

Spatial-Temporal Patterns of Droughts Based on Standard Precipitation Index (SPI) during Past Fifty Years in Huai River Basin

Yang Hu¹, Shaofei Wu^{2*}

¹Jiangxi Provincial Institute of Water Resources, Nanchang Jiangxi

²National & Provincial Joint Engineering Laboratory for the Hydraulic Engineering Safety & Efficient Utilization of Water Resources of Poyang Lake Basin, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

Email: ancientstarhy@163.com, *sfw17@nit.edu.cn

Received: Jul. 13th, 2020; accepted: Jul. 28th, 2020; published: Aug. 4th, 2020

Abstract

The spatial and temporal distribution characteristics of the frequency, coverage and intensity of drought combined with the meteorological element tendency rate in Huai River basin were analyzed based on the standardized precipitation index (SPI) as a drought index with the past 50-year datasets of monthly precipitation of 30 national principal meteorological stations. The drought coverage is defined as the ratio of stations with drought occurring to overall stations. Results showed that both the trends of the annual and summer drought coverage and intensity decreased slightly, while the trend of drought coverage in spring, fall and winter was increased and the drought intensity trend increased slightly. The main drought types of the annual and all the seasonal scales were whole and local basin, while the drought intensity exhibited a mild level. The west of Huai River basin in Henan province was a region where the various drought frequencies of the annual and all seasonal are relatively high. The high frequency of moderate, heavy, severe drought and the drought worse than slight in summer covered the vastest. The rule of regional distribution of various droughts in four seasons was not obvious.

Keywords

SPI, Drought Index, Spatial-Temporal Patterns, Huai River Basin

基于标准化降水指数的淮河流域近50年干旱时空分布特征

胡 杨¹, 吴绍飞^{2*}

作者简介: 胡杨(1992-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事水利工程生态环境效应方面的研究。

*通讯作者。

¹江西省水利科学研究院, 江西 南昌

²南昌工程学院, 鄱阳湖流域水工程安全与资源高效利用国家地方联合工程实验室, 江西 南昌

Email: ancientstarhy@163.com, *sfw17@nit.edu.cn

收稿日期: 2020年7月13日; 录用日期: 2020年7月28日; 发布日期: 2020年8月4日

摘要

根据淮河流域30个国家基本气象站近50年的月降水量资料, 采用标准化降水指数(SPI)作为干旱指标, 从干旱频率、干旱站次比、干旱强度三个角度并结合气象要素倾向率对淮河流域的干旱时空分布特征进行分析。结果表明: 年度与夏季干旱站次比和强度均呈轻微减少趋势, 春季、秋季和冬季干旱站次比呈增加趋势, 干旱强度呈轻微增加趋势; 年度和各季节发生的主要是全局性和局域性干旱, 干旱强度都以轻度干旱为主; 流域西部的河南境内的年度、季节性的各类干旱频率相对较高。夏季的干旱(轻旱及以上)、中旱、重旱的相对较高频率的分布范围最广, 各季节各类型干旱发生频率地区分布规律不太明显。

关键词

标准化降水指数, 干旱指标, 时空分布, 淮河流域

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

干旱通常指淡水总量少, 不足以满足人的生存和经济发展的气候现象, 或是指因长期少雨而空气干燥、土壤缺水的气候现象, 一般是长期的现象, 其本质是水分的持续性短缺。干旱不能等同于旱灾, 干旱和旱灾是因果关系。美国气象学会[1]将干旱分为四种类型: 气象干旱、农业干旱、水文干旱、社会经济干旱, 一般而言气象干旱是造成旱灾的主要原因, 对于气象干旱机理和规律的研究对于水资源的管理和农业生产实践的指导是很有必要的。

气象干旱作为一种气象异常现象, 长期困扰着工农业生产。据估计每年因干旱造成的全球经济损失高达60~80 亿美元, 远远超过了其它气象灾害[2]。我国除了西北部分地区属于永久性干旱气候区外, 大部分地区受季风气候和地形等因素影响使得水热分布很不均匀导致干旱频繁地出现。有统计表明我国干旱地区面积占全国自然灾害影响面积的60%, 平均每年受旱面积约2159.3万公顷, 每年因旱灾损失粮食100亿公斤[3]。学术界对于干旱的研究主要聚焦于西北和华北地区, 对于干旱的成因、特点、时空分布和趋势做了大量的研究[4]。近年来随着南方地区干旱的频率和强度逐渐增加, 越来越多的学者开始研究南方地区的干旱状况。研究的尺度既有省级区域[5], 也有区域性干旱研究[6][7], 从降水量和土壤质地等多个角度分析了南方干旱的成因, 对南方地区的干旱时空分布特征和演变特征进行了有意义的探索研究。淮河流域是我国重要的农产品基地, 由于淮河修建了大量闸坝使洪涝灾害已经得到了有效的控制, 干旱成为了制约该区域农业发展的主要因素, 因而很有必要对淮河流域的干旱分布特征进行研究。

目前不少学者已经对干旱指标进行了大量的探讨研究, 袁文平等[8]从是否能够如实客观精确地阐述干旱强度、范围、频率及历时, 是否具有明确的物理机制, 是否实用三个方面对国内外的干旱指标进行了评价分析。具有较为明确物理机制的干旱指标通常计算繁琐, 需要大量的资料, 某些参数还只能通过经验估计, 对计算的

