

彰化地區作物需水量觀測與研究-以花椰菜為例¹

廖崇億²、錢昌聖²、游承翰²、許建輝³

摘 要

在氣候變遷下，臺灣未來可能面臨高溫、強降雨及早災等氣候風險增加，作物需水量評估不容忽視，透過作物需水量評估，可作為灌溉需求預測或蓄水設施設置參考，以因應極端氣候或天氣事件變化。作物需水量或稱蒸發散量，為作物生長期間水分透過植株蒸散量及土壤表層水分蒸發量之總和，本研究以花椰菜為例，透過水氣通量儀，分析實際作物需水量，並與Penman-Monteith法計算之參考蒸發散量(ET_0)比較並建立相關性，調查結果顯示花椰菜全期作物係數(K_c)約0.84。長期氣候分析顯示在近20年， ET_0 為上升趨勢，以每年約10 mm趨勢增加；而降雨量則有下降趨勢，以每年約26 mm趨勢減少。由歷史平均氣象資料計算，花椰菜每旬10日之需水量介於22 mm到44 mm間；故遇到或預期乾旱事件發生，花椰菜每分地(0.1ha) 每旬約需準備20-40 t或每月約70-100 t的蓄水量，若田間無法設置對應的蓄水設施，則需尋覓相當的穩定供應水源。

關鍵字：作物需水量、花椰菜、Penman-Monteith 法

前 言

臺灣降雨量雖多，年平均降雨達2000 mm以上(中央氣象局，2022)，但降雨強弱分布不均，時有極端降雨時則無降雨，以及地勢南北走向與地形狹長，雨水蓄積不易，使得臺灣農業除了降雨外仍有額外的高灌溉需求(甘等，2003)，隨氣候變遷影響加劇，灌溉需求將越來越高，而水資源之使用同時面臨到工業用水的競爭，農業用水之評估與精準灌溉越顯重要。以東亞區域來看，依據政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次評估報告(AR6)，未來面臨高溫、強降雨及早災等氣候風險增加(IPCC, 2023)。透過作物需水量評估，可做為灌溉需求預測或蓄水設施設置參考，增加水資源利用率，以因應極端氣候或天氣事件變化。

作物需水量或稱蒸發散量(Evapotranspiration)，為作物生長期間水分透過植株蒸散之量及土壤表層水分蒸發量之總和，一般以單位時間毫米(mm)量表示，依頻率不同有不同的表示方式，如：每小時($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)、每日($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)、每生長期($\text{mm}\cdot\text{season}^{-1}$)或每年($\text{mm}\cdot\text{y}^{-1}$)等(Allen *et al.*, 1998; 陳，2020)。

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1098 號

² 農業部臺中區農業改良場助理研究員、副研究員、研究助理

³ 農業部農業試驗所副研究員

*通訊作者 Email: cylliao@tcdares.gov.tw

作物需水量調查在小尺度上可使用盆栽秤重觀測，透過水量變化，計算蒸發散量，或使用蒸發皿法調查再乘以係數；中尺度上則可利用滲漏計進行調查，透過記錄灌溉水量、雨量、滲漏水量及土壤水分變化，以水收支平衡方式計算蒸發散量，如式一(申，2002；陳，2020)：

$$\text{蒸發散量(需水量)} = \text{灌溉水量} + \text{雨量} + \text{土壤水分變化量} - \text{逕流} - \text{滲漏水量} \quad (\text{式一})$$

在廣域田間調查上，可使用通量法(Flux)或稱渦流協變法(Eddy Covariance)，透過高頻率監測氣體濃度調查與微氣候之變化來計算物質的通量，透過此方法能取得具田間代表性的蒸發散量，其理論原理利用目標物質濃度瞬間變量(c')與垂直風速瞬間變量(w')之協方差取得通量(F_c) (Scott, 2010)： $F_c = C' \times W''$ 。在更廣域的調查，可利用衛星遙測作為間接估計蒸發散量之依據(Leng *et al.*, 2017)。

由於土壤表面水分的蒸發或植物的蒸散作用皆與環境狀態有關，如溫度、輻射量、相對濕度及風速等，隨研究調查資料與理論模型的建置，可使用氣象資料進行計算出參考蒸發散量(Reference crop Evapotranspiration)，以 ET_0 表示。在 ET_0 計算上，有許多種理論方程式，如從以溫度為基礎的Blaney-Cridde法、Hagrees法，日射量與溫度的Makkink法、Jensen-Haise，到多重參數因子的Penman-Monteith和Van Bavel法等 (Brouwer & Heibloem, 1986；Allen *et al.*, 1998；申，2002)。依據聯合國世界糧農組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)，建議使用Penman-Monteith法計算 ET_0 (Allen *et al.*, 1998)。

作物實際需水量，常以 ET_c 表示，其與參考蒸發散量(ET_0)存在之相關性，即作物係數(K_c)， K_c 會依據作物種類、作物生長期與地區氣候環境不同，而有差異，因此建議依當地氣候環境與作物種類調查並訂定 K_c (Allan *et al.*, 1998)。反之，若有對應之作物係數(K_c)，即可透過氣候資料計算 ET_0 估計種植特定作物之灌溉用水需求，本土研究中亦有學者建議作物總生長期之 K_c 值如下：高需水量作物如甘蔗 K_c 值為0.85－1.05，中需水量之玉米為0.80－0.95、西瓜為0.80－0.90、甘藍為0.70－0.80，低需水量作物之落花生為0.75－0.80、大豆為0.75－0.90、洋蔥為0.65－0.80；水稻依據期作差異，一期作由插秧－開花初期－成熟末期之建議 K_c 為0.5－1.3－0.7，二期作插秧－開花初期－成熟末期為0.9－1.6－0.6 (陳，2020)，甚至依據作物與生長期不同有不同 K_c 值。

花椰菜是十字花科芸苔屬甘藍種中的變種，生長適宜溫度約20-25℃，在弱酸至中性的各種質地土壤皆適合栽培，生育期保持土壤濕潤有助於提高品質(吳與郭，2010)。花椰菜為臺灣重要蔬菜作物之一，依據農情報告資源網，112年臺灣全年花椰菜種植面積共約1,412 ha，以生產地區區分，其中近924 ha位於彰化縣，其次為高雄市的289 ha；依據產期區分，一期作332 ha、2期作336 ha及裡作745 ha。

