DOI: 10.5846/stxb201811052398

夏敏,孙鹏,张强,姚蕊,王友贞,温庆志.基于 SPEI 指数的淮河流域干旱时空演变特征及影响研究.生态学报,2019,39(10): - . Xia M, Sun P, Zhang Q, Yao R, Wang Y Z, Wen Q Z. Temporal and spatial characteristic of drought in huai river basin based on standardized precipitation evapotranspiration index.Acta Ecologica Sinica,2019,39(10): - .

基于 SPEI 指数的淮河流域干旱时空演变特征及影响 研究

夏 敏^{1,2},孙 鹏^{1,2,3,*},张 强^{4,5},姚 蕊¹,王友贞²,温庆志¹

1 安徽师范大学地理与旅游学院,江淮流域地表过程与区域响应安徽省重点实验室,芜湖 241002

2 安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院,水利水资源安徽省重点实验室,蚌埠 233000

3 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100038

4 北京师范大学,地表过程与资源生态国家重点实验室,北京 100875

5 北京师范大学,环境演变与自然灾害教育部重点实验室,北京 100875

摘要:本文运用淮河流域 149 个气象站 1962—2016 年逐日气温、降水资料以及历史早情资料,基于 SPEI、EOF 和 M-K 等方法分析淮河流域的干旱时空特征,研究干旱的时空演变规律并揭示其对农业生产的影响。结果表明:(1)基于 SPEI 得到的干旱频次与受灾、成灾面积的相关性通过了 0.05 的显著性水平检验,表明 SPEI 在淮河流域具有较好的适用性;(2)淮河流域干旱发生时间差异明显,干旱频率呈现波动变化,发生重旱和特旱次数占总干旱的比重是 20.0%,其中重旱和特旱在 1960s 比重最大(24.8%),其次是 2010s(15.8%),在 1980s 比重最低(10.0%);(3)干旱的空间分布差异大,淮河流域干旱强度在 27.76% —36.04%之间,西北部和东南部发生干旱强度较西南部、东北部及中部低;(4)淮河流域干旱趋势总体呈干旱化的趋势,从中部到四周呈现由高到低递减的趋势变化,且空间模态表现为全区一致型、南北相反型和东西相反型。

关键词:标准化降水蒸散指数;经验正交函数;时空演变特征;淮河流域

Temporal and spatial characteristic of drought in huai river basin based on standardized precipitation evapotranspiration index

XIA Min^{1,2}, SUN Peng^{1,2,3}, ZHANG Qiang^{4,5}, YAO Rui¹, WANG Youzhen², WEN Qingzhi¹

- 1 Key Laboratory of Earth Surface Processes and Regional Response in the Yangtze-Huai River Basin, Anhui Province, School of Geography and tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China
- 2 Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources of Anhui Province, Water Resources Research Institute of Anhui Province and Huai River China, Bengbu 233000, China
- 3 State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China
- 4 State Key Laboratory of surface process and resource ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

5 Key Laboratory of environmental change and natural disaster, Ministry of education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The daily temperature, precipitation of 149 meteorological stations and historical drought disaster in the Huai river basin from 1962 to 2016 were analyzed based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Empirical Orthogonal Function and Mann-Kendall method. In this study drought evolution were analyzed and revealed the

基金项目:国家自然科学基金项目(41601023),国家杰出青年科学基金项目(51425903),中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家 重点实验室开放基金(IWHR-SKL-201720)和安徽省自然科学基金(1808085QD117)联合资助

收稿日期:2018-11-05; 修订日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: sun68peng@163.com

http://www.ecologica.cn

impact of agricultural production in the Huai river basin. The results showed that: (1) The correlation between the number of droughts and drought-affected area at the 0.05 significance level, indicating that the SPEI has an excellent suitability in the Huai river basin. (2) The drought time was significantly different and drought frequency was obvious fluctuation in the Huai river basin. The most of severe drought and extreme drought is the largest in 1960s (24.8%), followed by 2010s (15. 8%) and lowest in 1980s (10.0%). (3) The spatial distribution of drought has much difference. The drought severity was change between 27.76% and 36.04% in the Huai river basin. The drought severity in the northwest and southeast is lower than that in the southwest, northeast and central regions. (4) The results showed that trend of regional drought had a tendency towards drought conditions, which was the decreasing from the middle to the surroundings in the Huai river basin. The principal modes of our results indicated obvious variation and consistent.

