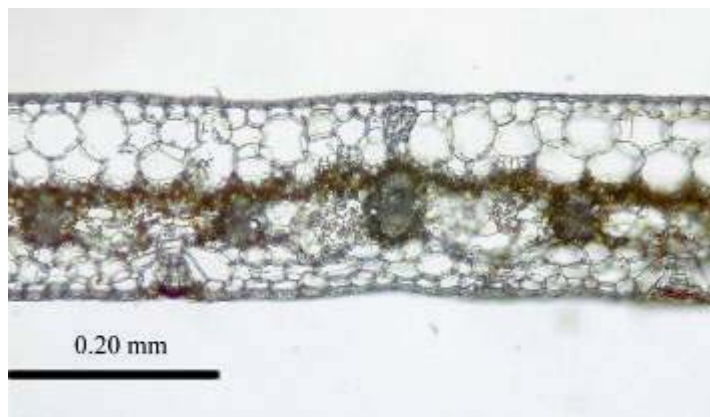
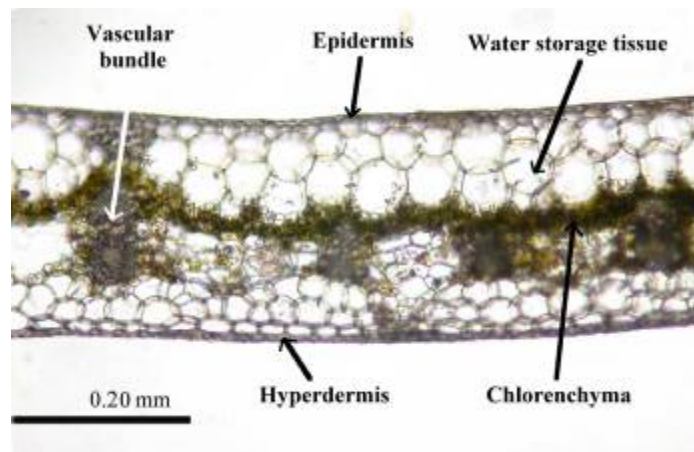


圖 6. 擎天鳳梨‘Cherry’硼毒害葉片（上）、氯化鈉毒害葉片（中）與正常葉片（下）解剖構造之差異。

Fig. 6. Anatomy of leaves expressed with boron toxicity (upper), sodium chloride injury (middle) and normal appearance (lower) of *Guzmania* ‘Cherry’.

