

利用地理資訊系統進行 灌溉用水情境分析-以轉作玉米為例

農試所農化組 許健輝 張翊庭 黃蕙萱 劉滄琴

農試所退休人員 郭鴻裕

一、前言

地理資訊系統(GIS)為一門整合各領域的綜合性學科，係可對各種具空間屬性的地理資料進行輸入、儲存、處理、分析與展示之電腦系統。透過空間分析探索不同資料間的關係，展示多樣性的空間資訊，能夠應用於資源調查、資料管理、發展規劃、成果繪圖及路線規劃等，藉以解決與空間相關的規劃與管理問題，幫助決策之擬訂，故被廣泛應用於許多領域。

在農業的應用，地理資訊系統主要透過坐標系統對農業空間資料進行整合分析，例如將土地覆蓋、作物產量、地籍、土壤性質、灌排渠道、氣象資訊、地形、交通道路、水文等空間資料，配合不同的計畫目的或施政目標，經由地理資訊系統進行農業資源使用規劃、作物面積產量統計、生態保育、農業災害防治與預報、生態系服務價值估算、農業保險規劃等作業。在時間與空間維度下實現因地制宜的精準管理，能夠迅速、精確、有效地研究與規劃農業空間資源，提高農作收益、降低環境污染風險、永續經營農業。

台灣地形河短陡坡急流，降水時空分布不均，極端氣候與降雨型態的改變造成旱澇加劇，增加旱季缺水風險。2020年台灣降雨量偏少，僅為歷史平均值2至6成(農委會，2021)，再加上2021年春雨稀少，造成嚴重旱象，中南部水庫蓄水率跌破2成。根據經濟部水利署數據顯示，在2021年2月曾文水庫蓄水率低於15%，並發布台南市進入減量供水橙燈，可看出台南水情之迫切。多種雜糧作物對環境的適應性較廣(呂秀英，2011)，在水利設施及水源供應不足的情況下多能種植，節水率高。因此，水田轉作雜糧是台灣農業面對乾旱的因應之道。飼料玉米與食用玉米為台南市主要的雜糧作物，為瞭解不同降水情境對於水田轉作雜糧之灌溉需水情境，本文以台南市上茄

作者：許健輝副研究員
連絡電話：04-23317435

苓埤為例，介紹如何利用地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 整合農業用水相關的空間資訊，透過模擬比較不同灌溉用水情境下可供灌轉作玉米的面積和範圍。

二、用水情境分析案例

謝等(2020)指出台灣飼料玉米種植期為秋作及裡作，食用玉米主要種植期為秋作及裡作，次之為春作。本文探討臺南春季轉作作物，基於適地適種原則，挑選食用玉米為本案研究目標，以台南市上茄苓埤水量(280,000m³)，推估在不同缺水情境下轉作雜糧之灌溉農田範圍與面積。透過玉米物候期、生長積溫、土壤質地、灌溉渠道距離等因子推估各生長階段所需水量。在土壤缺乏可利用的有效水分，須人為施以灌溉，故以埤塘水量作為供水來源進行情境模擬。設定3月10日為栽植時間，使玉米生長期避開夏季高溫熱害，透過地理資訊系統(GIS)整合農業空間資訊，模擬不同降水情境下，灌區內農田轉作食用玉米的用水量與可灌溉農田面積及分布範圍。

玉米栽培曆可大致分為出苗、拔節、抽雄、糊熟與成熟階段，各生長階段對於溫度與水分的需求不同，透過不同假設情境，來瞭解不同缺水逆境下轉作玉米之用水。

(一)玉米生長期推估

據謝光照(2018)與謝等(2020)研究指出，玉米播種至出苗生長溫度需高於10°C，溫度越低所需生長時間越長，超過35°C會影響發芽；玉米生長進入節間伸長期，對溫度需求提高，適宜溫度為20-27°C，溫度升高生長增加；從營養生長到生殖生長之轉化階段對溫度較為敏感，開花期適宜氣溫為26-32°C；糊熟至成熟階段最適平均溫度為20-24°C。透過玉米各階段適宜生長溫度進行生長積溫計算，可推估出各生育階段之生長日期，進而推估需水量。本研究地點為台南市，圖一可知台南2011-2020年之月平



圖一、台南市2011-2020年月平均溫度與累積降水量圖。(資料來源：整理自中央氣象局開放資料)

均溫，由3月(21°C)至6月(28.2°C)呈現增高現象，此期間無低溫寒害或連續高溫(>35°C)之情形出現，係適合玉米出苗、拔節、抽雄、糊熟與成熟各生長階段所需的溫度。