Key Words: Standardized precipitation evapotranspiration index; empirical orthogonal function; temporal and spatial characteristic; Huai River Basin

干旱是全球最常见、最普遍的自然灾害,具有发生频率高、持续时间长、影响范围广的特点。在气候变化和人类活动的共同影响下,全球范围的干旱问题已日趋严重^[1-2]。淮河流域是我国重要商品粮基地,耕地面积14.27×10⁴km²,占全国的9.8%,主要作物有小麦、水稻、玉米、薯类、大豆、棉花和油菜,生产全国近20%的粮食,平均每年向国家提供的商品粮约占全国商品粮的1/4,为国家粮食安全提供了强有力的保障^[3-4]。与此同时,淮河流域地处我国南北气候过渡带,气候条件复杂,水旱灾害频繁^[5]。1949—2010年间,淮河流域累计旱灾受灾面积1.67×10⁹hm²,成灾面积87.30×10⁴km²,损失粮食13.96×10⁹kg,平均每年2.70×10⁴km²农作物受旱,1.41×10⁴km²农作物成灾^[5-6]。干旱灾害不仅直接影响着工农业生产和人民生活,而且其伴生灾害也会影响生态环境的平衡发展,成为制约区域社会经济快速发展的重要原因之一。

目前常用干旱指数来描述干旱现象,最常用的干旱指标主要是帕尔默干旱指数(PDSI)^[7]、标准化降水指数(SPI)^[8]、综合气象干旱指数(CI)^[9]。而在 2010 年由 Vicente-Serrano^[10]等提出标准化降水蒸散指数(SPEI),通过标准化潜在蒸散与降水的差值的累积概率值表征一个地区干湿状况偏离常年的程度,既考虑了PDSI 在干旱对蒸散的响应方面的优势,又考虑了 SPI 在空间上的一致性、多时间尺度的优点,并很好的应用在全球各个部分。Alam^[11]等利用马尔科夫链和三维对数线性模型,对印度 6 个主要干旱易发地区 12 个月时间尺度的干旱类别转变进行了建模,并利用 48 年月降雨量和温度数据的 SPEI-12 时间序列,研究了相对于干旱类别转变的差异。Yu^[12]等使用 SPEI 指数研究了中国 1951—2010 年干旱特征,结果表明中国自 1990 年后的严重干旱和极端干旱情况加重;庄少伟^[13]等利用中国气象局 160 个站 1951—2010 年月降水和月平均气温资料,分析了标准化降水蒸发指数(SPEI)在我国不同等级降水区域的适用性,并与标准化降水指数(SPI)和湿润指数 H 进行了对比分析,结果表明 SPEI 既能充分反映气温跃变以后增温效应对干旱程度的影响,又可作为监测指数识别干旱是否发生和结束,能较准确地表征干旱状况;叶磊^[14]等基于嘉陵江流域 1962—2010 年实测月降水和月平均气温数据,利用不同时间尺度(3,6,9,12 个月)的 SPI 和 SPEI 指数分析了流域干旱趋势的时空演变规律,结果表明 1962—2010 年嘉陵江流域整体呈干旱增加趋势;熊光洁^[15]等应用 SPEI 分别对云南省夏玉米生长期及西南地区干旱特征进行研究,说明 SPEI 适用于全球变暖背景下的干旱监测与评估。

尽管在中国研究干湿变化的指数很多,但对淮河流域的研究较少,在全球变暖的大趋势下,高温现象导致 淮河流域干旱的频繁发生^[16],而 SPEI 指数综合考虑了降水和温度因子,具备的多时间尺度优势,能够较好的 分析淮河流域短期、中期和长期的时间和空间变化特征,成为监测干旱的重要工具。因此,本文基于淮河流域 149 个气象站点的 SPEI,对不同时间尺度的淮河流域干旱时空变化特征进行探讨,结合对淮河流域历史旱情 的分析,进一步论述该研究对淮河流域农业干旱监测与防治具有重要理论价值与实践意义。

1 研究数据与方法

1.1 数据

本文选取淮河流域 149 个气象站 1962—2016 年逐 日最高温、日最低温、日降水量资料,数据来源于中国气 象数据网(图1)。为提高数据质量,确保结果准确可 靠,本文所使用的数据均使用 RClimDex 程序进行严格 的质量检测,包括异常值和错误值的筛选、日最高气温 是否小于最低气温等,不合格数据按缺测值处理。缺测 值使用三次样条函数内插补齐。



