

基于环境容量的汶川地震重建规划区环境适宜性评价

严 岩¹, 孙宇飞^{1,2}, 刘建昌¹, 赵景柱^{1,*}, 刘 峰³

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要:基于对四川汶川地震中受灾严重的 51 个县 1271 个乡镇的水环境容量估算, 对不同地域的环境适宜性进行评价, 旨在为震区恢复重建的人口、经济布局提供一定科学依据。水环境容量选择 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 两个指标进行评价, 首先利用降雨量、径流系数和径流深等参数评价单元的径流量, 再根据水环境质量标准、水体自然背景值等参数估算环境容量; 进而在水环境污染胁迫程度计算的基础上, 进行了环境适宜性评价。结果显示: 水环境容量区域性差异明显, 北部三省交界区域的乡镇容量较高、东南部四川盆地边缘和内部区域的乡镇容量较高, 西部的山区乡镇环境容量低; 西南部污染胁迫程度较低, 环境适宜性较高; 西部自然保护区胁迫程度较大, 环境适宜性较低; 成都平原附近县域胁迫较大, 环境适宜性较低; 环境适宜性区域性明显, 但也呈现出一定的分散性。

关键词:汶川地震; 重建规划区; 环境容量; 环境适宜性

文章编号: 1000-0933(2008)12-5826-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Environmental suitability assessment of Wenchuan Earthquake region based on environmental capacity

YAN Yan¹, SUN Yu-Fei^{1,2}, LIU Jian-Chang¹, ZHAO Jing-Zhu^{1,*}, LIU Feng³

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5826 ~ 5832.

Abstract: Based on the calculation of water environmental capacity 1271 towns among the 51 most seriously affected counties in the Wenchuan Earthquake zone, Sichuan Province, the environmental suitability of different regions was assessed in order to provide a scientific reference point for the population and economy in post-Wenchuan Earthquake restoration and reconstruction. COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ were used to assess water environmental capacity. First, the runoff amount of every unit was calculated using parameters such as rainfall, flow coefficient and runoff quantity; second, environmental capacity was estimated from the water environmental quality standards and water background quality; finally, environmental suitability was assessed based on calculation of the degree of water pollution stress. The results showed: (1) regional differences in water environmental capacity; the water capacity of villages and towns in the northern tri-province boundary

基金项目:国家汶川地震灾后重建规划“资源环境承载能力评价”资助项目; 国家自然科学基金资助项目(70703034)

收稿日期:2008-10-06; **修订日期:**2008-12-02

作者简介:严岩(1974~), 男, 甘肃人, 博士, 副研究员, 主要从事生态评价与规划、环境管理研究. E-mail: yyan@rcees.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jzhao@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Resources and Environment Carrying Capacity Assessment Program of the State Overall Planning for Post-Wenchuan Earthquake Restoration and Reconstruction and the National Natural Science Foundation of China (No. 70703034)

Received date:2008-10-06; **Accepted date:**2008-12-02

Biography: YAN Yan, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in ecological assessment and planning, environmental management. E-mail: yyan@rcees.ac.cn

region, the southeastern edge and the inner Sichuan Basin was high, while that in the western mountain area was low; (2) water pollution stress in the southwest was low and environmental suitability was high; (3) water pollution stress in the natural protection area in the western region was high and environmental suitability was low; (4) water pollution stress in areas close to the Chengdu Plain was high and the environmental suitability was low; (5) The distribution of environmental suitability level presents clear regionality as well as some dispersivity.

Key Words: Wenchuan Earthquake; restoration and reconstruction region; environmental capacity; environmental suitability

2008年5月12日,四川省汶川县映秀镇(北纬 31° ,东经 103.4°)发生8.0级强烈地震^[1,2]。地震导致四川省、甘肃省和陕西省等多处地区受灾,造成了重大的人员伤亡和财产损失。震后,灾区开始了重建规划工作。本文旨在通过评估震区环境容量,对不同地域的环境适宜性进行评价,为震区重建规划提供科学依据。

震区的环境容量评价,目的是从保护区域内的大气、水、噪声、固废、辐射、生态等环境组成要素的角度,判断区域开发建设的适宜性。考虑到大气环境在该区域不是重要限制性因素,而磷矿、辐射源、化工业、造纸业、冶金业、机械电子业等点源在固体废弃物、噪声等方面的污染在区域层次上的影响也很有限,不具有普遍意义,因此本文只进行基于水环境容量的环境适宜性评价。

