

新疆额尔齐斯河流域降水量变化特征及趋势分析

鞠彬¹, 叶文², 胡丹³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水文水资源勘测局 宿迁分局, 江苏 宿迁 223800;
3. 杭州市余杭区林业水利局, 浙江杭州 311100)

摘要: 降水量研究对于干旱半干旱地区水资源的合理开发利用、生态环境的改善和灾害控制具有重要意义。为分析新疆额尔齐斯河流域降水量变化特征及其变化趋势,选取流域内富蕴、阿勒泰、哈巴河3个气象站1962-2013年实测月降水资料,采用Mann-Kendall检验法、复Morlet小波分析法、R/S分析法及相关水文统计方法进行研究。结果表明:额尔齐斯河流域内3个气象站年降水量均呈现出显著上升趋势,降雨变化倾向率分别为17.91、17.47、17.37 mm/10a;流域年降水量呈现出多个时间尺度的相对丰枯交替特征,富蕴、阿勒泰、哈巴河气象站主震荡周期分别为22、18、22 a;赫斯特指数表明未来额尔齐斯河流域年降水量总体上继续保持上升趋势,且其未来年份降水量增长趋势的程度为:富蕴 > 阿勒泰 > 哈巴河。

关键词: 降水量; 水文统计方法; 复Morlet小波分析; R/S分析法; 额尔齐斯河流域

中图分类号: TV121.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)04-0115-05

Variation characteristics and trend of precipitation in Irtys River basin of Xinjiang

JU Bin¹, YE Wen², HU Dan³

(1. School of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Suqian Branch Bureau, Hydrologic and Water Resources Survey of Jiangsu Province, Suqian 223800, China; 3. Yuhang District Bureau of Forestry and Water Resources of Hangzhou Municipality, Hangzhou 311100, China)

Abstract: The research on rainfall has great significance for the rational development of water resources, the improvement of ecological environment and disaster control in arid and semi-arid areas. By use of the monthly precipitation data from three meteorological stations (Fuyun, Aletai, Habahe) in Irtys River basin from 1962 to 2013, the paper took Mann-Kendall method, the Morlet wavelet analysis method, the R/S analysis method, and other hydrological statistics method to analyze the variation characteristics and trends of precipitation. The result shows that the annual precipitation presents a significant upward trend at the three stations. The annual precipitation has the periodic characteristics of wet and dry with various time scales. The main shock cycles at three stations are 22a, 18a, 22arespectively; Hurst values show that the precipitation at three stations will have a overall upward trend in the future. The degree reorder of increase trend of annual rainfall from large to small is Fuyun, Aletai and Habahe.

Key words: precipitation; hydrological statistics method; Morlet wavelet analysis method; R/S analysis method; Irtys River Basin

1 研究背景

气候变化及其产生的影响已成为目前国内外研究的热点问题之一,伴随着全球性变暖现象的发生,大气环流形式将会受到影响,继而导致区域水循环

形式的变化,降水的时空分布也将随之发生改变^[1]。高山寒区降水对气候变化的敏感响应将使得区域河流水文过程发生明显的变化,对于干旱区的水资源利用和管理产生重大影响^[2]。近年来,国内外学者对长时间序列降水量的特征研究逐步增多,

刘扬等^[3]采用小波分析和奇异谱分析对我国北方近50年逐月降水数据进行周期和趋势分析;于淑秋等^[4]对我国西北地区近50年降水资料分析后发现,1986年以后全区年降水总量上升了5.2%;苏宏超等^[5]对新疆1956-2005年的降水资料进行研究,并分析了其对水资源和生态环境的影响。然而,大部分学者研究降水特征所采用的方法较为单一,研究区域尺度较大,且未对地区未来降水趋势情况进行分析。

