

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0065

WANG Tingting, FENG Qi, LI Zongxing, et al. Extreme climate research on Gulang River basin in eastern Qilian Mountains during 1960–2012 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(3): 598–606. [王婷婷, 冯起, 李宗省, 等. 1960–2012年祁连山东段古浪河流域极端气候事件研究[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 598–606.]

# 1960–2012年祁连山东段古浪河流域 极端气候事件研究

王婷婷<sup>1,2,4</sup>, 冯起<sup>1,3</sup>, 李宗省<sup>1,3</sup>, 李建国<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃兰州 730000; 2. 兰州交通大学经济管理学院, 甘肃兰州 730070; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院内陆河流域生态水文重点实验室, 甘肃兰州 730000; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 全球变暖引发极端气候事件频发、加剧, 是干旱区研究关注的热点科学和社会问题。通过分析祁连山东段古浪河流域 1960–2012 年日气温、降水数据, 研究表明: 古浪河流域升温显著, 作物生长期、夏日高温日数和热持续日数均在频次和幅度上显著增加, 显示出对全球变暖的良好响应。降水存在准 3 年和准 8 年的高频波动特征, 强降水对年降水影响日趋显著, 普通日降水强度则反映出区域差异性, 持续干燥日数显示本区呈现湿润化。上述认识可为古浪河流域水资源研究及生态服务提供科技支撑。

**关键词:** 极端气候; 气温; 降水; 古浪河

**中图分类号:** P429      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-0240(2018)03-0598-09

## 0 引言

全球变暖是气候变化不争的事实<sup>[1-4]</sup>。由变暖引起的气温升高、水分循环、蒸发加强, 引发了极端气候事件的频发和加剧, 对社会稳定、经济发展和人民生活产生深刻影响, 引起了科学界乃至各国政府和公众的广泛关注<sup>[1,5]</sup>。就全球来看, 日夜温度变化不对称, 最低气温升高幅度较大, 而最高气温升温趋势较小, 日较差呈变小趋势<sup>[6]</sup>。年降水的变化呈现出一定的差异性, 但其极端降水发生的频率和强度却有增加趋势, 且其对年降水量的贡献日趋增大<sup>[7-8]</sup>。

极端气候事件的全方位、多层次关注已成为当前气候变化研究的热点问题, 也受到了诸如世界气候研究计划 (World Climate Research Programme, WCRP)、国际地圈生物圈计划 (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP) 等一系列国际

重大科学计划的关注。政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第五次评估报告 (AR5) 明确指出, 过去 100 余年全球表面平均温度升高了 0.65 ~ 1.06 °C, 尤其是近 30 年来, 地表已连续偏暖超过过去任意一个 10 年<sup>[9]</sup>。极端气候事件的强度和频率正发生着显著变化<sup>[10]</sup>。国内外学者对极端气候的变化特征、影响及经济损失等方面开展了大量研究, 结果表明过去 50 年里极端低温事件 (霜冻、冷昼、冷夜) 呈减小趋势, 极端热事件 (热昼、热夜、热浪) 更加频繁, 强降水和洪涝灾害出现的频率增大。近年来学者们从极端高温、极端低温事件发生的频次/强度等不同方面对不同区域内极端气候变化展开研究<sup>[11-14]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 我国极端暖事件增多, 极端低温事件显著减少; 全国降水强度普遍增加, 极端强降水的相对贡献显著增强。其中, 我国东部降水频率下降, 西北部地区降水频率增

收稿日期: 2017-06-09; 修订日期: 2017-12-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0404305); 中国科学院前沿科学重点研究项目 (QYZDJ-SSW-DQC031); 甘肃省杰出青年基金项目 (1506RJDA282) 资助

作者简介: 王婷婷 (1980–), 女, 甘肃古浪人, 2010 年在兰州交通大学获硕士学位, 现为中国科学院西北生态环境资源研究院在读博士研究生, 从事生态经济研究. E-mail: wtingting1028@163.com

通信作者: 冯起, E-mail: qifeng@lzb.ac.cn.

加<sup>[15]</sup>。在西北干旱区,变暖高于全国平均值,其极端高温事件上升显著,极端低温呈下降趋势。年降水、季节降水和极端降水事件也显著增加<sup>[16]</sup>。

当前,西北地区气候由“暖干”向“暖湿”转换的大背景下<sup>[16]</sup>,需要深入认识不同区域内气候变化趋势和规律。位于西北内陆干旱区的河西走廊,发育了三大内陆水系,其最东段石羊河流域,受东南季风、西南季风和西风带共同作用,气候复杂多变。由于紧邻腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠,该区域是典型的气候敏感区和生态环境脆弱带。极端气候事件的频发和加剧,必然会对其生态环境产生重要影响。石羊河流域包括八个子流域,其中,古浪河流域最为典型,其上游天祝藏族自治县林地覆盖度较高,人类活动影响小,下游古浪县境内人类活动较为剧烈,是典型的生态脆弱区<sup>[17]</sup>,是分析认识气候、水文变化对生态环境影响的理想场地。故此,本文选取祁连山东段古浪河流域开展极端气候事件

