

基于 SPI 的近 41 年 (1965 - 2005) 河北省旱涝时空特征分析*

车少静^{1,2}, 李春强^{3**}, 申双和¹

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 2. 石家庄市气象局, 石家庄 050081; 3. 河北省气象科学研究所/河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021)

摘要: 河北省是旱涝频发地区之一。本文基于 1965 - 2005 年河北省 84 个气象站的逐月降水数据, 采用标准化降水指数 (SPI)、正交经验分解函数和旋转正交经验分解函数等方法, 分析了近 41 a 河北省旱涝时空变化分布特征。结果表明: 河北省旱涝总体上呈阶段性变化特征, 1965 - 1972 年和 1997 - 2005 年干旱比较频繁, 1973 - 1996 年干旱频率较低; 20 世纪 70 年代和 90 年代前中期为雨涝比较频繁阶段。春秋季节干旱呈减轻趋势, 夏季干旱呈加剧趋势 (不显著), 冬季旱涝变化趋势不明显, 但 90 年代以来河北省极端季节旱涝事件比较频繁。在空间上, 河北省旱涝分布可分为东部、北部、南部和西部四个不同的区域, 四个区域的旱涝总体上具有相对一致的大趋势, 但在某些时段也表现出一定的南北差异和东西差异。河北省全省 20 世纪 90 年代后期旱涝变率最大, 70 年代前期和末期变率也较大, 80 年代变率最小; 四个区域总体上表现出与全省大致相同的趋势, 只是 2000 年以后南部地区旱涝变率持续较高。

关键词: 标准化降水指数 (SPI); 旱涝; 时空特征; 河北省

Analysis of Drought-flood Spatial-temporal Characteristics Based on Standard Precipitation Index (SPI) in Heibei Province during 1965 - 2005

CHE Shao-jing^{1,2}, LI Chun-qiang³, SHEN shuang-he¹

(1. School of Applied Meteorology, NUIST, Nanjing 210044, China; 2. Shijiazhuang Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050081; 3. Meteorological Institute of Hebei Province/Hebei Provincial Key Lab for Meteorology and Eco-environment, Shijiazhuang 050021)

Abstract: Drought is one of the major natural hazards in Hebei province. Based on standard precipitation index (SPI), the spatial-temporal characteristics of drought-flood in Hebei province during 1965 - 2005 were studied by empirical orthogonal function method. The results showed that drought-flood varies with time, in total. Drought was more severe in the periods of 1965 - 1972 and 1997 - 2005, and flood was more frequent in 1970s and early 1990s. Occurrence of drought in spring and autumn tends to decrease, while in summer tends to be more severe. There was no obvious change for winter. However, extreme drought and water logging hazards were frequent in Hebei province since 1990s. Hebei could be divided into four sub-regions (east, north, south and west) in terms of the spatial distribution of drought and water logging. There was a consistence among these regions and the whole province, though there were north-south gaps and east-west gaps. The most drastic drought-flood changes had occurred in the 1990s. These Changes were also obvious in the early 1970s, but lest obvious in the 1980s. But, the change rate had been high in the south part since 2000.

Key words: Standard precipitation index (SPI); Drought-flood; Spatial-temporal characteristics; Hebei province

气象灾害造成的影响极其巨大, 在气象灾害中, 旱涝灾害的影响又最为严重^[1]。根据研究对象和目

的不同, 旱涝的定义和指标也是多种多样^[2-11], 特别是干旱至今没有一个普遍接受的通用定义。目前, 常

* 收稿日期: 2009-05-31 ** 通讯作者。E-mail: chunql@sohu.com

基金项目: 河北省科技支撑计划项目 (09276903D); 河北省重点基础研究项目 (08966711D)

作者简介: 车少静 (1976 -), 女, 河北景县人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事农业气象灾害研究。

E-mail: cheshaojing@sina.com

用的旱涝指标主要包括降水距平百分率、Palmer 干旱指数(PDSI)、标准化降水指数(SPI)、Z 指数、土壤湿度指数等。国际上不少学者对比了不同指数监测干旱事件的效果^[12-16],结果表明:基于降水资料的标准化降水指数(SPI)不仅具有计算简单和多时间尺度的优势,能够对不同空间的旱涝进行比较,稳定性较好,而且在极端情况下,优于国内广泛使用的 Z 指数,因而在干旱监测中得到了广泛应用。由于 SPI 的时空可比性,国外学者采用 SPI 分析了各地干旱的时空变化特征^[17-20]。Wu 等^[21-22]的研究表明,降水记录时间越长,SPI 结果越可靠,在干旱气候条件下,应该更多地关注干旱持续时间而不只是干旱强度。国内一些研究者基于 Z 指数等方法对河北或华北的干旱进行了分析研究^[8,23-24],取得了一些有意义的结果。

