

近50年黑河流域降水变化特征分析

高宇^{1,2}, 袁², 袁勇², 方宏阳³

(1. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 中国水利水电科学研究院
流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 3. 河北工程大学 水电学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 黑河流域是我国西北地区第二大内陆流域, 中游地区, 地势平缓, 水源充足, 并建有多座水库, 是西部粮食和蔬菜生产基地之一。在气候变化的背景下, 该流域的降水格局发生了一定程度的变化。现以黑河流域及周边地区 15 个气象站点 1961 年-2010 年的逐日降水资料和国家 1: 25 万的 DEM 资料为基础, 分析了黑河流域平原地区和山丘地区的降水变化特征。结果表明: (1) 平原地区降水较少而山区降水相对较多, 整体呈降水增加趋势且山区所占比例较大; (2) 山区和平原地区的降水质心均向西南偏移, 且山区偏移明显; (3) 全流域上分布较广的 0~100 mm 降水带在萎缩, 相反分布稀少 300 mm 以上降水带在增加。

关键词: 降水; 质心; 变化特征; 黑河流域

中图分类号: P468 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0016-06

Analysis of Precipitation Variation in the Heihe River in Recent 50 Years

GAO Yu^{1,2}, YUAN Zhe², YUAN Yong², FANG Hong yang³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. School of Water Conservancy and Electric Power, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The Heihe River Basin is the second largest inland river basin in northwestern China, and its middle reach area has gentle terrain slope and abundant water resources for the operation of reservoirs. Moreover, the river basin is one of the grain and vegetable production bases in western China. Under climate change, the rainfall pattern changed to some extent in the river basin. In this paper, the daily precipitation data of 15 meteorological sites in the Heihe River Basin and the surrounding area from 1960 to 2010 and the national 1: 250,000 DEM data were used to analyze the variation characteristics of precipitation in the plain and hilly area of Heihe River Basin. The results showed that (1) there is less precipitation in the plain region but more in the mountain area, and the overall precipitation has increased with most of which occurs in the mountain area; (2) the precipitation centroids of the mountain and plain area move to the southwest and it is more obvious in the mountainous area; and (3) the wide distribution of 0~100 mm precipitation decreases while the less distribution of 300 mm precipitation increases.

Key words: precipitation; centroid; variation characteristics; Heihe River Basin

政府间气候变化委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第四次评估报告指出, 1750 年以来全球气候主要在人类活动的影响下总体上呈增暖趋势, 近 100 a (1906 年-2005 年) 全球平均地表温度上升了 0.74 °C (0.56 °C~0.92 °C)^[1]。我国气温也呈增加趋势^[2], 且增温速率比同期全球平均略强。气温升高导致水循环速率加快^[3], 对全

球和区域尺度的降水产生重大影响^[4,5], 并且相对其他地区来说, 高寒地区的气温与降水对全球变暖的响应更明显^[6]。

黑河流域降水时空分布不均, 区域降水量较少, 降水量与蒸散量差值较大, 农业需水多来自于地下水抽取, 同时由于近几年来黑河流域土地利用与覆盖变化强烈, 人工绿洲系统扩张, 天然绿洲体系萎缩, 整个水资源系统的时空分布发

收稿日期: 2012-11-08 修回日期: 2013-08-16 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1609.022.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB951102);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC19B03); 国家自然科学基金创新研究群体基金项目(51021066); 河北省自然科学基金项目(E2012402067)

作者简介: 高宇(1986-), 男, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要从事气候变化及水文与水资源方面研究。E-mail: 224gaoyu@163.com

生根本改变^[7],从而对地区农业需水带来严重影响,因此研究该区域的降水特征变化对于合理指导地区农业灌溉有重要的作用。目前对于降水特征的分析主要集中于时间变化以及典型站点的分析^[8]。黑河流域由于其独特的地形条件,气象及水文站点较少,降水空间变化明显,因此大尺度的降水研究显得尤为重要。

1 研究区概况

黑河是我国内陆第二大河,发源于青海省祁连山,流经青海、甘肃、内蒙古三省(区),流域面积 14 29 万 hm^2 ,流域范围在东经 $98^\circ - 102^\circ$ 和北纬 $37^\circ 50' - 42^\circ 40'$ 之间。其中,上游多年平均气温不足 2°C ,年降水量 350 mm;中游年降水量仅有 140 mm,多年平均温度 $6^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$,年日照时数长达 3 000~4 000 h,年蒸发能力达 1 410 mm;下游年降水量只有 47 mm,年日照时数 3 446 h,年蒸发能力高达 2 250 mm。

