



**2021 中部果樹產業
因應氣候變遷之調適與策略發展
研討會論文輯**



行政院農業委員會臺中區農業改良場
中華民國一一〇年八月



指導單位：行政院農業委員會

主辦單位：行政院農業委員會臺中區農業改良場

協辦單位：行政院農業委員會農糧署

國立中興大學農資學院

國立中興大學園藝學系

ISBN 978-986-5455-31-6



9 789865 455316

GPN:110007992

定價：新臺幣 300 元

序

臺灣中部地區是一個地形地貌相當特殊的地方，含括平原到海拔 3,000 公尺以上之高山，醞釀出溫帶、亞熱帶及熱帶果樹生產，具有豐富作物相；中部地區果樹栽培面積 50,900 公頃，占全臺 28%；產量 57.3 萬公噸，占 23%；產值 273.9 億元，占 30%，為重要的果樹產區，更是梨、柿、梅、桃及葡萄等溫帶果樹主要產區。

臺灣經濟栽培果樹種類繁多，近幾年由於全球暖化趨勢，原本種植於中部山區的梨、桃及柿等溫帶果樹的當年生枝條花芽形成後，因秋冬高溫使芽體無法進入休眠，出現褐化死亡現象，進而影響翌年開花結果。同時荔枝與龍眼等亞熱帶果樹也因秋冬高溫導致芽體無法順利進行花芽分化，影響花芽形成與開花。另隨著氣溫上升，原主要栽培於南部的熱帶果樹，因受低溫寒害的風險下降，在中部地區芒果及酪梨等常綠果樹栽培面積呈現上升趨勢，而番石榴在海拔 1,000 公尺的摩天嶺地區面積已達 20 公頃以上。顯見暖化現象已造成臺灣溫帶及亞熱帶果樹嚴重減產並威脅產業穩定發展，並對果樹產區造成改變。除了暖化，氣候變遷另導致乾旱、強降雨或高溫等極端天候頻率增加且強度提高，對果樹栽培與生產造成莫大威脅與衝擊，亟需強化部署因應。

行政院農業委員會多年來在氣候變遷對作物的影響與因應，業積極由調適與緩解兩大策略加以因應，研擬推動包含建構因應氣候變遷之韌性農業體系研究、農林氣象災害風險指標建置及災害調適策略之研究、設施型農業五年計畫及推動農業保險等應對方案與執行措施。惟近年來氣候變遷對多年生果樹產業影響更形加驟，故需持續檢討提出因應策略。本次研討會先借鏡國外果樹面對氣候變遷之調適與緩和作為，再由臺灣果樹產區位移進行生理評估與調適措施，並從科技計畫研發栽培體系及智慧農業於創新設施應用來前瞻規劃，另利用氣候推估各類型災害對果樹之影響，進一步開發及推展果樹農業保險，探討氣候變遷對重要果樹病蟲害相改變與措施部署，最後提早布局國內外市場營運新趨勢，以因應後疫情時代消費習性改變。研討會中各界專家學者提出之啟發性建議，將供作擬定果樹科研與產業發展之參據，期強化中部果樹產業因應氣候變遷之調適能力，維續產業之發展。

行政院農業委員會臺中區農業改良場

場長

李紅曦

謹識


中華民國一一〇年八月

行政院農業委員會

陳主任委員吉仲 開幕致詞

中興大學黃振文副校長、農資學院詹富智院長、主辦單位臺中區農業改良場李紅曦場長帶領的團隊，以及參與 2021 中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展研討會所有的主持人、主講者及與會貴賓、女士先生大家早。

今天研討會討論氣候變遷對整個果樹產業的影響，議程包括氣候變遷對所有果樹產業衝擊影響評估，以及相關的因應調適策略，甚至包括社會工具，如農業保險、後疫情時代可能的外銷情境。首先，聯合國政府間氣候變化專門委員會的第六次評估報告 (IPCC AR6) 指出不管哪一個情境，即使再努力降低溫室氣體排放量，全球在未來的 20 年一定會遇到平均溫度上升 1.5°C，此溫度對整個臺灣農業部門，甚至是全球的農業生產，絕對會造成重大的衝擊與影響。所以農委會已經在 3 年前開始透過科技計畫，執行平均溫度上升 1.5°C 對農業的衝擊評估以及調適策略，歡迎所有學術界、產業界專家學者一起共同參與這個計畫，如果今天不進行，20 年之後絕對來不及。再者特別說明，現階段已經有很多學者進行氣候變遷對果樹或是農作物的影響調查，並陸續進行很多相關可能調適策略研究，已有斐然的研發成果。非常歡迎大家直接提供農委會具體的建議，農委會的重要責任就是要將這些實務成果推播應用到第一線，使農民儘快採取這些調適策略，達到防災減災目



的，並穩定農作物生產的供應。接著特別向各位報告，過去幾年所有的農產品在大家持續努力下，尤其是水果，開始大量外銷，今 (110) 年上半年的水果的外銷成績非常的亮眼，很樂意大家針對這個議題再一起努力加油。

最後要特別說明，今天的研討會非常的重要，面對全球氣候變遷的影響，以臺灣為例，去年開始面對百年來的乾旱，到今年 5 月下旬以後又開始豪雨不斷。所以針對極端天氣事件，農委會有重要措施開始執行。首先，請本會企劃處全面的利用最短時間邀請大家一起參與討論，未來在 AR6 底下臺灣可能面對的所有氣候變遷，或者是氣候條件包括雨量、溫度等改變，對臺灣農業部門的影響，將這些影響具體研擬出相關的調適策略，這需要大家共同參與，以降低農業部門的損失；第二為最根本問題，即溫室氣體減量，由於目前的溫室氣體減量已經來不及阻擋極端天氣的改變及長遠的氣候變遷，全球已經開始呼籲及執行 2050 淨零排放政策，臺灣農業部門絕對有信心不只在 2050，甚至在更早之前來達成，農委會在不久的將來宣布農業部門的淨零排放路徑圖，這充滿了挑戰，期待所有學術界、產業界與農委會一起來配合。最後預祝研討會成功圓滿，各位的研討成果提供給農委會作為後續的政策參考，再次感謝各位的參與。

「2021中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展」研討會議程

主辦單位：行政院農業委員會臺中區農業改良場、國立中興大學農資學院與園藝學系

時間：110年8月17日、18日（週二、三）上午

地點：遠距視訊

第一天（8月17日）

時間	題目/講者	主持人
08:30~08:50	上線測試	李紅曦場長 臺中區農業改良場
08:50~09:05	開幕致詞	
09:05~09:35	專題演講：國外果樹栽培面對氣候變遷之調適與緩和作為 林宗賢名譽教授/臺灣大學園藝暨景觀學系	
第一節、氣候變遷下果樹產區變遷、生理評估與調適		
09:35~10:00	果樹產區位移與產業因應調適 陳立儀組長/農糧署作物生產組	姚志旺副署長 行政院農業委員會 農糧署
10:00~10:25	高溫逆境衝擊紅龍果與荔枝生殖生長的評估、應用與芻議 張哲嘉系主任/中興大學園藝學系	
10:25~10:35	休息	
第二節、因應氣候變遷果樹栽培體系前瞻規劃		
10:35~11:00	氣候變動及果樹栽培體系前瞻因應 李文立分所長/農業試驗所鳳山試驗分所	王仕賢處長 行政院農業委員會 科技處
11:00~11:25	中部地區果樹科技研發成果及前瞻規劃 徐錦木助理研究員/臺中區農業改良場	
11:25~11:50	果樹生產智慧化與應用實例 王仁晃副研究員/高雄區農業改良場	
綜合討論/各講者及主持人		
11:50~12:20	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 適地適種及產區規劃 ▶ 智慧農業創新設施發展應用 	

第二天（8月18日）

第三節、因應氣候變遷果樹防減災措施部署		
09:00~09:25	氣候推估及災害類型對果樹產業影響 陳永明組長/國家災害防救科技中心	黃振文副校長 國立中興大學
09:25~09:50	果樹類農業保險之開發與推展 周妙芳副局長/農委會農業金融局	
09:50~10:15	氣候變遷果樹病蟲害相改變與因應措施 洪挺軒系主任/臺灣大學植物病理與微生物學系	
10:15~10:25	休息	
第四節、果樹產業與市場營運新趨勢		
10:25~10:50	國內水果市場營運及行銷通路新趨勢 羅至男經理/福和生鮮農產股份有限公司	林家榮處長 行政院農業委員會 國際處
10:50~11:15	國際水果消費市場趨勢及拓展 洪忠修董事長/台農發股份有限公司	
11:15~11:40	臺灣海港低溫物流中心現況 陳汝興副總經理/好好國際物流股份有限公司	
綜合討論/各講者及主持人		
11:40~12:10	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 複合型極端天氣及災損之應變 ▶ 跨單位資源整合及跨領域人才培育 	

目 錄

- 01 序
- 02 行政院農業委員會 陳主任委員吉仲 開幕致詞
- 04 「2021中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展」研討會議程
- 專題演講**
- 08 國外果樹栽培面對氣候變遷之調適與緩和作為
- 第一節、氣候變遷下果樹產區變遷、生理評估與調適**
- 50 果樹產區位移與產業因應調適
- 55 高溫逆境衝擊紅龍果與荔枝生殖生長的評估、應用及芻議
- 第二節、因應氣候變遷果樹栽培體系前瞻規劃**
- 74 氣候變動及果樹栽培體系前瞻因應
- 85 中部地區果樹科技研發成果及前瞻規劃
- 95 果樹生產智慧化與應用實例
- 第三節、因應氣候變遷果樹防減災措施部署**
- 112 氣候推估及災害類型對果樹產業影響
- 121 果樹類農業保險之開發與推展
- 141 氣候變遷果樹病蟲害相改變與因應措施
- 第四節、果樹產業與市場營運新趨勢**
- 154 國內水果市場營運及行銷通路新趨勢
- 156 國際水果消費市場趨勢與拓展
- 166 臺灣海港低溫物流中心現況
- 綜合討論**
- 172 綜合討論

2021中部果樹產業
因應氣候變遷之調適與策略發展研討會論文集

專題演講





國外果樹栽培面對氣候變遷之 調適與緩和作為

林宗賢*

摘要

人為加劇溫室氣體釋放加速氣候變遷。本文綜述氣候變遷對重要國外產區果樹生育之影響及其適應與緩和策略。藉由各種氣候情境與生育模型，闡明或預測暖化已經或將改變果樹物候、果樹產量與果實品質等。暖化造成暖溫帶地區落葉果樹冬天低溫累積不足，芽體較難萌發或花期拉長；而春季熱累積加速，芽體提早萌芽，增加晚霜為害；果實多提早採收，但著色較差。暖化與乾旱不利南歐葡萄生產，預測高品質釀酒葡萄將向北推移。涼溫和土壤適度乾旱裨益常綠果樹花芽形成，若氣溫或雨量失常，則無法開花或調節產期；面對暖化，預計熱帶地區果樹罹害程度較溫帶地區嚴重。設法提高果樹的韌性以適應或減緩氣候變遷，其策略如下：(1) 利用適當模式預測和評估氣候變遷對果樹可能影響；(2) 研討遺傳與環境因子對物候的影響，闡明與利用抗逆境機制，協助果樹理想品種選育；(3) 落葉果樹選育低需冷性品種，常綠果樹促進開花；(4) 強化氣象預報，降低高溫、強光、乾旱等逆境，減少低溫、霜害等傷害；(5) 整合改善果樹栽培方式，如修飾樹冠架構、改變果園微氣候、採用設施栽培等；(6) 藉精準與智慧農業有效管理、利用再生性與非再生性資源；(7) 以農業生態原則經營果園，促進養分循環，防止土壤流失；(8) 經由再生型農耕提高土壤有機質含量、加強果園碳儲匯功能；(9) 測量與減緩果園溫室氣體釋放量，評

* 國立臺灣大學園藝暨景觀學系名譽教授
e-mail: tslin66@hotmail.com

估碳足跡與水、能源等生態效率；(10) 依據適地適種原則，進行果樹產區遷移規劃。

關鍵詞：氣候變遷、暖化、適應、緩和、落葉果樹、常綠果樹、物候、休眠、低溫、開花、土壤碳儲匯、碳足跡

前言

氣候變遷包含長期與短期極端天氣變化，其乃因人為加劇溫室氣體（如 CO₂）釋放導致。長期氣候變化含暖化、乾旱、沙漠化、土壤鹽化、海平面上升等，而短期極端天氣變化則有寒流、早霜、晚霜、冰雹、焚風、熱浪、颶風（颱風）、水災、旱災等。大氣 CO₂ 濃度增高雖能提高 C3 型植物光合作用，提高產量 (Kimball *et al.*, 2007)，但其對氣候產生的效應可能抵消增產之效果 (Raza *et al.*, 2019)。蘋果、葡萄、柑橘和香蕉等果樹對氣候變遷的反應曾有綜述 (Glenn *et al.*, 2014)。本文試著說明氣候變遷對國外落葉與常綠果樹生育栽培造成的影響，進而陳述適應與緩和作為。

如何預測氣候變遷對果樹栽培的影響？

1. 基於科學數據的管理。
 - 1.1. 過去：收集、整理、分析、研判數據。
 - 1.2. 未來：援用或創建適當模型 (modeling)(含氣候模型)，探討和過去狀況與數據符合度；選用各種情境，預測爾後可能反應；並依據將來實際狀況，不斷修飾模型，重新預測，持續精進。
 - 1.3. 基於需要，雖果樹生育過程較複雜，但仍可參考農藝作物生長模型研究成果，進行相關研究 (van Diepen *et al.*, 1989; Luedeling *et al.*, 2009; White *et al.*, 2011; Yao *et al.*, 2011; Ramirez-Villegas *et al.*, 2013; Fraga *et al.*, 2016; Iizumi *et al.*, 2018; DeJong, 2019; Bai *et al.*, 2019; Das and Sharma, 2020)。

2. 學門整合、科技整合，經由電腦普及，借助大數據與機械學習，加速模型運算。

氣候變遷對果樹生育的影響

1. 氣候變暖或有利農業生產，其地帶多屬高緯度地區，如歐洲北部，但南部則風險增加，尤其高溫和缺水逆境；但也必須考慮探討的尺度及地域 (Iglesias *et al.*, 2012; Ponti *et al.*, 2014)。
2. 不同時期之氣候逆境對於果樹不同生育階段有不同意義，尤其是高溫逆境，又會對病 - 蟲 - 雜草產生複雜效應。因此需投資於氣候與環境之監測，闡明逆境對果樹生育的影響，開發中國家更需如此 (Thornton *et al.*, 2014)。
3. 暖化改變多種果樹物候期，造成落葉果樹低溫需求不足、果樹產量降低、果實品質變劣與病蟲害威脅增加等。應加強區域性調適研究以盡量降低高溫和熱浪風險，提升對缺水與乾旱的適應，鼓勵多方面利益關係人的參與、對話和資訊推廣等 (Pathak *et al.*, 2018)。果樹為長年性作物，如美國加州利用適當的氣候與作物模式預估氣候對果樹生產的影響，進而結合氣候學與相關農業科技設法因應 (Lobell *et al.*, 2006)。
4. 日本果樹栽培已受到暖化影響，如提早萌芽、提早採收、延遲著色，改變病蟲害狀態、增加或減少凍害、增加晚霜危害、果實酸度和澀度降低和果肉較軟等 (Sugiura, 2010; Sugiura *et al.*, 2012; Sugiura *et al.*, 2013; Shinomiya *et al.*, 2015; Sugiura, 2019)。
5. 澳洲仁果類產區將因日漸升溫而轉到較涼產區，目前遭遇熱浪高溫導致果實日燒，需要降溫保護果實 (Thomson *et al.*, 2014)。
6. 南非蘋果和梨在 1973-2009 年間，氣溫每 10 年增加 0.45°C，盛花期也提早 1.6 天 (Grab and Craparo, 2011)；Western Cape 地區溫度已漸升，預測未來 30 年會再升 1-2°C，冬雨減少。將影響低溫需求，干擾生殖過程，增加果實日燒，著色不良，乾旱逆境風險提高 (Wand *et al.*, 2008)。
7. 智利落葉果樹低溫需求，北部地區將漸不足，南部尚可，中部地區預計 2050

- 年代減少 10-15 chilling portions。另外，晚霜將減少。目前北部栽培低需冷的鮮食葡萄和杏仁生產將受影響 (Fernandez *et al.*, 2020)。
8. 美國東南地區之不同低溫需求桃子品種，低溫需求高者預計在 21 世紀中期已無法滿足，如喬治亞州有 40% 品種不適宜 (Parker and Abatzoglou, 2019)。加州中央谷地果樹產區 1950-2010 年間，每 10 年減少 40 低溫小時 (chilling hours)，到 21 世紀末，僅剩 500 低溫小時，將不利落葉果樹生產 (Baldochi and Wong, 2008)。不過，德國之較高緯度地區，利用各種低溫模型預測多種溫帶果樹將提前萌芽、展葉 (Chmielewski *et al.*, 2012)。
 9. 英國喬木性果樹可能因低溫需求不足而限制生產；而漿果類除此外，尚缺水源，必須限水灌溉 (Else and Atkinson, 2010)。
 10. 西班牙果樹產區 21 世紀後期無法滿足落葉果樹低溫需求 (Funes *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2021)。升溫 (模擬 21 世紀末，提高 6°C) 情境下，西班牙之草莓將提早生產，但作物生產週期縮短，總產量也降低 (Palencia *et al.*, 2009)。
 11. 葡萄牙分析 1981-2015 年與預測 2041-2070 年之 growing degree hours 與 chilling portions。大部分地區熱累積 (heat accumulation) 增加而低溫累積 (chill accumulation) 降低，進而評估對 8 種果樹分布的影響，希望有助於對氣候變遷之因應 (Santos *et al.*, 2017)。
 12. 落葉果樹萌芽、開花時間受到低溫累積與熱累積的影響。該等果樹一旦進入休眠 (所謂內生休眠 endodormancy)，須經歷足夠的低溫累積，才能於春天萌芽。又縱使已經滿足低溫需求，該芽體可能仍處於氣溫較低、不利萌芽的內生休眠狀態，必須獲得足夠的熱累積 (或所謂的 forcing) 後才能發芽或開花。暖化可能造成低溫累積降低、熱累積增加，調查蘋果在西歐 (7 處) 與 3 個較溫和地區 (北摩洛哥 1 處、南巴西 2 處) 物候期。開花日期 (flowering date) 在大部分西歐及摩洛哥都提前，而巴西與法國則維持不變。雖然無論何地，其開花期間 (flowering duration) 都維持不變，但暖溫帶地區均較溫帶地區為長。顯示隨著暖化，相對於溫帶，暖溫帶地區低溫需求漸漸不足，導

致開花較晚，花期也較長 (Legave *et al.*, 2015)。面對暖化，位在寒冷冬天的中國大陸北京，其低溫累積可滿足打破休眠的低溫需求，而春天之熱累積可能因暖化而受到促進，因此，板栗開花早晚受制於熱累積速率；位在溫帶氣候的德國 Klein-Altendorf 地區，櫻桃開花早晚則受制於低溫累積與熱累積兩者的速率；相反地，位於溫和冬天的美國加州，核桃之展葉則較受制於低溫的累積速率 (Luedeling *et al.*, 2013)。

13. 中國大陸陝西咸陽蘋果產區溫度升高、降水與日照時數減少，物候期提前，暖冬導致病害孢子、蟲卵越冬基數提高；降水減少造成旱災發生頻繁，高溫果實熱害，低溫霜凍不利開花著果及幼果生長 (馬等，2011)。
14. 中國大陸為桃子原產地，約有 600 個品系 (俞等，2019)，低溫需求介於 200-1,200 小時，大部分品種介於 200-900 小時。河南鄭州 1983-2012 年間每 10 年減少 85 冷單位 (CU)，每升 1°C，冬天減少 121 CU。鄭州春季提早來到，而秋季延遲結束，導致生長季延長。過去 30 年間，桃子開花日期提早 11.1 天，落葉延遲 8.7 天，導致生長季延長 19.8 天。每 10 年溫度升 0.67°C。相對地，若冬季低溫不足，則開花日期推遲 (Li *et al.*, 2016b)；冬天低溫不足，桃子延緩開花，而且果實較長、較尖 (Li *et al.*, 2016a)。
15. 釀酒葡萄注重風土 (Terroir)。法國 Alsace 地區 'Riesling' 品種在過去 70 年來，各物候期提早日數：萌芽 10 天，開花 23 天，果實變換期 39 天，採收 25 天 (van Leeuwen *et al.*, 2019)。波爾多地區 1952-1997 年間各物候期都提前，物候期間多縮短，但生長期延長。'Merlot' 和 'Cabernet Sauvignon' 糖酸比提高 (酸度降低顯著)，果重增加，釀酒品質提高 (Jones and Davis, 2000)。以 1600-2007 年較長期觀察，法國、瑞士等西歐地區釀酒葡萄在過去較早年代若提早採收，均為春夏高溫伴隨乾旱；但 1981-2007 年提早採收，卻僅由溫室氣體濃度提升所引發的高溫即可達成，顯示近年早收原因，乾旱已和升溫脫鉤 (Cook and Wolkovich, 2016)。歐洲地區推估萌芽、開花、果實成熟、採收等物候期均提早；南部地區缺水乾旱將日益嚴重，勢必降低產量，又提早成熟，品質降低；相反地，北部地區則可能因暖化提高產量 (Fraga *et al.*, 2016)。

西歐和中歐之高品質釀酒葡萄將向北推移 (Cardel *et al.*, 2019)。澳洲釀酒葡萄一些栽培地區的低溫需求不足，萌芽延遲；從萌芽到採收日數縮短，進而影響品質 (Webb *et al.*, 2007)。

16. 印度之仁果類與核果類提早萌芽開花，溫度提高，柑橘、葡萄提早成熟，草莓走莖增加，果實減少，高溫多濕促進蘋果、杏子、櫻桃日燒或裂果，高溫促進荔枝裂果，缺水、高溫不利香蕉生長；蘋果生產總產量雖增加，但每公頃產量卻由 10.8 降到 5.8 公噸 (Datta, 2013)。喜馬拉雅山脈暖化速率較全球高 2-3 倍，冰河退縮，季風雨季 (monsoon) 前乾旱將更嚴重。遺憾當地居民排碳量不高，卻須承受高碳暖化之害 (Singh and Gumber, 2018)。印度之蘋果多栽於喜馬拉雅山脈之 Himachal Pradesh 1,500-3,000 公尺海拔山區，為排名第 6 果樹，1963-2007 年間，降雪少了，最高溫和最低溫分別增加 0.58°C 和 2.75°C。多數品種需要 1,000-1,600 小時低溫，低溫需求不足，面積減少，單產降低；灌溉水缺乏，蒸發散速率提高，樹體致死率增加 (Singh *et al.*, 2016)。
17. 低溫和土壤適度乾旱裨益常綠果樹花芽形成，若氣溫或雨量失常，則無法開花或調節產期；開花期遭遇寒流或陰雨不利昆蟲授粉，著果不良；幼果生長期遭遇乾旱容易落果，或果實生長不佳。芒果低於 17°C，花粉發育不良，低溫不利兩性花形成；氣溫影響營養抽梢頻率，高溫多雨助於抽梢，而不利花芽形成 (Rajan, 2012)。
18. 二氧化碳濃度增加，柑橘光合作用增強，可以部分抵消其他逆境的不良反應，不過，適當質、量的灌溉水將是柑橘業發展的瓶頸。選育耐乾旱、鹽化、淹水、高溫、低溫和能有效利用二氧化碳的品系 (Vincent *et al.*, 2020)。為了因應未來增加的灌溉需要，西班牙安達盧西亞柑橘產區利用土壤、水分、大氣條件和植物模型，模擬 2008 年調節限水灌溉園，進而預估氣候變遷 2050 年和 2080 年之需水增加量，分別增加 6% 和 16% (Martínez-Ferri *et al.*, 2013)。
19. 美國佛羅里達州曾為世界最大甜橙濃縮汁產區，因接連凍害與颶風導致該產

業競爭力降低 (Miller and Glantz, 1988 ; Ferrarezi *et al.*, 2020)。

20. 鳳果 (mangosteen) 須一段乾旱助於花芽形成，而裨益產期調節，但泰國南部 2010 年經長期乾旱後緊接於夏季 6-7 月降雨，導致抽梢而無法產調，即氣候變遷影響鳳果物候期與開花 (Apiratikorn *et al.*, 2012)。
21. 泰國之龍眼產期調節，在新梢或花穗生長初期碰到「熱風」，新梢生長受阻，爾後花芽形成率減少 80%；所形成的花穗亦無法順利開花 (Pichakum *et al.*, 2020)。
22. 高溫、淹水、颶風、冰雹與霜害造成澳洲芒果、鳳梨和荔枝的中度減產 (Haque *et al.*, 2020)。中國大陸熱帶果樹遭遇氣候異常，如氣溫和雨量變動懸殊、乾旱或颱風頻率高、暖冬、寒冬或寒春等 (Chen, 2012)。
23. 分析 27 個國家 (佔 86% 世界總產量) 自 1986 年以來之香蕉產量變化。每年平均增產 $1.37 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，爾後則依不同氣候變化情境，預測 2050 年將降至 0.59 與 $0.19 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。其中馬來西亞、巴拿馬、尼加拉瓜、巴西和哥倫比亞為高風險區，而印度、中國、拉丁美洲、澳洲、印尼和菲律賓為「可適應」區，大部分非洲、厄瓜多爾與宏都拉斯則為「得利」區。但本分析並未考慮極端天氣或所導致引發的病害 (Varma and Bebbber, 2019)。因變得較熱、較乾，中美洲及南美洲之西北地區預測 2060 年將有 50% 土地不再適合栽培香蕉，香蕉栽培預計減少 19%，但墨西哥栽培面積將增加 (Machovina and Feeley, 2013)。印度之香蕉產業也將遭遇缺水和高溫問題，葉斑病將更嚴重 (Ravi and Mustaffa, 2013)。以 Global Environmental Stratification (GENS) 分析預測尼泊爾地區香蕉栽培，隨氣溫提升，2050 年適宜栽培面積增加 40%，並希望能和咖啡混合栽培 (Ranjitkar *et al.*, 2016)。
24. 隨氣候變遷，紅龍果在中美洲生可望增加生產 (Sosa *et al.*, 2020)。
25. 病害：氣候變遷不僅改變病原菌發育階段與速率，也改變寄主抗病性，進而改變病原菌和寄主間交互作用之生理 (Coakley *et al.*, 1999)。無可避免地，氣候變遷影響植物病害導致的損失、病害管理策略和病原的地理分佈 (Chakraborty *et al.*, 2000)。

26. 氣候變遷影響土壤有機質含量，尤以表層土壤為然；必須設法提高農田碳儲匯，尤其是較底層土壤 (Albaladejo *et al.*, 2013)。

果樹栽培對氣候變遷之適應(adaptation)方式-容忍

1. 妥善利用 BBCH(Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie) 調查因氣候變遷造成果樹物候期的改變 (Rajan *et al.*, 2013)。
2. 加強配合長期氣候變遷與極端天氣變化研究與相關災害風險評估，闡明上述變化或災害對果樹生育的可能影響 (Thornton *et al.*, 2014)。
3. 果樹物候期隨著暖化而變化，必須研發適當模型並加以長期追蹤，進而研討遺傳與環境因子對於物候表現的影響 (Atauri *et al.*, 2017)。亦即研發適當的影響評估模擬模型 (simulation models for impact assessment)，預測和推估氣候變遷對果樹生育可能影響，進而就地策劃氣候智慧 (climate-smart) 果樹栽培。果樹近年來雖開始有相關物候模型研究，但仍少有將打破休眠模型整合成果樹作物模型，而此乃果樹如何面對氣候變遷所亟需 (DeJong, 2019)。作物生長模型 (crop modeling) 主要從一年生作物發展出來，並已融合於氣象變遷研究 (Fodor *et al.*, 2017)。其中 WOFOST(van Diepen *et al.*, 1989) 已使用 30 年，最近試用於棗子不同灌溉量的生長研究 (Bai *et al.*, 2019)。總之，藉由人工智慧、大數據和機械學習，有效整合作物遺傳、生理和對環境的複雜性，冀能妥善因應氣候變遷 (Langensiepen *et al.*, 2020)。
4. 利用作物模擬模型，聯結基因型和在不同環境下之表現型，進而協助果樹理想品種的選育 (Parent and Tardieu, 2014; Rötter *et al.*, 2015)；面對暖化，為正確時間打破休眠與開花，整合物候、遺傳、分子與氣候資訊等進行理想型 (ideotype) 設計與標誌輔助 (marker-assisted) 作物品種選育 (Wenden and Mariadassou, 2017)。利用生理生態之作物模型幫理想型品種選育，即將基因或數量性狀基因座 (quantitative trait locus, QTL) 納入生理生態模型，評估在多種不同環境下之表現 (Martres *et al.*, 2015)。為了選育適應高溫、缺水與生物逆境品種，首須鑑定出關鍵基因，進而利用標誌輔助選種與育種

(Gogorcena *et al.*, 2020)。如利用簡單重複序列 (simple sequence repeat, SSR) 標誌檢定 14 個東方李子地方品系，從偵測的 118 個基因中至少有 26 個基因與果實品質、植物生育和逆境抗性有關，有助於抗逆境育種 (Acuña *et al.*, 2019)。最近出版之 *Genomic Designing of Climate-Smart Fruit Crops* 一書，針對杏仁、蘋果、杏子、香蕉、櫻桃、柑橘、可可椰子、葡萄、桃子及薔薇科漿果類等果樹，說明藉由分子輔助育種或基因體設計，冀能對變遷的氣候智慧應對或富韌性 (climate-smart or climate-resilient)(Kole, 2020)。

5. 落葉果樹低溫需求不足。

5.1. 如何評估果樹低溫需求？在人為控溫環境如何評估低溫需求？雖一般多用 50% 萌芽，但建議如甜櫻桃高達 90% 萌芽才不至於低估 (Campoy *et al.*, 2019)。美國加州中央谷地利用 4 種模型 (Chilling Hours, Utah, Positive Utah 與 Dynamic models)，依據 1950 年與 2000 年低溫時數預測 2041-2060 年低溫狀況，依模型的不同，低溫時數減少 14-33% 間，不過，強調選別適當低溫模型的重要性 (Luedeling *et al.*, 2009)。澳洲利用 4 種低溫需求累積計算模型探討溫帶果樹主要產區過去 100 年低溫累積之趨勢，顯示均減少。強調須利用多種模型估算，以免失準 (Darbyshire *et al.*, 2011)。各模型間無法換算；若使用的低溫模型不準確，則預測失準，建議比較全球使用的各種冬天低溫模型 (chill models) 相容性 (Luedeling and Brown, 2011)，又應共同研擬較佳能讓大家普遍接受的低溫累積與休眠模型 (chilling accumulation and dormancy models)，俾利由數量上探討因應計畫 (Luedeling, 2012)。亦即如仁果類利用不同的開花模型預測盛花期，所選用的低溫需求預測應更符合所對應的生理過程 (Darbyshire *et al.*, 2014)。

5.2. 落葉果樹休眠低溫需求不足，萌芽延遲、萌芽率低、開花和展葉不整齊及花芽脫落等。可採用熱帶或亞熱帶地區栽培落葉果樹的作法，如選用低需冷性品種、利用化學藥劑打破休眠、冬季灌溉干擾、除葉及雙遍修剪等 (Pio *et al.*, 2019)。不過，最好能選育較低低溫需求品種。若高日溫

阻礙萌芽，可用樹頂噴水及遮陰之栽培技術；或利用化學藥劑：硝酸鉀、hydrogen cyanamide、thidiazuron([TDZ] N-phenyl-N-1,2,3-thiodiazol-5-yl-urea) 與礦物油混施等。另外，熱帶地區栽培低需冷性品種，可配合休眠逃避 (dormancy avoidance)，在尚未進入內生休眼前，予以完全除葉，促進萌芽而持續生長。隨氣候暖化，落葉果樹分佈雖可往較高緯度或海拔地區移動，但對於現有產區 (尤其是暖溫帶) 不利，花期不一，導致授粉樹授粉困難。對暖溫帶地區，選育較低低溫需求品種配合休眠打破藥劑乃是上策 (Campoy *et al.*, 2011)。

- 5.3. 以櫻桃為例，首次利用碳水化合物、水分狀態、溫度及低溫時數區分休眠不同階段 (Kaufmann and Blanke, 2017)。 *Prunus* 屬中桃子、杏子與甜櫻桃之開花和果實成熟期由遺傳決定，覓得數個 QTL，它們不受氣候變異影響，因此可用來選育適應爾後氣候變遷理想型之選育 (Dirlewanger *et al.*, 2012)。如甜櫻桃開花日期之物候特性受到低溫需求和熱需求的影響，其中低溫需求受遺傳基因控制，而熱需求則呈現遺傳 × 環境作用，經由此研究可進而研發適應氣候變遷之理想型 (Castède *et al.*, 2014)。希望能覓得耐逆境之關鍵基因，進而利用標誌桃子選種與育種 (Gogorcena *et al.*, 2020)。
6. 設法闡明熱帶和亞熱帶果樹低溫、乾旱促進開花的機制，進而促進開花：如設法闡明乾旱與低溫促進荔枝開花的分子學機制 (Shen *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017)。
7. 設法減少高溫、強光、乾旱等逆境。
 - 7.1. 日本果樹產業適應策略：第一階段忍受高溫 (如疏果、環刻、遮網)；第二階段選擇品種與育種 (‘Kinshu’ 和 ‘Beniminori’ 蘋果，‘Morinokagayaki’ 黃蘋果，無著色問題；‘Queen Nina’ 和 ‘Gross Krone’ 葡萄；‘不知火’、‘瀨戶香’；‘Harehime’ 和 ‘Mihaya’ 柑橘品種)；第三階段栽培地區遷移 (蘋果、桶柑) (Sugiura, 2019)。
 - 7.2. 美國加州果樹遭受熱或高溫之害：灌溉、栽培地管理 (如草生栽培、遮

陰網、葡萄園東北 - 西南走向和改變園籬式樣增加遮陰、重找栽培地)、品種選育(低需冷、抗旱鹽根砧、野生品種收集分類與利用如美國農部農業研究服務網的種源庫 (USDA Agricultural Research Service germplasm repositories, USDA ARS)(Parker *et al.*, 2020)。

7.3. 澳洲仁果類產區將遭遇熱浪高溫導致果實日燒，需要降溫並保護果實。如考慮栽培行向、設法增加保護果實的葉片、遮網、噴灑黏土基質材料、樹冠頂端噴水等 (Thomson *et al.*, 2014)。

7.4. 釀酒葡萄：高溫，建議選用促進晚熟的砧木、選用晚熟性品種或品系，改變栽培方式如增加主幹高度、減少葉 / 果比、拖延修剪時間、遷移到較高緯度產區等，俾確保如往常季節採收。乾旱：耐旱植物材料，改變整枝系統(如 goblet or bush vines，園籬式整枝系統行間加大)，選用含水量較高的土壤、採限水滴灌等 (van Leeuwen *et al.*, 2019)。

7.5. 熱帶果樹(如芒果)：溫度可能升到灼熱程度，乾旱也較嚴重，淹水、鹽害加重，颶風增多；高溫促進間歇性抽梢，頻率提高，枝梢停止延緩；果實生長速率提高。可移往較適宜地區生產，研究逆境生理如高溫、乾旱、光和鹽害，品種選育，耐高溫、乾旱及強光等，並可在較高溫度開花，根砧篩選，加速研發初期表現型方法 (early phenotyping methods)；果園管理改善，如灌溉、調控樹冠和開花、創造適合生育的微氣候等，研發芒果作物模型 (mango crop model) 等 (Normand *et al.*, 2015)。

8. 降低低溫、霜害等低溫傷害。

8.1. 蘋果園為防晚霜，樹冠上部噴灌，試著利用野生蜂協助授粉，雖殺草劑仍盛行，但試著利用鋸木屑或植物性堆肥覆蓋，頂覆防冰雹之細網，因細網遮陰，不利著色，披覆反光材料 (Solomakhin and Blanke, 2007; Blanke, 2008)。在防冰雹網之蘋果園內，採收前 4-5 週地面鋪設反光材料，促進果實著色 (Meinhold *et al.*, 2011)。「Jonathan」蘋果採後，經 450 nm 波長藍光照射 4 天，花青素顯著提高，而「富士」效果低 (Arakawa *et al.*, 2016)。

