

西藏那曲地区 40 多年来降水趋势变化 气候分析

洛桑卓玛 拉巴^{*} 巴丹卓玛

(西藏那曲地区气象局 西藏 那曲 852000)

摘 要: 利用藏北高原西藏那曲地区 6 个气象站 1971—2011 年逐年月降水量、降水日数资料,通过线性倾向估计、多阶曲线模拟和 Mann - Kendall 法等气候统计学诊断方法,对近 41 年来降水趋势变化的地理分布以及年内、年际变化规律进行了分析,并进行突变检测。结果表明:近 41 年来,那曲地区年降水量总体呈增加趋势,经历了由偏少到偏多的 2 个周期;降水增加夏季最明显,各站在 6.48 ~ 20.40 mm/(10 a),冬季变化很小;日降水量 ≥ 0.1 mm 日数年际周期变化与降水量变化基本一致,增加趋势空间分布呈东南向西北递减形势;自 1996 年开始各站降水增加趋势明显,1999 年发生气候突变可能性较大。

关键词: 西藏那曲地区;降水量;降水日数;趋势变化;突变检测

中图分类号: P426.61

文献标志码: A

随着全球温度的普遍升高,区域性气候的变化也引起了人们的关注。那曲地区地处西藏的北部、青藏高原的腹地,平均海拔在 4 500 m 以上,地域总面积 $> 40 \times 10^4 \text{ km}^2$,天然牧草资源丰富,草场面积占总土地面积的 86.4%;地形较为复杂,受季风和地形影响,降水分布不均,干湿季分明。自然降水是最重要的水资源,降水量的多少及其分配,在一定程度上决定了一地的干湿程度,从而也决定了牧草和作物水分供应条件的优劣,研究它的时空分布规律,包括近 40 多年来的变化趋势以及对将来的预测,既是一项基础性的工作,又对研究广袤的藏北生态环境和指导农牧业生产具有重要意义。也有较少的多年青藏高原气候变化研究论文,例如,马晓波^[1]、杜军^[2]、赵燕宁^[3]等分析了高原气候的变化及突变情况。但很少见到针对广袤藏北高寒地区的降水趋势变化文章。本文将气象观测资料更新到 2011 年,利用那曲地区 6 个气象观测站资料,对 1971—2011 年

降水量、降水日数趋势进行了计算,分析了降水趋势变化的时空分布特征,以便了解藏北高原降水气候变化的背景情况,为年际或更长时间降水预测提供参考。

1 资料和方法

藏北高原气象观测站点稀少,为了较全面分析那曲地区近 41 年来降水量的趋势变化,利用了有历史观测记录的那曲地区 6 个气象站地面观测月报表文件,统计整理 1971—2011 年逐年各月降水量、降水日数(日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的日数)资料,通过算术平均法建立年平均、夏半年(5—9 月)和冬半年(10 月—次年 4 月)、四季(3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—2 月为冬季)降水量、降水日数序列,以分析其气候变化趋势。

通过建立气象要素时间序列,以时间 t_i 为自变

收稿日期(Received date): 2013 - 03 - 13; 改回日期(Accepted): 2013 - 05 - 02。

作者简介(Biography): 洛桑卓玛(1983 -),女,藏族,西藏那曲人,本科,助理工程师,从事天气预报和气候分析等科研工作。[LuoSang Zhuo-ma, (1983 -), Tibetan, Nagqu, Bachelor assistant engineer, working on research of weather forecast and climate analysis.]

