

1964—2014 年青海省三江源地区日降水格局分析

李 璠,肖建设,颜亮东
(青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001)

摘 要: 三江源位于青藏高原腹地,是气候变化敏感区,尤其对降水变化十分敏感。利用 1964—2014 年三江源地区 13 个气象站的日降水资料,对三江源地区降水量、降水日数、降水间隔期分等级探讨。结果表明:1964—2014 年三江源地区年均降水量为 467.48 mm,自 2000 年起呈现显著增加趋势,降水量以中等强度以上的降水为主,导致年降水量发生变化的主要原因是强降水量的影响;年均降水日数为 137.83 d,以中等强度以下的降水日数为主;每年降水间隔期次数为 40.06 次,以 ≤ 5 d 的间隔期为主,占总间隔次数的 83.55%;三江源 13 个气象站降水量资料显示,久治县降水最稳定,沱沱河最不稳定。同时,以历年降水量与生产力研究为基础,降水是三江源西部地区生产力变化的主要限制因子之一。三江源地区干旱年份与极端弱降水量年份吻合,可初步断定年降水量和降水日数增加,>5 d 间隔次数减少可减缓三江源地区干旱发生及干旱化程度。

关键词: 三江源;降水量;降水日数;降水等级;间隔期
中图分类号: S162.3 **文献标志码:** A

Precipitation pattern of Three-River Source Area in Qinghai from 1964 to 2014

LI Fan, XIAO Jian-she, YAN Liang-dong
(Institute of Qinghai Meteorological Science Research, Xining, Qinghai 810001, China)

Abstract: Three-River Source Area is situated on Tibet Plateau, which is very sensitive to climate change, especially to precipitation. Based daily precipitation data from 1964 to 2014 in Three-River Source Area, precipitation amounts, precipitation days, inter-precipitation periods at different levels were analyzed. The results showed that annual precipitation amount was 467.48 mm in Three-River Source Area, increased significantly since 2000. The amount was dominated by high/moderate precipitation amounts, mainly due to changes from heavy precipitation. Annual precipitation day was 137.83d, dominated by low/moderate precipitation days. The inter-precipitation period was 40.06 times, dominated by inter-precipitation period of ≤ 5 d, accounting for 83.55%. Data from 13 meteorological stations were collected, suggesting that the precipitation of Jiuzhi was most stable, rather not Tuotuohe. In addition, precipitation was one of primary limiting factors, according to the study of precipitation and production in Three-River Source Area. Occurrence periods of drought and light precipitation were consistent, indicating annual precipitation amounts and days were increased and >5 d inter-precipitation period were decreased, relieving the occurrence of drought and its severity.

Keywords: Three-River source area; precipitation amount; precipitation days; precipitation grade; inter-precipitation period

青海省地处青藏高原东北部,其气候变化具有明显的高原特色^[1],干旱少雨,植被稀疏,对全球气候变化响应十分敏感^[2]。位于青藏高原腹地、青海省南部的三江源以其独特的自然地理和气候条件孕育出具有丰富动植物资源的天然“宝库”,一直以来,备受众科学家的青睐。然而,进入 20 世纪 80 年代以来,随着全球性气候变化的暖干化趋势,三江源地区冰川萎缩、雪线上升、湖泊湿地面积缩小、草地面积退化、土地沙化等一系列环境问题严重影响农牧民的生产生活,也导致长江、黄河等河流中下游地区旱涝灾害频发^[3]。导致这些问题的原因归结起来包括全球气候变化和人类活动频繁。其中降水是影响三江源地区水资源和生态环境的主要气候因子之一。

IPCC 第五次指出,全球平均地表气温上升,全球降水将会增加,气温每升 1℃全球平均降水的增

收稿日期:2015-06-20
基金项目:青海省科技厅重点项目“青海牧区轮牧的精细规划与管理模式研究”(2012-n-529);中国气象局行业专项“气候变化背景下农业气象灾害对我国农业生产影响的评估技术”(GYHY201106021)
作者简介:李 璠(1987—),女,甘肃陇南人,工程师,主要从事遥感监测与农牧业气象方面的研究工作。E-mail:fanwacai@163.com。