精度构成了挑战,此外干旱时空的变异也限制了这类指标的适用范围(这类指标主要原理是依据水分平衡求解储水量变化,典型的如综合考虑地表前期降水量、土壤含水量、径流和潜在蒸散量的 Palmer 干旱指数 PDSI,计算过程相对复杂,所需参数较多,往往涉及 SPAC 系统的各个部分,需要对 SPAC 各个环节有较好的理解和掌握[9] [10] [11]);而另一类指标通过气象学方法研究降水量的统计分布规律,反映干旱的频率、强度和历时,虽然物理机制不够明确但简便易行且适应性强[6]。第二类指标中的标准化指数适用于月尺度以上相对当地气候状况的干旱监测与评估,能较好地反映干旱强度和持续时间,而且具有多时间尺度应用的特性,得到了广泛的应用。本文选择标准化指数作为干旱评价指标,从干旱频率、站次比和干旱强度三个方面,对淮河流域近 50 年来的干旱时空分布特征进行研究,以为该区域水资源的管理和农业的生产实践提供参考。

2. 资料

本文从淮河流域 366 个气象站点中选 30 个国家基本气象站,收集到其建站以来(1951~1960 年)到 2013 年的逐月降水量资料,站点分布如图 1 所示。数据主要来自中国气象局国家气象信息中心,其中 28 个站点的资料系列长度在 50a 以上,只有两个站点(菏泽 1954~1994 年、临沂 1951~1997 年)的系列长度少于 50a 但是也超过了 40 年。根据该区域主汛期在 6~8 月,取每年的 11 月到次年 11 月作为水文年比较合适,即 2~4 月为春季、5~7 为夏季、8~10 为秋季、11~1 月为冬季。

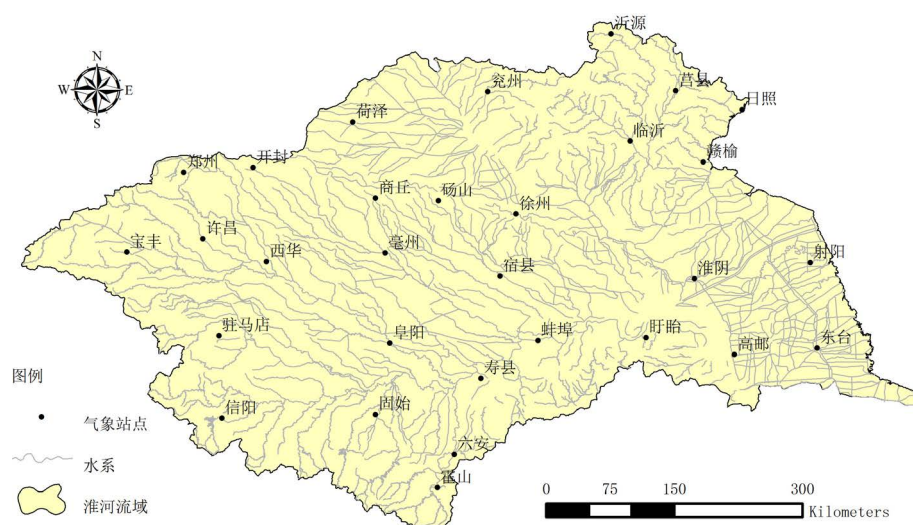


Figure 1. Spatial distribution of the meteorological stations in Huai River basin
图 1. 淮河流域气象站点分布

3. 研究方法

3.1. 标准化指数(SPI)及其计算方法

标准化指数就是在计算出某时段内降水量的 Γ 分布概率后,再进行正态标准化处理,最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级[12]。《气象干旱等级 GB/T 20481-2017》的规定我国统一采用 Γ 函数作为拟合函数,尽管部分地区采用 Γ 函数的拟合效果并不如皮尔逊 III 型分布、正态分布、对数正态分布、广义 Pareto 分布、广义逻辑斯蒂分布和威布尔分布的效果好[6],但在多数情况下 Γ 函数的拟合效果还是优于其它分布函数的。基于 Γ 函数的 SPI 计算公式如下:

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \quad (1)$$

式中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{G(x)^2}}$, $G(x)$ 为与 Γ 函数相关的降水分布概率; x 为年或季降水量样本; S 为概率密度正负系数。

当 $G(x) > 0.5$ 时, $S = 1$; 当 $G(x) \leq 0.5$ 时, $S = -1$ 。 $G(x)$ 由 Γ 分布函数概率密度积分公式计算:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\lambda \Gamma(\gamma)_0} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx, x > 0 \quad (2)$$

式中: γ 、 β 分别为 Γ 分布函数的形状和尺度参数: $c_0 = 2.515517$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$ 。

根据 SPI 的计算公式计算出年尺度和季尺度的标准化降水指数, 再根据《气象干旱等级 GB/T 20481-2006》中的分级标准划分为无旱($SPI > -0.5$)、轻旱($-1 < SPI \leq -0.5$)、中旱($-1.5 < SPI \leq -1$)、重旱($-2 < SPI \leq -1.5$)和特旱($SPI \leq -2.0$), 干旱通常是指轻旱及以上发生的年份。

