

王小龙, 邓卓雅, 李映春, 等. 甘肃省天水地区暴雨时空分布及天气学分型[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(4): 119–124.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2022.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



甘肃省天水地区暴雨时空分布 及天气学分型

王小龙¹, 邓卓雅¹, 李映春¹, 强玉柱¹, 李娟¹, 王秀花¹, 杨春芽²

(1. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000; 2. 张家川县气象局, 甘肃 张家川 741500)

摘要: 利用 1965—2019 年常规观测资料及 2008—2019 年区域站加密资料, 分析天水地区暴雨时空分布特征, 同时选取 30 个具有代表性的暴雨样本进行天气学分型及高低空物理量特征分析, 确立了预报指标。结果表明: (1) 近 55 a 来天水地区暴雨年均发生 2.75 站次, 整体呈增多趋势, 增加幅度为 $0.2 \text{ 站次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 其中 20 世纪 60 年代后期及 80—90 年代呈减少趋势, 20 世纪 70 年代及 21 世纪以来呈增多趋势。 (2) 天水地区暴雨 4 月中旬—10 月下旬都有出现, 但集中在夏季 7—8 月, 7 月频次最高, 月分布呈单峰型特征, 旬分布呈三峰型特征, 与副高位置密切相关。 (3) 天水地区暴雨空间分布自西向东依次增多, 并存在多个分布中心。 (4) 天水地区暴雨环流形势分为低槽(涡)东移型和副高西北侧西南气流型两种, 其高低空物理量配置各有不同。

关键词: 暴雨; 时空分布; 天气学分型; 配料法

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2022)04-0119-06

暴雨是一种降水强度(降水率)较大, 或过程总降水量较大的降水现象, 我国通常将日降水量或 24 h 降水量 $\geq 50 \text{ mm}$ 的降水称为暴雨^[1]。暴雨经常引发泥石流、滑坡等地质灾害, 给社会经济和人民生命财产造成重大损失。因此, 气象工作者在暴雨的气候特征、形成机制、雷达卫星以及数值模拟等方面开展了大量研究, 针对西北地区本地的暴雨天气成因、暴雨时空分布特征、天气学分型及中尺度方面的研究也取得了一定的研究成果^[2-9]。黄玉霞等^[2]梳理了近 40 a 西北暴雨的主要研究进展, 指出应关注基于强度的暴雨定义和短历时暴雨中尺度系统消机理研究等; 赵庆云等^[3]研究发现甘肃东南部是西北地区暴雨易发区之一; 多位学者^[4-8]研究表明西北地区暴雨多发生在低压槽前西南暖湿气流背景下, 低层偏北

风与偏南风形成的切变线附近; 侯建忠等^[9]对青藏高原东北侧暴雨特征进行分析, 发现甘肃等地暴雨受地形作用影响明显; 国内外学者多使用“配料法”、“分型配料法”等对暴雨进行预报^[10-11]。这些研究成果为天水地区的暴雨研究奠定了基础。

天水地区位于甘肃省东南部, 境内山脉纵横, 地势西北高、东南低, 是甘肃省暴雨最多的地区之一, 暴雨诱发的灾害每年都造成巨额损失, 例如 2018 年 7 月 2 日和 7 月 10 日发生的两次暴雨天气过程, 造成 5 名群众死亡、69 万余人受灾, 直接经济损失高达 15 亿元。暴雨的形成受地形作用及下垫面性质影响明显, 一般具有本地化的气候特征和形成机制。目前有关天水地区暴雨的研究^[6-9]大多都是基于陇东南或西北地区等较大的范围, 缺乏对当地暴雨特征及预报指标的详细研究, 同时对区域站和自动站资料的结合应用分析也不足。因此, 本文利用 1965—2019 年常规观测资料和 2008—2019 年区域站加密监测资料统计分析天水地区暴雨时空分布特征, 并选取 30 个代表性暴雨样本进行天气学分型及预报

收稿日期: 2020-12-29; 修回日期: 2021-12-22

基金项目: 甘肃省气象局重点项目(GSMAMs2018-06); 甘肃省气象局面上项目(Ms2019-05)

