

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220473

# 华北地区暖季小时降水量的对比与分析

王晴雨<sup>1</sup>, 李 艳<sup>1</sup>, 李国翠<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 石家庄市气象局, 河北 石家庄 050081)

**摘要:** 以中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)为对照,对比分析了中国逐小时融合降水产品 CHMPA 与 CMORPH 卫星反演降水产品对华北地区暖季(6~9月)小时降水量时空分布特征的再现能力,进一步研究了华北地区暖季小时降水及日变化特征。研究发现,在 2008~2018 年间 CHMPA 和 CMORPH 的降水时空分布情况与观测情况基本一致,CHMPA 对降水的估计整体较观测值偏小,CMORPH 较观测值偏大,CHMPA 资料空间分辨率高,与实际观测数据差异较小,更有利于强对流天气的诊断分析。华北地区暖季小时降水整体呈现东南多、西北少的特征,常规降水多出现于高原地区,短时强降水多出现于高原和平原之间的丘陵地带及平原地区。华北地区暖季降水存在明显的日变化特征,降水大值中心在午后出现于山区附近,随后逐渐向东南移动,并于夜间在华北平原西部造成大面积降水,次日清晨降水中心到达平原中部,随后降水逐渐减弱。华北地区暖季降水量和降水频次的峰值在高原地区多出现于正午至午后,在平原地区多出现于午夜至凌晨。研究成果可为华北地区的降水预报提供参考。

**关键词:** 华北地区; 小时降水; CHMPA; CMORPH

**中图分类号:** TV125; P426.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)01-0001-05

## 1 引言

华北地区是我国人口密集、粮食生产丰富的政治经济重点区域,其地形复杂,降水具有强度大、局地性强、日变化明显等特征<sup>[1,2]</sup>,强降水每年给该地区造成大量经济损失<sup>[3-5]</sup>。因此研究华北地区降水不仅有利于降水预报和灾害预警,而且有利于水资源利用和社会发展。目前,关于华北地区降雨的研究成果较丰富,如 PAN HE 等<sup>[6]</sup>指出山谷风环流和边界层惯性振荡能够调节华北夏季降水日变化;YUAN WEIHUA 等<sup>[7]</sup>指出华北暖季降水以短时降水为主,降水时空分布特征与地形高度相关。卫星降水产品具有分布均匀、分辨率高和连续观测等特点,能够较准确反映降水时空分布特征,现有研究已大量使用各种高分辨率卫星降水产品,如沈艳等<sup>[8]</sup>对 CHMPA 在中国区域的适用性进行了质量评估,指出 CHMPA

在区域降水范围、降水量和空间分布上均较为合理。但现有研究主要集中在特定降水过程,使用多种高分辨率资料分析华北地区暖季小时降水的长期特征还有待进一步研究。本文以地面站观测资料为对照,对比评估 CHMPA 与 CMORPH 对华北地区暖季小时降水的再现能力,在此基础上进一步分析华北暖季小时降水及其日变化特征,以期华北地区降水研究产品的选取及华北地区降水的研究和预报提供参考。

## 2 数据来源

采用 2008~2018 年华北地区暖季(6~9月)的 CHMPA、CMORPH 及观测资料三种数据来研究华北降水特征。国家气象信息中心发布的中国逐小时融合降水数据由中国 3 万多个自动站观测资料与 CMORPH 卫星降水数据融合而成,空间分辨率为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ,时间分辨率为 1 h。美国国家海洋和大气管理局气候预测中心(NOAA/

**收稿日期:** 2022-03-14, **修回日期:** 2022-04-13

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41775058);石家庄地方财政专项(SJZQXJHT2018-15)

**作者简介:** 王晴雨(1998-),女,硕士研究生,研究方向为强对流天气的模拟和诊断, E-mail: 20211201126@nuist.edu.cn

**通讯作者:** 李艳(1975-),女,博士、副教授、硕导,研究方向为中尺度对流系统及台风强度变化, E-mail: yanlee@nuist.edu.cn

CPC)卫星反演降水产品(CMORPH),空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ ,时间分辨率为1 h。中国国家地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)(下文简称观测资料),由中国31个省(区、市)2千多个国家级地面站数据更正后编成,该数据作为实际降水的测量值,数据实有率在99%以上,正确率接近100%,能够科学准确反映中国降水情况,观测资料的降水数据是观测站前一日20:00至当日20:00的24 h累计降水量,时间分辨率为24 h。采用Cressman插值算法将观测站点数据插值到 $70^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $15^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 范围内 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ 和 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 的格点上。

