

严志涛, 李谢辉, 刘子堂, 等. 气候变暖背景下西南四省市暴雨洪涝灾害风险变化[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 200–207.  
[YAN Zhitao, LI Xiehui, LIU Zitang, et al. Risk Change of Rainstorm and Flood Disaster in Four Provinces and Cities of Southwestern China under the Background of Climate Warming[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 200–207. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.035.]

# 气候变暖背景下西南四省市暴雨洪涝灾害风险变化<sup>\*</sup>

严志涛, 李谢辉, 刘子堂, 徐佳奥, 潘昱杉

(成都信息工程大学 大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

**摘 要:** 为了对西南地区气候变暖前后四省市相对灾情指数变化、暴雨洪涝相对灾情概率分布和暴雨洪涝灾害致灾因子危险性风险进行评价, 采用西南地区四省市 83 个气象站点的逐日降水和气温资料、以及灾情数据等, 首先利用突变检验确定气候变化突变年, 然后借助灰色关联法、信息分配法以及熵权法等进行分析。结果表明: 西南地区四省市年平均气温于 1998 年发生突变, 总体以 0.26℃/10 年的速率呈显著性上升趋势; 四个省市 1978–2018 年间的相对灾情指数主要集中在 0.65~0.85 之间, 其中以小灾、中灾居多, 变暖后较变暖前大灾发生频次增加显著; 暴雨洪涝致灾因子危险性评估中指数变化主要呈西南–东北走向, 两边为危险性增加区域、中间地区增幅较少或有所减小, 川渝地区在变暖前后暴雨洪涝灾害危险性均高于云贵地区。

**关键词:** 气候变暖; 暴雨洪涝灾害; 相对灾情指数; 致灾因子危险性评价; 西南地区

**中图分类号:** P642; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2021)02–0200–08

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.02.035

西南地区以盆地和丘陵地形为主, 四面环山, 位于青藏高原东部的下坡位置, 受南支系统和西南季风影响, 且处于中国气候的南北边界附近, 年降水量空间分布不均匀, 局地差异大<sup>[1]</sup>, 易受暴雨、洪涝、干旱等恶劣天气影响, 造成频繁严重的气象灾害。

根据观测结果显示, 我国洪涝灾害发生频次呈现上升趋势, 其影响危害也随之增加<sup>[2]</sup>。最近数十年来西南地区各省市多次遭受暴雨洪涝灾害的危害, 损失惨重。根据谢清霞等对西南片区洪涝灾害时空变化特征的分析研究表明, 近 57 年来(1961–2017 年间)中国发生的洪灾次数总体呈明显上升趋势, 且西南地区的主汛期(6–8 月)是暴雨洪涝灾害高发期, 其中 7 月洪灾发生的次数最多<sup>[3]</sup>。在全球变暖的背景下, 强降水事件在一些地区呈现出强度越来越强和频次越来越高的趋势<sup>[4–7]</sup>, 此外一些人类活动的影响亦是造成异常洪涝灾害风险增大的主要原因之一<sup>[8–12]</sup>。因此, 目前国内外已有大量学者运用各种方法对暴雨洪涝灾害风险评估开展相关研究, 其方法包括指标体系评价法<sup>[13]</sup>、水文水力学模型<sup>[14]</sup>和信息扩散法<sup>[15]</sup>等。其中较为普遍的是建立暴雨洪涝致灾指标的相关研究<sup>[16–17]</sup>, 且较多仅选取一个省份的灾害情况来建立评价模型<sup>[18–19]</sup>。而在对

灾情评估方面的大量研究中, 其中冯利华等对赵阿兴等根据中国自然灾害情况提出的“灾度”概念, 以及灾度等级判别方法<sup>[20]</sup>进行了改进, 分别提出了“灾级”的概念和绝对灾情、综合灾情的分级模型<sup>[21–22]</sup>。刘燕华等从绝对灾情、相对灾情 2 个方面对中国灾害程度的区域特征进行了分析<sup>[23]</sup>。杨仕升参照灰色关联法, 构建了自然灾害等级划分和灾情比较的模型<sup>[24]</sup>。

到目前为止, 对整个西南地区的暴雨洪涝灾害分析和风险评价方面的研究工作还相对较少。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第五次评估报告指出, 中纬度大部分陆地区域和热带地区可能会因为未来气候变暖而导致强降水强度加大、发生频率增加, 因此对气候变暖背景下暴雨洪涝灾害的风险变化进行研究, 将对各个地区提升防洪减灾能力上具有重要意义<sup>[25]</sup>。基于此, 本文主要基于西南地区四个省市的灾情和温度降水资料, 通过建立西南地区暴雨洪涝灾害的相对灾害指数模型, 对西南地区暴雨洪涝灾害进行风险评估, 将气候变暖背景下西南地区暴雨洪涝灾害风险的变化进行量化表达, 以期西南地区防洪减灾提供科学依据。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2020–08–27 修回日期: 2020–11–19

基金项目: 科技部第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0105); 2020 年大学生创新创业训练计划项目(202010621007, 202010621024)

第一作者简介: 严志涛(1998–), 男, 汉族, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事气象灾害与区域气候变化研究。

E-mail: 244281089@qq.com

通讯作者: 李谢辉(1977–), 女, 汉族, 河南平舆人, 博士, 副教授, 主要从事气象灾害风险评估与气候变化研究。

E-mail: lixiehui@cuit.edu.cn

## 1 研究区概况

西南地区长期以来一直是冷空气和温暖潮湿空气的交汇地带。夏季闷热潮湿, 冬季寒冷多雨, 春秋两季多云多雾, 日照少, 易受暴雨、洪涝等恶劣天气影响, 造成频繁严重的洪涝灾害。西南地区年降水量空间分布不均匀, 局地差异大, 大体呈由东南向西北减少的分布形势, 其间由于地形和山脉走向的影响, 造成多雨区和少雨区交错分布, 是一个典型的气候脆弱地区, 气象灾害频繁发生, 且抗灾能力相对较弱。本文研究的西南地区四省市范围以省级行政单位作为研究区域, 主要包括四川、云南、贵州和重庆共 4 个省市 (图 1)。由于西藏地区气象站点数据资料的缺乏, 故没有把西藏列入研究范围。

