

内蒙古近 53 年连续无雨期的时空变化特征

徐慧¹, 管蓓¹, 薛艳², 黄进²

(1. 南京市环境保护科学研究院, 南京 210013; 2. 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 南京 210044)

摘 要: 利用我国内蒙古自治区 1960—2012 年 46 个气象站点的逐日降水数据, 分析了该地区连续无雨期的时空变化特征。计算了 3 个连续无雨期指数: 连续无雨期次数 (NDS)、连续无雨期平均日数 (MDS) 和最长连续无雨期日数 (MLDS), 并通过线性倾向估计法和 MK 趋势检验法研究连续无雨期指数的变化特征。结果表明: MDS, MLDS 呈现自西向东的梯度递减, 而 NDS 则呈现相反的空间分布。连续无雨期指数的空间分布表明内蒙古西部的干旱强度要高于其他区域。年尺度下, 内蒙古大部分站点的 NDS, MLDS 呈现不显著的减少趋势, 而多数站点的 MDS 呈现不显著的增加趋势。月尺度下, 内蒙古 7 月、8 月连续无雨期的变化特征较显著。研究区 7 月、8 月的 NDS 呈显著减少趋势, 而 MDS, MLDS 表现为显著增加趋势。连续无雨期的季节变化表明内蒙古夏季干旱化程度正逐步加重。

关键词: 内蒙古; 连续无雨期; 时空变化特征; 趋势

中图分类号: P462.3; P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0304-05

Spatiotemporal Variations of Dry Spell in Inner Mongolia in Recent 53 Years

XU Hui¹, GUAN Bei¹, XUE Yan², HUANG Jin²

(1. Nanjing Research Institute of Environmental Protection, Nanjing 210013, China; 2. School of Environmental Science and Technology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Base on the daily precipitation data from 46 meteorological stations in Inner Mongolia Autonomous Region, north China, the space and time changing characteristics of dry spell were investigated during the period from 1960 to 2012 in this study. The three dry spell indices such as number of dry spell (NDS), mean length of dry spell (MDS), and maximum length of dry spell (MLDS) were calculated, and the linear trend estimation method and MK trend test method were used to analyze the changing characteristics of dry spell indices. The results indicated that the decline of mean MDS and MLDS along the east to west gradient for has been found. Mean NDS shows an opposite distribution compared with mean MDS and MLDS. It seems to indicate that drought in the western area is much severer than other area. On the annual scale, most stations display insignificant decrease trends for NDS and MLDS, most stations display insignificant increase trends for MLDS. On the monthly scale, the changes of dry spell in July and August in Inner Mongolia are obvious. In July and August, the NDS shows significant decrease trend, the MDS and MLDS show significant increase trends. This result means that the summer droughts become increasingly serious in Inner Mongolia.

Keywords: Inner Mongolia; dry spell; space and time changing characteristics; trend

20 世纪后半叶以来, 全球变暖趋势进一步加剧^[1]。IPCC 第 4 次评估报告指出气温的升高使大气水汽量增加, 进而导致极端气候事件的发生频率与强度呈上升趋势^[2]。干旱是世界上影响范围较广、持续时间较长、造成损失较大的自然灾害。不仅严重危及干旱区居民的生存发展, 而且极大地威胁着当地的生态安全乃至全球的生存环境。干旱的根本原因是较长时间无降水, 因而连续无雨期 (无降水日数连续出

现的天数) 已成为表征干旱的重要指标之一, 在国内得到了较多的关注^[3-4]。内蒙古自治区的生态恢复和社会经济的可持续发展, 在我国北方大开发和国民经济建设中占有举足轻重的地位, 而作为气候敏感性区域, 干旱灾害事件无疑对当地的生态环境和经济发展构成了严重威胁。因此, 探究连续无雨期的时空变化特征对当地防旱抗旱及水资源管理有着重要参考价值。

