

河北省降水时空变化特征分析

张晓龙, 黄领梅, 沈冰

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安, 710048)

摘要: 基于 ArcGIS 的样条函数插值利用 Mann-Kendall 法和 R/S 分析, 对河北省内周边共 43 个气象站的降水序列进行分析研究。结果表明: 在空间分布上, 遵化、沧州及石家庄以西为多雨区, 坝上为少雨区, 降水等值线在山区的梯度较大。在时间分布上, 汛期降水占全年降水 62%~74%。降水代际呈下降趋势, 但 20 世纪 80 年代-90 年代呈上升之势; 而各年代的降水空间分布无明显变化。全省大部分地区降水均呈下降趋势, 下降最显著的是石家庄以西地区, 达 -4 mm/a 。全省除沧州、廊坊、石家庄一带大部分地区年降水未来总体趋势和过去趋势一致, 持续下降, 而沧州、廊坊、石家庄等地未来趋势与过去相反或趋势变化不明显。

关键词: 降水; Mann-Kendall 趋势检验; R/S 分析; 河北省

中图分类号: TV12 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)02-0140-04

Analysis of feature of temporal and Spatial changes of precipitation in Hebei Province

ZHANG Xiaolong, HUANG Lingmei, SHEN Bing

(Key Laboratory of Northwest Water Resource and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on spline function interpolation of ArcGIS, the paper applied mann-kendall test and rescaled range analysis(R/S) method to research the long-term series of precipitation at 43 meteorological stations in Hebei and neighboring provinces. The results show that in spatial distribution, Zunhua, Cangzhou and west of Shijiazhuang are the more precipitation regions, but Bashang is the region lack of precipitation. The rainfall isoline gradient of mountains is the larger than that of plain areas. In temporal distribution, the 62%~74% of whole year's precipitation is concentrated on flood season. Precipitation of decades is on decline, but it was rising in 1980s and 1990s. Under different decades, the spatial distribution of precipitation has no obvious change. Meanwhile, the precipitation presents a decreasing trend in most parts of Hubei province, especially the west of Shijiazhuang with -4 mm/a . In addition, the future trend of annual precipitation will continue to decline as the past in most parts except Cangzhou, Langfang and Shijiazhuang.

Key words: precipitation; mann-kendall trend test; R/S method; Hebei province

河北省位于我国北温带大陆东岸, 面海背陆, 西北部为山地, 平原展布在东南方。受地理位置和地貌的影响, 季风现象显著。河北省人均水资源占有量 307 m^3 , 为全国平均值的 $1/7$, 而天然降水少, 其年平均地表水资源量是 151.5 亿 m^3 , 不足全国的 0.6% 。“有河皆干, 有水皆污”已经成为河北水资源状况的真实写照。目前, 城市供水靠挤占农业用水来保障, 农业用水靠节水灌溉和集雨旱作来维持,

全省用水主要靠超采地下水勉强支撑。干旱缺水已经严重影响经济社会发展, 生态环境不断恶化。因此, 研究河北地区的降水时空变化特征对水资源因地制宜的合理利用提供重要依据, 对促进经济社会的可持续发展具有重要的现实意义。

目前有很多趋势分析的方法, 如: 累积距平、滑动平均、二次平滑、R/S 分析、三次样条函数、Mann-Kendall(MK) 趋势检验法、小波分析等^[2-3]; 这些

收稿日期: 2013-11-04; 修回日期: 2013-11-28

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50939004)

作者简介: 张晓龙(1988-), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究。

通讯作者: 沈冰(1948-), 男, 浙江湖州人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区水文过程及水资源演变研究。

方法被广泛应用于气温、蒸发和降水的趋势分析中。空间特性分析及其应用广泛的是空间插值^[4],如:整体多项式法、反距离权重法、克里金插值法和样条函数插值等^[5],这些插值方法的比较结果各有优势与不足,其中样条函数插值较少被采用。

