

臺灣氣象乾旱指標建置與事件案例分析

連琮勛¹ 鄭克聲¹ 陳品好² 沈里音³
臺灣大學生物環境系統工程學系¹ 中央氣象局氣象科技研究中心² 中央氣象局第三組³

摘要

乾旱是一個緩慢產生的自然災害，在發展期間通常不易察覺，因此需要一段時間的觀察才能判定乾旱是否發生。而臺灣年平均降雨量雖高，但卻有豐枯水期顯著及降雨空間分布不均的現象，且降雨量並不能判斷該地區是否有少雨情形；有鑑於此，本研究建置全臺灣318個氣象站之氣象乾旱指標(SPI，標準化降雨指標)來判斷臺灣各地區之少雨狀況，以連續6旬、9旬、12旬累積雨量之SPI值(各表示為SPI6、SPI9及SPI12)繪製全臺灣每旬之氣象乾旱指標示意圖，繪製年份自1998至2018年。為了研究本文建置之全臺氣象乾旱指標是否能真實反映實際乾旱現象，將挑選1998-2018年，SPI6、SPI9、SPI12時間序列中較嚴重的事件作案例分析，與實際發生之旱災紀錄進行比較。透過本研究之結果即可建立每旬之全臺乾旱分布情形，可供氣象局觀測氣象、氣象防災之參考依據。

關鍵字：乾旱、標準化降雨指標、降雨空間分布

一、前言

近年來全球氣候異常，臺灣地區也深受影響，自2017年下半年後全臺降雨偏少，造成南部地區有近10個月無明顯降雨，至今年6月中旬才有遲來的梅雨降臨。此降雨空間分布不均的現象，單從降雨量是很難判斷該地區是否有少雨情形發生，因此本研究旨在建立中央氣象局設置在全臺灣318個氣象站之氣象乾旱指標，其氣象站之雨量資料補遺、檢核與修正是參照鄭等(2001)與陳等(2015)之方式。

臺灣年平均降雨量雖高，但受地形效應影響，降雨分布相當不均，每年降雨主要集中於夏季，冬季降雨多發生在北部區域，在此時空特性下，臺灣的乾旱尺度以季節等短時間尺度做為考量比較適合(朱等，2015)；考量在氣象觀測與防災的應用，本研究選擇以旬作為時間尺度，以連續6旬、9旬、12旬累積雨量，帶入適當的旱災指標，以繪製全臺灣每旬之氣象乾旱指標示意圖。

在旱災指標的選擇上，必須達到下列特性：

- (一) 指標能明確反應乾旱程度，此指標要能描述乾旱的起迄時間、延時及嚴重程度，可代表氣象乾旱。
- (二) 計算方式簡易，計算之資料應可即時取得(如日雨量資料)，所運用的計算程序不能太複雜。
- (三) 指標需有統計意義，經由頻率分析或常態化之處理，使指標有統計上的意義，方便判斷乾旱事件，常態化之處理也方便指標在不同區域進行比較，了解整體乾旱空間分布狀況。

而國內外常用之旱災指標如帕瑪乾旱指標(PDSI)(Palmer 1965)需考慮蒸發散量、土壤水補給量、流量及損失量，資料取得較不易，不符合計算方式簡易的特性；地表水供水指標(SWSI)(Shafer and Dezman 1982)的權重係數有降雨、積雪量及水庫蓄水量、逕流量，而臺灣地區少有積雪量之記載，故不選擇此指標；濕度指標(Moisture Index)(Xu 1950)式中所應用的雨量為年降雨量，所使用之時間尺度太長，故不適合本研究；標準化降雨指標(SPI)(McKee, Doesken et al. 1993)所需之資料只有降雨量，並可自由調整時間尺度長短變化，加上雨量資料轉換成標準常態分佈之量值，方便乾旱整體空間之比較，於時間、空間尺度之自由度相對其他指標較高，因此本研究選擇標準化降雨指標作為乾旱指標，繪製1998至2018年7月中旬為止、3種累積雨量(連續6旬、9旬、12旬累積雨量之SPI值，各表示為SPI6、SPI9及SPI12)之全臺灣每旬之氣象乾旱指標示意圖。

為了研究本文建置之全臺氣象乾旱指標是否能真實反映實際乾旱現象，將挑選1998-2018年，SPI6、SPI9、SPI12時間序列中較嚴重的事件作案例分析，與實際發生之旱災紀錄進行比較。

