

近50年贵州不同强度降水日数时空变化分析

白淑英^{1,2}, 莫婷¹, 史建桥³, 周寅⁴

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 环境保护部 南京环境科学研究所, 南京 210042;
3. 94783 部队 61 分队, 浙江 长兴 313111; 4. 94857 部队 61 分队, 安徽 芜湖 241007)

摘要: 利用 1961 年—2010 年贵州省 81 个气象站的逐日降水量资料, 采用线性倾向估计、Mann-Kendall 检验和 GIS 空间分析, 探讨了贵州省不同强度降水日数的时空演变规律和突变特征, 结果表明: 近 50 年, 不同强度降水日数呈先增加后减小的态势, 总降水日数表现为明显下降趋势, 下降速率为 1.93 d/(10a), 其中小雨日数对总降水日数变化趋势的贡献最大, 两者均在 2006 年发生突变, 转为急剧下降趋势。在空间分布上, 总降水日数和小雨日数总体分布态势由西南向东北递减, 黔西南的大方、纳雍、水城等地为高值区, 黔东南以及东北局部地区为低值区; 中雨日数和大雨以上日数则由东南向西北递减。不同地区降水日数以减少为主, 其中总降水日数和小雨日数在黔南地区减少比较明显, 中雨日数呈减少趋势的比例高达 90.1%, 而大雨以上日数为增加趋势的比例较大(44.5%), 呈条带状分布, 主要在黔西、黔东北以及黔中南等地。

关键词: 降水日数; Mann-Kendall 检验; 时空变化

中图分类号: P426 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0220-05

Spatial and temporal variations of rainfall days with different intensities in Guizhou in recent 50 years

BAI Shuying^{1,2}, MO Ting¹, SHI Jianqiao³, ZHOU Yin⁴

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China;

3. Unit 61, No. 94783 of PLA, Changxing 313111, China; 4. Unit 61, No. 94857 of PLA, Wuhu 241007, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data at 81 meteorological stations in Guizhou Province from 1961 to 2010, the spatial and temporal variations and abrupt change of rainfall days with different intensities were analyzed using the methods of linear trend analysis, Mann-Kendall test, and GIS spatial analysis. The results showed that the rainfall days with different intensities increase gradually from the 1960s to 1990s and decrease in the early 2000s, the total rainfall days present an obvious decreasing trend with a rate of 1.93 d/10a, and the light rainfall days account for most of total rainfall days as both have an abrupt decreasing trend in 2006. As for the spatial distribution, the total rainfall and light rainfall days decrease from southwest to northeast with higher value centers in Dafang, Nayong, and Shuicheng in the southwest and lower value areas in the southeast and northeast of Guizhou Province, while the medium rainfall and heavy rainfall days decrease from southeast to northwest. The rainfall days decrease in different area of Guizhou Province. The total rainfall and light rainfall days have a significantly decreasing trend in the south of Guizhou Province, the proportion of moderate rainfall days shows a decreasing trend of 90.1%, and the area of heavy rainfall days with an increasing trend accounts for 67.1% and is mainly located in the west, northeast, and south central Guizhou Province with a banding distribution.

Key words: rainfall days; Mann-Kendall test; spatial and temporal variations

降水是一个重要的气候要素和水文要素,它对区域水资源时空分布、生态环境形成与演变以及农业生产起着决定性的作用^[1]。IPCC 第 4 次评估报告^[2]指出,世界很多地区最

近几十年的强降水事件发生频率有所上升,并且在温室效应影响下,这种趋势会进一步发展。我国地形复杂,受季风的影响,每年都会遭受不同程度的干旱与洪涝。研究显示,我

收稿日期: 2014-06-02 修回日期: 2015-01-28 网络出版时间: 2014-03-20

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150320.1627.003.html>

基金项目: 环保部公益性行业科研专项项目“我国国土生态安全格局构建关键技术与保护战略研究”(201209032)

作者简介: 白淑英(1973),女(蒙古族),内蒙古赤峰人,博士,主要从事遥感与 GIS 在资源环境中的应用研究。E-mail: baishuying@163.com

