

# 近 30 年祁连山南坡降水量变化特征分析

虞敏<sup>1,2</sup>, 曹广超<sup>1</sup>, 曹生奎<sup>1,2</sup>, 张航<sup>1,2</sup>, 袁杰<sup>1,2</sup>

(1. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008; 2. 青海师范大学 地理科学学院, 西宁 810008)

**摘要:** 祁连山南坡地区作为西北干旱区重要的水源涵养区, 其生态地位十分重要, 而降水的变化直接关系到祁连山南坡水源涵养量的变化, 甚至可以改变祁连山南坡的生态环境。因此, 研究祁连山南坡降水量变化特征具有重要的社会和科学意义。利用 1986—2015 年祁连山南坡祁连、野牛沟、托勒和门源 4 个气象台站逐月降水量数据, 通过降水年内分配特征、年际变化特征、汛期降水量特征和降水量季节变化特征 4 个方面, 对祁连山南坡降水量变化特征进行了综合分析。结果表明: 研究区各站近 30 年平均降水量分别为 422.7 mm, 434.3 mm, 312.7 mm 和 524.1 mm, 祁连气象站、野牛沟气象站和托勒气象站均在 1998 年出现降水量极大值, 与全国降水时间分布规律一致, 各站降水量年际变化不大, 变差系数为 0.14~0.18; 研究区降水年内分配极不均匀, 10 月至次年 4 月降水量偏少, 5—9 月降水量较多; 汛期降水量与全年降水量具有较大的一致性和良好的线性相关关系, 相关系数均大于 0.9; 研究区内各站降水量主要集中在夏季, 但变化趋势不同, 其中祁连、野牛沟和托勒气象站降水量为增加趋势, 门源气象站降水量为减少趋势。

**关键词:** 祁连山南坡; 降水量; 变化特征

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)02-0241-08

## Analysis of Precipitation Variation Characteristics in the Southern Slope of Qilianshan Mountains in Recent 30 Years

YU Min<sup>1,2</sup>, CAO Guangchao<sup>1</sup>, CAO Shengkui<sup>1,2</sup>, ZHANG Hang<sup>1,2</sup>, YUAN Jie<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. College of Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

**Abstract:** The southern slope area of Qilianshan Mountains is an important water source conservation area in the arid area of northwest China, and its ecological status is very important. The change of precipitation is directly related to the change of water source conservation in the southern slope of Qilianshan Mountains, and can even change the ecological environment of the southern slope of Qilianshan Mountains. Therefore, it is of great social and scientific significance to study the variation characteristics of precipitation in the southern slope of Qilianshan Mountains. The characteristics of precipitation variation in the southern slope of Qilianshan Mountains was analyzed by using the data of monthly precipitation (1986—2015) of four meteorological stations in Qilian, Yeniugou, Tuole and Menyuan. The results showed that, in recent thirty years, the average annual precipitation of the Qilian, Yeniugou, Tuole and Menyuan meteorological station was 422.7 mm, 434.3 mm, 312.7 mm and 524.1 mm, respectively, the precipitation maximal values of Qilian, Yeniugou and Tuole meteorological stations occurred in 1998, which was consistent with the distribution pattern of precipitation time in China. The precipitation of each station had little change each year, and the coefficient of variation ranged from 0.14 to 0.18; the distribution of precipitation in the study area was extremely uneven during these years, and the rainfall was less from October to the next April, but more from May to September. There were not only significant consistency but also good linear relationship between flood season precipitation and yearly precipitation, and all the correlation coefficients were greater than 0.9. The precipitation in each

收稿日期: 2018-03-16

修回日期: 2018-07-18

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0404304); 国家自然科学基金(41361005); 青海省自然地理与环境过程重点实验室专项项目资助

第一作者: 虞敏(1989—), 男, 江苏南京人, 博士研究生, 研究方向为地表环境过程。E-mail: 447963973@qq.com

通信作者: 曹广超(1971—), 男, 山东苍山人, 教授, 博士生导师, 研究方向为 GIS 应用、地表环境过程。E-mail: caoguangchao@qhnu.edu.cn

station mainly concentrated in summer, but had different variation trends. The precipitation of Qilian, Yeniugou and Tuole station was increasing but the precipitation of Menyuan was decreasing.

**Keywords:** the southern slope of Qilianshan Mountains; precipitation; variation characteristics

祁连山位于青藏高原东北边缘,由多条西北—东南走向的平行山脉和宽谷组成,是西北地区多条内陆河的发源地。祁连山区降水量主要集中在夏季,冬季降水量减少,年降水量由东向西逐渐减少;由于特殊的地形和上空丰富的水汽,山区降水量较大,最大年降水量可达 600 mm,是河西走廊平原地区最大降水量的 3~15 倍<sup>[1-4]</sup>。该地区同时受东亚季风、中高位西风环流和青藏高原的共同影响,生态环境脆弱。自 20 世纪 50 年代起,在全球变化的影响下,祁连山区的气候发生了重要变化,冰川退缩和雪线上升极为明显,引起了河西水资源的危机。在该区域从事气候变化研究具有重要的社会和科学意义<sup>[5]</sup>。

前人对祁连山的降水时间序列变化做了研究,年代际变化,20 世纪 60—70 年代回落,80—90 年代增加,呈现正抛物线型<sup>[6-7]</sup>,年际与季节变化,年际变化整体上为增加的趋势,月变化、日变化,祁连山 5—9 月降水最多,祁连山日降水主要集中于午后与夜间<sup>[8]</sup>。空间变化特征主要为由东南向西北逐渐减少,马学谦等从西北气流、西南气流、西风气流 3 个角度分析了祁连山区降水的大气特征<sup>[9]</sup>。

