

新疆近半个世纪以来季节性干旱 变化特征及其影响研究

孙 鹏^{1,2,3}, 张 强^{1,2,3}, 刘剑宇^{1,2,3}, 邓晓宇^{1,2,3}, 白云岗⁴, 张江辉⁴

(1. 中山大学水资源与环境系, 广东 广州 510275; 2. 中山大学地理科学与规划学院 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广东 广州 510275; 3. 中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275; 4. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049)

摘要: 系统分析新疆不同季节的干旱时空分布, 讨论干旱对新疆农业生产的影响, 研究结果表明: ① 新疆四季干旱整体异常均表现为北疆旱(湿润)南疆湿润(旱)或西部干旱(湿润)东部湿润(干旱)2种基本结构。新疆夏季和冬季有向湿润或涝的趋势发展; ② 北疆西部及北疆南部干旱影响范围减小趋势明显; 冬季干旱影响范围减小明显; ③ 北疆地区的受旱面积增加趋势不显著, 南疆地区和东疆地区受旱面积显著增加, 干旱除受降水影响外, 还受到抗旱灌溉设施、抗旱能力、耕地面积的影响。

关键词: 标准化降水指数; 旋转经验正交函数; 干旱时空特征; 新疆

中图分类号: F512.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)11-1377-08

引 言

干旱灾害是最复杂而且又是被人们了解得最少的自然灾害, 是造成经济损失最为严重的气象灾害^[1,2]。尽管大量学者证实新疆气候由暖干向暖湿转型的趋势^[3,4], 但是旱灾影响范围和旱灾成灾面积呈逐年增加趋势, 新疆干旱灾害损失呈扩大化的趋势^[5]。国内外很多学者对新疆地区的干旱进行相关分析^[6-10], 前人对新疆降水量的趋势及分区研究和新疆干旱指标研究比较多^[11,12], 但是基于新疆农业的干旱研究较少, 基于此, 本文采用标准化降水指数为干旱指标, 结合 REOF 对新疆四季的干旱时空特征进行深入分析研究, 探讨新疆不同区域不同季节的干旱时空分布规律与新疆农业的关系, 该研究对于全面了解新疆全区不同季节的干旱时空分布规律、防旱抗旱等问题具有重要意义。

1 数 据

本文数据采用新疆 52 个地面气象站的 1961~2008 年逐月降雨量资料, 资料来源于国家气象信息中心(图 1)。新疆维吾尔自治区的历年旱灾受灾面积和成灾面积资料来源于中国气象灾害大典(新疆卷)、中国农业年鉴、西北内陆河区水旱灾害^[13-15], 新疆各地市 1980~2008 年受旱面积、干旱损失(粮食、经济作物)和抗旱浇灌面积资料来源于新疆维吾尔自治区防汛抗旱总指挥部办公室, 新疆维吾尔自治区水库、引水枢纽和绿洲分布等资料来源于新疆通志-水利志^[16]。

2 方 法

2.1 标准化降水指数

标准化降水指数 (Standardized Precipitation

收稿日期: 2013-09-02; 修订日期: 2013-11-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技计划项目(201331104)、国家自然科学基金项目(项目号: 41071020)、“中山大学博士研究生创新人才培养资助项目”与新世纪优秀人才支持计划项目共同资助。

作者简介: 孙 鹏(1986-), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 主要研究方向为区域水文循环与水资源演变的研究工作。E-mail: sun68peng@163.com

