



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：110102M100

農業部苗栗區農業改良場112年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**柑橘類果樹優化灌溉技術 (第2年/全程3年)**
(英文名稱) **The optimization irrigation technology of citrus fruit trees**

計畫編號：**112農科-11.1.2-苗-M1**

全程計畫期間：自 111年1月1日 至 114年1月1日
本年計畫期間：自 112年1月1日 至 112年12月31日

計畫主持人：**蔡正賢**
研究人員：**林鈺荳、張雅玲**
執行機關：**行政院農業委員會苗栗區農業改良場**



1121131



一、執行成果中文摘要：

實驗地點位於卓蘭鎮內灣里，緯度24.3 °N，海拔550公尺。柑橘品種為桶柑，樹高約2.5公尺，於田間設置氣象站，監測氣象資料（最高和最低溫度、太陽輻射、濕度和風速等），風速計高度為3公尺。降雨量資料取自中央氣象局卓蘭測站，編號：COE791，經度：120.8244，緯度：24.3126，海拔高度：366m。每日ET₀使用FAO推薦的方法，使用Penman-Monteith 方程，根據24小時間距尺度之溫度、濕度、風速以及日射量等氣象資料計算(圖1)。田區ET₀大致從1月(平均1.52 mm/day)開始逐漸增加，最高為7月(平均3.04 mm/day)，以後逐漸降低。利用獲得的田間試驗數據，桶柑不同生長階段之K_c值並非固定不變，根域範圍內土壤有效水分含量約187mm，桶柑作物係數由生育初期0.60逐漸升至0.96，桶柑灌溉適值設定為開花後土壤耗水60mm，轉色後土壤耗水106 mm。使用CROPWAT模型模擬結果顯示，2023年桶柑全年需水量約為786.2 mm，全年有效雨量為677 mm，全年灌溉需求量合計294 mm，灌溉需求量最高為11月著色期之61.1 mm及3月萌芽開花期之56.4 mm，其餘月份因需水量低或降雨量充足，灌溉需求量介於0-43.1 mm。模使用CROPWAT模型評估柑橘需水量與灌溉量，1月1日起至11月26日止，田間依據土壤張力監測實際灌溉量190.2 mm，模型推薦灌溉為215 mm，田間依據土壤張力監測法啟動灌溉的3個階段，模型亦推薦灌溉，顯示CROPWAT模型推薦灌溉的確可以反應田間實際水分需求，提供精準水資源調配。優化其關鍵參數後，可於較大時間與空間尺度範圍內提供精準水資源調配，有利於柑橘產業發展。

二、執行成果英文摘要：

Citrus is a moderately drought-sensitive crop. It is necessary to estimate the agricultural water use of citrus and irrigation guide. In this study, CROPWAT model was used to evaluate the Citrus tankan water requirement and irrigation compared with the methods soil moisture tension. The climate, soil and crop parameters required by the model were derived from field data. The total rainfall during the experiment was 1,331 mm, and the reference evapotranspiration in the field increased from an average of 1.52 mm/day in January to an average of 3.04 mm/day in July. The soil available moisture in the root zone was about 187 mm. The crop coefficient of Citrus tankan increased from 0.60 at the initial stage to 0.96 at the mid-season. The model irrigate at 60 mm of soil water depletion at the initial stage, and at 106 mm of soil water depletion after fruit ripening. The annual water requirement of Citrus tankan in 2023 was about 786.2 mm, the annual effective rainfall was 677 mm, and the highest irrigation requirement was 61.1 mm in November and 56.4 mm in March at budding and flowering stage. CROPWAT model recommends the irrigation consistent with the methods of field soil moisture tension monitoring. From January 1st to November 26th, the model recommends annual irrigation 215 mm, higher than the 190.2 mm of soil moisture tension monitoring irrigation.

三、計畫目的：

1. 建立桶柑各生育期水分需求量1式。
2. 持續建置桶柑缺水指標1式。
3. 持續評估1種特定性質土壤水分收支。





4. 完成桶柑精準灌溉技術1式。

四、重要工作項目及實施方法：

(一)桶柑果樹田區蒸發散量監測及適用本土之各生育期作物係數

1. 參考FAO指引，使用Penman-Monteith方程在24小時間距尺度上計算參考蒸發散量(ET_o)，含空氣溫度，空氣濕度，風速及輻射等。相關氣象數據架設監測設備蒐集。
2. 結合降雨量及灌溉水量監測，確認桶柑栽培過程之本土作物係數。

(二)評估桶柑果樹不同灌溉處理對產量之影響

1. 供水計畫分為2種處理

a. 慣行灌溉處理：依生長階段與氣候決定供水時機，連續乾旱日數於3-6月超過30日，7-9月超過20日，10-11月超過40日才啟動灌溉，灌溉量依生長階段調整給水量，灌溉後若未降雨，每7-10日灌溉1次。

b. 精準灌溉處理：監測土壤水分，30公分土壤水分張力開花後30kpa，轉色後200kpa啟動灌溉，灌溉量每次50-100公噸/公頃，依蒸發散量調整灌溉量。

2. 每一處理各2小區，每小區面積0.1公頃。

3. 調查不同灌溉處理對桶柑不同時期之生育狀態的影響，每小區調查取樣3重複，調查項目包含葉片及果實生長發育情形，亦藉由測定葉片光合作用效率等活性，以判斷植株是否處於水分逆境中。

