溫室決策支援資訊系統介紹

方　　煒

國立台灣大學農業機械工程學系

摘　　要

溫室是由許多相關組件所組合的一複雜系統，其實體組件包括建築結構、作物生長設施、物料運搬設備、環境調節設備、環境監控儀器及資料處理設備等；其操作組件則包括涉及的勞力、環控的策略，以至於設計、分析與管理上相關的各種作業。是否能夠將此一複雜體內各相關組件作一良好的整合以因應外來的需求與刺激譬若天候、市場、社會、經濟、政策等，將是此企業成敗的關鍵。新科技的引進使每一組件均有更多的可行選擇，組件間的相互關係也更形複雜，譬若新的結構資材、先進的環控技術與策略、改良的作物栽培方式、省工的運搬系統、省空間的內部配置方式等，引進某項新的實體組件或採行某種新的操作組件將連帶影響整個溫室系統。溫室，這一複雜體，從設計、規劃、運作到管理，每一層面的工作均充滿著挑戰，管理者不斷的要面對不同的大小問題，就像打仗一般，其涉及的決策問題鉅細靡遺，包括每日、每週工作中涉及的近程(操作上的，OPERATIONAL)決策，每月、每季工作中涉及的中程(戰術上的，TACTICAL)

決策，以及每年甚至數年之內涉及的遠程(戰略上的，STRATEGICAL)決策。傳統上決策者所依循的是個人的經驗與智慧以針對各種不同的個案來作決定。在邁向二十一世紀、電腦大肆普及的今日，經驗與智慧仍是最重要的。借助電腦的大量記憶空間與快速的運算能力，決策支援資訊系統的建立就像是提供給決策者一個工具箱以協助決策者行資料蒐集、數據運算並進而分析、歸納，將資料與數據轉化爲可用之知識以支援決策者作出合宜的決定。本文的主旨在介紹作者於過去數年內發展的溫室決策支援資訊系統。此系統以模組化的方式整合，可大分成五大方向：一、結構及環控，二、作物生產，三、內部配置與物料運搬，四、勞力使用與其它資源配置，五、工程經濟。本文將依此五大方向簡介各相關模組的功能及其內涵，模組間的互動關係以及組合部份模組以因應各不同個案的〞問題導向〞觀念。

ABSTRACT

A greenhouse is a system integrating a number of interrelated hardware and software components. Some of them are the structure, the environment within the structure, the crop growing facility, the materials handling equipment, the environmental control apparatus and strategies, the information processing devices, and the management and labor forces. The ability to integrate environment, plant culture, and man/machine system is essential to a successful greenhouse operation. Recent technological advancements have brought new possibilities for commercial greenhouse production systems. New greenhouse construction materials and methods with advanced environmental

control techniques, together with enhanced crop culturing systems enable the establishment of precise production scheduling. Automated crop production systems give a new look at the efficiency of space utilization. All these are making effective greenhouse management an extremely challenging task. The return on investment in such high technology operations can be assured only through proper management. Decision making is an essential part of a greenhouse manager's daily job. The level of the decision making that involved can be on a daily or weekly basis (ie., operational planning), monthly or seasonally basis (ie., tactical planning) or on a yearly basis (ie., strategical planning). Human intelligence and experience are invaluable in decision making processes. However, a significant portion of decision making effort must be devoted to gathering and manipulation of information and data. Computers, with their vast memory capacity and fast data processing speed, may be used to provide support for reaching informed and timely managerial decisions. The complexity of a greenhouse system combined with the sophisticated design process requires that its planning and operation include a large number of decisions. Typically, decisions are made on the situations under the subjects related to (1) structure / environmental control, (2) crop production, (3) layout / materials handling, (4) labor / management, and (5) engineering economics. This paper presents an overview of the software modules developed, the underlying fundamental idea governing their development, the interrelationships among the modules, and the building of application packages by integrating selected modules which is based on the "problem oriented" concept.