作者简介: 王小龙(1986—), 男, 工程师, 主要从事中短期天气预报及相关研究工作。E-mail: qxtwxl@126.com

指标研究,为天水暴雨预报预警及服务提供参考。

1 资料和方法

利用天水地区 1965—2019 年 7 个地面观测站常规观测资料及 2008—2019 年 269 个区域站加密资料数据,将当日 20 时—次日 20 时累计降雨量 $R_{24} \geq 50$ mm 定义为一个暴雨样本,共筛选出 116 个暴雨样本(总计 151 站次)。运用线性倾向估计、多项式拟合、置信度检验、滑动平均法等统计学方法以及克里金(Kriging)插值法对天水地区暴雨时空分布特征进行分析。同时,选取 2008—2019 年具有代表性的 30 个暴雨天气过程,利用“分型配料法”进行天气学分型及物理量指标研究。

2 暴雨时空分布特征

2.1 时间分布特征

2.1.1 年际分布特征

由图 1 可知,近 55 a 天水共监测到暴雨 151 站次,年均 2.75 站次,暴雨年际差异较大,其中 1968、1969 年等 17 a 未出现暴雨,2013 年暴雨最多,达 19 站次,这与当年的气候背景和大气环流形势有重要关系。使用线性倾向估计、多项式拟合及 5 a 滑动平均法来分析暴雨时间变化趋势,由线性趋势可知,近 55 a 来天水地区暴雨呈增多趋势,增幅为 0.2 站次 $\cdot (10 \text{ a})^{-1}$,通过了 0.01 的显著性检验;从多项式拟合来看 ($R^2=0.0802$),天水地区暴雨 20 世纪 60 年代后期及 80—90 年代呈减少趋势,20 世纪 70 年代及 21 世纪以来呈增多趋势。使用 5 a 滑动平均法来消除异常值对暴雨趋势的干扰,从图中滑动曲线变化趋势可知,近 55 a 天水各站暴雨变化趋势和多项式拟合结论基本一致,进入 2009 年后暴雨年际波动明显增大,主要是由于 2013 年大气环流有利于暴雨形成,导致暴雨站次剧增。

2.1.2 月分布特征

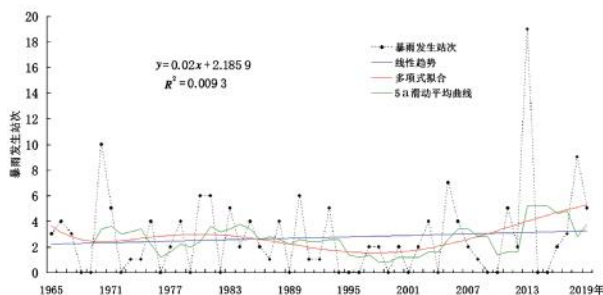


图 1 1965—2019 年天水暴雨站次年际变化
(虚线为暴雨站次演变线,蓝色直线为线性趋势线,红色曲线为多项式拟合曲线,绿色折线为 5 a 滑动平均曲线)

由图 2 可知,天水地区暴雨 94% 发生在夏季 6—8 月,春秋季占 6%,冬季无暴雨;从月分布来看,天水暴雨出现在 5—10 月,集中在 7—8 月,其中 7 月暴雨发生频次最高(52%),8 月(31%)次之,月分布呈单峰型特征,峰值出现在 7 月。另外由区域站加密资料可知,天水 4 月已有暴雨出现。

