

四川省泥石流活动与降水因子特征

钟燕川^{1,2}, 郭海燕^{1,2}, 徐金霞², 徐沅鑫², 马振峰²

(1. 四川省气候中心, 成都 610000; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610000)

摘要:基于四川省近 2008—2015 年泥石流灾情和多年降水气候资料,分析了四川省泥石流的分布和降水因子特点,利用主成分分析(PCA)和 K-means 聚类法,对泥石流灾害所在地区降水因子(年均降雨量、降雨日数、暴雨雨量、暴雨日数、雨季雨量、当日降雨量、前 3 日降雨量和前 3 日降水和前 9 日降水比值)进行了分析,得到了不同降雨类型诱发的泥石流特点和分布,探求了四川省泥石流灾害时空分布规律及其与多年气候降水特征的关系。结果表明:四川省泥石流多分布于龙门山断裂带、川西高原、攀南(攀枝花和凉山州)地区和盆周东部山区,这些地区存在有利于泥石流发生的地质、地形和物源条件和水源条件;多数泥石流事件的发生与灾害前 3 日降水密切相关;基于聚类结果,得到四川省泥石流类型和分布特点,对四川省对不同地区开展减灾风险管理提供了科学依据和参考。

关键词:四川省; 泥石流; 时空分布; 降水; K-means 聚类

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)06-0390-07

Characteristics of Debris Flow and Precipitation in Sichuan Province

ZHONG Yanchuan^{1,2}, GUO Haiyan^{1,2}, XU Jinxia², XU Yuanxin², MA Zhenfeng²

(1. Sichuan Provincial Climate Centre, Chengdu 610000, China; 2. Key Laboratory of Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin of Sichuan Province, Chengdu 610000, China)

Abstract: In order to reveal the characteristics of distribution of debris flow and precipitation factor in Sichuan Province in recent decades, climate data relative to debris flows during 2008—2015 and rainfall were collected. Based on precipitation factors (annual rainfall, rainfall days, rainstorms, number of rainstorms, rainy season rainfall, day rainfall, pre-3 days effective precipitation and the ratio of pre-3 day effective precipitation and pre-9 day effective precipitation), we used PCA and K-means cluster analysis to get the characteristics and distribution of debris flow under different rainfall types. The debris flow in Sichuan Province distributed in Longmenshan fault zone, western plateau of Sichuan Province, Pannan (Panzhihua and Liangshan) and eastern mountainous area. There are specific conditions such as geology, topography, source and precipitation inducing the occurrences of debris flows. Pre-3 day effective precipitation can be considered as important factor about the threshold and risk division of debris flow. The results of the characteristics and distribution of debris flow from cluster analysis can provide the references for debris flow disaster prevention and risk mitigation in Sichuan Province.

Keywords: Sichuan Province; debris flow; temporal and spatial distribution; precipitation; K-means cluster analysis

世界上许多多山国家,泥石流灾害频发,其来势凶猛、突然爆发、破坏力强,造成惨重损失,成为山区严重的自然灾害之一。由于四川的地质构造和自然地理环境复杂,泥石流分布广泛、活动强烈、危害更加严重。随着山区经济日益发展,人类活动日趋频繁,特别是全球气候变暖和强降水极端事件频率的增加,以及大地震诱发的大量次生沙地灾害,致使泥石流危

害呈现加剧的趋势,严重影响四川山区的经济建设和社会发展。对某一地域而言,在一定时间尺度内地形和松散固体物质变化不大,激发泥石流的重要条件是降雨^[1-2]。因此,降雨是泥石流预报模式中最重要因子,研究降雨特征与泥石流发生之间的关系对泥石流形成和临界降水量研究具有重要意义。关于泥石流与降水的关系的研究,目前部分研究^[3-4]通过分析

引发泥石流的降水条件确定引发泥石流的关键因子,部分^[5-6]根据对泥石流灾害分布特征以及降水时空分布特征探求泥石流灾害与降水的关系。四川省是我国遭受泥石流灾害最严重省份之一,针对四川省某一时期或某局部区域,也开展过相关研究工作^[7-8],但受到资料限制,多数研究仅针对四川省局部地形和地区,或某一较短年份的过程开展。但四川省地形复杂,地形包括东部盆地、西北部高原和西南部高山,不同地形下的泥石流灾害各有其特点,且2008年地震后四川省出现大量新的泥石流点和灾害记录,以往研究在全面反映四川省泥石流灾害及其气象成因方面已不能满足现今防灾工作的需求。

鉴于此,本研究基于四川省(东经 $97^{\circ}21'—108^{\circ}31'$,北纬 $26^{\circ}03'—34^{\circ}19'$)暴雨洪涝灾害风险普查项目,收集较为全面的四川地区历史上发生的地质灾害案例记录和降水数据,对四川省泥石流时空分布特点以及对应的多年气候降水特征进行分析,为四川地区的泥石流防灾减灾工作提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究采用泥石流灾害数据来源于四川省统计年鉴和四川省中小河流洪水风险普查资料,降水资料来源于四川省气象局。四川省气象局在2013—2016年组织开展了全省21个市(自治州)各区县的中小河流暴雨洪涝灾害风险普查工作,其中包括四川省各市州的地质灾害数据。泥石流灾害数据采用2008—2015年四川省境内发生的有记录的2439起泥石流灾害,地点精确到县,其中有经纬度记录的为979起,有规模纪录的泥石流灾害1851起,发生时间精确到小时的泥石流灾害记录数据为1182条。因部分灾害记录无确切经纬度记录,为更好探究其分布情况,灾害频次地理分布分析用各县发生次数统计。降水资料为四川省同期158个站点降水资料。灾害点雨量采用离灾害点最近的气象站降水作为该灾害点雨量。

