
长江上游重点生态功能区生态系统服务福祉效应与 层级差异研究¹

杨雪婷¹ 邱孝枰² 朱付彪³ 徐 云^{4*} 黄天志⁵

(1. 绵阳师范学院四川县域经济发展研究中心, 四川 绵阳 621000;

2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川 成都 610101;

3. 合肥工业大学经济学院, 安徽 合肥 230009;

4. 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;

5. 绵阳师范学院资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000)

【摘 要】：长江上游重点生态功能区作为国家“两屏三带”生态安全战略重要空间载体，生态脆弱敏感与经济社会滞后交织，理清生态系统服务与多要素多层次福祉的关系对人地系统协调发展、推进我国生态文明建设具有重要的理论与实践意义。以四川省重点生态功能区为例，基于人类福祉框架识别 2000 年以来居民福祉水平变化，通过相关分析和面板分位数回归模型探讨不同类型生态系统服务的福祉效应与层级差异。结果表明：(1) 重点生态功能区居民福祉显著提升，2000 ~ 2018 年福祉指数增幅达 79.99%，但仍以中低福祉层级为主，东西部差异明显，收入福祉偏低是限制福祉水平整体提升的关键；(2) 人均生态系统服务价值(PESV) 与居民福祉呈负相关性，其中与教育福祉负向关联最强；(3) 生态系统服务福祉效应具有层级异质性，随福祉层级递增 PESV 负效应趋于弱化，耕地和林地是影响居民福祉的关键生态系统，边际效应方向相反，高福祉层敏感性更强；(4) 二三产业比重、城镇化率、人均固定资产投资是重要非生态驱动因子，在不同福祉层级均施加显著正向影响，对低福祉层正向边际贡献更大。

【关键词】：生态系统服务；福祉效应；面板分位数回归；重点生态功能区

¹ **【收稿日期】**：2022-06-01；**【修回日期】**：2022-08-25

【基金项目】：国家自然科学基金青年项目（42001173；41901209；32001232）；国家自然科学基金面上项目（41671152）；四川省哲学社会科学重点研究基地—四川民族山地经济发展研究中心重点项目（SDJJ2002）；教育部人文社会科学研究青年基金项目（20YJC790196）

【作者简介】：杨雪婷（1990~），女，副研究员，主要研究方向为山区产业可持续发展、农户生计方面。E-mail: cheerxueting@126.com

【* 通讯作者 E-mail】：xuyun@imde.ac.cn

【中图分类号】：Q148; F126 【文献标识码】：A 【文章编号】：1004-8227(2023)04-0797-12

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj2023040011

长江上游重点生态功能区是我国“两屏三带”生态安全重要屏障和生态产品主产区,承担着水源涵养、水土保持、防风固沙、维护生物多样性等重要的生态功能,对维系长江流域生态平衡,保障区域生态安全具有不可忽视的战略地位^[1]。同时该区也是具有全球意义的生态脆弱带、原“三区三州”深度贫困地区,经济发展和公共服务水平滞后^[2],地区居民生存与发展对生态系统服务变化的敏感性高,具有提高福祉的迫切需求^[3],作为限制开发和资源强依赖空间单元,面临开发与治理、建设与保护、发展与存续多重关系互促共进的极大难点和艰巨挑战^[4],生态系统服务对居民福祉的影响研究对人地系统协调发展、推进我国生态文明建设具有重要的理论与实践意义。

生态系统服务表示生态系统通过结构、过程和功能以直接物质产品或间接无形服务提供给人类各种惠益^[5],是生态系统与人类福祉桥梁的重要载体^[6,7],福祉表示健康、幸福且物质上富足的生活状态^[8]。自《千年生态系统评估》(Millennium Ecosystem Assessment, MA)报告提出生态系统服务对人类福祉贡献的概念框架以来,生态系统服务与福祉的相互关系成为可持续科学核心议题被广泛探讨^[8,9]。空间尺度上国内外学者从国家、区域、流域甄别生态系统服务与福祉关联特征、耦合模式、空间溢出效应^[5,10,11,12],聚焦于农田、森林、草原、湿地等生态系统的福祉贡献^[13,14,15],在特定空间尺度和区域单元,特定生态系统服务类型福祉贡献方向与程度各异^[16];时间尺度上,人类福祉与生态系统服务相对应,具有层次性、多要素性、动态性特征^[7,12],二者显著相关,但呈现非线性、非同步反馈关系^[17,18],生态系统服务对福祉的贡献边际递减,福祉程度的高低不依赖于生态系统某项收益最大化,而是取决于在需求层次上的分布状况^[7],生态承载适宜条件下提升不同层次福祉需求是生态系统服务与福祉关系研究的重要目标^[19],已有研究基于MA人类福祉构成要素、主客观维度或马斯洛需求层次理论对福祉作类别划分,构建其与生态系统服务的级联分析框架^[6,11,17],以定性分析为主,定量研究多根据农户问卷调查从当地居民感知视角探讨生态系统服务福祉效应及优先序^[20,21]、生态系统服务依赖度对居民福祉变化的影响^[22],判识生态系统服务在群体中非均衡供给特征。

目前,国内外众多学者针对不同区域和不同类型生态系统服务的福祉影响进行了系列探索,取得大量丰硕成果,但针对承担着更多“生态功能”和“生产功能”的重点生态功能区的相关研究仍显薄弱,对单一生态系统关注较多,缺乏不同类型生态系统服务对比^[23];从微观尺度理解生态系统服务福祉效应的群体差异较多,而从区域居民发展进程出发,对生态系统服务的福祉影响层级异质性诊断不足;福祉的变化是多因素共同作用的结果,既依赖于生态系统服务也依赖于社会经济因子^[7,8],相关研究缺乏对福祉驱动要素展开多系统整合分析。鉴于此,本研究以位于长江上游四川省重点生态功能区为典型分析案例,以人类发展指数为框架识别21世纪以来居民福祉变化,探讨多因素协同影响下生态系统服务对福祉的边际贡献,旨在为地区生态保护与居民福祉“双赢”提供理论和实践决策参考,促进重点生态功能区协调可持续发展。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

四川省重点生态功能区界于97°35'E~108°51'E,26°84'N~34°32'N(图1),涵盖58个县(市、区),总面积31.89万km²,占全省幅员面积65.62%,其中56县(市)纳入国家级重点生态功能区,数量居全国之首,是世界生物多样性热点区和我国生物多样性保护关键区,分布着中国三大林区和五大草场之一^[24],率先实施天然林保护工程、退耕还林工程,构成长江上游生态屏障的重要组成部分。在全球气候变化和人类活动扰动背景下,地区灾害频发易发,生态系统处于不稳定或失衡状态,极大影响居民福祉赖以发展的自然根基,生态环境脆弱与经济社会滞后交织,96.55%的县域属于原国家级、省级贫困县,面临着巩固脱贫成果与生态保护双重压力,2018年城乡居民人均可支配收入分别为2.95和1.13万元,较四川省平均水平低15.13%和11.20%。

