

溫室內溫度量測與環控系統效能評估¹

何榮祥、鄒佳倫、蕭艾茹²

摘 要

本研究主要在發展一種簡易、快速及準確性佳的驗證方式，量測溫室內部環境作物生長層溫度分佈狀態，以評估溫室環境控制設備之效能是否符合使用者的預期。研究利用無線感測器網路感測器模組，量測溫室內部作物生長層溫度資料，並傳送至後端處理器做資料分析處理，資料處理方式以統計模式中反應曲面設計法，標示植物生長層之位置與溫度變化之間的關係，結果再藉由連續立體圖形顯示溫度分佈狀態，讓系統管理人藉此視覺化顯示介面，立即瞭解其溫室內部溫度動態分佈，以評估和改善溫室環控設備運作之效能。以本次所使用之溫室為例，在環控設備全數啟動降溫狀態下，植物生長層溫度分佈呈凹向上趨勢，其中央溫度較西側低約1.2°C，較東側低約3°C。顯示此溫室縱軸之中間位置，氣流交換量較兩側縱軸交換量高，且有向西側偏移現象，故須調整風扇位置以提升兩側之通風量。

關鍵詞：無線感測器網路、反應曲面法、溫室系統效能評估。

前 言

國內自1911年代開始大力推廣設施栽培，至今20餘年來各種形式設施結構不一而足，從簡易塑膠布防雨結構到完全與外界隔離的精密環控型溫室均有其各自運用空間，但無論使用何種設施，必然改變作物栽培環境的微氣候因子，其影響程度與範圍隨著設施結構的配置與所在位置的週邊環境而異，因此設施內部微氣候環境是否合乎使用者預期，應予詳細調查評估，尤其在高價花卉生產之精密溫室，通常會運用風扇、水牆與遮陰網等環境控制設備，調節溫室內部微氣候環境，以提供所栽培作物生長所需之最佳需求，希望藉由外部資源的投入，提升其產品品質與產量，以增加經營者的收益，達到高投入與高報酬之目標。根據研究顯示，溫室內微氣候環境對作物生長影響，主要以作物生長範圍為主^(1,2)，盆栽花卉如蝴蝶蘭者與高莖者如蕃茄、甜椒，其生長空間並不相同，相關環境控制系統設備配置與操作模式應以目標作物生長空間所需進行配置與調控，如此方能有效達成系統操作目標，並更進一步節省能源的投入，目前業者環境控制設備配置與操作各依其經驗為之，相關設備操作是否達到最佳作

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0748號。

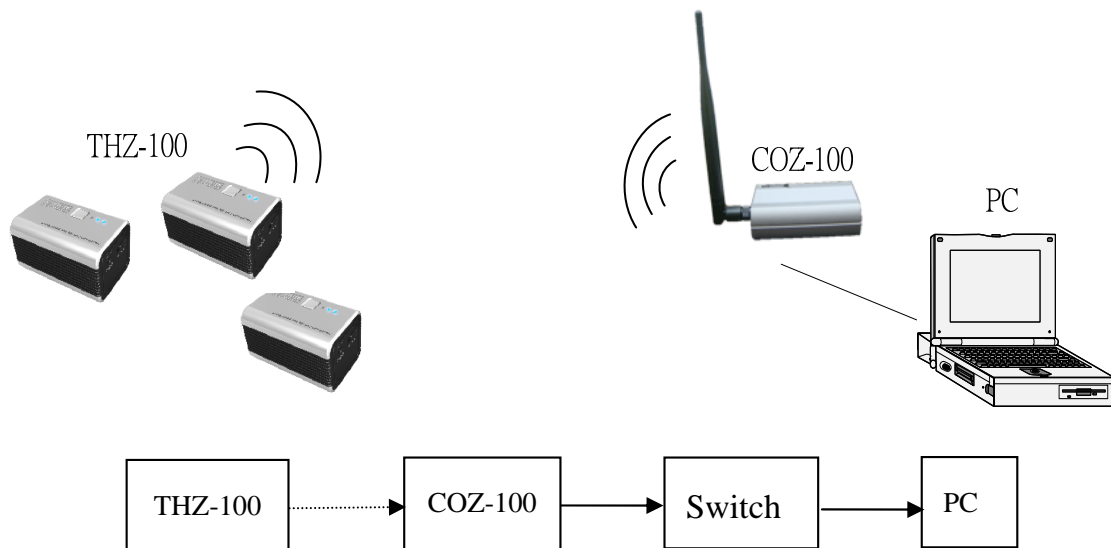
² 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究員、研究助理、研究助理。

業效果，溫室內部環境是否能達到使用者之預期狀態尚須仔細進行評估。傳統量測方法需於溫室內部進行感測器安裝與佈線，此種方式費時、費工，而且會對溫室內作物栽培管理作業產生干擾，操作難度甚高。

隨著無線感測器網路(Wireless Sensing Network, WSN)技術與設備之快速發展，其中 ZigBee聯盟基於IEEE 802.15.4所制定出的無線傳輸技術，其設備具低耗、無須佈線與快速部署之特點⁽³⁾，使用上不會對原有之生產作業造成干擾，新的技術使原本不易施作的量測工作得以大幅簡化並順利進行。本研究利用此傳輸技術之優點，快速取得溫室內部植物生長層區域面上的溫度分佈狀態，配合統計分析軟體計算其溫度分佈曲面，再使用繪圖軟體，以立體圖形顯示溫室內溫度分佈狀態，讓系統管理人藉由此視覺化效果，立即瞭解其溫室內部作物生長層溫度場之分佈狀態，以評估和改善其溫室環控系統之作業效能。

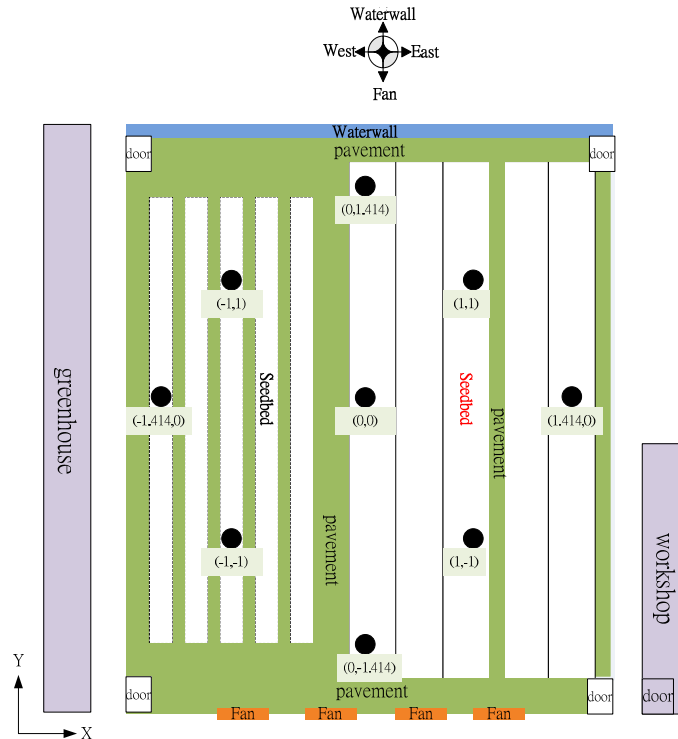
材料與方法

1. 使用硬體包括Pentium4 2.8GHz之桌上型電腦、Sensing TEK COZ-100訊號接收模組、Sensing TEK THZ-100溫濕度感測器(-10~50°C/±0.5°C @ 25°C，0~100%RH/±4.5% RH @ 25°C)。
2. 力霸鋼架結構玻璃溫室一棟，呈南北向設置，寬19.2 m，長度28 m，環境控制設備設置有水牆、風扇。
3. 系統組成示意如圖一、溫室內外配置如圖二。



圖一、感測系統組成示意圖。

Fig. 1. The sensing system composition diagram.



圖二、溫室內外配置。

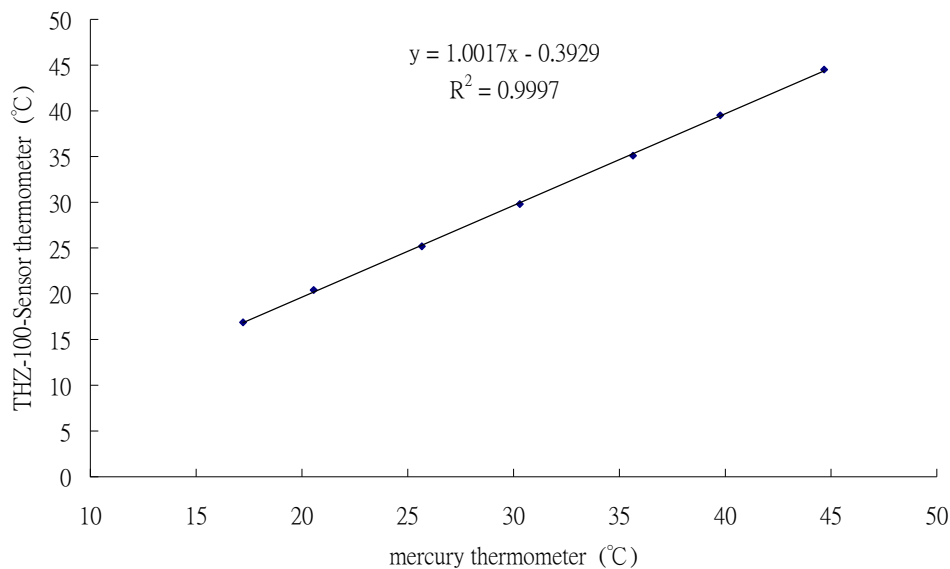
Fig. 2. The greenhouse internal and external configuration.

4. 軟體方面：Sata Center v1.1.3做即時監控、ZB Engineering Tool v1.2.1做群組及試驗條件設定、SPSS統計軟體做迴歸分析、SigmaPlot 8.0做立體曲面繪圖顯示。
5. 感測器THZ-100 在溫室內配置方式，以反應曲面法設計(Response Surface Methodology, RSM)二維度2因子中央合成設計的方式設置。感測器安裝於植床上方50 cm，其上方並予適當遮蔽，以避免陽光直接照射，影響感測器之正常運作。感測器網路拓樸方式以星狀網路傳輸連結，監測資料每30秒傳送1筆。
6. 試驗設定條件：實驗地點方面，對照組和實驗組使用同一溫室；對照組的溫室採自然通風，無任何控制系統作用；實驗組溫室環境控制系統設定為27°C放下兩側捲揚、28°C啟動中間2個風扇、30°C啟動溫室全部4個風扇、32°C啟動溫室全部4個風扇及水牆。
7. 試驗結果分析：利用SPSS統計軟體做迴歸分析，使用SigmaPlot軟體繪製立體曲面，顯示植物生長層之每一整點小時在溫室內溫度分佈狀態，其中每一佈點位置之統計數值取每一整點小時前後共10筆資料進行運算分析。

結果與討論

THZ-100溫濕度感測器溫度校正

為確保實驗過程所量測溫度值之正確性，首先將將所使用的25個THZ-100溫濕感測器同時置於恆溫加熱乾燥箱內，並以標準水銀溫度計進行校驗，試驗溫度範圍設定在17~45°C，其結果如圖三，在迴歸分析中兩者差異值，THZ-100感測氣溫度測定值與標準水銀溫度計 相關係數 $R^2=0.9997$ ，顯示THZ-100溫濕度感測器溫度感測性能合於試驗所需。



圖三、標準水銀溫度計與感測器 THZ-100 溫度值之校正。

Fig. 3 .The calibrations between standard mercury thermometer and THZ-100.

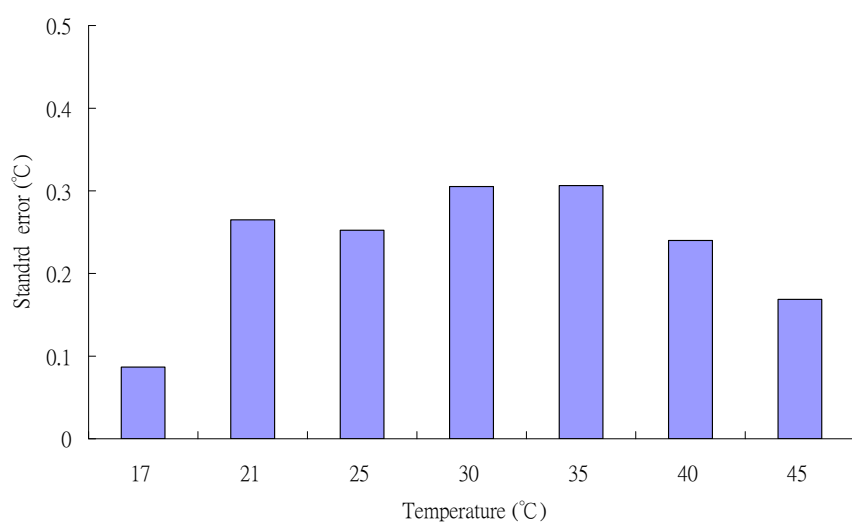
THZ-100溫濕度感測器之間溫度差異

試驗使用25個THZ-100感測器同時置於恆溫加熱乾燥箱中，利用恆溫加熱乾燥箱在特定溫度控制下，檢驗試驗用25個感測器之間溫度量測誤差，試驗溫度範圍設定在17~45°C之間，在所設定之7個溫度條件下，感測間之量測誤差值結果如圖四，各感測器間溫度量測標準差最高為0.3°C。

THZ-100溫濕度感測器資料封包回傳率測定

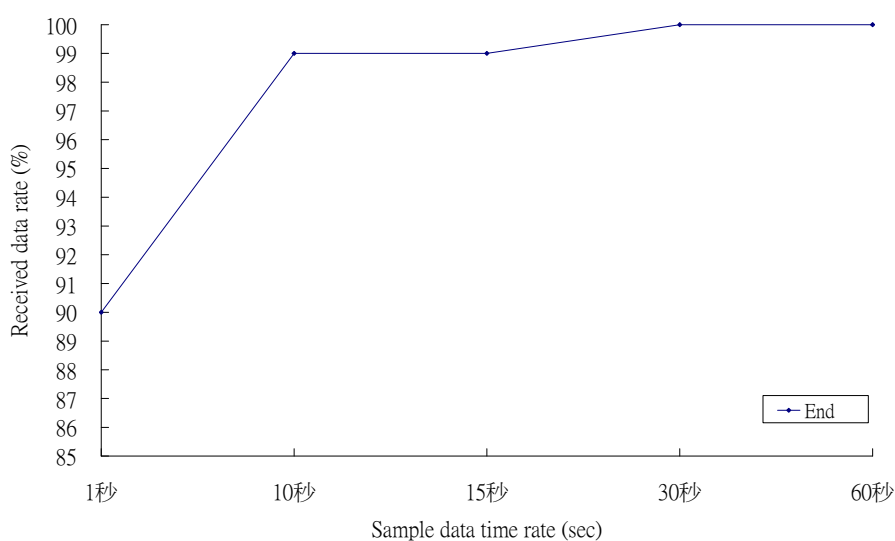
無線感測模組的資料傳輸之穩定性和可靠性直接影響是否能長期穩定運作，而通訊效能的差異性常導致資料可靠度有所不同。依據Oshaughnessy et al., 2008提出在Field-WSN (星形網路分佈)和Pivot-WSN (網狀型網路分佈)兩種網路分佈模式中，以42天試驗期來說，Field-WSN平均封包回收率有9成皆能維持在93%狀態，而在Pivot-WSN形態下，平均封包接收率9成狀態只能維持71%的封包回收率，其干擾原因可能是由於支點的橫向傳輸受金屬硬體所影響；在網路性能方面，以廣播通訊模式和網狀網路通訊模式相比較，發現前者訊號接收延遲時間比後者通訊模式減少37%延遲傳輸速率⁽⁴⁾。本試驗使用星形網路分佈和廣播通訊模式，

