

DOI: 10.20103/j.stxb.202410152506

贾瑞萱, 史兴民, 樊怡. 矿农复合区生态系统服务与损害对居民福祉的影响——以生计脆弱性为中介变量. 生态学报, 2025, 45(13): - .
Jia R X, Shi X M, Fan Y. The impact of ecosystem services and damage in mining and agricultural complex areas on the well-being of residents: using livelihood vulnerability as a mediating variable. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(13): - .

矿农复合区生态系统服务与损害对居民福祉的影响 ——以生计脆弱性为中介变量

贾瑞萱, 史兴民*, 樊怡

陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119

摘要: 矿农复合区生态系统服务与生态系统损害并存, 它们对居民生计和福祉的影响尚未厘清。因此, 探讨生态系统服务/损害、生计脆弱性及居民福祉三者之间的关系, 对提升矿农复合区居民的福祉有着十分重要的意义。本研究选取黄河流域中游矿农复合区为研究区域, 采用熵值法和中介效应模型分析生态系统服务与生态系统损害在以生计脆弱性为中介变量的情况下对居民福祉的影响。研究结果如下: (1) 在矿农复合区中, 供给服务、调节服务与居民福祉之间存在显著正相关关系。(2) 生态系统损害中的供给损害与居民福祉存在显著负相关关系, 其对居民福祉的影响主要体现在生活质量、健康状况和经济收入方面。(3) 生计脆弱性的三个指标: 暴露、敏感性、适应能力中, 只有敏感性在供给服务、供给损害与居民福祉之间起到了中介作用, 且敏感性在供给服务和居民福祉之间起到了部分中介作用, 在供给损害和居民福祉之间起到了完全中介的作用。

关键词: 矿农复合区; 生计脆弱性; 生态系统服务; 生态系统损害; 中介效应模型

The impact of ecosystem services and damage in mining and agricultural complex areas on the well-being of residents: using livelihood vulnerability as a mediating variable

JIA Ruixuan, SHI Xingmin*, FAN Yi

School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

Abstract: The simultaneous presence of ecosystem services and damage in mining-agricultural complex areas remains poorly understood regarding their impacts on resident livelihoods and well-being. Consequently, investigating the relationships among ecosystem services, ecosystem damage, livelihood vulnerability, and resident well-being is crucial for enhancing well-being in mining-agricultural complex areas. This study focused on the Yellow River Basin's middle reaches, employing entropy methods and mediation effect models to analyze how ecosystem services and damage affect resident well-being through livelihood vulnerability mediation. Key findings include: (1) Significant positive correlations exist between provisioning services, regulating services, and resident well-being in mining-agricultural complex areas. (2) Provisioning damage shows significant negative correlations with resident well-being, particularly affecting quality of life, health status, and economic income. (3) Among livelihood vulnerability components (exposure, sensitivity, adaptability), only sensitivity mediates between provisioning services, provisioning damage, and resident well-being. Sensitivity partially mediates between supply services and resident well-being, and fully mediates between supply damage and resident well-being.

基金项目: 教育部人文社科基金项目(21YJA840014); 陕西省重点研发计划项目(2021ZDLSF05-02)

收稿日期: 2024-10-15; 网络出版日期: 2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: realsimon@163.com

Key Words: mining and agricultural complex area; livelihood vulnerability; ecosystem services; ecological system damage; mediation effect model

生态系统评估表明^[1],全球 60%的生态系统服务处于退化或不可持续的状态,这一点在矿农复合区表现更为突出。矿农复合区具有生态脆弱和采矿干扰的双重特征,这将会导致生态系统受损,进而对生态系统服务中的供给、调节和文化产生影响^[2]。黄河流域中游矿产资源丰富,是典型的矿农复合区,居民为满足自身福祉通过生态系统服务来降低生计脆弱性,同时居民的生计脆弱性对生态系统结构和功能造成多方面的影响。生态系统损害通过降低居民的适应能力来加剧生计的风险性和脆弱性,会严重制约当地居民福祉。因此,将生计脆弱性、生态系统服务/损害和居民福祉置于同一框架,从居民生计脆弱性视角关注暴露度、敏感性和适应能力对于生态系统服务/损害和居民福祉的作用路径,能够进一步扩展生态系统服务/损害和居民福祉的前沿领域且具有重要的现实意义。

千年生态系统评估将生态系统服务定义为从生态系统中获得的惠益^[1],并将其分为四类:支持、调节、供应和文化^[3-4]。生态系统服务功能的变化可以直接或间接地影响人类福祉^[5]。近十年来,许多学者认为,生态系统服务研究为政策制定提供了决策依据,有助于生态系统的可持续发展^[6-8]。然而,生态系统为人类提供一系列丰富的自然资源(如清洁空气、水资源、森林资源等)的同时,也对人类福祉造成一些损害(如病虫害、过敏源、自然灾害等)。为了让生态系统服务、生物多样性和人类福祉之间的积极联系达到最佳效果,本研究还引入生态系统损害概念。当前有关生态系统服务/损害和居民福祉的研究已较为丰富,但因为生态系统服务对农村居民福祉的传递不单单是一个线性或直接的过程,它还受到许多其他因素的中介。例如,Kates 等研究表明土地利用变化不仅是全球变化的重要驱动力,还直接影响生态系统的结构和功能,最终影响为居民提供生态系统服务的能力^[9]。相比于国外研究,国内学者认为生计与生态系统服务、人类福祉之间存在紧密的耦合关系^[10]。居民利用生态系统服务来降低生计脆弱性来满足自身福祉,同时居民的生计脆弱性对生态系统结构和功能造成多方面的影响。生计策略的构成和选择越丰富,生计脆弱性就越低;反之,则生计脆弱性会越高,且生计多样化将导致福祉的不平等^[11]。现有研究往往关注于土地利用变化与生态系统服务/损害^[12]、生计脆弱性与生态系统服务/损害以及生态系统服务/损害与居民福祉^[13-14]之间的关系,但对生计脆弱性在生态系统服务/损害和居民福祉之间扮演的作用研究较少,需要进一步探究。

