



丁晓颖, 张崇梅, 刘洪. 基于遥感影像的村庄自然资源与农户生计稳定性[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(11): 218-232.
DING Xiaoying, ZHANG Chongmei, LIU Hong. Remote sensing imagery-based villages natural resources and the stability of rural households' livelihoods[J].
Journal of China Agricultural University, 2024, 29(11): 218-232.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.11.22

基于遥感影像的村庄自然资源与农户生计稳定性

丁晓颖¹ 张崇梅² 刘洪^{2,3*}

- (1. 中南财经政法大学 信息工程学院, 武汉 430073;
2. 中南财经政法大学 工商管理学院, 武汉 430073;
3. 贵州财经大学 绿色发展战略研究院, 贵阳 550025)

摘要 为探究山区农户生计可持续发展及其影响因素, 依托可持续生计框架, 结合高分辨率遥感影像提取的村庄自然资源数据和农户调研数据, 分析乌蒙山区农户生计资本和生计稳定性水平, 测算二者之间的耦合协调度, 探究影响耦合协调度的因素。结果表明: 1) 农户的生计资本平均水平较低且结构不均衡, 生计稳定性整体处于中等水平。农户收入虽然具有一定的多样性, 但同时对单一收入来源的依赖性也较强。2) 农户生计资本与生计稳定性之间的耦合协调度整体偏低, 表现为磨合协调类型且生计资本发展滞后。3) 农户生计资本与生计稳定性的耦合协调度受到多种因素的共同影响, 且在不同地形条件下, 这些影响因素的表现存在显著差异。基于此, 本研究从优化农户生计资本结构、强化农户生计策略多样化能力和利用遥感影像技术加强村庄自然资源管理3个方面提出政策建议。

关键词 遥感影像; 生计资本; 生计稳定性; 耦合协调; 乌蒙山区

中图分类号 F323.8

文章编号 1007-4333(2024)11-0218-15

文献标志码 A

Remote sensing imagery-based villages natural resources and the stability of rural households' livelihoods

DING Xiaoying¹, ZHANG Chongmei², LIU Hong^{2,3*}

(1. School of Information Engineering, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China;

2. School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China;

3. Institute of Green Development Strategy, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

Abstract In order to explore the sustainable development of farmers' livelihoods in mountainous areas and its influencing factors, we relied on the sustainable livelihood framework and combined village natural resource data extracted from high-resolution remote sensing images with rural household survey data. We analyzed the levels of livelihood capital and livelihood stability among rural households in the Wumeng Mountains, measured the degree of coupling and coordination between the two, and explored the factors influencing the degree of coupling and coordination. The findings reveal that: 1) The average level of livelihood capital among rural households is low and its structure is unbalanced, and the livelihood stability overall is at a medium level. While rural households' incomes exhibit a certain degree of diversity, there is also a strong reliance on a single source of income. 2) The overall coupling coordination degree between

收稿日期: 2024-07-16

基金项目: 中央高校优秀青年团队培育项目(自然科学类)(2722023DY001); 国家社会科学基金项目(20BGL249); 贵州省教育厅高等学校科学研究项目(青年项目)(黔教技[2022]177号)

第一作者: 丁晓颖(ORCID: 0000-0001-7244-2594), 副教授, 主要从事遥感大数据处理与计算机视觉研究, E-mail: dingxiaoying@zuel.edu.cn

通讯作者: 刘洪(ORCID: 0009-0000-5741-4974), 副研究员, 主要从事农户生计与农村发展问题研究, E-mail: liuhong@mail.gufe.edu.cn

rural households' livelihood capital and livelihood stability is low, which is characterized by a harmonious yet lagging development of livelihood capital. 3) The coupling coordination degree between rural households' livelihood capital and livelihood stability is influenced by multiple factors, and the manifestations of these factors vary significantly under different terrain conditions. Based on this, this study puts forward policy suggestions from three aspects as follows: Optimizing the livelihood capital structure of farmers, strengthening the diversification ability of farmers' livelihood strategies and using remote sensing image technology to strengthen the management of village natural resources.

Keywords remote sensing imagery; livelihood capital; livelihood stability; coupling coordination; Wumeng mountainous region

我国山区农户的可持续生计一直面临多重挑战,自然资源的有限性限制了农业生产的扩展^[1],全球气候变化带来的自然灾害频发,更增加了农业生产的不确定性^[2-3],给农业可持续发展带来了前所未有的挑战^[4]。此外,农产品市场的价格波动、农业劳动力的短缺以及产业结构的失衡,也进一步削弱了农户依赖农业为生的生计稳定性^[5-7]。在此背景下,确保农户收入与生计的稳定性显得尤为迫切与重要。

自然资源对于农户生计的繁荣与乡村振兴战略的实施具有不可估量的价值。自然资源不仅是农村经济发展的坚固基石,更是农户生计不可或缺的核心支撑。作为农民生产生活聚集地的村庄,其自然资源禀赋,涵盖土地、水源、森林及矿产等,深刻影响着农户的生计模式与生活质量^[8]。同时,村庄作为自然资源的管理者,也承担着平衡资源保护与经济发展需求的重任,角色至关重要^[9-10]。此外,村庄自然资源对于提升农户的自然资本积累及生计稳定性具有深远影响^[11]。

遥感影像技术在自然资源评估中展现出巨大潜力^[12]。高分辨率遥感影像以其独特的优势,为精准获取村庄自然资源信息提供了可能。遥感影像技术不仅可用于监测作物生长状况以优化农业生产管理^[13],还能在土地、水资源及森林管理^[14]、环境保护与生态治理^[15]、农村基础设施规划与建设^[16]等方面发挥重要作用。遥感影像技术作为数字乡村建设的关键驱动力和新质生产力的代表,通过提供实时和动态的地物信息,能够显著提升农村自然资源管理效率和精度,从而促进农业与农村的智能化和可持续发展。

关于农户生计问题的现有文献缺乏将村庄层面自然资源纳入可持续生计框架的研究,也缺乏利用遥感影像技术分析村庄自然资源,进而探讨农户生计稳定性的研究。因此,鉴于农户在农村经济社

会中的基础地位,本研究利用高分辨率遥感影像技术获取村庄自然资源数据,并将其作为农户自然资本的重要组成部分,进而构建基于遥感影像的村庄自然资源与农户生计稳定性分析模型;基于可持续生计框架,结合村庄自然资源,深入分析农户基于不同生计资本所采取的生计策略及其稳定性;通过构建科学合理的指标体系,评估农户生计稳定性,并探讨生计资本与生计稳定性之间的耦合协调关系,以为农户生计发展提供有力的政策建议。

