

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0163

Lan Yongchao, Liu Jinpeng, Ding Hongwei, *et al.* Changes of precipitation in mountainous areas of the three large inland river basins in the Hexi Corridor and their regional differences during 1960–2012 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(6): 1474–1480. [蓝永超, 刘金鹏, 丁宏伟, 等. 1960—2012年河西内陆河上游山区降水量变化及其区域性差异分析[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(6): 1474–1480.]

1960—2012年河西内陆河上游山区降水量变化及其区域性差异分析

蓝永超¹, 刘金鹏², 丁宏伟³, 鲁承阳⁴, 沈永平¹,
胡兴林⁵, 喇承芳⁴, 宋洁⁴, 高黎明¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 甘肃兰州 730000; 3. 甘肃省地质矿产勘察开发局, 甘肃兰州 730000; 4. 黄河水利委员会上游水文水资源局, 甘肃兰州 730030; 5. 甘肃省水文水资源局, 甘肃兰州 730000)

摘要: 基于我国河西内陆河流域有关水文、气象台站的观测数据, 对1960年代以来河西走廊的石羊河、黑河、疏勒河三大内陆河水系上游山区降水变化特征、趋势及区域时空变化差异进行了分析。结果表明: 受全球变暖的影响, 石羊河、黑河、疏勒河流域上游的降水量年代际、年际及季节性的变化总体上呈增加的态势, 但不同区域降水增幅存在着一定的差异。其中, 1960年代, 位于祁连山东部的石羊河水系上游山区、中部的黑河水系上游山区及西部的疏勒河水系上游山区普遍少雨; 1970年代, 石羊河山区降水偏多并持续至今, 黑河、疏勒河水系上游山区则降水偏少; 1980年代, 三大水系上游山区均多雨; 1990年代的黑河、疏勒河山区和2000年代的三大水系上游山区均多雨; 2010年以来, 黑河山区降水偏少, 石羊河与疏勒河山区降水均偏多。相对而言, 位于祁连山西部山区的疏勒河水系上游年降水量与夏季降水量的增长较为显著。

关键词: 全球变暖; 上游山区; 三大水系; 河西内陆区

中图分类号: P333.1 **文献标识码:** A

0 引言

我国西北内陆河流域深居欧亚大陆腹地, 远离海洋, 气候干燥, 是我国最干旱的地区, 水是制约该区域社会经济发展的最主要的因素。西北内陆干旱区据有独特的地貌类型和特征, 即高山高原与山前平原盆地相间, 盆地四周为环山环绕, 外缘的山区成为平原的“湿岛”与“水塔”, 形成了地球干旱地带中独具特色的水文水资源系统, 水资源分布于若干相对独立的内陆河流域。该区域水资源系统的主要特征为, 山区为冰川发育和降水较多的水资源形成区, 包括高山冰雪冻土带和山区植被带, 而山前干旱地带的平原盆地则为水资源耗散区, 包括山前

绿洲带和内陆河下游地区的荒漠带。山区的降水和冰雪融水成为山前地带水资源的主要来源。因而, 各河流出口径流量基本上代表了流域的水资源总量。由于山区地势高寒, 人类活动影响较小, 自然因素即山区气候(主要是气温、降水)成为影响径流形成变化的主要驱动因子。20世纪以来西北气候波动十分显著, 大部分时间表现为增暖变干, 但从1980年代末以后, 该区从西部到中东部的大部分地区又出现的增暖变湿的迹象, 而这种变化又具有时空分布的不均匀性和变化趋势的复杂性^[1-4]。甘肃省的河西内陆干旱区位于我国西北中部偏西, 是我国重要的工农业生产基地和生态屏障。由于工农业生产的发展与人口的增长, 水资源供需矛盾日趋

收稿日期: 2013-02-01; 修订日期: 2013-06-11

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(91225302); 中国科学院重点部署项目(Y322G73001); 国家自然科学基金面上项目(41240002; 91225301)资助

