

# 甘肃省汛期逐小时降水量分布及变化特征

王 胜<sup>1\*</sup>, 郭海瑛<sup>2#</sup>, 赵 洁<sup>1</sup>, 李湘湘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>甘肃省庆城县气象局, 甘肃 庆阳

<sup>2</sup>甘肃省环县气象局, 甘肃 庆阳

收稿日期: 2023年8月7日; 录用日期: 2023年9月7日; 发布日期: 2023年9月15日

## 摘 要

利用甘肃省71个国家气象站1975~2016年主汛期(5~9月)逐小时降水量数据, 采用线性趋势分析、空间插值等方法, 分析了甘肃省42年来的逐时降水量时空分布和变化规律。结果表明: 1) 不同代表站的降水量在一日内的分布状况极为不均匀, 总体来看, 全省各站点小时降水比率低值区集中在11~17时, 高值区出现18~23时; 2) 从降水频率分布来看, 频率大值区都位于河东地区, 各个时次的最小降水频率均出现在河西走廊的敦煌(13时最小降水频率为敦煌、酒泉、高台三站同时保持)。各个时段沿河西走廊有西北到东南的方向, 从敦煌至武威降水频率呈递增趋势; 3) 三个气候区降水比率与降水频率在一日内的气候倾向率保持一致, 且降水频率变化趋势线普遍滞后于降水比率变化趋势线。全省降水量在午前与午后分布规律性较强, 具体表现为: 5~8月份, 午前降水量在一天中所占的比例大, 而在9月份恰恰相反, 表现为午前降水量大于午后降水量。

## 关键词

甘肃省, 汛期, 小时降水量, 分布及变化

# Distribution and Variation Characteristics of Hourly Precipitation in Flood Season in Gansu Province

Sheng Wang<sup>1\*</sup>, Haiying Guo<sup>1#</sup>, Jie Zhao<sup>1</sup>, Xiangxiang Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Qingcheng Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang Gansu

<sup>2</sup>Huanxian Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang Gansu

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2023; accepted: Sep. 7<sup>th</sup>, 2023; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2023

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王胜, 郭海瑛, 赵洁, 李湘湘. 甘肃省汛期逐小时降水量分布及变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 873-884. DOI: 10.12677/ccrl.2023.125090

## Abstract

Based on the hourly precipitation data of 71 national meteorological stations in Gansu Province during the main flood season (May to September) from 1975 to 2016, the temporal and spatial distribution and change law of hourly precipitation in Gansu Province in the past 42 years are analyzed by using the methods of linear trend analysis and spatial interpolation. The results show that: 1) The distribution of precipitation at different representative stations in a day is very uneven. On the whole, the low value area of hourly precipitation ratio of stations in the province is concentrated at 11~17 hours, and the high value area appears at 18~23 hours; 2) From the distribution of precipitation frequency, the high frequency areas are located in Hedong area, and the minimum precipitation frequency of each time occurs in Dunhuang in Hexi Corridor (the minimum precipitation frequency at 13:00 is maintained at Dunhuang, Jiuquan and Gaotai stations at the same time). In each period, there is a northwest to southeast direction along the Hexi Corridor, and the precipitation frequency shows an increasing trend from Dunhuang to Wuwei; 3) The precipitation ratio in the three climatic regions is consistent with the climate tendency rate of precipitation frequency in one day, and the change trend line of precipitation frequency generally lags behind the change trend line of precipitation ratio. The distribution regularity of precipitation in the whole province is strong in the morning and afternoon. The specific performance is as follows: From May to August, the proportion of precipitation in the afternoon in a day is large, while in September, it is just the opposite, showing that the precipitation in the afternoon is greater than that in the afternoon.

## Keywords

Gansu Province, Flood Season, Hourly Precipitation, Distribution and Change

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

甘肃省地处黄土、青藏和蒙古三大高原交汇地带。境内地形复杂，山脉纵横交错，海拔相差悬殊，高山、盆地、平川、沙漠和戈壁等兼而有之，是山地型高原地貌。从东南到西北包括了半湿润区、半干旱区和干旱区的不同气候区。

在全球气候变暖的背景下，大气降水的格局发生了相应的变化，由短时强降水引发的暴雨、洪涝等灾害给甘肃省带来的灾害越来越严重。2010年8月8日，由局地、短时、突发的强降水引发了甘肃省舟曲县的特大山洪泥石流灾害，造成1471人遇难，294人失踪。这次降水量在时空上分布极不均匀，除舟曲县东南部的东山镇和西北方向上游的迭部县代古寺外，舟曲县周边地区并未观测到强降水。东山镇的小时降水量高达77.3 mm，代古寺的小时降水量也达到55.4 mm [1]。2013年23日夜间至24日凌晨，定西安定区部分乡镇突降暴雨，最大降雨量达到195毫米，强降水导致1户农户屋后滑坡致5人死亡，2人受伤，道路桥梁被毁、学校围墙塌陷、农作物绝收，共造成直接经济损失8718万元。2016年8月16~18日，甘肃旅游城市敦煌遭遇暴雨侵袭，过程累计最大降水出现在西千佛洞，降水量为54.2 mm，敦煌观测站降水量31.1 mm，创1937年破建站以来的历史极值，主要道路交通受阻，机场、火车站受到洪水威胁，受强降雨影响，敦煌莫高窟17日11时暂停对外开放，鸣沙山·月牙泉阶段性关闭，对旅游业造成了影响。因此，对甘肃省逐小时降水量进行分析研究，掌握强降水发生的时间规律和空间分布情况，对