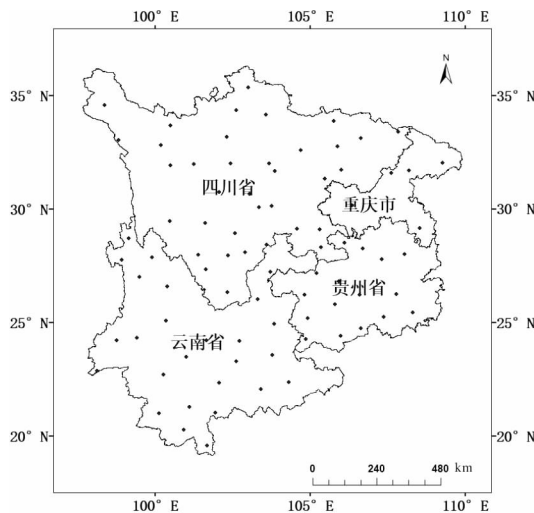


图 1 西南地区范围及气象站点分布图

## 2 资料与方法

### 2.1 数据资料

选取国家气象信息中心提供的 83 个站点 (图 1) 1978 - 2018 年的地面气候资料日值数据集 V3.0 中的温度和降水数据, 按照时间序列足够长 (1978 - 2018 年), 资料相对完整 (缺测值较少) 的条件选取地面观测资料。灾情资料来自于《中国统计年鉴》<sup>[26]</sup>, 以及国家统计局统计数据检索平台中 1978 - 2018 年间西南地区四个省市因暴雨洪涝导致的农作物受灾面积、成灾面积和各省的农作物播种面积。

### 2.2 主要研究方法

#### 2.2.1 暴雨洪涝灾害相对灾情指数

相对灾情指标是灾害造成某方面的损失量与同地区同类型总量的百分比大小<sup>[22]</sup>。选用受灾面积比重、成灾面积比重作为暴雨洪涝灾害相对灾情指标, 其中受灾面积比重为各省市洪涝灾害导致的农作物受灾面积和播种面积的比值, 成灾面积比重为各省市洪涝灾害导致的农作物成灾面积和播种面积的比值。

参照于庆东等<sup>[22]</sup>的相对灾情单指标分级标准, 将暴雨洪涝灾害进行等级划分, 主要划分为巨灾、

大灾、中灾、小灾和微灾五个等级, 各指标及分级标准见表 1。

表 1 灾害等级和单指标分级标准

等级	受灾面积比重/%	成灾面积比重/%
巨灾	(40, 100]	(20, 100]
大灾	(4, 40]	(2, 20]
中灾	(0.4, 4]	(0.2, 2]
小灾	(0.04, 0.4]	(0.02, 0.2]
微灾	(0.004, 0.04]	(0.002, 0.02]

结合受灾面积比重  $x$  和成灾面积比重  $y$ , 引入转换函数 (1) 式和 (2) 式<sup>[27]</sup> 对表 1 的分级标准进行等价变化, 得到单项指标转换函数对应的灾害等级表 2。

$$U(x) = \begin{cases} 0.8 + 1/(300(x - 40)), & 40 < x \leq 100; \\ 0.2 \times \lg(10^3 x/4), & 0.004 < x \leq 400; \\ 0, & x \leq 0.004. \end{cases} \quad (1)$$

$$U(y) = \begin{cases} 0.8 + 1/(300(y - 40)), & 20 < y \leq 50; \\ 0.2 \times \lg(10^3 y/4), & 0.002 < y \leq 20; \\ 0, & y \leq 0.002. \end{cases} \quad (2)$$

表 2 单项转换函数值与灾害等级的关系

等级	转换函数值
巨灾	(0.8, 1.0]
大灾	(0.6, 0.8]
中灾	(0.4, 0.6]
小灾	(0.2, 0.4]
微灾	(0, 0.2]

对等价变化后得到具备可比性的无量纲指标运用灰色关联分析法<sup>[24]</sup> 建立暴雨洪涝灾害相对灾情指数, 具体步骤为: ①设参考序列  $U_0 = (u)$ , ( $u = 1$ ) ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 表示灾害的各单项指标的转换函数都为 1, 属于标准巨灾; ②比较各次灾害的转换函数值序列  $U_i$  与参考序列  $U_0$  的关联程度; ③由灰色关联系数的定义方法, 得到比较序列与参考序列各项指标的关联系数为:

$$\xi_{0i} = \frac{1}{1 + \Delta_{0j}(j)}. \quad (3)$$

式中:  $\Delta_{0j}(j) = |U_0(u) - U_i(u_{ij})|$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) 表示比较序列  $U_i$  的第  $j$  项指标与参考序列  $U_0$  的绝对差值。由  $\Delta(j)$  的取值区间为  $[0, 1]$  得到关联系数的取值区间为  $[0.5, 1]$ 。

综上可计算出比较序列与参考序列各项指标的关联系数, 等权处理后得到关联度:

$$r_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_{0i}(j) \quad (4)$$

关联度与灾情轻重呈正相关, 因此关联度的大小可反映灾情的轻重, 通过其取值来划分农业灾害等级<sup>[27]</sup>, 表 3 给出了关联度与灾害等级的对应关系。文中主要选取关联度等同于暴雨洪涝灾害相对灾情指数来进行研究处理。

