

不同地震烈度对灾区景观生态破坏程度的评价

张春敏, 王根绪*

(中国科学院 山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要:利用地震前后的遥感资料和区域基础数据,结合地震对区域景观生态的破坏特征,分析地震前后景观生态系统过程变化以及不同地震烈度下的景观生态异质性。从景观稳定性和景观异质性出发,运用层次分析法,建立景观生态破坏评价的指标体系,对不同地震烈度下区域景观生态破坏程度进行评价,得出以下结论:(1)地震使大面积林地、耕地和草地破坏,山体滑坡、崩塌严重,裸地、裸岩面积大量增加。在大于IX级烈度区域,地震后,有林地和耕地面积减少了458.48km²和91.16km²,裸地(岩)面积增加了496.23km²。(2)通过对IX级以上地震区的景观格局指标分析得出:地震前,区域整体的景观生态的多样性、均匀性、景观破碎度和优势度值均反映出区域的生态系统较为脆弱,地震造成了明显的景观空间异质,加速了生态环境退化。(3)运用层次分析法,从景观稳定性和景观异质性两个方面对不同烈度下景观生态破坏进行评价。得出:IX、X和XI级地震烈度区域景观生态破坏程度综合值为0.42、0.66和0.80,即中度破坏、重度破坏和极度破坏。根据以上综合分析得出,VIII级地震区域应属于轻微破坏级,建议“5.12”汶川大地震灾害生态环境恢复重建工作应重点考虑IX级以及IX级以上区域。

关键词:汶川大地震;景观格局;生态破坏;指标体系

文章编号:1000-0933(2008)12-5938-10 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Evaluation on the impacts of the Wenchuan Earthquake on ecological spatial pattern in landscape scale

ZHANG Chun-Min, WANG Gen-Xu*

Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS&MWC, Chengdu 610041, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5938 ~ 5947.

Abstract: This paper is based on two periods of landscape type maps derived from remote sensed data and basic data, according to the present and characteristics of the landscape ecosystems in regions before and after the 5.12 Wenchuan Earthquake. The paper analyzed the process of change in the landscape ecosystem and heterogeneity in landscape ecology with different earthquake intensity. In order to evaluate the extent of damaged landscape ecology, and by means of Analytical Hierarchy Process (AHP), a synthetically index system from two aspects of landscape-stability and heterogeneity was established. The main results are the following: (1) Large scale of woodland, farmland and grassland were damaged by the Wenchuan Earthquake; landslides and collapses took place, this caused a great number of bare land and bare rock that emerged after the disaster. The change area where earthquake of $M \geq 9$ of woodland and farmland reduced by 458.48km² and 91.16 km² respectively. The bare land area and bare rock region increased by 496.23km², and the range ability related to 947.51%. In the IX level region, relatively lighter influence acts on landscape change, and the variation ranges are all

基金项目:中国科学院百人计划资助项目(2005年度);国家自然科学基金资助项目(No.40730634)

收稿日期:2008-11-07;修订日期:2008-12-02

作者简介:张春敏(1983~),男,重庆人,博士生,主要从事宏观生态水文学研究. E-mail: chunminzhang@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanggx@imde.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Hundred Talents Project of CAS (2005) and The National Natural Science Foundation of China (No. 40730634)

Received date:2008-11-07; **Accepted date:**2008-12-02

Biography: ZHANG Chun-Min, Ph. D. candidate, mainly engaged in macro eco-hydrology. E-mail: chunminzhang@163.com

below 2% , the ecosystem is slightly damaged. On the contrary, in the tenth seismic intensity region, damages on the ecosystem are more obvious, and the bare land and bare rock in this region increased by 126.17km^2 , it is about 7 times contrast to previous status. However, in the eleventh seismic intensity region, where the centre of that hazard earthquake stay, it heavily damaged the ecosystem, and it manifested as obviously change of all vegetation types. The bare land area increased by 334.47km^2 , for instance, and that is 29.34 times to the earliest situation. All of woodland, grassland and farmland are likewise decreased by 308.04km^2 , 14.36km^2 . (2) On the analysis of landscape indexes which belong to beyond IX level region show that the ecosystem is originally fragile. The ecosystem's fragility is reflected by its diversity, homogeneity, fragmentation degree and dominance of local landscape ecosystem. But every target showed that the degeneration of environment and spatial heterogeneity, evidently, after quake. (3) Referring to Sturges' evaluation criterion, the landscape stability and the variability, integrated score of each landscape ecological damage region are 0.42, 0.66 and 0.80, separately; and the corresponding destruction can be defined as moderate damage, severe damage and awful damage. In another words, the integrated score of the eighth seismic intensity region should be below 0.4, and should belong to the slightly damaged level. Owing to the overall merit, after-disaster of the '5.12' Wenchuan Earthquake, reconstruction and reconstruction projects should focus mainly on the ninth and above seismic intensity regions.

