

近五十年云南 5 月降水特性分析

梁家昌, 沈才明

(云南师范大学 旅游与地理科学学院/高原湖泊生态与全球变化重点实验室/高原地理过程与环境云南省重点实验室, 云南 呈贡 650500)

摘要:基于云南 36 站逐日降水资料,运用趋势分析和 Mann-Kendall 气候突变检验等方法,研究了近 50 年云南 5 月降水及其降水特性的长期趋势和年代际特征。结果表明:5 月降水量出现大范围不显著增加趋势,西北部降水增加趋势显著,雨强空间变化是影响 5 月降水量空间变化的主要原因;5 月降水量呈线性增加趋势,增加速率为 $4\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,雨日和雨强变化均对 5 月降水量有重要贡献;5 月降水量及雨日序列未发生年代际突变,但雨强在 1999 年前后发生了年代际突变,突变后雨强迅速增强。

关键词:降水特性;M-K 突变检验;5 月;雨日

中图分类号:P467 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2016)09-0024-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.09.0024

受全球气候变暖影响,中国各地降水特性发生了显著变化,雨日、雨强、降水频率和极端降水事件等降水特性变化引起了人们的关注和研究^[1-3]。在云南地区,雨日、雨强等降水特性亦出现变化^[4-5]。针对云南雨日时空变化特征的研究显示,云南年雨日、夏一冬季雨日呈减少趋势,且年雨日和夏秋两季雨日减少趋势显著^[4]。而对云南中雨到大暴雨雨日的探讨表明云南小雨和中雨

日减少趋势明显,大雨到大暴雨雨日略微增加,年雨日呈减少趋势^[5]。强度和频数是决定降水总量的关键要素,是降水特性研究中的重要指标。雨日和降水强度的变化,势必引起各地降水时空特征出现新的变化。因此,对地区降水及其雨日和雨强的研究探讨,对于降水变化甚至是降水异常事件的预测具有重要作用,尤其是对特殊时期的预测有其特别重要的意义。

云南地处我国西南低纬高原地区,受东亚季风、南亚季风和青藏高原的综合影响,气候复杂,其中尤以 5 月降水变化最显著。5 月是冬季环流型向夏季环流型转换的过渡季节,气候上表现为夏季风来临,干季转雨季^[6]。另一方面,5 月也是云南小春作物产量形成期和大春作物播种关键期。一旦 5 月大气环流出现异变,当年雨季开始较晚或过早,云南易发生降水异常事件,导致严重旱涝灾害。

收稿日期:2016-07-19
基金项目:云南省高端科技人才引进资助项目(2013 HA024);国家自然科学基金资助项目(41372191);云南省科技计划重点资助项目(2014FA005)
第一作者简介:梁家昌(1991-),男,江西省赣州市人,在读硕士,从事极端气候变化研究。E-mail: Leongjiachang @ yahoo. com.
通讯作者:沈才明(1963-),男,江苏省苏州市人,博士,教授,博士生导师,从事古生态与古气候研究。E-mail: cmshen @ hotmail. com.

Study on Seeds Sterile Rapid Propagation of *Phaeomeria magnifica* (Roscoe) K. Shum

LYU De-ren, HUANG Sai, QI Hua-sha, WANG Jing-fei, FU Rui-kan, PAN Mei

(Tropical Horticulture Research Institute of Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571100)

Abstract: In order to accelerate the sterile culture of *Phaeomeria magnifica*, using the seeds as explants, the techniques of tissue culture and rapid propagation were studied by comparing with different MS inorganic salt concentrations, plant growth regulator types, concentration ratio and transplanting substrates. The results showed that seeds sprouted buds in the medium MS+6-BA $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; MS+6-BA $3.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +NAA $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ could effectively induce fasciculate buds, the propagation coefficient was 5.75 every 30 days; the most optimum rooting medium was 3/4MS+ NAA $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and the rooting rate was 100%. The rooting seedlings were effectively transplanted in coconut chaff, the survival rate was 98%. Using the technology of tissue culture and rapid propagation of *Phaeomeria magnifica* could efficiently bred seedlings.