由於花椰菜生長期相對短、一年約可栽種3次、栽培管理建議維持濕潤土壤環境，且有一定生產規模，故本研究以彰化地區花椰菜栽培為例，調查作物需水量(ET_c)與參考蒸發散量(ET_0)之相關性，藉此求得作物係數(K_c)，並透過歷史氣象資料分析，評估長期參考蒸發散量變化，以因應氣候

變遷下灌溉用水需求，而本研究之研究參考蒸發散量未來可套用不同作物係數，應用在彰化地區不同作物上。

材料與方法

一、作物需水量(ET_c)調查、參考蒸發散量(ET_0)計算與作物係數(K_c)

本研究選用花椰菜作為實際作物需水量(ET_c)調查依據，作物需水量透過水氣通量儀以渦流協變法(eddy covariance)調查，設備組成包含開路式(Open Path)二氧化碳/水氣通量儀(LI-7500DS, LICOR, USA)及3維超音波風速風向計(LICOR 7900-410, LICOR, USA)，架設高度1.5 m (感測器中心距地面高度)，設備設置於長×寬為50 m × 50 m之田區中央，以獲的足夠風吹距離(fetch)，取得代表性數據。

本研究依據FAO建議使用Penman-Monteith法計算(Allen *et al.*, 1998)作為參考蒸發散量 ET_0 作為計算，其公式如下：

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} U_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (\text{式二})$$

ET_0 ：參考蒸發散量、

R_n ：淨輻射量($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)、

G ：土壤熱通量($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)、

T_{hr} ：每小時均溫($^{\circ}C$)、

Δ ：飽和蒸氣壓斜率($kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$)、

γ ：濕度常數($kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$)、

$e^o(T_{hr})$ ：對應空氣溫度下的飽和蒸氣壓(kPa)、

e_a ：實際飽和蒸氣壓(kPa)

U_2 ：平均風速($m \cdot s^{-1}$)

依據上式與學者文獻(Allen *et al.*, 1998)，計算所使用參數包含溫度、風速、相對濕度、氣壓及輻射量等資料進行計算。有關 ET_c 、 ET_0 與 K_c 計算，可透過調查 ET_c 與計算 ET_0 求 K_c ，或利用氣候資料之 ET_0 及已知 K_c 計算 ET_c ：

$$K_c = ET_c / ET_0 \quad (\text{式三})$$

二、試驗土壤環境與測試栽培作物

為了解理論蒸發散量計算與實際蒸發散量兩者實際的相關性，本研究調查自2022年8月至2023年9月之花椰菜之蒸發散量並與 ET_0 進行比較，因氣候差異，不同季節有不同適宜種植的花椰菜品種，2022年8月選植花椰菜#50、2022年12月種植花椰菜#62、2023年4月種植花椰菜#55、2023年9月種植

花椰菜#50，灌溉依據慣行溝灌管理，施肥參考作物施肥手冊，每期施氮量約160 kgN/ha，分1次基肥及3次追肥施用。試驗地點位於臺中區農業改良場(Taichung District Agricultural Research and Extension Station, TCDARES)試驗田(24°0'10.80", 120°31'58.26")，試驗田區為長寬各50m之方形坵塊，面積約2,500 m²。

土壤性質由農業試驗所協助採樣分析，分析方法概要如下，土壤有機質：利用乾灰化法；土壤質地：將土壤風乾後磨碎過篩(< 2 mm)，以雷射粒徑分析法區分粉粒及黏粒的含量，取得砂粒、粉粒及黏粒之比例後，以土壤質地三角分類定義質地類型；總體密度：以土壤法進行採樣調查。栽培田區土壤性質如(表一)所示，試驗田區0-15 cm、底土 15-30 cm 至30-60 cm土層質地皆為壤土，pH依序為7.6、7.5與7.9，有機質含量為1.86%、2.18%與2.37%，總體密度為1.45、1.63與1.59 g·cm⁻³。

表一、試驗田區土壤性質

Table 1. Soil properties at different depths in the experimental field

Soil depth (cm)	pH	O.M. (%)	Soil Texture	B.D. (g/cm ³)
0-15	7.6	1.86	Loam	1.45
15-30	7.5	2.18	Loam	1.63
30-60	7.9	2.37	Loam	1.59

三、農業氣象資料分析

以臺中區農業改良場(72G600)一級氣象站資料進行比較，且依據「農情報告資源網」，彰化縣為花椰菜主要栽培地區，約有900多公頃，在區域與作物種類上使用該站點皆具代表性。氣象資料由「農業氣象觀測網監測系統」下載，為確保數據品質，在進行長期資料研究比較時，先進行校正。校正方法，在氣象資料缺漏部分，如為連續性的缺漏則擷取鄰近氣象署氣象站資料以數值替代方式，非颱風豪雨下等極端天氣事件之單日缺漏，以內插方式校正，將整體資料降缺漏率控制在5%以下。不連續性資料之校正，指可能因設備更新或設備校正，導致量測數值上有明顯不連續樣態，依不連續斷點資料前後3年度之2.5百分比分位、中位數及97.5百分比分位，並依據氣象資料種類進行包含零點之迴歸分析，比較年度由2004年至2023年，共20年度氣象資料。前述使用作為參考校正之鄰近氣象站為秀水站(C0G780)，該氣象站相對與臺中農改場站距離較近且可參考氣象資料較為完整，該氣象站，調查資料自2011年9月起，有13年度資料可供比對校正。本文資料圖繪製與分析計算以微軟(Microsoft) Office – 2016 標準版之EXCEL進行。

