

以色列設施園藝 生產技術發展概況

文/圖 ■ 王裕權 蔡致榮 張耿衡 文紀鑾 蕭建興

前言

以色列位於中東大陸交界上，西面濱臨地中海，北接黎巴嫩、敘利亞，東鄰約旦，南出紅海且與埃及邊境接壤，是個土地呈狹長(南北長約470公里)型之國家，於1948年獨立建國。公元前19世紀迄今，在這塊聖經所記載「應許之地」上，不知歷經多少人類歷史的紛爭。以色列國土面積含佔領區在內約是台灣的四分之三，人口卻僅有台灣的四分之一左右。以色列整個國家有一半的土地屬半乾燥型土質，國土面積雖不大，卻擁有一整個大洲所可能出現的各種地形。有森林覆蓋的高地，也有豐饒的綠谷；有多山的沙漠，也有海岸平原；有屬亞熱帶的約旦山谷，更有地球的最低點——死海。以色列建國五十餘年來積極發展農業，水資源缺乏為以色列發展農業之主要限制因素，其農業政策遂採精緻農業，農業科技之研究及發展相當蓬勃，農業科技關鍵技術更輸出至世界各開發中及已開發國家。其中，設施栽培生產系統中配合環境之整體設計、精密自動化控制與栽培技術尤為進步。

以色列農業一向以起源自需克服自然資源(尤其是水)缺乏之密集生產系統著稱，其高水準發展可歸因於研究人員、推廣顧問、農民與農產業之緊密合作與溝

通。此四群人結合在一起以提升所有農業部門之先進技術，其結果造就以色列一半以上雖為沙漠之尖端農業。儘管農民數目(2005年直接從事農業人口約7萬人，佔其全國勞動人力之2.6%)與國內生產總值(Gross Domestic Product, GDP)農業所佔比率(2005年為1.8%)下降，以色列農業仍扮演區域市場主要食物供應者角色，而且是以色列外銷之顯著因子。在早期1950年代，一個全職農業從事人員提供17個人的食物，到了2005年一個全職農業從事人員提供95個人的食物。

以色列全部土地面積大約21,000平方公里，其中可耕種者大約佔20%，僅有4,100平方公里。以色列一半以上土地具有乾旱(arid)與半乾旱氣候特徵，而且大部分係為丘陵地帶。狹長的地中海海岸帶與數個內陸谷地組成大部份肥沃區域，其間由於蓄水層(aquifers)與加利利(Galilee)海供應之水使開放地灌溉成為可能。以色列氣候伴隨著廣泛之溫室栽培使得蔬菜、水果與花卉得以於冬天非生產季節時生產，尤其是供輸出至歐洲市場者。水源限制與多變的氣候早已刺激以色列依據國際生產與食品安全規章，發展基於高品質標準之獨特農業技術。

以色列設施生產發展現況

1. 高品質、高產量

為克服不利氣候狀況與有限資源(土地與水)所加諸之障礙，以色列農民已發展溫室與其他技術，使得他們得以在設施防護下栽培作物，此種生產形式增加穩定供應一致且高品質農產品之能力。在以色列溫室、網室與人可步入式隧道(walk-in tunnels)設施總面積已由1980年的900公頃增加至2005年的6,800公頃，其中蔬菜4,000公頃而花卉2,000公頃，代表平均年成長率5至8%。就平均農場面積而言，蔬菜生產4公頃而花卉1.2公頃。其中安裝與維護上都有資本密集傾向之溫室，主要用於生產高附加價值之農產品，農民可以控制大部分之生產參數，包括溫度、濕度、光度、肥灌，以及病蟲害控制。這導致最佳土地使用並轉化成較高產量、獲利力增加與較佳品質。以色列農民成功於一季種植生產出每公頃350至550萬朵玫瑰，也有平均每公頃400噸番茄之生產，其係開放田間收穫量之4倍。在防護狀況下種植特定水果，例如油桃(nectarines)、桃子、枇杷(loquats)、葡萄、石榴(pomegranate)、柑橘、杏仁(apricot)、奇異果、荔枝與香蕉等，也被測試調查其經濟可行性。

