

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230890

# 东北漫川漫岗区极端降水时空变化特征

李晓玉<sup>1</sup>, 王晓伟<sup>1</sup>, 谷佳桐<sup>2</sup>, 赵海根<sup>1</sup>, 孙 琛<sup>1</sup>, 游松财<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 为探讨东北漫川漫岗区极端降水时空变化特征, 基于东北漫川漫岗区 1981~2015 年 79 个气象站点逐日降水数据, 建立极端降水指标体系, 采用气候倾向率法、变差系数  $C_V$ 、M-K 突变检验法、R/S 分析法、GIS 空间分析法综合分析了东北漫川漫岗区极端降水强度、频率、持续性指数的时空变化特征。结果表明, 1981~2015 年东北漫川漫岗区降水极端性整体呈减弱趋势,  $R \times 1\text{day}$ 、 $R \times 5\text{day}$ 、 $R12D$ 、 $R50D$ 、 $CRED$  分别以  $-0.5\text{ mm}/10\text{a}$ 、 $-2.1\text{ mm}/10\text{a}$ 、 $-0.2\text{ d}/10\text{a}$ 、 $0.02\text{ d}/10\text{a}$ 、 $0.03\text{ d}/10\text{a}$  的速率减小; 强度指数的年代变化呈“升—降—升”状态, 频率指数与持续性指数的年代变化皆呈“降—升”状态, 2010 年代较 2000 年代上升 12.5%~15.0%; 频率指数  $R50D$  的  $C_V$  值为 0.45, 波动剧烈, 其他指数的  $C_V$  值小于 0.2, 波动幅度较小;  $R50D$  与  $CRED$  分别在 1988、1990 年发生突变, 在突变点前呈增加趋势, 突变点后呈减弱趋势; 极端降水指数未来变化趋势与历史变化趋势相反, 降水极端性加剧; 极端降水呈自东南向西北逐渐减少的分布规律, 与 1980 年代相比, 1990 年代大部地区极端性有所增加, 2000 年代极端性减弱, 2010 年代东北漫川漫岗区南部极端降水强度减轻、频率降低、持续性减弱, 北部高海拔地区极端降水强度增强, 频率增加, 极端降水发生风险较大。该研究可为制定东北漫川漫岗区应对极端降水侵蚀风险的策略提供理论依据。

**关键词:** 极端降水指数; Mann-Kendall 检验; R/S 分析; 东北漫川漫岗区

**中图分类号:** TV125

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)12-0001-04

## 1 引言

极端降水事件是人类面临的最严峻挑战之一, 因其发展迅速, 不可控因素较多, 引发的洪涝、山地灾害、土壤侵蚀、作物减产会对社会经济、生态环境造成恶劣影响。近年来, 关于全球、不同流域及区域尺度的极端降水事件已有诸多研究, IPCC AR6 指出全球变暖幅度增大, 强降水事件发生频次加速增长<sup>[1]</sup>, 我国极端降水事件整体亦呈增加趋势, 且空间差异性较大<sup>[2-4]</sup>。东北漫川漫岗区是黑土坡耕地集中区和农、林等基础产业的主要生产区, 属于二级水土保持区划。该区土质疏松, 多年来过度开垦且耕地多顺坡垄耕, 径流集中。极端降水事件的增多会造成该区坡面水蚀作用强烈<sup>[5]</sup>, 加剧侵蚀沟的形成, 吞占大量良田, 威胁粮食安全<sup>[6]</sup>。以往对极端降水的研究一般以地理分区、省级行政区划或流域尺度为研究区域, 研究区覆盖的气象站点相对较稀疏<sup>[7]</sup>, 尚缺少水土

保持区极端降水时空变化特征的研究。鉴于, 本文以 ETCCDI 推荐的极端降水指数为基础, 结合 12 mm 的侵蚀性降水阈值, 构建符合东北漫川漫岗区的极端降水评价指标体系, 并基于 79 个气象站点 1981~2015 年的日降水数据, 分析了极端降水强度、频率、持续性指数的时空变化特征, 以期有效防治水土流失、水资源高效利用、气象灾害预警和抵御农田渍涝灾害风险提供一定理论支持, 亦对其他水土保持区有一定的借鉴意义。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 研究区概况

