

文章编号: 1008 - 2786 - (2014) 2 - 163 - 08

河西内陆河流域山区近 50 余年来气温变化的 多尺度特征和突变分析

蓝永超^{1 2}, 胡兴林^{1 3}, 丁宏伟¹, 喇承芳⁴, 宋洁⁴, 邹松兵^{1 2}, 尹振良^{1 2}

(1. 中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 甘肃省水文水资源局, 甘肃 兰州 730000; 4. 黄委会黄河上游水文水资源局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 基于青藏高原东北部边缘祁连山区及附近有关气象站 1960—2011 年的气温观测数据, 利用线性倾向分析、滑动平均法、Mann - Kendall 法等方法, 对甘肃河西内陆河流域石羊河、黑河、疏勒河三大水系上游祁连山区气温系列的多尺度变化特征与突变进行了分析。结果表明, 近 50 余年来, 该区域气温变化与青藏高原整体的气温变化基本一致, 但又有着鲜明的区域差异。具体表现为: 三大水系上游山区气温的年代际、年际、各个季节的变化总体上均呈现显著的上升态势, 但受区域地理环境的影响, 各水系上游山区气温上升的幅度有所不同, 气温的气候倾向率总体上呈现出由东向西逐渐增加的趋势。位于祁连山区东部的石羊河上游山区年平均气温突变发生时间在 1980 年代中期前后, 位于祁连山区中、西部的黑河、疏勒河水系上游山区年平均气温发生突变的时间为 1990 年代后期。但东部的石羊河上游山区气温跳跃幅度较小, 中、西部的黑河、疏勒河水系上游山区, 尤其是西部的疏勒河水系上游山区气温跳跃幅度较大。2000 年代是近 50 余年来河西内陆河三大水系上游山区最暖的 10 a。与年平均气温和其他各季节气温相比, 各水系山区冬季(11 月至次年 2 月)气温升幅最大, 黑河、疏勒河山区春季气温升幅最小, 石羊河山区夏季气温升幅最小。

关键词: 青藏高原; 河西内陆河流域; 祁连山区; 三大内陆水系; 气候突变

中图分类号: P467, X16

文献标志码: A

近年来, 随着全球变暖的日益显著, 以气候变暖为代表的全球性环境问题已越来越受到科学界、社会公众和各国政府的关注。1988 年成立的政府间气候变化委员会(IPCC)已先后编写了 4 次气候变化科学评估报告。据 IPCC(2007) 报告指出^[1], 近 100 多年来全球平均气温经历了“冷→暖→冷→暖”4 次波动。尽管全球气候变暖已是无可争辩的事实, 但气温变化的区域性差异仍十分明显^[2]。对于中国区域温度变化的研究成果已有不少^[3-14]。已有的研究结果显示, 北半球中、高纬度区域是全球变暖最明显的区域。其中高海拔的青藏高原气候变暖尤其令人注目^[15], 其变暖的趋势及速率较北半球其

他地区的速率更快, 而高原气温整体在 1980—1990 年代有突变^[16]。但是, 高原上变暖究竟是均匀的, 还是有空间上的差异? 变暖的过程是突变还是渐变? 如果是突变, 那么变暖过程的转折点在哪里? 这些问题亟待回答。而位于青藏高原东北边缘地带祁连山区是我国西北河西内陆区石羊河、黑河、疏勒河三大水系诸河的上游, 这里气温和蒸发量较低, 降水相对比较丰沛, 冰川、冻土与积雪十分发育, 有利于地表径流的形成, 是各水系地表径流的形成区; 这里广为分布的高山冰川和积雪、冻土是山区径流的重要补给来源^[17-19], 而冰川和积雪、冻土融水与温度变化有着非常密切的关系。因此, 研究河西

收稿日期(Received date): 2013 - 06 - 12; 改回日期(Accepted): 2013 - 08 - 10。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重大研究计划项目(91225302)和基金面上项目(41240002、91225301)共同资助。[Supported by National Nature Science Foundation of China (No. 9112502, 41240002 and 91225301).]

作者简介(Biography): 蓝永超(1957 -), 男, 四川资阳人, 研究员、博士生导师, 主要从事气候变化、水文水资源等方面的研究工作。[Lan Yongchao, male, research professor, doctoral tutor, mainly engaged the research in hydrology, water and climate change.]E - mail: lyc@lzb.ac.cn; Tel: 0931 - 4967161

内陆区石羊河、黑河与疏勒河三大水系诸河上游祁连山区气温变化特征与过程,对于揭示高原东北边缘地带祁连山区气温的变化过程与特征及其与高原整体气温变化的差异,了解全球增温背景下区域气候及水资源变化的响应规律都具有重要的意义。

