

2006年桃竹苗旱象之氣象初步分析 —SPI 標準降雨指數的應用

陳永明¹ 黃柏誠¹ 周仲島^{1,2}

¹ 國家災害防救科技中心

² 國立台灣大學 大氣科學系

摘要

2006年初之降雨情形不如水利單位之預期，加上春耕用水與竹科用水需求量增加，導致桃竹苗地區之重要水庫水位下降，進而採取休耕等措施度過缺水危機。本研究使用 SPI 標準降雨指數 (Standard Precipitation Index) 作為監測氣象乾旱之重要參考指標，其依據長期雨量統計資料將雨量分做 7 個等級，分別表示氣象乾旱的嚴重程度，我們將全台自動雨量站資料根據不同縣市與流域劃分，進行 SPI 指數分析，我們計算 3 個月的 SPI 值 (簡稱 SPI3，即考量 3 個月整體的降雨趨勢，較符合台灣季節降雨特性) 針對去年 10 月至今年 2 月的降雨進行分析並與歷年的降雨情形進行比較，以進一步瞭解今年冬春季節降雨與水庫水位急遽下降的關係，作為未來在水資源調度的參考。本文首先針對桃竹苗地區重要水庫水位與降雨情形進行討論，接下來以石門水庫作為進一步分析的對象，探討降雨對水庫水位的影響程度，最後為總結與討論。

關鍵詞：乾旱、標準降雨指數，水資源

一、缺水事件描述

2006 年上半年桃、竹、苗等地區用水亮起紅燈，經濟部於 2 月 16 日緊急召開水源調度會議，決定頭前溪灌區全面休耕同時並籲請民眾節約用水以共體時艱。水利署表示入春後桃園、新竹、苗栗等地區降雨較去年同期銳減 19%，使得頭前溪、鳳山溪等川流水及水庫蓄水狀況略差，加上第一期春耕在即及竹科用水需求量增加，使得該等區域供水吹起缺水警報，水源調度會議決定成立抗旱小組隨時掌握最新水情作最妥適之因應，同時決定頭前溪灌區全面休耕，石門水庫並採生活用水每日 130 萬噸總量管制，以渡過缺水危機。

2 月下旬因水庫水位持續下降，桃、竹、苗出現缺水危機，經濟部於 3 月 2 日召開緊急抗旱會議，決定桃園及苗栗明德等灌區休耕停灌，根據水利署的研判，台灣地區入春後，降雨未如預期理想，桃、竹、苗地區石門水庫、永和山水庫、明德水庫蓄水持續下降且春耕用水在即，同時根據氣象局中長期雨量預測北部及中部地區 3 月及 4 月降雨仍屬正常偏低，因此會中決定桃園及苗栗明德等灌區分別計有 24,597 及 1,166 等公頃休耕，另加上已於 2 月 24 日公告新竹頭前溪灌區停灌之 5,000 公頃，今年該等區域休耕停灌將近達 31,000 公頃。

綜合以上經濟部水利署針對 2006 年初缺水事件之描述，2006 年初之降雨情形不如預期，加上春耕用水與竹科用水需求量增加，導致桃竹苗地區之重要水庫水位下降，進而採取休耕等措施度過此次缺水危機。

根據水利署於前一年 (2005 年) 12 月 13 日新聞稿所述，以當時的蓄水條件而言，在氣象條件大致通訊作者：周仲島教授，台灣 台北市羅斯福路四段一號 國立台灣大學大氣科學系，電話：886-2-2362-8962，傳真：886-2-2363-3642, Email: jow@hp735.as.ntu.edu.tw

