

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20230224

# 1960~2020年千岛湖流域水资源情势演变分析

董 颖<sup>1,2</sup>, 杜军凯<sup>1,2</sup>, 王蓓卿<sup>3</sup>, 仇亚琴<sup>1,2</sup>, 吕向林<sup>1,2</sup>, 郝春洋<sup>1,2</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 2. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;  
3. 浙江省水文管理中心, 浙江 杭州 310009)

**摘要:** 针对气候变化条件下千岛湖流域水资源演变情势, 建立 WEP-L 分布式水文模型模拟流域 1960~2020 年水循环过程, 采用 Mann-Kendall 非参数检验法和 Hurst 指数法分析流域水资源总量年际变化、年内分配特征, 评价了千岛湖流域水资源量时空分布与演变趋势。结果表明, WEP-L 模型在千岛湖流域模拟结果较好, 率定期的 Nash 系数在 0.83 以上, 验证期的 Nash 系数在 0.85 以上; 全流域产水系数在 0.436~0.630 之间, 多年平均水资源总量  $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 折合产水深 1 176.4 mm, 年内分配过程呈单峰型结构, 各子流域产水深范围在 742~1 266 mm, 空间分布呈西高东低; 流域年水资源总量系列呈不显著上升趋势, Hurst 指数 0.86, 存在上升的持续性; 从月度水资源量来看, 1、2 月显著增加, 其余月份变化均不显著。

**关键词:** WEP-L 模型; 水资源演变; 千岛湖流域; 气候变化

中图分类号: X832; TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)12-0014-05

## 1 概况

千岛湖流域(29°11'N~30°13'N, 117°38'E~119°20'E)面积 10 410.7 km<sup>2</sup>(图 1), 海拔 57~1 764 m, 多年平均气温 17 °C, 多年平均降水量 1 733 mm, 水质状况优良。研究区地处浙西山地丘陵区, 属亚热带季风气候、受梅雨气候影响, 空气湿润、四季分明, 植被以常绿针叶林为主, 森林覆盖率达 75% 以上。流域水系发达, 主要河流有新安江、武强溪等, 均汇集于千岛湖。千岛湖系华东地区主要水源地之一, 水量丰富、水质优良, 承

载着供水、防洪等诸多任务, 是我国重点水生态区域之一<sup>[1]</sup>, 生态战略地位尤为重要。随着经济社会的发展, 该区域面临着愈加严峻的水资源供需形式<sup>[2-3]</sup>。厘清其变化环境下水资源时空分布特征和演变情势, 对于流域水资源保护、合理开发利用与配置管理具有重要意义。因此, 本文针对千岛湖流域建立分布式水文模型 WEP-L, 探讨了流域水资源时空格局和演变情势, 以期为相似流域水资源评价和管理提供参考。

## 2 数据与研究方法

### 2.1 基础数据

DEM 数据分辨率为 90 m, 来源于 NASA 和美国国家测绘局(NIMA)联合发布的数字高程(DEM)数据集。气象数据选用研究区范围内及周边 20 个气象站点 1960~2020 年降水、气温、日照时数、风速与相对湿度的逐日数据, 数据来源于国家气象科学数据中心。植被数据包括叶面积指数 LAI 和归一化植被指数 NDVI, 空间分辨率均为 500 m, LAI 数据来源于 USGS 和 NASA 联合在线发布的全球数据库(LP DAAC), NDVI 数据

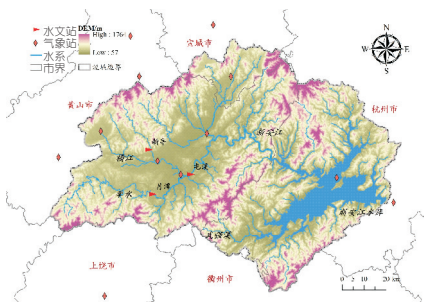


图 1 千岛湖流域地理位置与站点分布

Fig. 1 The location of Qiandao Lake Basin and the distribution of monitoring stations

收稿日期: 2023-02-20, 修回日期: 2023-03-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(52279030); 国家重点研发计划(2021YFC3201101, 2021YFC3201105)

作者简介: 董颖(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为流域水循环模拟, E-mail: 1181923672@qq.com