4. 調查果實與枝條的生長量及性狀，評估供水量對產量之影響。

(三)建立桶柑果園土壤精準灌溉技術

1. 量化灌溉或降雨後土壤水分。

2. 結合桶柑水分需求量，確認灌溉起點與灌溉間距。

3. 建立桶柑精準灌溉技術。

五、結果與討論：

一、氣象參數

每日ET_o使用FAO推薦的方法，使用Penman-Monteith 方程，根據24小時間距尺度之溫度、濕度、風速以及日射量等氣象資料計算(圖一)。田區ET_o大致從1月(平均1.52 mm/day)開始逐漸增加，最高為7月(平均3.04 mm/day)，以後逐漸降低，至10月降至平均2.02 mm/day。雨量方面，1至3月降雨總計只有8.6 mm，4月起降雨強度大且集中，月降雨量最高為8月(358 mm)，1月至11月12日止，總降雨量為1,331 mm。

二、土壤參數

土壤參數包括土壤有效水分含量、入滲率及根深等。田區土壤剖面及田區土壤滲漏能力等相關土壤特性分析之調查結果(表一)，三個試體之總體密度介於1.28-1.57g/cm³，飽和導水度值介於0.0062-0.0149 cm/sec，入滲率介於10-233 mm/hr，顯示每次灌溉水流量或降雨量入滲率不超過10 mm/hr。土壤有效水分含量調查結果(表二)，根域範圍內(0-60公分)土壤有效水分含量約187公釐。

三、作物參數

桶柑不同生長階段之K_c值

桶柑 K_c值通過田間測量的 ET_c 除以已知的ET_o 來確定，1月1日至11月15日累積之ET_c為626.6 mm，而累積之ET_o為759.4 mm(圖三)，桶柑 K_c值平均為0.83，接近FAO的柑橘K_c值0.85。本研究桶柑K_c值變化如圖三之斜率所示，最初階段可能受果樹修剪影響，K_c值最低為





0.60，並隨著開花、萌芽及冠層發育Kc值逐漸增加，在轉色期仍維持在0.96，此時田間萌生大量秋稍，可能使Kc值居高不下。

灌溉適值

埋設深度30公分土壤張力與0-60公分土壤耗水量之關係如圖三，本研究將開花後灌溉適值設定為土壤張力值30 kpa，轉色後100 kpa，其中30 kpa對應根域範圍之土壤耗水約在44.5-86 mm之間，以土壤水分特性曲線換算，相當於此時30-60公分深度之土壤張力介於10-60 kpa之間，這也顯示利用埋設單一深度土壤張力設定灌溉適值，可能面臨土壤乾溼程度差異甚大之問題，導致灌溉時機與灌溉水量較難掌握，據此進行灌溉，仍須仰賴耕作經驗及作物知識。本研究將土壤耗水限值設定為開花後60 mm，轉色後106 mm。

四、需水量評估

卓蘭試驗點需水量評估結果如表三，2023年桶柑全年需水量約為786.2 mm，全年有效雨量為677 mm。灌溉需求量簡單表示為需水量－有效雨量，全年灌溉需求量合計294 mm，其中11月至3月降雨量少，灌溉需求量最高為11月著色期之61.1 mm及3月萌芽開花期之56.4 mm，其餘月份因需求量低或降雨量充足，灌溉需求量介於0-43.1 mm，可作為灌溉系統容量設計參考。

五、推薦灌溉與田間驗證

使用CROPWAT模型評估柑橘需水量與灌溉量，田間依據土壤張力監測法啟動灌溉的3個階段，模型亦推薦灌溉，顯示CROPWAT模型推薦灌溉的確可以反應田間實際水分需求，提供精準水資源調配。1月1日起至11月26日止，田間依據土壤張力監測實際灌溉量190.2mm，模型推薦灌溉為215mm。

六、作物生長情形

本年度3月底至9月中旬期間有較多的降水量，9月下旬至11月19日降水量減少，11月觀測期間未有降水量。顯示果實生長期間人為控制土壤水分不易，使得果實著果及果實生長未顯示出人為控制水分之影響。初期著果率以精準灌溉處理組之著果率較高(圖六)，果實數也較多(圖七)。4月19日受到降水量增加影響，各處理之間著果率下降，介於16.9至20.5%之間。6月6日各處理之間著果數介於3.8至6.0%之間，慣行灌溉處理組顯著高於精準灌溉處理組，10月12日後各處理之間著果率未達顯著性差異，介於3.3至5.1%之間4月下旬起，各處理之間著果數量未達顯著性差異，介於6.7至8.2顆之間。4月初期各處理之間果實生育相當，5月起各處理之間果長介於26.1至29.1 mm之間，11月介於51.6至54.8 mm之間，處理之間未達顯著性差異(圖八A)。果寬亦有相同趨勢，5月起各處理之間果長介於14.8至16.4 mm之間，11月介於54.3至59.0 mm之間，處理之間未達顯著性差異(圖八B)。各處理之間淨光合作用率(表四)及氣孔導度(表五)無顯著性差異，葉片光合作用生產果實所需之光和產物，各處理之間葉片生理無顯著性差異，果實生長亦無顯著性差異，具有相符合之處。由於未屆產期，果實產量尚未調查。

