

昆仑山北部夏季降水多尺度时空变化特征

张俊兰, 杨霞, 肖俊安, 施俊杰

(新疆维吾尔自治区气象台, 乌鲁木齐 830002)

摘要: 选用昆仑山北部 2016—2020 年 6—8 月 14 个国家气象站、240 个加密区域自动气象站逐小时降水资料, 针对“季-月-日-时”时间尺度, 以沿海拔高度梯次下降划分的高山区、中山区、低山区和平原区为空间尺度, 分析昆仑山北部夏季降水多尺度时空变化特征。结果表明: (1) 近 5 a 昆仑山北部夏季平均降水 358.5 mm, 小时降水和小时强降水频次分别为 301 次和 74 次; 日降水极值 95.4 mm 出现在低山区, 小时降水极值 64.0 mm 出现在平原区。(2) 夏季和 6—8 月逐月降水、平均日降水和小时降水、小时降水频次 5 个要素特征量均呈“南多北少”的空间分布特征, 均随海拔梯次下降而减少; 最大小时降水则为反相分布, 随海拔梯次下降而增多, 小时强降水更易出现在海拔较低的低山区和平原区。(3) 夏季降水日变化特征显著, 中午至前半夜小时降水的大值中心随时间逐渐偏向低海拔区, 大值中心由南向北偏移; 小时降水的峰值时间和降水增强时段均随海拔梯次降低而后延, 4 类区域小时降水峰值均在白天出现, 其中低山区和平原区峰值发生在午后。低山区和平原区午后强对流天气造成的短时强降水及其引发的中小河流山洪、滑坡、泥石流等地质灾害是防范重点。

关键词: 昆仑山北部; 夏季降水; 时空多尺度变化; 海拔高度

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2184.2023.03.001

新疆水资源是生态系统的核心, 水资源补给主要靠山区每年的自然降水^[1], 南疆农业属自然降水灌溉区, 而昆仑山自然降水是塔里木盆地南缘河川径流的最终来源, 是水源的形成和供给区。昆仑山脉位于青藏高原北部, 是西藏与新疆的界山, 平均海拔 5500~6000 m, 山脉北部濒临干旱的塔克拉玛干沙漠, 西部与帕米尔高原相接, 东部与祁连山相连, 由喀喇昆仑山、昆仑山、阿尔金山组成, 昆仑山及北部地形以山坡、山麓、沙漠盆地为主。由于塔里木盆地深居欧亚大陆腹地, 远离海洋, 三面环山, 因而水汽输送受到较大限制, 属典型干旱区, 盆地南缘平原区年降水量仅为 25~50 mm。但近年来, 该地区极端天气频发, 暴雨洪水频次增加, 洪灾呈扩大化趋势。已有研究^[2]表明, 新疆全疆呈现出湿润化的变化趋势, 南疆夏季湿润趋势较北疆明显。不过, 目前关于昆仑山北部夏季降水的变化规律并不十分清楚, 其自然降水对盆地南缘水资源的影响也有待深入研究。

关于降水研究, 国内已取得了许多成果。在北方, 内蒙、新疆和青藏地区持续极端降水事件高发^[3], 青藏高原降水分布自东南向西北递减^[4], 内蒙北部极端降水指数呈东部减少、中部局地增加趋势^[5], 西北地区东部降水强度增强源于大雨强度的增大^[6], 腾格里沙漠夏季与秋季降水量约占全年的 80.5%^[7], 山东降

水量沿海大于内陆、山区大于平原且沿海降水增幅大于内陆^[8]。在西南, 川渝地区降水缓慢增加、云南与四川和贵州先减少后增加^[9], 四川 1961—2016 年降水量在盆地和攀西减少而川西高原增多^[10], 横断山北部 50 mm 以上短时极端降水事件较多^[11], 甘孜州高海拔地区暖湿化发展态势更为明显^[12], 重庆市 2002 年后增温趋势显著、降水减少但变化趋势不显著^[13]。近 51 a 长江流域日降水沿纬向呈现出显著的非均质性, 而沿经向呈拟均匀性^[14]。1970—2015 年汉江流域极端降水主要发生在 5—9 月, 10 月—次年 4 月为少发期^[15]。综上可知, 我国北方和南方年、季降水及增幅、极端降水和降水强度在山区、内陆和沿海等不同海拔地域不尽不同、各有特点, 对于新疆降水研究具有借鉴意义。

近年来, 关于新疆降水研究也取得了不少进展, 但并未涉及海拔高度梯次大、地貌丰富的昆仑山脉, 缺乏对昆仑山降水的系统性分析。胡文峰等^[16]指出, 新疆当前降水处于“暖湿”向“暖干”转型期、有“暖干”变化趋势; 辛渝等^[17]认为 1961—2006 年全疆大部地区于 1986 年前后冬夏降水量同时显著突变增多; 刘芸芸等^[18]发现 1951—2000 年新疆夏季降水增加且南疆比北疆明显, 1985 年是气候突变点。在天山地区, 近 56 a 东天山北坡呈暖湿化趋势, 年降水增加, 夏季增湿最显著^[19]; 天山山区 4—9 月降水增加, 10 月—

收稿日期: 2021-09-13

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(42030612); 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0102)

作者简介: 张俊兰, 正研级高级工程师, 主要从事天气预报研究。E-mail: zjl_0997@sina.com

次年 3 月减少^[20]。针对新疆塔里木沙漠腹地、阿克苏、巴音郭楞蒙古自治州(简称巴州,下同)和吐鲁番等地降水也开展了一系列研究。例如,塔克拉玛干沙漠腹地近 15 a 年平均降水量为 26.0 mm,比周边同期少 37.3%,但降水稳定性高于周边^[21];阿克苏河流域年降水量呈纬向分布、大小与地形分布关系密切^[22];近 53 a 巴州年降水显著增加,增加速率多雨季高于少雨季、北部高于南部^[23];吐鲁番地区降水高度集中在暖季,海拔高度是影响其降水的决定性因素^[24]。可见,南北疆降水的研究主要侧重于年和月变化趋势,部分涉及与地形关系,但仅得到初步结论。因此,加强对昆仑山北部降水多时空尺度特征的研究十分必要。

需要指出的是,2015 年前,昆仑山周边区域自动气象观测站稀疏,气象数据主要来源于国家气象站,时空分辨率低,精细度不够,对昆仑山北部降水时空变率的认知存在较大的局限性。2016 年后,新建许多加密区域自动站,监测的空间分辨率提高,为昆仑山北部地形降水分析提供了可能条件。针对在不同海拔和高程下,昆仑山北部夏季降水沿海拔高度梯次的变化规律、垂直分布特征和差异问题,本文选取昆仑山北部的国家气象站和加密区域自动气象站资料,探讨不同时间尺度下降水分布与海拔高度梯次的变化关系,揭示其降水多尺度时间和空间演变规律,更好地掌握昆仑山北部的气候分布特征,为其降水预报预测提供技术支撑,并为更全面地认知南疆降水变化规律,以及有效监测、诊断、评估和预测该区域气候变化及其影响提供科学依据。

