

# 赣江上游章水流域 1955—2015 年降雨量时空变化

王永文, 刘惠英

(南昌工程学院 水利与生态工程学院, 南昌 330099)

**摘要:**为研究赣江上游降雨特征,以章水流域 1955—2015 年的 22 个雨量站日降雨资料为基础,对各站雨量及流域面雨量序列分别采用线性回归、滑动平均、Mann-Kendall 趋势检验、Pettitt 突变检验、Sen's 斜率估计等方法进行了研究。结果表明:章水流域多年平均降雨量为 1 599.76 mm,其中春季最多,占全年的 37.32%,冬季降雨最少,仅为 13.05%。年降水量以 0.17 mm/a 速率缓慢增加;春、夏和冬季降水量呈现不显著的增加( $\alpha=0.10$ ),增加速率分别为 0.65、0.60、0.86 mm/a;但秋季降水量表现为显著减少趋势,速率为 1.94 mm/a。从空间上来看,年、春和夏 3 个时段只有零星站点有显著变化趋势和突变,绝大多数站点特征表现稳定,无显著变化趋势和突变发生;而在秋季 22 个站点中有 16 个站点有显著的减少趋势,其中有 7 个站点的显著性超过 0.05,主要分布在流域中上游地区,涉及崇义、大余和上犹西部;有 10 个站点的降雨在冬季具有显著的增加趋势,其中 3 个站点的显著性超过了 0.05,主要分布在流域的中游。仅有个别站点年降水量和春季降雨量发生了突变,夏、秋、冬 3 个季节降雨突变站点较多在整个流域零散分布,发生时间大多在 1992 年及前后。

**关键词:**章水流域; 面雨量; 趋势分析; 突变分析; 时空变化

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)04-0105-06

## Spatio-Temporal Changes of Precipitation in Zhang River Watershed in the Upper Region of Ganjiang Watershed During 1955—2015

WANG Yongwen, LIU Huiying

(School of Water Conservancy and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Engineering, Nanchang 330099, China)

**Abstract:** In order to study the precipitation characteristics of the upper region of Ganjiang Watershed, the precipitation was analyzed to examine the trend and abrupt based observed time series data from 22 available rain gauging stations of Zhangshui Watershed of Ganjiang River from the hydrological bureau of Jiangxi Province for the period 1955—2015. The methods of linear regression, moving average method, Sen's slope estimator and Mann-Kendall trend test were used. The significance and magnitude of precipitation trends were determined using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope, respectively. Pettitt test was also used to examine abrupt change for precipitation. The average annual precipitation was 1 599.76 mm and the precipitation in spring accounted for 37.32%. The portion of winter precipitation was only 13.05%. The annual precipitation appeared an upward tendency with the rate of 0.17 mm/year. The results also showed that most of precipitation occurred in spring and summer and showed the increasing trend at the rate of 0.65 mm/year and 0.60 mm/year in general, respectively. The precipitation in autumn presented the significant decreasing trend with the magnitude of 1.94 mm/year. The spatial distribution of annual, spring and summer precipitation were insignificant in most stations by M-K test, but significant in the upstream part area only in autumn, especially in the western region. There were 10 stations with significant precipitation increasing trend in winter. The obvious abrupt change points of spring precipitation occurred in the year of 1992 in a few of stations. The mutation points were complex and scattered in the whole region in other three reasons.

**Keywords:** Zhangshui River Watershed; areal precipitation; trend analysis; mutation analysis; spatial distribution

收稿日期: 2018-10-12

修回日期: 2018-11-19

资助项目: 江西省教育厅科研技术研究资助项目(GJJ161098); 江西省水利厅科技项目(KT201728); 国家自然科学基金(41761058, 51309129); 江西省科技厅社发领域重点项目(20161BBG70049)

第一作者: 王永文(1967—), 男, 江西吉安人, 副教授, 硕士, 主要从事流域站网规划和水资源利用研究。E-mail: 191158756@qq.com

通信作者: 刘惠英(1973—), 女, 陕西凤翔人, 副教授, 在读博士, 主要从事坡面土壤侵蚀和流域水体监测研究。E-mail: huiyingliu@nit.edu.cn

