

# 基于灾后重建的国土空间生态优化 ——以芦山地震灾区灾后重建为例

柴慧霞<sup>1,†</sup> 饶胜<sup>1</sup> 牟雪洁<sup>1</sup> 黄琦<sup>1</sup> 王睿博<sup>2</sup>

1. 环境保护部环境规划院, 北京 100012; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; † E-mail: chaihx@caep.org.cn

**摘要** 在 GIS 支持下, 基于芦山地震灾区生态环境敏感性以及生态系统服务功能重要性评估, 研究灾区恢复生态系统功能和优化国土空间开发格局的方法, 提出灾后重建国土空间优化开发格局的方案, 指出各个区域的保护措施和发展方向。按照主要功能定位, 优化后的国土空间分为生态保护区、生态农业发展区和生态城镇复合发展区 3 个区域: 1) 芦山地震灾区生态保护区, 占区域总面积的 80.6%, 以维护生态安全为目标, 保护和恢复区域重要的生态功能, 实施生态修复; 2) 生态农业发展区, 约占区域总面积的 13.4%, 作为重要的农业生产功能区, 其主导生态功能为农产品供给保障, 同时兼具土壤保持功能; 3) 生态城镇复合发展区, 仅占区域总面积的 6.0%, 是区域城镇化和产业发展的核心区域, 应依据当地发展需求, 进行生态城镇化建设, 同时注重生态保护。

**关键词** 芦山地震灾区; 国土空间优化; 生态保护区; 生态农业发展区; 生态城镇复合发展区

**中图分类号** X321

## Ecological Optimization of Land Spatial Pattern Based on the Reconstructions: Take the Reconstructions of Lushan, Sichuan for Example

CHAI Huixia<sup>1,†</sup>, RAO Sheng<sup>1</sup>, MOU Xuejie<sup>1</sup>, HUANG Qi<sup>1</sup>, WANG Ruibo<sup>2</sup>

1. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; † E-mail: chaihx@caep.org.cn

**Abstract** Based on status assessment of ecological environment and ecological system, this paper mainly analyzed significance and sensibility of ecological functions in Lushan earthquake-hit regions. An optimization program of land spatial pattern for the reconstructions of Lushan earthquake-hit regions was proposed to restore ecosystem function and optimize land spatial pattern. It could be divided into three sub-regions, ecological reserve, eco-agriculture development area, and eco-town development area. Main results are as follows. 1) The ecological protection area is extensive in Lushan earthquake-hit regions, accounting for 80.6% of the total area. In ecological protection area, the protection goal is to maintain ecological security by protect important ecological functions and carry out ecological restoration. 2) The eco-agriculture development area accounts for 13.4% of the total area. As an important agricultural production function zone, the dominant ecological function of this area is to provide safeguard for supply of agricultural products. It also needs providing guarantee of soil conservation function. 3) The eco-town development area only accounts for 6.0% of the total area. This area is the core region of regional urbanization and industrial development. On the premise of protecting ecological, the reconstructions direction is to

construct the ecological city through optimization industrial structure and distribution.

**Key words** Lushan earthquake-hit regions; ecological optimization of land spatial pattern; ecological reserve; eco-agriculture development area; eco-town development area

生态文明建设的核心是生态重建<sup>[1]</sup>，首要任务是优化国土空间开发格局<sup>[2]</sup>。加强自然生态系统保护、保障生态功能是规范国土空间开发秩序、优化国土空间开发格局的重要举措<sup>[3]</sup>，也是大力推进生态文明建设的重要内容。近年来，地震灾害频发，据国家地震台网发布的数据，自2013年以来，中国大陆境内共记录6.0级以上地震9次，分别发生在云南(3次)、新疆(2次)、四川(2次)、西藏(1次)和甘肃(1次)。当前，对生态文明建设研究较多，对受灾地区的灾后重建与生态文明建设研究较弱。因此，加强灾区生态系统恢复及灾后重建的研究，既能改善灾区生态环境，协调自然生态系统与社会经济系统的关系，实现灾区的可持续发展，又能落实国家生态文明建设的要求。

良好的生态环境是社会经济发展的重要载体<sup>[4]</sup>。2013年4月20日发生的芦山地震(简称“4·20”芦山地震)，灾区生态国土比重很大，坡度大于25°的国土面积约占56%，重点生态功能区国土面积高达62%，适宜重点开发的国土面积十分有限<sup>[5]</sup>。“4·20”芦山地震后，很多研究人员对灾区的地质灾害发育规律<sup>[6]</sup>、次生灾害的风险性<sup>[7-10]</sup>、山地灾后分布特征及成因<sup>[11]</sup>等进行分析研究，为灾区救援与重建过程中次生地质灾害的防范提出对策建议。但是，对灾后重建<sup>[12]</sup>的研究不多。由于“4·20”芦山地震对灾区脆弱的山地生态系统产生了重要影响，不仅威胁到区域生态安全，还对社会经济发展造成阻碍。因此，芦山地震灾区的科学重建应遵从“以人为本、尊重自然、统筹兼顾、立足当前、着眼长远”的原则。