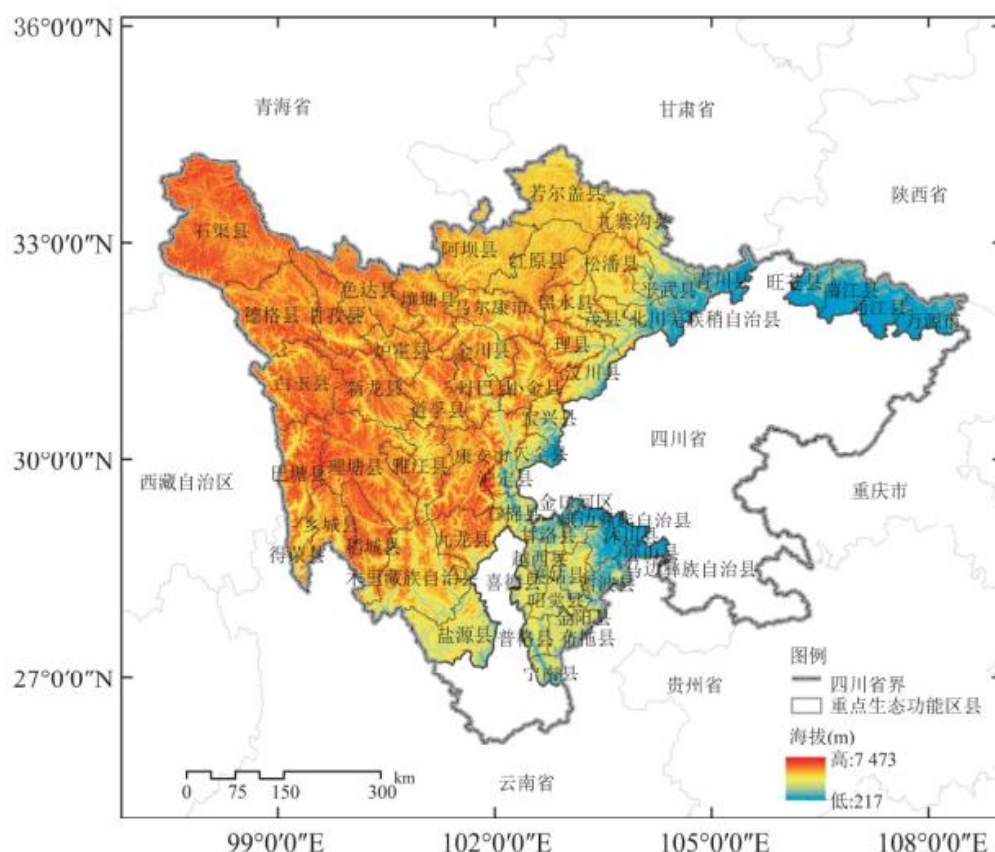


图 1 四川省重点生态功能区空间区位

Fig. 1 Spatial distribution of key ecological function areas in Sichuan Province

1.2 数据来源

研究数据主要包括四川省重点生态功能区县域土地利用数据和社会经济数据。2000、2005、2010 和 2018 年四期土地利用类型数据来自中科院资源环境科学数据中心土地利用数据库 (<http://www.resdc.cn>), 该数据以 Landsat-TM/ETM/8 遥感影像为数据源, 采用人机交互式目视判读方式构建, 分辨率为 30 m, 精度达到 90% 以上^[25], 四期 NDVI (归一化植被指数) 来自地理空间数据云平台, 分辨率为 30 m; 社会经济数据中粮食平均出售价格来自《全国农产品成本收益资料汇编》, 粮食产量来自《四川统计年鉴》; 平均受教育年限、文盲率和预期寿命数据来自全国和四川省 2000 年第五次人口普查和 2010 年第六次人口普查数据, 2005 和 2018 年数据通过内插法和外推法获取, 人均 GDP 来自《四川统计年鉴》, 折算为以 2011 年 PPP 价格衡量 (<https://data.worldbank.org.cn/>) 的人均 GNI 数据^[26]; 影响因子中非生态因子变量来自相应年份《四川统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值评估模型

本研究以谢高地 2015 年提出的单位面积生态系统服务价值当量为基础^[27], 结合四川省重点生态功能区土地利用一级分类结果, 建立区域生态系统服务价值评估的初始模型。但谢高地等学者的当量因子价值评估方法主要基于全国平均状态的计算, 不同时间货币购买力会发生变化^[24], 生态系统服务价值当量因子的经济价值量据此发生差异, 此外, 不同地理位置、不同时间植被

生长状况有所不同，已有研究显示植被覆盖度对生态系统服务功能产生重要影响^[28]，考虑到归一化植被指数 (NDVI) 可有效表征植被覆盖和生长状况^[29]，研究中通过计算区域 NDVI 反映植被生态系统 (耕地、林地、草地) 品质修正系数。由此，基于购买力指数和品质修正系数对当量因子生态系统服务价值评估法进行时空异质修正，模型表达如下：

$$ESV_{ijt} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ijt} \times VC_{ijt} \times \alpha_{ijt} \times \beta_t \quad (1)$$

$$VC_{ijt} = \frac{1}{7} \times p \times Q \times w \quad (2)$$

$$\alpha_{ijt} = \frac{NDVI_{ijt}}{NDVI_{jt, mean}} \quad (3)$$

式中：ESV_{ijt} 为 i 县 t 年 j 类生态系统服务价值；A_{ijt} 为 i 县 t 年 j 类生态系统面积；VC_{ijt} 是 i 县 t 年 j 类生态系统服务经济价值量；m 为 58 个县域单元；n 为 5 种生态系统类型，根据已有研究，建设用地被认为没有生态系统服务价值^[30]；p 表示全国农产品成本收益资料汇编中粮食平均出售价格；Q 为重点生态功能区平均粮食产量，w 是 j 类生态系统服务功能价值当量；α_{ijt} 为 i 县 t 年 j 类生态系统品质修正系数；NDVI_{ijt} 是 i 县 t 年 j 类生态系统 NDVI 值；NDVI_{jt, mean} 为重点生态功能区 j 类生态系统 t 年平均 NDVI 值；β_t 表示 t 年以 2000 年为基期的货币购买力指数。2000, 2005, 2010, 2018 年分别为 1.000, 0.934, 0.782 和 0.652。

1.3.2 居民福祉测度模型

借鉴影响最为广泛的联合国开发计划署人类发展指数框架，居民福祉水平由健康、教育、收入 3 个环节共同决定，根据 2010 年人类发展指数计算方法^[26]和区域实际情况设定阈值，计算公式如下：

$$HWI = \sqrt[3]{HI \times EI \times II} \quad (4)$$

其中，

$$HI = \frac{H_i - 20}{85 - 20} \quad (5)$$

$$EI = \sqrt{\frac{100\% - L_i}{100\% - 0\%} \times \frac{Y_i - 0}{15 - 0}} \quad (6)$$

$$II = \frac{\ln(I_i) - \ln(100)}{\ln(75000) - \ln(100)} \quad (7)$$

式中：HWI 表示居民福祉指数；HI、EI、II 分别代表健康指数、教育指数和收入指数； H_i 、 L_i 、 Y_i 、 I_i 分别为 i 县平均预期寿命，文盲率、平均受教育年限和购买力平价人均 GNI (2011 年 PPP \$)。

