

doi: 10.7522/j.issn.1000-0240.2016.0144

Li Xiaoying, Yao Zhengyi, Xiao Jianhua, et al. Analysis of the spatial-temporal variation characteristics of precipitation over the Tibetan Plateau from 1961 through 2010 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(5): 1233–1240. [李晓英, 姚正毅, 肖建华, 等. 1961–2010年青藏高原降水时空变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1233–1240.]

# 1961–2010年青藏高原降水时空变化特征分析

李晓英<sup>1,2</sup>, 姚正毅<sup>1\*</sup>, 肖建华<sup>1</sup>, 王宏伟<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 利用青藏高原69个气象站的降水量资料, 采用旋转经验正交函数分析(EOF)、线性趋势分析和累积距平法, 系统地研究了1961–2010年青藏高原降水的时空变化规律, 揭示了青藏高原不同区域降水变化的差异性。研究表明: 近50 a来青藏高原降水量总体呈现增加趋势, 增长率为 $6.7 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ; 青藏高原降水季节分配极不均匀, 雨季和旱季非常明显, 雨季降水占有主导作用; 青藏高原降水由东南向西北递减, 而且年际变化具有一定的多元化特征; 青藏高原降水量变化空间分布差异显著, 采用EOF法将整个高原划分为10个小区, 每个小区降水变化都具有不同的特征, 除了青海东北部区和青海东南部-川北区降水呈减少趋势外, 其他8个小区降水均呈增加趋势。

**关键词:** 青藏高原; 降水量; 时空变化; EOF

**中图分类号:** P426.61<sup>+</sup>4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2016)05-1233-08

## 0 引言

青藏高原作为世界上最高的高原, 其地形及地表的物理性质十分复杂, 具有全球独特的地域单元和气候特征。青藏高原气候变化不仅影响自身的生态环境, 而且对周边地区乃至全球气候均具有重大影响。因此高原气候变化的研究一直深受科研人员的密切关注。很多学者利用不同年代的资料对青藏高原降水变化进行了比较全面的分析研究<sup>[1–5]</sup>, 这些研究表明, 青藏高原降水变化与气温变化相比要复杂得多。近30 a来青藏高原降水变化的主要特征是前少后多, 年降水量有逐步增加的趋势。康兴成<sup>[6]</sup>研究指出, 从20世纪50年代以来, 青藏高原降水量有逐渐增加的趋势; 朱西德等<sup>[7]</sup>认为青藏高原年降水量1967–2000年在缓慢减少。青藏高原降水量变化的空间差异性显著, 高原北部(青海地区和西藏西北部阿里地区)和南部(西藏其他地区)存在着反相变化关系<sup>[8–9]</sup>, 从20世纪60年代至80年代, 高原北部降水呈增加趋势, 而南部降水呈减少趋势。20世纪80年代中期, 高原北部降水开始

减少, 南部开始增加<sup>[10]</sup>。还有学者研究指出, 1961–2001年高原中东部地区降水量增加, 而西部有减少趋势<sup>[11]</sup>, 1960–2004年高原南部地区年降水量呈增加趋势, 而东北部有减少趋势<sup>[12]</sup>。

由于青藏高原降水的空间变异大, 对于青藏高原降水空间变化趋势及影响机制的研究<sup>[12–19]</sup>极大地扩展和丰富了对高原降水变化的认识。但对青藏高原降水的分区研究十分有限, 林振耀等<sup>[20]</sup>采用旋转主成分分析方法将高原降水变化分为9个区; 蔡英<sup>[8]</sup>也利用同样的分析方法, 只分为高原南部区和北部区两个区域。

综合以上研究可知, 由于高原气象资料的缺乏、研究年代的不同及其台站数量的稀少, 都影响着人们对青藏高原降水规律的认识, 因此进一步研究该区降水变化的特点, 有助于进一步揭示青藏高原气候变化的特征及规律。

## 1 资料及分析方法

本文选用青藏高原69个气象站1961–2010年50 a降水量资料, 利用直线回归方法和累积距平

收稿日期: 2016-04-17; 修订日期: 2016-08-25

基金项目: 国家重大科学研究计划“青藏高原沙漠化对全球变化的响应”(2013CB956000)资助

作者简介: 李晓英(1989–), 女, 蒙古族, 内蒙古赤峰市喀喇沁旗人, 2015年硕士毕业于中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在读博士研究生, 主要从事冻土生态与全球变化的研究。

E-mail: lixiaoying@lzb.ac.cn

\* 通讯作者: 姚正毅, E-mail: yaozy@lzb.ac.cn.