1 研究区概况

研究区为 34.6°~39.0°N、76.0°~90.5°E 的昆仑山北部,包括喀什地区、和田地区和巴州,涉及喀什 5 县(英吉沙、麦盖提、莎车、泽普、叶城)、和田 7 县(皮山、墨玉、和田、洛浦、策勒、于田、民丰)、巴州 2 县(且末和若羌),共 254 个气象站(喀什 75 站、和田 137 站、巴州 42 站)。测站海拔高度介于 897~4139 m,除山区站点略少外,其余站点分布相对均匀。昆仑山南侧的青藏高原为高原山地气候,北侧的塔里木盆地属温带大陆性干旱气候,山脉自南向北气候差异较大。昆仑山北部按地表形态有山地、平原和盆地(塔里木盆地)3 种类型,地势南高北低,地形向北呈浅“V”形凹陷,和田地区南部为凹陷区。研究区及气象站点分布见图 1。

2 资料与方法

2.1 资料

选用新疆气象信息中心提供的昆仑山北部 2016—

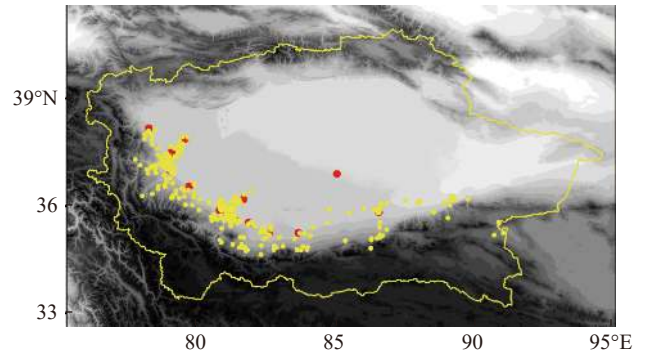


图 1 昆仑山北部 14 个国家气象站和 240 个区域自动气象站分布 (红点表示国家气象站,黄点表示区域自动气象站)

2020 年 6—8 月 254 个气象站逐小时降水资料,包括 14 个国家气象站和 240 个加密区域自动气象站,夏季为 6—8 月。选取“季-月-日-时”4 个时间尺度,按不同海拔高度梯次分为高山区、中山区、低山区和平原区共 4 类空间区域,由逐小时降水计算生成夏季和 6—8 月逐月降水、日降水和小时降水(平均和最大)、小时降水频次和小时强降水频次 6 类降水要素,分析其多时空尺度的分布特征和演变规律。

2.2 方法

参照方德贤等^[25]的研究成果,相关定义如下:(1)“降水”指统计时段内降水量的合计值;(2)“平均日降水”指统计时段内日降水量的平均值,“最大日降水”指统计时段内所有日降水量的最大值,“日降水极值”指统计时段内最大日降水的极大值;(3)“逐小时降水”指统计时段内 00—24 时逐小时降水量,“平均小时降水”指统计时段内所有小时降水量的平均值,“最大小时降水”指统计时段内所有小时降水量的最大值,“小时降水极值”指统计时段内最大小时降水的极大值;(4)将小时降水量 ≥ 0.1 mm 记为一次小时降水,“小时降水频次”是指统计时段内所有测站小时降水量 ≥ 0.1 mm 的次数;(5)新疆气象局对短时强降水的定义是小时降水量 ≥ 10.0 mm,依此标准,“小时强降水频次”是指统计时段内所有测站出现小时降水量 ≥ 10.0 mm 的次数。

昆仑山北部地势自南向北呈逐渐下降的态势,现有气象测站最高(巴州且末县邦泰采煤矿厂站 Y8209, 4139 m)与最低(巴州若羌县瓦什峡乡 51862, 897 m)海拔高度相差 3242 m,和田平原区海拔介于 1200~1300 m。根据海拔高度和海拔梯次变化,将昆仑山北部分为高山区(2600~4139 m)、中山区(2000~2600 m)、低山区(1400~2000 m)和平原区(897~1400 m)共 4 类区域。

3 空间分布

表 1 给出了近 5 a 昆仑山北部夏季降水 6 类要素

量值, 简约反映了夏季降水的时空分布特点, 下文逐一详细分析。

3.1 夏季降水

图 2a 给出了 2016—2020 年平均的昆仑山北部夏季降水量空间分布。总体上, 夏季降水南多北少, 随海拔高度梯次下降而减少, 夏季降水高山区 156.2 mm、中山区 124.9 mm、低山区 49.9 mm、平原区 27.6 mm(表 1)。夏季降水年际变幅较大, 最多年(最少年)高山区 325.8 mm(25.9 mm)、中山区 325.3 mm(72.9 mm)、低山区 163.9 mm(21.6 mm)、平原区 67.6 mm(5.1 mm), 最多年和最少年相差 3.5~12.2 倍。

夏季降水有 3 个大值中心, 最大降水中心出现在民丰县若克雅乡塔勒坎勒克(海拔 3166 m), 位于和田南部山区海拔 2500~3200 m 之间、民丰县和于田县的交界区域, 降水量为 325.8 mm; 次大值中心出现在且末县库拉木拉克乡库拉木拉克村(海拔 2749 m), 位于巴州且末县南部山区海拔 2700 m 附近, 降水量 235.7 mm; 第 3 大值中心出现在叶城县西合休乡西合休村(海拔 3011 m), 位于喀什叶城县南部山区海拔 3000 m 附近, 降水量 229.1 mm。

3.2 月降水

为了解 6—8 月降水空间差异, 图 2b~d 给出了夏季逐月的降水分布。如图所示, 夏季逐月降水分布均呈南多北少的特征, 且有 2~3 个位于高山区和中山区的大值中心, 结合表 1 可知: (1) 6 月, 4 类区域降水为高山区 59.6 mm、中山区 42.7 mm、低山区 15.2 mm、

平原区 8.5 mm。2 个大值中心均在高山区, 最大中心为且末县南部高山区的阿羌镇依山干河(降水 121.2 mm, 海拔 2947 m), 次大中心在民丰县南部高山区的若克雅乡塔勒坎勒克(降水 102.8 mm, 海拔 3166 m)。中山区、低山区和平原区最大降水分别为 96.5 mm(海拔 2587 m)、61.1 mm(海拔 1960 m)和 23.6 mm(海拔 1360 m)。(2) 7 月, 4 类区域降水为高山区 45.9 mm、中山区 39.6 mm、低山区 16.0 mm、平原区 10.0 mm。有 3 个大值中心, 最大中心在中山区于田县南部吐格曼巴什村(降水 106.0 mm, 海拔 2587 m), 次大中心和第 3 大中心均在高山区, 分别为民丰县南部若克雅乡塔勒坎勒克(降水 97.6 mm, 海拔 3166 m)和叶城县柯克亚乡 5 村(降水 77.3 mm, 海拔 2680 m)。低山区和平原区最大降水分别为 54.8 mm(海拔 1960 m)和 26.2 mm(海拔 1330 m)。(3) 8 月, 4 类区域降水为高山区 50.8 mm、中山区 42.6 mm、低山区 18.7 mm、平原区 9.0 mm。有 3 个大值中心, 最大中心在高山区民丰县南部若克雅乡塔勒坎勒克(降水 125.4 mm, 海拔 3166 m), 次大中心在中山区于田县南部吐格曼巴什村(降水 122.8 mm, 海拔 2587 m), 第 3 大中心在高山区叶城县西合休乡西合休村(降水 86.7 mm, 海拔 3011 m)。低山区和平原区最大降水分别为 46.5 mm(海拔 1874 m)和 31.6 mm(海拔 1330 m)。

