

文章编号: 1008-2786-(2018)4-557-14

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000352

西藏自治区近 30 年山洪灾害时空分布特征

熊俊楠^{1,2}, 龚 颖¹, 程维明^{2*}, 范春捆³, 王 楠²

(1. 西南石油大学 土木工程与建筑学院, 成都 610500; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统
国家重点实验室, 北京 100101; 3. 西藏自治区农牧科学院 农业研究所, 拉萨 850000)

摘 要: 山洪灾害时空分布特征分析是区域山洪防治规划、监测预警的基础。通过收集西藏自治区 1983—2015 年的历史山洪灾害数据, 利用地理信息时空统计、数据挖掘分析等方法对西藏山洪灾害的时空分布特征及突变情况进行分析, 并探讨了山洪与不同降水指标的分布关系。结果表明: (1) 西藏自治区 1983—2015 年均发生山洪灾害 32 次, 主要在 7、8 月份, 其逐年变化呈 $y = 0.012x^3 - 0.4123x^2 + 4.5769x - 7.748$ 的三次函数增长, 且周期变化存在多时间尺度特征, 主要表现在 33a 特征时间尺度下, 周期变化具有全域性, 平均周期为 21a; (2) 西藏山洪主要分布在日喀则、山南和林芝三个地级市, 仁布和察隅两个县域以及西藏东、南部的索曲河流域, 雅鲁藏布江中游、拉萨河流域的山区, 分布密度在 0 ~ 3.29 次/100 km², 1983—1993 年山洪分布方向趋势性最明显, 2005—2015 年山洪分布范围最广, 随机性最强, 三个时段平均中心均位于拉萨市, 中心趋势变化不大; (3) 1997 年和 2009 年为西藏山洪突变的年份, 突变主要集中在雅鲁藏布江中游及拉萨河流域, 1997 年密度变化范围在 -0.15 ~ 1.15 次/100 km², 而 2009 年为 -1.13 ~ 0.97 次/100 km²; (4) 以 30°N 和 90°E 线为界, 降水指标的分布与西藏山洪灾害的分布具有一定的相似性。不同类型的降水指标山洪灾害集中分布的降水区间不同, 其中年均最大 60 分钟降水指标对山洪灾害分布较为敏感。这些结果对促进山洪灾害数据挖掘与时空分析理论、西藏地区山洪灾害科学减灾等具有重要的理论和现实意义。

关键词: 西藏自治区; 山洪; 时空分布; 突变分析

中图分类号: P954; X43

文献标志码: A

山洪是指山区溪流中特大的径流或水位急剧上涨现象^[1]。近年来, 山洪已成为我国自然灾害造成人员伤亡的主要灾种^[2]。西藏自治区是青藏高原的主体, 地势落差大, 河网纵横, 居民地多分布于地势相对平坦的河谷地区, 交通设施(道路、桥梁)多沿河流走势建造, 房屋、道路、桥梁等承灾体脆弱性较高, 山洪灾害每年造成的损失巨大, 严重制约当地的经济发展。随着“一带一路”经济走廊的建设, 西部山区的防灾减灾工作成为经济走廊建设的重要保

障, 而西藏作为其战略辐射区, 对山洪灾害的研究备受关注。

山洪的特征分析是认识、摸清灾害规律的前提, 分析山洪的时空分布特点, 有助于更好认识区域山洪的分布特征和活动规律。已有研究表明^[3,4], 中国山洪灾害的区域特征差异明显, 主要分布在大体以大兴安岭—太行山—巫山—雪峰山为界的季风区, 分界线以东, 山洪主要分布在海拔 70 m 以内的华南和东南的低山丘陵区, 而分界线以西, 则主要分

收稿日期 (Received date): 2018-04-11; **改回日期** (Accepted date): 2018-08-21

基金项目 (Foundation item): 水利部全国山洪灾害调查评价项目 (SHZH-IWHR-57); 国家自然科学基金项目 (51774250); 西藏自治区科技支撑计划项目 (省 809)。[National Mountain Flood Disaster Investigation Project (SHZH-IWHR-57); National Natural Science Foundation of China (51774250); Science and Technology Support Project of Tibet Autonomous Region (Province 809)]

作者简介 (Biography): 熊俊楠 (1981-) 男, 四川南充人, 在站博士后, 副教授, 主要从事地理信息系统与灾害风险分析方面的研究。[XIONG Junnan (1981-), male, born in Nanchong, Sichuan province, postdoctoral, associate professor, mainly engaged in the research on GIS and disaster risk analysis] E-mail: neu_xjn@163.com

* **通讯作者** (Corresponding author): 程维明 (1973-) 男, 博士, 研究员, 主要从事数字地形地貌研究。[CHENG Weiming (1973-), male, Ph. D., professor, specialized in digital geomorphology] E-mail: chengwm@reis.ac.cn

布在海拔 2000 m 内的西南中低山高原盆地区。时序上南方山洪多发生于 3—8 月的雨季,而北方多发生于 6—9 月。此外,除全国范围尺度外,不同区域的山洪其分布特征也不尽相同,例如:针对我国受台风影响较大的东南沿海的西溪流域非台风暴雨洪水主要发生在前汛期的 4—6 月,台风暴雨洪水主要发生在后汛期的 7—9 月^[5];地处丘陵与高原过渡地带的湖南省,灾害多以暴雨山洪为主,主要发生在湘东及湘中的暴雨区,时间上表现出突发性和持续性的特点^[6];而北方的内蒙古、辽宁地区,山洪多发生在高强度降水与复杂地质构造重合的地区^[7,8]。综上,由于致灾因子和孕灾环境的差异,不同地区山洪特征有所不同,对区域山洪的研究往往需要结合实地情况进一步分析。

前人对于西藏山洪灾害的研究主要关注于小区域(市、县)^[9-11],或特殊的成灾形式(冰川消融、湖冰溃决等)^[12,13]以及对山洪的防治预警^[14,15]等方面。由于缺乏详细的历史山洪灾害资料,西藏自治区山洪灾害的形成特征、时空格局等方面的研究尚显不足,一定程度上制约了山洪减灾规划、监测预警与区域社会经济发展。本文以《全国山洪灾害调查评价项目组》调查收集的西藏自治区 1983—2015 年历史山洪灾害数据为基础数据,利用地理信息时空统计、数据挖掘分析方法,分析西藏自治区山洪灾害的年际、月际及其周期变化特征,各级行政区的分布及其密度特征,各时期山洪灾害中心、方向趋势等空间特征以及空间突变特征,在此基础上对西藏山洪空间分布与降雨的关系进行探讨,其结果对促进山洪灾害时空数据挖掘与分析理论、西藏自治区山洪灾害防治、监测预警、减轻山洪灾害损失,促进西藏自治区社会经济发展等具有重要理论和现实意义。

1 西藏自治区概况

西藏自治区地处我国西南边陲,地跨北纬 26°52′~36°32′、东经 78°24′~99°06′,面积 120 多万 km²,占全国总土地面积的八分之一^[16],平均海拔 4000 m 以上,是我国海拔最高的省份。整体地势由西北向东南倾斜,全境自北向南由昆仑山脉,喀什口昆仑-唐古拉山脉,冈底斯-念青唐古拉山脉及喜马拉雅山脉将西藏高原分为藏南高原湖盆骨区、藏北高原湖盆区、藏东高山峡谷区和喜马拉雅高山区四个大地貌区^[17],其中在降雨较为充沛的藏东、

藏南地区,是山洪泥石流灾害的频发区。西藏自治区是我国河流条数最多的省份^[18],据不完全统计,西藏流域面积大于 10 000 km² 的河流有 20 余条,大于 2000 km² 的河流在 100 条以上,著名的有雅鲁藏布江水系、金沙江水系、澜沧江水系、怒江水系等。受西风带天气系统和印度洋暖湿气流的强烈影响,西藏降水特征明显,干湿季分明。降水趋势整体从东南部的横断山脉地区到西北部的昆仑山脉地区沿东南-西北方向呈条带状递减,降水量最多的是从雅鲁藏布江大拐弯至藏东南边缘的地区,每年 10 月至次年 4 月,大部分地区为干季,气候干、冷,多大风,到 5—10 月为雨季,气候温暖、湿润、多雨,其中在降水集中的雨季,容易引发一些洪涝灾害^[19]。

由于特殊的地质、地形地貌和复杂的降水条件,西藏山洪灾害呈现区域明显、发生频繁、破坏性大、类型多样等特点,研究区历史山洪灾害分布及年均降雨如图 1 所示。

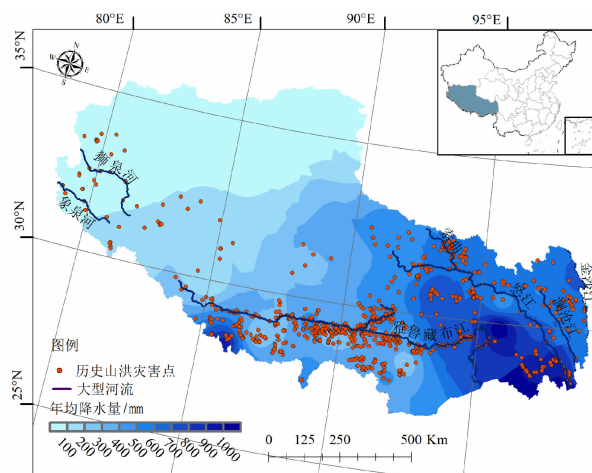


图 1 研究区年均降水及历史山洪灾害分布

Fig. 1 Annual precipitation and distribution of historical torrents in the study area

