

Changes of Extreme Temperatures for Heihe River Basin from 1961 to 2010*

Zhanjie Li^{1#}, Zhanling Li²

¹College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing

²School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing

Email: [#]lzhazhan@bnu.edu.cn

Received: Jul. 25th, 2012; revised: Aug. 11th, 2012; accepted: Aug. 26th, 2012

Abstract: Based on the measured extreme temperatures of 9 stations from 1961 to 2010, the changes of annual and seasonal extreme temperatures in Heihe River basin were analyzed by using the trend slope and Mann-Kendall method. The results showed that the generally increasing trends of annual extreme temperatures occurred all over the basin and the increase of extreme minimum temperatures were greater than those of extreme maximum temperatures, especially the extreme minimum temperature in Shandan station with an increasing rate of 0.95°C/10a. The increase of annual extreme minimum temperatures in lower reaches was greater than those in upper and middle reaches of basin. The extreme minimum temperatures began to increase at the beginning of 1970's, while the extreme maximum temperatures at the end of 1980's. The seasonal differences in trends of extreme temperatures were clear, and the most obvious season was winter in trends of extreme maximum temperatures and autumn in trends of extreme minimum temperatures.

Keywords: Heihe River; Extreme Temperatures; Mann-Kendall Method

1961~2010 年黑河流域极端气温变化特征分析*

李占杰^{1#}, 李占玲²

¹北京师范大学水科学研究院, 北京

²中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京

Email: [#]lzhazhan@bnu.edu.cn

收稿日期: 2012 年 7 月 25 日; 修回日期: 2012 年 8 月 11 日; 录用日期: 2012 年 8 月 26 日

摘 要: 本文利用黑河流域内 9 个气象站 1961~2010 年的极端温度资料, 运用气候倾向率和 Mann-Kendall 趋势检验法对流域的年、季极端最高气温和极端最低气温进行了分析研究。结果表明, 在年变化上, 近 50a 黑河流域极端气温总体上呈上升趋势, 且极端最低气温的变化幅度明显大于极端最高气温的变化幅度, 其中山丹站极端最低气温的上升倾向率达到了 0.95°C/10a; 流域下游地区的年极端最低气温变化幅度较中上游大部分地区显著。在年代际变化上, 流域年极端最低气温上升趋势大体始于 70 年代, 而年极端最高气温上升趋势始于 80 年代末。流域的极端温度变化趋势存在着明显的季节性差异, 极端最高气温变化最显著的季节是冬季, 极端最低气温变化最显著的季节是秋季。

关键词: 黑河; 极端气温; Mann-Kendall 趋势检验法

*基金项目: 由中央高校基本科研业务费专项资金资助, 项目编号 2012078。

[#]通讯作者。

作者简介: 李占杰, 讲师。

1. 引言

在 20 世纪以来的全球变暖背景下, 极端气候变化已引起了众多学者的广泛关注。国内学者对我国极端气温变化进行了一系列的研究^[1-4], 任福民等^[5]发现我国在 1951~1990 年里极端最低气温趋于增高, 且存在着季节性、地域性差异; 秦大河等^[6]对我国气候与环境演变做了评估, 随着气候的变暖, 极端最低气温上升, 温度日变化减小, 夏季高温热浪增多, 20 世纪 90 年代中期以后, 西北一些地区白天温度极端偏高的日数增加趋势明显; 张宁等^[7]发现在空间分布上, 我国全国范围内极端低温均表现出增温趋势, 而夏季极端高温在黄河下游地区出现了较明显的降温趋势, 在华南地区增温趋势较显著; 赵军等^[8]也发现我国大部分地区的年极端最高温度和极端最低温度都趋于增高, 并且各个区域存在着显著差异。极端气温、极端降水等极端气候事件变化进一步加剧了我国目前面临的生态环境问题。

黑河流域位于我国西北地区, 生态环境非常脆弱。在我国以及全球气候变化的大背景下, 黑河流域的气候也受到不同程度的影响^[9-11]。本文在以往研究的基础上, 选择黑河流域 9 个气象站点 1961~2010 年的气温数据, 应用气候倾向率方法和 Mann-Kendall 趋势检验法, 对流域内极端气温的年、季变化特征进行分析, 有助于深入理解流域的气候变化规律与探讨流域的气候变化原因。