国内外在生态系统服务功能和生态环境敏感性评价方面已开展了大量研究，取得较大进展<sup>[13-17]</sup>。这些研究大多采用数学建模、GIS空间分析等方法，主要着眼于在大区域、大尺度的自然因素条件下，评估生态系统服务功能价值量、物理量以及生态要素的变化(人为破坏或者自然演化)对区域生态环境产生的各种影响及其影响程度。这些研究不仅为区域生态环境协调发展提供了依据，也给我国学者进行生态系统服务功能和生态环境敏感性研究提供了重要参考。但是，这些研究在不同程度上存在

一定的局限性：1)多集中在对单一生态系统服务功能重要性<sup>[18-20]</sup>、生态环境要素敏感性<sup>[21-23]</sup>的分析，关于生态环境敏感性的综合研究较少；2)多针对国家尺度<sup>[24-25]</sup>或省级尺度<sup>[26-27]</sup>，对县域尺度的研究较少；3)缺乏灾区生态环境敏感性<sup>[28]</sup>、生态系统服务功能<sup>[29]</sup>重要性的综合研究，多是关于灾害危险性评价研究<sup>[9,30]</sup>。

生态环境敏感性和生态服务功能重要性评价的一般方法是先确定评价内容，敏感性评价的主要内容有土壤侵蚀、沙漠化、盐渍化、石漠化和酸雨，服务功能主要内容有生物多样性、水源涵养、土壤保持、沙漠化控制、营养物质、海岸带防护等，然后采用GIS空间分析方法对多个因子进行综合分析。应用GIS空间分析方法和地理信息系统技术，构建重要性、敏感性评价指标和评价模型进行生态系统服务功能重要性、生态环境敏感性评价，具有可操作性和结果的可靠性。由于各个区域的地理条件、气候、生物多样性复杂程度、人为干扰程度等影响因素差异较大，不同地方的评价都有各自的侧重点。

在此背景下，本文通过评估芦山地震灾区生态环境现状、生态系统服务功能以及生态环境敏感性，研究灾区恢复生态系统功能和优化国土空间开发格局的方案，为把芦山灾区建成“全国灾区生态重建和生态文明建设的示范区”提供科学支持。在此基础上，构建灾区节约资源、保护环境的国土空间开发格局，对灾后重建工作的有效实施以及灾后区域经济的可持续发展具有重要的现实意义。

## 1 区域概况

本文以“4·20”特大地震受灾最严重的区域，也是灾后恢复重建的重点地区，作为研究区，主要包括位于雅安市北部的芦山、宝兴和天全三县，区域总面积约6872 km<sup>2</sup>，总人口仅33.4万(2012年)。该区域位于成都平原向西藏高原的过渡地带，地处邛崃山、夹金山、大相岭等山脉的夹角处，属于岷江水系青衣江上游，整体区位优势潜力明显，是成都经济圈发展辐射与带动的重点地区<sup>[4]</sup>。区内群山屹立，沟壑纵横，降水丰沛，切割强烈，江河密布；地

势西北高、东南低,相对高差大(4597 m);山地面积大,山间、河谷平地面积小。大部分地区坡度大于 15°,仅在东南部有小部分的平原区(图 1)。

该区域属我国陆地生物多样性的关键区之一,是四川大熊猫栖息地(世界自然遗产)的核心区域,为大熊猫模式种的发现地,分布有 1 个世界自然遗产(四川大熊猫选择栖息地)、4 个自然保护区、2 个国家森林公园和 1 个风景名胜区。“4·20”地震致使研究区部分区域地表植被破坏严重,形成许多新生裸地。由于该区域山高坡陡,又是“华西雨屏”的多雨区,新生裸地加剧了水土流失,削弱了区域生物多样性保护、水源涵养、水土保持等生态系统功能。由此次地震引发的山体松动、滑坡等原生或次生地质灾害,致使森林、草地生态系统破坏严重,林地、林木受损 493 km<sup>2</sup>,草原(地)受损 153 km<sup>2</sup><sup>①②</sup>。因此,灾后重建工作中,生态系统修复与恢复面临的压力较大。

## 2 数据与方法

### 2.1 主要数据

本研究搜集了以 2012 年为基准年的芦山地震灾区的栅格、矢量和纸质格式的各类数据,部分容易获取的数据时限扩大至 2009—2013 年。研究中用到的主要数据如下。

1) 地形数据。利用 Srtm-DEM 数据,运用地理信息系统空间分析技术,获取海拔、坡度数据。Srtm-DEM 为美国实施的“航天飞机雷达地形测量计划”(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM, <http://srtm.csi.cgiar.org>)对全球 60°N—56°S 之间的高精度高程格网数据,采样格网大小为 90 m。

2) MODIS 数据。由美国对地观测系统的 LPDAAC (<http://wist.echo.nasa.gov/api/>)免费提供,空间分辨率为 500 m。利用 MODIS 数据,计算研究区的 NPP。

