

基于华北地区气象指数 SPI 干旱时空分析

王江涛

(中煤航测遥感集团有限公司, 西安 710100)

摘要:干旱是全球范围内影响最广的自然灾害,近年来,华北地区几乎每年都有不同程度的干旱发生,旱情持续时间长,影响范围广,作物受旱程度十分严重,甚至出现连年干旱情况,影响较为巨大。依据 1998—2017 年气象降水资料,计算标准化降水指数(SPI),采用 SPI 栅格化处理和时序相结合的方法从 SPI 的年、月时序变化和空间尺度的季节性干旱演变分析了华北地区这 20 年的干旱时空变化特征。结果表明:(1) 华北地区 1998—2017 年干旱发生频繁,在年与年之间发生干旱的程度和范围有所不同;(2) 干旱主要发生在春、夏、秋 3 个季节,春、夏旱发生频率较高;(3) 河南、山西、山东部分地区春旱较为严重,华北地区夏旱面积最广。

关键词:华北干旱; SPI; 时间序列; 时空分析

中图分类号: P462.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)04-0203-05

Analysis on Spatiotemporal Pattern of SPI Drought Based on Meteorological Index in North China

WANG Jiangtao

(Aerial Photography of Chinese Coal Incorporated Company, Xi'an 710100, China)

Abstract: Drought is the most severe natural disaster on a global scale. In recent years, almost every year, there are different degrees of drought in north China. The drought lasts for a long time, the scope of impact is wide, the degree of drought in crops is very serious, and even droughts occur in successive years. Based on the meteorological precipitation data from 1998 to 2017, this paper calculated the standardized precipitation index (SPI), and used the combination of SPI rasterization and time series to analyze the annual and monthly time series of SPI and the seasonal drought evolution of spatial scale. The characteristics of the spatio-temporal changes in the region over the past 20 years were analyzed. The results showed that: (1) the drought occurred frequently in north China from 1998 to 2017, and the degree and extent of drought were different between years; (2) the drought mainly occurred in spring, summer and autumn, and the frequencies of spring and summer drought were higher; (3) the spring drought in Henan, Shanxi and Shandong was more serious. The area suffering from summer drought in north China is large.

Keywords: drought in north China; SPI; time series; spatiotemporal analysis

干旱监测在工农业生产和国民经济发展中具有十分重要的现实作用,对于旱的发生发展进行动态监测,及时掌握其危害程度,便于各级政府和领导及时了解旱情程度和分布,从而采取积极有效的防、抗旱措施,科学指挥农业生产,对防御、减轻干旱灾害具有重要的现实意义,近年来,加强干旱监测和风险评估成为学术界关注的热点之一^[1-2]。

旱情监测的传统方法是采用地面点的观测记录数据进行统计分析,如气象站点的时间序列降水资料或有关土壤水分的称重法和中子仪探测法^[3]等,而测站点的分布并不能完全遍布所有区域,数据不能完全

或不能及时获取,使得大范围的旱情监测和评估缺乏代表性和时效性,难以认识到干旱发生的空间范围分布,这对我们提出防灾减灾措施造成了一定的困难。

标准化降水指数(SPI)由 McKee 等在评估美国科罗拉多干旱状况时提出的,它是表征某时段降雨量出现概率多少的指标之一^[4]。许多研究表明^[5-7],SPI 指数相对简单、有较强的空间一致性和时相灵活性,考虑了不同尺度的水分盈亏,因而 SPI 指数比其他气象指数有更大的优势。SPI 具有多时间尺度^[6](1,3,6,12,24 个月等)的特征,如 12 个月时间尺度的 SPI(即 SPI₁₂)比较清楚地反映干旱的阶段变化,而 SPI₃ 可以反映季节性干旱^[8]。与农业

干旱关系密切,可以满足不同地区、不同应用的需求,为我国的水资源评估和不同时间尺度的干旱监测服务,因而得到了广泛应用^[9-12]。国家气候中心也已经将 SPI 指数运用到干旱监测的业务中,充分说明它的适用性。

