

DOI: 10.20103/j.stxb.202309192015

叶文丽, 王银, 杨晴青, 石育中, 唐红林, 杨新军. 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.

Ye W L, Wang Y, Yang Q Q, Shi Y Z, Tang H L, Yang X J. Spatial relationship between livelihoods vulnerability and habitat degradation on the Loess Plateau: a case study of Jiaxian County, Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(17): 7577-7588.

## 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

叶文丽<sup>1</sup>, 王 银<sup>2</sup>, 杨晴青<sup>3</sup>, 石育中<sup>4</sup>, 唐红林<sup>2</sup>, 杨新军<sup>2,\*</sup>

1 西北师范大学旅游学院, 兰州 730070

2 西北大学城市与环境学院 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

3 陕西师范大学西北国土资源研究中心, 西安 710119

4 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

**摘要:**人类活动与生态环境间的复杂反馈关系始终处于动态变化之中,探究农户生计与生态环境的关系对推进乡村振兴战略和生态环境保护具有重要现实意义。以黄土高原典型生态脆弱区佳县为例,在对农户生计脆弱性和生态退化度进行动态评估的基础上,尝试通过耦合协调度模型探究二者之间的关系和作用机理。结论如下:(1)1990—2020年佳县农户生计脆弱性和生境退化度呈现持续降低态势,这与农户生计方式转型密切相关;(2)从耦合协调类型上看,衰退失调型和濒临失调型村庄占比均持续降低,基本协调型和高度协调型占比均波动增加。从耦合差异类型上看,生计脆弱突出型和共损型占比均波动降低,生态退化突出型和同步型占比均增加;(3)农户是乡村社会-生态系统的主要行为主体,生态环境为农户提供资源和生存空间,农户作为乡村主要管理主体,其生计活动将对生态环境产生正向或负向影响。不同生计方式对生态系统的影响具有显著差异性,引导农户生计非农多样化发展对生态环境保护具有正向促进作用。

**关键词:**生计脆弱性;生境退化;耦合协调模型;农户生计;黄土高原

## Spatial relationship between livelihoods vulnerability and habitat degradation on the Loess Plateau: a case study of Jiaxian County, Shaanxi Province

YE Wenli<sup>1</sup>, WANG Yin<sup>2</sup>, YANG Qingqing<sup>3</sup>, SHI Yuzhong<sup>4</sup>, TANG Honglin<sup>2</sup>, YANG Xinjun<sup>2,\*</sup>

1 Tourism College, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 College of urban and environment science, northwest university, shaanxi key laboratory of earth surface system and environmental carrying capacity, Xi'an 710127, China

3 Northwest Land and Resource Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

4 College of Geography and Environmental, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

**Abstract:** The complex feedback between human activities and ecological environment is always in dynamic change, especially in rural system. Farmers are connected to the ecosystem to meet their livelihood needs, and the two are interdependent and affect each other. It is of great practical significance to explore the relationship between them for promoting rural revitalization strategy and ecological protection. Taking Jiaxian County, a typical ecologically fragile area on the Loess Plateau as an example, this paper attempts to explore the dynamic relationship and mechanism between farmers' livelihood vulnerability and habitat degradation degree since the 1990s. The main conclusions are as follows: (1) From

基金项目:国家自然科学基金(41771574,42001202)

收稿日期:2023-09-19; 网络出版日期:2024-06-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangxj@nwu.edu.cn

1990 to 2020, the farmers' livelihood mode of Jiaxian County roughly experienced three development stages: traditional agricultural type, new agricultural type and non-agricultural type, the livelihood vulnerability and habitat degradation degree showed a continuous decrease, which was closely related to the transformation of farmers' livelihood types. This indicates that the impacts of different livelihoods on ecosystems are significantly different, mainly in terms of land use, resource consumption patterns, vegetation cover and biodiversity; (2) In terms of the coupled coordination types, the proportion of declining-disordered and endangered-disordered villages both continued to decrease, from 14.8% and 52.5% to 8% and 23%, and the basic-coordinated and highly-coordinated types both increased volatility, respectively, while the proportion of basic coordination and highly coordination villages fluctuated, from 26.2% and 6.6% to 49.2% and 19.7%, respectively. In terms of coupling difference types, the proportion of livelihood vulnerability prominent type and co-damage type both declined from 31.1% and 39.3% to 18% and 37.7%, and the ecological degradation prominent type and synchronization type all increased from 26.2% and 3.3% to 31.1% and 13.1%, respectively; (3) Farmers as the main actors in the rural social-ecological system, the livelihood system and the ecosystem are interdependent, and the mutual feedback relationship between the two is in dynamic change. The ecosystem provides resources and living space for farmers, and at the same time, as the main management body in the countryside, the livelihood activities of farmers will have a positive or negative impact on the ecological environment. The impacts of different livelihood types on the ecosystem were significantly different, and guiding the non-agricultural diversification of farmers' livelihoods had a positive role in promoting ecological protection.

**Key Words:** livelihood vulnerability; ecological degradation; coupling coordination model; farmers' livelihoods; the Loess Plateau

人地耦合关系和可持续发展始终是地理学者研究的核心议题<sup>[1]</sup>。在快速城镇化过程中,人地关系的交互过程、格局以及作用机理正在发生剧变,尤其在乡村地域系统中。农户为满足基本的生存需求产生生计活动并与生态环境产生连接,生态环境为农户生存发展提供资源和空间的同时被生计活动深刻影响<sup>[2]</sup>。农户作为乡村地域系统的主要行为主体,其生计行为决定着乡村地域系统的发展和走向,因此研究农户生计与生态环境之间的关系对推进实施乡村振兴战略和乡村人地关系协同可持续发展具有重要价值。