本文选取矿农复合区为研究区,基于问卷调查数据评估居民对生态系统服务/损害、居民生计脆弱性和福祉水平,运用中介效应模型构建生态系统服务/损害-生计脆弱性-居民福祉关系链。本研究的主要贡献是以生计脆弱性为中介变量,分析生态系统服务/损害对居民福祉的影响,科学的指出生态系统服务/损害如何通过生计脆弱性来影响居民福祉,这对指导矿区的居民提升福祉具有重要意义。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

本研究选取陕西省彬州市、黄陵县和山西省河曲县开展研究。陕西省彬州市,位于渭北高原西部,截至 2020 年年底,全市境内煤炭保有资源储量为 33.70 亿 t。全年生产总值(GDP)216.14 亿元,农林牧渔业总产值 31.81 亿元,农民人均纯收入 15919 元。黄陵县位于渭北黄土高原,矿产资源以煤为主,储量丰富,制陶和建筑原料也非常丰富。其普查地质储量 7.80 亿 t。全年生产总值(GDP)7.96 亿元,农林牧渔业总产值达到 5.99 亿元,农民人均纯收入 2050 元。山西省河曲县位于晋、陕、蒙三省区交界,地处黄土高原东部边缘,初步探明有相当储量的矿种共 6 类 18 种。其中煤储量 120 亿 t。全年生产总值(GDP)114.6 亿元,农林牧渔业总产值 5.73 亿元,农民人均纯收入 8914 元。三个研究区均位于黄河流域中游,且三个地区居民生计多依赖于矿产资源和农业生产,随着矿产资源开发的深入,矿产资源开发提供了就业机会和收入来源,三地区居民的福祉水平得到提升,但同时三个研究区的生态系统服务受到矿产资源开发的影响,包括水源涵养、气候调节、环

要来源^[16]。在矿农复合区中,自然灾害频繁,导致生态系统功能受到影响,张钦等人发现生态系统损害通过降低居民的适应能力来加剧生计的风险性和脆弱性,例如:气温升高减少了北极地区爱斯基摩人狩猎谋生活动的时间与范围,降低了居民生存的适应能力,加剧了生计脆弱性^[17]。同时,有研究发现生态系统服务/损害对不同群体生计的影响也存在差异,其中敏感性较高的贫困群体的生计受生态系统损害的影响较显著^[18]。原因在于敏感性较高、暴露度较大的居民主要依赖自然生态系统所提供的资源和服务来维持生计,其生计系统脆弱。因此,本研究提出以下假设:

表1 户主基本信息

Table 1 Basic information of the household head

指标 Index	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	类别 Category	百分比/% Percentage	指标 Index	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	类别 Category	百分比/% Percentage
户主年龄 Head of household age	62.30	10.93	≤40	3.8	户主性别 Head of household gender	0.93	0.26	男	93
			41—50	11.4				女	7
			51—60	23.6	户主文化程度 Educational level of household head	2.43	0.868	文盲	14.5
			>61	61.2				小学	38.2
户主劳动能力 Household head's labor capacity	2.25	0.626	全劳动力	35.3				初中	37.5
			半劳动力	54.5				高中/中 专/技校	9.3
			非劳动力	10.2				大专/本科 及以上	0.5

假设 H1:生态系统服务/损害对生计脆弱性有影响。

(2) 生计脆弱性和居民福祉之间的联系

生计脆弱性反映的是个人或家庭面临突如其来风险的可能及所受到损害的程度,或生活质量下降到社会正常水平之下的可能。而居民福祉主要是根据与居民生活状况相关的居民福祉指标来评价的。已有文献建立了生计脆弱性指标与居民福祉之间的关系。例如,李岩^[19]等认为通过封山禁牧政策的实施,对森林生态系统在防风固沙、涵养水源、自然景观等生态效益的发挥方面做出了巨大贡献,降低了当地生计脆弱性,一定程度上对人类福祉发挥了正面效应。这些研究强调了生计脆弱性指标在解释居民福祉方面的重要性。当居民的生计得到保障,生产生活条件改善,社会交往质量提高时,他们对生活条件的评价就会越高。生计脆弱性的提高可以增强居民的幸福。因此,本研究提出以下假设。

假设 H2:生计脆弱性对居民福祉有直接影响。

(3) 生态系统服务/损害和居民福祉之间的关系

居民福祉是对当前生活状态和感受的评价,也会受到生态系统服务/损害的影响。例如,研究表明,从安全角度来看,提供节水和空气净化等调节服务可以影响居民居民福祉。然而,理解生态系统服务/损害和居民福祉之间的联系是具有挑战性的,因为生态系统服务/损害对农村居民福祉的传递不仅是一个线性或直接的过程,它还受到许多其他因素的中介,包括居民的属性特征、生计资产、活动和许多背景因素^[20]。目前,联合国公布的《千年生态系统评估报告》提出了评估生态系统与人类福祉之间相互关系的框架,并建立了多尺度、综合评估它们各个组分之间相互关系的方法。有研究认为生态系统提供了几乎所有的人类福祉要素^[21—24],尤其在发展中国家的农村地区,人们最基本的食物和能源等生计必需品在很大程度上依赖于自然生态系统服务的供给,生活条件改善受制于生态系统服务的供给程度^[25]。实证研究进一步表明,满足居民的基本需求,如从生态系统中获得水和食物,不仅有助于他们降低生计脆弱性,而且显著影响他们的居民福祉^[26]。考虑到生态系统服务/损害与生计脆弱性之间的直接联系,以及生计脆弱性在居民福祉中的基本作用,将生计脆弱性视为生态系统服务/损害与居民福祉之间关系的潜在中介因素是可信的。将生计脆弱性作为中介因素,可加深对到的生态系统服务/损害如何通过这生计脆弱性指标影响居民福祉的途径的理解。因此,提出

