

基于SPI的江苏沿海开发地区旱涝演变特征分析 ——以盐城市为例

叶正伟^{1,2}

(1.江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室,江苏 淮安 223300;

2.淮阴师范学院城市与环境学院,江苏 淮安 223300)

摘要: 基于标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)方法,分析了盐城市1960~2009年间的旱涝演变特征。结果显示:① 年降水量呈减少趋势,但年际变幅大,以20世纪70年代、80年代偏低,60年代、90年代偏高。1~3月、6月、11~12月降水呈增加趋势,其余月份为减少趋势。② 多时间尺度SPI皆可监测旱涝变化,SPI3、SPI6对年内旱涝暴发时间与持续影响更为敏感。不同季节SPI的年代际差异显著,SPI冬季呈增加趋势,其余季节及年SPI皆为减小趋势。③ SPI1、SPI3、SPI6的变率较稳定,而SPI12变率显著偏大。年与夏季SPI变率高度相似,但春季与秋季SPI变率的变幅偏大。④ 多时间尺度SPI皆以3~15月的周期为主,但SPI6、SPI12还有较稳定的16~32个月长周期。而年与不同季节SPI则以3 a、6 a左右周期为主,并具10 a左右的中尺度周期及20 a左右的长周期。

关键词: 降水; 标准化降水指数; 旱涝演变; 盐城; 江苏沿海地区

中图分类号: P954 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)04-0479-09

江苏沿海地区地处中国东部,包括南通、盐城、连云港3市,该区位于中国北亚热带向暖温带过渡区,属海洋性气候,具明显的季风特性,四季分明,雨量充沛^[1,2]。盐城市属于淮河下游水网地区,地形低平,且其地处江苏沿海产业带中部,承南接北。而中国旱涝主要集中在江淮地区,近年来,淮河流域极端降水、旱涝特征的研究成为热点^[3~8]。然而,针对江苏沿海及盐城市旱涝的研究相对较少^[3,4,9]。同时,在全球气候变暖导致地区降水异常变化的背景下^[10,11],受季风强弱变化以及梅雨多寡的影响,降水量在江苏沿海地区具有更大的差异性和不确定性,导致旱涝更为异常。因此,选择位于江苏沿海开发地区中部的盐城市开展旱涝研究,以期全面了解该地区旱涝的发生、发展规律。

由于降水是影响旱涝的主要因素,基于降水的标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)被证明具有较强的旱涝监测与评价能力^[12~20],被广泛应用于各国的气象旱涝监测^[21~23]。因此,本

文基于SPI方法在旱涝分析中的优势,利用盐城市近50 a的逐月降水观测资料,采用SPI分析盐城市旱涝演变特征、趋势、变率与周期变化,为旱涝监测与评估提供科学依据。

1 研究区概况

盐城市是江苏沿海大开发国家战略的重要城市之一,其地理位置为32°34'N~34°28'N, 119°27'E~120°54'E,位于江苏沿海的中部,东临黄海,南与南通市毗邻,北与连云港接壤,西与扬州、淮安相连。盐城市下辖东台、大丰2个县级市和建湖、射阳、阜宁、滨海、响水5个县,市区下设盐都、亭湖2个区,占地总面积14 983 km²。2011年共820.69万人,地区生产总值2 771.3亿元^[24]。

盐城市年降水量为1 030 mm左右,降水集中在汛期6~9月,年平均气温15.5℃。受降水异常和人类活动的影响,盐城市1962年和1965年由于台风暴雨以及1954年、1980年、1991年、2003年和

收稿日期:2013-01-24; 修订日期:2013-05-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730635)、水利部公益性行业科研专项经费项目(200901042)、教育部人文社会科学研究一般项目(10YJC790342)、江苏省教育厅高校哲社科学研究(2011SJB790005)、江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师项目资助。

作者简介: 叶正伟(1973-),男,安徽黄山人,博士,副教授,主要从事水文气象与自然灾害方面的研究。E-mail: leafyzw@163.com

2006年由于梅雨降水都形成了严重洪涝,而1966年、1978年、1992年、1994年、1997年和2005年因降水偏少出现严重干旱^[3,4]。

2 数据与方法

选取盐城市及周边地区共17个气象、水文站1960~2009年50 a的逐月降水资料进行分析(图1)。射阳、阜宁、东台3个气象站数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的中国地面气候资料月值数据集;而其余14个水文站点数据来源于淮河水文年鉴的第3册:淮河下游区(洪泽湖以下)。所有数据皆经一致性检验与处理。

采用SPI作为旱涝指标划分旱涝等级。SPI方法由McKee等于1993年提出^[12,13],计算步骤参见文献[12]。SPI具有多时间尺度(1、3、6、12、24、36个月等,分别表示为SPI1、SPI3、SPI6、SPI12、SPI24、SPI36等)特征。本文主要分析不同时间尺度SPI(SPI1、SPI3、SPI6、SPI12)、年SPI(基于年降水量)、季节SPI(春季为3~5月、夏季为6~8月,秋季9~11月,冬季为12~2月)的旱涝变化^[12,13]。干旱划分等级参照McKee等^[12]的旱涝等级标准,依据SPI值大小,其值在-1.0~1.0定义为正常,并划分为不同等级, ≤ -2.0 为极旱, $-2.0 \sim -1.5$ 为重旱, $-1.5 \sim -1.0$ 为中旱, $1.0 \sim 1.5$ 为中涝, $1.5 \sim 2.0$ 为重涝, ≥ 2.0 为极涝。

运用Mann-Kendall(M-K)非参数检验方法分析旱涝的变化趋势^[25]。采用Morlet小波方法分析SPI的周期变化,其计算过程见文献[26]。同时,参考文献[27,28]的方法,采用5 a(60个月)滑动标