前　　言

溫室是一整合許多相關硬軟件的系統，這些硬軟件包括結構、結構下的環境、作物生長設備、物料運搬設備、環控儀器、策略、資訊處理軟硬體、管理及人工等。溫室系統的複雜程度取決於其操作的目標。欲保証所有組件的相容及整個系統的可行，以著眼於整體系統的眼光來研究整個溫室是非常重要的(Giacomelli *et al* ., 1990 and 1989)

以工程化的眼光來看，系統設計及管理的第一步是識別可行的系統並進而決定最佳的系統。所謂可行的系統乃指一系統能滿足所有的限制並允許所有給定的工作能順利完成，最佳系統自可行系統中產生，其具備最佳的目標函數值。

溫室生產比傳統露地栽培需要更多的單位面積投資成本，是以吾人預期能有更高的回收。整合溫室生產系統涉及複雜的設計、規劃與操作，在其間必須作許多不同的決定。欲有正確的決定，首先需要有適當的資訊，完整的資訊需要來自不同的來源，以溫室生產系統爲例，我們需要工程、園藝、作業研究、電腦、統計等方面的知識，再者，具溫室內實際工作多年的經驗更是有價值。

鑑於吾人了解到在溫室生產系統中不論設計、規劃或操作均需具備足夠的有用的知識，我們發展了一套決策支援的電腦軟體。決策支援乃是蒐集、存取有用的資訊，加以分析，並予以解釋以幫助決策者作決定。決策支援資訊系統即是決策者所依據的除經驗之外的一有用的工具箱。

決策者常面對之問題

設施、結構方面：

溫室之方位是應採東西向或南北向？建築之型式是應採多座單棟或連棟？其結構是應採三角屋頂，圓弧頂，或其它型式譬若太子樓型？建築之被覆資材是應採玻璃或塑膠？若採用塑膠，應採用軟質的塑膠膜或硬質的塑膠板譬若玻璃纖維浪板? 採用的被覆資材爲單層或雙層？若爲單層，其材質爲何？若爲雙層，其內外材質各爲何？內外材質互換之影響爲何？在雙層之內是否保持充氣狀態？各種材質之內是否有加入添料，其對該資材之光學與熱學性質之影響爲何？是否能延長使用壽命？是否使用遮蔭布幕(網)？其質料爲何？安裝於室內或室外？所有資材之成本與使用壽命爲何？

環控方面(加熱)：

整個溫室之熱負荷爲何？鍋爐尺寸爲何？加熱設備管線之安排爲何？熱能之供給是由線而面或由點而面？前者係指安裝加熱管，後者則只有在單點或多點擺上加熱器。加熱管的安裝可在頂上屋簷下、地上台架上、地上台架下或埋於地底。加熱管之資材及相關之工作流體皆可有多種選擇，常見的資材包括通以熱風的大型多孔塑膠膜管或通以熱水或蒸氣的金屬或耐熱塑膠管。金屬管尙有有翅無翅(fin) 之別，前者可提供較多熱量但也較貴。加熱系統中可使用之燃料種類也頗多，譬若：煤、油、天然氣、木柴、太陽能等，使用何者最經濟？若有其它熱源可利用譬若發電廠流放之廢熱、地熱、沼氣等，因此而改裝部份系統是否可行？是否需要保溫蓄熱布幕，其材質以何種最適合？各項設備之成本及壽命各爲何？

環控方面(降溫)：

整個溫室之冷卻負荷(Cooling Load)爲何？可行之降溫方法爲何：遮蔭、通風、冷卻或多種併用？遮蔭布幕(網)要架在室內或室外？通風方式採自然或强制通風? 若爲自然通風，窗戶之大小、位置要如何

安排？若爲强制通風，除窗戶大小、位置之考慮外，尙需慮及風機馬力，溫室系統靜壓降等因素。若窗戶內有安裝防蟲網，則視網目大小影響系統靜壓降之程度，風機馬力亦應作對應之增加。若溫室內欲安裝蒸發冷卻設備，其應採風機濕簾式(fan and pad)或風機水珠式(fan and mist)。 濕簾之尺寸，供水之速度，水珠之顆粒大小，噴頭之水壓各應爲若干？各項設備之成本及壽命各爲何？

環控方面(增、減濕)：

與升、降溫環控之相互關係爲何？何時該增濕？何時該減濕？空氣濕度與作物之氣孔開合與根部之吸水有何因果關係？濕度與病蟲害滋生之因果關係又爲何？使用何種設備又經濟又實用？

環控方面(人工照明)：

溫室內安裝人工照明之用途爲何？係補日照之不足、作產期之調節、或二者兼而有之？其主要針對何種作物？使用何種燈光：燈泡、日光燈、高壓鹵素燈(HPS) 或其它？安裝方法爲何？高度、間距是否適當？應如何使用：一年中照那幾個月？一天中照那幾個小時？光照强度爲何？電費爲何？經濟效益爲何？設備之成本及壽命爲何？其與其它設備、結構之配合，對微氣候之影響各爲何？