长率将低于大气水汽的增长率,降水可能增加 $1\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \sim 3\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。前期研究结果认为降水没有明显的变化特征^[4],但全球和区域降水由于人类活动发生显著的变化^[5]。尽管如此,研究均显示不同地区对全球变化的响应不尽相同。对降水而言,不同区域甚至会出现完全不同的响应格局^[6]。许多低纬度地区的降水在增加,中纬度大部分地区降水量在减少,高纬度地区的降水量在增多^[7]。我国年降水量趋势变化存在明显的区域差异^[8]。西北大部分地区的年降水量变化存在差异,西北东部降水减少、西部降水增加^[9],且出现干湿转型。长江中下游地区年降水量呈正的趋势^[10]。华北平原年降水量无明显变化趋势,从 20 世纪 80 年代中后期开始,由多雨期转为少雨期,2000 年以后,降水量恢复到多年平均水平^[11]。青海省年降水量总体上呈现小幅增加趋势^[12]。

目前关于三江源地区降水变化的研究主要集中在年、季和月等较长时间尺度上^[13-15],唐红玉等^[16]对三江源地区降水变化做了较深入的研究,利用

1956—2004 年这 50 年的降水资料分析了年降水量、降水日数和降水强度的变化。基于以上研究,本文利用 1964—2014 年的日降水资料对近 51 年的降水量、降水事件、降水间隔期等内容展开研究,分析三江源地区日降水格局及其时间变化特征,阐明降水变化与草地生产力、干旱灾害以及湖泊变化的关系,可提高对三江源地区生态环境保护和建设工作的认识。因此,对三江源地区日降水格局变化方面的研究有重要的理论意义与实际应用价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

三江源地区位于青藏高原腹地,介于 $31^\circ39' \sim 36^\circ16' \text{N}$ 、 $89^\circ24' \sim 102^\circ23' \text{E}$ ^[17],海拔 3 450 ~ 6 621 m,是我国长江、黄河及澜沧江的发源地,其南北边缘分别为唐古拉山脉和昆仑山脉,南缘为唐古拉山脉西段,最高峰为长江源头的格拉丹东,北缘为中昆仑山脉东段,山地之间为宽阔的宽谷湖盆带,区内气候具有气温低、降水少、风速大的特点^[18]。

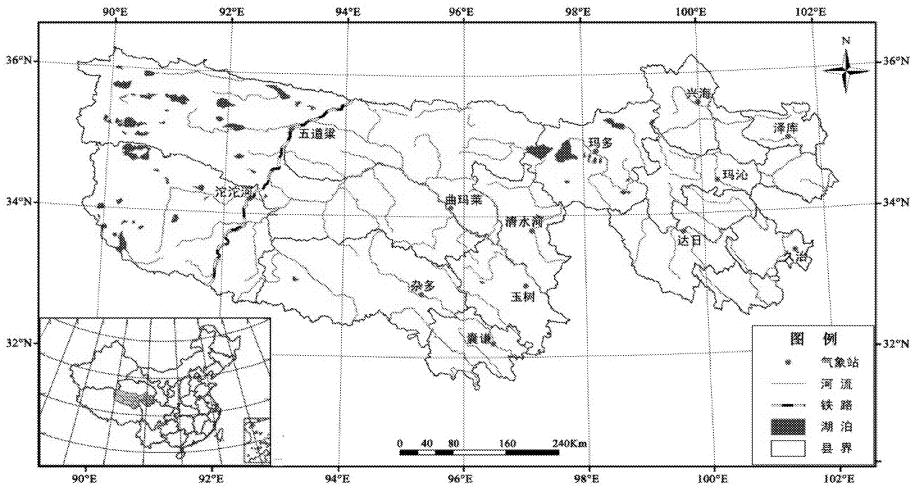


图 1 三江源气象台站分布

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Three-River Source Area

1.2 资料方法

本文所用资料采用 1964—2014 年三江源地区 13 个地面气象台站的逐日降水数据(图 1)。结合站点日降水资料对青海省各功能区降水变化特征进行分析。同时利用各功能区年降水量时间序列,以时间为自变量,以年降水量为因变量,建立一元回归方程^[19]:

$$y = b_1x + b_0 \tag{1}$$

式中, b_0 为截距, b_1 为斜率。 $b_1 \times 10$ 称为变化倾向率,并通过检验方程的显著性判断年降水量变化趋势的显著与否。此外,利用近 51 年的年降水日数和

