

内蒙大兴安岭林区年降水量变化特征及周期分析

边玉明¹, 代海燕², 王冰¹, 张健³, 巴特¹, 张秋良¹

(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. 兴安盟林业科学研究所, 内蒙古 兴安盟 137400)

摘要: 利用内蒙古大兴安岭林区 11 个气象站 1971—2010 年降水观测资料, 采用一元线性回归、累积距平法、曼—肯德尔检验(Mann-Kendall)法和 Morlet 小波分析方法对内蒙古大兴安岭林区近 40 年年降水量变化进行了分析, 以揭示该地区在气候变暖大背景下年降水量的变化特征。结果表明: 1971—2010 年内蒙古大兴安岭林区年降水量整体在波动中呈微弱下降的趋势, 倾向率为 $-7.4 \text{ mm}/10 \text{ a}$, 降水量年际变化幅度较大, 降水气候倾向率具有很强的区域特点, 整体经历了丰—枯—丰—枯的变化过程; 结合累积距平分析与曼—肯德尔检验(Mann-Kendall)法两种方法判断出降水量发生突变的大致时间为 1975—1979 年与 1999 年; Morlet 小波分析结果表明, 近 40 年内蒙古大兴安岭林区年降水量包含多个不同时间尺度的周期, 其中 27 a 左右的周期振荡最为强烈, 对降水作用最为显著, 且在 2014—2020 年可能出现降水偏多期。

关键词: 内蒙古大兴安岭; 林区; 降水; Morlet 小波分析

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0146-05

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2017.03.027

Spatiotemporal Distribution and Periodicity of Annual Precipitation in Daxing'anling Forest Region of Inner Mongolia

BIAN Yuming¹, DAI Haiyan², WANG Bing¹, ZHANG Jian³, BA Te¹, ZHANG Qiuliang¹

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

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

3. Xingan Meng Forestry Science Research Institute, Hinggan League, Inner Mongolia 137400, China)

Abstract: Based on the observational data of precipitation in 11 meteorological stations from 1951 to 2010 in forest region of Inner Mongolia Daxing'anling, we used a linear regression, accumulative anomaly method, Mann Kendall test (Mann-Kendall) method and Morlet wavelet analysis method to analyze the annual precipitation changes in forest region of Inner Mongolia Daxing'anling in recent 40 years and to reveal the variation characteristics of annual precipitation under the climate warming background. The results showed as follows: precipitation in forest region of Inner Mongolia Daxing'anling showed a slight downward with fluctuation, the trend tendency rate was $-7.4 \text{ mm}/\text{decade}$, inter annual variation precipitation was significant, precipitation of climate trend rate had very obvious regional features, which experienced the wet—dry—wet—dry process; the time of precipitation mutation occurred roughly from 1975 to 1979 and in 1999 based on the cumulative distance average analysis and Mann Kendall (Mann-Kendall) test method. Morlet wavelet analysis results showed that annual precipitation in recent 40 years in Daxing'anling forest region of Inner Mongolia contained a number of periods with different time scales, the 27-year periodic oscillation was the strongest, and had the most significant effect on precipitation, and high precipitation period will occur in the years 2014 to 2020.

Keywords: Daxing'anling of Inner Mongolia; forest region; precipitation; Morlet wavelet analysis

根据政府间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 年以来升温速率的两倍^[1]; 中国

收稿日期: 2016-09-04

修回日期: 2016-10-30

资助项目: 中国科学院野外站联盟项目“东北地区生态变化评估”(KFJ-SW-YW026)

第一作者: 边玉明(1992—), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向: 森林资源经营与管理。E-mail: bianyuming0801@126.com

通信作者: 张秋良(1960—), 男, 内蒙古托县人, 博士生导师, 博士, 研究方向: 森林资源经营与管理与森林生态。E-mail: 18686028468@163.com