以下假设。

假设 H3:农村居民的每种生态系统服务/损害都会对居民福祉产生直接影响,并在生计脆弱性的中介下对其福祉产生间接影响。

1.3.2 生态系统服务与生态系统损害评价指标体系构建

基于千年生态系统评估,将从生态系统服务中选取三类^[1],即供给服务、调节服务和文化服务。

而生态系统损害^[27],也被称为生态系统负服务,是指生态系统产生的功能、过程和属性,这些功能、过程和属性对人类福祉造成感知或实际的负面影响,包括农业减产、生态平衡被破坏、煤矿污染引起疾病、生物多样性丧失、水资源污染等。这些损害会对生态系统服务产生负面影响,进而影响人类的福祉。在本研究中,由于调节损害和文化损害与居民福祉的模型拟合度差,因此放弃这两个指标,而选取其他三类,即供给损害、支持损害和健康与安全损害。具体指标见表 2。

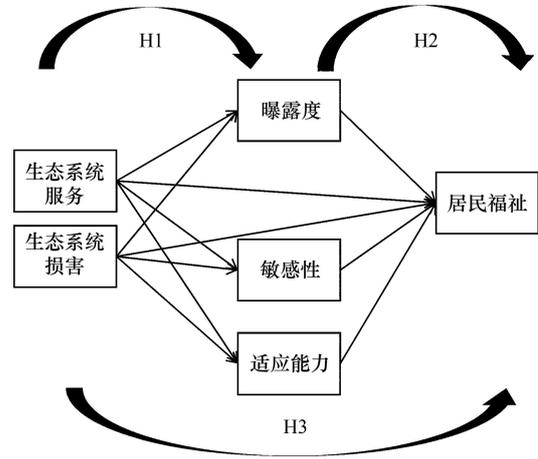


图 2 概念框架

Fig.2 Conceptual framework

表 2 生态系统服务、生态系统损害变量

Table 2 Ecosystem services and ecosystem damage variables

目标层 Target layer	指标层 Indicator layer	变量赋值 Variable assignment	权重/% Weight
供给服务 Provision of services	食物和农作物	非常不重要=1;不重要=2;一般=3;较重要=4;	6.09
	生产、生活用水	非常重要=5	7.50
	能源等原材料		10.43
调节服务 Reconciliation services	就业岗位		14.20
	土壤保持	非常不重要=1;不重要=2;一般=3;较重要=4;	6.06
	气候调节	非常重要=5	8.35
文化服务 Cultural services	雨洪调节		8.24
	水源涵养		8.96
	娱乐游憩与休闲旅游	非常不重要=1;不重要=2;一般=3;较重要=4;	13.88
供给损害 Supply damages	美学欣赏与文化价值	非常重要=5	14.14
	地方感		2.16
	农业减产	非常严重=1;比较严重=2;一般=3;比较轻微=4;	9.76
支持损害 Support damage	水污染与水资源短缺	非常轻微=5	4.82
	大气污染		3.37
	破坏生物栖息环境生物多样性减少	非常严重=1;比较严重=2;一般=3;比较轻微=4;	19.45
健康与安全损害 Health and safety damages	土地资源减少	非常轻微=5	14.68
	生态平衡被破坏		16.88
	煤矿污染引起疾病	非常严重=1;比较严重=2;一般=3;比较轻微=4;	18.94
		非常轻微=5	

1.3.3 居民福祉评价指标体系构建

依据联合国千年生态系统评估框架,福祉包括:基本物质需求、安全、健康、社会关系以及自由和选择^[28],根据本研究区或类似区域的文献确定出三个具有科学性、多维性和层次性的指标:基本物质福祉、安全和健康福祉与精神福祉^[29]。指标权重通过熵值法计算,表 3 为熵值法计算结果。

表 3 居民福祉变量

Table 3 Resident wellbeing variables

目标层 Target layer	类别 Category	指标层 Indicator layer	权重/% Weight
基本物质福祉 Basic material well-being	生产生活资料	现有耕地	18.30
		水质满意度	21.02
		耕地质量满意度	2.52
	收入	人均年收入	13.24
		收入满意度	6.56
安全与健康福祉 Safety and health well-being	交通状况	距离城镇的距离	0.52
	安全	人均居住面积	9.25
		对其他基础设施满意度	2.93
	健康	对公共治安的满意度	2.91
		家庭医疗支出强度	0.41
精神福祉 Spiritual well-being	教育	家到学校的距离	0.44
		对教育服务的满意度	2.36
		平均教育程度	19.53

1.3.4 矿农复合区居民生计脆弱性指标构建与评估模型

根据 IPCC 对脆弱性的定义和国内外生计脆弱性评价研究成果,结合本研究中居民的生活状况,构建了生计脆弱性评估框架,包括暴露、敏感性、适应能力 3 个部分^[30-33](表 4),运用熵值法确定各指标的权重。

