

基于 SPI 指数的内蒙古干旱时空分布特征研究

刘继遥^{1,2}, 春 喜^{1,3}, 梁文军^{1,2}, 宋 洁^{1,2}, 白雪梅^{1,2}, 斯琴毕力格^{1,2}

(1. 内蒙古师范大学 蒙古高原环境与全球变化重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022;

2. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022;

3. 内蒙古师范大学 湿地环境与修复工程实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘 要: 利用内蒙古 47 个气象站点 1961—2013 年的气象资料, 采用线性趋势分析、标准降水指数分析方法, 研究内蒙古近 53 年干旱的时空变化特征. 结果表明: ① 区域年降水量以 -0.0395 mm/a 的速率缓慢下降, 在空间上呈现总体下降、局部上升的格局. ② 春季和冬季降水呈现全区性增加趋势, 秋季东部减少西部增加, 夏季呈全区下降趋势, 且速率 (-0.32 mm/a) 远大于年降水量, 其中半干旱区下降趋势最明显, 是气候变化的敏感地带. ③ 年际尺度 SPI 呈现干旱波动性增强、强度加剧、影响范围扩大并向东移动的趋势, 且与当地环境变化情况相吻合. ④ 季节尺度 SPI 对降水的敏感性更强, 其中各季节干旱逐渐频发且强度加剧, 表明干旱强度是造成研究区生态环境恶化的重要因素, 在空间上季节尺度 SPI 对半干旱到干旱的过渡地带响应最为敏感, 而对极干旱的阿拉善地区敏感性较差, 即 SPI 对降水变率大的地区指示性更好. ⑤ 相对于降水距平法和降水 Z 指数, SPI 在对干旱的定量化和滞后效应的描述方面更加直观且准确, 能为区域干旱情况做出可靠的评价.

关键词: 干旱; 标准降水指数; 降水量; 内蒙古; 线性趋势分析

中图分类号: P 466 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8735(2016)04-0533-07

在全球变暖的大背景下水循环加速, 影响着降水、径流等水文过程^[1], 其中降水量的变率和时空分布引起了学者们的广泛关注^[2-3]. 研究表明近 30 年全球平均降水量微弱增加^[4-5], 但区域差异明显, 即热带地区和高纬度地区降水显著增加, 而副热带地区有所减少^[6], 这种降水量的空间差异导致旱涝灾害频繁发生. 具体而言, 南美洲和北美洲东部湿润趋势明显加剧^[7-8], 但非洲和亚洲南部地区干旱化过程明显, 同时亚洲大陆腹地的干旱—半干旱区气候暖干化趋势显著增强^[1].

我国是典型的季风气候区, 深受全球气候变化的影响. 近 50 a 来, 气温普遍上升, 而降水分布极不均匀, 即各地气温增幅和降水量的时空变化格局存在巨大的地域差异^[9-10]. 长江中下游^[11-12]和西北地区降水量呈上升趋势^[13], 而西南 5 省和华北黄河流域明显下降^[14-15], 位于干旱半干旱过渡带的内蒙古出现西部微增^[16], 整体下降的格局, 同时干旱频率也发生了明显变化^[17]. 但有些学者认为内蒙古降水变化不显著^[18], 二者存在明显分歧. 因此, 内蒙古降水量的空间分布和干旱发生频数、程度和空间格局成为研究的焦点. 本文针对上述问题, 利用近 50 的气象资料分析干旱过程及其区域差异变化情况.

1 资料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古自治区跨越经度约 29° (图 1), 呈现自东北向西南延伸的条带形, 全区年平均气温和年降水量从西向东, 由北向南分别呈 $9.3 \sim -4.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $35 \sim 550 \text{ mm}$ 的分布形式, 是多种气候类型的过渡带, 也是我国气候变化最敏感的地区之一^[19].

