

基于标准降水指数的广西旱涝特征演变分析*

姚蕊^{1,2}, 陈子燊¹

(1. 中山大学水资源与环境系, 广东 广州 510275;
2. 广东珠荣工程设计有限公司, 广东 广州 510610)

摘要: 利用广西地区74个气象站1961-2008年月降水资料, 采用标准降水指数、Mann-Kendall检验、旋转经验正交函数(EOF)等方法, 分析了广西地区近48年旱涝时空变化特征。结果表明: ① 广西旱涝呈阶段性变化, 20世纪60年代、80年代中后期至90年代初期、21世纪以来旱涝灾害以干旱为主, 70年代至80年代中期、90年代中后期的旱涝灾害以洪涝为主。② 通过EOF对广西进行旱涝分区, 根据前4个旋转空间模上高荷载区分布, 广西可以大致分为桂东北、桂西北、桂东南和桂西南4大区域, 各分区的极端旱涝变化总体上和全区保持一致性, 但在某些时段不同区域之间重度旱涝存在一定的差异性。桂东北和桂东南地区重旱发生的频率大于其他地区, 桂西南的重涝发生的频率大。

关键词: 标准降水指数; 旱涝; 时空特征; 广西

中图分类号: P339 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)02-0115-06

Analysis of Drought-flood Spatio-temporal Characteristics Based on Standard Precipitation Index in Guangxi

YAO Rui^{1,2}, CHEN Zishen¹

(1. Department of Water Resource and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Guangdong Zhurong Architecture & Engineering Design Co. Ltd, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The spatio-temporal characteristics of flood and drought in Guangxi were analyzed using standardized precipitation index, Mann-Kendall test and EOF based on the observed monthly precipitation data of 74 meteorological stations from 1961 to 2008. The results indicate that: (1) flood and drought disasters have stage characteristics, i. e. Droughts were frequent in 1960s, mid 1980s to early 1990s and the 21st century, while floods were severe and frequent during 1970s to early 1980s and in the late 1990s; (2) Guangxi can be divided into four regions, northeast Guangxi, northwest Guangxi, southeast Guangxi and southwest Guangxi, which have similar trends of extreme flood and drought disasters to the whole region. Sometimes there are some differences between severe drought and flood in different areas. The frequency of severe drought occurred in northeast and southeast Guangxi is higher than other regions. However, the frequency of severe flood occurred in southwest Guangxi is high.

Key words: standardized precipitation index; flood and drought; spatio-temporal characteristics; Guangxi

气候变化引起的降水空间分布不均, 从而导致旱涝灾害频繁发生, 受到社会各界的普遍关注^[1-2]。广西属于亚热带季风气候区, 受冬、夏季风交替出现和地理环境的影响, 降水分布不均匀,

旱涝灾害频繁发生。广西历来深受风、潮、洪、涝、旱等灾害的侵害, 其中干旱灾害占60%, 洪涝灾害占13%, 其他灾害占27%^[3], 特别是2010年西南五省大旱, 对广西及其他四省市的社会经济

* 收稿日期: 2012-11-08

作者简介: 姚蕊(1986年生), 女, 硕士; 通讯作者: 陈子燊; E-mail: yaorui1226@163.com

及人民生活带来巨大的经济损失。根据广西民政厅统计, 1978 - 2000 年广西平均每年洪涝灾害受灾面积为 42 万 hm^2 , 成灾面积为 27 万 hm^2 ; 平均每年受旱灾面积 72.4 万 hm^2 , 成灾面积 44.3 万 hm^2 ^[4]。旱涝灾害对广西经济发展和人民生命安全产生了巨大的影响。目前, 国内外学者已经对广西降雨做了很多的研究, 黄嘉宏等对广西地区月降水和气温进行分析, 研究表明广西年降水量没有明显的长期变化异常, 但降水趋势有明显的季节差异; 广西年平均气温有极明显的增温趋势^[5]; 李宇中对广西秋冬季降水特征进行研究, 发现广西秋季降水南多北少, 冬季降水则东多西少, 秋季出现异常干旱比较频繁^[6]; 张凌云等对广西春旱的时空分布特征进行相关分析, 发现在春早年, 广西上空对流层低层出现偏南 - 西南气流异常现象^[7]。但是, 前人对于广西旱涝灾害的研究局限于某一季节或者研究数据比较短^[5-6]。为此, 本文采用标准降水指数为旱涝指标, 结合旋转经验正交函数对广西旱涝时空特征进一步深入研究, 这对于全面了解广西全区旱涝时空分布规律、防洪抗旱等问题具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料

