

# 專 論

## 都市水耕栽培系統之製作與成效

### The Construction and Implementation of a Hydroponic Culture System in an Urban

國立臺灣大學農業工程學系副教授

國立宜蘭農工專科學校土木工程科講師

王 鼎 盛

喻 新

Tin-Sen Wang

Hsin Yu

#### 摘 要

在都市地區成功開發一種搭建容易、抗風性高、造價低廉、管理時間短暫又可不定期照顧的家庭式蔬菜水耕栽培溫室，以提供忙碌之都市家庭自行生產無農藥的清潔蔬菜與各種花卉。

此種溫室在裝有養液 10cm 時，可抗風壓力為  $74.49\sim 89.51\text{kg/m}^2$  相當於風力區 100~150 級區。若將養液深度增加 0.4~2.7cm 時可算風壓力的皆為  $92.3\text{kg/m}^2$ 。

在以不同高度遮蔭之研究結果發現，黑網不宜直接覆蓋於水耕溫室頂部，而有 10cm 高度時溫室內部熱環境的均勻度較佳，且溫室內部最高氣溫較低，但再增加遮蔭高度對其並無影響。無論覆蓋高度為何，培養液溫度均可控制在穩定狀態。

此種溫室在屋頂搭建可阻截、反射、吸收太陽輻射，夏季時增加屋頂之隔熱效率可達 20.8%，降低夏季冷氣使用量以節約能源。

蔬菜水耕栽培以海綿配合栽培管之型式並以疏植方式栽培最佳，不但管理方便且蔬菜品質優良，最適家庭栽培採用。

花卉水耕栽培之適宜環境隨花卉種類而改變，栽培介質採用海綿時栽培成效較佳。

此種系統每坪可生產年收益達 1905 元且無農藥之高品質蔬菜。花卉年收益為 1210 元，但若改換品種及種植方式可顯著增加收益。

關鍵詞：水耕蔬菜、水耕花卉、溫室、溫室環境、隔熱。

#### ABSTRACT

An easy-constructed, high wind resistant, low cost, and manageable greenhouse with vegetable-flower hydroponic system at the roofplate for urban families was developed.

This kind of greenhouse which fill with 10 cm depth of cultural liquid can resist wind pressure ranged from  $7.49$  to  $89.51\text{ kg/m}^2$  (100 to 150 wind grade). It can also sustain wind velocity of  $38.4\text{ m/sec}$  and wind pressure of  $92.34\text{ kg/m}^2$  regarding to increase the depth of liquid from 2.7cm to 0.4cm.

The height of shade about 10 cm is the optimum span for the

uniformity of thermal environment in the greenhouse. For the cooler condition, the response also no change even increase the shade height. Shade can control the temperature of cultural liquid in stable condition without the effect of heights.

The greenhouse also decreases average about 20.8% of thermal conduction at roofplate so that save cooling expeditnres during the summer.

Since easy management and high quality production, this type of hodroponic system with sponge as its media and with culture bott les is the appropriate arrangement for family use.

There is no significant results of flower productions with different shades. The production of flowers with sponge as its media is also better than others. The annual profit of per 3.3m<sup>2</sup> is NT\$1905 for high quality vegetable proPuction with pesticide-free, while NT\$1210 for flower production. It can be improved greatly by changing the species of flower or by changing the methods of culture system.

Keywords: Hydroponic vegetables, Hydroponic flowers, greenhouse, thermal resistance, greenhouse environment.

## 一、前 言

本省地狹人稠，食物的需求量甚為龐大，其中對蔬菜的數量與品質均受到天災與人為之影響；每年颱風季節因風雨造成蔬菜產地農作物大量損失，菜價上漲可達百分之兩百以上；此外，臺灣地區每年有十萬噸農藥殘毒超量的蔬菜被吃進消費者的肚子裏，平均每年每人要分攤 5 公斤的問題蔬菜，為改善上述問題，農政單位與農業生產者正大力推行設施農業與水耕栽培，以提高農產品的質與量。但在都市地區人口衆多且土地面積有限，如何開發一種結構精巧而管理便利的家庭式水耕栽培溫室，以提供忙碌的都市家庭可自行生產無農藥的清潔蔬菜，或栽植花卉以美化綠化生活環境是本研究之重點。

此一栽培系統若在屋頂搭建，對強風的抵抗能力極為令人擔憂，應對其從事結構分析以瞭解抗風能力，確定構造物的安全性，才可使居民安心使用，避免造成其他危害。

本省因氣候環境炎熱，夏季日照強烈，溫度過高時反而會減少作物的光合作用速率<sup>(10)</sup>；此外，培養液在高溫時因飽和溶氧量降低而來養液中的溶氧量減少會造成植物根部呼吸機能減退，產生生產障礙，甚至枯死<sup>(16)</sup>。故以溫室栽培作物時，多使

用黑網作為遮蔭及降溫設施，但遮蔭時宜將黑網覆蓋於室外溫部，以免溫室效應使短波幅射在溫室內反射成長波幅射而無法釋出，反而增加溫室內部之熱量。但在外部覆蓋黑網時，究竟以何種高度為宜，對溫室內環境因子到底會產生何種影響，是本研究所欲瞭解之項目。此外，利用水耕栽培系統同時可遮、反射太陽幅射，在設施內種植的植物可阻隔並吸收太陽幅射，植物所產生的蒸發散量亦可消耗大氣中的熱量，使設施下方遮蔭部份的溫度降低，增加屋頂隔熱效果，降低夏季冷氣空調之使用量，而減少能源之消耗。

在栽培系統方面，本文同時探討不同栽培介質（如稻殼、煉石、海綿）、不同栽培密度（如點播、撒播）及不同遮光程度（如清洗塑膠布、遮50%黑網及80%黑網）等因素對蔬菜及花卉水耕栽培成效之影響，以尋找適宜理想之水耕栽培系統。

綜合上述，本文之研究項目包括(一)建造開發家庭式水耕栽培溫室及栽培床，並對其結構作強度分析。(二)對溫室熱環境之測定，包括溫室遮蔭系統對溫室內之影響，以及溫室對減少屋頂熱傳導量之影響。(三)蔬菜栽培試驗。(四)花卉栽培試驗。(五)對栽培系統作經濟分析。

## 二、材料與方法

### (一)家庭式水耕栽培系統之構造

本研究開發家庭式水耕栽培系統之水耕溫室設計構想係來自田間作畦栽植作物方式，而在栽培床上方加覆設施保護，其栽培面積佔設施覆蓋面積100%，較之一般溫室約70%至80%更為經濟有效，其設計原則為(1)搭建容易(可以自行組合)，維護簡單。(2)操作簡便，省力省時。(3)結構安全，造價低廉。(4)防蟲性高，通風良好。其規格為長360公分，寬100公分，高124公分，面積為3.3平方公尺(圖1)。結構係以 $\frac{1}{2}$ 吋及 $\frac{3}{4}$ 吋鍍鋅鐵管為骨架，可以自行組合搭建；並在溫室頂部覆蓋農業用P.E或P.V.C.透明塑膠布，可防止雨水進入養液槽，避免培養液稀釋；必要時亦可加覆農業用黑網遮蔭；溫室四面用24目尼龍網包覆，以利通風及防止蟲害；為使操作方便，以固定夾固定塑膠布、尼龍網及黑網，可輕易拔出或固定。

本系統之栽培設備可隨栽培作物而彈性調整，為節省能源，均選擇不需使用電氣設備的靜態式栽培系統；第一種方式是以保麗龍發泡成形之雙凹型槽為栽培床，栽培床規格長354公分，寬88公分，淨深13公分，中央有1.5公分之凸線，將栽培床分隔成兩槽而成雙槽型，培養液可連通；中央之凸線具有支持保麗龍支撐板之功用。在栽培床內部鋪一層黑色塑膠布以遮蔽光線，防止藻類生長，同時兼具防漏功能。覆蓋栽培床的支撐板則採用耐力強、密閉性佳且隔熱效果良好的保麗龍板作為支撐板，每塊支撐板上有等距離的種植孔，種植孔的規格可

