



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.008

刘丽红, 颜冰, 肖柏青, 等. 1960年-2010年淮河流域降水量时空变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 43-47, 66. LIU Lihong, YAN Bing, XIAO Baiqing, et al. Characteristics of the precipitation variation in Huaihe River Basin during 1960-2010[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 43-47, 66. (in Chinese)

1960年-2010年淮河流域降水量时空变化特征

刘丽红¹, 颜冰¹, 肖柏青¹, 李娴²

(1. 安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001; 2. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 合肥, 230000)

摘要: 采用淮河流域25个代表性站点降水量资料, 运用线性回归法、累计距平法以及 Mann-Kendall 趋势检验与突变检验的方法综合分析了该流域降水量在时间上与空间上的变化特征。结果表明: 在时间尺度上, 淮河流域多年降水量总体上呈现微弱的上升趋势, 但中间多年都保持下降的趋势, 突变起始年为1965年; 在空间尺度上, 淮河流域降水量由南向北逐渐减少, 上游、中游多呈现上升趋势, 下游多呈现下降趋势。对淮河流域时空上的降水量的趋势特征和突变特征分析, 可以为淮河流域的洪涝灾害防治提供参考依据。

关键词: Mann-Kendall; 趋势检验; 突变检验; 累计距平; 淮河流域

中图分类号: TV125; P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0043-05

Characteristics of the precipitation variation in Huaihe River Basin during 1960-2010

LIU Lihong¹, YAN Bing¹, XIAO Baiqing¹, LI Xian²

(1. College of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China

2. College of Civil Engineering and Water Conservancy, Hefei University of Technology, Hefei 230000, China)

Abstract: With linear regression method, the accumulative anomaly curve method, Mann-Kendall trend and mutation test, spatial and temporal characteristics of precipitation variation were analyzed by using precipitation data of 25 representative stations in Huaihe River Basin during 1960-2010. The results indicated that there was a slight increase in annual precipitations of Huaihe River Basin generally, but a decrease trend was observed all the time during intermediate years and mutation starting year is 1965; On a spatial scale, the precipitation decreased gradually from south to north in Huaihe River basin. Upstream and mid-stream showed an ascendant trend, and downstream almost presented an increasing trend. The precipitation trend and mutation characteristics on space and time were analyzed in this study, which provides a reference for the flood disaster prevention in Huaihe River basin.

Key words: Mann-Kendall; trend test; mutation test; accumulative anomaly; Huaihe River Basin

旱灾洪涝是我国常见的气候灾害。近年以来, 极端天气频发, 给我国带来了严重的经济损失, 同时对人民的生命财产安全造成重大影响。旱灾洪涝的频发的主要原因是由于降水量的时空分布不均匀。所以对降水的时空分布特征研究, 有利于了解旱涝

的变化特征, 为防治旱灾洪涝提供参考^[1-5]。

对于降水变化特征, 人们通常采用小波分析^[7]、水文频率曲线法和 R/S 分析法进行研究, 如王澄海等利用小波分析对近 50 年中国降水变化的准周期性特征及未来的变化趋势研究^[5-9]; 周陈

收稿日期: 2015-11-29 修回日期: 2016-01-06 网络出版时间: 2016-05-05
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1055.002.html>
基金项目: 国家自然科学基金(41201017)

Fund: National Natural Science Foundation of China(41201017)

作者简介: 刘丽红(1980), 女, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 主要从事地下水资源评价与管理, 地下水与生态环境研究。E-mail: liulihongsheng@163.com

超等利用累计距平曲线法分析了青海省近 50 年来水资源变化趋势^[10]；钟平安等利用 Hust 指数 R/S 分析方法研究了淮河流域主汛期降水演变规律^[11]。但是在淮河流域，综合运用 Mann-Kendall 趋势检验与突变检验的相关研究成果很少。国内外许多研究表明，在水文气象时间序列中使用非参数检验方法比使用经典的统计方法参数检验在非正态分布的数据和检验中更为合适^[12-14]。因此，本文基于 Mann-Kendall 检验法、线性回归法和累计距平法，综合分析淮河流域 25 个站点 1960 年-2010 年降水变化特征，为淮河流域的洪涝灾害防治提供参考依据。