准差方法分析SPI的变率,以表征旱涝变化幅度与频度。

3 结果分析

3.1 年降水量的变化特征

盐城市近50 a的多年平均降水量为1 030 mm,图2显示了盐城市1960~2009年的年降水量及累积距平变化,距平基准期为1971~2000年。由图可知,年降水量波动幅度较大,年降水量的最高值为1991年的1 691 mm,最低值为1978年的495 mm,年较差偏大,约为1 200 mm。年降水量的M-K趋势检验统计值为-0.59,呈微弱的减少趋势,但未通过5%显著性水平检验,表明减少趋势不显著。而累积距平曲线也显示,降水量具有明显的阶段性特征,20世纪60年代和70年代都经历了先升后降的变化过程;70年代中后期至80年代降水偏低,波动幅度最小,但降水量较为均匀;而90年代以来则总体呈减少趋势。

降水的年内分配上,盐城市近50 a来不同月份降水量的变化过程显示(图3a,图3b),月降水量超过100 mm的月份主要为6~9月,表明降水主要集中在夏秋季,其降水量占到年降水量的63%左右,尤以7月降水量最大,7月平均为230 mm,占年降水量的22%。

自1980年以来,夏秋季降水超过100 mm的月份呈增加趋势,但不同年份的最大月降水量出现的时间并不一致,总体以7月最多,其次为8月(图3a)。而不同月份降水的M-K趋势检验显示(图3c),1月、2月、3月、6月、11月和12月降水呈不显

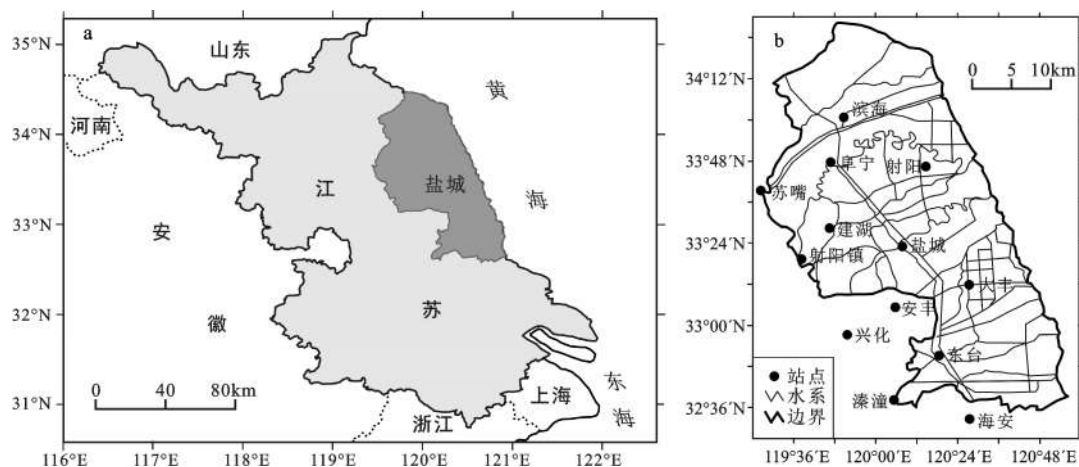


图1 盐城市地理位置(a)及其水系、气象与水文站点分布(b)

Fig. 1 Location of Yancheng City (a) and its water system, distribution of metrological and hydrological stations (b)

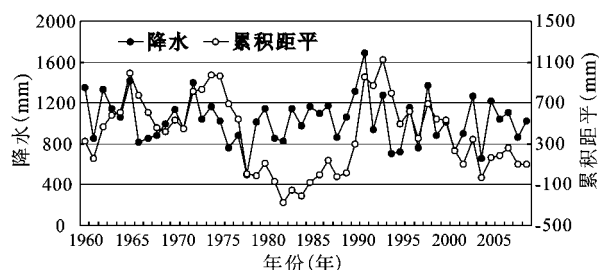


图2 盐城市年降水量及其累积距平

Fig.2 Annual precipitation and its accumulated anomalies in Yancheng City

著的增加趋势,而其余月份为不显著的减少趋势,表明汛期降水总体以减少为主,而非汛期则以增加为主。

3.2 旱涝的时间变化特征

3.2.1 不同时间尺度SPI变化

图4是盐城市不同时间尺度SPI的变化过程,由图可知,不同时间尺度SPI对降水量的敏感性不同。较短时间尺度的SPI1对逐月降水变化的响应较显著(图4a),反映的是月尺度上的旱涝变化,其SPI序列正负波动大,旱涝频率变化快。并且,SPI1能够很好的揭示月尺度降水所反映的旱涝快速变化,如1965年7~8月间的洪涝,1991年3月、7~8月间的暴雨降水洪涝。同样,2001年3~5月间

由于降水稀少的干旱亦被显著标示。

从SPI3的时序分布可以看出(图4b),SPI3可较好反映短期气象旱涝的特征,能够反映年内季节的旱涝变化。近50 a间,重涝以上频次(34次)较之于重旱以上频次(44次)偏少,主要的季节性重涝以上年份为1962年(9~11月)、1965年(8~10)、1991年(3~4月、7~9月)以及1998年(1~6月),干旱则以1978年(5~10月)为典型,这与盐城市旱涝实际是基本一致的,但并未揭示出我们前期研究中基于洪涝水位分析的2006年、2007年洪涝^[3,4]。这一原因在于,SPI主要反映的是基于降水的气象洪涝、其对降水量级更为敏感,而2006年、2007年洪涝由长时段连续降水所致,且受人类城镇化活动的水文效应亦较明显^[29]。

SPI6的时间分布显示(图4c),洪涝仍较干旱偏少,两者频次分别为38次、42次,但表现为旱涝时间明显延长的态势。典型洪涝年份1962~1963年、1965年(8~12月)、1991年(2~3月、6~12月)以及1998年(1~6月)皆可直观显示。1966~1989年总体以偏旱为主,其中1978年(6~12月)为极旱。除1991年、1998年为极涝年外,1990年以来总体也仍然以偏旱为主,且多以非汛期的秋冬季为主,但2003年为重涝。

