

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

第三名

031729

霧裡看「發」-模糊方法對蒸發量的探討

高雄縣立阿蓮國民中學

作者姓名：

國二 陳筱婷 國二 柯佩君 國二 傅育賢  
國二 鄭義達

指導老師：

曹鎮 邱聘修

# 霧裏看「發」－模糊方法對蒸發量的探討

## 一、前言

蒸發為水吸收熱能而由液態轉變為氣態的過程，是一種水量的損失，對於水資源開發計畫；或是乾旱地區的水量控制均相當重要。

蒸發的過程相當複雜，且受到甚多因子的交互影響，因此不容易估算蒸發量，通常採用經驗公式加以推估，例如道耳吞(Dalton)式，梅耶爾(Mayer)式等，其精確度通常較差；或者採用能量平衡法估算，其精確度較高，例如安德生(Anderson)式，但由於數據不易量測，故不常使用。

## 二、研究動機

自然課本上提到：蒸發現象是「水循環」中的重要一環，對於民生用水、農業灌溉等均有重要的影響，可是卻沒有詳細說明影響蒸發的因素？蒸發現象是否有季節性差異？因為我們找到的蒸發公式都十分複雜，讓我們想嘗試用幾個簡單的氣象因子推估蒸發量的多寡，正巧在圖書館看到了有關「模糊理論」的簡介，從此開啓了我們研究的方向。

## 三、研究目的

- 1.找出影響蒸發的主要氣象因子
- 2.探討不同季節時各因子特徵與差異
- 3.探討各因子對蒸發的影響力
- 4.以模糊方法推估蒸發量的多寡

## 四、研究設備器材

- 1.中央氣象局氣象報告彙編第三篇~第六篇
- 2.電腦設備：Intel Pentium III 電腦
- 3.應用軟體：Microsoft Excel Microsoft Word
- 4.電子溫濕風速計
- 5.蒸發皿

## 五、研究方法

1. 本報告分析之資料，取自中央氣象局 1961~2003 年的地面逐月氣象資料。
2. 台灣由於地形複雜，因此即使在相同大範圍的天氣條件下，各地測站的蒸發量、風速、溫度、氣壓、濕度、日照時數仍有顯著的局部性差異，本報告限於經費，只以北部台北測站及南部高雄測站的地面資料進行分析。
3. 本報告以八月為夏季代表，一月代表冬季，五月為梅雨季節，對各氣象因子做比較分析，以瞭解各因子的季節差異，並依此建立各因子的隸屬函數，再將各因子轉換為模糊值。
4. 建立合適的判斷矩陣，配合前人研究與經驗，分析各因子的權重。
5. 撰寫 Excel 程式，將 1961~2000 年氣象資料經過反覆測試，調整隸屬函數、權重至最佳分配。
6. 將 2001~2003 年蒸發量進行推估，並與實際年平均蒸發量作比較。
7. 重複上述方法進行每年逐月蒸發量之推估與比較。

## 六、模糊理論簡介

模糊集合理論由 Zadeh(1965)首度提出，其主要之用意是將主觀性及不確定性之事物經過隸屬度的表達，將不明確之事物轉換為可運算的數字，對於「不精確」、「含糊」或資訊不充足的問題特別具有效力，亦可將人類的「概估」觀念轉換為數學方式表示。模糊集合可從 0~1 間之隸屬度函數表示之，當隸屬度為 1 時，表示其模糊預測與目標之間完全符合；當隸屬度為 0 時，表示這個模糊預測不屬於這個目標，下圖 1 表示接近 400 的隸屬函數，圖 2 表示天氣炎熱的隸屬函數。

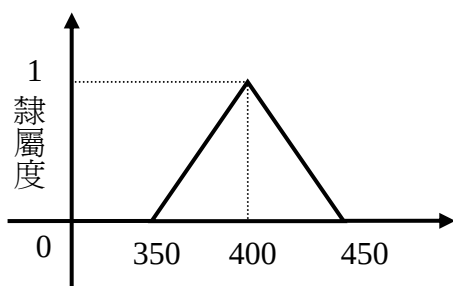


圖 1 接近 400 的隸屬函數

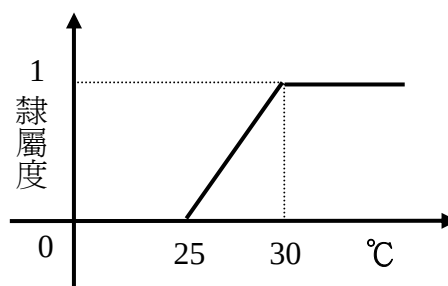


圖 2 天氣炎熱的隸屬函數

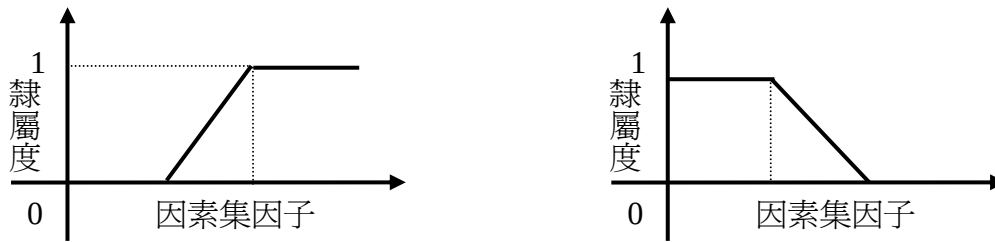
## 七、模糊運算過程

### 1.建立因素集 $U$ :

因素集是由影響評判對象的各因子所組成的集合，各因子通常都具有某種程度的模糊性，本報告選擇對蒸發影響較大的氣溫、氣壓、風速、溼度、日照時數等五項氣象因子為因素集。即 因素集  $U = [\text{氣溫}, \text{氣壓}, \text{風速}, \text{溼度}, \text{日照時數}]$

### 2.建立隸屬函數:

隸屬函數可將因素集的因子轉換為 0~1 間的隸屬度，為簡化計算過程，本報告五項因子的隸屬函數都採用直線型，如下圖所示。



### 3.建立權重集 $W$ :

各因素集因子在評判中具有著不一樣的重要性，為表示各因子對蒸發量不同程度的影響，因此須對每一因子按其重要性給予不同的權重，且各權重總和為 1。即 權重集  $W = [\text{氣溫權重}, \text{氣壓權重}, \text{風速權重}, \text{溼度權重}, \text{日照時數權重}]$

### 4.建立評價集 $V$ :

每個因素集因子均對蒸發量有影響，本報告評價集將蒸發量分為五級，即低度、中低度、中度、中高度、高度五級。

### 5.模糊綜合評判:

單獨從一個因素進行評判，以確定評判對象對評價集的隸屬度，稱為單因素模糊評判。如對因素集第  $i$  個因子  $X_i$  進行評判，其對評價集五個元素的隸屬度為  $I_{ij}$ 。

評判結果可表示為  $\tilde{R}_i = (I_{i1}, I_{i2}, I_{i3}, I_{i4}, I_{i5})$

同理可將評價集的五個因子的隸屬度組成一個模糊矩陣為

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{pmatrix}$$

綜合考慮所有因素之影響做出評判結果，稱為模糊綜合評判。可用每列元素之和來反應所有因素的綜合影響，但這種做法並未考慮各因素的重要程度。如果對  $r_{ij}$  施以相對的權重  $W_i$ ，則能合理反應所有因素的綜合影響，那麼綜合評判可表示為

$$\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$$

$$\text{即 } \tilde{B} = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5) \circ \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{pmatrix} = (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5)$$

其中  $\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$  的運算法由模糊矩陣合成運算方式為之。

最後再將  $(b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5)$  分別乘以其對應評價級的蒸發量後相加，

就得到模擬之蒸發量，此一步驟通常稱為解模糊化。

## 6. 權重決定方法：

評判中的重要部份為因素集因子相對重要性大小的估測權重。常見的評價問題中的權重數，一般多憑經驗主觀推測。在多數情形下主觀的判定權數多少會有客觀的成份，一定程度的反應了實際狀況，評價結果則有較高的參考價值。但有時則會受到個人主觀色彩影響，使評價結果嚴重失真，導致決策的錯誤。

本報告為求客觀，採用層次分析法對權重進行過濾、檢核處理，以盡量剔除主觀成分，符合客觀現實，其主要步驟如下：

A. 選定因素集因子  $U$

B. 構造判斷矩陣  $P$

以  $u_i$  表示因素集因子， $u_i \in U$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ )。 $u_{ij}$  表示  $u_i$  對  $u_j$  的相對重要性值，( $j=1,2,3,\dots,n$ )， $u_{ij}$  的數字選定依表 1 進行。

根據上述各符號的意義得判斷矩陣  $P$ 。

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & \dots & u_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{matrix} & \begin{vmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nn} \end{vmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{matrix}$$

表 1 判斷矩陣標度及其含義

| 標 度        | 含 義                                                                          |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較，具有同等重要性。                                               |
| 3          | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較， $u_i$ 比 $u_j$ 稍微重要。                                   |
| 5          | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較， $u_i$ 比 $u_j$ 明顯重要。                                   |
| 7          | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較， $u_i$ 比 $u_j$ 強烈重要。                                   |
| 9          | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較， $u_i$ 比 $u_j$ 極端重要。                                   |
| 2, 4, 6, 8 | 2, 4, 6, 8 分別表示相鄰判斷 1-3, 3-5, 5-7, 7-9 的中值。                                  |
| 倒 數        | 表示因素 $u_i$ 與 $u_j$ 比較得判斷 $u_{ij}$ ，則 $u_j$ 與 $u_i$ 比較得判斷 $u_{ji} = 1/u_{ij}$ |

### C. 計算重要性排序

根據判斷矩陣，求出最大特徵根所對應的特徵向量。該特徵向量即為各評價因素重要性排序，也就是權重分配。

其步驟如下。

- i. 將判斷矩陣每一行歸一化

$$\bar{u}_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sum_{k=1}^n u_{kj}} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

- ii. 每一行歸一化後的判斷矩陣按列相加

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{u}_{ij}$$

- iii. 對向量  $\bar{W}_i = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)^T$  做歸一化處理

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j}$$

依此所得  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$  的即為所求特徵向量，就是權重的分配。

- iv. 計算判斷矩陣最大特徵根  $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum \frac{(PW)_i}{W_i}$$

$$PW = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nn} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

#### D. 檢驗

以上得到的特徵向量即為所求權數，權數是否分配合理？需要對判斷矩陣進行一致性檢驗，檢驗方式為

$$CR = CI / RI$$

其中  $CR$  稱為判斷矩陣的隨機一致性比例；

$CI$  稱為判斷矩陣的一般一致性指標，由下式求得

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$RI$  稱為判斷矩陣的平均隨機一致性指標，1-9 階矩陣， $RI$  值如表 2。

表 2  $RI$  值

| n    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $RI$ | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

當  $CR < 0.10$  即認為判斷矩陣具有滿意的一致性，說明權數分配是合理的；否則就須調整判斷矩陣，直到取得有滿意的一致性為止。

例如：判斷矩陣為

$$P = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ 5 & 1 & 3 \\ 3 & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix}$$