国的年降水量无明显变化趋势,但存在着明显的区域特征^[35],同时,年、季降水日数呈现明显的减少趋势,降水日数减少的范围远远大于降水量减少的范围,并具有区域性和季节性^[6-10]。这说明降水日数的变化与降水量的变化并不完全一致,甚至可能出现很大差异。在区域上也同样如此,如顾骏强等^[12]利用1961年-1999年36个站点的资料,分析了浙江省年、季、月降水总量与雨日数的气候变化,指出在浙江省年降水量增加的同时,除了7月、8月份雨日是增加以外,其他月份的雨日数都表现为减少。

近10年来,贵州省气候持续变暖,各类极端天气事件频发,而且由于大面积的喀斯特地貌,不利于蓄水,加上降水时空分布不均^[13],地区有效利用的水资源匮乏^[14]。然而,目前针对贵州不同强度降水日数的长时间序列分析较少。因此,本文利用1961年-2010年贵州省81个气象站的逐日降水量资料,采用线性倾向估计、Mann-Kendall检验和GIS空间分析,探讨贵州不同强度降水日数的时空演变规律和突变特征,为全面认识降水的气候变化特征、气候预测,以及区域农业生产合理布局与可持续发展提供参考和依据。

1 研究区概况

贵州省地处青藏高原东南部,介于东经103°36′-109°35′、北纬24°37′-29°13′之间,总面积17.61万km²,海拔呈西高东低形势,自中部向北、东、南三面倾斜,平均海拔在1100m左右。全省地貌分为高原、山地、丘陵和盆地四种基本类型,其中92.5%的面积为山地和丘陵。境内山脉众多,重峦叠嶂,绵延纵横,山高谷深。

贵州属亚热带湿润季风气候,冬暖夏凉,受季风影响降水多集中于夏季,降水较多,境内各地阴天日数一般超过150d,常年相对湿度在70%以上。受大气环流及地形等影响,贵州气候呈多样性,“一山分四季,十里不同天”。另外,灾害性天气种类较多,干旱、秋风、凌冻、冰雹等频度大,对农业生产危害严重。

2 数据与方法

降水强度指年总降水量除以年雨日,即平均降水日数的降水量。降水量数据来源于贵州省气象局,选取了81个时间序列完整气象站点(图1)1961年-2010年的逐日降水资料。其中降水等级以中央气象台的划分为标准,分别统计各站点降水日数($P \geq 0.1$ mm/d)、小雨日数(0.1 mm/d $\leq P < 10$ mm/d)、中雨日数(10 mm/d $\leq P < 25$ mm/d)和大雨以上日数($P \geq 25$ mm/d)。

在研究方法上,采用线性倾向估计分析研究区不同强度降水日数的时间变化特征,利用Mann-Kendall^[15]检验对变化明显的不同强度降水日数进行趋势检验和突变分析。假设数据序列 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 为平稳的时间序列,遵从正态分布,样本相对独立,首先需要计算对于元素 $x_i, x_i > x_j$ ($j = 1, 2, \dots, i-1$)成立的累积次数 m_i ,总累积数为 d_k ,定义统计量

$$U_{d_k} = \frac{d_k - E_{d_k}}{\sqrt{Var_{d_k}}} \quad (2 \leq k \leq n) \quad (1)$$

式中: E_{d_k} 、 Var_{d_k} 分别是 d_k 的均值和方差。可计算如下:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i; E_{d_k} = \frac{k(k-1)}{4}; Var_{d_k} = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2 \leq k \leq n) \quad (2)$$

