

刘心洁,聂道洋,黄紫洁,等. 淮河流域 1914—2013 年气候干湿变化特征[J]. 陕西气象, 2024(2): 38-44.

文章编号: 1006-4354(2024)02-0038-07

# 淮河流域 1914—2013 年气候干湿变化特征

刘心洁<sup>1</sup>, 聂道洋<sup>2</sup>, 黄紫洁<sup>3</sup>, 周 瑜<sup>1</sup>

(1. 东乡区气象局, 江西东乡 331800; 2. 抚州市气象局, 江西抚州 344000;

3. 宜黄县气象局, 江西宜黄 344400)

**摘要:** 利用淮河流域 1914—2013 年标准化降水蒸散指数(SPEI)研究流域的气候干湿变化、干旱的时空分布和周期特征, 结果表明: 流域的年际和年代际变化均呈湿润化趋势; 四季中, 除秋季外均通过了 Mann-Kendall 趋势检验(0.05 显著性水平), 秋旱最易发生。干旱空间分布非常不均匀, 不同程度的干旱频率有较大的地区差异, 中旱频率高值区位于流域西北以及东北部, 重旱频率由北向南递增, 极旱频率在流域内较小, 高值区域位于流域的东南角。流域均呈湿润化趋势, 但西部、东部和北部边界一带湿润化趋势不明显。淮河流域存在 35~65 a、17~30 a、3~7 a 的三类尺度的干旱周期, 以 55 a 为第一主周期。

**关键词:** 标准化降水蒸散指数(SPEI); 淮河流域; 干湿变化; 干旱

**中图分类号:** P46

**文献标识码:** A

干旱是全球最重大的气候灾害之一, 其特点是发生频率高、持续时间长、影响范围广。在全球气候变暖背景下, 干旱已经成为一个严重威胁到人类生存的环境问题。淮河流域地处我国东部, 在长江和黄河流域之间。其气候条件复杂, 水旱灾害发生频繁。20 世纪以来, 淮河流域干旱事件频发, 据资料统计, 淮河流域 1991—1998 年旱灾的年平均成灾农田达到了 2 065 333 hm<sup>2</sup>, 占据了全流域耕地面积的 16%<sup>[1]</sup>。由此可见, 加强对淮河流域气候干湿变化及干旱状况的研究, 意义重大。标准化降水蒸散指数 SPEI 指标综合考虑了降水和蒸发因素, 是一个较为理想的干旱监测指标。段莹<sup>[2]</sup>等基于 PDSI、SPEI 及 CI 指数在 2010—2011 年冬、春季江淮流域干旱过程的应用分析中发现, SPEI 指数在江淮地区有良好的适应性。王秋云等<sup>[3]</sup>基于 SPEI 指数分析西南地区的气候干旱及气候变化特征, 发现西南地区干旱强度中部最高, 西部次之, 东部最低; 干旱强度中部

地区增强最为显著。颜雅琼等<sup>[4]</sup>基于标准化降水指数年际变化分析淮河流域干旱时空变化, 发现流域内秋季干旱化趋势明显, 冬季呈湿润化发展, 春夏季干旱演变存在地区差异。芮广军等<sup>[5]</sup>引入云模型开展研究区干湿格局分析, 发现淮河流域干湿分布格局与降水分布相似, 变率由北向南增大, 除东北部外其他站点趋于变湿。马楚楚等<sup>[6]</sup>基于降水距平百分比指数研究了汉中地区干旱变化, 发现干旱朝着小区域性中旱发展, 春季和夏季干旱有增加趋势。目前大多干旱研究关注的是近几十年的干旱, 鲜有关于近 100 a 干旱变化的研究。本文基于淮河流域 1914—2013 年 SPEI 指数, 研究流域气候干湿变化、不同尺度干旱的空间特征, 分析不同等级干旱的频率以及干旱的变化趋势。对比分析 SPEI 数据与利用气象站点资料计算的 SPEI 一致性, 并在此基础上尝试构建可逐年追加的淮河流域百年以上逐年干湿指数序列, 以为淮河流域的抗旱决策服务提供技术支持。

收稿日期: 2023-02-16

作者简介: 刘心洁(1996—), 女, 汉族, 江西抚州人, 学士, 助理工程师, 从事中短期天气预报和服务。

基金项目: 抚州市气象局自筹经费科研项目(FZQXKY202308); 江西省气象局面上项目(JX2022M20)

