

# 古蔺县近 50 年来降水序列趋势分析

李小丽<sup>1</sup>, 敖天其<sup>1,2</sup>, 黎小东<sup>1</sup>

(1. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065; 2. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

**摘 要:**以 1960—2009 年古蔺县降水量观测资料为基础,运用数理统计、非参数 Mann-Kendall(MK)和改进的非参数 Mann-Kendall(MMK)趋势检验等方法分析了该县降水系列的年际、年内变化趋势,并通过比较 MK 和 MMK 趋势检验法的计算结果来分析自相关性对降水序列趋势显著性的影响。结果表明:古蔺县近 50 年来年降水量总体在均值附近上下波动,呈缓慢下降趋势;年内降水量分配受季节影响显著,春夏两季降水量呈上升趋势,秋冬两季降水量呈下降趋势;各降水序列进行趋势检验时,无论考虑自相关性与否,均未通过 5% 显著性水平;在使用 MK 方法时,古蔺县年降水序列和季降水序列均存在负向的自相关性,导致在同水平显著程度上低估了序列的趋势显著性。

**关键词:**降水量; MMK 趋势检验法; 趋势演变; 古蔺县

**中图分类号:**P426.6;TV125

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)06-0140-05

## Analysis of Tendency of Precipitation in the Past 50 Years in Gulín County

LI Xiaoli<sup>1</sup>, AO Tianqi<sup>1,2</sup>, LI Xiaodong<sup>1</sup>

(1. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:**Based on the data of precipitation from 1960—2009 in Gulín County, the mathematical statistics method and the non-parametric Mann-Kendall (MK) trend test and the modified non-parametric Mann-Kendall (MMK) trend test were applied to analyze the inter-annual variability and annual variation characteristics. By comparison of the calculation results between the MK and MMK trend tests, we analyzed the effects of the serial autocorrelation on the significant level of the trend. The results showed that the inter-annual precipitation series of Gulín County fluctuated around the average mean and decreased slightly in recent 50 years in general; the distribution of annual precipitation was significantly affected by seasons; the precipitation had an increasing trend in spring and summer, while the downward trend was observed in autumn and winter; none of them was statistically significant at the significant level of 5% considering the serial autocorrelation or not, when precipitation sequences were in trend tests. By using method of the MK trend test, the inter-annual and seasonal precipitation series existed negative serial autocorrelations and led to underestimate the significance of sequence trend at the same significant level.

**Keywords:**precipitation; MMK trend test; trend evolution; Gulín County

随着全球气候的变暖,大气水循环过程受到影响,导致降水量分布格局及其区域差异的不确定性增大,而降水量的变化可用来评估气候系统对水文的影响,因此研究不同区域降水量的变化特征是当前全球气候变化研究的重要内容之一<sup>[1-3]</sup>。近年来在全球变暖的影响下,部分地区的自然环境出现一系列反常现象:东海出现南海鱼种,大气环流异常,我国华北地区树枝提前发芽等。极端天气气候事件频繁增加,灾害性天气

强度增大,造成了年降水量严重失衡,原有的生态系统正在发生改变。由于经济活动与气候变化密切相关,降水量的变化势必会影响相关国家和地区的经济发展。因此,在时间和环境不断变化的条件下,本文就古蔺县近 50 a 降水量资料,分析长系列降水的趋势变化特征和自相关性对序列趋势显著性的影响,有利于科学认识古蔺县的气候演变规律,对后期预测未来降水的发展变化趋势具有重要的指导意义<sup>[4]</sup>。

收稿日期:2016-03-25

修回日期:2016-04-25

资助项目:中国气象局成都高原气象研究所开放资助项目(LPM2014003);四川省科技厅科技支撑项目(2015SZ0212);四川省环境保护厅科技项目(11HBT-01)

第一作者:李小丽(1990—),女,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为农村非点源污染与分布式水文模型。E-mail:m18328005980@163.com

