

鐵濃度對‘台農1號’百香果生育之影響¹

徐筱晴²、林慧玲³

摘 要

本研究目的探討鐵對百香果‘台農1號’(*Passiflora edulis* x *P. edulis* f. *flavicarpa*)生長之影響。利用水耕栽培系統控制養液鐵濃度，觀察鐵缺乏對百香果生長之影響。結果顯示缺鐵抑制百香果生長，最終鐵濃度 3.36 mg.L^{-1} (每週添加3次EDTA-Fe)處理在株高、側芽數、莖乾重、葉片鐵及錳含量上顯著高於缺鐵(0 mg.L^{-1})處理($P \leq 0.05$)。同時 0 mg.L^{-1} 缺鐵處理之果實果汁總可溶性固形物含量顯著低於其他處理($P \leq 0.05$)。鐵元素之補充對‘台農1號’百香果生長與品質果實均有提升作用。

關鍵詞：百香果、果實品質、缺鐵

前 言

百香果(*Passiflora edulis*)為西番蓮科(*Passifloraceae*)西番蓮屬(*Passiflora*)的多年生蔓性果樹，原產於美洲熱帶地區，現廣泛栽培於熱帶美洲、亞洲和非洲。目前臺灣百香果栽培之主要品種為‘台農1號’，由農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所紫色百香果為母本，黃色百香果為父本，所育成具有自交親和性的品種⁽¹⁾。近年來因苗株品質改善、栽培技術及產值提高，整體經營考量漸具優勢，且因價格提高使栽培地區擴及至過去主要栽培地區南投埔里以外。百香果由於具獨特的香氣跟風味而風靡全球，加工及鮮食需求增加，加上高經濟價值及富含健康成分，許多國家紛紛引進，預計未來幾年世界百香果產量和種植面積將繼續增加。

利用葉片營養分析可以提早於缺乏症狀出現之前調整植株營養，避免缺乏症出現後難以補救之情形，是提高栽培管理效率的有效方法。植體中礦物元素含量會影響果實在貯藏、販售時之品質及樹架壽命。為提高果實品質及產量，肥培管理至關重要。由於嫁接苗期⁽⁶⁾及栽培過程中^(3,5,6)經常發生新葉黃白化疑似缺鐵之現象。目前百香果產區逐漸移往平地，在臺灣農業重要生產地，如本場轄區及南部沖積扇等地區中含碳酸鹽，尤其是 CaCO_3 與 MgCO_3 等石灰質，屬於鹼性土，微量元素如鐵的溶解度偏低使植物難以吸收，同時土壤中Ca/K比大，植物不易利用土壤中的鉀⁽⁴⁾。同時觀察到‘台農1號’百香果在缺鉀狀況下易誘導缺鐵⁽⁵⁾，為了解鐵對百香果栽培期間生長與發育之影響，本研究利用水耕控制鐵濃度，藉由比較不同濃度處理間的差異，探討栽培百香果最適鐵濃度範圍，以提高百香果生長及果實品質，作為改善栽培管理技術之依據。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第1016號。

² 國立中興大學園藝學系前研究生，現行政院農業委員會臺中區農業改良場研究助理。

³ 國立中興大學園藝學系教授。

材料與方法

一、試驗材料

(一)植物材料

於2019年6月24日自國立中興大學園藝試驗場葡萄中心購入15株砧木為黃色種百香果之‘台農1號’百香果嫁接苗。經洗根去除介質後以水耕系統栽培於國立中興大學園藝系之玻璃溫室。由於在溫室中進行栽培，加上栽培期間光週環境條件不易開花，因此在處理後一個月，開始進行電照處理，以100瓦之鎢絲燈泡(東亞照明)補充光源。

(二)水耕液配製

依據Hoagland配方，配製濃度均為1 M之大量元素、微量元素及0.01M EDTA-Fe之水耕母液。大量元素分別以1莫耳之 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 、 KH_2PO_4 溶於去離子純水中，定量到1 L。微量元素分別以3.728 g之 KCl 、1.546 g之 H_3BO_3 、0.845 g之 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、0.575 g之 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 、0.125 g之 $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ 及0.0184 g之 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶於去離子純水中，定量至1 L。EDTA-Fe則取3.72 g Na_2EDTA 及2.78 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶於純水中，定量至1 L。以上述之水耕母液，配置水耕液，每公升水耕液含5 mL的 KNO_3 母液、5 mL的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 母液、2 mL的 MgSO_4 母液、1 mL的 KH_2PO_4 母液及1 mL的微量元素母液(附表1)。

(三)不同鐵濃度水耕液配置及處理前栽培管理

本試驗參考林等(1989)以Hoagland養液配方為對照組⁽³⁾，以0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (不添加EDTA-Fe)為缺鐵處理。對照組使用之Hoagland養液配方，即為每週添加2次EDTA-Fe，每公升水耕液共4 mL之EDTA-Fe母液，最終鐵濃度為2.24 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，另以每週添加3次EDTA-Fe，使每公升水耕液共6 mL之EDTA-Fe母液，最終鐵濃度為3.36 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，及不添加EDTA-Fe，使最終養液鐵濃度為0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之缺鐵處理，共三種水耕液栽培百香果(附表2)，每週更換水耕液。本試驗3處理5重複，共15株。2019年6月25日至2019年7月26日，即移植後1個月間以1/2 Hoagland配方栽培，2019年7月26日至2019年8月22日改以Hoagland全養液配方栽培。待百香果主蔓生長至超過160 cm上架後，去頂使植株平均株高約80 cm。

二、調查項目及分析方法

(一)生長量調查

2019年8月23日選擇植株狀況接近之植株進行試驗，記錄處理當週生長相關數據並開始每週進行生長量調查，調查至植株生長量出現顯著差異，生長量記錄包含植株葉片數、株高及側芽數，並於試驗開始後九個月，確定完成果實品質調查後進行破壞性試驗，調查植株根、莖、葉之乾及鮮重。

