

文章编号: 1008-2786-(2017)3-388-11

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000235

岷江上游生态系统服务与居民福祉的空间关联 及其动态特征

张继飞¹ 邓伟^{1*} 朱昌丽² 赵宇鸾²

(1. 中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所/山区发展研究中心, 成都 610041;

2. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘 要:厘清区域尺度生态系统服务与居民福祉的空间关联特征是生态系统管理服务于可持续发展的重要前提。借助生态系统服务价值当量评估法,引入校正参数和购买力指数,基于土地利用及统计数据测算了青藏高原东缘岷江上游乡镇尺度近 11 年来的生态系统服务价值(ESV),并探讨了生态系统服务与居民福祉的空间关系及其变化。结果表明:(1)研究期内人均 ESV 和居民福祉均呈不断增加趋势。人均 ESV 空间分布呈干流沿线较低、支流沿线较高的格局,人均 ESV 缓慢上升与生态保护政策的实施密不可分;居民福祉空间分布呈北部、南部高,中部低的局面,在黑水和理县-茂县交界(杂谷脑河入汇岷江处)形成一个持续性居民福祉“洼地”,福祉水平相对降低的乡镇基本位于高山峡谷。(2)利用 Delaunay 三角聚类将研究区 89 个乡镇分为 6 种空间关系模式:高服务高福祉、中服务高福祉、中服务低福祉、低服务高福祉、低服务中福祉和低服务低福祉。研究期内研究区大部分乡镇的居民福祉得到提升,居民福祉长期低水平徘徊乡镇主要位于黑水县中部、东部;研究区整体生态系统服务水平呈现先降后升的变化过程。(3)研究区生态系统服务状况虽整体趋好,但岷江源头区生态系统服务却出现明显的下降态势。依据生态系统服务与居民福祉的空间关系类型,尝试提出生态系统服务管理的针对性建议。研究结果有望为岷江上游生态系统服务与居民福祉协同发展及生态屏障建设提供科学参考。

关键词:生态系统服务;居民福祉;空间关联;动态特征;岷江上游;青藏高原东缘

中图分类号: Q148

文献标志码: A

生态系统服务与居民福祉的空间关联特征是生态系统管理服务于可持续发展的重要前提^[1-4]。生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[5-8]。福祉是贫困的反义词,是一种以环境和情形而定的状态,其组成要素包括满足高质量生活标准的基础物质需求、自由与

选择、健康、良好的社会关系以及安全等^[3]。自 2005 年千年生态系统评估报告提出生态系统服务与人类福祉关系将成为生态学研究的关键以来^[9],国内外学者便开始将目光集中在生态系统与人类福祉的关系之上。目前国内外学者对生态系统服务与人类福祉的关系进行了一系列探索,获得许多有价值的研究发现。例如, Vemuri A、Engelbrecht H J 等

收稿日期(Received date): 2017-01-10; 改回日期(Accepted date): 2017-07-04。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41301193); 国家重点基础研究发展计划项目(973) 课题(2015CB452706); 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所青年科学基金。[National Natural Science Foundation of China (41301193); National Basic Research Program of China (2015CB452706); Youth Science Foundation of Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Chengdu]

作者简介(Biography): 张继飞(1983-), 男, 河南孟津人, 博士, 助理研究员, 主要从事山区地域系统及其可持续发展研究[Zhang Jifei (1983-), male, born in Mengjin, Henan, Ph. D., assistant professor, research on mountain sustainable development.]

* 通讯作者(Corresponding author): 邓伟(1957-), 男, 博士, 研究员, 主要从事山区资源环境与国土空间管理研究[Deng Wei (1957-), male, born in Shenyang, Liaoning, Ph. D., professor, research on resources, environment and territorial space of mountain region] E-mail: dengwei@imde.ac.cn

研究发现生态系统服务与人类福祉间存在显著的相关性^[10,11];李慧梅等研究了生态环境保护与人类福祉间的关系,发现生态系统服务的破坏将严重威胁人类福祉(尤其贫困人口福祉)^[12];王大尚等人对生态系统服务的供给、消费与人类福祉的关系进行研究,发现生态系统服务与人类福祉间存在不同形式的反馈关系^[13];臧正和邹欣庆首次系统界定了生态福祉的概念内涵,提出区域生态福祉红线的刻画方法并定量评估了2012年中国省级单元的生态福祉状态^[14]。然而,目前的研究多数从全球、国家或省域等宏观视角入手,且侧重于特定时间断面的格局判断,针对大江大河上游较小地理尺度空间并将过程变化纳入分析视野的研究案例仍较鲜见。

岷江是长江上游一级支流,也是造就成都平原“天府之国”千年富庶的水源生命线^[15]。岷江上游的生态建设不仅关涉长江上游的生态安全,也关乎长江中下游地区社会经济的长远发展。岷江上游景观格局和生态保护研究得到较多关注,主要涉及生态系统服务价值估算^[16,17]、景观格局变化分析^[18,19]、灾害风险^[20]及土壤特性^[21]研究等。总体看,学术界对岷江上游生态系统服务与居民福祉空间关系模式的研究十分有限,流域生态系统服务与居民福祉的空间关系有待明晰。本文利用2000、2005和2010年三期土地利用空间数据和社会经济属性数据,借助GIS技术、ESV评估模型、系统聚类等方法,引入购买力指数定量刻画了岷江上游乡镇尺度的ESV及其空间格局,并着重探讨了生态系统服务与居民福祉的空间关系模式及其变化过程。本研究不仅对生态系统服务和居民福祉的关系作了有

效的定量刻画尝试,而且也为改进岷江上游生态系统服务管理效果提供了一定科学依据。

1 研究区概况

岷江上游干流全长334 km,流域南北长341 km,东西宽125 km,流域总面积24 650 km²。流域涵盖四川省阿坝藏族羌族自治州的松潘、黑水、茂县、理县和汶川5县及都江堰市小部分地区。基于资料可获取性、行政完整性与传统研究习惯等,本文研究区为阿坝州5县89个乡镇的行政区域范围(31°26′~33°16′N,102°59′~104°14′E)(图1)。

岷江上游地处青藏高原和成都平原过渡带,地质构造复杂,断裂发育,新构造隆升强烈,是青藏高原东缘高山峡谷地貌的典型代表^[22]。该区还是世界生物多样性热点区和我国生物多样性保护关键区,以及我国三大林区之一青藏高原东部林区、五大草场之一川西北草场的重要组成部分。因此岷江上游作为我国长江上游生态屏障的重要组成部分,其生态系统服务变化将对中下游地区产生深远影响。此外,岷江上游既是我国南方农耕文化和游牧文化的交汇带,又是汉族聚居区向多民族聚居区的过渡带^[22]。历史上曾长期作为西北沟通西蜀的交通要地,羌、藏、回、汉等多民族人口在此繁衍迁徙,是“藏彝走廊”的核心区之一^[23,24]。因地理区位相对偏远、山地生态系统高度脆弱和少数民族观念陈旧等,该区内生发展能力长期薄弱,社会经济发展水平整体落后。2000年之后历经退耕还林工程、西部大开发和5·12汶川特大地震等一系列人类活动和自

