

基于 SPI 的陕西关中地区气象干旱时空特征分析

谭学志^{1,2}, 粟晓玲¹, 邵东国²

(1. 西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 采用标准化降水指数(SPI)作为研究干旱的指标, 根据陕西关中地区 30 个气象站 41 a 的气象资料, 在计算年、季和月不同时间尺度 SPI 的基础上, 采用克里金插值法获取 SPI 空间栅格数据, 分析关中地区气象干旱的时空特征。结果表明, 总体上年均 SPI 呈下降趋势, 气象干旱程度加剧。关中地区年内呈夏季气象干旱减少、秋季增加趋势, 除 6 月外, 其他月份均呈不同程度的气象干旱加剧趋势, 构成以秋季气象干旱为特别严重的年内特征。关中地区气象干旱程度由西南向东北逐渐增加, 东部和中北部地区气象干旱严重; 干旱年, 地区内普遍发生气象干旱; 正常年, 局部区域仍有气象干旱发生。

关键词: 气象干旱; SPI; 时空特征; 陕西关中地区

中图分类号: S162.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0224-06

干旱是一种常见的自然现象, 随着全球气候变暖以及社会经济发展对水的需求的日益增加, 干旱导致的旱灾越来越频繁, 由此引起的社会经济和环境后果越来越严重。尤其是干旱半干旱地区和缺水地区, 研究干旱的时空变化特征, 对区域水资源开发与保护具有重要的科学意义。陕西省关中地区属于渭河流域, 为典型的大陆性季风气候区, 属暖温带半湿润气候, 降水量较少, 年平均降水量为 550~700 mm^[1,2]。区内包括西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 5 个省辖市的 54 县(市、区), 是陕西省经济最为发达的地区。然而, 关中地区又是旱灾频发的地区, 因此研究气象干旱时空分布对分析评估关中地区干旱灾害的风险性, 提出防旱减灾措施及农业可持续发展具有重要意义。

目前, 国内外具有代表性的评价旱涝的气象干旱指标有 Palmer 指数(PDSI)、标准化降水指数(SPI)、Z 指数、水分亏缺指数和干燥度指数等^[3,4]。黄晚华等^[5]基于作物水分亏缺指数研究了春玉米季节性干旱的时空特征, 但所需资料较多, 难以用于实际干旱监测。Richard 等^[6]的研究结果表明 SPI 比 Z 指数具有更好的计算稳定性, 同时 SPI 能够满足不同时间尺度、不同水资源状况分析的要求, 能用于具有不同降水特征地区之间的干旱比较。本研究中用关中地区 30 个气象站 41 年降水资料, 计算其不同时间尺度的 SPI, 探讨其气象干旱的时空特征及

演变规律, 为关中地区防旱、抗旱提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

气象资料来自陕西省气象局, 包括关中地区 30 个气象站点 1961~2001 年 41 a 的日降水资料(部分站点降水资料延续至 2007 年), 关中地区地形和气象站点分布见图 1。

1.2 SPI 原理与等级划分

McKee^[7]等为了量化降水的亏缺程度及其多时间尺度的变化状况, 提出了标准化降水指数(SPI), 用来确定有降水量记录地区特定时间尺度的降水异常事件, 其时空尺度反映区域不同持续时间的水资源特征^[8]。其计算原理与方法见参考文献^[9]。

年、季、月 3 种时间尺度 SPI 值的计算在 Matlab 语言下实现, 区域尺度 SPI 均值采用泰森多边形面积加权求得。不同尺度各站点 SPI 序列均值为 0。SPI 值大于 0, 则表明降水高于同期平均水平, 值愈大则洪涝愈严重; SPI 小于 0, 则表明降水低于同期平均水平, 值愈小则气象干旱愈严重。区域旱涝等级划分标准见表 1。

1.3 干旱空间分布

采用克里金空间地统计插值方法^[10], 在 ArcGIS 9.3 下将 30 个站点的年尺度 SPI 值进行空间插值, 然后裁剪出研究区图像, 得到栅格数据。分别统