不同等级降水情况作为自变量,年降水量为因变量,其中有的自变量对因变量的影响不是很大,而且自变量之间可能不完全独立,采用逐步回归分析,判断各降水因子对年降水量的影响大小。另外,本文采用相对变率来说明该地区降水量的稳定程度,即变率大的地区,年际降水不稳定,公式如下:

$$F = \frac{\frac{1}{n} \sum |X_i - \bar{X}|}{\bar{X}} \tag{2}$$

用 M - K 检验检测 1964—2014 年三江源地区年平均降水量的突变,给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,即

$u_{0.05} = 1.96$ 。

1.3 降水强度的分级

本文采用气象因子分析中适合干旱、半干旱地区的降水强度分级 Zhang 等^[20]的非参数化方案进行降水强度分级。如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $X_1, X_2, \cdots, X_m, \cdots, X_n$, 某个小于或等于 X_m 的概率 P 为:

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38) \quad (3)$$

式中, m 为 X_m 的序号。参考西北地区日降水量强度分级^[21], 探讨青海省三江源地区各强度降水的特征。本文考虑到三江源区降水特征为雨热同季, 降水期日降水量为 $3.82 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 均衡描述各等级降水事件, 故对该地区日降水量进行 5 个强度的分级, 如表 1 划分。

表 1 青海省日降水强度分级
Table 1 Classification of daily precipitation intensity in Qinghai province

项目 Item	降水强度 Precipitation intensity					
	无降水 Zero	弱 Light	较弱 Relatively light	中等 Moderate	较强 Relatively heavy	强 Heavy
百分位 R_i Rank		$0 < R_i \leq R_{25}$	$R_{25} < R_i \leq R_{55}$	$R_{55} < R_i \leq R_{75}$	$R_{75} < R_i \leq R_{95}$	$R_i > R_{95}$
日降水量 PPT/mm Daily precipitation	PPT = 0	$0 < \text{PPT} \leq 0.72$	$0.72 < \text{PPT} \leq 2.57$	$2.57 < \text{PPT} \leq 4.02$	$4.02 < \text{PPT} \leq 8.07$	$\text{PPT} > 8.07$

2 结果与分析

2.1 三江源地区季节降水特征

1964—2014 年三江源地区月降水量和月降水日数呈正态分布(图 2), 月均降水量为 38.96 mm , 主要在 5—9 月, 7 月达到高峰(图 2(a)), 这 5 个月的降

水量占年降水量的 86.12% 。月均降水日数为 18.03 d , 1—7 月表现为缓慢上升, 9—12 月明显下降, 5—9 月的降水日数表现为平稳且较高(图 2(b))。该时段是三江源地区牧草生长的关键时期, 因此, 5—9 月降水量和降水日数的多少直接影响牧草产量。

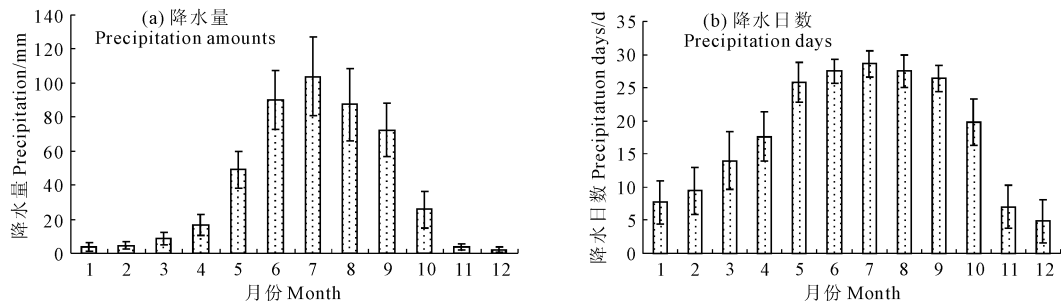


图 2 降水的季节分配
Fig.2 Seasonal distribution of precipitation

2.2 降水量年际变化特征

青海省三江源地区 1964—2014 年降水资料表明, 年均降水量为 467.48 mm , 变异系数 10.21% , 最大降水量为 578.97 mm , 最小降水量为 404.79 mm , 变化倾向率为 $10.29 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 且这一变化趋势显著(图 3)。年降水量主要集中在中等强度以上的降水范围内, 较强降水量占年均降水量的 26.58% , 强降水量占年均降水量的 47.61% , 其次是较弱 $>$ 中等 $>$ 弱(图 4), 依次占年均降水量的 12.05% 、 10.81% 、 2.95% 。

