

引用格式:张羿轲,方一平,杨悦,徐云. 岷江上游山区生态福祉波动的人类活动干扰研究[J]. 山地学报,2021,39(2):238-247.

ZHANG Yike, FANG Yiping, YANG Yue, XU Yun. Disturbance of human activities to mountain ecological well-being fluctuation in the upper reaches of the Minjiang River, China [J]. Mountain Research, 2021, 39(2):238-247.

岷江上游山区生态福祉波动的人类活动干扰研究

张羿轲^{1,2}, 方一平^{1,2*}, 杨悦^{1,2}, 徐云¹

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 探究人类活动对生态福祉的影响机制与作用规律, 实现对人类活动的有效调控, 是维持地区环境与社会经济可持续发展的重要途径。现有研究主要聚焦于人类活动干扰导致区域生态格局产生变化的过程和原因等, 而相对缺乏人类活动与区域生态福祉间的相关性研究。本文利用当量因子法、突变理论及贬值率模型对岷江上游1995年、2005年和2015年生态福祉进行测度, 探究人类活动对生态福祉效率的作用方式。结果显示: (1) 研究时段内地区人口增长速率大于生态恢复速率, 人均生态福祉除汶川县略有增长外, 其他地区均呈降低趋势; 地区消费等量生态系统服务所获得的经济收益逐期增大, 各地区生态-经济产出效率均呈上升趋势。 (2) 人均生态福祉低值中心和高值中心的空间分布与生态-经济产出效率大致相反, 呈现此高彼低的态势。 (3) Pearson相关分析显示城镇化率与人均生态福祉呈负相关, 基础设施密度、城镇化率、科技发展水平和二产业占比等人类活动因子与生态-经济产出效率呈正相关。本研究可为调控人类活动类型、方式及强度, 提升当地居民福祉实践提供理论依据。

关键词: 山区生态系统; 生态福祉效率; 时空异质性; 人类活动干扰; 岷江上游

中图分类号: X826; X171.1

文献标志码: A

生态系统格局变化是自然和人类活动综合作用的结果^[1-3]。为改善生存条件, 人类依照自我意识对生态环境进行开发利用。随着人类活动范围、强度和频度的增大, 对生态环境的作用不断加剧^[4], 引发了一系列社会、经济及生态环境问题^[5-6], 人类活动逐渐成为生态系统格局变化的主要驱动因子^[7-8]。土地利用作为最基本的人类活动方式之一^[9], 其导致的生态格局变化直接影响生态福祉水平。

生态福祉是指人类从自然环境中获取或享有的、由生态系统通过初级生产和次级生产(统称为生态系统生产)提供的、与人类福祉直接相关的产品与服务^[10]。山区居民作为生态福祉的最大受益

者, 生产生活都主要依赖于所处的生态环境^[11]。山区具有海拔高、分布散, 农业生产条件差、广种薄收, 基础设施落后等特点, 其生态系统构成复杂, 兼有耕地、林地、草地等多种类型。作为“自然”与“人化”生态系统的复合产物, 山区生态系统具有与自然生态系统类似的生态过程和功能^[12], 但更多地受到山区居民生产生活行为与山区生态环境、资源、社会经济之间产生的极为密切的物质、能量和信息流的干扰。因此, 解析岷江上游山区生态系统结构变化对人类活动的反馈作用, 定量评估人类活动在区域生态系统供给福祉过程中的相对阻力和主要贡献, 为引导和调控人类活动类型、方式和强度提供依据, 对

收稿日期(Received date): 2020-06-27; 改回日期(Accepted date): 2021-04-19

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41571523, 41671152)。[National Natural Science Foundation of China(41571523, 41671152)]

作者简介(Biography): 张羿轲(1995-), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要研究方向: 山区产业与区域发展。[ZHANG Yike(1995-), female, born in Chengdu, Sichuan province, M. Sc. candidate, research on mountain industry and regional development] E-mail: zhangyk0609@foxmail.com

* 通讯作者(Corresponding author): 方一平(1965-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向: 产业生态效率、环境变化适应和山区可持续性。[FANG Yiping(1965-), male, Ph. D., professor, research on industrial eco-efficiency, environmental change and adaptation, and mountain sustainability] E-mail: ypfang@imde.ac.cn

维系地区生态平衡与可持续发展具有重要的现实意义。

生态福祉作为自然环境对人类活动强度反馈的重要指标,与人类活动的耦合关系成为目前区域可持续发展的研究热点。现有研究主要聚焦于人类活动干扰导致区域生态格局产生变化的过程和原因等^[13-16],而相对缺乏人类活动与区域生态福祉间的相关性研究。为此,本文选取岷江上游五县为研究区,基于区域生态系统生产总值及生态系统生产净值^[10]的概念内涵,结合当量因子法、突变理论及生态系统贬值率模型定量测度岷江上游山区生态福祉水平,探究过去 20 年(1995—2015 年)生态福祉的动态格局特征,利用 Pearson 相关分析测定各项人类活动对生态福祉效率的作用方式。本文通过引入生态福祉的概念内涵衡量岷江上游地区可持续发展状况,揭示人类活动对生态系统供给生态福祉能力的干扰方式,旨在为促进地区居民福祉的提升提供理论依据。

1 研究区概况

岷江上游地处四川盆地西部边缘,是四川盆地至青藏高原的过渡带(31°26′~33°16′N,102°59′~104°14′E)(图 1),包括松潘县、黑水县、茂县、汶川县、理县五县的大部分地区。该区地形复杂,海拔落