本文针对华北地区近年来发生的严重干旱,在介绍 SPI 的计算原理与等级划分基础上,利用 1998—2017 年的降水资料,分别计算多尺度 SPI 值。采用从 SPI 的年、月时序变化和空间尺度的季节性干旱演变分析华北地区这 20 a 的干旱时空变化特征,为干旱动态监测业务化运行提供数据和技术支撑,其理论意义明确。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究的华北地区位于 96° — 126° E, 30° — 53° N 的地带,包括内蒙古、河北、山西、山东、河南 5 省及京津 2 市(图 1)。华北地区包括 4 个自然地理单元:东部的辽东山东低山丘陵,中部的黄淮海平原和辽河下游平原,西部的黄土高原和北部的冀北山地。华北地区气候类型属暖温带半润湿半干旱季风,大部分地区四季分明,寒暑相差悬殊,雨量集中,干湿期明显,通常冬季寒冷干旱,雨雪稀少;春季冷暖多变,干旱多风;夏季炎热潮湿,雨量集中;秋季风和日丽,凉爽少雨。年平均气温为 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$,年降水约 $400\sim 800\text{ mm}$,季节分配不均,年际变化大,旱灾发生频繁。

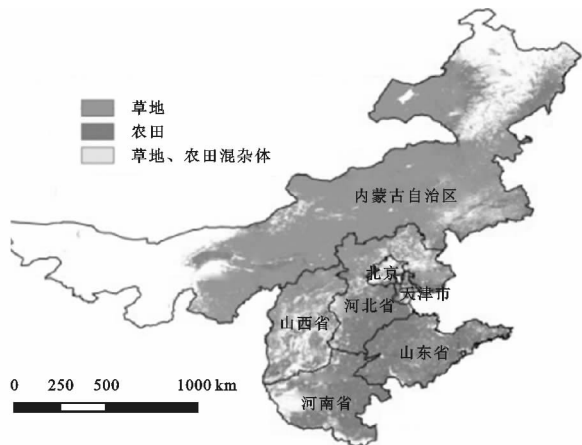


图 1 研究区域

1.2 研究数据

本研究的气象数据采用中国地面气候资料日值、月值降水数据集(1998—2017 年),来源于中国气象数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)。检索下载的数据为华北地区的京津两市、山西、河北、山东、河南、内蒙古及周边城市共 148 个气象站点,在 ArcGIS 环境下将气象站点与华北地区省级行政区划图叠加,得到华北地区内部的气象站点共 121 个,及各省的气象台站详细分布情况(图 2)。

1.3 SPI 的计算原理与等级划分

由于降水量分布一般不是正态分布^[6],而是一种

偏态分布,所以在进行降水分析中,采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化。标准化降水指数 SPI^[6]就是将实测的降水量首先拟合成 Γ 概率分布,然后用高斯函数将其转换为标准正态分布,最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级。

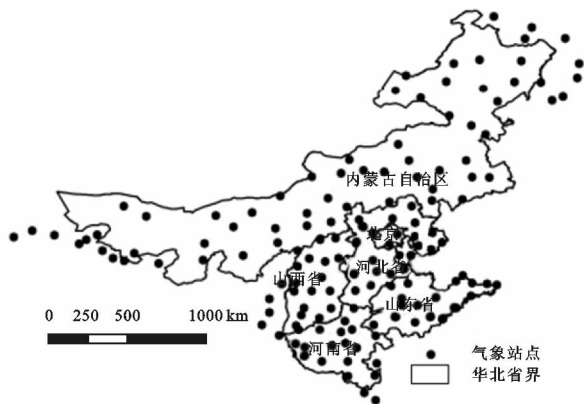


图 2 华北地区气象站点分布

假设某一时段的降水量为 x ,则其 Γ 分布的概率密度函数^[6]为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

