

# “三江源”夏季降水异常与 大气环流异常的关系

刘彩虹<sup>1,2</sup> 朱西德<sup>1</sup> 石顺吉<sup>2</sup> 徐 明<sup>2</sup>

(1. 青海省气象局气候中心, 西宁 810001; 2. 南京信息工程大学)

**提 要:** 利用三江源地区 14 个站 1961—2005 年逐月降水资料, 对全区近 45 年夏季降水异常的时空特征及与大气环流异常的关系进行了分析。结果表明, 近 45 年来, 三江源地区的夏季降水量具有良好的空间一致性, 总体呈微弱的减少趋势, 减少幅度为 9mm/45a; 三江源地区经历了 5 个干、湿交替的阶段, 存在较明显的准 2 年、准 4~6 年的振荡周期, 自 1980 年代中期后 12~14 年左右的周期信号较强; 1968、1979 及 1986 年是 3 个明显的气候突变点, 小波分析结果与降水序列大—小—大—小—大的变化趋势及突变检验存在良好的对应关系。环流分析表明, 三江源地区夏季旱、涝年份的大气环流配置形势在高度距平场、风场和温度场均呈反向变化, 可作为强信号, 对三江源夏季降水的异常预测起指示作用。

**关键词:** 三江源 夏季降水 异常特征 大气环流

## Analysis of Summer Precipitation Anomaly and Atmospheric Circulation in “Sanjiangyuan” Region

Liu Caihong<sup>1,2</sup> Zhu Xide<sup>1</sup> Shi Shunji<sup>2</sup> Xu Ming<sup>2</sup>

(1. Climate Center of Qinghai Province, Xining 810001;

2. Nanjing University of Information Science & Technology)

**Abstract:** The spatial and temporal features and circulation characteristics of summer precipitation anomaly in Sanjiangyuan are investigated on the basis of the monthly rainfall data at 14 stations from 1961 to 2005. The results show that the spatial distribution of summer precipitation has a good coherence in Sanjiangyuan, and on the whole has decreasing trend in the last 45 years. In addition, Morlet wavelet analysis indicates that there were quasi-two-year, quasi-four-to-six-year periodic oscillations in the summer precipitation, and three sudden changes in the years of 1968, 1979 and 1986 respectively. The above results indicate that the

wet/dry years of climate in Sanjiangyuan are closely related with the height field, temperature field, and wind field, the relations can obviously be as factors for precipitation's forecast.

**Key Words:** Sanjiangyuan summer precipitation anomaly characteristic circulation

## 引 言

三江源地区位于青藏高原腹地的青海省南部,系指长江、黄河、澜沧江源头,位于 $31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}16'N$ 、 $89^{\circ}24' \sim 102^{\circ}23'E$ ,流域面积共有 $36.31 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,有“中华水塔”、“地球之肾”、“生命之源”之称。近几年来,由于全球气候变化及人为活动的影响,三江源地区干旱、雪灾、洪涝等各种气象灾害频繁发生,生态环境日趋恶化,已经引起中国乃至国际社会的普遍关注。深入研究三江源降水异常的规律和成因,提高旱涝气候预测的水平,积极防御降水异常所造成的重大经济损失,无疑是当前防灾减灾工作的迫切要求,也是一个非常有意义的研究课题。

近年来,关于三江源地区生态、气候变化等方面的研究也取得了一定的进展,唐红玉等<sup>[1]</sup>认为,近 50 年来三江源地区的年降水量呈减少趋势,从 4—9 月最长无降水日数趋于增长,反映了西北地区干旱化的趋势。李林等<sup>[2]</sup>分析指出,三江源地区气温普遍升高,年蒸发量在 1986—1988 年间发生由少到多的突变;同时,李林等<sup>[3]</sup>分析 1962—2001 年三江源地区气候变化对生态环境的影响,表明,近 40 年三江源地区气候呈干旱化趋势,并出现了草场退化、湖泊萎缩、河流流量减少、土壤沙化和水土流失等生态环境荒漠化问题。汪青春等<sup>[4]</sup>指出,青海近年来夏半年降水量的减少主要是降水日数的减少造成的。黄玉霞等<sup>[5]</sup>通过对青海高原夏季降水及其水汽输送特征的研究表明,青海高原夏季降水的异常变化与其水汽通量的“盈余”状态密不可分。