河北省地处华北平原,属典型的暖温带大陆性季风气候,四季分明,降水多变,旱涝气象灾害频繁。据资料统计,河北省每年平均受旱面积达 238.3 万 hm^2 ,20 世纪 80 年代以来由于干旱频发,用水量明显增加,受自然降水减少和地表水资源严重不足影响,地下水严重超采,出现了总面积超过 4 万 km^2 的地下水漏斗区。而 1954 年、1963 年和 1996 年的特大洪涝灾害给全省国民经济和人民生命财产安全带来严重损失,1996 年全省直接经济损失达 456.3 亿元^[25]。可见,旱涝灾害对河北省农业生产、水资源利用甚至整个社会经济产生了巨大影响。而 20 世纪 90 年代以来,河北省旱涝事件更为频繁。因此,本文拟基于 SPI 在旱涝分析中的优势,根据最新的河北省逐月降水观测资料,采用标准化降水指数(SPI)分析河北省旱涝时空的分布特征;考虑极端气候事件对变率的变化比平均值更敏感^[26],同时拟分析河北省不同区域旱涝变率的变化趋势。目的是为实现河北省旱涝灾害监测、评估,进而为减轻该区域旱涝灾害损失、合理利用水资源提供科学依据。

1 资料和方法

河北省 11 市 84 个地面气象站 1965 - 2005 年逐月降水资料,来源于河北省气象局。

标准化降水指数(SPI)是由 McKee 等人 1993 年提出的一个相对简单的干旱指数,其基本特点是:只需要较长时间的降水量(一般应超过 30a)资料,即可计算不同时间尺度的干旱指数。其主要是基于自然降水为 Γ 分布,然后经过正态分布标准化变换而得出,具体计算步骤参见文献[27]。

SPI 具有多时间尺度(1,3,6,12,24,48 个月等)的特征,如 12 月份 1 个月时间尺度的 SPI 代表了 12

月降水量的标准差,12 月份 3 个月的 SPI 代表了 10 - 12 月 3 个月降水量的标准差,12 月份 12 个月的 SPI 代表了 1 - 12 月 12 个月降水量的标准差。本文主要分析 12 个月和 3 个月时间尺度的 SPI,因为 12 个月时间尺度的 SPI 比较清楚地反映旱涝阶段性变化,而 3 个月时间尺度 SPI 可以反映季节干旱,与农业干旱关系密切^[18]。干旱划分等级参照 McKee 等^[28]干旱等级标准,并按干旱等级标准增加了雨涝划分等级(见表 1)。可见, $\text{SPI} \leq -1.0$ 为干旱界值, $\text{SPI} \geq 1.0$ 为雨涝界值。

表 1 SPI 等级分类表

SPI	等级
$\text{SPI} \geq 2.00$	极涝
$1.50 \leq \text{SPI} < 2.00$	重涝
$1.00 \leq \text{SPI} < 1.50$	中涝
$-1.00 < \text{SPI} < 1.00$	接近正常
$-1.50 < \text{SPI} \leq -1.00$	中旱
$-2.00 < \text{SPI} \leq -1.50$	重旱
$\text{SPI} \leq -2.00$	极旱

经验正交函数 EOF)和旋转经验正交函数(RE-OF),都可在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来多个彼此相关的指标转换为新的少数几个彼此独立的综合指标。故采用 EOF 对各站 SPI 序列进行处理,分析干旱随时间变化的总体趋势以及干旱的空间分布特征。通过对 EOF 特征向量进行旋转(RE-OF),重新分配方差,使各主成分间具有更多的分离性,得到旋转因子荷载向量,每个向量代表的是空间相关性分布结构,值越大代表相关性越好,接近 0 代表不相关,从而可以更好地对主成分分析结果进行合理的解释,进行旱涝的区域划分。

线性倾向率:用线性回归方程 $y = ax + b$ 来拟合 SPI 的时间变化序列,a 为线性倾向率,可以定量地反映 SPI 随时间的线性变化趋势。

2 结果与分析

2.1 旱涝时间变化特征

2.1.1 不同时间尺度 SPI 比较

不同时间尺度的 SPI 可以用于监测不同类型的旱涝,多种时间尺度的 SPI 综合应用可实现对旱涝的综合监测评估。图 1 表明,时间尺度短的 SPI(1 个月和 3 个月),由于受短时间降水影响大,SPI 频繁地在 0 线上下波动,反映出短期的旱涝变化特征;随着时间尺度增长(6 个月和 12 个月),SPI 对短期降水的响应减慢,旱涝变化比较稳定,周期更明显,可以清楚地

