

荷蘭 節能溫室結構設計概念

文／圖 ■ 鍾瑞永 許涵鈞

荷蘭國土面積約41,000平方公里，人口密度約每平方公里400人，屬歐洲人口密度較高的國家。境內以平原居多，土地資源並不豐富，農業和非農業用地分別佔70%和30%，約半數人口從事與農業相關工作，園藝作物以溫室栽培生產者逾萬公頃，園藝作物生產額占農業總產值近4成。荷蘭園藝作物發展成功，以蔬菜、水果、花卉植物、球根和苗木等項目為主，其中蔬菜和鮮花出口量為世界第一，花卉產量佔全球市場的5成以上，成就其為全球矚目的農業大國。在農產貿易方面，荷蘭為全球前三大農產品出口國，次於第一大出口國美國，而與法國分居二、三位且實力相當，其園藝栽培技術幾乎全數採取設施栽培生產，同時自動化應用程度高。

節能設計示範溫室

荷蘭設施園藝發展設定以不使用石化能源為主要目標，且荷蘭位處低日照輻射的溫帶低區，所以將溫室視為能量來源

進而發展節能溫室，並規劃以至於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%及應具備經濟可行性設施發展概念等目標而努力。一項針對2000年與2009年能源使用分析顯示：荷蘭溫室產業天然氣使用量由 $3.7 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加至 $4.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；CO₂ 排放量由6.5 Mton 減少至5.1 Mton；淨發電量由 $1.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加至 $11.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；永續能源使用率由0.1%增加至1.3%；每單位產量能源使用率由82%降低至47%，在在顯示荷蘭溫室產學各界在節能技術的重視及研究發展的成果。在2005年一項節能溫室設計競賽” Design an energy-neutral greenhouse” 中有三型設計獲勝，並依其設計概念建置示範溫室於荷蘭瓦赫寧根大學溫室園藝研究中心(Wageningen UR Greenhouse Horticulture)的創新及展示中心(Innovation and Demonstration Centre, IDC)供參觀及進行相關節能栽培試驗，此三型節能溫室的設計理念概述如下：



- ❶ Sunergy 節能溫室的配備
- ❷ 軌道式加溫管路
- ❸ Sun Wind 節能溫室外觀
- ❹ 百葉板太陽能加熱管路

1. Sunergy Greenhouse

顧名思義Sunergy Greenhouse設計重點在於最大太陽光量的應用及結合最佳技術應用於園藝生產上，主要設計概念在於太陽光利用率愈高就愈能節能。為了在相對高溫時能夠獲取更多太陽能源，此型溫室在高太陽輻射時期完全密閉，但在陰天與夜晚期間則讓外界較乾的空氣進入溫室內供除濕。此型溫室(圖1)被覆材料使用抗反射玻璃，溫室高7公尺並使用輕量結構且無通風氣窗，微氣候控制使用熱水經由兼具機具設備軌道功能的鐵管加溫(圖2)，降溫則使用冷空氣配合風扇進行熱交換(top cooler)，可降溫至20°C。設計雙層節能網

降低熱量損失，並引入外界乾空氣除濕，冬季加溫熱源則使用於夏季儲存於地下水體的熱源。高架式冷卻系統(overhead cooling units，每100 m²設置一單元)作動時，系統以每平方公尺溫室面積每小時40 m³的換氣率進行循環，

由於空氣流量固定，因此冷卻能力係以冷卻水流(溫度維持在11°C左右)控制達到降溫效果。空氣處理單元(air treatment unit)以經由在植槽下面的空氣導管以每平方公尺溫室面積每小時5至15 m³的可控制流率的方式吹送空氣進入溫室。空氣可從溫室外部及溫室內部以一可控制的設定比率取得：當溫室變得太潮濕時，便導入外界空氣進行除濕；而當空氣僅取自溫室內部時，空氣處理單元可用以改善溫室環境均勻度。Sunergy Greenhouse 總體性能如下：

- (1)當考量適度的能源消耗與施用CO₂時，胡瓜的產量與外界太陽輻射的比值達30g/MJ，而番茄可達20g/MJ，兩者的產量比在其他型溫室生產相對提高。
- (2)由於高太陽輻射熱的利用，此型溫室的天然氣消耗量只有32 m³/m²/year左右，大約比荷蘭一般慣行溫室低25%。

