



☒ 公開
☐ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：0901030100

農業部苗栗區農業改良場113年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 苗栗區柑橘灌溉模式建立與驗證 (第1年/全程2年)

(英文名稱) Irrigation scheduling and verification of citrus at Miaoli district

計畫編號： 113農科-9.1.3-苗-01

全程計畫期間： 自 113年1月1日 至 114年12月31日

本年計畫期間： 自 113年1月1日 至 113年12月31日

計畫主持人： 蔡正賢

研究人員： 林鈺荏、張雅玲

執行機關： 農業部苗栗區農業改良場



1131058



一、執行成果中文摘要：

本研究使用灌溉管理模型評估不同鄉鎮產區柑橘需水量，並驗證柑橘作物常用灌溉模式，卓蘭桶柑位於丘陵台地，依據土壤張力值灌溉，為精準式灌溉；卓蘭茂谷柑位於山坡地，除開花期外多不灌溉，為半乾式灌溉；苑裡帝王柑位於山谷半遮陰平地，土壤水分含量監測值降低時灌溉，為半濕式灌溉；公館砂糖橘位於平地，除降雨外每日上午及下午設定灌溉，為恆濕式灌溉。場域設置氣象站計算每日 ET_o ，埋設電容式水分感測器以追蹤土壤水分歷時變化，並調查作物生育階段及灌溉量等。卓蘭地區 ET_o 約1250 mm，公館1240 mm，苑裡982 mm。卓蘭桶柑(樹齡20年)， K_c 值由生育初期0.3逐漸升至1.3，卓蘭茂谷柑(樹齡8年)， K_c 值0.3至1.0，苑裡帝王柑(樹齡7年)， K_c 值0.4至0.75，公館砂糖橘(樹齡3年)， K_c 值0.6至0.8。開花後至果實肥大期灌溉適值，精準式灌溉為田間容水量之0.32倍，半乾式為0.40倍，半濕式為0.35倍，恆濕式為0.30倍，果實成熟及採收期灌溉適值，精準式灌溉為田間容水量之0.57倍，半乾式為0.57倍，半濕式為0.40倍，恆濕式為0.45倍。模型評估需水量結果，推薦灌溉大多於開花期前後及果實肥大期間，卓蘭桶柑為精準式灌溉，推薦灌溉140 mm，實際灌溉63 mm。卓蘭茂谷柑為半乾式管理，推薦灌溉140 mm，實際灌溉30 mm。苑裡帝王柑為半濕式管理，推薦灌溉110 mm，實際灌溉105 mm。公館砂糖橘為恆濕式管理，推薦灌溉450 mm，實際灌溉1150 mm。由於降雨量的影響遠高於灌溉，使土壤水分差異並不顯著，各場域不同小區間，除了桶柑開花率達到顯著性差異，以及茂谷柑及桶柑葉片葉綠素含量在5月14日有顯著性差異，其餘場域各處理之開花率、著果率、果長、果寬、葉片SPAD、淨光合作用率及氣孔導度差異並不明顯。

二、執行成果英文摘要：

This study is intended to test the water requirement during growth period of tankan citrus and construct optimized irrigation technology to facilitate the more efficient application of water resources. We will conduct a survey of evapotranspiration, soil moisture and plant utilization efficiency under natural rainfall and man-made irrigation, so as to understand the total irrigation requirement. In addition, it is discussed that the normal water supply of plant reproduction can be maintained during different reproductive periods of tankan citrus, and when the water resources are insufficient, the plant can still have reasonable production through the appropriate water supply.

三、計畫目的：

1. 完成鄉鎮柑橘產區農地土壤水動態監測及土壤水分特性、灌溉量及作物生長調查。
2. 建立以氣象資料為基礎之柑橘精準灌溉預測模式，提供適時灌溉建議。
3. 優化柑橘類作物各項參數，驗證灌溉模式。

四、重要工作項目及實施方法：

一、設置柑橘灌溉模式場域4處：

1. 於卓蘭鎮與西湖鄉及苑裡鎮規劃4處柑橘灌溉模式場域，卓蘭鎮柑橘品種為桶柑，含1主要試區，1驗證試區，平地栽培區，西湖鄉及苑裡鎮柑橘品種為茂谷柑，皆為主要試區，坡地栽培區，每區約0.2公頃。
2. 每一處理各1小區，每小區面積0.1公頃，供水分為2種處理
 - a. 對照灌溉量：埋設Watermark土壤水分感應器，以監測土壤水分張力，量測的單位為kpa，埋設深度為30公分，灌溉適值於開花後為30 kpa，轉色後為100 kpa，達灌溉適值後啟動灌溉，每次灌溉水量50-100公噸/公頃，灌溉水量以流量計紀錄。