2. 研究区概况及数据资料

黑河流域介于东经 97°~102°、北纬 37°~42°之间。

干流全长 821 km, 流域总面积 14.29 万 km², 属大陆性气候干旱区。因整个流域地形、地貌复杂, 海拔高低相差悬殊, 气候的地带性和区域性非常明显。出山口莺落峡以上为上游, 多年平均气温不足 2℃, 年降水量 350 mm, 是主要的产流区; 莺落峡至正义峡为中游, 年平均气温 6℃~8℃, 年降水量 140 mm; 正义峡以下为下游, 年平均气温 8℃~10℃, 极端最低气温在-30℃以下, 极端最高气温超过 40℃, 年降水量 47 mm, 年日照时数位 3446 h, 气候非常干燥, 春夏季常有沙尘暴天气^[12]。

本文利用中国气象中心提供的黑河流域内 9 个气象站点 1961~2010 年逐月及年气温作为基础资料, 以 3~5 月、6~8 月、9~11 月、12 月至次年 2 月分别代表春、夏、秋、冬季, 运用气候倾向率^[13]和 Mann-Kendall 趋势检验法(简称 M-K 法)^[14,15], 分析黑河流域年、季的极端最高气温、极端最低气温的变化特征。各气象站地理位置及相关信息见图 1 和表 1。

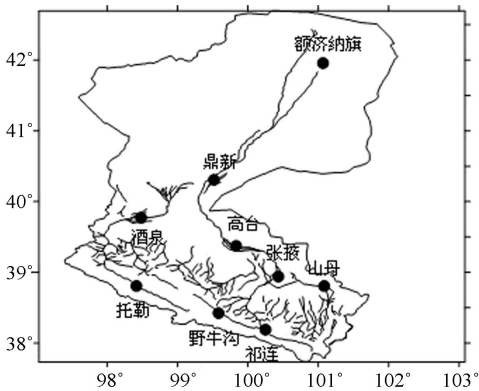


Figure 1. Locations of meteorological stations in Heihe River basin
图 1. 黑河流域气象站点分布示意图

Table 1. Trend slopes for extreme temperatures data from 1961 to 2010 in the study area
表 1. 1961~2010 年研究区极端气温的气候倾向率(℃/10a)

站点	省份	纬度	经度	海拔高度(m)	极端最高气温	极端最低气温
额济纳旗	内蒙古	41°57′	101°04′	940.5	0.021	0.071**
鼎新	甘肃	40°18′	99°31′	1177.4	0.021 ⁺	-0.011
酒泉	甘肃	39°46′	98°29′	1477.2	0.024 [*]	0.007
高台	甘肃	39°22′	99°50′	1332.2	0.008	0.006
托勒	青海	38°48′	98°25′	3367.0	0.014	0.029
野牛沟	青海	38°25′	99°35′	8320.0	0.014	0.060***
张掖	甘肃	38°56′	100°26′	1482.7	0.021	0.052 ⁺
祁连	青海	38°11′	100°15′	2787.4	0.000	0.048**
山丹	甘肃	38°48′	101°05′	1764.6	0.003	0.095***

注: “***、**、*、+” 分别表示显著水平 0.001、0.05、0.01、0.1。

3. 结果分析与讨论

3.1. 极端气温的年变化

采用气候倾向率方法和 M-K 法分析研究区域各气象站点极端气温的趋势变化，结果列于表 1。可以看出，研究区域 9 个站点的年极端气温虽存在差异，但变化趋势基本一致，除鼎新站极端最低气温略有下降趋势外(未经过显著性检验)，其余站点极端气温均呈上升趋势。

极端最高气温年变化总体上表现为缓慢上升趋势，上升倾向率最大为 0.24℃/10a。极端最高气温升温幅度最大的是酒泉站，其次是额济纳旗、鼎新和张掖站，没有显著变化的是祁连站。祁连、托勒等上游地区的年极端最高气温普遍在 24℃~28℃，张掖、山丹等中游及周边地区年极端最高气温大致在 35℃左右，额济纳旗等下游地区年极端最高气温超过 40℃，存在着区域性差异。

极端最低气温除鼎新站有略微下降趋势外，其余各站总体上表现为上升趋势，上升倾向率在 0.1℃~0.95℃/10a。升温幅度最大的是山丹站，其次是额济纳旗站，气温倾向率为 0.71℃/10a，极端最低气温没

