

嘉義地區作物需水量推估之研究

Estimation on Evapotranspiration of Crop in Chia Yi Area

國立嘉義農專農業土木工程科助教

陳 清 田

Ching-Tient Chen

摘 要

在水資源規劃上，作物需水量不但是水資源規劃利用之重要因數，更是農業灌溉計畫研擬營運管理之依據。因此，如何有效快速地測算作物需水量，乃當今灌溉事業之首務。本文嘗試以氣象資料來估算作物需水量，此法非但可靠且甚快速，並可取代經年累月之直接試驗，常為農業先進國家廣泛之重視與採用。

本文係以各種不同之蒸發散模式來估算作物需水量，並以嘉義地區之立地條件與嘉義氣象站74至78年等五年之氣象資料，確立該區風速函數之地域性參數，且藉由各模式結果與當地A型蒸發皿做直線迴歸，比較在同樣的氣候條件下，兩者之相關性。並利用相對敏感度 $S = \frac{dF}{dX} (X/F)$ 分析各氣象因子對模式影響程度，期能建立適用於估算嘉義區作物需水量之最佳模式，同時與鄰近學甲試驗站之試驗資料作一比較分析，確立嘉南推估作物需水量之最佳模式。

結果顯示：

1. 風速函數地域性參數為

$$E_a = (0.23 + 0.0012U_2)(E_s - E_d)$$

2. 推估嘉義區作物需水量之最佳模式建議採用修正之 Penman 模式，因其相關係數 R 為最高：

$$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + r} \frac{R_n - G}{\lambda} + \frac{r}{\Delta + r} E_a$$

3. 由敏感度分析結果可知，溫度對所有模式之影響程度為最高，亦即對模式之重要性最大。

ABSTRACT

Evapotranspiration of crop is not only an important factor in water resources planning but also a basis of an agricultural irrigation management and operation. Therefore, how to effectively and rapidly estimate evapotranspiration of crop is the first priority in irrigation business. This study is trying to estimate evapotranspiration of crop by using climatological data. It is not only much more reliable and rapid than that of actual long-term direct

measuring in the field, but also extensively concerned and taken by the advanced agriculture countries few years ago.

A few evaporation models have been used to compare the model which the evapotranspiration of crop in Chia-I area is established. The parameter of wind function was used in local geographic condition and the climatological data from 1985 to 1989. Then compare the results from each model with that from class A pan by using linear regression analysis to calculate the correlation between them under the same climatological condition. Finally, Use the relative sensitivity, $s=(df/dx)(x/f)$, to analyse the extend that each climatological factor effecting on each model, suitable estimating on evapotranspiration of crop in Chia-I area. The model is also suitable to use in Chia-Nan area by putting the test data taken from Hsueh-Chia experiment station.

1. The local parameter of wind function in Chia-I area is

$$E_a = (0.23 + 0.0012U_2)(E_s - E_a)$$

2. The optimum model for estimating on evapotranspiration of crop in Chia-I area is the modified "Penman model":

$$ET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * \frac{R_n - G}{\lambda} + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_a$$

because the correlation coefficient R is the highest one.

3. Temperature is the most sensitive one among climatological factors for all evaporation of ET models.

一、前 言

作物需水量(evapotranspiration of crop) 為作物葉面蒸散與其附近地面及水面蒸發之和；在水資源規劃利用上，實為一項不可或缺之重要基本資料。

作物需水量之測算方法，可分為直接法及間接法，前者包括滲漏計法 (lysimeter)、土壤水分遞減法、累積法、水收支法及地下水位變動法等。後者則有蒸氣傳導法(vapor transfer method)、熱能平衡法(energy balance method)等。直接法雖可求得實際觀測之作物需水量，因受現場條件之影響，易產生誤差，同時需要龐大之經費與勞力；而間接法可應用各地之物理現象記錄作物生長期間之各種環境因素推求作物需水量，雖計算較為繁雜，但在電子計算機之協助下，亦不失為簡單而方便之方法。

長久以來，雖有不少國內外之專家學者致力於利用作物微氣象學(crop micro-meteorology

)及氣候資料相關經驗式(empirical relationships from climate data)來估算作物需水量，先後亦發表了甚多可靠之推估方法，然因受不同立地條件之影響，則其精確性亦隨着改變。故本文針對嘉義地區之立地條件加以分析，並藉由直線迴歸分析及敏感度分析，期能提供適用於嘉義地區作物需水量之推估模式，並建立該區風速函數之地域性參數，進而與臺南縣嘉南農田水利會學甲試驗站比較分析，建立嘉南地區作物需水量之推估模式，以作為灌溉營運管理參考之依據。

二、模式之理論基礎

對於推求蒸發散勢或蒸發量，有兩種基本理論：一是考慮水汽受空氣推動而產生對流的空氣動力論(aerodynamic theorem)，二是考慮水由液態變為氣態的過程中熱傳導現象，即所謂能量平衡論(energy balance theorem)。

1. 空氣動力論

在地球表面邊界層(boundary layer)中，

受到太陽輻射及地形地物的影響，空氣的流動呈紊流狀況 (turbulent flow) 在考慮一維座標下，假設蒸發量僅沿着垂直高度變化，則單位面積之蒸發量為⁽¹⁴⁾：

$$E = -\rho K_w \frac{dq_h}{dz} \dots\dots\dots(1)$$

式中 E：隨着垂直高度變化之蒸發率。g/cm²/sec

q_h：瞬間單位質量濕潤空氣中水汽含量，即比濕 (specific humidity)，以質量比表示。q_h 為單位時間內 q_h 之平均值。

K_w：水汽擴散係數。cm²/sec

Z：蒸發面上之垂直高度。cm

ρ：水的質量密度。g/cm³

在理想氣體下，氣體分子量與氣體壓力成正比，且水分子量與濕潤空氣平均分子量之比值為 φ = 18.016/28.966 = 0.622 則絕對濕度可以壓力的型式表示如下⁽²⁸⁾：

$$q_h = \frac{\rho_v}{\rho_m} = \frac{\psi \epsilon}{p(1-\psi)\epsilon} = \frac{0.622\epsilon}{p-0.378\epsilon} \dots\dots\dots(2)$$

式中 ρ_v：水蒸汽密度。g/cm³

ρ_m：濕潤空氣密度。g/cm³

ε：蒸發面上 Z 高度處之蒸汽壓。mb

p：大氣壓力。mb

將式(2)代入式(1)，則：

$$E = -0.622 K_w \frac{\rho}{p} \frac{d\epsilon}{dz} \dots\dots\dots(3)$$

又考慮在邊界層中，剪應力 τ (shear stress) 與速度梯度 (velocity gradient) 成正比，則

$$\frac{\tau}{\rho} = km \left(\frac{du}{dz} \right) \dots\dots\dots(4)$$

式中 Km：渦滯性 (eddy viscosity)。cm²/sec

τ：單位面積之剪應力 (shear stress)。dynes/cm²

u：蒸發面 (Z = 0) 與蒸發面上 Z 高度間之平均風速。m/sec

且 τ = ρV²，V 為渦流速度 (shear velocity) 則

$$Km = \frac{V^2}{du/dz} \dots\dots\dots(5)$$

將(5)式代入(3)式左右相乘後，除以 Km，則

$$E = -0.622 \frac{K_w}{Km} \frac{\rho V^2}{p} \frac{d\epsilon/dz}{du/dz} \dots\dots\dots(6)$$

以 $\frac{d\epsilon}{dz} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{Z_2 - Z_1}$ 及 $\frac{du}{dz} = \frac{u_2 - u_1}{Z_2 - Z_1}$ (下標 1、2 代表不同高度值)

代入(6)式中，並消去負號，就可得到：

$$E = 0.622 \frac{K_w}{Km} \frac{\rho V^2}{p} \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{u_2 - u_1} \dots\dots\dots(7)$$

應用 Karmam-Prandtl 式⁽¹¹⁾

$$\frac{u}{v} = C_1 \ln \frac{Z}{Z_0} + C_2$$

式中 Z₀：蒸發表面粗糙度。cm

C₁, C₂：常數

代入(7)式，並消去 V，得到

$$E = 0.622 \frac{K_w}{Km} \frac{\rho}{p c_1^2} \frac{(u_2 - u_1)(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{[\ln(Z_2/Z_1)]^2} \dots\dots\dots(8)$$

今考慮極接近蒸發面之飽和水汽層中，ε₁ = ε_s，u₁ = 0，Z₀ = Z₁ exp(-C₂/C₁)，ε_s 為飽和蒸汽壓，則(8)式可寫成

$$E = \left(\frac{K_w}{Km} \frac{\rho u_2}{p} \right) f(Z_2) (\epsilon_s - \epsilon_2) \dots\dots\dots(9)$$

其中 f(Z₂) = 0.622 C₁⁻² [ln K_s exp(-C₂/C₁) Z₂]⁻²

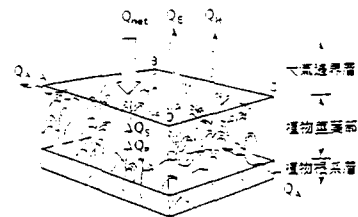
在式(9)中 K_w、Km、Z₀、C₁、C₂ 等值的取得皆有明確的方法^(11,15)，因此可以固定某高度處，利用長時間所測得的平均風速及蒸汽壓資料，與蒸發皿蒸發量做直線迴歸分析，則可得到簡單的蒸發量公式，其通式如下：

$$E = (a + bu)(\epsilon_s - \epsilon_a) \dots\dots\dots(10)$$

此即為 Dalton 式，其中定義風速函數 f(u) = a + bu 為直線經驗式，於後將推導出 a、b 值。

2. 能量平衡論

考慮如下之田區示意圖，利用能量不滅原理，可將單位體積中能量變化用數學式表示如下^(3,8)：



圖一：單位體積田區內能量平衡示意圖

$$Q_{net} = Q_E + Q_H + \Delta Q_S + \Delta Q_P + Q_A - Q_A \dots \dots \dots (11)$$

式中 Q_{net} ：淨入射能量。 w/m^2

Q_E ：蒸發潛熱能。 w/m^2

Q_H ：空氣對流可感熱 (sensible heat)。 w/m^2

ΔQ_S ：田區之儲存能量。 w/m^2

ΔQ_P ：光合作用所消耗的能量。 w/m^2

Q_A ：空氣對流傳導熱 (水平方向)。 w/m^2

假設此田區於自然狀態下，將所有人為因素及其它偶發之地殼變動現象排除後，太陽光即為此田區唯一能量來源，且由於太陽光經過大氣層的阻隔，到達田區後又經入射角之傾斜，所以真正為田區所吸收的能量為淨輻射能 Q_{net} 。

由於 ΔQ_S 與 ΔQ_P 相對於其他各項顯示得小，故可忽略不計，則式(11)可簡單表示成：

$$Q_{net} = Q_E + Q_H \dots \dots \dots (12)$$

利用 Bowen 率 $\beta = \frac{Q_H}{Q_E}$ ，且 $Q_H = a \frac{\Delta T}{\Delta Z}$ ， $Q_E = b \frac{\Delta q_b}{\Delta Z}$ ， q_b 為比濕，且由式(2) $q_b = 0.622 \epsilon / p$ ， p 為大氣壓，所以

$$\beta = \frac{Q_H}{Q_E} = \frac{a \Delta T / \Delta Z}{b' \Delta \epsilon / \Delta Z} = \frac{a \Delta T}{b' \Delta \epsilon} = r \frac{\Delta T}{\Delta \epsilon} \dots \dots \dots (13)$$

式中 $b' : 0.622b/p$

r ：濕度常數 (psychrometric constant)。 $mb/^\circ C$

將 $Q_H = \beta Q_E$ 代入式(11)，得 $Q_{net} = \beta Q_E + Q_E$ ，且 Q_E 以 λE 表示 (λ 為水汽潛化熱， E 為蒸發率)，整理得：

$$E = \frac{Q_{net}}{\lambda(1+\beta)} \dots \dots \dots (14)$$

將式(14)代入式(13)，並以 $\Delta T = (T_s - T_a)$ ， $\Delta \epsilon = (\epsilon_s - \epsilon_a)$ 代入得：

$$E = \frac{Q_{net}}{\lambda [1 + r(T_s - T_a) / (\epsilon_s - \epsilon_a)]} \dots \dots \dots (15)$$

式中 T_s ：蒸發表面溫度。 $^\circ C$

T_a ：蒸發面上 Z 高度處之溫度。 $^\circ C$

ϵ_s ：水之飽和蒸汽壓。 mb

ϵ_a ：露點溫度時之蒸汽壓。 mb

三、模式之建立

本文擬採用修正之 Penman 及 Van Bavel、Priestley-Taylor、Hargreave、Jensen-Haise、Blaney-Cridle、Thorntwaite 等

模式來估算作物需水量，分別敘述於后：

1. 混合法 (此即修正後之 Penman)

Penman 模式是 1948 年由英國人 Penman 所提出，結合了能量平衡理論與空氣動力學來模擬水面蒸發式，此法係假定「土壤如保持濕潤狀態而地表有完全覆蓋時，其蒸發散作用悉由環境條件調節，可用氣象資料估計」。並於 1952 年、1956 年、1963 年修正方程式之地域性參數，修正後使其結果之範圍可從一月、一天而縮小至以小時為基準，在世界各地受到廣泛的應用與很好的評價，模式如下：

$$E_T = \frac{\Delta}{\Delta + r} \frac{(R_n + G)}{\lambda} + \frac{r}{\Delta + r} f(u) (\epsilon_s - \epsilon_a) \dots \dots \dots (16)$$

式中 E_T ：特種作物蒸發散量。 mm/day

Δ ：飽和蒸汽壓力曲線斜率。 $mb/^\circ C$

r ：濕度常數。 $mb/^\circ C$

R_n ：淨輻射量。 $cal/cm/day$

$f(u)$ ：風速函數

ϵ_s ：平均溫度時之飽和蒸汽壓。 mb

ϵ_a ：露點溫度時之蒸汽壓。 mb

G ：土壤熱通量

λ ：水汽潛化熱。 cal/g

2. Van Bavel 模式：

Van Bavel⁽³²⁾ 於 1965 年在美國亞利桑納州鳳凰城做苜蓿 (alfalfa) 蒸發散試驗 (以下簡稱 Bavel 式)，亦以 Penman 模式為基本模式，但加入了蒸發表面粗糙度為考慮因子，所以風速函數 $f(u)$ 為：

$$f(u) = \frac{\rho \varphi K^2}{P} \frac{U_a}{[\ln(Z_a/Z_0)]^2} \dots \dots \dots (17)$$

式中： $f(u)$ 、 ρ 、 φ 、 P 之代表意義，如前面所示：

K ：Von Karman 常數 (=0.41)

U_a ：地面高度為 Z_a 時之日平均風速。 cm/min

Z_0 ：蒸發表面粗糙度 (surface roughness length for evaporation)。 cm

Z_a ：離地面之高度 a 。 cm

φ ：水分子量與濕潤空氣平均分子量之比 (=0.622)

