中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(4)：483～498（1995）

溫室環境模式於花卉設施栽培之應用[1]

陳加忠[2]　林瑞松[3]

摘要：在此研究中，以溫室內部微氣候模式評估國內花卉業者所使用之三型溫室其環控性能與降溫極限。玻璃溫室之熱累積十分嚴重因此必須以大量之機械通風方能克服。開放型塑膠布溫室則可疏解此類問題。國內溫室以蒸發冷卻技術在夏季不能符合蝴蝶蘭催花需求，使用冷凍機械爲唯一選擇但增加投資成本。利用遮蔭網或遮雨棚均無法提供觀賞作物經年生產所需之微氣候。而以溫室之結構與控制設備可加以改善內部環境但將增加成本。因此必須以整合方式進行溫室作物栽培生產規劃作業。

關鍵詞：溫室、花卉、環境模式。

近年，花卉等觀賞植物之種類與產值已逐漸提昇，其外銷數量亦爲之增加，爲提高此項作物之品質與穩定生產，以配合國人日益提昇之生活水準，並開拓海外市場，相關生產技術必須不斷之提昇。臺灣地區花卉等栽培方式有盆栽、花壇栽培、地面栽培等數種經營型態，其經營方式仍以粗放爲主。近年來，蘭花業者使用之溫室較趨精密，其他部份之花卉除利用簡易設施栽培之外，大半仍停於傳統露地栽培。國外引進之溫室因國內氣候的差異性，並不能完全適用，簡易設施因其耐風性不良，而又缺乏環控設備，對品質改良，勞力節省之改善不大。

國內之氣候十分複雜，夏日有強日照、暴雨、颱風，冬日有寒流，春秋因地區有漫長雨季，因此設施之要求條件更爲複雜，設施之利用亦分季節性與經年性。經年性之設施係針對多年之作物。設施環控即針對作物之需要加以實施，以調節其內部微氣條。環控設備愈完備，設施微氣候之控制即愈精確，但其設備成本爲之增加，必須在運用效率與使用成本間求一平衡點。不適當的農業設施，不但不能提高作物生產產值，反而衍生其他問題，因此適用國內環境之設施與環控系統都需要自力開發。

依許氏之分類[6]，國內花卉生產所使用之設施可分爲㈠適合觀葉作物等陰性植物之遮蔭栽培，㈡切花、盆花用之防雨栽培，㈢高價作物之溫室栽培。李咔則將切花用設施歸納如下[4]：㈠良好設施方能生產者（蝴蝶蘭、玫瑰類），㈡防雨，冬天亦可防寒之設施（滿天星、香石竹等），㈢遮蔭之設施（菊花、火鶴花等）。各設施就技術與環控能力說明如下[8,9]：

一、遮蔭網：利用遮蔭網之透光性以調節作物之接受日照量，其溫、濕度則與大氣相同，利用遮蔭網之收放可進行環控作業。因無溫室效應，最佳狀況可低於外界大氣溫度1.0°C左右。

二、遮雨棚：利用簡單之結構而以覆蓋物形成屋頂，可保護內部作物不受外界風、雨損害。其主要問題在於夏季之熱累積而影響作物成長，可利用屋頂開啓之方式以進行環控。對通風良好之遮雨棚

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1817 號。
2. 本所農工系副研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 國立中興大學園藝系副教授。臺灣省　臺中市。

而言，其降溫極限同於大氣溫度。

三、溫　室：

溫室爲設施栽培所使用最複雜之結構。因其適用地區而有不同的結構，主要分類如下：

㈠溫帶，寒帶地區：其溫室之結構係以密閉型、保溫爲主，在內部具有加熱設備，利用人工補光，配合適當通風作業。

㈡乾燥地區：日夜溫差大，且高溫低濕，因此利用蒸發冷卻方式以進行環控調節，並需配合加溫作業，其溫室結構以密閉型爲主。

㈢亞熱帶地區：夏日高溫高濕，冬日氣溫較低，因此溫室結構以開放高架爲主，以避免熱累積。

針對國內之特殊氣候環境，臺灣省農業試驗所所開發設計之塑膠布溫室稱爲開放型溫室，依其結構主要有兩類：太子樓屋頂型與密閉屋頂型。詳細之結構圖與作用性能於「塑膠布溫室栽培自動化技術手册」有詳細描述[10]。其適用之環控系統已完成開發[11]。

本研究之目的如下：

㈠利用環境模式加以計算各大氣狀態下，玻璃及塑膠布兩種密閉式溫室與開放型塑膠布溫室之環控性能。

㈡就國內不同地區的自然環境與數種花卉之生長需求，討論所適用之溫室與設施。

理論探討與研究方法

一、熱傳系統模式

典型的溫室熱環境系統如圖 1 所示，其應用單位爲 W/m²。

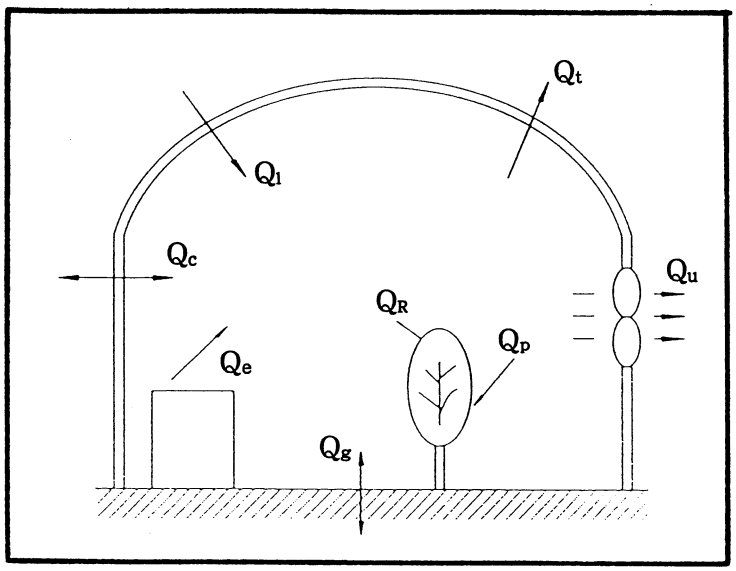


圖 1. 溫室熱環境系統

Fig. 1. The thermal environmental systems of greenhouse

Q_1：太陽能入射溫室內有效能量。

Q_t：溫室內部對天空之長波輻射能。

Q_c：溫室內部與外界因傳導、對流作用之交換熱。

Q_v：因通風作用與外界空氣之熱交換量。

Q_e：溫室內機械設備（加熱器、冷氣機…等）所產生或吸收之熱量。

Q_g：內部空氣與地面之熱交換量。

Q_p：植物因光合作用所利用之能量。

Q_r：植物因呼吸作用所利用之能量。

各能量之計算公式如下[7,8,9]：

1. Q_1值

$$Q_1=\tau \cdot I \cdot A_f \quad \cdots\cdots(1)$$

τ：太陽光能量穿透覆蓋物之比例。

I：太陽能輻射量（W/m^2）。

A_f：地面面積（m^2）。

2. Q_t值

$$Qt=\sigma s \cdot \tau t \cdot A_f \cdot \sigma \cdot [T_1k^4-T_{sk}^4] \quad \cdots\cdots(2)$$