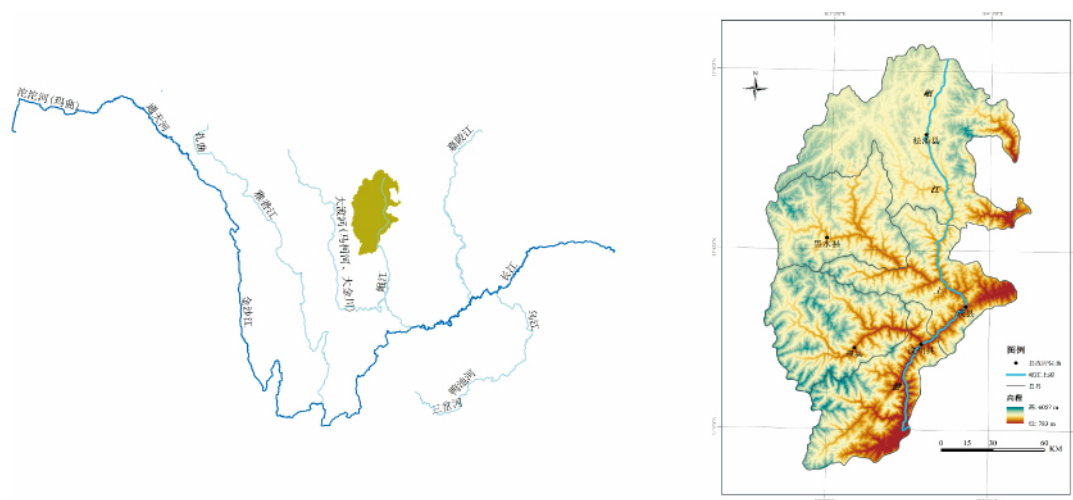


图1 岷江上游地理位置

Fig. 1 Location of the URMR

然过程剧烈扰动,流域生态-经济系统受到较大影响。近年岷江上游干流和支流梯级水电无序开发对流域生态亦造成不可忽视的影响^[25-26],高耗能产业和工业沿江布局导致水环境污染严重,基础设施建设对山体 and 植被的破坏不断增加,生态环境保护与社会经济的协调发展面临严峻挑战。

岷江上游 2010 年常住总人口 38.53 万人,受地形、海拔限制,流域人口主要分布在干流或支流的河谷之中,少数民族人口约占总人口的 76%。岷江上游是阿坝州的工农业生产基地,2010 年实现地区生产总值 74.69 亿元,占阿坝州的 56.25%,工、农业总产值分别占阿坝州的 34.33%、85.76%,三次产业增加值结构为 11.55:61.54:26.91,人均 GDP 约 18 853 元。流域各县经济差异明显,汶川县各经济指标均远超其余 4 县,其国内生产总值和工业总产值分别占 5 县总和的 45.22% 和 57.37%;黑水县是经济发展最为滞后的县,国内生产总值和工业总产值分别仅为汶川县的 26.07% 和 17.93%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究数据主要包括岷江上游土地利用变化数据和社会经济统计数据。社会经济数据主要来自岷江上游 5 县的统计年鉴、第五、第六次全国人口普查数据。土地利用变化数据来自四川省生态环境十年变化遥感调查数据,并按照谢高地等^[27]所提出的陆地生态系统单位面积服务价值当量表对研究区的生态系统类型进行重新归并。农田生态系统包括旱地和水田;森林生态系统包括对乔木林地和灌木林地;草原生态系统主要是草地;水体属于水域生态系统;荒漠生态系统包括荒漠和裸地。由于遥感解译数据没有解译出湿地这一地类,本文将不对湿地进行考虑,人工表面被认为没有 ESV^[28-30],因此也未纳入计算。

2.2 研究方法

1) 生态系统服务价值评估

目前国内生态系统服务物质量和价值量的评估方法主要有两种。一是利用 InVEST 模型^[30-31]对生态服务价值进行计算,二是在 Costanza^[28]、谢高地等^[27]确定的生态系统功能当量因子法基础上进行调整计算。利用 InVEST 模型对 ESV 进行估算的方法对参数类型要求较高且对生态系统服务类型考虑

不够全面。谢高地等在 Costanza 等生态系统服务分类的基础上,基于专家知识构建了一种 ESV 量化评估方法^[32],并在样点、区域和全国尺度 ESV 评估中得到广泛应用,本文利用其最新的 ESV 当量表来进行 ESV 测算^[27]。需要注意的是,该当量的基础单价是针对全国平均状况而言,需重新核算研究区的 ESV 基础单价,方法如下:①根据文献^[25],令 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年平均粮食单产市场价值的 1/7;②根据同期阿坝州的平均粮食单产和全国农产品成本收益资料汇编中的粮食平均出售价格,计算 2000、2005、2010 年 3 年农田自然粮食产量的经济价值;③考虑不同年份货币购买力的变化,本文提出利用购买力指数对 ESV 基础单价(包括居民福祉)进行再次核算,以消除因基准不同而导致的比较偏差。据此得出岷江上游在 2000、2005、2010 年的 ESV 核算单价分别为 429.71、542.07 和 696.66 元(表 1)。

表 1 基于购买力指数核算的 ESV 基础单价

Tab. 1 Base price according to purchasing power indices

年份	原始基础单价	购买力指数	核算单价
2000	429.71	1.00	429.71
2005	600.38	0.90	542.07
2010	919.19	0.76	696.66

2) 居民福祉的界定

人类福祉的含义与幸福、福利或利益相接近^[33-34],是指人在特定生活环境和价值观范畴内对其生活状态的综合评价^[35-36]。国内外研究表明国家或地区富裕程度与人们幸福感水平之间存在较强的正相关关系,伊斯特林悖论也指出^[37],当人均收入约低于 1.5 万美元时,人类福祉会随收入的增加而显著提高,但当人均收入超过这一临界点,福祉的提升效果则非常有限,而进一步追求经济增长则会因生态和环境的恶化削弱人们的幸福感。岷江上游 5 县为少数民族聚集山区,也是全国集中连片特殊困难地区。2010 年整体贫困发生率达到 23.01%,高出全国水平 6 个百分点;农民人均纯收入约 3 716 元/人,仅及全国水平的 62.78%。基本的生理、安全需求是当地居民的最基本需求^[38],则经济收入对居民的福祉影响极大。借鉴其他研究成果^[39-40],本研究选取农民人均纯收入作为评价当地居民福祉状况的主要指标。