環控方面(二氧化碳)：

何種作物最需要？何時最需：凌晨、正午、黃昏？產生方法爲何：燃燒、液態二氧化碳、其它？使用方法爲何：一日中補充那幾個小時？最適濃度爲何？與其它設備譬若燈光之配合，對微氣候之影響各爲何？設備之成本及壽命爲何？經濟效益爲何？

環控方面(養液)：

作物所需之最適養液爲何？如何控制？控制那些項目？除了營養

液的濃度、供給頻率及時間、溶液之酸鹼值(pH)、電導度(EC)及溫度等基本要項之外，還需注意甚麼？感測器又應如何選擇？又，在環保意識抬頭的今日，養液的循環使用爲時勢之所趨，如何才能設計一個眞正無外洩之封閉系統？

前述各環境調節設備包括升／降溫，增／減濕，照明／遮蔭，二氧化碳，養液等之控制方式爲何？採用單段或多段的on/off控制方式或採用其它如PI, PD, 或 PID等控制理論？控制策略係採透過環境與作物生長模式演算模擬的預授、純粹靠感測器的回授、二者整合的預授加回授或其它有專家系統輔助的方式？

內部配置與物料運搬方面：

內部配置包括工作、作物生長及走道區應如何安排？生長區之配置：一行一走道、多行一走道或無走道？作物之安置：置於地上或台架上？台架採固定式或可移動式? 尺寸規格爲何？若採可移動式台架，是否只可作近距離或亦允許遠距離之移動？只可作近距離移動者：左右移或前後移？何者之土地使用率較高，溫室中允許之工作地點爲何：工作區、生長區、走道區或多處？作物運搬方式與運搬設備爲何？經由甚麼途徑運輸？如何才最有效率？欲增加新設備是考慮買或租？那些作業可以自動化或機械化？自動化或機械化應該到甚麼程度較適當？

勞力方面：

一年之中何時最需勞工？甚麼作物最需勞力？投資新機器以節省勞力是否划算? 應雇用固定人數的勞工或採彈性雇用方式？工人應具有那些技術、應施予甚麼訓練? 勞工之薪資佔全操作成本之若干？如何安排可用的勞力使達最高的使用效率？

作物方面：

生產成本、售價各爲何？稍有升降之影響？甚麼作物之經濟價值

最高？如何計算？從種籽種起、或買進種苗，何者划算？改變栽培方式之影響爲何？何種栽培方式較佳？如何降低生產成本？如何提高作物品質、一致性及產量？甚麼作物最耗工？如何計算？甚麼作物最佔空間？如何計算？甚麼作物最耗時？如何計算？可承受之最高損失率爲若干？一年內所應種植之作物種類爲何？選擇種植之作物應種多少爲最佳？

決策支援資訊系統之模組化結構

欲回答前述各種問題，吾人從以下五大方向著手：包括：結構／環控(Struc- ture/Environment Control)，作物生產(Crop Production)，內部配置／物料運搬(Layout Design/Material Handling)，勞力使用／資源分配(Labor utiliza- tion/Resource Allocation)及工程經濟(Engineering Economics)。依上述五大方向發展的決策支援資訊系統以模組化的方式組成；從功能上區分可分爲資訊性模組及功能性模組。各模組之程式名稱及功能簡述請參考Fang, et al., 1992a與b 二文，在此不予贅述。此些模組化程式同時申請有美國的智慧財產權 (Fang and Ting, 1990)。

資訊性模組包括作物資料庫，設備與運搬工時資料庫及內部配置(Layout)模組。作物資料庫提供不同作物之相關資訊，如生產所需之材料及能源成本、不同時期所需之空間及工人數，以及所預測之利潤等。設備與運搬工時資料庫，提供不同設備與不同組合之運搬相關資訊；另外尙有程式以協助使用者決定如何選擇不同的機械設備。配置(Layout)模組提供使用者一有用的工具以決定在給定尺寸的一個或多個溫室中使用何種尺寸的台架 (bench)爲最佳。此模組同時提議一統一的方法來表示不同的溫室內部配置情形(Fang, *et al.*, 1992a)。