通信作者:敖天其(1964—),男,重庆铜梁人,教授,博士生导师,研究方向为农村非点源污染与分布式水文模型。E-mail:als584@163.com

## 1 研究区概况

古蔺县属四川盆地南缘山地的一部分,处于赤水河流域大娄山褶皱带西段北侧,北纬中纬度地区,属亚热带湿润区,具有明显的季风气候特点,四季分明,雨热同季,无霜期长,年降水量偏少,热量充足,受地形地貌影响,垂直气候明显。境内除赤水河外共有小河 21 条,小溪 225 条,除桂花河外全部流入赤水河,左岸广阔石灰岩地区,岩溶发育,地下水分布较低,人均水资源占有量仅 1 702 m<sup>3</sup>,属于严重的资源性缺水县。该县年平均气温为 16.8~18.2℃,多年平均降水量为 774.5 mm。冬少霜雪,春末夏初多雨,盛夏多连晴高温伏旱,秋季温度下降较快,阴雨低温,秋旱常有发生。降水量从北、南两个方向向中部河谷地带呈逐渐减少的趋势。古蔺县是典型的农业县,粮食作物常年播种面积达 7.67 万 hm<sup>2</sup>,产量在 2.5 亿 kg 左右,主产玉米、水稻,次有小麦、红苕、土豆、高粱、豆类等,除满足本区食用、酿酒外,尚有余粮可供调用。农作物以水稻、玉米为主。经济作物以油菜、烤烟为主。畜牧业以猪、牛、羊为主。县内资源丰富,地貌多姿,气候多样,土壤多类,生物多种,非耕地开发栽种多种经济林木和发展食草牲畜十分有利,发展潜力巨大。古蔺河系长江二级支流,是赤水河在古蔺县境内的六大支流之首,发源于云贵高原边缘地带古蔺县袁家沟,主河道自西向东在城区段穿城而过,主要承担生产、纳污、泄洪等城市生态水环境功能。

由于近年来古蔺县旱涝灾害频发,该地区人民群众的生命财产和安全受到极大威胁,严重影响了当地工农业生产和城镇建设的发展。为了能进一步了解古蔺县的气候变化特征,揭示降水的趋势变化和演变规律,本文根据古蔺县的长系列降水观测资料,采用数理统计、线性倾向、非参数 Mann-Kendall(MK)和改进的非参数 Mann-Kendall(MMK)趋势检验等方法<sup>[5]</sup>对 1960—2009 年古蔺县降水序列进行特征分析,以期为泸州市合理配置水资源,做好防洪减灾措施提供参考依据。

## 2 研究方法

Mann-Kendall 法<sup>[6]</sup>是一种非参数统计检验方法,已被广泛应用于检测水文时间序列的趋势变化。Mann-Kendall 方法使用的前提是假定时间序列是随机独立的,然而水文变量往往存在自相关性<sup>[7]</sup>,导致检验结果的显著性受到影响。为了能消除自相关成分,提高 Mann-Kendall 法的检验能力,本文采用非参数 MMK 趋势检验法<sup>[8-9]</sup>对 1960—2009 年古蔺县年降水量序列的变化趋势进行显著性检验,具体改进

如下:

将时间序列  $X_T$  分别除以样本数据的均值,得到一组均值为 1 的新样本数据  $X_t$ ,计算新样本序列秩次的趋势估计量  $\beta$ :

$$\beta=\text{median}\left(\frac{x_i-x_j}{i-j}\right) \quad 1\leqslant i<j\leqslant n \quad (1)$$

式中: $\beta>0$ ,表示时间序列呈上升趋势; $\beta<0$ ,表示时间序列呈下降趋势。

假定新样本序列  $X_t$  的趋势项为线性  $T_t$ ,去除样本数据中的趋势项,得到相应的平稳序列  $Y_t$ :

$$Y_t=X_t-T_t=X_t-\beta\cdot t \quad (2)$$

求序列  $Y_t$  对应的秩次序列,计算其自相关系数  $r_i$ :

$$r_i=\frac{\sum_{k=1}^{n-i}(R_k-\bar{R})(R_{k+i}-\bar{R})}{\sum_{k=1}^n(R_k-\bar{R})^2} \quad (3)$$

