

# Temporal and Spatial Characteristics of Precipitation in the Tibetan Plateau Based on Different Data

Zhenlei Chen

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: chenzhenleicuit@outlook.com

Received: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Nov. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 14<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, using the data of APHRDITE, CMAP, CRU and station precipitation from 1979 to 2007, the wavelet analysis method was used to analyze the variation characteristics of precipitation in Qinghai-Tibet Plateau, and the influence of four different data on plateau precipitation was further studied. The results show that APHRDITE, CRU and station precipitation data are similar in precipitation wavelet analysis, but there is a big difference between CMAP data and other data. In terms of spatial distribution characteristics, APHRDITE, CRU and station precipitation data are more consistent with water-reducing, changing trends and inter-decadal changes, while CMAP data is significantly different from other data. In summary, CMAP data shows differences with the other three data in many aspects of analysis. Therefore, the use of CMAP data to analyze the precipitation on the Tibetan Plateau should be corrected.

## Keywords

Precipitation, Tibetan Plateau, Wavelet Analysis

---

# 基于不同资料的青藏高原降水量变化特征分析

陈震雷

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都  
Email: chenzhenleicuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月23日; 录用日期: 2019年11月7日; 发布日期: 2019年11月14日

---

## 摘要

本文利用1979~2007年APHRDITE、CMAP、CRU和台站降水数据, 采用了小波分析方法, 对我国青藏

高原降水量变化特征进行了分析, 并进一步研究了使用四种不同资料对高原降水量的影响。研究结果表明: 在降水时间变化特征上, APHRODITE、CRU和台站降水数据对降水小波分析中表现得较为相似, 而CMAP数据与其他数据存在较大的差异。空间分布特征上, APHRODITE、CRU和台站降水数据对降水分布、变化趋势以及年代间变化表现得较为一致, 而CMAP数据与其余数据表现存在明显差异。综上可知, CMAP数据在分析中于较多方面都表现出了与其余三种数据的差异, 因此, 使用CMAP数据对青藏高原降水进行分析时应注意进行修正。

## 关键词

降水, 青藏高原, 小波分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

青藏高原是目前地球上最高的高原, 有“世界屋脊”以及“第三极”之称。平均海拔4 km以上。东西走向的巨大山系自北向南排列在高原上, 地貌结构既复杂又独特。高原动力作用与热力作用的存在, 使其形成了独特的高原气候[1]。在全球气候变暖的大背景之下, 青藏高原是对气候变化较敏感的地区之一, 对气候变化的响应甚至有一定的超前性[2]。青藏高原也是我国长江、黄河这两条重要河流的发源地, 其降水量的多少决定着长江和黄河上游水资源的多少, 不仅对中国东部、西北干旱区、亚洲的气候和植被格局有着重要影响, 甚至还影响着全球的气候变化[3]。

青藏高原气象观测数据还存在各种各样的问题。例如, 到目前为止, 因高原恶劣的自然环境和复杂的地形等其他不利因素对地基观测的限制, 对青藏高原地区的降水类型, 降水结构, 降水量分布等的认识并不十分深刻[4] [5] [6]。又如, 青藏高原气象观测台站多集中于高原的东部和南部, 而在高原的西部和北部气象台站则比较稀少, 气象资料稀缺。此外, 已有的气象观测台多设立于海拔较低的便利可达区域, 故会在很大程度上受到人类活动的影响, 自身数据存在误差[7] [8] [9]。尤其是几乎没有测站的青藏高原西北部地区, 由于稀少的资料对该地区气候变化的研究产生了较大影响[10] [11] [12]。因此, 需要借助格点资料开展相关研究。

本文基于多种格点降水量资料及其青藏高原地区台站观测降水量资料, 对格点降水量资料在青藏高原地区的适应性以及降水的变化特征进行分析, 以加深对高原气候变化的认识, 从而为应对气候变化, 合理利用气候资源等提供科技支撑。

## 2. 资料和方法

采用四种资料对青藏高原降水量进行对比分析, 包括:

1) 面向水资源评估的亚洲高解析度观测整合降水数据(Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources, APHRODITE), 时间范围为1951~2007年。喜马拉雅山、南亚地区、东南亚和中东的山岳等地区的雨量观测数据多利用此数据集做成。此项计划于2006年由日本气象机构科研基金会和其他几个成员国开展, 数据集由各地气象局、水文组织、全球历史气候网络、二氧化碳信息分析中心、美国国家大气研究中心、美国国家气候数据中心以及全球气象观测

系统的数据组成。这种产品对气候变化的诊断分析、亚洲的水资源评估、统计数据和预报、数值模拟的验证和卫星降水量估计等有重要作用[13]。

2) 东安格利亚大学的气候研究中心(Climatic Research Unit, CRU) 1901~2009年空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的降水格点资料。该数据包括了云量、气温日较差、潜在蒸发量、日平均气温、月平均每日最低/最高温度及1901~2009年的水汽压。同时也包括了用站点资料生成的格点资料[14]。

3) 美国气候预测中心5天旬的合并分析降水数据(CPC Merged Analysis of Precipitation Pentad data, CMAP), 该数据集空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。该数据是综合分析实际测量值与卫星衍生产的降水估计值得到的。用美国国家环境预报中心/美国国家大气研究中心再分析资料做出降水量预报, 再用这个预报值来填补全球范围内空白而得到的增强版本[15]。