水环境容量是制定区域水污染物排放标准、水污染控制的主要依据,也是制定水资源保护、开发利用和社会发展规划的依据^[3]。水环境容量是指水环境在一定功能要求、设计水文条件和水环境质量目标下,所允许容纳的污染物最大数量^[4]。水环境容量的大小不仅取决于自然环境条件、水体自身的物理、化学和生物学方面的特性,而且与水质要求和污染物的排放方式有密切关系^[5,6]。水环境容量的计算方法可分为解析法、试错法、系统分析法、概率稀释模型法等^[4,7]。本文采用解析法进行计算。

1 研究范围及区域概况

本文研究范围为汶川地震受灾严重、纳入国家灾后重建规划范围的四川省都江堰市、彭州市、什邡市、绵竹市、安县、北川羌族自治县、平武县、江油市、青川县、汶川县、理县、茂县、松潘县、小金县、黑水县、汉源县、崇州市、剑阁县、德阳市旌阳区、中江县、罗江县、绵阳市涪城区、绵阳市游仙区、三台县、盐亭县、梓潼县、广元市利州区、广元市元坝区、广元市朝天区、苍溪县、大邑县、广汉市、旺苍县、南江县、阆中市、宝兴县、芦山县、石棉县、九寨沟县,甘肃省的文县、陇南市武都区、康县、成县、西和县、徽县、两当县、舟曲县,陕西省的宁强县、勉县、略阳县、宝鸡市陈仓区等共51个县区,包括1271个乡镇。区域面积13.26万 km^2 ,人口约1986.7万人,2006年GDP总量约为2331亿元。区域内国民经济主导产业是农业,水电开发和旅游产业在区域经济中占有重要地位。

2 水环境条件

研究区域内河流众多,有大小河流200余条,主要属岷江、沱江、涪江、嘉陵江4大水系(图1)。水流方向多是由盆地边缘山地向盆地内汇入,其中沱江、涪江发源于震区的龙门山脉。

岷江内江水系干流中上游水质较好,以Ⅱ、Ⅲ类水质为主,主要支流柏条河水质以Ⅱ类为主;岷江外江水系干流总体水质较好,以Ⅱ、Ⅲ类水质为主^[8]。沱江水系干流水质基本稳定,三皇庙断面水质下降为Ⅳ类;主要支流蒲阳河水质总体为Ⅱ~Ⅲ类,彭州市段出现过Ⅳ、Ⅴ类水质;毗河中上游水质较差,为Ⅴ类、劣Ⅴ类,下游水质为Ⅳ类。涪江水质平稳,平武水文站、丰谷渡口、三台百顷断面、涪江绵阳李家渡、安昌江安县界牌、通口河北川通口、梓江盐亭玉龙镇监测项目全部达到标准(平武水文站Ⅰ类、北川通口Ⅱ类、其余断面Ⅲ类)。涪江绵阳段有机污染较严重^[9~11]。嘉陵江广元段水质有优化趋势,八庙沟、袁家坝断面实测类别为Ⅰ类优于规划的Ⅱ类水质,张家岩断面水质为Ⅱ类优于规划的Ⅲ类水质。

区域内水资源量丰富,但分布不均,变化梯度大。由于特殊的地理环境和水气条件,部分地区是四川省降水、径流、暴雨中心,水资源量非常丰富;而处于四川盆地的平原、丘陵区及龙门山背风坡地区,水资源量低于

四川省平均水平。区域内各县多年平均降水总量 653.57 亿 m^3 , 降水深 1098.3mm; 多年平均地表水资源量 415.58 亿 m^3 , 平均径流深 698.4mm; 多年平均地下水资源量 112.25 亿 m^3 , 平均地下径流深 188.6mm; 多年平均水资源总量 420.74 亿 m^3 , 产水量 71.52 万 m^3/km^2 。

3 评价方法

3.1 评价单元和数据来源

本文以乡镇行政区域为评价单元进行环境容量计算和环境适宜性评价。在 GIS 环境下, 建立了 1271 个乡镇的包括降雨量、径流系数、径流深、人口、GDP 等参数的评价数据库, 然后利用水环境容量计算模型和环境适宜性评价模型对全部乡镇进行评价。

