

# 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

洪兴骏<sup>1</sup>, 郭生练<sup>1</sup>, 马鸿旭<sup>1</sup>, 刘德地<sup>1,2</sup>

(1.武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室 水资源安全保障湖北省协同创新中心,湖北 武汉 430072;  
2.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098)

**摘要:**以标准化降水指数(SPI)为工具,以鄱阳湖流域为研究对象,选择流域内 13 个气象站共 50a 的逐月降水量和 5 个水位站共 50a 的逐日水位为实验数据,通过 Mann-Kendall 检验方法和 Kriging 插值方法,分析了鄱阳湖流域干旱的时空演变特征,以 Spearman 秩相关系数为评价指标,比较了流域不同时间尺度的 SPI 值与各站湖水位、不同时间尺度干旱强度与各站年最低水位之间的相关程度。研究表明:鄱阳湖流域的干旱具有明显的季节性特征,春季和秋季具有较为明显的干旱化趋势;鄱阳湖的干旱覆盖面较广,干旱在不同区域内的不同时期都有可能发生和转移;鄱阳湖流域的气象干旱对湖水位具有较为显著的相关性,湖水位对 3 个月尺度和 6 个月尺度的 SPI 值响应最为明显,其与湖水位的相关程度,自近出湖口地区向远离湖口地区递增。

**关键词:**鄱阳湖;SPI;干旱特征;时空分析;水位

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)02-0025-07

干旱是一种发生频率高、持续时间长、波及范围广泛的自然灾害,对国民经济特别是农业生产具有重大影响。美国气象学会在总结各种干旱定义的基础上,将干旱分为四种类型:气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱,其中气象干旱表现为降水减少或无降水,其他的三种干旱的形成都与气象干旱有一定的关系<sup>[1]</sup>。

湖泊是地球表层系统各圈层相互作用的连接点,是陆地水圈的重要组成部分,除具有调蓄洪涝、引水灌溉、饮用水源地、净化水体水质和水产养殖等基本功能外,还具有调节区域气候、记录区域环境变化、维持区域生态系统平衡和繁衍生物多样性等特殊功能<sup>[2-3]</sup>。近年,受区域气候变化和人类活动干扰,我国大量的湖泊出现了萎缩和干涸现象<sup>[2]</sup>,湖泊功能也呈现出不同程度的退化。据不完全统计,目前我国湖泊面积仅为 20 世纪 50 年代的 15%左右<sup>[3]</sup>。因此,系统地分析湖泊干旱的特征,量化干旱对湖泊的影响,具有重要的理论和现实意义。国内外众多学者针对这一问题,开展了一些研究。

周祥林(2006)提出一种基于响应单元的干旱分析

方法,并运用到太湖流域的干旱分析中<sup>[4]</sup>。白爱娟等(2011)通过分析青海湖流域及周边地区潜在蒸散发量的变化特征及其与其他气象因子的关系,讨论了潜在蒸散发量对青海湖流域干旱气候的影响<sup>[5]</sup>。Myronidis 等(2012)利用 Mann-Kendall 趋势性检验对地中海 Dorian 湖的标准化降水指数 SPI 进行了分析,并探讨了湖水位的振荡与 SPI 的关系<sup>[6]</sup>。目前的研究主要存在以下不足:一部分方法计算所需的资料不易获取或者暂无大量的实测资料,需要通过估算获得;一部分方法从机理或者精度控制的角度考虑,需要多种资料进行信息的汇总,计算方法较为复杂;一部分方法仅从单一时间尺度或者仅从时间和空间中的一个角度进行分析,结果较单薄,缺乏系统性。

基于此,本文拟利用我国鄱阳湖流域 13 个气象站 1958~2007 年的逐月降水量数据,计算各站及流域 1,3,6,12,24 个月不同时间尺度的标准化降水指数(SPI);采用 Mann-Kendall 检验方法,分析不同时间尺度下各站 SPI 值的趋势变化特征;分析流域不同区域 SPI 值的演变规律;探讨流域 SPI 值与鄱阳湖区 5 个水

收稿日期:2013-03-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51079100,51190094);水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放研究基金项目(2012490611)

作者简介:洪兴骏(1989-),男,广东梅州人,硕士研究生,主要从事水文学及水资源方面的研究。E-mail: hongxingjun1989@gmail.com

位站 1958~2007 年水位变化过程的关系,以此来评估干旱对湖泊的影响。

## 1 研究区域与资料

鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,位于长江中下游南岸,控制流域面积达 162 225km<sup>2</sup>,占长江流域面积的 9%。鄱阳湖汇聚赣江、抚河、信江、饶河、修水五大水系,经湖盆调蓄后,由湖口注入长江。