3.2. 干旱评估指标

为了评价淮河流域干旱时空分布特征, 本文从干旱频率、干旱站次比、干旱强度和变化趋势率四个方面进行分析。

1) 干旱频率(P_i): 干旱频率是用来评价某站有资料年份内发生干旱频繁程度, 计算公式为:

$$P_i = (n/N) \times 100\% \quad (3)$$

式中: N 为某站有气象资料的年数; n 为该站发生干旱的年数; 下标 i 代表不同的气象站点。本文计算干旱(轻旱及以上)、中旱、重旱和特旱四种情况下的干旱频率。

2) 干旱站次比(P_j): P_j 是用某一区域内干旱发生站数多少占全部站数的比例来评价干旱影响范围的大小, 计算公式为:

$$P_j = (m/M) \times 100\% \quad (4)$$

式中: M 表示研究区气象站点总数; m 表示发生干旱的气象站点数; j 表示不同年份。干旱站次比可以表示一定区域干旱发生范围的大小, 能间接反映干旱影响范围的严重程度。通常定义: 当 $P_j \geq 50\%$ 时, 为全域性干旱; 当 $50\% > P_j \geq 33\%$ 时为区域性干旱; 当 $33\% > P_j \geq 25\%$ 时为部分区域性干旱; 当 $25\% > P_j \geq 10\%$ 时为局域性干旱; 当 $P_j < 10\%$ 时为无明显干旱发生[1]。

干旱强度(S_{ij}): 干旱强度用于评价干旱的严重程度, 单站某时段内的干旱强度可用 SPI 值反映, 计算公式为:

$$s_{ij} = \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n SPI_i \right| \quad (5)$$

式中: m 表示发生干旱的站数, SPI_i 为发生干旱时 SPI 的绝对值。当 $S_{ij} < 0.5$ 时干旱强度不明显; $1 > S_{ij} \geq 0.5$ 为轻度干旱; 当 $1.5 > S_{ij} \geq 1$ 时为中度干旱; 当 $S_{ij} \geq 1.5$ 时为重度干旱。

3) 变化趋势率: 变化趋势率也称作气象倾向率, 表示气象要素的线性趋势。把气候要素的变化写成时间 t 的线性函数

$$x = at + b \quad (6)$$

式中: a 为回归系数, b 为回归常数, 可以用最小二乘法确定[13]。以 a 的 10 倍作为气象要素倾向率, 反映十年尺度的气象要素变化。在实际计算中, 可以将计算结果按时间建立序列, 在 Excel 中用 Slope 函数拟合计算[14]。

4. 结果分析

4.1. 淮河流域年度干旱时空分布特征

1) 干旱频率分析: 通过计算 30 个站点的年尺度的标准化降水指数后, 利用公式(3)并按照干旱分级标准分

别得到干旱、中旱、重旱和特旱的干旱频率数据。利用 ArcGIS10.2 采用 IDW 插值方法生成等值面图 2，根据计算结果可知淮河流域年尺度干旱频率在 23.732%~36.199%之间，平均约为 29.553%。

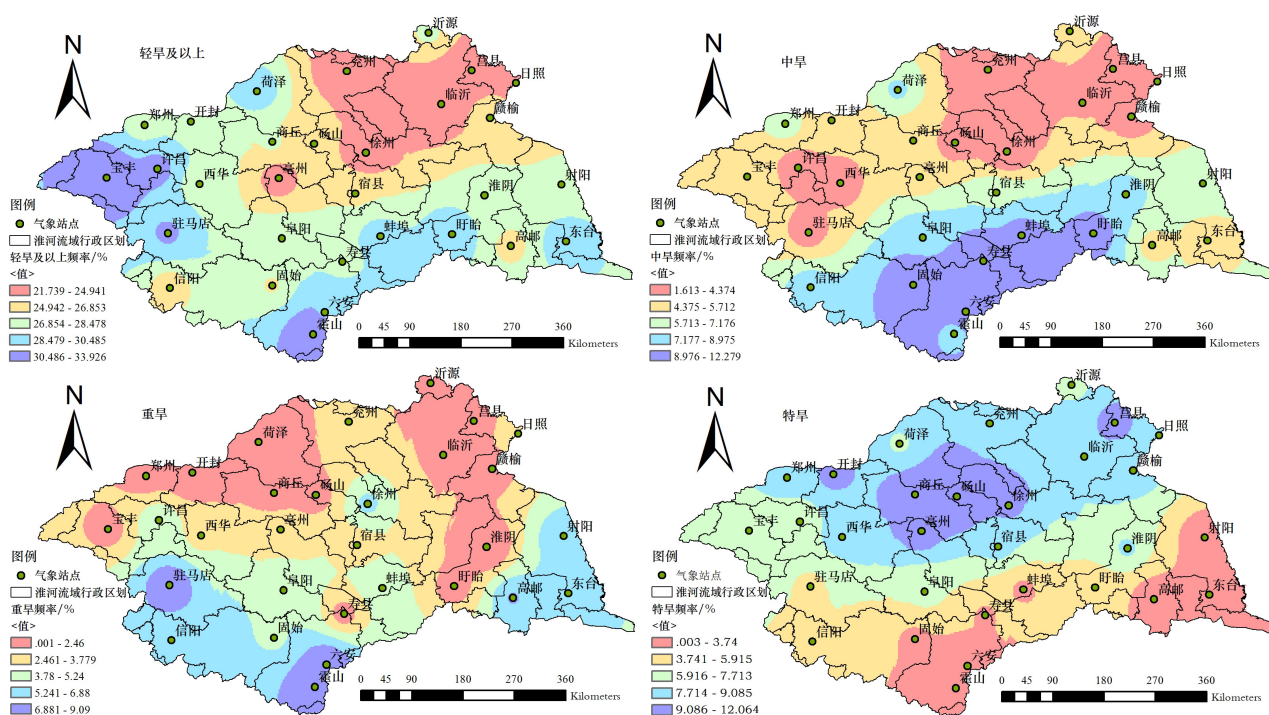


Figure 2. Frequency distribution annual drought in Huai River basin
图 2. 淮河流域年干旱频率分布