## 1 数据研究方法

### 1.1 研究区域概况

淮河流域位于我国东部地区,介于长江和黄河流域之间,流域范围在  $111^{\circ}55'E \sim 121^{\circ}25'E$ 、 $30^{\circ}55'N \sim 36^{\circ}36'N$  之间,面积约为 27 万  $\text{km}^2$ 。淮河流域位于我国的南北气候过渡带,在淮河以南属于北亚热带地区,以北属于暖温带地区。其特点是,冬春季流域内干旱,降雨比较少,夏季秋季天气较为闷热,降雨较多,冷暖以及干旱和洪涝转变得比较剧烈<sup>[7]</sup>。

### 1.2 数据来源

数据来源于 Vicente-Serrano 等计算<sup>[8]</sup>的全球 1901—2013 年时间尺度为 1~48 个月,分辨率为  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  的 SPEI 数据集,数据来源的网址为 <https://digital.csic.es/handle/>。天擎大数据平台,淮河流域 26 个气象站 1961—2013 年淮河流域 26 个气象站点的月降水和月平均气温资料。本文使用 SPEI 数据集中 1914—2013 年的 1、3、12 个月尺度的 SPEI 值(分别用  $I_{\text{SPEI1}}$ 、 $I_{\text{SPEI3}}$ 、 $I_{\text{SPEI12}}$  表示)。 $I_{\text{SPEI1}}$  代表每月的干湿情况,春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为上一年 12 月—次年 2 月<sup>[9]</sup>。用 5、8、11 月以及 2 月的

$I_{\text{SPEI3}}$  代表四季的干湿情况, $I_{\text{SPEI12}}$  来代表该年干湿情况,使用淮河流域所有栅格的 SPEI 值的算术平均值来代表流域平均的 SPEI 值,10 a 的  $I_{\text{SPEI12}}$  的算术平均值代表年代际的干湿情况。

### 1.3 研究方法

利用淮河流域 1914—2013 年不同尺度的 SPEI 值来表征流域的干湿状况。时间上,采用线性趋势估计,分析流域的干湿变化趋势,利用 Mann-Kendall(简称 M-K)趋势检验方法,对干湿变化的趋势显著性水平进行检验。空间上,统计流域内月、季和年尺度上,每个格点 1914—2013 年发生干旱的频率,月尺度 1914—2013 年不同等级干旱发生的频率,分析干旱的空间分布特征;使用线性趋势估计得出流域内每个格点 1914—2013 年  $I_{\text{SPEI1}}$  和  $I_{\text{SPEI12}}$  线性倾向率,来研究流域干湿变化趋势的空间特征。利用流域平均  $I_{\text{SPEI12}}$ ,采用小波变换方法<sup>[10]</sup>分析淮河流域干旱的周期特征。计算流域 26 个气象站 1961—2013 年的 SPEI 并与同期 SPEI 数据集资料进行相关性分析。

干湿划分等级参照 Vicente-Serrano 等<sup>[8]</sup>划分的等级标准,将 SPEI 划分为 9 个等级(表 1)。

表 1 SPEI 干湿等级划分

等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9
类型	极湿	重湿	中湿	轻湿	正常	轻旱	中旱	重旱	极旱
SPEI 值	$\geq 2.0$	[1.5, 2.0)	[1.0, 1.5)	[0.5, 1.0)	(-0.5, 0.5)	(-1.0, -0.5)	(-1.5, -1.0)	(-2.0, -1.5)	$\leq -2.0$

干旱发生频率的计算。干旱发生的频率为  $p$ ,其计算公式<sup>[11]</sup>为

$$p = n/N \times 100\% \quad (1)$$

式中: $n$  为数据序列中发生轻度及以上旱的次数, $N$  为数据序列长度。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候干湿变化特征

2.1.1 干湿的年际及年代际变化特征 图 1 为 1914—2013 年淮河流域干湿的年际变化,从中可以看出  $I_{\text{SPEI12}}$  随时间波动增长,其变化趋势率为  $0.072(10 \text{ a})^{-1}$ ,通过了 0.05 的显著性检验,M-K 检验结果显示突变点为 1944 年(图 2)。干旱年