功能性模組包括使用者界面程式模組，模擬模組，最佳化模組，

工程設計模組及經濟效益分析模組。所謂使用者界面程式模組即指處理各資料庫之模組程式，譬如作物模組程式則允許使用者進入相關之資料庫，以計算各種作物在不同時期下，其所需之空間、時間與勞動人力。同時並可執行邊際利潤之運算以及準備未來進行最佳化過程中，其所需之生產時間表檔案。

模擬模組可用來研究溫室內部物料運搬的情形、勞工、設備與配置的關係等。運搬的瓶頸可在電腦螢幕上實際看到，各系統參考的統計分析結果，譬如工作人員及機器的使用率，工人工作時間，機器是否待工，總共操作時間等諸多涉及的因子，皆能加以記錄，分析並直接顯示在螢幕上，由這些獲得的資料吾人能夠對機器、工作人員以及溫室內部配置情形的相互關係作進一步的研究(Fang, *et al.*, 1990 b)。

最佳化模組程式之主要功能則有：(1)執行個案研究，亦即決定一個生產計劃之可行性；(2)解決最佳化之問題，亦即決定在最大利潤狀況下，需生產之作物數量。一個生產系統之可行性是以檢驗其是否滿足限制條件爲基準。經過最佳化之運算可找出可行之最佳方案。最佳化之目標即在於如何使一年爲週期之生產能獲得最大利潤(Fang, et al., 1990a)。

工程設計模組主要針對各個個案之研究，包括：(1)溫室加熱、通風系統之設計；(2)以機器手行種苗移植工作區間之規劃與設計；(3)溫室內部配置規劃與使用可移動式台架之最佳規格設計以及(4)相變材料在溫室環控之利用，可行性評估與模擬；等(Fang, 1989, Ting, *et al.*, 1990, Ting and Fang, 1991)。

工程經濟模組則具有以下之功能：(1)就現有之溫室設備或未來提出之計畫作個案分析；(2)對選擇性之作業進行敏感度分析；(3)就輸入之某特定參數在特定範圍下，進行其影響分析；(4)使投資之風險分析

更爲容易；(5)可與其它技術性模式，如作物生產系統、環境控制、溫室之自動化與機械化等合併研究；(6)在系統之最佳化過程中，可提供一種估算目標函數之量化方法(Ting, *et al.*, 1989)。

模 組 整 合

前已提及溫室決策者所面對的問題其涉及之層面是既廣且深，欲發展單一程式以解決所有疑問殊屬不可能。是以本決策支援資訊系統之發展係以問題爲導向；各相關模組可以併用以因應各不同個案。與溫室內部配置相關之模組可用來規劃內部配置以期空間利用率達最高，運搬路徑爲最短，作業環境爲最安全。作物相關資料庫及模組不僅存有基本資料更可用來進行成本分析。內部配置與運搬設備相關模組可用來進行勞力使用規劃務期人力資源之使用爲最有效率。將內部配置、運搬設備與作物相關模組連結，即可用來研究整個溫室相關之內部作業情形。吾人可模擬其內部之物料運搬情形，規劃人力及其它資源之配置，短程之每日操作、中程之每週、每月作業、以致於長程之每年規劃等，皆可透過各相關模組之組合來達成。投資報酬的分析更是重要的一環，無論是栽培方法的更改，作物栽培成本、售價之波折，能源種類之更換，不同被覆資材，不同環控或運搬設備等，儘管此些變動通常是牽一髮而動全身，吾人可使用工程經濟分析模組配合相關的技術性模組來分析此些變動對整體的溫室系統而言其影響爲何，此些變動是否可行？是否不可避免、如何因應？風險爲何？貸款是否可行？可接受的利率爲何？凡此種種皆可由使用組合的模組來求得答案。

模組整合之應用實例－ 溫室生產所需資源的最佳配置

方等人(1990a)研究如何使溫室作物生產系統在有限的資源下達到最佳的經濟效益。在此所謂有限的資源包括作物生產時間表、溫室

內可用的生產空間、可用的人力、可用的活動資金以及市場之容量。欲求得最佳配置，所需之決策支援包括作物資料庫、使用者界面以及最佳化模組。資料庫中收集了34種溫室每月常見盆栽作物所需的資源及操作成本，決策者可透過使用者界面輸入或修改適當之值並計算各作物的總支出、總收益、以及生產邊際值(growth margin)等。生產邊際值是該作物在溫室中佔1m²的空間停留1週時間的總回收值 ($/m²-week)，此值可作爲一初始指標以決定各作物的經濟效益。決策者可再使用最佳化程式模組首先決定某生產計劃的可行性再決定該年內各作物的產量以達最大利益。