Key Words: Wenchuan Earthquake; landscape pattern; landscape ecology destroy; index system

频繁的突发性自然灾害造成巨大人力、物力、财产损失,严重影响经济社会的发展和技术的进步,已成为人类面临的真正威胁^[1,2]。因此,对突发性自然灾害的研究及减灾对策已成为全球关注的热点问题^[3,4]。从联合国国际灾害救助组织(UNDRO)成立、“国际减轻自然灾害十年”(IDNDR)决议通过,对突发性自然灾害的研究引起了广泛的重视^[1],近40年来,对突发性自然灾害的研究已取得丰硕的成果^[5,6],研究内容广而深,有效地将自然科学与技术科学、社会学和经济学相结合,形成了对某一灾害或某一地区灾害研究的系统理论和一系列有机配合的防灾、救灾和抗灾技术系统。其中,地震、洪涝等灾害对生态环境的影响已成为研究的焦点^[7~9],并且从生态安全重要性、基本概念、评估、内容与理论基础等多层面开展了大量的研究^[11,12]。在研究方法上,遥感技术以其快速、实时、准确、周期短等优势,在洪水、海啸、森林火灾、地震、火山作用等监测中的广泛应用且成果显著,已成为突发性灾害预防和重要手段^[13~15]。发生在龙门山断裂带上的“5.12”汶川大地震是一个严重的突发性自然灾害,地震活动引起区域大量山体不同程度的滑坡、崩塌和错位;造成原有景观的各类自然要素(如地形、地貌)遭到破坏,土地利用/土地覆被发生改变,水文生态功能减弱等问题,对区域景观生态安全构成巨大威胁。

为定量评估地震对灾区生态破坏与生态影响以及不同地震烈度下对区域景观生态的破坏程度,本文以地震前后 Landsat-TM 影像和中巴资源卫星(CBERS) CCD 影像为依据,结合灾区水土流失数据^①、经济社会统计数据^[16],分析了地震前后景观生态系统过程的变化以及不同地震烈度下的景观生态异质性。运用层次分析法^[17,18],结合地震对区域景观生态的破坏特征,建立景观生态破坏评价的指标体系,来评价不同地震烈度下区域景观生态破坏程度,为景观生态建设和区域生态环境恢复提供科学依据。

1 研究区概况

根据地震Ⅻ烈度的分级标准,结合我国实际情况和地震烈度对生态环境相关的现象,得出:大约从Ⅸ度开始,地震对生态环境就能够造成破坏,到Ⅺ度时地震对生态环境的破坏十分严重^[11]。根据国家地震局基于实地调查编绘的“汶川 8.0 级地震烈度分布图”和美国地质测量局提供的“汶川地震烈度图”^[19,20],结合“5.12”汶川特大地震灾害实际情况和地震烈度对生态环境的影响,确定研究区域为大于等于Ⅸ度地震烈度范围(图1)。

① 四川省水利厅. 四川省水土保持监测公报,2006.

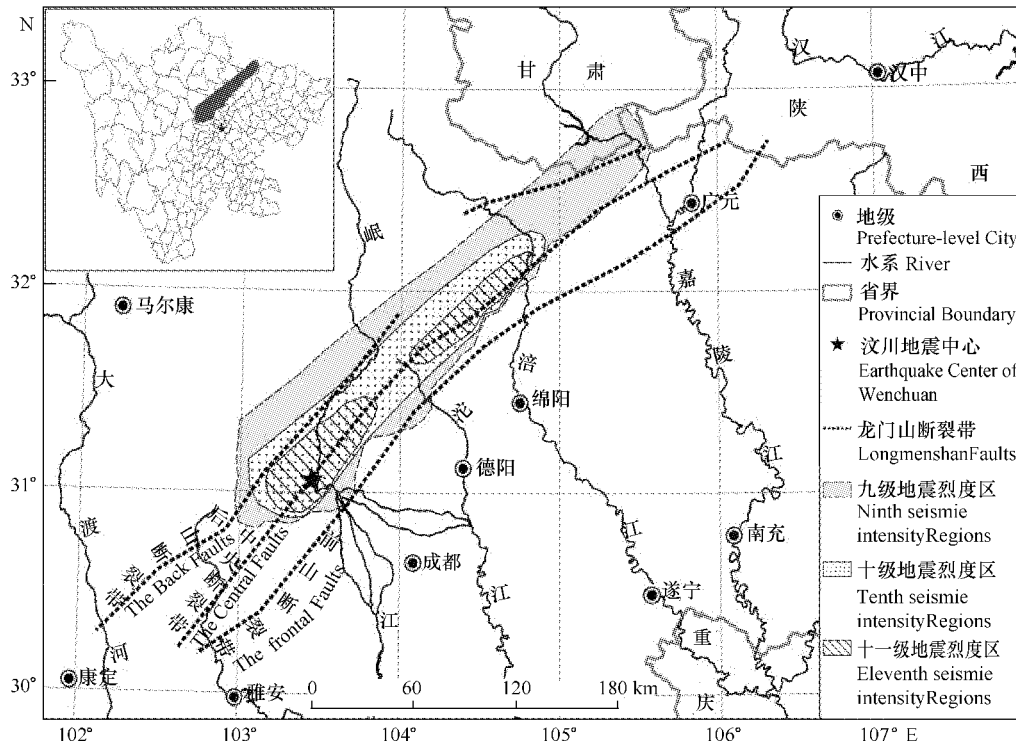


图1 研究区地理位置图

Fig. 1 The location map of study area

汶川大地震灾区覆盖岷江、涪江、嘉陵江等上游源区,面积约 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$,区内地质构造复杂,断裂发育,河道、水系星罗密布,属于滑坡、泥石流等山地灾害多发区。地震烈度大于等于IX度的区域主要分布在四川的汶川、都江堰、理县、彭州、茂县、北川、平武和青川等县(市)和甘肃的文县和武都(图1),地理位置介于 $102^\circ 50' \sim 105^\circ 40' \text{ E}$, $30^\circ 40' \sim 32^\circ 55' \text{ N}$ 之间,面积约为 $1.55 \times 10^4 \text{ km}^2$; X度地震区主要分布在汶川、都江堰、茂县、北川等区域;XI烈度地震范围主要位于汶川和北川。

