

气温突变下内蒙古大兴安岭林区旱涝演变

边玉明¹, 代海燕², 张秋良^{1*}, 王冰¹, 江鹏³, 吕竟斌⁴

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051;
3. 河北小五台山国家级自然保护区, 河北 蔚县 075700; 4. 赤峰市元宝山区林业局, 内蒙古 赤峰 024076)

摘要:【目的】探明内蒙古大兴安岭林区气候变化趋势及早涝演变特征。【方法】基于内蒙古大兴安岭林区11个气象站1971—2015年年平均气温和月降水连续观测数据,利用一元线性回归、Mann-Kendall法以及标准化降水指数(SPI)方法进行了研究。【结果】①内蒙古大兴安岭林区年降水量在近1971—2015年来整体呈波动上升趋势,年际变化倾向率为8.86 mm/10 a,但未通过显著性检验;年平均气温也呈上升趋势,并且通过0.001的显著性水平检验,年际变化率为0.4 °C/10 a;②林区年平均气温在1987年发生增温突变,气温突变以后年降水量倾向率明显减小;③1971—2015年来林区旱涝频繁发生,20世纪70年代与21世纪00年代SPI₁₂多小于0,这2个时期干旱发生较为频繁,而20世纪80年代至90年代以及21世纪10年代降水较多,这2个时期相对湿润,旱灾发生频率较低。【结论】1987年增温突变以后,林区旱涝事件发生更加频繁,并呈向极端干旱和极端湿润的方向发展;年时间尺度的SPI反映林区降水变化情况比较理想。

关键词:气温突变;大兴安岭林区;标准化降水指数;旱涝演变

中图分类号:P426.6

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0442

边玉明,代海燕,张秋良,等. 气温突变下内蒙古大兴安岭林区旱涝演变[J]. 灌溉排水学报,2018,37(4):106-112.

0 引言

研究表明,当前全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化。根据政府气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第一工作组第五次评估报告,1951—2012年全球平均地表温度的升温速率是1880年以来升温速率的2倍^[1];中国陆地表面平均温度上升趋势与全球基本一致^[2]。全球气候变暖,特别是大陆中高纬度的显著变暖^[3],不仅致使平均温度发生变化,而且导致极端温度、干旱等极端气候事件的发生频率与强度呈加剧趋势,更使旱涝发生频率增加,水分循环加快。气温变化,降水量将会发生相应变化,从而对社会生产生活产生重大影响。由于受季风气候和地形等因素影响,导致水热分布不均匀,旱涝事件频发,在我国大部分地区气温呈增加而降水呈减少趋势,暖干化现象日趋严重^[4],这对植物生长、农林业生产乃至生态平衡和水文循环都会产生深刻影响,进而引起一系列生态环境问题,如河流断流、湿地萎缩、森林草场退化等,甚至也给人类社会带来灾难性后果。

内蒙古大兴安岭林区具有典型的区域气候条件,是亚欧大陆北方森林带的重要组成部分,大兴安岭山脉贯穿整个林区,其森林生态系统在涵养水源、保持水土、保护生物多样性等方面发挥着不可替代的重要作用,被誉为“祖国北方的重要生态屏障”。同时,也是我国“气候脆弱区”和气候变化响应最为敏感区之一^[5],一旦破坏,不可复制。近年来,该地区由于气象灾害(高温、冻害等)带来的损失愈加严重,旱涝灾害对林业、农业、生态环境等影响更为显著。因此开展旱涝评估、监测与预测研究,对该区合理进行农林业生产以及生态修复等具有重要意义,而气候旱涝演变不仅应考虑降水量对气温变化的响应,还应考虑气温变化对旱涝的影响^[4]。目前,SPI在旱涝研究中已经广泛应用^[6-11],而且对内蒙古地区也有大量研究^[12-14],选择研究区分布

收稿日期:2017-07-24

基金项目:中国科学院野外站联盟项目(KFJ-SW-YW026)