研究河北省降水量时空变化特征的文献较少,其中李春强等^[6-7]利用线性回归、M-K 检验方法和小波变换 Morlet 法对河北省近 40 年气温和降水变化特征进行分析。以往的研究仅采用省内各气象站资料,可能导致区域边界处误差较大;使用 Mann-Kendall 趋势检验时多是判断突变现象。针对以上情况,本文选用河北省内气象站 21 个,河北周边省份气象站 22 个,以降水量的空间分布特征为重点,分析河北省降水时空变化特征,以期对河北省气候变化提供依据,为经济社会发展提供重要参考。

1 数据来源及数据处理

本文所用的数据来自中国气象科学数据共享服务网。本文选用河北省 21 个气象站,河北省周围 22 个气象站(其中山东 4 个,河南 2 个,山西 5 个,内蒙古 5 个,辽宁 2 个,北京 2 个,天津 2 个)近 50 年(1961-2012)逐月观测资料。分析降水空间分布特征时选用各站点同期观测资料,采用插补延长保持数据的一致性。而分析降水年际规律时选用的是同年代已有站的同期观测资料。在进行 MK 趋势检验和 R/S 分析时,把时间序列较短的泊头站去除。

2 研究方法

2.1 Mann-Kendall(MK)法

Mann-Kendall 法^[8]是一种非参数统计检验方法。其优点是不一定需要样本遵从的特定分布,又不受少数异常值的干扰,计算过程比较简便,因此,此法在水文气象等领域得到了十分广泛的应用。

2.2 R/S 分析法

R/S 分析法(Rescaled Range Analysis)^[9]是反映序列的持续性的一种方法。R/S 分析法能将两个随机序列区分开来,并且进行非线性系统长期记忆过程的探寻。Hurst 等人证明,Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$ 存在 3 种情况:若 $0 < H < 0.5$,表明时间序列具有反持续性, H 值越接近于 0,反持续性越强;若 $0.5 < H < 1$,表明时间序列过程具有持续性, H 值越接近于 1,持续性越强;若 $H = 0.5$,表明时间序列变化是随机的。

2.3 样条函数插值(Spline)

样条函数^[10-11]通过一个使表面整体曲率减为最小的数学函数来估计单元值。样条函数插值采用两种不同的计算方法:Regularized spline(规则样条)和 Tension spline(张力样条)。Regularized spline 生产一个平滑、渐变的表面,插值结果可能会超出样本点的取值范围较多。Tension spline 根据要生成的现象的特征生成一个比较坚硬的表面,插值结果更接近限制在样本点的取值范围内。Regularized spline 插值时,权重(weight)越高表面越光滑。Tension spline 插值时,权重越高,表面越粗糙。与整体内插值函数相比,此法具有较好的保凸性和逼真性,同时也有良好的平滑性。

本文空间分布图(包括降水空间分布、降水倾斜率和 Hurst 指数空间分布)均基于 ArcGIS 中样条函数插值(使用 Regularized spline,权重为 0.1,N 为 6)。

3 结果及分析

3.1 降水的空间分布特征

图 1、2 为河北省降雨空间分布图。从图 1、2(用虚线表示京、津地区的等值线,下同)可以看出,河北省降水量在空间分布上有以下几个特征:

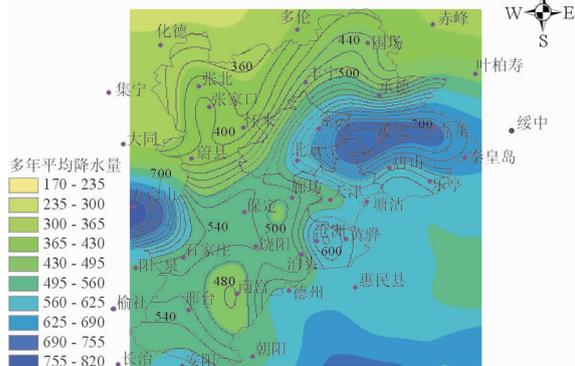


图 1 多年平均降水量的空间分布(单位:mm)

