

Analysis on Drought and Waterlogging Characteristics in the Poyanghu Basin Based on *SPEI*

Bin Li^{1*}, Jie Li²

¹Jingdezhen Hydrology Bureau, Jingdezhen Jiangxi

²State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi
Email: *245029972@qq.com

Received: Oct. 7th, 2016; accepted: Oct. 23rd, 2016; published: Oct. 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this study, the meteorological data of 12 meteorological stations from 1955 to 2014 in the Poyanghu basin were used to calculate the standardized precipitation evapotranspiration index (*SPEI*) at different scales and analyze the application of *SPEI* in the basin. At the same time, drought and waterlogging distribution of time and space in Poyanghu basin was analyzed by *SPEI* index. Research results show that *SPEI* is confirmed to be applicable in Poyanghu basin. Precipitation increases in the 1990s which results in increasing flooding. *SPEI* decreases significantly and increases drought in the 2000s. In the 2010s, *SPEI* has a larger fluctuation, severe drought and heavy flooding disasters alternately. Drought in the Poyanghu basin shows an increasing trend in spring and autumn, while precipitation increases in summer. The droughts reduced after 1990s and unchanged in winter.

Keywords

Poyanghu Basin, Drought and Waterlogging, *SPEI*

基于*SPEI*的鄱阳湖流域旱涝特征分析

李 斌^{1*}, 李 洁²

¹江西省景德镇市水文局, 江西 景德镇

作者简介: 李斌, 男, 景德镇市水文局助工, 研究方向为水文干旱。

*通讯作者。

²西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安
Email: *245029972@qq.com

收稿日期: 2016年10月7日; 录用日期: 2016年10月23日; 发布日期: 2016年10月26日

摘要

本次研究采用鄱阳湖流域12个气象站点1955~2014年的气象数据, 计算该流域多重时间尺度的SPEI值, 分析SPEI在该流域的应用情况, 同时基于SPEI分析鄱阳湖流域旱涝特征。研究表明: SPEI指数在鄱阳湖流域适用性较好。流域在90年代降水增多, SPEI值上升, 洪涝灾害增加; 00年代SPEI下降趋势明显, 旱灾增加; 10年代后SPEI波动较大, 重旱和重涝灾害频繁交替。流域春季和秋季干旱呈现增加的趋势; 夏季在90年代以后降水偏多, 洪涝灾害增多, 干旱减少; 冬季无变化。

关键词

鄱阳湖, 旱涝灾害, SPEI

1. 引言

鄱阳湖是目前中国最大的淡水湖泊, 位于长江中下游南岸, 流域面积为 16.2 万平方公里。鄱阳湖纳赣江、抚河、信江、饶河和修水五水系以及博阳河、东河和西河诸河来水, 经鄱阳湖调蓄后由湖口汇入长江, 是一个过水性浅水湖泊。鄱阳湖流域水资源丰富, 多年平均降水量为 1589 mm, 然而流域内降水时空分布不均, 具有明显的季节性和区域性[1]。

由于全球气候变化和人类活动的影响, 导致旱灾和洪涝灾害造成的影响越来越大, 每年造成的经济损失不计其数[2]。近年来, 鄱阳湖流域出现了旱涝急转、枯水期水位连创新低、低水位持续时间延长、水质恶化与湿地生态系统遭受破坏等现象, 引起了社会的广泛关注, 不少学者也积极开展了鄱阳湖的研究[3]。极端气候及其变化对地区经济、社会有广泛而深刻的影响, 尤其是在极端干旱气候情景下, 将会影响鄱阳湖流域内水利工程的正常运行, 导致蓄水和发电矛盾愈发突出, 对下游的生产、生活、环境、生态方面均有影响[4]。

干旱指标是用来描述干旱特征的指标, 不同干旱指标适用的地区与时间尺度也有所不同。干旱指标是研究干旱气候的基础, 也是衡量干旱程度的关键环节[5]。目前应用较多的干旱指标有标准化降水指数(SPI) [6]、帕尔默干旱指数(PDSI) [7]、Z 指数[8]、综合气象干旱指数(CI) [9]、标准化降水蒸散发指数(SPEI) [10]等。本文拟分析 SPEI 在鄱阳湖流域的适用性, 并基于该指数对鄱阳湖进行旱涝特征分析, 探究该地区的气候变化规律, 并为采取应对措施减轻旱涝灾害及其不利影响提供参考依据。