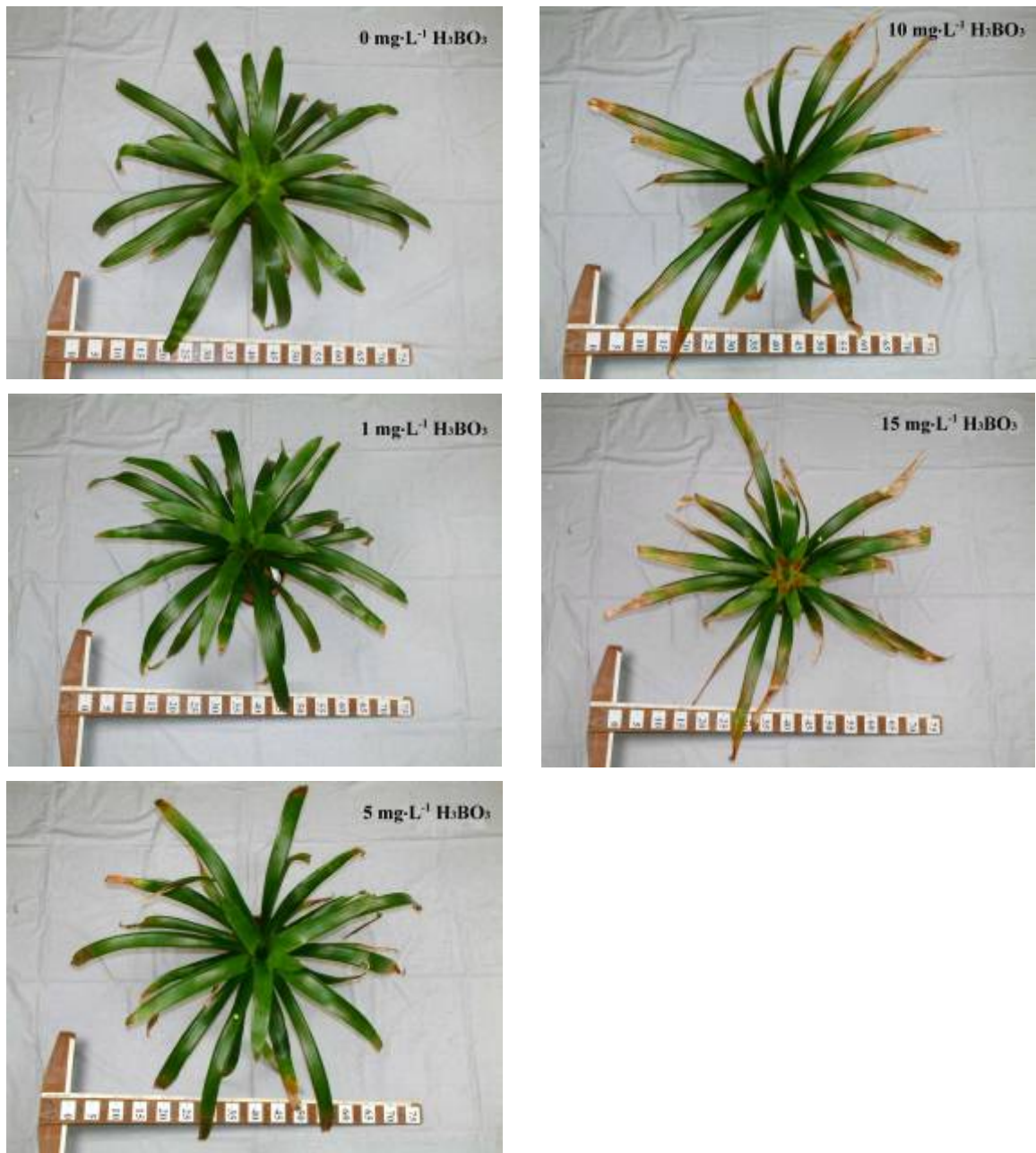


圖 7. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’植株外觀形態之影響。

Fig. 7. Effect of boric acid concentration on plant morphology of *Guzmania* ‘Cherry’.

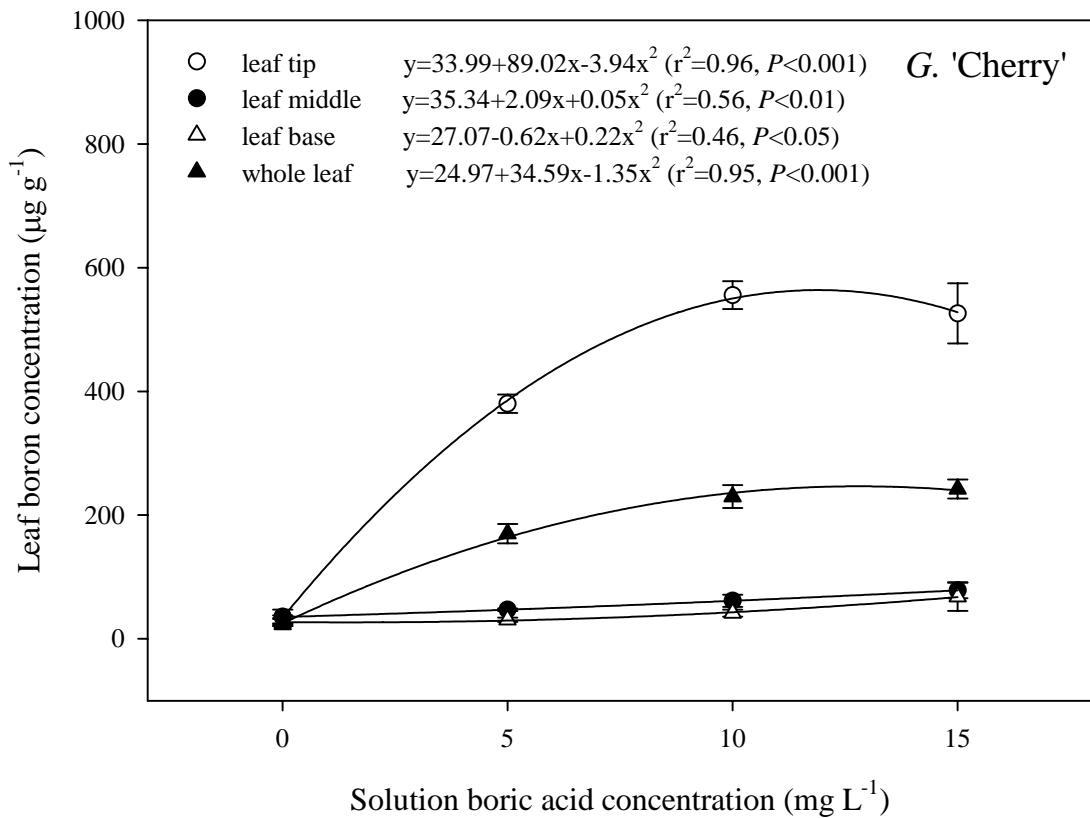


圖 8. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’不同葉片部位含硼量之影響。

Fig. 8. Effect of solution boric acid concentration on boron concentration of different leaf positions in *Guzmania* ‘Cherry’. Bars indicate standard error of the mean.