东北漫川漫岗区位于大、小兴安岭和长白山延伸的山前台地, 包括松嫩平原大部 and 辽河平原北部地区, 地跨黑龙江、吉林和辽宁三省。研究区属温带大陆性季风气候, 年均降水量 500 mm 左右, 多集中在夏季。区域内黑土和黑钙土分布集中, 地势波状起伏, 垦殖系数高, 农田植被覆盖率

**收稿日期:** 2023-05-31, **修回日期:** 2023-06-30

**基金项目:** 国家重点研发计划(2017YFD0300400)

**作者简介:** 李晓玉(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业气象防灾减灾, E-mail: 82101215244@caas. cn

**通讯作者:** 游松财(1963-), 男, 博士、研究员、博导, 研究方向为农业气象防灾减灾, E-mail: yousongcai@caas. cn

低,夏季暴雨频发导致沟道侵蚀剧烈,百米以上侵蚀沟  $29.2 \times 10^4$  条,沟壑密度在  $1.5 \text{ km/km}^2$  以上,每年土壤侵蚀模数为  $2\ 500 \sim 8\ 000 \text{ t/km}^2$ <sup>[8]</sup>,割裂优质耕地,威胁粮食生产。

### 2.2 数据来源

研究区域行政范围来源于《全国水土保持规划(2015-2030)》,行政边界矢量数据来源于《1:100万公众版基础地理信息数据(2021)》,1981~2015年东北漫川漫岗区及附近79个气象站点逐日降水数据来源于中国气象科学数据共享网。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 极端降水指标体系构建

结合东北漫川漫岗区环境状况,选取了最大1d降水量  $R \times 1\text{day}$ 、最大5d降水量  $R \times 5\text{day}$ 、暴雨日数  $R50D$ ,并新定义了侵蚀性降水日数  $R12D$ (日降水量  $\geq 12 \text{ mm}$ )<sup>[9]</sup>与持续侵蚀性降水日数  $CRED$ ,最终形成的指标体系从“强度-频率-持续性”角度分析东北漫川漫岗区极端降水情况,见表1。

表 1 极端降水指标体系

Tab. 1 Indicators of extreme precipitation

分类	指数名称	定义
强度指数	最大1d降水量( $R \times 1\text{day}$ )/mm	年最大1d降水量
	最大5d降水量( $R \times 5\text{day}$ )/mm	年最大连续5d降水量
频率指数	侵蚀性降水日数( $R12D$ )/d	年内日降水量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的总日数
	暴雨日数( $R50D$ )/d	年内日降水量 $\geq 50 \text{ mm}$ 的日数
频率指数	持续侵蚀性降水日数( $CRED$ )/d	连续日降水量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的最大日数

#### 2.3.2 极端降水指数时空变化特征分析方法

(1)线性倾向估计法。线性倾向估计法广泛应用于降水时间变化趋势分析,用  $x_i$  表示样本量为  $n$  的某气候变量,用  $t_i$  表示  $x_i$  所对应的时间,建立  $x_i$  与  $t_i$  之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中,  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数,  $a$ 、 $b$  可用最小二乘法进行估计。

设置气候倾向率  $k = 10 \text{ a}$ 。

(2)Mann-Kendall 突变检验。Mann-Kendall 突变检验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,计算简便。如对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$ ,构造一秩序列:

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

其中  $r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, i \quad (3)$

式中,  $s_k$  为  $i$  时刻数值大于  $j$  时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量  $U_{F_k}$  为:

$$U_{F_k} = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中  $U_{F_1} = 0 \quad (5)$

式中,  $E(s_k)$ 、 $\text{Var}(s_k)$  分别为累计数  $s_k$  的均值和方差,在  $x_1, x_2, \dots, x_n$  相互独立,且具有相同连续分布时,计算公式为:

$$\begin{cases} E(s_k) = [n(n+1)]/4 \\ \text{Var}(s_k) = [n(n-1)(2n+5)]/72 \end{cases} \quad (6)$$