2. 研究资料和方法

2.1. 研究资料

本文研究资料主要为鄱阳湖流域范围内修水、吉安、赣州、鄱阳、景德镇、广昌、南城、贵溪、遂川、宜春、南昌、玉山 12 个气象站点 1955~2014 年的月降雨量资料以及月平均气温资料。资料来源于中国气象科学数据共享服务网, 数据取自国家基本、基准地面气象观测站及自动站。鄱阳湖流域站点分布信息如图 1。

2.2. SPEI 计算方法

增暖背景下单一地分析降水量的变化已不足以解释干旱化及干旱的范围和强度的变化, 增暖已成为干旱加

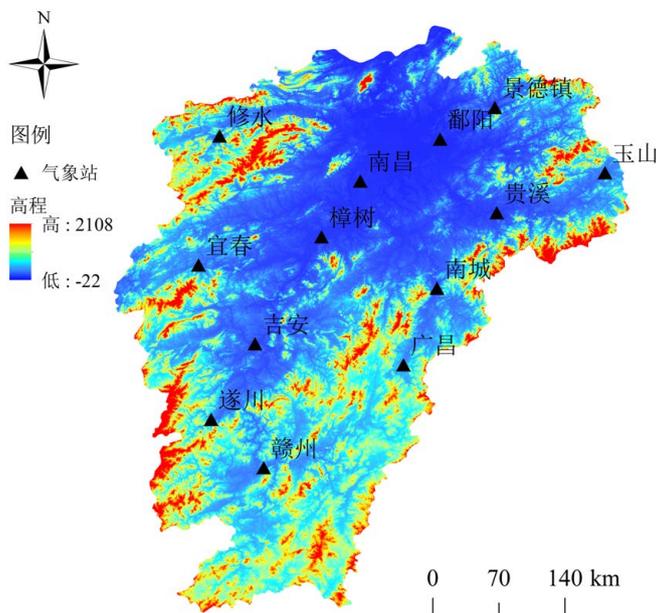


Figure 1. The distribution of the stations in Poyanghu River basin
图 1. 鄱阳湖流域站点分布图

剧的重要因子之一。因此，Vicente-Serrano 等[11]在 SPI 的基础上提出了标准化降水蒸发指数(SPEI)。SPEI 是基于 SPI 的基础上进一步考虑了蒸散发量来反映干旱的程度。

SPEI 是基于 log-logistic 分布的分布频率值。具体计算步骤如下：

首先，采用 Vicente-Serrano 推荐的 Thornthwaite 法[12]计算月潜在蒸发量 P_E ：

$$P_E = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m \tag{1}$$

其中：

$$I = \sum_1^{12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1.51}, \quad m = 6.75 \times 10^{-73} I - 7.71 \times 10^{-5} + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.492 \tag{2}$$

式中： P_E 为月潜在蒸发量， K 为修正系数， T 为月平均气温， I 为年热量指数， m 为常数。Thornthwaite 法仅需要气温就可计算，被广泛应用于干旱和半干旱地区。

第二，计算月水分亏缺量 D_i ：

$$D_i = P_i - P_{Ei} \tag{3}$$

式中： P_i 为月降水量， D_i 为月水分亏缺量， i 为月数。

第三，基于 log-logistic 概率分布函数计算水分亏缺量的概率分布。

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \tag{4}$$

式中： α 、 β 和 γ 分别是尺度参数、形状参数和位置参数，计算公式如下：

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}, \quad \beta = \frac{2w_1 - w_0}{(6w_1 - w_0 - 6w_2)}, \quad \gamma = w_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \tag{5}$$

式中： $\Gamma(\beta)$ 是 Gamma 函数， w_0 、 w_1 和 w_2 为概率权重距。 w_0 、 w_1 和 w_2 计算公式如下：

$$w_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{l-0.35}{n} \right)^s X_i \quad (6)$$