作者简介:边玉明(1992-),男,河北保定人。硕士研究生,主要研究方向为森林资源经营与管理。E-mail: bianyuming0801@126.com

通信作者:张秋良(1960-),男,内蒙古呼和浩特人。教授,博士生导师,博士,主要从事森林资源经营与管理与森林生态方向。

E-mail: 18686028468@163.com

的11个气象站点(图1),站点较全面,可以完全反映林区气温与降水情况。利用内蒙古大兴安岭林区11个气象站1971—2005年年平均气温和月降水的连续观测数据,基于标准化降水指数(SPI)对该地区气温突变前后气候干湿演变进行了分析,对该地区气候变化、灾害防治、农林业生产以及水资源配置等研究都具有一定的科学参考价值。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古大兴安岭林区位于我国东北地区(图1),地理坐标119°36'20"—125°20'50"E,46°08'40"—53°20'00"N,地处我国高纬度地带,南北跨7个纬度,地域辽阔,东部与黑龙江省接壤,南至洮儿河,西部与呼伦贝尔大草原相连,西北部与俄罗斯毗邻,地跨呼伦贝尔市、兴安盟等9个旗市,是我国最大的集中连片的国有林区,森林覆盖率平均为80.5%,部分地区达91%。林区属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长而寒冷,夏季短暂而炎热;年平均气温为-3.2℃,极端气温达-50.2℃。

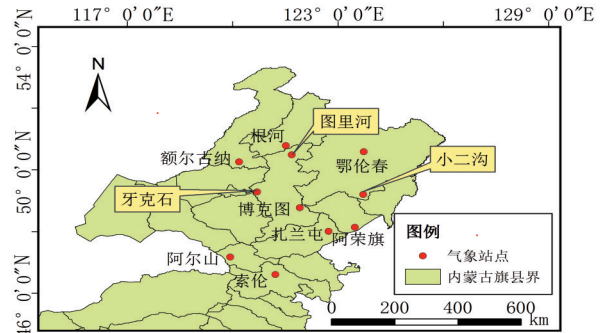


图1 内蒙古大兴安岭林区站点分布

1.2 资料选取及处理

选取内蒙古大兴安岭林区(以下简称林区)11个站点(呼伦贝尔市9个,兴安盟2个)年平均气温与月降水观测数据,数据资料由内蒙古自治区气象局提供。1971—2015年数据较为完整,缺失值较少,缺失值用简单的线性法进行插补。用11个站点气象数据均值代表整个林区。

1.3 研究方法

运用最小二乘法计算年平均气温和年降水量年际变化趋势^[15],并借助SPSS19.0软件进行显著性检验;采用Mann-Kendall法进行气温突变检验,Mann-Kendall法是一种非参数统计检验方法^[16-17],其样本可以服从任何分布,也不受其他异常值的干扰,比较适合顺序类型的检验,同时可以明确指出突变的大致开始时间,目前已广泛应用于降水、气温等方面研究^[18-19],此过程在MATLAB 9.0软件平台的支持下实现。

SPI	旱涝等级
$SPI > 2$	极端湿润
$1.5 > SPI \leq 2$	严重湿润
$1 > SPI \leq 1.5$	中度湿润
$0.5 > SPI \leq 1$	轻微湿润
$-0.5 > SPI \leq 0.5$	正常
$-1 > SPI \leq -0.5$	轻微干旱
$-1.5 > SPI \leq -1$	中度干旱
$-2 > SPI \leq -1.5$	严重干旱
$SPI \leq -2$	极端干旱

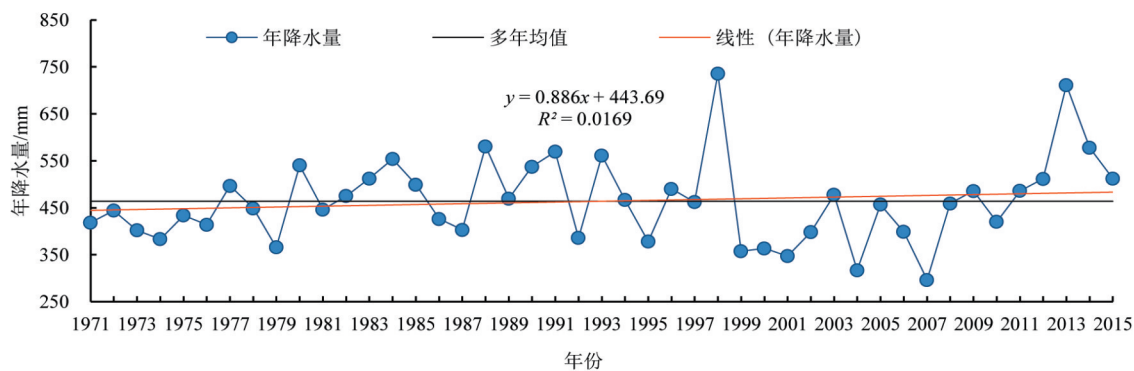
标准化降水指数(SPI)是最早由Mckee等^[20]提出的一种只需利用连续时间段(30 a以上)的降水量数据就可以很好地表达干旱状况的指数。SPI为某时段降水量出现概率多少的指标,适用于月尺度及以上相对于当地气候状况的干旱监测与评估,能够反映不同区域和不同时间段的干旱状况,其具体计算方法详见参考文献[21-22],旱涝等级划分见表1。不同时间尺度SPI体现水分亏盈的侧重点不同,兹采用1个月(SPI_1)、3个月或季(SPI_3)、6个月或半年(SPI_6)和12个月或年时间尺度(SPI_{12})分别用来反映林区短期和长期降水变化格局。