脆弱性是指暴露于与环境和社会变化有关的压力之下以及由于缺乏适应能力而易受伤害的状态<sup>[3]</sup>。2001年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)将脆弱性作为重要概念纳入到可持续生计框架(Sustainable Livelihoods Framework, SLF)中,并定义为系统承受无法应对的气候变化和极端天气影响的程度,并指出它是系统暴露度、敏感性和适应能力之间的函数,从此明确了生计脆弱性的研究指向<sup>[4]</sup>,并形成了广泛应用的普适性研究框架。国外关于脆弱性的研究起步较早且成果相对丰富,主要为理论研究和从脆弱性的3个关键维度下的实证研究<sup>[5-8]</sup>。理论研究方面的代表性成果主要有对脆弱性和适应能力之间的关系以及脆弱性评估方法的理论探讨<sup>[9]</sup>、脆弱性研究的认识论和方法<sup>[2]</sup>、适应气候变化脆弱性的评价指标探讨等<sup>[7]</sup>。实际应用上,主要围绕偏远农村社区经济脆弱性和贫困问题<sup>[8]</sup>、气候变化对珊瑚礁渔业的脆弱性<sup>[10]</sup>、气候变化下的社区生计脆弱性<sup>[11]</sup>等展开。相较于国外,国内相关研究起步较晚,且主要以实际应用研究为主,多主要聚焦于干旱环境<sup>[12-14]</sup>、易地扶贫搬迁<sup>[15]</sup>、政策变革<sup>[16-18]</sup>、农用地整治<sup>[19]</sup>、多重压力<sup>[20]</sup>、以及青藏高原<sup>[21]</sup>等特定背景下的农户生计脆弱性研究。农户生计是响应环境退化的关键因素,生计为解释和解决生态脆弱区环境退化问题提供了新视角<sup>[22]</sup>。除赵雪雁等人揭示了干旱内陆河流域农户在生态退化背景下的脆弱性外<sup>[23]</sup>,其他学者多是通过农户生计方式变迁<sup>[24]</sup>、生计能力<sup>[25]</sup>、生计韧性<sup>[26]</sup>、生计资本<sup>[27-28]</sup>与环境或生态系统服务之间的关系,或农户对生态资源的依赖度<sup>[29]</sup>等方面探究农户生计与生态环境之间的关系,而对农户生计脆弱性与生态退化之间关系的研究相对薄弱,二者之间的量化关系愈加不足。因此,本研究拟进一步量化和揭示农户生计脆弱性与生态退化之间的具体时空关系,并揭示其作用机理,以期成为现有相关研究的重要补充。

黄土高原作为典型生态脆弱区,气候干旱少雨、地形地貌复杂、资源贫瘠以及水土流失等环境问题突出,已成为全球生态退化研究的热点区<sup>[26]</sup>。农户作为易脆群体,其生计活动依赖于本地资源的开发,但往往由于技术落后、粗放发展等引发生态问题。为避免乡村地区陷入生计-生态陷阱,亟需监测生计脆弱性与生态退化之间的时空关系。基于此,本文以榆林市佳县为例,借鉴现有生计脆弱性研究框架,对农户生计脆弱性时空演化进行动态评价,并借助 InVEST 模型分析生境退化度,在此基础上通过耦合协调度模型探究二者之间的相互关系并分析其作用机理,以期黄土高原乡村振兴战略的实施和农户可持续生计的实现提供科学参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

陕西省佳县位于陕西省东北部榆林市东南部毛乌素沙漠南缘,黄河中游秦晋峡谷西岸,东隔黄河与山西临县相望,县境地处北纬 37°42′19.12″—38°23′32.02″、东经 110°01′12″—110°45′10.01″之间,南北长 76.25 km,东西宽 62.93 km(图 1)。属大陆干旱季风性气候,年平均降水量 451.1 mm。地势由西北向东倾斜,地貌分异显著,北部为丘陵风沙区,西南为丘陵沟壑区,东南黄河沿岸为土石山区,行政区总面积 2029.82 km<sup>2</sup>,辖 12 镇 1 个街道办事处,324 个行政村,2020 年全县总人口 26.95 万人,常住人口 15.08 万人。佳县属枣树适生区,枣树种植历史悠久,改革开放后政府施行优惠政策,推广技术,集中连片大面积栽植枣树,红枣逐渐成为佳县的主导产业,2001 年被国家林业部命名为“中国红枣名乡”。

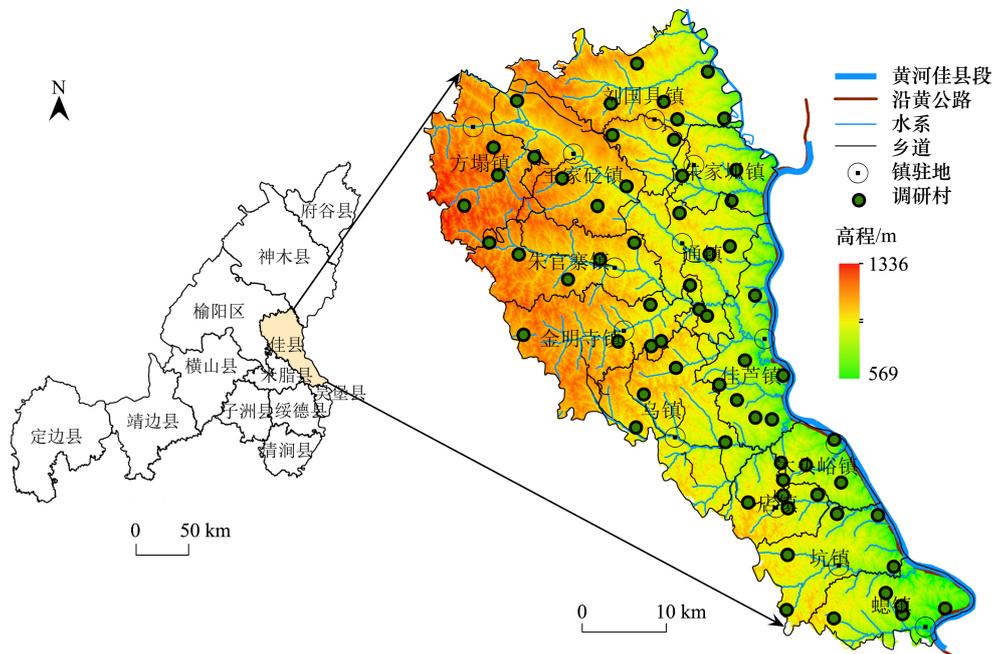


图 1 研究区区位图

Fig.1 Location of the study area

### 1.2 数据来源

本文研究数据来源于两部分(1)土地利用数据:来源于杨杰<sup>[30]</sup>通过结合从中国土地利用/覆盖数据集(CLUD)中提取的稳定样本,以及从卫星时间序列数据、谷歌地球和谷歌地图中提取的视觉解释样本作为训练样本构建的中国首个获得 Landsat 的年度土地覆被产品(<https://zenodo.org/records/8176941>),空间分辨率为 30 m。土地利用数据用于计算生境退化度。(2)入户调研数据:课题组于 2020 年 10 月 11 日至 10 月 20 日开展第一 999 正式农户生计入户专题调研,依据地形地貌、人口数量分布特征,按照分层抽样方法,在对各镇

各村进行初步了解的基础上从 13 个镇分层随机选取 40 个行政村发放农户调查问卷,2021 年 5 月 18 日至 26 日进行第二次补充调研,两次共选取 61 个行政村为调研样本点,北部风沙区占比 24.6%,丘陵沟壑区占比 54.1%,土石山区占比 21.3%。每个样本点随机抽取 5—7 户农户,问卷对象为 40—70 岁家庭户主,其中大部分为中老年人群,对家庭及所在村发展历史具有清晰认知,共获得问卷 383 份,每份问卷时间 40—60 min,其中有效问卷 381 份,有效率 99.5%。对调研村村干部等关键人物进行访谈和问卷调查,共获得村问卷 42 份,主要用于验证农户调查问卷。农户问卷内容主要包括 1990 年以来农户家庭基本情况、自然资源、物质资本、金融资本、社会资本以及农户感知 6 部分内容。前期历史数据主要通过重要时间节点对受访者进行记忆引导推算获取。农户调研数据用于量化生计脆弱性。