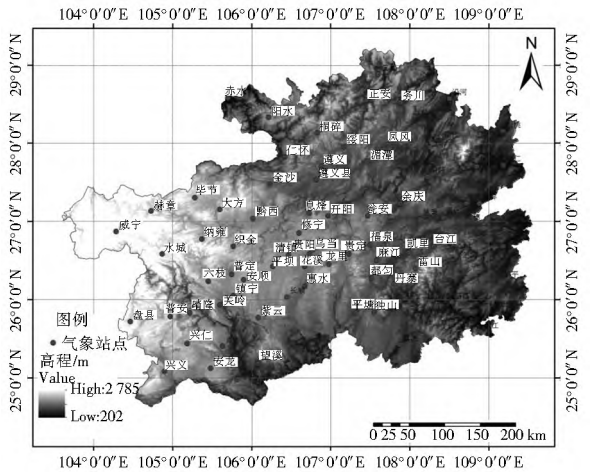


图1 研究区高程和气象站分布

Fig. 1 Distribution of elevation and meteorological stations in Guizhou Province

式中: U_{d_k} 服从标准正态分布。原假设为序列无趋势变化,采用双边趋势检验,在给定显著性水平 α 下,若 $|U_{d_k}| < U_{\alpha/2}$,接受原假设;若 $|U_{d_k}| \geq U_{\alpha/2}$,拒绝原假设。所有 U_{d_k} 将组成一条随时间变化曲线,当该曲线落在置信区间 $(-U_{\alpha/2}, +U_{\alpha/2})$ 外时,原序列才存在显著的变化趋势。本文选取置信区间 $|U| < 1.96$ (95%的置信水平),那么当曲线(U_{d_k} 值)落在 $|U| < 1.96$ 之外,则存在显著趋势, $U_{d_k} > 0$ 时,表示有上升趋势; $U_{d_k} < 0$ 时,表示有下降趋势。

不同强度日数的空间分布采用反距离权重插值法IDW进行插值^[16]。该方法可以通过权重调整空间插值等值线的结构,插值后的资料范围与原始资料站点能够覆盖的最大区域范围有关。最后,利用ArcGIS软件进行空间表达。

3 降水日数时间变化特征

3.1 年际变化特征

图2显出了1961年-2010年贵州不同强度降水日数年际和年代际变化情况。可以看出,近50年来贵州年平均总降水日数、小雨日数、中雨日数和大雨以上日数分别为175.2d、140.8d、22.4d和12.0d,均呈减少趋势,但总降水日数、小雨日数和中雨日数减少明显,减少速率分别为1.93d/(10a)、1.36d/(10a)和0.52d/(10a),其中仅有中雨日数变化趋势显著,达到了0.05显著性水平,大雨以上日数变化平缓,减少速率为0.03d/(10a)。不同强度降水日数中,小雨日数的变化对总降水日数的贡献最大,相关系数高达0.954,通过了0.001显著性检验。

从图2(b)可以看出,1961年-2010年贵州不同强度降水日数呈现先增加后减小的态势。20世纪60年代至70年代,不同强度降水日数均逐渐增加;80年代小雨日数达到最大值,中雨日数和大雨以上日数较同期偏少;90年代以后则逐渐下降,但总降水日数和大雨以上日数高峰出现在90年代;进入21世纪后,不同强度降水日数较20世纪末大幅减少,尤其是总降水日数和小雨日数,较平均值分别偏少10.7d、9.1d。

3.2 突变特征

图3为1961年-2010年贵州不同强度降水日数的Mann

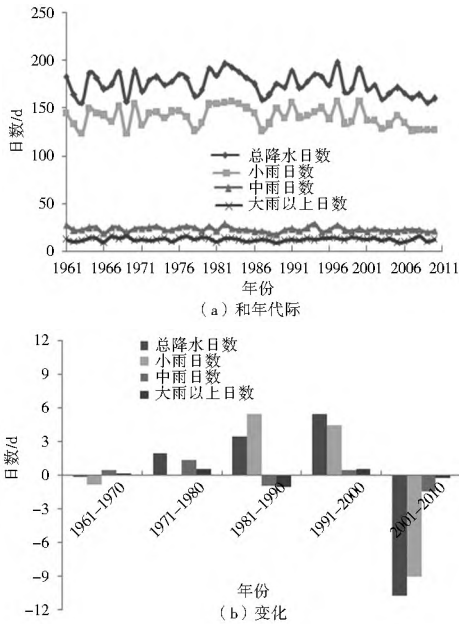


图 2 1961 年-2010 年贵州不同强度降水日数年际

Fig. 2 Annual (a) and decadal anomaly (b) variations of rainfall days with different intensities in Guizhou Province from 1961 to 2010