陆地表面平均温度上升趋势与全球基本一致^[2]。气候变暖带来的气温、降水等气象因子的变化直接或间接影响了植物生长和生态平衡,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。相对温度而言降水的区域性差异更明显^[3],降水量的多寡与干旱的发生也有直接而密切的联系,可以说是干旱能否发生的关键性因素之一。

降水是描述一个地区气候变化的重要指标之一。在气候变暖大背景下有很多专家学者做了降水事件的研究。张代青等^[4]利用 Morlet 小波变换,对中国大陆近 54 a 降水事件进行多时间尺度周期性分析,其结果表明:中国大陆年降水量变化呈现多尺度性、主周期性、同步性和总趋势减少的规律;李邦东等^[5]对东北地区降水事件进行了分析,得出东北地区年降水量总体有减少趋势,但线性趋势不显著;董旭光等^[6]分析了山东省近 50 a 来的降水日数和降水强度的气候变化特征,认为近 50 a 山东省年降水日数和强度存在着明显的年代际振荡,降水日数减少趋势达到极显著水平;曲学斌等^[7]研究结果表明:呼伦贝尔全市年降水量存在着在 10 a、26 a 间尺度上的周期性变化,整体未发现减少趋势,与整个东北地区表现不一致。总而言之,过去鲜有对典型的区域气候进行研究,从而忽略了区域气候条件和区域差异的影响。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^[8],其一旦破坏,不可复制。本文利用内蒙古大兴安岭林区 11 个气象站点 1971—2010 年降水的连续观测数据对年降水量进行趋势分析、突变检验和降水时间序列变化特征多时间尺度周期性分析,力图揭示在气候变暖大背景下内蒙古大兴安岭林区降水变化规律,这对林区的生态建设和水资源保护及配置具有极其重要的现实意义和应用价值;也为该地区水资源脆弱性评价提供科学的参考价值。

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内蒙古自治区东北部,地理坐标 $119^{\circ}36'20''$ — $125^{\circ}20'50''$ E, $46^{\circ}08'40''$ — $53^{\circ}20'00''$ N,地处我国高纬地带,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。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;年降水量 300~500 mm,集中于 7—8 月份;年平均气温为 -3.2°C ,极端气温达 -49.8°C 。

1.2 资料选取及处理

降水资料为内蒙古自治区 11 个(呼伦贝尔市 9 个,兴安盟 2 个)站点逐月降水观测数据,数据资料由内蒙古自治区气象局提供。分析时间定在 1971—2010 年,这一时间内降水数据完整,没有缺失值。借用 VisualFoxpro 6.0 软件建立林区降水因子的时间序列资料,并进行时间一致性检验。

1.3 研究方法

本文主要对内蒙古大兴安岭林区降水事件年际变化进行趋势分析、突变检验和多时间尺度的复杂结构分析研究。方法介绍如下:气候要素的趋势变化一般采用一元线性回归分析,即: $Y(t) = kx + b$, 式中: $Y(t)$ 为气候要素, t 为时间, k 为线性回归系数; k 为正值,表示气候要素呈线性增加的趋势,反之呈线性减少的趋势。这里采用 $10k$ 表示降水要素每 10 a 的变化率^[9]。

累积距平法是一种比较常用的通过曲线来直观判断变化趋势的一种分析方法。根据 N 个时刻的累积距平值绘制累积距平曲线对时间序列的变化趋势进行分析,曲线由上升变为下降或由下降变为上升即为转折点,转折点对应的时间为突变大致时间^[9]。

曼—肯德尔检验(Mann-Kendall)法是一种非参数统计检验方法,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^[10-13]。

小波分析最初由法国 Morlet 首次提出的,本文在 Matlab 7.0 软件平台的支持下,采用 Morlet 小波计算小波系数,利用 Surfer 12.0 等绘图软件绘制小波变换系数实部等值线、小波变换系数模及小波方差图。目前,小波分析已经在气象领域广泛应用,已有不少学者利用小波分析方法研究了不同地区降水量多时间尺度的变化特征^[14-16]。