本文数据采用广西壮族自治区 74 个地面气象站的 1961 - 2008 年逐月降雨量资料, 资料来源于广西壮族自治区气象局。个别月份缺失数据利用相

邻站点降雨资料进行插补。广西壮族自治区的历年旱灾和水灾受灾面积资料来源于中国气象灾害大典 (广西卷)^[4]。

1.2 方法

1.2.1 标准降水指数

标准降水指数 (Standardized Precipitation Index, 简称 SPI) 是 Mckee 等^[8]在 1993 年提出, 由于 SPI 具有多时间尺度, 计算简单的特性, 被广泛的应用。为消除样本的自相关性, Shih-Chieh 等^[9]提出将时间序列中不同月份的 SPI 值先分别计算, 再合起来得到整个时间序列的 SPI 值。短时间尺度 (1 月、3 月、6 月等) 的 SPI 值可以反映农作物在生长期的水分供给情况, 而长时间尺度 (12 月、24 月、48 月等) 的 SPI 值可以用来反映河流水位、水库水位等周期变化情况^[10]。具体步骤是: 设 X 表示月降水时间序列, X_w 表示 w 时间尺度的累积月降水序列, 其中 $w = 1, 3, 6, \dots$, X_w^{mon} 表示某月份对应的 w 时间尺度的累积月降水序列, 其中 mon 表示月份, $\text{mon} = 1, 2, 3, \dots, 12$ 。则计算 SPI 的公式可以表示如下^[8]:

$$\text{SPI}_w^{\text{mon}} = \varphi^{-1}(F(X_w^{\text{mon}})) \quad (1)$$

其中, F 表示 Gamma 分布函数, φ^{-1} 表示标准正态分布的反函数。

根据 SPI 值的大小可以将 SPI 值划分为 7 个等级, 具体见表 1。

表 1 SPI 值旱涝等级
Table 1 Categories defined for SPI

干旱等级	极涝	重涝	中涝	正常	中旱	重旱	极旱
SPI 值	≥ 2.0	[1.5, 2.0)	[1.0, 1.5)	(-1.0, 1.0)	(-1.5, -1.0]	(-2.0, -1.5]	≤ -2.0

1.2.2 旋转正交经验函数

旋转正交经验函数 (简称 REOF) 是在 EOF 分析的基础上对特征向量进行极大方差正交旋转^[11], EOF 分离出要素的方差贡献率尽量集中在前几个特征向量上, 其分离出的空间分布结构不能清晰的表示不同地理区域的特征, 同时取样大小不同也会导致反映真实分布结构的相似度不同^[12]; 旋转经验正交函数可以克服这些局限性, 可以更好地反映不同区域的变化和相关分布状况。设气象场 $A = f(t, x)$, 其中 t 表示时间, x 表示空间点的标号, 以 A_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 次时间第 i 个空间点上气象要素的观测值。其中, m 为时间序列的长度, n 为测站数。观测资

料矩阵 $A_{m \times n}$ 可分解为两部分:

$$A_{m \times n} = V_{m \times n} \times T_{m \times n} \quad (2)$$

其中, $V_{m \times n}$ 为归一化特征向量, 矩阵 $T_{m \times n}$ 为特征向量的权重系数。按照方差极大原则做正交旋转, 提取方差最大的前几个因子的特征向量及其相应时间系数加以分析。

1.2.3 Mann-Kendall 方法

本文采用非参数 Mann-Kendall (以下简称 M-K 法) 趋势检验法来研究标准降水指数的趋势变化^[13]。M-K 方法广泛应用于检验水文气象资料的趋势成分, 是世界气象组织推荐的应用于时间序列分析的方法。