二、資料與研究方法

(一) 測站之選取依據

依據陳等(2015)之測站選取準則，以測站均勻分布於全臺各縣市，且每月之時雨量紀錄至少達85%之測站為挑選對象，且因中央氣象局在1998年以後才將自動氣象站擴展設置到東部，自此氣象站才能全臺灣均勻設置，故本研究選取1998年為氣象乾旱指標建置之起始年。

而本文採用之雨量測站主要分為二類：第一類為從1998年以前設站至今持續有觀測的自動雨量站，共169站；第二類為因環境因素造成中途需要遷移或儀器需升級及淘汰，使得資料需要被銜接的測站，共149站。故測站總數有318站，均勻分布於全臺灣，如圖1所示。

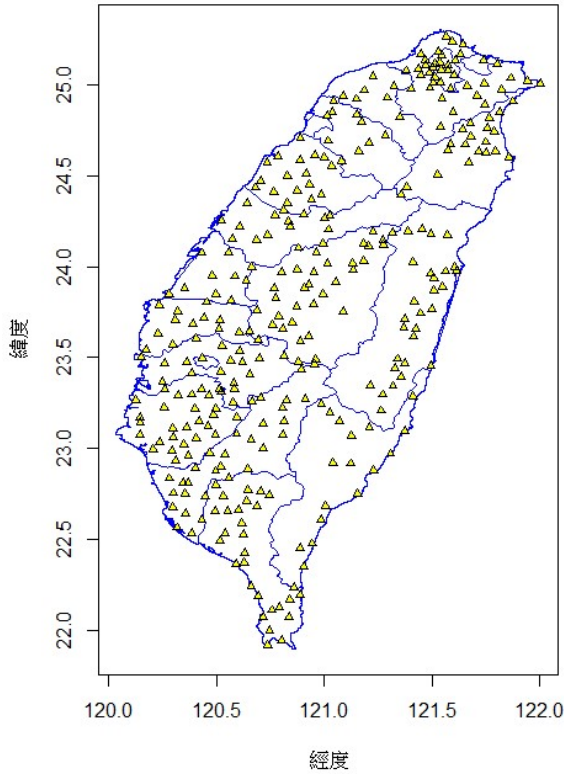


圖1 本研究採用之雨量測站分布圖

(二)標準化降雨指數(SPI)

如前言所述，McKee et al. (1993)提出之標準化降雨指數具有計算簡單、僅需單一時序變數(降雨量)、可調整時間尺度以及具有統計上之意義，因此被廣泛應用於乾旱分析上；SPI乾旱指標分級如表1所示，當SPI呈現負值即代表該測站降雨較平常年少。本文將SPI指標分為連續6旬、9旬、12旬之累積雨量SPI值：SPI6、SPI9與SPI12，此三種SPI值將代表短期、中期、中長期之降雨趨勢。

表1 SPI值對應之乾旱等級

SPI 值	乾旱等級 (drought category)	對應機率(%)
0 to -0.99	輕微乾旱 Mild drought	34.1
-1.00 to -1.49	中度乾旱 Moderate drought	9.2
-1.50 to -1.99	嚴重乾旱 Severe drought	4.4
-2 or less	極端乾旱 Extreme drought	2.3

以6旬為累積時間尺度之降雨資料計算SPI，當某旬之降雨量低於平常值時，此時SPI6並不會顯示

出明顯的負值，必須要異常降雨短缺的情形持續數個旬，才會出現SPI6低於零的情形，此現象即SPI指標能反映出乾旱的潛變(creeping)特性(朱等, 2015)，藉由此特性，配合本研究建置之全臺灣每旬之氣象乾旱指標示意圖，可看出哪些地區極有可能面臨乾旱危機。

以下將介紹標準化降雨指標SPI之計算流程：

1. 將降雨資料整理成旬雨量資料，並分別累計不同時間尺度(3、6和9旬)之各旬累積雨量值。
2. 以伽瑪分布(Gamma Distribution)配適3個累積時間尺度之各旬累積雨量值，以本研究為例，一年有36個旬，總共有21年(1998-2018)，因此每個旬將以最多21筆累積雨量值進行伽瑪分布配適。伽瑪分布與其參數可表示如下：

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

其中 x 為降雨量($x>0$)、 α 為形狀參數($\alpha>0$)、 β 為尺度參數($\beta>0$)、 $\Gamma(\alpha)$ 為Gamma函數：

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

參數 α 與 β 之推估值可由最大似法求得如下：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

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

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (5)$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (6)$$

其中 n 為資料筆數。

3. 將各旬累積雨量值轉換成標準常態分布(Standard Normal Distribution)之量值，其值即SPI。先求取伽瑪分布之累積機率值，其累積機率密度函數(CDF)如下：