1.2 数据来源

本文选取内蒙古境内的 47 个国家气象站点 (图 1) 的逐月降水量数据, 计算其季节和年际变化趋势, 分

收稿日期: 2015-12-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41261008); 国家重大基础研究项目 (2012CB426508); 内蒙古草原英才项目 (CYYC2013103); 内蒙古水安全协同中心项目

作者简介: 刘继遥 (1991—), 女, 黑龙江省伊春县人, 内蒙古师范大学硕士研究生, 主要从事环境管理与环境演变研究

通信作者: 春 喜 (1965—), 男, 内蒙古兴安盟人, 内蒙古师范大学教授, 主要从事环境演变研究, E-mail: chunxi@inmu.edu.cn.

析降水在该区域的时空变化特征.

1.3 研究方法

SPI(Standardized Precipitation Index) 标准化降水指数^[20-21]是将某一时间尺度的降水量序列做 Γ 分布变换, 计算其密度函数的累积概率并进行正态标准化处理. 计算公式为

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx, x > 0.$$

其中: $G(x)$ 为与 Γ 函数相关的降水分布概率; β 和 γ 分别代表尺度参数和形状参数; x 为降水量时间序列, 由于 x 在实际情况中可以是 0, 因此定义累计概率为

$$H(x) = p + (1 - p)G(x).$$

式中 p 表示 $x = 0$ 的概率. 将其化为标准正态分布函数,

$$SPI = \begin{cases} \frac{(c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} - t, & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)}, \quad 0 < H(x) \leq 0.5, \\ t - \frac{(c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0}, & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)}, \quad 0.5 < H(x) \leq 1. \end{cases}$$

式中: $c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$. 其等级分类由中华人民共和国标准《气象干旱等级》^[22] 规定(表 1); SPI_{12} 和 SPI_3 分别表示年际和季节尺度的标准降水指数.

采用最小二乘法计算降水量时间序列的变化趋. 并通过降水距平法和 Z 指数^[23] 与 SPI 的对比探讨其在实际应用中的优越性.

2 结果与分析

2.1 降水量变化趋势

2.1.1 降水量年际变化 近 53 年来, 内蒙古年降水量总体上以 -0.0395 mm/a 的速率缓慢下降(图 2a), 气候呈干旱化趋势. 而从空间分布来看, 降水量的变化趋势有明显的地域差异. 具体而言, 内蒙古大部分地区呈下降趋势, 尤其东南部地区下降趋势明显, 其中宝国图等站速率均超过 -1 mm/a . 仅东北部的呼伦贝尔和西部的鄂尔多斯、巴彦诺尔和阿拉善东部的部分地区有上升趋势, 且变化幅度较小. 因此降水量呈现整体下降, 局部上升的格局(图 2b), 其中位于中部的半干旱区变化最为明显.

2.1.2 降水量季节变化 在季节尺度上(图 3), 春季除东北和西部地区少数站点外, 其余地区均表现为上升趋势. 同样冬季在通辽南部、锡林郭勒盟中部和阿拉善东南部以下降趋势为主, 占总站点数的 27%, 而 73% 以降水量上升为特征. 因此, 春季和冬季降水量几乎为全区性增加, 秋季以西部上升, 东部下降的形式分布.

夏季除呼伦贝尔东部、鄂尔多斯和巴彦诺尔等地的 12 个站点上升外, 其余 35 个站点均呈现下降趋势. 由于内蒙古夏季降水量占全年的 60%~80%, 且下降速度(-0.32 mm/a)远大于年降水量, 对全区干旱分布影响极大. 尤其是位于半干旱区的内蒙古东南部地区, 夏季降水下降速度超过 -1 mm/a , 并且秋冬季节也表现出了相同的趋势, 因此该区域对气候变化的响应最敏感.