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

1) 本文所用 1983—2015 年西藏历史山洪灾害位置点数据共 1055 个,由《全国山洪灾害调查评价项目组》提供,范围按西藏省级行政区边界裁剪,统计信息中包含山洪发生的年份和月份(部分月份缺失)。2) 西藏行政边界空间矢量数据来源于 1:400 万中国基础地理信息数据。3) 降雨类型数据由全国暴雨类型 10 km 数据集按西藏边界裁剪,通过克

里金插值得到各个类型的降雨指标数据。4) 西藏年均降水量数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

2.2 研究方法

2.2.1 小波分析

在地学领域,灾害事件每年发生次数可以看作是随时间变化的信号。小波分析^[20]在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力,通过将时间序列分解到时间频率域内,能够得出时间序列的周期变化动态和时间格局。本文采用 Morlet 小波方法对山洪灾害频次进行分析,基本思想是选取 Morlet 小波为母小波,经过平移和尺度伸缩得到一系列子小波去逼近处理信号,根据小波变换定义计算不同尺度因子或时间因子下的小波变换系数,绘制小波变换系数图和小波方差图,可以分析出信号的周期变化。

2.2.2 核密度估计法

核密度估计^[21] (Kernel Density Estimation, KDE),用于估计每个输出栅格像元周围的点或线要素的密度。通过对山洪密度计算结果的二维灰度表达或三维曲面表达,可以简单直观地获取山洪点群的聚集或离散等分布特征。估计某点处的密度值通过核估计量计算:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (1)$$

其中: n 为带宽范围内像元数; K 为核函数; h 为带宽; $x - X_i$ 为估计点到样本 X_i 处的距离。

2.2.3 标准差椭圆分析

标准差椭圆^[22] (Standard Deviation Ellipse, SDE),是通过创建标准差椭圆来汇总地理要素的中心趋势、离散和方向趋势等空间特征。工作原理是以平均中心为起点,对一组要素的 x 坐标和 y 坐标的标准差进行计算,从而定义椭圆的轴。标准差椭圆可以使得要素分布的范围和方向得趋向变得更为明确。定义为:

$$C = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 & \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i \\ \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i & \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \tilde{x}_i = (x_i - \bar{x}) \\ \tilde{y}_i = (y_i - \bar{y}) \end{cases} \quad (3)$$

其中, x 和 y 是要素 i 的坐标, (\bar{x}, \bar{y}) 表示要素的平均中心, n 为要素总数。

2.2.4 B—G 分割算法

B—G 分割算法^[23-25] 是 Bernaola-Galavan 等人

在 2001 年提出的,相比于 M-K 检验法、Pettitt 法等传统方法,能够更好地处理非平稳、非线性的时间序列,其优点在于计算量少,实用性大,非平稳时间序列突变检测效果好,抗噪声能力强,是一种区别于传统的突变检测方法。其主要思路如下:

对于时间序列 $X(t) \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,从左到右分别计算每个点左边和右边部分的平均值,记为 $U_1(i)$ 和 $U_2(i)$ 及标准偏差 $s_1(i)$ 和 $s_2(i)$,则点 i 的合并偏差为 S_D

$$S_D = \left[\frac{(N_1 - 1) \times s_1(i)^2 + (N_2 - 1) \times s_2(i)^2}{N_1 + N_2 - 2} \right]^{1/2} \times \left[\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right] \quad (4)$$

N_1, N_2 分别第 i 点左边和右边点数。为衡量左右两边的差异,计算统计量为

$$T(i) = \left| \frac{U_1(i) - U_2(i)}{S_D} \right| \quad (5)$$

确定 $T(i)$ 中的最大值 T_{\max} ,并计算其统计显著习惯 $P(T_{\max})$

$$P(T_{\max}) = \text{Prob}(T \leq T_{\max}) \quad (6)$$

根据蒙特卡罗模拟

$$P(T_{\max}) \approx (1 - I_{v/(v+T_m^2)}(\delta v, \delta))^{\gamma} \quad (7)$$

式中, $\gamma = 4.19 \ln N - 11.54$, $\delta = 0.40$, N 为时间序列长度, $v = N - 2$, $I_x(a, b)$ 为不完全 β 函数。最后判断统计量 $T(i)$ 是否通过显著性检验,通过检验则分割序列成两个子序列,重复上述步骤直至检测突变完成。

3 西藏自治区山洪灾害时空分布分析

3.1 西藏自治区山洪灾害时间分布特征

3.1.1 年际与月际分布特征

西藏自治区 1983—2015 年 33a 期间山洪灾害共发生 1055 次,年均发生 32 次。图 2 为山洪频次的时间分布,由图 2a 可知,1983—2007 年,25 年间西藏地区的山洪灾害统计次数为 294 次,占总次数的 27.87%;2008—2015 年,8 年之间山洪灾害统计次数为 761 次,占总数的 72.13%,其中 2010 年、2014 年、2015 年的灾害次数均大于 100 次,属于山洪灾害频率较高年份。多次项拟合曲线显示,西藏历史山洪灾害呈 $y = 0.012x^3 - 0.4123x^2 + 4.5769x - 7.748$ 的三次函数增长。

西藏历史山洪灾害月份分布(图 2b)表明,1983—2015 年间山洪灾害主要发生在 7、8 月份,共

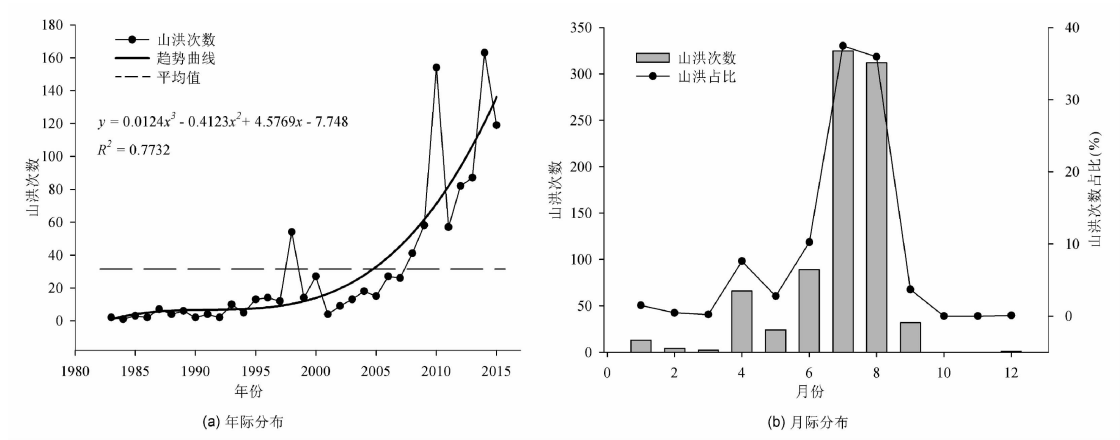


图 2 1983—2015 年山洪灾害的年际变化和月份分布

Fig. 2 Torrents temporal distribution of Tibet in 1983 – 2015

计 637 次, 占总数的 73.39%, 其次是 4—6 月和 9 月, 总次数不超过 100, 而 12 月至次年 3 月是一年中最低的时段, 灾害次数均在 20 次以下。

3.1.2 周期变化特征

为了探索西藏近 30 年来历史山洪的周期变化特征, 采用 Morlet 小波分析方法对山洪灾害的频次数据进行处理^[26–30], 得到小波变换实部图(图 3a)

和小波方差图(图 3b), 并根据小波方差检验结果, 提取两个主要周期绘制相应的小波系数随时间的变化图(图 3c 和图 3d)。

由图 3a 小波变换实部图可以看出, 历史时期西藏山洪灾害次数存在多时间尺度特征, 即小时间尺度下的变化周期嵌套在大时间尺度下的变化周期。具体表现为: 存在着 31 ~ 33a 和 8 ~ 9a 两类尺度下