1 理论分析与研究假说

1.1 应用遥感影像解析村庄自然资源

卫星或无人机能够提供高分辨率的地物遥感影像,这些影像经过几何校正、大气校正等预处理程序,并结合地理信息系统以及图像解译技术,能够获得高精度的地物分类结果^[17]。对于村庄层面的研究来说,将遥感影像与数字高程模型(Digital elevation model, DEM)相结合,能够快速实时的获取自然资源数据,为自然资源的利用和管理提供数据支持。

利用遥感影像数据获取自然资源信息,可以深入开展自然资源量化分析^[12-16]。一是对土地类型进行分类,如耕地、林地、草地、水体等。通过比较不同土地类型在不同时间点的影像数据,分析土地利用变化趋势。还可以提取不同土地类型的面积、分布等信息,评估村庄土地利用状况。二是提取河流、湖泊、水库等水体信息,利用水文模型估算水资源的总量和可利用量,并分析水资源分布和变化。三是识别森林区域,提取森林面积、树种分布等信息,计算植被指数,评估森林资源可持续利用潜力和生态环境质量。四是识别村庄道路信息,提取面积和长度等路网数据,计算村庄道路的完整性、平整度和通行能力等,以评估村庄道路交通状况。

1.2 融入村庄自然资源的农户自然资本与生计的关联机制

自然资源能够提供农业生产所必需的土地、水源和气候等基本条件。村庄自然资源丰度和多样性为农户提供了不同的生计策略选择,直接影响农户生产能力^[8]。村庄自然资源状况还会影响农户参与社会经济活动和获取外部机会的能力。良好的自然资源可以吸引投资和资源进入村庄;村庄自然资源的合理开发和利用也有利于农户通过参与生态旅游、生态修复等生态服务活动来获得收入。

在可持续生计框架^[18]中,农户生计资本包括自然资本、人力资本、物质资本、金融资本和社会资本。农户生计结果涵盖广泛,包括收入改善、生活环境改善和福利提升等多个方面。生计资本、生计策略与生计结果之间存在显著的关联性。丰富的生计资本为采取多样化的生计策略提供了条件,而多样化的生计策略有助于降低生计风险,从而带来良好的生计结果。

村庄自然资源结构和水平决定了农户的自然资本状况。将村庄自然资源禀赋特征融入农户的自然资本进行分析,能够更加全面地理解农户的自然资本状况,并深入认识自然资本对农户生计及其稳定性的作用。特别是在地形坡度起伏变化大且耕地地块分散的乌蒙山区农村,需要结合土地资源的地形坡度等自然特征来考察农户的自然资本。因此,有必要基于遥感影像技术收集村庄自然资源信息,包括土地和水面面积、耕地坡度和破碎度、森林覆盖率和村庄道路路网状况等,构建村庄自然资源测度指标,并将其融入农户自然资本,构建农户改良自然资本测度指标,为深入认识村庄自然资源和农户自然资本与农户生计的关联及其影响提供基础。

1.3 农户生计稳定性的理论解析

生计稳定性是可持续生计框架下的核心概念之一。它是指个体或群体在追求生计目标的过程中,当面对外部冲击和变化时,能够维持和改善生计状况的能力^[19]。村庄自然资源和农户自然资本直接影响到农户生计稳定性^[8]。村庄地形条件和耕地坡度是影响农业生产和农户生计稳定性的重要因素,对依赖种植业生计活动具有重要影响。在平坦或坡度适中地区,农业生产条件优越,往往能够吸引更多的投资和技术支持,促进农业生产的多样化和专业化发展,从而增强农户的生计稳定性;在坡度较大和地形复杂的地区,往往缺乏必要

的基础设施和服务支持,农业生产受限,农户的生计来源相对单一且不稳定,增加了农户生计的风险性。农户个体健康、教育、技能等人力资本是生计稳定性的重要保障。农户社会关系网络、社区组织、信任与合作等社会资本有助于其在面临困难时获得支持和帮助,从而增强生计的稳定性。稳定的收入来源、储蓄和信贷能力等金融资本是支撑生计活动的重要基础。基础设施、生产设备等物质资本直接影响生计策略效率和生计稳定性。此外,外部自然环境和社会环境的变化(如自然灾害、市场波动和政策调整等)都会对农户的生计稳定性产生影响。

研究农户生计稳定性可以从2个方面构建指数来开展分析^[6,19-20]:一是多样性指数,包括生计多样性和收入多样性。其中,生计多样性反映从事生计活动的多样性,包括农业和非农业生计活动;收入多样性则为收入来源的种类以及每种收入占总收入比重的均衡程度。二是依赖性指数,包括收入依赖性和自然资源依赖性。其中,收入依赖性是指农户对某一特定收入的依赖程度;自然资源依赖性是指农户依赖自然资源形成收入进行生存发展的程度。通过多样性指数和依赖性指数分析,可以深入认识农户生计稳定性,为农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析提供基础。

1.4 农户生计资本与生计稳定性耦合协调机制

在可持续生计框架下,生计资本是农户提升生计稳定性的基础,生计稳定性则是生计资本累积的表征,二者互相促进,互相影响^[19,21]。开展农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析,需要深入理解各种生计资本如何相互作用、共同影响生计稳定性,并探究其背后的运作机制和规律。

农户生计资本与生计稳定性存在相互作用机制。第一,生计资本的积累与转化有助于增强生计稳定性。农户在生产实践中积累各种生计资本。例如,通过教育培训实现人力资本的提升。农户的各种生计资本还可以相互转化和补充。例如,自然资本的提升可以促进农户物质资本的积累。第二,生计资本的配置与优化有助于提升生计稳定性。农户根据自身的资源禀赋合理配置和优化各种生计资本。例如,在地形起伏大且耕地资源有限的山区,农户可能通过发展非农产业或活动实现生计多元化。第三,生计策略的选择与

调整有助于巩固生计稳定性。农户根据其生计资本结构和外部环境的变化选择和灵活调整生计策略,以保持生计稳定性。例如,在自然灾害发生时,农户可能会选择减少高风险的生产活动,增加保险投入等。

农户生计资本与生计稳定性耦合协调的机理包括耦合关系的形成和协调机制的实现。第一,生计资本与生计稳定性之间的耦合关系是农户在长期生产生活实践中形成的,表现为生计资本之间相互影响,共同作用于农户生计稳定性。耦合关系的形成受到多种因素的影响,包括农户家庭的、村庄层面的以及外部自然社会经济的因素等。第二,农户在生计资本与生计稳定性之间实现平衡和协调,包括对生计资本的配置、对生计策略的