2.2 标准降水指数(SPI)时空变化分析

2.2.1 SPI_{12} 时间变化 表 2 为 10 年尺度的干旱频数, 具体而言, 20 世纪 60 年代的 7 次干旱基本发生在

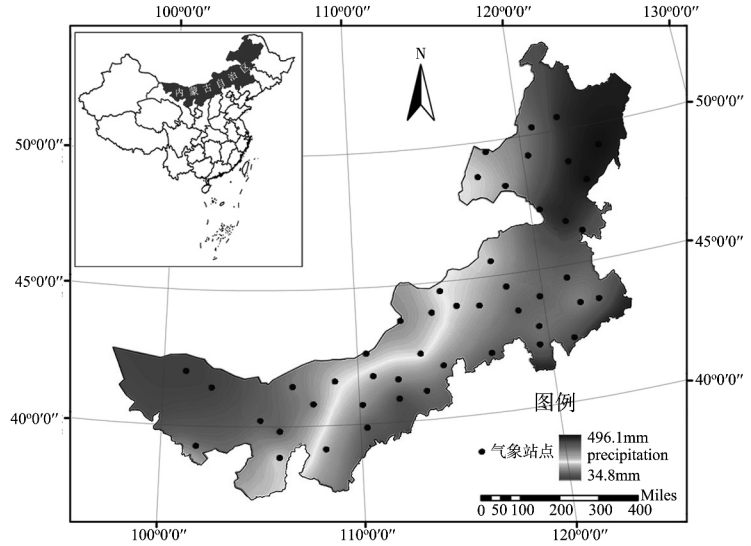


图 1 研究区降水量分布及站点位置

Fig. 1 Distribution of precipitation and meteorology stations in study area

表 1 标准降水指数(SPI)分级

Tab. 1 Classification of SPI

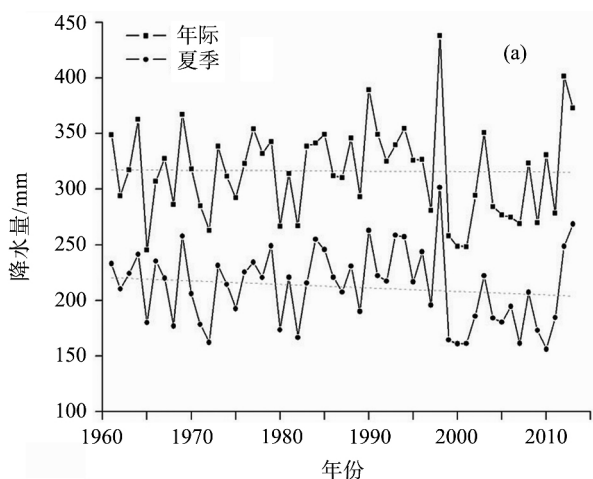
SPI 值	干旱分类
$-0.5 < SPI < 0.5$	正常
$-1 < SPI \leq -0.5$	轻旱
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	中旱
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	重旱
$SPI \leq -2.0$	特旱

1965 年前后,其中重旱 3 次,对应时段的极少降水量导致环境恶化;然而尽管 70 年代出现 6 次,但以轻度干旱为主;80 年代的 5 次干旱中包括 4 次中旱;而 90 年代轻旱发生 4 次,干旱强度较弱;2001—2010 年的十年十旱无论在频数还是强度上均为 50 年之最,而且 1999 年到 2002 年连续 4 年的干旱对内蒙古地区人类生产生活和社会经济发展造成极大影响.据资料记载 2001 年新巴尔虎右旗旱灾面积达到可利用草场的 88.4%,受灾牲畜 80 余万头,占总量的 55.9%^[24],此类现象同样发生在其他地区,全区生态环境极度恶化.因此,全区范围内 SPI12 普遍出现波动性增强,干旱强度加剧的总体变化趋势.