1 研究区概况

淮河流域地处我国东部，介于长江和黄河两流域之间，位于东经 111°55′~121°25′，北纬 30°55′~36°36′。研究区为我国南北气候过渡带，属暖温带半湿润季风气候区，气候温和，年平均气温为 11℃~16℃，气温变化由北向南、由沿海向内陆递增；蒸发量南小北大，年平均水面蒸发量为 900~1500 mm；无霜期 200~240 d。流域多年平均降水量约为 860 mm，其分布状况大致是由南向北递减，山区多于平原，沿海大于内陆。降水季节特点是：春冬干旱少雨，夏秋闷热多雨，冷暖和旱涝转变急剧。



图 1 淮河流域站点分布

Fig. 1 Stations location of Huaihe River Basin

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

淮河流域的降水量资料来自于水利部淮河水利委员会，文中选取了 1960 年-2010 年淮河流域 25 个地面测站(图 1)51 年逐月的降水量资料。

2.2 研究方法

长时间序列的趋势与突变分析方法中，Mann-Kendall 检验法是由世界气象组织(WMO)推荐并已广泛使用的非参数检验方法。Mann-Kendall 检验法的优点是其样本不需要遵从某一特定的分布，

也不受少数异常值的干扰，可以很好地揭示整体时间序列的突变情况与趋势变化。

假定气候变化是稳定的，时间序列相互独立，且保持相同连续分布^[15]。对于具有 n 个样本量的时间序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，检验的统计量 S 计算见式(1)。

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad k \neq j \text{ 且 } k, j \leq n \quad (1)$$

$$\text{其中: } \text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

S 为正态分布，其均值为 0，方差为

$$\text{Var}(S_k) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (3)$$

当为长时间序列时，即 $n > 10$ 时，标准的正态统计变量计算见式(4)。

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

先给定置信水平 α ，如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ，即在置信水平上，说明时间序列存在一定程度上的上升或下降趋势。显著性检验的置信度为 90%、95% 和 99% 时， $|Z|$ 分别大于等于 1.28、1.64 和 2.32。

Mann-Kendall 检验在序列突变检验时^[16]，对于这 n 个样本量 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，构成一秩序列：

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

式中：当 $x_j > x_i$ 时， $r_i = 1$ ；当 $x_j \leq x_i$ 时， $r_{0i} = 0 (j=1, 2, \dots, i)$ 。

定义统计量：

$$UF_k = [S_k - E(S_k)] / \sqrt{\text{Var}(S_k)} \quad (6)$$

$$E(S_k) = n(n-1)/4 \quad (7)$$

$$\text{Var}(S_k) = n(n-1)(2n+5)/72 \quad (8)$$

UF_k 为标准正态分布， $UF_1 = 0$ ， UF_k 是根据时间序列 x_i 计算出的统计序列，再按照时间序列逆序 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 ，重复进行上面的步骤，得出 UB_k 统计序列，同时令 $UB_k = -UB_k (k=n, n-1, \dots, 1)$ ， $UB_1 = 0$ 。给出显著水平 α ，如 $\alpha=0.05$ ，查正态分布表，得临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。

通过对统计序列 UF_k 和 UB_k 的分析可深入分析序列 x_i 的变化趋势和明确突变的起始时间^[17-18]。当 UF_k 大于 0 时，序列呈上升趋势，反之呈下降趋势，若 UF_k 超过临界值时则说明上升或下降趋势显著。当 UF_k 曲线与 UB_k 曲线出现交点时，且交点在临界值中间，则突变开始的时间就是交点所对应的时间。

3 结果分析

3.1 降水量的时间变化特征

对淮河流域 1960 年-2010 年 25 个代表性站点年均降水量进行线性回归分析,结果显示(图 2)流域降水整体上呈现微弱的上升趋势,降水量多集中在 700~1 000 mm 之间,多年均值为 860 mm。淮河流域降水量随季节性变化非常明显,夏季降水量占到了年降水量的一半以上,春季与秋季降水量相差不大(图 3、图 4),冬季的降水量甚至不足全年降水量的 10%。年内降水量随季节变化而严重分配不均。