σ_s＝平均穿透率。

σ：波茲蔓常數。

$$Tsk=0.00552 \cdot Tok^{1.5} \quad \cdots\cdots(3)$$

τ_t：長波熱傳係數（Thermal Transmittance）

T_{1k} 與 T_{0k} 爲溫室內外溫度，單位爲 °k。

3. Q_c值

$$Q_c=U \cdot A_w \cdot (T_1-T_o) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$U=[U_k+H_v] \quad \cdots\cdots(5)$$

μk爲熱傳導係數（W/m^2），H_v爲溫室因縫隙等產生之對流熱傳遞，於通風作業時，H_v值可忽略。

A_w：溫室屋頂與四壁之面積（m^2）。

T_1與T_0爲內外溫度，單位爲°C。

4. Q_v值

$$Q_v=\rho \cdot C_p \cdot M^1 \cdot [T_1-T_e] \quad \cdots\cdots(6)$$

ρ爲空氣密度（kg/m^3），C_p爲比熱（1006 J／kg）

M^1爲通風量（m^3/sec）。

T_e爲有效通風溫度。

不同通風狀況下，各參數如下：

(1)機械通風

T_e值之計算如下：

a. 利用外界空氣抽取通風。

$T_e=T_o$，有效通風溫度與外界空氣溫度相同。

b. 利用蒸發冷卻法（水牆、噴霧…等）。

$$T_e=T_o-E_f(T_o-T_w) \quad \cdots\cdots(7)$$

T_w 爲外界空氣濕球溫度，E_f 爲蒸發作業效率。

5. 自然通風：

自然通風之效應包括溫差效應和風力效應，通常其通風量大約爲每分鐘0.2～0.4倍之溫室體積換氣量[8,9,15,16]

6. Q_g值

國內之溫室利用極少有直接栽植於地表之上，而以盆架植床栽植之方式居多，其土壤所受之遮蔽比率大，日射能與土壤表面之熱交換較少。

Q_g值計算定義如下：

$$Q_g = GE \cdot A_f^* \ (1-Pf) \quad \cdots\cdots(8)$$

GE：土壤熱傳量（W／m²）

Pf：作物所佔地面面積（m²）。

GE 值通常於－15～35 W／m²，主要由入射太陽能在某一時間前之增減量所決定[8]。

7. Q_p，Q_r值

作物光合作用所耗能量極小，因此 Q_p 可忽略[1]，呼吸作用所用能量 Q_r 爲：

$$Q_p = 0.252 \cdot Pf \cdot Af \cdot Q_1 \cdot \ (0.8+0.01\ T_i) \quad \cdots\cdots(9)$$

由上述各種熱能量可建立溫室熱系統模式：

（進入溫室之熱能）＝（移出溫室之熱能）

代入各Q值，其正負號由其熱能流入或流出方向所決定。

$$Q_1\ (\pm)\ Q_e = Q_t + Q_r\ (\pm)\ Q_c\ (\pm)\ Q_v\ (\pm)\ Q_g \quad \cdots\cdots(10)$$

依能量平衡公式：

$$Q_1 = Q_t + Q_c + Q_v + Q_e + Q_r + Q_p \pm Q_g$$

$$\tau \cdot I \cdot Af = U \cdot A_w \cdot \ [T_i - T_o] + \rho C_p \cdot M^1 \cdot \ (T_i - T_e) + g_s \cdot \pi_t \cdot Af \cdot \alpha \cdot \ [T_{lk}^4 - T_{sk}^4] + GE \cdot Af + 0.252 \cdot Pf \cdot Af \cdot Q_1 \cdot \ (0.8+0.01T_i) \quad \cdots\cdots(11)$$

溫室內空氣溫度之求解公式自公式(11)推衍，因此公式涉及 T_i^4 值，因此無法以代數公式直接求得 T_i 值，必須以數值方法求解，可用方法爲 Bi-section 法，假定 T_i 值於 5～95°C之間，以近似法求解。模式之建立與驗證如文獻所示[7,8,9]，其預測準確性爲±1.5°C。

二、研究方法

傳統之溫室利用以密閉型溫室爲主，其正常運作狀況屬於密閉狀態以確保其保溫功能，因爲此型溫室之主要利用地區爲溫帶低日照量之國家，引進此類溫室在國內高日照氣候下，產生了許多熱累積問題，利用環境模式可對此類問題加以說明：

執行環控性能分析之溫室其條件如下：

溫室地面面積330m²，體積1,370m³，牆壁總面積638m²，長22.8m，寬14.5m，爲雙連棟，每棟寬7.25m，側高3.5m，每棟中間頂高5.0m。植物栽植面積約爲地面面積75%。

溫室之兩種覆蓋材料爲單層玻璃與 PVC 塑膠布，其熱傳物性如下[1,13]：

玻璃：UK＝6.3W／m²，HV＝0.35W／m²，穿透率88%，長波熱傳係數0.03。

PVC：UK＝6.8W／m²，HV＝0.31 W／m²，穿透率75%，長波熱輻射係數0.32。

相關之環控設備與設定之作業性能如下：

1. 自然通風之通風量：0.3Vol／Min，Vol爲溫室體積，Min表分鐘[8,9,15,16]。
2. 遮蔭率：有25%，50%，75%與未遮蔭等四種。
3. 機械通風之通風量：1.2 Vol／min[1]。

4. 水牆冷卻之作業效率75%，通風量爲1.2 Vol／min。

5. 大氣條件設定爲典型之臺灣氣候，共有兩項：

⑴夏季：日照量1,000 W／㎡，氣溫35°C。

⑵春秋季：日照量660 W／㎡，氣溫26°C。

大氣相對濕度設定共有兩類：75%與50%。

結果與討論

一、三型之環控性能

利用環境模式加以計算各大氣狀態下，玻璃及塑膠布兩種溫密閉式溫室與開放型塑膠布溫室之環控性能，其結果如圖 2 ， 3 所示：

㈠夏季氣候（圖2a與2b）

玻璃溫室在密閉狀態，無遮蔭之情況下（圖2a之曲線 1 ），其最高溫度約75°C，高於大氣溫度40°C以上，此爲顯著性之熱累積溫室效應。在不同遮蔭作業下，溫室內部溫度方有減少之可能。在50%之遮蔭狀態下，內部溫度仍高於外界18°C。

自然通風之結果如圖2a之曲線 2 ，在未有遮蔭作業下，溫室內部約50°C，高於氣溫15°C。在50%遮蔭配合自然通風下，溫室內部溫度約42°C，高於氣溫 7 °C左右。可知此型溫室自然通風作業不能符合國內需求。

利用機械通風之降溫性能如圖2a之曲線 3 ，僅在25%遮蔭下，其溫室溫高度約高於氣溫 1 °C左右，在未有遮蔭狀態下，溫室溫度仍大於氣溫 5 °C左右。

利用水牆方式加以降溫之性能曲線如圖2a之曲線 4 ， 5 。在高濕度之狀態下，未遮蔭之溫室其溫度約高於氣溫 4 °C左右，僅在50%以上之遮蔭率，方能使溫室氣溫低於大氣溫度。對於50% RH 大氣環境下之降溫性能（圖2a之曲線 5 ），在未遮蔭時，其溫室氣溫低於大氣溫度 1 ～ 2 °C，在50%遮蔭狀態下，可低於氣溫 5 °C，在75%遮蔭時，降溫性能爲低於大氣溫度 6 °C左右。

由此可知利用水牆降溫之作業配合條件爲：

a. 高遮蔭率，使極小部分陽光進入溫室內部。

b. 強風量。

c. 氣密性良好，使水牆之利用效率不受影響。

d. 大氣相對濕度低，乾濕球溫差大。

針對上述 a，b 兩項，應用此環控設備應配合作物之生理需求，即在日照量需求低，忍受高風量之作物，方可適合此類環控方式。

以 PVC 塑膠布爲覆蓋材料之密閉室在三種環控狀態下，在密閉狀態之環控性能如圖2a之曲線A。在無遮蔭，密閉狀態下，內部溫度高於外界約20°C，比較玻璃溫室，熱累積已較緩和。在50%遮蔭下，密閉溫室內部大於外界11°C。自然通風之性能如圖2a之曲線 B。在未遮蔭時，內溫高於外溫11～12°C，50%遮蔭下，內溫則高於外溫 4 °C。利用機械通風與蒸發冷卻作業時，其降溫特性同於玻璃溫室，而降溫性能約可相差 1 °C。

開放型塑膠布溫室環控性能如圖2b。在無環控動作，而四周維持開放時，其特性曲線如圖 a，略高於密閉塑膠布溫室之自動通風環控曲線 B。其自然通風曲線 b，在無遮蔭時，內溫高於大氣溫度 6 °C，50%遮蔭時，高於外溫 2 °C。以機械通風時，降溫特性曲線 c 已十分接近外氣溫度，顯示此種開放型溫室可有效疏解臺灣溫室暑季內部熱累積問題。

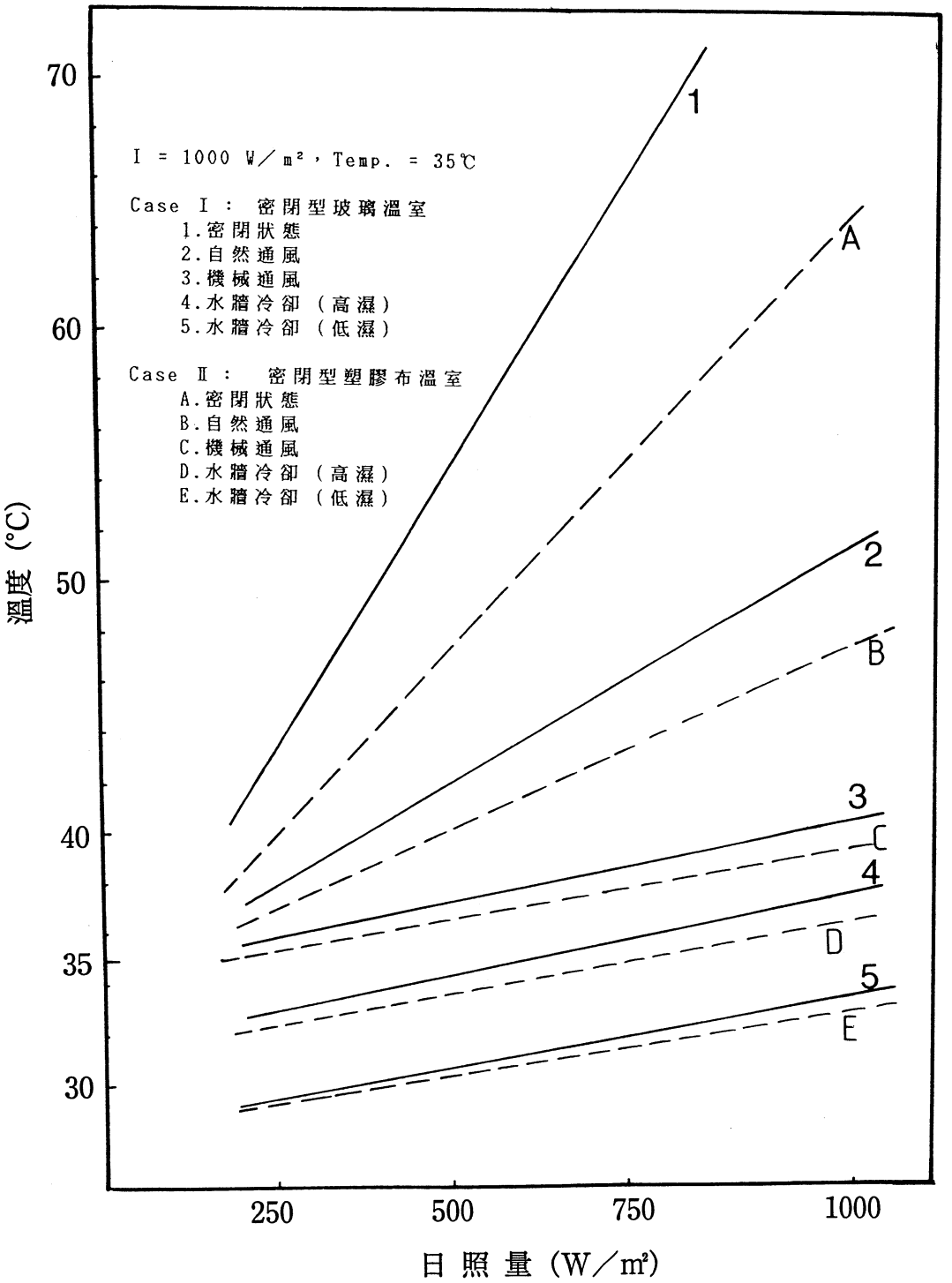


圖 2a. 夏季氣候下溫室環境模式評估結果 (A)

Fig. 2a. The evaluation of the greenhouse microclimate in Summer (A)