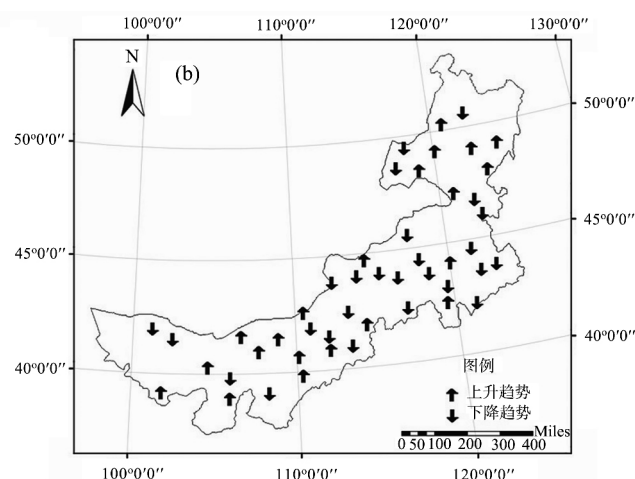
表 2 SPI12 四类干旱各年代次数

Tab. 2 The times of 4 types drought of SPI12 in every decade

干旱程度	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
轻度	4	4	1	4	2
中度	0	1	4	0	2
重度	3	1	0	1	4
极度	0	0	0	0	2
总计	7	6	5	5	10



a 区域平均年降水量及夏季降水量



b 各站点年降水变化趋势

图 2 年降水时空变化趋势

Fig. 2 Temporal-Spatial trend of annual precipitation

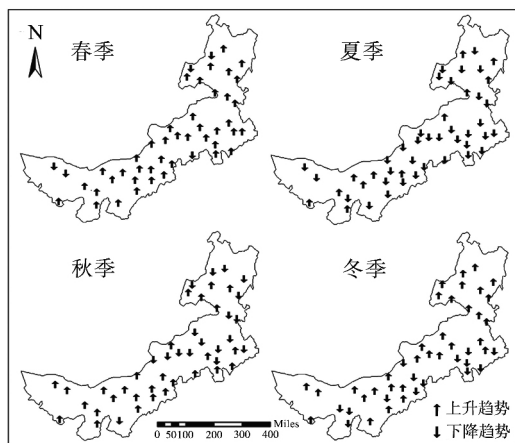


图 3 季节降水变化趋势

Fig. 3 The trend of seasonal precipitation

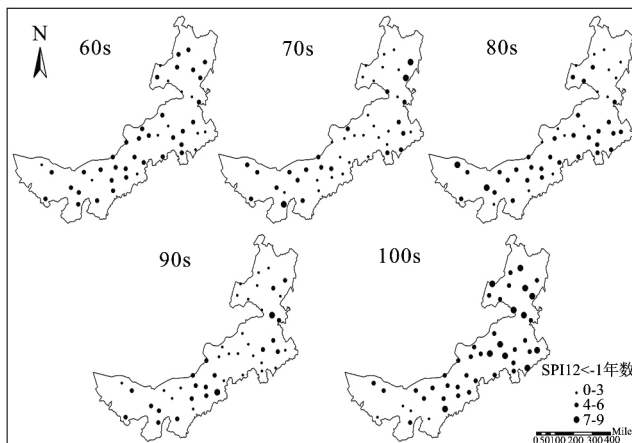


图 4 各年代 SPI12 < -1 次数分布

Fig. 4 The times of SPI12 < -1 in every decade

2.2.2 SPI12 空间变化 图 4 为轻度以上干旱 (SPI < -1) 在各年代出现的次数,空间差异明显.

1960s 大多数地区发生 3~5 年干旱,其中阿拉善、巴彦诺尔和鄂尔多斯部分地区出现 6~7 次,是干旱高发带;1970s 巴彦诺尔、呼伦贝尔和阿拉善东部超过 6 次,其他地区均不超过 5 次;到 1980s 除呼伦贝尔东

部不足 3 次外,中部地区增加至 3~5 次,半干旱区内部分站点甚至出现 6~7 次,而阿拉善西部最为频繁,其中额济纳旗十年九旱. 1990s 东部的呼伦贝尔和中部的乌兰察布部分地区在 5 次以上,锡林郭勒以东部分地区为 0~2 次,西部地区相对前 30 年频次大大下降;然而 2000s 干旱次数在东部地区增加,西部减少的格局极为明显,呼伦贝尔和通辽部分地区出现 8~9 次干旱,中部地区多为 6~7 次,该情况与对应地带的生态环境状况吻合,如呼伦湖水位下降 2.7 m^[25],锡林郭勒盟的查干诺尔西湖在 2002 年彻底干涸等,环境极度恶化,而阿拉善和巴彦诺尔等地均不超过 5 次.