对近 51 年三江源地区年均降水量的检测发现, 自 1996 年起年降水量有一明显的增加趋势, 2000 年这种增加趋势超过显著性水平 0.05 临界线, 表明三

江源地区年降水量的增加趋势十分显著(图 5)。

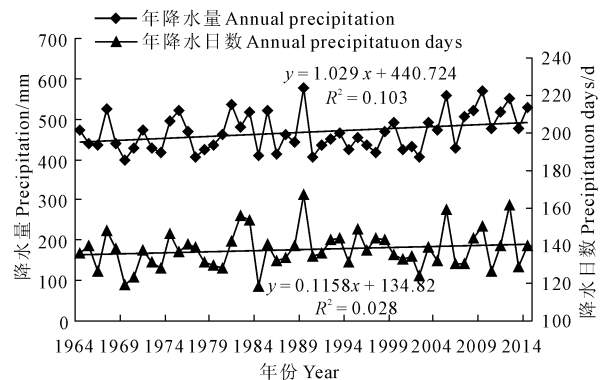


图 3 青海省降水量的年际变化
Fig.3 Inter-annual variability of precipitation amount in Qinghai Province

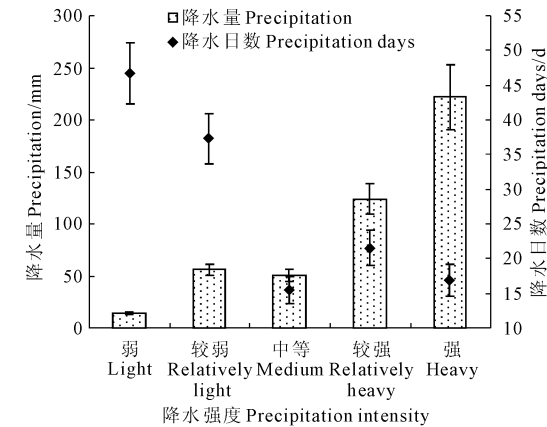


图 4 青海省不同等级降水量及降水日数的变化
Fig.4 Precipitation changes of different precipitation intensities in Qinghai Province

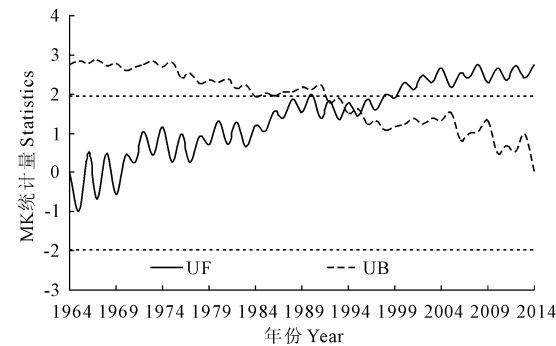
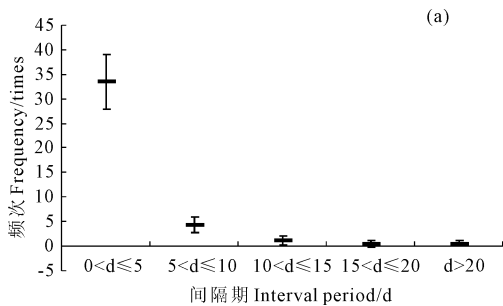


图 5 降水量的 M-K 突变检验
Fig.5 M-K mutation test of precipitation

2.3 降水日数

近 51 年来,青海省三江源地区降水日数呈上升



趋势(图 3)。年降水日数为 137.83 d, 变异系数 7.46%, 年降水日数最多为 167.23 d, 年降水日数最少为 118.00 d, 变化倾向率为 $1.16\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$, 降水日数以中等强度以下的降水日数为主, 弱降水日数最多, 达 46.73 d, 占总降水日数的 33.90%, 其次是较弱>较强>强>中等(图 4), 依次占年均降水日数的 27.04%、15.60%、12.21%、11.25%。