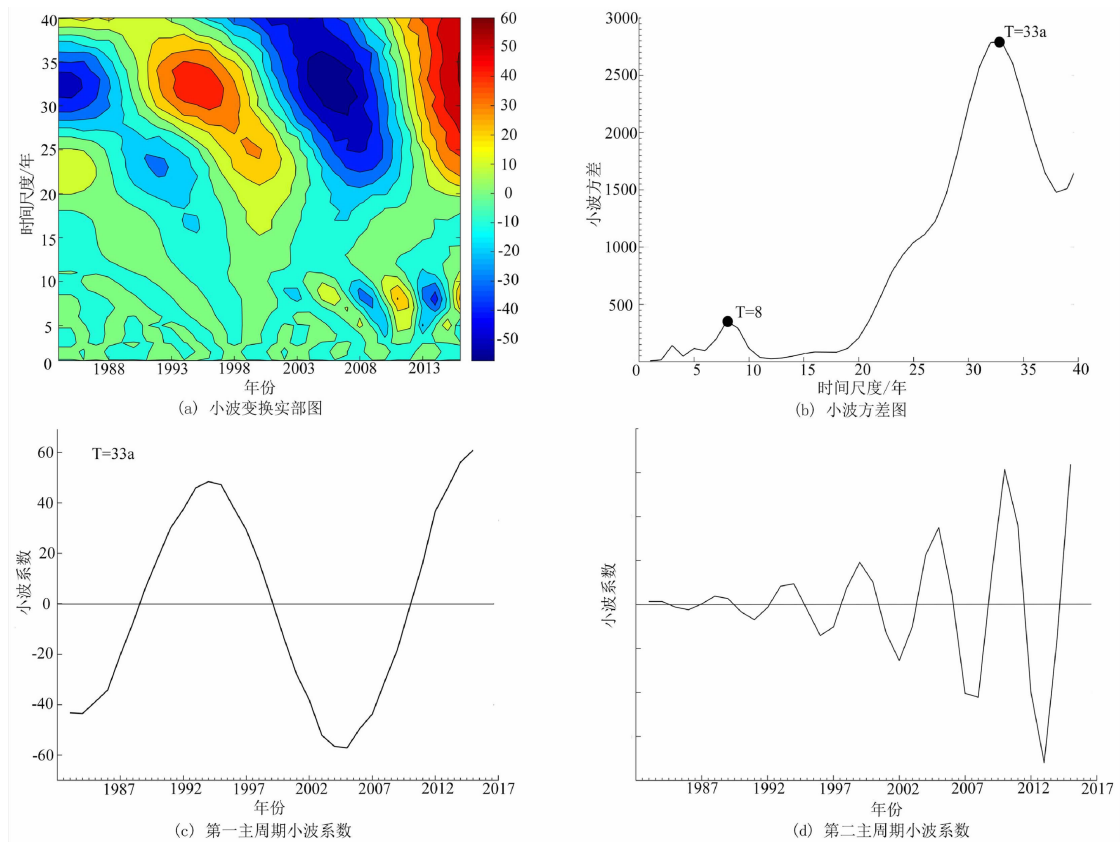


图 3 西藏山洪灾害小波分析图

Fig. 3 Wavelet analysis of torrents in Tibet

的变化周期,其中在 31 ~ 33a 的时间尺度上存在着偏少 - 偏多 - 偏少 - 偏多的交替循环,整个时段表现稳定,具有全域性,且偏多的等值线未闭合,说明在该时间尺度上,未来西藏山洪仍然处于偏多的时期。而在 8 ~ 9a 时间尺度上,在 2003 年以后周期变化表现明显,在其他时间域上表现不明显。图 3b 的小波方差图可以看出,存在 2 个比较明显的峰值,其中在 33a 的时间尺度上,峰值最强,远大于第二峰值,说明 33a 时间尺度上,周期信号波动能量最强,周期变换最为突出,周期性最明显,为山洪频次变化的第一主周期,相应的,在 8a 时间尺度上出现第二个峰值,对应第二主周期。图 3c 为第一主周期小波系数变化图,由图 3c 可以看出在 33a 特征时间尺度下,山洪频次的变化平均周期为 21a 左右,在 1983—1988 年、1999—2009 年为山洪发生偏少期,1989—1998 年为山洪发生的偏多期,从 2010 年开始,小波系数又开始大于 0,且 2015 年出现拐点,可以预计在 2015 年后的 5 ~ 7 年内为山洪的偏多期。图 3d 为第二主周期小波系数变换图,由图 3d 可以看出,8a 特征时间尺度下,山洪频次的变化周期为 5a 左右,在 2003 年以前,振幅不明显,2003 年以后周期变化相对明显,在 2003 年以后的 2003—2005 年、2009—2011 年为山洪发生的偏多期,2006—2008 年、2012—2014 年为山洪发生的偏少期。

综上所述,Morlet 小波分析可以很好地揭示西藏山洪近 30 年来的周期变化特征。具体来说,西藏山洪的周期变化存在着两个时间尺度特征,即 8a 时间尺度和 33a 时间尺度。在 8a 特征时间尺度下,西藏山洪灾害周期不具有全域性,仅在 2003 年以后表现出一定的周期性,其周期强度远小于 33a 时间尺

度下的周期强度,周期性相对不明显。在 33a 特征时间尺度下,西藏山洪灾害周期变化具有全域性,规律性也最为明显,山洪变化平均周期为 21a 左右,预计 2015 年后的 5 ~ 7 年内仍为山洪发生的偏多期。

3.2 西藏自治区山洪灾害空间分布特征

3.2.1 西藏自治区各市县分布情况

西藏山洪在各级行政区分布如图 4 所示。图 4a 显示,从 1983 年至 2015 年,全区各市均有山洪灾害发生,其中发生山洪灾害次数最高的是日喀则市,达 341 次,占总数的 32.33%,年均发生率 10.66 次/年;其次是山南市和林芝市,灾害次数分别为 193 次和 152 次,占总数 18.29% 和 14.41%;山洪次数最少的是西北部的阿里地区,发生 59 次,仅占总次数的 5.59%。县域统计显示(图 4b),西藏 74 个县级行政区中,山洪发生次数最高的是仁布县,达 65 次,占总次数的 6.16%,其次是察隅县,山洪发生次数为 63 次,占总次数的 5.97%;山洪次数发生最少的是位于藏北地区的班戈、聂荣、双湖和尼玛 4 县,发生次数均为 0 次,全区各县山洪灾害发生次数超过 20 次的共有 19 个县,占总次数的 60.76%。

综上所述,市级行政区中日喀则市、山南市和林芝市属于山洪灾害高发区;县级行政区中,仁布县和察隅县属于山洪灾害高发区,班戈县、聂荣县、双湖县和尼玛县为山洪灾害低发区。

3.2.2 西藏自治区山洪灾害核密度分布

应用核密度分析方法对历史山洪灾害点进行分析,结果显示(图 5),西藏每 100 km² 山洪灾害发生次数在 0 ~ 3.29,山洪灾害分布大致以 30°N 纬线和 90°E 经线为分界线,分界线东部和南部山洪灾害密度明显高于中西北部。东南部地区大部分的密度都

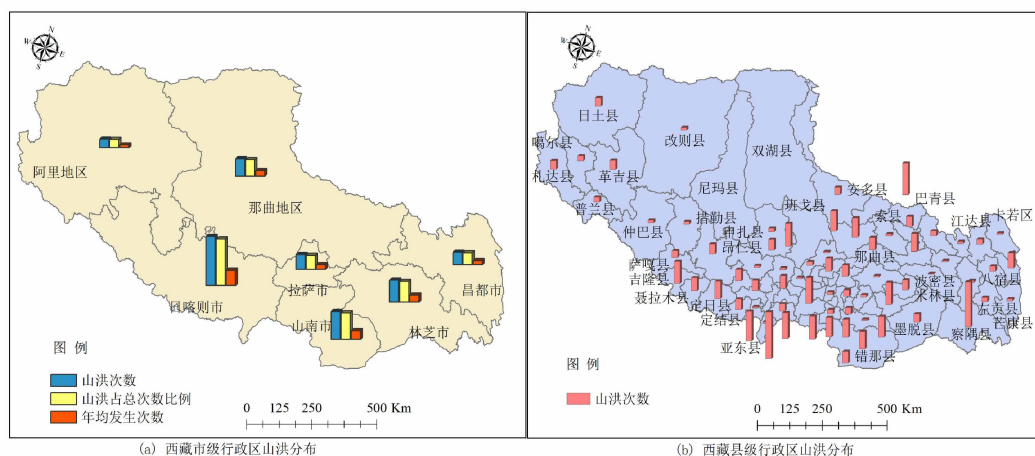


图4 西藏各级行政区山洪分布图

Fig. 4 Spatial distribution of torrents in counties or cities

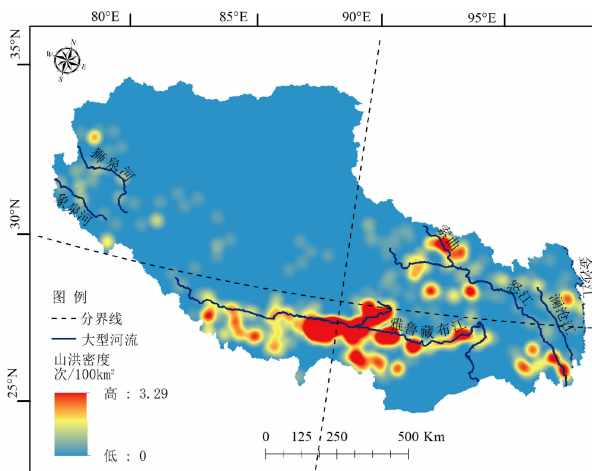


图5 西藏自治区山洪密度分布

Fig.5 Torrents density map of Tibet in 1983 - 2015

高于 $0.13 \text{ 次}/100 \text{ km}^2$, 约在 $0.13 \sim 0.42 \text{ 次}/100 \text{ km}^2$ 之间, 其中灾害密度最高的是在雅鲁藏布江的中游地区, 普遍大于 $0.9 \text{ 次}/100 \text{ km}^2$, 集中度最