综上所述,不同年代各地域干旱情况分布不均,但各地几乎都呈现干旱频率增加,而且干旱向东移动且范围有扩大趋势.

2.2.3 SPI3 时间变化 SPI3 相对 SPI12 对降水的敏感性更强,因此干旱发生的概率明显增加,且不同年代上各类干旱出现的频率差异明显(表 3).

表 3 SPI3 各年代次数

Tab. 3 The times of 4 types drought of SPI12 in every decadal season

年代	春				夏				秋				冬			
	轻	中	重	极	轻	中	重	极	轻	中	重	极	轻	中	重	极
1960s	5	2	0	1	1	2	1	1	2	0	2	1	2	1	2	1
1970s	4	2	1	0	2	1	3	0	5	1	0	0	2	2	2	0
1980s	4	2	1	0	2	3	0	0	1	2	0	0	4	3	0	0
1990s	5	1	1	0	1	2	0	1	2	3	1	0	1	2	1	0
2000s	1	3	0	0	2	2	3	0	2	2	3	1	2	0	0	1
总计	19	10	3	1	8	10	7	2	12	8	6	2	11	8	5	2

春季干旱在四季节中频率最高,共出现 33 次,其中 1961~2000 年间出现 7~8 次,且均以轻旱为主,而 2000 年代虽只有 4 次,但强度明显加剧,中旱占 3 次. 由于春季是返青季节,故对植被的发芽和生长产生极大影响. 而冬季降水的绝对量极少,对植被生长影响微乎其微,因此即使冬季干旱在各年代发生的次数不少,但对区域生态环境的影响也几乎可忽略.

夏季虽然干旱次数较少,但强度明显加剧,尤其在 2000s 干旱的次数和强度都有所增加,与该时段生态环境严重恶化相吻合. 同样秋季干旱也出现了频率增加,强度加剧的现象,并且常与夏季干旱相连,对农牧业生产极为不利. 综上可知,除冬季外,各季节干旱强度有加剧的趋势,尤其夏季频率和强度自 1980 年代均有增加和增强趋势,表明干旱强度加剧是造成研究区生态环境恶化的主要因素.

2.2.4 SPI3 空间变化 图 5 为各站点 SPI3<-1 发生次数的空间分布,区域间差异明显. 春季和冬季的干旱次数分布较为相似,均呈东部和中部多而西北少的分布特征,而且阿拉善西部小于 10 次,但冬季在中部多数地区超过 20 次,多于春季,而东北部较少. 夏秋季节在区域间的频率差异有所减小,各地均超过 10 次,其中在东部通辽一带秋季干旱达到 19 次以上,而其他地区以 11~15 次为主,夏季干旱主要集中在东部的赤峰、中部的锡林郭勒盟和西部的鄂尔多斯等地,而东北的呼伦贝尔和阿拉善西部较少. 由此可知,SPI3 能够较好地反映内蒙古各地区的干旱频率,而该指数在中部半干旱到干旱的过渡地带最为敏感,而对极干旱的阿拉善和半湿润地区敏感性较差,即 SPI 对降水变率大的地区指示性更好.