黑河流域主要种植作物为小麦、玉米、马铃薯等,种植区域主要分布在流域中游金塔、酒泉、张掖和山丹等流域旱地地区,该地是西部重要的粮食和蔬菜生产基地之一,比如张掖地区以不足甘肃省 5% 的耕地,提供了全省市 35% 的商品粮食,农业地位举足轻重^[9]。但是黑河流域近 50 年来,干旱事件频繁发生,干旱灾害面积急剧扩张^[10],严重影响农业生产活动。因此有必要对黑河流域降水的空间特征进行分析,为地区农业需水研究提供有力依据。

2 数据与方法

2.1 基本气象数据和地形数据

本文研究地形资料选用国家 1:25 万 DEM 数据。降水数据源自分布于黑河流域四邻点范围内的 15 个气象站点(图 1),选取了 1961 年-2010 年间连续的降水实际观测资料。将逐日的降水数据汇总,得到 1961 年-2010 年逐年降水数据,并利用 IDW 插值技术得到整个黑河流域的逐年降水分布(栅格大小为 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$,图 2)。

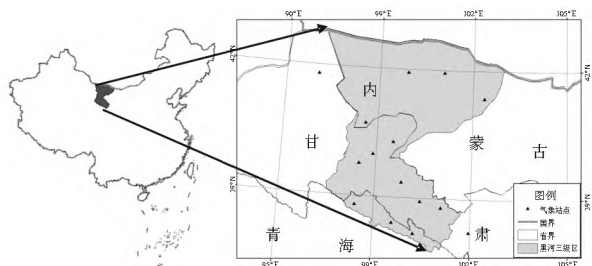


图 1 黑河流域地理位置及气象站点概况

Fig. 1 Location of the Heihe River Basin and distribution of meteorological stations

2.2 降水时空变化特征分析方法

2.2.1 年降水量时间序列趋势性分析方法

时间序列的趋势性分析采用 Mann-Kendall 分析法。该方法属于非参数统计检验方法,通过计算时间序列的标准化统计量(M 值)来判断序列的变化趋势, $M > 0$ 表示增加(上升), $M < 0$ 表示减少(下降)。 $|M| > 1.282$ 表示降水时间序列达到了 90% 的显著性检验, $|M| > 1.645$ 表示达到了 95% 的显著性检验。针对某个栅格点(i, j)的降水时间序列 R_{il} ($l = 1961, 1962, \dots, 2010$),其 M 值由式(1) - 式(3)求得。

$l = 1961, 1962, \dots, 2010$),其 M 值由式(1) - 式(3)求得。

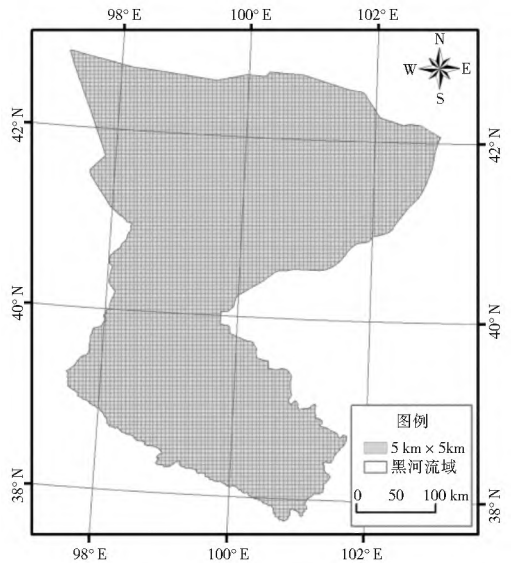


图 2 黑河流域 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 网格

Fig. 2 Grids of the Heihe River Basin ($5\text{ km} \times 5\text{ km}$)

$$M = \frac{\tau}{\sqrt{\text{Var}(\tau)}} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1 \quad (2)$$

$$\text{Var}(\tau) = \frac{2n(n+5)}{9n(n-1)} - 1 \quad (3)$$

式中: τ 为 Kendall 统计量; $\text{Var}(\tau)$ 为方差; M 为标准化的统计量; p 为某栅格点的降水时间系列 R_{il} ($l = 1961, 1962, \dots, 2010$) 中所有对偶值($R_{i1}, R_{i2}, 1961 \leq l_1 \leq l_2 \leq 2010$) 中 $R_{i1} < R_{i2}$ 出现的次数; n 为降水时间系列长度。

