

松辽流域 1961—2017 年极端降水变化特征

袭祝香¹, 杨雪艳², 刘玉汐¹, 纪玲玲¹, 饶维平¹

(1. 吉林省气象台, 长春 130062; 2. 吉林省气候中心, 长春 130062)

摘要:为了在气候变暖的背景下有的放矢地防御流域洪涝灾害, 根据 1961—2017 年松辽流域逐日降水资料, 采用百分位数、距平累积、Mann-Kendall、变差系数等方法分析了松辽流域极端降水变化特征。结果表明: 松辽流域极端降水阈值呈西北小、南部大的分布; 松辽流域极端降水量和降水频率都是由西北向东南升高, 极端降水强度呈中南部大、其他地方小的分布, 极端降水比率则由西北向东南降低; 极端降水指数呈西南部低东北部高的趋势。极端降水主要发生在夏季; 20 世纪 60 年代初期开始极端降水指数存在由强转弱的突变, 80 年代中期以后开始增强, 目前处于偏强阶段; 1961—2017 年及突变前极端降水量及频率呈上升的趋势, 极端降水强度和比率则呈下降的趋势, 气温突变后极端降水指数都呈下降的趋势, 变差系数增大。目前松辽流域处于极端降水偏强阶段, 极端降水量大, 频率高, 强度大, 且变差系数增大, 不稳定增强, 极端降水发生的几率增加, 因此应引起高度重视, 加强相关研究, 提高对极端降水灾害的防范和应对能力。

关键词:极端降水; 时空特征; 百分位阈值; 松辽流域

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)03-0199-05

Characteristics of Extreme Precipitation Change from 1961 to 2017 in Songliao Basin

XI Zhuxiang¹, YANG Xueyan², LIU Yuxi¹, JI Lingling¹, RAO Weiping¹

(1. Jilin Meteorological Observatory, Changchun 130062, China; 2. Jilin Climate Center, Changchun 130062, China)

Abstract: In order to protect against floods and waterlogging in the background of climate warming, according to the daily precipitation data of Songliao Basin from 1961 to 2017, the characteristics of extreme precipitation in Songliao River Basin were analyzed by means of percentile, anomaly accumulation, Mann-Kendall, variation coefficient and so on. The results showed that the extreme precipitation threshold in Songliao basin was small in the northwest and large in the south; the extreme precipitation and precipitation frequency in Songliao basin were increasing from northwest to southeast, and the intensity of extreme precipitation was large in the middle and south and small in other places, and the ratio of extreme precipitation decreased from northwest to southeast, the extreme precipitation index mostly presented the trend of declining in the southwest and rising in the northeast; extreme precipitation mainly occurred in summer, accounting for 81.8% of the total number; at the beginning of the 1960s, the extreme precipitation index changed from strong to weak level, which began to strengthen after the mid-1980s and is in a strong phase now; the extreme precipitation and precipitation frequency increased from 1961 to 2017, but the intensity and ratio of extreme precipitation decreased; after the abrupt change of temperature, the extreme precipitation index decreased, and the coefficient of variation increased; at present, the extreme precipitation in Songliao Basin is at a strong stage, the extreme precipitation is large, the frequency is high, the intensity is large, and the variation coefficients of extreme precipitation index are increased after mutation, and instability and probability of extreme precipitation increase. Therefore, the extreme precipitation should be highly valued, relevant research should be strengthened in order to improve prevention and response ability.

Keywords: extreme precipitation; temporal and spatial characteristics; percentile threshold; Songliao Basin

近年来,在气候变暖的大背景下,极端天气气候事件呈多发的态势^[1],极端天气气候事件突发性强、危害性大,虽然是一种小概率事件,但往往对人类社会以及生态环境有着重大而深刻的影响,极端降水作为极端天气气候事件的一种,往往易引发洪涝、内涝、渍涝及泥石流和水土流失等,极端降水也是流域洪水发生的主要致灾因子^[2],例如,受极端强降水影响,2010 年第二松花江出现了历史罕见的特大洪水灾害,仅吉林省受灾人口就达 512.1 万人,直接经济损失达 451 亿元。同时流域极端降水的时空分布与变化也影响着流域农业经济与生态环境的健康发展,关系到流域水资源的合理开发与利用,因此,对流域极端降水分布及演变规律进行研究,对于流域防灾减灾,科学防控洪涝,确保经济可持续发展具有重要意义。