江西气候温和,雨量丰沛,河流水系发达。正确处理人与自然,人与水的关系,充分考虑水资源和水环境的承载能力,注重“在保护中开发,在开发中保护”,是江西在发展中面临的重要机遇和挑战<sup>[1]</sup>。在全球气候变暖的大背景下,各地的降水等气候要素发生了显著的变化。近几十年来,因旱涝灾害而导致的损失和影响也越来越严重<sup>[2]</sup>。水多、水少、水浑日益成为社会关注的热点,严重制约着经济社会的可持续发展,而且其持续累积会使土地资源退化、水资源耗竭、生态环境受到破坏,制约可持续发展<sup>[2-3]</sup>。相对于全球气温的持续升高,降水量的变化和分布有极大的不确定性,各地变化特征迥异<sup>[4-7]</sup>。研究区域降水的变化,能更准确地揭示气候变化对区域降水的影响<sup>[3-4]</sup>。了解不同尺度下降雨量的时空变化,对理解区域水文循环、研究气候变化和防治洪旱灾害等具有重要意义<sup>[1]</sup>。

赣江为江西省第一大河,主河道全长 823 km,是江西的黄金水道,也是全国水运主通道之一。赣江流域面积 8.35 万 km<sup>2</sup>,是鄱阳湖流域的最大支流,占鄱阳湖流域面积的 51%。赣州市以上称为上游,汇流面积为 3.47 万 km<sup>2</sup>,由章水和贡水在八镜台汇流而成,是江西省水土流失最严重的地区之一。流域常出现历时长、笼罩面广的降水过程;每年 4—6 月暴雨形成的洪水较为集中,而 7—9 月又常出现台风型暴雨,加之赣江上游典型的扇形水系,使得汇流迅速、集中,更易形成洪灾<sup>[1-2,8]</sup>。因此,对赣江上游降雨变化特征进行研究,对了解丘陵区降水的历史演变规律、揭示区域气候变化具有重要意义。为进一步探讨长江流域水文气候变化特征及演变规律奠定基础,为长江流域水资源综合开发利用提供参考依据。

## 1 流域概况

章水是赣江上游左岸一级支流,古名豫章水、溢浆水、章江,发源于大庾岭北麓的江西省崇义县聂都乡夹州村。流域西接洞庭湖水系,南邻桃江和珠江流域的北江水系,北靠遂川江,东入赣江。源头至大余县城为上游段,河段长 97 km。大余县城至南康市区为中游段,河段长 65 km。南康市区至河口为下游段,河段长 73 km。流域河流密布,共有支流 500 余条,其中面积大于 200 km<sup>2</sup> 一级支流有 4 条。章水的主干道长 222 km,在南康市三江口以上分为两支(图 1)。左支为上犹江流域,其河道长约 193 km,发源于赣湘交界的山脉之中,右支为章江流域,其集水面积为 2 824 km<sup>2</sup>,河长 177 km。左右两支在三江口合为章水,在赣州市八镜台与贡水汇合形成赣江<sup>[1-2,8]</sup>。流域属于亚热带季风气候,雨量充沛,气候较为温和,光

照充足,年平均气温为 16.3~19.5℃,四季比较分明,多年平均水面蒸发量 1 060 mm。年内春雨和梅雨较为明显,夏季和秋季晴热干燥,而冬季阴冷干燥,霜冻期较短。流域多暴雨,大多数暴雨覆盖全流域,形成流域性洪水<sup>[1-2]</sup>。

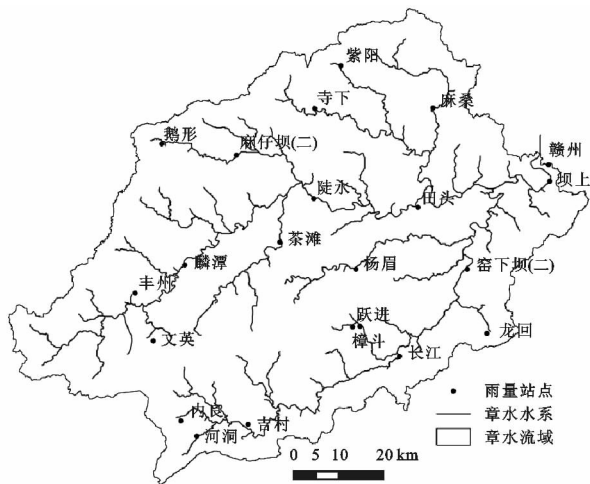


图 1 章水流域雨量站点分布

流域内有区域代表站坝上水文站,该站目前现存完整的连续观测日降雨量始于 1953 年。测站位于赣州市水南镇腊长村(114°57'E, 25°49'N)(图 1)。集水面积 7 657 km<sup>2</sup>,占章水流域面积 99.4%,属国家基本水文站网。自 1956 年开始进行泥沙监测,是赣江上游支流中泥沙监测历史最长的站点之一,具有相当重要的典型性和代表性。