份为 28 a,湿润年份为 27 a。干旱年和湿润年的频次和等级程度差别不大。极旱至极湿各等级的频次分别为:0、1、10、17、45、22、4、1、0 a,其中 1929 年  $I_{\text{SPEI12}}$  为 -1.7,属于重旱年份,2003 年为 1.96,属于重湿年份。与《中国气象灾害大典》<sup>[12]</sup>记载有较好的一致性,说明 SPEI 指数适用于淮河流域的干湿特征分析。由图 3 可知,20 世纪 20—40 年代的  $I_{\text{SPEI12}}$  小于零,偏干旱,其中 20 世纪 20 年代的  $I_{\text{SPEI12}}$  小于 -0.5,是最干旱年代。20 世纪 50—21 世纪前 10 a 的  $I_{\text{SPEI12}}$  大于零,偏湿润,其中 21 世纪前 10 a 的  $I_{\text{SPEI12}}$  大于 0.5,是最湿润的年代。年代际  $I_{\text{SPEI12}}$  的分布规律与常帅鹏等<sup>[13]</sup>

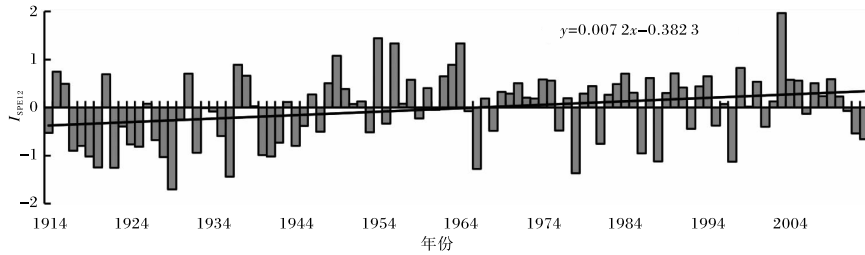


图1 1914—2013年淮河流域干湿的年际变化

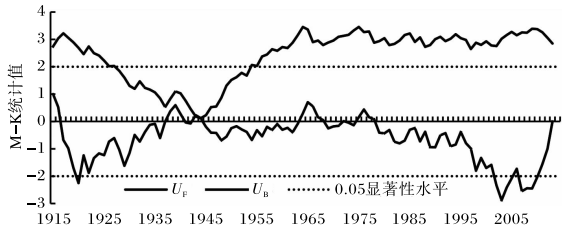


图2 1914—2013年淮河流域  $I_{SPE12}$  序列 M-K 检验

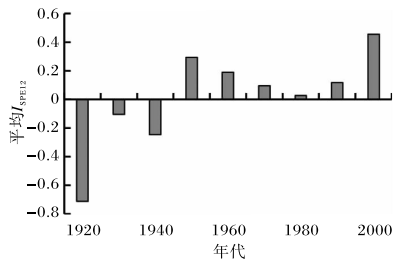


图3 1920—2000年代淮河流域  $I_{SPE12}$  的年代际变化

以及杨传国等<sup>[14]</sup>的研究成果基本吻合。前者得出的结论为2000年以后干旱次数明显减少,不同年代年尺度指标以及四季尺度指标湿润次数明显增加;后者得出结论为干湿突变的年份在1953年前后,20世纪末期,东亚夏季风恢复增强<sup>[15]</sup>,流域处于偏湿润的时期。因此,淮河流域存在向湿润转变的发展趋势。

**2.1.2 季节干湿变化特征** 利用  $I_{SPE3}$  指数分析1914—2013年淮河流域四季干湿时间变化(图4)。不同季节的  $I_{SPE3}$  均呈现缓慢上升的趋势,除秋季外,其他季节均通过0.05的显著性水平检验,但是不同季节  $I_{SPE3}$  变化趋势率以及干湿等级频次存在较大差别,其中夏季上升趋势最显著( $P < 0.01$ )。春季  $I_{SPE3}$  的变化趋势率为  $0.058(10\text{ a})^{-1}$ ,干旱年和湿润年分别为27 a和30 a。其中1981、2001年属于重旱,1963、1985、1998、2002年属于重湿。中度及以上干旱和湿润发生的频率均为12%。夏季  $I_{SPE3}$  的变化趋势率为  $0.042(10\text{ a})^{-1}$ ,干旱年和湿润年分别为22 a和