3. Priestley-Taylor 模式

臺灣年平均降雨量約為 2,500mm，屬於濕

潤地區，所以有發展自濕潤地區之 Priestley-Taylor 模式（以下簡稱 P-T）來評估作物需水量之多寡，其基本原理仍是以 Penman 式為主，其方程式如下：

$$\lambda E_r = n \frac{\Delta R_n}{\Delta + r} \dots\dots\dots(18)$$

式中 n：待定常數 (=1.26)⁽⁹⁾

由方程式中與 Penman 式相比較，得知在濕潤地區可忽略風對蒸發散的影響，此類假設較適用於海島型的國家。

4. Thornthwaite 法⁽³⁰⁾

此法係假設「植物生長時期，由植物覆蓋之地域其蒸發散量不超出某一限度，而其最高限度乃由氣候條件而定」。發展背景為美國東部地區，以氣溫為估算作物需水量之取決因子，而與土壤種類、作物種類無關，其估算式如下：

$$CU = 16(10T/I)^a \dots\dots\dots(19)$$

式中 CU：月作物需水量 (mm/month)

I：年間熱量指數 = $\sum i$

i：月間熱量指數

T：月平均溫度。°C

a：年間熱量係數

$$a = 6.751 \times 10^{-7} T^3 - 7.71 \times 10^{-5} T^2 + 1.79 \times 10^{-2} T + 0.49239$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

5. Blaney-Criddle 法^(4,15)

Blaney-Criddle 於1945年提出而於1950年、1970年相繼補充修正，該經驗式基于一項假定，即日照時間與溫度為影響作物需水量最主要之因素，創始於美國西部地區，頗適合乾燥氣候地區應用，由於溫度及日照資料易於取得，故在美國及世界各地已有相當普通的使用，其估算式如下：

$$CU = KP(45.7T + 813)/100 \dots\dots\dots(20)$$

式中 K：作物係數。

P：日照百分率，可查表而得。如表一

T：月均溫。°C

6. Jensen & Haise⁽¹⁷⁾

係在氣溫條件下，加入日射量為其取決因子，簡稱 (J-H 式)，其估算式表示如下：

$$E_r = (0.014 T_a - 0.37) 0.000673 R_s \dots\dots(21)$$

式中 T_a：日均溫。°C

R_s：全日日射量，可由日射計得知，亦可利用數學式求出。ly/day

表一 本省各月日長時間佔全年月長時間百分率表

北緯	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
21	7.73	7.26	8.20	8.52	9.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.88
22	7.76	7.22	8.41	8.57	9.22	9.12	9.31	9.00	8.30	8.13	7.50	7.56
23	7.67	7.20	8.80	8.59	9.26	9.15	9.36	9.03	8.30	8.12	7.46	7.51
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.19	9.41	9.05	8.31	8.10	7.43	7.46
25	7.55	7.15	8.40	8.62	9.34	9.25	9.45	9.08	8.31	8.08	7.40	7.41

註：本省中南部約在北緯23度，北部約在25度

7. Hargreave 法

此法係為 J-H 法之修正式，即以草地為主要試驗作物而求得係數。其估算式表示如下^(9,15)：

$$E_{T_g} = 0.0135(T + 17.78)R_s \dots\dots\dots(22)$$

由以上各種估算作物需水量之模式可得知，前三種方法是以微作物氣象學為基礎，利用空氣動力學及能量平衡理論，故應用上較繁雜，而後四種方式，則根據多年的氣象資料累積而成之經驗公式，故應用上較為簡便，但無論何種方法所測得之結果

，將必須再乘上各種作物係數，如此才可將各種作物之作物需水量求出。

四、模式參數之決定

1. 飽和蒸汽壓力曲線斜率 Δ ⁽¹⁸⁾

$$\Delta = \frac{dE}{dT} = 33.8639 [0.05904 (0.00738 T + 0.8072)^7 - 0.0000342] = 2.00(0.00738 T + 0.8072)^7 - 0.00116$$

T：日均溫。°C

2.濕度常數 r，可利用 Brunt⁽¹⁸⁾求得，其式表示如下：

$$r = \frac{0.386P}{\lambda} \dots\dots\dots(23)$$

式中 P：標準的大氣壓力=(1013-0.1055EL)

EL：現地高程m (嘉義地區為26.8m)

λ：水汽潛化熱 (λ=595-0.51T 利用 Brunt 式求得)

3.風速函數 f(u)

在所有應用氣象資料來估算作物需水量之公式裏，Penman 之混合方程式所以能稱之為較合理、可靠的估算式，其原因是混合方程式，除考慮輻射能量之影響外，同時也考慮風速濕度之影響，其風速函數表示如下：

$$f(u) = a + bu$$

其中 a、b 為迴歸係數，u 為一般離地面 2 公尺高處所測得的平均風速，若風速並非裝設於 2 公尺高處，則可用下式換算之

$$u = u_z \left(\frac{2}{z} \right)^{0.2}$$

其中 u_z 為離地面 z 公尺高之平均風速。

Penman 於1945~1948年致力於 Dalton 型之風速函數校正⁽²³⁾，在英國以直徑 762mm，深 610mm 之蒸發皿蒸發量及風速、飽和差等資料，建立如下之風速函數 (1948)⁽¹⁰⁾

$$f(u) = 0.35(1 + 0.0098u) \dots\dots\dots(23)$$

經逐年測試與修正 (1956、1963)^(25,26)

$$f(u) = 0.35(0.5 + 0.01u) \dots\dots\dots(24)$$

$$f(u) = 0.35(1 + 0.01u) \dots\dots\dots(25)$$

國際糧農組織 FAO，為避免不同地域氣候影響風速函數校正之困擾，推薦了如下型式之修正風速係數⁽¹³⁾。

$$f(u) = 0.27(1 + 0.01u) \dots\dots\dots(26)$$

本省 a、b 值之界定大都沿用前人所推薦之參考值，但因各地之立地條件不同，則 a、b 值必跟着改變，因此，為提高模式之準確性及適用性，則有需要確立該地區之 a、b 值。有關 a、b 值之計算，可利用下式求之：

$$E_a = (a + bU_2)(\epsilon_a - \epsilon_d) \\ = (a + bU_2)\Delta E \dots\dots\dots(27)$$

將(27)式右邊之 ΔE 移到左邊，則變成 $E_a/\Delta E = a + bU_2$ 之型式，如此利用 $E_a/\Delta E$ 及 U_2 做直線迴

歸分析，即可求出 a、b 值。一般 ΔE 之求法有下列幾種方式，惟需先選定較適合計算嘉義地區之公式^(13,19,22)

$$(1)\Delta E = E_{save} - E_{dp_s} \dots\dots\dots(28)$$

式中 E_{save} ：平均氣溫之飽和蒸汽壓力

E_{dpmin} ：上午 8 時露點溫度，即最低露點溫度之飽和蒸汽壓

$$(2)\Delta E = E_{save} - E_{dpmin} \dots\dots\dots(29)$$

式中 E_{dpmin} ：平均露點溫度之飽和蒸汽壓

$$(3)\Delta E = E_{save} - R_{Have} \times E_{save} = E_{save} \\ (1 - R_{Have}) \dots\dots\dots(30)$$

式中 R_{Have} ：平均相對濕度

$$(4)\Delta E = (E_{smax} + E_{smin})/2 - E_{dp_s} \dots\dots\dots(31)$$

式中 E_{smax} ：最高溫度之飽和蒸汽壓

E_{smin} ：最低溫度之飽和蒸汽壓

$$(5)\Delta E = [(E_{smax} - E_{max}) + (E_{smin} - E_{min})]^{1/2} \dots\dots\dots(32)$$

蒸汽壓力飽和差 ΔE 之計算，由於所採用的計算式將影響風速函數中地域性參數之大小及風速函數之型式，所以採用的計算式應與 24 小時飽和差 (hourly deficit) 之值相互比較，選擇誤差小，當做該區飽和差之計算式，俾能因此確立該地域風速函數之參數。

4.飽和蒸汽壓力 ϵ_a 及 ϵ_d

ϵ_a 及 ϵ_d 可利用下式求之⁽¹³⁾

$$E = 33.8639[(0.00738T + 0.8072)^8 - 0.0000191 \\ (1.8T + 48) + 0.001316] \dots\dots\dots(33)$$

T：溫度。°C

5.土壤熱通量 G

土壤熱通量，由於白天吸收熱，晚上放出熱，計量上除了藉助於精密之儀器，否則不易觀測，且由於與其他因子相較，其對 E_r 影響所佔之比例甚小，故 G 通常視為零。

6.淨輻射量 R_n

太陽之輻射輸出，透過大氣層頂，經大氣吸收，散射及反射等等綜合效應而到達地面，其淨輻射量 R_n ，即為所有入流量 R_{ns} 與出流量 R_b 之差額，應用上除可藉助儀器觀測外，尚可由一系列數學式及許多專家學者研究分析成果計算而得。

$$R_n = R_{ns} - R_b \\ = (1 - \alpha)R_s - R_b$$

式中 R_s ：日射量，此值可直接由儀器量測得知 ly/day

Rb: 淨長波輻射率 (出流量)。1y/day

α : 反射率, 一般採用平均值0.23, 如表二

表二: 應用不同方法求得不同種類作物之表面反射率

作物種類	(a)	(b)	(c)
甘 藍 菜	0.23	0.21	0.24
馬 鈴 薯	0.21	0.18	0.22
萵 苣	0.26	0.22	0.25
蕃 茄	0.22	0.21	0.22
裸 地	0.19	0.17	0.20

資料來源: NKemdirim⁽¹⁸⁾

註: (a)幾何平均法(b)統計迴歸法(c)天頂角法

$$R_b = \left[a_r \frac{R_s}{R_{so}} + b_r \right] R_{bo}$$

其中 R_{so} 為晴天全日日照率, a_r 、 b_r 為經驗係數, 一般在濕潤地區皆採用 $a_r=1$, $b_r=0$ (根據 Kincaid & Heerman 之建議) R_{bo} 為晴天夜間長波輻射率, 可由下式求得⁽¹⁸⁾

$$R_{bo} = (a_1 + b_1 \sqrt{\epsilon d}) 11.71 \times 10^{-8} T_k^4$$

式中 a_1 、 b_1 因國內尚無此方面資料, 依據 Kincaid & Heerman 之建議, 採用 $a_1=0.39$ 、 $b_1=0.05$ 。 T_k 為日均溫, 以絕對溫度表示。

五、資料分析

1. 無因次敏感度分析

敏感度分析是一種模式檢測的重要工具。簡單的說, 所謂敏感度就是模式對變數變動所引起的反應, 這些變動有各種不同的特性, 可能很大或很小, 也可能是暫時性或永久性, 亦可能與假定之起始狀態有關。

在模式的輸入至輸出, 中間經歷了最重要的反應函數⁽²¹⁾ (response function) 部份, 而反應函數所依靠的就是變數。所以分析模式中變數之敏感度, 就成為探索最佳化中一個不可或缺的部份。由前面模式探討之內容中, 得知影響模式之氣象因子有四種, 即日均溫、濕度、日輻射量, 及風速。其中濕度可由乾濕球溫度計讀取乾球與濕球的溫度差。經查表而得。乾球溫度即是日均溫, 而濕球溫度計之構造原理, 是模擬在非飽和空氣中, 當溫度降低時, 露水開始凝結時的物理現象, 所以又稱之為露點 (dew point) 溫度。因此, 濕度可用露點溫度表現。有關風速函數 $f(u) = a + bu_2$, 中

a 、 b 值可由前述得知, 而日輻射量雖可由此式 $R_s = a + bn/N$ 求出, R_s 為日輻射量, n 為日照時數、 N 為晴天日照時數 (依緯度查表得知), 但隨著儀器的進步日輻射量可由日射計直接測得, 所以可直接代入, 至於如反射率 α ⁽²³⁾、粗糙度 (Z_o 、 Z_{op} 、 Z_{om} 、 Z_{ov})⁽²⁰⁾ 等地理因素, 因不在本文研究範圍內, 故僅以合理常數代之。

依 McCuen (1974) 對敏感度之定義⁽²¹⁾, 函數 F 對 n 個相互獨立變數 X_i 之偏微分式, 可用來分析函數對變數之敏感度。

假設函數 F 由 n 個變數 X_i 所組成, 表示如下:

$$F = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \\ = f(X_i, i=1, \dots, n) \dots \dots \dots (34)$$

則 X_i 改變將導致 F 改變, 此種關係可利用 Taylor 級數將 $f(X_i + \Delta X_i)$ 對 X_i 展開, 其中 ΔX_i 為變數 X_i 之變化量, 合併同階微分項, 得到

$$f(X_i + \Delta X_i, X_j | j \neq i) \\ = f(X_i) + \frac{\partial f(X_i, i=1, \dots, n)}{\partial X_i} \Delta X_i + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f(X_i, i=1, \dots, n)}{\partial X_i^2} \Delta X_i^2 + \dots (35)$$

假設 ΔX_i 很小, 則 ΔX_i^2 項可忽略不計, 並將式(34)代入上式中, 得到

$$f(X_i + \Delta X_i, X_j | j \neq i) = f(X_i) + \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i \dots \dots \dots (36)$$

$$\text{則 } \Delta f(X_i) = f(X_i + \Delta X_i, X_j | j \neq i) - f(X_i) \\ = \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i \dots \dots \dots (37)$$

其中 $\Delta f(X_i)$ 為函數 F 因變數 X_i 變化而產生之變化量, 且令 $\frac{\partial F}{\partial X_i} = \Phi_i$, $i = 1 \dots \dots n$, Φ_i 定義

為函數 F 對變數 X_i 之絕對敏感度 (absolute sensitivity), 此種敏感度表示某一瞬間 F 對變數 X_i 之變化程度, 由於各變數 X_i 有不同的變化範圍, 使得函數 F 也有不同的變化範圍, 所以在本文中, 此絕對敏感度無法到達比較各變數敏感度之相對值目的, 因此, 我們可用單位函數 F 之變化量 $\frac{\partial F}{\partial X_i}$ 與單位變數 X_i 值之變化量 $\frac{\partial X_i}{X_i}$ 的比值來表示各變數敏感度之相對值, 如下所示:

$$\frac{\partial F/F}{\partial X_i/X_i} = \frac{\partial F}{\partial X_i} \frac{X_i}{F} = S_i \dots \dots \dots (38)$$

式中 S_i 為相對敏感度(relative sensitivity)係一無因次數值,可使於比較各變數在函數中之重要地位⁽²¹⁾。

2. 迴歸分析方法

本文所採用線性模型迴歸分析是以最小二乘法(least square method)建立標準方程式(normal equation),而求解各模型中之迴歸係數⁽⁷⁾,並以

(1) 相關係數 R ,說明變數間之相關程度。

(2) 實測值與各模式估算值的比較,採用平均方差(root-mean-square-error)值,即

$$RMSE = \left(\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N_s} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(40)$$

式中: Y_i 為實測值

\hat{Y}_i 為估算式估算值

N_s 為樣本數

六、結果與討論

1. 表三~表十四列出嘉義地區每月任一天所計算實際飽和差與諸計算式之比較,以(33)式分別求出當時溫度與露點溫度之飽和蒸汽壓。累計24小時飽和差後取其平均值與(28)~(32)式諸計算結果比較,表三、五、十、十一、十三、十四與(29)式最接近,其餘皆均勻分佈在其它各式,因此,得(29)式:由最高最低溫為平均溫度之飽和蒸汽壓 E_{save} ,減去露點溫度之飽和蒸汽壓之結果,較能代表嘉義地區風速函數其大小及型式計算飽和差之依據。