三江源地区属干旱、半干旱气候区,雨季短、雨量集中,6—8 月降水量可占全年雨量的 60%,本文在前人工作的基础上,对三江源夏季降水异常变化规律给予较为详尽的分析和探讨,并在此基础上,考虑到短期气候预测的时间尺度,研究了三江源地区旱、涝年对应的降水的大气环流特征。

## 1 资料及方法

考虑到台站迁徙和资料的稳定性,本文选取了三江源地区的五道梁、沱沱河、曲麻莱、杂多、清水河、玉树、囊谦、玛多、达日、兴海、玛沁、班玛、久治、泽库 14 个气象台站 1961—2005 年 45 年夏季 6、7、8 月及合计降水量(站点分布如图 1 所示)。环流合成用 NCEP 再分析资料中 1961—2005 年的月高度场、风场和实际温度场,网格间距为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,用 500hPa 和 200hPa 分别代表对流层中层和高层。为消除地理位置、地形及月际变化的影响,在环流合成时,对资料进行了距平标准化处理。

小波分析在时域和频域上同时具有良好的局部性质,可以分析出时间序列周期变化的局部特征,能更清楚地看到各周期随时间的变化情况,从而在气候分析中得到广泛应用,这里选取的小波变换为 Morlet 小波,其形式为:

$$\Psi(t) = \exp(i2\pi t) \exp(-t^2/2)$$

突变现象普遍存在于地球气候系统。Mann-Kendall 方法是一种较为客观的突变检测方法,特点是能够较为准确地确定符合统计检验的突变时间,避免人为因素的影响。

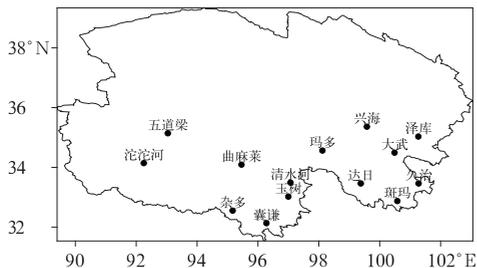


图1 三江源地区站点的空间分布  
(基础图边界为青海省)

## 2 三江源夏季降水异常的时空变化特征

### 2.1 降水异常的时间演变特征

#### 2.1.1 夏季降水的年代际变化特征及突变分析

图2是三江源地区夏季平均降水量的变化曲线。由图2可以看出,近45年来三江源地区夏季降水量呈微弱的减少趋势,减少幅度为 $9\text{mm}/45\text{a}$ 。从6阶多项式拟合趋势线上看出,在三江源地区,1960—1970年代末为降水减少时段,1980年代开始进入多雨期,1990年代后又经过一个低值阶段,进入本世纪降水有开始回升的趋势。

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),但也只能对均值突变的检测有把握。图3是三江源夏季降水的M-K检验曲线图,图中c1为降水的顺序统计曲线,c2为降水的逆序统计曲线,并给定显著性水平: $\alpha=0.05$ ,临界线为1.96(两条直线)。若c1或c2的值大于0,则表明序列呈上升趋势,小于0则表明呈下降趋势。当它们超过临界线时,表明上升或下降趋势明显。如果统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应的时刻便是突变开始的时间。由图3可以看出,全区第一次突变发生在1968年,降水有弱下降趋势;在1979年左右存在一次突变,降水开始增加。1985—1986年有一突变点,突变点后降水明显减少,结合