正常的條件下，預估 2006 年上半年民生及產業用水應為審慎樂觀，一期稻作也可以正常灌溉，其中提及桃竹苗地區之石門水庫、寶山水庫、永和山水庫的蓄水率分別為 83%、90% 與 70% 以上，至少在 2006 年 4 月底前無缺水危機，一期稻作皆可順利供灌。然而供水情形由 2005 年底的審慎樂觀至 2006 年 2 月的休耕停灌，2006 年年初的降雨情形不佳似乎為這次缺水危機相當重要的因素，因此本研究將針對 2005 年 10 月至 2006 年 2 月的降雨進行分析並與歷年的降雨情形進行比較，以進一步瞭解 2006 年冬春季節降雨與水庫水位急遽下降的關係，作為未來在水資源調度的參考。本文首先針對桃竹苗地區重要水庫水位與降雨情形進行討論，接下來以石門水庫作為進一步分析的對象，探討降雨對水庫水位的影響程度，最後為總結與討論。

二、研究方法

本研究使用 SPI 標準降雨指數 (Standard Precipitation Index) 作為監測氣象乾旱之重要參考指標，此方法已被使用於相關的乾旱監測上 (楊等, 2005; 袁和周, 2004; Mckee et al. 1993)，SPI (Standard Precipitation Index) 標準化降雨指標是 Mckee et al.(1993) 發展之監測乾旱的指標。Thom(1966) 發現 Gamma 機率分佈最能符合降雨的統計特性，Gamma 機率分佈之方程式為：

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

$\Gamma(\alpha)$ 是 Gamma 函數。 α 為形狀參數。 β 為尺度參數。 x 為降水量。

接下來估計出 Gamma 機率分佈方程式中 α 與 β 的值。最佳的 α 與 β 的估計值可用最大概似法求得：

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad n: \text{所使用的降雨}$$

總樣本數

於是，不同時間尺度(3個月、6個月、12個月)的累積降雨機率如下：

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

$$\text{令 } t = x/\hat{\beta}$$

可得不完全的 Gamma 方程式：

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^t t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

由於 Gamma 方程式不包含 $x=0$ 的狀況，而實際降雨可能為 0。因此累積降雨機率可表示為：

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

q 是降雨量為 0 的機率。如果 m 表示降水時間序列中降雨量為 0 的數量，則 $q=m/n$ 。

最後由累積降雨機率 $H(x)$ 轉換成標準化分布函數 Z (Benjamin,2002)，即 SPI 值。

而其過程可以用公式表示：

當 $0 < H(x) \leq 0.5$ 時

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)}$$

當 $0.5 < H(x) < 1$ 時

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)}$$

$$c_0=2.515517; c_1=0.802853; c_2=0.010328;$$

$$d_1=1.432788; d_2=0.189269; d_3=0.001308$$

Mckee et al.(1993)據此定義出乾旱與多雨的等級。本研究計算各縣市的 SPI 值為計算該縣市區域內所有自動雨量站的月降雨平均值，因此比單一測

站更能凸顯該區域的月到季降雨特性。

SPI 值	等級
>2	嚴重多雨
1.5~2	中度多雨
1~1.5	輕度多雨
-1~1	正常
-1.5~-1	輕度乾旱
-2~-1.5	中度乾旱
<-2.0	嚴重乾旱

三、水庫水位與降雨之關係

桃竹苗重要水庫水位

根據圖一顯示石門水庫水位於 2005 年 10 月時呈現滿水位，在 12 月底甚至 2006 年 1 月時水位都在近五年平均值之上，2 月時水庫水位呈現急遽下降的情形，已經位於近五年平均值以下，顯見年初之水位急遽下降與此次缺水危機關係密切。桃竹苗地區其他重要水庫的水位也呈現相同的情形(圖略)，除了寶山水庫的水位下降呈現季節性的因數而每年趨勢雷同外，石門、永和山與明德水庫 2006 年年初的水位下降趨勢非常明顯，明顯大於 2005 年年初的情形，此水位下降是否由於雨量偏少所導致，在下一節會針對石門水庫的部分做進一步分析。

桃竹苗地區降雨分析

根據中央氣象局氣候監測分析報告，依據氣象局區域代表性的傳統氣象站雨量分析(北部地區為台北站)，2005 年 11 月至 2006 年 1 月的降雨，北部地區除了在 11 月屬於偏少雨外，其他兩個月份北部地區都屬於接近氣候正常值範圍但雨量偏少的情形(圖略)，整體而言，台灣地區並未呈現大規模旱象的跡象。

