

岷江上游土地资源承载力评价

李刚^{1,2}, 卢晓宁¹, 边金虎², 李爱农², 雷光斌², 南希², 姜琳^{1,2}

(1. 成都信息工程学院, 成都 610225; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:岷江上游地形复杂、人地矛盾突出,特别是 2008 年汶川特大地震后,土地资源成为本地区的稀缺资源。应用 GIS 与 DPSIR 模型,首先构建了针对岷江上游土地资源承载力的评价指标体系,实现了各指标的格网化,进一步应用主成分分析法确定指标权重,计算土地资源相对承载力,并将结果划分为相对高、较高、中、较低、低 5 个等级。分析表明:(1) 岷江上游土地资源相对承载力总体呈东高西低的规律,五县依次为茂县>汶川>理县>黑水>松潘,相对中等级区面积最大达到 33.2%,相对高等级区最小仅为 4.8%;(2) 社会经济、放牧类指标对该区土地资源承载力影响较大;(3) 汶川地震区土壤侵蚀严重,但属于相对中等级区;(4) 土地利用类型和效率等状态因子对区域内土地资源承载力最为敏感,贡献率均值达到 72%。研究对岷江上游土地资源利用及区域可持续发展具有一定的参考意义,为汶川地震灾后重建和发展提供支撑。

关键词:土地资源承载力; DPSIR; 主成分分析; 岷江上游

中图分类号:F30.124

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0262-07

Evaluation of Land Carrying Capacity in Upper Reaches of Minjiang River

LI Gang^{1,2}, LU Xiaoning¹, BIAN Jinhu², LI Ainong², LEI Guangbin², NAN Xi², JIANG Lin^{1,2}

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610441, China)

Abstract: With the complex terrain and prominent contradiction between human and land of the upper reaches of Minjiang River, land resources are scarce in this region, especially after the Wenchuan earthquake in 2008. This paper built the land carrying capacity index system for the upper reaches of Minjiang River with the aid of DPSIR model and distributes data to grid with help of GIS, and then, principal component analysis (PCA) was applied to calculate weights for each index. The capacity of land carrying is divided into five grades: relatively high, high, medium, relatively low, low. Results show that: (1) land carrying capacity of the upper reaches of Minjiang River follows the law of the high capacity in the east and the low capacity in the west in general. The order of five counties from good to bad is that Maoxian, Wenchuan, Lixian, Heishui and Songpan. The intermediate zone size is the biggest, accounting for 33.2%. The high-grade area size is the smallest, accounting for 4.8%; (2) indexes of social economy and herding in the area has a greater influence on the land carrying capacity; (3) the soil erosion of Wenchuan earthquake area is serious, but its land carrying capacity is relatively medium; (4) through the analysis on the contribution rate of a rule layer, it can be seen that the state factors about efficiency and types of land use are the most sensitive layer to the evaluation results. The average contribution rate is 72%. This study is of great significance to land resources utilization and regional sustainable development in the upper reaches of Minjiang River and provides support for reconstruction and development of Wenchuan after the earthquake.

Keywords: land carrying capacity; DPSIR; principal component analysis; upper reaches of Minjiang River

收稿日期: 2014-01-14

修回日期: 2014-03-31

资助项目: 中国科学院成都山地所“一三五”方向性项目(SDS-135-1204-05)。中国科学院和四川省“百人计划”项目(Y2R1130130); 中国科学院知识创新重要方向性项目(KZCX2-YW-QN313); 国家自然科学基金项目(41401103); 四川省科技计划应用基础研究项目(2014JY0084)

第一作者: 李刚(1987—), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境遥感应用研究。E-mail: jianke19872008@163.com

通信作者: 卢晓宁(1980—), 女, 山东青岛人, 副教授, 博士, 主要研究方向为资源环境遥感。E-mail: lxn@cuit.edu.cn

土地作为人类财富之源,为人类提供了源源不断的生产和生活资料。随着人口激增和经济快速发展,能源粗放利用、废弃物污染加剧、土地资源不合理利用等一系列问题相继出现,人地关系显现出紧张化态势,由此引发了全球对土地承载力研究的关注^[1-7]。土地资源承载力是指在一定生产条件下土地资源的生产和生活水平下所承载的人口限度^[2],它反映了一个国家和地区可持续发展的程度和当前的生态安全状况,对土地、人口、环境与发展都有一定的提示和预警作用。