(二)玉米需水量參數

據謝光照(2018)與謝等(2021)研究指出，玉米生育初期需水量少，發芽及苗期需注意田間不能積水，幼苗較耐旱且幼苗期對浸水濕害最為敏感，幼苗至節間伸長期(拔節期)需水量有顯著增加趨勢，雄穗抽出及吐絲為玉米植株需水的重要時期，雄穗抽出前10天與後20天內為玉米需水「臨界期」，係玉米對水分需求最大且敏感的時期。此外，玉米於糊熟期需水量減少，適度乾旱有利促進籽粒成熟。Kranz et al. (2008)研究顯示玉米出苗至拔節約占總需水量13%，拔節至抽雄約占總需水量32%，抽雄至糊熟約占總需水量35%，糊熟至成熟約占總需水量20%。謝等(2021)指出玉米整個生育期最適降水量為410-460公厘，全生育期每公頃約需水量2,500-3,500公噸；在無降水情況下，玉米全生育期需要人工灌水4-5次，才能使玉米順利生育至成熟期。

玉米所需的水量取決於土壤與植物蒸發速率、生長季節的溫度、雨量、灌溉用水運送損失等，本案例假設全由埤潭水量供應玉米生長用水，玉米全程所需的農田灌溉用水量假設為5,500公噸/公頃。

(三)土壤參數

玉米是C4型植物，生長快速，適應性廣，對土壤的選擇並不嚴格，土壤酸鹼值以pH值6.0-7.0為佳，砂質壤土且土層深厚、排水良好為優(農家要覽，2005；謝，2020)。考慮到不同土壤質地會影響植物的可用水量，土壤孔隙愈小，保水力越強。因此，本情境分析依據不同土壤質地設定植物可使用的土壤水量之比例，給予土壤質地權重比例，細質地0.8，中細質地0.9，中質地1，中粗質地1.1，粗質地1.2，數值越小，代表土壤保水力越強(Peterson, 2021)。

(四)灌溉用水情境分析

以上茄苳埤水量(280,000m³)供應灌區內農田(129.2公頃)轉作食用玉米生長至採收期用水，並依不同降水情形設定三種情境：情境1為3月至5月皆無降水；情境2為3月無降水，4月至5月不缺水；情境3為3月至4月無降水，5月不缺水。依據玉米物候期與生長積溫推算各生長階段成長天數，瞭解播種至收穫期所花時間，透過農田面積、土壤權重、距灌溉渠道之遠近，推估3月10日轉植食用玉米之總需水量與可灌溉農田面積，結果如圖二與表一所示。

由生長積溫推算3月10日播種之食用玉米，3月11日至3月17日可能為播種至出苗階段、3月18日至4月13日為出苗至拔節階段、4月14日至5月8日為拔節至抽雄階段、5月9日至5月28日抽雄逐漸達糊熟階段。在3月至5月的各生長階段中，抽雄前10天與後20天內係玉米對水分需

求最大的時期，時間大約落於4月至5月間。在3種假設情境中，情境2為4月、5月不缺水，故種植玉米的總需水量最少，情境1為3月至5月皆缺水，所以種植玉米之總需水量最多。

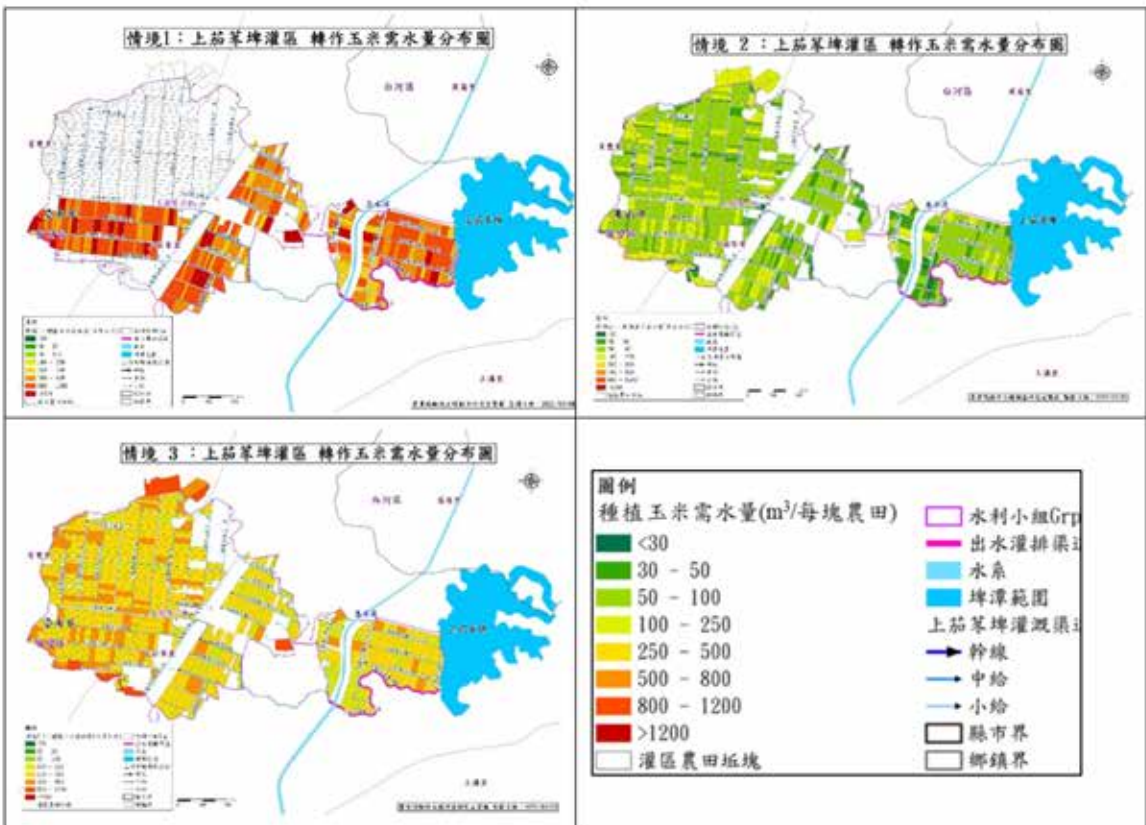
圖二呈現各情境中每一塊農田從播種至糊熟期的玉米總需水量，可瞭解在不同情境下，可灌溉農田數量、面積分布與轉作玉米需水量之變化。從顏色觀之，顏色越綠代表該農田所需灌水量較少，顏色呈現橘紅色代表農田所需灌水量較多，由圖可知同塊農田因不同降水情境