1131058



b. 推薦灌溉量：使用CROPWAT模型推薦灌溉，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60 mm，轉色後土壤耗水106 mm，後續逐步依據土壤參數修正，灌溉量每次50公噸/公頃。

3. 主要試區設置氣象站，監測氣候資料（最高和最低溫度、太陽輻射、濕度和風速等），並進行土壤水動態監測及作物參數調查。驗證試區只進行土壤水動態監測及作物參數調查，氣候資料同主要試區。

二、田間資料蒐集與運用

氣候資料

1. 產區蒸發散量估算：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候資料計算。
2. 降雨量資料取自附近中央氣象局測站。

土壤特性

1. 調查土層深度、總體密度、質地、土壤有效水份含量等，每區隨機取樣3重複。
2. 調查田區土壤入滲率，每區取樣3點。

作物特性

1. 調查柑橘生育期，含開花、結果及成熟日期，每區隨機取樣3重複。
2. 調查葉片及果實生長發育情形，每區隨機取樣3重複。
3. 調查葉片光合作用特性、果實與枝條的生長量及性狀，評估供水量對產量之影響，每區隨機取樣3重複。

土壤水分動態監測

1. 各小區於30及60公分深度埋設Watermark土壤水分感應器，以監測土壤水分張力，量測的單位為kpa。於附近相同深度亦埋設電容式水分感測器，量測體積水分含量 (Volumetric water content, VWC)，單位為%。
2. 利用各深度土壤的體積水分含量與土壤水分張力之關係建立水分特性曲線，後續利用土壤水分張力估算水分含量變化。

三、優化各項參數

1. 土壤參數：
 - (1) 土壤參數包括容易利用有效水分量(RAM)、入滲率及根深等。
 - (2) 容易利用有效水分量(RAM)其關鍵參數土壤有效水分含量由壓力板法求得。
 - (3) 入滲率由飽和導水度求得，委託農業試驗所農業化學組協助測定。
 - (4) 根深設定為60公分。
2. 生育期：以修剪日期為起始日，調查作物開花、結果及成熟日期，劃分柑橘生育期 initial、development、mid-season、late-season之日數。
3. 作物係數：以每日水分收支平衡法，即當日耗水量=前日耗水量+ET_o.Kc-降雨量-灌溉量±深層土壤補充或滲漏量，驗證根圈範圍內土壤水分變化並優化Kc值。
4. 灌溉適值：
 - (1) 開花後灌溉適值設定為土壤張力值30 kpa，轉色後100 kpa，以土壤水分特性曲線換算土壤張力與土壤耗水量之關係。
 - (2) 設定各生育期之土壤耗水限值(Critical depletion)，並以利用田間容水量之比值表示。

四、推薦灌溉與田間驗證：

1. 是否要進行灌溉以及灌溉量是否適當，可以利用已設定之灌溉適值，以作物蒸發散量達土壤耗水限值時啟動灌溉。
2. 每次灌溉量固定為5 mm。
3. 驗證推薦灌溉量與實際灌溉量差異，結合作物生長調查，優化相關參數後，提出最適灌溉指引。



1131058



五、結果與討論：

一、各場域蒸發散量

尚未架設氣象站或出現缺值期間，利用鄰近中央氣象局之氣象站資料使用Penman-Monteith 方程計算ET_o，結果發現，公館試驗田與苗栗農改場氣象站距離350公尺，估算ET_o值誤差只有1%，苑裡試驗田與三義氣象站距離2.1公里，估算ET_o值誤差也只有2%，而卓蘭試驗田與卓蘭圖書館氣象站距離3.5公里，估算ET_o值誤差高達15%。顯示蒸發散量估算易受距離影響，距離越遠越屬不同氣候區，必須另外設置氣象站。卓蘭地區ET_o約1250 mm，公館1240 mm，苑裡982 mm。