差达 5332 m。2018 年人口密度为 16 人·km⁻²,少数民族占总人口 80% 以上,属典型的山区民族聚落,其中藏族、羌族约占 75%,是我国重要的藏—羌—彝线性文化走廊^[17]。岷江上游城镇化率达 43.75%,近 20 年二、三产业占比稳定上升,其中第二产业占 GDP 比重达 58.81%,工业产业主要集中在海拔为 1400~2200 m 的干旱河谷区^[18]。该区具有山地立体型和非地带性的干旱河谷气候特征,植被类型多样,主要包括阔叶林、针叶林、针阔叶混交林、灌丛、草甸、高山植被等^[19-20],有着“绿色生态屏障”“天然调节水库”“清洁能源基地”和“珍贵生物基因宝库”等称号。然而,岷江上游也是长江上游典型的生态环境脆弱区^[19],对人类活动的干扰极其敏感。

2 研究方法

2.1 指标选取

2.1.1 生态福祉评价指标体系

本文将岷江上游山区生态系统划分为耕地、林地、草地、水域、未利用土地和建设用地 6 类(建设用地的生态系统服务价值为 0,不进行计算),根据已有研究方法^[21]对生态系统服务进行划分(表 1)。用岷江上游各二级地类在一级地类中所占比重,分别乘以其他研究^[21]计算出的单位面积生态系统服

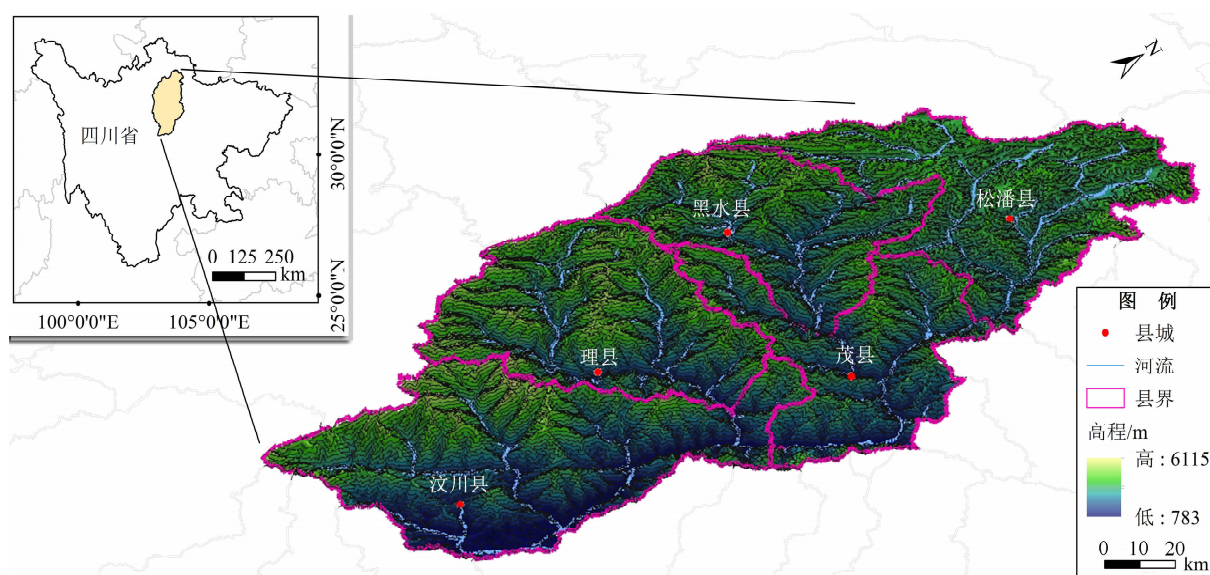


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the upper reaches of Minjiang River, China

表 1 生态系统服务类型、价值当量及相关生态福祉内涵

Tab. 1 Types of ecological services, ecosystem service equivalent value and related ecological well-being

生态系统服务类型	生态系统服务 功能类型	相关生态福祉内涵 ^[22]	岷江上游单位面积生态系统服务价值当量				
			耕地	林地	草地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	食物需求 A ₁	1.00	0.28	0.16	0.40	0.00
	原料生产	能源与原材料需求 A ₂	0.39	0.64	0.23	0.12	0.01
	水资源供给	水需求 A ₃	0.04	0.33	0.13	5.23	0.01
调节服务	气候调节	气候适宜度 B ₁	0.89	6.29	2.16	1.42	0.04
	气体调节	空气质量需求 B ₂	1.31	2.10	0.82	0.48	0.06
	水文调节	调洪灌溉与涵养水源 B ₃	0.50	4.11	1.58	54.69	0.11
	净化环境	废弃物吸纳与处理 B ₄	0.78	1.84	0.71	2.86	0.18
支持服务	土壤保持	土壤营养盐及循环及保持 B ₅	1.23	2.56	0.99	0.47	0.07
	维持养分循环	土壤营养盐及循环及保持 B ₅	0.26	0.20	0.08	0.04	0.00
	生物多样性	生物多样性保育需求 B ₆	0.32	2.33	0.90	1.28	0.06
文化服务	美学景观	娱乐及文化需求 C ₁	0.11	1.02	0.40	0.99	0.03