SPI12的变化趋势显著的标识了典型旱涝年

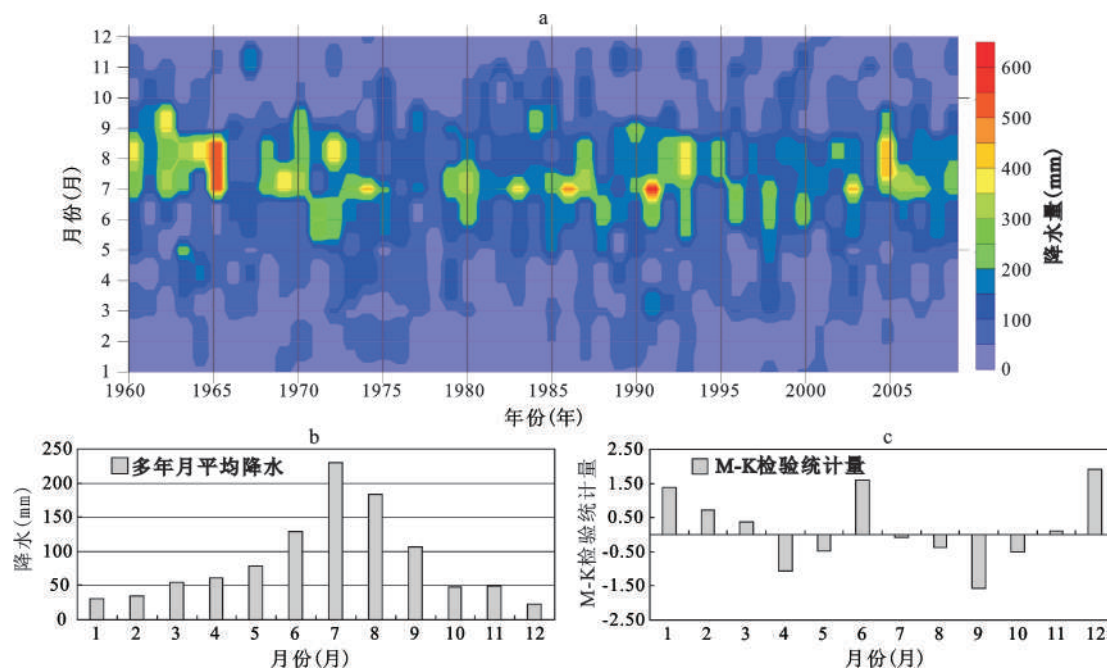
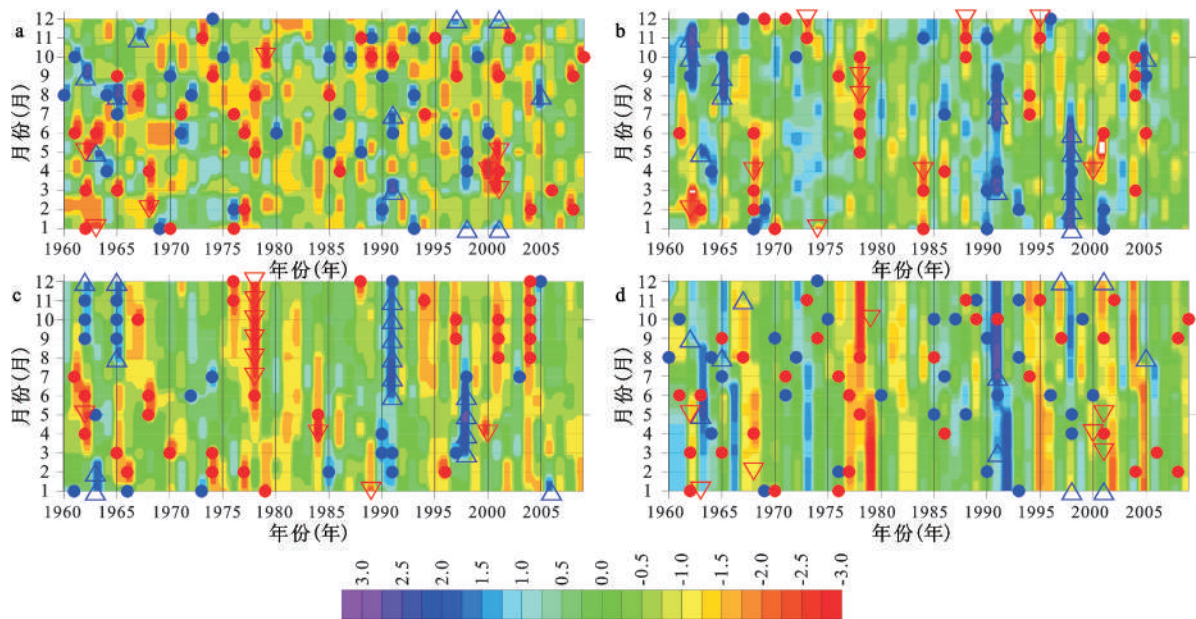


图3 盐城市近50 a逐月降水量的分布(a)及其多年平均(b)与M-K检验结果(c)

Fig. 3 Distribution of monthly precipitation (a) in recent 50 years and its means (b) and its Mann-Kendall detection (c) in Yancheng City



底图为以不同颜色代表逐年多时间尺度SPI值等值线,符号则代表重旱(重涝)以上等级,
蓝色上三角形为极涝,红色下三角形为极旱,蓝色实心圆为重涝,红色实心圆为重旱。

图4 SPI1(a)、SPI3(b)、SPI6(c)、SPI12(d)多年逐月等值线及相应重旱(重涝)以上等级SPI值标示

Fig. 4 Contours of SPI1 (a), SPI3 (b), SPI6(c) and SPI12 (d) and their corresponding symbolizations of heavy flood and drought discrimination