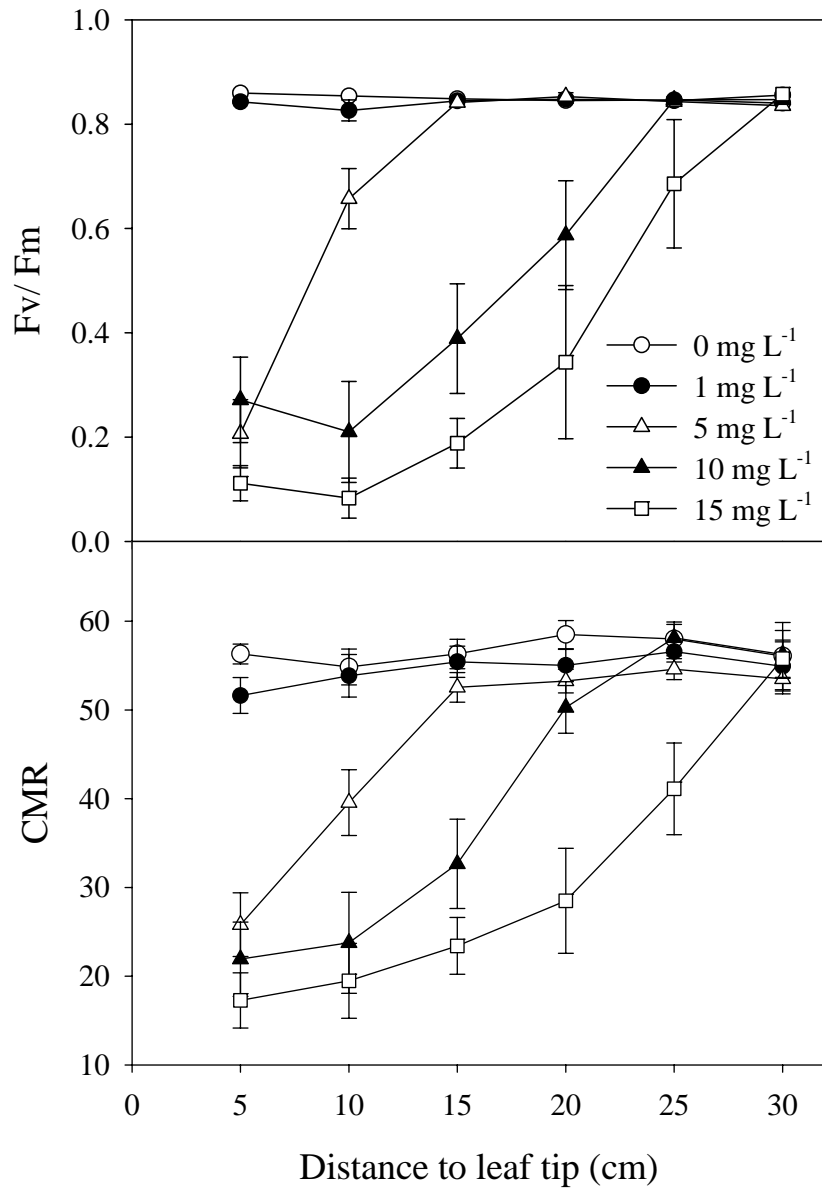


圖 9. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片不同部位葉綠素螢光值與葉綠素讀值之影響。

Fig. 9. Effect of boric acid concentration on Fv/Fm and CMR value of different leaf portions in *Guzmania* ‘Cherry’. Bars indicate standard error of the mean.

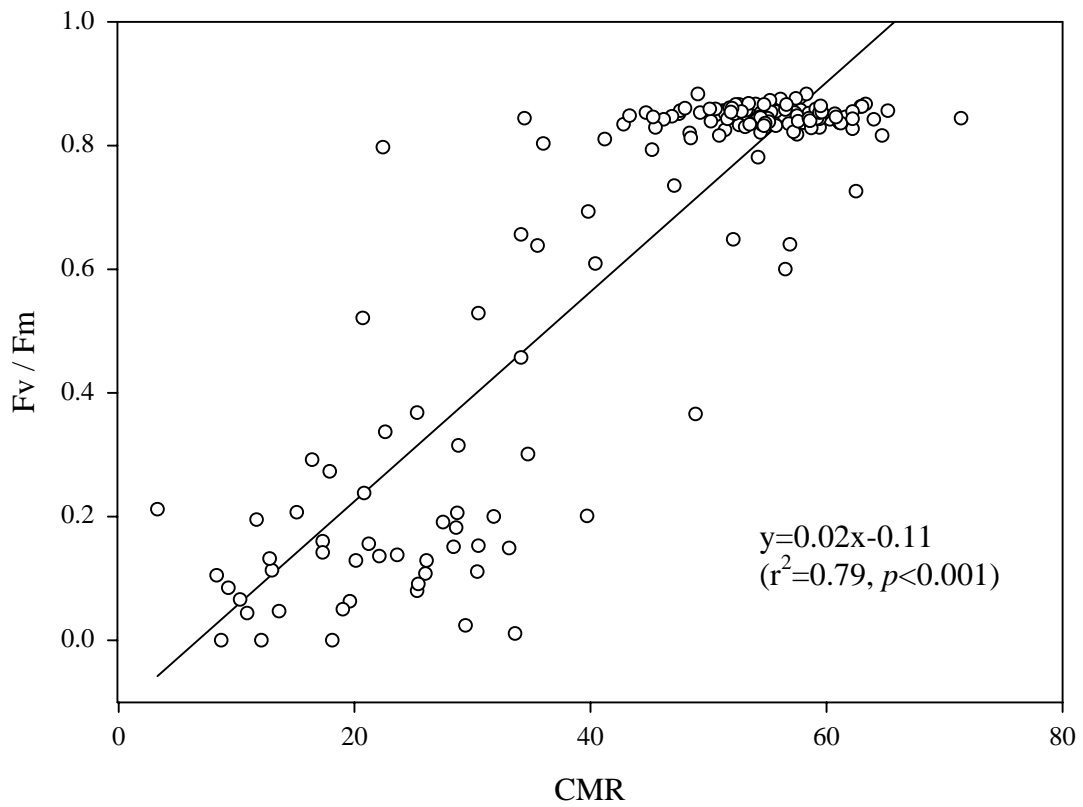


圖 10. 不同硼酸濃度下生長之擎天鳳梨‘Cherry’葉片葉綠素螢光值與葉綠素讀值之關係。

Fig. 10. Relationship between Fv/Fm and CMR value of *Guzmania* ‘Cherry’ grown under different boric acid concentrations.