额尔齐斯河作为我国唯一一条流入北冰洋的国际河流,年径流量多达119亿 m^3 ,水量仅次于伊犁河居新疆第二位^[6]。额尔齐斯河是中哈边境地区社会经济生活中的基础资源和重要枢纽,随着各国经济的发展以及人口的剧增,额尔齐斯河流域水资源的开发利用矛盾也将日益加剧^[7]。研究新疆额尔齐斯河流域降水量的年际和年内变化规律,分析未来变化趋势,不仅可为流域气候变化研究提供基础,同时也可为流域内水资源的合理开发利用、生态环境的改善和灾害控制提供科学依据。

2 资料与方法

2.1 资料

为分析额尔齐斯河流域降水的长期变化特征及其未来变化趋势,选取额尔齐斯河流域内3个典型气象站点富蕴、阿勒泰、哈巴河1962-2013年的逐月降水资料进行研究。气象站点基本情况如表1所示,富蕴、阿勒泰、哈巴河气象站分别位于额尔齐斯河流域的上、中、下游。

表1 气象站点基本情况

站名	纬度	经度	高程/m	年降雨量/mm	水面蒸发量/mm	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$
富蕴	46°59'	89°31'	807.5	191.2	1915.63	3.65
阿勒泰	47°44'	88°05'	735.3	197.3	1692.36	4.60
哈巴河	48°03'	86°24'	532.6	189.8	2019.35	3.95

2.2 研究方法

本文主要采用Mann-Kendall检验法、复Morlet小波分析法^[8]、R/S分析法以及相关的水文统计学方法对额尔齐斯河流域降水量的变化特征与趋势情况进行分析。

3 结果与分析

3.1 降水量变化特征

表2为额尔齐斯河流域富蕴、阿勒泰、哈巴河站降水量年际变化统计,图1给出了1962-2013年额尔齐斯河流域平均降水量变化曲线及年际趋势变化。从表2可以看出,富蕴、阿勒泰、哈巴河气象站年平均降水量分别为191.2、197.3、189.8 mm,额尔齐斯河流域多年平均降水量为192.8 mm,流域内降水量地区分布较为均匀;而流域年最大降水量与年最小降水量之比为3.99~4.43,说明降水量年际变化较大;从图1可以看出,富蕴、阿勒泰、哈巴河3个气象站52a的降水量均呈现增加趋势,降水变化倾向率分别为17.91、17.47、17.37 mm/10a,整体上来看,降水量变化趋势的程度是上游往下游递减。

表2 额尔齐斯河流域气象站降水量年际变化统计

站名	年降水量/mm	P_{\max}/P_{\min} mm	P_{\min}/P_{\max} mm	极值比/ P_{\max}/P_{\min}	降水变化倾向率 mm/10a
富蕴	191.2	350.4	83.4	4.20	17.91
阿勒泰	197.3	338.5	76.4	4.43	17.47
哈巴河	189.8	359.7	90.1	3.99	17.37

通过对富蕴、阿勒泰、哈巴河站多年月平均降水量资料的分析(表3)可以看出,额尔齐斯河流域降水量年内分配并不均匀,降水主要集中在夏、秋两季。两季降水量占全年降水量的56%~60%,最大月(阿勒泰、富蕴2站为7月,哈巴河为11月)降水量占全年降水量的11%~15%,最小月(富蕴、哈巴河2站为2月,阿勒泰站为3月)降水量占全年降水量的3%~5%。