4) 台站资料采用了来源于各省、市、自治区气候资料处理部门逐月上报的《地面气象记录月报表》。数据集为中国752个基本、基准地面气象观测站及自动站1951以来日值数据集, 包括日平均气压、最高气压、最低气压、平均气温、最高气温、最低气温、平均相对湿度、最小相对湿度、平均风速、最大风速及风向、极大风速及风向、日照时数、降水量。数据的时间范围为1951年1月1日~至今, 它是以日为单位的站点资料, 数据的最西经度为 $73.66^\circ\text{E}$ , 最东经度为 $135.08^\circ\text{E}$ , 最北纬度为 $53.52^\circ\text{N}$ , 最南纬度为 $4.00^\circ\text{N}$ 。中国地面月报信息化文件经过较严格的质量控制和检查。

## 2.1. 方法

### 2.1.1. 线性拟合和气候趋势系数

线性拟合是对于两个变量X和Y来说, 一旦当X值确定后, Y值按照一定的规律唯一确定, 即形成一种精确的关系。它用来描述不同变量之间的关系, 找出相应函数的比例系数, 建立经验公式或者数学模型[11]。

气象要素的趋势变化用一次线性方程一般表示为:

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

为研究某气象要素在气候变化中上升或下降的定量程度, 可以计算了气候趋势系数 $r_{xt}$ 。它定义为 $n$ 个时刻(年)的气象要素序列与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (2)$$

$n$ 为年数,  $x_i$ 是第 $i$ 年的要素值,  $\bar{x}$ 为其样本均值。  $\bar{t} = (n+1)/2$ 。该值为正时表示该要素在所选定的 $n$ 年内有线性上升的趋势, 为负则有下降的趋势。并且通常使用 $t$ 检验来检验降水趋势的显著水平, 通过相关系数 $r$ 来求 $t$ 的值,

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3)$$

上式服从自由 $\gamma = n-2$ 度的 $t$ 分布, 通过查特定的显著水平 $\alpha$ 的 $t$ 分布表, 如果 $t > t_\alpha$ , 就表示这两个序列存在显著的相关性。

### 2.1.2. M-K 检验

全名 Mann-Kendall test, M-K 突变检验是一种非参数统计检验方法, 可以检测出某一气象要素长期变

化趋势以及突变的情况。对于具有  $n$  个样本的时间序列，有

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}} (k=1,2,3,\dots,n) \quad (4)$$

$UF_k$  为标准形式的正态分布，是按时间序列  $x_1, x_2, \dots, x_n$  计算出的统计量序列，给定特定的显著性水平  $\alpha$ ，若  $|UF_1| > U_\alpha$ ，则表明序列的趋势变化比较明显。按时间序列  $x$  的逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ ，再次重复上述过程，会得到  $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots, 1)$ ， $UB_1 = 0$ 。在同一张表中画出  $UB_k$  和  $UF_k$  两条曲线，若  $UB_k$  或  $UF_k$  值大于 0，表明序列呈上升趋势，小于 0 则表明呈下降趋势。若两条曲线出现交点，则交点对应的时刻就可能是发生突变的时间结点，当交点位于临界区间之内，则交点对应的时刻就是突变的发生时间[9]。

### 2.1.3. 小波分析

小波分析变换不仅可以得到各个频率随时间的变化及不同频率间的结构层次关系，它还具有数学意义上的严格的突变点诊断能力而显示出变化的时间位置。

具有有限能量的函数  $f(x)$  的小波变换定义为

$$W_f(a, b) = \int_R f(t) \bar{\phi}_{ab}(t) dt, a > 0, b \in R \quad (5)$$

其中， $\phi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ，而函数已成为小波母函数，它满足容许条件

$$\int_R |\hat{\phi}(\omega)|^2 / |\omega| d\omega < \infty \quad (6)$$

其中， $\hat{\phi}(\omega)$  表示  $\phi(t)$  的傅立叶变换。参数  $a$  一般叫做尺度参量，参数  $b$  叫做平移参数。将  $b$  的取值范围内所有小波系数的平方积分，就可得到小波方差，即

$$W_p(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_p(\alpha, b)|^2 db \quad (7)$$

小波方差图反应了能量随尺度  $a$  的分布，可以确定一个时间序列中各尺度扰动的相对强度，进而确定一个时间序列中存在的主要周期[8]。

对于青藏高原地区，选取小波母函数形式为：

$$\phi(t) = (1-t^2) \exp(-t^2/2) \quad (8)$$

## 3. 时间变化特征分析

### 3.1. 年内变化

图 1 为以 4 种不同数据降水量年变化的曲线图，实线为 APHRO 降水数据，长虚线为 CMAP 降水数据，短虚线为 CRU 的降水数据，段点线为台站(STA)降水数据，每个月的降水数据都是选取 29 年的降水量平均值。从图中可以看出，1~7 月份，降水量呈上升趋势，7~11 月降水量呈下降趋势，但值得注意的是 11~12 月，除 CMAP 数据呈上升趋势外，其余三种数据都没有明显变化。此外，5~9 月的降水变化比较剧烈，在全年之中是一个明显的波峰，降水量均在 20 mm/mon 以上，且峰值都在 7 月份。因此，将该时间段作为青藏高原地区降水的雨季进行具有一定实际意义。

