

何生录,严应存,张亚珍,等.祁连山南麓汛期降水时空分布特征研究[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(2):116-121

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2022.02.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



祁连山南麓汛期降水时空分布特征研究

何生录^{1,2},严应存^{3*},张亚珍¹,韩忠全^{2,4},许学莲^{1,2}张娟³

(1.格尔木市气象局,青海 格尔木 816099;2.青海省防灾减灾重点实验室,青海 西宁 810001;

3.青海省气象科学研究所,青海 西宁 810001;4.久治县气象局,青海 久治 814499)

摘要:利用1961—2019年祁连山南麓12个国家气象站汛期(5—9月)逐日降水资料,采用线性趋势、相关分析、ArcGIS空间分析和Morlet小波分析对祁连山南麓汛期降水时空分布特征进行分析研究。结果表明:(1)祁连山南麓汛期降水量呈显著增加趋势,降水日数呈减少趋势,7月降水量最多,8月降水强度最大。(2)汛期降水量、降水日数和降水强度均呈自西向东逐渐增加趋势,降水量高值区在门源,降水日数野牛沟最多,降水强度大通最大。(3)汛期降水集中度呈下降趋势,21世纪后降水处于均匀化状态,降水集中度存在5a左右的短周期和20a左右的长周期变化,空间分布呈由东向西增加趋势。(4)小雨、中雨和大雨及以上雨量随海拔高度的升高在增多,雨量分别在2751.1、2528.8和1977.4m达到最大值;降雨量级越高,出现雨量最大值的海拔高度越低。

关键词:汛期;降水;时空特征;祁连山南麓

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)02-0117-06

中国国家气候变化评估报告新近结果显示,1990年以来中国气温升高趋势为1.3~1.7℃/(100a),远高于早期的评估结果^[1],气候变暖已成不争的事实。降水是天气、气候变化中的一个重要气象要素,是水循环调节的重要环节^[2-3],降水对全球变暖的响应尤为突出,降水事件的时空分布特征随着全球气候变暖发生了改变^[4-6],致使干旱、洪涝等自然灾害频发。鉴于此,国内诸多学者进行了大量相关研究,申莉莉、李海英等^[7-8]对华北地区不同等级降水特征做了细致分析;张婷等^[9-11]分析了华南地区不同等级降水气候变化特征及对农业的影响,发现广东降水量增加主要由降水日数的增加引起;李广霞等^[12-14]

针对东北地区降水资源变化进行了多方面的探讨;孟丽霞等^[15-16]深入分析了西北地区降水特征及贡献,得出宁夏六盘山区降水存在不同的变化规律,年降水均呈减少趋势,且存在准14、11a等变化周期,并发生了多次突变。学者们对青藏高原^[17-19]、新疆^[20-21]等复杂地形不同等级降水、极端降水展开了广泛研究,结果表明青藏高原降水量分布自东南向西北递减,全区降水集中度(precipitation concentration degree,PCD)介于0.61~0.71。

祁连山是青藏高原的重要组成部分,其巨大的山体减缓了西风环流对东部黄河谷地和黄土高原的直接影响^[22],形成中国西北地区重要生态保护安全屏障,是黄河流域极为重要的水源补给地,具有特殊的生态地位。祁连山南麓位于青海省境内柴达木盆地北缘,西起当金山口,东、北至青海省界,东西总长800km,属大陆性高寒半湿润山地气候,生态系统脆弱,是祁连山生态环境整治、保护和修复的“主战场”。国内学者对祁连山降水的分析研究越来越多,张耀宗等^[23]研究发现,祁连山区的降水呈明显的上

收稿日期:2021-01-26;修回日期:2021-08-05

基金项目:青海省科技厅项目(2021-ZJ-611);国家自然科学基金项目(41765008,41861049);青海省气象局面上项目(QXMS2021-32);青海省防灾减灾重点实验室开放基金

作者简介:何生录(1979—),男,工程师,主要从事气象资料分析及气象服务工作。E-mail:328681069@qq.com

通信作者:严应存(1974—),女,高级工程师,主要从事农业气象研究与服务工作。E-mail:yanyingcun@sohu.com

升趋势,但区域差异性很明显,西段增加最为显著,且增加开始时间早于西北其他地区;贾文雄^[24]研究表明,降水与地理位置的相关性非常显著,从东到西降水量逐渐减少,降水的变差逐渐增大;陈志昆等^[25]分析祁连山区降水气候特征发现,海拔高度对该地区降水有较大影响,降水主要发生在午后和夜间。

