

宁夏近 50 年极端强降水事件的时空变化分析

李欣^{1,2}, 郑广芬^{1,2}, 纳丽^{1,2}, 王素艳^{1,2}

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏气候中心, 宁夏银川 750002)

摘要 [目的]研究近 50 年宁夏极端强降水事件的时空变化特征。[方法]根据宁夏 20 个站点 1961~2010 年的逐日降水资料,采用百分位的方法定义宁夏极端降水事件的阈值,选取极端降水事件的降水量、频率、强度等多个指标,并利用线性回归和 M-K 非参数统计检验法分析了宁夏极端降水事件的时空分布及变化趋势特征。[结果]采用百分位法确定的宁夏近 50 年平均极端降水阈值大致呈现从南到北逐渐减小的分布状况,阈值较大的区域主要位于宁夏海原以南的固原地区,较小的区域位于宁夏的同心、盐池以北的大部地区,与宁夏气候平均年降水量的分布极为相似;近 50 年宁夏大部分地区的极端降水频率、极端降水量以减少趋势为主,而极端降水强度呈增大趋势。对麻黄山、六盘山 2 个典型站的极端降水事件分析发现,麻黄山极端降水频率与极端降水量呈减少趋势,极端降水强度为增大趋势,六盘山极端降水频率、极端降水量与极端降水强度均呈减少趋势;麻黄山年极端降水频率在 1994 年之前呈减少趋势,1994 年以后呈增加趋势,突变发生在 2003 年;年极端降水强度 1984 年以来为增加趋势,突变时间为 1984 年,六盘山从 1978 年至今为减小趋势。[结论]该研究为宁夏气候突变分析提供理论依据。

关键词 极端降水事件;时空变化;宁夏

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)08-03533-03

Analysis on Spatial and Temporal Changes of Extreme Precipitation Events in Ningxia in Recent 50 Years

LI Xin et al (Ningxia Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster, Yinchuan, Ningxia 750002)

Abstract [Objective] The aim was to study the spatial and temporal changes of extreme precipitation events in Ningxia in recent 50 years. [Method] Using daily precipitation data at 20 stations in Ningxia from 1961 to 2010, and defining the threshold value of extreme precipitation in each station by percentage method, choosing indicators such as precipitation, frequency and intensity of extreme precipitation events, the characteristics of the spatial and temporal distribution and linear trend of extreme precipitation events in Ningxia were analyzed based on linear regression and M-K non-parameter statistical test method. [Result] The percentage method suggested the threshold value of average extreme precipitation in Ningxia in recent 50 years decreased from south to north. The large threshold value was in southern Haiyuan, Tongxin and northern Yancheng, which was similar to the distribution of mean annual precipitation in Ningxia. In recent 50 years, extreme precipitation frequency and extreme precipitation decreased in most part of Ningxia but the intensity tended to strengthen. Study of extreme precipitation in Mahuang Mountain and Liupan Mountain indicated that precipitation frequency, intensity and extreme precipitation reduced. Annual extreme precipitation frequency narrowed and then increased after 1994 and had mutation in 2003. Annual extreme precipitation intensity enhanced since 1984. Mutation took place in 1984. Intensity in Liupan Mountain had weakened since 1978. [Conclusion] The study provided theoretical basis for the mutation of climate in Ningxia.

Key words Extreme precipitation events; Spatial and temporal changes; Ningxia

在气候变暖的背景下,近 50 年来我国与降水相关的极端天气气候事件变化具有明显的区域性,全球不同的地区雨季的极端强降水的线性趋势比总降水在幅度上要大,表明在对气候变化的响应上极端强降水事件表现更明显^[1-3]。在过去的几十年中,北半球中高纬度地区极端强降水事件的频率平均上升了 2%~4%^[4]。Zhai 等研究了我国极端降水 50 年来的变化趋势,发现极端降水在华北和四川盆地有显著减少趋势,而在西部地区、长江流域和东南沿海有上升趋势^[5]。刘学华等分析了我国近 40 年的极端气温和降水的特征,发现全国强降水日数有上升趋势^[6]。王志福等对我国极端降水事件的频数和强度特征分析发现,极端降水强度在我国东南部强于西北部,与年降水总量关系密切^[7]。

目前已有部分学者对宁夏降水进行了研究,陈晓光等分析发现气候变暖后年暴雨日数明显增多,宁夏年降水量呈减少趋势,降水量频率分布表现明显的向高级别降水量增加的趋势^[8-10]。郑广芬等研究发现宁夏秋季降水量的年代际变