图 1 淮河流域气象站点分布 Fig.1 Distribution of meteorological stations in Huai River Basin

1.2 研究方法

1.2.1 标准化降水蒸散指数(SPEI)

标准化降水蒸散指数(SPEI)由 Vicente-Serrano^[10]等对降水量与潜在蒸散量差值序列的累积概率值进行 正态标准化后的指数。

本文采用 Penman-Monteith 公式计算 1962—2016 年逐日潜在蒸散量^[17],然后计算逐月降水与蒸散的差值 Di,即

$$D_i = P_i - \text{PET}_i \tag{1}$$

式中: *P*_i 为月降水量; *PET*_i 为月潜在蒸散量。通过叠加计算建立不同时间尺度气候学意义的水分盈亏累积 序列,即

$$O = SPEI_{SPEI \le -1}$$
(2)

式中:n≥k,k为时间尺度(月),n为计算次数。

对 Di 数据序列进行正态化处理, 计算每个数值对应的 SPEI 指数。其中, 标准正态化拟合采用 Loglogistic 分布模型, 并得到不同时间尺度的 SPEI 指数。依据中国气象局制定的 SPEI 干旱等级划分标准^[18] 对 研究区干旱等级进行划分。

1.2.2 干旱的定量表征

干旱的定量表征通过其属性来表示,主要包括干旱强度、干旱频率^[19]和干旱事件。

(1)干旱强度

干旱强度用来评价研究区内干旱的严重程度。其定义为,在干旱过程内,旱情达到中旱的 SPEI 值记为 1 的累计值,其值越大表明干旱越强。

$$Q = SPEI_{SPEI \leqslant -1}$$
(3)

式中:SPEI_{SPEI≤-1}为小于-1的 SPEI 值。

(2)干旱频率

干旱频率是研究期内发生干旱的月数占总月数的比例,其值越大表明干旱发生越频繁。

$$P = \left(\frac{m}{M}\right) \times 100\% \tag{4}$$

式中:m为发生干旱的月数,M为研究期总月数。

(3)干旱事件

干旱事件是指 SPEI 值达到轻旱及以上旱情的发生次数。

$$O = SPEI_{SPEI \leqslant -0.5}$$
⁽⁵⁾

式中:SPEI_{SPEI≤-0.5}为小于-0.5的 SPEI 值。

1.2.3 Mann-Kendall 趋势分析

Mann-Kendall 检验(简称 M-K)是提取序列变化趋势的有效工具,被广泛应用于气候参数和水文序列的

分析^[20]。M-K方法以适用范围广、人为性少、定量化程度高而著称,Z为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势,曲线Z在大于等于1.96时显著上升趋势,反之显著下降趋势。

1.2.4 经验正交函数分解

经验正交函数(EOF)分解是气候变化领域常用的时空分解方法^[21]。其原理是将某气候变量场的观测 资料以矩阵形式给出(m 是观测站,n 是时间序列长度):

$$X_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} \ x_{12} \ \cdots \ x_{1n} \\ x_{21} \ x_{12} \ \cdots \ x_{2n} \\ \vdots \ \vdots \ \vdots \ \vdots \\ x_{m1} \ x_{m2} \ \cdots \ x_{mn} \end{pmatrix}$$
(6)

气象场的自然正交展开,将X分解为时间函数Z和空间函数V两部分,即:

$$X = VZ \tag{7}$$

为研究淮河流域干旱发生的时间变化规律和空间模态,本文对多尺度 SPEI 指数的年均变量场进行分解, 从复杂的干旱变量场中分解出不同的时空模态,研究干旱的时间变化和空间模态,分析干旱特征,揭示干旱时 空演变的规律性。

