



近 49 年来河北省干旱时空变化特征研究

摘要

基于河北省及邻近地区 73 个气象站 1961—2009 年逐季、年降水资料,应用降水 Z 指数、经验正交函数分解、小波分析方法分析了河北省干旱的时空变化特征。结果表明:近 49 年来河北省年、各季的干旱空间分布特征,最常见的是全省一致的干旱(雨涝)型,其次是南涝(旱)北旱(涝)的南北相反分布型;小波分析方法得出年、各季干旱的出现不仅存在明显的年代际尺度变化,而且年际变化也显著;河北省年干旱指数呈下降趋势,1979 年后,年干旱指数发生突变,该区域进入干旱期。

关键词

降水; Z 指数; 干旱; 时空特征; 河北省

中图分类号 P468.024

文献标志码 A

收稿日期 2011-10-01

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906016)

作者简介

王宏,女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报、短期气候预测。whlzqlgd@sina.com

1 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

2 河北省承德市气象局,承德,067000

3 河北省气象局,石家庄,050021

0 引言

干旱问题早已受到国际上的广泛关注,世界各地的专家学者对其进行了广泛的研究,并建立了许多干旱监测指标^[1-6]。目前,常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。国内一些学者应用不同的模型和指标分别对湖南、广东、广西的干旱时空分布特征进行了分析^[7-9]。有研究表明,随着全球气候变暖,华北干旱化在加剧^[10-11]。针对华北干旱,气象学家已开展了许多旱涝时空分布特征及干旱成因的研究^[12-15]。

河北省地处华北平原,属典型的暖温带大陆性季风气候,特点是冬季干寒少雪,夏季炎热多雨,春季干燥多风沙,秋季晴朗,冷暖适中。河北省四季分明,降水多变,旱涝气象灾害频繁且交替出现。据资料统计,河北省每年平均受旱面积达 238.3 万 hm^2 ,自 20 世纪 80 年代以来,由于受自然降水减少和地表水资源不足等原因的影响,出现了严重的地下水漏斗区。1963 年和 1996 年的特大洪涝灾害给河北国民经济和人民生命财产安全带来严重损失,仅 1996 年全省直接经济损失就高达 456.3 亿元^[16]。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都产生了巨大影响。就河北干旱而言,车少静等^[17]采用标准化降水指数 SPI,邵晓梅等^[18]以及阮新等^[19]应用 Z 指数方法对河北省干旱的时空变化特征分别进行了研究,得出了许多有意义的结论。但由于这些研究主要集中在干旱的影响范围、干旱分区及干旱的变化趋势上,而对于年及四季干旱的异常空间敏感区、周期震荡特征的系统研究并没有涉及。本文应用修正后的 Z 指数的方法,详细地探讨了河北省干旱的时空分布特征,其目的在于进一步探讨该区域的干旱变化规律,同时为政府和决策部门制作农业生产计划、采取防灾减灾措施提供科学依据。

1 资料和方法

本文利用观测时间较长、连续性较好的 73 个地面气象观测站 1960 年 12 月—2009 年 12 月逐月的降水作为研究对象。为了考虑空间分布的连续性,将北京站和天津站的资料一并考虑,站点分布如图 1 所示。主要研究方法:经验正交函数分解^[20]、Morlet 小波分析^[21-22]及 Mann-Kendall 气候突变检验^[23]等。

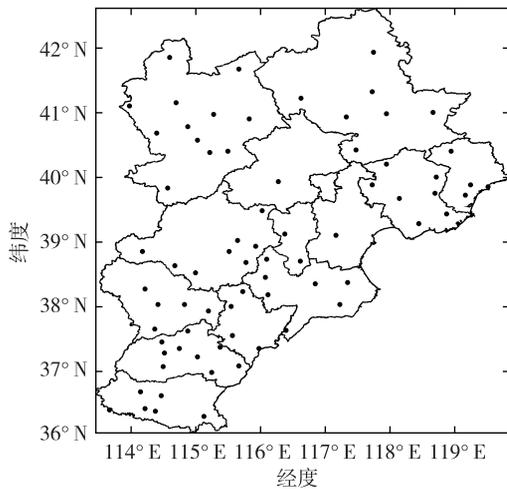


图1 研究区域73个站点分布
Fig.1 Distribution of 73 meteorological stations in the research region