收稿日期: 2014-08-12

修回日期: 2014-09-02

资助项目: 国家自然科学基金“增温及模拟酸雨对农田土壤碳氮循环关键过程的影响研究”(41375006), “镉在水—浮萍—罗非鱼食物链中的化学形态和积累传递规律”(51109109)

第一作者: 徐慧 (1986—), 女, 江苏泗阳人, 硕士, 工程师, 主要从事环境生态、气象生态研究。E-mail: xuhuisafe@sina.com

1 资料与方法

本研究采用的资料为中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)提供的内蒙古自治区54个气象站点的1960—2012年逐日降雨数据。为了确保各站点日降水数据的准确、可靠,对所选逐日降水数据进行质量控制和均一性检验。首先检查日降水量是否小于0 mm,若小于0 mm,则按缺测处理;然后,检验逐日降水量是否严重偏离本地区降水量的实际水平,即超出标准差的3倍定义为出界,并通过人工检查尽可能与相邻站点的数据进行比对,合理保留,不合理的按缺测处理^[5]。采用标准正态检验(Standard Normal Homogeneity Test, SNHT)方法^[6],对各站点降雨序列进行了均一性检验。最终确认54个台站中存在非均一性或奇异值的站点为8个,且这8个站点由于与周围台站相关性较差,或者自身数据序列较杂乱等原因订正困难。因此最终选择其余46个站点用于本文的研究,这46个气象站点的分布具体见图1。

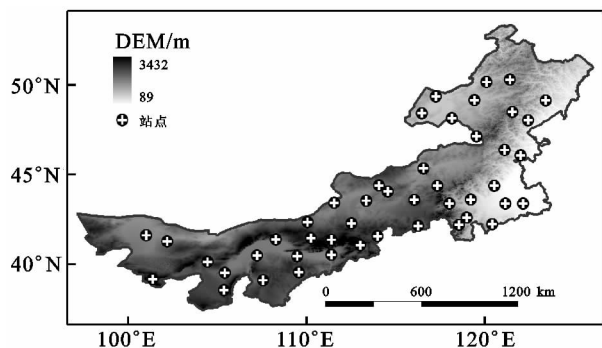


图1 内蒙古气象站点分布

连续无雨期是指降雨量小于降水临界值的持续天数,最短的连续无雨期为1 d。本研究中降水临界值设定为1 mm,这样可以剔除降水资料中微量降水数据的不确定性。为了全面分析连续无雨期的时空变化特征,本研究采用3个国内外使用较为广泛的无雨期指数,分别是连续无雨期次数(number of dry spell, NDS)、连续无雨期平均日数(mean length of dry spell, MDS)和最长连续无雨期日数(maximum length of dry spell, MLDS)^[7]。本研究构建了各站点连续无雨期指数的年序列和月序列,并采用线性倾向估计方法^[8]与世界气象组织推荐的Mann-Kendall(MK)非参数统计检验方法^[9]进行变化趋势分析。MK检验法的优点是不一定需要样本遵从特定分布,又不受少数异常值的干扰,计算过程比较简便。由于时间序列的自相关性对MK检验结果有很大影响,因此进行MK检验之前先检验时间序列的自相关性,

