

汶川地震灾害核心区生态环境影响评估

徐新良, 江 东, 庄大方, 邱冬生

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 5.12 汶川大地震不仅造成了惨重的人员伤亡和巨大的经济损失, 而且对当地生态环境产生了严重的影响。以多种卫星遥感数据为信息源, 运用地理信息系统、遥感和综合分析技术, 从地表植被、农田生态系统、河道水体、自然保护区以及消、杀、灭药剂等几个方面, 对受灾的汶川等 36 个县市的生态环境进行了全面评估。评估结果显示: 汶川地震灾害核心区预计发生滑坡、泥石流等次生地质灾害的面积为 190.86 km², 占灾区总土地面积的 0.19%; 灾区林、草地预计受损 164.96 km², 占灾区林、草地总面积的 0.22%; 灾区农田预计毁坏 57.77 km², 占灾区农田总面积的 0.29%, 受损农田主要分布在西部山区; 灾区发生河道阻塞 34 处, 主要分布在龙门山北段的平武、北川、江油、青川、茂县等山体大量滑坡的县市; 卧龙自然保护区大熊猫的主要生活区域, 发生滑坡、泥石流等灾害 1.44 km², 受损林地面积比例为 0.28%, 给大熊猫的取食造成了严重威胁。

关键词: 地震灾害; 生态环境; 评估; 遥感

文章编号: 1000-0933(2008)12-5899-10 中图分类号: P237 文献标识码: A

Assessment about the impact of Wenchuan Earthquake on ecological environment

XU Xin-Liang, JIANG Dong, ZHUANG Da-Fang, QIU Dong-Sheng

Institute of Geographical Sciences and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5899 ~ 5908.

Abstract: The Wenchuan Earthquake on May 12th not only caused huge death, toll, injuries, and economic losses, but also affected local environment seriously. In this paper, using RS images and GIS, RS and integrated analysis technology, we analyzed the impacts of the devastating earthquake on vegetation, agricultural ecosystem, river, Wolong Natural Reserve, and the use of disinfectant in 36 counties of the earthquake region. The results show that the lost land area from landslide or mudslides was about 190.86 km², about 0.19% of total land area. The damaged forest and grassland area was about 164.96 km², about 0.22% of total forest and grassland area. The farmland area destroyed by landslide or mudslides was estimated to be about 57.77 km², about 0.29% of total farmland area. About 34 rivers were blocked in the earthquake region, which are primarily located in Pingwu, Beichuan, Jiangyou, Qingchuan and Moxian counties. The damaged land area in the Wolong Natural Reserve was about 1.44 km², about 0.28% of damaged forest area, which poses serious threat to panda's life.

基金项目: 国家科技支撑计划“生态系统格局与结构变化的遥感监测技术研发”资助项目(2006BAC08B03)

收稿日期: 2008-09-19; **修订日期:** 2008-12-02

作者简介: 徐新良(1972~), 男, 山东青岛人, 博士, 副研究员, 主要从事遥感与 GIS 应用、土地利用/土地覆被变化研究。E-mail: xuxl@reis.ac.cn

致谢: 文章中使用的遥感数据来自北京视宝卫星图像有限公司、中国资源卫星应用中心、北京 21 世纪空间技术应用股份有限公司, 在此对提供数据的以上单位表示衷心的感谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Project of Scientific and Technical Supporting Programs(No. 2006BAC08B03)

Received date: 2008-09-19; **Accepted date:** 2008-12-02

Biography: XU Xin-Liang, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in application of RS and GIS, and land use/cover change. E-mail: xuxl@reis.ac.cn

Key Words: earthquake disaster; ecological environment; assessment; remote sensing

地震是一种由地壳内部岩石在经受巨大应力作用下突然破裂而引发的突发性自然灾害。破坏性地震不仅会造成大量人员伤亡和房屋、构筑物的损坏以及地面变形破坏,引起社会公众心理恐慌及社会秩序的紊乱^[1~4],还对区域生态环境造成巨大的影响,导致生态系统结构与功能的改变^[5]。关于地震对生态环境的影响国内外已开展了研究,如吴瑾冰等^[6]分析了地震烈度与生态环境的关系,并对地震的生态破坏类型进行了归纳,提出了恢复生态环境的对策;许向宁^[7]等分析了地震所诱发的崩塌、滑坡、碎屑流、堰塞湖等山地灾害的特点及其发育分布规律,提出了恢复和保护生态环境的对策与建议;韩东银等^[8]则从地震对生态系统的整体性灾害影响出发分析了社会生态系统、环境生态系统和自然生态系统 3 个层次在地震灾害中的表现特征,揭示了生态系统震害的深层机制,称之为网络性机制。

2008 年 5 月 12 日四川省阿坝州汶川县发生了新中国成立以来破坏性最强、地震灾害最严重、救灾难度最大、波及范围最广的 Ms8.0 级大地震,造成了惨重的人员伤亡和巨大的经济损失^[9,10]。本研究针对四川省汶川地震可能造成的生态环境破坏问题,以多种卫星遥感数据为信息源,运用地理信息系统、遥感和综合分析技术,从地表植被、农田生态系统、河道水体、自然保护区以及消、杀、灭药剂等几个方面,对受灾的汶川等 36 个县市因地震带来的生态环境影响进行了综合评估。

1 研究地点与方法

1.1 研究区概况

5.12 汶川大地震的重灾区主要沿龙门山断裂带展布,呈东北-西南走向,包括南起天全,往东北经都江堰、汶川、茂县、北川、青川至陕西宁强。长 500 余 km,宽 30~40 km,西南段较宽,东北段较窄,总面积超过 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,该区其西南段海拔一般在 2500~3500 m,最高 4000 m 左右;东北段海拔一般在 1500~2500 m,最高为 3000 m 左右,总体呈中部高,西南部较高,东北段较低的走势。西南段属于青藏高原东部的前缘过渡地带,山高谷深,与成都平原界线分明,犹如屏障拔地而起,地貌反差强烈;东北段则与之迥然不同^[11]。本次评估的地震灾害核心区域为汶川等 36 个县市(图 1)。