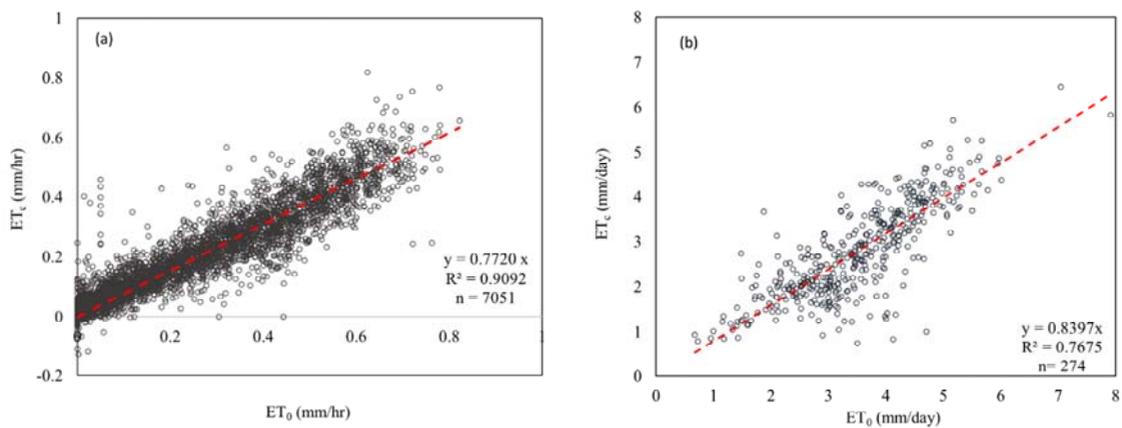
結果與討論

一、作物需水量與理論蒸發散量相關性研究

本研究實際作物需水量(ET_c)，包含2022年8月至2023年9月，共4個期作花椰菜，依據作期與氣候不同，花椰菜實際生長日數約62-78，依花椰菜個別生長差異，採收時期可達一週。通量設備所量測之水氣通量為田間場域內作物之蒸散量與土壤水分蒸發總和，即蒸發散量，由於量測以每半小時記錄一次資料，單位為 $mm\ hr^{-1}$ ，在小時平均資料上，與小時 ET_0 有高度的相關($y = 0.7720x$ ， $R^2 = 0.9467$ ， $n = 7051$)，如圖一(a)。

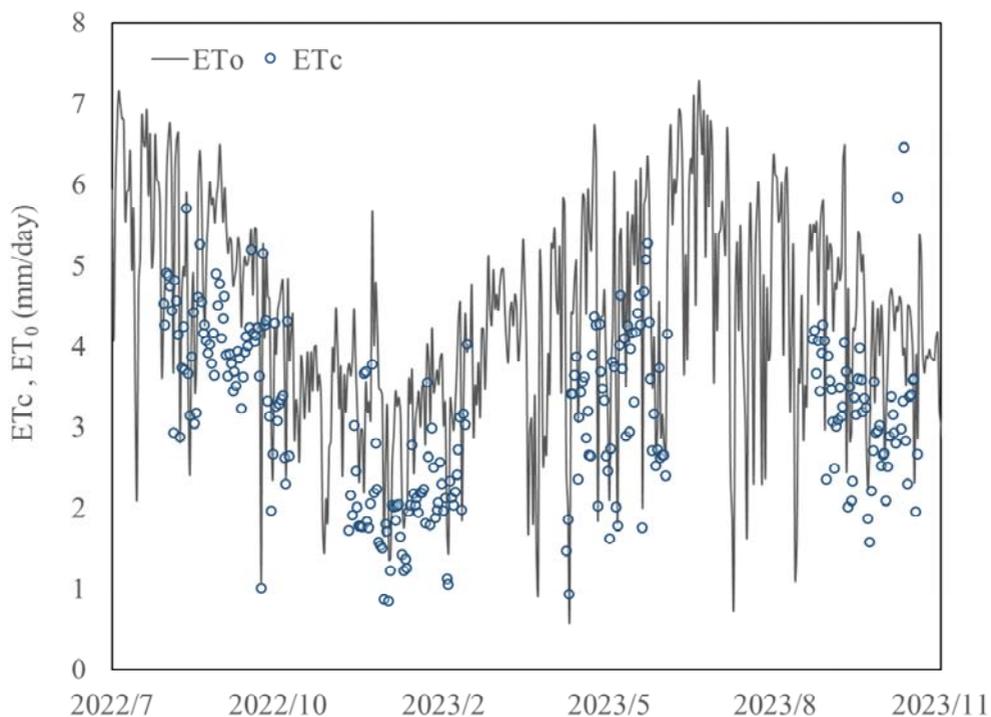
Moorhead 等人(2019)利用渦流協變法進行高粱蒸發散量調查，研究指出小時蒸發散量數據累加為每日數據，可將蒸發散量的量測誤差降低至 10%–15%，並增加代表性，故將每日量測 48 筆資料加總後除以 2，換算為每日花椰菜生長之蒸發散量($mm\ day^{-1}$)，即花椰菜生長之每日需水量，耕作期內 ET_c 量測結果由 0.85 至 6.46 $mm\ day^{-1}$ 。下載耕作期間臺中農改場氣象站資料，以 Penman-Monteith 法計算理論蒸發散量，耕作期內 ET_0 計算結果為 0.67 至 7.91 $mm\ day^{-1}$ 。其餘農閒時期因翻耕未種植作物或雜草生長，僅有土壤水分蒸發量或雜草之蒸發散量，無法代表目標作物數值， ET_c 未計入研究，故部分時期數值為空缺，成果如(圖二)所示。

將每日對應 ET_0 與 ET_c 進行截距為零之線性回歸，即可計算出 ET_0 與 ET_c 之係數值，即作物需水量計算所需作物係數(K_c)，本研究計算之花椰菜作物係數值為0.84 ($y = 0.8397x$ ， $R^2 = 0.9772$ ， $n = 274$)，略高於本土甘藍菜建議值0.70–0.80 (陳，2020)，FAO資料中之花椰菜之初始–中期–後期 K_c 為0.7–1.05–0.95 (Allan *et al.*, 1998)，在巴西馬林加(Maringá)研究花椰菜調查結果，為0.74–1.86–1.50 (Andrean *et al.*, 2021)。因作物品種、地區氣候環境不同，其 K_c 表現亦不同，故不同地區 K_c 值僅能做為參考，FAO建議依地區及作物品種調查當地之 K_c (Allan *et al.*, 1998)。本研究中未發現隨花椰菜生長期不同， K_c 有對應之明顯變化， K_c 值似乎僅反映氣候變化。如前言所述，蒸發散量由土壤表面蒸發與作物蒸散構成，對於單一係數值的 K_c 是由兩者構成的綜合係數，在灌溉與降雨事件較高頻率下，濕潤的表面土壤蒸發亦為蒸發散的主要構成，作物係數 K_c 將由基礎作物係數(K_{cb})與土壤蒸發係數(K_e)組成(Allan *et al.*, 2005)，作物種植初期 K_e 大、 K_{cb} 小，隨作物生長葉面積增加遮掩土面， K_e 低、 K_{cb} 高；因此隨灌溉或降雨造成土壤表面濕潤頻度較高，總和 K_c 變化就不明顯(Allan *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2005; Abu *et al.*, 2020)，另FAO建議之花椰菜 K_{cb} 為0.15–0.95–0.85(初期–中期–後期)。故本研究 K_c 值約0.84是反映當地花椰菜品種特性、慣行溝灌栽培及降雨頻度較高之整體係數值。花椰菜作物需水量調查上，相關性顯示Penman-Monteith法在彰化地區，做為 ET_0 計算作物需水量上，具有代表性。