2 结果与分析

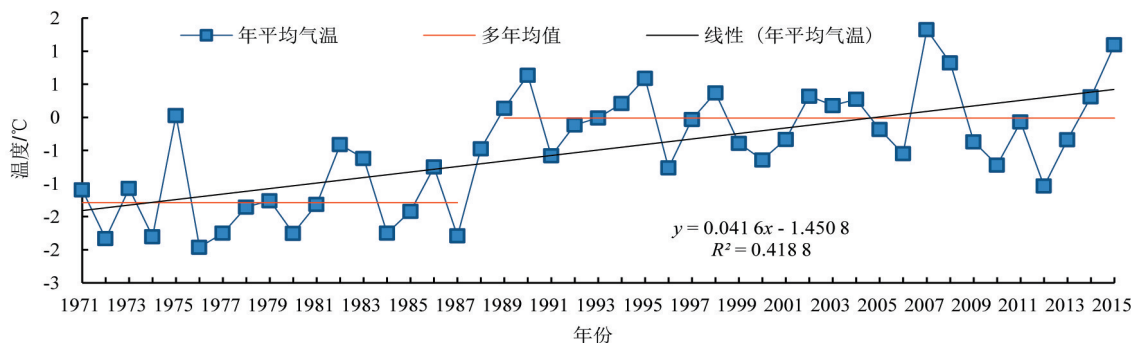
2.1 气候变化分析

内蒙古大兴安岭林区年平均气温与年降水量变化趋势分析见图2。由图2(a)可知,年降水量在1971—2015年整体呈波动上升趋势,但未通过显著性水平检验,年际变化倾斜率为8.86 mm/10 a,最大值出现在1998年为737 mm,最小值出现在2007年仅为299 mm,降水量多年均值为465 mm,其中1971—1976年、1999—2010年降水量相对较少,处于均值线以下。

此外,林区年平均气温也呈显著上升趋势,详见图2(b),与年份相关系数为0.647 1,通过0.001的显著性水平检验,年际变化率为0.4℃/10 a,该上升速率明显高于全国近百年来上升速率^[23],其最大值出现在2007年为1.32℃,最小值出现在1976年为-1.96℃,其中在1987—1990年间波动较明显。



(a) 年降水量



(b) 年平均气温

图2 林区年降水量和年平均气温趋势分析

2.2 年平均气温突变检验

图3为林区1971—2015年年平均气温Mann-Kendall突变检验。由图3可知,UF曲线在1980年以后一直在0水平线以上,说明年平均气温在1980年一直呈上升趋势,持续时间较长,并在1990年以后上升趋势通过0.05显著性水平检验。UF和UB曲线在置信区间内出现1个交点,因此可断定林区年平均气温在1987年发生突变,这与向辽元等^[24]研究结果一致。

应用气候倾向率对林区11个站点气温突变前后的年降水进行分析(表2),结果发现林区11个站点年平均气温都发生1次增温突变,突变大致发生时间为1987年前后,增温突变以前降水气候倾向率明显大于突变以后,并且小二沟、鄂伦春、额尔古纳、博克图、阿荣旗降水倾向率呈现负增长,说明1987年以后内蒙古大兴安岭林区降水增幅变小,并且部分地区开始出现暖干化趋势。