然后构造  $x$  的逆序列  $(x_n, x_{n-1}, \dots, x_1)$ ,重复以上过程,使  $U_{B_k} = -U_{F_k}, k = n, n-1, \dots, 1$ 。若曲线  $U_F$  与  $U_B$  在 95% 置信区间内相交,该交点为突变点;若曲线  $U_F$  超过 95% 置信区间,说明时间序列存在显著的向上或向下的趋势。

(3)变异系数  $C_V$ 。变异系数  $C_V$  表示气候变化幅度的大小:

$$C_V = \sigma / \bar{x} \quad (7)$$

式中,  $\sigma$  为标准差;  $\bar{x}$  为平均数。

(4)利用 R/S 分析法获取 Hurst 指数<sup>[10]</sup>,判断各极端降水指数时间序列变化趋势的持续性与反持续性,强度分级含义可归纳为当  $0.5 > H > 0$ ,未来的变化趋势与过去相反;当  $1 > H > 0.5$ ,未来的变化趋势与过去一致;当  $H = 0.5$ ,未来趋势缺乏持久性。 $H$  值越接近于 1,趋势的持续性越强,若  $H$  值接近于 0,则趋势的反持续性越强。

(5)采用 Arcgis10.2 选择反距离权重插值法对各站点各年代极端降水指数进行插值,实现研究区域连续的空间分布;以 1980 年代为基础期,借助 Arcgis“数学分析-减”工具,对 1990、2000、2010 年代各指数变化量进行计算。

## 3 研究结果

### 3.1 极端降水强度指数时空变化特征

图 1 为东北漫川漫岗区 1981~2015 年极端降水强度指数变化。图 1 中,1980 年代为 1981~1990 年指数平均值分布情况,1990、2000、2010 年代呈现的是以 1980 年代为基准期,该年代指数变化的分布情况(下同)。由图 1 可知,1981~2015 年东北漫川漫岗区极端降水强度呈减弱趋势,  $R \times 1\text{day}$ 、 $R \times 5\text{day}$  平均分别为 58.2、93.3 mm,且分别以  $-0.5$ 、 $-2.1 \text{ mm/10a}$  的速率下降。由 5 年滑动平均曲线得出,强度指数变化过程分为 3 个阶段:①1981~1998 年波动增强;②1998~2006 年波动减弱;③2006~2015 年逐渐增强。强度指数逐年代变化呈“升-降-升”状态,  $R \times 1\text{day}$  与  $R \times 5\text{day}$  的变异系数  $C_V$  分别为 0.16、0.17,波动较小,且未发生显著突变。

东北漫川漫岗区极端降水强度指数呈由西北

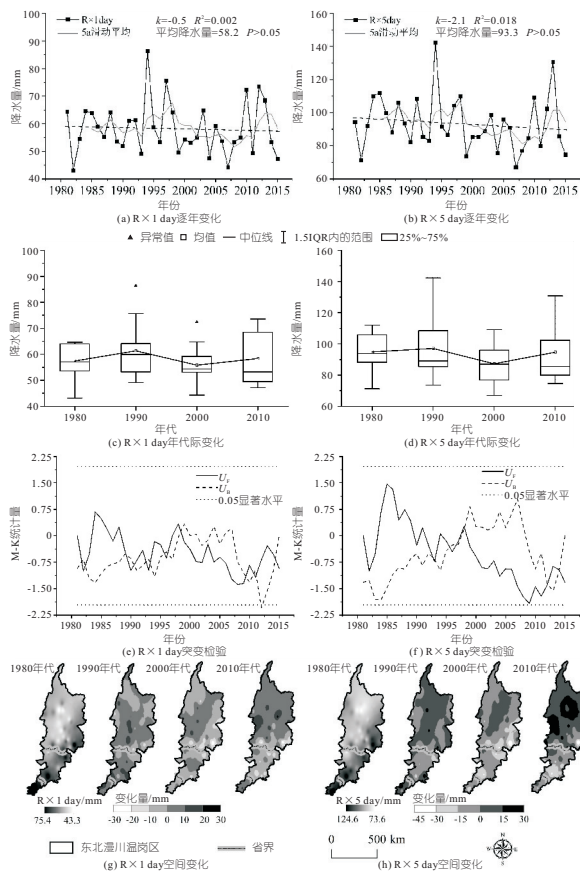


图 1 东北漫川漫岗区 1981~2015 年极端降水强度变化特征

Fig. 1 Characteristics of extreme precipitation intensity index in Rolling Hilly Region of Northeast China from 1981 to 2015