1.株高：以皮尺沿植株莖部測量由莖頂至根莖交接處之長度。以cm為單位，測量尺規之最小刻度為1 cm。

2. 葉片數：整株百香果之葉片總數，未展開之新葉不納入計算。
3. 側芽數：整株百香果之側芽總數，百香果側芽超過0.5 cm即肉眼可見，記錄側芽總數後立即以消毒後器械將其摘除，避免重複計算及經器械感染病毒。
4. 葉、莖、根之鮮與乾重：於2019年12月13日砍除植株進行破壞性調查，以自來水洗淨附著葉片上之灰塵，擦乾後以電子天平分別測量植株葉、莖、根鮮重。接著再以1%鹽酸溶液快速刷洗，之後以去離子水清洗3次，放入牛皮紙袋，置於烘箱中，以100°C烘箱中殺菁1 hr，接著以70°C烘乾48 hr以上，至完全乾燥後取出，以電子天平秤重。

(二)礦物營養元素分析

於生長量調查結束當日採集由莖頂往下數第8片葉，做為營養生長期葉片營養分析材料，再於破壞性調查當日將葉片分出由莖頂往下數第8片葉做為生殖生長期葉片營養分析材料，分別以根、莖、葉進行分析。樣品乾燥後精稱樣品粉末0.5 g。放入灰化爐(muffle furnace)內，將粉末以高溫乾灰化。灰化結束後取出待樣品冷卻，加入5 ml 2 N HCl(Merck Company)。以Whatman#42號濾紙過濾，以濾除灰化液的殘渣濾液，並將其定容至25 ml。

1. 氮：全氮分析採用凱氏氮測定法(Micro Kjeldahl method)，精稱乾燥樣品粉末0.2 g。以1/4張Whatman#1號濾紙包裹樣品，加入1 g催化劑(Selenium reagent mixture, $K_2SO_4 : CuSO_4 : Se = 100 : 10 : 1$, w/v, Merck.)，以410°C加熱分解，直至分解管中液體呈澄清淡綠色後，取出冷卻。將分解管樣品倒入Micro-Kjeldahl裝置之凱氏氮球型分解瓶，加入20 ml 12 N NaOH於凱氏氮分解瓶，隨即通蒸氣使之氮化，以20 ml含2% Boric acid及全氮指示劑(19 μM Bromocresol和25 μM Methyl red)之指示劑溶液接收氨水與氨氣，至總體積達50 ml為止。最後利用經反滴定校正F值之1/14 N H_2SO_4 滴定，計算氮之含量。
2. 磷：磷分析使用鉬黃法，取1 mL乾灰化濾液，加入3 mL去離子純水，再加入1 mL鉬黃試劑，混合均勻後靜置30分鐘，使用Elisa(FLUO star Omega)測定470 nm波長之吸光值。以50 $mg \cdot L^{-1}$ 之磷標準品配置0、10、20、30、40 $mg \cdot L^{-1}$ 做出檢量線後可將樣品吸光值代入，即可計算出該樣品所含之元素濃度。經換算後以%表示單位。
3. 鉀、鎂：取0.1 mL乾灰化濾液，稀釋200倍，再以偏光茲曼吸收光譜儀(Seriespolarized Zeeman atomic absorption spectrophotometer, Model Z-2000, Hitachi, Japan)測定吸光值，以標準品做出檢量線後可將樣品吸光值代入，即可計算出該樣品所含之元素濃度。經換算後以%表示單位。
4. 鈣：取0.1 mL乾灰化濾液，稀釋50倍其中添加1 mL 5%氧化鐳(La_2O_3)，混合均勻後以偏光茲曼吸收光譜儀測定吸光值，以標準品做出檢量線後可將樣品吸光值代入，即可計算出該樣品所含之元素濃度。經換算後以%(g/100gDW)表示單位。

5. 微量元素：鐵、錳、鋅、銅之測定直接以偏光茲曼吸收光譜儀測定，以標準品做出檢量線後可將樣品吸光值代入，即可計算出該樣品所含之元素濃度。經換算後以 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (mg/KgDW)表示單位。
6. 硼：取0.2 mL乾灰化濾液加入0.4 mL buffer masking reagent均勻混合後，加入0.2 mL之azomethine-H reagent，反應1hr結束後，使用Elisa(FLUO star Omega)測定420 nm波長之吸光值。以100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之硼標準品配置0、1、2、3、4及5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 做出檢量線後可將樣品吸光值代入，即可計算出該樣品所含之元素濃度。經換算後以 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (mg/KgDW)表示單位。

(三)果實品質調查

果實重、果汁率及果實含水率：果實鮮重、果皮乾鮮重調查於果實剪除殘留果梗後，以乾抹布或餐巾紙去除田間可能附帶在果實上之灰塵、殘存之萼片後，以電子天平秤重。果皮鮮重於完整挖取果實內部之種子、假種皮、內果皮等構造後，以電子天平秤其鮮重。果皮置於100°C烘箱中殺菁1 hr，接著以70°C烘乾48 hr以上，至完全乾燥後取出，以電子天平秤其乾重。

1. 果實顏色之測定：由於百香果在田間易出現轉色不完全情形，較不適合使用色差儀測定，本研究參考黃(2016)使用之評分標準⁽⁷⁾，詳見附圖1，由完全未轉色之綠色至完全轉色之紫色分為5等級，以目視方式判定果實轉色程度。
2. 果實總可溶性固形物、可滴定酸、果汁酸鹼值、糖酸比：以電子式糖度計(ATAGO, PR-32)測量果汁總可溶性固形物含量，單位為°Brix。果汁酸鹼值使用手持式pH meter測定。並取1 mL果汁加入29 mL去離子水，以及2滴酚酞指示劑(phenolphthalein)，利用經反滴定校正F值之0.1 N NaOH溶液滴定至酚酞變色(達滴定終點)。記錄滴定量並換算為百香果主要酸成分：檸檬酸含量，單位以%表示，計算公式如下：

$$\text{可滴定酸}\% = \text{滴定量} * \text{F值} * \text{b} * 1 / \text{果汁量}(\text{mL}) * 100\%$$