1.2 研究方法

(1) 有效雨量的计算。本研究计算有效前期降雨量的公式为^[8]:

$$CAR_x = KP_1 + KP_2 + \dots + KP_n \quad (1)$$

式中: CAR_x 表示第 x 天的前期有效降雨量; P_1 表示 x 天前一天的日降雨量; P_n 表示 x 天前 n 天的降雨量; K 为衰减参数,是一个经验常数,一般选取 K 值为0.8。

(2) 主成分分析。本研究利用主成分分析^[8],对降水因子进行降维处理。计算步骤为:将原有的变量标准化,计算各变量之间的相关矩阵、该矩阵的特征根和特征向量,最后将特征根由大到小排列,分别计算出对应的主成分。主成分计算公式为:

$$Z_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^p X_i \quad (2)$$

式中: Z_i 为方差贡献率; λ_i 表示主成分 Z_i 的方差在全部分方差中的比重。比值越大,表明主成分 Z_i 综合原始变量信息的能力越强; X_i 为第 i 个样品值; p 为样品总数。

(3) K-means聚类。本研究采用K-means聚类算法^[9]对降水因子进行聚类分析。假设 n 个子类的初始质心(均值)均匀或随机分布在属性空间,根据聚类中心最小欧氏距离原则将其余样品代表点向类中心聚集。计算点集每一个点与 n 个子类质心的距离(欧氏距离),将每一个点归到与其距离最小的子类,使用计算出的中心位置重新进行聚类直到凝聚点变动很小,达到收敛标准。欧氏距离计算方法为:

$$D_{ik} = [\sum_j^m (x_{ij} - x_{kj})^2]^{1/2} \quad (3)$$

式中: D_{ik} 为任两个样品 i 和 k 的欧氏距离; X_{ij} 为第 i 个样品的第 j 个变量; X_{kj} 为第 k 个样品的第 j 个变量; m 为样品总数。

2 结果与分析

2.1 泥石流灾害空间分布特征

四川省泥石流灾害点和发生频次分布情况如图1所示。泥石流灾害在四川盆地周边山地均有发生,主要聚集区沿四川盆地与川西高原的交界处,在龙门山断裂带沿线密集分布。盆地以北以汶川为中心的阿坝州南部和中部,以及什邡、黑水、绵竹等相邻盆地边缘区县,是全省泥石流灾害次数发生最多的地区;灾害次数大于100次,其中汶川县多达215次,为全省泥石流发生次数之最;盆地以西的甘孜州南部,以乡城为中心也为灾害次数较大区域,乡城县发生的泥石流达87次;盆地以西南的攀西地区也是泥石流灾害高发地区,其中雷波和宁南县灾害较重,大于50次;盆地以东山区也有泥石流发生,其中东部万源市和宣汉县泥石流灾害达20次以上。

选取全省发生泥石流灾害次数排名前10的县,其泥石流灾害类型构成如表1所示。本研究中小、中、大、特大型泥石流来自普查资料中对其类型的记载,根据泥石流的固体物质而划分,固体物质 <2 万 m^3 为小型泥石流,固体物质 $[2$ 万 $m^3, 20$ 万 $m^3)$ 为中型泥石流,固体物质 $[20$ 万 $m^3, 50$ 万 $m^3)$ 为大型泥石流,固体物质 >50 万 m^3 为特大型泥石流。所得资料中,并非每次灾害都有类型记录。从结果来看,小型泥石流占发生泥石流的70%,是四川省泥石流灾害的主要类型;盆地和高原地形交界处,沿横断山脉沿线所在县(区)是大型和特大型泥石流的主要发生地区。