通讯作者: 张 强, 教授。E-mail: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

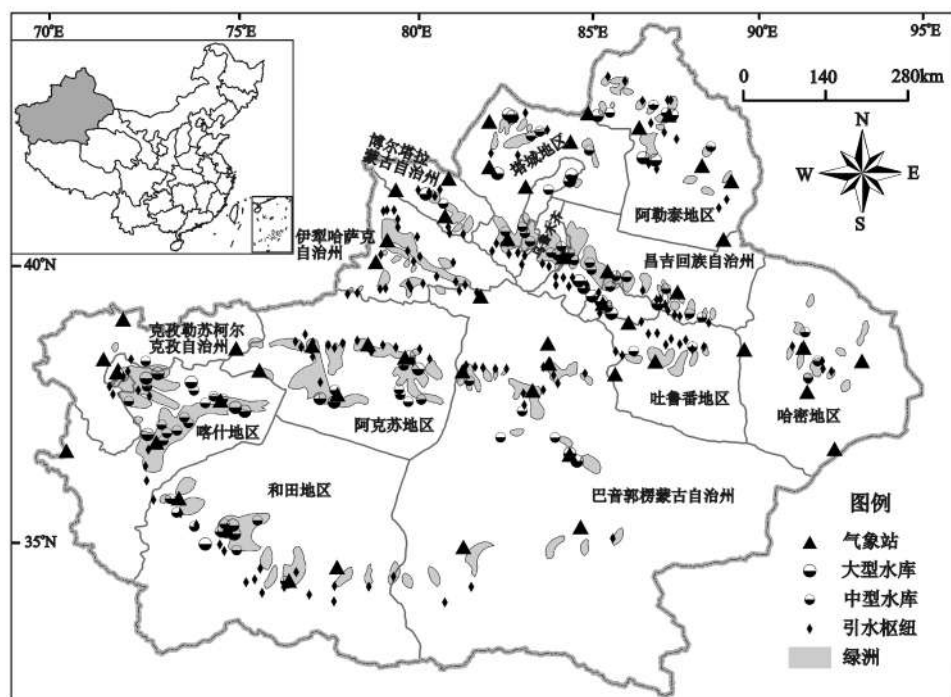


图1 新疆地区雨量站点分布

Fig.1 Location of precipitation stations in Xinjiang region

Index, 简称SPI)是Mckee等^[17]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。SPI能基本反映新疆地区的旱涝变化^[11],为消除样本的自相关性,Shih-Chieh等^[18]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、3、6月等)的SPI值可以反映农作物在生长期的水分供给情况^[11],由于新疆主要以春旱威胁最大,其次是夏旱和秋旱^[13],新疆短时期的干旱对于农业生产威胁最大,因此本文计算SPI的尺度采用3个月尺度。

2.2 旋转正交经验函数

旋转经验正交函数(简称REOF)是在经验正交函数 EOF)分析的基础上对特征向量进行极大方差正交旋转^[19],此方法克服了 EOF 方法不能清晰表达不同地理区域特征、不能反应真实分布结构的相似度不同等局限性,可以更好的反应不同区域的变化和相关分布状况。

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化降水指数和主成分分量的时间系数的线性趋势变化情况^[20,21]。Z1为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势,曲线Z1绝对值在大于等于1.96、2.32时分别通过了信度

95%,99%显著检验,即表示存在显著的变化趋势。

3 新疆干旱时空分布

对新疆不同季节的SPI3进行REOF分析,四季的SPI3前6个特征值的累积方差贡献率分别达到了0.68、0.60、0.62和0.68, North研究指出,如果前后两个特征值误差范围有重叠,就认为无显著差别^[22]。图2是新疆四季SPI3的特征值和95%置信度水平下的特征值误差范围,本文选用春、秋和冬季前3个空间模态对应的特征向量进行分析,夏季则选用前4个空间模态对应的特征向量进行分析。

3.1 春季

第一空间模态高值区位于天山以北的北疆地区(图3A)。图3a可知,北疆春季降水量在1972年以前为湿润化趋势,1972~1990年总体呈干旱化趋势,而在1990以后,湿润化趋势明显(图3a)。南疆地区中西部在1962~1993年这一时段呈湿润化趋势,而在1993年以后至2008年呈干旱化趋势(图3b)。总体来讲,该区以干旱化趋势为主要特征,干旱灾害发生风险增大。第三空间模态高值区位于南疆东部地区(图3C)。图3c显示新疆东南部地区总体呈微弱湿润化趋势,1995年以后湿润化明显。

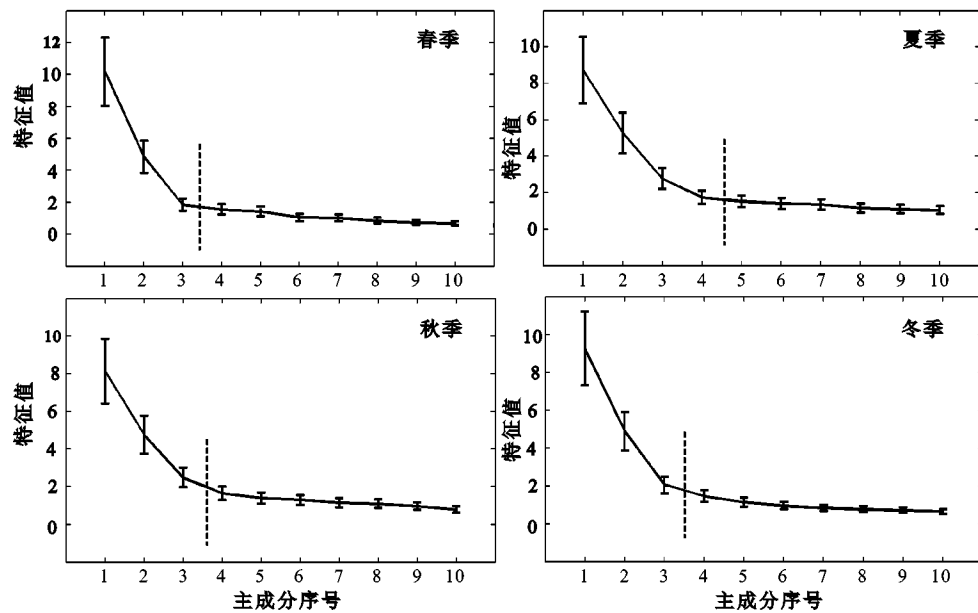


图2 新疆四季SPI的EOF分析特征值及95%信度误差范围

Fig.2 The EOF's eigenvalues and the margin of error of 95% confidence in seasonal SPI field in Xinjiang