Keywords: *Phaeomeria magnifica*; seed; fasciculate buds; tissue culture; rapid propagation

部分学者对云南 5 月雨量的预测方法、转折突变、影响因子及相应环流变化进行了研究^[7-9]。但关于云南 5 月降水及降水特性方面的研究较少。本文将揭示云南 5 月降水及降水特性的长期趋势和时空变化特征,为云南 5 月及雨季开始期降水预报、旱涝预测及农业生产活动安排提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据说明

所用资料为中国气象局气象信息中心提供的云南省 36 站 1951-2012 年逐日降水数据。站点选取基于以下考虑:(1)记录的完整性和始末时间的一致性,弃用缺测 1 a 以上站点,选取 1959 年作为研究起始年;(2)站点空间分布均匀性,不出现明显空白区域。需指出的是云南东南角,广南、文山州和砚山三站均出现 1 a 以上缺测。考虑到站点空间分布情况,选取缺测时间最短的广南站用于分析,缺测数据以 30 a(1971-2000 年)的平均值填补。综合考虑以上情况,最终选取了 29 个站点 1959-2012 年逐日降水数据进行统计分析(站点分布情况见图 1a)。定义:5 月降水为各站降水总量,雨日为 5 月日降水量大于 0.1 mm 的日数,雨强为 5 月降水总量与降水日数的比值。文中将雨日和雨强统称为降水特性。

1.2 数据分析

本文采用趋势分析、统计 *t* 检验、Mann-Kendall 突变检验^[10-11]和相似系数^[12]进行分析。

2 结果与分析

2.1 多年平均的空间分布特征

计算云南 29 站的 5 月降水量、雨日和雨强的时间序列逐站趋势系数,得到其长期趋势变化的空间分布(见图 1)。从图 1a 可以看出,云南 5 月降水量除东部、东北和普洱西部为负趋势外,其余均为正趋势。最强正趋势为维西(0.374),趋势系数超过 0.25 的站点有中甸、丽江、大理、保山和元谋,都达到 0.05 以上的显著性统计检验,说明这些地方的降水量在明显增加。计算线性回归系数表明,云南西部和西北部以大于 $3\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的速率增加,其中保山增加最明显,达到 $11.6\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,其次是腾冲 $10.6\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。澜沧站减小速率最大,达 $5.5\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。整体而言,云南 5 月降水出现大范围增加趋势,西北部降水增加趋势较明显。这一结论与对近 50 年云南年、季和月降