F值：0.1N NaOH的力價(校正值)

b：檸檬酸：0.0064

測得總可溶性固形物除以對應之可滴定酸含量，即可得果汁糖酸比。

3. 果實大小、果皮厚及果實皺縮程度：百香果果皮(Fruit shell)由子房壁及子房發育而來，包含果皮與果肉的結構。採後百香果的果皮容易因為失水或果肉組織崩壞，而使果實表面產生不規則皺縮之現象，同時果皮組織因細胞壁結構崩解使果實失去原本的彈性與硬度，若遇外部壓力易產生凹陷變形，果實皺縮與軟化目前以目視，依據發生面積以不同等級指數量化評估為主，參考黃(2016)使用之評分標準⁽⁷⁾，詳見附圖2。以游標卡尺測量果實由赤道部位切開後之果皮厚。並使用電子式游標卡尺測量果實長與寬，以cm為單位，測量尺規之最小刻度為0.01 cm。

三、數據統計分析

試驗採完全隨機設計(completely random design, CRD)，試驗數據以統計軟體CoStat 6.3(CoHort Software, Monterey, CA, USA)進行變方分析ANOVA)後，使用費雪爾最小顯著差異法(Fisher's protected least significant difference procedure, LSD)探討處理間的個別差異性($P < 0.05$)。試驗過程利用相機拍照記錄。試驗結果以sigma plot製圖。

結 果

一、鐵對百香果‘台農1號’生長量之影響

(一)株高：

開始處理後4週， 3.36 mg.L^{-1} (每週添加3次EDTA-Fe)處理之水耕‘台農1號’百香果株高顯著高於 0 mg.L^{-1} (不添加鐵)處理($P \leq 0.05$)。株高具隨鐵濃度增加而提高之趨勢(圖1A)。

(二)葉片數：

所有處理在葉片數上無顯著差異(圖1B)。

(三)側芽數：

開始處理後1週， 3.36 mg.L^{-1} (每週添加3次EDTA-Fe)處理之水耕‘台農1號’百香果側芽數顯著高於 0 mg.L^{-1} (不添加鐵)處理($P \leq 0.05$)。側芽數具隨鐵濃度增加而提高之趨勢(圖1C)

(四)葉、莖、根之鮮、乾重：

對照組處理(每週添加2次EDTA-Fe，最終總鐵濃度 2.24 mg.L^{-1})之葉鮮重顯著高於其他處理(圖2A) ($P \leq 0.05$)。

葉乾重的部分，每週添加2次EDTA-Fe，最終總鐵濃度 2.24 mg.L^{-1} 處理(對照組)之葉乾重顯著高於其他處理。莖乾重的方面， 0 mg.L^{-1} (不添加EDTA-Fe)之莖乾重顯著低於其他處理。根乾重上所有處理無顯著差異(圖2B)。

二、鐵對百香果‘台農1號’果實品質之影響

(一)果實重、果汁率及果實含水率：果實鮮重、果皮乾鮮重調查

果實鮮重、果皮鮮重、果皮乾重及果汁率在所有處理間皆無顯著差異。果皮相對含水率上 0 mM 處理顯著高於對照組處理(表1)($P \leq 0.05$)。

(二)果實顏色與果皮厚度及果實皺縮程度

果實顏色與果皮厚度在所有處理間皆無顯著差異(表1)。而果實皺縮程度由照片可觀察到亦無顯著差異(圖3)。

(三)果實總可溶性固形物、可滴定酸、果汁酸鹼值及糖酸比

2.24 mg.L^{-1} (對照組)、 3.36 及 0 mg.L^{-1} 處理間在可滴定酸含量上無顯著差異，但可滴定酸含量具隨濃度遞減而減少之趨勢。 0 mM 處理之總可溶性固形物含量顯著低於其他處理($P \leq 0.05$)。整體

而言，可溶性固形物含量隨鐵濃度減少而呈下降趨勢。而0與2.24 mg.L⁻¹ (對照組)與3.36 mg.L⁻¹處理間在糖酸比含量上無顯著差異，但具隨濃度遞減而減少之趨勢(表1)。

(四)果實大小：果長及果寬

3.36 mg.L⁻¹處理之果長與果寬皆顯著高於0 mg.L⁻¹處理(P≤0.05)。3.36 mg.L⁻¹處理與2.24 mg.L⁻¹ (對照組)間無顯著差異(表1)。

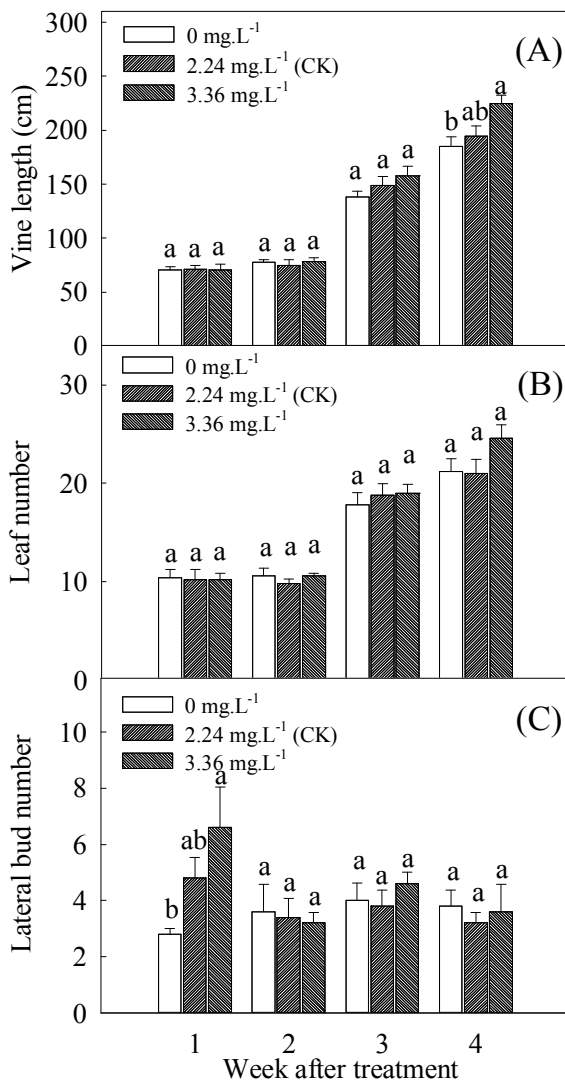


圖 1.不同鐵濃度對水耕‘台農 1 號’百香果株高(A)、葉片數(B)及側芽數(C)之影響。

Fig. 1. Effects of hydroponic solution treatment with different iron concentrations on the accumulative vine length (A), leaf number (B) and lateral bud number (C) of ‘Tainung No. 1’ passion fruit.