二、柑橘類作物生育期劃分及各生育期灌溉適值

利用卓蘭桶柑埋設深度30公分土壤張力與0-60公分土壤耗水量之關係，如果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，100 kpa對應根域範圍之土壤耗水約在112 mm。

卓蘭桶柑依張力值灌溉，將開花後至果實肥大期將土壤灌溉適值設定為63 mm，約為田間容水量198 mm之0.32倍(c值)，其餘各場域依灌溉模式調整，卓蘭茂谷柑為半乾式管理，容許土壤於較高張力範圍，c值設定為0.40，公館砂糖橘為恆溼式管理，土壤於較低張力範圍，c值設定為0.30，苑裡帝王柑為半溼式管理，c值設定為0.35。

果實成熟及採收期土壤灌溉適值，卓蘭桶柑設定為112 mm，約為田間容水量之0.57倍(d值)，卓蘭茂谷柑d值亦設定為0.57，苑裡帝王柑因根深淺，不容許過多水分變化，d值設定為0.40，公館砂糖橘因樹齡小，d值設定為0.45，各場域生育期灌溉適值如圖1。

三、柑橘生育全期作物係數

以每日水分收支平衡法，即當日耗水量=前日耗水量+ET_o.Kc-降雨量-灌溉量±深層土壤補充或滲漏量，驗證根圈範圍內土壤水分變化並優化Kc值。根據E. Martínez-Ferri 等人(2013)研究指出，隨著生長階段，柑橘Kc值由0.4升至1.0。本研究柑橘Kc值變化如圖2所示，最初階段可能受果樹修剪影響，Kc值最低，並隨著開花、萌芽及抽梢Kc值逐漸增加，隨後逐漸下降。卓蘭桶柑(樹齡20年)，Kc值由生育初期0.3逐漸升至1.3，卓蘭茂谷柑(樹齡8年)，Kc值0.3至1.0。苑裡帝王柑(樹齡7年)，Kc值0.4至0.75，Kc值的變化亦可能與果園雜草發育有關，公館砂糖橘樹齡小(3年)，然而隨著春季雜草生長，Kc值0.6，隨後升至0.8，後又逐漸下降至0.6。

四、柑橘生育全期需水量

至2024年1月1日起累積之ET_c (作物需水量)使用適當函數表示($EXP(ax+b)*h/(EXP(ax+b)+1) - EXP(b)*h/(EXP(b)+1)$), a、b、h為常數), 求其斜率可得每日需水量變化(圖3)。ET_c以函數值表示可以方便計算任意時段內之需水量，對於灌溉指引非常有幫助。需水量最高時期為7月，全年需水量卓蘭桶柑1,228 mm，卓蘭茂谷柑983.1 mm，苑裡帝王柑617.6 mm，公館砂糖橘1,029 mm。

五、各生育期柑橘灌溉需求量

單純利用作物需水量與有效降雨量評估灌溉需求量仍顯不充分，例如果實發育肥大期正逢雨季，土壤可吸收降雨並供應作物利用，除非長期乾旱，否則灌溉需求甚少；而果實成熟期的需水量也可以由土壤供應，且土壤乾燥才能促進果實品質，不宜進行灌溉。正確推薦灌溉仍需考慮土壤水分供應量，亦即土壤耗水(θ)達灌溉適值(RAM)時推薦灌溉，灌溉需求量如式一所示， $\theta_b - \theta_a$ 大小影響各生育期灌溉需求量，開花期前後 $\theta_b - \theta_a$ 為正值，灌溉需求量最大；果實生長期間，大雨過後 $\theta_b - \theta_a$ 為負值，灌溉需求量次之；果實轉色、成熟期 $\theta_b - \theta_a$ 負值最大，生育期亦短，灌溉需求量最小。

$$I = (\theta_b - \theta_a) + ET_c - (P_{[a,b]} - F) \pm Q \quad (\text{式一})$$

六、驗證灌溉模式



1131058



圖4為各場域實際灌溉量與推薦量之比較，模型評估需水量結果，推薦灌溉大多於開花期前後及果實肥大期間，卓蘭桶柑為精準式灌溉，雖然已於關鍵階段灌溉，可能因農友預判降雨，灌溉量不足，推薦灌溉140 mm，實際灌溉63 mm。卓蘭茂谷柑為半乾式管理，土壤可以容納較多降雨，推薦灌溉量沒有預期之高，但雨量分布不均，實際灌溉量明顯偏低，推薦灌溉140 mm，實際灌溉30 mm。苑裡帝王柑為半濕式管理，實際灌溉量與推薦灌溉量差異不大，推薦灌溉110 mm，實際灌溉105 mm。公館砂糖橘為恆濕式管理，土壤無法吸納降雨，水分利用效率低，實際灌溉量遠大於推薦灌溉量，推薦灌溉450 mm，實際灌溉1150 mm。

