



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.02.019

毕雪丽, 张发旺, 时坚, 等. 河池市近56年来气候变化特征[J]. 2016, 14(2): 105-110.

BI Xue li, ZHANG Fa wang, SHI Jian, et al. Climatic change characteristics of Hechi city in the last 56 years [J]. 2016, 14(2): 105-110. (in Chinese)

河池市近56年来气候变化特征

毕雪丽, 张发旺, 时坚, 许琦

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004)

摘要: 对水、光、热等主要气候因素变化特征进行分析, 有助于全面了解并合理利用当地气候资源, 为水资源利用、农业生产规划、生态环境监测等提供依据。基于河池市1958年-2013年气温、降水、日照时数等气候数据, 利用线性回归、累积距平法、Mann Kendall法, 分析了该市近56年来气候变化特征, 结果显示: 年均气温呈显著升高趋势, 倾向率为 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 突变点出现在1986年。四季气温升幅不一, 以夏、秋季升温幅度最大, 且是年均气温升高的主导因素。年降水量以及春、夏、秋季降水量表现为微弱的减少趋势, 而冬季降水量微弱增加。全年日照时数以 $-63\ 083\ \text{h}/(10\text{a})$ 的速率显著减少, 减少突变点为1970年, 1976年之后减少显著。四季日照减幅表现为夏季>秋季>冬季>春季。

关键词: 气候变化; 突变检验; Mann Kendall法; 河池市

中图分类号: P46 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0105-06

Climatic change characteristics of Hechi city in the last 56 years

BI Xue li, ZHANG Fa wang, SHI Jian, XU Qi

(Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China)

Abstract: Researching on characteristics of main climate factors in the area such as water, light, and heat can contribute to a comprehensive understanding and rational utilization of local climatic resources, which can provide the basis for utilization of water resources, agricultural production planning, and ecological environment monitoring. Based on temperature, precipitation, and sunshine duration of Hechi city from 1958 to 2013, the climate change characteristics were analyzed by linear regression, cumulative departure, and Mann Kendall method. The results showed that the annual temperature increased remarkably, and the tendency rate was $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, with the mutation point appearing in 1986. The increase of temperature in the four seasons was different, but the biggest increasing range of temperature appeared in summer and autumn, which were the dominant factors of the increase of annual mean temperature. The precipitation in spring, summer and autumn and annual precipitation showed a slight decrease tendency, and there was a slight increase of precipitation in winter. The annual sunshine duration decreased remarkably with the rate of $-63\ 083\ \text{h}/(10\text{a})$, with the mutation point of decrease in 1970, and there was a remarkable decrease after 1976. The seasonal sunshine duration decreased significantly as well, and the order of four seasons according to decreasing range were summer, autumn, winter and spring.

Key words: climate change; mutation test; Mann Kendall method; Hechi city

收稿日期: 2015-06-12 修回日期: 2015-07-14 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1455.021.html>

基金项目: 中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2014027); 中国与东南亚地区岩溶地质系列图编制(12120114006301)

Fund: Basic Research Project Funded by IKG, CAGS(2014027); Mapping of Karst Environment and Hydrogeology in China and Southeast Asia(12120114006301)

作者简介: 毕雪丽(1988), 女, 河南信阳人, 研究实习员, 主要从事气候变化及3S应用方面研究。E-mail: bixueli@karst.ac.cn

通讯作者: 张发旺(1965), 男, 河北衡水人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土资源方面研究。E-mail: zhangfawang@karst.ac.cn