岷江上游是成都平原的水源“生命线”和长江上游生态屏障的重要组成部分。然而,其特殊的地理位置与生态环境使本区域的土地资源承载力形势严峻。表现为,区域高差悬殊的地形导致的严重水土流失^[8],滑坡、泥石流等地质灾害频发^[9]。人口持续增长及土地质量退化更使得本区人地矛盾尤为凸显^[10]。近年来,国家实施了多项政策保护该区域的生态环境,提高土地资源承载力,如 1998 年实施的“天然林保护工程”和 2000 年实施的“退耕还林还草”工程^[11]。然而,2008 年汶川地震对岷江上游生态环境造成巨大破坏,使得土地资源的脆弱性加剧。在如此复杂的地理环境以及多种因素的驱动下,研究岷江上游土地资源承载力状况,可为区域未来的土地资源规划和调整提供思路。

目前,对土地资源承载力研究的方法主要有:资源供需平衡法^[12-13]、指标体系法^[14-15]、系统模型法^[16-17]等。随着社会经济的发展,影响某一区域土地资源承载力的因素越来越复杂多样,应用指标体系法能尽可能充分考虑包括粮食供给、居住空间、经济产出等多方面影响因素,使得评价结果更综合、更全面,评价结论更可靠。

基于岷江上游突出的人地关系矛盾,本文利用 GIS 技术和 DPSIR 模型的指标体系法,重点开展基于格网的 2010 年岷江上游地区土地资源相对承载力评价,并对相对承载力分布格局从社会经济、自然环境等多个角度进行分析,同时也从贡献率的角度分析各准则层对相对承载力的影响。本研究对掌握岷江上游土地资源相对承载力现状,确定正确合理的土地利用模式以及当地的农业经济发展具有指导意义。

1 研究区概况与数据搜集

1.1 研究区概况

岷江是长江上游的重要支流,位于四川省中部。发源于岷山弓杠岭和郎架岭,流经松潘、汶川等县到都江堰出峡,都江堰以上为上游。位于 102°59′—104°14′E,

31°26′—33°16′N,流域面积约为 24 657 km²。其范围与四川省阿坝藏族羌族自治州的松潘、黑水、理县、茂县及汶川 5 县的行政辖区基本重合^[18-19]。区域地形复杂,峡谷相间,相对高差较大^[20],人地矛盾问题突出,土地资源,尤其是耕地资源成为本地区的稀缺资源。区域得天独厚的森林和牧业资源,使其成为四川省,乃至全国主要材林生产基地和水源区。

1.2 数据源

主要数据源包括社会经济统计数据、土地利用数据、土壤侵蚀数据、MODIS 的月 NDVI 产品数据、90 m 分辨率 DEM 数据、1:25 万行政界线数据。其中,社会经济统计数据主要来自 2010 年各县统计年鉴及政府工作报告;土地利用数据基于国产环境卫星、TM 卫星等多源卫星遥感数据采用面向对象分类算法获取,分类精度一级类高于 95%,二级类高于 85%,满足研究需求;地质灾害数据来自遥感解译和野外调查;土壤侵蚀数据来自已有研究成果^[21];MODIS 数据来自国家数据服务平台网站(<http://datamirror.csdb.cn>)。

2 研究方法

本文选用 DPSIR^[22-23] (driving forces-pressure-state-impact-response)模型构建岷江上游土地资源承载力评价指标体系。其中,“D(驱动力)”是指引起土地资源承载力变化的潜在诱因,主要是社会经济方面的指标,“P(压力)”是指引发土地资源承载力发生变化的直接原因,包括人类活动对自然环境的压力以及自然属性产生的压力,“S(状态)”是指土地资源承载力的现实表现,“I(影响)”是指土地资源承载力的状态在上述压力作用下所产生的影响变化,“R(响应)”是指人类社会为提高土地资源承载力而采取的措施。

2.1 指标体系的构建

岷江上游地区生态环境现状具有如下表现:

① 森林大面积砍伐、过度放牧、陡坡开垦等引起的土壤侵蚀严重^[24];② 人口快速增长、经济落后等导致的环境压力与粮食问题突出^[8];③ 气候干旱、地质灾害频发等造成的生态环境脆弱^[10,25-26];④ 环保投资、天然林保护工程等对生态环境的改善^[11]。针对以上对生态环境正负反馈的各种现象,本研究从综合的、动态的、反馈的及可持续的角度,基于 DPSIR 模型框架,建立了岷江上游土地资源相对承载力评价指标体系。针对土壤侵蚀加剧的指标包括:林地覆盖率、草地覆盖率、25°以上坡耕地面积比、土壤侵蚀模数、实际载畜量;针对环境压力以及粮食问题加剧的指标包括:城镇化水平、人口密度、地均 GDP、工业占 GDP 比重、人均耕地面积、耕地面积比、农业综合机械化水平、化