的相关研究,以期为流域内应对气候变化的挑战提供科学支撑。

## 1 研究区概况

古浪河属于河西走廊东段石羊河流域八大支流之一。流域面积 882.3 km<sup>2</sup>,行政区划包括古浪县和天祝县部分区域(图 1)。该流域属于大陆型温带干旱气候,上游乌鞘岭年均温 0.08 ℃,降水量约为 400 mm,蒸发量可达 1 547 mm;下游古浪年均温 5.4 ℃,降水量约为 360 mm,蒸发量可达 1 826 mm。受海拔及地形影响,流域上、下游气温表现出较大差异性,但降水与蒸发基本一致。自 1960 年以来,流域上、下游气温上升明显,降水呈现出一定差异性。其中,乌鞘岭降水增多,而古浪则较为平稳,未表现出明显趋势。古浪河流域主要土地类型为林地、草地和耕地,沿河及古浪县土地利用类型变化较大。其中,山区降水是古浪河的主要补

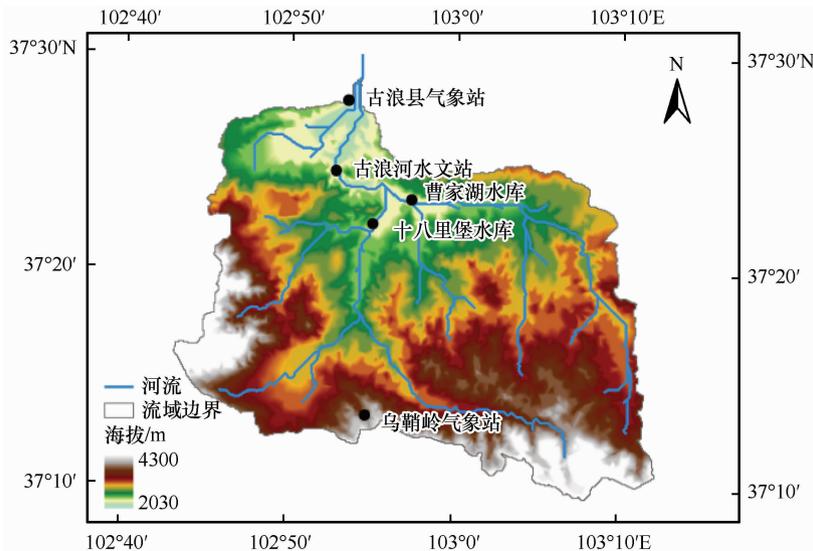


图 1 古浪河流域气象站点分布

Fig. 1 Locations of meteorological stations in Gulang River basin

给来源,主要来水量集中在汛期 7 月份<sup>[18]</sup>。

## 2 数据来源与方法

本文所用数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)提供的古浪河流域境内天祝、乌鞘岭地面气象站(图 1)的日最高温、日最低温和日降水量数据,研究时段为 1960-2012 年。数据分析前对数据质量做了严格的筛选和控制,包括极值检验和时间一致性检验。对日降水量为微量(特征值为 32 700)的日值数据统一认为降水量为 0;日降水量以雪、霜、露等形

式存在的,统一按降水量处理。检验逐日降水量是否严重偏离本地区降水量的实际情况,即超出 3 倍标准差的值定义为出界值,通过人工检查并尽可能与相邻站点的记录进行比对,合理保留,不合理的按缺测进行处理。

对极端气候事件的研究,国内外学者常采用世界气象组织气候委员会、气候变化检测、监测和指标专家组推荐使用的“气候变化检测和指标”(Expert Team on Climate Change Detection and Indices)中确定的指标体系<sup>[19-22]</sup>,共确定了 16 个极端气温指数和 11 个极端降水指数。计算过程在 RCLim

Dex 软件中完成。该模型的优点在于只需输入逐日降水、最高、最低气温等基本信息,由于西北干旱区降水量少,降水变率大,一些极端气候指数并不适用。故而,在降水方面选取了雨日强度(SDII)、雨日降水总量(PRCPTOT)、极端降水总量(R95P)、非常极端降水总量(R99P)、连续干旱日数(CDD)、连续湿润日数(CWD)6个指标,气温

则选取了日较差(DTR),热持续日数(WSDI),冷持续指数(CSDI),夏日日数(SU25),作物生长期(GSL)5个指标(表1)。由于极端指数的计算对缺测值非常敏感,因此该模型中假定当一个月中出现3d以上或一年中出现15d以上缺测值时则对该月或该年不进行极端指数的计算,以此进行数据质量控制。

表1 极端气温、降水事件指标定义  
Table 1 Definition of extreme climate events

极端指数	定义	单位
日较差(DTR)	日温差的平均值	℃
热持续日数(WSDI)	每年至少连续6天日最高气温(TN) >90%分位数的日数	d
冷持续日数(CSDI)	每年至少连续6天日最高气温(TN) <10%分位数的日数	d
夏日日数(SU25)	日最高气温 >25℃的天数	d
作物生长期(GSL)	至少6日平均日平均气温 >5℃的初日与 <5℃的终日间的日数	d
雨日降水总量(PRCPTOT)	≥1 mm 降水日累积量	mm
雨日强度(SDII)	年降水量/≥1 mm 日数	mm · d <sup>-1</sup>
极端降水总量(R95P)	日降水量 >95%分位值的总降水量	mm
非常极端降水总量(R99P)	日降水量 >99%分位值的总降水量	mm
连续干旱日数(CDD)	最长连续无降水日数	d
连续湿润日数(CWD)	最长连续降水日数	d