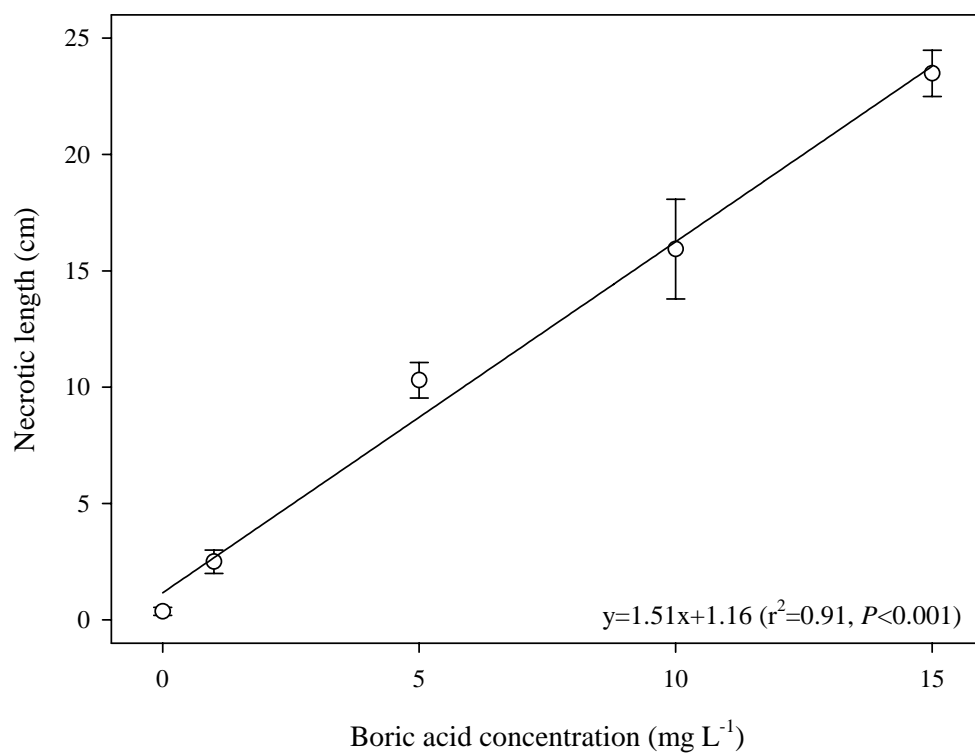


圖 11. 硼酸濃度與擎天鳳梨‘Cherry’葉片壞疽長度之關係。

Fig. 11. Relationship between solution boric acid concentration and leaf necrotic length of *Guzmania* ‘Cherry’. Bars indicate standard error of the mean.