于防御强降水、暴雨引发的泥石流洪涝等灾害具有指导意义。

目前,前人以日降水量的变化规律和特征为重点做了大量的分析和研究,得到了一些有价值的结论:降水日变化特征地域性差异较强,降水日峰值存在一定的规律[2]-[7]。甘肃南部主汛期强降水日数存在年际差异和年代际差异[8]。对于极端降水有以下研究成果:上海嘉定区降水时空演变规律,有助于更好地认识小尺度局部区域气候特征、能够准确认识该地区极端事件[9]。杨玮等通过百分位法确定了江淮流域极端降水阈值,指出极端降水量约占梅汛期降水总量的 1/4~1/3 [10]。苏锦兰等发现下垫面辐射强度的差异,加之水汽配合便容易发生短时对流天气并产生强降水[11]。每一种类型的极端降水都呈现出不同的地区分布和季节或日变化的特征[12]。董旭光等发现,山东省小时极端降水主要发生时段在下午 15 时至傍晚 20 时[13]。贵州短时强降水事件发生的时次的空间分布表明,西北部强降水事件多发在傍晚 23 时,中部强降水集中在 23~02 时,东南部在 05~08 [14]。Zhang 等研究表明,中国南方地区、华北地区和中国东北地区,最频繁的极端降水事件发生最频繁的是在午后或傍晚[15]。对四季降水情况有以下研究,郑祚芳等通过研究北京地区夏季极端降水变化特征,提出城市化导致城市下风向近郊区极端降水强度、次数均表现为增多趋势[16]。郑祚芳等发现北京夏季降水主要出现在傍晚到前半夜,凌晨到正午降水较少出现[17]。1951~2000 年,中国西部年和季节总降水量有显著的增加趋势,是由于降水频率和降水强度的增加而引起的[18]。辽宁夏季降水分析,降水日变化的存在能够影响到降水预报的评分[19]。对于小时降水量的分析有以下进展,蔡新玲等对 1961~2011 年陕西省汛期短时降水的研究认为,极端降水时数和降水量在 03~10 时显著增多,增大了滑坡、泥石流等灾害的发生风险[20]。北京夏季总降水小时数高值区中心在北部山区和城区以西的山区,小时雨强以东北、城区为中心[21]。21 世纪以来,内蒙古强降水事件发生频率和强度都呈现增加的趋势[22]。黑龙江全省的短历时降水量占总降水量的 46.7%,降水强度的日变化呈现出单峰型,高值区在 13~18 时[23]。陈春燕等分析研究了新疆夏半年逐小时降水的时空分布和日变化特征,揭示了新疆不同区域降水强度的分布特征,为防止山洪地质灾害提供了依据[24]。伍红雨等对广东小时强降水做了分析,虽然广东年降水量变化不显著,但极端强降水有显著增加的趋势,其造成的灾害损失会加大,需要密切关注[25]。

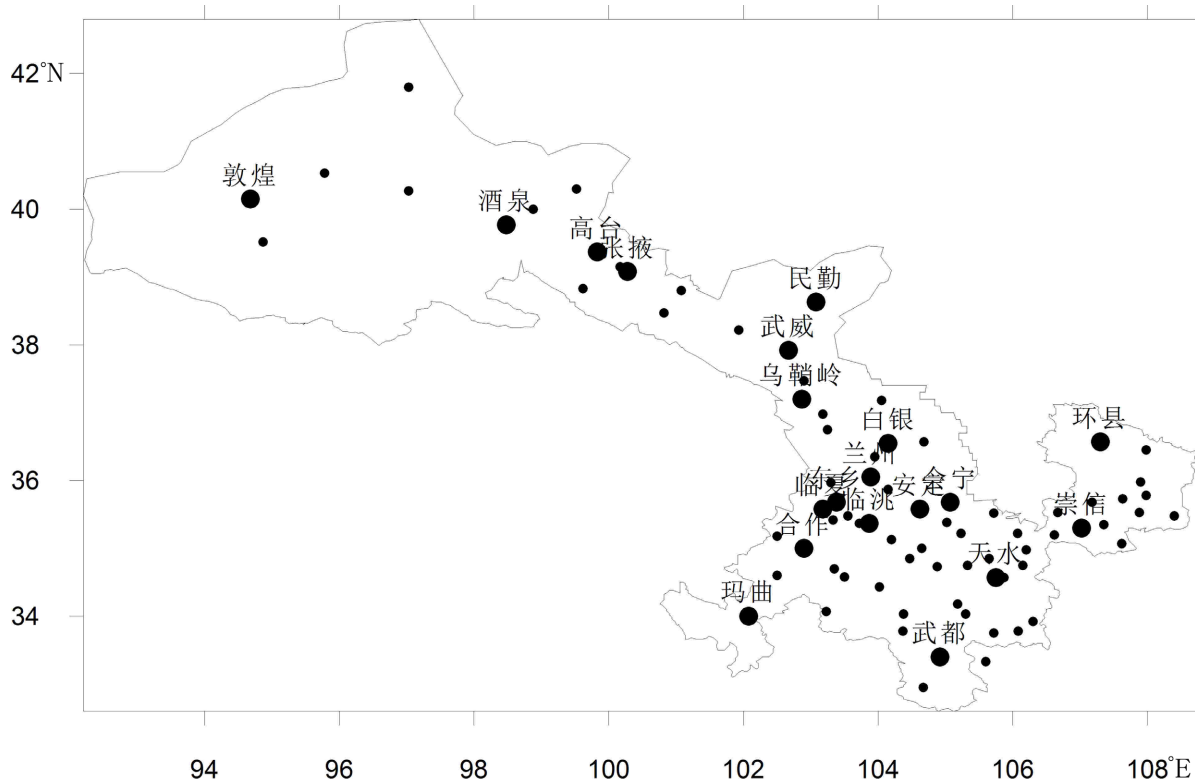
本文将甘肃省目前未进行过分析的小时降水量作为研究对象,利用境内三个不同气候区主汛期的逐小时降水资料,对不同等级的小时降水量发生的频率、时空分布特征进行分析,有利于进一步了解小时降水在甘肃不同气候区的变化规律,对于发生的极端降水事件有更加清晰的认识,从而对防御因短时强降水造成的灾害提供必要的参考。

## 2. 资料与方法

本文所使用的资料为 1975~2016 年甘肃省气象站主汛期(5~9 月)逐小时降水量数据,该数据由甘肃省气象局信息中心提供,数据已经过质量控制和检验。全省共有 81 个国家级气象站(11 个基准站、18 个基本站以及 52 个一般站),本文根据甘肃省气象局信息中心提供的资料情况,结合文章研究重点且考虑到资料的完整性和连续性等因素,确定使用其中 71 个台站的降水资料进行统计分析,站点分布情况见图 1 所示。

利用平均数法、判别分析等方法对数据进行了统计和筛选,归类分析法对三个不同气候区的站点资料进行了归类,百分比法计算了小时降水比率和小时降水频率,气候趋势率分析了降水比率与降水频率在一日内的变化趋势,根据上述方法得到的数据资料,通过相关软件绘制出所要分析用的图。

文中使用到的相关指标有:小时降水量、日降水量、降水日数、小时降水比率、小时降水频率等。小时降水量是指:一小时的降水量值(单位: mm);日降水量是指:一日降水量的累计值(单位: mm),一日是指前一日 20 时至后一日 20 时;小时降水比率是指:某个小时降水量占日降水量的百分比(单位: %);小时降水频率是指:某小时降水出现的次数占降水总小时数的百分比(单位: %);一日中的午前、午后分别指北京时 24~12 时、12~24 时。



**Figure 1.** Distribution of ground meteorological observation stations in Gansu (The larger one ● is the representative station selected for different climate zones)

