

文章编号: 1008-2786-(2015)3-294-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000037

黑河山区气温与降水的季节变化特征及其区域差异

蓝永超^{1,2}, 丁宏伟², 胡兴林³, 石明星¹, 马 蓓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. 甘肃省地质矿产局, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省水文水资源局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 基于黑河干流上游山区(以下简称黑河山区)及周边有关台站的观测数据,对该区域 1960—2013 年气温、降水的季节变化特征及区域差异进行分析。结果表明:黑河山区干、支流各区的气温变化与全球气温变化有着较好的一致性,气温升幅率明显高于过去 50 a 全球与中国平均气温的升幅,年平均气温的年代际变化的上升趋势比年际变化的更为显著,但不同区域年与各季气温的上升幅度存在着一定的差异,各区气温的气候倾向率变化呈现出一种由南向北逐步减小的趋势。其中,位于中高山地区的东、西流域冬季气温升幅最大,位于中低山区的干流区则以秋季气温升幅最大,且各区均以春季气温升幅最小。东、西支流各区年平均与各季节气温发生变暖的突变时间基本上出现在 1990 年代中后期;干流区年平均与各季节气温发生变暖的突变时间差异较大。尽管山区干、支流各区各季节降水均呈波动增长的态势,但年降水量增幅差异较大。其中,以东支增幅最大,干流区增幅最小;各区各季降水量的年际变化总体上亦呈波动增长的态势;夏秋季降水增加比较明显,冬、春季降水量变化趋势不明显。各区年与各季降水量的年代际的变化较年际变化波动更为剧烈。冬春季降水波动幅度大于夏、秋季降水;各区各年代降水量增加或减少并不完全同步。东、西支两区年降水量系列均在 1974 年发生降水量增加的突变,而干流区年降水则无明显的突变点;东、西支两区春、夏、秋三季降水量系列均有明显增加或减少的突变点,但出现时间不一致;干流区除夏季降水在 1970 年初发生明显增加的突变外,其他各季降水量均无明显突变点;除西支冬季降水量在 1970 年中期后发生明显增加的突变外,整个山区冬季降水量均无明显突变点。总体上讲,黑河山区气候持续转向暖湿,受其影响,黑河出山径流目前的丰水态势仍将会持续下去。

关键词: 西北内陆干旱区;黑河山区;气温;降水;出山径流

中图分类号: P333.1, P423.3, P426.61

文献标志码: A

位于欧亚大陆腹地的西北内陆干旱区是我国水资源最为短缺的区域。在全球气候持续升温情况下,该区域水资源的变化趋势不但是学术界一直高度关注的问题,也是决策部门制定区域社会济发展战略和水资源开发利用管理规划必须认真考虑的因素。水资源的变化受气候变化与人类活动两大因素的影响,但在西北中高山径流形成区,由于海拔较高,自然环境比较恶劣,人类活动影响较小,因而径流的形成变化主要受气候要素的影响。20 世纪

以来,我国西北地区气候波动显著,大部分时间表现为增暖变干,1980 年代末以后,该区从西部到中东部的部分地区出现了增暖变湿的迹象。这种变化不但在流域间,甚至在河流的上下游和干支流间,都呈现时空分布的不均匀性和变化趋势的复杂性^[1-2]。黑河水系是流经青海、甘肃、内蒙古三省(区)的我国第二大内陆水系,并且黑河干流既是河西内陆区也是甘肃河西内陆区径流量最大的一条河流,其多年平均径流量分别占整个黑河流域与整个

收稿日期(Received date): 2014-11-10; 改回日期(Accepted): 2014-12-29。

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. 91225302, 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。[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

河西内陆区多年平均径流量的 20% 与 40% 以上^[3]。与所有的内陆河流域一样,黑河流域的地表水资源也形成于周边的高山区,位于青藏高原东北侧边缘的祁连山区的降水与冰雪融水等是黑河流域河川径流的主要来源。由于山区冰川、积雪和冻土等与气温密切相关的水文要素的存在,黑河山区径流对气温的变化亦非常敏感。由于黑河干流山区东西两端几乎横跨祁连山区大部分地区,东西相距甚远,气候系统差异较大,分别受来自于西北方向的西风环流所携带的大西洋、北冰洋水汽与东南方向的季风环流所携带的太平洋、印度洋水汽的影响^[4]。黑河干流山区干、支流间的这种气候及地理环境的差异,使东西支及干流区气温、降水变化过程存在着一定的差异,从而导致各区径流的形成变化过程的差异。因此,分析黑河上游山区干、支流各区气温、降水的季节变化特征及其区域差异,对于揭示整个河西内陆区山区气候与出山径流的季节变化特征及其区域差异都具有很好的代表意义^[5]。由于其在内陆河流域中的代表性和典型性,多年来黑河流域一直是学术界关注热点地区,并且也取得了很多高水平的研究成果^[6-7]。但是,上述研究中涉及黑河上游山区不同区域气候变化的季节特征与区域差异等方面的成果还相对比较缺乏。因此,本文基于研究区有关台站的观测数据,对 1960—2013 年 50 余年来黑河干流上游山区东、西支及东、西支汇合处黄藏寺至出山口莺落峡之间的干流段各区气温、降水变化的年代际、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,以期对决策部门制定适应与减缓气候变化带来不利影响的对策提供可靠的科学依据。