反映出长期的旱涝趋势变化特征。如河北省灾情统计表明:1997 年河北省出现了全省范围的特大干旱,夏秋连旱;1998 年冬春季降水丰沛,特别是 5 月连阴雨对冬小麦灌浆产生不利影响,夏季中南部旱象严重,秋季出现全省旱情,结果当年中南部地区水位急剧下降,深层水位较 1997 年下降 4m 左右,浅层水位下降 2m 多。SPI1 显示 1997 年 4 - 8 月和 10 月份 $SPI < 0$,但未达到干旱等级,9 月份和 11 月 - 1998 年

7 月雨涝;SPI3 则显示 1997 年 6 - 10 月为干旱阶段,11 月转为 0.03,12 月则转为 -0.19,1998 年 1 - 6 月河北省为雨涝阶段;SPI6 显示 1997 年 6 月 - 1998 年 1 月干旱,1998 年 2 - 10 月多雨;SPI12 表明河北省 1997 年 7 月 - 1998 年 6 月为干旱阶段。可见,随着时间尺度的增加,旱涝等级会发生变化,而且旱涝的起始和结束时间相应延后,能够充分反映了前期降水变化的累积影响。

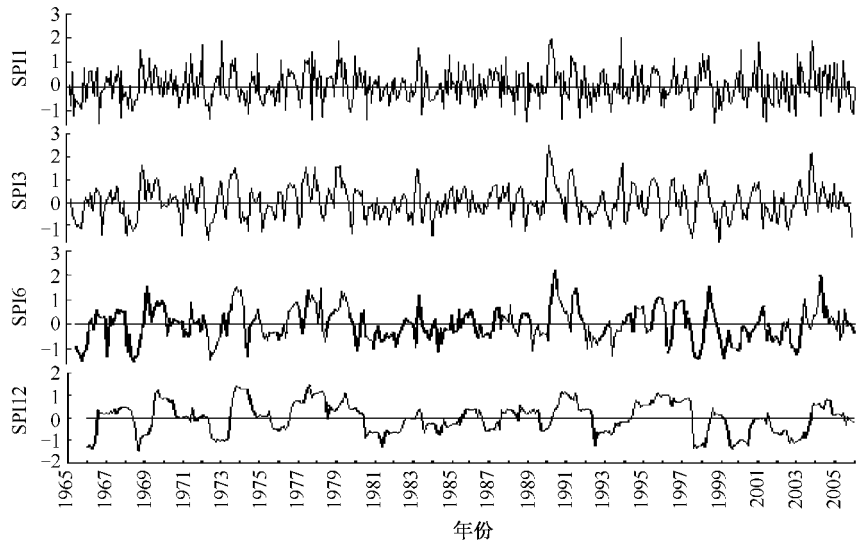


图 1 1965 - 2005 年河北省全省平均 1(SPI1)、3(SPI3)、6(SPI6)、12(SPI12)个月时间尺度 SPI 变化过程

2.1.2 旱涝年际变化特征

SPI 的年际变化可以反映出旱涝发生的具体时段。由图 1 中 SPI12 的逐月变化图可见,河北省 1965 - 1972 年干旱比较频繁,8a 共出现 3 次干旱事件;1973 - 1996 年干旱频率较低,24a 仅出现 2 次干旱事件;1997 - 2005 年干旱频繁,9a 出现 3 次干旱事件,特别是 1997 - 2000 年 4a 内出现了 2 次干旱事件,而且持续时间均较长,其中 1997 年 8 月 - 1998 年 4 月和 1999 年 7 月 - 2000 年 6 月 $SPI \leq -1.0$,表明 1997 - 2000 年是干旱发生最频繁的一段时期。近 41a 发生干旱的主要年份有:1965 年、1968 年、1972 年、1981 年、1992 年、1997 - 1998 年、1999 - 2000 年和 2002 年,其中最早时段出现在 1968 年 9 月, SPI 达 -1.50。20 世纪 70 年代和 90 年代前中期为雨涝比较频繁阶段,1969 - 1979 年共发生 4 次雨涝,1990 - 1996 年共发生 2 次雨涝。主要雨涝年份有:1969 年、1973 - 1974 年、1977 - 1978 年、1979 年、1990 - 1991 年和 1994 - 1996 年。SPI12 最大值出现在 1977 年 7 月,为 1.46。20 世纪 80 年代中后期是旱涝频率最低的阶段,1983 - 1989 年没有发生干旱或雨涝事件。旱涝年际变化分析结果与河北省历史上发生严重干

旱、雨涝灾害的年份一致^[25]。

2.1.3 旱涝季节变化特征

研究表明^[18]:3 个月时间尺度的 SPI 可用于分析季节干旱,并且能够较好地代表农业干旱变化状况。因此,本文用 SPI3 来分析旱涝的季节变化,用方差分析每个季节旱涝的变化幅度。结果表明,近 40a 春夏秋冬四季 SPI3 的方差分别为 0.56、0.45、0.44 和 0.68,可见冬季旱涝变化幅度最大,春季次之,秋季最小。结合图 1 中的 SPI3 曲线,可以得出各季节的旱涝变化特点。

