

高溫逆境衝擊紅龍果與荔枝生殖 生長的評估、應用及芻議

朱堉君¹、李昱錡²、陳祈男³、張哲嘉^{4*}

摘要

氣候變遷已造成臺灣之百年溫度上升 1.3°C，導致夏季增加 27.8 天、冬季減少 29.7 天，對果樹生育與生產影響甚鉅。紅龍果與荔枝為我國重要果樹，‘大紅’及‘玉荷包’分為其主要品種。然‘大紅’於夏季酷熱下易有小果化、未能發揮品種特性之問題，其原因與機制尚待釐清；冬季暖化導致‘玉荷包’帶葉花序 (leafy inflorescence) 大幅增加而純花序 (leafless inflorescence) 減少，成為果園管理之困擾，花序型態是否影響果實生產，待進一步闡明。本文回顧高溫逆境直接 / 間接影響二者於開花、結實之研究成果及應用。於人候室高溫逆境 (40/30°C) 下之‘大紅’盆株發生開花提早、著果率低、小果化、種子數減少等現象，且果重與種子數呈正相關；高溫雖使近軸端枝條 (cladode) 黃化，但不影響枝條之乾物重。綜上顯示，影響結實的主因應為受精障礙、影響種子發育所致，而非碳同化物不足。田間遮陰可降低熱逆境、減少結實障礙，未來將進一步建立智慧噴水降溫系統，並探討高溫如何影響雄蕊及雌蕊稔性。‘玉荷包’田間植株二種花序之供碳潛能相同，惟純花序之總花數、偏雌花數 (率)、採收時果數及果穗重均較帶葉花序為高，而著果率及果實性狀無差異，顯示純花序因較高的偏雌花數而提高其果實生產能力。帶葉花序因其葉片抑制側花序 (lateral

¹ 行政院農業委員會高雄區農業改良場助理研究員

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員

³ 行政院農業委員會農業試驗所嘉義農業試驗分所助理研究員

⁴ 國立中興大學園藝學系特聘教授兼系主任

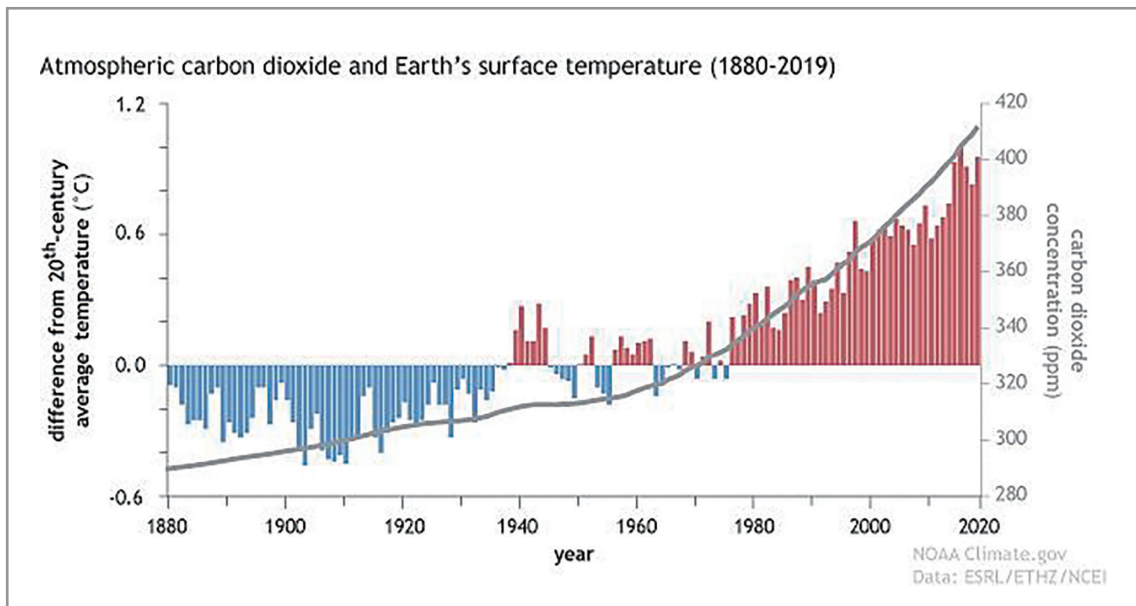
* 通訊作者：jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw

inflorescence) 的同步發育而降低花數，未來應發展帶葉花序之省工除葉技術或增加純花序之發生。建議加強果樹耐候性 (resilience) 品種選育、進行逆境生理系統性研究、建立適應性模型 (climatic suitability model)、栽培技術升級 / 智慧化及調整品種與種植地域等，以茲因應。

