

# 基于SPI的近53 a宁夏干旱时空演变特征研究

王允<sup>1</sup>, 刘普幸<sup>1</sup>, 曹立国<sup>2</sup>, 高原<sup>1</sup>, 雍国正<sup>1</sup>

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 南京大学 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 利用宁夏回族自治区9个气象站1959—2011年的逐月降水数据计算其标准化降水指标(standardized precipitation index, SPI)值,并结合干旱站次比、干旱强度、气候倾向率及ArcGIS中反距离加权插值等方法,分析了研究区干旱的时空变化特征。结果表明,近53 a来,宁夏回族自治区年SPI在波动中呈降低的趋势,其变化倾向率为 $-0.131/10$  a,呈更加干旱趋势,且干旱增幅以21世纪最大;从季节SPI变化来看,春、夏、秋季干旱呈加重趋势,但冬季有所缓解。从干旱发生的范围和强度来看,宁夏回族自治区重旱发生范围略有扩大,而轻旱和中旱略有减小,强度微呈减弱趋势;四季中,总体呈现出冬季干旱强度略增,范围缩小,春季干旱范围扩大。强度增强,而夏秋干旱范围缩小。宁夏回族自治区存在季节连旱频发现象,持续时间长,尤其是春、夏、秋跨季节连旱对农业生产影响最大。年和季节SPI的空间差异明显,表现为由北向南干旱的加重幅度逐渐增大,尤以南部山区对区域干旱变化的响应最为敏感。

**关键词:** 标准化降水指标(SPI); 干旱强度; 反距离加权插值法; 时空变化; 宁夏

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0296-07

中图分类号: K903

## A Study on Spatial-temporal Variation Characteristics of Drought Based on Standardized Precipitation Index in Ningxia Hui Autonomous Region During Recent 53 Years

WANG Yun<sup>1</sup>, LIU Pu-xing<sup>1</sup>, CAO Li-guo<sup>2</sup>, GAO Yuan<sup>1</sup>, YONG Guo-zheng<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal

University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Key Laboratory of Coast and Island

Development of the Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

**Abstract:** The standardized precipitation index(SPI) was calculated based on monthly precipitation data observed at the nine weather stations in Ningxia Hui Autonomous Region from 1959 to 2011, and the spatial and temporal variation of drought was analyzed using the methods of drought station proportion, drought intensity, climate trending rate and the inverse distance weighted interpolation in ArcGIS. Results showed that annual SPI in Ningxia in recent 53 years decreased with an average rate of  $-0.131/10$  a, which was the largest increase in the 21st century. As for the seasonal change of the SPI, drought in spring, summer and autumn was becoming heavier slightly, while in winter, it was becoming lighter. In view of the scope and drought intensity, the heavy drought expanded slightly in the study area, and yet the light and medium drought declined slightly both in scope and intensity. In the four seasons, drought intensity in winter increased slightly, but its scope shrunk; in spring, both drought intensity and scope increased; and in summer and autumn, drought intensity decreased and its scope shrunk. Continuous seasonal drought occurred from spring to autumn had the greatest impact on agricultural production. Spatial differences of annual and seasonal SPI were obvious. From north to south, drought was gradually aggravated, especially in the southern mountains, the most sensitive to change of regional drought.

**Keywords:** SPI; drought intensity; IDW interpolation; spatial and temporal variation; Ningxia Hui Autonomous Region

收稿日期: 2013-03-20

修回日期: 2013-04-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“河西绿洲天然胡杨林生长的水盐过程和衰退机制”(40961035); 甘肃省科技计划基金项目“河西绿洲天然胡杨林生长的水盐过程和衰退机制”(0803RJZA094)

作者简介: 王允(1989—), 男(汉族), 甘肃省宁县人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail: nwnuwangyun@163.com。

通信作者: 刘普幸(1964—), 女(汉族), 山西省平遥县人, 教授, 博士, 主要从事干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学等研究工作。E-mail: fmlpx@nwnu.edu.cn。