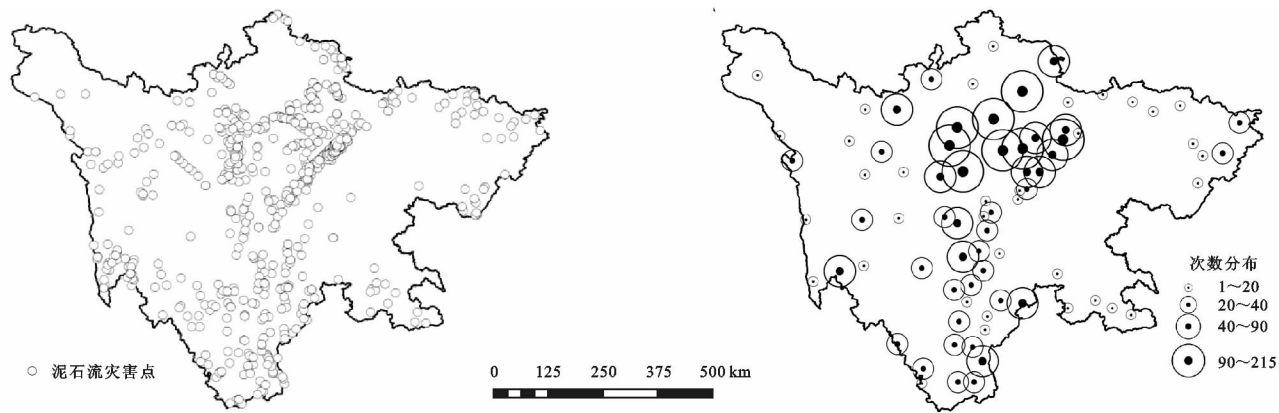


图 1 四川省泥石流灾害特征分布

表 1 部分县泥石流发生次数

站点	小型	中型	大型	特大型	小计
汶川县	143	19	23	10	213
理县	120	22	5	2	151
什邡县	66	31			133
安县	54	47	9	1	111
绵竹县	35	7	4	2	81
小金县	56	13		1	80
黑水县	63	3	1		67
茂县	57	2	1		60
彭州县	33	7	11	1	55
北川县	45	3		1	51

四川省泥石流分布特点和地形地貌有着密切的关系。四川省地形由东向西依次为大巴山区、盆地、横断山区(龙门山断裂带)、青藏高原。其中龙门山断裂带是由青藏高原变形向东的延伸受到四川盆地地下坚硬岩石圈的阻挡,在四川盆地的西缘形成。龙门山断裂带经历了漫长的地质演化,具有复杂的地质结构和演化历史,是控制四川省泥石流多发区的主要构造带,其主断裂间断层密布,褶皱裂隙非常发育、岩石破碎,对所发育的泥石流沟的固体物储备量、补给方式以及泥石流性质都有很大影响。该区地质地貌对于泥石流形成的影响表现为以下三点:一是地质基础的不稳定性,即新构造运动的阶段性,对泥石流活动周期起着控制作用。断裂带吸收了地壳变形,若完全以弹性能形式积累,则可能主要以地震来释放^[10]。在新构造运动的每个阶段,发育和加大了许多不良地质体,伴生频繁的泥石流,成为泥石流的活跃阶段。5.12 汶川地震形成了长 300 km、深 30 km 大断裂,形成大规模的崩塌、滑坡也为泥石流活动提供了陡峻山地和丰富的松散固体物质^[1],在 5.12 汶川地震以后,以汶川为中心的地区泥石流灾害进入高发育阶段。从此次统计资料看来,汶川县作为四川省泥石流发生频次之首的县,其 99% 的泥石流记录发生在 2008 年 5 月 12 日以后。二是地貌基础的不稳定性。作为泥石流多发区的横断山脉沿线,其构造地貌主要表现为山体强烈隆起,河流快速切割的高、中山深谷类型。如岷江是一条典型的深切切割的构造性河谷,河

谷两岸地形陡峻,地面高差悬殊,致使两岸支沟以较大的沟谷纵坡与岷江交汇,为泥石流的活动提供了有利地形条件。在泥石流活动多发的攀南地区,地处地质环境脆弱的横断山区位于青藏高原的东南隅的川滇活动地块,向南南东方向的总体运动和绕东喜马拉雅构造节点的顺时针旋转,是中国大陆地震活动最强烈的地区之一^[11],该地区断裂构造和褶皱构造十分发达,其中安宁河深大断裂带从北向南纵贯全境,在地震的作用下大量处于稳定或亚稳定的山体受到破坏,产生众多的崩塌、滑坡等地质灾害,并导致大面积的岩土体松动,在未来暴雨和人类工程活动的影响下,可能产生新的地质灾害,所产生的大量松散固体物质为泥石流活动提供了丰富的物源,为将来泥石流活跃奠定了物质基础^[12]。三是岩土物质基础的不稳定性。该地区的第四纪为残积、坡积、洪积层分布于河谷山坡和山麓沟口,其岩性的孔隙度和裂隙性大,强度和稳定性差,易被冲蚀,是泥石流流体中黏粒的主要来源。由于成岩时代不同,岩石的物理力学性质也有较大差异。一般说来,成岩时代较晚的,质地松散,抗剪强度低,易崩解,直接影响坡面稳定,易于产生滑坡、崩塌,并在暴雨洪水掏蚀下转化成泥石流。四川省泥石流多发区自然环境脆弱性本质促使生态环境组成物质与能量基础处于接近失衡的临界状态,表现出不稳定性,对外力干预具有敏感性的特点,因此降水是泥石流易发区重要的灾害诱发因子。

2.2 气候降水因子空间分布特征

四川省多年平均降雨量、平均雨日、暴雨雨量和暴雨日数分布如图 2 所示。在泥石流灾害较为密集 of 龙门山断裂带,年均降雨量、暴雨雨日、暴雨量均在较大值区,龙门山断裂地震带区域,经过地震后岩层较为破碎,加上降雨量较大,形成了泥石流多发区。在泥石流发生频次最高的以汶川县为中心的地区,雨日数较长,其中川西高原上汶川为中心的区域,虽多年平均雨量多在 800 mm 以下,但大部分地区雨日数均在 140 d 以上,以汶川、理县、黑水、松潘等泥石流高发区年均雨日均在