步驟 i：將判斷矩陣每一行歸一化

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1/5}{1.533} & \frac{1/3}{4.333} \\ \frac{5}{9} & \frac{1}{1.533} & \frac{3}{4.333} \\ \frac{3}{9} & \frac{1/3}{1.533} & \frac{1}{4.333} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.111 & 0.130 & 0.077 \\ 0.556 & 0.652 & 0.692 \\ 0.333 & 0.217 & 0.231 \end{pmatrix}$$

步驟 ii：

$$\overline{W}_1 = 0.111 + 0.130 + 0.077 = 0.317$$

$$\overline{W}_2 = 0.556 + 0.625 + 0.692 = 1.900$$

$$\overline{W}_3 = 0.333 + 0.217 + 0.231 = 0.781$$

步驟 iii：對  $\overline{W} = (0.317, 1.900, 0.781)^T$  歸一化

$$W_1 = \frac{0.317}{0.317 + 1.900 + 0.781} = 0.106$$

$$W_2 = \frac{1.900}{0.317 + 1.900 + 0.781} = 0.634$$

$$W_3 = \frac{0.781}{0.317 + 1.900 + 0.781} = 0.261$$

權重集為  $W = (0.106, 0.634, 0.261)$

步驟 iv：求  $\lambda_{\max}$

$$PW = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.106 \\ 0.634 \\ 0.261 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.320 \\ 1.947 \\ 0.785 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{3} \left( \frac{0.320}{0.106} + \frac{1.947}{0.634} + \frac{0.785}{0.261} \right) = 3.036$$

$$\text{檢驗：} CI = \frac{3.036 - 3}{3 - 1} = 0.018$$

$$CR = 0.018 / 0.58 = 0.031 < 0.10$$

這表示判斷矩陣具滿意一致性，也就是  $W = (0.106, 0.634, 0.261)$  可作為權重集。

## 八、模糊運算範例

以台北測站 1991 年十二月氣象資料為例，平均氣溫：18.8 °C，  
平均相對溼度：72 %，平均風速：3.0 m/s，平均大氣壓力：1020.8 hPa，  
總日照時數：100.6 hr，由上述資料可得到因素集

$$U = [\text{氣溫}, \text{溼度}, \text{風速}, \text{氣壓}, \text{日照時數}] = [18.8, 72, 3, 1020.8, 100.6]$$

由於各氣象因子之單位不同，其數字大小也有相當差異，故透過隸屬函數將其轉為隸屬度。而隸屬函數之建立需要相當經驗，本報告主要是配合自然法則與相關研究資料，再經由反覆嘗試錯誤而修正得到合適的隸屬函數。

例如我們由書上知道溫度越高，蒸發量越大，表示溫度與蒸發量成正相關，則可以大致知道溫度之隸屬函數為圖 3，再由氣象資料分析後，我們發現台北的正常氣溫多在 15~30°C 之間，故隸屬函數可修正為圖 4；雖然書上說隸屬函數要是圓滑的曲線較好，但為了計算上的方便，我們決定採用簡化之直線分佈，如圖 4。

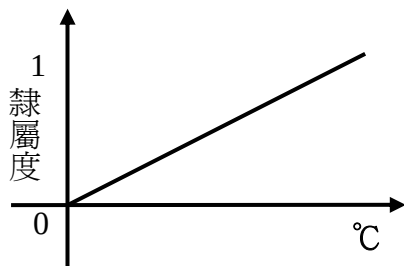


圖 3 溫度之隸屬函數

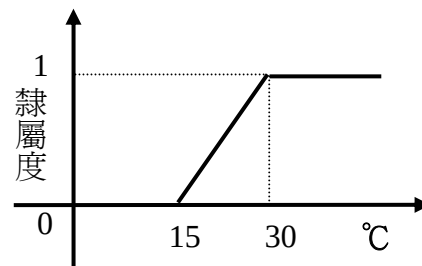


圖 4 修正後之隸屬函數



將一月平均氣溫 18.8℃ 經由隸屬函數轉換後，得到隸屬度為 0.2533。

其他四個因子經過隸屬函數轉換後，分別得到隸屬度為 0.45，0.333，0，0.204

在 Excel 上建立判斷矩陣，分別比較五個因子的重要性，由相關資料分析記載，蒸發量受到日照與氣溫的影響最大，其次是溼度、氣壓與風速，經由反覆調整，並與實際蒸發量比較，調整誤差至最小，並且檢驗 CR 值小於 0.1 後，得到五個因子的權重分配，即權重集

$$W = [0.229, 0.186, 0.141, 0.168, 0.274]$$

再建立評價集的隸屬函數，為了方便計算，將蒸發量分為五級，即低度、中低度、中度、中高度、高度五級，經過反覆調整誤差至最小後，決定低度蒸發量訂為 40mm，中低度為 70mm，中度為 100mm，中高度為 140mm，高度 190mm，其圖形如圖 5 所示。

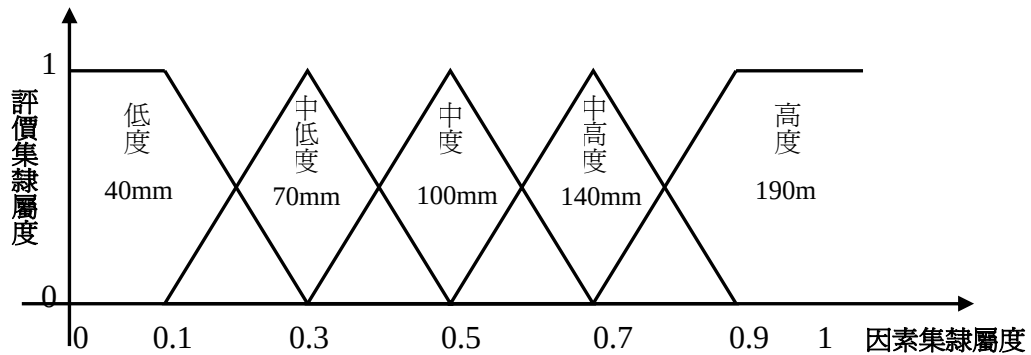


圖 5 評價集隸屬函數

將氣溫的隸屬度 0.2533 代入上圖，得到對低度蒸發佔 0.2333，中低度佔 0.7667，其餘三級均為零，故  $\tilde{R}_{\text{氣溫}} = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}, r_{i5}) = (0.2333, 0.7667, 0, 0, 0)$ ，同樣方法將另外四個因子代入，得到：

$$\begin{aligned} \tilde{R}_{\text{溼度}} &= (0, 0.25, 0.75, 0, 0), & \tilde{R}_{\text{風速}} &= (0, 0.8333, 0.1667, 0, 0), \\ \tilde{R}_{\text{氣壓}} &= (1, 0, 0, 0, 0), & \tilde{R}_{\text{日照時數}} &= (0.48, 0.52, 0, 0, 0), \end{aligned}$$

再將評價集的五個因子的隸屬度組成一個模糊矩陣為：

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} 0.2333 & 0.7667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8333 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0.52 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

模糊綜合評判可表示為： $\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$

$$\begin{aligned}
&= (0.229 \ 0.186 \ 0.142 \ 0.168 \ 0.274) \circ \begin{pmatrix} 0.2333 & 0.7667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8333 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0.52 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
&= (0.354 \ 0.483 \ 0.163 \ 0 \ 0)
\end{aligned}$$

將這五個值乘以對應蒸發量後相加，可得到我們的推估蒸發量。

推估蒸發量 =  $0.354 \times 40 + 0.483 \times 70 + 0.163 \times 100 + 0 \times 140 + 0 \times 190 = 64.289 \text{ mm}$

這個月份的實際蒸發量為 **62.57mm**，兩者相差 **1.719mm**，約相當於 **3%** 的誤差，表示我們的推估還算準確。

## 九、結果與討論

- 1.由圖 8 可看出，台北 40 年來氣溫多介於  $20^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$  間，但近年來冬季氣溫明顯偏高，顯示氣候確實有暖化的趨勢；此現象高雄更為明顯，1963 年到 1999 年冬季氣溫上升近  $4^{\circ}\text{C}$  左右。溼度、日照時數則隨季節變化，較無明顯規律。
- 2.考慮每年逐月的蒸發量時，由權重分配的結果，顯示無論台北或高雄，對蒸發量影響最大的都是日照的長短，其次是氣溫的影響，其次為溼度、氣壓與風速。
- 3.考慮 40 年逐年平均蒸發量時，日照依然是最主要的因素，且高雄的日照權重大於台北，顯示高雄受到日照的影響比台北更大，又高雄的平均氣溫也高出台北  $2^{\circ}\text{C}$  以上，故平均蒸發量也都高於台北  $20 \sim 30 \text{ mm}$ 。
- 4.比較逐年平均蒸發量與逐月蒸發量時，逐年平均蒸發量的推估誤差較大，可能是逐年資料採用平均值，將氣溫等因子的季節性影響給平均掉了。
- 5.本報告推估之蒸發量與實測值誤差多在 15% 以內，但有少數幾年的誤差較大，可能是考慮的氣象因子較少，忽略了一些有影響的因子所致。
- 6.一般而言冬季的誤差較小，夏季蒸發量大時，推估的誤差也較大，可能是本報告將氣溫等因子的隸屬函數簡化為直線型，而造成的誤差。
- 7.台北測站 3~4 月常有蒸發量偏高的現象，如 1969、72、75、79、93、97、98 等年；而高雄測站則在六月有蒸發量偏低的現象發生，如 1966、69、74、77、85、87 等年，我們推測可能是當時有颱風或梅雨，造成蒸發量的下降。
- 8.台北測站 1978 年夏季蒸發量為歷年最高，接近  $230 \text{ mm}$ ，可能是當時氣溫，日照時數較高所導致。
- 9.高雄測站 1962 年 5 月日照時數較平常年異常的大；1971 年的 6~8 月則由於溫度偏高，導致蒸發量亦偏高。
- 10.台北 1999 年全年蒸發量偏高，高雄 1981 全年偏低，可能是受到不明因子影響。
- 11.有些年的夏季蒸發量變動頗大，如台北 1998 年 6 月，可能是由於該年是聖嬰年，而造成蒸發量的異常變化，該年高雄雖然也有偏高，但較不明顯。
- 12.有些年則是有資料缺損或儀器故障，以致無法正確的加以推估，如台北 1997 年。

