

# 芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价

汤青<sup>1,2</sup>, 徐勇<sup>1,2</sup>, 董晓辉<sup>3</sup>, 李扬<sup>4</sup>, 刘艳华<sup>5</sup>, 孙晓一<sup>1,2,6</sup>

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 山东农业工程学院国土资源与测绘工程系, 济南 250100;

4. 中国科学院中国现代化研究中心, 北京 100190;

5. 浙江财经大学经济与国际贸易学院, 杭州 310018; 6. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 地震灾后恢复重建的土地资源安全评价是资源环境承载能力评价的基础性工作之一, 为灾后恢复重建工作的开展提供科学依据。针对灾后重建地区土地资源安全评价的特殊性, 本文以芦山地震灾后重建地区为例, 综合考虑地质条件与灾害危险性、水土资源条件、生态环境等3大类要素及8个评价因子, 构建了芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价模型, 并利用GIS空间分析方法对栅格单元和行政单元的土地资源安全进行了评价和分级。结果表明: 属于安全类的土地面积为2409.30 km<sup>2</sup>, 占灾区土地总面积的5.63%, 主要分布于灾区东部的山前平原区, 这类区域应该被视为灾后重建选址的首选区域, 较安全类可以作为安全类区域的补充选择, 而一般安全类在作为灾后重建选址的备选区域时应做好充分的防护措施; 灾区21县中仅有6个县的土地资源安全指数大于0.60, 它们均位于灾区东部的山前平原区; 在属于极重灾区和重灾区的6个县中, 只有名山区具有较高的土地资源安全指数(0.76), 可重建土地面积为468.33 km<sup>2</sup>, 且其人均可重建土地面积也相对较高, 应作为极重灾区和重灾区灾后异地重建进行大规模人口集聚、城市建设和产业发展的首选区域。本研究提出的评价模型适应于具有同类地质灾害的研究区域, 也可以为具有相似地质、地形和资源环境条件的区域开展研究提供参考。

**关键词:** 土地资源安全; 灾后重建; 地理信息系统; 资源环境承载能力; 芦山地震

DOI: 10.11821/dlxb201504012

## 1 引言

2013年4月20日四川省雅安市芦山县境内发生7.0级地震, 震源深度13 km, 是继2008年5月12日汶川8.0级地震之后在龙门山断裂带上发生的又一次灾害性地震事件<sup>[1-3]</sup>。地震发生后, 地震灾区的资源环境条件发生了巨大变化, 资源环境承载能力评价成为地震灾后恢复重建规划工作的重要基础<sup>[4-6]</sup>。芦山地震灾区属于中国生态重要性比较高的区域, 地处青藏高原和成渝城市群过渡地带。4·20强烈地震发生后, 地震灾区资源环境承

收稿日期: 2014-05-21; 修订日期: 2014-12-05

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41301121, 41430636, 41171449); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-06-01); 中国科学院科技服务网络计划STS项目(KFJ-EW-STS-003) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41301121, No.41430636, No.41171449; Key Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.KZZD-EW-06-01; Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Sciences, No.KFJ-EW-STS-003]

**作者简介:** 汤青(1984-), 男, 湖南益阳人, 博士, 助理研究员, 中国地理学会会员(S110010028M), 主要从事区域可持续发展与土地利用研究。E-mail: tangq@igsnr.ac.cn

**通讯作者:** 徐勇(1964-), 男, 陕西榆林人, 博士, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110006965M), 主要从事土地利用与农村可持续发展研究。E-mail: xuy@igsnr.ac.cn

载能力有所下降,区域内部承载能力的分布格局也发生了变化。地震灾后恢复重建的土地资源安全评价成为资源环境承载能力评价的最基础性的工作之一,为灾后恢复重建工作的开展提供科学依据。

土地资源安全是指一个国家或地区可以持续获取,并能保障生物群落(人类)健康和高效能生产及高质量生活的土地资源状态或能力<sup>[7]</sup>,土地资源安全是一个国家或地区的全部土地资源对其实现可持续发展所具有稳定的供给状态和良好的保障能力<sup>[8]</sup>。一般而言,土地资源安全应包括数量、质量和结构3个方面的安全。土地资源安全评价是以保障土地资源安全为研究目标,采用定量或定性的方法对土地利用系统健康或危险状况所作的评价,一般采用土地资源安全指数进行定量化表征。国际上关于土地资源评价的研究往往以土地适宜性评价为主,侧重于多要素综合影响下的各种土地利用类型的土地适宜性评价<sup>[9-11]</sup>,而针对土地资源安全评价的研究较少。中国目前大多数研究以单项评价为主,主要包括基于粮食安全的耕地安全评价<sup>[12-18]</sup>,基于城市土地承载力和建设用地集约利用的建设用地安全评价<sup>[19-23]</sup>,以及土地资源生态安全评价<sup>[24-25]</sup>。在土地资源安全综合评价研究方面,梁宇哲等<sup>[26]</sup>设计了中国土地资源安全预警体系的初步框架,郑荣宝等<sup>[27]</sup>从主体功能区划的角度出发分析了广州市的土地资源安全状况,刘斌涛等<sup>[28]</sup>以四川省凉山州为例建立了基于GIS的山区土地资源安全定量评价模型。由于影响土地资源安全因素的复杂性,土地资源安全综合评价研究还较少。

当前的土地资源安全研究中还有一个常见的概念是土地生态安全,来源于近年来兴起的“生态安全”的研究<sup>[29]</sup>。土地生态安全是指一定时空范围内,人类赖以生存与发展的土地生态系统处于一种不受或少受威胁和破坏的健康、平衡状态,能够为保障人类社会经济与土地可持续发展提供稳定、均衡、充裕的自然资源,从而维持土地自然、社会、经济复合体长期协调发展<sup>[17, 30-31]</sup>。土地生态安全侧重于土地资源的可持续利用,资源环境系统与社会经济系统的协调统一。本文的土地资源安全与土地生态安全既有共同之处也有差异,其共同之处在于二者同样注重土地资源的可持续利用,而不同之处则在于本文的土地资源安全以灾后恢复重建为目标,增加了对土地资源受地质条件与灾害危险性影响程度的考虑。因此,本文的土地资源安全定义为在综合考虑地质条件与灾害危险性、水土资源条件、生态环境等要素的前提下,灾后重建地区的土地资源对于恢复选址的人类居住和从事耕作、工业等生产活动的供给状态和保障能力。

本文以芦山地震灾后重建地区为例,采用30 m栅格作为因子赋值的基本单元,综合考虑地质条件与灾害危险性、水土资源条件、生态环境等3大类要素,探讨芦山地震灾后重建地区土地资源安全的空间与等级特征,是对灾后重建土地资源安全研究的一个新尝试。结合行政单元评价结果,提出灾后重建选址的建议,为制定合理的灾后恢复重建规划、促进灾区人口经济与资源环境协调发展提供科学依据。