作者简介: 蓝永超(1957—), 男, 四川资阳人, 研究员, 1982年毕业于四川大学, 现主要从事气候变化和水文水资源研究。

E-mail: lyc@lzb.ac.cn

尖锐。而流域的地表水资源来源于山区的降水与冰雪融水,在全球变暖情景下,山区气候变化对于流域水资源总量变化的影响是当地政府与人民所共同关注的问题,也是水文水资源研究领域的热点区域。但纵观以往的研究,多集中于河西内陆河区的某条河流或水系,对于不同区域气候对于全球变暖的响应及其差异等方面的研究还相对比较缺乏。针对上述问题,本文基于河西内陆河山区及周边有关水文、气象台站的观测数据,对 20 世纪 60 年代以来该流域石羊河、黑河与疏勒河三大水系上游山区降水的年代际、年际与各季节的变化特征、趋势及区域差异进行深入系统的研究,以期决策部门制定本区域适应与减缓气候不利影响之对策,提供坚实可靠的科学依据。

1 研究区地理与气候特征

河西内陆河流域诸河均发源于流域南部位于青藏高原东北部边缘的祁连山区($93^{\circ}30' \sim 103^{\circ}00' E$, $36^{\circ}30' \sim 39^{\circ}30' N$),祁连山脉均呈西北-东南走向,平均海拔 4 000~4 500 m,许多山峰海拔超过 5 000 m,具有高山、积雪、冰川、山谷、盆地等较复杂的地形地貌。海拔 4 100 m 以上的山区终年积雪,发育着现代冰川,具有“天然淡水水库”之称^[2]。祁连山区气候属高山高原气候类型,区内气

候寒冷,冬季较长,春秋季较短,无气候上的夏季。年平均气温低于 $4^{\circ}C$,年平均降水量大都在 100~600 mm 之间,某些区域甚至超过 800 mm。区内气候与海拔密切相关,高海拔处气温较低,降水较多。水平分布表现为祁连山东部湿度大,降水多,西部气候干燥,降水少。由于祁连山处在高原季风气候区中,盛行风向的相反性年变化,使得夏半年(4—10 月)东坡或南坡的雨水较多,冬半年(11 月至翌年 3 月)则相反。由于低温高寒,山区降水的一部分以冰和雪的固体形式被储藏起来,成为天然的固体水库。随着海拔的降低,降水量急剧减少,如东段山区主峰冷龙岭年降水量可达 800 mm,但位于走廊平原区的武威市年降水量仅 161 mm。本区西部降水量更少,阿尔金山主脉降水量约 300 mm,而位于走廊平原区的敦煌市不足 50 mm。

2 基本数据与分析方法

祁连山区从东至西分别设有乌鞘岭、祁连、野牛沟与托勒 4 个国家基本气象站。其中,乌鞘岭气象站位于东部山区石羊河上游;祁连、野牛沟气象站分别位于中部山区黑河上游,托勒气象站位于西部山区黑河水系讨赖(北大)河河源附近,与疏勒河干流昌马河河源相邻;由于疏勒河水系上游山区无国家基本气象站,故在计算分析疏勒河上游山区降

表 1 研究区及附近气象站与水文站的观测项目和数据系列长度

Table 1 Information of the hydrological and weather stations, and data sequences in the study areas

| 区域 | 观测站 | 经度/E | 纬度/N | 海拔/m | 观测项目 | 设站时间 |
|---------|--------|---------|--------|-------|-------|------|
| 石羊河上游山区 | 乌鞘岭气象站 | 102°52' | 37°12' | 3 043 | 气温,降水 | 1959 |
| | 古浪气象站 | 102°54' | 37°29' | 2 073 | 气温,降水 | 1959 |
| | 九条岭水文站 | 102°03' | 37°52' | 2 250 | 降水,径流 | 1959 |
| | 门源气象站 | 102°37' | 37°23' | 2 851 | 气温,降水 | 1959 |
| | 杂木寺水文站 | 102°34' | 37°42' | 2 010 | 降水,径流 | 1959 |
| 黑河上游山区 | 俄博雨量站 | 100°56' | 37°58' | 3 460 | 降水 | 1967 |
| | 祁连气象站 | 100°14' | 38°12' | 2 789 | 降水,径流 | 1957 |
| | 野牛沟气象站 | 99°35' | 38°50' | 3 320 | 气温,降水 | 1957 |
| | 肃南气象站 | 99°37' | 38°25' | 2 311 | 气温,降水 | 1956 |
| | 民乐气象站 | 100°49' | 38°27' | 2 272 | 气温,降水 | 1956 |
| | 冰沟水文站 | 98°49' | 39°36' | 2 040 | 降水,径流 | 1957 |
| | 托勒气象站 | 99°37' | 38°50' | 3 367 | 气温,降水 | 1957 |
| 疏勒河上游山区 | 昌马堡水文站 | 96°51' | 39°49' | 2 080 | 降水,径流 | 1959 |
| | 党城湾水文站 | 94°53' | 39°50' | 2 176 | 降水,径流 | 1959 |
| | 鱼儿红雨量站 | 97°16' | 39°04' | 3 030 | 降水 | 1954 |