近年来,中纬度地区气候暖干化是全球气候变化最显著的特征,它带来的主要问题之一是全球范围的干旱问题日趋严重<sup>[1]</sup>。干旱对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深,超出了其他任何自然灾害<sup>[2]</sup>。中国每年因旱灾造成粮食减产和经济损失约占因气象灾害造成经济总损失的 50%,这决定了干旱问题研究的复杂性、艰巨性和必要性<sup>[3-4]</sup>。气候干旱问题早在 1930 年就受到关注<sup>[5]</sup>。然而,对气候干旱问题的系统研究却始于 1980 年中期以后,并取得了较好的成果。干旱评估指标是研究干旱气候的基础,也是衡量干旱程度的关键环节,因此,确定一个客观、合理的干旱指标就显得更为重要。为了对干旱程度进行量化表达,国内外许多学者采用不同干旱指标进行了研究。Palmer<sup>[6]</sup>将前期降水、水分供给和水分需求结合在水文计算系统中,提出了基于水平衡的干旱指数(PD-SI)。Kite 等<sup>[7]</sup>假设某段时间内的降水量服从 Person III 分布,通过对降水量正态化后转化为以  $Z$  为变量的标准正态分布,再划分旱涝等级,即为  $Z$  指数。McKee<sup>[8]</sup>提出了基于降水量的标准化降水指标,该指标能较好地反映不同时间尺度和区域的干旱程度。徐尔灏<sup>[9]</sup>在假定年降水量服从正态分布的基础上,提出用降水量的标准差来划分旱涝等级。刘昌明等<sup>[10]</sup>采用降水距平指标识别和分析了海河流域的水旱灾害情况。袁文平等<sup>[11]</sup>认为 SPI 在计算过程中没有涉及到降水空间参数,降低了指数计算时的时空差异,因此 SPI 比  $Z$  指数更优越,更稳定。

宁夏回族自治区远离海洋,深居内陆,80% 以上的面积属于干旱和半干旱地区,降水的空间分布很不均匀,干旱灾害发生的频次占总灾害频次的 1/2 以上,为各项灾害之首<sup>[12]</sup>。针对宁夏回族自治区干旱监测及干旱指标已有大量研究,由于标准化降水指数具有计算简单,时间尺度灵活消除了降水的时空差异,在反应干旱时空变化方面优于其他指标,已被广泛应用于区域干旱分析与监测。因此,本文拟基于 SPI 在干旱分析中的优势,根据宁夏近 53 a 降水观测资料,采用 SPI 分析宁夏回族自治区干旱的时空分布特征,以期对干旱灾害的监测、评估提供支持,进而为减轻该区域干旱灾害损失、合理利用水资源提供科学依据。

## 1 研究区概况

宁夏回族自治区位于黄河上游地区,地理坐标为 35°14′—39°23′N,104°17′—107°39′E,东邻陕西省,西部、北部接内蒙古自治区,南部与甘肃省相连,80%

以上的面积属于干旱和半干旱地区。宁夏回族自治区深居大陆腹地,位于中国季风区的西缘,冬季受蒙古高压控制,正当冷空气南下要冲,夏季处于东南季风西行的末梢,形成较典型的大陆性气候。年均温 4~9℃,年降水量 183.4~677 mm,由南向北递减,降水量多集中在 6—9 月,无霜期 150~195 d,蒸发强烈,风大沙多。植被类型以荒漠草原、疏林草原、温性针叶林和阔叶林为主。土壤类型主要包括黑垆土、灰钙土及灰漠土、灰褐土、人为土—灌淤土等。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料来源

选取宁夏回族自治区 9 个气象站 1959 年 1 月 1 日到 2012 年 2 月 29 日的日平均降水资料,资料来源于国家气象信息中心。

### 2.2 研究方法

在降水分析中,采用 Gamma 函数拟合降雨时间序列,然后再经标准化求得 SPI,具体原理及计算方法如下。

当  $0 < H(x) \leq 0.5$  时,

$$SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{H(x)^2}} \quad (2)$$

当  $0.5 < H(x) < 1$  时,

$$SPI = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{[1 - H(x)]^2}} \quad (4)$$

式中:  $H(x)$ ——与  $\Gamma$  函数相关的降水分布概率;  
 $t$ ——时间。其余参数取值:  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ 。

