

嫁接苗癒合養生室之環控系統演譯 及試驗研究

周立強¹，邱奕志²，陳世銘³

1. 國立宜蘭技術學院生物機電工程系講師
2. 國立宜蘭技術學院生物機電工程系教授，本文通訊作者
3. 國立臺灣大學生物產業機電工程學系教授

摘 要

本研究目的旨在應用濕空氣特性，配合空調原理來演譯溫濕度環控程序，發展環控系統，而演譯的實例元件即以低壓工業配線元件及可程式控制器為主。本研究係以嫁接苗癒合養生室為一控制對象，以條件序控法作為主要控制架構，來證明此一控制方法的功能性。環控系統的設計係採用溫濕度上下限區域，並考慮外氣調節的條件式複合動作來發展，並分冬、春（秋）及夏天氣候進行環控性能調控測試、電力監測及環控路徑驗證。線上運轉結果顯示：該方式確能依照控制標的適切地調節癒合室內溫濕度環境，冬天調控在 26~28℃，85~95%；春天在 26~27℃，85~95%；夏天在 26~29℃，73~93%時，皆能精確地將標的物控制在設定範圍內。在電力使用上，利用外氣調節、光照序控及加熱方式變化的環控程序操作可使得冬、春（秋）及夏季的用電量差距趨緩（分別是平均每天 36.33、33.26、32.36 千瓦小時），以節省電力。設計之環控系統可彈性且便利調整操作程序及條件設定，且控制器具維修保養簡便等特點。

關鍵詞：條件序控、環境控制、用電量

DEDUCTION AND EXPERIMENT ON THE ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM OF AN ACCLIMATIZATION CHAMBER FOR GRAFTED SEEDLINGS

Li-John Jou¹, Yi-Chich Chiu², Suming Chen³

1. Instructor, Department of Biomechatronic Engineering, National I-Lan Institute of Technology.
2. Professor, Department of Biomechatronic Engineering, National I-Lan Institute of Technology, Corresponding Author.
3. Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University.

ABSTRACT

The objective of this paper was to demonstrate how the principles of a psychometric chart could be applied on deducing the procedural and logical issues of temperature-humidity environmental control. Considering practical applications, an environmental control system composed of industrial wiring devices and

Programmable Logical Controller (PLC) was developed to accomplish these strategies, and the condition – sequence control implementation was adopted as the main control scheme for the system. This paper illustrated that the developed environmental control system could be installed in an acclimatization chamber for grafted seedlings to demonstrate the complete function of this methodology. Firstly, the compound control strategy, upper-lower limit, time – sequence control and free cooling conditional action, was adopted as the main design for the system. Secondly, logic control circuits finished by industrial wiring devices and PLC were created to model the temperature; humidity, illuminance and CO₂ control processes. The system such designed was suitable to operate in winter, spring (autumn) and summer of subtropics. Results indicated that the control system could satisfactorily achieve expected goals for providing suitable curing conditions and modulating the environmental factors such as temperature and relative humidity for grafted seedlings. Regarding power consumption, the system was developed to moderate the difference among power consumption for the four seasons. As for environmental control, if the weather conditions (temperature and relative humidity) were appropriate for grafted seedling curing, the ambient air was directed to regulate the chamber environment. Otherwise, vents in the chamber would be closed to form a close system, and furthermore the inner environmental control would be activated. In summary, the system was designed for flexible adjustments to environmental, illuminable, heatable and free cooling conditions, so it achieved the goal of power saving, and it was easy to operate and maintain for users in agriculture.

Keywords: Condition-sequence control, Environmental control, Power consumption

一、前言

現在是生物科技的時代，許多作物中的成分被檢驗出對人體有益，例如抗癌、抗氧化及養生等效果。因此針對作物生理週期進行研究以增加它的經濟價值是一種發展方向，然而作物生理週期與其週遭的微氣候環境是息息相關，也因此利用設施環境控制技術來生產高經濟作物，藉以獲得穩定且精緻化的例子很多，如溫室栽培作物催花調節產期、蔬果育苗嫁接後提供癒合環境等。在設施環控部份，國內外均有不勝枚舉之研究報告（陳, 2000; 沈, 1996; 方, 1995; 廖, 1992; Beaudry, 1999; Seginer et al., 1994; Papadakis et al., 1994; Seginer and Ioslovich, 1998; Wang and Boulard, 2000; Sase et al., 1988），然而對於最適化環控模式的推導大都以質能平衡理論為基礎，配合假設條件進行環控模式的建立，且模式需應用複雜的數值演算法，例如 Runge-Kutta 或 Newton-Aphson 法來計算設施內之氣候參數，模式較不易進行線上氣候控制，主要困難點在於選擇起始狀態之變數向量可能面臨無法收斂之風險（陳等, 1992；廖, 1992；

Yang et al., 1990; Spanomitsios, 2001; Trigui et al., 2001; 王與邱, 1989）。而配合複雜數值演算法所發展之環控模式之硬體設備如微電腦、感測器與界面裝置、個人電腦等（O'Flaherty, 1989; Takakura, 1989; Milanuk, 1987; 李等, 1993）雖很多，因系統過於細密、複雜，導致價格高昂、維修不易，加以本省農戶人力素質與經濟條件等問題的多重影響下，使產品引進或技術開發，大多是應用於學術研究單位而無法注入一般農村產業，其他的設施栽培也面臨到此等問題。

方等(1998)利用 Campbell-21X 微記錄器來進行金線蓮組織培養瓶苗栽培的溫、濕度與二氧化碳濃度的即時監控系統，目前該系統之控制範圍以培養箱為主。艾等(1999)利用電腦圖控軟體 Genie 所發展的溫室監控系統，是為教學目的。黃等(1996)利用 DOS 作業系統所發展的設施環境監控系統，可監看整個環控設備作動情形，並記錄環控因子的數據。目前台糖蝴蝶蘭栽培溫室及金車蝴蝶蘭園均使用該套系統，該系統採用電腦進行控制，並無線上控制器型式，較適合大型且較具規模之設施業者採用，對簡易或小型設施來

說，該套系統較不合乎經濟效益。

梁與郭(1992)提出林業溫室條件序控系統設計研製，其控制器主要以微電腦單晶片為主，輔以固態繼電器模組、感測器模組、類比/數位轉換器等。其控制流程、順序、策略均透過程式編寫軟體、以組合語言在一般個人電腦上編譯完成，藉由RS232卡輸入微電腦中，其控制方式採時間序控及條件序控。爾後陳與林(1993)也有類似觀念的設計應用於塑膠布溫室環控系統。接著周與王(1994)研製以個人電腦配合溫室內溫濕度控制模式的環控系統，其中經驗控制法內的灌溉及補光控制即是迴授序控的一種應用。邱等(2001)以人機介面配合可程式控制器發展出精密環控室之環控系統。然而上述之研究皆以經驗法則或流程圖法來訂定環控策略及研製環控線路，均各具特色與優劣。

不論是利用經驗法或最適化法所制定之環控策略，所需控制之環控設備需要電子邏輯線路、微處理機或電腦等設備才可加以執行(陳，1992)。若採用繼電器、指示燈、類比控制器、控制面板等低壓工業配線元件所組成之「照景盤監控」系統，雖然價廉、維修便利且農民接受度高，但線路繁雜，偵線除錯工程耗大，特別是多階層且多段式的複合環控策略。稍早周等(2000)曾以條件序控法的環控裝置應用在嫁接苗癒合養生室（以下簡稱「癒合室」），其中控制迴路的組成元件僅以低壓工業配線及感測器為主，並製作成三種不同條件序控的控制迴路，包含有以上下限區域及界限啓閉附加延時共三種不同條件的邏輯動作方式。該文最後亦經由各項環控操作、能源使用實驗及元件數目之比較發現，其中是以上下限區域條件的邏輯動作方式較佳。以這種控制迴路邏輯取代軟體程式邏輯，雖然可解決農家在使用現實面上的問題，但是傳統的繼電器硬體邏輯迴路仍有其限制。以該文為例，濕空氣線圖上的控制路徑就不能過於複雜或多元化，再加上當系統控制邏輯需要多層多段時，就存在著硬體迴路及邏輯死角修改等大問題。

條件序控法仍是一種可預期動作結果的控制法則，其控制結果的合適性與事前的推演設計息息相關，所需配合的硬體電路及設備也是決定因

素之一。本研究即以此為方向，以應用條件序控法的設施環控技術，配合濕空氣線圖的加（減）溫加（減）濕路徑原理作為邏輯演譯的平台，而演譯的實例元件即以低壓工業配線元件及可程式控制器為主，以達成人工氣候環境室控制系統的研製。本文中即以癒合室為一驗證例，以驗證此一流程方法的功能性。故裝置中的控制迴路仍採用溫濕度上下限區域中的條件式動作，加入緩衝點中間設定值的邏輯判斷，並配合台灣地區典型氣候冬、春（秋）及夏天三種狀況加以設計控制路徑。從許多的瓜果嫁接苗的文獻探討（梁1990，米等1994，林等1992）可知，一般瓜果嫁接苗在癒合期間的環境溫度宜維持在25-30℃左右，相對濕度則保持在80%以上，光照強度不宜太強，約為日照的40%。在1999年邱(Chiu)等在提供一個均一溫濕度與光照環境下，且溫濕度與光照環境管理均控制在上述範圍內，其三天癒合期的嫁接苗存活率是97.5%略高於對照組傳統栽培下的95.7%。本研究未以嫁接苗存活率作為癒合養生室環控結果佐證及指標的探討，因為其變因除了環境控制與管理策略外，還有人工及機器嫁接苗因素，以及各項癒合環境條件變化等因素，這將是另一項進行的實驗與研究課題。所以本研究的重點放在配合園藝系來進行人工及機器嫁接苗各項癒合環境條件的對照實驗，根據其需求環境並在人員進出及強制外氣干擾下進行系統的調控性能測試並佐證動作控制路徑正確與否。最後本文也探討農戶在電力使用上所關心的季節性耗電量的差距，同時參酌育苗場業者作業管理經驗，令本研究在製作硬體與演譯控制策略上更具人性化。