3) 土地利用数据。包括研究区土地利用现状数据、规划数据(十年遥感调查项目提供 2000,

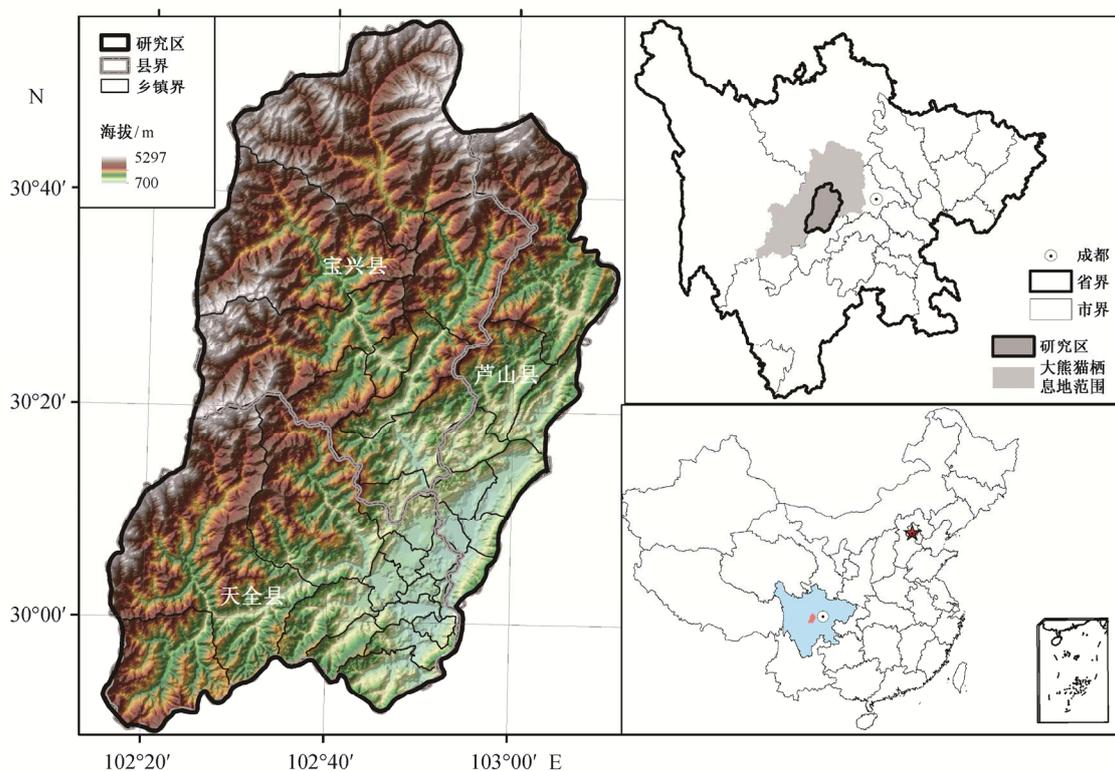


图 1 研究区域  
Fig. 1 Study area

① 四川省环境保护厅. 建设芦山灾区国家生态文明示范区的研究报告, 2013

② 四川省人民政府办公厅. 芦山地震灾后恢复重建生态环境修复专项规划, 2013

2005 和 2010 年三县土地利用现状矢量数据；芦山、天全、宝兴三县国土部门提供其他数据)。

4) 研究区现有保护地分布数据。主要搜集了截至 2012 年研究区现有保护地数据,包括自然保护区、森林公园、风景名胜区等,以及研究区生态县相关规划数据。

5) 灾后重建相关数据资料,主要包括《四川省芦山“4·20”7.0 级强烈地震生态环境影响初步评估报告》,芦山、天全、宝兴受灾情况调查数据,芦山地震灾后恢复重建生态环境修复专项规划,等等。

## 2.2 研究方法

早期的国土空间格局生态优化,多以土地利用数量结构的生态优化为主<sup>[31]</sup>,随着景观生态学的发展以及生态安全意识的提高,逐渐转变为结合地域功能<sup>[32]</sup>、考虑区域生态安全的土地利用格局优化<sup>[33-34]</sup>。因此,本研究拟从生态系统功能和生态环境敏感性两个层面,评估芦山地震灾区生态系统现状,研究灾区恢复生态系统功能和优化国土空间开发格局的方法与途径,提出灾区灾后重建的国土空间开发格局。

### 2.2.1 生态环境敏感性评价

生态环境的敏感性受自然和人文因素的双重影响。陆地生态敏感性评价主要包括水土流失敏感性评价、土地沙化敏感性评价和石漠化敏感性评价等,评价方法各有不同。当前广泛应用的是综合指数法、图层叠置法等综合评价方法<sup>[35]</sup>。秦贤宏等<sup>[36]</sup>认为,单因子定性分级和多因子空间叠加的方法能更好地反映复杂地貌区域生态敏感区的综合分异规律。

芦山地震灾区存在的环境问题,突出表现在水土流失严重、自然灾害频繁。自然灾害主要为气象灾害和地质灾害,以旱灾、洪灾、泥石流、滑坡为主。针对研究区存在的上述特征,本文选择以水土流失敏感性为代表,对区域生态环境敏感性进行分析。同时,由于芦山地震灾区属于我国陆地生物多样性的关键区之一,是世界自然遗产四川大熊猫栖息地的核心区域,本研究还对该区域的生境敏感性进行分析和研究。将水土流失敏感性和生境敏感性的综合评价结果做为评估芦山地震灾区生态环境敏感性的指标。