- 8.2. 加拿大東部果樹產區於 21 世紀中期預計升溫 2-6°C。秋天早霜將遲緩降臨約 16 天，春天最後一次晚霜將提早 15 天結束；早霜減少，仲冬凍害亦較少；雖然仍會碰到冬天融雪，導致耐寒性降低易罹極端冷凍之害。暖化，不僅可在目前產區添加新品種或種類，也可往北推進 (Rochette *et al.*, 2004)。
- 8.3. 美國加州杏仁、酪梨、甜橙因暖化降低霜害頻率，進而減少防霜噴灌所需用水 (Parker *et al.*, 2021)。
9. 探討氣候智慧型作物 (Climate-smart crops)：如印度建議 phalsa、pumello、bael、wood apple、aonla、karonda、barbados cherry、紅龍果、石榴與無花果等可適應變遷氣候環境 (Mani and Suresh, 2018)，西班牙乾旱或半乾旱地區建議栽培刺梨 (*Opuntia*) (Andreu-Coll *et al.*, 2020)。
10. 改變果樹栽培方式如更換整枝修剪模式，改善樹冠架構、設施栽培、混合栽培、高密度栽培等，藉以改變果園微氣候；果園覆蓋、草生栽培、施用有機肥、土壤保育等，俾減少土壤流失並增加土壤有機質。
11. 草莓除了原有短日 ‘June bearing’ 品種外，經由中日性終年結果、低需冷性品種選育、利用穴植苗木、塑膠棚架及溫室等手段，在變遷氣候挑戰下，仍能滿足歐洲全年需求 (Neri *et al.*, 2012)。
12. 就地貯存降雨或開發水源 (Pandey *et al.*, 2003)，循環利用都市廢水。計算果園水足跡 (Bazrafshan *et al.*, 2019)，改善灌溉系統，進行節水灌溉或限水灌溉 (Dichio *et al.*, 2011; Campi *et al.*, 2020)。儀器測量水勢配合電腦控制，調節性限水灌溉 (regulated deficit irrigation, RDI) 能有效控制營養生長但不影響果實產量 (Feres and Soriano, 2007)，釀酒葡萄效果明顯 (Chaves *et al.*, 2010)。除了 RDI，更因地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 與全球定位系統 (global positioning system, GPS) 的發展，研發精準灌溉 (precision irrigation)；加上物聯網 (Internet of Things, IoT) 的推廣，可進行遠端遙控。但須先明瞭作物水分狀態，方能決定灌溉時程，但量測植物水分狀態 (如莖部水勢、樹幹汁液流動、樹幹伸縮、葉片膨壓等) 儀器昂貴，果

農難負擔 (Fernández *et al.*, 2019)。不過，蘋果園嘗試利用水平衡方程式配合導電容量型土壤水分感測器自動校準程式 (an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors)，能達到滿意自動排程灌溉效果 (Domínguez-Niño *et al.*, 2020)。

13. 進行果園綜合營養管理：如水和氮肥為柑橘產量之二個限制因子，分析 11 個國家 55 個研究，中位數 (median) 產量 30-60 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，全球平均產量 10-30 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ；中位數之水分利用率 (WUE) 2.5-5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，中位數之氮利用率 (NUE) 150-350 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。分析若減少超用水量，仍能提升產量 20%、WUE30%、NUE15%，同樣地，減少施用過量氮肥，仍能提升產量 10%、WUE15%、NUE40%。亦即經由經由精準肥灌，同時考慮水和氮肥施用的最佳化，仍能增加產量、WUE 和 NUE(Qin *et al.*, 2016)。
14. 依據適地適種原則，進行果樹產區遷移規劃。隨氣候暖化，如 ‘Hayward’ 奇異果在紐西蘭主要產區 Te Puke，預計於 21 世紀末期冬天低溫已不敷需求，但其他地區可漸符合所需 (Tait *et al.*, 2018)。21 世紀中期，美國加州中央谷地不利杏仁果實生長，可轉往奧勒岡州西部之 Willamette 谷地 (Parker and Abatzoglou, 2018)。厄瓜多爾到 21 世紀末期氣溫可能提升 3.3°C，雨量增加，冰河緩衝降低，可能造成洪災，須移往約高 500 公尺山地栽培，屆時勢必伐林，而原來不適合栽培地點必須造林，以緩和氣候變遷 (FAO, 2016)。
15. 普遍設立即時、準確氣候 (天災) 預報系統服務農民。如 USDA Climate Hubs (<https://www.climatehubs.usda.gov/>) 設立數個地區性 Climate Hubs，提供及時相關氣象災害預警，提供農民因應氣候變遷之相關決策，希能減少損失。
16. 開辦合理可行之作物或農業保險，降低農民災害損失等。

氣候變遷加劇，作物保險愈顯需要；保險可減少災害風險；不過，農場作物多樣化可減少災害風險，甚可取代保險 (Falco *et. al.*, 2014)。依據聯合國氣候變遷綱要公約 (the United Nations Framework Convention on Climate Change) 條款 4.8，建議成員國考慮利用保險作為適應氣候變遷的工具，如

開發中國家，不僅須設立保險機構或組織，也須設立可信的災害風險管理制度 (Linnerooth-Bayer and Mechler, 2006)。擬籌措該保險制度之開發中國家可能遭遇各種挑戰 (Alam *et al.*, 2020)。印度農業保險雖已開辦近 20 年，但運作仍受訾議，因其利益未讓多數農民均霑 (Singh *et al.*, 2020)。

保險制度若設計得宜，當可提升對氣候變遷的韌性。不過，應將保險當做適應策略之一，而非與適應分離或甚至取代適應；對各種災害風險予以詳細、確實評估，實施公正而有效，否則保險形同補助，喪失降低風險的本意，反而減弱農民適應氣候變遷的能力 (Surminski *et al.*, 2016) 或同時降低創新的原動力 (Miao, 2020)。有建議農業保險乃是針對全場，而不僅單對作物 (Ames and Dufour, 2014)。另外，氣候變遷帶來的災害日增，雖增加保險業者機會，但也增加如荷蘭保險公司對淹水與強降雨引起的經濟損失 (Botzen *et al.*, 2010)。

果樹栽培對氣候變遷之緩和(mitigation)方式-防止或延緩

1. 有效管理與利用自然資源，果園操作節能減碳：配合機械化、自動化和智慧農業，合理、精準使用非再生能源，充分使用再生性能源，資源盡可能循環利用。
2. 土壤保育，加強果園碳儲匯功能。

果園具有緩和氣候變遷的功能，以西洋橄欖為例，每年果樹生質固定 $0.36-2.78 \text{ tonCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ，土壤約 8.5 公噸。土壤碳復可提升增加孔隙度、滲水能力與減少土壤沖蝕 (Montanaro *et al.*, 2018)。為因應氣候變遷，土壤成為全球性碳循環之重要議題 (Amelung *et al.*, 2020)。由於水文循環隨氣候變遷將更為劇烈，預測全世界土壤被水沖蝕增加 30-66%(Borrelli *et al.*, 2020)。土壤沖蝕對全球碳循環產生很大衝擊，並成為大氣 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 來源；應防止土壤衝蝕，並予以保育 (Lal, 2019)。利用再生型農業模式增加土壤有機質含量，促進養分循環，俾增加土壤對氣候變遷的韌性 (Lal, 2014; Lal, 2020a; Lal, 2020b)。

地中海地區受氣候變遷衝擊高 (Cramer *et al.*, 2018)，發生季節性乾旱，土壤有機質含量低；保育性耕犁與外加有機質可增加土壤碳儲匯 (Aguilera *et al.*, 2013; Morugán-Coronado *et al.*, 2020)。西班牙地中海氣候區之果園進行草生栽培，最初 20 年可增 0.44 百萬 $\text{gC}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，外部添加都市有機廢棄物可增 0.09 百萬 $\text{gC}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，外部添加都市有機廢物和農業有機堆肥可增 0.13 百萬 $\text{gC}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ ；動物廐肥進行沼氣無氧發酵或製作堆肥，可減少 4.3(無氧)與 1.1(堆肥化) $\text{TgCO}_2\cdot\text{yr}^{-1}$ 相當等量之排放 (Pardo *et al.*, 2017)。地中海地區果園經由減少或不耕犁、草生栽培、枝條回田、增施有機肥等提升土壤有機碳存量 (Montanaro *et al.*, 2017)。希臘之西洋橄欖園添加有機堆肥、枝條與榨油後果渣回田可提升土壤碳儲匯，減少碳足跡；合理每年修剪，可調控營養和生殖生長 (Michalopoulos *et al.*, 2020)。義大利(地中海氣候)桃子園嘗試利用零耕犁、割草、保留地上部殘留與添加有機物等較永續性管理，雖增加土壤 CO_2 釋放量，但提升土壤有機碳量 (Montanaro *et al.*, 2012)，有效增加碳帳 ($730 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ 對 $90 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$) (Montanaro *et al.*, 2017)。中國大陸廣州亞熱帶果園種草 10 年，地表 1 公尺土壤碳儲匯增加 $2.85 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Liu *et al.*, 2013)。柑橘園種草覆蓋有效減少強降雨對土壤的沖刷 (Duan *et al.*, 2020)。美國農部設立草生栽培與土壤健康 (Cover Crops and Soil Health) 服務網站供參 (<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/climatechange/?cid=stelprdb1077238>)。

3. 以農業生態原則設計對氣候變遷具有韌性的農業生產系統 (climate-resilient farming systems)。縱使改變單一栽培 (monoculture)，也僅能短暫治標，根本之道乃在設法建立農民和農村的韌性。方法：建立農業生態系統的多樣性，如多樣化栽培、農林栽培 (agroforestry)、種養結合等，並結合土壤有機管理、水源保育及匯集與農業生物多樣性等 (Altieri *et al.*, 2015)。中國大陸陝西渭北高原澄城縣東馬店村的五配套生態果園模式 - 沼氣子系統、太陽能暖圈子系統、集水貯水子系統、節灌保墒子系統以及蘋果種植子系統 (張等，2018)。熱帶地區糊口農業 (subsistence agriculture) 之小農對氣候變遷適應力低，而農

林栽培值得採用 (Verchot *et al.*, 2007)；因其可更有效利用水資源，改善微氣候，提升養分循環與土壤生產力，控制病蟲害，改善農場生產力，在儲匯碳同時，也助於農場財務收入和多樣化 (Lasco *et al.*, 2014)。氣候變遷下，越南穀類生產威脅大，可鼓勵多用途家庭農林混種園 (Nguyen *et al.*, 2013)。農林混種又可增加碳源，改善土壤肥力和當地氣候 (Mbow *et al.*, 2014)。縱使單一栽培園相普遍如歐洲者，仍鼓勵農林栽培 (Eichhor *et al.*, 2006)。不過，初建農林混合栽培制度，需重新考量園相，以蘋果為例，其樹形原多以單一作物高密度果園設計，一旦擬成混合體系，必須在植物種類、樹體結構等重新思量 (Lauri, 2019)。有關農業生態設計，可參考聯合國糧農組織的 Agroecology Knowledge Hub (<http://www.fao.org/climate-change/programmes-and-projects/detail/en/c/461247/>)，或 Climate-Smart Agriculture (<http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/en/>)。

4. 提升與強調果園之生態系統服務 (ecosystem service) 功能：農業本身就具有碳匯功能，而不是源 (劉, 1998)。果園本身充當碳儲匯、氣體交換和營養分之緩衝與過濾 (Clothier *et al.*, 2013)。蘋果樹體本身也為碳儲匯容器，中國大陸蘋果栽培面積 199 萬公頃，1990-2010 年間其所有蘋果園淨碳匯 (sink) 為 14-32 Tg，而碳以生質儲存者為 230-475 Tg，相當於中國大陸陸生生態系統淨碳總值之 4.5% (Wu *et al.*, 2012)。印度之所有芒果果園儲匯 285.005 百萬公噸碳 (Ganeshamurthy *et al.*, 2019)。地中海型氣候區的西洋橄欖果園一年碳交換淨值為 11.60-13.45 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Nardino *et al.*, 2013)。紐西蘭嘗試利用生命週期評估 (life cycle assessment, LCA) 進行碳足跡計算，以評估果園管理模式對溫室氣體的排放或儲匯的影響 (Page *et al.*, 2011)。園內多樣草生栽培 (10 種) 能減少土壤流失，並增加節肢動物族群和害蟲天敵 (Gómez *et al.*, 2018)。或認為僅添加有機肥無法長期展現土壤有機質功能，而主張變換成整合型土壤肥力管理 (Integrated Soil Fertility Management, ISFM)，包括微生物製劑 (生物肥料)、無機肥料與有機肥等，利用微生物之協同作用 (synergism) 形成微生物之集團 (consortium)，可以促進土壤健康，接近對氣候具有韌性之土壤肥

力管理 (Srivastava *et al.*, 2021)。總之，果園具有生態系統服務功能，如果實生產、氣候調節、土壤氮肥有效性、水文調節、病蟲害控制和授粉等，主要可以儲匯碳 $2.4-12.5 \text{ tonC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ，也可維護生物多樣性，吾人需隨時檢視各種農業操作對該服務功能的影響 (Demestihis *et al.*, 2017)。

5. 有機栽培、生態栽培：西班牙地中海氣候區果園（柑橘、葡萄、西洋橄欖等）進行有機栽培，因草生栽培及修剪枝條回田，土壤碳儲匯增加；與慣行農法比較，溫室氣體釋放量以面積計，減少 56%，以產品計，減少 39% (Aguilera *et al.*, 2015)。降低滴灌頻率和覆蓋碎樹皮減少加拿大半乾旱地區蘋果園 N_2O 釋放量 (Fentabil *et al.*, 2016)。不過，與其選擇何種對環境健全的農耕系統，倒不如探討該系統對環境產生的影響來得重要，例如較低能源投入，水質生態中毒或污染、水質優氧化等 (Mouron *et al.*, 2006)。如在防冰雹蘋果園，為促進果實著色，以可重複利用的鋁箔或白色紡織品取代塑膠布，可減低溫室氣體釋放量 (Hess *et al.*, 2021)。
6. 計算果園生態效率 (eco-efficiency)、碳足跡等：提升果園生產生態效率，不僅減少對環境衝擊，還能獲利 (Müller *et al.*, 2015)。利用 ISO 14067:2018 (Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification) 計算與比較永續性與慣行農法經營果園之碳足跡 (Lardo *et al.*, 2018)。在杏子及桃子園施行不耕犁、修剪枝條覆蓋地面、草生栽培機械除草，每年施用 10 公噸堆肥。每年可減少 $2.7 \text{ tonCO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ，大部分歸功於土壤碳儲存，建議可在義大利果園推廣，尤其堆肥製作 (Fiore *et al.*, 2018)。以 LCA 計算不同果實（蘋果、梨、桃、橘子、香蕉）生產過程碳足跡，投入方面，化學合成氮肥佔比超過 50% 之溫室氣體排放量 (Yan *et al.*, 2016)。另外，可用 LCA 計算果實從生產、運銷、消費到廢棄物處理過程之碳足跡 (Kilian *et al.*, 2012; Vinyes *et al.*, 2017)，並以之作為減少果園碳排 (Guo *et al.*, 2018) 或綠色行銷 (Peano *et al.*, 2015) 的依據。總之，計有 4 種常用的果園環境影響評估方式，即 LCA 評估、生態足跡分析 (Ecological Footprint Analysis)、能值分析 (Emergy Analysis) 及能量均衡 (Energy Balance) (Cerutti *et al.*, 2011)。美國農

業部 (USDA) 也公布碳管理評估工具 (Carbon Management Evaluation Tool, COMET-FARM)(<http://comet-farm.com/>)，希望幫助農民計算他們農地中的土壤和植被可移除多少大氣中的碳。為何如此費心於土壤碳儲匯或計算碳足跡？答曰：監測土壤碳量，將有助農友應付可能到來的「碳交易系統」(carbon trading system)(Suddick *et al.*, 2013)。無論是碳總量管制與交易制度 (cap and trade) 或是課徵碳稅 (carbon tax)，可能成為減緩全球暖化的有效工具（諾德豪斯，2019）。

國外相關作為對臺灣果樹栽培的啓示

1. 臺灣地區過去 100 年暖化 1.0-1.4°C (Hsu and Chen, 2002)，暖化速率遠高於全球同期平均之 0.3-0.6°C (Weng, 2010)；若 CO₂ 濃度提升到 1961-1990 年之 1.9 倍，相對於同期平均溫，預計氣溫提升 0.9-2.7°C (Hsu and Chen, 2002)。另外，自 1901 年，臺灣地區的平均日照時數下降，日平均最高溫卻增加；而日較差 (diurnal temperature range, DTR) 則逐漸下降。所謂日較差係指白天最高溫 (T_{max}) 與夜晚最低溫 (T_{min}) 的差 (黃和翁，2011)。DTR 降低原因係 T_{min} 上升趨勢大於 T_{max} 上升趨勢 (Liu *et al.*, 2002；黃和翁，2011)。預測臺灣熱浪來襲頻率增多；熱浪期間，不僅 DTR 大、T_{min} 高，整個夜間溫度也高 (Kueh *et al.*, 2017)。
2. 過去 100 年間，臺灣中部 (Yu *et al.*, 2006)、南部 (Hsu and Chen, 2002; Yu *et al.*, 2006) 雨量漸減。1960-2010 年間，年總降雨量，臺灣西半部由北而南減少，而東部則由南往北呈現減少趨勢 (鍾等，2009)。臺灣一年總降雨時數減少，但降雨強度增加，洪災嚴重 (Liu *et al.*, 2002)。亦即全臺年降雨天數逐年降低，導致降雨延時縮短、降雨集中、強度更強，使得瞬時暴雨量增大，而乾旱也將逐年嚴重 (鍾等，2009)。小雨發生頻率漸減而強降雨漸增；強降雨頻率增加，其降雨強度增加，延期亦較長，尤以颱風期為然 (Tu and Chou, 2013)。總之，預期臺灣洪災、逕流、土壤衝蝕、乾旱等將日益嚴重。
3. 臺灣跨處亞熱與熱帶氣候區，又山岳垂直高度懸殊，溫差大，熱帶、亞熱帶

與溫帶諸多果樹薈萃寶島。因應氣候暖化，或位移往更高海拔山區栽培；但山地土壤瘠薄，涵養肥水差，不僅不耐乾旱，若疏忽保育，反加速暴雨侵蝕土壤，得不償失。

4. 溫帶果樹休眠打破，亞熱帶或甚至熱帶果樹營養梢或花芽形成，均深受氣溫影響；建議妥善利用國際通用的 BBCH(Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie)，逐年詳細調查因氣候變遷或暖化造成臺灣各類果樹物候期的改變，唯有如此，方能進一步思考因應策略。
5. 高溫雖可促進果實生長，果實較大，但果實酸度可能較低，而可溶性固形物不見得提高。日夜溫差大，助於果實成熟期碳水化合物之累積；高夜溫反而促進呼吸作用，加速有機酸代謝，不利可溶性固形物累積。高溫若加上土壤高濕、高肥，植株營養生長旺盛，果實品質易劣；又高溫加上強光，果實日燒可能較嚴重，上述推論有待在臺灣地區論證與確認，並予以改善。
6. 臺灣地區高溫、暴雨、乾旱、缺水等頻率將日益增加，唯有設法提高果樹的韌性才能克服該等逆境，除選育抗逆境品種外，應鼓勵果園土壤保育，阻止土壤流失，「有土斯有財」。草生栽培，果園生質回土，增施有機肥，提高土壤碳儲匯功能，改善土壤物理性、化學性和生物性。不僅減緩氣候變遷，還因增加土壤有機質，土壤孔隙度隨之提高，進而增加換氣率、滲水率，提高保水、保肥力。另外，增加貯水設施，改善節水灌溉等。如此，果樹根群生長不僅密度高，而且廣而深，當可提高韌性。
7. 果樹栽培或果園經營是一種系統性的管理科技，除了陸續選育抗逆境優良品種外，希能了解果樹在各種生態環境的生理活性，整合改善栽培管理，藉以適應或緩和氣候變遷。

結語與建議

1. 國外關於氣候變遷對果樹栽培影響之研究雖已進行多年，但氣候變遷隨經濟發展，仍如影隨形，影響層次將愈來愈廣而深。我們宜加強與改善逐一果樹產業對氣候變遷管理所需的知識和能力，就如澳洲對鳳梨釋迦 (custard apple)

產業的分析那般 (Deuter, 2011)。

2. 一般而言，愈靠近熱帶地區，氣候變遷對農業的衝擊將較廣、較深。但臺灣農業或水果產值佔全部經濟發展總值比例不高，面對氣候變遷衝擊，預計可撥用財力、物力不豐，勢必須集中有限資源做最有效運用。
3. 建議加強援用或創建適當作物生長模型，結合氣候預測模型，預測和推估氣候變遷對果樹生育可能影響，進而策劃因應措施。
4. 氣候變遷挑戰才剛開始，氣候變遷是動態的，而且還有太多的未知數，唯有抱著學習的態度，針對問題，依據數據、實證解決問題，估計機會與社會成本，提升投入效率與精確度，少做無謂的浪費 (Zilberman, 2018)，但應提升全民 (含果樹從業者) 因應氣候變遷的意識與準備。
5. 參照美國北加州釀酒葡萄園應對氣候變遷，或依個人經驗做短期或立即性調整，如改變栽培或釀酒方法，較容易操作而達成目標；但對較廣層次者，如品種改變，則須群策群力、個人和政府長期投入，以建立較可行的策略俾降低對氣候變遷的衝擊 (Nicholas and Durham, 2012)。
6. 因應氣候變遷，除考慮果樹育種、栽培等技術層面外，建議同時綜合各種社經因素做全面考量 (Jackson *et al.*, 2011)。

參考文獻

- 俞明亮、王力榮、王志強、彭福田、張帆、葉正文. 2019. 新中國果樹科學研究 70 年 - 桃. 果樹學報 36: 1283-1291。
- 馬延慶、劉新生、馬文、李鵬利、千瓊麗、楊曉云. 2011. 氣候變化對咸陽蘋果生產的影響及對策研究. 乾旱地區農業研究 29 (2): 259-265。
- 黃燕儀、翁叔平. 2011. 臺灣地區日較差的百年變化 (1901-2008). 大氣科學 39: 69-82。
- 張從光、韓建聰、邱凌、朱銘強、成嘉. 2018. 基於能值方法的「五配套」生態果園可持續性評價. 農業環境科學學報 37: 276-285。
- 劉允芬. 1998. 中國農業系統碳匯功能. 農業環境保護 17: 197-202。

- 諾德豪斯 (W. Nordhaus) 著、劉道捷譯。2019. 氣候賭局：延緩氣候變遷 vs. 風險與不確定性，經濟學能拿全球暖化怎麼辦？ (The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world.). 日月文化出版，臺北市。
- 鍾侑達、郭峻昌、陳昶憲。2009. 臺灣區域降雨趨勢分析。農業工程學報 55: 1-18。
- Acuña, C. V., J. G. Rivas, S. M. Brambilla, T. Cerrillo, E. A. Frusso, M. N. García, P. V. Villalba, N. C. Aguirre, J. V. S. García, M. C. Martínez, E. H. Hopp and S. N. M. Poltri. 2019. Characterization of genetic diversity in accessions of *Prunus salicina* Lindl: keeping fruit flesh color ideotype while adapting to water stressed environments. *Agronomy* 9(9) : 487.
- Aguilera, E., G. Guzmán and A. Alonso. 2015. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 725-737.
- Aguilera, E., L. Lassaletta, A. Gattinger and B. S. Gimeno. 2013. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agric. Ecosys. Environ.* 168: 25-36.
- Alam, A. S. A. F., H. Begum, M. M. Masud, A. Q. Al-Amin and W. L. Filho. 2020. Agriculture insurance for disaster risk reduction: A case study of Malaysia. *Int. J. Disaster Risk Red.* 47: 101626.
- Albaladejo, J., R. Ortiz, N. Garcia-Franco, A. R. Navarro, M. Almagro, J. G. Pintado and M. Martínez-Mena. 2013. Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *J. Soils Sediments* 13: 265-277.
- Altieri, M. A., C. I. Nicholls, A. Henao and M. A. Lana. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 869-890.
- Amelung, W., D. Bossio, W. de Vries, I. Kögel-Knabner, J. Lehmann, R. Amundson, R. Bol, C. Collins, R. Lal, J. Leifeld, B. Minasny, G. Pan, K. Paustian, C. Rumpel, J. Sanderman, J. W. van Groenigen, S. Mooney, B. van Wesemael, M. Wander and A. Chabb. 2020. Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. *Nat*

- Commun. 11: 5427.
- Ames, G. K. and R. Dufour. 2014. Climate change and perennial fruit and nut production: Investing in resilience in uncertain times.
- Andreu-Coll, L., M. Cano-Lamadrid, L. Noguera-Artiaga, L. Lipan, Ángel A. Carbonell-Barrachina, B. Rocamora-Montiel, P. Legua, F. Hernández and D. López-Lluch. 2020. Economic estimation of cactus pear production and its feasibility in Spain. *Trends Food Sci. Tech.* 103: 379-385.
- Apiratikorn, S., S. Sdoodee, L. Lerslerwong and S. Rongsawat. 2012. The impact of climatic variability on phenological change, yield and fruit quality of mangosteen in Phatthalung province, southern Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 46: 1-9.
- Arakawa, O., S. Kikuya, P. Pungpomin, S. Zhang and N. Tanaka. 2016. Accumulation of anthocyanin in apples in response to blue light at 450 nm: recommendations for producing quality fruit color under global warming. *Eur. J. Hort. Sci.* 81(6): 297-302.
- Atauri, I. G. C., E. Duchêne, A. Destrac, G. Barbeau, L. de Resseguier, T. Lacombe, A. K. Parker, N. Saurin and C. van Leeuwen. 2017. Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. *OENO One, Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (Université de Bordeaux)* 51(2): 115-126.
- Bai, T., N. Zhang, Y. Chen and B. Mercatoris. 2019. Assessing the performance of the WOFOST model in simulating jujube fruit tree growth under different irrigation regimes. *Sustainability* 11: 1466.
- Baldocchi, D. and S. Wong. 2008. Accumulated winter chill is decreasing in the fruit growing region in California. *Climatic Change* 87: 153-166.
- Bazrafshan, O., H. Zamani, H. R. Etedali and S. Dehghanpir. 2019. Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Sci. Hort.* 250: 344-351.
- Blanke, M. M. 2008. Perspectives of fruit research and apple orchard management in Germany in a changing climate. *Acta Hort.* 772: 441-446.

- Borrelli, P., D. A. Robinson, P. Panagos and E. Lugato. 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 117: 21994-22001.
- Botzen, W. J. W., J. C. J. M. van den Bergh and L. M. Bouwer. 2010. Climate change and increased risk for the insurance sector: a global perspective and an assessment for the Netherlands. *Nat. Hazards* 52: 577-598.
- Campi, P., L. Gaeta, M. Mastrorilli and P. Losciale. 2020. Innovative soil management and micro-climate modulation for saving water in peach orchards. *Front. Plant Sci.* 11: 1052.
- Campoy, J. A., D. Ruiz and J. Egea. 2011. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Sci. Hort.* 130: 357-372.
- Campoy, J. A., R. Darbyshire, E. Dirlewanger, J. Quero-García and B. Wenden. 2019. Yield potential definition of the chilling requirement reveals likely underestimation of the risk of climate change on winter chill accumulation. *Int. J. Biometeorol.* 63: 183-192.
- Cardel, M. F., A. Amengual and R. Romero. 2019. Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. *Reg. Environ. Change* 19: 2299-2310.
- Castède, S., J. A. Campoy, J. Q. García, L. L. Dantec, M. L. Teresa, B. B. Wenden and E. Dirlewanger. 2014. Genetic determinism of phenological traits highly affected by climate change in *Prunus avium*: flowering date dissected into chilling and heat requirements. *New Phytol.* 202: 703-715.
- Cerutti, A. K., S. Bruun, G. L. Beccaro and G. Bounous. 2011. A review of studies applying environmental impact assessment methods on fruit production systems. *J. Environ. Manag.* 92: 2277-2286.
- Chakraborty, S., A. V. Tiedemann and P. S. Teng. 2000. Climate change: potential impact on plant diseases. *Environ. Pollu.* 108: 317-326.
- Chaves, M. M., O. Zarrouk, R. Francisco, J. M. Costa, T. Santos, A. P. Regalado, M. L.

- Rodrigues and C. M. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105: 661-676.
- Chen, Q. 2012. Adaptation and mitigation of impact of climate change on tropical fruit industry in China. *Acta Hort.* 928: 101-104.
- Chmielewski, F. M., K. Blümel and I. Páležová. 2012. Climate change and shifts in dormancy release for deciduous fruit crops in Germany. *Clim. Res.* 54: 209-219.
- Clothier, B. E., S. R. Green, K. Müller, R. Gentile, I. K. Herath, K. M. Mason and A. Holmes. 2013. Orchard ecosystem services: bounty from the fruit bowl. p. 94-101. In: Dymond JR ed. *Ecosystem services in New Zealand - conditions and trends.* Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.
- Cook, B. I. and E. M. Wolkovich. 2016. Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France. *Nat. Clim. Change.* 6: 715-720.
- Coakley, S. M., H. Scherm and S. Chakraborty. 1999. Climate change and plant disease management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37: 399-426.
- Cramer, W., J. Guiot, M. Fader, J. Garrabou, J. P. Gattuso, A. Iglesias, M. A. Lange, P. Lionello, M. C. Llasat, S. Paz, J. Peñuelas, M. Snoussi, A. Toreti, M. N. Tsimplis and E. Xoplaki. 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, Nature Publishing Group. 8: 972-980.
- Darbyshire, R., L. Webb, I. Goodwin and S. Barlow. 2011. Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. *Agric. For. Met.* 151: 1074-1085.
- Darbyshire, R., L. Webb, I. Goodwin and E. W. R. Barlow. 2014. Challenges in predicting climate change impacts on pome fruit phenology. *Int. J. Biometeorol.* 58: 1119-1133.
- Das, S. and A. Sharma. 2020. Crop modelling in fruit crops: A review. *Pharma Innovation J.* 9(11): 60-65.
- Datta, S. 2013. Impact of climate change in Indian horticulture- A review. *Intl J. Sci. Environ. Technol.* 2: 663-671.

- DeJong, T. M. 2019. Opportunities and challenges in fruit tree and orchard modelling. *Eur. J. Hort. Sci.* 84(3): 117-123.
- Demestihias, C., D. Plénet, M. Génard, C. Raynal and F. Lescourret. 2017. Ecosystem services in orchards. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37: 12.
- Deuter, P. 2011. Climate change- risks and opportunities for custard apple industry. The State of Queensland, Australia.
- Dichio, B., G. Montanaro and C. Xiloyannis. 2011. Integration of the regulated deficit irrigation strategy in a sustainable orchard management system. *Acta Hort.* 889: 221-226.
- Dirlewanger, E., J. Quero-Garcia, L. L. Dantec, P. Lambert, D. Ruiz, L. Dondini, E. Illa, B. Quilot-Turion, J. M. Audergon, S. Tartarini, P. Letourmy and P. Arús. 2012. Comparison of the genetic determinism of two key phenological traits, flowering and maturity dates, in three *Prunus* species: peach, apricot and sweet cherry. *Heredity* 109: 280-292.
- Domínguez-Niño, J. M., J. Oliver-Manera, J. Girona and J. Casadesús. 2020. Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agric. Water Manag.* 228: 105880.
- Duan, J., Y. J. Liu, J. Yang, C. J. Tang and Z. H. Shi. 2020. Role of groundcover management in controlling soil erosion under extreme rainfall in citrus orchards of southern China. *J. Hydrol.* 582: 124290.
- Eichhor, M. P., P. Paris, F. Herzog, L. D. Incoll, L. Fabien, K. Mantzanas, M. Mayus, G. Moreno, V. P. Papanastasis, D. J. Pilbeam, A. Pisanelli and C. Dupraz. 2006. Silvoarable systems in Europe-past, present and future prospects. *Agroforest. Syst.* 67: 29-50.
- Else, M. and C. Atkinson. 2010. Climate change impacts on UK top and soft fruit production. *Outlook on Agric.* 39: 257-262.
- Elbehri, A., G. Calberto, C. Staver, A. Hospido, L. Roibas, D. Skully, P. Siles, J. Arguello, I. Sotomayor and A. Bustamante. 2016. Ecuador's banana sector under

- climate change: An economic and biophysical assessment to promote a sustainable and climate-compatible strategy, FAO, Rome, Italy.
- Falco, S. D., F. Adinolfi, M. Bozzola and F. Capitano. 2014. Crop insurance as a strategy for adapting to climate change. *J. Agric. Econ.* 65: 485-504.
- Fentabil, M. M., C. F. Nichol, M. D. Jones, G. H. Neilsen, D. Neilsen and K. D. Hannam. 2016. Effect of drip irrigation frequency, nitrogen rate and mulching on nitrous oxide emissions in a semi-arid climate: An assessment across two years in an apple orchard. *Agric. Eco. Environ.* 235: 242-252.
- Fereres, E. and M. A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58: 147-159.
- Fernandez, E., C. Whitney, I. F. Cuneo and E. Luedeling. 2020. Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century. *Climatic Change* 159: 423-439.
- Fernández, J. E., A. Diaz-Espejo, V. Hernandez-Santana and M. V. Cuevas. 2019. Does precision irrigation help to reduce water consumption in agriculture? *Acta Hort.* 1253: 199-205.
- Ferrarezi, R. S., K. Rodriguez and D. Sharp. 2020. How historical trends in Florida all-citrus production correlate with devastating hurricane and freeze events. *Weather* 75(3): 77-83.
- Fiore, A., E. Lardo, G. Montanaro, D. Laterza, C. Loiudice, T. Berloco, B. Dichio and C. Xiloyannis. 2018. Mitigation of global warming impact of fresh fruit production through climate smart management. *J. Clean. Prod.* 172: 3634-3643.
- Fodor, N., A. Challinor, I. Droutsas, J. Ramirez-Villegas, F. Zabel, A. Koehler and C. H. Foyer. 2017. Integrating plant science and crop modeling: assessment of the impact of climate change on soybean and maize production. *Plant Cell Physiol.* 58: 1833-1847.
- Fraga, H., I. G. C. Atauri and A. C. Malheiro. 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change*

Biol. 22: 3774-3788.

- Funes, I., X. Aranda, C. Biel, J. Carbó, F. Camps, A. J. Molina, F. de Herralde and B. G. R. Savéa. 2016. Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agric. Water Manage.* 164: 19-27.
- Ganeshamurthy, A. N., V. Ravindra and T. R. Rupa. 2019. Carbon sequestration potential of mango orchards in India. *Current Sci.* 117: 2006-2013.
- Glenn, D. M., S. H. Kim, J. Ramirez-Villegas and P. Läderach. 2014. Response of perennial horticultural crops to climate change. *Hort. Rev.* 41: 47-130.
- Gogorcena, Y., G. Sánchez, S. Moreno-Vázquez, S. Pérez and N. Ksouri. 2020. Genomic-based breeding for climate-smart peach varieties. p. 271-331. In: C. Kole (ed.). *Genomic designing of climate-smart fruit crops.* Springer Nature Switzerland.
- Gómez, J. A., M. Campos, G. Guzmán, F. Castillo-Llanque, T. Vanwalleghem, Á. Lora and J. V. Giráldez. 2018. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environ Sci Pollut Res.* 25: 977-989.
- Grab, S. and A. Craparo. 2011. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973-2009. *Agric. Forest Meteorol.* 151: 406-413.
- Guo, C., X. Wang, Y. Li, X. Ha, W. Zhang, J. Wang, X. Shi, X. Chen and Y. Zhang. 2018. Carbon footprint analyses and potential carbon emission reduction in China's major peach orchards. *Sustainability* 10(8): 2908.
- Haque, S., D. Akbar and S. Kinnear. 2020. The variable impacts of extreme weather events on fruit production in subtropical Australia. *Sci. Hort.* 262: 109050.
- Hess, P., A. Kunz and M. M. Blanke. 2021. Innovative strategies for the use of reflective foils for fruit colouration to reduce plastic use in orchards. *Sustainability* 13(1): 73.
- Hsu, H. H. and C. T. Chen. 2002. Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.* 79: 87-104.
- Iglesias, A., S. Quiroga, M. Moneo and L. Garrote. 2012. From climate change impacts

- to the development of adaptation strategies: Challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*. 112: 143.
- Iizumi, T., Y. Masutomi, T. Takimoto, T. Hirota, A. Yatagai, K. Tatsumi, K. Kobayashi and T. Hasegawa. 2018. Emerging research topics in agricultural meteorology and assessment of climate change adaptation. *J. Agric. Meteorol.* 74: 50-54.
- Jackson, L. E., S. M. Wheeler, A. D. Hollander, A. T. O'Geen, B. S. Orlove, J. Six, D. A. Sumner, F. Santos-Martin, J. B. Kramer, W. R. Horwath, R. E. Howitt and T. P. Tomich. 2011. Case study on potential agricultural responses to climate change in a California landscape. *Climate Change* 109 (Suppl 1): S407-S427.
- Jones, G. V. and R. E. Davis. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51: 249-261.
- Kaufmann, H. and M. Blanke. 2017. Changes in carbohydrate levels and relative water content (RWC) to distinguish dormancy phases in sweet cherry. *J. Plant Physiol.* 218: 1-5.
- Kilian, B., J. Hettinga, G. A. Jiménez, S. Molina and A. White. 2012. Case study on Dole's carbon-neutral fruits. *J. Business Res.* 65: 1800-1810.
- Kueh, M. T., C. Y. Lin, Y. J. Chuang, Y. F. Sheng and Y. Y. Chien. 2017. Climate variability of heat waves and their associated diurnal temperature range variations in Taiwan. *Environ. Res. Lett.* 12: 074017.
- Kimball, B. A., S. B. Idso, S. Johnson and M. C. Rillig. 2007. Seventeen years of carbon dioxide enrichment of sour orange trees: final results. *Global Change Biol.* 13: 2171-2183.
- Kole, C. 2020. Genomic designing of climate-smart fruit cops. pp.404. Springer Nature Switzerland.
- Lal, R. 2014. Soil carbon management and climate change. In: A.E. Hartemink and K. McSweeney (eds.). *Soil Carbon. Progress in Soil Science.* Springer International Publishing, Switzerland.
- Lal, R. 2019. Accelerated soil erosion as a source of atmospheric CO₂. *Soil Tillage Res.*

188: 35-40.