1 研究区概况

1.1 地理与气候特征

黑河干流源于祁连山中段北坡,出山口莺落峡水文站以上为河流上游山区,该区集水面积 10 009 km²,海拔 1 700~4 823 m,平均高程 3 608 m,其中 50% 的区域分布在海拔 3 700 m 以上。流域西至疏勒河水系洪水坝河的源头,平均海拔 3 860 m,东部至石羊河水系西大河的源头,平均海拔 3 600 m。黑河山区多年平均气温不足 1℃,年降水量超过 450 mm,是黑河流域地表径流的产流区。黑河干流上游在黄藏寺以上分东、西支并分别设祁连、扎马什克二个国家基本水文站;东、西支流域内还分别设有祁

连、野牛沟 2 个国家基本气象站及俄博雨量观测站(1997 年后撤消)。此外,在西支与讨赖河交界的分水岭讨赖河一侧,设有国家基本气象站托勒气象站(图 1)。为了增加观测数据的代表性,除山区有关台站的水文气象观测资料外,周边一些台站的气温、降水观测资料也被选用。山区及周边水文、气象站概况详见表 1。

1.2 山区各分区地理与气候特征

根据水文地理特征,将山区划分为东支、西支及东西支汇合口黄藏寺至出山口莺落峡之间干流区间 3 个分区。各区集水面积、产流量占黑河干流山区集水面积与产流的百分比与各区多年平均气温、降水量及平均海拔等水文、地理与气候特征值如图 2 所示。

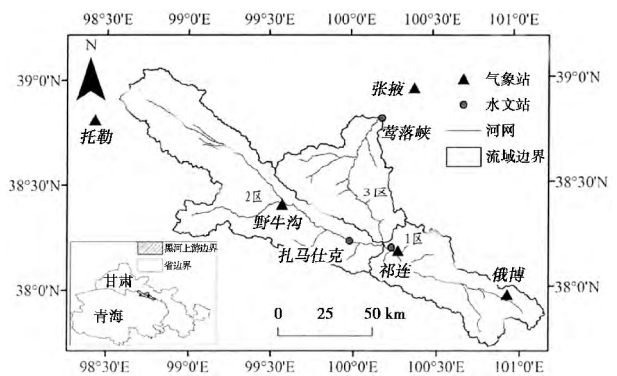


图 1 黑河山区及周边气象水文站点示意图

Fig. 1 Sketch map of the upstream mountain area of the Heihe's main river

表 1 黑河山区及周边水文、气象站概况
Table 1 General situation of involved weather stations and hydrological stations in the our study

| 类型 Type | 站名 Station name | 经度 Longitude /°E | 纬度 Latitude /° | 海拔 Altitude /m | 集水面积 Catahment area/km ² | 设站 时间 Set up the time |
|------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---|--------------------------------|
| 气象站 | 祁连 | 100°09′ | 38°07′ | 2 788.5 | | 1957 |
| | 野牛沟 | 99°21′ | 38°15′ | 3 320.0 | | 1957 |
| | 托勒 | 99°22′ | 38°30′ | 2 311.8 | | 1957 |
| 水文站 | 祁连 | 100°14′ | 38°12′ | 2 788.5 | 2 452 | 1957 |
| | 扎马什克 | 99°59′ | 38°14′ | 3 320.0 | 4 589 | 1957 |
| | 莺落峡 | 100°11′ | 38°48′ | 1 700.0 | 10 009 | 1945 |
| | 大野口 | 100°15′ | 38°32′ | 2 312.0 | | 1956 |
| | 扁都口 | 100°56′ | 38°14′ | 2 810 | | 1959 |
| 雨量站 | 俄博 | 100°11′ | 38°48′ | 3 460 | | 1967 |

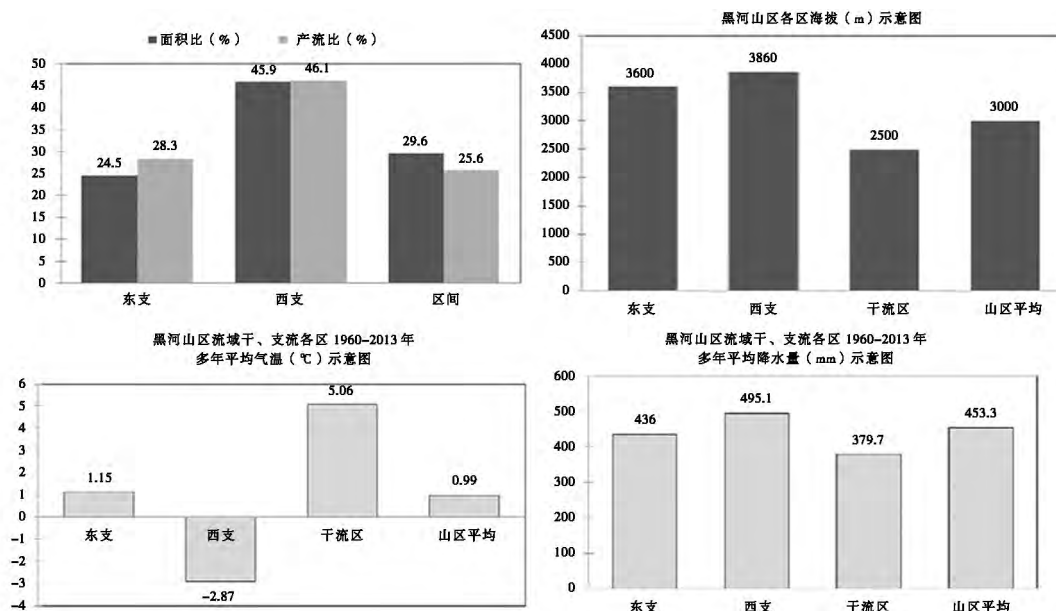


图2 黑河山区各分区的水文气象特征

Fig. 2 The hydrologic and meteorological characteristics of the mountainous watershed of Heihe River and the subregions