我們將全台自動雨量站資料根據不同縣市與流域劃分，進行 SPI 指數分析，我們計算 3 個月的 SPI 值(簡稱 SPI3，即考量 3 個月整體的降雨趨勢，較符合台灣季節降雨特性)作為台灣地區降雨趨勢監測的參考依據，圖二為 SPI3 指標應用於 2002 年初台灣發生大規模乾旱時，各縣市 1~6 月的乾旱監測情形，我們可以看到 SPI3 指標能掌握當時北部地區以及中南部地區大規模旱象的情形，最嚴重時已達嚴重乾旱的等級。圖三為台灣地區各縣市 2005 年 11 月至 2006 年 1 月的 SPI3 的空間分佈圖，這三個月的 SPI 值均顯示桃竹苗地區的降雨量皆屬於正常值範圍內，由於自動雨量站的數目較多，因此對區域降雨的詮釋更具代表性，因此從自動雨量站的 SPI 值分析仍舊顯示年初時在氣象上並沒有出現明顯乾旱的情形。

一般而言，11 月至隔年 2 月為北部地區全年雨量最少的季節，鋒面降雨是這個季節最主要的降雨來源，然而此時鋒面所帶來的降雨量並不充足，這段時間即使雨量低於氣候平均值，其實際雨量差距程度不若雨季時顯著，以新竹測站為例(並未在水庫集水區)，11 月到 1 月的降雨雖然只佔了平均值的

20%~50%不等，但每月實際所短少的雨量約在 30 毫米左右（三個月少了 90 毫米），這些短缺的雨量對水庫的影響程度如何，是否足以造成水庫水位急遽下降，下一節將以石門水庫作進一步探討。

四、石門水庫雨量分析

圖一顯示石門水庫的水位在 2006 年初開始即呈現快速下滑的跡象，甚至低於近五年平均水位，從歷年來的石門水庫集水區雨量（10 站流域加權平均）的 SPI3 降雨指標來看（圖四），2006 年初 1、2 兩月的指標為負值，但均未達 -1 輕微乾旱的標準，而且圖四顯示兩個重點，一為 2006 年年初的少雨相較於歷史同時期的幅度並不大，尤其與 2002~2004 年比較；另一重點為去年一整年水庫集水區的雨量均呈現正常偏多的情形，以水庫蓄水的功能而言，一兩個月的雨量偏少是否足以導致缺水危機，在水資源調度的問題上需審慎面對這個問題。

根據顯示 2005 年與 2006 年同時期石門水庫水位下降幅度有明顯差距的情形（圖一），圖五即比較這兩年石門水庫集水區的降雨情形是否有明顯的不同，2004 年與 2005 年 10 月分別受納坦颱風及龍王颱風影響，降雨比歷年平均值要高，這兩年的這段時期石門水庫皆達滿水位的標準，接下來的 11 月到隔年 1 月兩年的降雨多寡比較互有消長，但相差不大，尤其如前所述，這段時期的氣候平均降雨量並不多（圖五折線部分），唯一差別較大的是 2005 年 2 月與 2006 年 2 月的降雨，前者月雨量為 208 毫米，後者為 47 毫米，然而前者的大量降雨源自於 2005 年春雨的異常降雨（遠大於氣候平均值），並不能視為正常降雨。