通讯作者: 杜军凯(1987-), 男, 博士、高级工程师, 研究方向为流域水循环及其伴生过程模拟, E-mail: du\_djk@163.com

来源于中科院地理空间数据云。土地利用选取 1980、1990、2000、2010、2015 年共 5 期数据,来源于中科院资源环境科学与数据中心。各水文站点逐月观测径流数据均来自当地流域水文局。

## 2.2 WEP-L 模型

WEP-L 模型具有明确的物理机制,以“子流域嵌套等高带”为最小计算单元,通过建立各子流域之间的拓扑关系,计算流域蒸发、产流等水文过程,被广泛用于水循环模拟和水资源评价<sup>[4-5]</sup>。

## 2.3 趋势分析

Mann-Kendall(M-K)法通过计算统计量  $Z$  值定量描述趋势变化的显著程度,其中  $Z < 0$  表示时间序列具有下降趋势,反之则具有增加趋势。在给定显著性水平  $\alpha$  时若  $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$  则拒绝原假设,即时间具有显著的上升或下降趋势。通过计算  $UF_k$ 、 $UB_k$  序列值并绘制曲线,二者产生的交点即为突变点,对应的时间节点即为突变时刻<sup>[6]</sup>。

Hurst 指数法用于分析径流年际变化的未来持续性特征,能体现水文要素时间序列的自相关性,反映其中隐藏的未来变化趋势。WALLIS JR 等<sup>[7]</sup>将这种持续性用 Hurst 指数( $H$ )阐述,采用 R/S 分析法计算 Hurst 指数,定量认识水文要素过去与未来是否存在相同( $0.5 < H < 1$ )或相反( $0 < H < 0.5$ )的演变特征。

# 3 千岛湖流域 WEP-L 模型率定与验证

## 3.1 模拟单元划分

采用干支拓扑关系编码规则<sup>[8]</sup>,湖区以集水面积  $5 \text{ km}^2$  为阈值、研究区其他区域以  $30 \text{ km}^2$  为阈值进行河网提取和子流域划分,全区共划分子流域 200 个,等高带 467 个,按照空间位置将子流域归为南、西、北三大片区,并提取“集水面积  $< 30 \text{ km}^2$ ”的环湖独流入湖流域 50 个。三大片区分别为以武强溪等支流为主的南片区、以新安江上游干流为主入库的西片区以及包括清平源等支流的北片区,其中南片区 40 个子流域、88 个等高带;西片区 119 个子流域、311 个等高带;北片区 40 个子流域、62 个等高带。

## 3.2 模型率定与验证

模型敏感度较高的参数主要有土壤层厚度、饱和含水率、地表洼地最大储留深和河床材料导水系数等,选取研究区范围内有长序列逐月观测径流资料的 3 座水文站(月潭站、新亭站、屯溪站)作为验证站。选定 1960~2000 年作为率定期,

2001~2016 年作为验证期,模型模拟效果评估选取 Nash 效率系数  $N_{\text{Nash}}$  和相对误差  $P_{\text{PBIAS}}$  两项指标,采用目标试错法对模型参数进行校正。

$$N_{\text{Nash}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{obs}}^i - Q_{\text{sim}}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{obs}}^i - \overline{Q_{\text{obs}}})^2} \quad (1)$$

$$P_{\text{PBIAS}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{obs}}^i - Q_{\text{sim}}^i)}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{obs}}^i} \quad (2)$$

式中,  $Q_{\text{obs}}^i$  为观测径流,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{\text{sim}}^i$  为模拟径流,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $n$  为系列长度。

表 1 为各水文站月径流过程模拟结果。由表 1 可知,所选水文站点率定期 Nash 效率系数均在 0.83 以上,最高达 0.91,相对误差介于  $-6.3\% \sim 1.0\%$  之间;验证期 Nash 效率系数均在 0.85 以上,最高可达 0.93,相对误差在  $-6.0\% \sim 10.3\%$  范围内。率定期月潭站模拟效果最佳,验证期屯溪站模拟效果最佳,各个站点整体模拟结果良好,精度较高,可较好地模拟千岛湖流域水循环过程。3 座水文站点模拟径流与观测径流过程对比结果见图 2。