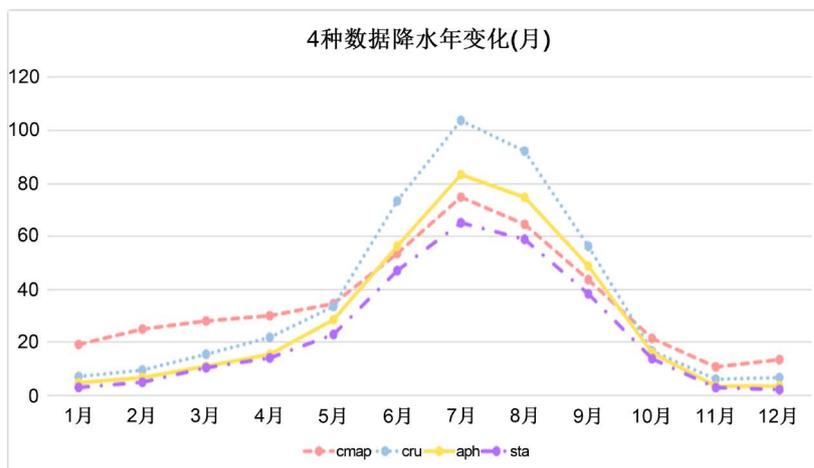


Figure 1. Time series of climate mean monthly precipitation of four datasets

图 1. 气候平均的逐月降水量年内曲线

进一步对四种数据进行对比可以发现，对于非雨季，四种降水量数据的大小排序为 CMAP > CRU > APHRO > STA，且其量级较为接近，尤其是其中 APHRO 与 STA 降水量数值极为接近。但进入雨季，CRU 降水的增加幅度明显高于其它三种数据，同时 APHRO 也明显高于台站数据增幅。总体看来，四种数据降水量大小排序变为 CRU > APHRO > CMAP > STA，并且 CRU 的降水量要明显高于其它三种数据。

图 2 给出了气候平均的四季降水量曲线。由图可见，春季降水量与秋季降水量大致相同，但是春季降水略大于秋季，冬季是四个季节中降水量最少的季节，夏季降水则为四季中降水最多的季节，基本都在 150 mm 以上。对四种数据进行对比发现，各季节降水量大小均为 CRU > APHRO > STA。此外，CMAP 数据与其他数据相比，春季、冬季为最多，其中冬季比其他三种数据多很多，夏季 CMAP 的降水量少于 APHRO 多于台站数据，排在第三位，秋季的则少于 CRU 多于 APHRO 数据，排在第二位。

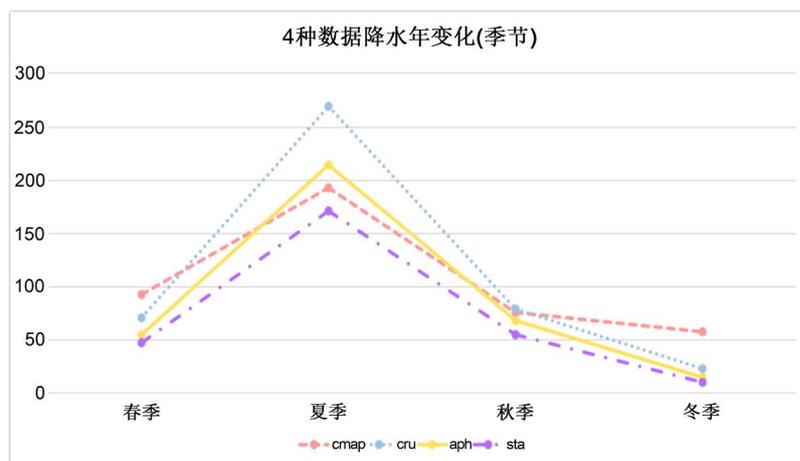


Figure 2. Climate mean seasonal precipitation of four datasets

图 2. 气候平均的季节降水量

## 3.2. 年际变化

### 3.2.1. 年际变化特征

进一步对雨季(5~9 月)降水量的年际变化进行分析(图略)。根据四种资料计算的青藏高原雨季降水量

在整体上基本相同，但仍然存在三个主要差异：CMAP 数据在 1997 年存在异常偏多现象；此外，台站数据和 CMAP 数据分别在 1999 年和 2005 年出现异常偏多情况；最后，CMAP 资料的结果在 1979~1981 年以及 2004~2007 年两段时期能整体偏多，表明在这段时间内存在一定误差，尤其是使用 1979~1981 年数据时，需要对数据进行适当订正以减少误差。

### 3.2.2. 小波分析

图 3 为四种数据降水量变化的小波分析结果，图中的虚线代表的是负值，实线代表的是零和正值，并用红色对正区域填色，用蓝色对负区域填色，图上半部分对应比较长的时间尺度，下半部分对应短的时间尺度。比较这四种数据的小波分析结果可以发现，APHRO、CRU 和台站数据都具有相同的约为 10a 第一主周期和 4a 的第二主周期。时间较短的 4a 的时间尺度上，只有 APHRO 数据比较明显，时间较长的 10 年 a 左右的时间尺度上，三种数据都有极其相同的振荡形式，青藏高原的降水经历了多→少→多→少→多→少的循环交替；突变的时间也较为一致，为 1980 年左右、1990 年代及 2003 年附近，振荡幅度 CRU > STA > APHRO。CMAP 数据在较短的时间尺度上与其他三种都比较相似，但是在较长时间的尺度上则与其他三种完全不同甚至出现反差，其他三种数据都是六个阶段的气候演变，只有 CMAP 数据为七个阶段的气候演变。