表 2 人类活动强度指标体系

Tab. 2 Human activity intensity index system diagram

目标层	维度层	指标层	指标说明
人类活动强度	人类社会活动	基础设施密度 (x ₁)	反映道路建设对景观格局的影响程度 ^[5, 23]
		城镇化率 (x ₂)	反映地区社会发展水平 ^[3]
		科技发展水平 (x ₃)	是衡量社会进步的关键指标之一,用科学技术投入表征 ^[24]
	人类经济活动	第二产业占比 (x ₄)	反映地区第二产业发展水平 ^[3, 24]
		旅游业发展水平 (x ₅)	反映地区旅游业总体规模,用旅游收入表征 ^[24]
		单位面积固定资产投资密度 (x ₆)	是反映社会建设规模的综合性指标,衡量投资建设活动的工作量 ^[3, 25]
	人类文化活动	少数民族义务教育人数占比 (x ₇)	考虑岷江上游地区的民族特征,用少数民族义务教育人数来衡量地区人口文化素质
		万人拥有教师数 (x ₈)	反映地区教育水平 ^[25]
		文化教育支出占比 (x ₉)	反映地区对文化、教育的重视程度

务价值当量(二级地类),再将结果相加求得各一级地类价值当量。

2.1.2 人类活动强度指标体系

本文根据岷江上游山区居民活动的影响方式、驱动作用和管理因素分析,依据代表性和可获取性等原则,构建研究区人类活动指标体系(表 2)。通过巴特利特球度检验和 KMO 检验,KMO 值为 0.443,小于 0.5,表明指标间相互独立。

2.2 模型构建

生态系统服务与生态福祉内涵有本质的内在联系^[22]。前者基于生态系统生产与供给视角,通常以货币化形式(生态系统服务价值)进行表征^[26],既

包含物质资源、文化娱乐服务等直接利用价值,也包含维持生态平衡、环境质量调节等间接利用价值。后者仅涉及人类基于当前需求(表 1, A₁ ~ A₃ 属人类资源需求; B₁ ~ B₆ 属人类环境需求; C₁ 属人类精神文化需求)及依靠当前生产力水平所能获得的终端产品和服务价值^[22]。因此,本文参考有关国民生产核算理论^[27],基于区域生态系统生产总值^[28]及生态系统生产净值^[10]的概念内涵,应用式(1)对岷江上游生态系统的生态福祉供应能力进行逐级核算。

$$EW = ESV - EC$$

(1)

式中,EW 为生态福祉;ESV 为生态系统服务价值;

EC 为生态系统折旧量。

2.2.1 生态系统服务价值(ESV)

采用式(2)对生态系统服务价值进行计算,用式(3)进行生态系统服务价值系数的修正,计算出研究区一个标准当量因子所提供的耕地粮食产量的经济价值 E_{11} 约为 $1138.46 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$;根据式(4)求得 i 种生态系统 j 种生态服务功能的系数。

$$ESV = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{11} a_i E_{ij} \quad (2)$$

$$E_{11} = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^3 \frac{m_k p_k q_k}{M} \quad (3)$$

$$E_{ij} = \frac{e_{ij}}{e_{11}} E_{11} \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, 3)$$

式中, ESV 为区域生态系统服务总价值(亿元),以年为核算周期; E_{11} 为单位耕地生态系统提供食物生产服务功能的经济价值($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$); p_k 为粮食作物 k 的平均成本收益价格($\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$); q_k 为粮食作物 k 的单位产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); m_k 为粮食作物 k 的播种面积(hm^2); M 为粮食作物总面积(hm^2); k 为粮食作物种类:稻谷、小麦和玉米; E_{ij} 为 i 种生态系统 j 种生态服务功能的系数($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$); e_{ij} 为 i 种生态系统 j 种生态服务当量因子; e_{11} 为耕地生态系统食物生产服务当量因子; a_i 为第 i 类生态系统土地面积(hm^2)。

2.2.2 生态系统折旧量(EC)

采用式(5)对岷江上游生态系统折旧量进行计算。首先,通过式(6)衡量耕地生态系统服务价值的转化效率;然后基于突变理论^[29]得到不同土地利用类型的总突变隶属函数值 u_i ,求得 u_1 为 6.4607;再用式(7)计算各类生态系统服务价值均衡因子;最后,用生态系统贬值率模型(8)衡量各类生态系统在为人类提供服务过程中由环境降级损失等导致的自身价值贬值程度。

$$EC = \sum_{i=1}^m a_i d_i E_i \quad (5)$$

$$t = \frac{E_1}{Q \cdot P} \quad (6)$$

$$b_i = u_i / u_1 \quad (7)$$

$$d_i = b_i (1 - t) \quad (8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

式中, t 为耕地的生态系统服务价值转换因子; E_1 为

单位耕地生态系统服务的经济价值($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$); Q 为阿坝州平均粮食单产($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); P 为原粮市场平均价格($\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$); b_i 为第 i 类土地的生态系统服务价值均衡因子; u_i 为生态系统服务价值系数的突变隶属度; d_i 为生态系统自身消耗及折旧率,即不可再生的损失率; a_i 为第 i 类土地面积(hm^2); E_i 为各类土地单位面积生态系统服务价值($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

2.2.3 生态福祉效率

为客观表征地区间生态福祉水平差异,本研究借鉴已有研究成果^[30],采用人均生态福祉(EWP)和生态-经济产出效率(EWG)综合对比不同地区居民从生态系统中的受益水平。

$$EWP = EW/R \quad (9)$$

$$EWG = G/EW \quad (10)$$

式中, EWP 为区域人均生态福祉($\text{万元} \cdot \text{人}^{-1}$); EWG 为生态-经济产出效率(无量纲); R 为地区人口总数(人); G 为地区 GDP 总量(万元)。

2.3 数据来源

2.3.1 地理基础数据

(1)地形数据:ASTER DEM 地形数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),数据空间分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$;

(2)遥感数据:数据来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),选取完全覆盖岷江上游五县范围 1995 年、2005 年和 2015 年云量较少的 TM/ETM 数据,数据空间分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,用于解译研究区土地利用/覆盖。