式中： w_s 为概率权重距， n 为月份个数， s 分别为 0、1、2。

第四，对 log-logistic 概率分布函数 $F(x)$ 进行标准化处理。

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (7)$$

令 $P = 1 - F(x)$ ，当 $P \leq 0.5$ 时，参数 $W = \sqrt{-2 \ln P}$ ，

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (8)$$

当 $P > 0.5$ 时， $W = \sqrt{-2 \ln(1-P)}$ ，

$$SPEI = \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} - W \quad (9)$$

其中， $c_0 = 2.515517$ ， $c_1 = 0.802853$ ， $c_2 = 0.010328$ ， $d_1 = 1.432788$ ， $d_2 = 0.189269$ ， $d_3 = 0.001308$ 。 $SPEI$ 干旱等级分类见表 1。

3. 结果与分析

3.1. 鄱阳湖流域 SPEI 适用性及年际变化趋势性分析

分别计算鄱阳湖流域 1 月、3 月、12 月尺度的平均 SPEI 序列如图 2 所示，分析可知，小尺度如 1 月、3 月的 SPEI 序列受 1 次降水影响较大，波动很大；而大尺度 12 月的 SPEI 序列波动则较小，主要受持续降水影响。

SPEI 年际变化趋势如图 3 所示，该序列为 12 月尺度每年的 12 月份 SPEI 值。绘制其趋势线及 10 年滑动平均线。由图 3 可知，鄱阳湖 SPEI 年际变化曲线波动较大，易出现重涝以及重旱的情况。鄱阳湖流域 2012 年 SPEI 值为 1.54，达到 60 年间最大值，查询江西省历年灾害情况可知 2012 年江西省降水量创历年新高。SPEI 年际序列与历史情况相符，因此 SPEI 在鄱阳湖流域具有适用性。

根据趋势线分析鄱阳湖流域 1955 年~2014 年 60 年来整体无明显趋势，但通过 10 年滑动平均线可知，90 年代以后流域 SPEI 序列有一个轻微的上升趋势，降水整体偏多，几乎无干旱情况；在 2000 年以后 SPEI 有一个明显的下降的趋势，旱灾增加，在 2003 年、2007 年、2009 年均有中旱到重旱的情况；2010 年后 SPEI 波动很大，重旱和重涝灾害频繁交替。

图 4 为图 3 序列的 M-K 突变检验曲线，由图可知 1955~2014 年期间鄱阳湖流域并未发生明显突变，分析图中 UF 曲线可知，鄱阳湖流域 SPEI 在 90 年代以后有一个上升的趋势到 2000 以后又逐渐下降这与图 3 分析

Table 1. Drought grades classified with SPEI

表 1. SPEI 干旱分级

干旱程度	特旱	重旱	中旱	轻旱	无旱
SPEI	$SPEI \leq -2$	$-2 < SPEI \leq -1.5$	$-1.5 < SPEI \leq -1$	$-1 < SPEI \leq -0.5$	$-0.5 < SPEI \leq 0.5$
	轻涝	中涝	重涝	特涝	
	$0.5 < SPEI \leq 1$	$1 < SPEI \leq 1.5$	$1.5 < SPEI \leq 2$	$SPEI \geq 2$	