春季:河北省春季旱涝呈阶段性变化特征,其中 1965 - 1975 年春旱比较频繁,大约 3 ~ 4a 出现 1 次春旱,1976 年以后春旱频率降低,春季雨涝年则在 20 世纪 90 年代明显偏多。春旱的年份有 1968 年、1972 年、1975 年、1988 年、1993 年和 2001 年,其中 1972 年春旱最严重, SPI 达到 -1.24,而 1979 年、1983 年、1990 - 1991 年、1998 年为春季雨涝年份,其中 1990 年春季降水最多, SPI 达到 2.16,其余年份为正常年。计算 SPI 线性倾向率为 0.15/10a ($P < 0.05$),表明从长期变化趋势上看,河北省春旱呈弱减轻的趋势,春季多雨年呈增多的趋势,但变化趋势不显著。

夏季:1965 - 2005 年河北省夏季旱涝经历了以下几个主要交替变化阶段,1965 - 1972 年夏旱较频繁,没有出现夏涝年;1973 - 1977 年出现 2a 夏涝,没有出现夏旱年,1978 - 1994 年降水变化幅度小,没有出现夏旱和夏涝年,1995 - 1996 年连续出现 2a 夏涝后,1997 - 2005 年再转为夏旱频繁阶段,没有出现夏涝年。而 1997 - 2002 年出现 3a 夏旱,为夏旱最频繁、最严重的阶段。近 41a 主要干旱的年份为:1965 年、1968 年、1972 年、1997 年、1999 年和 2002 年;降水相对较多的年份出现在:1973 年、1977 年、1991 年、1995 年和 1996 年。41a 间以 1997 年为最早, SPI 值达 - 1.55,夏涝最严重年份为 1973 年, SPI3 值为 1.27。夏季 SPI 线性倾向率为 $-0.12/10a$ ($P < 0.05$),表明从长期变化趋势上看,河北省夏旱呈弱增加的趋势,但增加趋势不显著。

秋季:河北省在 1965 - 1981 年和 1995 - 2005 年秋季旱涝比较频繁,1982 - 1994 年均为正常年份。主要秋旱年份有 1965 年、1966 年、1979 - 1981 年、1997 - 1998 年和 2002 年。秋涝年份主要出现在 1968 年、1969 年、1973 年、1995 - 1996 年和 2003 年,特别是 2003 年出现了历史最涝年, SPI 达到了 2.06,最早年为 1966 年, SPI 值为 - 1.38。秋季 SPI 线性倾向率为 $0.19/10a$ ($P < 0.05$),表明从长期变化趋势上看,河北省秋旱呈弱减轻的趋势,但减轻趋势不显著。

冬季:冬季旱涝变化比较频繁,其中 20 世纪 80 年代冬旱比较频繁,90 年代旱涝频繁。干旱年主要出现在 1968 年、1971 年、1983 年、1984 年、1989 年、1996 年和 1999 年,雨涝年出现在 1969 年、1972 年、1978 年、1990 年、1994 年、1998 年和 2004 年。冬季降水最少的年份出现在 1999 年, SPI 值为 - 1.51,降水最多年份出现在 1990 年, SPI 值为 1.77。冬季 SPI 线性倾向率仅为 $0.01/10a$ ($P < 0.05$),表明从长期变化趋势看,河北省冬季旱涝基本无变化。

综上所述,河北省 20 世纪 60 年代中后期 - 70 年代前中期春夏旱频繁,70 年代多夏涝年,80 年代冬旱频繁,90 年代以后春季雨涝年增多,夏旱频繁。而且河北省干旱往往两季甚至三季、四季连旱,如 1965 年的夏秋连旱,1968 年冬春夏秋四季连旱,1972 年春夏连旱,1997 年夏秋连旱,1999 年冬春夏三季连旱,2002 年夏秋连旱等。河北省雨涝也会出现两季连涝,主要出现在 90 年代,如 1990 年冬春连涝,1991 年春夏连涝,1995 年的春夏连涝、1996 年的春夏连涝和

1998 年的冬春连涝,但没有出现三季以上的连涝。20 世纪 90 年代以来,极端旱涝事件比较频繁,如春季 1990 年降水最多,夏季 1997 年最为干旱,秋季 2003 年降水最多,冬旱最严重年份为 1999 年,冬季降水最多年为 1990 年。

