

臺灣溫帶果樹前瞻科技投入

李紅曦

行政院農業委員會科技處

摘要

由於環境變遷及產業發展需要，臺灣溫帶果樹產業已利用其獨特地理地形、微氣候條件及育種與生產技術等，發展出在亞熱帶及熱帶溫暖地區生產溫帶早熟水果的特殊生產模式，其中高接梨及早春葡萄更是臺灣獨步全球之創舉。然而，面對全球暖化、天氣極端化、自然資源枯竭及生態環境劣化等趨勢，加上經貿自由化及市場競爭，包括溫帶果樹在內的我國各項產業，勢須審慎應對這些交纏複雜的挑戰。尤其在溫帶果樹有著生產與品質不穩定、從業人數下降且老化、小農產業經營規模與效益不足，以及果品衛生安全、水土保持、環境保護等多種問題，如何運用前瞻科技並導入跨域技術能量持續創新並協助產業因應轉型，實為當前迫切需面對與解決的重要課題。全球各先進國家為因應環境變遷、資源短缺及人口增長等現象時，概採行友善環境、利用再生資源與增加糧食生產等之作法，也積極推動「生物經濟」及「生產力 4.0」等政策及相關措施為主要對策。我國目前亦正積極規劃發展此兩方案，期能帶動國內產業轉型及提升產業競爭力，在生物經濟方面有關溫帶果樹產業之措施包括：(1)發展次世代基因體前瞻科技，推動分子標誌應用以提升育種效率；(2)推動植物新品種及種苗全球發展，強化國際競爭力；(3)加強植物健康管理，維繫質量兼具優良農產品並完備環境與農產安全；(4)促進機能性農產品加值應用，產製具差異化與市場競爭力農產品；(5)提升再生循環資源應用技術，強化農產業資源再利用及營造永續發展新契機等多項。在農業生產力 4.0 部分，推動策略係藉由感測技術、智能機器裝置(IR)、物聯網(IoT)、巨量資料(Big Data)分析等技術，建構智慧農業產銷與數位服務體系，以提高效率、效能、安全與風險控管，並追求高質、便捷與人性化。分開來說，在生產面係結合綠能，發展高效、節能之創新設施，農產業運用高效節能、節水、防災農業設施與科技，建構友善環境的生產模式及高效率之節能農產業；在銷售面係建立農產品生產追溯雲端服務，建置 QR code 農產品生產追溯及驗證平臺，保障消費者食的安心與安全；在服務面則為推動農業產銷資訊雲端服務，整合農糧系統資料庫，建立農民、土地、作物及行政措施整合機制，以提供隨手易取之資訊服務。針對臺灣溫帶果樹可以發展之特定科技項目及

關鍵技術，以下幾點可供參考：(1)以光電工業小太陽 LEP (Light Emitting Plasma)調控作物之光敏素生理反應來逃避休眠；(2)以短波長光源調控感光色素系統以調節品質與形態發生；及(3)以改變光熱條件滿足溫帶作物生育需求來縮短生育期及增進品質。對於低莖作物如草莓，可開發符合垂直式植物工廠生產所需之栽培容器及紡織介質材料，另可進行跨域整合開發避災與防災設施結構。其他，如低需冷量耐儲早熟優質品種與穗砧優秀組合力育種，新高冷鏈通路設備與技術運用以提高果品長程長期輸銷能力等，皆為科技發展方向。此外，未來臺灣溫帶果樹之科技發展與運用，有必要結合農業、工業、醫藥業、商業及服務業等跨業來共同推動，且加強跨領域人才之培養。如此，始能因應快速改變的氣候變遷及全球化脈動，維續臺灣特有的科技及產業優勢。

前言

臺灣溫帶果樹產業已利用地理位置、地形、微氣候條件、育種及生產技術等，發展出在亞熱帶及熱帶溫暖地區生產溫帶早熟水果之特殊生產模式，並達到提高單位面積產量、降低平均生產成本並穩定我國主要溫帶水果供應之效果，嫁接梨及早春葡萄更是臺灣獨步全球之創舉，成績有目共睹。