鄱阳湖对长江中下游地区的水安全和生态安全影响重大,然而,鄱阳湖流域历来自然灾害频繁,50 年来,洪旱灾害发生的频率有明显的增加趋势<sup>[7-8]</sup>。虽然水网比较密集,但是近年来,鄱阳湖流域正面临着严重的干旱问题,枯水程度加剧,最低水位不断被刷新<sup>[9]</sup>,给鄱阳湖流域和长江中下游地区造成了重大的经济损失。另外,三峡水库在不同季节的蓄水或放水,也在一定程度上影响了鄱阳湖流域的干旱几率<sup>[10]</sup>。

本文以鄱阳湖流域 13 个气象站(修水、宜春、吉安、遂川、赣州、波阳、景德镇、南昌、樟树、贵溪、玉山、南城、广昌)1958~2007 年共 50a 的逐月降水量和 5 个水位站(湖口、星子、都昌、棠荫、康山)1958~2007 年共 50a 的逐日水位为实验数据,站点的分布见图 1,数据主要来自中国气象局国家气象信息中心和江西省水文局。

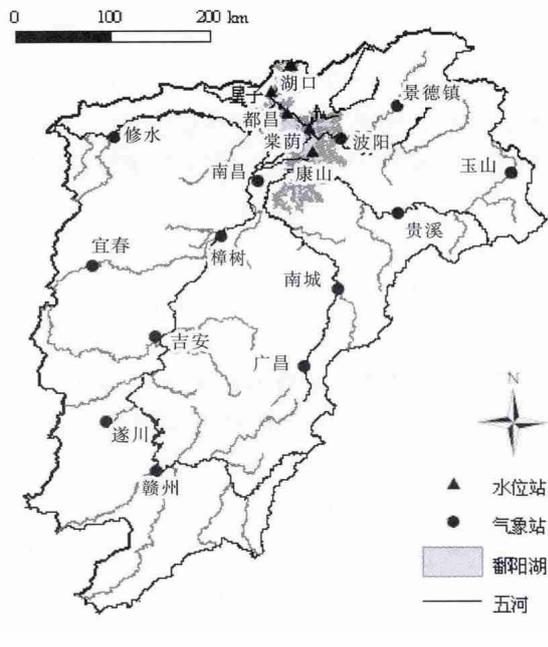


图 1 鄱阳湖流域气象站和水位站点分布图

Fig.1 Spatial distribution of the meteorological and water stage gauging stations in the Poyang lake basin

## 2 研究方法

### 2.1 干旱指标的计算

干旱指标是研究干旱气候的基础,也是衡量干旱程度的标准和关键环节,本文选取 Mckee 等在研究美国科罗拉多干旱状况时提出的标准化降水指标 SPI(Standard Precipitation Index)<sup>[11]</sup>。该指标具有只需较长时间(一般应超过 30a)的降水量资料,消除了降雨时空差异,对干旱变化反应敏感,适用于多时间尺度等优点。用合适的分布函数去拟合某一时间尺度的降雨,是 SPI 值计算的核心。洪兴骏等认为 P- 分布是拟合鄱阳湖流域各时间尺度降水的最适宜分布<sup>[12]</sup>,假设某一时段( $t=1, 3, 6, 12, 24$  个月)的降水量为  $x$ , 则其概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} (x-a_0)^{\alpha-1} e^{-(x-a_0)/\beta} \quad (\alpha > 0, \beta > 0, a_0 < x) \quad (1)$$

具体的计算方法见文献[12],在此不再赘述。通过标准正态化后,如果计算得到的  $SPI < 0$ ,则表示该月某一时间尺度的 SPI 值相对于序列同期平均水平较低,即出现干旱情况;反之,则呈现湿润特征。

### 2.2 干旱趋势的分析

Mann-Kendall 检验法是一种常用的非参数趋势检验方法,由于其不受样本数量、分布类型等的限制,而被广泛应用于径流、降雨、蒸散发量等水文气象时间序列的分析之中。Moradi 等 (2011)<sup>[13]</sup> 及 Sousa 等 (2011)<sup>[14]</sup> 将它成功应用于干旱指标时间序列的研究中。其计算过程如下<sup>[15]</sup>,对于一个有  $n$  个样本的时间序列  $x$ ,构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^{k-1} r_i, \quad (k=2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中:

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i < x_k \\ 0, & x_i \geq x_k \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, k-1) \quad (3)$$

构造以下统计量来进行无显著性趋势的假设检验:

$$Z = \frac{\tau}{\sqrt{Var(\tau)}} \quad (4)$$

$$\text{式中: } \tau = \frac{4 \sum_{k=2}^n S_k}{n(n-1)} - 1, \quad Var(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}.$$

当  $n$  逐渐增大,该统计量逐渐接近于标准正态分布。给定显著性水平  $\alpha$ ,根据样本容量查表得临界值,

如果 $|Z| > Z_{\alpha/2}$ , 表明应该拒绝序列没有显著趋势的原假设, 其中 $Z > Z_{\alpha/2}$  表明具有显著的增加趋势,  $Z < -Z_{\alpha/2}$  表明具有显著的减少趋势。