选择以及对外部环境的适应等。这种平衡和协调机制的实现需要农户具备一定的决策和适应能力。需要深化对生计资本与生计稳定性耦合协调机理的研究,探索耦合协调的影响因素和作用路径。此外,不同地形条件下农户的生计资本积累情况不同,这直接影响到其生计策略的选择和匹配度。在坡度平缓地区,农户拥有较为丰富的生计资本,可以选择多样化的生计策略,提高生计稳定性;而在坡度较大的地区,农户的生计资本受限,可能难以进行多样化生计策略选择,这不利于生计稳定性水平提升,影响生计资本与生计稳定性的耦合协调发展。

基于遥感影像的村庄自然资源与农户生计稳定性的分析路线详见图1。

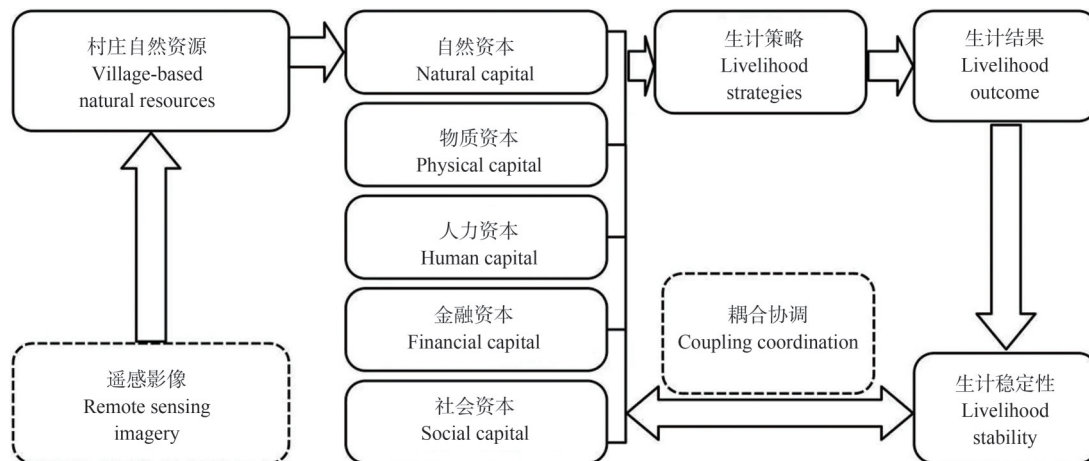


图1 基于遥感影像的村庄自然资源与农户生计稳定性分析路线

Fig.1 Analysis on remote sensing imagery-based villages natural resources and stability of rural households' livelihoods

基于上述理论分析,提出研究假设如下。

假设1:融合村庄自然资源的农户生计资本与生计稳定性之间存在耦合协调关系。

假设2:不同地形条件下农户生计资本与生计稳定性耦合协调度的影响因素存在显著差异。

2 研究方法与数据来源

2.1 指标体系

2.1.1 村庄自然资源指标

根据遥感影像数据和乌蒙山区自然环境特征,从地形条件、水资源、土地资源、植被资源和道路交通用地等5个方面对村庄自然资源进行测度。根据 GB/T26424—2010《森林资源规划设计调查技术规程》^[22],对一级指标“地形条件”下的二级指

标“耕地加权坡度等级”进行分类:等级1表示坡度为 5° 及以下的耕地;等级2表示坡度为 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的耕地;等级3表示坡度为 $16^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的耕地;等级4表示坡度为 $26^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的耕地;等级5表示坡度为 36° 及以上的耕地。乌蒙山区自然资源评估具体指标见表1。

2.1.2 生计资本指标

将利用遥感影像技术获取的村庄自然资源纳入可持续生计框架,分析融入村庄自然资源的农户生计资本特征。具体地,在农户自然资本测度中选择农户耕地面积和林地面积指标,加入基于遥感大数据获取的村庄自然资源总水平、耕地坡度水平、耕地完整度和水域面积4个变量,构建农户自然资本指标。农户生计资本指标选择及含义详见表2。

表1 村庄自然资源指标体系
Table 1 Index system of natural resources in villages

一级指标 First-level indicator	二级指标 Second-level indicator	指标衡量 Indicator measurement	方向 Direction
地形条件 Terrain	耕地加权坡度等级	(等级1面积×1+等级2面积×2+等级3面积×3+等级4面积×4+等级5面积×5)/15	—
	耕地坡度15°以上面积占比	(等级3面积+等级4面积+等级5面积)/总耕地面积	—
	耕地完整系数	耕地面积/斑块数	+
水资源 Water	水域面积占比	(河流水面面积+坑塘水面面积+水库水面面积+内陆滩涂面积+养殖坑塘面积)/总面积	+
土地资源 Land	耕地面积占比	(水田面积+水浇地面积+旱地面积)/总面积	+
	设施农用地面积占比	设施农用地面积/总面积	+
	农村宅基地面积占比	农村宅基地面积/总面积	+
植被资源 Vegetation	森林覆盖率	(灌木林地面积+乔木林地面积+竹林地面积+其他林地面积)/总面积	+
道路交通用地 Road	交通道路面积占比	道路用地面积/总面积	+

表2 农户生计资本指标体系
Table 2 Index system of rural household's livelihood capitals

一级指标 First-level indicator	二级指标 Second-level indicator	指标含义 Meaning of indicator	方向 Direction
自然资本 Natural capital	耕地面积	户总耕地面积	+
	林地面积	户总林地面积	+
	耕地坡度水平	根据村庄耕地加权坡度等级和户耕地面积计算	—
	耕地完整度	根据村庄耕地完整系数和户耕地面积计算	+
	水域面积	根据村庄人均水域面积计算的户水域面积	+
	村庄自然资源总水平	由表1村庄指标体系通过熵权法测算得出	+
人力资本 Human capital	劳动人数	家庭16~59岁男性与16~54岁女性人数	+
	劳动力平均受教育程度	文盲赋值为0、小学赋值为6、初中赋值为9、高中赋值为12、本科赋值为16、硕士及以上赋值为19	+
	劳动力平均健康状况	健康=4,良好=3,一般=2,疾病=1	+
社会资本 Social capital	现役军人人数	家庭现役军人人数	+
	党员人数	家庭党员人数	+
	加入农民专业合作社	是=1,否=0	+
	军烈属	是=1,否=0	+
	村中共党员人数	所在村中共党员人数	+
物质资本 Physical capital	村大学生村官人数	所在村大学生村官人数	+
	人均住房面积	家庭人均住房面积	+
	生产通电	是=1,否=0	+
	卫生厕所	是=1,否=0	+
	燃料类型	1=薪柴、煤炭;2=沼气、电;3=天然气、太阳能	+
	广播电视	是=1,否=0	+
	入户路类型	1=泥土、沙石、石板路;2=水泥路;3=沥青路	+
金融资本 Financial capital	生活通电	是=1,否=0	+
	储蓄	户储蓄金额	+