表 3 关联度与灾害等级的对应关系

等级	转换函数值
巨灾	(0.9, 1.0]
大灾	(0.8, 0.9]
中灾	(0.7, 0.8]
小灾	(0.6, 0.7]
微灾	(0.5, 0.6]

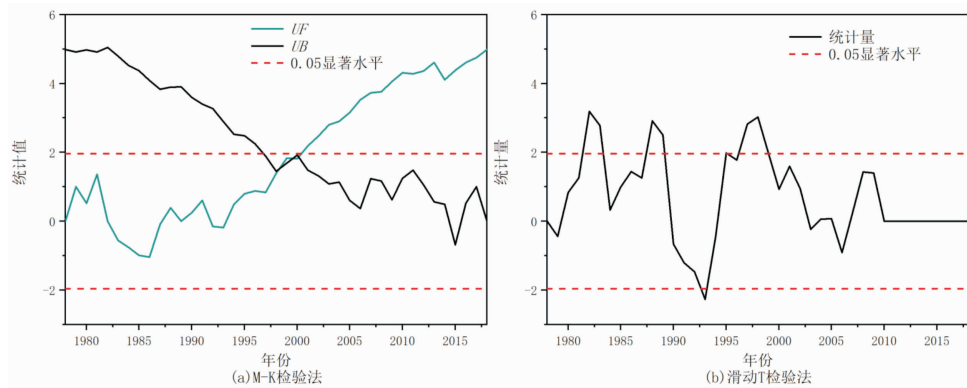


图2 突变检验

### 2.2.2 信息分配方法估计相对灾情指数概率分布

信息扩散技术主要由信息分配方法和信息扩散理论支持,能有效利用不完备信息中的模糊信息,明显提高风险分析的可靠性<sup>[27]</sup>。研究利用信息分配方法来估计相对灾害指数的概率分布,具体步骤为:首先计算获得 $n$ 年间各省的相对灾情指数样本: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,然后根据样本容量 $n$ 和 $X$ 中的最大值和最小值,选取适当的步长 $\Delta$ ,定义相对灾情指数样本的控制点空间 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ,最后将 $X$ 中样本点 $x_i$ 携带的信息按量 $q_{ij}$ 分配给 $U$ 中的点 $u_j$ :其中,

$$q_{ij} = \begin{cases} (1 - \frac{|x_i - u_j|}{\Delta}), & |x_i - u_j| \leq \Delta, i = 1, 2, \dots, n; \\ 0, & \text{其他。} \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m。$$

令

$$Q_j = \sum_{i=1}^n q_{ij}。 \quad (6)$$

则概率为:

$$p_j = \frac{Q_j}{n}。 \quad (7)$$

### 2.2.3 暴雨洪涝灾害危险性评价模型

根据 IPCC 所提出的风险表达,本文讨论的洪涝灾害风险评估模型主要包括三个评价指标:降水强度、最大持续降水量和最长持续降水天数。降水强度由累计强降水天数表示,将日降水量 $\geq 50$  mm 定义为一般暴雨,日降水量 $\geq 75$  mm 定义为暴雨,建立危险性评价指数模型公式:

$$H_j = \sum_{i=1}^n W_i D_{ij}。 \quad (8)$$

式中: $H_j$ 为各评估因子指数, $D_{ij}$ 为归一化值, $W_i$ 为指标的权重, $n$ 为因子个数。

## 3 气候变暖前后西南地区四省市暴雨洪涝灾害风险变化

### 3.1 气候变暖前后时段的划分

首先利用 M-K 突变检验法<sup>[28]</sup>对西南地区四省市 1978 - 2018 年的各年平均温度序列进行突变检验,选取最强突变年,初步确定气候变暖前后年份分界线。通过设定显著性水平 $\alpha = 0.05$ 来分析绘制 UF 和 UB(图 2a),其中 A、B 为临界值, $A =$

1.96,  $B = -1.96$ 。从图 2a 可以看出 1998 和 2000 年均发生了突变。然后,为进一步确定最强突变年份,消除虚假突变年,再进行滑动 t 检验<sup>[28]</sup>,取滑动步长为 5a,得到图 2b,可以看出 1998 年是一个显著的突变点。结合两种方法综合对比后认为 1998 年的突变较 2000 年的突变更为显著,由此确定 1998 年为 1978 - 2018 年间气候变暖前后时段划分的分界点。图 3 为 1978 - 2018 年各年平均气温线性趋势变化图,可以看出 1978 - 2018 年四省市年平均气温以  $0.26^\circ\text{C}/10\text{a}$  的速率呈显著性上升,且通过  $P < 0.05$  的显著性检验,期间于 1998 年发生了突变,变暖后阶段(1999 - 2018 年)比变暖前阶段(1978 - 1998 年)的平均气温升高了  $0.713^\circ\text{C}$ 。