圖一、全部期作每時(a)、每日(b)頻率下 ET_0 與 ET_c 之相關性。

Fig. 1. Correlation between ET_0 and ET_c at hourly (a) and daily (b) frequencies for all cauliflower season.

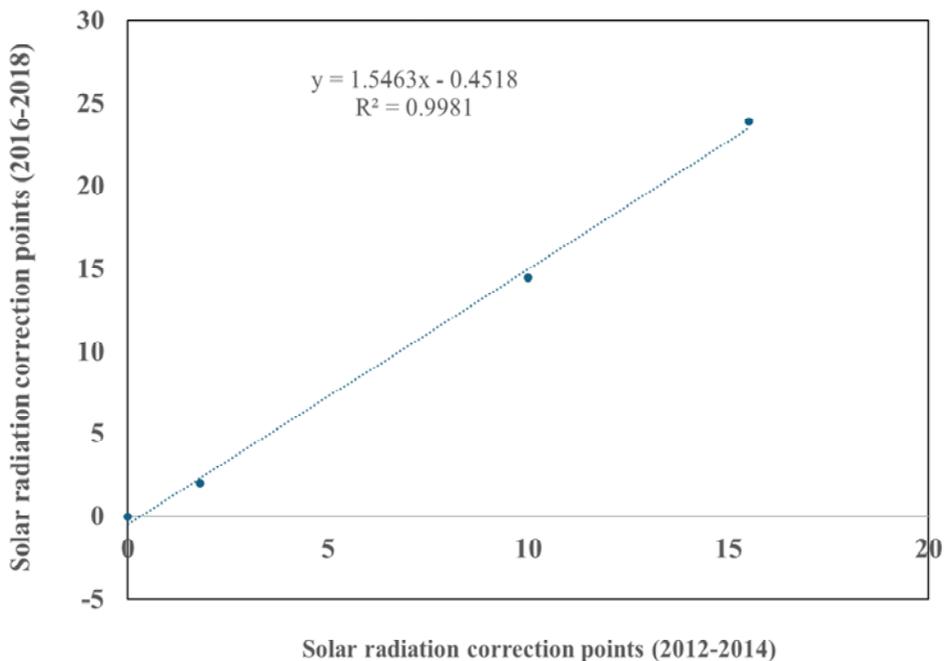


圖二、各期作花椰菜之 ET_c 與期作間之 ET_0 。

Fig.2. ET_c and ET_0 in each cauliflower season.