## 2 研究区概况

芦山地震震中(30.3°N, 103.0°E)位于龙门山构造带南段的大川—双石断裂附近,震源破裂为走向NNE-NE、倾向NW、倾角33°~46°的逆冲断层,地震破裂以向SW侧扩展为主<sup>[32]</sup>,地震最大烈度IX度,VI度及以上区总面积为18682 km<sup>2</sup>。灾区地势自西北向东南倾斜,地表崎岖,山地多,平坝地少,山地面积占灾区总面积的90%以上,平坝主要分布在青衣江、大渡河流域两侧的一、二级阶地及河漫滩地带,其面积约占灾区总面积的6%。灾区常年降水量为1118.2 mm,大部分地区雨量充沛且集中,汛期降雨量大,

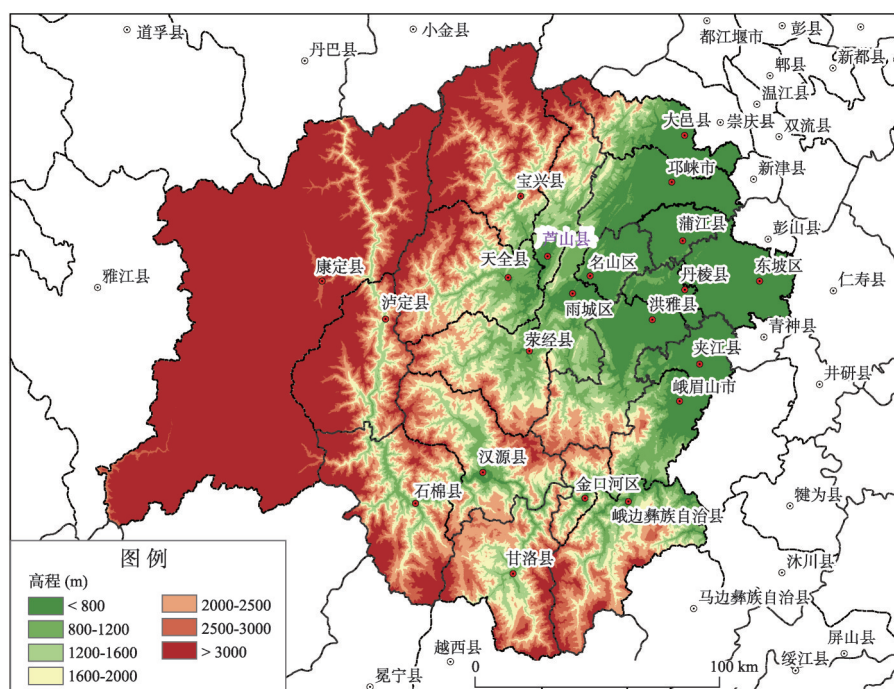


图1 芦山地震灾区地理位置图

Fig. 1 Location of Lushan earthquake stricken area

常年大雨 ( $\geq 25$  mm) 日数和暴雨 ( $\geq 50$  mm) 日数分别为9.7天、3.2天, 导致灾区次生地质灾害风险加剧。灾区大部分位于川滇森林及生物多样性生态功能区和大小凉山水土保持和生物多样性生态功能区, 是重要珍稀生物的栖息地, 也是国家乃至世界生物多样性保护重要区域<sup>[33]</sup>。区内各级自然保护区12处、森林公园13处, 拥有珙桐、连香树、叶光蕨、扇蕨、岷江柏木等数十种国家保护珍稀濒危植物, 栖息着大熊猫、小熊猫、金丝猴等近百种珍稀野生保护动物。

本文的研究范围与国家芦山地震灾后重建规划区确定的范围一致, 共21个县(市、区)(图1)。2010年末总人口549.82万人, 其中重灾区雅安市域人口150.73万人, 占灾区总人口的27.41%。灾区人口分布极不均衡, 人口密集区主要分布在灾区东北部, 在平原丘陵区村镇分布密集, 人口密度447人/km<sup>2</sup>, 盆缘山区的人口密度为113人/km<sup>2</sup>, 而在高山峡谷区人口分布相对分散, 仅44人/km<sup>2</sup>。随受灾程度增加人口密度表现为减少的态势, 有利于就近协调人口分布和资源环境承载能力的关系。灾区经济社会欠发达, 地方重建能力较弱, 恢复重建难度大。21个受灾县2011年实现地区生产总值1545.3亿元, 不足全省的6.5%, 2011年实现地方公共财政收入103.2亿元, 仅占全省的9.6%, 近60%的受灾县为山区和老区、经济条件差, 自救能力相对较弱。此外, 灾区人口的城镇化水平整体偏低, 2010年城镇化率39.36%, 低于全国49.68%的城镇化水平, 而汉源县、名山区、甘洛县、夹江县、峨边彝族自治县以及宝兴县的城镇化率尚不足30%。

### 3 研究方法 with 数据来源

#### 3.1 评价指标体系

由于影响土地资源安全因素的复杂性, 因此选择合适的指标体系对于评价结果的科

学性有至关重要的作用。根据评价目标的不同,学者们采用了不同的评价指标体系,如郑荣宝等<sup>[27]</sup>从数量安全、质量安全、经济安全、生态安全等4个方面选取了16个二级指标来评价基于主体功能区划的广州市土地资源安全,刘斌涛等<sup>[28]</sup>从建设用地安全指数和粮食安全指数两个维度选择了9个指标评价山区土地资源安全。为了将灾区土地资源的特征和灾后恢复重建的特殊性结合起来,选择地质条件与灾害危险性、水土资源条件、生态环境等3大类要素作为灾后重建地区土地资源安全评价的基础要素类。选择此3类要素主要是为了刻画灾后重建地区自然地理环境的各类要素对于恢复选址土地资源安全的影响,反映土地资源对人类居住和从事耕作、工业活动的安全保障程度。水土资源条件和生态环境是土地资源安全评价不可或缺的基础要素类,而地质条件与灾害危险性则是针对芦山地震灾后恢复重建这一特殊形式而着重考虑的要素类,其对灾后重建土地资源安全有至关重要的影响。