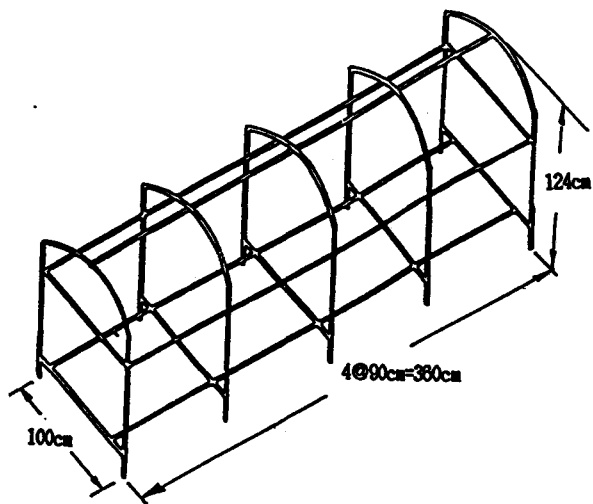


圖1 家庭式水耕溫室結構圖

以配合海綿塊或栽培管而決定。第二種型式係以3分之三夾板置於鐵架基座上，作為放置栽培槽之底板。栽培槽則可採用一般盆栽用硬質塑膠花槽或其他塑膠水槽，在栽培槽內部鋪一層黑色塑膠布，栽培槽上方以保麗龍板作為支撐板，厚度約3公分，支撐板上種植孔的規格亦可彈性調整。

### (二)水耕溫室結構分析

本實驗所採用的家庭式水耕溫室乃屬矮架溫室，本節將對其結構之抗風性、承載應力等作一分析，其結構分析方式如下：

#### 1.水耕溫室結構

本水耕溫室其屋頂為拱型，骨架材料為鍍鋅管(屋身採 $1/2$ " $\phi$ 尺寸，底座為 $3/4$ " $\phi$ 尺寸)共有五個平面主骨架在縱方向排列，以鍍鋅管為繫材。屋面被覆材為塑膠布，兩側及山牆面被覆材則可為塑膠布或紗網。其底座為一連續鍍鋅管架，上可置放約90cm 360cm面積之栽培床。其各部詳細尺寸可參看圖2及圖3所示。

#### 2.結構分析方法與步驟

(1)構造物本身重量計算：參看其尺寸圖，分別計算 $1/2$ " $\phi$ 及 $3/4$ " $\phi$ 鍍鋅管總長度，再以 $1/2$ " $\phi$ 鍍鋅管重0.952kg/m及 $3/4$ " $\phi$ 鍍鋅管重1.41kg/m計算出全棟骨架總重。

(2)風力係數之決定：分為密閉式、網式I、網式II、網式III四種，網式I、網式II、網式III係分別指紗網透過率為0.6、0.7、0.8之考慮，風力係數值的來源及決定，係參考設施園藝設計手冊第一章1.1.8風壓力一節圖1-3(a)、(b)、(c)<sup>(1)</sup>。

(3)傾覆校驗：考慮栽培床內無養液時及有養液10cm深度時之抵抗力矩及傾覆力矩，令傾覆力矩等於抵抗力矩，可決定出構造物可承受最大風荷重，再換算成風壓力及相當風速，其公式計算係參照設施園藝設計手冊第一章1.1.8風壓力算式(1)~(2)<sup>(1)</sup>。

(4)構造物結構應力分析：本分析採用結構設計中之工作應力法設計。依照步驟(3)所決定之風荷重，作用於構造物上，求出其承受最大彎矩之最大應力 $\sigma_{max}$ ，並比較 $1/2$ " $\Phi$ 鍍鋅管本身能承受容許應力值 $\sigma_s$ ，若 $\sigma_{max} \leq \sigma_s$ 則該構造物即屬合格。

### (三)熱環境分析

#### 1.遮蔭對溫室內氣溫及液溫之影響

溫室設置遮蔭方式如圖4所示，高度分別為0cm、10cm及20cm，其中0cm係採直接將黑網

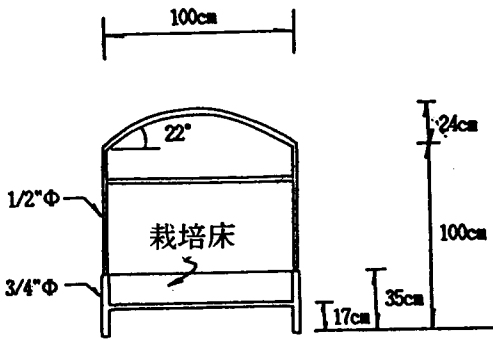


圖 2 水耕溫室側面圖

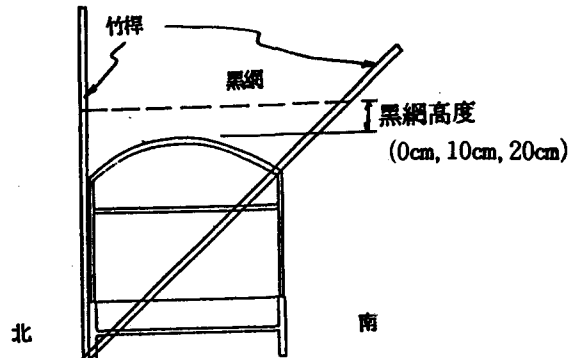


圖 4 水耕溫室遮蔭方式圖

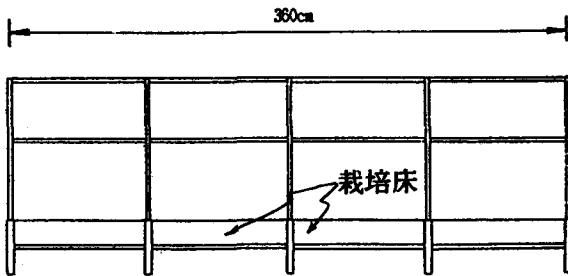


圖 3 水耕溫室正面圖

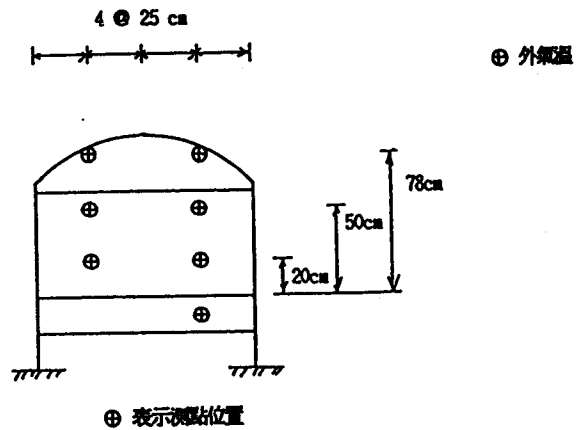


圖 5 溫室測點佈置圖 (側面圖)

覆覆於簡易溫室之頂部。試驗進行時為避免其他環境因子之干擾，在同一時間測定 0cm 與 10cm 之環境狀況並作比較後，再測定 10cm 與 20cm 之環境狀況。試驗期間同時以資料蒐集機 (Data logger) 連接熱電偶補償線 (thermocouple) 測定外氣溫、溫室內部氣溫及液溫，在溫室內部氣溫、液溫等各測點感應器之按裝位置如圖 5 及圖 6 所示。

### 2. 溫室對屋頂樓板隔熱效率之影響

為探討樓板之溫度，本研究設計一樓板溫度實驗，以實測值來分析比較，各測點之按裝佈置如圖 7。

對於頂樓被溫室遮蓋之樓板面的熱傳導分析，可利用有限差分技巧去解，此方法特別適用於具

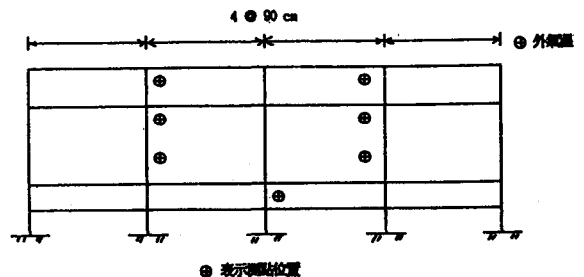


圖 6 溫室測點佈置圖 (正面圖)

有高速數位電腦之配合。

(1)有限差分方程式 (Finite Difference Equations)