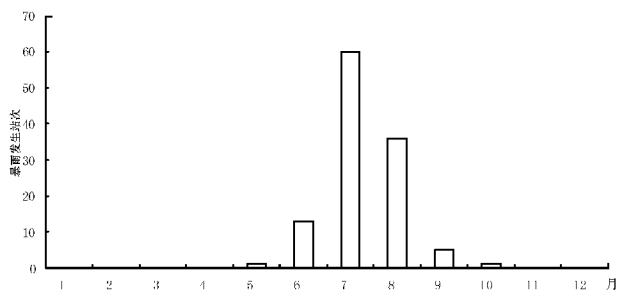


图 2 1965—2019 年天水暴雨站次月变化

2.1.3 旬分布特征

由图 3 可知,天水地区暴雨出现在 5 月下旬—10 月中旬,主汛期集中在 7 月上旬—8 月下旬,占 82.8%,其中 7 月上旬和下旬暴雨出现频次最多,为 25 站次,其次是 8 月下旬,为 16 站次。这主要与西太平洋副热带高压(简称副高)西伸北抬的时间有关,副高大致每年的 6 月 28 日—7 月 20 日开始西伸北抬,随着副高西伸北抬,我国雨带也逐渐北移,雨带影响天水地区的时间恰好在 7 月上旬和下旬期间,与天水暴雨出现的前两次峰值正好对应;到了 8 月下旬,随着副高势力减弱东退,雨带迅速南移并经过天水,天水再次出现暴雨峰值。由上可知,天水暴雨旬分布的 3 个峰值正好与副高南北移动的时间相对应。另外对区域站加密资料补充分析后发现,天水 4 月中旬已有暴雨出现,分别在 2018 年 4 月 20 日和 2019 年 4 月 20 日,但两次都是冷锋影响下的对流性天气形成的局地暴雨。

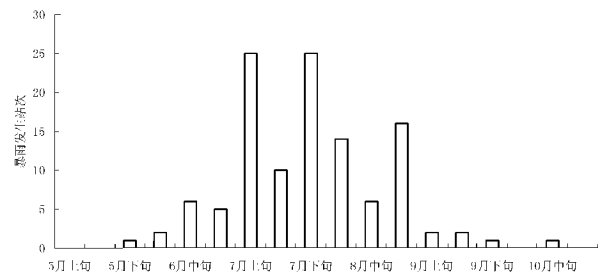


图 3 1965—2019 年天水暴雨站次旬变化

综上所述,天水地区暴雨出现在 4 月中旬—10 月中旬,主要集中在 7 月上旬—8 月下旬,并在 7 月上旬和下旬、8 月下旬出现 3 个峰值,旬分布呈三峰

型特征,这种特征与副高的位置有密切的关系。

2.2 空间分布特征

由图 4 可知,天水地区暴雨空间分布明显不均,由西向东逐渐增多。武山县、甘谷县及秦安县暴雨发生次数相对较少,只有 9~14 次;秦州区次之,为 23 次;麦积区、清水县及张家川县暴雨发生次数最多,为 30~32 次。这种空间分布特征主要与天水市的地理环境和气候背景有重要关系,天水地形是西北高、东南低,东南部为小陇山林区,植被较好,西南气流北上时受地形抬升影响,容易形成暴雨。

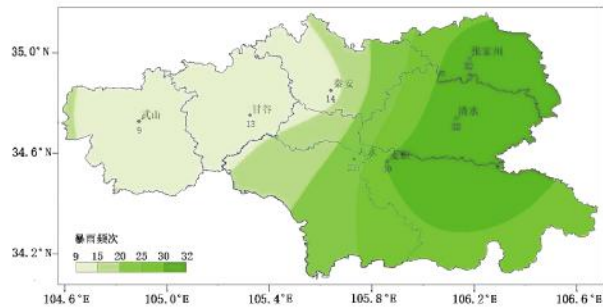


图 4 1965—2019 年天水 7 个观测站暴雨出现频次空间分布(Kriging 插值法)

天水地面观测站只有 7 个,常规资料不能很好地反映天水地区暴雨空间分布更加精细的情况,以前并不容易出现暴雨的地方也时有暴雨发生。通过对天水 2008—2019 年区域站加密资料补充分析后发现(图 5),天水暴雨存在多个分布中心,分别为甘谷县南部、清水县西部和南部、张家川县中部和西部、秦州区东南部、麦积区南部,其中秦州区东南和麦积区南部暴雨发生频次最高,分别达 19、17 次。这与其特殊的地形及下垫面性质有重要关系,上述暴雨高频区均为林区迎风坡喇叭口地形,暖湿的偏南气流在这里受到地形强迫抬升及辐合,加上地表植物蒸腾作用补充的大量水汽,产生大量的凝结降雨,同时释放出大量的凝结潜热,进一步增加了大气的不稳定性,相对其它地方更容易形成暴雨。