2 淮河流域气象干旱时空演变特征分析

2.1 淮河流域年际变化特征

淮河流域 1962—2016 年各等级干旱发生次数的年际变化见图 2。从整体可以看出,干旱发生次数呈现 波动变化,但总体趋势呈现上升趋势(图 2a)。从 1962—2016 年间,淮河流域平均每年发生 3.8 次干旱事件, 总体干旱次数超过 2.7 次的共 33 年,其中 1967 年最为突出,发生中旱、特旱以及总数最多,共 9.1 次,高达淮 河流域平均干旱次数的 2 倍以上。主要干旱年份发生在 1965—1968 年,1976—1982 年,1990—2005 年, 2010—2016 年,在 90 年代前,连续干旱年份时间较短,在 1990—2005 年,淮河流域处于较长的连续干旱状态, SPEI 干旱发生次数—直保持—定的稳定发展,表明了淮河流域具有较为明显的干旱化趋势。1962—2016 年 间重旱以及特旱年代际比重分别为 24.8%、13.2%、10.0%、15.7%、17.1%、15.8%;其中 90 年代最低,60 年代最 高。淮河流域绝大数地区易发生轻旱及中旱,重旱及特旱较少,在整个流域中占旱灾发生总的次数比例也不





http://www.ecologica.cn

高。因淮河流域地处我国南北气候过渡带,降水量波动大,当遇到极端气候或者连续多年干旱时,特大干旱发 生次数骤增^[22]。

从不同等级干旱我们可以看到,淮河流域中旱的发生次数(图 2b)每个年代相差不多,而 90 年代后中度 干旱的发生次数明显增多,且变化较为均匀,平均发生次数约 187 次,对比发现中旱的发生次数与淮河流域总 体干旱变化规律基本符合。从图中可以知道,淮河流域重旱、特旱形势严峻,最突出的是 1967 年,149 个站点 中重旱发生次数超过 400 次(图 2c),特旱超过 200 次(图 2d),约同等级干旱的 10 倍。而从特旱中可以看出 1966—1967 年、1978—1979 年、1994 年、1999—2003 年、2011 年、2013—2014 年等,查阅中国气象灾害大典安 徽卷、河南卷、山东卷和江苏卷^[23],经对比淮河流域历史干旱灾情记录可知,与淮河流域历史典型旱年非常吻 合,表明 SPEI 指数能较好地判断出淮河流域典型旱年。

2.2 淮河流域干旱的空间分布特征

淮河流域干旱发生频率的空间差异如图 3 所示,发现不同等级干旱发生频率在空间上差异较大。从总体 来看,淮河流域干旱频率在 27.76%—36.04%之间,干旱范围约占 1/3,淮河流域东部、东北部、西南部的干旱 频率较高,而西部、中部干旱频率较低一点,则西南部、东北部及中部干旱频率>西北部和东南部,且流域东北 部的干旱频率>东南部,西南部的干旱频率>流域中部和西北部。从空间上看,不同等级的干旱发生频率的地 区差异明显。其中,中旱发生频率主要集中在淮河流域东北部和西南部;重旱发生频率主要集中在山区和各 省份交界区域;特旱发生频率则主要集中在淮河流域的东南部和西北部。淮河流域气温和降水量在空间上分 布不均,受地形地貌等因素的影响,导致干旱分布具有区域性和复杂性。



图 3 1962—2016 年不同等级干旱发生频率分布图 Fig.3 Drought frequency distribution map of different grades from 1962 to 2016

由图 4 可以看出,1962—2016 年淮河流域旱灾强度主要由中部沿西南至东北分布,干旱强度较高区域主 要集中在中部、东北部以及西南部;各月份平均差别较小,淮河流域干旱形势较为严峻。淮河流域的东北部、 中部和西南部都是干旱强度较高的区域。

淮河流域山东的干旱强度相对最高,主要是由于大气环流的规律性运动和异常情况引起的,常年9月至 翌年5月,受东亚槽后西北下沉气流影响,西南暖湿气流难以到达山东,引起降水稀少,加之天气晴朗,空气干燥,因此多干旱发生^[24]。其次是淮河流域安徽和河南地区,旱灾易发,干旱类型多样。由图4可知,3—5月淮 河流域空间干旱范围较广,淮河流域降水量少、蒸发量大、地下水位低以及锋面雨带的不及时到达等原因影 响,易引发干旱。而这个时期是作物(小麦、油菜等)的主要生长季节,需水量大,干旱对作物的影响大^[25]。 6—8月降水量较多,空间上干旱强度分布呈现出南高北低的特点。主要是受西太平洋副热带高压季节性位移的影响,淮河流域降水分布受副高的影响程度由南向北逐渐变弱^[26]。9—11月干旱强度空间分布从西南向西北逐渐变低,干旱强度高值出现在淮河流域西北部。主要是夏季东南季风向冬季西北季风转换的过渡时期,当夏季风过强,锋面雨带的迅速北移,且受到山区地形的影响^[26]。