### 2.3 干旱与湖水位相关分析

干旱对湖水位的影响, 突出地表现在对湖水位的影响。时段平均水位和年最低水位, 是描述湖泊干旱情况的两个重要特征水位。本文选取溯出湖口而上的 5 个水位站点(依次为湖口、星子、都昌、棠荫、康山), 采用 Spearman 秩相关系数来计算其 1958~2007 年逐年不同时间段(包括四季、干湿期、全年)的逐月平均水位振荡过程与鄱阳湖流域相应时间段的不同时间尺度( $t=1, 3, 6, 12, 24$  个月)的 SPI 变化过程的相关关系, 其中鄱阳湖的干期指 10 月至次年 3 月, 湿期指 4 月至 9 月。相关系数表达式如下:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - Q_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

式中: $R_i$  为流域某站某一时间段内某一时间尺度的 SPI 值在所在序列中的秩次,  $Q_i$  为相应时间段内各水位站月平均水位在所在序列中的秩次,  $|r_s|$  越接近 1, 表明两变量间的相关程度越高。

干旱灾害, 还具有累积效应。严重的干旱持续时间越长, 对生产生活的影响无疑更大, 认为当  $SPI < -1.00$ , 呈现出明显的干旱特征, 从某时刻( $t_1$ )SPI 值开始小于  $-1.00$  开始, 至某时刻( $t_2$ )SPI 值重新大于  $-1.00$  为止, 称为一次干旱事件。 $t_2 - t_1$  称为干旱历时。定义某一时段的干旱强度计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^D SPI^{(j)}_{it} / T, \quad (SPI^{(j)}_{it} < -1.00, j=1, 3, 6, 12, 24) \quad (6)$$

式中: $n$  为全年所有干旱事件数;  $t=1$  为某次干旱开始(即  $SPI < -1.00$ )的时刻,  $D$  为其结束的时刻;  $T$  为时段内干旱总历时, 为各干旱历时之和。同样采用相关系数来衡量不同时段逐年干旱强度与各站逐年最低水位的相关程度。

## 3 结果与分析

### 3.1 鄱阳湖流域干旱时空演变特征分析

#### 3.1.1 鄱阳湖流域干旱趋势特征分析

本文分别计算了鄱阳湖流域 13 个气象站以及整个鄱阳湖流域 1958~2007 年 1, 3, 6, 12, 24 个月尺度的 SPI 序列, 其中流域面降水量的合成由 13 个站点雨量算术平均计算而得。用 Mann-Kendall 方法检验了各站点各月不同时间尺度 SPI 序列的趋势性, 以  $\alpha_1=0.10$  作为具有轻微趋势的置信水平, 以  $\alpha_2=0.05$  作为具有较显著趋势的置信水平, 查表得其临界值分别为  $U_{\alpha_1/2} = \pm 1.645$  和  $U_{\alpha_2/2} = \pm 1.960$ 。

不同时间尺度的 SPI 值对降水量变化的敏感性不同, 短时间尺度的 SPI 值对一次降水变化更为敏感, 而只有持续的降雨异常会使长时间尺度的 SPI 值产生波动<sup>[9]</sup>。下面分别以 1 个月尺度和 12 个月尺度的 SPI 为例, 分析鄱阳湖流域干旱的趋势特征。所有站点 1 个月尺度和 12 个月尺度 SPI 的 M-K 检验结果分别见表 1 和表 2。

表1 1个月尺度SPI的M-K检验结果表  
Table1 M-K test results of 1-month SPI

站点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
修水	2.886**	0.343	-0.811	-0.059	-1.865*	-0.309	1.046	-0.176	-0.209	-0.477	0.042	-0.644
遂川	1.798*	1.297	-0.025	0.142	-0.276	-0.276	1.614	2.116**	0.560	-1.414	-0.276	-0.109
赣州	1.581	1.481	0.494	0.025	-0.092	-1.614	1.665*	0.945	0.109	-1.564	-0.393	-0.427
宜春	1.113	-0.059	-1.246	-0.293	-1.832*	0.744	-0.025	1.246	0.678	-0.795	-0.376	-0.176
吉安	2.233**	1.062	0.544	0.109	-1.163	0.192	0.109	1.497	-0.109	-0.778	-0.494	-0.494
南昌	2.618**	0.744	0.410	0.243	-1.230	0.326	0.811	2.066**	-0.243	0.008	0.560	0.159
樟树	1.999**	0.828	-0.259	-0.744	-1.163	1.832*	1.213	1.681*	1.648*	-0.142	-0.276	0.176
南城	1.665*	0.828	0.226	-0.008	-1.932*	0.744	1.815*	1.464	0.594	-0.360	-0.309	-0.560
广昌	1.514	0.828	0.510	0.192	-1.079	-0.192	0.326	1.581	-0.544	-1.129	-1.062	-0.477
贵溪	1.414	0.293	0.694	0.393	-0.577	0.678	-0.125	2.284**	-1.113	-1.681*	0.510	0.309
玉山	2.451**	0.042	-0.059	0.075	-2.033**	0.778	0.159	1.631	-0.795	-0.945	0.661	0.376
景德镇	2.702**	0.008	-0.008	-0.728	-0.862	0.995	1.179	1.414	-1.096	0.744	-0.042	-0.109
波阳	2.970**	-0.443	0.276	-0.594	-1.280	-0.711	0.594	0.761	0.594	0.142	0.025	-0.008