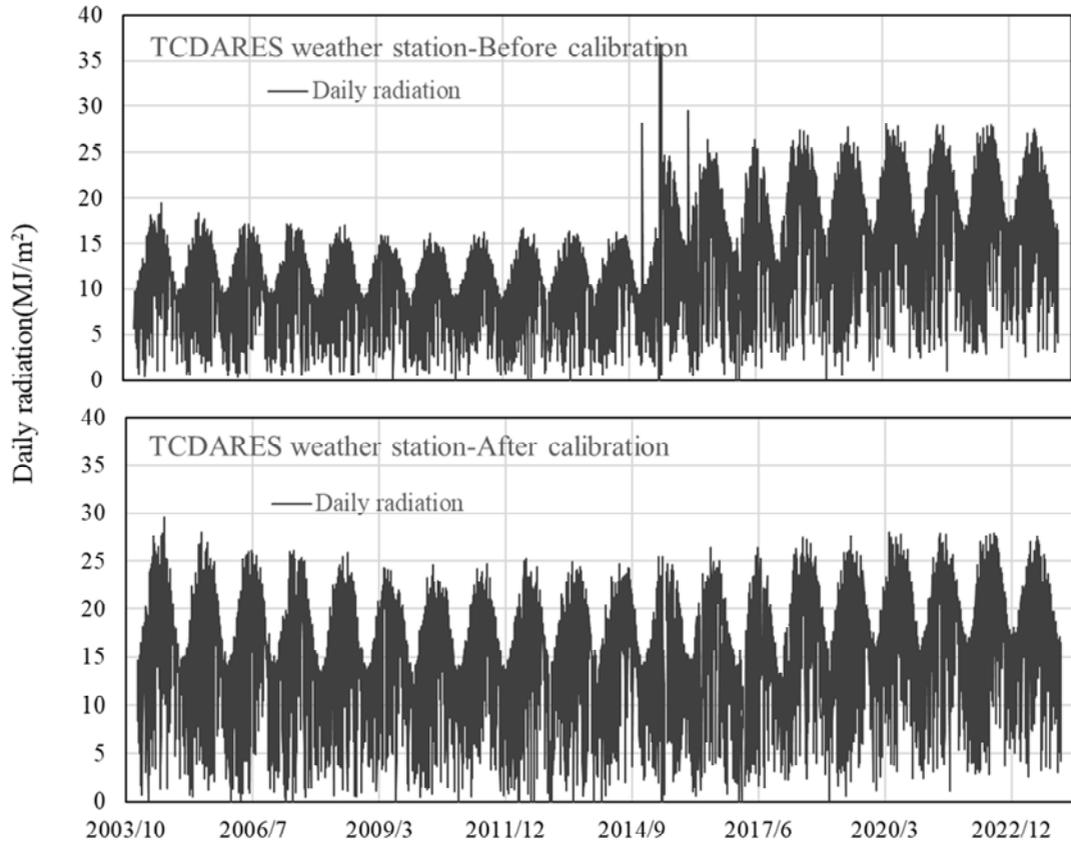
二、長期氣象數值校正與分析

由「農業氣象觀測網監測系統」所下載臺中農改場氣象站之長期氣象資料，經檢視多年度氣象資料，最大差異，為日輻射量有不連續情形，日輻射量在2015年6月前後有明顯斷層，該項資料約以2015年6月為分界點，將日輻射數據以斷點前後各3年之2.5百分比分位、中位數及97.5百分比分位數值，透過線性回歸方式校正，將2015年6月前資料，校正為2015年6月後之水平，另就疑似錯誤之極端以前後日平均值取代，校正公式與前後數值變化如(圖三)與(圖四)所示；因設有日輻射氣象站較少，固本項僅作單氣象站歷史趨勢校正比較。在其餘溫度、風速、相對濕度及氣壓等氣象資料，與秀水氣象站進行線性回歸比較，比對氣象資料由2012年1月1日至2023年12月31日，共12個年度。由於設置環境差異，風速與相對濕度較為不同，但趨勢相同；在溫度與氣壓部分，兩者一致；雨量部分亦有些許差異，但趨勢亦大致相同(圖五)。故臺中農改場氣象站資料有缺漏部分，以秀水氣象站氣象資料進行填補，透過氣象資料校正提升氣象資料準確性與代表性。



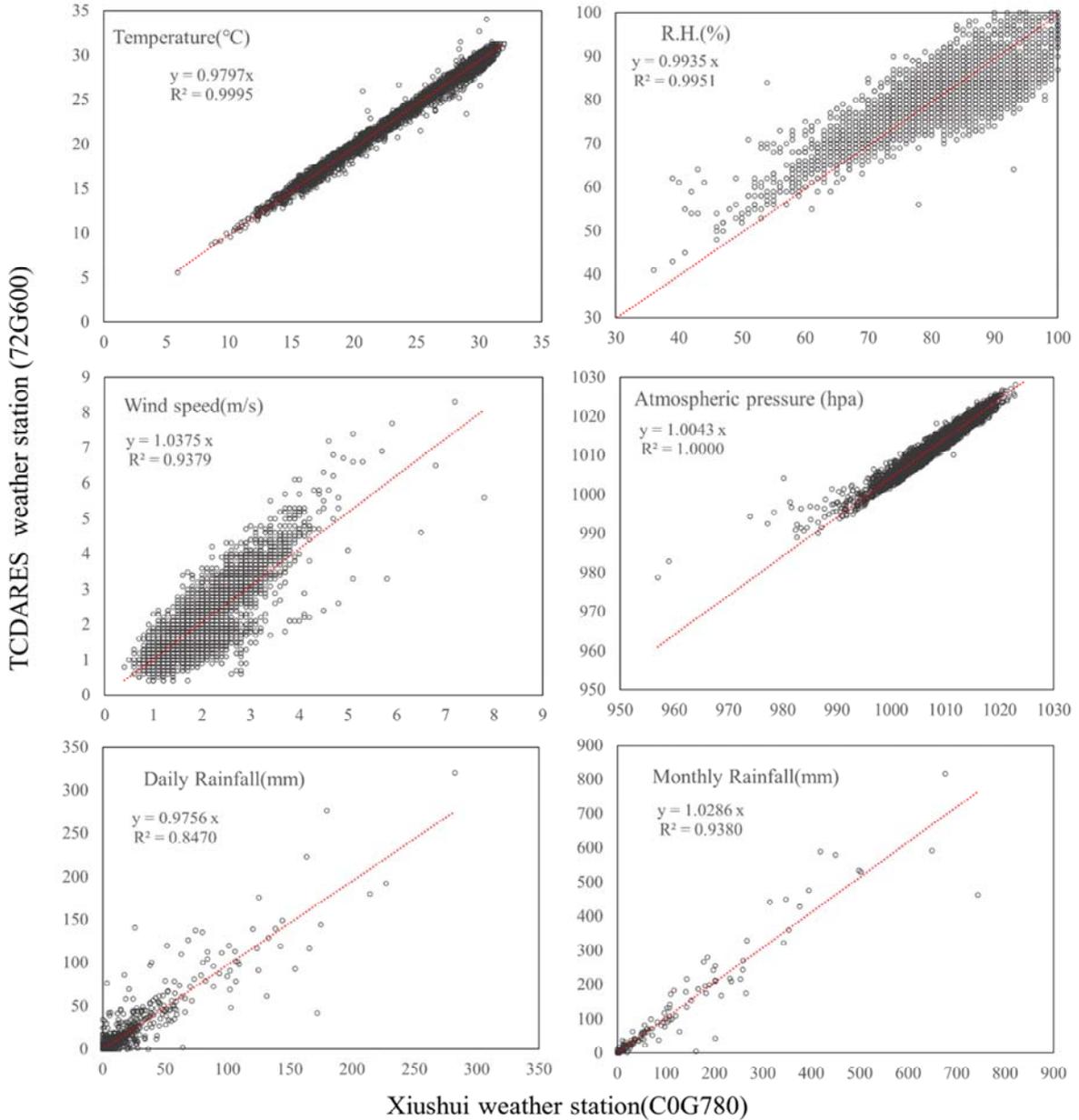
圖三、2015年前後3年之日輻射量校正係數。

Fig. 3. Daily radiation correction coefficients for the three years before and after 2015.



