

汶川地震灾区生态脆弱性评价研究

孔博, 陶和平, 李爱农, 刘斌涛

(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)

摘要: 研究汶川地震灾区生态脆弱性等级差异与空间格局特征, 对合理规划土地资源和生态环境保护具有指导作用。选取资源成因、环境成因和社会经济 3 大体系的 16 个指标构建了生态脆弱性评价指标体系。利用 DARE 法和生态脆弱度对其评价指标进行加权分析计算, 建立了 4 个等级生态脆弱性。结果表明, 龙门山断裂带中心带及秦巴山地生态脆弱性最强, 西部高原区域的生态脆弱性较强, 山前平原地区为中度, 东部丘陵地区生态脆弱性次之, 并分析了土地利用规划现状和地震次生灾害分布对生态环境影响, 证明了评价结果符合汶川地震灾区的生态环境状况。

关键词: 汶川地震; 生态脆弱性; DARE 法; 地震次生灾害

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0180-05

中图分类号: P95 X144

Appraisal of Ecological Vulnerability Degree in Wenchuan Earthquake Area

KONG Bo, TAO He-ping, LI Ai-nong, LIU Bin-tao

(Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The Wenchuan earthquake area is one of the typical vulnerable areas in our country. Its vulnerability is quite evident on account of the seismically triggered geo-hazards like debris flow and landslide, variable geography remarkably different in height and wet climate, and human activities. In the light of the analysis which involves the factors, 16 indexes including productivity of water, land use ratio, farmland area per person, topography and geomorphology, geological hazard degree, social economic development level, etc. are selected in order to set up an assessment index system. The system consists of four grades by DARE (decision alternative ratio evaluation) method and weighted ecological fragility degree in evaluation index. Results show that ecological vulnerability is the strongest in the core of Longmen Mountains fault zone and Qinba Mountains, the stronger in the western plateau, moderate in piedmont plain, and the weakest in east hilly region. The influences of the landuse status and the distribution of earthquake induced disasters on ecological environment are analyzed. Result from the evaluation is important to guide economical development and ecological environment construction in the Wenchuan earthquake area.

Keywords: Wenchuan earthquake; ecological fragility; DARE method; secondary disaster of earthquake

生态脆弱性是景观或生态系统在特定时空尺度上相对于干扰而具有的敏感反应和恢复状态, 它是生态系统的固有属性在干扰作用下的表现^[1-2]。至今, 国内外的生态脆弱性研究已较为成熟, Kamaljit^[3] 和 Mortberg^[4] 等人采用景观生态学评估方法对城市化或农林生态区生态脆弱性的评估; 王让会^[5] 对新疆塔里木干旱地区生态脆弱性评估; 郑荣宝^[6] 对广州市土地利用总体规划与生态脆弱性的耦合分析研究; 周丙娟^[7] 对鄱阳湖区生态环境脆弱性评价研究; 以上学者多从宏观尺度上采用景观生态学的敏感度指数和针

对特殊位置相结合的统计分析方法。而本研究借助遥感、GIS 和 GPS 技术深入到各评价类型区域, 引入 DARE 权重算法^[8] 和生态脆弱指数空间信息方法^[9] 计算每个栅格像元的脆弱度值, 使评价单元尺度变小, 评价值的可靠性增强, 生态脆弱性空间布局更为清晰合理。

汶川地震灾区生态环境相对脆弱, 许多地区属于生态保护重点区域。大部分区域由于泥石流、滑坡等地质灾害频繁、山地高差显著、多雨气候、加上人为活动影响, 生态脆弱性十分明显^[10]。基于遥感和 GIS

收稿日期: 2010-05-14

修回日期: 2010-05-31

资助项目: 中国科学院知识创新项目“西南山区情势与资源环境安全战略研究”(KZX2-YW-333); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)“湿地系统水生态过程与格局耦合机理”(2006CB403301)

作者简介: 孔博(1982—), 女(汉族), 吉林省长春市人, 硕士研究生, 实习研究员, 研究方向为遥感应用。E-mail: kongbo827@imde.ac.cn.