2 单站、区域干旱强度指数的定义

2.1 单站旱涝等级划分

降水量的多少直接反映了气候的旱涝状况.本文采用Z指数确定单站旱涝等级的方法就是假设各站月、季、年降水量服从Person III型分布,对降水量序列进行正态化处理,可将其概率密度函数转换为以Z为变量的标准正态分布^[24],其转换公式为

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}, \quad (1)$$

式中, φ_i 为标准化变量, C_s 为偏态系数, σ 为标准偏差, 均可由降水资料序列计算求得, n 为序列长度.

$$\varphi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}, \quad C_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}.$$

由式(1)求得Z值,可以按表1标准界值将强度分为7个等级^[25].

2.2 区域干旱指数及指标

区域干旱指数计算方法:

$$X_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_{ij}. \quad (2)$$

式中, X_i 为第*i*季(年)区域干旱指数, Z_{ij} 为*i*季(年)*j*站Z指数, m 为区域内站数, 指标界限值同表1.

3 干旱的空间分布及多时间尺度变化特征

3.1 干旱的空间分布特征

为了研究干旱的异常分布型,对1961—2009年

表1 修正后的Z指数旱涝等级标准

Table 1 Drought and flood grades of modified Z index

等级	Z值	类型
1	>1.645	重涝
2	(1.037 1.645]	大涝
3	(0.524 1.037]	偏涝
4	[-0.524 0.524]	正常
5	[-1.037 -0.524)	偏旱
6	[-1.645 -1.037)	大旱
7	<-1.645	重旱

73个站点的年、四季干旱指数进行EOF分解,得到的特征向量能较好地反映全省干旱指数的空间分布特征.表2给出EOF对年、四季干旱指数场总方差的贡献率.可以看出,年及四季干旱指数EOF分析前5个特征向量的累积方差贡献率均达到68%以上,特别是冬、春季达到75%以上.EOF的第1特征向量表征了干旱指数场最主要的空间分布特征,其解释的方差贡献率均在41%以上.

表2 EOF分解后前5个特征向量的解释方差和累积方差

Table 2 Single variances and cumulative variances of the first 5 eigenvectors of EOF

	方差贡献率/%					累积贡献率/%
	1	2	3	4	5	
年	43.78	14.38	5.81	4.64	4.24	72.85
冬	73.28	5.36	3.28	2.42	2.10	86.44
春	51.93	9.40	6.44	4.37	3.13	75.27
夏	41.57	13.14	5.30	4.64	4.28	68.93
秋	46.55	12.32	6.77	4.39	2.93	72.95

图2给出了年、四季干旱指数的第1特征向量场的空间分布特征.第1特征向量场占总方差的41%以上,该向量场年、四季的空间分布表现为一致的正值,即反映全省性的干旱(雨涝).第1特征向量场年、冬、春、夏、秋的空间变化幅度最大中心分别位于河北省南部的邯郸,东北部的唐山、邢台、石家庄、廊坊,说明这些地区是该种空间分异类型中年、四季干旱指数最敏感的地区,表明河北省各季、年干旱或雨涝在很大程度上受大尺度天气系统影响.

图3是年、四季干旱指数EOF第2特征向量场的空间分布.由图3可以看出,年、四季干旱指数EOF第2特征向量场分布表现为南北反位相变化的特征,反映了河北省干旱除了存在全省一致的干旱或雨涝以外,还有5%~15%的年及四季存在南涝

