荷蘭溫室人工光源應用概況

文／圖 ■ 許涵鈞 鍾瑞永

前言

荷蘭位於西北歐，土地總面積約41,528平方公里，人口約1,600 多萬人，相較於臺灣土地面積稍大，人口數約為台灣的2/3；人口密度約每平方公里400人，屬於歐洲人口密度較高的國家；氣候四季分明，且會降雪。荷蘭土地資源並不豐富，農業和非農業用地分別佔70%和30%，逾半的人口從事與農業相關工作，為全球之農業大國。筆者於100年10月29日至11月13日前往荷蘭研習，參訪多家溫室栽培業者；期間並於Wageningen大學研習節能溫室、設施生物防治、設施無土栽培及人工光源利用等相關課程。

依據荷蘭農部(The Dutch Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation)統計資料：2010年園藝產品占所有農業生產39%，產值約79億元，就業人口約40萬人。荷蘭園藝作物生產利用設施栽培技術甚為普遍，不僅溫室規模大且自動化程度高，由於荷蘭為溫帶國家地處高緯度地區，冬季期間光度不足為作物生產主要限制，在溫室花卉及蔬果栽培管理上常需補光，因此對人工光源應用及能源效益分析研究非常重視。本文僅整理於荷蘭參訪之見聞及Wageningen大學於2006～2011年發表之相關報告，探討人工光源之利用。

荷蘭溫室園藝概況

荷蘭溫室發展著重環境親善，目標於2030年以永續能源取代30%的石化燃料；因此荷蘭農部在2011年投入1,800萬歐元於永續溫室生產體系的研發，包括：太陽能的使用、提升光能利用效率、建立節能栽培模式、利用地熱、生物性燃料及再生能源等。且為了保有競爭力，早從1990年代開始起即以具經濟規模的溫室生產為主要發展趨勢，單一業者栽培面積變大，並朝

❶ 荷蘭冬季番茄生產，以高壓鈉燈為主要使用的人工光源進行補光

多樣化規模發展。至2010年荷蘭的溫室面積已達10,311公頃，並以生產蔬菜及花卉為主，蔬菜生產面積占了5,041公頃，主要以番茄、甜椒及小胡瓜為大宗（荷蘭國家統計網）；有超過50%的蔬菜溫室面積集中在Westland區域，約有80%的溫室生產蔬菜進入外銷市場。

荷蘭溫室人工光源的利用

荷蘭年平均日照時數冬季約為7.5小時，夏季則約有16.5小時，常見的Venlo型溫室中，約有2,700～2,800 MJ/m^2year的太陽光進入溫室，光合作用有效輻射值（Photosynthetically Active Radiation,PAR）的光量約為6,200～6,500 mol/m^2year；戶外夏季5月份晴天其光量約可達100,000 Lux，PAR約1,800μmol/cm^2s，然而在冬季12月份光量約為1,000 Lux，PAR則降為約20μmol/cm^2s（Wageningen UR），對番茄、玫瑰等作物生產而言，光量明顯不足。以番茄為例，在日溫25～30℃條件下，其葉片光飽和點及光補償點分別為70,000 Lux及4,000 Lux；而高緯度地區在冬季低光照的影響下，會有延遲開花與產量降低的情形。因此在荷

表1、Wageningen UR不同光源於設施番茄生產能源效益比較研究（摘錄自Dueck et al,2010）[z]

	光源種類			
	HPS於上方	LED於上方	HPS於上方 LED於行間	LED、HPS同時於上方
光強度[y]（μmol/cm^2s）	172	171	167	171
燈具所使用電源（kWh）	33878	38292	32569	36467
利用在溫室加熱電源（kWh）	22072	37583	17609	28179
產量（kg/m^2）	25.85	24.53	24.27	25.17
總能源使用量（g.e./ m^2）	84.3	105.3	78.2	94.3
能源效率[x]（g.e.）	3.26	4.29	3.22	3.75
櫥架壽命（天）	17.5	19.6	17.8	18.6
乾物重（%）	7.7	7.6	7.7	7.7
果汁率（%）	35	30	31	31
糖度（°Brix）	7.7	7.2	7.3	7.5
可滴定酸（mmol/100g）	11.0	11.2	11.6	11.4
維生素C（mg/100g）	29	31	29	30

[z]試驗日期為2009年11月13日~2010年5月31日；參試品種為Sunstream；每處理溫室面積約為144m^2
[y]光強度測量位置於植株頂端，距離光源約1.5m
[x]能源效率代表每公斤產量所耗用天然氣量(m^3/kg)