2 结果与分析

2.1 年降水量变化趋势分析

从时间尺度来看,在 1971—2010 年内蒙古大兴安岭林区年降水量整体在波动中呈微弱下降的趋势,变化倾向率为 $-7.4 \text{ mm}/10 \text{ a}$,没有通过显著性水平检验(图 1),这与贾建英等^[17]研究结果一致。其多年均值为 452 mm,最大值出现在 1998 年为 740 mm,最小值出现在 2007 年为 300 mm,两者相差达 440 mm,说明年降水

量年际变化幅度较大。从空间尺度来看,降水倾向率具有很强的区域性(图2)。其中趋势下降的站点全部位于西部和中部林区,而增加的站点全部位于东部,东部林区毗邻东北平原,是否受东北平原季风和太平洋季风影响其原因有待进一步分析。

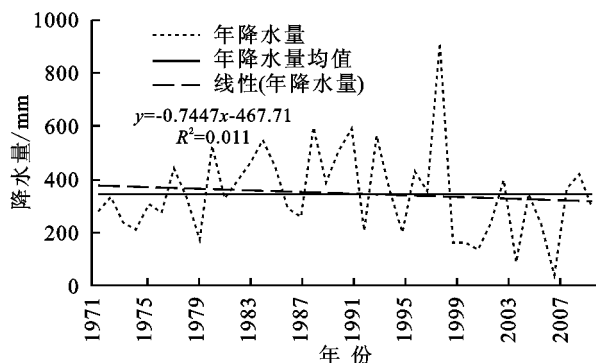


图1 1971—2010年内蒙古大兴安岭林区
年降水量线性变化趋势

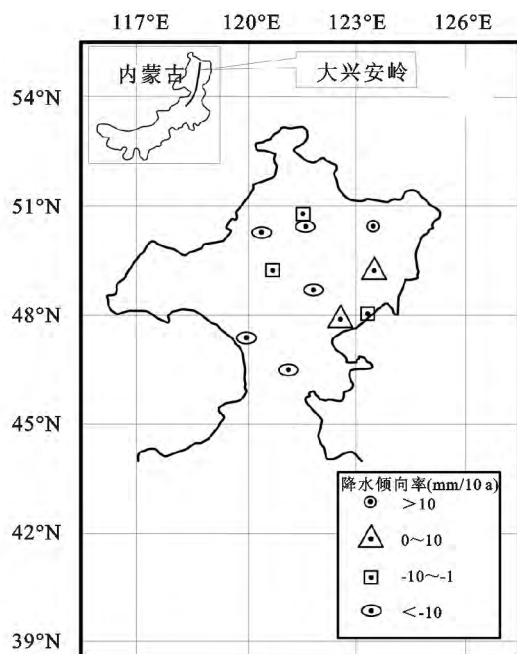


图2 1971—2010年内蒙古大兴安岭林区
降水气候倾向率分布

2.2 年降水量突变检验与累积距平

采用曼—肯德尔检验(Mann-Kendall)突变检验法对内蒙古大兴安岭林区1971—2010年年降水量进行突变检验分析(图3)。由图3可以看出 UF_k 曲线整体上经历了上升—下降—上升—下降的趋势,可判断林区降水经历了丰—枯—丰—枯的过程。在1977—2003年一直处于上升趋势,持续时间比较长,并且在1983—1986年与1989—1995年上升趋势通过了0.05的显著性水平检验,但均未通过0.001的显著性水平检验。 UF_k 与 UB_k 曲线在置信区间以内大致有4个交点,其中在2009—2010年出现两个交

点,距离比较近,可近似看做为一个交点,由此推断在1971—2010年年降水量可能发生了3次突变,大致时间分别为1975年、1999年、2009年。累积距平曲线分析表明年降水量大体经历了下降—上升—下降三个阶段(图3),1971—1979年降水量呈缓慢下降趋势,负距平占89%,表明降水量低于历史平均水平,为少雨期,在1979年达到历史最低水平,1980—1999年呈现明显的上升趋势,正距平占70%,为多雨期,且持续时间较长,且1999年为明显的一次多雨波动,距平值为300 mm,达到历史最高水平,2000—2010年降水量呈下降趋势,负距平占64%,其中2000—2007年下降趋势明显,2008—2010年下降趋势非常缓慢,由此判断降水量发生突变的年份大致为1979年与1999年。综合以上两种方法的结果判断出内蒙古大兴安岭林区年降水量发生突变的大致时间为1975—1979年与1999年。