气候变化已成为当前全球普遍关注的环境问题。联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告指出,全球气候系统变暖的事实是毋庸置疑的,自 1950 年以来,气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至近千年以来史无前例的^[1]。气候变化必将引起水资源在时间和空间上的重新分配以及水资源总量的改变,增加洪涝、干旱等极端灾害发生的频率和强度^[2],并进一步影响生态环境与社会经济的可持续发展^[3]。而各地区对全球气候变化的响应^[4-7]存在明显的地域差异。河池市地处广西西北边陲、云贵高原南麓(106°34′ - 109°09′ E, 23°41′ - 25°37′ N),气候类型为亚热带季风气候区,热量丰富,雨量集中,光照充足。该区属于典型岩溶地区,地貌复杂多变,生态环境脆弱。特殊的岩溶地形地貌等因素导致气候复杂多变,气候区域性特征十分明显。已有研究显示,气候变化已经对该地区植被产生了一定的影响^[8,9],然而目前针对河池市的气候变化的长序列的分析较为缺乏。为了解地区性气候因子在全球气候变化背景下的演变特征^[10],本文拟选取气温、降水、日照时数等影响植被生长的主要气候指标,对该市近 56 年来的气候变化进行分析,以期丰富小区域气候变化研究内容,并为地区生态环境恢复和农业发展规划提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源及处理

本文选取河池市气象站 1958 年-2013 年的气温、降水、日照时数等气候日值数据序列,数据来源于中国气象科学数据共享服务网。数据经过异常值和缺失值的处理,准确可靠。经过季节划分(3 月-5 月为春季,6 月-8 月为夏季,9 月-11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季)和统计,得到各季节及年平均气温、降水量、日照时数序列。

1.2 研究方法

本文利用线性回归法对全年和各季节气候变化进行倾向分析;利用累积距平法、Mann-Kendall 趋势分析法对气候变化进行趋势分析和显著性检验;应用 Mann-Kendall 突变检验法对气候变化进行突变点检验。

线性回归是最简单、直观判断序列变化趋势的方法。利用指标时间序列与年序数建立一元回归方程,求出各统计系数,可获得指标随时间变化的倾向性^[11]。累积距平是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法^[12]。在累积距平曲线中,上升表示正距平,下降表示负距平。由于消除了 C_r 值的影响,

差积曲线上的微小变化可表示出要素距平值的变化,反映出气象因子的变化趋势,简单明显。Mann-Kendall 法是世界气象组织推荐使用并广泛使用的一种非参数检验方法,它既可以检验时间序列变化趋势的显著性,也可以进行突变检验^[13-14],优点是不对变量的分布做严格假定,也不受少数异常值的干扰,适用性强,计算简便,适合于水文气象等非正态分布的时间序列^[15-16]。

2 气温变化特征

2.1 气温年际变化特征

线性回归结果(见图 1)显示,近 56 年来河池市气温呈变暖趋势,倾向率为 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$;Mann-Kendall 趋势分析结果显示,气温呈上升趋势,且通过 0.05 置信水平的显著性检验,说明该市气温升高趋势显著,56 年来年均气温升高了 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,变化趋势与珠江流域、广西全区的有关结果吻合,但升温率高于同期珠江流域多年平均气温的上升率($0.078\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ ^[17]),而低于广西全区平均增温幅度 $0.148\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ ^[18]。河池市多年气温均值为 $20.58\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温的变异系数 C_v 值为 2.16%,年际差异不大。最暖的年份是 2003 年,气温为 $21.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,其次是 1998 年,气温为 $21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;最冷的年份是 1984 年,气温为 $19.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,其次是 1976 年,气温为 $19.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气温累积距平曲线显示,以 1985 年为界,之前累积距平值在波动中下降,到 1985 年达到最低谷,1986 年之后开始波动上升,进入升温期。

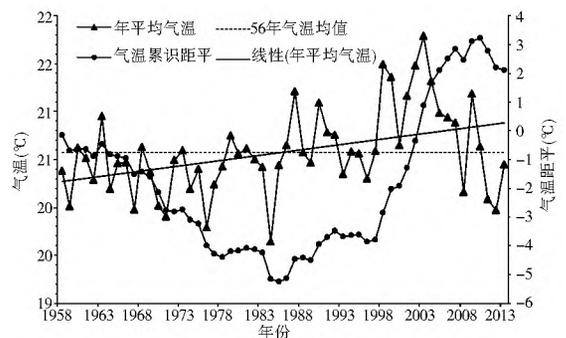


图 1 1958 年-2013 年河池市年均气温变化趋势

Fig. 1 The change trend of annual temperature of Hechi city from 1958 to 2013

2.2 气温季节变化特征

由表 1 可见,变异系数存在季节差异,但均小于 10%,稳定性较好。各季节气温均呈波动上升趋势,升幅不同,其中秋季升温幅度最大,倾向率为 $0.196\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$;夏季其次,倾向率为 $0.133\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$;春