1) 水土流失敏感性评价方法。根据《生态功能区划暂行规程》<sup>①</sup>(以下简称《规程》)的要求,参考《生态保护红线划定技术指南》<sup>②</sup>(以下简称《指南》),结合搜集到的研究区数据资料,选取降水、地形、地貌、植被与土壤质地等评价指标,按照不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感 5 个敏感性等级,对不同评价因子赋值。将反映各因素对水土流失敏感性的单因子评价数据,用地理信息系统技术进行乘积运算,形成芦山地震灾区的土壤侵蚀敏感性分区。

2) 生境敏感性评价方法。主要参照《规程》的要求,根据生境物种丰富度,分析规划区国家与省级保护对象的数量与等级,划分芦山地震灾区生境敏感区。芦山地震灾区的生境敏感性主要考虑受保护的国土区域,包括国家级、省级和市级自然保护区、国家森林公园以及风景名胜区。

### 2.2.2 生态系统服务功能重要性评价

目前生态系统服务功能采用的评价方法主要有模型评价法<sup>[37]</sup>、NPP 定量指标评价法、物质量评估方法<sup>[38]</sup>和样地调查方法<sup>[39]</sup>等,《指南》推荐的是模型评价和 NPP 定量指标法。模型评价法所需参数较多,对数据需求量较大,准确度较高;定量指标法以 NPP 数据为主,参数较少,操作较为简单,但其适用范围具有地域性,精度相对于模型评价方法较低。

根据《雅安市生态规划》、《芦山生态县规划》、《天全生态县规划》、《宝兴生态县规划》以及对研究区的生态系统状况分析,重点从生物多样性维持功能和水源涵养功能两个方面划分出芦山地震灾区生态系统服务功能重要区域。参考《指南》,结合《四川省芦山“4·20”7.0 级强烈地震生态环境影响初步评估报告》以及芦山、天全、宝兴受灾情况调查数据等资料,分析区域生态环境特点以及空间分布特征,选用 NPP 定量指标评价法,运用空间分析方法,分别对该区域生物多样性保护功能、水源涵养功能重要性进行评价,划分出极重要、高度重要、中度重要、轻度重要和不重要 5 个等级,作为优化国土空间开发分区的评估依据。

1) 水源涵养服务功能重要性评价方法。以生态系统水源涵养服务能力指数作为评价指标,计算

① 环境保护部. 生态功能区划暂行规程, 2003

② 环境保护部. 生态保护红线划定技术指南, 2015

公式为

$$WR = NPP_{mean} \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo}),$$

WR 为生态系统水源涵养服务能力指数;  $NPP_{mean}$  为评价区域多年生态系统净初级生产力平均值;  $F_{slo}$  为根据最大最小值法归一化到 0~1 之间的评价区域坡度栅格图(利用地理信息系统软件, 由 DEM 计算得出);  $F_{sic}$  为土壤渗流能力因子, 根据土壤质地类型由黏土到砂土分别在 0~1 之间均等赋值得到, 砂土为 1;  $F_{pre}$  为由多年(大于 30 年)平均年降水量数据插值, 并归一化到 0~1。

2) 生物多样性保护功能重要性评价方法。以生物多样性保护服务能力指数作为评价指标, 计算公式为

$$S_{bio} = NPP_{mean} \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1 - F_{alt}),$$

$S_{bio}$  为生物多样性保护服务能力指数;  $NPP_{mean}$  和  $F_{pre}$  参数的计算方法同上;  $F_{tem}$  为气温参数, 由多年(10~30 年)平均气温数据插值获得, 得到的结果归一化到 0~1;  $F_{alt}$  为海拔参数, 由评价区海拔进行归一化获得。

### 2.2.3 国土空间优化方法

国土空间的优化方案, 主要对生态环境敏感性和生态功能重要性评价的结果进行空间叠加分析, 运用 GIS 的空间分析功能, 结合实地调研情况, 提出研究区的空间优化布局方案, 技术路线见图 2。

## 3 国土空间优化方案

依据国务院印发的《芦山地震灾后恢复重建总体规划》, 参考《雅安市生态规划》, 结合研究区生态环境敏感性和生态功能重要性评价结果, 明确区域生态文明建设空间布局, 提出国土空间优化方案(图 3(a)), 构建节约资源、保护环境的国土空间开发格局。各属性要素分级之间有冲突时, 遵循“就高不就低”原则。

为避免分区过于零散, 保证空间分区成片, 便于落地管理, 选择以乡镇为边界, 制定区域生态文明建设分区方案(图 3(b)), 将区域划分为生态保护区、生态农业发展区和生态城镇复合发展区 3 个区域, 根据保护重要性等级, 生态保护区内又划分出生态保护极重要区、重要区和一般区, 具体范围见表 1。