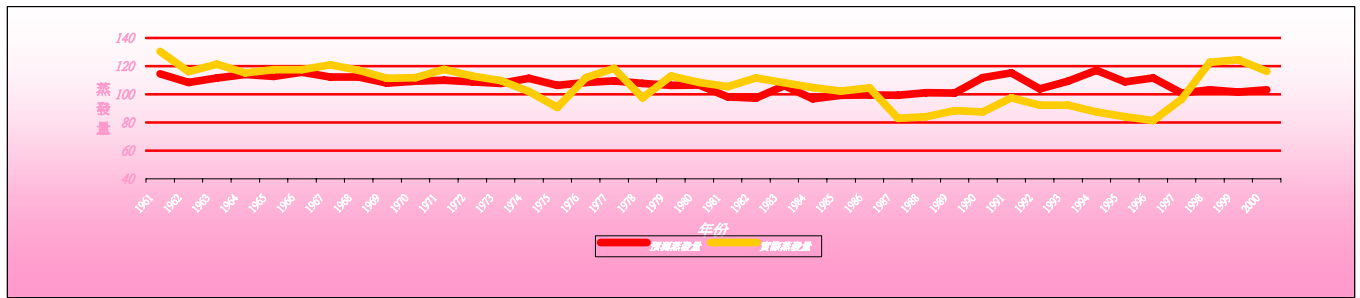


圖 6 台北測站 1961~2000 年逐年蒸發量比較圖

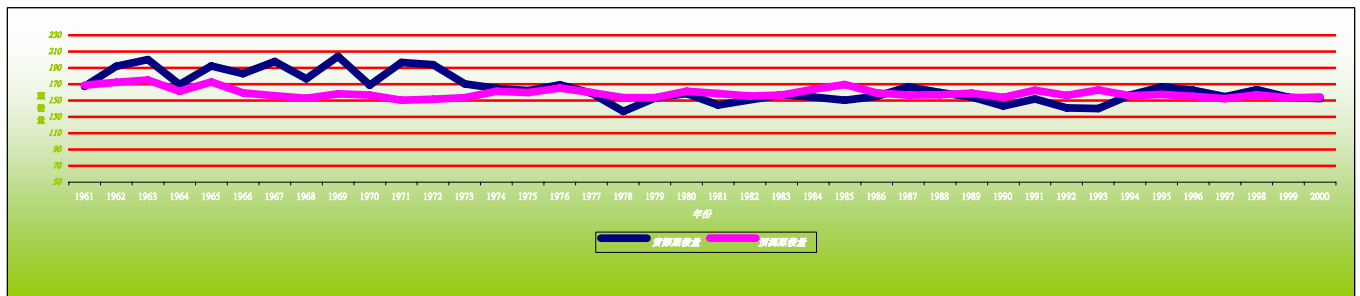


圖 7 高雄測站 1961~2000 年逐年蒸發量比較圖

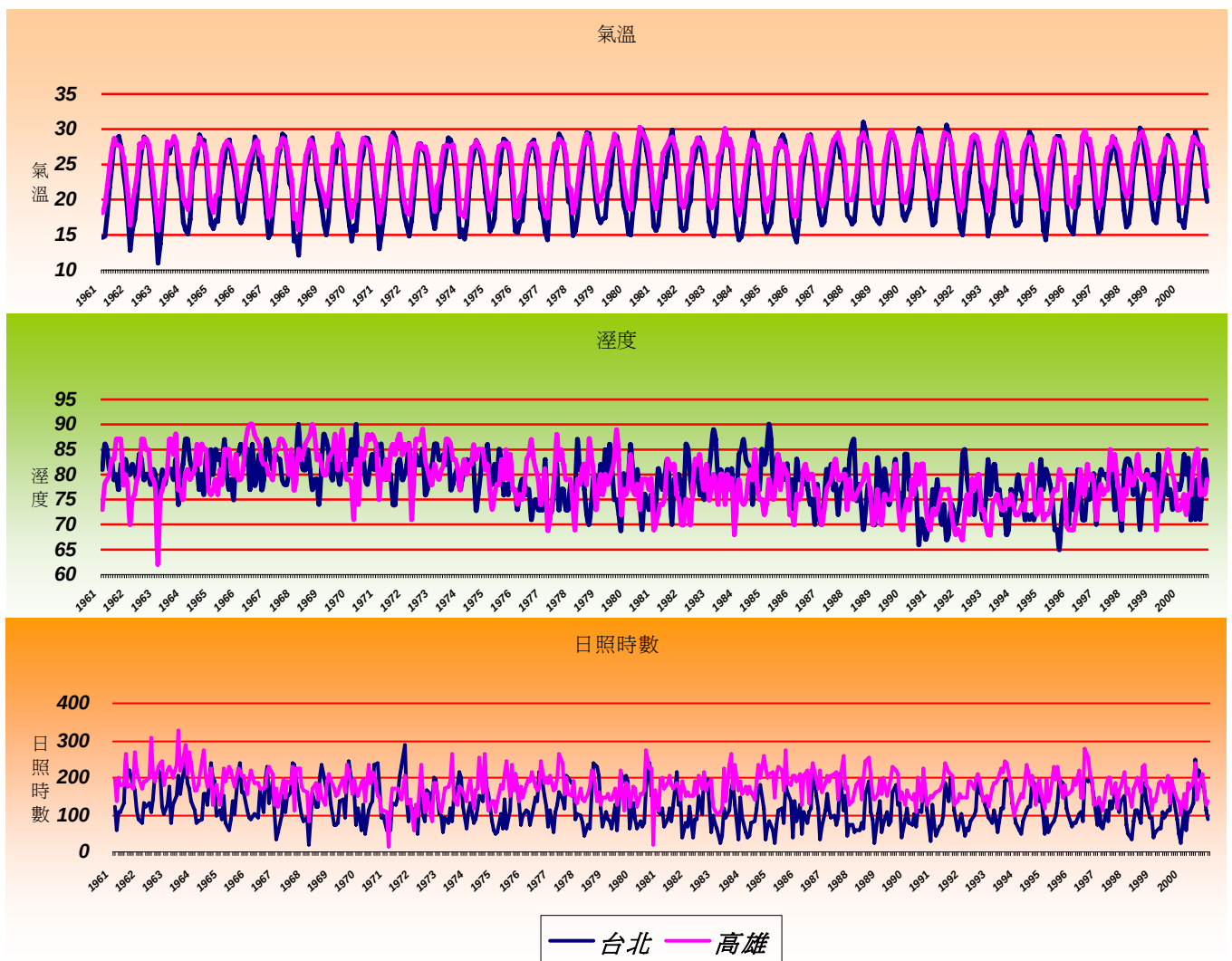


圖 8 兩測站 1961~2000 年氣溫、溼度、日照時數比較圖

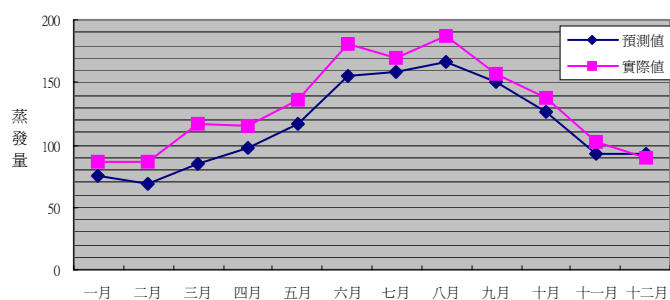


圖 9 台北測站 1961 年逐月蒸發量比較圖

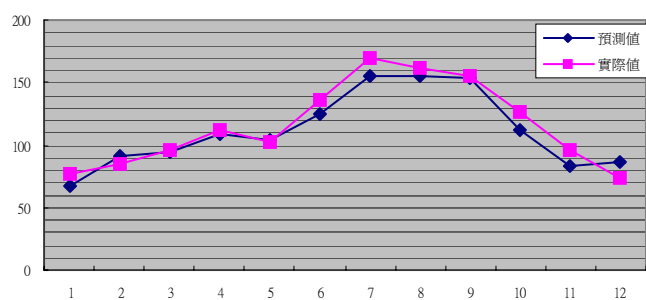


圖 10 台北測站 1962 年逐月蒸發量比較圖

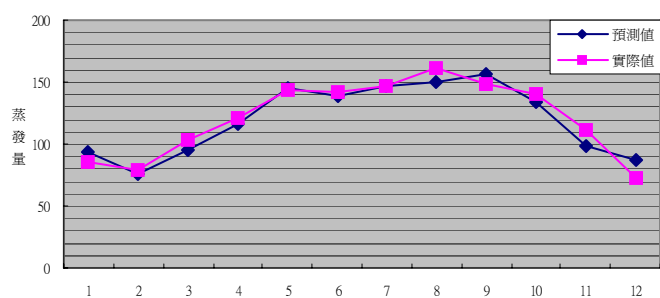


圖 11 台北測站 1963 年逐月蒸發量比較圖

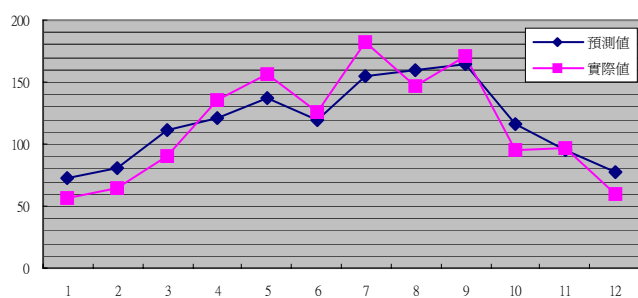


圖 12 台北測站 1964 年逐月蒸發量比較圖

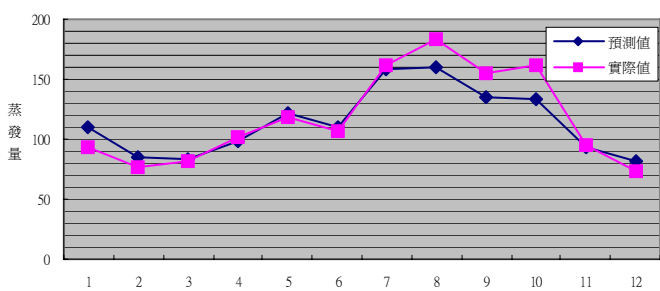


圖 13 台北測站 1965 年逐月蒸發量比較圖

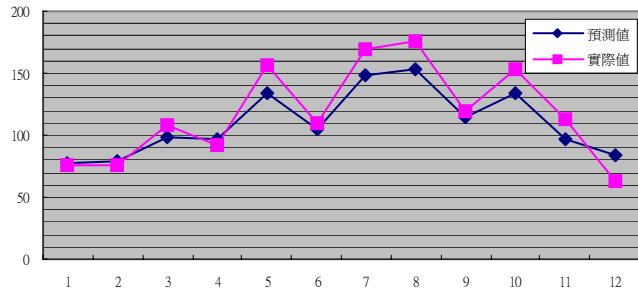


圖 14 台北測站 1966 年逐月蒸發量比較圖

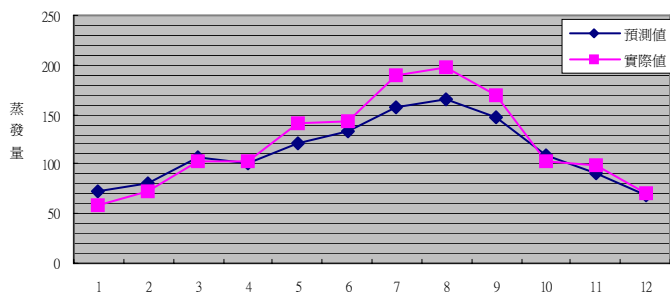


圖 15 台北測站 1967 年逐月蒸發量比較圖

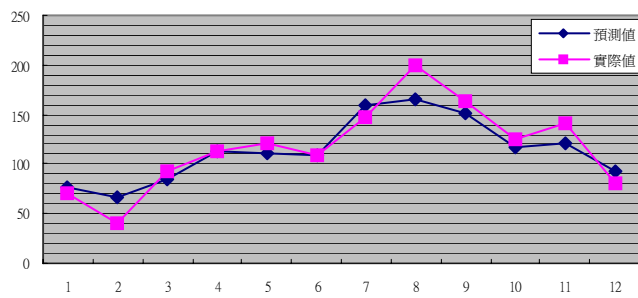


圖 16 台北測站 1968 年逐月蒸發量比較圖

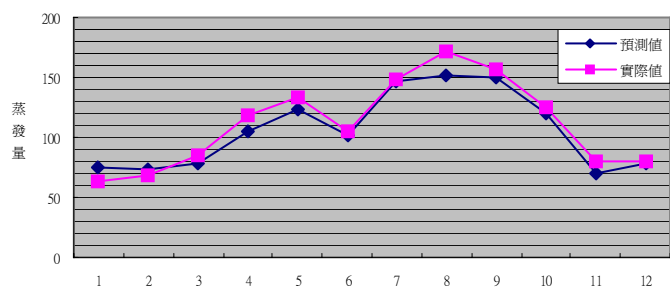


圖 17 台北測站 1969 年逐月蒸發量比較圖

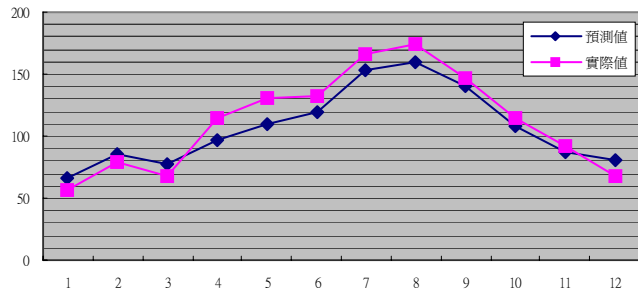


圖 18 台北測站 1970 年逐月蒸發量比較圖

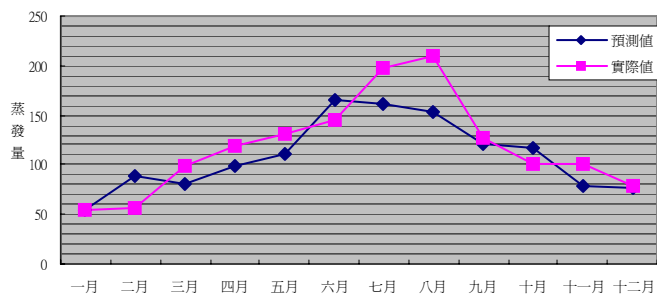


圖 19 台北測站 1971 年逐月蒸發量比較圖

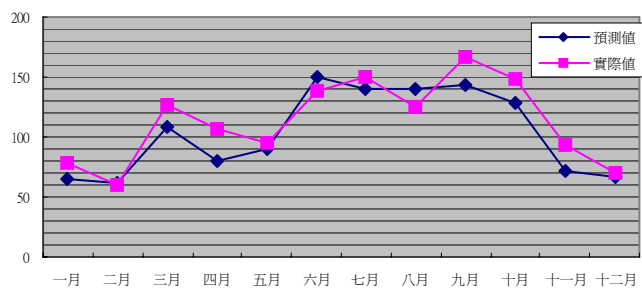


圖 20 台北測站 1972 年逐月蒸發量比較圖

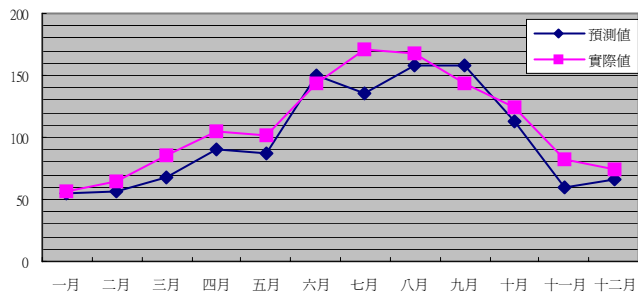


圖 21 台北測站 1973 年逐月蒸發量比較圖