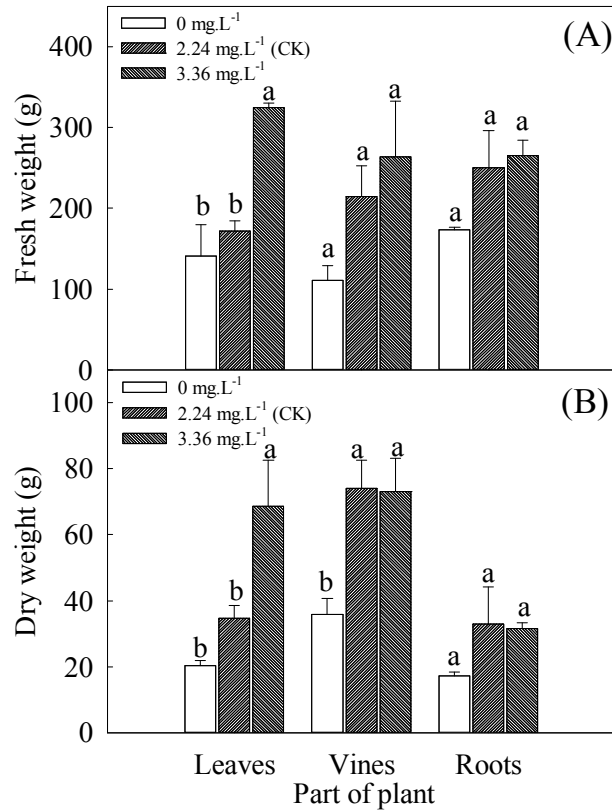


圖 2.不同鐵濃度處理 9 個月對水耕‘台農 1 號’百香果葉、莖、根之鮮(A)、乾重(B)之影響。
 Fig. 2. Effects of iron concentrations on the fresh (A) and dry weight (B) of leaves, vines and roots of ‘Tainung No. 1’ passion fruit under hydroponic solution culture for 9 month.

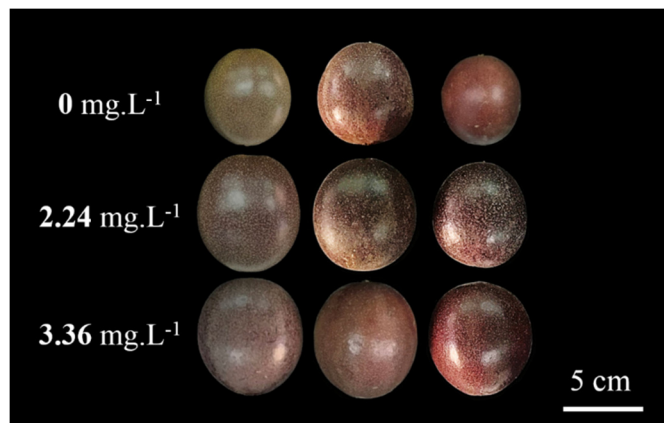


圖 3.不同鐵濃度對水耕‘台農 1 號’百香果果實外觀之影響。
 Fig. 3. Effects of hydroponic solution treatment with different iron concentrations on the ‘Tainung No. 1’ passion fruit appearance.

表 1.不同鐵濃度處理 9 個月對‘台農 1 號’百香果果實品質之影響

Table 1. Effects of iron concentrations on the fruit quality of ‘Tainung No. 1’passion fruit under hydroponic solution culture for 9 month

Treatments ¹	Weight(g)	Length(mm)	Diameter(mm)	Peel color(index)
0 mg.L ⁻¹	56.88 a	62.48 b	51.52 b0	4.80 b
2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	58.98 a	65.77 ab	53.63 ab	5.00 a
3.36 mg.L ⁻¹	59.88 a ²	67.75 a	56.87 a0	5.00 a
Treatments ¹	TSS(°Brix)	TA(%)	TSS/TA ratio	Juice content(%)
0 mg.L ⁻¹	11.17 b	2.92 a	3.88 a	54.34 a
2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	13.50 a	3.43 a	3.94 a	64.02 a
3.36 mg.L ⁻¹	13.83 a	3.39 a	4.15 a	58.84 a
Treatments ¹	Peel THK ³ (mm)	Peel FW(g)	Peel DW(g)	Peel WC(%)
0 mg.L ⁻¹	6.18 a	25.84 a	3.84 a	85.10 a0
2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	6.00 a	21.16 a	4.13 a	80.32 b0
3.36 mg.L ⁻¹	6.35 a	24.27 a	4.23 a	82.35 ab

¹ Hoagland nutrient solution was used as the control group(2 times per week), and the iron added frequency treated with 0.02 mM each time by EDTA-Fe.

² Means within the column followed by the same letter are not significantly different by LSD test at $P \leq 0.05$.

³ THK : Fruit peel thickness.

^x Peel FW : Peel fresh weight.

^x Peel DW : Peel dry weight.

^x Peel WC : Peel water content.