3.3 日降水

3.3.1 平均日降水

如图 3a 所示, 夏季昆仑山北部平均日降水呈南

表 1 2016—2020 年昆仑山北部夏季降水要素量值

	夏季降水 /mm	6月降水 /mm	7月降水 /mm	8月降水 /mm	平均日 降水/mm	最大日 降水/mm	平均小时 降水/mm	最大小时 降水/mm	平均/最多(站号、海拔) 小时降水频次/次	平均/最多(站号、海拔) 小时强降水频次/次
高山区	156.2	59.6	45.9	50.8	1.7	74.3	0.07	23.2	128/240 (Y9221、3011 m)	2.8/10 (Y8204、2947 m)
中山区	124.9	42.7	39.6	42.6	1.4	83.6	0.06	30.9	101/197 (Y6206、2465 m)	3.1/15 (Y6251、2587 m)
低山区	49.9	15.2	16.0	18.7	0.5	95.4	0.02	40.2	44/116 (Y6152、1960 m)	1.7/11 (Y6152、1960 m)
平原区	27.6	8.5	10.0	9.0	0.3	64.1	0.01	64.0	27/56 (Y9510、1306 m)	0.8/6 (Y9208、1330 m)

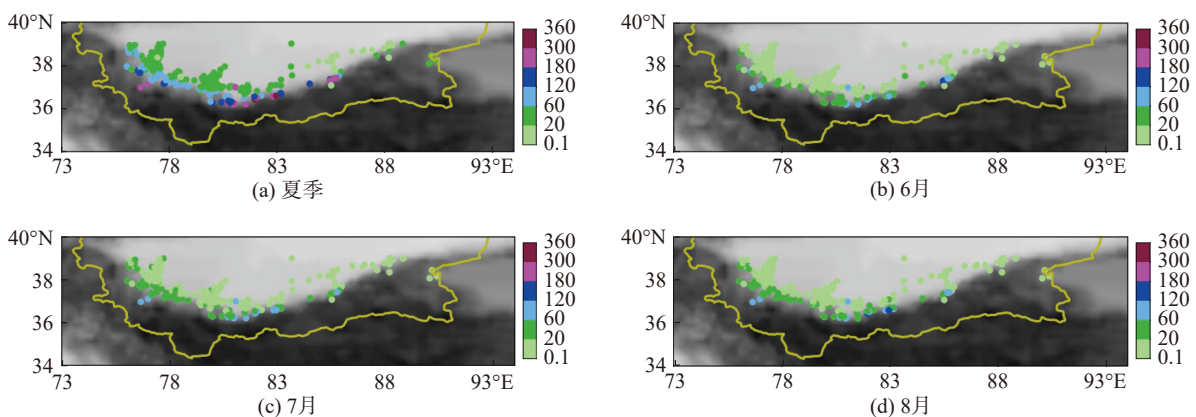


图 2 2016—2020 年平均的昆仑山北部夏季及 6—8 月降水空间分布(单位: mm)

多北少的空间分布特征,随海拔高度梯次的下降而减少,平均日降水高山区 1.7 mm、中山区 1.4 mm、低山区 0.5 mm、平原区 0.3 mm(表 1)。3 个大值中心均位于中、高山区,最大中心在民丰县若克雅乡塔勒坎勒克(日降水 3.6 mm,海拔 3166 m),次大中心在于田县吐格曼巴什村(日降水 3.5 mm,海拔 2587 m),第 3 中心在且末县库拉木拉克村(日降水 2.6 mm,海拔 2749 m)。

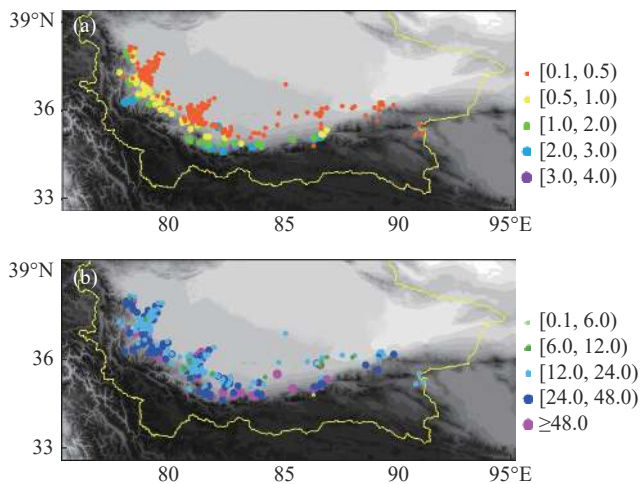


图 3 2016—2020 年夏季昆仑山北部平均日降水 (a) 和最大日降水 (b) 空间分布 (单位: mm)

3.3.2 最大日降水

结合表 1,分析夏季昆仑山北部最大日降水空间分布(图 3b)可知:日降水极值 95.4 mm 出现在低山区莎车县达木斯乡达木斯村(海拔 1960 m,2016 年 6 月

9 日),次值中心 83.6 mm 出现在中山区且末县奥依拉克镇莫勒切河水库(海拔 2364 m,2018 年 6 月 25 日);高山区和平原区的最大日降水为 74.3 mm 和 64.1 mm,分别出现在且末县阿羌镇依山干河(海拔 2947 m,2018 年 6 月 25 日)和民丰县安迪尔兰杆(海拔 1360 m,2019 年 6 月 28 日)。

3.4 小时降水

3.4.1 平均逐小时降水

南疆干旱,降水稀少,平均小时降水较少。如表 1 所示,昆仑山北部夏季平均小时降水仅为 0.04 mm(高山区 0.07 mm、中山区 0.06 mm、低山区 0.02 mm、平原区 0.01 mm,随海拔高度梯次下降而减少。平均小时降水的大值中心在中、高山区(图略),最大中心位于高山区民丰县若克雅乡塔勒坎勒克(小时降水 0.16 mm,海拔 3166 m),次大中心在中山区于田县吐格曼巴什村(小时降水 0.15 mm,海拔 2587 m),第 3 大中心在高山区叶城县西合休乡西合休村(小时降水 0.11 mm,海拔 3011 m)。

选取 00 时、06 时、09 时、12 时、19 时、21 时分别代表前半夜、后半夜、早晨、上午、下午和傍晚(图 4a-g),分析可知:(1)05—13 时(凌晨至上午),小时降水大值区主要在高山区;(2)14—16 时(中午)最大中心在中山区,次大中心和第 3 大中心的海拔高度逐渐降低,由高山区向中山区和低山区转移,16 时第 3 大中心降至低山区;(3)17—21 时(午后至傍晚)最大中心在高山区,次大和第 3 大中心的海拔高度波动式下