1 研究区地理概况与气候特征

研究区域位于青藏高原东北边缘地带的河西内陆区石羊河、黑河与疏勒河三大水系的上游祁连山区,地处 $93^{\circ}30' \sim 103^{\circ}00'E$, $36^{\circ}30' \sim 39^{\circ}30'N$,山脉均呈西北—东南走向,平均海拔 $4\,000 \sim 4\,500\text{ m}$,许多山峰超过 $5\,000\text{ m}$,具有高山、积雪、冰川、山谷、盆地等较复杂的地貌。海拔 $4\,100\text{ m}$ 以上的山区终年积雪,发育着现代冰川,具有“白色”水库之称。祁连山区气候属高山高原气候类型,气候寒冷,冬季较长,春秋季节较短,无气候上的夏季。山区大部分地区年平均气温低于 0°C ,年平均降水量大多在 $100 \sim 600\text{ mm}$,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;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,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月至次年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 ,但位于出山口以下走廊平原区的武威市仅 161 mm ;西部降水量更少,阿尔金山主脉降水量约 300 mm ,而山外走廊平原区的敦煌市不足 50 mm ^[17-19]。

2 基本数据与分析方法

利用气象部门提供的青藏高原东北部边坡地带有关气象站1960—2011年的地面温度观测数据,主要采用非参数Mann-Kendall(以下简称M-K法)趋势分析及突变检验法、Spearman秩次相关检验、滑动t检验法及聚类分析等方法^[20-22]对位于高原东北部地带的河西内陆区石羊河、黑河与疏勒河上游山区近50余年来的年代际、年和各季节平均气温的变化过程、特征与趋势进行了分析。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。考虑到海拔的一致性与区域的代

表性,将海拔 $3\,000 \sim 3\,400\text{ m}$ 一带的祁连山区东部的乌鞘岭气象站、中部的野牛沟气象站及西部的托勒气象站分别作为石羊河水系、黑河水系和疏勒河水系诸河上游山区气温变化的代表站,并在分析计算中主要参照上述3个国家基本气象站的观测数据;为了弥补观测站不足的缺陷,其他一些研究区附近气象站与水文站的气温观测数据也被利用作为参考。上述各站的基本特征值列于表1。为了保证观测数据和计算结果的代表性和可靠性,所有采用的观测数据均为1960—2011年同期数据,肃北站1973年开始观测,利用附近相关关系显著的敦煌站(两站年平均气温 $R^2=0.646$)的观测数据将其观测者延长至1960年。

表1 研究区及附近气象站与水文站及观测项目
和数据系列长度

Table 1 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 | 设站 时间/a |
|-------------|------|------------------|-----------------|----------|------------|
| 石羊河上游 山区 | 乌鞘岭 | $102^{\circ}52'$ | $37^{\circ}12'$ | 3 043 | 1959 |
| | 古浪 | $102^{\circ}54'$ | $37^{\circ}29'$ | 2 073 | 1959 |
| | 门源 | $102^{\circ}37'$ | $37^{\circ}23'$ | 2 851 | 1959 |
| 黑河上游 山区 | 祁连 | $100^{\circ}14'$ | $38^{\circ}12'$ | 2 789 | 1957 |
| | 野牛沟 | $99^{\circ}35'$ | $38^{\circ}50'$ | 3 320 | 1957 |
| | 肃南 | $99^{\circ}37'$ | $38^{\circ}25'$ | 2 311 | 1956 |
| | 民乐 | $100^{\circ}49'$ | $38^{\circ}27'$ | 2 272 | 1956 |
| | 托勒* | $99^{\circ}37'$ | $38^{\circ}50'$ | 3 367 | 1957 |
| 疏勒河上游 山区 | 托勒 | $99^{\circ}37'$ | $38^{\circ}50'$ | 3 367 | 1957 |
| | 肃北 | $94^{\circ}53'$ | $39^{\circ}31'$ | 2 159 | 1973 |
| | 昌马堡* | $96^{\circ}51'$ | $39^{\circ}49'$ | 2 080 | 1938 |
| | 党城湾* | $94^{\circ}53'$ | $39^{\circ}50'$ | 2 176 | 1952 |

注:带*者为水文站

3 气温变化

河西三大水系诸河上游山区由于冰川、积雪、冻土等与温度关系密切的环境要素的存在,出山径流中,冰雪融水占有相当的比重^[17-19]。因而,温度成为影响山区径流形成变化的主要因素之一。但受海拔、冰川、积雪与冻土分布面积差异等因素的影响,诸河出山径流中,温度对径流的影响程度也有所不同。从图1可以观察到,石羊河、黑河与疏勒河上游山区的气温与出山径流之间的关系存在着明显的区

域性差异,径流与气温的相关程度由西向东逐渐减小。

3.1 气温系列的多尺度变化特征与趋势

3.1.1 年际与季节性变化特征与趋势

基于1960年代以来的常规地面观测数据,乌鞘岭、野牛沟与托勒气象站的年际变化与季节变化的有关特征值被计算并列于表2、表3,这些特征值可代表分别位于祁连山区东、中、西段的石羊河、黑河与疏勒河上游山区多年平均年与各季节平均气温的变化特征与趋势。