表 4 生计脆弱性变量选取及赋值

Table 4 Selection and assignment of livelihood vulnerability variables

生计脆弱性 Livelihood vulnerability	类别 Category	指标 Index	权重/% Weight	指标来源 Indicator sources
暴露度 Exposure	自然风险	冻害、冰雹	11.78	[31]
		农作物及牲畜病虫害	8.07	
		旱灾	1.31	
		土壤养分退化	3.40	
	金融风险	就业机会	0.78	
敏感性 Sensitivity	社会风险	煤矿污染引起的冲突和纠纷	10.71	[32]
	抚养比	家庭抚养比	4.09	
	健康状况	家中是否有慢性病患者	7.50	
适应能力 Adaptability		自身就业机会	0.49	[33]
	生计策略	生计来源数量	16.02	
	社会网络	家中亲朋为乡村治理的贡献度	2.89	
	社会人口概况	遇到困难可求助人数	14.04	
		家庭参与合作社、供销社等协会数量	2.89	
	家庭平均劳动力	16.02		

本文利用综合加权平均法计算居民的风险暴露度(E)、敏感性(S)与适应能力(A)。

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ej} E_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_{ej}} \quad (1)$$

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^m W_{sj} E_{ij}}{\sum_{j=1}^m W_{sj}} \quad (2)$$

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^d W_{aj} E_{ij}}{\sum_{j=1}^d W_{aj}} \tag{3}$$

式中: E_i 、 S_i 、 A_i 分别表示第 i 个居民的暴露度、敏感性和适应能力; W_{ej} 、 W_{sj} 、 W_{aj} 分别表示暴露度、敏感性和适应能力的第 j 个指标的权重; E_{ij} 、 S_{ij} 、 A_{ij} 分别表示第 i 个居民暴露度、敏感性和适应能力的第 j 个指标; n 、 m 和 d 分别表示暴露度、敏感性和适应能力的指标个数。基于以上计算结果,居民生计脆弱性(LVI_i)运用式(4)计算:

$$LVI_i = (E_i + S_i) - A_i \tag{4}$$

式中: LVI_i 表示第 i 个居民的生计脆弱性, LVI_i 值越大,表示第 i 个居民的生计脆弱性水平越高。

1.3.5 中介效应模型

中介效应模型用于构建生态系统服务/损害-生计脆弱性-居民福祉关系链,探究以生计脆弱性作为中介变量,生态系统服务/损害对居民福祉的影响机制。如图 3 所示, c 为总效应, c' 为直接效应, a_1b_1 、 a_2b_2 、 a_3b_3 为特定中介效应^[21,34], e_1 是回归残差。非参数 Bootstrap 法被应用于中介效应检验。

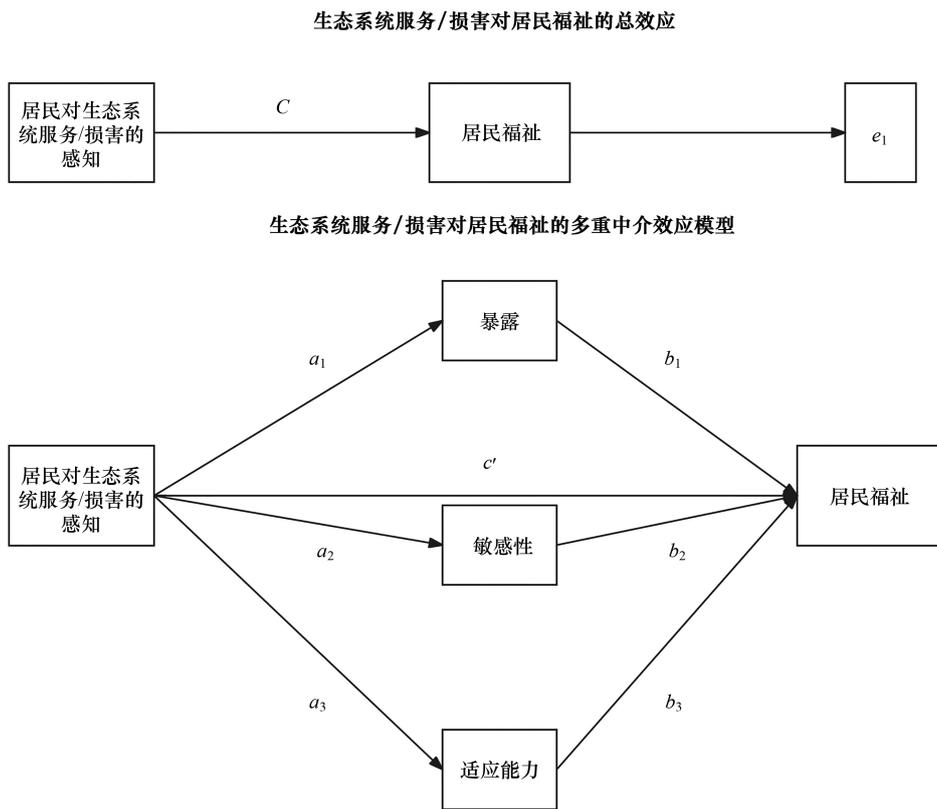


图 3 生态系统服务/损害-生计脆弱性-居民福祉关系链

Fig.3 Ecosystem services/damage livelihood vulnerability farmer well-being relationship chain