地震的震中汶川映秀镇以及大量余震震中均位于龙门山中央断裂构造带上,该断裂带由汶川-茂汶断裂、映秀-北川断裂、安县-灌县断裂和虎牙断裂构成,总长约300km,宽50~70km,区域属于我国地形、气候、土壤、植被以及生物多样性汇集的一条重要过渡交错带(岷山-邛崃山脉)。地势由东南向西北方向逐渐增高,最高点为四姑娘山,海拔6250m。属于北亚热带山地湿润性季风气候。全年干雨季比较明显,从6、7月份开始受副热带环流影响,雨水多且降雨较为集中,冬季受西风环流的控制,寒冷干燥。区内自然条件复杂、水系众多、景观及其组合类型多样,生态环境脆弱性,抗干扰能力弱,严重退化后恢复困难。

2 研究方法

2.1 数据处理

结合2008年4月中、下旬的Landsat-TM影像、2008年5月中、下旬中巴资源卫星(CBERS)CCD影像和Landsat-TM影像,通过Arc/Info、Arc GIS对遥感影像进行图像处理和数字化,得出区域的景观类型空间分布,以及区域森林覆盖率。运用Fragstats软件计算景观结构及异质性分析指标。结合区域内水土流失数据和人口密度、人均耕地面积等社会经济统计数据^[16],运用层次分析法(AHP)和特征根法^[21,22]确定评价因子及其权重系数^[23],然后进行综合评价。

2.2 景观类型分类

一般采用土地利用现状分类的一级系统^[24],结合本区域特点,将研究区景观类型分为有林地、疏林地、草地、水域、城乡建筑用地、裸地岩和耕地。

2.3 景观生态分析指标

景观格局及其变化是自然和人类活动因素相互作用产生的区域生态环境体系的综合反映,又是揭示区域生态状况及空间变异特征的有效手段。对于景观空间格局及其异质性分析,文中选取以下几种指标来研究区域景观格局特征。

(1) 景观优势度(D) 它反映一种或几种景观嵌块体支配景观格局的程度。计算公式如下:

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (P_k) \cdot \log(P_k) \quad (1)$$

(2) 景观多样性指数 主要包括 Shannon 多样性指数($SHDI$)、均匀度($SHEI$)等:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^n (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

$$SHEI = - SHDI / \ln m \quad (3)$$

(3) 蔓延度指数($CONTAG$) 反映景观不同嵌块类型的聚集和延展程度。用下式表示:

$$CONTAG = [1 + \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \ln \left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right\} / 2 \ln m] \quad (4)$$

式中, m 、 k 为嵌块类型数; P_i 嵌块类型 i 所占景观面积的比例; g_{ik} 为嵌块类型 i 和 k 之间相邻的格网单元数。

(4) 景观的分离度($Separation$) 某景观类型中不同斑块个体分离程度,表示如下:

$$S = 0.5A \sqrt{n_k/A/A_k} \quad (5)$$

式中, A_k 、 A 分别表示景观类型 k 的面积和景观总面积; n 表示景观类型 k 中的斑块总个数; S 表示景观类型 k 的分离度值,分离度越大,景观分布越复杂、破碎化程度也较高。

(5) 景观百分比($Pland$) 反映某一斑块类型的总面积占整个景观面积的百分比。表达式:

$$Pland = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{A} \times 100\% \quad (6)$$

式中, A_{ij} 为斑块 ij 的面积, A 为景观总面积。

2.4 指标选取及指标体系的建立

根据景观生态系统破坏的成因、表现和特征,以及各景观要素、景观生态客体的内部结构、变化以及它们之间的结构、作用和变化的研究,结合国内专家对景观破坏的评价方法^[17,18],应用层次分析法^[21~23],将指标体系分为 3 个层次,第一层次为景观生态破坏综合指标,文中结合地震对区域景观生态影响的实际情况,将生态破坏从景观生态系统的稳定性指标和景观异质性指标来评价,第二层次为复合指标,第三层次为单项指标,从单项分析来获得景观生态破坏程度的综合指数。

2.4.1 景观稳定性指标(S)

景观稳定性是指景观对于外来干扰的抵抗能力,也是景观生态系统现状的表征^[25,27]。当自然干扰或人为干扰一旦超出景观的自我恢复能力,景观生态系统必然趋向恶化,直接影响人类的生存与发展^[17,24,25]。研究表明:景观生态系统稳定性破坏与土地退化、开荒率、土壤侵蚀等相关性显著^[21],林地能提高农田、草牧场等景观基质的稳定性^[18],随着环境污染和环境状况的恶化,人均耕地、人口密度等生态系统承载力因素也开始受到关注^[17,24]。评价景观生态系统的稳定性对于评价景观生态破坏程度和保护、维持、重建景观生态系统有着十分重要的意义。结合地震区实际情况,文中选取以下指标进行评价。其具体指标有:(1) 土地退化率(s_1)、(2) 水土流失率(s_2)、(3) 森林覆盖率(s_3)、(4) 人均耕地面积(s_4)、(5) 人口密度(s_5)。

2.4.2 景观异质性分析指标(H)

根据景观生态系统破坏的成因、表现和特征^[8,12,25]。以及各景观要素、景观生态客体的内部结构、变化以

及它们之间的结构、作用和变化的研究,结合国内专家对景观破坏的评价方法,文中将景观破坏程度评价方法以景观异质性指标进行分析。其具体指标为:(1)景观多样性($h1$)、(2)景观破碎度($h2$)、(3)景观分离度($h3$)。

2.4.3 景观生态破坏程度的综合指数

(1)根据各单项指标的计算方法,求出各单项指标的实际得分。对各项指标进行标准化变换。标准化处理主要是将对生态破坏程度呈负相关的指标(森林覆盖率、景观类型多样性指数)进行正相关处理,保证所有指标得分对景观生态破坏指数作正贡献^[12,17]。

(2)将各指标进行分等定级,确定各等级的值域和赋值标准,然后根据各指标的实际得分对各指标赋值。本文将各指标分成 A、B、C 三级(表 1),赋值标准为 A:1.0, B:0.5, C:0.01。