本文利用研究区内 9 个气象站点的日降雨量数据计算出月降水数据,作为输入参数,分别进行 3 个月,12 个月尺度的 SPI 值的运算(结果分别记为季节 SPI,年 SPI),然后根据干旱等级标准进行统一划分,即  $-0.5 < SPI$ ,记为无旱,等级 1;  $-1.0 < SPI \leq -0.5$ ,记为轻旱,等级 2;  $-1.5 < SPI \leq -1.0$ ,记为中旱,等级 3;  $-2.0 < SPI \leq -1.5$ ,记为重旱,等级 4;  $SPI < -2.0$ ,记为特旱,等级 5。

### 2.3 干旱评估指标

为了更好地反映较大范围内的区域干旱发生程度,在这里引入干旱发生站次比和干旱强度。同时,本文将轻旱(含轻旱以上)发生的年份均记为轻旱,中

旱(含中旱以上)发生的年份均记为中旱,以此类推,方便了分析比较。

2.3.1 干旱发生站次比( $P_j$ )  $P_j$  是用某一区域内干旱发生站数多少占全部站数的比例来评价干旱影响范围的大小,可用式(5)表示:

$$P_j = m/M \times 100\% \quad (5)$$

式中: $M$ ——某区域内气象站数; $m$ ——发生干旱的台站数。

2.3.2 干旱强度( $S_{ij}$ )  $S_{ij}$  用来评价干旱严重程度,单站的某时段内的干旱强度一般可由 SPI 值反映, SPI 绝对值越大,表示干旱越严重。某区域内多年的干旱程度可用式(6)表示:

$$S_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |S_{PI_i}| \quad (6)$$

式中: $m$ ——该区域内发生干旱站数; $S_{PI_i}$ ——发生干旱时的 SPI 的绝对值。

2.3.3 变化趋势率( $x_i$ ) 变化趋势率,即气候倾向率,一般以历年气候要素变化过程的拟合直线的斜率的 10 倍作为气候倾向率,表征多年气象数据序列变化倾向度。在统计上,用  $x_i$  表示样本量为  $n$  的某一气候变量,用  $t_i$  表示  $x_i$  所对应的时间,建立  $x_i$  与  $t_i$  之间的一元线性回归方程:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中: $a$ ——回归常数; $b$ ——回归系数。 $a$  和  $b$  可以用最小二乘法进行估计。以  $b$  的 10 倍作为气候要素倾向率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 SPI 的年和季节变化特征

近 53 a 来,宁夏回族自治区年 SPI 表现出在波动中呈持续降低的趋势,其变化倾向率为  $-0.131/10$  a,表明气候朝着更加干旱的方向发展,其中重旱发生在 1980 和 2005 年,特旱发生在 1982 年(图 1)。从年代际变化来看,除 1970s 和 1980s 干旱程度有所缓解外,其他年代均有所加重,尤以 2001—2011 年加重幅度最大,变化倾向率为  $-0.73/10$  a(表 1)。

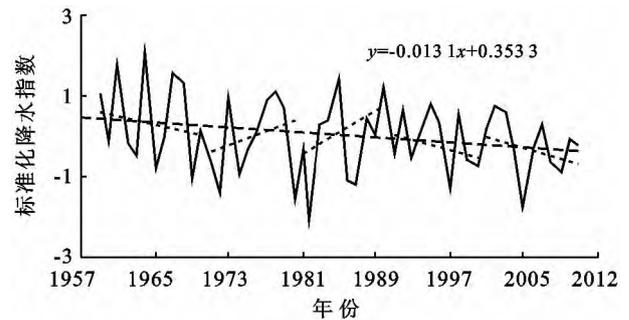


图 1 宁夏回族自治区 SPI 值的年际和年代际变化特征

表 1 宁夏回族自治区季节和年代 SPI 趋势系数

SPI	春季	夏季	秋季	冬季	1959—1970 年	1970s	1980s	1990s	2001—2011 年
趋势系数	-0.10	-0.09	-0.11	0.13	-0.51	0.84	1.31	-0.69	-0.73