对于极端降水,不少专家和学者都进行了研究,相关研究表明,近 50 a 来,中国的极端降水事件强度和频次均有增加的趋势^[3-4],极端降水事件的年际和年代际变化特征显著,且区域性特征和季节性差异明显^[5],极端强降水及其频数在华北趋于减少,而在长江及以南地区趋于增多,强度增强^[6],此外,对于其他流域极端降水,研究也较为广泛^[7-11]。对于松辽流域,一些学者对水资源、降水,干旱的发生规律进行了研究^[12-16],而对于极端降水特征及规律方面的研究较少,松辽流域极端降水的分布、变化规律怎样?在气候变暖的大背景下如何演变?本文在这些方面进行分析和研究,以揭示松辽流域极端降水的时空变化规律,以期在气候变化的情况下有的放矢地防御流域洪涝灾害提供有力的科学依据。

1 资料、研究区域和方法

1.1 资料和研究区域

松辽流域大致位于 40°—53°N,116°—133°E,位于我国东北部,涉及辽宁省、吉林省、黑龙江省三省和蒙东地区(内蒙古自治区的东四盟),松辽流域总面积 123.80 万 km²。西、北、东三面环山,南部濒临渤海和黄海,中、南部形成宽阔的辽河平原、松嫩平原,东北部为三江平原。松辽流域处于北纬高空盛行西风带,具有较多的西风带天气和气候特色,为温带大陆性季风气候区。冬季严寒漫长,夏季温湿而多雨,部分地区属寒温带气候。松辽流域主要河流有辽河、松花江、黑龙江、乌苏里江、绥芬河、图们江、鸭绿江以及独流入海河流等。其中黑龙江、乌苏里江、绥芬河、图们江、鸭绿江为国际河流。

气象资料采用 1961—2017 年研究区域 196 个气象站逐日降水资料。站点选取考虑到资料连续、资料

序列长、站点分布均匀,且在流域内等因素。研究区域及站点分布见图 1。

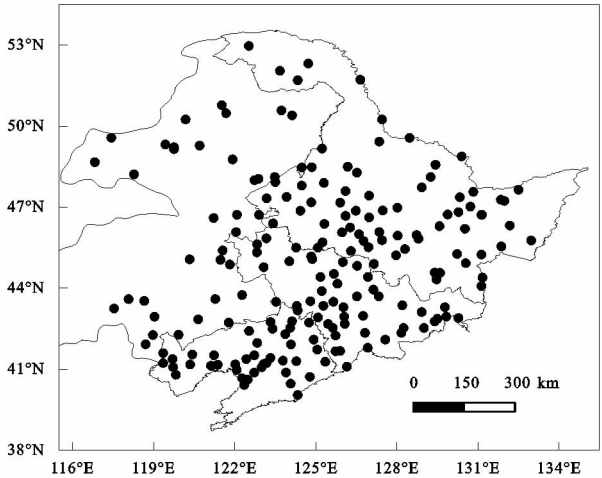


图 1 松辽流域站点分布

1.2 研究方法

1.2.1 极端降水的定义 松辽流域辽阔,气候差异较大,因此,本文采用国际上通常使用的百分位方法定义极端降水阈值^[17],将 1961—2017 年每个测站的逐日降水量资料按升序排列,取日降水量 ≥ 0.1 mm 的子样本的第 95 个百分位值定义为该测站的极端降水事件阈值,在此基础上,定义 4 个极端降水指数(见表 1),以此来分析松辽流域的极端降水特征,极端降水量为每年极端降水事件的降水量总和,极端降水量越大,极端降水频率越高,极端降水强度越强,危害越大。

表 1 松辽流域极端降水指数

名称	含义
极端降水量(mm)	年内日降水量 \geq 第 95 百分位值的降水总量
极端降水频率(d)	年内超过极端降水阈值的极端降水日数
极端降水强度(mm/d)	极端降水量/极端降水日数
极端降水比率(%)	极端降水量/全年降水量