式中: $R_i$  为  $y_i$  的秩次; $\bar{R}$  为秩次的均值。

根据自相关系数  $r_i$  求解自相关序列的趋势统计量  $S$  的方差  $\text{var}^*(S)$ :

$$\eta=1+\frac{2}{n(n-1)(n-2)}\times\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (4)$$

$$\text{var}^*(S)=\eta\times\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

MMK 统计量  $S$  大于、小于、等于零时分别为:

$$Z^*=\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}^*(S)}} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}^*(S)}} & S<0 \end{cases} \quad (6)$$

## 3 降水序列特征分析

### 3.1 降水量年际变化

为了分析古蔺县降水量的年际变化规律和趋势,本文选用多年均值、变差系数和极值比等参数进行表征<sup>[10]</sup>。根据对 1960—2009 年古蔺县的实测降水数据分析可知,古蔺县不同时段的降水量基本保持稳定,子系列年降水量均值与长系列均值比较略有波动,但变化率均在 6% 以内。而且不同时段的变差系数和极值比都相对较小,表明该地区降水序列的年际变化微弱,变化趋势不显著,具有一定随机性<sup>[11]</sup>,见表 1。

表 1 古蔺县降水序列年际变化特征

统计时段	均值/mm	相对变化/%	变差系数	极值比
1960—2009	773.83	0.00	0.18	2.43
1960—1989	794.20	2.63	0.19	2.43
1990—2009	743.29	-3.95	0.14	1.78
2000—2009	731.58	-5.46	0.09	1.41

3.2 降水量年内变化

据 1960—2009 年的降水系列分析,古蔺县年降水量受季节影响显著,夏季占年降水量的 50.54%,春秋两季分配相当,均占到年降水量的 20%以上,而冬季只有

5.63%。降水量主要集中在汛期(4—9 月),占全年降水量的 75%左右,在夏季达到降水量的高峰。年内各月降水量差异显著,最大值出现在 7 月,占全年的 17.87%,最小值出现在 2 月,仅占全年的 1.82%,见表 2。

表 2 古蔺县降水序列年内变化特征

要素	春季			夏季			秋季			冬季		
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
降水量/mm	22.54	51.79	105.07	129.16	138.31	123.62	78.73	54.28	26.74	14.36	15.19	14.06
比 例/%	2.91	6.69	13.58	16.69	17.87	15.97	10.17	7.01	3.46	1.86	1.96	1.82

3.3 降水量趋势分析

3.3.1 年际变化规律 根据 MMK 趋势检验法计算序列  $Y_t$  的自相关系数,由图 1 可知,年降水序列的自相关系数主要分布在  $[-0.20, 0.20]$ ,属于弱相关序列。因此,本文仅对降水序列影响最大的第 15 阶自相关系数进行 MMK 趋势检验。比较 MK 和 MMK 趋势检验法的计算结果可知,年降水序列总体呈缓慢下降趋势,多年平均下降幅度仅为  $-7.63\text{E}-04\text{ mm/a}$ ;在 5% 显著性水平下,考虑序列的自相关性,导致趋势统计量由  $-0.418$  减小为  $-0.432$ ,但均未通过 5% 显著性水平。表明该序列存在负向自相