祁连山南坡是青海省主要的原始森林分布区,也是西北干旱区重要的水源涵养林区,生态地位极为重要<sup>[10]</sup>。降水作为生态系统水分的主要来源,其变化直接关系到祁连山南坡水源涵养量的变化,甚至可以改变祁连山南坡的生态环境。因此,了解祁连山南坡降水特征对于掌握水源涵养量和生态环境的变化就很有必要,故本文研究祁连山南坡近 30 a 的降水变化特征。

## 1 研究区概况

祁连山南坡研究区位于青海省东北部,与甘肃省相毗邻,地理位置处于东经 98°08′13″—102°38′16″,北纬 37°03′17″—39°05′56″。行政区划包含祁连县、门源回族自治县的大部分,天峻县、刚察县和海晏县的部分地区,总面积约为 2.4 万 km<sup>2</sup>,海拔 2 257~5 235 m。该区是典型的高原大陆性气候,气温日较差大,年平均气温为 -5.9℃,四季不明显,年内无绝对无霜期<sup>[11-12]</sup>。年降水量约 400 mm,主要集中在 5—9 月,7 月、8 月最为集中。研究区内地表径流资源丰富,多数河流发源于祁连山冰川。主要河流有大通河、黑河和布哈河等,大通河在

祁连、刚察县边界称为默勒河,在门源回族自治县境内称浩门河,是黄河水系湟水的一级支流。黑河在祁连县境内分为两大支流,即托勒河和黑河,分别流入甘肃省酒泉、张掖北部后汇合<sup>[13-14]</sup>。

## 2 数据来源及研究方法

本研究降水数据主要为青海祁连、野牛沟、托勒和门源 4 个气象站逐月降水量数据,来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>),起始时间为 1986 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 日。为了使得所用的降水数据适合本文研究,所以对降水数据进行一致性检验,对研究区降水数据的平均值序列与原始序列进行相关性检测,相关系数均在 0.798 以上,二者表现出较高的相关性。研究区季节的划分是:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至翌年 2 月为冬季<sup>[15]</sup>;降水主要集中在 5—9 月,其汛期时间也为 5—9 月<sup>[16-17]</sup>。年降水变差系数的大小反映了年降水量逐年变化的相对大小。值大,说明当地年降水量很不稳定;值小,则各年降水总量相差不多<sup>[18]</sup>。年际极值比反映了年降水量两个极端值的倍数关系,显示降水量的不均匀程度,极值比越大,降水量年际变化越不均匀<sup>[19]</sup>。本文通过降水年内分配特征、年际变化特征、汛期降水量特征以及降水量季节变化特征四方面来分析研究区内降水特征。

## 3 结果与分析

### 3.1 降水年内分配特征

表 1 列出了祁连山南坡研究区 4 个气象站 1986—2015 年共 30 a 降水的平均结果。可以看出,研究区降水年内分配不均匀。10 月至次年 4 月降水量偏少,5—9 月降水量偏多。祁连、野牛沟和托勒气象站 12 月降水量为全年最小,降水量分别为 0.6 mm,0.9 mm 和 0.7 mm,仅占全年降水的 0.14%,0.21%和 0.22%;门源气象站 1 月降水量为全年最小,降水量为 1.8 mm,仅占全年降水的 0.34%。祁连、野牛沟和托勒气象站的 7 月降水量达全年最大值,降水量分别为 99.9 mm,110.9 mm 和 89.6 mm,占全年降水的 23.64%,25.54%和 28.64%;门源气象站 8 月降水量达全年最大值,降水量为 107.8 mm,占全年降水量的 20.56%。四站多年平均降水量分别为 422.7 mm,434.3 mm,

312.7 mm 和 524.1 mm。

四站全年降水变化趋势几乎一致,均呈现单峰值(图 1)。1—4 月降水量增加缓慢,5 月降水量开始大幅度增加;祁连、野牛沟和托勒气象站于 7 月达到降水量峰值,门源气象站于 8 月达到降水量峰值;峰值后降水量大幅度减少,10—12 月降水量减少缓慢。

表 1 研究区近 30 年降水年内分配

| 项目        | 祁连站    |       | 野牛沟站   |       | 托勒站    |       | 门源站    |       |
|-----------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|           | 降水量/mm | 百分比/% | 降水量/mm | 百分比/% | 降水量/mm | 百分比/% | 降水量/mm | 百分比/% |
| 1 月       | 1.1    | 0.26  | 1.7    | 0.39  | 1.4    | 0.44  | 1.8    | 0.34  |
| 2 月       | 1.6    | 0.39  | 3.2    | 0.74  | 1.3    | 0.43  | 4.2    | 0.81  |
| 3 月       | 6.9    | 1.63  | 9.2    | 2.12  | 3.2    | 1.03  | 15.7   | 2.99  |
| 4 月       | 15.5   | 3.66  | 15.9   | 3.66  | 8.7    | 2.78  | 32.8   | 6.26  |
| 5 月       | 48.7   | 11.52 | 42.7   | 9.84  | 35.6   | 11.38 | 68.9   | 13.14 |
| 6 月       | 76.1   | 18.00 | 76.3   | 17.56 | 66.1   | 21.13 | 89.2   | 17.01 |
| 7 月       | 99.9   | 23.64 | 110.9  | 25.54 | 89.6   | 28.64 | 92.6   | 17.67 |
| 8 月       | 92.9   | 21.97 | 97.9   | 22.54 | 65.2   | 20.84 | 107.8  | 20.56 |
| 9 月       | 61.7   | 14.60 | 55.9   | 12.87 | 31.5   | 10.08 | 78.8   | 15.03 |
| 10 月      | 15.7   | 3.73  | 16.8   | 3.87  | 8.3    | 2.64  | 26     | 4.95  |
| 11 月      | 1.9    | 0.46  | 2.9    | 0.66  | 1.2    | 0.39  | 4.5    | 0.87  |
| 12 月      | 0.6    | 0.14  | 0.9    | 0.21  | 0.7    | 0.22  | 1.9    | 0.36  |
| 汛期降水总量/mm | 379.3  | 89.73 | 383.7  | 88.35 | 287.9  | 92.08 | 437.2  | 83.42 |
| 年降水总量/mm  | 422.7  |       | 434.3  |       | 312.7  |       | 524.1  |       |