二、材料與方法

(一)控制標的物描述

本文之實驗目標物癒合室是以10公分厚之冷藏庫板組合而成，大小為四坪（圖1），內部設有風路，空間內可放置9部具5層之台車，每層可放置5個苗盤。每一穴盤以70格來計算，每次可同時進行約19000株苗的癒合管理。每批嫁接苗擬在癒合室內調養3天，使嫁接之傷口進行

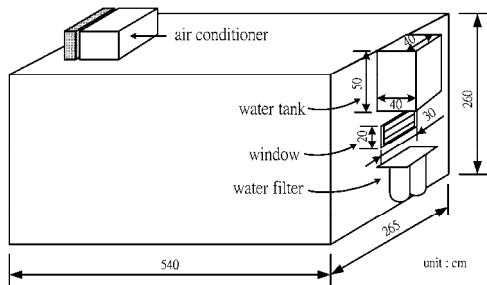


圖 1(a) 癒合室的立體圖

Fig.1a 3 D view of an acclimatization chamber for grafted seedlings

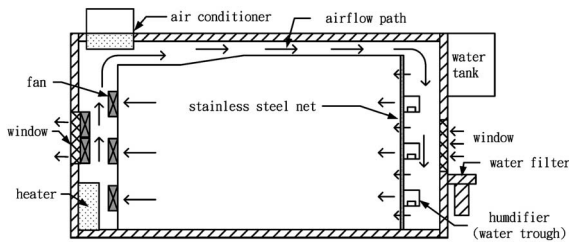


圖 1(b) 癒合室內部側視圖

Fig.1b Cross section of an acclimatization chamber for grafted seedlings

初步癒合，待嫁接苗存活後，再移至田間進行馴化管理。癒合室之內部環境包括：人工照明的光環境、內部空調與外氣調節的熱環境（溫濕度，風速）以及利用換氣來調節二氧化碳濃度的環境。人工照明係採用旭光牌(FL-40SBR/38)之40W直管式太陽燈管，每部台車各有5層每層各一支燈管，9部台車可達45支燈管。內部空調降溫是採東元冷藏機，電源是單相220V，消耗額定電功率2.175KW，冷凍能力5000 kcal / hr，E.E.R 是2.3。加濕設備是採超音波加濕震盪子18個，每一個加濕量是0.5 l/hr，分成3層高度置放，總加濕量是9 l/hr，總消耗額定電功率是270W。室內採用12個4吋17W的工業扇作為內循環風扇。加熱器是採單相220V額定功率2000W。

癒合室基本上與室外並無太多的熱交換現象，因此對於熱源的產生僅考慮來自於人工照明、內部機械設備及植物呼吸熱。環控設備容量規格（壓縮機、超音波加濕裝置、內循環風扇）是有足夠的負荷能力達到所規劃的溫濕度條件。

室內的內循環風扇及風路的裝置，可使風速不會超過0.2公尺/秒，藉由調速、改變數量、位置，可調整出室內最佳通風方式且室內空氣為完全混合(Chiu et al., 1999)（即室內溫濕度是均勻分佈的）。癒合室前後側換氣門的控制電路係利用兩個AC220V單相交流感應馬達、電容器與兩個繼電器完成，以四連桿機構進行前後側換氣門的開關閉動作。

(二) 控制標的及需求

癒合室內溫濕度的分佈變化實際上為該空間區域的溫度及濕度變化場，以函數式描述為 $Tr(x, y, z, t)$ 及 $hr(x, y, z, t)$ 。由於該空間經假設與實驗將溫度及濕度變化場描述為近似一均一空間(Chiu et al., 1999)，故溫度與濕度變化簡化成僅為時間的函數 $Tr(t)$ 及 $hr(t)$ 。因此本文參考設施園藝設計手冊內環境控制導入指針中自動控制目的及要件（王，1988），針對農業設施內環境管理的自動控制方式及動作，採用具經濟性且普及的迴授序控及時間不連續的控制動作。

由於癒合室人工照明設備的光源，並不會像在一般溫室中，太陽光源會造成極大熱負荷。而且嫁接苗在癒合期間的光照條件相當重要，所以就實際佈設之人工照明位置，是可實測室內空間各點照度，即可確定室內光環境分佈。因此本文對於光環境的控制採定時定量方式即可，但光源變化所形成熱源變化在溫濕度複合環控時須加以考慮。也由於嫁接苗在癒合期間對於二氧化碳濃度控制的要求及經濟面考慮監控裝置成本，定時定量是可以被考慮以換氣方式來調節二氧化碳濃度（王，1988）。但換氣時所造成系統內熱負荷及水份負荷變化干擾，在溫濕度複合環控中也必須加以考慮。

因嫁接苗在癒合期間對光、溫、濕度、二氧化碳濃度有著很高的環控品質要求，幾乎四個環境物理量樣樣為主。而一般溫室複合環控最多只能達到系統狀態的平衡點，且策略上以溫度為主相對濕度為輔。故本文對此裝置依前所述方式，於光與二氧化碳濃度環境採時間序控，而溫濕度環境採迴授的條件序控，配合濕空氣特性及空調原理，以邏輯電路的技巧構成適合嫁接苗癒合室

的控制線路。並利用導入外氣調節混合，以達到節省能源且穩定的癒合環境。

(三) 控制路徑與程序的演譯

根據前面所述之控制標的及需求，控制迴路的策略上是以溫度為主相對濕度為輔。於光與二氧化碳濃度環境是採時間序控，而溫濕度環境則採迴授的條件序控。配合這兩種邏輯條件來演譯控制裝置內濕空氣的變化，並在濕空氣線圖上預

測其變化路徑。

以圖 2(a)的自然升溫控制路徑示意圖為例，圖上實線為癒合室內溫濕度控制的目標區範圍內，其物理意義為室內有熱源產生，假設起始狀態是區域內任一點且為封閉系統（即無外氣調節），由於相對濕度的控制邏輯係採上下限控制，基本上升溫過程是沿著箭頭路徑所指的走向。如圖 2(b)所示是降溫控制的路徑示意圖，當超過上限溫度設定時，壓縮機隨即啟動運轉。理

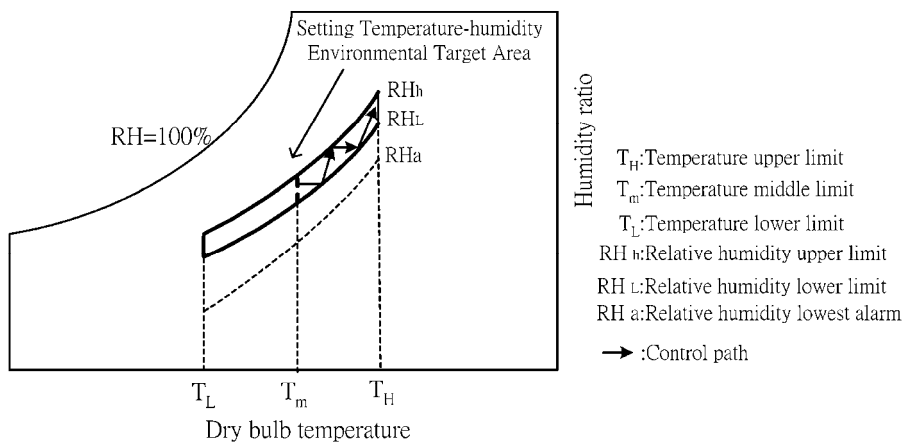


圖 2(a) 癒合室內自然升溫與加濕在濕空氣線圖上的控制路徑示意

Fig.2a A psychrometric chart illustration of natural heating and humidifying control processes in an acclimatization chamber for grafted seedlings (by 18 ultrasonic humidifiers)

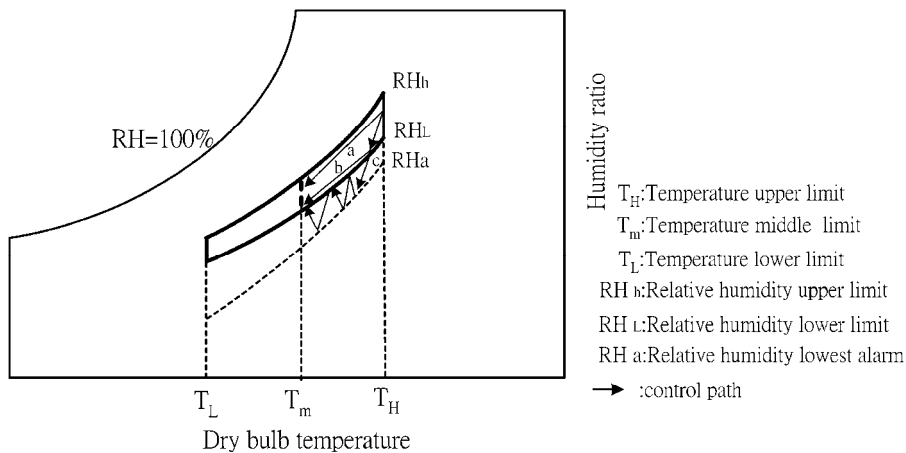


圖 2(b) 癒合室內以冷氣機降溫減濕在濕空氣線圖上的控制路徑示意

Fig.2b A psychrometric chart illustration of cooling and dehumidifying control processes in an acclimatization chamber for grafted seedlings (by an air conditioner and 18 ultrasonic humidifier)

