

湖南省铁山水库流域降水演变规律

蔡锦文^{1,2}, 胡国华^{1,2}, 顾庆福³

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 水沙科学与水灾害防治
湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 3. 湖南省水文水资源勘测局, 湖南 长沙 410007)

摘要: [目的] 分析铁山水库饮用水水源地的降水演变规律, 为流域水资源利用以及铁山水库的调度运行提供依据。[方法] 运用线性回归、滑动平均、Mann-Kendall 检验、累积距平、滑动 t 检验和小波分析等方法, 分析铁山水库饮用水水源地流域 1968—2014 年年降水、汛期降水和非汛期降水的演变规律。[结果] ① 47 a 间年降水量、汛期降水量和非汛期降水量均呈现不明显的上升趋势。② 年降水在 1987 和 2003 年发生了显著性突变, 汛期降水在 1992 和 2003 年发生了显著性突变, 非汛期降水未发生显著性突变。③ 年降水和汛期降水存在 29 a 左右的主周期, 非汛期降水存在 28 a 左右的主周期, 各时期的周期基本一致。[结论] 铁山水库各时期的降水演变规律基本一致。

关键词: Mann-Kendall 检验; Morlet 小波分析; 降水; 铁山水库

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2018)03-0324-04 **中图分类号:** TV125, P334⁺.5

文献参数: 蔡锦文, 胡国华, 顾庆福. 湖南省铁山水库流域降水演变规律[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 324-327. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.052. Cai Jinwen, Hu Guohua, Gu Qingfu. Changing characteristics of precipitation in Tieshan reservoir basin of Hu'nan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 324-327.

Changing Characteristics of Precipitation in Tieshan Reservoir Basin of Hu'nan Province

CAI Jinwen^{1,2}, HU Guohua^{1,2}, GU Qingfu³

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hu'nan 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster prevention of Hu'nan Province, Changsha, Hu'nan 410114, China; 3. Hydrology & Water Resources Bureau of Hu'nan Province, Changsha, Hu'nan 410007, China)

Abstract: [Objective] This paper analyzed the changing characteristics of precipitation in the Tieshan reservoir basin, a drinking water source of Hu'nan Province, in order to provide basis for the utilization and schedule of water resources in the basin. [Methods] Methods including linear regression, moving average, Mann-Kendall test, accumulative anomalies analysis sliding t -test and wavelet analysis, were used to analyze the changing characteristics of annual precipitation, precipitation in the flood season and precipitation in the non-flood season during the period from 1968 to 2014. [Results] ① The annual precipitation, precipitation in the flood and non-flood seasons increased slightly over the past 47 years. ② The annual precipitation showed abrupt change in 1987 and 2003, while the precipitation in the flood season showed abrupt change in 1992 and 2003. There was no abrupt precipitation change in the non-flood season. ③ Annual precipitation and precipitation in the flood season had a dominant period of about 29 years, and the precipitation in non-flood season had a dominant period of about 28 years. Basically, the periods for all the precipitations were the same. [Conclusion] The changing characteristics of the annual precipitation, precipitation in the flood and non-flood season were basically consistent with each other in Tieshan reservoir.

Keywords: Mann-Kendall test; Morlet wavelet analysis; precipitation; Tieshan reservoir

收稿日期: 2017-10-19

修回日期: 2017-12-04

资助项目: 湖南省重大水利科技计划项目“铁山水库饮用水水源地流域面源污染模拟预测与控制关键技术研究”(2015-257-30227)

第一作者: 蔡锦文(1993—), 男(汉族), 湖南省岳阳市人, 硕士研究生, 研究方向为水资源演变规律。E-mail: 1002095648@qq.com.

通讯作者: 胡国华(1965—), 男(汉族), 湖南省永州市人, 博士, 教授, 主要从事水资源演变规律与水灾害防治研究工作。E-mail: g. h. hu@163.com.