收稿日期: 2010-08-20

基金项目: 国家自然科学基金(50879071); 国家十一五支撑计划(2006BAD29B02); 公益性行业科研专项(2008011104); 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划资助项目

作者简介: 谭学志(1987-), 男, 湖南浏阳人, 硕士生, 主要从事水资源规划管理及水环境方面的研究。

通讯作者: 粟晓玲(1968-), 女, 四川开江县人, 教授, 博士, 主要从事水资源规划与管理方面的教学与科研工作。E-mail: suxiaoling17@

计各代表年不同旱涝级别的栅格面积,计算研究区域各个级别的干旱面积百分比^[11]。



图 1 陕西关中地区地形和气象站点分布

Fig. 1 The topography and distribution of weather stations in Guanzhong Region of Shaanxi Province

表 1 标准化降水指标(SPI)旱涝等级^[7]

Table 1 Categories of SPI (standardized precipitation index) to flood and drought

SPI values	旱涝程度 Drought and waterlogging category
$SPI < -2.0$	重旱 Extreme drought
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	大旱 Severe drought
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	偏旱 Moderate drought
$-1.0 < SPI \leq 1.0$	正常 Normal
$1.0 < SPI \leq 1.5$	偏涝 Moderate waterlogging
$1.5 < SPI \leq 2.0$	大涝 Severe waterlogging
$SPI > 2.0$	重涝 Extreme waterlogging

著减小趋势,其减少趋势的显著性随减小速度(斜率绝对值)的增大而减小,表明关中地区气象干旱程度总体呈逐渐严重趋势。

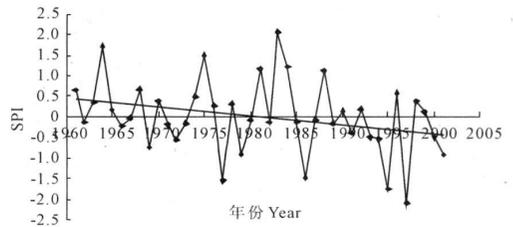


图 2 关中地区年 SPI 变化趋势

Fig. 2 Trends of annual SPI in Guanzhong Region

2 计算结果与分析

2.1 关中地区 SPI 时间变化规律

2.1.1 年尺度 SPI 变化 张宏利等研究表明^[12],近 50 a 来,渭河流域降水量在 1980 年前后出现大的转折,1980 年以后,干旱趋势极为严重。

图 2 是关中地区总体年平均 SPI 变化趋势。在 1977、1986 年出现大旱;1995、1997 年出现重旱,且 SPI 值总体呈逐年递减趋势。由 1980 年前未出现重旱到 1980 年后多年出现重旱,说明气象干旱程度及其发生频率越来越大。

对各站点年 SPI 值进行回归分析,30 个站不同时期 SPI 值年际变化的线性关系的参数见表 2。由表可知,1961 年至 2001 年期间,除岐山、周至、武功、宝鸡、澄城、千阳和陇县站外,各站 SPI 都表现为显

除旬邑站外,其余各站 1981~2001 年 SPI 值减小速度均大于 1961~1980 年,说明关中地区 1981~2001 年气象干旱日趋严重的速度明显大于 1961~1980 年。但将合阳、蒲城、咸阳站等 2002~2007 年降水考虑进去后,1981~2007 年各站 SPI 值减小速度明显小于 1981~2001 年的值,说明关中地区 2002~2007 年相对于 1981~2001 年,气象干旱趋势减弱。

2.1.2 季尺度 SPI 变化 关中地区春、夏、秋、冬四季的平均 SPI 值变化见图 3。春季在 1961、1995、2000 年发生气象干旱,其余年内 SPI 值均属于正常级别范围,未有重旱发生, SPI 值总体变化趋势不明显,但逐年波动幅度较大,呈现出各年 SPI 和降水量差异较大的特征。除 1997 年夏季发生重旱外,夏季 SPI 值波动幅度不大,且各年夏季 SPI 均属正常或偏