**图 1.** 甘肃省地面气象观测站分布(其中较大的●为不同气候区选取的代表站点)

### 3. 结果分析

#### 3.1. 多年平均的逐时降水比率特征

在甘肃省不同的气候区选取的 15 个代表站点, (其中: 干旱区代表站有, 敦煌、酒泉、张掖、武威; 半干旱区: 乌鞘岭、兰州、白银、东乡、安定、环县; 半湿润区: 合作、玛曲、武都、天水、崇信), 从多年平均的逐小时降水比率的分布情况来看图 2, 不同代表站的逐小时降水比率在一日内的分布极为不均匀, 地处河西走廊的敦煌、酒泉、张掖、武威降水量的逐小时分布情况相似, 小时降水比率低值区主要集中在下午 11~17 时; 小时降水比率高值区出现在 17~18 时。

兰州与白银两站虽然距离不远, 但是降水分布情况却并不相同。特别是小时降水比率低值区分布, 兰州低值区出现在 12~17 时, 降水比率在 2.8%~3.3% 之间波动, 而白银站低值区出现在 21~24 时, 小时降水比率在 3.0%~4.0% 之间波动; 东乡站逐小时降水量分布表现为夜间降水大于白天降水量, 具体为: 小时降水比率低值区在 12~16 时, 在 2.7%~2.9% 之间波动, 小时降水比率高值区在 19~20、21~24 时, 在 5.1%~6.1% 之间波动; 安定站降水量分布呈现出“三峰两谷”的分布趋势, 高值区在 18~23、5~8 时, 小时降水比率在 5.0%~5.8% 之间波动; 而低值区在 2~6、13~16 时, 小时降水比率在 2.9%~3.9% 之间波动; 天水站降水主要集中在 24~12 时, 这些时段小时降水比率均达到 4.2% 以上, 其中降水最大值出现在 10 时, 小时降水比率为 5.4%, 而低值区出现在 14~16 时, 在 3.2%~3.5% 之间。地处海拔较高的乌鞘岭站逐小时降水量分布较为平均, 特别是在 21~14 时表现的更加突出, 小时降水比率在 2.8%~4.3% 的范围内波动, 而小时降水比率高值区集中在 15 时之后的时间段, 在 5.4%~7.7% 的范围内波动。

甘南高原选取合作与玛曲两个站点进行分析, 从图中可以看出两站逐小时降水量分布图表现出相似

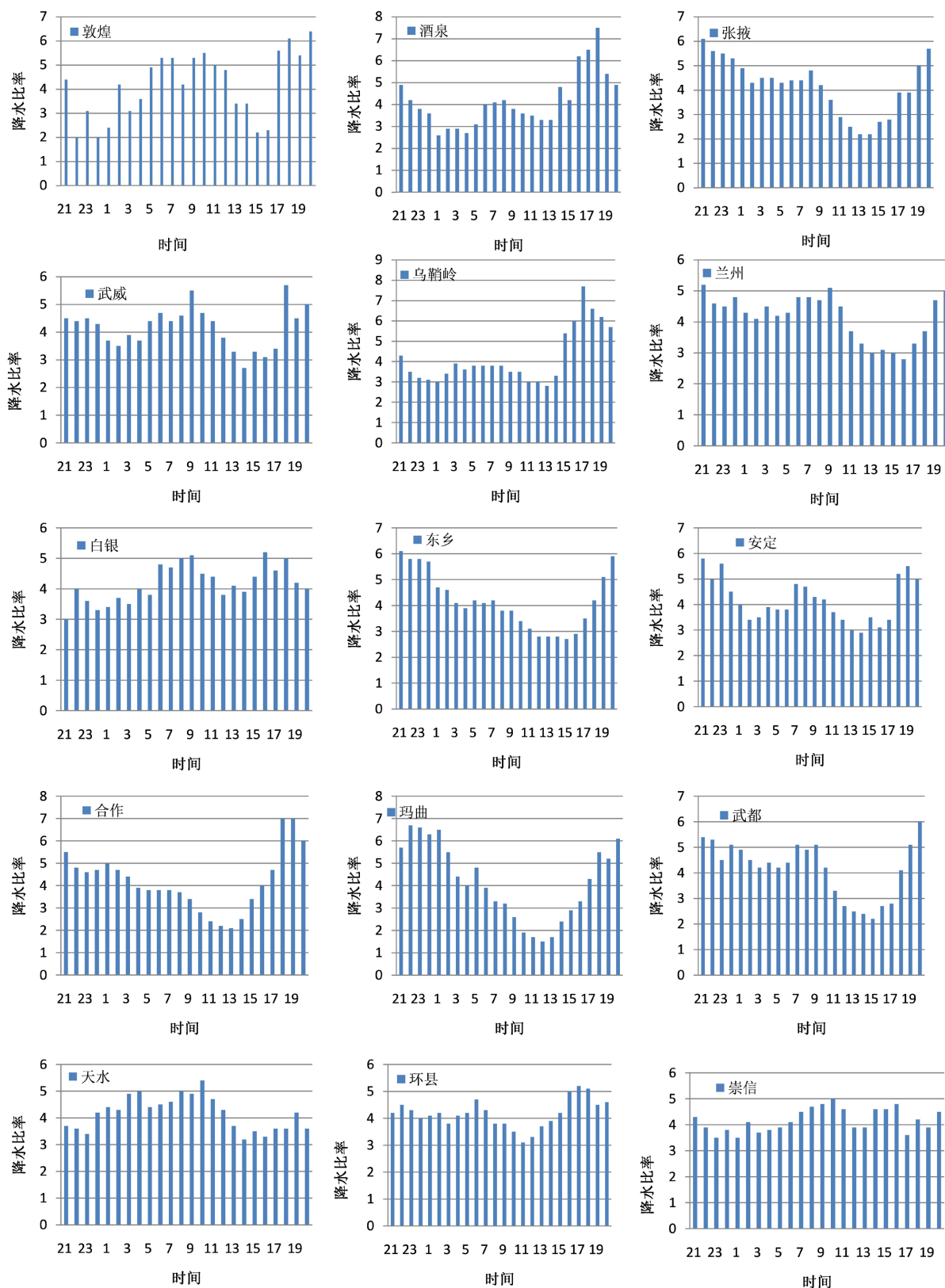


Figure 2. Hourly precipitation ratio chart of region stations from May to September in Gansu

图 2. 甘肃各区域代表站 5~9 月逐时降水比率

的规律。两者的小时降水比率低值区分布在 10~13 时，在 1.5%~2.8% 之间；合作小时降水比率高值区集中在 18~19 时，降水量比率为 7.0%，玛曲高值区集中在 22~23 时，小时降水比率为 6.7%。