季气温变化最平稳,倾向率为 $0.051\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ Manrkendall 趋势分析结果显示,四个季节中秋季和夏季气温变化通过 0.05 置信水平的显著性检验,即升温趋势显著,冬、春季温度升高趋势不显著,这一结果与珠江上游气温的变化特征^[17]一致。说明夏、秋季增温是河池市年均气温升高的主导因素。

表 1 四季气温变化特征

Tab.1 The change characteristics of four season temperature

季节	变异系数(%)	倾向率/ $[^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}]$	MK 趋势分析结果
春	3.61	0.051	升高但不显著
夏	1.8	0.133	显著升高
秋	3.34	0.196	显著升高
冬	9.54	0.088	升高但不显著

2.3 气温突变分析

采用 Manrkendall 突变检验法对 1958 年-2013 年河池市年均气温和各季节气温进行突变检验,结果见图 2。图中显示,1960 年-1966 年、1980 年-1983 年、1986 年-2013 年气温均呈上升趋势,尤其是 1998 年之后,UF 曲线超过临界直线(1.96),升温趋势显著。UF 和 UB 曲线在 1986 年附近相交,交点位于两个信度线之间,之后 UF 持续上升且远远超过 0.05 置信水平的信度线,说明该市年均气温存在着明显的增温突变,突变开始年份为 1986 年。突变前多年气温均值为 $20.35\text{ }^{\circ}\text{C}$,变异系数为 1.49% ;突变后的多年气温均值为 $20.80\text{ }^{\circ}\text{C}$,变异系数为 2.19% ,突变前后气温升高了 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$,且振荡程度增大。任国玉^[18]等认为我国增温主要是从 20 世纪 80 年代中期开始的,与本文检测的突变时间基本吻合。四季气温的突变分析显示,夏季存在增温突变,突变开始时间在 1979 年,秋季增温突变开始时间为 1983 年-1984 年,春、冬季无明显突变点。

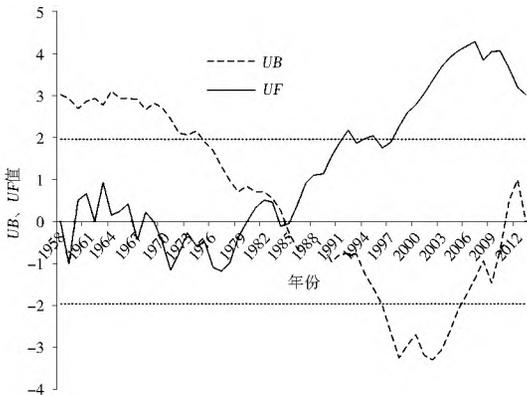


图 2 年均气温 Manrkendall 气候突变检验
Fig. 2 Results of mutation test of annual temperature by Manrkendall test

3 降水变化特征

3.1 降水年际变化

近 56 年来河池市年降水量呈波动中下降趋势,倾向率为 $-21.87\text{ mm}/(10\text{a})$ (见图 3),年均降水减少了 122.47 mm 。Manrkendall 趋势分析显示,降水变化未通过 0.05 置信水平的显著性检验,即该市降水多年来下降趋势不显著,这一结果与珠江流域研究结果^[20-21]中的有关结论相吻合。年降水量变异系数 C_v 值为 18.98% ,年际差异较大。

该市多年降水均值为 1475.18 mm ,年降水量最小值为 2009 年的 973.70 mm ,最大值为 1994 年的 2694.80 mm ,为最小值的 2.8 倍。2000 年之前,降水为正负距平交替状态,之后多为负距平。降水量累积距平曲线显示,降水量波动频繁,规律性弱,1992 年之前处于较小幅度的波动状态,1993 年-2001 年大幅上升,2003 年之后转为快速下降阶段。