1.2 研究方法

为了保证评估工作的时效性,本次工作搜集了地震灾前和灾后一周内的多种卫星遥感数据,以及灾区行政区划、地形地貌、土地利用等辅助数据。遥感数据源主要包括 SPOT5、福卫-2、北京 1 号小卫星、中巴地球资源卫星等多种光学和雷达数据。所有的空间数据经过预处理,如格式转换、投影变换、影像几何校正等,转换为统一的坐标系统和投影方式,统计数据则进行了数据整理并与行政界限数据进行了编码匹配,以便于进一步的分析处理。

汶川地震灾区地处龙门山断裂带,当地山区土质疏松,与以往的各项地震相比^[12~14],本次地震后的山体滑坡、崩塌、泥石流现象尤为明显。因此进行滑坡、崩塌、泥石流等次生地质灾害的信息提取是评估地震灾害生态环境影响的前提和基础。本研究采用了人工目视解译的方法,在统一的解译标志和规则指导下,完成了滑坡、泥石流、崩塌等次生地质灾害空间分布的信息提取,然后在此基础上结合灾区土地利用/土地覆被、DEM、河网分布等辅助数据,评估地震灾害对当地生态环境的影响,具体技术流程如图 2 所示。

(1)地震对地表植被和农田的影响评估 在人工目视解译获取滑坡、泥石流等次生地质灾害空间分布信息基础上,统计分析滑坡、泥石流等地质灾害发生区林地、草地和农田的面积;根据不同坡度分带上滑坡、泥石流等次生地质灾害的发生比重,对全区地质灾害的发生情况及林、草地和农田的损毁状况进行预测。

(2)地震对河道水体的影响评估 在人工目视解译获取堰塞湖空间分布信息基础上,分析堰塞湖可能导致的对下游河道水体的影响。

(3)地震对卧龙自然保护区生态环境影响评估 在提取滑坡、泥石流等次生地质灾害空间分布信息基础上,结合自然保护区土地利用数据、高程数据,通过空间叠加分析,获取保护区不同生态系统的受灾状况及可

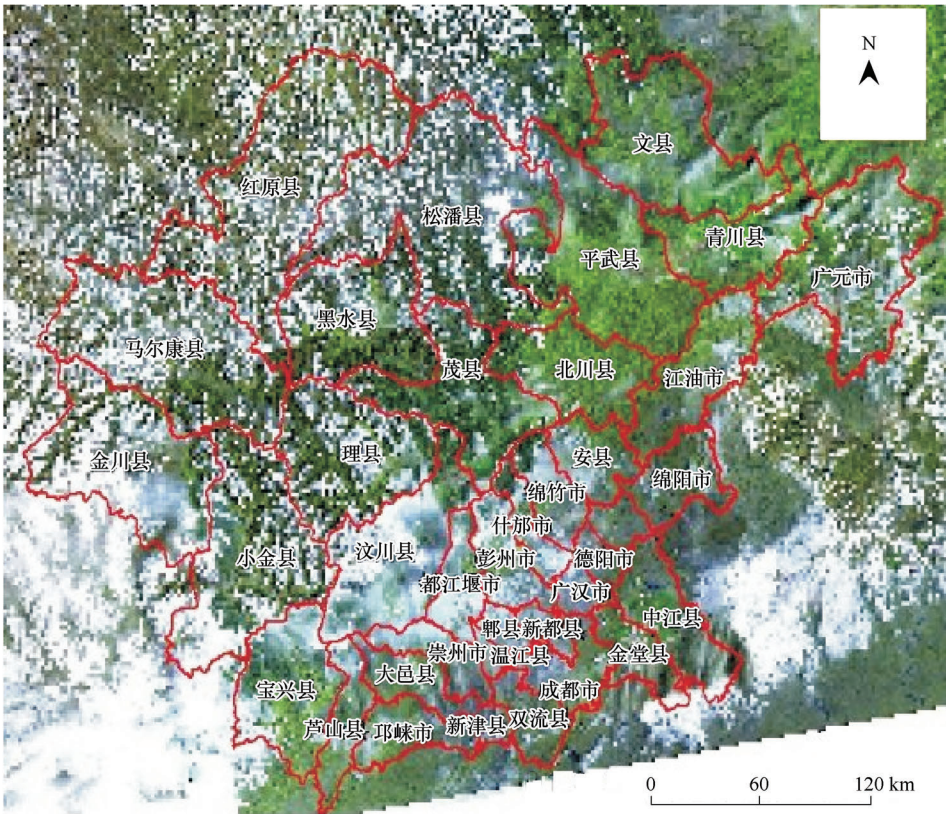


图1 汶川地震灾害核心区行政区划及遥感影像(北京1号2008年5月合成影像)
Fig. 1 Administrative divisions and RS images of Wenchuan Earthquake region