2.2.2 降水变化幅度分析方法

20 世纪 90 年代全球变暖最为明显,如 1998 年是中国,也是全球近 100 多年来最暖的一年,这年中国年均气温距平达 1.38°C ;这个时期也是降水量显著增加的时期。将 90 年代以后(包括 90 年代)的降水量平均值与之前的 3 个年代做了简单的对比分析。降水量变化幅度按下式计算:

$$P = \frac{(P_{1991-2000} - P_{1961-1990})}{P_{1961-1990}} \times 100\% \quad (4)$$

当 $P > 5\%$ 时认为降水量增加明显,当 $P < -5\%$ 时则认为减少明显, P 值处于 $-5\% \sim 5\%$ 之间时则认为增加或减少趋势不明显。

2.2.3 不同等级降水面积变化分析方法

黑河 DEM 数据经处理后得到研究区的地形起伏高度分布图(见图 3),以起伏高度 $h \leq 30\text{ m}$ 和 $> 30\text{ m}$ 为标准,分别划分出黑河流域的平原区和山丘区两种地貌类型(见图 4)。将流域的降水等级分为 4 类,即 $0 \sim 100\text{ mm}$ 、 $100 \sim 200\text{ mm}$ 、 $200 \sim 300\text{ mm}$ 和 300 mm 以上(分区-降水等级组合的方式见图 5)。据此统计各分区逐年不同等级降水的栅格面积占该分区的面积比例。

2.2.4 降水空间分布特征量化的计算

在 GIS 平台上,以各栅格 x, y 坐标为要素,栅格降水量为权重,计算出不同分区各降水等级的均值中心,以此来表征和量化逐年降水的空间分布特征。图 6 为 2000 年全流域、山丘区、平原区降水水质心分布。

表 1 中国地貌基本类型
Table 1 Basic geomorphology of China

起伏高度/m	< 20~ 30	< 100	100~ 200	200~ 500	500~ 1 000	1 000~ 2 500	> 2 500
地貌类型	平原、台地	低丘陵	高丘陵	小起伏山	中起伏山	大起伏山	极大起伏山