2. 輸出之溫室

以色列農業技術產業製造與輸出範圍廣泛之溫室，從簡單、自行組裝結構至複雜依合約供應溫室之計畫(turnkey projects)。以色列已經成為乾旱與半乾旱地區溫室之世界領先輸出者，此外，此產業也生產溫室塑膠布、特別設計之灌溉與肥灌設備、溫室車輛、機器人與收穫裝置，以及低耗能氣候控制軟硬體。溫室用

塑膠布係多層(3層或5層)膜聚乙烯，其具有防滴漏、防塵與熱控制之特性，現今製造之塑膠覆蓋膜耐用而且抗溫室內用作殺蟲劑之硫磺蒸氣。以色列製造之塑膠布可用作溫室結構之覆蓋，也可用作光譜控制以影響作物生長與昆蟲行為。例如控制紫外光(濾掉紫外光之塑膠布可降低蟲的活動性並避免玫瑰花瓣黑化)、輻射近紅外光，以及反射與分散光以達到對作物之最有利影響。有些覆蓋布還包含添加物，可防止水滴落於作物上(防霧)並防止覆蓋布分解。也有新發展之塑膠布會吸引害蟲，並使其黏著而致死。不同顏色之添加物也幫忙對抗害蟲(藍色塑膠布改變光的組成可幫忙減少病害發生，尤其是小黃瓜；抵制害蟲 *Bemisia tabaci*)。

土壤之塑膠布覆蓋提供多種的功能，包括太陽能土壤殺菌(solarization)、熱收集、防止雜草生長、減少肥料之蒸散與逸散、抵制或吸引昆蟲與操縱土壤溫度等。非常薄的塑膠布被生產且只於作物早期發展階段使用，其暴露於日光特定時間後會分解。不同種類隧道式塑膠布覆蓋也可供作物生長所有階段使用，目前有研究進行以產製較薄但並不會犧牲其功能性之材料。

架網(netting)可用於害蟲綜合管理(Integrated Pest Management)、消除化學殺蟲劑之需求、遮蔭與熱消散等用途。新的防蟲網(主要是50網目)已被導入，其除可防護溫室使遠離更廣泛之昆蟲，也可調適光線使有利作物。創新之架網產品更可供作複雜之熱力網，白天時減少太陽輻射，晚上則避免熱損失，而且也被用於冷卻禽畜舍。以色列研究也發現於果樹(蘋果、油桃、柿子(persimmon)、梨子與各種觀賞用



切葉作物)使用不同顏色遮網可提升生長與水果品質。

3.經驗中學習

溫室結構需要堅實與厚重之遮蓋以提供足夠之忍受性，避免強烈風雪造成損害，以色列標準需要溫室可以抵抗高達150 km/h之風速。當經驗獲得與技術進步，溫室正變成漸增複雜之結構，整個以色列鄉間到處可見最高發展水準之溫室，尤其包括自動調整以改變日光之帷幕(curtains)、天窗(skylights)與遮蔭網。通常溫室挑高較高(最低點高達5m)以提供較佳通風，允許遮網與熱力網之安裝，並可供棚架攀緣作物(例如番茄與小黃瓜)使用。以色列研發的一項創新技術可以讓農民以最小能源需求，於白天冷卻溫室而於晚上加熱溫室，其乃利用裝設於溫室一端施噴均勻霧粒之噴霧(misting/fogging)系統完成，當白天這些霧粒從溫室吸收並儲存過剩之熱量，直到晚上再將其釋放，此種方法特別適合需要高濕度之觀賞作物，蔬菜也獲成功測試。

溫室栽培也導致開放田間操作之額外好處。以色列溫室常見無土栽培之使用，令農民得以經由控制基質狀況而較佳地監測生長過程。在以色列火山灰或凝灰岩是最常使用的材料。溫室操作使得它們得以自動化，以色列發展之電腦軟硬體促進了自動化給水與肥料，以及氣候控制，軟體發展者與生產者維持緊密之接觸，以使溫室性能維持在最尖端並提供最完整與有效之解決。