技术方法,采用 DARE 法和生态脆弱度评价方法^[8-9],并结合 16 个评价指标体系进行生态脆弱性综合分析,反映灾区各县市生态脆弱性等级差异与空间格局特征,分析土地利用规划对生态环境的影响,以及探讨地震诱发的次生山地灾害的空间分布对生态脆弱性的影响研究。

1 灾区主要生态环境问题

汶川地震灾区位于四川省东北部,位于川西高原以及秦岭南端向四川盆地的过渡带上。该区气候差异较大,气温、降水和光照分布不均,该区东部山地基带气候为亚热带湿润季风气候,西部山地为干旱河谷气候。由于整个区域地势梯度变化显著,立体气候显著。另外,灾区多夜雨,降雨量由东向西逐渐递减,是暴雨、冰冻、暴雪等气象灾害及引发的地质灾害和次生灾害频发地区。伴随气候垂直地带性,龙门山植被和土壤也具有明显的垂直地带性,该区土壤侵蚀强烈、水土流失严重^[12]。灾区人口密度分布不平衡,经济发展水平低,30 个县的人口主要集中分布在山前平原、盆地和低山丘陵区^[13]。

2 生态脆弱性评价方法

2.1 指标体系建立

针对地震灾区生态环境的实际情况,并遵循《国家汶川地震灾后重建规划:资源环境承载力评价》的指导原则^[13],选取 16 个评价指标,将其归为资源成因、环境成因和社会经济指标共 3 大类,选取原则考虑到以地震破坏性较强的主要成因指标为主,如地震和地质灾害危险度、水土流失敏感性、地形地貌等,结合土地利用资源、植被资源、水资源和社会经济状况,对灾区生态脆弱性进行综合评判^[14-15]。

(1) 资源成因指标。① 水资源。采用降雨量、蒸发量和水源承载潜力,作为脆弱生态环境水资源成因指标。采用年人均综合用水量、单位 GDP 用水量与可开发利用水资源量进行水资源承载潜力分析。② 热量资源。由 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的连续积温表示,反映热量是否充足的指标,由该区气象监测站的监测数据得出。③ 土地利用。震后的土地利用程度及房屋损毁度调查,利用震后影像与震前土地利用数据解译后,计算震后损坏面积与震前完好的比例。

(2) 环境成因指标。① 地形地貌。通过高程、坡度、坡向和地貌类型反映灾区易发生灾害的特点。② 地质灾害率。用地震危险度等级、地质灾害危险度等级表示对地震灾害的影响,利用地震和地灾分布点空间克里格插值计算。③ 生态保护重要性。根据

水土流失敏感性、水源承载潜力和植被破坏程度评分得到。水土流失敏感性利用土壤质地、坡度和植被类型分级评价得出。④ 植被类型。森林类型、土地利用类型等表示植被分布状况。

(3) 社会经济指标。① 经济发展水平指标。包括工农业发展水平指标和综合经济发展水平指标。② 社会发展水平指标。这是所有脆弱生态环境成因与环境发生作用后,在生态环境的主体——人类身上的最终表现指标,以人口密度、人均土地资源指标和交通优势度表示。前两项来自 2008 年各县统计年鉴数据,对交通道路缓冲分析计算得到交通优势度。

以上基础数据由中科院成都山地灾害与环境研究所数字山地与遥感应用中心提供。

2.2 指标权重计算

对各评价指标权重确定采用 Klee 提出的 DARE 方法^[8,16],具体步骤为:(1)对各项指标进行相邻间的两两比较,如指标 X_{n-1} 与 X_1 同等重要,则 X_{n-1} 的暂定重要性系数 $K_{n-1} = 1$,如果 X_{n-1} 比 X_1 重要一倍,则 $K_{n-1} = 2$,其余类推;(2)计算修正系数。令 $K' = 1$,指标 X_i 的修正系数 $K'_i = \prod_{j=1}^n k_j (i=1, 2, \dots, n)$;(3)对修正系数作归一化处理,即得到各指标的权重, $W_i = K'_i / \sum_{i=1}^n K'_i$ 。用 DARE 法时,应首先计算二级指标对一级指标的权重,再计算各一级指标对子目标的权重,计算结果如表 1 所示。

2.3 评价方法

由于汶川地震生态脆弱性评价没有统一的评价标准,各指标量纲不同,故为了提高各指标以及各县域之间的可比性,需对原始指标值进行标准化处理,将连续指标值或等级值都标准化在 0~1 之间。采用 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 网格将 16 个指标空间单元标准化,最后得出全部的标准化处理数据,据此建立了指标体系,可根据以下公式求得汶川地震灾区生态脆弱度,公式为^[9,17]:

$$G = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{(\max_{i=1}^n X_i W_i + \min_{i=1}^n X_i W_i)} \quad (1)$$