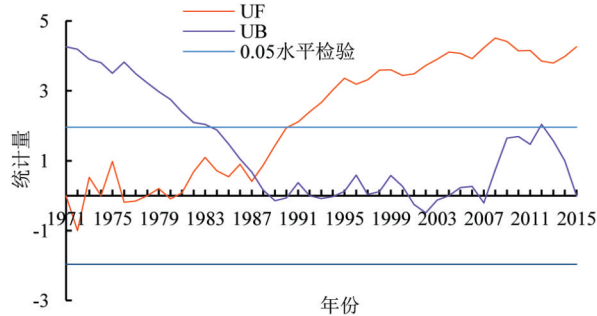


图3 林区年平均气温突变分析

表2 林区各个站点降水气候倾向率变化

站点	气温突变年份	降水气候倾向率变化情况/(10 ⁴ mm·a ⁻¹)	
		气温突变前	气温突变后
扎兰屯	1986	54.22	5.49
牙克石	1987	23.54	6.42
小二沟	1988	78.43	-15.67
图里河	1986	99.79	6.07
索伦	1988	61.42	31.35
根河	1985	90.21	19.12
鄂伦春	1987	70.33	-7.13
额尔古纳	1987	14.55	-14.62
博克图	1988	49.10	-3.30
阿荣旗	1988	63.15	-0.32
阿尔山	1988	33.52	9.46

2.3 旱涝变化特征

2.3.1 旱涝趋势变化特征

在短时间尺度上(图4(a)),林区 SPI_1 震荡波动,各月变化幅度较大,旱涝月份交替频繁出现,在1971—2015年只有1998年与2013年出现连续的湿润月份,10个连续以上的旱月没有出现;同样, SPI_3 也呈震荡波动(图4(b)),旱涝季交替频繁发生,各季节降水持续性较弱,旱季主要为春季;在1998年与2013年出现极端湿润季,2007年出现明显的冬春连旱。