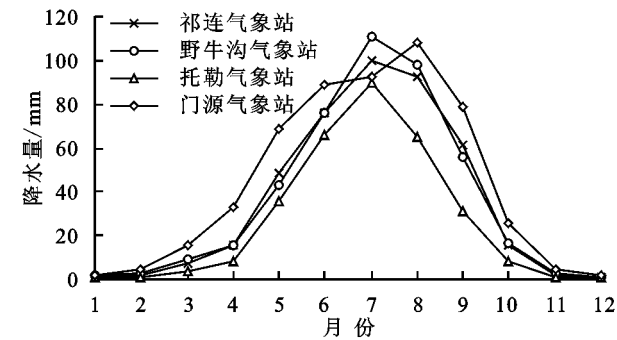


图 1 研究区近 30 年降水年内分配

3.2 降水年际变化特征

从表 2 可知,1986—2015 年年降水量中,祁连、野牛沟和托勒气象站均在 1998 年出现最大降水量,分别为 573.1 mm,602.3 mm 和 404.4 mm;门源气象站于 1989 年出现最大降水量,为 730.7 mm。祁连气象站于 2010 年出现最小降水量,为 332.9 mm;野牛沟气象站于 1991 年出现最小降水量,为 274.9 mm;托勒气象站于 1997 年出现最小降水量,为 180.7 mm;门源气象站于 1999 年出现最小降水量,为 404 mm。祁连、野牛沟、托勒和门源气象站降水极值比分别为 1.72,2.19,2.24,1.81;极值比较小,均在 2 左右,说明降水量年际变化较为均匀。四站降水量的变差系数均较小,分别为 0.15,0.18,0.18,0.14,因此各年的降水量相差不大。

3.3 汛期降水量特征

四站 5—9 月降水量分别为 379.3 mm,383.7 mm,

287.9 mm 和 437.2 mm,占全年降水量的 83.42%~92.08%。汛期降水量与全年降水量具有良好的线性相关关系(图 2),相关系数值均在 0.9 以上,分别为 0.94,0.95,0.96,0.91。可见,祁连山南坡四站汛期降水量的大小决定了全年降水量的大小。汛期祁连气象站最大降水量出现在 1998 年 7 月,为 162.4 mm;汛期最小降水量出现在 1995 年 5 月,为 9.2 mm。汛期野牛沟气象站最大降水量出现在 2013 年 7 月,为 168.4 mm;汛期最小降水量出现在 1997 年 9 月,为 6.6 mm。汛期托勒气象站最大降水量出现在 2008 年 7 月,为 152.4 mm;汛期最小降水量出现在 1986 年 9 月,为 0.5 mm。门源气象站汛期最大降水量出现在 1989 年 7 月,为 201.2 mm;汛期最小降水量出现在 1991 年 9 月,为 15.2 mm。

表 2 1986—2015 年降水量年际变化特征值

| 站名     | 最大年值   |      | 最小年值   |      | 极值比  | 变差系数 |
|--------|--------|------|--------|------|------|------|
|        | 降水量/mm | 出现年份 | 降水量/mm | 出现年份 |      |      |
| 祁连气象站  | 573.1  | 1998 | 332.9  | 2010 | 1.72 | 0.15 |
| 野牛沟气象站 | 602.3  | 1998 | 274.9  | 1991 | 2.19 | 0.18 |
| 托勒气象站  | 404.4  | 1998 | 180.7  | 1997 | 2.24 | 0.18 |
| 门源气象站  | 730.7  | 1989 | 404.0  | 1999 | 1.81 | 0.14 |

由图 3 可以看出,祁连山南坡研究区四站汛期降水量与全年降水量在趋势和数值上均呈现出较大的一致性。祁连、野牛沟和托勒气象站均在 1998 年出

现峰值。祁连气象站 1998 年年降水量为 573.1 mm,其汛期降水为 507.6 mm;野牛沟气象站 1998 年年降水量为 602.3 mm,其汛期降水量为 530.3 mm;托勒气象站 1998 年年降水量为 404.4 mm,其

汛期降水量为 375 mm。门源气象站于 1989 年出现峰值,降水量为 730.7 mm,其汛期降水量为 583.1 mm。这一结果说明研究区内降水主要集中在 5—9 月,为全年汛期。