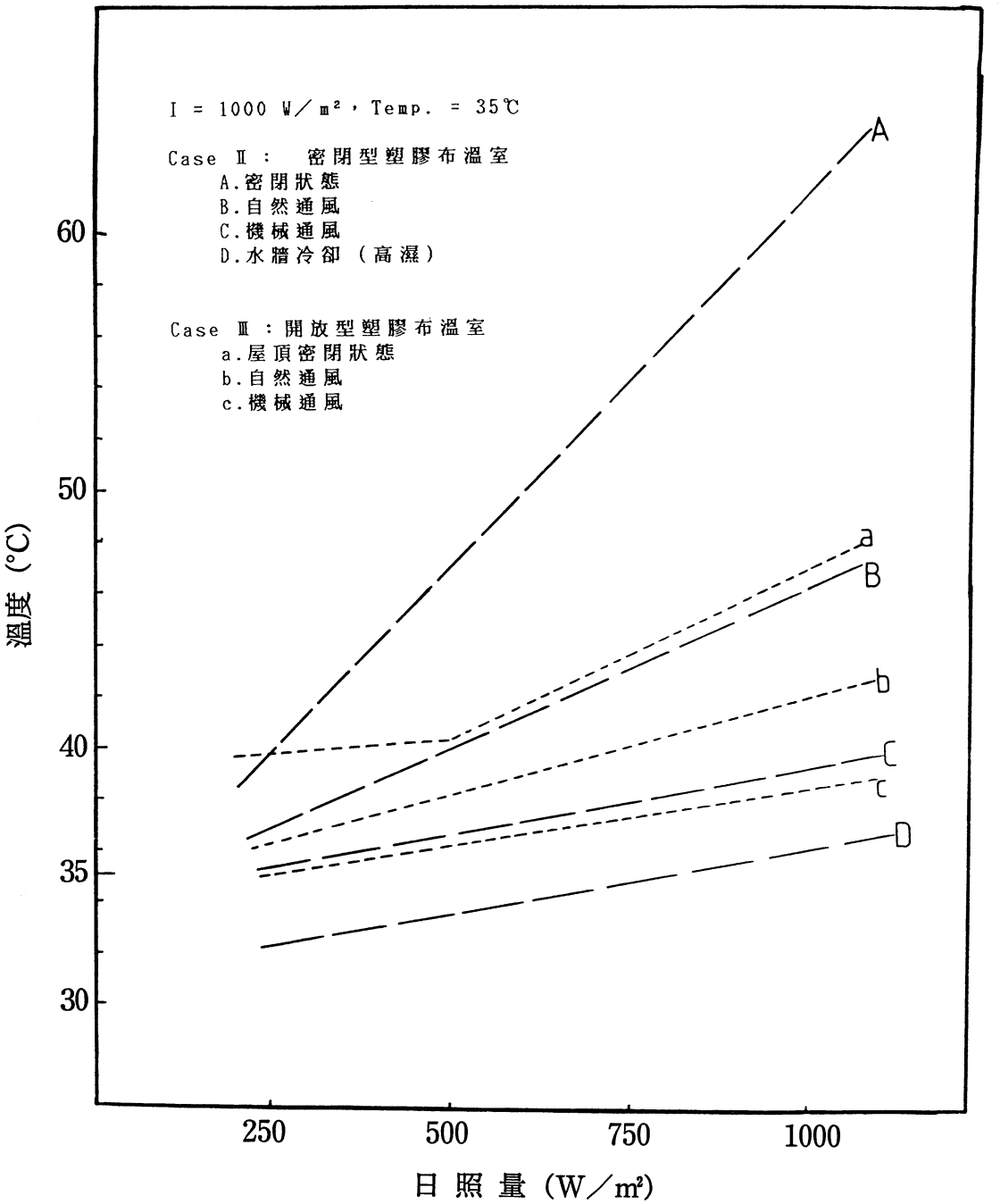


圖 2b. 夏季氣候下溫室環境模式評估結果（B）

Fig. 2b. The evaluation of the greenhouse microclimate in Summer (B)

㈡冬季氣候

在此種典型之冬日氣候下日照量660 W／㎡，溫度26°C。兩型溫室之環控性能如圖3a與3b。

對玻璃溫室而言，未有遮蔭之密閉溫室，其內部溫度在冬日有陽光之氣候下仍可比大氣溫度高達26°C，溫室效應十分顯著（曲線1）。利用機械通風之環控效果（曲線3）在50%遮蔭率下高於氣溫約1°C。自然通風作業下，由曲線2可知，在未遮蔭時，內溫仍高於外溫8°C，50%遮蔭下，內溫高於外界3°C。

對塑膠布 PVC 密閉溫室而言，利用自然通風之影響可使溫室內部溫度皆維持於30°C之內（曲線 B），利用機械通風則同於外界溫度。對開放型塑膠布溫室而言，在冬日低日照下，自然通風（曲線 B）與機械通風（曲線 C）均顯示無嚴重熱累積。 綜合上述環境模式之應用規劃，對密閉式與開放式溫室於國內強日照，高溫高濕之氣候環境下其環控設備作業能力說明如下：

1. 玻璃溫室

玻璃溫室之原先規劃設計以集熱保溫爲主，因此其覆蓋材料玻璃之日射能量透過率（88%），可充份收集太陽能。溫室內部熱能以長波輻射方式向外界大氣散失熱量之比例常數小（3%），因此保溫效果好。此型密閉性溫室在國內使用時，其環控性能特點爲：

⑴在不具遮蔭與未有其他環控設備作業時，溫室熱累積極爲嚴重，夏日可高於氣溫40°C以上，冬日具有陽光時溫室內部溫度高於氣溫約25°C，可知此型溫室若未加改良直接引入時，不適用國內環境。

⑵利用自然通風時，每分鐘內外空氣交換率約爲30%之溫室體積量。對於此型溫室而言，由於強日照能量之影響，自然通風之環控作業不足以排除熱累積效應。夏日內溫仍高於外界約20°C左右，冬日利用自然通風高於外界8°C。

⑶利用機械通風在未遮蔭，充份通風狀態下，溫室內部高於外界3～5°C，配合遮蔭可使溫度接近大氣溫度。由於溫室內部環境對於外界氣候變化之反應極爲快速，因此國內玻璃溫室之利用狀態幾乎保持完全機械通風方式。能源之使用成本因而成爲溫室經營管理之重要考慮因子。

⑷利用水牆進行降溫作業之配合條件除了溫室本身之氣密性之外，必須在A. 低日照量（高遮蔭率），B. 強風量，C. 大氣相對濕度低等條件下才有降溫效果，A，B 兩項條件限制了可在此微氣候條件下栽種之作物，C 項條件與溫室所在地區之氣候有關。

上述討論可知，玻璃溫室在國內氣候環境下其利用型態必須藉助高風量之機械通風才可適用，而爲使溫室內溫度低於大氣溫度時，必須在高遮蔭率，強風量之作業條件與大氣低濕度情況下才有降溫效果，而此情況下可栽培之作物必須加以選擇考慮。

2. PVC 塑膠布溫室

以覆蓋材料之耐久，吸塵性等性能考慮，PVC 覆蓋材料仍有許有爭議，但若考慮減少熱累積之因素，使用後之 PVC 材料因爲其日射能量透過率較低，長波熱輻射率較高，因此熱累積現象比玻璃溫室較爲緩和。其環控特點如下：

⑴在未遮蔭且無其他環控作業狀況下，夏日強日照時溫室內部溫度高於大氣約30°C，在冬日氣候約高於氣溫20°C左右。其熱累積現象皆低於自然通風作業下之玻璃溫室，但仍不適合作物生長。

⑵利用自然通風時，無遮蔭狀態下，夏季溫室內外氣溫因季節約有8～11°C之差異。在50%遮蔭下，內外溫度約有2～4°C之差異性，其環控性能近於利用機械通風之玻璃溫室。利用機械通風之環控能力其內外溫差在3°C以內。冬季未遮蔭時高於外界5～6°C，50%遮

