

荷蘭研習心得分享－ 荷蘭永續節能溫室生產技術與應用

田雲生

摘要

荷蘭是農業發達的國家，園藝作物採溫室栽培者逾萬公頃，且生產作業自動化程度高。其園藝發展強調經濟可行性、生產效率、能源成本、勞力成本、社會需求與永續性，期望藉由溫室運用來提供自來水、處理廢水與產製電力，進而達到資源自給自足的目的。100年10月底至11月中旬赴荷蘭研習蔬菜、花卉永續節能溫室生產、管理與相關應用技術，同時也參觀國際園藝博覽會(International Horti Fair 2011)，並拜訪環控監測、系統平台等製造廠商，以及番茄、蘭花等實體溫室環控生產現況。由參訪研習的過程，啟發研究人員國際觀與開創性，進而落實於試驗研究工作上，並達到引進新知、技術及建立人脈的成果。

前言

荷蘭土地面積約41,000平方公里，較台灣稍大，但其沒有高山峻嶺，人口密度每平方公里400人左右，屬於歐洲人口密度較高的國家。荷蘭土地資源並不豐富，農業用地佔全國70%，且泰半人口從事與農業相關工作，其園藝作物發展極為成功，以蔬菜、水果、花卉植物、球根和苗木等項目為主，而蔬菜和鮮花出口量世界第一，鮮花產量佔全球市場的五成以上。在農產貿易方面，荷蘭為全球第二大農產品出口國，僅次於美國，園藝栽培技術幾乎全數採取設施栽培，且自動化程度高，為引用其相關栽培經驗與重點技術於國內產業生產改進參考，爰前往荷蘭參訪與研習。

為提高研究能量與加速研究進展，於100年度執行「運用節能設備與資通訊技術開發精密溫室生產管理系統」計畫，並赴荷蘭學習園藝作物永續節能溫室生產技術與應用，包括溫室內部微氣候環境量測、遠距無線傳輸、控制與資料整合運算管理系統；蔬花產業環保節能設施策略與荷蘭溫室設備高效環保節能系統；LED等人工光源之光照技術、光質、光量與遠端自動監測控制系統整合等相關資材整合研習。期望將各類管理技術與高效、節能設備整合運用，降低農作物生產成本，並使用潔淨能源以符合環保需求，以提升台灣蔬菜、花卉等園藝作物之永續經營與國際競爭能力，同時達到技術、研究交流的目的。

內容

100年10月31日至11月13日赴荷蘭參訪與研習的機構包括：位於Amsterdam Rai之國際園藝博覽會；設於Bleiswijk且為台荷農業合作計畫對口機構的瓦赫寧根大學研究中心(Wageningen UR)的Greenhouse Horticulture；毗鄰瓦赫寧根大學研究中心的GreenQ園藝專業顧問公司改良中心(Improvement centre)；分別位於Vlaardingen及Waalwijk，販售與開發園藝作物監測儀器設備之Hoogendoorn及Grow Technology公司；專業研發製造各類型材質、不同透光比例之內外遮陰網、保溫膜的Ludvig Svensson公司。另分別造訪Piet Vijverberg, Monster與Maurice van der Hoorn, Ter Aar二家花卉生產溫室，以及Gebroeders Duijvestijn, Pijnacker與Tomato World, Honselersdijk二家番茄生產溫室等。謹依行程安排順序，擇要介紹參訪地點與研習內容如下：

一、參觀國際園藝博覽會

荷蘭每年11月初定為HortiWeek，提供國際性園藝展覽。2011年國際園藝博覽會是園藝方面技術、創新與啟發的最大國際交易博覽會，並於11月1至4日舉辦。除主展區Amsterdam Rai(如圖1)之外，尚有Aalsmeer花卉批發市場及國際花卉交易展(International Floriculture Trade Fair, IFTF)展場等3大區域。該園藝博覽會共有9個專業展示攤位，包括品質屋(House of Quality)、技術與創新屋(House of Technology & Innovation)、AVAG市場(The AVAG Market)、職業廣場(The Career Plaza)、技術體驗(Technical Trials)、市場新手攤位(The New to Market Pavilion)、供應鏈屋(The House of Supply Chain)、通訊屋(The House of Communication)及專題討論攤位等。在此園藝博覽會同時也召開第一次國際園藝會議(International HortiCongress)，主要討論「全球議題解決方法」的關鍵要素—「水」。