3) 空间关系分析

利用人均 ESV 来表征区域生态系统服务的整体人均状况,并将其和居民福祉相结合来探讨区域生态系统服务和居民福祉的空间关系。人口的变化会影响土地利用的格局,对生态系统服务造成影响。而人均 ESV 是将一个区域特定时段内的 ESV 与其同时期的常住人口相比而得到^[41],其对衡量区域人地关系状态具有重要意义^[42]。鉴于 Delaunay 三角网具有良好的空间邻近特性,将其应用于空间聚类分析具有独特优势^[43],因此本文利用 Delaunay 三角网聚类对岷江上游乡镇尺度的人均 ESV 与居民福祉进行空间关联模式的探讨,具体实现过程基于 ArcGIS10.0 所内嵌的 Spatial Statistics 模块而完成。

3 结果与讨论

3.1 结果

3.1.1 生态系统服务价值与居民福祉的空间特征

1) 人均生态系统服务价值

Jenks 自然间断点分级法基于数据中固有的内在联系对其进行自然分组,能使各组间的差异最大化的同时保持组内差异最小化,同时会在数据差异最大的位置设定间断点^[44]。本文利用 ArcGIS 中的自然间断点分级法将岷江上游 89 个乡镇 2000、2005 和 2010 年 3 期人均 ESV 划分为高、中、低 3 种类型(图 2)。

可以看出研究区人均 ESV 的空间分布呈沿干流乡镇较低、沿支流乡镇较高的格局。其中松潘县的下八寨乡和燕云乡、黑水县的卡龙镇人均 ESV 都较高。下八寨乡拥有丰富的森林资源及草场资源,而燕云乡则下辖有 3 个林场;卡龙镇居民主要以藏族为主,人口较少且生态保护良好。2000-2010 年,

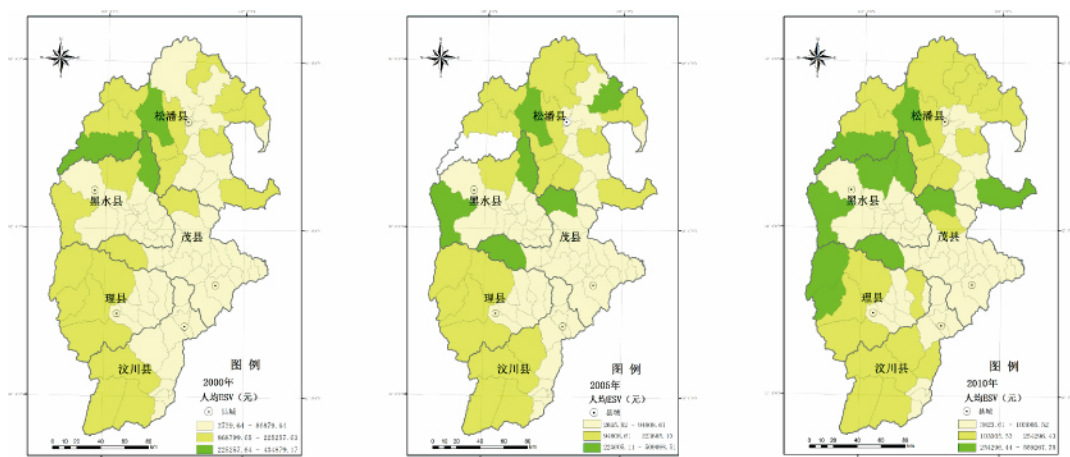


图2 岷江上游人均 ESV 空间分布(2000 2005 2010)

Fig. 2 Per capita ESV in the UMR (2000, 2005, 2010)

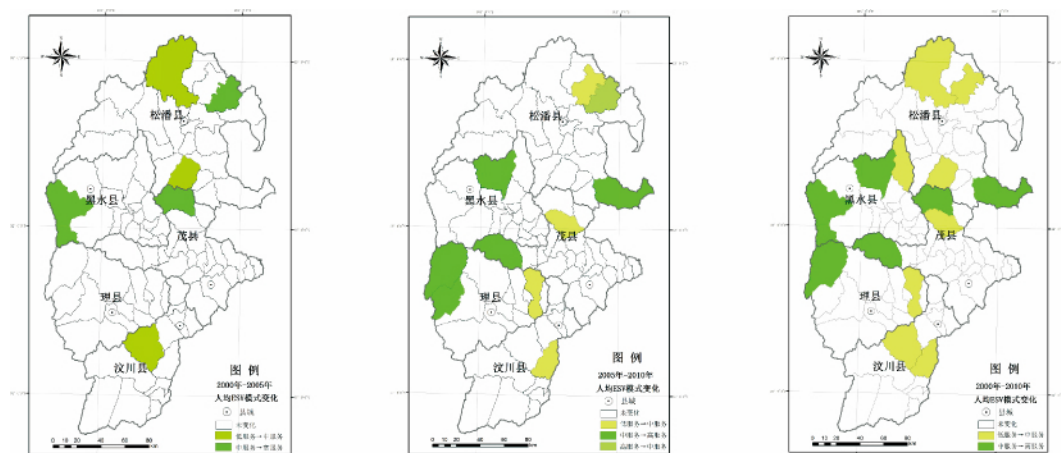


图3 岷江上游人均 ESV 变化情况(2000-2005 2005-2010)

Fig. 3 Variation of Per capita ESV in the UMR (2000-2005, 2005-2010)

岷江上游人均 ESV 发生变化的乡镇有 14 个,占全部乡镇的 15.73%,这些乡镇主要分布在松潘县的岷江上游源区、干流中部的茂县及支流杂谷脑河所在的理县境内(图 3)。研究区的人均 ESV 整体呈缓慢上升趋势,这与积极的生态保护政策所发挥的促进作用密不可分。“十五”期间,岷江上游 5 县大力实施天然林保护、退牧还草/退耕还林、草原恢复与建设、生态环境综合治理等工程,生态与环境状况得到有效恢复重建。“十一五”期间,岷江上游五县继续实施上述工程及小流域水土保持综合工程,加快草地沙化治理和干旱河谷治理步伐。与此同时,个别乡镇的人均 ESV 变化呈现出不同态势,如松潘县黄龙乡,其人均 ESV 出先增后减趋势。从研究期内黄龙乡 ESV 总值变化平稳、人口总量先减后增来看,人口数量变化是导致其人均 ESV 由增→减的主