2.3.2 社会经济数据

主要包括《四川省统计年鉴》(1996—2019 年)、《数说阿坝 60 年》、地区统计年鉴、年鉴及领导干部经济工作手册和政府网站等(1996—2019 年)。相关经济数据采用可比价进行计算。

3 结果与分析

3.1 岷江上游生态福祉水平

根据所建模型求得岷江上游 5 县 1995 年、2005 年和 2015 年三期 EW 、 EWP 和 EWG ,并绘制空间分布图(图 2)。评价结果显示,研究区整体 EW 水平呈持续上升趋势,这可能与国家对西南地区环境保护重视度提升相关,自 1998 年开始实施“天然林保

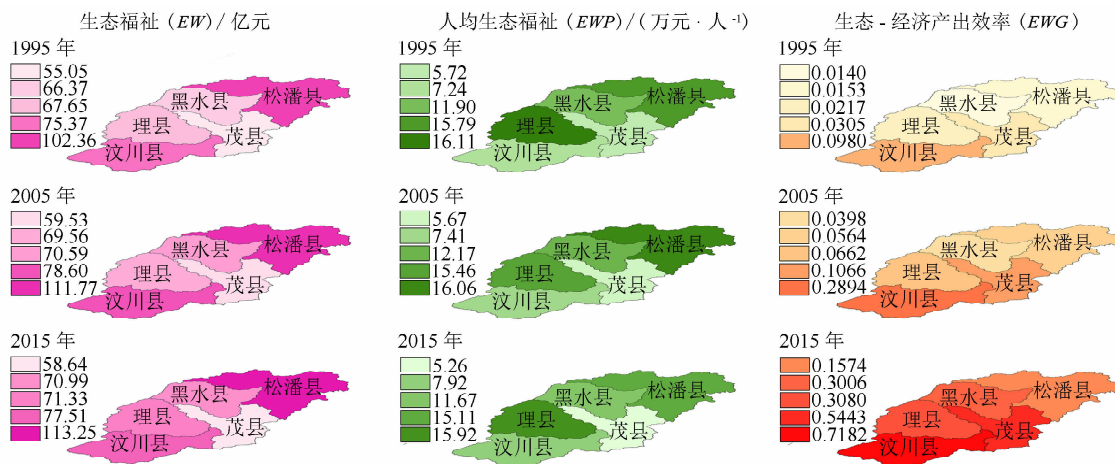


图2 岷江上游生态福祉效率

Fig. 2 Ecological well-being efficiency in the upper reaches of Minjiang River

护工程”以来,该地区耕地面积逐期减少,林地面积逐期增加,草场退化速率降低。就地区 EW 而言(图2),汶川县和茂县受“5·12大地震”及其次生灾害影响,当地居民从生态系统中受益的水平下降,2015年 EW 值略有降低,其他县均呈上升趋势。研究时段内,各地区 EWP 均降低,仅有汶川增长 $0.68 \text{ 万元} \cdot \text{人}^{-1}$; EWG 均呈增长趋势,其中,汶川县增长幅度最大,为 0.62 ,松潘县最小,为 0.14 。

社会经济基础条件的空间分异,导致区域生态福祉效率具有显著差异。从空间格局看, EWP 低值区主要分布在汶川县、茂县;高值区分布在松潘县、理县。而 EWG 的空间格局与 EWP 大致相反。究其原因,汶川县作为阿坝州的经济中心,人口密度高,城镇化率高,交通运输业较为发达,是岷江上游的工业基地,其第二产业建设带来的气体、水体污染等使汶川县 EWP 始终位于低值中心,而工业发展带动的经济快速增长又促使其 EWG 列居首位。松潘县地广人稀,经济相较落后,着力发展第三产业,其生态福祉效率的空间分布与汶川县恰好相反。从时间格局看,地区间 EWP 的相对差距由1995年的 $10.39 \text{ 万元} \cdot \text{人}^{-1}$,增加为2015年的 $10.66 \text{ 万元} \cdot \text{人}^{-1}$; EWG 相对差距逐期增加,最高值与最低值之差从1995年的 0.08 ,增加为2015年的 0.56 。由岷江上游生态福祉效率的时空异质性可见,需因地制宜选择符合区域生态福祉效率特点的提升措施。

3.2 人类活动强度对生态福祉效率的影响机制

为甄别人类活动与生态福祉效率的相关性,将

1995年、2005年和2015年人类活动各项指标数据分别与 EWP 、 EWG 进行 Pearson 相关分析,结果如图3所示。

3.2.1 社会活动的影响

从相关性分析结果来看(图3),社会活动中城镇化率(x_2)是阻碍 EWP 增长的关键因子。城镇化建设与生态环境密切相关^[31],国内外大量学者研究表明^[32-35],城镇化水平的提升,伴随着环境污染和生态环境恶化等问题,对气候、碳排放、水资源和土地资源等生态环境要素都有着显著的影响。如茂县和理县,2015年城镇化率分别为 44.68% 和 34.83% , EWP 分别为 5.26 和 $15.92 \text{ 万元} \cdot \text{人}^{-1}$ 。

社会活动($x_1 \sim x_3$)均与 EWG 呈显著正相关。城镇化程度高,基础设施建设完善的地区,其消费等量的生态系统服务所获得的经济效益更大,如2015年茂县 EWG 为 0.54 ,而理县为 0.31 。然而,城镇化的推进会给生态环境带来巨大的压力^[36],鉴于岷江上游生态环境极度脆弱的特性,应严格控制该地区的城镇化建设规模。科学技术水平在节约资源、提升生产效率及恢复生态等方面具有显著驱动作用^[37],通过技术革新,可提高资源利用率,缩减污染物排放量,对协调经济建设与生态建设、进一步提高 EWG 具有重要意义。