* 通信作者(Corresponding author): 拉巴(1973 -),男,藏族,拉萨人,本科,天气气候高级工程师,从事天气预报和气候分析等科研工作。[La Ba(1973 -), Tibetan, Lhasa, Bachelor, Senior engineer, working on research of weather forecast and climate analysis.] E-mail: 11139737@qq.com

量要素 X_i 为因变量,利用一元线性回归、多阶曲线模拟(方程略)和曼-肯德儿(Mann-Kendall)法等气候诊断方法^[4],绘制降水气候变化趋势图,研究那曲地区降水时空变化的升降趋势、周期振荡和气候突变现象。其中,降水要素倾向率计算

$$y_i = b_0 + b_1 t_i$$

式中 y 为降水要素, t_i 为时间(1971—2011年), b_1 为线性趋势项,把 $b_1 \times 10$ a 作为降水要素变化倾向率

$$b_0 = \bar{x} - b_1 \bar{t} \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

b_i 值的符号反映上升或下降的变化趋势, $b_i < 0$ 表示在计算时段内呈下降趋势, $b_i > 0$ 表示呈上升趋势。 b_i 绝对值的大小可以度量其演变趋势上升、下降的程度。计算模拟序列与原序列的相关系数、基本气候要素的变化倾向率以及各年代的平均值,比较其变化的特征,分析基本气候特征的历史演变和年代际变化特点。

2 分析和结果

2.1 降水的基本气候特征

那曲地区各气象站年平均降水量在 322.4 ~ 723.9 mm,分属 3 个气候区域:高原亚寒带半干旱气候、高原亚寒带半湿润气候、高原温带半湿润气候^[5]。那曲地区的降水主要是来自孟加拉湾和印度洋的水汽,水汽通道为雅鲁藏布江东段及大拐弯地区,在大气环流和大地形的影响下,东部先进入雨季,而后向西部扩展,年降水量从东向西逐渐减少。降水量最高的区域是嘉黎一带,降水最少的在藏西北与新疆交界的区域,年降水量少于 100 mm,总的分布趋势是由东向西,由南向北递减。计算得出那曲地区各地平均降水强度为 2.9 ~ 4.2 mm/d,嘉黎最大,班戈最小,与总降水量基本一致。年平均降水强度(年降水量/年 ≥ 0.1 mm 降水日数)数值越大,表示该地只要出现降水,便有比较大的降水量。反之则表示即使出现降水量也是不大。

那曲地区降水量的年变化各地均为单峰型,最大平均月降水量一般出现在 7 月,最小月平均降水量出现在冬季的 12 月(或 1 月),41 a 的平均值仅在 0.9 ~ 7.6 mm。由于地处青藏高原腹地,大陆性气候显著而导致干、湿季分明,在干、湿季交替的月

份,降水量有突升猛降的特点,从 5 月开始进入雨季,10 月终止,夏半季(5—9 月)的降水总量远大于冬半季(10—4 月)降水总量,夏半年的降水量占全年降水的 88%,春秋季降水不足。

2.2 多年降水量变化趋势

2.2.1 历年降水量与距平分析

在图 1 中,绘制出了那曲地区 6 个气象站 1971—2011 年年平均降水距平序列变化趋势。由图可知,近 41 a 那曲地区年平均降水量总体呈增加趋势,平均增加了 89.2 mm,变化率为 22.3 mm/(10 a)。相关系数 $r = 0.4012$, $|r| > r_{0.01} = 0.3932$,达到了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平。与西南地区近 50 a 平均降水量总体呈减少趋势(变化率为 -9.35 mm/(10 a))相比,变化趋势相反^[6]。

那曲地区年平均降水量为 476.5 mm,近 41 年来经历了由偏少到偏多的 2 个周期变化,1970—1980 年代中期为第一个周期,1980 年代中期至 2011 年为第二周期(图 1 多项式变化)。降水量最多的是 2008 年,距平为 148.58 mm,降水最少的是 1972 年,距平为 -129.34 mm。同时,由图 1 中还可看出,1970 年代降水偏少明显,1996—2005 年降水偏多。