❷ 冬季利用高壓鈉燈補光進行長壽花催花
❸ 2011年荷蘭國際園藝展會場，展示利用LED燈於葉菜類栽培
❹ 冬季利用LED為光源在番茄生產試驗

蘭生產溫室中普遍以人工照明補光的方式達到周年生產及提高產量的目的。

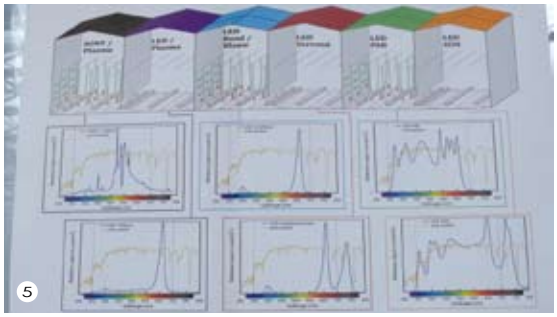
荷蘭約有50%的人工光源採用高壓鈉燈（High Pressure Sodium；HPS），HPS在低溫期使用能增加溫室內的溫度，進而減少溫室內加溫所需的能源，普遍被利用在番茄及玫瑰上。LED燈具有光量及光質均可調整的優點，但缺乏輻射熱，因此溫室內相對需要使用較高的能源於加溫。荷蘭近年致力於人工光源應用的相關研究，相關報告指出利用HPS在溫室上方提供210μmol/cm^{2}s於胡瓜生產，年產量可達147kg/m^2，若將一半的光源以LED燈取代並移至植株間進行補光，對產量及品質沒有影響；此外，溫室甜椒生產上，提高人工光源光強度至188μmol/cm^{2}s的進行補光

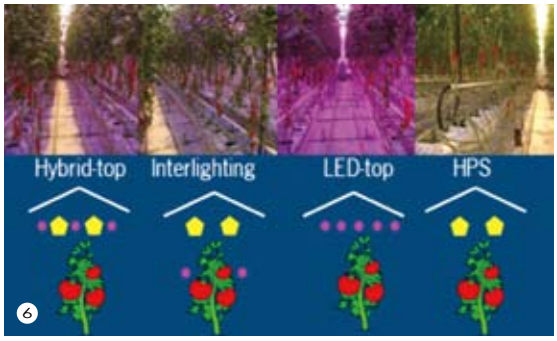
表2、不同燈具光譜特性及單位轉換係數（摘錄自姚,2011）

光源種類	可視光所佔比例（%）	Wm^2 ↓ μmol/m^{2}s	Klux ↓ μmol/m^{2}s
太陽光	71	4.45	18.13
日光燈	96	5.61	13.65
省電燈泡	89	5.80	14.33
鹵素燈	46	0.63	19.08
植物燈管	90	4.82	23.23
偏紅植物燈管	97	5.30	27.87
偏藍植物燈管	91	5.08	24.27
白光LED	95	5.83	15.29
紅光LED	99	5.22	84.71
藍光LED	99	7.01	52.72

20小時，其產量明顯高於光強度125μmol/cm^{2}s；但光強度增加是否就能提高作物的產量，仍需溫室內二氧化碳濃度、溫度及濕度等環境條件的配合。

根據Wageningen大學於2010年發表的報告，在相同溫室環境下，以串收小果番茄「Sunstream」為試驗材料，於2009年11月～2010年5月間，進行人工光源試驗並比較其能源效益及品質（表1），結果顯示LED於植株上方、HPS於植株上方、HPS於植株上方LED於株行間及HPS與LED同時安裝於植株上方的四種處理下，果實品質無明顯差異；但在能源效益上，以HPS於上方LED於株行間有最佳能源效益；應用LED燈為單一人工光源置於植株上方，番茄產量較應用HPS減少約5%，但每公斤產量所需的天然氣使用量為HPS的130%，主要差異原因為應用LED照明需要耗較多能源於溫室內加溫，此外LED燈尚需利用水冷使燈具背板降溫。然若以HPS置於植株上方，LED燈於株行間，溫室內加溫能源的使用量相對較低，且LED燈置於行間其背板熱能有加溫作用，節省部份溫室加溫熱能的消耗外，也可以隨著植株高度調整燈具位置，使植株截取光量有最佳效率。HPS每W/m^{2}可是釋出約357Lux的光量，PAR約1.9μmol/m^{2}s；而紅光LED燈每W/m^2 可釋出PAR約1.6μmol/m^{2}s，藍光LED燈則只有0.8μmol/m^{2}s。目前荷蘭溫室生產仍以HPS燈置於溫室上方為主，除了兩種光源的效率仍需探討外，不同作物適合的LED燈波長亦須進一步研究。





❺ 荷蘭冬季番茄生產，以高壓鈉燈為主要使用的人工光源進行補光

❻ Wageningen UR利用不同人工光源應用於溫室番茄生產，調查其能源使用及產量

結語

臺灣與荷蘭在氣候型態上不同，臺灣地區日照充足，尤其是中南部地區，以臺南地區為例，日照量約為2,025小時/年，日射量約為5,770 MJ/m^{2}year（2008年～2011年），設施生產均以太陽光為光源，且在設施蔬果生產上沒有加溫需求；但由於氣候變遷，2011年秋冬季因連日陰天而日照不足，導致設施內果菜類歉收；在臺灣地區設施生產是否需利用人工光源進行補光，或延長光照時間以提升光合作用，如荷蘭在甜椒生產上延長光照至20小時以提升產量，在成本及效益上仍需探討，然而荷蘭在人工光源於設施應用上的經驗仍是值得借鏡。