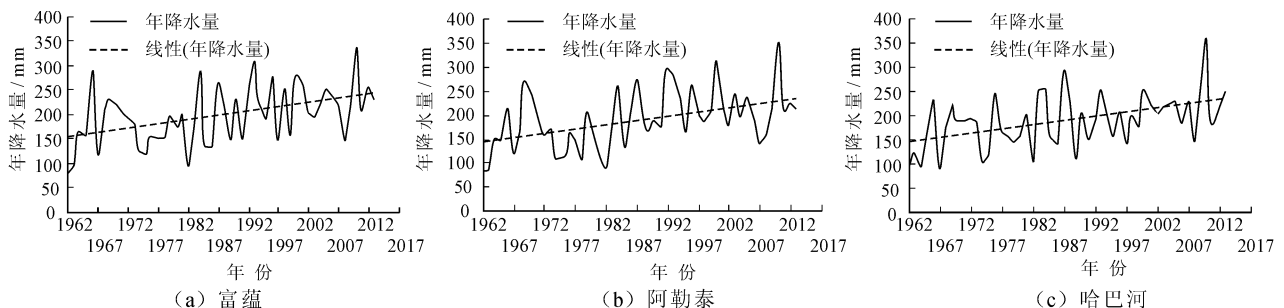


图1 1962-2013年额尔齐斯河流域平均降水量及年际趋势变化曲线

表3 额尔齐斯河流域各气象站降水量年内分配

站名	项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
富蕴	P/mm	11.4	8.0	10.3	13.5	15.9	19.0	27.8	16.7	14.4	15.1	22.9	16.2
	百分比/%	6.0	4.2	5.4	7.1	8.3	9.9	14.5	8.7	7.5	7.9	12.0	8.5
阿勒泰	P/mm	14.8	10.1	9.8	13.5	16.8	15.8	24.9	18.2	14.6	16.2	22.6	19.9
	百分比/%	7.5	5.1	5.0	6.8	8.5	8.0	12.6	9.2	7.4	8.2	11.5	10.1
哈巴河	P/mm	7.7	7.4	10.1	17.9	20.0	20.1	20.5	16.6	14.8	19.6	22.0	12.9
	百分比/%	4.1	3.9	5.3	9.4	10.5	10.6	10.8	8.8	7.8	10.3	11.6	6.8

3.2 降水量变化趋势分析

Mann-Kendall 秩次相关分析法是一种非参数统计检验方法,是检验时间序列单调趋势的有效工具之一,被广泛应用于气候和水文序列的分析^[9]。该方法优点在于不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便^[10]。

采用 Mann-Kendall 检验法对额尔齐斯河流域内富蕴、阿勒泰、哈巴河 3 个气象站的年降水序列进行趋势分析,富蕴、阿勒泰、哈巴河气象站 M-K 统计检验值分别为 3.456、2.975、3.369,均通过了 90% 和 95% 的置信度检验(临界值分别为 1.64 和 1.96)。Mann-Kendall 检验结果表明,额尔齐斯河流域 1962-2013a 的年降水量呈现出显著上升趋势。

3.3 年降水多时间尺度变化分析

图 2 为额尔齐斯河流域年降水序列复 Morlet 小波系数的实部图,图中虚线为负等值线,表示降水量偏少;实线为正或零等值线,表示降水量偏多或突变点。由图 2 可知,年降水序列在不同时间尺度上的周期震荡与位相结构不同,局部变化特征较为明显。图 2 的上部分等值线较为稀疏,对应着大尺度层次的振荡,下部分等值线相对稠密,对应中小尺度层次的振荡,且大尺度变化中嵌套着复杂的中小尺度变化。

富蕴地区年降水量存在 5~9 a 的小尺度、12 a 的中尺度和 22 a 的大尺度 3 个层次的周期性变化。在 22 a 的大尺度层次中,1962-2013 年均有较强的信号,降水量明显存在少-多-少-多-少-多的循环过程,且大尺度的周期不断增加。12 a 的中尺度层次中,降水量经历了 17 个丰枯循环交替过程。5~9 a 的小尺度变化更复杂,1962-1974 年为 9a 的周期,1975-1986 年为 5 a 的周期,1986 年以后又回归 9a 的周期继续震荡。

阿勒泰地区年降水量存在 7 a 的小尺度、10~11 a 的中尺度和 18 a 的大尺度 3 个层次的周期性变化。在 18 a 层次中,1962-2013 年均有较强的信号,降水经历了 10 个丰枯循环交替,降水量明显存

在少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少-多的循环过程,且大尺度的周期不断增加。10~11 a 的中尺度明显存在少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少-多-少的循环过程,且尺度稳定。7a 的小尺度变化更复杂,不断震荡。