從水庫入流量的統計顯示（圖六），2005 年與 2006 年的比較顯示 2004 年 10 月到 2005 年 2 月有三個明顯的入流量極大值（箭頭所指），而 2005 年 10 月至 2006 年 2 月入流量相對偏少，為兩年的最主要差別，似乎可解釋水位兩年的不同，這凸顯了一個重要問題，兩段時期的月到季的降雨量差別不大，但入流量卻又明顯差別，這與劇烈且集中的降雨事件有關（颱風與春季鋒面降雨），圖七所顯示這兩年相同時期的旬降雨量統計，11~1 月這三個月的降水量在這兩年差距並不大，在 10 月時分別有納坦颱風與龍王颱風帶來降雨，較大的差別是 2004 年出現歷史上唯一 12 月侵襲台灣的南瑪都颱風，加上 2005 年 2 月底出現異常春雨使得 2004 年底~2005 年初這段時間較為密集且異常的降雨為石門水庫集水區帶來了約 772 毫米的雨量，超過了 1989~2006 總降雨量氣候平均值 545 毫米，然而 2006 年為 520 毫米與氣候值相去不遠，屬於氣候正常值範圍（與 SPI 所顯示的意義相近），只是其降雨分佈較為平均分佈。

以上結果顯示月到季降雨總量差不多，但降雨事件的分佈不同因而導致的入流量與水庫水位的不同對中長期氣候預報雨水資源管理而言，不失為一重要且需面對的問題，此部分的研究仍須更多年的資

料來釐清與確認，不過以上的研究也凸顯了一個重要問題，2006 年初的情況提供了一個重要警訊，氣候平均正常降雨已經不能滿足石門水庫的實際用水需求，換句話說石門水庫要能免於缺水危機可能需靠這個季節的異常降雨方能補足，若此，石門水庫的春季缺水危機將屬於常態，相關主管單位應審慎面對。

五、結語

綜合以上雨量及水庫監測水位變化分析，針對 2006 年初桃竹苗缺水危機總結以下重點：

1. 桃竹苗地區重要水庫 2005 年 10 月時皆呈滿水位狀態，但 2006 年 1~2 月水位急遽下降，導致供水危機

2. 氣象局依據傳統氣象站的氣候雨量監測資料顯示這段時間北部地區降雨屬於正常偏少的情形（30%~50%），而由較多的自動雨量站的降雨資料計算並使用 SPI 指標的雨量監測顯示，桃竹苗地區降雨從去年 10 月至今年 2 月降水雖有偏少情形，但仍屬氣候正常值範圍，同時這段時間屬於乾季，降雨量本來相對較少。

3. 石門水庫集水區 2005 年底到 2006 年初的降雨屬於氣候正常範圍，前一年年初免於缺水危機分析顯示乃肇因於異常的颱風與春雨降水。

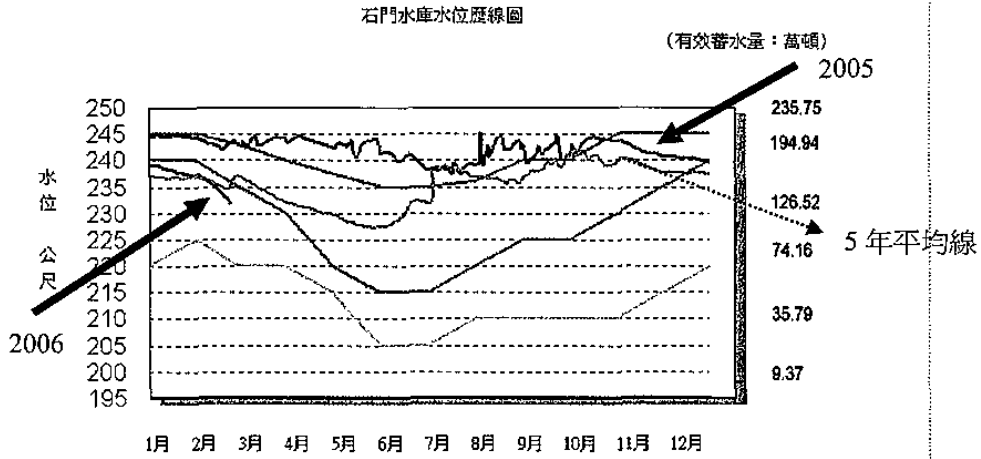
4. 水庫水位的消長與入流量關係密切，然而分析顯示密集的劇烈降雨與分散平均的降雨對入流量的影響有明顯的差別，這對中長期雨量預報如何有效應用於水資源管理為一重要且值得繼續研究的課題。

