

氣候暖化對柑橘開花之影響及因應策略

新埔分場 副研究員 施伯明 03-5894949 分機 13

前言

極端氣候常對農業生產造成損害，近年臺灣氣溫呈現持續上升趨勢，2024年平均溫度達24.6°C，為1947年開始紀錄以來最高溫，較氣候平均值高出0.7°C。歷史資料中較高溫年度多集中於2015年之後，其中2018-2019年因冬天氣溫偏高，導致一些溫帶及亞熱帶果樹因低溫需求不足，出現花期延後、花數減少及著果不良等問題；而2020年則因秋季高溫乾旱，造成正值果實膨大期之柑橘類出現果實體積偏小，葉片捲曲及果皮皺縮等缺水徵狀，嚴重影響生產。果樹多為長期作物且露天栽培，受氣候變動之衝擊較其他作物更為強烈。

柑橘開花過程

柑橘開花過程由花芽誘導開始，經過花芽分化、花器發育而在合適環境下開花。花芽誘導是指芽體在環境因子刺激及遺傳控制下，未來發育為花芽的過程，此階段屬於生理訊號的產生與轉換，外觀上不易觀察。在亞熱帶氣候下，誘導主要於

秋、冬季開始，低溫促使芽體及葉片中賀爾蒙濃度、碳氮比及可溶性糖含量等產生變化，並改變開花相關基因之表現，進而使芽體由營養生長狀態開始轉變為生殖生長狀態。一般柑橘較佳的誘導溫度約在10°C-20°C，而15°C以下誘導效果較佳，低溫小時數與開花強度間具正相關，不同種類間低溫程度及所需時間略有差異，例如溫州蜜柑於15°C下約45天可完成花芽誘導。

在熱帶氣候下，花芽誘導主要由水分逆境引發，約需持續45至60天，隨著雨季來臨，花芽開始生長；但若乾旱時間延長而影響樹體生長甚至落葉，則反而不利於開花。由於柑橘類原生地分布範圍廣，從溫帶之枳殼到熱帶的柚類及大翼橙，經長期天然雜交及人為選育，目前許多柑橘種類皆可受低溫及乾旱誘導，差異在於所需程度不同，而當低溫與乾旱同時發生時，則有利於縮短花芽誘導所需時間。

當花芽誘導完成後，芽體開始從原本的營養生長狀態轉變為形成花器的前驅狀



▲圖 1. 柑橘於合適環境下形成帶葉單花及帶葉花序枝，為主要結果部位。



▲圖 2. 柑橘開花除受環境誘導外，亦受內生因素調控，若前1年結果數量過多，春季可能萌生大量營養枝而不開花。



▲圖 3. 植株生長勢較弱時常出現無葉單花或花序枝，於成熟枝條之葉腋著生單花或花序，雖小花數量多，但幾乎不著果。

態，稱為花芽分化，其分生組織逐漸由圓頂狀變為扁平狀，但尚無花朵外型，屬於內部細胞分化階段，顯微鏡下可見花原基開始形成。當花芽完成分化後即進入花器發育階段，通常是在春季較溫暖的時候，此時以型態變化為主，依序形成萼片、花瓣、雄蕊及心皮等，肉眼可見花芽逐漸膨大，於氣溫逐漸升高後，花蕾發育完全而開花。

氣候暖化對柑橘開花之影響

溫度不僅影響柑橘花芽誘導，亦與後續花芽分化及花器發育有關，當秋、冬或春季異常高溫時，從花芽誘導到開花整個過程皆可能受到影響。

1. 對花芽誘導的影響

柑橘花芽誘導需低溫累積，秋、冬持續高溫可能阻礙花芽形成的訊號，延遲或抑制花芽誘導，同時使樹體持續營養生長，不利花芽誘導；而若花芽誘導不佳，即使後期氣溫下降，也不易進入花芽分化與花器發生階段，而使春季花量減少，甚至不開花。

2. 對花芽分化的影響

花芽誘導完成後，後續適度高溫可縮



▲圖 4. 柑橘柱頭可接受花粉時間約持續 2-3 天，高溫下有效授粉期較短。

短花芽分化時間而提早開花；在熱帶氣候下，從分化開始到花朵盛開可在1個月內完成，在亞熱帶，花芽開始發育到盛開約為 2-3 個月，而在春季氣溫較低的地中海氣候則需時更久。然而，若持續出現高溫，則可能干擾細胞分化，導致花芽分化不完全而影響花芽品質，同時高溫亦促使春梢提早生長，在與花芽競爭情況下而減少開花量。