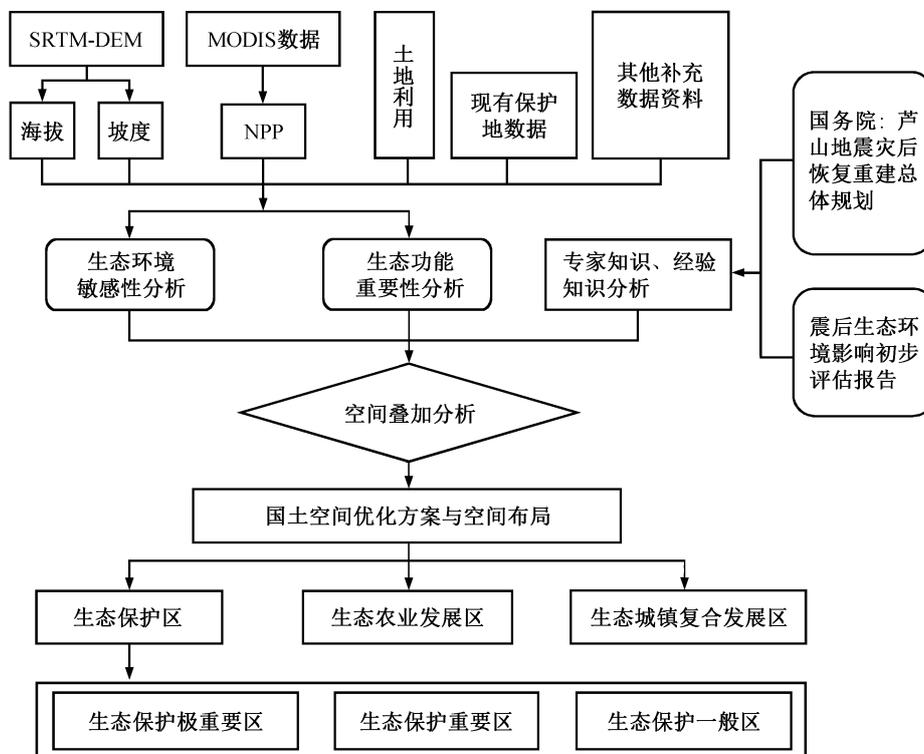


图 2 空间优化方法与技术路线

Fig. 2 Methods and techniques of land spatial optimization

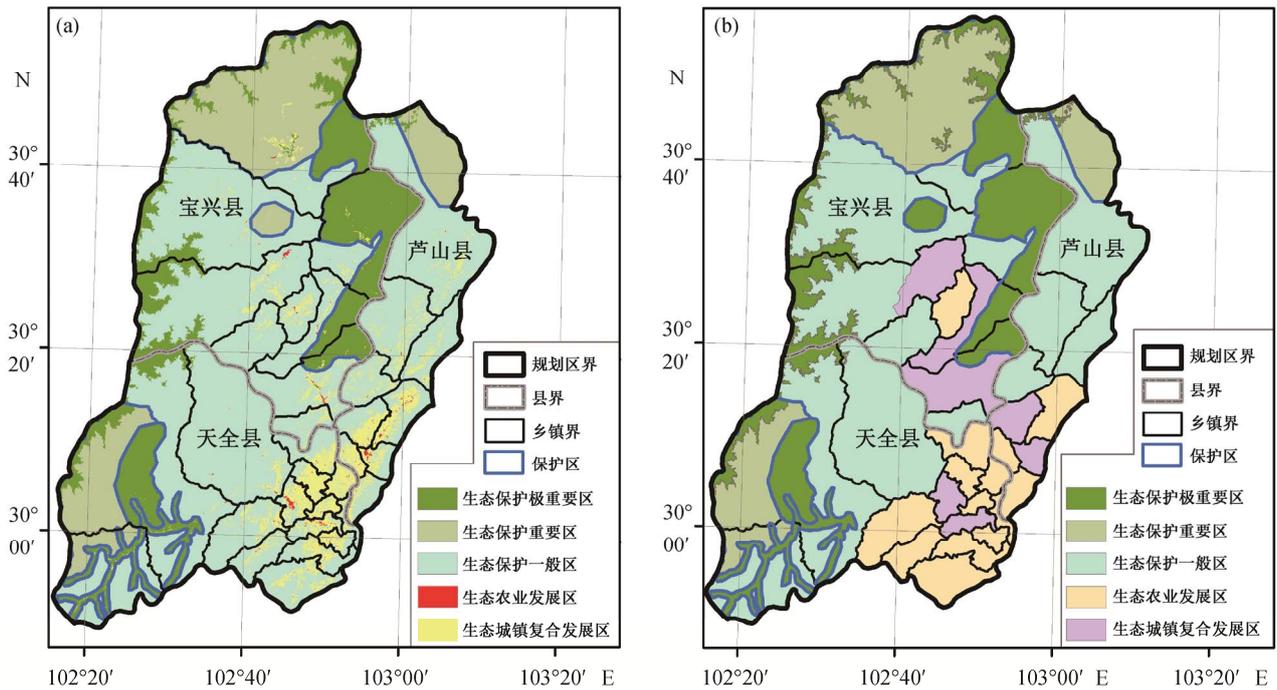


图3 芦山地震灾区国土空间优化分区  
Fig. 3 Regionalization of land spatial optimization in study area