面對全球長期暖化、極端天氣事件頻繁、自然生態資源變動與枯竭等變遷及經貿自由化競爭等趨勢，以及我國農業另面臨之生產不穩定、從業人數下降且老化、小農產業經營規模與效益不足、山坡地限地使用及社會對食品衛生安全及生態永續之強烈關懷等問題與挑戰，如何運用前瞻科技持續創新以協助產業因應轉型，為當前重要課題。

氣候變遷對溫帶果樹之影響與國際研發趨勢

一、氣候變遷對溫帶果樹產業之影響與

研發方向

全球因溫室氣體效應，加速地球暖化及氣候變遷，導致極端天氣發生頻繁，亦影響人類賴以為生之動植物的生產及品質，甚至產生糧食安全危機。在溫帶果樹方面，因主要產區氣候暖化，果樹之低溫需求量無法獲得滿足，導致產量大幅下降，估計造成全球溫帶水果、核果產業損害高達 930 億美元。美國加州於西元 2009 年因氣候暖化，桃、李及核果產業之損失高達 19.1 億美元。溫帶果樹栽種區域逐漸擴張至低緯度國家之合適海拔區域，因天然環境不同，低緯度國家為滿足低溫、光照、溫濕度需求，必須調控休眠生理，穩定果樹產季及產量。

氣候變遷對溫帶果樹造成之影響，包括：(1)對溫帶果樹休眠之影響：若無休眠調控技術，則需克服低溫需求量不足導致植株花期紊亂、萌芽不整齊及結實率下降，造成生長不平衡、降低產量及成熟期不一致等結果；(2)對果實發育及品質之影響：會導

致果實發育減緩、果實著色不良或延遲、果肉軟化、糖酸比改變、降低果實貯藏性；及(3)病蟲害增加及產期改變：會改變病蟲害發生頻率、時期及生態，促使果樹栽培區域向適合溫帶果樹生態生理之緯度或海拔地區移動，此外亦產生果樹種類、品種、產期、產地及產業結構變化。

二、國際研發趨勢

為克服前述影響，以科技因應之方式歸納為三方面，包括：育成低需冷性品種，研發嫁接技術與溫控、光控技術，以及運用病蟲害防治、檢測技術。據此，國際相關研發方向，歸納包含新品種育種技術、栽培管理技術、病蟲害防治與檢測技術等三大面向。

(一)育種研究

育種方向為以分子育種技術與基因體研究為主軸，可大幅縮短育種所需時間。傳統育種期程動輒需 5 至 10 年，果樹等多年生作物育種時間更長，難以應對未來更形嚴峻之氣候變遷困境。因此，世界先進國家積極以分子育種概念出發，透過基因體推演之分子指標，應用至動植物育種，以遺傳型輔助僅以外表型為主之傳統選種，快速而精確地育成新品種。舉例而言，果樹育種由雜交至品系評估選拔、品系特性試驗、再至品系區域試驗共 3 個育成階段，傳統方法各需 7、4、4 共 15 年之時間。經導入分子標誌育種工具後，第 1 階段即可由 7 年大幅縮短為 3 年，第 2、3 階段亦可縮短為 3 年，整體育成時間限縮為 10 年，即可減少 1/3 育成時間。

(二)栽培管理技術

運用衛星航遙測技術，結合土壤與產量等數位化影像應用，或以無人飛機及自動化機具在田間或設施內進行噴藥等栽培管理，以發展精準農業，俾提高栽培及採收效率。此外，傳統但仍有效之技術，亦具開發應用潛能，例如蘋果植株利用整枝技術以利分枝而增加單位面積產量，又如蘋果運用矮性砧木有利密植且因幼年期縮短 1 至 5 年而得提早採收等。