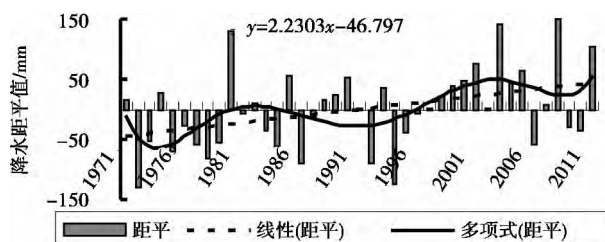


图1 那曲地区1971—2011年年平均降水距平变化

Fig. 1 Variation of annually precipitation departure during 1971—2011 in Nagqu

2.2.2 降水量的季节变化

由于那曲地区气候寒冷干燥,没有明显的四季这一气候特征,首先分析夏半年和冬半年两个有代表性的季度,其中夏半年为5—9月,冬半年为10月一次年4月。从图2中可看出,近41 a 降水量夏半年和冬半年均呈增加趋势,变率分别为 19.238 mm/(10 a) 和 3.228 mm/(10 a)。夏半年增加趋势接近年平均降水量变率 22.3 mm/(10 a),是降水量总体趋势增加的主要原因。夏半年比冬半年多增加 5 倍,说明在全球气候变暖的背景下,本区域降水在

表 1 近 41 a 那曲地区各地四季降水倾向率

Table 1 Linear trend of precipitation in different seasons during 1971—2011 in Nagqu /(mm/(10 a))

地名	年平均/mm	海拔/m	纬度	经度	春	夏	秋	冬
那曲	442.0	4 507	31°29′	92°04′	8.70**	9.30	4.80	0.78
安多	451.6	4 800	32°21′	91°06′	6.00*	13.80	2.88	-0.12
索县	588.8	4 022	31°53′	93°47′	7.38*	10.38	-0.30	1.38
嘉黎	723.9	4 488	30°40′	93°17′	3.00	11.58	10.08*	0.06
申扎	322.4	4 672	30°57′	88°38′	7.50**	20.40**	1.50	0.30
班戈	334.0	4 700	31°23′	90°01′	5.70*	6.48	3.12	0.60

* 通过 0.05 信度; ** 通过 0.01 信度。

季节分配上相差较大,表现为暖季降水显著增加,而冷季降水增幅不明显,这与青海省南部地区刚好相反^[7]。那曲地区夏半年降水量峰值区在 1999—2008 年,最多的是 2003 年,最少年 1972 年。冬半年降水量峰值区在 1997—2008 年,最多的是 2000 年,最少年 1989 年。多年变化周期与年平均变化基本相同,呈现出由减少到增多的 2 个周期(图 2)。

1971—2011 年降水量总体呈较明显的增加趋势,但四季的变化不尽一致,分析四季降水量变化特征,可从四季降水倾向率(表 1)中看出,各站各季节降水大部呈增加趋势,夏季增加最明显,各站在 6.48~20.40 mm/(10 a) 间,其次是春季。秋冬两季增加趋势不明显。尤其是冬季变化微弱,除索县倾向率为 1.38 mm/(10 a) 以外,其余各站倾向率均在 0.78 mm/(10 a) 以下。并且,在秋、冬两季索县和安多呈相反的微弱减少趋势。

2.2.3 降水量变化趋势的空间分布

通过那曲地区地理东西分布特征,中部、西部和东部选取 3 个代表站,求算降水量序列的变异系数,又称“离散系数”,是标准差 σ 与平均值 μ 之比。

从表 2 中得知,西部和中部初夏(牧草返青的关键期)的降水变异系数大,大于国际上普遍认同的确认平衡或非平衡系统的临界值 33%,表明降水年际变化波动大,对于植被生长不利。东部地区降水量离散程度相对较小。在近 41 a 期间,那曲地区大部分台站年降水量变化呈现出不同程度的正趋势,即降水在增加,降水倾向率为 16.0~29.7 mm/(10 a) 之间,其中申扎表现为明显,每 10 a 增加 29.7 mm,且达到 0.01 以上的信度水平。从四季分布情况来看,那曲站在四个季节保持了相对较高的增加趋势,春夏秋冬分别为 8.70、9.30、4.80、0.78 mm/(10 a);增加最明显的是申扎站的夏季,每 10 a 增加 20.4 mm;嘉黎站在秋季降水增加明显,与其余