2 结果分析

2.1 生态系统服务/损害、居民福祉、生计脆弱性描述统计

生态系统服务/损害结果(图 4)表明,供给服务($M=0.14$)与文化服务($M=0.04$)均是指数较低的占比较大,调节服务($M=0.13$)指数大多分布在平均值附近,且生态系统服务($M=0.32$)指数分布较为均匀。生态系统损害类别中,供给损害($M=0.64$)指数较高的占比较大,而支持损害($M=0.38$)、健康与安全损害($M=0.34$)与生态系统损害($M=0.37$),都是指数较低的占比较大。

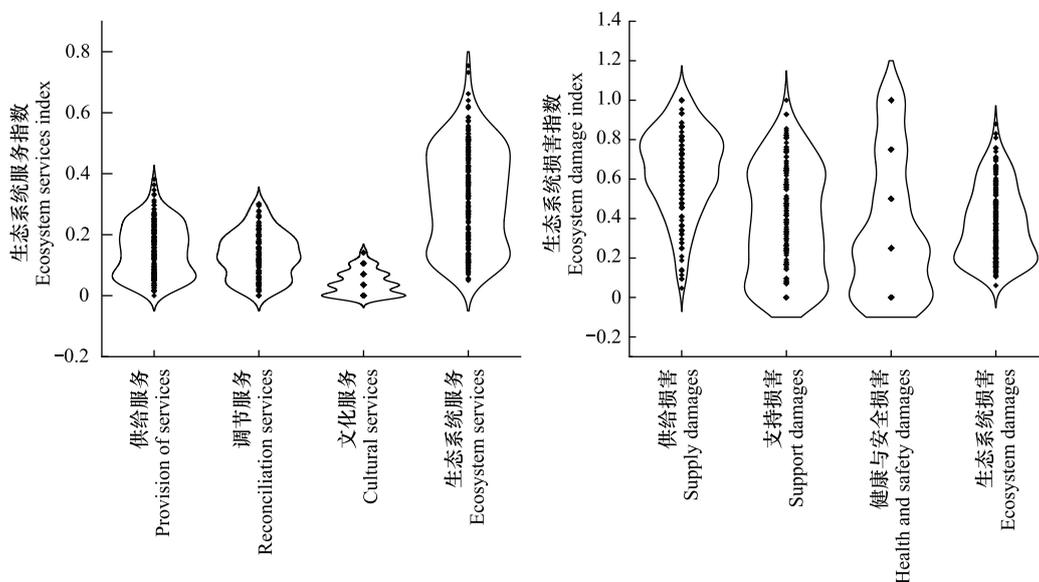


图4 生态系统服务/损害指数

Fig.4 Ecosystem services/damage index

居民福祉结果(图5)表明,基本物质福祉($M=0.17$)、安全与健康福祉($M=0.06$)、精神福祉($M=0.07$)与居民福祉($M=0.13$),都是指数较低的居民占比相对较大。

生计脆弱性结果(图6)表明,居民的暴露度指数($M=0.33$),暴露度指数较低的居民占比相对较大,且发现暴露度低的家庭主要表现为生计方式多样、土壤情况较好。居民的敏感性指数($M=0.60$),敏感性指数较高的居民占比相对较大,发现敏感性较低的家庭主要表现为家庭成员健康状况良好,家庭抚养比较低,受风险扰动影响较小等特点。居民的适应能力($M=0.25$),适应能力指数较高的居民占比相对较大,且发现适应能力较高的家庭具有较高的人力资本,如遇到困难可求助的人数多等特点。总体来看,研究区居民的生计脆弱性($M=0.68$),其中生计脆弱性指数较高的居民占比相对较大。