3.2.2 经济活动的影响

第二产业占比(x_4)、旅游业发展水平(x_5)和单位面积固定资产投资密度(x_6)都是反映岷江上游经济水平的关键指标。其中第二产业占比和单位面积固定资产投资密度均与 EWG 呈显著正相关(图

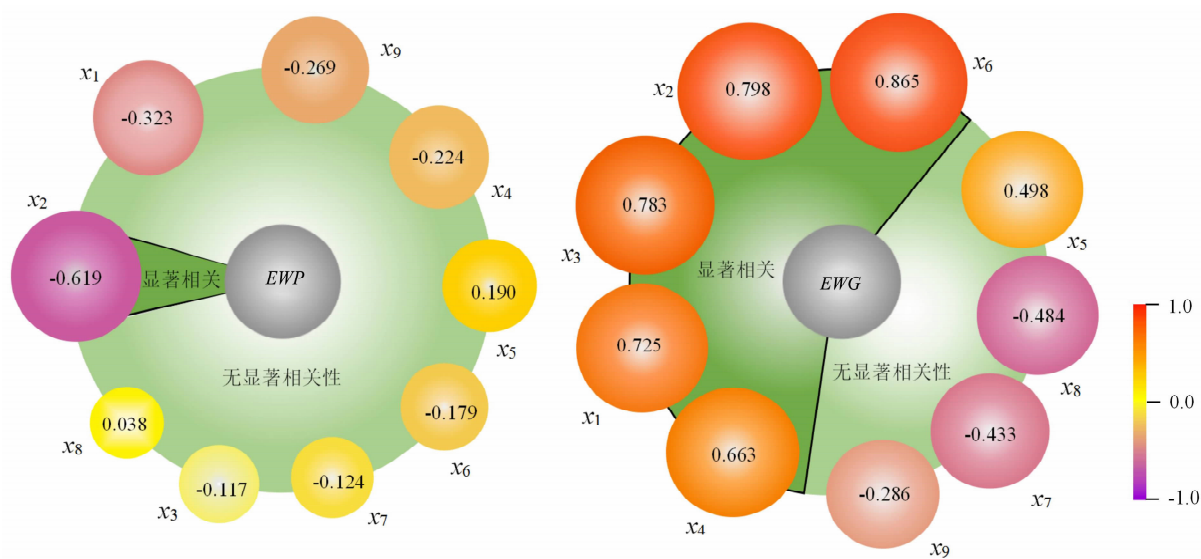


图3 生态福祉效率与人类活动相关性

Fig. 3 Correlation between ecological well-being efficiency and human activities

3)。岷江上游产业结构偏重,通过发展高耗能、高污染工业产业将生态系统服务转化成经济效益,不可避免地会给当地生态环境带来一定的负面影响^[38]。如汶川县作为阿坝州的工业基地,其高EWG、低EWP的生态福祉结构反映了经济发展与生态保护之间的矛盾。若盲目追求经济增长,势必将加强对生态环境的胁迫^[39],影响地区生态福祉水平,进而反噬区域经济发展成果。固定资产投资是经济建设的重要保障,固定资产投资密度的快速增长,对经济社会持续健康发展具有重要作用。如2015年茂县固定资产投资密度为95.89万元·km⁻²,松潘县固定资产投资密度为45.63万元·km⁻²,其EWG分别为0.54和0.16。

因此,保证地区经济质量,发展清洁工业、绿色工业,提高固定资产投资效率,改善投资结构,加大绿色节能投资,加快旅游业的良性开发,注重“三遗”的价值传承与规划利用,对提升岷江上游生态福祉具有重要意义。

3.2.3 文化活动的影

相关分析结果表明(图3),岷江上游文化活动($x_7 \sim x_9$)与生态福祉效率无显著相关性,其原因可能是文化活动对生态福祉效率的作用是一个间接、漫长的过程,在短时序中无法体现。社会经济发展引发的自然环境污染问题日趋严峻,通过文化传播、教育培养逐渐加强人们的环保意识,改变思想观念,提高人口文化素质,可有效引导人类经济活动行为,

进而对地区生态福祉效率的提升产生积极作用。

4 结论与讨论

生态福祉是人类福祉的重要组成部分,是一个地区居民从生态要素和资源环境中获得的满足感。本文遵循现有研究^[10,40]观点,即生态系统为维护自身发展需消耗部分生态系统服务价值,这部分价值无法为人类提供福祉,参考已有研究提出的用生态系统生产净值表征生态福祉的方法^[10],通过计算生态系统服务价值和折旧量评估岷江上游生态福祉水平。利用人均生态福祉和生态-经济产出效率综合反映山区居民从生态系统中的受益水平,在一定程度上体现了区域资源禀赋的差异。此外,与以往单纯的生态福祉效率评价研究相比,本文基于公平与效率视角,从人类社会、经济和文化3个维度初步刻画可能干扰生态福祉效率的活动因子并进行验证。虽然人口数量的波动对人均生态福祉水平有一定的影响,如汶川县因人口数量的有效控制,研究时段内其人均生态福祉逐期上升,但人口相关指标在相关性分析中可能存在共线性,进而影响结果的准确性和科学性,因此未将人口相关指标纳入人类活动指标体系。本文通过引入生态福祉的概念衡量岷江上游可持续发展状况,揭示人类活动对区域生态福祉的作用方向,可为后续研究从人类活动行为干扰生态福祉方式的角度对生态系统服务效率的提升提供