表 1 各水文站月径流过程模拟结果

Tab. 1 The simulation results of monthly runoff process at each hydrological station

水文站	多年平均	多年平均	率定期		验证期	
	观测径流 量/ $10^8 \text{ m}^3$	模拟径流 量/ $10^8 \text{ m}^3$	Nash 系数	相对 误差/ $\%$	Nash 系数	相对 误差/ $\%$
月潭站	11.86	11.45	0.91	1.0	0.85	10.3
新亭站	1.94	2.06	0.83	-6.3	0.90	-6.0
屯溪站	31.13	32.46	0.91	-6.2	0.93	1.0

# 4 千岛湖流域水循环模拟及水资源情势演变

## 4.1 水资源时空分布

将 1960~2020 年划分为 1960~1979、1980~1999、2000~2020 年(T1、T2、T3)3 个研究时段,分时段研究流域水资源总量及分区变化情况。表 2 为全流域及分区降水水资源量。由表 2 可知,全流域水资源总量多年平均  $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中 T1、T2、T3 时段年平均水资源量分别为  $112.0 \times 10^8$ 、 $138.0 \times 10^8$ 、 $117.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,整体呈先升后降变化。从各分区看,南区多年平均水资源量  $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,西区多年平均水资源量  $79.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,北区多年平均水资源量  $8.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中独流入湖区多年平均水资源量  $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。时序变化均呈单峰式结构,先增后减。

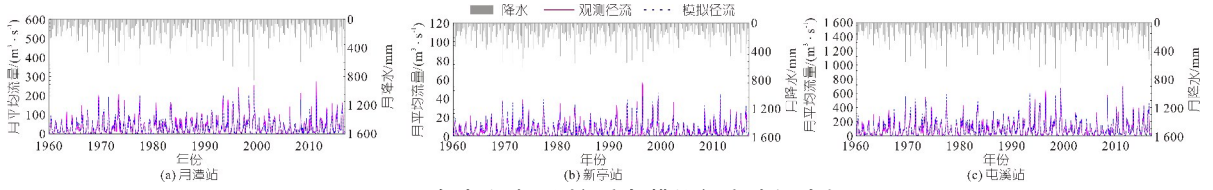


图2 各水文站观测径流与模拟径流过程对比

Fig. 2 The comparison of observed runoff and simulated runoff at each hydrological station

表2 全流域及分区降水、水资源量

Tab. 2 The amount of precipitation and water resources in the whole basin and subregion

时段/年份	全流域		南片区		西片区		北片区		其中独流入湖区	
	降水 量/mm	水资源量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	降水 量/mm	水资源量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	降水 量/mm	水资源量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	降水 量/mm	水资源量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	降水 量/mm	水资源量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
1960~1979(T1)	1 780	112.0	1 731	16.0	1 838	74.0	1 606	7.8	1 630	4.3
1980~1999(T2)	1 967	138.0	1 912	19.8	2 026	90.4	1 809	10.0	1 830	5.6
2000~2020(T3)	1 783	117.6	1 802	17.4	1 806	74.3	1 717	8.8	1 745	5.0
1960~2020	1 842	122.5	1 815	17.7	1 889	79.5	1 711	8.9	1 735	5.0

产水深为区域内地表径流深、壤中流产流深与地下径流深之和,产水系数为区域内产水深与降水量之比,通过分布式水文模型,逐子流域计算1960~2020年多年平均产水深和降水量,得出研究区产水系数。产水深与产水系数评价结果见图3,全区产水深范围在742~1 266 mm,呈由西向东递减趋势;产水系数在0.436~0.630之间,呈现中部高、沿南北两方向递减趋势。

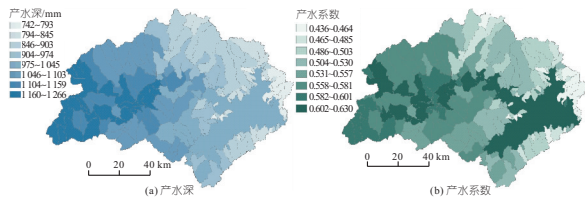


图3 产水深与产水系数空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of water production depth and water production coefficient