铁山水库是东洞庭湖水系新墙河上游的一座大型水库,是全国重要的饮用水水源地之一。铁山水库兴建时只规划为农业灌溉供水,自2002年10月以来,岳阳市区、岳阳县城及周边集镇居民生活用水改为铁山水库供水,铁山水库供水由原单一的季节性农业灌溉供水,转变为城镇供水与农业灌溉供水两者兼有,承担着岳阳市区、岳阳县城等地城乡居民生活用水,及全市耕地面积1/4的灌溉任务。铁山水库既要承担水源地供水功能,又要承担铁山灌区一部分灌溉任务。铁山水库饮用水水源地一般情况下能满足正常年份需水要求,但在遭遇枯水年份或保证率需要提高时,灌区将会出现不同程度的缺水情况。

因此,对铁山水库饮用水水源地流域的降水变化趋势进行分析是非常必要的。近年来,有学者应用多种方法对长系列水文气象资料进行趋势分析^[1-3],其中Mann-Kendall检验法被广泛使用和认可,也得到世界气象组织的推荐。除了Mann-Kendall检验法,在突变检验运用较多的方法还有R/S突变检验^[4-5]和累计距平与滑动 t 联合检验^[6]等,而周期分析最常用是小波分析法^[7-8]。本文拟使用线性回归、滑动平均、Mann-Kendall检验、累积距平、滑动 t 检验和Morlet小波分析等方法研究铁山水库饮用水水源地流域降水演变规律,以期为流域的水资源利用以及水库的调度运行提供科学依据。

1 流域概况

铁山水库位于东洞庭湖水系新墙河上游,坝位于湖南省岳阳县公田镇,控制流域面积493 km²,总库容6.35×10⁸ m³,有效库容3.84×10⁸ m³,多年平均入库年径流量4.31×10⁸ m³,为多年调节水库,水库以灌溉和城市供水为主,设计城市供水规模4.50×10⁵ m³/d。灌溉方面,铁山灌区现状灌溉面积4.46×10⁴ hm²,规划设计灌溉面积5.69×10⁴ hm²。流域以

亚热带湿润季风气候为主,年平均气温17℃,年平均降水量1471.6 mm,降水主要集中在5、6月,占全年降水量30%左右。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

本文采用的原始数据为铁山水库饮用水水源地流域内毛田、月田和板江3个雨量站1968—2014年实测逐日降水数据,数据来源于湖南省水文水资源勘测局。利用ArcGIS 9.3平台基于泰森多边形插值成流域的面降水量。本次研究将降雨资料处理为年降水(1—12月)、汛期降水(3—8月)和非汛期降水(9至翌年2月)3个时段。

2.2 研究方法

本文采用线性回归法和滑动平均法分析降水的时间变化趋势,并用Mann-Kendall非参数检验法分析变化趋势的显著情况^[9]。利用累计距平法找到突变的初始点,并采用滑动 t 检验法确定突变显著程度^[10]。运用小波分析法对各时期的降水周期和演变规律进行分析^[11]。

3 结果与分析

3.1 降水变化趋势

用线性回归和5 a滑动平均处理各时期的降水序列得到图1。从图1可以看出,流域内年降水呈现上升趋势,上升率为8.7 mm/10 a,年降水的时间相关系数为0.001。流域内汛期降水量呈现上升趋势,上升率为4.8 mm/10 a,汛期的时间相关系数为0.0006。流域内非汛期降水量呈现上升趋势,上升率为9.2 mm/10 a,非汛期的时间相关系数为0.01。整体看来,流域内各时段降水量均呈现出上升的趋势,且非汛期降水的上升趋势较年降水和汛期降水明显。