1.2.2 分析方法 采用 Mann-Kendall^[18]和距平累积方法分析气候变化的突变性和阶段性,距平累积计算公式如下:

$$x_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \tag{1}$$

式中: x_i 为距平累积; x_i 为某序列值; \bar{x} 为序列平均值; n 为序列样本数。

采用线性气候倾向率^[19]和变差系数^[20]分析灾害或事件的变化特征,气候倾向率能反映上升与下降趋势,变差系数能够表征某一要素值偏离其平均状态的程度。

某要素的趋势变化通常用一元线性回归方程:

$$y_t = a + bt \tag{2}$$

式中: t 表示时间; y_t 表示要素逐年值; a 是常数; b 定义为气候倾向率,计算公式如下:

$$b = r \cdot \sigma_x / \sigma_t \tag{3}$$

式中: r 是 y_i 和 t 序列的相关系数; σ_x, σ_t 分别是 y_i 和 t 序列的均方差。

变差系数方法如下:

$$S_v = (\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}) / \bar{x} \quad (4)$$

式中: S_v 为变差系数; x_i, \bar{x}, n 含义同公式(1)。

近年来,Kriging 差值方法在许多领域都有广泛的应用,本文采用 Kriging 差值方法对松辽流域的极端降水进行了空间差值。

2 结果与分析

2.1 极端降水的空间分布

2.1.1 极端降水阈值的空间分布特点 极端降水阈值呈西北小,南部大的分布趋势(附图 3A),额尔古纳河附近在 18 mm 以下,最小出现在额尔古纳河的新巴尔虎左旗,只有 14 mm;大小凌河及鸭绿江附近在 30 mm 以上,最大出现在鸭绿江的丹东,达 46 mm;其他地方在 18~30 mm。

极端降水阈值的这种分布和年降水分布有一定关系,计算了松辽流域极端降水阈值和各地年平均降水量的相关系数,达 0.551 6(样本数为 196 个),通过 0.000 1 极显著检验。附图 3B 是松辽流域各地年平均降水量的分布图,可以看出,松辽流域年降水由西北到东南逐渐增大,额尔古纳河和西辽河附近为低值区,在 400 mm 以下,最小出现在新巴尔虎右旗,只有 236.1 mm;鸭绿江、浑太河以及第二松花江南部为高值区,在 600 mm 以上,最大出现在鸭绿江的草河口,达 1 061.6 mm;其他地方在 400~600 mm。可见松辽流域各地降水差异十分明显。

2.1.2 极端降水指数的空间分布特征 松辽流域极端降水量由西北向东南增加(附图 4A),额尔古纳河、西辽河、嫩江流域附近在 160 mm 以下,最少出现在新巴尔虎右旗,只有 90 mm;鸭绿江附近、浑太河南部、第二松花江南部在 240 mm 以上,最大出现在草河口,达 402.3 mm;其他地方介于 160~240 mm。

极端降水频率呈由西南到东北增加的规律(附图 4B),额尔古纳河东部、黑龙江东南部,第二松花江南部在 6 d 以上,最多出现在第二松花江流域的东岗,达 7.9 d;额尔古纳河西部、西辽河、大小凌河、辽河干流、嫩江附近在 4 d 以下,最小出现在西辽河的开鲁,只有 3.1 d;其他地方介于 4~6 d。

极端降水强度呈中南部大、北部、西部、东部少的分布(附图 4C);浑太河南部、鸭绿江在 50 mm/d 以上,最大出现在鸭绿江的风城,达 83.1 mm/d;额尔古纳河、西辽河西部、和龙江东部及绥芬河附近在 30

mm/d 以下,最小出现在额尔古纳河的牙克石,仅为 23.7 mm/d;其他地方介于 30~50 mm/d。

极端降水比率分布稍显零散(附图 4D),大致由西北向东南降低,额尔古纳河及鸭绿江附近比率较大,在 36% 以上,最大出现在鸭绿江的风城,达 38%;图们江、大小凌河、浑太河附近在 31% 以下,最小出现在浑太河的灯塔,只有 28.1%;其他地方在 31%~36%。