結　　論

這是個資訊的時代，然而資訊需要經過處理才能成爲知識，光資訊並不足以成事。事實上太多未經處理的資訊反而容易造成困擾。良好的資訊來源配合有效的處理、運用，將能對決策分析者有很大的助益。近年來，社會、經濟與科技的發展使得環控農業變得更複雜。就溫室而言，是否有整體化的設計與管理變得非常的重要，這常常是其企業成敗的關鍵。由於某部分的改變通常會影響到其他部份，正所謂牽一髮而動全身，是以一定要應用系統分析的技術以整體的眼光來處理相關資訊以求得某問題的改善或解決。

本決策支援資訊系統之應用，可簡單歸納爲以下數點：(1)可作爲資訊之來源：各資料庫儲存了大量的資料，可隨時提供諮尋；(2)可作爲建立規劃、設計所需籃圖之依據；(3)可提供各相關作業之操作指南；(4)可對某投資案或任何有別於前之作業方式進行可行性評估；(5)可作爲研究／教學／訓練之絕佳工具。電腦的應用已日益普及，由於其具備大量儲存資訊並作快速計算的能力使得其成爲針對大型、複雜的系統作系統分析的最佳工具，這也是我們發展決策支援資訊系統的理念。

剩下來的挑戰應是如何將此決策支援資訊系統交(教)給使用者以及教導使用者如何求得各模組所需的基本資料。畢竟此決策支援資訊系統採用的基本資料爲荷蘭及美國的研究成果。軟體的架構可以不變，但欲求適用於本省，本土的基本資料是絕對必要的。

參 考 文 獻

1. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1992a. Greenhouse Layout Design and Labor Planning. ASAE paper No. 924071.

2. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli.1992b. Computer Software development for Greenhouse design and management. 4th International Conference on Computers in Agricultural Extension Programs. ASAE publication 1-92: 274-279.

3. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1990a. Optimizing Resource Allocation for Greenhouse Potted Plant Production. Transactions of the ASAE, 33(4): 1377-1382.

4. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1990b. Animated Simulation of Greenhouse Internal Transport using SIMAN/CINEMA. Transactions of the ASAE, 33(1): 336-340.

5. Fang, W. and K.C. Ting. 1990. Decision Support for Integrated Greenhouse Production System. United States Copyright Office. Registration Number 422-841.

6. Fang, W. 1989. Strategic Planning Through Modeling of Greenhouse Production Systems. Unpublished Ph.D. dissertation, Rutgers - The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ.

7. Giacomelli, G.A., W. Fang, K.C. Ting and Peter van Weel. 1990. Defining Internal Transport Systems in Greenhouses. Acta Horticulturae 295:

233-241.

8. Giacomelli, G.A., W. Fang, and K.C. Ting. 1989. Behavior of Internal Transport System for Potted Plant Production. The XXIII International Horticutural Congress, Firenze, Italy, August 27 - Sept.1, Abstract No. 2343.

9. Ting, K.C. and W. Fang. 1991. Engineering Economics of SCARA Robot-Based plug Transplanting Workcell. ASAE paper No. 917026.

10. Ting, K. C., W. Fang and G. A. Giacomelli. 1991a. Decision Support for Integrated Greenhouse Production Systems. Horticulture-New Technologies and Applications, Proceedings of the International Seminar on New Frontiers in Horticulture, Bangalore, India. J. Prakash and R.L.M. Pierik (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands: 293-298.

11. Ting, K.C., W. Fang and G.A. Giacomelli. 1991b. Decision Support Software for Integrated Greenhouse Production Systems. International Seminar on New Frontiers in Horticulture, Bangalore, India.

12. Ting, K.C., Y Yang and W. Fang. 1990. Stochastic Modeling of Robotic Workcell for Seedling Plug Transplanting. ASAE paper No. 90-1539.

13. Ting, K. C., J. Dijkstra, W. Fang and M. Giniger. 1989. Engineering Economy of Controlled Environment for Greenhouse Production. Transactions of the ASAE, 32(3):1018-1022.