向东南逐渐递增的分布情况, 辽宁南邻渤海和黄海, 水汽丰富。1990 年代, 研究区域大部地区  $R \times 1 \text{ day}$  较 1980 年代增加 0~10 mm, 部分站点增加 10~20 mm, 吉林省梨树站增加最多为 19.62 mm, 黑龙江宾县减少量最大为 -14.6 mm; 2000 年代中北部及部分站点的极端降水强度较 1980 年代增强, 其他区域呈减弱状态; 2010 年代, 东北漫川漫岗区北部强度较 1980 年代增加, 海伦站  $R \times 1 \text{ day}$  增加 21.6 mm, 林甸站  $R \times 5 \text{ day}$  增加幅度最大, 为 29.9 mm, 南部地区强度减弱。

### 3.2 极端降水频率指数时空变化特征

图 2 为东北漫川漫岗区 1981~2015 年极端降水频率指数逐年变化特征。由图 2 可知, 1981~2015 年东北漫川漫岗区侵蚀性降水日数 R12D 与暴雨日数 R50D 平均为 13.2、0.9 d, 分别以 -0.2、-0.02 d/10a 速率下降。R12D 变化过程分为 2 个阶段: ①1981~2004 年呈波动减少趋势; ②2004~2015 年呈波动上升趋势。R50D 变化过程包括 3 个阶段: ①1981~1997 年, 从 1981 年波动降至 1992 年到达谷底后逐渐回升至 1997

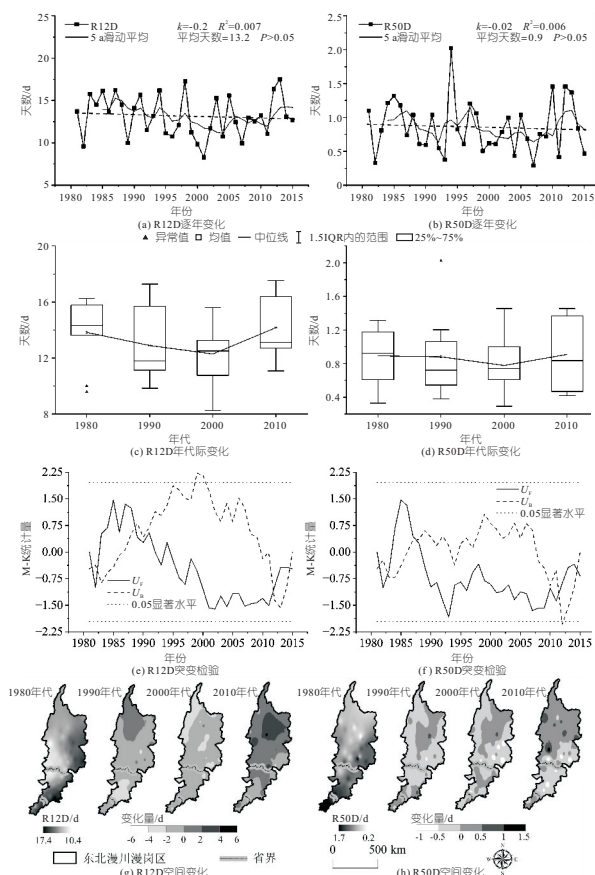


图 2 东北漫川漫岗区 1981~2015 年极端降水频率变化特征

Fig. 2 Characteristics of extreme precipitation frequency index in Rolling Hilly Region of Northeast China from 1981 to 2015