2.1.3 极端降水指数的空间趋势分布 采用线性倾向率来分析 57 a 年来松辽流域各地极端降水指数的空间变化趋势。极端降水基本呈西南部下降,东北部上升的趋势,108 站为上升趋势,88 站为下降趋势(附图 5A);极端降水频率也表现为西南部下降,东北部上升的分布趋势,100 站为上升趋势,96 站为下降趋势(附图 5B);极端降水强度的趋势分布较为分散,在松花江附近为上升趋势,其他大部分地方为下降趋势,108 站为上升趋势,其他 88 站为下降趋势(附图 5C);极端降水比率也呈东北部上升,西南部下降的趋势分布,96 站为上升趋势,100 站为下降趋势(附图 5D)。

2.2 极端降水的时间分布

2.2.1 极端降水各月分布 计算松辽流域各月出现极端降水的总数,然后进行 1961—2017 年平均,得到松辽流域各月极端降水平均出现次数(图 2),由图 2 可见,极端降水主要出现在夏季的 6—8 月,占出现总次数的 81.8%,5 月、9 月明显减少,占出现总次数的 13.8%,4 月和 10 月则更少,只占 3.9%,其他月份极端降水很少出现,不足 1%。

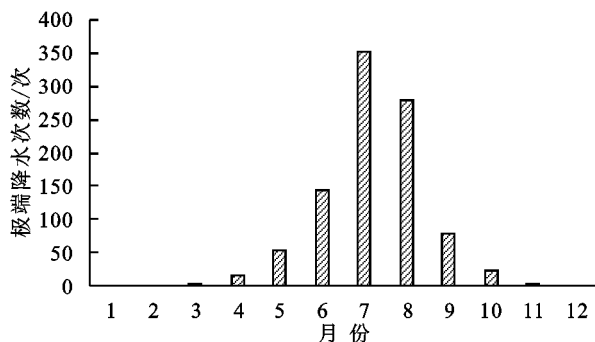
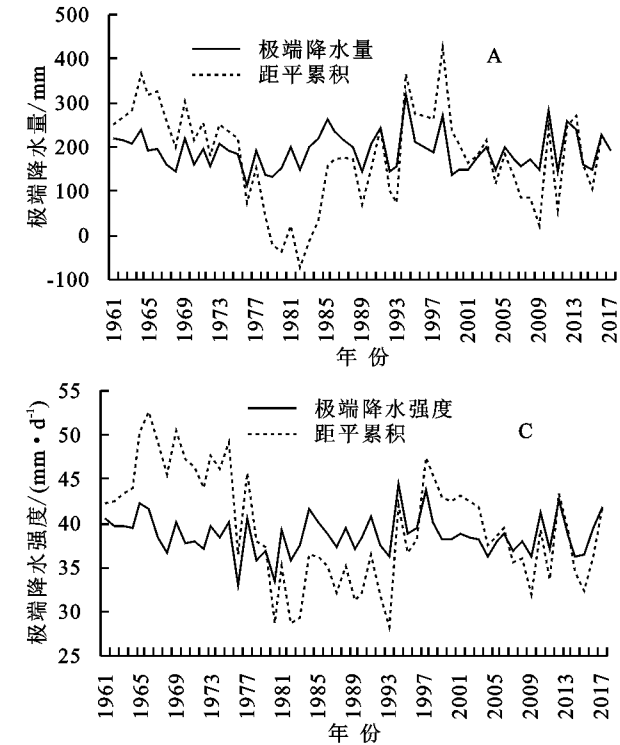


图2 松辽流域各月平均极端降水次数分布

2.2.2 极端降水指数年际变化特点 图 3 为松辽流域 4 项极端降水指数的年际变化曲线和距平累积曲线,可以看出,极端降水量 1961—1966 年、1983—1998 年、2010—2017 年处于偏多阶段;1967—1982 年、1999—2009 年极端降水量处于偏少阶段(图 3A)。

极端降水频率和极端降水量的阶段分布基本一致,1961—1966 年、1983—1998 年、2010—2017 年处于偏多阶段;1966—1982 年、1999—2009 年极端降水频率处于偏少阶段(图 3B)。

极端降水强度和极端降水量的阶段分布规律完全一致,1961—1966 年、1983—1998 年、2010—2017 年处于偏强阶段;1966—1982 年、1999—2009 年极端降水强度处于偏弱阶段(图 3C)。