2 基本数据与分析方法

气温、降水观测数据分别由“中国气象科学数据共享服务网”与甘肃省水文水资源局所提供。为保证资料的连续性和稳定性,选择山区莺落峡、祁连、扎马什克水文站及周边肃南水文站、俄博、扁都口、大野口雨量站的气温、降水和径流观测资料与祁连、野牛沟、托勒气象站的降水、气温观测数据作为分析计算用的基本数据。为便于分析,以祁连、野牛沟气象站及莺落峡水文站的气温观测值分别作为东支、西支、干流区气温变化的代表值;以俄博、祁连两站降水平均值、野牛沟、托勒、扎马什克三站降水平均值、祁连、莺落峡、大野口三站降水平均值分别作为上述各区平均降水量。上述观测站基本上是从20世纪50年代中后期开始观测,为了获取尽可能长的观测要素序列,各站资料均选取1960至2013年观测时段。并且分别以上年12月至次年2月、3—5月、6—9月、10—11月4个时段作为该年冬、春、夏、秋季。主要采用线性趋势分析、Man-Kendall趋势分析和突变分析等方法^[8-9]对山区气温、降水的季节变化特征与区域差异进行分析。

3 山区气温的变化

对于黑河山区而言,由于高山区冰川、积雪与冻

土的广泛分布,气温的上升一方面增加了径流的损耗,减少了地表径流的形成;但一方面使冰川、积雪与冻土融水增加,补充了地表径流。因此,山区气温的变化与径流的形成变化有着密切的关系

3.1 年平均气温的变化

与全球增温相对应,近50余年来黑河山区干支流各区平均气温的年际变化均呈显著上升的态势(见图3a),表明该区域气温的变化与全球气温变化有着较好的一致性,且气温升幅率明显高于过去50年全球平均气温升率 $[0.074^{\circ}\text{C}/(10\text{a})]$ 与中国平均气温升率 $[0.081^{\circ}\text{C}/(10\text{a})]$ ^[10-12]的平均升幅,并且总体上与整个青藏高原气温的变化在时间上是相一致的^[13]。各区年平均气温的年代际变化的上升趋势比年际变化更为显著,呈现出一种单调上升的线性递增的态势(图3b)。山区干支流各区气温的气候倾向率基本上呈现出一种由南向北逐步减小的趋势。另外,从图3a中可以观察到,祁连气象站与整个山区的年平均气温的年际变化过程基本重合,由此可认为祁连站各季气温变化基本可反映整个黑河山区四季气温的变化。

3.1.2 各季气温的年际变化

从年际变化过程来看,山区干、支流各区各季的平均气温的变化趋势基本与年平均气温相同,均呈振荡上升的态势,但不同区域各季节气温变化的气候倾向率存在着一定的差异。其中,冬季气温以东、西支升幅最大,秋季气温干流区升幅最大,春季气温

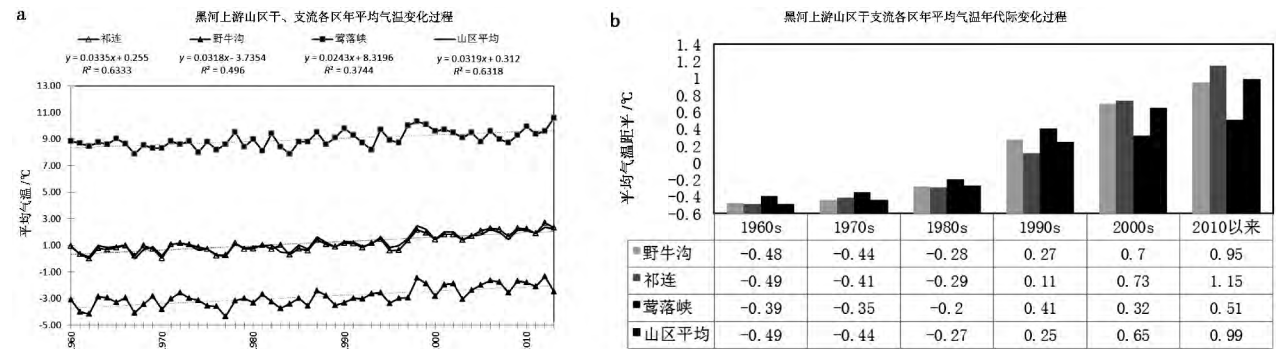


图 3 黑河山区东、西支及干流区代表性气象站年平均气温的年际、年代际变化过程。
Fig. 3 Interdecadal and annual variations of the annual mean temperature over the mountainous watershed of Heihe River and the sub-regions.