所需灌水總量亦有差異，例如：同一塊農田在全程缺水的情境1呈現橘紅色總需水量，在情境2(僅3月缺水)則呈現草綠色總需水量。另外，不同位置但面積相同之農田，則會因土壤性質與降水情境，而有不同的灌水量。

由灌溉農田分布來看，表一可知情境2全程玉米灌水量僅需45,941m³，情境

表一、不同灌溉用水情境下種植玉米之總需水量與可灌溉農田面積

名稱	假設情境	全種植玉米總需水量(m ³)	可灌溉農田面積(ha)
情境1	3月至5月皆無降水	279,613	71.1
情境2	3月無降水，4月至5月不缺水	45,941	129.2
情境3	3月至4月無降水，5月不缺水	218,219	129.2



圖二、不同灌溉用水情境下種植玉米之可灌溉農田範圍與需水量分布圖。

3則為218,219 m³，皆小於埤潭總水量，故埤潭水量可灌溉灌區內所有轉作玉米之農田，此亦可由圖二觀察到情境2與情境3全部農田皆有灌溉需水之分布。反之，情境1因轉作玉米3月至5月全程缺水，從出苗至糊熟階段皆需仰賴埤潭用水，考慮到距灌溉渠道之遠近，離埤潭越近越先供水，主幹渠道優先供水，以及埤潭水量可供灌溉的最大完整農田面積，故情境1灌溉需水量為三種情境最高，約為279,613 m³。情境1總灌溉需水量小於埤潭總水量，係因考慮到剩餘387 m³水量無法完整供應另一條渠道之農田用水，故最大需水量未等於埤潭總水量。

三、結語

近年全球氣候異常，因降水不足發生乾旱現象的頻度上升，造成供水緊張，台灣2020年至2021上半年鮮有降水，導致水情嚴峻，水資源極為不足，嚴重衝擊農業用水之供應，出現用水缺水危機，使水資源運用面臨嚴重的考驗。透過地理資訊系統可快速整合農業用水相關的空間資訊(如氣象因子、作物分布、土壤性質、地形等參數)，透過空間分析及情境模擬，及時提供決策單位大範圍農業用水資訊及制定相關水資源調配決策之參考。

四、參考文獻

行政院農業委員會。2005。台灣農家要覽—農作篇。p.69-80。

行政院農業委員會。2021。強化農業乾旱因應措施協助農民度過缺水難關。取自https://www.coa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri&id=8359。

行政院農業委員會。2021。109年農業統計年報。p.338。

呂秀英。2011。因應氣候變遷及糧食安全之雜糧研究策略。

台南市農業局。2022。台南農業概況。取自<https://agron.tainan.gov.tw/cp.aspx?n=339412022>。

謝光照。2018。簡易溫網室栽培玉米常遭遇的問題與防範措施。技術服務季刊 113：1-6。

謝光照。2020。玉米生產的健康農法。農業世界雜誌445：64-71。

謝光照、戴宏宇、孫凭瑋。2020。玉米生長對溫度因子的需求與受影響的門檻值。技術服務季刊 124：8-13。

謝光照、戴宏宇、孫凭瑋。2021。玉米生長遭遇梅雨、颱風之影響及補救方法。技術服務季刊 125：6-10。

Irrigation Management for Corn。2008。Kranz, W.L., Irmak S., Donk A.J., Yonts .C.D., Martin D.L. NebGuide G1850.University of Nebraska–Lincoln Extension 1-4.

Peterson J. M.。2021。Soils - Part 2 : Physical Properties of Soil and Soil Water. Plant and Soil Sciences eLibrary.