图2分析看到,二者具有较好的对应关系,近45年,三江源夏季降水总体呈大一小一大一小一大的变化趋势。

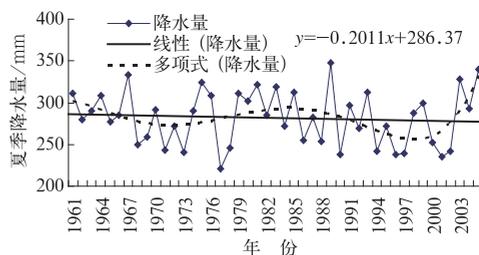


图2 三江源地区夏季平均雨量演变图

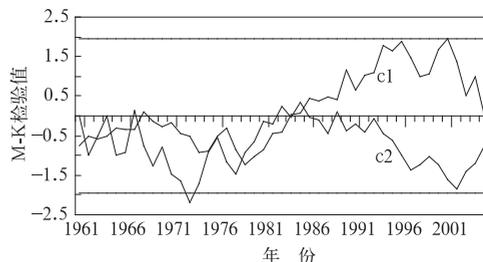


图3 三江源降水时间序列的  
Mann-Kendall 突变检验

#### 2.1.2 降水异常的小波分析

图4为三江源地区的Morlet小波系数时—频分析图,小波系数正值表示处于多雨周期,反之处于少雨周期。由图4可以看出,在不同阶段的同一周期振荡以及同一阶段的不同周期振荡的强弱程度是不一样的。

近45年来,三江源夏季降水除4~6年的振荡周期比较明显外,在1980年代中期至1990年代中期2年的振荡周期十分显著。在1965—1995年间虽存在6~8年能量贡献区,但整个信号强度较弱。对于10年以上相对较大的时间尺度,自1980年代中期后12~14年左右的周期信号较强。同时由图4a看出,三江源地区经历了5个干、湿交替的阶段,降水转折点分别在1968年、1979年、1987年、1999年,分析结果与降水序列大一小一大一小一大的变化趋势存在良好的对应

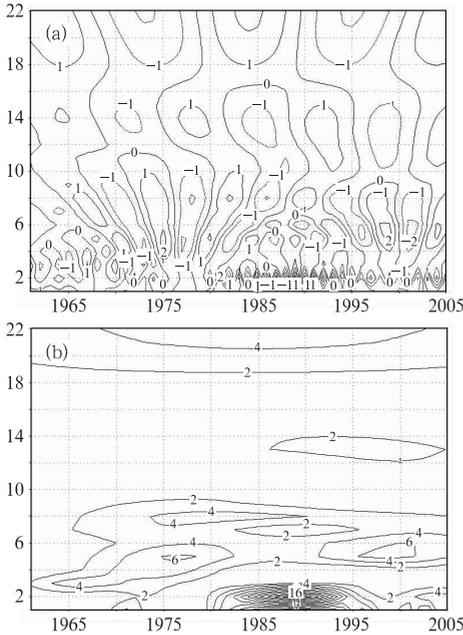


图 4 三江源地区的 Morlet 小波实部系数时-频分析图(a)和小波模数图(b)

关系,并且与突变检验及准 6 年、8 年、12 年的振荡周期相吻合。

## 2.2 降水异常的空间分布特征

对三江源地区 14 个测站夏季降水量进行主成分分析,其载荷量能够较好地反映降水场的空间异常特征。表 1 给出了前 5 个主要特征向量对降水量总方差的贡献率。可以看出,全区降水量场的收敛性很快,前 3 个主成分累积贡献率为 70.17%,第四个以后所占的方差明显减小,可见前 3 个特征向量可较好地表征三江源地区降水变化及空间分布的基本特征。