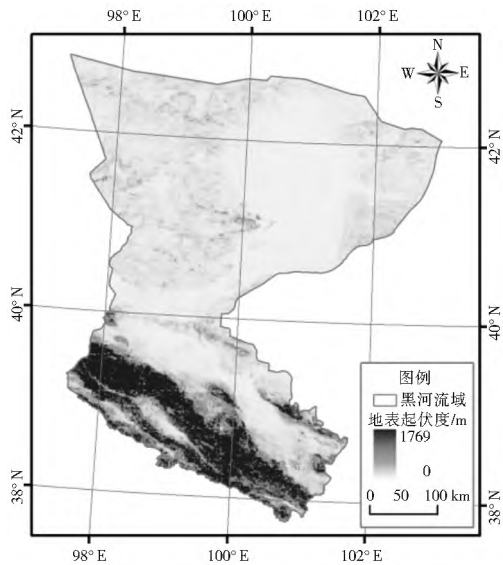


图 3 地形起伏高度
Fig. 3 Relative relief heights

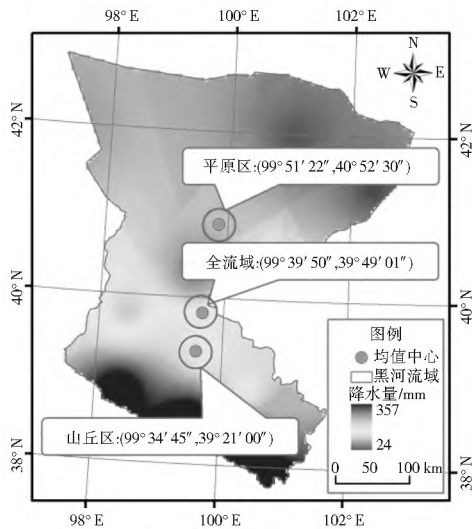


图 6 2000 年降水水质心
Fig. 6 Precipitation centroid in 2000

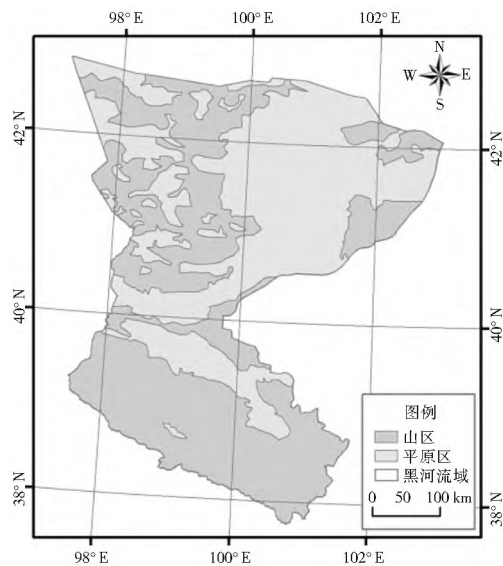


图 4 平原和山丘分布
Fig. 4 Distribution of plain and mountain area

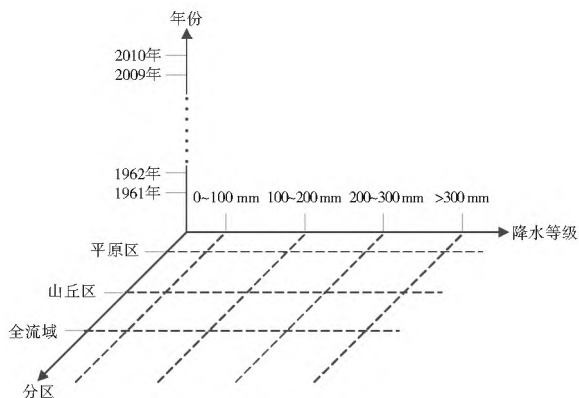


图 5 分区-降水等级组合方式
Fig. 5 Compound modes of zones and precipitation

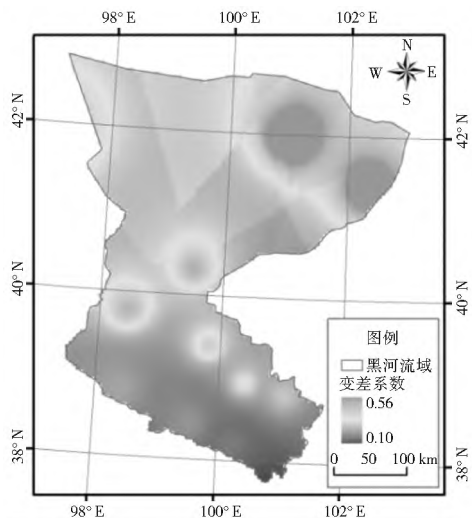


图 7 黑河流域逐年年降水变差系数(C_v)
Fig. 7 The C_v of precipitation in the Heihe River Basin

3 结果与分析

3.1 黑河流域降水量时间变化特征

近 50 年来, 黑河流域及其平原区、山丘区多年平均降水量分别为 123 mm、82 mm、162 mm, 各区域的变差系数分别为 $C_{v全流域} = 0.24$ 、 $C_{v平原区} = 0.27$ 和 $C_{v山丘区} = 0.21$ 。由图 7 可知, 平原区降水呈现出年际分布不均, 降水量较少的特点, 而山丘区降水则年际分布相对较均, 降水量较大。综合分析图 8 和图 9 可知, 全流域大部分地区降水量表现出增加的态势, 经统计, 有 91.4% 的栅格降水量呈现出增加的趋势, 38.2% 的栅格降水增加趋势显著 (M-K 统计值均超过了 1.282, 达到了 $\alpha = 0.1$ 的显著水平), 降水增加的区域多分布于山丘区。