圖1、2011國際園藝博覽會夜景

此次2011園藝博覽會創新獎係由Mardenkro與Corn. Bak公司分別獲得，Mardenkro公司的ReduFuse是暫時性塗料，其包含在維持非常高光透射位準下具漫射光特殊特性的特別顏料；而Corn. Bak BV公司的Florinilla Bella(Medinilla寶蓮燈)獲頒最有前途新「綠色」產品的名望(prestigious)獎，其特點為可開10串花而且花葉同時生長。另其他值得關注的產品是獲得鼓勵獎(incentive price)的HortiMax Irrigation Checker，可精確、有效地量測滴灌噴頭的灌水量，並在每一個灌溉週期或整個生產期監視溫室內灌溉水的分佈情形，且任何栽培介質皆適用，種植者不必再以手動方式檢查植株實際灌水量的多寡，操作容易並符合成本效益。

二、拜訪瓦赫寧根大學研究中心

瓦赫寧根大學有荷蘭農業智庫之稱，而其研究中心隸屬植物科學群中之國際植物研究所，並與農業科技與食品、環境及社會等科學群有密切合作，主要任務在於創始與刺激永續溫室部門的創新，並進行策略性與應用研究。該中心在校內與校外各有1處研究場所，研究人員共有100多人，每年研究經費1.2~1.4千萬歐元，其中35%來自農業部門、30%來自園藝產品委員會，其餘35%來自歐盟(European Community)、私人公司、經濟事務部、地方政府與其他。此次造訪的地點係位於校外之Bleiswijk，包括85個溫室隔間、作物防治試驗室與產品味覺感受測試設施。目前其園藝發展的優先議題是經濟可行性、生產效率、能源成本、勞力成本與可得性，以及社會的較高需求與永續性，而2011年的研究主要集中在永續與節能溫室、水與排放、先進作物與生產系統、作物與產品品質的感測器技術及永續性作物防治等，而所發展模式化整合再設計達成「適應性溫室(adaptive greenhouse)的技術」，正與土耳其、阿布達比、馬來西亞及挪威等國家合作研究，未來也可能經由台荷農業合作模式引進我國試驗應用。本次參訪該研究中心，特安排2天時間學習其節能溫室研究之經驗與成果(如圖2)。



圖2、於瓦赫寧根大學研究中心研習

三、節能溫室之設計應用

荷蘭設施園藝發展以不使用石化能源為發展目標，將溫室視為能量來源而發展節能溫室，並設定至2020年CO₂排放應較1990年減少48%，亦即減排3.3 Mton；每年應提高能源使用效率2%；設施生產使用永續能源應達20%，以及應具備經濟可行性設施發展概念等目標而努力。其試驗設計之各類型節能溫室包括：Sunergy Greenhouse(如圖3)、Sun Wind Greenhouse、Flow Deck Greenhouse、Venlow Energy Greenhouse及Daylight Greenhouse等型式，其中Sunergy Greenhouse型溫室最具推廣利用性與經濟可行性，其被覆材料使用抗反射玻璃，設計重點在於太陽光最大應用，陽光利用率愈高就愈節能，並可搭配冷空氣與風扇降溫、軌道式鐵管加溫、空氣處理單元(如圖4)等應用。另較新開發之Daylight Greenhouse型溫室之屋頂使用聚光板，可將太陽光聚焦於收集器而用於發電、儲熱及控制光量，散射光源則用於植物生長。聚光板使用光照感測器控制，當日照強度大時聚焦太陽光用於發電或儲熱，日照強度低時則不聚光而讓陽光直接進入溫



圖3、Sunergy節能溫室原理



圖4、溫室氣候控制裝置

室內，藉此原理用以調節控制進入溫室之光量，惟因建造成本過高，目前僅供研究試驗用，並未商品化推廣。

四、人工光源之試驗應用

荷蘭使用人工光源的目的是為了周年都可以收成，其中高壓鈉燈(HPS)在荷蘭溫室使用區域達10,000 ha，約佔50%的人工照明。LED照明之紅/藍光比例大約是95：5~85：15，其應用優點為可選擇特定的波長、組裝方便及具亮度控制功能；但須考量系統效率高低、光線分佈均勻否、冷卻所需的成本及溫室的氣候改變等因子。荷蘭園藝界認為LED光源可應用於玫瑰、番茄等高能耗作物上(高產量作物要求大量的光)，但擔心在低成本情況下可否提供足夠的光線，以及作物生長結果是否優於高壓鈉燈。荷蘭學者曾試驗設計4種燈照對番茄產量的比較，包括：(1)高壓鈉燈置於作物上方、(2)LED燈置於作物上方、(3)高壓鈉及LED燈混合交錯置於作物上方、(4)高壓鈉及LED燈分別置於作物上方與植株中間，經試驗結果顯示，(1)的產量最高、(4)的產量最低，另外2種則介於前二者之間。另以能源效率觀之，4種設計單位天然氣之產量各是(1) 0.27、(2) 0.23、(3) 0.26、(4) 0.28 kg/g.e.(g.e.：gas equivalent)。