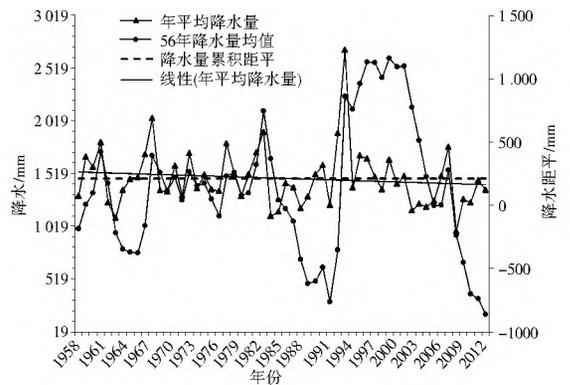


图 3 1958 年-2013 年河池市年降水量变化趋势
Fig. 3 The change trend of annual precipitation of Hechi city from 1958 to 2013

3.2 降水季节变化特征

由表 2 可见,降水量的变异系数存在明显的季节差异,秋、冬季的变异系数明显大于年度和其它季节的变异系数,说明秋、冬季的降水波动性大,尤其需要注意气象预报、加强旱涝灾害防范。线性回归结果显示 56 年来冬季降水呈现波动中微弱升高趋势,变化率为 $2.52\text{ mm}/(10\text{a})$,其它三个季节的降水量均呈波动降低趋势,其中夏季降水减少幅度最大,为 $-15.96\text{ mm}/(10\text{a})$,春、秋季降水减少幅度相当。Manrkendall 趋势分析结果显示,四个季节的降水量变化均未通过 0.05 水平的显著性检验,即虽然降水量的波动大,但多年来整体变化趋势并不显著。

表 2 四季降水变化特征统计值

Tab. 2 The change characteristics of four season precipitation

季节	变异系数 (%)	倾向率/[mm · (10a) ⁻¹]	MK 趋势分析结果
春	29.7	- 4.047	减少但不显著
夏	29.87	- 15.961	减少但不显著
秋	42.02	- 4.103	减少但不显著
冬	40.56	2.522	增加但不显著

3.3 降水突变分析

降水 Manr Kendall 突变分析结果显示,降水量的 *UF* 和 *UB* 曲线虽在 ±1.96 临界线之间有多个交点,但最终 *UF* 曲线未超过信度线,尚未构成突变,见图 4,四季降水量变化亦无明显突变现象。

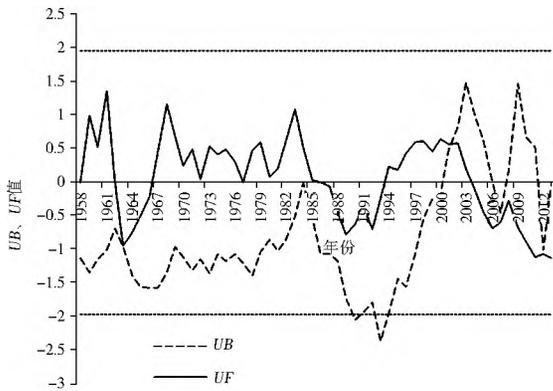


图 4 年降水量 Manr Kendall 气候突变检验

Fig. 4 Results of mutation test of annual precipitation by Manr Kendall test

4 日照时数变化特征

4.1 日照时数年际变化特征

1958 年- 2013 年河池市年日照时数呈现波动中下降趋势,倾向率为 - 63.077 h/(10a) (见图 5),年平均日照时数减少了 353.26 h。Manr Kendall 趋势分析显示,通过 0.05 置信水平的显著性检验,即该市年平均日照时数下降趋势显著。该市日照时数整体变化同全国近 50 年来的变化趋势^[15] 相同,但明显高于全国(36.9/(10a)^[22]) 以及华南地区的平均年日照时数减少幅度(40.9 h/(10a)^[23])。日照时数变异系数 *C_v* 值为 14.23%,年际差异较大,多年日照时数均值为 1341.28 h,最高值为 1958 年的 1770.90 h,最低值为 2012 年的 1007.80 h。日照时数距平图显示,1976 年之前,日照时数均为正距平,之后 84% 的年份为负距平。累积距平曲线显示,日照时数经历了三个变化阶段,1958 年- 1973 年为快速上升期,1974 年- 1980 年为平稳期,1981 年- 2013 年为快速下降期。