2.2 旱涝空间变化特征

采用正交经验分解函数 (EOF) 对 SPI12 分析表明,前四个主成分解释了总方差的 68.9%,第 5 主成分以后,各向量的方差贡献较小,因此,本文仅对前 4 个主成分进行分析。图 2 给出了前 4 个主成分特征向量的分布情况。其中第 1 主成分所占比例最大,解释了总方差的 44.6%,是河北省旱涝空间分布的主要形态。由图 2a 可见,第一主成分特征向量值均为正值,在 0.06 ~ 0.14,而且大值区位于中部的沧州、廊坊、保定、衡水、石家庄一带,北部和南部特征向量值均较小。这表明由于降水受大尺度天气形势影响,河北省旱涝具有总体一致的变化趋势,而且中部地区对全省旱涝的贡献大于北部和南部,是旱涝变率最大的地区,也是旱涝脆弱区。第 2、3、4 主成分分别解释了总方差的 13.4%、6.1% 和 4.8%,反映了旱涝的空间变化,这主要是受当地特殊地形等环境因子影响所致。由图 2b 可见,第 2 主成分特征向量值 - 0.16 ~ 0.22,南部为正值区,北部为负值区,反映了南北相反的旱涝趋势;第 3 主成分特征向量东部为正值,西部为负值,反映了东西相反的旱涝趋势(图 2c);第 4 主成分特征向量中部为正值,南部和北部为负值,反映了中部与南北相反的旱涝趋势(图 2d)。

为了进一步分析河北省旱涝的区域分布特征,对河北省 SPI12 进行 EOF 变换后的前 4 个主成分按最大极差进行因子旋转。旋转正交经验分解 (REOF) 分析结果显示,前 4 个主成分解释方差分别为 19.5%、16.8%、16.8% 和 15.8%,可见,旋转后各主成分间解释方差贡献比旋转前分布均匀,但总的方差贡献没有变化。按旋转前后 4 个主成分的特征向量高荷载区(荷载值 ≥ 0.6) 将河北省旱涝划分为 4 个区域(图略):东部沿海区(据第一主成分特征向量)、南部平原区(据第二主成分特征向量)、西部山区(据第三主成分特征向量)和北部山区(据第四主成分特征向量)。其中东部沿海区主要包括秦皇岛、唐山、沧州和廊坊,南部平原区主要包括邯郸、邢台和衡水,西部山区主要包括石家庄、保定,北部山区主要包括张家口、承德,这种划分结果与河北省地形特征基本一致。