式中: $\alpha > 0, \beta > 0$ 分别为尺度和形状参数,可用极大似然估计方法求得。

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{4A/3}}{4A}$$

$$\beta = \bar{x}/\alpha$$

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i$$

式中: x_i 为降水量资料样本, \bar{x} 为降水量多年平均值。

对于某一年的降水量 x ,小于 x 事件的概率为:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

令 $t = \frac{x}{\beta}$,上式变为不完全 gamma 方程:

由于 gamma 方程不包括 $x=0$ 情况,而实际降水量可以为 0,因此累计概率为:

$$P(x) = q + (1-q)G(x)$$

降水量为 0 时的事件概率 q 由 m/n 估计, m 为降水量为 0 的样本数; n 为总样本数。

累计概率 $P(x)$ 通过下式转换为标准正态分布函数:

$$\text{SPI} = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0}$$

式中:SPI 为标准化降水指数; $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2}}$; P 为累计概率 $P(x)$,并当 $P > 0.5$ 时, $P = 1.0 - P$, $S = 1$; 当 $P \leq 0.5$ 时, $S = -1$ 。

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.8028, c_2 = 0.010328,$$

$d_1=1.432788, d_2=0.189269, d_3=0.001308$ 。

本文利用气象站月降水数据计算了 1998—2017 年 $SPI_1, SPI_2, SPI_3, SPI_6, SPI_{12}$ 时间尺度的 SPI 值, SPI_i 表示第 i 月和向前 $i-1$ 个月降水量之和计算的 SPI 值($i=1, 2, 3, 6, 12$), 分析华北地区 1998—2017 年干旱时空分布特征, 按照国家气候中心的划分标准划分干旱等级(表 1)。

表 1 标准化降水指数干旱分级

等级	类型	SPI 值
1	无旱	$-0.5 \leq SPI$
2	轻旱	$-1.0 < SPI \leq -0.5$
3	中旱	$-1.5 < SPI \leq -1.0$
4	重旱	$-2.0 < SPI \leq -1.5$
5	特旱	$SPI \leq -2.0$

注:表中数据来源于国家气候中心《气象干旱等级》(GB/T20481—2006)。

2 结果与分析

2.1 气象干旱时间分析

2.1.1 时间序列年变化特征分析 分别对华北地区 121 个站点同一年 12 个月尺度的 SPI(即 SPI_{12})取平均值,提取 1998—2017 年 SPI 变化曲线(图 3),可以看到 2000 年以后 SPI 负值的出现频率较高,除 2003 年和 2008 年 SPI 为正值外其他年份都为负值,均有一定程度的降水亏缺。其中干旱较为严重的年份为 2000 年、2001 年、2002 年、2006 年、2015 年、2016 年、2017 年。近几年来,干旱情况呈递增趋势。

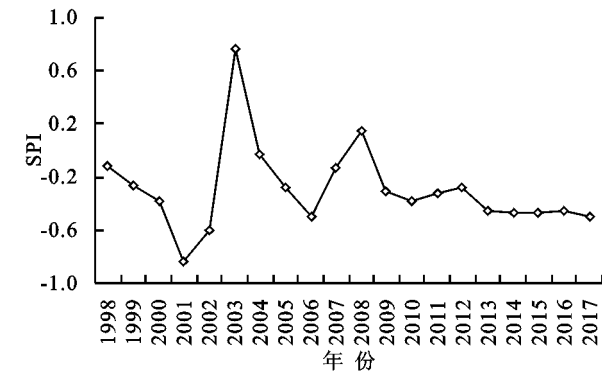


图 3 华北地区年 SPI 变化曲线

从各省市干旱程度变化曲线图(图 4)来看,从 1998—2017 年华北地区各省表现出相似的变化趋势。在 2000 年、2001 年、2002 年、2006 年、2015 年、2016 年、2017 年大多省份均发生不同程度的干旱,甚至出现了 2000 年、2001 年、2002 年、2015 年、2016 年、2017 年连续干旱的情况,总体以河北、内蒙古、山西、河南干旱较为严重。而在 2003 年大多省份(除北京)年 SPI 值较高,均未发生干旱。