1.3.3 回归模型构建

(1) 面板分位数回归模型

分位数回归是对普通最小二乘法 (OLS) 模型的扩展，自 Koenker 等^[31]提出以来被广泛应用到研究对象层级异质性分析中，该方法对异常值和异方差具有耐抗性，可较好排除离群值干扰，回归结果更为稳健^[32]，通过设定不同分位点可刻画参数值在不同福祉层级的边际效应。假定条件分布 $y|x$ 的总体 q 分位数 $y_q(x)$ 是 x 的线性函数， $y_q(x_i) = x_i' \beta_q$ ，其中 β_q 为 q 分位数回归系数，估计量 $\hat{\beta}_q$ 表达如下：

$$\min_{\beta_q} \left[\sum_{i: y_i \geq x_i' \beta_q} q \left| y_i - x_i' \beta_q \right| + \sum_{i: y_i < x_i' \beta_q} (1 - q) \left| y_i - x_i' \beta_q \right| \right] \quad (8)$$

式中： β 表示各个变量在分位 q 的偏回归系数，解释自变量对居民福祉影响变化趋势； y_i 表示因变量在第 i 个样本的观测值； x_i 表示自变量第 i 个样本观测值。

(2) 变量选择

生态系统服务作为自然资本是重点生态功能区居民生存和发展的资源基础^[33]，同时居民福祉与经济发展水平、财政转移支付与保障、市场化水平等密切相关^[34]，遵循代表性、可比性和可操作性等原则，结合研究区发展情况，将福祉的影响因素分为两类 (表 1)。

表 1 面板分位数回归主要变量与描述性统计

变量类型	变量名称	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	居民福祉 (HWI)	0.424	0.130	0.152	0.736
	健康福祉 (HI)	0.820	0.105	0.464	1.069
	教育福祉 (EI)	0.560	0.157	0.177	0.857
	收入福祉 (II)	0.390	0.110	0.187	0.691
解释变量	生态因子				
	人均生态系统服务价值 (PESV)	83 441.661	82 200.152	2 285.179	344 399.225
	人均耕地生态系统服务价值 (PAESV)	617.980	334.727	66.889	1 948.048
	人均林地生态系统服务价值 (PFESV)	39 401.876	37 295.416	1 727.185	185 911.438
	人均草地生态系统服务价值 (PGESV)	39 338.500	49 145.929	35.337	268 111.822
	人均水体生态系统服务价值 (PWESV)	1 793.408	3 315.699	0.000	17 527.880
	人均未利用土地生态系统服务价值 (PUESV)	2 289.898	4 074.871	0.000	21 613.622
	非生态因子				
	人均 GDP 增长率 (PGDPG)	0.129	0.123	-0.198	1.141
	二三产业比重 (PSTI)	0.685	0.142	0.313	0.951
	人均固定资产投资 (PFAI)	16 415.689	20 926.362	200.973	107 373.923
	人均财政支出 (PFE)	8 552.176	10 265.112	72.857	42 690.000
	城镇化率 (UR)	19.565	11.405	5.100	54.090

核心解释变量。本文为生态因子，生态系统服务是人类可持续发展的重要基础，考虑到地区不同类型生态系统占地面积差异，以及生态经济中人口要素处于主体地位，人口基数对资源分配产生重要影响，人类活动也通过改变土地利用调整生态系统服务供应结构和水平^[5,24]，研究中采用人均 ESV (PESV) 表征生态系统服务人均占有水平，有利于人地关系状态的认知。为探究不同类型生态系统服务的福祉边际效应，进一步根据土地类型划分为耕地、林地、草地、水体、未利用土地的人均 ESV。

控制变量。本文为非生态因子，生态系统服务贡献并非福祉体系全部，经济、社会等非生态因素对福祉的影响更大^[22]，其中，经济发展是促进居民福祉提升的重要驱动力^[35]，资本投入是民生服务等基础设施建设的重要保障，产业结构升级将引导劳动力向非初级产业流动，增加就业机会^[36]，研究中选取人均 GDP 增长率、二三产业比重、人均社会固定资产投资表征经济影响因子；健全的财政体制是居民健康、教育、社保等公共服务水平提升的关键^[34]，全面福祉提升是城镇化的根本目的，用人均财政支出、城镇化率代表社会影响因子。

2 结果与分析

2.1 重点生态功能区居民福祉水平状况

福祉指数增幅趋缓, 指数内部结构趋于均衡化。2000 年以来重点生态功能区福祉指数明显提升, 18 年间增幅达 79.99%(表 2), 高于四川省(30.88%)和西部地区(36.08%)福祉指数平均增长水平, 但福祉指数均值仍远低于四川省(0.712)和西部地区(0.709)^[26]。福祉内部构成中, 健康、教育、收入指数均较大改善, 其中健康指数得分最高但收入和教育指数增速较快, 居民福祉指数内部结构趋向于均衡化。但与西部地区相比重点生态功能区在收入指数方面差距仍较大[26], 约低 22%, 由此可知经济水平偏低是限制福祉水平整体提升的关键。

表 2 2000~2018 年重点生态功能区福祉指数变化

指标	2000	2005	2010	2018	增幅 (%)
健康指数	0.738	0.790	0.845	0.906	22.74
教育指数	0.467	0.523	0.578	0.672	43.69
收入指数	0.278	0.348	0.426	0.506	81.92
福祉指数	0.307	0.378	0.456	0.553	79.99
四川省福祉指数[26]	0.544		0.650	0.712	30.88
西部地区福祉指数[26]	0.521		0.640	0.709	36.08

注: 四川省和西部地区福祉指数 2018 年数据根据文献^[26]中 2010~2017 年增速推算获得。

居民福祉处于中低层级, 以逐级跃升为主。根据联合国居民福祉层级分类[26], 以 0.550、0.699 和 0.799 三个临界值将研究区划分为低福祉层(<0.550)、中等福祉层(0.550~0.699)、高福祉层(0.699~0.799)和极高福祉层(>0.799), 由此可知重点生态功能区从 2000 年低福祉层级进入 2018 年中等福祉层级(图 2); 县域福祉层级分布中, 2018 年以中等和低福祉层级为主体, 分别占 51.72%和 41.38%, 福祉指数层级转换主要发生在 2010~2018 年, 其中 50%县域向上跃迁, 主要由低福祉转换为中等福祉, 占层级转换的 86.21%。

福祉指数东西分异显著, 呈带状集聚。居民福祉指数由东向西呈圈层递减特征(图 3), 具有一定的反自然梯度性, 其中马尔康市、康定市、金口河区、汶川县处于高福祉层级, 甘孜县、石渠县、美姑县、布拖县、新龙县福祉指数最低。居民福祉指数增幅表现出空间反向性(图 4), 重点生态功能区西部是福祉改善最为显著的区域单元, 但东西部差异仍然较大, 川滇森林及生物多样性生态功能区西部和大小凉山水土保持和生物多样性生态功能区西南部是未来福祉增进的重点空间单元。