小波分析是地学领域常用于时间序列分析的方法之一。小波分析通过伸缩平移运算对信号逐步进行多尺度细化,能自动适应需求,聚焦到信号的任意细节,在时频两域都有表征局部信号特征的优势<sup>[23]</sup>。本文所应用的小波分析在气候诊断应用时不仅可以给出序列变化的尺度,还可以显现出变化的时间位置。为了减小边界效应,目前在小波分析中最常用的处理方法是资料向前和向后各延拓一个样本长度,变换后再将延拓部分舍弃。

### 3 结果与分析

#### 3.1 极端气温事件

1960-2012年间,古浪河流域两站点气温总体上升(图2),其变化趋势高度一致( $r=0.959$ ,  $P<0.001$ ),上游乌鞘岭增温幅度( $0.25\text{℃} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,  $P<0.001$ )略低于下游古浪河( $0.39\text{℃} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,  $P<0.001$ ),并未表现出海拔增温效应<sup>[24]</sup>。为进一步探讨古浪河流域气温变化细节。本文选取了夏日高温日数、冷持续日数、热持续日数、作物生长期及日较差等几个指标进行分析。

下游古浪站点夏日高温日数(SU25)在20世纪80年代之前下降明显( $-0.604\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $P<0.05$ ),

而后表现出增温趋势( $0.676\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $P<0.001$ )。与之对应,上游乌鞘岭站点因海拔较高,其夏日高温日数较之无论在频次还是量级上都远远不及,但其2000年之后有增加趋势。上述变化表现出本流域对全球变暖的良好响应。

下游古浪冷持续日数20世纪90年代之前尽管呈现下降趋势,但其出现频次较为稳定,量级略减,而后几乎再未出现。与之对应,热持续日数在80年代之后发生频次及对应量级上均有明显增多。上游乌鞘岭站点,冷持续日数90年代之前发生频次较高,其量级略有下降,而后几乎再未出现。而热持续日数在90年代中期之前鲜有出现,而后发生频次明显增多,且量级增大。整个流域表现出冷暖变化的一致性。

对于环境有实际指导意义的另一气候指标——作物生长期在古浪( $0.443\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $P<0.001$ )、乌鞘岭( $0.495\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $P<0.001$ )两站都表现出上升的趋势,且其阶段性和变化斜率也表现出类似的变化趋势。说明古浪河流域气温环境对作物生长影响具有一致性,这一结论也被古浪河流域植被变化所佐证<sup>[17]</sup>。

气温日较差是衡量极端气候的重要指数,古浪

日较差 1960 - 2012 年呈现持续下降趋势 ( $-0.33\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ ,  $P < 0.001$ ), 但 20 世纪 80 年代前后趋势及影响因素有所不同。80 年代之前, 暖夜平稳、极低温微增、低温值整体略有升高, 同期冷昼增加、暖昼减少、最高气温减少, 高温值减少, 两者差值减少, 导致日较差变小; 80 年代之后, 暖日数、低温极大值剧增低温值升高, 同期, 冷昼平稳、暖昼增加、最高温极小值下降, 两者差值减少, 日较差持续减少。与之同期, 上游乌鞘岭, 20 世纪 90 年代之前日较差减少显著, 而后呈现出微弱增加特征, 经分析, 基本以 80 年代为转折点, 与发生的以下变化有关。80 年代之前, 暖夜日数增加, 低温极

大值减少, 使得低温值增高, 与此同时, 冷昼日数增加, 暖昼日数减少, 最高温极小值和最高气温减少, 极高温降低, 导致两者这一时段差值变小, 日较差变小。80 年代之后, 暖夜日数、低温极大值显著增加, 低温值增高, 而暖昼日数剧增, 冷昼日数减少、最高气温剧增, 极高温增大, 两者温差较之前略有增大, 日较差表现出微增特征。尽管位处同一流域, 但受海拔等地形因素影响, 在气候变化指标上表现出差异性。古浪日较差持续减少, 而上游乌鞘岭则先减后增, 表现出复杂性, 但其影响因素基本一致。也有研究认为, 日较差的变化与空气中水汽和气溶胶增加有关<sup>[25-26]</sup>。