2.1.2 月平均值时间序列特征分析 对华北地区 121 个站点同 1 年内的 1 个月尺度 SPI(SPI_1)取平均值得到华北地区 1998—2017 年月 SPI 值变化曲线图(图

5)。从图 5 中可以看出干旱较为严重($SPI < -1.0$)的年份为 2001 年、2002 年、2006 年、2015 年、2016 年及 2017 年。由于时间尺度较短,干旱变化受短时间降水影响较大, SPI 值频繁地上下波动,并且呈现周期性(以 1 a 为周期)特点,大多每年的 1 月份出现峰值,6—8 月份达到谷值。

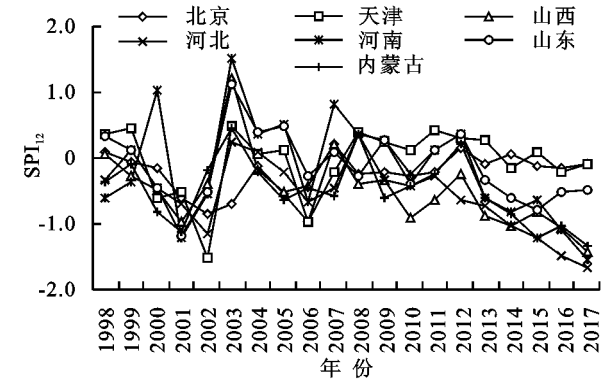


图 4 华北地区各省年 SPI 变化曲线

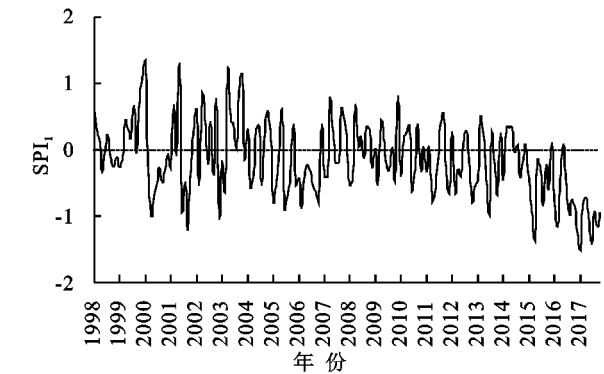


图 5 华北地区 1998—2017 年月尺度 SPI 变化过程

对 1998—2017 年 SPI 值按月统计均值,得到了华北地区月平均 SPI 变化直方图(图 6),从图中可以看出月平均 SPI 值变化趋势为先下降后上升然后再下降再上升的过程。干旱的发生有着明显的季节性变化,表现在植被生长的不同阶段,冬季的 12 月、1 月、2 月 SPI 值较高,11 月干旱严重;春季 3 月份出现谷值;在夏季 7 月、8 月份 SPI 月均值达到最低,干旱最为严重。

2.1.3 季节多年平均变化特征分析 图 7 为对华北地区 1998—2017 年 121 个站点 3 个月尺度 SPI(SPI_3)均值变化曲线图。 SPI_3 变化可较好地反映季节的干旱,1998—2017 年发生春、夏旱较高。发生春旱的年份有 2000 年、2001 年、2002 年、2005 年、2006 年、2009 年、2015 年、2017 年,其中 2001 年、2015 年及 2017 年春旱最严重, SPI 值达到 -1.33 ;发生夏旱的年份有 1998 年、2000 年、2001 年、2006 年、2009 年、2015 年、2016 年、2017 年;发生秋旱的年份有 2002 年、2006 年,其中 2002 年秋旱最严重, SPI 值为 -1.15 。而 2003 年为湿润年,12 个月 SPI 值均为正值,最大 SPI 值达到 1.13, 1999 年、2004 年、2007 年、2008 年、2010 年、2012 年、2013 年、2014 年为正常年。