高的地区甚至大于 $1.7 \text{ 次}/100 \text{ km}^2$, 这些地区属于山洪灾害易发地区。整体来看, 西藏地域较广, 山洪灾害分布十分不均, 主要发生在分界线东部的怒江上游、索曲河流域, 以及南部的雅鲁藏布江中游、拉萨河流域的山区, 从南到北、从东到西山洪灾害发生次数逐渐减少。造成这一现象的客观原因, 主要是其特殊的地理位置和气候条件, 山洪灾害密度较高的地区位于喜马拉雅山脉北部, 来自印度洋的西南季风受喜马拉雅山脉的阻隔, 在这里容易形成强对流天气, 短时间内常出现冰雹、暴雨等极端强降雨天气, 再加上这里地形高差大, 土质松散, 为山洪的发生提供了所需的条件, 使得这里山洪灾害发生频率最高。

3.2.3 西藏自治区山洪灾害方向分布分析

方向分布分析引入标准差椭圆原理能对历史山洪灾害在不同方向的聚集 - 离散特征进行更好的分析^[31]。通过标准差椭圆分析, 得到 1983—1993 年、

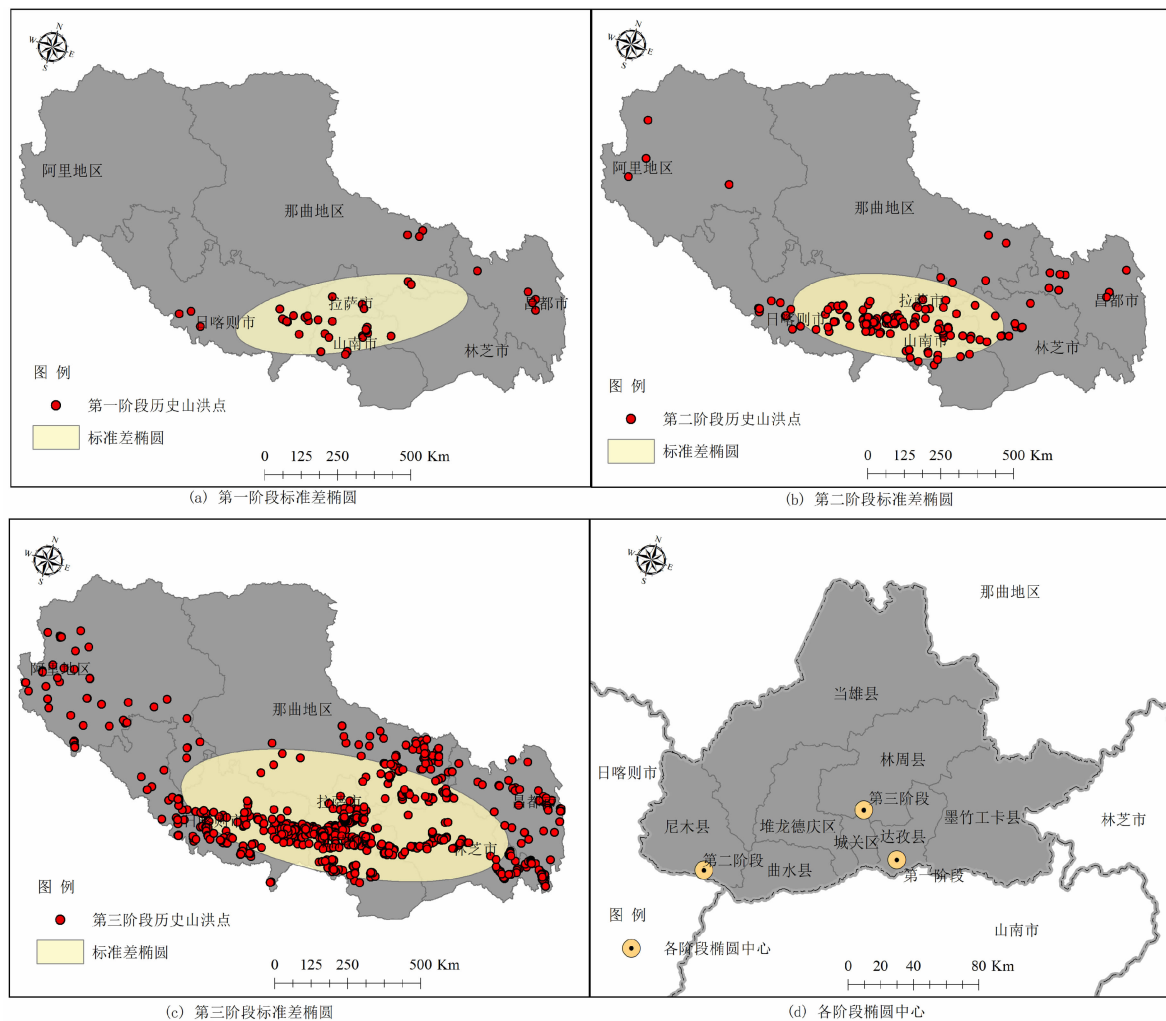


图6 三个时段的标准差椭圆和椭圆中心

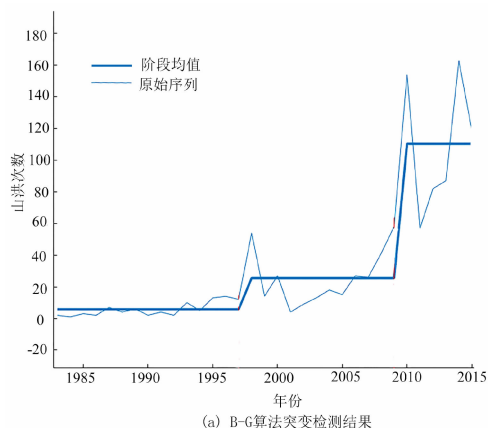
Fig.6 SDE and center of three periods

1994—2004年、2005—2015年三个时间段的山洪标准差椭圆分布分别如图6a、6b、6c所示,以及三个时间段的椭圆中心,即平均中心(图6d)。

标准差椭圆长半轴表示数据的分布方向,短半轴表示数据分布范围,椭圆方向角表示从N方向开始按顺时针进行测量的长轴夹角。图6a中长轴半径为401.69 km,短半轴为124.12 km,面积为15.66万 km^2 ,方向角为 81.5° ,扁率为0.69;图6b长轴半径为363.77 km,短轴半径为138.74 km,面积为15.85万 km^2 ,方向角为 96.86° ,扁率为0.62;图6c长轴半径为569.16 km,短轴半径为200.59 km,面积为35.86万 km^2 ,方向角为 100.8° ,扁率为0.65。三张图结论显示,1983—1993年山洪分布中,图6a椭圆扁率最大,说明这一时间段山洪分布方向趋势最为明显;图6c中短轴长度和椭圆面积最大,说明在2005—2015年这一时间段内,山洪分布范围最广,随机性也最强;根据方向角和长轴方向,在1994—2004年和2005—2015年两个时间段内,长轴方向与雅鲁藏布江中游段走势方向基本一致,可以判断在1994年后西藏山洪发生的范围主要沿雅鲁藏布江流域走势分布。图6d中显示,西藏自治区第一阶段的平均中心在达孜县,第二阶段平均中心在尼木县,第三阶段平均中心在林周县,三个阶段平均中心距离互相不超过120 km,最近距离为36.24 km,最远距离为118.21 km,说明西藏自治区山洪灾害各阶段中心均位于拉萨市,分布中心趋势变化不大。

3.3 西藏山洪灾害突变特征

应用B-G分割算法分析西藏自治区山洪灾害

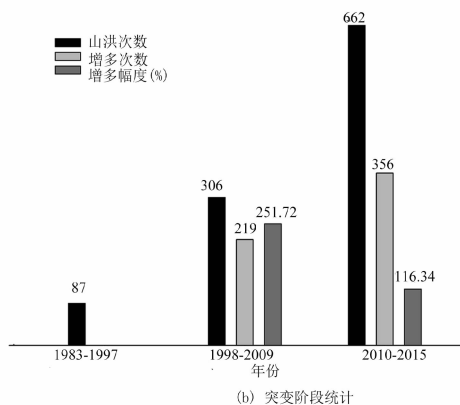


(a) B-G算法突变检测结果

的时间突变特征,结果表明(图7a),西藏自治区近30年山洪灾害次数发生两次突变,分别为1997年和2009年。根据检测的突变时间,对西藏自治区各突变阶段历史山洪进行统计(图7b),结果显示,1997年后和2009年后的时间段内山洪次数都明显增加,1998—2009年山洪总次数比1983—1997年山洪总次数增多219次,增幅最多,增幅比例为251.72%,2010—2015年相比1998—2009年时间段增加次数最多,为356次,增幅比例为116.34%。