(a)假設條件：

為有助於解決熱傳導計算問題，在計算式推導過程對系統有下列的假設：

- a. 穩態狀況
- b. 二維熱傳導
- c. 系統性質：對流係數，傳導係數為常數

(b)節點網路 (The Nodal Network)

參考圖 8，將介質分割成一些小區域，並在各區域的中心設定一參考點，這些參考點通稱為節點 (nodal point or mode)，而這些節點聚集起來即稱為節點網路 (nodal network, grid or mesh)，二維系統的節點標示法可參看圖 9，x 和 y 的位置分別由 m 和 n 來表示。每一節點均代表某一區域，且此點所量得的溫度乃為此區域的平均溫度。

圖 9 中節點 m, n 的溫度可視為其周圍之陰影區域的平均溫度。節點並非任意選擇，是依介質的幾何形狀和所要求的精確度而定。取節點數目愈多，則其精確度愈高。

(c)熱傳導方程式的有限差分法 (Finite Difference Form of the Heat Equation)

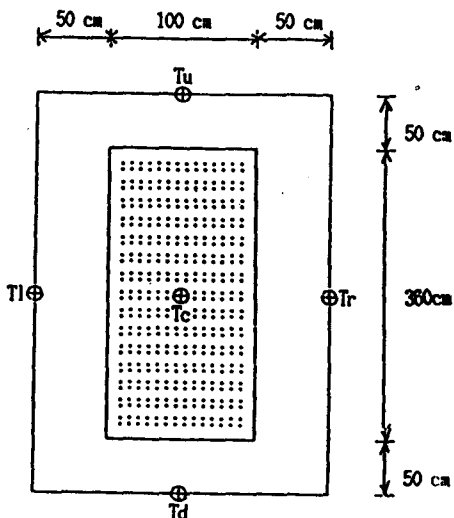


圖 7 樓板測點按裝

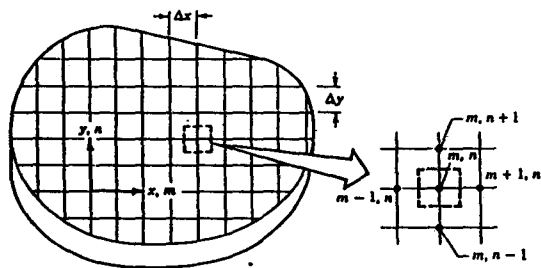


圖 8 節點網目

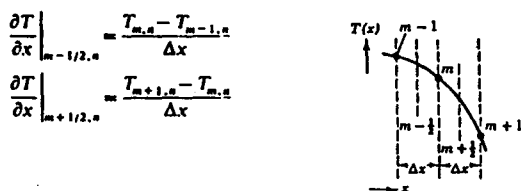


圖 9 有限差分近似法

以有限差分式決定溫度分佈，必須對節點網目中的每一節點使用能量守恆式。如此會得到一組聯立方程式——近似的差分式熱方程式<sup>(18)</sup>。

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4T_{m,n} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

即對節點 m, n 而言，其等距離之相鄰四節點的溫度和平均值等於該點的溫度。雖然以上求得的溫度為有限差分方程式的正解，但它們並非物理問題的真正結果。因為有限差分法只是近似解。其近似的精確度可利用減小網目大小 (即增加節點數目) 而提高。

(2)屋頂樓板之傳熱計算

以下利用方程式(1)，並將樓板分割成21個節點 (圖10)，則每一節點的有限差分方程式如下：

- 節點 11:  $T_1 + T_{12} + T_{18} + T_u - 4T_{11} = 0$
- 12:  $T_1 + T_{13} + T_{19} + T_{11} - 4T_{12} = 0$
- 13:  $T_1 + T_{14} + T_{20} + T_{12} - 4T_{13} = 0$
- 14:  $T_1 + T_{15} + T_{21} + T_{13} - 4T_{14} = 0$
- 15:  $T_1 + T_{16} + T_{22} + T_{14} - 4T_{15} = 0$
- 16:  $T_1 + T_{17} + T_{23} + T_{15} - 4T_{16} = 0$
- 17:  $T_d + T_{24} + T_{116} - 4T_{17} = 0$

- 18:  $T_{11} + T_{19} + T_{25} + T_u - 4 T_{18} = 0$
- 19:  $T_{12} + T_{20} + T_{26} + T_{18} - 4 T_{19} = 0$
- 20:  $T_{13} + T_{21} + T_{27} + T_{19} - 4 T_{20} = 0$
- 21:  $T_{14} + T_{22} + T_{28} + T_{20} - 4 T_{21} = 0$
- 22:  $T_{15} + T_{23} + T_{29} + T_{21} - 4 T_{22} = 0 \dots (2)$
- 23:  $T_{16} + T_{24} + T_{30} + T_{22} - 5 T_{23} = 0$
- 24:  $T_{17} + T_d + T_{31} + T_{23} - 4 T_{24} = 0$
- 25:  $T_{18} + T_{26} + T_r + T_u - 4 T_{25} = 0$
- 26:  $T_{19} + T_{27} + T_r + T_{25} - 4 T_{26} = 0$
- 27:  $T_{20} + T_{28} + T_r + T_{26} - 4 T_{27} = 0$
- 28:  $T_{21} + T_{29} + T_r + T_{27} - 4 T_{28} = 0$
- 29:  $T_{22} + T_{30} + T_r + T_{28} - 4 T_{29} = 0$
- 30:  $T_{23} + T_{31} + T_r + T_{29} - 4 T_{30} = 0$
- 31:  $T_{24} + T_d + T_r + T_{30} - 4 T_{31} = 0$
- 31:  $T_{24} + T_d + T_r + T_{30} - 4 T_{31} = 0$

方程組(2)若以矩陣一向量方式表示，方程組可改寫為：

$$[A] \{T\} = \{C\} \dots \dots \dots (3)$$

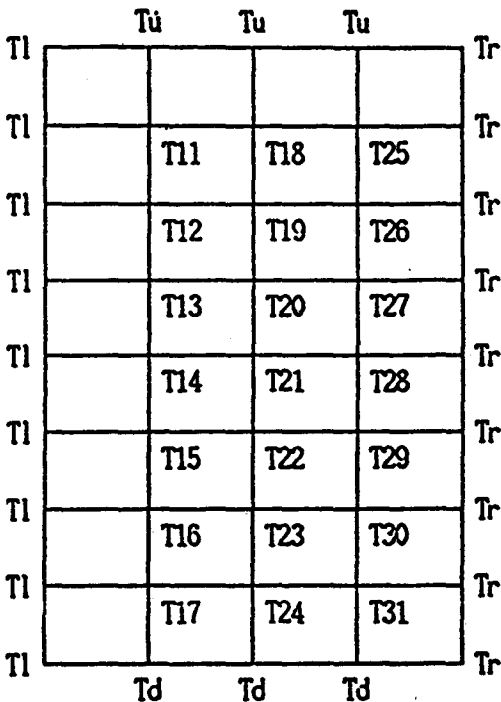


圖10 樓版之節點網目

其中 [A] 為  $21 \times 21$  之係數矩陣，屬非奇異方陣，可表為：

$$[A] = \begin{pmatrix} -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (4)$$

{c} 為  $21 \times 1$  常數矩陣，[T] 為  $21 \times 1$  溫度矩陣。審視 [A] 矩陣，知 [A]<sup>-1</sup> 存在，故可推得 {T} = [A]<sup>-1</sup> {C} ..... (5)

(3) 隔熱效率

為了算出隔熱效率，可選擇被遮蔭部份之平均值 T<sub>ave</sub> 與曝曬測點 T<sub>0</sub> 作比較。

利用熱傳導公式

$$Q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

分別將 T<sub>0</sub> 及 T<sub>ave</sub> 與室內空調設計溫度之差 (ΔT) 代入上式，求出個別傳過樓板的熱量 Q。式中 Q (Watt) 為傳過截面 A (m<sup>2</sup>) 時之熱透，K (W/m<sup>2</sup> °C) 為熱傳導係數，ΔT (°C) 為溫度變化，ΔX (m) 為厚度，負號表示熱流量往 T 減少之方向流動。