160 d 以上;与汶川震区邻近的什邡、绵竹、都江堰和安县等盆地内泥石流高发区域,年均降水在 1 000 mm 以下,但多年平均雨日均在 140 d 以上。暴雨雨量和雨日分布特征相似,最大值区为四川省盆地东部以达州市为中心的大巴山暴雨区、中部以雅安市为中心的青衣江暴雨区和甘孜州以九龙县为中心的龙门山暴雨区,年均暴雨量在 200 mm 以上。四川省中部雅安

市多年平均雨量和雨日分别在 1 200 mm 和 160 d 以上,为盆地暴雨中心,但其泥石流灾害发生频次远小于汶川地区,究其原因,一是 5.18 大地震为汶川地区提供了大量松散的固体物质,二是高原与盆地标准降雨等级不一致,如日降雨 25 mm 在盆地为大雨,在高原为暴雨,这使得汶川地区泥石流在拥有更丰富物源的情况下,也拥有良好的降水触变液化。

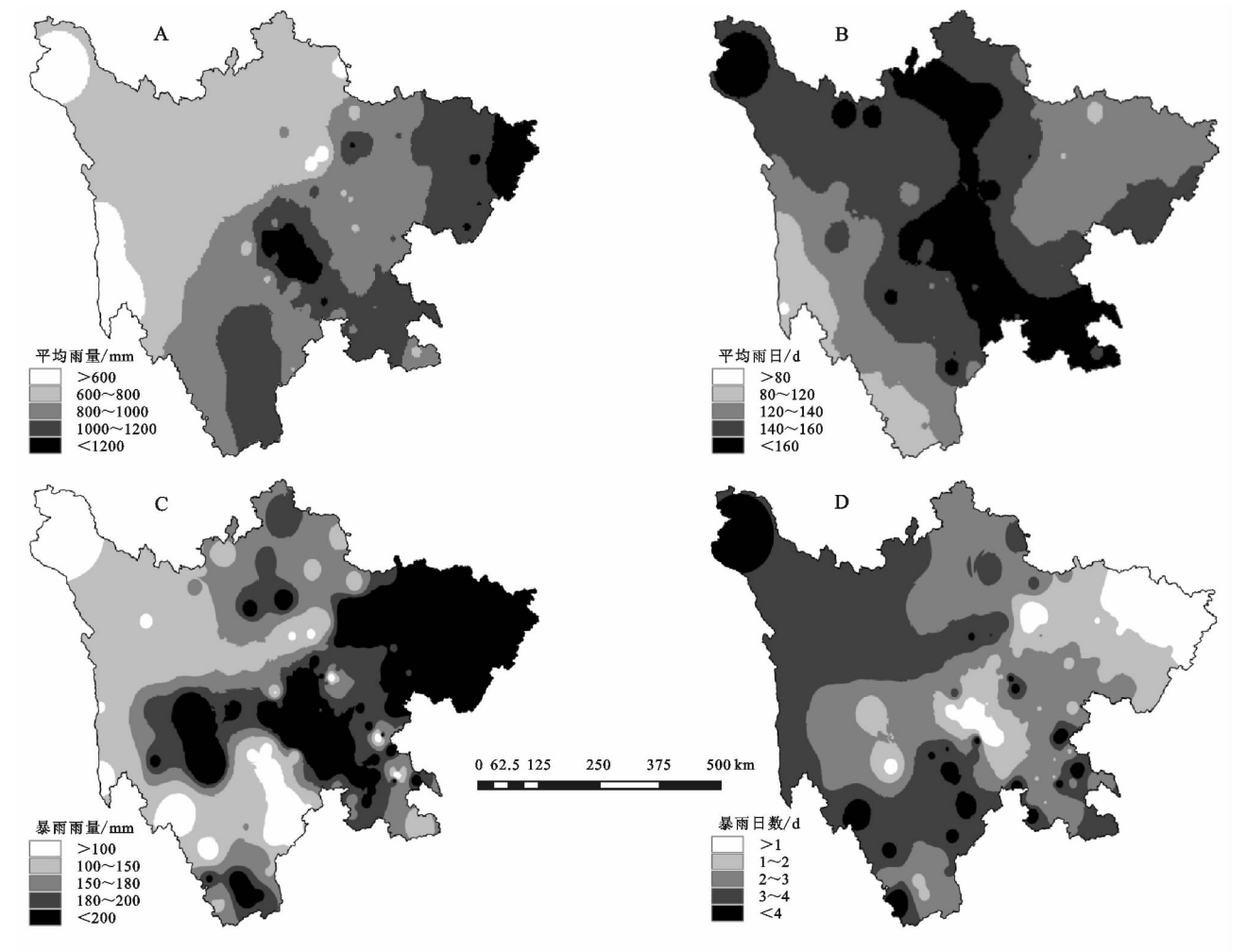


图 2 四川省多年平均降雨因子分布

降水与泥石流关系极为密切,是泥石流形成过程中最活跃的一个因素。而四川省降水特点,有利于泥石流的触变液化作用。一是降水集中,四川省降水集中在 4—9 月 6 个月的降水更为集中,占全年降水量的 85%(图 3B),也恰好是泥石流暴发的高峰期;二是横断山区即龙门山断裂带多雨区与泥石流形成区吻合一致。而最大暴雨带的形成,乃是岷江两岸泥石流频频暴发的最活跃的水动力激发因素。三是多局地性暴雨。在季风气候影响下形成的控制面积小、历时短、强度大的局地性暴雨(或称点暴雨),是形成本区灾难性泥石流的主要激发因素。四是多夜雨,导致泥石流具有常以夜发性特点。人们在夜间因为难以防泛和紧急避险而酿成更大灾难(图 3D)。