2 结果与分析

2.1 不同时间尺度 SPI 及其适用性分析

利用 SPI 多时间尺度的优势，分别以 1 个月、3 个月、6 个月、12 个月的时间尺度计算 1961 - 2008 年的 SPI 值（简称为 SPI_1 、 SPI_3 、 SPI_6 、 SPI_{12} ），对广西全区旱涝进行分析。由图 1 可知，1 个月尺度的 SPI 上下波动频繁；随着尺度的增大，旱涝变化的周期趋于明显，12 个月尺度 SPI 值则可反映旱涝趋势变化。如广西灾情统计显示，在 1963 年广西发生了全区性长时期严重大旱^[4]，春、夏、秋连旱。 SPI_1 显示 1963 年 1 月、4 - 6 月、8 - 9 月为干旱阶段， SPI_3 显示 1 - 2 月，4 - 10 月为干旱阶段， SPI_6 显示 1 - 11 月均为干旱阶段， SPI_{12} 显示 1 - 12 月全年均为干旱阶段。由此可见，随着 SPI 尺度的增大可更清楚显示出季节变化特征、旱涝的持续性和变化趋势。本文利用 SPI_{12}

对广西旱涝加以分析，由图 1 (d) 中 SPI_{12} 变化过程可以看出，广西地区在 1961 - 2008 年间旱涝变化交替出现。根据表 1 的 SPI 旱涝等级对其分级，广西地区极涝和极旱的年份分别为 1995 年和 1963 年；重涝年份为 1994 年，重旱年份为 1964 年和 1991 年；48 年中正常年份有 27 年，其余年份都出现了一定程度的洪涝或干旱。

为了进一步验证 SPI 在广西的适用性，本文对广西 1961 - 2007 年（注：其中缺少 1967 - 1977 年旱灾受灾面积资料和 1963 - 1977 年水灾受灾面积资料）旱灾、水灾受灾面积（图 1e）与相应时段的 SPI_{12} 值（图 1d）进行比较，1963 年广西受旱灾面积最大，而 SPI_{12} 达到了极旱等级；1994 年广西受水灾面积最大，而 1995 年 SPI_{12} 达到了极涝等级。同时对比其他时段的历史旱、涝灾情况， SPI_{12} 指数基本上能反映历史受灾记录。因此， SPI_{12} 基本上能够反映广西地区的旱涝变化情况。

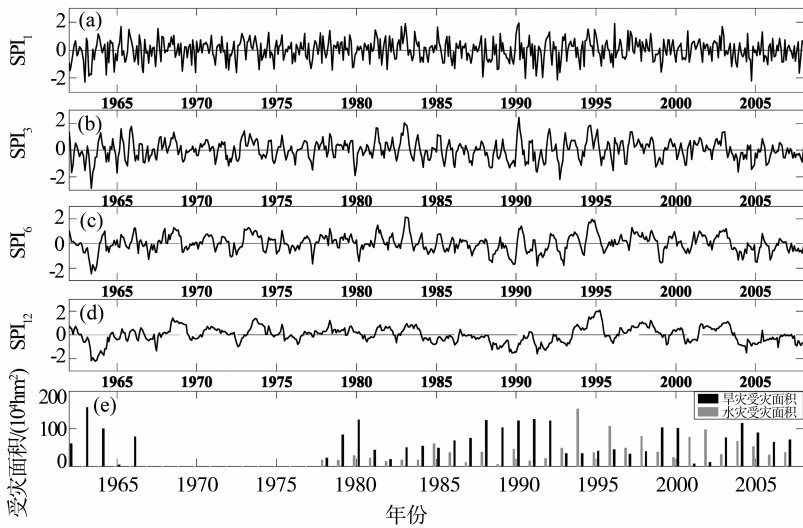


图 1 广西不同时间尺度 SPI 值和农业旱灾、水灾受灾面积变化情况

Fig. 1 Change of multiple time scale SPI and drought-affected and flood-affected agriculture fields in Guangxi