表1 芦山地震灾区国土空间分区  
Table 1 Land spatial division in study area

空间分区	范围	面积/km <sup>2</sup>
生态保护区	极重要区 天全县: 两路乡、紫石乡; 宝兴县: 陇东镇、永富乡、硃碛藏族乡、蜂桶寨乡、穆坪镇东部、灵关镇北部; 芦山县: 大川镇北部边缘	1333.2
	重要区 天全县: 两路乡、紫石乡; 宝兴县: 硃碛藏族乡; 芦山县: 大川镇东北部	1085.1
	一般区 天全县: 两路乡、紫石乡、小河乡; 宝兴县: 大溪乡、明礼乡、陇东镇、永富乡、硃碛藏族乡、蜂桶寨乡; 芦山县: 大川镇、太平镇、宝盛乡、双石镇	3118.3
生态农业发展区	天全县: 兴业乡、鱼泉乡、思经乡、新场乡、乐英乡、多功乡、大坪乡、新华乡、仁义乡、老场乡; 芦山县: 飞仙关镇、思延乡、龙门乡; 宝兴县: 五龙乡	920.3
生态城镇复合发展区	天全县: 城厢镇、始阳镇; 芦山县: 清仁乡、芦阳镇; 宝兴县: 灵关镇、陇东镇东部、穆坪镇	416.1

### 3.1 生态保护区

生态保护区主要分布在研究区北部、西部和南部地区的夹金山、邛崃山、二郎山等区域, 包括世界自然遗产、自然保护区、风景名胜区、国家森林公园等, 面积比例为 80.6%。根据生态服务功能重要性、生态环境敏感性/脆弱性以及生物多样性等, 生态保护区进一步划分为生态保护极重要区、重要区和一般区。

#### 3.1.1 生态保护极重要区

生态保护极重要区面积为 1333.2 km<sup>2</sup>, 占区域总面积的 19.4%。包括四川蜂桶寨国家级自然保护

区、天全河珍稀鱼类自然保护区、喇叭河自然保护区、宝兴河自然保护区等各级自然保护区、生态功能极重要区和生态环境极敏感区, 主要分布在芦山县大川镇北部边缘, 宝兴县的硃碛藏族乡东-北-西部、永富乡中西部、陇东镇的西部、蜂桶寨乡、穆坪镇东部以及灵关镇北部, 天全县紫石乡的中西部和北部地区。

#### 3.1.2 生态保护重要区

生态保护重要区, 面积为 1085.1 km<sup>2</sup>, 约占区域总面积的 15.8%。包含二郎山国家森林公园、二郎山风景名胜区、夹金山国家森林公园和大雪峰-

灵鹫山风景名胜区以及生态功能重要区、生态环境高度敏感区。主要分布在天全县紫石乡和两路乡的西部,芦山县的大川镇东北部以及宝兴县的硃碛藏族乡。

### 3.1.3 生态保护一般区

生态保护一般保护区面积为 3118.3 km<sup>2</sup>, 约占区域总面积的 45.4%, 主要包括生态功能一般区和生态环境不敏感/中度敏感区。该区域空间分布广, 芦山县的大川镇、太平镇、宝盛乡、双石镇, 天全县的小河乡、紫石乡和两路乡, 以及宝兴县的大溪乡、穆坪镇、明理乡、陇东镇、永富乡和硃碛藏族乡, 都属于生态保护一般区。

## 3.2 生态农业发展区

在生态保护区划分基础上, 结合区域经济社会发展规划和发展需求, 将耕地面积占乡镇面积 1/4 以上的乡镇划分为生态农业发展区, 本区面积为 920.3 km<sup>2</sup>, 约占区域总面积的 13.4%, 集中分布在天全县的 10 个乡镇, 芦山县的 4 个乡镇以及宝兴县的五龙乡。

## 3.3 生态城镇复合发展区

结合灾后重建总体规划, 将人口集聚区面积大于 0.5 km<sup>2</sup> 的乡镇划分为生态城镇复合发展区, 本区面积 416.1 km<sup>2</sup>, 约占区域总面积的 6.0%, 主要指天全县的城厢镇、始阳镇, 芦山县的芦阳镇以及宝兴县的灵关镇、陇东镇东部、穆坪镇西部。

# 4 保护措施与发展方向

## 4.1 生态保护区

该区域以维护生态安全为目标, 保护和恢复区域重要的生态功能, 提高生态产品供给能力, 明确自然生态系统恢复重建和保护措施。严格控制人为因素对自然生态和自然遗产原真性、完整性的干扰, 实施生态修复, 提高水源涵养、水土保持和生物多样性功能, 适度发展生态旅游和林下经济。

### 4.1.1 生态保护极重要区

加强生态系统灾后恢复, 修复地震损毁植被, 严厉禁止任何人类活动干扰, 严禁擅自改变生态保护极重要区土地用途, 禁止开山、采石、采砂、采土以及其他形式的林地破坏行为。加强自然保护区管护能力建设和饮用水水源保护地管理, 严格按照国家自然保护区管理条例和饮用水源保护区管理规定进行保护, 确保污染物“零排放”。严格禁止工程项目、生产型企业进入该区域, 不新建铁合金、铁

矿、化学矿、火电、钢铁、石化、水泥、有色、化工等重污染项目和燃煤锅炉等新增大气污染物排放的设施。推动坡度大于 15° 的耕地退耕还林还草。积极实施人口退出政策, 鼓励、引导现有人口向周边的县城和中心镇集聚。