Fig.4 Spatial distribution of scale drought intensity from 1962 to 2016

2.3 淮河流域气象干旱趋势变化

图 5 是淮河流域 1962—2016 年各月份干旱变化趋势图。由图可知,淮河流域总体呈干旱化趋势,但是部分的 27 个站点则呈上升趋势,在图中呈现"Z"字型分布。上升趋势站点主要分布在淮河干流及支流沙颍河,下降变化分布则集中在山东的东部沿海地区和南四湖(南阳湖、独山湖、昭阳湖、徽山湖)地区、河南淮河流域的边界以及淮河流域的西南边界地势较高的区域。

从月尺度看,各月份趋势与年趋势较为一致,总体干旱趋势是呈下降的趋势,趋势上升部分在图中呈现 "Z"字型分布,随着月份的变化,"Z"字也随着发生变化。由图可知:1—6月"Z"字范围最广,平均上升占总数 19.3%,表明"Z"字区域在这阶段趋于湿润化发展,而在 7—12月"Z"字开始缩减,平均上升占总数 12.3%,流 域总体趋向于干旱化发展,这说明了下半年的干旱情况较上半年严峻,而这一现象也与4相呼应。在当前全 球气候变暖,极端气候事件增多的大背景下,地区干旱整体上呈现加重的趋势,对农业生产带来不利的 影响^[27]。

流域中部和南部的干旱略有减少趋势,流域东部和西部的干旱有增加趋势变化,流域干旱呈上升趋势的 站点占比18.1%,均未通过的显著性水平检验,而流域干旱呈下降趋势的站点趋势变化大部分未通过的显著 性水平检验,22.8%通过0.01显著性检验,表明淮河流域各地的干旱上升下降趋势变化大多不显著,流域东北



部和西南部干旱下降趋势显著(图5)。

Fig.5 Drought trend variation of stations from 1962 to 2016

2.4 淮河流域干旱的多尺度时空模态分析

为了更好的了解淮河流域干旱情况,对淮河流域 149 个站点 1962—2016 年的 SPEI 指数进行分解,探讨 淮河流域的干旱空间分型。由 SPEI 年均变量场的 EOF 分解结果可知:在1个月、3个月、12个月(分别对应 SPEI01,SPEI03 和 SPEI12)尺度下,前3个特征向量的方差累积贡献率分别达 78.6%,76.5%和 68% (表2)。

| | 表1 | 前3个特征向量对多尺度年平均 SPEI 场的方差贡献率 |
|---------|-----|--|
| Table 1 | Exp | lained variance of the leading EOFs of multiscalar averaged SPEI |

| 主要模态 | 贡献率 Explained variance | | | |
|--------------|------------------------|--------|--------|--|
| Leading EOFS | SPEI01 | SPEI03 | SPEI12 | |
| 第一模态 EOF1 | 63.7 | 60.4 | 46.7 | |
| 第二模态 EOF2 | 9.5 | 10.4 | 13 | |
| 第三模态 EOF3 | 5.3 | 5.7 | 8.3 | |

前3个模态的空间分布如图6所示,SPEI01和SPEI03的空间模态全流域值一致为正值或负值时,表明 淮河流域干旱分布一致性(图6a和6b)。而SPEI12全流域值不一致,第一模态中零线纵向将淮河流域分为 两部分,零线以东为负,零线以西为正,表明淮河流域干旱具有东多(少)西少(多)的分布型(图6c1);第三模 态零线横向将淮河流域分为两部分,零线以北为正,零线以南为负,表明淮河流域以零线为界干旱呈相反的北 多(少)南少(多)分布型式(图 6c3)。而在空间中,SPEI01、SPEI03 和 SPEI12 的空间分布具有一致性,第一模 态呈经向分布,第二模态呈纬向分布,第三模态呈纬向分布。



图 6 1962—2016 年 SPEI 不同时间尺度对应的前 3 个特征向量 Fig.6 Spatial distributions of the EOF first three feature vectors of the SPEI in Huai River Basin