Kendall 突变分析曲线, 取 $\alpha = 0.05$ 显著性水平 (临界值 + 1.96)。可以看出, 总降水日数和小雨日数变化趋势基本一致, 只是变化幅度有所差异。20 世纪 60 年代总降水日数和小雨日数的 UF 曲线基本均在统计值 0 附近波动, 表明两者变化不明显; 70-90 年代两者增加态势明显, 其中小雨日数变化幅度大于总降水日数, 而且 1983 年-1986 年小雨日数 UF 曲线超过 95% 致信度水平临界线, 表明小雨日数增加趋势显著; 21 世纪初, 总降水日数和小雨日数都呈一致减少趋势, 总降水日数开始减少的年份是 2003 年, 小雨日数是 2006 年, 此后两者都保持强烈的减少势头。

相比而言, 中雨日数 UF 曲线在 60 年代至 80 年代中期基本在统计值 0 附近波动, 变化趋势不明显, 80 年代中后期开始, 中雨日数呈明显下降趋势, 2004 年-2010 年 UF 曲线超过 95% 致信度水平临界线, 中雨日数减少显著。

大雨以上日数 UF 曲线于 1961 年-1984 年基本在统计值 0 以上, 大雨以上日数呈增加趋势, 80 年代中期至 90 年代末, UF 曲线在统计值 0 以下, 大雨以上日数呈减少趋势; 进入 21 世纪以来, UF 曲线基本在统计值 0 附近波动, 变化趋势不明显。

根据 UF 曲线与 UB 曲线的交点位置, 可确定贵州不同强度降水日数均在统计时段内发生了突变, 总降水日数和小雨日数突变发生年份均在 2006 年, 而中雨日数在 80 年代中期发生突变, 大雨以上日数突变则主要发生在 1980 年和 1992 年。

4 降水日数空间变化特征

4.1 空间分布特征

图 4 为 1961 年-2010 年贵州不同强度降水日数的空间分布情况。分析发现, 贵州各地年平均总降水日数和小雨日数分别保持在 160~190 d (88.3%)、130~160 d (75.1%), 中雨日数和大雨以上日数则分别保持在 20~24 d (82.1%) 和

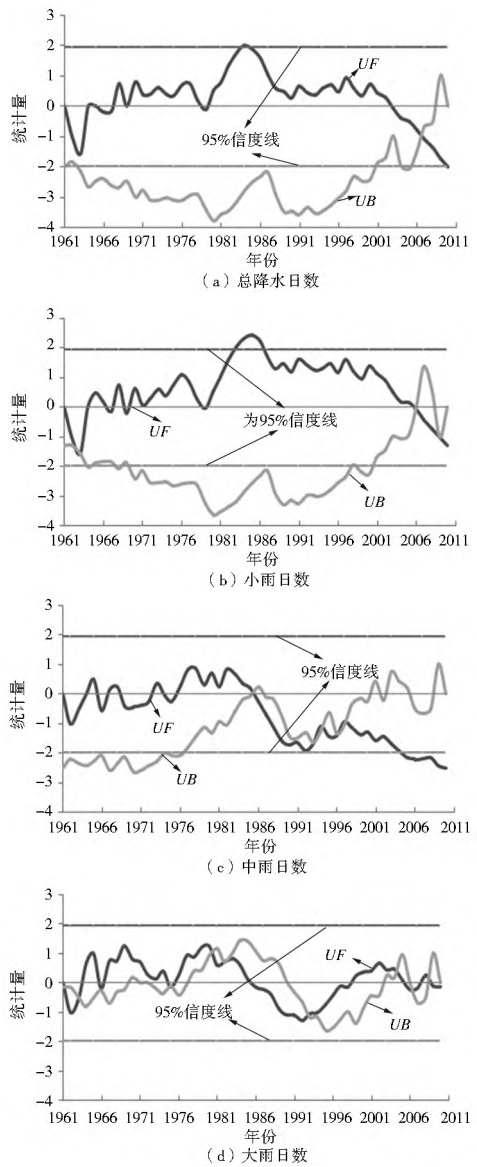


图 3 1961 年-2010 年贵州降水日数

Manr Kendall 突变分析结果

Fig. 3 Abrupt change of rainfall days using Manr Kendall mutation test in Guizhou Province from 1961 to 2010