(3)用特征根法确定各单项指标的权重(景观稳定性的各单项指标的权重为 w_i ,景观异质性的各单项指标的权重为 y_i),并确定复合指标的权重(景观稳定性指标为 W ,景观异质性指标为 Y)。根据各单项指标的得分和权重计算出复合指标的得分。

$$\text{景观稳定性指标} \quad S = \sum (s_i \times w_i) \quad (7)$$

$$\text{景观异质性指标} \quad H = \sum (h_i \times y_i) \quad (8)$$

(4)根据复合指标的得分和权重计算综合指标得分。

$$\text{综合指标} \quad Z = S \times W + H \times Y \quad (9)$$

(5)借鉴 Sturges 公式 $n = [1 + 3.32 \cdot \lg N] + 1$ (n 为等级数, N 为变量数),将景观生态破坏分为 5 个等级^[17,18,27]:综合指标(Z)得分 < 0.2 为基本无破坏级、 $0.2 \sim 0.4$ 为轻微破坏级、 $0.4 \sim 0.6$ 为中度破坏级、 $0.6 \sim 0.8$ 为重度破坏级、 ≥ 0.8 为极度破坏级。

表 1 指标等级体系及权重表
Table 1 Grade table of indexes and weights

评价指标 Evaluate indexes	等级体系 Rank system	权重 Weight
景观稳定性指标 Landscape stability indexes		0.4896
土地退化率 Land degeneration rate	A: $>0.3\%$; B: $0.3\% \sim 0.1\%$; C: $<0.1\%$	0.1246
水土流失率 Soil erosion rate	A: $>0.2\%$; B: $0.2\% \sim 0.1\%$; C: $<0.1\%$	0.135
森林覆盖率 Forest coverage	A: $<30\%$; B: $30\% \sim 60\%$; C: $>60\%$	0.11
人均耕地 Per-capita of arable land	A: >0.11 ; B: $0.11 \sim 0.067$; C: <0.067	0.08
人口密度 Population density	A: >500 ; B: $500 \sim 146$; C: <146	0.04
景观异质性指标 Landscape variation indexes		0.5104
景观多样性 Landscape's diversity	A: >1.0 ; B: $0.5 \sim 1.0$; C: <0.5	0.1885
景观破碎度 Landscape fragmentation	A: <30 ; B: $30 \sim 70$; C: >90 ;	0.1764
景观分离度 Landscape isolation	A: >0.05 ; B: $0.01 \sim 0.05$; C: <0.01	0.1455

3 结果与讨论

3.1 地震前后景观类型变化情况

根据对地震前、后期的遥感数据解译过程分析(表 2),地震使大面积林地、耕地和草地破坏,山体滑坡、崩塌严重,裸地、裸岩面积大量增加。地震前,研究区内有林地、草地、疏林地、耕地分别占研究区面积的 46.35%、19.33%、17.06% 和 15.87%;地震后,植被类型所占面积比例发生变化,所占比例分别为 43.41%、19.48%、17.28% 和 15.28%;面积变化上,有林地减少最多,达到 458.48km^2 ,变化幅度为 -6.34% ,其次是耕地,减少量为 91.16km^2 ,变化幅度为 -3.68% ,有林地和草地也存在不同程度的增加;地震后,相应的裸地(岩)面积增加,达到 496.23km^2 ,面积变化幅度为 947.51% (图 2)。水域和城乡用地面积受地震灾害的影响

减少。地震的强烈震动及其诱发的次生灾害,使得大量的林地、草地等覆被类型随着山体崩塌、滑坡,在空间上整体或局部的、不规则的移动,产生大量的裸地、裸岩。

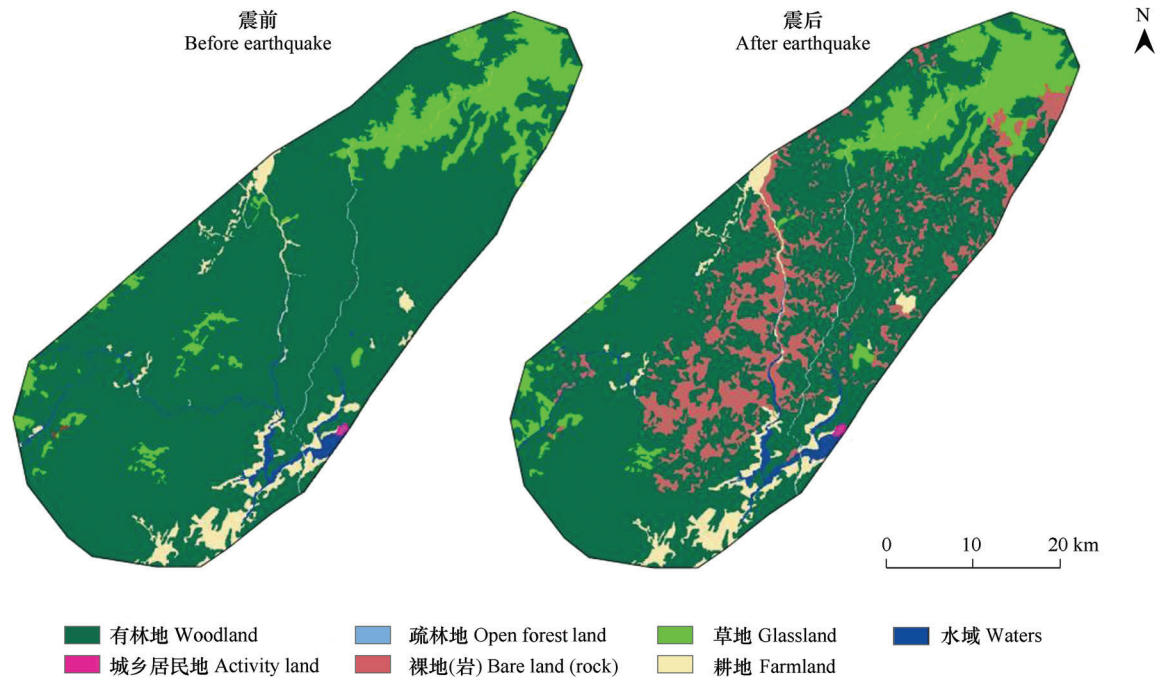


图2 地震前后汶川地震中心带景观变化

Fig.2 Landscape changes in belt of Wenchuan Earthquake center before and after-earthquake