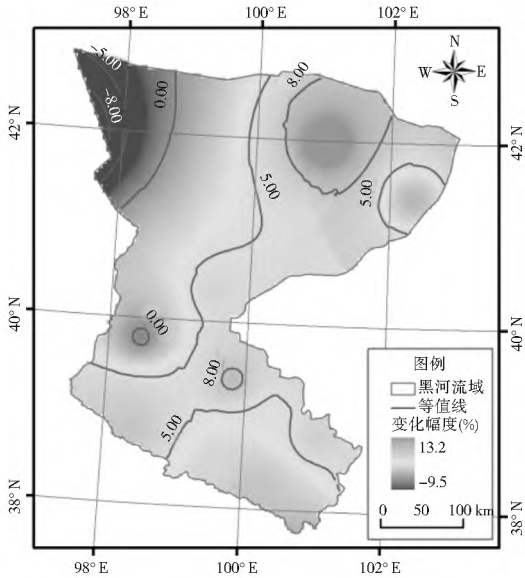


图8 20世纪90年代降水变化幅度

Fig. 8 Variation of precipitation in 1990 s

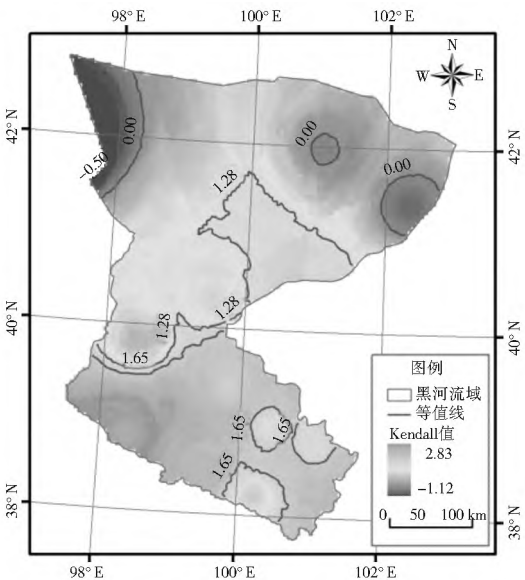


图9 黑河流域逐年年降水量 M-K 统计值

Fig. 9 M-K values of precipitation in the Heihe River Basin

3.2 平原区和山丘区降水水质心移动特征

经 IDW 插值和 GIS 处理得到全流域、平原区及山丘区多年平均降水水质心位置分别为(99°42′15″E, 39°52′12″)、(99°54′24″, 40°56′04″)和(99°36′33″, 39°22′46″), 见表2。

表2 黑河流域多年平均降水水质心及 M-K 统计值

Table 2 Centroid of average annual precipitation and M-K values

区域	经度	纬度	M 值(经度)	M 值(纬度)
全流域	99°42′15″	39°52′12″	-0.611	-0.845
平原区	99°54′24″	40°56′04″	-0.560	-1.297*
山丘区	99°36′33″	39°22′46″	-0.761	-0.962

* 表示超过了 $\alpha=0.1$ 的显著性水平

将降水水质心的移动方向分为两个方向, 即经向移动和纬向移动。图10-图12显示了黑河流域及其平原区、山丘区降水水质心经纬度逐年变化趋势。从图上可以看出, 经纬度都有下降趋势, 表明全流域、平原区、山丘区的降水水质心均向西

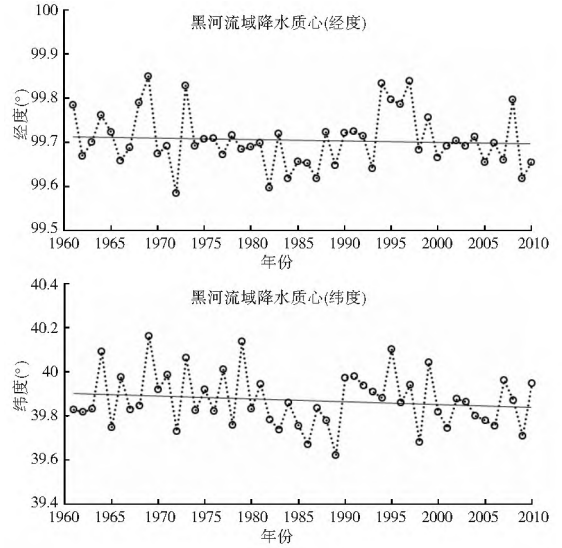


图10 黑河流域降水水质心逐年变化

Fig. 10 Variation of mean precipitation centroid in the Heihe River Basin

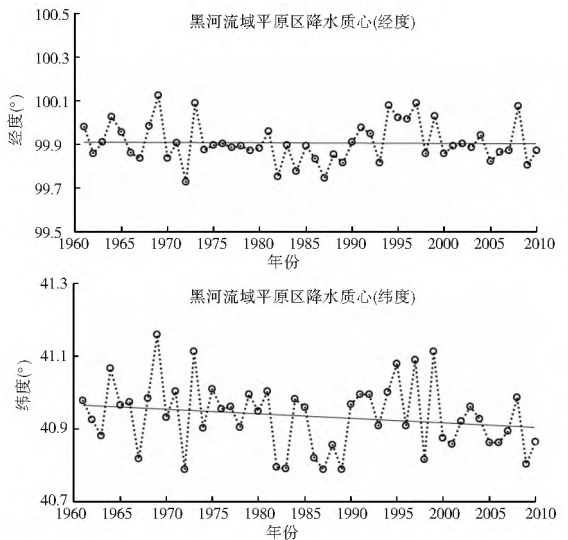


图11 黑河流域平原区降水水质心逐年变化

Fig. 11 Variation of mean precipitation centroid in the plain area of the Heihe River Basin