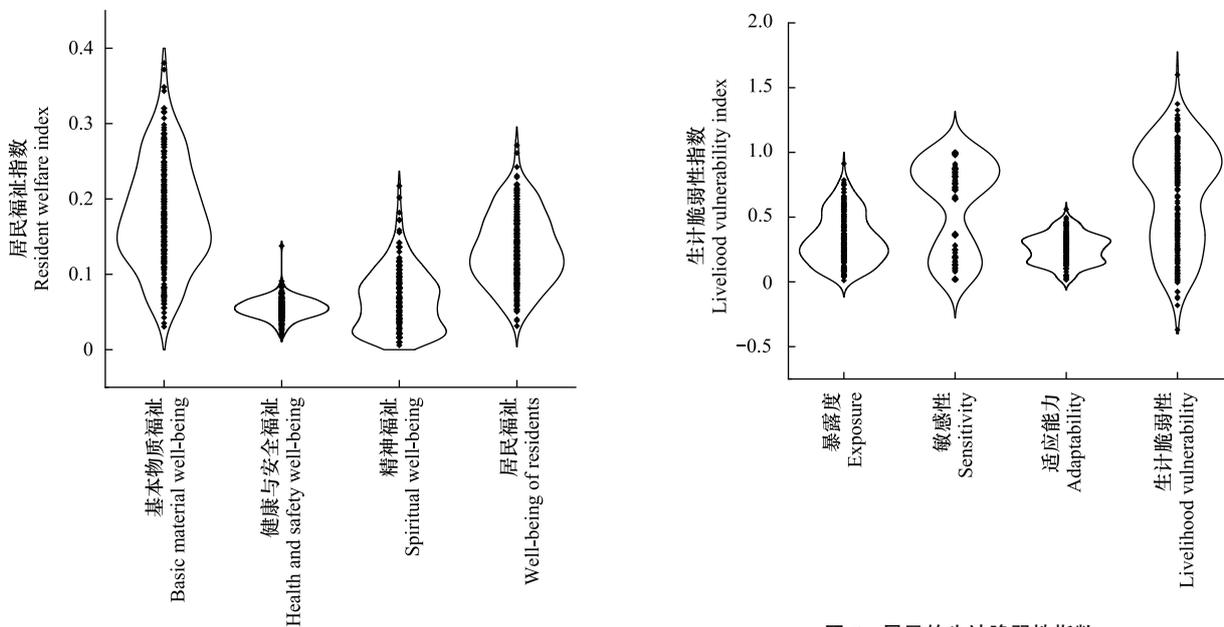


图5 居民的居民福祉指数

Fig.5 Resident wellbeing index of residents

图6 居民的生计脆弱性指数

Fig.6 Livelihood vulnerability index of residents

2.2 供给服务、调节服务、文化服务对于居民福祉的路径系数

在引入生计脆弱性指标后,调节服务和文化服务对居民福祉均没有显著的直接影响、间接影响(表5)。而供给服务对居民福祉具有显著的直接影响、间接影响和总影响。且供给服务对居民福祉有显著的正向影响,即供给服务越多,居民的幸福感受越强,同时发现供给服务通过敏感性对居民福祉产生了间接的负向影响。

表5 生态系统服务与损害对居民福祉影响的路径系数与95%置信区间

Table 5 Path coefficients and 95% confidence intervals of the impact of ecosystem services and damage on residents' well-being

类型 Type	效应类型 Type of effect	文化服务 Cultural services	调节服务 Reconciliation services	供给服务 Provision of services	健康与安全损害 Health and safety damages	供给损害 Supply damages	支持损害 Support damage
居民福祉 Resident welfare	直接影响	-0.138	0.108	0.167*	0.019	-0.109	0.113
	间接影响	0.006 (-0.061, 0.065)	-0.027 (0.032, -0.102)	0.064* (0.132, 0.008)	0.000 (0.046, -0.053)	-0.055* (-0.013, -0.117)	0.023 (0.100, -0.056)
	总影响	-0.132 (0.013, -0.267)	0.081 (0.246, -0.090)	0.231* (0.376, 0.064)	0.019 (0.163, -0.122)	-0.164* (-0.032, -0.288)	0.136 (0.275, 0.004)

* $P < 0.05$

置信区间结果(表5)表明,供给服务对居民福祉的总效应是显著存在的,文化服务和调节服务对居民福祉不存在总效应。间接效应的置信区间结果表明供给服务对居民福祉存在显著的中介效应。且中介效应函数结果显示敏感性在供给服务和居民福祉直接起到了中介效应。又因为供给服务对居民福祉具有显著的直接影响(表5)最终确定为部分中介模型(图7)。

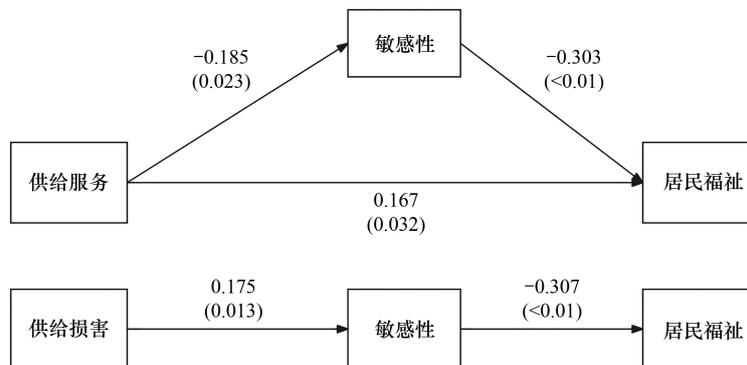


图7 部分中介模型/完全中介模型

Fig.7 Partial mediation model/Complete mediation model

2.3 健康与安全损害、供给损害、支持损害对于居民福祉的直接影响

在通过引入生计脆弱性指标后,健康与安全损害和支持损害对居民福祉没有显著的直接影响、间接影响(表5)。供给损害对居民福祉具有显著的间接影响和总影响,不存在直接影响,这可能是因为研究区居民对生态系统服务的依赖主要体现在供给服务方面,所以健康与安全、支持损害对福祉没有显著的影响。另一方面还可能与本研究选取的指标有关,这有待后续探讨。供给损害对居民福祉有显著的负向影响,即供给服务越少,居民的幸福感受越差。

2.4 供给损害、敏感性和居民福祉的影响机制

由表5可知供给损害和支持损害对居民福祉的总效应是显著存在的,文化损害和调节损害对居民福祉的总效应是不存在的。间接效应置信区间结果显示供给损害存在中介效应。由中介效应函数结果显示敏感性这一指标在供给损害和居民福祉之间存在中介效应。又因为供给损害对居民福祉不存在直接影响(表5),最终确定为完全中介模型(图7)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

在探究生态系统服务、生态系统损害与居民福祉之间的关系时,生计脆弱性中的敏感性这一指标起到了重要的中介作用。当生态系统服务减少或生态系统损害增加时,生计脆弱性相应地提高,从而加剧了居民福祉的降低。相反,当生态系统服务增加或生态系统损害减少时,生计脆弱性相应地降低,从而有利于居民福祉的提升。因此验证了假设 1、假设 2 生态系统服务/损害对生计脆弱性有影响,同时,生计脆弱性对居民福祉有直接影响。

