

王珊, 彭培好, 刘勤, 等. 基于 GIS 的易灾地区小流域植被减洪能力初探——以岷江上游为例[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 210-214. [WANG Shan, PENG Peihao, LIU Qin, et al. Primary Analyse of Reducing Flood Effect of Different Vegetation Cover in Small Watershed of Disaster Prone Area Based on GIS: A Case Study in Upper Minjiang River Basin[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 210-214. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.038]

# 基于 GIS 的易灾地区小流域植被减洪能力初探

——以岷江上游为例\*

王珊<sup>1,2</sup>, 彭培好<sup>1</sup>, 刘勤<sup>2,3</sup>, 田丛珊<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 旅游与城乡规划学院, 四川 成都 610059; 2. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**以小流域为基本单元, 采用灰色关联及统计分析方法, 结合地理空间技术识别岷江上游不同植被类型及覆盖度与山洪灾害的关系特征, 结果表明: ①在不考虑植被覆盖时, 岷江上游山洪灾害潜在危险性较高, 并存在空间分异, 干流及一级支流的中下游潜在危险性较高, 而干流上游及小姓沟、黑水沟部分区域其值较低; ②根据灾害发生实际情况, 该区域的植被具有减洪能力, 缓解程度与潜在危险水平存在相关性; ③不同植被类型及覆盖下, 植被的减洪能力也存在差异, 并与覆盖度存在不同程度相关性。

**关键词:** 易灾地区; GIS; 小流域; 植被覆盖; 减洪能力; 岷江上游

**中图分类号:** X43; P64 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)04-0210-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.038

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一, 其中洪涝灾害发生面广, 灾损严重, 大约有 2/3 的国土面积遭受不同程度的洪涝灾害威胁。特别是在山区, 地形和降水的双重作用下山洪灾害频发。森林、草地、农田等生态系统能在一定程度上缓解洪水灾害<sup>[1-4]</sup>, 相关研究主要是利用遥感技术和水文模型探讨不同植被覆盖对水文要素及过程的影响<sup>[5-9]</sup>, 或是从生态系统的水源涵养、洪水调蓄等功能进行估算和评价<sup>[10-16]</sup>。但是区域、流域尺度下多生态系统类型及植被覆盖与山洪发生频次、概率的统计研究较少, 而将潜在致灾因子与生态因子进行叠加分析更是鲜有报道。本文以岷江上游为例, 将小流域作为研究单元, 应用空间信息技术和统计分析方法探讨不同植被覆盖减洪能力的差异及规律, 其研究结果可为岷江上游地区的生态恢复和保护, 生态防灾减灾能力提升等提供科学参考。

## 1 研究区概况

岷江上游位于 31°26' ~ 33°16' N, 102°59' ~ 104°14' E, 分布在四川盆地西缘山区, 是我国自然地理垂直阶梯之间的过渡地带, 该流域面积 23 037 km<sup>2</sup>, 属高山峡谷地貌, 地势相对高差悬殊。区域气候干湿季节明显, 植被类型丰富, 具有明显的水平分布和垂直带谱特征。岷江上游支流众多, 共计 140 余条, 其径流以降雨补给为主, 降水空间差异明显, 多年平均降水为 700 ~ 900 mm, 最高可达 1 098 mm, 主要集中在下半年(5-10月), 且多短历时强降水, 极易形成山洪、泥石流等地质灾害。据不完全统计, 近年来该地区发生较大规模的山洪灾害 120 余次, 对当地居民的生命及财产安全构成重大威胁。岷江上游植被类型、植被覆盖度及山洪灾害点分布如图 1 所示。

\* 收稿日期: 2015-02-03 修回日期: 2016-03-28

基金项目: 环保部专项“易灾地区生态环境功能评估”(20140502); 中国清洁发展机制基金赠款项目“四川省易灾地区应对气候变化的减灾战略”(2013030)