26 a。其中1966年属于重旱。中度及以上干旱和湿润发生的频率分别为4%和6%。秋季  $I_{SPE3}$  的变化趋势率为  $0.033(10\text{ a})^{-1}$ ,干旱年和湿润年分别为34 a和38 a。其中1988年属于重旱,1935、1962、1963、1993年属于重湿。中度以上干旱和湿润发生的频率分别为17%和12%。冬季  $I_{SPE3}$  的变化倾向率为  $0.009(10\text{ a})^{-1}$ ,干旱年和湿润年分别为28 a和35 a。其中1968和1977年属于重旱,1976年属于重湿,1990年属于极湿。中度以上干旱和湿润发生的频率分别为18%和13%。从以上分析可以看出,春、夏两季湿润化的速率较快。

不同季节发生干旱的频率相差不大,秋旱的频率相对较高。在各季节中,不同程度的干旱发生的频率也不同:春季轻旱(55.5%)稍大于中旱(37%);夏季轻旱(81.8%)最大,远远大于中旱(13.6%)和重旱(4.6%);秋季轻旱(50%)与中旱(47%)相差不大,大于重旱(3%);冬季与其他几季不同,中旱(57.1%)大于轻旱(35.7%)。

## 2.2 干旱的空间分布特征

淮河流域1914—2013年不同时间尺度干旱发生频率的空间分布见图5。淮河流域春季干旱发生的频率呈现出由西向东低-高-低的分布,且南部的发生频率高于北部,高发区集中在安徽西北部与山东南部(图5a)。夏季干旱发生的频率,由西南向东北呈低-高-低-高的分布,几个高发区分别位于河南东南部、安徽东北部以及山东省中部地区,频率均达到36%(图5b)。秋季干旱发生频率,由西向东逐渐增大,高发区位于安徽北部,频率达到43%(图5c)。冬季干旱发生频率呈现出由西向东低-高-低的分布,流域东部的干旱发生频率最低,流域西部和中部略高,流域中部偏西部干旱发生的频率最高,高发区位于河南固始与