表2 河西三大水系上游山区代表气象站多年平均年、各季气温

Table 2 The normal annual and each seasonal average temperature at each typical weather station in the upstream mountain area of Shiyang, Heihe and Shule river systems

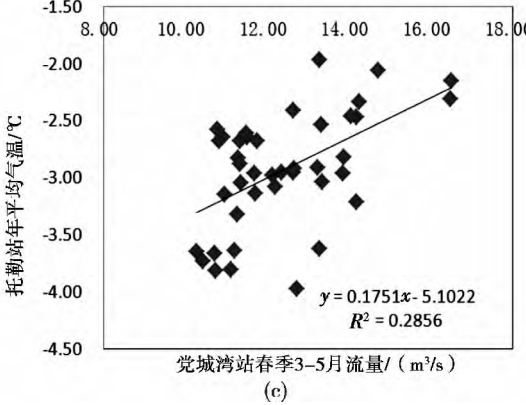
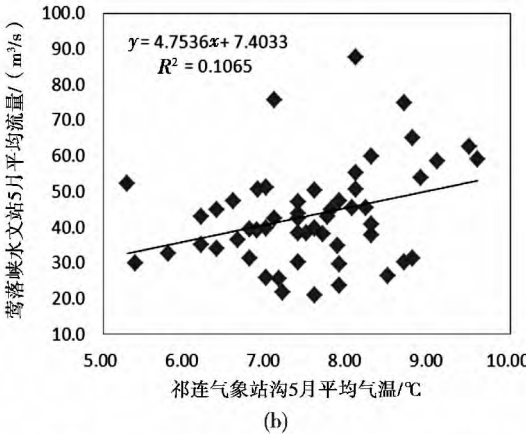
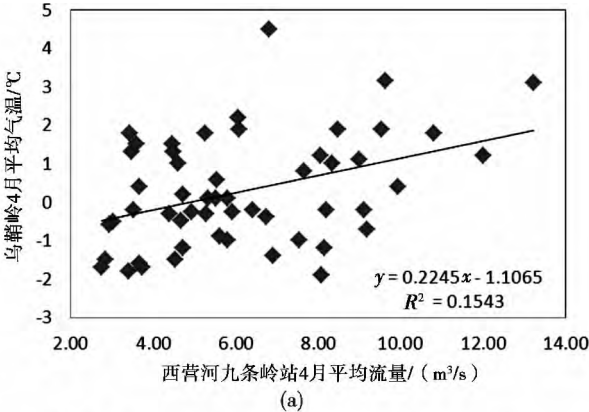
| 上游山区 | 代表站 | 多年平均值/℃ | | | | |
|------|-----|---------|-------|-------|--------|-------|
| | | 春 | 夏 | 秋 | 冬 | 年 |
| 石羊河 | 乌鞘岭 | -0.03 | 10.36 | 0.31 | -10.59 | 0.03 |
| 黑河 | 野牛沟 | 1.07 | 11.41 | 2.40 | -12.12 | -1.30 |
| 疏勒河 | 托勒 | -2.68 | 9.66 | -1.19 | -15.39 | -2.60 |

表3 河西三大水系上游山区代表性气象站及附近有关气象站年平均气温变化的气候倾向率

Table 3 The weather tendency rate of annual average temperature at each typical weather stations the upstream mountain areas of Shiyang, Heihe and Shule river systems and near the stations

| 上游山区 | 年平均气温变化的气候倾向率/(℃/10 a) | | | | |
|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 石羊河 | 气象站 | 乌鞘岭 | 古浪 | 门源 | 九条岭 |
| | 气候倾向率 | 0.229 | 0.258 | 0.367 | 0.175 |
| 黑河 | 气象站 | 民乐 | 祁连 | 野牛沟 | 肃南 |
| | 气候倾向率 | 0.499 | 0.313 | 0.324 | 0.252 |
| 疏勒河 | 气象站 | 托勒 | 肃北 | 昌马堡 | 党城湾 |
| | 气候倾向率 | 0.382 | 0.962 | 0.333 | 0.291 |

通过对表2、表3的分析及M-K法、Spearman秩次与线性趋势回归检验的结果可以观察到,自1960年代以来,河西三大水系上游山区有关测站的年平均气温均呈现明显上升的态势,且均通过了 $\alpha=0.05$ 水平的显著性检验。从气候倾向率的变化来看,由于受局部地理地貌环境的影响,各水系上游山区各气象站的年平均气温的变化没有明显的规律性,但从海拔3000 m以上的3个代表性气象站的气温气候倾向率来看,高山区年平均气温的升温幅



(a) 祁连山东部乌鞘岭气象站4月平均气温与同期石羊河水系西营河九条岭水文站平均流量相关曲线; (b) 祁连山中部祁连气象站5月平均气温与同期黑河干流莺落峡水文站平均流量的相关曲线; (c) 祁连山西部托勒气象站年平均气温与疏勒河水系党河春季平均流量的相关曲线; (d) 黑河水系讨赖河4-5月平均流量与出山口以下平原区酒泉气象站同期平均气温的相关曲线。
(a) Correlation curve between mean air temperature at Wushaoling weather station and mean discharge at Jiutiaoling Hydrological station of Xiyi River of Shiyang River System in April; (b) Correlation curve between the mean air temperature at Qilian weather station and mean discharge at Yingluoxia hydrological station of Heihe River System in May; (c) Correlation curve between mean temperature at Tuole weather station and mean discharge at Dangchengwan Hydrological station of Shule River System during the period from March to May.