法对高原降水进行趋势性分析,并应用 REOF 方法对青藏高原降水量变化进行分区,进而分析高原降水的空间分布特征.

## 2 青藏高原降水量的时空分布特征

### 2.1 青藏高原降水的时间分布特征

#### 2.1.1 降水的年代际变化

从表 1 可以看出,1961–2010 年在 10 a 际尺度上青藏高原降水量(69 个站点的直接平均值)呈总体增加趋势,20 世纪 60 年代至 21 世纪 00 年代降水距平持续增加,从总体上来看,00 年代较 60 年代增加了 10.7 mm.

表 1 青藏高原降水量 10 a 平均距平  
Table 1 Decadal anomalies of precipitation in the Tibetan Plateau, 1961–2010

年代	年变化/mm
60 年代	-5.9
70 年代	-5.4
80 年代	2.7
90 年代	3.8
00 年代	4.8

注:距平为各年代平均值与 1961–2010 年平均值的差

图 1 中给出了 20 世纪 60 年代至 21 世纪 00 年代青藏高原年代际降水量差值的空间分布.可以看

到,70 年代与 60 年代相比高原北部降水量变化不大,相对于 60 年代只增加了 1.4%,西藏东南部和西南部、四川西北部地区的降水明显增加,较 60 年代分别增加了 34.2%、43.9%、8.6%,降水减少的地区主要位于四川西南部和西藏的中南部地区,较 60 年代分别减少了 10.6% 和 8.8%; 80 年代与 70 年代相比,高原北部变化不大,相对于 70 年代增加了 5.0%,高原中部和四川西南部地区降水明显增加,较 70 年代分别增加了 8.7% 和 7.9%,降水减少的区域主要位于青海东部、四川西北部、西藏西南部地区,较 70 年代分别减少了 7.7%、8.6% 和 11.4%; 90 年代与 80 年代相比,高原的北部地区变化不大,相对于 80 年代减少了 4.2%,降水增加地区主要分布在四川西北部延伸至西藏南部地区条带状区域,较 80 年代增加了 8.1%,而青海的东部与南部、四川西南部的小部分地区降水明显减少,较 80 年代分别减少了 11.0%、9.1% 和 4.6%; 00 年代与 90 年代相比,高原北部地区变化仍然很小,相对于 90 年代只增加了 1.1%,青海东部和南部、四川西南部的小部分地区和西藏中部地区降水明显增加,较 90 年代分别增加了 11.7%、10.9%、5.7% 和 11.5%,降水减少的区域主要分布在四川西北部至西藏南部的条带状地区,较 90 年代减少了 7.7%. 纵观 50 a 来青藏高原降水量年代际变化