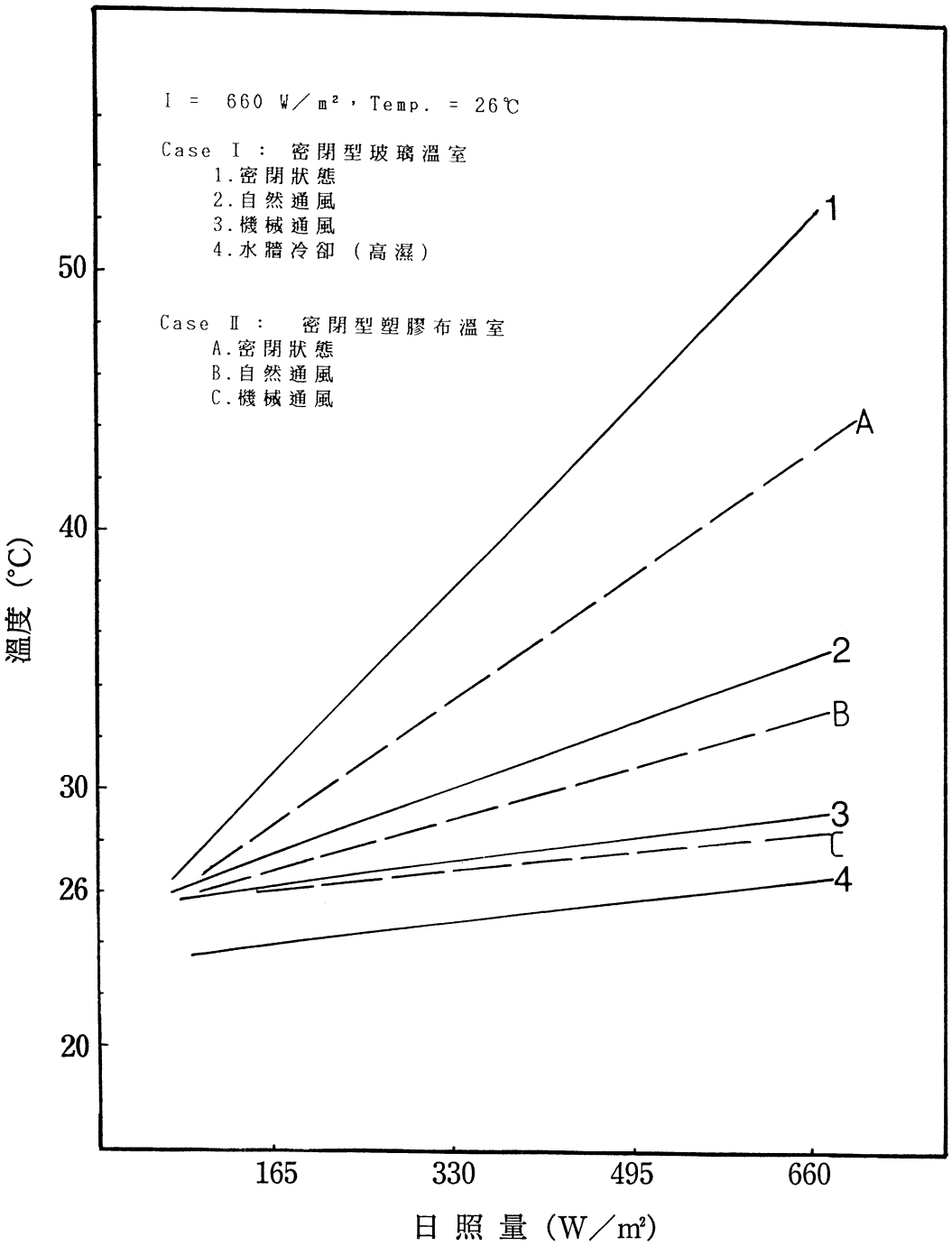


圖 3a. 冬季氣候下溫室環境模式評估結果（A）

Fig. 3a. The evaluation of the greenhouse microclimate in Winter (A)

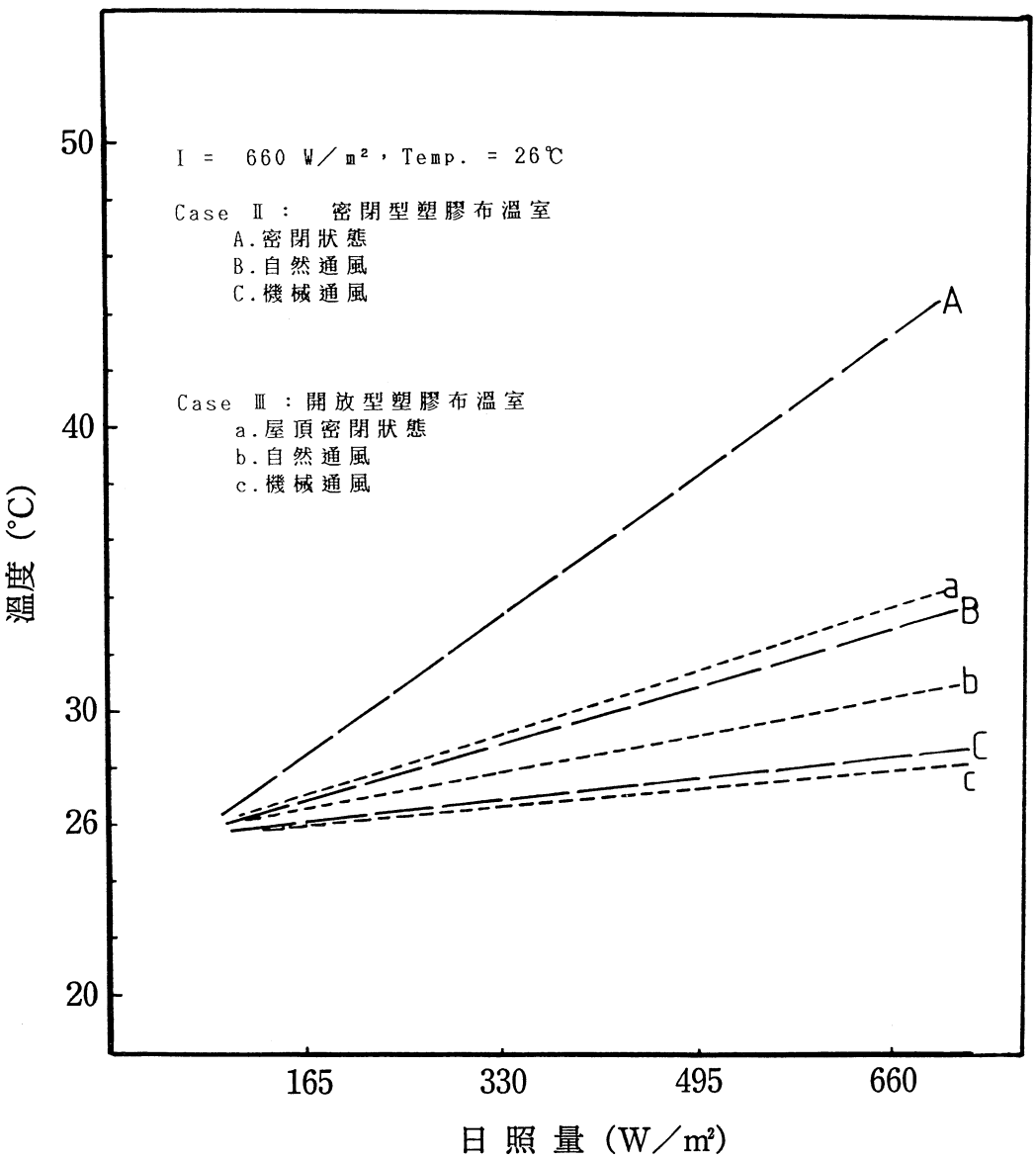


圖 3b. 冬季氣候下溫室環境模式評估結果 (B)