第一作者简介: 王珊(1990-), 男, 四川营山人, 硕士研究生, 主要从事流域生态管理方面研究。E-mail: wangshanimm@qq.com

通讯作者: 彭培好(1963-), 男, 山东诸城人, 教授, 主要从事生态环境评价及生物多样性方面研究。E-mail: peihaop@163.com

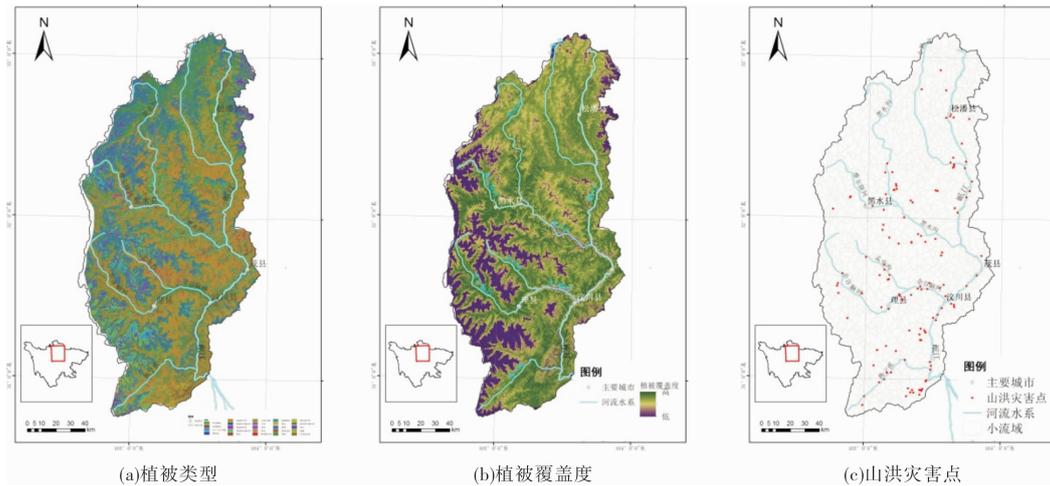


图1 岷江上游植被类型、植被覆盖度及山洪灾害点分布

## 2 数据源和研究方法

### 2.1 数据来源

本研究中利用 TM 影像以人工解译为主、自动监督分类为辅的方法提取解译植被覆盖分类信息; 植被覆盖度是根据 MODIS NDVI 数据, 其植被指数利用像元二分模型的方法获取; 小流域划分数据基于 1: 5 万 DEM 数据获取; 山洪灾害数据主要来源于岷江上游各县相关部门的统计及地灾调查。

### 2.2 研究方法

影响山洪灾害的因素较多, 且发挥的作用很难单独量化<sup>[17]</sup>, 故将众多致灾因子划分为生态因子和非生态因子两类, 其中非生态因子包括地质地貌、气象水文等, 生态因子以植被及覆盖度表征。划分的小流域面积较小, 植被类型较少, 故提取最大面积比例的类型作为主要植被类型(少数小流域有两种及以上植被类型占较大比例, 发挥减洪能力的主要植被无法确定, 故不纳入统计)。非生态因子视为山洪灾害发生的“潜在危险性”, 它与生态因子共同影响山洪灾害的发生, 即山洪“潜在危险”、“植被减洪能力”与“山洪实际发生”<sup>[18-19]</sup>可能存在相关性, 故运用统计分析的方法揭示小流域不同植被覆盖的减洪能力。

#### 2.2.1 山洪灾害潜在危险

##### (1) 灰色关联法

利用灰色关联法<sup>[20-21]</sup>, 通过综合考虑各因素之间的关联性, 得到不同流域山洪灾害发生的潜在危险及其差异<sup>[22]</sup>。

选取  $n$  个因子对  $i$  个流域进行关联度分析:

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), X_i(3), \dots, X_i(n)\} \quad (1)$$

式中:  $X_j$  作为参考序列,  $X_i$  作为比较序列。

使用“极差化”方法对各参数进行无量纲处理:

$$X'_j(k) = \frac{X_i(k) - \min X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (2)$$