研究思路,为推动地区居民福祉提升实践提供理论依据。本文通过研究初步得出以下结论:

(1)研究时段内岷江上游三期生态福祉水平逐期上升,说明近几十年来生态建设与经济建设同步进行,生态环境得到大力保护。就地区而言,除汶川县和茂县2015年生态福祉略有降低外,其他县均逐期增长。20年间,人均生态福祉除汶川县增长 $0.68 \text{ 万元} \cdot \text{人}^{-1}$ 以外,其他县均呈降低趋势,说明地区人口增长速率大于生态恢复速率;研究区五县生态-经济产出效率均呈上升趋势,说明地区消费等量生态系统服务所获得的经济收益逐期增大。

(2)人均生态福祉的低值中心分布在茂县、汶川县,高值中心分布在松潘县、理县;而生态-经济产出效率的空间分布与之大致相反。地区间人均生态福祉的相对差距先减小后增加;生态-经济产出效率的相对差距逐期增加,1995年为0.08,2015年为0.56。

(3)人类活动中,城镇化率与人均生态福祉呈显著负相关。社会活动中,基础设施密度、城镇化率和科技发展水平均与生态-经济产出效率呈显著正相关;经济活动中,第二产业占比和单位面积固定资产投资密度与生态-经济产出效率呈显著正相关。可能与研究时段较短有关,文化活动与生态福祉效率的相关性不显著,但不能否认文化导向对改善生态环境的积极作用。

还需指出的是,由于存在数据不足、数据获取困难等问题,本文所用研究方法还存在局限性。首先,研究区土地利用变化图是基于ENVI遥感软件平台,综合运用监督分类及非监督分类的方法获取,可能存在一定误差,计算结果只能粗略表征当地生态福祉水平。其次,山区生态系统对人类活动强度极其敏感,但人类活动的干扰主要集中在岷江上游河谷地区,而高海拔地带少有人类居住,其生态福祉效率更大程度上受自然因素的影响。再者,人类活动是一系列复杂的不同规模与类型的行为,有限指标难以完整刻画。此外,因研究单元较少而缺乏对地理格局的分析也是本文的不足之一。

目前,关于生态福祉的评估方法各有不同,且指标体系存在较大争议,对于影响生态福祉水平的关键因子识别研究也较为缺乏。本文仅探讨了人类活动对生态福祉效率的作用机制,为生态福祉的影响因素研究提供了一个参考。但气候变化、人类活动

和政策导向等对生态福祉水平皆有重要影响,后续研究还需进一步拓宽研究视角。岷江上游是典型的山区民族聚落,本文仅进行了县域尺度的生态福祉研究,未对各民族聚落的福祉进行核算,在未来研究中需进一步细化研究尺度,从聚落上深入探究生态系统服务与人类福祉的关系。

参考文献(References)

- [1] BÜRG M, SCHULER A. Driving forces of forest management — an analysis of regeneration practices in the forests of the Swiss Central Plateau during the 19th and 20th century [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, **176**(1): 173 – 183. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00270-0
- [2] CHOWDHURY R R. Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels [J]. *Applied Geography*, 2005, **26**(2): 129 – 152. DOI: 10.1016/j.apgeog.2005.11.004
- [3] 欧阳志云,徐卫华,肖兢,等. 中国生态系统格局、质量、服务与演变[M]. 北京:科学出版社,2017:265 – 278. [OUYNAG Zhiyun, XU Weihua, XIAO Yi, et al. Chinese ecosystem pattern, quality, service and evolution [M]. Beijing: Science Press, 2017: 265 – 278]
- [4] 刘春霞,李月臣,杨华,等. 三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价[J]. *地理学报*, 2011, **66**(5): 631 – 642. [LIU Chunxia, LI Yuechen, YANG Hua, et al. RS and GIS-based assessment for eco-environmental sensitivity of the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, **66**(5): 631 – 642] DOI: 10.11821/xb201105006
- [5] 安毅,刘世梁,侯笑云,等. 人类活动的景观生态响应——以个旧市为例[J]. *生态学报*, 2018, **38**(24): 8861 – 8872. [AN Yi, LIU Shiliang, HOU Xiaoyun, et al. Research on landscape ecological effects of human activity: A case study of Gejiu City [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(24): 8861 – 8872] DOI: 10.5846/stxb2018058311206
- [6] CLAESSENS L, SCHOORL J M, VERBURG P H, et al. Modelling interactions and feedback mechanisms between land use change and landscape processes [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, **129**(1): 157 – 170. DOI: 10.1016/j.agee.2008.08.008
- [7] TANG S M, FRANKLIN J F, MONTGOMERY D R. Forest harvest patterns and landscape disturbance processes [J]. *Landscape Ecology*, 1997, **12**(6): 349 – 363. DOI: 10.1023/A:1007929523070
- [8] BRESEE M K, MOINE J L, MATHER S, et al. Disturbance and landscape dynamics in the Chequamegon National Forest Wisconsin, USA, from 1972 to 2001 [J]. *Landscape Ecology*, 2004, **19**(3): 291 – 309. DOI: 10.1023/B:LAND.0000030419.27883.40
- [9] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论