各場域設置2種不同小區，以驗證灌溉成果，卓蘭桶柑設置淺土區及深土區、卓蘭茂谷柑設置上坡區及下坡區、苑裡帝王柑設置減量區及全量區、公館砂糖橘設置草生區與清耕區。由於降雨量的影響遠高於灌溉，苑裡減量灌溉區與全量灌溉區土壤水分差異並不顯著。公館清耕區與草生區土壤水分於枯水期差異明顯，卓蘭不同小區之差異不明顯。由於土壤水分差異並不顯著，各場域不同小區間，除了桶柑開花率達到顯著性差異，以及茂谷柑及桶柑葉片葉綠素含量在5月14日有顯著性差異，其餘場域各處理之開花率、著果率、果長、果寬、葉片SPAD、淨光合速率及氣孔導度差異並不明顯。

六、結論：

本研究驗證柑橘作物精準灌溉、半乾式灌溉、半濕式灌溉、恆濕灌溉等4種灌溉模式，實地評估需水量結果，可以準確反映各種水分管理之優缺點，有助於推薦灌溉，作為農民改進灌溉之參考，建立管理模型後，便可於較大時間與空間尺度範圍內提供精準用水評估，建立因應氣候變遷的灌溉模式，可應用於柑橘產業灌溉水資源調配，並提供柑橘作物灌溉指引。

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。採收前水分管理對極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.
- Rodríguez-Gamir, J., Primo-Millo, E., Forner, J.B., Angeles Forner- Giner, M., 2010. Citrus rootstock responses to water stress. *Sci.Hortic.* 126, 95-102.