极端降水比率和极端降水量的阶段分布也基本一致,1961—1966 年、1983—1998 年、2015—2017 年处于偏强阶段;1966—1982 年、1999—2014 年极端降水比率处于偏弱阶段(图 3D)。

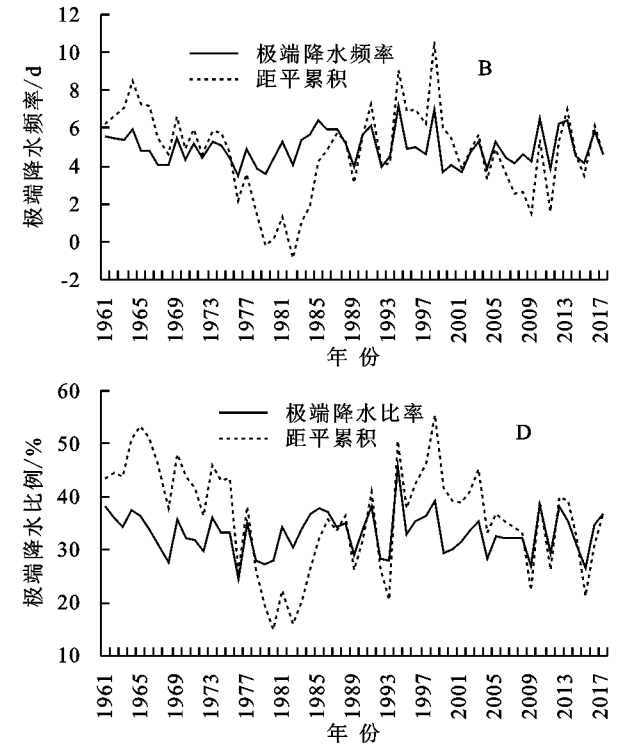


图 3 极端降水指数年际变化及距平累积曲线

从上述分析可以看出,松辽流域极端降水各项指数的阶段变化基本一致,分析上述指数各阶段平均情况,可以看出差异明显(表 2),极端降水量在偏多阶段达 200 mm 以上,最多阶段的 1983—1998 年达 213.8 mm,偏少阶段在 170 mm 以下,最少阶段的 1999—2009 年为 164.9 mm,相差 30 mm 以上;极端降水频率偏多阶段和偏少阶段相差 1 d 左右;极端降水强度偏强阶段和偏弱阶段相差 2 mm/d 左右;极端降水比率偏多和偏少阶段相差 3% 左右。

表 2 极端降水指数阶段变化情况

时间	极端 降水量/mm	极端降水 频率/d	极端降水强度/ (mm·d ⁻¹)	极端降水 比率/%
1961—1966(多、强阶段)	212.2	5.3	40.5	36.1
1967—1982(少、弱阶段)	168.5	4.5	37.5	31.2
1983—1998(多、强阶段)	213.8	5.5	39.5	35.1
1999—2009(少、弱阶段)	164.9	4.4	37.8	31.2
2010—2017(多、强阶段)	206.5	5.3	39.2	33.8

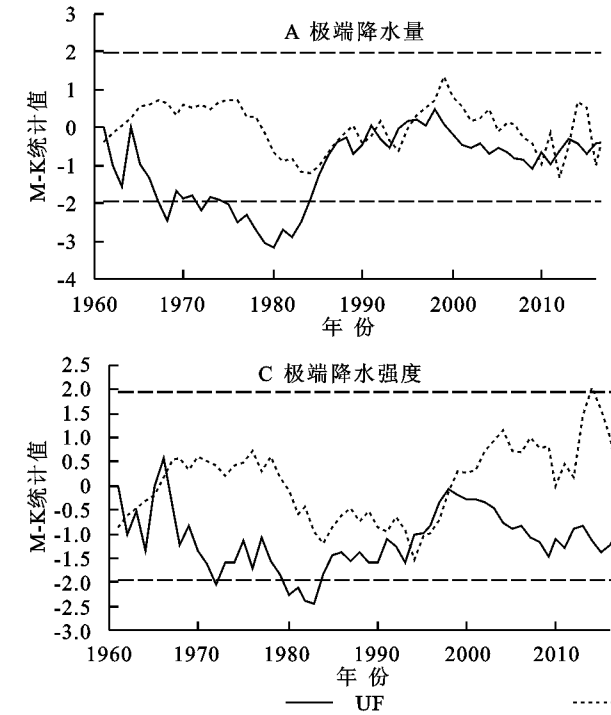
2.2.3 极端降水指数突变分析 对极端降水指数进行了 M-K 突变分析,可以看出(图 4),4 项极端降水指数变化情况类似,UF 和 UB 在 95% 信度线内相交于 1962 年前后,20 世纪 60 年代至 80 年代中期 UF 线呈下降状态并超过了 95% 信度线,说明极端降水