宁夏回族自治区季节 SPI 变化倾向率分别为春季  $-0.1/10$  a,夏季  $-0.08/10$  a,秋季  $-0.11/10$  a 和冬季  $0.12/10$  a,表明除冬季干旱情况有所缓解外,春、夏、秋季干旱存在不同程度的加重,且以春秋两季的变化对该区干旱的贡献最大,与宁夏回族自治区季节降水在春、夏、秋季减少,冬季增加的降水变化规律一致<sup>[13]</sup>。尤其春季正是冬小麦返青、拔节、抽穗和玉米等大秋作物播种、出苗及牧草生长的关键时期,一旦出现干旱,将严重影响农业生产。

#### 3.2 干旱等级变化特征

依据干旱等级划分标准可以看出,近 53 a 来研究区发生干旱的平均 SPI 值为  $-1.1$ ,表明宁夏回族自治区处在中等干旱水平(表 2)。从年代际来看,1959—1970 年和 1990s 该区干旱等级为轻旱,其 SPI 值分别为  $-0.9$  和  $-0.8$ ;1970s 和 2001—2011 年为中旱,其 SPI 值分别为  $-1.2$  和  $-1.1$ ;1980s 的 SPI 值为  $-1.5$ ,达到重旱水平,这与 20 世纪 80 年代全球气候突然变暖的结论相一致<sup>[14]</sup>。

表 2 宁夏回族自治区年及年代的 SPI 值和干旱等级

年代	1959—1970 年	1970s	1980s	1990s	2001—2011 年	1959—2011 年
SPI 值	-0.9	-1.2	-1.5	-0.8	-1.1	-1.1
干旱等级	轻旱	中旱	重旱	轻旱	中旱	中旱

#### 3.3 干旱发生范围与强度的变化特征

干旱站次比( $P_j$ )是指用某一区域内干旱发生站数多少占全部站数的比例来评价干旱影响范围大小

的指标。当  $P_j \geq 50\%$  时,即研究区域内有 1/2 以上的站发生干旱,为全区域性干旱;当站次比在  $33\% \sim$

50%时为区域性干旱;当站次比在 25%~33%时为部分区域性干旱;当站次比在 10%~25%时为局地干旱;当站次比小于 10%时可认为无明显干旱发生。通过年和季节 SPI 值进一步计算出站次比,得出研究区轻、中、重旱发生的特征。结果表明,近 53 a 来,宁夏回族自治区轻旱、中旱发生的范围在波动中呈减小

趋势,其变化倾向率分别为-3.375/10 a,-1.026/10 a,而重旱却呈增加趋势,变化率为 1.828/10 a(图 2)。在 1959—2011 年,该区共发生 36 a 干旱,轻、中、重旱的干旱站次比历史极大值均出现在 1982 年,其值分别为 100%,88.9%,55.6%,这与 1980s 全球变暖的变化是一致的。

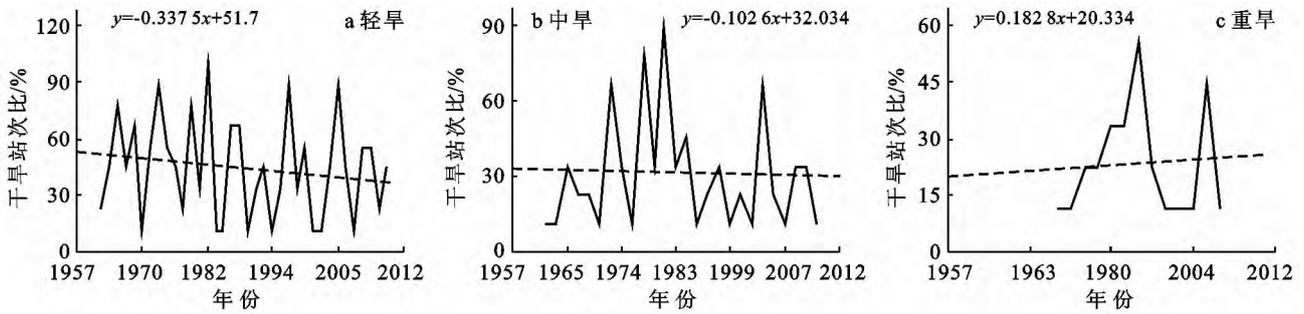


图 2 1959—2011 年宁夏回族自治区干旱发生站次比历年变化特征

近 53 a 来,宁夏回族自治区发生轻旱、中旱、重旱平均站次比分别为 44.4%,30.3%和 23.1%(表 3)。轻旱以 1970s 最大,中、重旱以 1980s 最大,站次比分别为 57.4%,50%,37%。