40% shading

76% shading

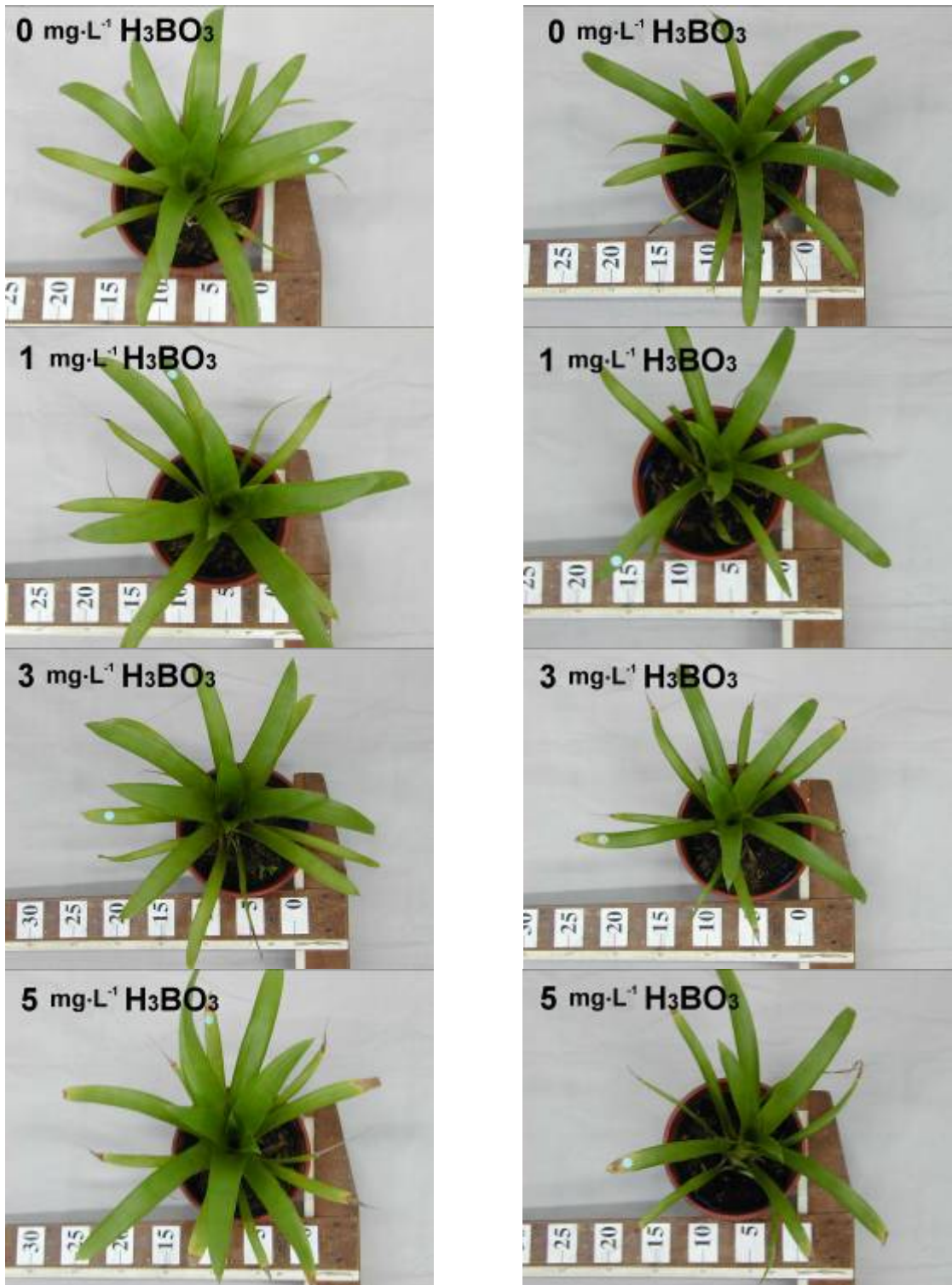


圖 12. 不同遮光程度與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’植株外觀之影響。

Fig. 12. Effects of shading and boric acid concentration on plant morphology of *Guzmania* ‘Cherry’.

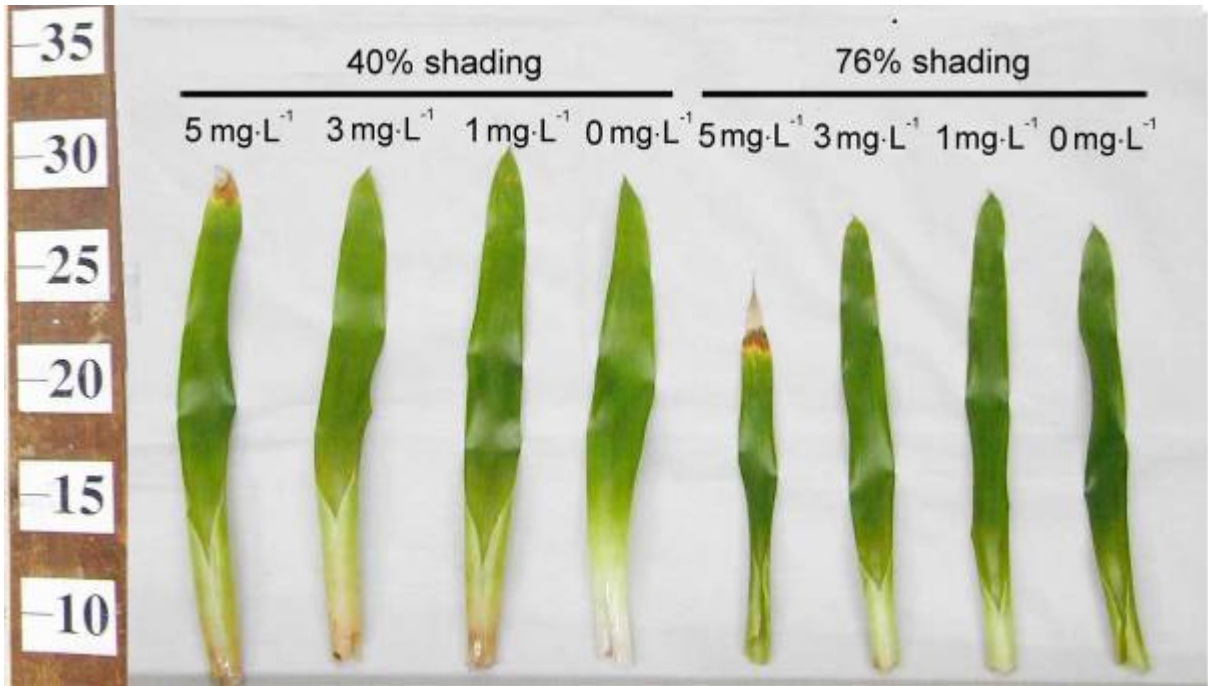


圖 13 不同遮光程度與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片外觀之影響。

Fig. 13. Effects of shading and boric acid concentration on leaf morphology of *Guzmania* ‘Cherry’.

