

曹永强, 张若凝, 李玲慧, 等. 辽宁省泥石流与不同时间尺度降水因子的关系研究[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 51 – 56. [CAO Yongqiang, ZHANG Ruoning, LI Linghui, et al. The Relationship between Debris Flow and Water Factor in Different Time Scales in Liaoning Province [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(3): 51 – 56. doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2021.03.010.]

辽宁省泥石流与不同时间尺度 降水因子的关系研究*

曹永强, 张若凝, 李玲慧, 路洁, 宁月

(辽宁师范大学 地理科学学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 辽宁省地处中国北方降水性泥石流多发地带, 收集了辽宁省 1980 – 2019 年由强降水引发的 386 起泥石流统计资料, 采用 GIS 空间分析、统计分析等方法, 探究该省泥石流与不同时间尺度降水因子的关系, 同时研究短期内不同有效降水阈值对泥石流发生概率的影响。结果表明: 长时间尺度上, 泥石流频次与雨季降水量、年暴雨雨量、年大暴雨日数的线性关系最强, 与其他降水因子线性关系不明显。泥石流频次与短期有效降水量的相关程度由高到低依次为当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量。不同前期有效降水阈值下, 泥石流发生概率不同, 当日有效降水量达 50 mm、前 3 d 累计有效降水量达到 77mm 或前 7 d 累计有效降水量达 142 mm, 有 50% 的概率会发生泥石流。泥石流风险预测要综合考虑地形地貌与下垫面物质等地理环境特征。

关键词: 泥石流; 降水; 空间分析; 统计分析; 风险预测; 辽宁省

中图分类号: X43; X915.5; P642; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2021)03 – 0051 – 06

doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2021.03.010

泥石流是由松散土体、岩石碎屑、水、空气、有机物等混合在一起顺坡而下的泥浆流^[1], 具有流动性强、破坏力强、影响范围广等多重特征^[2], 其组成颗粒粗细不均, 分选不良, 被流水饱和后不稳定性增强, 在重力作用下快速下泄。泥石流危害道路、房屋、桥梁等城乡建设甚至造成人员伤亡^[3]。中国幅员辽阔, 山地众多, 是世界上泥石流灾害多发国家之一, 泥石流主要分布地区有华南江淮区、华北区、东北区、西南区、西北区^[4]。据中国地质灾害通报记载, 2010 – 2019 年中国年均发生泥石流灾害 1 014 起, 集中发生于滇西北和滇东北山地、川西地区、陕南秦岭 – 大巴山地、喜马拉雅山地、辽东南山地、甘南和白龙江流域。陡峭的地形、松散的物源和充足的水动力是泥石流形成的三个基本条件。影响泥石流活动的因素主要包括地形、坡度、岩性、水土流失程度、植被覆盖度以及短期高强度降水等^[5]。而由于强降水或积雪融水带动陡坡上松散碎屑岩石和土壤造成地表水高强度流动, 最终演化为泥石流^[6]。在地形、物源条件基本满足的前提下, 前期降水是激发泥石流形成的动力条件, 直接影响

泥石流暴发频次^[7]。因此若想对泥石流发生概率进行风险预测, 有必要研究泥石流与降水的关系^[8]。

对降水条件的量化更容易实现泥石流灾害的预测^[9], 根据泥石流与降水的关系预测泥石流的发生发展过程并对其有效预警并实施防治措施是现阶段泥石流风险预测工作的重要理论依据^[10]。因此为探究山地泥石流灾害与前期降水量和降水强度的时空分布关系, 国内外科学家针对不同地区的泥石流提出引发泥石流的临界雨量和降水阈值, 并对降水强度和持续时间进行计算^[8, 11]。部分研究者探明了不同地理环境下泥石流的分布, 如地质条件、地形状况、岩石碎屑特征、水文情况等^[8, 11–12]。部分学者对横断山区泥石流空间分布及降雨特征进行了深入探讨^[13–14]。万石云等^[15]分析了云南省滑坡泥石流与强降水的相关性, 并采用小波分析法探讨了灾害与强降水多时间尺度特征的关系。PENG J 等^[16]针对中国甘肃天水的黄土 – 泥岩滑坡诱发的泥石流进行研究, 对泥石流发生机理和动力过程进行了探讨。赵艳萍^[5]与 ZHANG P 等^[17]以白龙江流域为研究对象, 分别分