SPEI01 特征向量对应的时间系数第一模态总体呈下降趋势,由正值转为负值(图 7a1),即表明第一模态 具有"由湿转干"的变化特点;第二空间模态基本保持不变(图 7a2);第三模态由负值转为正值(图 7a3),即表 明第三模态具有"由干转湿"的变化特点。

SPEI03 特征向量对应的时间系数第一模态总体呈上升趋势,由负值转为正值(图 7b1),即表明第一模态 具有"由干转湿"的变化特点;第二空间模态基本保持不变(图 7b2);第三模态由负值转为正值(图 7b3),即表 明第三模态具有"由干转湿"的变化特点。

SPEI12 特征向量对应的时间系数第一模态总体呈上升趋势。由正值转为负值(图 7c1),具有"由湿转干"的变化特点;第二空间模态由负值转为正值(图 7c2),具有"由干转湿"的变化特点;第三模态由正值转为 负值再转为正(图 7c3),则经历了"湿-干-湿"的轨迹变化。

图 8 是淮河流域 149 个气象站点时间系数的 M-K 趋势图。由图 8 可知:时间系数趋势变化均未超过 0. 05 的显著性水平检验。3 种时间尺度下变化趋势在±1.96 线内波动,整体趋势变化不明显,未有显著的上升 或下降趋势^[28]。而流域降水整体呈下降趋势^[29],这也导致了年和月尺度具有"由湿转干"的特点。而季尺度 变化特点与月、年尺度相反,虽有不同的干湿变化,但未通过显著性检验。主要由于淮河流域降水年际、年内 变化大,春季和秋季降水呈减小趋势,夏季和冬季呈增加趋势^[30-31]。从季节来看水涝灾害增多、旱灾减弱趋 势,变化趋势不显著,季节尺度的研究与郭冬冬等^[32]的结果一致。

在多时间尺度下将干旱进行分解可知,随着时间尺度的增大,特征向量的正负值分界线由复杂转向简单。 当时间尺度减小,干旱的变化频率越清晰,而随着时间尺度增大,干旱的空间规律性越明显。在时间系数的变 化上,随着研究时间尺度的增大,时间系数的变化频率逐渐减弱,而变化波动幅度逐渐增大,长时间尺度的 SPEI 对气候的响应减慢,更清楚地反映干旱变化的年际特征^[19]。











Fig.8 The trend test of time coefficient from 1962 to 2016

3 讨论

为了研究 SPEI 指数在淮河流域的适应性,获取到淮河流域 1981—2014 年的历年干旱受灾面积和成灾面积^[5-6](图 9)。从淮河流域 149 个站点中提取出安徽省、河南省、江苏省和山东省的相对应气象站点,由图 9 可知,干旱受灾面积和成灾面积较重的年份与干旱发生次数较为吻合。

39 卷

1981—2014年间,受灾、成灾面积与干旱次数的相关系数均为正值,二者存在正相关,随着干旱次数的增 多,受灾面积与成灾面积也相应的增加。在1981—2010年间,淮河流域干旱次数与受灾成灾面积的变化相互 对应;在2010年以后,淮河流域安徽、河南与江苏地区受灾成灾面积大幅度降低,随着干旱次数增多,其受灾 面积与成灾面积都在降低,而山东地区则与之相反。主要原因是2010年后国家发布中央一号文件,要求加强 水利设施建设,而山东全省水利工程主要建于"大跃进"及"文革"期间,工程质量差且运行50年以上,年久失 修,老化退化极为严重,实际拦蓄能力较低,且工程设施建设时标准不高,设施配套不全,遇连续干早,难以满 足抗早需要^[33]。





1981—2010年干旱频次与受灾面积和成灾面积的 相关系数,均通过了 0.05 的显著性水平检验;而 1981— 2014年干旱频次与受灾面积和成灾面积均通过 0.1 的 显著性水平检验。受灾与成灾面积与淮河流域干旱频 次相关系数较大的地区主要位于 1981—2010年,特别 是河南区域相关性最大(0.65),且通过了 0.01 的显著 性水平检验,表明该区域的干旱次数与承灾、受灾面积 直接相关。江苏省的干旱次数与受灾面积(0.35)的相 关系数高于成灾面积(0.32),由于该区域降水年际变化 大,年内分配不均,整体抗旱水平不高,随着国家积极推 进抗旱系统工程建设,积极应对干旱灾害,加强抗旱应 急工程建设,增加抗旱灌溉设施的修建^[34],干旱次数与 成灾面积相关系数下降 0.03,显著性下降 5%。而山东 省则正好相反,干旱次数与受灾面积(0.36)的相关系数