哈巴河地区年降水量存在 5 a 的小尺度、9~12 a 的中尺度和 22 a 的大尺度 3 个层次的周期性变化。在 22 a 大尺度层次中,1962-2013 年具有较强的信号,年降水量明显经历 7 个丰枯循环交替,其中 1969-1974、1983-1990、1998-2005 年降水量处于相对偏多时段,而 1962-1968、1975-1982、1991-1997、2006-2012 年降水量相对偏少,且大尺度的周期不断增加。9~12 a 的中尺度明显经历两个变化阶段:1962-2006 年为 9a 的周期,2007 年以后为 12a 的周期继续震荡。5a 的小尺度变化更为复杂,共经历 28 个丰枯循环交替。

图 3 为额尔齐斯河流域 52a 年降水量的小波方差图,可用于判别序列变化的显著尺度,表示子波系数偏离零值的大小。由图可看出:

(1)富蕴站小波方差图中出现了 22、12、9 a 3 个峰值,表明富蕴地区的振荡周期分别为 22、12、9 a,第一峰对应着 22 a 时间尺度,说明其存在 22 a 左右的第 1 主周期。

(2)阿勒泰地区的振荡周期为 18、11、7 a,主振荡周期为 18 a。

(3)哈巴河站小波方差图中有 22、12、9、5 a 4 个峰值,表明该地区的振荡周期分别为 22、12、9、5 a,主振荡周期为 22 a。

(4)从主振荡周期看,3 个地区降雨偏多的等值线均未闭合,未来一段时间内可能降水量仍将处于偏多期。

3.4 年降水趋势持续性分析

由于 Mann-Kendall 秩次相关分析法只对过去的降水量变化趋势进行分析,故本文采用基于 R/S 分析法计算的 Hurst 指数来判断富蕴、阿勒泰、哈巴河站降水序列未来的变化趋势。