圖四、日輻射量校正前(上)，校正後(下)。

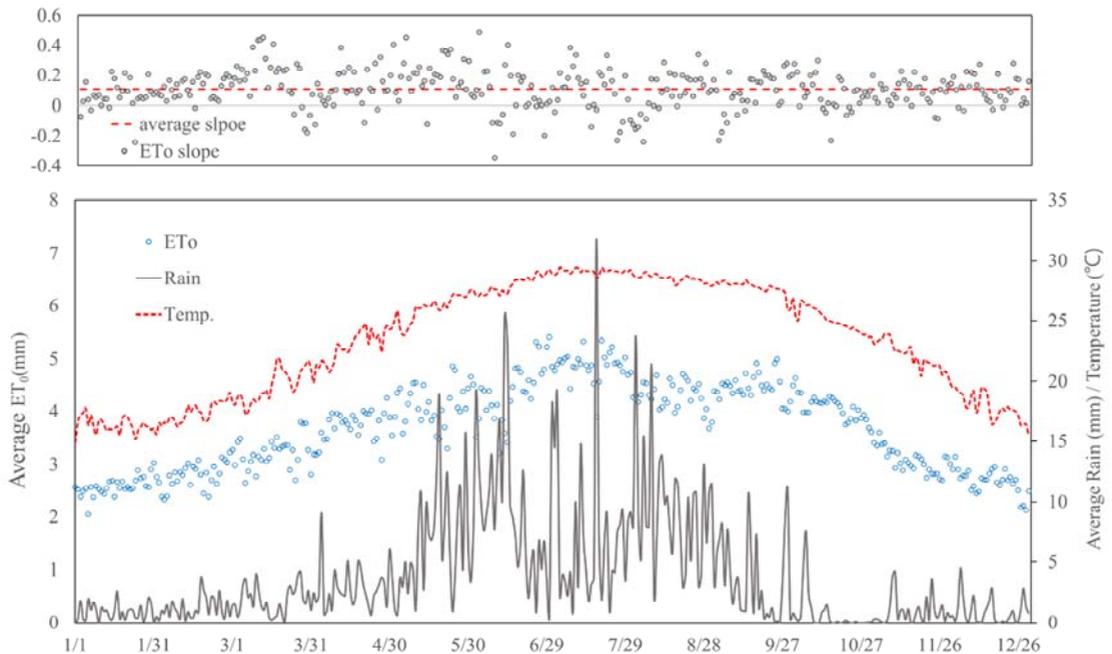
Fig. 4. Daily radiation dose correction before correction (top), after calibration (bottom).



圖五、秀水氣象站(C0G780)與臺中農改場氣象站(72G600)資料比對。

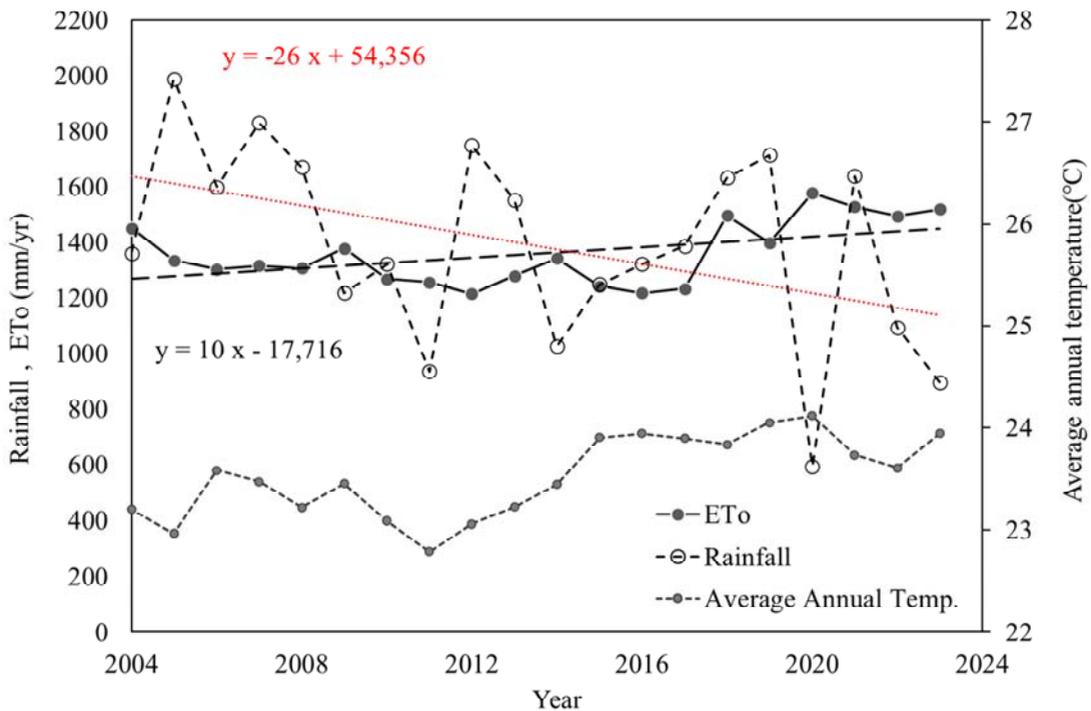
Fig. 5. Comparison of data between Xiushui weather station(C0G780) TCDARES weather station (72G600).

蔬菜類作物生長期短，透過每日計算 ET_0 進行計算，可更了解作物需水量變化；而FAO亦建議由每日 ET_0 ，而非長期氣象平均值計算 ET_0 (Allan *et al.*, 1998)。將20年間每日平均 ET_0 繪製如圖六，由於夏季溫度、累積日輻射量高等因， ET_0 呈現夏季高、冬季低狀況， ET_0 由到5.41到2.04之間，由1月到在7月中旬逐漸上升，7月下旬開始到8月下旬間， ET_0 有略降情形，主要對應降雨量偏高所致，8月下旬到9月中旬，降雨減少， ET_0 又略微上升，之後隨氣溫降低而降低。計算20年間單日 ET_0 斜率，以2014至2023年間1月1日之 ET_0 變化趨勢為例，20年間 ET_0 變化斜率為-0.07，而6月2日為0.486，計算結果每日 ET_0 斜率多呈現正值，即有每年單日 ET_0 呈現逐年上升狀況，平均增幅為 0.1 mm year^{-1} ，特別是在3月、5-6月間有較多的正向趨勢，可能為近年梅雨季有逐漸延後與降雨量減少趨勢有關(圖六)；而7月、8月有較多的單日參考蒸發散量下降趨勢，則可能與夏季降雨頻度或強度增加有關，由前述觀測之資料分析顯示氣候變遷如預測方向變化，包含「梅雨延遲」及「夏季雨量增加」等(許等, 2024)。



圖六、20年間每日參考蒸發散量(ET_0)變化趨勢(上圖)與20年間每日平均 ET_0 、雨量、溫度(下圖)。
Fig. 1. Daily mean ET_0 , rainfall, and temperature in the past 20 years (bottom graph) and daily ET_0 change trend in the past 20 years (upper graph).