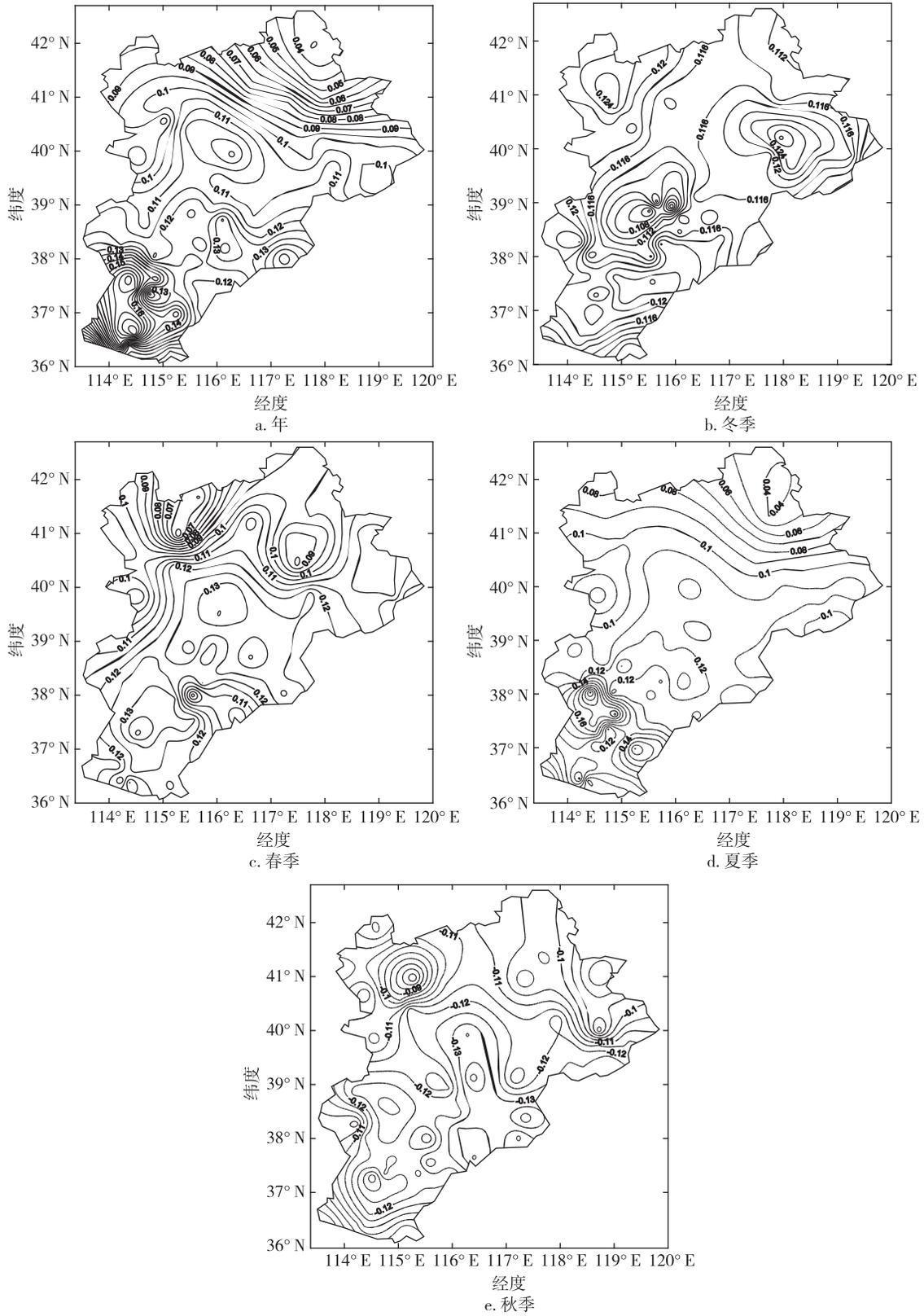


图2 Z 指数 EOF 分析第 1 特征向量空间分布

Fig.2 Spatial distribution of EOF-1 on Z index, with for annual, for winter, for spring, for summer, and for autumn