文中人口、GDP 等数据主要依据震区各地的年鉴, 降雨量、径流系数、水功能区划等级等数据主要来自于各地的水环境功能区划和近年的环境质量报告、环境状况公报等资料。

3.2 水环境容量计算

环境容量是指某环境单元在保持自身结构稳定和生态功能的条件下, 所能容纳污染物的最大负荷量。水环境容量, 即水体在一定水文条件和水环境功能目标下, 所能够容纳的污染物质。其大小与水质目标、水体稀释自净规律、水量及随时间的变化、水体背景浓度和排污点的位置与方式等因素有关。水环境容量可分为稀释容量、自净容量(同化容量)和输送容量等 3 部分。

本文评价区域的水环境容量, 与水体的环境容量计算类似, 假设每个评价单元范围为一个水体。为了使区域水环境容量评价的结果尽量趋近客观实际, 对计算单元做了如下假设: 一是单元内只考虑地表水, 不考虑地下水环境容量和各类水文循环; 二是计算本单元水环境容量时, 只考虑本单元内的地表水, 不考虑过境水的水环境容量对本单元的分配; 三是计算单元内的水体自然背景值为 I 类水质, 水体环境功能目标按照四川省、陕西省和甘肃省相关地域的水功能区划成果; 四是将单元水体看作一个小水库, 当污染物进入水体时立即完全混合。为了保护该区域水环境安全, 本评价遵循保守性原则, 估算中不考虑单元水体的自净容量(同化容量)和输送容量, 只考虑水体稀释容量。

水环境容量选择 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 两个指标进行评价。首先利用降雨量、径流系数、径流深等参数计算评价单元的地表水量, 再根据水环境质量标准、水体自然背景值等参数计算两种污染因子的环境容量。采用完全均匀混合质量平衡水质模型计算水环境容量, 模型如下:

$$Q = \sum_{i=1}^n (C_i - C_{si}) V_i$$

式中, Q 为水环境容量(t/a); V_i 为计算单元 1a 内产生水体的体积(m^3/a); C_i 为水体中污染物环境功能目标浓度(mg/L); C_{si} 为水体中污染物的自然背景浓度(mg/L); n 为计算单元(个)。

依据地表水水域环境功能和保护目标, 水质功能区划由高到低划分为 5 类水域。将水域环境功能区划分配至乡镇域上的原则是: 遵守《四川省地表水环境功能区划》(川府发[1992]5 号)的原则规定; 优先保护饮用水水源地和国家自然保护区水域; 同一区域兼有多类功能的, 按最高功能划分类别; 划分各水域功能, 一般不得低于现状功能等; 上游地区水域功能划分, 要满足下游地区的功能要求; 进入湖、库的河流和人工干渠, 应满足湖、库的功能要求等。

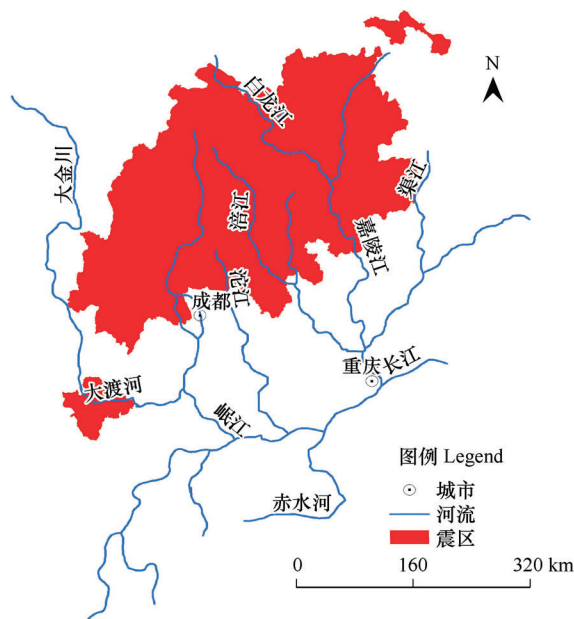


图 1 震区范围及水系图

Fig. 1 Earthquake region and the water system

计算中采用实际赋值方法,即以四川省水功能区域规划为准。规划中未涉及的区域,采取以下原则:取当地河流水质治理目标值;上游地区不低于中下游地区水质标准值;下游地区不高于中上游地区水质标准值;由Ⅰ类水质到Ⅲ类水质的区域间酌情增加Ⅱ类缓冲区域。