40% shading

76% shading

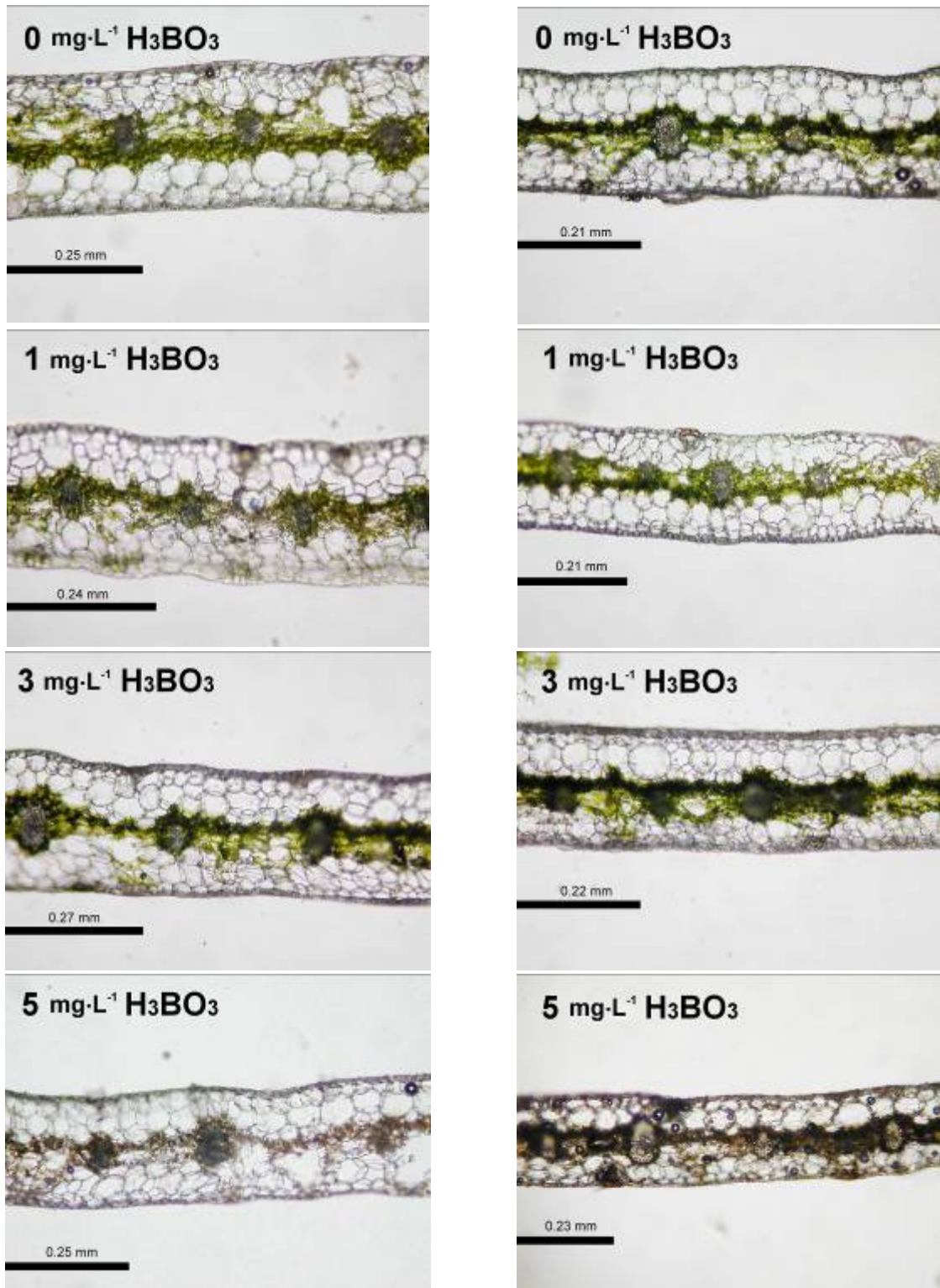


圖 14. 不同遮光程度與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片解剖之影響。

Fig. 14. Effects of shading and boric acid concentration on leaf anatomy of *Guzmania* ‘Cherry’.

表 1. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片數、株高、展幅、地上部乾重及地下部乾重之影響。

Table 1. Effects of boric acid concentration on leaf number, plant height, canopy width, shoot dry weight, and root dry weight of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	Leaf no.	Plant ht. (cm)	Canopy width (cm)	Shoot dry wt. (g)	Root dry wt. (g)
0	25.8 a ^z	24.0 a	54.0 a	17.8 a	1.4 a
10	25.3 a	20.8 ab	57.8 a	17.3 a	1.6 a
20	25.8 a	19.6 b	55.3 a	15.3 a	1.5 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	3.34	4.18	7.19	3.36	0.57

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 2. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉綠素讀值、蒸散作用與氣孔導度之影響。

Table 2. Effects of boric acid concentration on CMR value, transpiration rate and stomatal conductivity of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	CMR value	Transpiration rate (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductivity (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
0	44.3 a ^z	0.9 a	61.1 a
10	31.4 b	0.5 b	31.8 b
20	9.3 c	0.8 a	54.3 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	8.33	0.32	21.00

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 3. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’介質 EC、pH 壞疽葉片數、內捲葉片數及壞疽葉面積之影響。

Table 3. Effect of boric acid concentration on medium EC, pH, necrotic leaf number, curled leaf number and necrotic leaf area of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	EC (dS·m ⁻¹)		pH		Leaf no. (per plant)		Necrotic area (%)
	Original Leaching		Original Leaching		Necrotic	Curled	
0	0.95	0.27 ab ^z	5.49	6.2 a	2.8 b	8.2 b	0.0 c
10	0.94	0.25 b	5.69	6.0 a	24.3 a	8.2 b	25.5 b
20	1.02	0.31 a	5.70	5.9 a	25.8 a	11.0 a	38.7 a
LSD	--	0.05	--	0.55	3.0	2.05	5.92

(*P*=0.05)

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 4. 氯化鈉濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片數、株高、展幅、地上部乾重及地下部乾重之影響。

Table 4. Effect of sodium chloride concentration on leaf number, plant height, canopy width, shoot dry weight, and root dry weight of *Guzmania* ‘Cherry’.

NaCl concentration (mM)	Leaf no.	Plant ht (cm)	Canopy width (cm)	Shoot dry wt (g)	Root dry wt (g)
0	26.7 a ^z	16.2 b	57.9 a	19.9 a	1.8 a
10	24.8 ab	18.5 a	59.8 a	18.1 ab	1.4 a
20	25.3 ab	17.3 ab	54.8 a	15.8 bc	1.4 a
50	24.3 b	16.2 b	59.0 a	14.9 c	1.3 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	2.32	1.53	6.60	2.63	0.53

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 5. 氯化鈉濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉綠素計讀值、蒸散作用速率與氣孔導度之影響。

Table 5. Effect of sodium chloride concentration on CMR value, transpiration rate and stomatal conductivity of *Guzmania* ‘Cherry’.