其中,地质条件与灾害危险性类要素遴选了地震灾害风险、工程地质、水文地质、次生灾害易发性4个评价因子。地震灾害风险和次生灾害易发性这两个因子直接影响土地资源的易损程度,即风险越高的地方土地资源安全等级越低。地震灾害风险根据芦山地震烈度分布特征与活动断层分布来确定,次生灾害危险性主要考虑崩塌、滑坡、泥石流3种次生地质灾害类型。而选取工程地质和水文地质这两个因子则是从地质条件方面反映土地资源对人类活动的供给能力。工程地质主要考虑工程岩组特性与地形地貌类型,水文地质主要考虑岩组水文地质性质,包含地下水和地表水类型。水土资源条件类要素遴选了地形条件和水资源条件2个评价因子来反映水土资源条件对土地资源安全的支撑能力。地形条件主要考虑地形坡度的影响,因为地形高程在工程地质中的地形地貌类型已有考虑;水资源条件采用人均水资源量进行评价。生态环境类要素遴选了生态功能、环境容量2个评价因子来反映生态环境状况对土地资源安全的影响,生态功能采用生态保护重要性进行评价,主要考虑生物多样性、水源涵养、土壤侵蚀敏感性;环境容量主要考虑大气环境容量和水环境容量。因此,本文总共考虑的评价因子为8个,即地震灾害风险、工程地质、水文地质、次生灾害易发性、地形条件、水资源条件、生态功能、环境容量。

通过分析各类资源环境因子对灾后重建地区土地资源安全的影响与作用程度,并结合二者之间的关联,对各个因子进行赋值。首先以30 m×30 m栅格将各个因子对灾后重建地区土地资源安全的影响程度分为5个等级,分别赋值为5, 4, 3, 2, 1。对于本身是30 m栅格单元的评价因子(如地形条件),直接采用等级标准给栅格赋值;对于矢量格式的评价因子(如生态功能、环境容量),根据评价单元的大小,采用GIS空间分析方法,将不规则单元组成的图层转换成30 m的栅格图层并进行赋值。分值越高,代表安全等级越高。地震灾害风险、次生灾害易发性评价参考了《芦山地震灾后恢复重建——资源环境承载能力评价》<sup>[34]</sup>以及中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)<sup>[35]</sup>。工程地质和水文地质分级标准依据综合工程地质图图例及色标(中华人民共和国国家标准GB12328-90)<sup>[36]</sup>中烈度与区域地壳稳定性的对应关系,对工程和水文地质进行分级赋值。地形条件的分级标准参考了徐勇等<sup>[37]</sup>在测算后备建设用地潜力时采用的坡度分级标准,而水资源条件的分级标准则依据全国主体功能区划《省级主体功能区划分技术规程》<sup>[38]</sup>。生态功能考虑了生物多样性、水源涵养、土壤侵蚀敏感性,环境容量考虑了大气环境容量和水环境容量,并参考了《芦山地震灾后恢复重建——资源环境承载能力评价》<sup>[34]</sup>,根据环境保护部2003年制定的《生态功能区划暂行规程》<sup>[39]</sup>以及

《省级主体功能区域划分技术规程》<sup>[38]</sup>，对生态功能和环境容量分别进行分级赋值。具体的分级标准和赋值见表1。

在专家咨询的基础上使用层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称AHP）确定了各个因子的权重（表2）。首先确定3大类要素的权重，然后再根据各类要素中各个评价因子的权重，最后计算得出每个评价因子在灾后重建地区土地资源安全评价中的最终权重。

表1 芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价因子分级与赋值标准

Tab. 1 The classification description and standardized scoring of each factor for land safety assessment in the stricken area of Lushan earthquake

序号	因子/赋值	5	4	3	2	1
1	地震灾害风险	无	—	低	中等	高
2	工程地质 (岩组特性与地形地貌类型)	硬岩，低海拔平原(成都平原)、中海拔河谷	次硬岩，低海拔台地、丘陵，中海拔低台地	较软岩，低海拔高丘陵，小起伏低山、中山，中起伏中山	软岩，大起伏中山，大起伏高山	极软岩，大起伏极高山，极大起伏高山、极高山
3	水文地质 (地下水和地表水类型)	孔隙水，地下淡水	岩溶水，地表淡水、地下含盐水	岩溶水，地表含盐水、地下淡水	裂隙水，轻度含盐水	隔水层，含盐水
4	次生灾害易发性	无	—	低	中等	高
5	地形条件 (地形坡度)	< 5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	> 25°
6	水资源条件 (人均水资源量)	> 3000 m <sup>3</sup> /人	1500~3000 m <sup>3</sup> /人	1000~1500 m <sup>3</sup> /人	500~1000 m <sup>3</sup> /人	< 500 m <sup>3</sup> /人
7	生态功能	不重要	—	一般重要	较重要	非常重要
8	环境容量	不超载	轻度超载	中度超载	重度超载	极度超载

表2 芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价要素和因子权重

Tab. 2 The weights of factor groups and factors for land safety assessment in the stricken area of Lushan earthquake

大类要素	权重	评价因子	权重	最终权重
地质条件与灾害危险性	0.45	地震灾害风险	0.30	0.135
		工程地质	0.20	0.09
		水文地质	0.20	0.09
		次生灾害易发性	0.30	0.135
水土资源条件	0.30	地形坡度	0.60	0.18
		水资源条件	0.40	0.12
生态环境	0.25	生态功能	0.60	0.18
		环境容量	0.40	0.12

3.2 评价模型

在选取了评价要素和因子并确定了其相应的权重后，建立芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价模型。基于GIS空间分析技术，首先通过对8个评价因子进行分级与赋值，得到各个单项评价因子的30 m×30 m栅格结果图层，然后根据各个因子的权重进行栅格计算，得到各大类要素的评价结果图层，最后在根据各大类要素的权重进行栅格计算，得到最终的土地资源安全评价结果图层。计算公式如下：

$$S_i = \sum_{j=1}^m P_j W_j \tag{1}$$

$$S = \sum_{i=1}^n S_i W_i \tag{2}$$

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j W_j W_i \tag{3}$$

式中:  $S$  是土地资源安全指数;  $S_i$  是大类要素的土地资源安全得分;  $P_j$  是要素类  $i$  中因子  $j$  的土地资源安全得分;  $W_j$  是因子  $j$  的权重;  $W_i$  是要素类  $i$  的权重;  $m$  是某一要素类中评价因子的个数;  $n$  是要素类的个数。

本文选择了地质条件与灾害危险性、水土资源条件、生态环境等3大类要素, 因此  $n = 3$ 。对于第一类要素地质条件与灾害危险性, 遴选了地震灾害风险、工程地质、水文地质、次生灾害危险性4个评价因子, 因此  $m_1 = 4$ 。对于第二类要素水土资源条件, 遴选了地形条件和水资源条件2个评价因子, 因此  $m_2 = 2$ 。对于第三类要素生态环境, 遴选了生态功能和环境容量2个评价因子, 因此  $m_3 = 2$ 。 $m$  值的总和为8。