五、二氧化碳的應用與來源

荷蘭番茄溫室幾採密閉環控生產，所以溫室內之CO₂的度要充足，每公頃每天約加入2.5 kg，以幫助番茄生長；否則在低濃度時，葉片氣孔開度較大，水分蒸散也較快。其番茄植株生長期可逾11個月，每株藤蔓可長達15~20 m，確實壯觀，也達到台灣目前正試驗推廣周年生產的目的。每株番茄可採果32串，平均年產量約80 kg/m²，與台灣地區每年單位面積產量之15~20 kg/m²(牛番茄)相較，收成確實較為理想。參訪荷蘭之栽培溫室即便稱之為半密閉溫室(Semi-closed greenhouses)，也幾乎都是採密閉式環境控制系統運作，並使用各類省工機械與自動化技術輔助生產。由於農作物生長環境與外界隔離，且在室內工作人員有效運用的情況下，與光合作用習習相關的CO₂自然格外受到重視，並於栽培期全程監測和補充；而CO₂的來源，除搭配農場汽電共生、加溫設備之廢氣排放而予以收集外，亦可付費購自於工業區之配送管線(如圖5)。這與台灣地區設施栽培多為遮雨棚、溫網室等型式，並大量使用各種自然或強制通風設備，致溫室內、外大氣交換的動作頻繁，相對上CO₂



圖5、荷蘭西部CO₂供給網路圖

之需求似乎不是重點，所以國內溫室生產者對於CO₂感測器的應用並不熱衷。但隨著西風東漸與技術交流，密閉程度愈高的溫室栽培區，也逐步裝設CO₂監測系統，甚至有針對其他特定需求之氣體感測器，例如乙烯監測等。

六、溫室氣候與植物生理監測管理系統

監測管理系統是一種資通訊(ICT)技術、雲端科技的應用。在溫室生產的過程中，可使用各類感測器收集、記錄大氣溫濕度、CO₂、光合作用有效光、葉面溫度與厚度、植物生長監測儀及土壤水分、溫度、鹽度等資料，並藉由GPRS通訊模式傳輸至特定電腦伺服器儲存，供即時或後續應用。通常資料顯示：一為感測器直接測得，包括溫度、濕度、光度、CO₂等；另一為電腦計算分析者，包括蒸氣(壓)差、光合作用產量、高級(最大)同化作用、光合作用電子輸送速率、生長(熱、有害)光量、光合作用效率、露點、平均日溫、日總光量及平均葉面溫度等。例如：蒸氣差由相對濕度及溫室溫度計算而得，表示在1 m³空氣中所能吸收的總水量。只要植物的溫度與溫室溫度相同，即是良好的量測；如果不同則使用蒸氣壓差(VPD)。蒸氣壓差是由相對濕度、溫室溫度及植物溫度計算而得。蒸氣壓差高時，植物葉面會產生蒸散作用，如果蒸氣壓差太大而造成植物的蒸散大於水分的吸收時，植物便會將氣孔關閉。正確的蒸氣壓差才能維持植物正常的CO₂吸收。藉由各種細微條件之監測判斷，可瞭解植物葉面氣孔啟閉及光合作用效率等情況，對作物生長管理具指標功能，而環境精準控制之生產模式，就是「節能」的表現。

七、參訪花卉溫室生產(Kwekerij Piet Vijverberg)