NaCl concentration (mM)	CMR value	Transpiration rate (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductivity (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
0	40.0 a ^z	0.9 a	57.5 a
10	43.6 a	0.6 b	42.3 ab
20	41.8 a	0.5 bc	35.0 bc
50	39.5 a	0.4 c	25.4 c
LSD (<i>P</i> =0.05)	5.25	0.20	15.57

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 6. 氯化鈉濃度對擎天鳳梨‘Cherry’介質 EC、pH 與壞疽葉片數、內捲葉片數之影響。

Table 6. Effect of sodium chloride concentration on medium EC, pH, necrotic leaf number and curled leaf number of *Guzmania* ‘Cherry’.

NaCl concentration (mM)	EC (dS·m ⁻¹)		pH		Leaf no. (per plant)	
	Original	Leaching	Original	Leaching	Necrotic	Curled
0	0.9	0.3 d ^z	5.8	5.4 b	4.7 b	4.2 d
10	2.0	0.6 c	5.7	6.7 a	5.0 b	13.8 a
20	2.9	1.0 b	5.9	6.7 a	10.2 a	7.8 c
50	5.3	1.5 a	5.7	6.8 a	11.0 a	11.2 b
LSD (<i>P</i> =0.05)	--	0.1	--	0.5	3.4	2.1

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 7. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’株高、展幅及葉片數之影響。

Table 7. Effect of boric acid concentration on plant height, canopy wide, and leaf number of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg · L ⁻¹)	Plant ht (cm)	Canopy wide (cm)	Leaf no.
0	17.7 ab ^z	75.0 ab	33.7 a ^z
1	18.3 a	76.5 ab	32.5 a
5	17.8 ab	71.7 b	32.8 a
10	18.0 ab	81.7 a	32.0 a
15	15.8 b	78.2 ab	31.2 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	2.43	7.15	2.72

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 8. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉綠素計讀值、壞疽葉片數、壞疽長度及壞疽葉面積之影響。

Table 8. Effect of boric acid concentration on leaf number, CMR value, necrotic leaf number, leaf necrotic length, and leaf necrotic area of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg · L ⁻¹)	CMR	Necrotic leaf no.	Necrotic length (cm)	Necrotic leaf area
0	48.5 a ^z	11.5 c	0.4 d	37.3 d
1	46.3 a	19.8 b	2.5 d	72.0 d
5	44.8 a	25.8 a	10.3 c	402.4 c
10	25.0 b	24.7 a	15.9 b	599.8 b
15	18.6 b	25.2 a	23.5 a	793.1 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	6.71	2.94	3.30	88.46

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 9. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片蒸散作用速率及氣孔導度之影響。

Table 9. Effect of boric acid concentration on transpiration rate and stomatal conductivity of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	Transpiration rate (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductivity (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
0	0.46 ab ^z	54.88 b
1	0.38 b	53.95 b
5	0.45 ab	84.30 ab
10	0.40 ab	59.88 b
15	0.61 a	105.02 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	0.21	39.15

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 10. 硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’介質 EC 值及 pH 值之影響。

Table 10. Effect of boric acid concentration on medium pH and EC of *Guzmania* ‘Cherry’.

H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	EC (dS·m ⁻¹)		pH	
	Original	Leaching	Original	Leaching
0	0.65	0.40 a ^z	6.05	6.84 a
1	0.80	0.41 a	6.13	6.50 a
5	0.77	0.44 a	6.18	6.54 a
10	0.78	0.46 a	6.23	6.81 a
15	0.81	0.47 a	6.21	6.70 a
LSD (<i>P</i> =0.05)	--	0.10	--	0.49

^z Mean separation in columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

表 11. 遮光與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’株高、展幅與葉片數之影響。

Table 11. Effects of shading and boric acid concentration on plant height, canopy width, and leaf number of *Guzmania* ‘Cherry’.

Shading (%)	Boric acid concentration (mg·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Leaf no.
40	0	13.7 ab ^z	28.5 ab	17.8 a
	1	14.0 a	27.6 abc	16.5 a
	3	12.7 b	26.0 c	17.3 a
	5	12.7 b	27.2 bc	17.0 a
76	0	9.2 c	28.3 ab	12.2 b
	1	9.0 c	26.5 bc	12.3 b
	3	9.3 c	29.8 a	11.7 b
	5	9.8 c	29.7 a	12.0 b
Significance				
Shading (S)		***	*	***
Boric acid concentration (B)		NS	NS	NS
S × B		NS	*	NS

^z Mean separation within the same column followed by different letter were significantly different at 5% level by LSD test.

NS, *, *** Nonsignificant or Significant at $P \leq 0.05, 0.001$, respectively.

表 12. 遮光與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片組織厚度之影響。

Table 12. Effects of shading and boric acid concentration on leaf tissue thickness of *Guzmania* ‘Cherry’.