2. 於78年整年當中,取自嘉義氣象測站之資料,A型蒸發皿蒸發量,2m高風速計風速,最高、最低氣溫等資料⁽⁶⁾共183天,其餘則因資料不全或降雨而未予採用,經迴歸分析得嘉義地區風速函數:

$$E_a = (0.23 + 0.0012U_2) \Delta E \dots\dots\dots(41)$$

式中 U_2 單位是 Km/day , ΔE 單位為 mb , E_a 單位為 mm 。

(41)式相關係數 $R = 0.811$,顯示其相關程度尚屬不錯,如圖二所示。

3. 表十五~表十七列出(28)~(32)式風速函數諸估算法及本文所推導之估算值與實測值的比較分析,並以圖三~圖五示之。

結果顯示 FAO於1977年所推薦之風速函數其估算值與實測值相比較,是諸估算式中具有最大均方差,而黃氏⁽⁴⁾雖有較高之相關係數,但綜合平均均方差及相關係數兩指標,則本文所得之風速函數較

其它諸式適用於嘉義地區,因此以(41)式代表嘉義地區之風速函數。

4. 圖六~圖十為各模式敏感度之分析結果。從溫度法即只考慮B-C及Thornthwaite,兩種月作物需水量模式中,B-C式對日均溫之敏感係數約在0.52~0.65,且隨季節之不同而變化。而Thornthwaite式之全年均溫敏感係數則在0.25~0.4之間。

從輻射法即只考慮J-h、Har及P-T三種方法,可估算短時期的蒸發散量,故在敏感度分析中可以用日為基本單位,在J-H分析結果中,全年旬均溫敏感係數隨著溫度變化而異,變化範圍約在0.81~1.00之間(如圖六~圖十),Har亦有相同之趨勢,其變化範圍在0.42~0.66之間(如圖六~圖十)。而P-T雖屬於輻射法,但其淨輻射却受相對濕度的影響,在分析結果中(圖五~圖十),日均溫敏感係數亦與其它二式有相同趨勢,但分佈範圍則在0.10~0.25之間,而此三種之共同特性為日射量敏感係數皆為1(如圖六~圖十)。又修正之Penman模式與Bavel式,此兩種皆明顯的使用四種基本的氣象因子,然此兩種模式之最大區別在於Penman式中風速函數 $f(u)$ 採用了Dalton型式之經驗式,而Bavel式則仍循著空氣動力理論來做依據,而其敏感係數分佈之情形則有共同趨勢,以溫度為最高,露點溫度次之,日輻射及風速更次之。

5. 圖十一~圖十三表示在同一年內不同期距(以日、旬、月為單位)時諸模式對A型蒸發皿蒸發量之模擬,結果顯示,以日為單位之相關係數, $R = 0.806$ (以Penman為例)以旬、月為單位之相關係數則分別為0.955、0.983,如此可窺出期距愈大則相關係數愈為理想。此原因在於灌溉本身即是一種具有稽延(lag)特性的事業。換句話說水分蒸發需要時間,縱然在乾旱地區,水分蒸發速率快,但當地作物自然會產生抗旱之特性,故在短時距內各變數之變異性較大。在統計上若利用長時距資料作分析,則會自動消弭其擾動現象,而使資料分析呈現某種趨勢,且縮小了變異值,使資料向中央平均值集中,而提高相關係數,因此像Blaney-Criddle及Thornthwaite等法因只利用少數之氣象因子,且發展之背景條件又不同,故只適用月作物需水量之推估,對於以旬及日為準之作物需水量,則不宜推估。然依本省灌溉制度而言,灌溉

水量之計算皆以旬為基準，因此，本文計算即以旬為單位來推估，以符合實際之灌溉用水。

6.表十八～表二十三為1985～1989年嘉義地區與1989年學甲地區各模式以A型蒸發皿為實測值來做模擬，並以圖十四～圖十九示之。結果顯示諸模式經過長時距(五年)之模擬，無論在任何地區(嘉義或學甲) Penman 模式都具有相當高的相關係數，其最高可達到0.983，最低亦有 0.855而 Van Bavel、P-T、Har、J-H 及 B-C、Tho 等相關係數及其穩定性，皆不甚理想，究其原因乃是上述各模式本身運算因子對作物生長之物理過程描述不甚詳盡，故所模擬出之結果亦欠佳。

7.表二十四表示1989年嘉義與學甲地區各氣象因子旬平均之變化。結果顯示：學甲地區之溫度、日射量、露點溫度等皆高於嘉義地區，惟風速却低於嘉義，但其A型蒸發皿蒸發量則仍高於嘉義地區，此點驗證了風速在各氣象因子對於蒸發散量之影響是較輕微的。

結 論 與 建 議

1.應用 Dalton 空氣動力型式，依據 24小時之飽和差之平均值擇定飽和差之計算式，並進而建立嘉義地區風速函數之地域性參數，並與目前廣泛採用的 FAO、Penman 所推薦之風速函數及黃氏所推求之風速函數相比較皆有最小之平均方差，因此應用本文分析結果，可適用於嘉義地區。

2.在估算作物需水量之諸模式中，由模擬結果得知，無論是在不同時距或不同區域(嘉義或學甲) Penman 模式皆有相當好之相關係數，惟時距愈長，則相關係數愈為理想而其他模式之相關係數則較不理想且不穩定。究其原因 Penman 模式對於描述作物蒸發散過程及其物理意義之能力暨氣候基本資料較為詳盡所致，故由本文結果分析得知，Penman 模式可作為推估嘉南地區作物需水量之最佳模式。

3.從1985～1989年各模式敏感度分析，結果顯示，無論在任何一年任何地區，諸模式對溫度皆具有高敏感性，次為露點溫度、日射量及風速。然風速對模式本身之敏感性雖為最低，但若加以忽略不予考慮，則模式模擬結果之相關性，則不甚理想，以 1989 年旬別為例 Penman 模式模擬結果之相

關係數 $R=0.953$ ，Van 為 0.864，P-T 為 0.870，Har 0.876，J-h 為 0.880，B-C 為 0.83，THO 為 0.801，其中 P-T、Har、J-h、B-C、THO 皆以忽略風速函數而所發展之估算模式，其相關性較 Penman 為差，而 Van 模式雖與 Penman 模式使用相同之氣象因子計算，且 Van 又將 Penman 模式中之風速函數加以修正，因此依理論而言 Van 模式所得之相關性應較 Penman 模式為高，但事實正好相反，其原因在於發展背景條件不同時，則風速函數之地域性參數亦會有所改變，所以風速函數之確立，對整個模式模擬結果之影響將具有舉足輕重之地位，故為求精確推估各地區之作物需水量則宜確立各地區之風速函數。依本文所得之風速函數 $f(u)=0.23+0.0012U_2$ 可作為推估嘉義地區作物需水量之參考依據。

4.風速函數之建立有賴長期記錄資料之校正與分析，亦即利用 Dalton 經驗式加以分析建立，然期間之長短應如何檢定才可使函數趨於可靠及穩定。又風速函數若藉由空氣動力理論推導，與上述之經驗式，此兩式對模式整個結果有何影響，實有進一步探討之必要。

5.本文在模擬過程中，因缺乏長期之田間實測數據，且蒸發散勢與自由水面蒸發有極為相似之物理現象，故皆以A型蒸發皿蒸發量作為迴歸依據。然為提高模式之適用性，符合精確省水之目的，實必需有長期之田間試驗數據，故應考慮在嘉義設置實測作物需水量之儀器設備。

6.依考慮模式之實用性而言，雖 Penman 模式具有較好之相關性，但應用上較為繁雜，而 Jensen-Haise 雖只含一條方程式，但其相關係數較諸其它模式整體而言，為僅次於 Penman 模式，故可考慮 Jensen-Haise 來估算作物需水量。

誌 謝

本文之完成，承蒙臺大農工所施嘉昌教授多方指導及督促與國科會之經費補助及嘉義農專土木科全體同仁之勉勵，另蒙張本初先生及黃振昌先生在觀念方面諸多澄清與釋疑及嘉義氣象站與嘉南農田水利會學甲旱作灌溉試驗站資料之提供，始能完成，謹致最高的謝忱。

表三 78年1月2日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	19.35	82	22.46	14.50	16.32	5.94
2	14.90	83	16.95	12.10	14.13	2.82
3	14.90	84	16.95	12.30	14.32	2.64
4	14.90	84	16.95	12.30	14.32	2.64
5	14.50	86	16.52	12.10	14.13	2.39
6	14.60	88	16.63	12.60	14.60	2.03
7	14.80	88	16.84	12.80	14.79	2.05
8	14.90	88	16.95	12.80	14.79	2.16
9	17.50	77	20.00	13.40	15.38	4.62
10	19.10	69	22.11	13.30	15.28	6.83
11	21.00	63	24.87	13.70	15.69	9.18
12	22.40	60	27.08	14.20	16.20	10.88
13	23.60	55	29.12	13.90	15.89	13.23
14	24.20	53	30.19	14.10	16.10	14.09
15	23.60	51	29.12	12.90	14.89	14.23
16	21.70	60	25.95	13.60	15.58	10.37
17	20.80	63	24.56	13.60	15.58	3.98
18	18.70	76	21.57	14.30	16.31	5.26
19	17.50	81	20.00	14.20	16.20	3.80
20	16.70	84	19.02	14.00	15.99	3.02
21	15.90	86	18.07	13.60	15.58	2.49
22	16.00	87	18.19	13.90	15.89	2.30
23	16.30	89	18.54	14.40	16.41	2.13
24	16.10	89	18.30	14.30	16.31	2.00
Average:						5.67

- (1) $T_{max}=24.2$ $T_{min}=14.5$ $T_{ave}=19.35$ $E_{save}=22.46mb$
 $Td8=12.8$ $Ed8=14.79$
(28)式 $\Delta E=E_{save}-Ed8=7.67mb$
(2) $Td=T_{min}=14.5$ $Edpave=16.52$
(29)式 $\Delta E=E_{save}-Edpave=5.94mb$ (最接近)
(3) $RH_{ave}=(53+86)/2=69.5\%$
(30)式 $\Delta E=E_{save}(1-RH_{ave})=6.85mb$
(4) $E_{max}=30.19$ $E_{min}=16.52$
(31)式 $\Delta E=(E_{max}+E_{min})/2-Ed=8.57mb$
(5) $E_{max}=30.19 \times 0.53=16$ $E_{min}=16.52 \times 0.86=14.21$
(32)式 $\Delta E=[(E_{max}-E_{min})+(E_{min}-E_{min})]/2=8.25mb$

表五 78年3月28日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	15.90	81	18.07	12.60	14.60	3.47
2	15.90	84	18.07	13.20	15.18	2.89
3	15.50	84	17.62	12.90	14.89	2.73
4	15.40	83	17.50	12.60	14.60	2.90
5	15.10	82	17.17	12.00	14.04	3.13
6	15.60	74	17.73	10.90	13.05	4.68
7	16.30	66	18.54	10.00	12.29	6.25
8	18.50	58	21.30	10.20	12.46	8.84
9	19.40	54	22.53	9.80	12.13	10.40
10	20.30	55	23.82	10.90	13.05	10.77
11	21.20	49	25.17	10.00	12.29	12.88
12	21.90	52	26.27	11.60	13.67	12.60
13	23.00	48	28.09	11.50	13.58	14.50
14	22.90	49	27.92	11.70	13.76	14.15
15	22.00	51	26.43	11.30	13.40	13.03
16	20.60	59	24.26	12.30	14.32	9.95
17	19.30	63	22.39	12.20	14.22	8.17
18	18.10	71	20.77	12.70	14.70	6.08
19	16.80	78	19.14	13.00	14.99	4.15
20	15.70	84	17.84	13.00	14.99	2.86
21	14.90	88	16.95	12.90	14.89	2.06
22	14.40	90	16.41	12.70	14.70	1.72
23	14.10	91	16.10	12.60	14.60	1.50
24	12.70	96	14.70	12.00	14.04	0.66
Average:						6.68

- (1) $T_{max}=23$ $T_{min}=12.7$ $T_{ave}=17.35$ $E_{save}=20.46mb$
 $Td8=10.2$ $Ed8=12.46$
(28)式 $\Delta E=E_{save}-Ed8=8mb$
(2) $Td=T_{min}=12.7$ $Edpave=14.7$
(29)式 $\Delta E=E_{save}-Edpave=5.76mb$ (最接近)
(3) $RH_{ave}=(48+96)/2=72\%$
(30)式 $\Delta E=E_{save}(1-RH_{ave})=5.73mb$
(4) $E_{max}=28.09$ $E_{min}=14.7$
(31)式 $\Delta E=(E_{max}+E_{min})/2-Ed=8.94mb$
(5) $E_{max}=28.09 \times 0.48=13.48$ $E_{min}=14.7 \times 0.96=14.11$
(32)式 $\Delta E=[(E_{max}-E_{min})+(E_{min}-E_{min})]/2=7.6mb$

表四 78年2月12日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	9.20	88	11.65	7.30	10.24	1.41
2	8.50	89	11.11	6.80	9.89	1.22
3	8.00	91	10.74	6.70	9.83	0.91
4	7.70	91	10.52	6.30	9.56	0.96
5	7.60	91	10.45	6.30	9.56	0.89
6	7.50	90	10.38	6.00	9.36	1.02
7	7.20	92	10.17	6.00	9.36	0.81
8	8.50	87	11.11	6.40	9.63	1.49
9	10.60	76	12.79	6.60	9.76	3.03
10	12.70	70	14.70	7.30	10.24	4.46
11	15.00	64	17.06	8.20	10.89	6.17
12	16.60	57	18.90	8.10	10.81	8.08
13	18.20	52	20.90	8.30	10.96	9.94
14	19.40	51	22.53	9.10	11.57	10.96
15	18.60	54	21.43	9.10	11.57	9.86
16	17.80	56	20.38	9.00	11.49	8.89
17	16.40	62	18.66	9.10	11.57	7.09
18	14.80	68	16.84	9.00	11.49	5.35
19	13.90	73	15.89	9.10	11.57	4.32
20	13.40	74	15.38	8.80	11.34	4.04
21	12.60	79	14.60	9.00	11.49	3.11
22	11.90	83	13.94	9.10	11.57	2.37
23	11.20	87	13.31	9.10	11.57	1.74
24	10.40	90	12.62	8.90	11.42	1.21
Average:						4.14

- (1) $T_{max}=19.4$ $T_{min}=7.2$ $T_{ave}=13.3$ $E_{save}=15.29$
 $Td8=6.4$ $Ed8=9.63$
(28)式 $\Delta E=E_{save}-Ed8=5.66mb$
(2) $Td=T_{min}=7.2$ $Edpave=10.17$
(29)式 $\Delta E=E_{save}-Edpave=5.12mb$ (最接近)
(3) $RH_{ave}=(51+92)/2=71.5\%$
(30)式 $\Delta E=E_{save}(1-RH_{ave})=4.36mb$
(4) $E_{max}=22.53$ $E_{min}=10.17$
(31)式 $\Delta E=(E_{max}+E_{min})/2-Ed=6.72mb$
(5) $E_{max}=22.53 \times 0.51=11.49$ $E_{min}=10.17 \times 0.92=9.36$
(32)式 $\Delta E=[(E_{max}-E_{min})+(E_{min}-E_{min})]/2=5.93mb$