在探究生态系统服务与居民福祉的关系时,本研究发现供给服务(如食物、水、能源等)对居民福祉具有显著的正向影响。供给服务为居民提供了基本的生活保障,提高了生活质量,从而促进了居民福祉的提升^[35]。对于矿农复合区的居民,当他们的食物和农作物、生产、生活用水、能源等原材料越多,他们的生活质量越高,生计脆弱性就越低,即个体或家庭在面临生态环境变化时,其生计保障能力就越能得到保障。如当矿农复合区的就业岗位增加时,居民的敏感性就降低,幸福感从而提高。敏感性作为中介变量在这里起到了部分中介作用,也就是说供给服务对居民福祉的影响并不完全通过中介变量实现。而调节服务与文化服务与居民福祉不存在单纯的直接关系或中介效应,但有一定的耦合模式。“高福祉—低依赖”被认为是最佳耦合模式,这类家庭主要收入来源主要是外出务工汇款,不仅能提高家庭收入,而且对自然资源的依赖程度不高^[36]。武夷山国家公园的研究表明,供给和文化服务相结合的多样化生计,既可兼容生态系统保护,又可提高人类福祉^[37]。

在探究生态系统损害与居民福祉的关系时,发现供给损害通过敏感性的中介效应对居民福祉产生负向影响,说明当地居民受采矿的影响,出现农业减产、生产生活用水污染、大气污染、耕地被侵占等问题。而这些问题会降低当地居民家中的抚养比,使家中慢性病患者增加,减少了当地居民的就业机会,使居民的敏感性提高,居民福祉大幅度降低。而支持损害以及健康与安全损害均没有对居民福祉产生直接作用、间接作用。这也与范小衫等研究相符合,他们认为生态系统损害的支持损害和健康安全损害之间可以相互转换,两者与居民福祉之间的关系不能判断,如因生态系统损害人体健康可以导致支持损害,并且支持损害和健康安全损害的危害性受被影响人群的社会和经济状况、年龄等多种自然、社会、经济因素的影响^[38]。由此说明支持损害、健康与安全损害与居民福祉的关系不是单纯的直接作用关系,且也无法证明其是通过生计脆弱性对居民福祉产生作用,后续仍需进一步探索。因此,假设 3 农村居民的每种生态系统服务/损害都会对居民福祉产生直接影响,并在生计脆弱性的中介下对其福祉产生间接影响不成立。

3.2 结论

以生计脆弱性为中介变量,深入探讨了生态系统服务与生态系统损害对居民福祉的影响。研究发现:生计脆弱性指标中的敏感性在调节生态系统服务、生态系统损害与居民福祉的关系这一过程中起到了关键的中介作用。主要结论如下:

(1)在矿农复合区中,供给服务、调节服务对居民福祉有显著的正向影响。这意味着供给服务、调节服务的提高有助于提高居民的生活质量、健康状况和经济收入,从而促进社会和谐与稳定。

(2)生态系统损害对居民福祉的影响主要体现在生活质量、健康状况和经济收入方面。生态系统损害可能导致居民生活环境恶化、健康状况下降以及经济收入减少,从而降低居民的幸福感和福祉。因此,减少生态系统损害对于保障居民福祉至关重要。

(3)生计脆弱性的三个指标:暴露、敏感性、适应能力中,只有敏感性在供给服务、供给损害与居民福祉之间起到了中介作用,且分别为部分中介和完全中介。其中供给服务通过敏感性对居民福祉产生显著负向影响,同时也有不通过中介变量产生的正向显著影响。而供给损害通过敏感性对居民福祉产生了显著的负向影响。综上所述,敏感性较高的群体更容易受到生态系统服务变化和生态系统损害的影响,从而影响其福祉水

平。因此,降低敏感性是提高居民福祉的有效途径之一。

参考文献(References):