三、鐵對百香果‘台農1號’營養元素含量之影響

(一)營養生長期葉片

營養生長期之氮、磷、鉀、鈣、鎂、鐵、鋅、銅及硼在所有處理間無顯著差異。3.36 mg.L⁻¹處理之錳含量顯著高於對照組及0 mg.L⁻¹處理(表2、3)($P \leq 0.05$)。

(二)生殖生長期葉片

結果期樣品之對照組鉀含量顯著低於其他處理，鐵含量以3.36 mg.L⁻¹處理顯著高於對照組與0 mg.L⁻¹處理($P \leq 0.05$)。3.36 mg.L⁻¹處理之鋅含量顯著低於對照組($P \leq 0.05$)。其餘氮、磷、鈣、鎂、錳、銅及硼在所有處理間無顯著差異(表2、3)。

表 2. 不同鐵濃度處理 9 個月對‘台農 1 號’百香果葉片巨量元素濃度之影響

Table 2. Effects of iron on the macronutrients concentration in passion fruit leaves of ‘Tainung No. 1’ under hydroponic system for 9 month

Treatments ¹		Macronutrients concentration(%)				
		N	P	K	Ca	Mg
1 month after treatment	0 mg.L ⁻¹	4.76 a	0.33 a	3.99 a	1.24 a	0.48 a
	2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	4.70 a	0.32 a	4.06 a	1.11 a	0.45 a
	3.36 mg.L ⁻¹	4.71 a ²	0.34 a	3.83 a	1.26 a	0.44 a
9 month after treatment	0 mg.L ⁻¹	3.40 a	0.24 a	4.27 a	1.96 a	0.83 a
	2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	4.30 a	0.26 a	3.16 b	2.01 a	0.83 a
	3.36 mg.L ⁻¹	4.20 a	0.21 a	4.18 a	2.09 a	0.82 a

¹ Hoagland nutrient solution was used as the control group(2 times per week), and the iron added frequency treated with 0.02 mM each time by EDTA-Fe.

² Means within the column followed by the same letter are not significantly different by LSD test at $P \leq 0.05$.

表 3. 不同鐵濃度處理 9 個月對‘台農 1 號’百香果葉片微量元素濃度之影響

Table 3. Effects of iron on the micronutrients concentration in passion fruit leaves of ‘Tainung No. 1’ under hydroponic system for 9 month

Treatments ¹		Micronutrients concentration(mg.L ⁻¹)				
		Fe	Mn	Zn	Cu	B
1 month after treatment	0 mg.L ⁻¹	064.4 a	35.5 b	22.2 a	4.0 a	93.9 a
	2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	071.3 a	33.7 b	26.1 a	4.0 a	90.8 a
	3.36 mg.L ⁻¹	074.1 a ²	50.9 a	26.6 a	3.7 a	93.0 a
9 month after treatment	0 mg.L ⁻¹	245.6 b	37.3 a	39.3 ab	5.3 a	69.7 a
	2.24 mg.L ⁻¹ (CK)	312.2 b	31.9 a	44.6 a	6.4 a	71.9 a
	3.36 mg.L ⁻¹	407.2 a	35.7 a	31.8 b	4.7 a	61.1 a

¹ Hoagland nutrient solution was used as the control group(2 times per week), and the iron added frequency treated with 0.02 mM each time by EDTA-Fe.

² Means within the column followed by the same letter are not significantly different by LSD test at $P \leq 0.05$.

討 論

在含大量鈣質的石灰質土壤中容易缺鐵。缺鐵將導致營養生長顯著降低，百香果鐵缺乏症狀包含在幼葉觀察到低葉綠素濃度(萎黃)黃白化、根莖葉生長受限、新葉無法順利展開等⁽³⁾，並對開花、葉面積和著果率具有負面影響，本試驗中觀察缺鐵處理在老葉出現明顯褐化壞死、成熟葉葉脈間黃化、新葉黃白化(圖4A)，並造成側芽、新芽(圖4B)及花苞(圖4C)黃化。由於鐵在植物中的移動性低，因此缺鐵將在頂端葉片中觀察到萎黃，證實鐵在葉綠素合成中的重要性⁽¹³⁾。礦物質營養缺乏會對百香果的代謝過程產生負面影響，其中鐵及鎂缺乏對光合作用的影響最大⁽¹⁷⁾。Cárdenas-Pira等(2021)指出在處理72天後，缺鐵百香果植株在光飽和時相較其他元素缺乏處理及對照組具有最低的淨光合

速率($1.72 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，可能是由於缺鐵逆境導致光系統的活性改變，並影響了葉綠素a、b以及類胡蘿蔔素的生合成。雖然鐵並非葉綠素分子的一部分，但它對於葉綠素合成和鐵氧還蛋白是必需的，且鐵氧還蛋白是光系統I中的電子受體⁽¹³⁾，此外缺鐵會導致類囊體膜結構的改變並破壞光化學能的轉化過程，因此將影響葉綠素的生合成和維持，降低單位面積的光合能力⁽²⁸⁾造成本研究中缺鐵百香果葉片及新芽黃白化(圖4)。缺鐵植物蒸散作用降低並增加的氣孔阻力⁽¹⁷⁾可歸因於保衛細胞中過氧化氫的累積誘導離層酸引起的氣孔關閉⁽¹⁶⁾過氧化氫的累積則可能是由於抗氧化酶的合成減少，從而產生活性氧的累積⁽³²⁾。由於鐵參與光合作用及呼吸作用⁽³⁵⁾並參與不同的代謝途徑，例如氮代謝、葉綠素合成以及葉綠體和線粒體中的電子傳遞，且在酵素活性上扮演重要角色，缺鐵將改變植物生長所需的碳固定^(23,31)，並降低代謝，因此在缺鐵處理中觀察到植株乾重降低⁽¹⁷⁾，與本試驗結果相符。微量營養素中以缺鐵對植物生長的影響最大，將導致淨光合作用及蒸散作用降低，表示在此物候階段須更精準控制紫色種百香果對鐵的需求，訂定適當之肥培管理⁽¹⁷⁾。

