

氣候變動及果樹栽培體系前瞻因應

李文立*

摘要

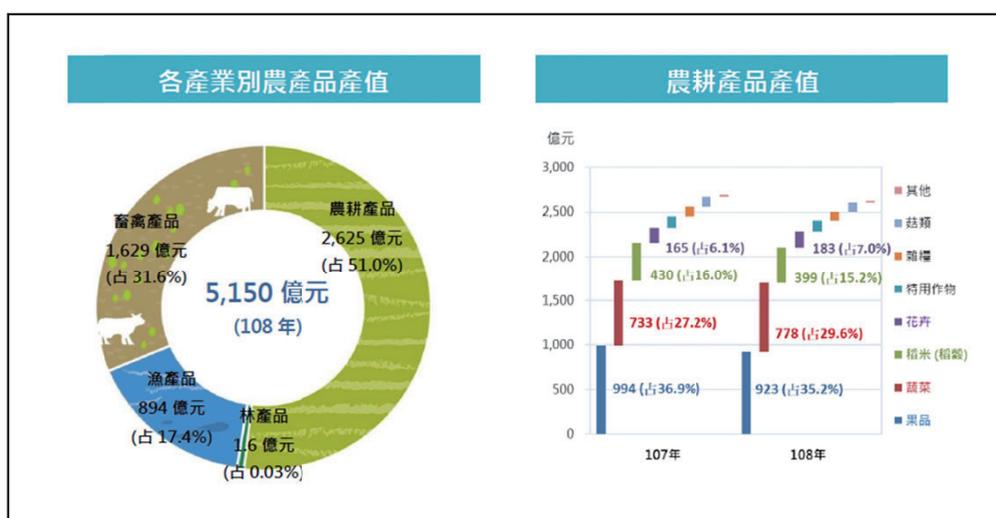
臺灣特殊的地理條件創建了精緻的果樹管理技術，近年來在行政院農業委員會的主導下，果樹的生產從產量、品質提升的一般性生產技術，進化成高安全、環境友善等更深一層的共存生產技術，向來得到國際的讚賞。在面對未來氣候變動越加劇烈，旱季越來越長，氣溫越來越高，人工越來越缺乏的未來，果樹的生產環境更加嚴苛。如何面對未來的挑戰仍能夠維持臺灣果樹生產技術的聲望，是一個值得深思的議題。面對未來自然環境與社會環境的變動，聯合不同領域的跨界整合是必然的趨勢，農業不再是單獨的農業，需要各個領域協同。然而面對可預知的未來，臺灣的果樹產業仍須留意各類果樹的基礎生理研究、工廠式自動化果樹生產技術、設施(室內)果園生產技術、水資源精細管理技術、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

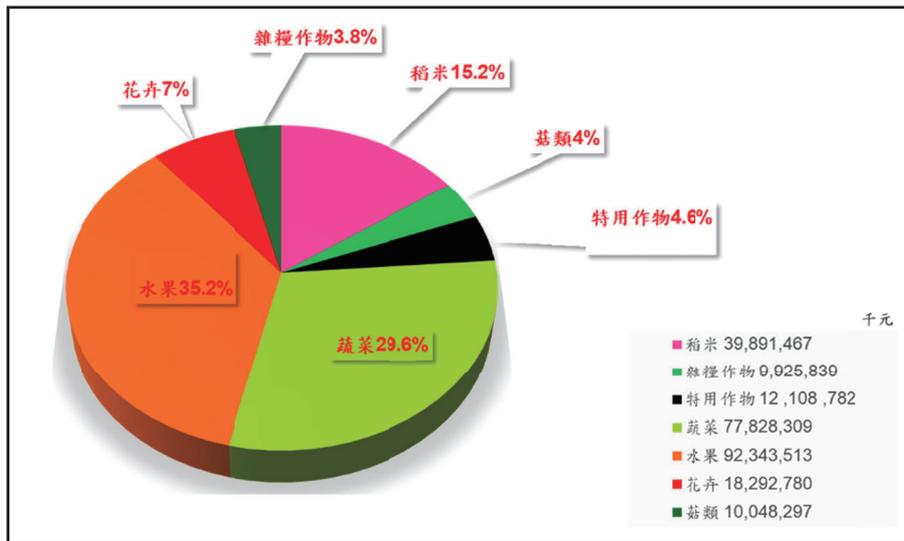
* 行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所分所長
wenlly@tari.gov.tw

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。

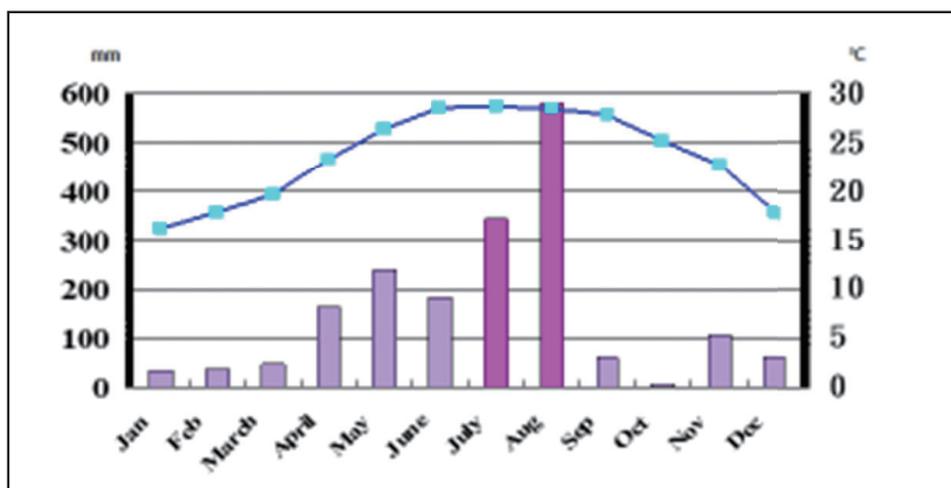
環境與果樹生產

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一環，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