(三)病蟲害防治與檢測技術開發

病蟲害防治強調以生態防治為主，生物、物理、生化防治法為輔之綜合防治網，以生產安全水果。病蟲害防治配套發展之檢測(檢驗)技術開發部分，則以儀器分析為主、生化檢測為輔，目標為高專一性、快速、靈敏、大量、成本低，在未來亦具長足之發展空間。

臺灣溫帶果樹前瞻研究

我國於 2008 至 2011 年間，曾進行第 1 回之臺灣農業科技前瞻調查，所採用方法為參考日本、德國、英國及荷蘭等國家所進行之農業科技前瞻結果，利用分領域專家會議以及德菲問卷法三回合調查收斂專家意見，產出西元 2025 年臺灣農業科技前瞻發展重要議題共 74 項，其中農糧領域共有 11 項(內容詳如附表)，除特定作物 2 項外，餘 9 項均與溫帶果樹相關。

臺灣溫帶果樹產業因氣候變遷產生之問題，如何運用科技加以解決，謹以寄接梨

產業鏈為例加以說明。寄接梨產業鏈包含母樹管理、芽穗寄接、栽培田間管理、採收後管理、採收後儲運及包裝銷售各階段，在寄接芽穗階段，存在農業下山、勞動力老化、接穗自給不足及因氣候變遷導致田間管理模式改變等問題；在採收後之階段，則有消費者對品質要求日益提高、個體農戶較難導入產銷履歷等問題。運用科技解決產業需求之擬議，經歸納為品種資材、栽培繁殖及供貨運銷 3 大方向，各方向需克服之解決方案分別為：(1)品種資材：需育成低需冷性、多倍體、耐儲運、長櫛架壽命、食用特性佳之品種，開發育種用分子標誌，並育成抗病砧木品種且發展組合力佳之接穗與砧木；(2)栽培繁殖：需發展休眠生理調控技術、果園栽種環境參數調整技術、病蟲鳥害防治技術、智慧型設施環境與防災系統、田間管理工機具，並進行環境因子基礎資料建置蒐集及分析；及(3)供貨運銷：需建置良好吉園圃、產銷履歷及溯源制度，開發採收後處理保存技術及冷鏈通路設備與技術等。

前述解決方向，經歸納分屬於生物經濟及生產力 4.0 方案之範疇。該兩範疇為當前全球各先進國家為因應環境變遷、資源短缺、人口遽增及勞動力減少與老化等環境逆境，並朝向環境友善、再生資源應用之方向所積極布局之發展趨勢，而我國亦積極規劃，並業於 104 年間經行政院科技產業策略相關會議討論通過，農業部分並刻正由行政院農業委員會(以下簡稱農委會)推動發展。

一、農業生物經濟

(一)定義與目標

生物經濟係指於生物資源或生物技術基礎上，發展成產品與服務之一種經濟型態，包含所引導衍生之所有經濟活動。我國亦刻正規劃發展生物經濟方案，其中農業生物經濟部分，係經參酌國際先進國家之產業發展趨勢，並綜合評估我國農業科技歷年研發重點、各領域產官學研專家意見統計結果及專業法人之相關產業經濟評估等，加以研議。

農業生物經濟之目標，包括：因應人均可耕地不足、氣候變遷及資源匱乏，發展現代化生物技術；因應人口老化、醫療成本過高及食品安全，推動健康農業；因應農村老化及全球競爭力不足，實現智慧產業；因應環境生態破壞及廢棄物循環問題，邁向永續農業。

(二)重點產業及推動項目與策略

農業生物經濟因包含範圍廣泛，故經農委會依據前述目標，規劃 6 項重點產業並聚焦特定項目加以推動，該 6 項產業均與溫帶果樹相關。

6 項重點產業及推動項目包括：(1)動植物種苗與品種產業：強化種苗產業之全球化，以邁向國際市場；(2)動植物健康管理(包含動物疫苗、生物製劑及檢測檢驗)：推廣生物性農藥肥料及疫苗之利用，確保農業安全，並發展國際市場；(3)次世代農業基因體產業：推動基因體庫建立與鑑定技術，擴大產業應用，並加強農漁畜分子標誌育種應用，以提高育種效率；(4)再生循環資材永

