

臺灣發展蔬菜植物工廠之契機

高德錚

摘要

蔬菜植物工廠是一種在完全環境控制環境下，以無土栽培技術栽培蔬菜的生產系統。蔬菜植物工廠係以立體栽培及全年無休之生產技術來生產高品質無污染農作物，由於植物工廠作業環境良好，可輕省勞力化又無連作障礙。因應全球性氣候變遷，開發蔬菜植物工廠之技術，將特別適用發展極地農業。植物工廠的發展種類依其對陽光之利用度可分成太陽光利用型、人工光源控制型與太陽光與人工光源併用型三種；而人工光源控制型則進一步地不僅使用人工光源，連設施內溫度、濕度、二氧化碳濃度及培養液等，凡對植物生長有影響的主要環境條件，都以人工來控制。

設置蔬菜植物工廠之技術在1990年代大致已具成熟，唯因環控所需能源費用太高，而未達商業化推廣階段。21世紀以來由於LED燈具及替代能源之開發，蔬菜植物工廠之生產技術已逐漸普及，例如利用植物日總光量法(daily light integral method)可正確估算蔬菜植物工廠內二氧化碳施肥量、LED之光強與入射總時間之相關性而達到節能省電及增產之效果。但因LED燈具所能提供之光強及光質僅日光之八至十分之一，導致目前僅能生產一些弱光性蔬菜如**萵苣**、菠菜、冰菜、芝麻菜等及蔬菜植物工廠中生產之蔬菜其含油溶性維生素和含硫性物質均不如傳統栽培蔬菜，此點有待進一步去克服。

前言

蔬菜工廠是利用高科技的栽培方式，配合電腦調控設備，將蔬菜種植在一個密閉的空間一猶如工廠廠房。廠內的二氧化碳、氧氣、濕度、肥料、光照等物化條件，均加以監控，使蔬菜的生長速率、品質及產量，可不受大氣環境季節性之影響，如同工廠的生產線，具有精緻化、均質化及豐產性等特點。工廠化之蔬菜生產可由傳統之看天吃飯的栽培法演進至環境調控之現代科技和由傳統菜農之經驗隨機法則進化至知識經濟及計畫生產管理。

植物工廠係結合無土栽培技術，並利用電腦達成栽培環境管理自動化、省力化和操作空間清潔化、輕勞動力等目標。不論是農地或非農地，均能在最小的土地面積上，以最集約的栽培技術，生產高品質及豐產性的蔬菜。

內容

一、蔬菜工廠之分類

植物工廠的生產設施費用極高。因此必須種植附加價值較高的植物，才能達到經濟性目的。目前世界各國的植物工廠，其產物分成芽菜、葉菜、果葉及菇類等四類。

植物工廠中，依作物生育所需光源的供給方式，可分為人工光型、太陽光型及人工光／太陽光併用型三類。

1. 人工光型植物工廠

工廠的構築材料使用「光不能透過」的斷熱性高的資材，植物生長所需的光源直接來自螢光燈、冷光燈、高壓鈉燈或LED燈等人工光源。植物工廠內的環境不受大氣氣溫或日光的影響，使室內的溫度、濕度及光度等栽培必需因素較易調控，植物生育亦較為安定。唯人工光源的光量度及光譜與太陽光間仍有區別，及對需強光性及生育期間較長的作物，在實際利用上仍有困難。

2. 太陽光型植物工廠

植物工廠內的光源來自太陽光，如一般設施栽培使用的玻璃溫室或塑膠布溫室外加裝各種自動化環境不受大氣氣溫或日光的影響，使室內的溫度、濕度及光度等栽培必須因素較易調控，植物生育亦較為安定。唯人工光源的光量度及波長與太陽光間仍有區別，及對需強光性及生育期間較長的作物，在實際利用仍有困難。

3. 人工光源及太陽光併用型植物工廠

此型植物工廠在白天直接利用太陽光，一方面給植物生長，一方面將太陽能儲積起來，以作為一旦室溫過高時，各種環境調節系統啟動時所需的能源。通常此型植物工廠的環境調控系統均包括有多層遮光網、保利龍粒遮光設備、空調設備及人工補光用光源。與純粹人工光源植物工廠相比，此併用型，較為省電，且允許植物接受較高的日射量，又能栽種生育期較長的作物。若與太陽光型植物工廠相比，此型較不受天候影響，具周年生產性。

二、植物工廠之設計基準

現階段植物工廠之營運尚不能突破設備投資費用高昂及日常營運經費不低之困境，導致大規模商業化植物工廠成功案例尚屬少數。要邁向開發實用化之植物工廠的道路，在硬體方面尚需考慮到建築物(溫室)，栽培設施(栽培床、移植機器…)，空調設備，水耕設備等，使爾後之例行生產流程可以規則化，具多收穫性，且能在最省能源下，兼具節省人工之自動化較具經濟性。表3為設立植物工廠之必需條件，表4為栽培設施之立體化、平面化及移動化間之差異。