- [J]. 地理学报, 2003, **58** (5): 643 – 650. [ZHU Huiyi, LI Xiubin. Discussion on the index method of regional land use change [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, **58** (5): 643 – 650] DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2003.05.001
- [10] 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[J]. 应用生态学报, 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] DOI: 10.13287/j.1001-9332.201604.003
- [11] 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] DOI: 10.11821/dlxb201311011
- [12] 王伟栋, 张嫩江, 张杰. 定牧草原聚落生态系统视角下草原生态退化机理研究[J]. 生态经济, 2018, **34** (5): 189 – 194. [WANG Weidong, ZHANG Nenjiang, ZHANG Jie. Study on the prairie ecological degradation from the perspective of prairie human settlement ecological system [J]. Ecological Economy, 2018, **34** (5): 189 – 194]
- [13] 赵生龙, 左小安, 张铜会, 等. 乌拉特荒漠草原群落物种多样性和生物量关系对放牧强度的响应[J]. 干旱区研究, 2020, **37** (1): 168 – 177. [ZHAO Shenglong, ZUO Xiaolan, ZHANG Tonghui, et al. Response of the relationship between community species diversity and aboveground biomass to grazing intensity in the Urat Desert Steppe in north China [J]. Arid Zone Research, 2020, **37** (1): 168 – 177] DOI: 10.13866/j.azr.2020.01.19
- [14] 孙鸿超, 张正祥. 吉林省松花江流域景观格局脆弱性变化及其驱动力[J]. 干旱区研究, 2019, **36** (4): 1005 – 1014. [SUN Hongchao, ZHANG Zhengxiang. Change of landscape pattern vulnerability in the Songhua River Basin in Jilin province and its driving forces [J]. Arid Zone Research, 2019, **36** (4): 1005 – 1014] DOI: 10.13866/j.azr.2019.04.26
- [15] 李玲, 张福平, 冯起, 等. 环青海湖地区草地对气候变化和人类活动的响应[J]. 生态学报, 2019, **38** (4): 1157 – 1165. [LI Ling, ZHANG Fuping, FENG Qi, et al. Responses of grassland to climate change and human activities in the area around Qinghai Lake [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, **38** (4): 1157 – 1165] DOI: 10.13292/j.1000-4890.201904.032
- [16] 吴艳艳, 吴志峰, 余世孝. 定量评价人类活动对净初级生产力的影响[J]. 应用生态学报, 2017, **28** (8): 2535 – 2544. [WU Yanyan, WU Zhifeng, YU Shixiao. Quantitative assessment of the impacts of human activities on net primary productivity [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, **28** (8): 2535 – 2544] DOI: 10.13287/j.1001-9332.201708.019
- [17] 张继飞, 邓伟, 朱昌丽, 等. 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[J]. 山地学报, 2017, **35** (3): 388 – 398. [ZHANG Jifei, DENG Wei, ZHU Changli, et al. Spatial relationship and its dynamic features of ecosystem services and human wellbeing in the Upper Reaches of Minjiang River [J]. Mountain Research, 2017, **35** (3): 388 – 398] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000235
- [18] 樊敏. 岷江上游山地生态系统服务地域分异过程与补偿阈值[J]. 生态与农村环境学报, 2019, **35** (10): 1289 – 1298. [FAN Min. Regional differentiation of mountainous ecosystem services and ecological compensation thresholds in the upstream of Minjiang River [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, **35** (10): 1289 – 1298] DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2019.0164
- [19] 祝聪, 彭文甫, 张丽芳, 等. 2006—2016 年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力[J]. 生态学报, 2019, **39** (5): 1583 – 1594. [ZHU Cong, PENG Wenfu, ZHANG Lifang, et al. Study of temporal and spatial variation and driving force of fractional vegetation cover in upper reaches of Minjiang River from 2006 to 2016 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, **39** (5): 1583 – 1594] DOI: 10.5846/stxb201805040993
- [20] 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 settlement area in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Mountain Research, 2016, **34** (3): 356 – 365] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000139
- [21] 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, **30** (8): 1243 – 1254. [XIE Gaodi, 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, **30** (8): 1243 – 1254] DOI: 10.11849/zrzyxb.2015.08.001
- [22] 臧正. 滨海湿地生态系统与区域福祉的双向耦合关系研究——以盐城为例[D]. 南京: 南京大学, 2018: 116 – 117. [ZANG Zheng. The bidirectional coupling relationship between coastal wetland ecosystem and regional welfare: A case study in Yancheng [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018: 116 – 117]
- [23] 张晖, 吴霜, 张燕媛, 等. 流域生态补偿政策对受偿地区经济增长的影响研究——以安徽省黄山市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, **28** (12): 2848 – 2856. [ZHANG Hui, WU Shuang, ZHANG Yanyuan, et al. Effect of watershed eco-compensation mechanism on economic growth in compensation area: Take Huangshan city as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, **28** (12): 2848 – 2856] DOI: 10.11870/cjlyzyhj201912006
- [24] 杨灿, 朱玉林. 绿色发展视阈下湖南省生态足迹的驱动力因素分析[J]. 经济地理, 2020, **40** (4): 195 – 203. [YANG Can, ZHU Yulin. Driving force factors of ecological footprint in Hunan