图 10 淮河流域各省份干旱次数与干旱成灾、受灾面积相关性 分析

低于成灾面积(0.45),由于山东省长时间的降水量及降水日数持续偏少,引起地下水的连年减少,导致的成灾 面积的扩大^[35-36]。

4 结论

本文基于 SPEI 指数和 EOF 分解等方法,分析了 1962—2016 年淮河流域干旱时空演变特征,并探讨了干旱时间变化规律和空间分布模态。得出以下几个结论:

Fig.10 Correlation analysis of drought frequency and drought disaster in each province of Huai river basin

(1)淮河流域旱灾发生频繁,发生重旱和特旱次数占总干旱的比重是 20.0%,其中重旱和及特旱在 1960s 比重最大(24.8%),其次是 2010s(15.8%),在 1980s 比重最低(10.0%);淮河流域东北部和西南部易发生轻旱 及中旱,重旱及特旱较少。结合淮河流域灾害大典历史旱情记录以及干旱受灾和成灾面积检验可知,在 1966—1967年、1978—1979年、1994年、1999—2003年、2011年、2013—2014年与淮河流域历史典型旱年非 常吻合,表明 SPEI 的指数能较好地判断出淮河流域典型旱年,且在淮河流域干旱监测中有较好的区域适 应性。

(2)淮河流域年均干旱空间分布主要呈中心对称分布,干旱发生频率流域东北部>西北部,西南部>西北 部。从发生频率看,干旱发生频率在增加,从干旱趋势看,淮河流域呈现干旱化趋势,表明淮河流域干旱对农 业生产的不利影响有增加的趋势。

(3)淮河流域干旱空间分布主要有3个主要模态,在3个时间尺度下,前3个主要特征向量的方差累积贡 献率分别达77.6%,76.5%和67%(表2)。前3个分布型为全流域干旱日数一致多或少型、南北相反型以及 东西相反型。研究 SPEI 在淮河流域多时间尺度干旱研究中的应用,有利于揭示干旱发生规律,为进一步预测 气候变化背景下干旱发展趋势及农业干旱监测与防治提供科学依据。

(4)淮河流域总体呈干旱化的趋势,其中呈上升湿润趋势平均比重约为18.1%,在图中呈现"Z"字型分布。而下降趋势较明显,极少数地区有显著下降的趋势,平均比重约为22.8%,通过了0.01的检验。干旱的发生不仅与降水温度有关,还与其他自然环境、人类活动等多方面有关,而淮河流域自然环境、人类活动等因素较为复杂,还有待于更进一步的研究。

参考文献(References):

- [1] Schiermeier Q. Increased flood risk linked to global warming. Nature, 2011, 470(7334):316.
- [2] 马柱国,符淙斌. 1951—2004年中国北方干旱化的基本事实. 科学通报, 2006, 51(20):2429.
- [3] 王胜,田红,丁小俊,谢五三,陶寅.淮河流域主汛期降水气候特征及"旱涝急转"现象.中国农业气象,2009,30(1):31-34.
- [4] 吴永祥,姚惠明,王高旭,沈国昌,施睿,侯保灯.淮河流域极端旱涝特征分析.水利水运工程学报,2011(4):149-153.
- [5] 宁远. 淮河流域水利手册. 科学出版社, 2003.
- [6] 水利部淮河水利委员会水文局.淮河流域片水旱灾害分析. 2002.
- [7] Gobena A K, Gan T Y. Assessment of Trends and Possible Climate Change Impacts on Summer Moisture Availability in Western Canada based on Metrics of the Palmer Drought Severity Index. Journal of Climate, 2013, 26(13): 4583-4595.
- [8] 翟禄新, 冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化. 自然资源学报, 2011, 26(5): 847-857.
- [9] Manatsa D, Mushore T, Lenouo A. Improved predictability of droughts over southern Africa using the standardized precipitation evapotranspiration index and ENSO. Theoretical & Applied Climatology, 2015, 127(1-2): 1-16.
- [10] Vicente-serrano S M, Beguería S, Lópezmoreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 2010, 23(7): 1696-1718.
- [11] Alam N M, Sharma G C, Moreira E, Jana C, Mishra P K, Sharma N K, Mandal D. Mandala Evaluation of drought using SPEI drought class transitions and log-linear models for different agro-ecological regions of India. Physics & Chemistry of the Earth Parts A/b/c, 2017, 100.
- [12] Yu M, Li Q, Hayes M J, Svoboda M D, Heim R R. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index:1951-2010. International Journal of Climatology, 2014(34): 545-557.
- [13] 庄少伟, 左洪超, 任鹏程, 熊光洁, 李邦东, 董文成, 王利盈. 标准化降水蒸发指数在中国区域的应用. 气候与环境研究, 2013, 18(5): 617-625.
- [14] 叶磊,周建中,曾小凡,张海荣,卢鹏,孙新德. 气候变化下 SPEI 指数在嘉陵江流域的干旱评估应用. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (6):943-948.
- [15] 熊光洁, 张博凯, 李崇银, 尚可政, 王式功. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析. 气候变化研究进展, 2013, 9 (3): 192-198.
- [16] Yang C G, Yu Z B, Hao Z C, Zhang J Y, Zhu J T. Impact of climate change on flood and drought events in Huaihe River basin, China. Hydrology Research, 2012, 43(1/2): 14-22.
- [17] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO Irrigation and