10~14 d (64.8)。IDW 插值结果显示, 总降水日数和小雨日数总体分布呈现由西南向东北递减, 空间分布差异特征明显。位于黔西南的大方、纳雍、水城和织金等地为总降水日数和小雨日数高值区, 达 200 d 以上, 其中大方和纳雍总降水日数和小雨日数最多, 分别达到 212.6 d 和 182.5 d、209.3 d 和 174.4 d; 黔东南的平塘、兴义等地以及东北部的印江、德江和沿河一带出现了低值中心, 总降水日数和小雨日数分别为 150 d 和 120 d 左右。中雨日数和大雨以上日数呈现由东南向西北递减, 中雨日数高值区位于黔西南部的盘县、普安和晴隆一带 (山体迎风坡) 以及东部天柱和锦屏等地, 达到 25 d 以上, 低值区在毕节、赫章和威宁一带以及金沙河、黔西等地, 约 19 d, 其中毕节地区中雨日数最少, 年平均为 17.4 d; 大雨以上日数高值区主要分布在兴仁、安龙等地, 雨日数为 16 d 以上, 低值区分布在西北部边缘一带, 雨日数为 10 d 以下, 其中赫章、威宁大雨以上日数最少, 分别仅有 6.9 d、7.0 d。

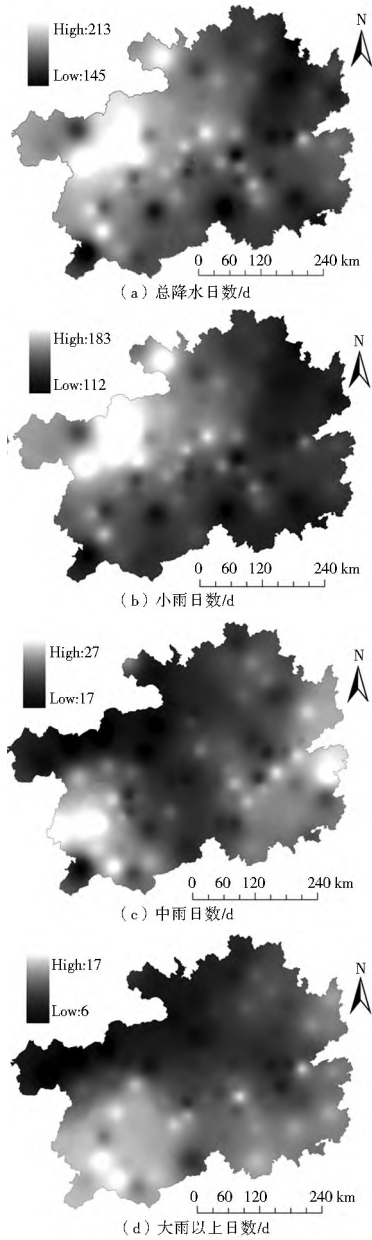


图4 1961年-2010年贵州不同强度降水日数空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of rainfall days with different intensities in Guizhou Province from 1961 to 2010

4.2 空间变化趋势

图5为1961年-2010年贵州不同强度降水日数变化趋势的空间分布情况。就年变化尺度看,大部分地区不同强度降水日数均呈减少趋势,但变化特征有所差异。总降水日数和小雨日数减少趋势百分比分别达到84.0%、76.5%,在黔南地区两者减少比较明显,减少速率大于0.26 d/a,其中紫云、平塘减少最为明显,减少速率分别达0.80 d/a、0.75 d/a和0.73 d/a、0.70 d/a,且通过了95%显著性检验,只在局部地区略有增加,(增加速率0~0.3 d/a),虽然大方、仁怀增加速率分别达到0.28 d/a、0.33 d/a和0.27 d/a、0.24 d/a,但未通过95%显著性检验。另外,小雨日数呈增加趋势的区域面积大于总降水日数,主要分布在仁怀-遵义县-开阳-瓮安-线以及凤岗、印江、石阡、岑巩和江口一带。中雨日数呈减少趋势的比例高达90.1%,其中减少速率在-0.08~-0.04 d/a所占比例最大为(61.4%),在安顺、三都减少最为