表2 IX级以上地震区地震前后景观类型面积统计

Table 2 Region's landscape types area statistic of seismic intensity GT.9

景观类型 Landscape types	震前 Before quake(km ²)	震后 After quake(km ²)	变化量 Variable quantity (km ²)	变化幅度 Variation range (%)
有林地 Woodland	7230.56	6772.09	-458.48	-6.34
疏林地 Open forest land	2660.97	2695.82	34.85	1.31
草地 Grassland	3015.73	3039.61	23.87	0.79
水域 Waters	92.68	91.70	-0.97	-1.05
城乡用地 Activity land	70.24	65.91	-4.34	-6.17
裸地(岩) Bare land(rock)	52.37	548.60	496.23	947.51
耕地 Farmland	2475.73	2384.26	-91.16	-3.68

在不同的地震烈度下,分析得出(表3):随着地震烈度的增加,景观类型变化程度越明显。在IX级地震区域,地震对景观类型变化影响相对较小,林地、草地、裸地(岩)和耕地面积变化分别为-50.85、40.56、35.58 km²和-22.93 km²,面积变化幅度均在2%以内,生态系统存在一定破坏。随着地震烈度的增加,在X级地震烈度区域,地震对生态系统的破坏逐渐表现出来,城乡居民用地大量遭到破坏,造成至少1.11km²的城乡用地减少;林地、耕地也大幅度减少,减少面积分别为98.48km²和32.26km²,面积减少幅度分别为4.70%和6.40%;地震的强烈震动及其次生灾害作用,山体呈现不稳定引起坍塌、滑坡现象,产生大面积的裸地和裸岩,由于地震灾害影响,区域内裸地(岩)面积增加了126.17km²,震后裸地(岩)面积增加了7倍多。在XI级地震烈度区域,即地震的震中,地震引起的生态系统严重破坏,区域内林地、草地、裸地、耕地以及城乡用地变化相当的明显,其中,裸地(岩)增加了334.47km²,面积增加了29.34倍,有林地、草地和耕地变化也明显,面积变化了-308.04、-14.36km²和-35.97km²,变化幅度分别为-16.74%、-5.04%和-8.86%。从有林地、疏

林地、草地和裸地地震前后面积变化分析,不同地震烈度下自然景观生态系统变化过程,其总体变化过程表现为有林地→疏林地、林地→草地以及林地、草地→裸地生态景观的退化。

表 3 不同地震烈度下景观类型面积统计

Table 3 Region's landscape types area statistic of seismic intensity 9 ~ 11

景观类型 Landscape types	<i>M</i> = 9		<i>M</i> = 10		<i>M</i> = 11	
	变化量 Area change (km ²)	变化幅度 Change range (%)	变化量 Area change (km ²)	变化幅度 Change range (%)	变化量 Area change (km ²)	变化幅度 Change range (%)
有林地 Woodland	-51.95	-1.58	-98.48	-4.70	-308.04	-16.74
疏林地 Open forest land	1.15	0.09	8.14	1.11	25.56	4.11
草地 Grassland	40.56	1.90	-2.33	-0.39	-14.36	-5.04
水域 Waters	-0.18	-0.35	-0.23	-1.44	-0.67	-2.00
城乡用地 Activity land	-2.25	-3.82	-1.11	-14.61	-0.98	-25.65
裸地(岩) Bare land(rock)	35.58	1.54	126.17	701.74	334.47	2934.60
耕地 Farmland	-22.93	-1.46	-32.26	-6.40	-35.97	-8.86

3.2 区域景观生态过程变化特征

通过对Ⅸ级以上地震区的景观格局指标分析(表 4),可以得出此地震区域的景观生态具有如下基本特征:

在地震前,区域整体的景观生态的多样性、均匀性、景观破碎度和优势度的值均反映出区域的生态系统较为脆弱,震后,反映景观生态的各项指标表明景观生态环境退化以及明显景观空间异质性。在Ⅸ级地震烈度区域,震后的景观多样性、景观破碎度和景观均匀性变化不是很明显,相对变化幅度均在 5% 以内,而景观优势度变化明显,从 0.68 减小到 0.50,说明地震后以林地占优势的景观类型逐渐减小。随着地震烈度增加,在 X 级地震烈度区域,反映景观格局变化的各项指标值变化明显,其中景观均匀性变化幅度达到 51.35%,其余各项指标变化幅度均大于 10%;在 XI 级地震烈度区,地震后,景观多样性和均匀性均存在较高值,程度高于其他区域,景观优势度和景观破碎化指标值都最小,且各项指标变化率均大于 30%,区域景观类型趋于多样化、均匀化,有原来的林地占优势变成林地、裸地(岩)等多种景观类型。反映出景观异质性程度受地震影响显著,地震造成大量裸地(岩)景观类型也使得区域生态环境退化趋势已十分严重。

表 4 区域景观格局指标变化特征

Table 4 Features of landscape pattern index change in regions of seismic intensity 9 ~ 11