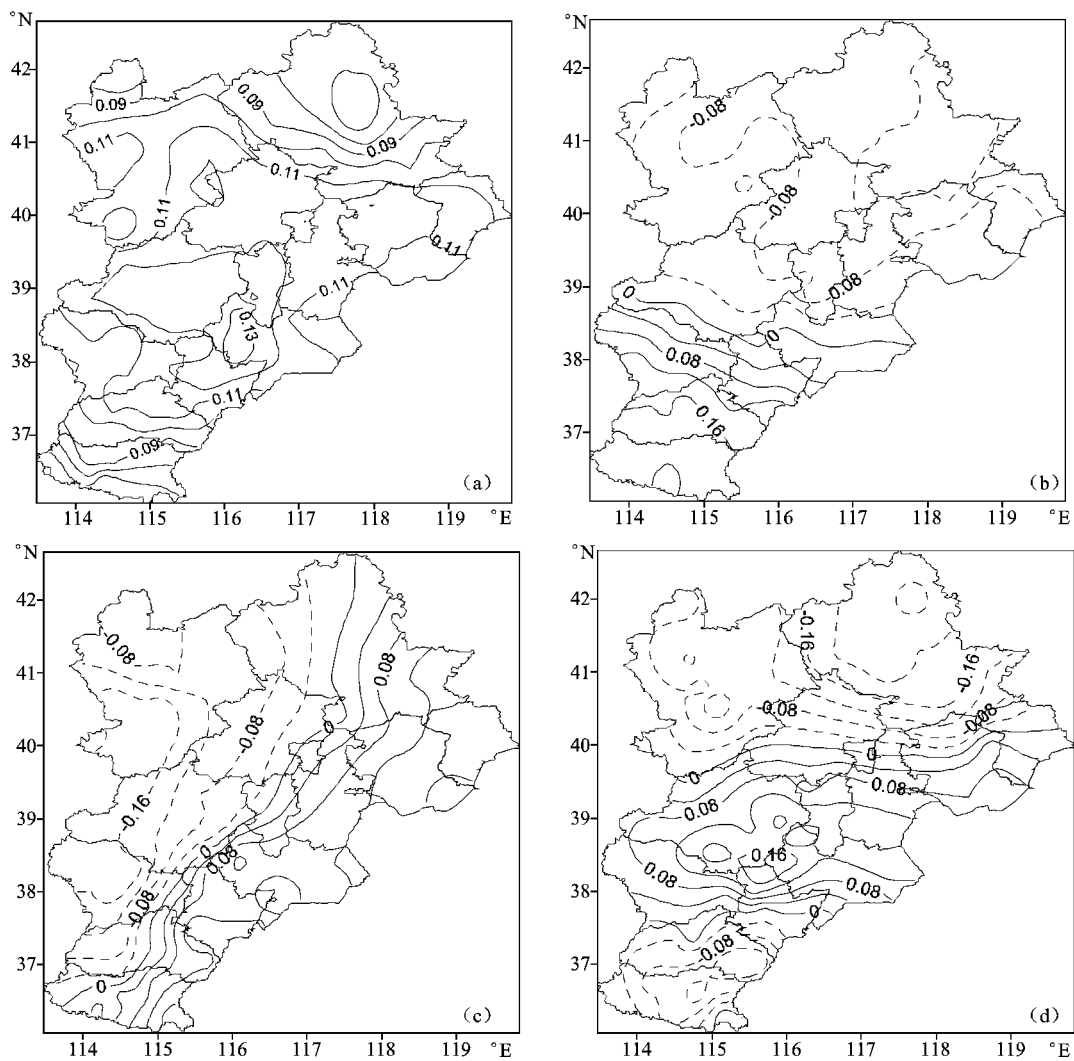


图 2 EOF 前 4 个主成分特征向量分布图 (a,b,c,d 分别代表第 1,2,3,4 分量)

分别计算 4 个区域的平均 SPI12 值(见表 2),发现 4 个区域的旱涝阶段存在一致性,如 1965 年的全省干旱,1997 - 1999 年的全省干旱,1990 - 1991 年的全省雨涝,但也存在很大的差异性。最明显的为南北差异,这与 EOF 第 2 主成分结果相对应,如 2000 年 10 月 - 2001 年 6 月南部中涝,而北部为正常到中旱,

表 2 4 个区域的主要旱 (SPI12≤-1.0)、涝 (SPI12≥1.0) 阶段汇总

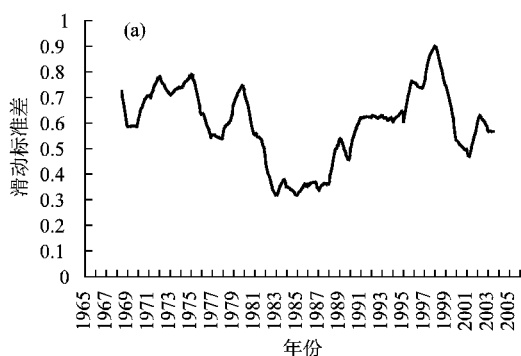
区域	主要干旱时段	主要雨涝时段
东部	1965. 12 - 1966. 06, 1968. 08 - 1969. 05	1969. 08 - 1970. 06, 1977. 06 - 1978. 06
	1984. 04 - 1984. 05, 1997. 08 - 1998. 04	1990. 09 - 1991. 01, 1995. 03 - 1996. 02
	1999. 07 - 2000. 07, 2002. 06 - 2003. 06	
南部	1965. 12 - 1966. 06, 1968. 08 - 1968. 09	1973. 08 - 1974. 06, 1977. 05 - 1978. 03
	1972. 09 - 1973. 05, 1986. 09 - 1987. 07	1990. 05 - 1991. 01, 1996. 08 - 1997. 05
	1992. 07 - 1993. 05, 1997. 07 - 1998. 05	2000. 10 - 2001. 06, 2003. 10 - 2004. 08
	1999. 07 - 1999. 12, 2002. 07 - 2003. 01	
西部	1965. 12 - 1966. 04, 1968. 08 - 1968. 09	1973. 09 - 1974. 05, 1977. 05 - 1977. 08,
	1972. 06 - 1973. 05, 1984. 10 - 1984. 12	1977. 12 - 1978. 04, 1979. 07 - 1979. 08
	1997. 07 - 1998. 03, 1999. 06 - 1999. 08	1990. 08 - 1991. 01, 1995. 08 - 1997. 06
	2001. 09 - 2002. 04	
北部	1965. 12 - 1966. 04, 1972. 06 - 1972. 09	1973. 09 - 1974. 05, 1978. 08 - 1980. 01
	1980. 08 - 1982. 05, 1997. 09 - 1998. 02	1990. 08 - 1991. 07, 1995. 10 - 1996. 05
	1999. 07 - 2000. 07, 2002. 10 - 2003. 04	