(旱)北旱(涝).年的高值区在东北部承德,南部反向 高值中心在邯郸;冬季特征量高值区在承德,南部反

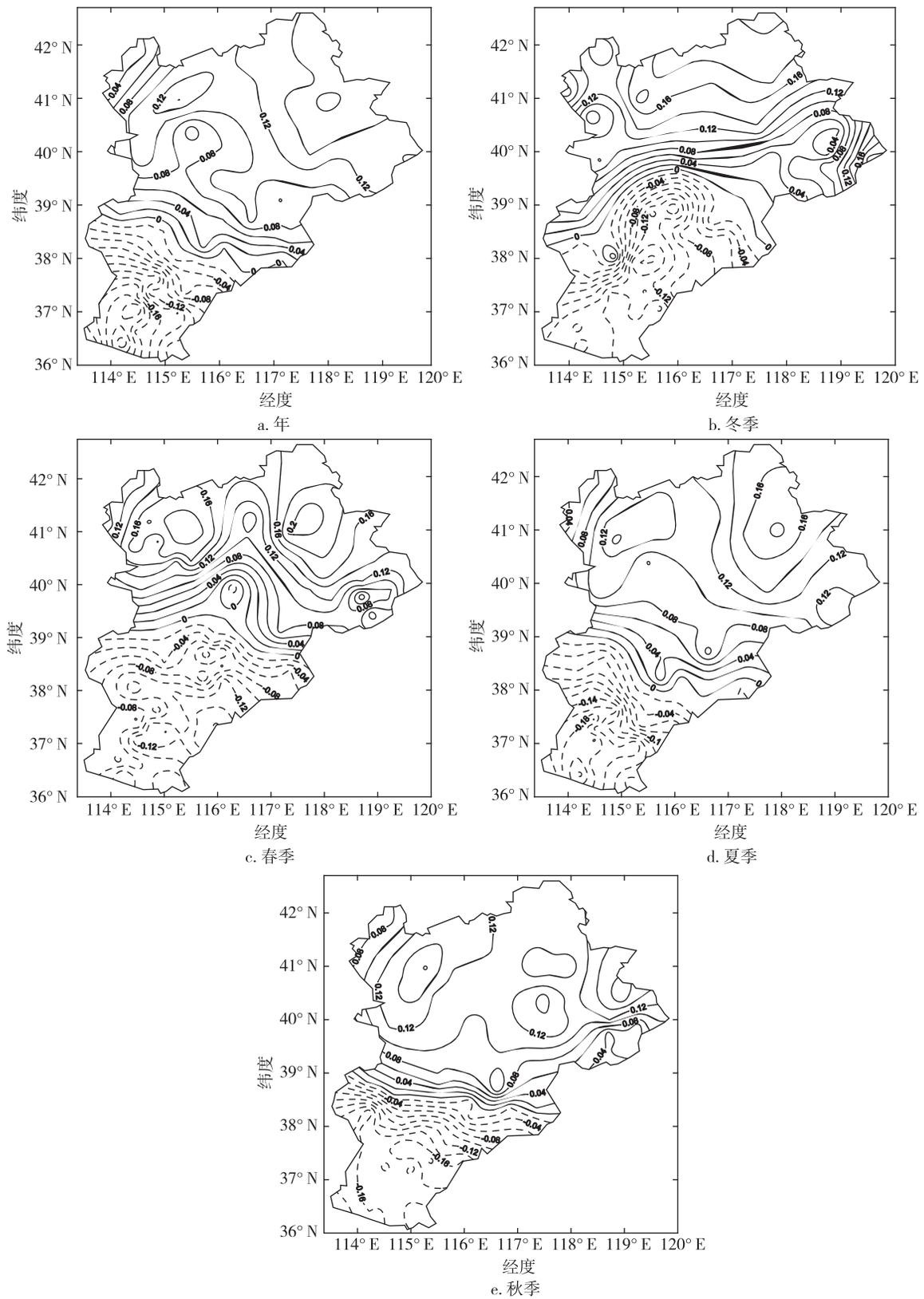


图3 Z指数 EOF 分析第2特征向量空间分布

Fig.3 Spatial distribution of EOF-2 on Z index, for annual, for winter, for spring, for summer, and for autumn

向高值中心在衡水;春季北部大值区域在承德,南部 反向高值区域在邢台;夏季北部大值区域在承德,南

部反向高值区域在邯郸;秋季北部大值区域在承德、张家口,南部反向高值区域在邢台.可见河北省北部和南部是各季、年南早(涝)北涝(旱)型的表现显著区域.形成这种分布是由于影响该区域北部和南部的不同天气系统所造成的.冬、春、秋季当研究区域冷空气偏北,暖空气深入北上时,往往出现降水北多南少,反之降水出现南多北少分布.河北省处于季风影响的北界附近,当东亚夏季风较强时,偏南夏季风深入北方地区,影响河北省的北部地区夏季降水,使之偏多,而河北省南部地区夏季多受东亚季风系统的影响,与北部地区夏季降水有时会呈现出反位相分布.