分别应用核密度分析方法统计西藏自治区每100 km^2 山洪灾害各突变时间段内的密度分布情况(图8a、8b、8c)和1997年、2009年两个突变时间点西藏山洪灾害密度的前后变化情况(图8d、8e),可以很好地分析西藏山洪空间突变情况。

图8a为1983—1997年山洪发生次数密度分布,图中显示最高次数为0.41次/100 km^2 ,密度较高的橙红色区域有两处,位于日喀则市的仁布县、白朗县与桑珠孜区交界一带和山南市的乃东区。图8b为1998—2009年山洪发生次数密度分布,最高密度为1.53次/100 km^2 ,密度较高的区域位于日喀则市的仁布县、江孜县、白朗县一带。图8c为2010—2015年的山洪次数密度分布,最高密度为1.21次/100 km^2 ,图中密度较高的橙红色区域相比前两个时间段范围增加较多,除日喀则市的江孜一带外,主要分布在山南市与拉萨市交界范围的贡嘎县、曲水县、城关区、达孜县地区,同时这一时间段密度略高的黄色地区也比前两时间段内分布的范围广,巴青县西部,边坝县中部,察隅县东部等地区都属于这一范围。山洪分布的变化情况是这一时间段内密度减去上一时间段而得到,图8d为1997年前



(b) 突变阶段统计

图7 西藏山洪突变结果图

Fig. 7 The result of B - G algorithm in Tibet

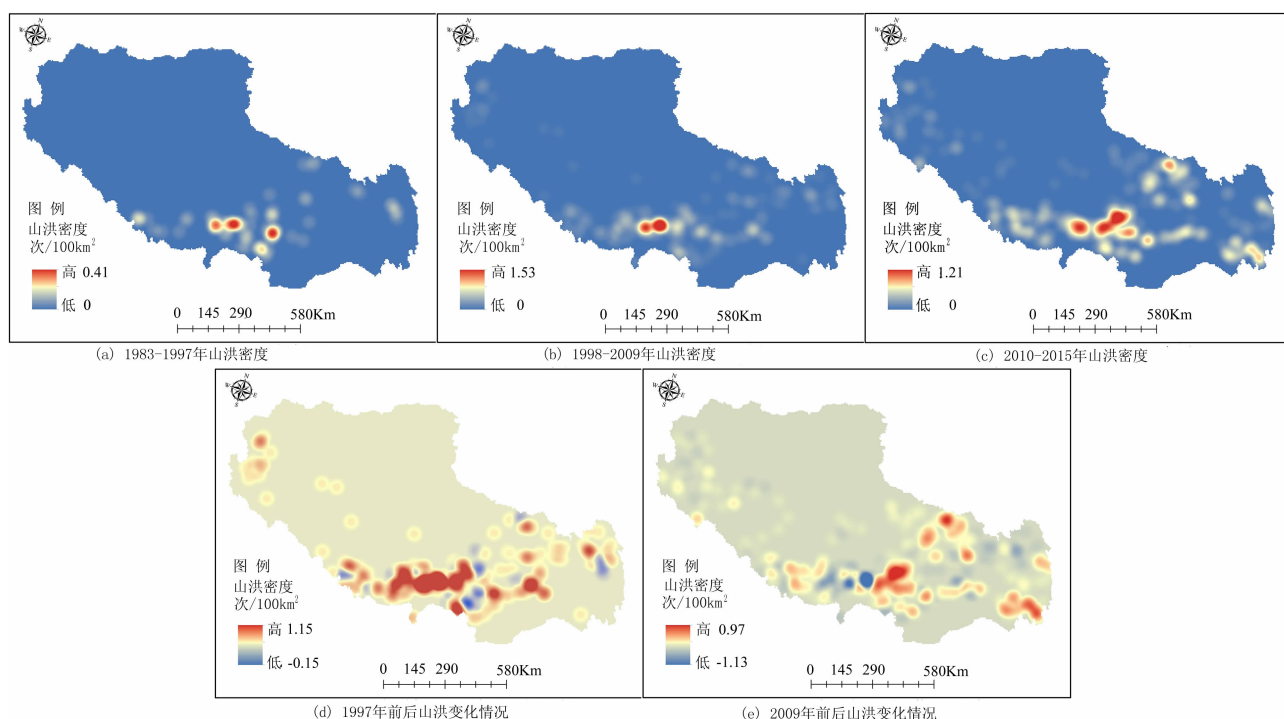


图8 1983—2015年突变时间段山洪密度与变化情况

Fig. 8 Density and variation of torrents in 1983 – 2015

后山洪的变化情况,红色区域表示山洪发生次数增多,蓝色表示减少,图中山洪次数密度变化情况在 $-0.15 \sim 1.15$ 次/ 100 km^2 之间,其中山洪次数增长区域占大多数,主要分布在喜马拉雅山脉以北,雅鲁藏布江中游和拉萨河中下游的广大地区,山洪次数相对减少的蓝色区域较少,主要零散分布在墨竹卡县、措美县、察雅县等地区。图8e为2009年前后山洪密度的变化情况,变化情况在 $-1.13 \sim 0.97$ 次/ 100 km^2 之间,相比图8d,山洪的增加和减少的范围都有所缩小,增加的区域主要在达孜县、城关区,减小的区域主要在仁布县和尼木县。

综合图8可知,西藏自治区1997年与2009年两个突变时间段内,全区山洪的突变情况既有增多,也有不变和减少。不变的区域主要位于广大的藏北地区,增多和减少的变化情况主要分布于喜马拉雅山脉以北,雅鲁藏布江中游一带,其中密度增多的地区范围比减少的地区大,突变以增多为主。

4 西藏山洪分布与降水的关系分析

4.1 降水指标的分布

山洪作为一种地面径流水文现象^[32],其形成过程必须具备几个因素,即水源条件、地形地貌条件、

地质环境、土壤与植被,一些山洪的发生还受到人为因素的影响。这些众多影响因素中,降水量和降水强度是形成山洪最重要也最为活跃的因素。由于山洪多发生在山区小流域的溪沟中,其过程经强水源补给迅速产生汇流,历时几小时到十几小时,很少能达到一天^[32]。因此,本文选取西藏地区多年平均最大10分钟降水量,60分钟降水量,6小时降雨量和24小时降雨量作为降水指标,分析其与西藏山洪分布的关系,各降水指标空间分布如图9。

从图9可以看出,各降水指标的分布整体都表现为东南多西北少的特点,但具体的空间分布上存在着一定的差异特征。其一,多年平均最大10分钟降水量与60分钟降水量由多到少方向为东南-西北,多年平均最大6小时和24小时降水量由少到多方向为北-南-东南。其二,以 30°N 和 90°E 经纬线为分界线,西藏西北部地区各降雨指标降水较少,但分布都比较均匀,分界线的东南地区,降水集中但分布不均匀,尤其在雅鲁藏布江大拐弯地区 and 三江地带降水分布变化较大。