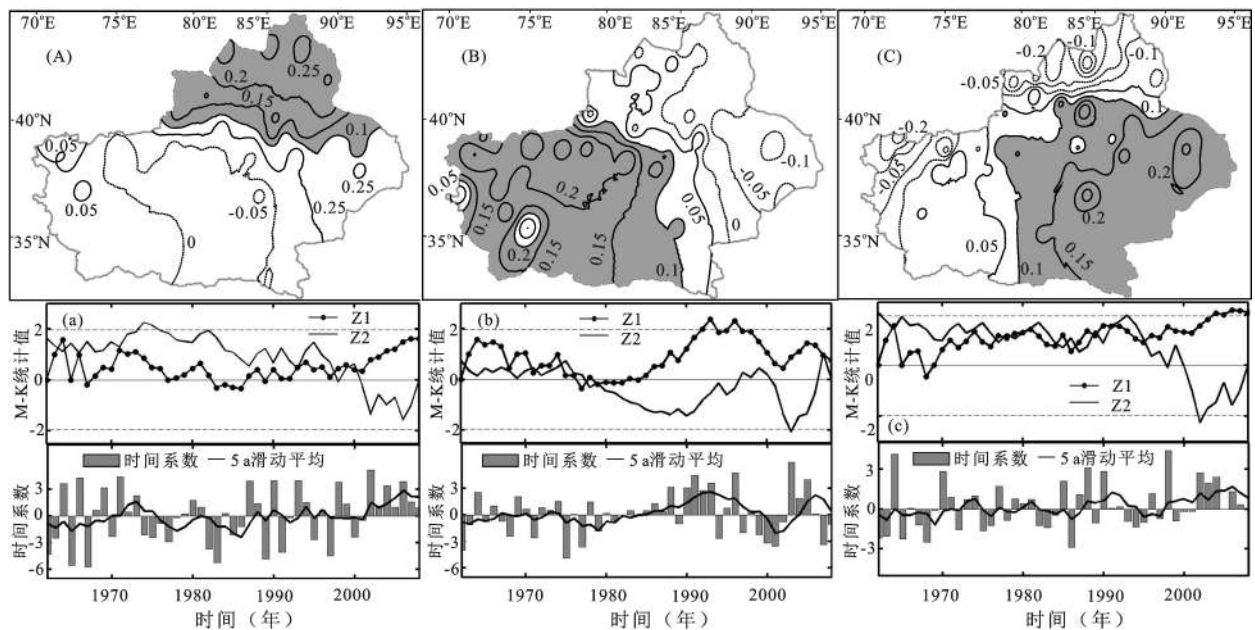


图3 新疆春季REOF的1~3个空间模态(A~C)和对应主成分分量时间系数MK、线性趋势(a~c)

Fig.3 Spatial structure of the first 3 spatial modes of REOF (A-C) and MK、line analysis of time coefficients(a-c) in spring in Xinjiang

3.2 夏季

图4A显示夏季第一空间模态高值区位于天山以北的北疆地区,特征向量的“零值”界线基本与天山平行,显示整个天山山脉对其两侧降水显著影响。与春季相比,北疆夏季干旱变化与春季相似,不再详述。图4B显示第二空间模态高值区位于天山以南的南疆中西部。新疆西南部1960~

1986年以干旱化趋势为主要特征;而在1986年以后以湿润化趋势明显,干旱风险减弱(图4b)。这一点与该区春季干旱变化有所不同:在春季,该区在最近几十年以干旱化为主;而在夏季,则以湿润化为主,反映了春夏两季节在新疆西南部地区干湿特征的差异性。新疆中部及东疆是第三空间模态高值区(图4C)。该区域以湿润化趋势为主要特

征,尤其在1990年以后,这一地区湿润化趋势超过95%的置信度检验,湿润化趋势显著(图4c)。这一变化特征与春季该区干湿波动变化有相似之处。图4D显示新疆东南部地区是第四空间模态高值区。该区域在夏季干湿波动变化不明显,没有明显的统计趋势特征(图4d)。

3.3 秋 季

由图5A知,秋季第一空间模态高值区位于南疆西部。该区域干湿变化相对平缓,在1994年之前,呈平缓的湿润化趋势,而在1994以后,湿润化

趋势明显,但未达到统计意义上的显著性水平(图5a)。第二空间模态的正值区域主要分布在北疆和东疆北部区域(图5B)。总体来看,该区域秋季一直呈干旱化趋势,与春季、夏季的干旱波动变化呈相反趋势(图5b)。图5C、5c显示第三空间模态高值区位于北疆的西北部。特征向量的“零值”分布于天山南侧并基本与天山平行,北疆与东疆、南疆干旱变化趋势相反。该区在1965~1998年呈干旱化趋势;而在1998年以后,该区以湿润化趋势为主,与春、夏季干湿波动趋势相近。