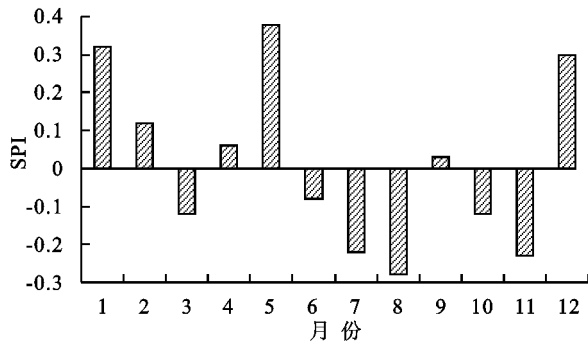


图 6 华北地区 1998—2017 年月平均 SPI 变化

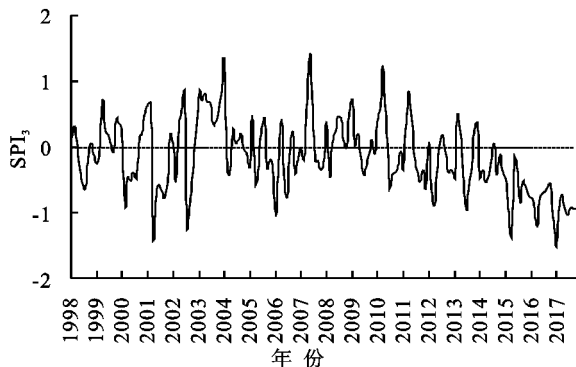


图 7 华北地区 1998—2017 年 3 个月尺度平均 SPI 变化曲线

2.2 气象干旱空间分析

2.2.1 华北各省干旱变化分析 为分析方便,采用 12 个月尺度的 SPI 均值绘制华北地区内蒙古、河北(包括北京、天津在内)、山西、河南、山东 5 省 1998—2017 年 SPI_{12} 变化曲线图(图 8)。华北各省份在 1998—2017 年都发生过不同程度的干旱。主要表现为:内蒙古地区从 1998—2017 年干旱发生频繁,除了 2003 年其他年份都出现了不同程度的干旱,甚至发生 2000 年、2001 年、2002 年和 2006 年、2007 年、2008 年及 2015 年、2016 年、2017 年 3 年连续干旱的情况,干旱最严重的发生在 2001 年的夏季 6—8 月份及 2017 年的 3—5 月, SPI 值达到 -1.17 与 -1.21 。河北地区出现干旱 ($SPI < -0.5$) 的年份有 2000 年、2001 年、2002 年、2003 年、2006 年、2007 年、2013 年、2015 年、2016 年及 2017 年,干旱主要发生在春、夏季节,最严重干旱发生在 2000 年春季与 2017 年春季, SPI 达到 -1.56 。山西干旱相比河北稍轻,主要发生在 1998 年、2000 年、2001 年、2002 年、2005 年、2006 年、2009 年、2010 年、2015 年、2016 年及 2017 年,主要干旱发生在春季。河南干旱主要发生在 1998 年夏季、2000 年的春季、2001 年秋冬、2002 年春季、2003 年秋季、2008 年秋季、2015 年秋季及 2017 年春季时段。山东发生干旱的年份主要有 2000 年、2002 年、2003 年、2007 年、2008 年、2014 年、2015 年、2016 年及 2017 年,发生严重干旱时段为 2002 年夏季到 2003 年初春,月 SPI_{12} 值最低位 -1.52 ,达到重旱程度。

