

海河流域近51年降水量时空变化特征

束美珍, 刘丽红

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 利用海河流域1960年-2010年25个典型气象站点的逐月降雨量资料, 采用线性回归法、累计距平法分析海河流域年际降雨特征, 应用皮尔逊 III 型曲线法综合分析降雨量的概率分布, 运用空间插值法分析海河流域降雨的空间变化特征。结果表明: 海河流域近51年来降雨量呈现微弱下降趋势, 且近年来下降趋势稳定。海河流域丰水年较少, 枯水年较多, 且有加剧的趋势, 年内降雨极不均匀, 季节变化明显, 降雨量空间上由南向北逐渐递减。

关键词: 线性回归; 累计距平; 皮尔逊 III 型频率曲线; 空间插值; 降雨特征; 时空变化; 海河流域

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1065-04

Spatial and temporal variations of precipitation in Haihe River Basin in recent 51 years

SHU Meizhen, LIU Lihong

(College of Globe and Environment, Anhui Science and Technology University, Huainan 232001, China)

Abstract: Based on the monthly precipitation data of 25 meteorological stations in the Haihe River Basin from 1960 to 2010, the inter annual precipitation characteristics in the Haihe River Basin were analyzed using the linear regression and cumulative anomaly curve methods. The probability distribution of precipitation was analyzed using the Pearson III curve method, and the spatial variation of precipitation was analyzed using the spatial interpolation method. The results showed that (1) precipitation in the Haihe River Basin has a slightly decreasing trend in recent 51 years, and the decreasing trend is stable recently; (2) there is a trend with more wet years while less dry years in the Haihe River Basin and the trend is increasing; (3) seasonal variation of precipitation is obvious; and (4) precipitation decreases trend from the south to the north.

Key words: linear regression; cumulative anomaly curve; Pearson III curve; spatial interpolation; precipitation characteristics; spatial and temporal variations; Haihe River Basin

在全球气候变暖背景下, 自20世纪90年代, 我国不同区域出现严重旱涝。据统计, 海河流域发生干旱的频率居全国之首, 是我国水资源短缺问题非常严重的地区^[1]。近几年来, 许多学者对流域降水时空变化特征进行了研究^[2-6]。袁喆等^[7]运用 Mann Kendall 检验、Morlet 小波变换和集对分析法分析了淮河流域近50年降水时空变化特征; 张宏利等^[8]采用累计距平曲线与信噪比法对渭河流域降水时空分布及变化进行了分析; 张晓等^[9]运用空间差值技术、Mann Kendall 方法、滑动 t 检验、Yamamoto 和偏值分析方法分析了青海省降水时空变化特征。本文从降雨时间和空间变化方面, 运用线性回归、累计距平、皮尔逊 III 型频率曲线法对海河流域近51年的降雨量时空变化特征进行分析, 可以为海河流域气候变化评估和水资源管理规划提供依据。

1 流域概况

海河流域位于东经 112° - 120°、北纬 35° - 43° 之间, 包括

海河、滦河、徒骇马颊河等水系, 西以山西高原与黄河流域交界, 北以蒙古高原与内陆河流域交界, 东北与辽河流域交界, 南界黄河, 东临渤海。流域平均长度 450 km, 平均宽度 700 km, 为典型的扇形流域, 面积约为 31.78 万 km², 占全国总面积的 3.3%。

该流域属于温带东亚季风气候区, 是我国东部沿海降雨量最少的地区。受地形、气候的影响, 年平均降雨量的变差系数很大, 降雨多集中于夏季, 冬春雨雪较少, 具有春旱秋涝的特点。

海河流域是我国政治、文化中心和发达地区, 流域内人口占全国的 10.6% 左右, 耕地面积为全国的 10.8%, 而水资源总量仅占全国的 1.5%, 是我国水资源与人口、耕地组合极不平衡的地区。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本研究选取了海河流域 25 个典型的气象站 1960 年-

收稿日期: 2015-03-25 修回日期: 2015-07-15 网络出版时间: 2015-11-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151103.1111.014.html>

基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(201310361002); 国家自然科学基金(41201017)

作者简介: 束美珍(1991-), 女, 安徽桐城人, 主要从事水文水资源研究。E-mail: smeizhen@126.com

通讯作者: 刘丽红(1980-), 女, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 主要从事水资源管理与调控方面研究。E-mail: liulihongsheng@163.com