水变化时,借用托勒气象站的数据.此外,甘肃省水文水资源局在河西内流河各主要河流出口均设有水文站,在山区还设有雨量站.除上述这些观测站外,在山区流域周围还设有一些国家基本气象站.上述各站(表1)基本从20世纪50年代中、后期开始观测,已积累了50余年的观测数据.个别观测年限较短站的数据,利用附近相关关系好的其它站的长系列观测数据进行插补延长.由于祁连山区主要降水区域均位于海拔3000m以上的中、高山区,这些区域的降水和气温变化对于河西内陆诸河出山径流的形成变化具有重要的影响^[5-7].为

此,在本文的分析计算中主要采用设于海拔3000m以上的乌鞘岭、野牛沟与托勒气象站的降水观测数据,并将乌鞘岭、野牛沟与托勒气象站分别作为位于祁连山区北坡东部石羊河、中部黑河、西部疏勒河上游气候变化的代表气象站.另外,为弥补上述基本观测站点较少、代表性不足的缺陷,各主要河流出口水文站与山区流域附近的一些气象站的降水观测数据也被利用作为参考.为了保证观测数据和计算结果的代表性和可靠性,所有上述数据的观测期均同步为1960-2012年.本文的分析计算,主要采用了一些统计方法,如线性趋势分析、Man-

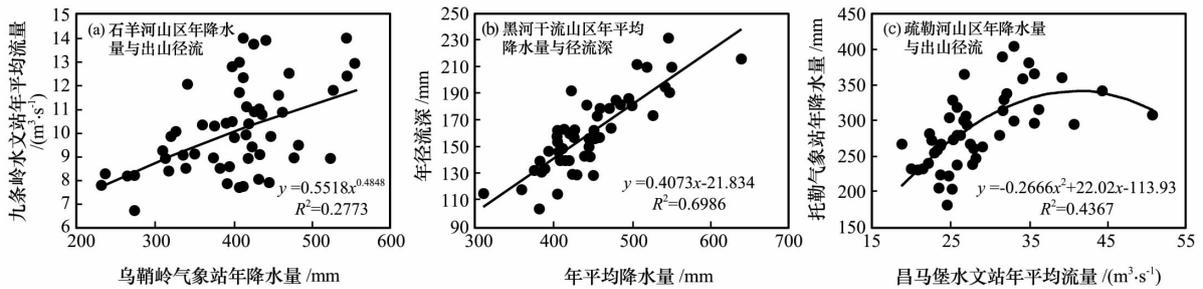


图1 石羊河(a)、黑河(b)和疏勒河(c)水系上游山区降水-径流相关性

Fig. 1 Correlation curves between precipitation and annual runoff in the mountain areas of the inland river systems of the Shiyang River (a), the Heihe River (b) and the Shule River (c) in Hexi Corridor