想上降溫過程中是希望沿著等相對濕度線的路徑(a)，但由於設備能力（如壓縮機的冷凍、除濕能力及超音波加濕器或噴霧機的加濕能力）等硬體條件無法理想匹配，使得路徑(b)、(c)仍會發生，為避免相對濕度過低引起嫁接苗癒合不良甚至萎凋，因此在相對濕度的控制邏輯採上下限控制，輔助下限警報，在控制迴路的邏輯條件上附加當溫度或相對濕度低於下限時，即關閉壓縮機。因此表現在濕空氣線圖上即為碰到虛線位置即停止

壓縮機的設備動作接著藉由加濕動作使路徑回到實線上，如此反覆循環直到中間設定溫度後停止。

在圖 2(a)與(b)係指夏季暑熱環境下的控制設定(即採封閉環境操作)，而圖 2(c)是春(秋)環境及仲夏夜晚的設定(即採外氣調節操作)，圖 2(d)則是冬天環境設定(即封閉環境操作)。在圖 2(c)的濕空氣線圖上的控制路徑示意，在不是非常低溫或高溫高濕時是藉著外氣調節室內溫度在中間值上下來回循環如圖中區域路徑所示。若寒流來襲

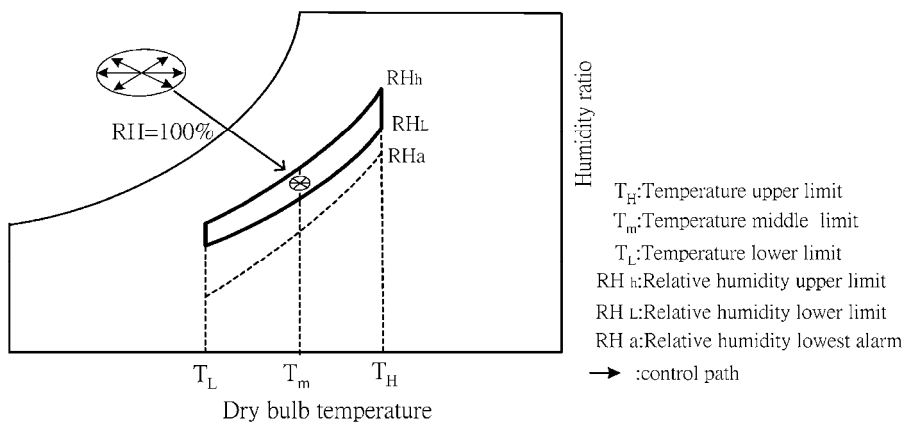


圖 2(c) 癒合室內採用外氣混合調節在濕空氣線圖上的控制路徑示意

Fig.2c A psychrometric chart illustration of free cooling control processes in an acclimatization chamber for grafted seedlings

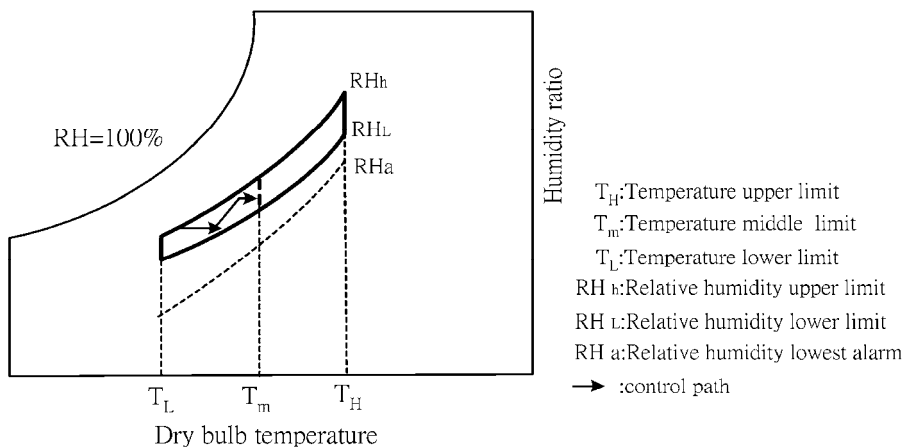


圖 2(d) 癒合室內採用加熱器或植物燈加溫與加濕在濕空氣線圖上的控制路徑示意

Fig.2d A psychrometric chart illustration of heating and humidifying control processes in an acclimatization chamber for grafted seedlings (by an heater or plant lights and 18 humidifiers)

時，室內達低溫下限時，就會開啓加熱器或生長燈進行加溫動作。若過程中發生低於相對濕度下限時則進行加濕動作，達上限時即停止，因此會進行此一循環動作直到達溫度中間設定值即停止，故其路徑會如圖 2(d)中箭頭所指之走向。

四功能要求的形成

依照前述的控制邏輯接著轉換成實際硬體設備的操作敘述即形成本文所制定的功能要求，其內容分述如下：本系統操作可分為無水、自動與手動三種狀態。當無水狀態時，系統所有動作暫停不執行，處於待（停）機狀態。當補水動作完成後會回復到自動狀態。而自動與手動狀態又可分為夏天與冬天環境設定（系統開機預設模式為自動狀態；夏天環境設定）。以下分別說明自動與手動狀態的功能要求：

1. 自動狀態下，降溫功能

- (1) 當室內溫度超過設定上限時，壓縮機啟動進行降溫，直到室內溫度降至所設定的主設定值。其間，若相對濕度達到警戒下限值（此時超音波加濕器為開啓狀態進行加濕動作），或採外氣調節時，壓縮機將被強制停止。
- (2) 當壓縮機停止運轉後，凝結器及冷卻器送風機自動延時 5 分鐘後停機，以防散熱不良及結霜。為避免壓縮機動作頻繁影響壽命，在壓縮機停機後 3 分鐘內不得啟動，即使溫度超過設定上限時。
- (3) 當室內溫度超過設定上限時，壓縮機啟動進行降溫。若 5 分鐘內持續未降至上限以下，則啟動警示燈，低於上限值時，則解除。

2. 自動狀態下，外氣調節功能

當外界溫濕度達到設定條件範圍內且癒合室內溫度未低於主設定值或高於上限值時或室內相對濕度未小於下限值時，外氣調節功能啟動。進行外氣調節，此時啟動換氣扇門及內循環扇，而壓縮機會強制關閉。

3. 自動狀態下，加溫功能

加溫分為夏天及冬天模式，當室內溫度小於主設定且相對濕度高於上限設定時，夏天模式以植物生長燈加溫減濕，直到室內溫

度升至所設定的主設定值時才停止。冬天模式則是當室內溫度低於設定下限或相對濕度高於上限設定時，以加熱器加溫，直到室內溫度升至所設定的主設定值時才停止。

4. 自動狀態下，加濕功能

當室內相對濕度小於主設定值時，啟動超音波加濕設備並作內循環風扇輸出直到加濕到相對濕度上限設定時，即停止超音波加濕設備。當室內相對濕度小於下限值時，啟動警示燈，高於主設定值時則解除。

5. 自動狀態下，時間序控換氣與光照環境的功能

- (1) 換氣扇門會依照 24 小時的定時器所設定的時段內進行定時定量換氣動作。
- (2) 植物生長燈光源控制會依照 24 小時的定時器所設定的時段內進行為定時開啓(on)及關閉(off)。

6. 手動狀態

- (1) 室內的加濕動作，換氣扇門，加熱動作，冷氣動作，內循環風扇均可作成手動一次按鈕開啓(on)及二次按鈕關閉(off)。
- (2) 若為冬天環境設定時，加熱器會隨著加熱動作的開啓而一起開啓與關閉。

由上述功能要求之敘述，本文將其表示成流程圖型式以顯示邏輯與層次，如圖 3 所示。接著本文依流程圖指示，將控制電路分成三大部分，前置電路、自動控制核心電路及負載輸出控制電路，如圖 4 所示。其中前置電路包含無水控制、手自動設定與手動操作及夏冬設定三部份。自動控制核心電路包括條件序控與時間序控兩部分以應用線路邏輯之組合電路完成。負載輸出控制電路包含加熱器、加濕器、植物燈、換氣設備、冷氣壓縮機與內外風扇的輸出保護、延時控制、互鎖保護電路。最後完成符合功能要求之 PLC 階梯電路，外部控制迴路及主迴路(包含壓縮機控制)。

伍試驗方法

先期以手動操作並適當調整修正各設備能力（如風扇轉速、風口大小位置，壓縮機的控制電路，加濕器的加濕能力），量測出橫縱共九個斷

Notation of symbols :

T_o = outdoor temperature.

Rho = outdoor relative humidity.

T_L = outdoor temperature lower limit while free cooling.

T_H = outdoor temperature upper limit while free cooling.

T_{min} = indoor temperature lower limit.

T_s = indoor temperature middle limit.

RH_{min} = indoor relative humidity lower limit.

RH_L = outdoor relative humidity lower limit while free cooling.

RH_H = outdoor relative humidity upper limit while free cooling.

F_1 = condenser fan

F_2 = radiator fan

F_3 = inner fan

F_4 = ventilation windows

Hum = humidifier

Air C. = air conditioner

Summer = Is it in summer?

Winter = Is it in winter?