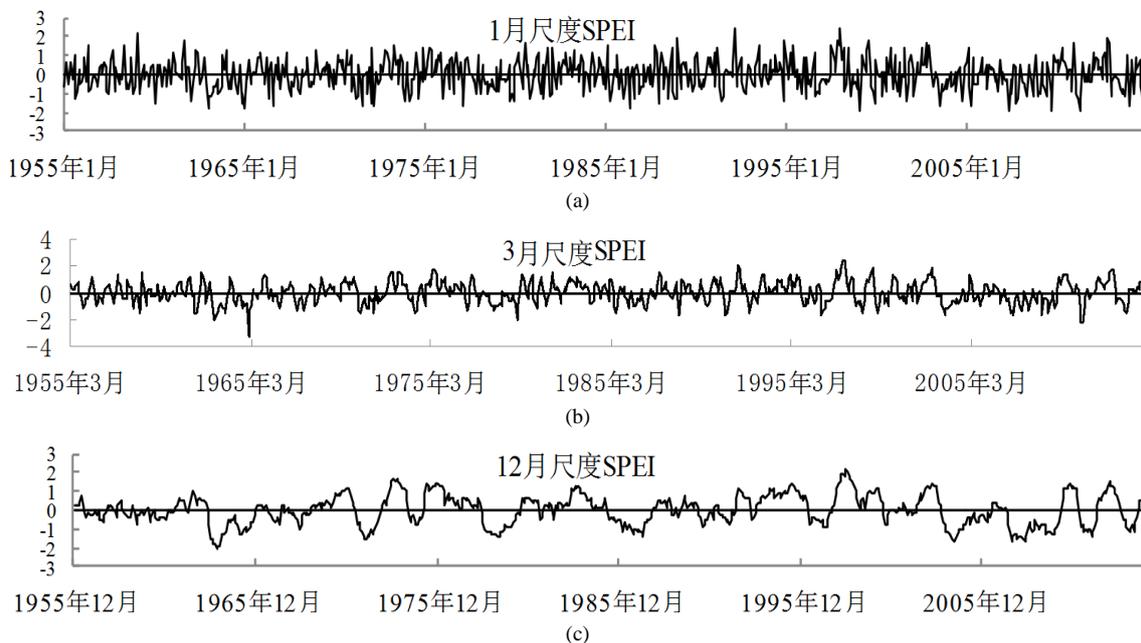


Figure 2. Different scales of SPEI series (a, b, c respectively for 1, 3, 12 monthly scale)
 图 2. 不同尺度 SPEI 序列(a、b、c 分别为 1 月、3 月、12 月尺度)

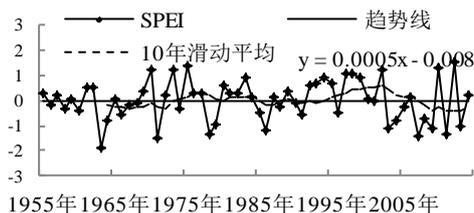


Figure 3. Inter-annual variation of SPEI index
 图 3. SPEI 年际变化趋势图

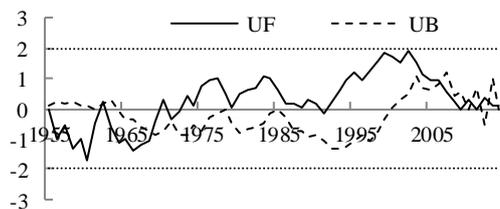


Figure 4. Mann-Kendall test curve (The dotted line is the critical level of 0.05 significance level)
 图 4. M-K 突变检验曲线(虚线为 0.05 显著性水平临界线)

趋于一致。

3.2. 流域不同季节 SPEI 值年际变化特性

分别计算鄱阳湖流域各季节 3 月尺度 SPEI，以分析流域干旱灾害的季节性。本文中春季取每年的 3 月、4 月和 5 月，夏季取 6 月、7 月和 8 月，秋季取 9 月、10 月和 11 月，冬季取 12 月及次年的 1 月和 2 月。图 5 分别为春、夏、秋、冬四个季节的 SPEI 序列变化趋势。图 6 为该系列突变检验曲线。由图 5 可知，春季 SPEI 序