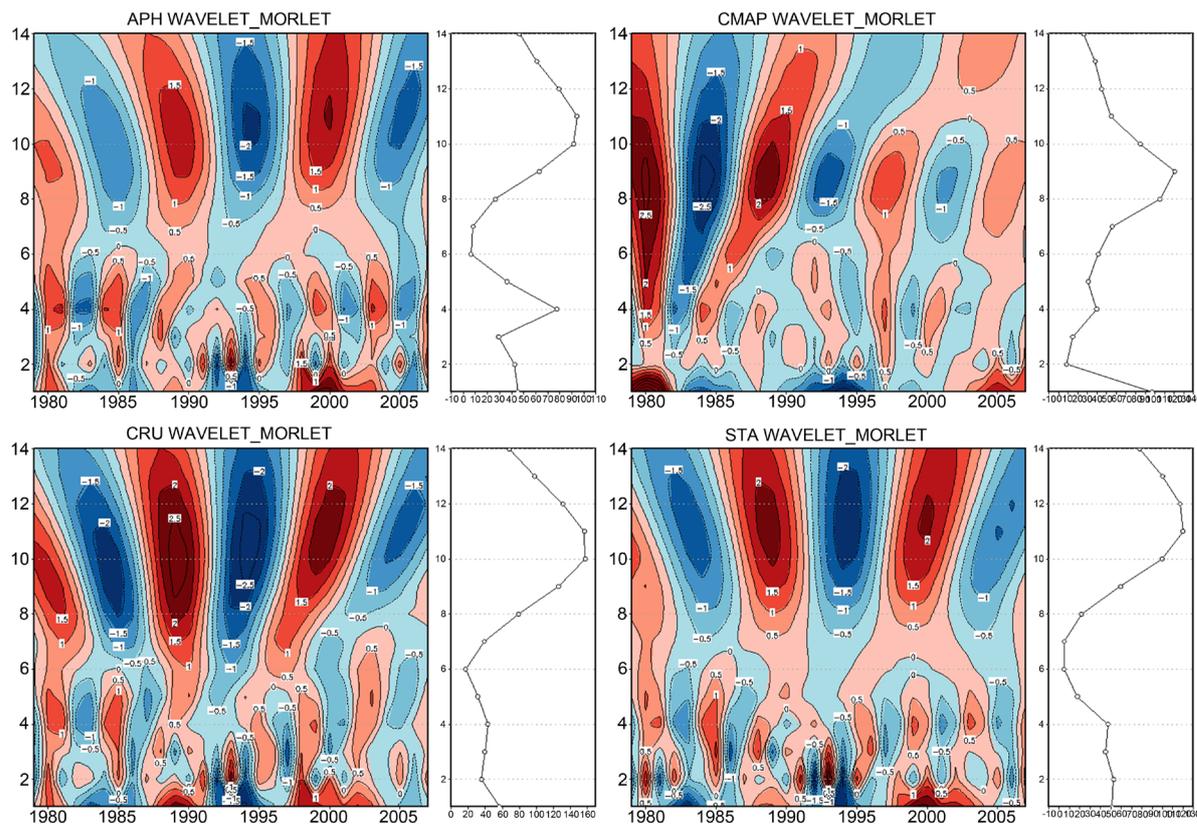


Figure 3. Wavelet analysis of four dataset rainy season precipitation

图 3. 四种数据雨季降水的小波分析

### 3.3. 年代际变化

图 4 为雨季及其雨季各月降水量的年代际变化曲线。由图可见，5 月除 CMAP 数据外，其他三种数据的变化趋势完全相同，仅 CMAP 数据在 1990 年代表现为减小；到 6 月，APHRO 和台站数据主要表现为明显的年代际增加趋势，而 CRU 数据为先增多再减小，CMAP 数据为先减小再增多；7 月四种数据的

变化趋势大致相同,均为先减小后增多,但是 CMAP 数据减小幅度高于其他三种数据;除 CMAP 以外的三种数据变化趋势较为相似,CMAP 表现为先减少后增多;9 月 CRU 与 CMAP 数据变为先减小再增多,台站数据则为先增多再减小,APHRO 数据变现为逐渐减小。总体来看,CMAP 数据 1990 年代在雨季的每个月均存在异常减小现象,这表明该数据可能存在低估现象,因此使用 CMAP 数据分析 90 年代降水时同样应进行适当修正。除此之外,其余三种数据都变现为逐渐上升,1990 年代相对于 1980 年代的变化幅度要比 21 世纪初相对于 1990 年代要大。