令 φ 為隔熱效率，則 φ 可表為

$$\phi = \frac{Q_b - Q_s}{Q_b} \times 100\% = \frac{(\Delta T)_b - (\Delta T)_s}{(\Delta T)_b} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

其中

- Q<sub>b</sub> = 曝曬之熱傳遞量 (W)
- Q<sub>s</sub> = 遮蔭之熱傳遞量 (W)
- (ΔT)<sub>b</sub> = 曝曬之溫度變化 (°C)
- (ΔT)<sub>s</sub> = 遮蔭之溫度變化 (°C)

(四) 蔬菜水耕栽培

本研究共分為三種介質栽培系統。即(1)稻殼介

質栽培系統（浮根式栽培系統）、(2)煉石介質栽培系統、(3)海綿介質栽培系統。稻殼介質系統栽培方式（圖11）分爲點播及撒播二種。煉石介質系統栽培方式（圖12）分爲株距 10cm×11cm 栽培方式及株距 5cm×5.5cm 的栽培方式。海綿介質系統栽培方式包括使用栽培管及不用栽培管（圖12及圖13），並分爲株距 10cm×11cm 的疏植栽培方式及株距 5cm×5.5cm 的密植栽培方式。

根據多次的栽培試驗，蔬菜生產前期較後期慢，而育苗期間所佔用的設施面積比生長期間小，若採用直播不育苗方式，則不但浪費設施面積，且採收次數不能提高，產量亦較低因此利用一個溫室作育苗區，其餘溫室作移植後栽培用，以增加栽培床的使用次數，並增加採收次數。

本研究將育苗期間所佔用設施面積與成長期間所佔用設施面積依佔用天數來作加權平均而得單位面積產量 (g/m<sup>2</sup>/day) 其計算方式舉例如下：

例如以海綿介質疏植方式栽培，其育苗佔用設施面積爲 0.2475m<sup>2</sup> 移植後佔用設施面積爲一坪 (3.3m<sup>2</sup>) 爲例。

播種日期 → 移植日期 → 採收日期  
(8/1) 11天 (8/12) 19天 (8/31)

則育苗期間之全期佔用設施面積爲：

$$11 \text{ (day)} * 0.2475 \text{ (m}^2\text{)} = 2.7225 \text{ day/m}^2$$

移植後成長期間之全期佔用設施面積爲：

$$19 \text{ (day)} * 3.3 \text{ (m}^2\text{)} = 62.7 \text{ day/m}^2$$

推得全期佔用設施面積

$$2.7225 + 62.7 = 65.4225 \text{ day/m}^2$$

可計算得單位產量 (g/m<sup>2</sup>/day)：

$$\frac{10 \text{ kg}}{(65.4225) \text{ day/m}^2} = 0.1528 \text{ (kg/m}^2\text{/day)}$$

$$= 153 \text{ (g/m}^2\text{/day)}$$

若無育苗過程則成長期佔用設施面積即爲全期佔用的設施面積。

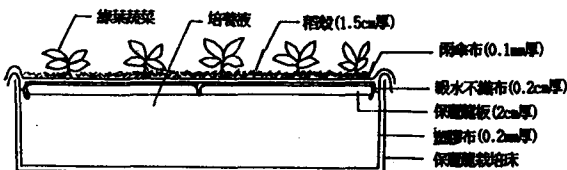


圖11 稻殼介質栽培系統<sup>(13)</sup>

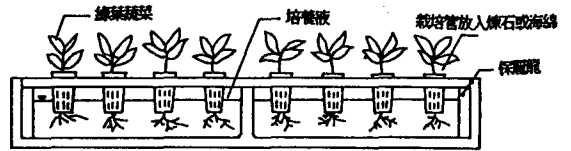


圖12 煉石（或海綿加栽培管）介質栽培系統

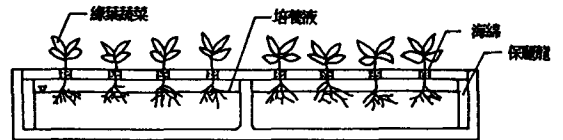


圖13 海綿介質栽培系統

#### 四 花卉水耕栽培

花卉水耕栽培將水耕培介質與光熱環境列爲研究比較的重點，除以海綿與發泡煉石兩種不同介質進行試驗外，並以不同程度的遮光型式以改變栽培區域的光熱環境。遮光方式在夏季日照強烈時使用不同密度之黑網覆蓋在簡易溫室頂部；冬季則對簡易溫室頂部的塑膠布每天清洗或不予清洗以改變其光照強度。花卉水耕栽培基本構造如圖14所示。栽培之花卉種類及栽培時期如表 1 所示。

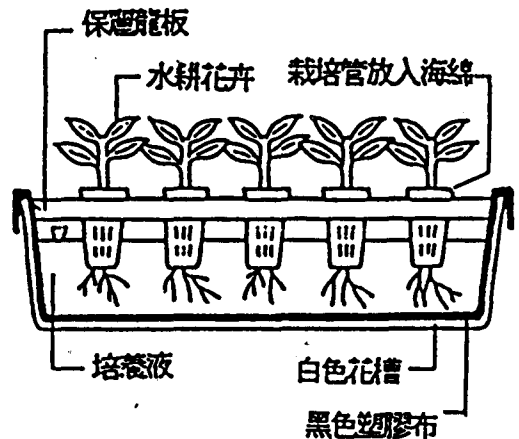


圖14 花卉水耕栽培基本構造圖

花卉的生產狀況評估與其他栽培作物有所差別，而不易以果實或植株重量來斷定，故以花熱數目以及植株高度來作爲評定在不同環境及不同介質之栽培管理下花卉生產狀況之優劣。

表1 花卉栽培階段及時期

花卉別	79年		80年						
	10	11	12	1	2	3	4	5	6
孔雀草	: + # — * — 0								
金盞花	: + # — * — 0								
花環菊	: + # — * — 0								
一串紅	: + # — * — 0								
石竹	: + # — * — 0								

: 播種日 + 育苗日 # 成長日 \* 開花日 0 結束日

### 三、結果與討論

#### (一) 結構分析

水耕溫室之結構分析依照前述方式及計算可得到表2所列之結果。由表列結果可知；紗網透過率愈大時，則溫室所承受之風荷重力（即可承受之風壓及最大風速）愈大，且構件所承受之最大應力減小。當增加溫室自重時，其抗風能力亦逐漸增強。

依據結構分析之結果，若此架構無養液及蔬菜載重時，其能抵抗之最大風壓力為9.35~12.57kg/m<sup>2</sup>，此值甚小，極易傾覆，當栽培床水深10cm時，則此構架可抗風壓力為66.60~89.51kg/m<sup>2</sup>，此相當於風力區100~150級區。

若裝養液10cm深度不傾覆時，而風壓力為表3所列之值，則該構架鍍鋅管所承受之彎曲應力為96~1343kg/cm<sup>2</sup>均小於1/2" ϕ 鍍鋅管之容許應力值1862kg/cm<sup>2</sup>。

依材料使用經濟觀點，在有養液10cm深時，不論密閉或網式，其由於構造物本身之抵抗力矩不夠大，故其抵抗風力均未超過150級區風力，且在該風荷重下，鍍鋅管所承受應力值僅達容許應力值之50%~70%，因此在不增加構造物材料重量下，可考慮增加養液深度或增加其他重量值（磚塊等），如表所示為在密閉式、網式I、II、III，可增加如表3之養液深度或相當重量，使此構造到達經濟使用。

表2 各型水耕溫室結構分析計算結果

情形	項目	風荷重 (傾覆考慮)		結構安全 (應力強度)	
		可承受 風壓 kg·m <sup>2</sup>	可承受 最大風速 m/Sec	構件承受 最大應力 σ <sub>max</sub> kg/cm <sup>2</sup>	構件允許 承受應力 σ <sub>a</sub> (1/2" ϕ 鍍鋅管) kg/cm <sup>2</sup>
無 養 液	密閉	9.35	12.23	—	1862
	網式I	10.46	12.93	—	1862
	網式II	11.42	13.52	—	1862
	網式III	12.57	14.18	—	1862
有 養 液	密閉	66.60	32.64	1343.0	1862
	網式I	74.49	34.52	1176.0	1862
	網式II	81.31	36.07	1080.0	1862
	網式III	89.51	37.80	967.0	1862