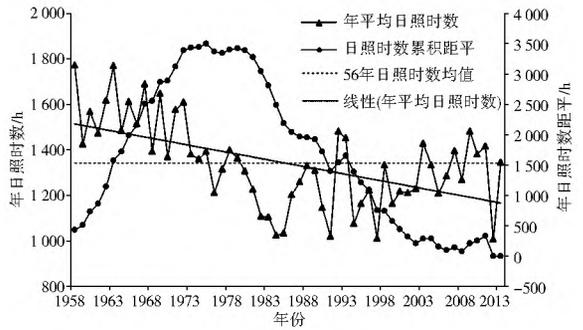


图 5 1958 年- 2013 年河池市年日照时数变化趋势

Fig. 5 The change trend of annual sunshine duration of Hechi city from 1958 to 2013

4.2 日照时数季节变化特征

由表 3 可见,从季节来看,冬季的变异系数明显高于其它季节和年均值。四季日照时数亦均呈波动降低趋势,其中夏季降水减少幅度最大,为 - 23.658/(10a),秋、冬季减少幅度相当,春季减幅最小。Manr Kendall 趋势分析结果显示,除春季外,其它季节日照时数变化均通过了 0.05 置信水平的显著性检验,即减少趋势显著。夏季是农作物生长的重要季节,日照的显著减少将对农业生产产生一定的影响,故应根据气候变化规律,合理安排植物的种植布局,使之与光能条件相适应,趋利避害,提高光能利用率。

表 3 四季日照时数变化趋势

Tab. 3 The change characteristics of four season sunshine duration

季节	变异系数 (%)	倾向率/[h · (10a) ⁻¹]	MK 趋势分析结果
春	20.71	- 9.759	减少、不显著
夏	16.83	- 23.658	显著减少
秋	18.77	- 14.186	显著减少
冬	31.16	- 13.992	显著减少

4.3 日照时数突变检验

年日照时数存在着明显的减少突变,突变开始年份为 1970 年,见图 6,突变前后的多年均值分别为 1579.67 h 和 1276.27 h,变异系数分别为 7.98% 和 11.71%,即突变后年多年日照时数均值减少了 303.40 h,且波动幅度增大。四季日照时数也存在减少的突变,其中秋、冬季突变时间较早,在 1967 年,春夏在 1968 年- 1969 年间突变。

5 结论

(1) 河池市年均及四季气温均呈上升趋势,秋季升温幅度最大,气温的变化主要是秋、夏季的增温造成的。全国尤其是西北地区大多以冬季增温最为明

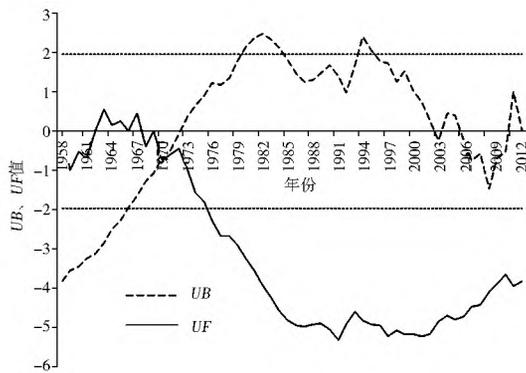


图6 年日照时数 Mann-Kendall 气候突变检验

Fig. 6 Results of mutation test of annual sunshine duration by Mann-Kendall test

显,是年均气温升高的主导因素。由于地域性差异,河池气温的季节变化特征与全国并不完全一致。年均气温在1986年发生了增温的突变,1998年之后升温显著。

(2) 该市年降水量呈减少趋势,倾向率为 $-21.87 \text{ mm}/(10\text{a})$ 。四季中除冬季降水量呈现微弱增加,春、夏、秋季的降水均呈波动降低趋势,其中夏季降水减少幅度最大,为 $-15.96 \text{ mm}/(10\text{a})$,夏季降水的变化在年降水量变化中起主导作用。降水量年际波动性大,但整体无显著变化趋势和突变现象。

