

# 江苏省干旱空间格局研究

何 健<sup>1</sup>, 冯胜男<sup>1</sup>, 陈 静<sup>1</sup>, 唐运忆<sup>2</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水资源服务中心, 江苏 南京 210029)

**摘要:**基于江苏省 60 个气象站 52 年月降水量和月平均气温资料, 计算了站点多时间尺度标准化降水蒸散指数(SPEI), 并利用经验正交函数分解(EOF)、旋转经验正交函数分解(REOF)、统计检验聚类(CAST)等多种空间分型法对 SPEI 场的空间结构进行分析。结果表明:江苏省干旱主要表现为全省一致型、南北反向型和南北波列型 3 个空间型, 江苏全省自北向南可分为 4 个干旱区。

**关键词:**干旱; 空间格局; 江苏省

**中图分类号:**TV211

**文献标识码:**B

**文章编号:**1007-7839(2020)08-0058-05

## Study on spatial pattern of drought in Jiangsu Province

HE Jian<sup>1</sup>, FENG Shengnan<sup>1</sup>, CHEN Jing<sup>1</sup>, TANG Yunyi<sup>2</sup>

(1. *Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, China;*

*2. Water Resources Service Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)*

**Abstract:** Based on monthly total precipitation and average air temperature series of 52 years from 60 meteorological stations across Jiangsu Province, the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) at multiple time scales was calculated for each station. The Empirical Orthogonal Function (EOF), Rotated Empirical Orthogonal Function (REOF) and Cluster Analysis with Statistical Test (CAST) methods were introduced to identify the spatial characteristics of the SPEI fields. The results showed that the drought in Jiangsu Province had three representative spatial patterns, the consistent pattern in whole province, the opposite pattern of south to north and the wave pattern of south to north. Therefore, Jiangsu Province could be divided into four drought regions from north to south.

**Key words:** drought; spatial pattern; Jiangsu Province

## 1 概 述

江苏省地处我国南北气候、高低纬度和海陆相的重叠过渡带, 历来自然灾害频发。干旱是江苏省最常见的气象灾害之一, 全省几乎每年都有不同程度的旱情。如 1978 年春夏秋连旱, 河道断流, 塘坝干涸, 全省受旱面积达 380 万 km<sup>2</sup> 以上, 农业损失惨重, 人畜饮水困难; 又如 2011 年, 由于持续严重少雨, 加之长江、淮河来水普遍减少, 致使江河湖库水

位异常偏低, 近 60 年不遇的冬春夏连旱袭扰全省, 对生态环境、涉水产业影响明显。干旱已成为制约江苏省经济社会可持续发展的重要因素之一, 开展干旱相关研究刻不容缓。

把握干旱时空演变规律对防旱抗旱工作有重要参考价值, 同时也是进行干旱成因分析和长期预测的基础与前提。因此, 有必要利用长系列资料, 通过构建能准确反映旱情的干旱指数, 对江苏省历史干旱的空间格局进行系统研究。

收稿日期: 2020-05-22

基金项目: 江苏省水利科技项目(2017007)

作者简介: 何健(1984—), 男, 工程师, 主要从事水文情报预报工作。E-mail: longlivehj@hotmail.com

## 2 资料与方法

选取标准化降水蒸散指数 SPEI<sup>[1]</sup> 作为衡量干旱的标准。SPEI 在标准化降水指数 SPI 的基础上引入潜在蒸散发项,既具有 SPI 多时间尺度特征,又考虑了气温对干旱的影响,在中国区域具有较好的适用性<sup>[2]</sup>。采用江苏省 60 个气象站 1961—2012 年月降水量和月平均气温资料,计算站点 3 个月、6 个月和 12 个月尺度 SPEI,空间上形成 SPEI 场。

对各时间尺度 SPEI 场依次进行经验正交函数分解(EOF)、旋转经验正交函数分解(REOF)和统计检验聚类(CAST),方法具体步骤见相关文献<sup>[3-4]</sup>。SPEI 场 EOF 模态侧重于描述场的整体相关结构,代表干旱在空间上的典型分布形式,即空间型;REOF 载荷向量更加突出场的局部相关结构,有利于进行干旱区划分;而干旱空间型和干旱区随时间变化的主要信息则包含在对应的 EOF、REOF 时间系数中。CAST 聚类结果通过显著性检验,具有统计学意义,用于验证干旱分区的合理性。