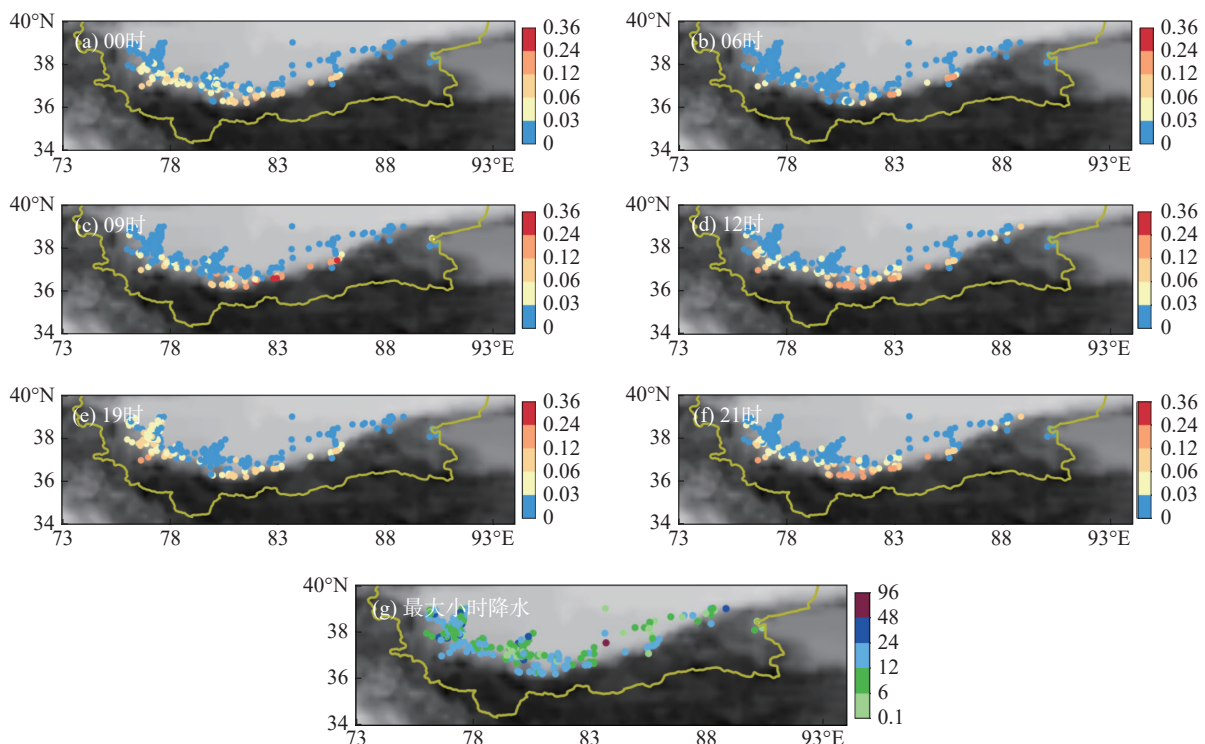


图 4 2016—2020 年夏季昆仑山北部不同时段降水 (a~f) 和最大小时降水 (g) 空间分布 (单位: mm)

降,由高山区向中山区和低山区转移,第3大中心在18—19时和21时先后降至低山区,23时—次日03时(前半夜)最大中心均在中山区,23时最大中心降水较强($0.17 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,海拔2587 m)。全天小时降水最大中心出现在09时的高山区(降水强度 $0.32 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,海拔3166 m),在04时降至海拔最低的平原区(降水强度 $0.15 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,海拔1360 m),22时降至海拔次低的低山区(降水强度 $0.14 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,海拔1960 m)。

综上所述,昆仑山北部夏季降水日变化特征表现为:凌晨至上午、午后至傍晚最大降水中心在高山区,中午和前半夜最大降水中心偏向低海拔区,并随时间由南北移至中山区;中午至傍晚,降水次大和第3大中心也随时间由南向北偏移。

3.4.2 最大小时降水

如图4g所示,最大小时降水的空间分布与季、月、日降水和平均小时降水呈反相分布,总体上随海拔高度梯次下降而增多。如表1所示,4类区域小时降水极值分别为高山区23.2 mm(且末县阿羌乡依山干河Y8204、海拔2947 m)、中山区30.9 mm(皮山县塔吉克阿可肖Y6249、海拔2431 m)、低山区40.2 mm(叶城

县棋盘乡Y6108、海拔1786 m)、平原区64.0 mm(民丰县安迪兰杆Y6266、海拔1360 m)。

另外,造成最大小时降水与上述降水其它要素空间反相分布的原因可能有3点:一是与山区观测站点稀少有关;二是低海拔区域午后易出现局地热力对流,造成短时强降水等天气;三是地形与低层风相互作用,低层西北风、东北风遇东西向迎风坡,易出现地形强迫抬升,引发短时强降水天气。

3.5 小时降水频次和小时强降水频次

3.5.1 小时降水频次

分析表明,近5 a昆仑山北部夏季和6—8月逐月小时降水频次随海拔高度梯次下降而减少,大值中心均分布在中、高山区,4类区域小时降水频次在6月和7月相当,8月明显偏多。夏季小时降水频次共1503次,平均301次,4类区域海拔从高到低依次为128次、101次、44次、27次(表1)。如图5a所示,3个大值中心均在中、高山区,最大中心为叶城县西合休乡西合休村(1199次,海拔3011 m),次大中心在民丰县南部若克雅乡塔勒坎勒克(1119次,海拔3166 m),第3大中心在于田县吉因水库(985次,海拔2465 m)。

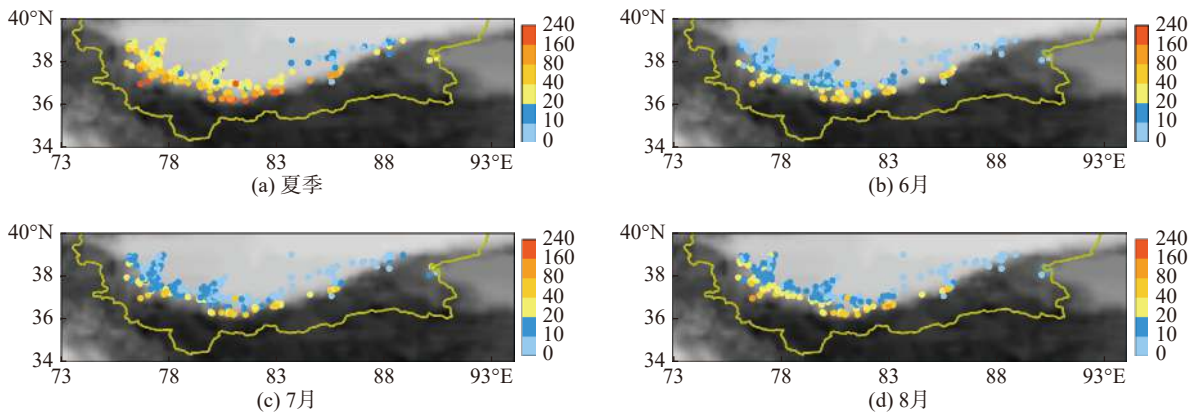


图5 2016—2020年昆仑山北部夏季及6—8月小时降水频次空间分布(单位:次)