灌溉技術並不限用於開放田間之操作，包括封閉迴路終端水循環系統也被整合進溫室操作。在以色列無土介質栽培

中介於30至50%之淋洗比率被使用以去除累積鹽，因此，三分之一至一半之施用水會被排出，其帶著130 mg/l 氮、20 mg/l 磷、140 mg/l 鉀與自然鹽。大約有1,000 kg 氮、1,600 kg 氯化物與800 kg 鈉會從1公頃基質中淋洗出來，其係1億立方公尺地下水之可能污染因子。過去幾年來，大約25%使用無土介質之溫室由開放式改變成封閉式灌溉系統，此種轉變在玫瑰生產更是令人印象深刻，超過50%的溫室回收使用排放水。

藉由再使用無土栽培排放水之養液回收再利用顯然是最合邏輯之解決方法：大約50%水與肥料投入可被節省，因為減少自來水供應、改進養液對作物之可利用性，而且可減少由開曠田間灌溉而來地下水源污染潛勢。由於較高程度之肥灌控制與監測使用於此新技術中，由開放式轉變成封閉式灌溉系統，也有利作物產量與品質之增加與提升。

以色列設施發展之經驗

(1)強制通風之改善

通風係溫室栽培重要作業之一，其係以外部較冷空氣置換溫室內部之濕熱空氣，主要目的在於避免溫度與濕度(來自植物體與地面之蒸發散)之過度上升，有時也可避免二氧化碳消耗而保持接近大氣位準之濃度，裝設熱空氣加熱爐之溫室通風也可減少污染氣體之濃度，通風更可使葉片周圍之空氣流動因而降低邊界層阻力，讓作物有較高蒸散與二氧化碳獲取。

在以色列因為結構限制風扇通常裝在邊牆，其提供每小時30~40交換之通風率，通風扇大小係以當所有護蓋(guard)與百葉窗(louver)都在定位時可遞送0.015kPa

淨壓所需之流量，當裝設有防蟲網時通風扇運作更需對抗高淨壓。當使用ON-OFF控制時基於經濟考量總通風量必須分成數個漸進增加量，其第一階段必須是總通風量之10~25%，對大溫室而言，3或更多階段是經濟的，通常為避免溫度、濕度與二氧化碳分布之層化(stratification)推薦之最小通風風速是0.2 m/s。

為了改善通風控制與節省能源，以色列測試使用變頻驅動器(Variable Frequency Drive, VFD)於溫室通風之可行性，其進行ON-OFF與VFD系統控制溫室通風扇之比較。變頻驅動器之概念示意如(圖1)所示，其藉由調節馬達速度以配合負荷需求，不僅減少能源成本也延長設備壽命。實作上改變供應給馬達之頻率與電壓，電子控制系統即能操縱AC感應馬達之速度，於是馬達速度與效率即可配合需求(由感測器輸入決定)而作最佳化控制。

(2)強制通風溫室控制之改善

高輻射與蒸汽壓差在以色列夏天月份地中海型溫室中十分普遍，其造成高蒸散率以及作物較多水份之消耗，因此蒸散之量測與模式化藉由短期水需求預測之達成，通常是有效灌溉管理之有用工具。除了蒸散之預期，發展準確估算光合作用值之工具，對作物產量估算、溫室二氧化碳添加獲利能力之檢驗與氣候控制之改善等目的是有用的。例如以色列農工研究所使用開放室法(open chamber approach)檢驗估算瞬間平均作物(Capsicum annuum var. Seilice)蒸散與光合作用之可行性，其可於風扇強制通風溫室內使用。蒸散率由6個滲漏計(lysimeter)量測，每個滲漏計量測2棵作物，蒸散率也以溫室空氣出入口間濕度值差異乘以流經溫室之空氣流率計算。