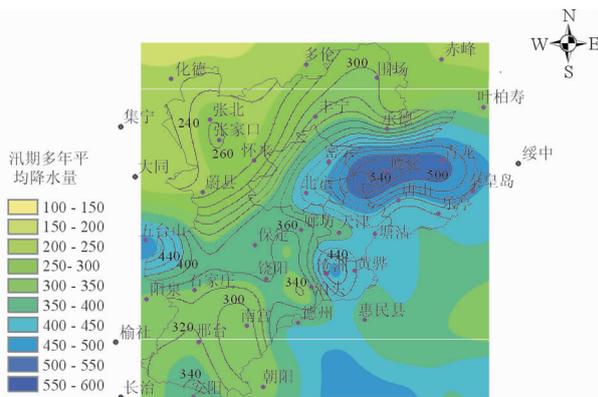


图 2 汛期多年平均降水量的空间分布(单位:mm)

(1)自东南向西北递减。遵化地区和沧州地区为多雨区,其中遵化地区年降水量达700 mm以上,沧州地区年降水量在600 mm以上,坝上地区为少雨区,普遍小于400 mm。汛期平均降水量分布类似。

(2)沿海多于内陆。唐山、沧州与其他地区相比,降水明显偏多,这主要是因为该区距离渤海较近,来自海上的东南气流在陆地抬升,容易产生降水。

(3)山地多于平原。由于山坡地形的抬升作用,暖湿气流在山前易成云降雨。由图1、2可知,无论年均降水还是汛期降水,其变化梯度较大区域是位于燕山山脉的承德地区和太行山脉的石家庄以西地区。

3.2 降水的时间特征

(1)根据观测资料计算出河北省各气象站离散系数,极值比。得到河北省各气象站年降水离散系数在0.18~0.48之间,汛期降水离散系数在0.24

~0.47之间。各气象站年降水极值比在1.02~5.55之间,汛期降水极值比在3.09~8.95之间,河北北部明显低于南部地区。汛期降水占全年降水的62%~74%。

(2)通过算术平均法计算出河北省各年代平均降水量,见图3。20世纪90年代前处于下降趋势,90年代后开始上升,但是2000年以后降水量又开始下降,这一结论与文献^[12]中关于华北地区近50年降水量变化趋势的结论基本一致。

本文分析1960s-2000s的降水空间分布,由于篇幅所限,仅显示1960s、1980s和2000s降水空间分布图,如图4~6。可以看出降水的空间分布在代际尺度上无明显变化,降水量最大值分布在东北部的遵化一带,最小值分布在西北部的坝上一带,梯度分布也与多年平均降水量的空间分布相似;值得注意的是冀南一带降水梯度有变小趋势。