### 3 华北地区暖季降水特征

CHMPA、CMORPH和观测资料的暖季降水量及暖季各月降水量的对比见图1。CHMPA、CMORPH暖季降水量与观测结果的误差均小于7%,CHMPA暖季降水量略小于观测值,CMORPH暖季降水量略大于观测值。对于暖季各月降水量,CHMPA、CMORPH均表现出7、8月较多,6、9月较少的特征,7月为暖季最大月,9月为暖季最小月,CHMPA在6~9月的降水量均略小于观测值,CMORPH在6、7月的降水量大于观测值,在8、9月的降水量小于观测值。

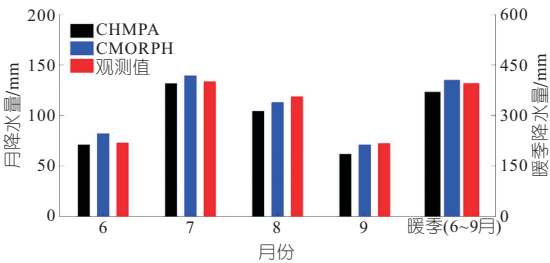


图1 2008~2018年暖季总降水量及暖季各月降水量  
Fig. 1 Total precipitation and monthly precipitation in warm season from 2008 to 2018

#### 3.1 时空分布特征

对2008~2018年暖季总降水量及各月降水量做区域平均得到其随时间变化情况(图2)。

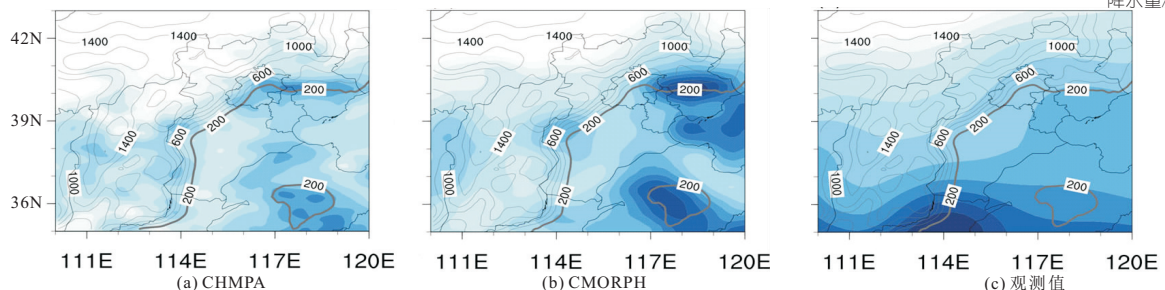


图3 年均暖季总降水量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the total annual mean precipitation in the warm season

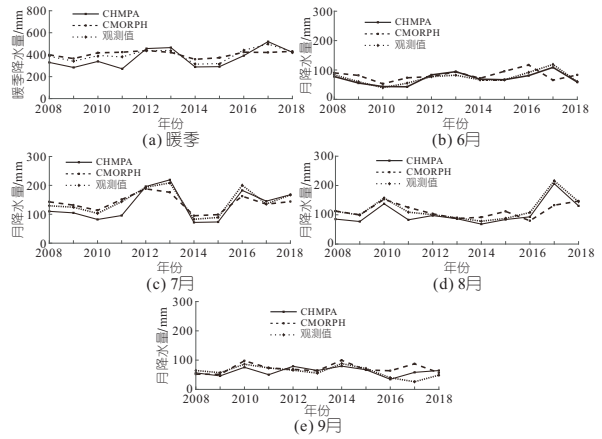


图2 2008~2018年暖季总降水量及各月降水量随时间变化  
Fig. 2 Time variation of total precipitation and monthly precipitation in warm season from 2008 to 2018