- province from the perspective of green development [J]. *Economic Geography*, 2020, **40** (4): 195 – 203] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.04.022
- [25] 徐志刚, 庄大方, 杨琳. 区域人类活动强度定量模型的建立与应用[J]. *地球信息科学学报*, 2009, **11** (4): 452 – 460. [XU Zhigang, ZHUANG Dafang, YANG Lin. Construction and application of regional quantitative model of human activity intensity [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2009, **11** (4): 452 – 460] DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2009.04.007
- [26] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services [J]. *Ecological Economics*, 2002, **41** (3): 393 – 408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- [27] European Communities, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations and World Bank. System of national accounts: SNA 2008 [EB/OL]. [2021-04-23]. <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008.pdf>
- [28] 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. [OUYANG 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] DOI: 10.5846/stxb201310092428
- [29] 刘慧, 刘波, 许霞, 等. 基于突变理论的湖南衡阳暴雨灾害风险评估[J]. *灾害学*, 2019, **34** (3): 221 – 226. [LIU Hui, LIU Bo, XU Xia, et al. Risk assessment of rainstorm disaster based on catastrophe theory in Hengyang of Hunan province [J]. *Journal of Catastrophology*, 2019, **34** (3): 221 – 226] DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.03.040
- [30] 臧正, 邹欣庆, 吴雷, 等. 基于公平与效率视角的中国大陆生态福祉及生态—经济效率评价[J]. *生态学报*, 2017, **37** (7): 2403 – 2414. [ZANG Zheng, ZOU Xinqing, WU Lei, et al. Evaluation of ecological well-being and eco-economic efficiency in the Chinese mainland: From the perspective of justice and efficiency [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37** (7): 2403 – 2414] DOI: 10.5846/stxb201601040014
- [31] HAN Han, LI Huimin, ZHANG Kaize. Spatial-temporal coupling analysis of the coordination between urbanization and water ecosystem in the Yangtze River Economic Belt [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, **16** (3757): 1 – 18. DOI: 10.3390/ijerph16193757
- [32] CHIKARAISHI M, FUJIWARA A, KANEKO S, et al. The moderating effects of urbanization on carbon dioxide emissions: A latent class modeling approach [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2015, **90** (1): 302 – 317. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.12.025
- [33] MARTELLOZZO F, AMATO F, MURGANTE B, et al. Modelling the impact of urban growth on agriculture and natural land in Italy to 2030 [J]. *Applied Geography*, 2018, **91** (2): 156 – 167. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.12.004
- [34] 胡雷, 王军锋. 我国城镇化对二氧化碳排放的长期影响和短期波动效应分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, **30** (8): 94 – 100. [HU Lei, WANG Junfeng. Analysis of the long-term impact of carbon dioxide emissions and short-term fluctuation effect of urbanization in China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, **30** (8): 94 – 100] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2016.255
- [35] 史建军. 城镇化进程中生态环境响应的时空分异及影响因素研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, **33** (5): 60 – 66. [SHI Jianjun. Spatial-temporal differences of eco-environment in response to urbanization and the influence factors [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, **33** (5): 60 – 66] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2019.139
- [36] SONG Guobao, LI Mingjing, SEMAKULA H M, et al. Food consumption and waste and the embedded carbon, water and ecological footprints of households in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **529** (5): 191 – 197. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.068
- [37] 诸大建, 张帅. 生态福利绩效及其与经济增长的关系研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, **24** (9): 59 – 67. [ZHU Dajian, ZHANG Shuai. Research on ecological wellbeing performance and its relationship with economic growth [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, **24** (9): 59 – 67] DOI: 10.3969/j.issn.1002-2104.2014.09.009
- [38] 张荣天, 焦华富. 泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, **24** (5): 719 – 727. [ZHANG Rongtian, JIAO Huaifu. Coupling and coordinating between economic development and ecological environment in the Pan Yangtze River Delta [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24** (5): 719 – 727] DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201505002
- [39] 赵雪雁. 甘肃省经济发展与环境质量的交互耦合关系[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, **22** (6): 1 – 7. [ZHAO Xueyan. Analysis on coupling relationships between economic development and environment quality in Gansu [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, **22** (6): 1 – 7] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2008.06.029
- [40] 郑德凤, 王燕燕, 刘晓星, 等. 基于生态系统服务的中国生态福祉区划时空格局与潜力分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, **36** (5): 645 – 653. [ZHENG Defeng, WANG Yanyan, LIU Xiaoxing, et al. Temporal-spatial pattern and potential analysis of China's ecological well-being zone based on ecosystem services [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, **36** (5): 645 – 653] DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2019.0249

Disturbance of Human Activities to Mountain Ecological Well-Being Fluctuation in the Upper Reaches of the Minjiang River, China

ZHANG Yike^{1,2}, FANG Yiping^{1,2*}, YANG Yue^{1,2}, XU Yun¹

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Ecological well-being is an essential indicator of the natural environment's feedback on the intensity of human activities. Investigating the anthropogenic impact on ecological well-being and effectively regulating human activities is crucial for ensuring sustainable development of the regional environment and social economy. This paper explored the impact of human activities on the efficiency of ecological well-being using the equivalent factor method, catastrophe theory, and depreciation rate model to quantify the ecological well-being in the upper reaches of the Minjiang River in 1995, 2005, and 2015. The findings indicate that: (1) The per capita ecological well-being showed a decreasing trend during the study period for all regions except Wenchuan county, indicating that the population growth rate was greater than the ecological restoration rate. The eco-economic output efficiency of all regions showed an increasing trend implying that the economic benefits gained by consuming the same amount of ecosystem services have gradually increased. (2) The spatial distribution of the low-value and high-value centers of per capita ecological well-being was roughly opposite to the eco-economic output efficiency. Areas with low ecological economic efficiency were characterized by high per capita ecological well-being. (3) Pearson correlation analysis revealed that the urbanization rate was negatively correlated with per capita ecological well-being. Infrastructure density, urbanization rate, technological development level and the proportion of secondary industries were positively correlated with eco-economic production performance. This paper provides a theoretical basis for regulating the types, methods and intensity of human activities for improving regional ecological well-being. Nevertheless, ecological well-being is affected by climate change, human activities, and policy orientation impact, necessitating broader follow-up studies.

Key words: mountain ecosystems; ecological well-being efficiency; temporal and spatial heterogeneity; disturbance of human activities; the upper reaches of the Minjiang River