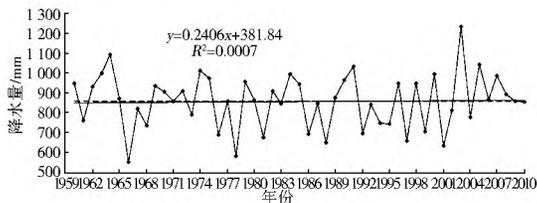


图 2 年际降水量线性回归分析

Fig. 2 Linear regression analysis of annual precipitation

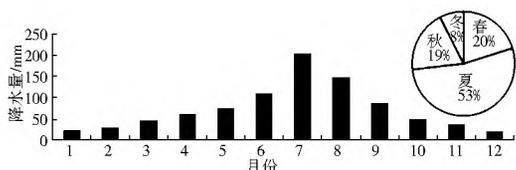


图 3 月均降水量及季度降水量百分比

Fig. 3 Monthly precipitation and seasonal precipitation percentage

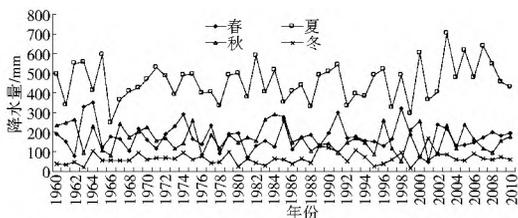


图 4 季均降水量

Fig. 4 Seasonal precipitation

从淮河流域 1960 年-2010 年年均降水量累计距平计算结果(图 5)来看,1961 年-1965 年、1968 年-1975 年、1981 年-1985 年、1988 年-1991 年和 2002 年-2010 年为累计距平线的上升段,1965 年-1968 年、1975 年-1981 年、1985 年-1988 年和 1991 年-2002 年为累计距平线的下降段,同时在每个上升或下降的时段内会出现轻微的上下波动。图 6 表明春秋季节多年降水量先上升再下降,冬夏季节多年降水量先下降后上升。对比图 5 和图 6,夏季的降水量累计距平线与年均累计距平线变化趋势相近,表明夏季的降水量趋势基本代表年均降水量

的变化趋势。

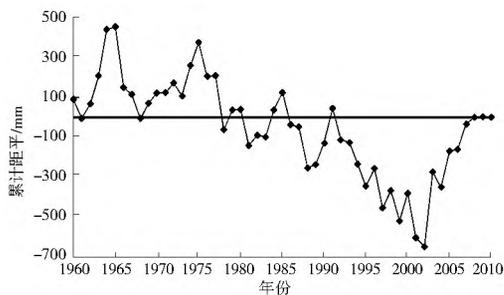


图 5 年际降水量累计距平

Fig. 5 Accumulative anomaly of annual precipitation

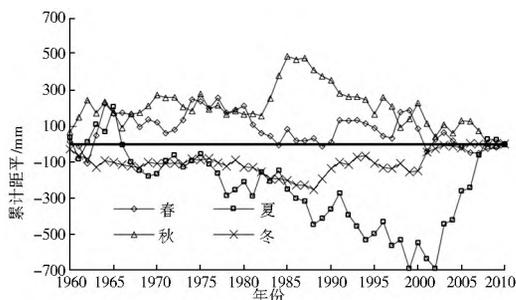


图 6 季均降水量累计距平

Fig. 6 Accumulative anomaly of seasonal precipitation

通过 Mann-Kendall 突变检验,对流域降水时间序列的趋势与突变进行分析,发现淮河流域年均降水量从 20 世纪 60 年代开始呈现下降趋势,在 1960 年-1965 年 UF 曲线与 UB 曲线发生三次相交,1965 年为突变的起始年(图 7(a))。从 1966 年之后的 10 年内 UF 统计值都小于 0 但没有超过临界值,表明降水量呈现下降的趋势但趋势不明显。1976 年前后这段时间降水量趋于平缓状态,在 1976 年之后降水量一直保持下降的趋势,同样下降程度很小,尤其是在本世纪头 10 年末期,降水量的变化趋势基本趋于水平。在 2002 年、2004 年 UF 曲线与 UB 曲线出现相交,通过 2005 年-2010 年 UF 曲线变化,可以预测在未来的几年内淮河流域的降水量会呈现相对稳定状态,无显著上升或下降趋势。春秋季节的降水量的趋势性与突变性表现不强(图 7(b)、7(d)),变化比较缓和;夏季降水量的变化特征与年均降水量的变化特征相似(图 7(c)),突变的起始年为 1966 年;冬季的降水量为持续上升的趋势(图 7(e)),突变的起始年是 1966 年,在 20 世纪 70 年代上升趋势显著。