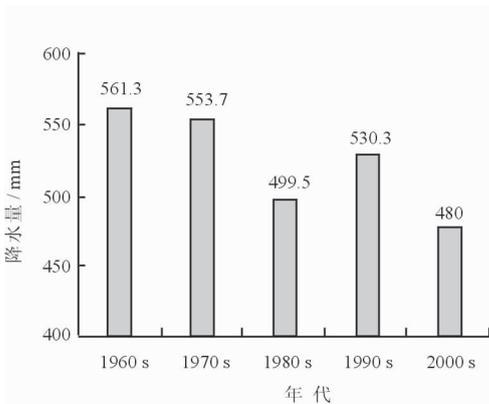


图3 各年代平均降水量图

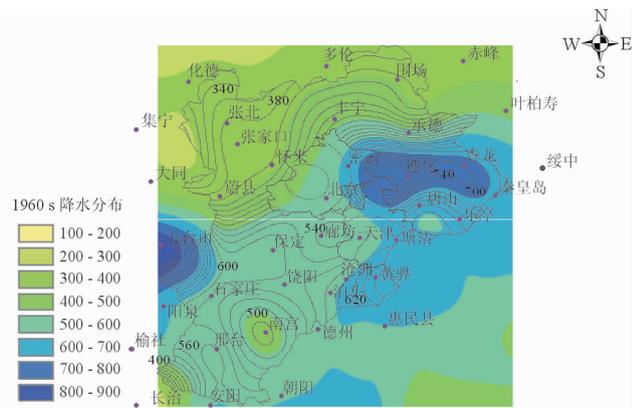


图4 1960s降水空间分布图

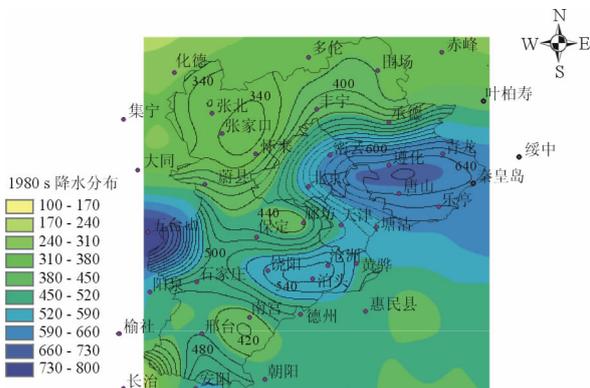


图5 1980s降水空间分布图

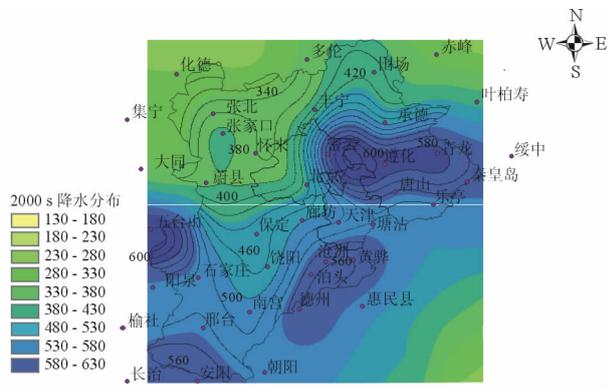


图6 2000s降水空间分布图

3.3 年降水序列趋势特征

利用Mann-Kendall法计算出年降水Mann-Kendall统计检验值和年降水倾斜率。由结果可知,河北地区各气象站降水量均呈下降趋势,倾斜率在-0.05~-3.29 mm/a之间,只有丰宁站、怀来站和

遵化站通过0.05水平显著性检验,其中怀来站通过0.01水平的显著性检验。由空间插值得到年降水倾斜率空间分布图图7可知,河北降水量下降趋势最显著的是石家庄以西的太行山脉地区,达-4 mm/a;以及遵化附近的燕山山脉地区,达-3.56

mm/a;而插值结果显示唐山沿海地区降水量微量增加,未通过显著性检验。

3.4 年降水持续性特征

对河北及周边地区的 43 个气象站的年降水序列进行 R/S 分析,得出相应的 Hurst 指数,Hurst 指数范围在 0.31 ~ 0.67 之间。由空间插值得到年降水 Hurst 指数空间分布图图 8 可知:Hurst 指数大于

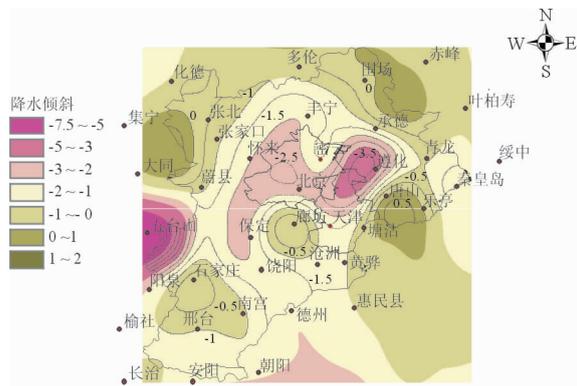


图 7 年降水倾斜率空间分布图

0.5 的地区分布在河北北部及石家庄以西的太行山地区,小于 0.5 地区主要在廊坊、沧州一带,证明河北大部分地区年降水总体趋势与过去趋势一致,会持续减少,而廊坊、沧州及石家庄一带的年降水总体趋势与过去相反。但是值得注意的是,廊坊、沧州一带下降趋势不明显,故廊坊、沧州及石家庄降水量未来呈上升趋势可信度也就不高。