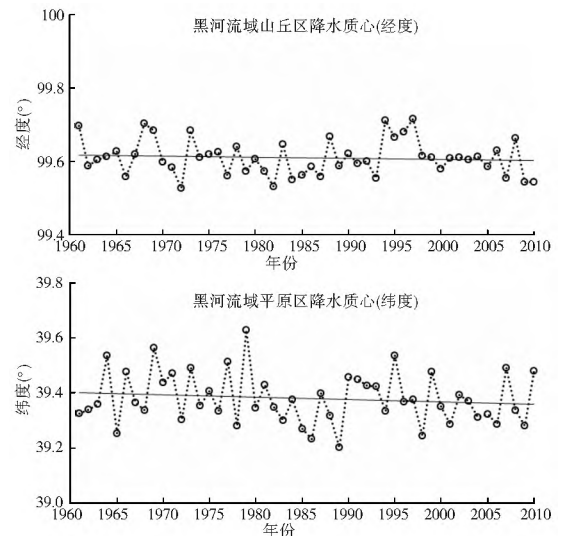


图12 黑河流域山丘区降水水质心逐年变化

Fig. 12 Variation of mean precipitation centroid in the mountain area of the Heihe River Basin

南方向偏移。结合表 1 的分析,表明平原区降水水质心向南移动达到 $\alpha=0.1$ 的显著水平。由于在计算降水水质心移动时,是以降水量为权重,降水量大其权重也大,质心将向其偏移。因此,也可以认为黑河流域降水量有增加趋势,并且是西南方向增加量更大。

3.3 平原区和山丘区不同降水量覆盖面积变化

在逐年降水空间分布图的基础上,分布统计逐年全流域及其平原区、山丘区 0~100 mm、100~200 mm、200~300 mm 和 300 mm 以上的栅格数(其中平原区 300 mm 以上降水面积很小,与上个降水等级合并为 200 mm 以上),从而得到不同降水量区覆盖面积占各自统计面积的比例(即平原区不同降水量覆盖面积占平原区面积比例,以此类推)。图 13-图 15 显示了黑河流域及其平原区、山丘区不同将实录覆盖面积逐年变化特征,表 3 列出了不同区域不同降水量多年平均覆盖面积及 M-K 统计值。

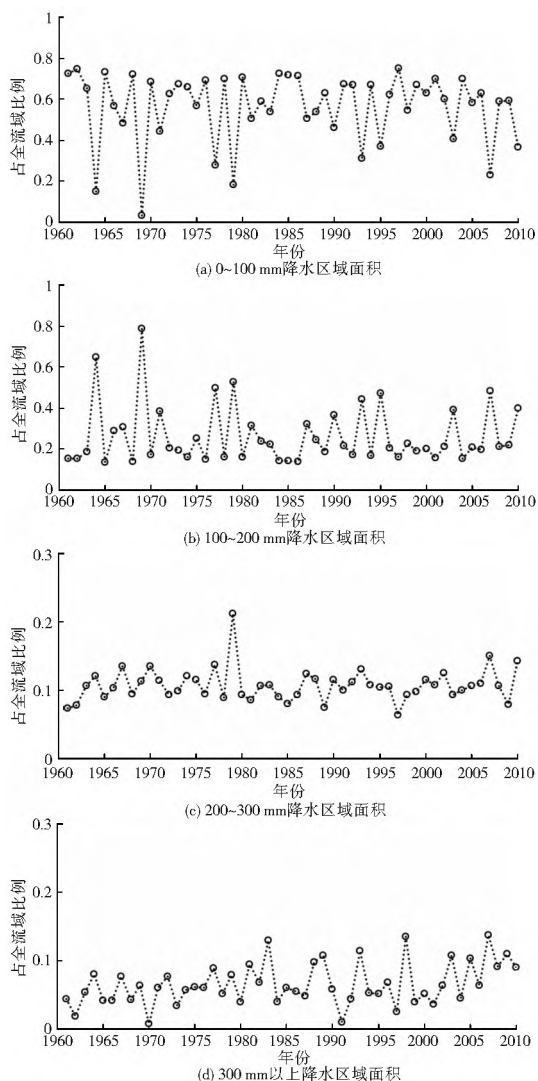


图 13 黑河流域不同降水量覆盖面积逐年变化

Fig. 13 Variation of coverage area of different precipitations in the Heihe River Basin