六、結論：

利用CROPWAT模型評估卓蘭桶柑果園2023年需水量約為786.2 mm，有效雨量為677 mm，灌溉需求量合計294 mm，可作為果園灌溉系統容量設計參考。田間驗證顯示，模型推薦灌溉的3個階段，農民亦根據土壤張力監測數據並配合作物反應啟動灌溉，顯示模型推薦灌溉的確可以反應田間實際水分需求。1月1日起至11月15日止，模型建議灌溉量為215mm，高於水分張力監測法灌溉量190.2mm。模型需要的參數包含氣候資料、作物係數、土壤水分特性及灌溉適值等，優化其關鍵參數後，只要設置簡易氣象站，便可於較大時間與空間尺度範圍內提供精準水資源調配，有利於柑橘產業發展。

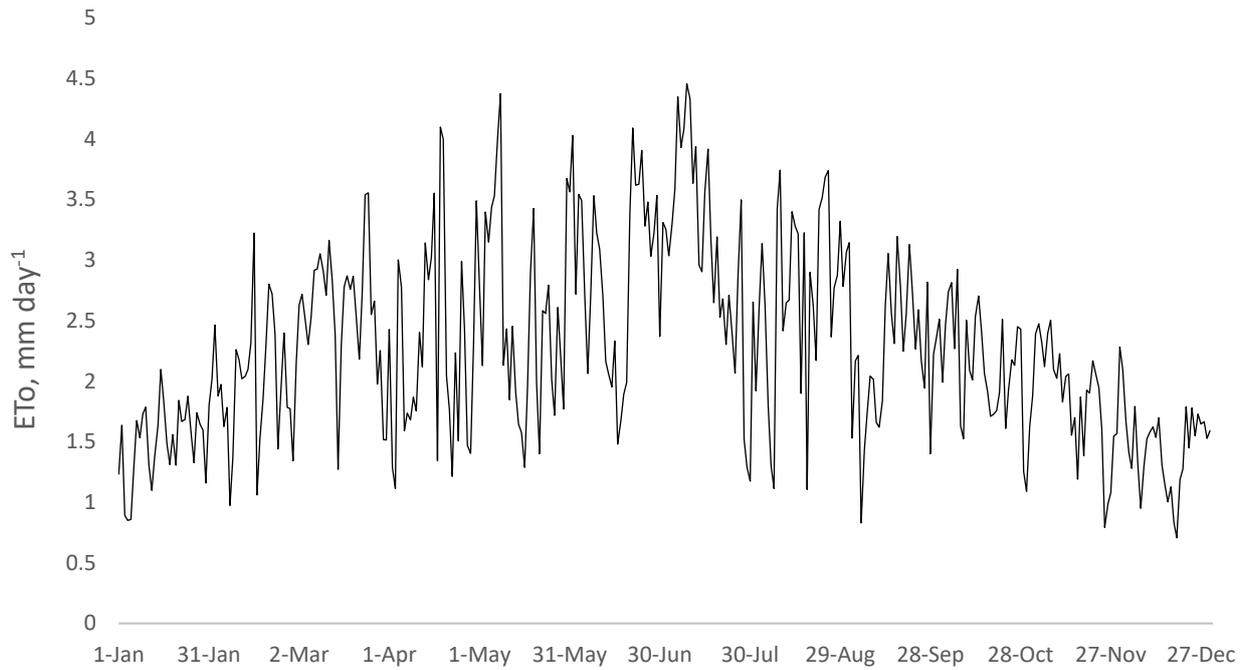
七、參考文獻：





- 申雍。2002。田間蒸發散量之估測與應用。農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會專刊。85-96。
- 向為民、吳宗諺。2004。農田土壤水分管理。花蓮區土壤特性及合理化施肥研討會專刊。64-68。
- 向為民、唐佳惠。2021。柑橘節水灌溉。110年「乾旱對農業生產影響因應」節水技術與措施柑橘場次講習。
- 林俐玲、杜怡德、蔡義誌、涂展臺。2007。茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究。水土保持學報39:73-85。
- 楊清富。2014。土壤水分感測技術及應用。臺南區農業專訊87期。18-21。
- 唐佳惠。2017。採收前水分管理對椪柑果實貯藏中品質變化之影響。台灣農業研究。66(2):126-133。
- 黃維廷、陳柱中。2019。中部縣市土壤性質與柑桔施肥推薦參考資訊。作物土壤管理與施肥技術推廣專書-果樹與茶作篇。17-51。
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, Italy.
- Andales, A. A, J.L. Chavez and T.A. Bauder. 2015. Irrigation Scheduling: The Water Balance Approach. Colorado State University Extension. Fact Sheet No. 4.707.
- Andreas P. S. and F. Karen. 2002. Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling. Irrigation manual Module 4. Water Resources Development and Management Officers. FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa.