图1 祁连山及气温、降水与河流径流相关曲线
Fig. 1 Temperature, precipitation and river runoff correlation curve

度仍具有从东向西逐渐增大的趋势。以乌鞘岭、野牛沟和托勒作为三大水系上游山区气温变化的代表站,分析其各季节平均气温的变化过程(图2、图3,表4)结果表明,1960年代以来,河西三大水系上游山区及附近各气象站年平均气温趋势基本系统相同,总体呈不同程度的上升态势,且气候倾向率亦有一个从东向西逐渐增大的趋势。

3.1.2 年代际变化特征与趋势

为了揭示山区气温更长时间尺度的变化特征,进一步对上述3个代表性气象站的年代际变化过程进行分析(图4)。分析表明,近50年来,位于祁连山东、中、西段的石羊河、黑河、疏勒河上游山区的气温年代际变化具有较好的一致性,均呈不同程度的上升态势。进一步的分析结果显示,这三大水系上游山区各年代的年与各季平均气温上升的幅度还具有一定的规律性,即无论年平均气温的年代际变化还是各个季节气温的年代际变化,均呈现一种由东南到西北逐渐增加的趋势。其中,三大水系上游山区均以冬季气温的升幅最大,黑河、疏勒河上游山区春季气温升幅最小,石羊河上游山区夏季气温升幅最小。

表4 河西三大内陆水系上游山区代表性气象站年平均气温的气候倾向率

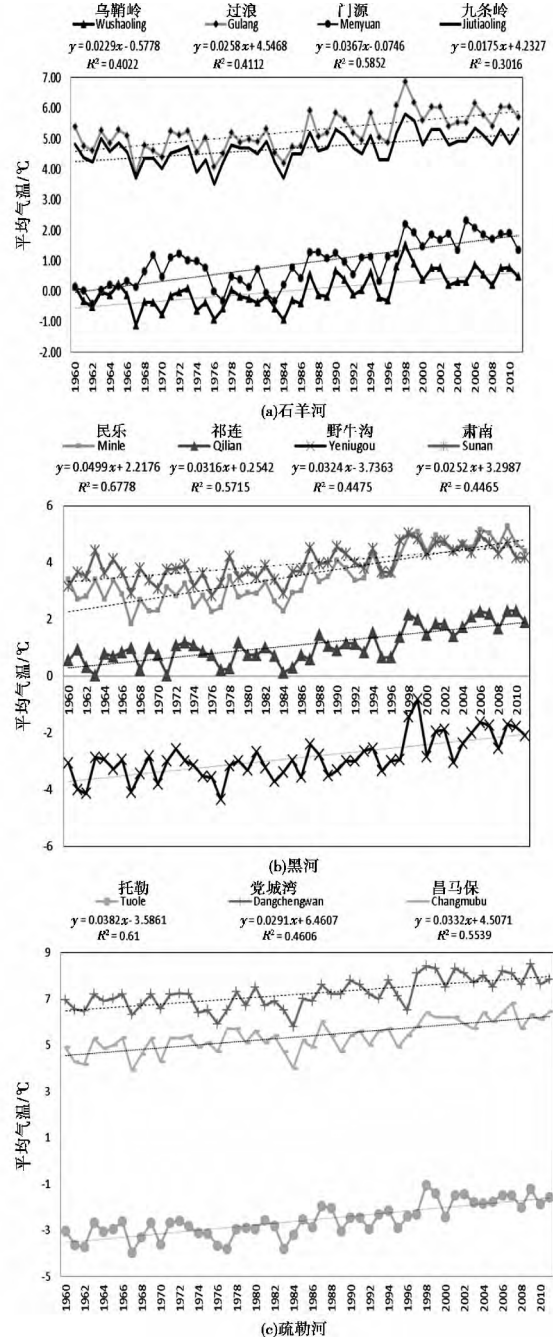
Table 4 Weather tendency rate of average temperature in various seasons at the representative station the upstream of three large river basins in the Hexi region

| 上游山区 | 代表性气象站 | 季节平均气温的气候倾向率/(°C/10 a) | | | |
|------|--------|------------------------|-------|-------|-------|
| | | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| 石羊河 | 乌鞘岭 | 0.113 | 0.143 | 0.286 | 0.278 |
| 黑河 | 野牛沟 | 0.243 | 0.277 | 0.381 | 0.454 |
| 疏勒河 | 托勒 | 0.506 | 0.500 | 0.494 | 0.937 |