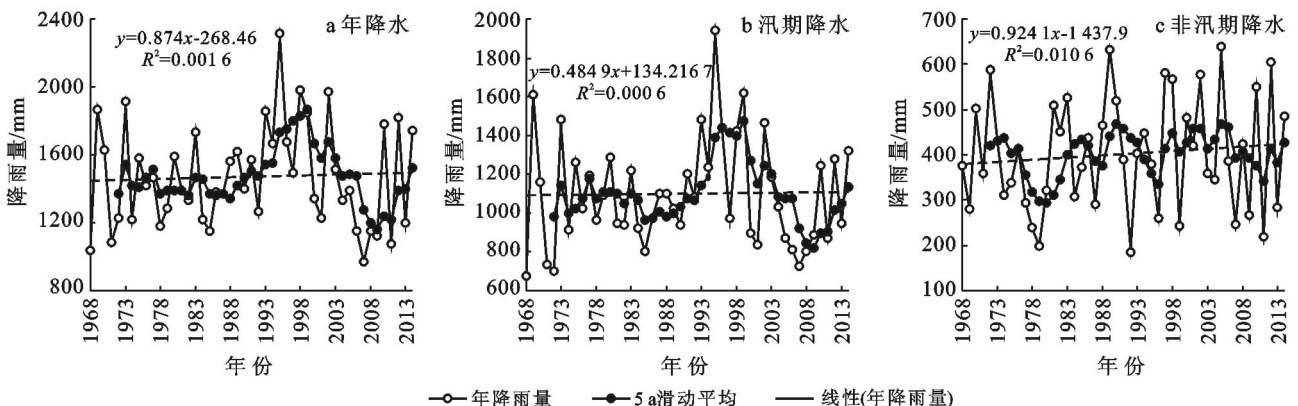


图1 湖南省铁山水库流域各时段降水时间变化趋势

由表 1 可以看出,在 95% 的置信区间下,年降水、汛期降水和非汛期降水都呈现不明显的上升趋势,与线性回归法和滑动平均法得到的结果是一致的。

表 1 湖南省铁山水库流域各时段 Mann-Kendall 统计值

时段	Mann-Kendall 统计值	临界值 ($\alpha=0.05$)	变化趋势	是否显著
年	0.046	± 1.960	上升	否
汛期	0.009	± 1.960	上升	否
非汛期	0.596	± 1.960	上升	否

3.2 降水突变分析

本次研究采用累计距平曲线寻找初始突变点,并用滑动 t 检验确定突变的显著程度,将数据处理分别得到各时期累计距平曲线。累计距平曲线下降表示

降水偏枯,上升表示降水偏丰。由图 2 可以看出,年降水发生突变的初始点在 1987 和 2003 年,汛期降水发生突变的初始点在 1992 和 2003 年,非汛期降水发生突变的初始点在 1980 和 2005 年。对各突变初始点进行滑动 t 检验得到表 2。由表 2 可以看出,年降水在 1987 和 2003 年左右发生了显著性突变,1987 年左右,由枯水期向丰水期突变,2003 年左右由丰水期向枯水期突变。汛期降水在 1990 和 2003 年左右发生了显著性突变,1992 年左右由枯水期向丰水期突变,2003 年由丰水期向枯水期突变。非汛期未通过显著性检验,没有发生突变。2007 年以后,各时期的累计距平曲线反复升降,表明该流域各时期的丰枯交替变得频繁。



图 2 湖南省铁山水库流域各时段累计距平曲线

表 2 湖南省铁山水库流域各时段初始变点滑动 t 检验值

时段	初始变点	统计量 t 值	临界值 ($\alpha=0.05$)	是否显著
年	1987	-2.427	± 2.1	是
	2003	3.071	± 2.1	是
汛期	1992	-3.586	± 2.1	是
	2003	2.646	± 2.1	是
非汛期	1980	-1.002	± 2.1	否
	2005	0.424	± 2.1	否

3.3 周期分析

采用 Morlet 小波对近 47 a 来铁山水库饮用水水源地流域年降水、汛期降水和非汛期降水量进行周期分析,得到各时期小波变换系数实部二维等值线图(图 3)。二维等值线中的小波变换系数为正值的用实线表示,来体现降水量偏丰;虚线表示为负值,来体现降水量偏枯。

通过计算小波方差可得,年降水拥有的周期为 5,11 和 29 a 左右,其中相位变化最显著的是 11 和 29 a 左右。以 11 a 左右为尺度的周期在 1970—2005 年丰枯交替十分剧烈,存在着 7 个偏丰期和 6 个偏少

期。以 29 a 左右为周期的信号最强,拥有 3 个偏少期和偏丰期,经历了枯—丰—枯—丰—枯—丰的更替变化,丰枯期的交替点为 1977,1986,1993,2003 和 2013 年左右,其中 1986 和 2003 年左右与累计距平曲线的初始突变点基本一致。1968—1977,1986—1994 和 2003—2012 年周围是虚线属于负值,表明降水处于偏少期;而 1978—1985,1995—2002 和 2013—2014 年周围是实线属于正值,表明降水处于偏丰期,且实线未闭合,可推测 2014 年后的降水量仍然是较多的阶段。