化特征较明显,在 1978 年发生转折,此前宁夏处于多雨时段,其后处于降水偏少的气候背景之中^[11]。利用百分位法定义极端降水阈值对宁夏极端降水的时空特征进行研究目前还较少,因此笔者采用此方法,利用宁夏 20 个站点 1961~2010 年逐日降水资料,选取极端降水事件的降水量、频率、强度等多个指标,分析了宁夏极端强降水事件的时空变化。

1 资料与方法

1.1 资料来源 所用资料为宁夏的 20 个站点 1961~2010 年的逐日降水量 ≥ 0.1 mm 的资料。中国气象局规定日降水量 > 50 mm 的降水事件为暴雨,宁夏日降水量大于 50 mm 的日数很少,但强度较大,因此不同地区极端强降水事件不能完全按照全国统一的日降水量定义。笔者根据各个测站的日降水量,采用百分位法定义了不同地区的极端降水事件的阈值。

1.2 分析方法

1.2.1 极端降水事件阈值的确定。基于超定量法分别确定各站极端降水事件的阈值,将 1961~2010 年逐年的日降水量序列由小到大排列,取其第 95 个百分位数的 50 年平均值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过这个阈值时,就记为一次极端降水事件^[12-15]。极端降水量为每年极端降水事件的降水量总和,极端降水频率为每年发生极端降水事件的天数,极端降水强度为极端降水量与极端降水天数的比值。

基金项目 中国气象局气候变化专项 (CCSF2011-26);宁夏科技攻关项目 (KGX-12-09-02);宁夏自然科学基金 (NZ11246, NZ10212)。

作者简介 李欣 (1983-),女,回族,宁夏同心人,工程师,硕士,从事气候及短期气候预测研究, E-mail:lixin_720@163.com。

收稿日期 2013-03-16

1.2.2 变化趋势分析。采用线性回归和 M-K 非参数统计检验法对极端降水事件的变化趋势进行分析。M-K 法是一种基于 Kendall 秩相关的趋势检测法,其优点是不要样本服从特定的概率分布型也不受少数异常值的干扰^[16-18]。

2 结果与分析

2.1 极端降水事件的空间分布

2.1.1 阈值分布。从极端强降水阈值分布(图 1a)可以看出,阈值较大的区域主要位于宁夏海原以南的固原地区,较小的区域位于宁夏的同心、盐池以北的大部地区,大致呈现

从南到北逐渐减小的分布;固原、泾源极端强降水阈值在 20.2 mm 以上,而中卫、中宁、永宁低于 16.2 mm,这种空间分布与气候平均年降水量的分布极为相似(图 1b),说明极端强降水与气候平均降水的关系密切。宁夏地区 30 mm/d 的降水量很少发生,从图 1 中看出使用百分位定义极端降水事件可以避免使用统一标准的定义方法在宁夏检测不到极端强降水的不足。由于宁夏位于干旱半干旱地区,生态环境系统比较脆弱,暴雨以下量级的较强降水也可能给宁夏造成灾害,因此对于该地也应当被确定为极端降水事件。