肥集约度、人均粮食产量、粮食单产作为指标;针对生态环境脆弱现象的指标包括:干旱指数、地质灾害易发

区面积比;针对响应对策的指标包括:人工造林面积、环保投入占 GDP 比重。详细指标体系见表 1。

表 1 岷江上游土地资源相对承载力评价指标体系

目标层	准则层	分准则层	指标层	单位
岷江上游土地资源承载力	D(驱动力)	社会经济驱动力	城镇化水平(X_1)	%
			人口密度(X_2)	人/ km^2
			地均 GDP(X_3)	元/ km^2
	P(压力)	社会经济压力	实际载畜量(X_4)	头/ km^2
			工业占 GDP 比重(X_5)	%
	S(状态)	自然环境压力	干旱指数(X_6)	无量纲
			地质灾害易发区面积比(X_7)	%
			林地覆盖率(X_8)	%
			草地覆盖率(X_9)	%
		土地利用类型状态	25°以上坡耕地面积比(X_{10})	%
			人均耕地面积(X_{11})	km^2
			耕地面积比(X_{12})	%
			农业综合机械化水平(X_{13})	kw/km^2
			化肥集约度(X_{14})	t/km^2
		土地利用效率状态	土壤侵蚀模数(X_{15})	$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$
			人均粮食产量(X_{16})	t/人
	I(影响)	土地产出影响	粮食单产(X_{17})	t/km^2
	R(响应)	社会经济响应	人工造林面积(X_{18})	km^2
			环保投入占 GDP 比重(X_{19})	%

2.2 指标的标准化处理

土地资源相对承载力评价是多指标的综合性评价,不同评价指标存在量纲不统一的情况,为避免量纲不同对评价结果产生影响,首先对各指标进行标准化处理。本文采用的指标标准化方法是极差变换法^[27],对数值越大越优型指标($X_1, X_2, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}$)采用式(1)进行标准化处理:

$$x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i=1, 2, 3, \cdots, n) \quad (1)$$

对数值越小越优型指标($X_4, X_7, X_9, X_{10}, X_{15}$)采用式(2)进行标准化处理:

$$x_i' = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i=1, 2, 3, \cdots, n) \quad (2)$$

式中: x_i ——第*i*个指标的原始数值; x_{\min} ——第*i*个指标的原始数据最小值; x_{\max} ——第*i*个指标的原始数据最大值; x_i' ——第*i*个指标标准化后的数值。

2.3 指标空间化方法

在 GIS 平台支持下,将研究区用 1 km×1 km 的网格进行划分,作为评价单元,并将各类指标数据分配到网格中,即格网化。人口密度格网化是通过建立居民地、耕地面积与人口之间的二元线性回归模型^[28]实现。地均 GDP 格网化是在人口密度格网化结果属性表中将人口密度字段与人均 GDP 统计数据相乘求得。环保投入占 GDP 比重、人工造林面积两

指标均对全县范围有影响,本文认为县内影响相同,通过追加属性的方式将统计数据添加到属性表中。干旱指数指标则是由研究区 2001—2010 年 10 a 的 NDVI 数据,依据公式^[29]计算得到植被状态指数(VCI)。地质灾害易发区面积比、林地覆盖率、草地覆盖率、耕地面积比、25°以上坡耕地面积比和土壤侵蚀模数 6 个指标都是通过将对应要素矢量图层与评价单元叠加,统计每一评价单元内各要素的面积比例实现格网化。因为化肥集约度、农业综合机械化水平、人均耕地面积、人均粮食产量和粮食单产类指标(和耕地相关性最大),城镇化水平和工业占 GDP 类指标(和建设用地相关性最大),实际载畜量指标(和草地相关性最大)都有与之关系最密切的土地利用类型,除该关系密切土地利用类型外,该类指标在其它非密切土地利用类型上的值都设为 0,故在对该类指标格网化前,首先将土地利用矢量数据与评价单元进行叠加,实现土地利用数据的格网化,进一步在属性表中将每一指标的统计数据与评价单元中与其关系最密切的土地利用类型面积相乘实现这 8 个指标的格网化。各指标格网化结果见附图 3。