2.3 年降水量周期性变化分析

实部等值线图中虚线表示小波系数实部小于0,即降水量偏低(枯);实线表示小波系数实部大于0,即降水量偏高(丰)。0值所对应的时刻即枯—丰转折点。图4A可以看出近40 a内蒙古大兴安岭林区年降水量包含了多个不同尺度的周期性变化,形成各种尺度正负相间的振荡中心,存在明显的年代和年际变化。年际变化中具有5个明显的4 a、6 a、10 a、17 a、27 a尺度周期的嵌套结构,其中27 a尺度主要经历了5个枯—丰交替,1977年、1985年、1998年、2001年为枯—丰交替的转折点,并且具有全域性;17 a尺度主要经历了7个明显枯—丰交替,枯—丰转折点为1976年、1981年、1988年、1995年、2001年、2006年,且具有全域性;10 a、6 a、4 a分别经历了12个、9个、14个枯—丰交替,但是4 a与6 a尺度上的周期变化不具有全域性,在Matlab软件中处理发现4 a尺度振荡主要集中在1986—2010年,6 a尺度振荡主要集中在1977—1998年。这表明林区降水变化受大、中、小多重时间尺度周期的共同作用。

年降水量小波方差图(图4B)显示小波方差共出现5个峰值,对应时间尺度从小到大分别为4 a、6 a、17 a、10 a、27 a,表明这5个周期在近40 a中对降水量起主要作用。其中最大峰值对应着27 a的时间尺度,可视为第一主周期,说明对降水影响最为显著,判读其等值线闭合情况可知2013年左右为枯—丰交替点,在2013年以后的大约8年间(2014—2020年)可能会出现降水偏多期;10 a时间尺度对应第二峰值,可视为第二主周期,判读其等值线闭合情况可知在2010年以后的大约8 a间(2011—2018年)也可能会

出现降水偏多期,17 a,6 a,4 a的时间尺度分别为第三、四、五主周期;小波系数的模值是反映不同时间尺度变化周期所对应的能量密度在时间域的分布情况,系数的模值越大表明其所对应时间尺度的周期性规律越强。通过判读年降水量 Morlet 小波系数模时频