## 2 资料和方法

### 2.1 数据来源

本文所用 1955—2015 年降雨数据来自江西省水文局编撰的水文年鉴。雨量资料包括 22 个雨量站的逐日实测雨量。对原始降水数据进行处理,组成以 3—8 月为丰水期、9—2 月为枯水期、3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月及翌年 1—2 月为冬季的降水序列,分别对其平均值、最大值、最小值、变差系数等进行统计分析,得到流域面雨量特征量。

### 2.2 数据处理方法

2.2.1 面雨量 流域面雨量的计算用泰森多边形法在 ArcGIS 9.1 平台下计算。由于坝上站建站时间早于其他雨量站,为了得到与之相同时间序列的降水数据,本文采用多元线性回归法利用坝上站及周围安徽点降水数据插补其余雨量站点缺失时段的历史数据,进而计算流域面雨量。

2.2.2 趋势分析方法 趋势分析采用 Mann-Kendall 趋势检验和线性回归两种方法。线性回归是一种最简单、易行的方法,文中用时间对雨量线性回归的直

线斜率  $b$  表示降雨量年际变化速率。Mann-Kendall 趋势检验法适用于类型变量和顺序变量,是世界气象组织推荐的并在现实中已广泛使用的非参数检验方法。被广泛应用于水文和气象要素时间序列的趋势变化<sup>[9-10]</sup>。计算过程如下:

通过计算统计量  $Z$  值,将  $|Z|$  和给定的置信水平  $\alpha$  得到  $Z_{1-\alpha}$  比较:(1) 若  $|Z| > Z_{1-\alpha}$ ,则否定原假设,说明时间序列数据存在明显上升、下降趋势。(2) 若  $|Z| \leq Z_{1-\alpha}$ ,则原假设成立,说明时间序列无明显变化趋势。且当  $Z > 0$  时无明显上升趋势, $Z < 0$  时无明显下降趋势<sup>[6,9-10]</sup>。

2.2.3 Sen's 斜率估计 对于时间序列  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,通过计算倾斜度指标  $\beta$ ,得到单调趋势度量因子。通过下式计算得到:

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

Median 是中位数函数。 $\beta > 0$  表示趋势上升,即变量随时间增大; $\beta < 0$  表示趋势下降,变量随时间下降<sup>[11]</sup>。

2.2.4 突变分析 用 Pettitt 对序列进行突变检测。Pettitt 检验原假设认为突变点没有明显的显著性,即突变点不存在,若降雨量突变点统计值处于上下信度线之间,接受原假设;备择假设认为突变点显著,即存在突变点,若年降雨量突变点统计值处于上下信度线外侧,接受备择假设,认为该点是各要素的突变点。具体计算方法可参考文献<sup>[12-14]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 流域面雨量基本特征

章水流域的亚热带大陆性季风气候使得春季雨水颇丰,夏季炎热雨量集中,秋季多阴雨,冬季多雨,多年降雨特征见图 2。流域多年平均面雨量为 1 599.76 mm,降雨年际变化较大,在 1955—2015 年最大和最小年降雨量比值达 2.39(图 3);降雨年内分布呈双峰型:6 月和 8 月,其中 6 月降雨最多,为 244.57 mm,降雨的 42.32%集中在 4—6 月,71.42%集中在 3—8 月,春季和夏季分别占了全年的 37.32%,34.10%。

秋季降雨变化剧烈且降雨变幅很大,变差系数为 0.92,最大降雨和最小降雨相差近百倍(图 3);冬季变差系数次之,为 0.80,春夏两季降雨变差系数相对较小。最大月降水出现在 6 月,占全年降水量 15.29%,最小降水量出现在 12 月,占全年降水量的 3.11%。全流域几乎所有站点 10 月和 12 月降雨量的变差系数均超过了 1,表明秋冬两季降雨量变化剧烈。上述特征均表明该流域是一个旱、涝灾害频发的区域。