- 註：1.密閉式為全棟以塑膠布為被覆材。  
 2.網式為屋面以塑膠布為被覆材，兩側及山牆為紗網。  
 3.網式I、II、III所使用之紗網係指其透過率0.6、0.7、0.8而言。（約相當於省製32目、24目及16目網）  
 4.考慮被覆材料及其他附件，估計全棟總重為50kg。

表3 水耕溫室可增加重量或養液深度以抗傾覆

型 式	可增加重量	可增加養液深度
密閉式	443.5kg	14 cm
網式 I	391.2kg	12.7cm
網式 II	354.2kg	11.5cm
網式 III	317.25kg	10.4cm

#### (二) 熱環境分析

##### 1. 遮蔭方式分析結果

依據連續同時測定黑網不同覆蓋高度之溫室內部熱環境溫度之資料分析結果說明如下：

(1) 溫室內外氣溫之比較（例如圖15至圖18）

80年8月15日及16日連續兩天比較覆蓋黑網高度為0cm與10cm之施測結果，發現覆蓋黑網高度10cm之溫室內部每溫分佈均較覆蓋0cm高



度者均勻；且溫室內部最高溫在覆蓋高度 10cm 之溫室內，測得資料較另一溫室降低 1~2℃。在兩天的測定期間，兩床溫室內部氣溫在上午 6~7 時起至下午 4~5 時止，日照強烈時大致都高於外氣溫，表示溫室效應仍無法靠遮黑網方式消除；在其餘無日照或日照不強烈的清晨及傍晚時分，兩床不同覆蓋高度之溫室的內外氣溫均相差有限而極為接近。

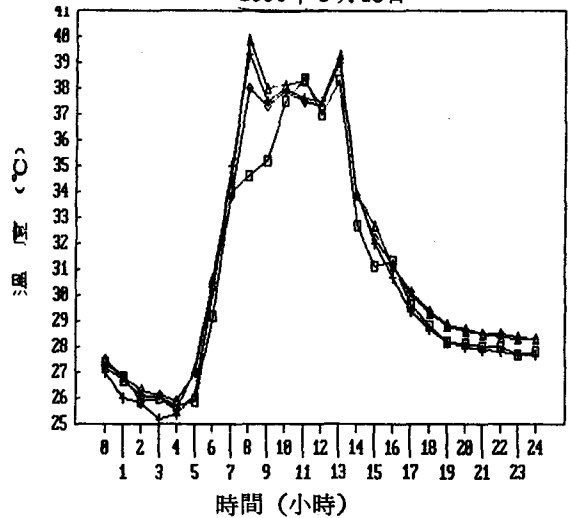
80年 9月20日及21日測定覆蓋黑網高度 10cm 及20cm 之溫度內部氣溫之比較，結果顯示兩者在溫室內部氣溫環境的均勻度並無顯著差異。溫室內部最高溫在20日測得結果，覆蓋高度 20cm 之溫度稍高於覆蓋高度 10cm 之溫室，21日測得二床溫室內部最高溫均接近於 30℃。

(2) 培養液溫度 (例如圖19至圖20)

80年 8月15日及16日比較覆蓋黑網高度為0cm 及 10cm 之溫室內培養液溫度變化情形，結果發現兩床之液溫在一日之中大多保持在 26~29℃ 之間，尤其上午 6 時至下午 5 時日照強烈時間培養液仍維持在相當穩定之溫度狀況，顯示遮蔭與空氣層的保護效果可使培養液液溫不致上升，對作物生長以及溶氧的吸收均有助益；但兩種覆蓋黑網不同高度之溫室內培養液之溫度互有高低而相差有限。

80年 9月20日及21日測定覆蓋黑網高度為 10 cm 及20cm 之溫室內部培養液溫度並予以比較分析，結果顯示兩日之中兩床溫室的培養液溫度均大致位於23~26℃之間，可見遮蔭與空氣層對培養液溫度之穩定作用。在上午 6~7 時至下午 4~5 時

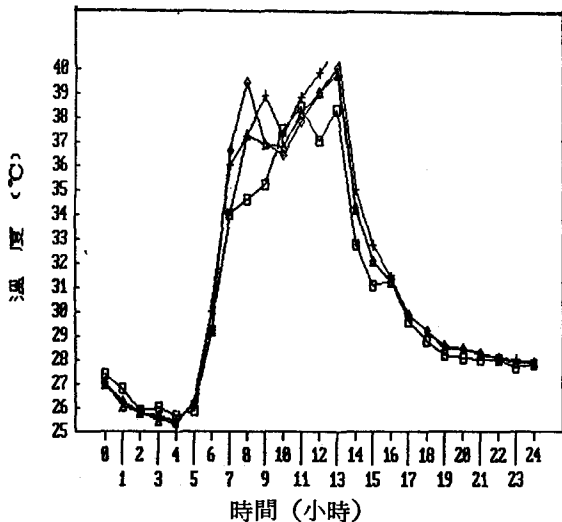
溫室內外溫度 (覆蓋黑網高度 10cm)  
1990年 8月15日



□外氣溫，+ 78cm 高四測點平均值  
◇50cm高四測點平均值，△20cm高四測點平均值

圖16 溫室內外溫度(一)

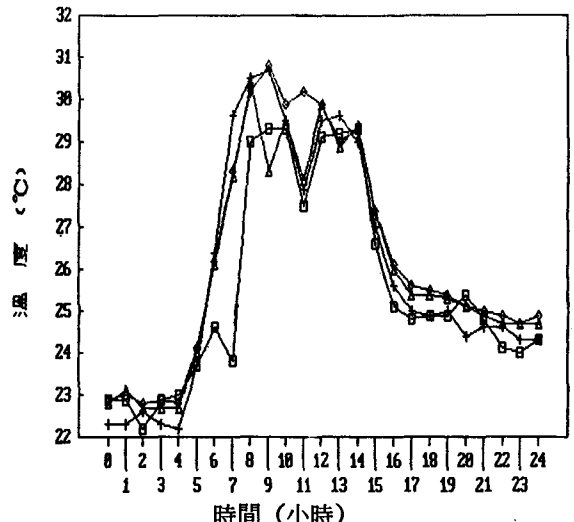
溫室內外溫度 (覆蓋黑網高度 0cm)  
1990年 8月15日



□外氣溫，+ 78cm 高四測點平均值，  
◇50cm高四測點平均值，△20cm高四測點平均值

圖15 溫室內外溫度(一)

溫室內外溫度 (覆蓋黑網高度 10cm)  
1990年 9月20日



□外氣溫，+ 78cm 高四測點平均值  
◇50cm高四測點平均值，△20cm高四測點平均值

圖17 溫室內外溫度(二)

溫室內外溫度 (覆蓋黑網高度 20cm)  
1990年 9月20日

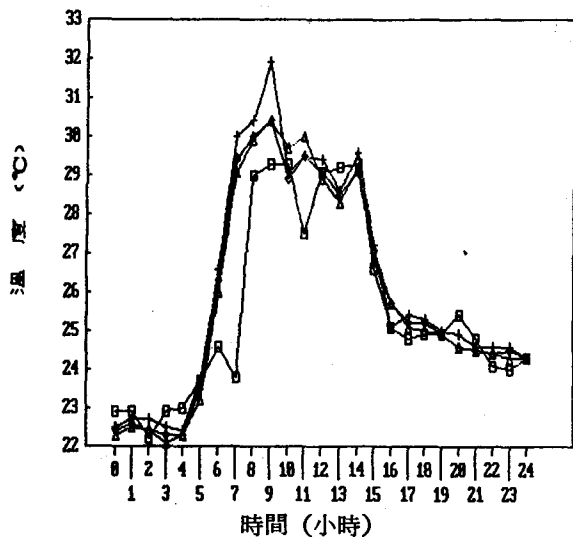


圖18 溫室內外溫度(四)