能导致的对大熊猫及其栖息地的影响。

(4)消、杀、灭药剂环境污染风险评估 在灾区消、杀、灭药剂投放剂量及投放区域预测评估的基础上,定性分析可能带来的环境污染问题。

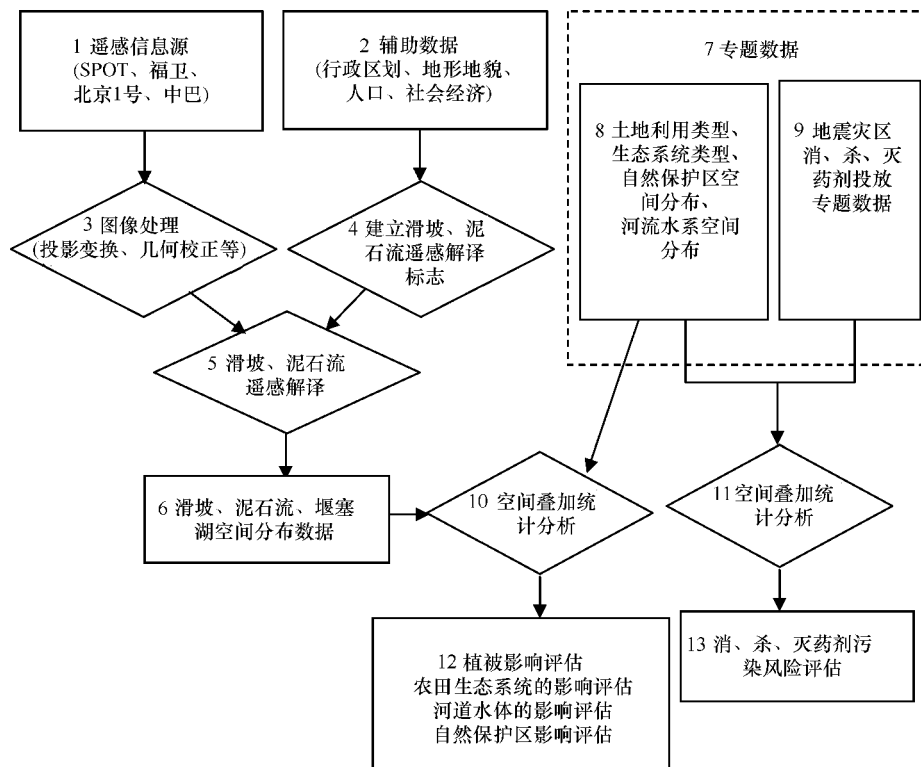
2 结果与分析

2.1 地震对地表植被的影响

从2008年四川汶川地震灾区滑坡、泥石流等次生地质灾害的人工目视解译结果看,解译区面积约16610km²(不包括解译区(图3)中约30%的云覆盖区),占四川汶川地震灾区总土地面积的16.5%,共发生滑坡、泥石流等地质灾害3810处,直接破坏土地面积159.65 km²,占解译区土地面积的1%,直接破坏林、草地115.93 km²,其中破坏林地81.98 km²,破坏草地33.95 km²。从滑坡、泥石流等次生地质灾害发生的坡度分布看(表1),25~35°地带滑坡、泥石流等地质灾害发生比重最高,而灾区东部8°以下的平原地区发生滑坡、泥

表1 汶川地震灾区不同坡度带滑坡、泥石流等次生地质灾害发生比重及预测结果

Table 1 Proportion and estimation results of landslide or mudslides distributed in different slope regions of Wenchuan Earthquake region			
坡度分级 Slope zones(°)	解译区地质灾害发生比重 Proportion of landslide or mudslides in interpreted region(%)	地震灾区地质灾害预测结果 Estimation results of landslide or mudslides in earthquake region	
		面积 Area(km ²)	占总土地面积比重 Proportion in total land area(%)
< 5	0.0693	17.26	0.0173
5 ~ 8	0.0216	0.77	0.0008
8 ~ 15	0.0792	8.99	0.0090
15 ~ 25	0.2272	53.69	0.0537
25 ~ 35	0.3370	83.67	0.0837
> 35	0.2270	26.47	0.0265
合计 Total	—	190.86	0.1909



1 RS data source; 2 Auxiliary data; 3 Image processing; 4 Building indication for landslide or mudslides; 5 Landslide or mudslides interpretation; 6 Distribution map of landslide or mudslides; 7 Thematic data; 8 Land use/cover, Ecological system types, Natural reserve, River and water; 9 Disinfectant thematic data; 10 Spatial overlay and statistical analysis; 11 Spatial overlay and statistical analysis; 12 Analyze the impacts on vegetation, farmland, river, water body, and natural reserve; 13 Analyze the impacts of used disinfectant

图2 汶川地震灾区生态环境影响评估技术流程图

Fig. 2 The technical process of assessing the impact of Wenchuan Earthquake on ecological environment

泥石流等地质灾害的比重很低。

根据不同坡度带滑坡、泥石流等地质灾害的发生比重,四川汶川地震灾区滑坡、泥石流等地质灾害发生的总体情况预测结果见表1:地震灾区预计发生滑坡、泥石流等地质灾害的总面积为 190.86 km^2 ,占灾区总土地面积的 0.19% 。灾区林、草地总面积为 75644 km^2 ,预计受损 164.96 km^2 ,占灾区林、草地总面积的 0.22% ,其中林地损毁 86.97 km^2 ,占损毁林、草地总面积的 52.72% ,草地损毁 77.99 km^2 ,占损毁林、草地总面积的 47.28% 。

2.2 地震对农田生态系统的影响

2008年四川汶川地震灾区共有农田 20504 km^2 ,其中旱地 11018 km^2 ,水田 9486 km^2 。由于灾区农田主要分布于东南部的平原区(占灾区农田总面积的 70.23%),因此本次地震对农田的破坏不大,从上述地质灾害解译区农田的破坏情况看,解译区直接损毁农田 33.59 km^2 ,占解译区总农田面积的 0.95% ,其中旱地损毁 28.94 km^2 ,占损毁农田面积的 86.16% ,水田损毁 4.65 km^2 ,占损毁农田面积的 13.84% 。受损农田主要分布于西部山区(图4),其中北川县和平武县农田损毁比较严重,农田损毁面积占了解译区损毁农田的 70% 。从全区农田受滑坡、泥石流等次生地质灾害破坏的预测结果看,全区农田预计损毁 57.77 km^2 ,占全区农田总面积的 0.29% ,受损农田主要分布在西部山区。