### 3.3 数据来源

本文数据包括灾区地震烈度与活动断层数据、震前震后地质灾害点分布与发育特征、工程地质和水文地质条件、地形条件和土地利用数据、水资源分布与利用情况、生态环境本底数据。其中, 地震与活动断层、次生地质灾害以及工程水文地质方面的数据来源于国家地震局和四川省地震局, 地形和土地利用方面的数据来源于四川省国土厅和测绘局, 水资源与生态环境方面的数据主要来源于水利、林业和环保部门。分析的基本单元采用由1:50000 DEM生成的30 m栅格, 灾区21个县(市、区)的行政区划图从第二次土地利用调查数据中提取得到, 其中极重灾区和重灾区6个县以行政村为单元, 一般灾区15个县以乡镇为单元。本文还使用了人口、GDP等社会经济方面的统计数据, 主要来源于各类统计年鉴。

## 4 结果与分析

### 4.1 栅格单元评价

根据土地资源安全指数结果, 将芦山地震灾后重建地区以栅格单元划分为安全、较安全、一般安全、不安全4类, 空间分布特征见图2。其中安全类、较安全类、一般安全类的可重建土地面积累积为8422.29 km<sup>2</sup>, 占灾区土地总面积的19.69% (表3)。其中属于安全类的土地面积为2409.30 km<sup>2</sup>, 占总可重建土地面积的28.61%, 灾区土地总面积的5.63%。这类区域具有良好的地质条件, 主要分布在灾区东北部的平原区, 地形坡度一般在5°以下。这类区域远离地震断裂带和活动断层, 且次生地质灾害发生的可能性非常小。这些地区的生态服务功能不重要, 且不在生物多样性保护区域的范围内。安全类的栅格单元主要分布在山前平原区, 包括大邑、邛崃、蒲江、东坡、丹棱、名山、雨城、洪雅、夹江以及峨眉山。所有这些县(市、区)均分布在灾区东北部, 这类区域应该被视为灾后重建选址的首选区域, 因为其最适宜于作为灾后恢复重建的人口集聚、城镇建设和产业发展。

较安全类的土地面积为1992.22 km<sup>2</sup>, 占总可重建土地面积的23.65%, 灾区土地总面积的4.66%。这类区域具有较好的地质条件, 主要分布在灾区中部中海拔(1000~2000 m)的丘陵区域, 地形坡度一般为5°~8°。这类区域具有与安全类区域相似的空间分布特征, 且一般与之相邻。对于灾后重建的选址而言, 较强安全类区域可以作为安全类区域的补充选择。

一般安全类的土地面积为4020.77 km<sup>2</sup>, 占总可重建土地面积的46.64%, 灾区土地总面积的9.40%。这类区域具有较差的地质条件, 一般分布在中海拔至高海拔(2000~3000 m)的丘陵和低山区域, 地形坡度一般为8°~15°。这类区域具有中等的次生地质灾害易发性, 且生态系统服务功能较为重要。一般安全类区域散布在山地和丘陵区中的河谷地



价。而其他15个一般灾区县受灾程度相对较小，对精度要求相对较低，因此以乡镇为单元评价。行政单元的土地资源安全指数定义为区域内可重建土地面积（安全、较安全、一般安全3类土地面积之和）与该区域土地总面积的比值。包括芦山、宝兴、荥经、天全、金口河、峨眉山、汉源、石棉、康定、泸定和甘洛在内的11个县（市、区）的土地资源安全指数小于0.20，且大部分县市区位于灾区西部山区（表4）。这11县的土地总面积为32251.46 km<sup>2</sup>，占灾区总面积的75.40%。包括名山、蒲江、邛崃、东坡、夹江和丹棱在内的6个县的土地资源安全指数大于0.60，它们均位于灾区东部的山前平原区。这6县的可重建土地面积总和为3812.35 km<sup>2</sup>，占灾区总可重建土地面积的45.19%。在属于极重灾区和重灾区的6县中，只有名山区具有较高的土地资源安全指数（0.76），可重建土地面积为468.33 km<sup>2</sup>，其应作为重灾区灾后恢复重建进行大规模人口集聚、城市建设和产业发展的首选区域。

按照极重灾区和重灾区以行政村为单元，一般灾区以乡镇为单元，根据各行政单元的土地资源安全指数，将其划分为安全、较安全、一般安全和不安全4个类型。安全类主要分布于东部山前平原区，包括东坡、大邑、邛崃、蒲江、夹江、丹棱和洪雅的大部分乡镇，名山的大部分行政村以及雨城的部分行政村（图3）。一般安全和不安全类主要分布于灾区西部山区和中部的丘陵区。康定、泸定和石棉的绝大部分乡镇属于不安全类，土地资源安全指数低于0.10。极重灾区芦山县北部的大部分行政村属于一般安全和

表4 芦山地震灾区分县土地资源安全分类统计结果  
Tab. 4 The statistics of different classes of land safety assessment in the stricken area of Lushan earthquake by county

县（市、区）	土地总面积 (km <sup>2</sup> )	总可重建土地面积(km <sup>2</sup> )	安全		较安全		一般安全		土地资源安全指数 <sup>2</sup>
			面积(km <sup>2</sup> )	比重(%) <sup>1</sup>	面积(km <sup>2</sup> )	比重(%) <sup>1</sup>	面积(km <sup>2</sup> )	比重(%) <sup>1</sup>	
芦山	1191.42	202.19	31.84	15.75	39.37	19.47	130.98	64.78	0.17
雨城	1062.79	440.92	93.86	21.29	90.67	20.56	256.40	58.15	0.41
天全	2390.48	312.50	44.37	14.20	59.11	18.91	209.02	66.89	0.13
名山	618.39	468.33	190.61	40.70	117.55	25.10	160.16	34.20	0.76
荥经	1776.89	353.04	48.79	13.82	63.92	18.10	240.33	68.08	0.19
宝兴	3114.35	124.72	14.18	11.37	20.29	16.27	90.25	72.36	0.04
邛崃	1377.07	911.57	371.51	40.76	233.31	25.59	306.74	33.65	0.66
汉源	2214.89	347.01	48.84	14.07	64.58	18.61	233.59	67.32	0.16
蒲江	580.42	490.43	217.92	44.43	133.74	27.27	138.77	28.30	0.85
丹棱	449.48	329.62	105.49	32.00	88.40	26.82	135.74	41.18	0.73
洪雅	1898.19	770.86	218.60	28.36	176.10	22.84	376.16	48.80	0.41
金口河	598.32	70.83	9.56	13.50	12.99	18.34	48.28	68.17	0.12
大邑	1282.97	556.49	203.79	36.62	145.50	26.15	207.19	37.23	0.43
石棉	2678.08	154.95	19.43	12.54	27.54	17.77	107.99	69.69	0.06
泸定	2164.53	89.09	15.39	17.27	19.27	21.63	54.43	61.10	0.04
夹江	743.44	506.45	161.05	31.80	132.56	26.17	212.84	42.03	0.68
峨眉山	1181.47	520.48	140.50	26.99	123.42	23.71	256.55	49.29	0.44
甘洛	2151.89	276.31	29.78	10.78	47.78	17.29	198.75	71.93	0.13
东坡	1336.06	1105.94	395.02	35.72	324.68	29.36	386.23	34.92	0.83
峨边	2381.90	355.23	42.81	12.05	64.22	18.08	248.19	69.87	0.15
康定	11590.16	35.34	5.98	16.93	7.22	20.43	22.14	62.64	0.00
总计	42783.20	8422.29	2409.30	28.61	1992.22	23.65	4020.77	47.74	0.19