地震烈度 Seismic intensity	景观优势度 Landscape dominance		景观多样性 Landscape diversity		景观破碎度 Landscape fragment		景观均匀性 Landscape homogeneity	
	震前 Before earthquake	震后 After earthquake	震前 Before earthquake	震后 After earthquake	震前 Before earthquake	震后 After earthquake	震前 Before earthquake	震后 After earthquake
<i>M</i> = 9	0.68	0.50	0.96	0.98	94.40	91.05	0.38	0.40
<i>M</i> = 10	0.56	0.47	0.94	1.17	94.42	82.21	0.37	0.56
<i>M</i> = 11	0.54	0.41	0.84	1.23	94.56	66.51	0.36	0.58
<i>M</i> ≥ 9	0.67	0.48	0.95	1.17	94.41	82.36	0.37	0.48

从图 3 显示了Ⅸ、X、XI 级以及大于等于Ⅸ级地震区域各类景观类型的 *Pland* 指数的变化情况,在整体区域内,研究区内 *Pland* 指数从大到小分别为林地、草地、耕地和裸地。地震后,有林地面积大量减少,*Pland* 指数减少 2.94%,大量的滑坡、崩塌等次生灾害使得区域内裸地(岩)面积急剧增加,*Pland* 指数增加从震前的 0.34% 增加到 3.51%,裸地(岩)景观类型的增加,严重破坏了原有景观的生态功能,造成区域生态环境劣变。在Ⅸ级地震区域,有林地和耕地面积震后大幅度减少,*Pland* 指数分别减少了 2.29% 和 1.09%,裸地 *Pland* 指数增加了 2.21%;在 X 级地震区域,有林地 *Pland* 指数减少了 4.75%,耕地和草地分别减少了 1.16%

和 0.41%,裸地 *Pland* 指数增加了 6.96%;在 XI 级地震区域,有林地 *Pland* 指数减少了 6.49%,耕地和草地 *Pland* 指数减少了 3.26%和 2.41%,裸地 *Pland* 指数增加了 9.81%。

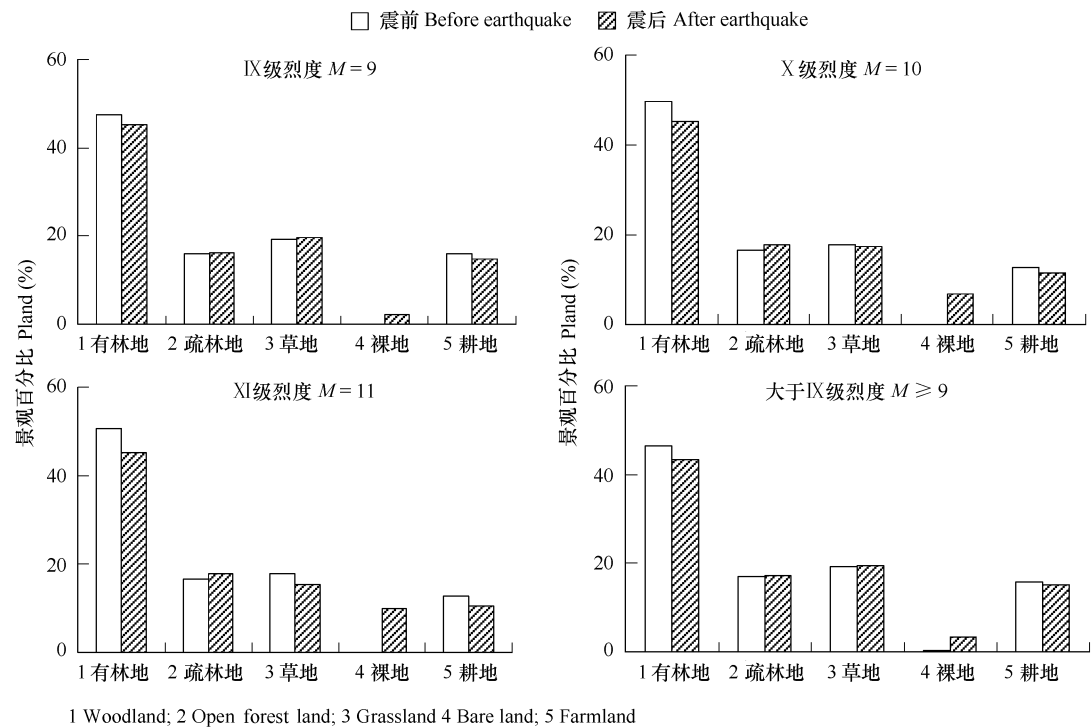


图3 不同地震烈度下景观类型百分比变化过程

Fig. 3 Pland changes of various landscapes in regions of seismic intensity 9 ~ 11

3.3 不同烈度下景观生态破坏程度评价

根据国家地震局对“5.12”汶川大地震灾害的烈度分布划分,结合地震前后的遥感数据以及地震区水土流失数据和人口等资料进行分析,选择土地退化率、水土流失率、森林覆盖率、人均耕地和人口密度作为景观稳定性的单项指标和景观多样性、景观破碎度和景观分离度作为景观异质性的单项指标体系,分别计算出景观稳定性指标和景观异质性指标值;并运用层次分析法,将指标体系构造判断矩阵和层次排序进行一致性检验,得出特征根;对定性和定量指标进行归一化处理,使其得出该层次要素标准权重以及总排序;将单因素评分值与各因子的权重系数相乘,据此逐级计算复合指标和综合指标得分(表5)。