陇南选择武都站，可以看到 21~10 时降水量分布较为均匀，小时降水比率最大值出现在 20 时，降水比率为 6%，而低值区出现在 12~17 时，在 2.2%~2.8% 之间的范围内。

陇东地区选择环县和崇信两个站点。两个站的降水在日内均表现出相对平均的分布特征，逐小时的降水比率差别很小，特别是崇信站，降水比率最大值与最小值间的差别只有 1.5%；环县站小时降水比率高值区出现在 17~18 时，降水比率在 5.1%~5.2%，低值区出现在 11~12 时，降水比率在 3.1%~3.3% 之间。

### 3.2. 多年平均的逐时降水频率特征

从上节的分析可以看到，全省不同气候区代表站的逐时降水量在不同时间段的分布是有差异的，那这种小时降水比率的分布跟小时降水频率的分布有什么联系？下面选取 5~9 月的逐时降水频率来分析，通过分析可以得到代表站点 42 年里降水在日内发生的具体时间分布，然后再将这种分布跟逐时降水比率进行对比。

#### 3.2.1. 逐时降水频率分布

从选取的代表站点来看图 3，敦煌市降水出现频率最高的时间为 7~14 时，降水频率最大为 1.9%，而不易出现降水的时间段为 22~06 时，降水频率最小值为 0.9%；酒泉市降水量出现频率最高的时间段集中在 16~21 时，降水频率最大值在 18 时达到了 3.4%，降水频率最小值为 2.1%；张掖选取张掖市和高台两个站点做研究，可以看到两个站小时降水频率分布规律极其相似，只是具体的出现频率有所差异。张掖市降水量出现频率最高的时间段集中在 20~09 时，降水频率最大值在 22 时达到了 5.3%，10~19 时降水出现的概率最小，降水频率最小值为 2.4%；武威选取两个站点，以民勤为例，降水频率最大集中在 06~10 时，最大值为 5.5%，不易发生降水的时间段为 16~18 时，最小为 2.3%；省会兰州降水频率达到 7% 以上的时间段为 04~09 时，最大值为 7.9%，降水频率小于 6% 的时间段在 13~18 时之间；定西选取安定区、临洮两个点，可以看到两个地区降水时间分布相似，但是临洮降水频率明显大于安定区，降水易发时间在早晨 07~09 时、夜间 22~23 时，且最大降水频率达到了 11.2%，16 时不易发生降水。

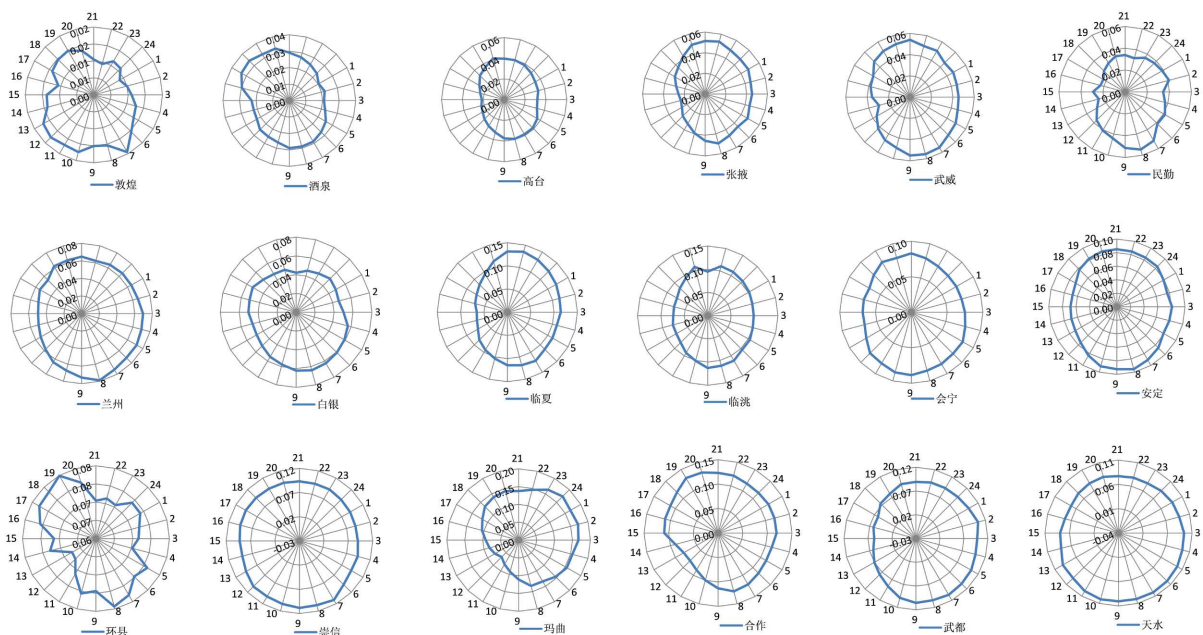


Figure 3. Hourly precipitation frequency of region stations from May to September in Gansu