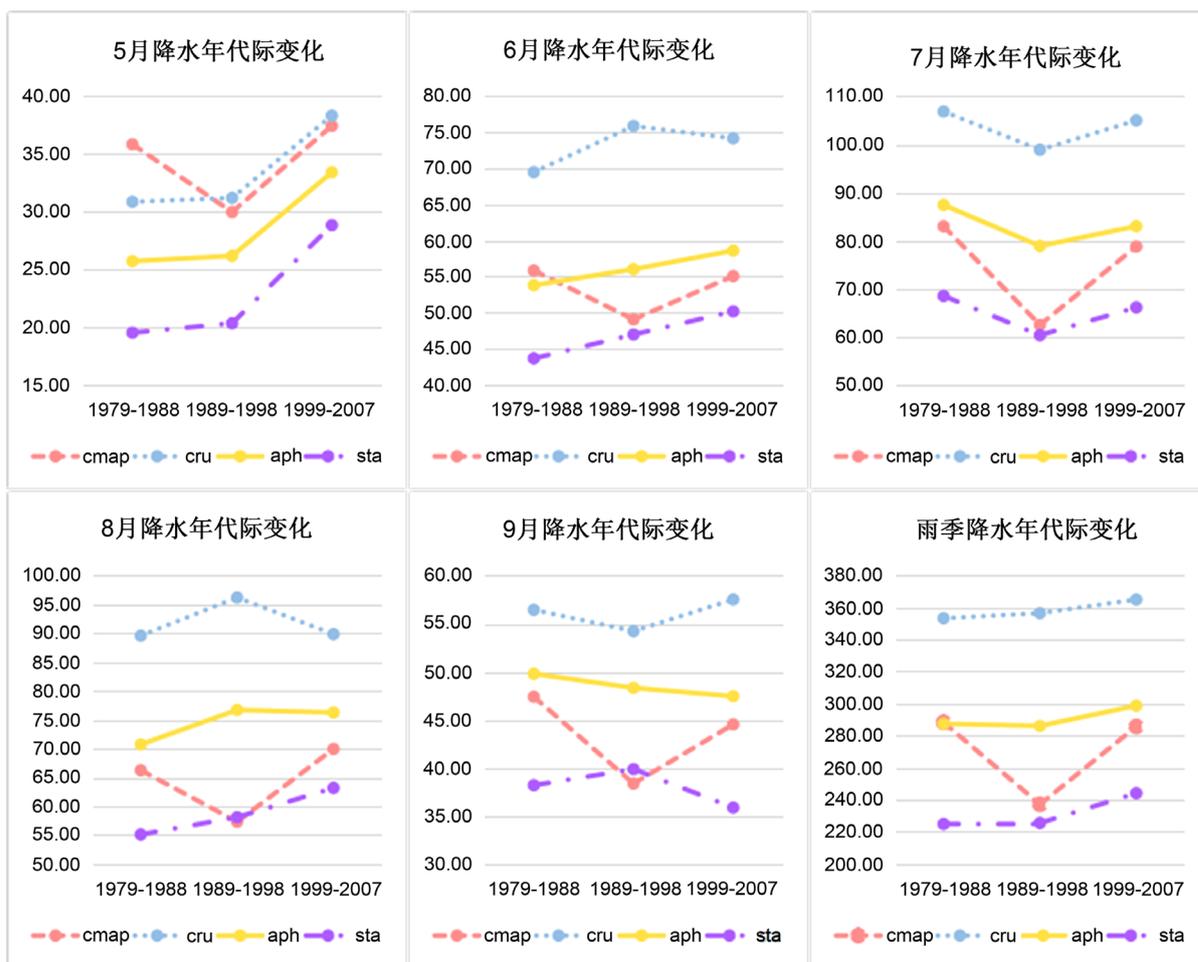


Figure 4. Interdecadal variations of precipitation during the rainy season and total precipitation during the rainy season  
图 4. 雨季各月降水和雨季总降水的年代际变化

## 4. 空间分布特征分析

### 4.1. 夏季降水分布特征

图 5 为根据四种不同降水资料得到的青藏高原地区夏季降水量空间分布。由图可见,除台站数据外,其余三种数据的降水大致集中在高原外的南侧,集中区域降水量的大小  $APHRO > ARU > CMAP$ ,台站数据在林芝地区以南有一个相对的降水中心。高原上的降水分布,四种数据的分布形式和降水量的多少大致相同,略有不同的是除 CRU 数据的降水是按照从南到北递减分布以外,其余三种数据的降水是沿东南-西北走向递减的,并且 APHRO 数据在山南地区东南部和林芝地区南部的降水量要多于其他三种数据。