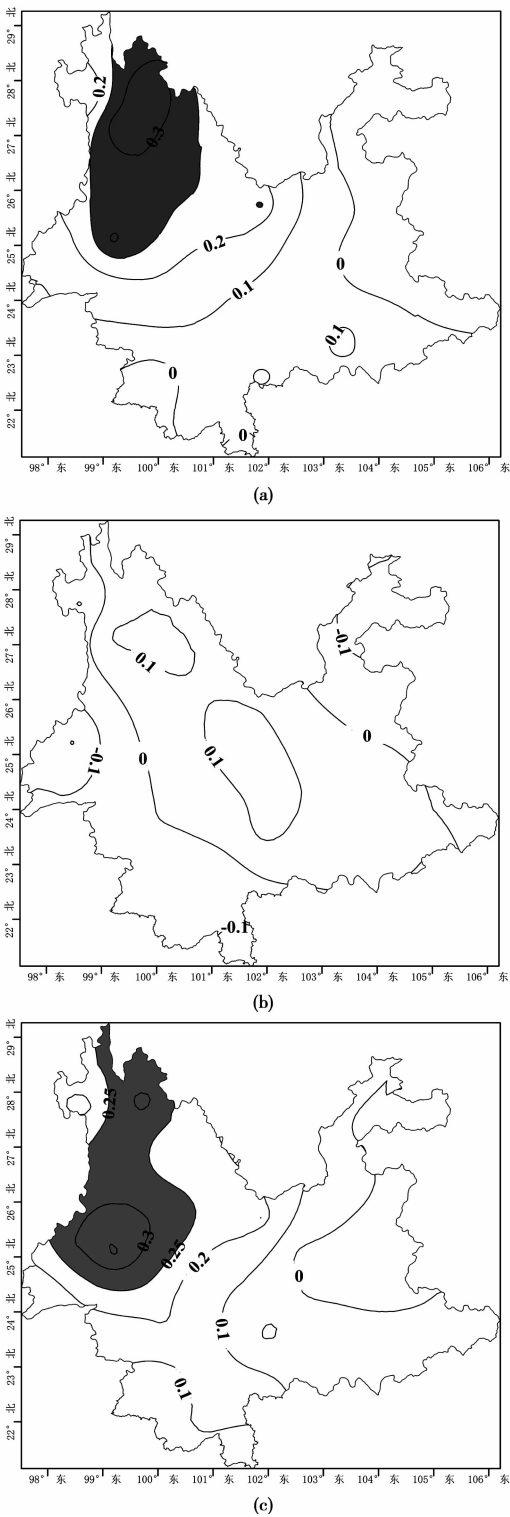


图1 1959-2012 年 5 月降水(a)、雨日(b)和雨强(c)变化趋势(阴影为通过 95%置信度检验的区域)
Fig.1 Trend (a) mean precipitation and (b) wet days and (c) precipitation intensity in May during 1959-2012 (the shaded areas are statistically significant at 5% level)

水时空变化特性分析得到云南 5 月降水出现大范围正趋势,且滇中到滇西北降水正趋势较强^[5]的结果相印证。

分析 5 月雨日变化趋势(见图 1b)表现为西南—东北交替变化特征。云南 29 站 5 月雨日趋势系数在 $-0.1 \sim 0.1$,未通过 0.05 以上显著性检验。计算雨日的回归系数表明,大部分站点的绝对速率小于 $0.5 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,表明雨日变化趋势不明显。

如图 1c 所示,除昭通、沾益、昆明、泸西和元江 5 站点为负趋势外,其余均为正趋势。其中中甸、维西、大理、保山和腾冲的雨强增加趋势通过了 0.05 以上显著性检验。计算雨强的回归系数表明,大部分站点雨强的增加速率大于 $0.2 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,西北部上升速率达 $0.5 \sim 1.1 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。5 月雨强整体为增强趋势,滇西北雨强增强趋势明显。

为进一步了解云南 5 月雨日和雨强与 5 月降水量变化在空间分布上的相似性程度,计算了雨日(见图 1b)、雨强(见图 1c)与 5 月雨量(见图 1a)的相似系数,分别为 0.326、0.944。可见雨强变化与雨量变化趋势更一致,云南 5 月降水变化受雨强变化的影响强烈。滇西北雨强增强趋势较明显,而东部和东北部雨强呈微弱减小趋势,很可能是导致西北部 5 月降水明显增多而东部、东北部降水略微减少的主要原因。

2.2 空间平均的时间变化特征

前面分析了云南 5 月降水及雨日和雨强多年平均的空间变化特征,下面分析其时间变化特征。图 2a 为 1959-2012 年云南 5 月平均降水变化趋势。5 月平均降水量 106.0 mm,2001 年 5 月降水量最多为 217.6 mm,1987 年 5 月降水量最少为 34.8 mm,相差近 6 倍。从多项式曲线来看,1960 s、1980 s 和 1990 s 处于降水偏少阶段,1970 s 和 2000 s 降水偏多。特别是 21 世纪前 10 年,5 月平均降水量达 130.5 mm,降水明显增加。根据多项式曲线变化趋势来看,2010 s 5 月降水量可能减少。近 54 年来云南 5 月降水量略微增加,增加速率约 $4 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,增加趋势不显著(趋势系数 0.151)。针对云南近半个世纪降水量时空分布特征^[13]的研究指出云南春季(3-5 月)降水量呈明显上升趋势,研究结果与文章结论