### 4.1.2 生态保护重点区

严格限制城镇化与工业化进程, 严格限制新增建设用地。加强生态环境质量监控, 坚决杜绝生态质量下降现象, 确保生态保护重要区生态环境质量改善和提高。以保护为主, 严格禁止不利于区域生态环境保护的各项资源开发活动, 禁止高污染、重破坏的产业开发, 适度合理开发生态旅游。继续推进天然林保护工程、小流域综合治理工程的建设, 改善野生动物栖息地环境, 保护珍稀濒危野生动物、植物。制定并严格执行产业准入政策。

### 4.1.3 生态保护一般区

限制大规模的城镇化与工业化进程, 禁止工业用地增长。加强生态环境质量监测, 维护生态环境质量不降低。全面修复大熊猫栖息地生境, 恢复和保育栽植多种大熊猫主食竹。加大水资源保护力度, 实行全面节水, 满足生态用水需求。积极推进退耕还林进程, 加强水土保持和生态环境修复与保护, 提高水源涵养、水土保持和生物多样性功能。适度发展生态旅游和林下经济, 构建大熊猫生态旅游区、茶马古道历史文化旅游带、川西民俗文化旅游带等, 建设文化旅游特色小镇, 开发生态观光、历史文化、乡村休闲度假等旅游产品, 有条件的地方积极发展休闲养生产业。适度发展符合区域生态保护要求的生态农业, 支撑县域经济发展。

## 4.2 生态农业发展区

作为重要的农业生产功能区, 其主导生态功能为农产品供给保障, 同时兼具土壤保持功能。

重点是加大农田生态系统的保护, 恢复重建受损农田、农业大棚等农业生产设施, 做好耕地、特别是基本农田的修复, 尽可能复耕已损毁耕地, 整理复垦严重和轻微毁损农用地。结合各县的农业规划, 建设粮油、茶叶、特色果蔬、药材、经济林等特色生态农业园区或基地, 推广附加值高的种植、养殖品种。坡度大于 25° 的地方, 必须严格执行国家退耕还林还草政策。在龙门乡、五龙乡等人口相对较集中的乡镇, 要严格控制建设用地规模, 控制城镇发展规模, 对已有污染排放的企业尽快实施改造、搬迁或者关闭。

### 4.3 生态城镇复合发展区

作为区域城镇化和产业发展的核心区域,重点依据当地发展需求,进行生态城镇化建设,同时注重生态保护,大力发展特色农产品加工,加快旅游业和物流业发展,结合灾后重建产业结构升级和布局调整,因地制宜地发展低能耗、低排放、高附加值的环境友好型产业,推进节能减排,发展循环经济,实现绿色低碳发展。

重点建设“生态县城—重点生态中心镇—生态村—生态居住区”的三级生态城镇网络体系,强化集聚人口和产业的功能,提高综合承载能力,城镇周边和丘陵平坝地区的村庄适度集中,山区村庄宜散则散、宜聚则聚,形成芦山地震灾区具有地方民俗风情的人居环境。

## 5 结语

地震给研究区生态环境带来严重破坏,特别是对山地生态系统影响较大,削弱了区域生态系统服务功能,对区域生态安全和社会经济发展均造成危害。本文在 GIS 支持下,通过评估芦山地震灾区生态系统服务功能、生态环境敏感性,提出灾区灾后重建的国土空间优化方案,指出各个区域保护措施和发展方向。依据“以人为本、尊重自然、统筹兼顾、立足当前、着眼长远”的重建原则,芦山地震灾区的恢复重建,应将建设生态文明的和谐新家园作为重建的重要任务。灾后重建的另一项重要任务是恢复地表植被,维护灾区生态系统功能,保证区域生态安全,优化国土空间格局。

需要注意的是,生态系统服务功能重要性和生态环境敏感性的评价结果,易受以下两个方面的影响:1)数据精度和研究尺度,对评价结果的影响较大,不同数据源、不同研究尺度评价的结果会有出入;2)评价结果落实到国土空间上时,要尽量与现有规划相衔接,否则会对最终的空间格局造成一定影响。因此,在具体实践过程中,还需结合实际情况和需求进行完善。