式中: X_i ——各指标初始化之值; W_i ——各指标权重; G ——灾区生态脆弱度。

采用上式计算出汶川灾区 30 个县市的脆弱度 G 。参考王让会^[5]和周丙娟^[7]等人的分类等级体系,并结合汶川地震灾区生态环境实际情况,按脆弱度大小将整个灾区 30 个县市划分为 4 级,即:强度脆弱区 $G \geq 0.75$, IV 级;较强脆弱区 G 为 $0.5 \sim 0.75$, III 级;中度脆弱区 G 为 $0.25 \sim 0.5$, II 级;轻度脆弱区 $G < 0.25$, I 级(图 1)。

表 1 汶川地震灾区生态环境脆弱性评价指标体系

分类	指标值	权重	分类	指标值	权重
资源 成因 指标	年平均降雨量	0.06	环境 成因 指标	地质灾害危险度等级	0.10
	年平均蒸发量	0.04		水土流失敏感性	0.05
	水源承载潜力	0.09		生态保护重要性	0.039
	热量资源	0.04		森林类型	0.042
环境 成因 指标	土地利用	0.1	社会 经济 指标	经济发展水平	0.08
	高程、DEM	0.061		人口密度	0.05
	坡度、坡向	0.058		交通优势度	0.07
指标	地震危险度等级	0.095	指标	人均土地资源指标	0.025

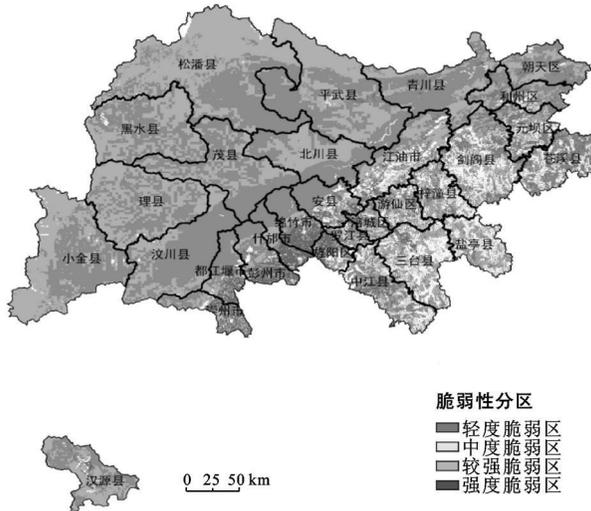


图 1 汶川灾区生态脆弱性评价分布图

3 结果与分析

3.1 灾区生态脆弱性结果分析

汶川生态脆弱带明显分区位于国家级限制开发区域密集分布的秦巴山地—青藏高原—川滇森林的边缘地带。生态脆弱性总体程度较强,区域内部脆弱度变化差异性大。地震灾害极大地增强了生态脆弱强度,改变了生态脆弱性分布格局。地震灾害发生之前,影响汶川地震灾区生态脆弱性的主导因子是土地利用率和生态条件。龙门山中心地带及向秦巴山地延伸的地带生态脆弱性最强,西部高山—高原区域的生态脆弱性较强,山前平原地区为中度,东部丘陵地区生态脆弱性次之。地震灾害发生之后,地震灾害破坏程度、山地次生灾害的危险性成为导致生态脆弱性程度明显的重要因素。龙门山中心地带因地震灾害破坏程度最大、次生地质灾害危险性最高,成为整个生态承载能力最弱的地区,山前平原受地震影响部分地区的脆弱性较强,如苍溪县、元坝区、利州区等(图 1)。

汶川地震灾区生态环境可分为 4 类,强度脆弱区面积为 29 962.40 km², 占总面积 39.84%, 所占比例最高, 主要分布在松潘县、平武县、小金县、茂县、汶川

县; 较强脆弱区面积为 28 893.60 km², 占总面积 38.42%, 主要分布在松潘县、理县、小金县、平武县; 中度脆弱区面积为 7 811.92 km², 占总面积 10.39%, 主要分布在江油市、剑阁县、梓潼县、苍溪县、盐亭县、三台县; 轻度脆弱区面积为 8 529.66 km², 占总面积 11.34%, 主要分布在剑阁县、苍溪县、三台县、中江县(表 2)。其中, 崇州市、都江堰市、彭州市、什邡市、绵竹市处于龙门山断裂带中间地区, 强度和轻度脆弱性各占 1/2。