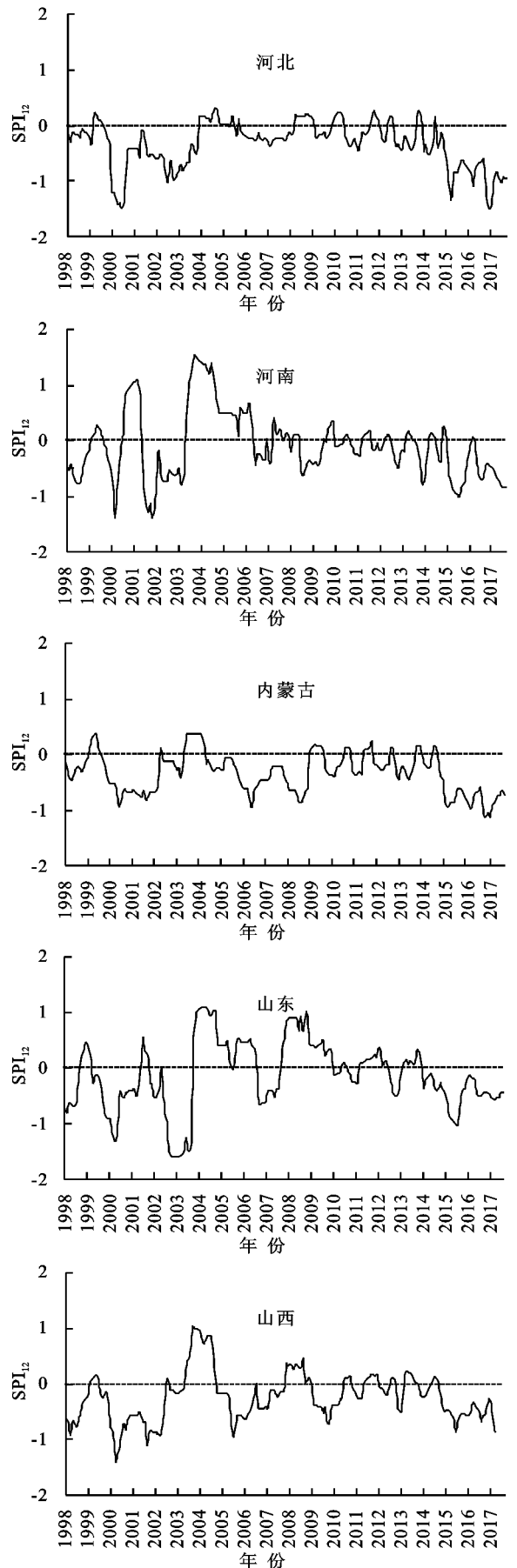


图 8 华北地区各省 1998—2017 年 12 个月尺度平均 SPI 变化曲线

图9为华北地区各省月尺度平均SPI变化曲线图,可见,干旱主要发生月份为3月、7月、8月。河南、山东干旱主要发生在3月份,内蒙古、河北、山西干旱主要发生在7月、8月份,在冬季的12月、1月、2月华北各省都没有明显旱情发生。