Kwekerij Piet Vijverberg(Farm Peter Vijverberg)已有數十年歷史，佔地7.5公頃，主要生產蝴蝶蘭(Phalaenopsis)、龍血樹(Dracaena)和紅蟬花(Dipladenia)等3項農產品。其生產溫室採用荷蘭最為普及之山型屋頂，而最令人耳目一新的是溫室上方架設2台洗屋頂機，使用滾筒毛刷作業；側邊則是大型雨水儲存桶(如圖6)，水質檢驗、處理符合所需後，供應生產管理應用。溫室內具有寬敞的通道，四輪式堆高、搬運機械皆能通行無礙；其次是每間溫室區皆由類似鐵捲門一般的捲簾加以區隔，捲收速率快、密閉性良好。其中蝴蝶蘭換盆作業，係由人工搭配輸送帶將蘭苗投入底端具類似無線射頻系統(RFID)電子標籤(Tag)之透明塑膠盆內，再由自動化裝置自動進行供盆、提盆作業，以增加一只「高套盆」(如圖7)，同時於輸送過程中將每盆植株導入影像處理系統，以建立其尺寸規格、花苞數等資料，並記錄於電子標籤內，管理者可隨時掌握每株蘭苗(花)之生育狀況，做為入出貨供需的參考。龍血樹盆栽生產作業係藉由自動上盆機將整疊塑膠盆單一化進盆、



圖6、山型尖頂溫室與雨水儲存桶



圖7、蝴蝶蘭自動高套盆與輸送作業



圖8、龍血樹以堆高機運送至栽培區

50種以上的番茄品種(如圖9)，每個品種均有其獨特的外型、風味及質地，訪客可親身體驗及品嚐高達各式各樣不同品種的番茄色。荷蘭番茄業者早在1990年初期已朝專業化發展，並引進新的技術及生產方法，其中最重要的是以介質耕代替傳統土耕方式，諸如椰纖、岩棉及礦物棉等，其中岩棉在荷蘭被廣為利用。使用介質耕栽培最大的好處是易於控制栽培條件，同時介質經適當處理後可再利用。在授粉方面，發展大黃蜂授粉技術，著眼於大黃蜂可單獨作業且光線愈好工作愈認真的習性，而取代了傳統以蜜蜂授粉的作業方式，通常新購每盒約有60隻大黃蜂，2週後可繁衍至100~120隻，據指出每盒可作業面積高達1公頃，大黃蜂巢盒以光感測器控制啟閉，夜間補光燈打開時關閉，

裝填介質、刷平與打洞後，靠人工將一截植株莖部插入盆中，再由機械將其壓緊，以及採用滾刷、吹氣等方式清理介質，當1排達到14盆之後，即由擺動式叉爪將其送至寬行輸送帶上，俟其累積達14排時，再以輪式搬運堆高機移到栽培區(如圖8)。該栽培區逕設置於地面上，採淹灌方式管理，並有埋在水泥地板下之加熱管可進行加熱，初期須使用被覆膜覆蓋保溫與催芽，並利用各類型簡易式機具輔助登高、懸空移動工作。而噴霧作業採用子母車原理，子車是1組共用式懸吊噴桿，母車則藉由寬敞通道之便，以手推輪式機械將噴桿移至其他溫室進行管理工作。該作動方法近似日本某廠牌之噴霧系統，只是日製母車是採用軌道車型式；亦與本場研發之換棟型懸吊桿式自動噴霧系統有著異曲同工之妙。

八、參訪蔬菜溫室生產(Tomato World)

Tomato World位於荷蘭Westland溫室專業區中心之Honselersdijk，採用密閉型溫室與懸吊式岩棉介質袋栽培系統，並有超過



圖9、Tomato World之番茄品種展示區

白天補光燈關閉時打開。最近幾年發展的人工光源、節能網設置及懸吊式栽培排水系統，亦有效提升了番茄栽培的競爭力並降低了生產成本，尤其藉懸吊式栽培排水系統(如圖10)的發展，可監測植株重量、滴灌排水量及計算介質水份飽合點，精準控制灌溉水量，達到節水灌溉的目的，目前設定灌水量為每天每株6 L，而約有30%水量排出回收。另外使用天然氣發電設備(co-generator)發電，其所產生的熱可用於溫室加溫，CO₂可適當處理後直接用於提高植株光合作用產率，同時降低排碳量，所產生的發電量則可售給發電廠供一般居民用戶使用，亦有部份業者將所發的電力用於冬季補光系統等。