- (3)由於在晴朗與溫暖的氣候條件溫室保持密閉，溫室內部CO₂濃度可以在相較一般荷蘭蔬果溫室施用CO₂的平均供應率40%下維持在900與1,000 ppm之間。
- (4)一年當中，此型溫室可儲存500 MJ/m²的剩餘熱，意即此型溫室可提供太陽輻射熱能給需藉熱泵加熱的一般非密閉型溫室使用。

綜觀Sunergy Greenhouse節能溫室的整體性能，此型溫室被認為是可能商品化推廣應用的設計型式，適合果菜類作物栽培，特別是應用於胡瓜栽培。

2. Sun Wind Greenhouse

此型節能溫室(圖3)的主要設計概念為使用創新的百葉板設計吸收太陽熱輻射用以加熱熱水，加熱溫度可達65°C，並將熱水儲存於溫室下的暫存水槽以備冬季加溫使用，在南向的溫室屋頂雙層玻璃間設計可調整式太陽能收集百葉板(圖4)裝置，當溫室需要加溫時，使用暫存水槽內熱水經加溫系統加溫。在實際應用上，Sun Wind Greenhouse節能溫室也可使用風車發電提供溫室所需電力。

3. Flow Deck Greenhouse

此型節能溫室屋頂使用雙層被覆材，其間設計有水流，除提供溫室更好的絕熱效果外，水流並可吸收及收集熱源，而使溫室內溫度保持相對低溫，通常冷水溫度約9°C、加熱回收之熱水溫度約19~20°C，收集的熱源以熱水型態儲存於暫存水槽以備冬天使用。此型溫室已實際應用於傳統

的Venlo型溫室，設計有通風氣窗，微氣候控制使用ClimecoVent系統，具除濕作業可達到零熱損失的特性，不過也有漏水不易修復的缺點。

除上述三型節能溫室外，WUR 創新及展示中心尚有二型展示節能溫室，依序為VenlowEnergy Greenhouse及Daylight Greenhouse型溫室，其節能設計概念說明如下：

4. Venlow Energy Greenhouse

此型節能溫室為WUR 創新及展示中心示範最低通風的溫室(圖5、圖6)，在2010年8月開始使用，其屋頂使用雙層玻璃，主要節能設計在於較好的絕熱功能及較多的太陽光吸收應用，屋頂玻璃厚3 mm，尺寸為3.5×1.6m，因此需有較強的結構設計。為求以最低的通風量移除過剩太陽輻射熱，當空氣濕度下降至某特定門檻時，會啟動噴霧降溫系統，而裝設於溫室牆壁的熱再獲得平衡通風系統(a balance ventilation system for heat regain)，會於溫室除濕時由潮溼空氣回收熱量，並以被加熱至溫室內溫度之外界乾空氣進行均勻分布的通風。在實際應用發現，番茄植株生長良好並可提早一週採收，雖產量與傳統溫室相當，但能源使用相對較少，可節省約43%之能源；應用於胡瓜栽培方面，可節省62%的能源，平均產量約為21 kg/m²。較好的絕熱功能使溫室氣溫上昇得較快，降低果實結露的機率，同時可減少加溫管路的設計。



5



6



7



8

- 5 VenLowEnergy溫室原理
- 6 VenLowEnergy 節能溫室
- 7 聚光板原理解說
- 8 Daylight溫室聚光板屋頂結構

5. Daylight Greenhouse

此型溫室屋頂使用聚光板(圖7、圖8)，將太陽光聚焦於收集器用於發電、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室內，

藉此原理用以調節控制進入溫室之光量。據指出Daylight Greenhouse型節能聚光設計發電量

約為16 kWh/m²/year，加熱熱源約為4,000 MJ/m²/year，惟因建造成本過高，目前僅供研究試驗用，並未商品化推廣。

結語

荷蘭的溫室研究走在世界的前端，其研究人員瞭解目前全球知識與技術的侷限，嘗試突破目前技術的瓶頸。他們不在意這些新的嘗試是否成本過高，而且在根據前人的基礎上，不局限於假設的預期結果，相較於台灣來說他們較積極於實現創新設計，因此能夠有嶄新的突破，持續在知識與技術上領先世界。就以至2020年荷蘭設施生產使用永續能源應達20%為例，在2009年永續能源使用率只由2000年的0.1%增加至1.3%，要在未來不到十年內提升至設定的目標值顯然不易達成。但其研究人員卻很樂觀地說他們會想盡辦法達成目標，並說會採取更適當的作為，如加強技術創新與能源使用節省，並強化節省能源之技術與設備的開發來完成，讓人不由得敬佩他們的自信與氣度，這或許可成為國內研究人員的學習榜樣。