综合分析图 13-图 15 及表 3,对于全流域,0~100 mm 降水分布面积最广,所占比例为 0.57,而 300 mm 以上降水区域最小,为 0.07;0~100 mm 降水量分布面积都表现出减少趋势,而 300 mm 以上降水分布区域呈显著增加趋势

(表 3),其他降水等级分区区域变化趋势变化不明显。黑河流域土地利用表明,耕地主要分布在流域中部及南部狭长平原地区,北部大面积区域由于降水量小,不适宜耕作。而对于平原区,0~100 mm 降水量所占比例趋于减少,100 mm 以上降水分布面积在增加,在未来,这样的变化可能导致黑河流域适宜耕作面积的增加。

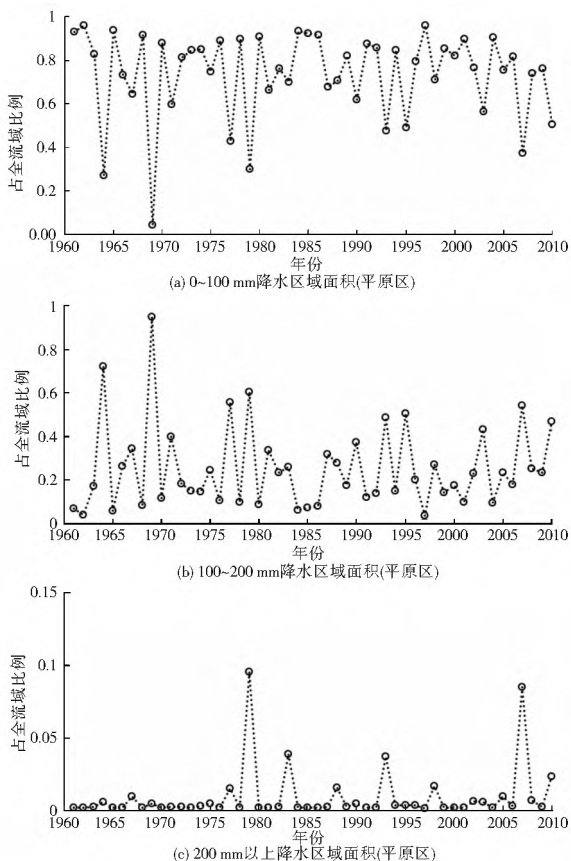


图 14 黑河流域平原区不同降水量覆盖面积逐年变化

Fig. 14 Variation of coverage area of different precipitations in the plain area of the Heihe River Basin

表 3 黑河流域不同降水量多年平均覆盖面积及 M-K 统计值
Table 3 The average coverage area of different precipitations and M-K values in the Heihe River Basin

区域	全流域		平原区		山丘区	
	M 值	面积比例	M 值	面积比例	M 值	面积比例
0~100 mm	-1.113	0.57	-0.995	0.74	-1.113	0.40
100~200 mm	0.795	0.26	1.012	0.25	-1.280	0.27
200~300 mm	0.627	0.10	1.196	0.01	0.276	0.20
300 mm 以上	2.183*	0.07	1.196	0.01	2.166*	0.13

* 表示超过了 $\alpha=0.1$ 的显著性水平, ** 表示超过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平

4 结论

(1) 近 50 年来,黑河流域山丘地区和平原地区多年年平均降水量分别为 182 mm 和 82 mm,平原区降水呈现出年际分布不均,降水量较少的特点,而山丘区降水则年际分布相对较均,降水量较大,91.4% 的栅格降水量呈现出增加的趋势,38.2% 的栅格降水增加趋势显著降水增加的区域多分布于山丘区。