2.4 指标权重的确定

指标权重的确定方法有多种,依据权重计算时原始数据的来源,可分为两种:主观赋权法(层次分析法(PHA)^[30]、德尔菲法(Delphi)^[31]等)与客观赋权法(主成分分析法(PCA)^[32]、熵值法^[33]等)。本文选用

客观赋权法中的 PCA 法对指标进行赋权,该方法是基于数据分析建立指标之间的内在结构关系确立指标权重,避免主观因素的影响,增强分析评价结果的客观性和可信性^[34]。在 SPSS 软件平台支持下,选用降维方法中的因子分析法确定主成分,以每个主成分对应的特征值占所提取主成分特征值之和的比例作为每个主成分的权重,再由主成分载荷矩阵计算出每个主成分中各指标的特征向量,最后,两者相乘求和作为每个指标的权重,结果见表 2。

表 2 岷江上游土地资源承载力指标权重

指标层	权重
城镇化水平(X_1)	0.154
人口密度(X_2)	0.161
地均 GDP(X_3)	0.150
实际载畜量(X_4)	0.171
工业占 GDP 比重(X_5)	0.143
干旱指数(X_6)	0.001
地质灾害易发区面积比(X_7)	0.053
林地覆盖率(X_8)	0.147
草地覆盖率(X_9)	0.178
25°以上坡耕地面积比(X_{10})	0.104
人均耕地面积(X_{11})	0.070
耕地面积比(X_{12})	0.142
农业综合机械化水平(X_{13})	0.137
化肥集约度(X_{14})	0.133
土壤侵蚀模数(X_{15})	0.131
人均粮食产量(X_{16})	0.066
粮食单产(X_{17})	0.135
人工造林面积(X_{18})	0.015
环保投入占 GDP 比重(X_{19})	0.142

2.5 土地资源承载力综合评价值的计算

土地资源相对承载力评价体系是一个多层次、多因子的复杂系统,各准则层之间及各指标层之间既相互制约又相互依存,且都具有不可替代的功能和作用,对整个评价都有重要贡献。本文运用线性加权求和函数法^[35]来计算土地资源相对承载力(Y)。表达如下:

$$Y=\sum_{i=1}^n w_i \times x_i \tag{3}$$

式中: Y ——土地资源相对承载力评价值, w_i ——第 i 个指标对应的权重值; x_i ——第 i 个指标的标准化值; n ——指标个数。

2.6 准则层贡献率的计算

用贡献率(Z)来衡量指标体系中各准则层对土地资源相对承载力的影响,见式(4)。

$$z=\sum_{i=1}^m w_i \times x_i / \sum_{i=1}^j w_i \times x_i \tag{4}$$

式中: Z ——各准则层贡献率; w_i ——第 i 个指标的权重; x_i ——第 i 个指标的标准化值; j ——指标体系中指标的总数; n ——准则层包含指标的起始标号; m ——准则层包含指标的结束标号。

3 结果与分析

3.1 岷江上游土地资源相对承载力结果与分析

依据表 2 的各指标权重,应用式(3)计算出每个格网的土地资源相对承载力评价值,该值越高,则区域土地资源承载力越强。根据区域土地资源相对承载力值大小,采用等间隔的分级方法,将研究区土地资源承载力分为 5 种相对等级(相对低等级($Y<0.220$)、相对较低等级($0.220<Y\leq 0.388$)、相对中等级($0.388<Y\leq 0.556$)、相对较高等级($0.556<Y\leq 0.724$)和相对高等级($Y>0.724$)),最终得到岷江上游土地资源承载力分级显示图(附图 3)。

从附图 3 可以看出,岷江上游地区土地资源相对承载力总体呈东高西低的规律,与李爱农等^[36]关于该地区生态环境脆弱度及郭兵等^[37]关于该地区宜居性的规律吻合。其中:

(1) 相对低承载力等级区。该等级承载力区的面积为 1 693.5 km²,占研究区总面积的 6.8%,且在各县内均有分布,但在松潘县面积最大,占到该等级区面积的 41.9%(图 1)。该等级承载力区植被覆盖类型以落叶灌木和稀疏草地为主,尤其是黑水、松潘两县,主要为稀疏草地,植被覆盖度较低,年均 NDVI 为 0.36 左右;实际载畜量大,土壤侵蚀严重,平均侵蚀模数约为 7 055.6 t/(km²·a),属于强度侵蚀区;区域气候干旱降水,受旱情胁迫严重;除此之外,该等级区的经济不发达,地均 GDP 的平均值只有 0.005 元/km²。以上这些方面严重影响了该等级区的土地资源承载力。