* 收稿日期: 2020 – 12 – 22

修回日期: 2021 – 03 – 09

基金项目: 国家自然科学基金(51779114); 辽宁省重点研发计划(2020JH2/10200043); “兴辽英才计划”高水平创新团队(XLYC2008033)

第一作者简介: 曹永强(1972 –), 男, 汉族, 内蒙古乌盟丰镇人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源方面研究。

E-mail: caoyongqiang@lnnu.edu.cn

析了泥石流空间分布规律及影响因素和泥石流发生与降水造成的土壤侵蚀力的关系。这些研究均证实了在有利的本底自然环境下,泥石流的发生与前期降水量、降水强度和持续时间有着密切的关系。

但以往的研究多集中于海拔 2 000 m 以上高山暴雨性泥石流的研究^[13-14, 16, 18],对像中国辽宁省这种低山丘陵区降水性泥石流的发生环境与前期降水特征的综合分析和研究不多。辽宁省地处温带季风气候和低山丘陵地貌的典型省区,复杂的自然环境和人类的过度开采使泥石流发生频率较高。1981 年辽宁省老帽山暴发泥石流威胁 6 个县,造成 5 058 人受伤,664 人死亡;2011 年 8 月,受台风“梅花”的影响,辽宁省盖州市发生特大型泥石流,使得 18 处房屋倒塌,400 多人受灾^[19]。辽宁省的泥石流灾害使人们的生产生活面临着重大威胁。本文借助辽宁省 1980-2019 年有记录的 386 起泥石流事件统计资料和该省设置的 25 个雨量站逐日观测的降水数据,采用 GIS 空间分析和统计分析方法,探明了泥石流暴发与长时和短时间尺度降水因子的关系,并分析了不同短期有效降水阈值范围内泥石流的发生概率。这篇论文对温带季风气候下低山丘陵区泥石流发生概率风险预测和相关部门的防灾减灾工作提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区

辽宁省位于中国东北地区南部(118°53′~125°46′E, 38°43′~43°26′N),欧亚大陆东岸,与太平洋相接。省区内地势总体由东西向中部、由北向南倾斜,山地面积占全省总面积的三分之二,大部分山脉呈东北-西南走向。东西部为山地丘陵,侵蚀地貌分布广泛,中部为辽河平原。辽宁省地跨中朝地台和天山-兴蒙地槽两个褶皱地层区,地质环境复杂,构造运动频繁,土壤类型多样,泥石流灾害易发。此外,该省位于中国东北老工业基地,矿产资源丰富,原料和动力型重工业基础好,近年来人类对资源的过度开采加剧土壤侵蚀,增加了泥石流灾害的风险。泥石流灾害直接威胁着辽宁省经济建设及人类安全,气候的典型性和地形地貌、地质条件、下垫面物质的独特性使辽宁省泥石流灾害发生具有规律性,因此对该省泥石流环境因子及降水条件的研究颇具典型性。辽宁省地理位置与高程图如图 1 所示。

1.2 数据收集

辽宁省 1980-2019 年来发生的 386 起由于强降水引发的泥石流事件的时空分布由中国地质环境监测研究所和资源环境科学数据中心提供;国家气象科学数据中心记录中国辽宁省地面气象站监测的逐日降水数据,时间序列为 1980-2019 年;同时采用的数字高程影像(ASTER GDEM 30 m 分辨率)来源于 <http://www.gscloud.cn/>。