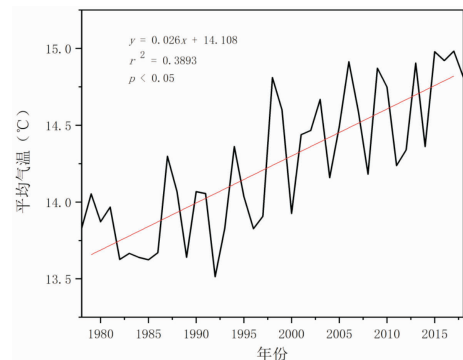


图3 1978 - 2018 年各年平均气温线性趋势变化

### 3.2 西南地区各省市以及整体相对灾情指数变化

计算西南四省市和整体的相对灾情指数得到图 4 至图 5。综合分析可知,西南四个省市 1978 - 2018 年间的相对灾情指数主要集中在 0.65 ~ 0.85 之间,其中以小灾、中灾居多。在 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初持续快速增暖期,四省市整体相对灾情指数进一步增大,维持在一个较高水平。期间,各省市相对灾情指数主要集中在 0.74 ~ 0.83 之间,并且部分省市先后出现相对灾情指数最大值,如重庆在 1998 年达 0.82,四川在 2003 年达 0.8,贵阳市 2006 年达 0.83,其中四川为中灾,重庆、贵阳为大灾。以 1998 年为界,变暖前(1978 - 1998 年)21a 间西南四省市发生大灾 1 次,变暖后(1999 - 2018 年)20a 间发生大灾 5 次,且大灾均集中发生在重庆与贵阳两省市,而四川和云南省以中灾居多。

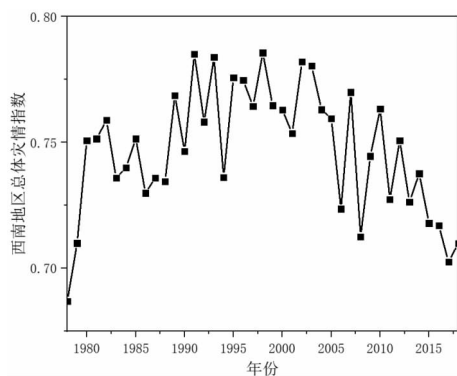


图4 西南四省市总体相对灾情指数变化

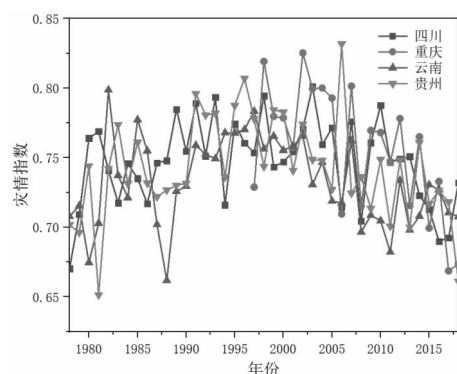


图5 各省市相对灾情指数变化

### 3.3 暴雨洪涝灾害相对灾情概率分布

采用信息分配的方法计算各省市各级灾害风险概率分布,通过灰色关联法计算得出各省市的相对灾情指数值域为 $[0.5, 1]$ 。为了提高计算的精确度,选取步长为0.005,生成相对灾情指数样本的控制点,将各省市相对灾情指数进行信息分配计算,可得相对灾情指数样本在控制点空间上的原始信息分布,即为事件发生在某一控制点左

右的频率值。由于信息分配的实质就是用模糊边界取代传统直方图的分明边界,从而计算出频率值并绘制出图6和图7。由图可知,气候变暖前与气候变暖后,西南地区发生灾害概率多集中在中灾和小灾,但是变暖后中灾的概率有明显升高;云南、贵州、重庆发生小灾的概率略高于四川;各省市发生中灾均极为频繁,概率都超过了0.75,其中四川最为严重,平均1 a多就会发生1次;重庆发生大灾的概率最高,达0.1,平均每10 a就会发生一次,四川和贵州其次,发生概率在0.05,约为20 a发生1次。

### 3.4 暴雨洪涝灾害致灾因子危险性评价

致灾因子灾害分析是对某一地区气象灾害异常程度的评价。连续的强降水会使农田大量积水,从而影响产量。在严重的情况下,洪涝灾害会造成农田被冲毁,农作物遭到毁坏,甚至会引发山洪和溃堤,给农业生产造成重大经济损失。为了表征暴雨洪涝灾害的风险程度,结合其灾害特征,本文主要选取累计强降水天数(暴雨天数)、最长持续降水天数、最大连续降雨量作为评价的主要因素。总的来说,强降雨日数越多,最大持续降雨日数越多,最大持续降雨量越大,暴雨洪涝灾害对农业生产造成的损失越严重,其致灾因子的危害风险越大。

依据暴雨的定义对四个省市的逐日降水数据进行处理,若1个降水过程中至少有1 d的降水量 $\geq 50$  mm,则定义此次降水过程为1次暴雨过程,并统计其连续降水天数;若降水出现中断则认为此次暴雨过程结束,计算其降水量。分别计算出各站点的累计强降水天数、最长连续降雨天数、最大连续降雨量,采用熵权法计算出累计强降水天数、最长连续降雨天数,最大连续降雨量三个指标的权重分别为0.38、0.26、0.36,分别对变暖前后阶段各站点降水指标进行加权计算得出最终的评价指数。