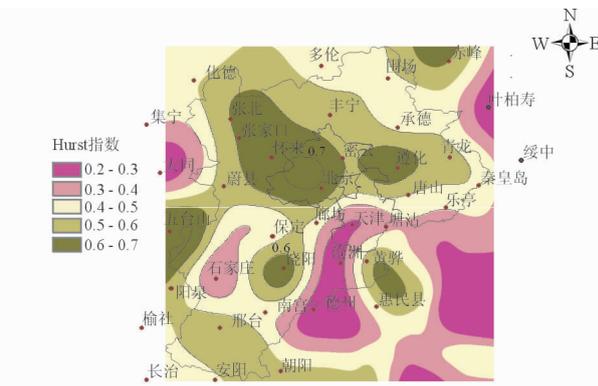


图 8 年降水 Hurst 指数空间分布图

4 结 语

本文利用 ArcGIS 的样条函数插值、Mann - Kendall 法对河北省内周边共 43 个气象站的降水序列进行分析,得出河北省降水时空分布特征和长期趋势检验,并用 R/S 分析未来降水趋势。结论如下:

(1)遵化、沧州及石家庄以西为多雨区,坝上为少雨区,沿海降水量多于内陆,山地多于平原,降水等值线在山区的梯度较大。

(2)汛期降水占全年降水 62% ~ 74%。20 世纪 90 年代前降水呈下降趋势,90 年代后上升,但 2000 年以后又呈下降趋势;而各年代的降水空间分布无明显变化,仅冀南一带降水梯度变小。

(3)河北全省降水均呈下降趋势,倾斜率在 $-0.05 \sim -3.29$ mm/a 之间,降水量下降最显著的是石家庄以西地区,达 -4 mm/a,遵化地区达 -3.56 mm/a;只有唐山沿海的小部分为 0.5 mm/a。

(4)河北省除沧州、廊坊、石家庄一带大部分地区年降水总体趋势和过去趋势一致,而沧州、廊坊等地未来趋势与过去相反或趋势变化不明显。

河北地区特别是冀中平原长期以来就是干旱易发生区^[13],降水量偏少,加上时空分布不均限制了水资源的有效利用。以上分析结果表明:河北大部分地区降水量呈下降趋势,并将保持此趋势,这使得水资源危机不仅得不到解决,而且有加重趋势。该

区经济建设能否持续改善,取决于其水资源环境能否持续发展。为了缓解水资源的短缺状况,既要采取供给管理的适应性措施(如南水北调和提高洪水利用能力等),又应采取需求管理的适应性措施(如水价政策和采用节水技术)^[14-15]。河北地区发展必须优先解决水资源问题。此外,对于降水呈减少趋势的成因以及对未来的影响有待深入研究。

参考文献:

- [1] 高翔,郝卫平,顾峰雪,等. 降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响[J]. 生态学报,2012,32(24):7883 - 7893.
- [2] 张晓伟,沈冰,孟彩侠. 和田绿洲水文气象要素分析特征与 R/S 分析[J]. 中国农业气象,2008,29(1):12 - 15.
- [3] 任崇勇,李瑞英. 鲁西南地区近 50 年气候变化特征及 R/S 分析[J]. 中国农学通报,2012,28(11):301 - 305.
- [4] 朱晖,马孝义,李忠娟,等. 基于 GIS 的宝鸡峡降水量的空间插值方法分析[J]. 中国农村水利水电,2012(12):45 - 48.
- [5] 江善虎,任立良,雍斌,等. 老哈河流域降水的空间插值方法比较[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(1):80 - 84.
- [6] 李春强,杜毅光,李保国,等. 河北省近四十年(1965 - 2005)气温和降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(7):1 - 7.
- [7] 李春强,杜毅光,李保国. 1965 - 2005 年河北省降水量变化的小波分析[J]. 地理科学进展,2010,29(11):1340 - 1344.