关联系数计算中, 先将  $X_i$  比较序列与  $X_j$  参考序列在  $k$  点比较, 两个因子差的绝对值为  $\Delta_{ij}(k)$ :

$$\Delta_{ij}(k) = |X_i(k) - X_j(k)|, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

两个因子最小和最大绝对差分别为:

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |X_i(k) - X_j(k)|; \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |X_i(k) - X_j(k)| \quad (5)$$

$X_i$  比较序列与  $X_j$  参考序列在  $k$  点的关联系数为:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (6)$$

式中:  $\rho$  值为分辨系数, 取值范围为  $[0, 1]$ , 已有研究中  $\rho$  多数取值  $0.5$ <sup>[23-24]</sup>, 本研究取值  $0.5$ 。

关联系数仅表示每个影响因子的关联程度, 多个因子同时比较过于分散, 因此选取平均值表示比较序列  $X_i$  与参考序列  $X_j$  的关联度:

$$Y_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{ij}(k) \quad (7)$$

#### (2) 指标选择

借鉴山洪灾害风险评估的相关研究<sup>[25-27]</sup>, 结合区域实际情况, 根据致灾因子和孕灾环境采用层次分析与专家咨询相结合的方法, 最终获取 10 个指标进行该区域潜在危险性评估(表 1)。

#### (3) 参考序列选择

根据统计资料, 岷江上游中南部的中河小流域近 30 年山洪灾害发生频率较高, 规模较大, 其地形地貌、降雨分布等因素具有较好代表性, 故选取为参考流域, 对岷江上游已划分的 1 285 个小流域进行潜在危险评估。

表1 山洪灾害潜在危险评估指标

准则层	指标层	计算方法
	坡度	DEM 计算生成
地形地貌	相对高差	基于 DEM 的区域统计
	高程标准差	基于 DEM 的区域统计
降雨	多年平均降雨量	基于气象站点数据空间插值
	暴雨天数	统计暴雨天数
	平均暴雨量	统计平均次暴雨量
水系	河网密度	单位面积水系长度
	距河距离	基于水系缓冲距离
土壤	土壤深度	土壤遥测数据
	土壤饱和导水率	基于土壤遥测数据计算

2.2.2 山洪灾害实际发生

收集整理近年来岷江上游山洪灾害历史资料, 得到山洪灾害的空间位置、时间、发生频次及规模等数据(图1c)。

3 结果

3.1 山洪灾害潜在危险

岷江上游山洪灾害潜在危险较高, 且空间差异较为明显, 如图2中的岷江干流中下部、黑水河干流及汶川南部的卧龙、三江、水磨等地潜在危险较高, 杂谷脑河中上游次之, 北部松潘境内大部分区域山洪灾害潜在危险相对较低。

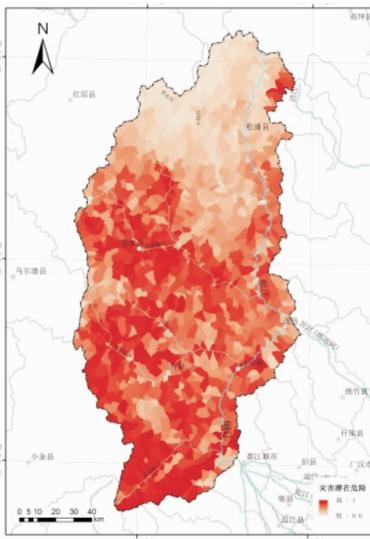


图2 岷江上游山洪灾害潜在危险空间分布

3.2 不同植被覆盖减洪能力

各小流域植被主要以常绿针叶林、草原、草甸、落叶阔叶灌木林和常绿阔叶灌木林为主, 其他植被类型为主的小流域很少, 均不超过30个, 不具备统计学意义。如图3所示, 当山洪灾害潜在

危险(归一化数值, 下同) Risk < 0.8 时, 山洪灾害频次随潜在危险的升高显著增加; 当山洪灾害潜在危险 Risk > 0.8 时, 由于受到其他条件影响, 山洪灾害频次随潜在危险的升高而减少。各小流域针对主要植被类型, 统计分析不同潜在风险和植被覆盖条件下发生山洪的概率(即发生山洪小流域所占比例), 如表2和图4所示, 若概率越高植被减洪能力越低。