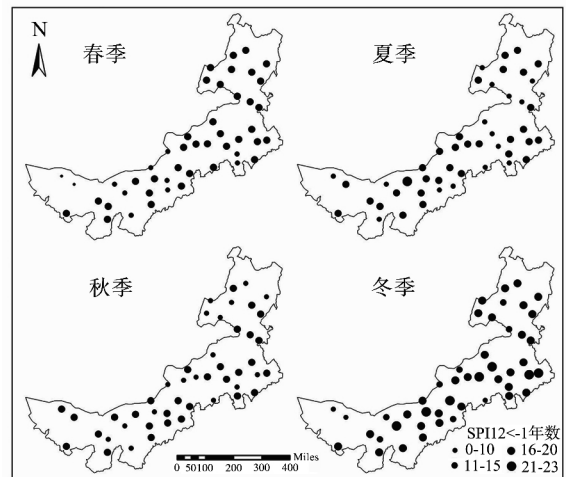


图 5 各季节 SPI3<-1 年份数量分布

Fig. 5 The times of SPI3<-1 in every season

2.3 降水距平和降水Z指数年际变化

通过计算内蒙古年降水量的降水距平(图6a)可知,1960s在1965年降水最少,1970s和1980s正负距平状况相似,而1980s相对干旱;1990s为正距平最多的10年,尤其在1998年超过多年平均120mm,此后降水急剧减少,2000年后,负距平达到8年,而除2012年外正距平值均不足40mm,近53年来相对最为干旱。

降水Z指数(图6b)对干旱状况进行了量化描述,由图可知该指数干湿变化的情况与降水距平结果高度一致,相关系数超过0.90,即1960s较为干旱,1970s和1980s相对正常,1990s最为湿润,而2000年后旱情加剧,8年干旱中有3年达到严重干旱,导致环境极度恶化。

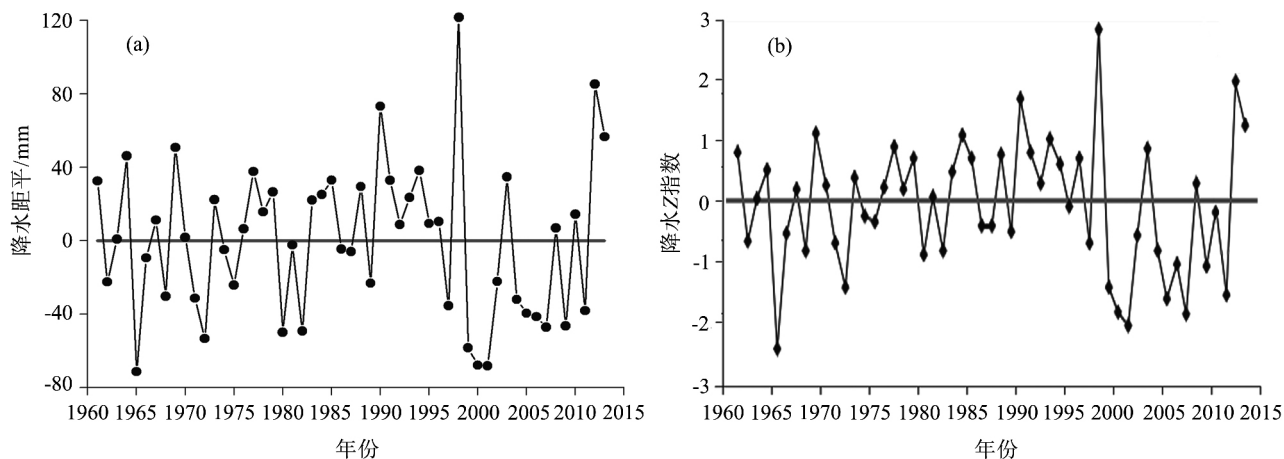


图6 年降水距平图和年降水Z指数分布图

Fig. 6 Anomaly figure a and Z index b distribution of annual precipitation

3 结论与讨论

(1) 内蒙古年降水量整体以 -0.0395 mm/a 的速率缓慢下降,呈全区性干旱化,而在空间上呈现总体下降,局部上升的区域变化趋势。

(2) 降水量季节变化趋势的地带性明显:春季和冬季呈全区性增加;秋季东部减少西部增加;夏季的下降速率(-0.32 mm/a)远大于年降水量.其中半干旱区的下降趋势最明显,是气候变化的敏感地带。