將每日計算之 ET_0 累加為每年 ET_0 ，顯示在近20年， ET_0 為上升趨勢，以每年約10 mm趨勢增加；而降雨量則有下降趨勢，以每年約26 mm趨勢減少(圖七)。由長期氣候來看，在過去20年間，年度降雨量多高於理論蒸發散量，惟臺灣降雨期分布不均，造成臺灣農業有灌溉需求，然隨氣候變遷影響加劇，乾季灌溉需求將越來越高，在近10年中，2020、2022及2023年發生乾旱事件(中央氣象署，2024)，出現雨量顯著低於參考蒸發散量狀況，雖不同作物有不同 K_c 值，作物需水量不同，但參考蒸發散量與顯著低於雨量下，即旱災事件發生，使原本降雨可提供之作物生長水量減少，將需要更多額外的灌溉水量來供應作物生長；逐漸上升的蒸發散量與逐漸減少的雨量，皆顯示未來灌溉管理技術提升或灌溉水量評估將成為農耕的必要投入及關注重點。



圖七、臺中場氣象站 20 年間雨量與蒸發散量(ET_0)量變化

Fig. 2. Changes of rainfall and ET_0 of TCDARES weather station in the past 20 years.

三、彰化地區作物需水量-以花椰菜為例

依據農情報告資源網，2023年臺灣全年花椰菜生產有超過六成位於彰化縣，超過900 ha，而又以彰化縣埔鹽鄉栽種近446 ha、大城鄉225 ha，分居一、二位，因此引用之氣象站資料對於花椰菜栽培管理有一定的代表性。將前述花椰菜調查取得之 K_c 值與氣候計算之 ET_0 相乘，即可取得理論 ET_c ，以每旬10日評估一次灌溉需求下，將10日的 ET_0 值累加，取得之 ET_0 依據季節差異，每旬由

27 mm到52 mm間，乘以花椰菜作物係數0.84，求得花椰菜作物需水量(ET_c)，每旬花椰菜需水量由22 mm到44 mm間，如表二所示。該數值表示單位區域所需灌水位或水量，與降雨量以「mm」表示相同，以44 mm需水量為例，在每分地約1,000平方公尺計算，灌溉用水量等於44 mm 除以1,000換算為公尺(m)再乘以1,000換算為每分地(0.1 ha)需水量，等於44 t灌溉水量，故本表數值可同時視為每分地每公噸用水量，因畦溝比例或溝深度，可能有不同灌溉水量需求差異，亦可減半為每5日或增加為每20日灌溉水量等。另由對應耕作時期之平均降雨量，在不考慮降雨產生之逕流出或流入田區下，將作物需水量扣除平均降雨量，為建議灌溉水量，若降雨高於需水量，表示建議灌溉水量為零，無灌溉需求；然臺灣降雨量變化大，降雨量並不容易預測，可以 ET_c 作為預期最高灌溉水量，為降雨量不足時之因應。由建議灌溉水量可見中部地區，在平均氣候狀況下，主要灌溉供應時期為10月至隔年2月，若遇旱季年度，降雨量不足，依據月分不同，每月約需準備70-100 t的蓄水量，或每旬約20-40 t蓄水量。另由前述，長期理論蒸發量趨勢來看，氣候變遷下，平均每年單日增加0.1 mm參考需水量，每旬、10日增加1 mm參考需水量，即1 t水量，以花椰菜係數0.84進行計算，下個年度每旬可能需多預備0.84 t的蓄水。由於花椰菜屬於淺根作物，故本研究忽略地下水因毛細管造成水位上升之供應水量。

若配合灌溉管理技術來精進，目前對於葉菜類作物多採溝灌或噴灌，土壤表面濕潤下，容易有額外土壤表面蒸發，採滴灌方式，僅將水分供應作物生長，將土壤表面蒸發降至最低，譬如以花椰菜種植初期 K_{cb} 值為0.15，在作物係數 K_c 為0.84下， $0.84 - 0.15 = 0.69$ ，則土壤表面蒸發(K_e)值約為0.69，以10日累計 ET_0 為30 mm估計，初期可減少 $30 \text{ mm} \times 0.69 \approx 21 \text{ mm}$ 的水量，但後期 K_{cb} 值則與 K_c 值相當，可節約水量有限，面對長期缺水之旱災事件發生時，相對體積蓄水設施仍無法避免，或需覓尋其他水源定期補充。

由於土壤質地不同造成水分張力勢差異，而有不同有效水容量，進一步影響作物需水量。FAO指出土壤質地主要影響土壤表面蒸發，土壤表面蒸發係數(K_e)會與土壤蒸發折損係數有關(Soil evaporation reduction coefficient, K_r)， K_r 值可由不同質地的田間容水量與永久凋萎點水分含量等數值進一步計算(Allan *et al.*, 1998)；相關研究中指出使用雙作物係數法(K_{cb} 、 K_c)以及進一步的 K_r 值應用，估算作物需水量的RMSE為0.66 mm/day可優於傳統方法的0.71 mm/day，雙作物係數有助於更精確地監測和管理農作物水分需求，特別是在半乾旱和乾旱地區(Amazirh *et al.*, 2021)。本研究試驗調查田區之土壤質地為壤土(Loam)，不過試驗中未進行緊迫供水或執行乾旱模擬，因此土壤水分保持在有效水穩定存在狀況，加上臺灣季風氣候型態與田間穩定供水下，田間多呈現濕潤狀態，故本研究估算之需水量結果不因土壤質地有太大差異，亦未進一步探討土壤質地差異對作物需水量造成之影響，但未來臺灣若面臨更頻繁的乾旱事件，甚至形成特定乾旱時期的氣候型態，在無法取得穩定供水時，將會有更精準的作物需水量探討需求。

結論與建議

依據IPCC AR6報告，臺灣未來面臨高溫、強降雨及早災等氣候風險增加。對於缺乏水利設施或地下水井之田區，將越需準備蓄水設施來渡過旱災事件，但無論使用蓄水設施或滴灌設備，生產成本都將提高，近年來對於旱季缺水水利單位多採用停灌補貼方式處理農作因缺水導致減產或休耕問題；由歷史氣象顯示旱季與缺水雖非固定發生，但有頻率增加情形，面對氣候變遷下，採用機率風險角度進行受災補貼或是積極因應調適，皆須盡早應對。本研究使用歷史氣象資料進行分析比較時，發現宜先就長期變化趨勢及鄰近氣象站資料進行比對，以確認數值可信。

表二、中部地區花椰菜每旬需水量與灌溉水量建議值(基於臺中場氣象站)

Table 2. Recommended values of cauliflower water requirement and irrigation water amount per ten days in the central region (based on TCDARES weather station)