年; ②1997~2007 年, 暴雨日数逐渐减少; ③2007~2015 年暴雨日数逐渐增多。R12D、R50D 的  $C_V$  值分别为 0.19、0.45, 暴雨日数波动剧烈, 并在 1988 年出现突变, 突变点前为增加趋势, 之后为减少趋势。极端降水频率指数逐年代变化, 呈现 1980~2000 年代递减、2000~2010 年代增加的状态, 其中 1980 年代的 R12D 存在两个异常低值, 分别为 1982 年的 9.6 d、1989 年的 10 d, 1990 年代的 R50D 存在一个异常高值, 为 1994 年的 2.0 d。1990 年代, 漫川漫岗区北部海拔较高地区侵蚀性降水日数增加 2 d, 其他地区侵蚀性降水频率减少; 2000 年代, 除北安站增加 0.2 d 外, 全域侵蚀性降水日数减少; 2010 年代, 除东南部及南部地区侵蚀性降水减少, 其他大部地区侵蚀性降水日数增多, 拜泉站增加 4.3 d。2010 年代前郭一庆安一带以北暴雨日数有较大增加, 黑龙江安达站增加幅度最大为 1.3 d, 前郭一庆安一带以南地区暴雨日数以减少为主, 其中哈尔滨站减少最多为 1 d(图 2(a)、(b))。

### 3.3 极端降水持续性指数时空变化特征

图 3 为东北漫川漫岗区 1981~2015 年极端

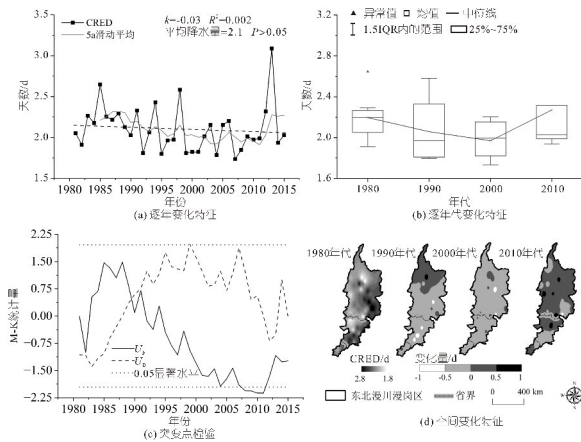


图3 东北漫川漫岗区1981~2015年极端降水持续性指数时空变化特征

Fig. 3 Spatial-temporal variation characteristics of extreme precipitation persistence index in Rolling Hilly Region of Northeast China from 1981 to 2015

降水持续性指数时空变化特征。由图3可知,1981~2015年东北漫川漫岗区极端降水持续性减弱,持续指数CRED平均为1.7~3.1 d,其变化过程包括两个阶段,其中1981~2010年持续性逐渐减弱,2011~2015年持续性增强。1980年代出现异常高值,为1985年的2.6 d,其他年代未出现异常值。CRED的 $C_V$ 值为0.13,波动较小,在1990年发生突变,发生突变之前的极端降水持续性主要呈增强趋势,后期持续性呈减弱趋势。CRED呈东多西少的分布特征,最大相差1 d,1990年代北部高海拔地区及南部个别站点持续性增强,水土流失风险加剧,其中五大连池站点增加最多为0.8 d,2000年代持续性以减弱为主,2010年代大部地区增加0~0.5 d,其中北安、林甸、明水、双城、德惠站增加较多为0.5~1.0 d。

### 3.4 极端降水指数未来变化趋势

运用R/S法分析东北漫川漫岗区5个极端降水指数序列的变化趋势持续性,结果表明各极端降水指数的Hurst指数小于0.5(表2), $R \times 1day$ 、 $R \times 5day$ 的反持续性较弱, $R12D$ 、 $R50D$ 、 $CRED$ 的反持续性较强。表明未来东北漫川漫岗区降水极端性加剧,强度增强,极端降水发生频率与持续性都将有所提升,水蚀风险加剧,应采取水土保持措施,减少极端气候对漫川漫岗地区坡耕地的水土流失影响。

表2 东北漫川漫岗区极端降水指数Hurst指数及强度统计

Tab. 2 Hurst value of extreme precipitation indices and persistence intensity in Rolling Hilly Region of Northeast China