要原因。

2) 居民福祉

利用 Jenks 自然间断点分级法将岷江上游 89 个乡镇 2000、2005 和 2010 年 3 期居民福祉划分为高、中、低 3 种类型,结果图 4 所示。

研究期内岷江上游居民福祉的空间分布呈北部-南部高,中部低的局面。在黑水和理县-茂县交界(杂谷脑河入汇岷江处)形成一个持续性居民福祉“洼地”。黑水地理区位闭塞,平均海拔 3544 米,高度依赖第一产业,农民人均纯收入为 5 县最低。松潘北部及理县西部各乡镇居民从旅游业发展中获益较多,人均收入一直保持相对高位。从福祉相对水平变化看,2000-2010 年发生变化的乡镇有 27 个,占全部乡镇的 30.34%(图 5)。福祉相对提高的乡镇为 14 个,主要分布在茂县;福祉相对降低的

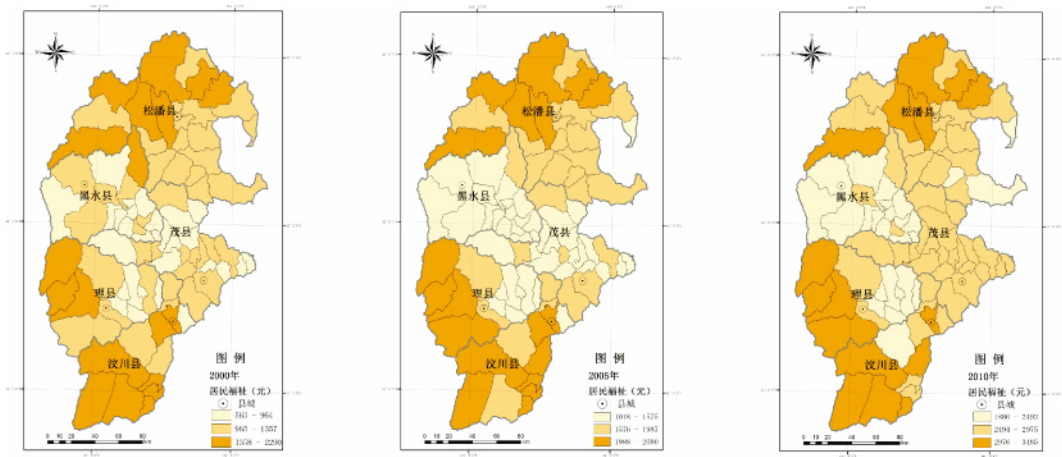


图 4 岷江上游居民福祉空间分布(2000 2005 2010)
Fig. 4 Human wellbeing of the URM (2000 ,2005 ,2010)

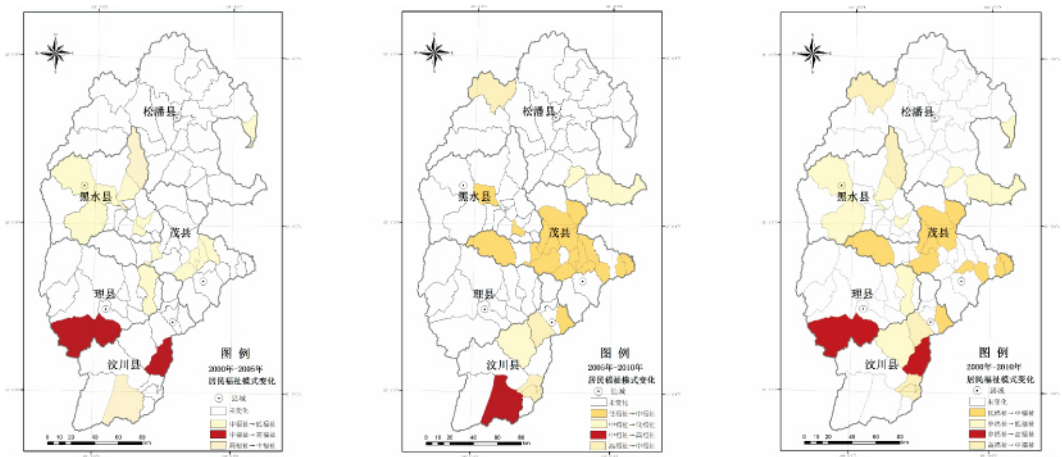


图 5 岷江上游居民福祉变化情况(2000-2005 2005-2010)
Fig. 5 Variation of human wellbeing in the URM (2000-2005 ,2005-2010)

乡镇则主要集中在黑水、汶川。茂县是全国苹果、花椒及四川省药材、淡季蔬菜生产基地,农民收入连年增长;同时茂县也是途经“九环线”(成都至九寨沟环线)前往九寨沟和黄龙的必经之地,旅游业对农民增收带动显著。福祉相对降低的乡镇基本均处于河流深切的高山峡谷,如黑水县,位置偏远、贫困程度高,相对缓慢的社会经济发展导致居民福祉相对降低。汶川映秀、漩口是全县乃至全州水电、建材和矿冶基地,工业发展对建设用地需求不断增加并过度占用耕地,农民缺乏知识技能无法顺利转移就业,收入增加滞缓。此外,汶川县草坡乡和绵虎镇等在2000年后遭受频繁的山地灾害,山区农民损失严重,收入增加受到限制。

3.1.2 生态系统服务与居民福祉的空间关系模式及其变化

1) 生态系统服务与居民福祉空间关系模式的划分

为明确反映生态系统服务与居民福祉的空间组合模式并利于总结规律,空间关系类型的数量不宜过多或过少。Delaunay三角聚类与K-均值聚类分

析算法相似,均存在参数依赖性强的缺点^[45]。引入动态调整聚类数的思想和伪F统计量,可动态调整聚类数并给出最佳聚类数目,从而获得较好的聚类质量^[46]。Delaunay三角聚类伪F统计分析结果如图6所示,并由此选定5作为聚类数目,则3个年份聚类结果所对应的参数如表2所示。

2) 生态系统服务与居民福祉空间关系模式类型的变化

研究期内岷江上游生态系统服务与居民福祉存在6种空间关系模式(简称“空间关系模式”),即:高服务高福祉(HH)、中服务高福祉(MH)、中服务低福祉(ML)、低服务高福祉(LH)、低服务中福祉(LM)和低服务低福祉(LL)(图7)。2000年和2005年的空间关系模式分布类似:HH主要分布于松潘西南诸乡镇,MH主要分布在理县和汶川的大部分地区,ML主要分布于松潘北部和东部乡镇,LH主要分布在汶川县,LL主要分布在黑水和茂县的大部及理县东部乡镇;主要区别在于2005年松潘县的HH模式显著缩减而ML模式明显增加,同时汶川县的LH模式明显向东部、北部乡镇扩展。2010年相