4.2 西藏山洪与降水指标分析

为分析西藏山洪分布与降水指标的关系,将历史山洪灾害点按点提取多年平均的最大10分钟降水量,60分钟降水量,6小时降水量和24小

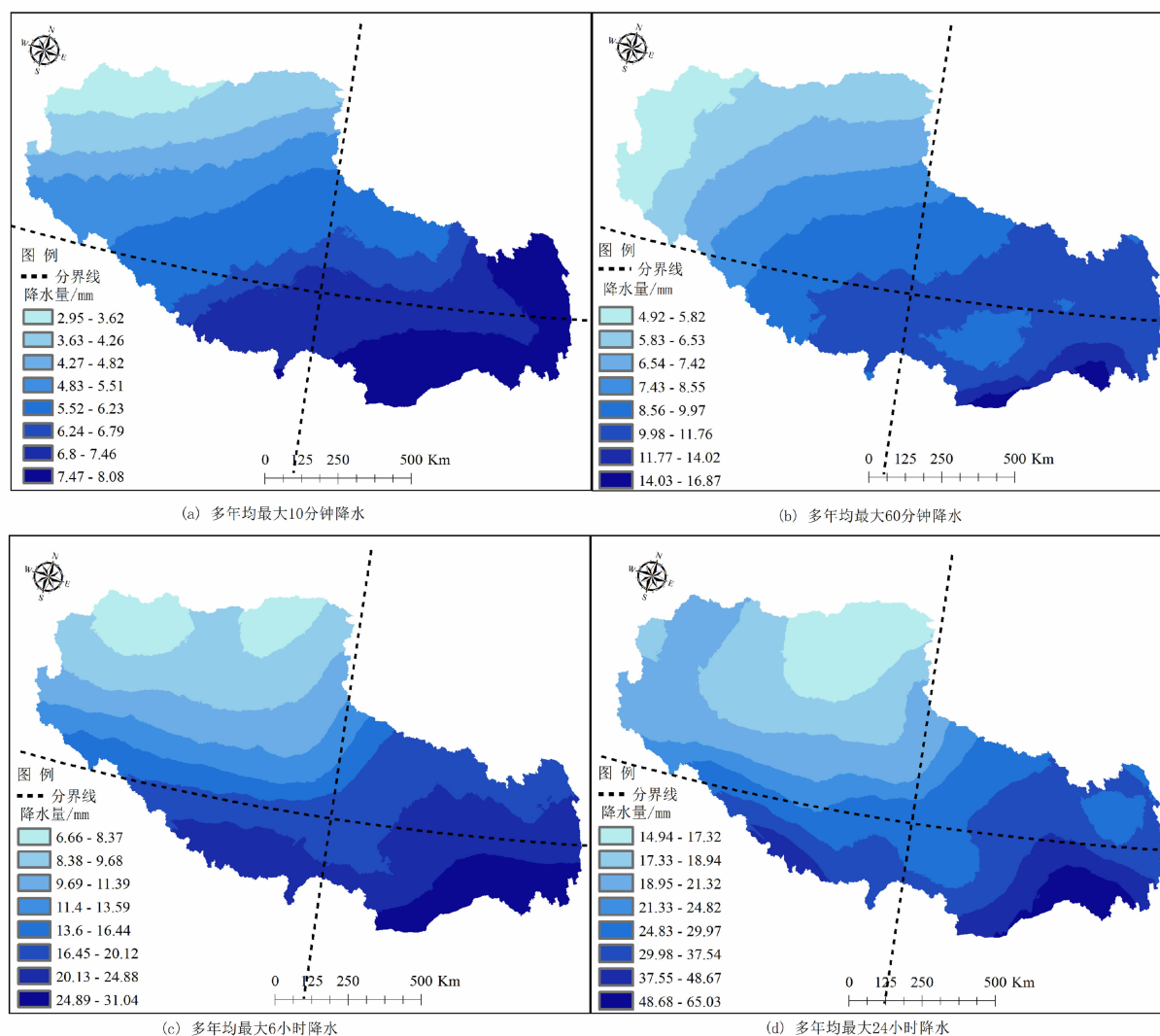


图9 西藏各降水指标分布图

Fig. 9 Rainfall indicators in Tibet

时降水量以及每 100 km^2 的山洪密度值,得到西藏山洪密度与降雨指标的散点关系与线性拟合图(图10)。

图10中各类型降雨指标与山洪密度都会出现一个特别突出的柱状峰值,只是峰值出现的位置不同,这表明山洪灾害密度分布总是集中在一定的降水指标区间内。图10a中,10分钟降水量大部分点落在 $6.8 \sim 7.4 \text{ mm}$ 的降雨区间内,峰值在 7.1 mm ,说明西藏山洪密集发生在10分钟降水量为 $6.8 \sim 7.4 \text{ mm}$ 的降水区间内,且降水量为 7.1 mm 时,山洪密度最高。而图10b中则显示西藏山洪发生次数集中分布在60分钟降水量为 10 mm 的降水区间内,图10c中,6小时降水量为 $19 \sim 21 \text{ mm}$ 是西藏山洪发生集中的降水区域,峰值显示当降水在 19.9 mm 时其山洪发生次数最高,图10d中,山洪发

生次数的24小时降水分布范围较为狭长,主要集中在 $29 \sim 31 \text{ mm}$ 。根据线性拟合关系分析,多年均最大10分钟降水量,60分钟降水量和6小时降水量与山洪灾害密度都呈现出正相关关系,最大60分钟降水量的线性拟合斜率相对较大,这表明多年平均60分钟降水量与山洪密度分布关系更为敏感,关联性更强。而多年平均最大24小时降水量与山洪密度分布呈现负相关关系,文献[33]关于小流域山洪降水指标选取中详细论述到,对于同类型的指标,此类属于假相关现象,并不能解释其分布差异。由此可见,对于不同的降水指标,西藏山洪集中分布的降水区间不同。年均最大10分钟降水区间主要分布在 7.1 mm ,年均最大60分钟降水指标与山洪密度分布关联性最强,降水区间主要分布在 10 mm ,年均最大6小时降水区间主要在 20 mm 。

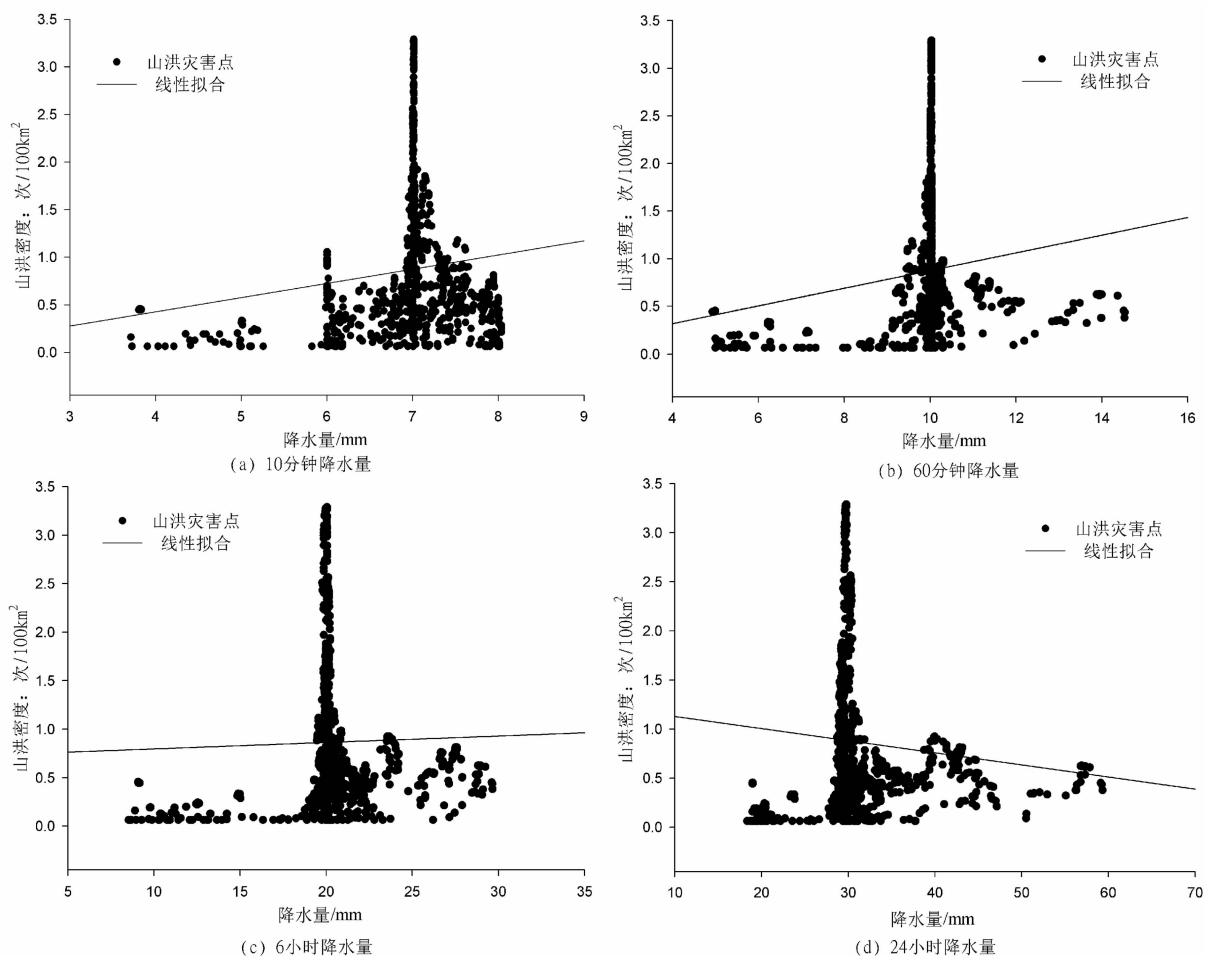


图 10 西藏山洪密度与降雨指标的散点图及线性拟合图

Fig. 10 Scatter plots and linear fits of rainfall indices and density value in Tibet

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 1983—2015 年西藏自治区共发生山洪灾害 1055 次, 年均发生 32 次, 山洪灾害每年呈 $y = 0.012x^3 - 0.4123x^2 + 4.5769x - 7.748$ 的三次函数增长, 发生时段集中在 2008 年以后, 占总灾害次数的 72.13%, 山洪主要发生月份为 7、8 月。周期上存在着两个时间尺度特征, 在 8a 特征时间尺度下, 西藏山洪周期不具有全域性, 仅在 2003 年以后表现出一定的周期性, 而在 33a 特征时间尺度下, 西藏山洪灾害周期变化具有全域性, 规律性也最为明显, 平均周期为 21a 左右, 预计 2015 年后的 5~7 年内仍为山洪发生的偏多期。

(2) 西藏山洪空间分布极不均匀, 不同时期范围变化明显, 但分布中心均位于拉萨市, 中心变化不

大。行政区统计表明日喀则、山南和林芝三个地级市属山洪高发区, 而县域上, 仁布、察隅二县灾害发生较多。灾害密度较高的地区主要是东部和南部的索曲河流域, 雅鲁藏布江中游、拉萨河流域的山区, 密度均高于 0.13 次/ 100 km^2 , 其中 1983—1993 年山洪分布的方向趋势性最为明显, 而 2005—2015 年的山洪分布范围最广。