图中可以看出干旱频率(指轻旱及以上干旱频率，下同)在淮河流域的东北-西南方向的干旱频率相对较高；中旱发生的频率范围为 3.637%~14.545%，平均约为 9.515%。可以看出流域中部频率较高；重旱发生的频率范围为 0%~12.719%，平均约为 5.818%。发生频率高的地区主要在流域偏北部的河南、山东一带；特旱发生的频率范围为 0%~5.453%，平均为约 1.758%。流域南部发生特旱的频率相对较高。总体而言，淮河流域内的河南和安徽境内发生各类干旱的频率相对较高，应做好其他防旱措施减少损失。

干旱站次比和干旱强度分析：由于站次比的分析需要统一起止年份，30 个站点中设站并有资料的最晚年份的在 1960，而本文选取的是 11 月份作为划分点的所以从 1961 年开始分析。鉴于菏泽(1954~1994)、临沂站(1951~1997)的资料较短，淮阴(1951~2001)站虽然有 51 年的资料但资料收集到 2001 年，故不分析这三个站点，只对其它 27 个站点 1961~2013 年的资料进行计算分析。图 3 是历年的干旱站次比和干旱强度过程图。

干旱站次比。由公式(4)计算的结果可知本研究区干旱发生站次比的范围是 3.7%~100%，平均约为 34.7%。有 13 年发生全局性干旱，占所研究年份的 24.53%。其中以 1966 年最为严重 27 个站点全部发生干旱，其次是 1988 年和 2001 年干旱站次比达到了 80%以上；8 年发生区域性干旱，占 15.09%；4 年发生部分区域性干旱，占 7.55%；14 年发生局域性干旱，占 26.41%。有明显干旱的年份所占比例为 73.58%。即主要发生的是全局性和局域性干旱。利用 Excel 中的 Slope 函数计算干旱站次比随时间的变化趋势率 $a_{站次比} = 10a_1 = -7.74\%/10a$ ，即干旱站次比有轻微减少趋势。

干旱强度。干旱强度的范围是 0.535~1.719，平均约为 1。有 27 年发生轻度干旱，占研究年限的 50.94%，占干旱年份的 57.45%；17 年发生中度干旱，占研究年限的 32.07%，占干旱年份的 36.17%；1966、1978 和 2001 三年发生重度干旱，占 5.66%，占干旱年份的 6.38%。利用 Slope 函数算得的干旱强度的变化趋势率 $a_{强度} = 10a_2 = -0.033\%/10a$ ，

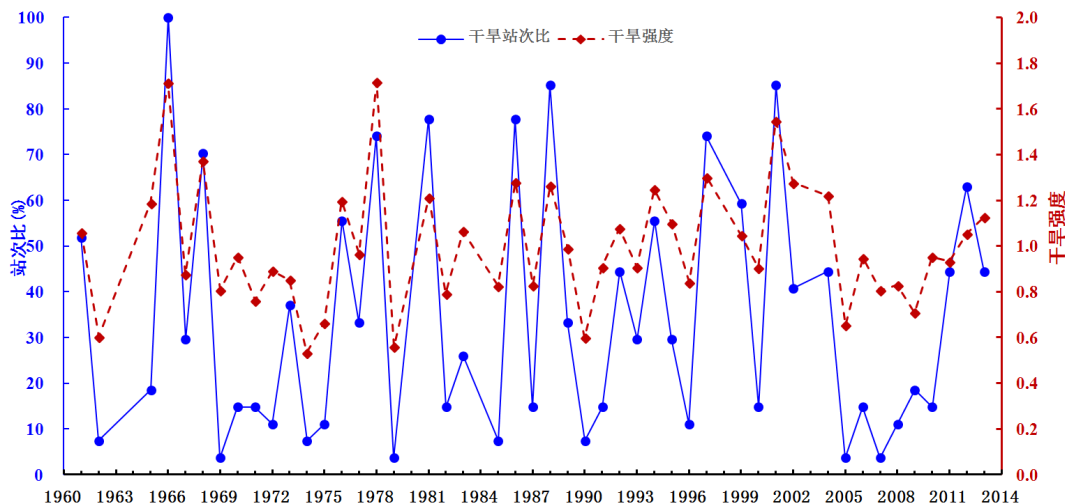


Figure 3. Drought intensity and drought stations proportion in Huai River basin during 1961-2013
 图 3. 1961~2013 年淮河流域干旱强度和站次比