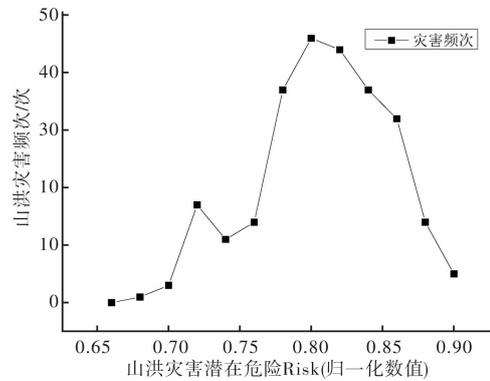
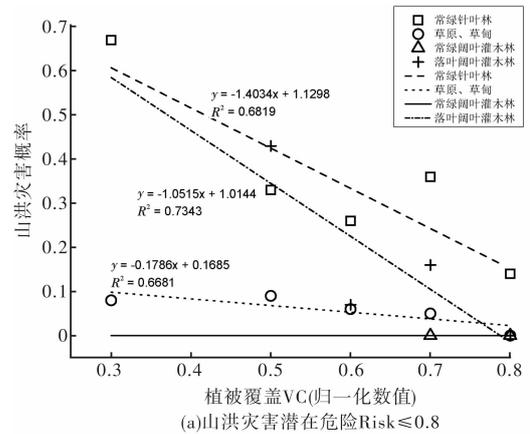
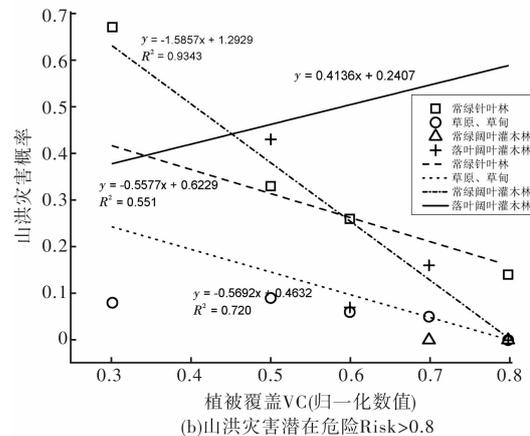


图3 潜在危险与山洪灾害频次



(a)山洪灾害潜在危险Risk ≤ 0.8



(b)山洪灾害潜在危险Risk > 0.8

图4 主要植被类型不同植被覆盖率与山洪灾害概率

从总体趋势来看, 小流域潜在危险越大其灾害发生概率越高, 其中以落叶阔叶灌木林为主要

表 2 主要植被类型不同覆盖度和潜在危险条件下山洪灾害概率

植被覆盖度	≤0.4		0.4~0.5		0.5~0.6		0.6~0.7		0.7~0.8		>0.8	
	≤0.8	>0.8	≤0.8	>0.8	≤0.8	>0.8	≤0.8	>0.8	≤0.8	>0.8	≤0.8	>0.8
常绿针叶林	0.67	0.5	-	0.24	0.33	0.3	0.26	0.33	0.36	0.2	0.14	0.16
草原、草甸	0.08	0.21	-	0.18	0.09	0.26	0.06	0.04	0.05	0.04	0	0
常绿阔叶灌木林	-	-	-	-	-	-	-	0.25	0	0.14	0	0
落叶阔叶灌木林	-	-	-	-	0.43	0.6	0.07	0.28	0.16	0.58	0	0.64