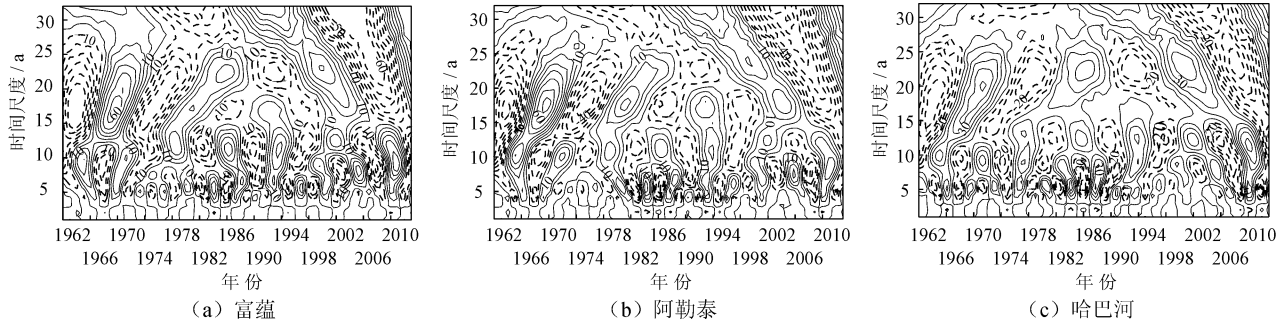


图2 额尔齐斯河流域年降水量复 Morlet 小波系数实部图

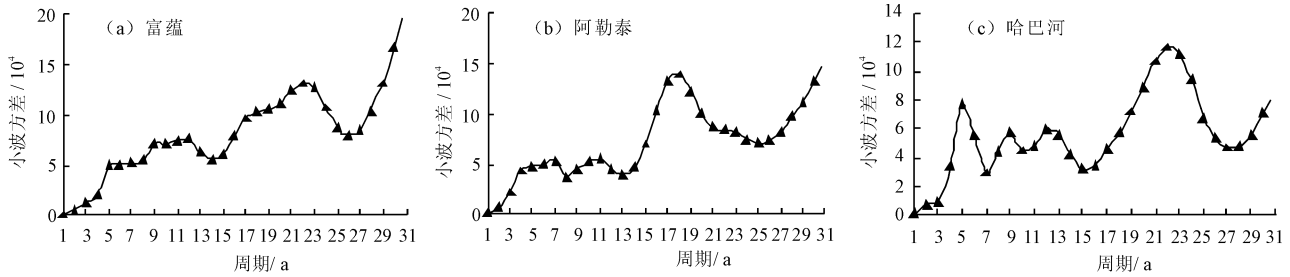


图3 额尔齐斯河流域 52a 年降水量小波方差图

R/S 分析法由英国科学家赫斯特在研究尼罗河多年水文观测资料时提出,后来经 Mandelbrot 与 Wallis 在理论上对该方法进一步补充和完善,将其发展成为研究时间序列的分形理论^[11]。对于降水指标而言,对应于不同的赫斯特系数 $H(0 < H < 1)$,当 $H = 0.5$ 时,意味着各项指标完全独立,相互没有依赖,丰枯水年的出现是随机性的;当 $H > 0.5$

时,表明未来降水整体变化趋势与过去一致,且 H 值越接近 1,持续性就越强;当 $H < 0.5$ 时,意味着未来的总体趋势将与过去相反,即过程具有反持续性,且 H 值越接近 0,反持续性就越强。

富蕴、阿勒泰、哈巴河 3 个代表站的 R/S 分析过程见表 4。3 个气象水文测站年降水进行 R/S 分析,得到相应的 Hurst 指数,见图 4。

表 4 富蕴、阿勒泰、哈巴河站的 R/S 分析过程

年份	t	R(t)			S(t)			R(t)/S(t)		
		富蕴	阿勒泰	哈巴河	富蕴	阿勒泰	哈巴河	富蕴	阿勒泰	哈巴河
1962	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	2	1.6	10.9	13.3	1.6	10.9	13.3	1	1	1
1964	3	44.4	51.6	17.2	31.4	37.5	12.2	1.4	1.4	1.4
1965	4	65.7	73.9	41.9	32.9	37.8	26.4	2.0	2.0	1.6
...
2011	50	764.5	678.2	593.3	58.4	58.2	54.6	13.1	11.7	10.9
2012	51	778.8	706.6	601.8	58.0	58.2	54.3	13.4	12.1	11.1
2013	52	787.6	722.2	625.6	57.5	57.8	54.3	13.7	12.5	11.5

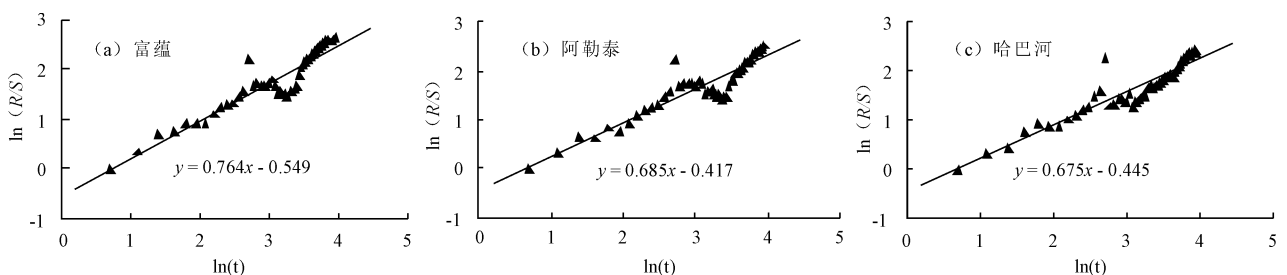


图4 额尔齐斯河流域各气象站降水量序列 R/S 分析结果

从图4可看出:富蕴、阿勒泰、哈巴河站的 Hurst 指数值分别为 0.764、0.685、0.675,表明3站的年降水量序列年降水均存在赫斯特现象,具有持续性与长程依赖性,其未来降水量的变化情况与过去50多年的趋势相同,呈上升趋势,其未来年份降水量增长趋势为:富蕴 > 阿勒泰 > 哈巴河。