2010 年的逐月降水观测数据。数据由河北气象局提供,且通过质量控制。气象站点的选择,既考虑各站点资料的可靠性和完整性,又考虑站点的空间分布能控制整个海河流域及周边地区。站点分布见图 1。

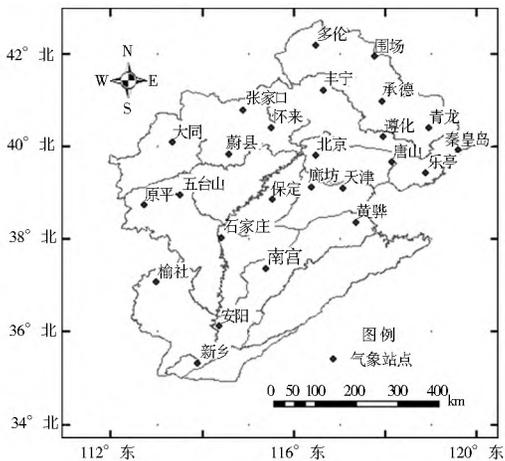


图 1 海河流域气象站点位置示意图

Fig. 1 Locations of meteorological stations in the Haihe River Basin

2.2 研究方法

2.2.1 累计距平法

累积距平法是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法,可以反映要素的演变趋势^[10-12]。累积距平曲线呈上升趋势,表示距平值增加,反之减小。

对于序列 x , 其某一时刻 t 的累积距平表示为

$$X = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\text{其中, } X = \sum_{i=1}^t X_i \quad (2)$$

式中: X 为从第 1 年至第 t 年的累计距平 (t 为年序列号, $t \leq n$)。

2.2.2 皮尔逊 $\hat{0}$ 型频率曲线法

皮尔逊 $\hat{0}$ 型曲线被引入水文计算中,因为比较符合我国水文变量的分布,因此成为当前水文频率计算中常用的线型^[13-15]。

皮尔逊 $\hat{0}$ 型曲线是一条一端有限一端无限的不对称单峰、正偏曲线,数学上常称伽玛分布,其概率密度函数为

$$F(x \geq x_p) = \int_{x_p}^{\infty} f(x) dx = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (3)$$

式中: a_0 , β , α 为统计参数,与常用的另外 3 个总体统计参数 E_x 、 C_v 、 C_s (期望值、变差系数、偏态系数) 具有如下关系:

$$a_0 = E_x \left(1 - \frac{2C_s}{C_v} \right) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{4}{C_v^2} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{2}{E_x C_v C_s} \quad (6)$$

在进行频率计算时,根据样本对分布函数中的参数作出估计,查 P- $\hat{0}$ 分布值 Φ 表,可以求得一组不同频率 p 对应的设计值 x_p ,从而根据 (p, x_p) 绘制频率曲线。检查频率曲线与经验点距的拟合情况,调整参数(主要是调整 C_v 和 C_s)。最后根据经验频率与点距的配合情况,选择一条与经验点距配合较好的曲线作为采用曲线。

3 结果与分析

3.1 降水时间变化特征分析

3.1.1 线性回归分析

统计分析海河流域 1960 年-2010 年多年平均降雨量,结果见图 2。海河流域 50 年来的降雨量在 308~761 mm 之间变化。年降雨量极小值 308 mm 出现在 1997 年,极大值 761 mm 出现在 1964 年,极大、极小降雨量相差 453 mm,多年平均降雨量为 506 mm。1980 年-1990 年有 7 年降雨量低于多年平均降雨量,2000 年-2010 年更甚,有 8 年降雨量低于多年平均降雨量。由降雨量趋势方程 $y = -1.6287x + 3739.5$ 显示近 50 年来降雨量明显呈下降趋势,但变化幅度不显著,年降雨量在趋势线上下随机波动。