(2) 相对较低承载力等级区。该等级承载力区面积为 6 011.7 km²,占研究区总面积的 24.3%,且主要分布于松潘的东、西两侧及理县的西侧和北侧,该类型等级区在两县的面积占到该区总面积的 68.1%(图 1),茂县面积比例最少,仅占到 6.1%。该等级区植被覆盖仍以稀疏草地为主,但年均 NDVI 已经较相对低等级区有所上升,平均值为 0.40,但仍然很低;该区的平均侵蚀模数为 5 110.6 t/(km²·a),仍达到中等土壤侵蚀程度;加上经济亦仍欠发达,地均 GDP 平均值仅为 0.24 元/km²。以上这些方面是导致该类型区土地资源承载力低的主要原因,也是未来提高该区域土地资源承载力应该重点关注的内容。

(3) 相对中等承载力等级区。该等级承载力区面

积为 8 228.9 km², 占研究区总面积的 33.2%, 主要在松潘县, 占到该等级区面积的 38.7%, 其它 4 县也有少量分布(图 1)。该等级区植被类型以灌木林为主, 土壤侵蚀较小, 平均侵蚀模数为 3 234.3 t/(km² · a), 水土保持较好, 退耕还林政策发挥了较大作用, 年均 NDVI 达到 0.522; 但是该区耕地面积较少, 粮食产出较小。虽然汶川地震区土壤侵蚀严重, 但该区自身经济较为发达, 对灾害的承载力较强, 因此, 属于相对中等级区。

(4) 相对较高承载力等级区。该等级承载力区面积为 7 666.3 km², 占研究区总面积的 30.9%, 在茂县分布最为广泛, 占到该区总面积的 25.6% (图 1)。耕地主要分布在该区, 该区耕地面积占总耕地面积的 36.7%, 主要沿着岷江干流、支流分布于干旱河谷之中, 粮食产出较多, 化肥集约度和农业综合机械化水平也较高, 经济基础较强, 地均 GDP 达到 24.5 元/km², 从而导致该区域土地资源承载力较高。

(5) 相对高承载力等级区。该等级承载力区的面积为 1 183.9 km², 仅占到研究区总面积的 4.8%, 主要沿河谷分布, 茂县分布最广(图 1)。该区主要为建设用地以及农业综合机械化水平和化肥集约度高的耕地, 该区的耕地和建设用地就占到研究区两土地利用类型总面积的 60.2% 和 93.2%。区域土壤侵蚀亦很轻, 土壤侵蚀模数仅为 2 812.5 t/(km² · a), 同时地均 GDP 达到 444.5 元/km²。因此, 该区特征就是土地肥沃和经济较发达。以上因素的综合作用使得这些区域成为岷江上游土地资源承载力最高的区域。

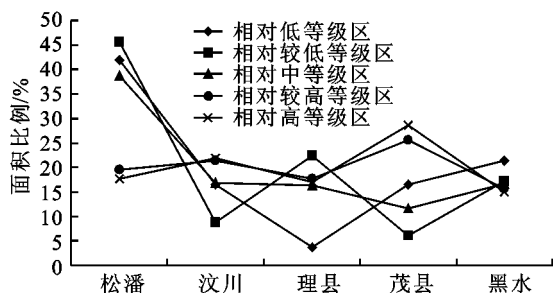


图1 五县中各承载力等级面积占该承载力等级总面积比例

对各县不同承载力等级区进行面积比例统计(图 2), 用于对比分析各县内部的相对承载力差异。由图 2 可看出, 松潘县以相对中等级区面积比例最大, 达 38.2%, 而相对高等级区所占比例最小, 仅为 2.5%; 汶川县则以相对较高等级区占有最大比例, 达 40.2%, 亦以相对高等级区占最小比例, 仅为 6.4%; 理县相对中、较高和较低等级区所占比例分别为 31.2%, 31.5% 和 31.3%, 相对低等级区占比例最小, 仅为 1.4%; 茂县以相对较高等级区占最大比例, 达 50.3%, 相对低等级区占最小比例, 仅为 7.2%; 黑