表 1 前 5 个特征向量对夏季降水总方差的贡献

特征向量	第一	第二	第三	第四	第五	和
方差贡献/%	36.69	22.7	10.78	5.31	4.97	80.45

第一特征向量分布十分一致,全区均在  $+0.12 \sim +0.40$  之间,这说明三江源的夏季降水量在空间具有良好的一致性(图 5a)。

图 5b 是三江源夏季降水经 EOF 展开后,第一时间系数和实际降水量演变图。由图可看出,用时间向量衡量该区旱涝是可行的。第二特征向量的分布就不完全一致(图略),其中南部地区(沱沱河、杂多、玉树、囊谦 4 站)为正值区,而其他各站均为负值区,分布呈现南北反向变化的结构特点。第三特征向量的分布比较复杂(图略),总的反映东西部降水的差异性。由此看出,第二、三特征向量地形影响比较显著。尽管三江源地区不同区域之间有气候差异,但在夏季降水在一定程度上还是受某些因子的共同影响和控制。

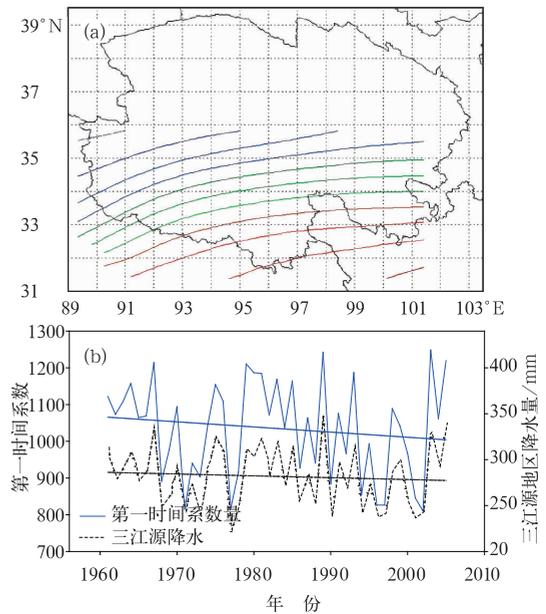


图 5 三江源夏季降水第一特征向量(a)及其时间系数(b,实线)和 6—8 月降水量时间变化曲线(b,虚线)

## 3 多、少雨年的环流特征

### 3.1 三江源地区夏季多、少雨年的选取

考虑到环流资料的长度,从三江源地区 1961—2005 年 14 个站夏季区域平均降水序列中,选取 7 个典型多雨年和 8 个典型少雨年(表 2)。

表 2 三江源地区夏季多雨年和少雨年统计表

多雨年份	1989	2005	1967	2003	1975	1981	1983	
降水/mm	347.1	339.4	333.7	328.4	324.1	321.9	319.1	
距平/%	23.2	20.5	18.5	16.6	15.3	14.3	13.2	
少雨年份	1977	2001	1990	1996	1997	1973	1994	2002
降水/mm	220.9	235.9	237.5	238.2	239.1	240.4	241.2	241.5
距平/%	-21.6	-16.3	-15.7	-15.5	-15.1	-14.7	-14.4	-14.3

### 3.2 三江源夏季降水异常与高度场异常的关系分析

图 6 为 200hPa 和 500hPa 多雨年减去少雨年位势高度标准化距平场。对流层高层(图 6a)欧亚范围内位势高度异常主要表现在中高纬,南欧为负距平区,在巴尔喀什湖和贝加尔湖附近负距平区显著,而在乌拉尔山及我国的西北、东南为显著的正距平区,中心分别达 0.8 和 1.0,中高纬地区沿西北东南向为“一 + - +”位势高度距平波列分布,表明急流上 Rossby 波活跃。在少雨年,环流场配置与多雨年反相,距平场呈“+ - + -”分布(图略)。从 200hPa 和 500hPa 上下配置可以看出,多雨年三江源地区在 500hPa 处

在异常低压控制(图 6b),而在 200hPa 处在异常高压控制之下,有利于整层大气的上升运动,从而有益于降水的产生。

### 3.3 三江源夏季降水异常与风场异常的关系分析

分别计算了多雨年和少雨年 200hPa 减去 500hPa 的矢量距平风场(图 7)。由图可知,多雨年(图 7a),在我国西北及东南地区附近有明显的气旋和反气旋环流中心,三江源地区高空为辐散区,低空为辐合区,容易形成强烈的上升气流的,使孟加拉湾水汽源源不断地向北输送,为降水提供了有利的动力条件。少雨年(图 7b)则相反,距平场上有明显的气旋中心,三江源地区高空为辐合区,低