关性,在进行 MK 法检验时,趋势的显著性被弱化,详见表 3。

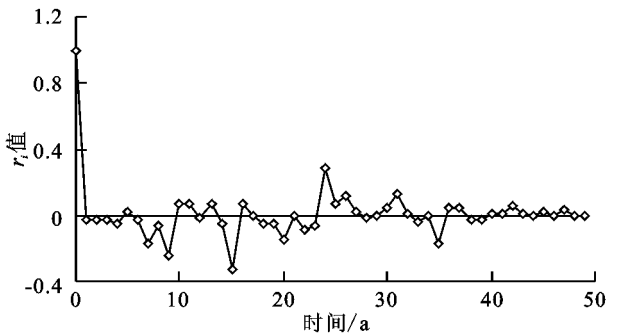


图 1 年降水序列自相关变化

表 3 古蔺县年降水序列趋势检验结果

序列	自相关 系数 $r_m$	趋势估 计量 $\beta$	MK 趋势检验法			MMK 趋势检验法		
			趋势统计量 $Z$	趋势	显著性	趋势统计量 $Z$	趋势	显著性
年际	-0.33	-7.63 E-04	-0.418	下降	不显著	-0.432	下降	不显著

根据线性倾向法<sup>[12]</sup>定性分析 1960—2009 年古蔺县降水序列的整体变化趋势。由图 2 可知,降水量数据随时间变化构成了一个离散的降水时间序列,年降水量波动起伏不大,总体呈减小趋势,拟合直线的下降率为 1.053 9,几近于水平线,而对线性拟合直线进行显著性检验,发现年降水量的拟合直线未达到 5% 显著性水平,因此说明年降水量的减小趋势相当缓慢,与上述方法得到的结果相同。

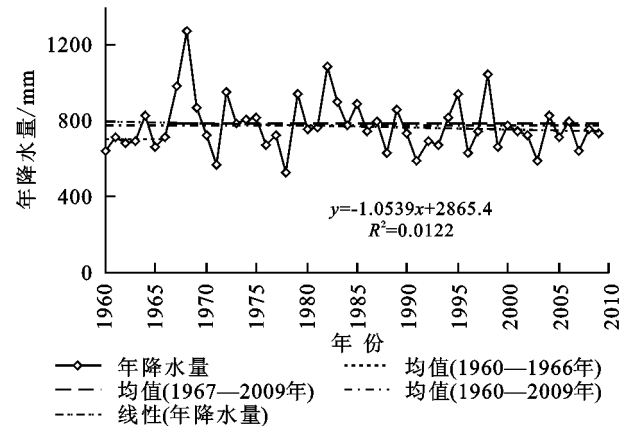


图 2 年降水时间序列图

3.3.2 年内变化规律 通过采用 MMK 趋势检验法对 1960—2009 年古蔺县季节降水序列进行计算,

得出序列的自相关系数多为弱相关性,因此,在趋势检验时均采用对序列最具影响的自相关系数,见图 3。运用 MK 和 MMK 趋势检验法对比分析,春、夏季节降水量的统计量  $\beta$  为正值,说明春、夏两个季节降水量均处于上升趋势,多年平均增长幅度分别为  $2.11\text{E}-04\text{ mm/a}$  和  $1.57\text{E}-04\text{ mm/a}$ ;而秋、冬季节径流量的统计量  $\beta$  为负值,说明秋、冬两个季节降水量均处于下降趋势,多年平均下降幅度分别为  $-3.71\text{E}-03\text{ mm/a}$  和  $-3.36\text{E}-03\text{ mm/a}$ ;在考虑了序列自相关性影响的情况下,4 个季节降水量趋势统计量的绝对值均有增大,但未能超过 5% 显著性水平,说明:古蔺县四季降水量的趋势变化不显著;由于 MK 方法忽略了降水序列的负向自相关性,导致各序列的趋势显著性均被弱化,详见表 4。

对 1960—2009 年古蔺县季降水序列采用线性倾向法进行趋势变化分析,由图 4 可知:春夏两个季节降水量呈上升趋势,秋、冬两个季节降水量呈下降趋势,但变动幅度都相当缓慢,均未通过显著性为 5% 检验,表明季节降水量的趋势变化均不显著,与上述方法得出一致结论。