為有效評估其資料傳輸穩定性和可靠度，在試驗場地範圍內，同時使用25個THZ-100感測器進行測試，測試感測器同時分別以1、10、15、30、60秒等不同時間間隔發送一筆資料，進行訊號接收模組(Coordinator COZ-100)回收資料封包數回傳穩定試驗，每一傳送時間間隔試驗均以1500筆資料傳送為基準。試驗結果如圖五，感測器THZ-100以10秒和15秒發送一筆資料時，訊號接收模組COZ-100可回收99%感測器THZ-100所傳送資料筆數，若感測器THZ-100以30秒和60秒時間間隔發送一筆資料，則資料回收率可高達100%，因此後續試驗選擇以30秒為資料傳送間隔。



圖四、感測器 THZ-100 之間溫度標準差。

Fig 4. The temperature standard error of THZ-100.

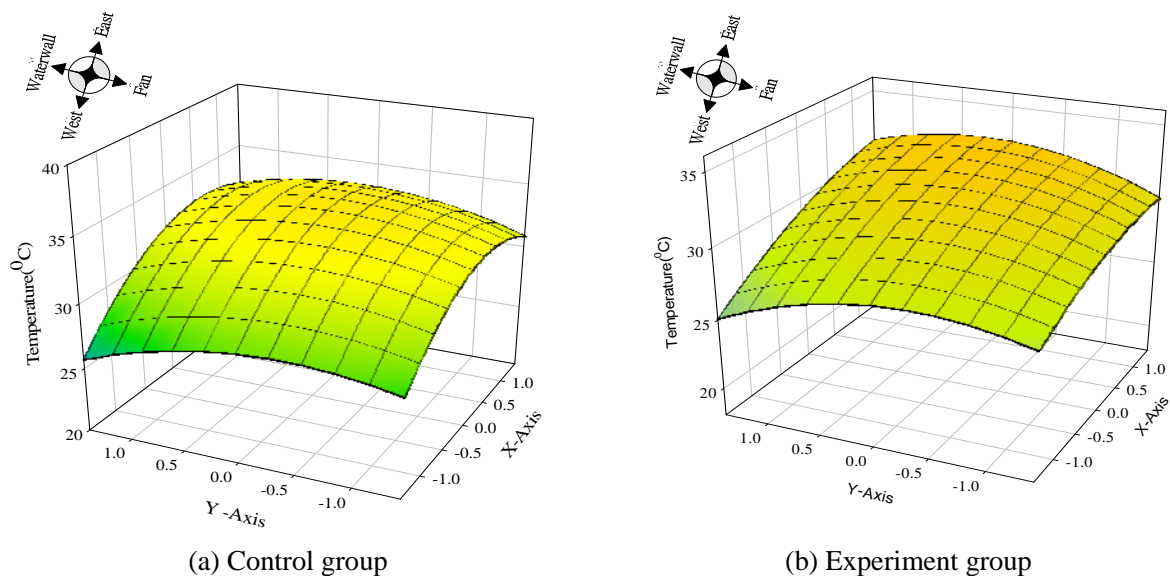


圖五、訊號接收模組資料回收比率。

Fig. 5. Coordinator COZ-100 data received rate.

環控設備運作效能與溫度分佈測試

試驗在2009年10月間進行，實驗組和對照組使用同一棟溫室，依序進行，各為期一週，由設備限制試驗無法同時進行，故無法指出同一時間，溫室內微氣候環境，在有、無環境控制設備操作狀態下的差異量，但本試驗主要在分析其系統溫度分佈狀態，而此與整體試驗目標並無衝突，因此以下皆以系統現象來說明此溫室溫度分佈狀態。試驗結果顯示，實驗組和對照組在下午7點至第二天早晨6點之間，由於時序已入秋，入夜後大氣溫度下降，平均溫度約在25°C以下，各項環控設備均已停止運作，此時實驗組與對照組皆無使用外部設備進行環境溫度調控，溫室內部溫度與外部環境相同，此期間量測所得之溫度面皆呈現均勻分佈，且緩慢下降，直到次日上午7點起始溫度開始呈現小幅上升趨勢，此因太陽升起後熱源增加所致，但其溫度面仍呈均勻分佈狀態。隨熱量的移動與溫室內外的配置影響，測量時間從早上八點鐘至十點鐘，溫室內東北方溫度明顯上升聚熱，溫室內部溫度逐漸上升，對照組的溫室中央部位溫度上升較快，溫度分佈面開始呈現凹向下趨勢，溫室中央部分溫度明顯高於兩側，其溫度分佈趨勢如圖六；對照試驗組，依環控設備控制條件設定條件，此時溫室狀態為兩旁捲揚已放下，並啟動中間2個風扇作降溫功能，此時溫度分佈面東側面較西側面高，整體溫度面雖亦呈現凹向下趨勢，但與對照組之溫度平面彎曲情形相較，其圖型顯示較為平緩，顯示啟動溫室中央兩個通風扇進行降溫動作，中央聚熱情形明顯低於對照組，其溫度分佈趨勢如圖七。

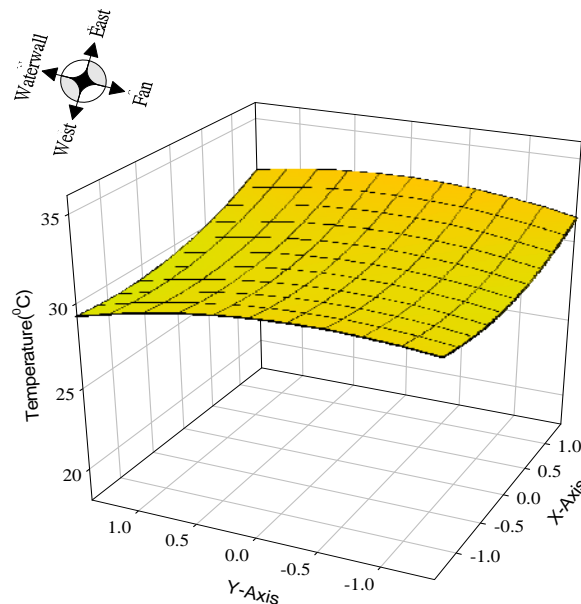


圖六、溫室內作物生長層於早上 10 點鐘溫度分佈狀態圖。
Fig. 6. Temperature distribution in growth layer at 10:00 A. M.

上午11點鐘，隨著氣溫逐漸上升，對照組溫度分佈繼續呈現凹向下趨勢，其中中央部位溫度快速上升，溫度分佈面凹向下情形明顯加劇。此時實驗組之環控系統，測得溫度中間軸位置為30.6°C，依環控條件設定啟動4個風扇進行降溫功能，此時生長層溫度面形狀由凹向下形