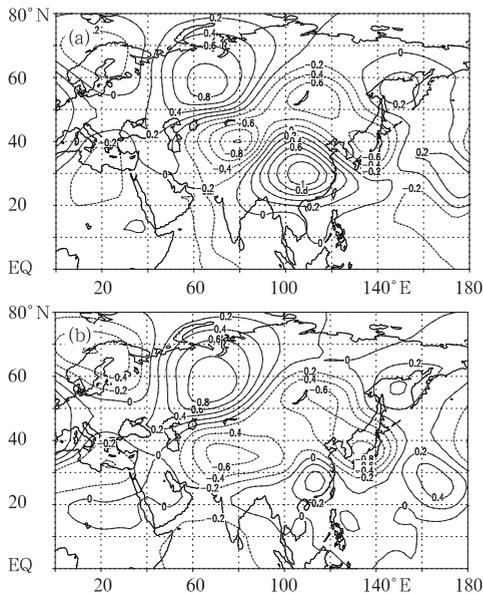


图 6 三江源 200hPa(a)、500hPa(b)多雨年减去少雨年位势高度差值

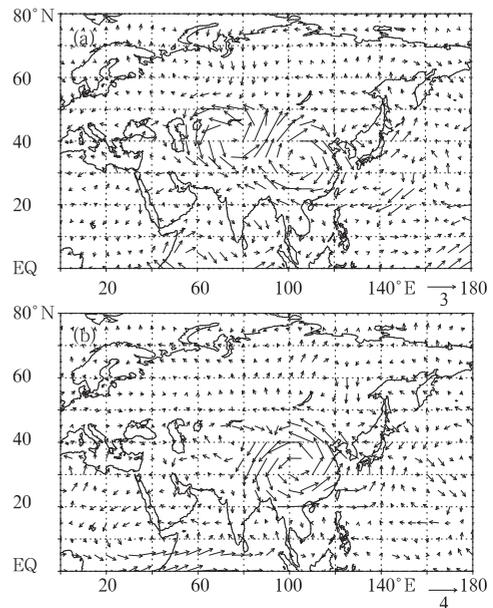


图 7 三江源地区夏季多雨年(a)、少雨年(b) 200~500hPa 距平风场

空辐散,不利于上升气流的形成,全区受下沉气流控制,降水偏少。

### 3.4 三江源夏季降水异常与温度场异常的关系分析

由图 8 可以看到,多雨年(图 8a),北半球除我国青藏高原西部及蒙古国地区为负距平外,中国大陆东部、西伯利亚等其他地区基本为正距平。温度距平场的这种分布型说明,冷空气容易在蒙古和青藏高原西部地区堆积,然后沿偏西或偏西北路径进入青藏高原地区,与南部的暖湿气流汇合易造成三江源的持续降水。少雨年(图 8b),温度场配置基本呈反位相,青藏高原西部为正距平,我国中部以东为负距平区,这说明,冷空气活动的路径偏东,不易造成降水。