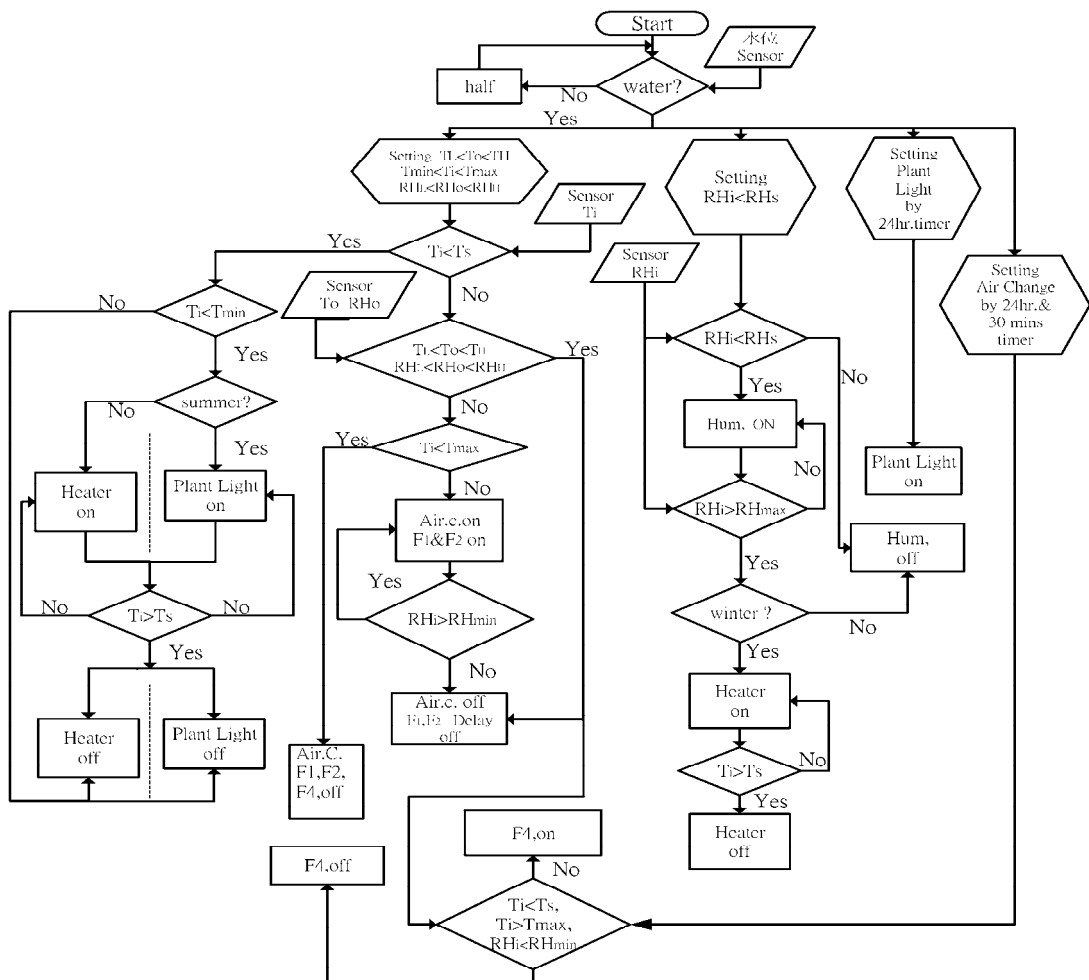


圖 3 控制系統之功能要求流程圖

Fig.3 A flow chart of control functions for the system

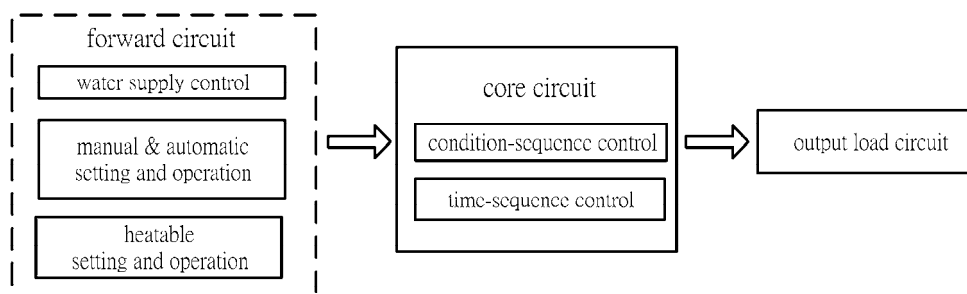


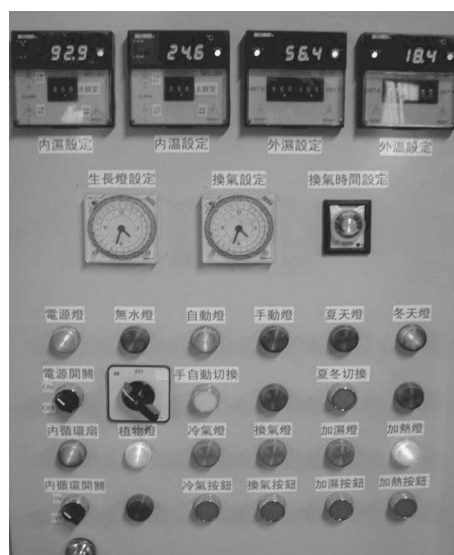
圖 4 控制電路之組成

Fig.4 Combination of a control circuit for the system



(a) 環控箱的外觀

(a) A view of the environmental control box



(b) 環控箱的操作面板

(b) A operational view of the environmental control box

圖 5 設計製作完成的癒合室環境控制裝置

Fig.5 A view of the environmental control equipment installed in an acclimatization chamber for grafted seedlings

面等溫濕度分佈圖（一斷面 9 個點），並使此癒合室內視為一均一環境條件，其結果在文獻(Chiu et al., 1999) 已得實證，因此本文中室內溫濕度的量測即簡化為幾何平均位置一點，室外量測僅設後側換氣門入口處一點。

接著依控制迴路方式按圖配線編號製作控制箱如圖 5 所示，再連線接入癒合室各設備運轉。

其中室外溫濕度接點是以線路邏輯的方式整合成單一接點輸入，定義成當室外溫濕度感測皆滿足於所設定的範圍時，則接點閉合構成外氣調節的輸入狀態進入可程式控制器內執行邏輯判斷。

本文以台灣泰儀電子公司製造的 PROVA-WM02 電力計測儀 3 個與 PROVA 6601 鉤式電力計 1 個，先分別實測各設備之消耗功率(Watt)，計測得到

控制箱本體及內循環扇基本消耗電功率 250~275、冷氣機 2000~2250、冷氣內外扇 440~460、換氣扇 60~70、加濕器 250~270、加熱器 1500~2000、每盞植物燈 43~45。以上結果可作為預估各種操作狀況下電力使用情形。

癒合室在運轉時即依強制外氣（定時定量換氣）及條件外氣施行之，過程中分成冬、春（秋）及夏天三個時期進行環控性能試驗、控制路徑驗證及電力使用情形量測分析。從 1971~2000 年宜蘭氣象站氣候資料的統計顯示得知，歷年以 1、2 月平均氣溫最低為 16.0 及 16.4℃，最高為 7、8 月是 28.4 及 28℃，其餘各月是 17.3~26.7℃。因此本文根據過去氣候資料及 2002 年當時前後氣象預報即選定冬天進行時間是在 2002 年 1 月下旬及 2 月上旬（1 月 29 日至 2 月 7 日氣溫約在 10~18℃），春天是在 3 月中旬（3 月 15 至 19 日，氣溫約在 20~25℃），夏天是在 7 月下旬（7 月 22 至 31 日，氣溫約在 25~38℃）。上述的實驗過程是以美國 Onset Computer Corporation 製造的 HOBO-H08-032-08 型的自記式溫濕度感測器放置在室內外各一點處共 2 個，每隔一分鐘記錄一次，連續 24 小時，蒐集室內外溫濕度的歷線變化。同時以電力計測儀 3 個與鉤式電力計 1 個分別作植物燈、控制箱一般設備、壓縮機及加熱器等三項設備的電壓、電流、功率因數及電功率計測記錄，每隔 2 分鐘記錄一次，連續 24 小時，蒐集一天電力使用情形。

三、結果與討論

根據前述所作出的控制裝置分別聯結至癒合養生室設備操作運轉，其結果就其內外溫濕度變化、強制與條件外氣調節，分成性能試驗、控制路徑與能源使用三種情形，一一分述如下：

(一)性能試驗

本實驗從 2002 年 1 月 29 日起，分別在冬、春、夏季的外氣候下操作運轉癒合室，實驗期間並配合園藝系進行人工及機器嫁接苗各項癒合條件的對照實驗環境。從所蒐集到各季節下每天所調控的室內溫濕度歷線及電力使用曲線看來，一

切皆如條件序控法所預期的動作結果，其趨勢相當一致。因此本文僅隨機就各時期中的其中一天為代表，加以說明此裝置系統所調控出來的結果。圖 6 至圖 8 分別為該系統進行操作下所得的一天連續 24 小時室內外溫濕度歷線圖（橫座標表示一日 24 小時中所代表的時間數字，例如 7 點 10 分與 14 時 30 分別為 07:00 與 14:30）。採外氣調節動作的條件可依據當天夜晚氣候條件來加以設定，例如在夏天設定 20~30℃，春秋 15~28℃，冬天 10~25℃，例如晴天、陰天及雨天其相對溼度可設定為 50%-90%、60~95% 及 70~95%。