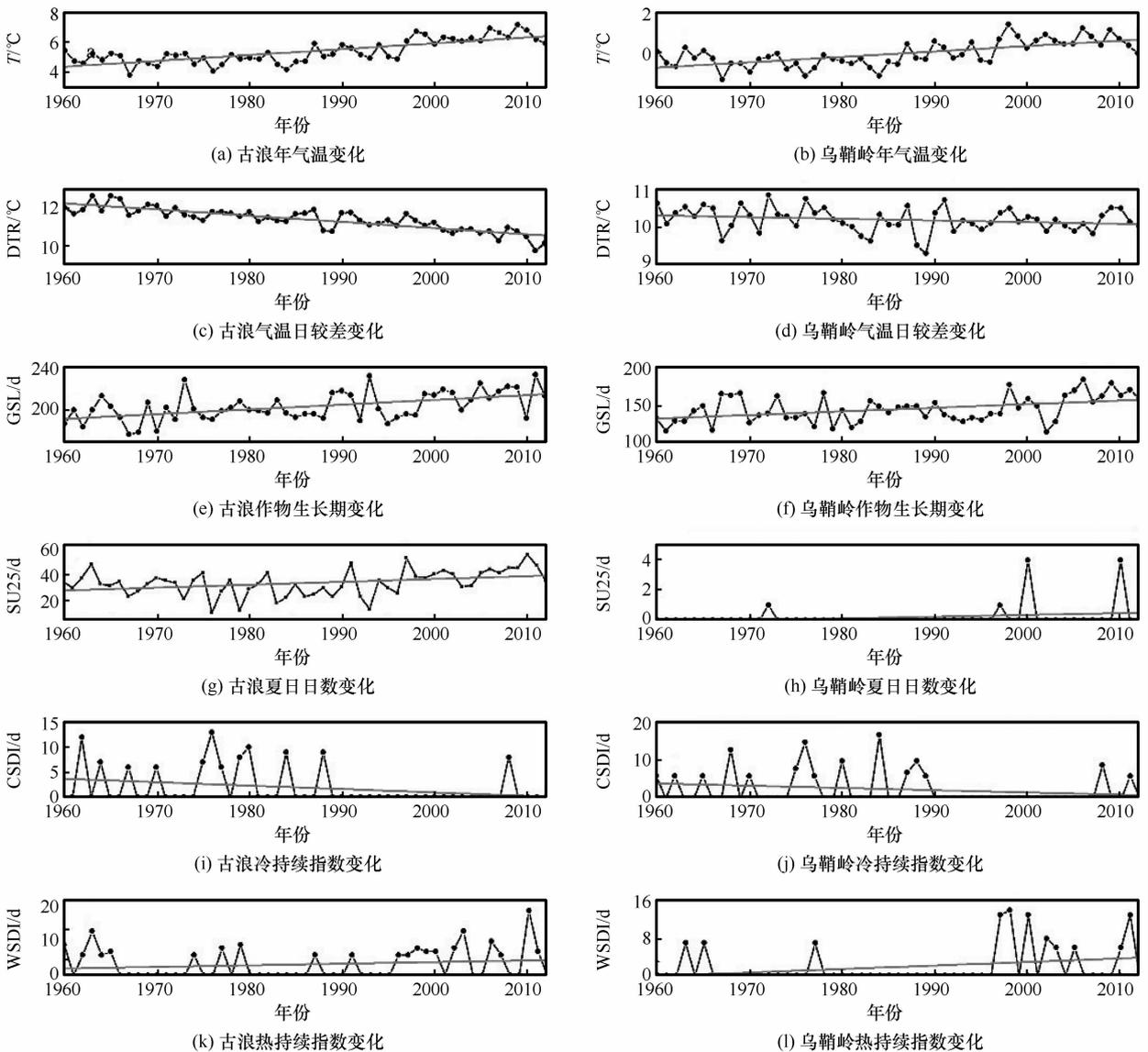


图 2 古浪-乌鞘岭极端气温指标变化

Fig. 2 Variations of extreme temperature in Gulang and Wushaoling stations

### 3.2 极端降水事件

古浪河流域乌鞘岭、古浪两站降水在量级上较为接近,且其变化趋势也表现为一致的先增加(20世纪80年代之前)后平稳的变化特点(图3)。受海拔影响,降水量级前者略高于后者。此外,在年降水量的变化周期上,乌鞘岭和古浪在准8年和准3年两个高频波动上表现出一致性。古浪站点降水20世纪60年代至90年代中期和2000年后存在显著的准3~4年的周期振荡,同时还包含有8年左右的周期振荡成分(20世纪60年代至80年代);而乌鞘岭降水则在整个时段表现出强烈的准3年周期振荡,80年代之前也辨识出准7年的周期振荡,但未通过置信检验,且其后表现更不明显。两者共同反映出古浪河流域降水小波动大稳定的变化特

征。分析显示,古浪河流域年降水量变化主要与强降水和普通降水强度有关(图4)。其中,乌鞘岭年降水量变化与普通日降水强度和强降水变化波动近乎一致,且在高频波动(准3~4年、准8年)振荡上也具有一致性(图5)。强降水对年降水量的比重 $1.4\% \cdot (10a)^{-1}$ 在增长,个别年份,强降水可达年降水总量的47%。说明乌鞘岭强降水对于年降水影响日趋重要。古浪站点,年降水量变化尽管在波动上与强降水更为相似,但强降水比重占年降水量的比重方面并未表现出和乌鞘岭一致的变化趋势。其周期变化上与强降水和普通日降水强度变化具有一致性。