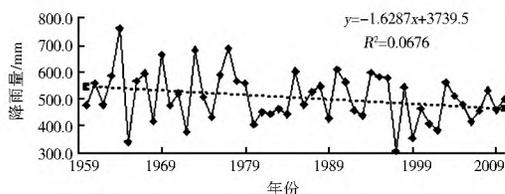


图 2 海河流域 1960 年-2010 年年平均降雨量

Fig. 2 Annual average precipitation in Haihe River Basin from 1960 to 2010

统计分析 1960 年-2010 年逐月降雨量资料,结果见图 3。年内降雨主要集中在 6 月-8 月,约占全年降雨量的 68%; 12 月-2 月降雨量很少,只占全年的 2%。春季和秋季降雨量相近,分别占全年降雨量的 13%、17%。可见降雨量的年内分配极其不均匀。因此需要合理安排水资源,提供缺水季节生产生活用水。

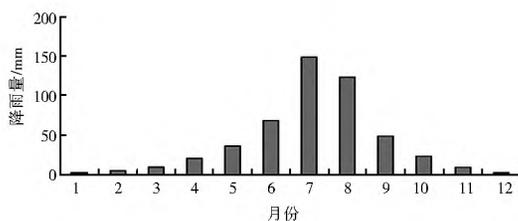


图 3 海河流域 1960 年-2010 年月平均降雨量

Fig. 3 Monthly average precipitation in Haihe River Basin from 1960 to 2010

3.1.2 累计距平曲线法分析

累积距平曲线上升阶段表示降雨增加,下降阶段表示降雨减少。从流域平均降雨量累积距平曲线图可以看出(图 4),年降水量累积距平曲线在 1996 年出现最高点,1960 年出现最低点。1964 年-1976 年、1985 年-1993 年累积距平曲线波动较小,降雨相对稳定。1960 年-1965 年、1972 年-1979 年 1993 年-1996 年为累积距平曲线的上升段,1979 年-1984 年、1996 年-2010 年为累积距平曲线的下降段,在每个段中均有若干个较小的升降波动段。

使用累积距平曲线与线性回归对降雨量分析,两者所得结果大体一致。尤其是自 1996 年以后,海河流域年际降雨量下降趋势尤为明显,可达 5.18 mm/a。可见,该下降趋势

短期内若不能改变,势必会进一步加剧海河流域水资源短缺的局面。如何在降水减少的条件下合理配置水资源,既满足流域生态系统健康发展的需求,又能满足工农业及居民用水,相关部门应给予重视。

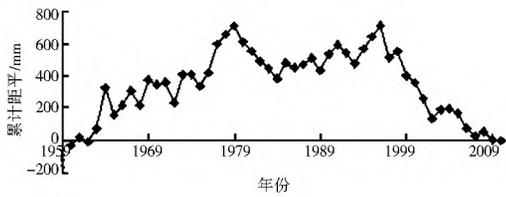


图4 海河流域降水量累计距平曲线

Fig. 4 Precipitation cumulative anomaly curve in the Haihe River Basin

3.1.3 皮尔逊Ⅲ型曲线法分析

对1960年-2010年多年平均降雨量进行频率计算,采用P-III频率曲线类型,频率计算公式采用数学期望公式。得到的频率曲线见图5,统计参数为: $E_x = 506.48$, $C_v = 0.19$, $C_s = 0.30$ 。得出相应频率在25%、50%、75%、90%以上年降雨量分别为568.5 mm, 501.7 mm, 439.2 mm, 386.7 mm, 见表1。

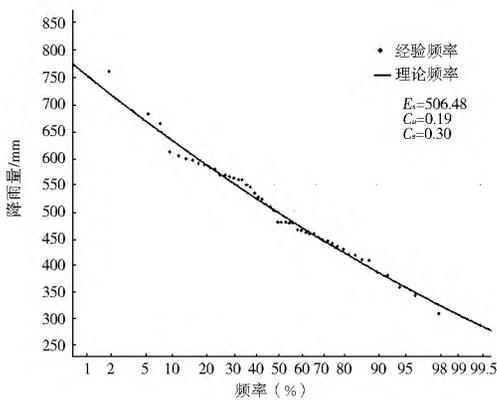


图5 优化后理论频率曲线与经验点拟合图

Fig. 5 Fitting curve between the optimized theoretical frequency and experience points

表1 海河流域不同保证率年降雨量

Tab. 1 Annual precipitation under different guarantee rates in the Haihe River Basin

系列	统计参数			不同频率的降水量/mm			
	C_v	C_s/C_v	多年平均	25%	50%	75%	90%
1960-2010	0.19	1.58	506.5	568.5	501.7	439.2	386.7