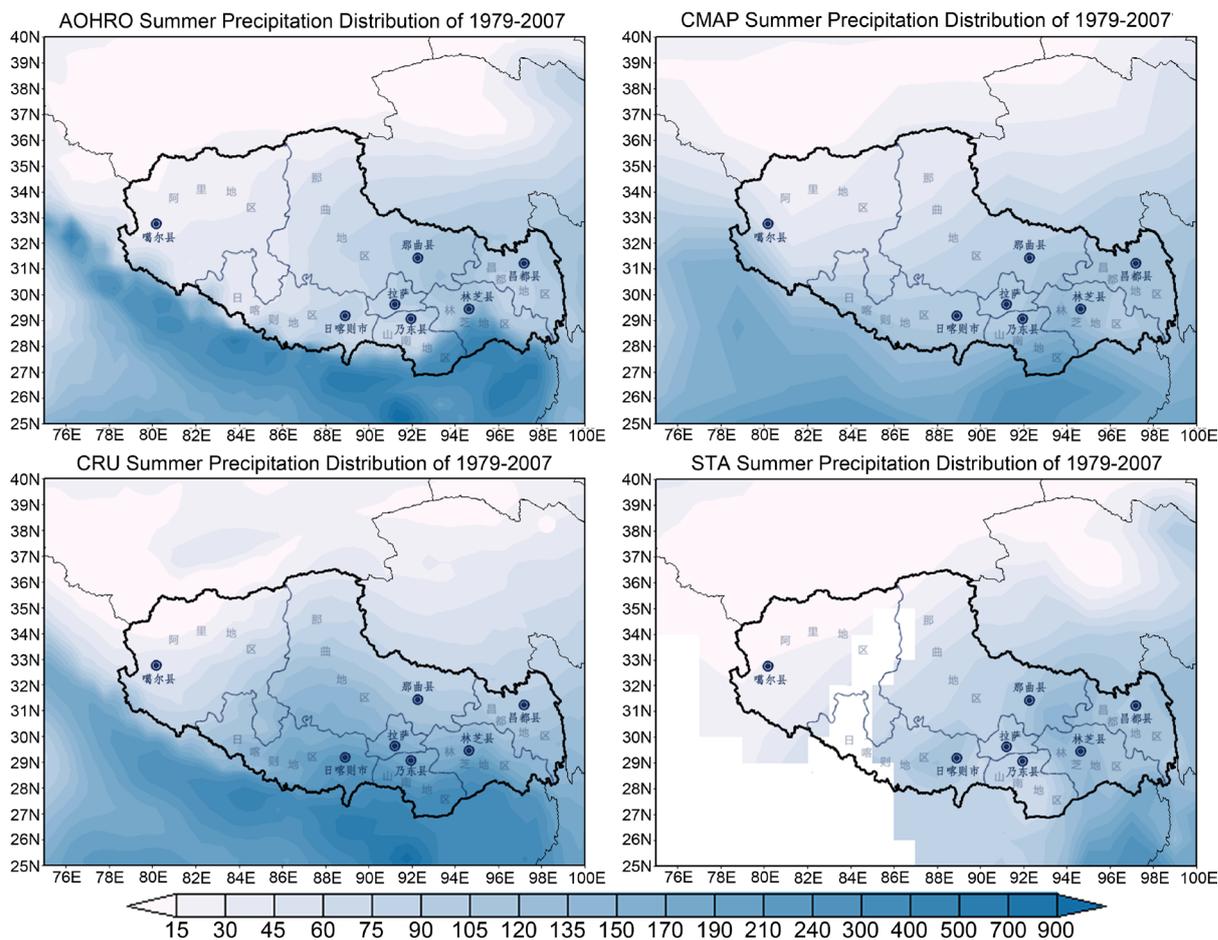


Figure 5. The summer precipitation in the Tibet Plateau for four datasets

图 5. 四种资料得到的青藏高原夏季降水量分布

## 4.2. 雨季降水变化趋势分布

### 4.2.1. 雨季降水分布特征

以 APHRO 为例，进一步对近 29 年来青藏高原地区雨季季节平均降水量空间分布进行了分析(图 6)。可以分析，青藏高原南侧的降水比高原上的降水整体上要更多。高原上的降水整体趋势也是呈东南-西北走向，在西藏东部也同样存在一个降水的低值中心，不过位置与其他数据(图略)相比稍微偏南。在日喀则地区同样存在从南到北递减的分布特征。

### 4.2.2. 降水变化趋势分布

图 7 是四种数据 1979~2007 年雨季降水量变化趋势的空间分布图。CMAP 数据，在高原南侧降水变化分布相对简单，从西到东降水量变化趋势分布呈增多 - 减少 - 增多 - 减少的分布，在高原上，大部分地区降水量呈减少的趋势，仅山南地区西北大部分区域，阿里地区的西南大部分区域和日喀则西部表现为增多的趋势。CRU 数据的分布与 APHRO 数据较为相似，表现为从西到东降水量变化趋势分布呈减少 - 增多 - 减少 - 增多的分布。在高原上，除南北两侧一部分区域呈减少趋势外，其余部分均呈增多的趋势。台站数据，在高原南侧降水变化分布更为简单。在高原上，大部分地区也都为降水量增多的趋势，有两个较小的降水量减少的区域，一个在阿里地区的西部，另一个在林芝县中间的部分和其北侧的一小部分。综上可得，四中数据中 CMAP 在各方面表现基本与其他资料相反。

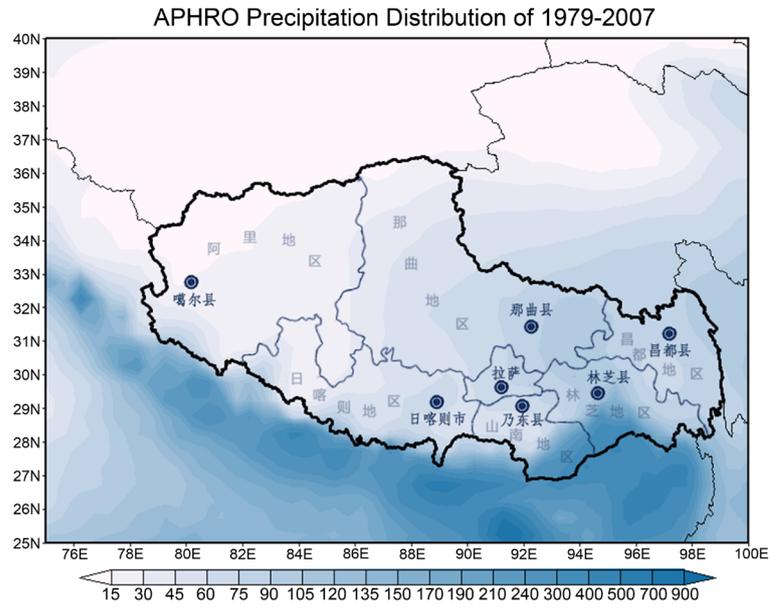


Figure 6. Spatial of precipitation on the Tibetan Plateau during rainy season for APHRO data  
图 6. 青藏高原雨季降水量空间分布