极端降水指标方面,上游乌鞘岭站点,普通降水强度略有增加,其强降水在20世纪80年代之前

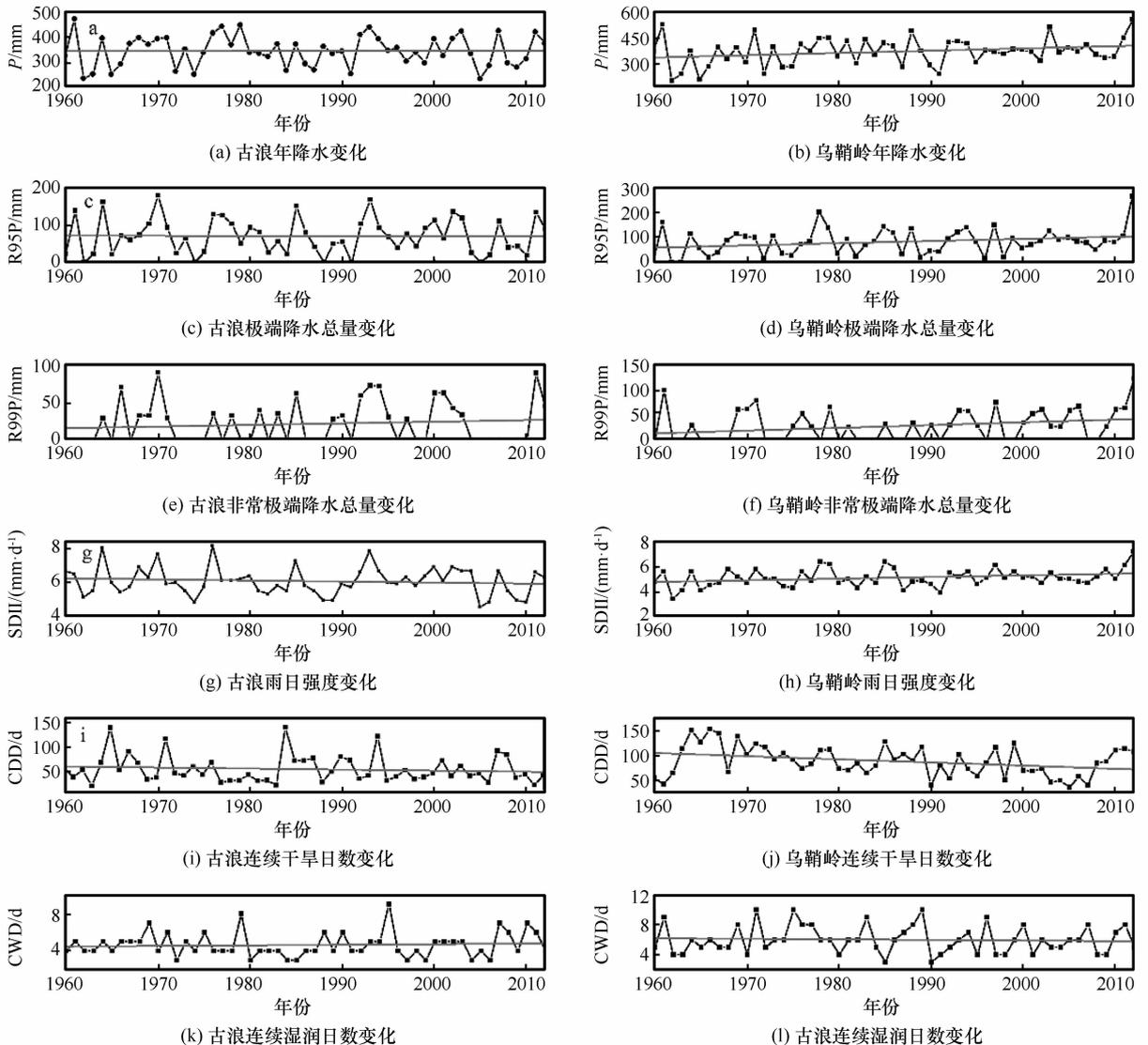


图3 古浪-乌鞘岭极端降水指标变化

Fig. 3 Variations of extreme precipitation in Gulang and Wushaoling stations

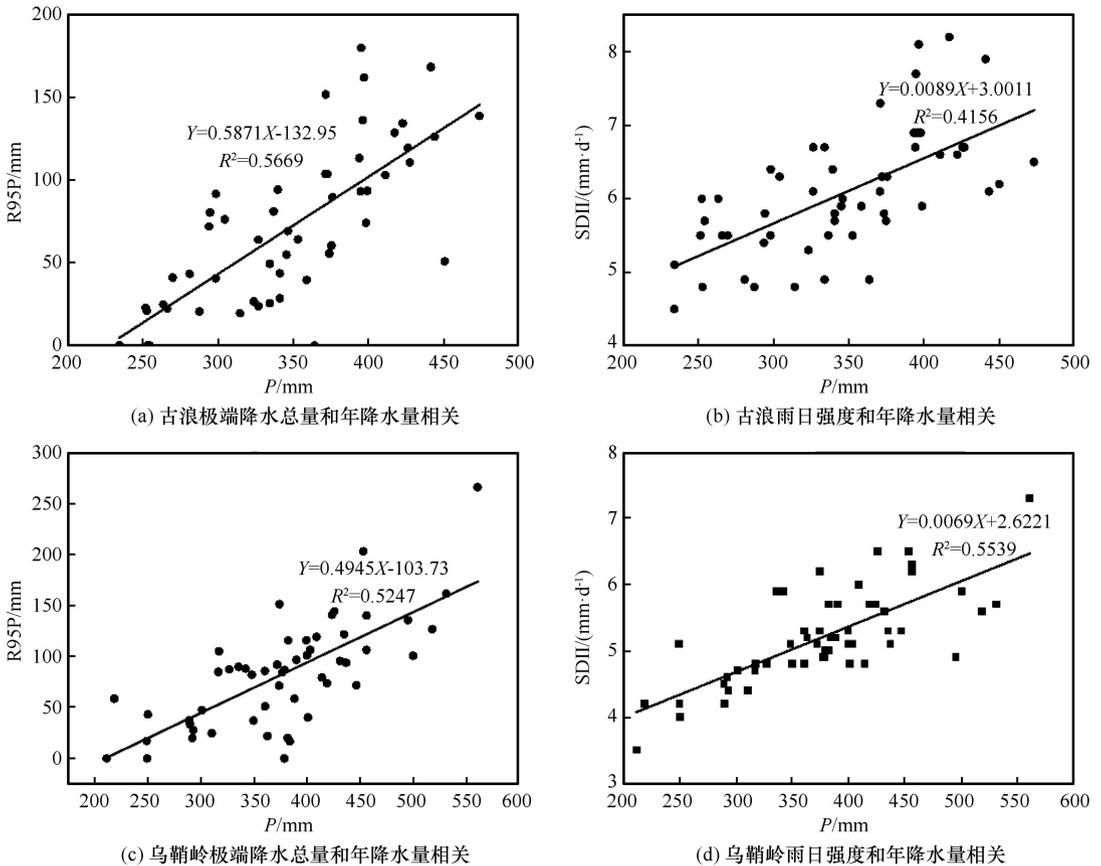


图 4 古浪-乌鞘岭年降水与极端降水比较

Fig. 4 The correlations between annual precipitation and extreme precipitation in Gulang and Wushaoling stations

有上升趋势,而后保持平稳;极强降水总体上升明显,90年代之后尤为显著,且其发生频次明显增多。受降水强度影响,持续干燥日数连续下降,而持续湿润指数80年代之前增加而后减少。下游古浪站点,普通日降水强度整体下降,但不同时段有所差异。强降水保持较为平稳,极强降水90年代中期之前都呈现出增加趋势,而后却反转下降,且对应频次减少。受降水强度影响,持续干燥日数2000年后量级减少明显,而对应持续湿润指数80年代中期之前下降明显,而后转为增加。上述两站相比,普通日降水强度变化上游总体增长下游略有下降,且其极强降水强度以90年代为拐点,也表现出先一致后相反的变化特征。其持续湿润指数受上述影响,也在趋势上表现出差异性,但其对应的持续干燥日数显示本区趋于湿润化。