1. 冬天時期試驗結果

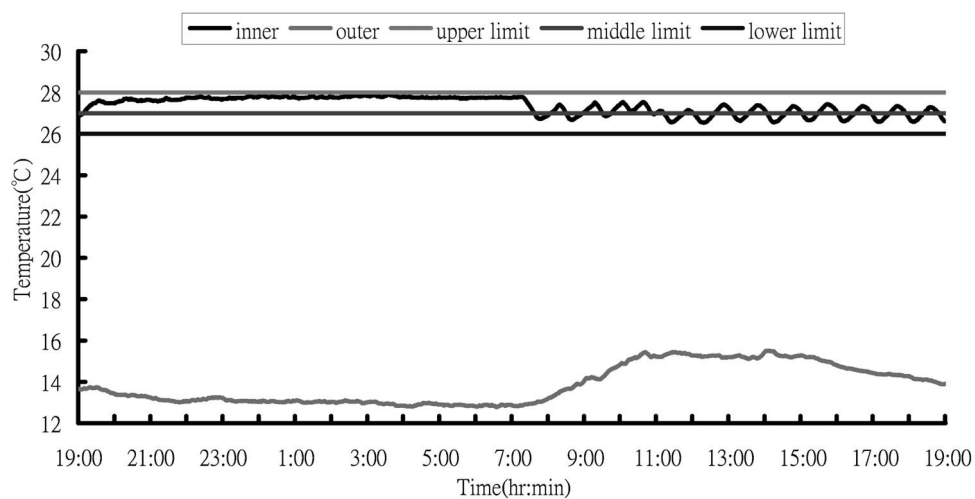
圖 6 結果視為在冬天氣候操作下（晴天），自 2 月 2 日 19:00 至翌日 19:00，光照時間由 19:00 至隔天 07:00，室內溫度上限、中間及下限設定分別是 28、27 及 26℃，相對溼度則是上限、中間及警戒下限之設定分別是 95、90 及 80%，外界氣溫在 13~15℃ 左右，相對溼度在 85~60% 左右。比對圖上室外溫濕度的歷線變化、設定條件及圖 14 之電力使用情形，確實如預定動作調控在設定範圍內。在光照時間內，由於室內熱源存在，以外氣調節與差動間隙加濕動作方式控制在 27.5~28℃ 及 84~94%，在光照時間外以封閉系統、換氣、加熱及加濕間歇式動作進行保溫保濕動作控制在 26.5~27.5℃ 及 89~93%。

2. 春天時期試驗結果

圖 7 結果視為在春天氣候操作下（陰天），自 3 月 15 日 16:00 至翌日 16:00 外氣溫 20~23℃，相對溼度 95~70% 室內溫度設定 26~28℃，中間設定溫度是 27℃，相對溼度在 80~95%，中間設定為 90%，差動間隙為 5%，警戒下限為 80%。光照時間同圖 6。操作後的結果是對照圖 6(a)、(b) 溫濕度歷線及圖 15 之電力使用情形知道全天幾乎為外氣調節，除了 20:00~05:00（光照時間內）部分時段因室外相對溼度達 95% 以上，時而為封閉系統，其餘皆是換氣與加濕及植物燈的循環動作，室內溫濕度控制在 26.8~27.1℃ 及 84~93%。

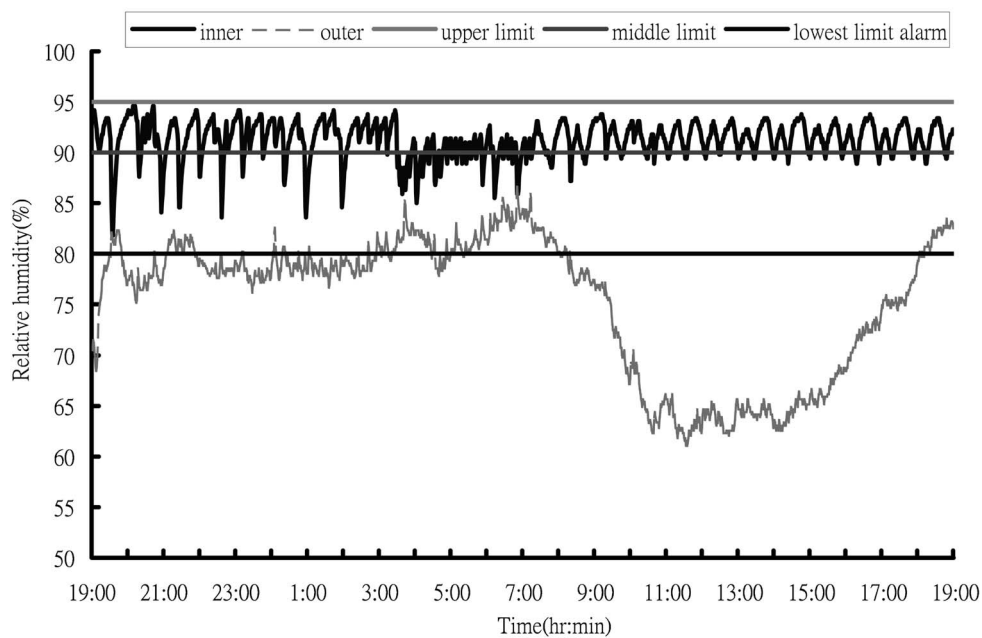
3. 夏天時期試驗結果

圖 8 結果視為在夏天氣候操作下，自 7 月



(a) 溫度歷線變化

(a) Variation of temperature.

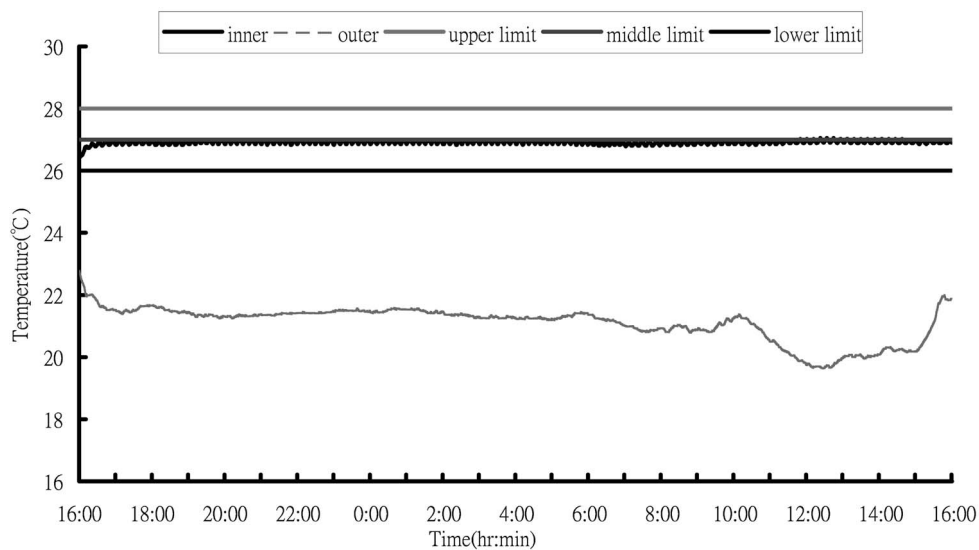


(b) 相對濕度歷線變化

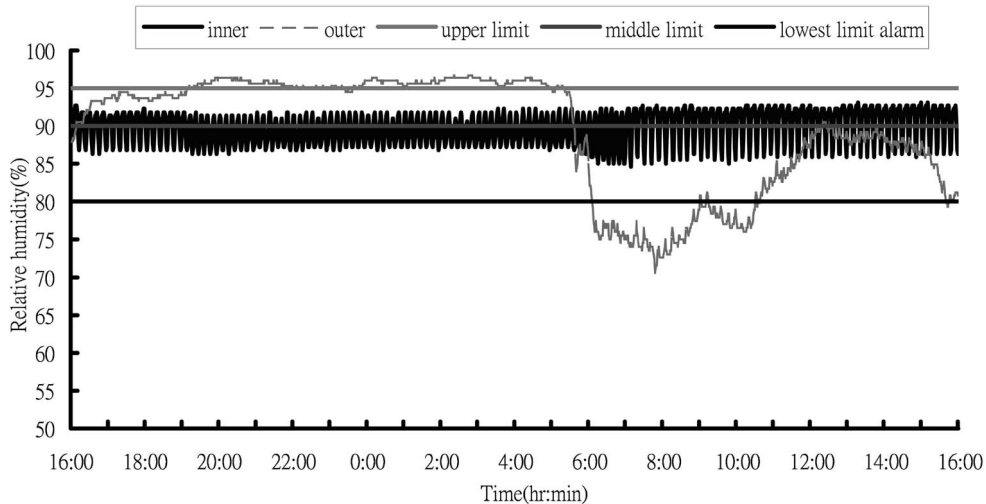
(b) Variation of relative humidity.

圖 6 冬天時期環控性能之試驗結果

Fig.6 Testing results of the environmental control in an acclimatization chamber for grafted seedlings during winter



(a) 溫度歷線變化
(a) Variation of temperature.



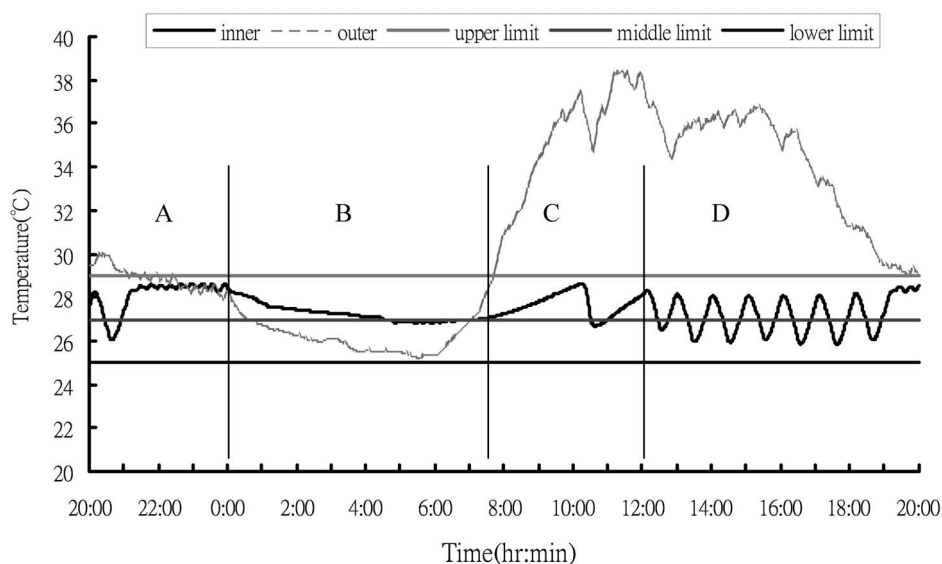
(b) 相對濕度歷線變化
(b) Variation of relative humidity.