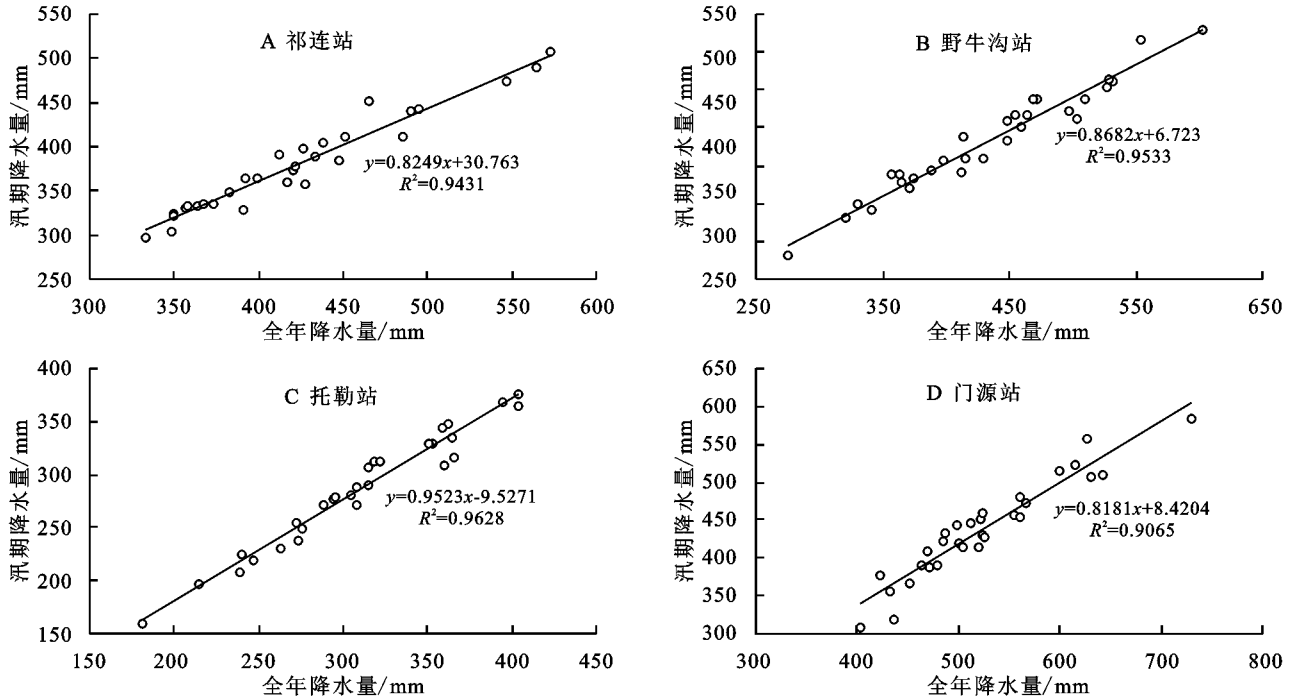


图 2 全年降水量与汛期降水量相关关系

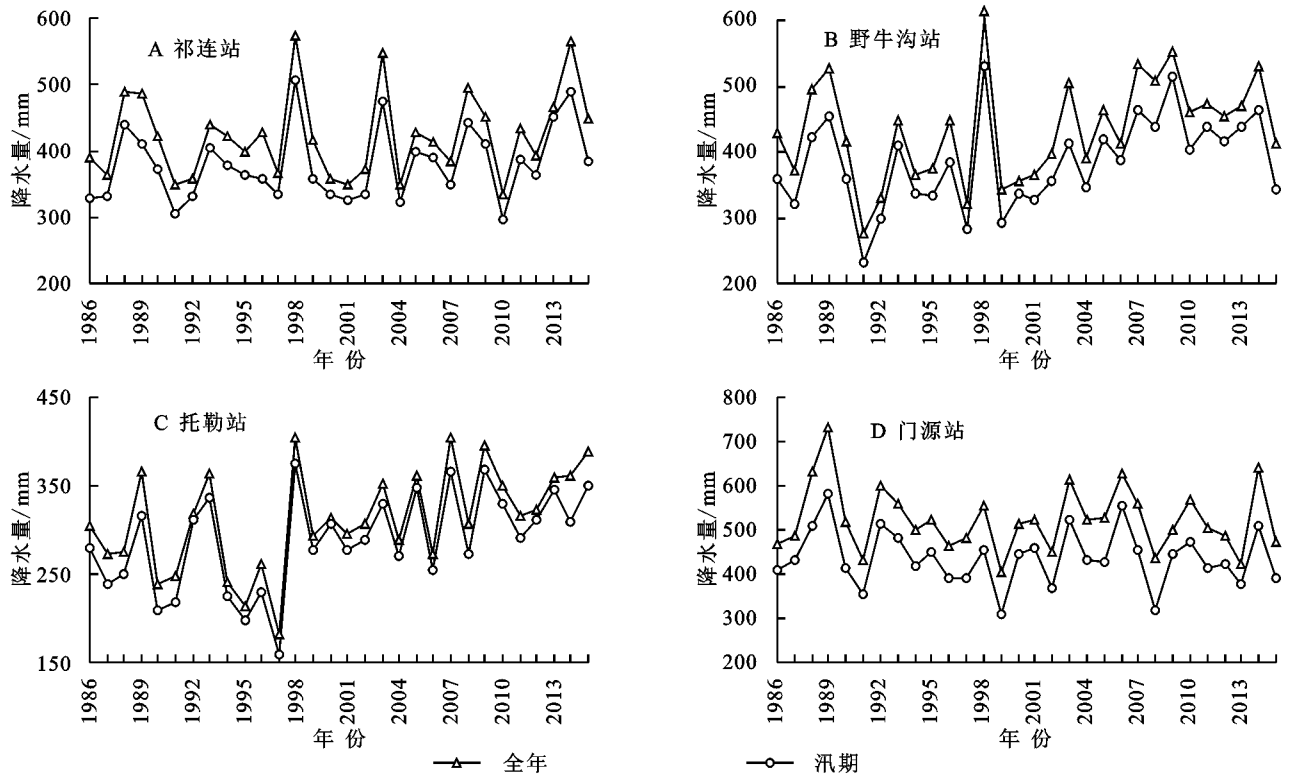


图 3 1986—2015 年祁连山南坡全年及汛期降水量

### 3.4 降水量季节变化特征

图 4 为祁连气象站 1986—2015 年降水量季节变化。由线性趋势可以看出,近 30 a 来,祁连气象站

春、秋两季降水量呈增加趋势,增加速率分别为 3.9 mm/10 a 和 16.4 mm/10 a;夏、冬两季降水量呈现减

少趋势,减少速率分别为 5.5 mm/10 a 和 0.7 mm/10 a。由 5 a 滑动平均结果来看,春、夏、秋三季降水量均有 4 次波动:春季,1986—1995 年、2000—2006 年呈减少趋势,1995—2000 年、2006—2015 年呈增加趋势;夏季,1986—1993 年、1996—2002 年呈减少趋

势,1993—1996 年、2002—2015 年呈增加趋势;秋季,1986—1992 年、2007—2011 年呈减少趋势,1992—2007 年、2011—2015 年呈增加趋势;冬季,1986—1991 年、1996—1999 年、2010—2015 年呈减少趋势;1991—1996 年、1999—2010 年呈增加趋势。