对祁连山南麓降水的研究多侧重于降水量、降水日数等降水特征,针对汛期降水强度及降水集中度的研究较为少见。因此,本文通过祁连山南麓长序列汛期降水精细化分析研究,进一步明确祁连山南麓汛期降水时空分布及降水集中期变化规律,对祁连山南麓水生态修复、水环境治理、生态保护及提升气象防灾减灾能力具有极为重要的意义。

1 资料与方法

1.1 资料

选用 1961—2019 年汛期(5—9 月)祁连山南麓大柴旦、德令哈、天峻、托勒、野牛沟、祁连、刚察、门源、大通、互助、乐都、民和等 12 个国家气象站逐日降水量资料。资料来自青海省气象信息中心,其同质性和可靠性已经过严格检查和质量控制。因祁连山南麓特殊的地理和气候环境,降雨达到暴雨及以上量级的日数较少,故结合国家标准《降水量等级》(GB/T 28592-2012),降雨量级按照 24 h 内出现的降水量进行分级,小雨降水量为 0.1~9.9 mm、中雨降水量为 10.0~24.9 mm、大雨及以上降水量 ≥ 25.0 mm。

1.2 方法

采用线性趋势^[26-27]、相关分析、ArcGIS 插值分析中反距离权重法和 Morlet 小波分析,对祁连山南麓汛期降水量、降水日数、降水强度(降水量除以降水日数)、降水气候倾向率及降水集中度等降水表征量的时空分布特征进行分析研究。

降水集中度是对一定时间段产生的降水集中程度的表述,其取值范围为 0~1。降水越集中,则 PCD 值越接近于 1,降水越均匀,则 PCD 值越靠近于 0,其计算公式为^[28]:

$$P_{CD} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i}, \quad (1)$$

$$R_{xi} = \sum_{j=1}^n (r_{ij} \cdot \sin \theta_j), \quad (2)$$

$$R_{yi} = \sum_{j=1}^n (r_{ij} \cdot \cos \theta_j). \quad (3)$$

式中, P_{CD} 为降水集中度, R_{xi} 与 R_{yi} 分别代表研究站点在研究时段垂直与水平方向的降水量, i 为研究

时段序列年份, j 为研究采用的时间尺度(旬), R_i 代表研究时段内总降水量, r_{ij} 为每旬产生的降水量, θ_j 为各旬对应的方位角。

2 结果与分析

2.1 汛期降水量时空变化特征

祁连山南麓汛期降水量为 319.2 mm (图 1),占全年降水量的 86%,降水以 $9.5 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的速率呈显著增加趋势 ($P < 0.01$);1967 和 2019 年出现降水量最大值 399.5 mm,1991 年出现降水量最小值 239.0 mm,降水量最大值和最小值相差 106.6 mm。从年代际变化来看,除 20 世纪 90 年代降水量减少外,其它年代均在增加;2011—2019 年降水量最多,为 356.3 mm,20 世纪 60 年代降水量最少,为 303.0 mm。分析降水量月变化可知,汛期降水量气候倾向率为 $1.0 \sim 3.3 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,呈增加趋势,但未通过显著性检验;降水量 7 月份最多,为 81.7 mm,5 月份最少,为 43.7 mm。

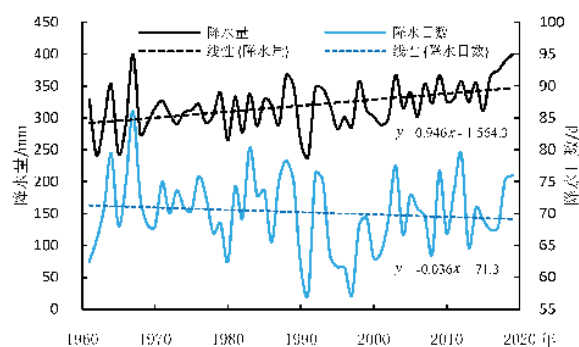


图 1 祁连山南麓汛期降水量和降水日数变化

空间分布上,汛期降水量为 80.0~440.0 mm,呈自西向东逐渐增加趋势(图 2a)。门源、大通及互助大部是降水高值区,降水量 >400 mm,其中门源最多,为 437.8 mm;大柴旦、德令哈大部是降水低值区,降水量 <170 mm,其中大柴旦最少,为 79.8 mm。分析降水量气候倾向率发现,互助、民和降水量分别以 -5.9 、 $-0.6 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的气候倾向率减少,其它站点均增加,其中德令哈、托勒、天峻、野牛沟、祁连、刚察降水气候倾向率为 $12.1 \sim 24.2 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,均通过 0.01 的显著性检验。