汛期降水拥有 6,13 和 29 a 左右的周期,其中相位变化最明显的是 6 和 29 a 左右的周期。1968—1974 和 1995—2004 年是 6 a 左右为尺度周期发生最明显的时段,丰枯变化剧烈。以 29 a 左右为尺度的周期的信号最强,拥有 3 个偏少期和偏丰期,经历了枯—丰—枯—丰—枯—丰的更替变化,丰枯期的交替点为 1975,1984,1992,2003 和 2013 年左右,其中 1992 和 2003 年左右与累计距平曲线的初始突变点基本一致。1968—1974,1984—1992 和 2003—2012 年周围是虚线属于负值,表明降水处于偏少期;而 1975—

1983,1993—2002 和 2013—2014 年周围是实线属于正值,表明降水处于偏丰期,且实线未闭合,可推测 2014 年后的汛期的降水量仍然是较多的阶段。

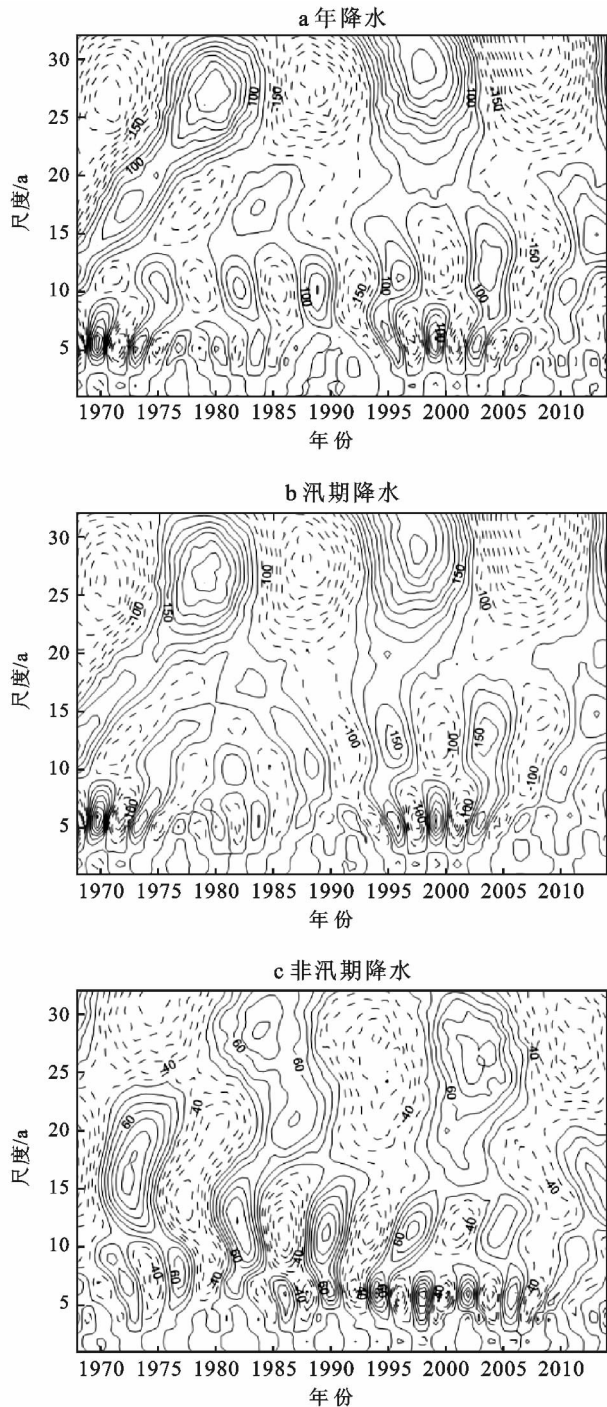


图3 湖南省铁山水库流域各时期小波系数实部等值线

非汛期降水拥有 6,12 和 28 a 左右的周期,其中相位变化最明显的是 12 和 28 a 左右的周期。1980—2007 年是 12 a 左右为尺度周期发生最明显的时段,丰枯交替明显。以 28 a 左右为尺度的周期的信号最强,拥有 3 个偏少期和偏丰期,经历了丰—枯—丰—枯—丰—枯的更替变化,丰枯期的交替点为 1970,