明显,减少速率均为0.13 d/a,且通过了95%显著性检验;仅有2.9%的区域中雨日数呈增加趋势,增加速率基本在0~0.06 d/a,如铜仁(0.05 d/a)。相比而言,大雨以上日数为增加趋势的比例较大(44.5%),呈条带状分布在黔西的毕节、大方、赫章一带和东北部沿河、印江、石阡、岑巩、施秉一线以及中南部的六枝、平坝、长顺、平塘、荔波等地区。整体上,全区小雨日数的变化态势与降水日数变化相当一致,线性倾向率的极差较大(1.08 d/a),而中雨日数和大雨以上日数的变化较弱,线性倾向率的极差分别只有0.20 d/a、0.14 d/a。

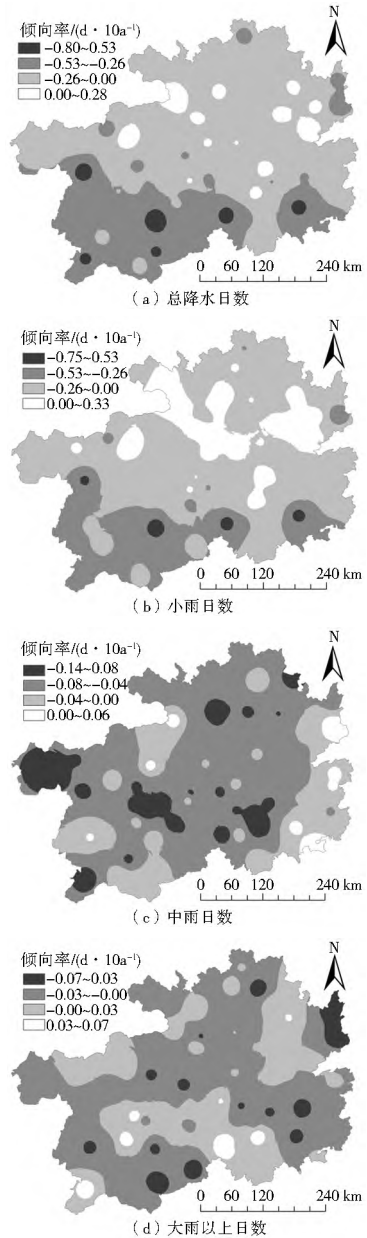


图5 1961年-2010年贵州不同强度降水日数变化趋势空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of rainfall days with different intensities in Guizhou Province from 1961 to 2010

5 结论

(1) 近50年贵州不同强度降水日数大体上是先增加后减小的态势,其中总降水日数、小雨日数和中雨日数呈明显减少趋势,减少速率分别为1.93 d/(10a)、1.36 d/(10a)和

0.52 d/(10a), 其中仅有中雨日数变化趋势显著, 达到了 0.05 显著性水平, 大雨以上日数变化平缓, 减少速率为 0.03 d/(10a)。

(2) Mann-Kendall 突变分析表明, 不同强度降水日数序列中, 总降水日数和小雨日数突变发生年份均在 2006 年, 而中雨日数突变年份为 1986 年, 大雨以上日数突变则主要发生在 1980 年和 1992 年。

(3) 空间分布上, 总降水日数和小雨日数总体空间分布呈现由西南向东北递减趋势, 空间分布差异特征明显, 高值区位于黔西南的大方、纳雍和水城等地区, 低值区在黔东南的平塘、兴义等地区以及东北部的印江、德江和沿河一带; 中雨日数和大雨以上日数空间分布趋势呈现由东南向西北递减趋势。

(4) 贵州大部分地区不同强度降水日数均呈减少趋势, 总降水日数和小雨日数在贵州南部地区减少比较明显, 中雨日数呈减少趋势的比例则高达 90%, 其中减少速率在 $-0.08 \sim -0.04$ d/a 所占比例最大 (61.4%), 大雨以上日数为增加趋势的比例较大 (44.5%), 呈条带状分布, 主要在黔西、黔东北以及黔中南等地区。