2.2 旱涝年际变化特征

图 2 为广西 48 年 SPI_{12} 时间序列的 M-K 趋势图，由图可以看出 Z1 曲线变化的总体趋势为降 - 升 - 降 - 升 - 降。20 世纪 60 年代呈下降趋势（趋于干旱），70 年代和 80 年代中期呈上升趋势（趋于洪涝），80 年代中期至 90 年代中期呈下降趋势，90 年代中后期至 21 世纪初是上升趋势，此后转为下降趋势。图 3 为广西 74 个气象站中受各等级雨涝与干旱影响的百分比。由图 3 可见，受极涝影响的年份主要发生在 1995 年，站点数超过了 50%；受极旱影响的年份主要发生在 1963 年，站点数也

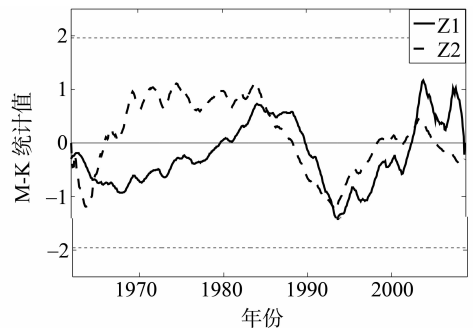


图 2 广西 1961 - 2008 年 SPI_{12} 值 M - K 趋势图

Fig. 2 The trend of M-K test for SPI_{12} form 1961 to 2008 in Guangxi

超过了 50%。近 48 年中受雨涝影响的站点数整体上表现为升 - 降 - 升 - 降, 受干旱影响的站点数趋

势表现为降 - 升 - 降 - 升。

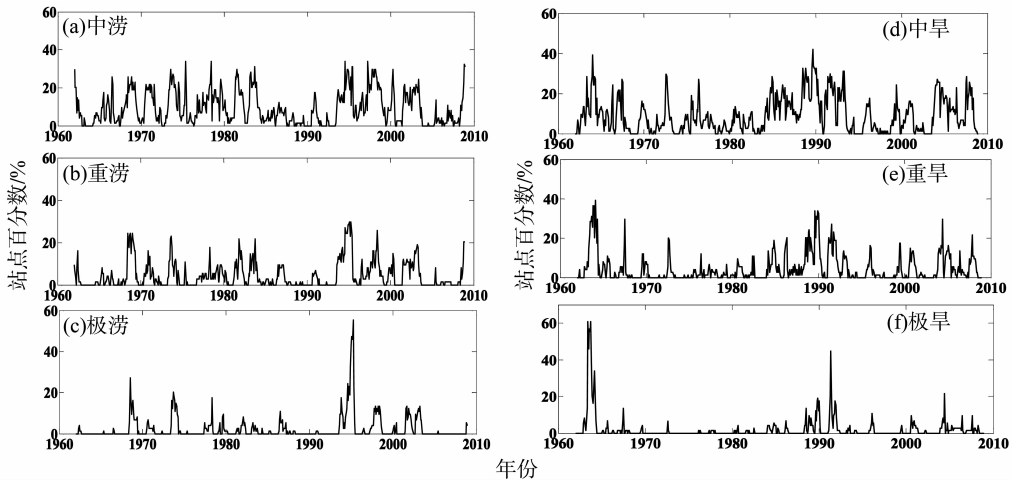


图 3 广西受各等级雨涝和干旱影响站点的百分比%

Fig. 3 Percentage of stations influenced by floods and droughts of Different classes in Guangxi