3.2 干旱的多时间尺度变化特征

3.2.1 年、各季干旱指数的多时间尺度特征

为了分析年及各季干旱指数的多时间尺度分布特征及周期震荡,对 73 站的年及各季 Z 指数 EOF 分析第 1 特征向量对应时间系数做小波分析.从年、各季小波变换平面图可以清晰地看出干旱的年际和年代际变化,也可以从等值线的疏密程度分析年及四季干旱变化幅度的差别,同时从正、负交替处还可以比较其干旱持续时间的不同.从图 4a 可以看出,20 世纪 60 年代中期到 21 世纪初,干旱指数的 18 a 周期变化明显,20 世纪 90 年代初到 21 世纪初期 11 a 周期变化明显.从 10 a 以下尺度看,20 世纪 60 年代到 80 年代中期,7~9 a 左右周期变化最显著,20 世纪 80 年代中期到 21 世纪初,存在 3~5 a 左右的周期,且干旱强度变化幅度较前一时期在增大,这说明 20 世纪 80 年代中期以来干旱出现的频率和强度都在增加.近 49 年来,河北省经历了 3 个干旱期,第 3 个干旱期不仅持续时间长,而且干旱程度重.

比较各季小波变换平面图可以看出,冬季(图 4b)干旱指数同样存在 18 a 的变化周期.10 a 以下尺度上,20 世纪 60 年代中期到 80 年代中期存在 9 a 的周期变化,之后存在 8 a 的显著周期.另外,20 世纪 60 年代到 70 年代初、80 年代初到 90 年代初冬季干旱指数还存在 3~4 a 的变化周期.1961—2009 年,河北省冬季也经历了 3 个干旱期,与全年相比,各干旱期开始得早,结束得也早.

春季(图 4c)干旱指数存在 16~18 a 显著的变化周期.从 10 a 以下尺度看,20 世纪 70 年代末期到 90 年代初期存在 8~10 a 的变化周期,60 年代中期到 80 年代初期存在 4~6 a 的周期,80 年代中后期到