外氣溫與培養液溫度  
1990年 9月20日

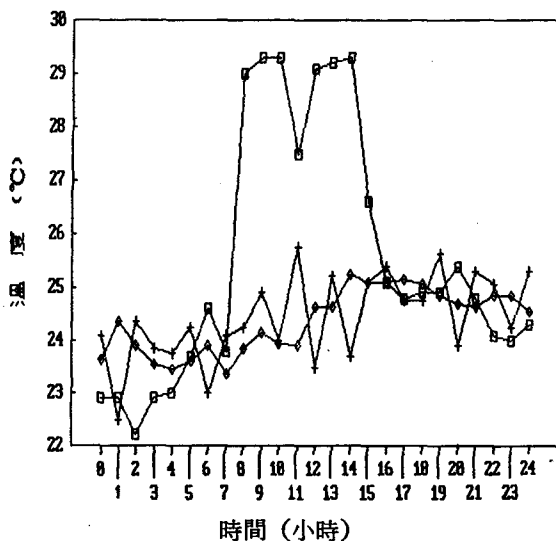


圖20 外氣溫與培養液溫度(二)

外氣溫與培養液溫度  
1990年 8月15日

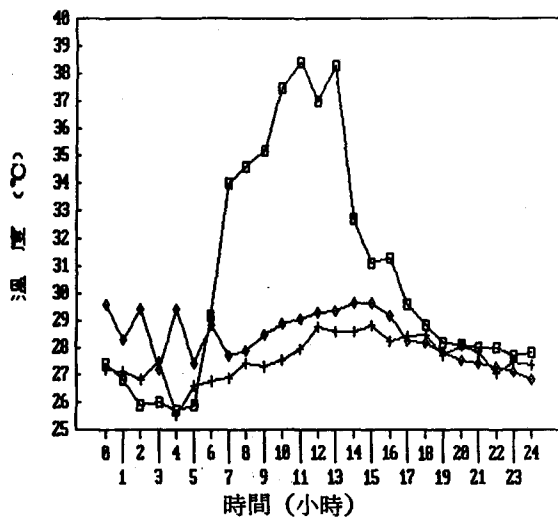


圖19 外氣溫與培養液溫度(一)

氣溫上升之際, 培養液溫度亦仍維持在穩定狀態。至於兩床培養液溫度之比較, 在兩日之中均是互有起伏而相差有限, 故覆蓋黑網之高度雖有不同, 但所造成培養液溫度變化仍屬有限。

將  $T_a$ ,  $T_r$ ,  $T_r$ ,  $T_a$  等已知項代入各方程式並移項, 再代入矩陣——向量方程式(3)可求得

$$\{C\} = \begin{pmatrix} 95.7 \\ 42.3 \\ 42.3 \\ 42.3 \\ 42.3 \\ 42.3 \\ 94.4 \\ 53.4 \\ 0.0 \\ 0.0 \\ 0.0 \\ 0.0 \\ 0.0 \\ 52.1 \\ 105.4 \\ 52.0 \\ 52.0 \\ 52.0 \\ 52.0 \\ 52.0 \\ 94.1 \end{pmatrix}$$

因此溫度向量解可表為

表4 1989年9月18日樓板溫度之實測值、估算值及隔熱效率

時間 (小時)	實 測 值							估 算 值	
	外氣溫 (°C)	完全曝曬之 測點樓板溫 度 (°C)	家庭式蔬菜水耕溫室設定遮蔭之測點 樓 板 溫 度 (°C)					遮蔭樓板 平均溫度(°C)	隔熱效率 (%)
			T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>	T <sub>r</sub>	T <sub>v</sub>	T <sub>e</sub>		
00:00	28.3	29.4	27.1	26.3	27.9	27.3	27.3	27.3	61
01:00	27.4	28.3	26.5	27.4	27.4	27.2	27.2	27.0	56
02:00	27.2	28.1	26.1	25.7	26.8	26.6	26.9	26.5	76
03:00	26.5	26.9	25.7	26.3	26.3	26.2	26.8	26.0	100
04:00	26.8	27.1	25.5	24.7	25.9	25.6	26.4	25.5	#
05:00	26.0	25.9	25.0	25.7	25.6	25.4	26.3	25.3	#
06:00	26.2	26.0	25.0	25.2	25.6	24.9	26.3	25.2	#
07:00	28.7	27.4	26.3	25.6	26.4	25.0	26.4	25.7	#
08:00	30.7	33.8	36.3	29.5	34.7	25.6	27.3	32.7	14
09:00	33.6	40.4	43.3	29.5	42.7	26.3	28.2	39.5	6
10:00	34.9	45.8	43.3	33.0	42.2	42.3	28.9	43.4	12
11:00	34.2	46.2	38.9	40.2	44.9	44.5	29.4	42.3	19
12:00	32.6	47.4	38.9	42.4	44.9	46.4	29.5	42.5	21
13:00	34.9	54.3	42.3	52.1	52.0	53.4	30.5	48.5	20
14:00	34.8	53.8	44.8	43.7	52.5	43.4	30.8	47.3	23
15:00	34.5	51.6	42.5	41.2	48.6	39.9	30.8	44.3	28
16:00	28.8	40.5	32.0	33.2	36.4	35.3	29.3	34.2	43
17:00	29.5	39.3	31.7	33.5	36.2	34.6	29.4	34.0	22
18:00	28.5	37.0	30.9	32.1	34.1	33.0	29.1	32.5	40
19:00	28.0	35.3	29.9	30.3	32.7	31.8	28.5	31.2	44
20:00	27.7	33.9	29.0	29.9	31.2	30.9	28.3	30.2	45
21:00	27.7	31.4	27.4	28.7	29.1	29.0	28.7	28.3	57
22:00	25.6	30.5	27.9	23.1	28.6	29.1	26.9	28.3	48
23:00	26.6	29.3	26.6	27.0	27.4	27.6	27.4	27.0	69
24:00	25.2	27.9	25.2	26.0	26.7	26.4	26.7	26.0	100

# 估算值 T<sub>ave</sub> 低於室內空調設計溫度 26°C。

{T} =	T11	48.1
	T12	46.2
	T13	45.4
	T14	45.2
	T15	45.3
	T16	45.9
	T17	47.5
	T18	50.5
	T19	48.8
	T20	48.1
	T21	47.8
	T22	47.9
	T23	48.5
	T24	49.7
T25	51.7	
T26	50.7	
T27	50.2	
T28	50.0	
T29	50.1	
T30	50.3	
T31	50.8	

## 2. 屋頂樓板隔熱效率

現將施測所得全天之樓板溫度實測值，以前述計算方式推算出隔熱效率，結果如表40。

以下利用表5之13:00之溫度資料舉例說明。已知邊界溫度  $T_i=42.3$ ， $T_a=52.1$ ， $T_r=52.0$ ， $T_u=53.4$  曝曬之測點溫度  $T_0=54.3$ ，求出陰影部份之溫度分佈。

求得遮蔭部份之平均溫度為  $48.5^\circ\text{C}$ ，假設室內空調設計溫度為  $26^\circ\text{C}^{(18)}$ ，在家庭式水耕溫室設施遮蔭下，其隔熱效率  $\phi$  在 13:00 時可計算如下：

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{(\Delta T)_b - (\Delta T)_a}{(\Delta T)_b} \times 100\% \\ &= \frac{(54.3 - 26.0) - (48.5 - 26.0)}{(54.3 - 26.0)} \times 100\% \\ &= 20\% \end{aligned}$$

由表4可知在太陽照射時間(8:00~17:00)之平均隔熱率為20.8%，因此將家庭式水耕溫室設於屋頂，可使空調能源消耗降低，進而達到節約能源的目的。

## (三) 蔬菜水耕栽培成效 (表5)

依據上節之單位產量計算方式，將各栽培方式

及介質等家庭式蔬菜水耕栽培系統作成成效分析並討論之。

### 1. 栽植密度對蔬菜生產之影響

在以各種不同介質栽培生產不同種類蔬菜的結果幾乎均顯示出栽植密度高的生產方式其單位面積產量即愈高，且其差距在1.09至2.11倍之間。但是

表5 各種蔬菜之栽培成效

蔬菜別	介質別	栽植密度	採收產量 kg/3.3m <sup>2</sup>	單位面積 產量 g/m <sup>2</sup> /day	
山東 白菜	稻 穀	點 播	10.4	79	
		撒 播	13.0	106	
	煉 石	疏 植	9.0—13.6	140	
		密 植	—	—	
	海 (無栽培管)	綿 培	疏 植	6.8—12.1	144
			密 植	12.3—17.4	163
		海 (有栽培管)	疏 植	12.5—13.0	130
			密 植	18.0	234
	刻萊 白菜	稻 穀	點 播	—	—
			撒 播	—	—
煉 石		疏 植	—	—	
		密 植	—	—	
海 (無栽培管)		綿 培	疏 植	14.4—15.4	327
			密 植	17.2—21.9	286
		海 (有栽培管)	疏 植	14.5	266
			密 植	—	—
青江 白菜		稻 穀	點 播	—	—
			撒 播	6.4	58
	煉 石	疏 植	7.0	70	
		密 植	14.0	150	
	海 (無栽培管)	綿 培	疏 植	14.9—16.7	147
			密 植	20.9—21.8	253
		海 (有栽培管)	疏 植	18.4—22.4	211
			密 植	—	—