注：<sup>1</sup> 指在总可重建土地面积中的比重。<sup>2</sup> 指总可重建土地面积与区域土地总面积的比值。

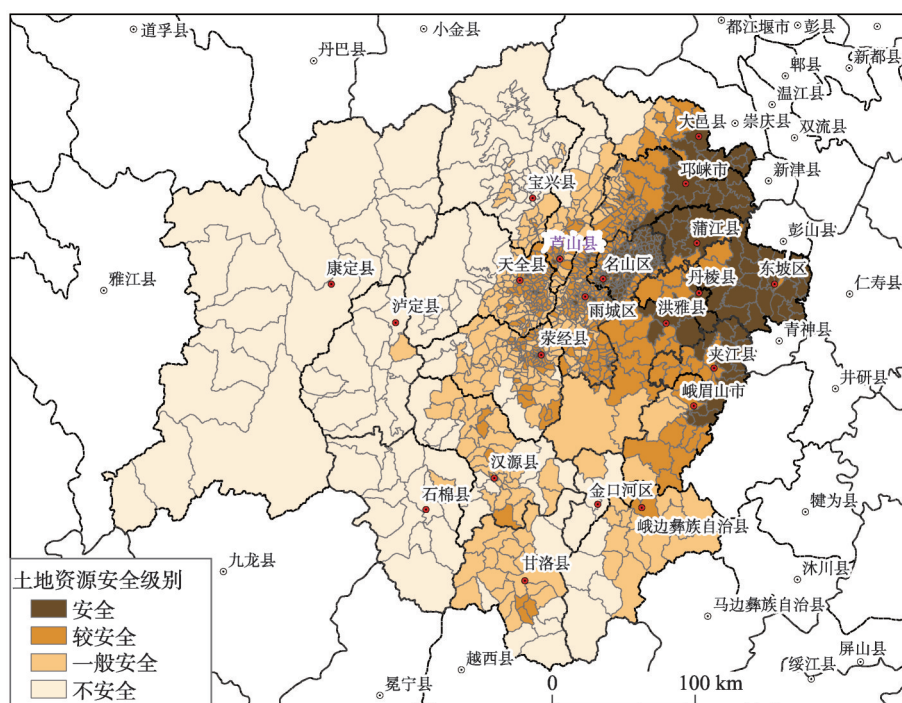


图3 芦山地震灾区土地资源安全行政单元评价结果

Fig. 3 The result of land safety assessment in the stricken area of Lushan earthquake at administrative scale

不安全类,而县城所在地芦阳镇、城北社区和城南社区属于较安全类。此外,芦阳镇西侧思延乡草坪村属于安全类,具有一定的城镇建设扩展空间,可作为芦山县城就地重建选址的备选区域。宝兴县除灵关镇社区、上坝村、中坝村以外,绝大部分区域属于一般安全和不安全类,宝兴县土地资源安全等级很低。而属于重灾区范围的名山区绝大部分地区都属于安全和较安全类,另外还有部分地区属于一般安全类,土地资源安全等级较高,适宜大规模人口集聚和城镇建设,可作为极重灾区和重灾区异地重建选址的首选区域。

#### 4.3 人均可重建土地面积评价

通过统计每个县内各乡镇、各行政村可重建土地面积,结合2010年六普分县常住人口数,以县(市、区)为单元进行人均可重建土地面积的评价。各县(市、区)的可重建土地面积与栅格单元评价结果呈现出相似的空间分布特征(图4)。具有丰富可重建土地面积的县全都位于灾区东部的山前平原区,包括东坡、邛崃和洪雅,其可重建土地面积均大于60000  $\text{hm}^2$ 。包括大邑、峨眉山、夹江、蒲江、名山和雨城在内的6个县可重建土地面积在40000~60000  $\text{hm}^2$ 之间。在这9个县(市、区)中,只有名山和雨城属于重灾区。极重灾区芦山县可重建土地面积仅为20218.74  $\text{hm}^2$ 。

县(市、区)人均可重建土地面积可以作为灾后重建选址的辅助性指标,是栅格单元和行政单元评价结果的补充。由于各县(市、区)人口规模具有明显的差异,因此其空间分布特征与可重建土地面积的结果不尽相同(图5)。由于人口规模较小,部分具有低可重建土地面积的县仍然具有相对较高的人均可重建土地面积。包括洪雅,峨边,荣经,天全和丹棱在内的5个县人均可重建土地面积高于0.23  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,而宝兴,蒲江,芦山和名山4县的人均可重建土地面积在0.18~0.23  $\text{hm}^2/\text{人}$ 之间。综合考虑可重建土地面积和人均可重建土地面积,名山区仍是重灾区灾后重建选址的首选区域。

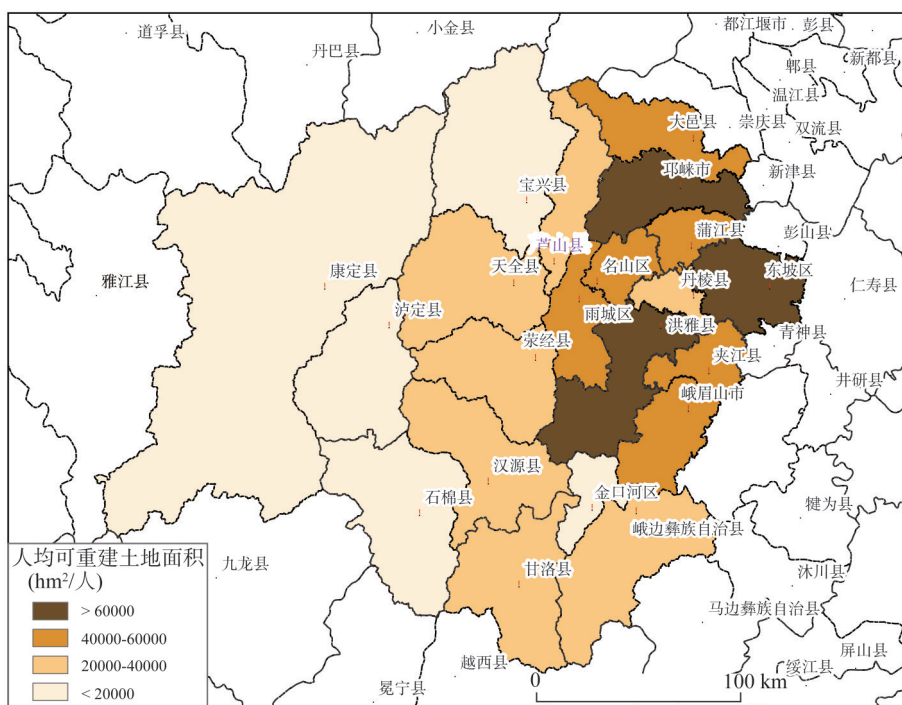


图4 芦山地震灾区分县可重建土地面积空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of available reconstruction land in the stricken area of Lushan earthquake by counties