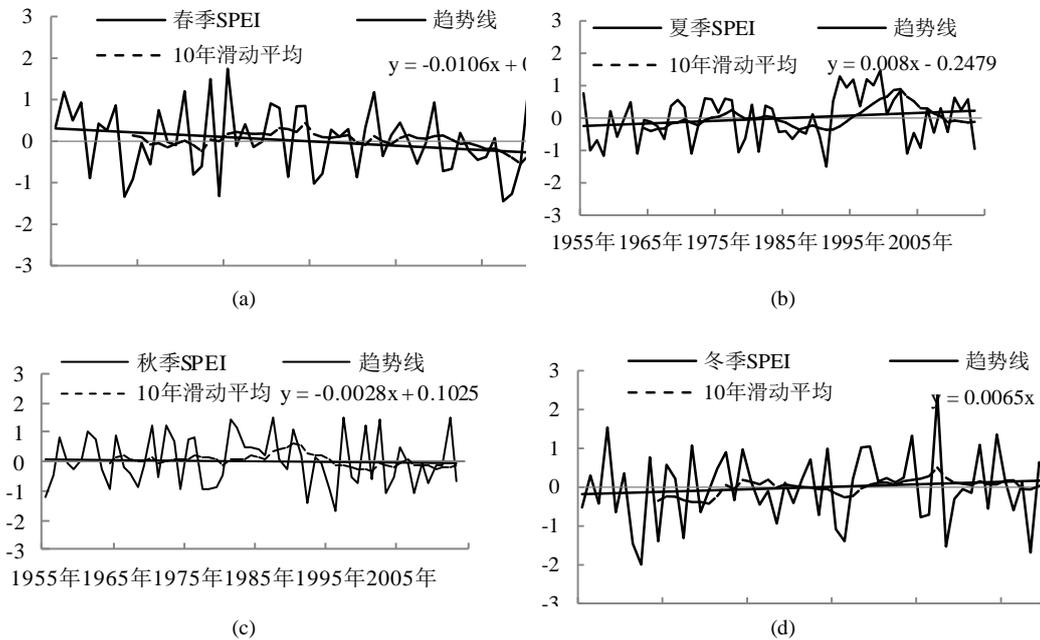


Figure 5. Variation hydrograph of SPEI at seasonal scales
图 5. 各季节 SPEI 序列变化趋势图

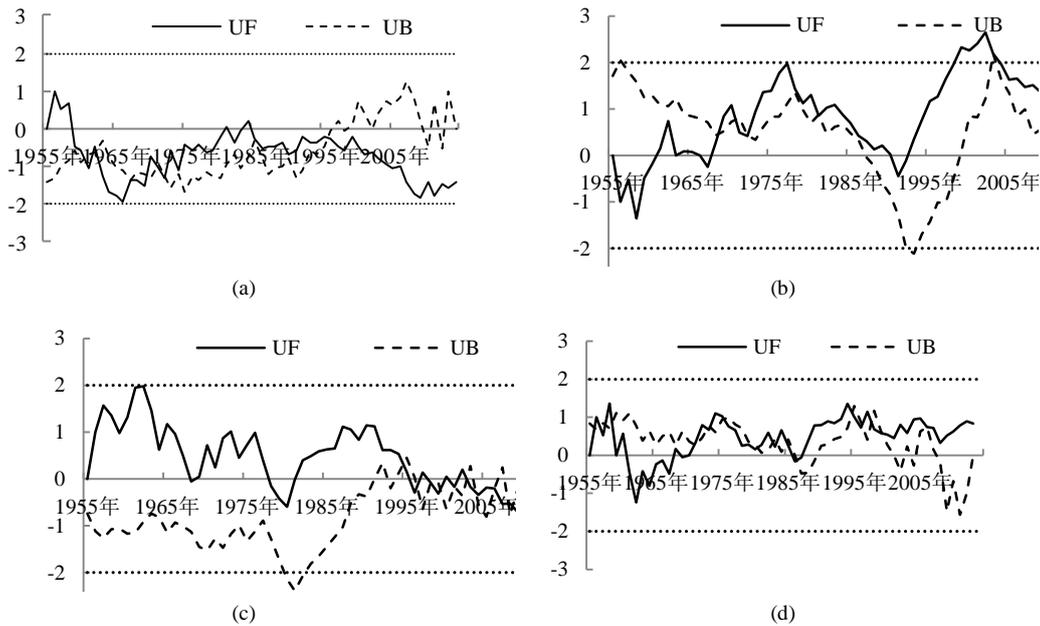


Figure 6. M-K test curve of SPEI at seasonal scales
图 6. 各季节 SPEI 序列 M-K 突变检验曲线

列有一个明显下降的趋势，平均每 10 年下降 0.1；秋季的 SPEI 序列有一个轻微的下趋势；夏季和冬季则有一个轻微的上升趋势，然而趋势性都不明显。分析图 6 可知，春、夏、秋、冬四个季节的突变检验曲线均无突变，与上述分析结果一致。图 6(a)中 UF 线整体呈现下滑的趋势；图 6(b)中 UF 线波动剧烈，在 90 年代以后有一个快速的上升趋势，在此期间鄱阳湖夏季整体降水增多，干旱减少，洪涝增多；图 6(c)中 UF 曲线也呈现下滑的趋势，秋季干旱增多；图 6(d)中 UF 曲线无明显波动，也无明显变化趋势。