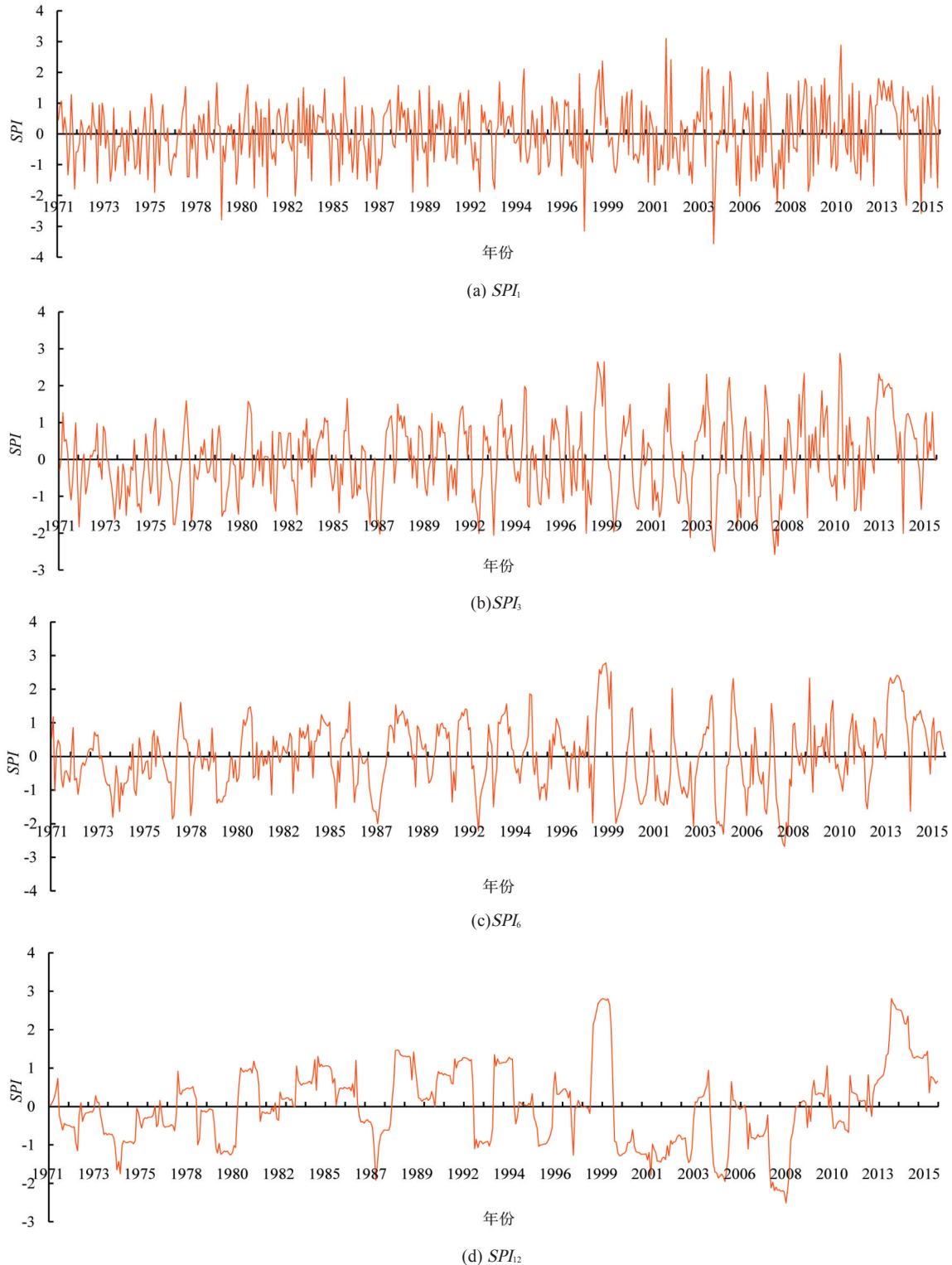


图4 林区旱涝趋势变化特征分析

SPI_6 和 SPI_{12} 可以反映林区长期降水变化情况,并对河流量、地表径流、地下水位有很好地反映情况(图4(c)和(图4(d)))。在6个月时间尺度下,连续性干旱主要集中在1973—1975年、1999—2008年,连续

性湿润主要集中在1988—1992年、2012—2015年。由图4(d)可知,1971—2015年林区旱涝频繁发生, SPI_{12} 大致主要经历了4个阶段:下降—上升—下降—上升,即20世纪70年代与21世纪00年代 SPI_{12} 多小于0,这2个时期干旱发生较为频繁;20世纪80年代、90年代以及21世纪10年代降水较多,这时相对湿润,旱灾发生频率较低。近45 a来共发生极端干旱1次(2008年),严重干旱4次(1974、1987、2005、2007年),中度干旱9次(1972、1979、1980、1992、1996、1999、2000、2001、2003年),可知干旱主要集中于21世纪初期,根据年降水量变化趋势图,可明显看出1999—2011年降水量相对较少,文献[13]也记载内蒙古2001—2010年间发生干旱频率和强度均为近50 a之最,因此, SPI_{12} 更能反映林区降水变化情况。此外,极端湿润发生2次(1998年与2013年),严重湿润发生1次(1988年),中度湿润发生6次(1980、1981、1984、1991、1994、2014年)。随着时间尺度延长,无论短期还是长期的 SPI 波动明显增大,连续性越来越明显,说明林区连续性干旱和连续性湿润发生的频率逐渐增多,并且呈向极端干旱和极端湿润的方向发展。

2.3.2 旱涝频率变化特征

在计算不同时间尺度 SPI 的同时,根据旱涝等级划分标准对每年中出现旱涝的月份也进行了统计(图5(a)和图5(b)),并对气温突变前与气温突变后所有年份旱涝月份出现频率进行了计算。由图5可知,在月时间尺度下,气温突变以前(1971—1987年)正常月份出现频率为40%,极端湿润、严重湿润、极端干旱和严重干旱的月份出现频率在5%以下,在气温突变以后(1988—2015年),正常月份出现频率为35%,极端湿润、严重湿润、极端干旱和严重干旱的月份出现频率明显增多。