表六 78年4月22日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	24.70	83	31.10	21.70	25.95	5.15
2	25.10	79	31.85	21.20	25.17	6.68
3	25.30	78	32.23	21.20	25.17	7.06
4	24.30	85	30.57	21.60	25.80	4.57
5	25.00	78	31.66	21.00	24.87	6.80
6	24.10	86	30.01	21.70	25.95	4.05
7	25.30	78	32.23	21.20	25.17	7.06
8	25.60	78	32.81	21.50	25.64	7.17
9	25.90	79	33.40	22.00	26.43	6.97
10	26.70	75	35.01	21.90	26.27	8.74
11	27.80	73	37.34	22.50	27.25	10.10
12	28.20	73	38.22	22.90	27.92	10.31
13	27.90	76	37.56	23.30	28.60	8.96
14	29.10	69	40.27	22.90	27.92	12.35
15	27.90	76	37.56	23.30	28.60	8.96
16	26.80	79	35.22	22.90	27.92	7.30
17	25.80	87	33.20	23.50	28.94	4.26
18	24.70	94	31.10	23.60	29.12	1.98
19	24.70	94	31.10	23.60	29.12	1.98
20	24.90	94	31.48	23.80	29.47	2.00
21	24.30	95	30.37	23.50	28.94	1.42
22	23.50	95	28.94	22.60	27.41	1.53
23	23.80	92	29.47	22.50	27.25	2.22
24	23.90	91	29.65	22.30	26.92	2.73
Average:						5.85

- (1) $T_{max}=29.1$ $T_{min}=23.5$ $T_{ave}=26.3$ $E_{save}=34.22mb$
 $Td8=21.5$ $Ed8=25.64$
(28)式 $\Delta E=E_{save}-Ed8=8.58mb$
(2) $Td=T_{min}=23.5$ $Edpave=28.94$
(29)式 $\Delta E=E_{save}-Edpave=5.28mb$
(3) $RH_{ave}=(69+95)/2=82\%$
(30)式 $\Delta E=E_{save}(1-RH_{ave})=6.16mb$ (最接近)
(4) $E_{max}=40.27$ $E_{min}=28.94$
(31)式 $\Delta E=(E_{max}+E_{min})/2-Ed=8.97mb$
(5) $E_{max}=40.27 \times 0.69=27.79$ $E_{min}=28.94 \times 0.95=27.49$
(32)式 $\Delta E=[(E_{max}-E_{min})+(E_{min}-E_{min})]/2=6.97mb$

表七 78年5月28日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)	平均溫度 (°C)	露點溫度 (°C)	露點濕度 (mb)	飽和濕汽壓 (mb)	飽和壓力差 (mb)
1	23.60	95	29.12	22.70	27.58	1.54	
2	23.50	96	28.94	22.90	27.92	1.03	
3	23.60	95	29.12	22.80	27.75	1.37	
4	23.50	96	28.94	22.80	27.75	1.20	
5	23.60	96	29.12	22.90	27.92	1.20	
6	23.90	96	29.65	23.30	28.60	1.05	
7	25.20	89	32.04	23.20	28.43	3.62	
8	27.00	79	35.64	23.10	28.26	7.38	
9	28.70	76	39.35	24.00	29.83	9.52	
10	30.30	68	43.15	23.80	29.47	13.68	
11	30.30	68	43.15	23.80	29.47	13.68	
12	30.60	69	43.89	24.20	30.19	13.71	
13	31.30	68	45.68	24.70	31.10	14.58	
14	31.70	65	46.73	24.40	30.55	16.18	
15	32.00	62	47.53	23.70	29.50	18.24	
16	31.10	63	45.17	23.20	28.43	16.74	
17	29.70	66	41.69	22.70	27.58	14.11	
18	28.00	74	37.78	23.00	28.09	9.70	
19	26.50	80	34.60	22.80	27.75	6.86	
20	26.20	83	34.00	23.00	28.09	5.91	
21	26.00	83	33.60	22.90	27.92	5.68	
22	25.70	84	33.01	22.70	27.58	5.45	
23	25.70	83	33.01	22.50	27.25	5.76	
24	24.60	88	30.92	22.50	27.25	3.67	
Average:						7.99	

- (1) Tmax=32.00 Tmin=23.5 Tave=27.75 Esave=37.25mb
Td8=23.1 Ed8=28.26
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 8.99mb$
- (2) Td=Tmin=23.5 Edpave=28.94
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 8.31mb$
- (3) RHave=(62+96)/2=79%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 7.82mb$ (最接近)
- (4) Esmax=47.53 Esmin=28.94
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Esmin)/2 - Ed = 9.98mb$
- (5) Emax=47.53x0.62=29.47 Emin=28.94x0.96=27.78
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Esmin - Emin)]/2 = 9.61mb$

表九 78年7月25日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)	平均溫度 (°C)	露點溫度 (°C)	露點濕度 (mb)	飽和濕汽壓 (mb)	飽和壓力差 (mb)
1	26.00	79	33.60	22.10	26.59	7.01	
2	25.20	86	32.04	22.70	27.58	4.46	
3	25.40	85	32.43	22.70	27.58	4.85	
4	24.70	89	31.10	22.80	27.75	3.36	
5	25.20	87	32.04	22.80	27.75	4.36	
6	25.90	80	33.40	22.10	26.59	6.81	
7	26.60	81	34.81	23.00	28.09	6.72	
8	27.50	80	36.69	23.80	29.47	7.22	
9	28.30	79	38.45	24.40	30.55	7.90	
10	29.90	75	42.17	24.90	31.48	10.69	
11	30.40	72	43.40	24.70	31.10	12.29	
12	30.90	70	44.65	24.70	31.10	13.55	
13	31.40	69	45.94	25.10	31.85	14.09	
14	31.50	67	46.20	24.50	30.73	15.47	
15	31.00	70	44.91	25.00	31.66	13.24	
16	30.80	71	44.40	24.60	30.92	13.48	
17	30.60	71	43.89	24.80	31.29	12.61	
18	29.70	72	41.69	24.00	29.83	11.86	
19	29.00	74	40.04	23.90	29.65	10.39	
20	28.30	79	38.45	24.30	30.37	8.08	
21	27.70	79	37.13	23.80	29.47	7.65	
22	27.80	77	37.34	23.50	28.94	8.40	
23	27.20	80	36.06	23.50	28.94	7.11	
24	27.20	79	36.06	23.30	28.60	7.46	
Average:						9.12	

- (1) Tmax=31.5 Tmin=24.7 Tave=28.1 Esave=38.02
Td8=23.8 Ed8=29.47
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 8.55mb$
- (2) Td=Tmin=24.7 Edpave=31.1
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 6.92mb$
- (3) RHave=(67+89)/2=78%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 8.36mb$ (最接近)
- (4) Esmax=46.2 Esmin=31.1
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Esmin)/2 - Ed = 9.18mb$
- (5) Emax=46.2x0.67=30.95 Emin=31.1x0.89=27.68
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Esmin - Emin)]/2 = 9.34mb$

表八 78年6月28日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)	平均溫度 (°C)	露點溫度 (°C)	露點濕度 (mb)	飽和濕汽壓 (mb)	飽和壓力差 (mb)
1	25.10	86	31.85	22.50	27.25	4.61	
2	24.30	88	30.37	22.20	26.76	3.61	
3	24.00	88	29.83	21.90	26.27	3.56	
4	23.50	90	28.94	21.70	25.95	2.99	
5	23.50	89	28.94	21.50	25.64	3.31	
6	24.00	87	29.83	21.70	25.95	3.87	
7	26.80	77	35.22	22.40	27.08	8.14	
8	30.60	58	43.89	21.30	25.33	18.57	
9	31.40	55	45.94	21.80	25.48	20.46	
10	32.60	53	49.17	21.80	26.11	23.06	
11	32.30	56	48.35	22.40	27.08	21.26	
12	33.70	51	52.30	22.10	26.59	25.71	
13	34.50	53	54.69	23.40	28.77	25.92	
14	33.90	54	52.89	23.30	28.60	24.29	
15	33.20	54	50.86	22.60	27.41	23.44	
16	33.00	59	50.29	23.80	29.47	20.82	
17	31.90	63	47.26	23.90	29.65	17.62	
18	29.90	69	42.17	23.70	29.30	12.87	
19	28.20	78	38.22	23.90	29.65	8.57	
20	27.60	82	36.91	24.30	30.37	6.54	
21	27.60	82	36.91	24.30	30.37	6.54	
22	27.30	82	36.69	24.10	30.01	6.69	
23	27.50	80	36.69	23.70	29.30	7.40	
24	27.40	79	36.48	23.50	28.94	7.54	
Average:						12.81	

- (1) Tmax=33.7 Tmin=23.5 Tave=28.6 Esave=39.14
Td8=21.3 Ed8=25.33
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 13.81mb$
- (2) Td=Tmin=23.5 Edpave=28.94
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 10.2mb$
- (3) RHave=(51+90)/2=70.5%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 11.55mb$ (最接近)
- (4) Esmax=52.3 Esmin=28.94
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Esmin)/2 - Ed = 15.29mb$
- (5) Emax=52.3x0.51=26.7 Emin=28.94x0.9=26.05
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Esmin - Emin)]/2 = 14.26mb$

表十 78年8月24日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)	平均溫度 (°C)	露點溫度 (°C)	露點濕度 (mb)	飽和濕汽壓 (mb)	飽和壓力差 (mb)
1	26.6	84	34.31	23.60	29.12	5.69	
2	26.6	83	34.81	23.50	28.94	5.86	
3	25.5	91	32.62	23.90	29.65	2.97	
4	25.8	90	33.20	24.10	30.01	3.20	
5	25.4	91	32.43	23.80	29.47	2.95	
6	25.30	91	32.23	23.70	29.30	2.94	
7	26.30	89	34.20	24.40	30.55	3.65	
8	28.20	80	38.22	24.50	30.73	7.49	
9	30.10	72	42.66	24.50	30.73	11.92	
10	30.60	72	43.89	24.90	31.48	12.42	
11	31.80	65	47.00	24.30	30.37	16.63	
12	32.60	64	49.17	24.90	31.48	17.69	
13	31.90	74	45.68	26.10	33.80	11.88	
14	32.70	68	49.45	25.90	33.40	16.05	
15	30.10	74	42.66	24.90	31.48	11.18	
16	29.40	82	40.97	26.00	33.60	7.37	
17	28.10	83	38.00	25.00	31.66	6.34	
18	28.40	80	38.67	24.70	31.10	7.57	
19	27.60	88	36.91	25.40	32.43	4.48	
20	27.50	89	36.69	25.50	32.62	4.08	
21	27.10	90	35.85	25.30	32.23	3.61	
22	27.30	83	36.27	24.20	30.19	6.08	
23	27.00	88	35.64	24.80	31.29	4.35	
24	26.30	90	34.20	24.50	30.73	3.47	
Average:						7.49	

- (1) Tmax=32.7 Tmin=25.3 Tave=29 Esave=40.06
Td8=24.5 Ed8=30.73
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 9.33mb$
- (2) Td=Tmin=25.3 Edpave=32.23
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 7.83mb$ (最接近)
- (3) RHave=(68+91)/2=79.5%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 8.21mb$
- (4) Esmax=49.45 Esmin=32.23
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Esmin)/2 - Ed = 10.11mb$
- (5) Emax=49.45x0.68=33.63 Emin=32.23x0.91=29.33
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Esmin - Emin)]/2 = 9.36mb$

表十一 78年9月14日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	24.30	77	30.37	20.00	23.38	6.99
2	24.70	73	31.10	19.60	22.81	8.29
3	23.70	80	29.30	20.10	23.53	5.77
4	23.10	86	28.26	20.70	24.41	3.84
5	22.90	87	27.92	20.70	24.41	3.50
6	24.90	72	31.48	19.50	22.67	8.81
7	24.50	77	30.73	20.30	23.82	6.92
8	25.50	78	32.62	21.30	25.33	7.29
9	25.60	85	32.81	22.90	27.92	4.90
10	26.20	86	34.00	23.70	29.30	4.70
11	26.40	82	34.40	23.10	28.26	6.15
12	28.10	77	38.00	23.60	29.12	8.88
13	27.90	77	37.56	23.40	28.77	8.79
14	27.70	82	37.13	24.30	30.37	6.76
15	28.00	81	37.78	24.40	30.55	7.23
16	27.50	85	36.69	24.80	31.29	5.41
17	26.90	87	35.43	24.60	30.92	4.51
18	26.20	89	34.00	24.30	30.37	3.63
19	25.70	93	33.01	24.40	30.55	2.46
20	25.40	95	32.43	24.60	30.92	1.51
21	25.40	84	32.43	24.40	30.55	1.88
22	24.90	96	31.48	24.30	30.37	1.11
23	25.20	95	32.04	24.40	30.55	1.49
24	24.90	95	31.48	24.00	29.83	1.65
Average:						5.10

- (1) Tmax=28.1 Tmin=22.9 Tave=25.5 Esave=32.63
Td8=21.3 Ed8=25.33
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 7.5mb$
(2) Td=Tmin=22.9 Edpave=27.92
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 4.71mb$ (最接近)
(3) RHave=(77+87)/2=82%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 5.87mb$
(4) Esmax=38 Emin=27.92
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Emin)/2 - Ed = 7.63mb$
(5) Emax=38x0.77=29.26 Emin=27.92x0.87=24.29
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Emin - Emin)]/2 = 6.19mb$

表十二 78年10月2日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	23.00	95	28.09	22.10	26.39	1.49
2	22.30	94	27.75	21.70	25.95	1.79
3	22.10	95	26.59	21.20	25.17	1.42
4	22.10	95	26.59	21.20	25.17	1.42
5	22.20	93	26.76	21.00	24.87	1.89
6	22.10	92	26.59	20.80	24.36	2.03
7	22.40	92	27.08	21.10	25.02	2.06
8	22.90	91	27.92	21.40	25.48	2.43
9	24.10	88	30.01	21.90	26.27	3.74
10	25.80	80	33.20	22.10	26.59	6.61
11	26.80	78	35.22	22.70	27.58	7.64
12	29.00	74	40.04	23.90	29.65	10.39
13	30.00	69	42.41	23.60	29.12	13.29
14	30.50	70	43.64	24.40	30.55	13.09
15	30.40	68	43.40	23.90	29.65	13.75
16	30.00	74	42.41	24.90	31.48	10.94
17	28.70	79	39.35	24.60	30.92	8.43
18	26.70	86	35.01	24.20	30.19	4.83
19	25.80	91	33.20	24.20	30.19	3.02
20	25.70	92	33.01	24.30	30.37	2.64
21	25.10	94	31.85	24.00	29.83	2.03
22	25.10	94	31.85	24.00	29.83	2.03
23	25.10	96	31.85	24.40	30.55	1.30
24	25.50	92	32.62	24.10	30.01	2.61
Average:						5.04

- (1) Tmax=30.5 Tmin=22.1 Tave=26.3 Esave=34.20
Td8=21.4 Ed8=25.48
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 8.72mb$
(2) Td=Tmin=22.1 Edpave=26.59
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 7.61mb$
(3) RHave=(95+70)/2=82.5%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 5.99mb$ (最接近)
(4) Esmax=43.64 Emin=26.59
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Emin)/2 - Ed = 9.64mb$
(5) Emax=43.64x0.7=30.55 Emin=26.59x0.95=25.26
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Emin - Emin)]/2 = 7.21mb$