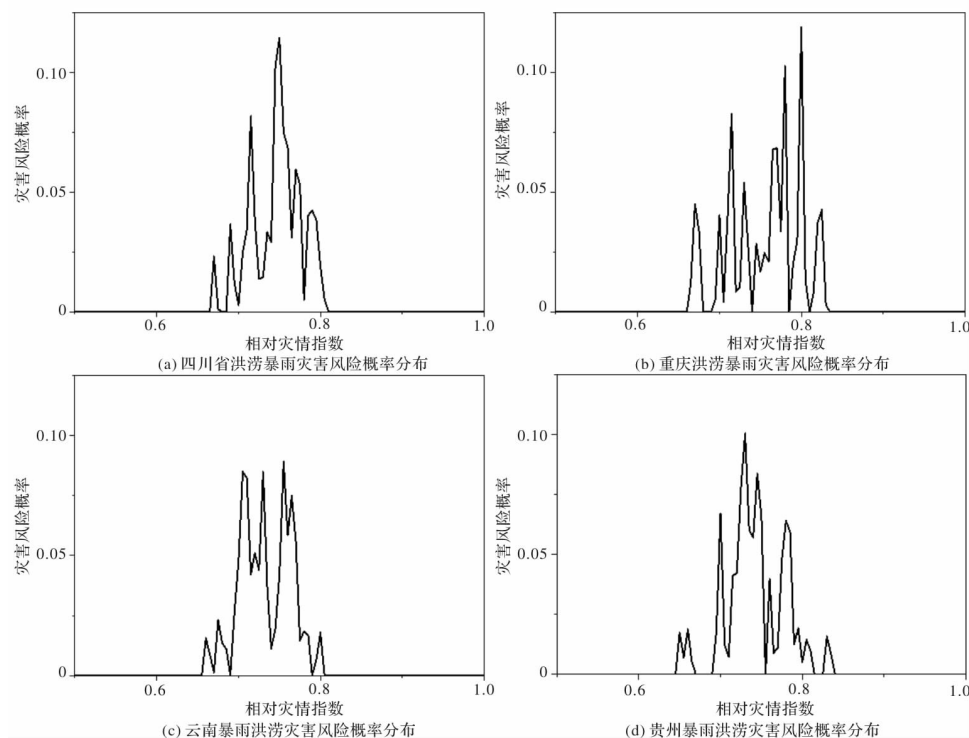


图6 各省市相对灾情指数概率分布

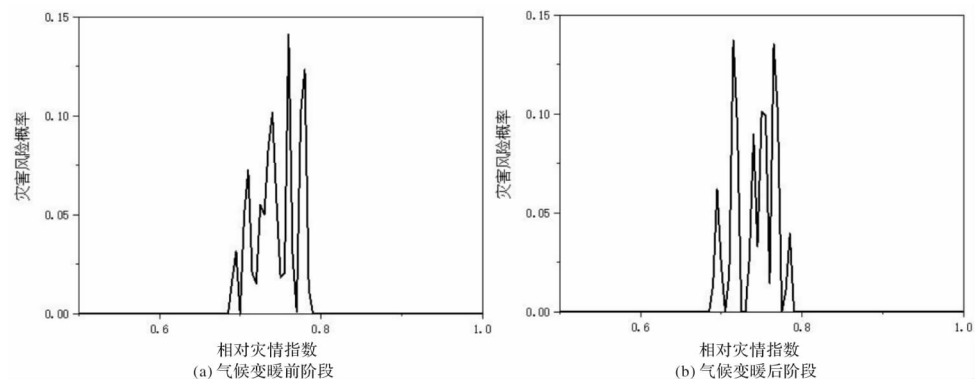


图7 气候变暖前后西南地区四省市整体相对灾情指数概率分布

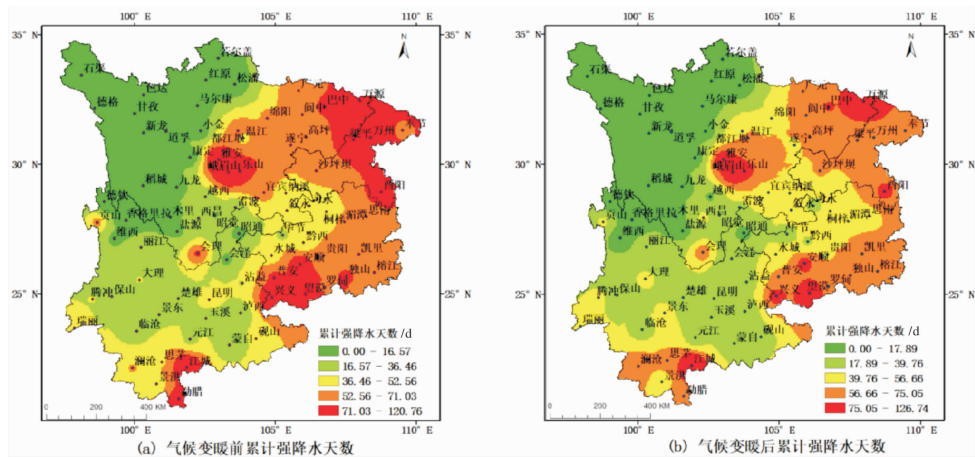


图8 气候变暖前后累计强降水天数

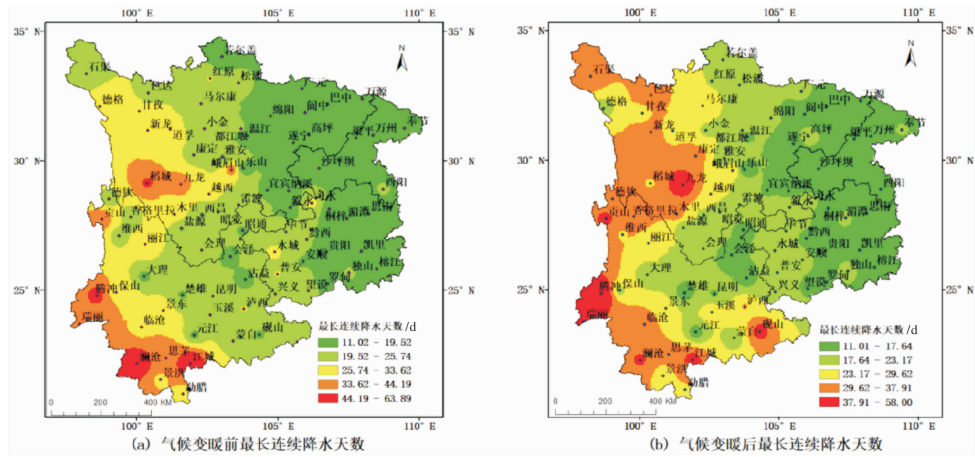


图9 气候变暖前后最长连续降水天数

从气候变暖前后累计强降水天数图8来看,变暖前阶段和变暖后阶段累计强降水天数总体水平发生变化不大。西南地区四省市强降水累计天数呈东多西少型分布,主要以重庆、贵州东部两省市以及四川中部及东北部出现强降水天数较多,各站累计强降水天数在0~282 d之间,其中重庆梁平、万州、酉阳,云南元江、勐腊,贵州安顺、望谟、兴义,四川雅安、峨眉山、乐山、会理、万源、巴中14站累计强降水天数超过150 d,云南江城站累计天数最高,达282 d。从气候变暖前后最长连续降雨天数