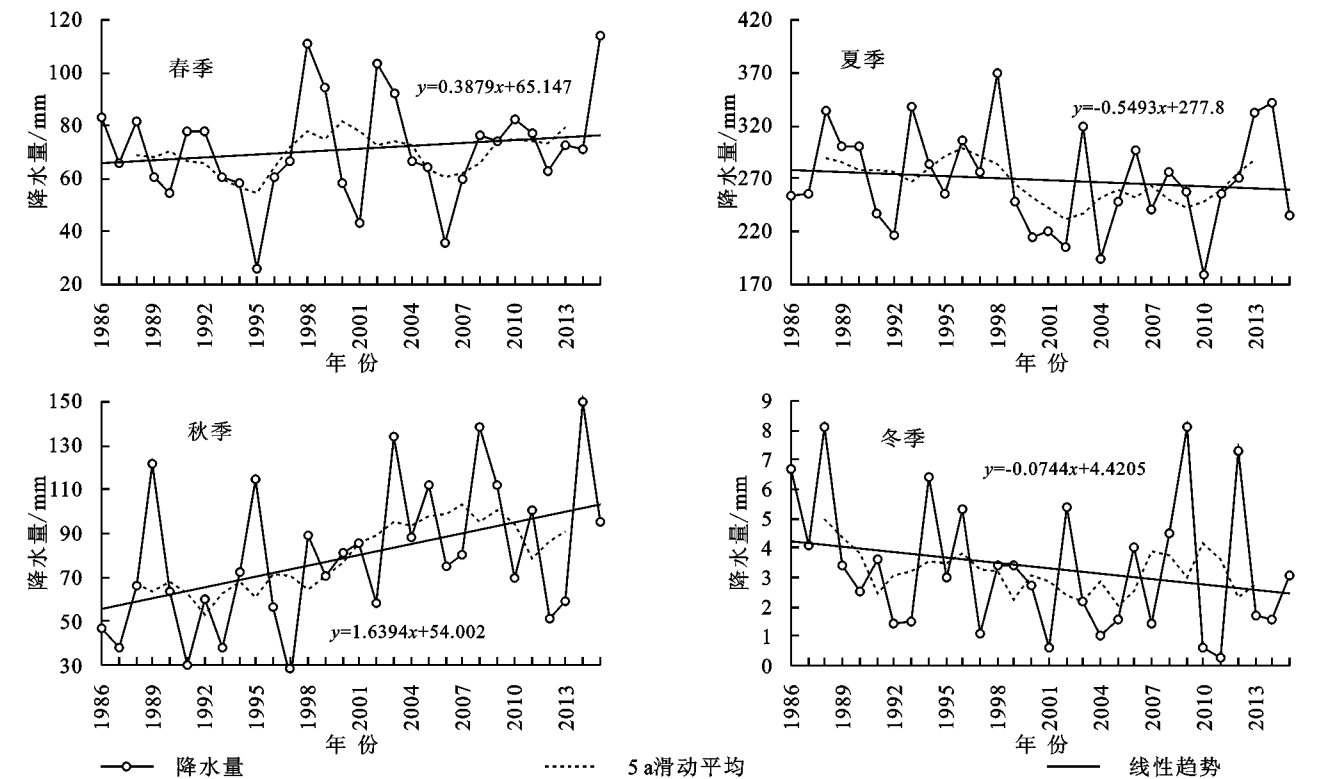


图 4 祁连气象站降水量季节变化

从线性趋势看,野牛沟气象站春、夏、秋、冬四季降水量均呈现增加趋势(图 5),增加速率分别为 6.8 mm/10 a,8.7 mm/10 a,15.0 mm/10 a 和 0.1 mm/10 a;其中,春、夏、秋三季增加较为明显。5 a 滑动平均结果显示,春季降水量,1986—1993 年、2009—2013 年呈减少趋势;1993—2000 年、2006—2009 年呈增加趋势;2000—2001 年小幅度减少,2001—2006 年无较大波动。夏季降水量,1986—1993 年、1996—2002 年呈减少趋势;1993—1996 年、2002—2015 年呈增加趋势。秋季降水量整体来看有 2 次较大波动,1986—2007 年呈增加趋势;1997—2015 年为减少趋势。冬季降水量有 3 次较大波动,1986—1992 年、2010—2015 年呈减少趋势;1992—2010 年呈增加趋势。

托勒气象站春、夏、秋三季降水量呈现增加趋势(图 6),增加速率分别为 1.7 mm/10 a,19.0 mm/10 a 和 11.0 mm/10 a,夏季和秋季降水量增加明显;冬季降水量呈现减少趋势,速率为 0.4 mm/10 a。5 a 滑动平均结果显示,春季降水量,1986—1995 年、2000—2006 年呈减少趋势;1995—2000 年、2006—2015 年

呈增加趋势。夏季降水量,1986—1989 年、1991—1996 年呈减少趋势;1989—1991 年、1995—2015 年呈增加趋势。秋季降水量,1986—1992 年、2009—2015 年呈减少趋势;1992—2009 年呈增加趋势。冬季降水量,1986—1999 年、2008—2015 年呈减少趋势;1999—2008 年呈增加趋势。

门源气象站春、夏季降水量呈减少趋势(图 7),减少速率分别为 6.4 mm/10 a 和 16.1 mm/10 a;秋、冬季降水量呈增加趋势,增加速率分别为 11.6 mm/10 a 和 0.3 mm/10 a。5 a 滑动平均结果显示,春季降水量,1986—1990 年、1999—2004 年呈增加趋势;1990—1999 年、2004—2015 年呈减少趋势。夏季降水量,1986—2000 年、2005—2015 年呈减少趋势;2000—2005 年、2010—2015 年呈增加趋势。秋季降水量,1986—1992 年、1994—1998 年、2006—2011 年呈减少趋势;1992—1994 年、1998—2006 年、2011—2015 年呈增加趋势。冬季降水量,1986—1993 年、1996—2008 年呈增加趋势,1993—1996 年、2008—2015 年呈减少趋势。