關鍵詞：氣候變遷、暖化、高溫逆境、耐候性、紅龍果、荔枝、開花、結實、產量、品質、策略

前言

受氣候變遷 (climate change) 及溫室氣體排放造成暖化 (warming) 之影響，自 1880 年到 2012 年全球平均氣溫已上升 0.85°C [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014]，至 2019 年則上升至 1.0°C (Lindesy, 2020; IPCC, 2018) (圖一)，致使各區域之雨量、溫度、颱風等發生異常、極端天氣日益頻繁，對作物生育及農業生產已產生諸多負面影響 (Bongaarts, 1994; Sansavini *et al.*, 2019)。

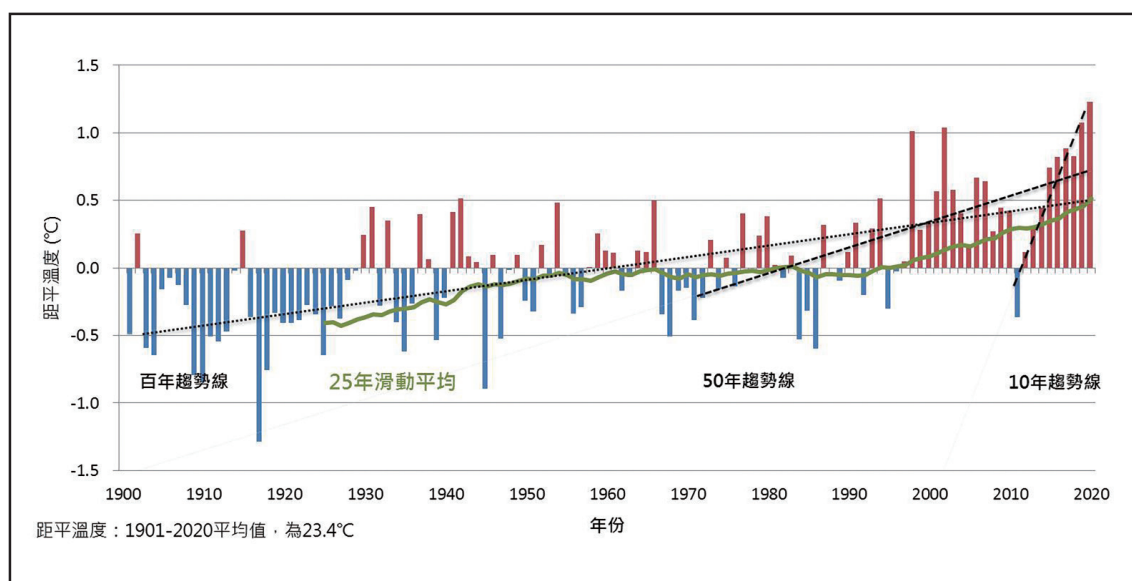


圖一、1880 年至 2019 年全球氣溫距 20 世紀平均溫差與二氧化碳濃度變化。(Lindesy, 2020)

臺灣全年氣溫在 1900-2012 年上升約 1.3°C，且近 10 年、近 50 年增溫均呈加速趨勢（圖二），於 2100 年最嚴重情形下將較 1986 年至 2005 年之均溫增加 3.0°C 至 3.6°C；此外，過去 50 年來臺灣夏季增加 27.8 天、冬季減少 29.7 天（周等，2017），更在 2020 年 7 月臺灣地區也創下史上最熱的紀錄（中央氣象局，2020），顯示氣候變遷之衝擊十分猛烈。

果樹之生育包括營養生長、環境或生理性休眠與生殖生長三階段，雖各自對環境需求不一，但在適合之環境下始能發揮最大之生產潛能，尤以生殖生長期對非生物逆境 (abiotic stress) 更為敏感，故其生產與氣象因子密不可分。紅龍果 (*Hylocereus spp.*) 與荔枝 (*Litchi chinensis*) 為臺灣重要果樹產業，並憑藉優良品種的持續育成及特有的栽培 / 產調模式成為國際代表性產區之一（李和張，2014；顏和江，2015；Mizrahi *et al.*, 1997; Chang *et al.*, 2009; Ortiz-Hernández and Carrillo-Salazar, 2012; Lee and Chang, 2019a、b; Chien and Chang, 2019），惟近年來日益嚴重的高溫逆境已直接或間接影響其主要品種‘大紅’及‘玉荷包’之開花與結實（李，2014；Chuet *al.*, 2015）。

紅肉品種‘大紅’ (*H. polyrhizus*) 具有自交親和、高產、大果 (> 400 g)、總



圖二、1901 年至 2020 年臺灣距平氣溫變化、25 年滑動平均氣溫、百年趨勢線、50 年趨勢線與 10 年趨勢線。(整理自臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，2021)

可溶性固形物高 ($> 20^\circ$ Brix) 等優良特性，因此被廣泛栽培於臺灣及東南亞地區 (Jiang and Yang, 2015)。然而‘大紅’並非全年可表現高產特性，在高溫期 (6-8 月) 開花及結實量雖多，但田間及網室栽培常見小果化及枝條 (cladode) 黃化之情形，與‘富貴紅’ (*H. polyrhizus*) 及‘越南白肉種’ (*H. undatus*) 的表現不同 (朱和張，未發表資料；邱等，2015；簡和張，2018；Chien and Chang, 2019)，因此，‘大紅’對於高溫可能較為敏感，然仍需進一步確認。