2.4 降水间隔期

近 51 年来,三江源地区每年降水间隔期发生次数为 40.06 次, 变异系数为 12.62%, 其中间隔期 $\leq 5\text{ d}$ 的次数最多, 每年达 33.47 次, 占总间隔次数的 83.55%, $> 5\text{ d}$ 的次数占总间隔次数的 16.45%。随着间隔期时间的增大, 其每年频次呈下降趋势(图 6(a))。1964—2014 年, 间隔期 $\leq 5\text{ d}$ 的次数呈波动性变化, 变异系数为 16.42%, 1964—1979 年呈上升趋势, 1980—1988 年、2000—2014 年呈下降趋势; 间隔期 $> 5\text{ d}$ 的次数基本呈平稳变化, 变异系数为 24.70%(图 6(b))。

2.5 不同强度等级降水的变化特征

从不同强度降水比例可知(表 2), 中等强度以上的降水(较强降水和强降水)占降水日数的 27.81%, 但在该时间内所产生的降水量占全年降水总量的 74.18%。其中, 强降水日数占总降水日数的 12.21%, 降水量占总降水量的 47.61%, 同时强降水日期主要集中在 6—9 月, 这说明三江源地区降水在时间上较为集中, 也进一步反映三江源地区雨热同期的特征。

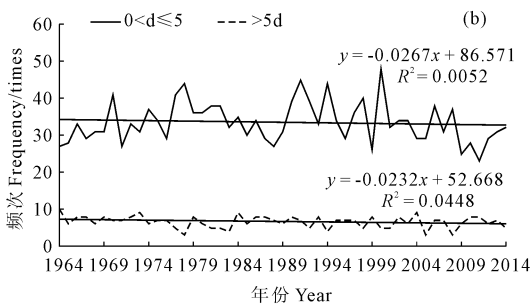


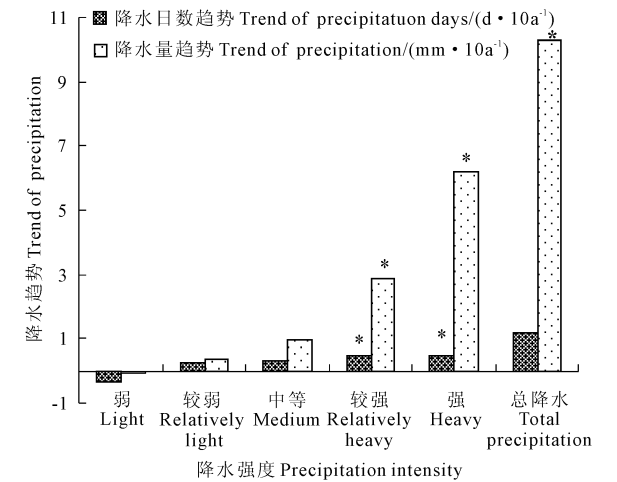
图 6 降水间隔期分布及年变化

Fig.6 The frequency distribution and inter-annual variability of interval period

降水量以中等强度以上的降水为主, 降水日数以中等强度以下的降水为主, 且中等强度以上的降水较为集中。近 51 年来, 弱强度的降水日数呈下降趋势, 其余强度的降水日数呈上升趋势, 其中, 较强等级和强等级降水日数的趋势变化显著, 其余等级降水日数变化趋势不显著。各等级降水量除了弱降水量呈下降趋势外, 其余各等级降水和年降水量均呈上升趋势, 中等强度以上的降水量和年降水量的上升

趋势通过 0.05 显著性检验, 其余均不显著(图 7)。

根据 1964—2014 年三江源地区 13 个县的降水资料, 对各县降水相对变化率进行分析, 三江源地区降水变化率在 8.44% ~ 20.00% 之间(图 8), 分布规律呈现出沱沱河>五道梁>兴海>玛多>泽库>曲麻莱>玉树>囊谦>玛沁>杂多>清水河>达日>久治, 表明久治县年降水较稳定, 而沱沱河年际间降水总量变化相对不稳定。



注：* 表示达到显著性水平 ($P < 0.05$)。下同。
Note: * means significant differences at the 0.05 level. The same below.