2.2 汛期降水日数时空变化特征

祁连山南麓汛期降水日数为 70.2 d (图 1),占全年降水日数的 71%,降水日数以 $0.4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 呈弱减少趋势 ($P > 0.1$);1967 年降水日数最多,为 86.1 d,

1997年降水日数最少,为57.3 d,两者相差28.8 d。从降水日数年代际变化来看,20世纪80年代降水日数最多,为72.6 d,20世纪90年代降水日数最少,为65.3 d,进入21世纪后,降水日数为71.5 d,呈持续增加趋势。汛期降水日数气候倾向率为 $-0.3 \sim 0.2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,增减趋势较小,表明汛期各月降水日数无明显变化;降水日数7月份最多,为16.5 d,5月最少,为11.1 d,这与降水量月变化相一致。

空间分布上,汛期降水日数为25.7~89.4 d,呈由西向东逐渐增加趋势,这与降水量分布格局一致。以天峻为分界线,其东部地区为降水日数高值区,除乐都、民和降水日数为62.8、60.3 d外,野牛沟、祁连、刚察、门源、大通、互助降水日数均 $>80 \text{ d}$;天峻以西是降水日数低值区,天峻、托勒降水日数 $>67 \text{ d}$,其余地区 $<60 \text{ d}$ 。德令哈、大柴旦、天峻降水日数分别以 3.1 、 1.4 、 $2.1 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的气候倾向率增加,其它站点以 $-0.3 \sim -3.1 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的气候倾向率减少,门源、大通、互助通过0.01的显著性检验。

2.3 汛期降水强度时空变化特征

祁连山南麓汛期降水强度为 $4.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,呈显著增加趋势($P < 0.001$),2017年降水强度最大,为 $5.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,1965年降水强度最小,为 $3.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。20世纪60年代降水强度最小,为 $4.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,2011—2019年降水强度最大,为 $4.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。8月份降水强度最大,为 $5.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,5月份最小,为 $3.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

汛期降水强度为 $3.1 \sim 5.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图2b),呈自西向东增加趋势。德令哈、大柴旦、托勒、野牛沟降水强度均 $<4.3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,门源、民和、大通、互助降水强度 $>4.7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。祁连山南麓汛期降水强度气候倾向率呈增加趋势,大柴旦、民和、乐都、互助增加较小,为 $0.0 \sim 0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,其余地区增加明显,增值均 $>0.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。

2.4 汛期降水集中度时空变化特征

由图3a可知,祁连山南麓汛期PCD气候倾向率为 $-0.005 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,呈微弱下降趋势,PCD多年平均值为0.23,若PCD值小于多年平均值,表明该年降水比较均匀,反之,表明该年降水比较集中。PCD最大值出现在1979和1990年,为0.35,说明这2a降水最为集中,PCD最小值出现在1988年,为0.13,表明1988年降水最为均匀。PCD在20世纪60—80年代波动较大,30a中大于和小于PCD平均值的年份交替出现15a,说明降水集中期和降水均匀期规律不明显;进入21世纪后,PCD波动较小,PCD大于平均值的年份有3a,占比为16%,小于或等于平均值的年份有16a,占比达84%,表明21世纪后在降水量整体增加的情况下,降水集中度在减弱处于均匀化,出现极端干旱或极端洪涝灾害的可能性减小。