3.2 降水量的空间变化特征

通过流域降水量等值线图和趋势检验等值线图,对流域降水量空间变化特征进行分析。图 8 可以看出淮河流域的降水量在 500~1 200 mm 之间,由北向南逐渐增加。Mann-Kendall 趋势检验的统

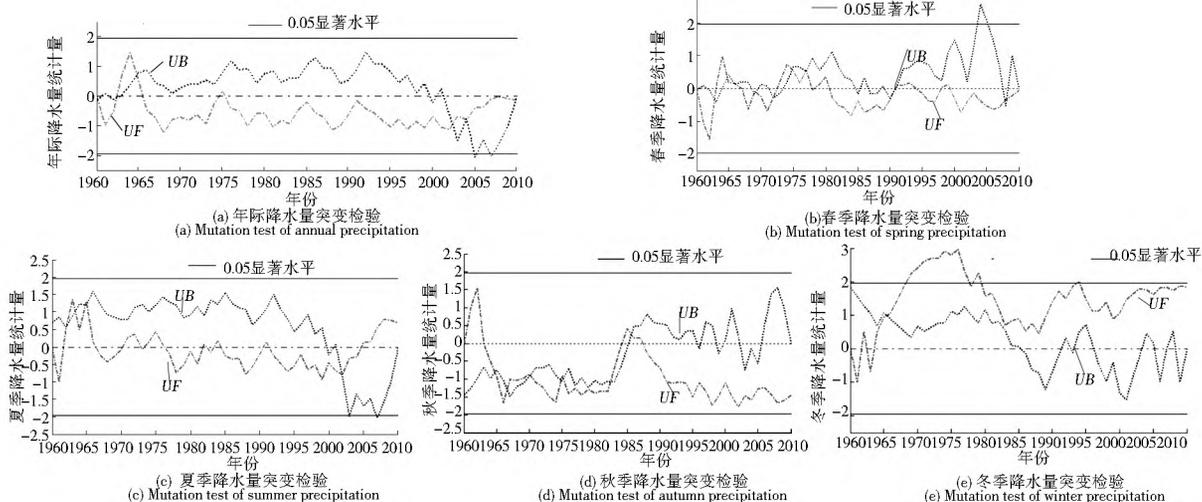


图 7 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 7 Mann-Kendall mutation test

计量等值线图表明: 在淮河流域的上游统计量值多大于 0, 各站点降水量多呈现上升趋势; 在淮河流域的下游统计量值多小于零, 各站点的降水量多呈现下降的趋势(图 8(a))。春季降水量变化趋势较小, 规律性不强(图 8(b)); 夏季北部降水量呈上升趋

势, 南部降水量多为下降趋势(图 8(c)); 秋季与冬季在整个流域上降水量变化明显, 秋季各站点降水量基本上都有所下降, 冬季各站点降水量基本上都有所上升(图 8(d)、图 8(e)), 反差比较强烈, 应与全球的气候变暖有较大关系。