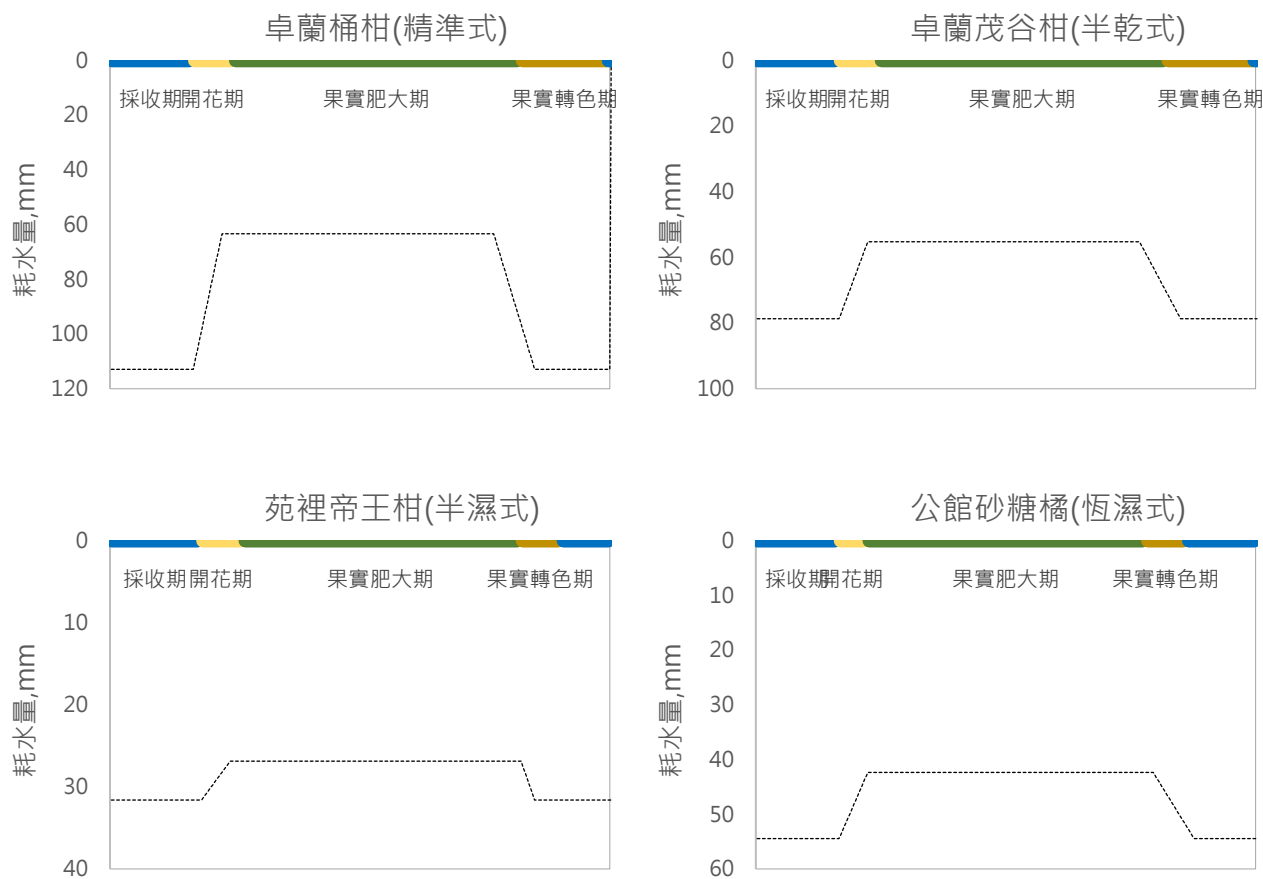


圖 1. 各場域柑橘生育期灌溉適值。

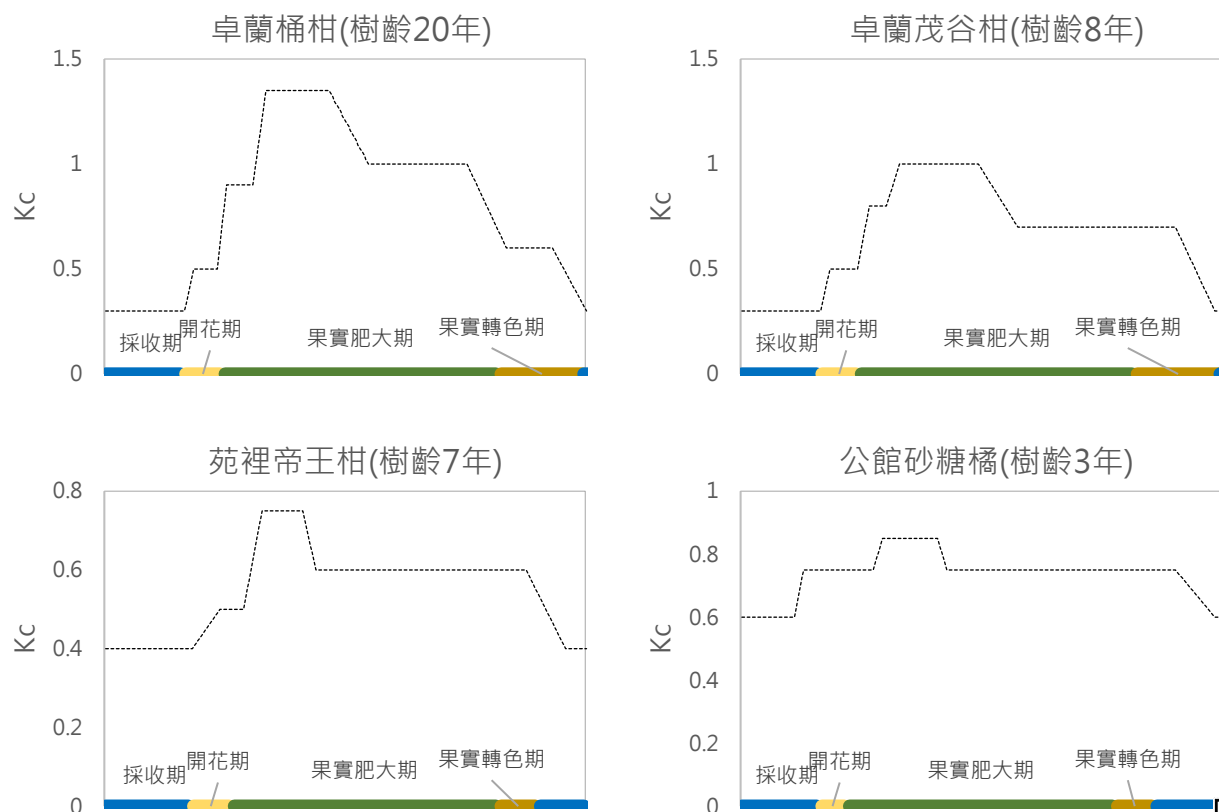


圖 2. 各場域柑橘生育全期作物係數。





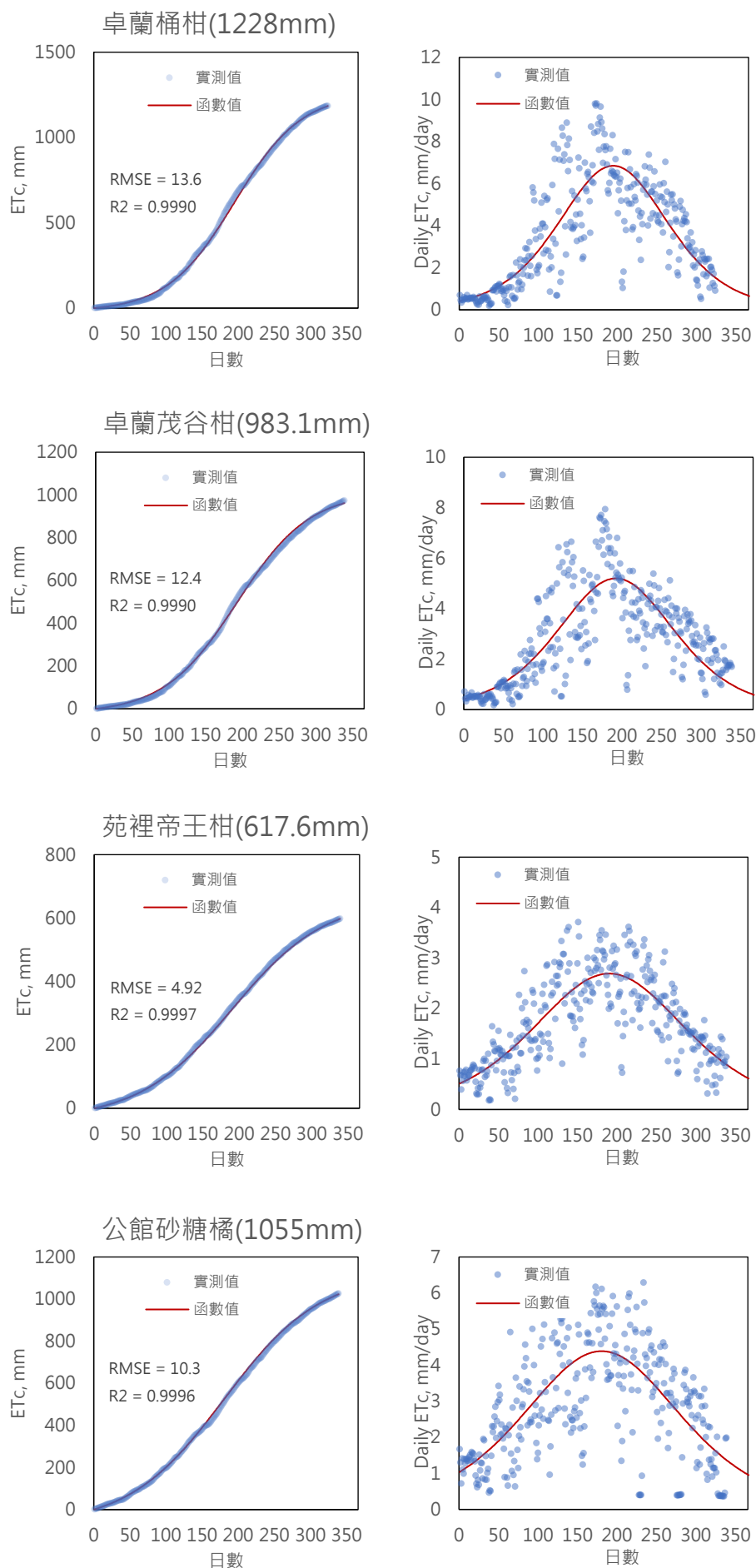


圖 3. 各場域柑橘作物累積 ETc (左)及每日 ETc (右)。



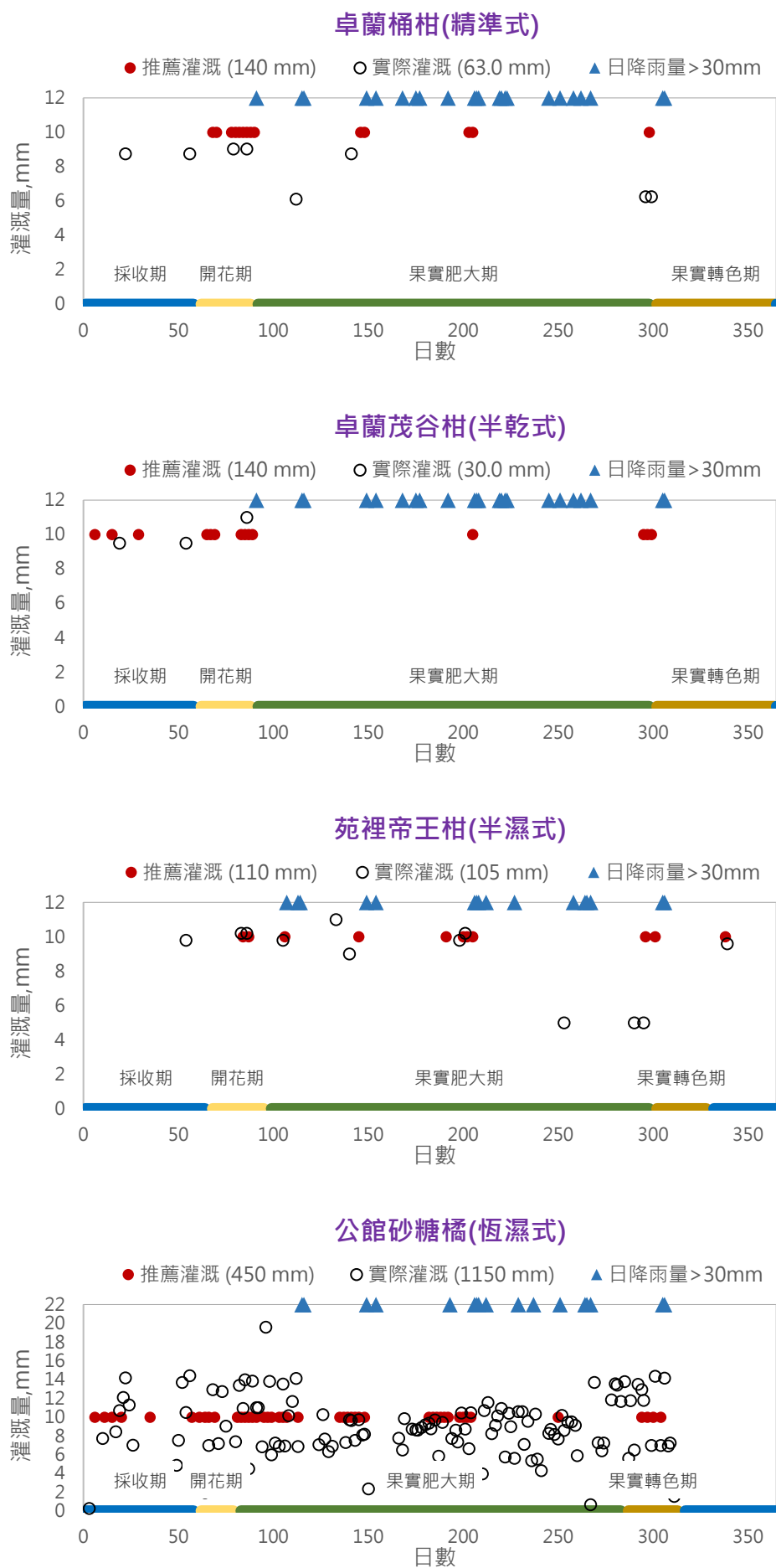


圖 4. 各場域實際灌溉量與推薦量之比較，三角形標記為>30mm/day 之降雨日。





表 1. 卓蘭桶柑不同小區葉片葉綠素、淨光合作用率及氣孔導度之比較

日期	SPAD value		淨光合作用率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)		氣孔導度 ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
	淺土區	深土區	淺土區	深土區	淺土區	深土區
5 月 14 日	69.7±0.8	73.6±0.9	6.4±0.6	5.9±0.6	0.19±0.02	0.20±0.02
5 月 28 日	74.2±1.0	74.5±0.7	9.7±0.4	8.0±1.1	0.21±0.02	0.14±0.02