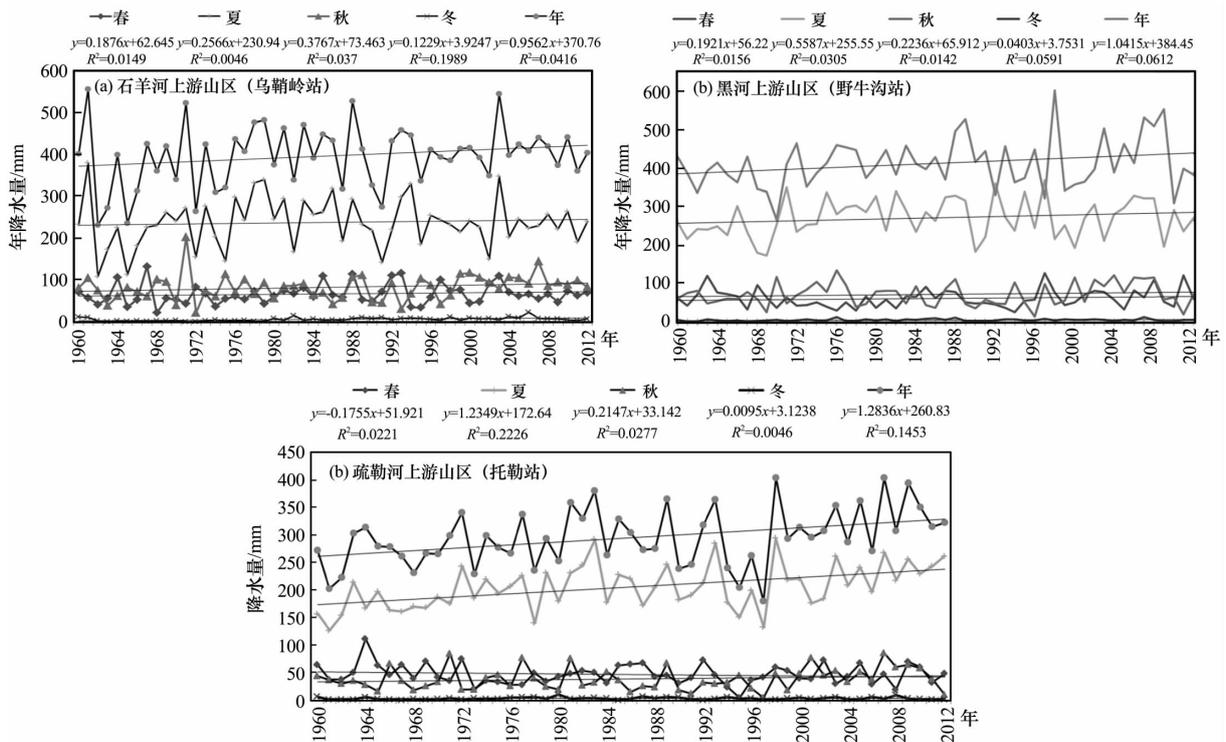


图2 石羊河(a)、黑河(b)和疏勒河(c)水系上游山区降水量的年际变化

Fig. 2 Annual variations of precipitation in mountain areas of inland river systems of the Shiyang River (a), the Heihe River (b) and the Shule River (c) in Hexi Corridor

Kendall 趋势与突变分析等^[8].

3 山区降水量变化分析

气候与人类活动是影响河川径流的两大因素,但在河西内陆诸河的上游山区,由于人类活动影响较小,气候要素成为影响地表径流形成变化的主要因素。从图 1 可以清楚地观察到,各流域山区降水量与径流之间均存在着非常密切的正相关关系。

研究表明,中国西北地区可以分为三个大气环流系统影响区,而位于西北地区中部的河西内陆区恰好在这三个大气环流系统影响区的交叉点。河西内陆区中部和西部气候主要受西风带气流活动的控制,故被称为西风带气候区;而其东部气候则主要受东南季风气候系统的影响,因此,被称为东南季风气候区和东南季风气候边缘区^[9-11]。受环流系统和地理环境的影响,河西三大内陆水系上游山区降水的空间分布规律是,年降水量的大小随着海拔的增加而逐渐增加,并由东南向西北方向逐渐减少。并且中高山区的年降水量大于低山区的降水量,东南部山区的降水量大于西北部山区的降水量^[1,3,12]。

3.1 山区降水的年际变化与季节性变化

20 世纪 60 年代以来的乌鞘岭、野牛沟与托勒气象站年及各季节降水量变化过程见图 2,其多年站多年平均年和各季节降水量见表 2,季节性降水

表 2 石羊河、黑河、疏勒河上游山区多年平均降水量

Table 2 The annual and seasonal precipitation in the upper reaches of Shiyang River, Heihe River and Shule River

| 流域 | 代表性气象站 | 多年平均降水量/mm | | | | |
|-----|--------|------------|-------|------|-----|-------|
| | | 春 | 夏 | 秋 | 冬 | 全年 |
| 石羊河 | 乌鞘岭 | 72.1 | 243.4 | 85.4 | 8.5 | 409.4 |
| 黑河 | 野牛沟 | 61.4 | 270.6 | 71.9 | 4.8 | 412.6 |
| 疏勒河 | 托勒 | 46.7 | 205.9 | 38.0 | 3.5 | 294.2 |