涝, SPI 值总体呈明显上升趋势, 气象干旱呈逐渐减少趋势; 秋季 SPI 值总体呈递减趋势, 特别是 1985 年后各年 SPI 值为负的频率达极高 (68.7%), 递减速度逐渐增大, 且在 1993、1995、1997 年发生气象干旱, 秋季气象干旱加剧严重; 冬季 SPI 值总体呈较小

下降趋势。从图 3 看, 关中地区春季和冬季的干旱年份在 1980 年前都只有 1 年, 1980 年以后均有 3 年, 而且 SPI 绝对值都有增大的趋势, 因此, 关中地区季尺度的 SPI 秋、冬、春均呈下降趋势, 更加表明其年尺度 SPI 的下降趋势。

表 2 各气象站不同时期年 SPI 变化趋势及其显著性

Table 2 Trends of SPI and significance for different periods at the weather stations in Guanzhong Region

序号 ID	站名 Station	SPI 趋势线斜率和显著性 Trend line slope of SPI and its significance			
		1961~2001	1961~1980	1981~2001	1981~2007
1	眉县 Meixian	-0.031*	-0.038	-0.077**	
2	岐山 Qishan	-0.033	-0.033	-0.090**	
3	扶风 Fufeng	-0.033*	-0.017	-0.094**	
4	周至 Zhouzhi	-0.034	-0.066	-0.080**	
5	礼泉 Liqian	-0.028*	-0.041	-0.070**	-0.016**
6	泾阳 Jingyang	-0.026**	-0.036	-0.099*	-0.038**
7	富平 Fuping	-0.028*	-0.051	-0.077**	
8	合阳 Heyang	-0.028*	-0.030	-0.059**	-0.008**
9	蒲城 Pucheng	-0.026**	-0.018	-0.083**	-0.034**
10	咸阳 Xianyang	-0.028*	-0.057*	-0.087	-0.020**
11	华县 Huaxian	-0.031*	-0.056	-0.097**	-0.003**
12	武功 Wugong	-0.035	-0.040	-0.100*	-0.022**
13	宝鸡 Baoji	-0.035	-0.037*	-0.086*	
14	户县 Huxian	-0.029*	-0.061	-0.069*	
15	澄城 Chengcheng	-0.033	-0.050	-0.101**	
16	大荔 Dali	-0.026**	-0.051	-0.086**	-0.041**
17	白水 Baishui	-0.029*	-0.016*	-0.080**	
18	潼关 Tongguan	-0.032**	-0.033	-0.073**	
19	临潼 Lintong	-0.022*	-0.002	-0.084**	
20	蓝田 Lantian	-0.032*	-0.026	-0.077**	
21	耀县 Yaoxian	-0.030*	-0.022	-0.083**	-0.027**
22	宜君 Yijun	-0.028*	-0.019**	-0.031**	
23	永寿 Yongshou	-0.032*	-0.071	-0.083*	-0.036**
24	淳化 Chunhua	-0.027*	-0.042	-0.085**	
25	彬县 Binxian	-0.030*	-0.040**	-0.066**	-0.022**
26	旬邑 Xunyi	-0.022**	-0.058*	-0.029**	-0.013**
27	凤县 Fengxian	-0.018**	-0.042**	-0.068**	
28	麟游 Linyou	-0.030*	-0.056**	-0.065*	
29	千阳 Qianyang	-0.036	-0.065**	-0.070	
30	陇县 Longxian	-0.033	-0.027	-0.077**	

注: * 为显著, $\alpha=0.05$, ** 为极显著, $\alpha=0.01$ 。

同时, 由图中各季节 SPI 变化对比可看出, 在气象干旱较严重的 1977、1986、1995 年, 各季节 SPI 值均小于 0, 累积效应造成当年的年总降水量偏少, 发生气象干旱。特别是在 1997 年, 仅在总体降水量极少的冬季降水量略高于冬季平均水平, 春季偏旱, 秋季正常但降水低于秋季平均水平, 但夏季 SPI 值(重旱)极低导致 1997 年气象干旱程度最严重(SPI 值最小)。说明若夏季降水量明显较小则很有可能发生气象干旱。