夏季6—8月逐月小时降水频次大值中心均在中、高山区,具体表现为:(1)6月(图5b)平均小时降水频次94次,4类区域依次为41次、30次、14次、9次,最大中心在叶城县西合休乡西合休村(380次,海拔3011 m),次大中心在且末县阿羌镇依山干河(313次,海拔2947 m),第3中心在且末县库拉木拉克乡库拉木拉克村(304次,海拔2749 m);(2)7月(图5c)小时降水频次95次,4类区域依次为40次、33次、14次、9次,最大中心在于田县吉因水库(384次,海拔2465 m),次大中心在民丰县南部若克雅乡塔勒坎勒克(365次,海拔3166 m),第3大中心在叶城县西合休乡西合休村(328次,海拔3011 m);(3)8月(图5d)小时降水频次112次,4类区域依次为47次、38次、17次、10次,

最大中心在叶城县西合休乡西合休村(491次,海拔3011 m),次大中心在民丰县南部若克雅乡塔勒坎勒克(475次,海拔3166 m),第3大中心在于田县南部吐格曼巴什村(392次,海拔2587 m)。

3.5.2 小时强降水频次

南疆夏季小时强降水是造成局地洪涝灾害的重要原因,并易引发局地中小流域山洪和滑坡、泥石流等地质灾害。本节将对小时强降水变化作深入分析,进而全面掌握昆仑山北部降水特征。

分析可知,4类区域的小时强降水频次分布不均,夏季小时强降水共368次,平均74次,其中,6月23次、7月29次、8月22次,6月和8月相当,7月占比最高(39.1%)。结合表1可知:(1)夏季小时强降水

的平均频次高山区 2.8 次(占 33.3%)、中山区 3.1 次(占 36.9%)、低山区 1.7 次(占 20.2%)、平原区 0.8 次(占 9.5%)，高山区和中山区总占比达 70.2%，明显多于低山区和平原区。如图 6a 所示，小时强降水频次 3 个大值中心均在中、高山区，最大中心是于田县吐格曼巴什村(Y6251, 海拔 2587 m, 15 次)，次大中心是莎车县达木斯乡(Y6152, 海拔 1960 m, 11 次)，第 3 大中心是且末县阿羌乡依山干河(Y8204, 海拔 2947 m, 10 次)。(2)如图 6b 所示，6 月小时强降水平均发生 23 次，其中高山区 6 次、中山区 6 次、低山区 7 次、平原区 4 次，最大中心和次大中心分别是且末县阿羌乡依山干河(Y8204, 海拔 2947 m, 8 次)和莎车县达木斯乡(Y6152, 海拔 1960 m, 8 次)，第 3 中心是且末县莫

勒切河水库次(Y8205, 海拔 2947 m, 7 次)。(3)如图 6c 所示，7 月小时强降水平均发生 29 次，其中高山区 4 次、中山区 5 次、低山区 9 次、平原区 11 次，最大中心和次大中心分别是于田县吐格曼巴什村(Y6251, 海拔 2587 m, 5 次)和皮山县阔什塔格乡吐格曼(Y6246, 海拔 2057 m, 5 次)，第 3 大中心是皮山县木奎拉乡兰干村(Y6291, 海拔 1330 m, 4 次)。(4)如图 6d 所示，8 月小时强降水平均发生 22 次，其中高山区 2 次、中山区 6 次、低山区 8 次、平原区 6 次，最大中心是于田县吐格曼巴什村(Y6251, 海拔 2587 m, 6 次)，次大中心是于田县皮什盖村(Y6252, 海拔 2415 m, 4 次)，第 3 大中心是叶城县台斯村(Y6137, 海拔 2094 m, 3 次)。

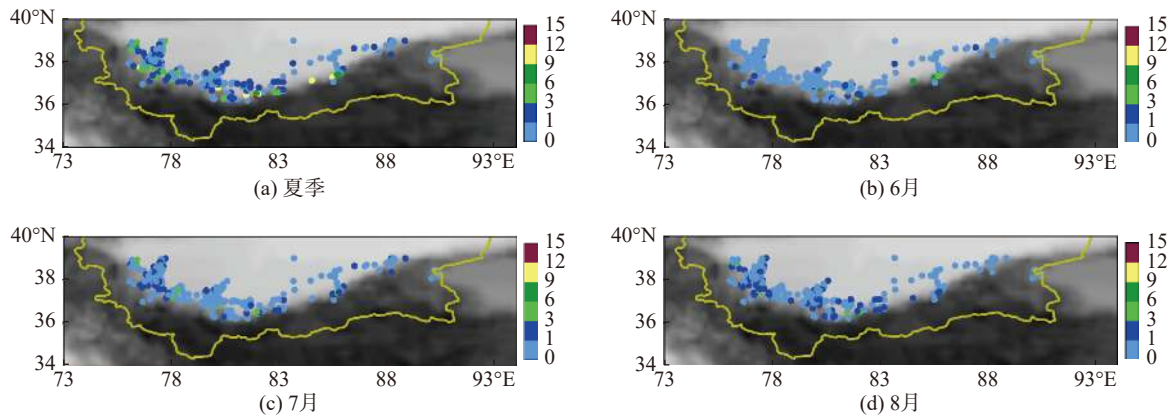


图 6 同图 5, 但为小时强降水

夏季 6—8 月逐月小时强降水频次大值中心均在中高山区，与小时降水频次空间分布不同，而小时强降水量不随海拔高度梯次下降而均匀减少，大值区分布在低山区和平原区的低海拔区。可见，高海拔区不如低海拔区易出现小时强降水，小时强降水更易发生在低山区和平原区。

综上所述，夏季和 6—8 月降水、日降水(平均与最大)和小时降水(平均)、小时降水频次的空间分布类似，均随海拔高度梯次下降而减少，呈南多北少的分布特征，大值区分布于中高山区。但最大小时降水和小时强降水频次则不同，最大小时降水与上述要素呈反相分布，随海拔高度梯次下降而增多，小时强降水更易发生在低山和平原的低海拔区。可见，高海拔区降水频次高，但强降水少，低海拔区降水频次少，但强降水多，低山区和平原区更易出现强降水，与重庆地区降水与海拔的空间分布特征类似^[22]。