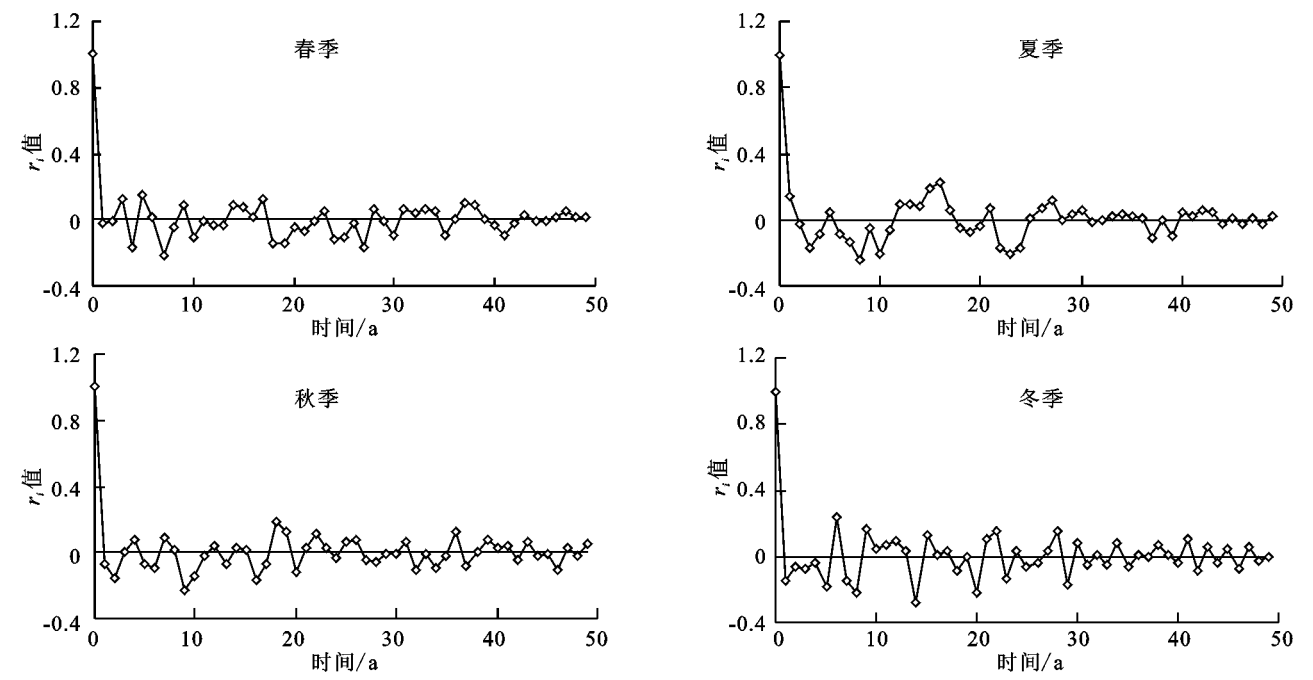


图 3 季降水序列自相关变化图

表 4 古蔺县季降水序列趋势检验结果

序列	自相关 系数 $r_m$	趋势估 计量 $\beta$	MK 趋势检验法			MMK 趋势检验法		
			趋势统计量 $Z$	趋势	显著性	趋势统计量 $Z$	趋势	显著性
春季	-0.22	2.11 E-04	0.084	上升	不显著	0.098	上升	不显著
夏季	-0.24	1.57 E-04	0.025	上升	不显著	0.030	上升	不显著
秋季	-0.23	-3.71 E-03	-1.087	下降	不显著	-1.255	下降	不显著
冬季	-0.27	-3.36 E-03	-1.004	下降	不显著	-1.122	下降	不显著