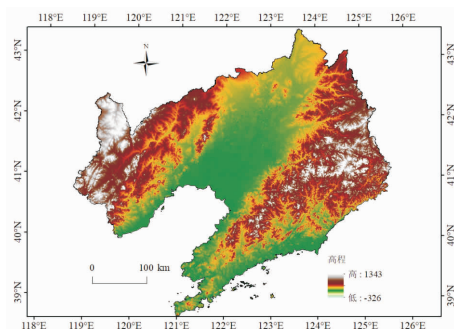


图 1 辽宁省高程图

1.3 研究方法

1.3.1 前期有效降水量的计算

泥石流前期累计雨量中渗入山坡土壤,使土壤水分逐渐饱和而影响土体稳定性的部分雨量称为泥石流前期有效雨量^[20]。通过计算泥石流发生的前期有效累计雨量,可更为精准的分析影响灾害发生的部分实际降水量,从而达到通过有效降水更为准确的预测泥石流发生概率的目的。有效雨量的计算采用如下公式:

$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i K_i \quad (1)$$

式中: R_e 表示泥石流发生前 i 天的有效雨量, R_i 表示泥石流发生第 i 天的当天雨量, K 作为经验常数,表示风化层流出量的递减指数^[18],取值范围为 0.78~0.84,一般取值为 0.84^[21]。

1.3.2 构建泰森多边形

泰森多边形法是一种局部插值方法,又叫做最近邻点法,建立泰森多边形的关键是构建 Delaunay 三角网。多边形其内任意一点到构成该多边形控制点的距离均小于到其他多边形控制点的距离,多用于临近分析^[22]。本文对辽宁省 25 个雨量站构建泰森多边形得到各多边形内泥石流事件的前期有效雨量,以达到精确泥石流事件的前期降水统计数据的目的,为分析泥石流频次与前期累计有效降水量的相关程度做铺垫。

2 结果

2.1 泥石流的时空分布特征

2000-2019 年辽宁省泥石流频次的年际变化情况如图 2 所示,研究期间辽宁省共有 9 a 发生泥石流灾害,其中 2010-2013 年连续 4 a 共发生 426 次泥石流,2011 年灾害发生率陡然增加,共有 253 起泥石流事件,达到年际频次峰值。不合理的矿产资源开发程度加大导致地表植被破坏和土壤侵蚀,加大泥石流风险。但随着人类生态环境保护意识增强,政府“环境保护规划和生态保护红线制度”的有效落实,加强了生态环境恢复,故近 5 a 来泥石流活动有减少态势。此外,随着地质灾害统计工作效率的提高,对于泥石流信息的整理也更加完善。另外,9 a 来的年际泥石流的发生不完全受强降水的影响,不合理的人类行为以及有年份灾害记录不完整也是重要原因。

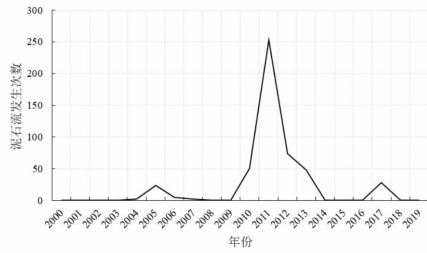
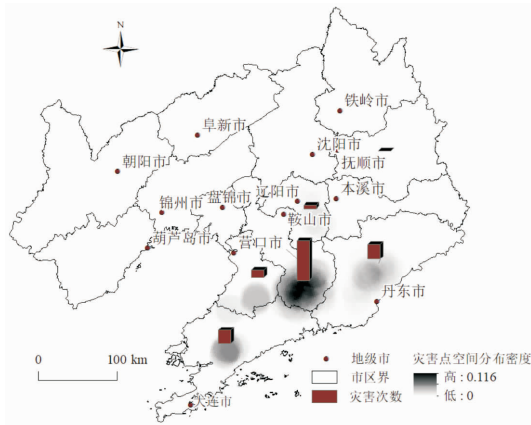


图2 辽宁省泥石流频次年际变化

采用辽宁省近 30 a 来有记录的 386 起典型泥石流事件空间分布数据进行密度分析, 得到泥石流灾害密度与频次统计空间分布图(图 3)。泥石流典型分布地区主要集中于鞍山市、丹东市、大连市, 其次是营口市、辽阳市、抚顺市。对于典型区县泥石流发生频次而言, 岫岩频次最高, 约占泥石流总数的 50%, 其次为新金县、凤城、盖县、宽甸、辽阳、庄河等。可见东部和南部是辽宁省泥石流主要发生地, 该地地形以山地丘陵为主, 季风气候显著, 降水的年际变化大^[23], 夏季来自黄海的东南风携带暖湿气流深入, 遇东北-西南走向的辽东山地阻挡, 在迎风坡形成地形雨, 致使辽东、辽南地区的强降水增加, 为该区泥石流暴发提供水源及搬运条件。