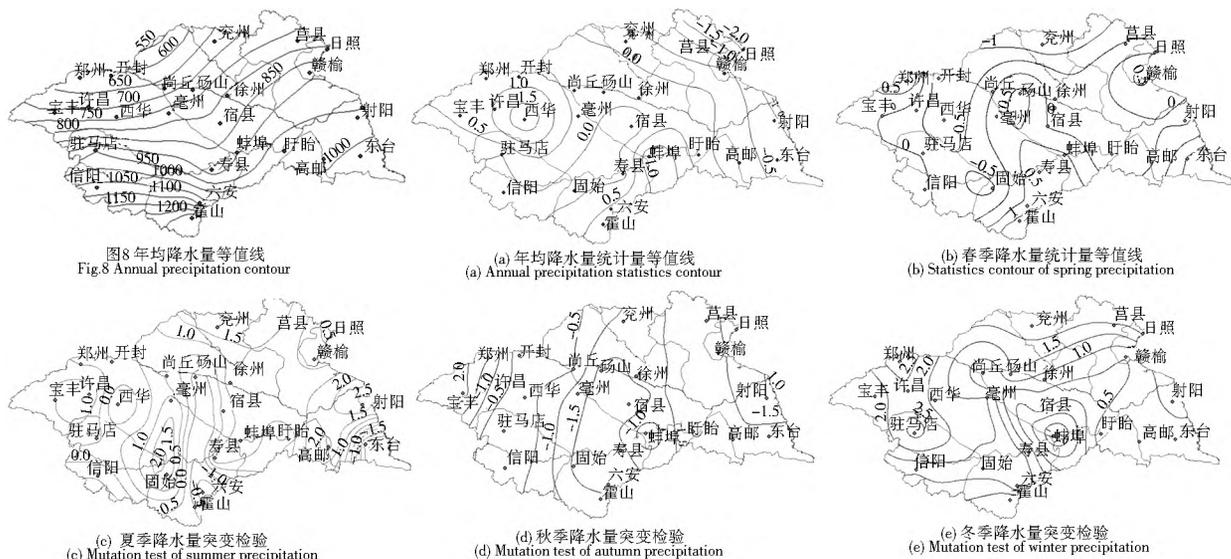


图 8 Mann-Kendall 趋势检验

Fig. 8 Mann-Kendall trend test

流域 25 个站点中降水量呈现上升趋势的有 14 个, 呈现下降趋势的有 11 个(表 1)。除蚌埠和莒县站点的显著性信度超过 90% 以及西华和日照站点的显著性信度超过 95% 外, 其它站点的显著性信度都在 90% 以内, 表明大多数站点的上升或下降趋势不显著。

1965 年左右, 趋势性不显著; 在空间分布上南部多于北部、近海多于内陆等特征与文中所得结论基本符合^[19]。同时, 造成淮河流域降水量时间尺度分布差异较大的主要原因可能是由于夏季受东南亚季风气候的影响; 空间尺度上的分布不均匀主要由于地形地貌的差异所导致^[20]。

4 结论

本文运用线性回归法、累计距平法以及 Mann-Kendall 的趋势检验与突变检验法综合分析了淮河

通过对上述降水量在时间上与空间上的特征分析, 对比前人研究结果, 如卢燕宇等基于 Kriging 差值分析 1961 年-2005 年淮河流域降水时空演变特征, 得出全年降水量呈现上升趋势; 突变的起始年在

表1 淮河流域各站点 Mann Kendall 趋势检验统计量及年均降水量

Tab.1 Mann Kendall trend test statistics and annual precipitation of each station in Huaihe River Basin

站点	统计量	降水量/mm	站点	统计量	降水量/mm	站点	统计量	降水量/mm	站点	统计量	降水量/mm
霍山	0.68	1309	盱眙	0.23	982	驻马店	0.02	947	日照	-2.08	807
六安	0.59	1068	宿州	-0.31	823	西华	1.81	738	莒县	-1.50	769
东台	-0.70	1017	亳州	0.34	780	宝丰	0.63	712	尚丘	0.29	678
高邮	-0.26	990	赣榆	-0.24	888	开封	0.67	611	信阳	-0.10	1072
蚌埠	1.40	897	徐州	0.17	810	许昌	1.04	693	固始	-0.10	1041
寿县	-0.13	879	砀山	0.26	727	郑州	0.68	615	射阳	-0.93	962
兖州	-0.16	670									

流域1950年-2010年25个地面站点的降水量资料。在时间上,51年来淮河流域降水量呈现微弱的上升趋势,降水量随季节性变化明显。年均降水量从20世纪60年代开始呈现下降趋势,1976年前后这段时间降水量趋于平缓状态,在1976年之后降水量一直保持微弱的下降趋势,2010年后淮河流域的降水量会呈现相对稳定状态,无显著上升或下降趋势。在空间上,淮河流域降水量由南向北逐渐减少,上游、中游多呈现上升趋势,下游多呈现下降趋势。

参考文献(References):

[1] Tonkaz T, Çetin M, Tılc K. The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi arid region, Turkey [J]. Climatic Change, 2007, 82(F2): 195-209.