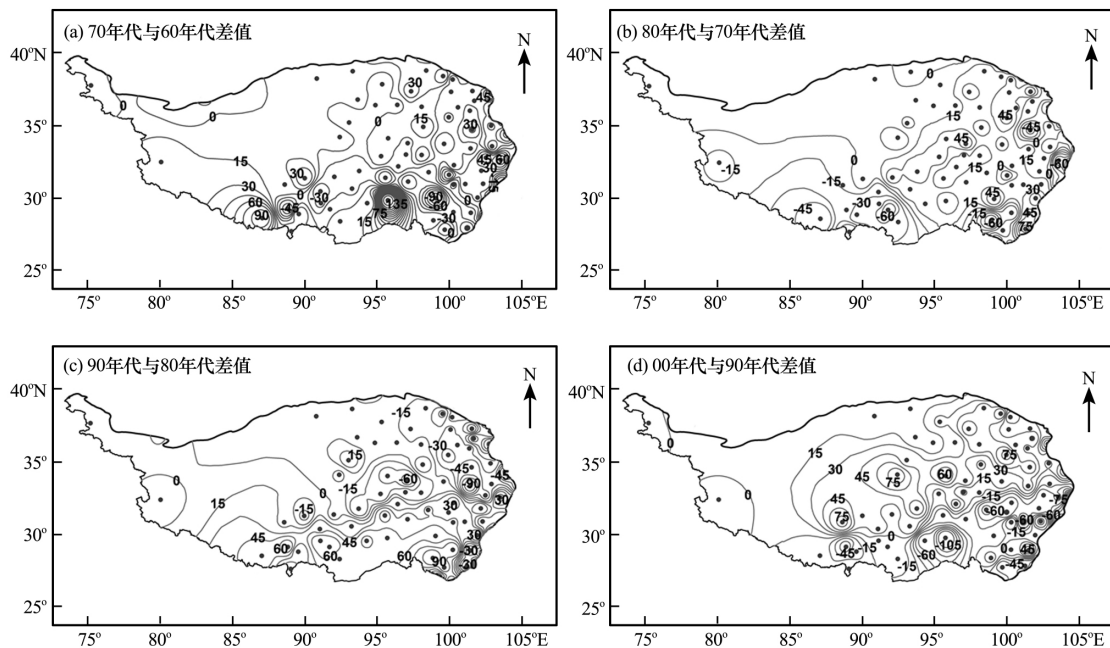


图 1 青藏高原降水量年代差值变化空间分布

Fig. 1 The spatial distributions of decadal precipitation differences in the Tibetan Plateau between the 1970's and the 1960's ( a ), between the 1980's and the 1970's ( b ), between the 1990's and the 1980's ( c ) and between the 2000's and the 1990's ( d )

趋势,可以看到高原北部变化基本稳定,而高原的东部、南部地区包括四川西部、青海的东部地区和西藏的南部和东南部地区变化较大。

### 2.1.2 降水量的年际变化

1961–2010 年青藏高原年降水量呈波动式增加,线性增长率为  $6.7 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$  (图 2),并呈现出增加和减少交替出现的特点。从年降水量距平曲线可以看出,1986 年为一个转折点,1986 年以前,只有 6 a 降水量距平值为正值,其余 20 a 都为负值,50 a 降水量最低值也出现在这个阶段,为 1972 年的 407 mm,1986 年以后趋势正好相反,只有 8 a 降水量距平值为负值,其余 16 a 都为正值,50 a 降水量最高值也出现在这个阶段,为 1998 年的 540 mm。从 5 a 滑动平均曲线更容易看出这种趋势,1986 年以前,只有 1978 年和 1981 年 2 a 滑动平均值为正值,1986 年以后只有 1994–1997 年 4 a 滑动平均值为正值。1986 年以前降水平均值为 456 mm,低于总平均值(466 mm) 10 mm,1986 年以后降水平均值为 476 mm,相比前期增加了 20 mm,高于总平均值 10 mm,且前期降水增长率为  $2.5 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,后期为  $7.4 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,可以看出,在 1986 年以后降水增加更为显著。

从图中也可以看出,降水量存在四个高峰值和四个低谷值,在 1964 年出现第一个高峰值,然后波动减少,在 1972 年达到第一个低谷值,在随后两年里降水量持续增加,并于 1974 年达到第二个高峰。在接下来的 10 a 里,降水波动减少,在 1983 年以后,降水波动变化明显,并在 1986 年和 1994 年达到了第二、三个低谷值,1989 年达到第三个高峰值,1998 年降水为一个突变点,降水于 1997 年急

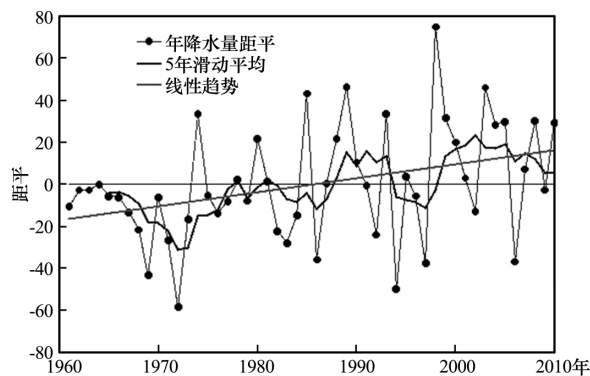


图 2 青藏高原年降水量距平变化

Fig. 2 Annual variation of precipitation anomalies in the Tibetan Plateau

剧增加,1998 年达到第四个高峰也是 50 a 来最高值,之后逐渐降低,在 2006 年达到第四个低谷。

### 2.1.3 降水的季节变化

青藏高原降水的季节分配不均匀,雨季和旱季非常明显。高原雨季从 4、5 月份由高原的东南部开始,逐步扩展到西北腹地地带,7 月高原全境进入雨季。高原雨季结束与开始过程基本相反,从西往东推移,雨季结束的时间为 9 月末–10 月中旬(图 3)。如高原东南部林芝 3 月份之前降水都 <19 mm,4 月份降水达到 47 mm,雨季开始,10 月份降水为 44 mm,雨季结束;康定 3 月份降水为 39 mm,4 月份为 63 mm,雨季开始,10 月份降水为 63 mm,雨季结束。拉萨 5 月份降水为 29 mm,雨季开始,9 月份降水为 69 mm,雨季结束;玉树 5 月份降水为 55 mm,雨季开始,10 月份降水为 30 mm,雨季结束。高原中部改则 6 月份降水为 23 mm,雨季开始,9 月份降水为 22 mm,雨季结