注:“-”表示无该情况统计样本或样本数量太少(<30个),统计值不具备可取性。

植被类型的山洪发生概率最大,其次为常绿针叶林。从不同植被类型减灾能力来看,小流域潜在危险较低( $Risk \leq 0.8$ )时,常绿阔叶灌木林覆盖度达到0.6后减洪能力最高,其次分别是落叶阔叶灌木林和常绿针叶林,草原、草甸最低;潜在危险较高( $Risk > 0.8$ )时,常绿阔叶灌木林减洪能力最为突出,常绿针叶林与草原、草甸次之,落叶阔叶灌木林最低。同时,各种植被类型(高潜在危险水平下,落叶阔叶灌木林除外)减洪能力与植被覆盖度存在不同程度的正相关关系。

对统计散点进行拟合分析可得不同植被类型的灾害概率随覆盖率变化函数,即相同潜在危险水平下,灾害概率越高减灾能力越低。如图5a所示,岷江上游西北部和汶川县东南部植被减洪能力较强,纳咪沟、毛儿盖河以及孟屯河、杂谷脑河中上游等区域相对较弱。

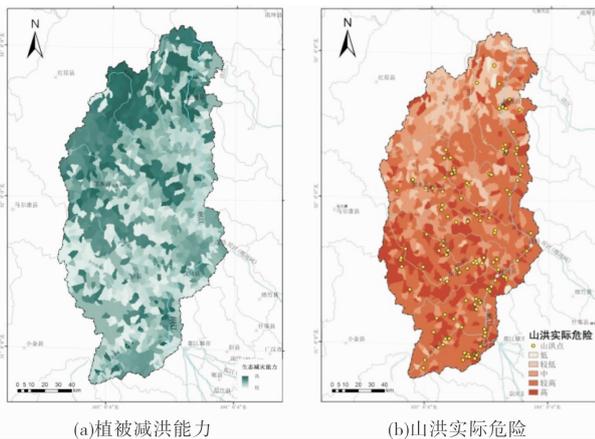


图5 岷江上游植被减洪能力、山洪实际危险空间分布

### 3.3 结果验证

利用岷江上游山洪灾害历史资料的129个灾害点对评估结果进行验证。山洪灾害危险分布由山洪灾害潜在危险与植被减洪能力叠加而来,如图5b所示,并将其划分为高、较高、中、较低、低五个等级,统计实测灾害点在各区间分布数量,得到山洪危险高和较高比例为79.07%,可见评估结果与实际情况总体相符。

## 4 结论与讨论

以小流域为研究单元对岷江上游地区不同植被类型及覆盖度的减洪能力进行初步分析,主要得到以下结论。

(1)岷江上游地区山洪灾害潜在危险较高,存在空间分异,干流及其一级支流的中下游较高,而干流上游及小姓沟、黑水沟部分区域较低。

(2)植被类型及覆盖度具备一定程度的减洪能力,在不同潜在危险条件下其能力也不相同。

(3)各植被类型减洪能力具有差异,总体上植被的减洪能力与覆盖度存在正相关关系。

本研究基于灾害实测和地理基础数据,以小流域为单元,对各植被类型及覆盖度下的减洪能力进行初步量化,这有别于水文过程的相关研究。该研究主要利用空间统计分析,结果趋势基本符合实际情况,其精度和深度还有待提升。

致谢: 特别感谢中国水利水电科学研究院、中国环境监测总站、环保部卫星环境应用中心以及岷江上游各县相关单位提供的数据支持和写作建议。

## 参考文献:

- [1] 刘宪春, 徐宪立. 黄河下游防洪工程的生态环境影响分析[J]. 水土保持通报, 2005, 25(1): 78-81.
- [2] Posthumus H, Hewett C J M, Morris J, et al. Agricultural land use and flood risk management: Engaging with stakeholders in North Yorkshire[J]. Agricultural Water Management An International Journal, 2008, 95(7): 787-798.
- [3] 刘世荣. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [4] 金栋梁. 森林对水文要素的影响[J]. 人民长江, 1989(1): 28-35.
- [5] 余荔. 窟野河流域植被覆盖变化及其对径流影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [6] 林峰, 陈莹, 陈芬, 等. 流域森林植被变化对多峰暴雨洪水过程的影响[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(5): 19-23.
- [7] 丛沛桐, 于慧敏, 韦未, 等. 涪江滞洪区森林植被覆盖率与防洪减灾的耦合关系[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(6):