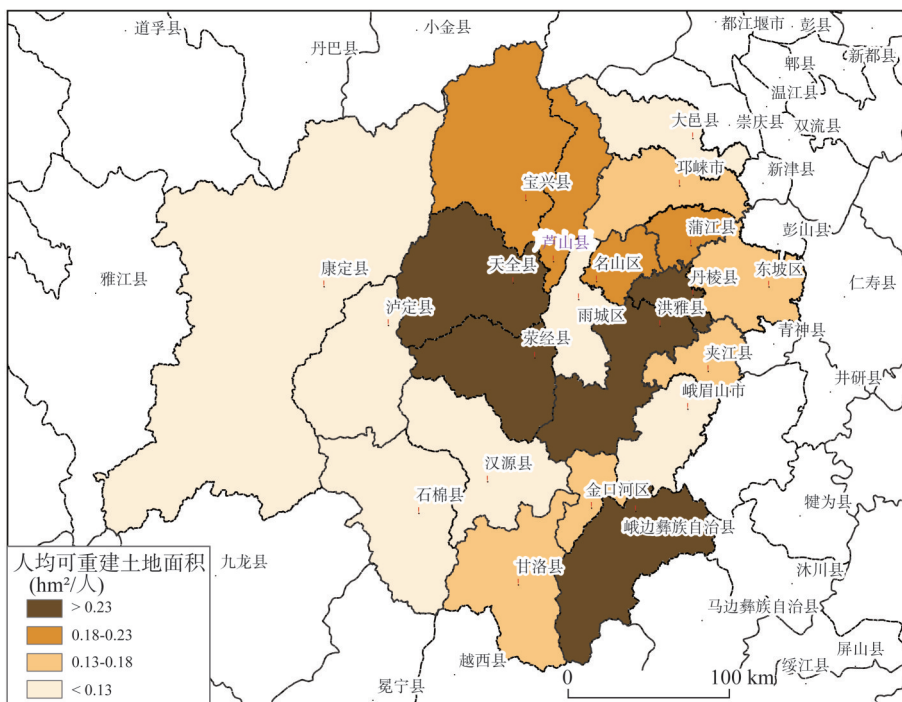


图5 芦山地震灾区分县人均可重建土地面积空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of available reconstruction land per capita in the stricken area of Lushan earthquake by county

## 5 结论与讨论

(1) 以芦山地震灾后重建地区为研究案例区,综合考虑地质条件与灾害危险性,水土资源条件,生态环境等3大类要素,建立芦山地震灾后重建地区土地资源安全评价模型,实现了对栅格单元和行政单元的土地资源安全评价。

(2) 对芦山地震灾区土地资源安全栅格单元的评价结果表明,属于安全类、较安全类、一般安全类的可重建土地面积累积为8422.29 km<sup>2</sup>,仅占灾区土地总面积的19.69%;而不安全类土地面积为34360.90 km<sup>2</sup>,占灾区土地总面积比重达80.31%。属于安全类的土地面积为2409.30 km<sup>2</sup>,占灾区土地总面积的5.63%,主要分布于灾区东部的山前平原区,这类区域应该被视为灾后重建选址的首选区域,因为其最适宜于作为灾后恢复重建的人口集聚、城镇建设和产业发展。较安全类可以作为安全类区域的补充选择,而一般安全类在作为灾后重建选址的备选区域时应格外谨慎,且需要做好充分的防护措施。

(3) 对行政单元的评价结果表明,在灾区21县(市、区)中有11个县的土地资源安全指数小于0.20,且大部分县市区位于灾区西部山区;而仅有6个县的土地资源安全指数大于0.60,它们均位于灾区东部的山前平原区,这6县的可重建土地面积总和为3812.35 km<sup>2</sup>,占灾区总可重建土地面积的45.19%。在属于极重灾区和重灾区的6县中,只有名山区具有较高的土地资源安全指数(0.76),可重建土地面积为468.33 km<sup>2</sup>,且其人均可重建土地面积也相对较高,其应作为极重灾区和重灾区灾后异地重建进行大规模人口集聚、城市建设和产业发展的首选区域。而极重灾区芦山县城附近的芦阳镇西侧思延乡草坪村属于安全类,具有一定的城镇建设扩展空间,可作为芦山县城就地重建选址的备选区域。

(4) 依据构建的土地资源安全评价模型得出的评价结果成为了芦山地震灾后资源环境承载能力综合评价的一部分,为《芦山地震灾后恢复重建总体规划》<sup>[40]</sup>提供了科学依据。评价得出的土地资源安全等级较高的区域与重建总体规划中重建分区中的人口集聚区也具有很高的空间一致性,证实了本文研究成果在实践中的应用。

土地资源安全评价具有明显的尺度效应,其评价结果都是在一定程度上具有合理性。本文提出的土地资源安全评价模型是将芦山地震灾后重建地区这一特定区域作为研究对象,适应于具有同类地质灾害的研究区域,也可以为具有相似地质、地形和资源环境条件的区域开展研究提供参考。然而,如何在宏观尺度上(如全国或者省级层面)构建土地资源安全评价模型还有待进一步研究。另外,粮食安全、社会经济发展水平、城镇化进程的影响等因素也对土地资源安全评价结果也具有一定的影响。如何综合考虑这些因素,并结合宏观尺度研究土地资源安全的时空格局、评估机制和调控模式将是下一步要重点进行研究的内容。

## 参考文献(References)

- [1] Chen Yuntai, Yang Zhixian, Zhang Yong, et al. From 2008 Wenchuan earthquake to 2013 Lushan earthquake. *Scientia Sinica Terrae*, 2013, 43(6): 1064-1072. [陈运泰, 杨智娴, 张勇, 等. 从汶川地震到芦山地震. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(6): 1064-1072.]
- [2] Chen Yuntai, Yang Zhixian, Zhang Yong, et al. A brief talk on the 20 April 2013 Lushan M<sub>s</sub>6.7 earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 2013, 35(3): 285-295. [陈运泰, 杨智娴, 张勇, 等. 浅谈芦山地震. *地震学报*, 2013, 35(3): 285-295.]
- [3] Cui Peng, Chen Xiaoqing, Zhang Jianqiang, et al. Activities and tendency of mountain hazards induced by the Ms7.0 Lushan earthquake, April 20, 2013. *Journal of Mountain Science*, 2013, 31(3): 257-265. [崔鹏, 陈晓清, 张建强, 等. “4·20”芦山7.0级地震次生山地灾害活动特征与趋势. *山地学报*, 2013, 31(3): 257-265.]