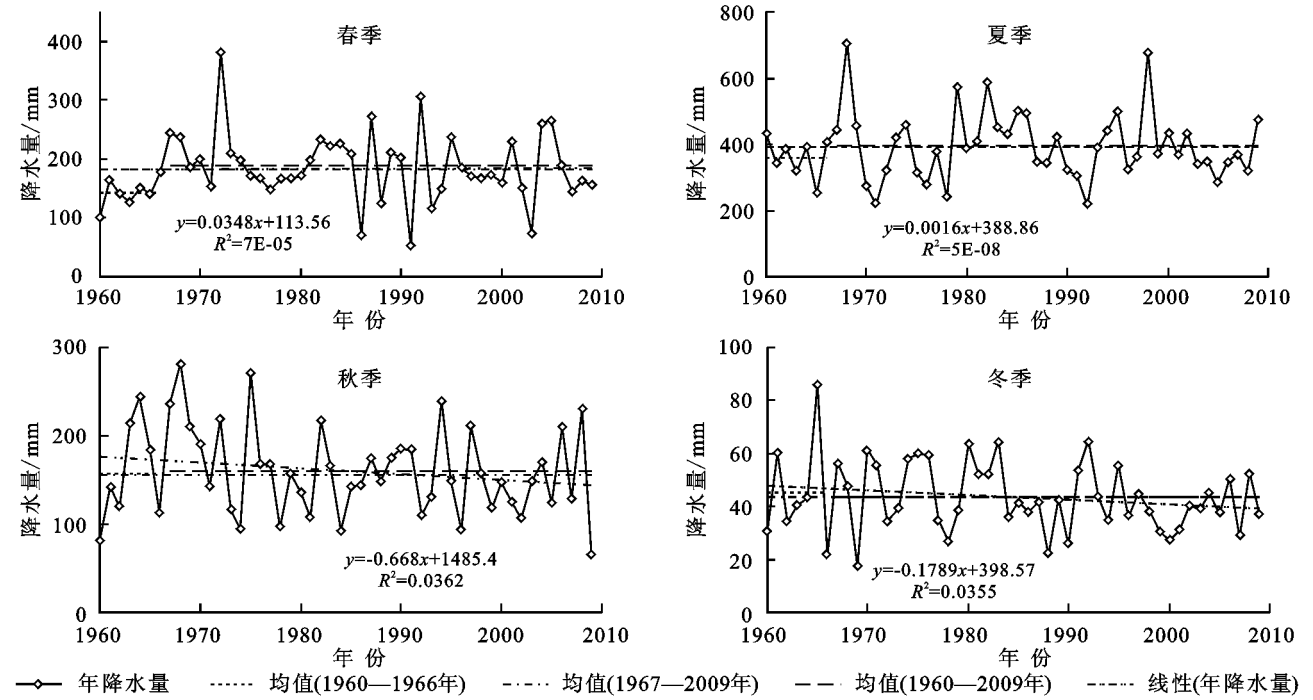


图 4 季降水时间序列图

4 结论

(1) 古蔺县降水量年际变化趋势没有出现较大变动,基本处于稳定状态。而年内分配极不均匀,降

水量主要集中在夏半年,占年降水量的 80% 以上,而冬半年降水量不足 20%,年内最大月份降水量是最小月份的近 10 倍。由于降水量的季节分配不均,给农业生产带来不利影响。

(2) 运用 MK 趋势检验、MMK 趋势检验和线性倾向等方法对该县年降水量进行趋势分析,发现年降水序列存在负向自相关性,随时间总体呈递减趋势,但趋势变化并不显著,降水量多年平均下降幅度仅为  $-7.63 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$ ;而对季节降水量进行趋势分析,可知季降水序列也存在负向自相关性,春夏两季随时间呈递增趋势,秋冬两季随时间呈递减趋势,但均未通过 5% 显著性水平,春夏两季降水量的多年平均增长幅度分别为  $2.11 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$  和  $1.57 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$ ;秋冬两季降水量的多年平均下降幅度分别为  $-3.71 \text{ E}-03 \text{ mm/a}$  和  $-3.36 \text{ E}-03 \text{ mm/a}$ 。

(3) 对比 MK 和 MMK 法对古蔺县近 50 a 来降水序列的趋势检验结果,可知序列的自相关性对趋势显著性有直接影响。由于古蔺县降水序列存在弱相关性,十分接近独立,采用 MK 趋势检验法时没有改变序列原来的趋势显著性,若序列存在较强自相关性,可能会导致序列的趋势显著性发生误判。

#### 参考文献:

[1] 王英,曹明奎,陶波,等.全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J].地理研究,2006,25(6):1031-1040,1148.