SPI 均 < 0 ; 1992 年 7 月 - 1993 年 5 月南部为中早到重旱, 而北部为正常, 除 1992 年 7 月和 9 月 SPI 为负值外, 其它月份为正值。1986 年 9 月 - 1987 年 7 月南旱北正常, 1978 年 8 月 - 1980 年 1 月北部雨涝, 1979 年 6 - 7 月达极涝, 而南部此期为正常, 且 SPI12 值为负。由于 EOF 第 3 主成分只解释了方差的 6.0%, 东西差异不显著, 1984 年 10 - 12 月西部中旱, 东部正常, 1996 年 7 月 - 1997 年 6 月西部雨涝 (SPI12 > 1.0), 1996 年 8 月达重涝, 而东部正常, SPI12 < 0.5 。

分析四个区域的平均 SPI12 的线性倾向率表明, 东部和北部 SPI 呈显著减小趋势, 东部为 $-0.16/10a$ ($P < 0.01$), 北部为 $-0.07/10a$ ($P < 0.05$), 南部和西部几乎无增减趋势, 表明东部和北部呈干旱化变化趋势, 而南部和西部无明显旱涝变化趋势。

2.3 旱涝变率的变化特征

参考 Vicente 等^[26]所用 5a 滑动平均, 本文采用



SPI12 的 5a(60 个月)滑动标准差表示变率, 60 个月滑动标准差值记作中间年月值, 如 1966 年 1 月 - 1970 年 12 月这 60 个月的标准差记作 1968 年 6 月值, 最后得到 1968 年 6 月 - 2003 年 6 月标准差时间序列。由图可见, 就河北全省而言 (图 3a), 20 世纪 90 年代后期旱涝变率最大, 70 年代前期和末期变率较大, 80 年代变率最小, 2000 年以后变率也较 90 年代有所减小。四个区域总体上表现出了和全省大致相同的趋势 (图 3b), 只是在 70 年代末 80 年代初北部地区较其它区域变率明显偏大。反查 SPI 可见, 北部地区此期出现由极涝转为重旱的过程, 1973 - 1974 年东部地区旱涝变化较其它地区平稳, 2000 年以后东部、西部和北部变率均较 90 年代明显减小, 只有南部地区仍持续较高, 表明南部地区旱涝仍较频繁, 需要引起足够的关注。

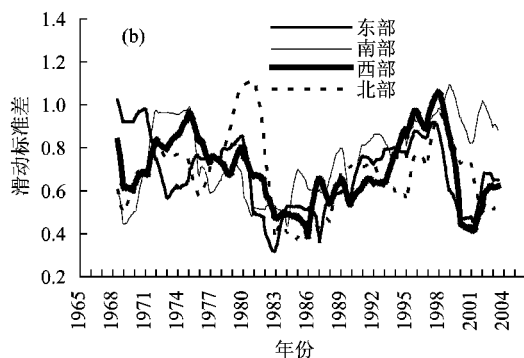


图 3 SPI12 序列 5a 滑动标准差时间序列
(a) 河北省全省平均, (b) 四个区域平均

3 结论与讨论

(1) 河北省旱涝总体上呈阶段性变化趋势, 1965 - 1972 年干旱比较频繁, 1973 - 1996 年干旱频率较低, 1997 - 2005 年干旱频繁, 特别是 1997 - 2000 年是干旱发生最频繁的一段时期。20 世纪 70 年代和 90 年代前中期为雨涝比较频繁阶段。20 世纪 80 年代中后期是旱涝频率最低的阶段, 1983 - 1989 年间没有发生干旱或雨涝事件。

(2) 河北省旱涝随时间的变化四季表现出不同的特征, 从长期变化趋势看, 河北省春秋旱呈弱减轻趋势, 夏季干旱呈弱加剧趋势, 冬季旱涝变化趋势不明显。20 世纪 90 年代以来河北省夏秋干旱和极端季节旱涝事件频繁。

(3) 河北省不同区域的旱涝具有相对一致的大趋势, 但在某些时段也表现出一定的差异性, 主要表

现为南北差异, 也存在一定的东西差异。东部和北部地区呈弱干旱化变化趋势, 而西部和北部地区无明显旱涝变化趋势。

(4) 河北全省 20 世纪 90 年代后期旱涝变率最大, 70 年代前期和末期变率也较大, 80 年代变率最小, 2000 年以后变率也较 90 年代减小。四个区域总体上表现出与全省大致相同的趋势, 只是 2000 年以后南部地区旱涝变率持续较高, 表明旱涝变化频繁, 对农业生产影响较大, 需特别加强旱涝治理对策研究。

阮新^[24]等利用 Z 指数分析了 1961 - 2000 年间河北省干旱的强度和范围变化, 得出了 1961 - 1972 年干旱比较频繁, 1973 - 1996 年间干旱频率较低, 1997 - 2000 年是干旱发生频率最高的一段时间, 四季中冬旱面积变化不大, 春秋旱呈减少趋势, 夏

季干旱呈扩张趋势。本文中干旱的研究结果与此一致,可见 SPI 可以很好地反映河北省的旱涝趋势变化特征。根据 SPI 的得到的河北四季旱涝虽然表现出了一定的变化趋势,但均未通过显著性检验,说明旱涝季节变化趋势不显著。