- [4] Fan Jie, Tao anjun, Chen Tian, et al. Fundamental function in resource environment carrying capacity evaluation in the State Planning for Post-Wenchuan Earthquake Restoration and Reconstruction. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2008, 23(5): 387-392. [樊杰, 陶岸君, 陈田, 等. 资源环境承载能力评价在汶川地震灾后恢复重建规划中的基础性作用. *中国科学院院刊*, 2008, 23(5): 387-392.]
- [5] Fan Jie et al. The State Planning for Post-Wenchuan Earthquake Restoration and Reconstruction: Resource-environment Carrying Capacity Evaluation. Beijing: Science Press, 2009. [樊杰 等. 国家汶川地震灾后重建规划: 资源环境承载能力评价. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [6] Gao Xiaolu, Chen Tian, Fan Jie. Population capacity in the Wenchuan earthquake reconstruction areas. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(2): 164-176. [高晓路, 陈田, 樊杰. 汶川地震灾后重建地区的人口容量分析. *地理学报*, 2010, 65(2): 164-176.]
- [7] Wu Cifang, Bao Haijun. Research on Land Resources of Land Security: Theories and Methods. Beijing: China Meteorological Press, 2004. [吴次方, 鲍海君. 土地资源安全研究的理论与方法. 北京: 气象出版社, 2004.]
- [8] Liu Yansui. Strategies to guarantee land resources safety in China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2006, 21(5): 379-384. [刘彦随. 保障我国土地资源安全的若干战略思考. *中国科学院院刊*, 2006, 21(5): 379-384.]
- [9] Shearer Keri S, Xiang Weining. Representing multiple voices in landscape planning: A land suitability assessment study for a park land-banking program in Concord, North Carolina, USA. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93: 111-122.
- [10] Reshmidevi T V, Eldho T I, Jana R. A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural Systems*, 2009, 101: 101-109.
- [11] Gong Jianzhou, Liu Yansui, Chen Wenli. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China. *Land Use Policy*, 2012, 29: 464-472.
- [12] Ni Shaoxiang, Tan Shaohua. On the cultivated land security of Jiangsu Province. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 307-312. [倪绍祥, 谭少华. 江苏省耕地安全问题探讨. *自然资源学报*, 2002, 17(3): 307-312.]
- [13] Cai Yunlong, Fu Zeqiang, Dai Erfu. The minimum area per capita of cultivated land and its implication for the optimization of land resource allocation. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 127-134. [蔡运龙, 傅泽强, 戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控. *地理学报*, 2002, 57(2): 127-134.]
- [14] Xiong Ying, Wang Kelin, Lu Huihong, et al. Analysis of dynamic changes and driving forces of cultivated land in Hunan Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 26-30. [熊鹰, 王克林, 吕辉红, 等. 湖南省耕地动态变化及驱动机制研究. *地理科学*, 2004, 24(1): 26-30.]
- [15] Tong Yiqin, Li Jialin, Li Weifang. The evaluation on the security of cultivated land resources in Ningbo city. *Bulletin of Science and Technology*, 2008, 24(2): 289-294. [童亿勤, 李加林, 李伟芳. 宁波市耕地资源安全评价. *科技通报*, 2008, 24(2): 289-294.]
- [16] Zhao Qiguo, Zhou Binzhong, Yang Hao, et al. The security problem and countermeasure of cultivated land in China. *Soil*, 2002(6): 293-302. [赵其国, 周炳中, 杨浩, 等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考. *土壤*, 2002(6): 293-302.]
- [17] Wu Wensheng, Zhu Jun, Hao Zhijun. An evaluation and prediction on the safety of cultivated land resources. *Areal Research and Development*, 2003, 22(5): 46-49. [吴文盛, 朱军, 郝志军. 耕地资源安全的评价与预警. *地域研究与开发*, 2003, 22(5): 46-49.]
- [18] Ge Xiangdong, Zhang Xia, Peng Buzhuo, et al. Critical alertness of cultivated land and alarming modification of cultivated land non-agriculture cost. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(2): 166-170. [葛向东, 张侠, 彭补拙, 等. 耕地存量临界警戒和耕地非农占用成本的警度修正方法初探. *地理科学*, 2002, 22(2): 166-170.]
- [19] Zhao Pengjun, Peng Jian. High efficient and intensified use of urban land and its evaluation index system. *Resources Science*, 2001, 23(5): 23-27. [赵鹏军, 彭建. 城市土地高效集约化利用及其评价指标体系. *资源科学*, 2001, 23(5): 23-27.]
- [20] Jin Jun, Xie Junqi, Wang Li, et al. The evaluation of urban land intensive use based on RS. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 775-784. [尹君, 谢俊奇, 王力, 等. 基于RS的城市土地集约利用评价方法研究. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 775-784.]
- [21] Yang Liang, Lu Yao, Zheng Huayu. Review on research of urban land carrying capacity. *Progress in Geography*, 2010, 29(5): 593-600. [杨亮, 吕耀, 郑华玉. 城市土地承载力研究进展. *地理科学进展*, 2010, 29(5): 593-600.]
- [22] Xu Lianfang, Tan Yong. Study on the land carrying capacity of resource-saving and environment-friendly development experimental area in Changzhutan megalopolis. *Economic Geography*, 2009, 29(1): 69-73. [许联芳, 谭勇. 长株潭城市群“两型社会”试验区土地承载力评价. *经济地理*, 2010, 29(1): 69-73.]