2008~2018年间华北地区暖季总降水整体呈增加趋势,2014、2015年降水较少,2012、2013、2017年较大。CHMPA在2008~2011、2014~2016年暖季总降水量小于观测值,其余年份大于观测值,2011年与观测值相差最大。CMORPH各年降水量与观测值相差较小,2013、2016、2017年暖季总降水量小于观测值,其余年份大于观测值。暖季四个月中,7、8月降水量较多,6、9月较少,7月降水量为暖季最大月,9月则为最小月。CHMPA暖季各月降水量随时间变化情况与观测值整体相差不大,6月降水量与观测值一致,2008~2011年7、8月降水量小于观测值,2012~2018年7、8月降水量与观测值相差不大,2017年9月降水量大于观测值,其他年份9月降水量与观测值相差较小。CMORPH产品月降水量在6月与观测值相差较大,7~9月降水量在2014年之前与观测值一致性较好,2014年之后与观测值相差较大,7、8月降水量在2016~2018年小于观测值,9月降水量在2016~2018年大于观测值,各月降水量在2014、2015年均大于观测值。

图3(图3中灰色等值线为地形高度,加粗实线为200 m等地形高度线)为2008~2018年华北地区暖季总降水量空间分布情况。整体呈东南多、西北少的特征。CHMPA和CMORPH在秦

皇岛、太行山附近和山东中部均表现出大的降水中心,但由于资料空间分辨率的差异,CMORPH 对一些小的降水中心的表现能力较弱,CHMPA 的结果更为细致。大部分地区 CHMPA 降水量略小于观测值,CMORPH 降水量略大于观测值。CHMPA、CMORPH 与观测的年均暖季总降水量空间差异分布(图 4,图 4 中阴影和黑色等值线为降水量偏差,实线为正偏差,虚线为负偏差;灰色等值线为地形高度,加粗实线为 200 m 等地形高度线)表明,CHMPA 对降水的估计整体低于观测值,燕山南部略大于观测值;CMORPH 资料在华北地区西北和东北部低于观测值,且量级与 CHMPA 的相当,但 CMORPH 在燕山南部对降水量级的估计与观测值相比严重偏高,每年超过 120 mm。

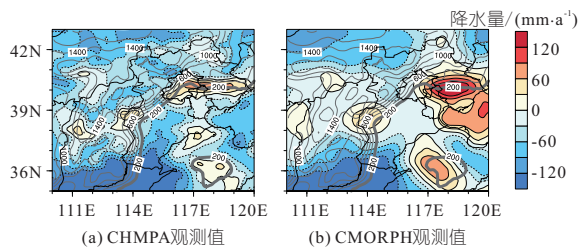


图 4 CHMPA、CMORPH 与观测资料的年均暖季总降水量空间差异

Fig. 4 Spatial deviation of total annual mean precipitation in the warm season between CHMPA, CMORPH and observation

总体而言,CMORPH、CHMPA 资料的降水量时空分布与实际观测情况基本一致。但整体对于降水量级的估计,CHMPA 的结果与观测值相比偏小,而 CMORPH 较观测值偏大,尤其在燕山以南地区异常偏大。且 CMORPH 对于一些小的降水中心的表现能力较弱,相比之下 CHMPA 的结果更为细致,与实际观测值差异较小,因此 CHMPA 资料能够更好地为华北地区的降水研究提供基础驱动数据。

### 3.2 等级降水量分布特征

以 20 mm/h 作为分界,将小时降水分为 <20 mm/h 的常规降水和 ≥20 mm/h 的短时强降水<sup>[4]</sup>(简称强降水)。图 5 为 2008~2018 年 CHMPA、CMORPH 的常规降水和强降水的降水量、频次及强度分布情况。CHMPA 和 CMORPH 对于华北地区暖季常规降水和强降水的降水量、频次及强度的空间分布情况反应一致,CHMPA 对常规降水的降水量、频次的估计低于 CMORPH 对常规降水的降水量、频次的估计,CHMPA 对强降水的降水量、频次的估计高于