份和持续时段(图4d),典型洪涝年为1962年、1965年、1991年和1998年。同时,由于SPI12亦可很好的反映土壤墒情和地下水受降水的影响^[19,21],从图4d也可看出,1991年由于严重洪涝,其影响甚至持续到次年5月;而1977年、1978年的干旱持续影响,亦使得1979年的前半段出现较为严重的干旱,同样,2001~2002年、2004~2005年长期干旱缺水干旱亦能识别。可见,长时段SPI12对揭示区域旱涝的长期影响具有重要作用。

因此,综合多时间尺度SPI变化可见,SPI1较好的反映了由于降水变化的频繁旱涝更替;SPI3、SPI6对旱涝暴发与持续时间的辨识更为敏感;而SPI12对长期旱涝影响及持续时段具有显著的标识功能。同时,盐城市多尺度SPI变化都很好的揭示了1962年、1965年、1991年、1998年、2003年的重涝及1978年、2001年和2005年的重旱。

3.2.2 年与季节SPI变化

基于全年降水量的年SPI显示(图5a),年SPI的变化亦呈较大的波动形式,最大值为1991年极涝的2.48,最低值为1978年极旱的-2.84,中等级以上洪涝、干旱分别为9 a、7 a(图5b)。而年代变化上,20世纪60年代前期偏涝,后期偏旱;70年代

波动与60年代类似,但后期偏旱程度更大,出现1978年极旱;80年代则总体较为平稳,以旱为主且波动小;90年代旱涝波动幅度与频率最大,前涝后旱;2000年以来则总体偏旱程度较大,但后期略偏涝。年SPI的M-K检验结果为-0.59,未通过5%显著性检验,呈减小趋势。

近50 a不同季节的SPI变化趋势和统计显示(图5b,图6),不同季节中等级以上的旱涝年份约占14%~20%之间,平均约8.5 a左右。

春季1963年、1998年为极涝,SPI分别为2.36、2.46,2001年为极旱,SPI为-3.19。夏季1965年、1991年为极涝,SPI值分别为2.4、2.37,1978年为极旱,SPI值为-2.08。而秋季极涝年份为1962年,SPI值为2.57,但未见严重干旱事件。冬季中,以干旱偏多,但1962年、1998年因降水异常出现极旱和极涝。

不同季节SPI间的年代变化趋势与幅度差别显著(图7)。SPI春季以2000年以来最低,其余年代较均匀;SPI夏季年代变化较为平稳,波动最小且SPI值亦偏小;秋、冬季则显示了较大的波动变化,旱涝变幅明显,其中SPI秋季以20世纪80年代最高,70年代最低;SPI冬季则以60年代最低,90年代最高。变化趋势上,春、夏、秋、冬季SPI的M-K

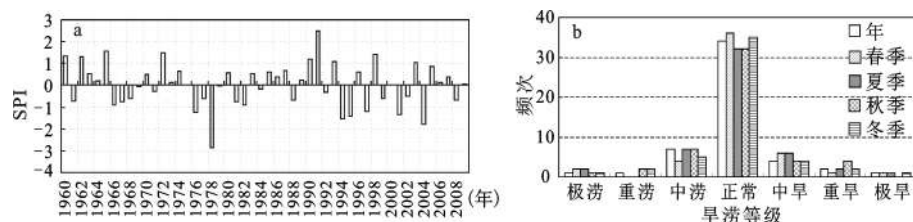


图5 年SPI变化(a)及年与不同季节SPI频次统计(b)

Fig. 5 Annual SPI (a) and frequency statistics of annual and seasonal SPI (b)