圖 7 春天時期環控性能之試驗結果

Fig.7 Testing results of the environmental control in an acclimatization chamber for grafted seedlings during spring

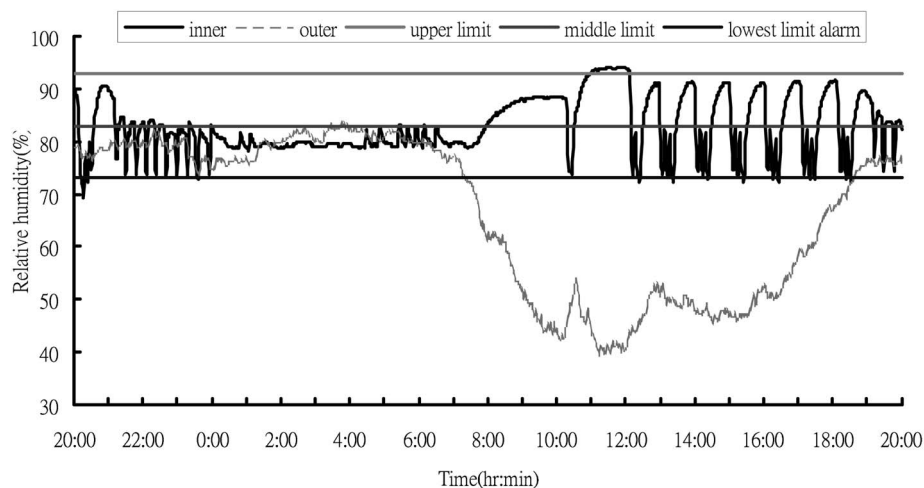
24 日 20:00 至翌日 20:00，光照時間配合園藝系嫁接苗癒合試驗改為 12:00~24:00，室內溫度上限、中間及下限的設定分別是 29、27 及 25°C，相對溼度則是上限、中間及警戒下限的設定分別是 93、83 及 73%，外界氣溫

在 38~25°C 左右，相對溼度在 40~85% 左右。外氣調節條件設定在 20~28°C 及 50~90%。操作後的結果對照圖 8(a)、(b)溫濕度歷線及圖 16 之電力使用情形知道全天可分為四種變化動作。在 20:00~24:00 是採封閉系統，起先為



(a) 溫度歷線變化

(a) Variation of temperature.



(b) 相對濕度歷線變化

(b) Variation of relative humidity.

圖 8 夏天時期環控性能之試驗結果

Fig.8 Testing results of the environmental control in an acclimatization chamber for grafted seedlings during summer

冷氣降溫及加濕一循環動作，之後觸及到相對溼度警戒下限，因此冷氣降溫與加濕動作改變成間歇寸動運轉，由於仍在光照時間內，故溫度走上限區域為A區標示。在24:00~07:40為無光照時間，仍是採外氣調節方式直到隔天07:40才又為封閉系統運轉逐漸升溫，故溫度為接近中間值設定，加濕器動作次數減緩，是為B區標示。在7:40左右以後仍為無光照時間而在失去外氣調節的條件下（室外溫度高於28℃）很明顯的升溫週期緩和，而以封閉系統冷氣降溫及加濕循環動作，是為C區標示。直到12:00後，由於光照開啓，升溫週期明顯變小，封閉系統仍同C區動作，但冷氣降溫及加濕循環動作的頻率增加。

基本上不論是採何種氣候下操作，癒合室內的溫濕度總是控制在所預定範圍內，以7月24至25日為例，將當日溫濕度所有記錄點，以乾球溫度作X軸，絕對溼度作（近似）Y軸可以呈現其操作過程中溫濕度的範圍變化，確實落在濕空氣線圖中的目標區內，如圖7所示溫度在29~25℃，相對濕度在73~93%。

(二) 控制路徑之驗證結果

為了驗證條件序控法所依循的控制過程是照著濕空氣線圖的預測路徑施行，如圖1(a)~(d)所示。因此圖10至13是分別顯示在2月2~3日、3月15~16日及7月25~26日各時段內的控制過

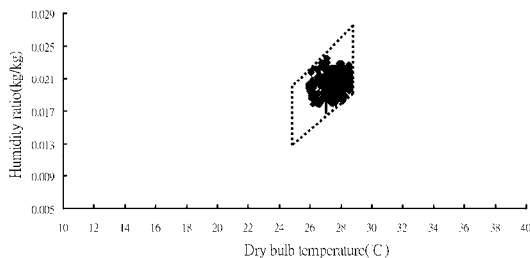


圖9 在濕空氣線圖上的溫濕度控制範圍（於2002/7/25 AM09:00-7/26 AM09:00）

Fig.9 A psychrometric chart illustration of control target area for both temperature and relative humidity during 2002/7/25 AM09:00-7/26 AM09:00

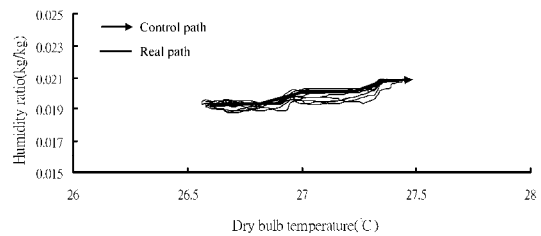


圖10 冬天時期保溫及間歇加濕的控制過程可顯示在濕空氣線圖上的控制路徑

Fig.10 The heating and intermittent humidifying control processes during winter could be illustrated by a psychrometric chart path

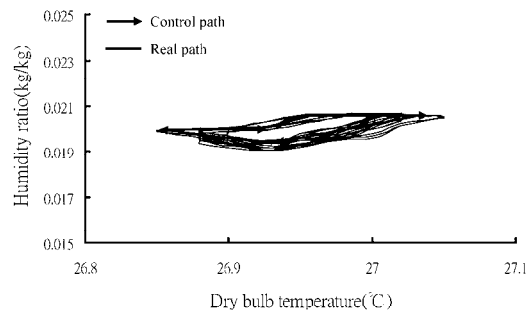


圖11 春天時期保溫、外氣調節及間歇加濕控制過程可顯示在濕空氣線圖上的控制路徑

Fig.11 The heating, free cooling and intermittent humidifying control processes during spring could be illustrated by a psychrometric chart path

程溫溼度路徑分別有升溫減濕（相對濕度減少，濕度比不變）、降溫除濕（相對濕度及濕度比均減少）、升溫加濕與外氣調節等四種過程路徑。圖8~11中以乾球溫度作X軸，溼度比作（近似）Y軸以呈現其控制過程中溫濕度的歷線路徑趨勢變化。

圖10中實線箭頭所指部分即為保溫加濕的循環路徑可比對圖1(d)所示。圖11中實線箭頭所指部分分別是保溫狀態與外氣調節降溫、加濕的循環路徑可比對圖1(c)所示。圖12中實線箭頭與虛線箭頭所指部分分別是升溫狀態與冷氣降溫、加濕循環路徑可比對圖1(a)與1(b)所示。圖13中實線箭頭所指部分分別是夏天夜晚採外氣調節與間歇加濕循環路徑可比對圖1(c)所示。

(三) 電力使用分析

表 1 所示為操作設備下各種組合之消耗功率量測與計算值，基本上兩者可視為大約相等，此一結果可作為預估各種操作狀況下電力使用情

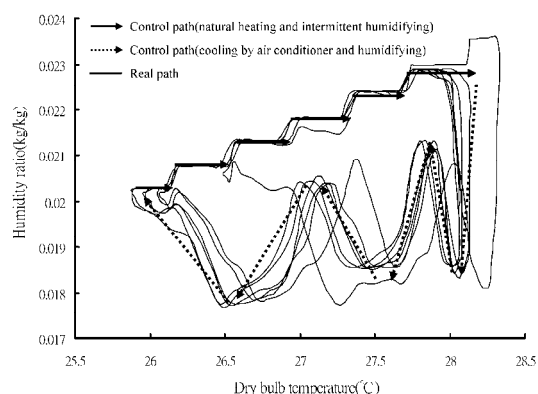


圖 12 夏季白晝中自然升溫、冷氣降溫及間歇加濕的控制操作可顯示在濕空氣線圖上的控制路徑

Fig.12 The natural heating, cooling and intermittent humidifying control processes in summer day could be illustrated by a psychrometric chart path

形。用電量的計算是根據每二分鐘所量測到的各設備瞬時電功率值，以梯形數值積分而來。而開機基本消耗電力每天預估是 6.6(KWH)，由於癒合室的光照是採時間序控，植物燈(45Watt)以 30 盞 12 小時操作計算，可預估每日消耗電力 16.2 (KWH)，因此經常消耗之基本量可預估為 22.8 (KWH)。至於其餘設備用電量需視季節氣候與外

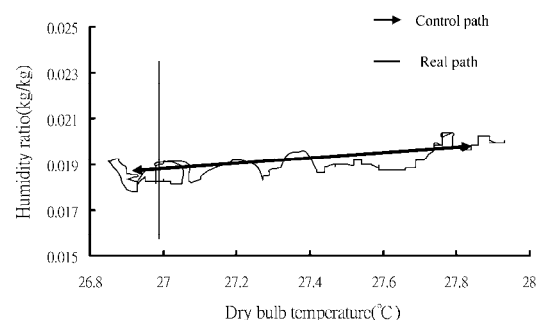


圖 13 夏天夜晚採外氣調節及間歇加濕動作可顯示在濕空氣線圖上的控制路徑

Fig.13 The free cooling and intermittent humidifying control processes in summer night could be illustrated by a psychrometric chart path