Fig. 3b. The evaluation of the greenhouse microclimate in Winter (B)

蔭下內外溫差 2 ～ 4 °C。

(3)PVC 塑膠布溫室於氣密狀態加裝水牆設備，其效果比玻璃溫室之降溫能力更佳。

由上述討論可知，密閉良好之溫室在國內其熱累積問題十分嚴重，利用機械通風與水牆降溫雖然可疏解熱累積現象，但是其耗費能源十分可觀。

3. 開放型塑膠布溫室

開放型膠布溫室則因四周開放，可減少熱累積現象，上方之累積熱可依太子樓結構或風扇抽氣以排除熱量，因此溫度之增加不似密閉性溫室嚴重。夏季在自然通風狀態下，未遮蔭時內溫高於大氣溫度 5 ～ 6 °C，而言有50%遮蔭時，高於外界 1 ～ 3 °C。冬季低日照量時，未有自然通風時，內溫高於外溫約 6 ～ 7 °C，有自然通風時，僅高於外界 1 ～ 3 °C。可知熱累積不嚴重。

二、花卉生產與溫室設施之利用

由於花卉等觀賞作物其生產受到大氣環境之影響，而露天栽培大氣之外在環境對花卉生產有許多不利之因子，因此利用溫室或設施以滿足花卉之生產要求，在消極方面，能夠抗風擋雨，避免不利的氣候。積極方面，必須對溫度，相對濕度與日照量加以調整。以下即就國內不同地區的自然環境與數種花卉之生長需求，討論所適用之溫室與設施。以中央氣象局之農業氣象局報資料[2]，繪出埔里與屏東三地區之旬平均高低溫與絕對高低溫，如圖 4 與圖 5 。因該項資料未有大氣相對濕度與日照量資料，僅能以溫度爲主加以討論。

㈠花卉生長之氣候條件

1. 蝴蝶蘭：日溫25～30°C，夜溫20～25°C，催花期18～25°C。光量10,000Lux 以下。相對濕度70～90%[5]。
2. 觀葉植物：夜溫高於18°C，日溫低於30°C。光量16,000～40,000Lux。相對濕度70～90%[4]。

㈡花卉栽培適用之溫室設施

1. 蝴蝶蘭

以30°C爲生長局限溫度，25°C爲催花溫度，由埔里與屏東地區之氣候條件（圖 4 與 5 ）可知，利用蒸發冷卻法是唯一溫室內部溫度低於30°C之方法。而由於蒸發冷卻方式需要之結構爲密閉，因此西方密閉玻璃室成爲蝴蝶蘭週年生產之最初選擇，而利用此密閉型溫室之主要問題如下：

(1)熱累積問題：

由圖3a可知，在低日照量660w／㎡，（25%遮蔭）自然通風下，玻璃溫室仍有嚴重熱累積，必須利用機械通風才能排除熱量，由此可知密閉型溫室在國內環境下，必須以耗費能源的機械通風作業以維持內部環境適合作物生長。

(2)降溫極限問題：

利用蒸發冷卻方式其降溫能力無法低於大氣濕球溫度，以國內氣象之資料評估結果，夏季 6 ～ 9 月中，28°C幾乎爲溫室內部環控局限，此溫度適合蘭花生長，但對花期調節仍然不適合，爲達到25°C以內之溫度，必須利用機械冷凍原理以冷氣機降溫，此種消耗高能源之生產方式是否有經濟利益，需要計算成本加以評估。