水县相对中、较高和较低等级区所占比例亦相近, 分别为 33.0%, 29.1% 和 24.8%, 相对高等级区占最小比例, 仅为 4.3%。因此, 就区县上看, 汶川、茂县的土地资源承载力水平较高, 而理县、黑水、松潘的土地资源承载力水平较低, 依据各县相对承载力平均值对五县的土地承载力进行排序, 结果为茂县(0.531) > 汶川(0.510) > 理县(0.470) > 黑水(0.456) > 松潘(0.423)。茂县最高的主要原因是该县耕地面积较大, 具有较大的粮食产出, “退耕还林”工程的实施使得该县土壤侵蚀较轻, 水土保持较好, 同时经济也较为发达; 松潘最低, 是因为该县耕地面积较小, 以稀疏草地覆盖为主, 粮食产量低, 加上土壤侵蚀较严重, 经济发展相对欠发达。

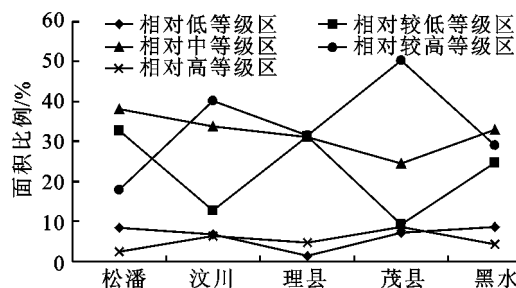


图2 五县中各承载力等级面积占对应县行政区面积比例

3.2 准则层分析

利用式(4), 分别计算岷江上游驱动力、压力、状态、影响、响应各准则层对区域土地资源相对承载力的贡献率, 计算结果如图 3 所示。与附图 3 对比可以看出, 驱动力层在整个研究区的贡献率均较小, 大部分区域的贡献率均小于 7%, 只有相对高等级区贡献率相对较大, 但最大值也仅达到 37%。压力层在相对低、较低等级区贡献率较大(大于 48%), 是该两等级区的主要作用层; 在相对高等级区贡献率小于 36%, 影响相对较小。状态层在整个研究区的贡献率均较大, 绝大部分地区贡献率大于 51%, 其中在相对中、较高等级区贡献率大于 71%, 是该两等级区的绝对作用层; 在相对高等级区贡献率相对较小(小于 50%), 在相对低、较低等级区贡献率介于两者之间。影响层在相对低等级区贡献率较大(大于 48%), 是该等级区的主要作用层; 在相对中、较高、高等级区贡献率相对较小(小于 31%), 相对较低等级区贡献率介于两者之间。响应层在整个研究区的贡献率均较小, 绝大部分区域贡献率小于 5%, 贡献率最小的区域为松潘县(小于 1%)。综上所述, 状态层对整个区域的贡献率最大, 均值为 72%, 其次是压力层, 均值为 48%, 说明状态层对研究区土地资源相对承载力评价最为敏感, 也是提高区域土地资源承载力的关键所在。