4. 以上分析顯示 2006 年初的缺水，水庫集水區的降雨並無明顯減少，若屬於正常降雨範圍而仍舊會導致缺水危機，相關主管機關需正視水資源管理的問題與是否缺水為常態化的現象。

六、參考文獻

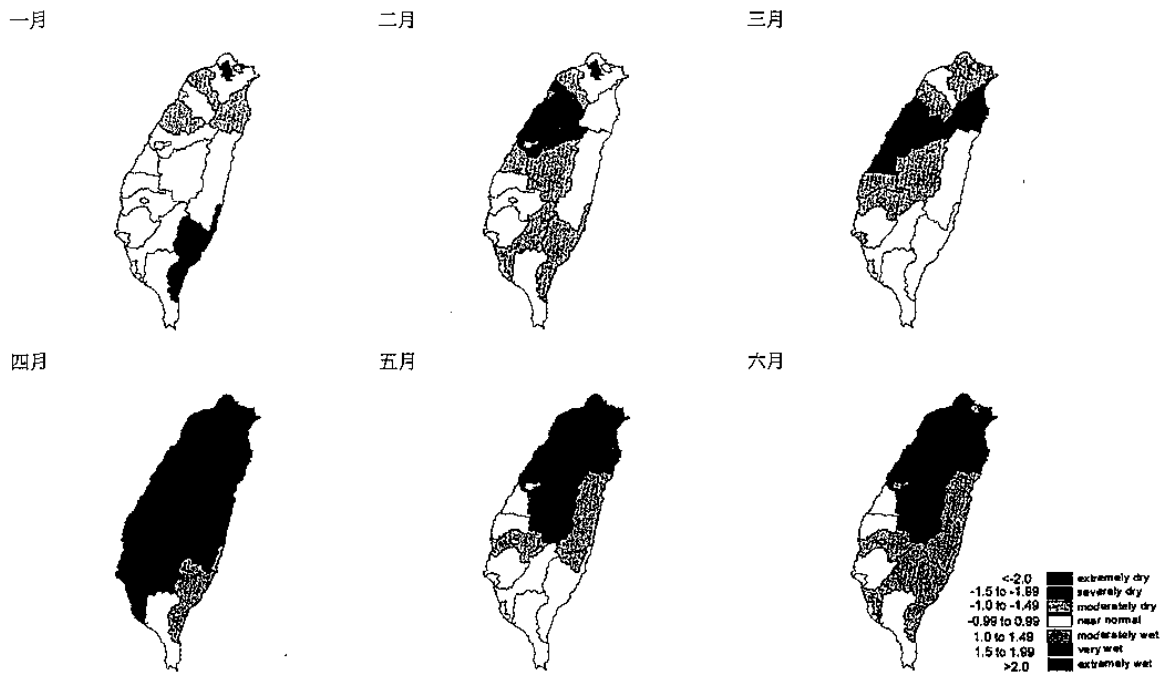
- 楊道昌、郭俊超、呂季蓉、游保杉，2005：標準化降雨指標應用於農業乾旱監測之研究。農業工程學報，第 51 卷第 2 期，pp.11-25。
- 袁文平、周廣勝，2004：標準化降水指標與 Z 指數在我國的應用對比分析。植物生態學報，Vol.28，pp.523-529。
- Benjamin, L.H. and M.A. Saunders, 2002: A Drought Climatology for Europe, International Journal of Climatology, 22, pp.1571-1592
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology, pp.179-184.
- Thom, H.C.S., 1966: Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technics Note, No. 81, 16-22.