表十三 78年11月25日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	21.20	93	25.17	19.10	22.11	3.06
2	20.60	93	24.26	19.40	22.53	1.73
3	20.30	93	23.82	19.10	22.11	1.71
4	20.10	93	23.53	18.90	21.84	1.69
5	19.60	92	22.81	18.30	21.03	1.77
6	19.40	91	22.43	17.90	20.51	2.01
7	19.30	90	22.39	17.70	20.26	2.13
8	19.80	89	23.09	17.90	20.51	2.58
9	20.50	83	24.11	17.60	20.13	3.98
10	20.80	82	24.56	17.70	20.26	4.31
11	22.10	79	26.59	18.30	21.03	5.36
12	22.00	81	26.43	18.50	21.30	5.13
13	22.70	78	27.58	18.70	21.57	6.01
14	23.30	74	28.60	18.40	21.17	7.43
15	22.60	76	27.41	18.20	20.90	6.51
16	20.80	87	24.56	18.50	21.30	3.26
17	20.60	89	24.26	18.80	21.70	2.56
18	20.30	88	23.82	18.20	20.90	2.92
19	20.20	88	23.67	18.10	20.77	2.90
20	19.70	88	22.95	17.60	20.13	2.82
21	19.30	90	22.39	17.60	20.13	2.26
22	19.30	90	22.39	17.70	20.26	2.13
23	19.50	91	22.67	18.00	20.64	2.03
24	19.10	93	22.11	17.90	20.51	1.60
Average:						3.25

- (1) Tmax=23.3 Tmin=19.1 Tave=21.2 Esave=25.18
Td8=17.9 Ed8=20.51
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 4.67mb$
(2) Td=Tmin=19.1 Edpave=22.11
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 3.07mb$ (最接近)
(3) RHave=(74+93)/2=83.5%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 4.15mb$
(4) Esmax=28.6 Emin=22.11
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Emin)/2 - Ed = 4.85mb$
(5) Emax=28.6x0.74=21.16 Emin=22.11x0.93=20.56
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Emin - Emin)]/2 = 4.50mb$

表十四 78年12月20日實際飽和差與諸計算式之計算表

時間 (hr)	溫度 ℃	相對濕度 (%)	平均溫度 飽和蒸氣壓	露點溫度 ℃	露點溫度 飽和蒸氣壓	飽和壓力差 (mb)
1	16.00	93	18.19	14.80	16.84	1.35
2	15.80	93	17.96	14.60	16.63	1.35
3	16.10	93	18.30	15.00	17.06	1.24
4	16.30	94	18.54	15.30	17.39	1.15
5	16.10	93	18.30	15.00	17.06	1.24
6	15.80	93	17.96	14.70	16.73	1.22
7	15.80	93	17.96	14.60	16.63	1.33
8	16.50	94	18.78	15.50	17.62	1.16
9	17.90	94	20.51	16.90	19.26	1.25
10	20.60	91	24.26	17.30	19.75	4.51
11	22.80	71	27.75	17.20	19.63	8.12
12	23.70	67	29.30	17.10	19.50	9.79
13	23.80	65	29.47	16.80	19.14	10.33
14	24.30	63	30.37	16.90	19.26	11.11
15	24.30	66	30.37	17.50	20.00	10.37
16	23.10	72	28.26	17.70	20.36	8.00
17	21.50	78	25.64	17.50	20.00	5.64
18	19.80	86	23.09	17.40	19.88	3.22
19	19.20	88	22.25	17.20	19.63	2.62
20	18.10	92	20.77	16.70	19.02	1.76
21	17.80	94	20.38	16.80	19.14	1.25
22	17.40	94	19.88	16.50	18.78	1.10
23	16.70	94	19.02	15.70	17.84	1.17
24	17.30	94	19.75	16.80	19.14	0.61
Average:						3.79

- (1) Tmax=24.3 Tmin=15.8 Tave=20.05 Esave=23.46
Td8=15.5 Ed8=17.62
(28)式 $\Delta E = Esave - Ed8 = 5.84mb$
(2) Td=Tmin=15.8 Edpave=17.96
(29)式 $\Delta E = Esave - Edpave = 5.3mb$ (最接近)
(3) RHave=(66+93)/2=79.5%
(30)式 $\Delta E = Esave(1 - RHave) = 4.81mb$
(4) Esmax=30.37 Emin=17.96
(31)式 $\Delta E = (Esmax + Emin)/2 - Ed = 6.55mb$
(5) Emax=30.37x0.66=20.04 Emin=17.96x0.93=16.7
(32)式 $\Delta E = [(Emax - Emin) + (Emin - Emin)]/2 = 4.8mb$

表十五 實測值與計算值之比較 (1989年3月)

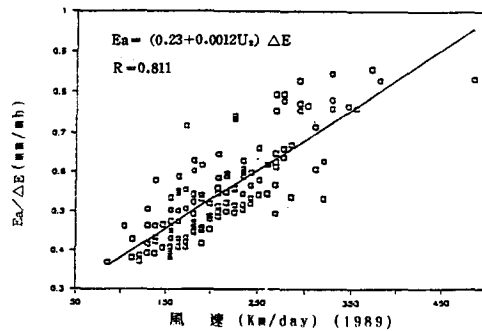
期距	實測值 (mm/day)	本文 (1989)	Hwang (1986)	FAO (1977)	Penman (1963)	Penman (1956)	Penman (1948)
1	3.00	3.71	4.67	3.68	3.35	4.40	3.08
2	2.90	2.85	3.42	3.48	4.38	3.43	2.76
3	2.60	4.00	4.81	3.53	6.03	4.71	3.80
4	3.50	3.67	4.73	4.51	1.20	1.01	0.66
5	2.70	1.47	1.92	3.08	3.63	3.10	1.95
6	2.80	1.34	1.73	7.84	5.31	4.67	3.00
7	3.20	2.14	2.78	6.59	5.54	4.70	3.00
8	2.70	1.70	2.12	5.98	5.23	4.25	3.08
9	2.60	2.69	3.29	5.27	5.17	4.11	3.16
10	3.10	2.95	3.57	4.35	4.40	3.46	2.74
11	2.10	2.71	3.28	4.47	3.80	2.99	2.37
12	2.70	3.24	3.77	3.14	4.84	3.64	3.23
13	2.50	4.02	4.78	6.26	6.19	4.77	3.99
14	3.80	3.04	3.73	4.94	5.03	4.03	3.05
15	2.20	3.10	3.61	3.20	4.15	3.12	2.77
16	3.30	3.78	4.81	5.38	5.05	4.18	2.85
17	2.50	1.89	2.30	3.59	3.82	3.13	2.22
18	1.00	0.86	1.04	1.30	1.39	1.09	0.88
19	1.50	2.11	2.99	1.81	2.06	1.65	1.25
20	3.50	2.77	3.55	3.31	5.05	4.22	2.82
21	3.40	2.31	2.96	6.10	5.65	4.72	3.16
22	2.60	2.23	2.76	3.83	3.90	3.15	2.32
23	0.40	0.88	1.07	1.25	1.27	1.00	0.79
24	3.60	2.61	3.15	2.89	3.03	2.38	1.89
25	1.10	1.46	1.85	1.95	1.58	1.31	0.90
26	0.80	0.63	0.78	1.14	1.20	0.97	0.72
27	3.00	2.22	2.71	5.22	4.85	3.86	2.97
28	4.20	3.03	3.85	6.85	6.25	5.19	3.54
29	4.00	2.96	3.51	4.14	3.16	2.44	2.04
30	3.40	2.79	3.16	4.23	3.31	2.42	2.30
31	3.70	3.66	4.35	5.25	4.13	3.18	2.66
R.M.S.E.	:	0.812	0.950	2.030	1.831	1.170	0.896
Correlation	:	0.639	0.637	0.694	0.587	0.588	0.570

表十六 實測值與計算值之比較 (1989年4月)

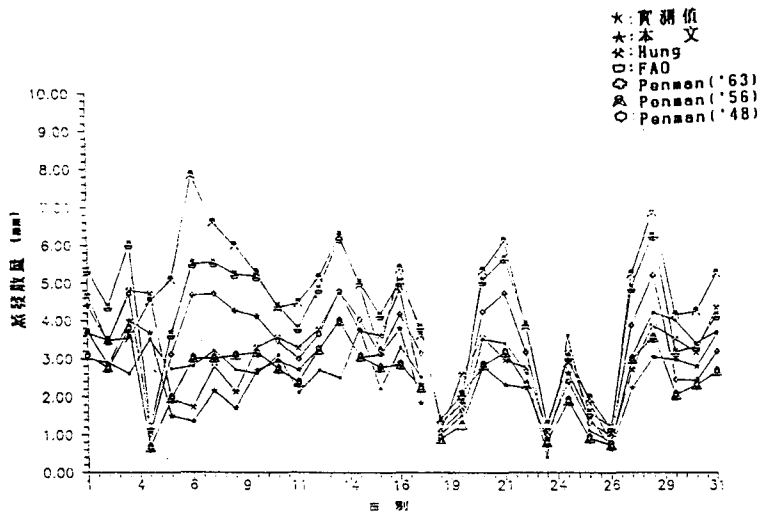
期距	實測值 (mm/day)	本文 (1989)	Hwang (1986)	FAO (1977)	Penman (1963)	Penman (1956)	Penman (1948)
1	3.90	4.69	4.61	4.91	3.84	3.09	3.09
2	2.41	2.91	4.59	2.04	1.61	1.27	1.27
3	4.06	5.08	11.57	9.20	7.51	5.38	5.38
4	2.62	3.21	3.61	4.61	3.69	2.79	2.79
5	2.20	2.61	2.23	3.77	2.91	2.43	2.43
6	2.28	2.79	2.67	2.60	2.07	1.59	1.59
7	1.17	1.35	0.67	1.49	1.11	1.01	1.01
8	0.62	0.71	0.77	0.59	0.44	0.41	0.41
9	1.96	2.36	1.89	2.74	2.14	1.72	1.72
10	3.81	4.92	6.29	4.74	4.00	2.60	2.60
11	3.11	3.80	4.70	4.59	3.65	2.80	2.80
12	3.16	3.84	4.20	5.06	4.00	3.12	3.12
13	2.76	3.32	3.43	5.97	3.10	2.50	2.50
14	3.57	4.31	4.41	4.78	3.76	2.98	2.98
15	1.47	1.79	2.17	2.50	1.98	1.54	1.54
16	2.98	2.81	3.67	4.28	3.27	2.79	2.79
17	2.15	2.50	3.54	3.26	2.45	2.18	2.18
18	3.52	4.15	4.66	5.07	3.88	3.30	3.30
19	3.49	4.15	4.68	4.51	3.47	2.90	2.90
20	3.44	4.13	5.03	4.17	3.26	2.63	2.63
21	2.55	3.14	7.18	6.16	4.96	3.69	3.69
22	2.45	2.97	5.73	5.51	4.36	3.40	3.40
23	3.15	3.81	3.00	2.98	1.87	1.48	1.48
24	2.80	3.65	7.26	4.70	4.00	2.53	2.53
25	2.67	3.08	4.21	2.79	2.08	1.89	1.89
26	2.46	2.77	4.23	4.05	2.95	2.86	2.86
27	2.75	3.22	4.61	3.59	2.72	2.37	2.37
28	2.94	3.54	4.32	3.71	2.71	2.58	2.58
29	3.28	3.96	5.19	4.63	3.64	2.88	2.88
30	3.72	4.39	4.57	3.98	3.05	2.59	2.59
R.M.S.E.	:	0.940	1.012	2.188	1.763	1.328	1.190
Correlation	:	0.678	0.648	0.520	0.480	0.447	0.529

表十七 實測值與計算值之比較 (1989年12月)

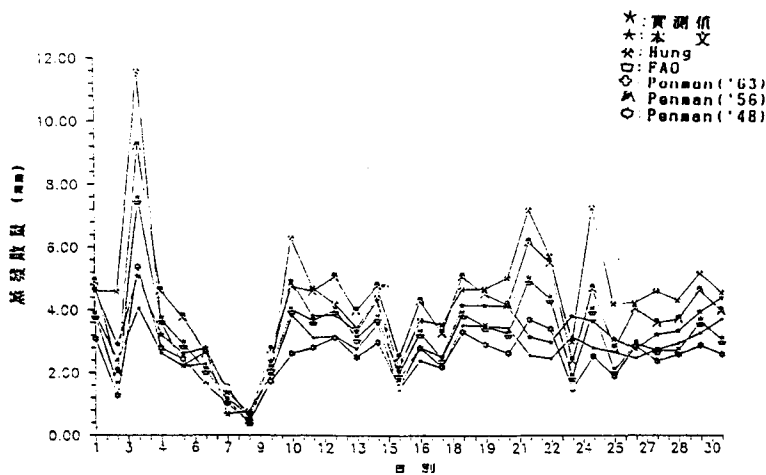
期距	實測值 (mm/day)	本文 (1989)	Hwang (1986)	FAO (1977)	Penman (1963)	Penman (1956)	Penman (1948)
1	1.50	2.45	2.89	2.87	2.91	2.22	1.89
2	1.80	2.72	3.23	2.88	2.50	1.93	1.61
3	1.70	2.70	3.12	2.80	2.62	1.95	1.77
4	2.10	2.96	3.51	3.34	2.58	1.99	1.66
5	1.60	3.06	3.56	3.63	3.80	2.85	2.54
6	2.10	3.09	3.60	3.88	3.30	2.48	2.20
7	1.80	2.97	3.42	3.45	2.74	2.05	1.86
8	2.00	3.25	3.99	3.58	3.74	2.99	2.26
9	1.80	2.40	2.74	2.79	2.84	2.09	1.95
10	1.80	2.89	3.31	2.99	1.72	1.27	1.18
11	1.70	2.86	3.30	3.58	3.67	2.73	2.48
12	1.80	3.21	3.76	3.78	3.92	2.97	2.59
13	1.80	2.97	3.50	2.78	2.59	1.98	1.69
14	2.20	2.94	3.67	4.62	3.61	2.94	2.11
15	1.60	2.42	2.87	3.66	3.96	3.05	2.55
16	1.70	2.56	3.02	3.02	3.05	2.33	1.99
17	1.40	2.20	2.46	2.71	2.23	1.60	1.60
18	1.60	2.35	2.82	2.85	1.31	1.02	0.83
19	1.40	1.98	2.31	2.80	2.90	2.19	1.94
20	1.80	2.34	2.75	2.75	3.63	2.78	2.36
21	1.90	2.70	3.16	2.68	2.99	2.27	1.97
22	1.80	2.67	3.45	4.38	4.96	4.19	2.72
23	1.40	1.29	1.53	1.75	1.83	1.41	1.18
24	1.10	0.85	1.06	1.71	1.86	1.51	1.10
25	0.60	1.45	1.80	2.43	2.21	1.78	1.31
26	2.00	2.84	3.67	4.06	3.34	2.82	1.83
27	1.60	1.73	2.16	3.55	3.74	3.04	2.20
28	1.50	2.26	2.63	2.16	2.66	2.00	1.77
29	1.60	2.11	2.62	3.61	1.61	1.30	0.95
30	0.40	1.24	1.47	2.07	2.21	1.69	1.44
31	0.40	0.78	0.98	1.38	1.09	0.89	0.63
R.M.S.E.	:	0.882	1.339	1.551	1.453	0.873	0.529
Correlation	:	0.849	0.860	0.714	0.510	0.490	0.520