各项指数在 80 年代中期之前是呈显著下降的趋势,1962 年前后为突变的开始时间;80 年代中期以后极端降水指数开始增强,自 90 年代后期以来,UF 线呈平稳摆动,UF 和 UB 在 95% 信度线内虽也有相交,但 UF 始终没有超过 95% 信度线。

2.2.4 气温突变前后极端降水指数变化特点 孙凤华等^[21]对东北区的气温突变情况进行了分析,认为东北区在 1988 年前后气温发生了突变,考虑到所选的区域与松辽流域接近且同一气候区气温的变化趋势总体一致,因此,可以认为松辽流域在 1988 年前后气温发生了突变,在此对气温突变前后极端降水指数气候倾向率、变差系数等进行了计算和分析(见表 3)。

由表 3 可见,1961—2017 年极端降水量及极端降水频率呈上升的趋势,上升的幅度分别为 0.18 mm/10 a 和 0.16 d/10 a,极端降水强度和极端降水比率则呈下降的趋势,10 a 下降的幅度分别为-0.25 mm/d,-0.48%。气温突变前,上述四项极端降水指数的气候倾向率趋势和 1961—2017 年一致,除极端降水量的上升趋势略有降低外,其他指数上升或下降趋势明显增大;气候突变后,极端降水指数都呈下降的趋势。在气温突变前后,极端降水指数的平均值

接近。气温突变后,极端降水指数的变差系数都大于突变前,即突变后,极端降水不稳定性增强,有可能导



致一些年份极端降水量增多,频率加大,强度增强,比率偏大。

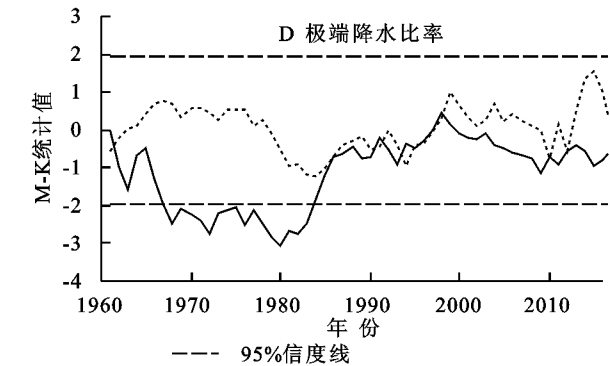
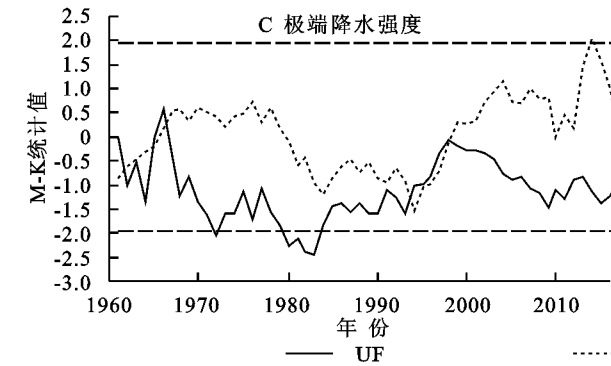
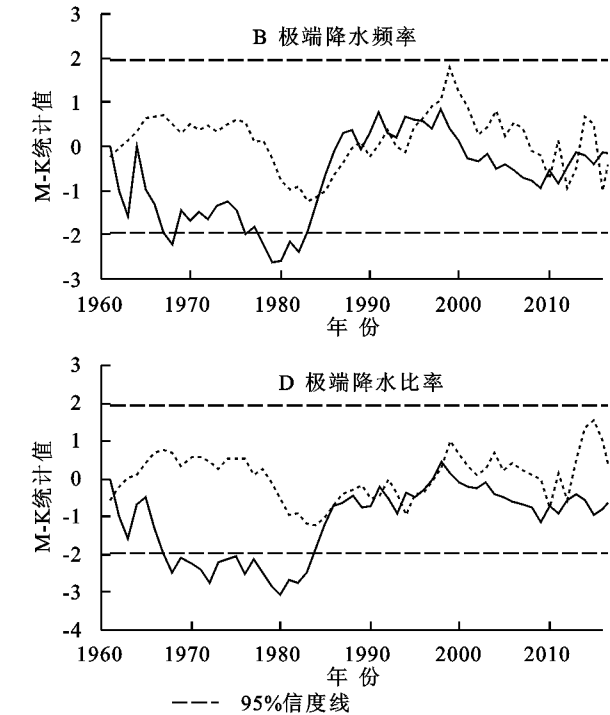