- Fereres, E., D. A. Goldhamer and V. O. Sadras. 2012. Yield response to water of fruit trees and vines: guidelines. In: Crop yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 66, Rome, Italy.
- Kuo, S.F., B.J. Lin and H.J. Shieh. 2001. CROPWAT model to evaluate crop water requirements in Taiwan. International Commission on Irrigation and Drainage, 2001.
- Kuo, S.F., S.S. Ho, and C-W Liu. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural Water Management 82:433-451.
- Marsal, L., J. Girona and A. Naor. 2012. Pear. In: Crop yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 66, Rome, Italy.
- Martínez-Ferri E., J.L. Muriel-Fernández and J.A. Rodríguez Díaz. 2013. Soil water balance modelling using SWAP: An application for irrigation water management and climate change adaptation in citrus. Agriculture. 42(2) 93-102.
- Rodriguez-Gamir, J., Primo-Millo, E., Forner, J.B., Angeles Forner-Giner, M., 2010. Citrus rootstock responses to water stress. Sci. Hortic. 126, 95-102.





圖一、自 2023 年 1 月 1 日起每日蒸發散量(ET_o)。

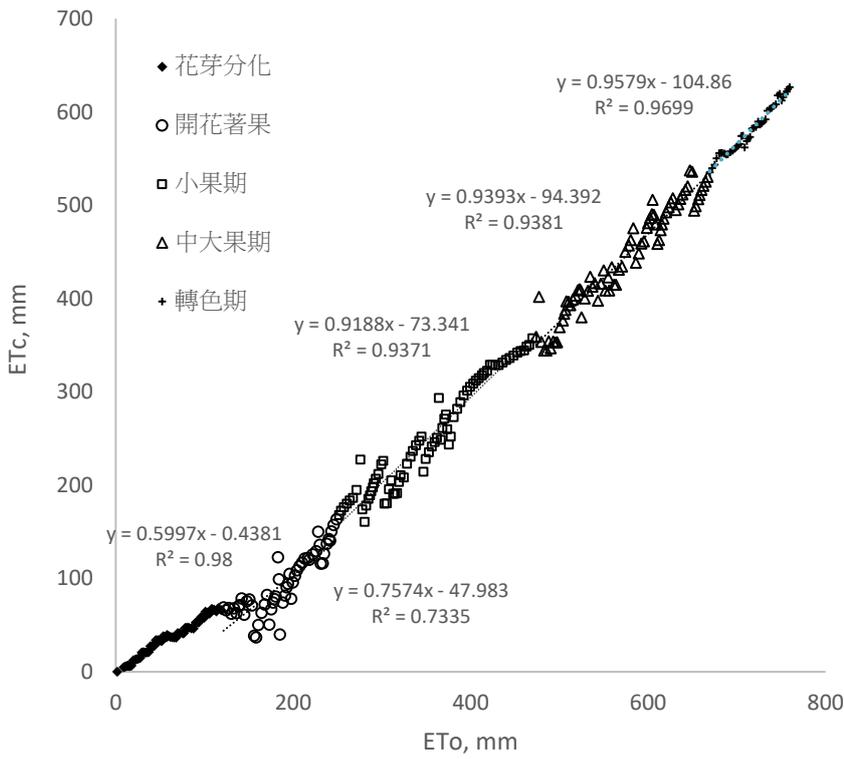
表一、土壤有效水分含量

深度	重量水分含量 %			水分體積容量 %			土層厚度含水量 mm			有效水分含量 mm
	0.1bar	0.33bar	15bar	0.1bar	0.33bar	15bar	0.1bar	0.33bar	15bar	
0-15	30.5	26.6	0.97	39.1	34.2	1.24	59	51	2	57
15-30	20.9	18.7	12.9	32.8	29.3	20.2	49	44	30	19
30-60	30.9	26.3	2.59	40.5	34.5	3.39	121	103	10	111