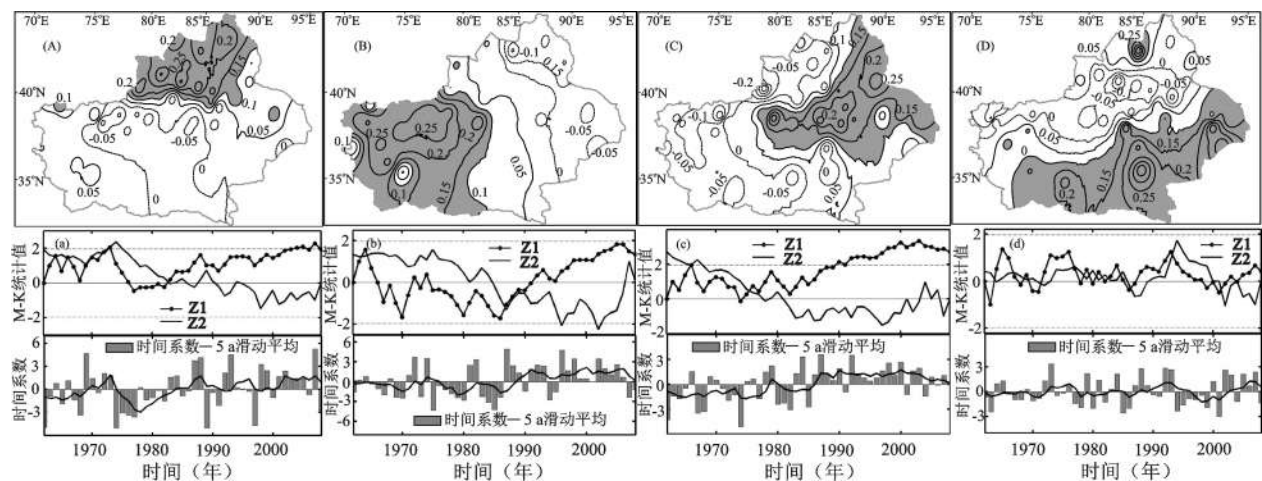


图4 新疆夏季REOF的1~4个空间模态(A~D)和对应主成分分量时间系数MK、线性趋势(a~d)

Fig.4 Spatial structure of the first 4 spatial modes of REOF (A-D) and MK, line analysis of time coefficients(a-d) in summer in Xinjiang

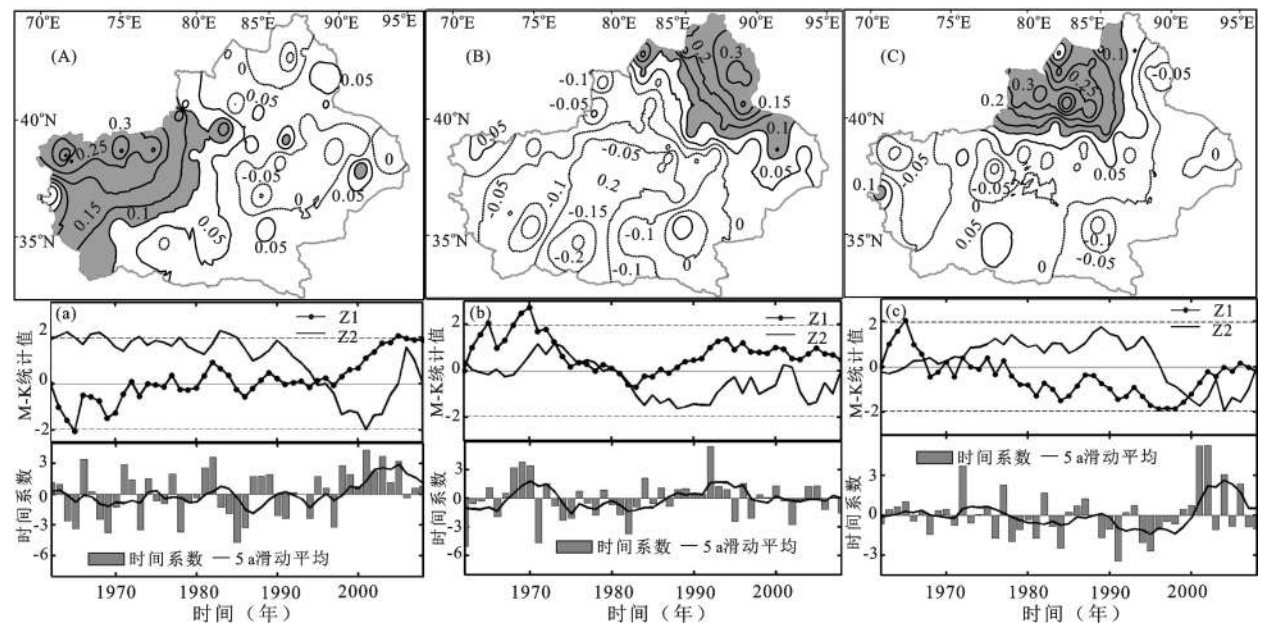


图5 新疆秋季REOF的1~3个空间模态(A~C)和对应主成分分量时间系数MK、线性趋势(a~c)