站变率相差较大;索县站和安多站分别在秋冬两季呈相反的微弱减少趋势。从夏半年倾向率分布(图 3)中,可看出那曲地区多年降水变化趋势的空间分布大致情况,西南部地区变率最大,东北部略大,降水增加趋势明显。西北部地区降水变率最小。

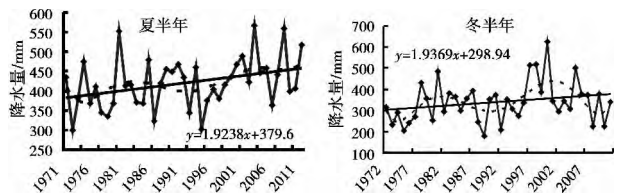


图 2 那曲地区 1971—2011 年夏半年、冬半年降水变化
Fig. 2 Precipitation variation during summer and winter half year from 1971 to 2011 in Nagqu

表 2 那曲地区代表站降水变异系数

Table 2 Variation coefficient of precipitation at representative station in Nagqu /%

地名	年降水	初夏降水(5—6 月)	盛夏降水(7—9 月)
班戈	23.3	53.3	24.4
安多	16.9	40.0	20.7
索县	14.4	27.0	21.8

2.3 降水日数变化特征

那曲地区年平均降水日数和年平均降水量的空间分布特征是基本一致的。因为有降水就有雨日,就多年平均讲年降水量的空间分布应该与年降水日数分布较一致。同样,那曲地区平均年降水日数也是呈自东南向西北递减分布形势,东南部嘉黎站最多,41 a 间日降水量 ≥ 0.1 mm 的年降水平均日数达到 174.5 d,其次是中东部其余地区,西部地区降水日数最少,申扎县降水日数只有 91.4 d。

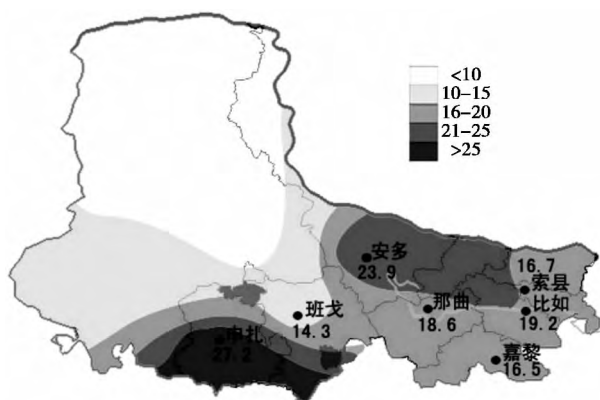
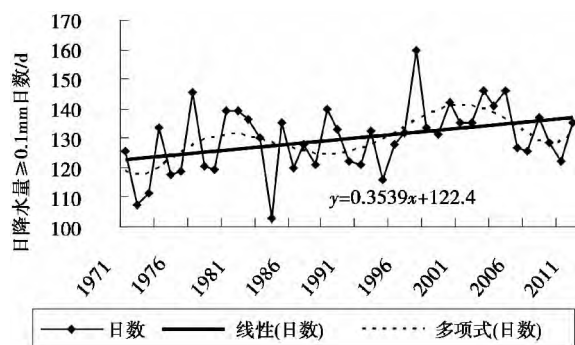


图3 那曲地区夏半年降水线性趋势分布/(mm/(10 a))

Fig. 3 Linear trend distribution of precipitation during summer half year in Nagqu

图4 那曲地区1971—2011年日降水量 ≥ 0.1 mm 日数线性趋势变化Fig. 4 Linear trend variation of number of daily precipitation ≥ 0.1 mm days during 1971—2011 in Nagqu