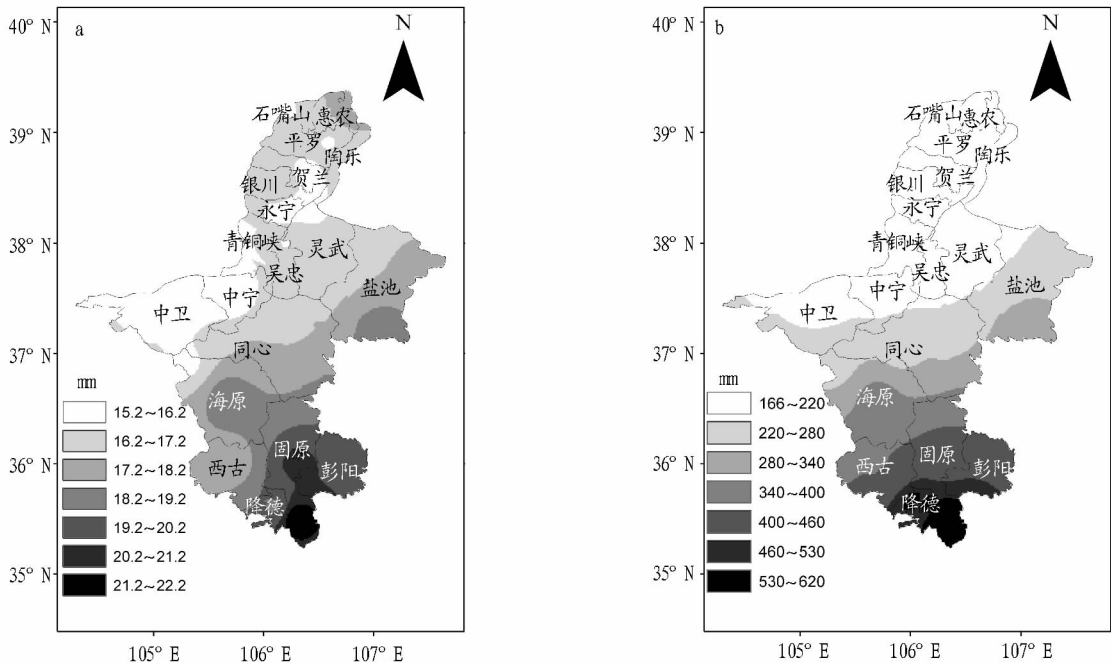


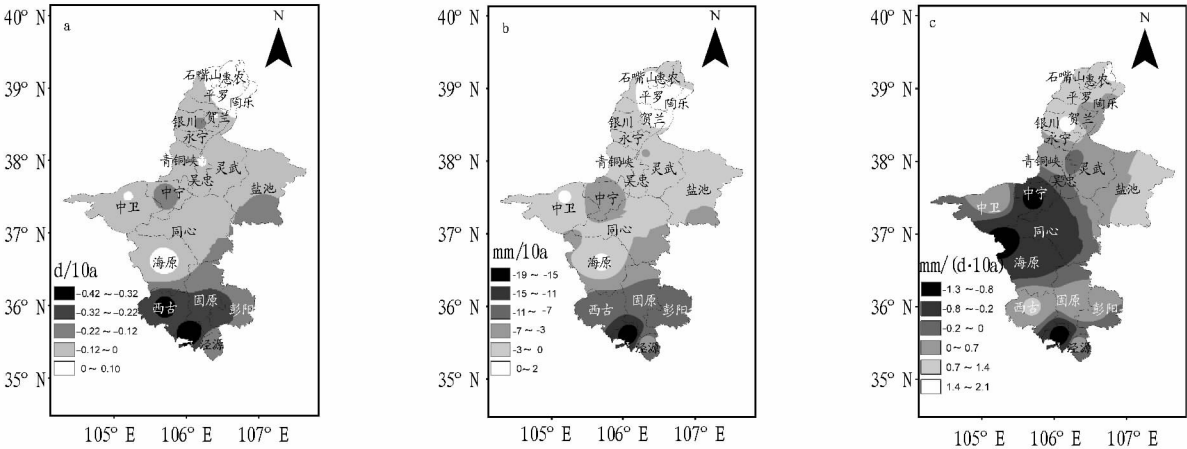
图1 宁夏 1961~2010 年极端强降水阈值(a)和 1971~2000 年气候平均年降水量(b)空间分布

2.1.2 极端强降水事件趋势空间分布。由图 2 可见,1961~2010 年宁夏大部分地区的极端降水频率以减少趋势为主,变化幅度为 $-0.430 \sim 0.082$ d/10a,其中惠农、平罗、吴忠、陶乐、海原的部分地区为略增加趋势,平罗最大,为 0.082 d/10a,其他地区均为减少趋势,隆德减少幅度相对较大,为 0.43 d/10a。极端降水量倾向率的分布与极端降水频率的分布极为相似,除贺兰、平罗、陶乐、中卫、海原为增加趋势外,其余大部地区为减少趋势,倾向率为 $-19.56 \sim 2.35$ mm/10a,隆德减小趋势最明显,减小幅率为 19.56 mm/10a。陈晓光等研究发现 1995~2005 年宁夏年降水量平均以 3.60 mm/10a 的速率下降^[9],说明极端降水量与年降水量关系密切。宁夏极端降水强度倾向率,除中卫、中宁等地为减小趋势,其余大部地区为增大趋势,其中惠农的增幅达 1.56 mm/(d·10a),说明 1961~2010 年宁夏大部地区极端降水事件频率与降水量呈减小趋势,而极端降水强度呈增大趋势。杨晓丹等研究发现,西北地区东西部年降水频率和年平均降水强度均发生了显著的变化,西北西部年降水频率呈增加趋势,年平均降水强度也呈增强趋势,西北东部年平均降水强度增强,而年降水频率却呈显著减少趋势,与文中研究结论相吻合^[19]。