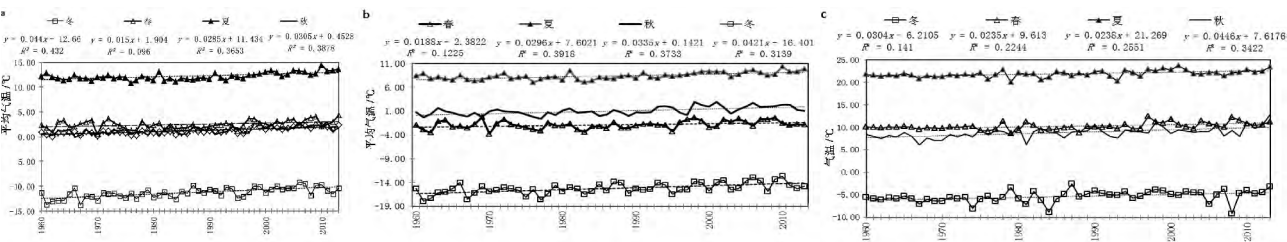


图 4 黑河上游山区四季气温的年际变化过程: (a) 东支与山区平均; (b) 西支; (c) 干流区
Fig. 4 Change processes of the annual average temperature in the upriver watershed of Heihe River ;
(a) in the east tributary basin and the mean of mountain areas; (b) in the western tributary basin;
(c) the area between the Huangzangsi and Yingluoxia Gorge in Heihe's main river

各区升幅均以最小,夏季气温次之。

3.1.2 各季气温的年代际变化

黑河山区干支流各区各季气温年代际的变化呈现出一种单调上升的线性递增态势,比年际变化的上升趋势更明显。从图 5 可清楚地观察到,各区各季气温均在 1980 年代前均低于 1960—2013 年多年平均气温,1980 年代正负距平均有,1990 年代除东西支夏季气温为负距平之外,其余各季气温均为正距平,1990 年代后,各季气温均为正距平。

表 2 黑河山区干、支流各区各季气温(1960—2013)多年均值
Table 2 The normal annual and each seasonal average temperature in the upstream mountain area of Heihe River basin and the sub-regions during from 1960 to 2013

| 黑河山区 River basin | 代表站 Representative station | 1960—2013 多年平均值 Average/℃ | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | 春 Spring | 夏 Summer | 秋 Autumn | 冬 Winter |
| 东支 | 祁连 | 2.49 | 12.57 | 1.33 | -11.85 |
| 西支 | 野牛沟 | 1.07 | 11.41 | 2.40 | -12.12 |
| 干流区 | 莺落峡 | 10.24 | 21.89 | 8.77 | -5.41 |

3.1.3 年与各季平均气温的突变分析

利用 M-K 法、Spearman 秩次检验对山区及各区各季气温系列进行突变检验,结果(表 3)显示,东、西支流各区年平均与各季节气温发生变暖的突变时间基本上出现在 1990 年代中后期,干流区年与各季平均气温发生变暖的突变时间差异较大。

4 山区降水量的变化

大气降水是陆地水资源的根本来源,地表水、土壤水和地下水均是由大气降水转化来的。因此,降水量的时空分布决定了地表径流与水资源的基本特征。黑河干流的径流主要来源于莺落峡以上祁连山区的降水,山区降水量的变化是影响黑河干流水量最重要的因素^[3]。

4.1 年降水量的变化

观测资料表明,黑河山区年平均降水量的变化呈微弱增长的趋势,主要表现出明显的年际与年代际波动。从图 6a 中可以观察到,山区干、支流各区降水量的年际变化均呈震荡上升的态势,其中,以东

表3 1960—2013 年期间黑河山区干、支流各区年平均及各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 3 Abrupt change time points, the annual and seasonal average temperature time series before and after abrupt change and jump amount in the upstream mountain area of Heihe River basin and the sub-regions during from 1960 to 2013

| 区域 Area | 气温系列 Temperature series | 突变点 Point of abrupt change | 突变前系列均值 Series mean before abrupt change/℃ | 突变后系列均值 Series mean after abrupt change/℃ | 跳跃量 Jump amount/℃ |
|------------|----------------------------|-------------------------------|---|--|----------------------|
| 东支 | 年平均 | 1997 | 0.8 | 1.8 | 1.0 |
| | 春季 | 1998 | 2.1 | 3.2 | 1.1 |
| | 夏季 | 1998 | 11.8 | 13.1 | 1.3 |
| | 秋季 | 1998 | 0.9 | 2.1 | 1.2 |
| | 冬季 | 1985 | -12.1 | -10.7 | 1.4 |
| 西支 | 年平均 | 1996 | -3.2 | -2.1 | 1.1 |
| | 春季 | 1996 | -2.2 | -1.1 | 1.1 |
| | 夏季 | 1997 | 8.1 | 9.1 | 1.0 |
| | 秋季 | 1993 | 0.6 | 1.8 | 1.2 |
| | 冬季 | 1998 | -15.6 | -14.2 | 1.4 |
| 干流区 | 年平均 | 1987 | 8.6 | 9.3 | 0.7 |
| | 春季 | 1997 | 9.9 | 11.0 | 1.1 |
| | 夏季 | 1994 | 21.6 | 22.4 | 0.8 |
| | 秋季 | 1975 | 7.9 | 9.1 | 1.2 |
| | 冬季 | 1986 | -6.0 | -4.8 | 1.2 |