Fig.5 Spatial structure of the first 3 spatial modes of REOF (A-C) and MK, line analysis of time coefficients(a-c) in autumn in Xinjiang

3.4 冬 季

冬季的第一、二空间模态分布与春季、夏季的第一、二空间模态分布基本一致(图 3A、B,图 4A、B 和图 6A、B)。北疆地区从总体上呈湿润化趋势,这与其他季节北疆干湿波动变化一致,北疆地区在 1984 年之前干湿交替变化,1984 年以后趋向于湿润化,1998 年以后湿润化增加趋势显著(图 6A、a)。图 6B、b 显示第二空间模态的分布与第一空间模态分布恰好相反,第二空间模态的特征向量高值区分布于南疆的中西部地区。该地区在 1962~1977 年、1985~1994 年和 2000~2008 年呈湿润化趋势,其他年份干旱化趋势明显。第三空间模态的特征向量高值区分布在新疆中部的天山南北两侧(图 6C)。该区域在 1965~1977 年和 2000~2008 年呈增加趋势,在 1962~1975 年和 1979~1985 年是干旱期,2001 年以后进入湿润期(图 6C、c),但整体上看,该区湿润化趋势明显。

3.5 不同地区和空间模态的干旱变化特征

北疆地区分布 21 个气象站,南疆有 25 个气象站,东疆有 6 个气象站,各区域干旱影响站点与该区域总站点百分比表示这个区域的干旱影响范围(图略)。北疆和东疆干旱影响范围减小趋势明显,冬季是各干旱等级影响范围减小最明显的季节,其次是秋,春和夏各等级干旱影响范围减小不明显。表 1 是各季节空间模态的代表气象站点 SPI3 MK 统计值,代表气象站选择的依据是空间模态特征向量绝对值的最大值。春季各分区代表站干旱指数增加趋势,说明春季气象干旱有降低的趋势。在四季中,春季各分区代表站趋势增加不显著(见表 1)。夏季全疆 SPI3 呈增大趋势,其中第三和四空间模态通过了 95% 的置信度检验,增大趋势显著。不同季节各空间模态代表站中,北疆地区 SPI3 增大趋势大于南疆地区,夏季表现的尤为明显。

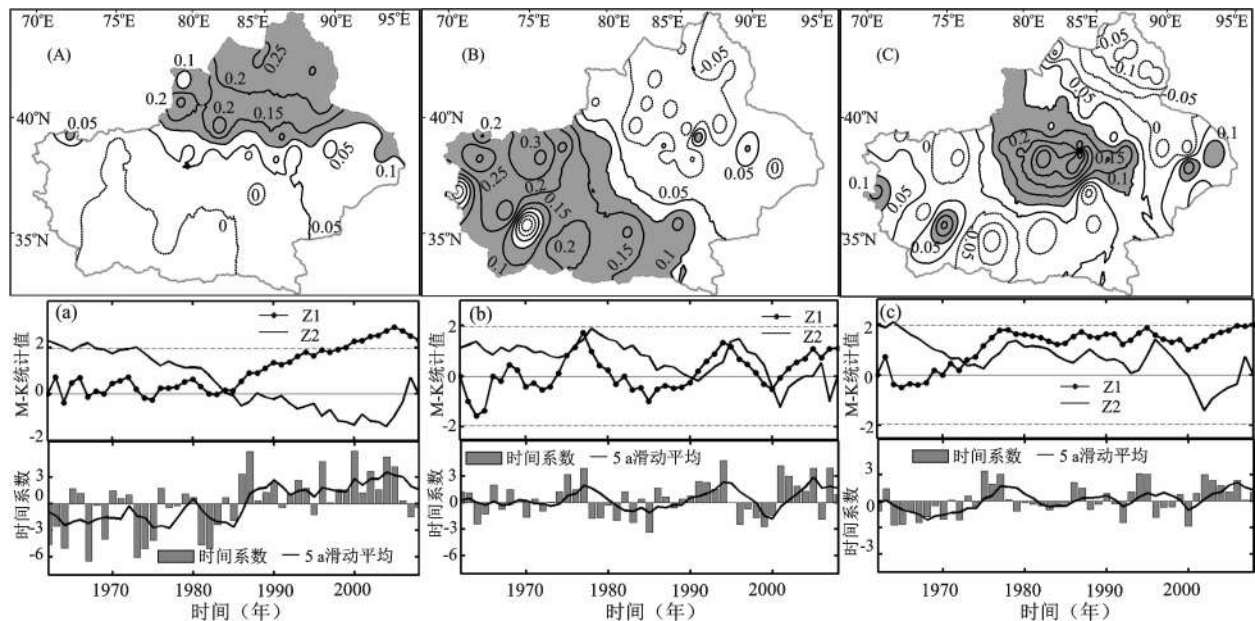


图6 新疆冬季REOF的1~3个空间模态(A~C)和对应主成分分量时间系数MK、线性趋势(a~c)