6 月 11 日	72.8±0.7	75.3±1.0	9.2±0.9	8.6±0.8	0.23±0.03	0.34±0.09
6 月 25 日	77.4±0.8	74.3±0.9	9.1±0.8	7.1±0.9	0.23±0.01	0.15±0.02
7 月 09 日	79.0±1.0	78.9±1.1	8.4±0.8	7.7±0.5	0.18±0.02	0.13±0.02
7 月 23 日	77.7±0.4	77.0±0.6	8.9±0.6	7.1±0.8	0.20±0.02	0.16±0.02
8 月 06 日	79.8±1.4	81.0±0.9	8.9±0.6	6.8±1.0	0.12±0.02	0.10±0.02
8 月 20 日	76.8±0.6	79.9±1.3	9.9±0.6	8.0±0.7	0.17±0.02	0.14±0.02
9 月 03 日	74.5±1.3	77.2±0.9	7.7±0.7	7.9±0.6	0.15±0.02	0.16±0.01
9 月 16 日	77.6±1.1	78.8±0.9	8.1±0.8	7.6±1.0	0.17±0.02	0.20±0.02
10 月 01 日	79.0±1.2	76.0±1.4	7.3±0.8	6.7±0.6	0.17±0.02	0.15±0.01
10 月 15 日	75.3±1.1	76.3±1.0	5.9±0.7	7.1±0.7	0.11±0.001	0.09±0.01