基本一致。

图 2b 为云南 5 月平均雨日变化趋势。云南 5 月平均雨日为 14.2 d,2002 年 5 月雨日最多为 21.0 d,1987 年最少为 6.4 d。近 50 年 5 月雨日数 $0.029 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 速率增加,其增加趋势微弱(趋势系数 0.014)。考察云南 5 月平均雨强变化趋势(见图 2c)可知,5 月平均雨强为 $7.0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,最大雨强年为 2007 年,达 $11.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,最小雨强年为 1963 年,只有 $3.3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。5 月雨强以 $0.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的速率增加,雨强线性增加趋势显著(趋势系数 0.257,通过了 0.05 显著性统计检验)。从多项式曲线变化趋势来看,5 月雨日和雨强与 5 月降水变化趋势一致,1960 s、1980 s 和 1990 s 雨日减少,雨强减弱,1970 s 和 2000 s 雨日增加,雨强增强。计算雨日和雨强序列与降水序列的相关性分别为 0.85 和 0.88(均达到 0.01 显著性水平),表明 5 月降水线性变化受雨强和雨日影响明显。综合前文对 5 月降水、雨日和雨强空间变化的研究表明在时空尺度上 5 月降水量对雨强变化更敏感。

2.3 5 月降水、雨日和雨强的年代际变化

降水不仅存在明显的年际和年代际变化特征,还存在着气候变化的不连续性、突然的跳跃,即气候突变。运用 Mann-Kendall 气候突变检验法,对云南 5 月降水及降水特性时间序列进行突变检测(见图 3)。由于检测方法的局限性,对于存在多年尺度波动序列的检测尚存在一些困难,检验结果中对应两序列的交叉点不能说明存在跃变。故从更严格条件出发,检验结果中只出现一个交叉点,且位于显著性水平范围内,才认定该交叉点对应时间是该时间序列的突变时间^[14]。同时考虑到气候跃变的大尺度性,跃变尺度至少为 5 a 以上,因此跃变分析时间为 1965-2006 年^[15]。由图 3 知,1960 s 初云南 5 月降水从负距平向正距平转变,从 1970 s 中期开始由正距平向负距平转变,1990 s 末开始又由负距平向正距平转变,且这种变化趋势在雨日和雨强序列也得到体现。具体分析 5 月降水及雨日和雨强序列检验结果,表明 5 月降水量及雨日序列无明显年代际突变点,降水量和雨日变化更明显的表现为渐变特征。雨强序列在 1999 年发生显著年代际突变,1999 年以后雨强迅速增强。综合分析,雨强序列在