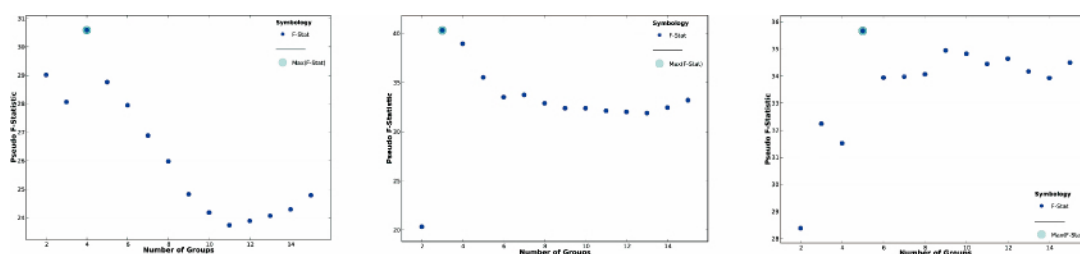


图6 Delaunay三角聚类伪F统计结果(2000 2005 2010)

Fig. 6 Pseudo-statistics indices of Delaunay triangulation clustering (2000, 2005, 2010)

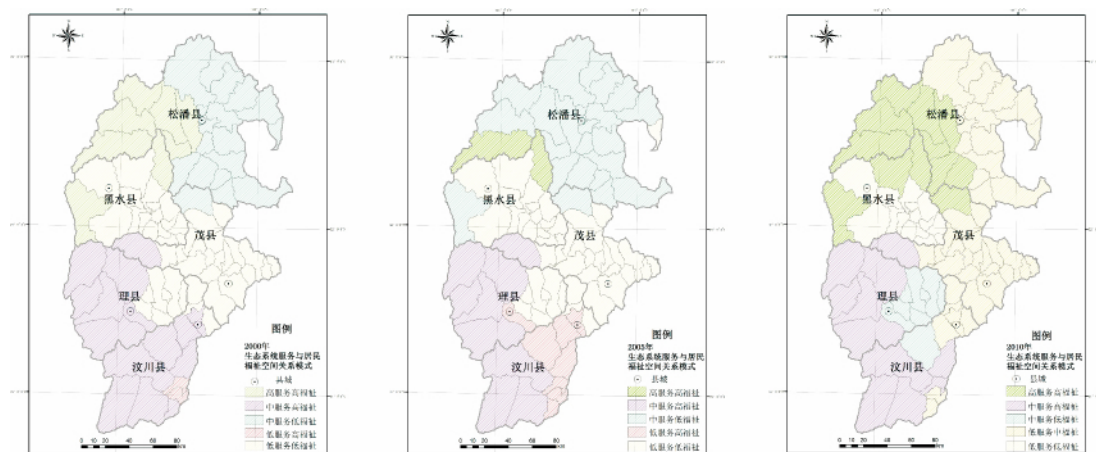


图7 生态系统服务与居民福祉的空间关系模式(2000 2005 2010)

Fig. 7 Spatial relationship of ecosystem services-human wellbeing (2000, 2005, 2010)

表 2 Delaunay 三角聚类结果所对应参数

Tab. 2 Parameters for clustering results by Delaunay triangulation

年份	变量	平均值	标准差	最小值	最大值	R ²
2000 年	人均 ESV	69145.1789	76558.8968	2730.0000	434879.0000	0.5816
	居民福祉	1146.191	304.2578	563	2290	0.5744
2005 年	人均 ESV	86497.1871	93475.0462	2635.9229	509098.5073	0.6189
	居民福祉	1691.5618	355.9967	1018	2628	0.6381
2010 年	人均 ESV	114614.0580	116726.8923	3823.6143	559267.7483	0.6406
	居民福祉	2720.7416	371.2562	1880	3485	0.6182

较前两年最大的区别则在于松潘县所有的 ML 模式全部转变为 HH、LM 模式 ,并伴随茂县所有 LL 模式向 LM 模式转变;此外 ,仅存于汶川东部、北部及理县县城杂谷脑镇的 LH 模式全部消失 ,并基本转变为 MH、ML 和 LM 模式。

2000 - 2005 年研究区各乡镇的空间关系模式基本稳定(图 8、表 3) ,主要的变化出现在松潘、黑水、汶川 3 县北部乡镇;前者变化方向为 HH→ML ,后者为 MH→LH。

从镇均人口看 ,模式发生变化的乡镇表现为人口增加 ,变化最大的是 MH→LH 型乡镇。2005 - 2010 年各乡镇空间关系模式变化趋于多样化和规律性(图 8、表 4) 。岷江上游干流沿线乡镇是最主要的模式变动区 ,其中岷江源头松潘大致分为两类 ,东部乡镇为 ML→LM ,西部乡镇为 ML→HH;茂县则基本呈现为 LL→LM;理县杂谷脑河入汇岷江处各乡镇则为 LL→ML;汶川东部沿干流各乡镇的变化看似复杂 ,其变化实质为“低服务”→“中服务” ,同时伴随着居民福祉的降低。LL→LM 的乡镇数最多;LH→MH 涉及的人口最多 ,其中汶川银杏乡、映秀镇镇均人口变化最大 ,主要原因在于地震人口损失及震后人口迁移。

表 3 2000 - 2005 岷江上游生态系统服务与居民福祉关系模式变化

Tab. 3 Variation of spatial relationship model of ecosystem services and human wellbeing (2000 - 2005)

模式变化	乡镇数/个	面积比/ %	人口变化/人	镇均人口变化/人
未变化	76	84.14	6483.5	85
HH→ML	6	5.25	51	9
ML→LL	1	1.25	331	331
MH→LH	6	10.45	1377	230

表 4 2005 - 2010 岷江上游生态系统服务与居民福祉关系模式变化

Tab. 4 Variation of spatial relationship model of ecosystem services and human wellbeing (2005 - 2010)

模式变化 Pattern change	乡镇数 /个	面积 / km ²	面积比 / %	人口变化 /人	镇均人口变化 /人
未变化	25	7198.77	29.20	1863	75
LL→HH	1	115.28	0.47	-1257	-1257
LL→ML	7	2018.75	8.19	-445	-64
LL→LM	24	4733.91	19.20	2827	118
ML→HH	9	2264.19	9.19	-664	-74
ML→LM	15	5817.19	23.60	-3838	-256
LH→MH	2	194.88	0.79	-4470	-2235
LH→ML	2	1071.61	4.35	2598	1299
LH→LM	4	1506.75	6.11	8334	2084