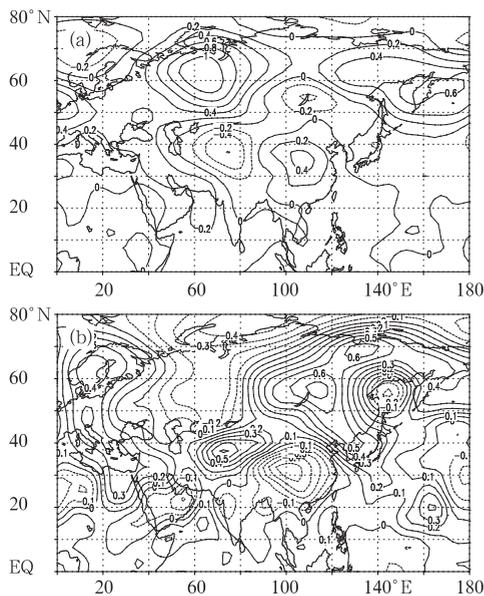


图 8 三江源地区夏季多雨年(a)、少雨年(b)500hPa 温度距平场

## 4 结论

(1) 三江源的夏季降水量在空间分布具有良好的一致性,近 45 年来三江源地区夏季

降水量呈微弱的减少趋势,减少幅度为 9mm/45a。

(2) 突变分析得出:第一次突变发生在 1968 年,降水有微弱的下降趋势;在 1979 年左右存在一次突变,降水开始增加。1985—1986 年有一突变点,突变点后降水明显减少,近 45 年,夏季降水总体呈大—小—大—小—大的变化趋势。

(3) 由小波分析可知,近 45 年来,三江源地区经历了 5 个干、湿交替的阶段,降水转折点分别在 1968 年、1979 年、1987 年、1999 年,除 4~6 年的振荡周期比较明显外,在 1980 年代中期至 1990 年代中期 2 年振荡周期十分显著。在 1965—1995 年间虽存在 6~8 年能量贡献区,但整个信号强度较弱。对于 10 年以上相对较大的时间尺度,自 1980 年代中期后 12~14 年左右的周期信号较强。分析结果与降水序列大—小—大—小—大的变化趋势及突变检验存在良好的对应关系。

(4) 通过对 200hPa 和 500hPa 多雨年减去少雨年位势高度标准化距平场的分析表明,在欧亚范围内,对流层高层位势高度异常主要表现在中高纬,中高纬地区沿西北东南向为“— + — +”位势高度距平波列分布,表明急流上 Rossby 波活跃。从 200hPa 和 500hPa 上下配置看出,多雨年三江源地区在 500hPa 处在异常低压控制,而在 200hPa 处在异常高压控制之下,有利于整层大气的上升运动,从而有益于的降水产生。

(5) 多雨年,矢量距平风场上有明显的反气旋环流中心,三江源地区高空辐散,低空辐合,为降水提供了有利的动力条件。少雨年则相反,全区受下沉气流控制,降水偏少。

(6) 旱涝年温度距平场分布型呈反位相,多雨年,冷空气容易在蒙古和青藏高原西部地区堆积,然后沿偏西或偏西北路径进入青藏高原地区,与南部的暖湿气流汇合易造

成三江源的持续降水。少雨年,冷空气活动的路径偏东,不易造成降水。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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分析[J].自然资源学报,2006,21(1):79-85.
- [3] 李林,朱西德,汪青春,等.三江源地区气候变化及其对生态环境的影响[J].气象,2004,30(8):18-21.
- [4] 汪青春,李林,刘蓓,等.青海省近40年雨日、雨强气候变化特征[J].气象,2005,31(3):69-73.
- [5] 黄玉霞,王宝鉴,王鹏祥.青海高原夏季降水异常及其水汽输送特征分析[J].气象,2006,32(1):18-23.
- [6] 王绍武.现代气候学研究进展[M].北京:气象出版社,2001:33-40.
- [7] 林振耀,赵昕弈.青藏高原气温降水变化的空间特征[J].中国科学D辑,1996,26(4):354-358.
- [8] Wu Tongwen and Zhengan Qian. The relation between the Tibetan winter snow and the Asian summer monsoon and rainfall: An observational investigation[J]. J Climate, 2003,16(12):2038-2051.
- [9] 时兴合,张国胜,唐红玉,等.黄河上游地区降水对水资源的影响[J].气象,1999,25(9):7-10.
- [10] 苗秋菊,徐祥德,施小英.青藏高原周边异常多雨中心及其水汽输送通道[J].气象,2004,30(12):44-46.