紅龍果雖然為景天酸代謝植物 (crassulacean acid metabolism, CAM)，但為半氣生型 (hemiepiphytic)，在夏季向陽面枝條卻很容易呈現黃化而未壞疽的輕微日燒，並在進入秋季後復綠 (Chien and Chang, 2019)。白肉種紅龍果 (*H. undatus*) 最適生育溫度是 $30/20^\circ\text{C}$ (日/夜溫)，在此溫度下 CO_2 吸收量達到最高 (日/夜溫) (Nerd *et al.*, 2002)。當溫度到達 $40/30^\circ\text{C}$ ， CO_2 吸收量大幅降低，且在此溫度下根部及莖部的乾重均會降低；而在暴露於 $40/30^\circ\text{C}$ 的高溫下 6 週後枝條開始發生壞疽，隨著逆境時間增加，壞疽的情形會更加嚴重 (Nobel and Barrera, 2002)。探討紅肉種紅龍果於高溫下的枝條生育情形，以及高溫如何影響開花、著果及果實發育將有助於擬定因應高溫期生產之策略。

‘玉荷包’荔枝因具早熟、品質優良之特性，在「適地適種」的前提下，於南部推廣俾分散產期於‘黑葉’之外，遂成為產業調整方向 (顏等，1984；Chang *et al.*, 2009)，並符合「產業新布局」(陳，2012)。「玉荷包」早年存在開花及/或著果不易之現象，栽培門檻與生產成本較高，延宕了荔枝產業的發展，所幸隨著因栽培技術的改進，近來其結實與產量已較穩定 (Chang *et al.*, 2009)。

然而近年冬季暖化日益嚴重，‘玉荷包’因花芽創始對涼溫的需求較低 (張，1999)，尚能大規模開花，但其花序漸以帶葉花序 (leafy inflorescence) 為主，純花序 (leafless inflorescence) 日益減少，農民多以人工將前者除葉，但所費不訾、成效不一而機制未明，造成果園花期管理之困擾 (張，2017)，花序型態是否影響開花品質及果實生產待進一步闡明。

荔枝地上部之營養生長具連續抽梢 (flush cycle) 特性，當年秋天最後一次營養梢停梢 (quiescence) 後，須 $15-20^\circ\text{C}$ 以下的涼溫才能促使生長相的轉變 (Stern

and Gazit, 2003)。然除花芽分化之外，花序之發育之程度亦對溫度敏感 (Menzel, 1984; Davenport and Stern, 2005)。

荔枝成熟營養梢經足夠之涼溫誘導後，其頂端分生組織先轉型為同時具初生葉原基 (rudimentary leaf promodium) 及花序原基 (floral primordium) 混合狀態的生殖梢 (reproductive shoot)，其主軸 (main axis) 每節位同時具葉片和側花序 (paracodium)(Batten and McConchie, 1995; Davenport and Stern, 2005)，後續溫度影響最終花序型態的形成。當涼溫得以維持，則初生葉自然脫落而形成純花序 (leafless or generative inflorescence) (Zhou *et al.*, 2008)；如溫度略高則形成帶葉花序 (leafy inflorescence) 等二種型態，當溫度持續升高，花序原體甚至夭折 (abortion) 而逆分化為營養梢 (張，2017)，故生殖梢萌發後的暖溫動輒導致帶葉花序的形成。

本文簡述近年探討高溫逆境下直接 / 間接影響紅龍果與荔枝開花、結實之研究成果及應用 (簡和張，2018；吳等，2019；Lee and Chang, 2019b; Chu and Chang, 2020)，並初步建議果樹研究及產業於氣候變遷下之可能對策，以拋磚引玉。

控溫環境下高溫抑制‘大紅’紅龍果著果、果實發育、種子結實及黃化枝條復綠之研究與應用(Chu and Chang, 2020)