岷江上游过去 11 年大部乡镇的居民福祉得到提升 ,茂县、松潘最具代表性;居民福祉长期低水平徘徊的乡镇主要集中在黑水中部、东部。而研究区整体生态系统服务水平呈先降再升的变化过程。值得注意的是 ,岷江上游生态系统服务状况虽整体趋好 ,但“低服务”类型在空间上表现了向源区汇聚的趋势(图 7、图 8) 。未来需高度重视岷江源区的生态保护与治理 ,从生态补偿和生态移民等多种措施入手积极提高源区生态服务功能。

3.1.3 生态系统服务与居民福祉不同关系模式的针对性建议

根据岷江上游 2010 年生态系统服务与居民福祉关系模式的空间格局及其自然生态和社会经济发展背景 ,尝试提出针对性的生态系统服务管理建议 ,如表 5 所示。

3.2 讨论

本文将货币购买力变化纳入考量 ,尝试用购买力

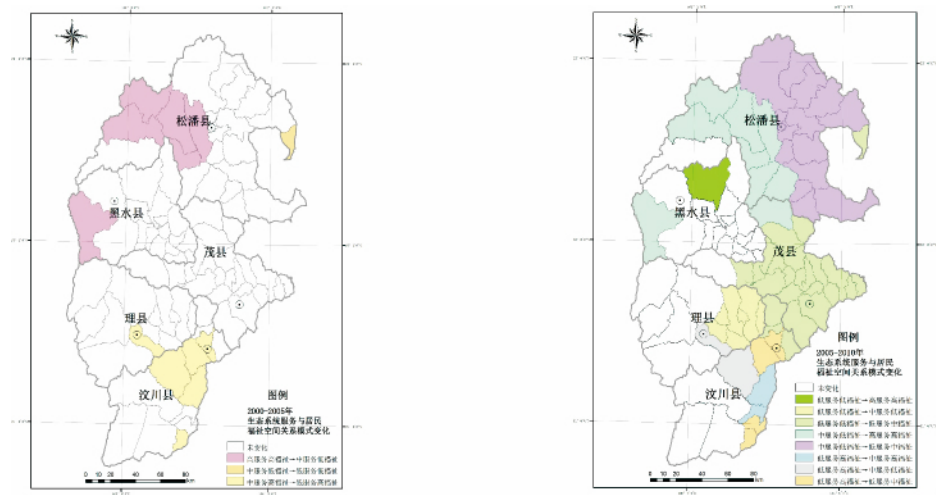


图 8 生态系统服务与居民福祉空间关系模式变化 (2000 - 2005 , 2005 - 2010)

Fig. 8 Dynamic of spatial relationship of ecosystem services-human wellbeing (2000 - 2005 , 2005 - 2010)

表 5 针对不同空间关系模式的生态系统服务管理建议

Tab. 5 Management recommendations for different spatial relationship models

关系模式	关系内涵	生态系统服务管理建议
HH	人均 ESV 与居民福祉均较高(二者均高于平均值)	以保持生态系统服务与居民福祉稳步增加为主,宜发展第三产业,以生态旅游为主
MH	人均 ESV 一般,居民福祉较高(高于平均值)	应注重人与环境之间协调发展,增加林草覆盖率,减少工业发展对生态的破坏
ML	人均 ESV 一般,居民福祉较低(低于平均值)	在保护和恢复生态环境的同时加大扶贫力度,发展生态农业与牧业
LH	人均 ESV 较低(低于平均值),居民福祉较高	该区经济发展以牺牲生态环境为代价,应积极推动污染型企业整改或转型,同时增加林草覆盖率
LM	人均 ESV 较低(低于平均值),居民福祉一般	该区域人口发展与环境保护不成正比,岷江源区需高度重视生态保护与治理,积极实施生态移民;其它地区应将粗放发展模式转变为集约经营方式以提高居民福祉
LL	人均 ESV 与居民福祉均较低(二者均低于平均值)	人与自然矛盾突出,保护生态提高福祉刻不容缓,扶贫开发可借助生态补偿提高居民福祉,同时因地制宜发展生态农业

指数对 ESV 基础单价及居民福祉进行再核定。由此 ESV 评估结果及其与居民福祉的空间关系模式能一定程度消除因比较基准不同而产生的偏差,具有较好的对比性和实用性,能为流域生态系统服务评估提供参考。

综合考量研究区特点及数据可得性,本文借鉴相关研究^[39, 40]采取区域农村居民人均纯收入来近似表征居民的福祉。应该看到普适性的福祉概念具有多维特征,单一指标难以完整地刻画;福祉的表达还兼具主客观双重特性,其准确测算也存在一定难度。因此,未来将通过入户调查、部门访谈和专家咨询等方式对居民福祉的综合测度进行综合厘定,同时也能籍此对生态系统服务和居民福祉空间关系变化的内在影响机制作进一步的探讨。

4 结论

本文借助生态系统服务价值当量评估法,通过引入校正参数和购买力指数并利用土地利用及统计数据测算了岷江上游乡镇尺度近 11 年来的 ESV,并探讨了 ESV 与居民福祉的空间关系及其变化,所取得的主要结论如下:

(1) 研究期内岷江上游流域人均 ESV 和居民福祉均呈现不断增长趋势。其中,人均 ESV 的整体空间分布呈现沿干流乡镇较低、沿支流乡镇较高的格局,人均 ESV 缓慢上升与积极的生态保护政策密不可分。2000 - 2005 年居民福祉发生变化的区域主要集中在流域中部,2005 - 2010 年则主要集中在河谷两岸乡镇;居民福祉的空间分布呈北部 - 南部

高、中部低的局面,在黑水和理县-茂县交界(杂谷脑河入汇岷江处)形成一个较持续的居民福祉“洼地”,福祉水平相对降低的乡镇基本处于高山峡谷中。

(2) 利用 Delaunay 三角聚类对空间关系模式的识别功能,将研究期内岷江上游 89 个乡镇分为 6 种空间关系模式: HH、MH、ML、LH、LM 和 LL。2000-2005 年各乡镇空间关系模式基本稳定,主要变化出现在松潘、黑水、汶川 3 县的北部。2005-2010 年各乡镇空间关系模式变化方向趋于多样化和规律性,干流沿线乡镇是最主要的变动区。总体看,区内大部乡镇居民福祉得到提升(茂县、松潘);居民福祉长期低水平徘徊的乡镇主要在黑水中部、东部;整体生态系统服务水平呈先降再升的变化过程。研究区生态系统服务状况虽整体趋好,但“低服务”类型在空间上表现为向源头区集中的态势。