2.3 地震对河道水体的影响

地震引发的滑坡、泥石流等地质灾害往往造成河道堵塞,从而使流水聚集,漫溢储水到一定程度便形成堰塞湖。5·12汶川大地震使北川、青川、德阳等地山体大面积滑坡,阻塞河道,形成了多处堰塞湖,对当地人民群众的生命财产安全构成了严重威胁。通过对比地震前后灾区多光谱遥感影像,对地震灾区的河道阻塞以及

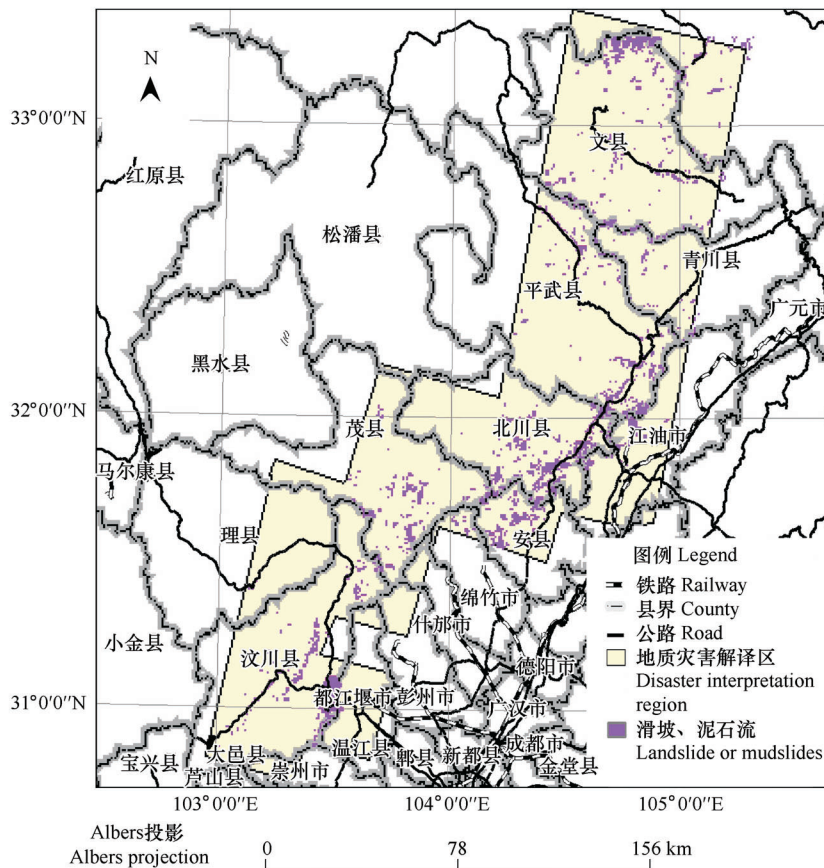


图3 2008年四川汶川地震灾区地质灾害空间分布图

Fig. 3 Distribution map of Landslide or mudslides in Wenchuan Earthquake region

由此形成的堰塞湖信息进行了人工提取。解译结果显示,汶川地震灾区36个县,目前共形成堰塞湖34处(图5),主要分布在平武、北川、江油、青川、茂县等山体大量滑坡的县市,其中平武县发现6处,理县5处,北川县和文县各4处,茂县和青川县各3处,江油市和德阳市各2处,而松潘县、黑水县、汶川县、中江县和广汉市各1处。堰塞湖往往伴随次生灾害的不断发生,堰塞湖的水位可能会迅速上升,随时可能发生重大洪灾。堰塞湖一旦决口会对下游形成洪峰,破坏性不亚于地震灾害的破坏力。

2.4 地震对卧龙自然保护区生态环境的影响

卧龙国家级自然保护区地处汶川县境内,岷江上游右岸,邛崃山脉东南坡,北、西、南三面环山,河谷深切,地势由西北向东南急剧倾斜,由于强烈的构造运动和外力的侵蚀切割,形成了众多的“V”字形山谷和梳齿状、峰林状地貌以及众多的溪河。卧龙自然保护区总面积约2125.26 km²,是以保护大熊猫及高山森林生态系统为主的综合性自然保护区。

5.12汶川地震造成卧龙自然保护区内发生滑坡、泥石流等地质灾害120多处,总面积4.35 km²,占自然保护区土地面积的0.21%(图6,图7);其中森林生态系统受损3.66 km²,占全区破坏面积的83.98%,草地生态系统受损0.49 km²,占全区破坏面积的11.24%;农田生态系统的受损0.06 km²,占全区破坏面积的1.38%。从各生态系统本身的受灾比例来看,森林、农田、草地的受损比例分别为0.35%、0.17%和0.05%。

卧龙自然保护区内林地类型的垂直分带特征明显:1600m以下为常绿阔叶林;1600~2000m为常绿落叶阔叶混交林;2000~2600m为针阔叶混交林;2600~3600m为亚高山针叶林,以岷江冷杉为主,林下有大面积箭竹;3600m以上为高山草甸和灌丛。滑坡、泥石流等次生地质灾害发生的海拔高程分带统计结果表明,滑坡、泥石流等地质灾害主要发生在2600~3600m的亚高山针叶林带(占全部林地破坏面积的39.34%),以及