标准化降水指数 SPI 能够较好地反映河北省旱涝变化的时空特征,随着时间尺度的延长,SPI 值变化幅度减小,旱涝频率降低,持续时间加长。由 3 个月时间尺度的 SPI 分析,1965 - 2005 年间有 21 次干旱事件和 15 次雨涝事件,而由 12 个月时间尺度的 SPI 分析,1965 - 2005 年间有 8 次干旱事件和 6 次雨涝事件。如某月降水充足,短时间尺度的 SPI 显示干旱结束,但并不是所有时间尺度的 SPI 都升至 -1 以上,干旱仍影响这一区域,多时间尺度的 SPI 结合使用,可以提高旱涝监测的精度和及时性。寻找与河北省农业生产关系最密切的适宜时间尺度的 SPI,进而进行农业生产旱涝风险评估是下一步要研究的工作。

由于 SPI 指标考虑了降水服从偏态分布的事实,而且进行了正态标准化处理,适合不同地区、不同时间尺度的干旱监测。而且 SPI 所用资料容易获取且比较客观,是气象部门干旱监测的理想指标。近几年来,SPI 在旱涝监测中得到了越来越多的应用^[29-30]。但由于 SPI 反映的是某年降水量与历史同时期降水量的差异情况,在北方降水季节分布不均的地区(如河北省),在少雨季节较少的降水量会生成较大的 SPI 值,所以,在利用 SPI 进行旱涝分析时,首先要对当地的气候条件有详细的了解,才能合理地应用和解释 SPI。

旱涝的空间分布是十分复杂的,因为降水的空间变化较其它气象要素如温度更具有局地性特点,所以选择合理的空间尺度是分析旱涝变化的基础。合适的降水空间尺度的确定以及旱涝的区域化特征需进行更详细的研究,区域自动雨量采集系统的降水资料将是未来旱涝分析的重要数据。

参考文献:

[1] Obasi G O P. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction[J]. Bull. Am. Meteorol. Soc., 1994, 75 (9): 1655-1661.

[2] 邹旭凯,张强,王有民,等. 干旱指标研究进展及中美两国国家级干旱监测[J]. 气象, 2005, 31(7): 6-9.

[3] Richard R, Heim Jr. A Review of twentieth - century drought indicis used in the United States[J]. Bull. Am. Meteorol. Soc., 2002, 82(8): 1149-1165.

[4] Seiler R A, Hayes M, Bressan L. Using the standardized pre-

cipitation index for food risk monitoring[J]. International Journal of Climatology, 2002, 22: 1365-1376.

[5] Hayes M J, Svoboda M D, Wilhite D A, et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index[J]. Bull. Am. Meteorol. Soc., 1999, 80(2): 429-438.

[6] 李茂松,李森,李育慧. 中国近 50 年洪涝灾害灾情分析[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 38-41.

[7] 刘巍巍,安顺清,刘庚山. 帕默尔旱度模式的进一步修正[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 207-216.

[8] 邵晓梅,刘劲松,许月卿. 河北省旱涝指标的确定及其时空分布特征研究[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 133-136.

[9] 樊高峰,张小伟,徐义,等. 浙江省干湿状态的时空分布特征[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 111-114.

[10] 鞠笑生,邹旭凯,张强. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 51-57.

[11] 郭晶,景元书,王春林,等. 基于土壤水分平衡模型的广东干旱时空分布特征[J]. 中国农业气象, 2008, 29(3): 353-357.

[12] Guttman N B. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index[J]. Am. Water Resour. Assoc., 1997, 34(1): 113-121.

[13] 张强,鞠笑生,李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定[J]. 气象科技, 1998, (2): 48-52.

[14] 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.

[15] Sims A P, Niyogi D D S, Raman S. Adopting drought indices for estimating soil moisture: a North Carolina case study[J]. Geophysical Research Letters., 2002, 29(8): 1183-1186.

[16] Quiring S M, Papakryiakou T N. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies[J]. Agr. Forest Meteorol., 2003, 118: 49-62.

[17] Loukas A, Vasilades L. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2004, (4): 719-731.

[18] Patel N R, Chopra P, Dadhwal V K. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index[J]. Meteorological Applications, 2007, 14: 329-336.

[19] Vicente-Serrano S M. Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910 - 2000) [J]. Hydrological Sciences Journal, 2006, 51(1): 83-97.

[20] Min S K, Kwon W T, Park E H, et al. Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia[J]. International Journal of Climatology, 2003, 23: 223-233.

[21] Wu H, Hayes M J, Wilhite D A, et al. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation [J]. International Journal of Climatology, 2005, 25: 505-520.