汛期小雨、中雨、大雨及以上量级年平均降水量和降水日数分别为163.8、126.0、29.4 mm和60.7、

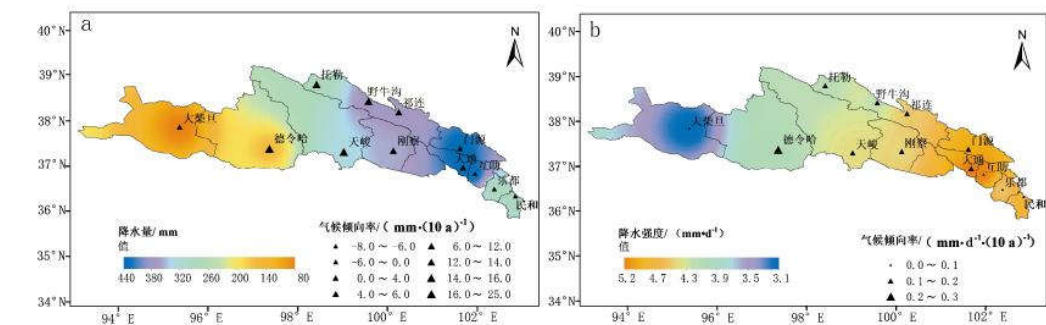


图2 祁连山南麓汛期降水量(a)和降水强度(b)空间变化

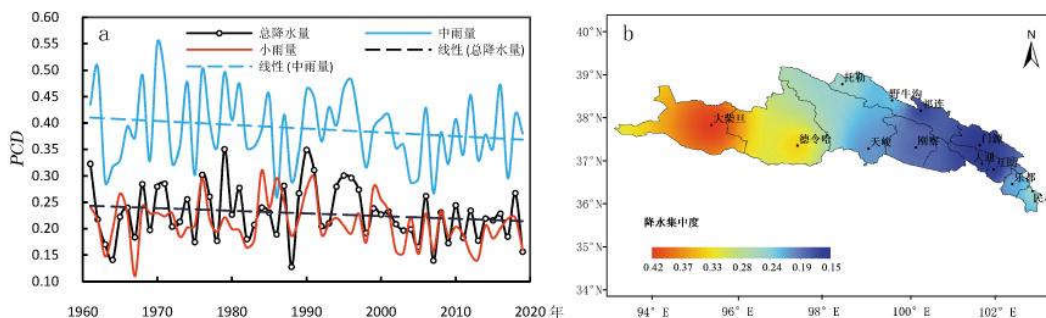


图3 祁连山南麓汛期降水集中度时间(a)和空间变化(b)

8.6、0.9 d, 对汛期降水的贡献率分别为 51.3%、39.5%、9.2%和 86.5%、12.2%、1.3%, 小雨占比最大, 对汛期降水起到主导作用, 中雨次之, 大雨及以上贡献最小。汛期小雨和中雨的 PCD 平均值分别为 0.21、0.39, 气候倾向率分别为 $-0.005 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.007 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 均呈微弱下降趋势; 20 世纪 60 年代—21 世纪前 10 a 小雨和中雨的 PCD 波动较大, PCD 大于平均值的年份分别有 23 和 24 a, 小于平均值的年份分别有 17 和 16 a, 说明小雨降水比较集中, 进入 21 世纪后, 小雨和中雨的 PCD 波动变小, PCD 大于平均值的年份各有 6 a, 小于平均值的年份各有 13 a, 表明 21 世纪以来降水比较均匀。

为进一步研究祁连山南麓 PCD 周期变化特征, 对其时间序列进行 Morlet 小波分析。从图 4a 可看出, 祁连山南麓汛期 PCD 存在多时间尺度特征, 其中 1960—2010 年存在 5 a 左右的周期, 低—高交替的震荡变化较为稳定, 是汛期 PCD 变化的第一主周期; 在 1990 年前存在 10 a 左右的周期变化, 出现了低—高交替的准 3 次震荡; 整个研究时段存在 20 a 左右的全域性长周期, 低—高交替震荡变化非常稳定。分析汛期小雨和中雨的 PCD 周期变化发现, 小雨 PCD 在 2010 年以前存在 3~5 a 的短周期, 1970 年—21 世纪初存在 7~8 a 的周期变化, 1970—1990 年存在 13~15 a 的长周期。由图 4b 可知, 中雨 PCD 在 2010 年以前存在 4~5 a 的短周期, 1980 年以前存在 11 a 左右的周期变化, 还存在 21 a 左右的全域性长周期变化, 2010 年中雨 PCD 增大, 曲线至今仍未闭合, 预计未来祁连山南麓 PCD 逐渐趋于集中的现象将会持续。