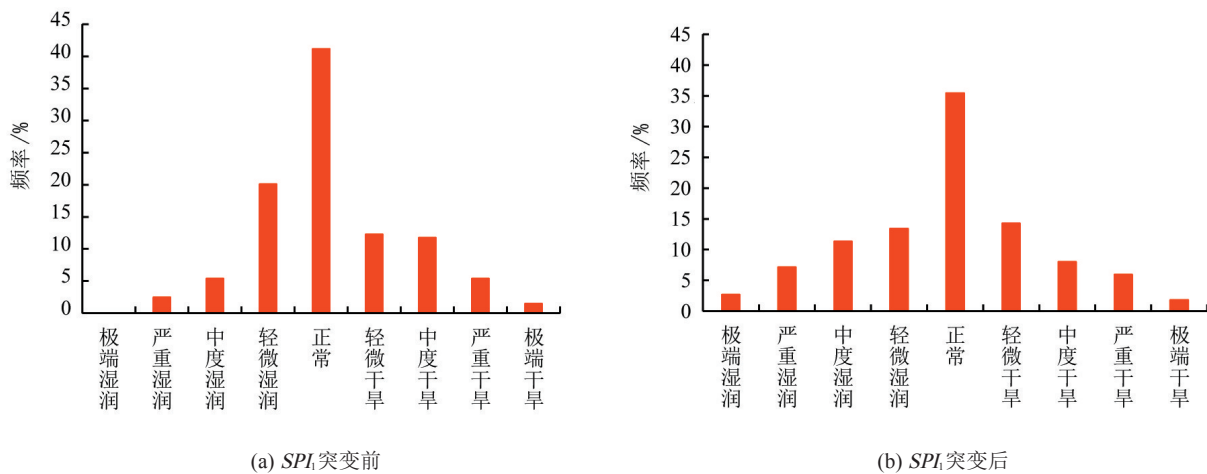


图5 林区气温突变前与突变后旱涝月份出现频率变化

3 讨论

利用标准化降水指数(SPI)对内蒙古大兴安岭林区旱涝演变特征进行了分析,同时分析了气温突变前后旱涝频率发生变化情况,对该地区防旱抗涝、林农业生产以及生态修复指导都具有一定的科学意义。目前一些基于 SPI 的研究已涉及该地区,如韩志慧等^[12]研究结果表明内蒙古地区干旱强度略有增加趋势;刘继遥等^[13]研究发现内蒙古地区年尺度 SPI 呈现干旱波动增强趋势,干旱频率逐渐增加,其认为 SPI 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;那音太^[14]利用 SPI 方法对内蒙地区研究也发现内蒙古东部地区干旱显著增加,这与本文研究结果比较相似,但上述研究只对该地区干旱特征进行了描述,并未对湿涝事件进行分析,本文算是对上述等人研究的一些补充,此外本文是从不同时间尺度 SPI 来对该地区旱涝演变进行分析的,相对来说更全面更详细。从本文研究结果来看, SPI 分析该地区干旱和湿涝情况均较合适的,并且可以反映出林区降水变化情况,对林区旱涝评估能够提供可靠的评价。

本研究仅从降水角度考虑该地区的旱涝演变特征,并不能完全揭示旱涝演变机制。由于对于旱涝事件的发生还有很多不确定因素,在以后的研究中有必要考虑地形、纬度以及大气环流等影响因素,进一步结合降水距平与降水 Z 指数进行综合评价,需要从多角度来进行分析验证。

4 结论

1) 内蒙古大兴安岭林区年降水量在 1971—2015 年整体呈波动上升趋势, 年际变化倾斜率为 $8.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$, 年平均气温也呈显著上升趋势, 通过 0.001 的显著性水平检验, 年际变化率为 $0.4 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 。

2) 林区年平均气温在 1987 年发生增温突变, 气温突变以后林区所有站点年降水量倾向率明显减小, 林区部分地区出现暖干化趋势。

3) 年时间尺度的 *SPI* 更能反映林区降水变化情况, 1971—2015 年林区旱涝频繁发生, 从年尺度上来看其大致可以分为 4 个阶段: 20 世纪 70 年代与 21 世纪 00 年代 SPI_{12} 多小于 0, 这 2 个时期干旱发生较为频繁; 而 20 世纪 80 年代、90 年代以及 21 世纪 10 年代降水较多, 这 2 个时期相对湿润, 旱灾发生频率较低; 林区连续性干旱和连续性湿润发生的情况逐渐增多。