距平值分别为-1.5%,-1.5%,6.1%。

轻旱站次比的年代际变化表明,1970s 以前为正距平,距平值分别为 4.5%和 13%,此后均为负距平,

中、重旱站次比的年代际变化表明,1959—1970 年距平值为-10.3%和-12%;1970s 和 1980s 均为正距平,中旱距平值为 9.7%和 19.7%,重旱为 2.8%和 13.9%;1990s 以来均为负距平,中旱值为-10.3%和-3.3%,重旱值为-12%和-0.9%。

表 3 宁夏回族自治区各年代干旱站次比和干旱强度及其距平值

干旱指标	类型	1959—1970 年	1970s	1980s	1990s	2001—2011 年	1959—2011 年
干旱站次比	轻旱	48.9	57.4	42.9	42.9	38.3	44.4
	中旱	20.0	40.0	50.0	20.0	27.0	30.3
	重旱	11.1	25.9	37.0	11.1	22.2	23.1
距平值	轻旱	4.5	13.0	-1.5	-1.5	-6.1	—
	中旱	-10.3	9.7	19.7	-10.3	-3.3	—
	重旱	-12	2.8	13.9	-12.0	-0.9	—
干旱强度	—	0.9	1.1	1.1	0.9	1.0	1
	距平值	—	-0.1	0.1	-0.1	0	—

干旱强度( $S_{ij}$ )是评价干旱严重程度的指标,当干旱强度在 0.5~1.0 时为轻度干旱强度,当干旱强度在 1.0~1.5 时以中度干旱强度为主,当  $S_{ij} \geq 1.5$  时,干旱强度为重旱强度。近 53 a 来,宁夏回族自治区发生干旱的强度略呈减弱趋势,其变化倾向率为-0.045/10 a(图 3)。该区共发生 36 a 干旱,重旱强度为 4 a,中旱强度为 12 a,其他年份为轻旱,这表明研究区发生干旱时,干旱的强度多以中旱偏轻为主。1981 和 2005 年是干旱强度最强年,干旱强度为 1.7;1980 和 1982 年是干旱强度次强年,强度分别为 1.6,1.5;1970,1984,1988,1994,1996,2001,2010 年是

干旱强度最轻的年份,干旱强度均为 0.6。近 53 a 来,宁夏回族自治区平均干旱强度为 1.0。从年代际变化看,干旱强度以 1970s 和 1980s 干旱强度最强,值均为 1.1。1959—1970 年的平均干旱强度距平值为-0.1;1970s 和 1980s 为正距平,距平值均为 0.1;1990s 为负距平,距平值为-0.1;进入 21 世纪后,干旱强度维持在 1.0。

综上所述,干旱强度年变化与干旱站次比变化有较好的一致性。1982 和 2005 年是宁夏回族自治区旱情程度最重的年份,此时正逢干旱强度的最强或次强年,干旱站次比也达到了最大或次大值,这是由于