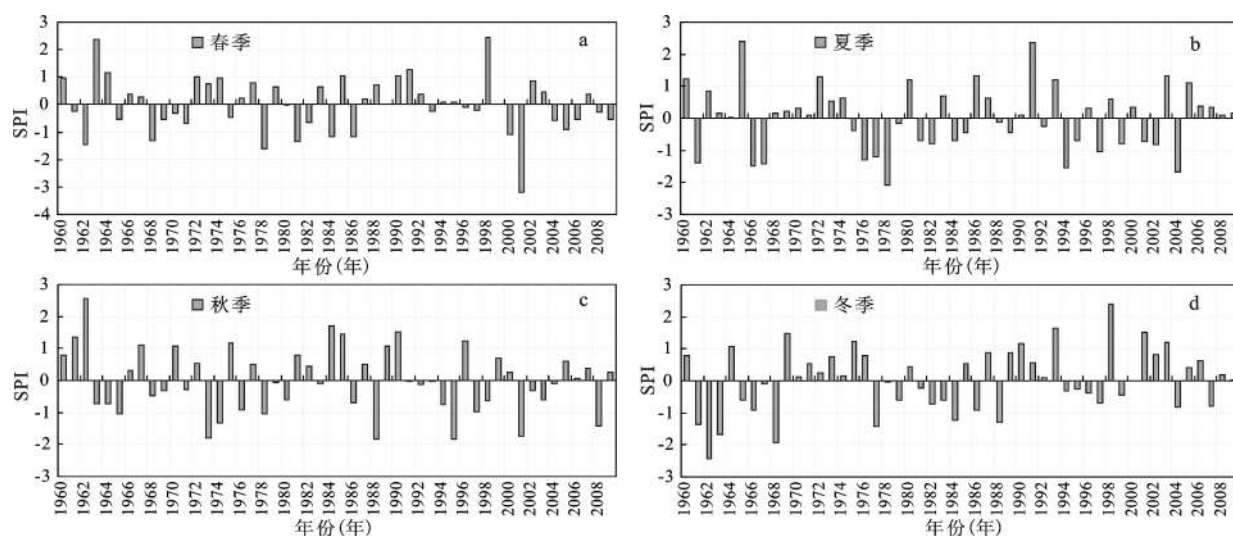


图6 春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)SPI变化

Fig. 6 SPI change in Spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

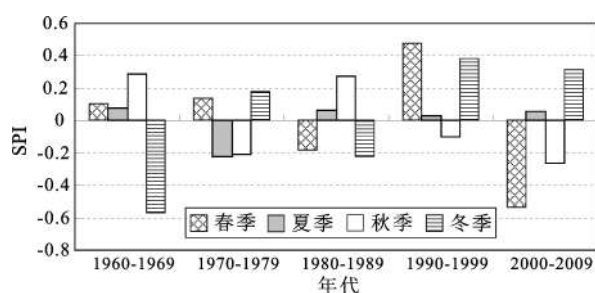


图7 不同季节SPI的年代变化

Fig. 7 Decadal change of seasonal SPI

检验结果分别为-0.79、-0.13、-0.74、1.57, 皆未通过5%置信度水平检验, 这表明, 除SPI冬季呈不显著增加趋势外, 其余季节SPI皆呈不显著减小趋势。

3.3 旱涝变率的变化特征

3.3.1 不同时间尺度SPI变率

对多时间尺度SPI及季节SPI计算5 a(60个月)滑动标准差, 以表征近50 a的旱涝变率过程(图8)。由图可知, 不同时间尺度SPI变化上,

SPI1、SPI3、SPI6总体变率较稳定, 其滑动标准差波动于0.7~1.3间, 而SPI12变率显著偏大且波动频繁(0.5~1.4), 表明长尺度SPI旱涝的变幅更大, 这与3.2.1中SPI12所表现出的频繁旱涝变化吻合。

年代变化上, SPI1、SPI3的旱涝变率趋势较相似(图8a), 20世纪60年代偏高, 并具减小趋势, 这与SPI1、SPI3所反映出该时段旱涝频繁过程一致; 70年代旱涝变率较为稳定, 以偏旱为主; 80年代变率先降后升, 并在1984年左右变率最小, 显示了80年代前期偏旱而后期偏涝的趋势; 90年代旱涝波动较大, 前期偏涝, 但在1994年左右转为干旱, 而此后1998年转为偏涝, 由此导致90年代变率较大。而2000年代则表现为变率总体减小的趋势, 这与2000年前期偏旱, 但2003年达到变率高峰后总体偏涝的格局有关。

较之于SPI1、SPI3, SPI6、SPI12所反映的旱涝变率较为相似(图8a), 但波动幅度明显偏大, 尤以SPI12最显著, 可见中长尺度SPI的变率更为偏

大。20世纪70年代SPI6、SPI12变率较稳定,变率较小;80年代前高后低;而90年代有明显的上升过程,表明旱涝的急剧变化;2000年亦前高后低,反映了旱涝急转的局面。

3.3.2 年与季节SPI变率

年、不同季节SPI的旱涝变率中,年SPI和SPI夏季变率的趋势与过程高度相似(图8b),这是由年降水量主要集中在汛期所致(图3a,图3b),但年SPI波动幅度更大。年SPI和SPI夏季变率的年代变化上,20世纪60年代偏高,70年代则经历由低到高的变化;80年代则总体为减小趋势;90年代依然显示了频繁的旱涝交替过程,并达到变率高峰;而2000年代的变率前期波动降低,但自2005年后呈显著的减小趋势,反映了降水稳定的态势。

非汛期季节中(图8c),SPI春季变率波动幅度最大,20世纪60年代以来波动频繁,但自1997年后,则呈现显著的波动,变率先升后降,并在2002年出现最高值,表明春季降水的显著差异。SPI秋季的变率除80年代为逐渐升高趋势外,其余年代皆呈前期偏高,后期偏低的过程,反映了由降水量变化引起的年代间旱涝交替。SPI冬季亦呈较大的波动,60年代较为平稳偏高,但70~80年代间变率波动最大,其中80年变率最大,而其后相对较平稳,但在2000年左右出现相对变率高峰时期。

3.4 旱涝的周期变化特征

3.4.1 不同时间尺度SPI周期

不同时间尺度SPI的Morlet小波分析见图9,可以看出,SPI1、SPI3、SPI6、SPI12的周期存在较大的差异,且都存在多尺度周期振荡。总体而言,3~15个月左右的多尺度周期在SPI1、SPI3、SPI6、SPI12中皆较显著,且SPI时间尺度越长,其长周期相对越稳定,反之亦然。不同尺度的多周期特性,显著的反映了SPI1、SPI3、SPI6、SPI12旱涝更替中的年内波动和年际差异特征。

同时,SPI1在3个月左右的周期上较稳定,并在1990年代中期存在80个月左右的长周期。而SPI3除1975~1986年、1990~2004年时段外,8个月左右的周期皆较为稳定,并在1992~2000年间具有12~24个月左右的周期。SPI6在不同年代中亦具有3个月左右的周期,并在1996~2006年间具有16~32个月的长周期。而SPI12则在不同年代皆具较稳定的16~32个月左右的长周期,并在1990~1995年间存在约80个月的长周期。

3.4.2 年与季节SPI周期

年与季节SPI的周期见图10,容易看出,年与不同季节SPI都存在较显著的3 a、6 a左右的低频主振荡周期,但其6 a左右的周期在年、夏季的SPI变化中不显著。3 a、6 a左右的低频周期可能与研究区处于季风区域以及季风降水存在3~6 a左右