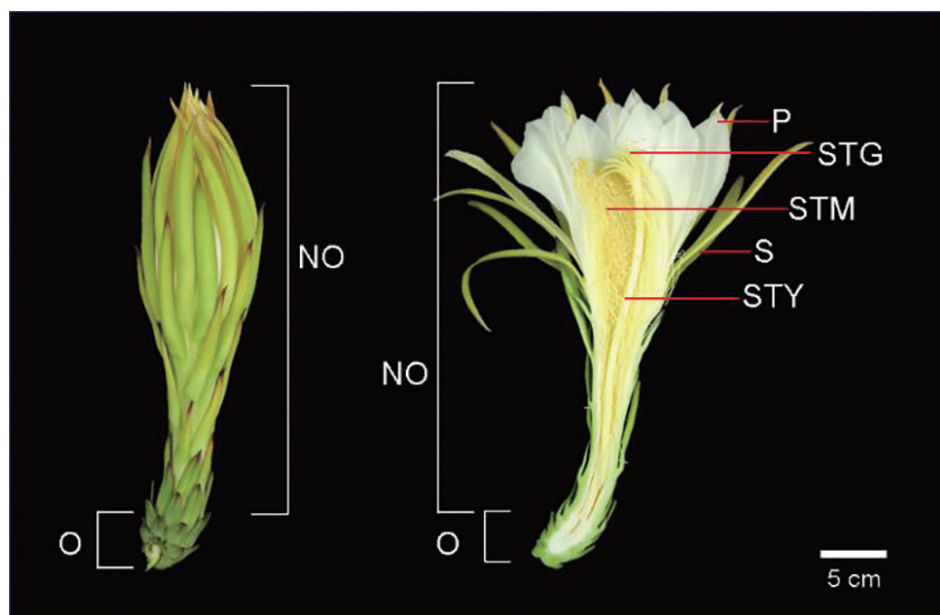
為瞭解高溫期對‘大紅’紅龍果開花、結實及枝條黃化 / 復綠之影響，以一年生紅龍果盆栽為材料，於人工氣候室模擬高溫 [40/30°C ±1°C (日 / 夜溫)] 及紅龍果生育適溫 [30/20°C ±1°C (日 / 夜溫)] 為對照組 (圖三)，並於可自然誘導開花的長日光週下，調查紅肉種紅龍果於於高溫下之花芽發育、開花行為、著果、果實性狀、種子數、乾物重比例及枝條黃化情形。

結果顯示：高溫逆境會加速花芽發育，較對照組提早 8 天開花；但開花當天，其花朵開放及閉合時間會延遲約 2-3 小時。高溫造成花朵長度縮短 (圖四)，且降低著果率。兩者之果實皆於花後 37-38 天採收，但高溫處理的單果重及種子重 (數)、種子數較對照組低 (圖五)、果皮轉色較差，而且種子重 (數) 對單

果重具有顯著的正相關。不論有無著果，高溫者枝條近軸端雖保持黃化的狀態（圖六），但鮮、乾重均與對照組無顯著差異。綜上，高溫逆境下著果率降低及果實發育不良，應是受精障礙致影響種子發育所導致，而非枝條黃化或乾物重降低引起。



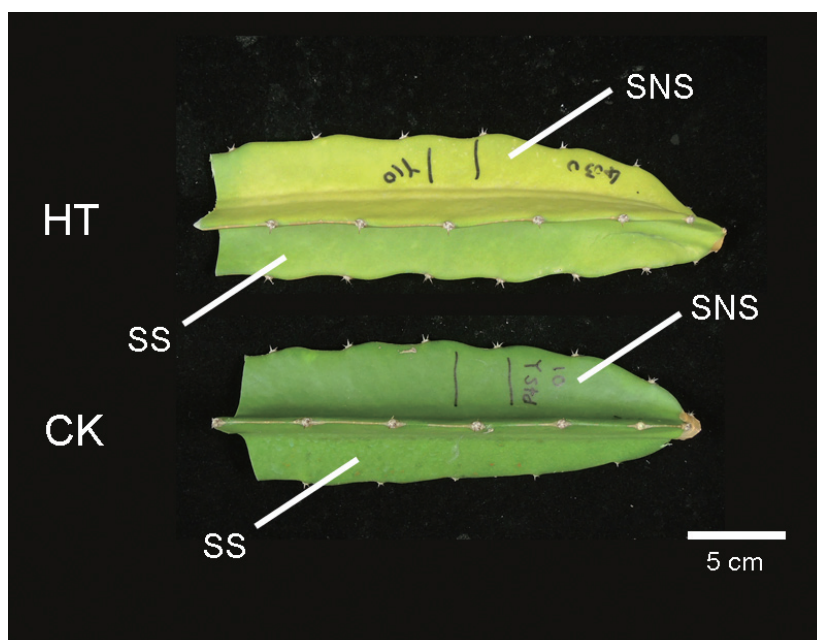
圖三、‘大紅’以扦插苗盆栽於人工氣候室內進行試驗。(Chu and Chang, 2020)



圖四、‘大紅’紅龍果之花朵型態及解剖構造，非子房器官(NO); 子房(O). 非子房器官由萼片(S)、花瓣(P)、雄蕊(STM)、柱頭(STG)及花柱(STY)構成。(Chu and Chang, 2020)



圖五、‘大紅’紅龍果於對照組 (CK, 30/20°C) 及高溫處理 (HT, 40/30°C) 下之果實性狀。(Chu and Chang, 2020)



圖六、‘大紅’紅龍果於對照組 (CK, 30/20°C) 及高溫處理 (HT, 40/30°C) 下，近軸端之條復綠情形。向陽面 (SNS); 背陽面 (SS)。(Chu and Chang, 2020)