### 4.2 水资源演变趋势

针对1960~2020年水资源量长时间序列年际变化、年内分配特征分析,在 $\alpha=0.05$ 水平下,采用M-K方法进行突变点及月份显著性检验,并利用Hurst指数分析水资源量未来变化的可持续性。

#### 4.2.1 年际趋势

图4(a)为1960~2020年水资源总量演变情况,多年平均 $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,最大值出现在1973

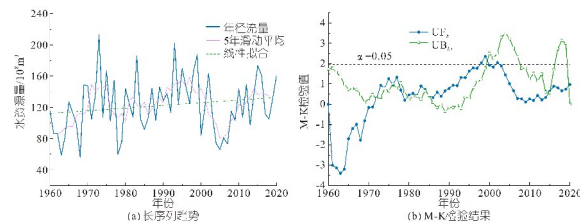


图4 水资源量年际变化特征

Fig. 4 The interannual variation characteristics of water resources

年,达 $213.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,最小值为1968年的 $56.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,波动较为明显,整体呈上升趋势,倾向率 $0.34 \text{ mm/a}$ ,M-K检验值 $Z$ 为1.35,上升趋势不显著。图4(b)为水资源量M-K检验结果,在1972、1979、1999年等存在突变点,这与文献[9]的结果相吻合。基于R/S分析法,千岛湖流域水资源量年际变化序列的Hurst指数( $H$ )计算结果为0.86,说明水资源量的年际变化在未来具有较强的持续性,水量上升的持续性与文献[10]研究结论相一致。

#### 4.2.2 年内分布变化

1960~2020年流域水资源量年内分配情况见图5(a),多月平均水资源量6月出现最大值,为 $26.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,12月出现最小值,为 $3.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,呈先上升后下降趋势,即单峰型结构。月平均水资源量M-K检验结果见图5(b),1、2月呈显著增加趋势,其余月份变化均不显著,其中4、5、8、9月呈下降趋势,其他月份为上升趋势,1月上升程度最大,9月下降程度最大。

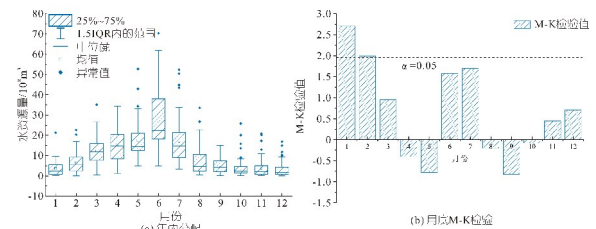


图5 水资源量年内分配及趋势性检验

Fig. 5 The annual distribution and trend test of water resources

## 5 结果与分析

### 5.1 合理性分析

千岛湖流域多年平均水资源量 $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,降水 $191.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,产水系数0.64,与文

献[11]产水系数较为接近。千岛湖流域位于钱塘江流域上游,降水量偏高<sup>[12]</sup>,产水能力高于全流域,且山区是主要产水区,因而产水系数较高是合理的。千岛湖流域 1960~2020 年降水量整体呈上升趋势,倾向率为 2.21 mm/a。水资源量在长序列时间上呈上升趋势,与降水演变趋势具有一致性,且年际间具有一定波动性,这与文献[13]结论相一致,即千岛湖流域属于雨水补给型河流,降水与水资源量之间有高度相关性,二者皆呈波动式增长趋势。

## 5.2 原因分析

降水是引起水资源量变化的主要原因,如图 6 所示,千岛湖流域降水量  $P$ 、产水深  $R$  二者之间变化趋势虽高度相关但不完全一致, $R$  变幅更加明显,T2 时段较 T1 时段  $R$  增加了 250.0 mm,相对变化率为 23.2%,同时段相比  $P$  增加了 186.4 mm,相对变化率为 10.5%; $E$  下降了 46.7 mm,相对变化率为 -5.3%。T3 时段较 T2 时段  $R$  下降了 196.1 mm,相对变化率为 -14.8%,同时段  $P$  下降了 183.2 mm,相对变化率为 -9.3%; $E$  增加了 9.7 mm,相对变化率为 1.1%。从水量平衡的角度解析, $R$  与  $P$  成正相关,与  $E$  成负相关,T2 较 T1 时段蒸发减少,T3 较 T2 时段蒸发增加,增进了  $R$  在 3 个时段内先升后降的变化。