[2] 史雯雨,李国芳,齐滨,等.怒江中上游流域降水趋势和周期变化[J].水电能源科学,2012,30(4):9-11,214.

[3] 刘政鸿.陕西省近 50 年来降水量时空变化特征分析[J].水土保持研究,2015,22(2):107-112.

[4] 邓伟,栾兆擎,罗先香.三江平原沼泽性河流径流演变的驱动力分析[J].地理学报,2002,57(5):603-610.

[5] 徐建新,陈学凯,黄鑫.渭潭县降水突变特征分析[J].华北水利水电大学学报:自然科学版,2014,35(2):6-11.

[6] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气候出版社,1999.

[7] 杨鹏鹏,黄晓荣,柴雪蕊等.南水北调西线引水区近 50 年径流变化趋势对气候变化的响应[J].长江流域资源与环境,2015,24(2):271-277.

[8] 张润润.香港地区降水趋势及其演变过程分析[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(5):505-510.

[9] 许继军,杨大文,雷志栋,等.长江流域降水量和径流量长期变化趋势检验[J].人民长江,2006,37(9):63-67.

[10] 付晓花,董增川,刘晨,等.滦河流域径流变化及其驱动力分析[J].南水北调与水利科技,2013,11(5):6-10.

[11] 金保明. Kendall 和 R/S 分析法在降水特性分析中的应用[J].水力发电,2014,40(7):26-28.

[12] 杨鹏鹏,黄晓荣,柴雪蕊,等.岷江都江堰降雨与径流变化趋势分析及预测[J].西北水电,2014(3):1-4.

(上接第 139 页)

[9] Guendehou G H S, Liski J, Tuomi M, et al. Test of validity of a dynamic soil carbon model using data from leaf litter decomposition in a West African tropical forest [J]. Geoscientific Model Development Discussions, 2013,6(2):3003-3032.

[10] Saura-Mas S, Estiarte M, Penuelas J, et al. Effects of climate change on leaf litter decomposition across post-fire plant regenerative groups[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012,77:274-282.

[11] He X, Lin Y, Han G, et al. Litterfall interception by understorey vegetation delayed litter decomposition in Cinnamomum camphora plantation forest [J]. Plant and soil, 2013,372(1-2):207-219.

[12] 韩路,王海珍,吕瑞恒,等.塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J].水土保持学报,2014,28(1):96-101.

[13] 卢振启,黄秋娴,杨新兵.河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2014,28(1):112-116.

[14] 高开通,胡淑萍,刘鹏举,等.北京九龙山自然保护区典型林分枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2013,20(5):160-164.

[15] 剪文灏,李淑春,陈波,等.冀北山区三种典型森林类型枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2011,18(5):144-147.

[16] 郑江坤,王婷婷,付万全,等.川中丘陵区典型林分枯落物层蓄积量及持水特性[J].水土保持学报,2014,28(3):87-91.

[17] 刘国华,张金池,林树燕,等.4 种地被竹枯落物的水文特征及其截持降雨过程研究[J].水土保持通报,2012,32(2):105-113.

[18] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.

[19] 石媛,鲁绍伟,陈波,等.河北雾灵山不同密度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2014,28(3):92-97.

[20] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013(1):224-229.

[21] 刘蔚漪,范少辉,漆良华,等.闽北不同类型毛竹林水源涵养功能研究[J].水土保持学报,2011,25(2):92-96.

[22] 张艺,史宇,余新晓,等.北京山区典型森林生态系统土壤水文特征研究[J].水土保持通报,2012,32(3):62-67.