## 2 研究框架与研究方法

### 2.1 研究框架

根据 IPCC 定义的生计脆弱性,系统受到环境或社会因素的压力程度为暴露,系统被改变或受影响的程度称为敏感性,系统处理、响应和从压力中利用机会恢复的能力被称为适应能力。结合研究区农户生计实际情况将其视为暴露-敏感性与适应能力之间的函数。在农户受到外部冲击或威胁时暴露-敏感性与适应能力共同作用决定着生计脆弱性。即暴露-敏感性程度越高,脆弱性越高,适应能力越强,脆弱性越低。黄土高原农户面临的主要冲击为干旱和市场波动等,农户自身家庭状况(如家庭成员健康、耕地质量等)和所处的外部环境变化(如自然灾害等)决定着暴露-敏感性。适应能力由内生性因素(如劳动力受教育年限等)和外生性因素(如信贷机会等)共同决定。随着农户生计方式的改变,人类活动强度、资源消费模式、植被覆盖度、生物多样性等随之发生变化,并导致生态环境发生改变。农户作为乡村地域系统的主要行为主体,其生计行为与生态环境间的关系决定着人地关系发展走向。黄土高原作为典型的生态脆弱区,极易陷入生计-生态陷阱,因此,根据生计脆弱性内涵结合对研究区生态系统的影响构建分析框架(图 2),旨在监测生计脆弱性与生态退化间的时空动态关系和作用机理。

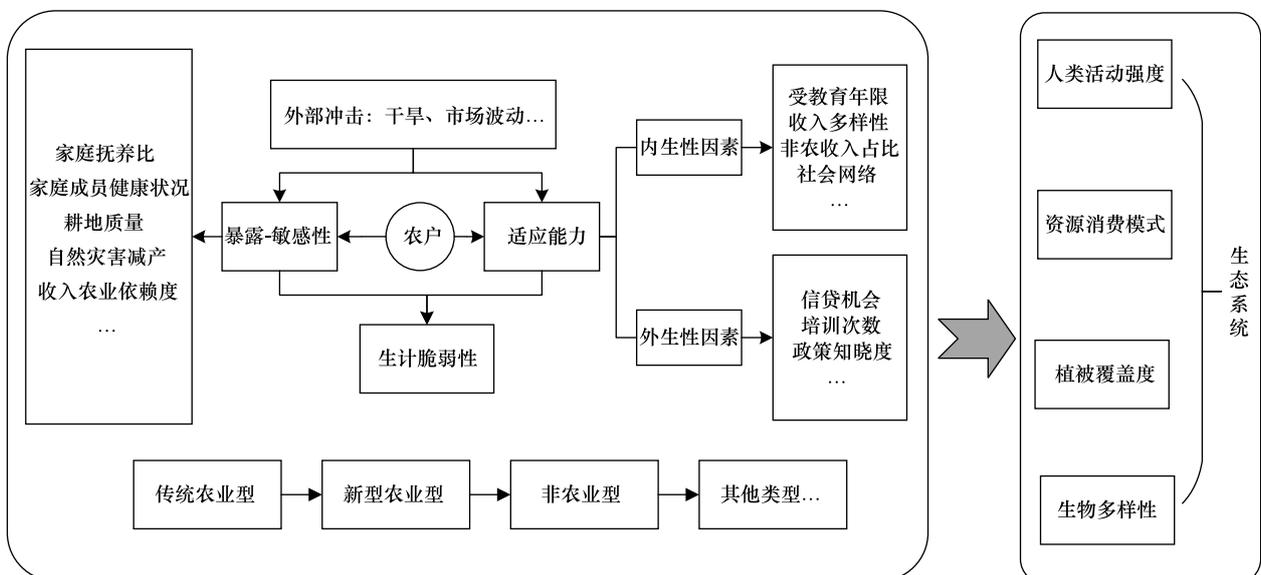


图 2 生计脆弱性与生态退化研究框架

Fig.2 Research framework for livelihood vulnerability and habitat degradation

### 2.2 生计脆弱性指标体系构建

根据脆弱性的定义和内涵,参考相关文献<sup>[21]</sup>,按照科学性、代表性和可获得性等原则指标选取评价指标,

由于系统暴露度和敏感性均与脆弱性成反比,借鉴已有研究成果<sup>[12]</sup>,将暴露度与敏感性合为暴露-敏感性,基于此从暴露-敏感性和适应能力两大维度建立指标体系,具体见表 1。

表 1 农户生计脆弱性评价指标体系

Table 1 The indicator system of household livelihood vulnerability assessment

目标层 Target layer	维度层 Dimension layer	指标层 Index layer	指标描述与解释 Indicator description and interpretation	权重 Weight		
				均方差法 Mean square deviation	层次分析法 Analytic hierarchy process	最终权重 Final weight
生计脆弱性 Livelihood vulnerability	暴露-敏感性	家庭抚养比	家庭无经济收入人口占总人口的比重	0.066	0.112	0.089
		家庭健康状况	家庭医疗支出占总支出的比重	0.013	0.110	0.062
		耕地质量	坡耕地面积占比	0.077	0.029	0.053
		灾害对农作物减产	干旱等自然灾害对农业产出与正常年份比较减产情况:20%以下=1;20%—40%=2;40%—60%=3;60%—80%=4;80%以上=5	0.088	0.023	0.056
		农业收入依赖度	农业收入占总收入的比重	0.098	0.128	0.113
		饮水状况	生活用水来源与水质状况(各取权重 0.5),水源:雨水=1;河湖水=2;水窖=3;井水=4;自来水=5 水质:很差=1;较差=2;一般=3;较好=4;很好=5	0.062	0.039	0.050
		住房条件	住房类型与人均住房面积(各取权重 0.5),住房类型:土窑=1;土木房=2;石窑=3;砖瓦房或平房=4;楼房=5	0.035	0.059	0.047
		适应能力	非农业收入占比	非农业收入占家庭总收入的比重	0.098	0.128
		信贷机会	有=1;无=0	0.124	0.019	0.072
		培训次数	参与农业技能培训的次数	0.028	0.018	0.023
		经验交流	务农、务工等经验交流共享情况:基本没有=1;较少=2;一般=3;较多=4;很多=5	0.008	0.030	0.019
		信息获取	家庭获取农业市场和务工等信息的渠道	0.068	0.039	0.053
		政策知晓度	对国家养老、医疗等政策的知晓度:几乎不了解=1;不太了解=2;了解一半=3;大部分了解=4;全部了解=5	0.069	0.025	0.047
		家庭劳动力平均受教育年限	家庭劳动力受教育年限总和与劳动力数量的比值	0.032	0.118	0.075
		收入多样性指数	家庭收入来源类型总和	0.045	0.075	0.060
		邻里信任度	值得信任的邻居:几乎没有=1;一小部分=2;一半左右=3;绝大部分=4;全部=5	0.048	0.024	0.036
		社会网络	可获得无偿借款的人数	0.043	0.024	0.033