光合作用係使用Li-cor Li-6200型空氣交換量測系統於若干作物上量測，其也以溫室空氣出入口間二氧化碳濃度差異乘以流經溫室之空氣流率估算。結果顯示分別用以估算蒸散率與光合作用之兩種方法都有良好之一致性，由滲漏計與開放室法量測之平均每日蒸散值分別為 273 ± 38 與 263 ± 32 Wm^{-1} (此處±代表95%信賴區間)，而Li-6200分析儀與開放室法量測之正午光合作用值分別為 10.3 ± 1.6 與 8.1 ± 1.3 $mmolem^{-2}s^{-1}$ 。此結果顯示作物平均蒸散與光合作用可以溫室空氣出入口間水蒸氣含量與二氧化碳濃度量測值正確估算，而且開放室法對於影響蒸散率與光合作用之太陽輻射瞬間改變反應相當迅速。未來結合開放室法與變頻驅動器於回饋控制系統，使其可根據作物光合作用值改變風扇速度以維持白天之最高光合作用值是可能的。

(3)液體輻射過濾溫室之使用經驗(工程與經濟考量)

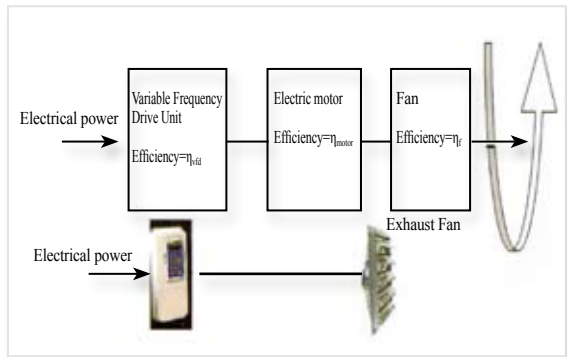
液體輻射過濾溫室(Liquid Radiation Filter Greenhouse, LRFG)被認為是有別於傳統溫室之昂貴另類選項(如圖2所示)，然而由於其可在控制溫室氣候與二氧化碳大量利用上之效能改進，導致顯著之產量增加，因此以色列內蓋夫本古里昂大學Gale等人(2000)曾從新探討其功能與促成優勢性能之實際優點。工程與經濟評估係以傳統溫室、液體輻射過濾試驗模式溫室與商用溫室進行作物生長資料之搜集比較，考慮液體輻射過濾商用溫室所有發費成本之結果顯示，假如以完整溫室農場(包括基礎建設)之角度而言，液體輻射過濾溫室每單位面積之額外成本大約僅35%，倘土地之成本也加入則此數值將更小。而實際上在液體輻射過濾溫室之生產早已超越傳統溫



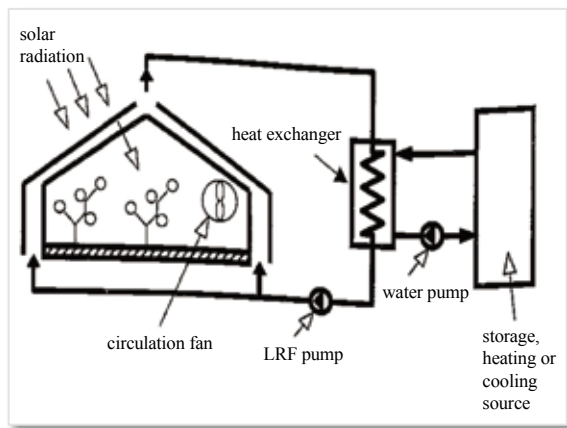
室50%，有時甚至達150%。本次研習原本要求安排參觀液體輻射過濾商業溫室之實際使用情形，惟經答覆因為液體輻射過濾溫室成本高、屋頂液體有洩漏問題、屋頂液體夾帶氣泡減低系統性能，以及屋頂覆蓋物上灰塵之累積減低光之整體穿透效果等因素，液體輻射過濾商業溫室早已於多年前宣布失敗而作罷，惟其相關經驗實值得國內相關研究與從業人員參考。