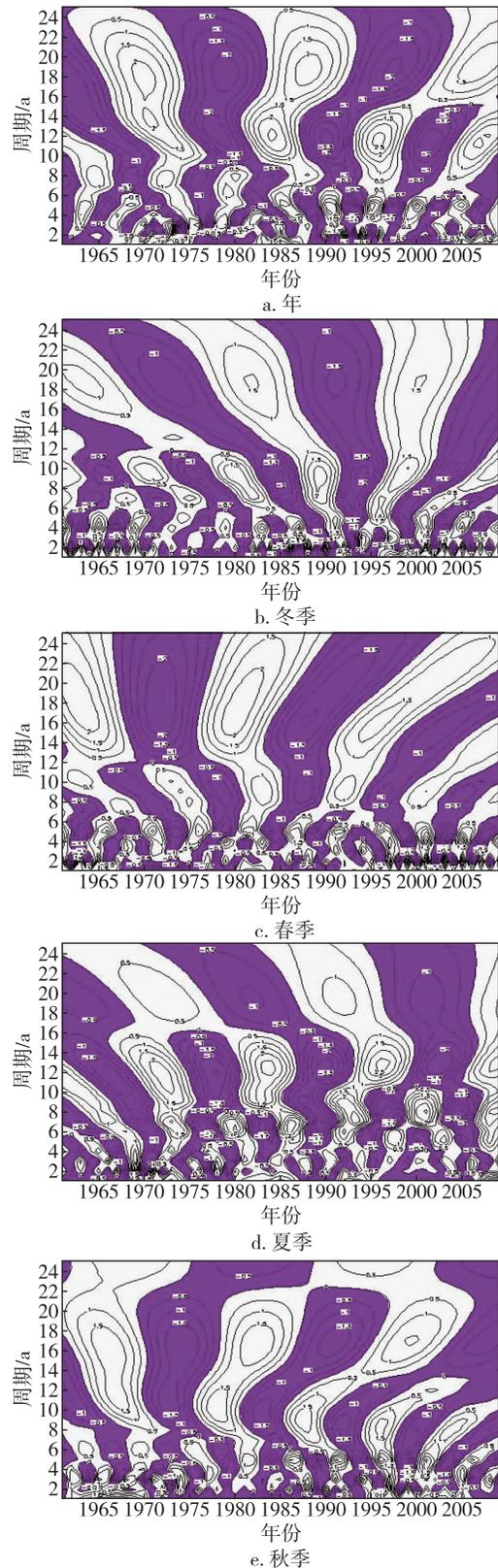


图 4 EOF 第 1 特征向量对应时间系数小波变换平面
Fig. 4 Wavelet transform plane for time coefficient of EOF-1,
with for annual, for winter, for spring,
for summer, and for autumn

90年代中期存在3~5 a的弱周期,90年代中期以后2~3 a周期变化明显.与整年相比,春季3个干旱期的开始时间都晚于年的干旱期开始时间,干旱期的振幅逐渐减小.

夏季(图4d)的干旱强度变化幅度是四季中最显著的.干旱指数存在12 a左右的周期变化.10 a以下尺度上,20世纪70年代初到90年代初,存在6 a周期变化,之后到21世纪初,7~8 a周期变化比较显著.近49年来,河北省夏季存在4个干旱期.第1个干旱期出现在60年代初到70年代初,第2个干旱期出现在70年代中后期到80年代初,第3个干旱期与第2个干旱期强度接近,持续时间也差不多,第4个干旱期强度有所减弱.

秋季(图4e)则是四季中干旱强度变化幅度最弱的季节,存在16~18 a的周期.从10 a以下尺度看,20世纪60年代到70年代中期有较弱的6 a左右周期,80年代中期到21世纪初5 a显著周期变化明显.秋季的第1个干旱期持续时间较短.

3.2.2 干旱强度的突变检验

为了检验河北省年干旱强度变化有无突变发生,采用Mann-Kendall检验方法.用原序列构造统计量UF,用原序列的反序列构造统计量UB,给定 $\alpha = 0.05 (U_{\alpha} = \pm 1.96)$,作Mann-Kendall检验曲线.若UF的值大于零,则表明序列呈上升趋势,UF小于零则表明序列呈下降趋势,当UF超过临界值时,表明上升或下降趋势明显.如果UF和UB 2条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的的时间就是突变发生的时间.如图5所示,从年UF变化曲线看,1963—1965年UF变化曲线为上升趋势,1965年至今总体为下降趋势,说明此期间年干旱指数在下降.根据UF和UB 2条曲线在临界值之间的交点位置,可以确定突变发生在70年代末期.

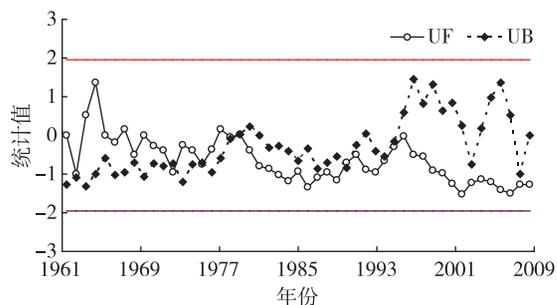


图5 EOF年第1时间权重系数的Mann-Kendall检验

Fig. 5 Mann-Kendall test on the time coefficient of EOF-1 for annual Z index

4 结论

本文利用河北及邻近地区73个站1961—2009年降水资料,并采用EOF和小波分析等方法分析了河北干旱的时空变化特征,得到以下几点主要结论:

1)河北省的干旱空间分布特征,最常见的是全省一致干旱(雨涝)型,年及春夏季南部、中部,冬季东北部,秋季中部表现更显著,其次是南涝(旱)北旱(涝)的空间分布,主要表现为年、各季南部和北部干旱指数反位相异常显著.