图 3. 甘肃各区域代表站 5~9 月逐时降水频率

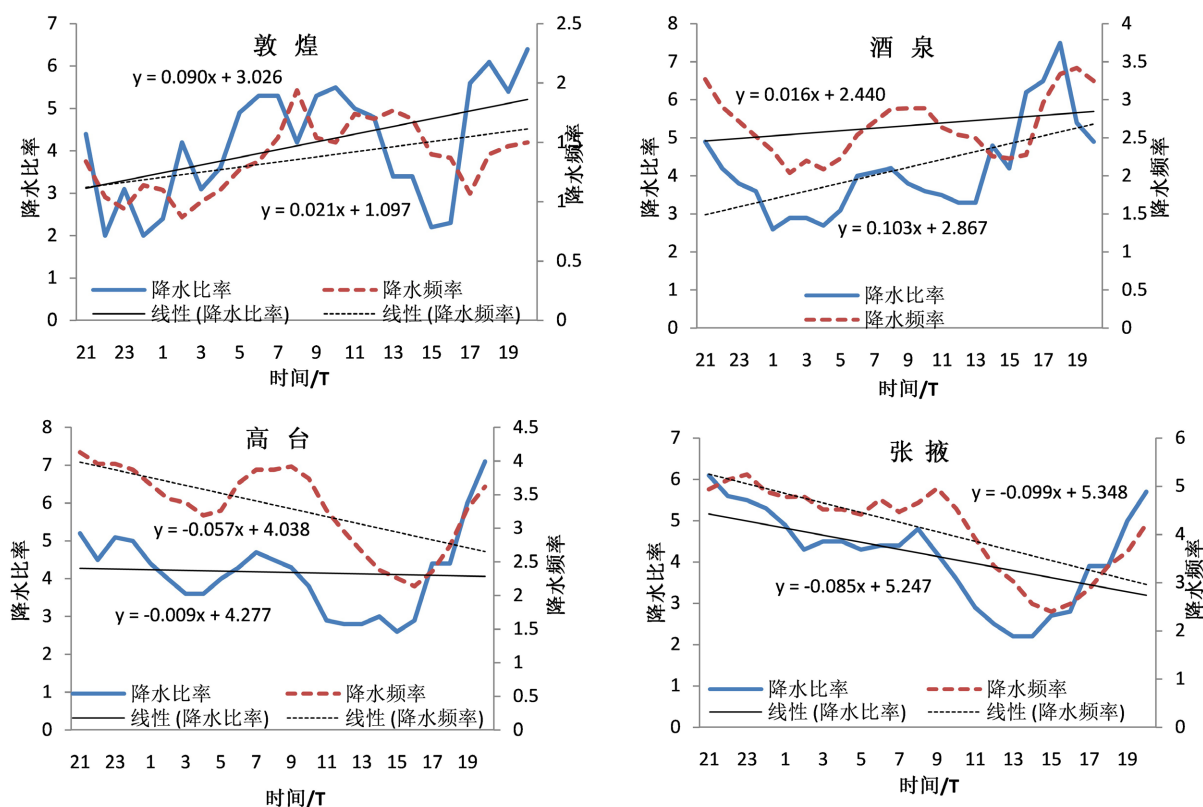
甘南玛曲县降水易发时间段在 01~02 时, 降水频率超过了 17%, 12 时降水频率最小, 只有 6.7%, 两者相差 10.3%; 庆阳选择环县站, 可以看到全天 24 小时降水出现的频率极为不均, 最大值主要集中在早晨 5~8 时、16~20 时, 最小值出现在 21~23 时以及 11~13 时; 天水、陇南以及平凉的地区全天 24 小时降水频率分布较为平均, 小时间降水出现的频率差别不大。

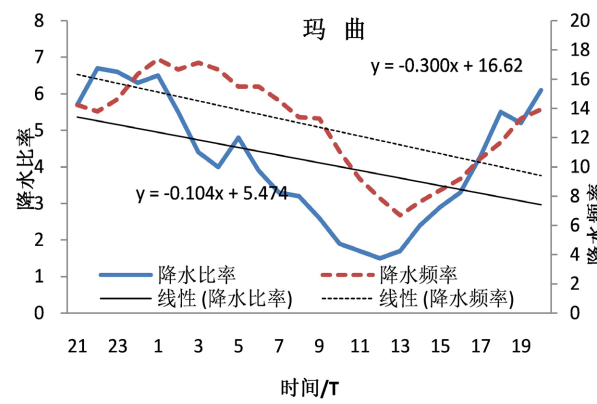
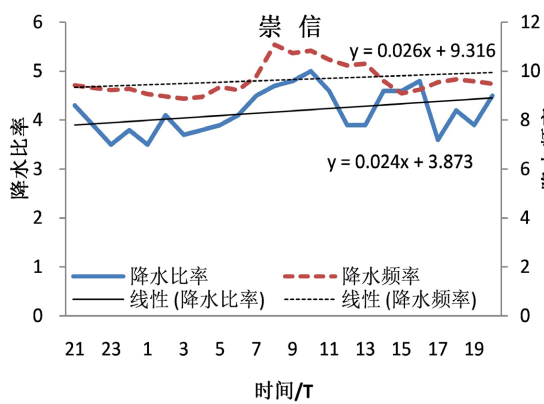
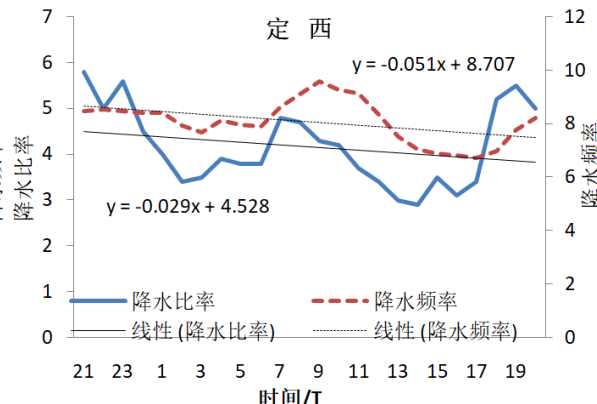
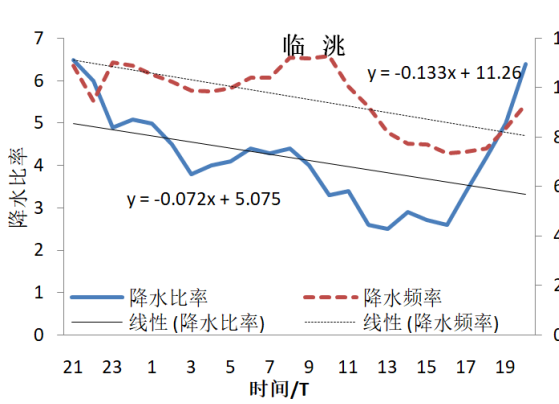
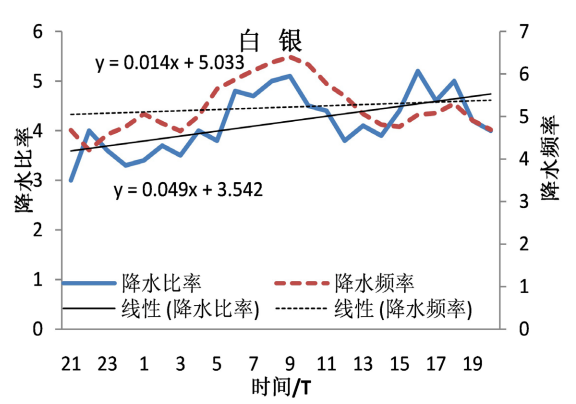
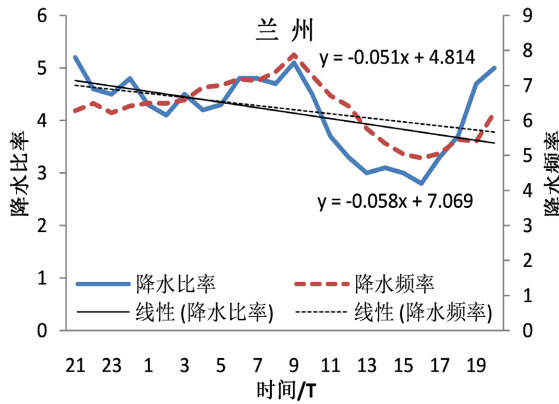
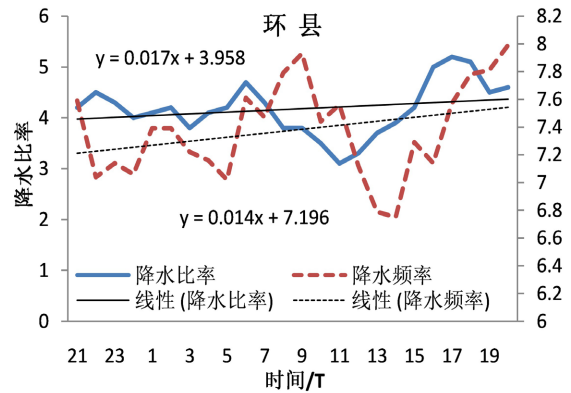
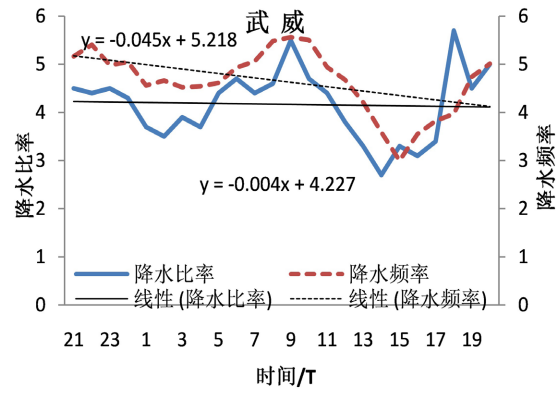
### 3.2.2. 逐时降水频率与降水比率的对比