3. 對花器發生與開花的影響

花器發生時高溫會加速發育，而容易出現花器異常及提早開花；而開花期間異常高溫常縮短花期，並使花粉活力降低，且加速柱頭乾燥而減少花粉黏附量，甚至抑制花粉管生長，最終造成授粉受精不良，導致胚發育不良或養分供應不足等，而使畸形果出現機率增加，加劇生理落果。

因應策略

氣候暖化影響柑橘開花無法避免，為降低高溫導致開花不良之風險，短期可由日常栽培管理著手。首先是秋冬季的水分管理；柑橘花芽誘導主要受低溫及乾旱控制，中南部因低溫較為不足，可能出現花



▲圖 5. 花芽分化期或花器發育期遇連續高溫易導致畸形花比例增加。

芽誘導不佳問題，可於秋末開始進行水分控制，減少灌溉頻率或停止灌溉，以促進花芽誘導，並具提升當年果實品質效果，但應依植株生長狀況適時調整，避免植株出現缺水徵狀。

花芽分化至開花期間高溫易導致花器異常，一般高溫傷害多與產生活性氧有關，導致細胞蛋白質、脂質及DNA等受損而死亡，而經由肥培管理調控有助於降低作物的熱傷害；如鈣可增加過氧化氫酶等酵素活性，硼可減少活性氧生成，皆可提升細胞抗氧化性效果，減輕高溫傷害。於生長季供應充足氮肥可維持葉片高速率光合作用，減少高溫強光所導致的光氧化損傷，亦有清除活性氧效果；但須注意秋季過多氮肥容易促進晚秋梢生長，易因充實不足及營養競爭而不利花芽分化，應避免施用過量。

研究顯示部分化合物具有提高作物耐熱性及調節開花之效果；如施用甜菜鹼(Glycine Betaine)或多胺類(Polyamines)可誘導植物產生耐熱性，在番茄中施用亞精胺(Spermidine)可改善葉綠素螢光特性，強化色素蛋白抗熱損傷能力；而植物生長調節劑參與植物之開花調控，生長激素(Auxin)、激勃素(Gibberellins)及細胞分裂素(Cytokinins)等皆與花芽誘導及後續花芽分化有關，這類物質在改善柑橘開花之應用上研究較少，未來值得深入探討。

長期策略則可由品種選擇及育種著手；柑橘類原生地分布廣且雜交容易，不同種類或品種間花芽誘導及開花所需低溫程度存在差異，例如茂谷柑所需低溫程度較極柑為高，部分種類則幾乎可經由調控

水分方式控制生產，如檸檬、萊姆及柚類等。目前國內柑橘開花受氣候暖化影響雖屬輕微，但柑橘種植後即為數十年生產管理，因此新闢果園或未來果園進行更新時，可參考當地氣象站累積之歷年氣象資料，評估當地氣溫上升程度，避免種植風險較高之種類，同時選育高溫下仍能穩定開花結果之品種亦需持續進行。

溫帶果樹開花之低溫需求程度通常較亞熱帶果樹為高，受氣候暖化影響更為嚴重，國外許多研究已針對葡萄等溫帶果樹未來之產區進行評估，認為應朝向較高緯度及較高海拔地方移動。臺灣因北回歸線通過南部，加上境內多高山及周圍洋流影響，地區微氣候具明顯差異，各柑橘產區依氣候特性在種植種類或品種上已有區別，因應氣候暖化，未來種植種類可能需要持續評估進行調整。

參考文獻

1. 陳右人、邱祝櫻、阮素芬、李文豪。2017。柑橘類的產期調節。果樹產期調節研究發展與產業調適研討會論文集。臺中區農業改良場特刊第134號。pp. 59-90。
2. Waraich, E.A., R. Ahmad, A. Halim, and T. Aziz. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 12:221-244.
3. Agustí, M., C. Reig, A. Martínez-Fuentes, and C. Mesejo. 2022. Advances in citrus flowering: a review. *Front Plant Sci.* 13:868831.