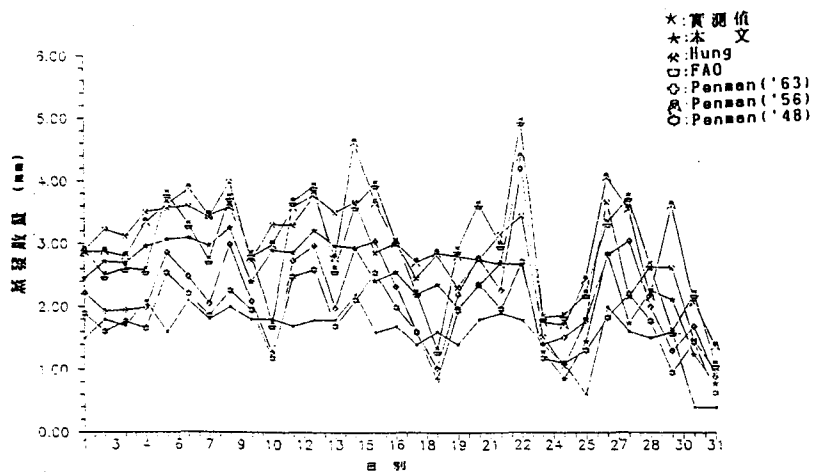
圖二 嘉義地區風速函數迴歸分析



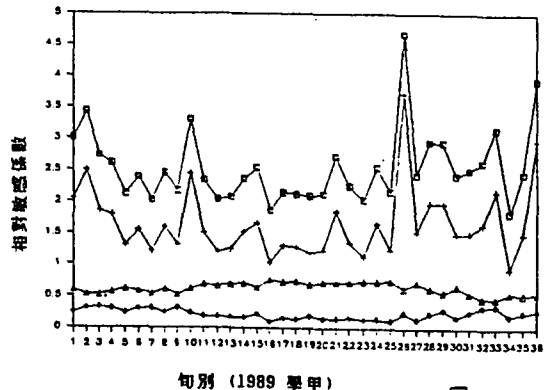
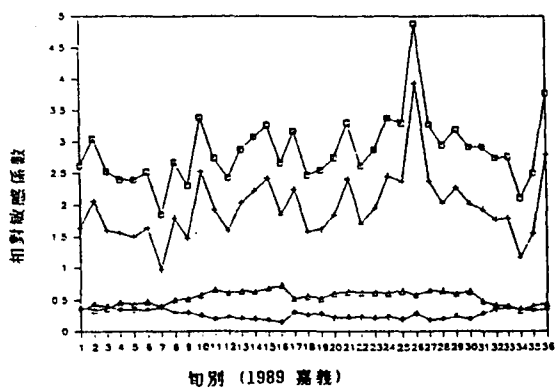
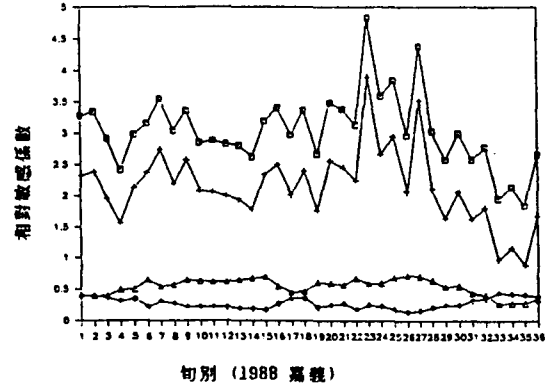
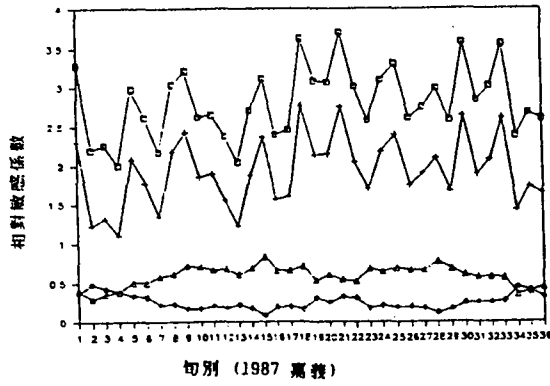
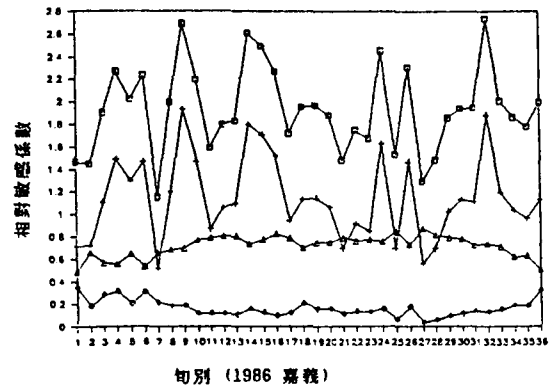
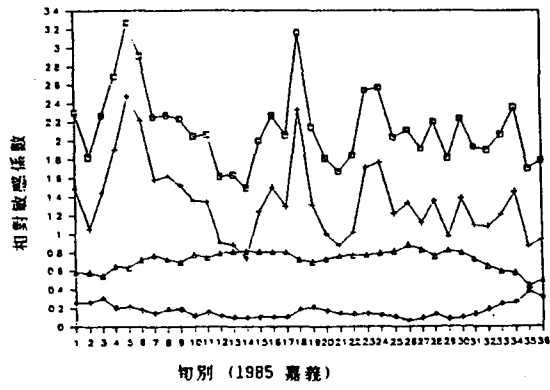
圖三 諸模式計算值與實測值之比較 (1989年3月)



圖四 諸模式計算值與實測值之比較 (1989年4月)

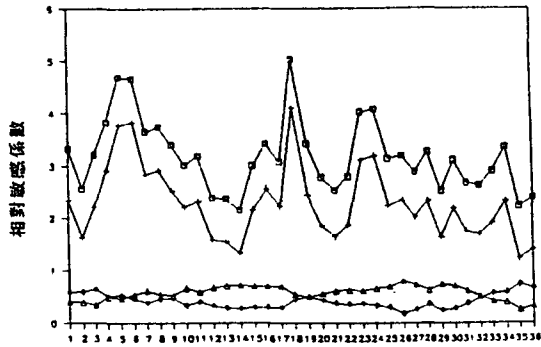


圖五 諸模式計算值與實測值之比較 (1989年12月)

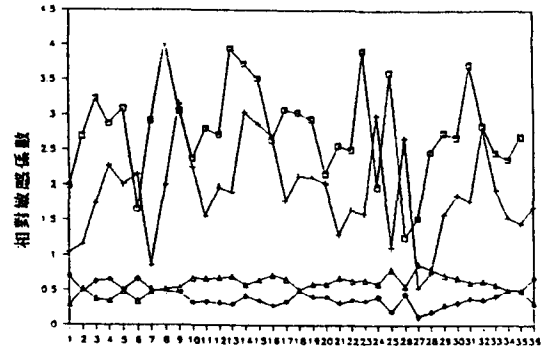


- : 日均溫
- ⊕ : 露點溫度
- ◇ : 風速
- △ : 日照量

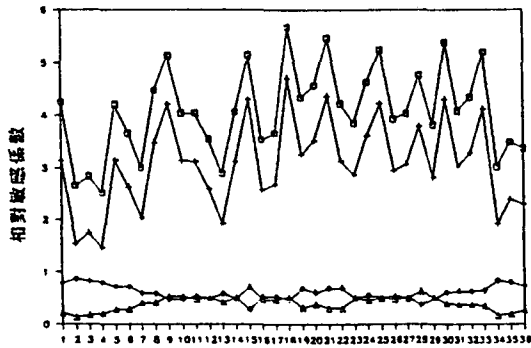
圖六 Penman 模式敏感度分析結果



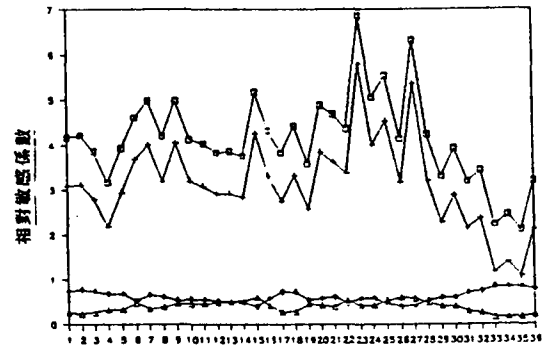
旬別 (1985 嘉義)



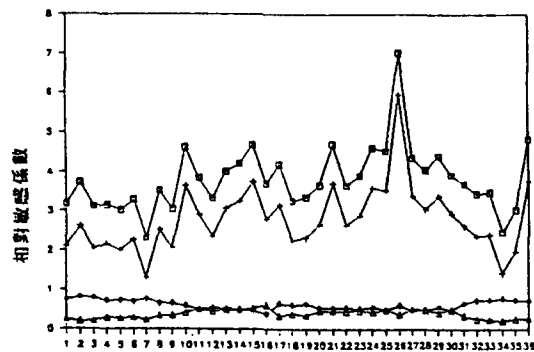
旬別 (1986 嘉義)



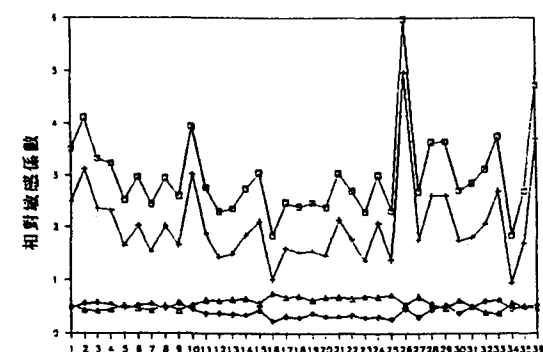
旬別 (1987 嘉義)



旬別 (1988 嘉義)



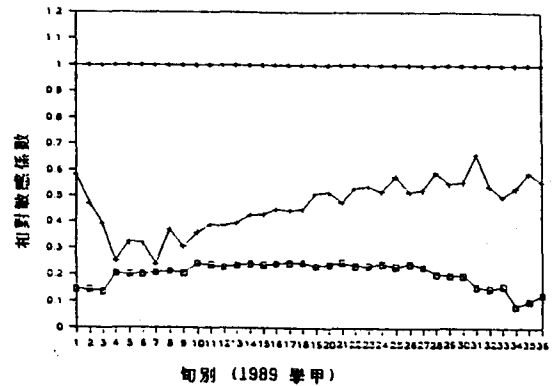
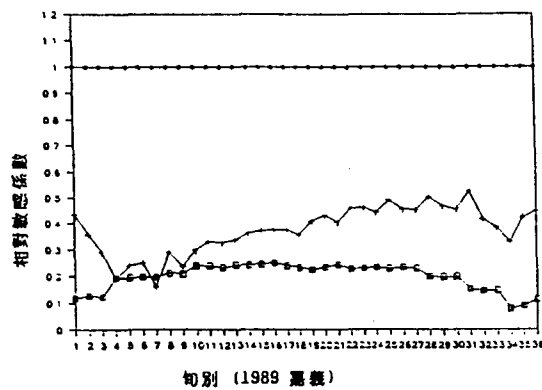
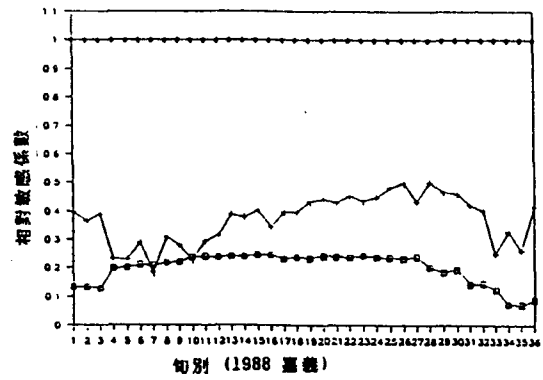
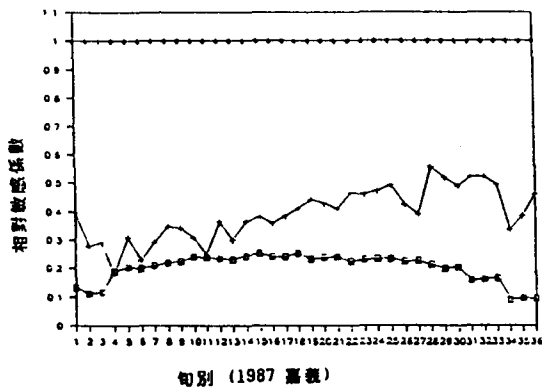
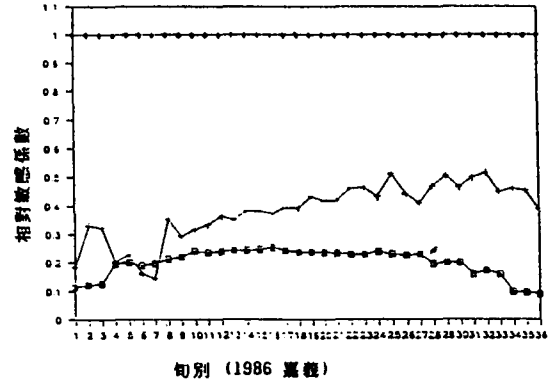
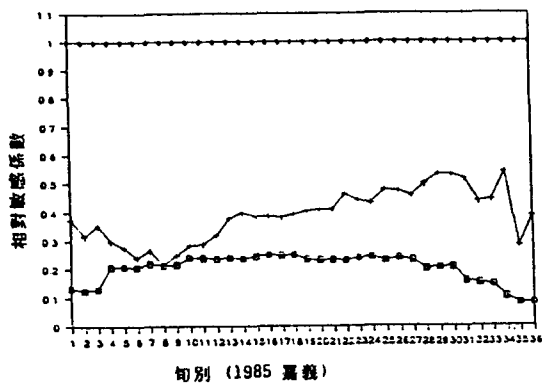
旬別 (1989 嘉義)



旬別 (1989 臺中)

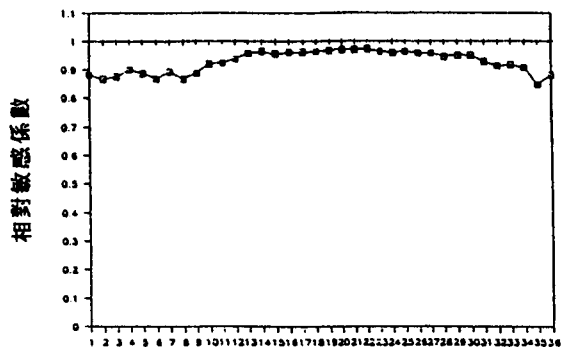
□ : 日均溫
 + : 露點溫度
 ◇ : 風速
 △ : 日射量

圖七 Van Bavel 模式敏感度分析結果

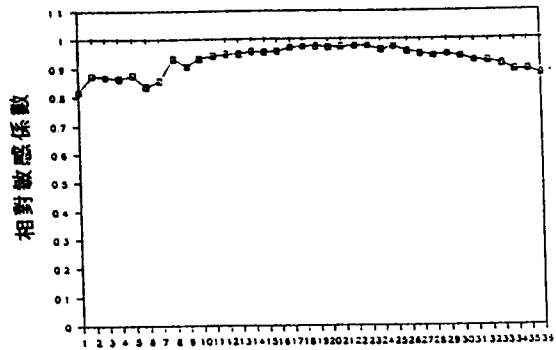


□ : 風速
+ : 雷點量度
◇ : 日照量

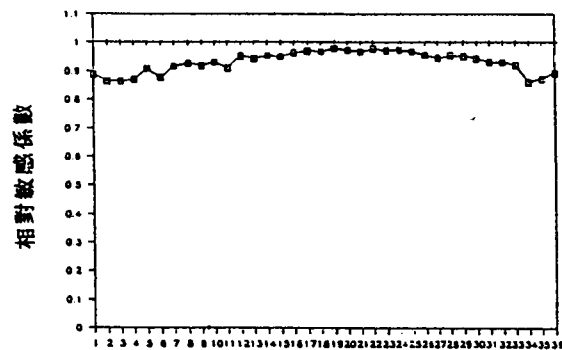
圖八 Priestley & Taylor 模式敏感度分析結果



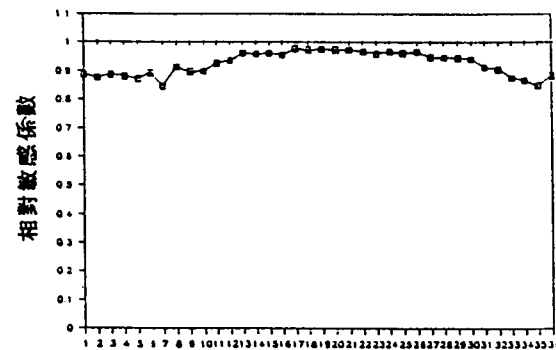
旬別 (1985 嘉義)