支增幅最大,干流区增幅最小。从图 6b 中可以观察到,各区降水量的年代际变化均下波动较大,但幅度不是很大。其中,1960 年,各区降水量均偏少,而 1980 年与 2000 年期间则偏多;其余各年代,各区降水量距平正负相间。

4.2 各季降水量的变化

分析图 7,可以观察到山区及干支流各区不同季节降水量年际与年代际变化过程及其区域差异:

①干、支流各区春季降水量年代际变化上下波动剧烈,且波幅较大,但没有明显的增减趋势。其中,1960s 与 2000s,春季降水量普遍较多,1970 年则普遍偏少。其余年代,各区春季降水量有增有减。②干支流各区夏季降水量增长比较显著,但波幅小于春季降水量。其中,东支夏季降水量增幅最大,干流区最小。1960s 与 2010 年以来的近几年,夏季降水量普遍偏少,1980s、1990s 则普遍偏多。其余年代,各区夏季降水量有增有减。③干支流各区秋季降水亦呈增长态势,虽然不如夏季降水显著,但波动幅度却大于后者。其中,东支秋季降水量增幅较大,西支最小。1970s 与 2000s,秋季降水量普遍偏多,1960s、1980s 则普遍偏少,其余各年代各区秋季降水

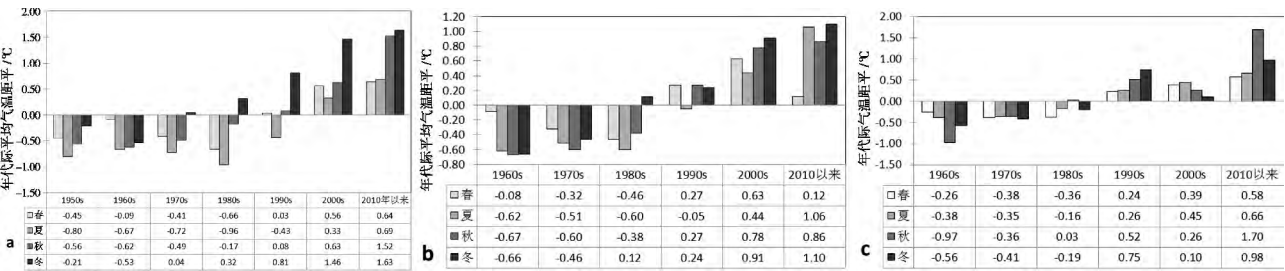


图5 黑河山区东、西支及干流区各季节平均气温的年代际变化 (a) 山区平均与东支; (b) 西支; (c) 干流区

Fig. 5 change processes of the annual average temperature in each season the upriver watershed of Heihe River

(a) in the east tributary basin and the mean of mountain areas; (b) in the western tributary basin; (c) in river basin between the Huangzangsi and Yingluoxia Gorge

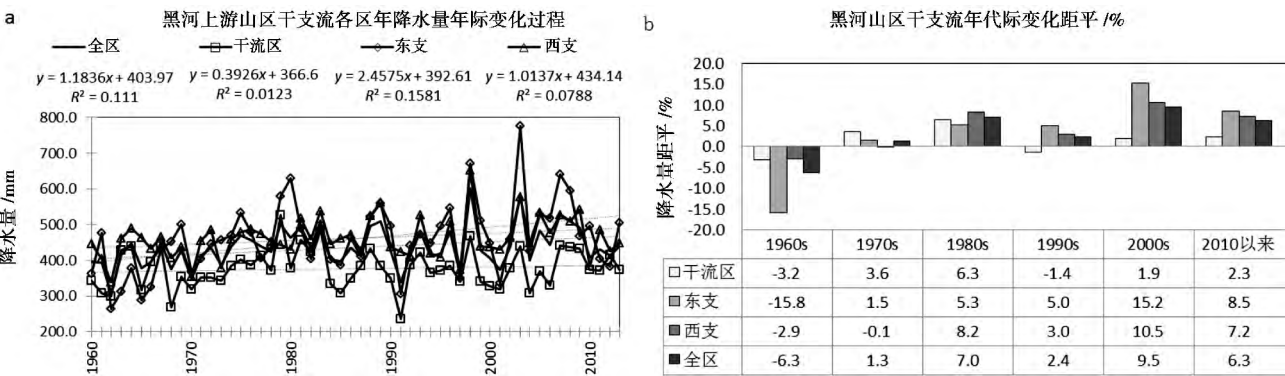


图6 黑河山区干、支流各区降水量变化过程 (a) 年际变化过程; (b) 年代际变化过程

Fig. 6 The interdecadal and annual variations of the annual precipitation in the mountainous watershed of Heihe River and the subregions