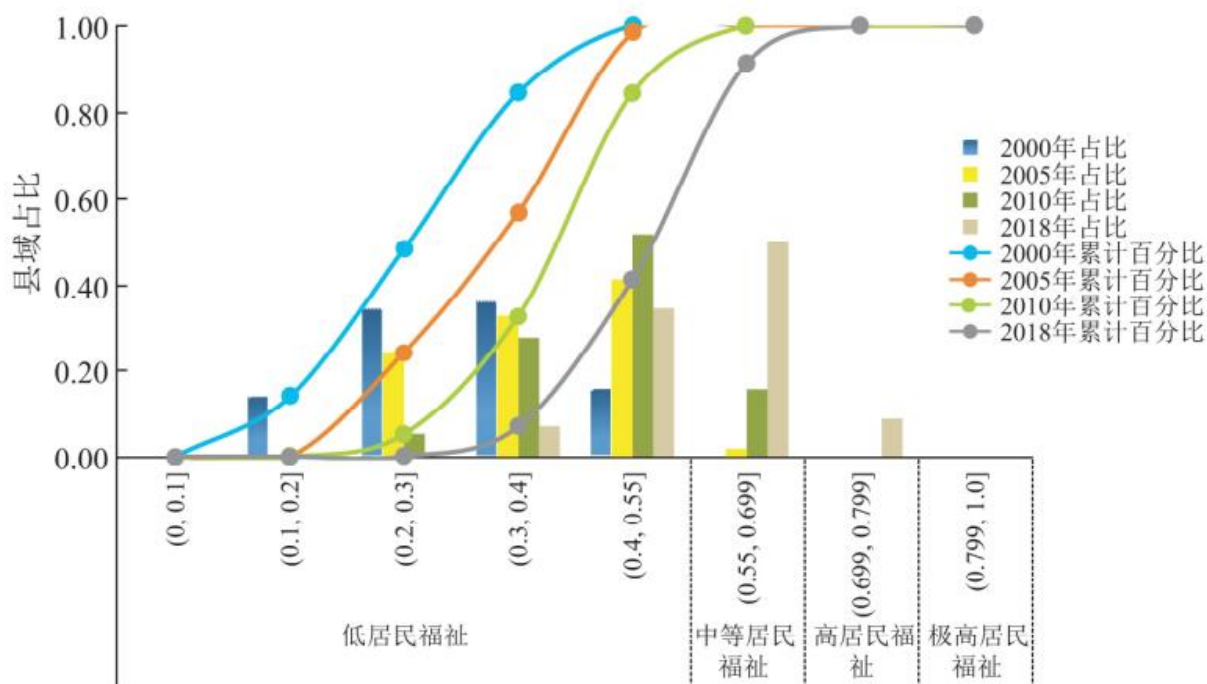


图 2 2000~2018 年四川省重点生态功能区居民福祉指数累计百分比曲线图

Fig. 2 Cumulative percentage curve of welfare index in key ecological function areas in Sichuan Province from 2000 to 2018

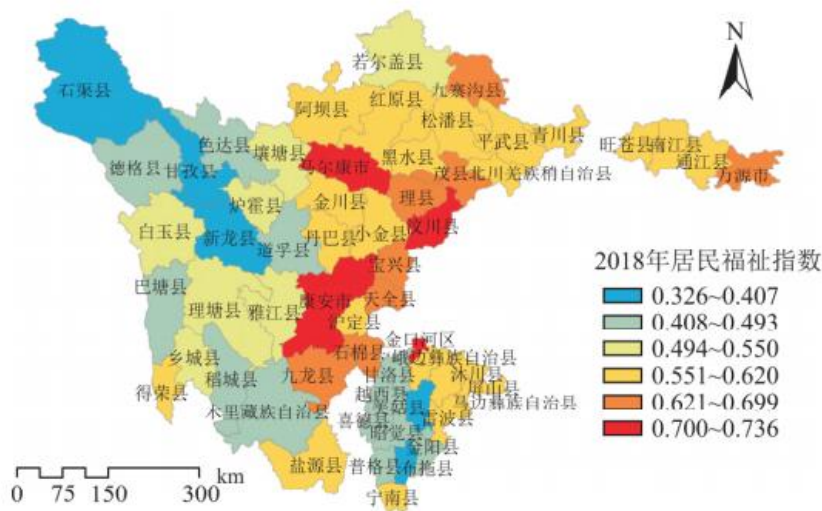


图 3 2018 年居民福祉指数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of welfare index in 2018

2.2 生态系统服务与福祉的关联关系

生态系统服务与居民福祉呈负向关联，主要与教育福祉形成反向变化趋势。生态系统服务与居民福祉呈负相关性，但并不显著(图 5), 与部分学者前期研究结果^[18, 37]相似, 地区整体表现出“高生态系统服务-低居民福祉”的资源诅咒现象, 受到生态系统服务可及性、外部性、时间滞后性、产权安排和科技发展等因素影响, 生态系统服务改善并非必然带来高人类福祉^[12, 18, 38], 加之, 重点生态功能区受到自然灾害和人为生态空间管控干预, 居民从生态系统服务中获得的福祉可能有限^[22]。生态系统服务与福祉要素具有差异化的关联关系, 其中与健康 and 收入福祉呈正相关性, 相反, 与教育福祉呈显著负相关性。

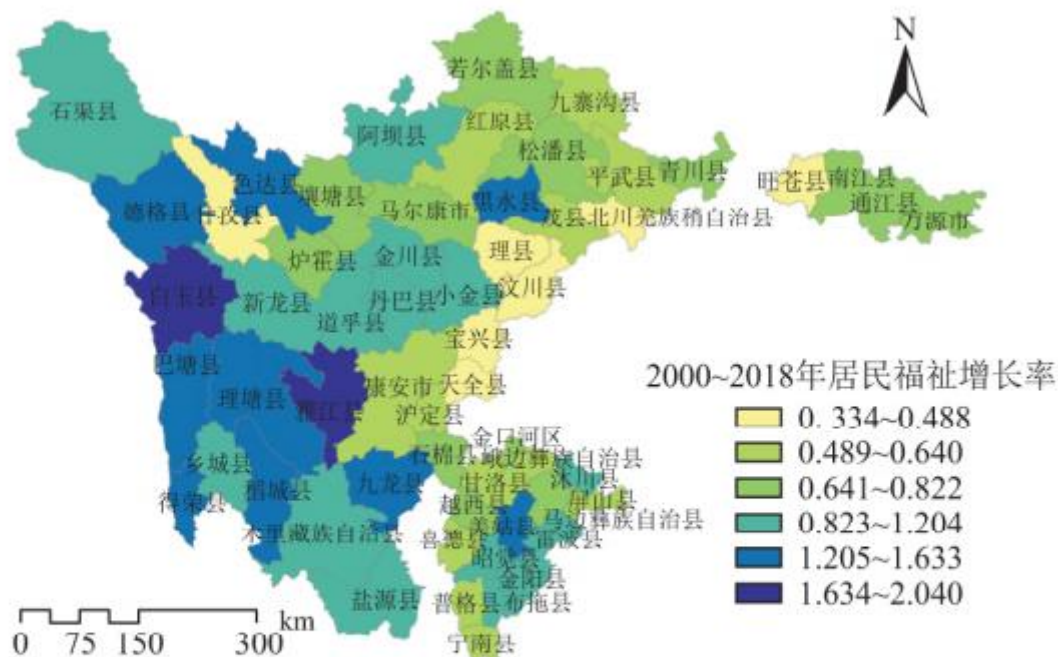


图 4 2000~2018 年居民福祉指数增长率

Fig. 4 Growth rate of welfare index from 2000 to 2018



图 5 生态系统服务与居民福祉关系矩阵热力图

Fig. 5 Relationship matrix hotspot diagram between ecosystem services and human wellbeing