在全球气候变暖的背景下,贝加尔湖阻高以及 500 hPa 正高度距平持续维持和西太平洋副高与常年相比较弱等因素所造成的<sup>[15]</sup>。

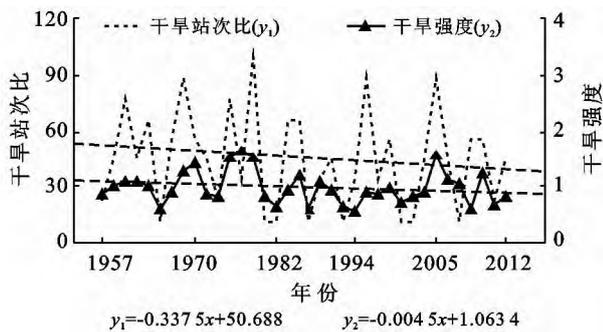


图 3 1959—2011 年宁夏回族自治区干旱强度历年变化特征

### 3.4 季节性干旱站次比和干旱强度变化特征

为了更好地反应季节干旱变化的全貌,将干旱时间序列划分为春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12—2月)四季,进一步计算四季干旱站次比和干旱强度的倾向率、距平值。结果表明,近 53 a 来宁夏回族自治区四季干旱存在明显的季节性差异。就干旱站次比而言,除春季站次比增大外,夏、秋、冬季均呈减小趋势,且夏季大于冬季和秋季,其变化率分别为 10.05/10 a, -5.50/10 a, -4.86/10 a, -1.96/10 a(表 4)。从年际变化来看,站次比 $\geq 50\%$ 的季节干旱分别为春季 13 次,夏、秋、冬季 14 次,其中春旱站次比最大值出现在 1979,1995 和 2000 年,夏季在 1982 年,秋季在 1972 年,冬季在 1965,1966 年。

表 4 宁夏回族自治区季尺度及各年代干旱站次比和干旱强度比较

年代	站次比/%				干旱强度			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
1959—1970	35.20	45.80	38.90	53.50	1.10	1.00	1.10	0.90
1970s	32.20	57.10	44.40	51.10	0.90	1.00	1.00	1.00
1980s	63.90	40.70	55.60	35.60	0.90	1.00	1.10	1.00
1990s	51.40	31.50	48.90	47.60	1.20	0.90	1.00	1.10
2001—2011	57.10	36.40	37.00	40.70	1.10	1.00	0.80	1.00
1959—2011	45.70	42.10	45.70	47.10	1.00	1.00	1.00	1.00
倾向率	10.05	-5.50	-1.96	-4.86	0.05	-0.02	-0.11	0.07

近 53 a 来,宁夏回族自治区发生春、夏、秋、冬旱平均站次比分别为 45.7%,42.1%,45.7%,47.1%(表 4)。春、秋旱以 1980s 最大,站次比分别为 63.9%,55.6%;夏旱以 1970s 最大,站次比为 57.1%;冬旱以 1960s 最大,为 53.5%。从春旱年代际变化看,1970s 以前为负距平,距平值分别为 -10.5%和 -13.5%,此后均为负距平,值分别为 18.2%,5.7%,11.4%。夏旱年代际变化与春季相反,1970s 以前为正距平,距平值分别为 3.7%,15%,此后为负距平,值分别为 -1.4%,-10.6%,-5.7%。秋旱 1970s 以前为负距平,距平值分别为 -6.8%和 -1.3%,此后为正距平,1980s 为 9.9%,1990s 为 3.2%,2000 年之后转为负距平,值为 -8.7%。冬旱 1970s 以前为正距平,距平值分别为 6.4%,4%,1980s 为负距平,距平值为 11.5%,1990s 为正距平,值为 0.5%,2001—2011 年为负距平,值为 6.4%。

就干旱强度而言,春、冬季干旱强度呈增重趋势,而夏、秋季干旱强度表现出略有减轻的趋势,春、夏、秋、冬四季其变化率分别为 0.05/10 a,-0.02/10 a,-0.11/10 a,0.07/10 a。从年际变化来看,春、夏、秋、冬发生中度以上干旱分别为 20,20,19,15 次,其中春旱最强年在 1995 年,强度为 2.0,夏旱最强年在

1966 年,强度为 1.7,秋季在 1986 年,强度为 1.6,冬季在 1998 年,强度为 1.9。近 53 a,春、夏、秋、冬旱平均强度均为 1.0,以中旱强度为主。春旱以 1990s 最大,强度为 1.2,夏旱变化不明显,秋旱以 1959—1970 年和 1980s 最大,强度为 1.1,冬旱以 1990s 最大,强度为 1.1。1959—1970 年为正距平,距平值 0.1;1970—1980s 为负距平,距平值为 -0.1;1990s 和 2001—2011 年为正距平,距平值分别为 0.2 和 0.1,表明自 1990s 以来春旱强度有明显增强的趋势。夏旱强度在 1990s 期间略有降低,距平值为 -0.1,其他年代无明显变化。从秋季来看,1959—1970 年和 1980s 为正距平,距平值均为 0.1;2000—2011 年为负距平,值为 -0.2;1970s 和 1980s 干旱强度无明显变化。冬季在 1959—1970 年为负距平,距平值为 -0.1,1990s 为正距平,值为 0.1,1970s,1980s 和 2001—2011 年冬旱强度无变化。