續應用：鑑於全球節能減碳、零廢棄物之發展趨勢，推動我國農業由產品產出之直線型農業，轉型為事先規劃設計之循環型農業，將廢棄物再生利用並應用增值；(5)機能性農產品發展：強調本土機能產品價值鏈建構，提升農產價值；及(6)智慧農業：導入高效智慧化經營模式，促進智慧生產，並整合數位科技與巨量分析，提供數位服務。

推動策略計有 4 項，分別為：(1)強化科技能量；(2)建構產業化發展環境(包括簡化與完備法規、強化產業分析與全球智財布局、強化產業化輔導能量並擴大產業聚落等)；(3)培育產業導向、具市場行銷能加之跨領域多元人才；及(4)推動產業國際化發展。

謹以溫帶果樹為例，說明如何開發動植物分子標誌與新品種以促進臺灣農業生物經濟之發展。科技研發方面，農委會具有所屬試驗研究機關，應加強與大專院校、研究機構合作，以開發作物優良特性之分子標誌，並建立高通量基因型分析平台，來加速選育優良新品種；人才培育部分，將強化透過與大專院校之合作，培養我國溫帶果樹研究所需之人才；商品化部分，需依氣候、運銷需求與消費者喜好開發優良溫帶果樹品種；量產方面，除強化休眠生理相關研究，並加強植物健康管理，維繫質量兼具優良農產品並完備環境與農產安全；產業環境部分，因應氣候之變遷，維持我國溫帶果樹產業之生產能量，強化我國溫帶果品於市場上之競爭力。

二、農業生產力 4.0

(一)臺灣農業發展進程

因應全球邁向第 4 次工業革命，以及先進國家為因應就業人口數下降的趨勢，包括德國、美國、日本、韓國及中國大陸均積極推動生產製造朝向數位化、預測化、人機協作化發展。臺灣之生產力 4.0 方案與該等國家不同處在於，除製造業外，尚納入服務業及農業。

大致言之，臺灣農業 1.0 係憑藉勞力與經驗，確保基本產出；2.0 係技術與機械密集，追求產量最大化；3.0 係運用知識與自動化，講求精準及提升產值與品質。若以作物栽種為例，農業 1.0 至 3.0 相應方式分別為露地栽培、簡易設施栽培及精密設施栽培，發展進程至 4.0 則期望為智慧栽培。

(二)面向與策略

簡要來說，農業生產力 4.0 期藉由結合資通訊科技(ICT)、感測技術、智能機器裝置(IR)、物聯網(IoT)及巨量資料(Big Data)分析等前瞻科技，運用在智慧生產及數位服務兩大面向，以提高農業產銷之效率、效能、安全及風險控管，並追求高質、便捷及人性化之智慧農業。

推動策略部分，在智慧生產面向上係期望克服小農單打獨鬥方式，以智農聯盟在包括環境監控、品質控管、集團栽培及營運規劃等生產層面，開發與應用高效、節能、節水、防災的農業設施與科技，建構友善環境、提高效率之生產模式。在數位服務面向上，在物流端將整合資通訊技術，打造多元化數位農業便捷服務與價值鏈整合應用模

式，以強化供需配銷及智慧物流；而在銷售端，則建立農產品履歷追溯等農業產銷資訊雲端服務，另建構農民、土地、作物及行政措施整合機制，並以人性化互動科技來建立生產者與消費者新的溝通模式，提供即時易取之資訊服務，保障消費者食的安心與安全。