2.3 泥石流灾害与降水因子时间分布特征

本研究在年际、月际、月内的时间分布上选择年均暴雨次数和泥石流灾害发生频次进行比较分析,在日内的时间分布上选择暴雨次数与之进行比较。泥石流灾害发生和降水在年变化分布上则各有特点。川西地区的降水自 2008 年开始略有增加^[13],但夏季降水整体呈减少趋势^[14];泥石流灾害频率自 2008 年后陡然增加,于 2012 年达到最大值,占 2008—2015 年泥石流灾害发生总数的 23%。究其原因,一是因为该地区人类活动的增强,社会经济活动范围增大,容易引发泥石流灾害;二是地质灾害统计工作随着时间发展逐渐更为客观全面;三是 2008 年 5.12 大地震主震之后,在相当长时间内余震的反复发生,强烈破坏了灾区地表结构和

山坡稳定性,持续不断诱发新的地质灾害,极大增加了该区域山区沟道内松散固体物质质量,为泥石流灾害发

生增强条件。这使得部分长时间没泥石流灾害发生的沟内泥石流重新活动,易受降水激发^[1]。

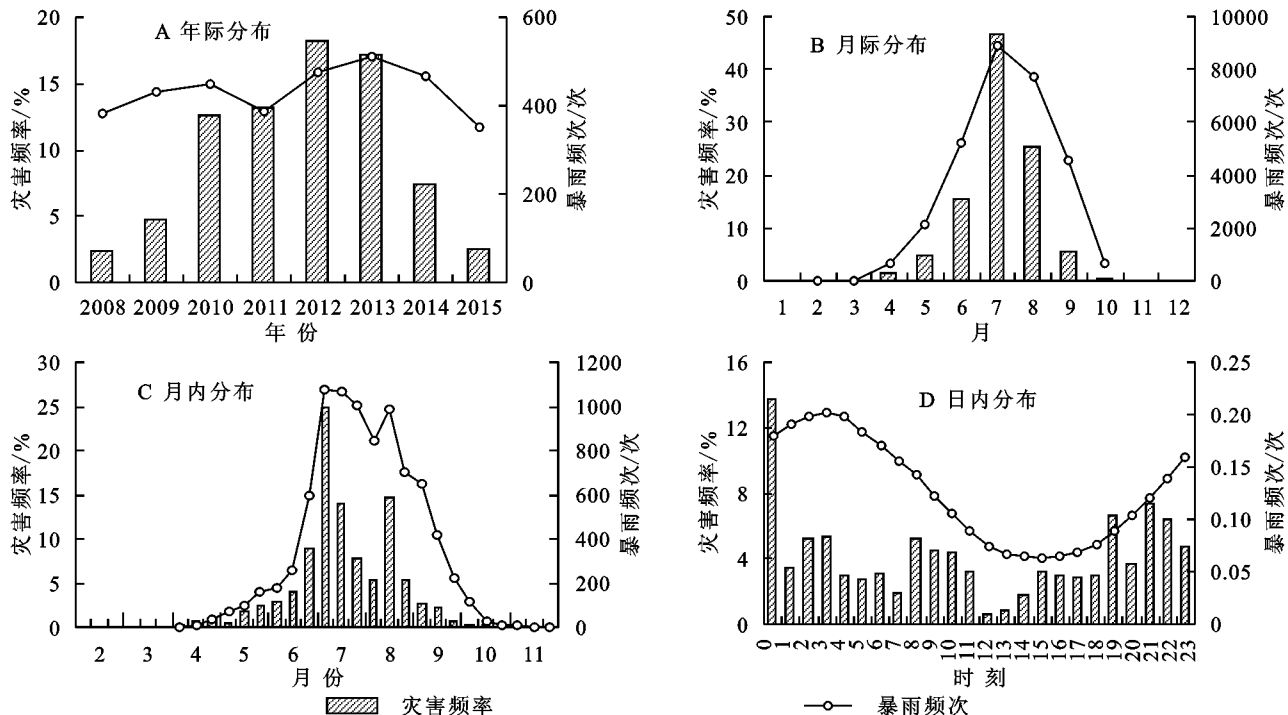


图3 泥石流与降雨因子时间分布

在同一条泥石流沟中,陡峭的地形和松散的固体物质来源在一定时间尺度内,可以认为是相对不变的,因此泥石流发生、发展的规模和频率主要受降雨的周期性、季节性和突发性等因素的控制和制约^[1]。四川省泥石流的发生与降水在月和旬分布情况如图3B—3C所示,显示出较高的对应关系。四川的泥石流和降水多发于4—9月,在夏季7月最高;约占总数的1/4的泥石流灾害都发生在7月上旬,达744起。其次是8月中旬和7月中旬,与暴雨频次旬发生情况一致。日内小时分布情况上(图3D),暴雨频次与泥石流的日内分布趋势一致,多发于夜间,近70%的泥石流发生在夜间和凌晨(20:00—8:00时间段),其中0:00时间段发生记录数最多,占总发生数的14%。但泥石流灾害的激发除了1h雨强,前期降雨量也有重要作用,且降雨入渗土体的空间与深度存在滞后期,故在小时分布上泥石流灾害与小时降雨对应关系不如月和旬分布。