总之,春旱发生干旱站次比有所增多,夏旱、秋季和冬旱站次比有所减少;干旱强度除夏旱、秋旱略减轻外,其他季节干旱强度呈增重,特别是春旱强度加大。春季是农作物的返青季节,此时干旱范围扩大,强度加重,对该区农业生产活动产生重大影响,尤其是在发生在 1995 年和 2000 年的特大春旱,主要是由

于春季处于相对少雨时期所造成的<sup>[16]</sup>,与重旱灾年几乎都出现在宁夏回族自治区发生全域性春旱年份的结论相一致<sup>[17]</sup>,也与宁夏回族自治区农业的实际旱情和旱灾<sup>[18]</sup>相符合,进一步表明我们采用的干旱指标是科学合理的。

### 3.5 跨季节干旱变化特征

从干旱发生的时间来看,可以把宁夏回族自治区干旱分为春、夏、秋、冬及各个季节的连旱等类型。由表 5 可知,两季连旱事件中,以春—夏和夏—秋连旱事件发生最多,其频数分别为 27,26;秋—冬和冬—春连旱事件发生相对较少,其频数分别为 21,20。在跨三季以上的连旱事件中,三季连旱事件有 9 例,四季连旱 3 例,五季连旱的有 4 例,六季连旱的有 5 例,

剩下 1 例是从 1978 年冬季至 1982 年冬季的跨年的连旱,这与于轩<sup>[18]</sup>统计的宁夏回族自治区在 1979 年发生重大干旱、1980—1981 年发生轻旱、1982 年发生特大干旱这一结论存在较好的一致性。对该区影响最大的季节连旱应属春夏秋连旱(或连续干旱 2~3 a),受旱严重的地区干旱持续 300 d 以上。每年的 3—10 月是宁夏回族自治区农作物生长发育和产量形成的关键时期,而此时春旱、夏旱和秋旱却频频出现,并常造成持续性干旱和季节连旱,波及范围少则一个地市,多则遍布整个研究区<sup>[19]</sup>。特别是在 1980s 以后,跨 3 季以上旱灾更加频繁地出现,中部区在 2004—2006 年发生了有气象记录以来的特大持续性干旱<sup>[20]</sup>。

表 5 宁夏回族自治区跨季节连旱次数

季节	干旱发生次数					
	1959—1970 年	1970s	1980s	1990s	2001—2011 年	1959—2011 年
春—夏	5	8	3	4	7	27
夏—秋	5	4	5	6	6	26
秋—冬	6	4	2	7	2	21
冬—春	6	4	2	7	2	20
跨 3 季以上	5	4	2	6	5	22

### 3.6 干旱的空间变化特征

利用宁夏回族自治区的 9 个气象站点年 SPI 变化的倾向率作为参数,基于 ArcGIS 中的 Inverse Distance Weighted 插值法,分析了研究区年和季节性干旱的空间变化特征。

宁夏回族自治区年 SPI 分布格局存在着明显的空间差异,表现为自南向北干旱加重幅度逐渐减弱,南部的西吉加重幅度最大,中部的盐池表现为低值中心,这主要是由于宁夏回族自治区降水呈自南部山区依次向中部干旱带、北部绿洲区逐渐减少的分布规律。

季节 SPI 也具有明显的空间差异,表现为春旱和秋旱大致呈南重北轻的分布,夏旱呈南北重,中部轻的分布,冬旱呈北重南轻的分布。春旱表现出从北向南逐渐加重的趋势,且以南部的固原和中部的同心变化幅度最为显著,与马国飞等<sup>[12]</sup>研究结果一致。夏旱由中部区向南部山区、北部绿洲区表现出增重的趋势,其中南部的西吉县和北部的中宁县增幅最大,中部的同心县和盐池县增幅最小,表现为夏旱变化的低值中心。冬季干旱总体上有所缓解,存在从北向南逐渐减轻的趋势,尤以南部的固原市减轻最为明显;北部绿洲区干旱程度却略有加重,以中宁县加重程度最