按 $P < 25\%$ 时为丰水年, $P = 25\% \sim 50\%$ 之间的为平水年, $P > 50\%$ 的为枯水年。根据降雨量资料计算,丰水年仅有12 a,占实测资料的24%;平水年有13 a,占实测资料的25%;枯水年有26 a,占实测资料的51%。可见海河流域水资源短缺情况很严重,合理分配和利用水资源,进行水资源规划管理,尤为重要。

3.2 降水空间变化特征分析

利用海河流域内25个气象站51a降雨量的均值(表2),运用ArcGIS空间分析生成等值线,见图6。从图中可以看出,海河流域降雨量在空间分布总体上自南向北递减。其中,存在两个降水大值中心,分别是青龙、遵化沿海一带和五台山等太行山区,多年年降水量达到650 mm以上,五台山多年降水量最高,在700 mm以上。大同、怀来、张家口、多伦等靠近内陆地区降雨量较少,且年际变化不大。

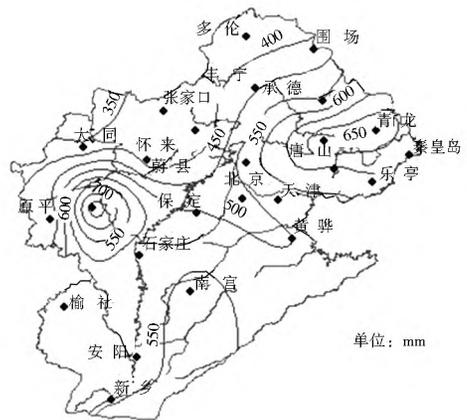


图6 海河流域降雨量等值线

Fig. 6 Precipitation contours in the Haihe River Basin

表2 各站点年均降雨量 p 、 C_v 、 C_s 统计

Tab. 2 P , C_v , and C_s statistics of each meteorological station

站点	年均降雨量 / mm	变差系数 C_v	偏态系数 C_s	站点	年均降雨量 / mm	变差系数 C_v	偏态系数 C_s
大同	359.4	0.22	0.22	五台山	724.2	0.25	0.50
蔚县	384.0	0.22	0.15	原平	405.2	0.29	0.43
石家庄	508.7	0.36	1.23	榆社	522.2	0.24	0.27
安阳	540.7	0.31	0.83	新乡	550.0	0.30	0.62
多伦	364.5	0.20	0.12	丰宁	443.7	0.20	0.15
围场	418.6	0.21	0.61	张家口	387.5	0.23	0.08
怀来	364.5	0.22	0.10	承德	500.7	0.22	0.14
遵化	689.6	0.29	0.58	青龙	671.5	0.29	0.95
秦皇岛	608.6	0.30	0.88	北京	528.1	0.30	0.36
廊坊	489.2	0.38	1.06	天津	515.3	0.28	0.50
唐山	582.0	0.27	0.46	乐亭	579.3	0.29	0.36
保定	503.4	0.31	0.85	黄烨	565.9	0.32	0.76
南宫	461.7	0.31	0.30				

4 结语

应用线性回归、累计距平和皮尔逊 \hat{O} 型频率曲线分析海河流域近 51 年的降雨量时空变化特征,初步得出以下结论。

(1) 时间变化特征。年降雨量呈现下降趋势(约 $-16.3 \text{ mm}/(10\text{a})$),自 1996 年以来下降趋势尤为明显。降雨年内分配极不均匀,降雨多集中在 7 月和 8 月,约占据全年降水的 50%。

(2) 空间变化特征。总体上由南向北降雨量逐渐减少,高值中心出现在五台山站山区和遵化站沿海一带附近,五台山多年降水量最高,可达 700 mm 以上,青龙、遵化沿海一带多年年降水量达到 650 mm 以上。各站点变化趋势、变化幅度均不相同,廊坊站点年际变化最大, C_v 值为 0.38,多伦站点的年际变化最小, C_v 值为 0.20。

对海河流域 51 年的数据分析可以看出:年降水量的减少是造成海河流域水资源危机的主要原因之一,该下降趋势短期内若不能改变,势必会进一步加剧海河流域水资源短缺的局面。而造成海河流域近 50 年降雨量明显呈下降趋势的原因涉及气候、地形、下垫面和人类活动等多方面因素,因此,对海河流域降雨的研究要考虑多种因素的综合作用,其成因机理涉及到大气科学、生态学、水文学、环境科学和地球科学等多学科,有待于相关工作者进一步开展多学科交叉研究。