即干旱强度呈轻微减少趋势。综上所述，本研究区主要发生的是轻度干旱。

4.2. 淮河流域季节性干旱特征

4.2.1. 春旱

1) 干旱频率。春旱频率分布如图 4 所示。本研究区春旱发生的频率范围为 22.41%~35.59%，平均约为 28.53%，与年干旱频率大致相同。干旱频率较高地区主要在流域的东北部；发生中旱的频率范围为 2.44%~14.28%，平均约为 8.57%，河南郑州、开封，安徽砀山，山东日照，江苏盱眙、高邮等地区频率相对较高，其它地区的频率相对较低(小于 10%)；重旱发生的频率范围为 1.59%~9.75%，平均约 3.92%。只有山东菏泽，河南驻马店、信阳等地重旱发生频率相对较高，流域东部发生重旱频率相对较低；特旱发生的频率范围为 0%~6.67%，平均为 2.91%。山东临沂和江苏射阳一带特旱频率相对较高(4.94%~6.67%)。

2) 干旱站次比及干旱强度。春旱站次比和干旱强度如图 5 所示(限于篇幅，以下关于夏、秋和冬季的干旱频率及干旱站次/干旱强度的图不再列出)。干旱站次比的范围为 3.7%~100%，平均约为 41.4%，较年度干旱站次比覆盖范围广。15 年发生全局性干旱，占站次比分析年份的 27.78%，其中 1986 年、2000 年、2011 年 27 个站点全部发生干旱；1980、1981 和 2006 年 3 年出现区域性干旱，占分析年份的 5.5%；1960、1985、1996 和 2005 年出现部分区域性干旱，占 7.4%；8 年出现局域性干旱主要集中在 90 年代和 21 世纪，占 14.8%。发生明显干旱的年份占研究年份的 55.5%，主要为全局性和区域性干旱。根据 slope 函数计算的气象倾向变化率 $a_{\text{春站次比}} = 10a_3 = 3.16/10a$ ，春旱站次比有增加趋势。干旱强度的浮动范围为 0.59~2.55，由图 5 可知站次比高的时候对应的干旱强度也较高。共 23 年发生轻度干旱，占研究年份的 42.6%，占干旱年份的 59%；13 年发生中度干旱，占研究年份的 24.1%，占干旱年份的 33.3%；3 年发生重度干旱，占研究年份的 5.5%，占干旱年份的 7.7%。干旱强度倾向变化率 $a_{\text{春干旱强度}} = 10a_4 = 3.73\%/10a$ 即干旱强度有轻微增加趋势。

4.2.2. 夏旱

1) 干旱频率。本研究区夏旱发生的频率范围为 24.56%~35.59%，平均约为 30.85%，较春旱频率高。干旱发生地区分布很广，其中干旱频率高的地区贯穿了整个流域；发生中旱的频率范围为 3.34%~18%，平均约为 9.26% 较春季的高，频率较高的主要分布在流域中部；重旱发生的频率范围为 1.59%~8.77%，平均约 4.72%。频率相对较高的地区主要在流域南部，北部就江苏赣榆一带频率较高；特旱发生的频率范围为 0%~5.17%，平均为 1.59%。中部特旱发生频率相对较低，频率相对较高的地区规律性不明显。

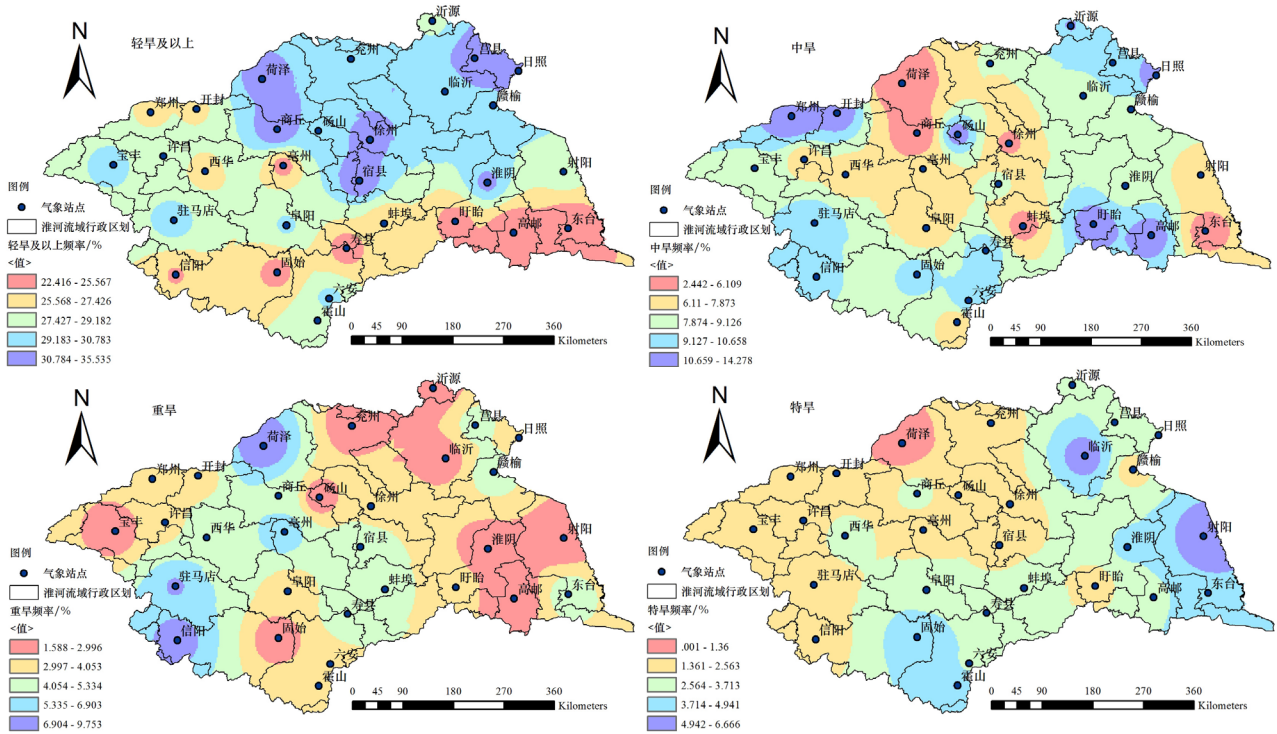


Figure 4. Frequency distribution of spring drought in Huai River basin
图 4. 淮河流域春旱频率分布