居民福祉对耕地表现出关键依赖，与草地、未利用土地呈显著负向关联。不同类型生态系统服务中(图 5)，居民福祉与耕地、林地、水体具有正向关联关系，其中与耕地正相关性最强。相反，草地、未利用土地与居民福祉呈显著负相关性，主要表现在与教育、收入福祉呈反向变化关系。相较而言，耕地通过向居民提供原材料、食物构成收入福祉、健康福祉的关键依赖，未利用土地与教育福祉的负向关联最强，除耕地外各类生态系统均与教育福祉呈负相关关系。

2.3 生态系统服务对福祉的层级驱动效应

参考联合国居民福祉指数的层级划分设置 6 个代表性分位点(0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 0.98)，其中 QR(0.1~0.75)、QR(0.90)和 QR(0.98)分别对应低福祉层、中等福祉层和高福祉层，以探讨生态系统服务对居民福祉影响的层级效应。

生态系统服务对居民福祉的负效应随福祉层级递增波动递减。在控制变量共同作用下，人均 ESV 对各层级居民福祉均表现出显著负向抑制作用(表 3)，意味着居民从生态系统中获取的收益不能较好的满足需求从而构成福祉^[16]。生态系统服务的边际效应应具有层级差异性，对低福祉层的负向影响更大，回归系数在 0.1 分位点达到峰值(-0.059)，这与不同福祉层级生态资源利用的机会与能力有关，生态系统服务的改善可能会进一步强化地区居民福祉的差距。

表 3 生态系统服务的福祉影响面板分位数回归结果

变量	低福祉层				中福祉层	高福祉层
	QR (0. 1)	QR (0. 25)	QR (0. 5)	QR (0. 75)	QR (0. 9)	QR (0. 98)
lnPESV	-0. 059*** (-6. 09)	-0. 047*** (-3. 76)	-0. 051*** (-5. 19)	-0. 047*** (-5. 87)	-0. 043*** (-4. 31)	-0. 029*** (-3. 84)
lnPGDPG	0. 033 (1. 37)	0. 013 (0. 34)	0. 014 (0. 71)	-0. 022 (-1. 36)	-0. 015 (-1. 10)	-0. 062** (-2. 34)
lnPSTI	0. 396** (2. 55)	0. 425* (1. 96)	0. 163 (1. 42)	0. 133 (1. 53)	0. 194*** (2. 73)	0. 225** (2. 53)
lnPFAI	0. 099*** (5. 46)	0. 061*** (2. 71)	0. 091*** (5. 46)	0. 096*** (8. 32)	0. 089*** (5. 76)	0. 069*** (3. 18)
lnPFE	0. 008 (0. 51)	0. 01 (0. 54)	-0. 011 (-0. 58)	-0. 012 (-1. 31)	-0. 010 (-0. 43)	0. 012 (0. 60)
lnUR	0. 148*** (3. 59)	0. 169*** (4. 86)	0. 177*** (6. 01)	0. 155*** (5. 53)	0. 146*** (5. 69)	0. 100*** (4. 49)
Cons	-1. 417*** (-6. 54)	-1. 208*** (-5. 88)	-1. 27*** (-11. 34)	-1. 28*** (-12. 10)	-1. 173*** (-12. 86)	-1. 22*** (-11. 08)
R2	0. 575	0. 561	0. 574	0. 571	0. 565	0. 59

耕地、林地是影响居民福祉的重要生态系统，高福祉层敏感性更强。不同类型生态系统服务的福祉影响来看，在控制变量共同作用下，耕地对各分位层级均呈正向驱动(表 4, 图 6), 回归系数随分位点增加呈“N”形变化趋势，福祉层级在两端的地区居民获益较多，其中 0. 25 和 0. 98 分位点通过 5%显著水平检验。林地对各分位层级居民福祉具有负向影响，除 0. 1 分位点外，回归系数在低福祉层均显著，对高福祉层施加的负向影响更大。草地、水体和未利用土地在不同分位点影响系数呈正负变化，异质性较大，对低福祉层负向边际效应更强，一定程度可能加大地区福祉层级分化。

二三产业比重、城镇化率、人均固定资产投资是驱动居民福祉提升的重要非生态因子，对低福祉层边际贡献更大。控制变量中(表 4、图 6), 二三产业比重、城镇化率、人均固定资产投资对各福祉层级均施加显著正向影响，二三产业比重的福祉贡献最高，对低分位点边际贡献更大。通过易地扶贫搬迁、合村并镇，生态脆弱地区人口有序转移，在此过程中低福祉层人居环境大幅改善，产业结构升级和新型城镇化助力居民生计多元化。人均 GDP 增长率随分位点增加影响系数由正变负，对中高福祉层而言，经济高速增长并不必然带来福祉增进，经济结构优化和增长动能转换才是福祉提升的重要驱动。人均财政支出在不同分位层级间正负变化，对福祉并不具有显著增进作用，意味着地区可能需要进一步优化财政支出结构。

3 结论

以长江上游生态屏障重要组成部分四川省重点生态功能区为典型研究对象，基于人类发展概念框架和修正生态系统服务价值当量评估法，揭示 21 世纪以来居民福祉变化及其与不同类型生态系统服务关联关系，进一步采用分位数回归模型刻画生态系统服务的福祉效应层级特征，主要结论如下：

表 4 不同类型生态系统服务的福祉影响面板分位数回归结果

变量	低福祉层				中福祉层	高福祉层
	QR (0. 1)	QR (0. 25)	QR (0. 5)	QR (0. 75)	QR (0. 9)	QR (0. 98)
lnPAESV	0. 039 (0. 91)	0. 064** (2. 34)	0. 025 (1. 08)	0. 014 (0. 71)	0. 020 (1. 36)	0. 061*** (2. 60)
lnPFESV	-0. 002 (-0. 07)	-0. 038* (-1. 81)	-0. 033* (-1. 81)	-0. 031* (-1. 78)	-0. 023 (-0. 71)	-0. 047 (-1. 42)
lnPGESV	-0. 018 (-0. 83)	0. 008 (0. 46)	0. 003 (0. 19)	-0. 011 (-0. 96)	-0. 018 (-0. 86)	-0. 001 (-0. 05)
lnPWESV	-0. 001 (-0. 01)	0. 002 (0. 13)	-0. 001 (-0. 15)	-0. 003 (-0. 45)	0. 005 (1. 21)	0. 008 (0. 89)
lnPUESV	-0. 011** (-2. 49)	-0. 009 (-1. 46)	-0. 008 (-1. 46)	-0. 001 (-0. 15)	0. 000 (0. 11)	0. 006 (1. 09)
lnPGDPG	0. 023 (1. 01)	0. 017 (0. 60)	0. 013 (0. 53)	-0. 018 (-0. 85)	-0. 036* (-1. 81)	-0. 397 (-1. 48)
lnPSTI	0. 31** (2. 52)	0. 382*** (2. 89)	0. 209** (2. 24)	0. 142* (1. 70)	0. 224*** (3. 55)	0. 272*** (2. 82)
lnPFAI	0. 091*** (3. 68)	0. 048 (1. 60)	0. 082*** (3. 20)	0. 088*** (5. 24)	0. 082*** (7. 03)	0. 059* (1. 82)
lnPFE	-0. 01 (-0. 50)	0. 006 (0. 21)	-0. 002 (-0. 10)	-0. 007 (-0. 35)	-0. 012 (-0. 52)	-0. 001 (-0. 04)
lnUR	0. 191*** (3. 88)	0. 200*** (5. 46)	0. 174*** (4. 68)	0. 164*** (6. 79)	0. 143*** (8. 93)	0. 141*** (4. 46)
Cons	-1. 995*** (-5. 61)	-1. 736*** (-7. 45)	-1. 596*** (-7. 27)	-1. 427*** (-6. 13)	-1. 321*** (-9. 45)	-1. 362*** (-4. 31)
R ²	0. 598	0. 579	0. 58	0. 577	0. 575	0. 608