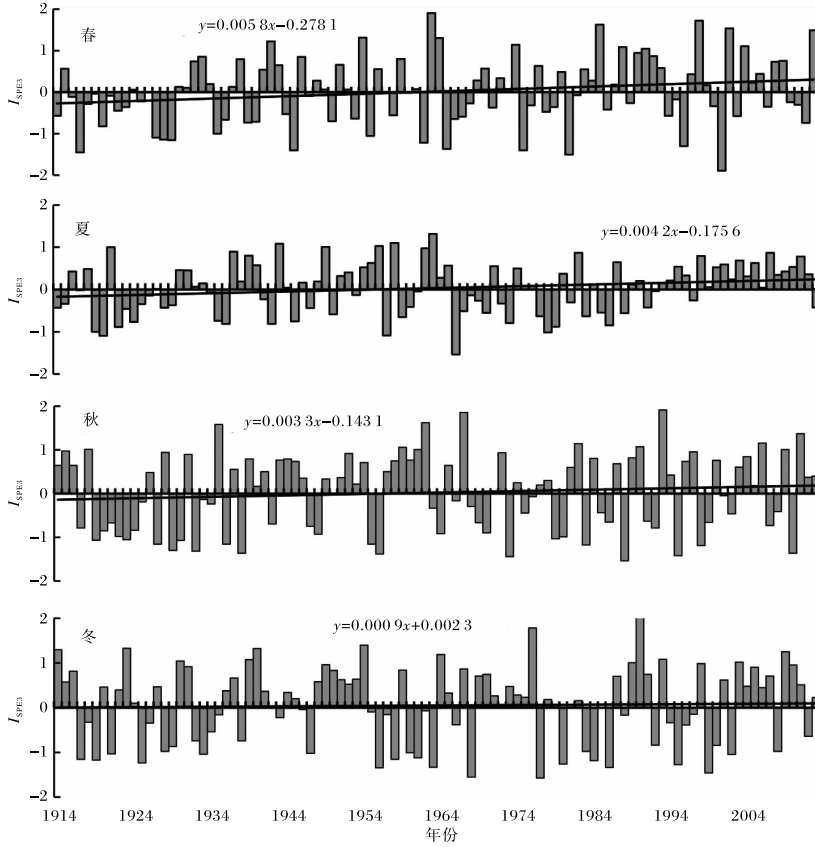


图 4 1914—2013 年淮河流域四季干湿的年际变化

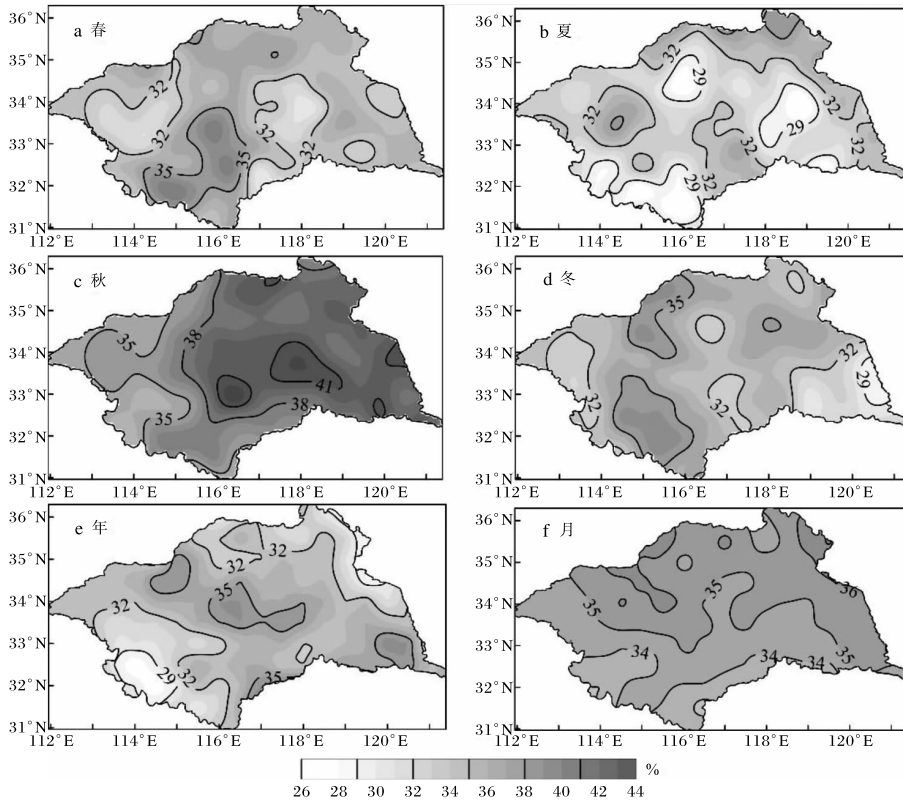


图 5 1914—2013 年淮河流域不同时间尺度干旱频率的空间分布(审图号为 GS(2017)3320 号)

信阳之间和商丘北部地区,频率达到 37% (图 5d)。

### 2.3 不同程度干旱的空间分布特征

月尺度下,淮河流域近 100 a 来不同程度的干旱地域分布有一定的差异,但干旱频率相对较低的区域均位于河南许昌信阳一带。轻旱频率大致由东北向西南逐渐增大,轻旱高发地位于安徽亳州市、河南确山县以及信阳东南部(图 6a);中

旱频率由北向南递减,高值区位于流域西北部以及东北部,频率最高点处于河南宝丰以及山东兖州与莒县之间的地区(图 6b);重旱频率整体由北向南递增(图 6c);极旱频率整体由西北向东南逐渐递增,极旱频率高值区位于流域的东南角,发生频率低值区与其他三种程度的干旱不同,除了许昌和信阳一带外,在江苏徐州也存在一个低值区(图 6d)。