表5 不同地震烈度评价指标数值表

Table 5 Values of evaluation indicator in regions of seismic intensity 9 ~ 11

指标名称 Indexes	M = 9	M = 10	M = 11
土地退化率 Land degradation rate(%)	0.17	0.22	0.51
水土流失率 Water loss and soil erosion rate(%)	0.10	0.15	0.21
森林覆盖率 Forest coverage(%)	37.34	50.04	46.15
人均耕地 per-capita farmland area(hm ² /人)	0.064	0.064	0.064
人口密度 Population density(人/hm ²)	180	198	156
景观多样性 Landscape diversity	0.98	1.17	1.23
景观破碎度 Landscape fragmentation	91	82	66
景观分离度 Landscape separation degree	0.035	0.058	0.076

根据 IX、X 和 XI 级地震区域的景观生态破坏综合得分结果(表 6),参照 Sturges 评价标准,综合得分分别为 0.42、0.66 和 0.80。对应的景观生态破坏程度分别为中度破坏、重度破坏和极度破坏。根据以上综合得分分析,Ⅷ级地震区域综合得分应介于 0.2 ~ 0.4 之间,属于轻微破坏级。因此,建议“5.12”汶川大地震地质

灾害生态环境恢复从建工作应重点考虑Ⅸ级以及Ⅸ级以上区域。

文中景观生态破坏评价指标体系从地震对区域的生态破坏实际情况出发,在景观生态破坏的表现、特征和成因的基础上进行指标选取,使指标最能体现景观生态破坏程度,运用层次分析法分析。同时最大可能消除了时间和人为因素的干扰,因此,本指标体系具有较高的可靠性。

表 6 不同地震烈度下景观生态破坏综合评价

Table 6 Overall merit of ecological destroy in different regions of seismic intensity

地震烈度 Seismic intensity	$M = 9$	$M = 10$	$M = 11$
综合得分 Integrated score	0.42	0.66	0.80
破坏程度 Damaged level	中度破坏 moderate damaged	重度破坏 severe damaged	极度破坏 awful damaged

4 结论

对于“5.12”汶川大地震灾害对生态破坏的影响,结合区域景观生态破坏的表现和特征,得出以下结论:

(1)地震使大面积林地、耕地和草地破坏,山体滑坡、崩塌严重,裸地、裸岩面积大量增加。在大于等于Ⅸ级烈度区域。地震后,有林地面积减少了 458.48km^2 ,变化幅度为 -6.34% ,其次是耕地,减少量为 91.16km^2 ,变化幅度为 -3.68% ,相反,裸地(岩)面积增加了 496.23km^2 ,面积变化幅度为 947.51% 。地震的强烈震动及其诱发的次生灾害,使得大量的林地、草地等覆被类型随着山体崩塌、滑坡,在空间上整体或局部的、不规则的移动,产生大量的裸地、裸岩。在不同的地震烈度下,随着地震烈度的增加,景观类型变化程度越明显。在Ⅸ级地震区域,地震对景观类型变化影响相对较小,林地、草地、裸地(岩)和耕地面积变化幅度均在 2% 以内。在Ⅹ级地震烈度区域,地震对生态系统的破坏逐渐变现出来,林地、耕地也大幅度减少,减少面积分别为 98.48km^2 和 32.26km^2 ,面积减少幅度分别为 4.70% 和 6.40% ;相反,区域内裸地(岩)面积增加了 126.17km^2 ,震后裸地(岩)面积增加了7倍多。在Ⅺ级地震烈度区域,地震引起的生态系统严重破坏,区域内有林地、草地和耕地变化也明显,面积变化了 -308.04 、 -14.36km^2 和 -35.97km^2 ,变化幅度分别为 -16.74% 、 -5.04% 和 -8.86% ,裸地(岩)增加了 334.47km^2 ,面积增加了29.34倍。

(2)通过对Ⅸ级以上地震区的景观格局指标分析得出:震前,区域整体的景观生态的多样性、均匀性、景观破碎度和优势度的值均反映出区域的生态系统较为脆弱,震后,反映景观生态的各项指标表明景观生态环境退化以及明显的景观空间异质性;随着地震烈度的增加,在Ⅺ级地震烈度区,地震后,景观多样性和均匀性均存在较高值,程度高于其他区域,景观优势度和景观破碎化指标值都最小,且各项指标变化率均大于 30% ,区域景观类型趋于多样化、均匀化,有原来的林地占优势变成林地、裸地(岩)等多种景观类型。反映出景观异质性程度受地震影响显著,地震造成大量裸地(岩)景观类型也使得区域生态环境退化趋势已十分严重。

(3)运用层次分析法对不同烈度下景观生态破坏进行评价得出:Ⅸ级地震烈度区域景观生态破坏程度综合值为0.42,即中度破坏,Ⅹ、Ⅺ级地震烈度区域景观生态破坏程度综合值分别为0.66和0.80,分别为重度破坏和极度破坏。根据以上综合得分分析,Ⅷ级地震区域综合得分应介于 $0.2 \sim 0.4$ 之间,属于轻微破坏级。建议“5.12”汶川大地震灾害生态环境恢复从建工作应重点考虑Ⅸ级以及Ⅸ级以上区域。

References:

- [1] Shi P J, Yu L H, Zhang S J. Research reviews of natural disasters at home and abroad and recent measures in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1989, 3(3):162–172.
- [2] Cynil Obi, Oil. Environmental Conflict and National Security in Nigeria: Ramifications of the Ecology-Security Nexus for Sub-Regional Peace. ACDIS Occasional Paper, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1997.
- [3] Hang D Y, Wei Z Y. Earthquake Disaster of Ecosystem and its Mechanism. *Recent Developments in World Seismology*, 2007, 1: 16–24.
- [4] Luo F G, Wu J S. Systematic analysis of sudden natural disasters in Sichuan, Yunan and Guizhou region. *Journal of Catastrophology*, 1991, 6(3):1–7.
- [5] Wu J B, Guo A H. Earthquake and Environment and Ecology. *Journal of Catastrophology*, 2001, 16(3):91–97.
- [6] Cheng J D, Huang Y C, Wu H L, et al. Hydro meteorological and land use attributes of debris flows and debris floods during typhoon Toraji. *Journal of Hydrology*, 2005, 306:161–1731.