2)从年代际尺度看,近49年来河北省年及冬季存在18 a的变化周期、春季存在16~18 a的显著变化周期,且都经历了3个干旱期.冬季干旱期与年相比,各干旱期开始得早,结束得也早,春季干旱期较年干旱期开始得晚;夏季的干旱强度变化幅度是四季中最显著的,存在12 a左右的周期变化及4个干旱期;秋季则是四季中干旱强度变化幅度最弱的季节,存在16~18 a的周期.

3)从年际尺度看,年及冬、春季都存在9 a和3~5 a的显著变化周期,而夏、秋季存在5~7 a的变化周期.

4)1979年后,河北省年干旱指数发生突变,进入干旱期.

参考文献

References

- [1] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等.我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J].应用气象学报,1997,8(1):26-33
JU Xiaosheng, YANG Xianwei, CHEN Lijuan, et al. Research on determination of station indexes and division of regional flood/drought grades in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1997, 8(1): 26-33
- [2] 张尚印,姚佩珍,吴虹,等.我国北方旱涝指标的确定及旱涝分布状况[J].自然灾害学报,1998,7(2):22-28
ZHANG Shangyin, YAO Peizhen, WU Hong, et al. Determination of drought/flood index and distribution of drought/flood in the north of China [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 22-28
- [3] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等.西北地区旱涝指标的研究[J].高原气象,1998,17(4):381-389
ZHANG Cunjie, WANG Baoling, LIU Dexiang, et al. Research on flood and drought indices in the Northwest China [J]. Plateau Meteorology, 1998, 17(4): 381-389
- [4] 苏志,李艳兰,黄雪松.广西旱涝指标的初步研究[J].广西气象,1998,19(2):26-29
SU Zhi, LI Yanlan, HUANG Xuesong. Preliminary research on flood/drought indexes in Guangxi [J]. Journal of Guangxi Meteorology, 1998, 19(2): 26-29