2.4 泥石流灾害短期降水特征分析

(1) 泥石流前期降水特点分析。研究表明对泥石流灾害有影响的降雨一般在泥石流灾害发生前9日内^[15]。统计泥石流灾害发生当日至前9日雨量(图4A)。结果表明,92%的泥石流灾害发生当日有降雨发生,且当日平均雨量最高,随着泥石流灾害发生前推0~3日逐渐降低,灾害发生第3日前推日均雨量无明显趋势。尽管仍有13%的泥石流灾害发生当日无降水发生,

随着发生日数前推,尤其是降水发生前1~3日内,无降雨发生的灾害数量比例陡然减少。说明多数泥石流事件的发生与灾害前3日降水密切相关。

(2) 分级别降水与泥石流的关系。选取与泥石流相关性最高的前3日有效雨量作为分析对象,按每5mm一个量级对泥石流前3日的有效雨量进行分组,得到泥石流灾害频次在各量级有效雨量分布,结果见图4B。几乎各雨量段泥石流灾害均有发生。18%的泥石流灾害在前3日有效雨量达到在0~5mm时便已发生,前3日有效雨量达到15mm时,有44%的泥石流灾害发生;达到25mm时,有59%的泥石流灾害发生;达到50mm,83%的泥石流灾害已发生。

2.5 泥石流和降水特征分析

(1) 降雨指标主成分分析。以年均雨量(x_1)、年均雨日(x_2)、年均暴雨量(x_3)、年均暴雨次数(x_4)、灾害发生当日(0d)降雨量(x_5)、灾害发生前3日降雨量(x_6)、 P_0 (x_7)(P_0 为前3日降水与前9日降水比值)为8个因子参数,利用抽取主成分法进行主成分分析。在解释的总方差中,第一和第二主成分的累计贡献率达72%,且特征值均大于1,说明可将7个因子参数通过降维减为长期气候降水因子(因子1)和短期(灾害发生前0~9日)降水因子(因子2)两个主成分,来解释降水因素对泥石流灾害的影响。通过系数矩阵,因子1,2表达式分别为:

$$Z_1 = 0.110Std x_1 + 0.313Std x_2 + 0.322Std x_3 + 0.298Std x_4 + 0.194Std x_5 - 0.033Std x_6 - 0.033Std x_7$$
$$Z_2 = -0.007Std x_1 - 0.076Std x_2 - 0.065Std x_3 - 0.073Std x_4 - 0.184Std x_5 + 0.456Std x_6 + 0.456Std x_7$$

式中： Z_1 和 Z_2 分别为降维后的因子 1 和因子 2； $Std x_i (i=1,2,\cdots,7)$ 为指标变量，其表达式分别为：

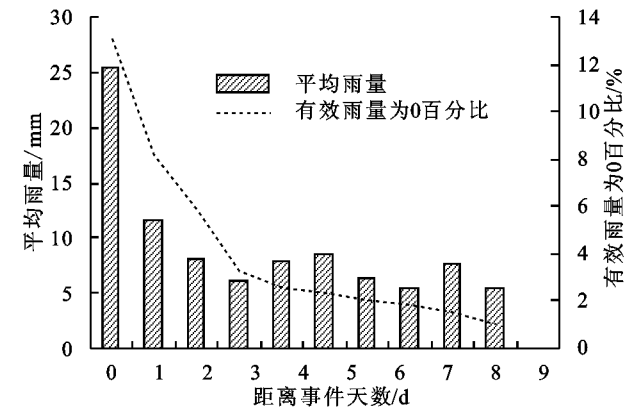


图 4 泥石流灾害与前期降水的关系

表 2 主成分荷载矩阵

	因子 1	因子 2
年均雨量	0.320	0.016
年均雨日	0.914	-0.164
年均暴雨量	0.940	-0.139
年均暴雨日	0.871	-0.156
发生当日降雨	0.567	0.395
前 3 日有效降雨	0.095	0.980
P_0	0.095	0.980

(2) 泥石流降水特征聚类分析。通过 K-means 中心聚类，根据降水因子将发生泥石流灾害类型分为 5 类。各类泥石流相应降水因子情况见表 3，各县的泥石流主要分类情况见图 5。