- Lal, R. 2020a. Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. *Soil Sci. Plant Nut.* 66: 1-9.
- Lal, R. 2020b. Regenerative agriculture for food and climate. *J. Soil Water Cons.* 75(5): 1A-2A.
- Langensiepen, M., P. J. Ericksen, M. Herrero and A. J. Challinor. 2020. Linking integrative plant physiology with agronomy to sustain future plant production. *Env. Exp. Bot.* 178: 104125.
- Lardo, E., A. Fiore, G. A. Quinto, B. Dichio and C. Xiloyannis. 2018. Climate change mitigation role of orchard agroecosystems: case studies in southern Italy. *Acta Hort.* 1216: 13-18.
- Lasco, R. D., R. J. P. Delfino and M. L. O. Espaldon. 2014. Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. *WIREs Climate Change* 5(6): 825-833.
- Lauri, P. É. 2019. Apple tree architecture and cultivation - a tree in a system. *Acta Hort.* 1261: 173-183.
- Legave, J. M., Y. Guédon, G. Malagi, A. E. Yaacoubi and M. Bonhomme. 2015. Differentiated responses of apple tree floral phenology to global warming in contrasting climatic regions. *Front. Plant Sci.* 6: 1054.
- Li, Y., W. Fang, G. Zhu, K. Cao, C. Chen, X. Wang and L. Wang. 2016a. Accumulated chilling hours during endodormancy impact blooming and fruit shape development in peach (*Prunus persica* L.). *J. Integ. Agric.* 15(6): 1267-1274.
- Li, Y., L. Wang, G. Zhu, W. Fang, K. Cao, C. Chen, X. Wang and X. Wang. 2016b. Phenological response of peach to climate change exhibits a relatively dramatic trend in China, 1983-2012. *Sci. Hort.* 209: 192-200.
- Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler. 2006. Insurance for assisting adaptation to climate change in developing countries: a proposed strategy. *Climate Policy* 6: 321-636.

- Liu, S. C., C. H. Wang, C. J. Shiu, H. W. Chang, C. K. Hsiao and S. H. Liaw. 2002. Reduction in sunshine duration over Taiwan: causes and implications. *TAO*. 13: 523-545.
- Liu, Z., Y. Lin, H. Lu, M. Ding, Y. Tan, S. Xu and S. Fu. 2013. Maintenance of a living understory enhances soil carbon sequestration in subtropical orchards. *PLOS ONE* 8(10): e76950.
- Lobell, D. B., C. B. Field, K. N. Cahill and C. Bonfils. 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agric. Forest Meteorol.* 141: 208.
- Lu, X., J. Li, H. Chen, J. Hu, P. Liu and B. Zhou. 2017. RNA-seq analysis of apical meristem reveals integrative regulatory network of ROS and chilling potentially related to flowering in *Litchi chinensis*. *Sci. Rep.* 7: 10183.
- Luedeling, E. 2012. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Sci. Hort.* 144: 218-229.
- Luedeling, E. and P. H. Brown. 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. *Int. J. Biometeorol.* 55: 411-421.
- Luedeling, E., L. Guo, J. Dai, C. Leslie and M. M. Blanke. 2013. Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agric. Forest Meteorol.* 181: 33-42.
- Luedeling, E., M. Zhang, V. Luedeling and E. H. Girvetz. 2009. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. *Agric. Eco. Env.* 133: 23-31.
- Machovina, B. and K. J. Feeley. 2013. Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. *Ecol. Econom.* 95: 83-95.
- Mani, A. and C. P. Suresh. 2018. Climate resilient fruit crops - Possible solution to ensure nutritional security in changing climate scenario. p. 52-62. In: D. Verma, V. Shedekar, A. Murumkar, R. Sharma, A. Kumar, V. Rani, F. Yusuf and B. Parmar (eds.). *Climate smart agriculture*.

- 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. *Outlook Agric.* 42(2): 93-102.
- Martres, P., B. Quilot-Turion, D. Luquet, M. Memmah, K. Chenu and P. Debaeke. 2015. Model-assisted phenotyping and ideotype design. p. 349-373. In: V. O. Sadras and D. F. Calderini (eds.). *Crop Physiology*.
- Mbow, C., P. Smith, D. Skole, L. Duguma and M. Bustamante. 2014. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Curr.Opin.Envir. Sustain.* 6: 8-14.
- Meinhold, T., L. Damerow and M. Blanke. 2011. Reflective materials under hailnet improve orchard light utilisation, fruit quality and particularly fruit colouration. *Sci. Hort.* 127: 447-451.
- Miao, R. 2020. Climate, insurance and innovation: the case of drought and innovations in drought-tolerant traits in US agriculture. *Euro. Rev. Agric. Econ.* 47: 1826-1860.
- Michalopoulos, G., K. A. Kasapi, G. Koubouris, G. Psarras, G. Arampatzis, E. Hatzigiannakis, V. Kavvadias, C. Xiloyannis, G. Montanaro, S. Malliaraki, A. Angelaki, C. Manolaraki, G. Giakoumaki, S. Reppas, N. Kourgialas and G. Kokkinos. 2020. Adaptation of Mediterranean olive groves to climate change through sustainable cultivation practices. *Climate* 8: 54.
- Miller, K. A. and M. H. Glantz. 1988. Climate and economic competitiveness: Florida freezes and the the global citrus processing industry. *Climatic Change* 12: 135-164.
- How historical trends in Florida all-citrus production correlate with devastating hurricane and freeze events. *Weather - March 2020.* 75(3): 77-83.
- Montanaro, G., B. Dichio, C. B. Bati and C. Xiloyannis. 2012. Soil management affects carbon dynamics and yield in a Mediterranean peach orchard. *Agric. Eco. Environ.* 161: 46-54.
- Montanaro, G., V. Nuzzo, C. Xiloyannis and B. Dichioet. 2018. Climate change mitigation and adaptation in agriculture: the case of the olive. *J. Water Climate*

- Change 9: 633-642.
- Montanaro, G., A. C. Tuzio, E. Xylogiannis, A. Kolimenakis and B. Dichio. 2017. Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices. *Agric. Eco. Environ.* 238: 104-113.
- Montanaro, G., C. Xiloyannis, V. Nuzzo and B. Dichio. 2017. Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Sci. Hort.* 217: 92-101.
- Morugán-Coronado, A., C. Linares, M. D. Gómez-López, Á. Faz and R. Zornoza. 2020. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agric. Systems* 178: 102736.
- Mouron, P., T. Nemecek, R. W. Scholz and O. Weber. 2006. Management influence on environmental impacts in an apple production system on Swiss fruit farms: Combining life cycle assessment with statistical risk assessment. *Agric. Ecosys. Environ.* 114: 311-322.
- Müller, K., A. Holmes, M. Deurer and B. E. Clothier. 2015. Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. *J. Cleaner Produc.* 106: 333-342.
- Nardino, M., F. Pernice, F. Rossi, T. Georgiadis, O. Facini, A. Motisi and A. Drago. 2013. Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard. *Photosynthetica* 51: 63-74.
- Neri, D., G. Baruzzi, F. Massetani and W. Faedi. 2012. Strawberry production in forced and protected culture in Europe as a response to climate change. *Can. J. Plant Sci.* 92: 1021-1036.
- Nicholas, K. A. and W. H. Durham. 2012. Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. *Global Environ. Change* 22: 483-494.

- Nguyen, Q., M. H. Hoang, I. Öborn and M. van Noordwijk. 2013. Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic Change* 117: 241-257.
- Normand, F., P. E. Lauri and J. M. Legave. 2015. Climate change and its probable effects on mango production and cultivation. *Acta Hort.* 1075: 21-32.
- Page, G., T. Kelly, M. Minor and E. Cameron. 2011. Modeling carbon footprints of organic orchard production systems to address carbon trading: an approach based on life cycle assessment. *HortScience* 42: 324-327.
- Palencia, P., F. Martínez, J. J. Medina, E. Vázquez, F. Flores and J. López-Medina. 2009. Effect of climate change on strawberry production. *Acta Hort.* 838: 51-53.
- Pandey, D. N., A. K. Gupta and D. M. Anderson. 2003. Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. *Current Sci.* 85: 46-59.
- Pathak, T. B., M. L. Maskey, J. A. Dahlberg, F. Kearns, K. M. Bali and D. Zaccaria. 2018. Climate change trends and impacts on California agriculture: A detailed review. *Agronomy* 8(3): 25.
- Pardo, G., A. D. Prado, M. Martínez-Mena, M. A. Bustamante, J. A. R. Martín, J. Álvaro-Fuentes and R. Moral. 2017. Orchard and horticulture systems in Spanish Mediterranean coastal areas: Is there a real possibility to contribute to C sequestration? *Agric. Ecosyst. Environ.* 238: 153-167.
- Parent, B. and F. Tardieu. 2014. Can current crop models be used in the phenotyping era for predicting the genetic variability of yield of plants subjected to drought or high temperature? *J. Exp. Bot.* 65: 6179-6189.
- Parker, L. E. and J. T. Abatzoglou. 2018. Shifts in the thermal niche of almond under climate change. *Climatic Change.* 147: 211-224.
- Parker, L. E. and J. T. Abatzoglou. 2019. Warming winters reduce chill accumulation for peach production in the southeastern United States. *Climate* 7: 94.
- Parker, L. E., A. J. McElrone, S. M. Ostojia and E. J. Forrester. 2020. Extreme heat

- effects on perennial crops and strategies for sustaining future production. *Plant Sci.* 295(80): 110397.
- Parker, L., T. Pathak and S. Ostoja. 2021. Climate change reduces frost exposure for high-value California orchard crops. *Sci. Total Environ.* 762: 143971.
- Peano, C., C. Baudino, N. Tecco and V. Girgenti. 2015. Green marketing tools for fruit growers associated groups: application of the life cycle assessment (LCA) for strawberries and berry fruits ecobranding in northern Italy. *J. Clean. Prod.* 104: 59-67.
- Pichakum, A., N. Traisuwan, C. Kammak and W. Chintakovid. 2020. Climate change affecting off-season longan (*Dimocarpus longan* Lour.) production at alluvial plains of Thailand. *Acta Hort.* 1293(33): 231-238.
- Pio, R., F. B. M. Souza, L. Kalcsits, R. B. Bisi and D. H. Farias. 2019. Advances in the production of temperate fruits in the tropics. *Acta Scientiarum Agronomy* 41: e39549.
- Ponti, L., A. P. Gutierrez, P. M. Ruti and A. Dell'Aquila. 2014. Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers. *Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A.* 111: 5599-5603.
- Qin, W., F. B. T. Assinck, M. Heinen and O. Oenema. 2016. Water and nitrogen use efficiencies in citrus production: A meta-analysis. *Agric. Ecosys. Env.* 222: 103-111.
- Rajan, S. 2012. Phenological responses to temperature and rainfall: A case study of mango. p. 75-102. In: Sthapit BR, Ramanatha Rao V, Sthapit SR. 2012. *Tropical Fruit Tree Species and Climate Change*. Bioversity International, New Delhi, India.
- Rajan, S., H. Ravishankar, D. Tiwari, V. K. Singh, P. Saxena, S. Singh, Y. T. N. Reddy, K. K. Upreti, M. M. Burondkar, A. Bhagwan and R. Kennedy. 2013. Harmonious phenological data: A basic need for understanding the impact of climate change on mango. p. 53-65. In: H.P. Singh, N. S. Rao and K. S. Shivashankar (eds.). *Climate-resilient horticulture: adaptation and mitigation strategies*. Springer.
- Ramirez-Villegas, J., A. Jarvis and P. Läderach. 2013. Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case

- study with grain sorghum. *Agric. Forest Meteor.* 170: 67-78.
- Ranjitkar, S., N. M. Sujakhu, J. Merz, R. Kindt, J. Xu, M. A. Matin, M. Ali and R. J. Zomer. 2016. Suitability analysis and projected climate change impact on banana and coffee production zones in Nepal. *PLOS ONE* 11(9): e0163916.
- Ravi, I. M. and M. Mustafa. 2013. Impact, adaptation and mitigation strategies for climate resilient banana production. p. 45. In: H.P. Singh, N. S. Rao and K. S. Shivashankar (eds.). *Climate-resilient horticulture: adaptation and mitigation strategies*. Springer.
- Raza, A., A. Razzaq, S. S. Mehmood, X. Zou, X. Zhang, Y. Lv and J. Xu. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants* 8: 34.
- Rochette, P., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma and D. Mongrain. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Can. J. Plant Sci.* 84: 1113-1125.
- Rodríguez, A., D. Pérez-López, A. Centeno and M. Ruiz-Ramos. 2021. Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agric. Systems* 186: 102961.
- Rötter, R. P., F. Tao, J. G. Höhn and T. Palosuo. 2015. Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars. *J. Exp. Bot.* 66: 3463-3476.
- Santos, J. A., R. Costa and H. Fraga. 2017. Climate change impacts on thermal growing conditions of main fruit species in Portugal. *Climatic Change*. 140: 273-286.
- Shen, J., Q. Xiao, H. Qiu, C. Chen and H. Chen. 2016. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome wide transcriptome analysis. *Sci. Rep.* 6: 32005.
- Shinomiya, R., H. Fujishima, K. Muramoto and M. Shiraishi. 2015. Impact of temperature and sunlight on the skin coloration of the 'Kyoho' table grape. *Sci. Hort.* 193: 77-83.

- Singh, S.P. and S. Gumber. 2018. Climate change in Himalayas: research findings and complexities. *Int. J. Plant Environ.* 4: 1-13.
- Singh, P. and G. Agrawal. 2020. Development, present status and performance analysis of agriculture insurance schemes in India. *Int. J. Soc. Econ.* 47: 461-481.
- Singh, N., P. Sharma and H. Chand. 2016. Impact of climate change on apple production in India: A review. *Current World Environ.* 11: 1-9.
- Solomakhin, A. A. and M. M. Blanke. 2007. Overcoming adverse effects of hailnets on fruit quality and microclimate in an apple orchard. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2625-2637.
- Sosa, V., R. Guevara, B. E. Gutiérrez-Rodríguez and C. Ruiz-Domínguez. 2020. Optimal areas and climate change effects on dragon fruit cultivation in Mesoamerica. *J. Agric. Sci.* 158: 461-470.
- Srivastava, A. K., Q. S. Wu, S. M. Mousavi and D. Hota. 2021. Integrated soil fertility management in fruit crops: An overview. *Internatl J. Fruit Sci.* 21(1): 413-439.
- Suddick, E. C., M. K. Ngugi, K. Paustian and J. Six. 2013. Monitoring soil carbon will prepare growers for a carbon trading system. *Calif. Agric.* 67: 162-171.
- Sugiura, T. 2010. Characteristics of responses of fruit trees to climate changes in Japan. *Acta Hort.* 872: 85-88.
- Sugiura, T. 2019. Three climate change adaptation strategies for fruit production. p. 277-292. In: T. Sugiura. (eds.). *Climate change and agriculture.*
- Sugiura, T., H. Ogawa, N. Fukuda and T. Moriguchi. 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Sci. Rep.* 3: 2418.
- Sugiura, T., H. Sumida, S. Yokoyama and H. Ono. 2012. Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. *JARQ.* 46(1): 7-13.
- Surminski, S., L. M. Bouwer and J. Linnerooth-Bayer. 2016. How insurance can support climate resilience. *Nat.Clim.Change* 6: 333-334.
- Tait, A., V. Paul, A. Sood and A. Mowat. 2018. Potential impact of climate change on Hayward kiwifruit production viability in New Zealand. *New Zealand J. Crop*

Hort. Sci. 46: 175-197.

- Thomson, G., M. McCaskill, I. Goodwin, G. Kearney and S. Lolicato. 2014. Potential impacts of rising global temperatures on Australia's pome fruit industry and adaptation strategies. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 42: 21-30.
- Thornton, P. K., P. J. Ericksen, M. Herrero and A. J. Challinor. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biol.* 20: 3313-3328.
- Tu, J. Y. and C. Chou. 2013. Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: typhoon versus non-typhoon events. *Environ. Res. Lett.* 8: 014023.
- van Diepen C. A., J. Wolf, H. van Keulen and C. Rappoldt. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use Manag.* 5: 16-24.
- van Leeuwen, C., A. Destrac-Irvine, M. Dubernet, E. Duchêne, M. Gowdy, E. Marguerit, P. Pieri, A. Parker, L. de Ressaiguier and N. Ollat. 2019. An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy* 9: 514.
- Varma, V. and D. P. Bebbler. 2019. Climate change impacts on banana yields around the world. *Nat. Clim. Change.* 9: 752-757.
- Verchot, L. V., M. van Noordwijk, S. Kandji, T. Tomich, C. Ong, A. Albrecht, J. Mackensen, C. Bantilan, K. V. Anupama and C. Palm. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* 12: 901-918.
- Vincent, C., R. Morillon, V. Arbona and A. Gómez-Cadenas. 2020. Citrus in changing environments. p. 271-289. In: M. Talon, M. Caruso and F. Gmitter (eds.). *The citrus genus*.
- Vinyes, E., L. Asin, S. Alegre, P. Muñoz, J. Boschmonart and C. M. Gasol. 2017. Life cycle assessment of apple and peach production, distribution and consumption in Mediterranean fruit sector. *J. Clean. Prod.* 149: 313-320.
- Wand, S. J. E., W. J. Steyn and K. I. Theron. 2008. Vulnerability and impact of climate change on pear production in South Africa. *Acta Hort.* 800: 263-272.

- Wang, C., P. Lü, S. Zhong, H. Chen and B. Zhou. 2017. LcMCII-1 is involved in the ROS-dependent senescence of the rudimentary leaves of *Litchi chinensis*. *Plant Cell Rep.* 36: 89-102.
- Webb, L. B., P. H. Whetton and E. W. R. Barlow. 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.* 13: 165-175.
- Wenden, B. and M. Mariadassou. 2017. Sweet cherry phenology in the context of climate change: a systems biology approach. *Acta Hort.* 1162.
- Weng, S. P. 2010. Changes of diurnal temperature range in Taiwan and their large-scale associations: univariate and multivariate trend analyses. *J. Meteorol. Soc. Japan.* 88: 203-226.
- White, J. W., G. Hoogenboom, B. A. Kimball and G. W. Wall. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res.* 124: 357-368.
- Wu, T., Y. Wang, C. Yu, R. Chiarawipa, X. Zhang, Z. Han and L. Wu. 2012. Carbon sequestration by fruit trees- Chinese apple orchards as an example. *PLoS ONE* 7(6): e38883.
- Yan, M., K. Cheng, Q. Yue, Y. Yan, R. M. Rees and G. Pan. 2016. Farm and product carbon footprints of China's fruit production-life cycle inventory of representative orchards of five major fruits. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 4681-4691.
- Yao, F. M., P. C. Qin, J. H. Zhang, E. Lin and V. Boken. 2011. Uncertainties in assessing the effect of climate change on agriculture using model simulation and uncertainty processing methods. *Chinese Sci. Bull.* 56: 729-737.
- Yu, P. S., T. C. Yang and C. C. Kuo. 2006. Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan. *Water Res. Manag.* 20: 1007-1023.
- Zilberman, D. 2018. Conclusion and policy implications to 'climate smart agriculture: building resilience to climate change'. p. 621-626. In: L. Lipper, N. McCarthy, D. Zilberman, S. Asfaw and G. Branca (eds.). *Climate smart agriculture*. Springer, Cham, Switzerland.

Climate change adaptation and mitigation on fruit production in foreign countries- a review

Tzong-Shyan Lin*

Abstract

Increased emission of anthropogenic greenhouse gases hastens climate changes or global warming. Phenology, fruit yield and quality of various fruit crops in many foreign countries are affected or will be altered based on past studies and models of tree growth and climate with various scenario. For deciduous fruit trees in mild temperate regions, the dormant buds sprout unfavorably or exhibit extended flowering duration due to insufficient chilling accumulation. However, some other buds, once their chilling requirements are fulfilled, accelerate bursting in the early spring but may subject to late-frost injury owing to faster heat accumulation. Fruits generally mature earlier with inferior pigmentation. Wine grapes may be moved northward from southern Europe due to the detrimental effect of warming on prime wine quality. Cool temperature and drying soil are beneficial for the flower initiation of evergreen fruit crops. If not so, it is destined to the absence of flowers and futile for cropping-season adjustment. Confronting the warming climate it is anticipated that the tropical area will be more disastrous than the temperate region. It is imperative to enhance the resilience of fruit trees to adapt or mitigate climate change. The following strategies have been adopted: 1) Devising suitable models to predict and assess the possible impact of climate change on fruit crops; 2) Elucidating the roles of genetic and environmental factors on phenology, and the mechanism of tolerance to various stresses for facilitating ideotype selection; 3) Breeding low-chilling-requirement varieties for deciduous fruit crops and enhancing flower initiation for evergreen ones; 4) Improving meteorological

forecast system, reducing stresses to high temperature, strong light, and drought, alleviating injury to low temperature and frost; 5) Integrating cultivation methods such as modifying canopy structure or orchard microclimate, or cultivation under protection; 6) Adopting techniques of precision agriculture or artificial intelligence to manage and utilize renewable and nonrenewable resources more wisely; 7) Implementing orchards based on agricultural ecosystem to facilitate nutrient cycling and to protect soil from erosion; 8) Strengthening soil carbon sequestration by regenerative conservation farming; 9) Trying to mitigate and assessing greenhouse gas emission through carbon and water footprint and energy analysis; and 10) Re-evaluating the allocation of each fruit crop based on the principle of befitting place for befitting species or varieties.

Key words: Climate change, Warming, Adaptation, Mitigation, Deciduous fruit trees, Evergreen fruit trees, Phenology, Dormancy, Chilling, Flowering, Soil carbon Sequestration, Carbon footprint

* Emeritus professor, Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University.
e-mail: tslin66@hotmail.com

果樹產區位移與產業因應調適

陳立儀*

生產概述

臺灣經濟果樹栽培種類多達 30 餘種，栽培面積約 19 萬公頃，產量達 246 萬公噸，年產值約 923 億元。主要分布於中南部地區，可生產鳳梨、香蕉、芒果、柑桔類、荔枝、龍眼、番石榴、番荔枝、木瓜及百香果等熱帶水果。另利用海拔高度所形成的溫帶氣候及搭配栽培技術，可生產葡萄、高接梨、柿子等溫帶水果。其中中部地區主要果樹，包括葡萄、高接梨、荔枝、龍眼、柑橘類、紅龍果及番石榴等項，產期集中於每年 4-12 月。

臺灣氣候型態與變遷

臺灣位於歐亞大陸及太平洋交界，屬熱帶與亞熱帶氣候，同時北邊中緯度天氣系統（如鋒面、冷氣團）及南邊熱帶天氣系統（如颱風、熱帶性低氣壓）影響，造就臺灣天氣與氣候如此多變。氣候變遷是一種自然多變現象，全球暖化亦是各種氣候變遷的一個現象，包含溫度變化、降雨型態改變、雨量分布及各種極端天氣等。

氣候變遷迫使自然環境生態改變，影響物種的生長、生存與分布。據聯合國政府間氣候變遷委員會報告，如果溫度上升 1.5-2.5°C，全球 20-30% 物種可能面臨滅絕；如果上升超過 3.5°C，更會有 40-70% 物種面臨滅絕風險。查臺灣近 20 年南投（日月潭站）、雲林（草嶺站）、嘉義（嘉義站）及屏東（恆春站）

* 行政院農業委員會農糧署作物生產組組長

氣象觀測顯示，前揭農業縣自 2000-2020 年大氣溫度均有明顯上升趨勢，尤以嘉義縣及屏東縣夏季 7-8 月均溫已高達 29.6-30.2°C。

果樹產區位移

國內熱帶果樹種植區位主要分布在高屏地區，品項包括有鳳梨、香蕉、芒果、木瓜、紅龍果及番石榴等項，亞熱帶及溫帶果樹分布於中彰投地區，如荔枝、龍眼、柑橘類、百香果、葡萄及高接梨等項。然氣候變遷造成溫度變化、降雨型態及分布等生產環境改變，迫使果樹產區也隨之位移。舉例分述如下：

1. 摩天嶺上的綠珍珠

甜柿屬溫帶果樹，植株生育期間需要有足夠的低溫，才能進入休眠，果實發育中後期仍需適當低溫，果皮轉色才會良好，氣溫過高易造成脫澀時果肉有明顯褐斑，肉質粗糙，品質略差等問題。所以臺中市和平區的摩天嶺海拔 800 至 1,200 公尺，日夜溫差大，非常適合甜柿生長，也以生產甜柿而聞名。

近年受全球暖化效應，原本以海拔優勢的摩天嶺，因氣溫升高，造成甜柿病蟲害管理不易，柿農也在柿園兼種番石榴，以一年一收模式生產，於每年 10 月上旬開始採收，也成為該區「綠珍珠」。原本在熱帶及亞熱帶生長的番石榴，也逐漸從南部往中北部或從平地往中海拔山區種植。

2. 早春百香果

近年百香果鮮食市場需求逐年上升，栽培面積也不斷增加，行政院農業委員會高雄區農業改良場自 2018 年起，利用高屏地區冬季溫暖少雨的特色氣候，成功避開果實疫病好發的雨季，並透過網室有效阻絕東方果實蠅，從果園整備、整枝理蔓、燈照調節產期、網室授粉技術，及搭配友善資材等優化管理模式。建立從 9-10 月定植，經燈照促進開花，於翌年 2-6 月就可採收的春季早收百香果生產模式，過程可完全避開 7-9 月夏季雨害，亦大幅降低化學農藥使用，所生產百香果品質佳，產量更穩定。

3. 木瓜新天地

受全球暖化效應，大氣溫度越來越高，在高溫、乾旱、無雨環境下，網室內病蟲害往往一發不可收拾，即使噴藥也不易有效控制，尤以木瓜葉蟬最為明顯。葉蟬主要危害木瓜葉片，破壞其葉綠素，族群密度高時會導致落葉，影響植株生育，影響收量。另近年氣候異常變遷，常有連續性降雨，在長時間日照不足，土壤含水量高的低光照環境下，木瓜缺乏光合作用累積養分，易造成木瓜植株衰弱，除易染疫病，果實也易冒乳汁及早熟等問題，明顯影響木瓜量質。

面對全球暖化，氣候劇烈變遷，極端天氣出現頻繁，颱風及豪雨等災害造成農業損失。為提升農業防災能力，穩定蔬果供應及價格，行政院農業委員會（簡稱農委會）自 2017 年起推動「設施型農業 5 年計畫」，輔導農民興設強固型溫網室設施。近年南投竹山及埔里地區多數農友已陸續投入強固型溫網室設施種植木瓜，加上該地區有中央山脈的天然山勢環繞，氣候相對穩定，該等地區已形成生產木瓜的新天地。

4. 烏龍蕉新據點

近年氣候異常，降雨時間及雨量分布不均，高海拔蕉區常有缺水情形，造成香蕉植株生育受限，產期、產量不穩定。又鑒於坡地栽培管理不易，黃葉病嚴重。近年產區已逐漸由南投埔里及嘉義中埔轉移至雲林荊桐及虎尾等地。該區因灌溉水源充足，可與水田輪作，得有效抑制黃葉病蔓延。同時雲林荊桐地區以種植烏龍蕉而聞名，該烏龍蕉催熟後果肉由乳白色轉成偏黃色，果皮顏色金黃，被日本消費者視為優質臺灣香蕉。加上烏龍蕉蟲害少，又耐寒，冬果催熟後不易有寒害現象。農友投入種植意願高，從水稻或短期葉菜類轉（輪）作烏龍蕉，造就雲林荊桐及虎尾成為烏龍蕉新據點。

產業因應調適

受全球暖化效應，氣候變遷現象日趨明顯，臺灣又處熱帶及亞熱帶地區的海島型氣候，面對氣候暖化、降雨型態改變、極端天氣發生頻率與強度增加，對農業生產環境，農作生產量質，農民生命財產所得，及生物多樣性等造成影

響，當然也包括農作產區位移等問題。

為減緩氣候變遷對農業的衝擊，農委會近年積極建置強固型溫網室設施，建立作物災害預警系統，開辦農業保險等措施，並藉由調整農業耕作制度，強化生產設施及降低生產風險等調適作為，逐步強化氣候變遷調適能力，建構適應氣候風險的永續農業。

針對果樹產業因應調適作為分述如下：

1. 建置強固型溫網室設施

為降低氣候變遷衝擊，強化蔬果防災調適能力，提供高質化產品及穩定產銷供應，農委會自 2017-2021 年推動設施型農業計畫，輔導農民設置強化結構型溫網室目標 2,000 公頃。

2020 年輔導設置結構加強型溫網室設施 532 公頃，輔導蔬菜及果樹溫網室栽培，導入智能化環控及自動化設施(備)，優化溫網室生產環境，結合有機或產銷履歷等驗證，帶動友善環境耕作，減少農藥使用，改善農產品品質及穩定供貨，維持農村環境安全及競爭力。

2. 研發耐逆境品種及轉作新興果樹

臺灣常發生夏季汛期及冬季低溫寒害風險，為提升逆境生長調適能力，允擴大蒐集耐逆境種源，選育適應極端天氣、適地種植之耐熱、耐淹及耐寒等耐逆境品種。並建立水果作物對環境逆境忍受性生理基本資料，及氣候變遷對水果生產品質影響調查，強化栽培管理及催花、產期調節技術之運用，以迅速恢復作物生育。

另受全球暖化效應，已改變農友種植作物品項，因氣候暖化，臺灣年均溫度已較往年高，農友也嘗試引進熱帶水果如榴槤、山竹等新興果樹種植，開創市場新興消費客群。

3. 加強農民自主防減災智能及災前防護措施

針對果樹產區農民，加強災害應對作業教育與宣導，並引進社區共同防災理念，組織對地方事務熱心積極且具防災意識之在地農民，參與產地農水路等公共設施巡查保全管理作業，強化水果產區災害防護機制。

強化災前田間防護減災措施，如颱風來襲前，輔導農民採取加設支柱、設置防風網設施、進行修剪枯枝、徒長枝及摘除老葉等田間作業，減少颱風損害；利用噴水、噴霧設備及覆蓋資材，或進行田間溝灌作業，降低低溫寒害風險；輔導加設防減災設施(備)，如蓄水池、擋水設施等，減少汛期淹水受害。

4. 推動農業保險

為因應氣候環境變遷，天然災害日趨劇烈，農委會近年積極推動農業保險，其中已推動承保果樹類產業保險包含梨、芒果、蓮霧、木瓜、香蕉、文旦柚、甜柿、番石榴、荔枝、棗、桶柑、鳳梨、釋迦及農業設施等 14 品項；另因應不同作物生長特性及農業政策需求，精進並持續開發各項不同類型保單，包括葡萄、檸檬及水蜜桃等項，持續擴大保險品項，並補助農民保險費以減輕其負擔，提供農民更多保障，以建構完善的農業保險制度，降低農民從農風險。

5. 強化農產品產銷調節機制

針對易發生產銷失衡之重要農產品，已訂定產地及批發市場監控價格基準，建置農糧產銷資訊整合查詢平台，搭配現行農情調查生產預測及農產品產地、批發市場價格查報等資訊綜合研判，如有產銷失衡之虞，即視產品特性採取各項產銷調節措施。

結語

近年除維持穩定農產品的產銷秩序、落實預警機制，積極因應氣候變遷強化農業科技研發與技轉，及持續落實輔導外銷，提升外銷競爭力、促進內銷、強化加工、調整市場結構及通路、建立旗艦物流及區域冷鏈系統、推動設施型農業、產銷履歷、有機農業、產業策略聯盟等，引導產業朝自主穩定產銷方式邁進，保障農民收益及消費供應安全。

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

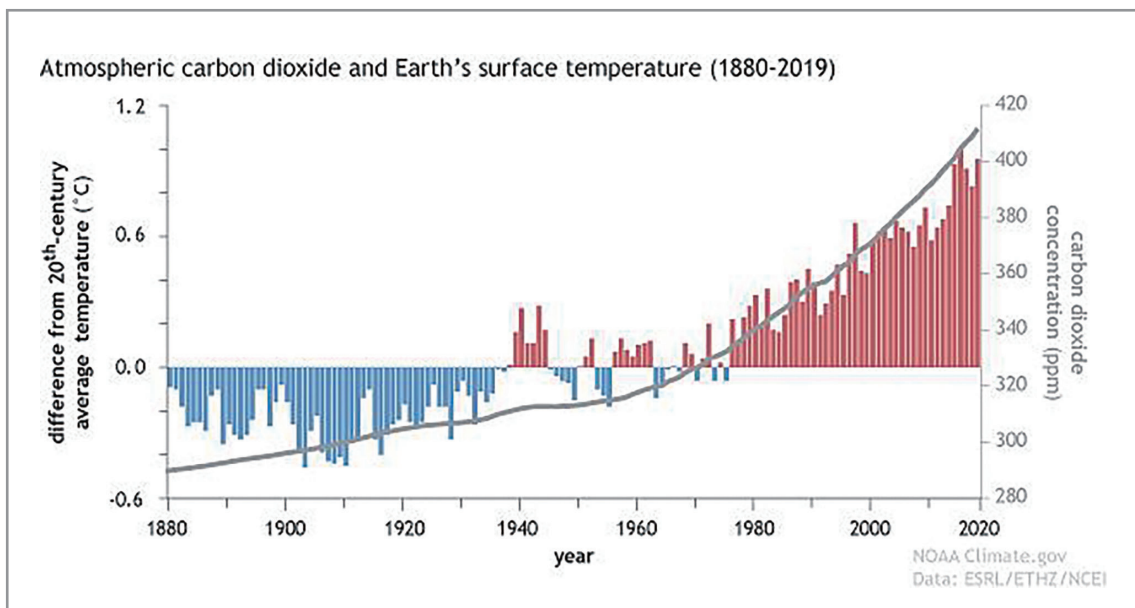
* 通訊作者：jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw

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)。

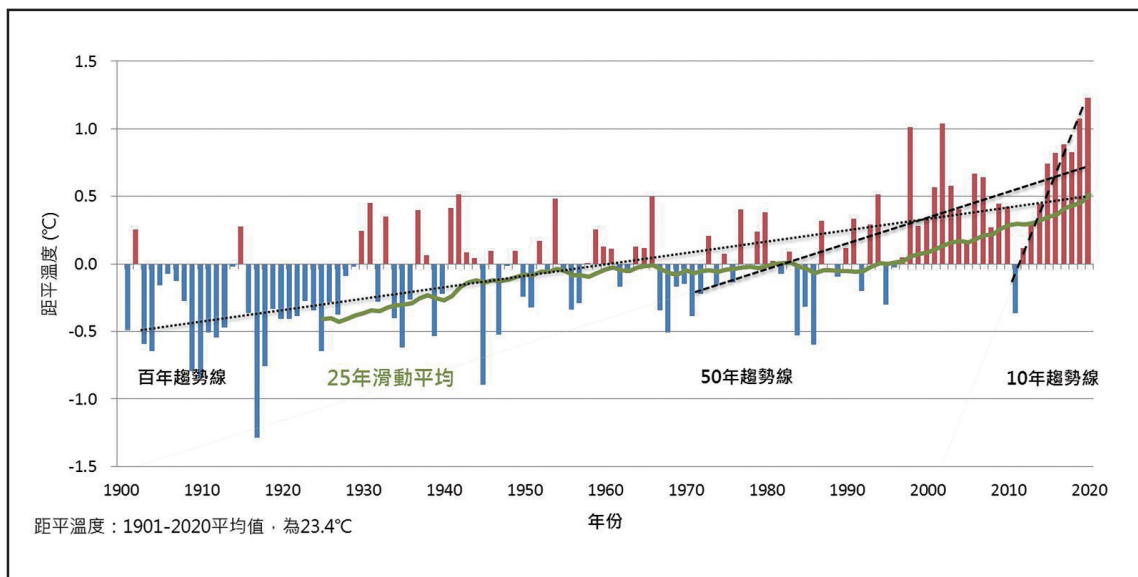


圖一、1880 年至 2019 年全球氣溫距 20 世紀平均溫差與二氧化碳濃度變化。(Lindesy, 2020)

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 (paracladium)(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)

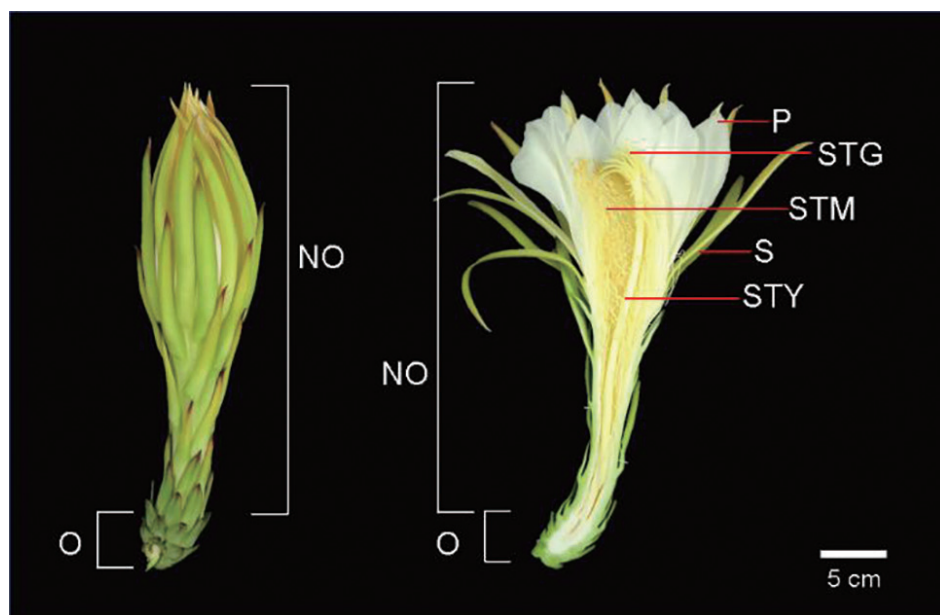
為瞭解高溫期對‘大紅’紅龍果開花、結實及枝條黃化 / 復綠之影響，以一年生紅龍果盆栽為材料，於人工氣候室模擬高溫 [40/30°C ±1°C (日 / 夜溫)] 及紅龍果生育適溫 [30/20°C ±1°C (日 / 夜溫)] 為對照組 (圖三)，並於可自然誘導開花的長日光週下，調查紅肉種紅龍果於於高溫下之花芽發育、開花行為、著果、果實性狀、種子數、乾物重比例及枝條黃化情形。