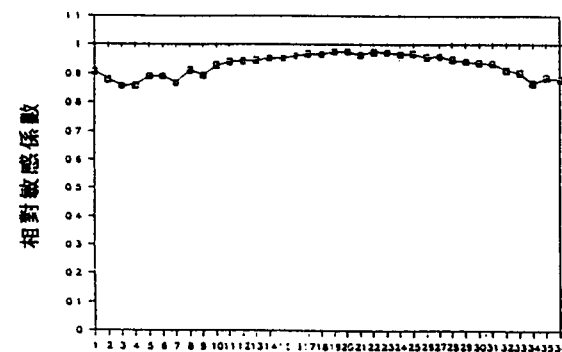
旬別 (1986 嘉義)



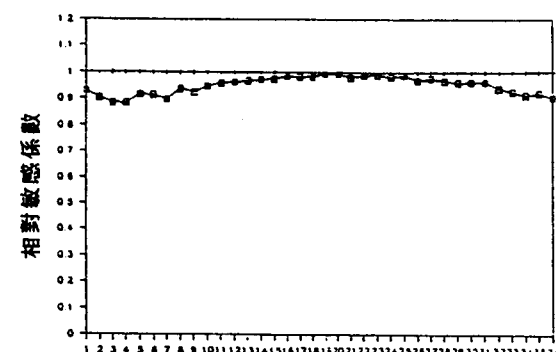
旬別 (1987 嘉義)



旬別 (1988 嘉義)



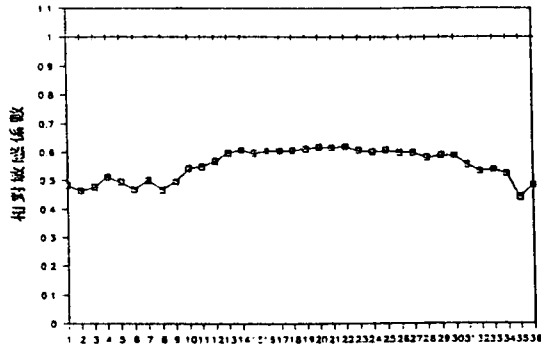
旬別 (1989 嘉義)



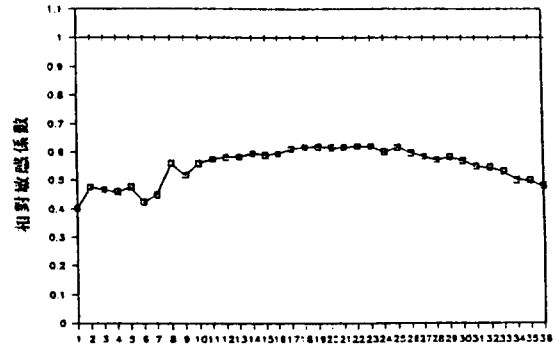
旬別 (1989 學甲)

□ : 溫度
+ : 日射量

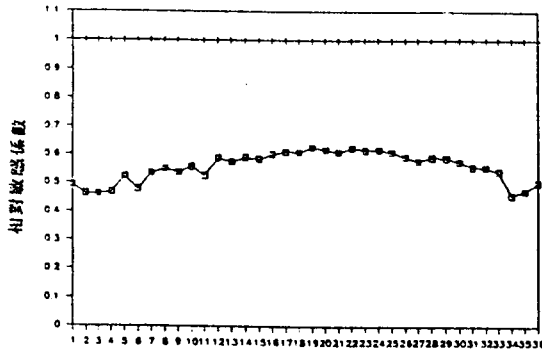
圖九 Jensen & Haise 模式敏感度分析結果



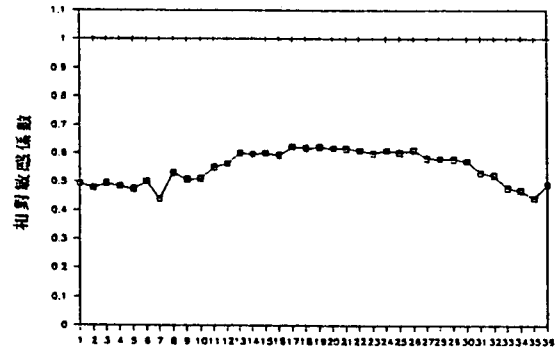
旬別 (1985 嘉義)



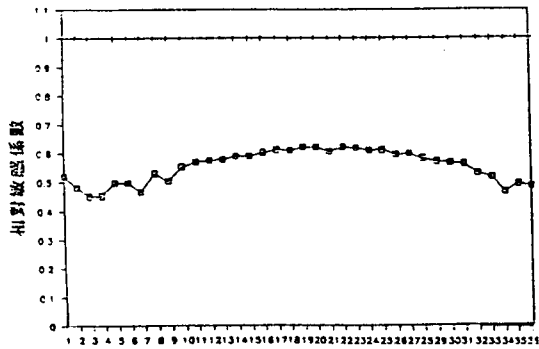
旬別 (1986 嘉義)



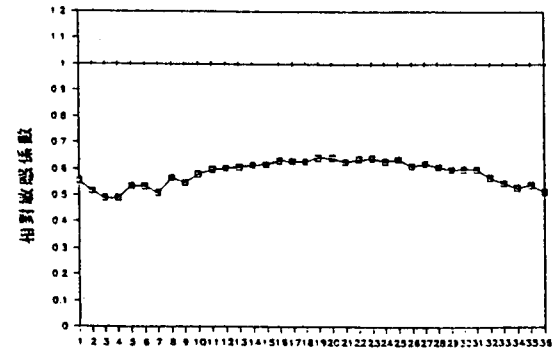
旬別 (1987 嘉義)



旬別 (1988 嘉義)



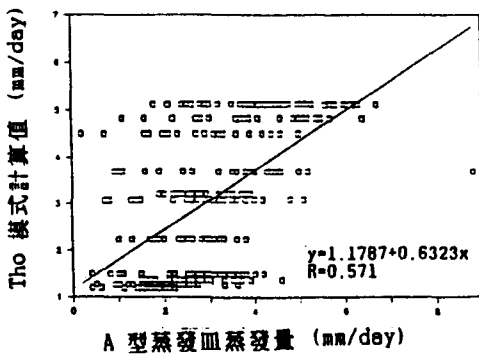
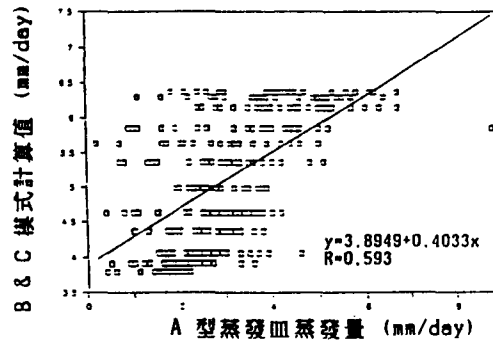
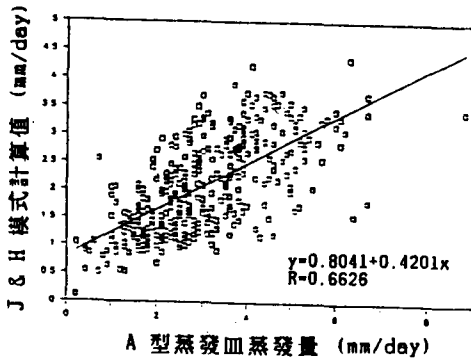
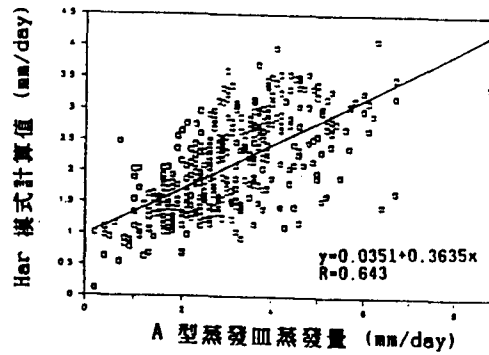
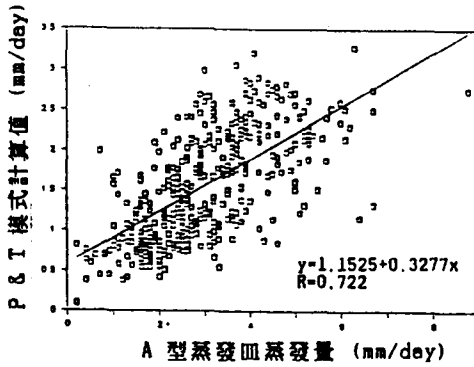
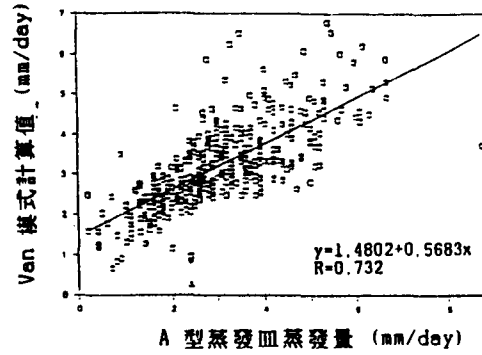
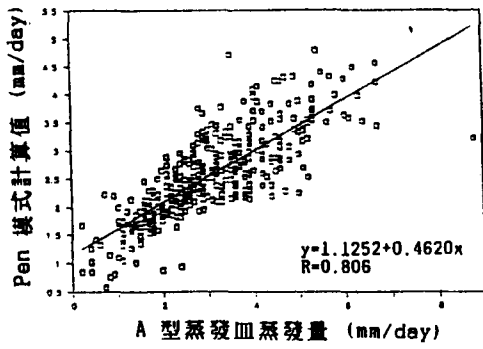
旬別 (1989 嘉義)



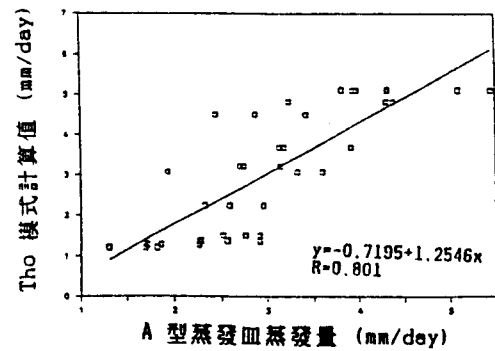
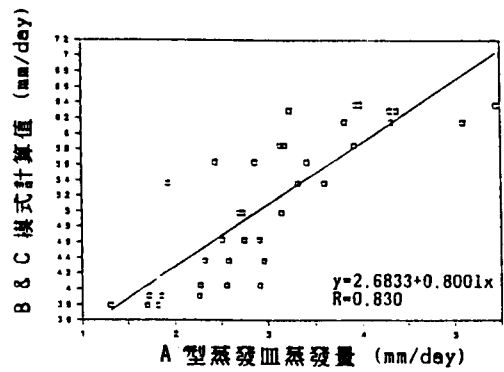
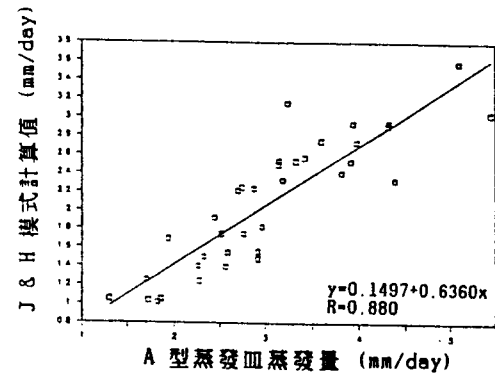
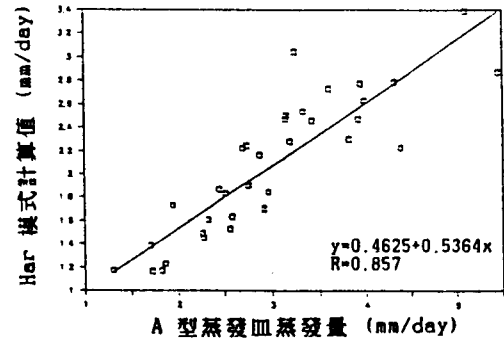
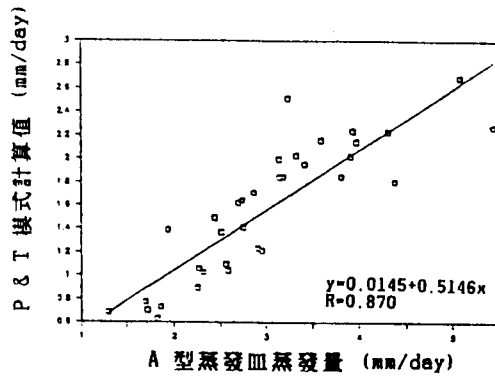
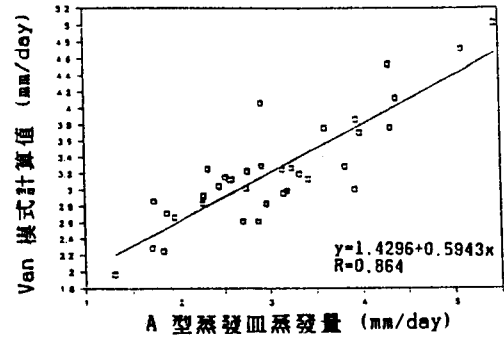
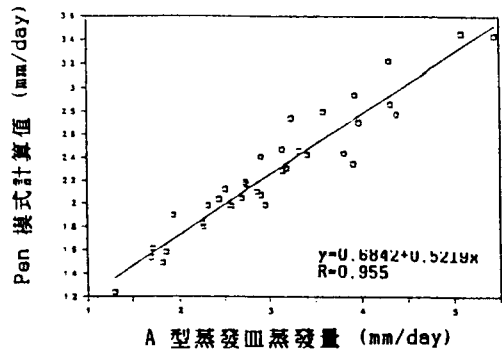
旬別 (1989 甲)