极端降水事件频率与降水量趋势减小,而极端降水强度趋势增大,说明暴雨集中度在增加。宁夏属于干旱半干旱地区,绝大部分地区主要依靠天然降水涵养植被和维持生态平衡,一旦出现强降雨,容易造成该地区的城市内涝和水土流失。2006 年 7 月 14 日宁夏北部地区曾出现了区域性大暴雨,银川降水量达 104.8 mm,为有气象观测以来日降水量的最大值;据统计,此次降水事件造成水利设施、乡村道路、农作物等受灾面积 16 675 hm^2 ,直接经济损失约 2.5 亿元。

2.2 典型站极端降水事件的时间变化 由于城市化的迅速扩张,原本作为郊区站的气象站所在地,变成了城市用地,而在研究过程中,仍然将其视为郊区站,就不能较好地说明气候自身的变化,必须考虑城市化等人类行为对气候变化的影响,因此,笔者选取受人类活动影响较小的麻黄山站和六盘山站为代表,研究极端降水事件的时间变化。由表 1 可见,麻黄山极端降水频率与极端降水量呈减少趋势,极端降水强度为增大趋势;六盘山极端降水频率、极端降水量与极端降水强度均呈减少趋势。其中,近 50 年麻黄山极端降水频率减小的趋势为 0.22 d/10a,略小于六盘山极端降水频率减小的趋势(0.38 d/10a);麻黄山极端降水量减小的趋势为 3.43 mm/10a,远远小于六盘山极端降水量减少的倾向率(13.83

mm/10a);麻黄山极端降水强度增大的倾向率为 1.31 mm/(d·10a)。
mm/(d·10a),而六盘山为负的倾向率,为-0.41



注:a. 极端降水频率;b. 极端降水量;c. 极端降水强度。

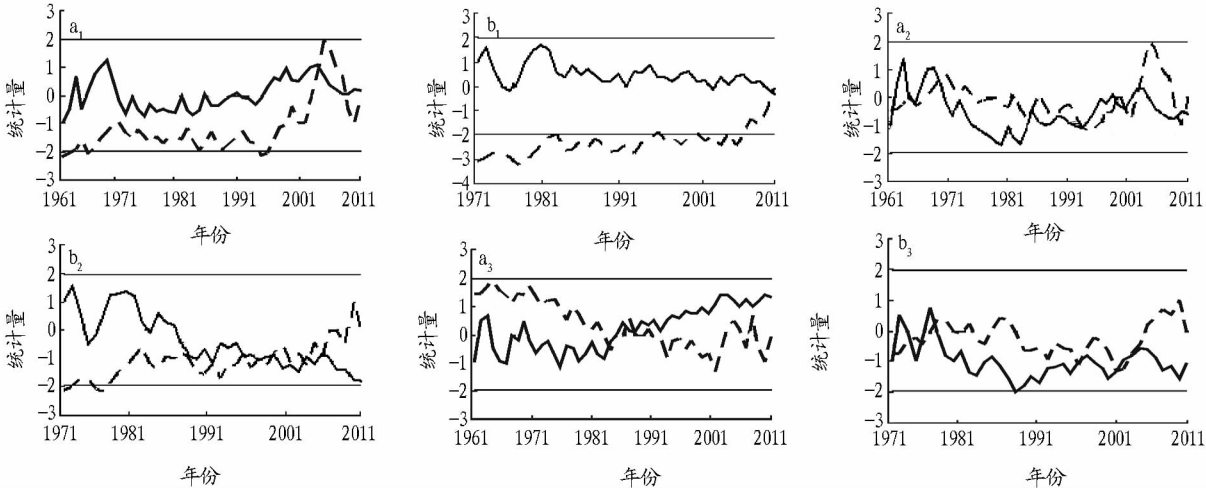
图 2 1961~2010 年宁夏极端降水指数倾向率的空间分布

表 1 1961~2010 年麻黄山与六盘山极端降水指数倾向率变化

站名	极端降水频率 倾向率//d/10a	极端降水量 倾向率//mm/10a	极端降水强度倾 向率//mm/(d·10a)
麻黄山	-0.22	-3.43	1.31
六盘山	-0.38	-13.83	-0.41