2.3 旱涝空间特征分析

对广西地区 SPI_{12} 进行 REOF 分析, 按照符合 North 特征值误差范围及旋转后高荷载区基本上布满全区的原则, 对广西旱涝进行客观分区以研究区域旱涝特征^[14]。广西地区 SPI_{12} 的 REOF 分析结果显示, 前 4 个旋转向量的方差贡献分别为 24.49%、17.00%、12.65%、11.52%, 其累积方差贡献率为 65.66%。图 4 为前 4 个旋转特征向量等值线图, 可以看出, 旋转后的主分量分布均匀。等值线密集的地区表示旱涝变率显著的地区^[15]。从图 4 (a) 可以看出正高荷载区位于桂东北地区, 大值区出现在桂林市附近, 表明桂东北地区是广西旱涝灾害最频繁的区域, 这一地区属于桂东北多雨区, 多雨中心永福年降雨量最高达 2 868.3 mm, 年暴雨日数 7.6 d, 汛期暴雨洪涝灾害多。广西地区虽然降雨丰富, 但是年内分配不均及水资源调节能力低, 导致桂东北地区的桂林、贺州等地区的夏旱和秋旱的频率高于广西的其他地区^[4,16]。从图 4 (b) 可以看出正高荷载区位于桂西北地区, 说明桂西北地区也是广西旱涝灾害的多发区域。桂西北地区凌云等地区的年平均暴雨日数在 6 - 8 天, 中洪涝发生的频率为 30% - 75%, 而且桂西北的春旱频率达到 80% 以上, 是广西地区春旱易发地区^[16-17]。从图 4 (c) 可以看出正高荷载位于桂东南地区。桂东南地区是属于广西三个多雨区中的桂东南多雨区, 陆川年平均降水量达 1 906.4 mm, 年暴雨日数达 8 日。桂东南地区干旱主要以夏旱为

主, 但是干旱频率低于桂东北地区^[16]。从图 4 (d) 可以看出正高荷载位于桂西南部地区。桂西南地区的钦州和防城港地区也是广西三大多雨区之一, 该区域发生中涝和重涝的频率高。同时该区域的干旱主要为春旱, 发生频率在 50% - 80% 之间。根据以上分析, 把广西旱涝分成四个区域: 桂东北地区 (主要包括桂林市、柳州市、贺州市), 桂西北地区 (主要包括河池市和百色市), 桂东南部地区 (主要包括梧州市、贵港市、玉林市、来宾市东部), 桂西南地区 (主要包括崇左市、防城港市、钦州市、北海市及南宁市北部地区)。按照旋转向量高荷载区 (等值线值 ≥ 0.12) 分布区域来考虑, 将广西分成 4 个不同的区域: 桂东北区、桂西北区、桂东南区、桂西南区。按照上述方法进行分区, 虽然相邻区域存在部分重叠地带, 但是重叠区域都比较小, 并且分区基本上布满广西全区, 这充分反映出 REOF 是一种比较客观的分区方法。

2.4 广西各区旱涝演变趋势

在对广西旱涝进行分区的基础上, 分别计算广西 4 个区域的平均 SPI_{12} 值, 按照表 1 中 SPI 旱涝等级对极涝、重涝、极旱、重旱进行统计, 结果见表 2。从表 2 中可以看出, 4 个分区的极端旱涝变化总体上和全区保持一致性, 如 1963 年的全区大旱, 1994 - 1995 年全区雨涝; 同时也存在一定的区域差异性。2004 年 6 月桂东北区与桂西北区均达到了重旱, 而桂东南区与桂西南区均没有达到重旱; 1989 年 10 - 11 月, 桂东南区与桂西南区均达到了重旱, 而桂东北区与桂西北区均没达到重旱; 1991

年桂东北区及桂东南区达到了重旱和极旱，而桂西北区及桂西南区均没有达到重旱。1986 年 6 - 8 月桂西南地区发生了洪涝灾害，7 月时达到了极涝，其他 3 个区域均没达到重涝。桂东北区和桂东南区的重旱发生月份大于其他两个地区，桂西南地区的重涝发生月份是全区最多的，桂西北地区以重旱发生月份较多。图 5 为广西各个旋转特征向量对应的

时间系数，其中时间系数为正值代表偏涝，为负值代表偏旱。由图 5 可知，近 48 年广西各分区旱涝具有阶段性，广西四个分区总体表现出了与全区的旱涝变化情况大致相同的趋势，20 世纪 60 年代后期到 80 年代中后期以及 90 年代中期到 21 世纪初，广西所有地区是偏涝的；其他时间段广西地区是偏旱的。