4) 在 1988 年增温突变以后, 林区旱涝事件发生更加频繁, 并呈向极端干旱和极端湿润的方向发展。

参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 4-6.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1):3-8.
- [3] 任国玉, 任玉玉, 李庆祥, 等. 全球陆地表面气温变化研究现状, 问题和展望[J]. 地球科学进展, 2014, 29(8): 934-946.
- [4] 刘永林, 延军平. 1960—2012 年气温突变下的两广地区干湿演变[J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(5):584-594.
- [5] 姜晓艳, 刘树华, 马明敏, 等. 东北地区近百年降水时间序列变化规律的小波分析[J]. 地理研究, 2009, 28(2):354-362.
- [6] 黄生志, 黄强, 王义民, 等. 基于 *SPI* 的渭河流域干旱特征演变研究[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(1):15-22.
- [7] 王晓峰, 胡春艳, 王伟, 等. 基于 *SPI* 的渭北黄土高原干旱时空特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25(3): 415-421.
- [8] 王理萍, 王树仿, 王新华, 等. 五种干旱指数在云南省的适用性分析[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7):117-124.
- [9] 张利利, 周俊菊, 张恒玮, 等. 基于 *SPI* 的石羊河流域气候干湿变化及干旱事件的时空格局特征研究[J]. 生态学报, 2017, 37(3):996-1 007.
- [10] 叶正伟. 基于 *SPI* 的江苏沿海开发地区旱涝演变特征分析: 以盐城市为例[J]. 地理科学, 2014, 34(4): 479-487.
- [11] 葛岩, 褚丽妹, 张更元, 等. 辽西北地区旱情等级标准研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(8):115-120.
- [12] 韩志慧, 刘小刚, 郝琨, 等. 基于 *SPI* 指数的内蒙古地区干旱演变特征及趋势预测[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(5):430-439.
- [13] 刘继遥, 春喜, 梁文军, 等. 基于 *SPI* 指数的内蒙古干旱时空分布特征研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学版), 2016, 45(4): 533-539.
- [14] 那音太. 基于 *SPI* 指数的近 50 a 内蒙古地区干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 161-166.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007:175-181.
- [16] KENDALL M G. A new measure of rank correlation[J]. Biometrika, 1938, 30(1/2): 81-93.
- [17] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1945: 245-259.
- [18] 刘兆飞, 王翊晨, 姚治君, 等. 太湖流域降水、气温与径流变化趋势及周期分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9):1 575-1 584.
- [19] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 1960—2007 年汾河流域气温年际和季节性变化特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 489-495.
- [20] MCKEE T B, DOSEKEN N J, KLEIS J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993, 17(22): 179-183.
- [21] 任余龙, 石彦军, 王劲松, 等. 1961—2009 年西北地区基于 *SPI* 指数的干旱时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4):938-948.
- [22] 翟禄新, 冯起. 基于 *SPI* 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5):847-857.
- [23] 汪高明. 湖北省近 47 年气温和降水气候特征分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [24] 向辽元, 陈星, 黎翠红, 等. 近 55 年中国大陆地区降水突变的区域特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(2):149-153.

Occurrence of Drought and Flooding Affected by Abrupt Temperature Change in Daxing'anling Forest in Inner Mongolia

BIAN Yuming¹, DAI Haiyan², ZHANG Qiuliang^{1*}, WANG Bing¹, JIANG Peng³, LYU Jingbin⁴

(1. Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China;

2. Inner Mongolia Ecology and Agricultural Meteorology Centre, Hohhot 010051, China;

3. Hebei Xiaowutaishan National Nature Service, Yuxian 075700, China;

4. Yuanbaoshan District Bureau of Forestry, Chifeng 024076, China)

Abstract: **【Objective】** This paper aims to analyze the change in occurrence of drought and flooding in Daxing'anling forest in Inner Mongolia due to climate change and to provide baseline for studying the occurrence of drought and flooding, as well as ecological restoration and disaster prevention. **【Method】** Based on the measured average daily temperature and precipitation from 1971 to 2015 in this region, we analyzed their relationship using linear regression, the Mann-Kendall test (Mann-Kendall) method and the standardized precipitation index(*SPI*). **【Result】** ① The annual precipitation showed an rising trend over the past 45 years, with an increasing rate of 8.9 mm per decade although the increase was insignificant (failed the significant test). The annual mean temperature also showed a rising trend at significant level ($p < 0.001$) with a rising rate of 0.4 °C per decade. ② The annual mean temperature in the forest area endured a sudden change in 1988, followed by a decrease in annual precipitation. ③ In the past 45 years, forest drought occurred frequently and in the 1970s and early 2000s, the value of SPI_{12} was less than 0. In the 1980s and 1990s and 2010s, however, there was a rise in precipitation, reducing the drought frequency. **【Conclusion】** Following the abrupt change in temperature in 1987, the forest areas saw an increase in both drought and waterlogging, becoming either extremely dry or wet. The *SPI* at annual scale reflects the change in precipitation in the region.

Key words: abrupt temperature change; Daxing'anling forest region; Standardized Precipitation Index; drought and flood evolution

责任编辑:白芳芳