图3 辽宁省泥石流发生频次空间分布图
(审图号: GS(2019)3333 号, 底图无修改, 下同。)

2.2 泥石流频次与长时间尺度降水的关系

辽宁省主要以暴雨性泥石流为主^[4]。在自然地理特征基本满足泥石流形成的本底环境时, 前期降水量与高强度降水成为激发泥石流的直接原因^[7], 因此探讨有利环境要素基础上泥石流频次与降水的关系具备研究的继承性。论文首先研究年时间尺度的降水参数对泥石流年发生频次的影响程度, 从而对泥石流频次与长时降水因子的关系进行评估; 其后对降水因子的时间尺度逐步精确, 基于由强降水引发的 386 起历史泥石流事件探讨灾害频次与短期有效降水量的关系。

中国气象部门规定, $25 \leq \text{日降水量} < 50 \text{ mm}$ 为大雨, $50 \leq \text{日降水量} < 100 \text{ mm}$ 为暴雨, $100 \leq \text{日降水量} < 200 \text{ mm}$ 为大暴雨^[4]。选取辽宁省年降水量、雨季(6-9月)降水量、7-8月降水量、泥石

流发生当年的大雨日数、暴雨日数、大暴雨日数、大雨雨量、暴雨雨量、大暴雨雨量作为长时间尺度的降水因子, 统计 2000-2019 年泥石流年际频次, 并以辽宁省 25 个气象站点的逐日实测降水数据为基础, 逐年计算上述 9 个长时降水因子的数值, 运用一元线性回归分析方法探讨上述因子与泥石流年频次的关系。结果表明, 泥石流频次与年降水量、7-8 月份降水量、大雨日数、暴雨日数、大雨雨量、大暴雨雨量的线性关系不明显, 与雨季降水量和暴雨雨量呈现一定的线性正相关, 标准化回归系数分别为 4.522、3.715, 与大暴雨日数呈现不显著线性正相关, 标准化回归系数为 0.474(表 1)。

表1 泥石流频次与雨季降水量、大暴雨日数、暴雨雨量的线性关系

降水类型	标准化回归系数
雨季降水量	4.522
大暴雨日数	0.474
暴雨雨量	3.715

2.3 泥石流频次与短时间尺度降水的关系

2.3.1 泥石流频次与短期有效降水量的相关程度

为提高泥石流风险预测工作的准确性, 论文需要对降水因子的时间尺度进一步精确, 因此在分析长时间尺度降水与灾害频次关系的同时, 有必要探究泥石流事件发生前短期降水量对灾害发生的关系程度。对此, 笔者基于辽宁省 25 个雨量站构建了泰森多边形(图 4), 确定每个泰森多边形内泥石流灾害点的数量和每个泥石流灾害点的控制雨量站(岫岩、熊岳、宽甸、丹东、本溪、营口、庄河、沈阳、瓦房店、清原), 逐一计算每个泥石流事件发生当日至前 7 d 对应雨量站的实测有效降水量, 根据每个泰森多边形内泥石流点的数量与多边形内灾害点当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量的平均值做相关性分析, 从而确定短期内有效降水量与泥石流发生频次的关联程度。分析结果表明, 泰森多边形内泥石流频次与前期有效降水量的相关程度按高低顺序排列依次为: 当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量, 皮尔逊相关系数分别为 0.808、0.807、0.561(表 2)。