为了进一步研究近 50 年麻黄山与六盘山极端降水指数的突变情况,利用 M-K 非参数统计检验法对这 2 个站近 50 年极端降水指数的时间序列进行突变监测。由图 3 可见,麻黄山年极端降水频率在 1994 年之前呈减小趋势,1994 年以

后呈增加趋势,突变发生在 2003 年;六盘山整体呈增加趋势,没有发生突变。麻黄山 1971 年之前年极端降水量趋势变化不明显,1971 年以后为减小趋势,2001~2004 年为增加趋势,2004 年以来呈减小趋势,1970、2003 年为突变年份;六盘山 1987 年之前整体呈增加趋势,1987 年至今为减小趋势,没有发生突变。麻黄山 1984 年之前年极端降水强度为减小趋势,1984 年以来为增加趋势,突变时间为 1984 年;六盘山 1978 年之前趋势变化不明显,1978 年至今为减小趋势。



注:a₁、b₁ 为年极端降水频率;a₂、b₂ 为年极端降水量;a₃、b₃ 为年极端降水强度。2 条直线为 $\alpha=0.05$ 显著水平临界值 $U(U=\pm 1.96)$ 。

图 3 麻黄山(a)和六盘山(b)极端降水指数的 M-K 检验

3 结论与讨论

(1)采用百分位法确定的宁夏 50 年平均极端降水阈值大致呈现从南到北逐渐减小的分布状况,阈值较大的区域主要位于宁夏海原以南的固原地区,较小的区域位于宁夏的同心、盐池以北的大部地区,与宁夏气候平均年降水量的分布极为相似。
(2)近 50 年宁夏大部分地区的极端降水频率、极端降水量以减少趋势为主,而极端降水强度呈增大趋势,说明暴雨

集中度在增加。
(3)对麻黄山、六盘山 2 个典型站的极端降水事件进行分析发现,麻黄山极端降水频率与极端降水量呈减少趋势,极端降水强度为增大趋势;六盘山极端降水频率、极端降水量与极端降水强度均呈减少趋势。
(4)麻黄山年极端降水频率在 1994 年之前呈减小趋势,1994 年以后呈增加趋势,突变发生在 2003 年;麻黄山年极端
(下转第 3578 页)

供理论支持。在普洱工业园区的水环境容量计算中,不考虑水体本身的自净容量,采用控制断面法进行了应用分析,提出了总量控制建议,并得出以下结论:

(1)作为工业园区的纳污水体,在涉及规划区的思茅河、整碗小河、木乃河及曼歇河 4 条河流中,木乃河水体污染严重,整碗小河及思茅河均受到轻微污染,由于河流流量小,且上游大量生活污水的排入,减少了河流的环境容量。

(2)从多年平均状况分析,按Ⅳ类水质评价,木乃河 COD 已经没有剩余水环境容量,氨氮剩余环境容量仅为 0.08 t/a;整碗小河 COD 剩余环境容量为 99.87 t/a,氨氮需削减 0.45 t/a;思茅河 COD 剩余环境容量充足,为 2 148.87 t/a,氨氮需保证 39.87 t/a 的削减量才能保证水体的正常纳污能力。

(3)通过对该案例的研究分析可知,该方法简单适用,可以达到保护区域环境质量的目标,并通过对规划的指导促进社会、经济、环境的和谐发展^[19]。

参考文献

- [1] XIONG H B, WANG P, JIN X, et al. Discussion and application of planning EIA index system in the industrial development region based on low carbon economy[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(12): 86-90.
- [2] OU M L, ZHOU W B, HU C H. Variation characteristics of water environmental capacity in Poyang Lake under the scheduling of three gorges reservoir[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(3): 46-48, 52.
- [3] 李雪菲, 付永胜, 张乐嫣. 规划环评中水环境容量分析(以中国科技城绵阳金家林总部经济试验区为例)[J]. 中国科技博览, 2012(7): 62-

(上接第 3535 页)

降水强度 1984 年以来为增加趋势,突变时间为 1984 年,六盘山从 1978 年至今为减小趋势。

(5)宁夏极端降水事件的变化存在空间差异,这可能是气候、地形和误差等多种因素共同作用导致的。气候和地形可能是导致极端降水事件出现南北差异的主要原因,也可能是受人类活动干扰特别强烈导致的。由于 M-K 法不涉及气候人为影响及天然降水系列受气候周期振荡等方面,无法揭示未来的趋势特征,因此,该研究的结果仅是近 50 年来的极端降水变化趋势,宁夏降水的未来趋势如何变化,仍需进一步分析。

参考文献

- [1] WANG Z, WANG Y. Analysis of the spatial and temporal characteristics of extreme precipitation events in Liaoning Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(10): 39-42.
- [2] XUE D Q, WANG X T. The variation of extreme temperature and precipitation in Shandong Province during 1961-2008[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(5): 51-57.
- [3] EASTERLING D R, EVANS J L, GROISMAN P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate event[J]. Bull Am Met Soc, 2000, 81: 417-425.
- [4] HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: The Press Syndicate of Cambridge University, 2001.
- [5] ZHAI P M, ZHANG X B, WAN H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. Journal of

63.