## 3 江苏省干旱空间型

SPEI 场 EOF 分析结果(表 1)表明,3 种时间尺度下前 4 个模态 EOF1~4 累计方差贡献率均接近或超过 80%,其中 EOF1 和 EOF2 方差贡献率之和均达 70%以上;换言之,利用少数几个新变量(EOF 时间系数)即可反映原 SPEI 场 60 个气象站绝大部分信息,表明江苏省干旱空间分布存在较强共性。比较发现,SPEI3、SPEI6 和 SPEI12 场具有相似的 EOF 模态。鉴于此,以 SPEI12 场为例,阐明 EOF 模态包含的物理意义,并归纳江苏省干旱主要空间型。

表 1 江苏省 SPEI 场 EOF 方差贡献率

序号	SPEI3/%	SPEI6/%	SPEI12/%
EOF1	63.01	58.09	52.37
EOF2	14.87	16.24	18.74
EOF3	4.28	4.99	5.60
EOF4	2.49	2.75	3.21
累计	84.66	82.08	79.91

### 3.1 全省一致型

据统计分析,SPEI12 场 EOF 模态见图 1, SPEI12 场 EOF 时间系数见图 2, EOF1 典型过程

SPEI12 合成场见图 3。

如图 1(a)所示,SPEI12 场 EOF1 一致为正,揭示出干湿状况全省同步变化的特征,即全省性干旱或湿润。该模态方差贡献率高达 52.37%,一定程度上反映了江苏省干旱最有代表性的空间分布。此外,EOF1 自中部向南北两侧递减,江淮之间中南部和沿江苏南西北部为 0.8 以上高值覆盖,说明该模态在当地更具意义。

图 2(a)给出了 SPEI12 场 EOF1 时间系数。将时间系数 $\geq 1.5$  ( $< -1.5$ )且持续 3 个月以上作为确定模态典型正(负)位相过程的标准,则 EOF1 典型正位相过程出现 3 次(1963 年 3—8 月、1987 年 10—12 月、1991 年 6 月至 1992 年 5 月),典型负位相过程出现 4 次(1966 年 8 月至 1968 年 7 月、1978 年 7 月至 1979 年 5 月、1994 年 8 月至 1995 年 6 月、2005 年 5—7 月)。

如图 3 所示,对典型过程 SPEI12 场的合成分析表明,EOF1 正(负)位相较为客观地描述了江苏全省性湿润(干旱)的空间分布。

### 3.2 南北反向型

如图 1(b)所示,SPEI12 场 EOF2 北正南负,淮北地区和江淮之间基本为正值,由南往北递增,沿江苏南为负值,自北向南递减,反映出干湿状况南北相反的特征,即南干北湿或南湿北干。EOF2 在量值上较 EOF1 有所减小,但方差贡献率仍有近 20%(图 2),是江苏省干旱不可忽略的一种空间分布。

利用 SPEI12 场 EOF2 时间系数(图 2(b)),识别出 EOF2 典型正位相过程 4 次(1965 年 7—9 月、1971 年 7 月至 1972 年 7 月、2003 年 8 月至 2004 年 5 月、2005 年 7 月至 2006 年 6 月)、负位相过程 4 次(1977 年 9 月至 1978 年 4 月、1992 年 3—6 月、1999 年 8 月至 2000 年 6 月、2002 年 3 月至 2003 年 4 月),集中出现在 20 世纪六七十年代及 20 世纪末至 21 世纪初。由典型过程 SPEI12 合成场可知,EOF2 正、负位相分别与江苏省南干北湿和南湿北干相对应(图 4)。

### 3.3 南北波列型

如图 1(c)和图 1(d)所示,SPEI12 场 EOF3 和 EOF4 在南北方向上将全省划分为多个区域,构成正负相间的波列,显示出干湿状况交替分布的特征。EOF3 和 EOF4 方差贡献率不高,且量值明显小于前 2 个模态,对江苏省干旱空间分布的代表性有限。