从空间分布来看, 汛期 PCD 平均值为 0.15~0.42 (图 3b), 说明祁连山南麓汛期降水集中度较为均匀; PCD 空间分布呈现出明显的由东向西增加趋势, 这表明祁连山南麓降水由东向西集中度增高。德

令哈以西地区降水集中度较高, PCD 值 >0.33 , 大柴旦出现 PCD 高值中心, 德令哈以东地区降水集中度较低, 门源、大通一带出现 PCD 低值中心。 PCD 空间分布和年降水量空间分布刚好相反, 年降水量多的地区 PCD 值小, 年降水量少的地区 PCD 值大。

2.5 汛期降水与坡向、海拔高度的关系

祁连山南麓降水特征不但受海拔高度的影响, 而且受所处特殊地形坡向、坡度的影响。将祁连山南麓以托勒为界分成东、西两段, 东段主要受偏南季风暖湿气流及西太平洋副热带高压的影响, 其西南气流不断输送水汽, 形成降水, 故祁连山南麓东段降水量最多, 如门源、大通降水量 $>400 \text{ mm}$; 西段主要由西风带天气系统影响, 降水需要的水汽主要来自西风环流带来的大西洋冷湿气流以及山区对流水汽输送等, 但西风环流远程输送的水汽到达祁连山南麓前不断减少变干, 故祁连山南麓西段降水量最少, 如德令哈、大柴旦降水量分别为 162.1、79.7 mm。祁连山南麓相对高原季风及偏南季风来说是迎风坡, 随着气流在迎风坡的抬升形成降水, 而北坡为背风坡, 在背风坡一面由于山体遮挡, 水汽不能越过或者水汽翻越山体而在背风坡形成焚风使水汽锐减, 故降水少于南坡。同在祁连山东段南坡的野牛沟、祁连、门源、互助、乐都 5 站汛期降水量均 $>250 \text{ mm}$, 而北坡的高台、张掖、永昌、山丹、武威 5 站汛期降水量 $<170 \text{ mm}$, 其中高台站降水量最少^[29], 仅为 87 mm。因此, 祁连山西段降水少于东段, 南坡多于北坡。

进一步对祁连山南麓汛期降水量与海拔高度进行线性拟合, 总降水量及各量级雨量均与海拔高度呈非线性关系 (图 5), 其中大雨及以上雨量与海拔高度的相关性最好, 相关系数达 0.67, 其余量级降雨量与海拔高度呈弱相关, 相关系数为 0.21~0.35。总雨量、小雨量、中雨量和大雨及以上雨量均随海拔高度的升高而逐渐增加, 达到一定高度后又开始减