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。



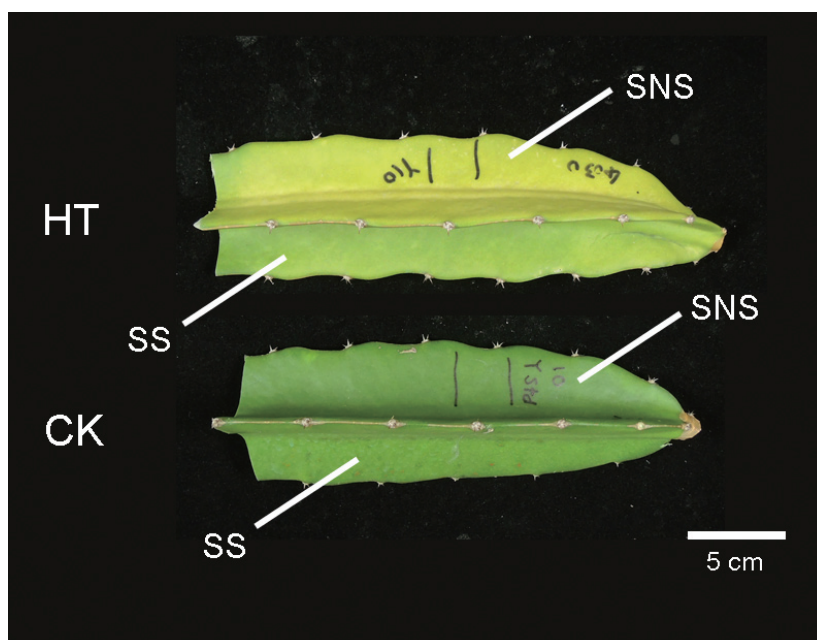
圖三、‘大紅’以扦插苗盆栽於人工氣候室內進行試驗。(Chu and Chang, 2020)



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 。
- 朱埈君、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、朱埈君、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？
- 張哲璋 . 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加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

氣候變動及果樹栽培體系前瞻因應

李文立*

摘要

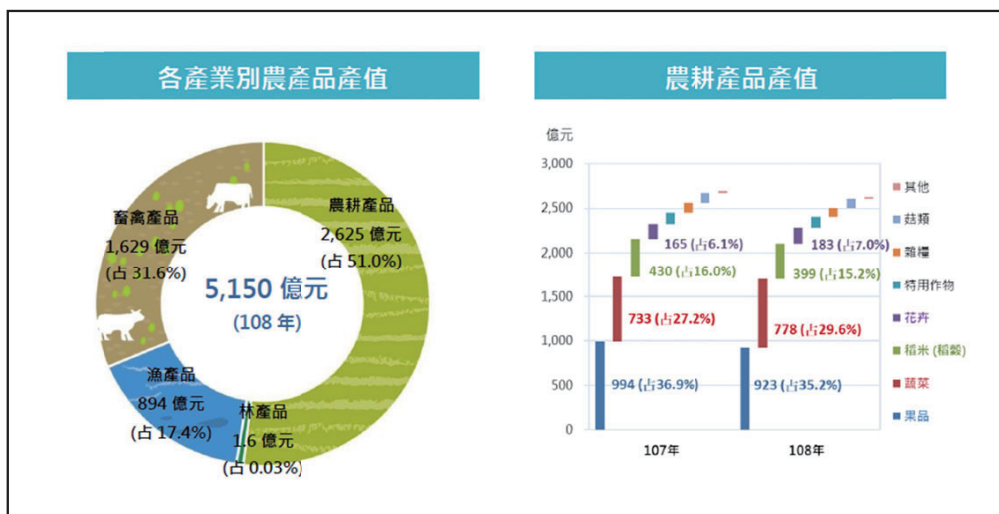
臺灣特殊的地理條件創建了精緻的果樹管理技術，近年來在行政院農業委員會的主導下，果樹的生產從產量、品質提升的一般性生產技術，進化成高安全、環境友善等更深一層的共存生產技術，向來得到國際的讚賞。在面對未來氣候變動越加劇烈，旱季越來越長，氣溫越來越高，人工越來越缺乏的未來，果樹的生產環境更加嚴苛。如何面對未來的挑戰仍能夠維持臺灣果樹生產技術的聲望，是一個值得深思的議題。面對未來自然環境與社會環境的變動，聯合不同領域的跨界整合是必然的趨勢，農業不再是單獨的農業，需要各個領域協同。然而面對可預知的未來，臺灣的果樹產業仍須留意各類果樹的基礎生理研究、工廠式自動化果樹生產技術、設施(室內)果園生產技術、水資源精細管理技術、病蟲害物理防治技術等面向。此外，光學雷射技術、穿透式太陽能板、植物電學、聲學技術以及其他物理性的生產防治技術，也將會在未來的農業生產中扮演重要角色，值得大家關注並投入研究能量。

關鍵詞：果樹、氣候變遷、自動化、設施(室內)農業、水管理、雷射技術、穿透式太陽能板

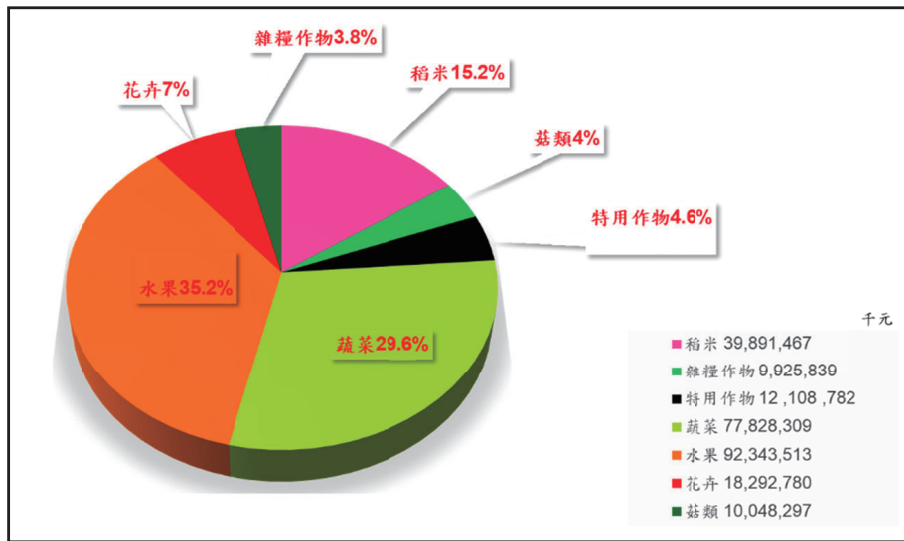
* 行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所分所長
wenlly@tari.gov.tw

前言

臺灣可耕地面積約 79 萬公頃，其中水田約占 40 萬公頃，旱田約占 39 萬公頃。依據行政院農業委員會農糧署的統計年報顯示，農業人口約 50 萬人，農業產值約 5,150 億元（圖一）。由於臺灣的氣候環境包括熱帶、亞熱帶及溫帶氣候型，各類型的果樹均能在臺灣生產，果樹的生產面積占作物的比例也高，在臺灣進行商業生產的果樹種類約有 30 幾種，生產面積約 18.6 萬公頃，年產量約 267 萬公噸，在所有的農耕產品中，果樹的總產值占 35.2%，是產值最高的品項（圖二）（行政院農業委員會，2019）。由於臺灣地狹人稠，農作及人口對環境的衝擊較高，近年來行政院農業委員會（簡稱農委會）特別重視環境議題，並制訂政策，鼓勵綠色農業、永續資材與有機農法等農耕方式。透過多樣化的品種選育，種植時期與地區的分散及各種園藝生產技術的開發，臺灣的熱帶果樹生產已經取得不錯的成績。近年來，農糧署更著力於調整水果產業結構，拓展外銷市場，穩定農民收益，並以芒果、鳳梨、香蕉、番石榴、鳳梨釋迦、木瓜、蜜棗、蓮霧、紅龍果、荔枝、柑橘、葡萄、楊桃、梨及甜柿等 15 種水果，輔導設立外銷供果園，強化產銷技術與穩定供應鏈，並進行技術諮詢服務與田間管理技術提升，以穩定外銷質量。為了促進臺灣生產的水果並建立高安全性，美味營養兼顧的良好形象，農委會也鼓勵產區發展集體生產制度，成立多個果樹



圖一、2019 年臺灣農產品總產值以及農耕產品產值圖。



圖二、2019 年臺灣農作物產值占比百分率。

技術服務團隊，協助農民建立正確的栽培管理方式，並透過全面實施契作外銷、果園登錄與條碼追溯方式建立管理制度，改進分級包裝貯運方式及改善收穫後技術，以生產高品質、高安全及適合市場需求的水果產品（行政院農業委員會農糧署，2021）。由於臺灣農民的認真努力、勤奮不服輸的個性加上農政單位的努力，已經建立良好的農業生產技術以及獨特的果樹生產方式。本文試著將臺灣果樹生產環境與技術進行重點式說明，並以個人之見提出看法。

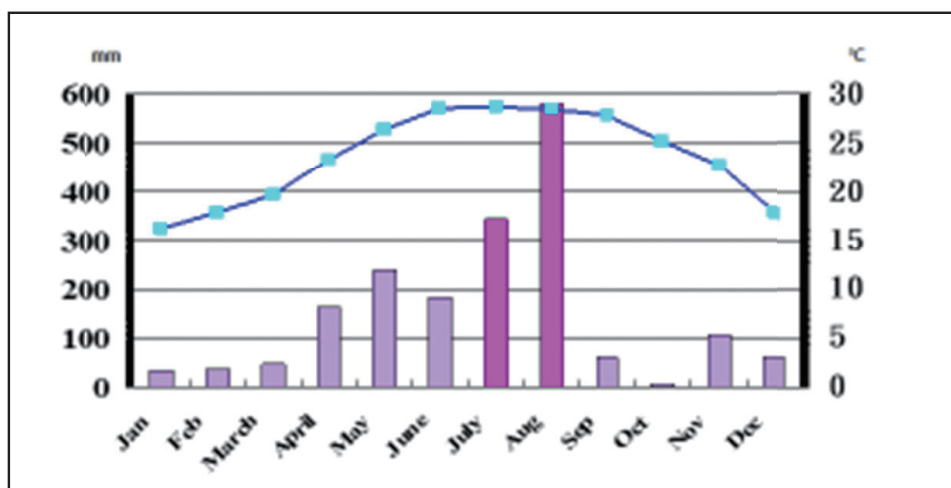
環境與果樹生產

臺灣一年四季溫暖，由於四周由海洋包圍且高於 3,000 公尺的山脈超過 268 座，春季和冬季，北方高氣壓與南方低氣壓的交互作用而波動，在夏季和秋季，氣溫雖然相對穩定卻是一年中降雨與颱風的季節，往往有強烈的風雨影響作物的生長。臺灣年平均氣溫夏季為 23.6-30℃，冬季為 15-20℃。因此，除了高山地區偶可見到降雪之外，全年無雪。臺灣果樹的重要產區在中南部，降雨往往分成雨季（4-9 月）及早季（10-3 月），其中夏季（6-8 月）為主要降雨期，常常會有颱風接近或襲擊臺灣並帶來暴雨，由於降雨過於集中在夏季，且臺灣有 3 分之 2 的山地，坡度較為陡峭，地表水快速流進海中，雨水不易

補充至地下，使得臺灣雖年平均降雨量為 2,150 毫米卻也容易在旱季時缺水，而高聳的山區也截停雲雨造成雨季高濕多雨的環境條件，使作物的病蟲害更容易發生。然而也因為臺灣四面環海，使得氣候比相同緯度的大陸型氣候更為溫暖，位於北回歸線上的臺灣平地全年無霜期，而同樣位於北回歸線上的中國南寧市卻有 3 天結霜日，這樣的環境也說明了臺灣在熱帶果樹生產上較中國大陸有利的因素。臺灣中南部旱季時因降雨量少（圖三），果園易缺水，但此時期亦多數果樹重要的生理關鍵期，不僅需要略低的溫度提升果實品質，也需要可靠的水源或灌溉設施確保收穫量及果實品質。近年來，由於氣候變動加劇，臺灣旱季缺水及雨季暴雨的情形更加明顯，造成果樹栽種困難，對於兩極化的生產環境，如何保留降雨成為地下水源或加速果園排水，是專業農民必須學習的基本知識。

臺灣果樹大成就

臺灣的果樹產業由於農委會的支持與消費者對新品種喜好嚐新的需求，不僅在品種開發上有傲人的成果，在栽培技術方面也頗為獨到，許多栽培技術獨步全球。例如木瓜的網室栽培技術、番荔枝的產期調節技術，多種果樹的促成栽培技術（蓮霧、蜜棗、紅龍果及百香果等），在在都說明臺灣果樹生



圖三、臺灣的降雨集中夏季，特別是中南部。

產技術的獨特。因應國人對水果多樣性的需求，臺灣仍屬於水果進口需求國家，每年的進口量較出口量高，主要的進口品項為溫帶水果。近年來由於農業用地取得不易、購地成本變高、農村人力老化等因素，幾乎所有果樹的種植面積都減縮，但平均產量和農場價格卻提高(表一)，這可能是因為栽培技術的改善，使得產量和單價提升造成利潤增加。由於臺灣長期的耕作土地缺乏，迫使農民採仔細耕作、逐株調整的精細管理方式，追求單位面積中最大的產量與產值，加上地屬熱帶地區，主要栽培果樹非屬西方國家熟知作物，造就臺灣獨特的生產方式以及喜歡求新求變的品種需求，與追求效率節省人力成本的西方農業大國截然不同。臺灣已經走出另一個不同的方向，若是能夠將臺灣在熱帶果樹的精細管理、細心修剪的生產知識以及每個果實套袋的費工生產方式，利用現代科技加值，如人工智慧技術或是無人化，自動化技術，去除各國頭疼的人力老化及高工資現況，臺灣的果樹生產技術將可為世界注入新的一頁。

表一、臺灣果樹種植面積逐年減少，平均產量和農場價格卻仍維持。

年	種植面積 (公頃)	產量 (公噸)	每公頃產量(公噸)	產值 (千元)
2011	193,806	2,797,734	14.7	74,368,402
2012	189,875	2,668,055	14.3	79,139,069
2013	187,934	2,675,642	14.5	87,802,590
2014	185,296	2,705,268	14.9	96,952,412
2015	184,181	2,570,737	14.3	91,762,153
2016	185,854	2,331,991	12.7	97,064,610
2017	186,190	2,710,808	14.8	117,607,845
2018	185,463	2,668,375	14.4	99,351,975
2019	184,028	2,463,164	14.0	92,343,513

氣候變動難生產

全球的氣溫在過去的百年間明顯增加，臺灣在過去約增加 1.3°C，且近年來增溫速度有增加的趨勢，在最嚴重的情況下，21 世紀末臺灣的溫度可能會增加 3°C，且白天的最低溫增加幅度是夜間溫度的 3 倍。臺灣北部的溫度增加又較其他地區高，且 11-4 月的增溫感受更為明顯，目前已經可顯著感受到臺灣夏季增長、冬季時間縮短的變化。依過去 50 年的資料研究顯示，臺灣夏季增加至少 27.8 天、冬季減少至少 29.7 天 (陳, 2018)。這樣的溫度改變情形不僅僅造成果樹產業北移 (例如：摩天嶺種植番石榴及蜜棗)、部分水果提早成熟採收 (例如：芒果、百香果)，也同時造成南部地區亞熱帶果樹如荔枝、龍眼的開花異常及品種的更迭。近年來因為氣候變動的農業救助補償有越來越多的趨勢，也顯示現今的氣候變動對於果樹生產造成許多困難。水分管理是果樹栽培重要的工作，統計資料顯示，臺灣的降雨量變化並不明顯，但是乾濕季節的差異卻越來越明顯，特別是臺灣南部地區已經呈現乾濕分明的兩極化情形，整年的雨水集中在夏季降下，乾季的半年雨水甚少，甚至降雨天數也越來越少，臺灣中部地區乾季降雨天數減少的地區又比南部明顯。未來極端多雨日數有增加的趨勢，而極端少雨日數亦有增加的趨勢。依據過去 60 多年的觀測資料顯示，西北太平洋颱風生成個數與侵襲臺灣的颱風數量沒有明顯的變化，然而強颱風生成的比例卻有增加的趨勢，且在颱風期間平均降雨強度明顯增加 (陳, 2018)。果樹生產的水分需求雖較水稻少，然而若要能夠生產良好品質的水果，灌溉水源是非常重要的環，臺灣未來降雨兩極化的情形是影響果樹生產的重要因子，如何在乾季取得灌溉水或是藏水於土，利用果園的簡單設施導引多餘的雨水藏於地底，不僅可以調節果園地表水，減少果樹在降雨量大因積水導致窒息缺氧傷害的機會，也能平衡土壤水分，進而穩定果樹生長。預測未來臺灣將面臨更嚴苛的降雨條件。鄰近的泰國、印度、斯里蘭卡等國家推行的地下水銀行 (groundwater bank) 計畫 (City News, 2020)，值得在臺灣評估推行，不僅可增進地下水層，減少臺灣日漸嚴重的地層下陷問題，也能穩定土壤水分，減少果樹遭遇逆境的影響。

果樹產業智慧風

由於資通訊技術、電子運算技術及人工智慧的進展，自動化及智慧化成為各個產業中最明亮的星星。臺灣在這一波世界浪潮下已投入高額經費進行農業智慧化，進行法規調整、農業跨域服務、標竿學習及業界參與計畫，企圖導入或研發大數據增值服務、AI 智慧運算、省工機具、生物感測技術、產銷服務系統、共通性資訊平臺或人機協同作業等多面向研究，來節省生產成本或精確管理農作生產。面對勞工權益增長，勞動成本居高不下以及人口老化等，高度發展社會所面臨的問題一一浮現後，天氣的極端化也造成糧食生產的危機，直接造成農田因受到乾旱或水災的影響而歉收。農業的自動化與智慧化也成為一個受到高度關切的研究課題（圖四），特別是設施下的農業生產。以往大家對於室內農業，總認為是高科技，但難以商業運轉。如今因為 COVID-19 疫情關係，導致全球航空、人際交流及物品運送系統混亂，以往過度依賴外籍勞工的農業，因為受到防疫措施造成所需勞力無法入境，造成許多困擾。而進出口流程與物流交通也因為防疫措施大亂，進而使後疫情時代的室內農業技術也將會重新被



圖四、果樹 3D 建模技術可以輔助果園產量調查及自動化修剪技術。

重視 (藍, 2021)。熱帶區域的設施農業生產因為容易產生熱蓄積, 為了移除不必要的熱能, 需要消耗更多能量, 造成降溫成本太高, 不利商業運轉。現今因為太陽能產業的進展, 熱帶地區豐沛的陽光可以提供足量的電能, 特別是新型態的穿透式太陽能板 (transparent solar panels) 可以讓特定的光波透過, 不僅有足夠的光照讓植物生長, 同時也可以產生電能, 這項新的技術預計會帶給作物生產革命性的進展 (Irving, 2021), 特別是陽光充足的熱帶地區。此外, 對於農產品安全的要求, 物理性的病蟲草害防治方式, 如溫網室、套袋、覆蓋、光質生長調控、雷射殺蟲、誘引以及熱能除病蟲草等方式日漸受到重視。未來社會對農業生產技術趨向於安全、優質、永續、低(零)排廢及環境友善等議題, 整合雷射科技、車輛工程、自動控制、光譜技術、生物經濟的高效率及高安全農業生產的時代將會來臨。

臺灣果樹大未來

農委會自 2016 年起提出「新農業創新推動方案」, 其中於農業科技研發獲得良好成果, 包括完成技術授權 1,111 件、創造 526 個工作機會、累計產業效益近新臺幣 65 億元等 (王等, 2020)。2018 年第 6 次全國農業會議結論中, 農委會提出為兼顧永續、安全、前瞻、幸福四大方向, 未來農業科技研發, 仍需以充分反應氣候變遷之應變能力、發展社會期待之安全、健康及穩定供應的農產品。2020 年相關施政策略亦鏈結 17 項聯合國永續發展標的, 以及國家科學技術發展目標, 預計於 2021-2024 年持續整合跨域新興科技, 強化產業價值鏈, 布局國際市場, 提升農業收益 (王等, 2020)。當資通訊科技、人工智慧、物聯網技術甚至量子電腦發展出來後, 智能化將會徹底改變人們工作與消費的方式, 未來臺灣果樹產業更應擁抱趨勢潮流, 整合產官學研的研發能量, 彙整不同領域專業知識, 使其成為可以落實於產業的技術, 創造出新的產業模式與經濟服務體系 (圖五), 以因應面對極端天氣變化、環境資源永續長存、勞力缺乏及老化等多項問題。然而在諸多先進資通訊、數位技術及智慧化技術引入之前, 臺灣果樹產業仍應布局於基礎生理的研究以及各項栽培數據的科學化與數

字化，以因應大數據數位時代的來臨。臺灣農業研究水準一貫優於全球農業科學研究水準(紀，2017)，在熱帶果樹育種及栽培技術發展方面也有獨到之處，這些栽培技術可以做為發展的基石，導入資通訊、自動化、光學、智慧化等各領域中的技術，再次引領世界熱帶果樹栽培管理與生產技術。



圖五、整合不同領域先端技術才能成就高效率未來農業。

結語

在臺灣，研究人員開發了許多果樹新品種和技術，在提升產量、增進品質、調節生產季節並減少病蟲害方面有了長足的進展。未來在農委會的規劃下，依循「建構高效體系鏈結國際市場」、「精進安全控管打造健康福祉」、「強化資源循環促進永續經營」、「推動跨域整合發展高值產業」等4項施政目標，持續導入關鍵科技技術，優先發展生物技術、材料技術、綠色環境永續技術、運輸與物聯網技術及大數據分析技術等，強化農業基盤研發量能，並著重於我國跨域技術優勢及新興科技之開發，加速產業化落地應用，以生產、生活、生態之三生功能，達成(1)健康農業：加強質量認證，使臺灣成為無毒之島；(2)優質農業：加強研發，使臺灣成為優質農業技術之島；(3)樂活農業：振興農村生活，使臺灣成為樂活之島(行政院新聞，2016)。農業科技與新食物目前是創投的首要關注領域，過去已投資的前五大領域包括農業生物科技、智慧農業管理、農業機器人設備、新型態農場系統、生物材料與能源，而未來將會關注農業供應鏈技術領域(好食好事基金會，2020)。筆者認為在未來果樹研究上跨域

整合的趨勢已是必然，特別是各類果樹的基礎生理研究、工廠式自動化果樹生產技術、設施(室內)果園生產技術、水資源精細管理技術、病蟲害物理防治技術等面向更值得大家留意。此外，光學雷射技術、量子電腦、穿透式太陽能板、植物電學聲學技術等也將會在未來的農業生產中扮演重要角色，值得大家的關注並投入研究能量。

參考文獻

- 王仕賢、洪偉屏、蔡偉皇 . 2020. 農政視野—跨域發展，科技領航 . 農政與農情 18-31。
- 行政院新聞 . 2016. 積極辦理「新農業創新推動方案」。
- 行政院農業委員會 . 2019. 農業統計要覽。
- 好食好事基金會 . 2020. 臺灣食農創新創業調查(下)-新創、創投篇。
- 紀凱齡 . 2017. 以文獻計量分析法探討學術研究國際合作對於各國研究能量的影響 . 國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心科技政策觀點。
- 陳宏宇、許晃雄、陳永明、朱吟晨、童裕翔、邱雅暄 . 2018. 臺灣氣候的過去與未來國家災害防救科技中心 p.13-17 臺北臺灣。
- 農糧署全球資訊網 . 2021. 水果外銷供應制度。
- 藍弋豐 . 2021. 疫情引起危機意識，室內農業得到資本市場青睞。
- City News. 2020. Help Wat Palad build a groundwater bank.
- Irving, M. 2021. Balancing crop production and energy harvesting in organic solar-powered greenhouses. Cell Rep. Phy. Sci. 2: 100381.

Fruit Science Research, Achievements and Prospects in Taiwan

Wen-Li Lee*

Abstract

Taiwan's special geographical conditions have created sophisticated fruit tree management technology. In recent years, under the leadership of the Council of Agriculture, the production of fruit trees has evolved from a general production technology that improves yield and quality to a deeper level of coexistence such as high safety and environmental friendliness. Technology has always been appreciated internationally. In the face of increasingly severe climate changes in the future, longer and longer dry seasons, hotter and hotter temperatures, and a shortage of manpower, the production environment for fruit trees will become more severe. How to face the challenges of the future and still maintain the prestige of Taiwan's fruit tree production technology is a subject worthy of consideration. In the face of future changes in the natural environment and social environment, cross-border integration of different fields is an inevitable trend. Agriculture is no longer a separate agriculture and requires coordination in all fields. However, facing the foreseeable future, Taiwan's fruit tree industry still has to pay attention to the basic physiological research of various fruit trees, factory-style automated fruit tree production technology, facility (indoor) orchard production technology, water resource fine management technology, and physical disease and insect pest control technology. In addition, optical laser technology, quantum computers, transparent solar panels, plant electronics, acoustic technology and other physical production control technologies will also play an important role in future agricultural production, which deserves everyone's attention and investment in research energy.

KeyWords: Fruit trees, Climate change, Automation, Facility agriculture, Water management, Laser technology, Transparent solar panels

* Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch
leewenli@fthes-tari.gov.tw

中部地區果樹科技研發成果及 前瞻規劃

徐錦木¹、葉文彬²

摘要

臺灣中部地區地形複雜且海拔高度差異大，包含亞熱帶及溫帶多種氣候，為果樹重要生產區域。果樹產業藉由栽培技術改良、水分管理、設施應用、採後處理技術開發、農林氣象防減災研究與推播，以及品種的更新與推廣，使中部地區果樹產業有卓越成就。氣候變遷引起之極端天氣頻率增加，常常發生複合型態的天然災害，未來規劃持續發展韌性農業、開發省力輔具提高工作效率，善用設施及智慧管理以達到高產值農業。

關鍵詞：設施、韌性農業、輔具、極端天氣、水分管理

前言

臺灣中部地區果樹栽培面積 50,900 公頃，產值達 237.9 億元，栽培面積占國內果樹面積 28%，產值則為 30%。果園管理是一項綜合性的工作，慣行的工作包括園區規劃、果樹生長情況、土壤與水分管理、人力資源運用及機械化程度等項目。合理且有效率的管理各項工作是研發工作人員的目標。

經多年研究，控制植株生長的因子已逐漸被解析出來，利用田間管理操作或結合科技技術，可於關鍵物候期進行處理，製造較佳的生長環境，以創造最

¹ 行政院農業委員會臺中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副研究員

大利益。果樹除草本的鳳梨、木瓜、香蕉及百香果經濟生產年限較短外，其餘木本果樹梨、芒果及蓮霧等，種植後生長期常常超過 10 年以上，生長期會遇到不良天氣，除植株進行自我調適，配合科技調整微氣候以降低環境因素風險。然而，氣候變遷引起之極端天氣頻率增加且強度亦提高，常常發生複合型態的天然災害，例如 2021 年臺灣面臨 56 年來最嚴峻的水情，持續乾旱及溫度較高的春季，對果樹生產造成更嚴峻之挑戰。

另一方面，依據聯合國政府間氣候變化專門委員會報告，在 2030-2052 年之間全球均溫升幅將達到 1.5°C (IPCC, 2018)。全球暖化趨勢造成溫度持續上升，對落葉果樹之影響相當顯著，暖冬導致落葉果樹休眠所需之低溫量不足，無法正常萌芽；生長季高溫影響花芽分化、萌芽及花器發育，使得開花異常及產量降低；此外，溫度上升將改變果樹物候與果實生育期間的積算溫度，影響果實發育時間與品質 (張和王, 2008)。Sugiura 等 (2007) 指出暖化在日本對果樹發育造成影響，成熟度和色素體形成無相關之梨、梅及桃等，因高溫造成開花期提前，果實成熟也相對提早；而蘋果、葡萄、柿及溫州蜜柑等成熟度和色素體相關果樹，雖然開花期提早，但成熟及採收期卻不一定提前。本文僅就臺中區農業改良場 (簡稱本場) 近年來針對災害氣候調適及未來研究方向進行說明。

科技研發成果

1. 栽培管理技術生產高品質產品

管理方面由最初發揮樹體生產潛能，逐漸轉向經濟生產方向。早期果園樹體高大時單株生產量高，但工作效率低，另外容易發生摔傷等意外，較不符合經濟效益。在果園作業效率、作業安全性及果品良品比率的綜合考量，逐漸矮化果樹，整枝修剪方式由開心形、變則主幹形開始嘗試單幹整枝等方式，提高作業效率及工作安全性。甜柿利用摘蕾、撚梢、環剝等方式控制樹體營養生長和生殖生長間轉換，增進花芽分化或減少生理落果，維持產量穩定。高接梨採取高冷地或溫帶地區已花芽分化完全並進入休眠的梨枝條，利用冷藏庫低溫貯藏，打破休眠後再高接於砧木 (‘橫山’梨、鳥梨等) 徒長枝

上，可順利生產梨果，並將生產時間提早 2-3 個月，延長梨的生產時間及提高中低海拔梨園收益。紅龍果利用疏花、果及批次留果方式，控制果實大小及品質，生產最符合市場需求果實。

作物生長過程受到栽培環境影響，包含光、溫度、水分等環境因素，其中光包含光強度、光質與光週期，可改變植物型態與調控生長及開花 (劉等, 2015; Batschauer, 1998; Bian *et al.*, 2015)。近年，果樹利用燈照處理調節產期之種類逐漸增加，如：印度棗 (*Ziziphus mauritiana* Lam.) 夜間以日光燈照可影響開花及產期 (邱和翁, 2003; 邱等, 2004); 鳳梨釋迦 (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*) 配合夜間燈照可促進秋冬季開花著果，以穩定或延長產期 (江和盧, 2017)。

本場轄區內重要果樹紅龍果 (*Hylocereus undatus*(Haw.) Britt.)、百香果 (*Passiflora edulis*) 及葡萄 (*Vitis vinifera* × *V. labrusca*) 利用燈照進行產期調節或提高著果。紅龍果全臺栽培面積 2,864 公頃，本場轄區中彰投佔將近 40%，其中白肉種產期為 6-10 月，紅肉種為 5-12 月。紅龍果花芽分化受長日及高溫影響，利用夜間燈照可進行調節產期，於 9 月起進行夜間燈照，延長產期生產 12-3 月果實，或提早於 3 月開始燈照，提早生產 5 月春期果，減輕 6-11 月正期果產銷壓力。該項技術須配合植株生長勢、調控 6-9 月留果量 (陳, 2017)。

百香果栽培面積約 809 公頃，主要品種為‘台農 1 號’，產區集中在南投縣埔里鎮，佔 75%。產期主要為 6 月至翌年 2 月，3-5 月為空窗期，將產區移到彰化縣溪湖鎮平地栽培進行產期調節，結合冬季利用設施栽培、夜間燈照、生物性堆肥及液肥施用，可順利於 3-5 月採收果實，達到全年供應百香果的新技術 (張, 2017)。

2. 水分管理

適當水分管理是果園成功的重要因素。灌溉除土壤水分的保持外，在特定期間 (如開花著果期) 空氣中的濕度會影響產量，如葡萄在開花期時，空氣中濕度過低，無子果的比率會增高，開花期在空氣中噴霧加濕可以改善

著果情況，因此增加濕度也成為灌溉的項目之一。隨著各種偵測儀器的使用，測量土壤水分、植株葉片含水量、空氣中濕度等各種數值，配合調查數據的應用，統一管控管路灌溉時間間隔、水量。減少滲漏及逕流問題，符合植物發育所需，提高水分利用率並增加產值。

葡萄開花授粉受精為容易受環境影響之物候期(Vasconcelos *et al.*, 2009)，‘巨峰’葡萄花穗發育至開花期以噴霧系統處理，可降低高溫對著果之影響。噴霧時間由上午 9 時至下午 4 時，噴霧間隔為噴 2 分鐘停 10 分鐘。試驗顯示葡萄夏果開花期平均日溫為 27.4°C，噴霧處理或結合 0.2 ppm 細胞分裂素對提高著果效果顯著，分別較對照組可提高 3.4% 及 2.2%。冬果開花期平均日溫為 32.3°C，相對濕度為 69.7%，噴霧處理不能提高著果率，但可以降低無子果比例，無子果比率由 9.2% 降為 5.6%。由試驗結果顯示葡萄‘巨峰’開花期利用噴霧處理具有提高著果及降低無子果比率效果。

東京農工大學大學院連合農學研究科發表，‘幸水’梨 Y 字型整枝加限制根域方式配合灌水控制器 (KISBII, SSB 札幌システムブレイン) 控制，白天間隔 40 分鐘點滴灌水，每日灌水 20 回。結果成園期短、結果穩定、品質佳及產量高。第 2 年開始就有收穫，定植後 5 年的收穫量共 15,100 kg·0.1ha⁻¹，平均每平方公尺著果 18.5 粒，產量可達 6,100 kg·0.1ha⁻¹，將近慣行栽培法的 1 倍；果重和慣行法沒有差異，糖度達 12.4 °Brix，在產量及品質上均有大幅度提昇。

3. 捲揚式鋼骨結構溫室及智慧農業系統於葡萄之應用與推展

臺灣葡萄產期調節技術相當成熟，包含露天栽培 1 年 2 收夏果 (6-7 月，一期果) 與冬果 (12-1 月，三期果)、1 年 1 收夏果 (6 月) 及 1 年 1 收秋果 (10-11 月，二期果)，並結合溫室 1 年 1 收生產春果 (3-6 月上旬) 等模式，幾乎可周年生產鮮食葡萄。然而，葡萄生產除技術門檻較高外，人工及氣象條件也是限制因子，造成葡萄產值雖高，栽培面積卻逐漸下降之窘境。因應氣候變遷所造成極端天氣發生頻率增加與強度提高，開發捲揚式溫室生產模式，降低天候因素之災損，並導入人工智慧控制系統，改善葡萄生產環境及減輕人

工需求，為當前的重要任務。配合行政院農業委員會（簡稱農委會）設施農業 5 年計畫，推廣鋼骨結構捲揚式溫室，降低颱風影響，再結合智慧農業元素，開發遠端監控 APP，減少簡易溫室塑膠布拆除及裝設之人力。再者，近年來早春巨峰葡萄果實轉色後期 3-5 月乾旱高溫，溫室內白天溫度常高達 35°C 以上，容易造成葉片黃化、果粒軟化及轉色不良等現象。為克服降雨及高溫對露天或溫室栽培葡萄所帶來之影響，配合農委會政策推行，建議採用捲揚式溫室，可達到降低損失之效果。

農委會農糧署已將捲揚式溫室納入補助，隨極端天氣發生頻率增加與強度提高之趨勢，宜改變現有簡易設施型態，讓葡萄有一更穩定的生產環境。在抗風的部份，可採用鋼骨結構捲揚溫室；防雨可採用捲揚式，但捲揚設施宜請專業人員規劃搭建，東西向之園區較不適合，南北向之園區在南北兩端應有包覆措施，以免被強風吹襲脫落。

4. 採後處理提升品質

果實於採收後還是有生命的生物體，品質仍持續變化，如何保持最佳品質送到消費者手中，一直是研究的重點。以往研究重點在採收後的處理，包括減緩呼吸率、抑制病蟲害發生及延長保鮮期；近期研究則從採收前處理開始，改善採收時果實品質，以得到最佳的採後處理效果。

紅龍果主要產期為高溫多雨的夏季，田間病害發生率較高，如莖潰瘍病導致果實生產品質不佳，果皮外觀賣相不良。長程貯運期間鱗片失水萎凋及褐化，影響消費者的購買意願，使紅龍果失去商品價值。本場研究降低貯運期間貯藏病害的發生及延長銷售櫥架壽命，利用採前藥劑及生物防治資材處理方式及施用時間，以達到降低田間紅龍果莖潰瘍病的發生，提升果實採收品質；並降低貯運期間貯藏病害的發生，及維持紅龍果到貨品質。

紅心番石榴果實於花後 75-90 日間果肉開始轉色，花後 95 日果實成熟度 7-8 分熟達商業採收成熟度，與花後 100 日之果實相比，果實大小及品質間無顯著差異。成熟度越高果實品質較佳，但於低溫長時間貯藏其果實病害程度較高，若欲進行外銷建議以 6 分熟之果實為宜。