表 3 石羊河、黑河、疏勒河上游山区各季降水量的气候倾向率

Table 3 The seasonal climate tendency rates in the upper reaches of Shiyang River, Heihe River and Shule River

| 流域 | 代表性气象站 | 降水量的气候倾向率/(mm·(10a) ⁻¹) | | | |
|-----|--------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| 石羊河 | 乌鞘岭 | 1.876 | 2.566 | 3.767 | 1.229 |
| 黑河 | 野牛沟 | 1.921 | 5.587 | 2.236 | 0.403 |
| 疏勒河 | 托勒 | -1.755 | 12.35 | 2.047 | 0.095 |

表 4 石羊河、黑河、疏勒河上游山区及周边年降水量的气候倾向率

Table 4 The climate tendency rates of annual precipitation in the upper reaches of Shiyang River, Heihe River and Shule River, and their neighbouring regions

| 流域 | 观测站年降水量的气候倾向率/(mm·(10a) ⁻¹) | | | | |
|-----|---|--------|--------|--------|-------|
| 石羊河 | 乌鞘岭 | 古浪 | 门源 | 九条岭 | 平均 |
| | 9.562 | -1.722 | -4.629 | 4.723 | 1.984 |
| 黑河 | 民乐 | 祁连 | 野牛沟 | 肃南 | 平均 |
| | 9.842 | 5.429 | 10.415 | -3.283 | 5.601 |
| 疏勒河 | 托勒 | 昌马堡 | 党城湾 | 鱼儿红 | 平均 |
| | 12.836 | 4.790 | 0.291 | 9.544 | 6.865 |

量变化的气候倾向率见表 3,三大水系上游山区及周边站年降水量气候倾向率见表 4。这些代表性气象站的年和各季节降水量的年际与季节性变化的特征与趋势基本上反映了祁连山东、中、西部河西三大水系上游山区降水量的变化动态。

从表 2、3、4 可以观察到,由于受不同环流系统背景和地理环境差异的影响,近 50 余年来河西三大水系上游山区及附近各观测站年降水量的变化趋势并不完全相同。但海拔在 3 000 m 左右的三大水系上游山区的代表气象站,年降水量变化均呈显著的增长态势,并且河西三大水系上游山区及附近各观测站年降水量气候倾向率平均值的变化呈现出一种由东南向西北方向逐渐增加的趋势。初步分析表明,近几十年来全球变暖所导致的西风带环流活动持续加强可能是造成这种情形的主要原因^[3,9],正是由于西风带环流活动持续加强及所携带的过境水汽的增加,使得位于西风带气候区的疏勒河和黑河上游山区的降水量有了显著的增加。

3.2 山区降水量的年代际变化

由于河西三大内陆水系上游山区降水量与出山径流之间的关系十分密切,通过分析山区降水量的年代际变化特征与趋势,可以揭示更长时间尺度各水系出山径流的变化趋势与特征。分析结果表明,近 50 余年来,位于祁连山东、中段的石羊河与黑河上游山区年降水量与各季降水量的年代际变化均呈现出一种震荡起伏的态势,增长趋势不甚明显;而位于祁连山西段的疏勒河上游山区年降水量与各季降水量的年代际的变化却呈现出一种持续增长态势(图 2)。20 世纪 60、70 年代、90 年代,黑河、疏勒河水系上游山区普遍少雨,80 年代及 2000 年以来的十几年整个河西三大内流河上游山区均持续多