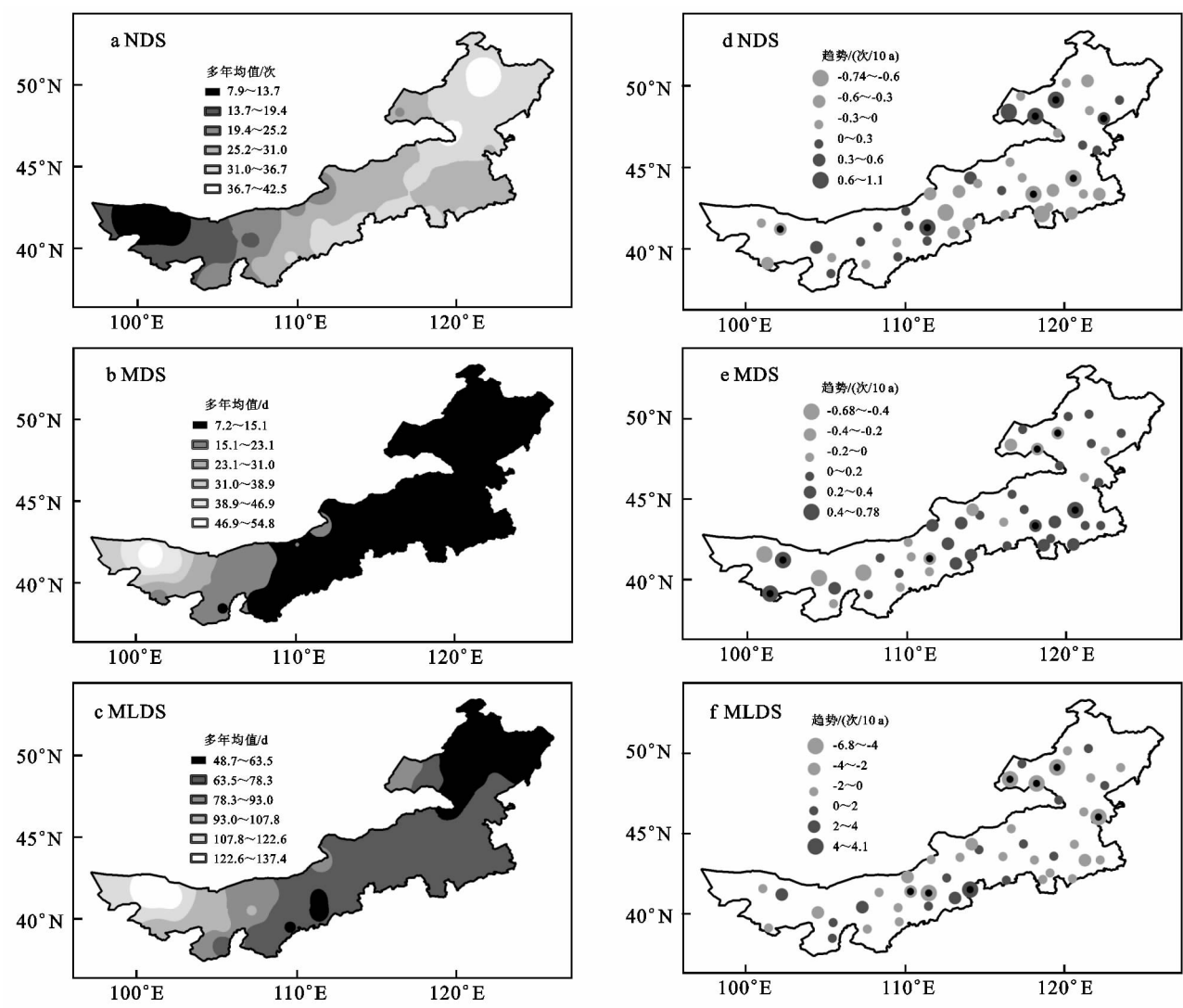
并采用差分法进行消除^[10]。运用MK法进行时间序列的显著性检验过程中,统计变量 $Z > 0$ 时,表示序列为上升趋势; $Z < 0$ 时,则是下降趋势。 $|Z| \geq 1.96$ 时,表明变化趋势显著性水平通过了置信度95%。