脆弱性的核心是暴露度、敏感性和适应能力<sup>[3]</sup>。佳县农户面临的冲击主要为干旱和市场波动。农户家庭内部生计压力主要体现在家庭人力资本上,生计易受外部冲击主要体现在农作物种植上。其次,则为农户所处环境的敏感性和家庭内部综合敏感性。故选取家庭抚养比、家庭健康状况、耕地质量、灾害对农作物减产、农业收入依赖度、饮水状况、住房条件等 8 项指标衡量暴露-敏感性。其中,家庭抚养比越大,家庭健康状况越差,家庭经济资本压力越大;耕地面积与坡耕地比例决定着农户农业收入,以干旱为主的自然灾害是通过导致农作物减产而影响农业收入的重要方面;家庭对农业收入的依赖度越高,越容易受到自然灾害的影响;家庭饮水来源与水质表征农户所处的环境敏感性;住房状况是农户综合敏感性的直接表征。农户生计适应能力主要源于家庭内部适应力和外部环境提供的适应机会。故选取家庭内部(农户非农业收入占比、经验交流频率、信息获取渠道、劳动力平均受教育年限、收入多样性指数、邻里信任度和社会网络)外部环境(信贷机会、技能培训次数、政策知晓度)等 10 项指标衡量农户生计适应能力,其中,农户收入多样性、非农业收入越高,适应能力越强;信贷机会和技能培训为农户适应能力提升提供可能;劳动力平均受教育年限、经验交流、信

息获取和政策知晓度表征农户的学习能力,学习能力越强适应能力越高。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 生计脆弱性评估模型

为避免主客观赋权法的随意性和数据本身带来的偏差,采用主客观结合赋权法确定权重,分别选择层次分析法(AHP)和均方差决策分层法<sup>[31]</sup>。依据脆弱性的定义和内涵,参考相关文献<sup>[11]</sup>,计算公式如下:

$$FLVI = \frac{ESI}{AI} \quad (1)$$

$$\frac{ESI}{AI} = \sum_{j=1}^n w_{ij} P_{ij} \quad (2)$$

式中,FLVI、ESI、AI 分别为农户生计脆弱性指数、暴露-敏感性和适应能力指数,  $w_{ij}$ 、 $P_{ij}$  分别为各维度指标标准化值和权重,标准化值由极差标准化得到。

#### 2.3.2 InVEST 模型

采用 InVEST 模型中的 Habitat Quality 模块对研究区 1990 年以来生境退化度进行评估。它反映了人类活动对生态环境的影响程度,人类活动强度越大,生境受到的威胁越大,其生境质量和生物多样性水平越低,反之,生境质量和生物多样性水平越高。模型按照不同土地利用类型对威胁因子的敏感度和外界的威胁强度计算出退化度计算公式如下:

$$D_{xy} = \sum_1^r \sum_1^y \left( \frac{w_r}{\sum_{r=1}^n w_r} \right) \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \quad (3)$$

$$i_{rxy} = \begin{cases} 1 - \left( \frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \\ \exp \left[ - \left( \frac{2.99}{d_{rmax}} \right) \times d_{xy} \right] \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $D_{xy}$  为退化度;  $w_r$  为不同威胁因子的权重;  $r_y$  为威胁因子强度;  $\beta_x$  为生境抗干扰水平;  $S_{jr}$  为不同生境对不同威胁因子的相对敏感程度;  $i_{rxy}$  为栅格  $y$  中的威胁因子  $r$  对栅格  $x$  的影响;  $r$  为生境威胁因子;  $y$  为威胁因子  $r$  中的栅格;  $d_{xy}$  为栅格  $x$  与栅格  $y$  之间的距离;  $d_{rmax}$  为威胁因子  $r$  的影响范围,生境退化度在 0—1 之间,值越大退化程度越高。

综合考虑已有相关研究和专家意见,并结合研究区实际状况,选择耕地、建设用地、未利用地作为胁迫因子<sup>[32]</sup>。胁迫因子需要设置的参数有最大胁迫距离、权重、空间衰退类型;各土地利用类型对胁迫因子的敏感度需设置的参数有生境适宜度,在参考 InVEST 模型用户手册<sup>[33]</sup>、已有的研究成果<sup>[34]</sup>、专家意见后进行设置,具体见表 2 和表 3 所示。

表 2 威胁因子及其胁迫强度

Table 2 Threat factors and their stress intensity

胁迫因子 Threat factor	最大胁迫距离/km Maximum influence distance	权重 Weight	空间衰退类型 Spatial decay type
耕地 Cropland	4	0.6	线性
建设用地 Construction land	8	0.4	指数
未利用地 Unused land	6	0.5	线性

#### 2.3.3 耦合协调度模型

“耦合”是来自于物理学的概念,通常被用来解释两个及以上系统或要素相互作用并互相影响的现象<sup>[35]</sup>。耦合度是描述这种相互作用、相互影响程度的量化方法,可以用来判别系统或要素之间的交互耦合强度,即两者间相互作用、相互影响非线性关系的总和。但难以表征两者的综合协调水平,生计脆弱性与生境退

化之间存在着有机联系,引入协调度模型可以更好地判断两者之间的交互耦合协调程度,以进一步探究其空间的关系和作用机理。计算公式为:

$$C = \frac{\sqrt{FLVI_i \times D_i}}{FLVI_i + D_i} \quad (5)$$

$$T = \sqrt{\alpha FLVI_i \times \beta D_i} \quad (6)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (7)$$

式中,  $C$  表示耦合度;  $T$  为综合协调指数;  $D$  为协调度;  $FLVI_i$  表示第  $i$  个研究区的生计脆弱性极差标准化值;  $D_i$  表示第  $i$  个研究区的生境退化度极差标准化值。  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定权重,根据专家意见,将生计脆弱性与生境退化度视为同等重要,均取值为 0.5。协调度  $D$  值介于 0—1 之间,根据数据特点和实际情况,划分为 5 个等级,具体含义见表 4。

表 3 土地利用类型对生境威胁因子的敏感度

Table 3 Sensitivity of land use type to habitat threat factors

土地利用类型 Land use type	生境适宜度 Habitat suitability	胁迫因子 Threat factor		
		耕地 Cropland	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
耕地 Cropland	0.3	0.0	0.8	0.4
林地 Forestland	1.0	0.6	0.4	0.2
草地 Grassland	1.0	0.8	0.6	0.6
水域 Water area	0.7	0.5	0.4	0.2
建设用地 Construction land	0.0	0.0	0.0	0.1
未利用地 Unused land	0.6	0.6	0.4	0.0