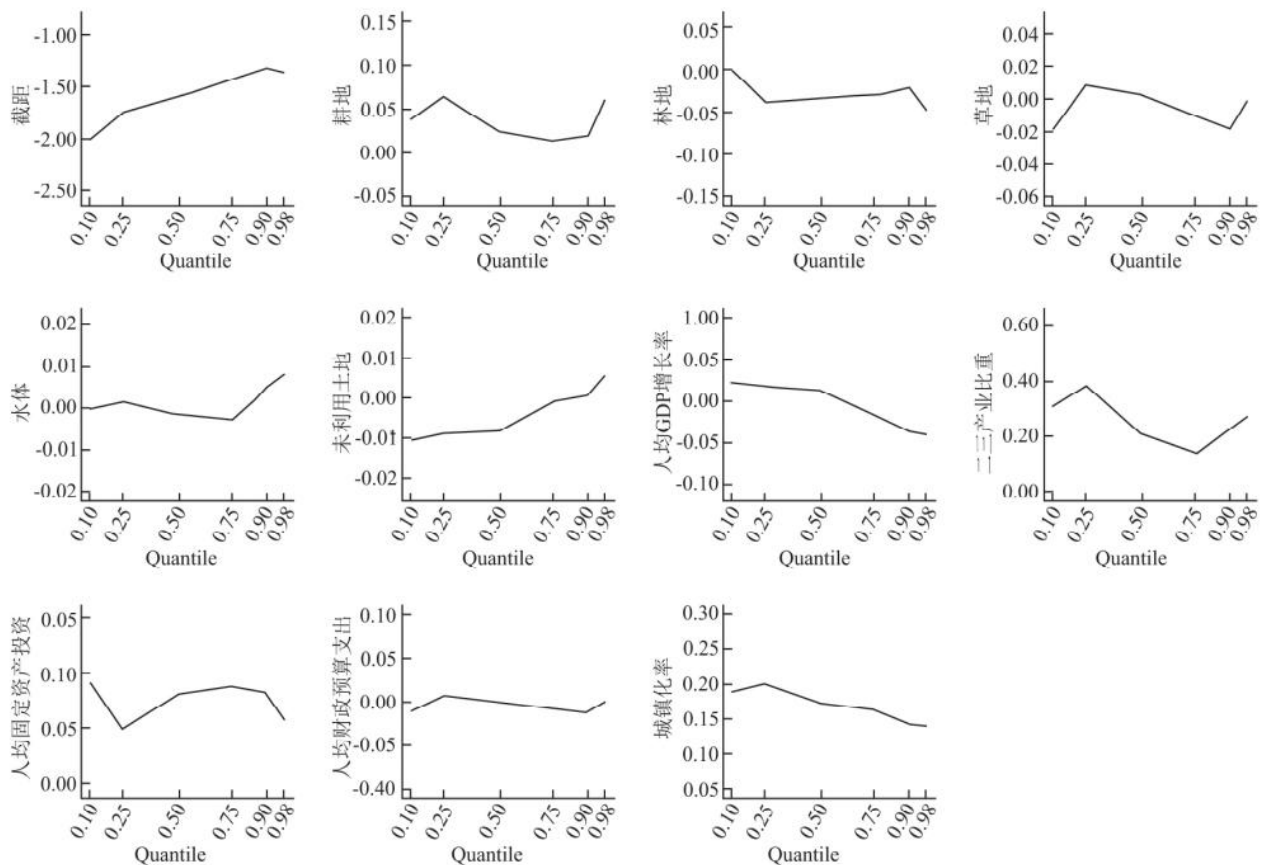


图6 居民福祉影响因素的分位数回归结果

Fig. 6 Quantile regression results of influencing factors of human wellbeing

(1) 2000~2018年重点生态功能区居民福祉指数增长79.99%,进入中等福祉层级;福祉内部结构趋向于均衡化,收入福祉偏低是制约福祉水平整体提升的关键。

(2) 生态系统服务与居民福祉具有负相关性,主要与教育福祉呈显著负向关联,其中未利用土地、草地与教育福祉的负向关联显著。

(3) 随福祉层级递增生态系统服务的负效应弱化。耕地、林地是影响福祉的重要生态系统,高福祉层敏感性更强;草地、水体和未利用土地在不同福祉层级边际效应正负相间,对低福祉层负向影响更大。

(4) 城镇化率、人均固定资产投资、二三产业比重是驱动福祉提升的重要非生态因子,低福祉层从中获益更多。

4 讨论与建议

长江上游重点生态功能区是长江经济带“生态优先,绿色发展”关键,肩负生态文明建设探路重任^[39],研究系统诊断生态系统服务与居民福祉的关系,对重点生态功能区人地系统地域认知作出了重要补充。与已有关于限制开发地区的研究成果相似^[13,37],生态系统服务对居民福祉构成负效应,维持在低水平福祉的生态环境改善,一定程度印证了长江上游生态与经济社会相互胁迫,互促机制匮乏的现实表现^[40]。重点生态功能区基本公共服务本底薄弱,生态服务功能为主体的地域功能属性,决定其不具备大规模高强度工业化和城镇化开发条件^[41],一定程度损失了快速发展机会,呈现不同程度“生态剥夺”、“绿色抑制”^[42],进一步加剧原本存在的不平衡不充分问题,形成公平与效率失衡^[43];绿色优势转换率不高、生态价值外溢也是资源诅咒的重要源头^[44]。

与刘家根发现生态系统服务与收入福祉具有最大的负向关联有所不同的是,本研究中教育福祉表现出最大的负向抑制,一定程度表征地区生态文化资源挖掘薄弱与居民对更高层次福祉的终端生态系统服务需求日益增加构成矛盾^[7]。由此,对重点生态功能区而言可持续发展的政策挑战在于构建既符合自然生态系统持续运行、又能满足人文系统不断增长和丰富需求的新格局。

在提高地区福祉水平的同时如何平衡福祉分配差异是区域协调发展的重点,研究从层级异质性视角出发,基于分位数回归分析方法,把握生态系统服务福祉效应的规律性特征,为生态系统服务与福祉异质性关系解构提供了新视角和新方法,可为推进重点生态功能区居民福祉的整体改善提供决策参考。与冯伟林的理论分析一致,生态系统服务产生的利益难以惠及区域最脆弱的人群^[38],生态系统服务对低福祉层居民负效应更强,耕地是福祉增进的重要保障。一方面低福祉层居民更加依赖初级生态系统服务提供生产生活资料^[38],但生态保护项目中抗风险能力不足、替代行为选择少,最容易受到冲击^[38];另一方面在产权制度、家庭特征、资本传导机制^[6,21,38]等作用下低福祉居民生态系统服务可及性低,消费机会缺失,亟需构建良好的服务传导机制保障其基本生态系统服务享用机会与权利。