有明显变化趋势的是高台站和酒泉站。总体而言，研究区近 50 年来极端最低气温大体上升了 0.5℃~5.0℃。

从研究区域不同地理位置分析，祁连、托勒等上游地区的年极端最低气温普遍在-25℃~-30℃，其上升倾向率在 0.3℃~0.6℃/10a；张掖、山丹等中游及周边地区年极端最低气温大致在-20℃左右，随着海拔高度的增加，上升倾向率增大；额济纳旗等下游地区年极端最低气温在-23℃左右，其上升倾向率明显高出中上游的大部分地区。可见，极端最低气温趋势变化存在着较明显的区域差异性。

各站 1961~2010 年极端气温年代际变化如表 2 所示。近 50a 各台站年极端气温总体变化趋势具有年代差异性，各个年代甚至个别年份的异常对序列的总体趋势均有较大影响。

20 世纪 60 年代至今，各站年极端最高气温的总体变化趋势是略微上升，年代际变化幅度在 1.1℃~1.4℃之间。80 年代是高台站、野牛沟站和祁连站极端最高气温最低的 10 年，其余站点极端最高气温在 60 年代为最低。21 世纪初的 10 年，除托勒站和山丹站极端最高气温的年际值与多年平均值基本一致外，其他各站都比多年平均值略有偏高。

Table 2. Decadal changes of annual extreme temperatures in the study area (°C)
表 2. 研究区年极端气温的年代际变化(℃)

距平	站点	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2001~2010
极端最高气温距平	额济纳旗	-0.5	-0.1	-0.3	0.3	0.7
	鼎新	-0.6	0.2	-0.1	-0.1	0.6
	酒泉	-0.5	-0.1	-0.1	0.1	0.6
	高台	0.0	0.0	-0.5	-0.2	0.7
	托勒	-0.7	0.7	-0.3	0.4	0.0
	野牛沟	-0.4	0.1	-0.5	0.7	0.1
	张掖	-0.6	0.1	-0.4	0.2	0.7
	祁连	0.0	-0.1	-0.7	0.2	0.5
	山丹	-0.5	0.1	-0.3	0.8	0.0
	额济纳旗	-3.4	0.3	1.2	2.0	0.0
极端最低气温距平	鼎新	-1.1	0.7	1.1	1.0	-1.8
	酒泉	-1.2	0.3	1.6	0.0	-0.8
	高台	-0.5	-0.4	1.1	0.9	-1.2
	托勒	0.4	-1.1	-0.3	0.8	0.3
	野牛沟	-0.7	-0.8	0.0	0.3	1.1
	张掖	-1.0	-0.6	0.8	0.6	0.2
	祁连	-0.5	-0.7	0.2	-0.1	1.2
	山丹	-1.8	-1.6	0.9	1.3	1.1

各站年极端最低气温较极端最高气温变化显著, 年代际变化幅度最大的是额济纳旗站, 达到了 5.4°C , 鼎新、酒泉、山丹三个站点的年代际变化幅度在 3°C 左右, 其他各站的年代际变化幅度在 $1.8^{\circ}\text{C}\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ 之间。托勒站、野牛沟站、祁连站在 20 世纪 70 年代极端最低气温达最低, 鼎新站和高台站在 21 世纪初的 10 年极端最低气温为最低, 其余各站的极端最低气温最低出现在 60 年代。21 世纪初的 10 年与 1960 年代相比大部分站点极端最低气温有所上升, 升幅最大的是额济纳旗站, 升高 3.4°C , 其次是山丹站, 升高 3°C 。

由此可见, 黑河流域近 50a 年极端气温总体上呈上升趋势, 极端最低气温的变化幅度明显大于极端最高气温的变化幅度, 这与我国极端温度变化的总趋势是一致的^[7,8]。

3.2. 极端气温的季节变化

春季, 极端气温的变化趋势较复杂。7 个站点的极端最高气温呈上升趋势, 大体上是 20 世纪 80 年代极端最高气温为最低, 21 世纪初的 10 年为最高, 鼎新站的上升倾向率最大为 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。距平值相差最大的是鼎新站和高台站, 达到了 2.1°C , 距平值相差最小值为 0.8°C 。6 个站点的极端最低气温呈上升趋势, 大部分站点在 80 年代极端最低气温最低, 部分站点是 60 年代极端最低气温最低, 额济纳旗站的上升倾向率最大为 $0.53^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 距平值变化幅度在 $1.3^{\circ}\text{C}\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 之间, 变化最大的是野牛沟站。