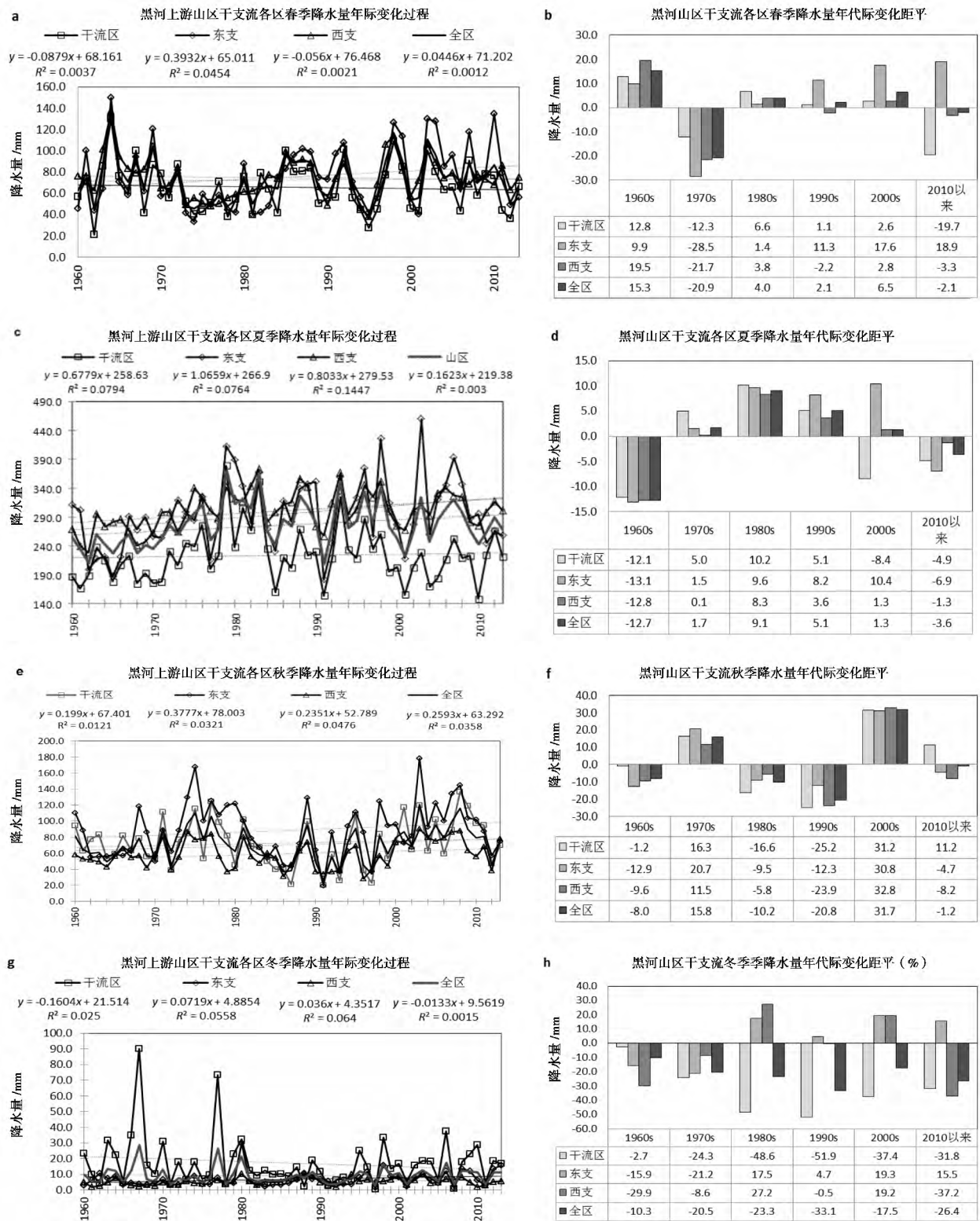


图 7 黑河山区干支流各区各季节降水量的变化过程

Fig. 7 Change processes of the precipitation in each season in the upriver watershed of Heihe River

量有增有减。④干支流各区冬季降水量的变化与春季降水量相似,虽没有明显的变化趋势,但波动剧烈,波幅较大,且各区各年代冬季降水量增加不一。

4.3 降水量的突变分析

对山区干支流各区不同季节降水量系列的检验结果表明,东、西支两区年降水量系列均在 1974 年

发生突变,而干流区则无明显突变点;东、西支两区春、夏、秋三季降水量均有明显突变点,但出现时间不一致;而干流区除夏季外,其它各季降水量均无明显突变点;除西支冬季外,其他两区及整个山区冬季降水量均无明显突变点。具体检验结果见表4。

表4 黑河山区东西支及干流区代表性气象站年与各季降水量系列的突变时间及突变前后系列均值及跳跃值
Table 4 Abrupt change time points of the annual and each season precipitation time series before and after abrupt change and jump amount (显著性检验水平: $\alpha = 0.05$) in the upstream mountain area of Heihe River basin and the subregions during from 1960 to 2013.