图9来看,变暖后阶段相较于变暖前阶段,在川西高原一带最长连续降雨天数有明显增加。云南省最长连续降雨天数一直处于较高水平,其中硃山站变化最为明显,最长连续降水日数增加了23 d。而从气候变暖前后最大连续降雨量图10来看,渝、川、云三省市变暖后阶段相较于变暖前阶段出现较大增长。其中四川中部温江、雅安、都江堰等站,重庆南部酉阳站,云南西部腾冲、江城、澜沧、玉溪等站降雨量增加显著,而贵州省总体最长连续降雨量有所下降,其中兴义、安南等站下降明显。



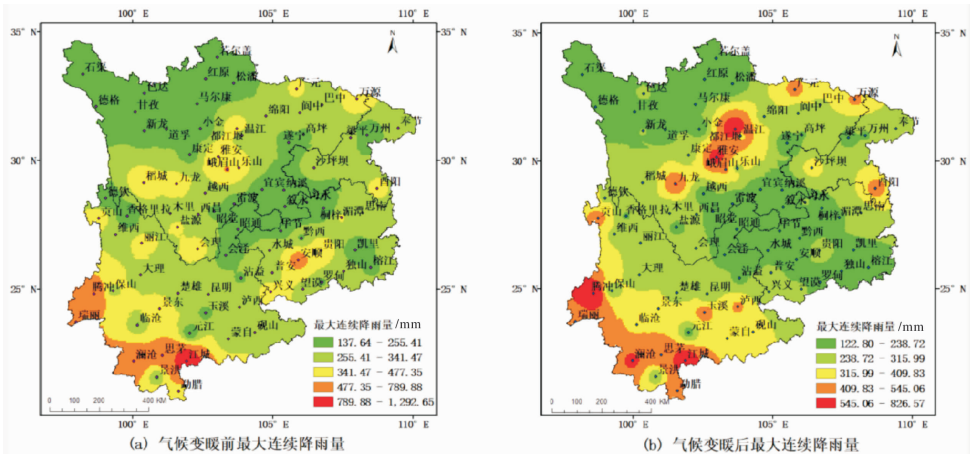


图 10 气候变暖前后最大连续降雨量

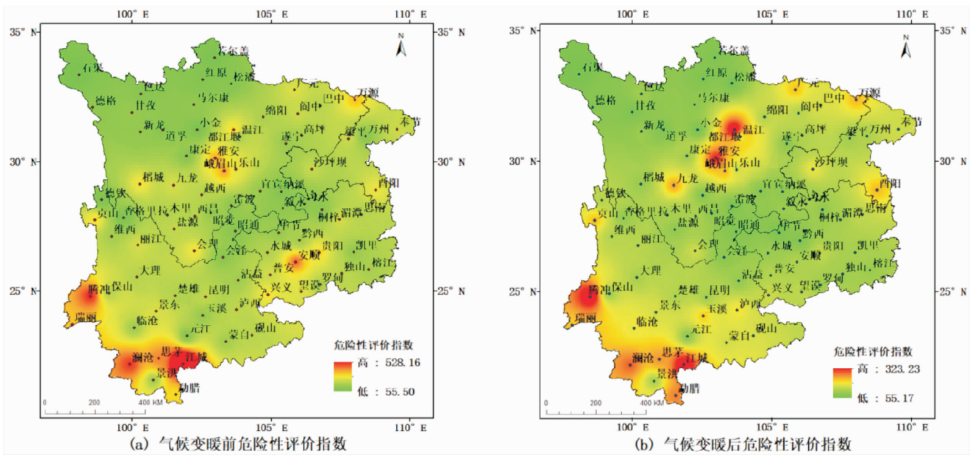


图 11 气候变暖前后危险性评价指数

结合变暖前后西南地区四省市暴雨洪涝致灾因子危险性评价指数图 11 来看, 变暖前危险性较大的区域主要在四川中部温江、雅安一带、贵州东部安顺、贵阳一带以及云南西南部腾冲、江城一带, 川西高原的危险性评价总体来看处于一个较低水平。变暖后, 四川中部温江地区依旧是高风险地区, 而贵州东部安顺地区、重庆东北部危险性评价指数下降明显。从变暖后阶段与变暖前阶段的危险性评价指数之比图 12 可以较明显看出变暖前后的危险性评价差异, 西南四省市地区评价指数变化主要呈西南 - 东北走向, 两边主要为危险性增加区域、中间地区增幅较小或有所减小。其中贵州西部与四川南部暴雨洪涝致灾因子危险性有所下降, 而四川中部温江、都江堰地区、重庆南部万州地区和云南香格里拉、临沧、玉溪等地危险性有较大幅度提升。结合灾情数据表 4 来看, 各省相对灾情指数变暖后较变暖前有一定下降, 除了四川省以外这与各省市危险性评价系数的变化相对一致。虽然四川省川西高原一带危险性评价系数略有下降, 但是九龙 - 康定 - 温江一带危险性评价系数上升显著, 从而导致四川省整体风险系数较高。总的来看, 无论是相对灾情指数还是危险性评价系数, 变暖前后阶段川渝地区均要高于云贵地区。