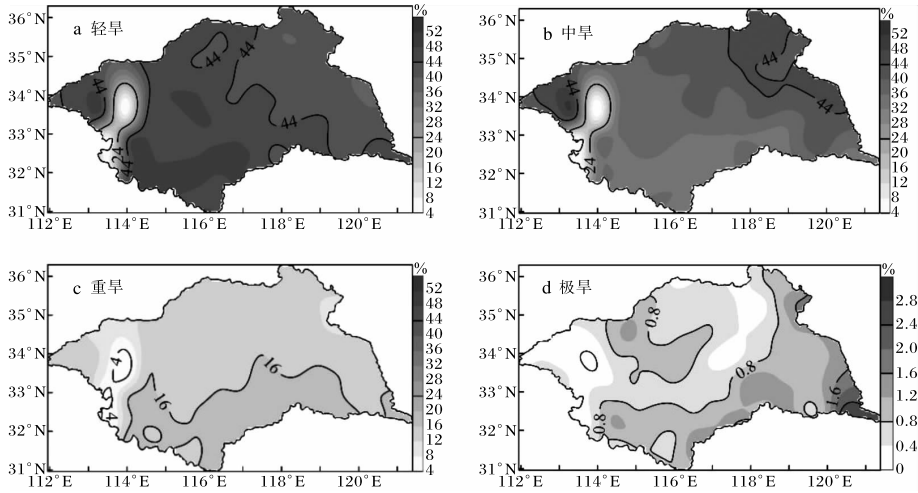


图 6 1914—2013 年淮河流域月尺度不同程度干旱频率的空间分布

### 2.4 流域干湿变化趋势的空间分布特征

利用流域内所有格点 1914—2013 年  $I_{SPEI1}$  以及  $I_{SPEI2}$  的线性趋势率来表示流域干湿变化的趋势,线性趋势率均大于零,表明整个淮河流域均为湿润化的趋势(图 7)。年尺度下,线性趋势率较大的区域分布在淮河流域中南部,有两个高值集中区,分别在安徽阜阳以及江苏高邮和射阳之间的区域,在  $5.8 \sim 6.6 (10 a)^{-1}$  之间,线性倾向率较

小的区域分布在流域的西部、东部、北部边界一带,在  $2.2 \sim 4 (10 a)^{-1}$  之间;月尺度下,线性倾向率大值区集中在淮河流域的中南部安徽寿县一带,在  $16.5 \times 10^{-2} \sim 17.5 \times 10^{-2} (10 a)^{-1}$  之间,线性倾向率低值区分布在流域西南角以及东部流域边界一带,在  $2.5 \times 10^{-2} \sim 6.5 \times 10^{-2} (10 a)^{-1}$  之间。年尺度的线性倾向率明显要大于月尺度,两者的数值相差较大,但大小分布特征比较相似。

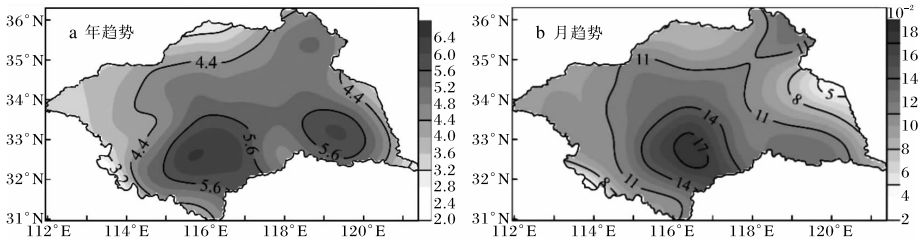


图 7 1914—2013 年淮河流域年、月尺度干湿变化趋势率(单位:  $(10 a)^{-1}$ ) 的空间分布

### 2.5 干旱变化的周期特征

利用 Morlet 连续小波变化,对淮河流域 1913—2013 年的  $I_{SPEI2}$  进行周期分析,得出其干

旱的周期(图 8)。干旱演变过程中,存在着 35~65 a, 17~30 a, 3~7 a 的三类周期变化。在 55 a 尺度上,出现了干湿交替的准 2 次震荡,1914—

1940 年、1950—2000 年属于偏干早期,其他年份属于偏湿润期;在 20 a 尺度上存在着干湿交替的准 5 次震荡。这三个尺度的周期变化在 100 a 中表现比较稳定,存在全流域性(图 8 a)。从小波系