图 4 松辽流域极端降水指数 M-K 曲线

表 3 松辽流域极端降水指数气温突变前后特点

时间	项目	极端 降水量/mm	极端降水 频率/d	极端降水强度/ (mm·d ⁻¹)	极端降水 比率/%
57 a 突变前	倾向率/10 a	0.18	0.16	-0.25	-0.48
	倾向率/10 a	0.12	1.03	-2.76	-0.88
	Sv	0.19	0.16	0.57	0.11
	平均值/a	189.4	4.94	38.5	33.2
突变后	倾向率/10 a	-0.85	-0.70	-1.24	-1.32
	Sv	0.25	0.21	0.59	0.13
	平均值/a	191.4	4.93	38.8	33.1

3 结 论

(1) 松辽流域极端降水阈值呈西北小,南部大的分布趋势,这种分布和松辽流域各地年降水分布关系密切,相关系数达 0.551 6;极端降水量和极端降水频率都是由西北向东南增加的趋势,极端降水强度呈中南部大、北部、西部、东部少的分布,极端降水比率则由西北向东南降低;极端降水量、极端降水频率、极端降水比率都呈西南部下降、东北部上升的变化趋势,极端降水强度在松花江附近为上升趋势,其他大部分地方为下降的趋势。

(2) 极端降水主要出现在夏季,占总次数的 81.8%;极端降水指数 1961—1966 年、1983—1998 年、2010—2017 年处于偏多(强)阶段;其他时段处于偏少(弱)阶段,目前处于偏强阶段;在二十世纪 60 年代初期开始极端降水指数存在由强转弱的突变,80

年代中期以后极端降水指数开始增大,增强;1961—2017 年及突变前极端降水量及降水频率呈上升的趋势,极端降水强度和比率则呈下降的趋势,气温突变后极端降水指数都呈下降的趋势,变差系数增大。

(3) 目前松辽流域处于极端降水偏强阶段,极端降水量大,频率高,强度及比率大,且突变后极端降水指数变差系数增大,不稳定增强,极端降水过程或事件发生的几率增加。因此,应引起高度重视,加强对极端降水事件的监测、预警和研究,增强对极端降水灾害的防范和应对能力,将极端降水事件造成的损失降到最低。

参考文献:

[1] 丁裕国,郑春雨,申红艳. 极端气候变化的研究进展[J]. 沙漠与绿洲气象,2008,2(6):1-5.

[2] 陈金明,陆桂华,吴志勇,等. 长江流域极端降水过程事件的年内分布特征[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(4):588-594.

[3] 龙妍妍,范广洲,段炼,等. 中国近 54 年来夏季极端降水事件特征研究[J]. 气候与环境研究,2016,21(4):429-438.

[4] 高涛,谢立安. 近 50 年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J]. 地球科学进展,2014,29(5):577-589.

[5] 陈海山,范苏丹,张新华. 中国近 50 a 极端降水事件变化特征的季节性差异[J]. 大气科学学报,2009,32(6):744-751.

[6] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测事实[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):144-148.