芥蘭	稻 殼	點 播	6.4	53
		撒 播	13.7	79
	煉 石	疏 植	6.7	70
		密 植	8.7	93
	海 綿 (無栽培管)	疏 植	8.5	89
		密 植	—	—
海 綿 (有栽培管)	疏 植	12.9—14.8	155	
	密 植	—	—	
圓葉 高苣	稻 殼	點 播	6.2	56
		撒 播	9.9	78
	煉 石	疏 植	—	—
		密 植	8.1—9.5	88
	海 綿 (無栽培管)	疏 植	10.0	128
		密 植	11.2	135
海 綿 (有栽培管)	疏 植	11.2—11.9	136	
	密 植	12.5	148	

註：部份型態栽植次數為3至4次，採收產量列其範圍，單位面積產量則列其平均值。

雖然密植之單位產量較高，蔬菜生產之品質却較差；因株距較密集，在照度不足時蔬菜會陡長，最低葉冠層因為照度不足，葉片枯黃，且每株之大小懸殊，使得蔬菜品質降低。

### 2. 栽培介質對蔬菜生產之影響

依據試驗結果顯示在相同之栽植密度下，多數蔬菜的單位面積產量依栽培介質的不同而有下列之趨勢；以海綿加上栽培管為介質之栽培方式為最佳，僅用海綿為栽培介質而不用栽培管次之，依序則為煉石介質，稻殼介質最差。

在栽培介質的利用上，稻殼介質栽培方式之作業耗時，且稻殼介質容易造成污染、阻塞屋頂排水管，回收後需再曬乾，回歸利用麻煩，故此種介質不適合家庭使用。另外煉石介質栽培方式之作業耗時，且煉石介質亦容易阻塞排水管，回收再利用之清洗工作耗時及耗力，此種介質亦較不適合家庭使用。海綿介質栽培方式每作收成後，不必耗時處理殘根，省略了栽培介質的清洗和消毒，節省人力，是良好的介質。

此外，由於家庭式每次採收蔬菜之數量不多，選用海綿加栽培管之栽培方式適合。因為每次採收部份蔬菜後，可以立即移植，因移植之幼苗根系較短，可由變海綿在栽培管中之深度，調節至與培養液接觸之適當深度，故栽培床之培養液面只須高於栽培管底端 1cm 即可，而不須隨時補充養液。若選用海綿介質栽培方式，每次移植後，培養液面必須補充與支撐板接觸，如此會造成其餘未採收較成熟之蔬菜根系完全長期泡在養液，減少氧氣供應。

### 四、花卉水耕栽培成效 (表 6)

本試驗依水耕花卉之管理方式分為海綿介質與煉石介質兩種栽培方式，兩種介質又分別依不同之日照強度作為比較。在夏季以不同密度之黑網遮蔭，冬季則對簡易溫室頂部塑膠布每天清洗或不予清洗而改變日照強度。依試驗記錄之結果對花卉水耕栽培分析如下：

#### 1. 栽培環境對花卉生產的影響

各種花卉若以相同的栽培介質來作比較不同環境狀況下之栽培成效，可由表中得知各種花卉可能因品種、性狀及生理機能的不同而有差異，孔雀草遮黑網密度50%的花熟數較黑網密度80%者比例較少，但植株反而較高。金盞花則以不清洗頂部塑膠布之花熟數與株高較優。花環菊之花熟數與平均株高與孔雀草同樣有相反之結果。此三種花卉屬於菊科 (Compositae) 類，均需要日照多才易開花。

表 6 各種花卉之栽培成效

花卉別	環 境 別	花熟數 (朵)		平均株高 (公分)	
		海 綿	煉 石	海 綿	煉 石
孔雀草	遮黑網50%	12	6	15	13.2
	遮黑網80%	22	2	19.1	14.1
金盞花	清洗塑膠布	41	36	43.3	40.3
	不清洗塑膠布	41	38	44.6	41.9
花環菊	清洗塑膠布	42	38	36.8	34.3
	不清洗塑膠布	41	35	38.1	37.6
一串紅	遮黑網50%	—	—	56.3	53.3
	遮黑網80%	—	—	56.2	54
石竹	遮黑網50%	40	40	18.7	18
	遮黑網80%	40	41	20	18.5

一串紅因花卉成串，故僅以株高作為其栽培成效之指標，依環境不同而產生之栽培結果，在不同介質亦有不一致的結果，故無法斷定何種環境較佳。石竹花熟數之差異不甚顯著，但大致上仍以日照較少的環境栽培成效較佳。

## 2. 栽培介質對花卉生產之影響

依據各種花卉栽培試驗結果顯示，以海綿為栽培介質之花卉其花熟數及平均株高不論栽培環境的差異，幾乎都較以煉石為栽培介質之花卉為佳；僅有石竹的栽培結果顯示花熟數在海綿與煉石幾無差異，在煉石介質反較海綿多出一朵，但對整體性結果並無影響，花卉水耕栽培系統仍以海綿為栽培介質之方式較佳，此一結果也與蔬菜水耕栽培系統有相同之結論。

### (四) 經濟效益分析

依據前章栽培成效，得知家庭式水耕栽培以海綿介質加栽培管較適合，故本節以海綿介質加栽培管較適合，故本節以海綿介質加栽培管之栽培方式來作成本分析。

#### 1. 家庭式蔬菜水耕栽培系統成本分析

表7為以山東白菜，每坪每次之收益為例，山東白菜每年以育苗之栽培方式可採收15次，每年平

表7 家庭式蔬菜水耕栽培系統每坪每期之成本及收益估算

項 目	金 額 (元)
一、設備：	
1. 家庭式蔬菜水耕溫室一組	5,000元
二、消耗性材料及支出	
1. 種子費	2元
2. 養液費	50元
3. 海綿	14元
4. 水費	2元
5. 工資	135元
6. 設備折舊費	36元
合 計	239元
三、收入	
山東白菜每次收穫量	11公斤
單價 (300公克小包)	10元
粗收益	366元
淨所得	127元

均採收量為11公斤，若以每公斤33元之價，則粗收益為366元。而開支方面，需扣除種子費、育苗用海綿費、養液費、水費、工資費、設備折舊費等，合計達239元，因此淨所得為127元。關於設備折舊費之估算，係依塑膠布（溫室屋頂用及栽培床用）及防蟲網每二年更換一次，固定夾平均每次換2個，水耕設施及溫室體架分15年平均分攤為準。

#### 2. 家庭式花卉水耕栽培系統成本分析

若以花卉為栽培對象時，每床（約一坪）之收益分析可以一期為例（表8），花卉在冬季從育苗期至開花期約需三個月，在夏季則可減少至二個月，故每年每床可栽培約5期，每作平均採收量以50株計算，花熟數約128朵，若以每株平均售價15元計算，則粗收益為750元。而經常性支出方面，需扣除種子費、養液費、水費工資費、設備折舊費等，合計達508元，因此每期淨所得為242元。

以上之分析是以家庭式栽培為主，故成本仍偏高，若考慮以大量生產之方式經營，則在設備費方面由於大量購買，其價格可降低很多，種子、培養液及海綿亦然，成本降低相對利潤提高。