图 7 不同等级降水的变化趋势

Fig.7 Trend of precipitation for different precipitation types

表 2 不同等级降水比例
Table 2 Percentage for different precipitation types

项目 Item	降水强度 Precipitation intensity				
	弱 Light	较弱 Relatively light	中等 Moderate	较强 Relatively heavy	强 Heavy
降水日数百分比/% Precipitation days percentage	33.91	27.04	11.25	15.60	12.21
降水量百分比/% Precipitation percentage	2.95	12.05	10.81	26.58	47.60

表 3 年降水量与降水因子的标准化回归系数
Table 3 Standardized coefficients between precipitation and precipitation factors

降水因子 Precipitation factors	较强降水量 Relatively heavy precipitation amounts	较弱降水量 Relatively light precipitation amounts	强降水量 Heavy precipitation amounts	中等降水量 Moderate precipitation amounts	弱降水量 Light precipitation amounts	弱降水日数 Light precipitation days
标准化回归系数 Standardized coefficients	0.315**	0.112*	0.657**	0.127**	0.024**	0.007**

注：* * 表示达到极显著性水平 ($P < 0.01$)。
Note: * * means extremely significant differences at the 0.01 level.

3 讨 论

三江源地区水汽主要来源于孟加拉湾,受西南季风和地形因素双重作用的影响,年降水量的空间分布由东南向西北方逐渐减少,自然降水是该地区地下水、土壤水和地表水的主要来源^[18]。本文基于气象观测数据,分析了 1964—2014 年三江源地区日降水分布的变化规律。

1) 三江源地区年降水量的空间分布为果洛东南部最大,极大值出现在久治县,年降水量达 749.71 mm,其次是玉树南部,降水较少的是玉树西北部的

2.6 年降水量与各降水因子的关系

近 51 年来青海省三江源地区年降水量呈缓慢增加趋势(图 3)。降水量的多少对该地区旱作农业和牧草生长具有重要意义^[22]。逐步回归分析剔除对年降水量影响较小的因素,并通过标准化回归系数(去除量纲因素)的大小可判断其影响程度,即 Beta 值越大,对年降水量的影响越大。以不同等级降水量、不同等级降水日数、> 5 d 的间隔次数和 ≤ 5 d 的间隔次数为自变量,年降水量为因变量进行逐步回归分析。结果显示,以较强降水量、较弱降水量、强降水量、中等降水量、弱降水量和弱降水日数为自变量,模拟出的模型效果最好。根据标准化回归系数(表 3),判断出三江源地区年降水量发生变化的主要原因是强降水量的影响,其次是较强降水量,其余各因子的影响依次为中等强度降水量 > 较弱强度降水量 > 弱降水量 > 弱降水日数。

五道梁地区,极小值出现在沱沱河地区,年降水量仅为 290.02 mm。1964—2014 年年降水资料表明,年均降水量为 467.48 mm。同时,该地区以中等强度以上(较强降水和强降水)的降水为主,且近 50 年来,这两个强度等级的降水日数和降水量呈显著增加趋势。降水量与气温是影响三江源地区径流变化的最主要的两个气候因素,张士锋等^[23]利用 1965—2004 年三江源区径流资料研究发现,径流在 1994 年突变减少。易湘生等^[24]基于 1961—2010 年月气温资料研究发下,三江源地区年平均气温在 1997 年后显著增温,本文研究表明,降水量在 2000 年发生显著增加。