3 天气学分型

暴雨是在天气尺度背景制约下由中小尺度系统直接造成,本文首先根据 500 hPa 天气尺度系统对选取具有代表性的 30 个暴雨样本进行天气学分型,然后对其水汽条件、层结稳定度条件及动力条件展开分析,结合当地暴雨预报经验,建立预报指标,即“配料法”^[10-11]。结果表明,影响天水地区暴雨的主要环流形势有两种:低槽(涡)东移型(8 次)和副热带

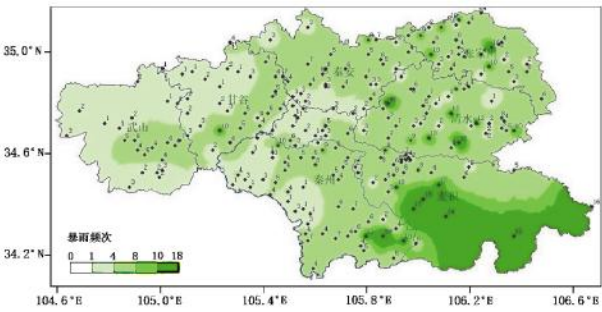


图 5 2008—2019 年天水区域站暴雨出现频次空间分布(Kriging 插值法)

高压西北侧西南气流型(22 次),其中副热带高压西北侧西南气流型是天水主要的暴雨环流形势。

对上述两种不同环流形势下的暴雨高低空物理量配置条件统计分析。首先,水汽条件。天水海拔高度在 1 000~2 100 m,700 hPa 的比湿、露点温度差以及水汽通量散度能够很好地表征天水上空中低层水汽含量、水汽饱和程度以及水汽的聚积情况。其次,层结稳定度条件。根据预报经验, K 指数、沙氏指数 S_i 、700 与 500 hPa 温差 $T_{700-500}$ 、700 与 500 hPa 的假相当位温差 $\theta_{se(700-500)}$ 能够很好地表征天水上空大气层结稳定度情况。第三,动力条件。由于天气尺度背景下的暴雨天气过程发生前必然存在着明显的中低层辐合以及高层辐散,本文主要对 700 hPa 水平涡度及散度展开统计分析,结果见表 1。

表 1 2007—2019 年 30 个暴雨样本物理量统计

物理量	低槽(涡)东移型	副热带高压西北侧西南气流型
q_{700}	≥ 5	≥ 8
$T-T_d$	≤ 5	≤ 5
A_{700}	≤ -4	≤ -5
S_i	≤ 2	≤ 0
K_i	≥ 32	≥ 36
$T_{700-500}$	≥ 10	≥ 12
$\theta_{se(700-500)}$	< 0	< 0
ζ_{700}	> 0	> 5
D_{700}	< -5	< -5

注:表中数据源自暴雨发生前最近的 08 或 20 时 MICAPS 实况物理量。 q_{700} 指 700 hPa 比湿,单位: $g \cdot kg^{-1}$; $T-T_d$ 为 700 hPa 温度露点差,单位: $^{\circ}C$; A_{700} 指 700 hPa 水汽通量散度,单位: $10^{-4} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$; S_i 指沙氏指数,单位: $^{\circ}C$; K_i 指 K 指数,单位: $^{\circ}C$; $T_{700-500}$ 指 700 与 500 hPa 气温差,单位: $^{\circ}C$; $\theta_{se(700-500)}$ 指 700 与 500 hPa 假相当位温差,单位: $^{\circ}C$; ζ_{700} 指 700 hPa 涡度,单位: $10^{-5} s^{-1}$; D_{700} 指 700 hPa 散度,单位: $10^{-5} s^{-1}$ 。

3.1 低槽(涡)东移型

低槽(涡)东移型暴雨在水天主要有3种形成方式,一是西风槽或高原槽在东移过程中直接影响天水形成暴雨;二是高原涡或西北涡^[12-14]在西风槽的影响下发展东移影响天水形成暴雨;三是西风槽在东移过程中不断加深后南部被暖空气切断形成的切断低压(高空冷涡)影响天水形成暴雨。这3种暴雨在春季、夏季和秋季都会出现。