### 参考文献

- [1] 张新时. 生态重建是生态文明建设的核心. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(3): 221-222
- [2] 樊杰. 主体功能区战略与优化国土空间开发格局. 中国科学院院刊, 2013, 28(2): 193-206
- [3] 肖金成, 申兵. 我国当前国土空间开发格局的现状、问题与政策建议. 经济研究参考, 2012(31): 15-26
- [4] 邓玲, 李晓燕. 汶川地震灾区生态环境重建及对策. 西南民族大学学报: 人文社会科学版, 2009(3): 11-15
- [5] 邓伟, 刘颖, 唐伟, 等. “4·20”芦山地震灾区重建综合发展能力的构建. 山地学报, 2013, 31(5): 610-615
- [6] 田述军, 孔纪名, 樊晓一, 等. 芦山地震灾区地震前后地质灾害发育规律与对比. 山地学报, 2014, 32(1): 111-116
- [7] 兰恒星, 周成虎, 高星, 等. 四川雅安芦山地震灾区次生地质灾害评估及对策建议. 地理科学进展, 2013, 32(4): 499-504
- [8] 丁明涛, 程尊兰, 王青. “4·20”芦山地震灾区次生山地灾害易发性评价. 山地学报, 2014, 32(1): 117-123
- [9] 丁明涛, 庙成. 基于 GIS 的芦山地震灾区滑坡灾害风险评价. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 81-90
- [10] 王骏, 丁明涛, 庙成, 等. 基于 GIS 和 AHP 的芦山地震灾区泥石流危险性评价. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1580-1587
- [11] 庙成, 丁明涛, 王骏, 等. 芦山地震灾区次生山地灾害分布特征及其成因分析. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1572-1579
- [12] 邓伟, 刘颖, 唐伟, 等. “4·20”芦山地震灾区重建综合发展能力的构建. 山地学报, 2013, 31(5): 610-615
- [13] Muzik I. Sensitivity of hydrologic systems to climate change. *Canadian Water Resources Journal*, 2001, 26(2): 233-252
- [14] Schiller H, Bernem C V, Krasemann H L. Automated classification of an environmental sensitivity index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 110: 291-299
- [15] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576
- [16] Ninan K N, Inoue M. Valuing forest ecosystem services: case study of a forest reserve in Japan. *Ecosystem Services*, 2013(5): 78-87
- [17] McPhearson T, Kremer P, Hamstead Z A. Mapping ecosystem services in New York City: applying a social-ecological approach in urban vacant land. *Ecosystem Services*, 2013(5): 11-26
- [18] 闫人华, 高俊峰, 黄琪, 等. 太湖流域圩区水生态系统服务功能价值. 生态学报, 2015, 35(15): 5197-5206
- [19] 陈爽, 马安青, 李正炎. 大辽河口水生态系统服务功能重要性评价. 中国海洋大学学报, 2012, 42(9):

84-89

- [20] 苗李莉, 蒋卫国, 王世东, 等. 基于遥感和 GIS 的北京湿地生态服务功能评价与分区. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 102-108
- [21] 刘康, 徐卫华, 欧阳志云, 等. 基于 GIS 的甘肃省土地沙漠化敏感性评价. 水土保持通报, 2002, 22(5): 29-35
- [22] 肖荣波, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析. 生态学杂志, 2005, 24(5): 551-554
- [23] 凡非得, 王克林, 熊鹰, 等. 西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征. 生态学报, 2011, 31(21): 6353-6362
- [24] Hornung M, Bull K R, Cresser M et al. The sensitivity of surface waters of Great Britain to acidification predicted from catchment characteristics. *Environmental Pollution*, 1995, 87: 207-214
- [25] Mitsch W J, Lu Jianjian, Yuan Xingzhong, et al. Optimizing ecosystem services in China. *Science*, 2008, 322: 528-528
- [26] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价. 中国环境科学, 2015, 35(2): 591-598
- [27] 李东梅, 吴晓青, 于德永, 等. 云南省生态环境敏感性评价. 生态学报, 2008, 28(11): 5270-5278
- [28] 徐天献, 王玉宽, 傅斌. 汶川地震重灾区土壤侵蚀敏感性评价. 中国水土保持, 2011(1): 37-42
- [29] 徐卫华, 欧阳志云, 王学志, 等. 汶川地震重灾区生态保护重要性评价与对策. 生态学报, 2008(12):

5820-5825

- [30] 张建强, 范建容, 严冬, 等. 地震诱发崩塌滑坡敏感性评价. 四川大学学报, 2009, 41(3): 140-145
- [31] 张惠远, 王仰麟. 土地资源利用的景观生态优化方法. 地学前缘, 2000, 7(增刊 1): 112-120
- [32] 唐常春, 樊杰, 陈小良. 基于地域功能的土地利用协调研究: 以长株潭生态绿心暮云镇为例. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1646-1655
- [33] 蒙吉军, 燕群, 向芸芸. 鄂尔多斯土地利用生态安全格局优化及方案评价. 中国沙漠, 2014, 34(2): 590-596
- [34] 蒙吉军, 朱利凯, 杨倩, 等. 鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建. 生态学报, 2012, 32(21): 6755-6766
- [35] 李平星, 樊杰. 基于 VSD 模型的区域生态系统脆弱性评价: 以广西西江经济带为例. 自然资源学报, 2014, 29(5): 779-788
- [36] 秦贤宏, 陈雯, 段学军, 等. 复杂地貌区域生态敏感区综合评价与保护对策: 以广西钦州市为例. 自然资源学报, 2013, 28(4): 608-617
- [37] 李月臣, 刘春霞, 闵婕, 等. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价. 生态学报, 2013, 33(1): 168-178
- [38] 董川永, 高俊峰. 太湖流域西部圩区陆地生态系统维持和调节功能量化评估. 自然资源学报, 2014, 29(3): 420-430
- [39] 马维伟, 王辉, 王跃思, 等. 甘南尕斯泥炭沼泽地退化过程土壤特征和水源涵养功能的变化. 自然资源学报, 2014, 29(9): 1531-1541