2.1.3 生计稳定性指标

借鉴徐爽等^[19]的方法,从多样性和依赖性两个层面将生计稳定性指标解析为 2 个部分:多样性指

数包括生计多样性和收入多样性;依赖性指数包括收入依赖性和自然资源依赖性。各个指数的具体定义详见表 3。

表 3 农户生计稳定性的指标体系

Table 3 Index system of rural household's livelihood stability

一级指标 First-level indicator	二级指标 Second-level indicator	方向 Direction	变量定义 Variable description
多样性指数 Diversification index	生计多样性	+	农业生计多样性选取种植业、林业、林果业、牧草业、畜牧业指标衡量。非农生计多样性选取务工、第二产业和第三产业经营、转移性收入指标衡量。
	收入多样性	+	选取经营性收入、工资性收入、财产性收入和转移性收入。
依赖性指数 Dependence index	收入依赖性	—	选取经营性收入、工资性收入、财产性收入和转移性收入四种收入,并分别测算其中某种收入在总收入中的占比。
	自然资源依赖性	—	农户依靠自然资源形成的农业收入进行发展的程度。

2.1.4 影响因素

生计资本与生计稳定性耦合协调发展受多种因素影响。借鉴王小兰等^[7]的研究并结合乌蒙山区实际情况,将生计资本与生计稳定性耦合协调度作为被解释变量,从户主、家庭和所在村 3 个层面选取一系列特征因素作为解释变量,运用 Tobit 模型解

释各因素对于两系统耦合协调发展的影响。其中:户主特征包括年龄和受教育程度;家庭特征包括家庭规模、健康风险、收入、人口负担系数、非农务工和交通;村级特征包括是否通客运班车、合作社数量、设施农用地占比和地形情况。影响因素的变量的具体定义详见表 4。

表 4 生计资本与生计稳定性耦合协调发展影响因素

Table 4 Variables influencing the coupling and coordination of livelihood capital and livelihood stability

变量类型 Variable type	变量名称 Name of variables	变量定义 Contents of variables	
被解释变量 Dependent variable	耦合协调度	生计资本与生计稳定性的耦合协调度	
解释变量 Explanatory variable	户主层面	户主年龄	户主的年龄,岁
		户主受教育程度	户主的受教育年限,年
	家庭层面	健康风险	疾病人数占家庭总人数的比值
		收入	2021 年家庭人均纯收入,元,作对数处理
		家庭规模	家庭人口总数,个
		人口负担系数	家庭中老龄人口和儿童人口占比
		非农务工	家庭中务工时长 6 个月以上人数
		交通	与村主干路距离,km
	村级层面	客运班车	是否通客运班车:是=1,否=0
		合作社	所在村农民专业合作社数量,个
		设施农用地	所在村设施农用地占比
		地形	所在村地形条件:1=平坡,2=缓坡,3=斜坡

2.2 研究方法

2.2.1 熵权法

借鉴汪昊等^[23]和郭秀琪等^[24]的研究,采用熵权法分别确定村庄自然资源指标、农户生计资本指标和生计稳定性指标权重。熵权法从数学视角测度每个指标所给出的信息量,并根据这些信息量测定每个指标的权重。这是一种客观的赋权方法,可以减少评估结果中的人为要素干扰,科学地测算出各指标的熵值和权重,使评价结果更加客观。具体测算步骤如下:

对正负向指标进行量纲1化处理,公式分别为:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (1)$$

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为第*i*个样本的第*j*项指标标准化后的值; X_{ij} 为第*i*个样本第*j*项指标的变量值; $\max(X_j)$ 为第*j*项指标中的最大值; $\min(X_j)$ 为第*j*项指标中的最小值。

计算各指标信息熵值:公式为:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

式中: n 为样本农户数; P_{ij} 为规范化矩阵,

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}}。$$

确定各指标权重:通过式(3)计算出各指标熵值($E_1, E_2, \dots, E_m$),再由熵值法计算各指标的权重,公式为:

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)} \quad (4)$$

式中: m 为指标个数。

根据计算出的权重,分别测算村庄自然资源、农户生计资本(LCI)和生计稳定性(LSI)3个指标体系总得分:

$$\text{Score}_i = \sum_{j=1}^m X'_{ij} \times W_j \quad (5)$$

2.2.2 生计稳定性的测算方法

1)生计多样性指数。生计多样性指数高低直接影响农户生计稳定性强弱。生计多样性越高,农户生计稳定性越强。测算公式为:

$$M_{\text{act}} = \frac{I_i}{I} \quad (6)$$

式中: M_{act} 为农户的生计多样性指数; I_i 为第*i*户农户

拥有的生计活动类型数量; I 为农户参与的全部生计活动类型数量。

2)收入多样性指数。借鉴万金红等^[20]的研究,选择香农·威纳(Shannon-Wiener)多样性测算方法进行测度。收入多样化指数越大,表明农户收入来源类别越多且各收入占比越均衡,农户抵御风险能力越强,其生计稳定性越高。计算公式为:

$$M_{\text{inc}} = -\sum_{n=1}^t p_n \ln p_n \quad (7)$$

式中: M_{inc} 为农户收入多样性指数; p_n 为第*n*种收入来源下农民家庭纯收入与家庭总纯收入之比; t 为收入来源的种类。

3)收入依赖性指数。当农户的依赖性指数上升,意味着其对于某一特定收入的依赖程度增强,农户的生计稳定性越低。农户收入依赖性指数计算公式为:

$$D_{\text{inc}} = \sum_{n=1}^t \frac{E_n(E_n - 1)}{E(E - 1)} \quad (8)$$

式中: D_{inc} 为收入依赖性指数; E_n 为农户在第*n*种收入来源下的家庭收入; E 为农户家庭总收入, t 为收入来源的数量。

4)自然资源依赖性指数。自然资源依赖性指数越大,表明农户对农业生产经营性收入的依赖性越大,自然风险对其生计的冲击越大,生计稳定性越差。计算公式为:

$$D_{\text{sou}} = \frac{N}{T} \quad (9)$$

式中: D_{sou} 为自然资源依赖性指数; N 为农户自然资源收入,即家庭农业生产经营纯收入; T 为农户家庭总收入。

由上述测算得到生计多样性、收入多样性、收入依赖性和自然资源依赖性指数,利用熵权法赋权并综合加权求和后,得到生计稳定性LSI。

2.2.3 耦合协调度模型

为分析乌蒙山区农户生计可持续状况,根据农户生计资本和生计稳定性的耦合协调度分析生计资本和生计稳定性2个系统之间相互作用、相互影响以及协调发展程度。构建耦合协调度模型如下:

$$C = \left[\frac{\text{LCI} \times \text{LSI}}{(\frac{\text{LCI} + \text{LSI}}{2})^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$D = \sqrt{C \times T} = \sqrt{C \times (0.5 \times \text{LCI} + 0.5 \times \text{LSI})} \quad (11)$$