- [4] 唐献力, 郭宗楼. 水环境容量价值及其影响因素研究[J]. 农机化研究, 2006(10): 45-48.
- [5] 付意成, 徐文新, 付敏. 我国水环境容量现状研究[J]. 中国水利, 2010(1): 26-31.
- [6] 夏青. 流域水污染物总量控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [7] 张永良. 水环境容量综合手册[M]. 北京: 清华出版社, 1991.
- [8] 杨长喆, 陈超, 薛宝永. 论清洁生产和循环经济在工业园区规划环评中的应用[C]//2010 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2010: 1602.
- [9] 谭娜. 好溪给云段水环境容量研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [10] 张永良, 洪继华, 夏青, 等. 我国水环境容量研究与展望[J]. 环境科学研究, 1998, 2(1): 73-81.
- [11] 孙殿武, 袁宝成. 我国工业区布局与城市规划建设间存在矛盾的分析[J]. 环境保护科学, 2008, 34(2): 121-123.
- [12] 谢华生, 赵翌晨, 包景岭, 等. 低碳理念在工业园区规划环评中的应用[J]. 中国环保产业, 2010(8): 26-27.
- [13] 李钟汶, 徐忆红, 郭宇红, 等. 工业园区规划环评中的生态适宜性分析(以庄河临港工业区规划环评为例)[C]//2010 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2010: 1651.
- [14] 高建斌, 桂国庆, 黄秋如. 工业园区可持续发展的指标体系研究[J]. 江西社会科学, 2006(6): 150-153.
- [15] 孙苏, 庄怡琳. 化学工业园区规划环评指标体系初探[J]. 四川环境, 2007, 26(5): 65-69.
- [16] 陈静, 杨智, 李军. 规划环评中的公众参与[C]//2009 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 2055.
- [17] 刘文博. 环境承载力分析法在工业园区规划环评影响评价中的应用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [18] 王燕云, 刘花台. 水资源承载力在规划环评中的应用(以永定工业区规划环评为例)[C]//2009 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 715.
- [19] 赵志远. 工业园区规划环评制约因素确定及案例分析[J]. 黑龙江科技信息, 2010(26): 307-308.

Chmme, 2005, 18: 1096-1108.

- [6] 刘学华, 季致建, 吴洪宝, 等. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
- [7] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [8] 陈晓光, 苏占胜, 郑广芬, 等. 宁夏气候变化的事实分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 43-47.
- [9] 陈晓光, DECLAN CONWAY, 陈晓娟, 等. 1961-2005 年宁夏极端降水事件变化趋势分析[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 156-160.
- [10] 陈晓光, 郑广芬, 陈晓娟, 等. 气候变暖背景下宁夏暴雨日数的变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 85-90.
- [11] 郑广芬, 陈晓光, 孙银川, 等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J]. 气象科学, 2006, 26(4): 412-421.
- [12] KARL T R, KUKLA G, RAZUVAYEV V N, et al. Global warming evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophys Res. Lett, 1991, 18: 2253-2256.
- [13] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(9): 1-10.
- [14] 江志红, 丁裕国, 屠其璞. 中国近 50 年冬夏季极端气温场的年代际空间型态及其演变特征研究[J]. 应用气象学报, 1998, 10(S1): 97-103.
- [15] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267-272.
- [16] HIPEL K W, MCLEOD A I. Time series modelling of water resources and environmental systems[M]. New York: Elsevier, 1994: 864.
- [17] 王晓霞, 徐宗学, 阮本清. 天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 92-96.
- [18] 宋令勇, 宋进喜, 张文静. 西安地区降水时空分布及变化规律分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(1): 85-89.
- [19] 杨晓丹, 翟盘茂. 我国西北地区降水强度、频率和总量变化[J]. 科技导报, 2005, 23(6): 24-26.