4. 结论

1) SPEI 指数在鄱阳湖流域适用性较好。鄱阳湖流域 SPEI 序列在 90 年代有一个轻微的上升趋势,降水增多,洪涝灾害增加;在 21 世纪 00 年代下降的趋势明显,旱灾增加,其中在 2003 年、2007 年、2009 年均有中旱到重旱的情况;在 21 世纪 10 年代后 SPEI 波动很大,重旱和重涝灾害频繁交替。

2) 鄱阳湖流域春季干旱明显剧烈增加,秋季干旱也呈现增加的趋势;夏季在 90 年代以后降水偏多,洪涝灾害增多,干旱减少;冬季无变化。

参考文献 (References)

- [1] 胡振鹏, 林玉茹. 气候变化对鄱阳湖流域干旱灾害影响及其对策[J]. 长江流域资源与环境, 2012(7): 897-904.
HU Zhenpeng, LIN Yuru. Analysis of relationship between climate change and drought disasters in the Poyanghu Basin and study of the drought-relief measures. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012(7): 897-904. (in Chinese)
- [2] 洪兴骏, 郭生练, 马鸿旭, 刘德地. 基于 SPI 的鄱阳湖流域干旱时空演变特征及其与湖水位相关分析[J]. 水文, 2014(2): 25-31.
HONG Xingjun, GUO Shenglian, MA Hongxu and LIU Dedi. Spatial and temporal analysis of drought and its relationship with water level of Poyanghu. Journal of China Hydrology, 2014(2): 25-31. (in Chinese)
- [3] 罗蔚, 张翔, 邓志民, 肖洋. 近 50 年鄱阳湖流域入湖总水量变化与旱涝急转规律分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013(5): 845-856.
LUO Wei, ZHANG Xiang, DENG Zhimin and XIAO Yang. Variation of the total runoff into Poyang Lake and drought-flood abrupt alternation during the past 50 years. Journal of Basic Science and Engineering, 2013(5): 845-856. (in Chinese)
- [4] 陈昌春. 变化环境下江西省干旱特征与径流变化研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2013.
CHEN Changchun. Drought characteristics and alterations of runoff in a changing environment in Jiangxi Province. Nanjing: Nanjing University, 2013. (in Chinese)
- [5] 王劲松, 郭江勇, 周跃武, 等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007(1): 60-65.
WANG Jinsong, GUO Jiangyong, ZHOU Yuewu, et al. Progress and prospect on drought indices research. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 60-65. (in Chinese)
- [6] MCKEE, T. B., DOESKIN, N. J. and KIEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. American Meteorological Society, 1993: 179-184.
- [7] 范嘉泉, 郑剑非. 帕尔默气象干旱研究方法介绍[J]. 气象科技, 1984, 12(1): 63-71.
FAN Jiaquan, ZHEN Jianfei. Introduction of palmer meteorological drought research methods. Meteorological Science and Technology, 1984, 12(1): 63-71. (in Chinese)
- [8] 曹永强, 路璐, 张兰霞, 等. 基于 Z 指数的辽宁省气象干旱时空特性分析[J]. 资源科学, 2012(8): 1518-1525.
CAO Yongqiang, LU Lu, ZHANG Lanxia, et al. Spatio-temporal characteristics of meteorological drought in Liaoning province based on Z index. Resources Science, 2012, 34(8): 1518-1525. (in Chinese)
- [9] 张调风, 张勃, 王有恒, 刘秀丽, 安美玲, 张建香. 基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析[J]. 生态学报, 2013(3): 975-984.
ZHANG Diaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, LIU Xiuli, AN Meiling and ZHANG Jianxiang. Drought characteristics in the Shiyang River basin during the recent 50 years based on a composite index. ACTA Ecologica Sinica, 2013(3): 975-984. (in Chinese)
- [10] 苏宏新, 李广起. 基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系[J]. 生态学报, 2012(17): 5467-5475.
SU Hongxin, LI Guangqi. Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing. ACTA Ecologica Sinica, 2012(17): 5467-5475. (in Chinese)
- [11] VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S. and LÓPEZ-MORENO, J. I. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 2010(23): 1696-1718.
<http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- [12] THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review, 1948(38): 55-94.
<http://dx.doi.org/10.2307/210739>