- 141-147.
- [16] 杨学福,王蕾,关建玲,等.基于多元统计分析的渭河西咸段水质评价[J].环境工程学报,2016,10(3):1560-1565.
- [17] Nazeer S, Ali Z, Malik R N. Water Quality Assessment of river Soan(Pakistan)and source apportionment of pollution sources through receptor modeling [J]. Archives of Environmental Contamination & Toxicology, 2016,71(1):1-16.
- [18] Zhou F, Huang G H, Guo H, et al. Spatio-temporal patterns and source apportionment of coastal water pollution in eastern Hong Kong [J]. Water Research, 2007,41(15):3429-3439.
- [19] Yang L, Mei K, Liu X, et al. Spatial distribution and source apportionment of water pollution in different administrative zones of Wen-Rui-Tang (WRT) river watershed, China[J]. Environmental Science & Pollution Research International, 2013,20(8):5341-5352.
- [20] 王庆鹤.典型自然河道形态结构差异对水体自净作用的关系[D].贵阳:贵州大学,2016.
- [21] Shrestha S, Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan[J]. Environmental Modelling & Software, 2007,22(4):464-475.
- [22] Thurston G D, Spengler J D. A qualitative assessment of source contribution to inhalable particulate matter pollution in metropolitan Boston [J]. Atmospheric Environment, 1985,19(1):9-25.
- [23] Miller S L, Anderson M J, Daly E P, et al. Source apportionment of exposures to volatile organic compounds. I. Evaluation of receptor models using simulated exposure data [J]. Atmospheric Environment, 2002,36(22):3629-3641.
- [24] Li Q, Shang L, Gao T, et al. Use of principal component scores in multiple linear regression models for simulation of chlorophyll-a and phytoplankton abundance at a karst deep reservoir, southwest of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(1):72-78.
- [25] Zou R, Lung W S, Guo H. Neural network embedded monte carlo approach for water quality modeling under input information uncertainty[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2002,16(2):135-142.
- [26] Gulgundi M S, Shetty A. Identification and apportionment of pollution sources to groundwater quality[J]. Environmental Processes, 2016,3(2):1-11.
- [27] 张嘉嘉,赵景波,董雯,等.关中平原近十年来渭河水环境演变研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(1):68-72.



(上接第 203 页)

- [7] 刘佳,马振峰,杨淑群,等.1961—2010 年大渡河流域极端降水事件变化特征[J].长江流域资源与环境,2015,24(12):2167-2176.
- [8] 陆苗,高超,苏布达,等.淮河流域极端降水空间分布及概率特征[J].自然灾害学报,2015,24(5):160-168.
- [9] 刘鑫,顾乐雨,王屏,等.近 30 年太湖流域极端降水特征分析[J].水电能源科学,2015,33(9):1-4.
- [10] 陈金明,陆桂华,吴志勇,等.长江流域极端降水过程事件的年内分布特征[J].长江流域资源与环境,2014,23(4):588-594.
- [11] 贺振,贺俊平.1960—2012 年黄河流域极端降水时空变化[J].资源科学,2014,36(3):490-501.
- [12] 郭志辉,杨贵羽,王喜凤.松辽流域近 50 年来降水演变规律分析[J].人民黄河,2011,33(12):35-37.
- [13] 李想,李维京,赵振国.我国松花江流域和辽河流域降水的长期变化规律和未来趋势分析[J].应用气象学报,2005,16(5):595-598.
- [14] 曹铮.松辽流域水资源演变规律分析[D].天津:天津大学,2010.
- [15] 马铁民,尤晓敏,宁方贵.松辽流域近年旱情分析[J].东北水利水电,2004,22(3):7-8,12,55.
- [16] 尤晓敏.2005 年松辽流域汛期降雨的分析和预报[J].东北水利水电,2005,23(12):32-33.
- [17] 贺俊平,贺振.近 53 年黄河流域降水时空分布特征[J].生态环境学报,2014,23(1):95-100.
- [18] 马开玉,陈星,张耀存.气候诊断[M].北京:气象出版社,1996.105-160.
- [19] 袭祝香,纪玲玲,高晓获.吉林省极端严寒事件时空分布特征及评估方法研究[J].地理科学,2015,35(10):1341-1346.
- [20] 白美兰,郝润全,李喜仓,等.1961—2010 年内蒙古地区极端气候事件变化特征[J].干旱气象,2014,32(2):189-193.
- [21] 孙凤华,杨修群,路爽,等.东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析[J].气象科学,2006,26(2):157-163.