参考文献(References):

- [1] 张志才, 陈喜, 王文, 等. 贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J]. 地球与环境, 2007, 35(4): 351-356. (ZHANG Zhi cai, CHEN Xi, WANG Wen, et al. Analysis of rainfall trend and extreme events in Guizhou[J]. Earth and Environment, 2007, 35(4): 351-356. (in Chinese))
- [2] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [3] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244. (ZUO Hong chao, LYU Shi hua, HU Yin qiao. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(2): 238-244. (in Chinese))
- [4] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 49-55. (LIU Yin ge. Analysis on the change trend of precipitation in North Shaanxi Province in the loess plateau[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(1): 49-55. (in Chinese))
- [5] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951-2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18. (ZHAI Pan mao, ZOU Xu kai. Change in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951-2003[J]. Advances in Climate Change Research, 2005, 1(1): 16-18. (in Chinese))
- [6] 王刚, 严登华, 张冬冬, 等. 海河流域 1961 年-2010 年极端气温与降水变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(1): 1-6. (WANG Gang, YAN Deng hua, ZHANG Dong dong, et al. Trend analysis of variations in extreme precipitation and temperature in the Hai River Basin from 1961 to 2010[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(1): 1-6. (in Chinese))
- [7] 白淑英, 史建桥, 相栋, 等. 近 50 年青海降水时空格局变化[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 148-153. (BAI Shu ying, SHI Jian qiao, XIANG Dong, et al. Spatiotemporal pattern change of precipitation in Qinghai in the last 50 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(6): 148-153. (in Chinese))
- [8] 刘笑, 邵晓华, 王涛. 中国东部季风区夏季降水的时空分布特征[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 10-15. (LIU Xiao, SHAO Xiao hua, WANG Tao. Spatial and temporal distribution characteristics of summer precipitation in the monsoon region of Eastern China[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(1): 1-6. (in Chinese))
- [9] 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 162-170. (WANG Ying, SHI Neng, GU Jun qiang, et al. Climatic variation of wet days in China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2006, 30(1): 162-170. (in Chinese))
- [10] 彭贵芬, 刘瑜. 云南各量级雨日的气候特征及变化[J]. 高原气象, 2009, 28(1): 214-219. (PENG Gui fen, LIU Yu. Climatic characteristic and change of rain day for different intensities in Yunnan[J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(1): 214-219. (in Chinese))
- [11] 吴昊旻, 廖必军, 蔡寿强. 浙江省不同强度降水日数的时空分布特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 360-366. (WU Hao min, LIAO Bi jun, CAI Shou qiang. Temporal and spatial distribution characteristics of different level rainfall days in Zhejiang Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(3): 360-366. (in Chinese))
- [12] 顾骏强, 施能, 薛根元. 近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化[J]. 应用气象学报, 2002, 13(3): 322-329. (GU Jun qiang, SHI Neng, XUE Gen yuan. Climatic variation of rainfall and wet days in Zhejiang[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2002, 13(3): 322-329. (in Chinese))
- [13] 吴战平, 白慧, 严小冬. 贵州省夏旱的时空特点及成因分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(S2): 383-391. (WU Zhan ping, BAI Hui, YAN Xiao dong. The characteristics of the spacial and temporal distribution and the cause of formation analysis about the drought during the summer half year in Guizhou[J]. Journal of Yunnan University, 2011, 33(S2): 383-391. (in Chinese))
- [14] 彭芳, 吴古会, 杜小玲. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 307-313. (PENG Fang, WU Gu hui, DU Xiao ling. Spatio-temporal characteristics of short-time strong precipitation in Guizhou Province[J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(3): 307-313. (in Chinese))
- [15] 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, 1999. 63-66. (WEI Feng ying. Modern climatic statistical diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999, 63-66. (in Chinese))
- [16] 张志才, 陈喜, 王文, 等. 贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J]. 地球与环境, 2007, 35(4): 351-355. (ZHANG Zhi cai, CHEN Xi, WANG Wen, et al. Analysis of rainfall trend and extreme events in Guizhou[J]. Earth and Environment, 2007, 35(4): 351-355. (in Chinese))