注:表中标“\*”表示有轻微趋势;标“\*\*”表示有显著趋势

表2 12个月尺度SPI的M-K检验结果表  
Table2 M-K test results of 12-month SPIs

站点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
修水	0.240	0.258	0.378	0.120	0.223	0.412	0.103	0.206	0.412	-0.069	-0.137	-0.159
遂川	1.288	1.219	1.185	1.065	1.254	1.357	1.426	1.477	1.305	1.271	1.219	1.113
赣州	0.773	0.653	0.086	-0.052	0.326	0.532	0.601	0.618	0.532	0.481	0.240	0.443
宜春	0.498	0.532	0.412	0.395	0.567	0.773	0.584	0.481	0.429	0.378	0.344	0.243
吉安	0.928	1.151	0.670	0.532	0.928	1.065	0.928	0.979	1.374	1.202	1.065	1.163
南昌	2.284**	2.370**	2.113**	2.147**	2.216**	1.340	1.529	1.443	1.511	1.288	1.529	1.698*
樟树	2.078**	2.233**	2.284**	2.267**	2.302**	1.752*	1.838*	2.027**	1.924*	1.666*	1.735*	1.949*
南城	1.597	1.357	1.615	1.649*	1.580	1.219	0.962	0.859	1.048	0.996	1.099	1.213
广昌	0.361	0.326	0.069	-0.189	0.223	0.017	-0.052	0.086	0.137	0.069	0.103	0.025
贵溪	1.408	1.460	1.700*	1.649*	1.426	1.031	0.928	0.876	0.807	0.790	0.859	0.862
玉山	0.910	0.567	0.824	0.893	1.237	0.412	0.464	0.447	0.378	0.309	0.429	0.594
景德镇	1.374	1.340	1.460	1.460	1.391	0.928	0.945	0.996	0.807	0.790	0.498	0.912
波阳	0.653	0.120	0.103	0.567	0.756	0.670	0.447	-0.086	0.172	0.017	0.172	0.226

注:表中标“\*”表示有轻微趋势,标“\*\*”表示有显著趋势。

由表1可以看出,在1个月尺度上,整个鄱阳湖流域在1月、2月、7月和8月有较一致的湿润化特征,而在5月份、10月份呈现出较为一致的干旱化特征。其中1月份遂川、南城站呈现轻微的湿润趋势,修水、吉安、南昌、樟树、玉山、景德镇、波阳站呈现显著的湿润趋势;7月份赣州、南城站呈现轻微的湿润趋势;8月份樟树站呈现轻微的湿润趋势,遂川、南昌、贵溪站呈现显著的湿润趋势;5月份修水、宜春、南城站呈现轻微的干旱趋势,玉山站呈现显著的干旱趋势;10月份贵溪站呈现轻微的干旱趋势。此外,3月、9月、11月和12月,全区也有接近或超过半数的站点的表现出一定程度的干旱化特征。

从季节上来看,春季和秋季的干旱化趋势比较明显,由于鄱阳湖流域历来遭受秋旱严重<sup>[17]</sup>,这样的演变特征无疑将使抗旱的难度进一步加大。此外,短时间尺度的SPI值与土壤水分有密切联系,5月恰是鄱阳湖流域早稻生长发育的关键时期<sup>[18]</sup>,需水量大,而9~10月则是晚稻和棉花的重要生长期<sup>[17-18]</sup>,因而,鄱阳湖流域所面临的农业干旱问题也较为严重。

从表2中可以看出,在12个月尺度上,鄱阳湖流域各站各月均表现出较为一致的湿润化特征,仅在修水、赣州、波阳和广昌站的个别月份出现了不显著的干旱化特征。其中,位于赣江下游的南昌站和樟树站在上半年基本呈现显著的湿润趋势,下半年则基本呈现轻微的湿润趋势。结果表明,鄱阳湖流域在较大的时间尺度内没有出现降水的明显减少。与1个月尺度的SPI趋势变化对比可知,这是由于各个月份的旱涝变化不一致所致。可见,鄱阳湖流域的干旱呈现较明显的季节性特征,如果不能合理利用水利工程和非工程措施来