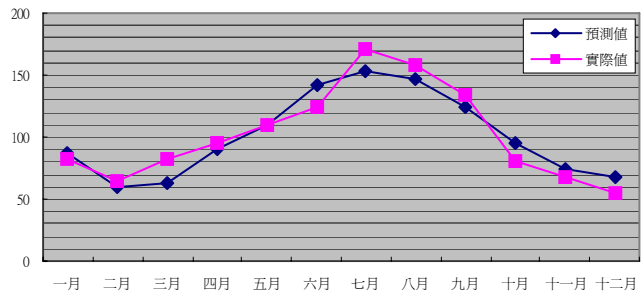


圖 22 台北測站 1974 年逐月蒸發量比較圖

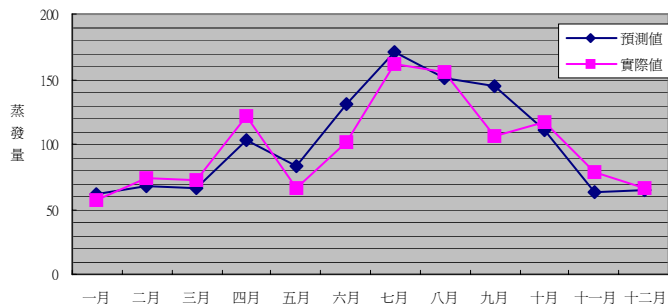


圖 23 台北測站 1975 年逐月蒸發量比較圖

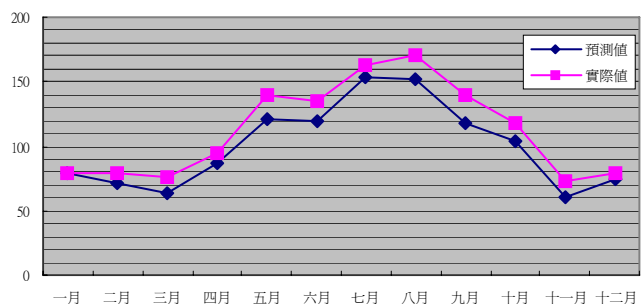


圖 24 台北測站 1976 年逐月蒸發量比較圖

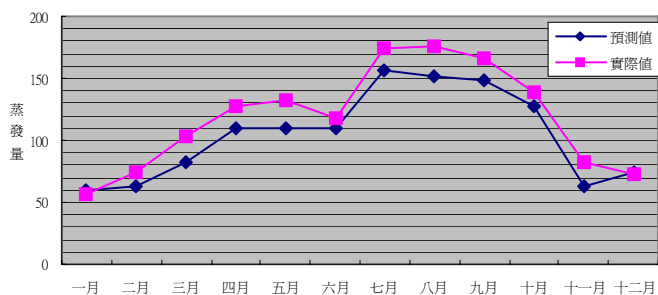


圖 25 台北測站 1977 年逐月蒸發量比較圖

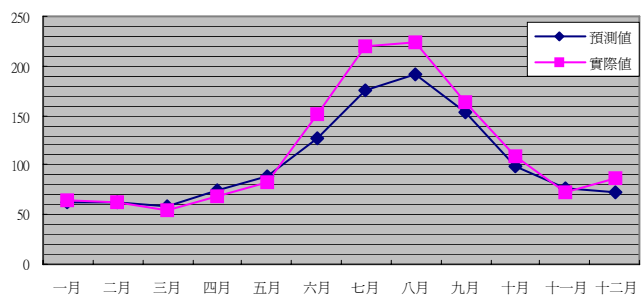


圖 26 台北測站 1978 年逐月蒸發量比較圖

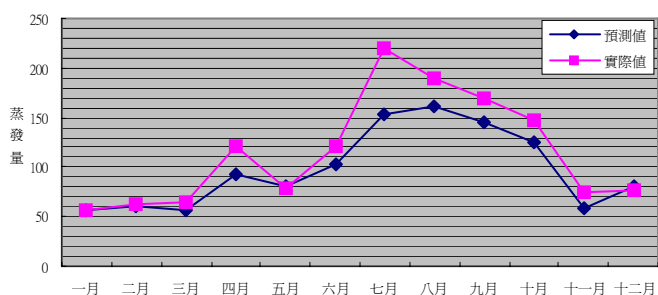


圖 27 台北測站 1979 年逐月蒸發量比較圖

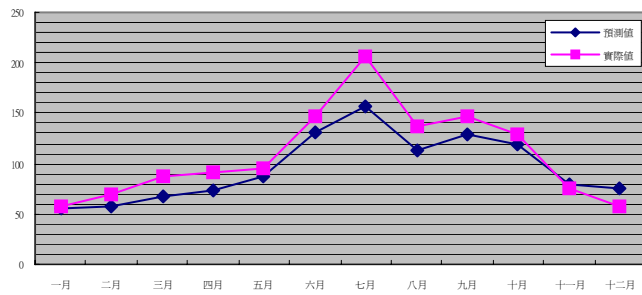


圖 28 台北測站 1980 年逐月蒸發量比較圖

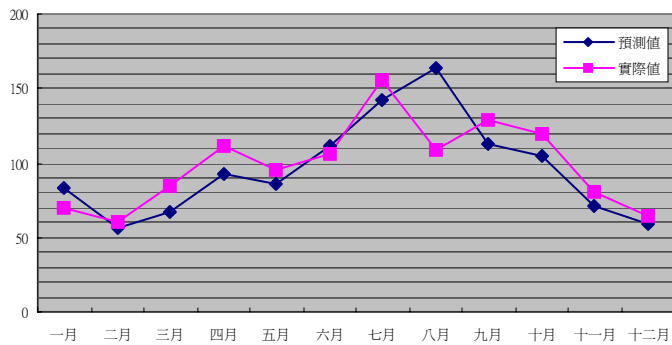


圖 29 台北測站 1981 年逐月蒸發量比較圖

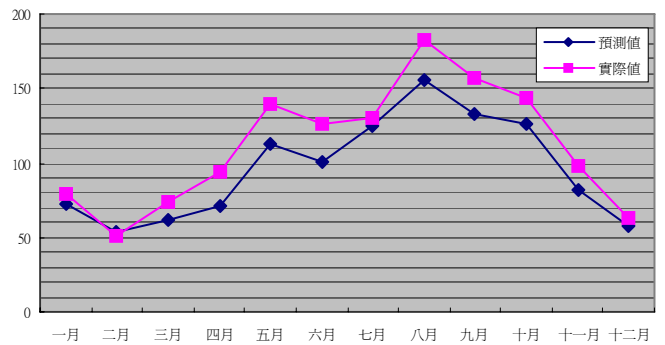


圖 30 台北測站 1982 年逐月蒸發量比較圖

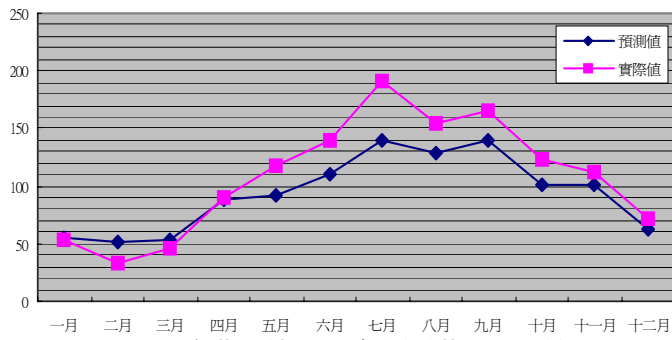


圖 31 台北測站 1983 年逐月蒸發量比較圖

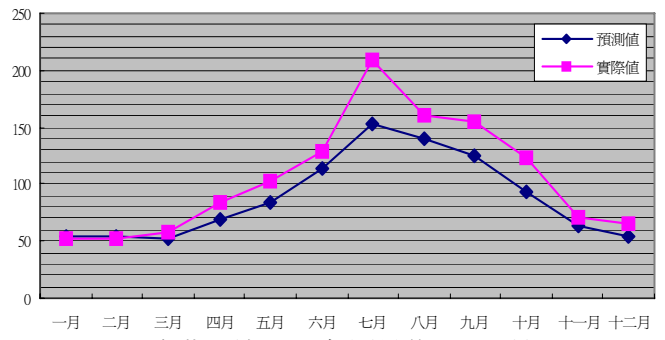


圖 32 台北測站 1984 年逐月蒸發量比較圖

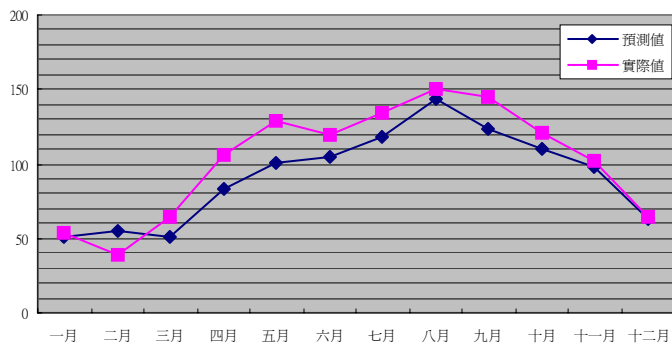


圖 33 台北測站 1985 年逐月蒸發量比較圖

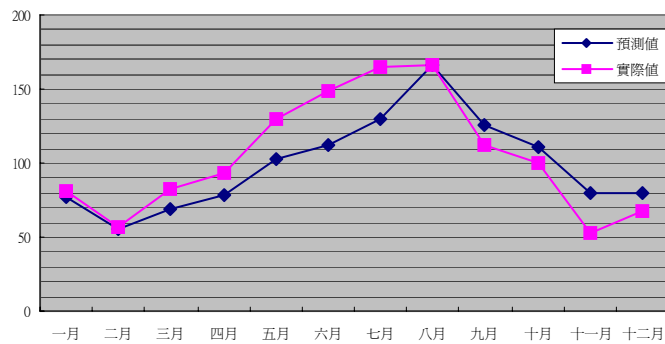


圖 34 台北測站 1986 年逐月蒸發量比較圖

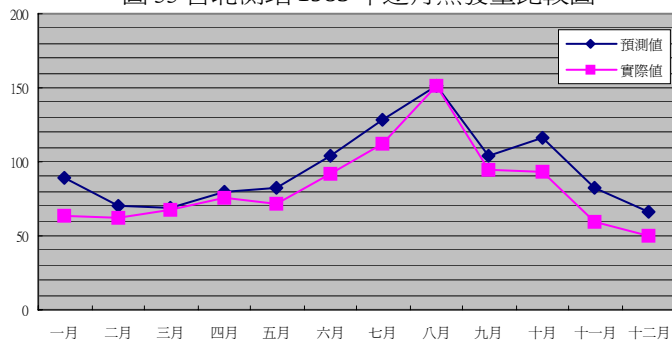


圖 35 台北測站 1987 年逐月蒸發量比較圖

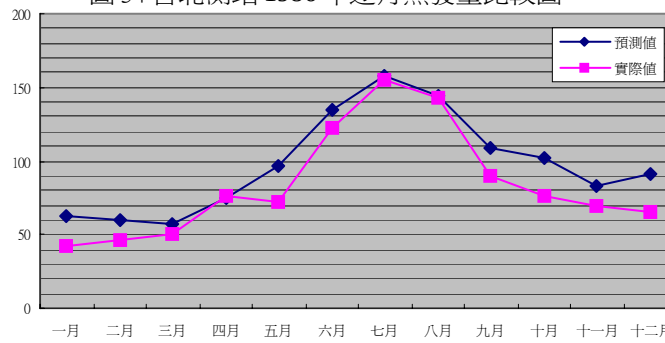


圖 36 台北測站 1988 年逐月蒸發量比較圖

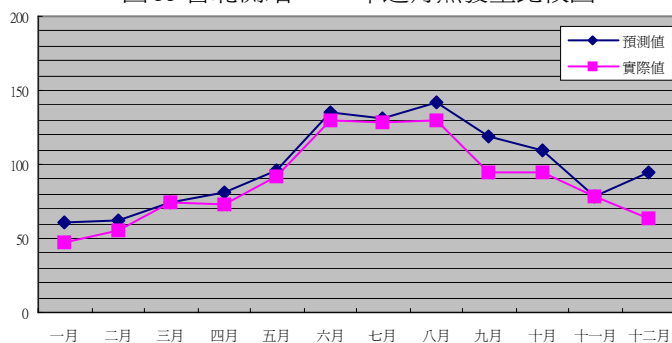


圖 37 台北測站 1989 年逐月蒸發量比較圖