式中: C 为耦合度; LCI 为生计资本; LSI 为生计稳定性; D 为耦合协调度; T 为两系统的综合评价得分。

借鉴冯雨雪等^[25]以及张家硕等^[26]的研究,结合乌蒙山区农户生计资本和生计稳定性的实际情况,将耦合协调度分 5 级,并进一步对耦合差异类型进行细分,具体耦合差异类型划分标准详见表 5。

表 5 生计资本和生计稳定性耦合协调与耦合差异类型划分标准

Table 5 Coupling and coordination of livelihood capital and livelihood stability, and classification of coupling coordination differences

耦合协调类型 Types of coupling and coordination	耦合协调区间 Range of coupling and coordination	划分依据 Basis of classification	耦合差异类型 Classification of coupling differences
衰退失调型 Declining and imbalance	0<D≤0.2	LCI-LSI ≤0.1	同步受阻型
		LCI-LSI>0.1	生计稳定性滞后型
		LSI-LCI>0.1	生计资本滞后型
轻度失调型 Mild dysregulated	0.2<D≤0.4	LCI-LSI ≤0.1	同步受阻型
		LCI-LSI>0.1	生计稳定性滞后型
		LSI-LCI>0.1	生计资本滞后型
磨合协调型 Run in coordination	0.4<D≤0.6	LCI-LSI ≤0.1	同步受阻型
		LCI-LSI>0.1	生计稳定性滞后型
		LSI-LCI>0.1	生计资本滞后型
中度协调 Moderate coordination	0.6<D≤0.8	LCI-LSI ≤0.1	共同发展型
		LCI-LSI>0.1	生计稳定性滞后型
		LSI-LCI>0.1	生计资本滞后型
优质协调型 High quality coordinated	0.8<D≤1	LCI-LSI ≤0.1	共同发展型
		LCI-LSI>0.1	生计稳定性滞后型
		LSI-LCI>0.1	生计资本滞后型

注:D为耦合协调度;LCI为生计资本;LSI为生计稳定性。
Note:D is the coupling coordination degree; LCI is the livelihood capital ; LSI is the livelihood stability .

2.2.4 Tobit 模型

为更好地识别影响乌蒙山区农户生计资本与生计稳定性耦合协调发展的相关因素,选用 Tobit 回归分析模型进行分析。生计资本与生计稳定性的耦合协调度取值为 0~1,属于受限因变量,选用 Tobit 回归分析模型可以有效解决受限因变量的回归问题。回归模型如下:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + u_i + \epsilon_i \tag{12}$$

式中:Y_i为生计资本与生计稳定性耦合协调度;X_i为系列影响因素(参见表 4);α为常数项;β为回归参数值;u_i为个体效应;ε_i为随机扰动项,独立且服从正态分布。

2.3 数据来源

自然资源数据来源于欧洲航天局哥白尼计划公开的哨兵 2 号卫星遥感影像和 Google Earth Engine 平台提供的数字高程模型(DEM)。对获取的遥感影像进行预处理以确保影像数据的准确性和可用性。对 GoogLeNet 网络结构进行调整,使用多特征卷积神经网络模型进行遥感影像地物分类,

并结合 ArcGIS 空间分析工具提取村庄自然资本特征数据,包括土地资源与地形条件(不同类型耕地面积、土地宜耕性指标如坡度和地块破碎度等)、水域面积、道路交通、森林覆盖率和设施农用地信息以及建筑物信息等。

农户调查数据来源于贵州财经大学绿色发展战略研究院于 2021—2022 年在乌蒙山区 2 个县(N 县和 Q 县)的农村社会经济调查。调查县地处乌蒙山区腹地,地形复杂和山高谷深一直是该地区的发展瓶颈。随着交通基础设施的逐步完善,该地区的发展发生了巨大变化。在这一背景下,在乌蒙山区运用遥感影像技术研究村庄自然资源和农户生计稳定性问题,选择该区域具有典型性。农村调查按照随机抽样原则选样,每个县 7 个乡镇,每个乡镇 3~8 个村。经过数据校核和清洗,共获得有效问卷 800 份。农户层面的数据包括家庭人口结构与劳动力状况、收入及其来源、支出及其结构、家庭资源禀赋、农业生产种植结构和养殖情况和生计策略与活动等方面的内容。研究团队同步获得了村庄经济

社会发展数据。

为了研究区域差异,根据 GB/T26424—2010《森林资源规划设计调查技术规程》^[22]关于坡度等级名称的规定,将样本村庄分为平坡村(以耕地坡度等级 1 为主的村庄)、缓坡村(以耕地坡度等级 2 为主的村庄)和斜坡村(以耕地坡度等级 3 为主的村庄),分析不同坡度条件村庄的农户生计及其稳定性的差异。需要指出的是,全部样本村中没有陡坡村(以耕地坡度等级 4 为主的村庄)及以上的村庄。

3 结果与分析

为分析和理解农户生计稳定性,对样本农户的收入水平进行分类统计描述,结果如下:第一,农户 2021 年人均纯收入均值为 12 240.73 元,标准差为 1 558.534 元,最小值和最大值分别为 8 400 元和 19 825 元。国家统计局公布 2021 年全国农村居民人均可支配收入为 18 931 元。与全国农户人均收入水平相比,样本农户人均收入水平仍有差距,而且收入水平的离散程度较高,显示农户之间经济状况相差较大。从不同地形(坡度)条件下农户人均纯收入来看,不同坡度农户的人均纯收入平均水平差异较小,整体来看,缓坡村农户的家庭人均收入水平最低,其次为平坡村农户,斜坡村农户的家庭人均纯收入水平最高。第二,在农户收入来源结构中,经营性收入占比为 50.72%,工资性收入占比为 45.68%,财产性收入和转移性收入占比分别为

1.51%和 2.09%。从不同坡度条件来看,农户的收入来源结构差异较大,平坡村农户的工资性收入占比高出经营性收入 15.41 个百分点;缓坡村农户的经营性收入占比高出工资性收入 12.55 个百分点;斜坡村农户的经营性收入和工资性收入的占比差异很小。