4 时间分布

4.1 夏季降水

图 7a 给出了昆仑山北部近 5 年夏季降水的年际

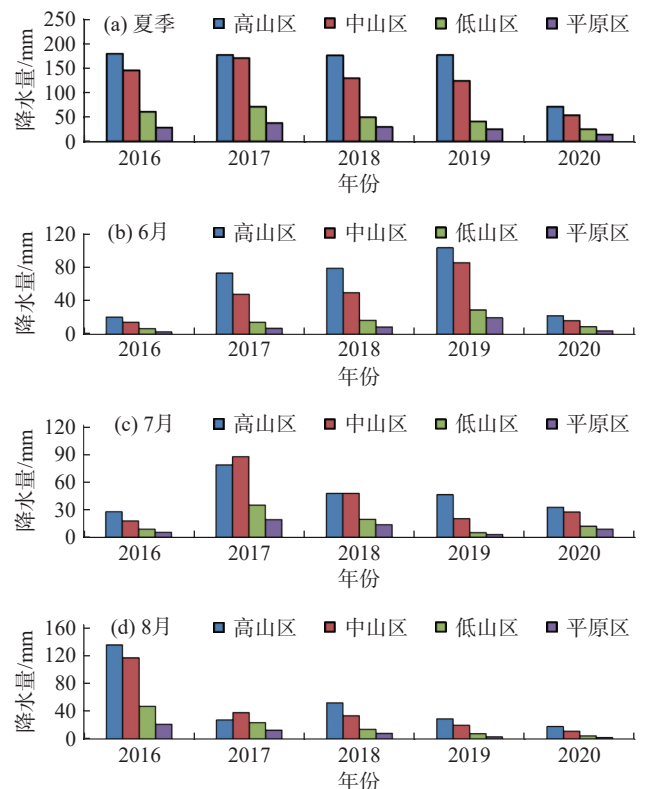


图 7 2016—2020 年昆仑山北部夏季及 6—8 月降水量年际变化

变化。4类区域夏季降水均值为358.5 mm,从多到少依次为2017年457.7 mm、2016年415.0 mm、2018年385.2 mm、2019年368.5 mm、2020年166.1 mm,近5 a 昆仑山北部夏季降水年际变化呈单峰型,2017年峰值较2020年谷值偏多1.76倍。4类区域降水变化趋势基本一致,且一般均为高山区最多、中山区次之、低山区再次、平原区最少。各区夏季降水最多年份分别为高山区2016年(179.3 mm)、中山区2017年(170.9 mm)、低山区2017年(71.4 mm)、平原区2017年(38.6 mm);而4类区域夏季降水最少年均为2020年,依次为高山区71.7 mm、中山区54.2 mm、低山区25.4 mm和平原区14.9 mm;各区最多年较最少年偏多1.5~2.2倍。

4.2 月降水

图7b~d给出了2016—2020年昆仑山北部6—8月降水量年际变化。分析可知,6—8月逐月降水趋势与夏季类似,除2017年7月和8月中山区较高山区偏多外,其余月份均为高山区最多、中山区次之、低山区再次、平原区最少。6月、7月、8月逐月平均降水量分别为125.9 mm、111.4 mm、121.1 mm,6月最多、7月最少、8月居中。具体表现为:(1)6月,区域降水年际变化整体呈单峰型,峰值年(2019年,237.5 mm)较谷值年(2016年,44.4 mm)偏多4.35倍;4类区域降水变化均呈单峰型(2019年峰值、2016年谷值),峰值年较谷值年偏多3.3~5.8倍。(2)7月,区域降水年际变化整体呈双峰型,最大和次大峰值年分别为2017年(217.1 mm)和2020年(80.2 mm),谷值年为2016年(59.5 mm),最大峰值年较谷值年偏多2.65倍。(3)8月,区域降水年际变化整体也呈双峰型,最大和次大峰值年分别为2016年(311.2 mm)和2018年(104.3 mm),谷值年为2020年(34.2 mm),最大峰值年较谷值年偏多8.1倍。另外,8月降水的年际变率最大、6月次之、7月最小。6—8月降水峰值分别出现在2019年6月、2017年7月、2016年8月。这3个峰值月中,南支槽均较活跃,且有北支低槽系统配合,系统性和对流性降水多发,致使昆仑山北部降水偏多。

4.3 日降水

4.3.1 平均日降水

近5 a 昆仑山北部夏季平均日降水为 $3.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,其年际变化呈单峰型,峰值年2017年的平均日降水为 $5.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,谷值年2020年仅为 $1.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,峰值年较谷值年偏多1.7倍。近5 a来,4类区域平均日降水的年际变化类似,均呈单峰型;2017年均为峰值年,高山区、中山区、低山区和平原区分别为 $2.0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $1.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;2020年均为谷值年,4类区域依次为 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图8a)。

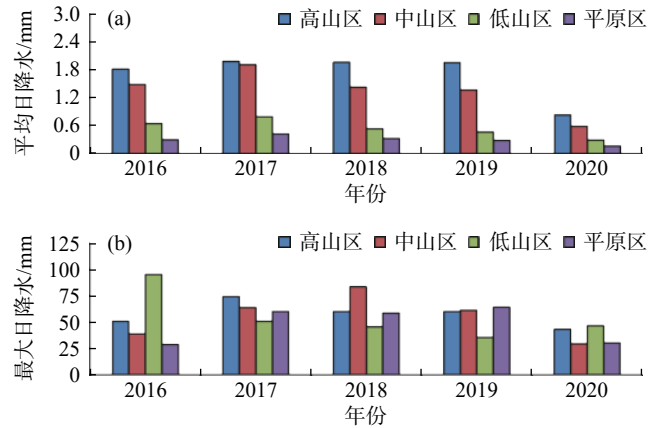


图8 2016—2020年夏季昆仑山北部平均日降水(a)和最大日降水(b)年际变化

4.3.2 最大日降水

2016—2020年夏季最大日降水依次为95.4 mm、74.3 mm、83.6 mm、64.1 mm和46.5 mm,日降水极值95.4 mm出现在2016年的低山区(图8b)。高山区、中山区、低山区和平原区的最大日降水(表1)分别占各区域夏季降水均值(156 mm、125 mm、49.9 mm和27.6 mm)的47.6%、66.9%、191.2%和232.2%,平原区最大日降水较夏季平均偏多近1.5倍。可见,平原区降水强度更大、局地性更显著。

4.4 小时降水

4.4.1 平均逐小时降水

图9a给出了近5 a 昆仑山北部夏季平均逐小时降水的日变化特征,结合逐小时降水在4类区域的变化分布(表2)可知:(1)对于小时降水增多时段,4类区域随海拔高度梯次下降而时间后延,中、高山区出现在凌晨至早晨(06—10时),低山区出现在早晨(08—11时),平原区出现在下午(15—19时)。(2)对于降水减少时段,4类区域也随海拔高度梯次下降而时间后延,高山区出现在早晨(08—10时),中山区出