(3) 由年际尺度SPI可知区域呈现干旱波动性增强,干旱强度加剧的趋势,尤其1999年后该现象更加明显.在空间上各年代干旱分布差异明显,呈现干旱频率增加,范围扩大并有向东移动的趋势。

(4) 季节尺度SPI对降水的敏感性更强,春夏秋季节干旱强度加剧,表明干旱强度是造成区域环境恶化的主要因素.在空间上,SPI对半干旱到干旱的过渡地带响应最为敏感,而对极干旱地区敏感性较差,即SPI对降水变率大的地区指示性更好。

(5) 降水距平和降水Z指数的结果一致性较好,即1960s和1990s分别为干旱和湿润期,而2000年后干旱程度为近50年之最。

根据上述结论可知,SPI对内蒙古地区在时间和空间上的干旱情况进行了合理评价,同时通过对降水距平法的分析,了解到其相对于SPI并未对干旱等级进行划分,而降水Z指数虽然能够量化干旱程度,但并未表现出干旱的滞后效应,例如虽然2003年降水量有所增加,但因1998年后连续三年的极少降水导致该年气候环境未能达到相对湿润的水平,从这一角度可知SPI的滞后效应对区域生态环境实际情况表现更为客观,能为区域干旱提供可靠的评价.另外本文仅针对降水量这一气候要素进行了分析和讨论,与其他因素的结合以及对未来气候变化情况的预测将成为此后研究的重点。

参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policy makers of the Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report [M]. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 2013.

- [2] Gao G, Chen D L, Xu C Y, et al. Trend of estimated actual evapotranspiration over China during 1960—2002 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 112: D11120.
- [3] Zhang Q, Xu C Y, Becker S, et al. Trends and abrupt changes of precipitation maxima in the Pearl River basin, China [J]. *Atmosphere Science Letters*, 2009, DOI:10.1002/asl.211.
- [4] Gu G, Adler R F, Huffman G, et al. Tropical rainfall variability on interannual-to-interdecadal / longer-time scales derived from the GPCP monthly product [J]. *Journal of Climate*, 2007, 20: 4033-4046.
- [5] John V O, Allan R P, Soden B J. How robust are observed and simulated precipitation responses to tropical ocean warming? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36: L14702.
- [6] Groisman P, Karl T, Easterling D, et al. Change in the probability of extreme precipitation: important indicators of climate change [J]. *Climatic Change*, 1999, 42: 243-283.
- [7] New M, Todd M, Hulme M, et al. Precipitation measurements and trend in the twentieth century [J]. *International Journal Climatology*, 2001, 21(15): 1889-1922.
- [8] Trenberth K, Jones P, Ambenje P, et al. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change [C]//Solomon S, Qin D, Manning M, et al. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge Cambridge University Press, 2007: 235-336.
- [9] Wang Hui jun. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970s [J]. *Advances Atmosphere Science*, 2001, 18(3): 376-386.
- [10] Zhu Jinhong, Wang Shaowu. 80a-oscillation of summer rainfall over the east part of China and East-Asian summer monsoon [J]. *Advances Atmosphere Science*, 2001, 18(5): 1043-1051.
- [11] 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系 [J]. *气象学报*, 2003, 61(6): 641-654.
- [12] 张庆云, 吕俊梅, 杨莲梅, 等. 夏季中国降水型的年代际变化与大气内部动力过程及外强迫因子关系 [J]. *大气科学*, 2007, 30(6): 290-300.
- [13] 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.
- [14] 李鹏飞, 赵昕奕. 2009—2011 年中国西南五省的降水异常 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(6): 1083-1097.
- [15] Liu Q, Yang Z, Cui B. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961—2006 in Yellow River Basin, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 361: 330-338.
- [16] 春喜, 丹丹, 毕力格, 等. 阿拉善高原近 60 年的气候变化 [J]. *水文*, 2013, 33(2): 43-50.
- [17] 王素萍, 张存杰, 李耀辉, 等. 基于标准化降水指数的 1960—2011 年中国不同时间尺度干旱特征 [J]. *中国沙漠*, 2014, 34(3): 827-834.
- [18] 王菱, 甄霖, 刘雪林, 等. 蒙古高原中部气候变化及影响因素比较研究 [J]. *地理研究*, 2008, 27(1): 171-180.
- [19] 侯琼, 乌兰巴特尔. 内蒙古典型草原区近 40 年气候变化及其对土壤水分的影响 [J]. *气象科技*, 2006, 34(1): 102-106.
- [20] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [J]. *Eighth Conf on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer Meteor Soc, 1993(1): 179-184.
- [21] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple time scales [J]. *Ninth Conf. on Applied Climatology*, Dallas, TX, Amer Meteor Soc, 1995: 233-236.
- [22] 国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准农业干旱预警等级 (GB-42) [Z]. 2007-11-10.
- [23] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥. 西北地区旱涝指标的研究 [J]. *高原气象*, 1998, 17(4): 381-389.
- [24] 内蒙古自治区统计局编, 内蒙古统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [25] 赵慧颖, 李成才, 赵恒和, 等. 呼伦湖湿地气候变化及其对水环境的影响 [J]. *冰川冻土*, 2007, 29(5): 795-801.