石門水庫水位歷線圖



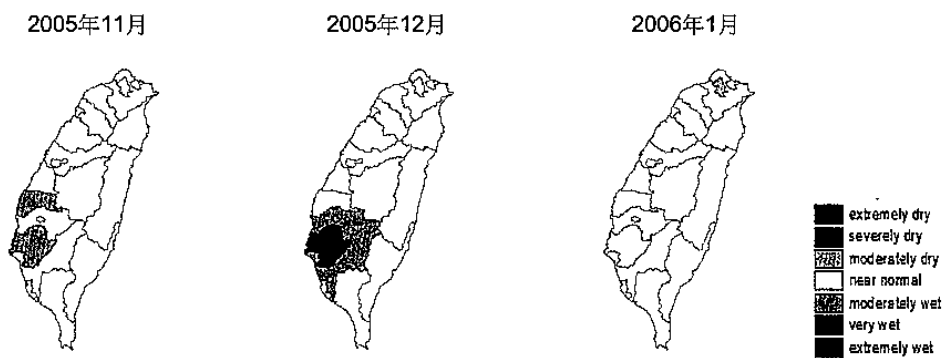
■ 94年	■ 95年
— 近五年平均	— 下限
— 嚴重下限	— 上限
— 上限	— 呆水位

圖一：石門水庫水位歷線圖（資料來源：北水局網站）



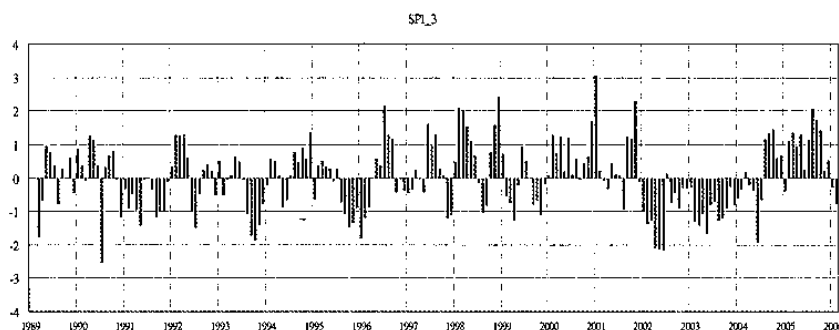
圖二：2002年1~6月之縣市降雨（自動雨量站）SPI3分佈圖

2005/11-2006/01 台灣地區 SPI 3 指標圖 (縣市)