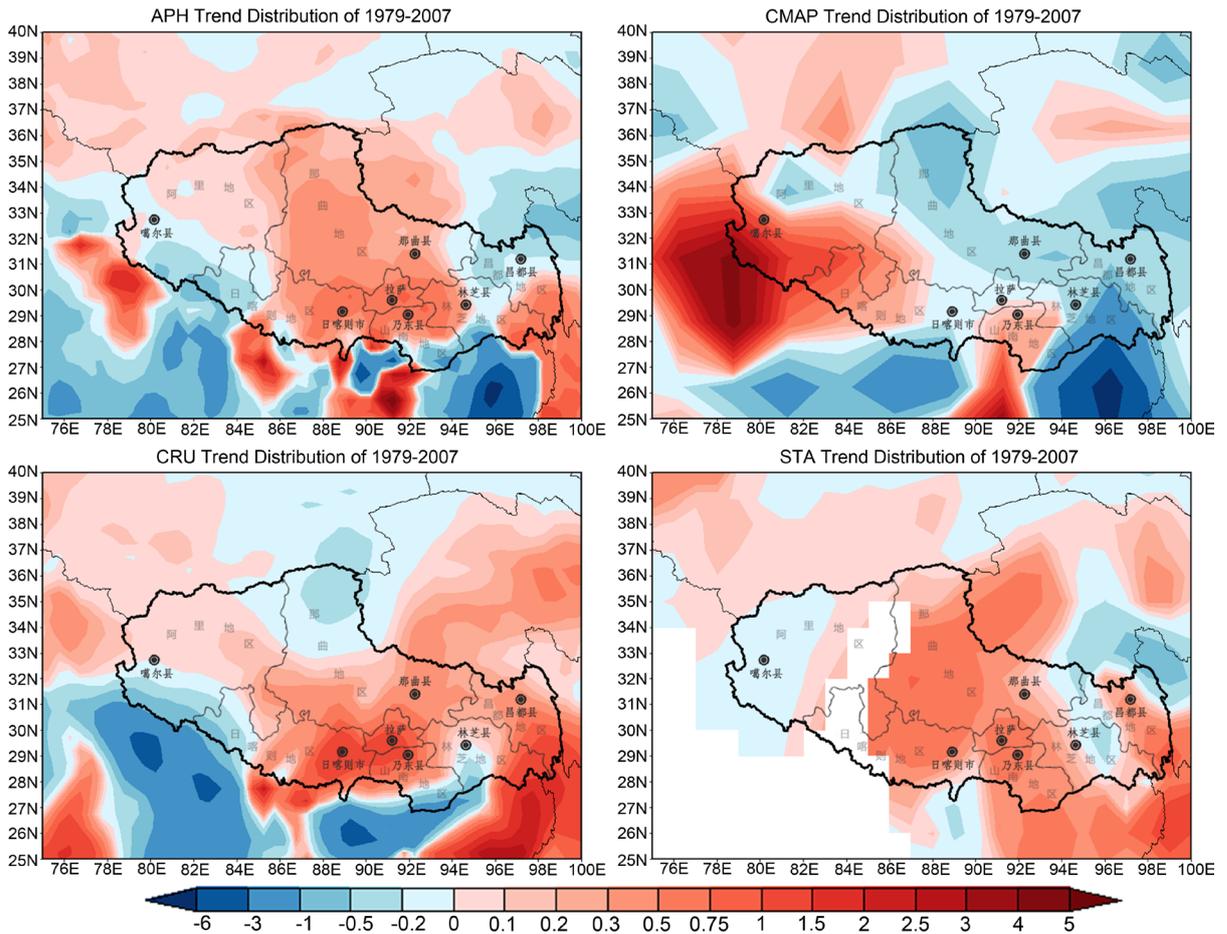
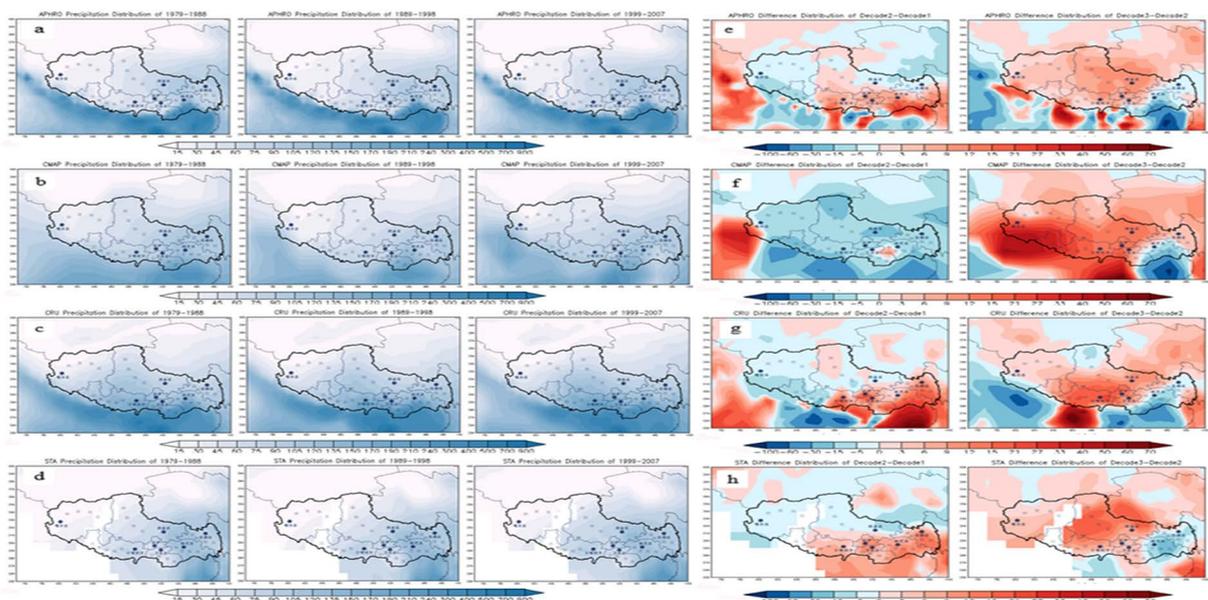


Figure 7. Four data rain season precipitation variation trend distribution  
图 7. 四种数据雨季降水量变化趋势分布