夏季各站极端气温均呈上升趋势, 极端最低气温的上升趋势要比极端最高气温的明显。极端最高气温自 20 世纪 90 年代至今, 都在缓慢升高, 距平值变化幅度较平稳, 基本在 $1.1^{\circ}\text{C}\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 之间变化; 额济纳旗站自 70 年代至今, 其极端最高气温都在 40°C 以上。各站的极端最低气温基本在 60 年代是最低值, 之后逐年升高, 张掖站的上升倾向率达到了 $0.88^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 各站的距平值变化幅度在 $1.2^{\circ}\text{C}\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 之间, 变化幅度超过 3°C 的有额济纳旗站、张掖站和山丹站, 后两个站极端最低气温在 21 世纪初的 10 年比历年均值升高 2°C 。

秋季各站极端气温比夏季极端气温上升趋势显著, 且极端最低气温的趋势比极端最高气温的明显。各站极端最高气温大体上是 20 世纪 80 年代为最低, 90 年代为最高, 野牛沟和祁连站的上升倾向率为 $0.5^{\circ}\text{C}/$

10a; 大部分站点距平值变化较大, 在 2.5°C 以上, 最大的是额济纳旗站, 达到了 3.4°C ; 仅高台站距平值变化较小, 为 1.5°C 。秋季各站极端最低气温在 60 年代普遍偏低, 21 世纪初的 10 年普遍偏高上升, 倾向率最大的是额济纳旗站, 达到了 $1.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 山丹站达到了 $1.15^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。各站距平值变化幅度非常大, 最小值为 2.5°C , 最大值达到了 5°C 以上。大体上, 上游地区秋季极端最低气温的距平值比中下游大部分地区的距平值小。

冬季各站极端最高气温比秋季极端最高气温上升显著, 大体上是 20 世纪 80 年代为最低, 21 世纪初的 10 年为最高, 其比历年均值高 $0.8^{\circ}\text{C}\sim 2.8^{\circ}\text{C}$; 距平值变化最小的是酒泉站, 为 1.6°C , 最大的是托勒站、张掖站和祁连站, 达 4°C 以上, 上升倾向率最大的是托勒站达 $0.68^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。冬季各站极端最低气温变化大体上是 70 年代为最低, 90 年代为最高, 距平值变化最大的是额济纳旗站, 达到了 4.2°C , 其次是山丹站, 达到了 3.7°C , 其余在 $1.7^{\circ}\text{C}\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ 之间变化。大体上, 上游地区冬季极端最低气温的距平值比中下游大部分地区的距平值小, 而极端最高气温正好相反。

极端气温的季节变化如图 2(a)~(h)所示, 可以看出, 近 50a 年黑河流域极端气温在四季均有不同程度的增加, 表明极端温度的变化趋势存在着较大的季节性差异。

4. 结论

1) 在年变化上, 近 50a 黑河流域的极端气温总体上呈上升趋势, 且极端最低气温的变化幅度明显大于极端最高气温的变化幅度。极端最低气温变化幅度最大的山丹站, 其上升倾向率达到了 $0.95^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。研究还发现, 流域下游地区的年极端最低气温变化幅度较中上游大部分地区显著。黑河流域的极端气温变化情况与全国极端温度变化的总趋势基本一致。

2) 在年代际变化上, 近 50a 流域各台站年极端气温总体变化趋势具有年代差异性。年极端最高气温在 20 世纪 60、70 年代偏低, 自 80 年代末开始, 年极端最高气温逐渐上升, 个别站点在近年略有回落。年极端最低气温在 60 年代偏低, 自 70 年代开始, 年极端最低气温逐渐上升, 在 90 年代中后期达到了历史最高, 在近年略有回落。