表8 家庭式卉水耕栽培系統每坪每期之成本及收益估算

項 目	金 額
一、設備：	
1. 家庭式水耕溫室一組	5,000元
二、消耗性材料及支出	
1. 種子費	170元
2. 養液費	50元
3. 海綿	5
4. 水費	2元
5. 工資	142元
6. 設備折舊費	139元
合 計	508元
三、收入	
花卉每期收穫量	50株
單價	15元
粗收益	750元
淨所得	242元

#### 四、結論與建議

本研究開發的水耕溫室栽培系統可於都市環境之建築物屋頂或陽臺架設，其價格低廉、組合容易是低成本的簡易型溫室，適合都市家庭從事水耕栽培之構造。

若此架構無液及蔬菜載重時，其能抵抗之最大風壓力甚小，而極易傾覆，參考建築技術規則第三三條，在高度九公尺以下 100級風力區建築物立向投影全面所受風壓力最小為  $70\text{kg/m}^2$ ，故當颱風來襲時應將水注滿栽培床以免傾覆。

當栽培床水深 10cm 時，則此構架可抗風壓力相當於風力區100~150級區。在該風荷重下，鍍鋅管所承受應力值僅達容許應力值之50%~70%，因此在不增加構造物材料重下，可考慮增加養液深度或增加其他重量值，使骨架達到經濟使用。

在屋頂架設水耕栽培設施時以不同高度遮蔭對溫室熱環境以及溫室本身對屋頂樓板隔熱效果之分析結果顯示在以不同遮蔭高度(cm, 10cm及20cm)覆蓋於簡易水耕溫室頂部時，發現其對溫室內部熱環境之影響可分兩方面來評定；一方面為溫室內部氣溫環境分佈狀態以覆蓋高度 10cm 較為均勻，內部最高溫度也以覆蓋高度 10cm 者較低，但差異性並不顯著，日後應朝比較高度更多樣化，以尋求差異性之趨勢。另一方面在培養液溫度方面測定之結果顯示覆蓋黑網可使培養液之溫度維持在穩定狀態，但覆蓋高度對培養液溫度之影響則並不顯著。

水耕溫室對屋頂機板之隔熱效率在太陽照射強烈時間(8:00~17:00)平均為20.8%，因此架設家庭式水耕溫室於屋頂，可降低空調能源消耗量，並達到節約能源之目的。但對室內熱環境分佈之影響及可降低溫度程度則須作進一步之研究探討。

在本研究所選用之栽培型式中，最佳家庭式蔬菜水耕栽培系統為海綿介質加栽培管並以疏植方式栽培。由於家庭主婦每次採收蔬菜之數量不多，每次採收部分蔬菜後，可以立即移植，並可改變海綿在栽培管中之深度，而不須隨時補充養液。採取疏植方式栽培之蔬菜品質較佳，最低層葉冠葉片甚少，而不致光照不足產生枯黃現象；海綿介質栽培方式每作收成後，省略了栽培介質的清洗和消毒，節省人力與時間。

至於花卉水耕栽培之研究是在夏季以不同密度

之黑覆蓋，在冬季則以清洗或不予清洗簡易水耕溫室頂部塑膠布，以造成不同遮光程度比較各種花卉之栽培成效，結果發現在同一種花卉依栽培環境之變化，判定栽培成效之兩種栽培指標(花熟數、平均株高)往往有著相反之結果。以花熟數來說，孔雀草及金盞花以光照較少者較多，花環菊及石竹則以光照較多者較少；以平均株高來說，孔雀草及石竹則以光照較少者較高，一串紅則因依介質不同而有不一致之結果，故不易判定栽培成效。栽培環境對花卉的影響依其品種、生長期、外部環境需求等而有極大差異，故須以長期性連續測定比較才易獲致其需求之環境。在以不同栽培介質(海綿、煉石)比較花卉栽培之成效結果顯示，以海綿為栽培介質之花卉在花熟數及平均株高方面均較以煉石栽培者為佳，此一結論與家庭式蔬菜水耕栽培系統有相同之結論。

在經濟效益方面，若以最佳家庭式蔬菜水耕栽培系統為例，每床每期之淨所得為 127元，一年可種15期，年收益達1905元，但其更高價值為生產無農藥之高品質清潔蔬菜。花卉水耕栽培每床每期淨收益242元，普通花卉一年可栽植5期，年收益1210元；但若改植高價花卉及不以疏植方式(每槽10個栽培孔僅植5株)栽培，則產量及產值將可大幅提升，其收益應可提高，但家庭式水耕花卉栽培主要之目的在觀賞與消遣，所以可不必計較其經濟效益。

接近大自然與享受田園生活對現代人來說是夢寐以求的理想境界，尤其對生活在人口稠密與空間狹小的都市居民更是難以實現的夢想，但是如果有心嚐試現代化農業科技的產物—水耕栽培，不但可達到農業生產的目的，同時並可美化生活塑造優良景觀，豐富人生點綴生活情趣，是值得積極研究開發與推廣之科技農業。

#### 五、謝 誌

本文研究期間承蒙中正農業科技社會公益基金會贊助全部之經費，財團法人農業工程研究中心、國立臺灣大學農業工程學系及國立宜蘭農工專科學校提供各項行政支援，在此一併誌謝。

#### 六、參考文獻

- 1.王鼎盛。1988。設施園藝設計手冊。國立臺灣大學農業工程學系農業設施研究室編印。

2.王鼎盛。1989。設施園藝技術。豐年社附設出版部設施園藝技術手冊編輯委員會，37~45頁，臺北。

3.王鼎盛。1990。家庭式蔬菜水耕栽培系統之研究。財團法人農業工程研究中心研究報告 AERC-90-RR-01。

4.王鼎盛、喻新。1991。家庭式花卉水耕栽培系統之研究。財團法人農業工程研究中心研究報告 AERC-91-RR-02。

5.尤崇魁。1988。水耕栽培，第四版。園藝世界出版社，臺北。

6.沈再發。1989。設施園藝技術。豐年社附設出版部設施園藝技術手冊編輯委員會，182~190頁，臺北。

7.施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二。1982。灌溉排水原理。中央圖書出版社，臺北。

8.高德鏗。1988。動態浮根式葉菜水耕栽培技術。養液栽培技術講習會專刊，鳳山熱帶園藝試驗分所編印。42~49頁。

9.高德鏗、王夏玲。1989。設施園藝技術。豐年社附設出版部設施園藝技術手冊編輯委員會，294~299頁，臺北。

10.翁仁憲。1989。溫度對蔬菜光合作用及呼吸作用之影響。第二屆設施園藝研討會，臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所編印。

11.張靜茹。1988。為何臺北愈來愈熱。光華 8：10~11頁。

12.許森森等。1988。浮根式水耕，省鳳試所養液栽培技術講習會專刊，鳳山熱帶園藝試驗分所編印。50~57頁。

13.黃文雄。1978。太陽能之應用及理論。協志工業叢書出版。

14.黃敏展。1986。臺灣花卉彩色圖鑑。財團法人臺灣區花卉發展協會。

15.黃裕益、王鼎盛、蔡平里。1988。環境控制及作業技術引進指針。設施園藝設計手冊，國立臺灣大學農業工程學系農業設施研究室編印。

16.楊任徵。1986。臺灣地區建築氣象資料之整理與分析。工業技術研究院能源與礦業研究所編印。

17.劉熙。1987。無土栽培。五洲出版社，臺北。

18.蔡尚光。1989。水耕摘栽培的魅力，再版。淑馨出版社，臺北。

19. Incropera, F. P., and D. P. Dewitt. 1981. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John wiley & Sons. N. Y.

收稿日期：民國81年 4月 9日  
 修正日期：民國81年 5月14日  
 接受日期：民國81年 6月 4日

\*\*\*\*\*

<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p style="text-align: center;"><b>瑩洲營造有限公司</b></p> <p>負責人：王 楨 宗</p> <p>地 址：雲林縣口湖鄉崙中村中山路71號</p> <p>電 話：(05)799-1976</p>	<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p style="text-align: center;"><b>富榮營造有限公司</b></p> <p>負責人：馮 睿 榮</p> <p>地 址：桃園縣桃園市中山路425巷3號4F3-2號</p> <p>電 話：(03)3221273</p>
---	--

\*\*\*\*\*