水环境容量分级是综合所选择的 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 两种污染因子的容量值,进行综合分级,如表 1 所示。等级越高,水环境容量越小。

表 1 区域水环境容量评价分级

Table 1 The classification of regional water environmental capacity

指数分级 Index classification	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
水环境容量等级 Classification of water environmental capacity	优 Excellent	良 Very good	中 Good	差 Fair	很差 Poor

3.3 水环境适宜性评价

水环境适宜性评价是以测算人类社会经济活动和自然因素造成的水环境胁迫为依据,评价区域水环境对未来人类健康、生物多样性、社会经济发展等方面的支持能力和潜力。首先基于水环境容量计算结果和各区内的污染物排放源强,对单元内的水环境污染胁迫性进行评价。水环境适宜性用下式计算:

$$a_i = \frac{P_i - Q_i}{Q_i}$$

式中, a_i 为第 i 项污染物的环境适宜性指数; Q_i 为第 i 项污染物的环境容量(t/a); P_i 为第 i 项污染物的排放量(t/a)。

然后,根据水污染胁迫性与水环境适宜性的关系,对水环境适宜性进行评价,区域水环境污染胁迫指数越高,水环境适宜性就越低。通过水环境适宜性的计算,可以了解一个区域内现状污染的程度,判断水环境容量的余量。水环境适宜性评价按不同污染物取平均值,其分级如表 2 所示。等级越低,说明污染物对水环境容量的威胁越小,环境适宜性越高。

表 2 水环境适宜性分级

Table 2 The classification of water environmental suitability

指数分级 Index classification	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
环境适宜性 Environmental suitability	很适宜 Excellent	适宜 Very good	一般 Good	较不适宜 Fair	不适宜 Poor

本文研究的污染物是按震前的污染负荷统计估算的。污染来源主要包括生活污染源和工业污染源,未考虑面源污染,污染源强分别按照人口、人均污染负荷、GDP、万元产值排污量的系数确定的。

从水环境容量和污染胁迫程度的角度对震区进行水环境适宜性评价,可以在空间上得出,哪些地区适宜开发、哪些地区较适宜和哪些地区不适宜开发,为震区重建和开发提供依据。水环境容量越低,水污染胁迫程度越高,水环境承载力越低,环境适宜性越差,越不适宜开发;反之,水环境容量越高,水污染胁迫程度越低,则水环境承载力越高,环境适宜性越高,越适宜开发。

4 评价结果

4.1 水环境容量

(1) 水环境容量估算

运用上述方法,在 GIS 支持下,计算得出了研究区域内总的 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量值。研究区域内 COD 水环境容量值约为 117312.31 ~ 143381.72 t/a ,其均值约为 130347.13 t/a ; $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量值约为 27031.28 ~ 33038.225 t/a ,其均值约为 30034.75 t/a 。

以乡镇为单元,得出各乡镇的水环境容量值,再通过 GIS 分析其空间差异性。各乡镇的 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量值见图 2 和图 3。从空间上看,水环境容量值,一方面呈现出东高西低的特点,另一方面则呈现出东北高,西南低的趋势。在大区域尺度表现出规律性的同时,局部乡镇的环境容量也存在与大区域规律不一

致的情形。从因子看,COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量值具有较好的一致性,但由于水环境质量标准中 I 类和 II 类 COD 浓度值相同而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值不同,也存在一定差异性。