紅龍果的果實內含有數千顆細小的種子 (徐, 2004), Weiss 等人 (1994) 指出, 在適宜的環境下生產的果實, 其種子重對單果重及果肉重具有正相關性, 但未說明高溫如何影響產量或品質, 如單果重、種子著生數量、種子形成是否影響著果及果實大小等。本研究盤點從花芽發育至果實成熟期間的高溫對‘大紅’紅龍果結實之影響, 證實高溫導致受精障礙進而致使種子發育受阻, 進而降低著果率及果實發育, 而非乾物質累積不足所造成。高溫雖使枝條維持黃化而無法復綠, 但非影響果實發育的主要原因。

後續之研究 (吳等, 2019) 已證明可經田間遮陰而減少‘大紅’於熱逆境下之結實障礙, 未來將進一步發展智慧噴水降溫及探討高溫如何影響雄蕊及雌蕊發育而導致受精不良 (朱堉君、張哲嘉未發表資料)。

花序型態對‘玉荷包’荔枝花序品質與果實生產之影響與應用 (朱等, 2020; Lee and Chang, 2019b)

近年來受冬、春季暖化之影響, ‘玉荷包’荔枝萌生帶葉花序 (leafy inflorescence) 之比例逐年增加, 而一般咸信純花序 (leafless inflorescence) 較有利於著果, 因此農民每每進行花序除葉之作業, 而成效不一、所費不訾, 造成產業問題。本研究以 10 年生之田間植株為材料, 比較純花序和帶葉花序 (圖七) 之供碳能力、花序品質及果實生產之差異, 以為果園花期管理之參考。

結果顯示, 純花序與混合型花序之結果枝直徑無差異, 兩花序之總葉片數及各梢次葉片數相仿, 二者供碳能力無差異。純花序之總花數、偏雌花數及偏雌花率皆顯著高於混合花序, 並為其 1.3-1.7 倍。純花序結果枝之著果數及每果穗產量為混合型花序之 2.2-3 倍, 而二者之著果率 (1.1-1.8%) 無差異。採收時二者之單果重、果皮重、果肉重 (率)、種子重及可溶性固形物含量等果實品質無差異。結果顯示, 純花序確較混合型花序更有利於後續之果實生產。

本研究證實‘玉荷包’荔枝純花序有較多的總花數及偏雌花數 (率), 因而開花品質及果實產量較混合花序者為優, 後續果實生產與結果枝供源無關。帶葉花序因其主軸上每節葉片與花序同步發育而抑制花序的發育、減少花數, 此



圖七、‘玉荷包’荔枝田間植株之純花序(左)及帶葉花序(右)。(Lee and Chang, 2019b)

因：(1) 荔枝的花序發育需耗費大量的養分 (Jiang *et al.*, 2012)，而二者互相競爭同化產物；(2) 荔枝從花序分化到盛花，樹體木質液中的 cytokines 會持續增加，gibberellin acid(GA) 則減少，但新葉的存在會造成 GA 的增加，而抑制花序的形成 (Chen, 1990; Davenport, 2000)。

試驗結果為荔枝花期果園管理之「帶葉花序除葉」提供合理化之解釋及理論基礎，如何減少帶葉花序之發生或設法發展高效率之省工除葉，將是未來研究重點。

因應氣候變遷下果樹研究及產業發展芻議

氣候變遷對農業環境與生產的影響甚大，最近 10 年來臺灣氣溫上升幅度遽增，導致夏季天數遽增而冬季日數遽減、乾雨季愈加明顯等 (周等，2017)，已嚴重影響果樹生產。諸如：(1) 2016 年秋天至 2017 年夏天，連續歷

經暖冬、寒害、梅雨及尼伯特颱風等危害，重創梅、荔枝、龍眼、芒果和釋迦等產業，農損約 200 億元 (陳等，2020)；(2) 2018/2019 年暖冬及乾旱致使梅異常落花，而荔枝、龍眼幾不開花，農損約 40 億元 (陳等，2020)；(3) 2020 年 7 月之史上高溫造成部分紅龍果小果化、葡萄轉色不良；(4) 2021 年初迄今的百年乾旱，正值果樹著果與果實發育初期，然因缺少灌溉而大量落果，損失尚難估計。