(3)日照量問題：

由於蝴蝶蘭溫室均有內外遮蔭設備，光量需求問題較小，而低日照量代表近入溫室內部之熱量少，對降溫環控極爲有利。

(4)相對濕度問題：

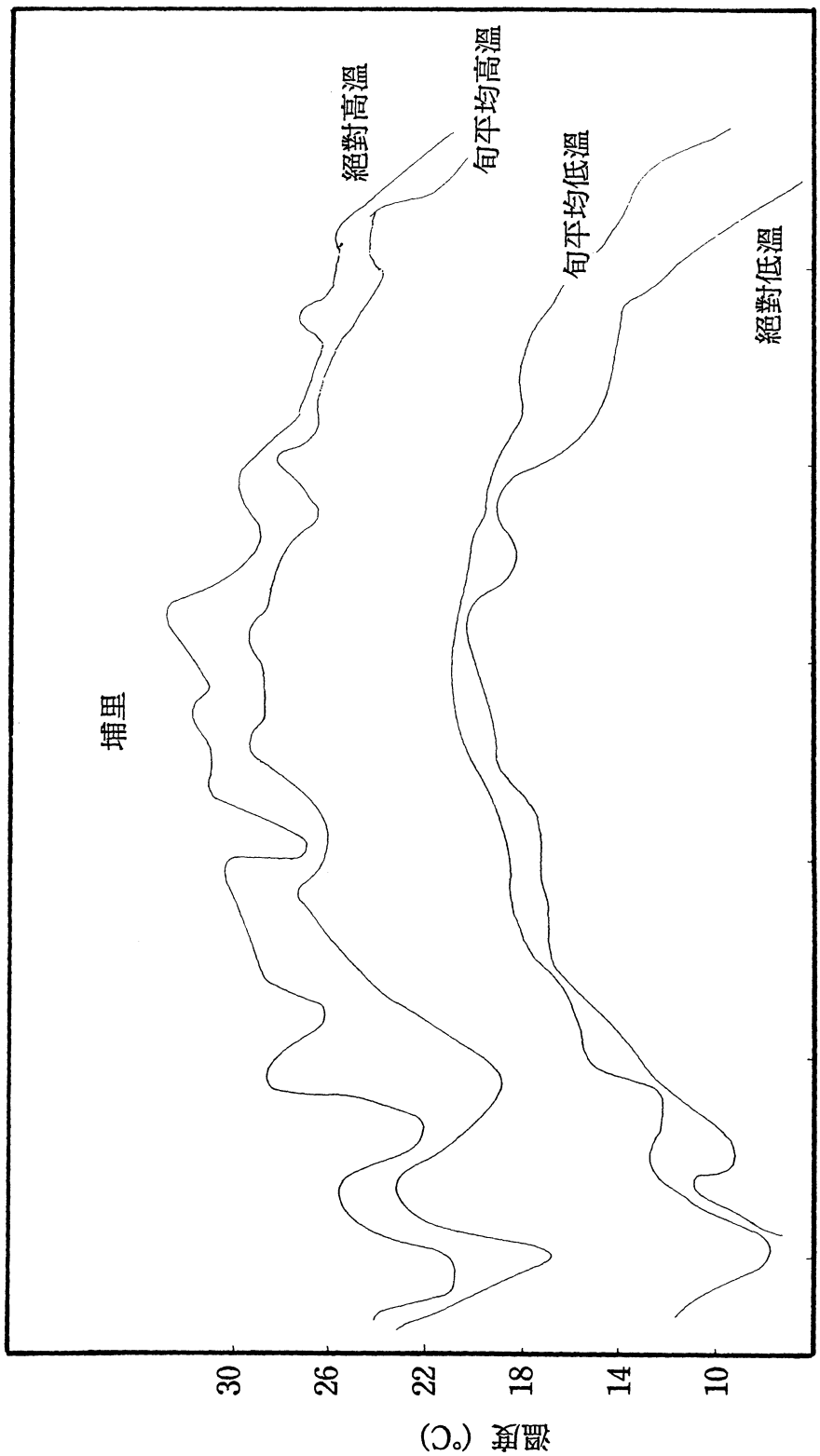


圖 4. 埔里地區溫度變化特性

Fig. 4. The temperature characteristic in Pu-Li

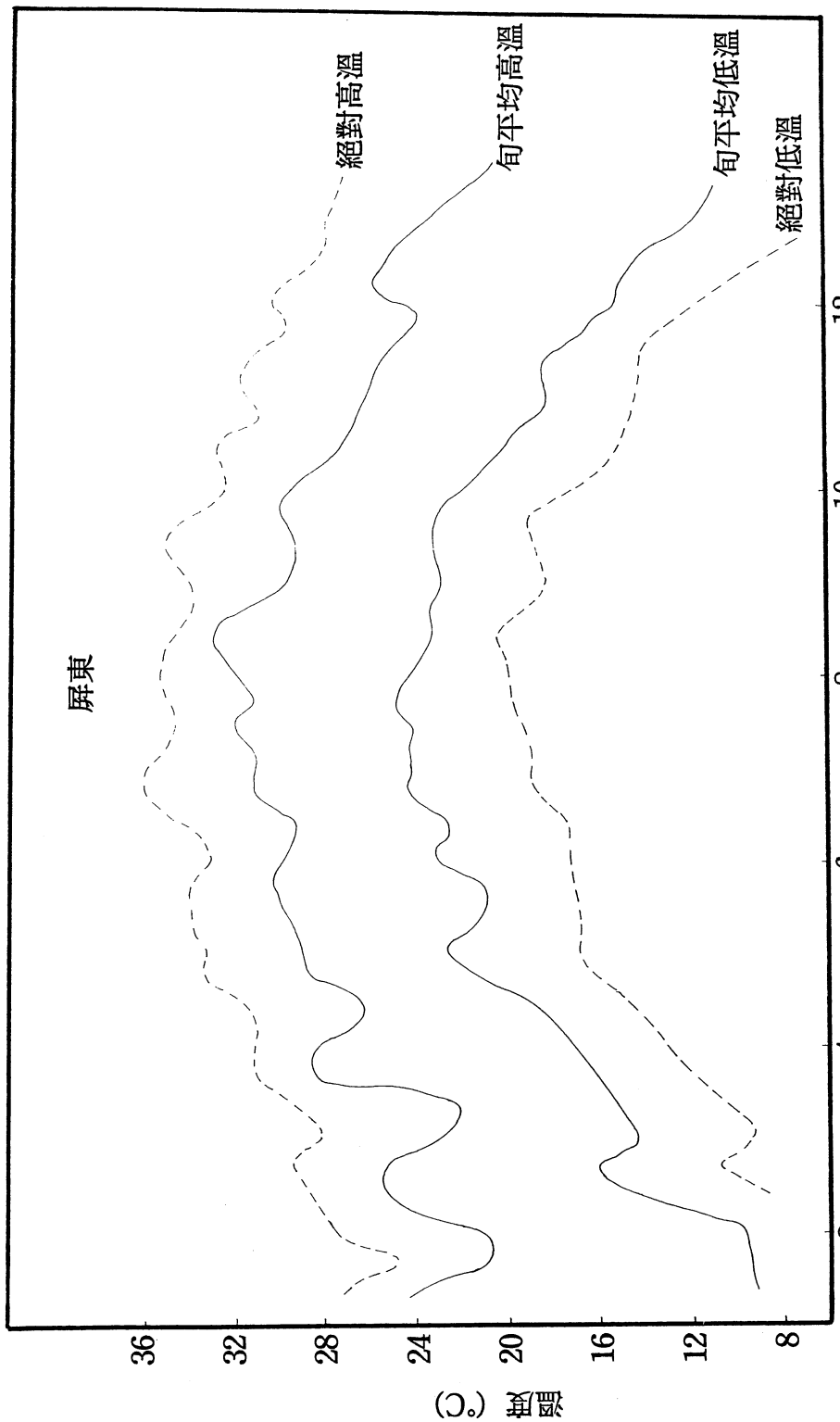


圖 5. 屏東地區溫度變化特性

Fig. 5. The temperature characteristic in Ping-tung

夏季相對濕度太低時，因利用蒸發冷卻，已有加濕之功能，冬季濕度過高可利用通風扇進行通風以克服。

由上述討論可知，利用密閉型溫室進行蝴蝶蘭生產，相對濕度與日照量問題並不嚴重。溫度方面必須以機械通風不斷排除熱累積，並需要以蒸發冷卻法降溫，但是無法克服夏季之降溫局限問題，在大氣溫度偏高之南部，能源之耗用更爲可觀。所喜臺糖公司已開發完成局部環控降溫系統，可減少降溫能源需求[14]。

蝴蝶蘭之溫室利用建議如下：

(1)選擇適合之大氣環境，避免大氣之高溫，強日照狀態之冷涼地形，可以以埔里地區爲例。

(2)利用開放型溫室，避免多餘之熱累積。

(3)配合通氣扇與內外遮蔭網以調整相對濕度與日照量。

針對溫度問題，討論如下：

A. 在埔里地區

a. 每年10月至亦年 4 月，共有半年期間，大氣最高溫度未高於生長區限30°C，用密閉性之溫室效應加溫或以加熱器加溫。

b. 每年 7 ～ 9 月暑熱期間，利用密閉性配合蒸發冷卻系統使溫室內溫低於30°C或利用臺糖公司局部環控降溫系統。

c. 4 月～ 7 月利用四壁開放，使內溫近於外溫。

B. 在屏東地區

a. 除非寒流來襲，否則不需要加熱能源，僅四周完全開放，溫室內溫度自11月至亦年 4 月均在生長溫度之內。

b. 自 4 月至10月，必須利用機械通風配合蒸發冷卻設備，或利用臺糖公司局部環控降溫系統，才能維持30°C以內。

由上述討論可知，雖然溫室環控設備可以配合大氣環境以調整內部微氣候，但是所需之機械作業時間影響了成本，而蒸發冷卻技術不足以執行花期調整作業，必須輔助以冷氣設備，使周年生產之成本增加。