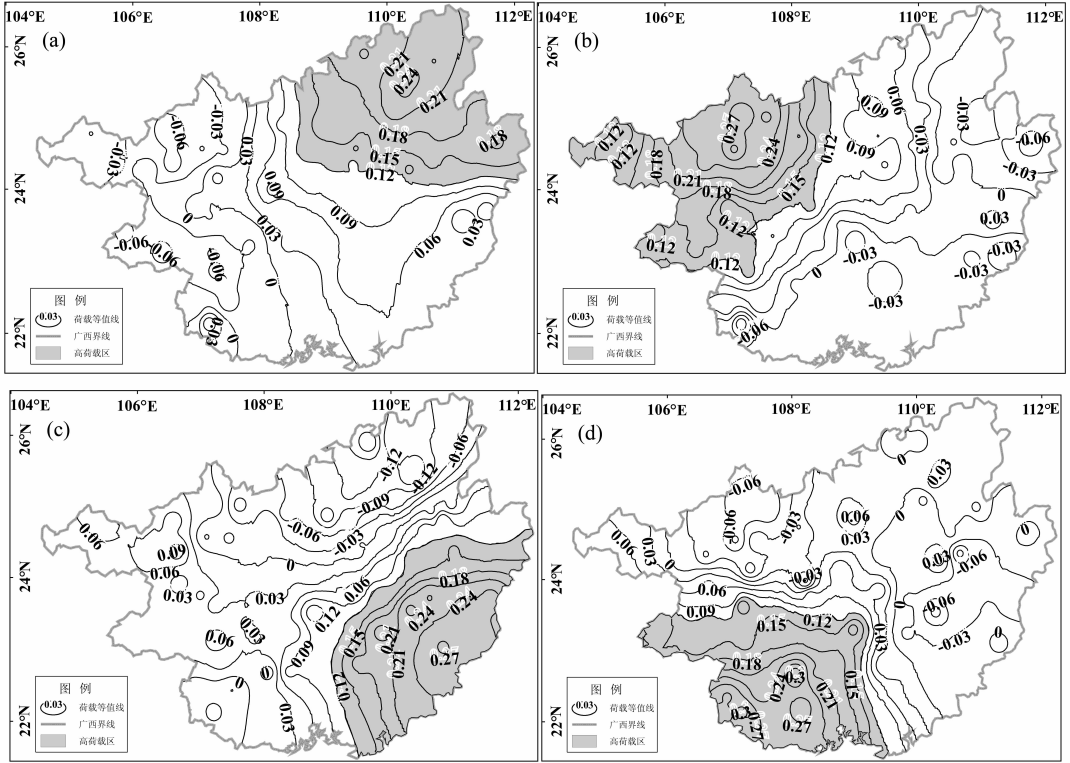


图 4 前 4 个旋转特征向量分布图

Fig. 4 Four rotating eigenvectors in REOF analysis of SPI₁₂ in Guangxi

表 2 四个区域主要旱涝阶段的发生时段

Table 2 The occurrence time of drought and flood in four areas

区域	旱涝等级	发生时间	区域	旱涝等级	发生时间
桂东北区	极涝	1994. 8, 1994. 12 - 1995. 4	桂西南区	极涝	1995. 4
	重涝	1978. 5, 1994. 9 - 1994. 11, 1995. 5		重涝	1979. 9, 1994. 12 - 1995. 3
	重旱	1963. 6 - 1963. 7, 1963. 11 - 1963. 12, 1964. 2 - 1964. 3, 1967. 7, 1991. 5, 1991. 10 - 1992. 1, 2004. 6		重旱	1963. 5, 1963. 11 - 1963. 12, 1964. 2 - 1964. 3, 2004. 6
	极旱	1963. 8 - 1963. 10		极旱	1963. 6 - 1963. 10
桂东南区	极涝	无	桂西北区	极涝	1986. 7
	重涝	1981. 11 - 1982. 3, 1995. 1 - 1995. 4, 1997. 12, 1998. 6		重涝	1973. 9 - 1973. 10, 1986. 6, 1986. 8, 1995. 1 - 1995. 2, 1995. 4, 2001. 8 - 2002. 4
	重旱	1963. 6 - 1963. 8, 1963. 10 - 1963. 12, 1964. 2 - 1964. 3, 1989. 8 - 1990. 1, 1991. 4		重旱	1963. 7 - 1963. 10, 1989. 10 - 1989. 11, 1990. 1
	极旱	1963. 9, 1991. 5		极旱	1963. 6