3.2 山区气温系列的多尺度突变分析

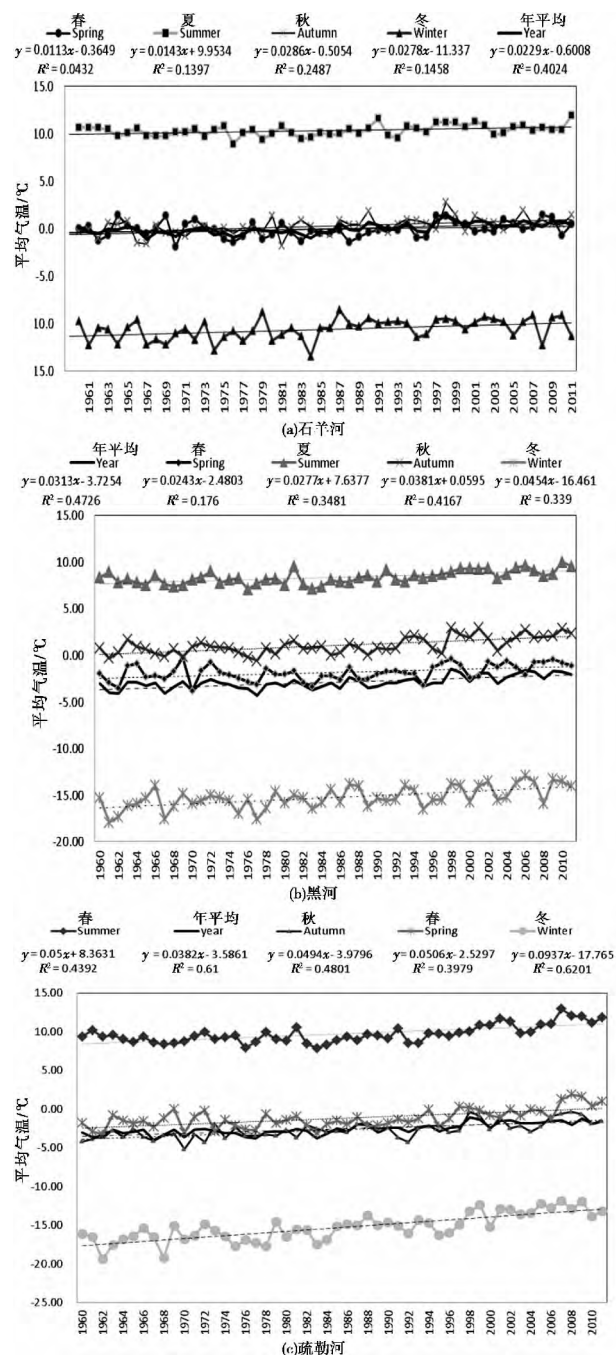
气候突变是指由一种稳定气候状态经短时间跳跃式转变成另一种稳定气候状态的现象^[20],为气候在时空上从一个统计特征到另一种统计特征的急剧变化。有序聚类分析法分析与显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的T检验、秩和检验及游程检验的结果表明,石羊河、黑河及疏勒河上游山区气温在上世纪后期曾发生过显著的突变,各水系上游山区年平均及四季平均气温系列的突变时间及突变前后系列均值及跳跃值见表5。

从表5可以观察到,河西三大水系上游山区气



(a) 中图例从左到右的汉语拼音地名分别是: 乌鞘岭、古浪、门源、九条岭,纵坐标为年平均气温/°C,下同;图2(b)中图例从左到右的汉语拼音地名分别是: 民乐、祁连、野牛沟、肃南;图2(c)中图例从左到右的汉语拼音地名分别是: 托勒、党城湾、昌马堡。(a) Change processes of the annual average temperature at stations concerned in the upriver mountains of Shiyen River located in the eastern Qilian mountain area; (b) Change processes of the temperature at stations concerned in the upriver mountains of Heihe River located in the middle Qilian mountain area; (c) Change processes of the temperature at stations concerned in the upriver mountains of Shule River located in the western Qilian mountain area.

图2 各流域上游山区有关气象站气温年际变化过程
Fig.2 Change processes of the temperature at stations concerned in the upriver mountains of Shule River located in the western Qilian mountain area



(a) 中图例从左到右的汉语拼音分别是:春季、夏季、秋季、冬季、年平均;图3(b)中图例从左到右的汉语拼音分别是:年平均、春季、夏季、秋季、冬季;图3(c)中图例从左到右的汉语拼音分别是:夏季、年平均、秋季、春季、冬季。

(a) Change processes of the each seasonal average temperature in the upriver mountains of Shiyang River located in the eastern Qilian mountain area; (b) Change processes of the temperature in the upriver mountains of Heihe River located in the middle Qilian mountain area; (c) Change processes of the temperature in the upriver mountains of Shule River located in the western Qilian mountain area.