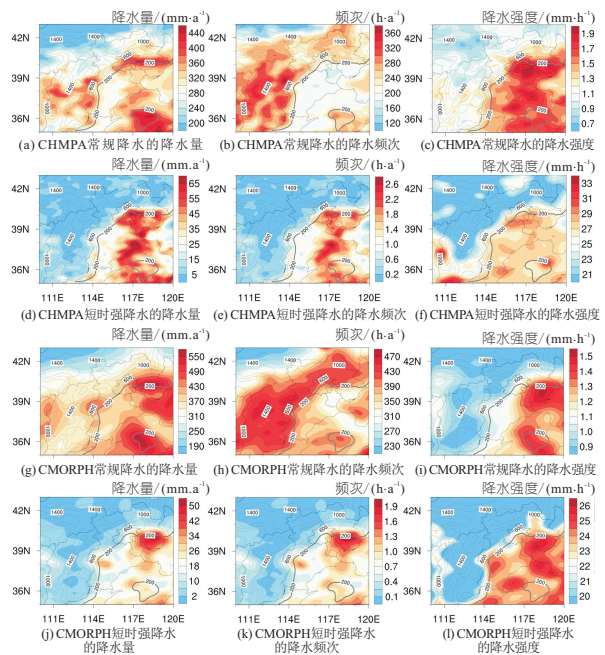


图 5 CHMPA、CMORPH 常规降水和短时强降水的降水量、降水频次、降水强度

Fig. 5 Precipitation, frequency and intensity of CHMPA, CMORPH conventional precipitation and short-term heavy precipitation

CMORPH 对强降水的降水量、频次的估计。两种降水产品的平均降水强度中心均位于华北东南部的平原地区,CHMPA 的平均降水强度整体高于 CMORPH 的平均降水强度。

华北地区暖季常规降水和强降水的降水量大致均呈东南多、西北少,且分布与地形有密切联系。除山东以外区域,常规降水中心主要位于太行山以西、燕山以北的高原地区;强降水中心则多位于太行山以东、燕山以南的平原地区及从平原向高原的过渡区。常规降水与强降水的降水频次与降水量分布类似,常规降水多出现于高原地区,强降水多发生于高原与平原的过渡区及平原地区,华北地区年均常规降水发生频次远高于强降水。常规降水及强降水的平均降水强度中心均位于华北东南部的平原地区,山东地区常规降水量大、降水频次少对应降水强度大。

## 4 华北地区暖季降水日变化

图 6 为 CHMPA、CMORPH 在华北地区暖季降水量峰值与发生频率峰值的出现时间分布,箭头方向表示位相大值时间,其中西北—东北指向箭头代表 21:00~03:00,东北—东南指向箭头代表 03:00~09:00,东南—西南指向箭头代表 09:00~15:00,西南—西北指向箭头代表 15:00~21:00,灰色等值线为地形高度;加粗实线

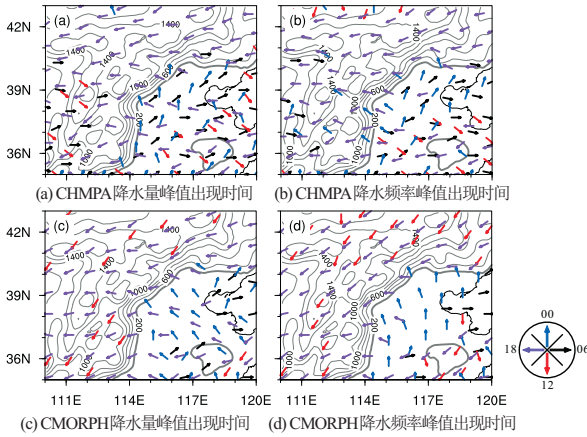


图 6 CHMPA、CMORPH 降水量峰值、降水频率峰值出现时间

Fig. 6 Time of peak precipitation and peak precipitation frequency of CHMPA and CMORPH