Fig.6 Spatial structure of the first 3 spatial modes of REOF (A-C) and MK, line analysis of time coefficients(a-c) in winter in Xinjiang

表1 新疆各空间模态代表站点 SPI3 趋势分析

Table 1 The trend of SPI3 in spatial mode of Xinjiang

空间模态	春季		夏季		秋季		冬季	
	代表站点	MK 值	代表站点	MK 值	代表站点	MK 值	代表站点	MK 值
1	阿勒泰	1.04	精河	1.57	乌恰	0.82	富蕴	1.81
2	阿合奇	0.87	莎车	0.25	富蕴	1.05	柯坪	1.57
3	铁干里克	1.17	北塔山	2.19*	乌苏	1.92	库尔勒	1.19
4			若羌	2.10*				

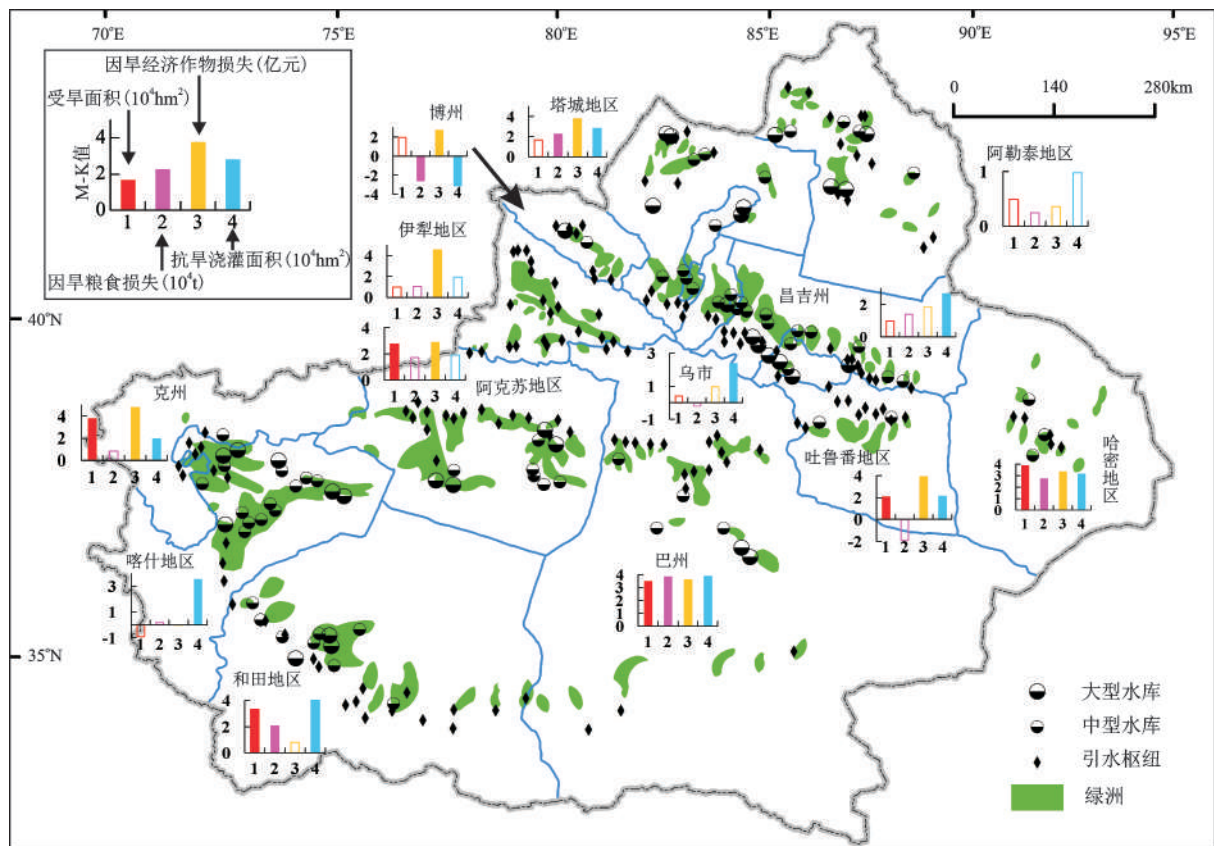
注: *表示线性趋势的显著性水平达 0.05 以上的 MK 检验。

4 讨 论

除喀什地区受旱面积是减小趋势,新疆其他地区各地区受旱面积呈增加趋势,其中南疆地区和东疆地区受旱面积增加显著(图7)。北疆部分地州因旱粮食损失呈减小趋势,其中博州因旱粮食损失减小趋势显著,因旱经济作物损失趋势显著增加的地区分布在南疆地区 and 新疆西北部。抗旱浇灌面积是反映一个地区和政府抗旱能力和抗旱的投入,除博州以外的新疆其他地市的抗旱浇灌面积呈增加趋势。南疆地区较严重干旱出现多集中在1980年以后^[23],南疆大部分县市社会经济条件落后,以农业为主,农业和水利设施投入不足,抗旱能力差^[24]。因此,抗旱浇灌面积的增长趋势、春季干旱化趋势和农业和水利设施投入程度导致整体上北疆地区的受旱面积增加趋势不显著,受旱面积显著增加的区域主要分布在南疆地区和东疆地区。

喀什地区的水库总库容是全疆地区最大^[25],水库对于南疆地区春旱的缓解有一定作用,喀什地区的抗旱浇灌面积也呈显著增加趋势,因此喀什地区受旱面积呈减小趋势。北疆西部地区除春季外,其他季节均显著增加^[6],但是北疆地区SPI3增大不显著,博州和塔城地区分别在1990~2000年和2000~2005年的耕地面积的相对变化率、新增耕地面积大于北疆西部地区^[26],同时北疆西部地区水库总库容量也小于北疆东部地区^[25],两方面原因导致北疆西部的博州、塔城地区受旱面积的MK统计值大于北疆东部阿勒泰地区、昌吉。