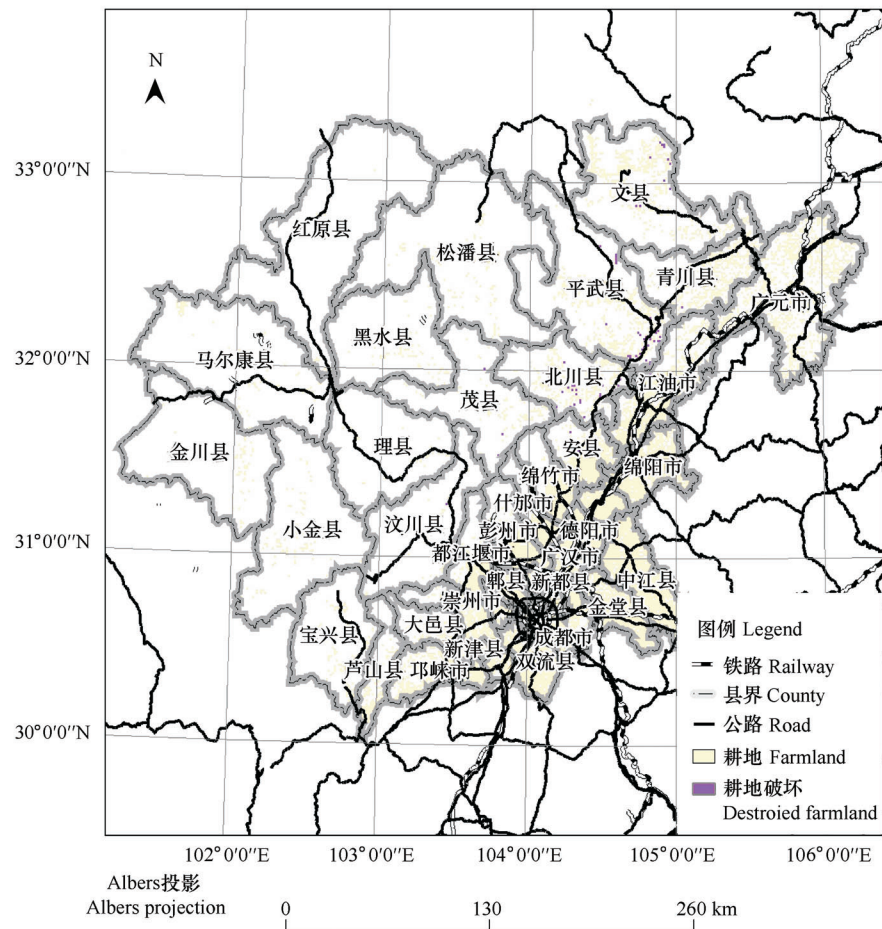


图4 汶川地震灾区耕地损毁空间分布图

Fig. 4 Distribution map of damaged farmland in Wenchuan Earthquake region

海拔 2000 ~ 2600m 的针阔叶混交林带 (占全部林地破坏面积的 37.43%), 而 1600m 以下的常绿阔叶林带基本没有受到破坏 (表 2)。由于大熊猫主要生活在 2600 ~ 3600m 气候温凉的亚高山针叶林及箭竹林地带 (图 7), 因此该地带森林的损毁, 尤其是箭竹林的破坏给大熊猫的取食带来了严重威胁。

表 2 不同高程带林地受损情况统计表

Table 2 Statistical table about damaged forest in different altitude zones

高程分带 Dem zones (m)	森林类型 Forest types	林地受损面积 Damaged area of forest (km ²)	占全部林地受损 面积的比例 Proportion of total damaged forest area (%)	破坏面积占各带林地 面积的比例 Proportion of forest area in each zone (%)
< 1600	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	0	0.00	0.00
1600 ~ 2000	常绿落叶阔叶混交林带 Evergreen and deciduous broadleaved mixed forest	0.68	18.58	0.71
2000 ~ 2600	针阔叶混交林 Coniferous and broadleaved mixed forest	1.37	37.43	0.58
2600 ~ 3600	亚高山针叶林带 Sub-alpine coniferous, 岷江冷杉 Abies faxoniana、 箭竹 Arrow bamboo	1.44	39.34	0.28
> 3600	高山草甸和灌丛 Alpine meadow and shrub	0.17	4.64	0.12

综合上述分析结果,汶川地震造成卧龙自然保护区滑坡、泥石流等地质灾害 120 多处,总面积 4.35 km²,

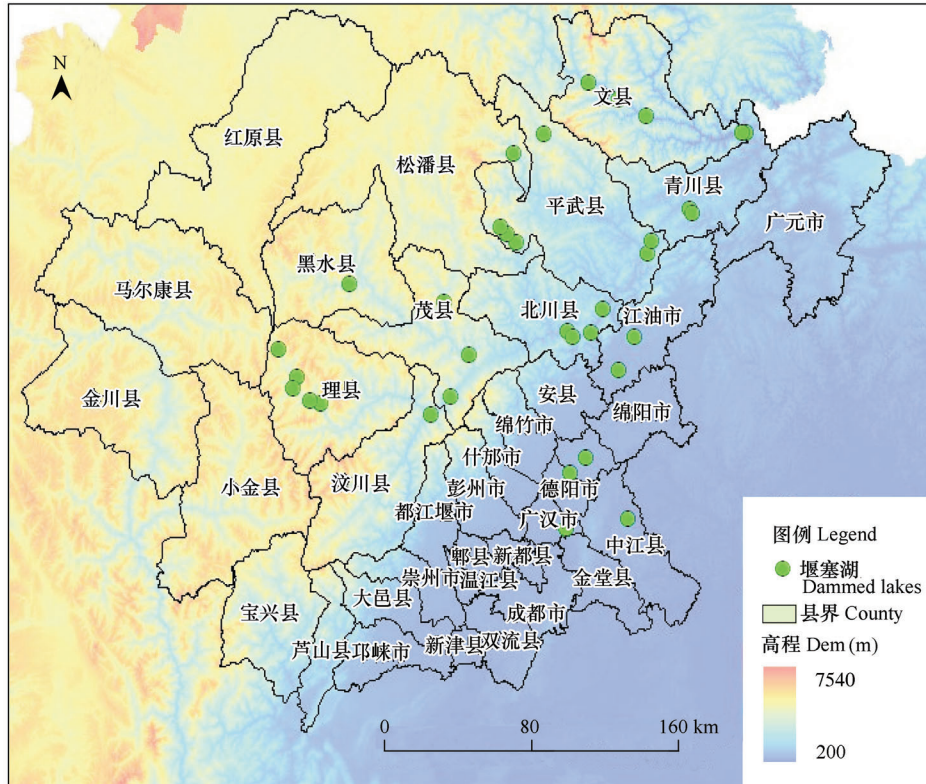


图5 汶川地震灾区堰塞湖间分布图

Fig. 5 Distribution map of dammed lake in Wenchuan Earthquake region

占自然保护区面积的0.21%;其中森林、农田、草地的受损比例分别为0.35%、0.17%和0.05%,其中大熊猫的主要生活区域(2600~3600m为亚高山针叶林),发生滑坡、泥石流等地质灾害1.44 km²,占本带内林地面积的0.28%。