2000 年后的突然增加与 5 月雨强在 2000 年后迅速增强有内在的一致性,这可能是导致云南在 21 世纪初 5 月降水量大幅度增加的重要因素。

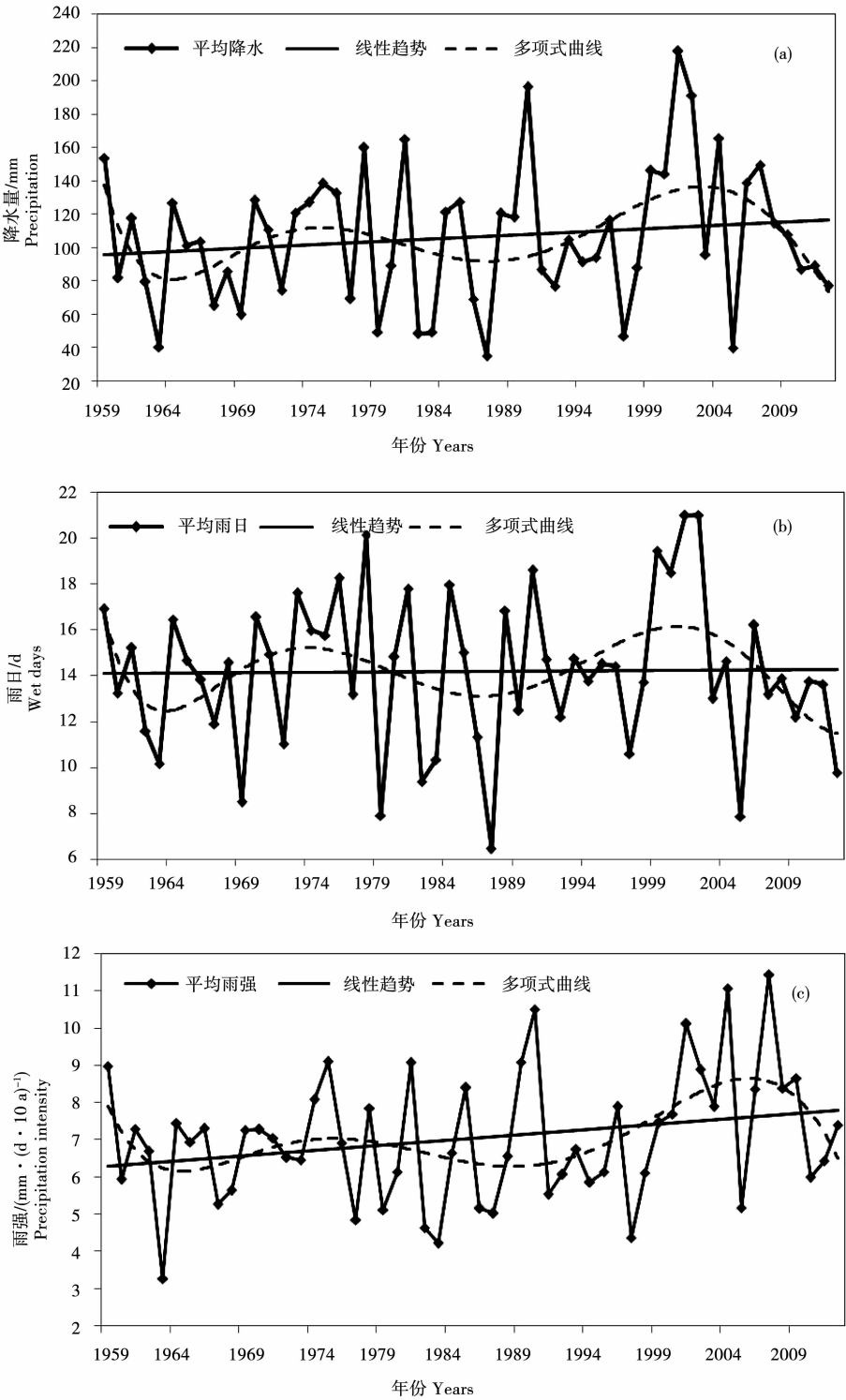


图2 5月平均降水(a)、雨日(b)和雨强(c)时间序列、线性趋势及多项式曲线
Fig. 2 Time series of mean (a) precipitation, (b) wet days and (c) precipitation intensity, linear trends and polynomial curve in May