调节这种年内降雨分布的不均匀性,同样可能导致旱灾的发生。

### 3.1.2 鄱阳湖流域干旱空间分布特征分析

考虑到干旱的发展与传播,本文选用12个月尺度的SPI值,将研究时间段分为5个时期(即20世纪70年代以前,70年代,80年代,90年代,21世纪以来),采用Kriging插值方法,绘制各时期鄱阳湖流域平均SPI值的空间分布图如图2所示。

从图2可以看出,20世纪70年代以前,鄱阳湖流域整体偏干,干旱程度以流域中部赣江和抚河下游最为严重,东北部饶河流域次之,修水、赣江中上游和信江流域较轻;70年代,流域整体转湿,旱情主要集中在西部的修水上游及中部的赣江中游和抚河地区,并延伸到整个修水、赣江和抚河流域,东部和北部地区旱情有所缓解;80年代,整个鄱阳湖流域再次面临较大范围旱情,重旱区出现在赣江中上游及信江流域;90年代,鄱阳湖流域整体处于较湿润的状况,干旱现象不是非常明显,但湿润程度呈现自北向南递减的情势,赣江和抚河上游相对较早;进入21世纪以来,鄱阳湖流域再次转旱,干旱的程度则自南向北递增,特别值得注意的是,鄱阳湖区成为了干旱程度最高的地区,修水、信江和饶河等三条入汇河流也都出现了不同程度的旱情。这说明鄱阳湖的干旱覆盖面广,流域内的各个区域都可能在不同时期发生干旱。

### 3.2 干旱与鄱阳湖水位的相关分析

分别计算鄱阳湖区自北向南的5个水位站点湖口、星子、都昌、棠荫、康山1958~2007年逐年不同时间段(包括四季、干湿期、全年共7种时间段)的逐月平均水位振荡过程与整个鄱阳湖流域相应时间段的不同

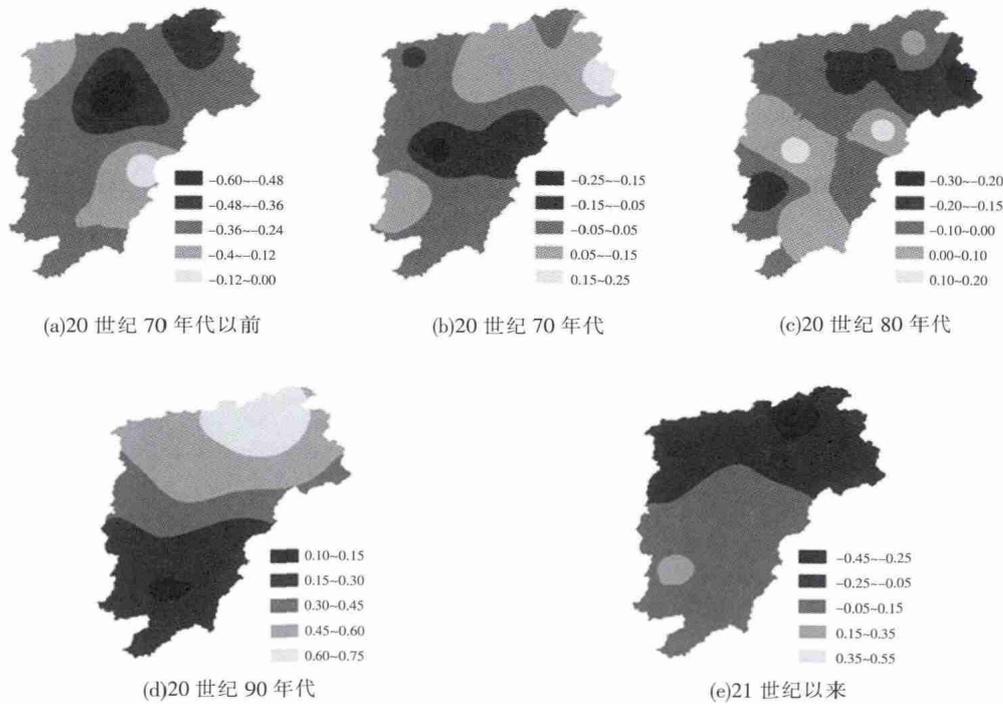


图2 鄱阳湖流域不同时期 12 个月尺度平均 SPI 值分布图  
 Fig.2 Spatial distributions of 12-month average SPI values of different periods in the Poyang lake basin

时间尺度( $t=1, 3, 6, 12, 24$  个月)的 SPI 变化过程的相关系数。计算结果表明,绝大多数相关系数均通过了置信水平为95%的检验,即绝大多数的水位与 SPI 变化过程都具有较显著的相关关系。