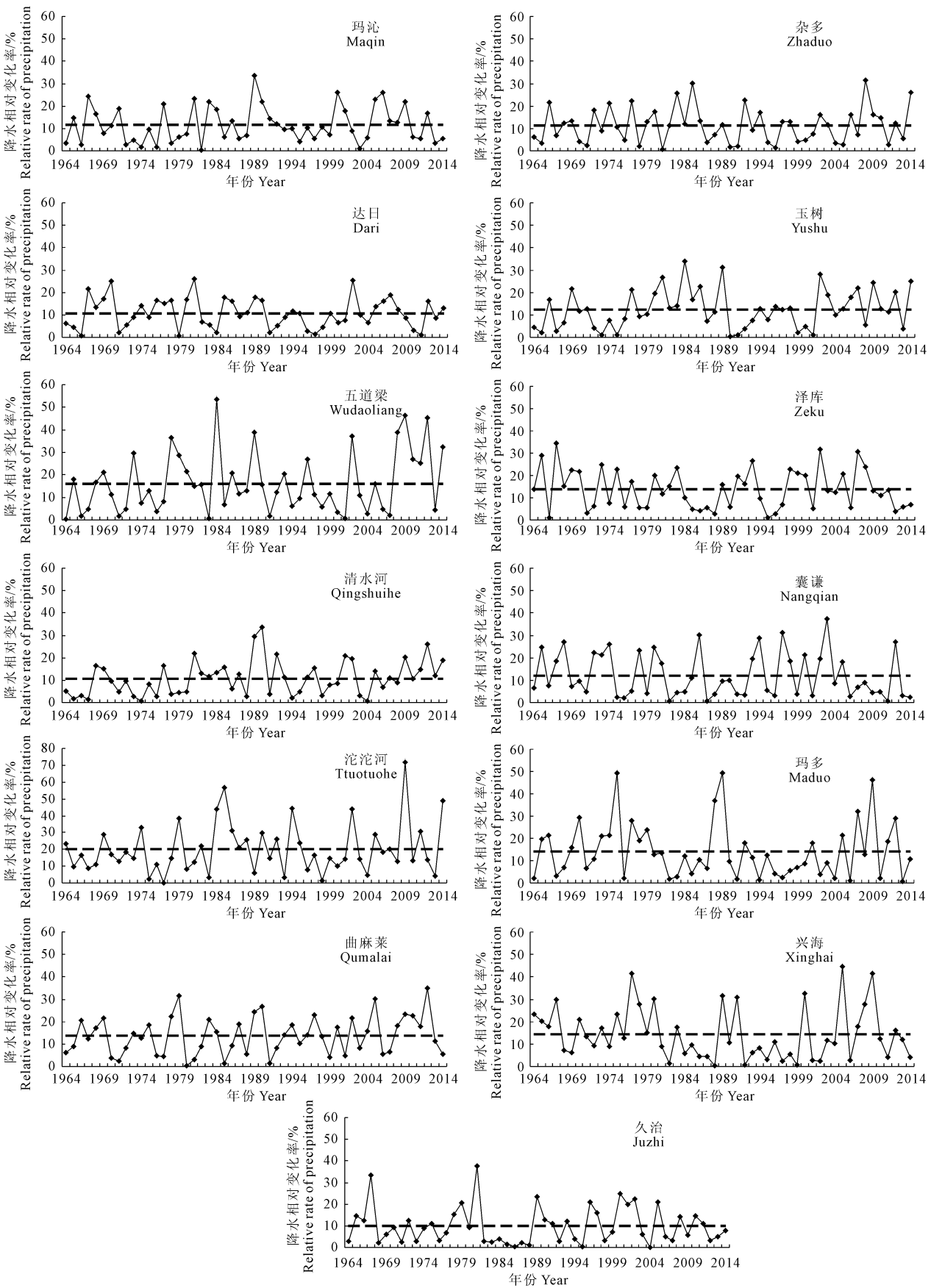


图 8 各县降水相对变化率

Fig.8 Relative change rates of precipitation in every county

张士锋的研究结果表明,三江源的降水对径流的驱动作用为正值,降水增加则径流增加,降水减少则径流减少,但随着气温的变化其对径流的驱动作用会发生变化。气温通过潜在蒸发改变径流的输出,降水直接改变径流的输入。1964—2014 年年降水量以 $10.29\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$ 的速率发生着显著变化 ($P < 0.05$),考虑到三江源地区气温明显增加,降水增加后径流量是否能增加,还需要从气候因子综合作用的角度下对该问题进一步论证。

2) 降水量与三江源地区气候生产力具有正相关性,即随年均降水量的增加,三江源地区由气候因素所决定的产量增加^[25]。位于三江源西部的唐古拉山镇中西部和治多西部是典型的干旱半干旱区,降水是该地区主要的限制因子之一。降水量的增加有助于三江源西部生态系统生产力的增加。同时,降水量的多少与旱涝灾害和雪灾的程度密切相关。春、夏、秋季偏旱出现的频率在 20.8% ~ 27.8% 之间,干旱出现的频率在 5.3% ~ 0.3% 之间,大旱出现的频率在 1.7% ~ 4.8% 之间^[18]。另外,北方很多地区微量降水日数减少,是近年来干旱化趋势的一个重要特点^[26]。1984 年是三江源地区最为典型的干旱年份,1989 年是最为典型的大涝年份^[18],从图 3 中显示,1984 年的降水日数为近 50 年的极小值,1989 年的降水日数为极大值。由此可见,降水日数的增加可以减缓三江源地区的干旱程度。从引起干旱的时间考虑,较长的降水间隔期影响干旱程度,图 6(b)反映无降水日数 > 5 d 的次数有所减少。因此,本研究表明,三江源地区年均降水量和降水日数增加,> 5 d 的间隔期次数减少,均可以减缓三江源地区干旱发生及干旱化程度。