百香果栽培過程中，可定期施用有機質堆肥，有助於維持果實產能及穩定品質，且較傳統農友操作應用之生雞糞效果佳。百香果栽培過程中，可定期施用生物性液肥，有助於維持果實產量及穩定品質，且較傳統施肥手冊推薦方法進行栽培者為佳。

5. 生理評估及預測

由於氣候變遷栽培環境改變，對中部地區果樹有很大影響。近年 4-5 月之日平均溫度動輒達 30°C，溫室設施內更可達 35-40°C，使溫室栽培‘巨峰’葡萄轉色不良或果肉偏軟，果實品質與留果量有關，產量太低 (<1,000 kg·0.1ha⁻¹) 或太高 (>3,000 kg·0.1ha⁻¹) 相對較不穩定。以葉面積指數介於 1.1-2.7 之間單位面積產量 2,300-2,500 kg·0.1ha⁻¹ 之園區，果實可溶性固形物、果色及硬度均較穩定。

芒果‘台中 1 號’果皮較薄，在果實發育過程中，果皮容易受損而產生褐斑與流膠情形，於試驗結果，在早期加強病蟲害防治，同時減少氮肥使用並提早套袋，可降低果實汗損發生。經由中部地區芒果栽培改善措施建立，以利產業發展。

6. 農林氣象防減災研究與推播

作物的天然災害包括颱風、高溫、低溫及雨害等不同類型，不同作物敏感生育期遭遇突然的天氣變化所造成災損樣態亦不同，但最終對於農友收益影響顯著。氣象單位對於氣候變化強度有歷史紀錄及最新氣象條件的定時更新，農業單位有天候變化對作物的影響強度報告，亟需建立作物栽培曆和防災曆，並逐年建立極端天氣對作物致災條件及相關防範措施，以供栽培者取得資訊並提前預防。目前農作物災害預警平台已建立有甜柿、高接梨、荔枝等 20 種作物品項。

前瞻規劃

1. 發展韌性農業

現有栽培地區作物品種若已出現適應不良情形，可以考慮更新品種或

更換作物品項，甜柿適合栽種地區由以往建議海拔 600-800 公尺往更高海拔地區移動，柑橘類栽種區往北部及更高海拔地區移動。高冷地梨山地區因暖冬影響，現有的新雪梨品種、‘上海蜜’水蜜桃出現春季萌芽開花情況不佳，更替低溫需求量較少的品種，如‘台中 1 號’梨或‘寶島甘露’梨、‘紅鈴’或‘紅玉’桃，低溫需求量少春季可以正常萌芽開花，解決冬季低溫不足的問題。

臺灣重要經濟農作物因遭受災害天候而影響供應穩定度，故農委會農業試驗所、各區改良場和茶業改良場共同執行農業氣象及災害資訊加值化分析及減災調適研究，以進行作物耕作系統調查，探討因應氣候變遷合適之生產模式。業完成調查各改良場轄內 16 種重要經濟作物耕作系統與生產模式，分析災害與作物生產相關性，結果包括受高溫影響開花著果之作物，葡萄開發噴霧系統、茶及紅棗以不同資材覆蓋以降低高溫對作物之影響，進而節省水資源使用；鳳梨釋迦以不同整枝降低落果發生、文旦利用防風罩減輕颱風災害等相對應綜合減災技術，並建立大豆防減災農業經營專區 100 公頃，期達到各項農產品增加供應韌度之效益。

2. 發展輔具達成高值農業

國內農業人力老化及缺乏是一大隱憂，故導入省工機械或輔具，以減輕人員負擔提高工作效率。穿戴式省力輔具主要是透過機械力的支撐方式，提供農事人員在作業時雙臂上舉的支撐力與輔助，可節省 30% 以上的肌力消耗，有效減緩作業之疲勞感及手部痠痛，並可依身形靈活調整需求，可廣泛應用於果樹生產。臺灣葡萄生產採用水平棚架栽培方式，常需抬高手臂進行修剪、枝條固定及疏果等作業，長時間操作下容易造成身體疲勞，造成手臂或肩頸酸痛問題，降低工作效率，有了穿戴式省力輔具，可有效克服疲勞問題，並提高工作效率。

3. 善用設施雲端智慧管理

設施生產為國內農業發展趨勢，內容可包含產銷規劃、農業機械設備、與省力輔具應用，並結合資通訊技術、大數據分析、區塊鏈、人工智慧等

技術導入，減輕農業作業負擔並降低人力需求，提供農民更有效率的管理模式(徐，2019)。農民建立農業設施後請業者協助安裝環控設備，增加傳感器紀錄溫度、濕度、土壤 pH 與 EC 值等，透過這些環境參數，通過無線方式傳輸至監控中心，以圖表方式顯示給農民，並提供各種警報訊息。Mohammadpoor 等 (2019) 則藉由人工智慧技術進行葉片判讀，偵測葡萄扇葉病毒 (Grape Fanleaf Virus, GFLV) 可達 98.6%；葡萄利用循環圖神經網路 (recurrent graph neural networks)，可作為修剪管理依據 (Fourie *et al.*, 2020)；此外，Liu 等 (2020) 採用深度卷積神經網路，藉由影像分析深度學習可有效辨別葡萄葉片病害。利用物聯網監測系統控制設施用風扇開關、灌溉、噴霧時間及遮陰網運作等，藉由程式編輯軟體，記錄作物生育階段、病蟲害發生時期和環境相關係數，建立作物栽培曆，改善栽培技術與提昇作物產量與品質，此等智慧農業技術可作為本場未來發展參考之借鏡。

結語

國內農業在面臨氣候變遷、人力短缺、人員從農經驗不足等不利因素下，可藉由科技發展合理且有效率地利用各項資源以得到緩解，發展輔具達成高值農業，善用設施雲端智慧管理發展韌性農業讓果樹從業人員也能輕鬆上工，獲得相對應報酬，維續產業發展。

參考文獻

- 徐瑞玲 . 2019. 臺灣農業設施產業智慧化發展之現況與趨勢。
- 江淑雯、盧柏松 . 2017. 鳳梨釋迦產期調節研究發展與產業調適 . 臺中區農業改良場特刊 134: 171-181。
- 邱祝櫻、翁仁憲、黃明得 . 2004. 光源對印度棗生育之研究 . 高雄區農業改良場研究彙報 15: 49-59。
- 邱祝櫻、翁仁憲 . 2003. 夜間間歇照光對印度棗生育之影響高雄區農業改良場研究

- 彙報 14: 1-9。
- 張致盛、王念慈 . 2008. 全球暖化趨勢對臺灣果樹生產之影響 . 作物、環境與生物資訊 5(3): 196-203。
- 張富翔 . 2017. 百香果產業及栽培管理 . 臺中區農業專訊 98: 1-4。
- 陳盟松 . 2017. 臺灣紅龍果產期調節技術發展 . 臺中區農業改良場特刊 134: 91-100。
- 劉慶、連海峰、劉世琦、孫亞麗、於新會、郭會平 . 2015. 不同光質 LED 光源對草莓光合特性、產量及品質的影響 . 應用生態學報 26: 1743-1750。
- 大谷義夫、八卷良和 . 2010. 根圈制御栽培における仕立て方の違いがニホンナシ‘幸水’の樹体生育, 収量および物質生産に及ぼす影響 . 園学研 9:467-475。
- Batschauer, A. 1998. Photoreceptors of higher plants. *Planta* 206: 479-492.
- Bian, Z. H., Q. C. Yang and W. K. Liu. 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *J. Sci. Food Agric.* 95: 869-877.
- Fourie, J., C. Bateman, J. Hsiao, K. Pahalawatta, O. Batchelor, P. E. Misse and A. Werner. 2021. Towards automated grape vine pruning: Learning by example using recurrent graph neural networks. *Int. J. Intell. Sys.* 36: 715-735.
- IPCC <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- Liu, B., Z. Ding, L. Tian, D. He, S. Li and H. Wang. 2020. Grape leaf disease identification using improved deep convolutional neural networks. *Front. Plant Sci.* 11: 1-14.
- Mohammadpoor, M., M. G. Nooghabi and Z. Ahmedi. 2020. An intelligent technique for grape fanleaf virus detection. *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.* 6: 62-67.
- Sugiura, T., H. Kuroda and H. Sugiura. 2007. Influence of the current state of global warming on fruit tree growth in Japan. *Horti. Res.(Japan)* 6(2): 257-263.
- Vasconcelos, M. C. M., M. Greven, C. S. Winefield, M. C. T. Trought and V. Raw. 2009. The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 60: 411-434.

Fruit tree technology research and development achievements and forward-looking plans in the central region

Ching-Mu Hsu¹ and Wen-Pin Yeh²

Abstract

The central region including subtropical and temperate climates has complex terrain and large altitude differences and is an important production area for fruit trees. The fruit tree industry in the central region has made good achievements through improvement of cultivation technology, water management, facility application, development of post-harvest treatment technology, promotion of agricultural, forestry and meteorological disaster prevention and mitigation research, as well as update and promotion of varieties. The frequency of extreme weather caused by climate change has increased, and complex natural disasters often occur. In the future, we plan to continue to develop resilient agriculture, develop labor-saving aids to improve work efficiency, and achieve high-value agricultural facilities and smart management.

Key words: Facilities, Resilient agriculture, Assistive devices, Extreme weather

¹ Assistant Researcher of Taichung DARES, COA

² Associate Researcher of Taichung DARES, COA

果樹生產智慧化與應用實例

王仁晃^{1*}、朱堉君²、賴信忠³、郭晉良⁴

摘要

傳統果樹栽培環控設施的投入程度較低，受到劇烈天氣影響機會也較高，因此有必要開發果樹生產智慧化管理技術。為建構果樹栽培智慧化管理系統，本研究運用桃園區農業改良場所開發的「農業生產管理即時監控資訊系統」，應用物聯網的技術，分別建置木瓜客製化智慧防減災預警、木瓜智慧肥灌及灑水降溫，和紅龍果智慧型灑水降溫等三個示範系統。系統首先在果園架設環境感測器，以監測及記錄果園環境條件，透過程式積木的運作與結合 Line 即時通訊軟體的功能，讓生產者可自動接收各項氣象通報及種植決策建議等智慧化通知，再透過控制系統連動機電系統以自動驅動各項果園設備，並將執行結果透過 Google 試算表功能隨時記錄，以達到果園管理自動化的目的。本研究可以提供木瓜及紅龍果智慧化管理的技術，未來並可提供其他果樹智慧栽培管理應用。

關鍵詞：物聯網、程式積木、木瓜、紅龍果、智慧管理

¹ 行政院農業委員會高雄區農業改良場副研究員

² 行政院農業委員會高雄區農業改良場助理研究員

³ 行政院農業委員會桃園區農業改良場副研究員

⁴ 慶奇科技股份有限公司智農發展部經理

* 通訊作者：rhwang@mail.kdais.gov.tw

前言

近年來全球農業面臨劇烈氣候問題，臺灣果樹產業亦無可倖免，強烈颱風、豪雨、乾旱、寒流及連續高溫等劇烈天氣持續發生，經常造成生產者鉅額的損失。為減輕天然災害對作物的影響，政府亦投入大量科研經費於作物天然災害的預警、防範措施與復耕等技術開發，並製作農作物災害預警平台因應（行政院農業委員會農業試驗所，2021）。然而目前的災害防減災系統多透過網頁、臉書及新聞資訊等被動通知方式，而且果園的環境與作物生長時期各有不同，無法針對特定區域甚至是果園發布災害預警，容易造成重要災害資訊的遺漏，因此必須要有一套主動預警且客製化的災害防減災系統因應。

此外，隨著市場消費行為快速變化，消費者對安心溯源驗證農產品的需求持續增加，因應大型連鎖超市截切及果汁等新型態的產銷模式，市場通路更希望能確實掌握產銷資訊，但是新型態的果園作業規範與產銷履歷登錄等工作增加果樹經營者的負擔，另隨著農家勞力的缺乏與老化日趨嚴重，田間栽培作業效率亟待提昇，必須要讓新進的果農能確實傳承經驗，快速接軌生產與經營農場（呂，2020）。因此若能導人物聯網（Internet-of-Thing, IoT）及數位化工具，將各項果樹栽培與田間資訊量化，並加以整合應用，未來將是維持果樹產業競爭力的重要關鍵。

「智慧農業」的定義為：以現行產業生產模式為基礎，因應消費市場需求進行產銷規劃，生產管理上輔以省工省力機械設備、輔具及感測元件的研發應用，並結合跨領域之資通訊技術（Information and Communication Technology, ICT）、IoT、大數據（Big Data）分析、區塊鏈（Block Chain）等前瞻技術導入，減輕農場作業負擔降低勞動力需求，提供農民更有效率的農場經營管理模式，生產符合消費者需求，安全、安心及可追溯的農產品（行政院農業委員會農業試驗所，2021a）。近年來在政府大力推動智慧農業政策下，果樹領域在病蟲害辨識、無人機影像即時監控、智慧光源控制、智慧跟隨搬運車、採收輔助穿著及早期預警系統等方面均有豐碩的研發成果（行政院農業委員會農業試驗所，

2021ab)，尤其是在病蟲害防疫服務中，導入應用廣泛的即時通訊平台 Line 聊天機器人的功能，進而提供正確的用藥資訊，互動式服務讓整個病蟲害防治服務體系變的更為即時，也促進農產品用藥的安全（姚等，2021）。

國外在智慧農業果樹的應用上亦有進展 (Ayaz *et al.*, 2019)，尤其以精準灌溉技術在果園的應用較為廣泛，透過運用植物生理（例如：莖水勢、葉片水勢等感測器）、土壤肥力及氣象預測等不同的感測技術，集合各種資訊數據，開發智慧灌溉模型，透過機器學習建模，作為灌溉與否決策依據，以達到精準灌溉調控產能的目的（行政院農業委員會，2021）。在西班牙東南部運用智慧物聯網的監控系統，透過運算機制精準預測地區性低溫，適時通知啟動灑水機制，以減少核果類發生霜害所造成的減產，並有效節省水資源 (Guillén-Navarro *et al.*, 2019)；而中國大陸則是開發草莓簡易溫網室智慧管理系統，將田間感應器所蒐集的各項資料與上傳照片，透過 IoT 的技術，以微信 (WeChat) 人機介面平台，讓生產者可以隨時接受到各項栽培的指導，達到在簡易設施內智慧化生產、節省用水管理與增產的目的，有別一般精密型溫室的智慧環控與灌溉系統，該技術更強調如何在缺乏自動控制的環境下，如何提供生產者智慧栽培管理的建議 (Li *et al.*, 2021)。

本研究運用行政院農業委員會桃園區農業改良場（簡稱桃園場）所開發的「農業生產管理即時監控資訊系統」（賴，2019），運用 IoT 的技術，將田間所蒐集的各項資訊，透過程式積木的運作，結合即時通訊軟體 Line 的通知，達到傳送即時性的防減災資訊與栽培管理建議的目的，或自動驅動田間灌溉設備，達到降溫及肥灌管理的目的。本文將以木瓜低光照警訊 - 客製化智慧防災預警系統、木瓜智慧肥灌及灑水降溫系統和紅龍果智慧型灑水降溫系統等 3 個應用實例，提供在不同的田間設備環境下，如何提升智慧化管理層面的建議。

果樹智慧化生產案例

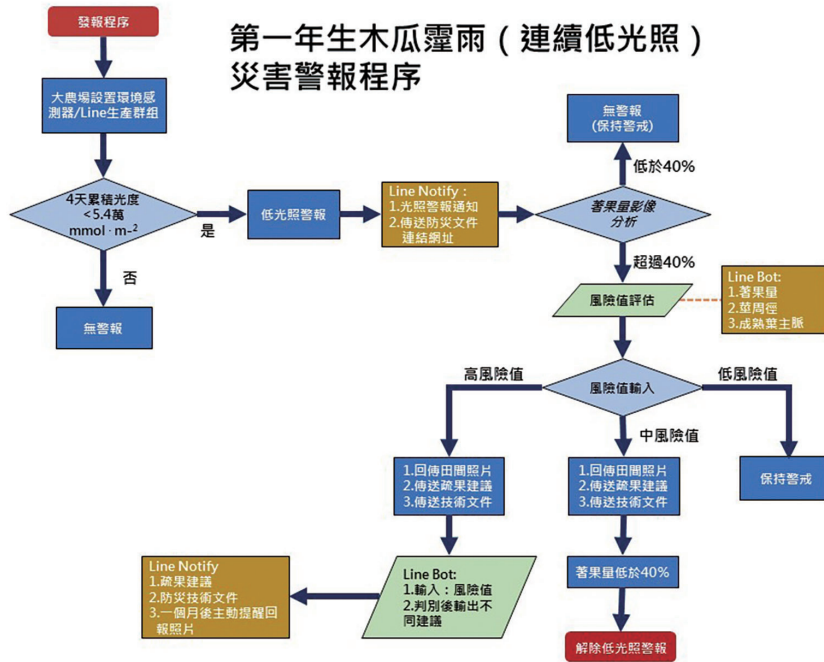
1. 木瓜低光照警訊 - 客製化智慧防災預警系統：

霪雨為長時間的連續降雨，在臺灣的梅雨季 (5-6 月)、冬天東北季風的鋒面，都是霪雨好發的時間，霪雨（包含陰天）造成連續性低光照（光合光量

密度，photosynthetic photon flux density, PPF) 與降雨的環境，常導致木瓜光合作用碳源供應不足，樹體迅速衰弱，果實品質降低，引發病害嚴重，甚至造成植株死亡的危機(王，2018)。木瓜靈雨災害主要樣態表現在葉片及果實，葉片受災情形為全園下位葉迅速黃化，另有葉片從葉柄基部迅速垂折的現象，若掛果過多植株容易造成死亡(俗稱敗穢)；果實災害通常會發生早熟的現象，包含自果溝處先迅速黃熟，呈現轉色分明狀態，或是輕微轉色時果溝處便冒出乳汁，轉色及冒乳汁處發生嚴重的炭疽病徵，果肉顏色淡而無味，無法順利後熟軟化(農民所稱的死黃)。

颱風和豪雨均可由氣象預報資料實施防範措施，但靈雨造成累積日照量不足的問題卻不易讓人察覺。由於木瓜在陰雨期間是否會衰敗，與日照強度和時數、掛果數目、樹體強弱有關，每個果園的狀態並不相同，因此為解決過去只能針對全臺所有果園發布相同災害預警的缺失，本研究設計一套客製化智慧防減災通報系統，主要是以環境感測器監控栽培環境中低日照量變化，按照木瓜不同著果量階段，設定智慧化訊息推播通知，讓農友隨時掌握氣象資訊並即時調整田間操作策略。

以程式流程圖(圖一)說明第一年生木瓜低光照(靈雨)災害警報程序，首先在大農場最具代表性的網室內裝設環境感測器，可自動記錄田間環境變化，並將鄰近果農組成生產 Line 群組，同時將 Line Bot(Line 聊天機器人)和 Line Notify 加入群組中，以提供日後由系統自動發送群組提醒訊息及果農回報問題。當環境感測器累積 4 日日照光度值低於風險值(設定為 $54,000 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}$) 時，便先以 Line Notify 的功能，發布木瓜低光照防災警報，並同時自動傳送防減災參考資料的網路連結，提供農民防範技術資訊。利用始花日推估始收期及推算著果量，以 40% 以上著果量的果園為災害預警通知的推播對象，40% 以下因著果較少，不設定風險值及推播。受推播果園接收到 Line Notify 推播「低光照風險值評估」訊息，依序填入著果量、莖周徑及成熟葉主脈等數據，將獲得風險值評估數值，若判定為高風險值的果園，將收到 Line Notify 所發出的「提供果園現況照片」請求指令，並同時提供疏果建



圖一、木瓜客製化智慧靈雨防減災預警系統程式流程圖。
Fig 1. Program flowchart of the papaya customized intelligent excessive rain disaster reduction and early warning system.

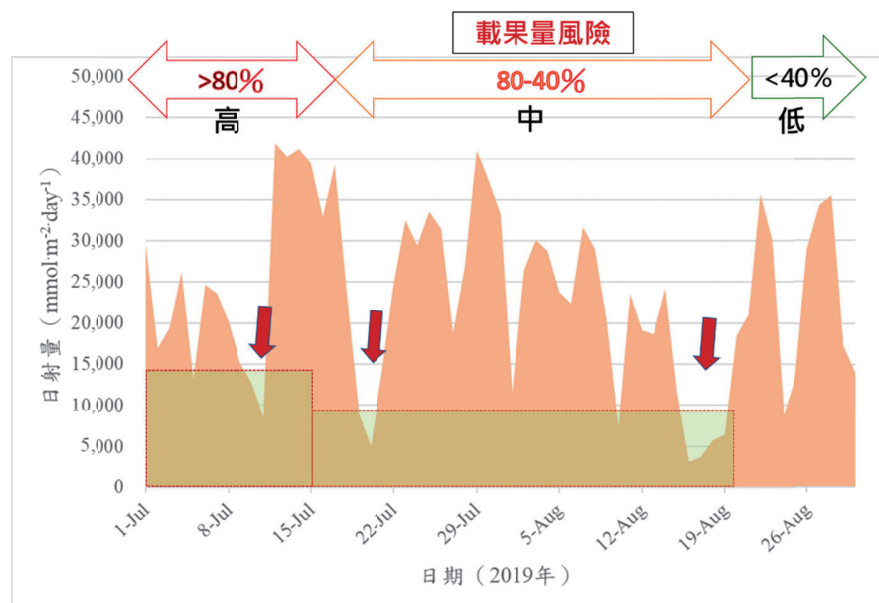
議及防災技術等文件網路參考連結，系統於一個月後主動提醒農友回報照片；低風險值果園則提醒持續注意保持警戒，待果園採收果實著果量減少至 40% 以下時，即解除低光照的警報。

本研究以木瓜碳平衡理論為基礎，以累積日照量、著果量、莖徑和成熟葉主脈（葉面積）訂定風險值，除了日射量與光截取（葉面積）直接影響碳水化合物的供給外 (Wang *et al.*, 2014)，雨季期間果實負載量較大的木瓜植株死亡率較高 (洪等, 2013)，且相同果實負載量植株，莖徑較粗對逆境承受力較強。因此，根據田間調查，先以始收期著果量的 80% 以上、40-80%，訂定承受 4 日的累積日照風險值，著果量越大、莖徑越細且成熟葉面積越小，對累積光照不足的承受力就越低，例如著果量達 80% 以上植株，莖周徑低於 50 公分，成熟葉主脈長少於 40 公分，當 4 日累積日照值低於 54,000 mmol·m⁻² 風險值，便開始發布防災警報，當隨著果實逐漸採收，著果量已減少至 80-

40%，便可以承受更低累積日照值（例如 $42,000 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}$ ）（圖二）。利用上述的程式積木設定警訊，可針對果園的實際著果狀況，自動設定累積光照值警訊並發報警訊通知，但由於木瓜日照不足的致災成因較為複雜，本技術未來仍需持續累積相關試驗資訊，以建置更為精準且智慧化的木瓜防災預警系統。

2. 木瓜智慧肥灌系統及灑水降溫系統

木瓜生長勢強健，具周年生產、高產值的特性，為提升產能，生育期間需設法維持水分及肥料供給無虞，而灌溉與肥培管理則是整個栽培技術的核心。利用滴灌系統進行木瓜肥灌管理，可獲得高產及高品質之效果外，更可達到提高肥效、管理均勻、省工及維持土壤結構等優點，此外夏季高溫經常造成木瓜著果不良（王，2017），春季乾燥氣候蟎類防治不易，可利用現有的網室棚架作為灑水降溫管路的支架，架設自動灑水設備。



圖二、木瓜智慧靈雨災害預警示意圖。實心橘色為2019年7、8月屏東試區傳感器累計光度值的變化，在不同的掛果量下，果實掛果量越大，載果量風險越高，利用預先編排的積木程式可於連續4日累積日照不足時自動發布警訊。(虛線表示預設的累積光照閾值，實心箭頭為發布警訊)。

Fig 2. Diagram of the papaya intelligent excessive rain disaster and early warning system.

本系統應用 IoT 的技術，設置可量測並自動記錄光度、氣溫、相對濕度和土壤濕度等氣候條件的環境感測器，並將灌溉控制器結合機電系統及電磁閥等，透過程式積木的運作，以設定的環境條件啟動幫浦，達到智慧肥灌及灑水的控制功能（圖三）。啟動灌溉的機制係參考行政院農業委員會臺中區農業改良場所開發的光積值智慧灌溉技術（陳和陳，2014），可搭配土壤濕度計監測土壤濕度及灌溉水在土壤中滲透的情形，作為監控及驅動精準灌溉的方法。其他作物栽培如果樹、花卉、瓜果菜類等亦可套用一般灌溉管路設計的原則，參考木瓜的案例設置。

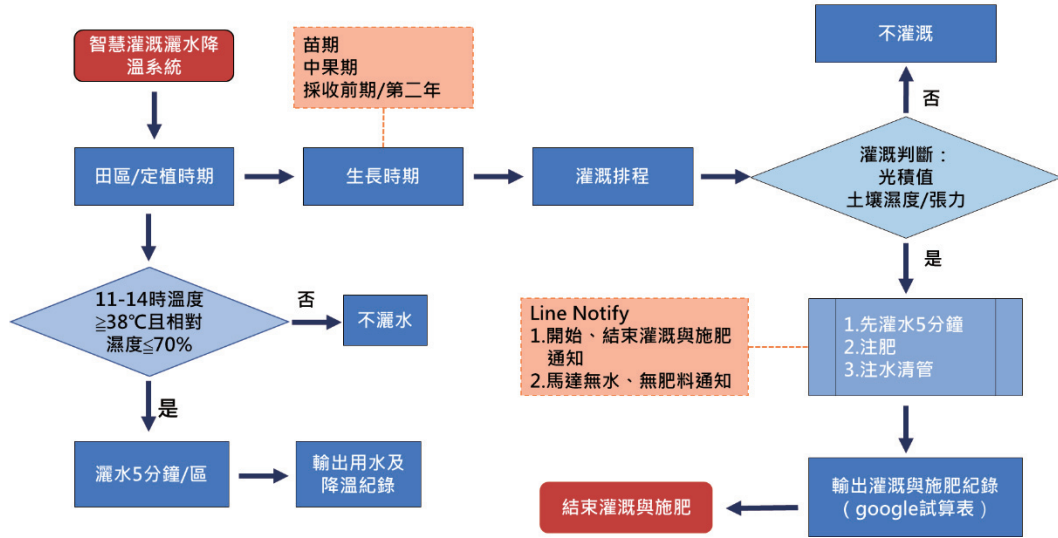
利用木瓜智慧肥灌系統程式流程圖（圖四）說明肥灌與灑水控制流程，以文氏管配置一套注肥設備以達到肥灌的目的，再按照田區數量多寡、面積大小配置田間滴灌及噴霧設備，依據計算出需水量選擇適當幫浦規格，再利用灌溉電磁閥的配置達到分區灌溉目的（王，2020）。依照果園土壤特性及木瓜生長時期排定灌溉及施肥的流程，利用積木程式排定肥灌的排程，當光累積值達到一定的閥值後（例如 $60,000 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}$ ）開始啟動肥灌流程，設定先



圖三、智慧肥灌系統在木瓜果園設置情形。

Fig 3. The intelligent fertigation system in the application orchard.

木瓜智慧肥灌溉水降溫系統程序



圖四、木瓜智慧肥灌系統及灑水降溫系統程式流程圖。

Fig 4. Program flowchart of the papaya intelligent fertigation and sprinkle cooling system.

用清水灌溉 5 分鐘，待滴灌管路充飽水後，再開啟注肥電磁閥開始注肥，注肥時間的設定係以光積灌溉間隔天數為頻率，每區每個月總注肥量均固定供給，注肥結束後再以清水滴灌 5-10 分鐘，達到清潔滴灌管的功能，每次執行灌溉後光積值歸零再重新累積。在每次執行灌溉及注肥的過程中，均可透過 Line Notify 推播肥灌訊息 (圖五)，並將所有的肥灌資料回傳至 Google 試算表中完成各項記錄 (圖六)。

灑水噴霧的主要目的為降溫與降低蒸氣壓差，但要避免雨天時執行噴霧，因此可設在每天的 11 點到下午 2 點，當網室溫度高於 38°C，相對濕度低於 70% 時，每次啟動 5 分鐘灑水，過 5 分鐘後再執行下一次噴霧



圖五、透過 Line Notify 推播果園灌溉和施肥的訊息。

Fig 5. The irrigation and fertigation messages send automatically through Line Notify.

灑水，若環境條件沒有達到設定值則當次噴霧會跳過，因此每小時最多會噴 6 次，共 30 分鐘，每次的噴霧後均可記錄執行時間、用水量及溫度變化等數據。

以上述木瓜智慧型管路灌溉為案例，與一般穿孔管灌溉相較，成株時期可節省約灌溉水 60%(12.5 減為 5.0 $\text{m}^3 \cdot 0.1\text{ha}^{-1} \cdot \text{week}^{-1}$)，肥料可減少使用 30%，產量因使用滴灌約可提升 10-20%。此外，使用智慧灌溉系統最主要目的在於輔助人腦的決策行為與動作，達到省工與精準管理的目的，對於任何農場管理而言，所有的灌溉與施肥若都能夠留下紀錄，再搭配氣象因子進行數據分析，可不斷精進灌溉的判斷與決策，並將整套栽培管理的技術標準化以擴大事業規模。

3. 紅龍果智慧型灑水降溫系統 - 人機共同決策模式

紅龍果為原生於熱帶雨林的仙人掌果樹 (Mizrahi *et al.*, 1997)，紅肉品種‘大紅’是臺灣主要的栽培品種，然而‘大紅’在夏季容易受強光、高溫影響，導致枝條黃化 (圖七)、小果率增加 (Chu and Chang, 2020)，長期的枝條黃化不利於植株樹勢的維持。進行果園環境改善可減少高溫對紅龍果生育的影響，利用遮陰可有效遮光並降溫 (Chang *et al.*, 2016)，但遮陰搭設成本高且可能受到颱風損毀。因此利用原有的噴灌設施，在夏天上午 10 點至下午 2 點之間，以間歇噴灌可代替遮陰達到降溫效果 (圖八)，並減少枝條黃化。

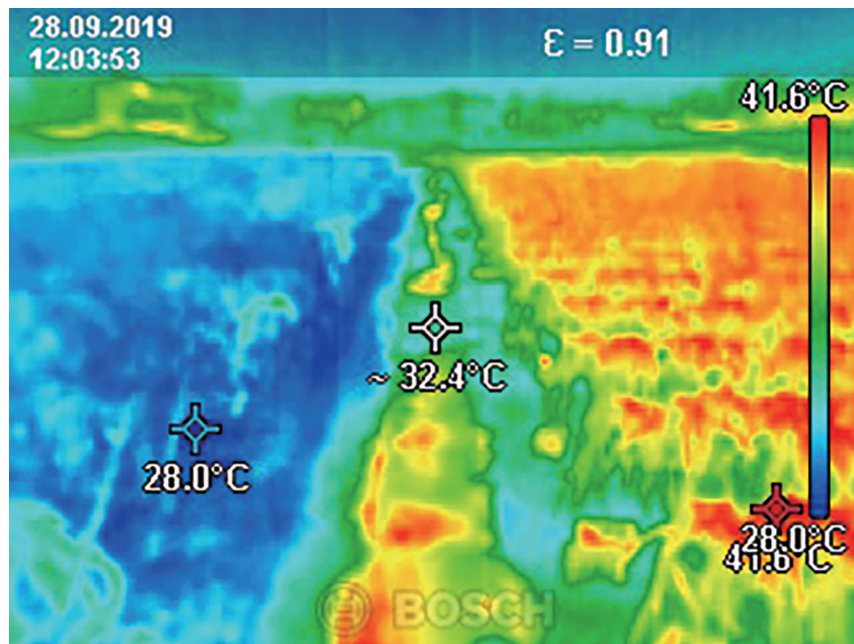
日期時間	灌溉區	滴灌水量(L)	吸肥量(L)	總施用肥料量(Kg)	肥料稀釋倍數	肥料種類	N	P2O5	K2O	灌溉水警訊	肥料警訊
2021/3/10 上午 8:05:00	B區肥灌	9669.52	6.64	0.66	14569.12	青森快速肥20:20:20	0.13	0.13	0.13		
2021/3/13 上午 8:05:00	B區肥灌	8042.59	6.33	0.63	12699.49	青森快速肥20:20:20	0.13	0.13	0.13		
2021/3/16 上午 8:05:00	B區肥灌	9817.44	55.14	5.51	1780.36	青森快速肥20:20:20	1.10	1.10	1.10		
2021/3/18 上午 8:05:00	B區肥灌	9978.61	0.32	0.03	311831.66	青森快速肥20:20:20	0.01	0.01	0.01		
2021/3/20 上午 8:05:00	B區肥灌	9600.77	19.31	1.93	4971.14	青森快速肥20:20:20	0.39	0.39	0.39		
2021/3/24 上午 8:05:00	B區肥灌	10422.00	43.05	4.31	2420.68	青森快速肥20:20:20	0.86	0.86	0.86		
2021/3/27 上午 8:05:00	B區肥灌	10513.17	27.32	2.73	3848.58	青森快速肥20:20:20	0.55	0.55	0.55		
2021/3/29 上午 8:05:00	B區肥灌	9959.66	29.45	2.94	3382.23	青森快速肥20:20:20	0.59	0.59	0.59		
2021/4/1 上午 8:05:00	B區肥灌	3731.50	55.08	5.51	677.43	青森快速肥20:20:20	1.10	1.10	1.10		
2021/4/3 上午 8:05:00	B區肥灌	9035.91	9.30	0.93	9711.86	青森快速肥20:20:20	0.19	0.19	0.19		
2021/4/6 上午 8:05:00	B區肥灌	9069.01	44.22	4.42	2051.02	青森快速肥20:20:20	0.88	0.88	0.88		
2021/4/10 上午 8:05:00	B區肥灌	9057.07	44.20	4.42	2048.93	青森快速肥20:20:20	0.88	0.88	0.88		
2021/4/12 上午 8:05:00	B區肥灌	10394.24	9.46	0.95	10987.57	青森快速肥20:20:20	0.19	0.19	0.19		
2021/4/14 上午 8:05:00	B區肥灌	9940.74	21.68	2.17	4584.79	青森快速肥20:20:20	0.43	0.43	0.43		
2021/4/17 上午 8:05:00	B區肥灌	8151.24	28.30	2.83	2880.60	青森快速肥20:20:20	0.57	0.57	0.57		

圖六、系統可將灌溉資訊自動載入 Google 試算表中。

Fig 6. The system can automatically upload irrigation data into the Google sheet.



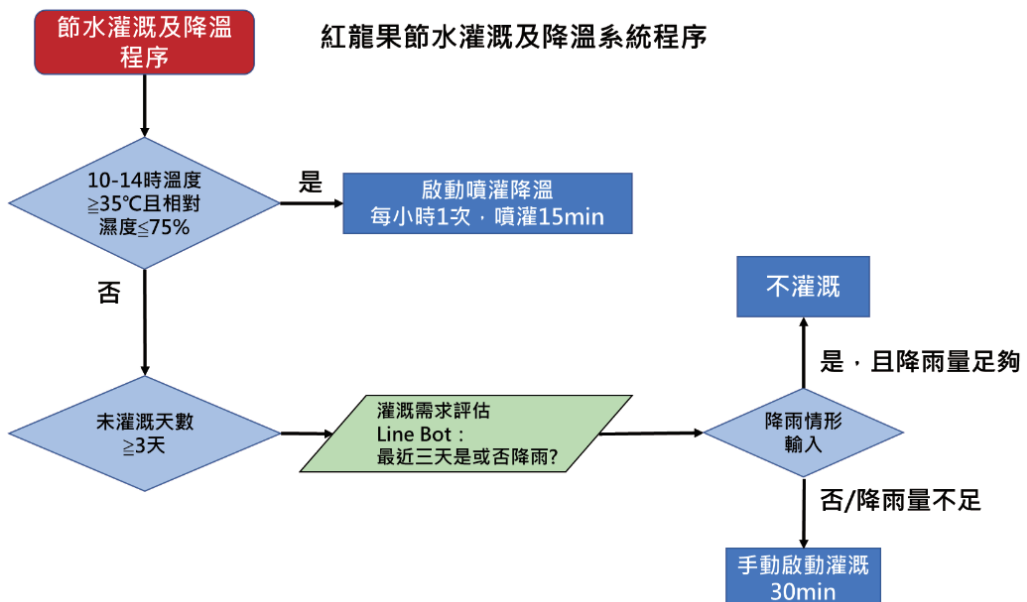
圖七、夏季高溫、強光導致紅龍果枝條黃化。
Fig 7. High temperature and high light intensity during summer caused shoot yellowed in pitaya.



圖八、利用智慧系統於紅龍果園夏季午間灑水可顯著降低氣溫及枝條溫度。
Fig 8. Applying the intelligent sprinkle irrigation system to decrease the air and shoots temperature significantly in the pitaya orchard at noon in summer.