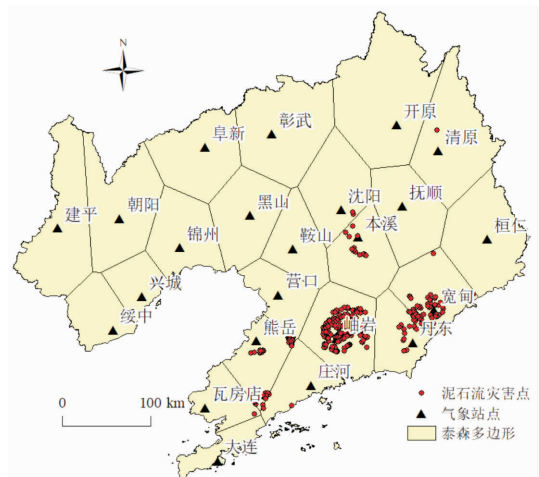


图4 泰森多边形内泥石流点的空间分布图

表2 泥石流次数与前期累计有效降水量的相关性分析

前期累计有效降水量	皮尔逊相关系数
当日有效降水量	0.808 *
前3 d 累计有效降水量	0.807 *
前7 d 累计有效降水量	0.561

注: * 在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著; ** 在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著。

2.3.2 短期有效降水阈值与泥石流发生概率的关系

为进一步探究短期内不同有效降水阈值对泥石流发生概率的影响, 对 386 个泥石流事件的前期有效降水量因子 (当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量) 分别按照 0 ~ 50 mm、50 ~ 100 mm、100 ~ 150 mm、150 ~ 200 mm 和大于 200 mm 进行分组, 统计每组降水阈值内泥石流事件的发生次数与之占泥石流事件总数的百分比, 估算不同降水阈值内泥石流的发生概率。不同前期有效降水阈值与泥石流频次关系如图 5 所示。从分析结果可知, 当日有效降水量在 0 ~ 50 mm 之间所发生的泥石流事件远大于其他雨量下的灾害事件, 且当日有效降水量达到 50 mm、100 mm、150 mm、200 mm 时所对应的泥石流发生频次分别占总频次的 52%、62%、72%、99% (图 5a), 可认为泥石流易发区当日有效降水达到上述雨量时泥石流发生概率分别约为 50%、60%、70%、99%; 前 3 d 累计有效降水量在 100 mm 内发生的泥石流事件最多, 且前 3 d 累计有效降水量达到 77 mm、150 mm、200 mm 时分别对应的泥石流发生频次占总频次的 50%、69%、96% (图 5b), 可认为泥石流易发区前 3 d 累计有效降水达到上述雨量时泥石流发生概率分别约为 50%、70%、96%; 前 7 d 累计有效降水随雨量分级的增加 (0 ~ 200 mm) 泥石流发生频次也逐级递增, 且当其达到 142 mm、200 mm 时所对应的泥石流发生频次占总频次的 51%、92% (图 5c), 可认为泥石流易发区前 7 d 累计有效降水达到上述雨量时泥石流发生概率分别约为 50%、90%。

3 讨论

辽宁省泥石流的发生与长时间尺度上的降水参数呈现一定程度的线性正相关, 雨季和强降水日应对易发区的泥石流灾害进行重点防御, 加强对不稳定山体的防护设施建设, 但泥石流的预测预警不能单一参考上述因子, 因为泥石流事件发生具有局地性, 泥石流发生区多集中于辽东、辽南一带, 辽西、辽北地区泥石流活动较少, 受地理位置、气候、地形等多重原因, 辽宁省降水量的空间分配不均, 东西部降水量差异显著, 因此不应仅仅依据辽宁省整体区域的降水条件来判断和预测具体区域的泥石流发生概率。引发泥石流的直接水动力条件是雨季高强度降水, 因而典型地区泥石流发生频次与雨季降水量、暴雨雨量和暴雨日数呈一定的线性相关关系。在参考长时