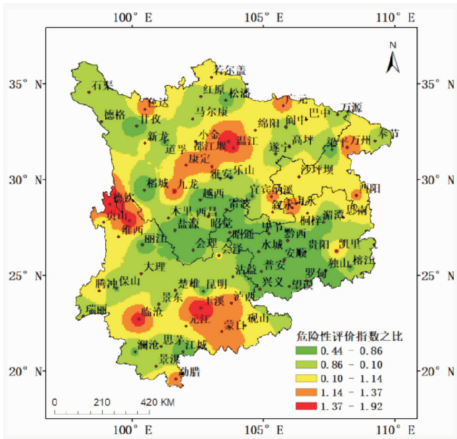


图 12 变暖后与变暖前危险性评价指数之比

表 4 变暖前后阶段各省市相对灾情指数与危险性评价系数对比

	变暖前		变暖后	
	相对灾情指数	危险性评价系数	相对灾情指数	危险性评价系数
四川	0.749	136.587	0.744	142.188
重庆	0.774	155.750	0.754	154.195
云南	0.739	119.047	0.726	117.436
贵州	0.745	136.026	0.740	106.875

## 4 结论与讨论

### 4.1 主要结论

本文利用西南四省市灾情资料和 83 个站点的逐日降水与气温数据,通过分析 1978–2018 年气候变暖前后西南地区四省市暴雨洪涝灾害各等级相对灾情的风险和致灾因子危险性变化情况,得出以下一些主要结论。

(1)西南四省市年平均气温于 1998 年发生突变,并以  $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  的速率呈显著性上升趋势,变暖后阶段(1999–2018 年)比变暖前阶段(1978–1998 年)平均气温上升了  $0.713^{\circ}\text{C}$ 。四个省市 1978–2018 年间发生的暴雨洪涝灾害以小灾、中灾居多,其中中灾占较大比例,频次高达近乎每 1.5a 就会发生一次。变暖后(1999–2018 年)较变暖前(1978–1998 年)西南四省市大灾发生频次增加显著,变暖前期间仅发生 1 起大灾,变暖后期间则增加至 5 起。

(2)各省市变暖前阶段和变暖后阶段累计强降水天数总体水平较为相近。四省市强降水累计天数呈东多西少型分布,主要以重庆、贵州东部两省市以及四川中部及东北部出现强降水天数较多。四省市有 14 站累计强降水天数处于较高水平,均超过 150 d,其中云南江城站累计天数最高,高达 282 d。

(3)变暖前后西南四省市暴雨洪涝灾害所发生变化也不尽相同,具有一定差异性。四省市评价指标变化主要呈西南–东北走向,两边主要为危险性增加区域、中间地区增幅较低或有一定减小。变暖前暴雨洪涝致灾因子危险性较大的区域主要分布在四川中部、贵州东部以及云南西南部;变暖后四川中部依旧是高风险地区,而贵州东部、重庆东北部危险性评价指标下降明显。总的来看,川渝地区变暖前后阶段暴雨洪涝灾害危险性均要高于云贵地区。

### 4.2 讨论

中国大陆地区气候存在明显的区域性,因此不同地区对全球气候变暖的响应存在一定差异。西南四省市年平均气温于 1998 年发生突变,与华南地区(包括广西、广东和海南)的突变年份(1997 年)<sup>[29]</sup>相比较接近,但比华中、西北地区(1990 年代前期发生突变)和东北、华北地区(1980 年代中后期发生突变)<sup>[30]</sup>相较迟一些。总体来说,本文的研究还存在一些不足,尚待后续改进。如,由于气象站点数据资料的缺乏,特别是西藏地区,文中对西南地区的研究没有把西藏列入研究范围,其次在建立暴雨洪涝灾害风险指数模型中,用对应的灾害等级大致表示各等级暴雨洪涝灾害的发生强度,相对较简单,不够具体和准确,另外,本文对西南地区四省市暴雨洪涝灾害风险的分析只考虑了致灾因子危险性,如要更加全面的认识西南地区灾害风险情况,后续还可增加对孕灾环境敏感性、承灾体易损性和抗灾减灾能力等方面的综合风险评估,以上不足都有待后续在数据资料完备的基础上进行更进一步的改进和完善。