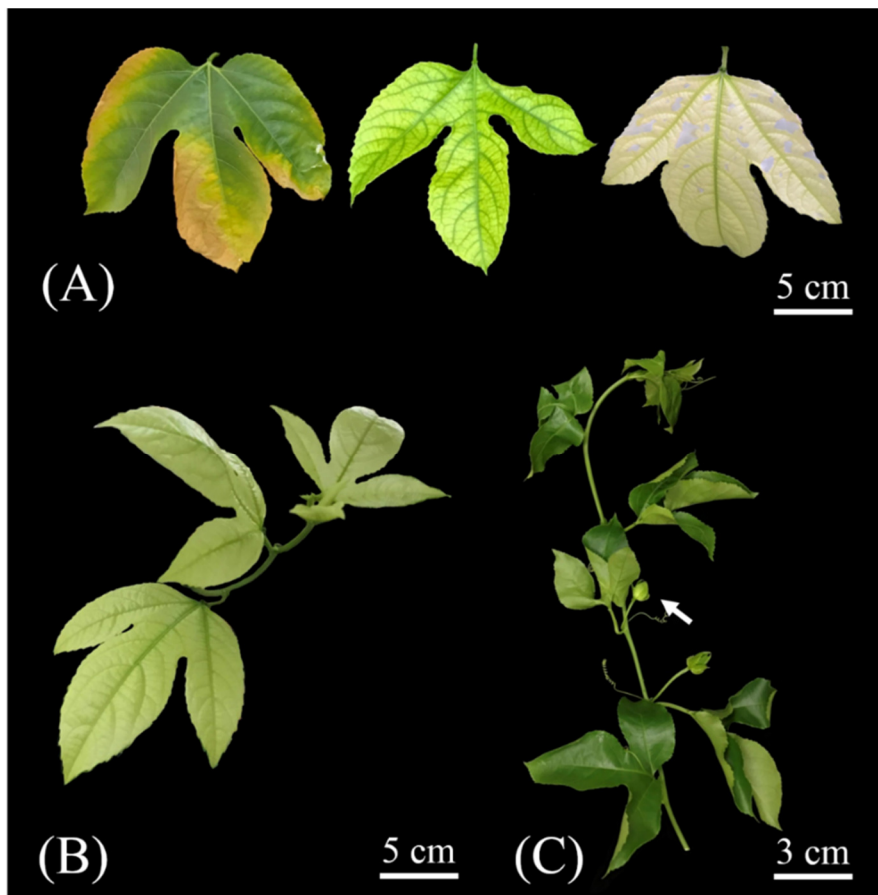


圖 4.缺鐵處理對水耕‘台農 1 號’百香果葉片(A)、側芽(B)及花苞(C)(箭頭處)外觀之影響。

Fig. 4. Effects of hydroponic solution treatment with deficiencies of iron on the ‘Tainung No. 1’ passion leaves (A), lateral bud (B) and flower bud (C) appearance.

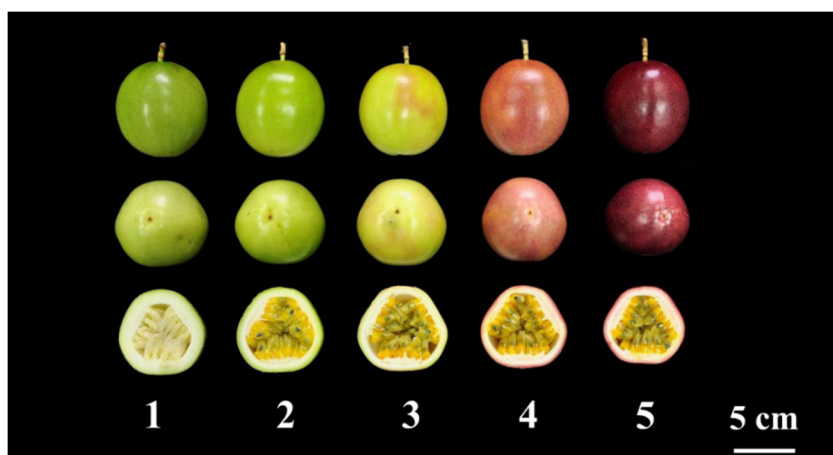
礦物營養素缺乏將導致植株代謝異常，進而影響發育^(17,18)、降低產量並影響果實品質，如果實外觀、大小及轉色程度等⁽¹⁸⁾。Álvarez-Fernández等(2003)探討缺鐵對Carson(黃皮)和Babygold(紅皮)兩個品種的桃子在產量和果實品質上的影響⁽¹¹⁾。結果顯示缺鐵導致果實新鮮重量、果實數量、大小及產量降低，並提高授粉後採收天數。同時造成Babygold轉色程度降低。缺鐵造成授粉後採收天數增加在番茄、桃子與柑橘上亦有相似結果^(24,25,27)。同時缺鐵造成果實的產量和品質大幅降低，尤其以柑橘、葡萄等落葉果樹最為嚴重^(14,22,24,25,26,33,34)。缺鐵的番茄果實內所含的抗壞血酸含量顯著高於正常鐵含量的對照組⁽²⁴⁾。由於缺鐵造成授粉後採收天數增加，延緩後熟導致缺鐵果實中具有較高的酚類化合物濃度。而高酚類化合物濃度可能會導致澀味增加。鐵缺乏對礦物質含量的影響極小，但Babygold品種的桃子果實中鈣和鋅濃度顯著較高，而銅濃度降低^(10,24,30)。本研究在在花苞發育過程即觀察到黃化，顯示缺鐵亦明顯影響生殖生長(圖4C)，而果實品質隨最終施用的鐵濃度遞減而降低(圖4、表1)，同時亦影響該階段之葉片營養元素含量(表2、3)。

缺鐵是影響植物常見的營養失調症，將損害果實的品質和產量，並最終導致植株死亡⁽¹¹⁾。由於植株缺鉀將造成蘋果酸無法合成，而鐵需以蘋果酸為媒介由根部向上運輸。缺鉀易誘導缺鐵的原因為根系中由於缺鉀所造成的無機磷與總有機磷化合物的比例增加，從而增加磷的吸收，且無機磷離子易固定鐵蛋白中的鐵⁽¹³⁾。柑橘施用鐵可增加果實可溶性固形物和果汁率，提高果實轉色程度並降低了果汁中的可滴定酸⁽³⁴⁾。葉面噴施少量的鐵可克服果樹的鐵缺乏症，在葉片施用鐵6週內即可增加缺鐵桃子植株的葉片葉綠素含量⁽²⁰⁾並解決其葉片黃化的缺鐵症狀表現。雖然對直接施用鐵來解決鐵缺乏症的結果並不一致^(8,19)，但結果顯示葉面噴施鐵劑對缺鐵的柑橘、梨、桃、蘋果皆具正面效果。在芒果、李子和杏仁上葉面噴施鐵可增加葉片中的葉綠素濃度並改善果實的產量和品質^(9,10,21,29)。