3.1 农户生计资本的测度结果与分析

表 6 示出农户生计资本的测度结果。全样本农户生计资本的平均值为 0.087 9,表明乌蒙山区农户生计资本的平均水平较低。乌蒙山区农户生计资本水平的结构不均衡,主要表现为物质资本和社会资本水平相对较高,自然资本和人力资本水平相对较低,而金融资本水平最低,物质资本占比达 49.26%,而金融资本占比仅为 2.62%。从物质资本看,国家在脱贫攻坚时期对乌蒙山区农村的教育、住房、医疗等进行了全方位的帮扶,使得乌蒙山区交通、水利、电力、通信等方面基础设施建设不断完善,农户的住房质量显著提升,生活条件不断完善,促进了农户物质资本的积累。自然资本水平主要依托于村庄自然资源条件和耕地情况,而乌蒙山区人均耕地较少,耕地坡度较大且破碎程度较为严重,主要以 6°~15°缓坡耕地和 16°以上陡坡耕地为主,相对平坦的平整耕地较少,因此自然资本禀赋较差。乌蒙山区农户增加收入和积累金融资本的能力较低,且对金融产品和服务的了解不足,难以有效利用金融工具和渠道来增加自身的金融资本。

表 6 农户生计资本的测度结果
Table 6 Measurement results of livelihood capital

农户类型 Household type	户数 Number of household	自然资本 Natural capital	人力资本 Human capital	物质资本 Physical capital	社会资本 Social capital	金融资本 Financial capital	生计资本 Livelihood capital
全样本 All sample	800	0.007 3	0.007 4	0.043 3	0.027 6	0.002 3	0.087 9
平坡村 Plain slope sample	58	0.005 4	0.007 4	0.036 7	0.028 6	0.002 5	0.080 6
缓坡村 Gentle slope sample	379	0.007 3	0.007 6	0.049 8	0.019 4	0.002 2	0.086 3
斜坡村 Inclining slope sample	363	0.007 6	0.007 3	0.037 6	0.035 9	0.002 4	0.090 8

从不同地形条件下生计资本整体水平看,农户的生计资本水平差异较小。平坡村农户的生计资本水平相对较低,斜坡村农户的生计资本水平相对较高;3类农户的人力资本和金融资本水平差异很

小;平坡村农户的自然资本与其他 2 类农户相比反而较低。乌蒙山区耕地面积十分有限,平坡地区往往也是人口密集地区,人均和户均耕地面积更小;缓坡地区和斜坡地区虽然耕地坡度较大,但是人均

和户均土地面积特别是林地面积占比会更大,因此,自然资源禀赋会更好。

从不同地形条件下生计资本的结构看,平坡村农户物质资本和社会资本水平差异不大且占比均较高;人力资本、自然资本和金融资本水平差异较小且占比均较低。缓坡村农户物质资本水平较高且占比最大,其次为社会资本;自然资本和人力资本水平相差不大且占比均较低;金融资本占比最低。斜坡村农户物质资本和社会资本水平差异较小且占比均较高;自然资本和人力资本水平相差不大且占比均较小;金融资本占比也是最低。

3.2 农户生计稳定性的测度结果与分析

表 7 示出农户生计稳定性的测度结果。就全样

本看,乌蒙山区农户生计稳定性的均值为 0.528 9,生计稳定性的平均水平处于中等水平;生计多样性指数和收入多样性指数分别为 0.060 9 和 0.153 1,可见农户的收入多样性较为丰富;收入依赖性指数和自然资源依赖性指数分别为 0.236 7 和 0.078 1,这表明农户对单一收入的依赖性较强。

从不同地形条件下农户生计稳定性看,平坡村农户的生计稳定性指数平均值为 0.590 4,缓坡村农户的生计稳定性指数平均值为 0.516 3,斜坡村农户的生计稳定性指数平均值为 0.532 3。不同地形条件下农户的生计稳定性差异较小,平坡村农户的生计稳定性最高,其次为斜坡村农户,缓坡村农户的生计稳定性最低。

表 7 农户生计稳定性的测度结果
Table 7 Measurement results of livelihood stability

农户类型 Household Type	生计多样性 指数 Livelihood diversification index	收入多样性 指数 Income diversification index	收入依赖性 指数 Income dependence index	自然资源依赖性 指数 Natural resource dependence index	生计稳定性 Livelihood stability
全样本 All sample	0.060 9	0.153 1	0.236 7	0.078 1	0.528 9
平坡村 Plain slope sample	0.063 6	0.174 4	0.266 5	0.085 9	0.590 4
缓坡村 Gentle slope sample	0.059 1	0.148 3	0.235 3	0.073 5	0.516 3
斜坡村 Inclining slope sample	0.062 4	0.154 8	0.233 5	0.081 7	0.532 3

从生计多样性和收入多样性看,平坡村农户的生计多样性和收入多样性指数均最高,其次为斜坡村农户,缓坡村农户为最低,这与生计稳定性结果相似。从收入依赖性和自然资源依赖性看,仍是平坡村农户的收入依赖性和自然资源依赖性指数高,缓坡村农户的收入依赖性和自然资源依赖性指数最低。这表明平坡村农户的生计活动丰富多样、收入多样性高,生计稳定性最好,但也伴随着较高收入依赖性和较高自然资源依赖性。

3.3 农户生计资本与生计稳定性的耦合协调分析

表 8 示出乌蒙山区农户生计资本与生计稳定性的耦合协调情况。就全样本的测度结果看,农户生计资本与生计稳定性耦合度的均值为 0.673 6,耦合协调度的均值为 0.439 8。可见,农户生计资本与生

计稳定性耦合度较高,生计资本与生计稳定性的协同发展对乌蒙山区农户生计可持续作用较为显著;但生计资本和生计稳定性的平均耦合协调度较低,耦合协调类型为磨合协调型,耦合差异类型为生计资本滞后型。本研究假设 1 得以验证。这表明当乌蒙山区农户的生计资本禀赋和存量均相等时,单一的生计方式转向多样化生计策略对其生计可持续性有一定程度的正向影响,并且生计资本的积存速度明显滞后于生计稳定性的提升速度,因此,生计资本内部五种资本没有实现均衡积累,可能阻碍农户生计的可持续发展。

从不同地形条件下农户生计资本与生计稳定性的耦合协调测度结果看,平坡村农户的平均耦合度较低,低于 0.60,其余 2 类农户的平均耦合度均超过

0.67。不同地形条件下农户的耦合协调度差异很小,总体大小为斜坡村农户>平坡村农户>缓坡村农户,3类农户的耦合协调类型均为磨合协调且生计资本滞后型。因此,对于不同地形条件农户来说,生计资本禀赋不足和积累速度滞后仍是限制其生计资本与生计稳定性协调发展和生计可持续发展的主要因素。