Dryness Temporal-Spatial Distribution Based on Standardized Precipitation Index in Inner Mongolia

LIU Ji-yao^{1,2}, Chunxi^{1,3}, LIANG Wen-jun^{1,2}, SONG Jie^{1,2}, BAI Xue-mei^{1,2}, Siqinbilige^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mongolian Plateau Environment and Global Change, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 2. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 3. Inner Mongolia Repair Engineering Laboratory of Wetland Eco-environment System, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China)

Abstract: In order to monitor the drought disaster variation in Inner Mongolia, the fundamental characteristics and temporal-spatial distribution of the drought disaster were analyzed using methods of linear regression and Standardized Precipitation Index based on climate data from 1961 to 2013. The results of trend analysis showed that annual precipitation in research area had a downward trend with a rate of -0.0395 mm/a, and the pattern of a decrease trend in the whole area and an increase trend in locality was significant spatially. In addition, there were obvious differences between every seasonal precipitation, an upward trend over the total area was showed in spring and winter, autumn with a decrease-increase situation from west to east, and summer decreased faster than annual precipitation with a rate of -0.32 mm/a. In spatial pattern, the most significant downward trend occurred in semi-arid region, which is sensitive to climate change. The drought volatility and intensity enhance was analyzed by SPI12, with the range of influence enlarging and moving to east. While the SPI3 was more sensitive to short period rainfall, indicating that increasing intensity of drought resulted in the eco-environment degeneration, where semi-arid region as seasonal drought high incidence area was extremely sensitive to climate changes, which means that SPI was a good monitor to the area owning larger precipitation changing rate. Compared with precipitation anomaly and precipitation Z index, SPI was more perceptual and accurate in quantify and procrastination effect descriptions, which could evaluate the area drought condition reliably.

Key words: drought; standard precipitation index; precipitation; Inner Mongolia; linear regression

【责任编辑 金淑兰】

(上接第 532 页)

Study of Improved Algorithm Based on SEP in WSN

FANG Hui-rong, LIAO Chuan-zhu

(College of Chemical and Environmental Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China)

Abstract: For the issue of network lifetime of wireless sensor network (WSN), a node Energy Consumption based Stability Election Protocol (EC-SEP) is proposed. In two level heterogeneity network, EC-SEP combines node energy consumption rate with traditional SEP cluster head election mechanism, and update node election probabilities in each round, therefore increase the election probabilities of nodes with higher residual energy, so as to balance node energy consumption as well as increase lifetime and throughput of network. Experimental results illustrate that, compared with LEACH, SEP and ESEP protocol, EC-SEP may provide better performance on network stability and throughput.

Key words: wireless sensor network; stability election protocol; energy consumption factor; network lifetime

【责任编辑 金淑兰】