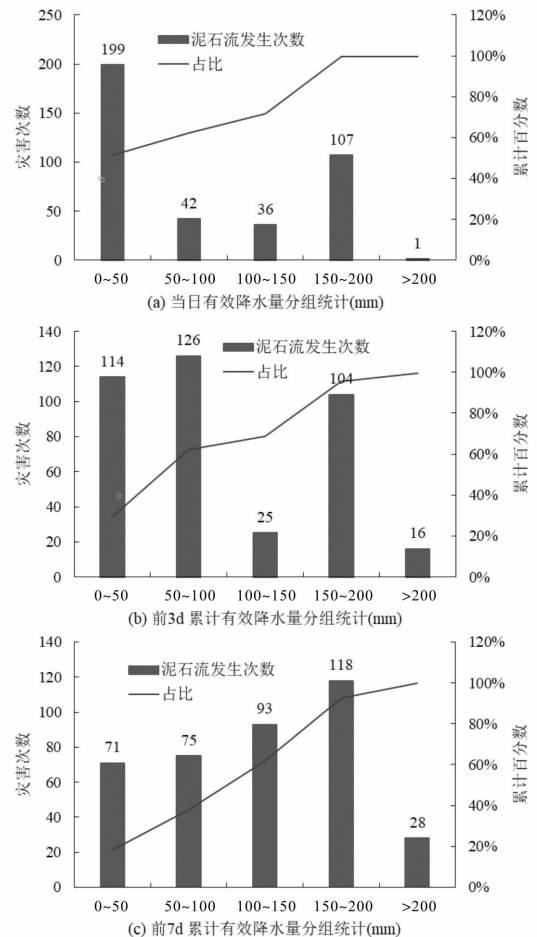


图5 前期有效降水阈值与泥石流频率的关系

降水参数的同时, 应对短期内引发泥石流的降水阈值进行逐步精确。

本文对辽宁省泥石流前期有效降水量进行计算, 统计得出不同级别雨量下泥石流活动频次与发生概率。以往对泥石流与降水关系的研究中, 多采取不同的降雨参数来计算泥石流发生的降水阈值和临界雨量^[8, 11-12], 本文通过构建泰森多边形精确每个泥石流灾害点的前期降水, 并结合相关性分析方法探明辽宁省 (温带大陆性季风气候下) 泥石流暴发与短期内强降水有着密切的关系, 特别是与当日有效降水量相关程度最密切, 这也对应了前者的研究结论^[16, 18, 24]。但需注意的是, 若当日强降水未引发泥石流, 评估和预测灾害发生概率则需要同时考虑前 3 d 累计有效降水量, 这也符合刘海知^[25]、钟艳川^[26]对四川省泥石流与降水关系的研究结论, 李鸿雁^[27]对吉林省泥石流与降水关系研究中也证实了这一结论。不同地理环境下引发泥石流的前期降水量以及短时内有效降水对泥石流的影响是需要进一步探究的工作。

辽宁省泥石流暴发的直接原因是短期内高强度降水, 但并非全部降水愈多地区泥石流发生频次愈多, 因此要综合考虑当地的地形、下垫面组成物质及水文特征, 这些都是引发泥石流形成的重要条件。此外, 人为原因引发地质灾害事件不可忽视, 如山区交通建设、过度开垦、水利建设以及不合理建设居住地, 增加地表岩石的不稳定性, 增强泥石流活

动的发生频率,加强灾害的危害程度^[5]。

泥石流影响因素很多,切实从地质条件、岩性、植被覆盖状况、土壤侵蚀及人类活动等多方面进行深入挖掘^[28],把泥石流的环境因子与降水因子相结合,以期更精准的得出泥石流发生的条件,对灾害发生地进行准确定位,从而提出优良的防治对策。另外,对于泥石流灾害点的雨量观察不应仅局限于附近的雨量站观测数据,还应利用雨量计、雷达、探测仪等科技手段对准确位置的降水量进行精准测验,以期得出更为准确的结果。

4 结论

论文以中国辽宁省为研究区,探究不同时间尺度下的降水因子对泥石流发生频次的影响,为相关部门的泥石流灾害概率预测和风险评估工作提供理论支撑。结论如下:

(1)辽宁省泥石流集中于东部和南部,以山地丘陵为主,主要集中于鞍山市、丹东市、大连市,其次是营口市、辽阳市、抚顺市,主要涉及岫岩、新金县、凤城、盖县、宽甸、庄河等县级行政区。21 世纪 10 年代初泥石流发生频次陡然增加,但近 5 a 来有减少态势。

(1)从长时间尺度上看,辽宁省泥石流年发生频次与雨季降水量、年暴雨雨量和年暴雨日数呈线性正相关关系,与年降水量、7-8 月份降水量、大雨日数、暴雨日数、大雨雨量、年暴雨雨量的线性关系不明显。