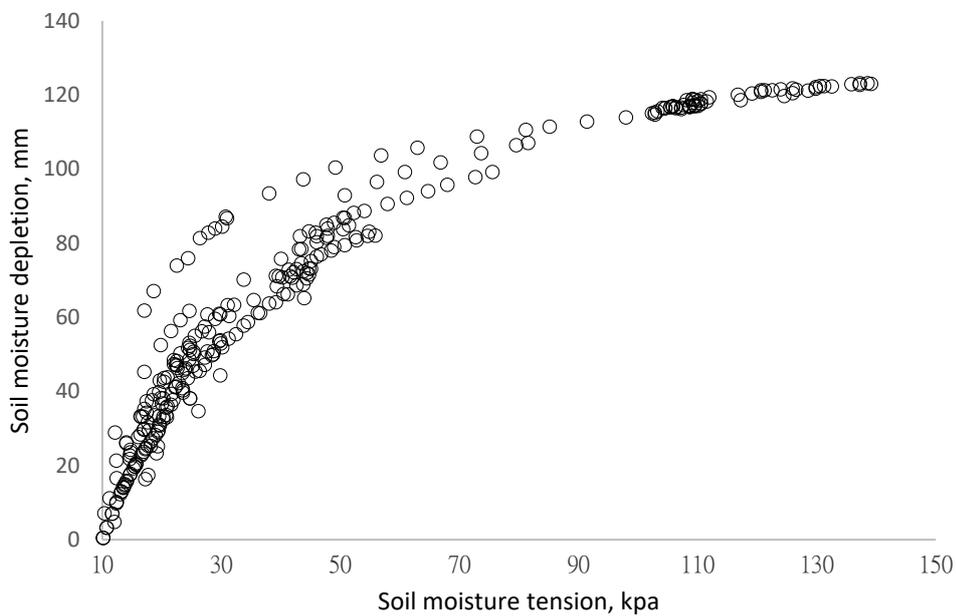
表二、土壤飽和導水度與入滲率

深度 cm	CEC cmol kg ⁻¹	質地			質地	飽和導水度		總體密度 g cm ⁻³	入滲率	
		砂粒 ----- % -----	粉粒	黏粒		流量平均 mL min ⁻¹	k 值 cm s ⁻¹		ml s ⁻¹	mm h ⁻¹
0-15	18.24	43.46	36.22	20.32	Loam	1.57	0.0130	1.28	0.65	75
15-30	13.57	41.70	32.88	25.42	Loam	0.90	0.0062	1.57	0.09	10
30-60	10.99	39.62	34.43	25.95	Loam	2.10	0.0149	1.31	2.03	233