Shading (%)	Boric acid concentration (mg·L ⁻¹)	Thickness (mm)				
		Epidermis	WST	Chlorenchyma	Hypodermis	Total
40	0	0.017 ab ^z	0.063 a	0.117 a	0.020 a	0.26 ab
	1	0.013 ab	0.077 a	0.090 bc	0.013 ab	0.27 a
	3	0.020 a	0.077 a	0.097 abc	0.013 ab	0.27 a
	5	0.010 b	0.070 a	0.110 ab	0.013 ab	0.25 abc
76	0	0.010 b	0.063 a	0.083 c	0.010 b	0.22 de
	1	0.013 ab	0.057 a	0.087 c	0.013 ab	0.21 e
	3	0.013 ab	0.073 a	0.083 c	0.010 b	0.22 cde
	5	0.010 b	0.070 a	0.087 c	0.010 b	0.23 bcde
Significance						
Shading (S)		NS	NS	**	NS	***
Boric acid concentration (B)		NS	NS	NS	NS	NS
S × B		NS	NS	NS	NS	NS

^z Mean separation within the same column followed by different letter were significantly different at 5% level by LSD test.

NS, **, *** Nonsignificant or Significant at $P \leq 0.01$ or 0.001 , respectively.

表 13. 遮光與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’地上部硼含量、介質 EC、pH 與介質含水量之影響。

Table 13. Effect of shading and solution boric acid concentration on shoot boron concentration, medium EC, pH, and water content of *Guzmania* ‘Cherry’.

Shading (%)	Boric acid concentration (mg·L ⁻¹)	Shoot boron concentration (μg·g ⁻¹)	EC (dS·m ⁻¹)	pH	Medium water content (%)
40	0	46.6 b ^z	0.49 a ^z	6.48 cd	45.3 a
	1	57.2 b	0.43 ab	6.59 bcd	47.5 a
	3	92.1 b	0.49 a	6.38 d	45.1 a
	5	91.0 b	0.39 abc	6.64 abcd	47.8 a
76	0	46.0 b	0.26 d	6.72 abc	43.7 a
	1	73.4 b	0.33 bcd	6.70 abc	45.4 a
	3	72.3 b	0.27 d	6.87 a	45.3 a
	5	194.8 a	0.29 cd	6.86 ab	46.3 a
Significance					
Shading (S)		NS	***	***	NS
Boric acid concentration (B)		*	NS	NS	NS
S × B		NS	NS	NS	NS

^z Mean separation within the same column followed by different letter were significantly different at 5% level by LSD test.

NS, *, *** Nonsignificant or Significant at $P \leq 0.05$ or 0.001, respectively.

表 14. 遮光與硼濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉綠素計讀值、氣孔密度、蒸散作用速率與氣孔導度之影響。

Table 14. Effects of shading and boric acid concentration on CMR value, stomata density, transpiration rate, and stomatal conductivity.

Shading (%)	Boric acid concentration (mg·L ⁻¹)	CMR value	Stomatal density (per cm ²)	Transpiration rate (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductivity (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
40	0	28.22 cd ^z	22.5 ab	4.37 bcd	187.0 bc
	1	26.93 d	24.5 a	4.76 bc	191.3 bc
	3	26.57 d	22.5 ab	6.05 b	229.3 b
	5	29.05 bcd	20.0 b	8.45 a	314.3 a
76	0	30.72 abc	22.5 ab	2.72 de	137.3 cd
	1	31.42 abc	23.8 a	1.99 e	87.3 d
	3	33.67 a	22.2 ab	3.01 de	143.6 cd
	5	31.98 ab	24.3 a	3.73 cd	175.0 bc

Significance

Shading (S)	***	NS	***	***
Boric acid concentration (B)	NS	NS	***	**
S × B	NS	*	NS	NS

^z Mean separation within the same column followed by different letter were significantly different at 5% level by LSD test.

NS, *, **, *** Nonsignificant or Significant at $P \leq 0.05, 0.01$ or 0.001 , respectively.

表 15. 遮光與硼酸濃度對擎天鳳梨‘Cherry’葉片生長、壞疽葉片數與內捲葉片數之影響。

Table 15. Effects of shading and boric acid concentration on leaf growth, necrotic and curled leaf number of *Guzmania* ‘Cherry’.

Shading (%)	Boric acid concentration (mg · L ⁻¹)	Leaf							
		Increased no.	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Length (cm)	Width (cm)	Necrotic length (cm)	Necrotic no.	Curled no.
40	0	8.7 b ^z	1.8 a	0.24 abcd	22.5 bc	3.2 a	0.0 c	0.0 d	8.0 c
	1	11.2 a	1.8 a	0.30 a	23.9 ab	3.2 a	0.0 c	0.0 d	9.0 abc
	3	12.2 a	1.9 a	0.25 abc	23.4 abc	3.3 a	1.0 b	2.8 b	8.3 bc
	5	12.0 a	1.9 a	0.28 ab	24.3 a	2.9 a	3.2 a	3.5 b	9.7 a
76	0	12.2 a	1.2 b	0.17 d	22.3 c	2.3 b	0.0 c	0.0 d	8.3 bc
	1	7.7 bc	1.2 b	0.21 bcd	22.6 bc	2.5 b	0.0 c	0.0 d	8.3 bc
	3	7.0 c	1.3 b	0.18 cd	23.1 abc	2.5 b	1.4 b	1.3 c	8.3 bc
	5	7.2 c	1.4 b	0.22 bcd	24.5 a	2.6 b	3.9 a	5.0 a	9.3 ab
Significance									
Shading (S)		***	***	**	NS	***	NS	NS	NS
Boric acid concentration (B)		*	NS	NS	**	NS	***	***	**
S × B		***	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

^z Mean separation within the same column followed by different letter were significantly different at 5% level by LSD test.

NS, *, **, *** Nonsignificant or Significant at $P \leq 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively.