

以混合法推估溫室作物之耗水型態

Estimation on the Crop Water Consumptive Type of the Greenhouse by Combination Approach

農業工程研究中心助理研究員

國立臺灣大學農業工程學系教授

黃振昌

王鼎盛

Jenn-chang Hwang

Tin-sen Wang

摘要

本研究嘗試以結合能量平衡法與空氣動力法之混合法，藉實際在具有代表性之不同類型溫室之現場按裝儀器及其施測所得之溫室內、外氣象資料，進行溫室作物耗水型態之分析，得如下初步結論：

1. 所選10棟溫室所測得之內溫與外溫之比值，即A、B值，均呈現 $A > B$ 之現象，而且，據此連同其他微氣候資料而推估之參考作物需水量比值，亦呈 $ET_i/ET_o > ET_i/ET_o$ 之現象，顯現「溫度」是溫室微氣候中重要、明顯之指標。

2. 風速，水汽分子蒸發散飄向大氣之動力媒介，但與作物蒸發散量之相關程度，並不是很高，從分析結果顯示，亦獲有相同結論，即設施內、外風速比值大於1， $C > 1$ ，則 ET_i/ET_o 或 $ET_i/ET_o < 1$ ，反之，設施內、外風速比值小於1， $C < 1$ ，則 ET_i/ET_o 或 $ET_i/ET_o > 1$ 。

3. 從10棟不同代表類型之溫室，依施測資料分析之結果，大致可概分出不同類型之溫室，相對地，具有之不同作物耗水型態，分列如下：

(A). 以塑膠材料為覆蓋材、通風良好且溫室效應不高者，其室內與露地栽培之作物需水量大致一樣，即溫室之作物需水量與露天作物栽培具相等之作物需水量 $ET_i = ET_o$ ，如：台中農業改良場簡易溫室、大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室、嘉義農試分所網溫室及台大梅峰連棟溫室等五棟，即是屬於1:1之類型。其中，又以大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室及嘉義農試分所網溫室，均以自然通風之方式進行換氣而得等於或低於外氣溫之植物生長環境，由此觀點亦印證 $ET_i = ET_o$ 之結論。

(B). 玻璃溫室或塑膠溫室具有內遮陰網，或密閉而通風不佳之蘭花溫室，其溫室效應較高者之類型，如：台中農改場水耕栽培玻璃溫室，屬於 $ET_i = 1.25ET_o$ 之類型；烏樹林糖廠蘭花溫室、鳳山園藝試驗所太子樓溫室及省農業試驗所太子樓簡易溫室等三棟，屬於 $ET_i = 1.50ET_o$ 之類型，本研究所選10棟溫室中，兩棟太子樓式之溫室，都獲得 $ET_i = 1.50ET_o$ 之結果；清華蘭園長桁溫室，屬於 $ET_i = 2.00ET_o$ 之類型。

ABSTRACT

By means of ten greenhouses and microclimate data, this study takes combination approach to estimate the crop water consumptive type. Some preliminary results were obtained, they can be expressed as follows:

1. The ratio of inside temperature and outside, A and B , it shows A greater than B . Furthermore, estimating on the ratio of crop water requirements by others microclimate data which also shows $ET_{i1}/ET_o > ET_{i2}/ET_o$. From this we find that temperature is an important index of microclimate data in the greenhouses.

2. Water vapors into the atmosphere in evaporation process. Windspeed is not only a dynamic medium but also low relationship with evapotranspiration. This study proves same conclusion from measuring and analysing microclimate data. That is, $C > 1$, then ET_{i1}/ET_o or $ET_{i2}/ET_o < 1$. On the other hand, $C < 1$, then ET_{i1}/ET_o or $ET_{i2}/ET_o > 1$.

3. According to microclimate data collected and analyzed from ten greenhouses, we can categorize different kinds consumptive use of water as below:

A. Greenhouses with plastic shading materials, good ventilation system and lower greenhouse effect such as the tunnel-type greenhouse of Tai-Chung Agricultural Improvement Station, steep-type greenhouse of Ta-Lin Sugar Factory, shead-type greenhouse of Tsin-Li Orchid Gargen, totally-netted greenhouse of Chia-Yih Agriculture Research Institute and greenhouses of May-Fon of National Taiwan University, whose crop water requirements equal to that in the fields. Therein, the steep-type greenhouse of Ta-Lin Sugar Factory, shead-type greenhouse of Tsin-Li Orchid Garden and totally-netted greenhouse of Chia-Yih Agriculture Research Institute whose plant growth temperature are equal to or lower than that of outside. View of above description, this study confirms that $ET_i = ET_o$.

B. Greenhouses with glasses or shading materials inside of plastic house or bad ventilation system belong to higher greenhouse effect. For example, such as $ET_i = 1.25ET_o$, the glasshouse of Tai-Chung Agricultural Improvement Station; $ET_i = 1.50ET_o$, the orchid greenhouse of Wu-Su-Lin Sugar Factory, greenhouse of Feng-Shan Tropical Horticultural Experiment Station and greenhouse of Taiwan Agricultural Research Institute; $ET_i = 2.00ET_o$, the longitudinal type greenhouse of Chin-Hwa Orchid Garden.

關鍵詞：混合法、溫室、作物耗水型態

Keywords: Combination Approach, the Greenhouses, Crop Water Consumptive Type

一、前言

溫室 (greenhouse) 即是設施園藝 (horticultural production under structure)，乃是以農業設施來改善園藝作物之生長環境，以提高園藝作物之產量、品質，並調節產期之專業、集約之栽培技術。為解決大自然生態中，帶給糧食作物的部份影響，以人為之方式去製造一個人工氣象或是緩和一些對作物具有阻礙性之因素，設施園藝之技術即在此前提下因應而生，並挾藉：

1. 栽培省力化。
2. 克服連作障礙者。(水耕栽培時)
3. 不受天候、地形之自然條件約束。

等之優勢，突破傳統之農業經營方式；在未來農業經營策略朝向「精緻農業」發展的前提下，設施園藝區之普設，可以預期的，它是未來農業發展的新方向。

近年來，本省園藝作物之種植面積正逐年增加，集約式經營之設施園藝，發展更形快速，依統計資料顯示，民國80年設施園藝栽培面積已達2,965 Ha⁽¹³⁾，然而，設施園藝急速擴充之同時，在現今水資源極其寶貴，且各標的間用水及其紛爭劇增情況下，設施園藝區之用水問題，宜應未雨綢繆及早確立用水計畫，以為日後設施園藝區規劃水資源及設計灌溉系統有所依循。

設施園藝之用水量，是設施園藝用水計畫一系列相關課題中之一部份，乃是遂行生產活動所使用之全部用水量，這包括有：灌溉用水、冷卻加溫用水、除鹽用水、施肥用水、清潔用水及融雪用水等等用水；其中，又以和作物生育最直接關係——即作物需水量，且佔用水量相當權重之灌溉用水量，為最重要事項。

所以，本研究嚐試以結合能量平衡法與空氣動力法之混合法 (combination approach) —廣為應用並獲致相當評價之作物需水量間接推估式，藉實際在具有代表性之不同類型溫室之現場儀器按裝及施測所得之溫室內、外氣象資料，為設施園藝領域其溫室內之作物耗水型態，作一嚐試性之分析與探討，期提供未來設施園藝區規劃水資源及設計灌溉系統之參考。

二、使用材料及方法

從設施及其種類到設施內部之作物、氣象、土

壤等之作物生長環境分析，都攸關設施園藝作物耗水型態之推估，所以，本研究擬使用之材料及分析方法，將分作物需水量之推計、具有代表性不同類型園藝設施之選定、計測儀器按裝及施測、溫室內微氣候之分析等——敘述說明如下：

(一)作物需水量之推計

作物需水量 (crop water requirement 或 consumptive use) 亦即是作物蒸發散量 (evapotranspiration)，為作物葉面蒸散與地面或水面蒸發的總和，在灌溉應用上，是極重要之基本資料。無論在水資源開發、規劃、利用、管理以及現今各標的間用水劇增情況下，均為極受重視之參數。在農業領域，作物需水量常為作物發育成長之重要指標，於灌溉計畫之研擬，灌溉系統之設計，營運管理等均為必要之基本資料。

作物需水量與各氣象因子相關性之間接推估式，近二、三十年來，由於不少專家學者不遺餘力之研究與努力，先後發表甚多便捷、可靠之推估式，取代早期的直接量測方式。利用氣象資料，以為作物需水量之估算依據，尤其，於區域性之水資源規劃，或灌溉計畫之研擬，於某一信賴範圍內，更提供水文學家，農業工程師快速、可靠之估算方式，為農業先進國家廣泛的應用與重視。

作物之生長與低層大氣環境之各種氣象因子關係至為密切，影響作物需水量之氣象因子有日照、氣溫、濕度、飽和差、風速等，也因此常為專家學者依據此等因子來估算作物蒸發散量時之取捨因子，或取一、或取二、或取三等等，累積多年之試驗經驗，發展出間接推估之經驗公式，大致之分類有：

1. 溫度法 (temperature method)：如：Blaney-Criddle method (1945)、Thornthwaite method (1948)、聯合國糧農組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 之 FAO-Blaney-Criddle method (1977) 等。
2. 濕度法 (humidity method)：如：Ivanou method (1954)、Papadakis method (1966) 等。
3. 輻射法 (radiation method)：如：Hargreaves method (1956)、Jensen-Haise method (1963)、Stephens method (1965)、Makkink method (1957)、Turc method (1961)、聯合國糧農組織之 FAO-Radiation method (1977) 等。
4. 蒸發量法 (evaporation method)

5. 能量平衡與空氣動力混合法 (combination approach)^(14,19). 由於蒸發面汽壓及溫度資料不易獲得, 致使能量平衡法與空氣動力法在應用上有些不便, 所以, 混合法綜合上述兩種方法, 經過適當之轉換, 消除蒸發面性質之因素。於是獲致含有能量及空氣動力兩項的混合法, 估算參考作物需水量ET_o之方程式為:

$$ET_o = \left(\frac{\Delta}{\Delta + r} \right) \times \left(\frac{R_n - S}{\lambda} \right) + \left(\frac{r}{\Delta + r} \right) \times E_a \dots (1)$$

式中, R_n: 淨輻射量 (net radiation)

S: 土壤熱通量 (soil heat flux)

λ: 蒸發潛熱 (latent heat of vaporization)

$$\lambda = 595 - 0.51 \times T \dots \dots \dots (2)$$

r: 濕度常數 (psychrometric constant)

Δ: 飽和蒸汽壓力曲線斜率

E_a: 空氣中飽和蒸汽壓

(1)式, 為Penman method⁽¹⁵⁾ 於1948年所發表, 式中E_a包含有風速及飽和蒸汽壓力差兩項, 乃具有乾燥空氣水汽分子之能力; Penman並陸續於1952年, 1956年⁽¹⁶⁾, 1963年⁽¹⁷⁾修正(1)式裡內含之地域性經驗常數 (empirical parameter)。

上述介紹以間接方式推估作物需水量其應用上大致以:

1. 應用時之特有環境背景。
2. 只需數項之氣象資料。
3. 於某些地域有某種程度之準確性及可靠度等之優點, 因而受廣泛使用; 基本上, 可確認地, 利用氣候資料, 以氣象因子為指標之間接推估式, 由於具有快速、可靠、有效之估算方式, 所以廣為農業先進國家重視與應用。

然而, 影響作物需水量之氣象因子多而複雜, 其關係有單獨性亦有綜合性, 在實際應用時, 面對那麼多種之推估方法, 可能令使用者在選擇時、使用時疑惑的是: 到底要選那一種方法才能既合理又不失精確度? 依據Jensen (1974)⁽¹⁴⁾指出: 「作物需水量估算之精確度, 主要為, 決定於推估計算式描述蒸發散過程其物理意義之能力暨氣候及作物之基本資料」; Wartena (1974)⁽¹⁸⁾亦曾建議推估模式須盡可能包含所影響之氣象因子及以合理的物理觀點表之; 換言之, 合理之作物需水量分析, 是基於物理意義之演繹而儘可能涵蓋其所影響之因子, 方能趨於對整個複雜之蒸發散過程有完善之描述, 進而

提高推估計算式之精確度。而符合Jensen及Wartena兩位所說之原則, 即是上述之混合法; 實際應用上, 混合法無論國內或國外之使用, 均獲有很好之評價, 茲分述一、二如下:

1. 美國土木工程師學會 (ASCE) 灌溉排水分會 (Irrigation and Drainage Division) 旗下之灌溉用水量技術委員會, 於1974年⁽¹⁴⁾一篇「作物需水量及灌溉需水量」報告中, 曾列舉十餘種推估方法並對世界各地, 包括海岸 (coastal)、內陸 (inland) 及半乾燥至乾燥 (semi-arid to arid) 地區, 予以評析, 混合法以微小之均方根 (root mean square) 躋身前五名。
2. 施、黃氏⁽¹¹⁾, 於1987年, 在「作物需水量與氣象因子相關理論分析之研究」一文中, 曾以Blaney-Criddle method, Thornthwaite method, A-pan method及修正之混合法對1985年秋作玉米予以分析、比較, 發現修正之混合法以最少之偏差值 (bias) 有較佳之推估準確性, 其次, 依序為A-pan method, Blaney-Criddle method, Thornthwaite method。
3. 林、葉氏⁽⁶⁾, 於1987年, 在「簡易氣象資料模式用於估算作物需水潛量之研究」一文中, 也據以修正之混合法來估算作物需水潛能, 以作為田間管理用水之參考。
4. 施、黃氏⁽¹²⁾, 於1989年, 在「從氣象因子估算玉米需水量之研究」一文中, 再以上述四種方法, 對1985、1986、1987連續三年之秋作玉米予以分析、比較, 結果亦顯示, 修正之混合法及A-pan method, 以較少之偏差值, 較Blaney-Criddle method及Thornthwaite method具有適用性、準確性。
5. 陳氏⁽¹⁰⁾, 於1991年, 在「嘉義地區作物需水量推估之研究」一文中, 曾以修正之混合法, Van Bavel method, Priestley-Taylor method, Thornthwaite method, Blaney-Criddle method, Jensen-Hasie method及Hargreaves method進行1985年~1989年連續五年之A-pan蒸發量之比較、分析, 亦由於在所有引用之推估法中, 修正之混合法具有最高相關係數, 驗證修正之混合法其適用性與準確性, 進而推荐嘉義地區來推估應用。

有鑑於國內、外在推估作物需水量時, 採用混合法均有很高之評價, 所以, 本研究也因此予以採用修正之混合法, 針對所選定之園藝設施作嘗試性

地分析。今以ETi表示設施內之參考作物需水量，以ETo表示設施外之參考作物需水量，並假設設施內、外對同一作物具有相同之耗水特性，即具有相同之作物係數Kc值，如是，設施內、外各特有之氣象條件而所具有的作物需水量，吾人可得如下：

$$\text{設施內：ETi} = KcETi \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{設施外：ETo} = KcETo \dots\dots\dots(4)$$

將(3)式(4)式相除，得

$$ETi = (ETi / ETo) \times ETo \dots\dots\dots(5)$$

將(5)式移項整理得：

$$ETi = (ETi / ETo) \times ETo \dots\dots\dots(6)$$

即以設施外之作物需水量乘上設施內、外之參考作物需水量之比值，即可得到設施內之作物需水量值，所以，以下之分析，便按所測得之氣象資料，依設施內、外分別代入ETi及ETo之推估式而求得，其中：

1.以溫度T及相對濕度R代入(7)式，得露點溫度Td，並進一步代入(8)式，得飽和蒸汽壓E，及(9)式得飽和蒸汽壓力曲線斜率 $\Delta = dE/dT$ ：

$$Td = T - (14.55 + 0.114 \times T) \times R - [(2.5 + 0.007) \times T \times R]^3 - (15.9 + 0.117 \times T) \times R^{14} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式中， $R = 1 - (\text{相對濕度} / 100)$

$$E = 33.8639 \times [(0.00738 \times T + 0.8072)^8 - 0.0000191 \times (1.8 \times T + 48) + 0.001316] \dots\dots\dots(8)$$

$$= dE/dT = 33.8639 \times [(0.05904 \times (0.00738 \times T + 0.8072))^7 - 0.0000342] \dots\dots\dots(9)$$

2.依混合法公式使用規定，施測項目風速及日射量，須做適度轉換才不致失誤，即風速計測單位如是m/s，須轉換成Km/day；日射量計測單位是W/m²，須轉換成Ly/day。

3.混合法內之空氣動力項——風速函數（wind function），本研究沿用Penman之建議值，並按慣例應用方式，也假設土壤熱通量（soil heat flux）為零，予以忽略不計。

4.Rn淨輻射量（net radiation）以(10)式估算之：

$$Rn = (1 - \alpha) \times Rs [1 - C_1 - C_2 \times \sqrt{Ed}] \times \sigma \times T^4 \dots\dots\dots(10)$$

(10)式中， α ：反照率（albedo），在大多數綠色作物之覆蓋，其值範圍大約是0.20～0.25，本研究依Jensen（1974）之建議⁽¹⁴⁾， α 取用0.23

Rs：日射量

C₁、C₂：地域性參數，由於國內目前尚無此方

面資料，本研究依Jensen(1974)之建議⁽¹⁴⁾

，C₁ 採用0.39，C₂ 採用-0.05

σ ：Stefan-Boltzmann常數

T：溫度，以絕對溫度表示

Ed：露點溫度之飽合蒸氣壓，實用上常以(7)、(8)式計算得之

(二)具有代表性不同類型園藝設施之選定

設施園藝之作物生長環境，在外氣候之變化情況下，形成與露地栽培方式不同之特殊微氣象環境，其影響之諸因素錯綜複雜，如：外氣候、設施構造及設備、作物群落等等，從設施外之氣候到設施內之氣候、作物等無不包括，所以，本研究為週全考慮因素，擬依如下幾個原則進行，具有代表性之不同類型園藝設施之挑選：

1.園藝設施之形狀

園藝設施之結構形狀，有圓頂、山形、太子樓、齒狀及平頂，而以山形形狀最多，考量台灣夏季氣候特性而採自然通風的太子樓、齒形亦常見。故本研究所選10棟園藝設施，其中，山形5棟，太子樓及齒形有3棟，其餘為施工容易之圓頂式。

2.園藝設施之結構骨材

園藝設施結構體骨架材料，可分為木造、竹造、鋼骨、鋼管、鋁造、塑膠管及鋼筋混凝土RC等。材料強度（含軸向力及剪力）愈大所需斷面愈小而遮光愈小，故設施內可獲得更多之陽光。在緯度愈高地帶因光量低，大多採用纖細骨材，而本省緯度低日射量高，骨材斷面粗細對於溫室內光量的獲得，無決定性之先決條件，反而為抵抗強烈颱風的高強度材料為主要考慮因素。所以，本研究所選設施其骨材為鋼、鋁及木材者分別有7棟、2棟及1棟。

3.園藝設施之披覆材料

園藝設施所採用之披覆材料，會影響設施內日光之透過率及光質、溫度、濕度及空氣組成。一般所使用覆蓋材料材質有玻璃及塑膠類⁽¹⁾。其中以玻璃較為昂貴而塑膠較為便宜而普及，所以，本研究所選定之溫室中，披覆材料為玻璃者有3棟，以塑膠為披覆材料者有6棟，另一棟則是不銹鋼網。

4.園藝設施所在地區

氣候因子中，氣溫、雨量及日射量影響農作物生長與發育很大，而其中影響設施內之微氣候較大者有氣溫及日射量。氣溫、日射量與設施所在地

之緯度、高度、方位、溫室形狀及披覆材料息息相關。陳正祥氏根據桑士偉氏分類法將本省分為八區⁽⁸⁾。然由於本省之設施園藝大部分佈於西南區及限於經費和允諾測試難易情況，故本研究挑選之溫室，按地理分類則中部及南部分別有4棟及6棟。

5. 園藝設施栽培作物

作物之生育受環境諸因素所支配，單一環境因素不僅影響某一作物多重生理之變化，同時由於某一環境條件之變化亦連鎖地引起其他環境條件之變化（比如氣溫升高而空氣中所含水蒸氣量不變時，相對濕度必降低）。所以作物與環境間互為作用而且複合地作用，因此本研究選定設施中，除了栽培花卉之五棟外亦有觀賞植物、果菜、果樹及蔬菜。

綜合以上諸項因素之考量原則，選定之園藝設施及其各相關資料，經整理如表一所示。

(三) 計測儀器按裝及施測

1. 施測項目

- A. 溫度—園藝設施內微氣候中重要、明顯的指標。
- B. 相對濕度—空氣中水氣含量之指標。
- C. 日射量—溫室熱量的主要來源。
- D. 風速—水分子蒸發散速率快慢之動力媒介。
- E. 溫室大小尺寸、方位、測點分佈位置。
- F. 外氣候—包括溫度、濕度、風速、日射量等條件以做比對之用。

2. 計測儀器設備及用途

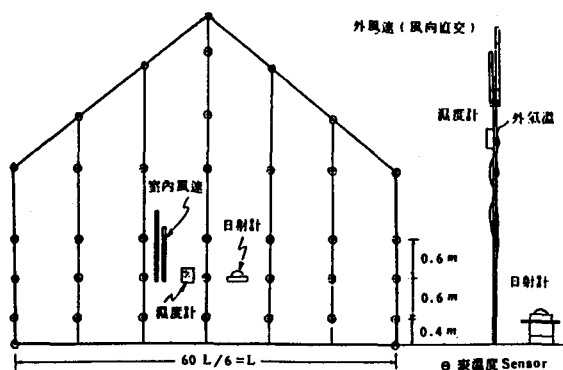
- A. 熱電偶補償線 (Thermocouple) : 38條 @ 50m
用途：與資料蒐集機連接，測取溫室內溫度及外氣溫共38點。
- B. 濕度計 (RHD-SD211型，含Power Supply) : 共2部
用途：與資料蒐集機連接，測取內、外相對濕度。
- C. 日射計 (含Module一部) : 共2部
用途：與資料蒐集機連接，測取內、外日射量。
- D. 風溫風速計 (KANOMAX, 主機及4支探棒) : 1部
用途：與資料蒐集機連接，測取內、外風

速資料。

- E. 揸式單點風溫風速計 (KANOMAX) : 1部
用途：隨時測取溫室某點之風速資料以便校正。
- F. 多點資料蒐集機 (FLUKE 2280A DATALOGGER) : 1部
用途：連接A~D項儀器，做定時間同步掃描，自動連續監測記錄資料。
- G. 16位元PC-AT電腦 (彩色MONITOR) : 1台
用途：將資料蒐集機與電腦連接，做檔案記錄，以進一步分析處理資料。
- H. 測量儀器 (皮尺、羅盤儀等) : 1部
用途：測量溫室尺寸、方位、測點位置等。
- I. 通風乾濕計 (ASSMANN VENTILATED METER) : 1部
用途：溫、濕度校正用。
- J. 穩壓器 (220伏特及110伏特) : 1部
用途：電壓轉換及穩壓用。
- K. 魚竿10支、標竿2支、旗座10個
用途：測點按裝用。
- L. 工具箱 : 1組
用途：實驗按裝所須之應用工具如起子、膠布等。
- M. 記錄本子 : 1本
用途：記錄日期、時間、天氣、溫室資料、測點資料及操作過程等。

3. 按裝




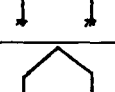
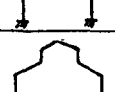



- A. 測點之按裝 (感測器部份) : 各測點之佈置如圖一所示。



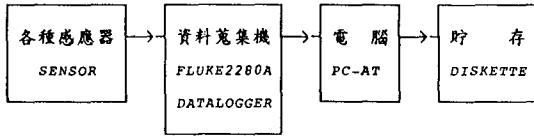
圖一 測點佈置圖

Fig.1 The locations of measuring points

表一 所選定之園藝設施及其相關資料一覽表

序 號	園藝設施 地點	構造內容					地面性質		栽培物情況		
		棟型	棟式	棟間距 (m)	骨架	被覆材料	室內	室外	種類	栽培床 高度(m)	其他
1	彰化縣大村鄉 台中農改場 (水耕栽培室)		單棟	5.8	鋁架	PE網(室內) 玻璃(屋頂)	混凝土走道 床下為土壤 地面	草皮	觀賞植物	階梯式架 高分別為 0.2,0.4, 及0.6	栽培床為 水耕栽培 箱
2	彰化縣大村鄉 台中農改場 果菜水耕栽培		單棟	4.0	鍍鋅管	PE網 PVC塑膠布	土壤地面	碎石地面	果菜 (蕃茄)	0.15	同上
3	嘉義縣大林鄉 台糖大林廠		單棟	大於 10.0	木架屋頂 混凝土柱	屋頂上方處為 針織網 屋頂為塑膠布 室內為可收放 之PE網	混凝土地面	菜圃 及生 植	蘭花	0.70	栽培床放 置盆栽
4	嘉義縣大林鄉 進利蘭園		單棟	大於 10.0	鋼架	PE網 PVC塑膠布 針織網	混凝土地面	混凝土	蘭花	0.70	同上
5	嘉義市 嘉義農試分析		單棟	4.0	鋁架	紗網(不銹鋼)	混凝土走道 餘為碎石地 面	部份混 凝土及雜 草地	柑橘育苗	無	使用盆栽
6	台南縣新營市 清華蘭園		單棟	3.7	鋼架屋頂 混凝土柱	玻璃(屋頂) 2層PE網	混凝土走道 餘為土壤及 植生地面	三側為稻 田一側為 連棟	蘭花	0.65	栽培床放 置盆栽
7	台南縣 台糖烏樹林廠		單棟	5.3	鍍鋅管 鋼架	PE網(內) PVC塑膠布 上方處針織網 可收放	碎石地面	碎石地面	蘭花	0.70及 0.75	同上
8	高雄縣鳳山市 園藝試驗所		單棟	12.0	鋼架	PE網 塑膠材質屋頂	混凝土走道 餘石地面	草皮	觀賞植物	0.60	非循環式 水耕
9	台中縣霧峰鄉 省農試所網室		單棟	5.9	鋼架屋頂 混凝土柱	玻璃	同上	碎石地面	果樹育苗	無	無
10	南投縣翠峰 台大梅峰 山地農場		三連棟	大於 10.0	鋅管	PE塑膠布 (內挾纖維)	碎石及土壤	土壤	草莓	循環式水 耕床高度 自0.75~0.95	水耕栽培 地面有盆 栽

B.系統安裝：感測器、資料蒐集機、電腦及貯存機等構成計測系統，如圖二所示。



圖二 計測儀器系統

Fig.2 The system of measuring equipment

4.施測步驟

- A.現場勘查決定施測断面及測點分佈，檢視電源位置、電壓大小及決定系統儀器放置位置。
- B.測點安裝。
- C.設定資料蒐集機自記程式。
- D.開始施測。開始時，以原始狀態（施測每半小時記取一次資料）或改變溫室狀態組合（如開天窗或通風扇等等）分段計測。
- E.測量溫室尺寸、方位、透過率、風速、測點座標等手記資料。
- F.拆除儀器。
- G.整理資料檔案。

(四)溫室內微氣候之分析

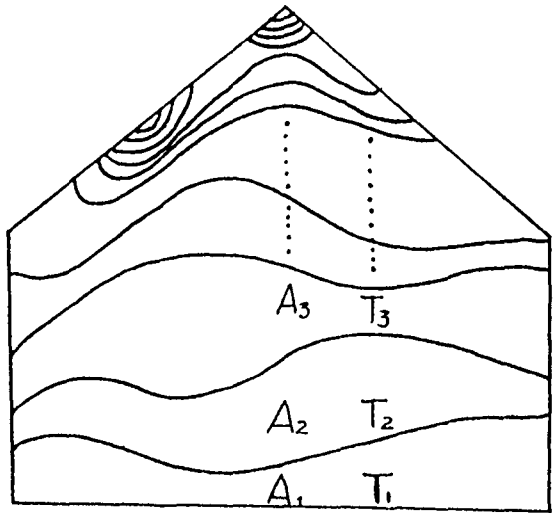
1.平均溫度

設施園藝內之各項微氣候，在能量平衡後，不論是披覆材料、室內空氣、室內濕度、植物溫度及土壤區塊等，都處於「均溫狀態」，即披覆材料、室內空氣、室內濕度、植物溫度及土壤區塊僅各由一物理量來表示，換言之，溫室內的各測點所測得之空氣溫度相當不均一，必須將實測值進行分析、整理，如圖三所示，依均衡狀態的假設應用至溫室橫断面平均溫度之計算可知，橫断面之平均溫度可以面積的加權比為代表

$$T = \frac{A_1 T_1 + A_2 T_2 + \dots + A_n T_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(11)$$

其中， A_1 、 A_2 、 $\dots\dots A_n$ 為由等溫線所構成之不同溫度區塊的面積，此面積可由求積儀求出；而 T_1 、 T_2 、 $\dots\dots T_n$ 為各區塊之溫度，此溫度為上下等溫線

之平均值。



圖三 等溫線圖

Fig.3 Constant temperature line

由於植物之株高皆在溫室內高度二公尺以下，故本研究在計算平均溫度時取二公尺，以為推估作物需水量之依據；依(11)式求得不同區塊之等溫線，並藉套裝軟體SURFER Access System Version 3.00, Copyright (C)Golden Software Inc.,(1987),進行等溫線圖之繪製，以台中農業改良場玻璃溫室為例，其所繪製之等溫線圖，如圖四所示。

6/18 AM 11:30 AIR TEMP. 32.0 C

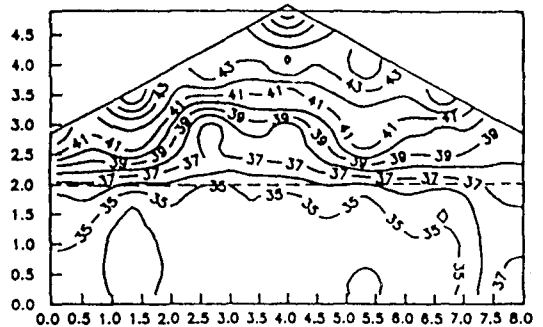


圖4 中改場玻璃溫室等溫線圖

Fig.4 Constant temperature line for glasshouse of Tai-Chung Agriculture Improvement Station

中改場玻璃溫室					
室外感測	時間	項目	室內	室外	單位
室內感測	○	陣間風速	○	77	77
陣間感測		山崎風速		0.57	1.66
陣間感測		床下風速		0.37	2.25
陣間	○	床下風速		45	55
天	開	Pen-and-Fan	日照	20.1	91.0

2. 風速

園藝設施內、外各擺設乙部，記錄有室內、外之平行、直交風速儀器，而以平行與直交之向量求得風速資料值，計測單位m/s。

3. 相對濕度、日射量

園藝設施內、外各擺設乙部，記錄有室內、外之相對濕度值及日射量值之儀器，計測單位分別是%、 w/m^2 。

三、結果與討論

(一)本研究所選定之溫室及其所施測之微氣象資料項目，連同依前述之分析方式其分析結果，列如表二至表十一所示，為方便比對，以了解溫室內、外氣象環境之差異，所有表中：

1. A列表示全棟溫室之內溫與溫室外溫之比值；
2. B列表示溫室內二公尺以下之內溫與溫室外溫之比值；
3. C列表示溫室內、外風速之比值；
4. D列表示溫室內、外相對濕度比值；
5. E列表示溫室內、外日射量之比值；
6. F列以ETi1表示將上述測得之微氣象資料，即包括全棟溫室內溫、內風速、內濕度及內日射量，經由(1)式等推估而得之參考作物需水量與ETo—外溫、外風速、外濕度及外日射量推估得之參考作物需水量之比值；
7. G列以ETi2設施內二公尺以下之內溫、內風速、內濕度及內日射量推估得之參考作物需水量與ETo之比值。

(二)所選10棟溫室所測得之資料共計有80組，並依此作為分析時之樣本資料；在內溫與外溫之比值方面，即A、B值，依施測資料分析得，A值約在1.21~0.99範圍，而B值約在1.19~0.94之間；更進一步發現，所選10棟溫室均呈現A大於B之現象，這意謂著：不同之溫室設計——不論是其形狀、結構骨材、披覆材料等，全棟溫室之內溫與溫室外溫之比值高於溫室內二公尺以下之內溫與溫室外溫之比值，此亦即所謂之凡溫室不能避免之「溫室效應」現象，而且，據此連同其他微氣候資料而推估之參考作物需水量比值，亦呈ETi1/ETo > ETi2/ETo之趨勢，因此，可顯見「溫度」是溫室內微氣候中重要、明顯之指標。

(三)溫室內、外風速比值方面，僅有嘉義大林糖廠高

脊溫室及進利蘭園齒狀溫室分別為13.54、20.28，內風速明顯高於外風速之現象，如表四、表五所示；在溫室內微氣候之領域，風速是以「風壓效應」之方式，排出熱量以達到溫室降溫效果，所以，大林糖廠高脊溫室及進利蘭園齒狀溫室兩溫室之高C值，較其他八棟溫室之低C值，易得溫室之降溫效果；而在耗用水方面，風速，有攜走蒸發面上空水汽分子之能力，亦是水汽分子蒸發散飄向大氣之動力媒介，然風速再增大至某一程度，作物蒸發散量並未因此而加劇，依據Briggs and Shantz⁽⁹⁾氏指出風速與作物蒸發散量之相關程度有35%，並不是很高，從表二至表十一各設施園藝所得資料分析結果所示，亦獲有相同之結論，即C > 1，則ETi1/ETo或ETi2/ETo < 1，反之，C < 1，則ETi1/ETo或ETi2/ETo > 1。

(四)依濕空氣線圖解釋降溫及其相關之飽合水蒸氣壓論點，自然通風之溫室其外界空氣狀態，以溫、濕度越低且與溫室內之溫度梯度、濕度梯度越大，其蒸發、凝結所吸收或放出之潛熱量越大，所致成之降溫效果也越好；所以，檢視溫室內、外相對濕度比值D，依施測資料分析得，約在1.39~0.65之範圍，及溫室內二公尺以下之內溫與溫室外溫之比值B，以台大梅峰連棟溫室20%之溫度梯度、35%之濕度梯度，台中農業改良場水耕栽培玻璃溫室8%之溫度梯度、22%之濕度梯度，進利蘭園齒狀溫室39%之濕度梯度，省農業試驗所太子樓簡易溫室1%之溫度梯度、32%之濕度梯度，得較佳之通風、降溫之結果，較其他六棟溫室能說明此一現象（其他六棟溫室或由於其他微氣象因素之綜合效應所致）；而耗用水方面，上述四棟溫室ETi2與ETo比值介於1~1.25之間，以嘉義農業試驗分所網溫室綜合1%之溫度梯度、4%之濕度梯度兩數據——最少之內外溫、濕梯度，較所有溫室得ETi2與ETo幾近相等比值。

(五)溫室內、外日射量之比值E，依施測資料分析得，約在0.66~0.13之間，即溫室內之日射量約為溫室外之13%~66%，此乃溫室內、外所架設之遮陰網或反光網等遮陰材料致使入射之陽光輻射量減少之故，如同太陽底下撐陽傘遮陰一般之「雨傘效應」，所以，溫室內日射量比溫室外日射量為低。因此，於耗用水方面，雖說溫度乃來自太陽輻射能量，然在封閉狀態下之溫室，其溫度經計

算式估算之效應便蓋過日射量所主導之份量，換句話說，溫度仍是溫室內微氣候中於估算作物需水量時重要、明顯之指標。

(六)從10棟不同代表類型之溫室，依施測資料分析之結果，大致可概分出不同類型之溫室，相對地，具有之作物耗水型態，分列如下：

1. $ET_i = ET_o$ ，溫室之作物需水量與露天作物栽培具相同之作物需水量，即以塑膠材料為覆蓋材、通風良好且溫室效應不高者，其室內與露地栽培之作物需水量大致相等，如：台中農業改良場簡易溫室、大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室、嘉義農業試驗分所網溫室及台大梅峰連棟溫室等五棟，即是屬於1：1之類型。其中，又以大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室及嘉義農試分所網溫室，均以自然通風之方式進行換氣而得等於或低於外氣溫之植物生長環境^(2,3)，由此觀點亦印證 $ET_i = ET_o$ 之結論。

2. $ET_i = 1.25ET_o$ ，溫室作物需水量是露天作物栽培之1.25倍，如：台中農業改良場水耕栽培玻璃溫室，即是屬於1：1.25之類型； $ET_i = 1.50ET_o$ ，溫室作物須水量是露天作物栽培之1.50倍，如：烏樹林糖廠蘭花溫室、鳳山園藝試驗所太子樓溫室及省農業試驗所太子樓簡易溫室等三棟，即屬於1：1.50之類型，本研究此次所選10棟溫室中，兩棟太子樓式之溫室，都獲得 $ET_i = 1.50ET_o$ 之結果； $ET_i = 2.00ET_o$ ，溫室作物需水量是露天作物栽培之2倍，如：清華蘭園長桁溫室，即是屬於1：2之類型；這些溫室作物需水量高於露天作物需水量之溫室，大致是玻璃溫室或塑膠溫室具有內遮陰網，或密閉而通風不佳之蘭花溫室，屬溫室效應較高者之類型。

四、結論與建議

(一)結論

近年來，本省園藝作物之種植面積正逐年增加，集約式經營之設施園藝，更由於在耕地有限之情況下，發展更形快速，在未來農業經營策略朝向「精緻農業」發展的前提下，設施園藝區之普設，可以預期的，它是未來農業發展之新方向。設施園藝急速擴充之同時，在現今水資源極其寶貴，且各標的間用水及其紛爭劇增情況下，設施園藝區之用

水問題，宜應未雨綢繆及早確立用水計畫，以為日後設施園藝區規劃水資源及設計灌溉系統有所依循。

設施園藝用水計畫一系列相關課題中，最為重要事項之一的，即是設施園藝之用水量，其中，又以和作物生育最具直接關係——即作物需水量，且佔用水量相當權重之灌溉用水量，為最受重視。

本研究，以結合能量平衡法與空氣動力學法之混合法 (combination approach)——廣為應用並獲致相當評價之作物需水量間接推估式，藉實際在具有代表性之不同類型園藝設施之現場儀器按裝、施測所得之氣象資料，為設施園藝領域其溫室內之作物耗水型態，作嚐試性之分析與探討，並得如下初步結論：

1. 所選10棟園藝設施所測得之內溫與外溫之比值，即A、B值，均呈現A大於B之現象，即：不同之溫室設計——不論是其形狀、結構骨材、披覆材料等，全棟溫室之內溫與溫室外溫之比值高於溫室內二公尺以下之內溫與溫室外溫之比值，此亦即所謂之凡溫室不能避免之「溫室效應」現象，而且，據此連同其他微氣象資料而推估之參考作物需水量比值，亦呈 $ET_{i1}/ET_o > ET_{i2}/ET_o$ 之現象，顯現「溫度」是溫室內微氣候中重要、明顯之指標。
2. 在溫室內微氣候之領域，風速是以「風壓效應」之方式，排出熱量以達到溫室降溫效果，所以，大林糖廠高脊溫室及進利蘭園齒狀溫室兩溫室之高C值，較其他八棟溫室之低C值，易得溫室降溫效果；在耗用水方面，本研究分析結果 $C > 1$ ，則 ET_{i1}/ET_o 或 $ET_{i2}/ET_o < 1$ ，反之， $C < 1$ ，則 ET_{i1}/ET_o 或 $ET_{i2}/ET_o > 1$ ，風速與作物蒸散量之相關程度並不是很高。

3. 從10棟不同代表類型之溫室，依施測資料分析之結果，大致可概分出不同類型之溫室，相對地，具有之作物耗水型態，分列如下：

(A)以塑膠材料為覆蓋材、通風良好且溫室效應不高者，其室內與露地栽培之作物需水量大致一樣，即溫室之作物需水量與露天作物栽培具相等之作物需水量 $ET_i = ET_o$ ，如：台中農業改良場簡易溫室、大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室、嘉義農試分所網溫室及台大梅峰連棟溫室等五棟，