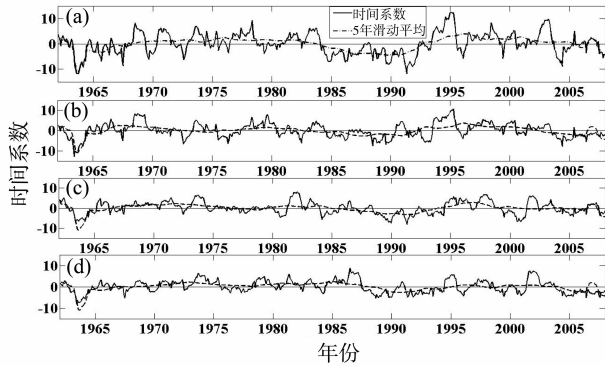


图5 广西前4个旋转特征向量的时间系数

Fig. 5 Time coefficient of four rotating eigenvectors in Guangxi Province

3 结论

本文采用 SPI 指数作为广西地区旱涝评价因子,对其 1961 - 2008 年旱涝特征进行时空分析,得出以下主要结论:

1) 广西旱涝变化呈阶段性,20 世纪 60 年代、80 年代中后期至 90 年代初期、21 世纪以来主要以干旱为主,70 年代至 80 年代中期、90 年代中后期以洪涝为主。

2) 通过 REOF 对广西进行旱涝分区,广西可以大致分为桂东北、桂西北、桂东南、桂西南 4 大区域,各分区的极端旱涝变化总体上和全区保持一致性,但是不同区域之间重度旱涝存在一定的差异性。桂东北和桂东南地区重旱发生的频率大于其他地区,桂西南重涝发生的频率大。通过研究不同地区的旱涝变化情况,可为广西地区的防洪抗旱与水资源规划管理提供科学依据。

参考文献:

[1] 刘黎明,郑德娟. 广东旱涝的典型型式及其环流分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,1996,35:206 - 210.

[2] 肖伟军,陈炳洪,刘云香. 近 45a 华南夏季降水时空演变特征[J]. 气象研究与应用,2009,30(1):12 - 22.

[3] 何丽丽. 广西旱灾统计与分析[J]. 人民珠江,1993,(5):15 - 16.

[4] 温克刚,杨年珠. 中国气象灾害大典(广西卷)[M]. 北京:气象出版社,2006.

[5] 黄嘉宏,李江南,李自安,等. 近 45a 广西降水 and 气温的气候特征[J]. 热带地理,2006,26(1):23 - 28.

[6] 李宇中. 广西秋冬季降水特征分析[J]. 广西科学院学报,2007,23(2):97 - 101.

[7] 张凌云,简茂球. 广西春旱的时空分布特征及成因分析[J]. 灾害学,2012,27(1):48 - 54.

[8] MCKEE T B,DOESKEN N J,KLEIST J. The relation of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology American Meteorological Society Boston,1993:179 - 184.

[9] KAO S C. A Copula-based joint deficit index for droughts[J]. Journal of Hydrology,2010,380:121 - 134.

[10] 赵林,武建军,吕爱锋,等. 黄淮海平原及其附近地区干旱时空动态格局分析 - 基于标准化降雨指数[J]. 资源科学,2011,33(3):468 - 476.

[11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.

[12] 陈豫英,陈楠,王式功,等. 中蒙干旱半干旱区降水的时空变化特征(I):年降水特征及 5~9 月降水的 REOF 分析[J]. 高原气象,2010,29(1):33 - 43.

[13] 康淑媛,张勃,柳景峰,等. 基于 Mann-kendall 法的张掖市降雨量时空分布规律分析[J]. 资源科学,2009,31(3):501 - 508.

[14] NORTH G R T, BELL R C, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function [J]. Monthly Weather Review, 1982, 110:699 - 706.

[15] 朱亚芬. 530 年来中国东部旱涝分区及北方旱涝演变[J]. 地理学报,2003,58(增刊):100 - 107.

[16] 广西壮族自治区地方志编纂委员会编. 广西通志 - 水利志[M]. 南宁:广西人民出版社,1998.

[17] 张玉坤,广西壮族自治区地方志编纂委员会编. 广西通志 - 气象志[M]. 南宁:广西人民出版社,1996.