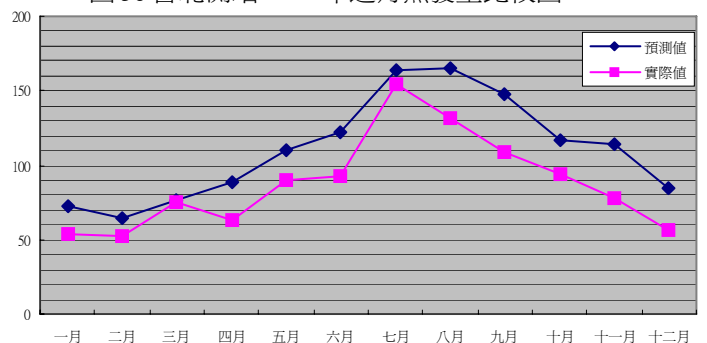


圖 38 台北測站 1990 年逐月蒸發量比較圖

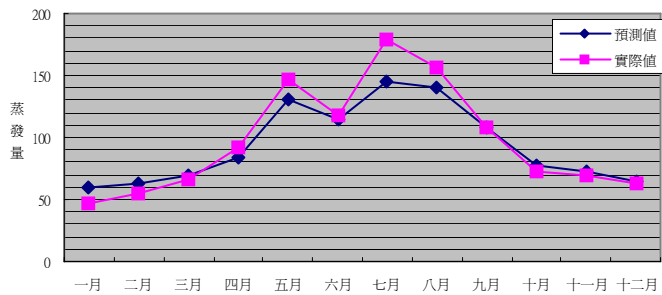


圖 39 台北測站 1991 年逐月蒸發量比較圖

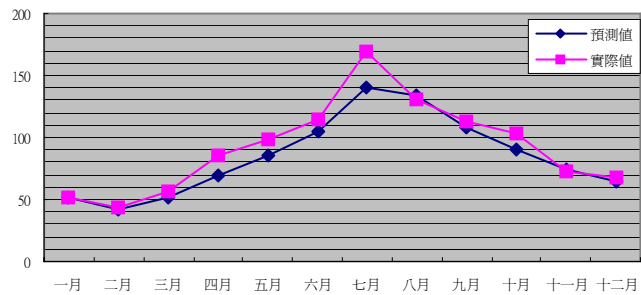


圖 40 台北測站 1992 年逐月蒸發量比較圖

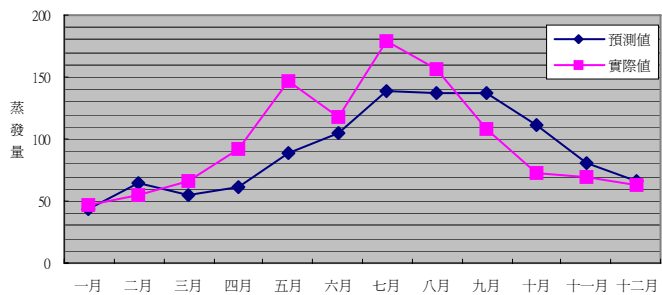


圖 41 台北測站 1993 年逐月蒸發量比較圖

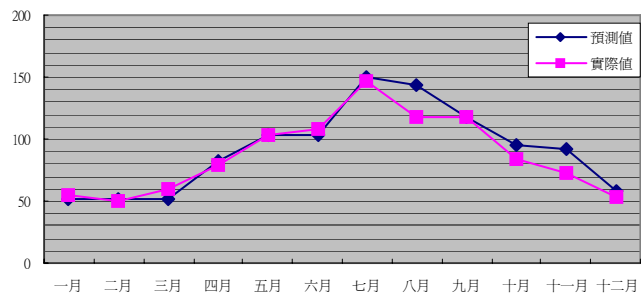


圖 42 台北測站 1994 年逐月蒸發量比較圖

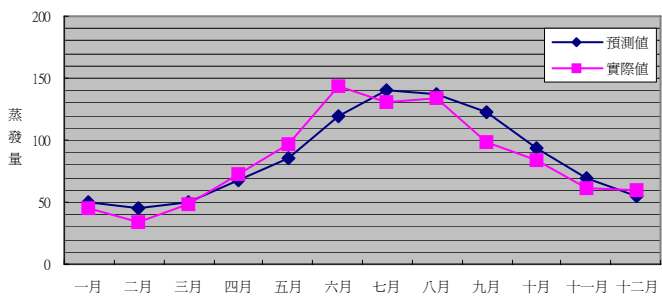


圖 43 台北測站 1995 年逐月蒸發量比較圖

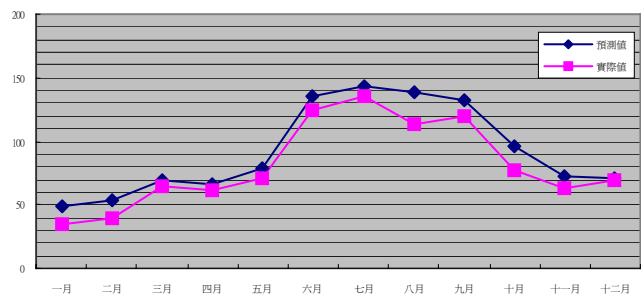


圖 44 台北測站 1996 年逐月蒸發量比較圖

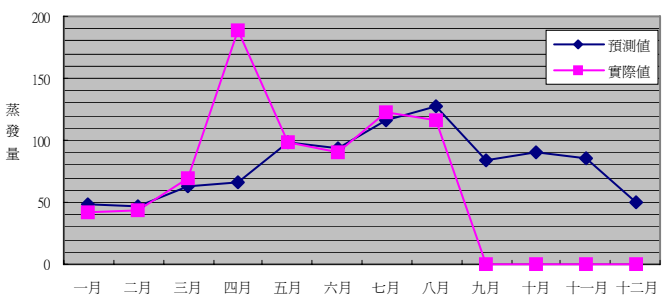


圖 45 台北測站 1997 年逐月蒸發量比較圖

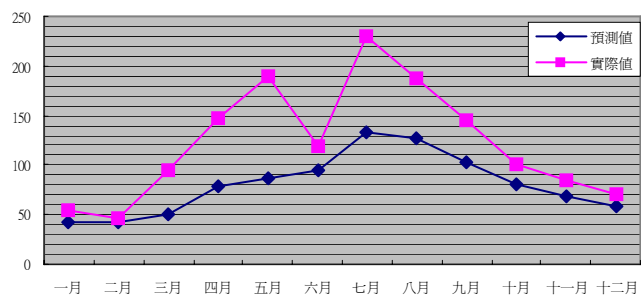


圖 46 台北測站 1998 年逐月蒸發量比較圖

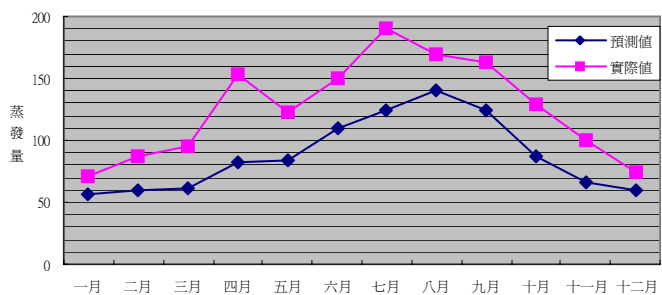


圖 47 台北測站 1999 年逐月蒸發量比較圖

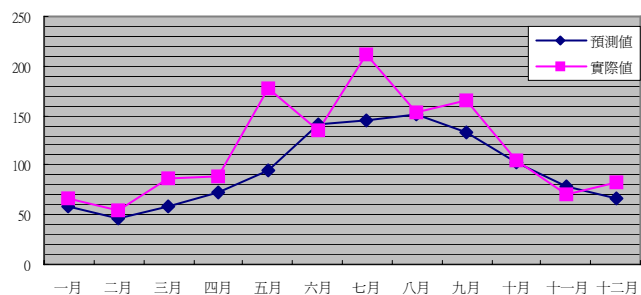


圖 48 台北測站 2000 年逐月蒸發量比較圖

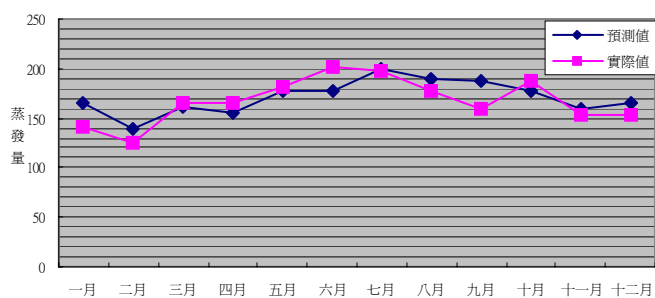


圖 49 高雄測站 1961 年逐月蒸發量比較圖

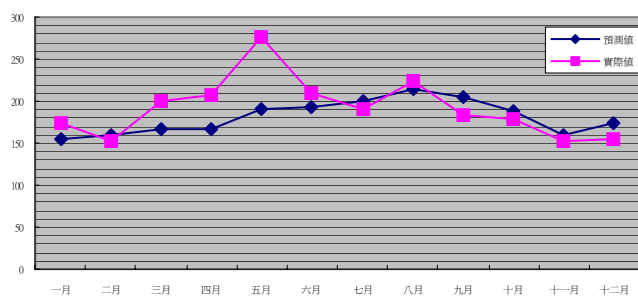


圖 50 高雄測站 1962 年逐月蒸發量比較圖

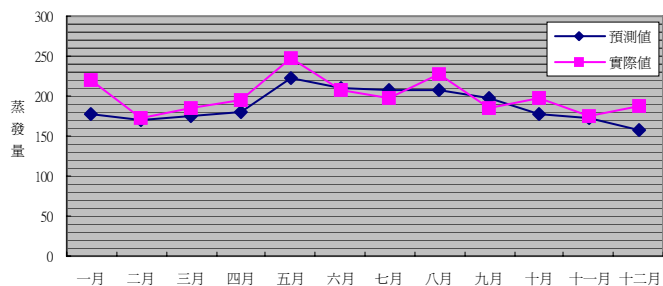


圖 51 高雄測站 1963 年逐月蒸發量比較圖

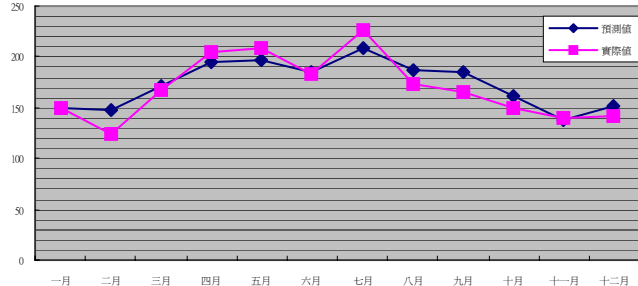


圖 52 高雄測站 1964 年逐月蒸發量比較圖

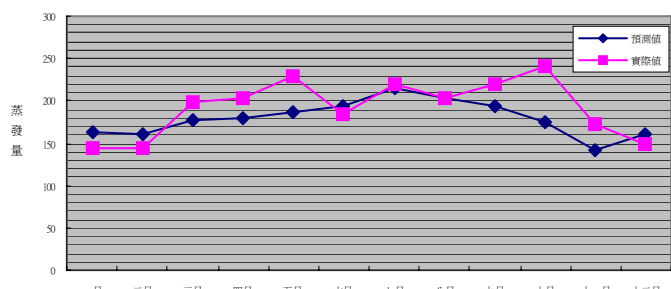


圖 53 高雄測站 1965 年逐月蒸發量比較圖