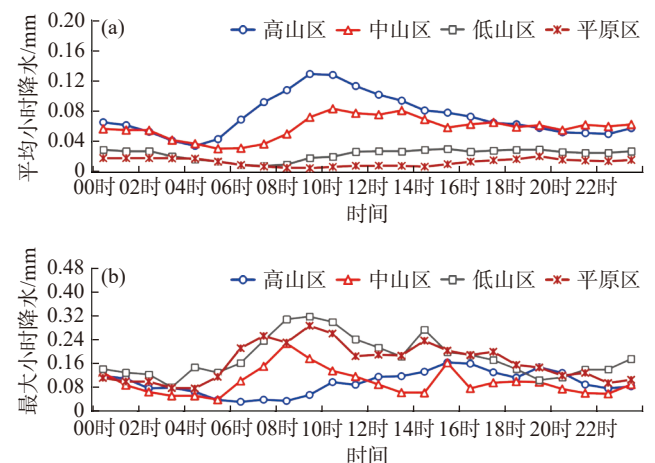


图9 2016—2020年夏季昆仑山北部逐小时平均降水(a)和小时最大降水(b)日变化

表 2 2016—2020 年昆仑山北部 4 类区域夏季平均逐小时降水的变化特征

	降水增多时段	降水峰值		降水减少时段	降水谷值	
		时间	降水强度/(mm·h ⁻¹)		时间	降水强度/(mm·h ⁻¹)
高山区	06—10时	08—10时	0.13	00—04时 11—20时	04时	0.03
中山区	07—10时	10时 13时	0.08	02—05时 13—15时	05时 06时	0.03
低山区	08—11时	15时	0.03	02—07时	07时	0.01
平原区	15—19时	19时	0.02	04—09时	09时	0.01

现在早晨和中午前(10和13时),低山区出现在中午(15时),平原区出现在傍晚前(19时)。(3)对于降水峰值和谷值,降水峰值均出现在白天,降水谷值大都出现在夜间,4类区域降水峰值随海拔高度梯次下降而减小,高山区最大峰值(0.13 mm·h⁻¹)和平原区最大谷值(0.02 mm·h⁻¹)均出现在09时前后。

总之,随海拔高度梯次的下降,小时降水峰值的出现时间延迟,小时降水增强和减弱的出现时段也后延。4类区域小时降水峰值均在白天,尤其是低山区和平原区出现在午后,这是由于海拔降低后,太阳辐射变弱,但大气逆辐射增强,气温升高,增加了对流天气的可能性。因此,低海拔地区的低山区和平原区受局地对流天气的影响,造成午后降水强度增大,需注意防范午后低海拔区短时强降水造成的不利影响。

4.4.2 最大小时降水

分析表明,与平均小时降水呈反相分布外,最大小时降水的日变化起伏更大,4类区域均有3个左右峰值和谷值(图9b)。其中,低山区、平原区和中山区的日变化趋势相似,低山区、平原区、中山区的最大和次大峰值出现在08—09时和14—15时,而高山区差异较大,偏晚5~6h,最大和次大峰值出现在15时和19时前后。小时降水极值出现在低山区民丰县安迪尔兰杆站(海拔1360m),时间为2019年6月28日12时,最大小时降水64.0mm。

4.5 小时降水频次和小时强降水频次

4.5.1 小时降水频次

4类区域2016—2020年小时降水频次主要呈下降趋势,高山区2016—2019年较平稳(147~149次),中山区、低山区、平原区2018—2020年持续减少,可能是由于2018—2020年6—8月虽有南支槽影响,但北支低值系统不活跃,两者无明显配合,使小时降水频次下降。分析2016—2020年昆仑山北部夏季小时降水频次的年际变化特征(图10a)可知:4类区域的峰值和谷值年分别为2016年(357次)和2020年(172次),峰值年较谷值年偏多1.1倍;最大值高山区为149次(2016年)、中山区125次(2016年)、低山区63次(2017年)、平原区39次(2017年);最小值均出

现在2020年(依次为76次、55次、25次和15次);4类区域的峰值年较谷值年偏多1.0~1.5倍。

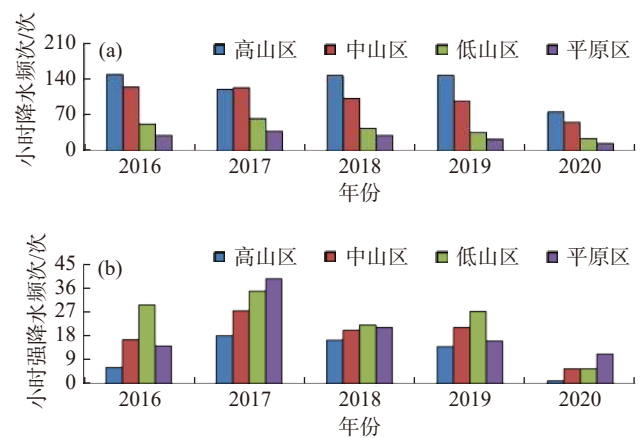


图 10 2016—2020 年夏季昆仑山北部小时降水频次 (a)、小时强降水频次 (b) 年际变化

4.5.2 小时强降水频次

分析2016—2020年昆仑山北部夏季小时强降水频次的年际变化(图10b)可知:4类区域2016—2020年小时强降水频次年际变化显著且呈单峰型,2017年为峰值年(120次),2020年为谷值年(24次),其余年份介于67~80次,峰值年较谷值年偏多约4倍;峰值年为2017年,高山区18次、中山区27次、低山区35次、平原区40次;谷值年为2020年,各区依次为1次、5次、7次、11次;高山区最多年(18次)较最少年2020年(1次)偏多17倍,年际变化更突出。2017年小时强降水频次最多可能是由于7月受中亚低值系统的持续影响,昆仑山北部系统性和对流性天气较多,多地出现极端强降水所致。

5 结论与讨论

本文基于国家气象站、区域加密气象站逐小时降水资料,探讨昆仑山北部夏季不同时间尺度下降水分布与海拔高度梯次的变化关系,揭示其降水多尺度时间和空间演变规律,得到以下主要结论:

(1)近5a昆仑山北部平均夏季降水为358.5mm、

日降水为 $3.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、小时降水为 $0.04 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ，且小时降水和小时强降水频次分别为 301 次和 74 次，日降水极值 95.4 mm 出现在低山区，小时降水极值 64.0 mm 出现在平原区。

(2) 昆仑山北部夏季和 6—8 月逐月降水、平均日降水和小时降水、小时降水频次 5 个降水特征量的空间分布类似，均随海拔高度梯次下降而减少，而最大小时降水则与之相反，随海拔高度梯次下降而增多。降水日变化明显，中午至前半夜降水大值中心随时间逐渐偏向低海拔区，呈由南向北移动的特征。高(低)海拔区降水频次高(低)，但强降水少(多)，小时强降水更易出现在海拔较低的低山区和平原区。由于易受局地对流天气影响，低山区和平原区午后降水强度增大、局地性更强。

(3) 近 5 a 昆仑山北部夏季和 6 月降水、日降水和小时强降水频次年际变化呈单峰型，但 7 月和 8 月降水呈双峰型，小时降水频次为下降趋势。夏季降水表现出随海拔高度梯次的降低，小时降水的峰值时间、增强和减弱时段均后延的日变化特征，4 类区域的小时降水峰值均出现在白天，低山区和平原区发生在午后。