#### 4 讨论和结论

我国西北干旱半干旱区以  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$  的速率持续变暖,20世纪80年代之后表现尤甚,超过全国平均增幅<sup>[5]</sup>。相比增温,降水量变化呈现区

域差异性。受降水频次和强度共同作用,西北干旱半干旱区近50年是400年来年降水量最丰沛的时期,多雨主要发生在气候剧烈变暖的近30年,整体呈现暖湿化。其中,以极端高温增加、极端低温降低、降水强度和极端降水均增加为主要特征<sup>[27]</sup>。

本文以祁连山东段石羊河子流域-古浪河流域为研究对象,对该区域极端气候进行诊断分析,结论如下:

(1) 1960-2012年以来古浪河流域显著升温,略高于西北干旱区和全国平均值。同期年降水量表现出20世纪80年代之前增加而后平稳的变化特征。与强降水和普通降水强度有关。强降水对乌鞘岭年降水量影响日趋重要。

(2) 古浪河流域总体增温,作物生长期呈现上升趋势,受全球变暖影响,夏日高温日数和热持续日数自20世纪80年代在频次和幅度上均有增加。日较差在下游古浪站点受极低温增大、极高温减少共同作用而变小,上游乌鞘岭20世纪90年代之前变化、成因与下游类似,而后因极高温值剧增日较差有所增加。