(3) 1997 年和 2009 年是西藏山洪灾害的两个突变年份, 突变均以增多为主。1997 年山洪突变范围在 $-0.15 \sim 1.15$ 次/ 100 km^2 之间, 喜马拉雅山脉以北, 雅鲁藏布江中游和拉萨河中下游是突变增多的主要区域, 而墨竹卡县、措美县、察雅县等县的零散地区变化以减小为主。2009 年山洪的变化范围都有所缩小, 增加的区域主要在达孜县、城关区, 减小的区域主要在仁布、尼木二县。

(4) 西藏山洪灾害与各类型降水指标的分布具有一定的相似性。以 30°N 和 90°E 线为界, 降水均

表现出西北降水量少但分布均匀,东南降水量多但分布变化大的特点。不同类型的降水指标山洪灾害集中分布的降水区间不同,具体来说,年均最大10分钟降水区间主要分布在7.1 mm,年均最大60分钟降水区间主要分布在10 mm,年均最大6小时降水区间主要在20 mm,其中年均最大60分钟降水指标的线性拟合斜率最大,对山洪灾害密度分布,最为敏感。

5.2 讨论

本文针对西藏山洪灾害,系统分析了其时空分布特征,一定程度上弥补了西藏自治区山洪灾害分布分析的不足,但山洪灾害的发生过程迅速,机理复杂,涉及地学和社会学的诸多方面,还需后续的研究和探索。①山洪本身属于一种自然现象,当对人类活动产生影响时才形成灾害。时空分析中一个重要部分是对山洪涉及的社会属性要素进行空间分布分析,这些社会属性要素种类甚多,包括人口、经济、土地使用状况等,受数据资料的限制,本文仅从山洪灾害事件的空间和时间角度进行分析,未对山洪灾害的发生规模,造成人员伤亡,产生损失等社会属性进行规律分析。②应用B-G分割算法能有效地检测出西藏自治区山洪突变的时间为1997年和2009年,考虑到青藏高原作为气候生态敏感的地区,山洪次数的突变既有气候变化大背景下的原因,也有人类活动因素的原因以及其他复杂的因素影响,本文未对这一突变现象产生的原因进行分析。③本文分析西藏山洪分布与降水的关系中所用降水为10 km的暴雨图集插值数据,其精度有待提高,在后续的研究中需结合多源降水数据,如站点数据,TRMM卫星数据等分析山洪与降水的关系。

山洪灾害的发生趋势近年来愈演愈烈,众多学者对山洪的研究大多是着眼于其形成过程,即多种降雨因素,多种致灾因素及作用多种后果等方向上。研究成果显示,西藏近年来气候特征虽不断变化^[34-39],但其变化过程相较于西藏山洪发生频次来说是缓慢的。而地形地貌条件、地质环境条件等致灾因素也都是在长期地壳运动中逐渐形成的。因此从作用机理上并不能很好地解释西藏近年来山洪灾害趋势明显增加的原因。值得注意的是,西藏近年来经济快速增长,基础建筑行业发展迅速。据统计^[40],西藏自治区2000年地区生产总值为117.80亿元,房屋建筑工程面积为81.06万m²,公路通车里程为22 503 km;2010年地区生产总值增长到

507.46亿元,房屋建筑工程面积为128.25万m²,公路通车里程为58 249 km;到2015年以上三项分别增长到1026.39亿元、173.93万m²和78 000 km。这些统计数据表明,西藏自治区在经济建设迅猛发展的同时,人类活动不断扩张,与山洪这一自然现象的冲突逐渐显现,灾害增加趋势显得越来越明显。因此,如何在协调经济健康发展的同时规避众多的自然灾害,真正做到与自然和谐相处,这对于灾害研究工作者来说将是一个关键议题。

参考文献(References)

- [1] 徐在庸. 山洪及其防治[M]. 北京:水利出版社,1981:1-8 [XU Zaiyong. Flash floods and its prevention [M]. Beijing: Water Conservancy Press, 1981:1-8]
- [2] 刘志雨. 山洪预警预报技术研究与应用[J]. 中国防汛抗旱, 2012, 22(2):41-46 [LIU Zhiyu. Study and application of flash flood forecast and warning [J]. China Flood & Drought Management, 2012, 22(2):41-46]
- [3] 赵健,范北林. 全国山洪灾害时空分布特点研究[J]. 中国水利, 2006(13):45-47 [ZHAO Jian, FAN Beilin. Characteristics of temporal and spatial distribution of mountain flood in China [J]. China Water Resources, 2006(13):45-47]
- [4] 刘楠漪,程维明,孙东亚,等. 中国历史山洪灾害分布特征研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(12):1557-1566 [LIU Qiangyi, CHENG Weiming, SUN Dongya, et al. Distribution characteristics of historical mountain flood in China [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017, 19(12):1557-1566]
- [5] 林志东,陈兴伟,林木生,等. 东南沿海西溪流域暴雨洪水的时空变化特征[J]. 山地学报, 2017, 35(4):488-495 [LIN Zhidong, CHEN Xingwei, LIN Musheng, et al. Spatial and temporal variations of storm-floods in Xixi Watershed of southeast coastal region [J]. Mountain Research, 2017, 35(4):488-495]
- [6] 李景保,毛德华,许树辉. 湖南省山洪灾害特征与成因分析[J]. 山地学报, 2002, 20(3):380-384 [LI Jingbao, MAO Dehua, XU Shuhui. The cause and features of mountain torrent disaster in Hunan province [J]. Mountain Research, 2002, 20(3):380-384]
- [7] 李兴华,李彰俊,韩芳,等. 近50年内蒙古山洪灾害的规律及成因[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6):241-246 [LI Xinghua, LI Zhangjun, HAN Fang, et al. Regularity and cause of mountain torrents in Inner Mongolia in recent 50 years [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6):241-246]
- [8] 刘佳佳. 辽宁省山洪灾害时空特征分析与风险区划研究[D]. 大连:辽宁师范大学,2016 [LIU Jiajia. Study on temporal-spatial characteristics and risk zonation of the mountain flood disaster in Liaoning province [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2016]
- [9] 陈官燕,普布桑姆,次仁,等. 西藏林芝降水引发的山洪地质灾害分布特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(2):100-103 [CHEN Gongyan, PUBU Sangmu, CI Ren, et al. Distribution