根据研究结果,为打通重点生态功能区“绿水青山”与“金山银山”的重要链接,协调生态保护与当地居民之间的关系,提出如下政策建议:一是健全多元化、市场化生态保护补偿,构建全方位区域合作协调关系,鼓励生态保护地和受益地、长江流域上下游、干支流之间开展具有生态补偿性质的资金补偿、共建园区、人才培养等跨区域合作;二是构建绿色经济体系,健全生态产品价值实现路径,大力发展特色农牧、清洁能源、文旅康养,夯实生态产业门类,打响地域特色生态品牌,加强园区和生态展馆建设,培育山水林田湖草生态文化,创新绿色金融产品;三是有序发展重点生态功能区县城,引导人口与产业合理布局,推动优质教育、医疗资源扩容升级,提升公共服务均等化水平;四是以自然资源确权为基础,以提升就业能力和机会为导向,以集体经济组织为带动,以社会保障能力提升为底线,为低福祉地区居民创造具备稳定收益和长效带动力的资源转换机制,实现收入多元化和劳动力非农转移,减少自然资本过度依赖。

本研究尚存在以下不足有待后续跟进:研究以位于长江上游人地矛盾突出和复杂的四川省重点生态功能区为案例,具有典型性和代表性,但长江上游尚涉及青海、西藏、云南等多个省区市,囿于数据限制并未对长江上游展开全貌分析,难以代表福祉水平的全部层级图景;以人类发展指数作为福祉代理指标忽略了主观需求,未来将基于长期时空监测数据、整合主客观福祉确定更为科学合理的福祉层级划分标准;生态环境具有“外部性”,研究仅关注了域内影响,未来将从长江流域系统性、整体性、协同性视角判识重点生态功能区生态系统服务的内部与外部效应,从全流域展开人地系统优化调控和空间治理;此外,生态-经济系统交互作用与过程变化对居民福祉的内在传导机制有待后续研究进一步完善。

参考文献

- [1] 任平,程武学,洪步庭,等.基于PSDR理论框架下长江上游生态系统退化威胁评价与空间分布研究[J].地理科学,2013,33(2):189-194. REN P, CHENG W X, HONG B T, et al. Evaluation of ecosystem degradation threat and study of spatial distribution in the upper reaches of the Changjiang River based on PSDR framework[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2):189-194.
- [2] 陈治谏.长江上游的战略地位与生态环境功能[J].山地学报,2000,18(3):258-262. CHEN Z J. The strategic position and the ecological and environmental function of the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Mountain Research, 2000, 18(3):258-262.
- [3] 王大尚,李屹峰,郑华,等.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 D S, LI Y F, ZHENG H, 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.

-
- [4] 文传浩, 谭君印, 胡钰苓, 等. 新型基础设施建设对长江上游城市绿色转型的影响研究——基于“三生”空间视角[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(8):1736-1752. WEN C H, TAN J Y, HU Y L, et al. Research on impact of new infrastructure construction on urban green transformation in upper reaches of Yangtze River:Based on perspective of production-living-ecological space[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(8):1736-1752.
- [5] 柳冬青, 张金茜, 巩杰, 等. 陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究——以安定区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(2):637-648. LIU D Q, ZHANG J X, GONG J, et al. Spatial and temporal relations among land-use intensity, ecosystem services, and human well-being in the Longzhong Loess Hilly Region:A case study of the Anding District, Gansu Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2):637-648.
- [6] 刘迪, 陈海, 张行, 等. 黄土丘陵沟壑区生态系统服务对人类福祉的影响及其群体差异[J]. 地理研究, 2022, 41(5):1298-1310. LIU D, CHEN H, ZHANG H, et al. The impact of ecosystem services on human well-being and its group differences in the loess hilly and gully region[J]. Geographical Research, 2022, 41(5):1298-1310.
- [7] 李琰, 李双成, 高阳, 等. 连接多层次人类福祉的生态系统服务分类框架[J]. 地理学报, 2013, 68(8):1038-1047. LI Y, LI S C, GAO Y, et al. Ecosystem services and hierarchic human well-being:Concepts and service classification framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8):1038-1047.
- [8] 黄甘霖, 姜亚琼, 刘志锋, 等. 人类福祉研究进展——基于可持续科学视角[J]. 生态学报, 2016, 36(23):7519-7527. HUANG G L, JIANG Y Q, LIU Z F, et al. Advances in human well-being research:A sustainability science perspective[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23):7519-7527.
- [9] ALCAMO J, BENNETT E M. Ecosystems and human well-being:A framework for assessment[M]. Washington, DC:Island Press, 2003.
- [10] HORI J, MAKINO M. The structure of human well-being related to ecosystem services in coastal areas:A comparison among the six North Pacific countries[J]. Marine Policy, 2018, 95:221-226.
- [11] SUMMERS J K, SMITH L M, CASE J L, et al. A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services[J]. AMBIO, 2012, 41(4):327-340.
- [12] 乔旭宁, 张婷, 杨永菊, 等. 渭干河流域生态系统服务的空间溢出及对居民福祉的影响[J]. 资源科学, 2017, 39(3):533-544. QIAO X N, ZHANG T, YANG Y J, et al. Spatial flow of ecosystem services and impacts on human well-being in the Weigan River Basin[J]. Resources Science, 2017, 39(3):533-544.
- [13] 任婷婷, 周忠学. 农业结构转型对生态系统服务与人类福祉的影响——以西安都市圈两种农业类型为例[J]. 生态学报, 2019, 39(7):2353-2365. REN T T, ZHOU Z X. Influence of agricultural structure transformation on ecosystem services and human well-being:Case study in Xi'an metropolitan area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7):2353-2365.
- [14] 代光烁, 娜日苏, 董孝斌, 等. 内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例[J]. 生态学报, 2014, 34(9):2422-2430. DAI G S, NA R S, DONG X B, et al. The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia:Take Xilinguole League as example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9):2422-2430.