[2] 黄振平. 水文统计学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2003. (HUANG Zhen ping. Hydrologic statistics[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2003. (in Chinese))

[3] 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. (YUAN Zhe, YANG Zhi yong, ZHENG Xiao dong, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe River Basin in recent 50 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 98-103. (in Chinese))

[4] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330. (REN Guo yu, WU Hong, CHEN Zheng hong, et al. Spatial patterns of change trend in rainfall of china[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2000, 11(3): 322-330. (in Chinese))

[5] 陈文海, 柳艳香, 马柱国. 中国1951~1997年气候变化趋势的季节特征[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 251-257. (CHEN Wen hai, LIU Yan xiang, MA Zhu guo. The seasonal characteristics of climatic change trend in China from 1951 to 1997[J]. Plateau Meteorology, 2002, 21(3): 251-257. (in Chinese))

[6] 陈兴芳, 孙林海. 我国年、季降水的年代际变化分析[J]. 气象, 2002, 28(7): 3-8. (CHEN Xing fang, SUN Lin hai. Analysis of decadal variation of annual and seasonal rainfall in China[J]. Meteorological Monthly, 2002, 28(7): 3-8. (in Chinese))

[7] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-438. (SHI Neng, CHEN

Jia qi, TU Qi pu. Four phase climate change features in the last 100 years over China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1995, 53(4): 431-438. (in Chinese))

[8] 王澄海, 崔洋. 西北地区近50年降水周期的稳定性分析[J]. 地球科学进展, 2006, 21(6): 576-584. (WANG Cheng hai, CUI Yang. A study of the stability of the precipitation cycle over northwest China in the past 50 years[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(6): 576-584. (in Chinese))

[9] 陈华, 闫宝伟, 郭生练, 等. 汉江流域径流时空变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(3): 49-53. (CHEN Hua, YAN Bao wei, GUO Sheng lian, et al. Temporal and spatial trends analysis of the runoff in Hanjiang Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(3): 49-53. (in Chinese))

[10] 周陈超, 贾绍凤, 燕华云, 等. 近50a以来青海省水资源变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 432-437. (ZHOU Chen chao, JIA Shao feng, YAN Hua yun, et al. Changing trend of water resources in Qinghai province from 1956 to 2000[J]. Journal of Glaciology and Cryopedology, 2005, 27(3): 432-437. (in Chinese))

[11] 杨明明, 钟平安, 魏蓬. 淮河流域主汛期降水演变规律研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 37-40. (YANG Ming ming, ZHONG Ping an, WEI Peng. Study on precipitation evolution rule of Huaihe River Basin in main flood period[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 37-40. (in Chinese))

[12] 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 42(4): 503-509. (SHAO Xiao mei, XU Yue qing, YAN Chang rong. Wavelet analysis of rainfall variation in the Yellow River Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(4): 503-509. (in Chinese))

[13] 张剑明, 黎祖贤, 章新平. 长沙近50年来降水的多时间尺度分析[J]. 水文, 2008, 27(6): 78-80. (ZHANG Jian ming, LI Zu xian, ZHANG Xin ping. Multiple time scales analysis of precipitation in Changsha City during last 50 years[J]. Hydrology, 2008, 27(6): 78-80. (in Chinese))

[14] 金成浩, 韩京龙. 基于Mann Kendall 检验的嘎呀河流域降水变化趋势及突变分析[J]. 吉林水利, 2013(12): 62-66. (JIN Cheng hao, HAN Jing long. Analysis of precipitation variation trend and abrupt change in gaya river basin based on Mann Kendall test [J]. Jilin Water Resources, 2013(12): 62-66. (in Chinese))

(下转第66页)