10 月 29 日	79.1±1.0	75.7±1.0	8.1±0.6	6.3±0.7	0.17±0.02	0.13±0.02
11 月 12 日	78.1±1.3	78.3±1.0	6.9±0.6	6.7±0.6	0.13±0.02	0.14±0.03

表 2. 卓蘭茂谷柑不同小區葉片葉綠素、淨光合作用率及氣孔導度之比較

日期	SPAD value		淨光合作用率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)		氣孔導度 ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
	上坡區	下坡區	上坡區	下坡區	上坡區	下坡區
5 月 14 日	75.4±0.6	79.9±0.9	6.3±0.7	5.8±0.7	0.16±0.02	0.23±0.03
5 月 28 日	77.2±1.0	77.6±0.8	7.2±1.0	9.0±0.6	0.14±0.02	0.17±0.01
6 月 11 日	78.0±0.7	78.5±0.6	9.0±0.5	9.3±0.6	0.10±0.01	0.10±0.02
6 月 25 日	76.5±1.0	79.0±0.7	6.4±1.0	7.5±0.3	0.23±0.02	0.19±0.03
7 月 09 日	77.2±1.3	74.9±0.8	7.6±0.3	6.8±0.5	0.12±0.01	0.12±0.01
7 月 23 日	76.1±0.8	76.0±0.7	9.3±0.5	8.3±0.8	0.16±0.02	0.23±0.04
8 月 06 日	74.8±1.0	75.0±4.5	10.7±0.4	10.3±0.4	0.24±0.02	0.26±0.02
8 月 20 日	76.3±0.7	76.5±0.6	10.0±0.4	10.3±0.7	0.20±0.03	0.20±0.03





9 月 03 日	77.0±1.2	78.3±1.1	7.9±1.0	9.3±0.8	0.15±0.02	0.22±0.03
9 月 17 日	77.9±0.8	78.3±1.1	8.9±0.8	9.0±0.5	0.21±0.04	0.24±0.03
10 月 01 日	77.4±1.3	77.8±1.1	8.6±0.8	9.2±0.6	0.23±0.02	0.19±0.03
10 月 15 日	74.6±0.6	76.9±0.9	7.8±0.9	8.3±0.4	0.16±0.02	0.21±0.03
10 月 29 日	76.5±0.9	77.2±1.3	8.5±0.6	9.0±1.1	0.20±0.02	0.20±0.03
11 月 12 日	77.3±1.2	77.6±1.0	9.7±0.9	8.5±0.8	0.20±0.01	0.18±0.02