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (7)$$

將伽瑪分布之累積機率值帶入標準常態分布求取其量值，轉換後之值其平均值為0、標準差為1。

McKee et al. (1993)提出SPI時，定義SPI值小於0為乾旱的起點，而SPI值小於-1.0後出現正的SPI值時，為一場乾旱事件的終點。

三、研究成果

(一)臺灣氣象乾旱指標建置

本研究採用全臺318個氣象站，欲繪製每一旬其SPI6、SPI9與SPI12之氣象乾旱指標示意圖，繪製年份自1998年至2018年7月中旬。因SPI6為連續累積6旬之雨量值轉換而來，因此其發布時間必須從1998年第6個旬開始(即1998年2月下旬)；以此類推，SPI9之發布時間從1998年3月下旬開始，SPI12之發布時間從1998年4月下旬開始。

圖2為2018年5月中旬、下旬其SPI6、SPI9及SPI12之氣象乾旱指標示意圖，由此圖可看出至5月下旬為止之短期、中期、中長期之降雨趨勢，並展示

不同時間尺度下之乾旱等級；於5月中旬時，SPI6在中南部大部分測站呈現輕微和中度乾旱等級，其餘已進入嚴重乾旱至極端乾旱階段，而SPI9之輕微乾旱等級測站明顯比SPI6多，SPI12之嚴重乾旱等級測站則零星分散在西北和東部，大部分測站只有輕微至中度乾旱等級；但進入5月下旬時，SPI6、SPI9與SPI12幾乎全臺測站都進入嚴重乾旱至極端乾旱的階段，顯示5月下旬降雨短缺的情形相當嚴重。

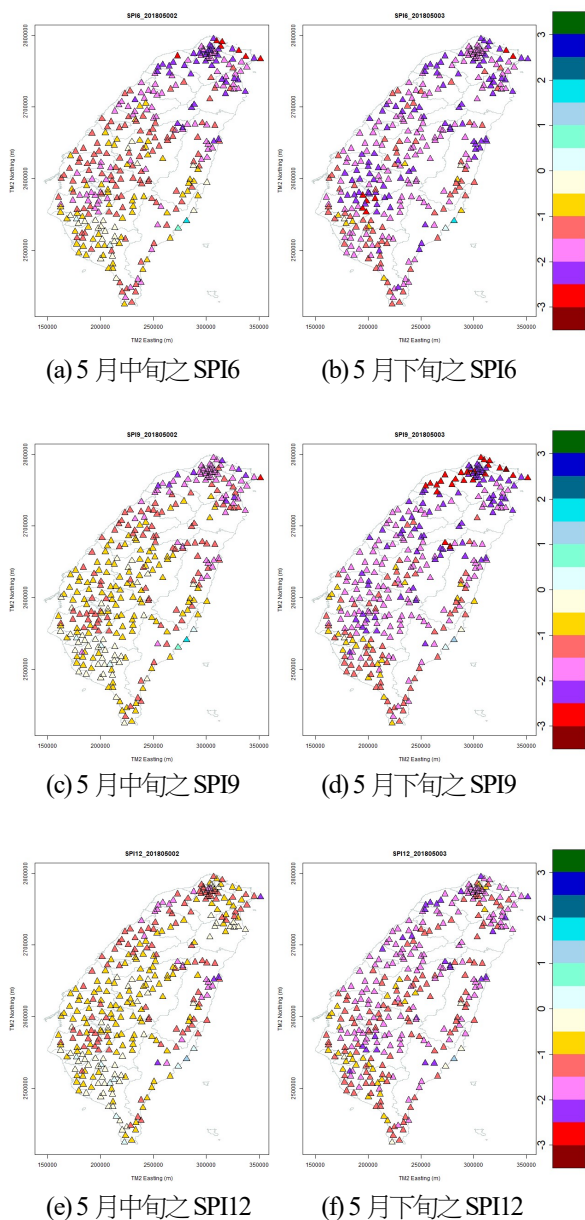


圖2 SPI6(上)、SPI9(中)及SPI12(下)之氣象乾旱指標示意圖 (2018年5月中旬至5月下旬，右邊之刻度表為SPI數值，可對照表1所示之乾旱等級)

(二)事件案例分析

本研究將全臺318個測站分成北部(臺北、新北、基隆、桃園、新竹)56個測站、中部(苗栗、臺中、彰化、雲林、南投)90個測站、南部(嘉義、台南、高雄、屏東)106個測站、東部(宜蘭、花蓮、台東)66個測站，並將北部、中部、南部、東部、全臺灣測站其SPI6、SPI9及SPI12之各旬平均值整理為時間序列，其時間序列結果如圖3至圖5所示。