在图4中,绘制出了那曲地区6个气象站1971—2011年日降水量 ≥ 0.1 mm的日数序列变化趋势。由图可知,近41 a那曲地区年平均、四季(图略)降水日数均呈波动增加趋势,各站年平均倾向率在 $1.1 \sim 5.4$ d/(10 a)之间;年平均日降水量 ≥ 0.1 mm的日数为129.8 d,41年来增加了14.16 d(图4线性趋势),倾向率为 3.5 d/(10 a)。相关系数 $r = 0.3747$, $|r| > r_{0.02} = 0.3578$,达到了 $\alpha = 0.02$ 的显著性水平;四季倾向率中夏季增加趋势最明显,达到 -28.9 d/(10 a),春、秋、冬季的气候倾向率分别为 14.8 d/(10 a)、 12.17 d/(10 a)、 2.3 d/(10 a);年际变化与降水量周期一致,近41年来经历了由偏少到偏多的两个周期,20世纪70年代至80年代中期为第一个周期,80年代中期至2011年为第二周期(图4多项式变化)。与降水量不同的是降水日数最多年为1997年,距平为 30.2 d,降水日数最少的是1984年,距平为 -26.8 d。

2.4 降水变化气候突变分析

目前对气候突变的检测比较客观、准确的方法是Mann-Kendall方法(简称M-K法),对均值突变的检测较有把握。下面我们将用M-K法对近41年来那曲地区平均降水量的变化进行气候突变检测。对1971—2011年那曲地区逐年降水量序列进行突变分析,分析绘出UF_k、UB_k曲线图(图5)。图中虚直线为 $\alpha = 0.05$ 显著性水平临界值,实线为UF_k,虚线为UB_k。

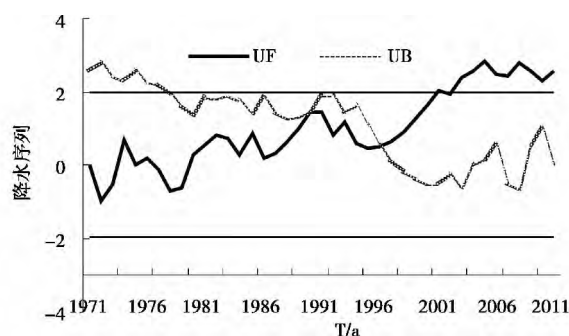


图5 那曲地区1971—2011年降水量曼-肯德尔统计量曲线

Fig. 5 Mann Kendall statistics curve of precipitation during 1971—2011 in Nagqu

从图5的UF_k曲线可看出,1996—2005年那曲地区的年降水量有一明显的增加趋势,2002年以来这种增加趋势超过了显著性水平0.05临界线,表明增加趋势是十分显著的。同时,在显著性水平0.05的临界线之间,UF_k、UB_k曲线有两个交点,即在1996年和1990年,从图可看出在1996年附近降水可能发生了突变。1971—1989年平均降水量为416.1 mm,1990—2011年平均降水量为464.4 mm,1990年发生突变前后年降水量均值相差48.3 mm;1999年前后相差达到61.6 mm。从那曲地区6站近41 a降水突变检测情况来看,与总体降水变化趋势一样,自1996年开始,年降水量大部有明显的增加趋势;嘉黎和那曲站1999年开始超过了显著性水平0.05临界线,降水增加趋势是十分显著的;申扎和安多站的UF_k、UB_k曲线交点也均在1999年。说明在1999年发生气候突变可能性较大。

3 结论

通过以上分析,就藏北高原那曲地区近40多年来降水变化趋势的气候特征,得出以下结论:

1. 那曲地区年平均降水量在 $322.4 \sim 723.9$ mm

之间,由东向西,由南向北递减分布;年变化各地均为单峰型,降水主要集中在夏半年。

2. 那曲地区年降水量总体呈增加趋势,变化率为 $22.3 \text{ mm}/(10 \text{ a})$; 1970 年代降水偏少明显, 1996—2005 年降水偏多年; 经历了由偏少到偏多的 2 个周期变化。