構築植物工廠所採用之建築物，可分成兩種，人工型植物工廠係採隔熱保溫資材，工廠之外貌與內部與一般倉庫相仿，而在太陽光型或人工光/太陽光併用型之外貌則大致採用玻璃溫室。

三、現階段發展蔬菜工廠之限制因子

現階段蔬菜工廠之營運尚不能突破設備投資費用高昂、日常營運經費不低及產出蔬菜品目少且僅能生產需弱光型之蔬菜困境，導致大規模商業化蔬菜工廠成功案例尚屬少數。

由筆者對不同光源對葉萵苣生長之影響之試驗結束資料可知：

1. 以自然光為對照處理之有效波長(η m)及有效光照(μ mole/m²/sec)特質而言，冷陰極螢光燈管處理(CCFL, cold cathode fluorescent lamp)均優於發光二極體處理(LED, light emitting diode)，其中又以LED紅光處理之有效光照度最低。
2. 以自然光為對照處理之對葉萵苣之地上部產量特質而言，自然光處理之產量最高，其次為CCFL處理，而CCFL處理亦優於其他LED處理，其中又以LED紅光處理之產量最低。
3. 以自然光為對照處理之對葉萵苣之品質營養特質(葉綠素a,b,維生素A, β -胡蘿蔔素)而言，自然光處理之品質營養特質最優而各種人工光源處理均有下降之趨勢。在各種人工光源處理中以CCFL處理優於其他LED處理，其中又以LED紅光處理之含量最低。
4. 以自然光為對照處理之對葉萵苣之維生素C營養特質而言，各種光源無明顯差異。
5. 以自然光為對照處理之對葉萵苣之硝酸態氮品質營養特質而言，自然光處理之品質營養特質最低而各種人工光源處理均有上昇之趨勢。在各種人工光源處理中以CCFL處理優於其他LED處理，其中又以LED藍光處理之硝酸態氮含量最低，LED紅光處理最高。
6. 各種人工光源處理在入射光強及光質均不及自然光源處理下產量與品質低下，而各種人工光源處理中以CCFL最優其次為LED紅光/藍光8:2處理和LED紅光處理而LED藍光處理最差。
7. 各種人工光源處理會影響脂溶性維生素A及 β -胡蘿蔔素之生合成。

結語

21世紀的農業生產，是一種生物科技和電腦化工業相結合的植物工廠化生產。在一個數層樓高的圓形植物工廠，中央部位為生產管理總樞，扇形各部為各農場的生產及收穫，中央部地下則為收穫物打包、貯藏及運輸、販賣。我們可憧憬著一對夫婦經營的蔬菜工廠，竟建築在住宅區的4層公寓大廈內，頂層由太太負責，其作業範圍包括整個工廠的電腦監視及蔬菜浸種、催芽、播種、綠化及定植，至於先生則負責第2、3層蔬菜生產線(植物工廠的栽培區)的現場作業，及底層蔬菜生產線末端的收穫、包裝、運輸及販賣等等操作。未來21世紀的農業，生產品的均一化、品質的精緻與人和管理的自動化，是可以預期的。

唯以台灣現階段設施農業的發展趨勢看來，若未能即時了解自身的處境(環境因子、作物種類、國人嗜食習慣…)而貿然引入溫帶國家慣用之自動化設施栽培技術而無法本土化，則不但無法達到農業升級，提高農民所得，反因生產成本過高，更加無法與他國農產品相匹配，終將落入萬劫不復之地。

參考文獻

1. Marschner, P. 2012. Marchner's mineral nutrition of higher plants 3rd ed. Academic Press. USA.
2. Resh. M. Resh. 1995. Hydroponic Food Production. 5th ed. Woodbridge Press Publishing Co. USA
3. Ross Jack 1998. Hydroponic Tomato Production- apractical guide to grow tomatoes in containers Casper Publications Pty Ltd.
4. 日本施設園藝協會。2008。養液栽培新方法。社團法人日本施設園藝協會第五版。
5. (財)電力中央研究所我孫子研究所。2010。野菜工場の實用技術。社團法人農業電化協會第五版。
6. 板木利隆。1995。施設園藝—裝置栽培技術。株式會社誠文堂新光社出版。
7. 村井邦彥。1995。空中菜園。化學工業日報社出版第三版。
8. 高士正基。1987。植物工場入門。株式會社才-社出版。
9. 高德錚。1990。水耕栽培實務。行政院青年輔導委員會出版第三版。
10. 高德錚。2003。水耕栽培技術。行政院僑務委員會中華函授學校出版第十版。
11. Shimizu Hiroshi, Yuta Saito, Hiroshi Nakashima, Juro Miyasaka, and Katsuaki Ohdoi, 2011 Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. Pp605-609 from Proceedings of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28 -September 2, 2011.
12. Takemiya A.,Y. Takahashi. and K. Shimazaki. 2007. Leaf temperature reduction by blue light-dependent stomatal opening. Cryobiology and Cryotechnology, 53(1), 1-5.
13. Terashima I., T. Fujita., T. Inoue., S.C. Wah and R. Oguchi.2009. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic Question of why leaves are green. Plant Cell Physiol., 50(4), 684-697.