面對如此嚴峻之挑戰，相關研究與產業發展策略應與以往區隔 (朱等，2020)，茲將個人之芻議臚列如下，以供各界之參考：

1. 加強果樹耐候性 (**resilience**) 品種選育。臺灣多數果樹於春末至秋末花芽創始，春天開花，夏天至冬天採收，期間可能經歷暖冬、寒害、乾旱、霪雨、高溫、颱風等天然災害，對營養生長、休眠與生殖生長與產量、品質之衝擊甚大，甚至影響翌年開花。建議各單位持續育種、調整策略或進行分子標誌輔助選拔 (**molecular marker assisted selection**)，提升效率俾育成對環境不敏感、穩定生產之品種。
2. 進行逆境生理系統性研究。大部分果樹為多年生作物，在營養生長期雖不若生殖生長期對逆境敏感，然亦須在適宜環境下才能累積樹體足夠能量、為生長相之轉變做準備；加以其開花、結實期對逆境特別敏感，掛果期又長，突如其來的天然災害如超過植株生育的耐受性，就會致災。林等 (2018) 已建置臺灣重要經濟果樹防災栽培曆，為業界參考與使用之重要依據。然臺灣極端氣候與果園損害一再突破歷史紀錄，且田間難以進行模擬天然災害之試驗，為超前部署，建議盤點重要種類與品種，並新建大型人候室 (**phytotron**) 以系統性測試其耐受性及復原能力，俾建立逆境生理之資料庫或生育模式 (**growth model**)，供後續栽培管理、品種選育及發展智慧農業 (**smart agriculture**) 之參考。
3. 栽培技術升級 / 智慧化。就現有種類及品種發展專門技術以降低逆境衝擊，如遮陰、噴水降溫、植物生長調節劑及抗逆境劑之利用、微調產期及設施栽培，甚至以果樹栽培技術、生理特徵及監控為基礎，由自動化逐步串接

人工智慧 (AI) 及物聯網 (IoT) 以發展智慧農業，此有待學界、業界繼續努力。

4. 調整品種。部分現有品種已難以為繼，可考慮更新為花芽誘導條件較寬鬆、結實穩定、異產期、不易發生採收前及採收後生理障礙之品種。
5. 建立適應性模型 (climatic suitability model) 以為調整種植地域之參考。以荔枝為例，因逐年暖冬之故，至今南部產區生產早生種已稍困難，而中部產區之於晚熟種已明顯困難，目前果農係憑藉既有品種、技術及經驗法則進行栽培地域調整。適應性模型係藉由電腦模擬而預測氣候變遷下作物產區的大尺度變化 (Zabel *et al.*, 2014)。臺灣雖小，然本島長達 394 公里，橫跨熱帶、亞熱帶及山地之溫帶氣候，加以品種多元化，或可及早建立小尺度之模型，供調整產區之依據。

結語

臺灣全年氣溫在 1900-2012 年上升約 1.3°C，且近 10 年、近 50 年增溫均呈加速趨勢，已對果樹生產發生重大影響。‘大紅’紅龍果於高溫逆境下會降低著果率及果重，此應是受精障礙致影響種子發育所致，而非枝條黃化或乾物重降低引起。未來將進一步建立智慧噴水降溫系統，並探討高溫如何影響雄蕊及雌蕊稔性。‘玉荷包’荔枝純花序因較高的偏雌花數而提升其果實生產能力，確為較佳之花序型態。帶葉花序因其葉片抑制側花序的同步發育而降低花數，未來應發展帶葉花序之省工除葉技術或增加純花序之發生。上述研究成果為紅龍果及荔枝於開花、結實期之果園管理提供重要依據。為持續因應氣候變遷之挑戰，建議可加強果樹育種、耐候性生理研究及調整產業發展策略。

致謝

本系列研究承農糧署 107 農科 -7.3.4- 糧 -Z1(3)、108 農科 -7.3.4- 糧 -Z1(3) 以及科技部 106-2313-B-005-034-MY3、109-2313-B-005-021-MY3 計畫之補助，助理許怡萱及潘美汶協助試驗調查，謹誌謝忱。

參考文獻

- 中華民國交通部中央氣象局 . 2020 。
- 行政院農業委員會 . 2020. 農業統計年報 . 農業統計資料查詢 。
- 朱堉君、李昱錡、潘美汶、張哲嘉 . 2020. 荔枝結實生理之研究、應用及產業調適 . 於張佰滄、江一蘆主編：臺灣熱帶與亞熱帶水果產業發展研討會專刊 . 國立嘉義大學園藝系 p.121-136 。
- 邱一中、林筑蘋、徐敏記、留欽培、陳殿義、劉碧鵬 . 2015. 紅龍果的栽培與管理 . 行政院農業委員會農業試驗所 . 臺中，臺灣 。
- 吳保諒、潘美汶、朱堉君、簡嫻捷、張哲嘉 . 2019. 高溫對‘大紅’紅龍果田間植株果實小果化之影響 . 臺灣園藝 65: 63-64(摘要) 。
- 李昱錡、張哲嘉 . 2014. ‘玉荷包’荔枝種子形態與果實品質關係之評估 . 興大園藝 39(3): 1-13 。
- 李昱錡 . 2014. ‘玉荷包’荔枝花序結構、型態、兩波偏雌花對果實生產之影響及種子與胚發育之研究 . 國立中興大學園藝學系所碩士論文 pp.70 。
- 林慧玲、倪鈺琳、吳承軒 . 2018. 臺灣重要經濟果樹防災栽培曆之應用 . 於姚銘輝主編：農業氣象災害技術專刊 . 農業試驗所 p.33-40 。
- 徐萬德 . 2004. *Hylocereus* spp. 仙人掌紅龍果之栽培、生育習性及物候調查 . 國立臺灣大學園藝學系碩士論文 pp.180 。
- 陳立儀 . 2012. 荔枝更新品種及獎勵措施 . 農業世界 349: 10-11 。
- 陳珮瑜、許玲瑋、譚學勇 . 2020 . 明天過後，你可能吃不到我：異常氣候如何改變臺灣的水果版圖？
- 張哲瑋 . 1999. 荔枝開花之調控 . 國立臺灣大學園藝研究所博士論文 pp.136 。
- 張哲嘉 . 2017. 提升荔枝產量與品質之生理基礎及具體措施：以‘糯米糍’為例 . 106 年大臺中外銷荔枝栽培模式與增值保鮮關鍵技術開發講習會 . 國立中興大學農業暨自然資源學院園藝學系編印 p.5-33 。
- 周佳、陳維婷、羅敏輝、李明安、許晃雄、洪志誠、鄒治華、盧孟明、洪致文、