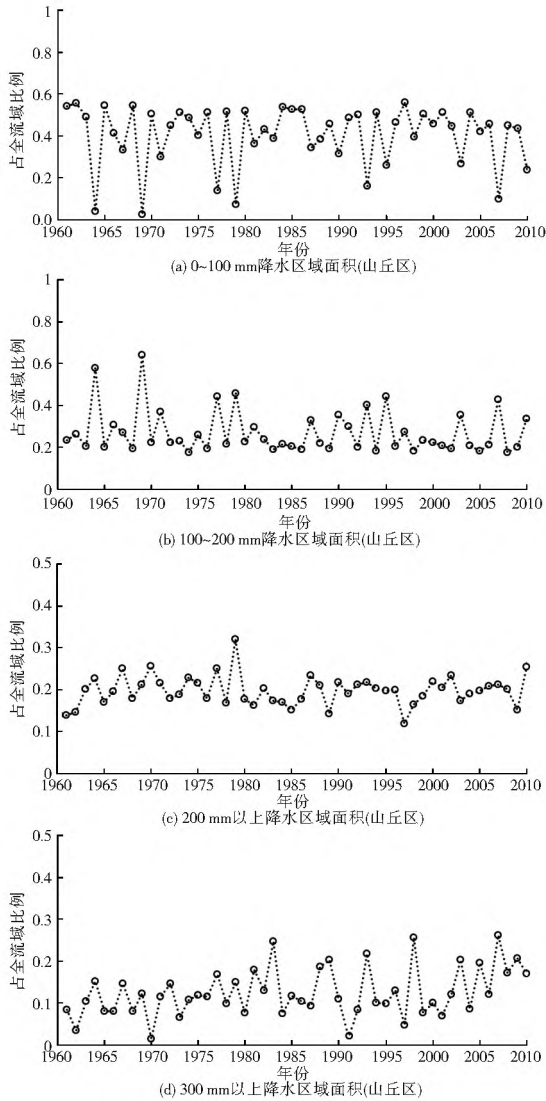


图 15 黑河流域山丘区不同降水量覆盖面积逐年变化

Fig. 15 Variation of coverage area of different precipitations in the mountain area of the Heihe River Basin

(2) 山丘地区和平原地区多年平均质心位置分别为(99°36′33″E, 39°22′46″N)和(99°54′24″E, 40°56′04″N)。50年来,平原区和山丘区的降水质心向西南偏移均比较明显,说明年降水量在空间上的分布呈现南多北少的趋势更加明显。

(3) 全流域范围内0~100 mm降水分布面积最广,所占比例为0.57,而300 mm以上降水区域最小,为0.07;0~100 mm降水量分布面积表现出减少趋势,而300 mm以上降水分布区域增加趋势极显著,其他降水等级分区区域变化趋势变化不明显。

参考文献(References):

[1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Sum-

mary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. 2007: 1-21.

- [2] 秦大河,陈振林,罗勇,等.气候变化科学的最新认知[J].气候变化研究进展,2007,3(2): 63-73. (QIN Dahe, CHEN Zhenlin, LUO Yong, et al. Updated Understanding of Climate Change Sciences[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(2): 63-73. (in Chinese))
- [3] LIEPERT B, ROMANOU A. Global Dimming and Brightening and the Water Cycle[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86: 622-623.
- [4] JAY H L, THOMAS C P. Pan Evaporation Trends in Dry Humid Regions of the United States[J]. Journal of Hydrometeorology, 2000, 1(6): 543-546.
- [5] 王遵亲,丁一汇,何金海,等.近50年来中国气候变化特征的再分析[J].气象学报,2004,62(2): 230-236. (WANG Zunqin, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An Updating Analysis of The Climate Change In China Recent 50 Years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 230-236. (in Chinese))
- [6] 郝振纯,王加虎,李丽,等.气候变化对黄河源区水资源的影响[J].冰川冻土,2006,28(1): 1-7. (HAO Zhenchun, WANG Jiayu, LI Li, et al. Impact of Climate Change on Runoff in Source Region of Yellow River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(1): 1-7. (in Chinese))
- [7] 王根绪,马海燕,王一博,等.黑河流域中游土地利用变化的环境影响[J].冰川冻土,2003,25(4): 359-367. (WANG Genxu, MA Haiyan, WANG Yibo, et al. Impacts of Land Use Change on Environment in the Middle Reaches of the Heihe River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(4): 359-367. (in Chinese))
- [8] 张明珠,俞烜,宋新山,等.岷江中上游及青衣江流域近50年来降水变化特征分析[J].南水北调与水利科技,2008,6(6): 46-48. (ZHANG Mingzhu, YU Xuan, SONG Xishan, et al. Characteristics of Precipitation in Recent 50 Years in Minjiang Upriver and Qingyijiang River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, (6): 46-48. (in Chinese))
- [9] 刘少玉,张光辉,张翠云,等.黑河流域水资源系统演变和人类活动影响[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(5): 806-812. (LIU Shaoyu, ZHANG Guanghui, ZHANG Cu Yun, et al. Water Resources System Evolution and Impact of Human Activities in Heihe River Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(5): 806-812. (in Chinese))
- [10] 王海青,张勃.黑河流域干旱化驱动力机制及其趋势预测[J].干旱区资源与环境,2007,21(9): 68-72. (WANG Haiqing, ZHANG Bo. Driving Force of Drought and the Trend Prediction in Heihe River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(9): 68-72. (in Chinese))