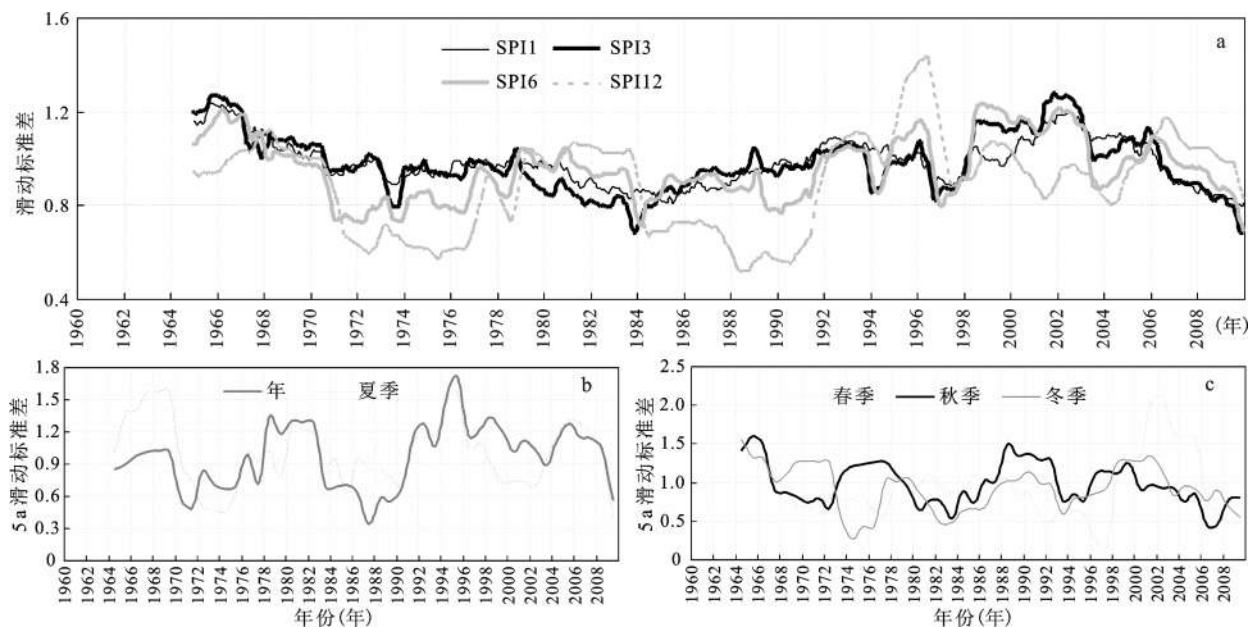
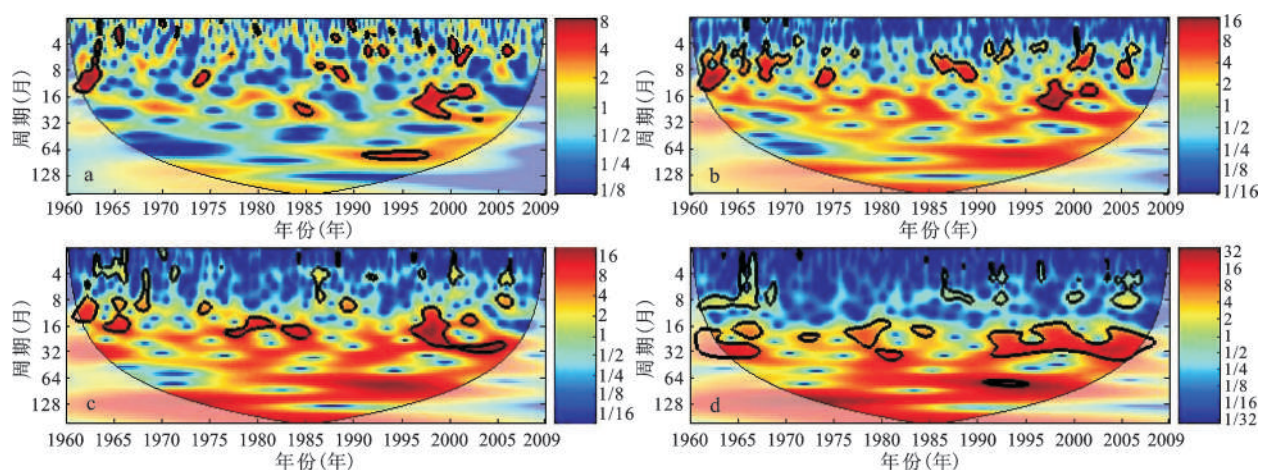


图8 多时间尺度SPI(a)、年与夏季SPI(b)以及SPI春季、秋季和冬季(c)的变率

Fig.8 Variations of multi-scale SPI (a), annual and summer SPI (b) and spring, autumn and winter SPI (c)



粗黑等值线范围内为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平下的红噪声谱检验;细黑线为影响锥线;颜色表示功率谱强度。

图9 SPI1(a)、SPI3(b)、SPI6(c)、SPI12(d)的Morlet小波周期

Fig.9 Morlet wavelet analysis of SPI1 (a), SPI3 (b), SPI6 (c) and SPI12 (d)