图3 上游山区流域各季气温年际变化过程

Fig. 3 Change processes of the temperature in the upriver mountains of Shule River located in the western Qilian mountain area

温除东部的石羊河上游年平均及秋、冬季平均气温系列在上世纪80年代中期前后发生突变外,中、西部的黑河、疏勒河水系上游气温年平均系列的突变时间均出现在1997年后,其中除黑河上游秋季平均气温系列突变点出现在1992年后,其余各季平均气温系列与年平均系列的突变点基本一致,均出现在1997年前后。位于东部的石羊河上游气温发生突变的时间最早,且跳跃幅度最小,而位于西部的疏勒河上游气温发生突变的时间最晚,且跳跃幅度最大,位于中部的黑河上游气温发生突变的时间与疏勒河上游相近,但跳跃幅度界于石羊河与疏勒河上游山区之间。各水系上游气温的年代际变化的突变特征与年平均及绝大多数季节平均气温系列的情况相近,突变点或突变期基本上均发生在1990年代,且各年代的年与各季平均气温在1990年代前均低于多年平均气温,而1990年代后均高于多年平均气温。

5 结语

全球气候变化与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,温室气体持续增加所引起的全球变暖是影响区域性气温上升的主要原因之一,但地理环境差异又造成了不同区域的气温升幅的不同。基于上述分析,对于自1960年代以来河西内流河三大水系上游山区气温变化可得到以下结论:

1. 受全球变暖影响,且与高原气温整体变化相对应,1960年代以来河西内流河三大水系上游山区年代、年及季节平均气温的年际变化均呈现显著上升的态势,但受区域地理环境的影响,上升的幅度有所不同,其气候倾向率总体上呈现一种由东向西逐渐增加的趋势。

2. 与高原气温整体1980—1990年代的突变相对应,位于青藏高原东北边缘地带的河西三大水系上游山区的年平均及各季平均气温亦在此期间发生突变。但受区域地理环境的影响,各水系上游的突变的时间前后有所不同。祁连山区东部的石羊河上游年平均气温突变发生时间在上世纪80年代中期前后,且跳跃幅度较小,而中、西部的黑河、疏勒河水系上游年平均气温发生突变的1990年代后期,气温突变后跳跃幅度较大,尤其是西部的疏勒河水系上游。

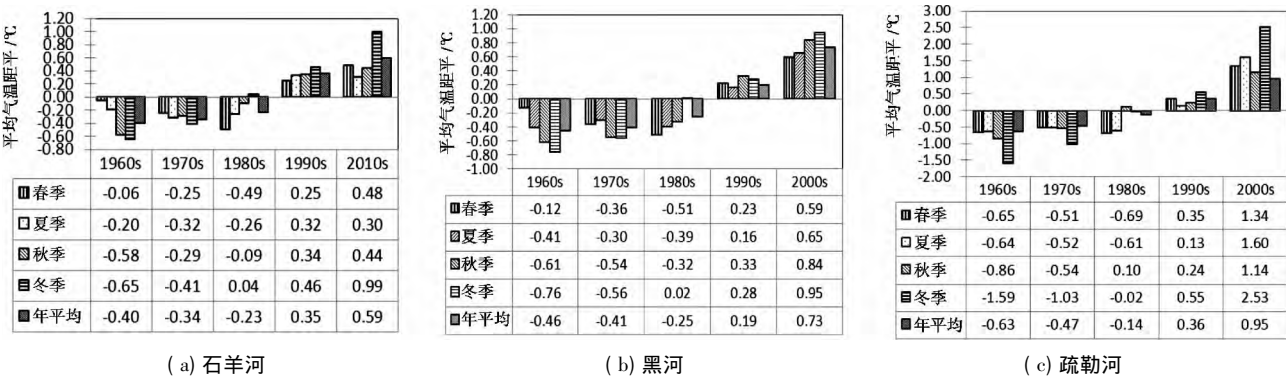


图 4 石羊河、黑河、疏勒河上游山区的气温年代际变化过程

Fig. 4 Interannual variability of the process upstream of the mountain's temperature

表 5 石羊河、黑河及疏勒河上游山区年平均及四季平均气温系列的突变时间及突变前后系列均值及跳跃值

Table 5 Abrupt change time points , average of annual mean and each season mean temperature time series before and after abrupt change and jump amount