从选取的站点来看图 4, 在干旱区(敦煌、酒泉、高台、张掖、武威) 5 个站的降水比率与降水频率的气候倾向率均保持一致。酒泉、高台、张掖、武威的降水比率与降水频率趋势线在一日内的变化趋势十分的相似, 同时还可以看到降水频率变化趋势线要滞后于降水比率变化趋势线, 高台站降水比率在 16 时后表现出增加的趋势, 降水频率在 18 时后表现出增加的趋势; 张掖站降水比率与降水频率分别在 14 时、15 时后表现出增加的趋势; 同样武威站降水比率与降水频率分别在 14 时、15 时后表现出增加的趋势。

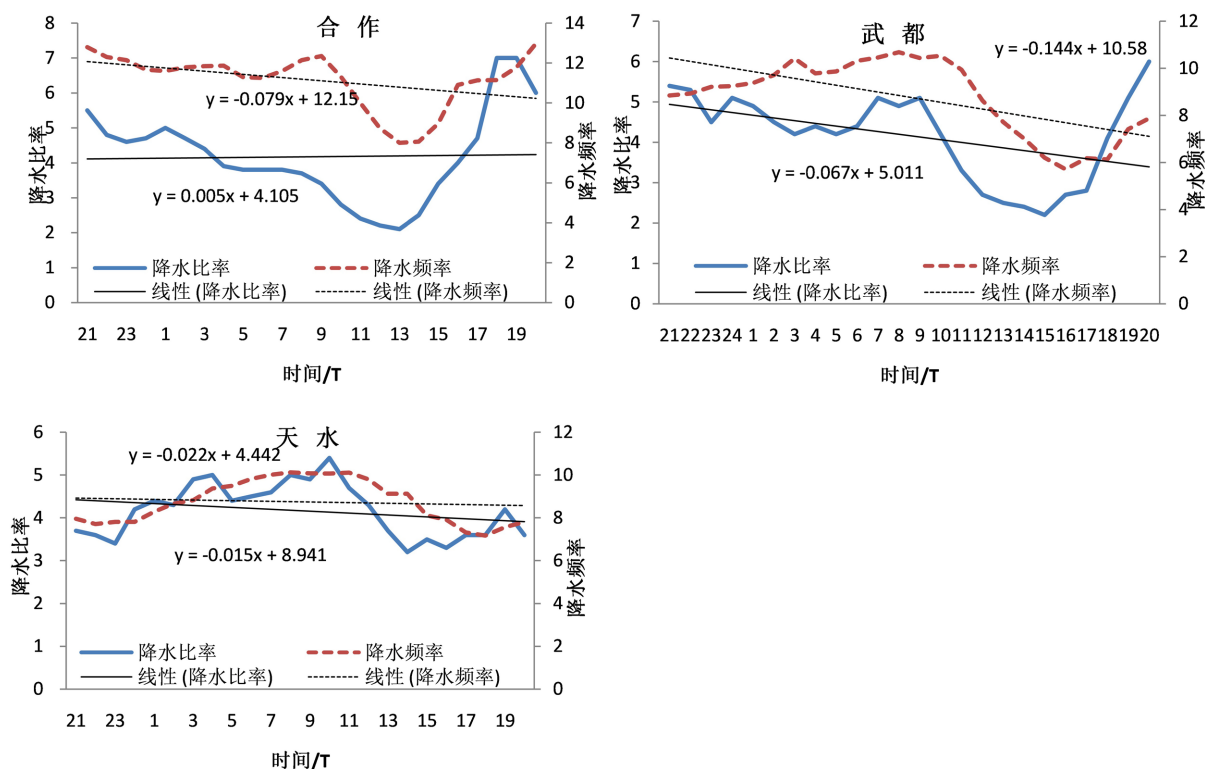
半干旱区(兰州、白银、临洮、定西、环县) 5 个站的降水比率与降水频率的气候倾向率均保持一致。环县、兰州、临洮、定西的降水比率与降水频率趋势线在一日内的变化趋势十分的相似, 其中环县和兰州站降水比率与降水频率的气候倾向率差别最小, 降水频率变化趋势线较降水比率变化趋势线具有滞后性, 环县站降水比率在 11 时后表现出增加的趋势, 降水频率在 14 时后表现出增加的趋势; 兰州站、定西站降水比率与降水频率均在 16 时后表现出增加的趋势。

半湿润区(崇信、玛曲、合作、武都、天水)除去合作站外其他的 4 个站降水比率与降水频率的气候倾向率保持一致。崇信、玛曲、武都、天水的降水比率与降水频率趋势线在一日内的变化趋势类似, 其中崇信和天水站降水比率与降水频率的气候倾向率差别最为接近, 降水频率变化趋势线滞后于降水比率变化趋势线, 玛曲站降水比率在 12 时后表现出增加的趋势, 降水频率在 13 时后表现出增加的趋势; 武都站降水比率在 15 时后表现出增加的趋势, 降水频率在 16 时后表现出增加的趋势; 合作站降水比率与降