(下转第 148 页)

4 结 语

(1)在收集 2007 - 2011 年颍河流域的水质监测数据、污染物统计数据和社会经济统计数据的基础上,共选择了 23 个指标,利用 PSR 模型建立了阜阳市颍河流域水环境评价体系。

(2)通过 PSR 模型和层次分析法分析可得,阜阳市颍河流域的污城镇生活污染源、工业污染源和农业面源污染对颍河流域的影响作用比较平均,农业面源污染最大,工业污染源和城市生活污染源次之,工业污染的影响在逐渐增大。

(3)“十一五”期间重点工业污染源治理和污染减排项目的实施取得了一定的成效,研究区域水环境得到改善。这为“十二五”治理颍河流域水环境提供了依据。

参考文献:

- [1] 吴开亚,金菊良,魏一鸣,等. 基于指标体系的流域水安全诊断评价模型[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008,47(4):105 - 113.
- [2] Ministry for the Environment of New Zealand. The pressure - state - response framework[EB/OL]. [2004 - 05 - 19]. <http://www.qualityplanning.org.nz/monitoring>.
- [3] Myriam linster. Organization for economic cooperation and developmental indicators: development measurement and use[EB/OL]. [2004 - 05 - 20]. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>.
- [4] 陈甲球. PSR 模型在资源环境保护中的应用分析[J]. 石材,2006(7):28 - 30.
- [5] 聂艳. 耕地质量评价的模型方法与信息系统集成及应用研究[D]. 武汉. 华中农业大学,2005.

- [6] 左伟,周慧珍,王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤,2003,35(1):2 - 7.
- [7] 陈绍金. 水安全系统评价、预警与调控研究[M]. 北京. 中国水利水电出版社,2006.
- [8] 逯元堂. 国家环境安全评估体系研究[D]. 北京:中国环境科学研究院,2004.
- [9] 崔 婧. 金华市水安全评价[D]. 杭州:浙江师范大学,2007.
- [10] Kamiyama N. Designing data center networks using analytic hierarchy process[C]//. Computer Communications and Networks (ICCCN), Proceedings of 19th International Conference, Zurich, Switzerland, 2010.
- [11] 李琳. 基于 PSR 模型的镇江市水环境安全评价研究[D]. 镇江:江苏大学,2010.
- [12] Ren Shaoyun. Evaluation of ship traffic control safety based on analytic hierarchy process[C]//. International Conference Technology and Automation(ICICTA), 2010 International Conference Changsha, China, 2010.
- [13] Wang Y M, Chin K S, Leung J P F. A note on the application of the data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection[J]. International Journal of Production Research,2009,47(11):3121 - 3138.
- [14] Constantin Bratianu, Ivona Orzea. Knowledge strategies analysis by using the analytic hierarchy process[J]. IUP Journal of Knowledge Management, 2012,10(2):7 - 21.
- [15] Mukherjee Bani, Das Pitamber. The use of the analytic hierarchy process as a tool for selection of important factors for the multi-disciplinary evaluation of medical devices[J]. International Journal of Academic Research, 2010,2(1):37 - 42.
- [16] 郭鑫,赵林,刘年磊,等. 基于 PSR - AHP 的衡水市生态环境质量评价及预测[J]. 环境科技,2011,24(2):53 - 56 + 59.

(上接第 143 页)

- [8] 徐宗学,孟翠玲,赵芳芳. 山东省近 40a 来的气温和降水变化趋势分析[J]. 气象科学,2007,27(4):387 - 393.
- [9] 文聘,沈冰,黄领梅. 西安及附近地区降水量时空变化规律分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):42 - 46 + 50.
- [10] 池建,等. 精通 ArcGIS 地理信息系统[M]. 北京:清华大学出版社,2011.
- [11] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006:262 - 263.
- [12] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):238 - 244.
- [13] 严登华,袁喆,杨志勇,等. 1961 年以来海河流域干旱时空变化特征分析[J]. 水科学进展,2013,24(1):34 - 41.
- [14] 魏智敏. 海河流域干旱缺水状况与解决对策探讨[J]. 海河水利,2003(6):5 - 8.
- [15] 王金霞,李到浩,夏军,等. 气候变化条件下水资源短缺的状况及适应性措施:海河流域的模拟分析[J]. 气候变化研究进展,2008,4(6):336 - 341.