(3) 根据生态系统服务与居民福祉空间关系类型的划分,并结合对研究区自然及社会背景的认知,针对 6 种不同空间关系模式尝试性提出生态系统服务管理的措施与建议,以期提升流域生态系统服务及其与居民福祉的协同发展水平,并为岷江上游的生态安全屏障建设提供必要的科学参考。

参考文献(References)

- [1] DALY G. What are ecosystem services? In: Daily G, ed. , Natures services: societal dependence on natural ecosystems [M]. Washington: Island Press, 1997: 1-10
- [2] COSTANZA R, DALY H. Natural capital and sustainable development [J]. Conservation Biology, 1992, 6(1): 37-46
- [3] HAROLD A M, PAUL R E. Ecosystem services: A fragmentary history. In: DAILY G, ed. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington: Island Press, 1997: 11-28
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: a Framework for assessment [M]. Washington: Island Press, 2003
- [5] COSTANZA R, de GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services [J]. Global Environmental Change, 2014, 26(1): 152-158.
- [6] 郭荣中, 杨敏华. 长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 238-246 [GUO Rong-zhong, YANG Minhua. Ecosystem service value analysis and trend prediction in ChangZhuTan region [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(5): 238-246]
- [7] REPETTO R. Accounting for environmental assets [J]. Scientific American, 1992, 266(6): 64-70
- [8] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446 [FU Bojie, ZHANG Liwei. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress [J]. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446]
- [9] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystem sand Human Wellbeing [M]. Washington: Island Press, 2005.
- [10] VEMURI A W, COSTANZA R. The role of human, social, built, and natural capital in explaining life satisfaction at the country level: Toward a National wellbeing Index (NW) [J]. Ecological Economics, 2006, 58(1): 119-133
- [11] ENGELBRECHT H J. Natural capital, subjective wellbeing, and the new welfare economics of sustainability: some evidence from cross-country regressions [J]. Ecological Economics, 2009, 69(2): 380-388
- [12] 李惠梅, 张安录. 生态环境保护与福祉 [J]. 生态学报, 2013, 33(3): 825-833 [LI Huimei, ZHANG Anlu. Ecological protection and well-being [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 825-833]
- [13] 王大尚, 郑华, 欧阳志云. 生态系统服务供给、消费与人类福祉的关系 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1747-1753 [WANG Dashang, ZHENG Hua, OU YANG Zhiyun. Ecosystem services supply and consumption and their relationships with human well-being [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1747-1753]
- [14] 臧正, 邹欣庆. 基于生态系统服务理论的生态福祉内涵表征与评价, 应用生态学报 [J]. 2016, 27(4): 1085-1094 [ZANG Zheng, ZOU Xinqing. Connotation characterization and evaluation of ecological well-being based on ecosystem service theory [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(4): 1085-1094]
- [15] 王青, 石敏球, 郭亚琳, 等. 岷江上游山区聚落生态位垂直分异研究 [J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1559-1567 [WANG Qing, SHI Minqiu, GUO Yalin, et al. The vertical differentiation of the mountain settlement niche in the upper reaches of Minjiang River [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1559-1567]
- [16] ZHANG Wenguang, HU Yuanman, ZHANG Jing, et al. Assessment of land use change and potential eco-service value in the Upper Reaches of Minjiang River, China [J]. Journal of Forestry Research, 2007, 18(2): 97-102
- [17] 樊敏, 李富程, 郭亚琳, 等. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响 [J]. 山地学报, 2016, 34(3): 356-365 [FAN Min, LI Fucheng, GUO Yalin, et al. Effects of grain for green project on changes in ecosystems service values of alpine settlements area in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Mountain Research, 2016, 34(3): 356-365]
- [18] 刘森, 胡远满, 布仁仓, 等. 岷江上游耕地景观变化研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 82-86 [LIU Miao, HU Yuanman, BU Rencang, et al. Farmland landscape change in the Upper Reaches of Minjiang River [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 82-86]
- [19] 翟真, 王青. 岷江上游林树下线地理分布格局及其空间移动特征 [J]. 地理研究, 2015, 3(11): 2105-2112 [ZHAI Zhen, WANG Qing. The geography distribution pattern and spatial move of the lower timber line in the upper reaches of Minjiang River [J]. Geographical Research, 2015, 3(11): 2105-2112]
- [20] 丁明涛, 王骏, 程尊兰, 等. 岷江上游土地利用类型对泥石流