通过各季节气象干旱变化趋势和年均变化趋势分析知, 在只有秋季 SPI 呈明显下降趋势的关中地区, 秋季降水逐年减少是地区内气象干旱发生的主要原因。

2.1.3 月尺度 SPI 变化 由于在 12、1、2 月份出现降水量为 0 的现象比较常见, SPI 无法有效表征其气象干旱特征, 故只选择 3~11 月份关中地区月平均 SPI 值进行分析, 各月 SPI 变化过程及趋势见图 4。

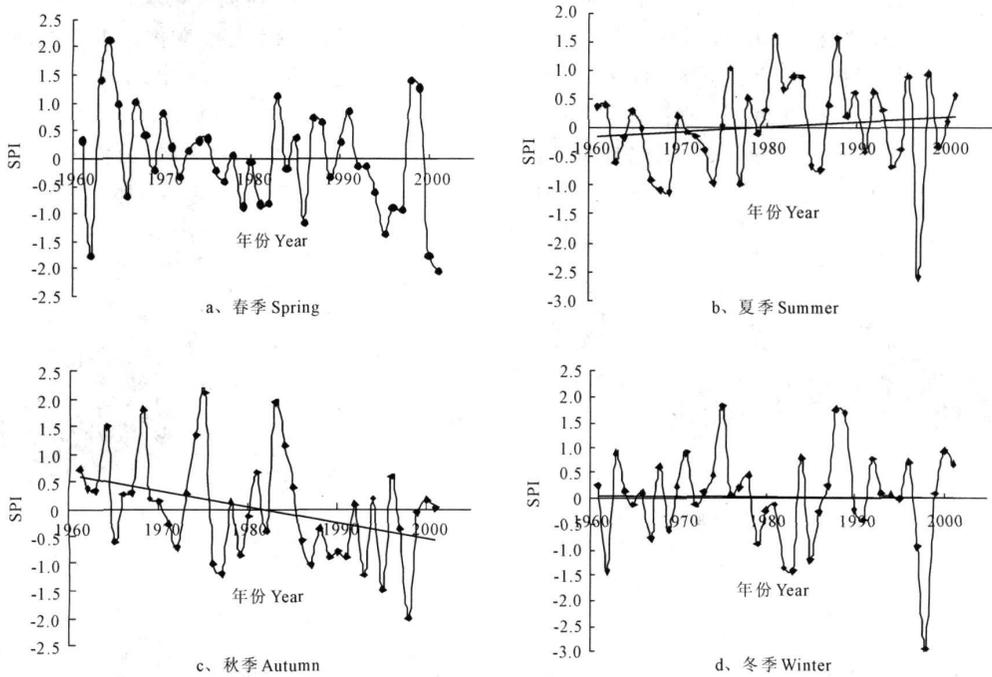


图 3 关中地区季平均 SPI 变化和趋势

Fig.3 Changes and trends of average seasonal SPI in Guanzhong Region

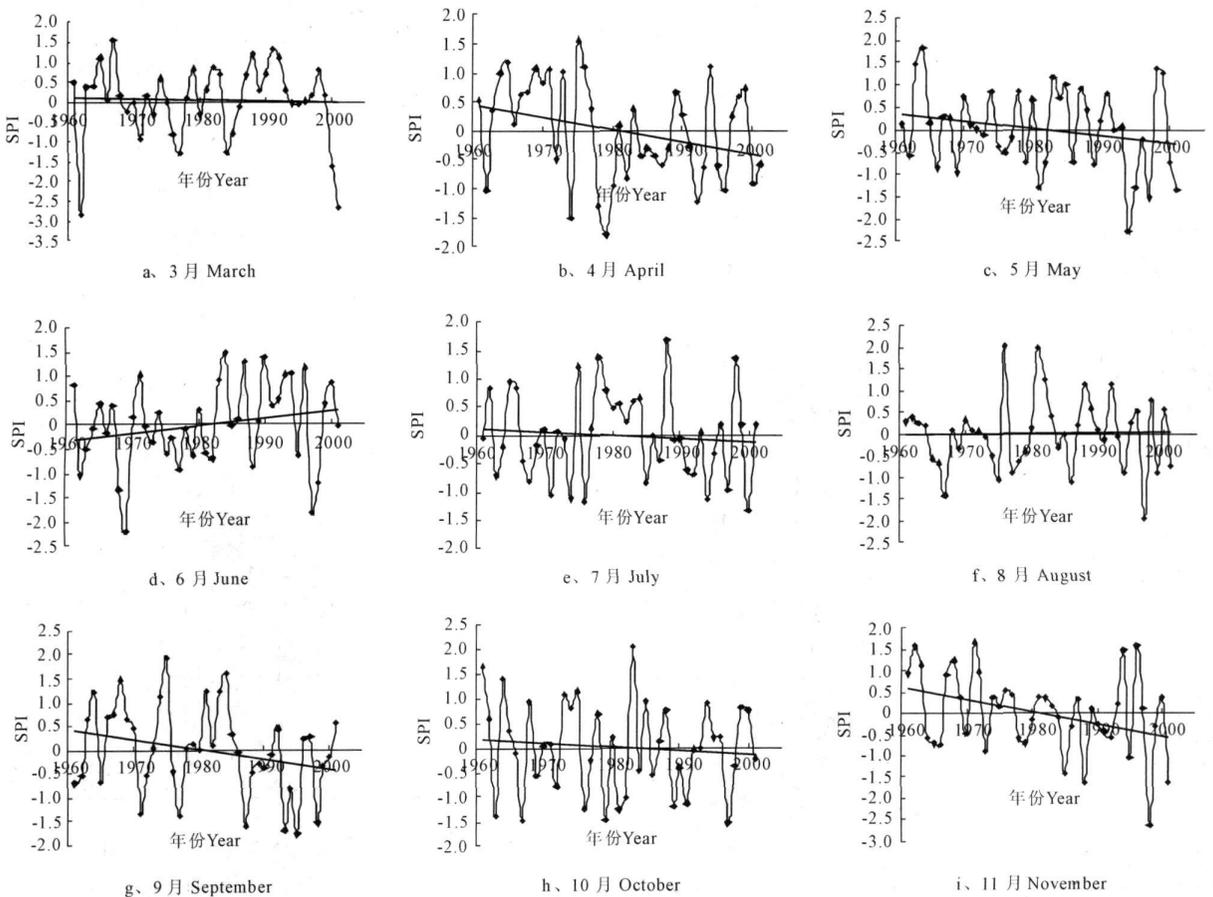


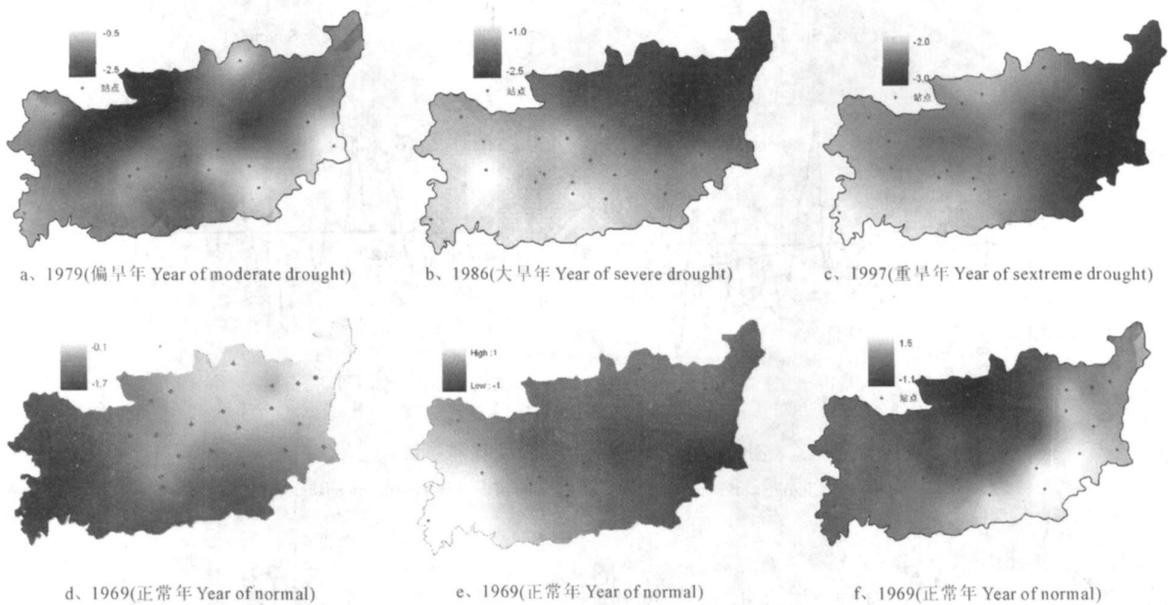
图 4 关中地区各月 SPI 逐年变化和趋势

Fig.4 Changes and trends of average monthly SPI for each year in Guanzhong Region

由图 4 可知,春季的 4~5 月和秋季 9~11 月 SPI 值呈下降趋势,其中 4、9 和 11 月逐年下降速度较大,月气象干旱情势逐渐严重。9~11 月连续 3 个月较大的降水减少的趋势使关中地区秋季气象干旱程度逐年上升。夏季 6 月 SPI 值上升趋势明显且较大,而 7、8 月份 SPI 总体基本平稳,导致夏季 SPI 总体呈上升趋势,与年尺度分析结果一致。