为了进一步探讨干旱对湖水位影响的时间特征,以都昌站为例,点绘各时间段各时间尺度的 SPI 值与各站逐月平均水位的相关系数如图 3 所示。由图 3 可知,从时间尺度来看,3 个月尺度与 6 个月尺度的 SPI 值与湖水位之间的相关关系最强,3 个月尺度最高的相关系数为 0.754,最低为 0.254;6 个月尺度最高为 0.736,最低为 0.246。而 1 个月尺度和 24 个月尺度的 SPI 值与湖水位之间的相关程度较差,其相关系数 1 个月尺度最高值为 0.430,最低值仅为 0.172;24 个月尺度最高值为 0.502,最低值仅为 0.120。分析其可能原因为:湖泊对于气象干旱的响应需要一定的时间,不是自出现降雨的减少便开始,而 3 个月和 6 个月,是湖泊响应降雨减少所需要的时间;此外,如果时间尺度过长,则某些月份降雨减少的效应被坦化,不利于湖泊捕捉气象的干旱化。

从比较的时间段来看,季节上,冬季和夏季 SPI 值与湖水位的相关关系较强,冬季最高为 0.754,最低为 0.306,夏季最高为 0.542,最低为 0.368;春季次之,最高为 0.532,最低为 0.120;秋季最差,最高仅为

0.254,最低为 0.150。干湿期比较,湿期的相关系数要高于干期。分析其可能原因为:冬季湖区经济生产活动较不活跃,对湖泊的利用程度不高;夏季降雨较多,湖泊对降雨的敏感性较高;而秋季天气较为干燥,加之农业活动频繁,影响湖泊水位的因素较多。同样地,湿期水位因为对降雨比较敏感,因而与 SPI 值的相关性较强。

为了进一步分析干旱对湖水位影响的空间特征,以 3 个月尺度的 SPI 值为例,点绘各时间段 3 个月尺度的 SPI 值与各站逐月平均水位的相关系数如图 4 所示。由图 4 可知,自北向南溯出湖口而上的湖口、星子、都昌、棠荫和康山站不同时间段的逐月平均水位振荡与流域 3 个月尺度的 SPI 值的相关系数均大体呈现递增的现象。最下游的湖口站与 SPI 的相关性最差,最高的相关系数为 0.621,最低仅为 0.211;而远离出湖口的康山站则展现出较好的相关关系,最高的相关系数为 0.791,最低为 0.333。分析其可能的原因为:站点越靠近下游出湖口,水体与长江的相互作用便越明显,受到长江的季节性“顶托”或“拉拽”便越强烈,因而与气象干旱的相关性便越差。

为了进一步分析干旱对湖泊的累积效应,点绘 5 个水位站逐年最低水位与不同时间尺度的干旱强度的相关关系如图 5 所示。从图 5 中可以看出,各站点年最

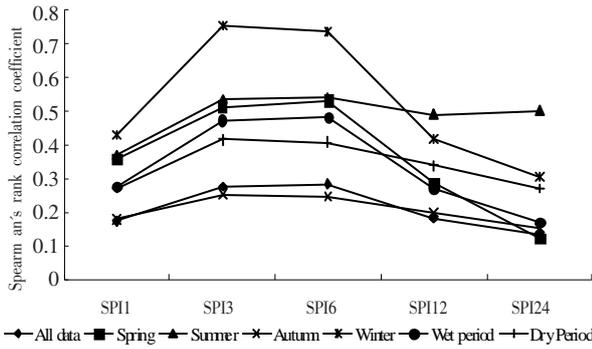


图3 都昌站逐月平均水位与鄱阳湖流域各时间尺度 SPI 值相关系数图  
Fig.3 Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) between the different SPI values and water level at Duchang station in the Poyang lake basin

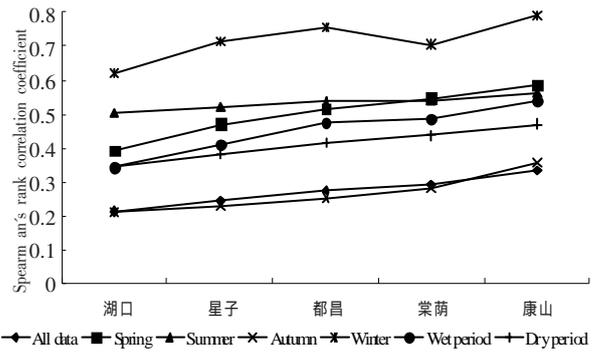


图4 鄱阳湖3个月尺度SPI值与5个水位站逐月平均水位相关系数图  
Fig. 4 Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) between the different 3-month SPI values and maximum water levels at five gauging station in the Poyang lake basin

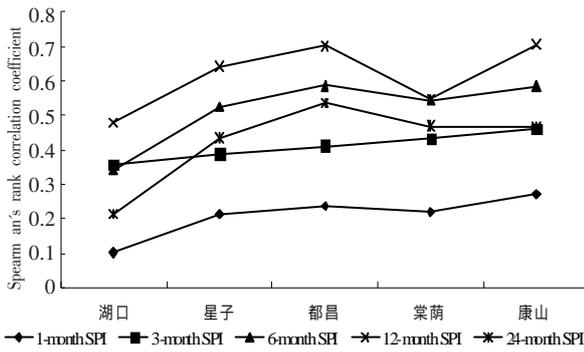


图5 鄱阳湖各时间尺度逐年干旱强度与最低水位相关系数图  
Fig.5 Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) between the different severity of drought and minimum water level