- [1] Churchill E. Environmental degradation and human well-being: Report of the millennium ecosystem assessment. *Population and Development Review*, 2005, 31(2): 389-398.
- [2] Cao Y N, Kong L Q, Zhang L F, Ouyang Z Y. The balance between economic development and ecosystem service value in the process of land urbanization: A case study of China's land urbanization from 2000 to 2015. *Land Use Policy*, 2021, 108: 105536.
- [3] Costanza R, D'Arge R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] Costanza R, Groot R D, Sutton P, Ploeg S V D, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, and Turner R K, Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [5] Wei H J, Liu H M, Xu Z H, Ren J H, Lu N C, Fan W G, Zhang P, Dong X B, Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain-oasis-desert area, Xinjiang, China. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 44-57.
- [6] Adane A, Bewket W. Effects of quality coffee production on smallholders' adaptation to climate change in Yirgacheffe, Southern Ethiopia. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2021, 13(4/5): 511-528.
- [7] Chapin F S, Carpenter S R, Kofinas G P, Folke C, Abel N, Clark W C, Olsson P, Smith D M S, Walker B, Young O R, Berkes F, Biggs R, Grove J M, Naylor R L, Pinkerton E, Steffen W, and Swanson F J. Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, 25(4): 241-249.
- [8] Mengist W, Soromessa T, Legese G. Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of the Total Environment*, 2020, 702: 134581.
- [9] Robert W K, Parris M T, Leiserowitz A A. What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice: *Science and Policy for Sustainable Development*, 2005, 47(3): 8-21.
- [10] 祖悦晴, 唐海萍, 陈玉福, 姚冠桐, 陈宇超, 陈元龙. 三江并流区干旱河谷藏民对人类福祉和生态系统服务的感知. *山地学报*, 2024, 42(4): 483-495.
- [11] Gautam Y, Andersen P. Rural livelihood diversification and household well-being: Insights from Humla, Nepal. *Journal of Rural Studies*, 2016, 44: 239-249.
- [12] 樊怡, 史兴民, 冯晓, 宋臻. 黄河流域旱塬区农户生计脆弱性及影响因素. *生态学报*, 2022, 42(8): 3134-3143.
- [13] Fu B J, Zhang L W, Xu Z H, Zhao Y, Wei Y P, Skinner D. Ecosystem services in changing land use. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15: 833-843.
- [14] 赵雪雁, 母方方, 何小风, 苏慧珍, 介永庆, 兰海霞, 薛冰. 多重压力下重点生态功能区农户生计脆弱性——以甘南黄河水源补给区为例. *生态学报*, 2020, 40(20): 7479-7492.
- [15] Shackleton C M, Ruwanza S, Sinasson Sanni G K, Bennett S, De Lacy P, Modipa R, Mtati N, Sachikonye M, Thondhlana G. Unpacking Pandora's Box: Understanding and Categorising Ecosystem Disservices for Environmental Management and Human Wellbeing. *Ecosystems*, 2016, 19(4): 587-600.
- [16] Hossain M A R, Munir A, Elena O, Fernandes J A. Impacts and responses to environmental change in coastal livelihoods of south-west Bangladesh. *The Science of the Total Environment*, 2018, 637-638: 954-970.
- [17] 张钦, 赵雪雁, 王亚茹, 雒丽, 薛冰. 气候变化对农户生计的影响研究综述. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(9): 71-79.
- [18] 苏芳, 殷娅娟, 尚海洋. 甘肃石羊河流域农户生计风险感知影响因素分析. *经济地理*, 2019, 39(6): 191-197+240.
- [19] 李岩. 张承生态脆弱区封山禁牧与农户生计协调发展研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [20] 刘迪, 陈海, 张行, 史琴琴, 耿甜伟. 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. *地理研究*, 2022, 41(5): 1298-1310.
- [21] 李立娜, 何仁伟, 李平, 罗健. 典型山区农户生计脆弱性及其空间差异——以四川凉山彝族自治州为例. *山地学报*, 2018, 36(5): 792-805.
- [22] 杨莉, 甄霖, 潘影, 曹晓昌, 龙鑫. 生态系统服务供给-消费研究: 黄河流域案例. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(3): 131-138.
- [23] Jin C H. Biodiversity dynamics of freshwater wetland ecosystems affected by secondary salinisation and seasonal hydrology variation: a model-based study. *Hydrobiologia*, 2008, 598: 257-270.
- [24] Zhang Z P, Xia F Q, Yang D G, Huo J W, Wang G L, Chen H X. Spatiotemporal characteristics in ecosystem service value and its interaction with human activities in Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, 2020, 110: 105826.
- [25] 冯晓, 史兴民, 樊怡, 陈谢扬. 地理标志农产品种植户的生计脆弱性及影响因素研究——以陕西眉县、周至县为例. *地理科学*, 2022, 42

- (11): 1986-1995.
- [26] 格日乐其木格, 乌兰图雅, 斯琴朝克图, 包木苏. 内蒙古草地质量对牧户生计脆弱性的影响评价. 生态学杂志, 2024, 43(1): 216-223.
- [27] 赵士洞, 张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战——介绍《生态系统与人类福利: 评估框架》. 地球科学进展, 2004, 19(4): 650-657.
- [28] Belletti G, Marescotti A, Touzard J M. Geographical indications, public goods, and sustainable development: The roles of actors' strategies and public policies. *World Development*, 2017, 98: 45-57.
- [29] Smith C L, Clay P M. Measuring subjective and objective well-being: Analyses from five marine commercial fisheries. *Human Organization*, 2010, 69(2): 158-168.
- [30] 蒋碧瑶, 史兴民, 秦语晗. 水土保持增加了沙漠-黄土过渡带农户福祉吗? ——基于 PSM 的实证研究. 干旱区资源与环境, 2023, 37(4): 37-44.
- [31] 冯晓, 史兴民, 赵振斌. 地理标志农产品对农户生计脆弱性和福祉的影响——以黄河流域旱塬区为例. 地理研究, 2024, 43(10): 2702-2720.
- [32] 吴孔森, 孔冬艳, 杨晴青. 黄土高原农户生计脆弱性及形成机理探究——以陕北佳县为例. 中国农业资源与区划, 2024, 45(5): 121-132.
- [33] 叶文丽, 王银, 杨晴青, 石育中. 黄土高原农户生计脆弱性与生态退化的空间关系——以陕西省佳县为例. 生态学报, 2024, 44(17): 7577-7588.
- [34] 斯琴朝克图, 房艳刚, 王晗, 徐凯. 内蒙古半农半牧区农户生计资产与生计方式研究——以科右中旗双榆树嘎查为例. 地理科学, 2017, 37(7): 1095-1103.
- [35] 杨慧琳, 袁凯华, 陈银蓉, 梅昀, 王振伟. 农户分化、代际差异对宅基地退出意愿的影响——基于宅基地价值认知的中介效应分析. 资源科学, 2020, 42(9): 1680-1691.
- [36] 李聪, 郭漫漫, 李萍. 破解“一方水土养不起一方人”的发展困境? ——易地扶贫搬迁农户的“福祉-生态”耦合模式分析. 干旱区资源与环境, 2019, 33(11): 97-105.
- [37] 何思源, 魏钰, 苏杨, 闵庆文. 保障国家公园体制试点区社区居民利益分享的公平与可持续性——基于社会-生态系统意义认知的研究. 生态学报, 2020, 40(7): 2450-2462.
- [38] 范小杉, 何俊, 刘心怡. 国外生态系统损害研究进展. 河北环境工程学院学报, 2023, 33(3): 45-50.