4 结 论

与以往研究不同,三江源地区年降水量以 $9.38\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$ 的速度呈显著增加趋势。年降水量主要集中在中等强度以上的降水范围内;年内降水分布不均,主要集中在 5—9 月份;降水日数以中等强度以下的降水日数为主;沱沱河—五道梁地区年际降水不稳定;年降水量增加主要受强降水日数增加的影响。

参 考 文 献:

[1] 杨 东,王 辉,程军奇,等.近 50 年青海省气候变化特征及其与 ENSO 的关系[J].生态环境学报,2013,22(4):547-553.
[2] 李栋梁,魏 丽,蔡 英,等.中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J].冰川冻土,2003,25(2):135-142.

[3] 《三江源自然保护区生态环境》编辑委员会.三江源自然保护区生态保护与建设[M].西宁:青海省人民出版社,2007:1-3.
[4] Ingram W J, Allen M T. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle[J]. Nature, 2002,419:224-232.
[5] Zwiers F W, Zhang X, Hegerl, et al. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trend[J]. Nature, 2007,448:461-465.
[6] 张立杰,赵文智.黑河流域日降水格局及其时间变化[J].中国沙漠,2008,28(4):741-747.
[7] Karl T R, Groisman P Y, Easterling D R, et al. Changes in probability of heavy precipitation: important indication of climate change[J]. Climate Change, 1999,42(1):243-283.
[8] 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):3-6.
[9] 陈冬冬,戴永久.近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J].大气科学,2009,33(5):923-935.
[10] 陈 辉,王永波,施 能.长江中下游气候的长期变化及基本态特征[J].气象科学,2001,21(1):44-53.
[11] 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.
[12] 白淑英,史建桥,相 栋,等.近 50 年青海降水时空格局变化[J].干旱区资源与环境,2013,27(6):148-153.
[13] 严异德,李 林.近 47 年三江源雨季降水时空分布特征[J].青海科技,2009,(1):27-31.
[14] 李 林,李凤霞,郭安红,等.近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究[J].冰川冻土,2006,21(1):79-85.
[15] 王根绪,李 琪,程国栋,等.40 a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J].冰川冻土,2001,23(4):346-352.
[16] 唐红玉,杨小丹,王希娟,等.三江源地区近 50 年降水变化分析[J].高原气象,2007,26(1):47-54.
[17] 董锁成,周长进,王海英,等.“三江源”地区主要生态环境问题与对策[J].自然资源学报,2002,17(6):713-720.
[18] 《三江源自然保护区生态环境》编辑委员会.三江源自然保护区生态环境[M].西宁:青海省人民出版社,2002:176-177.
[19] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:28-30.
[20] Zhang X, Bonsal B R, Vincent L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperatures over Canada[J]. Journal of Climate, 2001, 14(9):1959-1976.
[21] 杨晓丹.中国西北地区降水变化及其可能原因的诊断分析[D].北京:中国气象科学研究院,2005.
[22] 史培军.中国北方农牧交错地带的降水变化与“波动农牧业”[J].干旱区资源与环境,1989,3(3):3-9.
[23] 张士锋,华 东,孟秀敬,等.三江源气候变化及其对径流的驱动分析[J].地理学报,2011,66(1):13-24.
[24] 易湘生,尹衍雨,李国胜,等.青海三江源地区近 50 年来的气温变化[J].地理学报,2011,66(11):1451-1465.
[25] 郭佩佩,杨 东,王 辉,等.1960—2011 年三江源地区气候变化及其气候生产力的影响[J].生态学杂志,2013,32(10):2806-2814.
[26] 严中伟,杨 赤.近几十年中国极端气候变化格局[J].气候与环境研究,2000,5(3):265-272.