表 4 耦合协调度划分标准及类型

Table 4 Coupling coordination types and classification standard

分类标准 $D$ Classification criteria	耦合协调度类型 Coupling coordination types	分类标准 $D$ Classification criteria	耦合协调度类型 Coupling coordination types
$0 < D \leq 0.4$	衰退失调型	$0.6 < D \leq 0.8$	基本协调型
$0.4 < D \leq 0.6$	濒临失调型	$0.8 < D \leq 1.0$	高度协调型

为进一步探究两者制约关系,根据已有文献按二者标准化后值和综合协调指数的差异进行划分<sup>[36]</sup>,划分为 4 个类型,具体类型和划分标准如下(表 5):

表 5 耦合协调度差异划分标准及类型

Table 5 Coupling coordination difference types and classification standard

分类标准 Classification criteria	耦合差异类型 Coupling coordination difference types	分类标准 Classification criteria	耦合差异类型 Coupling coordination difference types
$FLVI_i - D_i > 0.1$	生计脆弱突出型	$-0.1 < FLVI_i - D_i < 0.1 (0 < T \leq 0.6)$	共损型
$FLVI_i - D_i > -0.1$	生境退化突出型	$-0.1 < FLVI_i - D_i < 0.1 (0.6 < T \leq 1)$	同步型

FLVI<sub>i</sub>: 农户生计脆弱性指数 Farmers' livelihood vulnerability index; D<sub>i</sub>: 退化度 Degeneration; T: 综合协调指数,具体含义详见公式(6)

### 3 结果与分析

#### 3.1 生计脆弱性时空格局演化

将计算结果在 ArcGIS 中按照等间距法分为 5 级:微脆弱(0—0.5)、轻度脆弱(0.5—1)、中度脆弱(1—1.5)、高度脆弱(1.5—2)、严重脆弱(>2),并进行可视化表达(图 3)。1990、2000、2010、2020 年佳县农户生计脆弱性指数分别为 1.21、0.96、0.83、0.67,呈现持续降低态势。从空间分布上看,除 2010 年外,按照从高到低

排序依次为北部风沙区、西南丘陵沟壑区、东南土石山区。20 世纪 90 年代初,佳县村域农户生计脆弱性普遍为中度脆弱,高度脆弱和严重脆弱多位于北部风沙区和西南丘陵沟壑区,2000、2010 年左右,脆弱等级均降低,无严重脆弱和中度脆弱型,截止至 2020 年,均转向低度脆弱和微脆弱等级。

20 世纪 90 年代初,佳县农户多以传统农业种植为主,农户生计方式单一,收入严重依赖于农业收入,农业主要为雨养农业,耕地多为坡耕地,广种薄收,农户生计脆弱性普遍偏高。不同地貌区具有空间异质性,从农业区划上看,北部风沙区属于林牧粮区,该区域土地相对较广,土壤沙化、肥力低下,林地面积较多。西南丘陵沟壑区属于粮牧林果区,该区土壤质量较好,精细耕作,农业生产以粮食为主,水资源贫乏,植被稀疏,土壤流失严重。东南黄河沿岸土石山区属于枣粮间作区,该区域土地少,土壤质地较差,交通不便。90 年代左右在政府大力推广红枣种植政策下农户生计逐渐从传统农业种植转向以红枣种植为主的新型农业模式,良好的市场使农户收入水平提升,经济条件显著改善。此外,2004 年实施减免农业特产税,并调整农业种植结构,推广地膜覆盖、配方施肥为主的旱地农业技术,并实施“阳光工程”,建立农广校等培训基地,对农民进行劳动技能培训,使生计方式逐渐趋于多元化发展。2010 以后,由于市场萎缩,经济作物收入降低,农户开始大规模自发弃种转向以外出务工为主的其他生计,农户生计方式的转型是生计脆弱性降低的直接原因。

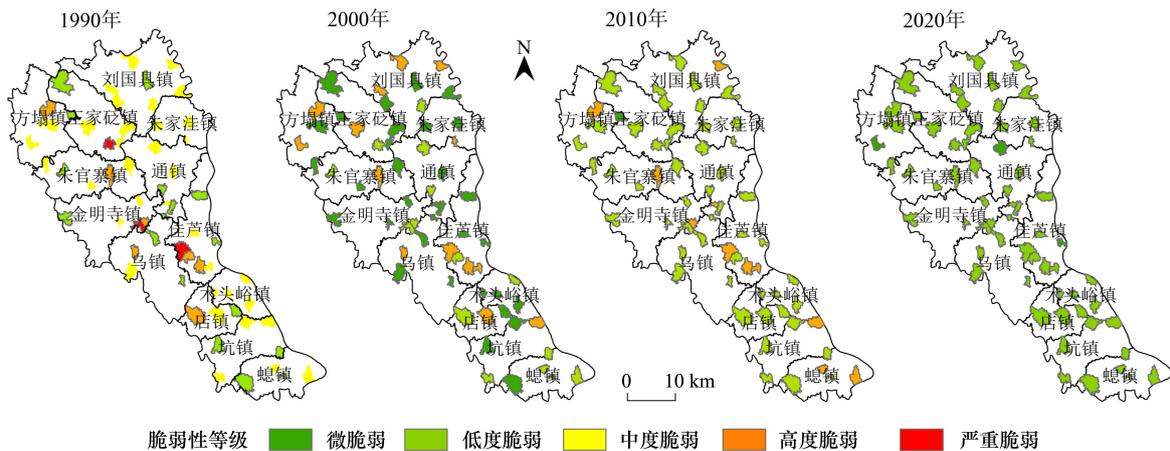


图 3 1990—2020 年佳县农户生计脆弱性时空格局

Fig.3 The spatiotemporal pattern of livelihood vulnerability of farmers in Jiaxian County from 1990 to 2020

### 3.2 生境退化度时空格局演化

将模型运行结果在 ArcGIS 中进行提取,按照等间距法分为 5 级:无退化或微弱退化(0—0.05)、轻度退化(0.05—0.1)、中度退化(0.1—0.15)、高度退化(0.15—0.2)、严重退化(0.2—0.25),并进行可视化表达(图 4)。从整体上看,1990、2000、2010、2020 年研究区村域生境退化度值分别为 0.143、0.136、0.162、0.107,呈现波动降低的态势。从地貌分区上来看,退化度从高到低依次为西南丘陵沟壑区、东南土石山区、北部风沙区。从空间分布上来看,90 年代初,严重退化和高度退化型村域主要分布在南部和西南部,大部分属中度退化,2000 年左右,北部村域多属中度退化,西南部多属高度退化,轻度退化和严重退化村域较少;2010 年左右,北部部分村域由中度退化转向高度退化,西南部部分村域退化加剧,由高度转向严重退化;2020 年前后,北部退化度显著减弱,大部分村域属于轻度退化型,中度退化型主要分布在西南部,个别属高度退化型。