## 参考文献:

- [1] 董谢琼,段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J]. 气象科学, 1998, 18(3): 239–247.
- [2] 李维京,左金清,宋艳玲,等. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J]. 气象, 2015, 41(3): 261–271.
- [3] 谢清霞,谷晓平,刘彦华,等. 夏半年西南暴雨洪涝灾害变化特征及其与大气环流的关系[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(S1): 58–64.
- [4] 朱坚,张耀存,黄丹青. 全球变暖情景下中国东部地区不同等级降水变化特征分析[J]. 高原气象, 2009, 28(4): 890–896.
- [5] 黄荣辉,杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187–194.
- [6] 智协飞,张玲,潘嘉露. 我国南方冬季气候变暖前后极端降水事件分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(2): 166–172.
- [7] 翟盘茂,刘静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9): 55–63.
- [8] 龚道溢. 气候变暖与我国夏季洪涝灾害风险[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(3): 31–36.
- [9] 陈莹,尹义星,陈兴伟. 19 世纪末以来中国洪涝灾害变化及影响因素研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2111–2118.
- [10] 陈泮勤. 全球变暖对自然灾害的可能影响[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 95–101.
- [11] 施雅风. 全球变暖影响下中国自然灾害的发展趋势[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 102–116.
- [12] 冯强,王昂生,李吉顺. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 87–92.
- [13] 张正涛,高超,刘青,等. 不同重现期下淮河流域暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 地理研究, 2014, 33(7): 1361–1372.
- [14] Solaimani K, Mohammadi H, Ahmadi M. Z, et al. Flood occurrence hazard forecasting based on geographical information system[J]. International Journal of Environmental Science & Technology, 2005, 2: 253–258.
- [15] 王加义,陈家金,林晶,等. 基于信息扩散理论的福建省农业水灾风险评估[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1497–1506.
- [16] 李春梅,刘锦鑫,潘蔚娟,等. 暴雨综合影响指标及其在灾情评估中的应用[J]. 广东气象, 2008, 30(4): 1–4.
- [17] 郭广芬,周月华,史瑞琴,等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 357–361.
- [18] 刘敏,杨宏青. 湖北省雨涝灾情评估模式的研究[J]. 湖北气象, 2001(2): 16–18.
- [19] 张会,张继权,韩俊山. 基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游地区为例[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 141–148.
- [20] 赵阿兴,马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系研究[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(3): 1–7.
- [21] 冯利华. 灾害损失的定量计算[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 17–19.
- [22] 于庆东,沈荣芳. 自然灾害综合灾情分级模型及应用[J]. 灾害学, 1997, 12(3): 12–13.
- [23] 刘燕华,李钜章,赵跃龙. 中国近期自然灾害程度的区域特征[J]. 地理研究, 1995, 14(3): 14–25.
- [24] 杨仕升. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 8–13.
- [25] 秦大河,Stocker T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1–6.
- [26] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(1949–1992)[M]. 北京:中国统计出版社, 1994.
- [27] 黄崇福,郭君. 洪涝灾害风险分析的基本范式及其应用[J]. 自然灾害学报, 2012, 22(4): 11–23.
- [28] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [29] 杜尧东,吴晓娟,王华. 华南地区温度变化及其对登革热传播时间的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3174–3181.
- [30] 向辽元,陈星. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象, 2006, 32(6): 44–47.

# Risk Change of Rainstorm and Flood Disaster in Four Provinces and cities of Southwestern China under the Background of Climate Warming

YAN Zhitao, LI Xiehui, LIU Zitang, XU Jiaao and PAN Yushan

(Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to evaluate the relative disaster index changes of the four provinces and cities before and after climate warming in the southwestern region, the probability distribution of relative disaster and risk assessment of hazard factors of rainstorm and flood, based on the daily precipitation and temperature data of 83 meteorological stations of the four provinces and cities in Southwestern China, as well as disaster data, firstly, the abrupt change year of climate change is determined by mutation test, then the grey correlation method, information distribution method and entropy weight method are used for analysis. The results show that the annual average temperature in the four provinces and cities changed abruptly in 1998 and show a significant upward trend at the rate of  $0.26^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ . The relative disaster index of the four provinces and cities from 1978 to 2018 was mainly concentrated in the range of 0.65–0.85, with small and medium disasters in the majority. The frequency of major disasters increased significantly after warming compared with that before warming. The change of index in risk assessment of hazard factors of rainstorm and flood was mainly from southwest to northeast. Areas with increased risk were mainly on both sides, and the growth amplitude in the middle region was less or decreased. The hazard of rainstorm and flood disaster in Sichuan and Chongqing was higher than that in Yunnan and Guizhou province before and after warming.

**Key words:** climate warming; rainstorm and flood disaster; relative disaster index; risk assessment of hazard factors; Southwestern China

## 致谢 2020 年度审稿专家

2020 年,《灾害学》杂志圆满完成了出版工作,来自灾害研究各领域的各位审稿专家精益求精,一丝不苟的治学态度为期刊的质量提供了强有力的保证,在此向一年来为本刊审稿的专家们致以诚挚的谢意!(拼音为序)

陈长坤	陈虹	陈洪凯	陈莉	陈为公	陈香	程先富	程尊兰	邓建辉	丁德平
丁香	董惠娟	杜志强	段旭	范立民	范建容	方国华	方修琦	冯平	冯涛
冯民学	付强	高安宁	高萍	郭恩栋	郭建平	郭威	郭荣芬	郭章林	何爱平
何思明	胡海清	胡凯衡	胡卸文	黄强	黄崇福	黄嘉佑	黄莉	霍治国	姜彤
蒋忠信	金菊良	靳小兵	匡昭敏	雷宛	雷小途	李明	李翰林	李鸿晶	李茂松
李胜乐	李世奎	李团胜	李松	李永红	李耀庄	李志强	廖玉芳	林均岐	林开平
林其钊	刘爱鸣	刘建达	刘吉夫	刘树坤	刘希林	刘小群	刘瑜	骆正山	罗慧
罗华春	满志敏	欧国强	潘华盛	彭贵芬	钱乐祥	阮爱国	商彦蕊	邵辉成	宋立军
舒立福	苏桂武	苏幼坡	苏筠	唐川	田玉敏	汪志国	王宝亮	王保通	王勇
王连喜	王绍玉	王晓青	王雁林	王瑛	王振会	王志乔	韦方强	温家洪	吴国雄
吴先华	吴成基	伍志方	肖宏跃	肖子牛	谢洪	谢家智	谢永刚	谢振乾	辛吉武
徐双柱	徐向阳	徐选华	薛晓萍	许有鹏	延军平	闫志壮	杨立中	杨月巧	杨仲江
姚令侃	尹芳	尹东屏	尹占娥	游勇	于文金	余明高	喻大昭	袁志祥	岳乐平
翟国方	张国明	张弘	张强	张勤	张继权	张丽娟	张丽萍	张腾飞	张万诚
张相庭	赵法锁	赵妮	赵景波	赵林度	赵宪文	周永胜	周旗	邹逸江	翟新伟

《灾害学》编辑部