- [23] Li Ya, Ye Wen, Nan Ling, et al. The study of the capacity and suitable of land in Zhaotong Basin. Journal of Yunnan Normal University, 1999, 19(6): 66-70. [李亚, 叶文, 南凌, 等. 昭通盆地土地承载力与城市建设适宜性研究. 云南师范大学学报, 1999, 19(6): 66-70.]
- [24] Chen Dongjing, Xu Zhongmin. Study on assessment of the ecological security in the continental watersheds in Northwest China. Arid Land Geography, 2002, 25(3): 219-223. [陈东景, 徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究: 以黑河流域中游张掖地区为例. 干旱区地理, 2002, 25(3): 219-223.]
- [25] Liu Yong, Liu Youzhao, Xu Ping. Evaluation on ecological security of regional land resources: A case study of Jiaxing City, Zhejiang Province. Resources Science, 2004, 26(3): 69-75. [刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价: 浙江嘉兴市为例. 资源科学, 2004, 26(3): 69-75.]
- [26] Liang Yuzhe, Zheng Rongbao, Liu Yihua. A study on pre-warning system construction for land security. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(2): 209-214. [梁宇哲, 郑荣宝, 刘毅华. 我国土地资源安全预警体系构建初探. 水土保持通报, 2009, 29(2): 209-214.]
- [27] Zhang Rongbao, Liu Yihua, Dong Yuxiang, et al. Appraisal of land resources security in Guangzhou based on major function regionalization. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(6): 654-664. [郑荣宝, 刘毅华, 董玉祥, 等. 基于主体功能区划的广州市土地资源安全评价. 地理学报, 2009, 64(6): 654-664.]
- [28] Liu Bintao, Liu Shaoquan, Tao Heping, et al. Land resources assessment model for mountainous areas based on GIS: A case study of Liangshan Yizu Autonomous Prefecture, Sichuan Province. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(8): 1131-1140. [刘斌涛, 刘邵权, 陶和平, 等. 基于 GIS 的山区土地资源安全定量评价模型: 以四川省凉山州为例. 地理学报, 2011, 66(8): 1131-1140.]
- [29] Li Zhiguo, Yang Zisheng. Research progress of land ecological security in China. China Safety Science Journal, 2007, 17(12): 5-12. [李智国, 杨子生. 中国土地生态安全研究进展. 中国安全科学学报, 2007, 17(12): 5-12.]
- [30] Xu Mei, Zhu Xiang, Liu Chunla. Early-warning of land ecological security in Hunan province based on RBF. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(10): 1411-1422. [徐美, 朱翔, 刘春腊. 基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警. 地理学报, 2012, 67(10): 1411-1422.]
- [31] Qu Yanbo, Qi Wei, Shang Ran, et al. A study on land eco-security evaluation in mountainous area at county level based on GIS. China Land Science, 2008, 22(4): 38-44. [曲衍波, 齐伟, 商冉, 等. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价. 中国土地科学, 2008, 22(4): 38-44.]
- [32] Chen Lichun, Ran Yongkang, Wang Hu, et al. The Lushan Ms 7.0 earthquake and activity of the southern segment of the Longmenshan fault zone. Chinese Science Bulletin, 2013, 58: 1925-1932. [陈立春, 冉永康, 王虎, 等. 芦山地震与龙门山断裂带南段活动性. 科学通报, 2013, 58: 1925-1932.]
- [33] The State Council. The National Major Function Zoning. The State Council Article No.46 in 2010. [国务院. 全国主体功能区规划. 国发(2010)46号文件, 2010.]
- [34] Fan Jie, et al. Post-Lushan Earthquake Restoration and Reconstruction: Resource-environment Carrying Capacity Evaluation. Beijing: Science Press, 2014. [樊杰, 等. 芦山地震灾后恢复重建: 资源环境承载力评价. 北京: 科学出版社, 2014.]
- [35] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for seismic design of buildings. The State Standard of the People's Republic of China (GB50011-2010). 2010. [国家住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. 建筑抗震设计规范. 中华人民共和国国家标准 (GB50011-2010). 2010.]
- [36] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Legend and Color Standard for Comprehensive Engineering Geological Map. The State Standard of the People's Republic of China (GB12328-90). 1990. [国家质量监督检验检疫总局. 综合工程地质图图例及色标. 中华人民共和国国家标准 (GB12328-90). 1990.]
- [37] Xu Yong, Tang Qing, Fan Jie, et al. Available land index items and their calculation methods for Major Function Oriented Regionalization. Geographical Research, 2010, 29(7): 1223-1232. [徐勇, 汤青, 樊杰, 等. 主体功能区划可利用土地资源指标项及其算法. 地理研究, 2010, 29(7): 1223-1232.]
- [38] Research Group of National Major Function Oriented Zoning and Remote Sensing and Geographic Information Support System. Technical Regulations for Major Function Oriented Zoning at Provincial Level. 2008. [全国主体功能区划及遥感地理信息支撑系统课题组. 省级主体功能区区域划分技术规程. 2008.]
- [39] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Tentative specifications of ecological function zoning. [http://sts.mep.gov.cn/stbh/stglq/200308/t20030815\\_90755.htm](http://sts.mep.gov.cn/stbh/stglq/200308/t20030815_90755.htm), 2003. [国家环境保护部. 生态功能区划暂行规

程. [http://sts.mep.gov.cn/stbh/stglq/200308/t20030815\\_90755.htm](http://sts.mep.gov.cn/stbh/stglq/200308/t20030815_90755.htm), 2003.]

- [40] The State Council. The Overall Plan of Post-Lushan Earthquake Restoration and Reconstruction. The State Council Article No.26. 2013. [国务院. 芦山地震灾后恢复重建总体规划. 国发(2013)26号文件. 2013.]

## Appraisal of land resources security in the post-earthquake reconstruction area of Lushan earthquake

TANG Qing<sup>1,2</sup>, XU Yong<sup>1,2</sup>, DONG Xiaohui<sup>3</sup>, LI Yang<sup>4</sup>, LIU Yanhua<sup>5</sup>, SUN Xiaoyi<sup>1,2,6</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Department of Land Resources and Geomatics Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250100, China; 4. China Center for Modernization Research, CAS, Beijing 100190, China;

5. School of Economics and International Trade, Zhejiang University of Finance and Economics,

Hangzhou 310018, China; 6. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The land resources security appraisal of the post-earthquake reconstruction area is one of the fundamental tasks for resource-environment carrying capacity assessment. It could provide scientific reference for post-earthquake reconstruction. This paper takes Lushan earthquake as a case and identifies 3 factor groups including geological conditions and disaster risks, water and land resources conditions, and eco-environment as well as 8 factors. The appraisal model of land resources security in Lushan post-earthquake reconstruction area is constructed, and the land resources security at grid and administrative scales is analyzed with the aid of GIS spatial analysis technique. The results show that: the area of high safe class amounts to 2409.30 km<sup>2</sup>, accounting for 5.63% of the total land area, and it is mainly distributed on the eastern piedmont plains, which should be regarded as the first choice for reconstruction site selection; the middle safe class could be the supplementary choice of high safe class, and the low safe class needs to be selected for reconstruction with concrete protection measures; only 6 out of 21 counties in the stricken area have the land resource security index above 0.60, and all of them are located on the eastern piedmont plains; in the 6 hard-hit counties, only Mingshan has relatively high land resource security index (0.76), with 468.33 km<sup>2</sup> available land for reconstruction and relatively high available land for reconstruction per capita; Mingshan should be regarded as the preferred region for large-scale population aggregation, urbanization and industrialization development for the relocation settlements of hard-hit areas. The appraisal model developed in this study is applicable to the regions with similar geological disasters, and it could also provide reference for the studies on the regions with similar geological, topographic, resources, and environmental conditions.

**Keywords:** land resources security; post-earthquake reconstruction; geographical information system; resource-environment carrying capacity; Lushan earthquake