圖10、懸吊式栽培排水系統

赴荷蘭研習永續節能溫室生產技術與應用之心得如下：

- 一、荷蘭溫室生產朝向大面積發展，所參訪番茄、蝴蝶蘭等蔬花溫室生產，不僅栽培面積數以公頃計，且幾乎完全環境監測與控制，其中感測器廣泛應用、儘量接近作物量測及對於CO₂的重視程度，值得研究人員深入了解；再加上各類盆栽介質裝填、陸空運輸，乃至於分級、選別與包裝等機械化及自動化輔助作業，也值得學習與仿效。尤其是影像識別在荷蘭已經廣泛的運用在園藝作物的生產及管理上，且有效的節省人力成本同時達到提高品質的目標；台灣的農業生產面積較小且不集中，如果個別農民引入，恐怕成本過高，但若是以農會或規模較大的集貨社場社加以利用，應能達到事半功倍的效果。
- 二、荷蘭溫室栽培作物以番茄為最大宗，參訪的期間拜訪了番茄栽培業者及研究示範中心；由於氣候型態不同，荷蘭溫室番茄栽培體系與台灣有很大差異，荷蘭以養液介質耕為主，使用的介質多為岩棉，溫室內普遍使用人工光源、二氧化碳肥化、熱水管加熱及大黃蜂授粉等來增加產量與提升品質；而台灣地區番茄設施栽培番茄仍在起步階段，大部份的農民仍維持簡易溫室及土耕栽培；目前設施番茄最大瓶頸為高溫蓄熱無法解決，因此在高溫期無法生產。台灣與荷蘭所面臨的生產瓶頸不同，因此荷蘭溫室生產體系不見得適合台灣，但他們在介質、養液、環控設備及設施推廣的經驗仍值得我們借鏡。
- 三、參訪荷蘭業者如Hoogendoorn之環境監測或作物生理感測系統發現，相關資料所有權歸農民，資料分享須經當事人同意，而業者僅提供作業平台，並不作後續資料判讀與生產建議，倘有需求也只作專家之仲介推薦，因此，國內對此類系統之研發與應用仍需加緊腳步自力研發才能有真正適合我們使用需求的系統。
- 四、荷蘭進入溫室前普遍的防護措施相較於台灣嚴格許多，不管是農業研究機構或是作物生產者，如Wageningen UR Greenhouse Horticulture，或是作物生

產者如GreenQ與Tomato World等，每次進入溫室前都必須穿著防護衣、戴手套、帽子或鞋套，雖然過程較為繁瑣而較浪費資源，但由此可知荷蘭人對於田間衛生的重視程度及執行標準流程絲毫不馬虎。

結語

出國參訪研習確可增廣見聞、開闊視野，而荷蘭園藝產業確有許多足供我們學習之處，包括生產規模、自動化栽培管理、產品品質認證、生產者合作與政府心態，以及農業永續、節能、環保的推動與落實。然因我國農產業規模小且產銷方式異於荷蘭，如欲引進荷蘭模式之經營概念與生產設備於國內應用，仍需進行相當程度之生產程序調整與修正農民觀念，方可開啟台灣新農業之門。

參考文獻

1. 蔡致榮、方怡丹、田雲生、沈原民、鍾瑞永、許涵鈞 2012 「荷蘭永續節能溫室生產技術與應用」出國報告http://open.nat.gov.tw/OpenFront/images/pda/report_detail.aspx?sysId=C10100374。
2. Andel, N. van, E. van Andel, A. Ter Beek, E. Wortmann, J. Kristinsson, A. Mels, G. Zwwman, J. de Wilt and P. Oei. 2007. Greenhouse village, the greenhouse-powered neighborhood. Flyer of Innovation Network, Reinventing Agribusiness and Rural Areas, Ministry of Agriculture and Environment, The Netherlands.
3. Bakker, J. C., 2009. Energy saving greenhouses. *Chronica Horticulturae* 49(2): 19-23.
4. Opdam, J. J. G., Schoonderbeek, G. G., Heller, E. B.M. and de Gelder, A. 2005. Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Hort.* 691:517-524.
5. Sonneveld, P. J. and G.L.A. M. Swinkels. 2005. New Developments of Energy-saving Greenhouses with a High Light Transmittance. *Acta Hort.* 691:589-596.
6. Sonneveld, P. J., Swinkels, G. L. A. M., Kempkes, F., Campen, J. B. and Bot, G. P.A. 2006. Greenhouse with integrated NIR filter and a solar cooling system. *Acta Hort.* 719:123-130.
7. Speetjens, S. L., T. van der Walle, G. van Straten, J. D. Stigter, H. J. J. Janssen, Th. H. Gieling. 2005. WATERGY, towards a closed greenhouse in semi-arid regions: experiment with a heat exchanger, *Acta Hort.* 691: 845 - 852.