4 结 语

(1)本文利用 Mann-Kendall 检验法、复 Morlet 小波分析法、R/S 分析法及相关水文统计方法对额尔齐斯河流域降水量年际、年内变化特征及其变化趋势进行了研究。通过对额尔齐斯河流域内富蕴、阿勒泰、哈巴河3个气象站52a降水量序列分析发现,流域内年降水量地区分布较均匀,但年际变化较大,富蕴、阿勒泰、哈巴河站52a的降水量变化倾向率分别为 17.91、17.47、17.37 mm/10a;通过 M-K 检验法发现,富蕴、阿勒泰、哈巴河站年降水量均呈现上升趋势,且通过置信水平为 95% 的显著性检验;额尔齐斯河流域降水量年内分配不均匀,降水主要集中在夏、秋两季,两季降水量占全年降水量的 56% ~ 60%。

(2)利用复 Morlet 小波分析法对富蕴、阿勒泰、哈巴河站进行年降水周期性分析,额尔齐斯河流域内三个站点均表现出多个时间尺度的相对丰枯交替特征,其中富蕴站具有明显的 22a 的第一主周期,同时存在 12a 中尺度和 9a 小尺度的周期性震荡;阿勒泰站分别存在 18、11、7 a 的震荡周期;哈巴河站具有 22 a 大尺度、9 ~ 12 a 中尺度、5 a 小尺度的震荡周期。从主振荡周期看,3个地区降雨偏多的等值线未闭合,未来一段时间内可能降水量仍将处于偏多期。

(3)采用 R/S 分析法对额尔齐斯河流域内富蕴、阿勒泰、哈巴河气象站进行降水量未来趋势分析,发现3站的赫斯特指数分别为 0.764、0.685、0.675,均大于 0.5,表明3个站点年降水量序列均存在赫斯特现象,即未来年降水量将继续延续过去50多年的变化趋势,呈现上升趋势。且其未来年份

降水量增长趋势的程度为:富蕴 > 阿勒泰 > 哈巴河。

(4)研究成果不仅可为额尔齐斯河流域气候变化研究提供基础,同时也可为流域内水资源的合理开发利用、生态环境的改善和灾害控制提供科学依据。本文所采用的多种研究方法也可作为气候相似区降水量研究提供科学参考。

参考文献:

- [1] 杨富程,夏自强,黄峰,等. 额尔齐斯河流域降水变化特征[J]. 淮海大学学报(自然科学版),2012,40(4):432-437.
- [2] 沈永平,苏宏超,王国亚,等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I):水文效应[J]. 冰川冻土,2013,35(3):513-527.
- [3] 刘扬,韦志刚. 近50年中国北方不同地区降水周期趋势的比较分析[J]. 地球科学进展,2012,27(3):337-346.
- [4] 于淑秋,林学椿,徐祥德. 我国西北地区近50年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究,2003,8(1):9-18.
- [5] 苏宏超,沈永平,韩萍,等. 新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响[J]. 冰川冻土,2007,29(3):343-350.
- [6] 鞠彬,胡丹. 参考作物蒸发蒸腾量计算方法在额尔齐斯河流域的适用性研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(5):106-111.
- [7] 张健荣. 由新疆国际河流水利开发引发的思考[J]. 社会观察,2007(11):17-18.
- [8] 郭静,粟晓玲. 石羊河流域出山口径流序列的多时间尺度特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):213-220.
- [9] 张翀,李晶,任志远. 西北地区1962年至2000年降水量变化的时空特征分析[J]. 资源科学,2010,32(12):2298-2304.
- [10] 宋小燕,穆兴民,高鹏,等. 松花江哈尔滨站近100年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报,2009,24(10):1803-1809.
- [11] 冯新灵,冯自立,罗隆诚,等. 青藏高原冷暖气候变化趋势的R/S分析及Hurst指数试验研究[J]. 干旱区地理,2008,31(2):175-181.