| 区域 | 降水量系列 | 突变点 | 突变前系列均值 | 突变后系列均值 | 跳跃量 |
|--------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Region | Precipitation time series | Abrupt change time | Series mean before abrupt change/mm | Series mean after abrupt change/mm | Jump amount /mm |
| 东支 | 年平均 | 1974 | 344.5 | 477.4 | 132.9 |
| | 春季 | 1985 | 69.2 | 85 | 19.7 |
| | 夏季 | 1972 | 251.9 | 308.9 | 57 |
| | 秋季 | 1998 | 0.9 | 2.1 | 1.2 |
| | 冬季 | 无 | | | |
| 西支 | 年平均 | 1974 | 429.8 | 473.3 | 43.5 |
| | 春季 | 1970 | 89.3 | 71.7 | -17.6 |
| | 夏季 | 1974 | 268.4 | 313.4 | 44.9 |
| | 秋季 | 2000 | 54.5 | 72.7 | 18.2 |
| | 冬季 | 1976 | 3.3 | 4.9 | 1.6 |
| 干流区 | 年平均 | 无 | | | |
| | 春季 | 无 | | | |
| | 夏季 | 1972 | 194.1 | 232.4 | 38.3 |
| | 秋季 | 无 | | | |
| | 冬季 | 1968 | 23.1 | 12.7 | -10.4 |
| 黑河山区 | 年平均 | 1974 | 397 | 450 | 52.1 |
| | 春季 | 无 | | | |
| | 夏季 | 1974 | 241.3 | 287.6 | 46.3 |
| | 秋季 | 2000 | 65.3 | 85.2 | 19.9 |
| | 冬季 | 无 | | | |

5 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,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,而降水的区域性变化则在很大程度上受大气环流系统和地理环境差异的影响。在干旱的气候背景下,黑河山区流域特殊的地貌形成了其独特的水循环系统,流域除受东南季风输送来的夏季暖湿气流影响外,也受西风环流

带来的大西洋冷湿气流的一定影响。另外,在盛夏期间一定程度上还受到翻越青藏高原而来的印度洋暖湿气团的影响,水汽来源较为复杂;加之祁连山对流域降水的影响,使得流域降水的季节变化显示出较大区域差异。因此,地形条件影响下的水汽条件和天气气候系统等降水因子对流域降水影响的机理也必然十分复杂^[15]。基于对黑河上游山区干、支流各区气温与降水量的季节变化特征及其区域差异的分析,得出以下结论:

1. 最近50余年来,黑河山区干支流各区域年平均及各季气温的年际变化与全球变暖相一致,均呈波动上升态势,且上升速率超过了全球与我国平均气温的上升速率。其中,以冬季气温升率最大,秋季、夏季次之,春季气温升幅最小。

2. 在黑河上游山区各区中,以西支冬季气温升幅最大,东支春季气温升幅最小。秋、夏季气温以黑河西支升幅最大,干流区气温升幅最小;各分区年平均及各季气温的年代际变化较年际变化的上升态势更为明显,基本上亦呈线性递增的态势。

3. 位于黑河山区中高山地带的东、西支流各区年平均与各季节气温发生变暖的突变时间基本上出现在20世纪90年代中后期,而位于山区边缘中低山地带的干流区,年平均与各季节气温发生变暖的突变时间差异较大。

4. 山区干支流各区降水量的年际变化均呈震荡上升的态势,其中,年降水量以东支增幅最大,干流区增幅最小;各区各季降水量的年际变化总体上亦呈波动增长的态势。其中,夏、秋季降水量增加比较显著,冬、春季降水量没有明显的趋势,但波动幅度明显大于夏、秋季降水量。同样,夏、秋季降水量亦以东支增加最为显著,西支与干流区相对增幅较小。这表明,来自季风环流对山区降水的影响大于西风环流的影响。

5. 黑河山区干支流各区年与各季降水量的年代际变化较年际变化波动更为剧烈,且冬春季降水波动幅度要大于夏、秋季降水;各区各年代降水量增加或减少并不完全同步,但2010年以来的几年中,降水减少的趋势比较明显。

6. 东、西支两区年降水量系列均在1974年发生降水量增加的突变,而干流区降水则无明显的突变点;东、西支两区春、夏、秋三季降水量均有明显增加或减少的突变点,但出现时间不一致;干流区除夏季降水在1970s初发生明显增加的突变外,其他各

季降水量均无明显突变点;西支降水量 1970s 中期后发生明显增加的突变外,整个山区冬季降水量均无明显突变点。

7. 山区夏秋季降水的显著增加及四季气温的持续上升,表明区气候继续向暖湿转化,将导致黑河干流出山径流的持续增加,这将有利于黑河流域工农业生产与社会经济的进一步发展。但这种暖湿气候能持续多长时间,目前尚无定论,应加强这方面的研究,以便为决策部门制定适应与减缓气候变化带来不利影响的对策提供依据。