- 104 - 105.
- [8] 金栋梁, 刘予伟. 森林水文效应的综合分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(2): 138 - 144.
- [9] 莫菲. 六盘山洪沟小流域森林植被的水文影响与模拟[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008.
- [10] 张彪, 李文华, 谢高地, 等. 北京市森林生态系统的水源涵养功能[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5619 - 5624.
- [11] 李双权. 长江上游森林水源涵养功能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2008.
- [12] 李双权, 苏德毕力格, 哈斯, 等. 长江上游森林水源涵养功能及空间分布特征[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 62 - 67.
- [13] 段兴凤. 元阳梯田水源区森林水源涵养功能研究[D]. 昆明: 西南林业大学, 2011.
- [14] 傅斌, 徐佩, 王玉宽, 等. 都江堰市水源涵养功能空间格局[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 789 - 797.
- [15] 徐翠, 张林波, 杜加强, 等. 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2388 - 2399.
- [16] 陈山山, 周忠学. 西安都市农业水源涵养功能测评[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 579 - 586.
- [17] 方云祥, 关伟, 王晓辉. 安徽省山洪灾害成因分析[J]. 国土与自然资源研究, 2007(1): 63 - 64.
- [18] 何报寅, 张海林, 张穗, 等. 基于 GIS 的湖北省洪水灾害危险性评价[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 84 - 89.
- [19] 孙欣, 林孝松, 何锦峰, 等. 基于 GIS 的山区危险性评价与分区[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2014, 30(3): 44 - 49.
- [20] 谭学瑞, 邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法[J]. 统计研究, 1995(3): 46 - 48.
- [21] 田民, 刘思峰, 卜志坤. 灰色关联度算法模型的研究综述[J]. 统计与决策, 2008(1): 24 - 27.
- [22] 邹翔, 崔鹏, 韦方强, 等. 灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用[J]. 山地学报, 2003, 21(3): 360 - 364.
- [23] 申卯兴, 薛西锋, 张小水. 灰色关联分析中分辨系数的选取[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(1): 68 - 70.
- [24] 吕锋. 灰色系统关联度之分辨系数的研究[J]. 系统工程理论与实践, 1997(6): 50 - 55.
- [25] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 15 - 24.
- [26] 陆桂华, 钟凌, 吴志勇, 等. 中小流域山洪危险性区划[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2014, 39(10): 1538 - 1544.
- [27] 万庆. 洪水灾害系统分析与评估[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

## Primary Analyse of Reducing Flood Effect of Different Vegetation Cover in Small Watershed of Disaster Prone Area Based on GIS: A Case Study in Upper Minjiang River Basin

Wang Shan<sup>1,2</sup>, Peng Peihao<sup>1</sup>, Liu Qin<sup>2,3</sup> and Tian Chongshan<sup>3</sup>

- (1. *Tourism and Urban-Rural Planning College, University of Technology, Chengdu 610059, China;*  
 2. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;*  
 3. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

**Abstract:** A favorable eco-environment has a function of reducing flood, while vegetation cover is an important index to measure the eco-environment quality. Researching on small watersheds, using grey correlation analysis and statistical method combined with GIS, this paper analyze how various vegetation types and different vegetation cover reduce flood in upper Minjiang river basin. The results show that: (1) Generally the potential risk of flood in upper Minjiang river basin is relatively high, and exists spatial difference, the high value is mainly distributed in middle and lower reaches of main channel of Minjiang river and its first tributaries, the low value is mainly distributed in upper reaches of main channel of Minjiang river and region of Xiaoxinggou, Heishuigou and so on; (2) According to the actual happens of disasters, vegetation in the region have flood reduction ability, there is an association between flood reduction ability and potential risk of flood; (3) Under different vegetation types and coverage, flood reduction ability is different, and there is a different degree of correlation with coverage.

**Key words:** disaster prone area; GIS; small watershed; vegetation cover; ability of reducing flood; upper Minjiang river basin