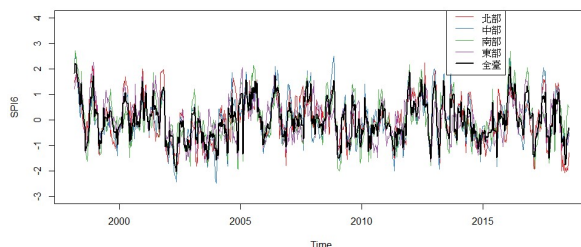


圖3 各旬SPI6之區域平均值時間序列

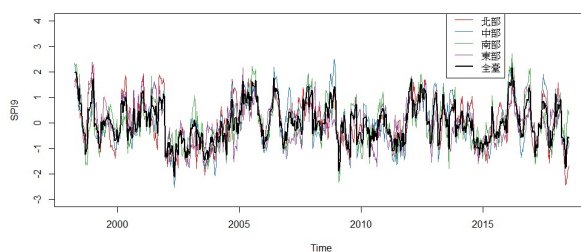


圖4 各旬SPI9之區域平均值時間序列

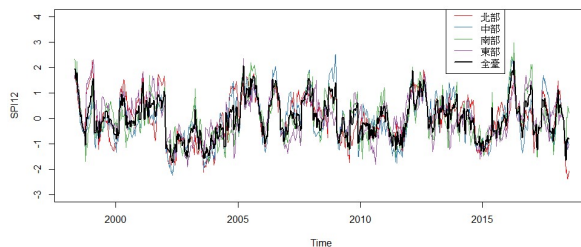


圖5 各旬SPI12之區域平均值時間序列

由SPI6之各旬區域平均值時間序列圖可看出，北、中、南、東部區域之趨勢與全臺之趨勢一致，而SPI9、SPI12之各旬區域平均值也呈現一樣的情況，故本研究以全臺測站之各旬SPI平均值時間序列來找出乾旱事件。由圖3至圖5可看出幾個在SPI6、SPI9、SPI12測站平均值時間序列裡已達中度乾旱等級的乾旱時期(SPI12的數值變化較SPI6、SPI9小，因SPI的值會受到累積雨量的資料筆數影響；資料筆數越長，單一資料之影響程度越小)；較顯著之乾旱時期有2001年11月下旬至2004年6月下旬、2009年1月上旬至2009年2月下旬、2009年5月下旬至2009年7月下旬、2011年4月下旬至2011年10月下旬、2014年10月上旬至2015年8月中旬、2017年1月下旬至2017年5月

下旬、2018年4月下旬至2018年7月中旬。其中挑選乾旱持續時間長且較嚴重之2001年11月下旬至2004年6月下旬、2014年10月上旬至2015年8月中旬這兩個時期作事件案例分析。

1. 事件1：2001年11月下旬至2004年6月下旬

圖6為事件1之北部、中部、南部、東部、全臺測站之旬雨量平均值時間序列，對照圖3至圖5之SPI時間序列，發現至2002年5月上旬於SPI6、SPI9之全臺測站平均值已達到極端乾旱的程度(分別為-2.04、-2.12，皆為時間序列裡的最低值)，SPI12之全臺測站平均值(-1.74)亦達到嚴重乾旱等級，此時各區域旬雨量亦為事件之雨量最低值(圖6之紫色圈)，推測乾旱如此嚴重的原因是2002年冬春季至梅雨季都無大量降雨，只有7月分有颱風之少量降雨；第二波乾旱程度之高峰來到2003年8月(各區域旬雨量為圖6之綠色圈)，在8月之3組SPI平均值最小值(分別為-1.55、-1.45、-1.58)達到中度乾旱以上的程度，與2002年情況一致，梅雨季無大量降雨；第3波乾旱則為2004年1月上旬(各區域旬雨量為圖6之藍色圈)，此時SPI6平均值(-1.57)為嚴重乾旱等級，SPI9與SPI12平均值(分別為-1.16、-1.19)則為中度乾旱程度，一直至2004年7月後才有颱風帶來的明顯降雨。事件1之SPI6、SPI9、SPI12測站平均值時間序列與圖6之旬雨量時間序列相當一致，顯示本研究建置之全臺氣象乾旱指標能真實反映事件1之乾旱現象。

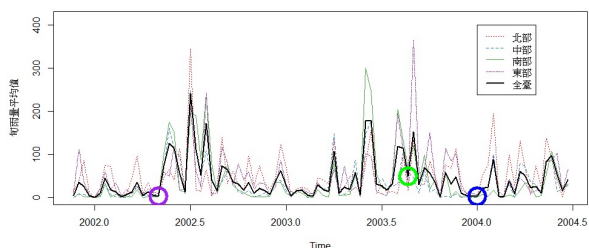


圖6 各區域之測站旬雨量平均值時間序列(事件1)