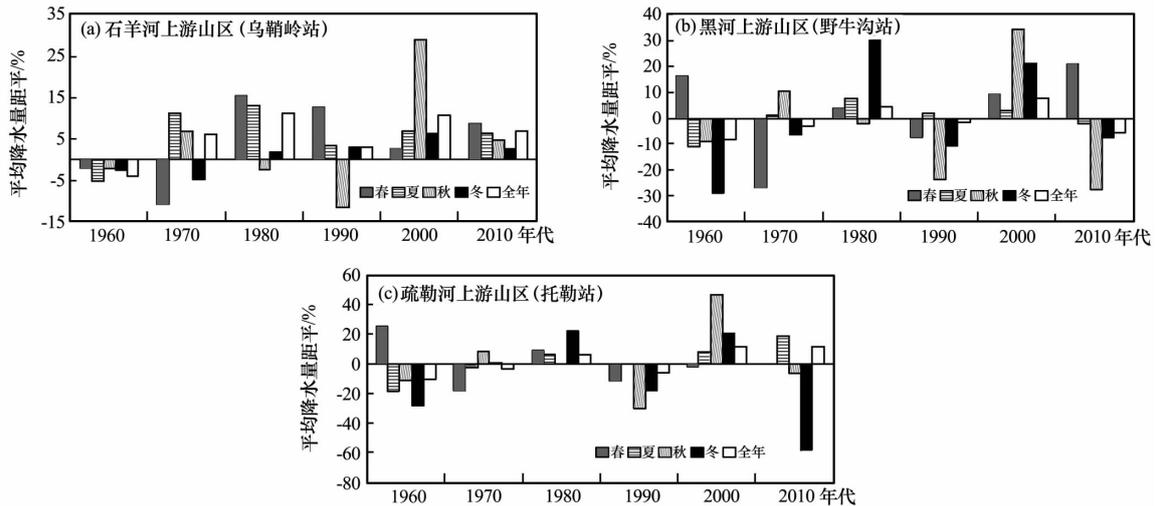


图 3 石羊河(a)、黑河(b)和疏勒河(c)水系上游山区降水量的年代际变化

Fig. 3 Decadal variations of precipitation in mountain areas of inland river systems of the Shiyang River (a), the Heihe River (b) and the Shule River (c) in Hexi Corridor

雨；石羊河水系 20 世纪 60 年代少雨，70 年代起降水持续偏多(图 3)。

4 结语

全球气候变化与大气环流影响及其区域性气候特征之间具有一种密切的关系。现有的分析已经表明，降水的区域性变化则在很大程度上受大气环流系统和区域性地理环境差异的影响。因此，河西三大水系上游山区降水量变化的差异主要是受不同环流背景和地理景观的影响所致。很久以来人们就注意到，高、中纬度间海平面气压的逆向变化是北半球地表附近大气环流的最基本的特征，它基本上反映了中、高纬度气团间的交换^[13-17]。这种气团间的交换和相应的热传输和交换对于行星尺度上的异常气候具有一种直接的控制作用。短期气候预测的经验已经表明，中国的夏季风降水异常与西太平洋副热带高压位置及其强度的变化具有密切的关系。刘晓东等^[18]通过分析 20 世纪后半叶全球最热的 3 a(1998, 1997 和 1995 年)和最冷的 3 a(1956, 1964 和 1976 年) 8—9 月期间东亚到西太平洋之间区域的 500 hPa 位势高度场发现，冷、暖年的副热带高压之间存在着明显的差异，暖年比冷年的副高明显偏强、范围扩大。此外，中、低纬度地带的环流类型与青藏高原热低压间亦存在密切的关系。经向环流的加强有利于气流的南北交换，而纬向环流的减弱使青藏高原热低压加强，增加高原东部地区的降水，反之亦然^[18-20]。不同的环流背景和区域地理

环境导致了河西三大水系山区降水的区域性差异。位于祁连山西部的疏勒河上游降水主要受西风环流所携带的大西洋水汽的影响；位于祁连山东部的石羊河上游降水主要受东南和西南季风所携带的太平洋和印度洋水汽的影响；位于祁连山中部的黑河上游降水则不同程度上受上述两种不同环流系统的影响。因此，近 50 余年来石羊河山区降水的增幅远小于疏勒河山区降水，而黑河山区降水增幅则介于二者之间。基于上述分析，对于 20 世纪 60 年代以来河西内流河三大水系上游山区气温与降水的变化，可得到以下结论：

(1) 全球增温背景下，20 世纪 60 年代以来河西内流河三大水系上游山区年代、年及大部分季节降水量均呈现增加的态势，但上升的幅度有所不同，其气候倾向率基本上呈现出由东向西逐渐增加的趋势。