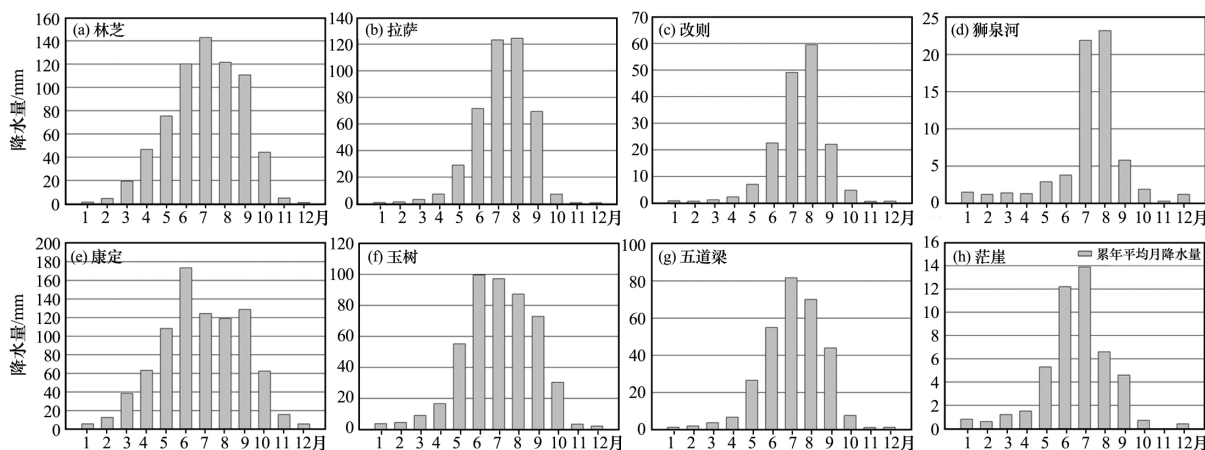


图 3 青藏高原降水季节分配

Fig. 3 Monthly variations of precipitation in the stations on the Tibetan Plateau

束; 五道梁 5 月份降水为 27 mm, 雨季开始, 9 月份降水为 44 mm, 雨季结束. 高原西部狮泉河 7 月份降水为 22 mm, 雨季开始, 8 月份降水为 23 mm, 雨季结束; 茫崖 6 月份降水为 12 mm, 雨季开始, 8 月份降水为 14 mm, 雨季结束. 可以看出, 高原东南部雨季可以维持 7 个月之久, 雨季持续时间最长, 高原西部雨季持续时间最短, 只有 2~3 个月.

高原大部分地区降水量主要集中于雨季, 可以占到全年总降水量的 90.0% 以上. 如高原东南部林芝雨季降水量占全年总降水量的 95.5%, 康定占 90.8%; 拉萨雨季降水量占全年总降水量的 95.1%, 玉树占 91.8%; 高原中部改则雨季降水量占全年总降水量的 89.4%, 五道梁占 92.0%. 高原西部地区降水量集中程度更为明显, 如狮泉河 7、8 月份降水量占全年降水量的 67.9%, 茫崖 7、8 月份降水量占全年降水量的 54.6%, 这种在 7、8 月份降水高强度集中的特点在雅鲁藏布江河谷地带表现极为突出.

## 2.2 青藏高原降水的空间分布特征

图 4 为青藏高原累年年平均降水量分布, 可以看出, 高原各地降水量差异很大, 降水量自东南向西北逐渐减少, 最多的地区达 1 000 mm 以上, 而最少的地区还不到 50 mm, 如四川的九龙, 年降水量 927 mm, 而与新疆交界的西北地区年降水量在 50 mm 以下, 是高原降水最少的地区. 青藏高原降水以玛沁—玉树—拉萨 500 mm 降雨量线为界, 线以西向西北部降水量逐渐减少, 线以东向东南部降水量逐渐增加, 高原降水量也主要集中于线以东地区, 且降水量主要集中于 500~800 mm 之间. 青海绝大部分地区降水量都在 400 mm 以下, 甚至一些地方不足 100 mm, 柴达木盆地大部分地区都在 50 mm 以下, 如盆地西缘冷湖年降水量还不到 20 mm, 非常干旱.