为 200 m 等地形高度线。结合图 6 和华北地区暖季各时次降水量分布(图 7, 灰色等值线为地形高度;加粗实线为 200 m 等地形高度线)可以看出,

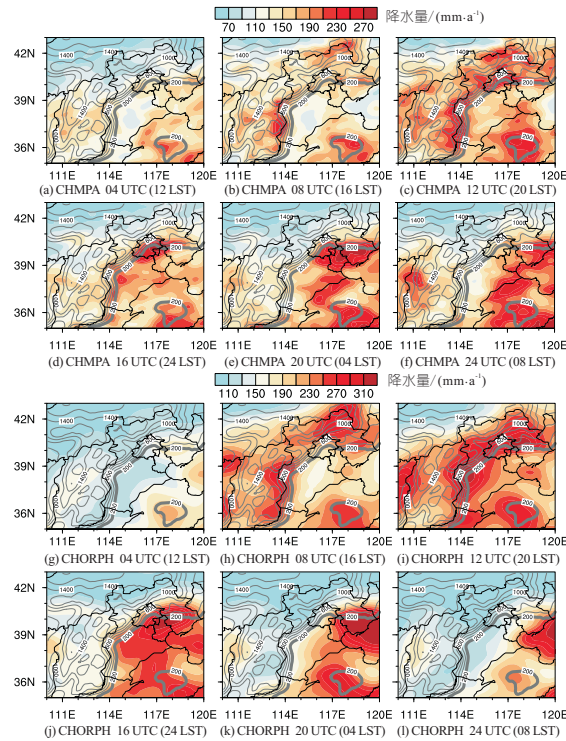


图 7 CHMPA、CMORPH 各时次降水量分布

Fig. 7 Hourly precipitation distribution of CMORPH data

华北地区暖季降水有明显日变化特征,且在高原和平原存在显著差异。午后(16:00 左右)太行山以西、燕山以北的高原地区和山东中部开始出现降水大值中心,随后高原地区的降水中心逐渐向东南移动,在午夜(24:00 左右)到达太行山以东、燕山以南的平原地区,午夜至凌晨降水中心持续向东南移动穿过平原并不断加强,08:00 左右与山东中部的降水中心汇合,在秦皇岛、天津至山东一带达到最强,随后开始逐渐减弱,正午(12:00

左右)已无明显降水中心。西北部高原地区的降水量及降水频次峰值均多出现于正午至午后,而东南部平原地区在午夜至凌晨的降水量最大、降水频次最高。

CHMPA 和 CMORPH 均体现了华北西北部高原午后降水峰值和东南部平原凌晨降水峰值的日变化特征,CMORPH 在各时次降水量均高于 CHMPA 各时次降水量,降水中心范围比 CHMPA 更大,且由于空间分辨率的差异,CHMPA 对于降水量的分布表现得更为细致,与 CHMPA、CMORPH 对华北地区暖季降水时空分布特征的再现结果的结论相一致。

### 5 结论

a. CHMPA、CMORPH 与观测资料的降水量时空分布和变化趋势基本一致,CHMPA 对降水量的估计整体较观测资料偏小,较 CMORPH 偏大。且 CMORPH 对于一些小的降水中心的表现能力较弱,而 CHMPA 的结果更为细致,与实际观测差异较小,因此 CHMPA 资料能够更好地为华北地区的降水研究提供基础驱动数据。

b. 华北地区暖季常规降水和短时强降水的降水量与降水强度与华北地区地形有密切联系。常规降水量和降水频率的大值中心位于西北部的高原地区,短时强降水量和降水频率的大值中心则多位于东南部的平原地区及平原向高原过渡地区,常规降水及短时强降水的平均降水强度中心均位于华北地区东南部的平原地区。

c. 华北地区暖季降水存在明显的日变化特征,降水大值中心在午后出现于山区,随后逐渐向东南移动,午夜到达华北平原西部,从午夜到次日凌晨降水中心持续向东南穿过平原,在平原上造成大面积的夜间降水。华北地区暖季降水量和降水频次的峰值在高原地区多出现于正午至午后,在平原地区多出现于午夜至凌晨。

d. 本文仅分析了 CHMPA 和 CMORPH 对华北地区降水特征的反映情况,两种资料的结果与观测结果有所差异,但差异原因还需更加深入研究,从而提高高分辨率降水产品的质量,进一步促进其在强对流天气业务方面的应用。

### 参考文献:

[1] 王旭丹,王立亚. 华北地区水汽含量及降水量分布特征分析[J]. 水电能源科学, 2010, 28(9):5-7.  
 [2] 周璇,孙继松,张琳娜,等. 华北地区持续性极端暴雨过程的分类特征[J]. 气象学报, 2020, 78(5): 761-777.