表 1 各種操作組合下設備之消耗電力量測與計算值

Table 1 The measured and calculated value of equipment power consumption with operational combinations of various kinds

Operational code	The combination of operational equipment	Measured value (Watt)	Calculated value (Watt)
A	Control box and inner fans.	250~275	275
B	A, heater (or plant light).	1575~1585	1565
C	A, heater (or plant light), humidifier.	1840~1860	1835
D	A, humidifier.	520~540	545
E	A, air conditioner, condenser and radiator fan, humidifier.	3200~3300	3170
F	A, condenser and radiator fan, humidifier.	950~990	995
G	A, windows, humidifier.	610~630	615
H	A, air conditioner, condenser and radiator fan.	2250~2400	2450
I	A, condenser and radiator fan.	690~710	725
J	A, windows.	330~345	345
K	A, air conditioner, condenser and radiator fan, plant light, humidifier.	4400~4460	4460
L	A, air conditioner, condenser and radiator fan, plant light.	4200~4300	4190
M	A, windows, plant light.	1650~1700	1635
N	A, plant light, window, humidifier.	1900~2000	1905

氣調節狀況而有所差異。表2所示為四坪癒合室在2、3月及7月的平均用電量情形，分別代表冬、春（秋）及夏季三個時期。依能源學理上及系統熵比(entropy)的概念，在夜晚給予光照及採用加熱效率較高的加熱器，推論是比較省電。為進一步瞭解癒合室在不同的光照時間、加熱方式之用電量差異，在冬季的試驗初期選定外氣溫在13~18℃的二天進行不同的光照時間序控，接著再進行不同加熱方式實驗，共5天（外氣溫為12~19℃）。本文根據1971~2000年各月平均溫度及假設試驗時各季每天之間外氣候差異不大的情形下，對各季用電量使用的代表值作了各項交叉比對分析。

1. 不同的光照時間序控

在冬季裡分別在白天及夜晚給予光照序控，由表2的欄位(A)與(B)可知，白天給予光照的總耗電量大於夜晚〔列位(3)〕。接著比對兩者在有光照時的耗電量〔列位(7)〕，後者大於前者，而設備的耗電量卻相反〔列位(5)〕。此驗證在夜晚給予光照，植物燈耗電稍大〔列位(6)、(9)〕且設備換氣頻率降低很多〔列位(5)、(8)〕。最後比對兩者在無光照時的用電量，前者又大於後者〔列位(11)、(12)〕，此一驗證夜晚無光照時的設備耗電量是大於白天無光照時。因此就本實驗而言，基於系統熵比的概念，在癒合室光照的時間序控操作上，以冬季夜晚給予光照序控是比較省電。同理在春（秋）及夏季也是相同，

表2 癒合室在冬、春及夏天時期的平均用電量分析表

Table 2 The analysis table of average power consumption in an acclimatization chamber for grafted seedlings during winter, spring and summer

Seasons			Winter			Spring	Summer	Row
Heatable setting			Plant light	Plant light	Heater	Plant light	Plant light	(1)
Illuminable time setting			07:00~19:00	19:00~07:00	19:00~07:00	19:00~07:00	00:00~12:00	(2)
Power consumption in 24 hr.(KWH)			45.40	38.96	36.33	33.26	32.36	(3)
Average power(KW)			1.89	1.63	1.51	1.39	1.35	(4)
While artificial daylight was adopted.	Power consumption (KWH)	Equipments	7.20	7.00	6.84	4.43	13.62	(5)
		Plant light	15.60	16.56	16.00	16.25	15.48	(6)
		Sum	22.80	23.57	22.84	20.68	29.10	(7)
While artificial daylight was not adopted.	Average power (KW)	Equipments	0.60	0.58	0.57	0.37	1.14	(8)
		Plant light	1.30	1.38	1.33	1.35	1.29	(9)
		Sum	1.90	1.96	1.91	1.72	2.43	(10)
While artificial daylight was not adopted.	Power consumption (KWH)	Equipments	22.60	15.39	12.95	12.58	3.26	(11)
	Average power (KW)	Equipments	1.88	1.28	1.08	1.05	0.27	(12)
Percentage of nonbasic power consumption (%)			49.80	41.50	37.20	31.50	29.50	(13)
Percentage of illuminative power consumption (%)			34.40	42.50	44.00	48.90	47.80	(14)
Column			(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	

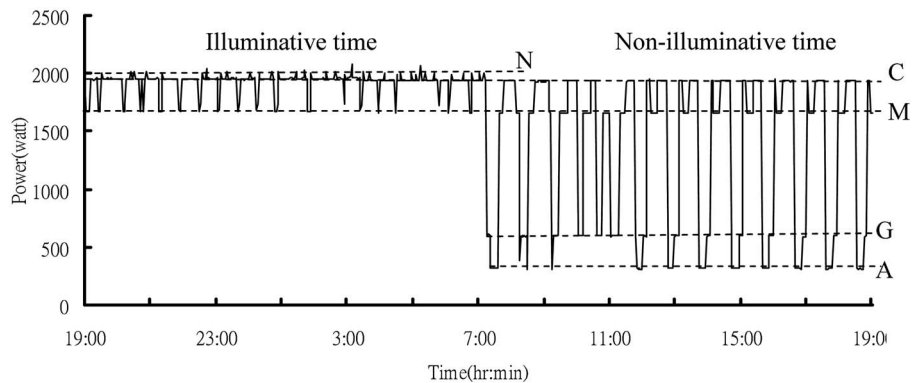


圖 14 冬天時期的電力使用情形

Fig.14 Variation of the power consumption during winter

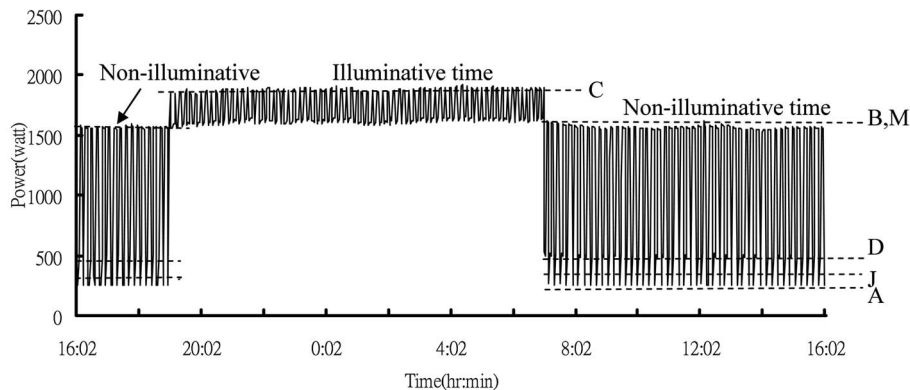


圖 15 春天時期的電力使用情形

Fig.15 Variation of the power consumption during spring

接著實驗方式就以利用夜間氣溫較低及外氣調節方式平衡熱負荷，並可達到省電效果。

2. 不同的加熱方式設定

在冬季裡在無光照時進行兩種加熱方式設定[列位(1)]，由表 2 的欄位(B)與(C)可知，在有光照時比對列位(5)~(10)並無顯著差異。但在無光照時，由表 2 列位(11)、(12)可看出，加熱器是比植物燈保溫省電；以植物燈在 12 小時內需 15.39KWH (平均功率 1.28KW) 進行保溫，加熱器則需 12.95KWH (平均功率 1.08KW)。因此本文建議在冬季裡的加熱方式採加熱器較採植物燈加熱更佳。

3. 不同季節的差異

由表 2 中列位(3)可看出冬季全天總用電

量高於夏季，接著進一步比對冬夏二季在無光照時列位(11)與(12)的用電量發現，冬季明顯高於夏季。探究其原因是冬季需要加熱裝置進行保溫(夜溫 13~14℃)，而夏季僅需外氣調節及基本電力需求所致(夜溫 25~29℃)，這可由圖 12 與圖 14 二季的非光照時的電力使用情形得到驗證。再比對二季有光照時的設備用電量，由列位(5)、(8)可知夏季是高於冬季，且幾達 2 倍以上，比對圖 12 與 14 同樣地可以驗證所動作的設備差異。

在春季有光照時，比對列位(5)可知設備用電量明顯低於其他二季，又進一步的對照圖 15 與圖 14 及 16 可驗證是春季進行外氣調節頻率次數很高、冬季次之，夏季則無。但

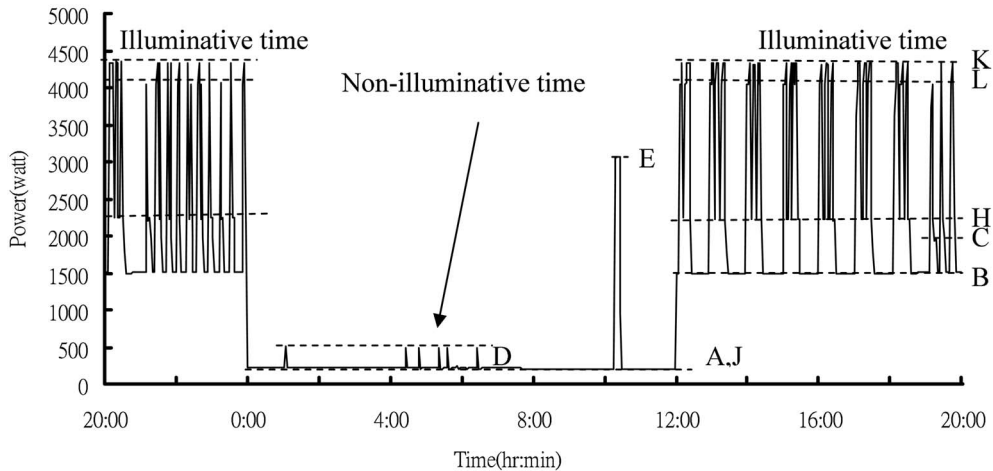


圖 16 夏天時期的電力使用情形

Fig.16 Variation of the power consumption during summer

在無光照時，春季夜晚(21~22℃)也會面臨到相同於冬季時的保溫問題，因此用電量增大〔列位(11)、(12)〕。

基本上癒合室的環控操作程序設計，使季節性變化所造成設備用電量的差異可以趨緩，這由欄位(C~E)及列位(13)可看出。由列位(14)可知最消耗電力應是來自於人工照明部分，若減少照明時數採間歇照明方式，此方面可平衡熱負荷降低系統之熵比而整體耗電量必降低許多，但對於嫁接苗癒合之生理條件是否有影響，必須加以考慮。