指标	$R \times 1day$	$R \times 5day$	$R12D$	$R50D$	$CRED$
Hurst 指数	0.37	0.36	0.31	0.34	0.31
强度等级	较弱	较弱	较强	较强	较强

综上所述,1981~2015年东北漫川漫岗区降水极端性减弱,未来变化趋势将与1981~2015年的变化趋势相反,研究结果与文献[11]相近,但由于降水数据来源、气象站点密度、研究时间范围等不同,结果存在一定差异。

## 4 结论

a. 东北漫川漫岗区降水极端性在1981~2015年呈减弱趋势,但在2010年代有反弹趋势。

b. 极端降水强度指数未发现异常突变,频率指数 $R50D$ 与持续性指数 $CRED$ 在1980年代末发生突变,在突变前呈上升趋势,在突变后呈下降趋势。

c. 各极端降水指数Hurst指数 $< 0.5$ ,未来极端降水指数将与1981~2015年变化趋势相反,呈现增加趋势,降水极端性风险加剧。

d. 极端降水指数的分布与变化情况存在空间异质性。极端降水强度、频率与持续性自西北至东南逐渐增强,2010年代北部高海拔地区降水极端性明显增强,而极端降水事件高发的南部地区降水极端性却呈减弱趋势。

### 参考文献:

[1] 周波涛,钱进. IPCC AR6 报告解读:极端天气气候事件变化[J]. 气候变化研究进展,2021,17(6):713-718.

[2] 舒章康,李文鑫,张建云,等. 中国极端降水和高温历史变化及未来趋势[J]. 中国工程科学,2022,24(5):116-125.

[3] 栗忠魁,胡卓玮,魏铄,等. 1951~2013年华北地区极端降水事件的变化[J]. 遥感技术与应用,2016,31(4):773-783.

[4] 王少平,姜逢清,吴小波,等. 1961-2010年西北干旱区极端降水指数的时空变化分析[J]. 冰川冻土,2014,36(2):318-326.

[5] 郑粉莉,边锋,卢嘉,等. 雨型对东北典型黑土区顺坡垄作坡面土壤侵蚀的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(2):90-97.

[6] LIU K, HARRISON M T, YAN H, et al. Silver lining to a climate crisis in multiple prospects for alleviating crop waterlogging under future climates[J]. Nature communications,2023,14(1):765.

[7] 梁丰,刘丹丹,王婉昭,等. 1961-2013年东北地区夏季极端降水事件变化特征[J]. 干旱区地理,2016,39(3):565-572.

[8] 孙莉英,郑明国,方海燕,等. 漫川漫岗黑土区水土流失综合治理范式[J]. 中国水土保持科学,2012,10(3):43-49.

[9] 谢云,刘宝元,章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000(4):6-11.

[10] 刘慧媛,邹磊,邢万里. 1961~2018年海河流域极端降水时空演变特征[J]. 水电能源科学,2021,39(12):1-6.

[11] 李洋,王玉辉,吕晓敏,等. 1961-2013年东北三省极端气候事件时空格局及变化[J]. 资源科学,2015,37(12):2501-2513.

[8] 刘佳嘉,周祖昊,贾仰文,等. 基于 DEM 河网干支拓扑关系的子流域编码规则[J]. 河海大学学报(自然科学版),2013,41(4):288-293.

[9] 黄蓉,张建梅,林依雪,等. 新安江上游流域径流变化特征与归因分析[J]. 自然资源学报,2019,34(8):1771-1781.

[10] 郑艳妮,闻昕,方国华. 新安江流域气候变化及径流响应研究[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(1):106-110.

[11] 许红燕. 浙江省近期各分区水资源演变情势分析[J]. 浙江水利科技,2018,46(5):52-56,63.

[12] 王可欣,楼俊伟,俞涵婷. 近 50a 浙江降水分布的时空特征[J]. 浙江气象,2021,42(1):11-16.

[13] 潘娅英,骆月珍,王亚男,等. 新安江流域降水、径流演变特征分析[J]. 水土保持研究,2018,25(6):121-125.