(2)从短时间尺度上看,泥石流暴发频次与前期有效降水量的相关程度从高到低依次为当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量;不同前期有效降水阈值对应的泥石流发生概率不同。当日有效降水量达 50 mm、前 3 d 累计有效降水量达到 77 mm 或前 7 d 累计有效降水量达 142 mm,有 50% 的概率会发生泥石流。当日有效降水量、前 3 d 累计有效降水量、前 7 d 累计有效降水量分别达到 200 mm 时,泥石流暴发概率超过 90%。

(4)泥石流风险预测要综合考虑地形地貌与下垫面物质水文特征等地理环境的影响。

参考文献:

- ARBANAS Z, SANJA Dugonjić Jovančević, VIVODA M, et al. Study of Landslides in Flysch Deposits of North Istria, Croatia; Landslide Data Collection and Recent Landslide Occurrences [C]// World Landslide Forum 3, Landslide Science for A Safer Geoenvironment, 2014.
- YOSHIDA H, SUGAI T, OHMORI H. Size - distance relationships for hummocks on volcanic rockslide - debris avalanche deposits in Japan [J]. *Geomorphology*, 2012, 136(1): 76 - 87.
- CHEN H, DADSON S, CHI Y G. Recent rainfall - induced landslides and debris flow in northern Taiwan [J]. *Geomorphology*, 2006, 77(1/2): 112 - 25.
- 谭万沛. 中国灾害暴雨泥石流预报分区研究[J]. *水土保持通报*, 1989(2): 48 - 53.
- 赵艳萍. 白龙江流域泥石流分布规律及其影响因素研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013: 1 - 62.
- LAURO C, MOREIRAS S M, JUNQUERA S, et al. Summer rainstorm associated with a debris flow in the Amarilla gully affecting the international Agua Negra Pass (30°20'S), Argentina [J]. *Environmental Earth sciences*, 2017, 76(5): 213.
- 胡凯衡, 魏丽, 刘双, 等. 横断山区泥石流空间格局和激发雨量分异性研究[J]. *地理学报*, 2019, 74(11): 2303 - 2313.
- GUZZETTI F, PERUCCACCI S, ROSSI M, et al. The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows: an update [J]. *Landslides*, 2008, 5(1): 3 - 17.
- GUZZETTI F, GARIANO S L, PERUCCACCI S, et al. Geographical landslide early warning systems [J]. *Earth - Science Reviews*, 2019, 200: 102973.
- JAKOB M, OWEN T, SIMPSON T. A regional real - time debris - flow warning system for the District of North Vancouver, Canada [J]. *Landslides*, 2012, 9(2): 165 - 178.
- GUZZETTI F, PERUCCACCI S M, ROSSI M, et al. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in Central and Southern Europe [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2007, 98(3): 239 - 267.
- CANNON S H, GARTNER J E, WILSON R C, et al. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California [J]. *Geomorphology*, 2008, 96(3/4): 250 - 269.
- GUO X, CUI P, MARCHI L, et al. Characteristics of rainfall responsible for debris flows in Wenchuan Earthquake area [J]. *Environmental earth sciences*, 2017, 76(17): 1 - 16.
- 马超, 何晓燕, 胡凯衡. 汶川地震灾区泥石流群发雨量及预警等级划分 [J]. *北京林业大学学报*, 2015, 37(9): 37 - 44.
- 万石云, 赵宁坤, 段玮. 云南省滑坡泥石流与强降水的相关性和多时间尺度特征研究 [J]. *灾害学*, 2015, 30(1): 45 - 50.
- PENG J, FAN Z, WU D, et al. Heavy rainfall triggered loess - mudstone landslide and subsequent debris flow in Tianshui, China [J]. *Engineering Geology*, 2015, 186: 79 - 90.
- ZHANG P, SHU H P, MA J Z, et al. The Relationship of Debris Flow Hazards and Rainfall Erosivity in the Bailong River Basin of Southern Gansu Province, China [J]. *Advanced Materials Research*, 2015: 1073 - 1076, 1614 - 1619.
- ZHUANG J, PENG C, WANG G, et al. Rainfall thresholds for the occurrence of debris flows in the Jiangjia Gully, Yunnan Province, China [J]. *Engineering Geology*, 2015, 195: 335 - 346.
- 郑爽. 辽宁省降雨诱发泥石流的空间特征分析及区划 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2018: 1 - 54.
- DAHAR R K, HASEGAWA S, YAMANAKA M, et al. Comparative analysis of contributing parameters for rainfall - triggered landslides in the Lesser Himalaya of Nepal [J]. *Environmental Geology*, 2009, 58(3): 567 - 586.
- 杨红娟, 韦方强, 马振峰, 等. 四川省泥石流灾害的时空分布规律和降水特征 [J]. *灾害学*, 2017, 32(4): 102 - 107.
- 汤国安, 赵牡丹, 杨昕, 等. 地理信息系统 (第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1 - 579.
- LIANG X Z, WEI H W. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1998, 124: 2597 - 2623.
- PELFINI M, SANTILLI M. Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy [J]. *Geomorphology*, 2008, 101(4): 721 - 730.
- 刘海知, 马振峰, 范广洲. 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 - 7.
- 钟燕川, 郭海燕, 徐金霞, 等. 四川省泥石流活动与降水因子特征 [J]. *水土保持研究*, 2018, 25(6): 390 - 396.
- 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.
- FUCHU D, LEE C F, SIJING W. Analysis of rainstorm - induced slide - debris flows on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong [J]. *Engineering Geology*, 1999, 51(4): 279 - 290.