图 5 为 1961—2010 年降水变化率的空间分布, 可以看出, 青藏高原近 50 a 来降水具有一定的多元化特征, 即大部分地区降水呈增加趋势, 同时也有

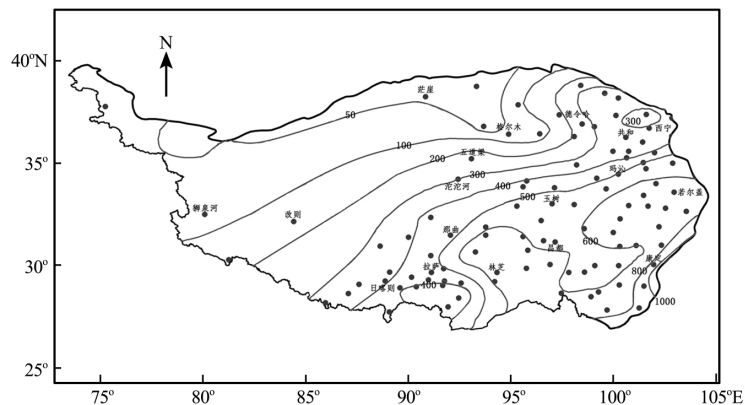


图 4 青藏高原累年年平均降水量分布

Fig. 4 Distribution of annual mean precipitation in the Tibetan Plateau

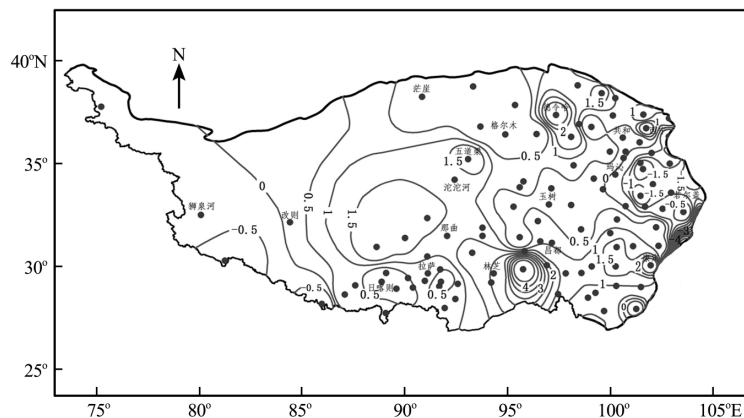


图 5 青藏高原降水变化率空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of precipitation change rate in the Tibetan Plateau, 1961—2010

小部分区域降水减少。具体表现为西藏东南部、青海北部和四川的西部地区降水增多最为显著,而青海的东部地区与东南部地区、四川的北部与中部地区和西藏西南部的小部分地区降水明显减少。

2.3 青藏高原降水变化的空间分布特征

选取青藏高原气象台站 1961 – 2010 年近 50 a 降水量做旋转经验正交函数分析( REOF), 得到前 10 个旋转载荷向量累计方差贡献率( 表 2), 累计达到 72.9%, 并且依据前 10 个载荷向量绝对值 >0.5 为分区界线, 将青藏高原降水分为 10 个小区( 图 6), 每个小区都有自身的变化特征。

表 2 青藏高原降水量旋转经验正交函数分析方差贡献率  
Table 2 The top 10 rotating load vector cumulative variance contribution rate of the precipitation on the Tibetan Plateau

载荷向量序号	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	15.1	15.1
2	11.1	26.2
3	8.7	34.9
4	8.7	43.6
5	8.2	51.8
6	5.5	57.3
7	4.2	61.5
8	4.0	65.5
9	4.0	69.5
10	3.4	72.9

A 高原东南部区: 该区位于怒江、澜沧江、金沙江和雅砻江的广大地区, 主要包括拉萨、林芝、波密、丁青、囊谦、昌都、巴塘、新龙、道孚、康定、九龙、小金、甘孜、嘉黎、色达和德格等地。旋转载荷向量最大值位于新龙( 0.867)。该区处于高原的降水中心, 50 a 间降水呈增加趋势, 20 世纪 60 年代降水基本稳定, 70 – 90 年代降水明显增加, 但是 00 年代初期降水呈减少趋势。

B 青海南部 – 川西北部区: 该区位于黄河上游, 青海的南部和四川的西北部, 主要包括杂多、曲麻莱、清水河、玉树、石渠、玛多、达日、红原和马尔康。旋转载荷向量最大值位于清水河( 0.747)。该区在西南暖湿气流的影响下, 降水变化特征明显, 50 a 间降水呈缓慢增加趋势, 20 世纪 60 年代和 80 年代降水减少, 70 年代、90 年代与 00 年代降水增加, 但是 00 年代降水增加趋势较 70 与 90 年代明显增大。