- 灾害的敏感性 [J]. 山地学报, 2015, 33(5): 587–596 [DING Mingtao, WANG Jun, CHENG Zunlan, et al. Sensitivity of land use types to debris flow in the Upper Reaches of Min River, China [J]. Mountain Research, 2015, 33(5): 587–596]
- [21] 伏耀龙, 张兴昌, 王金贵. 岷江上游干旱河谷土壤粒径分布分形维数特征 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 120–125 [FU Yaolong, ZHANG Xingchang, WANG Jingui. Fractal dimension of soil particle-size distribution characteristics in dry valley of Upper Minjiang River [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(3): 120–125]
- [22] 陈国阶, 涂建军, 樊宏, 等. 岷江上游生态建设的理论与实践 [M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2006: 1–100 [CHEN Guojie, TU Jianjun, FAN Hong, et al. Theory and practice of ecological construction in the upper reaches of Minjiang River [M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2006: 1–100]
- [23] 郑长德, 钟海燕, 廖桂荣. 藏彝走廊包容性绿色发展研究 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2016: 1–244 [ZHENG Changde, ZHONG Haiyan, LIAO Guirong. Study on the inclusive green development of the Tibetan–Yi Corridor [M]. Beijing: 2016: 1–244]
- [24] 石硕. 岷江上游走廊历史演变与民族文化特点 [M]. 成都: 四川大学出版社, 1996: 43–54 [SHI Shuo. The Historical evolution and the characteristics of national culture in the upper reaches of Minjiang River [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1996: 43–54]
- [25] 侯保灯, 朱晓旭, 梁川. 岷江上游典型河段水电梯级开发水环境累积影响 [J]. 人民长江, 2010, 41(7): 32–37 [HOU Baodeng, ZHU Xiaoxu, LIANG Chuan. Water environment cumulative impact of cascade hydropower development in upper typical reaches of Minjiang River [J]. Yangtze River, 2010, 41(7): 32–37]
- [26] 阎晓, 方一平. 基于能值的岷江上游生态经济平衡发展研究 [J]. 山地学报, 2015, 33(5): 629–639 [YAN Xiao, FANG Yiping. An energy-based analysis on the balance of ecology and economy in upper reaches of Minjiang River [J]. Mountain Research, 2015, 33(5): 629–639]
- [27] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报, 2015, 8(30): 1243–1254 [XIE Gao Di, ZHANG Caixia, ZHANG Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 8(30): 1243–1254]
- [28] COSTANZA R, D'ARCE R, de GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(15): 253–260
- [29] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189–196 [XIE Gao Di, LU Chunxia, LENG Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189–196]
- [30] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 443–452 [ZHAO Tongqian, OU YANG Zhiyun, WANG Xiaoke, et al. Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(4): 443–452]
- [31] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究 [J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6747–6761 [OU YANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al. Gross ecosystem product: concept, accounting framework and case study [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6747–6761]
- [32] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法 [J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911–919 [XIE Gao Di, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911–919]
- [33] 白描. 微观视角下的农民福祉现状分析—基于主客观福祉的研究 [J]. 农业经济问题, 2015, 12: 25–31 [BAI Miao. An analysis of farmer's well-being from the micro-perspective—Based on subjective and objective well-being [J]. Issues in Agricultural Economy, 2015, 12: 25–31]
- [34] 王圣云, 沈玉芳. 福祉地理学研究新进展 [J]. 地理科学进展, 2010, 29(8): 899–905 [WANG Shengyun, SHEN Yufen. Advances in the researches on well-being geography [J]. Progress in Geography, 2010, 29(8): 899–905]
- [35] COSTANZA R, FISHER B, ALI S, et al. Quality of life: An approach integrating opportunities, human needs and subjective well-being [J]. Ecological Economics, 2007, 61(2/3): 267–276
- [36] 王大尚, 李屹峰, 郑华, 欧阳志云. 密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 [J]. 生态学报, 2014, 34(1): 70–81 [WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al. Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 70–81]
- [37] EASTERLIN R A. Explaining happiness [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003, 100(19): 11176–83
- [38] 李惠梅, 张安录. 基于福祉视角的生态补偿研究 [J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1065–1070 [LI Huimei, ZHANG Anlu. Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1065–1070]
- [39] 代光烁, 余宝花, 娜日苏, 等. 内蒙古草原生态系统服务与人类福祉研究初探 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 656–662 [DAI Guangshuo, YU Baohua, NA Risu, et al. Preliminary studies on ecosystem services and human well-being in grassland of Inner Mongolia [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(5): 656–662]
- [40] 潘影, 甄琳, 杨莉, 等. 宁夏固原市生态保育对农民福祉的影响初探 [J]. 干旱区研究, 2012, 29(3): 553–560 [PAN Ying, ZHEN Lin, YANG Li, et al. Preliminary study on the effects of ecological conservation on material benefits of local residents in Guyuan City, Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Arid Zone Research, 2012, 29(3): 553–560]
- [41] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值 [J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740–1746 [XIE Gao Di, ZHANG Caixia, ZHANG Changshun, et al. The value of ecosystem services in China [J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740–1746]
- [42] 陈蝶, 卫伟, 陈利顶, 等. 梯田生态系统服务与管理研究进展

- [J]. 山地学报, 2016, 34(3): 374 – 384 [CHEN Die, WEI Wei, CHEN Liding, et al. Progress of the ecosystem services and management of terraces [J]. Mountain Research, 2016, 34(3): 374 – 384]
- [43] 樊广全, 马丽平. 一种改进的基于 Delaunay 三角网的聚类算法 [J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(3): 585 – 589 [FAN Guangquan, MA Liping. An improved clustering algorithm based on Delaunay triangulation [J]. Computer Engineering & Science, 2016, 38(3): 585 – 589]
- [44] 王振波, 徐建刚, 朱传耿, 等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系 [J]. 地理学报, 2010, 65(4): 416 – 426 [WANG Zhenbo, XU Jiangang, ZHU Chuangeng, et al. The county accessibility divisions in China and its correlation with population distribution. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(4): 416 – 426]
- [45] 吕佳. 基于 Delaunay 三角剖分密度度量的聚类算法 [J]. 计算机应用, 2009, 5(29): 1380 – 1382 [LV Jia. Clustering algorithm based on Delaunay triangulation [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 5(29): 1380 – 1382]
- [46] 骆嘉伟, 李仁发, 张白妮. 基于多维伪 F 统计量的基因表达动态聚类分析方法研究 [J]. 系统方科学, 2006, 3(18): 586 – 591 [LUO Jiawei, LI Renfa, ZHANG Baini. Study on dynamic clustering analysis method for Gene expression data based on multi-dimension Pseudo F – statistics [J]. Journal of System Simulation, 2006, 3(18): 586 – 591]

Spatial Relationship and Its Dynamic Features of Ecosystem Services and Human Wellbeing in the Upper Reaches of Minjiang River

ZHANG Jifei¹, DENG Wei¹, ZHU Changli², ZHAO Yuluan²

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China;

2. College of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: To clarify the spatial relationship of ecosystem services and people's wellbeing from the perspective of regional scale is an important prerequisite for ecosystem management serving sustainable development. Based on equivalent standards of ecosystem service value and the correction index as well as the purchasing power index, land-use and social-economic data were applied to quantitatively assess the town-level ecosystem services value (ESV) in the Upper Reaches of Minjiang River (URMR), eastern edge of Tibet Plateau. Moreover, the spatial relationship and its spatial evolution of ecosystem services and local people's wellbeing were emphatically discussed. The results are as follows: (1) During the study period, the per capita ESV and the well-being of residents in the URMR showed an increasing trend. The spatial distribution of per capita ESV was found relatively low among the township along the main stream while relatively high among tributaries. Ecological protection policy contributed more to increase per capita ESV. The residents' well-being was featured by high values in the northern-southern areas and low in the central. There was a relatively low level of residents' well-being at Heishui County and the junction area of Li County and Mao County. Moreover, the townships with relative low well-being were basically found located in the alpine valleys. (2) The Delaunay clustering method was conducted to divide the 89 towns into 6 spatial relations: high service with high well-being, middle service with high well-being, middle service with low well-being, low service with high well-being, low service with well-being and low service with low well-being. The residents of the URMR have improved well-being (such as Mao County and Songpan County), while the townships with low-level well-being were mainly located in the central and eastern of Heishui County. The overall ecosystem service of the study area indicated a change of decreasing first followed with increasing. (3) Although the ecosystem service status of the URMR has been improved, the ecosystem service function of the Minjiang River source area was observed declining during the study period. According to the 6 types of spatial relationships between ecosystem service and residents' well-being of the URMR in 2010 and its background, the paper put forward some suggestions on management of ecosystem services. The results are scientifically valuable for improving the coordinated development of ecosystem services and residents' well-being in the URMR and the effect of ecological barrier construction.

Key words: Ecosystem service; human wellbeing; spatial relation; dynamic features; the Upper Reaches of Minjiang River; eastern edge of Tibet Plateau