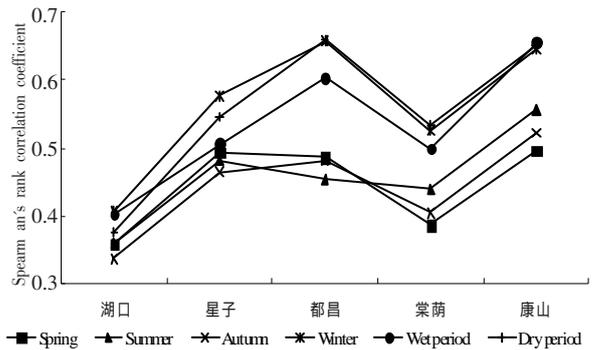


图6 鄱阳湖各时间段12个月尺度干旱强度与最低水位相关系数图  
Fig. 6 Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) between the 12-month severity of drought and minimum water level

低水位与各时间尺度的干旱强度之间的相关性在空间上与前述湖水位与SPI的关系一致,大体呈现自下游至上游逐渐增强的变化特征,这同样与长江的影响有关,但距离出湖口较远的棠荫站却不完全遵循这一规律,常较临近的站点低。分析其可能原因为:棠荫处于鄱阳湖的中心,赣、抚、信、饶、修五条支流中,除修水和赣江西支外,河水都在此汇集,因而江湖关系较为复杂,干旱的累积效应不明显。

从图5中还可以看出,与逐月SPI和逐月平均水位的相关特征不同,12个月尺度的SPI强度与湖泊年最低水位之间存在较好的相关关系,分析其可能原因为:12个月尺度的干旱强度,既考虑了湖泊对降雨变化响应的的时间,也考虑了湖泊水位连续变化的时间。点绘12个月尺度不同时间段的干旱强度与年最低水位的关系如图6所示。由图可知:冬季的相关系数在所有季节中最高,且干期比湿期要高。统计各站1958~2007年逐年最低水位出现时间,可以发现最低水位主要分布在枯水季节,以星子站为例,均出现在11月至次年3月之间,故而与冬季和干季的相关性较好。

相关性较好。

#### 4 结论

干旱,可能导致湖泊功能退化,如何系统地分析湖泊干旱的特征,量化干旱对湖泊的影响,任务繁重而紧迫。本文以标准化降水指数SPI为工具,分别采用Mann-Kendall检验方法和Kriging插值方法,分析了鄱阳湖流域干旱的时空演变特征;通过Spearman秩相关系数表征SPI与湖水位、干旱强度与最低水位之间的关系,得出以下结论:

- (1) 鄱阳湖流域的干旱在时间上呈现出明显的季节性特征,春季和秋季的干旱化趋势比较明显,这对于农业生产较为不利。
- (2) 鄱阳湖流域的干旱覆盖面广,不同时期,旱情在流域内不同区域间发展和转移。
- (3) 鄱阳湖流域的气象干旱与湖水位具有较为显著的相关性,湖水位对3个月尺度和6个月尺度的SPI值响应最为明显。与湖水位的相关程度,自近出湖口地区向远离出湖口地区递增。