圖 14、15 及 16 分別為 2 月 2~3 日、3 月 15~16 日及 7 月 24~25 日全天的用電情形，圖上所標示的代碼可對照表 2 各種操作組合下設備之消耗電力量測與計算值的動作代碼。比對圖 8~10 的溫溼度歷線圖，經實地的操作證明，控制器的操作確實依條件序控的邏輯在執行。此外外氣調節的控制方式是可以達到室內要求的溫溼度目標並節省電力。在定時定量換氣需要時，即便在壓縮機或加熱器運轉時是不會停機，如果面臨到目標範圍的邊界值時，定時定量換氣會暫時改採寸動操作，而不會有脫離目標範圍值的情形發生。

四、結論與建議

由於條件序控法是一種可預期動作結果的控制法則，因此經過事先的推演設計，配合標的需求，其控制結果是可預期的。本文中以濕空氣線圖上的控制路徑觀念引導至階梯電路的設計，使得配合的控制迴路得以從採溫度上下限目標為主的控制中，加入了緩衝點中間設定值的邏輯判斷考慮，並輔以相對濕度採差動間隙下限警報的動作方式，以符合台灣地區冬、春(秋)及夏三季節性變化操作。

功能要求的控制迴路中加入外氣調節最優先的邏輯但受到室內溫度及相對溼度上下限的箝制(此設計亦是為了符合現實面須節省能源又能確保環控品質)，兩者之間的平衡點可從對環境物理解及季節性氣候變化找出一較佳的設定值，以避免造成系統不穩定及動作過於頻繁。以本文為例在夏季作為外氣調節的溫度設定可為 20-30℃，相對溼度為 50%-90% 間，冬季可為 10-25℃，相對溼度在 95% 以下。

系統中加溫方式有二種選擇，可依季節性變化、植物生理反應或管理者使用經驗來選擇植物燈管或加熱器加溫。在省能源的角度上，採加熱器的方式是有較高的加熱效率，但有時必須考慮

植物的耐受性，對變化較大的升溫過程。採植物燈管保溫其過程緩和，但加熱效率差且在非光照時是否對植物生理造成干擾亦須值得考慮。

由於PLC及低壓工業配線元件使用普及且量產，致價格便宜、容易採購且維修更換上很方便。本裝置有外氣調節的設計能符合目前農家在使用上現實面的問題，而且在操作上及許多設定條件均屬彈性調整。在未來能針對濕空氣線圖上的控制路徑程序作研究探討及有效地運用人工照明的時間序控方式來平衡熱負荷以降低系統之熵比，達到更進一步的節省能源使用是努力方向之一。

五、謝 誌

本研究承行政院農委會經費補助，本系游哲文及陳志杰同學協助試驗，以及本校園藝系張允瓊老師提供嫁接苗癒合環境條件試驗配合，謹此致謝。

六、參考文獻

1. 方煒、張祖亮、吳瑞宏。1998。即時監控系統應用於二氧化碳施肥對金線連組織培養苗生長之研究。農業機械學刊 7 (2): 29-38。
2. 方煒。1995。溫室蒸發冷卻系統降溫效果量化指標之建立。農業機械學刊 4 (2): 15-25。
3. 王鼎盛、邱文山。1989。溫室內溫度與濕度控制模式。第二屆設施園藝研討會專集論文：1-31。台北：中國園藝學會。
4. 王鼎盛。1988。設施園藝設計手冊。臺灣大學農業工程學系農業設施研究室編印、行政院農業委員會補助。
5. 艾群、黃慶祥、黃裕益。1999。利用電腦圖面監控溫室環境及室內搬運模型之研製。嘉義技術學院學報 67: 27-48。
6. 米莫爾、吳登琳、阮育奇。1994。番茄嫁接對淹水之影響。出自科學農業 42 (3, 4): 57-64。
7. 李勝伍、周立強、王鼎盛。1993。溫室溫溼度環境樣本控制系統的設計與裝置。八十二年農業工程研討會論文：31-51。台中：中國農業工程學會。
8. 沈德欽。1996。塑膠布溫室環控設備之環境調節能力與單晶片環控系統性能。嘉義農專學報 44: 43-68。
9. 周立強、邱奕志、陳世銘。2000。條件序控法應用在嫁接苗癒合養生裝置的環境控制。宜蘭技術學報 4: 47-66。
10. 周立強、王鼎盛。1994。溫室溫濕度環控系統之設計與裝置。技術學刊 9(3): 271-280。
11. 林天枝、洪澐堂。1992。苦瓜嫁接於絲瓜之栽培技術。台中區農業專訊 10月1期：9-13。
12. 邱奕志、周立強、陳世銘、葉佐堂。2000。應用可程式控制器及人機介面於精密栽培室環控系統之研製。宜蘭技術學報 5:17-34。
13. 陳加忠。2000。蝴蝶蘭環控新技術。台灣花卉園藝月刊 157:18-21。
14. 陳加忠、林瑞松。1993。塑膠布溫室環控系統之研究。中國農業工程學報 39(2):84-91。
15. 陳加忠。1992。溫室環境控制系統與設備。台灣農業 28(6): 58-69。
16. 陳加忠、賴建洲、陳志昇、黃照明。1992。溫室環境模式之研究 II.模式驗證與應用。中華農業研究 41(1): 90-114。
17. 陳加忠、賴建洲、陳志昇、黃照明。1992。溫室環境模式之研究I.數學模式分析。中華農業研究 41(1): 79-89。
18. 梁亞忠、郭幸發。1992。林業溫室條件序控系統之研究。臺大實驗林研究報告 5(2): 17-30。
19. 黃東瑞、潘清榮、簡銘宏、陳健夫。1996。溫室環境自動控制系統之研發。臺灣糖業研究所研究彙報 153: 59-73。
20. 梁杲。1990。西瓜嫁接經驗談。出自園藝之友 22：50-52。
21. 廖中明。1992。封閉型農業環境最佳溫溼度控制系統設計。中國農業工程學報 38(1): 43-53。
22. Beaudry, C., C. Vigneault, J.A. Landry, G.S.V. Raghavan, Y. Garipey, and B. Goyette. 1999. Design of an automated control system for mini-chamber controlled atmosphere storage. ASAE Paper No.99-4114.

23. Chiu, Y. C., L. J. Jou and S. Chen. 1999. Development on an acclimatization chamber for grafted seedlings. ASAE paper No. 995014. Canada: Toronto.
24. Milanuk, M. J., D. D. Schulte and G. E. Meyer. 1987. Microcomputer environmental control and data acquisition system for an alpine greenhouse. ASAE Paper NO.87-4024.
25. O' Flaherty, T. 1980. A first step in microcomputer control of greenhouse environment. *Acta horticulture*, No.106, pp.91-101.
26. Papadakis, G., A. Frangoudakis and S. Kyritsis. 1994. Experimental investigation and modelling of heat and mass transfer between a tomato crop and the greenhouse environment. *Journal of agricultural engineering research* 57(4): 217-227.
27. Sase, S., H. Ikeda, and T. Takezono, 1988. Plant production in the artificial environment. *Acta Horticulturae* 230: 323-328.
28. Seginer, I. And I. Ioslovich. 1998. Seasonal optimization of the greenhouse environment for a simple two-stage crop growth model. *Journal of agricultural engineering research* 70(2):145-155.
29. Seginer, I., T. Boulard, and B. J. Bailey. 1994. Neural network models of the greenhouse climate. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59 (3): 203-216.
30. Spanomitsios, G. K. 2001. Temperature control and energy conservation in a plastic greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80 (3): 251-259.
31. Takakura, T. 1989. Microcomputer use for an energy and labor saving in Japanese protected cultivation", *Acta horticulture*, No.257: 79-85.
32. Takakura, T. 1989. Climate control to reduce energy inputs. *Acta horticulture* No. 245: 406-415.
33. Trigui, M., S. Barrington, and L. Gauthier. 2001. A strategy for greenhouse climate control, Part I: model development. *Journal of agricultural engineering research* 78(4): 407-413.
34. Trigui, M., S. Barrington, and L. Gauthier. 2001. A strategy for greenhouse climate control, Part II: model validation. *Journal of agricultural engineering research* 79(1): 99-105.
35. Wang, S. and T. Boulard. 2000. Predicting the microclimate in a naturally ventilated plastic house in a mediterranean climate. *Journal of agricultural engineering research* 75(1): 27-38.
36. Yang, X., T. H. Short, R. D. Fox, and W. L. Bauerle, 1990. Dynamic modeling of the microclimate of a greenhouse cucumber row-crop part i. theoretical model. *Transactions of the ASAE* 33(5):1701-1709.
37. Yang, X., T. H. Short, R. D. Fox, and W. L. Bauerle, 1990. Dynamic modeling of the microclimate of a greenhouse cucumber row-crop part ii. validation and simulation. *Transactions of the ASAE* 33(5): 1710-1716.