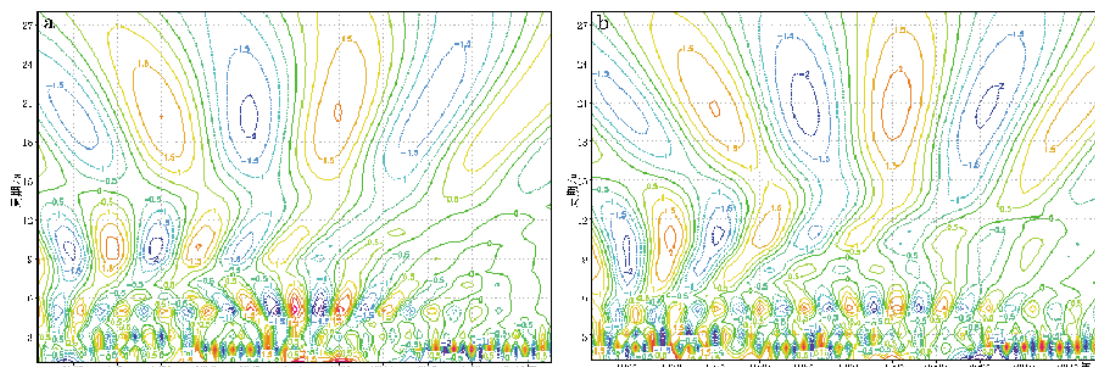


图 4 祁连山南麓汛期总雨量(a)、中雨量(b)小波分析

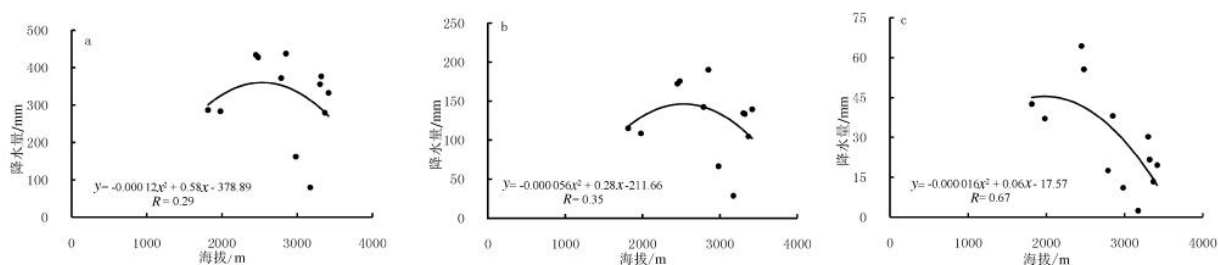


图5 总雨量(a)、中雨量(b)和大雨及以上雨量(c)与海拔高度的关系

少,其最大值出现的高度分别为:2 534.6、2 751.1、2 528.8 和 1 977.4 m,对应的最大降雨量分别为360.3、175.7、146.1 和 45.5 mm,随着降雨量级的增加,出现极值的海拔高度降低。分析降水随海拔高度先升后降的原因,是由于随着海拔高度的上升气温逐渐降低,造成上升空气中饱和水汽压降低,加强水汽凝结形成降雨,当超过一定的海拔高度后,上升空气中水汽减少,不易形成降雨。

3 结论

(1)祁连山南麓汛期降水量呈显著增加趋势,降水日数呈弱减少趋势,降水量和降水日数均呈自西向东逐渐增加趋势。降水量高值区在门源,低值区在大柴旦;降水日数野牛沟最多,大柴旦最少;7月降水量和降水日数最多。

(2)汛期降水强度呈显著增加趋势,且由西向东逐渐增加。8月降水强度最大,出现在大通。

(3)汛期PCD呈弱下降趋势,21世纪后PCD处于均匀化状态,PCD存在5a左右的短周期和20a左右的全域性长周期变化;空间分布PCD呈明显的由东向西增加趋势,年降水量多的地区PCD值小,年降水量少的地区PCD值大。

(4)小雨、中雨和大雨及以上雨量随海拔高度的升高而增加,雨量分别在2 751.1、2 528.8 和 1 977.4 m高度达到最大值,降雨量级越高,出现雨量最大值的海拔高度越低。

参考文献:

- [1] 严中伟,丁一汇,翟盘茂,等.近百年中国气候变暖趋势之再评估[J].气象学报,2020,78(3):370-378.
- [2] 李玲萍,李岩瑛,钱莉,等.1961—2005年河西走廊东部极端降水事件变化研究[J].冰川冻土,2010,32(3):43-51.
- [3] 杨志刚,卓玛,路红亚,等.1961—2010年西藏雅鲁藏布江流域降水量变化特征及其对径流的影响分析[J].冰川冻土,2014,36(1):166-172.
- [4] 郑小华,娄盼星,刘环,等.陕西极端降水时空变化特征研

究[J].沙漠与绿洲气象,2019,76(4):9-16.