(2) 受不同环流背景与地理环境的影响，河西三大内流水系上游山区降水的变化存在着明显的区域性差异。相对而言，祁连山东部的石羊河上游年降水量增幅最小，而位于祁连山区西部的疏勒河上游年与夏季降水增加最为显著，春季降水则有减少的趋势；三大水系上游山区的冬季降水普遍变化不大。

(3) 河西三大内流水系上游山区降水量的年代际变化亦显示出一定的一致性与差异性。20 世纪 80 年代与 2000—2012 年，三大水系上游山区降水量普遍偏多，而 20 世纪 70 年代、90 年代则普遍偏

少; 60 年代石羊河山区降水量偏多, 而黑河、疏勒河上游山区降水量偏少。

(4) 在全球增温背景下, 受降水总体增加的影响, 20 世纪 60 年代以来河西内流河三大水系上游山区气候向暖湿转换的迹象十分明显, 这种转变将有助于增大三大水系诸河出山径流量的增加, 有利于该区域工农业生产与社会经济的发展。

参考文献 (References):

- [1] 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.]
- [2] Lan Yongchao, Shen Yongping, Gao Qianzhao, *et al.* Changes of climate and runoff in mountains area of Danghe River basin under global warming[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, **33**(6): 1259—1267. [蓝永超, 沈永平, 高前兆, 等. 祁连山西段党河山区流域气候变化及其对出山径流的影响与预估[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(6): 1259—1267.]
- [3] Wang Wenxing, Duan Zhenghu, Wang Jianwei. Impact of climate change on runoff of Shiyang River in the Qilian Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, **34**(2): 469—477. [王文行, 段争虎, 王建伟. 气候变化对祁连山石羊河出山口径流的影响研究[J]. 冰川冻土, 2012, **34**(2): 469—477.]
- [4] Gu Runyuan, Zhao Huiying, Li Chong, *et al.* Characteristics of climates change in the Argun drainage basin during 1960—2008[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, **33**(6): 1310—1315. [顾润源, 赵慧颖, 李翀, 等. 1960—2008 年额尔古纳河流域气候变化特征[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(6): 1310—1315.]
- [5] Lan Yongchao, Kang Ersi. Changing trend and features of the runoff from mountain areas of some main rivers in the Hexi inland region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, **22**(2): 147—152. [蓝永超, 康尔泗. 河西内陆干旱区主要河流出山径流特征及变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2000, **22**(2): 147—152.]
- [6] Gao Qianzhao, Yang Xinyuan. The features of interior rivers and feeding of glacial meltwater in the Hexi region, Gansu Province[C]//Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences; No. 5. Beijing: Science Press, 1992: 131—141. [高前兆, 杨新源. 甘肃河西内陆河径流特征与冰川补给[C]//中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊: 第 5 号. 北京: 科学出版社, 1992: 131—141.]
- [7] Zhu Shousen, Wang Qiang. Temporal-spatial distributions and recent changes of precipitation in the northern slopes of the Qilian Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, **18**(S1): 296—304. [朱守森, 王强. 祁连山区北坡降水的时空分布及近期变化[J]. 冰川冻土, 1996, **18**(S1): 296—304.]
- [8] Ma Kaiyu, Ding Yuguo. Method and Elements of Weather Statistic[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1993: 315—348. [马开玉, 丁裕国. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 315—348.]
- [9] Song Lianchun, Zhang Cunjie. Changing features of precipitation over Northwest China during the 20th century[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 143—148. [宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 143—148.]
- [10] Zhang Qiang, Han Yongxiang, Song Lianchun. The summarize of development of global climate change and its effect factors[J]. Advances in Earth Science, 2005, **20**(9): 990—998. [张强, 韩永翔, 宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2005, **20**(9): 990—998.]
- [11] Zhang Qiang, Yu Yaxun, Zhang Jie. Characteristics of water cycle in the Qilian Mountains and the oases in Hexi inland river basins[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, **30**(6): 907—913. [张强, 俞亚勋, 张杰. 祁连山与河西内陆河流域绿洲的大气水循环特征研究[J]. 冰川冻土, 2008, **30**(6): 907—913.]
- [12] Lai Zuming. Runoff variation of the inland river in Gansu Province and its climate dependence[C]//Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences; No. 7. Beijing: Science Press, 1992: 84—89. [赖祖铭. 祁连山东段山区温度变化与径流的关系探讨[C]//中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊: 第 7 号. 北京: 科学出版社, 1992: 84—89.]
- [13] Peng Suorui. Study on characteristics of precipitation in Shiyang River basin[J]. Gansu Water Conservancy and Hydro-power Technology, 2009, **45**(9): 7—15. [彭锁瑞. 石羊河流域降水特性分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2009, **45**(9): 7—15.]
- [14] Guo Xiaoqin, Liu Mingchun, Qian Li, *et al.* Evolution regularity of precipitation in the Shiyang River basin on Mann-Kendall features[J]. Arid Land Geography, 2010, **33**(4): 593—599. [郭小芹, 刘明春, 钱莉, 等. 从 Mann-Kendall 特征看石羊河流域降水量的演变规律[J]. 干旱区地理, 2010, **33**(4): 593—599.]
- [15] Namias J. The index cycle and its role in the general circulation [J]. Journal of Meteorology, 1950, **7**: 130—139.
- [16] Lorenz E N. Seasonal and irregular variations of the Northern Hemisphere sea-level pressure profile[J]. Journal of Meteorology, 1951, **8**: 52—59.
- [17] Gong Daoyi, Wang Shaowu. Influence of atmospheric oscillations on northern hemispheric temperature[J]. Geographical Research, **18**(2): 31—38. [龚道溢, 王绍武. 大气环流因子对北半球气温变化影响的研究[J]. 地理研究, 1999, **18**(2): 31—38.]
- [18] Liu Xiaodong, An Zhisheng, Fang Jiangang, *et al.* Possible