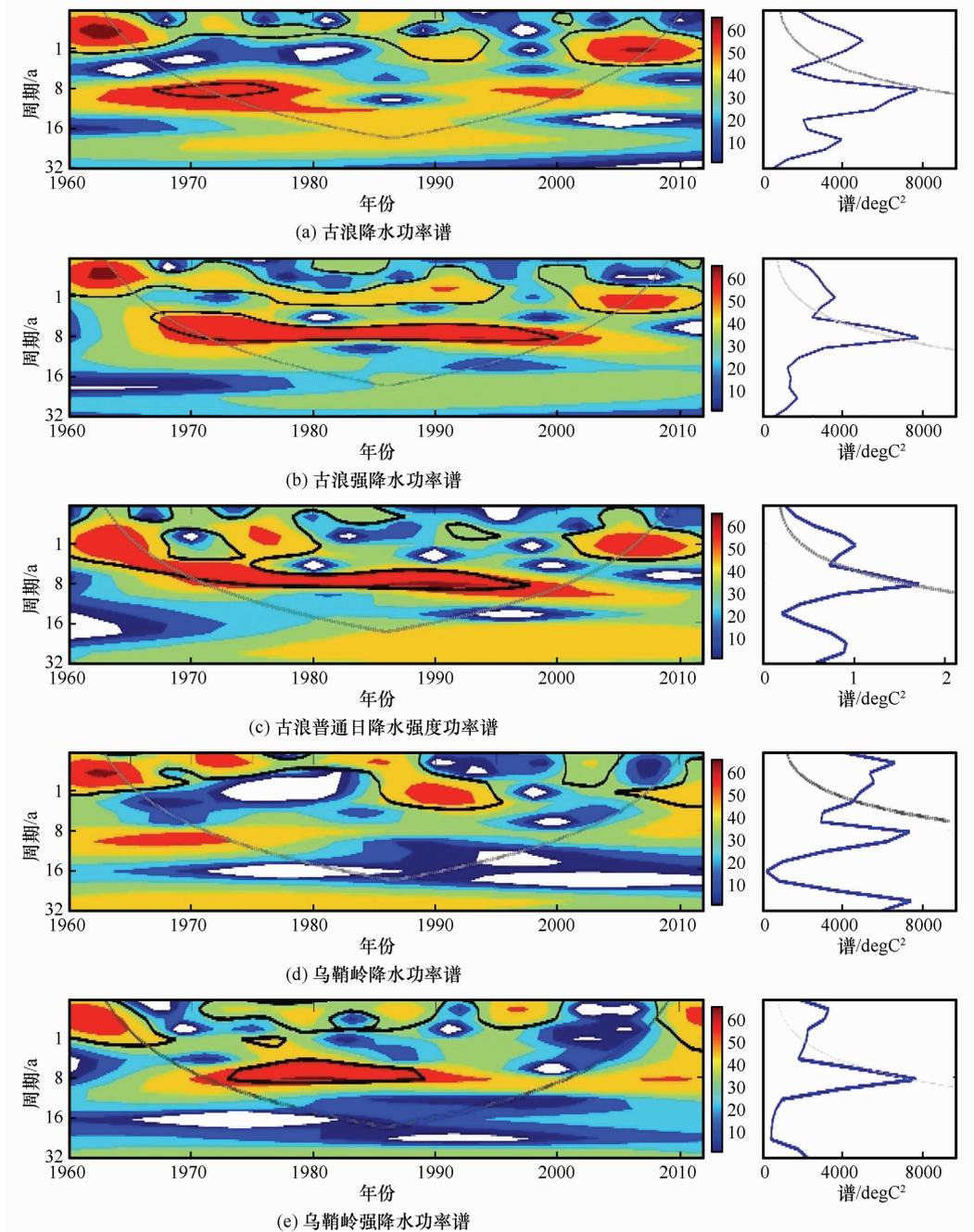


图5 古浪-乌鞘岭降水、强降水和普通日降水强度小波分析

Fig.5 Wavelet analysis of annual precipitation, R95P, and SDII in Gulang and Wushaoling stations

(3) 古浪河流域降水以20世纪80年代为拐点表现出先增加后平稳的变化特征。且存在一致的高频(准3年和准8年)波动信号。强降水对年降水量影响日趋重要。普通日降水强度变化上游总体增长下游略有下降,且其极强降水强度以20世纪90年代为拐点,也表现出先一致后相反的变化特征。其持续湿润指数受上述影响,也在趋势上表现出差异性,但持续干燥日数显示,过去50年来,本研究区域趋于湿润化。

### 参考文献 (References):

- [1] Hartmann D L, Tank A, Rusticucci M. IPCC fifth assessment report, climate change 2013: the physical science basis [J]. IPCC AR5, 2013: 31-39.
- [2] Zhang Xiaopeng, Qin Xiang, Wu Jinkui, et al. Response of glacier runoff to climate change in the Laohugou basin, Qilian Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(1): 148-155. [张晓鹏, 秦翔, 吴锦奎, 等. 祁连山老虎沟流域强消融期径流对气候变化的响应 [J]. 冰川冻土, 2017, 39(1): 148-155.]
- [3] You Qinglong, Kang Shichang, Aguilar E, et al. Changes in dai-