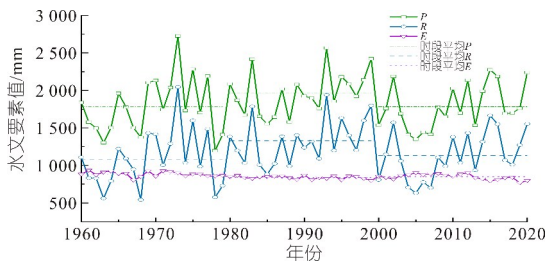


图 6 降水量、产水深、蒸发量年际变化

Fig. 6 The interannual variation of  $P$ ,  $R$ ,  $E$

1960~2020 年多年平均蒸发量 857 mm,整体呈下降趋势,倾向率 -1 mm/a。其间日照时长多年平均值为 4.97 h/d,年平均日照时长在 4.0~6.1 h/d 之间,呈减少趋势,倾向率为 -0.15 (h·d<sup>-1</sup>)/10a。相对湿度多年平均值为 77.83%,年均值在 71.6%~81.2% 范围内,呈减少趋势,倾向率为 -0.33 %/10a。日平均气温多年平均值为 16.9 °C,年均值在 16.0~18.0 °C 间,呈上升趋势,倾向率为 0.18 °C/10a。风速多年平均值为 1.53 m/s,年均值范围在 1.3~1.8 m/s,呈下降趋势,倾向率为 -0.045 (m·s<sup>-1</sup>)/10a。考虑多年日照时长的减少和风速的下降会引起流域蒸发量的降低,气温的升高又会引起蒸发量的增加,但各气象因子对蒸发敏感度不同,引起的变

化量也存在差异,多因素共同作用引起蒸发量减少,从而推进产水深 1960~2020 年整体上升,其中蒸发的具体变化及其主要气象影响因素还需进一步探讨。

## 6 结论

a. 基于 1960~2016 年逐月观测径流系列的验证结果,所构建的 WEP-L 模型精度良好,率定期 Nash 系数 0.83~0.91,相对误差 -6.3%~1.0%;验证期 Nash 系数 0.85~0.93,相对误差 -6.0%~10.3%,可用于流域水循环模拟与水资源评价。

b. 研究区多年平均水资源量  $122.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,西区、南区、北区等 3 大片区分别为  $79.5 \times 10^8$ 、 $17.7 \times 10^8$ 、 $8.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中环湖独流入湖区为  $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。全流域、3 大片区及独流入湖水资源量变化均呈单峰式结构,呈先增后减趋势。空间分布上,子流域产水深范围在 742~1 266 mm,西高东低,产水系数在 0.436~0.630 之间,呈现中部高、沿南北两方向递减的分布特征。

c. 千岛湖流域 1960~2020 年水资源量总体呈波动上升趋势,主要受降水增加、蒸发减小的综合影响,从月平均水资源量来看,1、2 月呈显著增加趋势。Hurst 指数分析结果表明流域水资源量未来有很大可能将保持上升趋势。开展水资源演变归因分析,系统解析流域水循环演变规律,将是下一步重点研究内容。

## 参考文献:

- [1] 余国庆,李文明. 千岛湖水资源保护与管理对策研究[J]. 水资源开发与管理,2016(2):11-14.
- [2] 方文华,余传冠,兰佳. 千岛湖“十三五”期间水质监测分析[J]. 中国资源综合利用,2022,40(3):153-155.
- [3] 王立彪,张奔,冯伟华,等. 千岛湖水源对余杭区供水的影响[J]. 给水排水,2021,57(7):20-25,31.
- [4] 苏辉东,贾仰文,刘欢,等. 基于 WEP-L 模型的寒区流域径流演变模拟及归因分析[J]. 冰川冻土,2021,43(5):1523-1530.
- [5] 杜军凯. 考虑垂直地带性的山区分布式水文模拟与应用[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2019.
- [6] 吕向林,姬世保,仇亚琴,等. 汾河流域上游基流特征及其影响因素[J]. 水资源保护,2022,38(2):147-153.
- [7] WALLIS J R, MATALAS N C. Small sample properties of H and K-estimations of the Hurst coefficient [J]. Water resource research,1970,16(6):1583-1594.

- [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