- [11] 刘杰,郭晶晶,马云霞.天津市非常规水资源利用现状分析[J].海河水利,2011(1):11-14. (LIU Jie, GUO Jingjing, MAYunxia. Analysis of unconventional water resources utilization situation in Tianjin [J]. Haihe Water Resources, 2011(1): 11-14. (in Chinese))
- [12] 高培然.天津滨海新区海水利用管理研究[D].天津:天津大学,2009. (GAO Peiran. Seawater utilization management of Tianjin Binhai New Area [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese))
- [13] 张艳红.城市雨水利用的趋势、现状和措施探讨[J].南水北调与水利科技,2005,3(3):27-29. (ZHANG Yanhong. Exploration on the tendency, present situation and countermeasures of urban rainfall utilization [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(3): 27-29. (in Chinese))
- [14] Kim R H. Developing technologies for rainwater utilization in urbanized area [J]. Environmental Technology, 2005, 4: 401-410.
- [15] Sazakli E, Alexopoulos A, Leotsinidis M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece [J]. Water Resources, 2007, 41(9): 2039-2047.
- [16] 刘伟.非常规水资源利用基本问题的研究[D].天津:天津大学,2004. (LIU Wei. Basic issues of using unconventional water resources [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004. (in Chinese))
- [17] 王情,张广录,王晓磊,等.中国北方城市雨水资源利用探讨[J].水资源保护,2009,25(4):86-90. (WANG Qing, ZHANG Guanglu, WANG Xiaolei, et al. Rainwater resources utilization of Chinese Northern Cities [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 86-90. (in Chinese))
- [18] 李臻.天津滨海新区再生水利用及市场化研究[D].天津:天津理工大学,2010. (LI Can. Water reuse and marketization of Tianjin Binhai New Area [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2010. (in Chinese))
- [19] 王效琴.城市水资源可持续开发利用研究[D].天津:南开大学,2007. (WANG Xiaojin. Sustainable development and utilization of urban water resources [D]. Tianjin: Nankai University, 2007. (in Chinese))
- [20] 曹秀芹,车武.城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J].给水排水,2002,28(1):13-15. (CAO Xiurqin, CHE Wu. Design analysis of urban roof rainwater harvesting system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(1): 13-15. (in Chinese))
- [21] 孙慧修.排水工程(4版,上册)[M].北京:中国建筑工业出版社,1999. (SUN Huixiu. Wastewater Engineering (4th edition, 1st volume) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1999. (in Chinese))
- [22] 天津市统计局.天津统计年鉴(2012)[M].北京:中国统计出版社,2012. (Tianjin Statistics Bureau. Tianjin Statistical Yearbook of 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012 (in Chinese))
- [23] 王晓霞,徐宗学,阮本清.天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):92-96. (WANG Xiaoxia, XU Zongxue, RUAN Benqing. spatiotemporal trend of precipitation in Tianjin City [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(9): 92-96. (in Chinese))
- [24] 杨志峰,刘静玲,肖芳,等.海河流域河流生态基流量整合计算[J].环境科学学报,2005,25(4):442-448. (YANG Zhifeng, LIU Jingling, XIAO Fang, et al. Conformity calculation of river ecological basic flows in the Hai He River Basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 442-448. (in Chinese))
- [25] 郑建平,王芳,华祖林,等.海河河口生态需水量研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):518-521. (ZHENG Jianping, WANG Fang, HUA Zulin, et al. Research on ecological water requirement of Haihe River Estuary [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(5): 518-521. (in Chinese))

(上接第 47 页)

- [15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].第二版.北京:气象出版社,2007. (WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. The second edition. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [16] Ichiyangl K, Yamanaka M D, Muraji Y. Precipitation in N. Cpell between 1987 and 1996 [J]. International Journal of Climatology, 2007, 15(2): 245-256.
- [17] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J].农业科技与装备,2008(5):35-37. (CAO Jieping, CHI Dao cai, WU Li qiang, et al. Mann Kendall examination and application in the analysis of precipitation trend [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008(5): 35-37. (in Chinese))
- [18] Wang X, Yang X, Liu T, et al. Trend and extreme occurrence of precipitation in a mid latitude Eurasian steppe watershed at various time scales [J]. Hydrological Processes, 2014, 28(22): 5547-5560.
- [19] 卢燕宇,吴必文,田红,等.基于 Kriging 插值的 1961~2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):567-573. (LU Yanyu, WU Biwen, TIAN Hong, et al. Spatial and temporal variability characteristics of precipitation in Huai River Basin during 1961~2005 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(5): 567-573. (in Chinese))
- [20] 王新龙,钟平安,万新宇,等.淮河流域洪涝时空分布规律[J].水电能源科学,2013,31(003):45-49. (WANG Xinlong, ZHONG Pingan, WAN Xin yu, et al. Spatial and temporal distribution of flood disaster in Huaihe Basin [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(003): 45-49. (in Chinese))