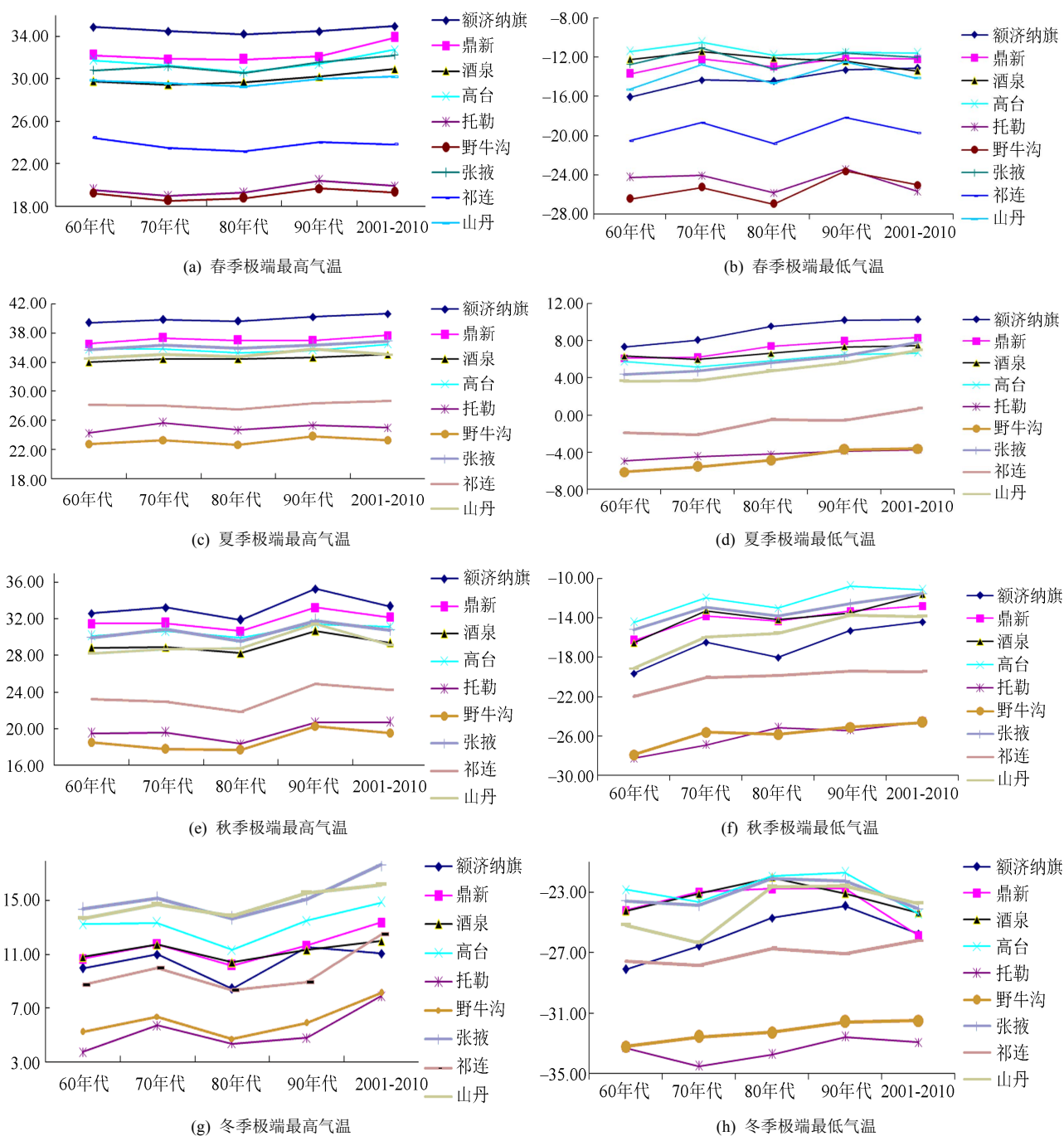


Figure 2. Changes of seasonal extreme temperatures at each station from 1961 to 2010

图 2. 1961~2010 年各站极端气温的季节变化趋势

3) 在季节变化上, 流域的极端气温上升趋势不是集中在某个季节, 而是在四季均有不同程度的增加。极端最高气温变化最显著的季节是冬季, 最不显著的季节是夏季; 极端最低气温变化最显著的季节是秋季, 最不显著的季节的春季, 这表明流域的极端温度变化存在着季节性差异。

参考文献 (References)

- [1] 刘学华, 季致建, 吴洪宝, 等. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
LIU Xuehua, JI Zhijian, WU Hongbao, et al. Distributing characteristics and inter-decadal difference of daily temperature and precipitation extremes in China for latest 40 years. Journal of Tropical Meteorology, 2006, 22(6): 618-624. (in Chinese)
- [2] 李玲萍, 薛新玲, 李岩瑛, 等. 1961~2005 年河西走廊东部极