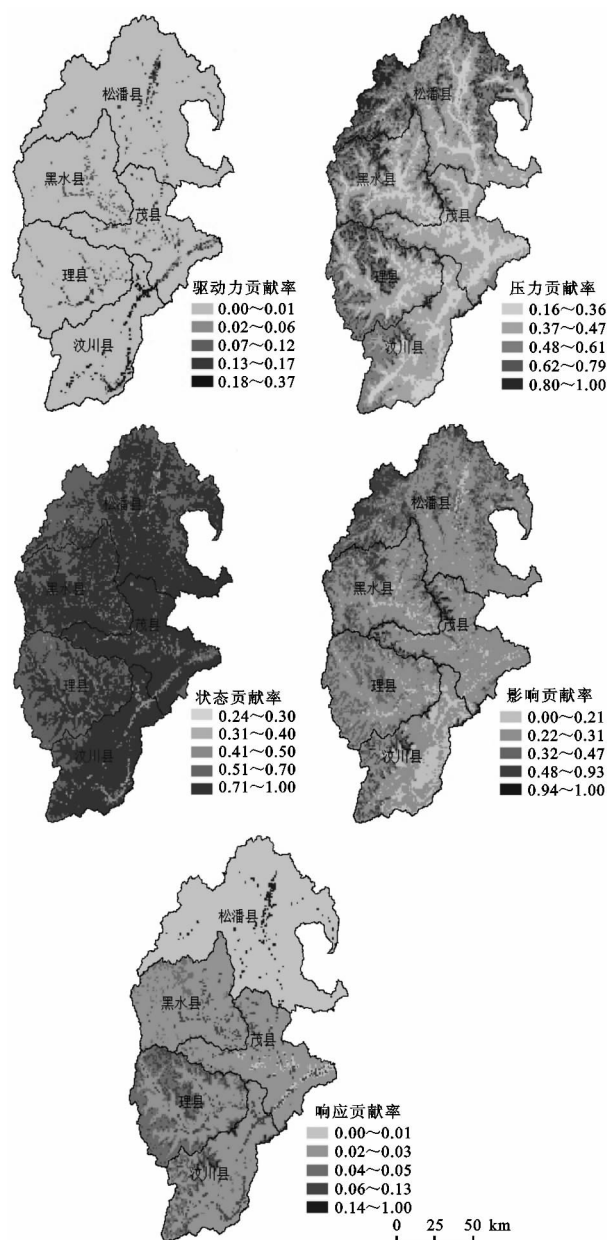


图3 各准则层贡献率空间分布

4 结论

本文基于 DPSIR 模型构建了岷江上游土地资源相对承载力评价指标体系,利用 GIS 实现了各指标的格网化,并应用 PCA 法进行指标权重赋值,最终实现了基于格网的岷江上游 2010 年土地资源相对承载力评价,所得结论如下:

(1) 通过主成分分析法确定的各指标权重可以说明影响岷江上游土地资源相对承载力的主要指标有城镇化水平、人口密度、地均 GDP、实际载畜量、草地覆盖率,其中草地覆盖率>实际载畜量>人口密度>城镇化水平>地均 GDP,说明社会经济指标与放牧类指标对该区域土地资源承载力影响较大。

(2) 评价结果显示岷江上游土地资源相对承载

力总体空间分布为东高西低,相对中承载力等级区面积最大,相对高承载力等级区面积最小,各等级区面积排序为相对中等级区>相对较高等级区>相对较低等级区>相对低等级区>相对高等级区。汶川地震区虽然土壤侵蚀严重,草地、林地覆盖率较低,但该区经济相对较为发达,对灾害的承载力较强,因此,属于相对中等级区。

(3) 岷江五县的承载力排序依次为茂县>汶川>理县>黑水>松潘。其中,茂县、汶川、理县以相对较高等级区为主,黑水、松潘以相对中等级区为主。茂县最高的土地资源承载力缘于该县耕地面积大,水土保持较好且经济发展相对较好;松潘最低是因为粮食产量较少,土壤侵蚀较严重且经济发展相对欠发达。

(4) 从准则层的角度分析得出,状态层对研究区土地资源相对承载力评价最为敏感,贡献率均值为 72%,其次为压力层。

因此未来可以通过从发展区域经济,包括工业和农业产出,植树造林,合理畜牧提高区域植被覆盖度,来提高区域土地资源承载力。

参考文献:

- [1] Sara J, Heidi H, Alan B A, et al. Identification of superfluous roads in terms of sustainable military land carrying capacity and environment[J]. Journal of Terramechanics, 2011, 48(2): 97-104.
- [2] Murray L. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning[J]. Land Use Policy, 2010, 27(4): 1038-1045.
- [3] Haraldsson H V, Olafsdóttir R. A novel modelling approach for evaluating the preindustrial natural carrying capacity of human population in Iceland[J]. Science of the Total Environment, 2006, 372(1): 109-119.
- [4] Wang X J, Zhang J Y, Liu J F, et al. Water resources and planning and management based on system dynamics: a case study of Yulin city[J]. Environ. Dev. Sustain., 2011, 13(2): 331-351.
- [5] Li H P, Yu B. Numerical study of regional environmental carrying capacity for livestock and poultry farming based on planting-breeding balance[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(9): 1882-1889.
- [6] 彭立, 刘邵权. 土地功能视角下的土地资源人口承载力研究: 以攀枝花、六盘水市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S1): 74-81.
- [7] Zhen L, Cao S Y, Cheng S K, et al. Arable land requirements based on food consumption patterns: Case study in rural Guyuan District Western China[J]. Ecologic economics, 2010, 69(7): 1443-1453.