感測技術應用於園藝生產

以葉片水勢監測系統(leaf turgor)為例(圖3)，是以作物灌溉水分管理控制器產品之研發理念，採用感應器配合控制器及電腦，對作物生長與水分關係作二十四小時全程監控，針對產品作相關作物水分需求



▲ 圖1. 變頻驅動器控制溫室風扇之概念示意圖



▲ 圖2. 液體輻射過濾溫室之組成示意圖

與應用建立資料庫，例如針對葡萄的生長、開花結實中各期對水分的需求量建立資料庫及曲線圖，



當葉面水勢低於標準曲線值時就會啟動噴灌系統，但此時再給水可能太慢，因此可採用高一個range設定之給水值，或提早給水，可提高作物體內的水分量，也可減少灌溉的次數，更有利於作物生長，其將此資料庫設定於電腦程式中並可顯示於控制面板上，如此我們除了有整個植物的水分監控資料外，也可利用資料庫，作自動灌溉的功能設定，達到精準、有效又節省水分的功能。因此作物生育全程中只要將感測器與土壤、植物莖、葉片、果實相連接，可以隨時獲得植物生長所需水分的相關資料，配合調查植物每日每時莖變化(代表乾物質的增加)、水分在莖中的流動量及葉片二氧化碳交換量等，透過發射器的無線傳輸，並由電腦端資料庫的整合處理，實現對植物作水及肥料的控制調節，同時能監測栽培介質狀況(EC等)(圖4)。除了採用LCD及接觸式



▲ 圖4. 肥灌電導度(Electrical conductivity; E.C.)監測系統

控制面版外，配合末端監視器，及外加通訊系統(利用電話、手機無線傳訊、SMS訊息、衛星傳訊及網路) (圖5)，就可隨時隨地掌握作物水分狀態及水分供應資料。

目前以色列生產管理中先進灌溉系統配合高程度之肥灌控制與監測技術，其實臺灣亦早有引進部份硬體設備系統，或有相關研究單位已有相當成果，其皆具有相似之概念與功能，未來應使其更加完備並具商業推廣應用性，才能為國內高經濟作物栽培管理所用。此外，於臺灣欲達成「灌溉系統配合高程度肥灌控制與監測技術之生產管理」，並充分發揮效益，則應加強針對臺灣主要作物建立其營養及水份需求性資料。由於作物種類及品種不同，其肥料需求亦不同，植株大小及生長季節亦影響施肥量及頻率；尤其肥培管理策略需因應地種、作物種類及品種之不同，而作適當之調整修正，其項目包括肥料成份、數量、濃度、給肥方式、給肥頻率及給肥時機等資料。由於臺以兩國之重點作物與產業特色差異頗大，以國關注的是其

本國作物或產業需求為優先，因此我們需要的這些關鍵資料以色列是無法提供的，而是必須靠我們自己建立。



▲ 圖5. 滴灌設備結合感應器及無線發報系統連接電腦，形成自動化滴灌系統

表一、臺以農業概況比較

	臺灣	以色列
土地面積	36,188平方公里	27,817平方公里
農業土地	1,000千公頃	328千公頃
農業產值	55億美元，佔GDP2.5%	33億美元，佔GDP1.6%
氣候	夏季炎熱潮濕，冬季溫和少雨	夏季炎熱乾燥，冬季溫和多雨
年平均雨量	2,582mm	25~800mm
雨季	每年4月至當年9月	每年10月至翌年4月
主要作物	果樹面積220千公頃，佔耕地面積22%。 蔬菜面積180千公頃，佔耕地面積8%。 花卉面積10千公頃，佔耕地面積1%。 稻米面積360千公頃，佔耕地面積36%。 特用作物面積84千公頃，佔耕地面積8.4%。	果樹 84.8千公頃佔耕地面積25.8%，主為柑桔。 蔬菜、馬鈴薯、瓜類55千公頃，佔耕地面積16.8%。 花卉等觀賞植物約5千公頃，佔耕地面積1.5%。 田間作物面積210千公頃，佔耕地面積64.0%。 主要為棉花、小麥、向日葵、山豆藜及花生。