2.5 灾区消、杀、灭药剂造成的污染风险评估

为了避免地震灾后传染病的大规模爆发,四川汶川地震灾区使用了大量消、杀、灭药剂。消、杀、灭药剂的大量投放不仅直接威胁着灾区人民群众的饮食安全和身体健康,而且对灾区下游的水质安全也产生了严重威胁。

截止5月21日,在整个地震灾区卫生部已经累计派发了445t消、杀、灭药剂,农业部累计派发了498t消、杀、灭药剂。由于本次地震灾害损毁最严重的地区主要位于西部山区,因此消、杀、灭药剂的集中投放也主要集中于西部山区的灾民聚居点及房屋建筑集中坍塌区(图8)。2005年土地利用数据统计结果显示,受灾严重的居民建设用地总面积为67.46km²,如果以此作为卫生部和农业部派发的消、杀、灭药剂的集中投放区,则投放到单位面积土壤中的药剂含量分别为7.38gm⁻²和6.60 gm⁻²(表3)。这些药剂不仅直接影响到灾区灾民的饮食安全和身体健康同时,而且可通过地表径流进入水体富集,进而影响到下游地区的水质安全。

3 结论与建议

(1)地震灾区预计发生滑坡、泥石流等地质灾害的总面积为190.86 km²,占灾区总土地面积的0.19%。灾区林、草地总面积为75644km²,预计受损164.96 km²,占灾区林、草地总面积的0.22%,其中林地损毁86.97km²,占损毁林、草地总面积的52.72%,草地损毁77.99 km²,占损毁林、草地总面积的47.28%。

(2)全区农田预计毁坏57.77 km²,占全区农田总面积的0.2829%,受损农田主要分布在西部山区。从地质灾害对农田的破坏程度看,由于山区农田主要受滑坡、泥石流的冲毁,一般很少发生滑坡、泥石流的堆积,因此损毁农田的恢复难度不大,这为地震灾后灾民重建家园,恢复农业生产提供了有利条件。