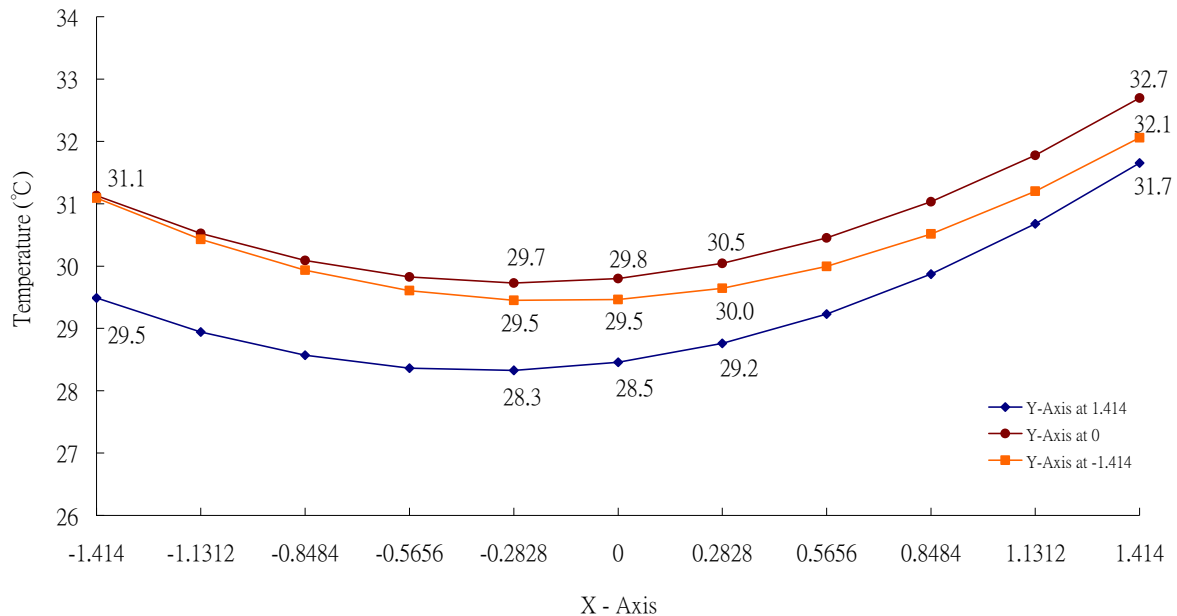
狀，開始轉變為由東向西呈現輕微傾斜下降的平面狀分佈，顯示系統通風量上升，對溫室中央部位降溫效果明顯提升。中午12點實驗組依溫室環控系統條件，啟動4個風扇和水牆進行降溫，此時溫度分布面由原本凹向下圖型反轉呈現凹向上趨勢，顯示啟動水牆降溫效果明顯。下午1點鐘實驗組環控系統測得最高溫度達 32.7°C ，系統延續前一小時之控溫方式，其溫度分佈如圖七，此時以中央軸線取溫室靠水牆側、中間位置及風扇側三個位置($Y=1.414, 0, -1.414$)，分析東西兩側即X軸方向溫度差異(圖八)，在水牆側因為水牆所產生之降溫效果，其整體溫度最低，溫度最低點與西側溫度差 1.2°C ，與東側溫度平均差 3.4°C ；隨著氣流往風扇方向移動過程，空氣逐漸升溫，比較中心點位置與風扇側空氣溫度，其溫度分別上升 1.2 與 1.4°C ，再分析其X軸向溫度分佈，當空氣經過溫室中間部位時空氣溫度已經達一穩定值，顯示水牆降溫效果所影響距離僅在水牆至溫室中間位置，另外整體溫度分佈，中間偏西側部分溫度最低，東側位置溫度又較西側為高，顯示環控系統在氣體交換量主要在中軸線偏西部分，對照試驗用溫室結構設計顯示，為遷就環境控制系統電器配盤位置，四個通風扇向西側偏置，風扇位置並未採平均對稱配置，因此溫度分佈並未如預期中，以南北中心軸線成左右對稱分佈。

隨溫室外日照輻射熱的減少，測量時間在下午5點鐘以後，隨著外部環境溫度下降，溫室內部溫度因自然散熱作用亦逐漸下降，環控系統各項設備也停止作動，對照組與實驗組溫室內部溫度面分佈逐漸隨外部溫度緩慢下降，整個溫度面回復最早的平面狀態。



圖七、實驗組下午一點鐘之溫度分佈。

Fig. 7. Experimental group at P. M. 13 o'clock



圖八、實驗組下午一點鐘之 X 軸溫度分佈。

Fig. 8 . Experimental group at P. M. 13 o'clock for X-Axis.