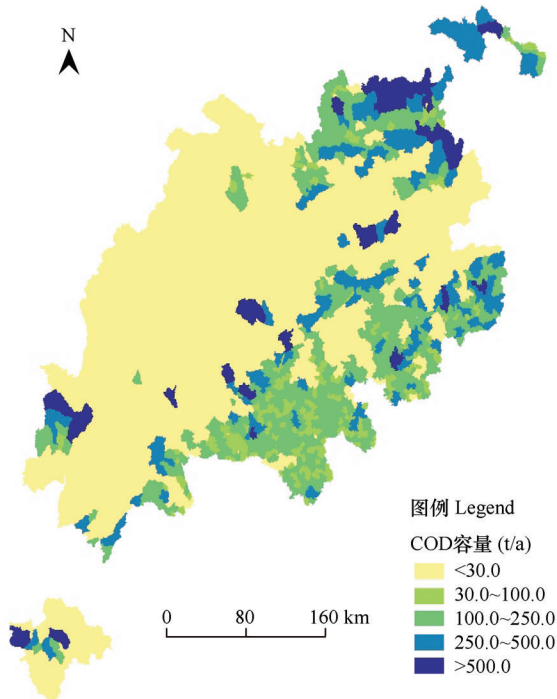


图2 COD 容量分布图

Fig. 2 Distribution of the capacity of COD

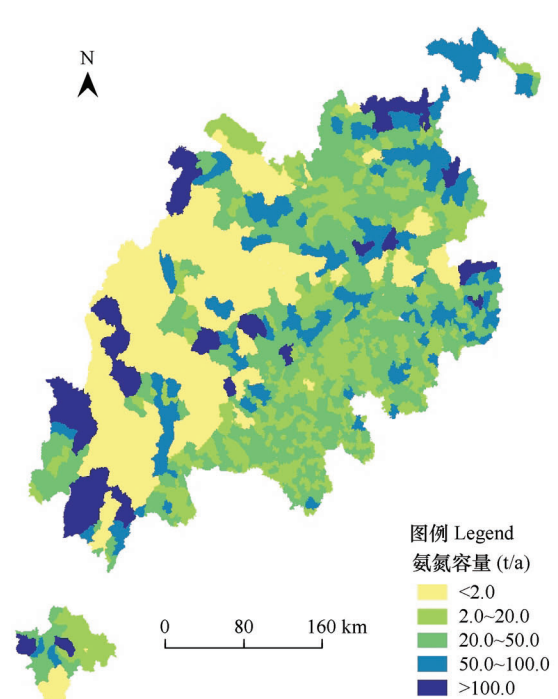


图3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 容量分布图

Fig. 3 Distribution of the capacity of $\text{NH}_3\text{-N}$

(2) 水环境容量分级评价

经过叠加运算,得出震区水环境容量分级的统计结果和空间分布图,见表3和图4。水环境容量分级在IV级和V级的面积相对较大,分别占总面积的29.4%和31.9%,Ⅱ级和Ⅲ级面积次之,占总面积的16.5%和15.2%,I级面积最小,占7.0%。从空间上看,水环境容量基本呈现由西向东逐渐增高的趋势,西部大部分乡镇的水环境容量较低,而东北部和东南部乡镇的水环境容量相对较高。

表3 水环境容量分级评价结果汇总表

Table 3 Results of the classification assessment of water environmental capacity

水环境容量分级 Classification of water environmental capacity	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	V 级
面积 Area($\times 10^4 \text{ km}^2$)	0.93	2.19	2.01	3.90	4.23
面积比重 Proportion of area(%)	7.0	16.5	15.2	29.4	31.9

按照 51 个区县单元计算,总面积为 $13.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ Calculated in accordance with 51 district units, the total area is 132600 km^2

4.2 水环境适宜性

水环境适宜性评价结果统计和空间分布图见表4和图5。水环境适宜性评价结果在Ⅲ级和V级的面积最大,分别占总面积的30.9%和30.1%,在I级和Ⅳ级的次之,分别占总面积的19.2%和15.0%,Ⅱ级的面积最小,占4.8%。水环境适宜性评价空间分布见图5。从空间上看,西南部由于人口较少,污染胁迫程度较低,环境适宜性较高;西部自然保护区因为水环境功能区划水质目标较高,容量较小,胁迫程度较大,环境适宜性较低;成都平原附近县域由于人口密集、经济较为发达,所受胁迫较大,环境适宜性较低;环境适宜性区域性明显,但也呈现出一定的分散性。

表 4 水环境适宜性评价结果汇总表

Table 4 Results of the assessment of water environmental suitability

指数分级 Index classification	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
面积 Area(×10 ⁴ km ²)	2.54	0.64	4.10	1.99	3.99
面积比重 Proportion of area(%)	19.2	4.8	30.9	15.0	30.1

按照 51 个区县单元计算,总面积为 13.26 × 10⁴ km² Calculated in accordance with 51 district units, the total area is 132600 km²