- 陳正達、鄭兆尊 . 2017. 臺灣氣候變遷科學報告 . 國家災害防救科技中心。
 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 . 2021. 科技部。
- 簡熾捷、張哲嘉 . 2018. 網室內微氣候及紅肉種‘大紅’紅龍果生產夏果、秋果之影響 . 興大園藝 43(4): 1-13。
- 顏昌瑞、江一蘆 . 2015. 世界紅龍果產業概況 . 臺灣紅龍果生產技術改進研討會專刊 . 行政院農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所編印 p.19-27。
- 顏昌瑞、廖玉琬、田永柔 . 1984. 臺灣荔枝品種及其改良 . 中國園藝 30(4): 210-222。
- Batten, D. J. and C. A. McConchie. 1995. Floral induction in growing buds of lychee (*Litchichinensis*) and mango (*Mangifera indica*). Austral. J. Plant Physiol. 22: 783-791.
- Bongaarts, J. 1994. Can the growing human population feed itself? Sci.Am. 270(3): 36-42.
- Chang, J. C., T. S. Lin, C. R. Yen, J. W. Chang and W. L. Lee. 2009. Litchi production and improvement in Taiwan. J. Agri. Assoc. Sci. Taiwan 10(1): 63-76.
- Chien, Y. C. and J. C. Chang. 2019. Net houses effects on microclimate, production, and plant protection of white-fleshed pitaya. HortScience 54: 692-700.
- Chen, W. S. 1990. Endogenous growth substances in xylem and shoot tip diffusate of lychee in relation to flowering. HortScience 25: 314-315.
- Chu, Y. C., W. H. Lee and J. C. Chang. 2015. Sustaining and improving white pitaya (*Hylocereus undatus*) production under abiotic stress environments: a case study in Penghu, Taiwan. Intl. Wkshp. Proc. Improving Pitaya Production and Mtg. Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan.
- Chu, Y. C. and J. C. Chang. 2020. High temperature suppresses fruit/seed set and weight, and cladode regreening in red-fleshed ‘Da Hong’ pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) under controlled conditions. HortScience 55(8): 1259-1264.
- Davenport, T. L. 2000. Processes influencing floral initiation and bloom: The role of phytohormones in a conceptual flowering model. HortTechnology 10: 733-739.

- Davenport, T.L. and R.A. Stern. 2005. Flowering, p.87-113. In: C.M. Menzel and G.K. Waite(eds.). Litchi and longan: Botany, production, and uses. CABI, Wallingford, UK.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 151.
- IPCC. 2018. Global warming of 1.5°C . An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.). In Press.
- Jiang, S. Y., H. Y. Xu, H. C. Wang, G. B. Hu, J. G. Li, H. B. Chen and X. M. Huang. 2012. A comparison of the costs of flowering in ‘Feizixiao’ and ‘Baitangying’ litchi. *Sci. Hort.* 148: 118-125.
- Jiang, Y. L and W. J. Yang. 2015. Pitaya reproductive phenology in relation to production system. p.79-86. In: Intl. Wkshp. Proc.: Improving Pitaya Production and Mtg., Jiang, Liu, and Huang (eds.). Food and Fert. Technol. Center.
- Lee, Y. C. and J. C. Chang. 2019a. Altered development, quality and sink strength in asynchronous maturing fruits produced from the two-sequence female flowers inflorescence/cluster of ‘Yu Her Pau’ litchi. *Sci. Hort.* 249: 131-142.
- Lee, Y. C. and J. C. Chang. 2019b. Leafless inflorescence produces more female flowers and fruit yield than leafy inflorescence in ‘Yu Her Pau’ litchi. *HortScience* 54(3): 487-491.