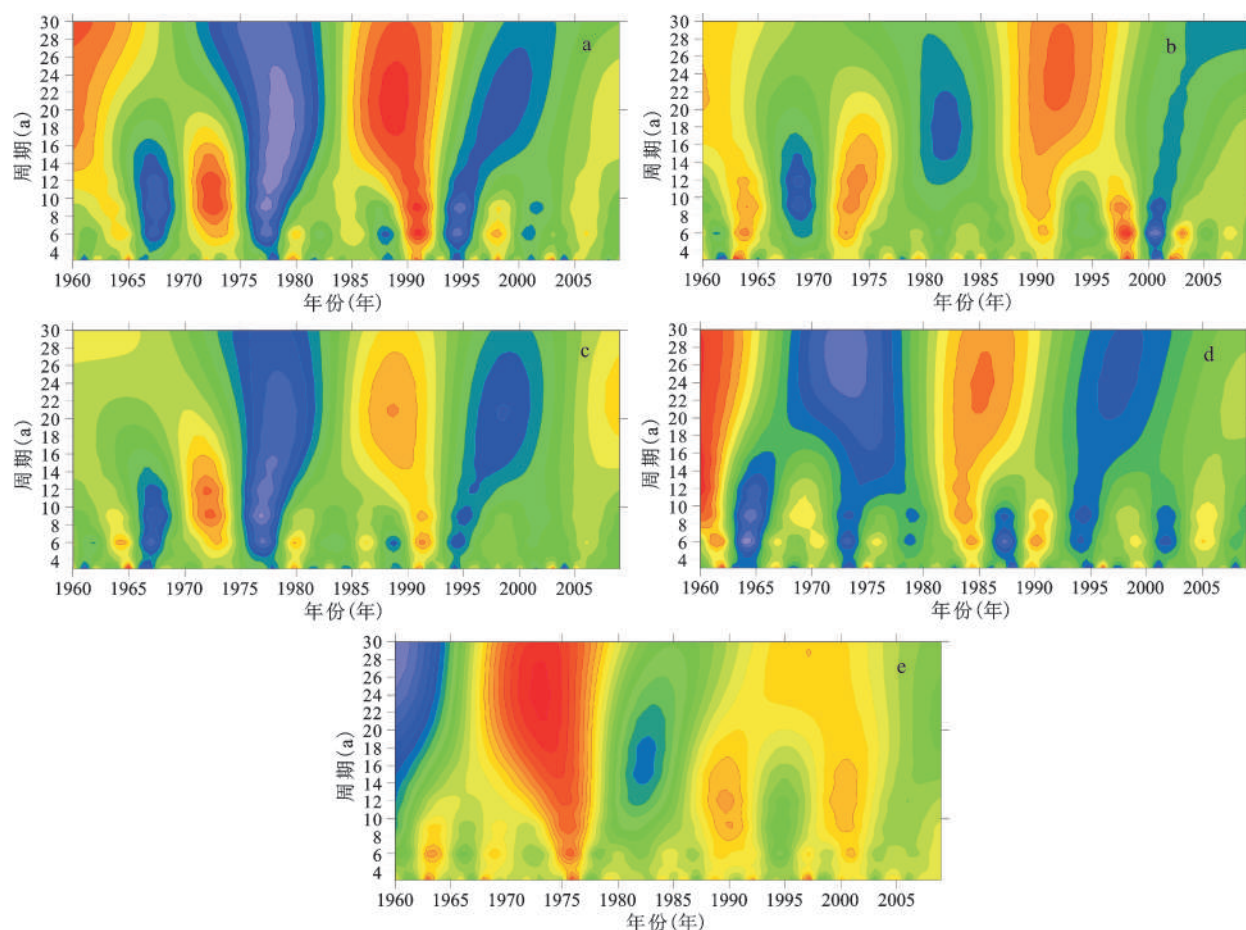


图10 年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)、冬季(e)SPI的Morlet小波周期

Fig.10 Morlet wavelet analysis of annual SPI1 (a), spring (b), summer (c), autumn (d) and winter (e) SPI

的主周期波动有关^[3,4]。进一步,年SPI在1965~1983年、1989~2000年间还存在8~10 a左右的中尺

度周期(图10a),而在1975年以来还表现为20 a左右的长周期,且2005年以来的20 a周期仍未闭合,

表明未来这一周期还将维持。

季节 SPI 周期上, SPI 春季在 1965~1977 年亦存在 10 a 左右周期(图 10b),而在 1978~1996 年间还具有 20 a 左右的长周期波动。SPI 夏季在 1965~1984 年间存在较为显著的 8~10 a 的周期(图 10c),而 20~22 a 的长周期则主要位于 1985 年以来的时段。同时, SPI 夏季周期还显示,未来仍将维持 20~22 a 的长周期。比较年、夏季 SPI 周期可见,两者高度相性,这亦与年降水量主要集中与夏季(汛期)有关。SPI 秋季中(图 10d), 8~10 a 的周期也几乎存在整个时段,并具较典型的 24 a 左右长周期。同样, SPI 冬季在 1987~2003 年有 10~12 a 左右的周期变化(图 10e),而在 70 年代、80 年代分别有 24 a、16 a 左右的长周期。因此,综合年与不同季节 SPI 的波动周期来看,主要以 3 a、6 a 左右短周期为主,中尺度周期以 10 a 左右为主,而长周期则以 20 a 左右为主。

4 结论与讨论

采用 SPI、趋势检验、小波分析等方法,分析了盐城市 1960~2009 年间的旱涝演变过程、趋势、变率与周期特征。研究结果显示,盐城市年降水量集中于 6~9 月,近 50 a 的年降水量呈微弱减少趋势,而不同月份降水的变化趋势具有较大差异。多尺度 SPI 都很好的揭示了盐城市 1962、1965、1991、1998、2003 年的洪涝以及 1978、2001、2005 年的干旱。

不同季节 SPI 间的年代变化趋势与幅度差异显著,但 SPI1、SPI3、SPI6 的变率总体较稳定,而 SPI12 变率显著偏大,且年与 SPI 夏季的变率高度相似。多时间尺度 SPI 变化都存在多尺度周期振荡,且 SPI 时间尺度越长,其长周期相对越稳定。不同季节 SPI 则分别具有 3 a 和 6 a、10 a 以及 20 a 左右的短尺度、中尺度以及长周期。

多时间尺度 SPI 皆可监测旱涝变化,但不同时间尺度 SPI 对降水的敏感性不同, SPI3、SPI6 对年内旱涝暴发与持续时间的辨识更为敏感。同时也应该看到, SPI 主要反映的是基于降水的气象洪涝、其变化对降水量级更为敏感,但其对基于水位变化以及灾情角度分析的洪涝揭示能力较弱,具有一定的局限性,如盐城市 2006 年、2007 年由于受长时段较小量级连续降水所形成的洪涝则未能反映在 SPI 序列的变化中。