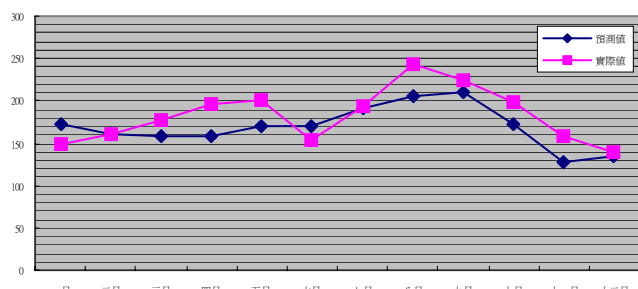


圖 54 高雄測站 1966 年逐月蒸發量比較圖

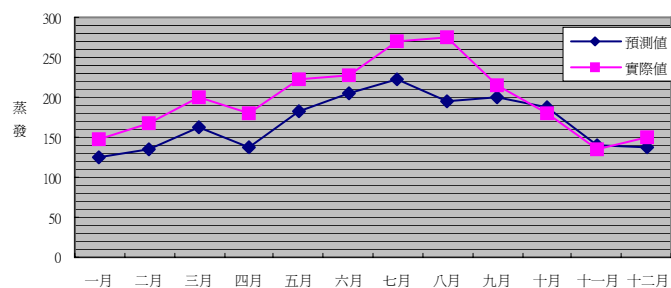


圖 55 高雄測站 1967 年逐月蒸發量比較圖

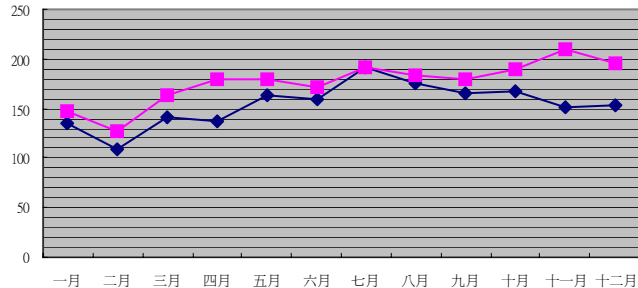


圖 56 高雄測站 1968 年逐月蒸發量比較圖

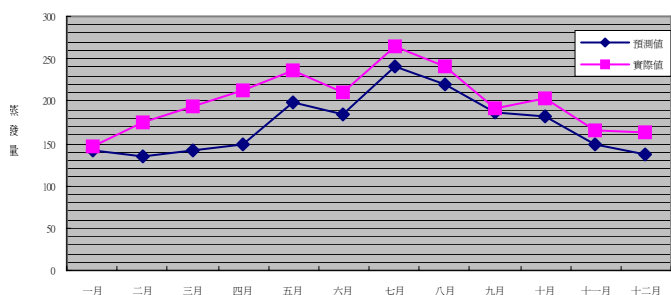


圖 57 高雄測站 1969 年逐月蒸發量比較圖

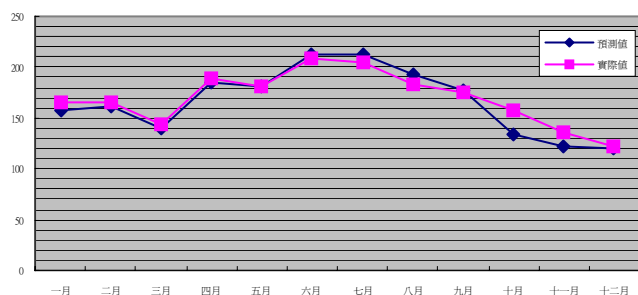


圖 58 高雄測站 1970 年逐月蒸發量比較圖



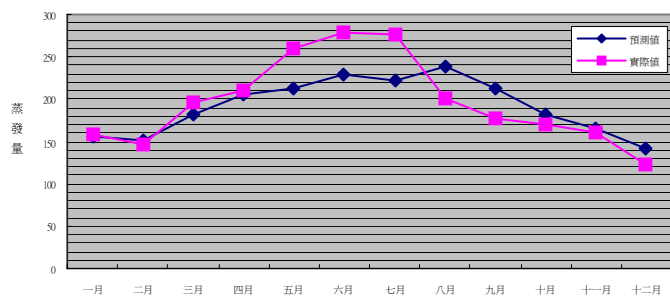


圖 59 高雄測站 1971 年逐月蒸發量比較圖

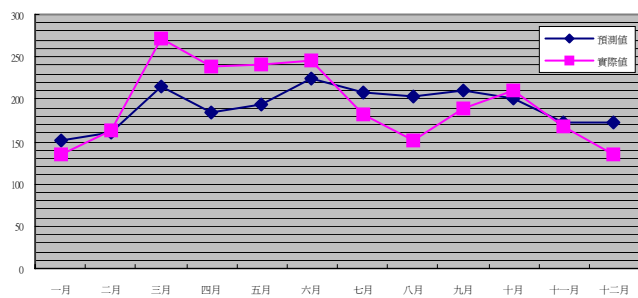


圖 60 高雄測站 1972 年逐月蒸發量比較圖

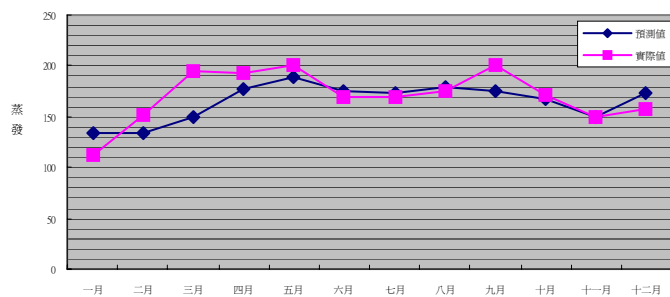


圖 61 高雄測站 1973 年逐月蒸發量比較圖

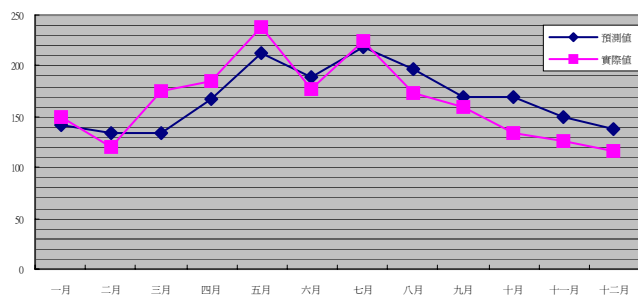


圖 62 高雄測站 1974 年逐月蒸發量比較圖

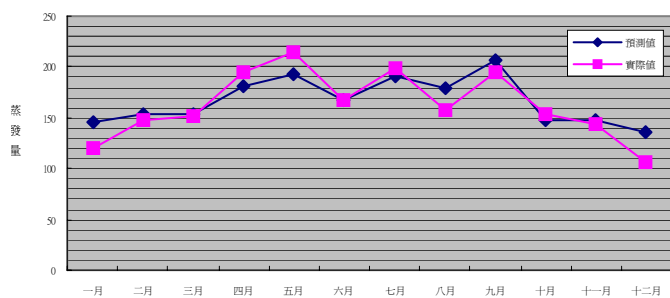


圖 63 高雄測站 1975 年逐月蒸發量比較圖

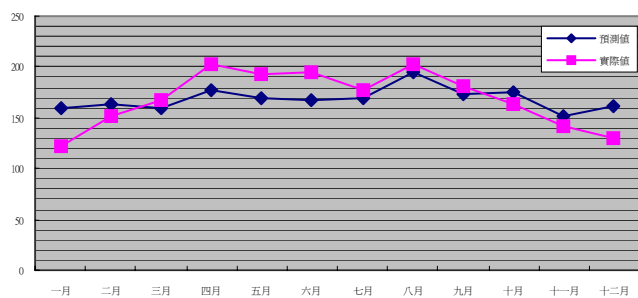


圖 64 高雄測站 1976 年逐月蒸發量比較圖

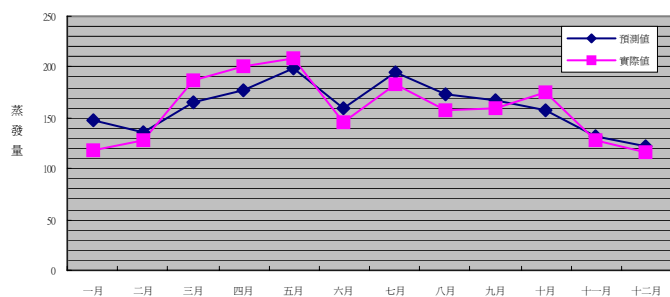


圖 65 高雄測站 1977 年逐月蒸發量比較圖

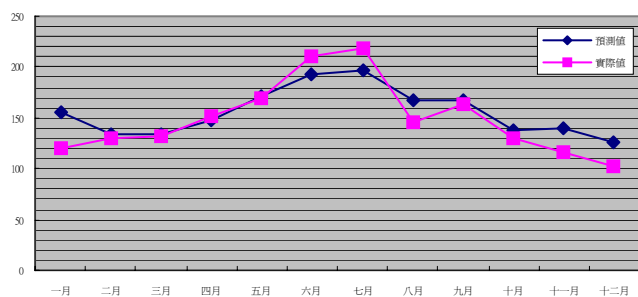


圖 66 高雄測站 1978 年逐月蒸發量比較圖

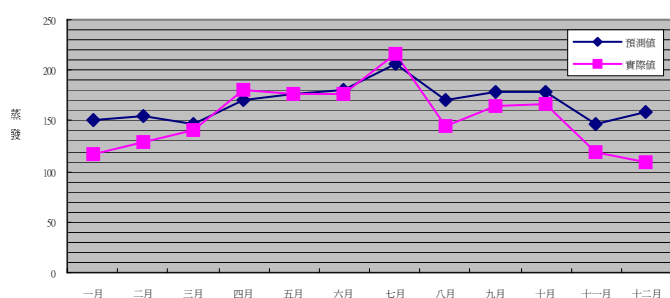


圖 67 高雄測站 1979 年逐月蒸發量比較圖

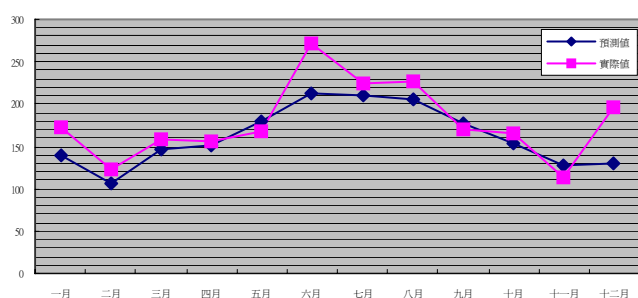


圖 68 高雄測站 1980 年逐月蒸發量比較圖

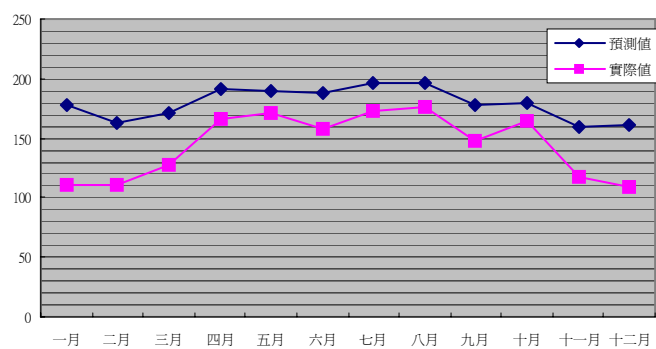


圖 69 高雄測站 1981 年逐月蒸發量比較圖