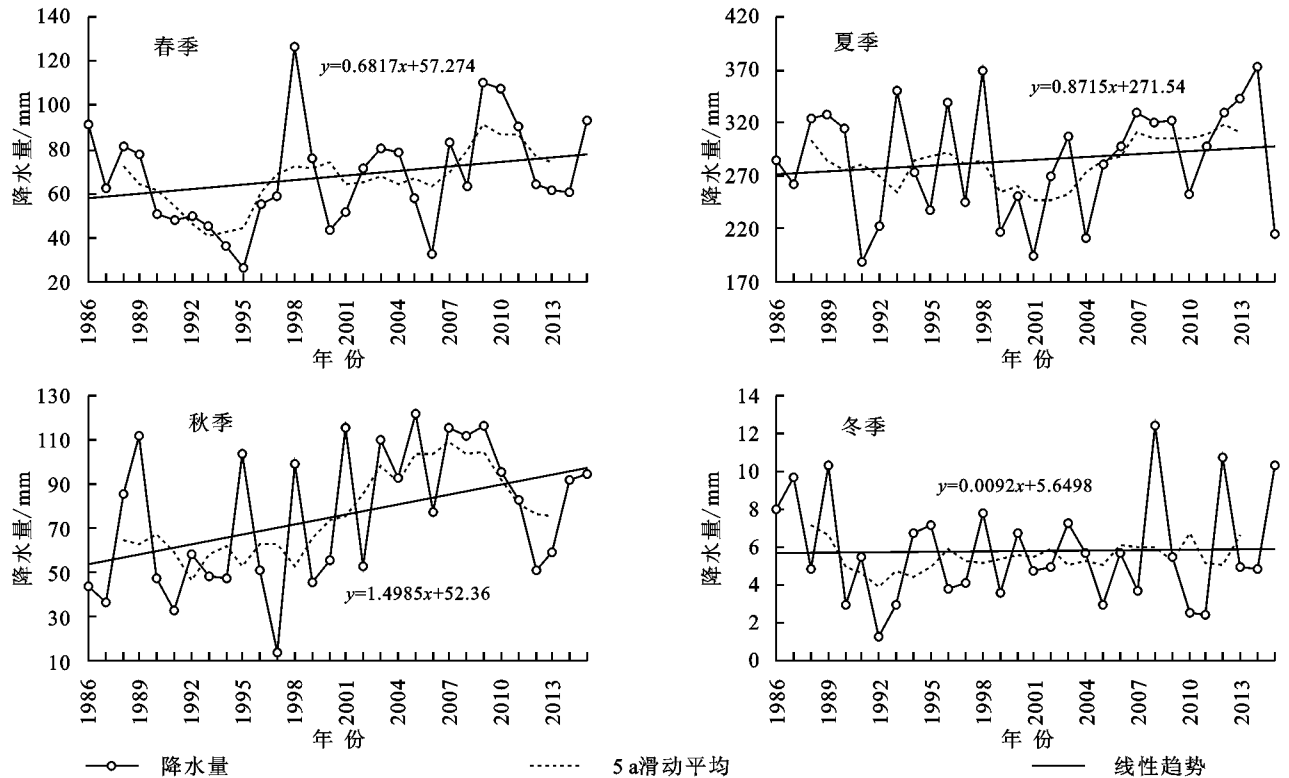


图 5 野牛沟气象站降水量季节变化

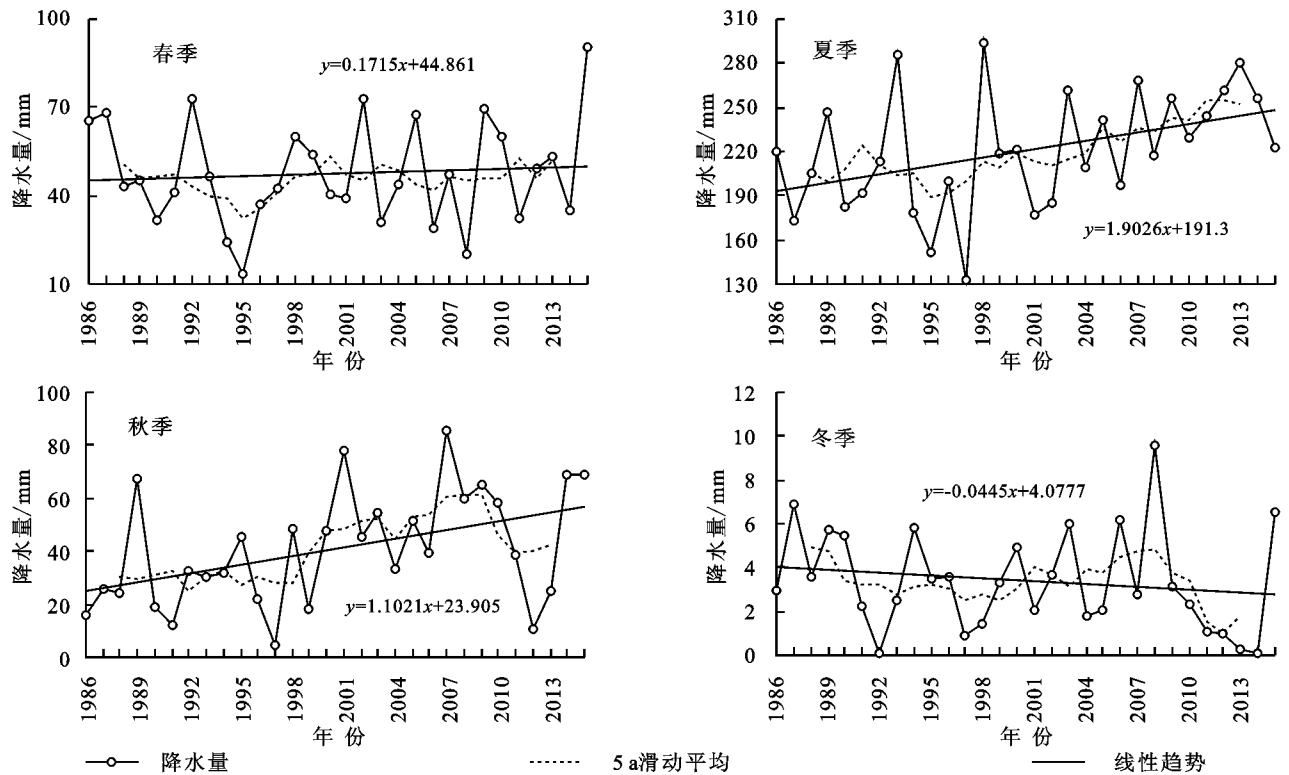


图 6 托勒气象站降水量季节变化

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

全球预测模型预测,在 21 世纪,全球平均降水量会增加 7%<sup>[20-21]</sup>。祁连山区近 30 a 降水量总体呈波

动变化,没有出现大的突变特征,降水量有逐渐增加的趋势<sup>[8]</sup>。本文对祁连山南坡研究区内降水量特征进行分析后发现,研究区内 4 个气象站降水量变化趋势不同,其中,祁连、野牛沟和托勒气象站的降水量均呈现增加的趋势,其线性公式分别为  $y=1.3243x+$

402.19,  $y=3.0592x+386.84$  和  $y=3.127x+264.19$ , 从中可以看出野牛沟、托勒气象站的增加速率相差不大, 分别为 30.6 mm/10 a 和 31.3 mm/10 a; 祁连气象站增加速率为 13.1 mm/10 a, 相对较小。