2 结果与分析

2.1 年尺度下连续无雨期的变化

图2a—c为内蒙古自治区1960—2012年期间连续无雨期次数(NDS)、连续无雨期平均日数(MDS)和最长连续无雨期日数(MLDS)的多年平均值的空间分布图。从图2a—c中可以发现,3个连续无雨期指数的空间分布具有明显地域差异性。由图2a中可以看出,年均连续无雨期次数(NDS)大致在7.9~42.5次之间变化,呈自西向东逐渐增加的趋势。从图2b,2c可以看出,内蒙古地区连续无雨期平均日数(MDS)为7.2~54.8 d,最长连续无雨期日数(MLDS)为48.7~137.4 d,值得一提的是研究区西部的年均MDS和MLDS分别超过了30,90 d。对比图2a中NDS的空间分布,MDS,MLDS表现出相反的地域分布特征,两者均呈现由东向西递增的特点。由此可以看出高强度高危害的连续无雨期主要发生在内蒙古西部地区,该区域较低的NDS意味着全年无雨日主要集中在少数几个时间跨度较长的无雨期中。因此,内蒙古西部的干旱风险和强度明显高于其他区域。内蒙古大气环流特征和特有的地形是导致这一空间差异的主要原因:首先,内蒙古位于东亚季风气候和大陆性气候的边缘地带,主要受东亚季风控制,但同时也受西风的影响;其次,内蒙古的地形异常复杂,它是一个由东北向西南倾斜的狭长陆地,它的东北部是大兴安岭,西边是贺兰山脉,阴山横贯其中心部分,复杂的地形使水汽很难到达西部地区。

1960—2012年,内蒙古自治区连续无雨日的变化趋势也表现出了明显的空间差异(图2d—f)。从图2d中NDS的变化趋势可以看出,内蒙古地区46个气象站中有18个台站的倾向率为正,28个台站的倾向率为负,变化倾向率为 $-0.74 \sim 1.1$ 次/10 a,其中呈减少趋势的台站主要集中在中东部地区。图2e显示了MDS变化倾向率的空间分布,研究区46个气象站中有30个台站的倾向率为正,16个台站的倾向率为负,变化倾向率为 $-0.68 \sim 0.78$ d/10 a,其中呈增加趋势的台站主要分布在中东部地区。结合图2f可以看出,研究区中30个台站的MLDS呈减少趋势,这些台站也基本分布在中东部。分析图2d—f中呈显著变化趋势台站的数量,可以发现年尺度下研究区连续无雨期的特征较微弱。



注:a—c: 无雨期指数的多年均值;d—f: 无雨期指数的变化趋势,其中圆圈中标注黑点表明趋势通过 MK 检验的 95%显著性水平。

图 2 内蒙古连续无雨期指数的时空变化

2.2 月尺度下连续无雨期的变化

图 3 反映了全区尺度下内蒙古连续无雨期指数的年内分布情形,研究区 NDS,MDS,MLDS 的年内分布存在明显差异。连续无雨期次数(NDS)的年内分布呈现出明显的单峰型分布,连续无雨期发生在 7 月、8 月的频率明显高于其他月份(图 3a)。内蒙古大部分地区处在东亚季风的影响之下,属于典型的温带大陆性季风气候区,全年降水主要集中在短暂而炎热的夏季^[11]。7 月、8 月降雨场次较多,从而带来了较多持续天数较短的连续无雨期,因而这两个月份的 NDS 明显较高。连续无雨期平均日数(MDS)和最长连续无雨期日数(MLDS)的年内分布则恰恰相反,MDS,MLDS 的高值主要分布在 2 月、12 月(图 3b, 3c)。研究区 1 月、2 月、12 月份的 MDS,MLDS 均超过了 20 d,这意味着冬季某些月份的降雨不超过 2 次,并且降雨事件间隔时间较长。冬季中国北方地区降水偏少的一个重要原因是强大的东亚冬季风给中