表8 农户生计资本与生计稳定性的耦合协调情况
Table 8 Coupling coordination between livelihood capital and livelihood stability

农户类型 Household type	生计资本 Livelihood capital	生计稳定性 Livelihood stability	耦合度 Degree of coupling	耦合协调度 Coupling coordination degree	耦合协调类型 Type of coupling coordination	耦合差异类型 Classification of coupling differences
全样本 All sample	0.087 9	0.528 9	0.673 6	0.439 8	磨合协调型	生计资本滞后型
平坡村 Plain slope sample	0.080 6	0.590 4	0.597 4	0.440 8	磨合协调型	生计资本滞后型
缓坡村 Gentle slope sample	0.086 3	0.516 3	0.685 1	0.437 2	磨合协调型	生计资本滞后型
斜坡村 Inclining slope sample	0.090 8	0.532 3	0.673 9	0.442 3	磨合协调型	生计资本滞后型

3.4 农户生计资本与生计稳定性耦合协调的影响因素

表9示出各因素对农户生计资本与生计稳定性耦合协调度影响的Tobit回归结果。从全样本回归结果看,户主受教育程度在10%的统计水平上对耦合协调度产生显著的负向影响。这表明户主的受教育程度高不利于农户生计资本与生计稳定性的耦合协调发展。拥有更高教育的户主更可能选择高风险或回报周期更长的生计方式,增加生计策略的不稳定性和生计资本的波动性,从而降低了生计稳定性。

收入在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向影响。农户人均收入水平越高,其生计资本与生计稳定性的耦合协调发展状况越好。收入水平提升能够加快农户生计资本累积速度,帮助农户增加生计活动的类型,实现生计可持续发展。家庭规模在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向作用。这表明农户的家庭规模越大,其生计耦合协调发展水平越高。家庭人口规模大有利于人力资本的积累,帮助农户实现生计资本与生计稳定性的良性互动,使农户生计实现更加稳定和可持续的发展。非农务工在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向作用,这说明农户中稳定就业的人数越多,越有利于生计的可持续性发展。家庭中的劳动力实现稳定务工,其收入来源稳定,有利

于家庭金融资本和物质资本的积累,增加了收入稳定性,由此促进了生计资本与生计稳定性的协调发展,推动农户生计实现可持续发展。

合作社在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向作用。当所在村农民专业合作社数量越多时,农户越能实现生计资本与生计稳定性的耦合协调发展。农民专业合作社可以通过提供技术培训和生产要素支持,增强农户的生产能力和市场竞争力,优化农户的销售渠道,由此帮助农户增加收入,累积更多生计资本。长期来看,生计资本的累积为农户提供了更多的生计选择和保障,生计稳定性的提升又进一步促进了生计资本的累积,由此帮助农户实现生计资本与生计稳定性之间的良性互动。设施农用地在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向作用。农户所在村设施农用地占比越高,说明该村农业基础设施条件较好,有利于农户的农业生产经营,增加农业收入的稳定性,由此推动生计资本与生计稳定性耦合协调发展。

表9第2~4列展示了不同地形(平坡、缓坡和斜坡)条件下农户耦合协调度的回归结果。不同地形条件下农户生计资本与生计稳定性耦合协调度的影响因素对农户产生的影响存在显著差异,仅收入和设施农用地这两个因素对各类型农户均有显著的正向影响。本研究假设2得到验证。

在平坡村农户的回归结果中,健康风险对耦合协调度产生的负向影响通过了10%的显著性检验,由此可见,健康风险不利于平坡村农户实现生计资本与生计稳定性的协调发展。客运班车、合作社和设施农用地对耦合协调度产生的正向影响通过了1%的统计检验,其余变量的影响未通过显著性检验。在缓坡村农户的回归结果中,户主年龄和户主受教育程度均在1%的统计水平上对耦合协调度产生显著的负向影响,人口负担系数、非农务工、设施

农用地均会对耦合协调度产生显著的正向影响,客运班车在10%的统计水平上对耦合协调度产生显著的负向作用,其余变量的影响未通过显著性检验。在斜坡村农户的回归结果中,家庭规模、合作社和设施农用地对耦合协调度产生的正向作用均通过了1%显著性水平的检验,非农务工在10%的统计水平上对耦合协调度产生显著的正向作用,交通和客运班车均会对耦合协调度产生显著的负向作用,其余变量的影响未通过显著性检验。

表9 各影响因素对耦合协调度的回归结果

Table 9 Regression results of various factors on coupling coordination degree

变量名称 Name of variables	全样本 All sample	平坡村 Plain slope village	缓坡村 Gentle slope village	斜坡村 Inclining slope village
户主年龄 Household head age	-0.000 5 (0.000 3)	0.001 2 (0.000 8)	-0.001 4*** (0.000 4)	-0.000 0 (0.000 5)
户主受教育程度 Household head education	-0.003 2* (0.001 6)	-0.001 5 (0.005 2)	-0.005 6*** (0.002 1)	0.000 7 (0.002 4)
健康风险 Health risk	-0.001 8 (0.041 6)	-0.244 0* (0.133 4)	-0.022 9 (0.058 9)	-0.000 6 (0.058 8)
收入 Income	0.215 6*** (0.027 3)	0.186 0** (0.084 6)	0.089 3** (0.039 8)	0.311 7*** (0.037 4)
家庭规模 Houseold size	0.008 7*** (0.002 2)	-0.002 1 (0.006 1)	0.001 3 (0.003 0)	0.017 4*** (0.003 2)
人口负担系数 Dependent ratio	0.012 7 (0.011 8)	-0.035 9 (0.033 7)	0.037 1** (0.015 8)	0.007 8 (0.017 4)
非农务工 Non-farm work	0.013 4*** (0.003 6)	0.015 2 (0.009 9)	0.022 0*** (0.004 5)	0.009 4* (0.005 7)
交通 Transportation	-0.001 2 (0.000 8)	0.000 6 (0.000 6)	-0.003 8 (0.003 5)	-0.008 2** (0.004 1)
客运班车 Regular bus	-0.011 5 (0.007 3)	0.182 8*** (0.025 7)	-0.020 7* (0.010 7)	-0.019 9* (0.011 0)
合作社 Cooperative	0.008 0*** (0.003 1)	0.491 9*** (0.106 5)	-0.004 0 (0.005 5)	0.014 6*** (0.003 7)
设施农用地 Facility agricultural land	11.884 6*** (2.281 4)	128.100 4*** (29.723 1)	11.150 3** (4.484 0)	14.262 6*** (2.923 8)
地形 Terrain	-0.001 1 (0.005 3)	— —	— —	— —
常数项 Constant	-1.592 3*** (0.259 9)	-1.941 7** (0.786 9)	-0.291 3 (0.379 5)	-2.599 6*** (0.355 4)
户数 Number of household	800	58	379	363

注:括号内的数值为标准误。***、**、*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著。

Note: The standard error is shown in parentheses. ***, **and * indicate significant at the 1%, 5% and 10% levels, respectively.