C 高原南部区: 该区位于雅鲁藏布江以南的广

大地区, 主要包括日喀则、江孜、帕里、隆子、泽当、德钦、稻城、木里和香格里拉等地。旋转载荷向量最大值位于江孜( 0.713), 在东亚季风和印度季风的影响下表现出了明显的降水变化特征。50 a 间降水呈缓慢增加趋势, 20 世纪 60 年代降水减少, 70、80 和 90 年代降水显著增加, 但是 50 a 最低值也出现在此时间段, 为 1983 年的 337 mm, 00 年代降水又出现明显减少趋势。

D 柴达木盆地: 该区位于柴达木盆地大部分地区, 主要包括大柴旦、小灶火、格尔木、诺木洪、都兰、德令哈、冷湖和茫崖等地。旋转载荷向量最大值位于都兰( 0.835), 在热低压和西风带控制下具有明显的降水变化特征。50 a 间降水呈显著增加趋势, 20 世纪 60 年代降水增加, 70 年代和 90 年代降水缓慢减少, 80 年代和 00 年代降水显著增加, 但是 00 年代降水增加趋势更加明显。

E 青海东北部区: 该区位于河西走廊东南部, 主要包括门源、乌鞘岭、西宁、民和、共和、贵德和合作。旋转载荷向量最大值位于西宁( 0.843)。50 a 间降水呈现缓慢减少趋势, 减少速率为  $0.4\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 20 世纪 60 年代、80 年代和 00 年代降水增加, 80 年代降水增加比较显著, 70 年代与 90 年代降水呈现缓慢减少趋势。

F 西藏东部条带区: 主要位于西藏的中部地区, 并呈东北西南走向成条带状分布, 主要包括申扎、班戈、那曲和索县。旋转载荷向量最大值位于申扎( 0.682)。50 a 间降水呈总波动增加趋势, 20 世纪 60 年代、80 年代和 00 年代降水增加, 70 年代与 90 年代降水减少, 但是 1980 年存在一个突变点, 由 1979 年的 329 mm 突然增到 1980 年的 574 mm, 之后又减少到 1981 年的 401 mm。

G 青海东南部 – 川北区: 该区位于青海的东南部和四川北部地区, 主要包括河南、久治、若尔盖和松潘。旋转载荷向量最大值位于若尔盖( 0.737)。50 a 间降水呈总体减少趋势, 20 世纪 60 年代降水减少, 70 年代降水增加, 但是 80 年代初期降水开始减少一直持续到 00 年代初, 之后开始增加。

H 高原中部区: 该区位于青藏高原的中部地带, 主要包括五道梁、沱沱河和安多等地。旋转载荷向量最大值位于沱沱河( 0.713)。50 a 间降水呈总体增加趋势, 20 世纪 60 年代和 80 年代降水呈减少趋势, 70 年代和 00 年代降水变化不大, 基本稳定, 90 年代降水增加显著。

I 祁连山区: 该区主要位于青海北部祁连山地

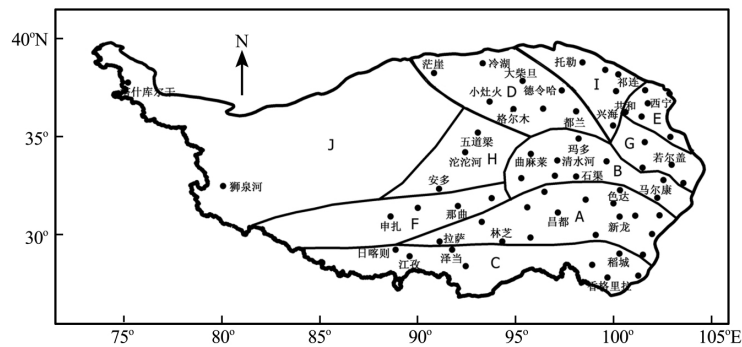


图6 青藏高原降水量变化空间分区

Fig.6 A space zoning map of the variations of precipitation in the Tibetan Plateau

区,主要包括托勒、野牛沟、祁连、刚察和兴海等地. 旋转载荷向量最大值位于野牛沟(0.668),该区处于低涡和强对流天气系统与祁连山中尺度地形的影响下,降水具有明显的区域特征. 50 a 间降水呈现总体增加趋势,20 世纪 60 年代初期到 70 年代后期降水呈减少趋势,80 年代初期降水开始增加,一直持续到 00 年代,00 年代降水增加更加显著.

J 高原西部区: 该区主要位于高原的西部和西北部地区,主要包括塔什库尔干、狮泉河等地. 50 a 间降水呈增加趋势. 但是由于高原西部区域广大,站点稀少,两个站点的降水变化趋势并不能代表整个区域.