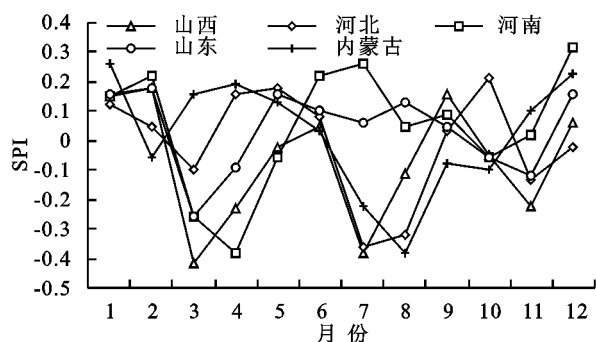


图9 华北各省月尺度平均SPI变化曲线

2.2.2 华北各省干旱空间分布 考虑到华北地区农作物生长发育和农事活动的季节性特征,采用SPI₃对华北地区1998—2017年干旱空间特征进行分析。

对华北地区121个气象站点1998—2017年SPI均值采用克里格内插按照 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 进行空间插值,然后将其转化为栅格数据,得到华北地区季节(3—5月为春季、6—8月为夏季、9—11月为秋季、12—2月为冬季)干旱分布图(附图4)。从干旱的空间分布来看,华北地区的干旱主要发生在春、夏、秋3个季节,但受地理位置、地形、植被等多方面因素的影响,各区域之间发生干旱的情况存在着较明显的季节差异。春旱主要发生在山西、河南、山东西部及内蒙古中东部一带,其中河南、山西两省发生春旱较为严重,干旱面积最大。华北地区夏季发生干旱的面积最广,但各区域之间存在着较明显的差异,其中内蒙古、河北、山西夏季干旱严重。发生秋旱较重的主要区域为内蒙古,河北、河南、山东也出现了轻微干旱现象。相比春、夏、秋3个季节,华北地区冬季干旱很少,几乎没有干旱现象。

3 结论

(1) 华北地区1998—2017年干旱发生频繁,在年与年之间发生干旱的程度和范围有所不同,干旱较严重的发生在1998年、2000年、2001年、2009年、2015年、2016年及2017年。

(2) 在时间尺度上,华北地区干旱主要发生在春、夏、秋3个季节;河南、山东干旱主要发生在3月

份,内蒙古、河北、山西干旱主要发生在7月、8月份,在冬季的12月、1月、2月华北各省都没有明显旱情发生。整体看来,整个华北地区春、夏旱发生频率较高;在2—5月份旱情较轻,6—8月份旱情加重,9—10月份旱情有所缓解。

(3) 在空间尺度上,由于受地理位置、植被等多方面因素的影响,各区域发生干旱情况存在着较明显的差异:河南、山西、山东部分地区春旱较为严重,内蒙古西部地区旱情比较轻,其中春旱主要发生在山西、河南、山东西部及内蒙古中东部一带,内蒙古、河北、山西夏季干旱严重,内蒙古、河北、河南、山东的秋旱较重。

参考文献:

- [1] 屈艳萍,吕娟,苏志诚,等.抗旱减灾研究综述及展望[J].水利学报,2018,49(1):115-125.
- [2] 朱琳,刘健,张晔萍,等. FY-3A/MERSI 数据在中国北方干旱监测中的应用[J].遥感学报,2010,14(5):1004-1016.
- [3] 杨思遥,孟丹,李小娟,等.华北地区2001—2014年植被变化对SPEI气象干旱指数多尺度的响应[J].生态学报,2018,38(3):1028-1039.
- [4] 吴绍飞,张翔,王俊钊,等.基于站点降雨量最优拟合函数的SPI指数计算[J].干旱区地理,2016,39(3):555-564.
- [5] 赵伟,张宇,张智红.1981—2010年重庆地区季节性干旱时空变化特征分析[J].水土保持研究,2016,23(3):192-198,203.
- [6] 朱玲玲,张竟竟,李治国,等.基于SPI的河南省冬小麦生育期干旱时空变化特征分析[J].灌溉排水学报,2018,37(5):51-58.
- [7] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.近54年华北平原干旱时空变化特征及其影响因素[J].北京师范大学学报:自然科学版,2015,11(5):1-7.
- [8] 杨思遥,孟丹,李小娟,等.华北地区2001—2014年植被变化对SPEI气象干旱指数多尺度的响应[J].生态学报,2018,38(3):1029-1039.
- [9] 廖要明,张存杰.基于MCI的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J].气象,2017,43(11):1402-1409.
- [10] 韦潇宇,胡琦,马雪晴,等.基于SPEI的华北平原夏玉米生长季干旱时空变化特征[J].干旱气象,2018,36(4):554-560.
- [11] 王俊霞,朱秀芳,刘宪锋,等.基于多源遥感数据的旱情评价研究:以河南省为例[J].国土资源遥感,2018,30(1):180-186.
- [12] 余方琳,翟石艳,王铮,等.基于SPI的1960—2012年西南地区水稻生长季干旱时空特征分析[J].地理科学,2018,38(5):808-817.