- [3] 刘伟, 王梦雨, 刘昕晔, 等. 1972~2017 年河北省夏季降水的时空变化特征[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10):10-13,5.
- [4] 俞小鼎, 郑永光. 中国当代强对流天气研究与业务进展[J]. 气象学报, 2020, 78(3): 391-418.
- [5] 郝晓丽, 李妍敏, 刘舒. 北京市方庄区域暴雨积水模拟研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(6):60-63,115.
- [6] PAN HE, CHEN GUIXING. Diurnal variations of precipitation over North China regulated by the mountain plains solenoid and boundary-layer inertial oscillation[J]. Adv. atmos. sci., 2019, 36(8): 863-884.
- [7] YUANWEIHUA, SUN WEI, CHEN HAOMING, et al. Topographic effects on spatiotemporal variations of short-duration rainfall events in warm season of central North China[J]. J. geophys. res. atmos., 2014, 119(19): 223-234.
- [8] 沈艳, 潘暘, 宇婧婧, 等. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 37-46.

## Comparison and Analysis of Hourly Precipitation in Warm Season over North China

WANG Qing-yu<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, LI Guo-cui<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Shijiazhuang Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** Using the daily meteorological dataset of basic meteorological elements of China National Surface Weather Station (V3.0) as a control, the reproducibility of the spatial and temporal distribution characteristics of hourly precipitation in North China during the warm season (June-September) by the China Hourly Merged Precipitation Analysis (CHMPA) and the CPC MORPHing technique (CMORPH) were compared and analyzed. The hourly precipitation and daily variation characteristics of the warm season in North China were further investigated. Results show that the spatial and temporal distribution of precipitation in CHMPA and CMORPH during 2008-2018 is basically consistent with the observation, the estimation of precipitation by CHMPA is generally smaller than the observation, while CMORPH is larger than the observation. The CHMPA data has high spatial resolution and little difference with the actual observation, which is more conducive to the diagnosis analysis of strong convective weather. The overall warm season hourly precipitation in North China is characterized by more precipitation in the southeast and less in the northwest, with normal rain mostly occurring in the plateau area and flash heavy rain mostly occurring in the transition area between the plateau and the plain and the plain area. The warm season precipitation in North China has obvious daily variation characteristics. The large value of precipitation center appears in the afternoon near the mountains, then gradually moves southeast and causes large precipitation in the western part of the North China Plain at night, and the precipitation center reaches the central part of the plain in the early morning of the next day. The precipitation gradually weakened in North China from early morning to noon the next day. The peak of precipitation and precipitation frequency occurs mostly from midday to late afternoon in the plateau area and from midnight to early morning in the plain area. The results provide a theoretical reference for precipitation research and forecast in North China.

**Key words:** North China; hourly precipitation; CHMPA; CMORPH

\*\*\*\*\*  
(上接第 58 页)

## Distribution Characteristics and Source Analysis of Trace Elements in Plateau Rivers Under Variable Hydrological Conditions

JIANG Chao<sup>a</sup>, YAN Wen-ming<sup>b</sup>, HE Xiang-yu<sup>a</sup>, WANG Xiao-lin<sup>a</sup>, SONG Yong-feng<sup>a</sup>,  
WU Bin<sup>a</sup>, TIAN Bin<sup>a</sup>, LIU Tian-yang<sup>a</sup>

(a. College of Hydrology and Water Resources; b. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to study the correlation and distribution characteristics of arsenic (As 75) and other trace elements in the water of plateau rivers, the trace elements in the water of Yalong River in July 2021 (wet season) and November 2021 (dry season), an important tributary of the Yarlung Zangbo River, were investigated and analyzed. Based on correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis, the relationships among arsenic 75 (As 75), boron 11 (B 11), iron (Fe 57), strontium 88 (Sr 88), tin 118 (Sn 118), lithium 7 (Li 7), vanadium 51 (V 51), cobalt 59 (Co 59), nickel 60 (Ni 60), copper 63 (Cu 63), zinc 66 (Zn 66), selenium 82 (Se 82), molybdenum 98 (Mo 98) and lead 208 (Pb 208) in water were explored. The results show that there are significant differences among the elements in wet season and dry season, which can be divided into three categories: The elements with stable contents in wet season and dry season (Ni 60, Co 59, Cu 63, Li 7, Zn 66); The elements with obvious seasonal variation (Sr 88, V 51, Mo 98, Li 7, Se 82, As 75, B 11, Pb 208); Elements less associated with other elements (Sn 118). In addition, most of the trace elements in the Yalong River Basin are related to Ni 60, Co 59, Cu 63, Li 7 and Zn 66. The study can provide scientific basis for understanding the changes of water environment in the basin and subsequent environmental protection.

**Key words:** Yalong River; trace elements; wet season; dry season; sources analysis