Drainage, 1997: 1-15.

- [18] 中国气象科学研究院,国家气象中心,中国气象局预测减灾司.GB/T20471—2006 气象干旱等级.北京:中国标准出版社,2006:39-42.
- [19] 沈国强,郑海峰, 雷振锋. 基于 SPEI 指数的 1961—2014 年东北地区气象干旱时空特征研究. 生态学报, 2017, 37(17): 5882-5893.
- [20] Gocic M, Trajkovic S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. Global & Planetary Change, 2013, 100(1): 172-172.
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 气象出版社, 2007.
- [22] 郑晓东,鲁帆,马静,李彦军.基于标准化降水指数的淮河流域干旱演变特征分析.水利水电技术, 2012, 43(4):102.
- [23] 温克刚. 中国气象灾害大典.综合卷. 气象出版社, 2008.
- [24] 徐泽华,韩美.山东省干旱时空分布特征及其与 ENSO 的相关性.中国生态农业学报, 2018(8).
- [25] 陈小凤,王再明,胡军,王振龙.淮河流域近60年来干旱灾害特征分析.南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 20-24.
- [26] 唐侥,孙睿.基于气象和遥感数据的河南省干旱特征分析.自然资源学报,2013,28(4):646-655.
- [27] 黄晚华,杨晓光,李茂松,张晓煜,王明田,代妹玮,马洁华.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.农业工程学报,2010,26(7):50-59.
- [28] 谢五三,田红,王胜,唐为安.基于 CI 指数的淮河流域干旱时空特征研究. 气象, 2013, 39(09): 1171-1175.
- [29] Ye Z W, Li Z H. Spatiotemporal Variability and Trends of Extreme Precipitation in the Huaihe River Basin, a Climatic Transitional Zone in East China. Advances in Meteorology, 2017, 2017(1): 1-15.
- [30] Shi P, Ma X X, Chen X, Qu S m, Zhang Z C. Analysis of Variation Trends in Precipitation in an Upstream Catchment of Huai River. Mathematical Problems in Engineering, 2013, 2013: 1-11.
- [31] 聂兵, 沈非, 徐光来, 黄艳萍. 安徽省近 50 年降水时空变化分析. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(06): 574-579.
- [32] 郭冬冬, 郭树龙, 李彩霞, 周新国. 基于 SPI 的淮河流域旱涝时空分布特征研究. 灌溉排水学报, 2014, 33(06): 117-121.
- [33] 王文举,崔鹏,刘敏,沈蕾,李鑫,秦鹏程.近50年湖北省多时间尺度干旱演变特征.中国农学通报,2012,28(29):279-284.
- [34] 林峰. 山东省旱灾变化规律及减灾对策. 水利科技与经济, 2005, 11(8): 457-458.
- [35] 李长祝. 山东省 80 年代旱情及水资源供需浅析. 水文, 1992(s1): 20-22.
- [36] 苑文华, 王瑜, 张慧. 2010—2011 年秋冬季山东特大气象干旱特征及成因分析//中国气象学会年会 s2 灾害天气监测、分析与预报, 2014.