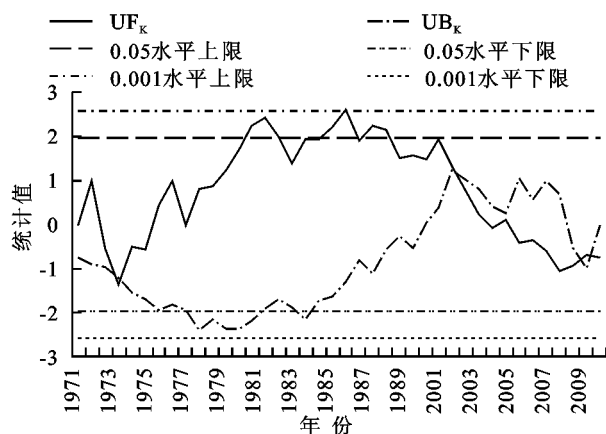


图3 1971—2010年内蒙古大兴安岭林区年降水量突变分析和累积距平曲线

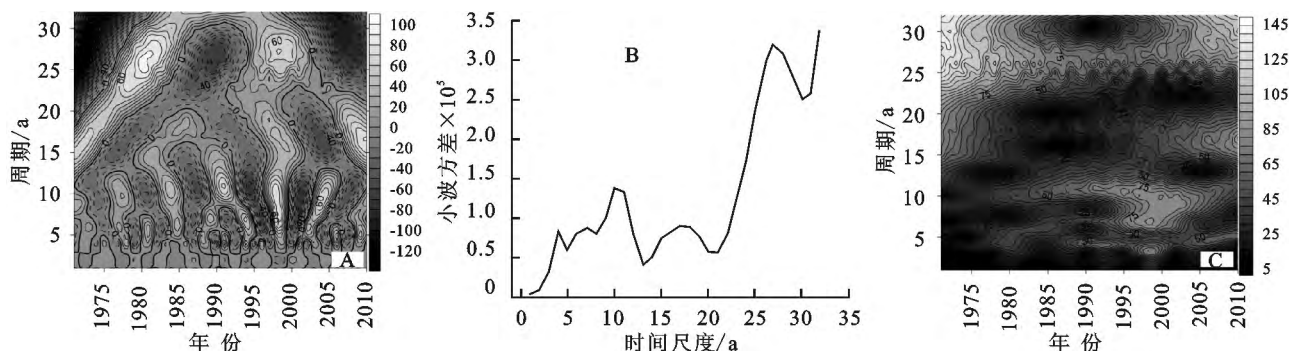


图4 内蒙古大兴安岭林区年降水量 Morlet 小波变换系数实部时频分布、小波方差图和小波变换系数模时频分布

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 在 1971—2010 年内蒙古大兴安岭林区年降水量整体在波动中呈下降趋势,与整个中国的趋势是一致的,变化倾向率为 $-7.4 \text{ mm}/10 \text{ a}$,降水量年际变化幅度较大,但没有显著性变化趋势;降水气候倾向率具有很强的区域特点。

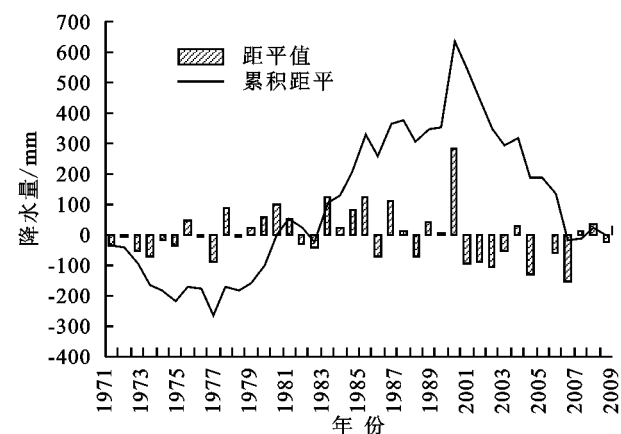
(2) 近 40 a 内蒙古大兴安岭林区年降水经历了丰—枯—丰—枯的变化过程;年降水量发生突变的大致时间在 1975—1979 年与 1999 年。

(3) 内蒙古大兴安岭林区 40 a 年降水量包含了多个不同时间尺度的周期性变化,其年际变化中存在着 5 个明显周期变化规律:4 a,6 a,10 a,17 a,27 a,在全球气候变暖背景下 27 a 左右的周期振荡最为强烈,为第一主周期,对降水作用最为显著,而且主要集中在 1973 年左右和 2010 年以后,在 2014—2020 年可能出现降水偏多期。

3.2 讨论

降水量的多少是影响一个地区水资源的主要因

分布图(图 4C)可得最显著性周期出现在 25~32 a 尺度上,其中 27 a 左右时间尺度上的周期振荡最强烈,而且主要集中在 1973 年左右和 2010 年以后,7~11 a 的时间尺度周期振荡次之,其他时间尺度周期性变化较弱。