参考文献(References):

- [1] 海河志编纂委员会.海河志(第一卷)[M].北京:中国水利水电出版社,1997.(Haihe river compilation committee. Haihe river (volume 1) [M]. Beijing: China Water & Power Press, 1997. (in Chinese))
- [2] 陈峪,高歌,任国玉,等.中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J].自然资源学报,2005,20(5):637-643.(CHEN Yu, GAO Ge, REN Guo yu, et al. Spatial and temporal variation of precipitation over ten major basins in China between 1956 and 2000[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 637-643. (in Chinese))
- [3] 苏布达,姜彤,任国玉,等.长江流域 1960-2004 年极端强降水时空变化趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):9-14.(SU Bu da, Jiang Tong, REN Guo yu, et al. Observed trends of precipitation extremes in the Yangtze river basin during 1960 to 2004[J]. Advances In Climate Change Research, 2006, 2(1): 9-14. (in Chinese))
- [4] Su B D, Jiang T, Jin W B, et al. Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2006, 83(1-4): 139-151.
- [5] Dai X, Wang P, Chou J, et al. Multiscale characteristics of the rainy season rainfall and interdecadal decaying of summer monsoon in North China [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(24): 2730-2734.
- [6] Johnson K R, Ingram B L. Spatial and temporal variability in the stable isotope systematics of modern precipitation in China: implications for paleoclimate reconstructions [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 220(3): 365-377.
- [7] 袁喆,杨志勇,郑晓东,等.近 50 年来淮河流域降水时空变化特征分析[J].南水北调与水利科技,2012,10(2):98-103.(YU AN Zhe, YANG Zhi yong, et al. ZHENG Xiao dong. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe river basin in recent 50 years [J]. The south to North Water Diversion and water conservancy science and Technology Periodicals, 2012, 10(2): 98-103. (in Chinese))
- [8] 张宏利,陈豫,任广鑫,等.近 50 年来渭河流域降水变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):236-241.(ZHANG Hong li, CHEN Yu, REN Guang xin, et al. The characteristics of precipitation variation of Weihe River Basin in Shanxi Province during recent 50 years [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(4): 236-241. (in Chinese))
- [9] 张晓,李净,姚晓军,等.近 45 年青海省降水时空变化特征及突变分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(5):6-12.(ZHANG Xiao, LI Jing, YAO Xiao jun, et al. Characteristics of precipitation variation and the abrupt change over Qinghai in recent 45 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(5): 6-12. (in Chinese))
- [10] 杨东,刘洪敏,郭盼盼,等.1956-2008 辽宁省近 53 年的降水量变化[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):96-101.(YANG Dong, LIU Hong min, GUO Pan pan, et al. The precipitation changes in Liaoning during 1956-2008 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(1): 96-101. (in Chinese))
- [11] 李钦伟,张端梅.吉林省九台市作物生育期降水量特征分析[J].吉林水利,2014(1):48-51.(LI Qin wei, ZHANG Du an mei. Analysis of characteristics of precipitation of crop growth period in jiutai city, jilin province [J]. Jilin Water Resources, 2014(1): 48-51. (in Chinese))
- [12] L ozowski E P, Charlton R B, Nguyen C D, et al. The use of cumulative monthly mean temperature anomalies in the analysis of local interannual climate variability [J]. Journal of Climate, 1989, 2(9): 1059-1068.
- [13] 姚允龙.频率曲线法及皮尔逊 \hat{O} 型曲线在水质评价中的应用探讨[J].水文,2001,21(1):42-43.(YAO Yun long. Application of frequency distribution curve and Pearson III distribution curve to water quality assessment [J]. Journal of hydrology, 2001, 21(1): 42-43. (in Chinese))
- [14] 任伯帜,许仕荣.皮尔逊 \hat{O} 型分布统计参数的确定[J].中国给水排水,2001,17(1):40-42.(REN Bo zhi, XU Shi rong. Determination of Pearson type III distribution statistical parameters [J]. China Water & Waste water, 2001, 17(1): 40-42. (in Chinese))
- [15] Wallis J R, Wood E F. Relative accuracy of log Pearson III procedures [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111(7): 1043-1056.