本研究中生殖生長階段之鐵含量以3.36 mg.L⁻¹處理顯著高於對照組2.24 mg.L⁻¹與0 mg.L⁻¹處理(P<0.05)(表3)。而營養生長期中，處理間葉片鐵含量無顯著差異之表現可能由於前述營養分析所得之鐵含量結果為植株內部總鐵含量，無法細分植物可利用二價鐵形式及非可利用之、三價鐵或四價鐵，因此葉片鐵濃度並無顯著差異。植物中部分金屬元素可促進生化反應，因此可利用生化診斷法診斷作物之礦物元素缺乏症。特別是可利用酵素活性表現或代謝產物之異常作為營養失調診斷之依據。廣義酵素對金屬之需求可分為兩類：其一為有些酵素需特定之金屬離子為其構成之一部分，才能顯現完整之生理生化功能，例如：鋅、鐵、銅及鉬；其二為有些酵素需1種或多種金屬作為活化劑，方能表現活性，例如鎂、錳等⁽²⁾。將植物以不同鐵濃度處理並分析其過氧化物酶(peroxidase, POD)及過氧化氫酶(Catalase, CAT)活性，結果顯示兩者皆受二價鐵濃度之限制，POD須由二價鐵活化。分析不同品種柑橘葉片過氧化物酶活性與葉片錳、鐵含量之相關性，顯示在鐵、錳缺乏時過氧化物酶可作為可信賴之指標，其活性隨錳缺乏程度增加而提高，但隨鐵缺乏程度增加而降低，含金屬類酵素活性表現可輔助柑橘鐵營養需求診斷⁽¹²⁾。因此若要探討此時的植體內可利用鐵(Fe²⁺)濃度，分析葉片POD活性可直接反映葉片是否有鐵元素缺乏之障礙。

本研究結果顯示，缺鐵植株(0 mg.L^{-1} 處理)在株高、側芽數、葉鮮重、葉乾種、莖乾重以及果實總可溶性固形物含量上皆顯著低於有施用鐵的處理，顯示缺鐵直接影響生長勢，明顯表現出葉片缺鐵黃化的徵狀，並降低果實品質。

附 錄



附圖 1.台農一號百香果果皮顏色成熟度指標。

Appendix 1. The color scale maturity index of 'Tainung No. 1.' passionfruit.

Maturities are graded by fruit color, from full green(unmature, level 1), yellowish green(25 % mature, level 2), greenish yellow with barely red (50% mature, level 3), pale green and purplish pink(75 % mature, level 4), to full purple(100 % mature, level 5)⁽⁷⁾.



附圖 2.‘台農一號’百香果不同等級皺縮面積。

Appendix 2. Different level of fruit wrinkled area index of 'Tainung No. 1.' passion fruit.

The level is evaluated by the wrinkled area occurred on fruit surface, as 0= no wrinkled; 1= 1-20 % area wrinkled; 2= 21~40 % area wrinkled; 3= 41~60 % area wrinkled; 4= 61~80% area wrinkled; 5= 81~100% area wrinkled⁽⁷⁾.

附表 1. 以 Hoagland 配方配置之水耕液營養元素成分及濃度⁽³⁾

Table 1. The nutrient element and concentration of hydroponic liquid formulated with Hoagland formula

Macronutrient solution (Hoagland solution)		
Specific salts used Compounds	Con. of individual element in final soln. Element	mg.L ⁻¹
KNO ₃	N	210
Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O	K	234
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	Ca	200
KH ₂ PO ₄	P	31
	S	64
	Mg	48
Micronutrient solution		
Specific salts used Compounds	Con. of individual element in final soln. Element	mg.L ⁻¹
KCl	Cl	1.77
H ₃ BO ₃	B	0.27
MnSO ₄ · H ₂ O	Mn	0.27
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	Zn	0.13
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	Cu	0.03
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	Mo	0.01
Na ₂ EDTA		
FeSO ₄ · 7H ₂ O	Fe	2.24

附表 2. 本試驗處理之鐵濃度及處理次數

Table 2. Fe concentration and treated frequency of each treatment

Treatment	Frequency per week	Total concentration	
		mM	mg.L ⁻¹
Increase of Fe	Three times	0.03 mM	3.36 mg.L ⁻¹
CK (Hoagland)	Twice	0.02 mM	2.24mg.L ⁻¹
Deficiencies of Fe	No added	0.00 mM	0.0 mg.L ⁻¹

參考文獻

1. 李文立 2005 百香果 台灣農家要覽 p.103-108。
2. 林慧玲、王銀波、柯勇 2005 果樹營養障礙與寒害圖說 國立中興大學農業推廣中心 臺中 p.27-28。
3. 林慧玲、傅立香、李國權 1989 百香果營養失調症狀調查研究 興大園藝 14: 61-76。
4. 洪建民 2007 利用酸性改良劑降低粘板岩石灰性土壤pH值對土壤中鉀行為的影響 國立中興大學博士論文 臺中。
5. 徐筱晴 2020 鉀濃度對‘台農1號’百香果生育之影響 國立中興大學碩士論文 臺中。
6. 陳盈君 2020 ‘台農一號’百香果新穎組織培養系統及自交不親和性克服策略之建立 國立中興大學博士論文 臺中。
7. 黃昭銘 2016 果實成熟度、電解次氯酸水處理及貯藏溫度對‘台農一號’百香果果實貯藏壽命及品質之影響 國立中興大學碩士論文 臺中。
8. Abadía, J., A. Álvarez-Fernández, F. Morales, M. Sanz and A. Abadía. 2002a. Correction of iron chlorosis by foliar sprays. *Acta Hort.* 594: 115-121.
9. Abadía, J., A.F. López-Millán, A.D. Rombolà and A. Abadía. 2002b. Organic acids and Fe deficiency: a review. *Plant Soil* 241: 75-86.
10. Álvarez-Fernández, A., J. Abadía and A. Abadía. 2006. Iron deficiency, fruit yield and quality. In: *Iron nutrition in plants and rizospheric microorganisms*. Springer. Dordrecht. The Netherlands. p.85-101.
11. Álvarez-Fernández, A., P. Paniagua, J. Abadía and A. Abadía. 2003. Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Agric. Food Chem.* 51: 5738-5744.
12. Bar-Akiva, A. and J. Sagiv. 1969. Induced peroxidase isoenzyme patterns in citrus leaves. *Expt.* 25: 474-475.
13. Bhatla, S. and M. Lal. 2018. *Plant physiology, development and metabolism*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, New Delhi, India.
14. Bindra, A.S. 1980. Iron chlorosis in horticultural and field crops. *Plant Sci.* 2: 221-312.
15. Bould, C., E. J. Hewitt and P. Needham. 1983. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. Volume 1. Principles. Her Majesty's Stationery Office, UK.
16. Bright, J., R. Desikan, J. Hancock, I. Weir, and S. Neill. 2006. ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H₂O₂ synthesis. *Plant J.* 45: 113-122.