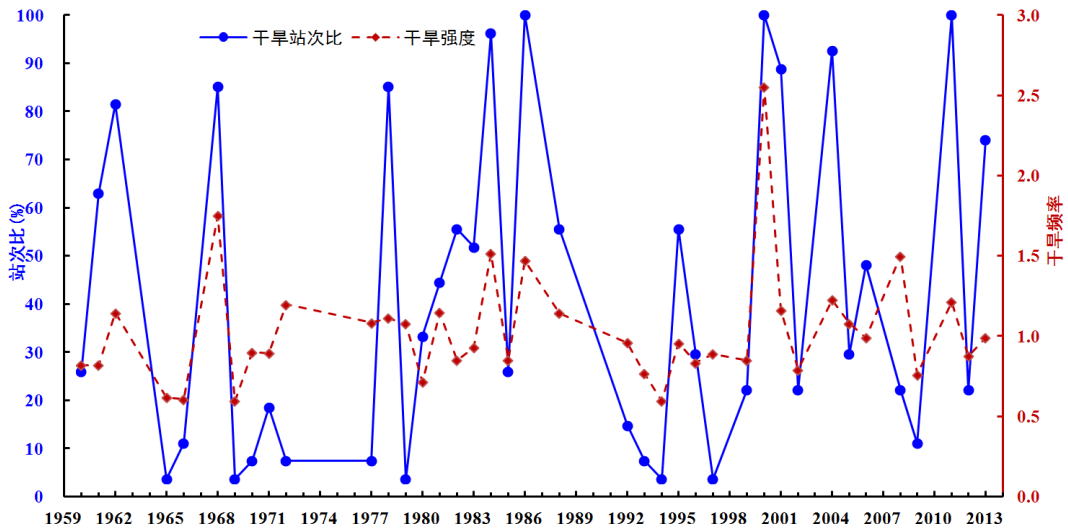


Figure 5. Intensity and stations proportion of spring drought in Huai River basin
图 5. 淮河流域春季干旱站次比和干旱强度

2) 干旱站次比和干旱强度。干旱站次比的范围为 3.7%~81.5%，平均约为 31.7%，较年度干旱和春旱站次比覆盖范围小。发生全局性干旱的年份有 12 年，占站次比分析年份的 22.22%，其中只有 1992 年站次比大于 80%。可见虽然出现全局性干旱的年份达 12 年，但是不同于年度干旱和春旱出现极大面积(站次比高达 90%以上)的干旱；8 年出现区域性干旱，占分析年份的 14.82%，相对春旱高，与年干旱站次比相当；6 年出现部分区域性干旱，占 11.1%；17 年出现局域性干旱，占 31.5%比例最大。综上所述，发生明显干旱的年份占研究年份的 79.6%，以全局性和局域性干旱为主。根据 slope 函数计算的气象倾向变化率 $a_{\text{夏站次比}} = 10a_5 = -0.19/10a$ ，夏旱站次比有

轻微减少趋势。

干旱强度的浮动范围为 0.56~1.6，站次比高的年份干旱强度不一定高，这是因为夏旱高站次比的年份的 SPI 值并不高。共 23 年发生轻度干旱，占研究年份的 42.6%，占干旱年份的 44.2%；26 年发生中度干旱，占研究年份的 48.1%，占干旱年份的 50%；3 年发生重度干旱，占研究年份的 5.5%，占干旱年份的 5.8%。干旱强度倾向变化率 $a_{\text{夏旱强度}} = 10a_6 = -3.72\%/10a$ 即干旱强度有轻微减小趋势。

4.2.3. 秋旱

1) 干旱频率。本研究区秋旱的频率分布范围是 24.07%~33.9%，平均约为 29.12%，与夏旱的干旱频率相近。其中干旱频率相对较高的主要在流域东部和西北部；发生中旱的频率范围为 1.85%~14.7%，平均为 8.2%，较年度和春季、夏季中旱频率略低。频率相对较高的地区与干旱相对一致；重旱的频率范围为 1.64%~10.6%，平均为 4.78% 较春季和夏季的重旱频率高。相对频率较高的地区有河南信阳和山东临沂一带，大部分区域的重旱频率低于 6%；特旱的频率范围为 0%~6.35%，平均为 2.78%，与春季的特旱频率相近，高于年度和夏季的特旱频率。频率相对较高的主要在流域中部。