2.2 关中地区 SPI 空间变化规律

由关中地区 SPI 时程变化分析结果,根据所有站年均 SPI 值所确定的关中地区干旱级别,选取 1969(正常年)、1979(偏旱)、1986(大旱)、1980(重旱)、1987(正常)和 1997(重旱)为代表年,利用克里金方法插值生成各代表年关中地区 SPI 分布图(图 5),分析 SPI 空间变化。



注:颜色越深代表 SPI 值相对越小,气象干旱越严重。

图 5 关中地区各旱涝代表年份年均 SPI 空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of average annual SPI for different representative year of flood and drought in Guanzhong Region

在旱年,关中地区 SPI 值总体由西南部向东北部递减,干旱程度由西南部向东北部增加,东部遭受更严重的气象干旱。但在 1979 年地区最严重干旱发生在中、北部,彬县、旬邑和富平干旱指数明显小于其他站点,说明关中地区在中、北部和东北部气象干旱更严重。

在正常年, SPI 低值区域主要分布于东部和中、北部,且气象干旱严重区域 SPI 明显低于其周围地区,降水区域集中程度高,表征各地降水差异明显。但在 SPI 值总体较低的正常年 1969 年西南部值低于其他区域,正常年地区内干旱程度分布不确定性较大。

关中地区不同旱涝代表年各旱涝级别面积百分率统计结果见表 3,由表可知,在偏旱年份 1979 年局部地区可能发生大旱,但超过一半以上的地区处于正常状态;在大旱年份 1986 年发生偏旱的地区面积超过一半 (52.9%),发生重旱的地区面积比重 (24.3%) 也较大;在重旱年份 1997 年,地区内 49.8% 的面积发生大旱,47.2% 的面积发生重旱,极小部分 (3.0%) 地区属偏旱。说明关中地区旱年内

表 3 关中地区不同干旱代表年各旱涝级别面积百分率 (%)

Table 3 Percentages of area for different representative year of drought in Guanzhong Region

旱涝程度 Drought and waterlogging category	旱年 Year of drought			正常年 Year of normal		
	1979	1986	1997	1969	1980	1987
重旱 Extreme drought		24.3	47.2			
大旱 Severe drought	10.0	14.4	49.8			
偏旱 Moderate drought	27.6	52.9	3.0	34.3		5.2
正常 Normal	62.3	8.4		65.7	100	93.8
偏涝 Moderate waterlogging						1.0

气象干旱空间差异较大,大旱和重旱年份地区内干旱程度差异明显。正常年份 1980 年,整个关中地区都处于正常旱涝水平;1987 年仅极小局部区域 (5.2%) 仍发生气象干旱;但在 SPI 绝对值相对偏高