### 3.3 耦合模型结果分析

将耦合协调度模型计算结果在 ArcGIS 中进行可视化表达(图 5)并按照表 4 划分为衰退协调型等 4 类,从耦合协调度类型上看,1990—2020 年佳县衰退失调型和濒临失调型村庄占比均持续降低,分别由 14.8% 和 52.5% 下降至 8% 和 23%,基本协调型和高度协调型占比均波动增加,分别由 26.2% 和 6.6% 上升至 49.2% 和 19.7%。从耦合差异类型上看,生计脆弱突出型和共损型占比均波动降低,分别由 31.1% 和 39.3% 下降至 18%

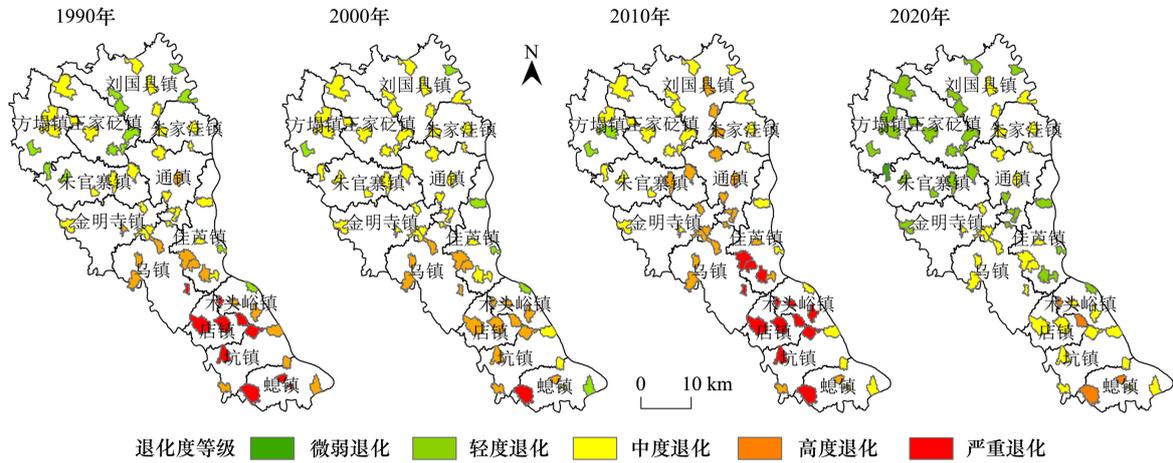


图 4 佳县生境退化度时空格局

Fig.4 The spatiotemporal pattern of habitat degradation in Jiaxian County from 1990 to 2020

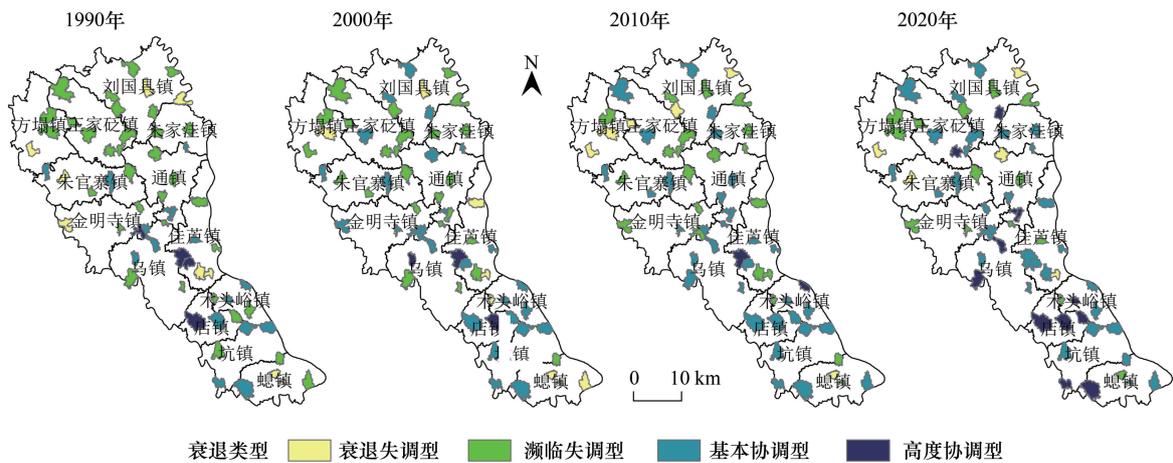


图 5 1990—2020 年佳县耦合协调模型结果

Fig.5 The result of coupling coordination model in Jiaxian County from 1990 to 2020

和 37.7%,生态退化突出型和同步型占比均增加,分别由 26.2%和 3.3%上升至 31.1%和 13.1%。

90 年代初期,主要以濒临失调型村庄占主导,具体占比为 52.5%,其次为基本协调型、衰退失调型和高度协调型。地貌分区分布特征显著,濒临失调型村庄大部分位于北部风沙区。该时期,农户生计状况强烈依赖于自然环境,因此对生态环境产生巨大压力。同时,生态环境退化对农户生计脆弱性产生胁迫作用,在一定程度上进一步导致农户生计脆弱,因此该时期村庄耦合协调类型以濒临失调型为主,耦合差异类型以共损型为主。截至 2020 年,主要以基本协调型村庄占主导,具体占比为 49.2%,其次为濒临失调型、高度协调型和衰退失调型。不同地貌区地域,土石山区和丘陵沟壑区主要以基本协调型为主,北部风沙区基本协调型和濒临失调型并存。

3.4 作用机理分析

如图 6 所示,农户生计方式是内外部多因素共同作用下产生的生计行为,内部因素主要来自农户家庭内部,如农户自身的生计偏好、拥有自然资本的数量与质量、家庭人力资本的劳动技能、受教育程度等因素,外部干扰主要源于所在的地理环境、交通条件、外部市场波动、政府政策引导、自然灾害等因素。农户在内部因素和外部干扰共同作用下分化出不同的生计方式,不同生计方式下的暴露-敏感性和适应能力不同,从而决