1980,1989,1998 和 2006 年左右,其中 1980 和 2006 年左右与累计距平曲线的初始突变点基本一致。1968—1970,1980—1988 和 1998—2007 年周围是实线属于正值,表明降水处于偏丰期;而 1971—1979,1989—1997 和 2008—2014 年周围是虚线属于负值,表明降水处于偏少期,且虚线未闭合,可推测 2014 年以后的非汛期降水量仍是较少的阶段。

4 结论

(1) 通过线性回归法和 5 a 滑动平均法分析得到铁山水库饮用水源地流域年降水量、汛期降水量和非汛期降水量均呈现上升趋势。采用 Mann-Kendall 非参数检验法得出,在 95% 的置信区间下,年降水量、汛期降水量和非汛期降水量均呈现不明显的上升趋势,非汛期降水的上升趋势较年降水和汛期降水明显,得到结果与线性回归的结果基本一致。

(2) 通过累计距平曲线找到了各时段的突变初始点,运用滑动 t 检验确定出年降水在 1987 和 2003 年发生了显著性突变,汛期降水在 1992 和 2003 年发生了显著性突变,非汛期降水在 47 a 间没有发生突变。各时期自 2007 年后丰枯交替变得频繁。

(3) 通过小波分析得到,年降水存在 5,11 和 29 a 左右的周期,其中 29 a 左右尺度的周期信号最强,汛期降水存在 6,13 和 29 a 左右的周期,与年降水一样,29 a 左右尺度的周期信号最强,非汛期降水存在 6,12 和 28 a 左右的周期,28 a 左右尺度的周期的信号最强。铁山水库饮用水源地流域各时期降水的主周期都在 28~29 a,丰枯交替点与累计距平曲线的初始突变点基本一致。

[参 考 文 献]

- [1] 刘惠英,任洪玉,张平仓,等. 香溪河流域近 60 年来降雨量变化趋势及突变分析[J]. 水土保持研究,2015,22(4): 282-286.
- [2] 王岚,刘志辉,姚俊强,等. 1978—2011 年呼图壁河径流的变化趋势[J]. 水土保持通报,2015,35(3):62-67.
- [3] 常静. 基于分布式水文模拟的洞庭湖流域径流演变分析[D]. 大连:辽宁师范大学,2014.
- [4] 赵华安,姚开军,官燕华,等. 漳水库流域降雨变化趋势分析[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2011,33(4):7-10.
- [5] 魏红义,李靖,王江,等. 渭河流域径流变化趋势及其影响因素分析[J]. 水土保持通报,2008,28(1):76-80.
- [6] 张应华,宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. 干旱区地理,2015,38(4):652-665.
- [7] 姜晓勇. 黑河上游地区径流量的变化趋势及其对气候变化的响应[D]. 兰州:西北师范大学,2008.

节农田小气候的结论,与本文在鄱阳湖沙化地区观测香根草所得结论一致。

Pearson 相关性分析结果表明,鄱阳湖沙化地区土壤温度、土壤含水量对香根草的分蘖数影响不大,香根草的分蘖数受距湖尺度、香根草生长高度的影响。

本文仅观测了香根草一年内的生长变化情况,而香根草连续几年的变化在生长高度和分蘖数等方面也会有所不同,香根草的时间分异将在进一步的研究中讨论。

[参 考 文 献]