-
- [15] ANGELSEN A, JAGGER P, BABIGUMIRA R, et al. Environmental income and rural livelihoods: A global-comparative analysis[J]. *World Development*, 2014, 64: S12-S28.
- [16] 徐建英, 王清, 魏建瑛. 卧龙自然保护区生态系统服务福祉贡献评估: 当地居民的视角[J]. *生态学报*, 2018, 38(20): 7348-7358. XU J Y, WANG Q, WEI J Y. Assessment of the contribution to human well-being by ecosystem services in Wolong Natural Reserve from the perspective of local communities[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(20): 7348-7358.
- [17] ENGELBRECHT H J. Natural capital, subjective well-being, and the new welfare economics of sustainability: Some evidence from cross-country regressions[J]. *Ecological Economics*, 2009, 69(2): 380-388.
- [18] 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 D S, ZHENG H, OUYANG Z Y. Ecosystem services supply and consumption and their relationships with human well-being[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(6): 1747-1753.
- [19] 邱坚坚, 刘毅华, 袁利, 等. 人地系统耦合下生态系统服务与人类福祉关系研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 1060-1072. QIU J J, LIU Y H, YUAN L, et al. Research progress and prospect of the interrelationship between ecosystem services and human well-being in the context of coupled human and natural system[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(6): 1060-1072.
- [20] ROBINSON B E, ZHENG H, PENG W. Disaggregating livelihood dependence on ecosystem services to inform land management[J]. *Ecosystem Services*, 2019, 36: 100902.
- [21] 霍冉, 鲁博, 徐向阳, 等. 基于当地居民感知视角的煤炭资源型城市生态系统服务福祉效应研究——以新泰市为例[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(9): 101-110. HUO R, LU B, XU X Y, et al. Research on the human well-being effect of ecosystem services in the coal resource city from the perspective of local resident perception: A case study of Xintai city[J]. *China Land Science*, 2019, 33(9): 101-110.
- [22] YANG W, DIETZ T, KRAMER D B, et al. An integrated approach to understanding the linkages between ecosystem services and human well-being[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2015, 1(5): 1-12.
- [23] 王晓琪, 赵雪雁, 王蓉, 等. 重点生态功能区农户对生态系统服务的感知——以甘南高原为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(9): 2838-2850. WANG X Q, ZHAO X Y, WANG R, et al. Farmers' perception of ecosystem services in the key ecological functional areas: A case of the Gannan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(9): 2838-2850.
- [24] 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 J F, DENG W, ZHU C L, 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.
- [25] 刘慧明, 高吉喜, 刘晓, 等. 国家重点生态功能区 2010-2015 年生态系统服务价值变化评估[J]. *生态学报*, 2020, 40(6): 1865-1876. LIU H M, GAO J X, LIU X, et al. Monitoring and assessment of the ecosystem services value in the national key ecological function zones[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(6): 1865-1876.
- [26] 王谋, 康文梅, 张斌. 改革开放以来中国人类发展总体特征及驱动因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*,

2019, 29(10):70-78. WANG M, KANG W M, ZHANG B. A study on the characteristics of China Human Development Index and driving forces since the reform and opening-up[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(10):70-78.

[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, 30(8):1243-1254. XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, 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.

[28] 毕晓丽, 葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. 山地学报, 2004, 22(1):48-53. BI X L, GE J P. Evaluating ecosystem service valuation in China based on the IGBP land cover datasets[J]. Journal of Mountain Research, 2004, 22(1):48-53.

[29] 万伦来, 杨峻, 周紫凡, 等. 煤炭资源型城市生态系统服务功能的时空变化特征分析——来自 2006—2015 年安徽省淮南市的经验证据[J]. 环境科学学报, 2018, 38(8):3322-3328. WAN L L, YANG J, ZHOU Z F, et al. Analysis on spatial-temporal change characteristics of ecosystem service function in coal resource-based cities: Empirical evidence from Huainan City of Anhui Province over 2006—2015[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, 38(8):3322-3328.

[30] 南筵, 杨子寒, 毕旭, 等. 生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析——以长江中游华阳河湖群地区为例[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9):3531-3541. NAN B, YANG Z H, BI X, et al. Spatial-temporal correlation analysis of ecosystem services value and human activities: A case study of Huayang Lakes area in the middle reaches of Yangtze Rive[J]. China Environmental Science, 2018, 38(9):3531-3541.

[31] KOENKER R, BASSETT G. Regression quantiles[J]. Econometrica, 1978, 46(1):33.

[32] 牛品一, 陆玉麒, 彭倩. 基于分位数回归的江苏省城市化动力因子分析[J]. 地理科学进展, 2013, 32(3):372-380. NIU P Y, LU Y Q, PENG Q. Driving factors of urbanization in Jiangsu Province based on quantile regression[J]. Progress in Geography, 2013, 32(3):372-380.

[33] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全[J]. 地球科学进展, 2009, 24(6):571-576. FU B J, ZHOU G Y, BAI Y F, et al. The main terrestrial ecosystem services and ecological security in China[J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(6):571-576.

[34] 王圣云, 罗玉婷, 韩亚杰, 等. 中国人类福祉地区差距演变及其影响因素——基于人类发展指数(HDI)的分析[J]. 地理科学进展, 2018, 37(8):1150-1158. WANG S Y, LUO Y T, HAN Y J, et al. Regional difference and determinants of human well-being in China: Based on the analysis of human development index[J]. Progress in Geography, 2018, 37(8):1150-1158.

[35] 贺艳华, 刘聪, 周国华, 等. 长江经济带城乡居民福祉测度及其差异[J]. 热带地理, 2021, 41(2):327-339. HE Y H, LIU C, ZHOU G H, et al. The gap between the well-being of urban and rural residents in the Yangtze River economic belt[J]. Tropical Geography, 2021, 41(2):327-339.

[36] 刘奎, 王健. 土地经营对中国城市空间扩张的驱动机制——基于 273 个地级市的实证分析[J]. 资源科学, 2021, 43(4):764-775. LIU K, WANG J. Driving mechanism of land conduct on urban spatial expansion in China: Empirical analysis based on 273 prefecture-level cities[J]. Resources Science, 2021, 43(4):764-775.

-
- [37] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响——以浙江省桐庐县为例[J]. 生态学报, 2018, 38(5):1687-1697. LIU J G, HUANG L, YAN L J. Influence of ecosystem services on human well-being: A case study of Tonglu County, Zhejiang Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(5):1687-1697.
- [38] 冯伟林, 李树茁, 李聪. 生态系统服务与人类福祉——文献综述与分析框架[J]. 资源科学, 2013, 35(7):1482-1489. FENG W L, LI S Z, LI C. Overview and frame work for ecosystem services and human well-being[J]. Resources Science, 2013, 35(7):1482-1489.
- [39] 虞慧怡, 王昊, 张林波, 等. 基于“两山”关系状态识别的长江经济带生态文明实现路径研究[J]. 环境科学研究, 2022, 35(10):2348-2356. YU H Y, WANG H, ZHANG L B, et al. Realization paths of eco-civilization in Yangtze River economic belt based on ‘ two mountains ’ relationship status identification[J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(10):2348-2356.
- [40] 卢辉, 徐辉. 长江经济带生态保护与经济高质量发展耦合关系的实证[J]. 统计与决策, 2022, 38(14):101-104. LU H, XU H. An empirical study on the coupling relationship between ecological protection and high-quality economic development in the Yangtze River economic belt[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(14):101-104.
- [41] 樊杰, 周侃, 伍健雄. 中国相对贫困地区可持续发展问题典型研究与政策前瞻[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(10):1249-1263. FAN J, ZHOU K, WU J X. Typical study on sustainable development in relative poverty areas and policy outlook of China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(10):1249-1263.
- [42] 于元赫, 吴健. 国家重点生态功能区发展与保护状况研究[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(12):219-229. YU Y H, WU J. Research on the conservation and development of national key ecological function areas[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 44(12):219-229.
- [43] 王雯雯, 叶菁, 张利国, 等. 主体功能区视角下的生态补偿研究——以湖北省为例[J]. 生态学报, 2020, 40(21):7816-7825. WANG W W, YE J, ZHANG L G, et al. Research on ecological compensation from the perspective of main functional areas: A case study of Hubei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21):7816-7825.
- [44] 臧正, 郑德凤, 孙才志, 等. 中国大陆地区生态诅咒效应的多尺度实证检验[J]. 地理研究, 2016, 35(5):851-863. ZANG Z, ZHENG D F, SUN C Z, et al. Multi-scale empirical test of ecological curse effect in mainland of China[J]. Geographical Research, 2016, 35(5):851-863.