variations of precipitation over the Yellow River valley under the global warming conditions[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, **22**(5): 513–520. [刘晓东, 安芷生, 方建刚, 等. 全球气候变暖条件下黄河流域降水的可能变化[J]. *地理科学*, 2002, **22**(5): 513–520.]

[19] Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. Study on Rainfall Forecasting in Flood Season in China and Its Application[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000: 21–64. [陈兴芳, 赵振

国. 中国汛期降水预测研究及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 21–64.]

[20] Fu Guobin, Liu Changming. Computation and analysis on influence of global warming to area water resource[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, **46**(3): 277–288. [傅国斌, 刘昌明. 全球变暖对区域水资源影响的计算分析[J]. *地理学报*, 1991, **46**(3): 277–288.]

Changes of Precipitation in Mountainous Areas of the Three Large Inland River Basins in the Hexi Corridor and Their Regional Differences During 1960–2012

LAN Yong-chao¹, LIU Jin-peng², DING Hong-wei³, LU Cheng-yang⁴, SHEN Yong-ping¹,
HU Xing-lin⁵, LA Cheng-fang⁴, SONG Jie⁴, Gao Li-ming¹

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China*; 2. *Geologic Hazards Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China*; 3. *Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploitation and Development, Lanzhou Gansu 730000, China*; 4. *Hydrology and Water Resources Bureau the Upper Reaches of the Yellow River, Yellow River Conservancy Commission, Lanzhou Gansu 730030, China*; 5. *Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China*)

Abstract: All rivers in the Hexi Corridor of Gansu Province originate from the north slopes of the Qilian Mountains and respectively belong to three large river systems, which are the Shiyang River, the Heihe River and the Shule River from east to west. The rivers are supplied by precipitation and snow and ice meltwater from the Qilian Mountains. Therefore, the changes in precipitation and temperature in the upriver watershed of the rivers have quite pronounced effect on the change in mountain runoff and reasonable utilization of water resources in the Hexi Corridor. For this reason, the Qilian Mountains, together with the upstream

watershed and runoff forming areas, are chosen as a study area, where the change characteristics and variation trend of precipitation under global warming backdrop are analyzed based on the observed data in the area. The results show that precipitations in the upper reaches of Heihe River and Shule River located in the middle and western Qilian Mountains have increased, but the annual and seasonal precipitations decreased in the 1960s, which means, as a whole, the climate in the upper reaches of the three river systems has shifted to wet in the past about 60 years.

Key words: global warming; upriver mountain areas; three large river systems; Hexi inland region