表二 中改場玻璃溫室氣象資料計算表

項目\序號	1 A	1 B	1 C	1 D	1 E	1 F	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	33.54	37.62	37.65	39.88	39.94	38.12	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	31.35	34.62	35.12	36.36	36.76	36.15	
3. 外溫℃	29.10	32.90	32.00	33.90	33.90	32.90	
A.(1)/(3)	1.15	1.14	1.18	1.18	1.18	1.16	1.16
B.(2)/(3)	1.08	1.05	1.0975	1.07	1.08	1.10	1.08
4. 內風速m/s	0.52	0.66	0.65	0.61	0.53	0.50	
5. 外風速m/s	1.49	1.40	2.87	1.84	1.62	1.86	
C.(4)/(5)	0.35	0.47	0.23	0.33	0.33	0.27	0.33
6. 內相對濕度	65.00	55.00	45.00	35.00	38.00	35.00	
7. 外相對濕度	75.00	66.00	55.00	50.00	50.00	48.00	
D.(6)/(7)	0.87	0.83	0.82	0.70	0.76	0.73	0.78
8. 內日射w/m ²	212.00	644.60	210.10	187.90	197.50	131.90	
9. 外日射w/m ²	362.60	885.80	911.00	895.80	862.80	592.80	
E.(8)/(9)	0.58	0.73	0.23	0.21	0.23	0.22	0.37
F. ETi1/ETo	1.12	1.11	1.70	1.31	1.31	1.40	1.32
G. ETi2/ETo	1.06	1.03	1.60	1.19	1.21	1.33	1.24

表三 中改場簡易溫室氣象資料計算表

項目\序號	2 A	2 B	2 C	2 D	2 E	2 F	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	33.95	34.48	33.56	32.25	32.02	31.24	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	33.50	33.87	33.025	31.875	31.62	31.16	
3. 外溫℃	31.70	31.80	31.60	30.70	30.80	30.30	
A. (1)/(3)	1.07	1.08	1.06	1.05	1.04	1.0310	1.06
B. (2)/(3)	1.06	1.07	1.05	1.04	1.03	1.03	1.04
4. 內風速 m/s	0.91	0.56	0.60	0.62	0.91	0.64	
5. 外風速 m/s	1.50	9.44	1.18	0.87	1.56	0.54	
C. (4)/(5)	0.61	0.06	0.51	0.71	0.58	1.18	0.61
6. 內相對濕度	59.00	63.00	58.00	59.00	59.00	63.00	
7. 外相對濕度	65.00	67.00	66.00	69.00	65.00	67.00	
D. (6)/(7)	0.91	0.94	0.88	0.86	0.91	0.94	0.91
8. 內日射 w/m ²	140.70	172.80	135.00	74.50	140.70	172.80	
9. 外日射 w/m ²	415.00	510.90	397.00	187.10	415.00	511.00	
E. (8)/(9)	0.34	0.34	0.34	0.40	0.34	0.34	0.35
F. ET _{i1} /ET _o	1.07	454.30	1.05	0.98	1.06	0.98	1.03*
G. ET _{i2} /ET _o	1.06	447.65	1.04	0.97	1.05	0.98	1.02*

註：“*”表示剔除2B之異常資料而得

表四 大林糖廠高脊溫室氣象資料計算表

項目\序號	3 A	3 B	3 C	3 D	3 E	3 F	3 G	3 H	3 I	3 J	平均
1. 內溫°C (全棟溫室)	28.37	32.04	33.09	27.86	27.44	27.92	27.25	27.53	27.43	28.76	
2. 內溫°C (二公尺以下)	27.58	30.79	31.12	27.33	27.04	27.30	26.91	27.08	26.99	27.82	
3. 外溫°C	26.40	27.80	28.70	28.70	29.80	29.70	27.70	27.70	27.30	30.40	
A.(1)/(3)	1.07	1.15	1.18	0.97	0.92	0.94	0.98	0.99	1.00	0.95	1.02
B.(2)/(3)	1.04	1.11	1.08	0.95	0.91	0.92	0.97	0.98	0.99	0.92	0.99
4. 內風速m/s	0.45	0.48	0.49	0.47	0.48	0.47	0.46	0.50	0.46	0.51	
5. 外風速m/s	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	1.01	0.03	0.29	0.03	
C.(4)/(5)	16.05	21.56	13.55	13.17	17.08	16.56	0.457	17.61	1.58	18.16	13.54
6. 內相對濕度	65.00	68.00	70.00	72.00	66.00	65.00	66.00	67.00	68.00	69.00	
7. 外相對濕度	75.00	76.00	76.00	74.00	77.00	72.00	76.00	76.00	76.00	75.00	
D.(6)/(7)	0.87	0.89	0.92	0.97	0.86	0.90	0.87	0.88	0.89	0.92	0.90
8. 內日射w/m ²	68.30	62.20	76.00	58.60	77.20	62.60	28.80	44.00	35.30	90.50	
9. 外日射w/m ²	369.50	337.70	413.00	323.30	441.90	336.30	164.00	244.20	200.80	472.80	
E.(8)/(9)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18
F. ETi1/ETo	0.94	1.01	1.05	0.93	0.84	0.87	0.95	0.89	0.93	0.88	0.93
G. ETi2/ETo	0.92	0.98	0.98	0.92	0.83	0.85	0.95	0.88	0.92	0.86	0.91

表五 進利蘭園齒狀溫室氣象資料計算表

項目\序號	4 A	4 B	4 C	4 D	平均
1.內溫℃ (全棟溫室)	30.18	30.40	30.35	29.60	
2.內溫℃ (二公尺以下)	30.00	30.30	30.02	29.60	
3.外溫℃	31.30	29.60	30.50	28.90	
A.(1)/(3)	0.96	1.03	1.00	1.02	1.00
B.(2)/(3)	0.96	1.02	0.98	1.02	1.00
4.內風速m/s	0.45	0.94	0.52	0.50	
5.外風速m/s	0.03	0.03	0.04	0.03	
C.(4)/(5)	15.80	33.20	14.44	17.89	20.28
6.內相對濕度	73.00	66.00	64.00	65.00	
7.外相對濕度	51.00	45.00	50.00	47.00	
D.(6)/(7)	1.43	1.47	1.28	1.38	1.39
8.內日射w/m ²	132.90	104.70	145.40	30.60	
9.外日射w/m ²	618.40	571.90	671.60	200.10	
E.(8)/(9)	0.21	0.18	0.22	0.15	0.19
F.ETi1/ETo	1.09	1.07	1.04	1.09	1.07
G.ETi2/ETo	1.08	1.06	1.03	1.09	1.07

表六 嘉義分所網溫室氣象資料計算表

項目\序號	5 A	5 B	5 C	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	28.28	27.93	28.27	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	28.26	27.70	28.10	
3. 外溫℃	28.60	27.60	28.40	
A. (1)/(3)	0.99	1.01	1.00	0.99
B. (2)/(3)	0.99	1.00	0.99	0.99
4. 內風速 m/s	0.45	0.49	0.46	
5. 外風速 m/s	0.72	0.44	0.28	
C. (4)/(5)	0.63	1.11	1.64	1.17
6. 內相對濕度	67.00	72.00	73.00	
7. 外相對濕度	66.00	75.00	74.00	
D. (6)/(7)	1.02	0.96	0.99	0.96
8. 內日射 w/m ²	45.40	61.60	71.10	
9. 外日射 w/m ²	120.50	158.90	178.60	
E. (8)/(9)	0.38	0.39	0.40	0.66
F. ETi1/ETo	1.03	0.98	0.97	1.00
G. ETi2/ETo	1.03	0.98	0.97	0.99