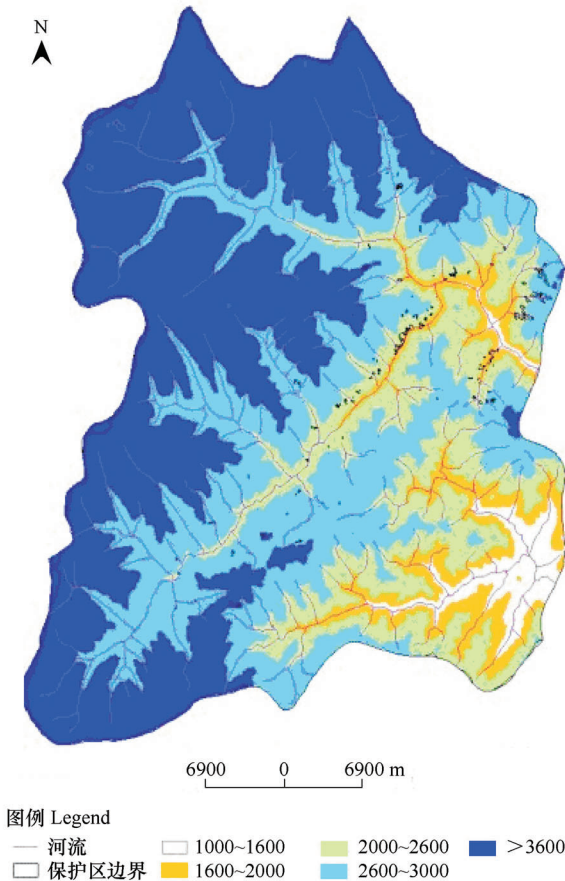


图6 保护区滑坡等地质灾害空间分布图

Fig. 6 Slide distribution map in Wolong Natural Reserve

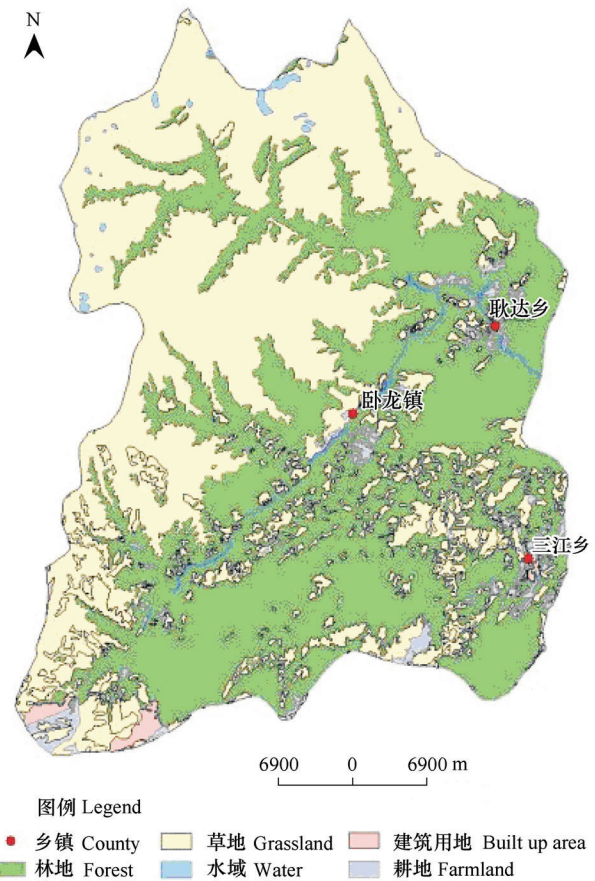


图7 保护区土地利用类型分布图

Fig. 7 Landuse distribution map in Wolong Natural Reserve

(3) 四川汶川地震灾区发生河道阻塞 34 处, 主要分布在平武、北川、江油、青川、茂县等山体大量滑坡的县市, 由此形成的堰塞湖对灾区人民群众的生命财产安全构成了严重威胁。建议针对灾区堰塞湖的威胁采取以下预防与处理措施: ①加强调查与监测, 通过遥感信息和地面调查, 对堰塞湖的分布和发展进行动态监测; ②在堰塞湖危险性评价的基础上, 制定下游沿岸地区居民转移和安置的应急预案; ③在工程措施排险方面, 对一些交通能够抵达、施工条件难度不算大的堰塞湖, 可通过人工开挖或爆破的方式, 疏通水道, 避免水位上涨, 将威胁解除。对于多数无法抵达的堰塞湖, 则主要是通过监测措施, 并派出技术人员对堰塞湖的稳定性、危害性进行评估, 来决定下一步采取的措施。

(4) 汶川地震造成卧龙自然保护区的滑坡等地质灾害总面积 4.35 km^2 , 占自然保护区面积的 0.21%; 其中森林、农田、草地的受损比例分别为 0.35%、0.17% 和 0.05%。其中大熊猫的主要生活区域(海拔 2000 ~ 2600m 的针阔叶混交林带), 发生滑坡等地质灾害 1.44 km^2 , 受破坏林地面积比例为 0.28%。地震造成的山体滑坡, 使大熊猫赖以生存的部分箭竹被埋没和砸毁、保护区内水体受到污染, 直接威胁到大熊猫的取食和健康。建议一旦交通、通讯等条件允许立即开展野生大熊猫个体受损情况调查, 并及时施救, 同时加强栖息地受损评估, 尤其对保护区内竹林进行严密监测, 防范震后竹子大面积开花和成片死亡造成的食物短缺使大熊猫生活“雪上加霜”。

(5) 卫生部和农业部已经在四川汶川地震灾区集中投放 943t 消、杀、灭药剂, 消、杀、灭药剂的集中使用给灾区灾民的饮食安全和身体健康, 以及下游径流水质带来了严重威胁。为了尽量降低消、杀、灭药剂的投放所带来的潜在威胁, 建议: ①定期检测灾区引用水源水质安全, 对未达标水源作到早发现、早预警; ②对灾区灾民开展消、杀、灭药剂正确使用安全教育, 树立对消、杀、灭药剂的正确认识, 提高灾民自身的健康保健能力。③

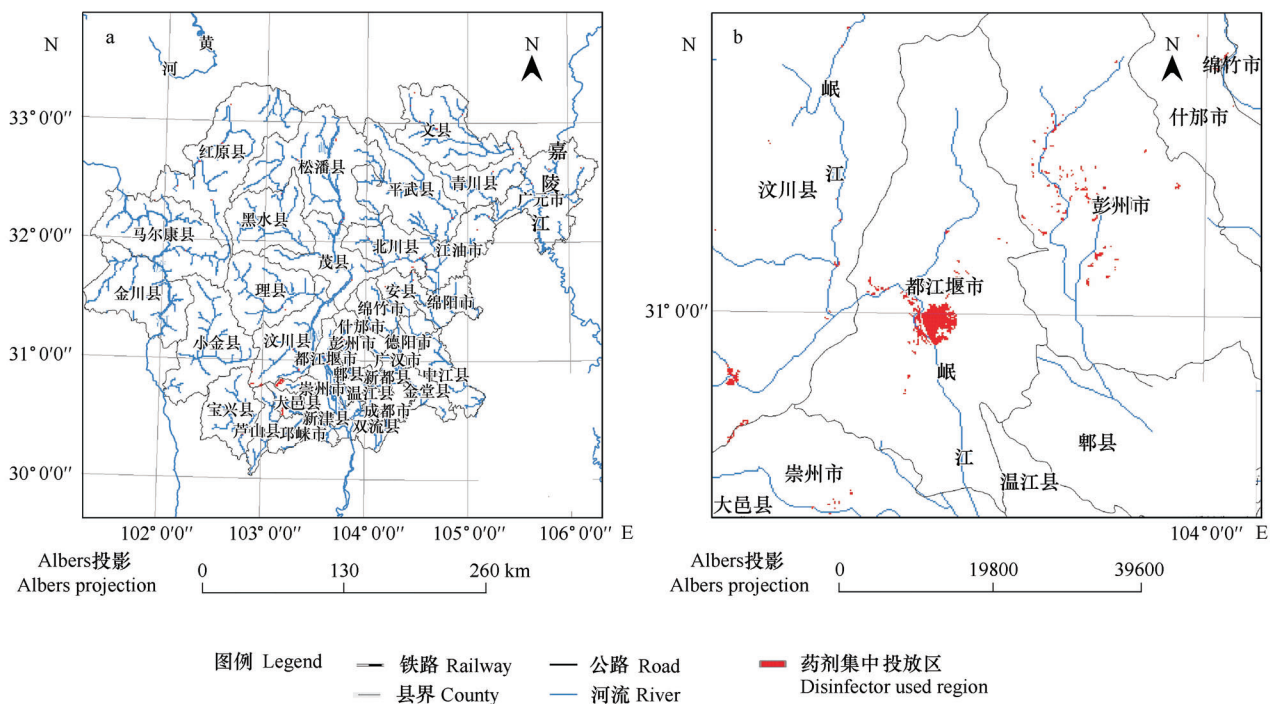


图8 地震灾区消、杀、灭药剂集中投放区

Fig. 8 Disinfector centralized used region in Wenchuan Earthquake region

a. 汶川地震灾区 Wenchuan Earthquake region; b. 都江堰市 Dujiangyan City

对灾区下游径流水质开展定期水质检测,并通过人工调蓄提高径流流速,增强河川径流的自净能力。

References:

- [1] Liao X, Gao C B, Zhang S D, Wu F T, Zheng S C. Losses evaluation of Xiuyan-HaiCheng Ms 5.6 earthquake on Nov. 29TH, 1999. Seismological Research of NorthEast China, 2000,16(2):38—44.
- [2] The Group of Disasters Assessment of the Earthquake in Datong-Yanggao. Losses assessment of seismic disasters of the Ms 5.6 earthquake in Datong-Yanggao, Shanxi of 1999. Earthquake Research in Shanxi,2000,(1):7—15.
- [3] Ma Z H, Zhou Z Y, Gao X M, He W G, Liu H C. The earthquake disaster loss assessment for Wenxian Ms 5.0 Earthquake on Jun. 21, 2006 in Gansu Province. Northwestern Seismological Journal, 2007,29(3):256—264.
- [4] Sun H B, Yang Q C, Ma Y H, Chen Y H, Suo N. Disaster survey and loss evaluation of Xinghai earthquake with Ms 6.6. Earthquake Research in Plateau, 2001,13(1):60—65.
- [5] Wu J H. Preliminary analysis on the relationship between earthquakes and ecologic environment. Earthquake Research in Shanxi,2000,(4):32—34.
- [6] Wu J B, Guo A H. Earthquake and environment and ecology. Journal of Cata Trophology, 2001, 16(3):87—91.
- [7] Xu X N, Wang L S. Mountain hazard caused by earthquake in Songping River upper Minjiang and its controlling. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002,13(2):31—35.
- [8] Han D Y, Wei Y Z. Earthquake disaster of ecosystem and its mechanism. Recent Developments in World Seismology, 2007,(1):16—24.
- [9] Li H N, Xiao S Y, Huo L S. Damage investigation and analysis of engineering structures in the Wenchuan earthquake. Journal of Building Structures, 2008,29(4):10—18.
- [10] Chen X L, Xu C, Xia S, Chen Y, Li F H, Zhang H. Some viewpoints for disaster loss assessment of 5·12 Wenchuan Earthquake. Recent Developments in World Seismology, 2008,(7):24—29.
- [11] Chen X Q, Cui P, Cheng Z L, You Y, Zhang X G, He S M, Dang C. Emergency risk assessment of dammed lakes caused by the Wenchuan earthquake on May 12,2008 Earth Science Frontiers,2008,15(4):244—249.
- [12] Li H N, Zhao Y G. Investigation and analysis of Chuetsu earthquake damages in Niigata prefecture, Japan. Journal of Natural Disasters, 2005, 14

(1): 165—174.

- [13] Ge X L, Jia Z. Analysis of house earthquake damage in Jiujiang-Ruichang, Jiangxi, M5.7 earthquake. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 2006, 28(1): 1—4.
- [14] Lu Y K, Zeng Y Q, Zhou G Q, Fei M L, Chen K H. Summarization of the 2007 Ning'er, Yunnan, MS6.4 Earthquake Disaster. *Journal of Seismological Research*, 2007, 30(4): 364—372.

参考文献:

- [1] 廖旭,高常波,张书栋,吴凤泰,郑双成. 1999年11月29日辽宁省岫岩-海城5.6级地震震害统计和损失评估. *东北地震研究*, 2000, 16(2): 38~44.
- [2] 大同-阳高地震震害评估组. 1999年山西大同-阳高5.16级地震灾害损失评估. *山西地震*, 2000, (1): 7~15.
- [3] 马占虎,周志宇,高晓明,何文贵,刘洪春. 2006年甘肃文县5.0级地震灾害损失评估. *西北地震学报*, 2007, 29(3): 256~264.
- [4] 孙洪斌,杨青春,马玉虎,陈玉华,索南. 兴海6.6级地震灾害调查与损失评估. *高原地震*, 2001, 13(1): 60~65.
- [5] 吴建华. 地震与生态环境关系初探. *山西地震*, 2000, (4): 32~34.
- [6] 吴瑾冰,郭安红. 地震与环境生态. *灾害学*, 2001, 16(3): 87~91.
- [7] 许向宁,王兰生. 岷江上游松坪沟地震山地灾害与生态环境保护. *中国地质灾害与防治学报*, 2002, 13(2): 31~35.
- [8] 韩东银,魏英祖. 生态系统地震灾害及其深层机制. *国际地震动态*, 2007, (1): 16~24.
- [9] 李宏男,肖诗云,霍林生. 汶川地震震害调查与启示. *建筑结构学*, 2008, 29(4): 10~18.
- [10] 陈学良,徐超,夏珊,陈勇,李方杰,张华. 5.12汶川地震灾评工作中的几点认识. *国际地震动*, 2008, (7): 24~29.
- [11] 陈晓清,崔鹏,程尊兰,游勇,张小刚,何思明,党超. 5.12汶川大地震堰塞湖危险性应急评估. *地学前缘*, 2008, 15(4): 244~249.
- [12] 李宏男,赵衍刚. 日本新县中越大地震震害调查及分析. *自然灾害学报*, 2005, 14(1): 165~174.
- [13] 葛学礼,贾抒. 江西九江-瑞昌M5.7地震房屋震害分析. *工程抗震与加固改造*, 2006, 28(1): 1~4.
- [14] 卢永坤,曾应青,周光全,非明伦,陈坤华. 2007年宁洱6.4级地震震害综述. *地震研究*, 2007, 30(4): 364~372.