3. 各站各季节降水大部呈增加趋势,夏半年变率达 $19.238 \text{ mm}/(10 \text{ a})$,暖季降水显著增加,而冷季降水增幅不明显。

4. 夏半年多年降水变化趋势空间分布是西南部地区增加最明显,东北部略大,西北部地区降水增加最弱。

5. 那曲地区日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的日数为 129.8 d/a , 41 年来增加了 14.16 d ; 降水日数年际周期变化和增加趋势空间分布均与降水量变化基本一致。

6. 1996 年开始,那曲地区的年降水量有明显的增加趋势,在 1999 年发生气候突变可能性较大。

参考文献(References)

- [1] Ma Xiaobo, Hu Zeyong. Precipitation variation characteristics and abrupt change over Qinghai Xizang Plateau in recent 40 years [J]. Journal of Desert Research 2005 25(1): 137–139 [马晓波, 胡泽勇. 青藏高原 40 年来降水变化趋势及突变的分析 [J]. 中国沙漠, 2005 25(1): 137–139]
- [2] Du Jun, Ma Yucai. Climatic trend of rainfall over Tibetan Plateau from 1971 to 2000 [J]. Acta Geographica Sinica 2004 59(32): 375–382 [杜军, 马玉才. 青藏高原降水变化趋势的气候分析 [J]. 地理学报 2004 59(32): 375–382]
- [3] Zhao Yanning, Shi Xinghe, Qin Ningsheng, et al. Characteristics of climate change in the south of Qinghai in past more than 40 years [J]. Journal of Desert Research 2005 25(4): 529–534 [赵燕宁, 时兴合, 秦宁生, 等. 青海南部地区 40 多年来气候变化的特征分析 [J]. 中国沙漠 2005 25(4): 529–534]
- [4] Wei Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press 2007: 41–70 [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 气象出版社, 2007: 41–70]
- [5] Liu Xuesong, Ma Yucai, La Ba, et al. Climatic regionalization of animal husbandry in Nagqu region [M]. Beijing: China Meteorological Press 2003: 10–115 [刘雪松, 马玉才, 拉巴, 等. 那曲地区牧业气候区划 [M]. 北京: 气象出版社 2003: 100–115]
- [6] Duan Xu, Tao Yun, Du Jun, et al. Basic fact and extreme climatic event of climate change in southwest region [M]. Beijing: China Meteorological Press 2011: 26–28 [段旭, 陶云, 杜军, 等. 西南地区气候变化基本事实及极端气候事件 [M]. 北京: 气象出版社, 2011: 26–28]
- [7] Dawa Zheren, Yang Mei, La Ba, et al. Study on the characteristics of climate change in the western part of Nagqu region in past 40 years [J]. Tibet Science and Technology 2010 (6): 57–60 [达瓦泽仁, 央美, 拉巴, 等. 那曲地区西部 40 年气候变化的特征分析 [J]. 西藏科技 2010 (6): 57–60]

Climatic Trends of Precipitation over More Than 40 Years in Nagqu of Northern Tibet Plateau

LuoSang Zhuoma, La Ba, BaDan Zhuoma

(Tibet Nagqu Region Meteorological Bureau, Nagqu 852000, Tibet, China)

Abstract: This paper investigated the spatial and temporal distribution of precipitation during 1971 to 2011 in Nagqu Prefecture of Northern Tibet Plateau, China based on the monthly precipitation and the annual number of precipitation days at 6 meteorological stations and climatic statistic methods, including linear tendency evaluation, multistage curve simulation and the Mann–Kendall test. Results show that annual precipitation exhibits increasing trend in the past 41 years which experienced two periods from less precipitation to more precipitation. The increase of precipitation in summer is quite obvious with 6.48 to 20.40 mm increment per decade while the variation is pretty small in winter. The interannual distribution of number of days with daily precipitation larger than 0.1 mm is basically has same variation with the annual precipitation. The spatial distribution of precipitation decreases from the southeast to the northwest parts of Tibet. The precipitation start to increase from 1996 at each meteorological stations and it has greater possibility of abrupt climate change in 1999.

Key words: Nagqu of Tibet; precipitation; the number of precipitation days; trends; mutation detection