国北方地区带来强劲的干冷空气,严重阻止了低纬暖湿空气的北进,从而没有足够的水汽形成大量降水^[12]。因此内蒙古冬季连续无雨期的强度极高。

为了进一步研究内蒙古地区 NDS,MDS,MLDS 的变化趋势特征,分别选用全区尺度下各月的连续无雨期指数进行 MK 检验分析,具体计算结果见图 4。由图 4a 可以看出,7 月、8 月的 NDS 呈显著减少趋势,而 12 月的 NDS 呈显著增加趋势。与 NDS 的变化特征相反,7 月、8 月的 MDS 呈显著增加趋势,而 12 月的 MDS 呈显著减少趋势(图 4b)。与 MDS 的变化特征相类似,7 月的 MLDS 呈显著增加趋势,而 11 月、12 月的 MLDS 呈显著减少趋势(图 4c)。比较图 4a,4b,4c 中 Z 值可以发现夏季和冬季连续无雨期指数的变化趋势较明显,而春季和秋季的变化趋势较微弱。表 1 中不同月份各站点 MK 检验的统计结果进一步说明了连续无雨期的变化主要发生在夏季的 7 月、8 月。7 月、8 月的 NDS 变化特征较明显,全区

呈减少趋势的站点分别为 44 个、42 个,其中减少趋势显著的站点均为 15 个。与 NDS 的变化特征相反,7 月、8 月的 MDS 总体呈增加趋势,全区呈增加趋势的站点分别为 45 个、43 个,其中增加趋势显著的站点分别为 17 个、16 个。7 月、8 月的 MLDS 呈现出与 MDS 相似的变化,但通过显著性水平的站点相对较少。反观其他月份,除了 11 月、12 月有少数站点的趋势通过了显著性水平,多数月份各站点的变化趋势并不显著。综上所述,内蒙古夏季连续无雨期的强度

和危害呈增加态势,研究区夏季干旱化情形较明显。该分析结果与目前中国北方当前的夏季干旱化现状基本一致。吴长刚等^[13]运用合成分析方法比较了夏季风强度与北方各干旱半干旱区域旱涝变化的关系,指出了华北地区最为敏感,区域季风指数与 7 月、8 月降水量的关系最好。目前东亚夏季风减弱以及由此造成水汽输送量减少是导致北方干旱化发展的主要原因,而低层大气反气旋环流增强和气旋性环流减弱是引起干旱化的异常环流特征^[14]。