**Figure 4.** The comparison between the precipitation ratio and precipitation frequency of the regional representative stations in Gansu province from May to September

**图 4.** 甘肃各区域代表站 5~9 月降水比率降水频率对比

水频率均在 13 时后表现出增加的趋势。

总体来看,不同气候区大多数的站点降水比率与降水频率在一日内的气候倾向率保持一致,降水比率与降水频率趋势线在一日内的变化趋势十分的相似,且降水频率变化趋势线要滞后于降水比率变化趋势线,此外,无论是降水比率还是降水频率,它们在三个气候区表现出增加的时间段大多集中在 11~18 时之间。

### 3.3. 多年平均的汛期逐月小时降水量日分布特征

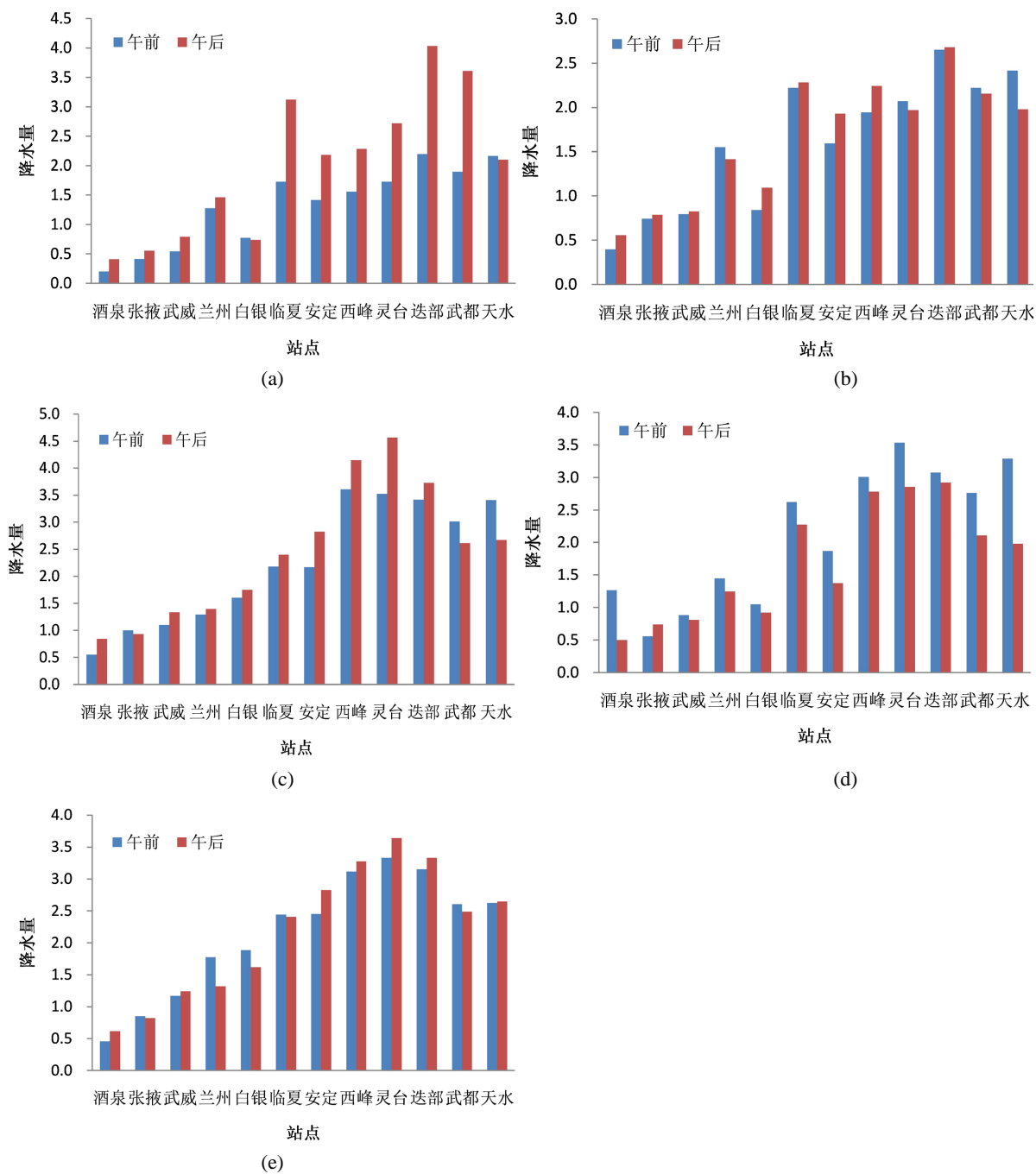
从多年平均的午前和午后降水分布来看图 5,具体情况如下。5 月份,午后降水明显的多于午前,仅白银、天水两个站午前降水量大于午后降水量;临夏、迭部、武都三个站午前午后降水量差别最为显著,分别达到了 1.4 mm、1.8 mm、1.7 mm;午前降水量峰值出现在天水站,为 2.2 mm,午后降水量峰值出现在迭部站,达到了 4.4 mm。

6 月份,有兰州、灵台、武都、天水四个站午前降水量大于午后的值,但是其分布规律有别于 5 月份的状况,所有站午前午后降水量差值很小,最大差值出现在天水站,只有 0.3 mm;午前午后降水量峰值均出现在迭部站,且均为 2.7 mm。

7 月份,张掖、武都、天水三个站午前降水量大于午后的值,午前午后降水量差值在 0.1~1.1 mm 之间,最大差值出现在灵台站;午前午后降水量峰值分别为西峰 3.6 mm、灵台 4.6 mm。

8 月份,张掖、兰州、白银、临夏、武都五个站午前降水量大于午后的值,午前午后降水量差值在 0.1~0.5 mm 之间,最大差值出现在兰州站;午前午后降水量峰值均在灵台,分别为 3.3 mm、3.6 mm。

从 9 月份午前午后降水量的分布来看,除张掖站午前降水量小于午后的降水量外,其余站点均表现为午前降水量要大于午后降水量,这一结论与之前 5~8 月份所分析的结论截然不同。午前午后降水量差



**Figure 5.** Distribution of the precipitation day in the provinces of Gansu province from May to September (unit: mm); (a) May, (b) June, (c) July, (d) August, (e) September