- [5] 赵春雨,戴廷仁,李晶.辽宁两种气候旱涝指标的确定及其旱涝分布[J].辽宁气象,1999(1):31-32
ZHAO Chunyu, DAI Tingren, LI Jing. Determination of two climatic indexes and distribution of drought/flood in Liaoning [J]. Liaoning Meteorological Quarterly, 1999 (1): 31-32
- [6] 陈莉.Z指数在旱涝形势分析中的应用[J].黑龙江气象,1998(2):8-9
CHEN Li. Application of Z index to analysis of drought and flood [J]. Heilongjiang Meteorology, 1998 (2): 8-9
- [7] 张剑明.近36年来湖南省干旱的时空分布特征[D].长沙:湖南师范大学资源与环境科学学院,2008
ZHANG Jianming. The spatio-temporal distribution of drought in Hunan province in past 36 years [D]. Changsha: College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, 2008
- [8] 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
GUO Jing, JING Yuanshu, WANG Chunlin, et al. Spatial and temporal variations of drought in Guangdong province based on soil moisture balance model [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29 (3): 353-357
- [9] 李耀先,陈翠敏,林墨.广西区域干旱的分析研究[J].热带气象学报,2009,25(增刊1):125-131
LI Yaoxian, CHEN Cuimin, LIN Mo. Analysis of regional drought in Guangxi [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 25 (sup1): 125-131
- [10] 张庆云,卫捷,陶诗言.近50年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J].气候与环境研究,2003,8(3):307-318
ZHANG Qingyun, WEI Jie, TAO Shiyan. The decadal and interannual variations of drought in the Northern China and associated with the circulations [J]. Climatic and Environmental Research, 2003, 8 (3): 307-318
- [11] 魏凤英.华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异[J].自然灾害学报,2004,13(2):32-38
WEI Fengying. Characterization of drought strength in North China and its climatic variation [J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13 (2): 32-38
- [12] 包红花,宝音,乌兰图亚.科尔沁沙地近300年旱涝时空分布特征研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(4):100-107
BAO Honghua, BAO Yin, Wulantuya. Characteristics of drought/flood spatial and temporal distribution in Horqin sandy land during the last 300 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22 (4): 100-107
- [13] 郭建平,高素华,毛飞.中国北方地区干旱化趋势和防御对策研究[J].自然灾害学报,2001,10(3):32-36
GUO Jianping, GAO Suhua, MAO Fei. Sandy on drought tendency and defending countermeasure in north part of China [J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10 (3): 32-36
- [14] 王志伟,刘文平,王红霞.我国北方干旱逐月变化特征分析[J].气象,2005,31(1):37-40
WANG Zhiwei, LIU Wenping, WANG Hongxia. Analysis of monthly changes of drought/wetness in the Northern of China [J]. Meteorological Monthly, 2005, 31 (1): 37-40
- [15] 苏爱芳,王纪军.河南近40年地表干湿状况及变干趋势研究[J].气象,2005,31(11):24-27
SU Aifang, WANG Jijun. Surface dryness/wetness state and its tendency in Henan province for last 40 years [J]. Meteorological Monthly, 2005, 31 (11): 24-27
- [16] 温克刚,臧建升.中国气象灾害大典:河北卷[M].北京:气象出版社,2008:2-166
WEN Kegang, ZANG Jiansheng. Chinese meteorological disaster collection: Hebei province [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 2-166
- [17] 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
CHE Shaojing, LI Chunqiang, SHEN Shuanghe. Analysis of drought-flood spatial-temporal characteristics based on Standard Precipitation Index (SPI) in Heibe province during 1965—2005 [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31 (1): 137-143
- [18] 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
SHAO Xiaomei, LIU Jinsong, XU Yueqing. Determination of drought-flood index and its temporal and spatial distribution in Hebei province [J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10 (4): 133-136
- [19] 阮新,刘学锋,李元华.河北省近40年干旱变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(1):50-53
RUAN Xin, LIU Xuefeng, LI Yuanhua. Drought climate changes in Hebei province during 1961—2000 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22 (1): 50-53
- [20] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:205-217
SHI Neng. Multivariate analysis method in meteorological research and forecast [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: 205-217
- [21] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79: 61-78
- [22] Farge M. Wavelet transforms and their applications to turbulence [J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1992, 24 (1): 395-458
- [23] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:69-72,106-112
WEI Fengying. Statistic diagnose and foreshadow technology in present climate research [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 69-72, 106-112
- [24] Kite G W. Frequency and risk analyses in hydrology [M]. Colorado: Water Resources Publication, 1978
- [25] 周晋红,李丽平,秦爱民.山西气象干旱指标的确定及干旱气候变化研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):240-243
ZHOU Jinhong, LI Liping, QIN Aimin. Study on the determination of meteorological drought index and drought climate changes in Shanxi province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28 (3): 240-243

Spatial-temporal characteristics analysis of drought in Hebei province in recent 49 years

WANG Hong^{1,2} YU Jinhua¹ LI Zongtao³

1 School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Chengde Meteorological Bureau of Hebei Province, Chengde 067000

3 Hebei Province Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021

Abstract Based on seasonal and annual precipitation data from 73 meteorological stations during 1961—2009 in Hebei province and its vicinity, the spatial and temporal characteristics of drought are analyzed by the precipitation Z index, empirical orthogonal function and Morlet wavelet analysis method. The results show that uniform drought/flood is the most common pattern for the distribution of seasonal and annual drought in Hebei. The second pattern is a seesaw between southern and northern region, including flood in south with drought in north, and drought in south with flood in north. The emergence of seasonal and annual drought has obvious inter-decadal changes as well as significant inter-annual changes. In the recent 49 years, annual drought index in Hebei presented a downward trend. An abrupt change of annual drought index emerged after 1979 and the climate in the province has entered into dry period since then.

Key words precipitation; Z index; drought; spatial-temporal characteristics; Hebei province