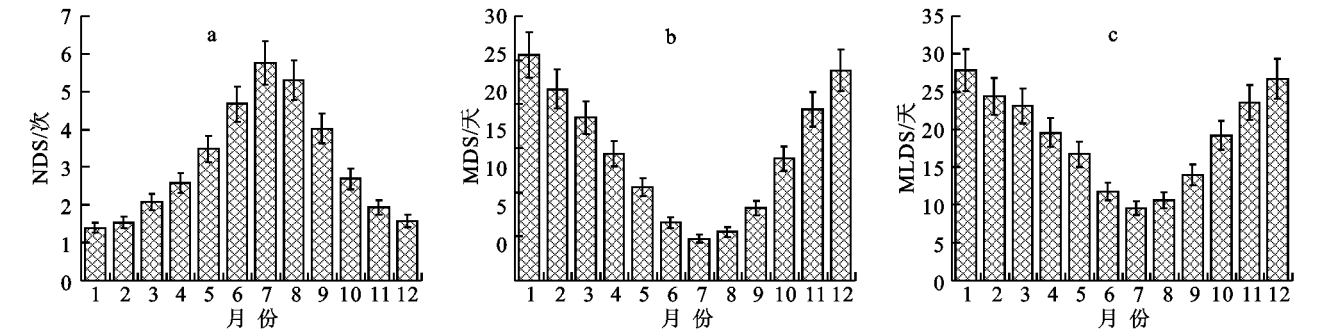


图 3 内蒙古连续无雨期指数的年内分布

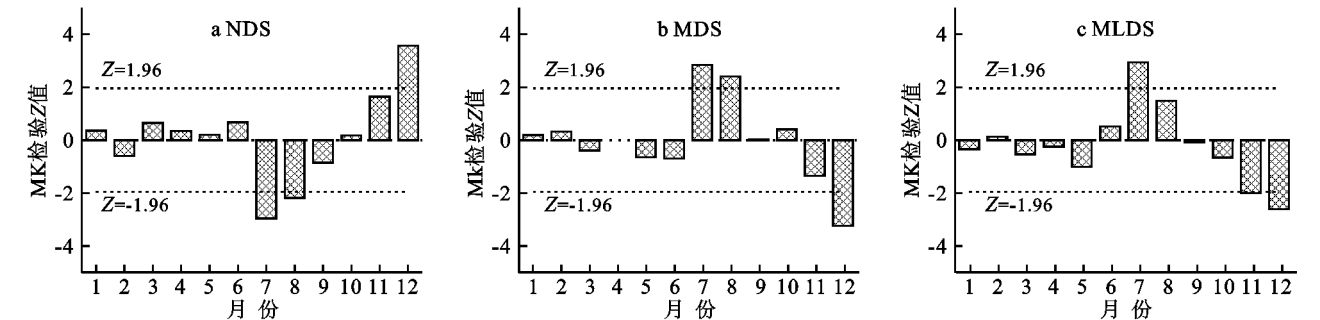


图 4 不同月份内蒙古连续无雨期指数的变化趋势

表 1 不同月份各站点连续无雨期 MK 检验的统计结果

指数	呈不同变化趋势 站点的个数	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
NDS	增加的个数	18	16	28	21	31	27	2	4	22	28	38	44
	显著增加的个数	0	0	1	1	4	2	0	0	5	1	7	9
	减少的个数	28	30	18	25	15	19	44	42	24	18	8	2
	显著减少的个数	0	0	0	0	1	2	15	15	6	0	0	0
MDS	增加的个数	23	29	18	22	15	17	45	43	23	24	8	2
	显著增加的个数	0	0	0	1	1	0	17	16	5	0	0	0
	减少的个数	23	17	28	24	31	29	1	3	23	22	38	44
	显著减少的个数	0	0	1	0	1	2	0	0	3	1	4	9
MLDS	增加的个数	26	29	18	25	13	24	42	39	23	17	7	4
	显著增加的个数	0	0	2	2	0	3	10	10	4	1	0	0
	减少的个数	20	17	28	21	33	22	4	7	23	29	39	42
	显著减少的个数	0	0	2	1	7	0	0	0	7	1	9	7

3 结 论

(1) 内蒙古近 53 a 来多年平均连续无雨期指数的空间分布具有明显的地域特征。连续无雨期次数(NDS)的高值主要分布在内蒙古的东部地区,而连续

无雨期平均日数(MDS)和最长连续无雨期日数(MLDS)的高值区为内蒙古西部。连续无雨期指数的空间分布进一步表征了研究区干旱强度呈现出由东向西递增的趋势。MK 趋势检验的结果表明研究区大部分站点的 NDS,MLDS 呈现不显著的减少趋

势,而多数站点的 MDS 呈现不显著的增加趋势。总体而言,年尺度下连续无雨期的变化较微弱,这一点与内蒙古年降水量不显著的变化相一致^[15]。

(2) 内蒙古连续无雨期指数的年内分布呈现出极为明显的季节差异。连续无雨期次数(NDS)的高值主要出现在夏季月份,而连续无雨期平均日数(MDS)和最长连续无雨期日数(MLDS)的高值基本集中在冬季月份。无论是全区尺度还是单站点尺度,MK 趋势检验的结果均表明 7 月、8 月连续无雨期的变化极为明显,其中 NDS 呈显著减少趋势,而 MDS、MLDS 表现为显著增加趋势。连续无雨期的季节变化进一步佐证了内蒙古夏季干旱化的事实。内蒙古草原大部分地区植被变化受降水因子的影响较大,尤其是内蒙古中西部地区的典型草原和荒漠草原^[16]。因而夏季连续无雨期强度的增加可能给内蒙古地区的畜牧业带来极为不利的影响,这一研究结果应当引起我们的高度重视。

参考文献:

- [1] 李成,王让会,黄进. 天山北麓近 50 年气温和降水的变化特征[J]. 水土保持研究,2013,20(6):117-124.
- [2] 杨波,张勃,安美玲,等. 1961—2011 年秦巴山区极端降水事件的时空特征分析[J]. 水土保持研究,2014,21(1):110-116.
- [3] 顾欣,杨绍洪,黄大卫,等. 黔东南地区各季节极端干期日数的时空分布特征[J]. 高原气象,2012,31(2):463-469.
- [4] 王莺,王劲松,姚玉璧,等. 中国华南地区持续干期日数时空变化特征[J]. 生态环境学报,2014,23(1):86-94.
- [5] 陈昌春,张余庆,王腊春,等. 基于 RClimDex 模型的江西省极端降水时空变化研究[J]. 中国农村水利水电,2013(11):41-45.
- [6] 李庆祥,彭嘉栋,沈艳. 1900—2009 年中国均一化逐月降水数据集研制[J]. 地理学报,2012,67(3):301-311.
- [7] She D, Xia J. The spatial and temporal analysis of dry spells in the Yellow River basin, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2013,27(1):29-42.
- [8] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等. 我国横断山区 1960—2008 年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报,2010,65(5):563-579.
- [9] 徐宗学,孟翠玲,赵芳芳. 山东省近 40 a 来的气温和降水变化趋势分析[J]. 气象科学,2007,27(4):387-393.
- [10] 霍雨,王腊春,陈晓玲,等. 1950s 以来鄱阳湖流域降水变化趋势及其持续性特征[J]. 湖泊科学,2011,23(3):454-462.
- [11] 张雪艳,胡云锋,庄大方,等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异[J]. 地理研究,2009,28(1):10-18.
- [12] 孙建奇,敖娟. 中国冬季降水和极端降水对变暖的响应[J]. 科学通报,2013,58(8):674-679.
- [13] 吴长刚,刘鸿升,谢安. 夏季风北推和强度对我国北方夏季降水影响的年代际特征[J]. 高原气象,2006,24(5):656-665.
- [14] 李新周,马柱国,刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J]. 大气科学,2006,30(2):277-284.
- [15] 包刚,吴琼,包玉海. 近 30 年内蒙古气温和降水量变化分析[J]. 内蒙古师范大学学报:自然科学版,2012,41(6):668-674.
- [16] 张清雨,吴绍洪,赵东升,等. 内蒙古草地生长季植被变化对气候因子的响应[J]. 自然资源学报,2013,28(5):754-764.

(上接第 303 页)

- [14] 杨建平,丁永建,刘时银,等. 长江黄河源区冰川变化及其对河川径流的影响[J]. 自然资源学报,2003,18(5):595-602.
- [15] 刘时银,鲁安新,姚檀栋,等. 黄河上游阿尼玛卿山区冰川波动与气候变化. 冰川冻土,2002,24(6):559-562.
- [16] 李震,孙文新,曾群柱. 综合 RS 和 GIS 方法提取青藏高原冰川变化信息:以布塔格峰为例[J]. 地理学报,1999,54(3):73-78.
- [17] 刘朝海,王宗太,蒲健辰. 冰川类型的区域分布[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [18] 焦克勤. 中国冰川目录:Ⅶ青藏高原内陆水系[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [19] Raup B, Racoviteanu A, Khalsa S J S, et al. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change [J]. Global and Planetary Change,2007,56(1/2):101-110.
- [20] Bolch T, Kulkarni A, Kaab A, et al. The state and fate of Himalayan glacier [J]. Science, 2012, 336(6079):310-314.
- [21] 王利平,谢自楚,刘时银,等. 1970—2000 年羌塘高原冰川变化及其预测研究[J]. 冰川冻土,2011,33(5):979-990.
- [22] 赵亮,徐影,王劲松,等. 太阳活动对近百年气候变化的影响研究进展. 气象科技进展,2011,1(4):37-48.
- [23] 王靖泰. 阿尼玛卿山气候地貌[J]. 冰川冻土,1988,10(2):161-171.