定着生计脆弱性的高低,同时也决定着与生态系统的作用方式与强度,不合理的作用方式伴随着高强度将产生生态退化。

1990—2020 年佳县农户生计经历了传统农业型、新型农业型和非农业型 3 个发展阶段,20 世纪 90 年代属传统农业时期,该时期农户生计多以单一传统农业种植为主,且极易遭受干旱为主的自然灾害的影响,农户为满足自身的生计需求,大规模开荒种植和粗放式经营使生态脆弱区植被破坏严重、水土流失加剧导致生态退化,因此,生计脆弱性和生态退化度均普遍偏高,该时期陷入生计-生态陷阱的风险较高。政府政策引导和市场利益驱动为避免掉入陷阱带来了契机,农户逐渐从传统农业种植转向经济作物种植,不仅使农户收入水平显著提升,也使其对外部意外事件的适应能力增强,生计脆弱性显著降低。而后由于市场波动促使生计非农化趋势日渐增强,农户对自然环境的依赖度大大降低,影响生计的主要因素由外部生态环境逐渐转为农户内部,黄土高原脆弱的本底生态环境不再是限制农户生计的主要因素。并且,农户与生态环境间的作用方式和强度发生变化,生态修复与环境保护成效显著,生态退化度逐渐降低。

农户作为乡村社会-生态系统的主要行为主体,生计系统与生态系统相互依存,二者之间的互馈关系处于动态变化之中,生态系统为农户提供资源和生存空间,同时,农户作为乡村主要管理主体,其生计活动将对生态环境产生正向或负向影响。如在传统农业模式下,农户生计高度依赖于自然环境,为满足不断增长的生计需求,不合理的资源开发与利用增加了生态退化的风险,尤其在黄土高原生态本底脆弱背景下,生态退化将进一步导致生计脆弱,即加剧了生计-环境陷阱的发生。生计转型不仅降低了生计脆弱性,也使农户对生态环境的依赖度降低,生态压力得到缓解的同时,避免了生计-生态陷阱,即既有利于实现可持续生计也有利于生态修复和环境保护。因此,农户作为乡村的基本组成单元和行为主体,农户生计发展路径在一定程度上决定着乡村人地关系的发展走向,引导农户生计的发展方向为改善黄土高原生态环境提供了新思路。

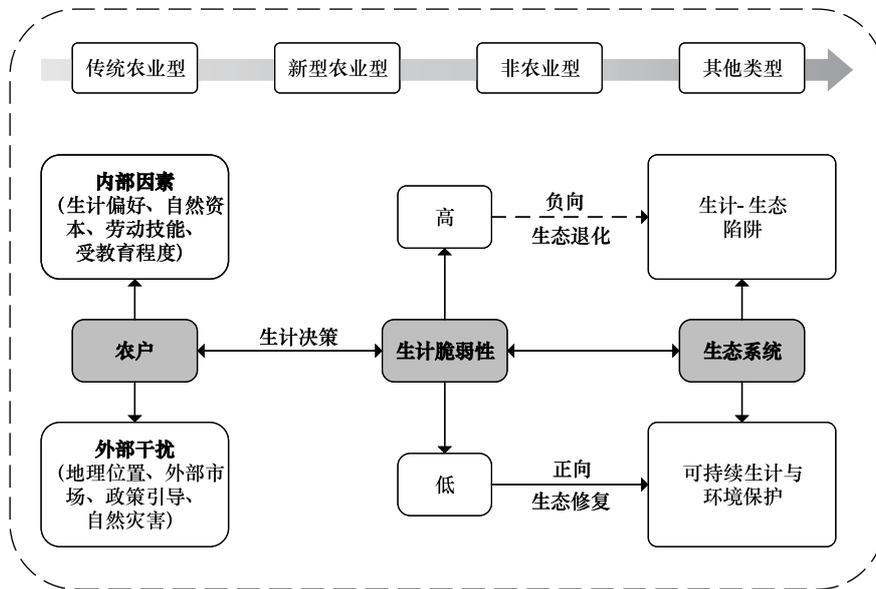


图 6 农户生计脆弱性与生态退化作用机理

Fig.6 The mechanism of livelihood vulnerability of farmers and habitat degradation

### 4 讨论与结论

#### 4.1 讨论

人类活动与生态环境间的反馈关系是复杂动态的。农户生计与社会、经济、生态等高度相关,在农业人口占主导的黄土高原地区,乡村地域系统人地关系在一定程度上主导着区域人地系统发展走向,识别农户生计

与生态系统之间的动态关系并探究二者之间的作用机理对乡村振兴和区域可持续发展至关重要。目前国内学者已从多个方面研究了农户生计与生态环境间的关系,但尚未形成一定范式。本文试图从动态视角探究生计脆弱性与生态退化间的关系,从研究结果上看,研究区农户生计大致经历了传统农业型、新型农业型和非农业型 3 个发展阶段,衰退失调型和濒临失调型村庄占比降低,且生计脆弱突出型和共损型占比也降低。农户在自身生存理性和政府政策引导等内外部因素的共同作用下非农化发展,这不仅使生计脆弱性降低,同时使农户生计对生态环境的负外部效应缓解,说明不同生计方式对生态系统的影响具有显著差异性,主要体现在土地利用方式、资源消费模式、植被覆盖度、生物多样性等方面,引导生态脆弱区农户生计非农多样化发展对生态环境保护具有正向促进作用,相似研究表明生计方式是影响环境退化的决定因素<sup>[18]</sup>,黄土高原生态退化缓解一方面得益于农户生计方式的转换,另一方面也与国家“三北”防护林工程、退耕还林(还草)、地方生态修复工程的实施息息相关,下一步研究应重点探究生态退化缓解的主导因素,以及未来可持续发展目标下农户生计转型的方向和可能。此外,由于动态数据的可获得性限制,脆弱性量化指标体系中农户应对不同的外部冲击时的暴露性和敏感度有待于进一步细化甄别。

## 4.2 讨论

本文通过以黄土高原典型生态脆弱区佳县为例,对 90 年代以来农户生计脆弱性进行评价的基础上,借助 InVEST 模型分析生境退化度,并利用耦合协调度模型探讨二者之间的相互关系并分析其作用机理。主要结论如下:

(1) 20 世纪 90 年代以来,农户生计脆弱性呈现持续降低态势。90 年代初,村域农户生计脆弱性普遍为中度脆弱,高度脆弱和严重脆弱多位于北部风沙区和西南丘陵沟壑区,截止至 2020 年,均转向低度脆弱和微脆弱且空间分异特征不显著。

(2) 生境退化度呈现波动降低的态势。90 年代初,严重退化和高度退化型村域主要分布在南部和西南部,大部分属中度退化,截止至 2020 年,北部退化度显著减弱,大部分村域属于轻度退化型,中度退化型主要分布在西南部,个别属高度退化型。

(3) 从农户生计与生态环境退化间的耦合协调度类型上看,1990—2020 年衰退失调型和濒临失调型村庄占比均持续降低,基本协调型和高度协调型占比均波动增加。从耦合差异类型上看,生计脆弱突出型和共损型占比均波动降低,生态退化突出型和同步型占比均增加。