## 参考文献:

- [1] American Meteorological Society. Meteorological drought-policy statement[J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1997, 78: 847-849.
- [2] 李世杰, 龚鸿身, 舒金华, 等. 我国湖泊水环境问题与水生生态系统修复的探讨[J]. 中国水利, 2006, (13): 14-17. (LI Shijie, DOU Hongshen, SHU Jinhua, et al. Water environmental problems of lakes and water ecosystem recovery in China [J]. China Water Resources, 2006,(13):14-17. (in Chinese))
- [3] 程晓冰, 石秋池, 黄利群. 湖泊水资源保护和合理开发利用对策[J]. 中国水利, 2007,(9):41-43. (CHENG Xiaobing, SHI Qiuchi, HUANG Liqun. Protection and development reasonable of lakes and countermeasure [J]. China Water Resources, 2007,(9):41-43. (in Chinese))
- [4] 周祥林, 陆宝宏, 戴甦, 等. 基于响应单元的太湖流域干旱分析方法研究[J]. 水资源保护, 2006,22(2):6-10,15. (ZHOU Xianglin, LU Baohong, DAI Su, et al. Study on areal drought analysis and evaluation method based on the response unit in Taihu Basin [J]. Water Resources Protection, 2006,22(2):6-10, 15. (in Chinese))
- [5] 白爱娟, 假拉, 徐维新. 基于潜在蒸散量对青海湖流域干旱气候以及影响因素的分析[J]. 干旱区地理, 2011, 34(6): 949-957. (BAI Aijuan, JIA La, XU Weixin. Evaporation and its impact upon drought climate around the Qinghai lake basin based on potential evaporation [J]. Arid Land Geography, 2011, 34(6): 949-957. (in Chinese))
- [6] D Myronidis, D Stathis, K Ioannou, et al. An integration of statistics temporal methods to track the effect of drought in a shallow Mediterranean lake [J]. Water Resources Management, 2012, 26: 4587-4605.
- [7] Shankman D, Keim B D, Song J. Flood frequency in China's Poyang lake region: trends and teleconnections[J]. International Journal of Climatology, 2006, 26: 1255-1266.
- [8] 闵騫, 闵聃. 鄱阳湖区干旱演变特征与水文防旱对策 [J]. 水文, 2010, 30 (1): 84-88. (MIN Qian, MIN Dan. Drought change characteristics and drought protection countermeasures for Poyanghu lake basin [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(1): 84-88. (in Chinese))
- [9] 闵騫, 占腊生. 1952-2011 年鄱阳湖枯水变化分析 [J]. 湖泊科学, 2012, 24(5): 675-678. (MIN Qian, ZHAN Lasheng. Characteristics of low-water level changes in Lake Poyang during 1952-2011 [J]. Journal of Lake Sciences, 2012, 24(5):675-678. (in Chinese))
- [10] 郭华, Hu Qi, 张奇. 近 50 年来长江与鄱阳湖水文相互作用的变化 [J]. 地理学报, 2011, 66 (5): 609-618. (GUO Hua, HU Qi, ZHANG Qi. Changes in hydrological interactions of the Yangtze river and the Poyang lake in China during 1957-2008 [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(5): 609-618. (in Chinese))
- [11] Mckee T B, Doesken N J, Kliest J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [A]. Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology [C]. Boston: American Meteorological Society, 1993:179-182.
- [12] 洪兴骏, 郭生练, 周研来. 标准化降水指数 SPI 分布函数的适用性研究[J]. 水资源研究, 2013, 2(1): 33-41. (HONG Xingjun, GUO Shenglian, ZHOU Yanlai. Applicability of standardized precipitation index with alternative distribution functions [J]. Journal of Water Resources Research, 2013,2(1): 33-41. (in Chinese))
- [13] Moradi H R, Rajabi M, Faragzadeh M. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran [J]. Catena, 2011, 84: 35-46.
- [14] Sousa P, Trigo R, Aizpurua P, et al. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2011, 11: 33-51.
- [15] Yu P S, Yang T C, Wu C K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan [J]. Journal of Hydrology, 2002, 260: 161-175.
- [16] Seiler R A, Hayes M, Bressan L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring [J]. International Journal of Climatology, 2002,22(11):1365-1376.
- [17] 沈文清, 鄢帮有, 谢冬明. 干旱灾害对江西省农业生产的影响极其对策 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21 (7): 905-910. (SHEN Wenqing, YAN Bangyou, XIE Dongming. Influence of drought disaster on agricultural development in Jiangxi province and its protective countermeasure [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012,21(7):905-910. (in Chinese))
- [18] 刘方平, 梁举, 熊晓光. 江西水稻需水规律和灌溉用水变化规律分析[J]. 江西农业学报, 2011,23(6): 16-18. (LIU Fangping, LIANG Ju, XIONG Xiaoguang. Analysis of rice water requirement rule and irrigation water utilization variation in Jiangxi [J]. Acta Agricultural Jiangxi, 2011, 23(6):16-18. (in Chinese))

## Spatial and Temporal Analysis of Drought and Its Relationship with Water Level of Poyang Lake

HONG Xingjun<sup>1</sup>, GUO Shenglian<sup>1</sup>, MA Hongxu<sup>1</sup>, LIU Dedi<sup>1,2</sup>

(1.State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering, Hubei Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2.State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** A degradation of the function of lakes can be probably caused by droughts. Analyzing the drought characteristics of lakes systematically and quantifying the impact of drought on lakes are of great practical significance. Based on the monthly precipitation data of 13 meteorological stations and the daily water level data from 5 water level gauging stations in the Poyang Lake basin from 1958 to 2007, negative trends of the standardized precipitation index (SPI) in spring and autumn were recognized by using the Mann-Kendall test. By using Kriging interpolation method, it was also found that drought can occur and transit in different periods and different regions. An evident relationship between the drought phenomena and the lake's water level were demonstrated by using Spearman's rank correlation coefficient. Water level is sensitive to SPI values with 3 and 6-month time scales, and the further the station is away from the outlet of the lake, the more strongly the drought may affect the water level.

**Key words:** Poyang Lake; SPI; drought characteristics; spatial and temporal analysis; water level