### 3 结论

通过对我国青藏高原 1961–2010 年 50 a 来降水量时空变化特征分析,可以得到如下结论:

(1) 50 a 来青藏高原降水量在 10 a 的年代际变化上呈现总体的增加趋势,21 世纪 00 年代较 20 世纪 60 年代增加了 10.7 mm. 高原北部变化基本稳定,而高原东部、南部地区包括四川西部、青海东部地区和西藏南部和东南部地区变化较大.

(2) 50 a 来青藏高原地区年降水量呈波动式增加,线性增长率为  $6.7 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,且呈现增加和减少交替出现的特点. 其中 1986 年以后降水增加更为显著.

(3) 青藏高原各地降水量差异很大,由于海拔的升高和地形的变化,降水自东南向西北逐渐减少,最多的地区达 1000 mm 以上,最少的地区还不到 50 mm. 而且具有一定的多元化特征,即大部分地区降水呈增加趋势,同时也有部分区域降水减少.

(4) 青藏高原降水的季节分配不均匀,雨季和

旱季非常明显,降水主要集中于雨季. 大部分地区雨季开始于 5 月,7 月高原全境进入雨季,结束于 9 月末–10 月中旬,且降水量主要集中于雨季的特点决定了雨季降水量对年降水量变化的主导作用.

(5) 青藏高原降水量空间分布差异显著. 通过旋转经验正交函数分析将青藏高原划分为 10 个小区,加之受东亚季风、印度季风、高原季风和西风带的影响,每个小区都具有不同的变化特征,除了青海东北部区和青海东南部–川北区降水呈减少趋势外,其余 8 个小区降水都呈增加趋势.

### 参考文献(References):

- [1] Wei Zhigang, Huang Ronghui, Dong Wenjie. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan Plateau [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2003, 27(2): 157–170. [韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化 [J]. 大气科学, 2003, 27(2): 157–170.]
- [2] Li Shengchen, Xu Liang, Guo Yingxiang. Precipitation changes and partition in the Qinghai-Tibet Plateau during the last 34 years [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(2): 307–314. [李生辰, 徐亮, 郭英香. 近 34 a 青藏高原年降水变化及其分区 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 307–314.]
- [3] Cheng Zhigang, Cang Shuangping, Li Ting. 21st century climate change and climate zones may changes in the Qinghai-Tibet Plateau [R]. Chinese Meteorological Society 28th Annual Meeting-S4 to Tackle Climate Change, Development of Low-Carbon Economy, 2011. [程志刚, 曹双平, 李婷. 21 世纪青藏高原气候变化及气候带可能变迁 [R]. 第 28 届中国气象学会年会-S4 应对气候变化, 发展低碳经济, 2011.]
- [4] Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zheng Du, et al. Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. Acta Geographical Sinica, 2005, 60(1): 3–11. [吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势 [J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3–11.]
- [5] Yao Li, Wu Qingmei. Climate change character in the Tibetan Plateau [J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(3): 163–164. [姚莉, 吴庆梅. 青藏高原气候变化特征 [J]. 气象科技, 2002, 30(3): 163–164.]
- [6] Kang Xingcheng. The features of the climate changes in the