(4) 昆仑山北部夏季降水随海拔高度表现出不尽相同的时空变化特征，“季-月-日-时”4 个时间尺度的降水总体随海拔高度梯次下降而减少，但最大小时降水则增多，海拔较低的低山区和平原区更易出现小时强降水，加大了暴雨洪涝及次生地质灾害发生的概率。受局地对流天气影响，海拔较低的低山区和平原区小时降水峰值发生在午后，需高度关注其午后强对流天气造成的短时强降水，重点防范由此引发的暴雨洪涝及次生地质灾害。

虽然本文在时间和空间尺度上讨论了昆仑山北部夏季降水的变化特征，但未来还需要在加强南疆复杂山地气象观测网站布局和数据收集的基础上，进一步对其它气象要素，如气温(平均、最高和最低气温)、风向风速等进行研究，综合分析该区域的气候变化规律，并与帕米尔高原、天山南麓进行对比分析，认识南疆不同区域气候变化的差异性，为其生态保护、经济发展和灾害防御提供科学依据。

参考文献

- [1] 任国玉,袁玉江,柳艳菊,等.我国西北干燥区降水变化规律[J].干旱区研究,2016,33(1):1-19
- [2] 李剑锋,张强,白云岗,等.新疆地区最大连续降水事件时空变化特征[J].地理学报,2012,67(3):312-320
- [3] 陈星任,杨岳,何佳男,等.近60年中国持续极端降水时空变化特征及其环流因素分析[J].长江流域资源与环境,2020,29(9):2068-2081
- [4] 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(3):373-382
- [5] 王炳钦,江源,董满宇,等.1961—2010年北方半干旱区极端降水时空变化[J].干旱区研究,2016,33(5):913-920
- [6] 宋瑶,周顺武,王传辉,等.中国西北地区东部夏季不同等级降水时间演变特征[J].中国沙漠,2018,38(1):182-191
- [7] 王炳尧,刘星辰,刘立超.1957—2017年腾格里沙漠地区降水量[J].中国沙漠,2020,40(4):163-170
- [8] 徐泽华,韩美,张广彩,等.山东降水时空分布变化及其影响因素[J].水土保持研究,2018,25(3):272-278
- [9] 李金建,缪启龙.西南地区夏半年降水的多时空尺度特征[J].气象与减灾研究,2007,30(4):14-19
- [10] 曾波,谌芸,王钦,等.1961—2016年四川地区不同量级不同持续时间降水的时空特征分析[J].冰川冻土,2019,41(2):444-456
- [11] 李沁汶,王玉宽,徐佩,等.未来气候变化情景下横断山北部灾害易发区极端降水时空特征[J].山地学报,2019,37(3):400-408
- [12] 梅静,王建,何亮,等.川西甘孜州1961—2015年气温和降水时空变化特征研究[J].山地学报,2019,37(2):161-172
- [13] 李忠峰,李学梅.重庆市气候因子变化及其与植被活动的相关性[J].山地学报,2014,32(6):717-724
- [14] 陈阿娇,贺新光,秦建新,等.长江流域近51 a来日降水时空变异的多尺度特征[J].长江流域资源与环境,2016,25(5):794-803
- [15] 汪成博,李双双,延军平,等.1970-2015年汉江流域多尺度极端降水时空变化特征[J].自然资源学报,2019,34(6):1209-1222
- [16] 胡文峰,陈玲玲,姚俊强,等.气候变化背景下新疆气温和降水时空演变特征分析[J].阜阳师范大学学报(自然科学版),2020,37(3):90-95
- [17] 辛渝,毛炜峰,李元鹏,等.新疆不同季节降水气候分区及变化趋势[J].中国沙漠,2009,29(5):948-959
- [18] 刘芸芸,何金海,王谦谦.新疆地区夏季降水异常的时空特征及环流分析[J].南京气象学院学报,2006,29(1):24-32
- [19] 苗运玲,秦榕,张云惠,等.东天山北坡气温与降水时空变化特征[J].水土保持研究,2019,26(3):219-231
- [20] 赵传成,姚淑霞,刘君,等.基于信息熵的天山山区降水时空变化特征[J].草业科学,2016,33(4):645-654
- [21] 周成龙,杨兴华,霍文,等.塔克拉玛干沙漠腹地降水特征[J].中国沙漠,2017,37(2):343-348
- [22] 高惠芸,杨青,梁岩鸿.新疆阿克苏河流域降水的时空分布[J].干旱区研究,2008,25(1):70-74
- [23] 武胜利,刘强吉.近50 a新疆巴州地区气温与降水时空变化特征[J].干旱气象,2016,34(4):610-616
- [24] 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,2017,11(2):14-20
- [25] 方德贤,董新宁,邓承之,等.2020.2008—2016年重庆地区降水时空分布特征[J].大气科学,2020,44(2):327-340

Multi-scale Temporal and Spatial Variation Characteristics of Summer Precipitation in Northern Kunlun Mountains

ZHANG Junlan, YANG Xia, XIAO Jun'an, SHI Junjie

(*Xinjiang Uygur Autonomous Region Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China*)

Abstract: Based on the hourly precipitation data of 14 national weather stations and 240 encrypted regional automatic weather stations in the north part of Kunlun Mountains from June to August in 2016—2020, the multi-scale temporal and spatial distribution characteristics of summer precipitation in northern Kunlun Mountains are analyzed on the "Quarter-Month-Day-Hour" time scale, with the high mountain area, middle mountain area, low mountain area and plain area divide by the descending altitude ladder. The main conclusions are as follows: (1) In the past 5 years, the average summer precipitation in northern Kunlun Mountains was 358.5 mm, and the frequency of hourly precipitation and hourly heavy precipitation was 301 and 74 respectively. The daily precipitation extreme value of 95.4 mm appeared in the low mountain area, and the hourly precipitation extreme value of 64.0 mm appeared in the plain area. (2) In summer and from June to August, the monthly precipitation, average daily precipitation and hourly precipitation, and hourly precipitation frequency all show the spatial distribution characteristics of "more in the south and less in the north", which decreases with the decrease in altitude. The maximum hourly precipitation is inversely distributed and increases with the decrease of the altitude ladder. The hourly heavy rainfall is more likely to occur in the low-altitude low mountain and plain areas. (3) The diurnal variation characteristics of summer precipitation are significant. The large-value center of hourly precipitation from noon to the first half of the night gradually shifts to low-altitude areas with time, showing a pattern of shifting from south to north. The peak time of hourly precipitation and the precipitation enhancement period both increase and then extend with the decrease of altitude ladder. The hourly precipitation peaks in the 4 types of regions occur during the day, and the peak value in the low mountain and plain areas mainly occur in the afternoon. It is necessary to pay attention to the short-term heavy rainfall caused by strong convective weather in the low mountain and plain areas in the afternoon, and focus on preventing the occurrence of geological disasters such as flash floods in small and medium-sized rivers, landslides and debris flows caused by short-term heavy rainfall.

Key words: Northern Kunlun Mountains, Summer precipitation, Multi-scale temporal and spatial changes, Elevation