表 3 泥石流降水因子划分情况

降水因子(均值)	第一类	第 2 类	第 3 类	第 4 类	第 5 类
年均降雨量/mm	704.49	791.47	1180.05	628.43	962.74
降雨日数/日	145.09	148.39	160.23	146.88	153.40
暴雨雨量/mm	125.59	157.46	253.45	105.21	213.99
暴雨日数/日	1.50	2.13	4.49	1.24	3.30
当日降水/mm	6.48	2.55	109.99	20.52	26.62
前 3 日降水/mm	14.77	4.62	156.49	31.28	43.44
P_0	0.6369	0.2075	0.9186	0.9154	0.7848

第 1 类泥石流所在地区降水不多；泥石流发生当日雨量小，仅为 6.48 mm，泥石流发生当日降水较少，但灾害发生前 3 日有效雨量比重较大，为 64.69%；该类型泥石流占泥石流总数的 14%，在川西高原上的阿坝州北部、甘孜州北部以及攀南地区的部分县发生的泥石流主要为该类型。

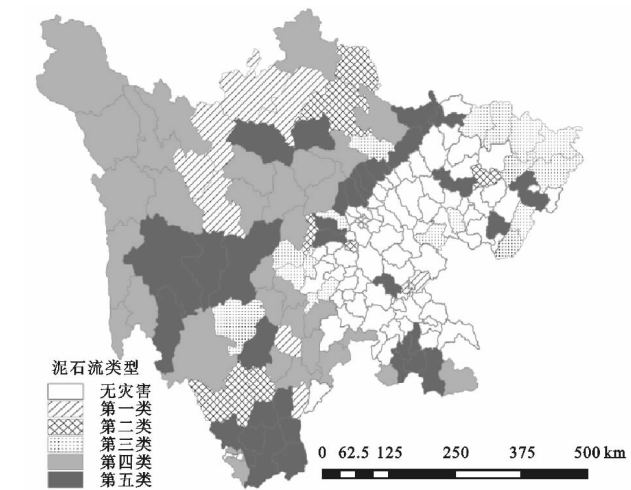
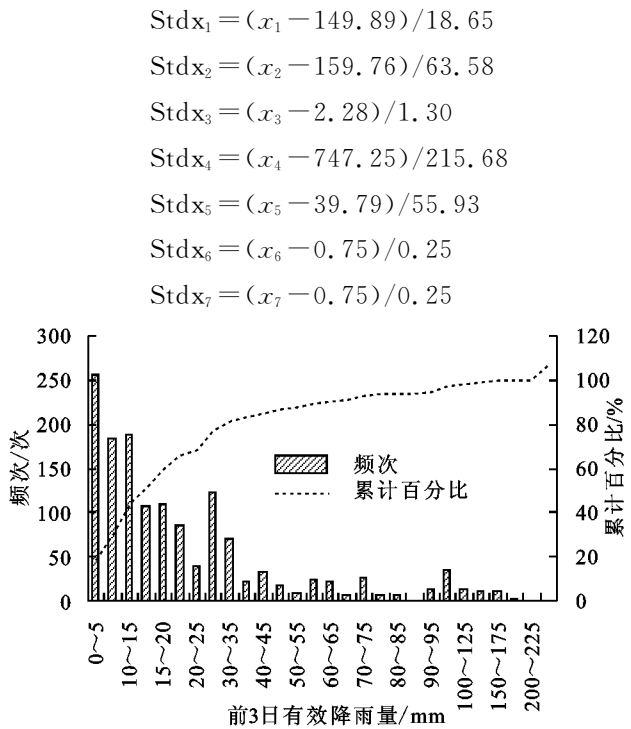


图 5 四川省各类型泥石流分布

第 2 类泥石流发生地区年均降雨量不多在 800 mm 左右，泥石流灾害发生当日降水量和前 3 日降水量在前期降水中比重极小，仅为 21%；该类型泥石流占灾害总数的 13%，仅川西高原北部的九寨沟和松潘县、攀南地区南部的西昌市和盐源县发生的泥石流属于该类型。

第 3 类泥石流发生地区降雨量、降雨日数、暴雨次数和暴雨雨量为 5 种类型中最大，泥石流发生当日降水均值高达 109.99 mm，前 3 日降水占前期降水比重最大，达 91.86%；该类型泥石流占泥石流灾害总数的 35%；以该类型泥石流为主的县分布于盆地东部、中部和西南部山区的大巴山暴雨区、龙门山暴雨区和青衣江暴雨区。

第 4 类泥石流发生地区年均降水和暴雨最少，但泥石流灾害发生的前 3 日降水量不高，但在前期降水中比重极高；该类型泥石流占泥石流灾害总数的

9%,是川西高原大部分县和攀南北部地区所发生泥石流的主要类型。

第5类泥石流发生地区年均降水和暴雨较多,泥石流灾害发生当日雨量26.62 mm,前3日有效降雨量比重较大;此类泥石流占灾害总数的30%;以该类型泥石流为主的县主要分布于盆地西北部和西南部、川西高原中部和南部以及攀南地区南部。

3 讨论与结论

(1) 四川省高原和山地地区地质、地貌和岩土物质基础的不稳定性,导致降水是泥石流易发区重要的灾害诱发因子。四川省泥石流灾害分布和地形结构密切相关,且主要灾害类型为小型泥石流。泥石流灾害在四川省盆地与高原交界处的龙门山断裂带沿线密集分布,盆地以北的阿坝州南部和中部,位于“5·12大地震”震中的汶川县泥石流小、中、大和特大型泥石流发生频次均居全省之首。