低槽(涡)东移型暴雨(图6)发生前天水主要受高压系统控制,天气晴好,不稳定能量积累较好,500 hPa有西风槽发展东移,高原上低值系统发展活跃,700 hPa偏南风发展旺盛,有切变线或低涡存在。暴雨发生时,天水位于500 hPa槽前或低涡(高原涡、西北涡)东南部、700 hPa切变线附近或低涡东南象限,地面图上对应有冷锋或辐合线,暴雨主要由中小尺度对流系统形成,天气尺度系统贡献较小;有时西风槽在东移过程中不断加深,其南部被暖空气切断形成切断低涡(高空冷涡),受切断低涡影响,天水形成大范围暴雨天气。暴雨落区主要位于切变线附近和偏向暖区一侧,低涡东南象限也有暴雨产生。

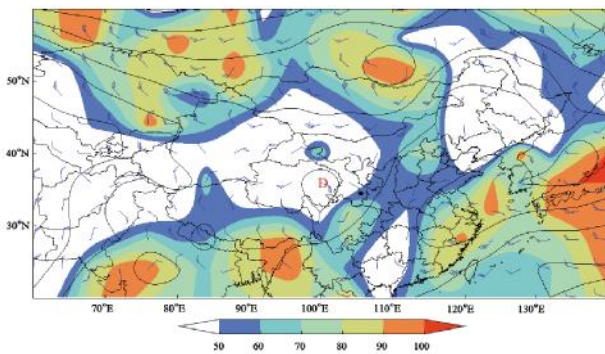


图6 低槽(涡)东移型暴雨高低空环流形势
(等值线为500 hPa高度场,单位:dagpm;风矢量为700 hPa风场,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;彩色填充区为700 hPa相对湿度,“D”表示低涡中心,●为天水所在位置)

低槽(涡)东移型高低空物理量配置为夏秋季700 hPa比湿 $q \geq 8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,春季 $q \geq 5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,温度露点差 $T-T_d \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,从孟加拉湾或南海有明显的偏南气流将湿润的暖空气源源不断地输送到天水地区,天水位于高比湿中心附近或者高比湿中心下风向,在等比湿线分析图上表现为一条明显的南北向湿轴直达天水,水汽通量散度 $\leq -4 \times 10^{-4} \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,有良好的水汽辐合条件。 K 指数 $\geq 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$,700和500 hPa温差 $\Delta T_{700-500} \geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$,影响系统为冷涡时 $T_{700-500} \geq 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$,700和500 hPa假相当位温差 $\theta_{se(700-500)} > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$,沙氏指数 $S_i \leq 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$;700 hPa切变线附近风

速 $\geq 6 \text{ m/s}$,且曲率较大,地面有冷锋或者辐合线,当影响系统为西风槽时有干线(露点锋)存在,层结不稳定条件及触发条件较强。中下层(700~500 hPa)散度 $\leq -5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,涡度为正或低层涡度不明显,高层(500~200 hPa)有明显的负涡度($\leq -20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$),当水汽条件相对较差时,散度值更低,同时整个辐合层的厚度也明显变大,高层辐散、低层辐合明显,垂直上升运动条件较强。

3.2 副热带高压西北侧西南气流型

研究表明,夏季副高的活动是影响我国暴雨的主要天气系统,它的每一次西伸、东退都伴随着我国雨带的变化^[15-18]。副高是一个深厚的暖性动力型高压,每年的夏季是最为强大的时候,这时候它外围的西南风气流源源不断地将洋面上的暖湿空气输送到我国内陆地区,为我国降水提供了充沛的水汽及能量条件^[19-20]。

副高西北侧西南气流型(图7)暴雨主要出现在夏季,具有发生频次高、强度大、影响范围广等特点,常伴有短时强降水出现,是天水最常见的暴雨环流形势。过程发生前不稳定能量条件积累良好,天水主要位于副高588 dagpm线附近或者其外围西南暖湿气流控制之下,西风槽东移,700 hPa对应有切变线,地面有冷锋或辐合线配合,有时会存在700 hPa西南风低空急流与200 hPa高空急流的耦合。副高在西伸北抬或东退过程中雨带南北移动,西风槽东移侵入副高中下层强迫暖湿气流抬升形成大范围暴雨。暴雨落区主要在700 hPa切变线附近和偏向暖区一侧,当有低空急流时暴雨更容易出现在切变线右侧低空急流出口区附近。