- [8] 叶延琼,樊宏,陈国阶. 岷江上游土地退化及其防治对策[J]. 水土保持通报,2002,22(6):56-58.
- [9] 柳金峰,游勇,陈兴长. 岷江上游潜在性泥石流堰塞湖危害及判识[J]. 地理科学,2012,32(7):885-891.
- [10] 赵永华,何兴元,胡远满,等. 岷江上游土地利用覆被变化及其驱动力[J]. 应用生态学报,2006,17(5):862-866.
- [11] 马超飞,马建文,哈斯巴干,等. 基于RS和GIS的岷江流域退耕还林还草的初步研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):20-24.
- [12] Zhao X G, Xiao L, Lan Y X, et al. Dynamics of ecological footprint and ecological capacity of Shanxi[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2005,38(4):746-753.
- [13] Yue T X, Tian Y Z, Liu J Y, et al. Surface modeling of human carrying capacity of terrestrial ecosystems in China[J]. *Ecological Modelling*,2008,214(2):168-180.
- [14] Shi Y, Wang H, Yin C. Evaluation method of urban land population carrying capacity based on GIS:A case of Shanghai, China[J]. *Computers Environment and Urban Systems*,2013,39:27-38.
- [15] 吕宝,王成端,周亚红. 绵阳市土地资源承载力研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2007,30(4):489-492.
- [16] 哈斯巴根,李百岁,宝音,等. 区域土地资源人口承载力理论模型及实证研究[J]. 地理科学,2008,28(2):189-194.
- [17] He R W, Liu S H Q, Liu Y W. Application of SD model in Analyzing the Cultivated Land Carrying Capacity: A Case Study in Bijie Prefecture, Guizho Province, China[J]. *Procedia Environmental Sciences*,2011,10:1985-1991.
- [18] 何兴元,胡志斌,李月辉,等. 支持下岷江上游土壤侵蚀动态研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2271-2278.
- [19] 李爱农,周万村,江晓波. 遥感和GIS技术支持下的岷江上游15a土地利用/土地覆被动态变化研究[J]. 水土保持学报,2003,27(4):153-156.
- [20] 李爱农,周万村,江晓波,等. 土地利用与土地覆被时空动态变化分析:以岷江上游地区为例[J]. 地球信息科学,2003,5(2):100-104.
- [21] 姜琳,李爱农,边金虎,等. 岷江上游2000—2010年土壤侵蚀时空格局动态变化分析[J]. 水土保持学报,2014,28(1):18-25.
- [22] Skoulikidis N T. The environmental state of rivers in the Balkans: A review within the DPSIR framework[J]. *Science of the Environment*,2009,407(8):2501-2516.
- [23] Amanda J G, Jonathan P A, Daryl B, et al. A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modelling process[J]. *European Journal of Operational Research*,2013,227(3):558-569.
- [24] 刘艳锋,陈学华,贺秀斌,等. 岷江上游土壤侵蚀与土地利用的耦合关系研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):161-165,185.
- [25] 周睿,胡玉喆,熊颖,等. 岷江上游河岸带土地覆盖格局及其生态学解释[J]. 植物生态学报,2007,31(1):2-10.
- [26] 杨兆平,常禹,问青春. 岷江上游干旱河谷耕地和居民用地的空间特征[J]. 生态学杂志,2007,26(3):327-331.
- [27] 杨奇勇,杨劲松,李晓明,等. 基于GIS的盐渍土改良区耕地土壤适宜性评价[J]. 自然资源学报,2011,26(3):477-485.
- [28] 王雪梅,李新,马明国. 干旱区内陆河流域人口统计数据的空间化:以黑河流域为例[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(6):39-47.
- [29] Steven M Q, Srinivasan G. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*,2010,150(3):330-339.
- [30] Liu Z X, Zhang R. A new method that can improve regional eco-environmental evaluation: combining GIS with AHP[J]. *Resour. Environ. Yangtze Basin*,2003,12(2):163-168.
- [31] Christoph M, Inga-Lena D, Heiko von der G. A Delphi-based risk analysis: Identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment[J]. *Technological Forecasting and Social Change*,2013,80(9):1815-1833.
- [32] Parinet B, Lhote A, Legube B. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management: application to a tropical lake system[J]. *Ecol. Model.*,2004,178(3):295-311.
- [33] 胡碧玉,胡昌升,郭郡郡. 基于熵权的川北城市生态系统健康综合评价[J]. 水土保持研究,2010,17(6):158-162,168.
- [34] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(1):234-238.
- [35] 徐博,雷国平,张慧,等. 基于主成分分析法和GIS的土地利用综合分区研究:以黑龙江省红兴隆垦区五九七农场为例[J]. 水土保持研究,2013,20(2):186-190,200.
- [36] Li A N, Wang A S H, Liang S H L, et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS:A case study in the upper reaches of Minjiang River, China[J]. *Ecological Modelling*,2006,192(1):175-187.
- [37] 郭兵,陶和平,姜琳,等. 自然灾害胁迫下的岷江上游生态环境宜居性评价[J]. 水土保持通报,2013,33(1):124-128.