Month		ET ₀ ¹	ETc ²	Rain ¹	Recommended irrigation water
mm (or t/0.1ha)					
Jan	Early	27	22	8.5	14
	Mid	27	23	8.9	14
	Late	29	24	9.7	14
Feb	Early	29	24	8.2	16
	Mid	30	25	13	12
	Late	31	26	14	12
Mar	Early	32	27	21	5.8
	Mid	35	30	11	19
	Late	38	32	26	6.0
Apr	Early	42	35	31	3.7
	Mid	40	34	24	10
	Late	43	36	35	1.5
May	Early	42	35	86	0
	Mid	43	36	78	0
	Late	48	40	102	0
Jun	Early	41	35	126	0
	Mid	52	44	56	0
	Late	52	44	72	0
Jul	Early	50	42	81	0
	Mid	52	44	59	0
	Late	48	40	98	0

	Early	47	39	104	0
Aug	Mid	47	39	70	0
	Late	46	38	77	0
	Early	48	40	33	7.1
Sep	Mid	48	41	14	26
	Late	45	38	37	0.6
	Early	43	36	7.2	29
Oct	Mid	40	34	0.5	33
	Late	37	31	1.0	30
	Early	32	27	13	14
Nov	Mid	31	26	10	16
	Late	31	26	12	13
	Early	29	24	7.7	16
Dec	Mid	28	24	5.2	19
	Late	27	22	8.0	14

1: Mean data of 20 years.

2: $ET_c = ET_0 \times K_c$; $K_c = 0.84$.

參考文獻

1. 甘俊二、陳清田、張煜權、陳焜耀、黃振昌、鄭昌奇、譚智宏、陳世楷。2003。灌溉排水營運管理。行政院農業部。臺北。臺灣。
2. 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論文集。農業試驗所編印。85-96。
3. 交通部中央氣象局(現中央氣象署)。2022。110年氣候年報。2022/7/8。
4. 交通部中央氣象署。2024。112年氣候年報。2024/11/11。
5. 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑。2024。國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適。許晃雄、李明旭主編。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。
6. 陳清田。2020。灌溉原理-第五章 作物需水量。109年5出版。行政院農業委員會。
7. 農情報告資源網。<https://agr.afa.gov.tw/>。2024/11
8. 農業氣象觀測網監測系統。<https://agr.cwa.gov.tw/>。2024/11
9. 賴文龍、郭孚耀。2010花椰菜合理化施肥管理技術。臺中區農業專訊。2010/6。69：4-8。
10. Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., Bouras, E., Chehbouni, A. 2021. Implementing a new texture-based soil evaporation reduction coefficient in the FAO dual crop coefficient method. Jour. Agr. Water Manage. 250, 106827.

11. Abu, N., Isam, A., Sadeq, S. 2020. Water Requirements of Crops under Various Kc Coefficient Approaches by Using Water Evaluation and Planning (WEAP). *Jour. Int. J. Des. Nat. Ecodyn.* 15(5), 739-748.
12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage 56.
<https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
13. Allen, R.G., Pereira, L., Smith, M., Raes, D., Wright, J. 2005. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Jour. Irr. Drain. Eng.* 131, 2-13.
14. Ándrean, A. F. B. A., Rezende, R., Vila, V. V., Maldonado-Silva, L. H., Wenneck, G. S. 2021. Determination of evapotranspiration and crop coefficient for cauliflower at Paranánorthwest region. *Colloquium Agrariae.* 17, 79-86.
15. Brouwer, C., Heibloem, M. 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Training Manual, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 3.
16. IPCC. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 35-115.
17. Leng, P., Li, Z.L., Duan, S.B., Tang, R., Gao, M.F. 2017. A method for deriving all-sky evapotranspiration from the synergistic use of remotely sensed images and meteorological data. *Jour. Geophys. Res. Atmos.* 12, 13263-13277.
18. Moorhead, J.E., Marek, G.W., Gowda, P.H., Lin, X., Colaizzi, P.D., Evett, S.R., Kutikoff, S.L. 2019. Evaluation of Evapotranspiration from Eddy Covariance Using Large Weighing Lysimeters. *Jour. Agronomy.* 9(2), 99-117
19. Scott, R.L. 2010. Using watershed water balance to evaluate the accuracy of eddy covariance evaporation measurements for three semiarid ecosystems. *Jour. Agr. For. Meteorol.* 150, 219-225.

Observation and Research on Crop Water Requirements in Changhua – A Case of Cauliflower¹

Chong-Yi Liao^{2*}, Cheng-Han Yu², Chang-Sheng Chien², and Chien-Hui Syu³

ABSTRACT

Under climate change, Taiwan may face increased climate risks such as high temperatures, heavy rainfall, and droughts in the future. Evaluating crop water requirements cannot be ignored. Through such assessments, we can predict irrigation demands or provide references for the installation of water storage facilities to respond to extreme climate or weather events. Crop water requirement, also known as evapotranspiration, is the total amount of water transpired by plants and evaporated from the soil surface during the growing period. This study uses cauliflower as an example. By using a water vapor flux instrument, we analyzed the actual crop water requirements and compared them with the reference evapotranspiration (ET_0) calculated by the Penman-Monteith method to establish correlations. The results of the investigation showed that the crop coefficient (K_c) for cauliflower during its full growth period was approximately 0.84. Long-term climate analysis over the past 20 years indicates that ET_0 has shown an increasing trend, with an annual increase of about 10 mm, while rainfall has shown a decreasing trend, with an annual decrease of about 26 mm. According to historical average meteorological data, the ten-day water requirement for cauliflower ranges is between 22 mm and 44 mm. If a drought event occurs or is anticipated, cauliflower requires approximately 20-40 tons of water storage per 0.1 hectares every ten days, or about 70-100 tons per month. In the case of water storage facilities cannot be set up in the field, a stable water supply source must be sought.

Key words: crop water requirements, cauliflower, Penman-Monteith method

¹Contribution No. 1098 from Taichung DARES, MOA.

²Assistant Researcher, Research Assistant, Associate Researcher of Taichung DARES, MOA, Taiwan, ROC.

³Associate Researcher of Taiwan Agricultural Research Institute, MOA, Taiwan, ROC.

*corresponding author email: cylliao@tcdares.gov.tw