- [7] Walsh S J, Butler D R. An overview of spatial scale, pattern and process relationship in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. *Geomorphology*, 1998, 21: 183 — 205.
- [8] Wang G X, Cheng G D, Qian J. Several problems in ecological security assessment research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1551 — 1556.
- [9] Chang C P. Study on the Influence for Watershed Landscape Ecology by Earthquakes and Typhoons. *Resources Science*, 2006, 28(4): 19 — 24.
- [10] Yuan P F, Ye R N, Zeng C R. Discussion on the evaluation method of comprehensive benefits of Eco-Agriculture. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 184 — 187.
- [11] FAO Proceedings. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. Proceedings of the Workshop organized by the Land and Water Development Division FAO Agriculture Department, 1997, (2): 5.
- [12] Rainer Walz. Development of environmental indicator systems: experiences from Germany. *Environmental Management*, 2000, (6): 613 — 623.
- [13] Zhen B H, Tian Z Q, Wang W J. Analysis of recent land usage and survey in Western China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1078 — 1085.
- [14] Lu J T, Wang Z H, Zhou C H. A tentative discussion on the monitoring of the Yigong Landslide-blocked Lake with satellites remote sensing technique. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(4): 363 — 368.
- [15] Zhang G K, Deng W, Song K S. On the land/use pattern shifting in Xinkai River Basin and its ecological significance. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 26(9): 3026 — 3034.
- [16] Office of population census Sichuan. 2000 population census Sichuan, China Statistics Press, 2006.
- [17] Long K Y, Xie B G, Xie G H. Establishment and application of index system of evaluating landscape ecology damage. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(1): 64 — 68.
- [18] Yuan P F, Ye R N, Zeng C R. Discussion on the evaluation method of comprehensive benefits of Eco-Agriculture. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 184 — 187.
- [19] http://www.cea.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf/_content/08_08/29/1219979564_089.html
- [20] <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap/global/shake/2008ryan/>
- [21] Yan C H. Classifying and evaluation of landscapes ecology in southern part of Shandong Province. *Rural Eco-Environmnet*, 1998, 12(2): 15 — 19.
- [22] Chen W B, Xiao D N, Li XiuZhe. The Characteristics and Contents of Landscape Spatial Analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1135 — 1142.
- [23] Zhou H R. Study on ecological environmental quality as assessment index of Xinjiang. *China Environmental Science*, 2000, 20(2): 150 — 153.
- [24] Xiao D N. *Landscape Ecology*. Beijing: Science Press, 2003.
- [25] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The Characteristics and Contents of Landscape Spatial Analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1135 — 1142.
- [26] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification application and creation of landscape indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 121 — 125.
- [27] Sun X Z, Zhu X D, Li Y F. Landscape ecological security assessment in rapidly urbanizing bay-area: a case study of Xiamen City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3563 — 3573.

参考文献:

- [1] 史陪军, 虞立红, 张素娟. 国内外自然灾害研究综述及我国近期对策. *干旱区资源与环境*, 1989, 3(3): 163 — 172.
- [3] 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.
- [4] 罗德富, 吴积善. 川滇黔地区突发性自然灾害系统分析. *灾害学*, 1991, 6(3): 1 — 7.
- [5] 吴瑾冰, 郭安红. 地震与环境生态. *灾害学*, 2001, 16(3): 91 — 97.
- [8] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1551 — 1556.
- [10] 袁平夫, 叶仁南, 曾长荣. 生态农业综合效益评价方法探析. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 184 — 187.
- [12] 李强, 慈龙骏. 神府东胜区景观生态异质性分析与景观生态建设. *干旱区资源与环境*, 1996, 10(2): 62 — 68.
- [13] 郑丙辉, 田自强, 王文杰, 等. 中国西部地区土地利用/土地覆盖近期动态分析. *生态学报*, 2002, 24(5): 1078 — 1085.
- [14] 吕杰堂, 王治华, 周成虎. 西藏易贡滑坡堰塞湖的卫星遥感检测方法初探. *地理学报*, 2002, 23(4): 363 — 368.
- [15] 张国伸, 邓伟, 宋开山. 新开河流域土地利用格局变化及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(9): 3026 — 3034.
- [16] 四川省人口普查办公室. 四川省 2000 年人口普查. 中国统计出版社, 2006.
- [17] 龙开元, 谢炳庚, 谢光辉. 景观生态破坏评价指标体系的建立方法和应用. *山地学报*, 2001, 19(1): 64 — 68.
- [18] 袁平夫, 叶仁南, 曾长荣. 生态农业综合效益评价方法探析. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 184 — 187.
- [21] 阎传海. 山东省南部地区景观生态的分类与评价. *农村生态环境*, 1998, 14(2): 15 — 19.
- [22] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*, 2002, 22(7): 1135 — 1142.
- [23] 周华荣. 新疆生态环境质量评价指标体系研究. *中国环境科学*, 2000, 20(2): 150 — 153.
- [24] 肖笃宁. *景观生态学*. 北京: 科学出版社, 2003.
- [25] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*, 2002, 22(7): 1135 — 1142.
- [26] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 121 — 125.
- [27] 孙翔, 朱晓东, 李杨帆. 港湾快速城市化地区景观生态安全评价. *生态学报*, 2008, 28(8): 3563 — 3573.