- 端气温事件变化[J]. 冰川冻土, 2010, 32(1): 43-51.
LI Lingping, XUE Xinling, LI Yanying, et al. Changes in the extreme temperatures in the east of Hexi corridor in 1961-2005. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(1): 43-51. (in Chinese)
- [3] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 1960~2009年青海省极端气温事件的变化特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 41-47.
WANG Baolong, ZHANG Mingjun, WEI Junlin, et al. Characteristics of extreme temperature in Qinghai province during 1960-2009. *Chinese Journal of Agro-meteorology*, 2012, 33(1): 41-47. (in Chinese)
- [4] 杨金虎, 江志红, 魏锋, 等. 近45a来中国西北极端高、低温的变化及对区域性增暖的响应[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 625-631.
YANG Jinhu, JIANG Zhihong, WEI Feng, et al. Variability of extreme high temperature and low temperature and their response to regional warming in Northwest China in recent 45 years. *Arid and Geography*, 2006, 29(5): 625-631. (in Chinese)
- [5] 任福民, 翟盘茂. 1951~1990年中国极端气温变化[J]. 大气科学, 1998, 22(2): 217-227.
REN Fumin, ZHAI Panmao. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951-1990. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, 22(2): 217-227. (in Chinese)
- [6] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4-9.
QIN Dahe, DING Yihui, SU Jilan, et al. Assessment of climate and environment changes in China (I): Climate and environment changes in China and their projection. *Advance in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 4-9. (in Chinese)
- [7] 张宁, 孙照渤, 曾刚. 1955~2005年中国极端气温的变化[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 123-128.
ZHANG Ning, SUN Zhaobo and ZENG Gang. Change of extreme temperatures in China during 1955-2005. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(1): 123-128. (in Chinese)
- [8] 赵军, 师银芳, 王大为, 等. 1961~2008年中国大陆极端气温时空变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 52-56.
ZHAO Jun, SHI Yinfang, WANG Dawei, et al. Temporal and spatial changes of extreme temperatures in China during 1961-2008. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(3): 52-56. (in Chinese)
- [9] 李占玲, 徐宗学. 近50年来黑河流域气温和降水量突变特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1877-1882.
LI Zhanling, XU Zongxue. Detection of change points in temperature and precipitation time series in the Heihe River basin over the past 50 Years. *Resources Science*, 2011, 33(10): 1877-1882. (in Chinese)
- [10] 李鸣骥, 石培基. 黑河流域张掖市近38a以来气候变化特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1048-1054.
LI Mingji, SHI Peiji. Climate changing characteristics of Zhan-ge City in Heihe River basin during 1968-2005. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(6): 1048-1054. (in Chinese)
- [11] 李常斌, 李文艳, 王雄师, 等. 黑河流域中、西部水系近50年来气温降水径流变化特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(4): 7-12.
LI Changbin, LI Wenyan, WANG Xiongshi, et al. Characteristic changes in air temperature, precipitation and mountain runoff in the past 50 years in the middle and western reaches of Heihe River basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2011, 47(4): 7-12. (in Chinese)
- [12] 张耀宗, 张勃, 刘艳艳, 等. 黑河中上游地区最高、最低气温非对称变化的时空特征分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2011, 32(1): 78-82.
ZHANG Yaozong, ZHANG Bo, LIU Yanyan, et al. Change of maximum and minimum temperature in the middle region of Heihe Basin. *Journal of Ningxia University (Natural Sciences)*, 2011, 32(1): 78-82. (in Chinese)
- [13] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 1960~2007年汾河流域气温年际和季节性变化特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 489-496.
LIU Yufeng, SUN Hu and YUAN Zhihua. Annual and seasonal change characteristics of temperature in the Fenhe River basin during the period 1960-2007. *Resources Science*, 2011, 33(3): 489-496. (in Chinese)
- [14] 时振阁. 唐山市降水量序列变化规律分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 164-167.
SHI Zhengge. Analysis to precipitation sequence variation in Tangshan City. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2010, 8(1): 164-167. (in Chinese)
- [15] XU Zongxue, TAKEUCHI, K. and ISHIDAIRA, H. Long-term trends of annual temperature and precipitation time series in Japan. *Journal of Hydro Science and Hydraulic Engineering*, 2002, 20(2): 11-26.