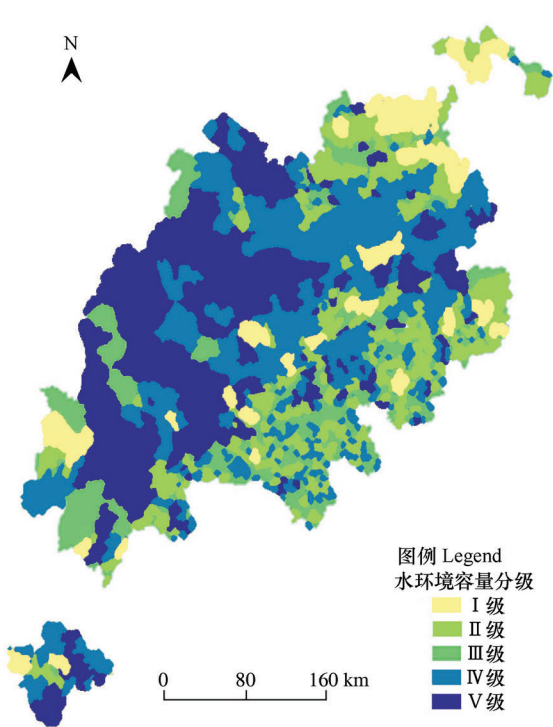


图 4 水环境容量分级评价结果图

Fig. 4 Distribution of water environmental capacity

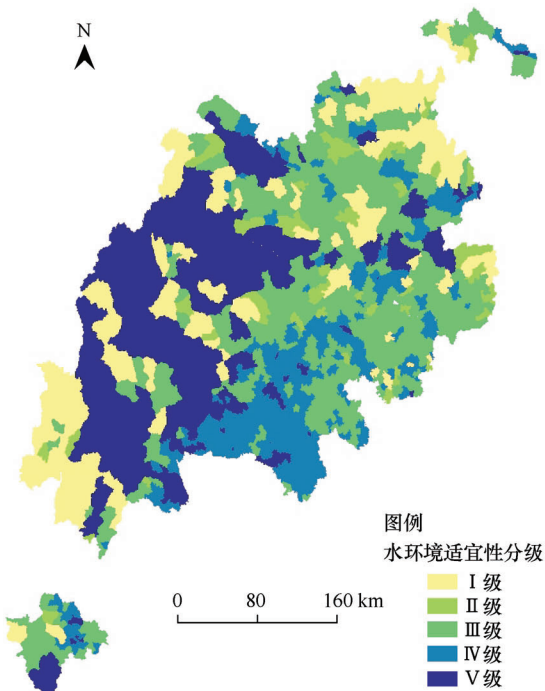


图 5 水环境适宜性评价结果图

Fig. 5 Distribution of water environmental suitability

5 结论与讨论

通过以上计算分析可以看出,在空间分布上,水环境容量值呈现出东部地区向西部地区逐渐降低的趋势;环境适宜性评价则呈现东北和西南地区适宜性高,西部和东南地区适宜性较低的分布趋势。这主要是因为西部地区大都为水源涵养区或者自然保护区,水功能区划等级较高,并且人口密度较低,污染胁迫程度较低;而东南部地区多为经济发达地区,人口密集,工业污染严重,污染胁迫程度较高。因此,在震区重建规划过程中,应把环境容量作为主要的考虑因素之一,一方面在重建规划时重点考虑东部环境容量较大地区,另一方面要根据环境容量的大小来确定城镇人口的规模、工农业生产布局和建设标准,这样既充分利用了环境容量较大地区的环境资源,又对西部在重点地区的环境资源进行了有效的保护。

震区西部山区是污染胁迫最重和最轻集中交错的区域,处于自然保护区的乡镇由于水质要求高,环境适宜性较小,而非保护区的城镇由于人口密度较小,环境适宜性较大。该区域内临近乡镇环境胁迫程度的巨大差异性,决定了在该区域开发建设时应慎重,尤其在进行跨区域的建设活动时要特别注意对生态环境的影响。

地震导致震区部分地容地貌发生改变,局部地区形成堰塞湖,改变了部分地区地表水的分布格局,但总体的水量并未改变,因此地震对区域整体的水环境容量的影响不大。尽管地震造成了重大的人员伤亡和经济损失,但灾区重建的目标是要恢复到甚至优于震前人们的生产生活水平,因此本文按照震前灾区的人口和 GDP