| 山区流域和 代表气象站 | 气温系列 | 时间/a | 突变前系列均值 /℃ | 突变前系列均值 /℃ | 跳跃量 /℃ |
|----------------|----------|------|---------------|---------------|-----------|
| 石羊河水系 乌鞘岭站 | 年平均气温系列 | 1986 | 0.4 | -0.3 | 0.7 |
| | 春季平均气温系列 | 1996 | -0.3 | 0.5 | 0.8 |
| | 夏季平均气温系列 | 1994 | 10.1 | 10.7 | 0.6 |
| | 秋季平均气温系列 | 1986 | -0.2 | 0.8 | 1.0 |
| | 冬季平均气温系列 | 1984 | -11.1 | -10.0 | 1.1 |
| 黑河水系 野牛沟站 | 年平均气温系列 | 1997 | -3.2 | -2.1 | 1.1 |
| | 春季平均气温系列 | 1995 | -2.2 | -1.1 | 1.0 |
| | 夏季平均气温系列 | 1996 | 8.1 | 9.1 | 1.0 |
| | 秋季平均气温系列 | 1992 | 0.6 | 1.8 | 1.2 |
| | 冬季平均气温系列 | 1997 | -15.6 | -14.2 | 1.4 |
| 疏勒河水系 托勒站 | 年平均气温系列 | 1997 | -2.9 | -1.6 | 1.3 |
| | 春季平均气温系列 | 1996 | -1.7 | 0.1 | 1.8 |
| | 夏季平均气温系列 | 1998 | 9.2 | 11.2 | 2.1 |
| | 秋季平均气温系列 | 1997 | -3.1 | -1.5 | 1.6 |
| | 冬季平均气温系列 | 1997 | -16.1 | -13.2 | 3.1 |

3. 石羊河、黑河、疏勒河上游山区气温的年代际变化与年际变化相同，亦呈不同程度的上升态势，且 2000 年代是 1960 年代以来平均气温最高的 10 a。具体而言，1960—1970 年代年、各季平均气温均低于多年平均气温，1980 年代除石羊河、黑河山区冬季气温及疏勒河山区秋季气温略高于多年均值外，其余各季及年平均气温亦均低于多年平均气温，但 1980 年代后各季及年平均均高于多年均值。因此，1990 年代是河西内陆河三大水系上游山区年代际气温变化的一个突变点，1980 年代后，从 1990 年代起三大水系上游气温与 1990 年代之前气温相比，呈加速上升的态势。

4. 河西内陆河三大水系上游山区各

年代的年与各季平均气温升幅具有一定的规律性，即无论年平均气温的年代际变化还是各个季节气温的年代际变化，均呈现一种由东南到西北逐渐增加的趋势。其中，三大水系上游山区均以冬季气温的升幅最大，黑河、疏勒河上游春季气温升幅最小，石羊河上游夏季气温升幅最小。

参考文献(References)

[1] IPCC Report. Climate Change 2007: Impacts ,Adaptation ,and Vulnerability [M]. Summary for Policymakers. Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press 2007.

[2] Jones P D ,Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 [J].

- Journal of Climate, 2003, 16: 206–223
- [3] Li Kerang, Lin Xianchao, Wang Weiqiang. Long-term trend of temperature change of China over the last 40 years [J]. Geographical Research, 1990, 9(4): 26–37 [李克让, 林贤超, 王维强. 近四十年来我国气温的长期变化趋势[J]. 地理研究, 1990, 9(4): 26–37]
- [4] Song Lianchun. Spatial and temporal change of China surface air temperature over the past 40 years [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1994, 5(1): 119–124 [宋连春. 近40年我国气温时空变化特征[J]. 应用气象学报, 1994, 5(1): 119–124]
- [5] Zhai Panmao, Ren Fumin. Changes in maximum and minimum temperatures of the past 40 years over China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1997, 55(4): 418–429 [翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418–429]
- [6] Chen Longxun, Zhu Wenqin. Study on climate change of China over the past 45 years [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56(3): 257–271 [陈隆勋, 朱文琴. 中国近45年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257–271]
- [7] Tu Qipu, Deng Ziwang, Zhou Xiaolan. Study on regional feature of China temperature variation [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(3): 288–296 [屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究[J]. 气象学报, 2000, 58(3): 288–296]
- [8] Sha Wanying, Shao Xuemei, Huang Mei. Temperature change since 1980s in China and its effect on natural area boundary [J]. Sciences in China: Series D, 2002, 32(4): 317–326 [沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20世纪80年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(4): 317–326]
- [9] Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, et al. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004 [J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 717–727 [任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近54年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717–727]
- [10] Tang Guoli, Ren Guoyu. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China [J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 791–797 [唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791–797]
- [11] Qian Weihong, Fu Jiaolan, Zhang Weiwei, et al. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years [J]. Advances in Earth Science, 2007, 23(7): 674–683 [钱维宏, 符娇兰, 张玮玮, 等. 近40年中国平均气候与极值气候271变化的概述[J]. 地球科学进展, 2007, 23(7): 674–683]
- [12] Wang Pengxiang, Yang Jinhu, Zhang Qiang, et al. Climate change characteristic of northwest China in recent half century [J]. Advances in Earth Science, 2007, 23(6): 650–655 [王鹏祥, 杨金虎, 张强, 等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征[J]. 地球科学进展, 2007, 23(6): 650–655]
- [13] Zhou Tianjun, Zhao Zongci. Attribution of the climate warming in China for the 20th century [J]. Advances in Climate Change Research, 2006, 2(1): 28–32 [周天军, 赵宗慈. 20世纪中国气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 28–32]
- [14] Pu Bing, Wen Xinyu, Wang Shaowu, et al. Diagnostic and modeling study of the two basic modes of surface air temperature and its variation in China [J]. Advances in Earth Science, 2007, 23(5): 456–467 [濮冰, 闻新宇, 王绍武, 等. 中国气温变化的两个基本模态的诊断和模拟研究[J]. 地球科学进展, 2007, 23(5): 456–467]
- [15] Liu XD, An ZS, Fang JG, et al. Possible variations of precipitation over the Yellow River valley under the global warming conditions. 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]
- [16] Lu Shaoning, Li Dongliang, Wen Jun, et al. Analysis on periodic variations and abrupt change of air temperature over Qinghai–Xizang Plateau under Global Warming [J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(6): 1378–1385 [吕少宁, 李栋梁, 文军, 等. 全球变暖背景下青藏高原气温周期变化与突变分析[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1378–1385]
- [17] Gao Qianzhao, Yang Xinyuan. The features of interior rivers and feeding of glacial melt water in the Hexi Region, Gansu Province [G] // Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Chinese Academy of Science (Glacier Variation and Utilizations in Qilian Mountains), No. 7. Beijing: Sciences 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[G] // 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: 131–141]
- [18] Kang Ersi, Cheng Guodong, Dong Zhenchuan. Glacier-snow water resources and mountain runoff in the area of northwest China [M]. Beijing: Sciences Press, 2001: 218–230 [康尔泗, 程国栋, 董振川. 中国西北干旱区冰雪水资源与出山径流[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 218–230]
- [19] Lai Zuming. Variation of runoff supply and discharge with elevation in Qilian mountain [G] // Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Chinese Academy of Science (Glacier Variation and Utilizations in Qilian Mountains), No. 7. Beijing: Sciences Press, 1992, No. 7, No. 7. Beijing: Sciences Press, 1992: [赖祖铭. 祁连山区河流的补给及径流量随高度的变化[G] // 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, 1985.]
- [20] Fu Congbin, Wang Qiang. The Definition and Detection of the Abrupt Climatic Change [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482–492 [符涂斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482–492]
- [21] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climatic jump [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1986, 64(2): 273–281
- [22] Wei Fengying, Cao Hongxing. Detection of abrupt changes and trend prediction of the air temperature in China, the northern Hemisphere and the Globe [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1995, 19(2): 140–148 [魏凤英, 曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 140–148]