過去灑水降溫的操作是由農民隨時監控田間溫度的變化以決定灑水的時機，或是設置定時器進行午間的定時噴灌降溫。為達到結合環境條件自動噴灌的目的，可利用環境感測器監控環境條件，搭配自動灌溉控制器，配置啟動幫浦的機電系統，以程式積木達到自動灑水的目的。

以程序圖說明紅龍果智慧型灑水降溫系統之案例(圖九)，該案例紅龍果果園為利用原有5馬力深井幫浦，配置1組環境感測器及1組自動灌溉控制器。當中午10點至下午2點間的溫度高於 35°C ，相對濕度低於75%時，即啟動幫浦灑水15分鐘，每隔小時執行1次。若環境條件未達噴灌啟動標準，則不啟動噴灌，避免低溫期間或雨天灑水，可有效節省水資源與人力。為了使智慧化灑水降溫系統可全年應用，本案例以程式積木統計累積未灌溉天數，將Line Bot和Line Notify加入群組中，當環境條件持續未達降溫灌溉條件(如秋冬季溫度較低或連續降雨)，導致未灌溉天數達3天時，系統會回傳「未灌溉天數已達3天」之訊息至Line群組，提醒農友評估是否需以手動開啟控制器進行灌溉。如有降雨，且降雨量足夠不需灌溉，可回傳「不需灌溉」



圖九、紅龍果智慧降溫灌溉系統程式流程圖。

Fig 9. Program flowchart of the intelligent sprinkle irrigation system.

訊息，即重新計算未灌溉天數；或降雨量不足需灌溉，則回傳「請灌溉」訊息，即可以 Line 啟動灌溉，並重新計算未灌溉天數，利用上述的程式設計，可達到「人機共同決策模式」，當 3 天以上未灑水或管理人員不要灑水時，系統徵詢灑水需求，可以用 Line Bot 做人為決定。

除了以程式積木進行灌溉條件的設定及啟動，本案例亦結合 Google 試算表功能，在降溫啟動及結束的同時寫入資料，記錄降溫情形，可供農民參考灌溉降溫效果，以調整不同季節的噴灌時間，兼顧降溫及節水的目的。

夏季高溫逐年攀升，紅龍果的自然產期主要為夏季，生產期間受逆境的影響逐漸顯現，除了進行疏花、調節產期、人工授粉等提升果實品質之措施，進行果園環境改善的策略已刻不容緩。由於紅龍果為景天酸代謝植物，農民大多於夜間灌溉，目前初步了解夏季午間進行噴灌可降低枝條溫度，並減緩黃化，如果園已設有噴灌設施，且病害控制妥當，即可配置「農業生產管理即時監控資訊系統」，建構智慧型灑水降溫系統，以降低高溫逆境對植株之影響。

結語

智慧農業是強調整合跨領域的技術，而 IoT 技術可作為發展的核心技術 (王和江, 2019)，作物專家則是扮演重要的導演角色，但對作物專家而言，如何撰寫適當的程式與應用數位工具，並導入到整個作物栽培管理系統，絕對是有相當的困難度。本研究運用桃園場與慶奇科技公司共同開發的「農業生產管理即時監控資訊系統」，運用 Webduino 開發模式系統，其特色是 Arduino 結合網頁控制技術，因此具備無線傳輸感測器及控制器與雲端系統，運用程式積木讓初學者在沒有程式語言背景都能輕鬆操作，也因此作物專家可自主編輯控制程式。由上述的應用實例可知，要達到果樹智慧生產的目標，並不一定要投入大量資金於感測設備和自動控制機械，相反地，只要能夠巧妙應用智慧生產與數位服務兩大領域，也能夠將傳統農業生產的耕作思維，演進到智慧生產的範疇。

相較於其他農作物生產，果樹栽培面積較大，設施化程度低，但是由於產

值高且栽培期程長，受到劇烈天氣影響果實品質與產量的機會相對也較高，因此積極開發果樹生產智慧化技術有其絕對必要性。未來應優先在各大重要果樹建置一套智慧生產或 IoT 系統，讓智慧生產系統成為一套田間栽培管理的「教練」，生產者在栽培過程便能夠「適時」與「適地」接收到「教練」的提醒，生產者也能夠隨時回饋處理後的結果給專家庫了解，專家再藉由收到的回饋，持續累積並修正專業知識系統，並依此設定未來投入研究的方向，讓果樹栽培技術與研究進入量化與標準化的時代，也讓果樹生產進一步邁入人工智慧管理的階段做好準備。

參考文獻

- 王人正、江昭皚．2019. 智慧農業技術介紹與應用實例．國立臺灣大學生物資源暨農學院農業推廣委員會．農業推廣手冊 74 期。
- 王仁晃．2017. 木瓜夏季高溫著果障礙與克服對策．高雄區農業專訊 100: 12-13。
- 王仁晃．2018. 木瓜雨季防災策略．高雄區農業專訊 103: 10-11。
- 王仁晃．2020. 木瓜智慧肥灌系統介紹．高雄區農業專訊 113: 5-7。
- 行政院農業委員會農業試驗所．2021. 農作物災害預警平台．<https://disaster.tari.gov.tw/ARI/>。
- 行政院農業委員會農業試驗所．2021. 智慧農業．<https://www.intelligentagri.com.tw/>。
- 行政院農業委員會 2021. 農業科技決策資訊平台．<https://agritech-foresight.atri.org.tw/article/list/1357>。
- 呂明雄．2020. 臺灣熱帶亞熱帶果樹現況與未來展望．臺灣熱帶與亞熱帶水果產業發研討會專刊 p.1-9. 國立嘉義大學園藝系。
- 洪苡萱、張龍生、王仁晃、林宗賢．2013. 疏花對臺農二號番木瓜營養與生殖生長之影響．臺灣園藝 59: 205-218。
- 陳令錫、陳加忠．2014. 利用光積值改善番茄灌溉排程之研究．行政院農業委員會臺中區農業改良場研究彙報 125: 39-51。
- 姚美吉、蔡志濃、林筑蘋、王家于．2021. 農業病蟲本一家農業病蟲害搜尋神器。

農業世界 452 : 81-83 。

賴信忠 . 2019. 智慧科技在設施農業應用 . 桃園區農業專訊 110: 8-9 。

Ayaz, M., M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, M. Ali and E. M. Aggoune. 2019. Internet-of-things (IoTs)- based smart agriculture: toward making the fields talk. IEEE Access 7: 129551-129583.

Chang, P. T., C. C. Hsieh and Y. L. Jiang. 2016. Responses of ‘Shih Huo Chuan’ pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) to different degrees of shading nets. Sci. Hort. 198: 154-162.

Chu, Y. C. and J. C. Chang. 2020. High temperature suppresses fruit/seed and weight, and cladode regreening in red-fleshed ‘Da Hong’ Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) under controlled conditions. HortScience 55(8): 1259-1264

Guillén-Navarro, M. A., R. Martínez-España, B. López and J. M. Cecilia, 2019. A high-performance IoT solution to reduce frost damages in stone fruits. Concurrency Comp-Pract E. 33: 1-14.

Li, Q., B. Cao, X. Wang, J. J. Wu and Y. K. Wang. 2021. Systematic water-saving management for strawberry in basic greenhouses based on the internet of things. Appl. Eng. in Agri. 37: 205-217.

Mizrahi, Y., A. Nerd and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. Hort. Rev. 8: 291-391.

Wang, R. H., J. C. Chang, K. T. Li, T. S. Lin and L. S. Chang. 2014. Leaf age and light intensity affect gas exchange parameters and photosynthesis within the developing canopy of field net-house-grown papaya trees. Sci. Hort. 165: 365-373.

The Application of Intelligent Production Base on The Internet of Things in Fruit Tree

Ren-Huang Wang^{1*}, Yu-Chun Chu², Shin-Jong Lay³ and Chin-Liang Kuo⁴

Abstract

The common characteristics of orchards in Taiwan are a proportion of low degree environmental control investment. Therefore, it is necessary to develop an intelligent management system for fruit tree production to reduce the impact of extreme climate change. To construct an intelligent cultivation management system for fruit tree cultivation, we apply the ‘Real-Time Monitoring System for Agricultural Production Management’ developed by the Taoyuan district agricultural research and extension station. Three demonstration systems based on the technology of internet of things (IoT) were developed, including papaya customized intelligent excessive rain disaster reduction and early warning system, papaya intelligent fertigation and sprinkle cooling system, and pitaya intelligent sprinkle cooling and irrigation system. We set up environment sensors to monitor and record the climate data of an orchard. Through the operation of programming blocks and combine the function of Line app, growers can automatically receive planting decision-making suggestions, intelligent notifications and alerting the grower to make the appropriate decisions if this would be necessary. To achieve the purpose of automatic orchard management, the system can connect to the electric system to automatically drive various orchard equipment, and then upload the data automatically at any time through the Google sheet. This study can provide various technical support for the intelligent management of papaya and pitaya, and can also be applied as a model of intelligent cultivation and management for other fruit trees.

Key words:Internet-of-Thing, Programming blocks,Papaya, Pitaya, Intelligent management

¹ Associate Researcher of Kaohsiung DARES, COA

² Assistant Researcher of Kaohsiung DARES, COA

³ Associate Researcher of Taoyuan DARES, COA

⁴ Manerger of King Kit Technology CO., LTD.

* Corresponding author’s email: rhwang@mail.kdais.gov.tw



氣候推估及災害類型對果樹 產業影響

陳永明*、徐永衡、黃亞雯、劉玫婷、黃亞婷、李欣輯

摘要

氣候變遷導致極端事件強度與發生頻率增加，颱風、豪雨等災害事件亦增強，農業生產受天氣影響，颱風強度增強、降雨豐枯不均等情形，皆會加重農業損失。在臺灣，颱風豪雨是造成農損的主要原因，國家災害防救科技中心執行行政院農業委員會計畫，應用科技部統計降尺度資料，探討氣候變遷下葡萄生長期間可能遭遇大雨門檻之衝擊風險評估，結果發現在氣候情境 (Representative Concentration Pathways, RCP) 8.5 情境下，未來數十年豪雨事件發生頻率將持續增加，而暖冬所造成荔枝開花異常，在未來開花適宜溫度之發生頻度將明顯下降，建議提前規劃相對應之調適方案。

關鍵詞：氣候變遷、颱風、豪雨、暖冬、葡萄、荔枝

前言

2018 年 10 月 IPCC 出版《全球暖化 1.5°C》，報告中提到與工業革命前相比，2006-2015 年全球平均溫度已增加約 0.86°C。全球氣溫的變化趨勢穩定且持續上升，近年來更是出現自工業革命以來的最高溫紀錄。人為活動所排放之大量溫室氣體，使全球的未來氣候朝向暖化趨勢發展，近年來因升溫效應，極

* 國家災害防救科技中心
通訊作者：ymchen@ncdr.nat.gov.tw

端天氣事件、異常的氣候樣態，發生頻度或強度在全世界各地都在增加，特別是農業生產直接受天候影響，極端溫度日數增加、颱風強度增強、降雨不均等情形，加重農業生產風險。

依據行政院農業委員會（簡稱農委會）農業統計年報資料，統計 2004-2018 年前 3 大農業損失類型依序為颱風、豪雨、低溫，在氣候變遷衝擊研究中發現，天然氣象災害事件之強度與頻率可能會發生變化，國家災害防救科技中心（簡稱災防科技中心）自 2016 年起執行農委會計畫，參與農林氣象災害風險指標建置研究團隊，2019 年加入韌性農業研究團隊，應用氣象防災與氣候變遷推估資訊，進行現況與未來推估之農業衝擊評估與工具研發，本研究應用科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP)(Cheng *et al.*, 2016) 所針對臺灣產製之細緻化未來氣候推估資料（童等，2019），以彰化葡萄產區及高雄荔枝產區為例，進行未來災害衝擊評估與分析。

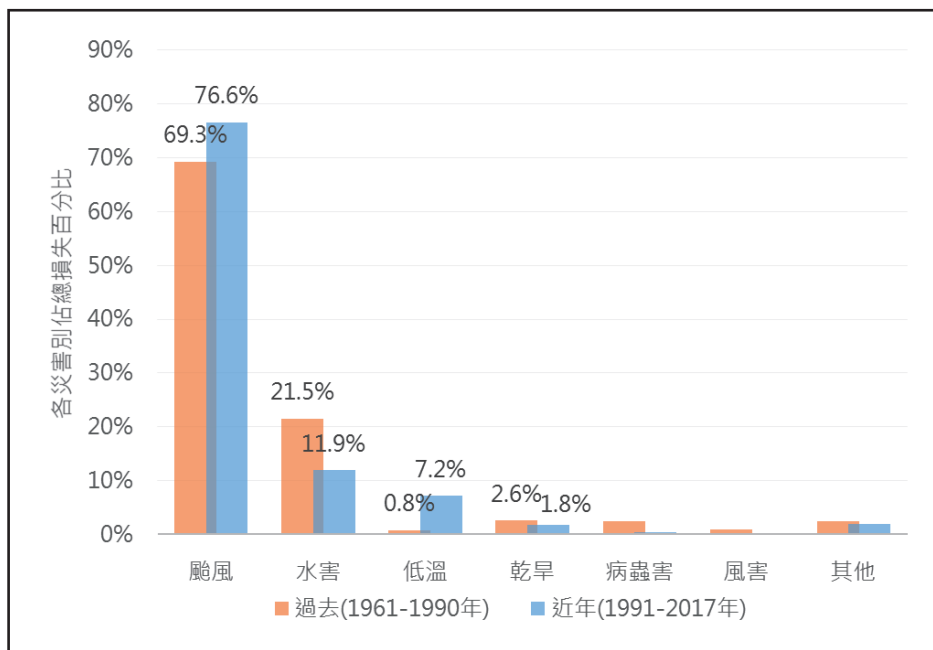
歷史農損事件

依農委會 1960-2017 年統計資料，颱風所挾帶的強風豪雨，無論是過去 (1961-1990 年) 或是近年 (1991-2017 年)，皆為農業損失最大主因、第二為水害（圖一）。

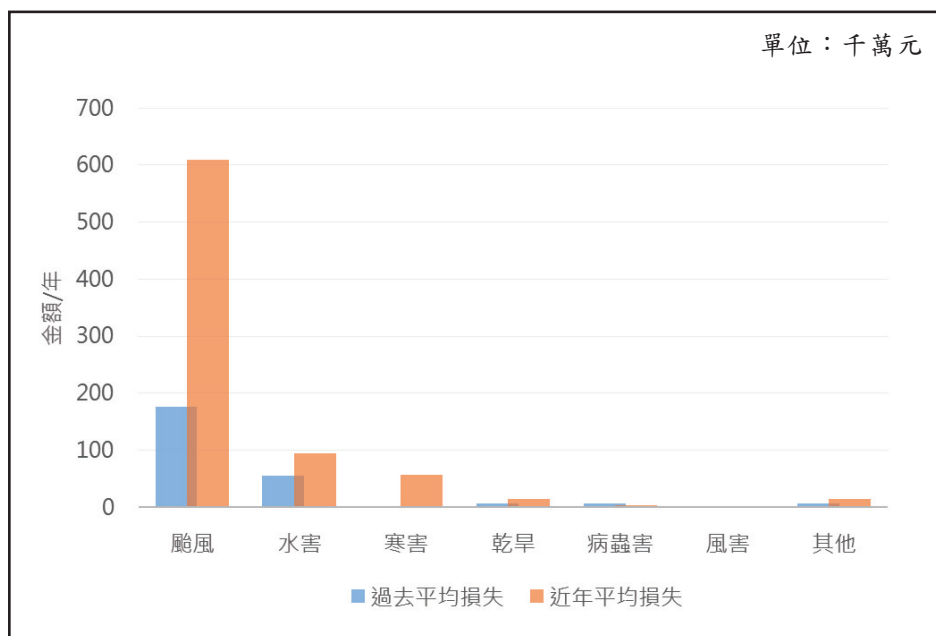
以近年資料為例，颱風造成每年平均損失逾 60 億元，其次為水害，主要為降雨造成之災害，如豪雨、霪雨等，年平均損失也達約 9 億元（圖二），其中果樹、高經濟作物等因產值較高，該項目損失也墊高整體農損金額。

2019 年臺灣發生 0517-0520 豪雨、0812 豪雨（白鹿颱風），造成不少農業損失，以 0812 豪雨事件為例，受損農作物以木瓜最為嚴重，主要受損地區為南投、高雄地區，次為百香果、番石榴、紅龍果、絲瓜、苦瓜、西瓜及香蕉等作物。災防科技中心也在災後進行現地調查，訪談農民以瞭解實際可能受災時間點，並對應氣象局雨量及風速、作物防災栽培曆，探究可能發生致災之臨界門檻值，根據調查結果，發現強降雨引發之田區積淹水、連續多日降雨影響

噴藥管理、颱風強風及其引起之高溫等，皆是造成農業損失的原因 (劉等，2020)。



圖一、過去(1961-1990年)與近年(1991-2017年)各類災害型態損失百分比統計。



圖二、過去(1961-1990年)與近年(1991-2017年)各類災害型態每年平均損失金額。

臺灣氣候變遷推估資訊

根據科技部 TCCIP 團隊在「臺灣氣候變遷科學報告 2017」中的評估與研究發現(陳等, 2018; 周等, 2017), 未來季節與時序可能發生變化, 在雨量部分, 乾濕差異愈趨明顯, 降雨型態改變, 呈現兩極化之趨勢, 短延時強降雨的事件頻率愈來愈多, 少雨與多雨日數皆朝向更極端的增加, 在溫度部分, 夏季增長且冬季縮短, 極端高溫發生頻率皆增加, 因此未來極端高溫事件將可能更為嚴重, 相對而言, 未來寒流發生次數可能減少, 且低溫日數也朝向縮減趨勢。

除溫度、雨量外, 根據歷史統計資料, 侵臺颱風事件平均每年約 3-5 場, 颱風除會帶來災損外, 但同時也是重要的水資源來源之一, 但在未來極端暖化情境下, 世紀末颱風侵臺個數將大幅減少 50%, 但強度卻增加 2-12%, 顯示強颱風比例有增加的趨勢。因此, 推論未來氣候變化所造成氣候型態變化, 將可能會出現以往不常發生, 如農業用水乾枯問題, 或其他非預期之新型態的農損事件。

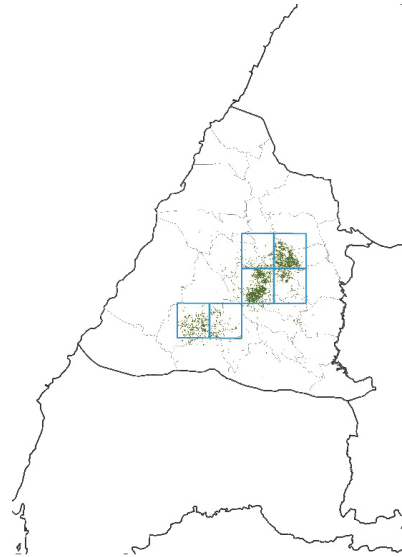
本文使用 TCCIP 團隊 AR5(CMIP5) 統計降尺度資料進行作物衝擊分析研究, 使用 RCP 8.5, 該情境呈現世界各國無任何溫室氣體減量的動作, 模擬方式為大氣輻射力持續增加到 $> 8.5W \cdot m^2$, 其代表大氣中二氧化碳濃度將會 $> 1,370 \text{ ppm}$ 下之氣候推估。除此 RCP 8.5 情境外, 其他更多情境、推估資料與調適知識, 可從科技部氣候變遷變遷整合服務平台 (<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>) 獲得。

未來雨量衝擊案例分析-彰化葡萄

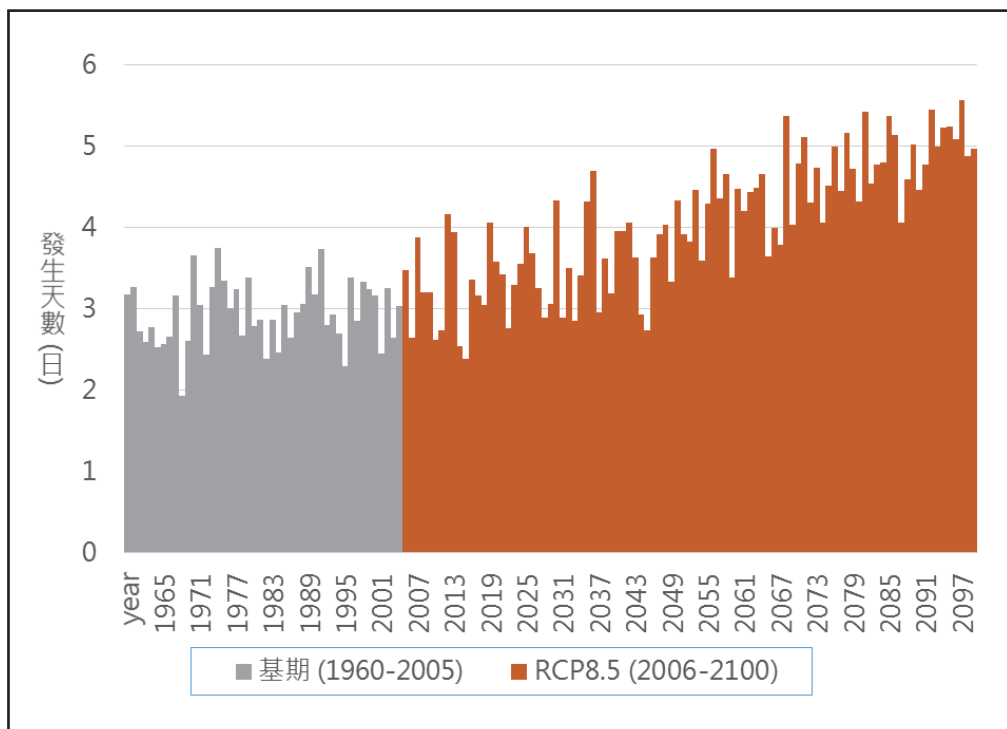
中部地區為葡萄重要產區, 其中彰化產區面積約占 49%, 根據農業統計年報歷史災損統計, 造成彰化縣葡萄颱風農損之路徑主要為第 2、3 或 6 類, 統計 2004-2017 年期間農損資料, 共計 27 場颱風, 分別為 3 類路徑 9 場、2 類路徑 8 場、6 類路徑 5 場、9 類路徑 2 場, 其餘 1 類、4 類及 7 類路徑各 1 場。根據農委會葡萄防災栽培曆豪雨及颱風預警條件, 以及災防科技中心歷史事件分析結果(黃與劉, 2019), 以 24 小時最大雨量達 80 毫米之大雨標準

訂為葡萄受災警戒臨界值。本研究所採用的統計降尺度資料空間解析度為 5 公里，研究中選定彰化縣 6 個網格，涵蓋約 90% 以上葡萄栽種分布範圍 (圖三)。

在溫室氣體高排放暖化情境 RCP 8.5 下，以 24 小時累積降雨量達 80 毫米為門檻值，發現未來雨量推估 > 80 毫米的天數皆呈現增加趨勢，平均每 10 年約增加 0.26 日 (圖四)。因此根據模擬結果，可推估未來數十年豪雨事件發生頻率將持續增加，因此災前強化田區排水設施或災後肥培管理等，這些硬體設施、栽培技術的防減災手段，是值得進一步研究精進，以作為未來氣候變遷調適方法的選項。



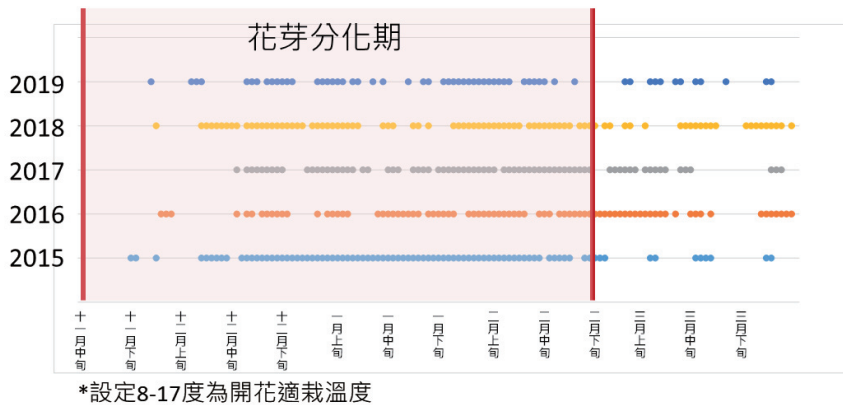
圖三、氣象推估資料所採用涵蓋彰化葡萄產區分布之 5 公里網格位置。



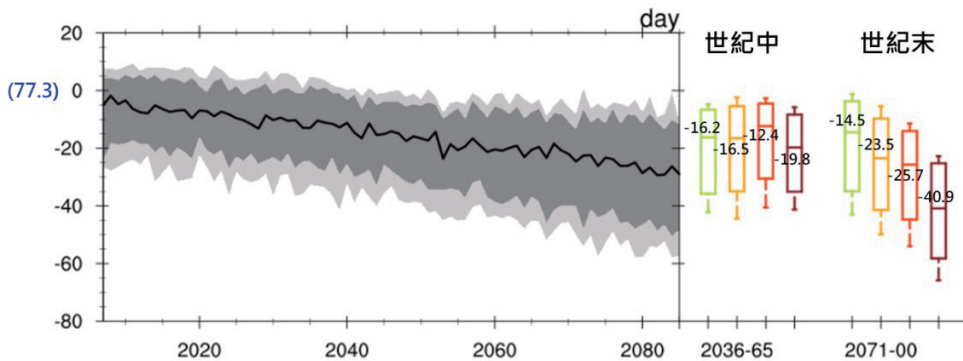
圖四、基期與未來模式推估之日雨量 80 毫米平均發生日數。

未來增溫衝擊案例分析-高雄荔枝

2018 年 12 月至 2019 年 2 月，為 1947 年以來最暖之冬季，2018 年暖冬現象，影響多種作物生長，荔枝為亞熱帶常綠果樹，需經歷一段約低於 20°C 的低溫才能誘導開花。黃等 (2019) 針對高雄大樹荔枝產區，以玉荷包品種為例，其開花需要持續低於 17°C 數日，根據溪埔測站歷史觀測資料，發現 2015-2019 年之冬季，11 月中旬至隔年 2 月下旬，17°C 以下適合花芽分化的出現單日及連續天數皆為近 5 年來最少 (圖五)。在未來世紀中與世紀末各種溫室氣體排放 RCP2.6、4.5、6.0、8.5 情境下，發生日數皆為減少 (圖六)，在世紀末 RCP 8.5 情境下，減少天數達到約 40 天，因此可推估未來暖化現象為未來荔枝作物產業需要面臨之衝擊。



圖五、溪埔測站發生 8-17°C 溫度範圍天數時間序列。



圖六、未來氣候變遷四種溫室氣體排放 (由左而右 RCP 2.6、4.5、6.0、8.5) 情境下 17°C 以下發生日數變化。

結語

氣候變遷衍生許多衝擊，農業生產被迫直接面臨此種衝擊挑戰。通過氣候變遷模擬推估研究，可發現未來季節、颱風、降雨型態等各種氣象因子將產生變化。藉由歷史事件的分析，訂定關鍵的氣候門檻值，參考未來氣候推估的科學量化分析資訊，吾人可盤點現有調適技術的防護能力，以此為基礎強化各種可執行的調適方法，以達到氣候變遷下農業永續經營的目標。

誌謝

本研究感謝行政院農業委員會 (110 農科 -13.4.1- 科 -a3) 經費支持，使研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

行政院農業委員會．農業統計年報。

- 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 2017- 物理現象與機制．國家災害防救科技中心。
- 洪若雅、曾虹穎、許晃雄．2020. 未來氣候變遷情境下西北太平洋颱風活動之變化．臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 - 臺灣氣候變遷推估與資訊電子報 42。
- 陳宏宇、許晃雄、陳永明、朱吟晨、童裕翔、邱雅暄．2018. 臺灣氣候的過去與未來國家災害防救科技中心 / 中央研究院環境變遷研究中心。
- 童裕翔、陳正達、劉俊志、陳永明．2019. 統計降尺度 (日) 資料評估與應用．國家災害防救科技中心技術報告．NCDR 107-T19。
- 黃亞雯、劉曉葳．2019. 氣候變遷下雨量對葡萄之衝擊評估 - 以彰化縣為例．臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，臺灣氣候變遷推估與資訊電子報 32。
- 黃亞雯、劉曉薇、徐永衡．2019. 氣候變遷對荔枝開花之衝擊評估 - 以高雄市大樹

區為例。108 年度農業工程研討會。

劉玫婷、黃亞雯、徐永衡、李欣輯、陳永明、蘇文瑞。2020. 農業天然災害情資建置與應用研究。國家災害防救科技中心技術報告。NCDR 108-T13。

Cheng, K. S., C. T. Chen, H. H. Hsu, K. C. Yeh and L. Y. Lin. 2016. Preface to the special issue on climate changes and their impacts in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 27(5): I-II.

Impact of Climate Projection and Disasters on Fruit Industry

Yung-Ming Chen^{*}, Yung-Heng Hsu, Ya-Wen Hwang, Mei-Ting Liu, Ya-Ting Hwang, Hsin-Chi Li

Abstract

Climate change has led to extreme disaster events more frequent. Furthermore, the intensity of disaster events, such as typhoon and heavy rains have become increased. It would rise the extent of agricultural losses. In Taiwan, typhoons and heavy rain are the main causes of agricultural losses. The National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) has implemented the support projects of the Council of Agriculture (COA). This study was supported by the COA and carried out by using the statistical downscaling database from the project of Ministry of Science and Technology. The case study of grape in Changhua was assessed the impact of heavy rain during the growing periods of grape under the climate change of RCP 8.5 emissions scenario. The results shown that frequency of heavy rain events would continue to increase in the next few decades. Moreover, the warm winter would hinder flowering of litchi. The frequency of temperature suitable for flowering would be significantly decreased in the future. It would be recommended to plan the adaptation measures in advance.

Key words: Climate change, Typhoon, Extremely heavy rain, Warm winter, Grape, Litchi

^{*} National Science and Technology Center for Disaster Reduction
Corresponding author's email: ymchen@ncdr.nat.gov.tw



果樹類農業保險之開發與推展

周妙芳*

摘要

近年來全球氣候變遷日趨嚴重，極端天氣發生之頻率與強度加劇，農業經營風險相對較高，農業保險的推動勢在必行。利用風險分散機制，確立農業永續經營的基礎，保障農民生產安全與收益。行政院農業委員會自 2017 年起擴大推動農業保險，截至 2021 年 2 月，累計投保件數 5.7 萬件、投保面積 9.4 萬公頃、總投保金額 139 億元，其中果樹類保單已開辦梨、芒果、釋迦、蓮霧、木瓜、鳳梨、文旦柚、香蕉、甜柿、番石榴、荔枝、棗、桶柑等 13 種品項，氣象參數型保單更是佔大宗。本文闡述農業保險之推動背景、農業保險法立法歷程、目前辦理情形及果樹類保單之開發，並持續擴大開發各品項及滾動檢討已開發保單內容，蒐集專家學者意見並深入產區傾聽農民心得，設計符合農民需求之保單。農業保險法於 2021 年 1 月 1 日正式施行上路，將農業保險的保障範圍、運作制度、補助及獎勵措施等均予以法制化；同時，成立財團法人農業保險基金，專責農業保險之危險分散與管理機制，使農業保險制度更趨完善，避免農民看天吃飯，穩定農民收入，以利我國農業保險體系健全發展。

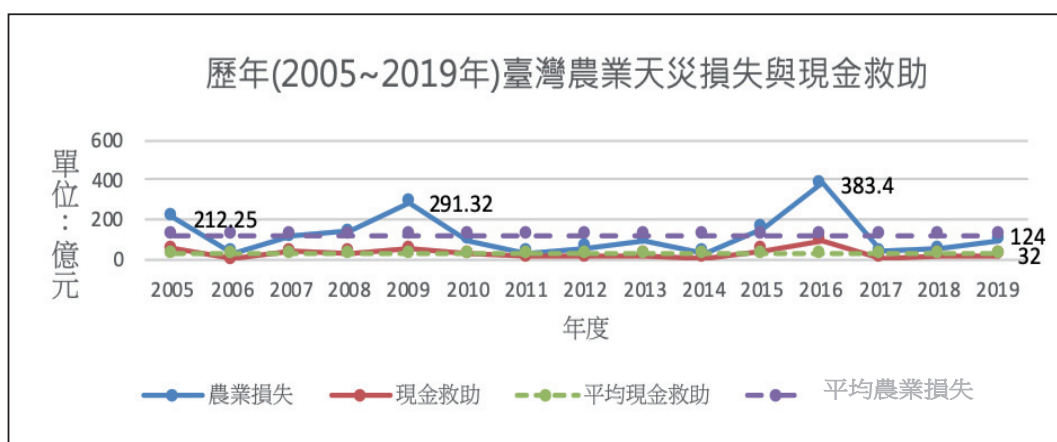
關鍵詞：農業保險、危險分散機制、保險覆蓋率

* 行政院農業委員會農業金融局副局長
fang@boaf.gov.tw

前言

臺灣因特殊的地理位置關係，氣候型態複雜多變且易受颱風侵襲，近年來全球氣候變遷日趨嚴重，極端天氣發生之頻率與強度加劇，農業經營風險相對較高。過去 15 年發生了 3 次嚴重的天災事故，第一次是 2005 年海棠、泰利、龍王等 3 個強烈颱風造成農業損失 212 億元，第二次是 2009 年莫拉克風災，農業損失 291 億元，最近一次是 2016 年的霸王級寒流，農業損失規模高達 383 億元。平均來看，每 3-5 年就會發生一次嚴重的天災事故，且有愈來愈嚴重的趨勢，而農業生產首當其衝，損失動輒上百億。

根據農業統計近 15 年農業損失平均每年 124 億元，政府現金救助平均每年約 32 億元（圖一）約占總體損失 25%，亦即農民仍須自行承擔 75% 以上之災害損失，為保障農民收入，行政院農業委員會（簡稱農委會）借鏡重要農業國家經驗，自 2017 年起擴大推動農業保險，農業保險理賠條件多元，農業保險標的不限於天然災害，亦可包括疫病、蟲害等約定事項，其涵蓋範圍及保障程度均較現金救助廣，更能保障農民所面臨風險，有效填補農民遭受的農業損失，另外，推動農業保險除可促使農漁民建立起風險分攤與管理的概念外，農漁民在遭遇農損時，更可獲得比政府現金救助更高的損害賠償，實質幫助更高。



圖一、臺灣農業天災損失與現金救助（資料來源：農業統計年報）。

我國農業保險政策之推動情形

因應氣候變遷及極端天氣之影響，為避免農民看天吃飯，穩定農民收入，農委會推動農業保險政策，亦是完備農民「三保一儲金」四大福利措施之一，農業保險是對農民經營成果及收入的保障，分散農民營農風險，農委會自 2017 年擴大推動以來，其發展歷程及推動情形說明如下：

1. 農業保險發展歷程。

- 1.1. 積極投入研究，評估優先納入保險試辦之品項：農委會自 2007 年起，陸續委託學術單位研究辦理農業保險的可行性，由於臺灣幅員不大、農作物種類眾多量少、天災發生頻率高，不易符合保險大數法則，且農作物勘損技術及人力等限制，開展不易。為符合大數法則，有效發揮保險的功能與效益，農業保險的標的必須具備足夠的農情及損失資料。
- 1.2. 推出首個農業保險品項，進入試辦階段：高接梨為高經濟價值作物，每公頃收益逾百萬元，總種植面積約 5,400 公頃，也有相當的農情農損資料，因此成為我國農業保險第一個試辦品項。農委會在 2015 年推出第一張高接梨保單，當時臺灣農業保險觀念普遍不足，加上農業保險品項、保障地區、保單類型等仍處開發初期，投保人數不到 100 人，投保面積僅 51 公頃，藉由試辦經驗，逐步擴展開發不同品項，持續推進農業保險體系之建構。
- 1.3. 擴大試辦階段，提高保障範圍：農委會自 2017 年起擴大推動農業保險，保障範圍包括：天然災害、疫病、蟲害等，以及承保產業，涵蓋農、漁、畜牧等產業。為持續推展農業保險，設計符合農民需要之保單，在保單開發階段，辦理專家座談，瞭解作物生長特性及面臨之主要風險等資訊，找出致災關鍵因子，徵詢農民意見、確認保險需求，作為開發保單的重要參考，研議各種新型態的保險商品，提供農民分散風險的選擇。

2. 參考國外發展經驗。

農業保險因農業生產地區集中且規模較小及農業具生物性生產的複雜

性、農業生產資訊不對稱等原因，風險不易分散，被視為特殊的保險種類。經學者歸納分析，各國在農業保險制度之建立與運作的共同點，包括：依國情制定適宜的農業保險制度、明文法律依據、政府主導或強力介入、採取低費率高補貼之政策、對農業保險的經營經由立法給予賦稅優惠及再保險支持措施等六大項。因此，農委會借鏡各國推動農業保險政策與經驗，建構我國農業保險制度。

傳統農業保險保單之開發，須先蒐集分析完整之作物生產成本、產量及歷年天然災害災損情形等資料，始得據以估算風險、規劃保險保額及精算保險費率。近年來由於農業保險商品之創新，傳統保險基於實損實賠的觀念，已在 1990 年代隨著參數型保險的推廣而有所改變，各國逐漸發展依氣候條件指數或依區域產量指數而作為理賠基礎之保險種類，以避免道德危險及逆選擇等問題。我國參考此等國外農業保險之成功經驗，突破以往農業保險的限制，提高產險業者參與意願。