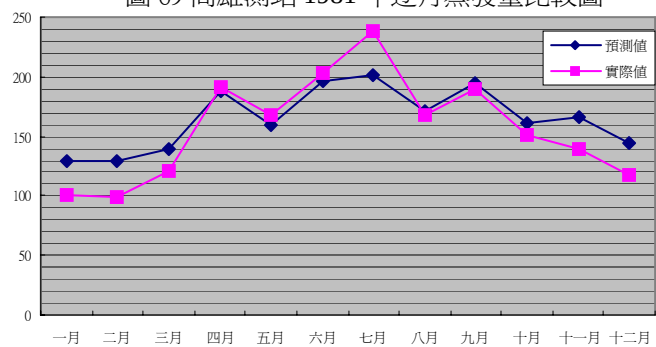


圖 70 高雄測站 1982 年逐月蒸發量

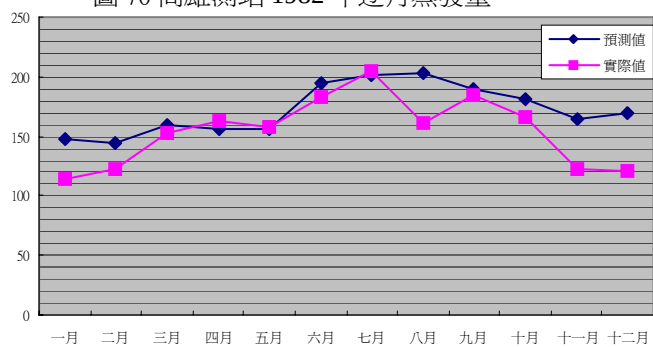


圖 71 高雄測站 1983 年逐月蒸發量比較圖

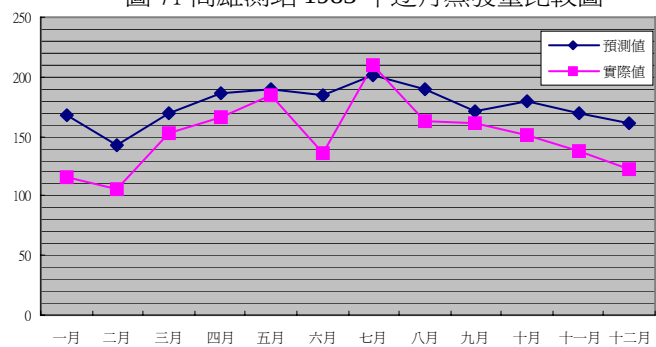


圖 72 高雄測站 1984 年逐月蒸發量

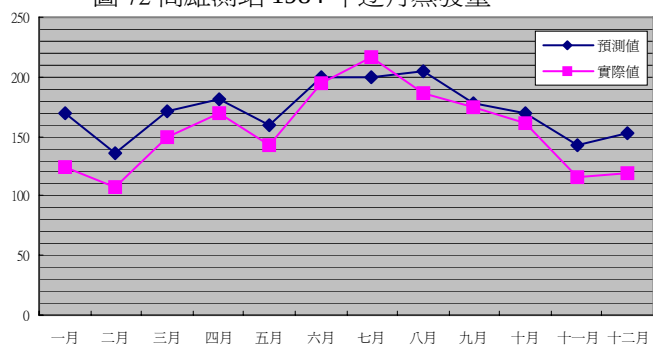


圖 73 高雄測站 1985 年逐月蒸發量比較圖

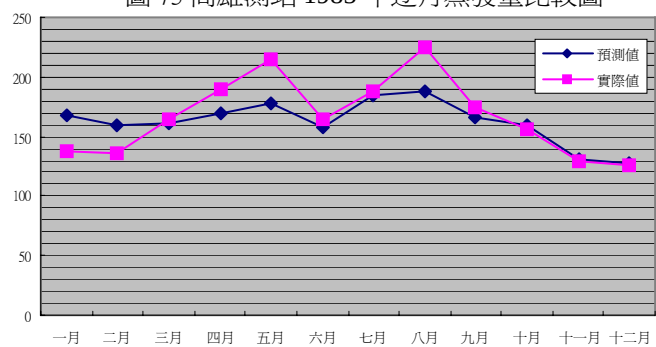


圖 74 高雄測站 1986 年逐月蒸發量

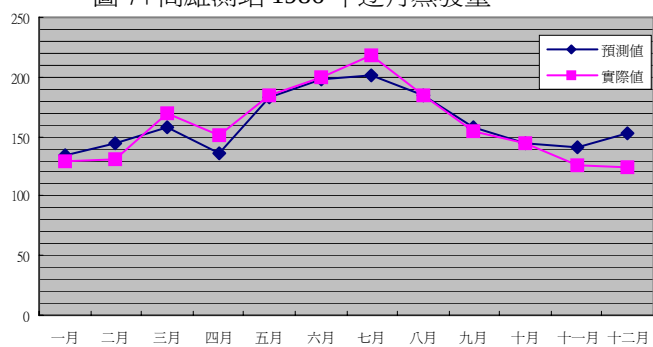


圖 75 高雄測站 1987 年逐月蒸發量比較圖

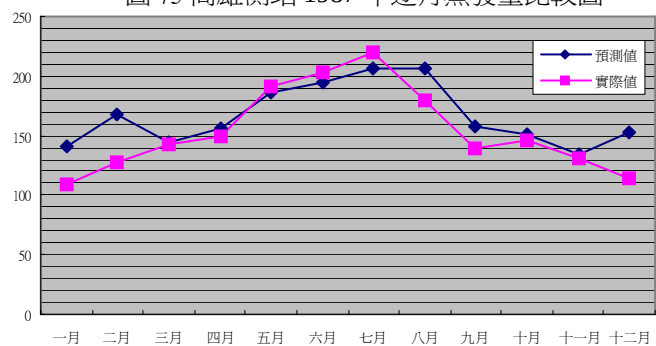


圖 76 高雄測站 1988 年逐月蒸發量

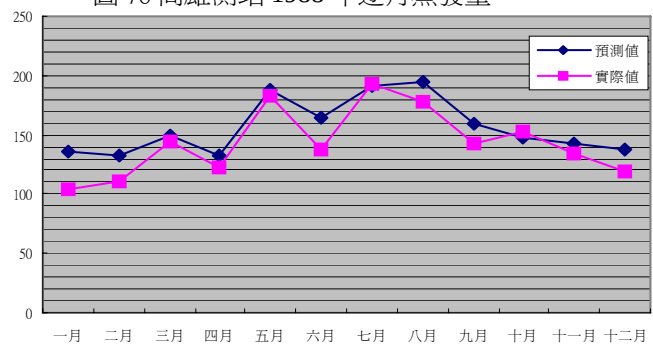


圖 77 高雄測站 1989 年逐月蒸發量比較圖

圖 78 高雄測站 1990 年逐月蒸發量

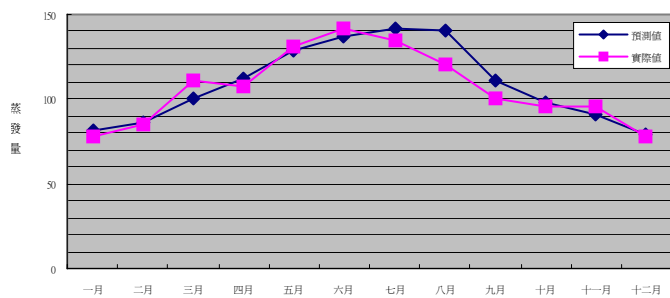


圖 79 高雄測站 1991 年逐月蒸發量比較圖

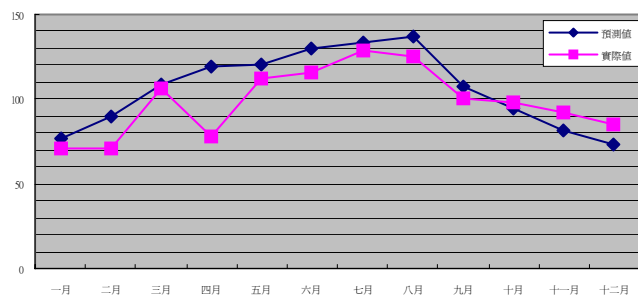


圖 80 高雄測站 1992 年逐月蒸發量

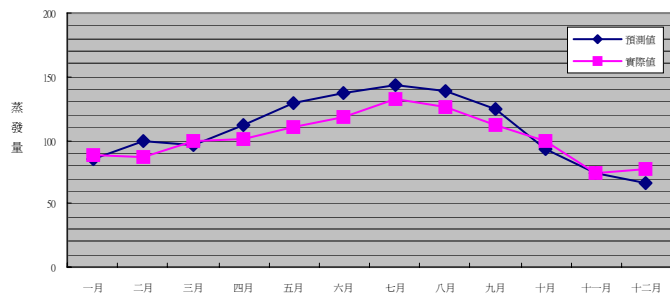


圖 81 高雄測站 1993 年逐月蒸發量比較圖

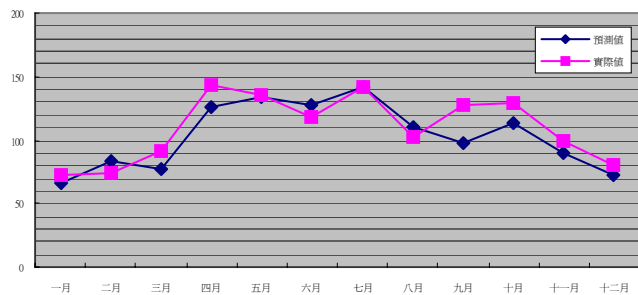


圖 82 高雄測站 1994 年逐月蒸發量

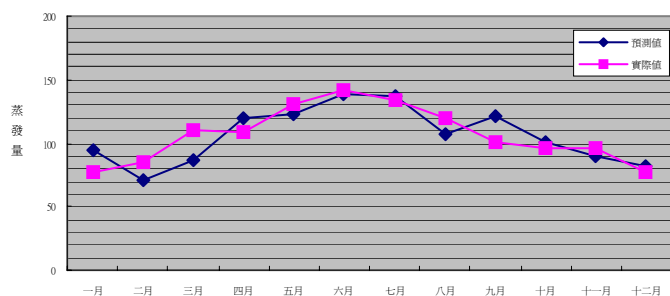


圖 83 高雄測站 1995 年逐月蒸發量比較圖

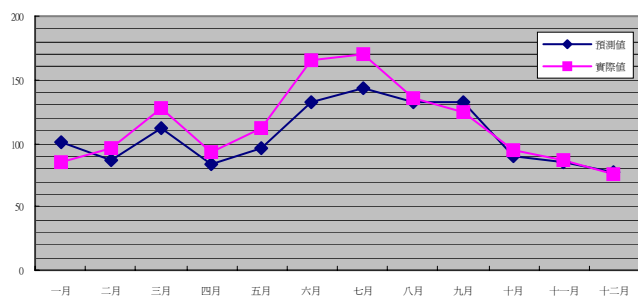


圖 84 高雄測站 1996 年逐月蒸發量

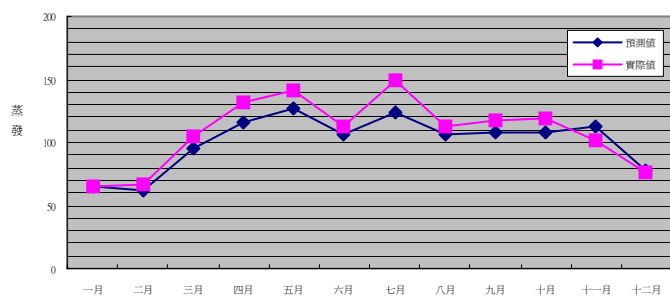


圖 85 高雄測站 1997 年逐月蒸發量比較圖

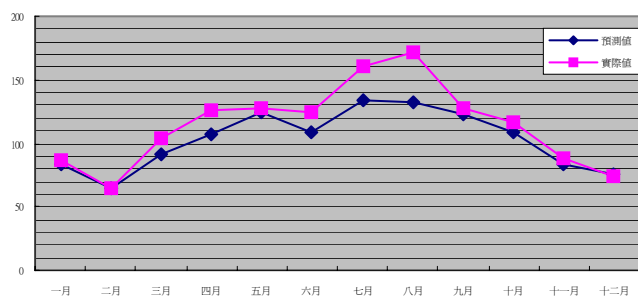


圖 86 高雄測站 1998 年逐月蒸發量