- Qing-Zang Plateau area during the last 40 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, 18( S1): 281–288. [康兴成. 青藏高原地区近 40 年来气候变化的特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18( S1): 281–288.]
- [7] Zhu Xide, Li Lin, Qin Ningsheng, *et al.* Studies on climatic variation and anomaly types of the annual precipitation over Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2003, 23( 4): 452–459. [朱西德, 李林, 秦宁生, 等. 青藏高原年降水量的气候变化及其异常类型研究[J]. 气象科学, 2003, 23( 4): 452–459.]
- [8] Cai Ying. Interdecadal climate variation over the Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1998: 22–45. [蔡英. 青藏高原气候的年代际变化[D]. 中国科学院兰州高原大气物理研究所, 1998: 22–45.]
- [9] Feng Song. Explore the causes of the Tibetan Plateau and comprehensive analysis of ten to millennial-scale climate change [D]. Lanzhou: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1999: 11–23. [冯松. 青藏高原十到千年尺度气候变化的综合分析及原因探讨[D]. 中国科学院兰州高原大气物理研究所, 1999: 11–23.]
- [10] Tang Maocang, Bai Chongyuan, Feng Song, *et al.* Climate abrupt change in the Qinghai-Xizang Plateau in recent century and its relation to astronomical factors [J]. *Plateau Meteorology*, 1998, 17( 3): 250–257. [汤懋苍, 白重媛, 冯松, 等. 本世纪青藏高原气候的三次突变与天文因素的相关[J]. 高原气象, 1998, 17( 3): 250–257.]
- [11] Xu Zongxue, Gong Tongliang, Liu Changmin. Detection of decadal trends in precipitation across the Tibetan Plateau [J]. *IAHS-AISH Publication*, 2007: 271–276.
- [12] Duan Keqin, Yao Tandong, Wang Ninglian, *et al.* The difference in precipitation variability between the north and south Tibetan Plateaus [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30( 5): 726–732. [段克勤, 姚檀栋, 王宁练, 等. 青藏高原南北降水变化差异研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30( 5): 726–732.]
- [13] Nie Ning, Zhang Wanchang, Deng Cai. Spatial temporal climate variations from 1978 to 2009 and their trend projection over the Yarlung Zangbo River basin [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34( 1): 64–71. [聂宁, 张万昌, 邓财. 雅鲁藏布江流域 1978–2009 年气候时空变化及未来趋势研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34( 1): 64–71.]
- [14] Liu Huancai, Duan Keqin. Effects of North Atlantic Oscillation on summer precipitation over the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34( 2): 311–318. [刘焕才, 段克勤. 北大西洋涛动对青藏高原夏季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2012, 34( 2): 311–318.]
- [15] Hao Zhenchun, Jiang Weijuan, Ju Qin, *et al.* The features of climate changes in the five source regions of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32( 6): 1130–1135. [郝振纯, 江微娟, 鞠琴, 等. 青藏高原河源区气候变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32( 6): 1130–1135.]
- [16] Tan Chunping, Yang Jianping, Mi Rui. Analysis of the climate change characteristics in the southern Tibetan Plateau from 1971 to 2007 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32( 6): 1111–1120. [谭春萍, 杨建平, 米睿. 1971–2007 年青藏高原南部气候变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32( 6): 1111–1120.]
- [17] Xiao Ruixiang, Qi Donglin, Zhou Wanfu, *et al.* The variation of precipitation water in different ecological regions of Qinghai Plateau from 1971–2010 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36( 6): 1456–1464. [校瑞香, 祁栋林, 周万福, 等. 1971–2010 年青海高原不同功能区可降水量的变化特征[J]. 冰川冻土, 2014, 36( 6): 1456–1464.]
- [18] Yang Zhigang, Zhuoma, Lu Hongya, *et al.* Characteristics of precipitation variation and its effects on runoff in the Yarlung Zangbo River basin during 1961–2010 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36( 1): 166–172. [杨志刚, 卓玛, 路红亚, 等. 1961–2010 年西藏雅鲁藏布江流域降水量变化特征及其对径流的影响分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36( 1): 166–172.]
- [19] Bo Yue, Li Xiaolan, Wang Chenghai. Seasonal characteristics variations centre of the Tibetan Plateau snow cover [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36( 6): 1353–1362. [伯玥, 李小兰, 王澄海. 青藏高原地区积雪年际变化异常中心的季节变化特征[J]. 冰川冻土, 2014, 36( 6): 1353–1362.]
- [20] Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. Spatial characteristics of changes in temperature and precipitation of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 1996, 26( 4): 354–358. [林振耀, 赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1996, 26( 4): 354–358.]

## Analysis of the spatial-temporal variation characteristics of precipitation over the Tibetan Plateau from 1961 through 2010

LI Xiaoying<sup>1,2</sup>, YAO Zhengyi<sup>1</sup>, XIAO Jianhua<sup>1</sup>, WANG Hongwei<sup>1</sup>

( 1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The precipitation data from 69 meteorological stations over the Tibetan Plateau from 1961 to 2010 are analyzed by using REOF ( Rotated Empirical Orthogonal Function) ,linear trend analysis and cumulative anomaly methods. The spatial-temporal variability characteristics of the precipitation during last five decades are also analyzed ,and the differences in precipitation change over the Tibetan Plateau are revealed as well. The results show that: 1) from 1961 through 2010 , the annual precipitation in the plateau had been increasing with an increasing rate of  $6.7 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ . 2) The seasonal distribution of precipitation is uneven over the plateau. Wet and dry seasons are obvious and precipitation mainly concentrates in rainy season. 3) Spatially ,precipitation decreases from southeast to northwest with altitude increasing and topography changing ,and inter-annual variability has diversified characteristics with diversification in interannual variation. 4) The entire plateau can be divided into ten zones of different features by REOF method. Among them ,there are eight zones have increasing precipitation tendency ,but decreasing precipitation tendency takes place in northeastern Qinghai Province and southeastern Qinghai Province-northern Sichuan Province.

**Key words:** Tibetan Plateau; precipitation; spatial-temporal variation; REOF