農業生產力 4.0 優先推動之領航產業，包括 3 大類共 10 項，與溫帶果樹相關之產業為種苗產業、農業設施產業及溯源農產品產業。謹以溫帶果樹可運用之溯源農產品產業為例，說明農業生產力 4.0 如何導入及導入後之預期效益。臺灣農產品之生產現況，多為栽種技術優良，並已開創多種新穎栽種模式，惟人力依賴度高，農村人力缺乏，且機具投入程度低、個別生產不易溯源管理。若導入生產力 4.0 智農生產及溯源管理系統於訂單管理、生產管理、運輸管理及至通關管理系統，則在田間或設施內生產專區內，可運用智慧管理、人機協同作業、預警資訊、資訊即時交流系統，提高管理效率；又利用智慧冷鏈全程監控進行運輸管理。另亦因巨資產業雲之建立，得促使溯源物網讓消費資訊透明化。本套系統導入後之效益，預期將因開發高效省工之自動化智慧採收與包裝器械，縮短採收包裝時程與人力；亦因統一管理而提高溯源農產品占全國農作地面積，由 7.5%提高至 15.8%；此外，生產成本降低 20%，單位面積生產效率加倍，出口退櫃率由 5%降至 1%，節省人力投入 1/3。

結語

全球各先進國家為因應環境變遷、資源短缺、人口遽增及勞動力減少與老化等情勢，將朝向環境友善、再生資源應用之方向，已積極布局而我國亦刻正規劃發展之「生物經濟」及「生產力 4.0」兩方案，應可提供我國溫帶果樹前瞻研發及產業創新之規劃參考。未來除運用前瞻科技持續創新外，需結合工業、醫藥業、商業及服務業等跨業共同加以推動，以強化結合異業擴大農業產業鏈並加值產業。另需注重跨領域人才之培育，始能因應快速之氣候變遷及全球化變動，維續臺灣溫帶果樹特有之科技及產業優勢。

誌謝

本文承蒙財團法人農業科技研究院農業政策研究中心劉育嫻博士協助資料蒐集及分析，特申謝忱。

參考文獻

- 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 5:196-203。
- 科技前瞻策略規劃報告－農業領域 (2011) 行政院農業委員會，臺北市。
- 農業生產力 4.0 應用推動規劃報告 (2015) 2015 年行政院生產力 4.0 科技發展策略會議資料。臺北市。
- 臺灣生物經濟發展方案－農業領域議題規劃報告 (2015) 行政院 2015 年生技產業策略諮議委員會議資料。臺北市。

- Arko A (2011) Climate change and winter chill hours. California Climate and Agriculture Network (CalCAN).
- Luedeling E, EH Girvetz EH, MA Semenov, PH Brown (2011) Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. PLoS One 6(5):e20155. doi: 10.1371/journal.pone.0020155.
- Ross G (2015) Biotechnology & Innovation in Horticulture. Agricultural Bioscience International Conference 2015. September 7-9, 2015. Melbourne, Australia.
- Moloney M (2015) Digital Agriculture: Where high performance computing and agriculture converge. Agricultural Bioscience International Conference 2015. September 7-9, 2015. Melbourne, Australia.

附表

臺灣第 1 回農業科技前瞻調查農糧領域議題

有效蒐集、保存作物種原，並選育因應氣候變遷之作物種原

提升作物穩定量產之精密設施園藝技術

開發能減緩或預防代謝症候群的水稻育種技術及品種

加強辨識重要作物產地及品種之標誌快速篩選平台

建構蘭花整體外銷體系之相關技術

強化適合熱帶與亞熱帶之優質種苗生產技術

積極應用生物技術選育抗逆境之動植物品種

健全農漁林牧安全檢測、認證與履歷追蹤管理系統

開發具低耗能、溫室氣體排放及水資源有效利用之作物生產體系

開發節能減碳之農產品及加工品保鮮運銷技術

開發高效、省工安全之設施與技術，應用於農事作業及農產加工