**图 5.** 甘肃各区域代表站 5~9 月降水日分布(单位: mm); (a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月; (d) 8 月; (e) 9 月

值在 0.1~1.3 mm 之间, 最大差值出现在天水站, 为 1.3 mm; 午前、午后降水量峰值分别出现在灵台 3.5 mm、迭部站 2.9 mm。

从 5~9 月份各站点各月午前、午后降水量分布情况来看, 5~8 月, 午前降水量总体上是小于午后降水量的, 但 9 月份, 午前降水量在一日中所占的比例大于午后降水量所占的比例, 这可能跟 5~8 月午后对流天气较多, 易出现突发性的短时强降水有关, 致使大多数站点午前降水量小于午后降水, 而到 9 月

出现对流性天气过程的概率明显减小, 所以表现出午前降水量大于午后降水量的特征。

#### 4. 结论

通过对代表站点小时降水比率的分析来看, 不同代表站的降水量在一日内的分布状况极为不均匀, 河西走廊小时降水比率低值区集中在 11~17 时以及 1~4 时, 高值区出现在 17~18 以及 20~21 时; 甘南高原小时降水比率低值区集中在 10~13 时, 高值区出现在 22~23 时; 陇南地区小时降水比率低值区集中在 12~17 时, 最大值出现在 20 时; 陇东地区小时降水比率低值区集中在 11~12 时, 高值区集中在 17~18 时; 陇中地区站点较多, 小时降水比率规律性不强。

从降水频率分布来看, 17~08 时的最大降水频率都出现在玛曲, 而 09~16 时的最大降水频率出现的地区则比较分散, 但频率大值区基本都位于河东地区; 同时, 各个时次的最小降水频率均出现在敦煌(13 时最小降水频率为敦煌、酒泉、高台三站同时保持); 此外, 还可发现, 各个时段沿河西走廊从敦煌至武威降水频率呈递增趋势。逐站来看, 大部分地区的最大降水频率集中出现在 08~09 时, 而最小降水频率多出现在 12~18 时。天水、陇南以及平凉的地区全天 24 小时降水频率分布较为平均, 小时间降水出现的频率差别不大。

三个气候区降水比率与降水频率在一日内的气候倾向率保持一致, 降水频率变化趋势线普遍滞后于降水比率变化趋势线。降水量在一日内的分布不均匀, 5~8 月份因午后突发性的短时强降水较多, 使得大多数站点午前降水量小于午后降水量, 9 月份情况相反, 午前降水量大于午后降水量。

#### 参考文献

- [1] 曲晓波, 张涛, 刘鑫华, 等. 舟曲“8.8”特大山洪泥石流灾害气象成因分析[J]. 气象, 2010, 36(10): 102-105.
- [2] 白爱娟, 刘晓东, 刘长海. 青藏高原与四川盆地夏季降水日变化的对比分析[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 852-859.
- [3] 费启, 杨建全, 阿不都外力·阿不力克木, 等. 江苏南部汛期降水日变化特征分析[J]. 气象科学, 2014, 34(6): 678-683.
- [4] 韩函, 吴昊旻, 黄安宁. 华北地区夏季降水日变化的时空分布特征[J]. 大气科学, 2017, 41(2): 263-274.
- [5] 孙娴, 魏娜, 王式功, 等. 西安夏季降水的日变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1176-1182.
- [6] 周长艳, 肖安, 高文良. 2004-2013 年“雨城”雅安降水日变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6): 1524-1533.
- [7] 张灵玲, 许遐祯, 韩珏静, 刘冬晴. 近 30a 江苏夏季降水日变化的气候学特征[J]. 气象科技, 2016, 36(6): 826-833.
- [8] 张夏琨, 郭品文, 张书余, 王宝鉴. 甘肃南部主汛期强降水日数变化特征及其可能原因[J]. 气象, 2012, 38(4): 490-494.
- [9] 吉辰, 闵锦忠, 耿焕同, 等. 2006-2015 年上海嘉定区气温和降水非均匀分布特征分析[J]. 气象科技, 2017, 37(1): 110-119.
- [10] 杨玮, 程智. 近 53 年江淮流域梅汛期极端降水变化特征[J]. 气象, 2015, 41(9): 1126-1133.
- [11] 苏锦兰, 李建, 杨桂荣, 杨澄. 横断山系云岭余脉点苍山东西侧小时降水特性对比分析[J]. 气象, 2015, 41(1): 17-24.
- [12] Luo, Y.L., Wu, M., Ren, F., et al. (2016) Seasonality and Synoptic Situations of Extreme Hourly Precipitation over China. *Journal of Climate*, **29**, 8703-8719. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0057.1>
- [13] 董旭光, 顾伟宗, 曹洁, 孟祥新. 山东省汛期小时极端强降水分布和变化特征[J]. 气象, 2017, 43(8): 953-961.
- [14] 彭芳, 吴古会, 杜小玲. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 307-313.
- [15] Zhang, H. and Zhai, P. (2011) Temporal and Spatial Characteristics of Extreme Hourly Precipitation over Eastern China in the Warm Season. *Advances in Atmospheric Sciences*, **28**, 1177-1183. <https://doi.org/10.1007/s00376-011-0020-0>
- [16] 郑祚芳, 祁文, 李青春, 李林. 基于自动站观测的北京夏季降水特征[J]. 气象与环境研究, 2015, 20(2): 201-208.
- [17] 郑祚芳, 王在文, 高华. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响[J]. 气象, 2013, 39(12): 1635-1641.
- [18] Zhai, P., Zhang, X.B., Wan, H. and Pan, X. (2005) Trends on Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation

Extremes over China. *Journal of Climate*, **18**, 1096-1108. <https://doi.org/10.1175/JCLI-3318.1>

- [19] 杨森, 周晓珊, 高杰. 辽宁省夏季降水的日变化特征[J]. 气象, 2011, 37(8): 943-949.
- [20] 蔡新玲, 叶殿秀, 孙娴, 等. 1961-2011年陕西省汛期短时降水变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1618-1626.
- [21] 刘伟东, 尤焕苓, 任国玉, 等. 北京地区精细化的降水变化特征[J]. 气象与环境研究, 2014, 19(1): 61-78.
- [22] 常煜. 内蒙古5-9月小时强降水时空变化特征[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 735-743.
- [23] 张洪玲, 尹嫦娇, 魏磊, 等. 黑龙江省汛期逐时降水的时空变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1258-1263.
- [24] 陈春艳, 赵克明, 阿不力米提江·阿布力克木, 等. 暖湿背景下新疆逐时降水变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 692-702.
- [25] 伍红雨, 李春梅, 刘蔚琴. 1961-2014年广东小时强降水的变化特征[J]. 气象, 2017, 43(3): 305-314.