17. Cárdenas-Pira, W.T., E. Torres-Moya, S. Magnitskiy and L.M. Melgarejo. 2021. Physiological Responses of Purple Passion Fruit (*Passiflora Edulis* Sims F. *Edulis*) Plants to Deficiencies of the Macronutrients, Fe, Mn, and Zn during Vegetative Growth. *Intl. J. Fruit Sci.* 21: 344-358.
18. Costa Araújo, R., C.H. Bruckner, H.E.P. Martinez, L.C.C. Salomão, V.H. Alvarez, A.P. Souza, W.E. Pereira and S. Hizumi, 2006. Quality of yellow passionfruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) as affected by potassium nutrition. *Fruits.* 61: 109-115.
19. Fernández, V. and G. Ebert. 2005. Foliar iron fertilization-a critical review. *J. Plant Nutr.* 28: 2113-2124.
20. Fernández, V., V. Del Río, J. Abadía and A. Abadía. 2006. Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. *Plant Soil.* 289: 239-252.
21. Kadman. A. and S. Gazit. 1984. The problem of iron deficiency in mango trees and experiments to cure it in Israel. *J. Plant Nutr.* 7: 283-290.
22. Loupassaki, M.H. S.M. Lionakis and I.I. Androulakis. 1997. Iron deficiency in kiwi and its correction by different methods. *Acta Hort.* 444: 261-271.
23. López-Millán, A.F., G. Michael, A. Abadía, and J. Abadía. 2013. Iron deficiency in plants: An insight from proteomic approaches. *Plant Sci.* 4: 254.
24. Lyon, C.B. K.C. Beeson and G.H. Ellis. 1943. Effects of micro-nutrient deficiencies on growth and vitamin content of the tomato. *Bot. Gaz.* 104: 495-514.
25. Mengel, K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel. 2001. Iron in principles of plant nutrition: kluwer academic publishers. Dordrecht. The Netherlands. p. 553-571.
26. Morales, F. R. Grasa, A. Abadía and J. Abadía. 1998. The iron “chlorosis paradox” in fruit trees. *J. Plant Nutr.* 21: 815-825.
27. Pestana, M., P.J. Correia, A. Varennes, J. Abadía and E.A. Faria. 2001. The use of floral analysis to diagnose the nutritional status of orange trees. *J. Plant Nutr.* 24: 1913-1923.
28. Roncel, M., A. González-Rodríguez, B. Naranjo, P. Bernal-Bayard, A. Lindahl, M. Hervás, J. Navarro and J. Ortega. 2016. Iron deficiency induces a partial inhibition of the photosynthetic electron transport and a high sensitivity to light in the diatom *Phaeodactylum tricorutum*. *Plant Sci.* 7: 1050.
29. Sanz, M., J. Caveró and J. Abadía. 1992. Iron chlorosis in the Ebro River Basin, Spain. *J. Plant Nutr.* 15: 1971-1981.
30. Sanz, M., J. Pascual and J. Machín. 1997. Prognosis and correction of iron chlorosis in peach trees: influence on fruit quality. *J. Plant Nutr.* 20: 1567-1572.

31. Schmidt, W., S. Thomine, and T. Buckhout. 2020. Editorial: Iron nutrition and interactions in plants. *Plant Sci.* 10: 1670.
32. Sharma, P., A. Tripathi, N. Kumar, S. Gupta, P. Kumar, J. Chatterjee and R. Tewari. 2016. Iron plays a critical role in stomatal closure in cauliflower. *Environmental Experimental Bot.* 131: 68-76.
33. Shi, Y., D.H. Byrne, D.W. Reed and R.H. Loeppert. 1993. Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *J. Plant Nutr.* 16: 1039-1046.
34. Sites J.W., Leonard C.D. and Stewart I. 1953 Citrus fruit quality as affected by iron deficiency and its correction. *Florida Agr. Expt. Sta. Ann. Rep.* p.183-184.
35. Vatansever, R., I. Ozyigit and E. Filiz. 2017. Essential and beneficial trace elements in plants, and their transport in roots: A review. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 181: 464-484.

Effects of Iron on the Growth and Development of ‘Tainung No. 1’ Passion fruit ¹

Hsiao-Ching Hsu ² and Huey-Ling Lin ³

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the impact of iron on the growth of ‘Tainung No.1’ passion fruit (*Passiflora edulis* x *P. edulis* f. *flavicarpa*), focusing on the effect of iron deficiency. Results showed that iron deficiency directly inhibited the growth of passion fruit. The plant height, number of lateral buds, stem weight, leaf iron and manganese contents were significantly higher in the treatment with 0.04 mM (EDTA-Fe, added 3 times a week) than those in the treatment with 0 mM. Meanwhile, the soluble solid content in the 0 mM treatment was significantly lower than those in the control group (0.02 mM) and 0.04 mM treatment. Iron fertilizer has a huge impact on the vegetative growth and fruit quality of passion fruit. In order to improve the growth of ‘Tainung No.1’ passion fruit and produce high-quality fruits we should pay attention to iron supplementation.

Key words: passion fruit, fruit quality, iron deficiency

¹Contribution No.1016 from Taichung DARES, COA.

²Former master degree student of department of Horticulture, National Chung Hsing University. Research assistant of Taichung DARES, COA.

³Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