圖二、自 2023 年 1 月 1 日起累積需水量(ETc) 與累積參考蒸發散量(ETo)之關係。



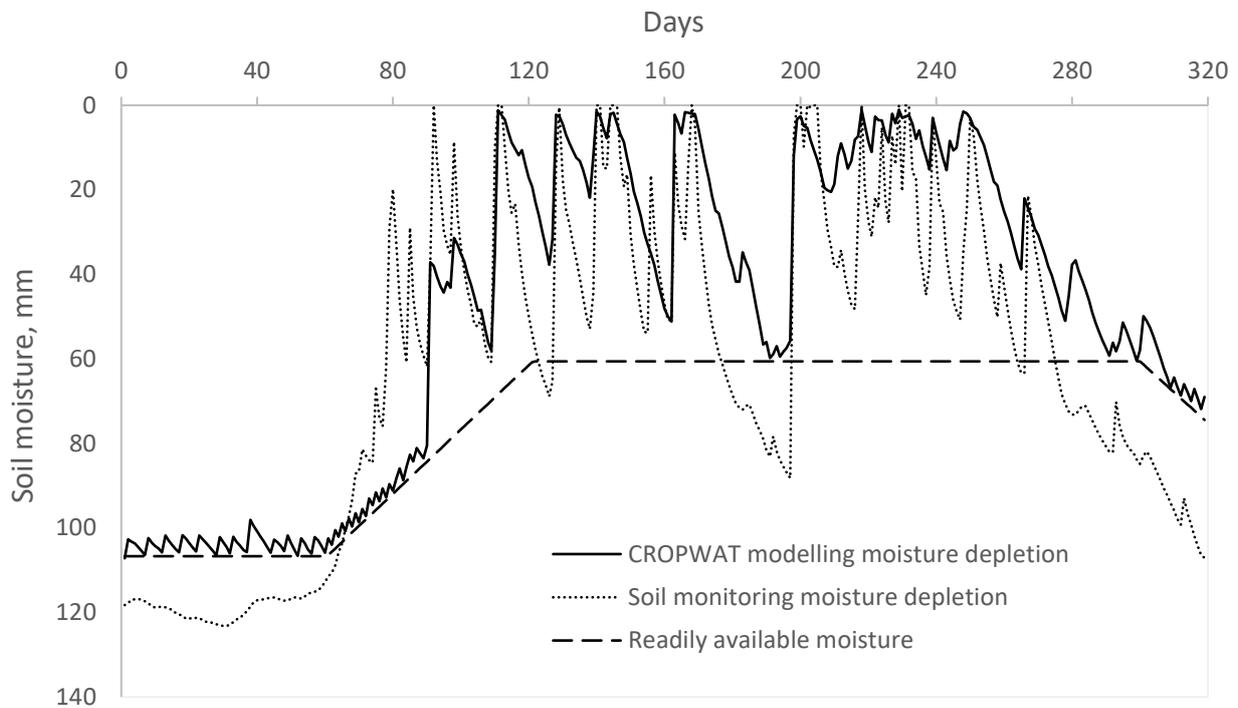
圖三、埋設深度 30 公分之土壤張力值與 0-60 公分土壤耗水量之關係





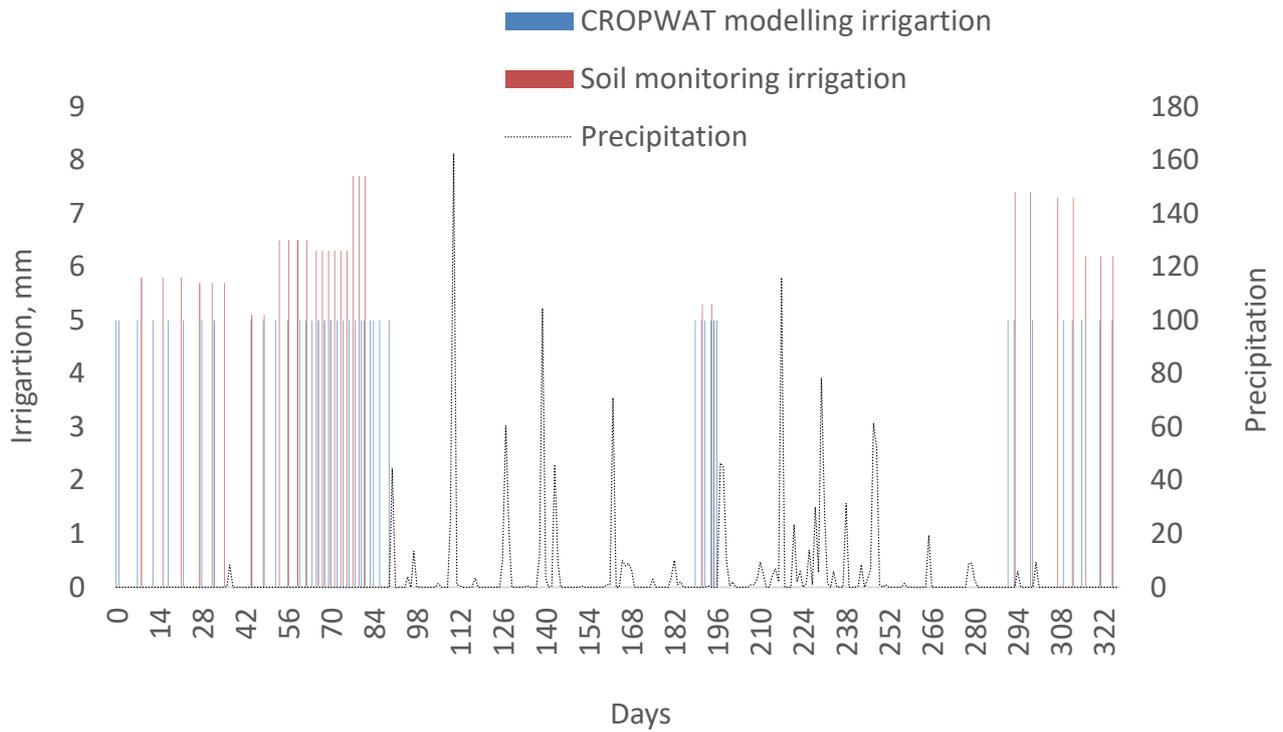
表三、使用 CROPWAT 評估桶柑果樹田區各月份需水量結果(mm)

	生育期	需水量	有效降雨量	灌溉需求量
1月	成熟期	28.3	0	28.3
2月	花芽分化期	33.4	8.2	25.2
3月	開花萌芽期	56.4	0	56.4
4月	著果期	64.9	125	0
5月	著果期	84.1	146.5	0
6月	果實發育期	90.0	56.7	33.3
7月	果實發育期	98.1	86.4	11.7
8月	果實膨大期	89.7	147.2	0
9月	果實膨大期	69.6	74.2	0
10月	果實膨大期	67.5	32.8	34.7
11月	轉色期	61.1	0	61.1
12月	成熟期	43.1	0	43.1
全年合計		786	677	294