2. 觀葉作物（遮蔭網或遮雨棚）

由於作物已有遮蔭設備，在光照方面可滿足需求。在溫度方面因爲觀葉作物之適應溫度範圍較大（18～30°C），無環控設備時，遮蔭網與遮雨棚之降溫極限與大氣相同。以埔里地區之栽培環境而言，在10月至亦年 4 月之間，最低溫均低於18°C，產生加溫問題，在 6 月至10月之間，最高溫度雖大於30°C，但差距不大，由此可知，埔里地區觀葉作物之問題在於冬季。對屏東地區的栽培而言，冬季除了寒流來襲使氣溫降低，冬天的氣候十分適合觀賞作物之成長，然而夏天的溫度經常高於30°C。業者雖然以雙重或更多層遮蔭網加以遮蔭，但對降溫的功能仍屬有限。

由於使用之設施爲開放型，又未具通風設備，在相對濕度方面，僅能依靠大氣變化而受影響，此爲此設施生產之限制條件。

觀葉作物之產地分佈在中部與南部高屏地區，中部之栽培問題在於冬季之加溫，高屏地區之問題在於夏季之降溫。相對濕度依大氣狀態而定。對於環境控制技術而言，唯有溫室與設施具有完備的控制設備，才能執行環控作業。

三、周年生產與短期生產

由上述兩類作物於中部與南部栽培所受之氣候影響資料，可知利用簡易的設施進行作物栽培，不論是使用遮蔭網或是遮雨棚，理想的環控條件僅與大氣乾球溫度相同或略低，相對濕度依大氣狀態而

定。因此其內部環境之降溫局限受大氣環境所限制。而若設計規劃不當，內部熱累積無法排除，內部溫度則將遠高於大氣溫度。在排除熱累積良好的設施，因環境控制能力不周延，因此只適合短期生產作業。若需要進行周年生產，在不利作物生長之大氣候條件下，必須以環控設備以調整內部微氣候。所需環控設備因作物之生長溫度，相對濕度與日照量需求而不同，設施的結構更需配合改良。爲能加裝環控設備，只有利用溫室方可勝任，在避免密閉溫室引發的熱累積問題，多重功能的開放型溫室可視作物生長狀態需求而加以採用。

以作物經營的觀點而言，改善溫室結構增加環控能力，可使溫室內部微氣候控制更加完善，提高作物產量與產值，但也增加投資成本。如何求得最高之投資利潤，此應以作業研究方法進行生產整合規劃，提供業者抉擇參考。

結　論

此研究以已發展之溫室內部微氣候模式爲基礎，配合國內花卉生產主要使用的農業設施：遮蔭網、遮雨棚與溫室，評估在不同大氣狀態下三型溫室之環控能力與降溫作業之性能極限。玻璃溫室之聚熱能力遠大於塑膠布溫室，必須藉由高風量之機械通風方可改善內部熱累積。利用四壁可開閉之開放溫室可疏解熱累積現象，減少環控能源之需求。

以國內主要花卉之生長需求配合大氣環境以評估環控需求，蝴蝶蘭栽培溫室夏季在國內之環控極限下不能符合催花溫度需求，因此需憑藉冷凍通風設備以完成。觀葉作物之環控調節因地區需異，中部山區之主要問題爲冬季保溫，南部地區需克服夏季降溫問題。目前農民所用之遮蔭網或遮雨棚設施對周年生產並不適用。利用溫室配合環控系統可改善內部微氣候氣候，但投資資本爲之增加。對於溫室作物生產之整合規劃而言，需要建立各相關子模式，以結合爲完整系統模式以執行規劃作業。

引用文獻

1. 王鼎盛。1988。設施園藝設計手册。初版。臺灣大學。臺北。
2. 中央氣象局。1993。農業氣象旬報。中央氣象局主編。臺北。
3. 李　咔。1990。盆栽觀葉植物栽培。八萬農業建設大軍訓練教材。436A—園藝97。農林廳。
4. 李　咔。1991。臺灣切花產業發展策略規劃。國立臺灣大學園藝系。
5. 阮育雄。1988。蘭花水耕滴灌栽培方法。蘭花生產改進研討會專集。7—20頁。臺東農改場。
6. 許謙信。1933。花卉簡易設施栽培現況。興農雜誌　289：41—50。
7. 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　41：79—89。
8. 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　41：90—114。
9. 陳加忠、陳志昇。1992。遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究。中華農業研究　41：382—392。
10. 陳加忠。1993。塑膠布溫室栽培自動化技術手册。農業機械化研究中心。臺北。
11. 陳加忠、林瑞松。1993。塑膠布溫室環控系統之研究。農業工程學報　39：84—91。
12. 陳加忠、陳邦華、曹之祖。1993。不織布浮動層覆蓋熱環境模式之研究。中華農業研究　42：200—215。
13. 陳加忠。1993。透明 PVC 塑膠布山型溫室日照能透過率之研究。中華農業研究　42：419—429。
14. 陳文輝。1994。蝴蝶蘭等觀賞作物自動化生產之研究。17—22頁。出自陳加忠編"花卉生產自動化技術資料手册"；花卉生產自動化技術服務團。
15. Bot, G.P.A. 1984. Greenhouse climate from physical processes to a dyna mic model, Ph. D. Thesis, Agricultural university Wangeningen, The Netherlands.
16. Jong, T. de. 1990. Natural Ventilation of large multi-span greenhouse . Ph. D. Thesis. Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

Application of the Greenhouse Environmental Model on the Protected Culture for Floriculture[1]

Chia-Chung Chen[2] and Ruey-Song Lin[3]

Summary

In this study, the enviromental control performace of three types of greenhouses for floriculture in Taiwan were evaluated by the greenhouse microclimate models. The heat accumulation of glasshouse were so serious that it required the highly volume ventilation. The open-type plastic house could severed as good protected structures to releave the heat accumulation problems. The temperatures in greenhouse cooled by evaporative cooling technique could not meet the requirement of controlling flowering of Phalaenopsis plants. The refrigeration equiupments was the only choice but the investment would be too expensive. The shading net and rain shelter used popularly could not maintain the adequate climate for ornamental culture for all the year round in Taiwan. The microclimate could be improved by the adequate structures and control devices of greenhouse, but it would increase the production cost. The integrated plan of the several factors is very important to execute the production plan of greenhouse.

Key words: Greenhouse, Floriculture, Environmental model.

1. Contribution No. 1817 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Associate Researcher, Department of Agricultural Engineering, Wufeng, TARI, Taiwan,ROC.
3. Associate Professor, Department of Horiculture, National Chnug-Hsin University, Taichung, Taiwan, ROC.