(3) 该市全年和四季的日照时数均呈显著减少趋势,夏季减少幅度最大。年日照时数减少的突变点在1970年,1976年之后减少更为显著。

在全球变暖的大背景下,位于西南岩溶地区的河池市呈现气温明显升高、降水微弱减少、日照显著减少的总体特征。气候的改变会引起水资源分布的变化,进而引发一系列旱涝灾害;温度、光照条件的改变会对植物物候产生一定的影响,并将引起农业生产布局和生态系统的改变,因此应加强气候变化的监测和预警,有效预防气候灾害,高效利用气候资源,保证社会、经济和生态环境的健康发展。

参考文献(References):

[1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Final Draft Underlying Scientific Technical Assessment [R/OL]. [2013-10-28]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5SPM_Approved27Sep2013.pdf.

[2] 张建云,王国庆,刘九夫,等.国内外关于气候变化对水的影响的研究进展[J]. 人民长江, 2009, 40(8): 39-41. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, LIU Jiufu, et al. Review on worldwide studies for impact of climate change on water[J]. Yangtze River, 2009, 40(8): 39-41. (in Chinese))

[3] 李峰平,章光新,董李勤.气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学, 2013, 33(4): 457-464. (LI Fengping,

ZHANG Guangxin, DONG Liqin. Studies for impact of climate change on hydrology and water resources[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(4): 457-464. (in Chinese))

[4] 赵传成,王雁,丁永建,等.西北地区近50年气温及降水的时空变化[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 385-390. (ZHAO Chuancheng, WANG Yan, DING Yongjian, et al. Spatial-temporal variations of temperature and precipitation in Northern China in recent 50 Years[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(2): 385-390. (in Chinese))

[5] 谭方颖,王建林,宋迎波.华北平原近45年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45. (TAN Fangying, WANG Jianlin, SONG Yingbo. Characteristics of climate change in the North China Plain for recent 45 years[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(5): 40-45. (in Chinese))

[6] 贺晋云,张明军,王鹏,等.近50年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190. (HE Jinyun, ZHANG Mingjun, WANG Peng, et al. Climate characteristics of the extreme drought events in Southwest China during recent 50 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9): 1179-1190. (in Chinese))

[7] 李聪,肖子牛,张晓玲.近60年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 419-424. (LI Cong, XIAO Ziniu, ZHANG Xiaoling. Climatic characteristics of precipitation in various regions of China for the past 60 years[J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(4): 419-424. (in Chinese))

[8] 韦振锋,任志远,张翀.近12年广西植被覆盖与降水和气温的时空响应特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 33-44. (WEI Zhenfeng, REN Zhiyuan, ZHANG Chong. Research on vegetation response to temperature and precipitation in Guangxi in recent 12 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(5): 33-44. (in Chinese))

[9] 童晓伟,王克林,岳跃民,等.桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3425-3434. (TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemian, et al. Trends in vegetation and their responses to climate and topography in Northwest Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3425-3434. (in Chinese))

[10] 李占杰,鱼京善,信达.1951年-2010年贵阳市气温变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(5): 31-35. (LI Zhanjie, YU Jiangshan, XIN Da. Characteristic analysis of temperature in Guiyang from 1951 to 2010[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(5): 31-35. (in Chinese))

[11] ZUO Jinqing, WANG Jie-min, HUANG Jiar-ping, et al. Estimation of ground heat flux and its impact on the surface energy budget for a semi arid grassland[J]. Sciences in Cold and Arid Regions, 2011, 3(1): 41-50.

[12] 傅小城,王芳,王浩,等.柴达木盆地气温降水的长序列变化及与水资源关系[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 408-415. (FU Xiaocheng, WANG Fang, WANG Hao, et al. Analysis of long term changes in temperature and precipitation and their relationships with water resources in the Qaidam Basin in China[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 408-415. (in Chinese))