强度脆弱区由西部高山—高原区域向龙门山区及山前过渡地带转移, 集中分布在龙门山地震断裂带的核心区域和国家级与省级自然保护区, 还有大量的分散在高山陡坡的区域, 青川县强度脆弱区面积为 2 040.84 km², 平武县为 3 059.55 km², 北川县为 1 506.69 km², 茂县为 2 470.59 km², 汶川县为 2 865.33 km², 这几个县都是地震后受灾严重的地区, 说明此生态脆弱性评价具有一定的可信度。较强脆弱区位于 25° 坡度以上的土地、国家级和省级自然保护区的核心区域, 以及山地次生灾害危险性大的区域, 松潘县所占面积最大为 5 038.92 km², 黑水县为 2 115.72 km², 理县为 2 536.29 km², 小金县为 3 019.32 km²。强度脆弱性和较强脆弱性分布较广的县级(市)平均脆弱度等级都为 IV 级。中度脆弱区主要分散分布在周边丘陵山区和龙门山山前平原集中分布区, 其中江油市面积为 679.5 km², 剑阁县为 1 136.07 km², 盐亭县为 735.39 km², 三台县为 1 163.34 km²(表 2)。轻度脆弱区集中分布在东南部的县城和重点镇所在地, 主要分布于龙门山山前平原和与龙门山脉接壤的浅丘地区, 虽然崇州市、都江堰市、彭州市、什邡市是地震破坏比较严重地区, 但它们所处地山前平原仍然是生态脆弱性较低的地区, 这些重灾区未来依然可能成为县区内人口集聚程度最高的区域。

3.2 土地利用规划生态环境影响分析

本研究利用指标中的高程和坡度因子与 2005 年土地利用数据进行叠加分析得出, 西北部高原区、山

原区和高山峡谷的可利用土地资源匮乏,土地利用类型主要为林地和草地,耕地和建设用地稀少;东南部平原区和丘陵区可利用土地资源较丰富,耕地和林地所占比重较大。耕地资源主要分布在东南部平原、丘陵区及峡谷区河谷地带海拔 1 200 m 以下坡度小于 15°的地域。建设用地海拔在 1 200 m 以下占 85%。林地资源随着地形坡度变化差异显著,集中分布于海拔 1 200 m 以上且坡度大于 15°占林地资源 78.06%的地域。草地与林地空间分布基本一致,主要分布在

西北部高原区、山原区及高山峡谷区,分布在 1 200 m 以上的占 78.85%(表 3)。水域主要分布于高程低于 800 m 和高于 3 000 m,以及坡度小于 5°和大于 25°的地域,研究区洪水灾害频繁,主要影响各大河流由盆缘山区向平原、丘陵的过渡地区。结果分析表明,西北部高原、山原和高山峡谷区多为重灾区陡坡地,应退耕还林减少建设用地,恢复生态环境;东部平原、丘陵区地形条件较好,土地资源相对丰富,应考虑适当增加城镇建设用地规模,减少农村居民地用地面积。