表七 清華蘭園長桁溫室氣象資料計算表

項目\序號	6 A	6 B	6 C	6 D	6 E	6 F	6 G	6 H	6 I	6 J	6 K	6 L	平均
1.內溫℃ (全棟溫室)	33.60	35.80	39.60	36.90	33.30	30.58	31.75	29.50	29.45	29.90	31.10	32.50	
2.內溫℃ (二公尺以下)	32.00	33.80	36.80	34.30	31.74	30.12	30.86	29.40	29.35	29.70	30.90	32.20	
3.外溫℃	30.40	30.20	31.20	30.00	29.30	31.20	30.90	30.80	30.40	32.40	32.70	34.40	
A.(1)/(3)	1.11	1.19	1.27	1.23	1.14	0.98	1.03	0.96	0.97	0.92	0.95	0.94	1.06
B.(2)/(3)	1.05	1.12	1.18	1.14	1.08	0.97	1.00	0.95	0.97	0.92	0.95	0.94	1.02
4.內風速m/s	0.61	0.50	0.52	0.73	0.53	1.09	0.69	0.79	0.90	1.16	1.04	1.41	
5.外風速m/s	3.46	3.58	3.52	3.49	4.58	3.63	3.54	3.51	3.63	3.61	3.72	3.96	
C.(4)/(5)	0.18	0.14	0.15	0.21	0.12	0.30	0.19	0.22	0.25	0.32	0.28	0.36	0.23
6.內相對濕度	63.00	52.00	37.00	38.00	46.00	50.00	54.00	61.00	70.00	68.00	61.00	51.00	
7.外相對濕度	60.00	62.00	59.00	55.00	66.00	68.00	56.00	58.00	65.00	60.00	48.00	48.00	
D.(6)/(7)	1.05	0.84	0.63	0.69	0.70	0.74	0.96	1.05	1.08	1.13	1.27	1.06	0.93
8.內日射w/m ²	138.90	145.70	117.00	105.60	53.40	37.40	49.20	22.70	41.10	58.80	74.80	161.40	
9.外日射w/m ²	715.10	731.10	397.70	375.30	328.50	231.70	285.60	138.50	244.10	351.40	426.50	707.10	
E.(8)/(9)	0.19	0.20	0.29	0.28	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.18	0.23	0.20
F.ETi1/ETo	1.94	1.82	1.81	1.96	1.77	1.11	1.96	1.79	1.58	1.68	3.12	2.90	1.95
G.ETi2/ETo	1.86	1.73	1.69	1.83	1.70	1.10	1.92	1.78	1.57	1.68	3.10	2.88	1.90

表八 烏樹林糖廠蘭花溫室氣象資料計算表

項目\序號	7A	7B	7C	7D	7E	7F	7G	7H	7I	7J	7K	7L	7M	7N	7O	7P	7Q	7R	7S	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	25.50	25.40	25.60	25.90	27.60	28.80	30.80	31.70	31.30	29.70	30.10	30.05	30.10	30.54	28.60	28.75	27.88	28.94	28.67	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	25.10	25.00	25.20	25.50	26.70	28.00	28.40	30.10	29.70	27.80	28.10	28.00	28.76	29.11	27.72	28.01	27.38	28.15	28.08	
3. 外溫℃	25.30	24.70	25.10	24.80	28.20	25.60	26.70	26.30	27.00	27.20	27.90	28.90	28.90	29.50	29.10	29.00	28.30	28.30	29.40	
A. (1)/(3)	1.01	1.03	1.02	1.04	0.98	1.13	1.15	1.21	1.16	1.10	1.08	1.04	1.04	1.04	0.99	0.99	0.99	1.02	0.98	1.05
B. (2)/(3)	0.99	1.01	1.00	1.03	0.95	1.09	1.06	1.14	1.10	1.02	1.01	0.97	1.00	0.99	0.95	0.97	0.97	0.99	0.96	1.01
4. 內風速m/s	0.44	0.46	0.47	0.45	0.45	0.46	0.50	0.47	0.48	0.50	0.51	0.47	0.49	0.63	0.49	0.46	0.56	0.52	0.47	
5. 外風速m/s	3.46	3.46	3.47	3.46	3.53	3.48	3.46	3.49	3.48	3.50	3.54	3.50	3.50	3.53	3.65	3.49	3.49	3.51	3.48	
C. (4)/(5)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.18	0.13	0.13	0.16	0.15	0.13	0.14
6. 內相對濕度	65.00	66.00	65.00	65.00	65.00	66.00	68.00	70.00	71.00	71.00	60.00	58.00	57.00	58.00	58.00	58.00	57.00	60.00	66.00	
7. 外相對濕度	70.00	69.00	68.00	69.00	71.00	72.00	74.00	76.00	76.00	76.00	71.00	68.00	58.00	51.00	58.00	67.00	64.00	69.00	72.00	
D. (6)/(7)	0.93	0.96	0.96	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.85	0.85	0.98	1.14	1.00	0.87	0.89	0.87	0.92	0.93
8. 內日射w/m ²	13.40	12.20	21.20	19.80	46.40	45.10	79.80	57.20	60.10	66.30	83.70	42.60	67.70	46.00	29.10	19.90	17.20	17.00	21.30	
9. 外日射w/m ²	49.80	34.90	61.10	44.00	166.00	177.60	270.50	219.10	231.40	244.60	317.50	299.80	503.00	327.20	215.90	143.20	126.30	122.30	156.20	
E. (8)/(9)	0.27	0.35	0.35	0.45	0.28	0.25	0.30	0.26	0.26	0.27	0.26	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.23
F. ET1/ET0	1.40	1.47	1.49	1.48	1.33	1.46	1.43	1.44	1.41	1.34	1.37	1.41	1.95	2.68	1.96	1.40	1.49	1.38	1.30	1.54
G. ET2/ET0	1.38	1.45	1.47	1.46	1.30	1.42	1.34	1.38	1.35	1.28	1.30	1.34	1.88	2.58	1.92	1.37	1.47	1.35	1.27	1.49

表九 鳳山園藝所太子樓溫室氣象資料計算表

項目\序號	8 A	8 B	8 C	8 D	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	32.10	32.17	32.20	32.70	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	30.50	30.36	30.53	30.90	
3. 外溫℃	33.00	31.10	32.50	33.50	
A. (1)/(3)	0.97	1.03	0.99	0.98	0.99
B. (2)/(3)	0.92	0.98	0.94	0.92	0.94
4. 內風速 m/s	0.57	0.41	0.46	0.50	
5. 外風速 m/s	0.71	6.50	0.96	0.99	
C. (4)/(5)	0.81	0.06	0.48	0.51	0.46
6. 內相對濕度	56.00	60.00	64.00	64.00	
7. 外相對濕度	66.00	67.00	71.00	70.00	
D. (6)/(7)	0.89	0.90	0.90	0.91	0.90
8. 內日射 w/m ²	33.70	37.80	43.50	88.20	
9. 外日射 w/m ²	262.20	316.40	351.90	575.60	
E. (8)/(9)	0.13	0.12	0.12	0.15	0.13
F. ETi1/ETo	0.93	2.99	0.99	0.98	1.47
G. ETi2/ETo	0.90	2.86	0.95	0.94	1.41

表十 省農試所太子樓簡易溫室氣象資料計算表

項目\序號	9 A	9 B	9 C	9 D	9 E	9 F	平均
1. 內溫℃ (全棟溫室)	33.96	36.95	37.20	34.99	34.98	36.72	
2. 內溫℃ (二公尺以下)	33.37	35.35	35.30	34.52	34.31	36.04	
3. 外溫℃	32.80	34.90	36.00	34.60	33.80	34.60	
A. (1)/(3)	1.04	1.06	1.03	1.01	1.03	1.06	1.04
B. (2)/(3)	1.02	1.01	0.98	1.00	1.02	1.04	1.01
4. 內風速 m/s	0.77	0.55	0.60	0.94	1.34	1.10	
5. 外風速 m/s	2.16	1.01	1.10	2.98	3.85	2.61	
C. (4)/(5)	0.36	0.55	0.55	0.31	0.35	0.42	0.42
6. 內相對濕度	31.00	23.00	18.00	26.00	36.00	40.00	
7. 外相對濕度	47.00	35.00	36.00	44.00	44.00	46.00	
D. (6)/(7)	0.66	0.66	0.50	0.59	0.82	0.87	0.68
8. 內日射 w/m ²	434.90	448.60	486.10	331.50	163.60	143.00	
9. 外日射 w/m ²	765.30	801.90	810.60	831.90	834.20	836.00	
E. (8)/(9)	0.57	0.56	0.60	0.40	0.20	0.17	0.42
F. ETi1/ETo	1.24	1.06	0.97	1.66	3.39	1.57	1.65
G. ETi2/ETo	1.22	1.08	0.92	1.63	3.32	1.54	1.61