- [13] 贾文雄. 近 50 年来祁连山及河西走廊降水的时空变化[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 631-644. (JIA Wen xiong. Temporal and spatial changes of precipitation in Qilian Mountains and Hexi Corridor during 1960-2009 [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(5): 631-644. (in Chinese))
- [14] ZHANG Yong yong, ZHANG Shi feng, ZHAI Xiao yan et al. Runoff variation and its response to climate change in the Three Rivers Source Region[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(5): 781-794.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. (WEI Feng ying. Modern climate statistical diagnosis prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999. (in Chinese))
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. (XU Jian hu a. Mathematical methods in contemporary geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002. (in Chinese))
- [17] 张峰, 雷晓辉, 蒋云钟, 等. 珠江上游流域近 55 年气温变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(2): 20-25. (ZHANG Feng, LEI Xiao hui, JIANG Yun zhong, et al. Analysis on character of temperature variation in upstream of Pearl River basin during 55 years[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2012, 23(2): 20-25. (in Chinese))
- [18] 王莹, 苏永秀, 李政. 1961—2010 年广西气温变化对全球变暖的响应[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1707-1717. (WANG Ying, SU Yong xiu, LI Zheng. Responses of temperature change in Guangxi to global warming during 1961-2010[J]. Journal of Natural Resource, 2013, 28(10): 1707-1717. (in Chinese))
- [19] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956. (REN Guo yu, GUO Jun, XU Ming zhi, et al. Climate changes of Chinese mainland over the past half century[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-956. (in Chinese))
- [20] 王兆礼, 陈晓宏, 张灵, 等. 近 40 年来珠江流域降水量的时空演变特征[J]. 水文, 2006, 26(6): 71-75. (WANG Zhao li, CHEN Xiao hong, ZHANG Ling, et al. Spatial-temporal change characteristics of precipitation in the Pearl River Basin in recent 40 years[J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(6): 71-75.
- [21] 张峰, 雷晓辉, 蒋云钟, 等. 近 55 年珠江上游流域降水演变规律[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(01): 49-54. (ZHANG Feng, LEI Xiao hui, JIANG Yun zhong, et al. Analysis of spatial and temporal precipitation variations for the upstream of Pearl River Basin during the past 55 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(1): 49-54. (in Chinese))
- [22] 虞海燕, 刘树华, 赵娜, 等. 我国近 59 年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 389-398. (YU Hai yan, LIU Shu hua, ZHAO Na, et al. Variation characteristics of the sunshine duration and its relationships with temperature, wind speed, and precipitation over recent 59 years in China[J]. Climatic and Environmental Research, 2011, 16(3): 389-398. (in Chinese))
- [23] 伍红雨, 杜尧东, 潘蔚娟. 近 48 年华南日照时数的变化特征[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2011, 50(6): 120-129. (WU Hong yu, DU Yao dong, PAN Wei juan. The change characteristics of sunshine duration during the past 48 years in South China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2011, 50(6): 120-129. (in Chinese))

(上接第 104 页)

- [17] 姚治君, 姜丽光, 吴珊珊, 等. 1956-2011 年金沙江下游梯级水电开发区降水变化特征分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2014, 42(4): 289-296. (YAO Zhi jun, JIANG Li guang, WU Shan shan, et al. Analysis of characteristics of precipitation variation in cascade hydropower development zone in lower reaches of Jinsha River during period from 1956 to 2011[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2014, 42(4): 289-296. (in Chinese))
- [18] 谢平, 雷红富, 陈广才, 等. 基于 Hurst 系数的流域降雨时空变异分析方法[J]. 水文, 2008, 28(5): 6-10. (XIE Ping, LEI Hong fu, CHEN Guang cai. A spatial and temporal variation analysis method of watershed rainfall based on Hurst coefficient[J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28(5): 6-10. (in Chinese))
- [19] 马宗伟, 许友鹏, 钟善锦. 水系分形特征对流域径流特性的影响——以赣江中上游流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 163-169. (MA Zong wei, XU You peng, ZHONG Shan jin. Influence of river network fractal characteristic on runoff[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(2): 163-169. (in Chinese))
- [20] 潘雅婧, 王仰麟, 彭建, 等. 基于小波和 R/S 分析方法的汉江中下游流域降水量时间序列分析[J]. 地理研究, 2012, 31(5): 811-820. (PAN Ya jing, WANG Yang lin, PENG Jian, et al. Precipitation change in middle and lower reaches of Hanjiang River: based on wavelet analysis and R/S analysis[J]. Geographical Research, 2012, 31(5): 811-820. (in Chinese))