- ly climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003 [J]. *Climate Dynamics*, 2011, 36(11/12): 2399-2417.
- [4] Wang Yujie, Zhou Botao, Qin Dahe, et al. Changes in mean and extreme temperature and precipitation over the arid region of northwestern China: observation and projection[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2017, 34(3): 289-305.
- [5] Qin Dahe. Assessments of environmental evolution in Western China: forecasts of Western China's environmental change[M]. Beijing: Science Press, 2002. [秦大河. 中国西部环境演变评估: 中国西部环境变化的预测[M]. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [6] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. *Geophysical Research Letters*, 1991, 18(12): 2253-2256.
- [7] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(3): 417-425.
- [8] Wang Shaoping, Jiang Fengqing, Wu Xiaobo, et al. Temporal and spatial variability of the extreme precipitation indices over the arid regions in Northwest China from 1961 to 2010[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(2): 318-326. [王少平, 姜逢清, 吴小波, 等. 1961-2010 年西北干旱区极端降水指数的时空变化分析[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(2): 318-326.]
- [9] Stocker T F, Qin Dahe, Plattner G K, et al. Climate change 2013: the physical science basis. contribution of Working Group I to the fifth assessment report of IPCC the intergovernmental panel on climate change[J]. *Computational Geometry*, 2014, 18(2): 95-123.
- [10] Wang Dai, You Qinglong, Jiang Zhihong, et al. Response of seasonal extreme temperatures in China to the global warming slow down[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(1): 36-46. [王岱, 游庆龙, 江志红, 等. 中国极端气温季节变化对全球变暖减缓的响应分析[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(1): 36-46.]
- [11] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(3): 417-425.
- [12] Ummenhofer C C, Meehl G A. Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2017, 372(1723): 20160135.
- [13] Stott P A, Christidis N, Otto F E L, et al. Attribution of extreme weather and climate-related events [J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2016, 7(1): 23-41.
- [14] Trenberth K E, Fasullo J T, Shepherd T G. Attribution of climate extreme events[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(8): 725-730.
- [15] Yang Jinhui, Jiang Zhihong, Wang Pengxiang, et al. Temporal and spatial characteristic of extreme precipitation event in China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2008, 13(1): 75-83. [杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. *气候与环境研究*, 2008, 13(1): 75-83.]
- [16] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219-226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(3): 219-226.]
- [17] Zhang Lanying, Pang Bo, Xu Zongxue, et al. Impacts of climate change and LUCC on hydrological processes in the Gulang River basin[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2014, 12(1): 42-46. [张兰影, 庞博, 徐宗学, 等. 古浪河流域气候变化与土地利用变化的水文效应[J]. *南水北调与水利科技*, 2014, 12(1): 42-46.]
- [18] Zhang Lanying, Pang Bo, Ma Jinhui, et al. SWAT simulation of runoff in the Gulang River basin[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2012, 48(5): 520-523. [张兰影, 庞博, 马金辉, 等. 基于 SWAT 模型的古浪河流域径流模拟[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(5): 520-523.]
- [19] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. *Climate Research*, 2002, 19(3): 193-212.
- [20] Caesar J, Alexander L V, Trewin B, et al. Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005 [J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31(6): 791-801.
- [21] Vincent L A, Aguilar E, Saindou M, et al. Observed trends in indices of daily and extreme temperature and precipitation for the countries of the western Indian Ocean, 1961-2008[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, 116(D10): D10108.
- [22] Klein Tank A M G, Peterson T C, Quadir D A, et al. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, 111(D16): 709-720.
- [23] Lau K M, Weng H. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1995, 76(12): 2391-2402.
- [24] Mountain Research Initiative EDW Working Group. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(5): 424-430.
- [25] Shen Hongyan, Ma Mingliang, Wang Ji, et al. Variation characteristics of extreme air temperature events in Qinghai Province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34(6): 1371-1379. [申红艳, 马明亮, 王冀, 等. 青海省极端气温事件的气候变化特征研究[J]. *冰川冻土*, 2012, 34(6): 1371-1379.]
- [26] Guo Qu, Sun Weiguo, Cheng Bingyan, et al. The trend of temperature variation and its possible causes in Chongqing[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2009, 14(6): 646-656. [郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 等. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析[J]. *气候与环境研究*, 2009, 14(6): 646-656.]
- [27] Ren Chaoxia, Yang Dayuan. Study on trend of climate change in the arid region of Northwest China in past 50 years[J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(2): 299-300. [任朝霞, 杨达源. 近 50 年西北干旱区气候变化趋势研究[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(2): 299-300.]

## Extreme climate research on Gulang River basin in eastern Qilian Mountains during 1960 – 2012

WANG Tingting<sup>1,2,4</sup>, FENG Qi<sup>1,3</sup>, LI Zongxing<sup>1,3</sup>, LI Jianguo<sup>1,3</sup>

(1. Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. School of Economics & Management, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 3. Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The increasing extreme climate events at the global scale are causing a series of scientific and societal issues under the background of global warming. The variations of daily temperature and precipitation of Gulang River basin in eastern Qilian Mountains showed that increasing frequency and amplitude of growing season length (GSL), summer days (SU25) and consecutive warm days (CWD) as well as prominent warming indicated the good response to global warming. The quasi-3-year and quasi-8-year periodicities of precipitation in whole basin were identified by wavelet analysis. Extreme wet day precipitation (R95P) is becoming more contribution for annual precipitation, but the simple daily intensity index (SDII) presented regional diversity. The consecutive dry days (CDD) revealed that humidification is going prominent. This work provided the science and technology support to water source and ecological services in Gulang River basin.

**Key words:** extreme climate; temperature; precipitation; Gulang River

(本文编辑: 周成林)