表 2 生态脆弱性评价结果

地区	平均脆弱度		强度脆弱区 IV		较强脆弱区 III		中度脆弱区 II		轻度脆弱区 I	
	脆弱度均值	等级	面积/km ²	比例/%						
松潘县	0.834 3	IV	3 280.05	10.95	5 038.92	17.44	78.84	1.01	4.14	0.05
黑水县	0.863 3	IV	1 930.05	6.44	2 115.72	7.32	42.48	0.54	11.25	0.13
理县	0.850 0	IV	1 764.90	5.89	2 536.29	8.78	11.88	0.15	12.78	0.15
小金县	0.854 6	IV	2 443.95	8.16	3 019.32	10.45	90.99	1.16	11.16	0.13
平武县	0.873 5	IV	3 059.55	10.21	2 821.32	9.76	40.23	0.51	35.91	0.42
北川县	0.877 6	IV	1 506.69	5.03	1 327.41	4.59	13.05	0.17	14.76	0.17
茂县	0.909 6	IV	2 470.59	8.25	1 374.03	4.76	—	—	4.41	0.05
汶川县	0.922 6	IV	2 865.33	9.56	1 191.96	4.13	17.10	0.22	10.44	0.12
汉源县	0.820 7	IV	932.76	3.11	1 045.62	3.62	64.09	0.82	124.11	1.46
青川县	0.895 5	IV	2 040.84	6.81	1 141.38	3.95	24.39	0.31	57.06	0.67
江油市	0.656 9	III	664.38	2.22	850.32	2.94	679.50	8.70	523.53	6.14
安县	0.726 6	III	664.83	2.22	225.36	0.78	212.31	2.72	298.62	3.50
绵竹市	0.662 3	III	578.79	1.93	123.12	0.43	68.94	0.88	481.77	5.65
什邡市	0.649 5	III	339.57	1.13	149.49	0.52	41.04	0.53	323.55	3.79
彭州市	0.656 7	III	547.74	1.83	275.67	0.95	104.58	1.34	492.21	5.77
都江堰市	0.704 2	III	555.12	1.85	204.57	0.71	89.19	1.14	354.87	4.16
崇州市	0.556 1	III	234.09	0.78	242.82	0.84	139.68	1.79	473.76	5.55
朝天区	0.847 4	IV	846.90	2.83	662.04	2.29	18.45	0.24	96.48	1.13
利州区	0.773 1	IV	717.84	2.40	416.52	1.44	117.72	1.51	232.20	2.72
元坝区	0.597 4	III	349.74	1.17	272.07	0.94	351.45	4.50	422.01	4.95
剑阁县	0.552 8	III	363.6	1.21	827.19	2.86	1 136.07	14.54	886.05	10.39
梓潼县	0.517 1	III	85.59	0.29	357.48	1.24	567.81	7.27	426.42	5.00
游仙区	0.536 1	III	92.34	0.31	298.44	1.03	289.80	3.71	334.89	3.93
涪城区	0.540 7	III	79.83	0.27	147.69	0.51	104.49	1.34	224.01	2.63
罗江县	0.481 5	II	26.28	0.09	111.24	0.38	110.25	1.41	196.56	2.30
旌阳区	0.431 7	II	47.07	0.16	89.73	0.31	153.99	1.97	358.20	4.20
苍溪县	0.636 3	III	845.73	2.82	210.96	0.73	695.61	8.90	614.52	7.20
盐亭县	0.559 4	III	91.35	0.30	513.18	1.78	735.39	9.41	303.84	3.56
三台县	0.555 2	III	139.05	0.46	831.33	2.88	1 163.34	14.89	523.53	6.14
中江县	0.567 3	III	397.89	1.33	472.41	1.63	649.26	8.31	676.62	7.93
合计			29 962.40	100.00	28 893.60	100.00	7 811.92	100.00	8 529.66	100.00

3.3 地震次生灾害分布分析

汶川地震灾区地质构造多变,加之暴雨、地震及人类工程、经济活动日益频繁,成为山地灾害最为发育的地区之一^[18]。地震次生灾害沿龙门山地震断裂带集中分布,除直接造成建筑物损毁和人员伤亡,还直接引发大量山体崩塌、滚石、滑坡、泥石流、碎屑流等次生灾害,堵塞山区河道,形成多处堰塞湖,还导致大量房屋、桥梁、公路、通信与输电线路、电站、耕地等被掩

埋或损坏。“5·12”大地震发震构造是龙门山主中央断裂带,其后不断的余震也是此带发生的,四川省 30 个重灾县位于龙门山区或山前区,全长 500 km。

地震次生山地灾害具有沿河谷发育与分布的特点,典型区有沿岷江河谷(都江堰—映秀—汶川—茂县段)、北川通口河河谷、青川青竹江河谷、安县茶坪河上游。这些河道两侧是生态较脆弱地区,由于山坡坡度陡,切割深,胁迫岩石破碎,在地震时发育了大量

崩塌、滑坡,造成河道堰塞湖,形成大量次生山地灾害。地震次生灾害成为汶川灾区自然景观生态环境被破坏的主要原因之一,造成大量岩石破裂、物质构造松散,容易在大暴雨、新临空面等诱发条件下发生新的次生地质灾害,使得龙门山断裂带内的各县市生态脆弱性不断增强,其中脆弱度均值最高的汶川县为 0.922 6,茂县为 0.909 6,青川县为 0.895 5,北川县为 0.877 6(图 1,表 2),这些受灾县都发生在沿岷江河谷走向的龙门山断裂带区。

表 3 汶川地震灾区土地利用空间分异情况

高程/m	< 800	800~ 1 200	1 200~ 2 000	2 000~ 3 000	> 3 000
坡度/(°)	< 5	5~8	8~15	15~25	> 25
耕地/%	61.57	19.83	16.28	2.30	0.01
建设用地/%	74.59	10.41	10.28	2.52	2.19
林地/%	9.03	12.37	31.11	22.07	25.42
草地/%	7.62	13.52	20.01	14.82	44.02
水域/%	47.27	4.63	1.93	5.37	40.79