□ : 溫度
+ : 日射量

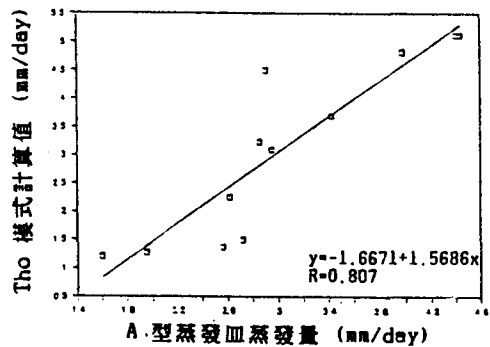
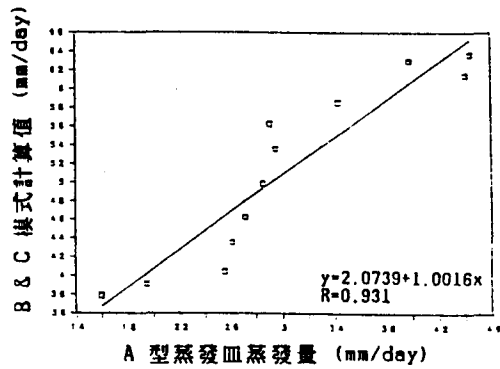
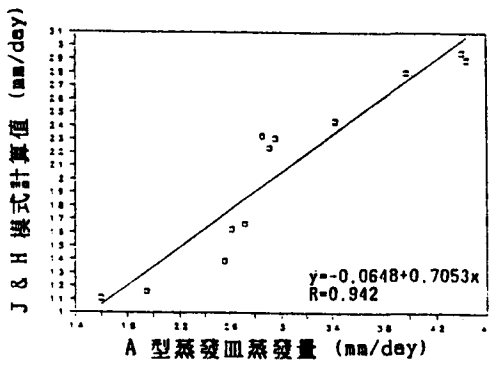
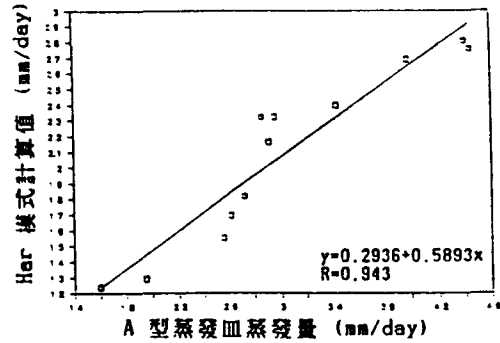
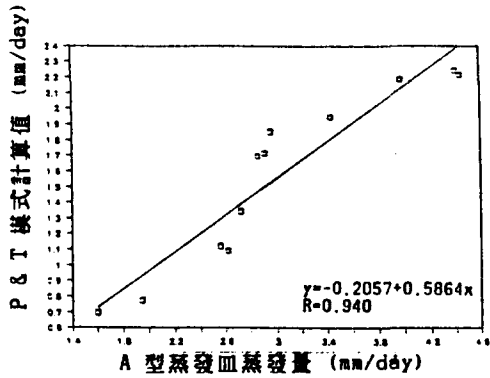
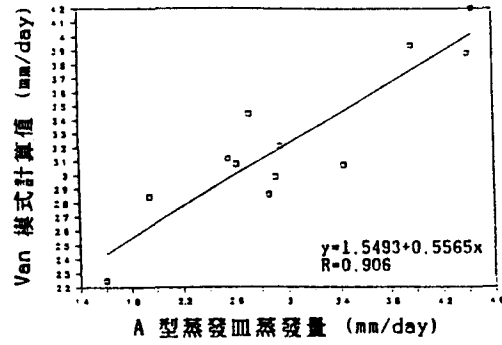
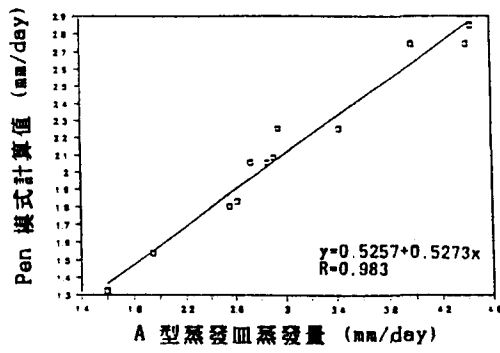
圖十 Hargreave 模式敏感度分析結果



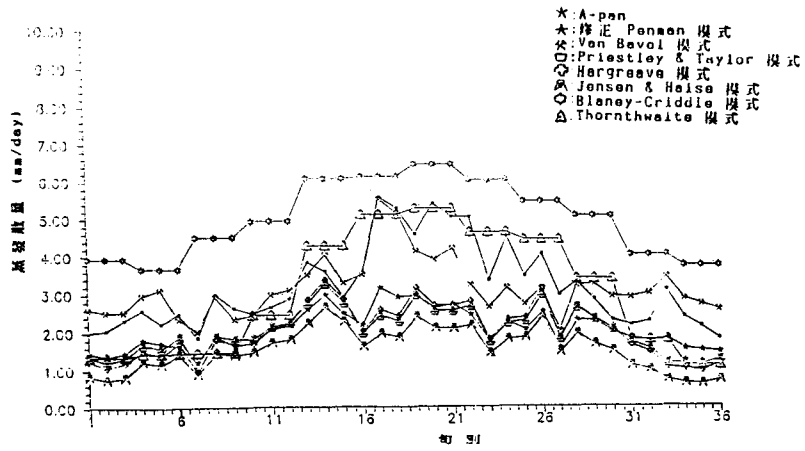
圖十一 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之迴歸分析
(1989 日別)



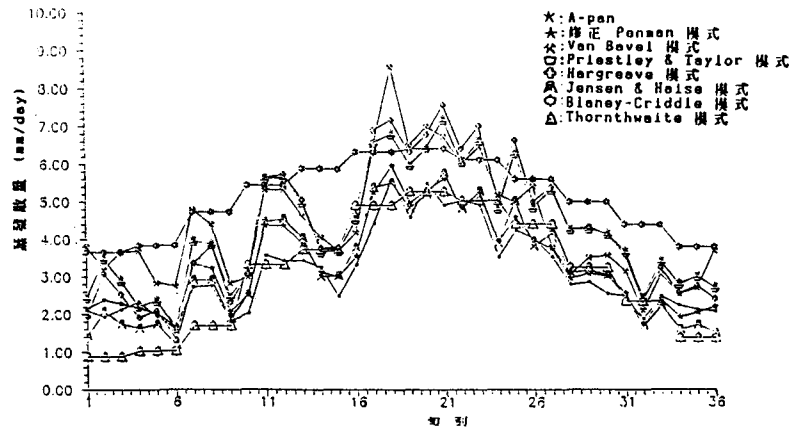
圖十二 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之迴歸分析
 (1989 旬別)



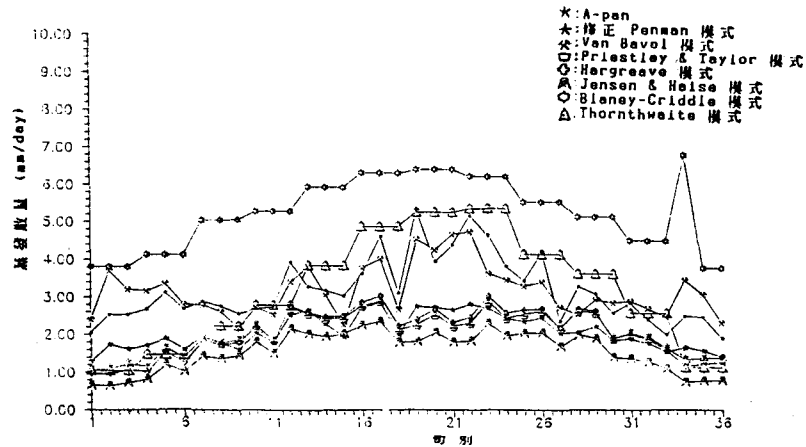
圖十三 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之迴歸分析
(1989 月別)



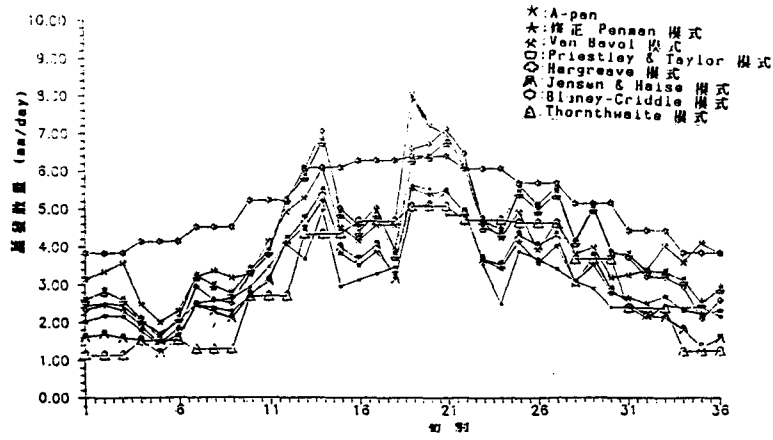
圖十四 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1985 嘉義)



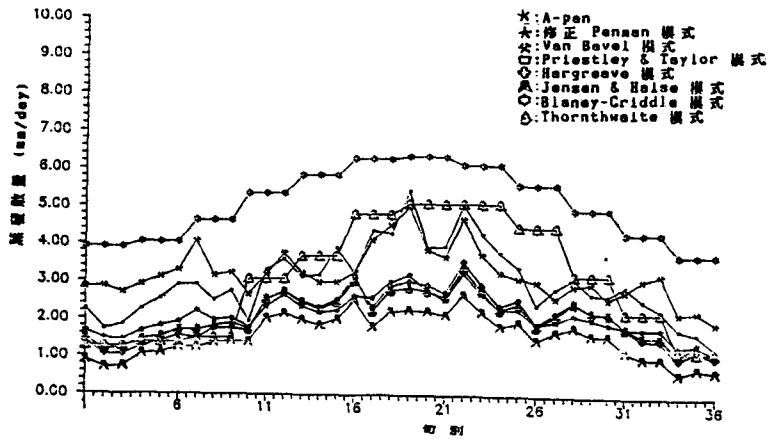
圖十五 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1986 嘉義)



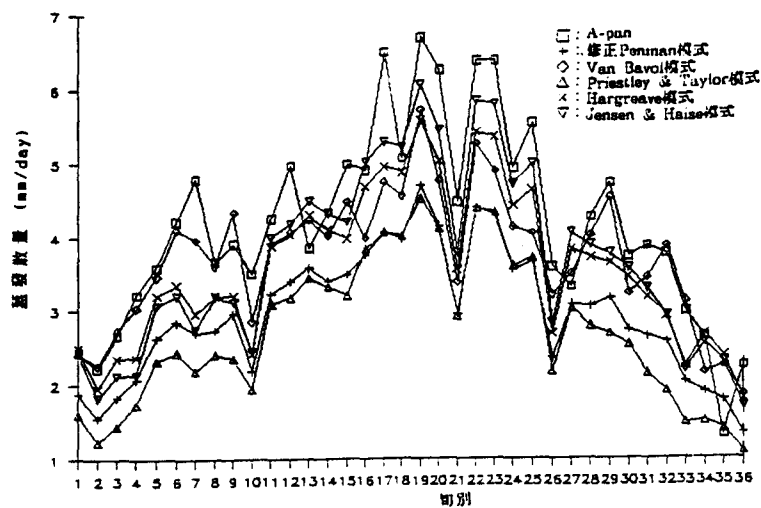
圖十六 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1987 嘉義)



圖十七 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1988 嘉義)



圖十八 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1989 嘉義)



圖十九 諸模式計算值與A型蒸發皿蒸發量之比較分析 (1989 學甲)

參 考 文 獻

1. 陳尙、蘇奇成,「旱作需水量之測算法與試算結果之檢討」中國農業工程學報 13(4):26~49 1967
2. 施嘉昌等人編著「灌溉排水原理」中央圖書出版社 1984
3. 張本初「作物需水量最佳模式之探討」碩士論文 1990
4. 施嘉昌、黃振昌「作物需水量與氣象因子相關理論分析之研究」中國農業工程學報 33(2):1-27 1987
5. 臺灣省氣象局嘉義氣象測站「氣象月報表」1985~1989
6. 嘉南農田水利會學甲旱作灌溉試驗站「氣象月報表」1989
7. 顏月珠「應用數理統計學」三民書局 1982
8. 姜善鑫「大氣與陸地界面間的能量平衡」中國地理學會刊,第四期 41-44頁 1976
9. Allen, R.G. "A Penman for all seasons" J. Irrig. and Drain. Div. ASCE. 112 (4): 348-368 1986
10. Cuenca, R. H. and Icholson, M. T. "Application of Penman equation wind function" ASCE Vol. 108 IR 1:13-23 1982
11. Daily, J. W., and D. R. F. Harleman. "Fluid Dynamics" Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Mass. 1966
12. Dawdy, D. R., and T. O' Donnell. "Mathematical models of Catchment behavior" J. Hydraul. Div. ASCE. 91 (HY4): 123-137 1965
13. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt "Guidelines for predicting crop water requirements" FAO Irrigation and Drainage paper 24 1984, 1977
14. Eagleson, P. S. "Dynamic Hydrology" Mcgraw-Hill, New York 1970
15. Hansen, V. E., O. W. Israaelsen and G.E. Stringham "Irrigation Principles and Practices" John Wiley & Sans Ltd. 1979
16. Hahn, G. J., and S.S. Shapiro. "Statistical models in engineering" chap. 7. John Wiley, New York 1967
17. Jensen, M.E., and H.R. Haise. "Estimating evapotranspiration from Solar radiation" J. Irrig. Drain. Div. ASAE 89:15-41 1963
18. Jensen, M.E. (ed). "Design and operation of farm irrigation systems" ASAE mono. 3, st. Joseph, MI. 829 pp. 1980
19. Jensen, M. E. (ed). "Consumptive use of water and irrigation water requirements" ASCE 1974
20. Monteith, J. L. (ed). "Vegetation and the atmosphere" Vol. 1. Academic Press Inc, New York 1979
21. Mccuen, R.H. "The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling" J. Hydrol. 18: 37-53 1973
22. Merrra. G. and Fernandez, A. "Simplified application of Penman's equation for humid vegions" ASAE 28 (3): 819-825 1985
23. N Kemdirim, L. C. "Radiative flux relations over crops" Agric. Meteorol. 11: 229-242 1973
24. Oke, T. R. "Boundary layer climates" Methuen & Co Ltd. London 1978
25. Penman, H.L. "Estimating evaporation" Trans. Am. Geoph. U. Vol. 37 No. 1 P43-50 1956
26. Penman, H.L. "Vegetation and hydrology" Tech. Communication No. 53 Commen wealth Bureau of Soil, Harpenden, Eng. 1963
27. Penman, H. L. "Natural evaporation from open water, bare, soil and grass" Proc. R. Soc. A 193:120-145 1948
28. Solot, S. "Computation of depth of

- precipitable water in a column of air" Monthly Weather Rev. Vol. 67: 100-103 1939
29. Saxton, K. E. "Sensitivity analysis the combination evapotranspiration equation" Agric. Meteorol. 15: 343-353 1975
30. Thornthwaite, C.W. "An approach toward a rational classification of climate" Geog. Rev. 38: 55-94 1948
31. Thom, A.S., and H.R. Oliver. "On Penman's equation for estimating regional evaporation" Quart. J.R. Met. Soc. 103: 345-357 1977
32. Van Bavel, C.H.M. "Potential evaporation the combination concept and its experimental verification" Water Resource Res.2 (3) 455-467 1966

收稿日期：民國80年 1月22日

接受日期：民國80年 1月29日

專營土木、水利、建築等工程

興明川營造有限公司

負責人：邱明川

地址：花蓮市建國街89巷9號

電話：(038) 331948