### 4.3. 雨季降水年代分布及年代际变化

进一步对四种数据的年代际变化进行分析。图 8 是四种数据在 80、90 年代及 20 世纪初的雨季降水空间分布图以及三个年代间的降水变化分布图。图 8 中 a、b、c、d 分别代表的是 APHRO、CMAP、CRU、台站数据依次在 80、90 年代及 21 世纪初的雨季降水空间分布；而其中 e、f、g、h 分别代表四中数据依次在 80 至 90 年代、90 年代至 21 世纪初的降水变化分布图。图 8(a) 中可见，APHRO 数据在每个年代降水分布与选定 29 年的降水分布特征完全相同。而在图 8(e) 上可见，80 至 90 年代，在高原东南部降水趋势表现为增多，在西、东北部表现为减少；90 年代至 21 世纪初，在高原大部分地区为增多，只有东南部的一小部分为减少。由图 8(b) 可知，CMAP 数据在各个年代降水分布与选定 29 年的降水分布特征也比较相同，只是 21 世纪初在高原西侧出现了一个较为明显的中心。图 8(f) 可知，80 年代至 90 年代，除 94°E，28.5°N 该小区域附近为增多外，其余高原地区均表现为减少；90 年代至 20 世纪初，除山南东部小部分为减少外，其余高原地区均为增多，与上一个年代际的变化相反。图 8(c) 可见，CRU 数据在每个年代降水分布与选定 29 年的降水分布特征完全相同。图 8(g) 可见，80 年代至 90 年代，降水变化在高原东南部为增多，西部减少；90 年代至 21 世纪初，在高原大部分地区为增多的趋势，只有东南部的昌都、林芝、山南东南部和那曲北部表现为减少。由图 8(d) 可见，台站数据于各个年代降水分布与选定 29 年的降水分布特征完全相同。又由图 8(h) 可见，80 年代至 90 年代，高原东南部降水增多，西部减少；90 年代至 21 世纪初，除东南部昌都和林芝地区表现为减少外，其余地区均为增多。



**Figure 8.** Spatial distribution of precipitation during the rainy season in the 1980s, 1990s, early 20th century and distribution of precipitation changes

**图 8.** 80、90 年代及 20 世纪初的雨季降水空间分布以及降水变化分布

## 5. 结论

1) 四种资料对青藏高原降水年变化趋势的效果上较为一致；除 CMAP 存在明显降水异常增多的情况，其余资料在各月以及雨季的年际变化振荡形势上有着较高的相似性，且雨季的相似度更高；小波分析除 CMAP 以外的三种数据表现较为一致，在 10a 周期上减少，在 4a 周期上增加，而 CMAP 结果相反。

2) 除 CMAP 资料外，其余三种资料给出的青藏高原四季降水分布、变化趋势分布及年代间变化的空

间分布形式较为一致,其中降水趋势沿东南-西北走向递减,变化趋势均为高原西北部增多而东南减少,年代间变化 80 至 90 年代间东南多西北少,90 年代至 21 世纪初为东南小部分地区减少而其余增大;至于 CMAP 降水分布在高原南侧降水较为分散,北侧有一从秋季维持至春季的明显降水中心,变化趋势与其余三种情况相反,年代间变化在 80 年代到 90 年代,在东南部仅极小部分地区增加;90 年代到 21 世纪初该区域表现为减少。

3) CMAP 数据在分析很多方面都表现出了与其它三种数据的不同,由此可知 CMAP 数据可能不太适用于分析高原地区的降水,猜测和资料为 5 天这一特点有关,月平均资料的时间选取无论怎样都不能保持和其三种数据的一致,待 CMAP 数据所属机构改变这一时间性质或许可以得到更精准的结果。同时要注意 CMAP 数据在 20 世纪 90 年代降水趋势存在异常的减少,在使用 CMAP 数据分析 90 年代高原降水时应注意修正。

## 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

## 参考文献

- [1] 曹瑜,游庆龙,马茜蓉. 青藏高原中东部夏季极端降水年代际变化特征[J]. 气象科学, 2019, 39(4): 437-445.
- [2] 冯松,汤懋苍,王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报, 1998(6): 633-636.
- [3] 陈渭民,刘雅芳,郁凡. 利用静止气象卫星资料估算青藏高原降水的初步探讨. 南京气象学院学报, 1995, 18(3), 433-138.
- [4] 张镇宏,蔡景就,乔云亭,简茂球. 青藏高原夏季大气视热源与中国东部降水的关系的年代际变化[J]. 大气科学, 2019, 43(5): 990-1004.
- [5] 齐文文,张百平,庞宇,赵芳,张朔. 基于 TRMM 数据的青藏高原降水的空间和季节分布特征[J]. 地理科学, 2013, 33(8): 999-1005.
- [6] 傅云飞,潘晓,刘国胜,李锐,仲雷. 基于云亮温和降水回波顶高度分类的夏季青藏高原降水研究[J]. 大气科学, 2016, 40(1): 102-120.
- [7] 温康民,任国玉,李娇,任玉玉,孙秀宝,周雅清,张爱英. 国家基本/基准站地面气温资料城市化偏差订正[J]. 地理科学进展, 2019, 38(4): 600-611.
- [8] 周晶,刘蕾,霍飞,鲍婷婷. 不同下垫面数据和城市冠层参数化方案对江苏气温影响的个例分析[J]. 气象科学, 2018, 38(3): 342-350.
- [9] 俞文政,刘海涛. 近 35 年深圳市气候变化与城市化发展的关联性[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2018, 50(1): 85-91.
- [10] 熠哲,马伟强,王炳赟,马耀明,田荣湘. 青藏高原近 30 年降水变化特征分析[J]. 高原气象, 2017, 36(6): 1477-1486.
- [11] 谢欣汝,游庆龙,保云涛,孟宪红. 基于多源数据的青藏高原夏季降水与水汽输送的联系[J]. 高原气象, 2018, 37(1): 78-92.
- [12] 徐明,石玉立,王彬. 高分辨率青藏高原历史月降水数据重建[J]. 地理科学进展, 2018, 37(7): 923-932.
- [13] 韩振宇,周天军. APHRODITE 高分辨率逐日降水资料在中国大陆地区的适用性[J]. 大气科学, 2012, 36(2): 361-373.
- [14] 王芬,曹杰,李腹广,唐浩鹏. 多套格点降水资料在云南及周边地区的对比[J]. 应用气象学报, 2013, 24(4): 472-483.
- [15] 张东,宋献方,张应华,杨丽虎,杨胜天. 基于 CRU 格点数据集的近百年渭河流域降水变化[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(2): 142-148.