而门源气象站降水量则呈减少趋势, 其线性公式为  $y=-1.0459x+540.32$ , 减少速率为 10.5 mm/10 a, 这一结果与杨珍的研究结果一致<sup>[22]</sup>。

研究区内 4 个气象站中, 门源气象站全年降水量最大, 为 524.1 mm。这是因为门源处于东南季风影响区的边缘, 因而降水量相对较多; 祁连、野牛沟和托勒气象站主要受高原季风和西风槽的影响, 导致全年

降水量较门源气象站少<sup>[23]</sup>。研究区不仅受东南季风输送来的暖湿气流影响, 而且还受西风环流带来的大西洋冷湿气流的影响, 在盛夏期间一定程度上还受到翻越青藏高原的印度洋暖湿气团的影响, 水汽来源较为复杂, 加上山区夏季对流性降水的影响, 使得祁连山南坡降水年内分配存在很大差异<sup>[24-25]</sup>, 但年际差异不大。年内 11 月至次年 2 月降水量均在 10 mm 以下; 6 月、7 月和 8 月降水量偏大, 降水量几乎在 50 mm 以上, 最大降水量可达 130 mm。祁连、野牛沟、托勒和门源气象站降水量变化趋势虽然不同, 但四站秋季降水量均呈增加趋势。