2) 干旱站次比和干旱强度。干旱站次比的范围为 3.7%~92.6%，平均约为 31.5%，较年度干旱、春旱和夏旱站次比覆盖范围小。发生全局性干旱的年份有 10 年，占站次比分析年份的 20.83%，其中 1966、2001 年干旱站次比大于 90%，1997 年高于 80%；10 年发生区域性干旱，占分析年份的 20.83%，频率相对春旱、夏旱和年干旱高；5 年出现部分区域性干旱，占 10.42%，与夏旱频率接近；13 年出现局域性干旱，占 27.08% 比例最大。发生明显干旱的年份占研究年份的 79.2%，主要是全局性、区域性和局域性干旱。根据 slope 函数计算的气象倾向变化率 $a_{\text{秋旱站次比}} = 10a_7 = 2.1/10a$ ，即秋旱站次比有增加趋势。

干旱强度的浮动范围为 0.5~2.3，出站次比高的年份干旱强度一般较高。32 年发生轻度干旱，占研究年份的 59.26%，占干旱年份的 66.67%；13 年发生中度干旱，占研究年份的 24.07%，占干旱年份的 27.08%；3 年发生重度干旱，占研究年份的 5.5%，占干旱年份的 6.25%。干旱强度倾向变化率 $a_{\text{秋旱强度}} = 10a_8 = 1\%/10a$ 即干旱强度有轻微增大趋势。

4.2.4. 冬旱

1) 冬旱频率。本研究区的冬旱频率范围是 21.74%~33.93%，平均为 27.45%，相对于年干旱、春旱、夏旱和秋旱略小。干旱频率较高的区域是流域西部和西南部；中旱的频率范围为 1.61%~12.28%，平均为 6.11%，也低于年度、春、夏和秋季的中旱频率。中旱频率较高的地区集中在流域南部，以河南固始，安徽六安、寿县、蚌埠和江苏盱眙频率相对较高，形成了以这些地区为中心的条带状分布；重旱频率范围为 0%~9.1%，平均为 3.78%，也低于年度、春、夏和秋季的重旱频率，流域西南部和东南部的重旱频率相对较高；特旱的频率范围是 0%~12.07%，平均为 6.54%，高于年度，春、夏和秋季特旱发生频率。特旱频率相对较高的地区是流域中部和北部，流域南部频率相对较低。从旱情频率分析结果可知，流域南部发生轻旱及以上、中旱和重旱的频率均比较高，所以南部应做好防范工作。

2) 干旱站次比和干旱强度。冬季的干旱站次比的范围为 3.7%~100%，平均约为 40.643%，和春旱比较相近。发生全局性干旱的年份有 13 年，占站次比分析年份的 34.2%，其中有 6 年 27 个站点均发生干旱，4 年站次比高于 80%，可见本研究区冬季发生干旱的覆盖范围比较广；1966、1989 年 2 年出现区域性干旱，占分析年份的 5.26%，频率低于春旱、夏旱、秋旱和年干旱；5 年出现部分区域性干旱，占 13.16%，高于年度、春、夏和秋尺度区域干旱频率；9 年出现局域性干旱，占 23.68%。发生明显干旱的年份占研究年份的 76.3%，主要发生全局性和局域性干旱。根据 slope 函数计算的气象倾向变化率 $a_{\text{冬旱站次比}} = 10a_9 = -2.05/10a$ ，秋旱站次比有增加趋势。

干旱强度的浮动范围为 0.55~2.98，站次比高的年份干旱强度一般较高。27 年发生轻度干旱，占研究年份的 51.9%，占干旱年份的 71.05%；4 年发生中度干旱，占研究年份的 7.69%，占干旱年份的 10.53%；7 年发生重度

干旱, 占研究年份的 13.46%, 占干旱年份的 18.42%。干旱强度倾向变化率 $a_{\text{冬干旱强度}} = 10a_{10} = 3.17\%/10a$ 即干旱强度有轻微增大趋势。

5. 结论

通过对淮河流域近 50 年来 30 个国家基本气象站收集的月尺度降水量资料进行分析。在标准化降水指数的基础上, 利用干旱频率、干旱站次比和干旱强度三个指标对本研究区的干旱时空分布特征进行研究, 通过气象变化趋势率分析干旱的演变规律, 研究时间尺度有年尺度和季尺度。

研究结果表明: (1) 干旱随时间的分布演变特征: 夏季的干旱频率和中旱频率在季尺度中是最高的, 而秋季的重旱频率是最高的, 冬季的特旱频率最高, 年尺度的重旱频率高于季节性频率, 年度的干旱频率也高于春、秋、冬三季; 夏季的干旱站次比最低, 同其在重旱频率和特旱频率中的分布相一致, 在一定程度上说明重旱及以上的干旱发生时一般其覆盖范围会比较广; 干旱强度也是夏季最小, 这与夏季的干旱频率分布正好相反。夏季的干旱与中旱频率最大, 表明发生干旱时的 SPI 值并不高使得干旱强度较低。(2) 干旱空间分布特征: 年度的中旱和重旱频率在流域西北部河南境内都相对较高, 干旱和特旱频率在流域西南部较高; 西南部河南省信阳、驻马店一带春季中旱、重旱频率都相对较高, 总体而言干旱频率较高的地区是流域东北部地区; 夏季中旱、重旱和特旱频率较高的地区分布范围较小, 且没有哪个区域三种类型干旱频率都相对较高, 干旱频率较高的地区贯穿流域东西分布范围很广; 山东菏泽一带的秋季中旱、重旱和特旱频率相对较高, 其它地区各种类型干旱频率分布规律不明显; 安徽霍山一带冬季的中旱、重旱和干旱频率都相对较高, 中旱和重旱频率较高地区主要分布在流域南部而特旱频率较高地区则分布在流域北部。(3) 干旱站次比和干旱强度演变规律: 年度干旱站次比和干旱强度均有轻微减少趋势; 春季干旱站次比呈增加趋势、干旱强度轻微增加趋势; 夏季均呈轻微减少趋势; 秋季干旱站次比呈增加趋势, 干旱强度轻微增加趋势; 冬季干旱站次比也呈增加趋势, 干旱强度轻微增加趋势。本研究区域发生的干旱类型主要是全局性和局域性干旱。从干旱强度的角度出发, 本研究区域主要发生的轻度干旱, 其中年度、秋季和冬季发生轻度干旱的年份占研究年份的 50% 以上, 春季和夏季轻度干旱占 40% 以上。