Multiple Time Scales Analysis of Jump and Variation of Air Temperature in Mountain Area of Hexi Inland River Basin in the Past More than 50 Years

LAN Yongchao^{1 2}, HU Xinglin^{1 3}, DIN Hongwei¹, LA Chengfang⁴, SONG Jie⁴,
ZOUSongbin^{1 2}, YIN Zhenliang^{1 2}

(1. Key Laboratory of Ecohydrology in Inland River Basin, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;

3. Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

4. Hydrology and Water Resources Bureau of the Upper Yellow River Headwater of the Yellow River Conservancy Committee, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Based on the air temperature observation data of weather stations concerned in the northeast border region of Qinghai-Xizang Plateau during the period from 1960 to 2011, the multiple time scales characteristics of jump and variation of temperature in mountain area of Hexi inland river basin in the past more than 50 years are analyzed by some Trends and mutation analysis methods such as Linear Trend Analysis, Moving Average Analysis, Mann-Kendall Analysis and Spearman rank analysis and so on. The results showed that the change of temperature in the region is basically the same with the integral Qinghai-Tibet Plateau, which is showed that all changes of the decadal and interannual and each seasonal change of temperature in the mountains at the upstream of the Shiyang, Heihe and Shule river systems respectively located the eastern, middle and western Qilian mountain area have presenting an observably rising states as a whole. But the rising extents of temperature in the mountains at the upstream of the various river systems are the different because of the influences of different regional geographical environment and climate tendency rate of the temperature in the in the mountains at the upstream of the various river systems present a gradually increase trend from east to west. The abrupt change of annual mean temperature in the upriver watershed of Shiyang river system located in the eastern Qilian mountain area occur in about the mid 1980s, which is sooner than the late 1990s, the Jump time of temperature in the upriver watershed of Heihe and Shule river systems located in the middle and western Qilian mountain area. But the Jump extent of annual mean temperature in the upriver watershed of Shiyang river system is less than temperature in the upriver watershed of Heihe and Shule river systems and the Jump extent of annual mean temperature in the upriver watershed of Shiyang river system located in western Qilian mountain area is the largest. The 2000s is the warmest decade in the upriver mountains of three large river systems of Hexi inland region in the past more than 50 years. Compared with the annual mean temperature and other season's temperature, the rising extent of winter temperature (Nov. – Feb.) in the upriver mountains of every river system is largest, the rising extent of spring temperature (Mar. – May) in the upriver mountains of Heihe and Shule river system are least and the rising extent of summer temperature (June. – Sep.) in the upriver mountains of Shiyang river system is least.

Key words: Qinghai-Xizang plateau; Qilian mountain area; the three large river systems; the Hexi inland river basin; abrupt change of climate