受旱面积除了受到季节降水不均影响外,还同时受到各地区耕地面积增加的影响,1978~2008年新疆耕地面积总体呈增加的趋势,除巴州地区外的南疆大部分地区耕地属于缓慢增长,而哈密市、巴州(除且末外)和北疆地区的耕地属于快速增长^[24],北疆地区耕地面积增长的地州与图7北疆受旱面积增长趋势基本一致。尽管大量文献证明



填充颜色柱状图表示显著变化;图内坐标图纵横坐标说明及单位一致

图7 新疆各地市1980~2008年受旱面积、干旱损失(粮食、经济作物)和抗旱浇灌面积的MK趋势

Fig. 7 City-based evaluation of Mann-Kendall trends of drought-affected crop area, grain loss of drought, cash crops loss of drought and irrigated area of drought in 1980-2008

新疆气候趋向于暖湿,但是这种“暖湿”变化是十分有限的,不会对新疆干湿气候的分布格局,尤其不会对新疆总体属于干旱和极端干旱区的事实产生大的影响。

本文基于 REOF 方法对新疆 1961~2008 年 52 个气象站四季的标准化降水指数进行了 REOF 分析,并运用 MK 方法分析各分区代表站点的干旱指标的趋势分析,得到以下有意义的结论:

1) 新疆四季干旱整体异常均表现为北疆旱(湿润)南疆湿润(旱)或西部干旱(湿润)东部湿润(干旱)等 2 种基本结构。夏季和冬季的空间模态代表站点的干旱指数增大趋势显著,新疆夏季和冬季有向湿润或涝的趋势发展,这也反映了新疆降水量增加主要集中在夏季和冬季,春季和秋季的干旱指数增大趋势没有夏季和冬季增加明显。

2) 北疆西部及北疆沿天山型地区干旱影响范围减小趋势明显,南疆西部地区干旱影响范围减小不明显;冬季是各干旱等级影响范围减小最明显的季节,其次是秋季,春季和夏季各等级干旱影响范围减小不明显。

3) 北疆地区的受旱面积增加趋势不显著,南疆地区和东疆地区受旱面积显著增加,干旱除受降水影响外,还受到地区的抗旱灌溉设施、抗旱能力、耕地面积的影响。耕地面积增加增长速度缓慢,区域抗旱灌改设施完善,抗旱投入大的区域的旱灾受灾面积小。

参考文献:

- [1] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. Wilhite D A. Drought: A Global Assessment[M]. London and New York: Routledge, 2000: 3-18.
- [2] Sun P, Zhang Q, Lu X X, et al. Changing properties of low flow of the Tarim River basin: Possible causes and implications[J]. Quaternary International, 2012, **282**: 78-86.
- [3] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, **23**(2): 152-163.
- [4] Zhang Q, Li J F, Singh V P. Application of Archimedean Copulas in the analysis of the precipitation extremes: effects of precipitation changes[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2012, **107** (1-2): 255-264.
- [5] 孙 鹏, 张 强, 白云岗, 等. 塔里木河流域径流量周期特征及其影响因素[J]. 地理科学, 2013, **33**(2): 216-222.
- [6] 李剑锋, 张 强, 陈晓宏, 等. 基于标准降水指标的新疆干旱特征演变[J]. 应用气象学报, 2012, **23**(3): 322-330.
- [7] 张 强, 孙 鹏, 白云岗, 等. 塔河流域枯水流量概率特征及成因与影响研究[J]. 地理科学, 2013, **33**(4): 465-472.
- [8] 赵锐锋, 姜朋辉, 陈亚宁, 等. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. 地理科学, 2012, **32**(2): 244-250.
- [9] 辛 渝, 毛炜峰, 李元鹏, 等. 新疆不同季节降水气候分区及变化趋势[J]. 中国沙漠, 2009, **29**(5): 948-959.
- [10] 凌红波, 徐海量, 张青青, 等. 新疆塔里木河三源径流量变化趋势分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(6): 728-733.
- [11] 姚俊强, 杨 青, 胡文峰, 等. 天山山区空中水汽含量及与气候因子的关系[J]. 地理科学, 2013, **33**(7): 859-864.
- [12] 孙桂丽, 陈亚宁, 李卫红. 新疆极端水文事件年际变化及对气候变化的响应[J]. 地理科学, 2011, **31**(11): 1389-1395.
- [13] 温克刚, 史玉光. 中国气象灾害大典(新疆卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [14] 梁书升, 沈镇昭. 中国农业年鉴编辑——中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 西北内陆河区水旱灾害编委会. 西北内陆河区水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.
- [16] 新疆维吾尔自治区地方志编纂委员会. 《新疆通志——水利志》编纂委员会. 新疆通志——水利志[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1998.
- [17] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relation of drought frequency and duration to time scales[J]. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology American Meteorological Society Boston, 1993: 179-184.
- [18] KAO S C, Govindaraju R S. A Copula-based joint deficit index for droughts[J]. Journal of Hydrology, 2010, **380**: 121-134.
- [19] 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.
- [20] Zhang Q, Sun P, Singh V P, et al. Precipitation changes in China (1956-2000): changing patterns and implications[J]. Global and Planetary Change, 2012, **82-83**: 86-95.
- [21] Zhang Q, Xu C Y, Zhang Z X, et al. Spatial and temporal variability of precipitation over China, 1951-2005[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, **95**(1-2): 53-68.
- [22] North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function[J]. Monthly Weather Review, 1982, **110**: 699-706.
- [23] 张 永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布——基于 PDSI 数据[J]. 地理学报, 2007, **62**(11): 1142-1152.
- [24] 朱 慧, 焦广辉, 王 哲, 等. 新疆 31 年来耕地格局时空演变研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, **29**(2): 185-197.
- [25] 星球地图出版社. 新疆维吾尔自治区地图集[M]. 北京: 星球地图出版社, 2009.
- [26] 陈 红, 吴世新, 冯雪力. 新疆耕地时空变化特征[J]. 地理科学进展, 2010, **29**(3): 312-318.

Evolution Characteristics of Seasonal Drought in Xinjiang During Past 48 Years : Possible Causes and Implications

SUN Peng^{1,2,3}, ZHANG Qiang^{1,2,3}, LIU Jian-yu^{1,2,3}, DENG Xiao-yu^{1,2,3}, BAI Yun-gang⁴, ZHANG Jiang-hui⁴

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;

2. School of Geography and Planning, Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation,

Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China; 3. Key Laboratory of Water Cycle and

Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University,

Guangzhou Guangdong 510275, China; 4. Xinjiang Research Institute of Water Resources and

Hydropower, Urumqi, Xinjiang 830049, China)

Abstract: Seasonal drought index were diagnosed by the methods of Standardized Precipitation Index (SPI), Rotated Empirical Orthogonal Functions (REOF) and Mann-Kendall test. What's more, how drought impact on agricultural in Xinjiang that was discussed. The results show that: 1) The REOF could reflect the two whole abnormal anomaly structures of drought and flood in each season in Xinjiang, for example, wet (or dry) in northern Xinjiang and dry (or wet) in southern Xinjiang pattern, wet (or dry) in the eastern Xinjiang and dry (or wet) in the western Xinjiang. SPI3 and time coefficient of the stations in the summer and winter is increasing significantly, the summer and winter in Xinjiang is tend to be wet or drought. 2) The area of influence of each drought in the northwest of Xinjiang and north slope of Tianshan mountains have obviously decreasing trend. Area of influence of each drought decreasing have obviously decreasing trend in winter. 3) Drought-affected crop area have not significantly increased in the northern Xinjiang, while Drought-affected crop area have significantly increased in the southern and eastern Xinjiang. Drought is influenced by irrigation facilities, drought-resistant ability, intensive use of cultivated land and the growth rate of cultivated land area except precipitation.

Key words: Standardized Precipitation Index; rotated empirical orthogonal functions; spatiotemporal patterns; Xinjiang Province