大。总体看来,宁夏回族自治区南部山区、中部区和北部绿洲区对研究区干旱变化的响应不尽相同,以南部山区对干旱变化的响应最为敏感,这与陈晓光等<sup>[13]</sup>研究得出的宁夏回族自治区降水变化均呈下降趋势,以宁南山区相对明显的结论一致,反映出气候变化的区域性。

## 4 结论

(1) 近 53 a 来,宁夏回族自治区年 SPI 在波动中呈持续降低趋势,表明气候朝着更加干旱的方向发展,这与施雅风等<sup>[21]</sup>研究得出的宁夏回族自治区处于西北气候变化中由暖干向暖湿转型的未转型区结论相一致,反映了区域气候变化特征。从年代际变化来看,自 1990s 以来,宁夏回族自治区干旱程度持续加重,尤以 21 世纪的干旱增重幅度最大。从季节 SPI 变化可以看出,除冬旱程度有所缓解,其他季节干旱加剧,尤以春季对农业生产影响最大。

(2) 从 SPI 值与干旱等级的划分标准来看,近 53 a 来,宁夏回族自治区年 SPI 平均值为 -1.1,属于中旱水平。从年代际来看,1980s 的 SPI 值最小,达到重旱水平。

(3) 干旱站次比和强度的计算表明,宁夏回族自

治区轻旱、中旱发生的范围呈减弱的趋势,重旱范围呈增重的趋势;干旱强度却略有减弱的趋势。春旱发生范围扩大、强度增大;冬旱发生范围减小,而强度却略有增大;夏、秋旱发生范围和强度都有减小的趋势。干旱发生频繁,季节连旱严重,干旱持续时间长,区域性强,对宁夏回族自治区农业生产影响极大。

(4) ArcGIS 空间插值表明,宁夏回族自治区干旱空间变化规律明显,表现为自南向北呈增大趋势,增重幅度为:南部山区>中部区>北部绿洲区。南部山区对干旱变化响应最为敏感。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 599-608.
- [2] 李芬,于文金,张建新,等. 干旱灾害评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 891-898.
- [3] 陈晓楠,段春青,刘昌明,等. 基于两层土壤计算模式的农业干旱风险评估模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 51-55.
- [4] 黄荣辉,陈际龙,周连童,等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 770-787.
- [5] 竺可桢,李良骥. 华北之干旱及其前因后果[J]. 地理学报, 1934, 1(2): 1-9.
- [6] Palmer W C. Meteorological drought[R]. U S Weather Bureau, 1965: 45-58.
- [7] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]// 8th Conference on Applied Climatology. 1993: 179-184.
- [8] Kite G W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology [M]. Colorado: Resources Publication, 1977.
- [9] 徐尔灏. 论年降雨量之常态性[J]. 气象学报, 1950, 21(1/4): 17-34.
- [10] 刘昌明,魏忠义. 华北平原农业水文及水资源[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [11] 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.
- [12] 马国飞,张晓煜,段晓风,等. 基于标准化降水指数分析宁夏山区干旱演变特征[J]. 西北农业学报, 2010, 19(10): 101-106.
- [13] 陈晓光,Declan Conway,陈晓娟,等. 1961—2005 年宁夏极端降水事件变化趋势分析[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 156-160.
- [14] 衣育红,王绍武. 80 年代全球气候突然变暖[J]. 科学通报, 1992(6): 528-531.
- [15] 杨淑萍,赵光平,孙银川,等. 2004—2005 年宁夏特大干旱事件的诊断分析[J]. 中国沙漠, 2006, 26(2): 948-952.
- [16] 郑广芬,陈晓光,孙银川,等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J]. 气象科学, 2006, 26(4): 412-421.
- [17] 王连喜,李凤霞,黄峰. 宁夏农业气候资源及其分析[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2008: 78-86.
- [18] 子轩. 宁夏旱灾史回顾[J]. 中国减灾, 2006(5): 9-10.
- [19] 董永祥,周仲显. 宁夏气候与农业[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1986: 52-59.
- [20] 陈豫英,陈楠,郑广芬,等. 近 45 a 宁夏气温、降水及植被指数的变化分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 626-634.
- [21] 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): 152-164.