(2) 四川省暴雨灾害频发,存在盆地东部以达州市为中心的大巴山暴雨区、中部以雅安市为中心的青衣江暴雨区和甘孜州以九龙县为中心的龙门山暴雨区;在地质结构不稳定和破碎的泥石流多发区,例如龙门山断裂带沿线,年均降雨量、暴雨雨日、暴雨量存在较大值区;全年降水时段集中,多局地性暴雨和夜雨;这些降水特点有利于泥石流的触变液化作用。但因地震带和峡谷等地形原因,四川省降雨中心与泥石流灾害频发中心在空间分布上又在一定差异。

(3) 四川省多数泥石流事件的发生与灾害前3日降水密切相关。92%的泥石流灾害发生当日有降雨发生,其中与灾害发生前3日有效雨量相关性最大。四川省泥石流灾害被中小降水激发所占比重较大,且四川省泥石流灾害发生当日平均降雨量最大,仅有13%的泥石流是由前期有效降水激发,在灾害发生当日无降水发生。

(4) 基于本研究所得结果,可根据相应地区泥石流类型特点,开展四川省泥石流防灾减灾工作。对于川西高原上的阿坝州北部、甘孜州北部以及攀南地区的以第一类泥石流为主要类型的县,既要关注当日和短期(3日)降雨雨量,也要留意3日之后的长期雨量;对于川西高原北部的九寨沟和松潘县,攀南地区南部的西昌市和盐源县等以第2类泥石流为主要类型的县,降雨发生后较长时间(9日左右)内降水的发生,也有引发灾情的风险;对于位于大巴山暴雨区、龙门山暴雨区和青衣江暴雨区以第3类泥石流为主要类型县和盆地西北部和西南部、川西高原中部和南部以及攀南地区南部和第5种类型泥石流为主要类型的县,应多关注当日强降水(暴雨)和强降水后短期灾情发生的风险;分布于盆地西北部和西南部、川西高

原中部和南部以及攀南地区南部以第4种类型泥石流为主要类型的县,在当日和短期(3日)降雨雨量不大(中雨)的情况下,也有可能引发泥石流灾害。

(5) 在2008—2015年,四川省收集到的泥石流灾害记录达两千余条,但相当部分没有记录准确的发生地点、时间、财产损失和人员伤亡情况。尽管本文从中筛选出有记录的数据,但作为经验性的统计规律,原始数据详细程度不够仍使结果有所欠缺。本文对泥石流灾害空间、时间分布规律进行分析,基于降雨因子采用聚类的方法进行了泥石流类型的分区,在结果上可为四川省泥石流灾害预报工作提供基础和依据,同时也接受未来泥石流灾害资料的检验和补充。

参考文献:

- [1] 王裕宜,田冰,詹钱登,等.不同权重的前期和始发日降雨量与泥石流产沙规模的分析:特大型泥石流灾害发生的思考[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(1):32-38.
- [2] Sepúlveda S A, Padilla C. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills, Central Chile[J]. Natural Hazards, 2008,47(2):201-215.
- [3] 高克昌,韦方强,崔鹏.降水空间特征与泥石流沟分布的关系[J].北京林业大学学报,2007,29(1):85-89.
- [4] 刘海知,马振峰,范广洲,等.四川省典型区域滑坡泥石流与降水的关系[J].水土保持通报,2016,36(6):73-77.
- [5] 赵万玉,陈晓清,游勇,等.四川省会理县“8·30”地震地质灾害分布特征及防治对策[J].水土保持通报,2010,30(4):143-147.
- [6] 田冰,王裕宜.气候因素对蒋家沟泥石流输沙量的影响分析研究[J].水土保持研究,2015,22(5):218-222.
- [7] 苏鹏程,刘希林,郭洁.泥石流灾害与降雨关系的初步探讨[J],自然灾害学报,2006,15(4):19-23.
- [8] 沈玲玲,刘连友,杨文涛,等.基于TRMM降雨数据的四川省地质灾害降雨阈值分析[J].灾害学,2015,30(1):220-227.
- [9] 李鸿雁,原若溪,王小军,等.吉林省泥石流易发区的降雨特征分析[J].自然资源学报,2016,31(7):1222-1230.
- [10] 申重阳,王琪,吴云,等.2002.川滇菱形块体主要边界运动模型的GPS数据反演分析[J].地球物理学报,2002,45(3):352-361
- [11] 王琪.中国大陆现今地壳运动研究[J].地震学报,2003,25(5):92-98.
- [12] 赵万玉,陈晓清,游勇,等.四川省会理县“8·30”地震地质灾害分布特征及防治对策[J].水土保持通报,2010,30(4):143-147.
- [13] 朱艳峰,宇如聪.川西地区夏季降水的年际变化特征及与大尺度环流的联系[J].大气科学,2003,27(6):1045-1056.
- [14] 赵旋,李耀辉,齐冬梅.1961—2007年四川夏季降水的时空变化特征[J].冰川冻土,2013,35(4):959-967.
- [15] 陈静静,姚蓉,文强,等.湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析[J].灾害学,2014,29(2):42-47.