## Analysis on the Evolution of Water Resources Situation in Qiandao Lake Basin from 1960 to 2020

DONG Hao<sup>1,2</sup>, DU Jun-kai<sup>1,2</sup>, WANG Bei-qing<sup>3</sup>, QIU Ya-qin<sup>1,2</sup>, LV Xiang-lin<sup>1,2</sup>, HAO Chun-feng<sup>1,2</sup>

- (1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;  
 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China;  
 3. Hydrology Management Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

**Abstract:** Aiming at the evolution of water resources in Qiandao Lake Basin under the condition of climate change, a WEP-L distributed hydrological model was established to simulate the water cycle process in the basin during 1960-2020. The Mann-Kendall non-parametric test method and Hurst index method were used to analyze the inter-annual variation and annual distribution characteristics of the total water resources in the basin. The temporal and spatial distribution and evolution trend of water resources in Qiandao Lake Basin were evaluated. The results indicate that The WEP-L model performs well in simulation the Qiandao Lake basin, and the Nash coefficient rate is above 0.83 in the calibration period and above 0.85 in the verification period; The water yield coefficient of the whole basin ranges from 0.436 to 0.630. The annual average total water resource is  $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , equivalent to 1 176.4 mm of water depth. The annual distribution process shows a unimodal structure, and the water depth of each sub-basin ranges from 742 mm to 1 266 mm, and the spatial distribution is higher in the west and lower in the east; The annual water resources series in the basin show an insignificant upward trend, and the Hurst index is 0.86, indicating a continuous upward trend. From the perspective of monthly water resources, January and February increased significantly, the other months were not significant changes.

**Key words:** WEP-L model; evolution of water resources; Qiandao Lake basin; climate change

\*\*\*\*\*  
 (上接第 4 页)

## Spatio-Temporal Variations of Extreme Precipitation in Rolling Hilly Region of Northeast China

LI Xiao-yu<sup>1</sup>, WANG Xiao-wei<sup>1</sup>, GU Jia-tong<sup>2</sup>, ZHAO Hai-gen<sup>1</sup>, SUN Chen<sup>1</sup>, YOU Song-cai<sup>1</sup>

- (1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** To explore temporal and spatial variations of extreme precipitation in the Rolling Hilly Region of Northeast China, a set of extreme precipitation evaluation indicators was established using the daily precipitation data from 79 meteorological stations covering the period from 1981 to 2015. The intensity, frequency and persistence of extreme precipitation were analyzed using various methods, including linear trend estimation, coefficient of variation, Mann-Kendall test, R/S analysis, and GIS spatial analysis. The results show that from 1981 to 2015, the overall extreme precipitation showed a weakening trend in the Rolling Hilly Region of Northeast China;  $R \times 1\text{day}$ ,  $R \times 5\text{day}$ ,  $R12\text{D}$ ,  $R50\text{D}$ , and  $\text{CRED}$  decreased at rates of  $-0.5 \text{ mm}/10\text{a}$ ,  $-2.1 \text{ mm}/10\text{a}$ ,  $-0.2 \text{ d}/10\text{a}$ ,  $0.02 \text{ d}/10\text{a}$  and  $0.03 \text{ d}/10\text{a}$ , respectively. The inter-decade variation of the intensity index showed a state of "rise-fall-rise", and the annual change of frequency index and persistence index showed a "fall-rise" form, which increased by 12.5%-15% in the 2010s compared with the 2000s. The  $C_V$  value of frequency index  $R50\text{D}$  is 0.45, which fluctuates sharply, and the  $C_V$  value of other indices is less than 0.2, and the fluctuation range is small.  $R50\text{D}$  and  $\text{CRED}$  experienced abrupt changes in 1988 and 1990, respectively, and exhibited an increasing trend before the mutation points and a weakening trend after that. Extreme precipitation increased during the 1990s, weakened in most areas during the 2000s, and intensified in both frequency and intensity in the northern high-altitude areas of the Rolling Hilly Region of Northeast China in the 2010s, while it reduced in the Southern Regions. This study can provide a theoretical basis for formulating strategies to cope with extreme precipitation risks in the Rolling Hilly Region of Northeast China.

**Key words:** extreme precipitation index; Mann-Kendall test; R/S analysis; Rolling Hilly Region of Northeast China