状况计算污染胁迫,评估环境的承载能力。

为了便于计算,本文将每个研究单元作为一个封闭的区域,没有考虑周边地区对该区域的影响。而在实际应用中,应充分考虑区域间环境的相互影响,并通过环境容量在流域上的分配,来协调社会经济活动布局和发展,促进区域的可持续发展。

本文的研究结果可以从环境的角度为震区规划重建提供一定科学依据,但规划重建中所应考虑的因素除了环境以外,还有地质灾害、地形、土地资源、社会经济基础、民族分布等多种因素,而且在不同的情况下,各种因素的优先级也有所不同,因此在震区规划重建的过程当中,还应该综合考虑其他因素的限制和影响。

References:

- [1] Li G, Guo T S, Wang H M. A Brief Introduction to the May 12, 2008 Wenchuan Ms8.0 Earthquake Sequence. *Earthquake Research in China*, 2008, 24(2):187—196.
- [2] Jin L. Research on the Rebuild Designs of Wenchuan Earthquake Region. *Environmental Protection*, 2008, 11:49—51.
- [3] Huang Z L, Li Y L, Li J X, *et al.* Water environmental capacity for the reservoir of Three Gorges Project. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, 3:7—15.
- [4] Zhang Y L, Liu P Z. *Synthesis Manual for Water Environment Capacity*. Beijing: Tsinghua University Press, 1991. 67—69.
- [5] Yao Y J, Yin H L, Li S. The computation approach for water environmental capacity in Tidal River Network. *Journal of Hydrodynamics*, 2006, 18(3):273—277.
- [6] Lu Y R. *Environment Sciences for Earth Water*. Nanjing: Nanjing University Press, 1999. 87—88.
- [7] Zhou X D, Guo J L, Cheng W, *et al.* The comparison of the environmental capacity calculation methods. *Journal of Xi'an University of Technology*, 1995, 15(3):1—6.
- [8] Wang M L, Guo L J, Gao P Y, *et al.* Discussion on water security problem and countermeasure in Minjiang River. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2006, 25(4):138—142.
- [9] Yang L Z, Xiong F, Luo J. Water environment capacity calculation of Fujiang River in Mianyang. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2007, 42(2):153—157.
- [10] Xiong F, Luo J, Yang L Z, *et al.* Study on gross control and comprehensive treatment of urban river according to Fu River in Mianyang District Sichuan. *Journal of Chongqing Jianzhu University*, 2008, 30(1):109—113.
- [11] Dai B L, Yang L Z, He Y L, *et al.* Water environmental capacity of anchang River in Sichuan Province. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 1:206—208.

参考文献:

- [1] 李纲,郭铁栓,王慧敏. 2008年5月12日汶川8.0级地震序列简介. *中国地震*, 2008, 24(2):187~196.
- [2] 金磊. 四川汶川大地震重建规划设计问题研究. *环境保护*, 2008, 11:49~51.
- [3] 黄真理,李玉梁,李锦秀,等. 三峡水库水环境容量计算. *水利学报*, 2004, 3:7~15.
- [4] 张永良,刘培哲. *水环境容量综合手册*. 北京:清华大学出版社, 1991. 67~69.
- [6] 陆渝蓉. *地球水环境学*. 南京:南京大学出版社, 1999. 87~88.
- [7] 周孝德,郭瑾珑,程文,等. 水环境容量计算方法研究. *西安理工大学学报*, 1995, 15(3):1~6.
- [8] 王渺林,郭丽娟,高攀宇,等. 岷江流域水资源安全及适应对策. *重庆交通学院学报*, 2006, 25(4):138~142.
- [9] 杨立中,熊风,罗洁. 涪江绵阳段河流水环境容量测算. *西南交通大学学报*, 2007, 42(2):153~157.
- [10] 熊风,罗洁,杨立中,等. 城市河流水污染总量控制和综合治理研究——以四川省绵阳市涪江河段为例. *重庆建筑大学学报*, 2008, 30(1):109~113.
- [11] 戴本林,杨立中,贺玉龙,等. 四川省涪江支流安昌河水环境容量的研究. *土壤通报*, 2008, 1:206~208.