素之一,而水资源状况影响着地区植被分布、植被种类、植被多样性和生态环境的好坏。研究^[18-19]表明大兴安岭林区是整个内蒙古水分条件最好的地区,近年来随着气候变暖,降水量减少,林区有进一步暖干化趋势,林业干旱发生更加频繁,林区内湿地、草原等生态系统存在退化趋势,大兴安岭林区生态稳定性的维持风险加剧,内蒙古大兴安岭林区作为我国重要的生态屏障,一旦遭到破坏,不仅影响的是整个东北地区,甚至对中国北方生态环境也造成不利影响;此外,一些研究结果^[20]表明,气象和气候条件严重制约着森林火灾的发生发展,尤其是降水量的多寡对林区火灾的发生、蔓延有着重要影响,于文颖等^[21]研究表明降水量与过火次数呈显著的正相关。从本文研究来看虽然在未来几年的时间尺度上林区降水会增多,但林区降水量还会呈现减小的趋势,未来还要逐渐提高火险等级预警,加大森林火灾防控力度;加强对林业干旱的预报预测,及时采取积极有效的措施应对林业干旱带来的不利影响。

在气候变暖的大背景下,内蒙古大兴安岭林区年

降水量呈下降趋势,与中国和整个东北降水量趋势基本一致,有些研究结果表明整个东北地区年降水量下降趋势达到了显著性水平^[17],而林区年降水量下降却未达到显著性水平,这可能受研究区特殊的区域环境影响或因为时间序列和所选站点不同而造成的差异,这有待我们进一步探讨研究。另外,关于林区各季降水特点,在这里没有进行分析,季节降水的分配也应该引起我们的注意。还有生长季雨日,大中小雨日数、雨强和频率的变化等对林业干旱的影响还存在很多的不确定,仍需要进一步研究。同样等量级的降水,其频率和强度不同,对土壤水分的有效性也不同,如小于 10 mm 降水的日数较多,雨量比例高,对林地补充土壤水的作用效果较差,同样大雨暴雨次数多,地表径流多,只有中雨日数和量级比例高才会对林地的作用较大,年降雨量整体变化趋势不明显,但有效降水仍是该区域关注的重点。内蒙古大兴安岭林区生态修复和保护,离不开主要的限制因子水分条件的研究,同时相关的蒸发、生长期雨量变化、雨热系数等也是以后研究的重点问题。

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.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉. 气候变化国家评估报告(1): 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] Liang L, Li L, Liu Q. Precipitation variability in Northeast China from 1961 to 2008[J]. Journal of Hydrology, 2011, 404(1): 67-76.
- [4] 张代青,梅亚东,杨娜,等. 中国大陆近 54 年降水量变化规律的小波分析[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2010, 43(3): 278-282.
- [5] 李邦东,赵中军,舒黎忠,等. 1961—2010 年东北地区降水事件时空均匀性研究[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(3): 52-58.
- [6] 董旭光,顾伟宗,孟祥新,等. 山东省近 50 年来降水事件变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 661-671.
- [7] 曲学斌,吴昊. 呼伦贝尔市 53 年气候变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 178-182.
- [8] 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.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 175-181.
- [10] 陈少勇,王劲松,石圆圆,等. 中国东部季风区 1961—2006 年年平均气温变化特征[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 462-471.
- [11] 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): 1575-1584.
- [12] 伍红雨,杜尧东. 1961—2008 年华南地区极端气温的非对称变化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2241-2248.
- [13] 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.
- [14] 李淼,夏军,陈社明,等. 北京地区近 300 年降水变化的小波分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 1001-1011.
- [15] 张利平,夏军,胡志芳. 华北地区降水多时间尺度演变特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 140-144.
- [16] 胡永宁,王林和,张国盛,等. 毛乌素沙地 1969—2009 年主要气候因子时间序列小波分析[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 390-395.
- [17] 贾建英,郭建平. 东北地区近 46 年气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 109-115.
- [18] 张存厚,王明玖,李兴华,等. 近 30 年来内蒙古地区气候干湿状况时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 28(5): 70-75.
- [19] 包云,李晓兵,黄玲梅,等. 1961—2007 年内蒙古降水时空分布[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 52-61.
- [20] 徐明超,马文婷. 干旱气候因子与森林火灾[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 603-608.
- [21] 于文颖,周广胜,赵先丽,等. 大兴安岭林区火灾特征及影响因子[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(4): 1-5.