3. 農業保險辦理情形。

3.1. 開發之保單品項與種類：農委會自 2017 年起擴大試辦農業保險，截至 2021 年 2 月，已開辦梨、芒果、釋迦、水稻、蓮霧、木瓜、鳳梨、文旦柚、香蕉、甜柿、番石榴、荔枝、棗、桶柑、養殖水產、石斑魚、虱目魚、鱸魚、吳郭魚、家禽禽流感、農業設施、養蜂產業、豬及乳牛等 24 種品項、36 張保單(表一)。保單類型包括實損實賠型、政府災助連結型、收入保障型、區域收穫型、氣象參數型、撲殺補償型等 6 種類型(表二)。

3.2. 投保成效逐年成長：截至 2021 年 2 月，累計投保件數 5.7 萬件、投保面積 9.4 萬公頃、總投保金額 139 億元，在理賠方面，累計總理賠金額逾 3.3 億元。農業保險投保率由 2015 年之 0.93% 成長至 2020 年之 9.46%(表三)，提高農業經營保障，有利提升農民災後復耕復養能力、保障農民收入，穩定農業產銷體系，使農業體質更為強韌，促進農業永續發展。

表一、農業保險開發及規劃之保險品項。

年度	開發狀態	保險品項
2015	已開發	高接梨
2016	已開發	梨、芒果
2017	已開發	釋迦、養殖水產、水稻、石斑魚及家禽禽流感
2018	已開發	農業設施、虱目魚、蓮霧、木瓜
2019	已開發	鳳梨、香蕉、文旦柚、甜柿、番石榴、鱸魚、吳郭魚、荔枝
2020	已開發	棗、桶柑
2021	已開發	豬、乳牛、養蜂產業
	開發中	茶葉、葡萄、落花生、西瓜、水蜜桃、洋香瓜等

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理

表二、農業保險類型及品項。

類型	品項
實損實賠	梨、香蕉植株、農業設施、豬、乳牛
災助連結	梨、芒果
收入保險	釋迦、香蕉
區域收穫	水稻、芒果、鳳梨
氣象參數	養殖水產(屏東內陸及沿海、高雄地區)、石斑魚、蓮霧、木瓜、虱目魚、文旦柚、甜柿、番石榴、荔枝、鱸魚、吳郭魚、棗、桶柑、梨及養蜂產業
撲殺補償	家禽禽流感

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理

表三、歷年農業保險辦理情形。

年度	品項	投保件數 (件)	投保面積 (ha)	投保率 (%)	保險金額 (萬元)	理賠金額 (萬元)
2015	1	89	51	0.93	1,313	357
2016	2	175	144	0.68	3,247	735
2017	7	4,898	8,118	6.01	71,303	3,850
2018	11	12,085	20,044	6.22	265,697	6,146
2019	19	19,622	32,727	9.09	500,184	8,704
2020	21	19,889	32,757	9.46	524,670	13,632
2021年2月	3	577	140	-	19,933	-
總累計	24	57,335	93,980	-	1,386,347	33,115

註：投保率以投保面積 / 當年度可保面積計算 (不含禽流感保險)

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理

果樹類農業保險之開發與推展

1. 果樹類保險開發歷程。

1.1. 果樹類保險品項之擇定。

為符合大數法則，有效發揮保險的功能與效益，農業保險的標的必須具備足夠的農情及損失資料。在眾多果樹類品項中，依據「具高經濟價值」、「產業面積達一定規模」、「遭逢天然災害受損頻率較高」、「災損情形較嚴重」、「具有足夠之統計資料」等因素，評估擇揀優先納入保險之品項。以 2015 年試辦保險之高接梨為例，屬高經濟價值作物，每公頃收益逾百萬元，總種植面積約 5,400 公頃，也有相當的農情農損資料，故梨為農業保險開辦第一個品項。

1.2. 開發實損實賠型保單之困境。

實損實賠型的保單可實際勘查農民之損失，但所需人力甚鉅，農業保險之標的物多為具有生命之動、植物，易受生物學特性影響，但因涉

及農業專業，產險公司缺乏農業專業勘損人員，以目前市場規模，尚無法配置足夠勘損人員，影響其開發實損實賠之保單意願。故現階段產險公司多開發參數型保單，以中央氣象局公布數據作為啟動保險契約賠付判斷，不需個別勘損，起賠條件清楚，有利於產險公司理賠行政作業及時效。

1.3. 收集參數型保單開發之關鍵致災因子。

在開發果樹類參數型保單時，如何找出該作物關鍵致災因子尤其重要。造成作物所受到損害之致災因素可能為颱風風速、雨量、低溫、霪雨等，或者因個別農民認定及種植環境、技術等情形之不同。該作物損害關鍵因素可能為一種致災因素，也可能是複合型的因素。以桶柑保單為例，目前已開發保單承保的參數為颱風風速，但日照傷害、低溫加上雨量也會造成桶柑受到損害。此外，作物生長特性及不同生育階段所受主要風險可能多重因素影響，因此，擇定該作物關鍵致災因子及致災臨界點，為開發保單的重要因素。

1.4. 避免參數型保單所面臨基差風險。

果樹類農業保險以參數型保單為大宗，參數型保單存在有基差風險，表示發動起賠條件與投保人實際受到損害有差異之情況。有可能是因為指定觀測氣象站與實際耕作地之空間差異、生長期間所受到損害程度不同或同一作物品種不同所造成。因此針對不同作物特性及各生長期之受災情形，由試驗改良場等專家學者及農民提供專業實務諮詢，以更精確的科學調查方式，降低基差風險，分析歷史災損數據及選用妥適氣象站等資料，俾評估致災基準，以利保單開發。

2. 現行果樹類保單推動情形。

目前果樹類保單共 13 種品項，已開辦梨、芒果、釋迦、蓮霧、木瓜、鳳梨、文旦柚、香蕉、甜柿、番石榴、荔枝、棗、桶柑等品項，提供農民選擇投保，分散經營風險，保單概況說明(表四)：

表四、現行果樹類保單。

作物	承保地區	保單類型	承保範圍	起賠條件
梨	全國	災助連結型	寒害、颱風、豪雨	因發生寒害致被保險高接梨之梨穗損壞，或因發生颱風或豪雨，致被保險梨遭受損害，當其損害程度等於或大於百分之二十，且被保險人已依「農業天然災害救助辦法」之規定，獲得「現金救助」。
		實損實賠型	寒害、颱風、豪雨	因發生颱風或豪雨，致被保險梨遭受損害。
		氣象參數型	風速、降雨、溫度、少雨量	風速：颱風平均風速大於每秒24.5公尺。 降雨：一日累積200毫米或三日累積360毫米。 溫度：氣溫低於9℃持續24小時以上。 (附加險)少雨量：約定氣象站連續20日以上未測得雨量。
芒果	全國	災助連結型	寒害、颱風、豪雨	被保險芒果遭受損害，當其損害程度等於或大於20%，且被保險人已依「農業天然災害救助辦法」之規定，獲得「現金救助」。
	臺南市 屏東縣	區域收穫型	天然災害、病蟲害	因發生天然災害或病蟲害，導致當期被保險芒果之收穫量短缺。
蓮霧	屏東縣14鄉鎮	氣象參數型	颱風、降水量、溫度	風速：颱風風速大於每小時89公里(10級風)。 降雨：連續5日之累積降雨量超過450毫米。 溫度：日報表之最低氣溫低於9.5℃。
木瓜	臺南市 屏東縣	氣象參數型	颱風、降雨量	風速：颱風期間測得最大陣風達蒲福風級10級以上。 降雨：連續5日之累積降雨量超過400毫米。
	高雄市			

作物	承保地區	保單類型	承保範圍	起賠條件
鳳梨	屏東縣6鄉鎮	區域收穫型	天然災害、病蟲害	因發生天然災害或病蟲害，導致當期被保險鳳梨之收穫量短缺。
香蕉	高雄市、屏東縣	植株：實損實賠型	風速(颱風期間)	因颱風且在颱風警報期間該鄉鎮市區投保區域最大風速達每秒17.2公尺以上，致被保險香蕉植株折斷或倒伏而發生收穫量短缺。
	雲林縣5鄉鎮、嘉義縣10鄉鎮、高雄市12鄉鎮、花蓮縣6鄉鎮、臺東縣11鄉鎮、臺中市1區、彰化縣1鄉、嘉義市2區	收入保險	氣候條件或市場變化	被保險人於契約有效期間內，因氣候條件或市場變化，致被保險香蕉遭受收入減損。
文旦柚	臺南市5區、花蓮縣7鄉鎮、宜蘭縣3鄉鎮、雲林縣3鄉鎮	氣象參數型	颱風	風速：颱風期間測得最大陣風達蒲福風級9級以上。
甜柿	臺中市2區	氣象參數型	颱風、降雨量	風速：颱風近中心平均風速達每秒37公尺以上。 降雨：連續5日之累積降雨量超過400毫米。 (附加險)強降雨：單日0時至24時累積達200毫米。
番石榴	彰化縣6鄉鎮、臺南市5區、高雄市8區	氣象參數型	颱風、降雨量	風速：颱風期間測得最大陣風達蒲福風級10級以上。 (附加險)降雨：連續5日之累積降雨量超過300毫米。
荔枝	臺中市3區、南投縣3鄉鎮、高雄市4區	氣象參數型	(未達)低溫、降水量	溫度：氣溫低於約定溫度之日數(玉荷包17°C、黑葉及糯米糍15.5°C)，未達5日。 降雨：連續12日內任7日降水量大於0毫米。

作物	承保地區	保單類型	承保範圍	起賠條件
棗	高雄市7區、屏東縣4鄉鎮	氣象參數型	颱風	風速：颱風近中心十分鐘平均風速達每秒28.5公尺(蒲福風級11級)。
桶柑	新竹縣7鄉鎮、苗栗縣6鄉鎮、臺中市3區	氣象參數型	颱風	風速：颱風期間測得最大陣風達蒲福風級9級以上。
釋迦	臺東縣	收入保險	氣候條件或市場變化	因氣候條件或市場變化，致被保險釋迦遭受收入減損時。
				樹體附加保險：因颱風、焚風、寒害、乾旱等天然災害，導致被保險釋迦樹體倒伏、死亡而必須全部重新種植。

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理

3. 現行果樹類保單剖析。

目前農業保險已開辦實損實賠型(梨及香蕉植株)、政府災助連結型(梨及芒果)、收入保障型(釋迦及香蕉)、區域收穫型(鳳梨及芒果)及氣象參數型(蓮霧、木瓜、文旦柚、甜柿、番石榴、梨、荔枝、棗及桶柑)等5種類型之果樹保單，提供農漁民選擇投保，分散經營風險，依保單類型說明如下：

- 3.1. 實損實賠型：天然災害發生後，由保險人邀集勘災小組至現場實際鑑定損失，並依據被保險標的所在位置之實際損失程度進行理賠。例如：梨保險，視颱風、豪雨實際損害情形理賠；香蕉植株保險，以無人機空拍影像判定颱風造成香蕉植株折斷或倒伏面積比例，當颱風造成香蕉植株折斷、倒伏之面積比率高於20%，蕉農即可快速獲得理賠，近年來投保情形如表五：

表五、歷年香蕉植株保險辦理情形。

年度	品項	投保面積 (ha)	保險金額 (千元)	理賠金額 (千元)
2019	香蕉-植株	278.40	100,224	600
2020	香蕉-植株	2019.11	38,921	0

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理（數據統計截至 2021 年 2 月）

- 3.2. 災助連結型：被保險標的依「農業天然災害救助辦法」之規定核定現金救助時，由保險人依農民投保之保險金額進行理賠。例如：芒果保單因發生寒害、颱風、豪雨、高溫或霪雨，致被保險芒果遭受損害當其損害程度等於或大於 20%，且被保險人已依「農業天然災害救助辦法」之規定獲得「現金救助」時，即可獲得保險理賠及現金災害救助雙重保障，近年來投保情形如表六：

表六、歷年芒果保險辦理情形。

年度	品項	投保面積 (ha)	保險金額 (千元)	理賠金額 (千元)
2017	芒果-災助	69.87	6,167	2,696
2018	芒果-災助	114.44	10,163	214
2019	芒果-災助	54.07	4,828	0

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理（數據統計截至 2021 年 2 月）

- 3.3. 收入保障型：收入型保險保障較為全面，惟相較其他填補災害損失之農作物保險險種，操作難度高，須同時考量價格及產量變動影響因素（例如景氣、出口、市場供需及天然災害風險等）。當產期結束，被保險標的所在區域之實際收入低於該區域之基準收入時即予理賠。如：釋迦保險（表七）係因應 2016 年臺東地區釋迦因風災受損嚴重，為穩定農民收入，針對臺東地區所推出之收入保障型保單；香蕉收入保險係為協助蕉農因應天災或市場因素所致收入不穩定而辦理之收入保障型保單，依低於基準收入部分予以理賠。

表七、歷年釋迦收入保險辦理情形。

年度	品項	投保面積 (ha)	保險金額 (千元)	理賠金額 (千元)
2017	釋迦	51.36	15,237	1,280
2018	釋迦	40.32	12,125	1,928
2019	釋迦	65.89	19,857	4,123
2020	釋迦	115.39	34,616	5,479

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理（數據統計截至 2021 年 2 月）

3.4. 區域收穫型：為降低產量減損對農民收入之影響，推動區域收穫型保險，建立農作物之產期產量統計模式，並設定基準產量作為理賠啟動條件。當產期結束，被保險標的所在區域之實際產量低於該區域之基準產量時即予理賠。例如：鳳梨及芒果保險，事故涵蓋天然災害及病蟲害，以收穫量短缺計算理賠，當鄉鎮市區實際收穫量低於保證收穫量時，即可理賠，不需要對個別農民勘損。

3.5. 氣象參數型：以中央氣象局公布數據（例如風速、雨量、溫度等）作為啟動保險契約賠付判斷，不需個別勘損。例如：以颱風風速或降水量為理賠條件之保險商品品項包括：蓮霧、木瓜、文旦柚、甜柿、番石榴、棗及桶柑等；以氣溫為理賠條件的則包括梨、蓮霧及荔枝。

此外，針對易受多重性災害影響之作物，陸續規劃開發多元型態保單，以 2015 年推出高接梨為例，除一開始以實損實賠保單型態，天然災害發生後，由保險人邀集勘災小組至現場實際鑑定損失，並進行理賠；後續開發梨的保單，包含災助連結型及氣象指數型。氣象指數型保單，承保颱風豪雨及溫度，附加少雨量保險，將梨作物擴大保障範圍，成為農民投保最為踴躍投保率位居第一的品項，近年來投保情形如下表八：

表八、歷年梨保險辦理情形。

年度	品項	投保面積 (ha)	投保率 (%)	保險金額 (千元)	理賠金額 (千元)
2016	梨	139.08	2.58	32,042	7,346
2017	梨	205.70	3.87	49,593	3,262
2018	梨	259.04	4.87	61,148	25,809
2019	梨-災助	178.37	10.51	12,456	8,927
	梨-實賠	285.89		85,921	0
	梨-參數	82.08		35,655	4,182
2020	梨-災助	299.41	12.19	19,210	0
	梨-實賠	106.96		322,021	0
	梨-參數	227.05		86,726	7,401

資料來源：行政院農業委員會農業金融局整理(數據統計截至2021年2月)

4. 果樹類因應極端天氣挑戰。

近年來全球氣候變遷日趨嚴峻，極端天氣發生之頻率與強度加劇，「旱災」及「寒害」及「降水量」等氣候因子造成作物受損日益增加，為因應極端天氣之挑戰，除已開發之保單外，農委會將持續追蹤氣候變遷造成損害，納入評估為承保事故之可行性，並持續推動符合農民需求保單，有關「旱災」、「寒害」及「降水量」相關保單如下：

- 4.1. 果樹類與「旱災」相關之保單：現行已開發保單中，承保範圍包括「旱災」者，計有 6 品項、7 張保單。其中果樹類芒果、鳳梨、香蕉、釋迦等 5 品項屬於區域收穫型或收入保障型保單，承保之被保險人於保險期間內，因發生天然災害或病蟲害(因氣候條件或市場變化)，導致當期被保險作物之收穫量短缺時，保險人(產險公司或農會)即依保險契約約定，對被保險人負賠償之責任。氣象參數型保單為梨保險，承保寒害、颱風、豪雨外，可額外附加「少雨量」事故，並可選擇保險期間，承保被保險梨或其梨穗之種植地區於保險期間內，連續達 20 日未測得任何降水量數據時，保險人即對被保險人負賠償之責任。

- 4.2. 果樹類與「寒害」相關之保單：目前農業保險與「寒害」相關之保單包括蓮霧保險附加險、梨氣象參數型保險，其中蓮霧保單在日最低氣溫低於 9.5°C，啟動理賠；梨保單在氣溫低於 9°C 且持續 24 小時以上達理賠條件。2020 年元旦寒流影響臺灣，各地區氣溫將持續下降，農委會業於寒流來襲前對宜蘭、桃竹苗、中彰投和雲嘉南等地發布預警。臺中市及苗栗縣部分地區梨保單已符合理賠條件，共計理賠 291 件，理賠金額 171 萬元。
- 4.3. 果樹類與「降水量」相關之保單：2016 年 7 月 8 日受尼伯特颱風強風豪雨影響，造成全臺嚴重農業災情，臺東釋迦農民首當其衝，災情慘重者甚至樹體死亡，必須重新種植，影響未來至少三年之收入來源。為保障農民收入，農委會選定釋迦作為收入保險試辦品項，採政策性保險方式辦理，全方位填補農民因各種天災、蟲害或疫病導致之損失。此外，商業型保單與降水量有關之保單包括蓮霧、木瓜、甜柿及番石榴氣象參數型保險或附加險，當約定之連續日數內累積降雨量達起賠點時（例如：木瓜保單連續 5 日之累積降水量達 400 毫米以上）核算理賠金額。其中甜柿保險更針對強降雨開發附加險，單日 0 時至 24 時累積降雨達 200 毫米，即可獲得理賠。

農業保險法上路，邁向新里程

農業保險具有危險集中、損失頻率及損失程度高等特性，農業保險執行的複雜度及困難度相對高，從各國發展的經驗來看，農業保險之推展極需要政府透過立法支持。農業保險法未制訂前，農委會推動農業保險係依農業發展條例第 58 條規定，由中央主管機關訂定辦法，以試辦方式推動，未有明確法源依據賦予設立農業保險專責單位、保費補助、危險分散、稅賦優惠等機制，不利我國農業保險體制之完善與發展。

為擴大農業保險的保障範圍、架構完整的危險分散機制及提供農民保險費補助，農委會蒐集整合各國制度規章，借鏡國際經驗，擷取國內試辦成果，綜合考

量我國農業環境，研擬農業保險法草案，積極推進我國農業保險制度化進程。

歷經 4 年的立法過程，新會期在朝野高度共識下，農業保險法於立法院僅歷時 2 個月即三讀通過，總統於 2020 年 5 月 27 日公布農業保險法，並於 2021 年 1 月 1 日正式施行，農業保險體系邁入新里程。農業保險法分二階段施行，有關農業保險業務管理、保費補助等條文，於 2021 年 1 月 1 日施行，涉及危險分散管理機制與勘損人員之條文，於 2021 年 7 月 1 日施行。此外，同時成立財團法人農業保險基金，專責農業保險之危險分散與管理機制，穩固農業保險人經營之風險轉移，使農業保險制度更趨完善、農業保險人之營運更為穩定，以利我國農業保險體系健全發展。

農業保險法對我國農業保險有兩個重要的意義，第一是彰顯政府推動農業保險的決心，第二是政府可以編列相關的預算來推動更多的政策措施。農業保險法計有 8 章 30 條規定，將農業保險的保障範圍、運作制度、補助及獎勵措施等，均予以法制化，奠定農業保險體系基礎，確立行政推動依據，提升施政績效，規範重點如次：

1. 擴大保障範圍：保險事故不以天然災害為限，疫病、蟲害、市場價格波動造成收入的不確定等因素亦可納入保障範圍，保險範圍除生產風險外，亦涵蓋農業設施及農業收入等，未來將持續開發保單，讓更多農民參加農業保險。
2. 建置雙軌保險人運作機制：依產業特性及政策需要，由保險業或經主管機關許可之農會、漁會擔任保險人，以善用保險業經營效率及農漁會貼近農漁民之在地優勢，就商業保險市場機制無法開發的保單，或是政策關聯度高的品項，由農漁會擔任保險人，協助政府宣導推廣。
3. 提供長期穩定的保險費補助：農業保險試辦期間，保費補助以 1/3 至 1/2 為原則，地方政府視財政狀況再提供加碼補助，降低農民保費負擔。為提高投保意願，農業保險法明定政府應提供農民保險費補助，有了專法當依據，可以穩定提供保費補助，增加農民。
4. 成立農業保險基金，分散營農風險：成立農業保險基金，將農民所繳保費交

由農業保險基金專業人員運用管理，可以提升資金運用的效率，同時也透過國際再保的安排，將理賠的風險分散到國外，讓保險費率降低，減輕農民負擔。

農業保險未來展望

農業保險為分散農民的經營風險，穩定農民收益的保障措施，將結合農業相關政策擴大推動辦理，各項精進作為說明如次：

1. 完備農業保險運作機制。

農業保險法已於 2021 年 1 月 1 日正式施行，將農業保險法制化，第 1 階段專法已上路，第 2 階段農業勘損及危險分散將於 2021 年 7 月 1 日正式營運，逐步建構業保險體系。

2. 成立財團法人農業保險基金作為執行危險分散中樞機構。

財團法人農業保險基金（稱農險基金）已同步成立，刻正籌劃危險分散機制，蓄積理賠能量，達成危險分散的功能，進而穩定財政支出，以作為永續經營之強力後盾，確保農業保險制度長期運作。

3. 持續開發並精進已開辦之保單，以符合農民需求。

因應極端天氣之影響，滾動調整已開發保單，以符合農民需求，另持續開發新保單，於主要產區辦理農民及專家座談會，徵詢農民意見、確認保險需求，並瞭解作物生長特性及面臨主要風險等，因地制宜推出不同類型保單，有效擴大保障範圍，提供農民更多風險分散之選擇，以符農民需求，保障農民收入。

4. 強化並運用科技勘損技術，降低基差風險。

實損實賠型保單（梨保單）在理賠方面的基差風險最少，惟勘查保險標的物受災情形，實務操作上難度最高。為突破傳統實損實賠型保險在勘損方面之困難與限制，研議適合利用農業科技（衛星遙測、無人機空拍）辦理勘災定損之作物，目前香蕉植株保險即採用無人機空拍及影像判釋技術，作為勘損理賠依據，將評估擴大運用在其他農業保險保單的理賠設計。

5. 建立農業保險大數據資料庫，精進保單設計與相關參數模組。

保單開發參據政府公布的農業統計資料估算，且所承保事故需與作物生長特性具關聯性，為藉由歷史資料開發符合農民需求之保單，自 2021 年辦理農業保險資料建置與驗證機制研究計畫，以每年蒐集建置數項氣象參數型農業保險商品之，根據理賠條件金額與保險標的實際損失等基礎資料進行分析及探討，作為保單開發及檢討參考，以精進保單合理性。

6. 建置農業保險資訊整合系統，強化政策分析。

農業保險已增加為 24 種品項、36 張保單，由於保單型態更為多元複雜，目前相關農業保險資訊系統分散在相關單位，亟待擴充整合，已由農險基金開發農業保險資訊整合系統建置中，亦將介接傳輸保險相關投保理賠資料，逐步建構整合型農業保險資料庫做為政策分析。

7. 強化金融相關政策工具，發揮綜效。

- 7.1. 結合產業輔導及專案農貸政策：扣合政策引導農戶提升農業防災能力，輔導申貸提升畜禽產業經營貸款之農民，投保家禽禽流感保險。
- 7.2. 提供農業保險兩年免息優惠措施，減輕農民保費負擔。
- 7.3. 提供農業信用保證基金協助：針對專案農貸借款人有投保與其經營項目對應之農業保險，於投保農業保險期間，該專案農貸保證手續費打 8 折優惠。
- 7.4. 納入農漁會考核及農金獎獎項：辦理農業保險業務已列入農會、漁會考核項目；2019 年起農金獎增列農業保險貢獻獎項，鼓勵農漁會參與，2021 年擴大獎勵範圍，分設 2 組，並增列名額，獲獎者將公開表揚。

8. 加強宣導，提升農民投保觀念。

為貼近農民推廣保險觀念及宣導農業政策，農委會於各地區農會辦理農民座談會、深入農會及產銷班，宣導農業保險觀念及保單內容，並藉由農會系統協助農民解決投保相關問題外，亦透過農會電子看板、農委會網頁、傳單等多重管道辦理宣導事宜。近兩年，農委會辦理農業保險講座及高階主管、業務人員與縣市政府等訓練班，共 78 場次，計 3,663 人參與，2021 年度廣

續辦理相關宣導、推廣活動，期能逐步建立農民危險分散之觀念，並與農民建立良好溝通機制，有效推廣農業保險相關政策。

結語

有鑑於全球氣候快速變遷，極端天氣發生頻率增加，重大天災往往造成農、漁、畜產者嚴重損失，農委會為協助農漁民分散經營風險，提高經營保障，因應不同地區保險需求及農產物生長特性開發保單，並提供保險費補助，減輕農民負擔。農業保險法業於 2021 年 1 月 1 日正式施行上路，農業保險邁向新里程，將農業保險的保障範圍、運作制度、補助及獎勵措施等予以法制化；同時成立財團法人農業保險基金，專責農業保險之危險分散與管理機制，使農業保險制度更趨完善。

截至 2021 年 2 月，累計投保件數 5.7 萬件、投保面積 9.4 萬 ha、總投保金額 139 億元，在理賠方面，累計總理賠金額逾 3.3 億元。農業保險投保率由 2015 年度之 0.93% 成長至 2020 年之 9.46%。果樹類農業保險已開辦實損實賠型(梨及香蕉植株)、政府災助連結型(梨及芒果)、收入保障型(釋迦及香蕉)、區域收穫型(鳳梨及芒果)及氣象參數型(蓮霧、木瓜、文旦柚、甜柿、番石榴、梨、荔枝、棗及桶柑)等 5 種類型之水果保單，提供農漁民選擇投保，分散經營風險。

針對果樹類農業保險保單，除持續擴大開發各品項保單，於開發階段深入產區傾聽農民意見及需求，以更精確的科學調查方式，研議保單致災因子及起賠條件，設計符合農民需求之保單，持續滾動檢討保單內容，力求貼近實際種植狀況，且運用設立氣象站所蒐集之數據，作為保單開發之依據，農民更能有效保障。

農業保險法上路是彰顯政府推動農業保險的決心，延續社會各界對土地、農民及農業的感情，使我國農業體質更為強韌，農民的生活更有保障。為促進臺灣農業永續發展，完備農業保險運作機制、提供長期穩定的保費補助，減輕農漁民負擔、扣合產業輔導及管理措施、善用農業金融工具、加強宣導、藉由農漁會系

統增加銷售通路並持續開發品項等措施，提升投保率，深化對農業經營的保障，架構完整的農業保險運作機制，以保障農民收入，落實照顧農民之天職。

參考文獻

農業保險法 . 2020. 全國法規資料庫 . 取自 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=M0070072> 。

農業統計年報 . 2019 。

行政院農委會農業金融局 - 農業保險專區網站 . 2021 。

Development and Promotion of Agricultural Insurance on Fruit Crops

Miao-Fang Chou*

Abstract

In recent years, global climate change has become more and more serious and extreme weather has increased in frequency and intensity. The risk of agricultural operation is relatively higher, and therefore it is imperative to promote agricultural insurance. We use the risk dispersion mechanism to establish the basis for sustainable agricultural operation and ensure the safety and profitability of farmers' production. The Council of Agriculture has expanded the promotion of agricultural insurance since 2017. Up to February 2021, the results accumulate 57,000 policies of insurance, 94,000 hectares of insured areas, and 13.9 billion of total insured amount. Moreover, the insurance policy depending on the weather parameter is the major type and the fruit insurance policies include pear, mango, sugar apple, wax apple, papaya, pineapple, pomelo, banana, sweet persimmon, guava, litchi, jujube and tankan. This article describes the promotion background of agricultural insurance, the legislative course of agricultural insurance law, the current processing status and the development of fruit insurance policies. Besides, it continues to develop various items with rolling review of current insurance policies, collect opinions of experts and scholars, and listen to farmers' experiences in the production areas in order to design insurance policies that meet the needs of farmers. The Agricultural Insurance Law was formally implemented on January 1, 2021, legalizing the scope of agricultural insurance, operating systems, subsidies and incentives, etc. Simultaneously, the Agricultural Insurance Fund was established to be responsible for the risk dispersion and the management mechanism. The efforts which prevent farmers from relying on the climate for a living and stabilize farmers' income move ahead and continue this process of making a good system in our agricultural insurance.

Key Word : Agricultural insurance, Risk dispersion mechanism, Insurance coverage ratio

* Deputy director of BAF, COA
fang@boaf.gov.tw

氣候變遷果樹病蟲害相改變與 因應措施

洪挺軒*

摘要

「全球暖化」與「極端天氣」對病蟲害會產生影響，果樹因栽培期較長，新入侵或漸趨嚴重的病蟲害案例不少。本文以近年來數個發生漸趨嚴重的果樹病蟲害為例，包括柑橘潰瘍病、柑橘黃龍病、柑橘木蝨、柑橘葉蟎、柑橘銹蟎、芒果果腐病、紅龍果莖潰瘍病、草莓炭疽病與葡萄晚腐病等，介紹其病蟲害變化情形，並說明因應的防治措施。以植物保護的研究者而言，對於病蟲害的監測本來就是例行任務，無論其發生是否與氣候變遷有關，採取的行動都是一致的。近來行政院農業委員會推動植物醫師制度，派遣植物醫師下鄉執行病蟲害診療服務，直接裨益農民，並有助於掌握農作物第一線的疫情，也是因應氣候變遷導致病蟲害相改變的一項聰明之舉。

關鍵詞：氣候變遷、果樹、病蟲害、柑橘潰瘍病、柑橘黃龍病、柑橘木蝨、柑橘葉蟎、柑橘銹蟎、芒果果腐病、紅龍果莖潰瘍病、草莓炭疽病、葡萄晚腐病

前言

植物病蟲害防治的首要方法是避病 (escape)，透過檢疫與實施健康種苗政策，儘可能將病蟲害阻絕於境外或田區之外。然而，原先已立足於國內的次要

* 國立臺灣大學植物病理與微生物學系系主任

病蟲害可能因氣候的變遷，而漸趨嚴重，而這些環境的變因以「全球暖化」與「極端天氣（如豪大雨頻率增加或乾旱）」對病蟲害相的影響較為顯著。一般果樹栽培期較長，尤其多年生果樹，相對於短期作物較容易面臨新興或突然猛爆性病蟲害的衝擊。氣候變遷對於果樹病蟲害相的改變例子不少，多數未有科學直接試驗證據證明其相關性，僅以病原菌或害蟲的生態特性進行推測，但仍具有科學上的說服力。本文以近年來數個發生漸趨嚴重的果樹病蟲害為例，介紹其病蟲害變化情形，並說明因應的防治措施。列舉的病蟲害例子包括柑橘潰瘍病、柑橘黃龍病、柑橘木蝨、柑橘葉蟬、柑橘銹蟎、芒果果腐病、紅龍果莖潰瘍病、草莓炭疽病與葡萄晚腐病等，期待能提供病蟲害更新的資訊，供果農調整防治上的思維與方法。

柑橘潰瘍病 citrus canker

病原：細菌 (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*)，全世界有 A、A^W、A^{*}、B、C、D 等型，臺灣也曾發表非典型病徵的 A^f、A^p、A^r 型，但大多數仍屬於 A 型（一般型）。病菌喜歡高溫高濕的環境，溫度在 25-37℃ 皆適合病菌繁殖。

病徵：危害果實、葉片或枝條；在葉片上出現褐色木栓化病斑，中間有灰白色凹陷，周圍有黃暈；果實與枝條上病徵也如葉部病徵，但黃暈不明顯。

發病生態：各柑橘品種皆會發生，但對葡萄柚、甜橙、檸檬、墨西哥萊姆特別感病。風雨造成的傷口是細菌入侵之最佳途徑，故在豪大雨或颱風過後，最利發病。過去在臺灣以 5-8 月為好發期，近年來因氣候改變，3 月即變暖，9 月秋颱發生頻率增多，易發病期延長為 3-9 月。

防治方法：1. 疫區避免種植感病品種，柑橘種苗不可帶病。

2. 氮肥使用勿過量（尤其 4 月施基肥者）。

3. 藥劑防治：3 月即需開始進行巡園監測，發病初期立即可用 10% 維利黴素溶液（800 倍）或 27.12% 三元硫酸銅水懸劑（500 倍），

每隔 7 天施藥一次，連續 4-5 次 (也可二者輪用)。之後可用 81.3% 嘉賜銅可濕性粉劑 (1,000 倍)，每隔 3 週施藥 1 次，持續至颱風季節結束。

柑橘黃龍病 citrus huanglongbing & 柑橘木蝨 Asian citrus psyllid

病原：*Candidatus Liberibacter asiaticus* (亞洲種，暫定名)，是一種微小細菌 (Fastidious bacteria, FB)，無法以人工培養，具韌皮部侷限性，寄生於篩管細胞。全世界病原菌另有非洲種 (*C. L. africanus*) 及美洲種 (*C. L. americanus*)，非洲種不耐夏季高溫，美洲種僅在南美洲零星發生，全球仍以亞洲種流行於世界各地。

病徵：葉脈及其相鄰組織黃化、葉片捲曲、硬化，葉脈木栓化。病株果實小而畸形，轉色異常，果皮粗厚、果肉少。植株矮化、枝枯，嚴重時死亡。

發病生態：所有的柑橘品種皆可受害，國內各柑橘產區均嚴重發生。本病最主要以染病的芽穗繁殖為主要傳病途徑。田間可藉由亞洲柑橘木蝨 (*Diaphorina citri* Kuwayama)，以永續性方式傳播病菌，病菌在植株內潛伏期長。此病隨著柑橘木蝨擴散傳播，臺灣桃竹苗地區過去因降雨較多，對木蝨繁殖不利，黃龍病較中南部輕微，但近年降雨減少，病害趨嚴重。本病在中國也有擴散情況，二十世紀主要發生在福建與兩廣地區，目前已經幾乎全面肆虐江南地區，這與柑橘木蝨往北擴散至長江南岸有關。其成蟲在 8°C 以下時會停止活動，15°C 以上則可移動，達 18°C 時就可產卵繁殖，42°C 以上才會影響壽命，最活躍的溫度是 25-35°C，全球暖化有助於木蝨往高緯度移動，黃龍病也隨之擴散。

防治方法：

1. 建立無病健康苗制度，實施柑苗認證。
2. 砍除病株及中間寄主 (例如烏柑子) 植株，以杜絕病源。
3. 藥劑防治媒介昆蟲：春芽與夏芽期 (2 月中旬至 5 月中旬) 是木蝨重要的繁殖期，進行化學防治，可選用 44% 大滅松乳劑 (1,000 倍) 等藥劑每隔 3-4 週防治 1 次。

柑橘葉蟎 citrus red spider mite

柑橘葉蟎：*Panonychuscitri* McGregor

危害狀態：主要危害柑橘的葉片，在葉之上下表面均可棲息，但一般多集中於葉片之背面，以其一對刺針狀口器，刺裂皮表，吸取汁液，被害處呈現密集之灰白色細緻小斑點，如白銹狀，影響光合作用，嚴重時可致乾枯落葉。

發生生態：所有的柑橘品種皆可受害，對柑橘品種的喜好性依序為檸檬、萊姆、酸橘、葡萄柚、柳橙、桶柑與椪柑。柑橘葉蟎在臺灣通常每年出現兩個族群高峰，一在 3-5 月，一在 9-11 月，正值氣溫適宜且雨水較少之乾季，有益柑橘葉蟎之發生，且無明顯之越冬，終年可危害，但若遇夏季有午後雷陣雨或颱風，則對其最為不利。近年來經常發生連續無雨的乾旱時期，春雨與梅雨常不明顯，因柑橘葉蟎自卵發育至成蟎需時僅 8-18 天，故超過兩週的乾旱即有嚴重發生的風險。

防治方法：1. 乾旱季節多灑水潤濕葉面。

2. 善用石灰硫黃合劑及油劑防治其他柑橘害蟲，可兼防葉蟎。

3. 藥劑防治：族群密度高時，可考慮選用 240 g·L⁻¹ 賜滅芬水懸劑 (2,000 倍)、20% 賽芬蟎 (3,000 倍)、18.3% 芬殺蟎 (3,000 倍) 水懸劑等藥劑擇一進行防治，並多與 99% 礦物油 (500 倍) 輪用。

柑橘銹蟎 citrus rust mite

柑橘銹蟎：*Phyllocoptrutaoleivora* Ashmead

危害狀態：柑橘銹蟎多危害柑橘葉背之表皮，危害柑橘果實表皮時，亦在半遮陰之果皮表面，在椪柑、桶柑、柳橙和葡萄柚被害果皮呈銹褐色（農民俗稱火燒柑），檸檬果實呈銀灰色，柚類果實則呈褐色淚痕斑，嚴重時可致落果。

發生生態：所有的柑橘品種皆可受害，對柑橘品種的喜好性依序為：檸檬、萊

姆、枸櫞、葡萄柚、甜橙、椪柑、桶柑、金柑。在高溫且不通風環境下，最適宜其生育。初春溫度超過 20°C，銹蟎就開始建立族群，達到族群密度之高峰只需約 2 個月，樹勢太過茂密有利其繁殖。臺灣過去以 5 月為主要防治之起始點，近年因春季溫度提前升高，需在 3 月就開始監測。