結論與建議

現階段大規模使用完全控制型溫室進行農業生產，經濟上尚不可行，在資源有限情形之下，如何以最小資源投入，產生最大效益，是經營者最重要的課題之一，目前溫室環境控制設備設計上，溫度控方面主要以換氣量來計算，控制系統感測器一般設置於溫室中央，高度 1.5 m 左右的位置，在實際運作過程中，風扇位置配置是否正確，各個風扇操作順序是否正確，都會影響其作業效能，目前各個使用者主要依據其經驗來操作其設備，整體設備之運作是否，達到最佳化控制之目標有待評估，未來如果可以經由仔細量測、統計分析、繪圖等程序，透過立體曲面圖型顯示溫室植物生長層的溫度面分佈狀態，讓使用者能更正確掌握其系統運作狀態，必能提高整體設備的效能。以本項試驗使用溫室為例，運用無線感測器網路模組無須佈線的快速部署特性，快速取得作物生長層溫度分佈資料，分析結果顯示，實驗組在環控設備全系統啟動降溫狀態下，植物生長層溫度分佈面並未呈現一理想平面狀態，而呈凹向上趨勢，其中央溫度較西側低約 1.2°C，與東側低約 3°C。顯示此溫室縱軸之中間位置，氣流交換量較兩側縱軸交換量高，且西側氣體流量亦大於東側，經對照溫室硬體設計，其風扇排列為遷就控制設備安裝位置，以致未承對稱排列安裝，故須調整風扇位置以提升兩側之通風量。目前整個資料分析尚處於離線、批次處理階段，未來應更進一步將資料收集、統計分析與繪圖三個階段整合，發展成一具立即動態顯示的系統，對產業之應用應更有助益。

參考文獻

1. 孫睿鴻、陳世銘、陳毓良、邱奕志、張允瓊、廖國基、蔡錦銘、李柔靜 2009 無線感測網路於溫室內立體溫場量測系統之應用 p.796-801 2009年生物機電與農機科技論文發表會論文集宜蘭。
2. 陳加忠 2003 溫室微氣候量測技術http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_109.htm。
3. IEEE 802.15通訊規格<http://ieee802.org/15/pub/TG4.html>。
4. O'Shaughnessy, S. A. and S. R. Evett. 2008 Integration of wireless sensor networks into moving irrigation systems for automatic irrigation scheduling. Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers International (ASABE). June 29-July 2, 2008 Providence, Rhode Island. Paper No. 083452.

Evaluation on the Performance of Greenhouse Temperature Measures and Environmental Control System ¹

Jung-Hsiang Ho, Jia-Lun Zou and Ai-Ju Hsaio ²

ABSTRACT

In order to assess whether the efficiency of greenhouse environment control equipments meets user's expectation or not, the study focused on developing a simple, fast, and accurate verification method to measure temperature distribution of crops growth layers inside a greenhouse. Through wireless sensor network sensor module, the method measures temperature data of crops growth layers inside a greenhouse and sends the data to back-end processor for further analysis. To analyze the data, we applied Response Surface Methodology (RSM) of statistic mode to mark the relation between crops growth layers and temperature changes, and then show the temperature distribution status by using continuous 3-D images which allow system manager learn immediately how temperature distributes dynamically inside a greenhouse so he could assess and improve the efficiency of greenhouse environment control.

Take the greenhouse used in this research for example, when the environment control equipment was activated to cool down the greenhouse, the distribution of crops growth layers is an increasing convex curve. The temperature of central axle area is 1.2°C lower than the west side and 3°C lower than the east side. This distribution shows that in the central area of the greenhouse's north-to-south axle, wind is stronger than west and east sides, and the west side is stranger than the east side; therefore, the fans need to be relocated to enhance both sides' wind.

Key words: WSN, RSM, greenhouse environment control.

¹ Contribution No. 0748 from Taichung DARES, COA.

² Researcher, Assistant and Assistant of Taichung DARES, COA.