数模等值线图可以看出,35~65 a 尺度周期非常得显著,特别是以 55 a 尺度为最大周期,是时间序列的第一主周期(图 8b)。

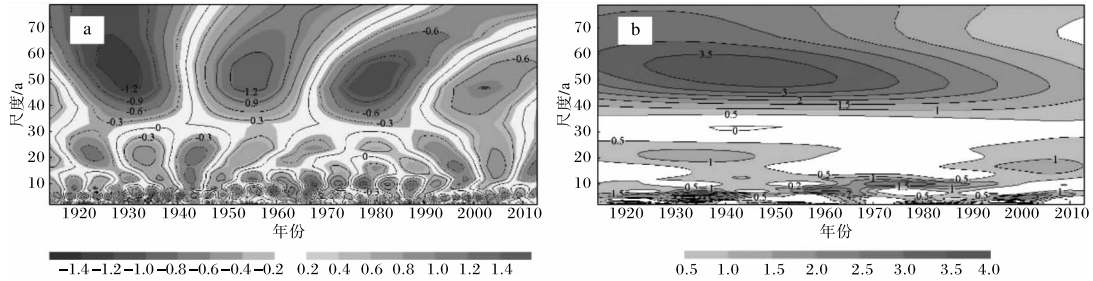


图 8 1914—2013 年淮河流域  $I_{\text{SPEI}12}$  小波变化实部等值线(a)和小波系数模等值线图(b)

## 2.6 气象站点资料计算的 SPEI 与数据集资料对比分析

为验证数据集资料与气象站点资料的一致性,并在此基础上构建可逐年追加的淮河流域百年以上逐年干湿指数序列,使用淮河流域 26 个气象站点 1961—2013 年的月降水和月平均气温计算各个站点的  $I_{\text{SPEI}1}$ 、 $I_{\text{SPEI}3}$ 、 $I_{\text{SPEI}12}$ ,并与 1961—2013 年数据集资料统计结果做相关性分析(表 2)。

$r_1$ 、 $r_3$ 、 $r_{12}$  分别为数据集资料和站点计算的  $I_{\text{SPEI}1}$ 、 $I_{\text{SPEI}3}$ 、 $I_{\text{SPEI}12}$  的相关系数,除许昌和西华的  $r_{12}$  外,其余相关系数均通过 0.01 的显著性检验。由表 2 可知  $r_1$ 、 $r_3$  除寿县外均较高,数据集资料和站点计算的  $I_{\text{SPEI}1}$ 、 $I_{\text{SPEI}3}$  具有较强的相关性。 $r_{12}$  除兖州、日照、郑州、许昌、开封、宝丰、西华、寿县外,其余的数据集资料和站点计算的  $I_{\text{SPEI}12}$  相关性较强。相关性较弱的站点基本分布在流域的北部。

表 2 1961—2013 年淮河流域 26 个站点的 SPEI 与数据集资料的相关系数

站名	$r_1$	$r_3$	$r_{12}$	站名	$r_1$	$r_3$	$r_{12}$
沂源	0.9	0.8	0.8	徐州	0.9	0.9	0.8
兖州	0.8	0.7	0.2	赣榆	0.8	0.8	0.8
莒县	0.8	0.8	0.8	亳州	0.8	0.8	0.7
日照	0.8	0.7	0.4	宿县	0.8	0.7	0.6
郑州	0.9	0.8	0.2	盱眙	0.8	0.8	0.6
许昌	0.8	0.6	0.1	射阳	0.8	0.8	0.7
开封	0.8	0.7	0.2	阜阳	0.8	0.8	0.7
宝丰	0.8	0.7	0.2	固始	0.8	0.8	0.8
西华	0.8	0.7	0.1	寿县	0.6	0.4	0.2
驻马店	0.8	0.8	0.7	蚌埠	0.8	0.8	0.7
信阳	0.8	0.8	0.7	东台	0.8	0.8	0.8
商丘	0.8	0.8	0.8	六安	0.8	0.8	0.7
砀山	0.8	0.8	0.7	霍山	0.8	0.8	0.7

## 3 结论

利用淮河流域 1914—2013 年的不同时间尺度的 SPEI 指数分析流域的气候干湿变化,干旱的时

空分布及变化趋势和周期分析,得出以下的结论。

(1) 淮河流域的年际和年代际变化均呈湿润化的变化趋势。1929 年为重旱年,2003 年为重湿

年;20世纪20年代为最干旱的年代,21世纪初为最湿润的年代。除秋季外,其他季节均通过0.05显著性水平检验,有湿润化趋势,尤其是夏季;四季中,秋旱最易发生。

(2)干旱的空间分布非常不均匀:年尺度干旱频率呈由西南向东北低-高-低分布;月尺度干旱频率由北向南逐渐减小;春旱呈现出由西向东低-高-低分布,夏旱呈现出由西南向东北低-高-低-高分布,秋旱发生频率由西向东逐渐增大,冬旱发生频率呈现出由西向东低-高-低分布,流域东部的冬旱发生频率最低。