2. 事件2：2014年10月上旬至2015年8月中旬

圖7為事件2之北部、中部、南部、東部、全臺測站之旬雨量平均值時間序列，至2014年11月下旬於SPI6、SPI9與SPI12之全臺測站平均值已達中度乾旱的程度(分別為-1.36、-1.02、-1.09)，此時各區域旬雨量為事件雨量之第二低值(圖7之紫色圈)，推測乾旱的原因是2014年之颱風季降水不足，一直持續到秋冬季降雨也不多，因此各地逐漸有乾旱的情形發生。事件2之SPI6、SPI9、SPI12測站平均值時間序列與圖7之旬雨量時間序列相當一致，顯示本研究建置之全臺氣象乾旱指標能真實反映事件2之乾旱現象。

以事件案例分析的結果而言，本文建置之每旬全臺氣象乾旱指標示意圖能呈現該旬是否發生乾旱，並能提供氣象局觀測氣象、氣象防災之參考。

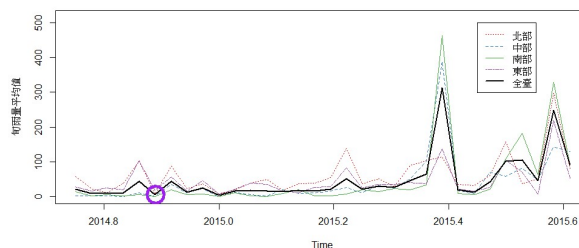


圖7 各區域之測站旬雨量平均值時間序列(事件2)

四、結論

乾旱是一個緩慢產生的自然災害，在發展期間通常不易察覺，因此需要一段時間的觀察才能判定乾旱是否發生，故本研究採用一段時間之累積雨量值來建置全臺氣象乾旱指標。由本研究之成果可得下列結論：

- (一) 本研究所挑選之氣象乾旱指標需能明確反應乾旱程度、計算所需之資料容易取得、計算方法簡易、具有統計意義等條件，而標準化降雨指標(SPI)符合上述條件，故以SPI作為本研究之氣象乾旱指標。
- (二) 本研究以連續6旬、9旬、12旬累積雨量之SPI值(各表示為SPI6、SPI9及SPI12)繪製全臺灣每旬之氣象乾旱指標示意圖，可表現至該旬為止之短期、中期、中長期降雨趨勢。
- (三) 以一段累積時間尺度之降雨資料計算SPI，當某旬之降雨量低於平常值時，此時SPI並不會顯示出明顯的負值，必須要異常降雨短缺的情形持續數個旬，才會出現SPI值低於零的情形，此現象即SPI指標能反映出乾旱的潛變特性。
- (四) 以事件案例分析的結果而言，本研究建置之全臺氣象乾旱指標示意圖能真實反映實際乾旱現象，並能提供氣象局觀測氣象、氣象防災之參考。

五、參考文獻

1. 鄭安孺、李天浩、顧欣怡、高慧萱、陳怡彰, 2011: "即時雨量資料品質檢覆", 建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編, 中央氣象局。
2. 陳品好、沈里音、陳雲蘭, 2015: "臺灣長期氣候資料整集分析"計畫研究(2) — 自動站雨量累計於後記錄值的問題分析及處理", 天氣分析與預報研討會, 中央氣象局。
3. 朱容練、朱吟晨、林士堯、劉俊志、陳永明, 2015: "2014-2015年乾旱事件概述", 國家災害防救科技中心-災害防救電子報第124期, 國家災害防救科技中心。

4. 陳韻如、朱容練、魏曉萍、陳品好、黃柏誠、游保杉, 2011: 台灣地區歷史乾旱特性與乾旱脆弱度之分析, 國家災害防救科技中心技術報告。
5. 朱容練、劉俊志、林士堯、朱吟晨、陳韻如、陳永明, 2015: 乾旱監測與預警系統建置, 國家災害防救科技中心技術報告。
6. Xu, E., 1950: "Theory of annual precipitation normality," *Acta Meteorologica Sinica*, 21(1/4), 17-34
7. Palmer, W. C., 1965: "Meteorological drought," US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC.
8. Shafer, B. and L. Dezman, 1982: "Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas," *Proceedings of the western snow conference*, Colorado State University Fort Collins, CO.
9. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist, 1993: "The relationship of drought frequency and duration to time scales," *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society Boston, MA.