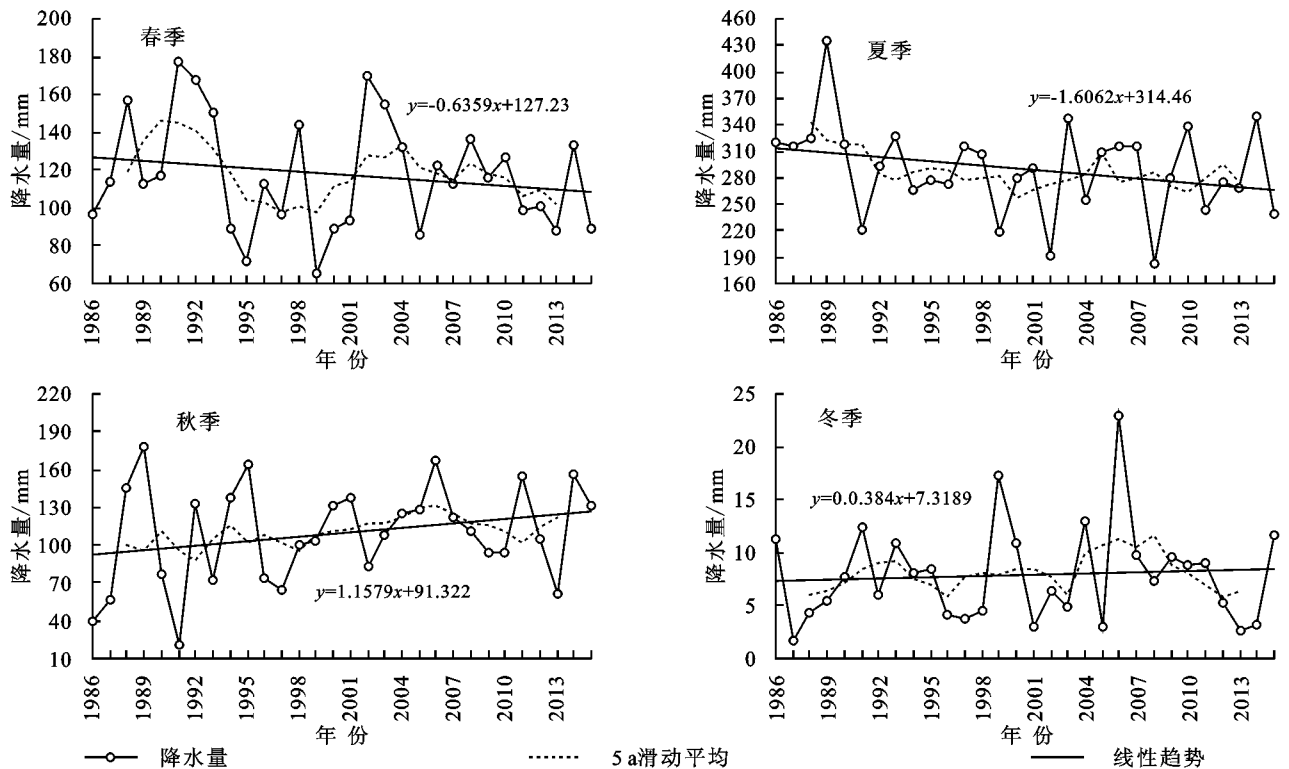


图 7 门源气象站降水量季节变化

## 4.2 结论

(1) 研究区内, 降水量年内分配极不均匀; 11 月至次年 2 月降水量 0~10 mm, 6—8 月降水量在 50 mm 以上, 最大降水量可达 130 mm。四站 1986—2015 年多年平均降水量分别为 422.7 mm, 434.3 mm, 312.7 mm 和 524.1 mm, 变差系数分别为 0.15, 0.18, 0.18, 0.14, 各年降水量围绕平均值上下波动, 年际变化不大。四站降水年内分配均呈单峰值, 7 月或 8 月为全年降水峰值期。

(2) 汛期(5—9 月)为全年降水集中期。四站汛期降水量分别为 379.3 mm, 383.7 mm, 287.9 mm 和 437.2 mm, 占全年降水量的 83.42%~92.08%。汛期降水量与全年降水量呈现出较大的一致性, 并有

良好的线性相关关系, 相关系数均在 0.9 以上。

(3) 研究区内, 降水量主要集中在夏季, 降水量最高可达 300 mm; 春、秋两季降水量相差不大, 降水量在 80 mm 左右; 冬季降水量最小(<10 mm)。虽然四站降水量变化趋势不同, 但秋季降水量变化趋势相同, 均为增加趋势。

(4) 降水年内分配不均匀, 5—9 月降水量偏多。主要因为 5 月之后气温逐渐升高, 地表接受的热量增多, 上升气流加强, 加上地形的影响, 所以局地大气受热膨胀上升, 带来降水。之后受到东南季风影响逐渐加强, 受到地形的抬升作用, 地形雨形成, 使得 5—9 月降水偏多。祁连、野牛沟和托勒气象站均在 1998 年出现最大降水量, 这与全国降水的时间分布规律一致。

## 参考文献:

- [1] 张文杰,程维明,李宝林,等. 气候变化下的祁连山地区近40年多年冻土分布变化模拟[J]. 地理研究, 2014, 33(7): 1275-1284.
- [2] 张良,张强,冯建英,等. 祁连山地区大气水循环研究(I):空中水汽输送年际变化分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1079-1091.
- [3] 孙美平,刘时银,姚晓军,等. 近50年来祁连山冰川变化:基于中国第一、二次冰川编目数据[J]. 地理学报, 2015, 70(9): 1402-1414.
- [4] 李岩瑛. 祁连山地区降水气候特征及其成因分析研究[D]. 兰州:兰州大学, 2008.
- [5] 田沁花,周秀骥,勾晓华,等. 祁连山中部近500年来降水重建序列分析[J]. 中国科学:地球科学, 2012, 42(4): 536-544.
- [6] 王海军,张勃,靳晓华,等. 基于GIS的祁连山区气温和降水的时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1196-1202.
- [7] 张耀宗,张勃,刘艳艳,等. 近半个世纪以来祁连山区气温与降水变化的时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(4): 127-132.
- [8] 陈志昆,张书余,雒佳丽,等. 祁连山区降水气候特征分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 847-853.
- [9] 马学谦,孙安平. 祁连山区降水的大气特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1392-1398.
- [10] 汤萃文,张海风,陈银萍,等. 祁连山南坡植被景观格局及其破碎化[J]. 生态学杂志, 2001, 28(11): 2305-2310.
- [11] 曹立国. 民勤绿洲天然胡杨林生长季土壤水盐动态研究[D]. 兰州:西北师范大学, 2012.
- [12] 李英年,赵新全,曹广民,等. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 558-567.
- [13] 张潇戈. 祁连山南坡土壤水分空间分布特征研究[D]. 西宁:青海师范大学, 2014.
- [14] 管珍. 三河源区土地利用/土地覆被变化分析及其驱动机制研究[D]. 西宁:青海师范大学, 2011.
- [15] 贾文雄. 近50年来祁连山及河西走廊极端气温的季节变化特征[J]. 地理科学, 2012, 32(11): 1377-1383.
- [16] 魏锋,王劲松,李宝梓,等. 祁连山近45 a 5—9月日降水气候特征[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 285-290.
- [17] 马晓虹,沈伟,祁有福,等. 祁连山南麓汛期降水特征分析[J]. 青海科技, 2007(4): 23-26.
- [18] 马淑红,张学文. 新疆年降水变差系数的若干规律性[J]. 气象学报, 1991, 49(1): 39-45.
- [19] 王薇,陈伏龙,何新林. 玛纳斯河肯斯瓦特以上流域近55年降水量变化特性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(5): 163-168.
- [20] 岳祥飞,张铜会,赵学勇,等. 科尔沁沙地降雨特征分析:以奈曼旗为例[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 118-123.
- [21] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers [R]. New York: USA: Cambridge University Press, 2007.
- [22] 杨珍. 青海省门源盆地水文特征与降雨型滑坡稳定性分析[D]. 西安:长安大学, 2014.
- [23] 张小明,魏锋,陆燕. 祁连山近45 a年降水异常的气候特征[J]. 干旱气象, 2006, 24(3): 35-41.
- [24] 张存杰,郭妮. 祁连山区近40年气候变化特征[J]. 气象, 2002, 28(12): 33-39.
- [25] 丁永建,叶佰生,周文娟. 黑河流域过去40 a来降水时空分布特征[J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 42-48.