#### 3.2 流域面雨量年代际特征

表 1 给出了流域 60 多年来面雨量变化的年代特征。

总体看来,面雨量呈现先减再增后减的一种波动性。20 世纪 50 年代为降雨最多的时段,达到了 1 725.75 mm/a,年、春、夏、秋各段模比系数均超过了 1。其次为 1991—2000 年时段,降雨量达到了 1 696.10 mm/a,除了秋季,其余时段的模比均也超过了 1。而 1961—1970 年为整个研究时间内降雨最少的时期,作为降雨最多季的春季,模比值仅为 0.88,冬季的模比值也仅为 0.88。表明流域在 20 世纪 70 年代发生了较为严重的干旱,尤其以冬旱和春旱最为明显。同时发现模比最小值 0.77 发生在 20 世纪 90 年代的秋季,虽然该时段降雨总量较多,降雨在年内分布比较异常,秋旱是较为严重的。通过以上分析可知,章水流域降雨量虽然丰沛,但是年内分布不均,季节性干旱时候发生。

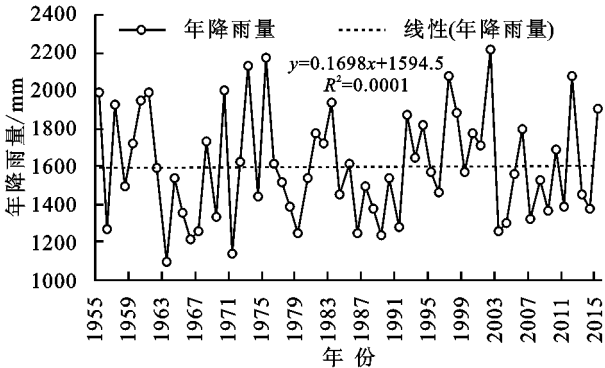


图 2 章水流域 1955—2015 年面雨量年际变化

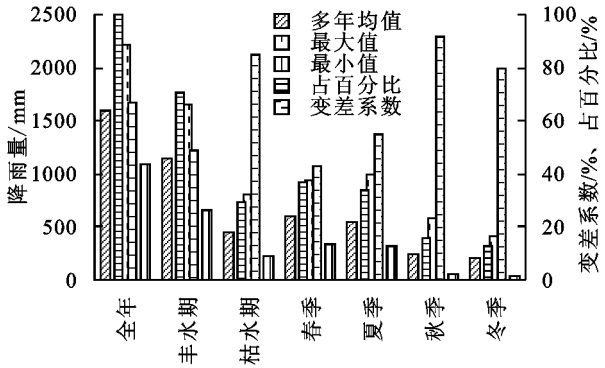


图 3 章水流域 1955—2015 年降雨年内变化特征

从各时段的模比值还可发现,春、夏、秋三季模比变化不大,但冬季变化最大,最小为 0.78,最大为 1.17,是所有模比值中的近极值。此结果和前文多年平均冬季降雨的变差系数最大是一致的。

#### 3.3 流域年雨量变化趋势

对 1955—2015 年章水流域年雨量序列,分别采用 M-K 趋势检验、Sen's 斜率估计和线性回归 3 种方法计算流域各时段的统计值  $Z, \beta, b$ ,并取 95% 置信度进行显著性检验,结果表明(表 2),3 种方法均表明章水流域年降水量呈微弱增加趋势,降水量多年平均减少幅度为 0.17~0.52 mm/a,但都没有通过显著性水平检验。即流域年降雨虽然总体趋势在减少,但是并不显著。

表 1 章水流域 1955—2015 年面雨量年代变化特征

时段	年值		春季		夏季		秋季		冬季	
	均值/mm	模比	均值/mm	模比	均值/mm	模比	均值/mm	模比	均值/mm	模比
1955—1960	1725.85	1.08	598.41	1.00	572.91	1.05	359.81	1.45	194.72	0.93
1961—1970	1513.18	0.95	522.53	0.88	540.69	0.99	266.88	1.07	183.07	0.88
1971—1980	1579.86	0.99	627.70	1.05	517.75	0.95	244.34	0.98	190.06	0.91
1981—1990	1539.33	0.96	630.43	1.06	442.56	0.81	254.48	1.02	211.85	1.01
1991—2000	1696.10	1.06	615.47	1.03	641.82	1.18	191.38	0.77	247.43	1.19
2001—2010	1574.48	0.98	581.21	0.97	569.73	1.04	211.78	0.85	211.77	1.01
2011—2015	1639.79	1.03	611.94	1.02	542.23	0.99	260.61	1.05	225.01	1.08