4 结论

造成汶川地震灾区生态环境脆弱的原因有多种,既有人为引起的土地利用改变,又有地震引起的次生灾害,自然灾害因素的避免比较困难,而人为因素却可以尽可能地减少。汶川灾区由于长期的人为活动造成该区域土地利用/覆盖格局发生了显著变化,茂县与汶川县的岷江两旁、平武县西部地区地形起伏度大,植被覆盖差,多处高原和丘陵平坡区种植农作物,极易产生水土流失;加上原本就是地质灾害频发区的汶川灾区,因特大地震诱发的多处大面积次生灾害致使该区生态环境更加恶化,生态脆弱性增强,汶川映秀镇沿龙门山断裂带至北川、青川等地,地震后引起的滑坡、泥石流等次生灾害,对地表植被破坏严重,生物多样性栖息地破坏面积较大,水土流失仍然非常严重。

本研究运用生态脆弱性综合评价方法,通过资源、环境和社会经济 3 大方面 16 个指标将汶川地震灾区生态脆弱性分为 4 个等级。提出了该区生态重建规划的一些建议。(1)龙门山地震断裂活动带核心区域是生态脆弱性最强的区域,山地次生灾害频发区,不适宜人口聚集区和重建损毁城镇;(2)生态脆弱性较强的地区应减少人为干扰,多以自然恢复为主,以旅游业为辅;(3)生态脆弱性中度和较弱地区可进行灾后重建规划,减少人口超载现象,东侧重点发展经济作物,西北南侧应以牧业和林业为主,发展特色农业和生态旅游业。

[参 考 文 献]

- [1] 姚建,艾南山.中国生态环境脆弱性及其评价研究进展[J].兰州大学学报:自然科学版,2003,39(3):77-80.
- [2] 周嘉慧,黄晓霞.生态脆弱性评价方法评述[J].云南地理环境研究,2008,20(1):55-59.
- [3] Kamaljit S B, Gladmin J, Siddappa S. Poverty, biodiversity and institutions in forest-agriculture ecotones in the western ghats and eastern Himalaya ranges of India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 121: 287-295.
- [4] Mortberg U M, Balfors B, Knol W C. Landscape ecological assessment; A tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 82: 457-470.
- [5] 王让会,樊自立.干旱区内陆河流域生态脆弱性环境评价:以新疆塔里木河流域为例[J].生态学杂志,2001,20(3):63-68.
- [6] 郑荣宝,倪少春,王龙.广州市土地利用总体规划与生态脆弱性的耦合分析[J].中国人口·资源与环境,2007,17(3):70-74.
- [7] 周丙娟,蔡海生,陈美球.鄱阳湖区生态环境脆弱性评价及对策分析[J].生态经济,2009(4):37-41.
- [8] 马天柱,袁剑波.基于 DARE 法的公路工程施工招标评标模型研究[J].山西建筑,2007,33(5):241-242.
- [9] 魏金平,李萍.甘南黄河重要水源补给生态功能区生态脆弱性评价及其成因分析[J].水土保持通报,2009,29(1):174-178.
- [10] 谢蓉,邓楚雄,吴永兴.对汶川地震灾后重建规划的思考[J].资源开发与市场,2009,25(3):262-264.
- [11] 邹和平,刘玉亮,郑卓.5.12汶川大地震极震区灾害成因初析[J].中山大学学报:自然科学版,2009,48(2):131-135.
- [12] 樊杰.国家汶川地震灾后重建规划资源环境承载力评价[M].北京:科学出版社,2009.
- [13] 刘春红,刘邵权,刘淑珍.四川省汶川地震重灾区人居环境适宜性评价[J].四川大学学报:工程科学版,2009,41(S):102-108.
- [14] O' Briena K, Lerchenko R, Kelkar U, et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India [J]. Global Environmental Change, 2004, 14: 303-313.
- [15] Dow K, Downing T E. Vulnerability research: Where things stand[J]. Human Dim. Quar., 1995(1):3-5.
- [16] 范群.在设计招标中应用 DARES 确定评判因子权数的探讨[J].中国电力,1990(12):66-67.
- [17] 龚新梅,马媛,桂东伟,等.干旱区典型流域天然草地生态脆弱性评价研究[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(2):216-220.
- [18] Cui P, Chen X Q, Zhu Y Y, et al. The Wenchuan Earthquake (May 12, 2008), Sichuan Province, China, and resulting geohazards[J]. Nat. Hazards, 2009, 29(4):45-58.