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, Din Hongwei et al. Study on changes of precipitation in mountain area of the Three Larger Basins in the Hexi Inland Region and their regional differences during 1960 - 2012 [J], Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 24(6): 1474 - 1480 [蓝永超, 沈永平, 丁宏伟, 等. 1960 - 2012 年期间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, 2012, 35(6): 1474 - 1480]
- [3] Gao Qianzhao, Yang Xinyuan. The Features of interior rivers and feeding of glacial meltwater 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. 5. 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 5 号. 北京: 科学出版社, 1992: 131 - 141]
- [4] Lu Guihua, Xu Dong, He Hai. Characteristics of water vapor transportation and budget over the Heihe Drainage Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(3): 510 - 521 [陆桂华, 徐栋, 何海. 黑河流域水汽输送及收支特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 510 - 521]
- [5] Lan Yongchao, Ding Yongjian, Liu Jinqi. Change of water resources in mountainous area of Heihe River under Global - Warming Scene [J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(6): 863 - 868 [蓝永超, 丁永建, 刘进琪, 等. 全球气候变暖情景下黑河山区流域水资源的变化[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 863 - 868]
- [6] Ning Baoying, He Yuanqing, He Xianzhong et al. Advances on water resources research in Heihe River Basin [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(6): 1180 - 1186 [宁宝英, 何元庆, 和献中等. 黑河流域水资源研究进展[J], 中国沙漠, 2008, 28(6): 1180 - 1186]
- [7] Yu Junhui, Zhang Wanchang, Zhu Qiuan. Progress in Hydrology of Heihe River Basin in Hexi Region [J]. Journal of Jiangxi Normal-university: Natural Science, 2005, 29(1): 85 - 90 [余钧辉, 张万昌, 朱求安. 河西黑河流域水文研究的若干进展[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2005, 29(1): 85 - 90]
- [8] Fu Tubin, 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]
- [9] 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 Atmospheric 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]
- [10] Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyi 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]
- [11] 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]
- [12] IPCC Report. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability [R]. Summary for Policymakers. Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [13] Ding Yihui, Zhang Li. Intercomparison of the time for climate abrupt change between the Tibetan Plateau and Other Regions in China [J], Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2008, 32(4): 794 - 805 [丁一汇, 张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较[J], 大气科学, 2008, 32(4): 794 - 805]
- [13] Li Haiyan, Wang Keli, Jiang Yin. Research progress and prospect of precipitation in Heihe river basin [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(2): 334 - 352 [李海燕, 王可丽, 江颢. 黑河流域降水的研究进展与展望[J]. 冰川冻土, 2009, 31(2): 334 - 352]

The Seasonal Change Characteristics of Temperature , Precipitation in the Mountain Areas of the Heihe River and Their Regional Differences

LAN Yongchao¹ , DING Hongwei² , HU Xinglin² , HU Xinglin³ , SHI Mingxin¹ , MA Qiang¹

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute , CAS , Lanzhou 730000 , China;*

2. *Hydro-geological and Engineering Geology Bureau , Gansu Province Lanzhou 730000 , China;*

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

Abstract: Based on the observation data at the involved stations , the seasonal variation characteristics of the temperature and precipitation in the mountain area of main stream of Heihe River (hereinafter referred to as the mountain area of the Heihe River ,Gansu of China) during the period from 1960 to 2013 and their regional difference were analyzed. The result shows that all annual and seasonal temperature changing processes in the mountain area of the Heihe River and its every sub-region have being presented the rising trend , which is consistent with the global temperature changing trend , and the rise rates of annual mean temperature in the area is significantly higher than the rise rates of global and China's mean temperature. The rising trends of the interdecadal mean temperature are more significant than that of the annual mean temperature in the area in the past over 50 years. But , there were some difference in the rise rates of the annual and seasonal average temperature and the climate tendency rates decrease gradually from the south to the north in the each sub-region of the mountain area of the Heihe River. Thereinto , the rise rates of winter temperature were largest in the east and west branch sub-region located in higher altitude , and the rise rates of autumn temperature were largest in the main stream sub-region located in lower altitude. The rise rates of spring temperature were smallest in every sub-region. All abrupt changes of annual and seasonal average temperatures in the east and west branch sub-region occurred in the mid and late 1990 s. There were larger difference for the time points of abrupt change of annual and seasonal average temperatures in the main stream region. Precipitation change is more complex than air temperature in the each sub-region of the mountain area of Heihe River. Overall , all changes of precipitation in every sub-region in the mountain area presented an increasing trend , and had some difference in the increasing extent in the annual precipitation in each sub-region. Thereinto , the increased extent of annual precipitation in the east branch sub-region were largest , and that in the main stream region was smallest. Although yearly changes of precipitations the mountain area of Heihe River presented an increasing trend as a whole , the rate of increase of the precipitation in each sub-region in each season has large differences. Thereinto , the increasing in summer and autumn were quite significant , and that of precipitation in spring were significant tend for the changes and winter in every sub-region. Fluctuate of inter-decadal variations of the precipitation in each sub-region in each season were more violent than their yearly variation , and the fluctuation range of precipitation in winter and spring were larger than that in summer and autumn. The increase or decrease of precipitation was not synchronized in each sub-region of mountain area of the Heihe River. All abrupt changes of annual precipitation series in the east and west branch sub-regions occurred in 1974 , and there are not obvious abrupt changes in annual precipitation series in the main stream region. There were obvious abrupt change points for all the precipitation series in spring , summer and autumn in the east and west branch regions , but abrupt change appearing times were inconsistent. Except abrupt change of summer precipitation occurring in the early 1970 s , all precipitation in other each season had no obvious abrupt change point in the main stream region. Except the abrupt change of winter precipitation series in west branch regions occurring in the mid 1970 s , all precipitation series in other each sub-region had no obvious abrupt change. In a word , the climate in mountain area of the Heihe River turned sustainedly to warmth and moist. Affected by the warm and wet climate , the current high flow conditions of the mountain runoff of the Heihe River which is supplied mainly mountain precipitation and ice , permafrost and snow melting water by will still continue.

Key words: northwest inland arid areas; mountainous watershed of Heihe River; temperature; precipitation; runoff from mountainous area