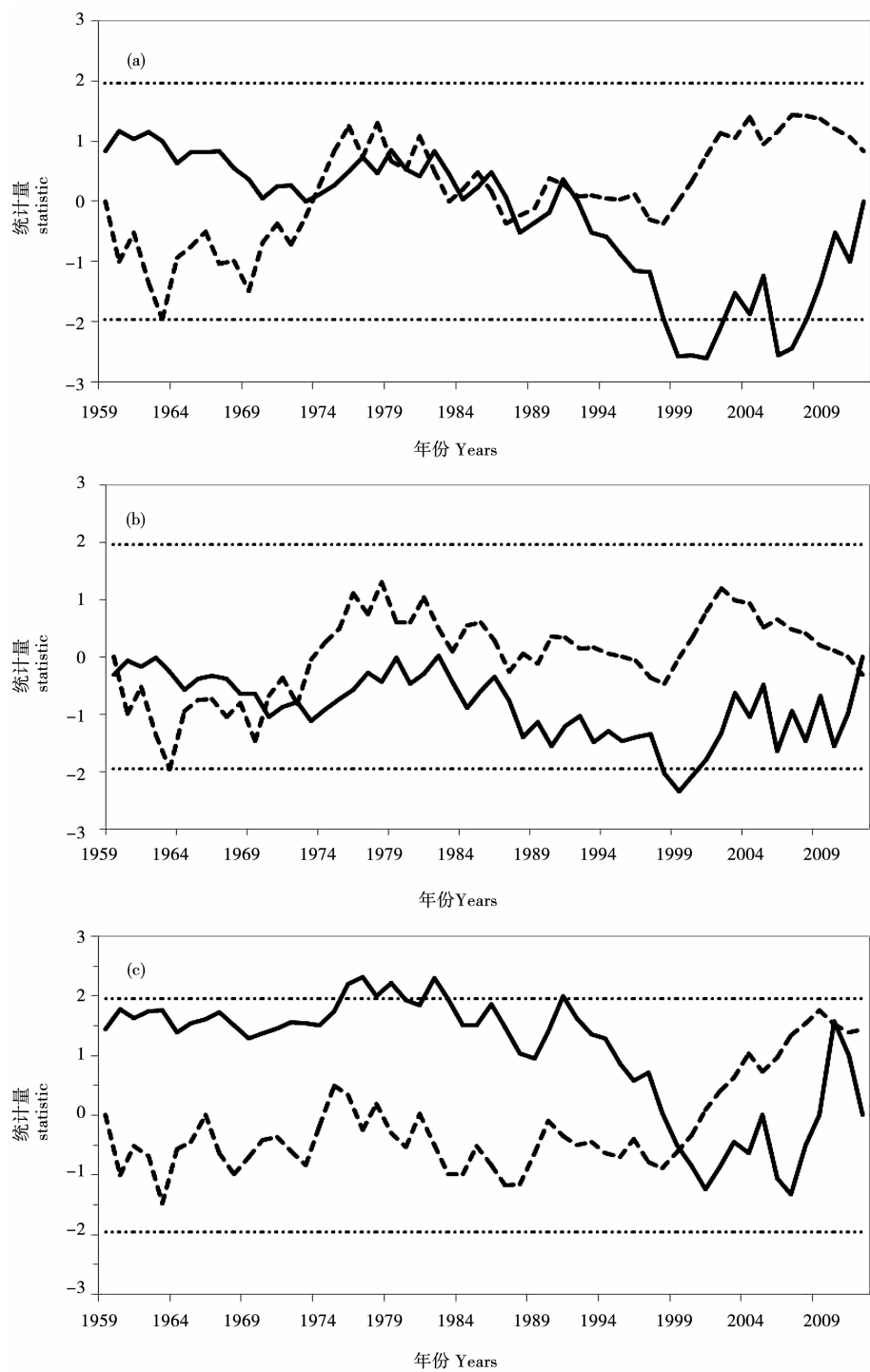


图3 云南5月降水(a)、雨日(b)和雨强(c)序列 Mann-Kendall 检验结果

Fig. 3 Mann-Kendall test results of precipitation, wet days and precipitation intensity in May

3 结论与讨论

利用云南 36 站 1959-2012 年逐日降水资料，分析了云南 5 月降水及雨日和雨强的长期变化趋势和年代际变化特征，并研究探讨了雨日和雨强时空变化对 5 月降水的影响。但据学者研究表

明，云南冬夏环流转换日期存在早晚变化，利用雨季开始时间来确定环流转换日期得到的云南多年平均雨季开始期为 5 月 3 候-5 候期间，且雨季开始最早和最晚日期可相差达近 2 个月。文中选取环流关键期 5 月进行研究分析，可能导致遗漏一