注:模比值=年段均值/多年均值。

不管是线性回归还是 5 a 滑动平均,年降雨量都呈现下降趋势,这和 M-K 趋势统计值的结果一致(图 4A)。从 5 a 滑动平均图上发现,降雨量有几次明显的上升过程:1966—1969 年、1976—1982 年、1999—2002 年;下降过程:1956—1959 年、1969—1976 年、1987—1993 年、2002—2006 年;其中 1967—1971 年的 5 a 平均降雨量最大,为 1 286.35 mm,1997—2001 年 5 a 平均降雨量最少,为 969.31 mm。流域年降水量总体减少趋势下,变化呈波动性,表现为一些年份增加,一些年份减小。

表 2 章水流域面雨量趋势分析方法统计参数

时段	Z	$\beta/$ (mm·a <sup>-1</sup> )	$b/$ (mm·a <sup>-1</sup> )	显著性	趋势
年均	0.19	0.52	0.17	不显著	上升
春季	0.67	0.55	0.65	不显著	上升
夏季	0.17	0.19	0.60	不显著	上升
秋季	<u>-2.01</u>	<u>-1.82</u>	<u>-1.94</u>	显著	下降
冬季	1.21	0.71	0.88	不显著	上升

注:下划线表示变化显著( $\alpha=0.05$ )。

### 3.4 季降雨趋势变化

根据流域气候特征进行四季划分后,用 M-K 检验法得出的流域季降水量的统计值见表 2。春、夏和秋三季降雨略有增加,以冬季的增加最为明显。但秋季的降雨减小趋势显著,3 种方法的检验结果都可以得到验证。

(1) 春季降水量呈增加趋势,降水量增加幅度为 0.65 mm/a。春季平均降水量为 597.11 mm,最大春季降水 935.36 mm,最小降水为 334.15 mm。对于 5 a 滑动平均值来说,1963—1967 年的春季平均降水量最小(333.19 mm),1980—1984 年的春季平均降水量最大(761.0 mm)。

(2) 夏季降水量呈增加态势。线形趋势和值都在 0.60 mm/a,Sen's 斜率估计值 0.19 mm/a。5 a 滑动平均图显示 1993—1997 年是夏季降雨最多的 5 年,1987—1991 年是夏季降雨最小的 5 年。1992—1996 年是一个降雨明显增加的时段,而 1980—1991 年是降雨明显减小时段。

(3) 秋季降水在四季中下降趋势最明显,减少速率

为 1.94 mm/a,从 20 世纪 70 年代中期开始至今 21 世纪初降水量一直呈下降趋势,并且 20 世纪 90 年代的下降最为明显。从 1991—2010 年降雨低于多年秋季均值。

(4) 冬季降水量增加幅度为 0.88 mm/a,冬季降雨量年际变化大,从 20 世纪 80 年代开始增加较为明显。M-K 检验、线形趋势分析和 Sen's 斜率估计值 3 种方法得到了相同的变化趋势。

### 3.5 雨量变化的空间分布

3.5.1 空间趋势 对流域内所有站点,按照春、夏、秋、冬和全年分别进行 M-K 趋势变化检测,检测结果见图 5。结果表明 22 个站点中,从全年角度来看,仅有 3 个站点具有较显著的变化( $\alpha=0.10$ ),和前面流域面雨量的趋势变化一致。从年内来看,春季仅有 3 个站点和夏季仅有 2 个站点具有显著的变化趋势,其余绝大多数站点均无显著变化;但在秋季有 16 个站点有显著的减少趋势,其中有 7 个站点的显著性超过 0.05,同时,有 10 个站点在冬季具有显著的增加趋势( $\alpha=0.10$ ),其中 3 个站点的显著性超过了 0.05。以上分析表明,虽然从全年来看,整个流域无显著的变化趋势,但流域的部分地区在冬季降雨减少趋势明显,在冬季降雨增加趋势明显,减少的区域主要集中在章水流域的上游,江西和湖南接壤地区。

3.5.2 空间突变 通过 Pettitt 检测流域所有站点的年降雨总量和春夏秋冬四季的突变情况(图 5),仅吉村和紫阳站年降雨量发生了显著突变,发生时间分别为 1991 年和 1993 年,其余 20 个站点均无突变,和面雨量检测结果一致。

从年内来看:紫阳站春季降水量在 1993 年发生了突变,从 1956 年开始一直到 1981 年春季降雨处于上升趋势,从 1982 年开始至今又逐步下降;夏季降水量在 1991—1993 年共有 5 个站发生突变,集中在流域的海拔较高的上游地区,降雨量呈现先下降后上升的变化特征;秋季降水量有 7 个站点检测出突变,发生时间分散,20 世纪 70—90 年代都有分布。发生区域集中在章水流域的上游和下游地区;冬季突变发生在 5 个站点,也集中在流域的上游地区。