本文利用干旱频率、干旱站次比和干旱强度三个指标系统分析了淮河流域干旱的时空分布特征, 揭示了淮河流域干旱的年度和季节性特点。但这三个指标均都是以标准化降水指数为基础的, 虽然 SPI 指数有着其它干旱指标不具备的优点, 但毕竟只是考虑了降水因素, 因而并没有深刻地揭示淮河流域的干旱时空分布特征, 有待于建立起更全面的干旱指标。

基金项目

国家自然科学基金项目(51969016); 江西省科技厅应用培育计划(20181BBG78078)。

参考文献

- [1] American Meteorological Society. Meteorological drought-policy statement. Bulletin of American Meteorological Society, 1997, 78: 847-849.
- [2] WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In: WILHITE D. A., 2^{ed}. Drought: A global assessment. London & New York: Routledge, 2000: 3-18.
- [3] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529. YUAN Wenping, ZHOU Guangsheng. Comparison between standardized precipitation index and Z index in China. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(4): 523-529. (in Chinese)
- [4] 刘淼, 周园园, 鲁春霞. 1958~2017 年京津冀地区气候干旱变化特征[J]. 水资源研究, 2020, 9(1): 73-81. LIU Miao, ZHOU Yuanyuan, LU Chunxia. Climate drought characters in Beijing-Tianjin-Hebei region during 1958-2017. Journal of Water Resources Research, 2020, 9(1): 73-81. (in Chinese)
- [5] 陈燕飞, 熊刚, 刘伟. 基于标准化降水指数的汉江流域干旱时空分布特征[J]. 中国农村水利水电, 2016(4): 82-88. CHEN Yanfei, XIONG Gang, LIU Wei. Drought temporal and spatial distribution of Hanjiang River basin based on the stan-

- standard precipitation index. *China Rural Water and Hydropower*, 2016(4): 82-88. (in Chinese)
- [6] 吴绍飞, 张翔, 潘国艳, 等. 基于站点降雨量最优拟合函数的 SPI 指数计算[J]. 干旱区地理, 2016, 39(3): 555-564.
WU Shaofei, ZHANG Xiang, PAN Guoyan, et al. Calculation of the standardized precipitation index based on the best fitted distribution functions to the precipitation series. *Arid Land Geography*, 2016, 39(3): 555-564. (in Chinese)
- [7] ZHANG, Z. Z., CHAO, B. F., CHEN, J. L., et al. Terrestrial water storage anomalies of Yangtze River Basin droughts observed by GRACE and connections with ENSO. *Global and Planetary Change*, 2015, 126: 35-45.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.002>
- [8] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.
YUAN Wenping, ZHOU Guangsheng. Theoretical study and research prospect on drought indices. *Advance in Earth Science*, 2004, 19(6): 982-991. (in Chinese)
- [9] KEYANTASH, J., DRACUP, J. A. The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *American Meteorological Society*, 2002, 8: 1167-1180. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1167>
- [10] 杨庆, 李明星, 郑子彦, 等. 7 种气象干旱指数的中国区域适应性[J]. 中国科学(地球科学), 2017, 47(3): 337-353.
YANG Qing, LI Mingxing, ZHENG Ziyang, et al. Regional applicability of seven meteorological drought indices in China. *Science China Earth Sciences*, 2017, 47(3): 337-353. (in Chinese)
- [11] 赵福年, 王润元, 王莺, 等. 干旱过程、时空尺度及干旱指数构建机制的探讨[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 32-39.
ZHAO Funian, WANG Runyuan, WANG Ying, et al. Discussion of process, temporal and spatial scale for drought and establishment of drought indices. *Journal of Catastrophology*, 2018, 33(4): 32-39. (in Chinese)
- [12] GB/T 20481-2017 气象干旱等级[S]. 北京: 中国气象局, 2018.
GB/T 20481-2017 Grade of meteorological drought. Beijing: China Meteorological Administration, 2018. (in Chinese)
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
WEI Fengying. *Modern climate statistical diagnosis and prediction techniques*. Beijing: Meteorology Press, 2007. (in Chinese)
- [14] 黄晚华, 杨晓光, 李茂松, 等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J]. 农业工程学报, 2010(7): 50-59.
HUANG Wanhua, YANG Xiaoguang, LI Maosong, et al. Evolution characteristics of seasonal drought in the south of China during the past 58 years based on standardized precipitation index. *Transactions of the CSAE*, 2010(7): 50-59. (in Chinese).