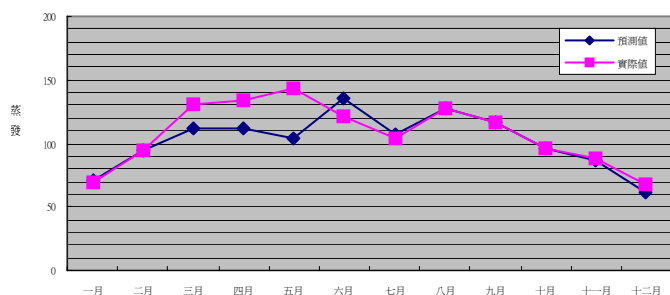


圖 87 高雄測站 1999 年逐月蒸發量比較圖

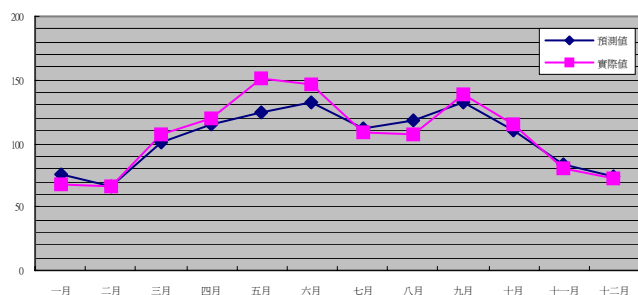


圖 88 高雄測站 2000 年逐月蒸發量

## 十、結論與建議

- 1.本報告利用模糊理論原理，同學合作編寫完成 Excel 小程式，運用氣溫、氣壓、風速、溼度、日照時數等五個因子，進行歷年蒸發量的推估，結果顯示在正常情況下，均有不錯的準確度。
- 2.一般而言，冬季推估蒸發量較夏季準確，主要是由於隸屬函數採用直線分佈，或者是夏季有其他影響蒸發的因素未加以考慮，所造成的誤差。
- 3.有些年份蒸發量會有異常現象發生，目前原因不明，可能與某些突發狀況有關，或是有某些因子有異常的變化所致，如果時間允許，希望能進一步分析日資料，甚至逐時氣象資料，以便了解實際的發生情況。
- 4.本報告目前採用五個氣象因子進行推估，隸屬函數採用直線型，未來希望能增加因子的數量，並且使用不同形式隸屬函數，希望能提高推估的準確度。
- 5.我們認識到影響蒸發的主要因素為日照的長短、氣溫高低、溼度、氣壓與風速；也發現蒸發量隨季節而改變，夏季蒸發強，冬季較弱；完成的推估小程式應用於小灌溉區域，若能配合水利會等相關單位，能對水資源的利用與規劃提供參考，具有相當的貢獻。
- 6.為驗證推估準確度，本報告擬增加校園實測的部分，但由於現有儀器並不精密，測得的數據無法實際加以使用，期待有更好的設備後，再做進一步的研究。

## 十一、參考文獻

- 1.歷屆科展優良作品
- 2.王如意、易任（1997），「應用水文學」茂昌圖書有限公司。
- 3.徐義人（1996），「應用水文學」，大中國圖書公司。
- 4.闕頌廉（2001），「應用模糊數學」，科技圖書股份公司。
- 5.馮德益、樓世博（1988），「模糊數學方法與應用」，科技圖書股份公司。
- 6.蓋墟（1991），「實用模糊數學」，亞東書局。
- 7.王文俊，2001，「認識 Fuzzy」，全華科技圖書股份有限公司。

國中組 生物及地球科學科  
第三名

031729

霧裡看「發」-模糊方法對蒸發量的探討

高雄縣立阿蓮國民中學

評語：

1. 本研究以「模糊理論」將氣溫、氣壓、風速、溫度、日照時數等五項氣象因子當作因素集，並建立隸屬函數及權重集，以得知蒸發量之預測值，具學術性及實用性價值，頗值鼓勵。
2. 以國中之程度利用模糊理論是否會讓人覺得有太深奧的感覺。
3. 除了模糊理論外，亦可考慮統計學上之複迴歸分析法，仍可預測出蒸發量。
4. 參與同學，全心投入本研究，值得嘉許。