(4) 农户在多因素共同作用下产生不同动态生计方式,生计方式不仅在一定程度上决定着农户的暴露-敏感性和适应能力,从而决定着生计脆弱性,同时也决定着农户与乡村生态环境之间的关系。传统农业时期,佳县农户生计脆弱性和生态退化度均普遍偏高,生计脆弱性与生态退化之间的胁迫作用较强,极易陷入生计-生态陷阱,生计非农化转型扭转了发展困境。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] 刘彦随. 新时代乡村振兴地理学研究. 地理研究, 2019, 38(3): 461-466.
- [ 2 ] 叶文丽, 王银, 吴孔森, 杨新军. 黄土高原农户生计转型及其生态效应——以陕西省佳县为例. 生态学报, 2023, 43(6): 2323-2335.
- [ 3 ] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 1996, 20(4): 529-539.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] Yohe G, Tol R S J. Indicators for social and economic coping capacity—moving toward a working definition of adaptive capacity. Global Environmental Change, 2002, 12(1): 25-40.
- [ 6 ] Adger W N, Vincent K. Uncertainty in adaptive capacity. Comptes Rendus Geoscience, 2005, 337(4): 399-410.
- [ 7 ] Brooks N, Adger W N, Kelly P M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, 2005, 15(2): 151-163.
- [ 8 ] Béné C. Are Fishers Poor or Vulnerable? Assessing Economic Vulnerability in Small-Scale Fishing Communities. The Journal of Development Studies, 2009, 45(6): 911-933.

- [ 9 ] Kelly P M, Adger W N. Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Climatic Change*, 2000, 47 (4): 325-352.
- [ 10 ] Cinner J E, McClanahan T R, Graham N A J, Daw T M, Maina J, Stead S M, Wamukota A, Brown K, Bodin O. Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change*, 2012, 22(1): 12-20.
- [ 11 ] Das M, Das A, Momin S, Pandey R. Mapping the effect of climate change on community livelihood vulnerability in the riparian region of Gangatic Plain, India. *Ecological Indicators*, 2020, 119: 106815.
- [ 12 ] 吴孔森, 刘倩, 张骥, 杨新军. 干旱环境胁迫下民勤绿洲农户生计脆弱性与适应模式. *经济地理*, 2019, 39(12): 157-167.
- [ 13 ] 苏美蕊, 刘鹏伟, 吴晓萍, 淮建军. 干旱影响生计脆弱性中的中介和调节效应. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(1): 201-209.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 刘伟, 徐洁, 黎洁. 陕南易地扶贫搬迁农户生计脆弱性研究. *资源科学*, 2018, 40(10): 2002-2014.
- [ 16 ] 赵立娟. 灌溉管理改革背景下农户生计脆弱性评估. *干旱区地理*, 2014, 37(5): 1055-1064.
- [ 17 ] 李慧, 刘志有, 肖含松, 徐馨裔, 王嘉蓉. 基于乡村振兴视角下西部绿洲流转农户生计脆弱性影响因素研究. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(11): 234-242.
- [ 18 ] 黄绚, 冀昊, 徐苗苗, 宋玉翠, 李敏. 草原生态补奖政策对牧户生计脆弱性的影响——来自青海省河南蒙古族自治县牧户的经验分析. *干旱区资源与环境*, 2023, 37(9): 63-72.
- [ 19 ] 杨婧, 赵微, 曾晨. 农地整治区农户生计脆弱性指数评估研究——基于湖北荆门和宜昌的实证研究. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(2): 275-283.
- [ 20 ] 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.
- [ 21 ] 李彩瑛, 阎建忠, 花晓波, 等. 青藏高原“一江两河”地区农牧民家庭生计脆弱性评估. *山地学报*, 2018, 36(6): 930-941.
- [ 22 ] 阎建忠, 张德钊, 朱会义, 摆万奇, 郑度. 大渡河上游不同地带居民对环境退化的响应. *地理学报*, 2006, 61(2): 146-156.
- [ 23 ] 赵雪雁, 刘春芳, 王学良, 薛冰. 干旱区内陆河流域农户生计对生态退化的脆弱性评价——以石羊河中下游为例. *生态学报*, 2016, 36(13): 4141-4151.
- [ 24 ] 赵雪雁. 不同生计方式农户的环境影响——以甘南高原为例. *地理科学*, 2013, 33(5): 545-552.
- [ 25 ] 李靖, 廖和平. 区域贫困农户生计能力与生态环境的关系——以重庆市 16 个区县为例. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(9): 175-182.
- [ 26 ] 汪樱, 唐兰云, 王卫雯, 王建英, 郑亮. 农户生计韧性驱动机理及其生计环境效应. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(3): 665-677.
- [ 27 ] 陈强强, 杨凌, 郝旭然. 甘南黄河水源补给区生态系统服务与农户生计耦合协调分析. *草地学报*, 2023, 31(8): 2471-2480.
- [ 28 ] 马随随, 张华兵, 王清. 生态系统服务与农户生计的时空耦合关系研究——以里下河地区为例. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(3): 79-88.
- [ 29 ] 熊鹰, 申翠玲, 尹建军, 邱佳炜, 唐健飞. 重点生态功能区农户生计对生态资源依赖性及其影响因素——以湖南省慈利县为例. *经济地理*, 2023, 43(3): 188-197, 239.
- [ 30 ] 杨杰. 中国 30 米年度土地覆盖数据集及其动态变化(1985—2022 年). 国家冰川冻土沙漠科学数据中心 (<http://www.ncdc.ac.cn>), 2023. <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8176941>.
- [ 31 ] 吴秀芹, 张艺潇, 吴斌, 张宇清, 方广玲, 秦树高. 沙区聚落模式及人居环境质量评价研究——以宁夏盐池县北部风沙区为例. *地理研究*, 2010, 29(9): 1683-1694.
- [ 32 ] 张学儒, 周杰, 李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析. *地理学报*, 2020, 75(1): 160-178.
- [ 33 ] Sharp R, Tallis H T, Ricketts T, Guerry A D, Wood S A, Chapin-Kramer R, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C, Verutes G, Kim C K, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Gowinski K, Chaumont N, Perelman A, Lacayo M, Mandle L, Hamel P, Vogl A L, Rogers L, Bierbower W. InVEST 3.2.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2015. ([https://storage.googleapis.com/invest-users-guides/InVEST%203.2.0%20User's%20Guide\\_Chinese%20Version\\_20171008.pdf](https://storage.googleapis.com/invest-users-guides/InVEST%203.2.0%20User's%20Guide_Chinese%20Version_20171008.pdf))
- [ 34 ] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究. *生态学报*, 2018, 38(12): 4167-4179.
- [ 35 ] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307.
- [ 36 ] 黄涛, 王艳慧, 关鸿亮, 谭人华. 乡村振兴背景下农村基本公共服务与多维贫困的时空耦合特征研究. *人文地理*, 2021, 36(6): 135-146, 192.