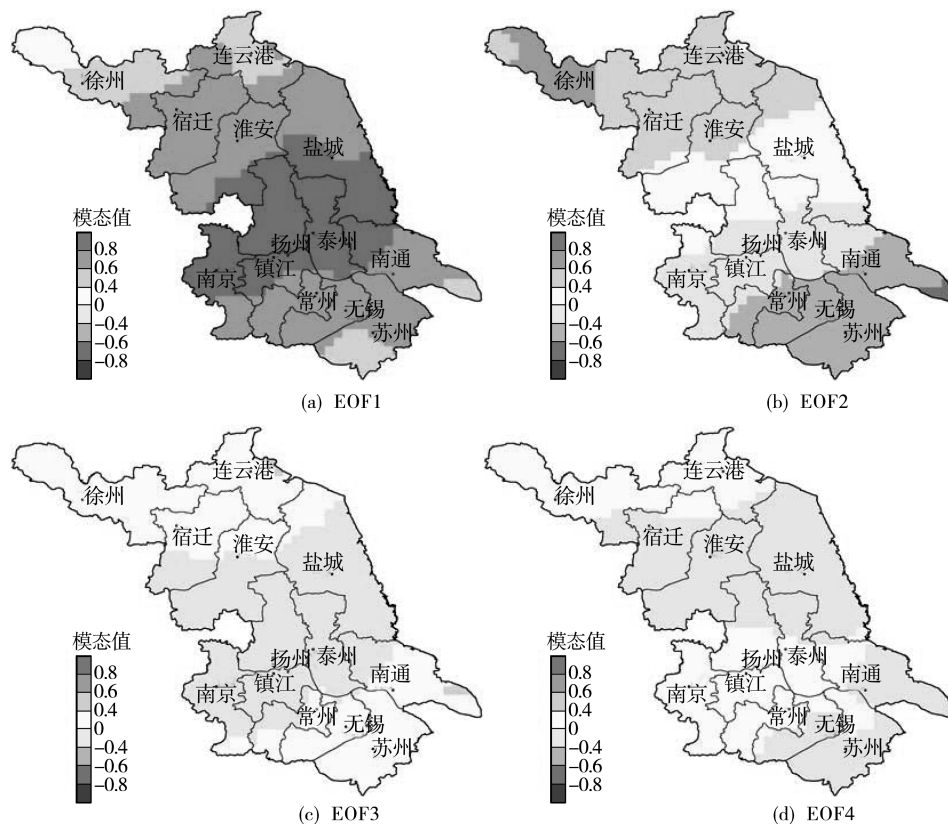


图 1 SPEI12 场 EOF 模态

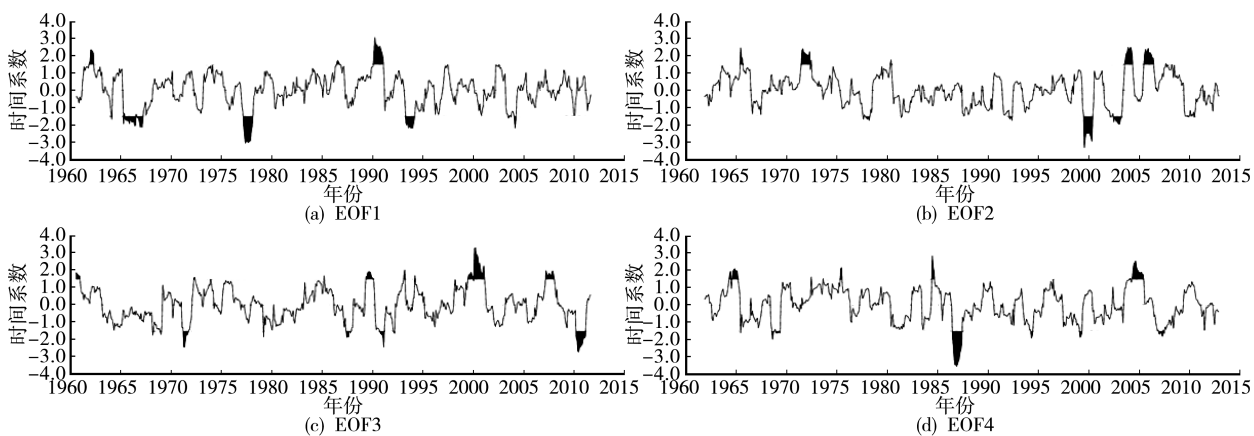


图 2 SPEI12 场 EOF 时间系数

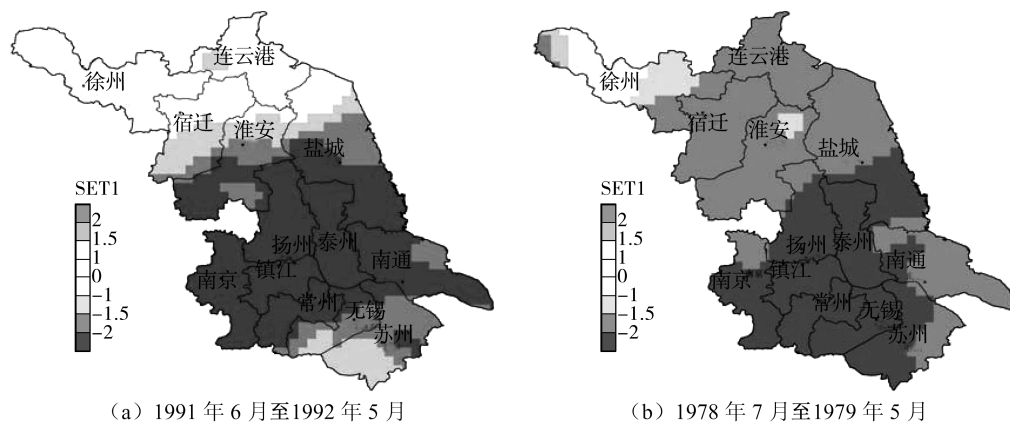


图 3 EOF1 典型过程 SPEI12 合成场

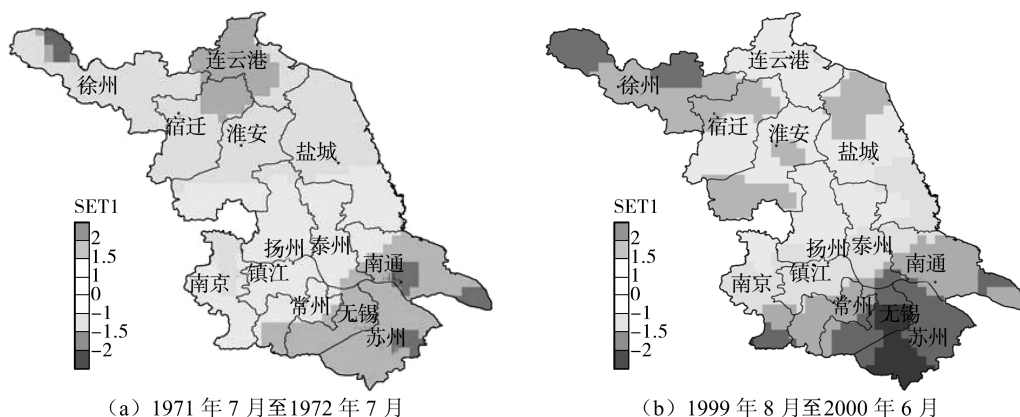


图4 EOF2 典型过程 SPEI12 合成场

#### 4 江苏省干旱分区

SPEI12 场 EOF 模态强调的是与全省尺度相当的干湿空间配置。为了便于进行干旱区划分,对 SPEI12 场 EOF1~4 进一步实施 REOF 分析,所得 4 个载荷向量(EOF1~4)累计方差贡献率保持不变。SPEI12 场 REOF 载荷向量见图 5。

变换,载荷向量高值区实际上已形成对江苏省的区域划分。由于高载荷区干湿变化时间同步性较高,因而上述分区即可作为江苏省干旱分区,如图 6 所示。方便起见,自北向南将 4 个区域依次编号 A~D,即:干旱 A 区,对应于 REOF2,包括徐州、连云港以及宿迁北部;干旱 B 区,对应于 REOF4,包括淮安、盐城以及宿迁南部和扬泰北部;干旱 C 区,对应

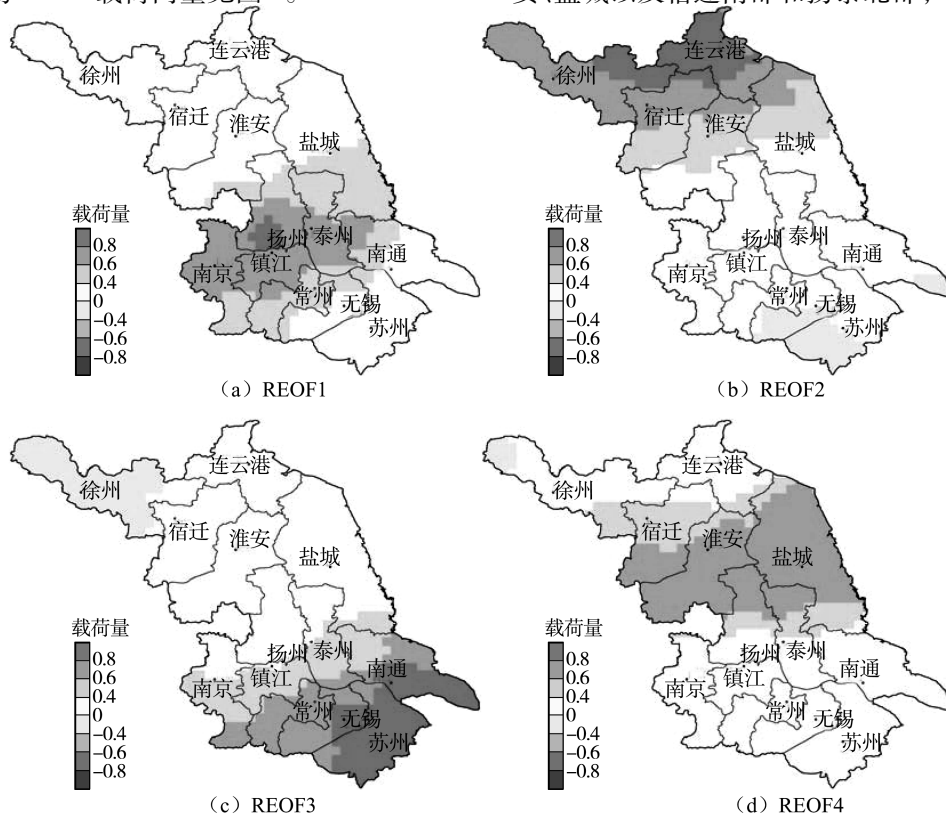


图5 SPEI12 场 REOF 载荷向量

如图 5 所示,江苏省 SPEI12 场 REOF1~REOF4 结构简单,特征清晰,具体表现在:高载荷(载荷量 $\geq 0.6$ )向相对较小的范围聚集,其余大部载荷较低,甚至接近于零;高载荷区界限分明,相互重叠少,合并起来几乎覆盖全省。不难发现,通过旋转

于 REOF1,包括南京北部、镇江、扬泰南部和南通西北部;干旱 D 区,对应于 REOF3,包括苏锡常以及南京南部和南通东南部。

以 SPEI12 场 REOF 时间系数为中心,对江苏省气象站进行 CAST 聚类,从统计学角度检验干旱分

区的合理性。如图 6 所示,0.05 显著性水平下,绝大多数站有明确类别归属,未分类站主要位于第一、三类交界处的过渡地带,聚类结果与干旱分区基本吻合。江苏省气象站 CAST 聚类(显著性水平 0.05)见图 7,由图 6 和图 7 还可以看出,江苏省干旱区与三大地理区存在一定程度关联。干旱 A 区占据淮北地区大部,干旱 B 区覆盖江淮之间全域,而干旱 C 区和 D 区则将沿江苏南划分为西北和东南两部分。

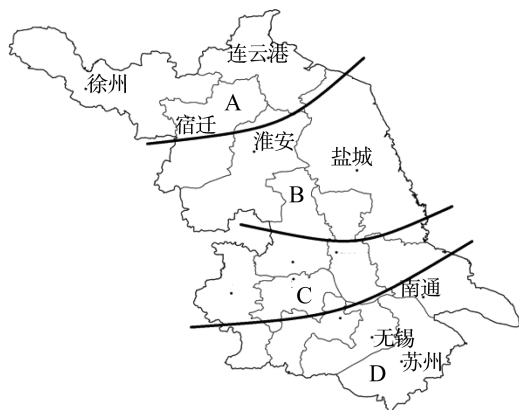


图 6 江苏省干旱分区

## 5 结 语

基于月降水量和月平均气温长系列气象资料,构建了多时间尺度 SPEI 场,进而通过对 SPEI 场的客观分型,揭示出江苏省干旱在空间分布上的规律性。

(1)江苏省干旱主要表现为全省一致型、南北反向型和南北波列型 3 个空间型,分别代表全省性干旱、南干北湿或南湿北干、干湿南北交替。



图 7 江苏省气象站 CAST 聚类(显著性水平 0.05)

(2)江苏省可划分为 4 个干旱区,自北向南依次为干旱 A 区(徐州、连云港以及宿迁北部)、干旱 B 区(淮安、盐城以及宿迁南部和扬泰北部)、干旱 C 区(南京北部、镇江、扬泰南部和南通西北部)和干旱 D 区(苏锡常以及南京南部和南通东南部)。

## 参考文献:

- [1] VICENTE - SERRANO S M, BERGUERIA S, LOPEZ - MORENO J I. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. J Climate, 2009, 23(7):1696-1718.
- [2] 王林, 陈文. 标准化降水蒸散指数在中国干旱监测的实用性分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2):423-431.
- [3] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京: 气象出版社, 2005:1-44.
- [4] 丁裕国, 张耀存, 刘吉峰. 一种新的气候分型区划方法[J]. 大气科学, 2007, 31(1):129-136.