防治方法：1. 加強修剪，增加光照面。

2. 初春發現單一植株出現危害狀，應即施藥防治，施藥應擴及其四周植株。發生早期即予以壓制是此害防治成功與否之關鍵。
3. 善用石灰硫黃合劑及油劑防治其他柑橘害蟲，可兼防銹蟎。
4. 藥劑防治：選擇 5% 芬普蟎水懸劑 (1,000 倍)、50% 新殺福化利乳劑 (2,000 倍)、2% 阿巴汀乳劑 (2,000 倍) 輪流擇一防治之。

芒果果腐病 mango fruit rot (蒂腐病 Stem-end rot)

病原真菌：有性世代 *Botryosphaeria rhodiana* (無性世代 *Lasiodiplodia theobromae*) (近來研究發現因氣候暖化，原來其他喜歡高溫的腐生性真菌也常一起複合感染，包括 *Neofusicoccum mangiferae*、*N. parvum*、*Fusicoccum aesculi*)。

病徵：感染枝條及果梗時，會出現褐黑色橢圓斑，嚴重時造成枝條或果梗乾枯。但此病與炭疽病相似，主要危害仍是在於潛伏感染造成果實後熟期的果腐病，其病徵與上述炭疽病相當類似，常不易分辨。惟炭疽病主要危害果實表層 (V 字型侵入)，而蒂腐病則會快速深入果肉 (倒 V 字型侵入)。原來的蒂腐病菌 (*L. theobromae*) 由果蒂入侵果實，但近年來多與上述真菌複合感染，無需經過果蒂入侵，果皮各部位皆可造成果斑，故建議應改稱芒果果腐病。

發病生態：感染源可能來自枯枝與樹皮上的分生孢子，由果蒂或果皮之受傷部位侵入，高溫高濕環境下易發病，全球暖化有利此病發生，雨水應是較主要的傳播媒介。

- 防治方法：1. 田間衛生：清除果園中之落葉與落果。
2. 採果時避免造成果實傷口，且不要在雨天採果。
3. 藥劑防治：目前正式官方推薦藥劑僅有 1×10^9 cfu·g⁻¹ 以上枯草桿菌 (*Bacillus substilis*) Y1336 可濕性粉劑 (500 倍)，自幼果期開始施藥，每 10 天 1 次，約 4-6 次。其他藥劑可參考炭疽病用藥，如 62.5% 賽普護汰寧水分散性粒劑 (2,000 倍)、 $325 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 亞托待克利水懸劑 (3,000 倍)，進行共同防治。

紅龍果莖潰瘍病 pitaya stem canker

病原真菌：*Neoscytalidium dimidiatum*

病徵：本病可危害枝條及果實，紅肉與白肉種皆會被感染，病徵易與炭疽病混淆。果實上初期出現白點斑，病斑逐漸擴大呈圓斑狀，中央開始有紅褐色小點，後期果實呈黑褐色甚至木乃伊化。枝條會形成木栓化的潰瘍斑，中央呈現紅褐色突起，上面著生黑色小點的柄子殼。

發病生態：病菌喜歡高溫多濕，相較於炭疽病，過去較少發生；但近年暖化的氣候有助於此病菌之滋長，以莖部上產生的分生孢子為主要感染源，藉風雨散播，夏季好發。果實與幼嫩枝條不需傷口即可入侵，老莖不易受害。

- 防治方法：1. 使用健康種苗：用來做扦插苗的母本需來自健康果園。
2. 田間衛生：實施清園，撿拾落果，剪除罹病枝。
3. 合理化施肥、減少氮肥的使用量及提前套袋，可有效減輕感染。
4. 病害發生初期即趁早施藥，效果較佳。目前尚無建議用藥，暫時可使用炭疽病的防治藥劑：如 $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 三氟派瑞 (4,000 倍)、 $325 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 亞托待克利水懸劑 (3,000 倍)、62.5% 賽普護汰寧水分散性粒劑 (2,000 倍)，7 天 1 次，共 4 次。

草莓炭疽病 anthracnose of strawberry

病原真菌：*Colletotrichum gloeosporioides*、*C. dematium*、*C. fragariae*、*C. acutatum* 等多種炭疽病菌複合感染，8-36℃均可生長，但最適溫在 22-26℃，高溫高濕有利病菌侵染繁殖。

病徵：病菌可感染草莓果實、走莖、葉部及莖冠基部。在走莖上形成環斑、凹陷與黑腐，莖基部感染後期會導致草莓植株萎凋並死亡，莖基外部呈黑腐而內部呈現深紅色。受害的成熟果實外表呈凹陷、變黑，常形成木乃伊化。

發病生態：病菌可殘存於葉片或莖基部，分生孢子藉風雨擴散而感染健株。帶菌種苗是長距離傳播的另一項重要因子。本病菌一年四季均可存活於草莓植株上，育苗期可於葉片、葉柄與走莖上發現病徵，但一般不會對植株造成嚴重危害，本田期則常於草莓苗移植本田後一個月至一個半月造成植株大量死亡；或於翌年 4 月氣溫升高時，帶病菌植株也容易死亡。近年來冬季晚至，9-10 月初氣溫仍高，若在此時定植，易發生炭疽病而大量種苗死亡。

防治方法：1. 使用無帶菌的健康種苗來種植，定植時間延後至 10 月之後。
2. 選用較耐炭疽病的品種（如香水）取代豐香感病品種。
3. 清除園區內的病枝葉、病果。
4. 選用下列藥劑任一種進行防治，每隔 7 天用藥 1 次，連續 3 次：
例如 27.3% 三氟得克利水懸劑 (2,500 倍稀釋)、23.6% 百克敏乳劑 (3,000 倍稀釋)、53% 腐絕快得寧可濕性粉劑 (1,200 倍稀釋) 等。

葡萄晚腐病 ripe rot of grape

病原真菌：*Colletotrichum gloeosporioides*

病徵：主要危害果實；也可感染嫩梢、葉片及花，但病徵不甚明顯。果實於葡萄轉熟期開始危害，綠色果粒經常有褐色小點或黑褐色網紋污

斑，隨後轉色的熟果會軟化凹陷，逐漸形成如洩了氣的氣球一般的果粒，濕度高時可在果粒表面產生大量橘紅色分生孢子堆。

發病生態：近收穫或收穫期被害嚴重，病菌於果實成熟前呈潛伏感染，成熟後開始入侵，故超前進行防治是最佳策略。其分生孢子可藉雨水或昆蟲傳播，高溫多濕的環境下容易大爆發，當前全球暖化將促進此病之危害。而臺灣現今栽培品種均十分感病，常造成嚴重危害。

防治方法：1. 田間衛生：清除病果、病葉，予以移除燒毀；修剪期配合使用藥劑降低病原菌的數量，可用藥劑如 25.9% 得克利水基乳劑 (1,500 倍)、80% 免得爛水分散性粒劑 (500 倍)、70% 腈硫醃水分散性粒劑 (2,000 倍)、53% 腐絕快得寧可濕性粉劑 (1,200 倍) 等擇一輪流使用；保持果園良好通風。

2. 提早套袋：在葡萄開花後 30 天內進行，套袋前將藥劑均勻施於果串，建議藥劑如 25% 撲克拉水基乳劑 (2,500 倍)、25.9% 得克利水基乳劑 (1,500 倍)、40% 克熱淨可濕性粉劑 (1,500 倍) 或 80% 免得爛水分散性粒劑 (500 倍) 等擇一使用，套袋的鐵線需綁牢，避免孢子隨雨水入侵，如此可得最佳防治效果。

結語

「全球暖化」與「極端天氣」對植物病害的影響，以真菌與細菌性病害影響較大，新浮現或趨於嚴重的病例較多。病毒是絕對寄生的病原，環境溫度微幅增加對其影響不大；植物病毒病害若趨嚴重，則與寄主本身的耐抗病性與媒介昆蟲的管理有關，氣候變遷較屬於間接影響因素。另外，植物寄生性線蟲與氣候變遷的關係研究相當有限，較近的一篇論文描述因氣候暖化導致大豆胞囊線蟲 (*soybean cyst nematode*) 入侵加拿大魁北克地區，引起大豆產業的重視，但尚未發生成災。以植物保護的研究者而言，對於病蟲害的監測本來就是例行任務，氣候變遷相關資訊可預測一些可能入侵或趨於嚴重的病原菌或害蟲，以便提前因應。然而，最重要的仍是落實國內有害生物 (病蟲害) 的即時監測工

作，一旦發現立即採取緊急防治措施，如秋行軍蟲的案例，無論是否與氣候變遷有關，採取的行動都是一樣的。近來行政院農業委員會推動植物醫師制度，派遣植物醫師下鄉執行病蟲害診療服務，有助於掌握農作物第一線的疫情，協助農業試驗改良單位的專家，為農民提供更即時而有效的服務，也是因應氣候變遷導致病蟲害相改變的一帖良方，相當值得鼓勵。

參考文獻

- Chung, P. C., H. Y. Wu, Y. W. Wang, H. A. Ariyawansa, H. P. Hu, T. H. Hung, S. S. Tzean and C. L. Chung. 2020. Diversity and pathogenicity of *Colletotrichum* species causing strawberry anthracnose in Taiwan and description of a new species, *Colletotrichum miaoliense* sp. nov. *Sci. Rep.* 10: 14664.
- Davies, F. S. and L. G. Albrigo. 1994. *Crop production science in horticulture 2: Citrus*. CAB International, Wallingford, UK.
- Feng, Y. C., C. H. Tsai, S. Vung, T. H. Hung and H. J. Su. 2015. Cochin China *atalantia* (*Atalantia citroides*) as a new alternative host of the bacterium causing citrus Huanglongbing. *Austral. Plant Pathol.* 44: 71-80.
- Hung, T. H., S. C. Hung, C. N. Chen, M. H. Hsu and H. J. Su. 2004. Detection by PCR of *Candidatus Liberibacter asiaticus*, the bacterium causing citrus Huanglongbing in vector psyllids: application to the study of vector-pathogen relationships. *Plant Pathol.* 53: 96-102.
- Lin, C. Y., C. H. Tsai, H. J. Tien, M. L. Wu, H. J. Su and T. H. Hung. 2017. Quantification and ecological study of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in citrus hosts, rootstocks and the Asian citrus psyllid. *Plant Pathol.* 66: 1555-1568.
- Ni, H. F., C. W. Huang, R. F. Liou, T. H. Hung and H. R. Yang. 2014. Effect of hot water treatment on the control of mango fruit rot disease. *Plant Pathol. Bull.* 23: 125-138.
- Ni, H. F., H. R. Yang, R. S. Chen, R. F. Liou and T. H. Hung. 2012. Botryosphaeriaceae fruit rot of mango in Taiwan: identification and pathogenicity. *Bot. Stud.* 53: 467-478.

- Ni, H. F., H. R. Yang, R. S. Chen, T. H. Hung and R. F. Liou. 2012. A nested multiplex PCR for species-specific identification and detection of Botryosphaeriaceae species on mango. *Eur. J. Plant Pathol.* 133(4): 819-828.
- Pearson, R. C. and A. C. Goheen. 1998. *Compendium of Grape Diseases*, 4th ed. APS Press, St. Paul, MN, USA.
- St-Marseille, A. F. G., G. Bourgeois, J. Brodeur and B. Mimee. 2019. Simulating the impacts of climate change on soybean cyst nematode and the distribution of soybean. *Agr. For. Meteorol.* 264: 178-187.
- Tsai, C. H., T. H. Hung and H. J. Su. 2008. Strain Identification of Citrus Huanglongbing Bacteria (HLBB) by pathogenicity characterization in Taiwan. *Bot. Stud.* 49: 49-56.

Changes of Fruit Tree Pests and Corresponding Measures for Climate Change


Ting-Hsuan Hung*

Abstract

Global warming and extreme climate will have an impact on diseases and insect pests of plants. Due to the long-cultivated period of fruit trees, there are many cases of newly invasive or increasingly serious diseases and insect pests. This article takes several cases of fruit tree pests that have become more serious in recent years, including citrus canker, citrus huanglongbing, citrus psyllid, citrus spider mite, citrus rust mite, mango fruit rot, pitaya stem canker, anthracnose of strawberry and ripe rot of grape, etc., introduce the changes of status for these pests and diseases, and describe the corresponding prevention and control measures. As far as plant protection researchers are concerned, the monitoring of plant pests is originally a routine task, regardless of whether the occurrence is related to climate change, the actions taken are consistent. Recently, the Council of Agriculture has promoted the Plant Doctor System, sending plant doctors to the countryside to execute the diagnosis and control services, which directly benefit farmers and help grasp the front-line epidemic of crops. It is also a smart move to respond to changes in the plant pests caused by climate change.

Key words: Climate change, Fruit trees, Plant pests, Citrus canker, Citrus huanglongbing, Citrus psyllid, Citrus spider mite, Citrus rust mite, Mango fruit rot, Pitaya stem canker, Anthracnose of strawberry, Ripe rot of grape

* Professor, Department of Plant Pathology and Microbiology, National Taiwan University



國內水果市場營運及行銷通路 新趨勢

羅至男*

2020 年初新冠疫情爆發衝擊全球，對消費及生活產業，相較於過去出現劇烈的變化，零接觸的商業模式興起，包括：電商、外送服務、數位支付、線上會議、線上遊戲等等，都推向前所未有的盛況。

行銷通路新趨勢－生鮮電商興起

臺灣的生鮮食品銷售，在疫情催化下迅速成為各界關注的熱門產業。

大型綜合電商平台紛紛跨足生鮮銷售，外送平台大力投入虛擬超市，零售通路巨擘 7-11、全家、全聯、好市多、家樂福等等，在各自的利基優勢基礎下發展虛實雙擊，生鮮食品的銷售儼然成為零售通路兵家之地。

國內水果市場的營運

大型生鮮電商平台經營農產品的銷售，競爭優勢相當重要的關鍵之一，在於尋求產品的數量與豐富度，尤其面臨短期湧入的大量訂單，如何在兼具安全、品質、品規等條件，取得滿足消費者的訂單數量？對稱性的供應鏈生產趨大化，將是未來可以預見的趨勢。

臺灣的農業發展屬於小農結構，缺乏規模經濟效益，再加上農業人力老化的不利因素，農業經營亟需思考，如何盤點區域資源、定位核心產業，以利於產地專區的評估規劃，營造水平整合或策略聯盟的供應鏈價值。

消費行為趨向深深影響零售通路的發展，生鮮水果的傳統經營模式，隨著企業集團的積極佈局，大規模且集中的商業特性，將是供應鏈經營上不可或缺的議題。

* 福和生鮮農產股份有限公司經理
a0980532590@gmail.com



國際水果消費市場趨勢與拓展

洪忠修*

摘要

臺灣具有地理優勢，農業生產區位同時涵蓋熱帶、亞熱帶及溫帶，栽種優質果品超過 30 餘品項，果品種植面積接近 20 萬公頃，供應國內需求與出口市場，年產值新臺幣千億元。就國際果品消費市場結構而言，從國內生產優勢與國際市場需求的供需初步分析，蜜棗、釋迦、荔枝、蓮霧、香蕉、鳳梨、芒果、柑橘與柚子等，皆是具有出口競爭能力的優質果品。本簡報一方面藉由貿易理論之顯示性比較利益（Revealed Comparative Advantage, RCA），以及貿易互補度指數（Trade Complementary Index, TCI），綜合研析上述果品我國出口機會；另一方面，再就實務面藉由業者的觀點提出發展構想。

* 台農發股份有限公司董事長



國際水果消費市場 趨勢與拓展

洪忠修

中興大學應用經濟學博士
台農發股份有限公司董事長

中華民國110年5月25日

簡報大綱



生鮮果品貿易結構



生鮮果品出口研析



案例分享



結語

109年我國主要果品出口結構

千美金

項目			第1位			第2位			第3位		
貨品	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%
總值	4,912,337	100.0	中國大陸	1,017,337	20.7	日本	760,414	15.5	美國	674,769	13.7
生鮮冷藏水果	182,679	3.7	中國大陸	131,027	71.7	香港	17,674	9.7	日本	15,545	8.5
鳳梨, 生鮮冷藏	54,751	1.1	中國大陸	49,878	91.1	日本	3,000	5.5	香港	1,268	2.3
釋迦, 生鮮冷藏	44,792	0.9	中國大陸	42,452	94.8	香港	1,779	4.0	加拿大	212	0.5
芒果, 生鮮冷藏	26,099	0.5	中國大陸	7,846	30.1	香港	7,440	28.5	日本	5,421	20.8
蓮霧, 生鮮冷藏	18,884	0.4	中國大陸	18,050	95.6	香港	666	3.5	加拿大	91	0.5

資料來源：整理自農委會農產貿易

3

108年我國主要果品出口結構

千美金

項目			第1位			第2位			第3位		
貨品	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%
總值	5,578,442	100.0	中國大陸	1,274,932	22.9	日本	910,493	16.3	美國	627,510	11.2
生鮮冷藏水果	184,930	3.3	中國大陸	148,085	80.1	日本	12,062	6.5	香港	8,789	4.8
鳳梨, 生鮮冷藏	65,363	1.2	中國大陸	63,520	97.2	日本	1,370	2.1	香港	280	0.4
釋迦, 生鮮冷藏	39,911	0.7	中國大陸	38,847	97.3	香港	676	1.7	馬來西亞	211	0.5
芒果, 生鮮冷藏	22,124	0.4	中國大陸	10,542	47.7	日本	5,344	24.2	香港	3,134	14.2
蓮霧, 生鮮冷藏	19,102	0.3	中國大陸	18,631	97.5	香港	311	1.6	新加坡	79	0.4

資料來源：同上表

4

107年我國主要果品出口結構

千美金

項目			第1位			第2位			第3位		
貨品	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%	國家	出口值	%
總值	5,463,186	100.0	中國大陸	1,267,588	23.2	日本	922,489	16.9	美國	564,725	10.3
生鮮冷藏水果	134,749	2.5	中國大陸	103,544	76.8	日本	10,257	7.6	香港	6,833	5.1
鳳梨, 生鮮冷藏	43,080	0.8	中國大陸	41,835	97.1	日本	999	2.3	香港	183	0.4
釋迦, 生鮮冷藏	32,406	0.6	中國大陸	31,921	98.5	香港	254	0.8	馬來西亞	111	0.3
芒果, 生鮮冷藏	17,361	0.3	中國大陸	5,308	30.6	日本	5,292	30.5	大韓民國	4,198	24.2
蓮霧, 生鮮冷藏	11,728	0.2	中國大陸	11,576	98.7	香港	119	1.0	新加坡	17	0.1

資料來源：同上表

5

2017-19年全球果品進口結構(1/6)

百萬美元

項目	2019年進口結構		2017	2018	2019
蜜棗 釋迦 荔枝 蓮霧	全球	100.00%	3,212	3,345	3,410
	中國大陸	26.95%	888	857	919
	荷蘭	6.98%	232	248	238
	美國	6.34%	193	220	216
	香港	5.54%	170	153	189
	沙烏地阿拉伯	4.48%	49	111	153
	其他	49.71%	1,680	1,756	1,695
	臺灣出口		31	47	62

資料來源：整理自ITC/Trade statistics

6

2017-19年全球果品進口結構(2/6)

百萬美元

項目	2019年進口結構		2017	2018	2019
香蕉	全球	100.00%	14,343	15,002	15,019
	美國	16.84%	2,530	2,592	2,529
	俄羅斯	7.46%	1,140	1,155	1,120
	中國大陸	7.29%	580	897	1,094
	比利時	7.03%	1,366	1,317	1,056
	德國	6.63%	1,014	945	996
	其他	54.76%	7,713	8,096	8,224
	臺灣出口			2	3

資料來源：同上表

7

2017-19年全球果品進口結構(3/6)

百萬美元

項目	2019年進口結構		2017	2018	2019
鳳梨	全球	100.00%	2,677	2,747	2,708
	美國	26.38%	749	726	714
	中國大陸	8.57%	146	183	232
	荷蘭	7.46%	184	203	202
	西班牙	5.03%	139	145	136
	德國	4.96%	148	159	134
	其他	47.60%	1,311	1,333	1,289
	臺灣出口			37	43

資料來源：同上表

8

2017-19年全球果品進口結構(4/6) 百萬美元

項目	2019年進口結構		2017	2018	2019
芒果	全球	100.00%	2,915	3,237	3,786
	中國大陸	21.72%	167	371	822
	美國	17.39%	656	637	658
	荷蘭	8.83%	240	288	334
	德國	5.23%	202	227	198
	越南	4.80%	235	188	182
	其他	42.02%	1,415	1,526	1,591
	臺灣出口			15	17

資料來源：同上表

9

2017-19年全球果品進口結構(5/6) 百萬美元

項目	2019年進口結構		2017	2018	2019
柑橘	全球	100.00%	1,956	2,376	2,373
	俄羅斯	17.83%	361	383	423
	美國	12.15%	277	310	288
	英國	7.96%	183	204	189
	印尼	7.33%	52	93	174
	法國	5.99%	142	150	142
	其他	48.73%	940	1,237	1,156
	臺灣出口			2	4

資料來源：同上表

10

2017-19年全球果品進口結構(6/6) 百萬美元

	2019年進口結構		2017	2018	2019
柚子	全球	100.00%	1,023	1,092	1,026
	荷蘭	18.47%	194	198	190
	俄羅斯	11.60%	90	112	119
	日本	7.50%	92	87	77
	中國大陸	6.41%	51	87	66
	法國	6.41%	85	75	66
	其他	49.62%	511	533	509
	臺灣出口			4	5

資料來源：同上表

11

生鮮果品出口研析(1/2) -貿易理論-

總體分析

顯示性比較利益

(Revealed Comparative Advantage, RCA) ◀

特定產品在出口國占比
對於該產品全球市場占比

個體分析

貿易互補度指數

(Trade Complementary Index, TCI) ◀

出口國出口優勢產品與進
口國進口產品關聯係數

12



結語

- 國際貿易內涵 ⇨ 理論 vs. 實務
- 公私部門協力 ⇨ 政府、學術單位、業者

The Tendency and Expansion of Global Consumption Market on the Fresh Fruits

Chung-Hsiu HUNG Ph.D.*

Abstract

Taiwan has geographic advantages, the areas of agriculture production have tropic, subtropic and temperate zones. In these areas where have around 200 thousand hectares of farmland. And planting over 30 various types of fruits that these can supply domestic and foreign markets simultaneously. Furthermore, the production value of a year is about 100 billion NTD. On the part of international market structure by taking the advantage of domestic production and the requirement of international market, it is noticeably that jujube, sugar apple, litchi, wax apple, banana, pineapple, mango, citrus, pomelo and so on, all of these are competitive fruits when export to other countries from Taiwan. This presentation will analyze the fruits of exporting opportunity which from our country by the comparative advantage of the trade theory(Revealed Comparative Advantage, RCA)and the trade complementary index(Trade Complementary Index, TCI). This presentation will also take traders' viewpoint to propose practical development ideas.

* Mitagri Co., Ltd.

臺灣海港低溫物流中心現況

陳汝興*

海運進、出口蔬果作業簡介

臺灣是一個四面環海的島嶼型國家，所有對外的貿易均是以海運做為主要的模式，尤其是大宗物資（能源、礦產、糧食等）；在地球村的現狀下，對於全球物資的互通有無的日益頻繁下，與生活物資越來越要求的狀況下，對於高品質的新鮮食材需求亦越來越增長；更因高科技產品的需求，對於低溫的物流需求與要求也逐漸向上提高（如疫苗、藥品與高純化的材料等）。

餐廳與超市中的蔬果、牛肉、海鮮食材供應，對於冷鏈的依賴更是無所不在；在超低溫的冷凍物流，除了溫度較低外，其他的品質要與環節上是比較容易達到要求，反而蔬果、花卉的冷藏物流，除了各產品溫層不一外，對於濕度與共存的要求更是複雜，而且冷藏產品的期效相對均是比較短，故此類的冷鏈物流在成本與困難度是非常大的。

陸運與海運上的冷凍、冷藏標準很早就有規範，也因每個容器的量是有限，也比較容易達到每種產品的要求。反觀港區倉庫對於冷鏈產品的需求會牽扯到每個產品需求不同外，也會因「規模化」造成各項費用無法降低，難與市場希望達成平衡；故在臺灣除了漁獲因有很確定的市場與要求，產品單價普遍也較高，故此一市場的冷鏈作業會比較好來運作。

蔬果冷鏈要求不一，產品期效短，有季節性的高峰，作業要求更繁雜，故

* 好好國際物流股份有限公司副總經理
johnnychen@yeslogistics.com

根莖類與瓜果類相對會比較好處理，其他蔬果產品均很難在成本與要求中達到平衡。

好好國際物流是陽明海運的子公司，成立於 1999 年；原本是由陽明的 CFS 倉單位來組成，再延伸一般常溫的物流倉儲的業務，於 2009 年跨入低溫的冷鏈物流中心業務；在高雄港與臺北港各有一座現代化的多溫層物流中心，擁有 14,000 板的低溫儲位，溫度設定可由 18°C 到 -25°C 的環境，濕度也可由 50% 調整到 95% 的環境，對於進口蔬果提供全方面的儲存溫濕度控制環境。也提供跨國食品貿易公司於亞洲的集貨與發貨中心服務，對於產證與各個國家的食品認證程序亦有十多年的經驗。

在這十多年來操作低溫食品、蔬果的歷史中，歐洲的客戶對於各項的認證與規定最為清楚與嚴格，北美之客戶就比較單純。以蘋果此一進口大項目，各國來的物流品質就有很大的落差，其中以日本的包裝最精緻，產品也很多樣與特殊，當然價格也是最高，甚至為南美地區的三倍以上的價格；澳洲與紐西蘭的產品有一定的水準，但變化不大，外觀非常相似，中國大陸與歐洲的產品因政治及成本因素就沒進口至臺灣，但這二個地區的產品也跟北美一樣品項單純，沒有太多的包裝。

至於臺灣蔬果出口的主要國家是中國大陸與香港，部分是政治上的操作，也是先前臺商在當地所耕耘的成果，尤其這 20 年來中國大陸經濟的成長，讓其由出口國轉變為進口國，除了「奢侈品」的佔比很高外，民生用品也迅速的向上提升。

2008 年中國大陸的蔬果進口產值還排不進世界前 15，但 2018 年中國大陸的進口產值成長了 6.4 倍，成為世界第五大的進口國。中國大陸是一個新興且具有高成長性的市場，未來成為世界上第二大的進口國也指日可待，而臺灣連帶也因中國大陸的需求使得外銷蔬果大幅的成長，中國大陸市場大到無法忽略。

過去臺灣蔬果輸出以溫帶蔬果為主，主要有幾個原因：

1. 溫帶國家普遍較富裕，蔬果進口大國如美國、荷蘭、英國、德國、法國、加

拿大等，都是較富裕的國家。

2. 溫帶國家的科技與經濟的發展較領先，在物流科技上領先，有能力將蔬果運輸到更遠的地方。
3. 溫帶水果更容易儲運，柑橘、蘋果、梨、葡萄等溫帶水果有更好的儲運性，也有更長的樹架壽命。

但隨著全球化、熱帶國家經濟開始富裕和儲運技術的提升，蔬果運銷開始有了更豐富的發展。蔬果出口的產值從 2010 年的 836 億美金，到了 2016 年成長至 1,176 億美金，平均下來每年都有 56 億美金的成長。不再只是從溫帶國家輸往溫帶國家，而開始變成由溫帶輸往熱帶、熱帶輸往溫帶。

老派的熱帶蔬果如芒果、香蕉、鳳梨表現一樣亮眼，而酪梨、荔枝、紅龍果、椰子等則成長驚人。以荔枝為例，目前 89% 的進口國都在歐洲國家，從荔枝被歐洲人稱為來自熱帶的櫻桃（Tropical cherry），就可以知道歐洲人對於荔枝的喜愛程度。

而中國大陸對於熱帶蔬果的需求也相當驚人，榴槤、紅龍果、鳳梨、香蕉等進口量都非常大，中國大陸在 2014 年開放酪梨進口，三年的時間內從 0 到進口 25,000 公噸，爆炸性的成長讓酪梨在中國大陸成為新穎且大受歡迎的水果。

東南亞蔬果運銷蓬勃發展，加上東協 10+3 等國的成長，東協諸國的蔬果進口總產值已從 2012 年的 42 億美金成長到 2016 年的 75 億美金；除了老牌的蘋果仍是進口第一名外，進口產值第二大的竟然是紅龍果，有將近 10 億美金的規模，成長速度相當驚人。

只是，看到紅龍果有這樣的市場就令人感嘆，過去紅龍果並沒有好的商業品種，直到集集鎮果農石火泉先生選育出第一個商業品種後，紅龍果才開始嶄露頭角，經過多年品種改良，紅龍果從原本不好吃的原生品種成為市場接受度高的美味產品，可惜臺灣缺少國際品種及國際市場操作的能力，才讓越南這 10 年來嚐盡甜頭，紅龍果為越南每年帶來超過 6 億美金的外銷產值，成為越南最重要的外銷水果，而臺灣的紅龍果外銷就連 30 萬美金也沒有。

臺灣紅龍果當然可以開拓出差異化市場，畢竟越南走的是低價、外觀精美但風味較差的路線，而臺灣有幾支品種可以以價位中等與風味特色來和越南紅龍果做出區隔，但臺灣缺少這種國際市場的需求規劃，隨著中國大陸崛起，價格較高且風味較佳的紅龍果市場隨時有可能被中國大陸填補。

臺灣農業目前均是在中、南部，在產地的生產規模也都偏小，集貨場的設備也很簡陋，造成成本無法降低，品質不一，這在推展外銷上是非常致命的，每年都花了政府大筆的補助，但一直沒有任何的成果，這應該要好好來討論，如果沒有辦法改善，不如將補助直接給農民或許還更有「成效」。

2021中部果樹產業
因應氣候變遷之調適與策略發展研討會論文輯

綜合討論





農委會科技處王仕賢處

農糧署副署長 姚志旺

農資致詞
行政院農糧委員會 主任委員 陳南仲

農糧署
大會秘書處

農委會處長林家榮

農糧署作物生產組 陳立儀

台灣大學園藝暨景觀學

黃振文

國立中興大學園藝學系

鳳山分所 分所長 李文

台中區農業改良場助理

高雄區農業改良場副研

行政院農業委員會 農業金融
農金局周副局長妙芳

國家災害防中心 陳永明

台大植微系主任 洪挺

盧虎生

福和生鮮農場經理 羅至男

台農發董事長洪忠修

好好國際物流副總經理 陳汝興

大會秘書處

台中區農業改良場副研

臺中場 洪梅珠

張育森臺大園藝系

170 521 6458

臺中場-張金元

臺中場環境課課長田雲生

苗栗場-呂秀英 +173

農試所-鄭櫻慧

桃園場助研員賴昭宏

鳳山試驗所 黃基倬

臺中場植保研究室 趙佳鴻

嘉義試驗所 陳祈男

2021 中部果樹產業博覽會
因應氣候變遷之調適與策略發展
感謝各位的參與
大會秘書處

桃園區農改場 施伯明

屏科大農園生產系 蔡尚翰

綜合討論

與會者建議

1. 應整合學研單位及業界之資源，應用創新科技，並由避災、減災及調適三方向縝密規劃，建立農民確實可增加收益之穩定耕作模式。
2. 臺灣果樹產業因應氣候變遷之措施，在耐候品種育成、栽培技術持續精進之基礎上，應強化導入設施栽培以避災，藉由智慧農業開發系統結合氣象資料及運用省工機具以有效管理果園及減緩災害損失，另並加強氣候預測及產區規劃以達到減災穩產效果，此外，農業零碳排及減碳效益亦應重視。
3. 臺灣果樹產區變遷的因應，應籌組團隊，結合原地理資訊系統，再增納氣候變遷資訊、果樹生育資訊、演算學等跨領域專家，以整合各項資料以協助農業栽培模式推行，俾串聯產地需求資訊回饋給研究端，達到學術與應用密切接軌。
4. 由歷史氣象資料推估未來氣候趨勢，充實重點作物天然災害基礎資料，相關單位災前預警系統建立及資訊橫向聯結，果品適栽度與產區分析、數位化資料建立等，以應用於推動韌性農業整體規劃、致災氣候因應、猛暴性病蟲害發生之減緩、規劃農業保險等。
5. 對於農業各領域如溫帶果樹、熱帶果樹等致災門檻製作氣候變遷推估，目前已完成 2030、2040 及 2050 年的致災機率改變性計算，相關資料建議各產官學研單位多加利用。
6. 面對氣候變遷下行銷及消費者行為轉變，新冠肺炎下行銷模式改變，擴大及發展水果產業銷售的契機。未來多元化行銷管道與提高水果品質為重要課題，應強化商業平台媒合生產端及消費端的力度，公、私部門對於採收至運

送過程中冷鏈相關參數的數位化建立與節能規劃，並應用數位化整合小農生產量能與連結，以擴展外銷區域。

7. 科技面迫切需進行之研究如下：

- 7.1 數位化：全球在後疫情時代最大的轉變即是數位化，數位化系統可符合零接觸且更迅速地串接生產、銷售到冷鏈；數位化專家系統可連結果樹生理、病理及氣象預警等學者的關鍵參數，並可做為氣候保險的指標參考；數位化是可持續、擴散最快、幾乎永久性的方法，同時具可信度，若與區塊鏈結合，對於農業保險提供預測指標，可信度更高。
- 7.2 適栽度分析：茶與咖啡的適栽度分析，因具高經濟價值，全世界高階產業都在進行，俾利尋獲最好的產區以展開契作。在全球暖化趨勢下，山竹、榴槤已在南部開始種植，則其他熱帶、亞熱帶果樹若能提早做產業專區適栽度分析規劃，則產區移動具預測性，農民投資具保障，農業保險風險亦可降低。故建議需進行各項果品的適栽度分析之研究，而此分析需從生產、經濟、市場行銷等進行跨域合作。
- 7.3 生命週期分析 (LCA)：除碳以外，能源及水未來均會納入 LCA 國際規範中，該三項的規範歐盟已在進行討論，這將會影響到未來冷鏈運輸系統。在規劃冷鏈時，找到能量消耗熱點，事先做最精緻的規劃及設計安排並解決以達到目標。
- 7.4 人才培育：以上 3 項科研均需跨領域的專業知識，可自大學端開始培育由智慧農業開始的前瞻學生，為其開創新的新創團隊與事業型態機會，畢業後從事此類技術服務業，雖無自己農田，但可運用跨領域的專業知識，服務第一線農民及在地生產端，並由第一線的學習經驗將產地需求資訊再回饋給研究端。

研討會結論

1. 產官學研各界在果樹產業面對氣候變遷已投入許多研究與因應措施，但全球暖化及極端天氣的影響已超出原先預判，果樹產業亟需強化以跨領域方式綜

整各領域的研究，建議由行政院農業委員會引領整合學研單位加速以研發成果的應用及擴散，尋求前瞻規劃導入數位化及專家系統建置，並培育跨域人才串接各領域研發成果。

2. 學研單位應加強氣候變遷調適作為長期基礎研究，包括抗耐逆境品種選育及果樹品項物候期長程監測紀錄，以及病蟲害變化趨勢，並導入相關容忍措施，加強果樹作物對於氣候變遷的調適力。
3. 氣候變遷下果樹品項已出現產區位移現象並已形成聚落，建議農委會及產業輔導單位應導入跨單位資源整合，促進產業發展。同時應以「適栽度分析」選定具國際競爭力的果樹品項，結合市場經貿端進行產區布局規劃及穩定生產策略。
4. 極端天氣往往造成農民大規模損失，建議應提高天氣資訊預測尺度，以利農民針對致災型天氣，有足夠時間提早準備因應措施。另農業保險並得滾動調整，以降低農民因天然災害損失，維持農民生計。
5. 因應氣候變遷並在後疫情時代，果樹產業的作物基礎生理、生產栽培、集貨儲藏、冷鏈運輸及市場經銷應加強數位化系統建置。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展研討會論文輯 .
2021/ 吳庭嘉、葉文彬、劉惠菱、陳盟松、徐錦木、陳裕星、
李紅曦主編 . -- 第一版 . -- 彰化縣大村鄉：行政院農業委員會
臺中區農業改良場，民 110.08

面；公分

ISBN 978-986-5455-31-6 (平裝)

1. 果樹類 2. 氣候變遷 3. 產業發展 4. 文集

435.307

110007992

書名：2021 中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展研討會
論文輯 (臺中區農業改良場特刊 143 號)

發行人：李紅曦

編者：吳庭嘉、葉文彬、劉惠菱、陳盟松、徐錦木、陳裕星、李紅曦

出版機關：行政院農業委員會臺中區農業改良場

地址：51541 彰化縣大村鄉田洋村松槐路 370 號

網址：<http://www.tdais.gov.tw/>

電話：04-8523101 轉 243

傳真：04-8528692

出版年月：中華民國 110 年 8 月

版次：第一版 印刷 500 本

定價：新臺幣 300 元整

印刷：財政部印刷廠

電話：04-24953126

展售書局：

五南文化廣場臺中總店 · 400 臺中市中山路 6 號 · 04-22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 · 104 臺北市松江路 209 號 1 樓 · 02-25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：110007992

ISBN：978-986-5455-31-6