- Lindesy, R. 2020. If carbon dioxide hits a new high every year, why isn't every year hotter than the last? NOAA Climate.gov.
- Menzel, C. M. 1984. The pattern and control of reproductive development in lychee: a review. *Sci. Hort.* 22(4): 333-345.
- Mizrahi, Y., A. Nerd and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. *Hort. Rev.* 8: 291-391.
- Nerd, A., Y. Sitrit, R.A. Kaushik and Y. Mizrahi. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Sci. Hort.* 96: 343-350.
- Nobel, P. S. and E. De la Barrera. 2002. High temperatures and net CO₂ uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Biotropica* 34: 225-231.
- Ortiz-Hernández, Y. D. and J. A. Carrillo-Salazar. 2012. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Sci.* 3(4): 220-237.
- Sansavini, S., G. Costa, R. Gucci, P. Inglese, A. Ramina, C. Xiloyannis and Y. Desjardins, eds. 2019. *Principles of Modern Fruit Science* (Leuven, Belgium: ISHS), pp. 421.
- Stern, R. A. and S. Gazit. 2003. The reproductive biology of the lychee. *Hort. Rev.* 28: 393-453.
- Weiss, J., A. Nerd and Y. Mizrahi. 1994. Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortScience* 29: 1487-1492.
- Zabel, F. B Putzenlechner and W. Mauser. 2014 Global agricultural land resources—a high resolution suitability evaluation and its perspectives until 2100 under climate change conditions. *PloS one* 9(9): e107522.
- Zhou, B., H. Chen, X. Huang, N. Li, Z. Hu, Z. Gao and Y. Lu. 2008. Rudimentary leaf abortion with the development of panicle in litchi: Changes in ultrastructure, antioxidant enzymes and phytohormones. *Sci. Hort.* 117(3): 288-296.

Assessment, Application, and Prospect to High-Temperature Stress Impact on the Reproductive Growth of Pitaya and Litchi

Yu-Chun Chu¹, Yu-Chi Lee², Chi-Nan Chen³, Jer-Chia Chang^{4*}

Abstract

The effects of global climate warming are reflected in temperature rising in Taiwan by 1.3°C over the last century, which hugely affects growth and production of fruit trees with 27.8 days more during summer and 29.7 days less during winter. Both pitaya and litchi are important fruit tree crops in Taiwan, with respective dominant varieties, ‘Da Hong’ and ‘Yu Her Pau’, having excellent fruit quality. However, due to high summer temperatures stress in Taiwan, inconstant fruit production and yellowed cladodes have been observed in the red-fleshed ‘Da Hong’ pitaya. Specific environmental factors that influence yield loss and cladode damage are unknown. Moreover, in response to global warming, an increasing proportion of leafy inflorescences of the ‘Yu Her Pau’ litchi frequently increase and a manual removal of leaves from such inflorescences has become a standard commercial practice whose benefits and mechanism still need confirmation. This review describes recent researches on 1) evaluating how high-temperature (HT) stress affects both fruit production and cladode yellowing of one-year-old field-grown potted ‘Da Hong’ pitaya plants under controlled conditions, and 2) determining whether the number of both total and female flowers, percentage of female flowers, and fruit yield are influenced by the type of inflorescence, i.e., leafless or leafy inflorescences in ‘Yu Her Pau’ litchi. In addition, we suggest refocusing the research and industry development to be able to respond to climate changes. Results on ‘Da Hong’ pitaya showed that blooming time was postponed 2-3 hours later within a day with HT (40/30°C) than in

control (30/20°C) and fruit set, fruit size, seed weight, and peel color were strongly suppressed in the HT plants, compared with control. Furthermore, both estimated seed number and weight were positively correlated with fruit weight, suggesting that reduced seed setting and weight, aroused from incomplete fertilization in the HT plants, could result in fruit drop and smaller fruits. Although the color of the sun-exposed side of cladodes remained yellow, the percentage of dry matter in the HT cladodes was not significantly different from control, indicating that their carbon assimilation rate was not reduced. Further studies are required to establish intelligent sprinkle irrigation system to cool orchards and to ascertain whether disrupted stamens or pistils, resulted by HT, lead to incomplete fertilization. Studies on the ‘Yu Her Pau’ litchi showed that the type of inflorescence (i.e., leafless or leafy) did not affect carbon assimilation rate of bearing shoots. Leafless inflorescences had greater performances in terms of both total and female flower numbers and therefore fruit number and yield at harvest, presumably due to absence of assimilate competition brought by a synchronous development of lateral inflorescences and immature leaves of a panicle. Either a labor-saving strategy of defoliation of leafy inflorescences or an orchard management to produce more leafless inflorescences may need to be developed. In order to meet further challenges of climate changes, a systematic stress physiology research and breeding of more resilient varieties of fruit trees are recommended as well as the establishment of climatic suitability model for production areas and an upgrade of varieties and intelligent cultivation techniques.

Key words: Climate change, Warming, High-temperature stress, Resilience, Pitaya, Litchi, Flowering, Fruiting, Yield, Quality, Strategy

¹ Assistant Researcher of Kaohsiung DARES, COA

² Assistant Researcher of Taichung DARES, COA

³ Assistant Researcher of Chiayi Agricultural Experiment Branch of TARI

⁴ Distinguished Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University

* Corresponding author's email: jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw