

# 塑膠布溫室環控系統之研究

## Development of the Environmental Control System for Plastic Greenhouse

台灣省農業試驗所  
農工系副研究員

陳 加 忠  
Chiachung Chen

台灣省農業試驗所  
園藝系副研究員

林 瑞 松  
Ruey-Song Lin

### 摘 要

在此研究中開發適用塑膠布溫室之環控系統。此系統包含感測系統，控制設備與邏輯控制器。溫、濕度與日照量量測訊號傳送至此控制器並與設定值加以比較。控制器之邏輯控制策略係由溫室微氣候模式發展而成。經比較判斷後，控制器輸出適切訊號以指揮控制設備。長期性能測試結果顯示所控制溫度值與設定值其平均差異在 $2^{\circ}\text{C}$ 之內。溫室內日照量能維持穩定狀態。長期使用下無異常故障。單一之控制設備可用以執行特殊之環控需求。

關鍵詞：塑膠布溫室，環境控制。

### ABSTRACT

An environmental control system for plastic greenhouse was developed. The system consists of sensing systems, control equipments and logical controller. The values of temperature, relative humidity and solar intensity were transmitted to the control device and compared with the setting values. The control strategy of the logical controller was developed by the greenhouse microclimate model. The logical control circuit device send the adequate signals to command the control equipments. From the long-term performance test, the average deviations between control values and setting values of temperature was with in  $2^{\circ}\text{C}$ . The solar intensity within greenhouse could keep in a stable condition. No serious damages have happened for the control system. Individual control device can execute the specifical control work.

Keywords: Plastic greenhouse, Environmental control.

## 一、前言

台灣地區位於亞熱帶，終年氣溫炎熱，雨量充沛，本來適合各種作物之生長，但是由於不良逆境之存在如夏季強日射能，暴雨、強風、颱風，各地區漫長雨季與冬日偶至之寒流，造成作物之損害與產量不穩定。為求生產品質的提昇，農業設施之應用乃是必要，而溫室即為設施生產中主要的應用設備。

溫室依荷蘭溫室施工國家標準手冊之定義，包括三項基本條件：1.由透光材料組成，2.具有屋頂與牆壁，3.人員能於內部作業。而溫室使用之主要目的在於提供作物良好的生長環境，因此溫室必須裝設種種控制設備與控制系統，才能依據業者需要加以控制內部環境，因此溫室環境控制為溫室生產中基礎之設備。

國內作物生產之應用設施以塑膠布溫室為主，為克服國內特殊之不良環境，適用的塑膠布溫室必須能遮蔭，防雨、防風與保溫，因此其結構以開放型為主，以避免暑熱環境之強烈熱累積，但在冬日溫度太低時，也必須有密閉之功能。

國外之溫室環控已有多年之研究，並已商品化應用於其溫室生產。國內在溫室環控之研究方於起步階段。本研究之目的在於針對國內所慣用之塑膠布溫室，利用已完成之感測系統與溫室環境模式，開發製造環控系統，並執行耐久試驗，以評估其環控能力。

## 二、文獻探討

歐洲之溫室環控研究與應用已有多年，其溫室結構因使用地區而不同。在北方如德國、荷蘭、英國與北歐諸國等因平均氣溫低，日照弱，其溫室之結構以氣密良好之玻璃溫室為主。在升溫方面，利用溫室效應與熱水管加熱。又因終年溫度低，如荷蘭之夏天平均溫度為 $18^{\circ}\text{C}$ ，最高溫度為 $22^{\circ}\text{C}$ ，因此利用自然通風即可減少熱累積之要求。在環控方面，主要的環控設備在於熱水管的升溫與天窗之開啓(12)。有關之環控研究即在於此兩種環控設備之控制性能，例如以機電裝置執行控制(16)。近年來微電腦之利用日益普及，其在環控之應用方面也有多人研究(25,26,28,34,35)，結合電腦對資料之貯存，運算能力，並配合環境模式進行溫室環控已是目前玻璃溫室最常利用之技術(18,2

1,22,30)。在以數學模式結合控制原理之應用技數也已有完善之研究(31,32)。在未來之應用方面，主要的方向在於結合專家系統於環控策略進行控制作業(23)，並研究以作物反應為依據執行環控(29)。

在歐洲南部地中海沿岸地區，因其夏季之高溫高濕氣候，其溫室以高架屋頂，四周開放之塑膠布溫室為主(17,33)，其環控設備主要係應用單片控制電腦為主控設備(7)。

日本在1987年的統計資料顯示其溫室栽培面積約43,000公頃，其中玻璃溫室約佔4%左右，其餘96%為塑膠布溫室。在溫室發展中，由於其塑膠業工業的迅速發展，其溫室材料與結構均已規格化，連棟溫室之間有良好排水槽，以避免雨水流入之問題。在通風系統方面，天窗、側窗均可裝置開啓機構，在側面有捲起裝置，共同配合進行自然通風作業，在加溫方面，為節省能源，除了利用雙重塑膠布或自動遮簾裝置設備，更研究地熱交換系統，配合熱泵技術以進行環境內溫、溼度調整。在成本考慮因子下，利用離峰用電之電力，配合蓄冰裝置以進行降溫工作。日本溫室環控之特點在於複合環境控制策略之研究與應用，其控制依據在於考慮作物生長之生理需求，而各環境因子之設定範圍區分為四階段：1.控制呼吸作用期，2.促進光合作用期，3.加速合作用期，4.流轉促進期。控制設定點之決定氣象因子為：1.溫度，濕度，2.日照強度之上下限，3.累積日照量等(15)。近年來之研究重點在於結合定量之系統工程與定性之專家資料庫共同執行環控作業(24)。

國內有關溫室環控之研究已有多年，主要之研究對象皆以玻璃溫室為主。例如台糖公司由荷蘭進口精密溫室，而轉至自力發展蝴蝶蘭溫室(13)。台南改良場之研究係以國內自建之溫室為本體，利用個人電腦為控制主體進行環控試驗(14)。桃園改良場以日式溫室為研究對象，探討遮蔭，通風等環控設備對溫室內微氣候影響(2)。為林業用溫室之環控需要，台大森林系亦提出條件序控系統之相關研究(4)。在環控設備的利用中，由於本省高濕之氣候，使水牆(Fan and Pad)之利用效率不高，因此也有應用除濕系統於溫室環控之探討(1,3)。有關溫室環控之感測系統，台糖研究所(13)與台大森林系(4)曾有自行研究開發之報導。

完整之環控研究除了感測與環控設備之介紹，

完整之環控研究除了感測與環控設備之介紹，更應包括控制系統與控制策略，在環控性能方面，控制結果與預定目標之離差分佈，控制設備之持久特性均需要加以測定(19,20)。然而在國內有關之溫室環控研究方面，均未有環控策略與環控性能之完整報導，此外在應用個人電腦方面，僅有進行資料收集之功能(13,14)，其作業方式類似數據收集器(Data Acquisition)之功能，僅有監視功能(Monitoring function)而未有控制功能(Control function)。因此適用國內環境之溫室環控設備有自行開發研究之必要。

### 三、材料與方法

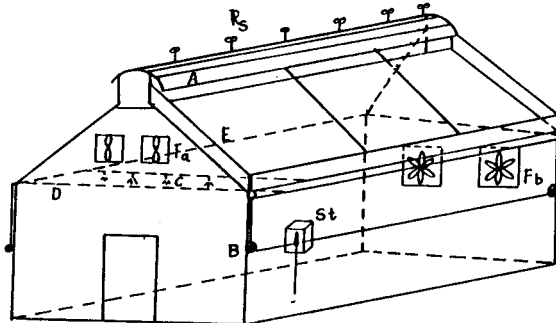
完整的環控系統應包括四大研究項目：

- A. 溫室結構與環控設備
- B. 感測系統
- C. 環控模式
- D. 控制系統與控制策略

本研究所開發之控制系統依序介紹如下：

#### (一)溫室結構與環控設備

環控性能試驗用的塑膠布溫室為山型屋頂，骨架為鐵材，底部有混凝土地基。屋頂係開放型之太子樓頂，保持於開啓狀態。其覆蓋材料為PVC單層塑膠布，透光率約45%。兩側牆壁為捲揚式，可以以馬達操作其塑膠布昇降。機械通風作業具有大風扇兩具，小風扇四具，以進行不同風量之環控性能研究。此山型屋頂溫室示意圖如圖1。



- A. 太子樓屋頂
- B. 兩側捲起裝置
- C. 噴霧裝置
- D. 內遮蔭
- E. 外遮蔭
- Fa: 小風扇
- Fb: 大風扇
- Rs: 屋頂灑水
- St: 溫、濕度計
- S2: 日照計

圖1. 山型屋頂溫室

屋頂外為50%遮蔭之遮蔭網，與屋頂斜面平行，溫室內部有50%遮蔭網與地面平行，遮蔭網皆可利用馬達操作。

溫室地面為碎石地面，地表上放置盆栽觀葉作物，占地面積40%。

溫室長度12m，寬6m，高度2.8m，屋頂斜度23.4，屋頂與四壁總面積260m<sup>2</sup>，體積250m<sup>3</sup>。

溫室內部裝置噴霧用噴頭，利用噴霧機產生細霧以進行蒸發冷卻，噴霧作業為間隔式，其作業與中斷時間均可調整。屋頂另設灑水裝置。

#### (二)感測系統

此環控系統之感測部份包括大氣溫度，相對濕度，日射強度，溫室內部溫、濕度，日射強度。感測器裝設位置如圖一所示。內部之量測位置在溫室內部中心點高度1.2m處。內外溫度感測器皆具有覆蓋(Shield device)設備以避免陽光直射引起之誤差。

溫度感測元件為RTD PT-100，誤差±0.1℃。濕度感測元件為電容式Rotronic Hygrometer C-83-N，經校正後誤差為1.0%。溫度之輸出訊號為0-1V，校正方式如同陳氏等(5)。

日照能量之量測元件為光二極體INS-TARI型。輸出訊號為0~2V，準確性±20W/m<sup>2</sup>，此型感測計之開發與校正已有詳細探討(11)。

#### (三)環控模式之應用

環境模式之研究目的在於由已知溫室本身結構，材料等物性條件下，由外界環境條件(大氣溫度、濕度、日照量等)與溫室環控設備的動作情況，得以預測內部溫、濕度與日照量值。在模式的驗證研究(8,9,11)結果，溫度預測準確性約±2℃，溼度預測準確性約±6%RH。此環境模式之研究結果在溫室環控設備的開發利用，主要的應用有兩類：決定環控能力與環控策略。

環控能力係指環控設備對溫室內微氣候的控制極限，以溫室內溫度之控制為例，各環控設備的控制極限說明如下(9)：

##### A. 充份遮蔭之開放型溫室：

因無溫室效應，最佳狀況可低於外界大氣溫室1.0℃左右。

##### B. 通風

在良好機械通風下，內部氣溫與大氣溫度相同。

##### C. 蒸發冷卻

所能降溫之極限介於大氣乾球與濕球溫度之間，無法低於濕球溫度，其降溫能力受到降溫設備之效率所影響，以國內氣候條件，降溫效果如下：

(a).利用噴霧設備其效率約30~50%，因此可低於大氣溫度2~4℃。

(b).利用水牆(Fan and Pad)，因作業效率約70~75%，降溫能力可低於大氣溫度5~7℃。

如同溫度之降溫極限，環控設備各有其控制極限，環控系統作業能力僅能在其控制極限內執行，無法超越此極限限制。本研究用溫室其環控設備係利用噴霧裝置，因此其控溫極限為低於大氣溫度3℃左右。

#### (四)控制系統

本研究開發完成之控制系統，TARI-AE1型，其示意圖如圖2所示，由台北新店森鴻電機公司承製(註)。

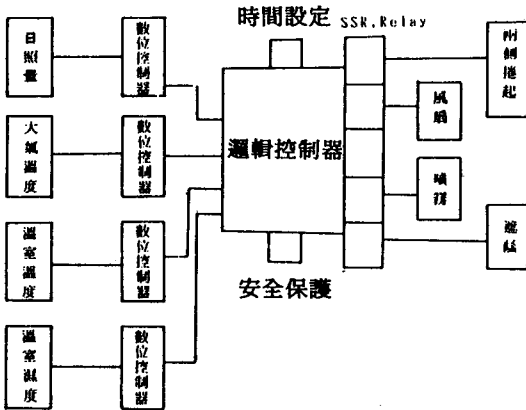


圖2. TARI-AE1型溫室控制系統

控制系統接受溫度、濕度與日照量強度感測器之類比訊號，經由數位控制器轉換為數位訊號(Digital signal)。數位控制器本身有LCD顯示幕以顯示訊號。感測器輸入訊號有四項：大氣乾球溫度，溫室內部溫度，相對濕度與大氣日照強度。日照強度單位為 $W/m^2$ 。在太陽光光譜可見的範圍下，日照強度( $W/m^2$ )與照度(lux)有比例關係存在，換算公式為：

$$1 W/m^2 = 107.5 lux$$

因此使用者可依應用需要加以換算。

控制系統可提供使用者設定四項參數：溫室預定控制溫度，容許溫度上限，溫室內部相對濕度與日照量。容許溫度係指比作物最佳生長溫度更高，但未到達妨害生長之溫度。

在傳統單項控制中如以Thermostat控制風扇開關均未考慮影響溫室氣候因子之日照能量，溫濕度三者之關係，良好的控制系統必須考慮此種交互效應。

本研究所開發之控制系統係利用環境模式之研究結果得知各種環控設備在進行控制作業時對內部微氣候的影響，以此控制動作與控制結果的關係決定控制之邏輯策略。此種策略軟體再以數位IC晶體組合成邏輯線路之硬體設備，而組成環控專用之邏輯控制器(Logical controller)。在執行環控作業時，感測系統輸入之數位訊號與使用者之設定條件依此具邏輯策略之控制迴路進行比較、判別。判別之結果再發出命令，經由固態繼電器(Solid State Relay, SSR)，繼電器(Relay)等元件指揮兩側捲起，遮蔭，風扇，噴霧等環控設備。由於環控設備之作用係經由智慧軟體判斷加以控制，因此每次控制作業方式並非完全相同，係依外界環境與設定條件而決定動作。此種環控控制策略正著手申請專利。

在控制系統之結構主體方面，可進行分散式利用，依其組件分別獨立執行單項環控作業，例如可以以遮蔭控制器單一控制遮蔭網。

#### (五)環控性能研究

此環控系統利用山型塑膠布溫室進行為期8個月的環控試驗，外在的氣候包括加溫、降溫等不同項目，在逆境情況下有暴雨、強風、長雨季...等。內外環境資料之收集記錄係利用Ling-Shyh型記錄器(Model LS-ELR-48)。

(註)：文中所提及公司名稱僅述明試驗設備之生產工廠，並無圖利該廠家或忽視其他廠家之意。

## 四、結果與討論

### (一)環控系統性能測試

典型的環控系統其控制性能測試結果如表一。在當日作業條件中，溫室設定條件為適合觀葉植物生長之微氣候狀況，日照量 $130 W/m^2$ ，氣溫 $30^\circ C$ ，相對濕度下限60%，由控制結果可知，在溫度控制方面，溫室內部溫度平均值為 $31.1^\circ C$ ，與設定值 $30^\circ C$ 之控制離差值(Difference values)在 $-2.1\sim$

2.5℃之間，而其絕對平均離差值為1.36℃。相對濕度之控制方面，均能滿足大於60%之要求，溫

室內部日照量亦不高於130 W/m<sup>2</sup>。

表 1 環控系統性能試驗

時間	大氣溫度 (℃)	溫室溫度 (℃)	誤差值 (℃)	溫室溼度 (%RH)	大氣日照量 (W/m <sup>2</sup> )	溫室日照量 (W/m <sup>2</sup> )
8 : 30	28.5	29.9	-0.1	63.5	420	88
8 : 45	28.7	30.5	0.5	63.1	470	90
9 : 00	28.6	30.0	0.0	65.5	437	127
9 : 15	28.9	30.6	0.6	65.2	323	94
9 : 30	28.9	30.3	0.3	65.1	369	107
9 : 45	29.7	31.6	1.6	59.1	523	118
10 : 00	30.4	31.7	1.7	61.6	527	119
10 : 15	30.4	31.8	1.8	64.6	472	106
10 : 30	30.3	32.7	2.7	68.9	311	75
10 : 45	30.0	31.2	1.2	75.7	381	86
11 : 00	30.3	31.8	1.8	72.4	171	40
11 : 15	28.8	30.3	0.3	90.1	108	25
11 : 30	27.1	29.2	-0.8	92.2	50	20
11 : 45	25.4	28.2	-1.8	95.5	84	20
12 : 00	25.7	29.0	-1.0	85.4	376	85
12 : 15	27.4	31.1	1.1	72.7	791	89
12 : 30	27.1	29.2	-0.2	64.5	965	109
12 : 45	28.2	31.7	1.7	63.5	704	80
13 : 00	28.8	32.2	2.2	64.2	390	105
13 : 15	29.3	32.1	2.1	67.6	630	71
13 : 30	29.4	31.9	1.9	73.6	320	72
13 : 45	29.3	31.4	1.4	78.2	250	57
14 : 00	29.2	30.9	0.9	65.5	191	43
14 : 15	28.8	30.8	0.8	65.4	230	51
14 : 30	28.9	31.4	1.4	64.8	724	89
14 : 45	30.5	32.5	2.5	67.1	416	94
15 : 00	31.1	31.3	1.3	69.2	483	108
15 : 15	30.4	32.5	2.5	70.2	450	101
15 : 30	30.7	32.0	2.0	71.1	353	80
15 : 45	30.1	32.1	2.1	65.2	307	69
16 : 00	29.8	32.1	2.1	66.3	400	90
16 : 15	30.1	31.7	1.7	67.5	378	85
16 : 30	30.2	31.3	1.3	68.5	360	81
16 : 45	30.0	30.6	0.6	70.6	302	68
17 : 00	30.1	30.2	0.2	71.6	276	62

溫室平均溫度：31.1℃，絕對離差平均值：1.36℃

$$\text{絕對離差平均值} = \frac{\sum |Y - y|}{N}$$

Y: 實際溫度, y: 設定溫度  
N: 樣本數目。

(二) 遮蔭控制性能

利用環控系統中日照量的控制部份執行溫室內日照量單一項目控制。溫室內部的光強度控制性能以圖3為代表，在無外遮蔭控制時，僅利用內遮蔭網（50%遮蔽率）與塑膠布屋頂（穿透率45%）時，其溫室內部日照量將如圖中虛線所示，其日射量呈不均勻分佈。在以日照強度大於600 W/m<sup>2</sup>為控制設定值進行遮蔭網環控作業，控制目標為12klux（約100 W/m<sup>2</sup>）時，其控制結果如圖中實線所示，由此可知控制結果，可合乎要求。

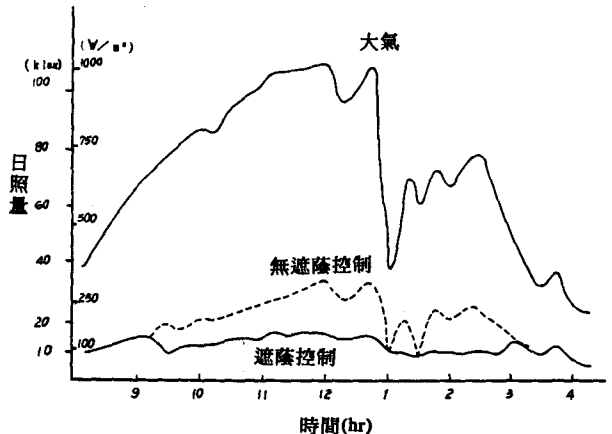


圖3 溫室遮蔭性能

### (三) 溫度控制性能

由溫室環控模式之研究可知，利用溫室兩側塑膠布之啓閉，可以達到適度之增溫。在減少熱累積方面，其控制用風扇降溫極限即是接近大氣乾球溫度。

圖4a之溫室環控溫度條件為29°C，當日最高溫度為28.5°C，因此此為典型之溫室效應。由圖中大氣溫度之起伏變化可知海島氣候下溫度之不穩定性。溫室內部溫度經環控設備調整之後其分佈則趨向平緩，最大偏離值出現於正午12時~13時之間，但低於2°C。

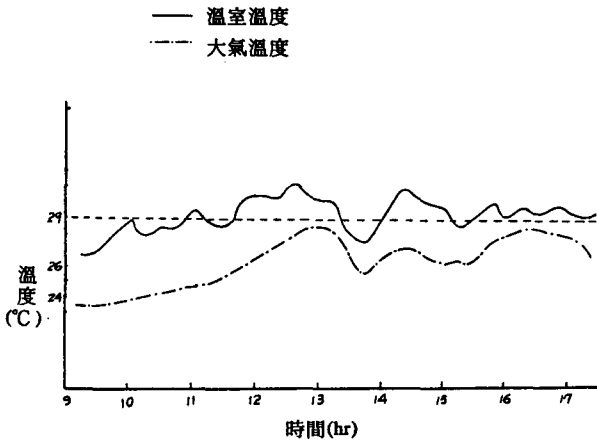


圖4a 溫室溫度控制性能

圖4b之溫室內部溫度控制條件為31°C時，與當日大氣溫度比較，亦為加溫與避免熱累積之應用，當日正午時因雲層與小雨使氣溫急劇下降，環控系統在此之控制結果可避免內部溫度受其劇烈影響，內部溫度與大氣溫度之比較結果，環控作業有兩種作用：1.更接近設定值，2.溫度變化較為平穩，可利用植物成長。

圖5代表應用間斷式噴霧裝置進行蒸發冷卻以達到降溫效果，利用此方式可使溫室內部溫度低於大氣溫度約1.0~2.0°C。相對濕度則可維持70%以上，溫度之實際控制結果與預設目標31°C雖有較大偏離量，但溫室內部之熱累積已大為減少。

噴霧冷卻性能之影響因子包括噴霧間隔時間、霧粒大小、噴霧量、通風扇風量....等，詳細之性能研究有必要加強執行。

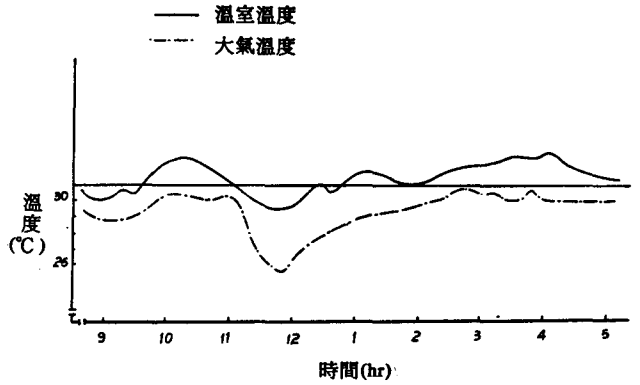


圖4b 溫室溫度控制性能

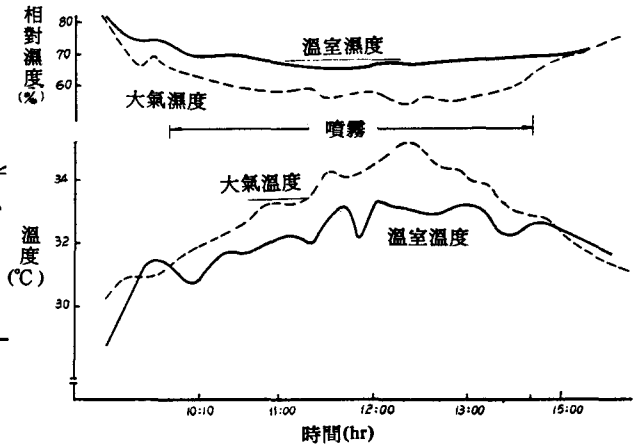


圖5 噴霧作業性能

### (四) 耐久性能

此環控系統共經八個月的長期測試，由使用者設定各種環控條件以進行塑膠布溫室測試，此段期間除例行線路之檢查維護，無任何嚴重損壞。

### (五) 環控系統之擴充能力

此環控系統所指揮的環控設備有兩側捲起，風扇、噴霧與外遮蔭設備。但其環控能力可依環控設備之增設而加以增加。可增設之設備如下：

1. 遮蔭網：可增加為多重遮蔭，以符合不同之環控日照強度要求，日照量之設定可改為以累計日照量控制。
2. 太子樓頂：此為固定式屋頂開啓設備，可改為活動式天窗，以增加保溫加強能力。
3. 兩側捲起：可以以多段調整方式，以不同之捲

起高度以調整溫室換氣率而進行環控。

- 4.通風扇：可設定風扇調整，以不同通風速率進行環控。
- 5.噴霧：噴霧間隔的時間可加以設定調整，用以執行降溫設定。
- 6.屋頂灑水：溫室屋頂可加裝灑水裝置，在作業時形成水膜以調整溫室內部光質與日射量。

上述之環控設備與相應之環控策略都可以加以設定並擴充於現有之環控系統，更多之環控設備與更複雜之環控策略可使溫室微氣候控制更為精密，但是使用成本相對提高。

#### (六)溫室環控之未來展望

針對此研究中環控系統之開發與測試，對國內溫室環控系統之研究有如下之展望。

##### 1.溫室栽培合理化規劃

溫室環控能力受到溫室本身結構，覆蓋材料與溫室所在地區自然氣候與季節變化之限制，環控設備只能在其環控極限之內進行環境控制，而無法超越環控極限，因此利用溫室栽培之前題應是因時因地規畫適合於溫室內部生長之作物，而依作物之生長要求再設計適用之溫室。

##### 2.環控系統之控制性能與使用成本

環控設備愈完備，環控策略愈複雜，在環控極限內所能控制之微氣候則更為精確，但其使用成本則更高，因此環控系統在應用時應結合作物生長之控制需求，並考慮環控之成本。

##### 3.擴充環控系統之應用

本研究開發之環控系統可加以擴充應用至高產、水產養殖之環境控制，例如噴霧降溫設備即適用於開放式畜舍夏日熱緊迫(Heat stress)之紓解，在擴大使用範圍時，其成本即可相對之降低。

## 五、結 論

本研究之目的在於以國內農民使用之塑膠布溫室為環境控制研究對象，利用本國工業界所提供之技術開發適用本國環境之環控系統。此控制系統能接受外界溫、濕度與日照能量訊號，經邏輯環控電路與設定條件加以比較，判別後決定最適切之控制方式以指揮各種環控設備執行動作。此環控系統經由耐久試驗顯示其控溫精確度於2℃以內，無異常故障情形，其組件可分別執行各單項環控需求。

## 六、誌 謝

本研究承行政院農委會經費補助(計畫編號：81自動化—糧—01—11)特此誌謝。

## 七、參考文獻

- 1.林安邦。1991。溫室自動化控制與管理系統。農業生產自動化特刊第一輯PP.41—48，林達德等編。台北：農業機械化研究發展中心。
- 2.游俊明、吳世偉。1992。花卉育苗設施環境控制之研究。桃園—農機—九。農林廳所屬各場所八十一年度農試驗研究計畫執行成果。中興新村：農林廳。
- 3.高復國、唐棠。1992。液體除濕技術於農業溫室應用。工研院能源與資源研究所液體除濕技術應用說明會手冊。新竹：工研院能源與資源研究所。
- 4.梁亞忠、郭幸榮。1991。林業溫室條件序控系統之研究。台大實驗林研究報告5(2):17-30。
- 5.陳加忠、曹之祖。1990。電子相對濕度計之性能評估。農業工程學報36(4):79-96。
- 6.陳加忠。1991a。溫室栽培自動化之展望。農業生產自動化特刊第一輯。P.49-61，林達德等編。台北：農業機械化研究發展中心。
- 7.陳加忠。1991b。研習種苗生產及溫室栽培自動化報告。台中農試所。
- 8.陳加忠、陳志昇、黃照明。1992a。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。
- 9.陳加忠、陳志昇、黃照明。1992b。溫室環境模式之研究(II)數學模式分析。中華農業研究。41(1):90-114。
- 10.陳加忠。1992c。農用日照計之性能試驗與評估。中華農業研究。41(2):216-224。
- 11.陳加忠、陳志昇。1992d。遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究。中華農業研究。41(3):排印中。
- 12.陳加忠。1992e。荷蘭溫室之結構與環控設備。農業生產自動化特刊排印中。林達德等編。台北：農業機械化研究發展中心。
- 13.黃東瑞。1991。自動控制在農機上的應用—溫室環境自動控制技術簡介。台糖公司訓練中心農機油氣壓訓練班講義。台南：台糖研究所。

14. 鄭榮瑞。1992。溫室自動化系統之研究(三)設施園藝之研究與技術開發七十九及八十年度研究成果報告, P.360-355。台北:農業委員會。
15. 西貞夫。1988。施設園藝handbook。日本施設園藝協會。
16. Davis, P.F. 1984. Technique of adaptive control of the temperature in a greenhouse using ventilater adjustments. JAER 29:241-248.
17. Feuilloley, P., C. Mekikdjan and F. Sevila. 1990. Static aeration in greenhouse. ACTA Horticulturae 281:175-182.
18. Giacomelli, G.A. 1991. Climate control of greenhouse environment, New Jersey Agricultural Experiment Station Paper No. 1-01310-12-91, New Brunswick, N.J. USA: Rutgers University.
19. Hooper, A.W. 1986a. Environmental control in the NIAE greenhouses. 1. The microcomputers. Dn. 1 320. Silsoe, Bedford, U.K.:National Institute of Agri.Engin.
20. Hooper, A.W. 1986b. Computer control of the environment in the NIAE research greenhouses. 2. Enhancements to the control and monitoring software DN. 1352 Siloe, Bedford. U.K.:National Inatitute of Agri. Engin.
21. Hooper, A.W. 1987. Software for monitoring and controlling the Venlo greenhouses, DN. 1407. Silson, Bedford. U.K.:AFRC Institute of Engineering Research.
22. Hooper, A.W. 1988. Computer control of the environment in greenhouses. Computers and Electronics in Agriculture 3:11-27.
23. Jacobson, B.K., P.H. Jones, J.W. Jones and J.A. Paramore. 1989. Real-time greenhouse monitoring and control with an expert system. Computers and Electronics in Agriculture 3:273-285.
24. Kozai, T. 1985. Ideas of greenhouse climate control based on knowledge engineering techniques. ACTA Horticulturae 174:365-373.
25. Matthews, R.B. and R.A. Saffell. 1986. Computer control of humidity in experimental glasshouse. JAER 33:213-221.
26. 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. St. Joseph, MI:ASAE.
27. Netherlands Normalisatie-instituut. 1991. Standards committee 315-37"Greenhouse".
28. Saffell, R.A. and B. Marshall. 1983. Computer control of air temperature in a glasshouse. JEAR 28:469-477.
29. Stanghellini, C. and W. TH. M. VAN Meurs. 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration. JEAR 51:297-311.
30. Tantau, H.J. 1985a. Analysis and synthesis of climate control algorithms. ACTA Horticulturae 17 4:375-380.
31. Tantau, H.J. 1985b. Greenhouse climate control using mathematical models. ACTA Horticulturae 174:449-460.
32. Udink Ten Cate, A.J. 1987. Analysis and systems of greenhouse climate controllers. In:"Computer Application in Agricultural Environments" ed. by J.A.Clark, P.1-18. U.K.:Butterworths. Pub.
33. Verlodt, H., Ph. Verheye. 1991. Comparison of different systems for static ventilation of hemispheric plastic greenhouse. ACTA Horticulturae 281:183-198.
34. Willitis, D.H., T.K. Karnoski and W.F. Mc Clure. 1980a. A microprocessor-based control system for greenhouse research:I:hardware. Trans. of the ASAE23(3):688-692.
35. Willitis, D.H., T.K. Karnoski and W.F. Mc Clure. 1980b. A microprocessor-based control system for greenhouse researcha:I:software. Trans. of the ASAE23(3):693-698.

收稿日期：民國82年2月 3日  
 修正日期：民國82年2月16日  
 接受日期：民國82年5月15日