- [5] 孟婵,殷淑燕.汉江上游近50年降水序列变化及其干旱预测研究[J].农业现代化研究,2012,188(1):125-128.
- [6] 王传辉,周顺武,唐晓萍,等.近48年青藏高原强降水量的时空分布特征[J].地理科学,2011,31(4):470-477.
- [7] 申莉莉,张迎新,隆璘雪,等.1981—2016年京津冀地区极端降水特征研究[J].暴雨灾害,2018,152(5):428-434.
- [8] 李海英,高晶,张宇,等.内蒙古春季降水的气候特征及预测思路[J].沙漠与绿洲气象,2019,76(4):79-87.
- [9] 张婷,魏凤英.华南地区汛期极端降水的概率分布特征[J].气象学报,2009,67(3):442-451.
- [10] 李冰,潘安定.近50年来广东不同强度降水的变化特征及其对农业的影响[J].广东农业科学,2011,38(5):182-188.
- [11] 覃卫坚,李栋梁.近50a来广西各级降水气候变化特征分析[J].自然资源学报,2014,29(4):666-676.
- [12] 李广霞,陈传雷,才奎志.辽宁夏季降水变化特征分析[J].气象与环境科学,2008,138(2):31-34.
- [13] 孙照渤,曹蓉,倪东鸿.东北夏季降水分型及其大气环流特征[J].大气科学学报,2016,170(1):18-27.
- [14] 白志娜,肖天贵,安娟,等.1986—2016年辽宁省强降水气候特征[J].沙漠与绿洲气象,2019,75(3):112-117.
- [15] 孟丽霞,许东蓓,狄潇泓,等.甘肃省短时强降水的时空特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,66(6):34-39.
- [16] 陈海波,严华生,陈文,等.宁夏六盘山区多年降水的时空变化分析[J].干旱气象,2009,27(2):103-110.
- [17] 张宁瑾,肖天贵,假拉.1979—2016年青藏高原降水时空特征[J].干旱气象,2018,36(03):373-382.
- [18] 杨春华,燕振宁,周丹,等.1967—2016年黄河上游河曲地区降水变化特征研究[J].沙漠与绿洲气象,2020,80(2):43-49.
- [19] 冯晓莉,申红艳,李万志,等.1961—2017年青藏高原暖湿季节极端降水时空变化特征[J].高原气象,2020,39(4):694-705.
- [20] 李春芳,白松竹,刘大锋.1961—2005年阿勒泰地区5—9月分级降水的气候特征[J].沙漠与绿洲气象,2008,10(4):25-27.
- [21] 朱浩,谢友文,马红,等.吐鲁番地区暖季降水时空分布

- 特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,62(2):14–20.
- [22] 张贺全,逯庆章,孙慧婷.青海祁连山地生态功能定位研究[J].青海草业,2009,72(4):16–19.
- [23] 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):125–130.
- [24] 贾文雄.祁连山气候的空间差异与地理位置和地形的关系[J].干旱区研究,2010,27(4):607–615.
- [25] 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.
- [26] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:37–40.
- [27] 卢珊,张宏芳,屈直,等.1961—2015年陕西省不同等级降水事件变化特征[J].气象与环境科学,2018,41(1):77–85.
- [28] 魏鹤举.降水集中度与集中期的 Excel 计算方法研究[J].人民黄河,2017,39(4):58–61.
- [29] 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.

Spatial and Temporal Distribution of Precipitation in Flood Season at the Southern Foot of Qilian Mountains

HE Shenglu^{1,2}, YAN Yingcun³, ZHANG Yazhen¹, HAN Zhongquan^{2,4}, XU Xuelian^{1,2}, ZHANG Juan³

(1.Golmud Meteorological Bureau, Golmud 816099, China;

2.Qinghai Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, Xining 810001, China;

3.Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001, China;

4.Jiuzhi Meteorological Bureau, Jiuzhi 814499, China)

Abstract Based on the daily precipitation data of 12 national meteorological stations at the southern foot of Qilian Mountains from 1961 to 2019, the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in flood season (May to September) were analyzed by using linear trend, correlation analysis, ArcGIS spatial analysis and Morlet wavelet analysis. The results showed: (1) The precipitation in flood season at the southern foot of Qilian Mountains showed a significant increasing trend, while the precipitation days showed a decreasing trend, with the maximum precipitation in July and the maximum precipitation intensity in August. (2) Precipitation, precipitation days and precipitation intensity increased gradually from west to east in flood season. The high value area of precipitation was in Menyuan, the largest number of precipitation days in Yeniugou and the largest precipitation intensity in Datong. (3) The precipitation concentration degree in flood season showed a downward trend. After the 21st century, the precipitation was in a state of homogenization. The precipitation concentration degree had a short period of about 5 years and a long period of about 20 years, and the spatial distribution showed an increasing trend from east to west. (4) The rainfall of light rain, moderate rain, heavy rain and above increased with altitude, and the rainfall reached the maximum at 2 751.1, 2 528.8 and 1 977.4 m, respectively. The higher the category of rainfall, the lower the altitude at which the maximum rainfall occurred.

Key words flood season; precipitation; spatio-temporal characteristics; the southern foot of Qilian Mountains