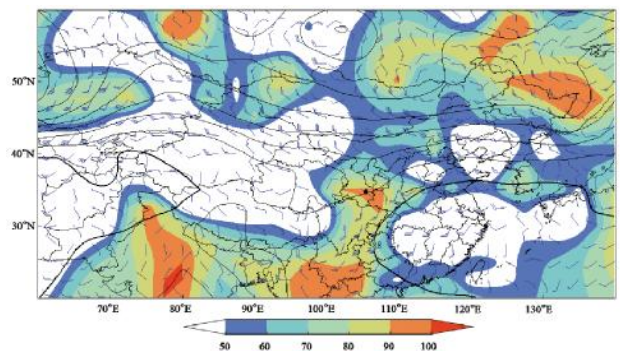


图7 副热带高压西北侧西南气流型暴雨
高低空环流形势
(等值线为500 hPa高度场,单位:dagpm;风矢量为700 hPa风场,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;彩色填充区为700 hPa相对湿度,●为天水所在位置)

副高西北侧西南气流型高低空物理量配置为

700 hPa 比湿 $q \geq 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 温度露点差 $T - T_d \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 副高外围的西南气流源源不断地将暖湿空气输送到天水附近, 四川北部—天水有一条南北向湿轴, 天水位于高比湿中心附近或者高比湿中心下风向, 水汽通量散度 $\leq -5 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, K 指数 $\geq 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 沙氏指数 $S_i \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 700 和 500 hPa 温差 $\Delta T_{700-500} \geq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 700 和 500 hPa 假相当位温差 $\theta_{se(700-500)} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 存在南北向的高能舌。700 hPa 散度 $\leq -5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 涡度 $\geq 5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 存在明显的冷式切变, 切变两侧风速 $> 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 且切变强弱及移动速度和暴雨强度正相关。暴雨落区主要在 700 hPa 切变线附近及偏向暖区一侧, 当有西南风低空急流时暴雨更容易出现在切变线附近偏向急流出口区一侧。

4 结论

(1) 天水地区暴雨年均发生 2.75 站次, 整体呈增多趋势, 增幅为 $0.2 \text{ 站次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 通过 0.01 的显著性检验, 在 20 世纪 60 年代后期及 80—90 年代呈减少趋势, 70 年代及 21 世纪以来呈增多趋势。

(2) 天水暴雨 94% 发生在夏季, 春秋两季仅占 6%, 冬季无暴雨出现; 4—10 月都有暴雨出现, 主要集中在 7—8 月, 并在 7 月出现最大峰值, 月分布呈单峰型特征; 主汛期为 7 月上旬—8 月下旬, 暴雨出现最多, 占 82.8%, 旬分布呈三峰型特征, 与副高位置有密切关系。

(3) 天水地区暴雨自西向东依次增多, 并存在多个分布中心, 分别为甘谷县南部、清水县西部和南部、张家川县中部和西部、秦州区东南部以及麦积区南部, 其中秦州区东南部和麦积区南部暴雨发生频次最高。

(4) 天水地区暴雨主要有低槽(涡)东移型、副高西北侧西南气流型两种天气学分型, 其中副高西北侧西南气流型最为常见, 两种分型的暴雨主要影响系统、形成机制、高低空物理量配置条件各不同。

参考文献:

- [1] 寿绍文. 中国暴雨的天气学研究进展 [J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 450–463.
- [2] 黄玉霞, 王宝鉴, 黄武斌, 等. 我国西北暴雨的研究进展 [J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 515–525.
- [3] 赵庆云, 宋松涛, 杨贵名, 等. 西北地区暴雨时空变化及异常年夏季环流特征 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2014, 50(4): 517–522.
- [4] 陶健红. 甘肃省短期预报员手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2012: 68–86.
- [5] 李明, 高维英, 侯建忠, 等. 一次西南涡东北移对川陕大暴雨影响的分析 [J]. 高原气象, 2013, 32(1): 133–144.
- [6] 李晓霞, 尚大成, 湛芸, 等. 甘肃陇南两次不同强度暴雨天气的中尺度特征分析 [J]. 高原气象, 2013, 32(5): 1389–1399.
- [7] 苏军锋, 吕宏, 闫惠玲, 等. 一次暴雨过程的中尺度特征分析 [J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 156–162.
- [8] 王宝鉴, 孔祥伟, 傅朝, 等. 甘肃陇东南一次大暴雨的中尺度特征分析 [J]. 高原气象, 2016, 35(6): 1551–1564.
- [9] 侯建忠, 权卫民, 潘留杰, 等. 青藏高原东北侧地区暴雨特征分析 [J]. 陕西气象, 2014(2): 1–5.
- [10] DOSWELL C A III, BROOKS H E, MADDOX R A. Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology [J]. Weather and Forecasting, 1996, 11(4): 560–581.
- [11] 张萍萍, 龙利民, 张宁, 等. “分型配料法”在湖北省暴雨预报中的应用研究 [J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 771–776.
- [12] 郁淑华, 高文良. 高原低涡与西南涡结伴而行的不同活动形式个例的环境场和位涡分析 [J]. 大气科学, 2017, 41(4): 831–856.
- [13] 李国平. 高原涡、西南涡研究的新进展及有关科学问题 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 1–6.
- [14] 高松, 陈贵川, 吴钰, 等. 一次西南低涡影响下的川渝地区暴雨个例分析 [J]. 干旱气象, 2019, 37(4): 597–612.
- [15] 王雅琦, 冯娟, 李建平, 等. 西北地区东部夏季降水年际变化特征及其与环流的关系 [J]. 高原气象, 2020, 39(2): 290–300.
- [16] 梁钰, 王君, 吴璐. 淮河流域(河南段)连续性暴雨天气分型及维持机制 [J]. 气象与环境科学, 2019, 42(2): 48–54.
- [17] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动 [J]. 气象学报, 2001, 59(6): 747–758.
- [18] 李建平, 朱建磊. 晚春初夏西太平洋副热带高压南撤过程的气候学特征 [J]. 气象学报, 2008, 66(6): 926–939.
- [19] 狄潇泓, 王小勇, 肖玮. 甘肃一次副高内部极端强降水可预报性思考 [J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1029–1037.
- [20] 林建, 杨贵名. 近 30 年中国暴雨时空特征分析 [J]. 气象, 2014, 40(7): 816–826.

Spatial and Temporal Distribution and Synoptic Types of Heavy Rain in Tianshui Area, Gansu Province

WANG Xiaolong¹, DENG Zhuoya¹, LI Yingchun¹, QIANG Yuzhu¹, LI Juan¹,
WANG Xiuhua¹, YANG Chunya²

(1. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui 741000, China;

2. Zhangjiachuan Meteorological Bureau, Zhangjiachuan 741500, China)

Abstract Based on conventional observation data from 1965 to 2019 and encrypted data from regional stations from 2008 to 2019, the spatial and temporal distribution characteristics of heavy rain in Tianshui were analyzed. Meanwhile, 30 representative samples of heavy rain were selected for synoptic classification and the analysis of high-and-low altitude physical quantity characteristics. Relevant forecast indicators were determined. The results revealed that: (1) In the past 55 years, the annual average occurrence of heavy rain in Tianshui was 2.75 times, showing an overall rising trend and an increase of 0.2 times per decade, while it showed a declining trend in the late 1960s and 1980s–1990s, and showed an increasing trend in the 1970s and the 21st century. (2) Heavy rain occurred in Tianshui from mid-April to late-October, but occurred intensively in summer from July to August, most frequently in July. The monthly distribution showed a single-peaked characteristic, and the ten-day distribution showed three-peaked characteristic, which was closely related to the position of subtropical high. (3) The spatial distribution of rainstorm increased from west to east in Tianshui area, and there were many distribution centers. (4) There were two types of circulation patterns of heavy rain in Tianshui, namely, eastward shifting low trough (vortex) and southwest airflow on the northwest side of the subtropical high. There existed differences in their respective high-and-low-altitude physical quantity.

Key words heavy rain; spatial and temporal distribution; synoptic type; ingredients-based methodology