(3)近100 a淮河流域不同程度干旱的空间格局有很大的不同,中旱频率高值区位于流域西北部以及东北部,重旱频率由北向南递增,极旱频率在流域内较小,高值区域位于流域的东南角。

(4)未来流域干旱的时空分布,空间上,整个淮河流域均呈湿润化的趋势,但流域的西部、东部和北部边界一带湿润化较不明显,即干旱化减弱不明显;时间上,流域存在35~65 a、17~30 a、3~7 a的三类尺度的周期变化规律,其中以55 a为第一主周期。

(5)流域内26个气象站资料计算的SPEI和数据集资料对比, $I_{SPEI1}$ 、 $I_{SPEI3}$ 除寿县外均具有较强的相关性, $I_{SPEI2}$ 除兖州、日照、郑州、许昌、开封、宝丰、西华、寿县外,其余站点相关性较强。相关性较弱的站点基本分布在流域的北部。总体来说数据集资料与气象站点资料的一致性较好,可以使用站点资料追加开展后续研究。

#### 参考文献:

- [1] 郑晓东,鲁帆,马静,等.基于标准化降水指数的淮河流域干旱演变特征分析[J].水利水电技术,2012,43(4):102.
- [2] 段莹,王文,蔡晓军.PDSI、SPEI及CI指数在2010/2011年冬、春季江淮流域干旱过程的应用分析[J].高原气象,2013,32(4):1126-1139.
- [3] 王秋云,蔡艺友,方文维,等.西南地区1971—2012年干旱变化特征分析[J].陕西气象,2020(6):30-35.
- [4] 颜雅琼,岳元,唐舟,等.气候变化背景下淮河流域干旱演变特征[J].水土保持研究,2023,30(3):336-344.
- [5] 芮广军,孙朋,杨会宁,等.1959—2018年淮河流域干湿格局时空动态研究[J].中国水土保持科学(中英文),2022,20(4):74-83.
- [6] 马楚楚,张帅,彭菊蓉,等.汉中干旱时空分布特征分析[J].陕西气象,2020(5):48-51.
- [7] 王崇,徐京京,周亮广,等.近60 a来淮河流域干旱变化特征[J].水土保持通报,2015,35(3):338-343.
- [8] VICENTE-SERRANO S M, BEGUERIA S, LOPEZ-MORENO J I. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. Journal of Climate, 2010, 23(7):1696-1718.
- [9] 史本林,朱新玉,胡云川,等.基于SPEI指数的近53年河南省干旱时空变化特征[J].地理研究,2015,34(8):1547-1558.
- [10] 鲁凤,钱鹏,胡秀芳,等.基于小波分析与Mann-Kendall法的上海市近12年空气质量变化[J].长江流域资源与环境,2013,22(12):1614-1620.
- [11] 周丹,张勃,任培贵,等.基于标准化降水蒸散指数的陕西省近50 a干旱特征分析[J].自然资源学报,2014,29(4):677-688.
- [12] 温克刚,席国耀,徐文宁.中国气象灾害大典[M].北京:气象出版社,2006:14.
- [13] 常帅鹏,江善虎,任立良,等.淮河流域1960—2011年干湿时空变化特征[J].水电能源科学,2013,31(4):9-13.
- [14] 杨传国,陈喜,张润润,等.淮河流域近500年洪旱事件演变特征分析[J].水科学进展,2014,25(4):503-510.
- [15] LIU Haiwen, ZHOU Tianjun, ZHU Yuxiang, et al. The strengthening East Asia summer monsoon since the early 1990s[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(13):1553-1558.
- [16] 曹永强,徐丹,曹阳.淮河流域地表干湿变化的时空分布特征[J].土壤学报,2015,52(5):1031-1043.
- [17] 杨志勇,袁喆,马静,等.近50年来淮河流域的旱涝演变特征[J].自然灾害学报,2013,22(4):32-40.