The Relationship Between Debris Flow and Water Factor in Different Time Scales in Liaoning Province

CAO Yongqiang, ZHANG Ruoning, LI Linghui, LU Jie and NING Yue
(School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Liaoning province is located in the northern China drop water mudslides in multiple area, collected in liaoning province in 1980-2019 statistical data 386 landslides triggered by heavy rain, the methods of GIS spatial analysis, statistical analysis, to explore the province debris flow with different time scale factor, the relationship between rainfall and study different effective rainfall in the short term threshold effect on the occurrence probability of debris flow. The results show that in the long time scale, the frequency of debris flow has the strongest linear relationship with the precipitation in rainy season, the annual rainstorm rainfall, and the number of heavy rainstorm days, but has no obvious linear relationship with other precipitation factors. The correlation degree between debris flow frequency and short-term effective precipitation from high to low is the daily effective precipitation, the accumulated effective precipitation in the first 3 days, and the accumulated effective precipitation in the first 7 days. Under different thresholds of effective precipitation in the early stage, the occurrence probability of debris flow is different. When the effective precipitation on the day reaches 50 mm, the accumulated effective precipitation in the first 3 days reaches 77mm, or the accumulated effective precipitation in the first 7 days reaches 142 mm, there is a 50% probability of debris flow. The risk prediction of debris flow should take into account the geographical environment characteristics such as landform and underlying surface material.

Key words: debris; flow precipitation; spatial analysis; statistical analysis; risk prediction; Liaoning Province

(上接第 50 页)

Application of Remote Sensing Technology in Forest Economic Loss Assessment after Fire

BU Jing^{1,2} and Cai ZiLiang^{1,2}

(1. Northwest Surveying, Planning and Designing Institute of National Forestry and Grassland Administration, Xi'an 710048, China; 2. Key Laboratory National Forestry Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the assessment of forestry economic loss after fire, remote sensing technology is used to optimize the design of the assessment method of forestry economic loss after fire. Remote sensing and satellite equipment are used to collect remote sensing data in real-time forestry areas and the initial remote sensing data are preprocessed from two aspects of calibration and radiometric calibration. The effective vegetation information is extracted from the remote sensing data so as to calculate the area affected by fire and the degree of damage. Establish the evaluation index of forestry economic loss after fire, and get the final comprehensive evaluation result from direct economic loss and indirect economic loss. Through the analysis of application examples, it was found that the economic loss of comprehensive forestry was about 270 million yuan after the selected research area suffered from fire, which was high in accuracy and had certain application value.

Key words: remote sensing technology; forest fire; forestry economic loss; loss assessment