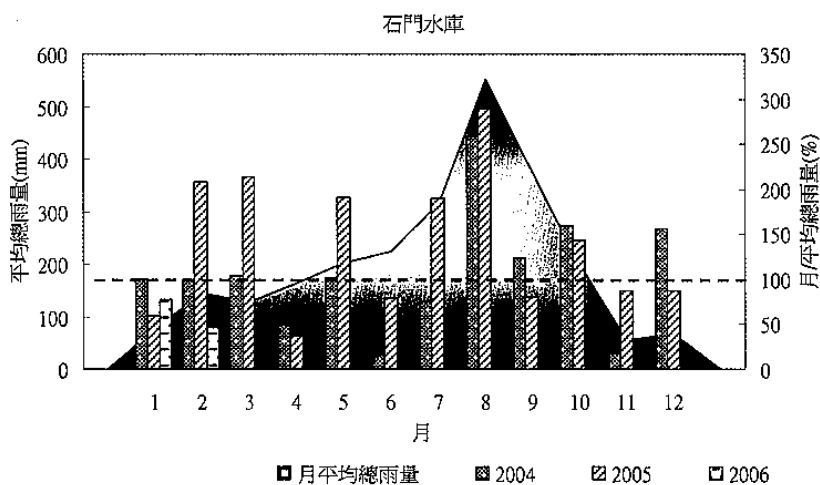


圖三：台灣 2005/11 至 2006/1 各縣市 SPI 圖

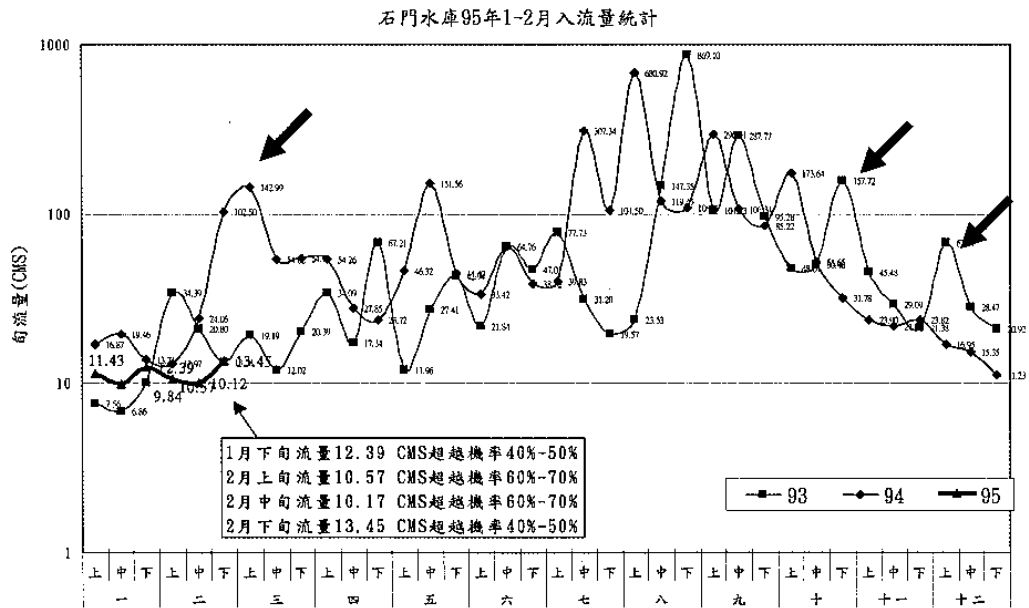
石門水庫 SPI-3 (1989-2006/2)



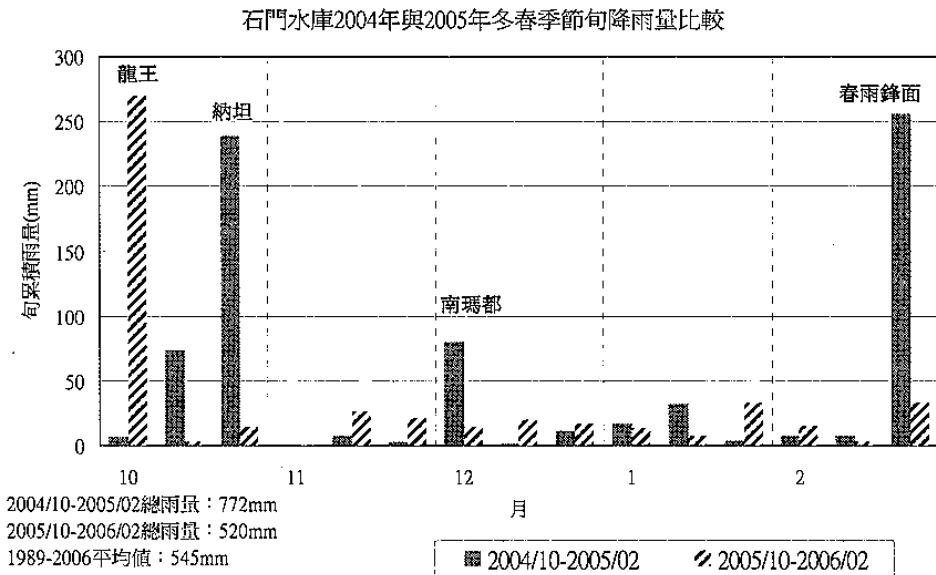
圖四：石門水庫 10 站流域加權平均雨量 SPI3 之時間序列圖，時間為 1989 年 1 月至 2006 年 2 月



圖五：石門水庫集水區月平均雨量及平均比值 (月/歷年平均) 2004 年 1 月到 2006 年 2 月比較圖，折線為歷年平均總雨量，不同顏色直條代表不同年份的月降雨比值



圖六 石門水庫入流量統計，藍色箭頭所標示處為 2004 年 10 月到 2005 年 2 月出現較大入流量的時間（資料來源：北水局）



圖七：石門水庫 2004 年與 2005 年冬春季節旬降雨量比較