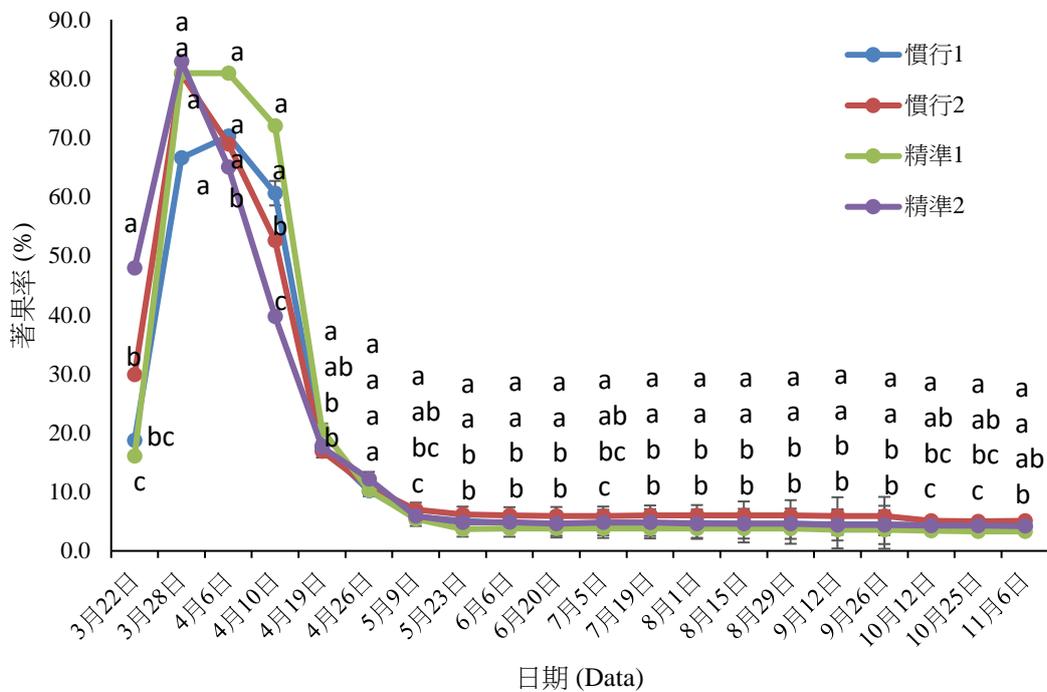


圖四、使用 CROPWAT 模擬法與水分張力監測法每日土壤平衡水量比較。



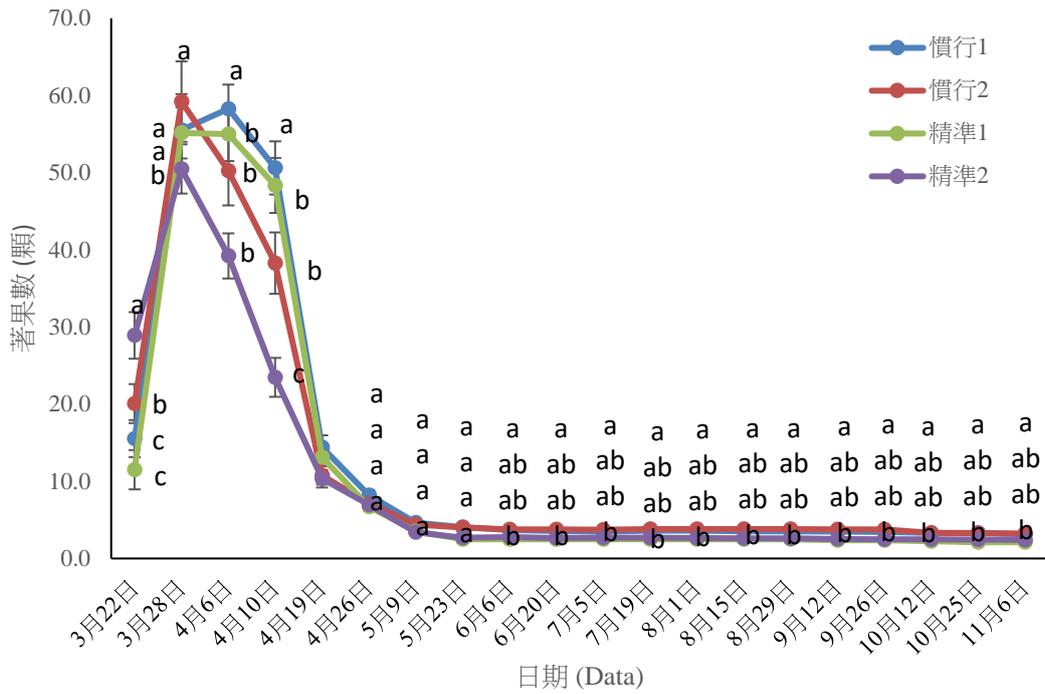


圖五、使用 CROPWAT 模擬法與水分張力監測法灌溉量比較(直條圖)，虛線為降雨量。

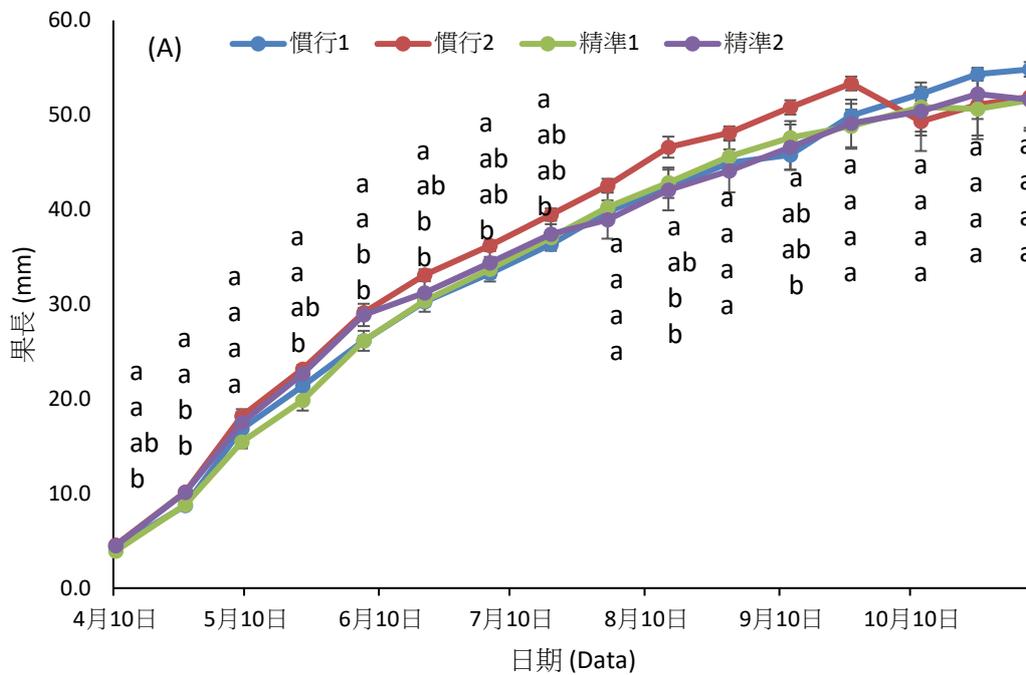


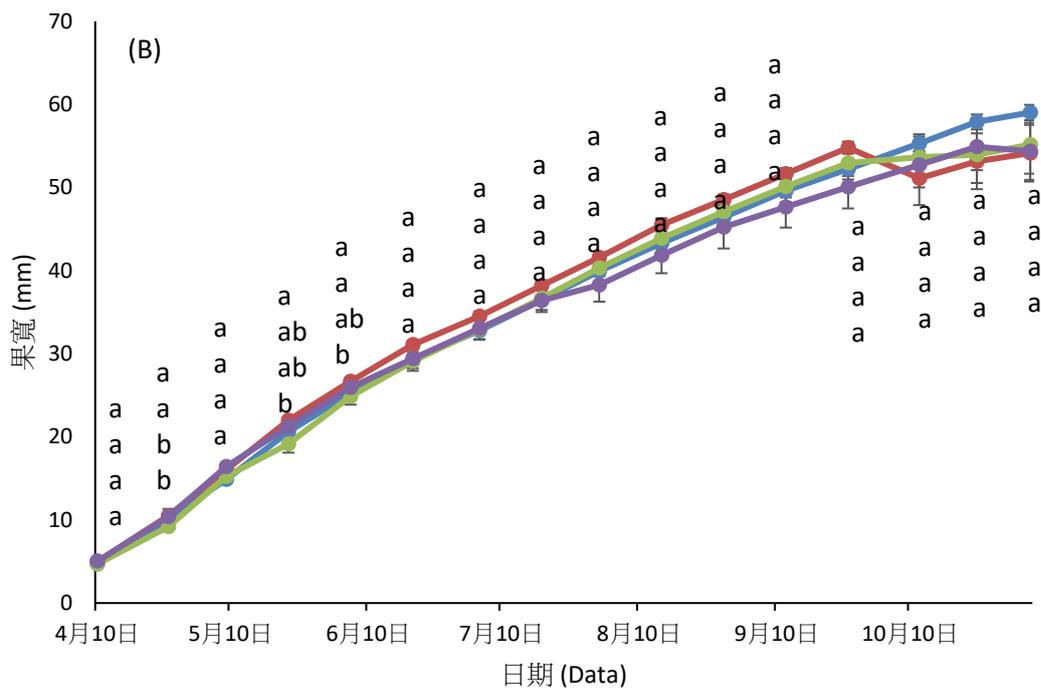
圖六、不同灌溉量對桶柑著果率之影響





圖七、不同灌溉量對桶柑著果數之影響





圖八、不同灌溉量對桶柑果長(A)及果寬(B)之影響

表四、不同灌溉量對桶柑葉片淨光合作用率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)之影響

處理	6月	7月	8月	9月	10月	11月
慣行灌溉處理組 1	3.4±0.5 a ^z	2.8±0.4 a	3.0±0.2 a	2.3±0.6 a	2.7±1.1 a	5.0±0.7 a
慣行灌溉處理組 2	2.7±1.4 a	2.4±0.3 a	3.3±0.6 a	2.7±0.3 a	3.2±0.8 a	4.2±1.1 a
精準灌溉處理組 1	3.0±0.8 a	3.4±0.5 a	2.6±0.2 a	2.4±0.6 a	4.9±0.5 a	5.0±0.4 a
精準灌溉處理組 2	2.9±0.6 a	2.4±0.7 a	2.9±1.6 a	3.6±0.3 a	2.9±0.5 a	4.0±0.7 a

^z Mean within each column followed by the same letter (s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ according to Fisher's protected LSD test (n=5).

表五、不同灌溉量對桶柑葉片氣孔導度($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)之影響

處理	6月	7月	8月	9月	10月	11月
慣行灌溉處理組 1	0.13±0.03 a ^z	0.17±0.04 a	0.28±0.04 a	0.20±0.03 a	0.12±0.04 a	0.22±0.02 a
慣行灌溉處理組 2	0.17±0.02 a	0.16±0.03 a	0.16±0.03 b	0.15±0.06 a	0.16±0.03 a	0.17±0.03 a
精準灌溉處理組 1	0.13±0.02 a	0.21±0.03 a	0.23±0.02 ab	0.20±0.05 a	0.19±0.03 a	0.23±0.03 a
精準灌溉處理組 2	0.12±0.02 a	0.18±0.03 a	0.19±0.03 b	0.19±0.02	0.19±0.02 a	0.17±0.04 a

^z Mean within each column followed by the same letter (s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ according to Fisher's protected LSD test (n=5).



1121131