## 4 结论

(1) 60年来流域年均降雨量为1 599.76 mm,流域降雨以0.66 mm/a减少。年降水的37.32%集中在春季,冬季只占13.05%,变差系数以秋季最高达0.92,冬、夏、春季依次减小。年降水总量和春、夏、冬三季降雨量均呈增加趋势,但变化不显著;只有秋季降雨呈减小趋势。

(2) 在年代际变化中,年和四季降雨在60 a内都呈现减一增一减的趋势,但是年、夏季和冬季的峰值在1991—2000年,春季和秋季的峰值在1981—1990年。从空间上来看,流域面降雨在上、中游有显著的变化趋势:秋季减少,冬季增加;流域降雨在全年和四季均没有突变发生;但就单个站点而言,突变在年内有分散发生,春季和夏季较多。

(3) 年降雨量和各季降雨量变化虽不显著,但多年变差系数较大,降雨年内分布不均,呈双峰型分布,有明显的“两峰一谷”存在。流域在7—9月用水高峰时段可利用水资源量相对减少,加剧供水用水矛盾,导致该流域旱、涝灾害发生机率增大,给流域内的水利工程的调度和企业用水增加了难度。合理配置流域水资源,实施科学水量调度的在空间和时间分布,提高水资源利用率,是解决流域用水的根本方法。

### 参考文献:

- [1] 江西省. 江西河湖大典[M]. 武汉:长江出版社,2010.
- [2] 江西省水利厅. 江西水旱灾害[M]. 南昌:江西省水利厅,1995.
- [3] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):1-5.

- [4] Buizer J L, Foster J, Lund D. Observed variability and trends in extreme climate events:a brief review[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000,81(3):417-426.
- [5] Tabari H, Talaee P H. Temporal variability of precipitation over Iran:1966—2005[J]. Journal of Hydrology, 2011,396(3):313-320.
- [6] 马锋敏,章毅之,唐传师,等. 近52年江西省汛期极端降水事件的时空变化[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(10):1348-1355.
- [7] 徐伟成,钟永浩. 章江洪水特点与防洪对策[J]. 江西水利科技,2005(S1):76-78.
- [8] 刘惠英,白桦. 赣江上游章水流域水沙变化的驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(3):615-623.
- [9] 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,2007.
- [10] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- [11] Gocic M, Trajkovic S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia[J]. Global and Planetary Change, 2013,100:172-182.
- [12] Pettitt A N. A non-parametric approach to the change point problem[J]. Applied Statistics, 1979,28(2):126-135.
- [13] Yue S, Hashino M. Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2003,39(3):587-596.
- [14] Manton M J, Della-Marta P M, Haylock M R, et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature in South-east Asia and the South Pacific:1961—1998[J]. International Journal of Climatology, 2001,21(3):269-284.

(上接第104页)

- [40] Gullledge J, Schimel J P. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga forest stands in interior Alaska[J]. Ecosystems, 2000,3(3):269-282.
- [41] Orchard V A, Cook F J. Relationship between soil respiration and soil moisture[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1983,15(4):447-453.
- [42] Manzoni S, Schimel J P, Porporato A. Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis[J]. Ecology, 2012,93(4):930-938.
- [43] 齐玉春,董云社. 土壤氧化亚氮产生、排放及其影响因素[J]. 地理学报,1999,54(6):534-542.
- [44] 郑循华,金继生. 华东稻麦轮作生态系统的 $N_2O$ 排放

研究[J]. 应用生态学报,1997,8(5):495-499.

- [45] Wagnera D, Pfeifferb E M. Two temperature optima of methane production in a typical soil of the Elbe river marshland[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2010,22(2):145-153.
- [46] 朱玫,田洪海. 大气甲烷的源和汇[J]. 环境保护科学,1996(2):5-9.
- [47] 丁维新,蔡祖聪. 土壤有机质和外源有机物对甲烷产生的影响[J]. 生态学报,2002,22(10):1672-1679.
- [48] Yao Z, Wolf B, Chen W, et al. Spatial variability of  $N_2O$ ,  $CH_4$  and  $CO_2$ , fluxes within the Xilin River catchment of Inner Mongolia, China: a soil core study[J]. Plant & Soil,2010,331(1/2):341-359.