- characteristics of mountain flood and geological disaster caused by precipitation of Nyingchi in Tibet [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, **29**(2):100–103]
- [10] 林志强, 尼玛吉, 黄志诚. 西藏东南部山洪灾害过程水文动力模拟和临界雨量 [J]. 水土保持通报, 2017, **37**(1):183–187 [LIN Zhiqiang, NIMAJI, HUANG Zhicheng, et al. Hydrological dynamics simulation and critical rainfall for flash flood in Southeastern Tibet [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, **37**(1):183–187]
- [11] 强巴卓嘎, 张新平. 山洪灾害成因分析——以西藏山南地区琼结县为例 [J]. 西藏科技, 2015(10):60–61 [QIANGBA Zhuoga, ZHANG Xinping. Analysis of causes of mountain flood disasters — a case study of Qiongjie county Shannan city [J]. Tibet Science and Technology, 2015(10):60–61]
- [12] 张斌斌. 帕隆藏布流域海洋性冰川区泥石流特征研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2016:85–102 [ZHANG Binbin. Study on debris flow characteristics in temperate glacier area of Pallon Tsangpo [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016:85–102]
- [13] 赵万玉, 陈晓清, 刘建康, 等. 冰川终碛湖溃决—再生特征与机理 [J]. 山地学报, 2015, **33**(6):703–712 [ZHAO Wanyu, CHEN Xiaoqing, LIU Jiankang, et al. Outburst-Regeneration characteristic and mechanism of glacier lake [J]. Mountain Research, 2015, **33**(6):703–712]
- [14] 索朗多吉, 林志强. 西藏地区山洪灾害预警研究和减灾对策分析 [J]. 中国农学通报, 2016, **32**(31):195–199 [SUOLANG Duoji, LIN Zhiqiang. Mountain torrent disaster in Tibet: early warning and mitigation countermeasures [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, **32**(31):195–199]
- [15] 格央, 次旦巴桑, 次仁朗杰, 等. 西藏中小河流洪水和山洪地质灾害气象风险预警系统 [J]. 西藏科技, 2015(4):64–67 [GE Yang, CIDAN Basang, CIREN Langjie, et al. Meteorological risk warning system for flood and flash flood geological disasters in small and medium rivers of Tibet [J]. Tibet Science and Technology, 2015(4):64–67]
- [16] 徐华鑫. 西藏自治区地理 [M]. 西藏人民出版社, 1986:1–3 [XU Huaxin. Geography of Tibet Autonomous Region [M]. Lhasa: Tibet People's Publishing House, 1986:1–3]
- [17] 连水星. 西藏高原地质灾害的分布特征及成因机制 [J]. 福建地质, 2008, **27**(4):420–424 [LIAN Shuixing. Distributional characteristics and causative mechanisms of geologic hazards in Tibet Plateau [J]. Geology of Fujian, 2008, **27**(4):420–424]
- [18] 关志华, 陈传友. 西藏河流水资源 [J]. 资源科学, 1980, **2**(2):25–35 [GUAN Zhihua, CHEN Chuanyou. Tibet river water resources [J]. Resources Science, 1980, **2**(2):25–35]
- [19] 刘光轩, 温克刚. 中国气象灾害大典 (西藏卷) [M]. 北京: 气象出版社, 2008:91–97 [LIU Guangxian, WEN Kegang. China meteorological disasters books (Xizang volume) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008:91–97]
- [20] [美] 崔锦泰. 小波分析导论 [M]. 程正兴, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1995:7–10 [CUI Jintai. An introduction to wavelets [M]. CHENG Z X, trans. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1995:7–10]
- [21] SILVERMAN B W. Density estimation for statistics and data analysis [M]. London: Chapman and Hall/CRC, 1998:4–5
- [22] MITCHELL A. The ESRI guide to GIS analysis; vol. 2 [J]. Esri Guide to Gis Analysis, 2005:21–61
- [23] BERNAOLA-GALVÁN P, IVANOV P C, NUNES AMARAL L A, et al. Scale invariance in the nonstationarity of human heart rate [J]. Physical Review Letters, 2001, **87**(16):168105
- [24] 李海彬, 张小峰, 胡春宏, 等. 基于 B-G 分割算法的河川年输沙量突变分析 [J]. 水利学报, 2010, **39**(12):1387–1392 [LI Haibin, ZHANG Xiaofeng, HU Chunhong, et al. Analysis on annual sediment transport abruptness of river basin based on B-G segmentation algorithm [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, **39**(12):1387–1392]
- [25] 龚志强, 封国林, 万仕全, 等. 基于启发式分割算法检测华北和全球气候变化的特征 [J]. 物理学报, 2006, **55**(1):477–484 [GONG Zhiqiang, FENG Guoling, WAN Shiquan, et al. Analysis of features of climate change of Huabei area and the global climate change based on heuristic segmentation algorithm [J]. Acta Physica Sinica, 2006, **55**(1):477–484]
- [26] ANSELIN L. Local indicators of spatial association-LISA [J]. Geographical Analysis, 1995, **27**:93–115
- [27] 王欢, 郝志新, 郑景云. 1750—2010 年强火山喷发事件的时空分布特征 [J]. 地理学报, 2014, **69**(1):134–140 [WANG Huan, HAO Zhixin, ZHEN Jingyun. Spatial and temporal characteristics of large volcanic eruptions in 1750–2010 [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, **69**(1):134–140]
- [28] 张德丰. MATLAB 小波分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012:183–198 [ZHANG Defeng. Matlab wavelet analysis [M]. Beijing: China Machine Press, 2012:183–198]
- [29] 祁顺杰, 陈皓锐. Morlet 小波在降雨的多时间尺度分析中的应用 [J]. 南水北调与水利科技, 2010, **8**(3):79–82 [QI Shunjie, CHEN Haorui. Multiple time scale analysis on yearly rainfall with Morlet wavelet analysis [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, **8**(3):79–82]
- [30] 张代青, 梅亚东, 杨娜, 等. 中国大陆近 54 年降水量变化规律的小波分析 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2010, **43**(3):278–282 [ZHANG Daiqing, MEI Yadong, YANG Na, et al. Wavelet analysis of change law of precipitations in China's mainland over the past 54 years [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2010, **43**(3):278–282]
- [31] 关颖, 朱翊. 基于空间分析的区域地质灾害点的分布特征研究——以新疆为例 [J]. 测绘工程, 2016, **25**(9):15–19 [GUAN Ying, ZHU Yi. A study of the distribution characteristics of regional geological hazards based on spatial analysis — a case of Xinjiang [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2016, **25**(9):15–19]
- [32] 唐邦兴. 山洪泥石流滑坡灾害及防治 [M]. 北京: 科学出版社, 1994:1–10 [TANG Bangxing. Hazards and control of flash flood, debris flow and land slide [M]. Beijing: Science Press, 1994:

- 1-10]
- [33] 李华威, 万庆. 小流域山洪灾害危险性分析之降雨指标选取的初步研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, **19**(3): 425-435 [LI Huawei, WAN Qin. Study on rainfall index selection for hazard analysis of mountain torrents disaster of small watersheds [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017, **19**(3): 425-435]
- [34] 杨春艳, 沈渭寿, 林乃峰. 西藏高原气候变化及其差异性[J]. 干旱区地理, 2014, **37**(2): 290-298 [YANG Chunyan, SHEN Weishou, LIN Naifeng. Climate change and its regional differences over the Tibet Plateau [J]. Arid Land Geography, 2014, **37**(2): 290-298]
- [35] 杜军. 西藏高原近40年的气温变化[J]. 地理学报, 2001, **56**(6): 682-690 [DU Jun. Change of temperature in Tibet Plateau from 1961 to 2000 [J]. Acta Geographica Sinica, 2001, **56**(6): 682-690]
- [36] 刘军会, 高吉喜, 王文杰. 青藏高原植被覆盖变化及其与气候变化的关系[J]. 山地学报, 2013, **31**(2): 234-242 [LIU Junhui, GAO Jixi, WANG Wenjie. Variations of vegetation coverage and its relations to global climate changes on the Tibetan Plateau [J]. Mountain Research, 2013, **31**(2): 234-242]
- [37] 杜军, 马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. 地理学报, 2004, **59**(3): 375-382 [DU Jun, MA Yucai. Climatic trend of rainfall over Tibet Plateau from 1971 to 2000 [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, **59**(3): 375-382]
- [38] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近30年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, **60**(1): 3-11 [WU Shaohong, YIN Yunhe, ZHENG Du, et al. Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, **60**(1): 3-11]
- [39] 姜永见, 李世杰, 沈德福, 等. 青藏高原江河源区近40年来气候变化特征及其对区域环境的影响[J]. 山地学报, 2012, **30**(4): 461-469 [JIANG Yongjian, LI Shijie, SHEN Defu, et al. Climate change and its impact on the regional environment in the source regions of the Yangtze, Yellow and Lantsang Rivers in Qinghai-Tibetan Plateau during 1971-2008 [J]. Mountain Research, 2012, **30**(4): 461-469]
- [40] 西藏自治区统计局, 国家统计局西藏调查总队. 西藏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016: 225-226 [Tibet Autonomous Region Bureau of Statistics, Tibet General Team Of Investigation under the NBS. Tibet statistical yearbook 2016 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016: 225-226]

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Mountain Floods in Tibet, China in Recent 30 Years

XIONG Junnan^{1,2}, GONG Ying¹, CHENG Weiming^{2*}, FAN Cunkun³, WANG Nan²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Agriculture Research Institute, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China)

Abstract: Understanding of the spatio-temporal distribution characteristics of mountain flood is the basis for regional mountain flood control planning, monitoring and early warning. In this study, an investigation into the spatio-temporal distribution and the abrupt changes of mountain torrents was conducted in Tibetan, followed by the collecting of historical mountain flood data and rainfall records from 1983 to 2015. Methods of geographic analysis, include spatio-temporal statistics and data mining technique, etc. were borrowed to explore the distribution relationship between mountain floods and different precipitation indicators. The results showed that: (1) there were a mean annual of 32 flash flood occurrences in Tibet from 1983 to 2015, mainly in July and August. The yearly change in the floods could be described as cubic function $y = 0.012x^3 - 0.4123x^2 + 4.5769x - 7.748$ and there were multiple time scale features in the periodic variation, which was mainly manifested at the 33a characteristic time scale. The periodic change had a regional nature with an average period of 21a; (2) The mountain floods in Tibet were mainly distributed in the three prefecture-level cities of Shigatse, Shannan and Nyingchi, the two counties of Rinbung and Zayü, the Suqu River basin in the east and south of Tibet, the mountainous areas of the Lhasa river valley, the midstream of the Yarlung Zangbo River. The distribution density was between 0 ~ 3.29 times/100 km².

From 1983 to 1993, there appeared to be the most obvious trend of directional distribution for mountain floods and from 2005 to 2015, the distribution was the widest and the randomness was the strongest. The average center of the three periods was located in Lhasa, and the central trend did not change much. (3) 1997 and 2009 were the years of flood outbreak in Tibet. The abrupt changes were mainly concentrated in the middle reaches of the Brahmaputra and the Lhasa River, with a density variation of -0.15 to 1.15 times/ 100 km^2 in 1997 and $-1.13 \sim 0.97$ times/ 100 km^2 in 2009; (4) with the 30°N and 90°E lines as the boundary, the distribution of rainfall index had fine consistency with the distribution of floods disaster in Tibet. Different types of precipitation indicators had close connections with the precipitation intervals of the centralized distribution of mountain floods, along which the annual average maximum 60-minute precipitation index was sensitive to the distribution of mountain floods. These results are of great theoretical and practical significance in promoting the data mining and spatio-temporal analysis of mountain torrents in Tibet, and in the scientific disaster reduction.

Key words: Tibet; mountain flood; spatio-temporal distribution; catastrophe analysis