参考文献:

- [1] 单树模,王庭槐,金其铭.江苏省地理[M].南京:江苏教育出版社,1986.
- [2] 王 千,金晓斌,周寅康.江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J].生态学报,2011,31(20):5903~5909.
- [3] 叶正伟,许有鹏,潘光波.江淮平原水网区汛期雨量与洪涝水位关系——以江苏里下河腹部地区为例[J].地理研究,2011,30(6):1137~1146.
- [4] 叶正伟,许有鹏,徐金涛.江苏里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J].地理科学,2009,29(6):880~885.
- [5] 胡巍巍.蚌埠闸机上游闸坝对淮河自然水文情势的影响[J].地理科学,2012,32(8):1013~1019.
- [6] 张 明,金菊良,张礼兵.流域可持续评价的最大熵原理——投影寻踪耦合模型[J].地理科学,2007,27(2):177~181.
- [7] 何华春,丁海燕,张振克,等.淮河中下游洪泽湖湖泊沉积物粒度特征及其沉积环境意义[J].地理科学,2005,25(5):590~596.
- [8] 盛绍学,石 磊,刘家福,等.沿淮湖泊洼地区域暴雨洪涝风险评估[J].地理研究,2010,29(3):417~423.
- [9] 李加林,王艳红,张忍顺,等.海平面上升的灾害效应研究——以江苏沿海低地为例[J].地理科学,2006,26(1):87~93.
- [10] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policy Makers[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press,2007.
- [11] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(1):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3~8.
- [12] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration of time scales[C]// Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, 1993, January, 17~23, Anaheim CA: 179-186.
- [13] Jiang Dejuan, Li Zhi, Wang Qiuxian. Trends in temperature and precipitation extremes over Circum-Bohai-Sea region, China[J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(1): 75-87.
- [14] Loganz K, Brunsell N A, Jonesy A R, et al. Assessing spatiotemporal variability of drought in the U.S. Central Plains[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74: 247-255.
- [15] Sims A P, Nigoyi D S, Raman S. Adopting indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29: 1-4.
- [16] Thomas F, Marco G, Liu L, et al. Temperature and precipitation trends and dryness/wetness pattern in the Zhujiang River Basin, South China, 1961-2007[J]. Quaternary International, 2011, 244: 138-148.
- [17] Zhang Q, Xu C Y, Zhang Z X. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, 98: 89-99.
- [18] Livada I, Assimakopoulos V D. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI) [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2007, 89(3-4): 143-153.

- [19] 车少静,李春强,申双和.基于SPI的近41年(1965-2005)河北省旱涝时空特征分析[J].中国农业气象,2010,31(1):137~143.
- [20] 陈莹,陈兴伟.福建省近50年旱涝时空特征演变基于标准化降水指数分析[J].自然灾害学报,2011,20(3):57~63.
- [21] 翟禄新,冯起.基于SPI的西北地区气候干湿变化[J].自然资源学报,2011,26(5):847~857.
- [22] 刘可晶,王文,朱烨,等.淮河流域过去60年干旱趋势特征及其与极端降水的联系[J].水利学报,2012,43(10):1179~1187.
- [23] 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.
- [24] 盐城市统计局.盐城市统计局关于2011年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].http://tjj.yancheng.gov.cn/xxfx/tjfx/201203/t20120330_186264.html,2012.
- [25] Mann H B. Nonparametric tests against trend[J].Econometrica, 1945,13:245-259.
- [26] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,1998,79: 61-78.
- [27] Gruza G, Rankova E, Razuvaev V, et al. Indicators of climate change for the Russian federation[J].Climatic Change,1999,42: 219-242.
- [28] Vicente-Serrano S M, Cuadrat J M. Trends in drought intensity and variability in the middle Ebro valley (NE Spain) during the second half of the twentieth century[J]. Theoretical and Applied Climatology,2007,88:247-258.
- [29] 李子君,李秀彬.近45年来降水变化和人类活动对潮河流域年径流量的影响[J].地理科学,2005,28(6):809~813.

Flood and Drought Change Based SPI Analysis in the Developing Coastal Region of Jiangsu Province: A Case Study in Yancheng City

YE Zheng-wei^{1,2}

(1.Jiangsu Key Laboratory for Eco-Agricultural Biotechnology around Hongze Lake, Huai'an, Jiangsu 223300, China;
2.School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huai'an, Jiangsu 223300, China)

Abstract: Flood and drought evolution during 1960-2009 in Yancheng City is analyzed using the Standardized Precipitation Index (SPI). Results show that large fluctuation amplitude can be seen in annual precipitation with a slightly decreasing trend detected. An upward trend can be found in January, February, March, June, November and December, while the rest months show a downward trend. Flood and drought can be monitored using multi-scale SPI method, SPI3, SPI6 are more sensitive to the occurrence period and continuous effect of flood and drought. Frequent alteration of flood and drought in 1960s and 1990s can be examined both by annual and seasonal SPI, but drought is quite stable in 1980s. A significant difference can be seen in decadal change of seasonal SPI, and SPI in winter shows an increasing trend while decreasing trend in the rest seasons and annual SPI. Variation in SPI1, SPI3 and SPI6 is stable while variation is larger in SPI12. Variation in annual and summer SPI shows a highly similar change process, while it has relatively larger change amplitude in spring and autumn SPI. A period at about 3-15 months can be checked for multi-scale SPI change; however, a period at about 16-32 months is quite stable in SPI6 and SPI12. A period at about 3-6 years is stable both in annual and seasonal SPI which accompanied with 10 and 20 years period.

Key words: precipitation; Standardized Precipitation Index; flood and drought evolution; Yancheng City; the coastal region of Jiangsu Province