的1969年,偏旱区域面积比例较大(34.3%)。故正常年份地区内局部区域仍可能遭受干旱,但干旱程度较轻。

3 结论

根据关中地区30个气象站41a的降水资料,采用SPI指数分析关中地区气象干旱的时空特征。主要结论如下:

1) 从长期看,关中地区气象干旱逐渐严重;从阶段性来看,1980年后气象干旱趋势更加严重。

2) 各季平均SPI变化趋势有明显差异,春季基本平稳,夏季增加趋势显著,秋季具有较大速度的下降趋势,表现为以秋季干旱主导的关中地区气象干旱特征;除3、6、7和8月外,月均SPI都表现为显著减少趋势,且9—11月连续气象干旱累积形成严重的秋季季节气象干旱。秋季降水逐渐减少是地区内发生气象干旱的主要原因。

3) 关中地区气象干旱发生空间差异明显。气象干旱程度由西南向东北逐渐加剧,东北部和中北部地区是气象干旱最为严重的区域。在旱年地区内普遍发生不同程度的气象干旱,但干旱程度差异较大;在正常年份局部区域仍可能发生气象干旱。

参考文献:

[1] 蔡明科. 关中地区水文、气象干旱特征对比研究[J]. 灌溉排水

学报, 2003, 22(6): 33—37.

- [2] 韩萍, 申兵辉, 祁铮, 等. 关中地区月平均降水量预测[J]. 人民黄河, 2008, 30(6): 31—32.
- [3] 王志伟, 翟盘茂. 中国北方近50年干旱变化特征[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 61—68.
- [4] 姚玉璧, 张存杰, 邓振镛, 等. 气象农业干旱指标综述[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 185—189.
- [5] 黄晚华, 杨晓光, 曲辉辉, 等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 28—34.
- [6] Richard R, Heim Jr. 美国20世纪干旱指数评述[J]. 干旱气象, 2006, 24: 79—89.
- [7] McKee T B, Doeskin N J, Kieist J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales [R]. Proc 8th Conf on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, 1993: 179—184.
- [8] Murat Turkes, Hasan Tatli. Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey [J]. Int J Climatol, 2009, 29: 2270—2282.
- [9] 史建国, 严昌荣, 何文清, 等. 气象干旱指数计算方法研究综述[J]. 中国农业气象, 2007, 28(增): 191—195.
- [10] Patel N R, Choprab P, Dadhwal V K. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index [J]. Meteorol Appl, 2007, 14: 329—336.
- [11] Livada. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI) [J]. Theor Appl Climatol, 2007, 89: 143—153.
- [12] 张宏利, 陈豫, 任广鑫, 等. 近50年来渭河流域降水变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 236—241.

Analysis of Spatial and Temporal Characteristics of Meteorological Drought in Guanzhong Region of Shaanxi Province

TAN Xue-zhi^{1,2}, SU Xiao-ling¹, SHAO Dong-guo²

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, MOE, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: In this paper, SPI (standardized precipitation index) was applied as the index of drought research. According to the daily meteorological data from thirty weather stations in Guanzhong Region of Shaanxi Province, SPI with time scales of year, season and month was calculated respectively, using forty-one years' meteorological data. Then spatial raster data was achieved based on the method of Kriging interpolation. The analysis of meteorological drought in Guanzhong Region indicated that annual SPI presents decreasing trend of meteorological drought generally in the long term. In summer, SPI has an increasing trend, especially in June. However, SPI decreased remarkably in autumn and other month while SPI also appeared in decreasing tendencies of different degree. These changes of SPI showed that Guanzhong Region experienced serious annual meteorological drought with the characteristic of extremely autumn drought. The degree of meteorological drought increases gradually from southwest to northeast of the Guanzhong Region, and the eastern and north-central parts of Guanzhong Region were more susceptible to serious meteorological drought than other parts. In the year of drought, the whole region was widespread confronted with meteorological drought.

Keywords: meteorological drought; SPI; spatial and temporal characteristics; Guanzhong Region of Shaanxi Province