表十一 台大梅峰連棟溫室氣象資料計算表

項目\序號	1 0 A	1 0 B	1 0 C	1 0 D	1 0 E	1 0 F	1 0 G	1 0 H	1 0 I	1 0 J	平均
1.內溫℃ (全棟溫室)	30.50	33.20	27.20	28.04	25.02	23.81	23.99	29.16	23.60	24.32	
2.內溫℃ (二公尺以下)	28.20	31.70	27.02	27.87	24.91	23.62	23.86	29.02	23.45	24.23	
3.外溫℃	22.40	23.90	23.00	24.80	20.70	21.60	20.60	22.20	20.00	21.10	
A.(1)/(3)	1.36	1.39	1.18	1.13	1.21	1.10	1.16	1.31	1.18	1.15	1.22
B.(2)/(3)	1.26	1.33	1.17	1.12	1.20	1.09	1.16	1.31	1.17	1.15	1.20
4.內風速m/s	0.5020	0.52	0.81	0.82	0.48	0.47	0.78	0.47	0.48	0.48	
5.外風速m/s	0.19	0.04	0.85	0.69	0.78	0.47	0.60	0.66	1.11	0.50	
C.(4)/(5)	2.63	14.34	0.95	1.19	0.62	1.00	1.29	0.71	0.44	0.97	1.09*
6.內相對濕度	38.00	25.00	27.00	31.00	38.00	45.00	38.00	63.00	49.00	47.00	
7.外相對濕度	45.00	49.00	51.00	42.00	67.00	73.00	67.00	76.00	71.00	73.00	
D.(6)/(7)	0.84	0.51	0.53	0.74	0.57	0.62	0.57	0.83	0.69	0.64	0.65
8.內日射w/m ²	454.00	498.80	558.20	479.20	133.40	210.60	213.20	413.30	123.40	252.20	
9.外日射w/m ²	710.40	781.40	854.70	903.90	221.80	376.70	386.40	651.00	210.90	414.90	
E.(8)/(9)	0.64	0.63	0.66	0.53	0.60	0.56	0.55	0.63	0.59	0.61	0.60
F.ETi1/ETo	1.11	0.97	0.89	0.95	0.93	0.87	0.84	1.12	1.00	0.91	0.96
G.ETi2/ETo	1.05	0.93	0.89	0.95	0.93	0.87	0.83	1.12	0.99	0.91	0.95

註：“*”表示剔除10B之異常資料而得

即是屬於1:1之類型。其中，又以大林糖廠高脊溫室、進利蘭園齒狀溫室及嘉義農試分所網溫室，均以自然通風之方式進行換氣而得等於或低於外氣溫之植物生長環境。

(B)玻璃溫室或塑膠溫室具有內遮陰網，或密閉而通風不佳之蘭花溫室，屬溫室效應較高者之類型；如：台中農改場水耕栽培玻璃溫室，屬於 $ET_i = 1.25ET_o$ 之類型；如：烏樹林糖廠蘭花溫室、鳳山園藝試驗所太子樓溫室及省農業試驗所太子樓簡易溫室等三棟，屬於 $ET_i = 1.50ET_o$ 之類型，本研究此次所選10棟溫室中，兩棟太子樓式之溫室，都獲得 $ET_i = 1.50ET_o$ 之結果；如：清華蘭園長桁溫室，屬於 $ET_i = 2.00 ET_o$ 之類型。

(二)建議

- 1.作物係數 K_c 值，作物之耗水特性，除依作物之類別、栽種季節、生長階段、氣象等條件而異外，也與所選擇作物需水量估算式之不同亦有所不同，如Blaney-Criddle method或Thornthwaite method估算，由於未考慮風速及飽和差因素，故其所估算之 K_c 值，當較Penman氏之混合法所估算者，含較多之地域氣候因子的影響在內。本研究以國內設施園藝作物之需水量試驗資料短缺，無從可資驗證之故，對作物係數 K_c 值一項，乃以假設之方式予以處理，在以控制園藝作物生育及提高品質為主要目的之設施園藝，更形重要，應予以進一步之探討與研究。
- 2.本文就溫室作物需水量之課題，作一嘗試性地分析與探討其不同造型、設計之耗水型態，由於儀器設備及經費之限制，如下之缺點：
 - * 僅能施測一個橫斷面，而無法同步計測縱斷面。
 - * 代表性溫室未能涵蓋本省東部。
 - * 施測時間未能全部在晴朗天候。
 - * 日射及濕度感應器不足，僅以室內、外各一點為代表。等等，企盼能發揮拋磚引玉之功效，提供專家、學者於日後進行有關溫室領域種種之試驗、分析、研究時之參考。
- 3.日本，一個設施園藝發展極為先進的國家，

積多年之經驗與努力，至今，他們對設施園藝之用水問題，仍是相當重視，尤其是面臨用水集中之現象(4,5,7)，更為之頭疼，他山之石，可以攻錯，在我們國家設施園藝之發展正是起步，設施園藝用水計畫一系列之相關課題，亦應隨之展開加緊探討，而展望未來又是農業發展之趨勢，更應早日建立起各項設施園藝之基本試驗與研究，以為日後發展之憑藉與需要。

五、參考文獻

- 1.王鼎盛(1984)「農舍鋼架之最佳化設計」中國農業工程學會73年度學術研討會P.143-156
- 2.王鼎盛(1989)「本省溫室暑熱環境之評估」台大農業工程學系P.1-1
- 3.王鼎盛、李勝伍(1990)「本省溫室降溫效果之探討」中國園藝36(1): 64-79
- 4.石阪邦美著，陳興隆譯(1992)「日本旱作灌溉事業之推展方向」農田水利38(11): 35-44
- 5.西出勤、千家正照、矢部克彥、谷川寅彥著，陳買譯(1991)「日本設施園藝之用水實況及其用水計畫」台灣水利39(2): 63-69
- 6.林正鈞、葉明智(1989)「簡易氣象資料模式用於估算作物需水潛量之研究」台灣地區農業氣象資源應用研討會P.171-181
- 7.荒木陽一著，賴雲漢譯(1992)「園藝設備之水管管理」農田水利38(12): 43-50
- 8.陳正祥(1959)「台灣地誌」
- 9.陳尚、蔡奇成(1967)「旱作需水量之測算之方法與試算結果之檢討」農業工程學報13(4): 26-49
- 10.陳清田(1991)「嘉義地區作物需水量推估之研究」農工學報37(1): 82-109
- 11.施嘉昌、黃振昌(1987)「作物需水量與氣象因子相關理論分析之研究」農工學報33: 1-27
- 12.施嘉昌、黃振昌(1989)「從氣象因子估算玉米需水量之研究」台灣地區農業氣象資源應用研討會P.127-140
- 13.臺灣省政府農林廳(1992)「臺灣農業年報」P.143
- 14.Jensen, M.E. Ed.(1974) "Consumptive use of water and irrigation water requirements" ASCE
- 15.Penman, H.L.(1948) "Natural evaporation from open water, bare soil and grass" Proc. Roy. Soc. London, A193:120-146.

16. Penman, H.L. (1956) "Estimating evaporation"
Trans. Am. Geoph. U. Vol. 37 No. 1 P43-50.

17. Penman, H.L. (1963) "Vegetation and Hydrology"
Tech. Communication No. 53 Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, Eng.

18. Wartena, L. (1974) "Basic Difficulties in

Predicting evaporation" J. Hydrol. 23:159-177.

19. Weisner, C.J. (1970) "Hydrometeorology"

收稿日期：民國82年2月6日

修正日期：民國82年3月19日

接受日期：民國82年8月17日

象山建設實業有限公司
(中鋼高爐水泥代理商)

地址：台南市建平17街31號13F之3

電話：(06)2975625, 2975664

專營土木、水利、建築等工程

日隆營造有限公司

地址：屏東縣內埔鄉龍潭村中勝路
354巷31號

電話：(08)7702789

專營土木、水利、建築等工程

豐泰營造工程股份有限公司

負責人：謝雲谷

地址：楊梅鎮幼獅路28巷6弄19號
1F

電話：(03)4820278

專營土木、水利、建築等工程

億豐營造有限公司

地址：桃園縣八德鄉慶福路1120巷
14號

電話：(03)3629706

1. 土木、水利、建築工程承攬
2. 履帶桁架式吊車(CRAWLER CRANE)出租
3. P.C. 基樁頂鑽植入工法及地下連續壁等
各類基礎工程專門

祐彬營造股份有限公司
祐力工程股份有限公司

負責人：曾水永

公司：彰化市三民路237巷11號
TEL：(04)7256898 FAX：(04)7246716
連絡處：台北市建國北路二段33號9F之7
TEL：(02)5071626 FAX：(02)5069604

專營土木、水利、建築等工程

千巨營造有限公司

地址：台東市徐州街363號

電話：(089)332717