- [1] 朱震达,崔书红. 中国南方的土地荒漠化问题[J]. 中国沙漠,1996,16(4):331-337.
- [2] 丁明军,郑林,聂勇. 鄱阳湖沙山地区沙化土地特征及成因分析[J]. 水土保持通报,2010,30(2):159-163.
- [3] 杨洁. 鄱阳湖滨湖沙地生态修复技术与经济开发模式[C]//全国水土保持生态修复研讨会论文集汇编. 2004.
- [4] 胡胜华,常旭. 鄱阳湖砂山地区地表环境结构与其植物多样性的变化[J]. 北京林业大学学报,2007,29(6):86-92.
- [5] 赵其国,黄国勤,钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展[J]. 土壤学报,2007,44(2):318-326.
- [6] 林玉茹. 鄱阳湖枯水现象的水文分析及湿地生态系统响应研究[D]. 南昌:南昌大学,2010.
- [7] 莫明浩,汤崇军,涂安国,等. 鄱阳湖泥沙及沙地研究进展评述[J]. 中国水土保持,2011(8):45-47.
- [8] 胡启武,尧波,郑林,等. 鄱阳湖沙山土壤养分特征与植被恢复方向探讨[J]. 土壤通报,2012,43(3):651-655.
- [9] 张聃. 鄱阳湖区沙化土地湿地松恢复试验及示范研究[D]. 南昌:江西师范大学,2011.
- [10] 魏宗贤,周赛霞,彭焱松,等. 鄱阳湖沙地沙漠化过程中单叶蔓荆群落结构和功能特征[J]. 广西植物,2011,31(5):620-626.
- [11] 严力蛟,钱建东. 香根草研究推广概述[J]. 耕作与栽培,1996(3):60-62.
- [12] 赵小敏,傅建春. 鄱阳湖地区沙地遥感调查及治理研究[J]. 水土保持研究,2003,10(4):94-95,137.
- [13] 徐德聪,詹婧,陈政,等. 种植香根草对铜尾矿废弃地地质化学和生物学性质的影响[J]. 生态学报,2012,32(18):5683-5691.
- [14] 努扎艾提·艾比布,刘云国,宋华晓,等. 重金属 Zn,Cu 对香根草生理生化指标的影响及其积累特性研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1):54-59.
- [15] 夏汉平,束文圣. 香根草和百喜草对铅锌尾矿重金属的抗性与吸收差异研究[J]. 生态学报,2001,21(7):1121-1129.
- [16] 杨兵,蓝崇钰,束文圣. 香根草在铅锌尾矿上生长及其对重金属的吸收[J]. 生态学报,2005,25(1):45-50.
- [17] 田胜尼,刘登义,彭少麟,等. 香根草和鹅观草对 Cu,Pb,Zn 及其复合重金属的耐性研究[J]. 生物学杂志,2004,21(3):15-19.
- [18] 努扎艾提·艾比布,刘云国,曾光明,等. 香根草对镉毒害的生理耐性和积累特性[J]. 环境科学学报,2009,29(9):168-173.
- [19] 汉平,敖惠修,刘世忠. 香根草生态工程应用于公路护坡的效益研究[J]. 草业科学,2002,1(1):52-56.
- [20] 卓慕宁,李定强,郑煜基. 高速公路弃土场堆积边坡的生态防护试验[J]. 生态学杂志,2007,26(6):912-916.
- [21] 程洪,蔡儒珍. 公路工程中的香根草等高植物篱护坡技术[J]. 华东公路,2003(1):45-47.
- [22] 李青芳,何宜典. 公路边坡防护与生态恢复[J]. 水土保持研究,2006,13(6):273-275.
- [23] 龚旺初,沈云龙. 江西省都昌县多宝沙山治理及其效益分析[J]. 江西水利科技,2001,27(1):24-27.
- [24] 王盼盼,郑林,曹昀,等. 鄱阳湖沙区农户对土地利用变化的影响:以江西省都昌县多宝乡为例[J]. 中国水土保持,2014(6):39-42.
- [25] 夏汉平,陈龙江. 香根草在土壤改良和水土保持中的作用[J]. 热带地理,1996,16(3):265-270.

(上接第 327 页)

- [8] 孙然好,潘保田,牛最荣,等. 河西走廊近 50 年来地表水资源时间序列的小波分析[J]. 干旱区地理,2005,28(4):39-43.
- [9] 鲁春霞,马聪,李亦秋,等. 猫跳河流域气象水文因素的变化趋势分析[J]. 水土保持通报,2012,32(6):262-267.
- [10] 于泽兴,胡国华,陈肖,等. 浏阳河流域降水时空演变规律分析[J]. 人民长江,2017,48(8):28-31,48.
- [11] 佟斯琴,刘桂香,武娜. 1961—2010 年锡林郭勒盟气温和降水时空变化特征[J]. 水土保持通报,2016,36(5):340-345,351.