些特殊年份雨季开始期的降水量及降水特性信息。同时研究没有对 5 月降水所表现出的长期变化和年代际变化特征的原因进行讨论,这有待于进一步研究。针对云南近 54 年季节环流转换关键期 5 月份雨日和雨强的长期趋势和年代际变化的研究主要结论如下:

(1)考察 5 月降水及降水特性空间变化特征,5 月降水出现大范围增加趋势,西北部降水增加趋势显著。雨强变化与降水变化相类似,是影响 5 月降水空间分布的重要因子;雨日变化表现为西南-东北交替变化特征。

(2)5 月降水量呈线性增加趋势,增加速率为 $4 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,雨日和雨强均对 5 月降水有重要贡献。综合前文分析结果表明,5 月雨强的时空变化是导致 5 月降水量变化的主要因子。

(3)5 月降水及雨日未发生年代际突变,表现为渐变特征。雨强序列在 1999 年发生了年代际突变,突变后雨强迅速增强。且突变后雨强的迅速增加导致云南 21 世纪初 5 月降水量大幅度增加。

参考文献:

- [1] 王颖,施能,顾俊强,等.中国雨日的气候变化[J].大气科学,2006,30(1):162-172.
- [2] Wang Y,Zhou L. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961-2001 and the associated chan-

ges in large-scale circulation[J]. Geophys. Res. Lett.,2005,32:L09707,doi:10. 1029/2005GL022574.

- [3] Zhai P M,Zhang X B,Wan H,et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J. Climate,2005,18:1098-1108.
- [4] 符传博,丹利,吴润.近 50 年云南省雨日及降水量的气候变化[J].高原气象,2011,30(4):1027-1033.
- [5] 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.
- [6] 严华生,鲁亚斌,尤红卫,等.云南省 5 月雨量的天气气候成因探讨[J].应用气象学报,1995,6(1):124-128.
- [7] 陶云,曹杰,段旭.云南省 5 月雨量转折突变的研究[J].气象科学,2002,22(3):287-293.
- [8] 肖子牛,温敏.云南 5 月降水量与前期季节内振荡活动相互关系的分析研究[J].大气科学,1999,23(2):177-183.
- [9] 据建华,李绚丽.云南 5 月降水与前期大气环流的关系[J].高原气象,1999,18(1):63-70.
- [10] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1999:296.
- [11] 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.
- [12] 伍红雨,杜尧东,陈桢华,等.华南雨日、雨强的气候变化[J].热带气象学报,2011,27(6):877-888.
- [13] 陶云,何群.云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J].云南大学学报:自然科学版,2008,30(6):587-595.
- [14] 刘海文,丁一汇.华北汛期日降水特性的变化分析[J].大气科学,2010,34(1):12-22.
- [15] 郝利萍.西南气候跃变及影响因子分析[J].四川气象,1995,15(3):42-46.

Analysis on Rainfall Characteristics in May of Yunnan During 1959-2012

LIANG Jia-chang, SHEN Cai-ming

(Key Laboratory of Plateau Lake Ecology and Global Change, Key Laboratory of the Plateau Surface Process and Environment Changes, College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: Based on the daily precipitation data from 36 stations, by means of linear trend estimate and Mann-Kendall test method, the long-term trends and inter-decadal variation of precipitation, wet days and rainfall intensity in May in Yunnan nearly 54 years were analyzed. The results showed that the rainfall in large areas had no significantly increasing trend. May rainfall had obvious increasing trend in northwestern Yunnan. Rainfall intensity change was the main reason in May spatial variation of rainfall; May rainfall was slowly for increasing trend, the increase rate of $4 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, wet days and rain intensity variation rainfall on May were an important contribution. The Mann-Kendall tests showed that rainfall and wet days did not happen decadal mutation, but the rain intensity had a significant decadal shifts in 1999, after the rain intensity was rapidly increasing.

Keywords: precipitation characteristics; Mann-Kendall test; May; wet days