4 结论与建议

4.1 研究结论

本研究基于哨兵2号(Sentinel-2)卫星高分辨率遥感影像提取的村庄自然资源数据和研究团队在2021—2022年对乌蒙山区800个农户的调查数据,测度农户的生计资本、生计稳定性及二者的耦合协调度,并实证分析生计资本与生计稳定性耦合协调的影响因素。主要结论如下:1)农户生计资本平均水平较低,且生计资本结构比较不均衡;生计稳定性平均处于中等水平,收入多样性较为丰富,同时对单一收入的依赖性较强;不同地形条件下农户生计资本水平和生计稳定性差异比较小。2)农户生计资本与生计稳定性的平均耦合协调度比较低,耦合协调发展类型为磨合协调且生计资本滞后型;不同地形条件下农户的耦合协调度总体大小为:斜坡村农户>平坡村农户>缓坡村农户。3)农户生计资本与生计稳定性的耦合协调度受多重因素的影响,收入、家庭规模、非农务工、村办合作社和村设施农用地能够推动二者耦合协调发展,户主受教育程度则抑制两者的耦合协调发展;不同地形条件下农户生计资本与生计稳定性耦合协调度的影响因素存在显著差异。

4.2 政策启示

4.2.1 加强农户生计资本积累,优化农户生计资本结构

一是要优化和完善提升村庄自然资源 and 基础设施建设的政策,提升村庄自然资源丰度;在保护生态环境的基础上,发展林下经济、生态农业等绿色产业,实现资源共享、优势互补、循环相生、协调发展,以此强化农户自然资本积累。二是要开展职业技能培训,为农户提供培训,提高其劳动技能素质;鼓励大学生、农业技术人员等回到乡村,为农户提供技术支持和咨询服务,提升农业和农村地区人力资本水平。三是加大小额信贷支持力度,创新农户小额信贷方式,破解农户发展生产中面临的资金难题;拓宽融资渠道,通过减税、降费及补贴等多种优惠政策和措施,鼓励更多企事业单位、社会团体参与农村农业投资,提升农村地区金融发展水平,帮助农户加快金融资本积累。

4.2.2 强化农户生计策略多样化能力,提升生计稳定性

第一,鼓励和帮助农户采用与生计资本结构相匹配的生计策略。在村庄自然资源利用方面,帮助农户依据不同地形(坡度)条件制定适应性的生计策略。在斜坡村地区,加大基础设施建设投入,加强水土保持和生态修复;推动发展林果业和畜牧业。在平坡和缓坡村地区,加强农业推广和非农务工引导;推动规模化种植和农产品加工;重点发展特色农业和乡村旅游等产业。第二,为农户提供更多外出务工的机会,增加非农收入来源;提供农业和农村创业引导,支持农户在特色农业、非农务工、乡村旅游、农产品加工和村办合作社等方面开展多元化生产经营,增加收入来源多样性。第三,建立健全农业保险制度。政府为农户提供自然灾害、病虫害等风险的保障,减轻农户因不可抗力因素导致的生计风险。

4.2.3 加强村庄自然资源利用和管理,重视遥感影像等数字技术的应用

第一,学习运用“千万工程”经验,按需分类编制村庄规划,引领乡村建设行动和支撑乡村振兴战略实施。充分利用遥感影像技术高精度和广覆盖特性,对村庄自然资源进行全面和动态的监测与评估,促进自然资源可持续利用,为科学的村庄规划提供坚实的数据支撑。加强农业、林业、水利、环保等部门之间的沟通与协作,通过构建数字化管理平台,实现村庄土地资源、水资源、生态环境等自然资源信息的集成与共享,提高资源利用效率和管理水平。第二,完善农村新型基础设施,推动互联网、大数据、人工智能等技术的应用,提升数据处理的自动化和智能化水平,推动数字乡村建设和农业数字化转型。此外,还应注重不同地形地貌导致的村庄交通差异对农户生计及其稳定性的影响,完善村村通公路的国家政策,从而改善农户生计,推动和美乡村建设,助力乡村全面振兴。

参考文献 References

- [1] 周升强,赵凯.北方农牧交错区农牧民生计资本与生计稳定性的耦合协调分析:以宁夏盐池县与内蒙古鄂托克旗为例[J].干旱区资源与环境,2022,36(2):9-15
Zhou S Q, Zhao K. Coupling coordination of capital and livelihood stability of farmers and herdsmen in the agro-pastoral ecotone in Northern China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,

- 2022, 36(2): 9-15 (in Chinese)
- [2] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 1-11
Guo J P. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2015, 26(1): 1-11 (in Chinese)
- [3] 樊胜根. 增强食物供应链韧性以应对多种不确定性: 评周曙东专著《农产品安全、气候变化与农业生产转型研究》[J]. 世界农业, 2021(9): 115-116
Fan S G. Strengthening the resilience of food supply chain to cope with various uncertainties: Comment on Zhou Shudong's monograph "Study on Agricultural Product Safety, Climate Change and Agricultural Production Transformation" [J]. *World Agriculture*, 2021(9): 115-116 (in Chinese)
- [4] Mohapatra S, Mohapatra S, Han H, Ariza-Montes A, Del Carmen López-Martín M. Climate change and vulnerability of agribusiness: Assessment of climate change impact on agricultural productivity [J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 955622
- [5] Lehmann N, Briner S, Finger R. The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions [J]. *Land Use Policy*, 2013, 35: 119-130
- [6] 孙晓一, 徐勇, 汤青. 黄土高原半城镇化农民非农生计稳定性及收入差异分析[J]. 人文地理, 2016, 31(3): 81-87
Sun X Y, Xu Y, Tang Q. Analysis of non-agricultural livelihood stability and income difference of semi-urbanized farmers on the Loess Plateau [J]. *Human Geography*, 2016, 31(3): 81-87 (in Chinese)
- [7] 王小兰, 余珂, 侯兰功. 岷江上游农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析[J/OL]. 西安理工大学学报: 1-13 [2024-06-25]. <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20240110.1055.003>
Wang X L, Yu K, Hou L G. Coupling and coordination analysis of livelihood capital and livelihood stability of farmers in the upper reaches of the Min river, China [J/OL]. *Journal of Xi'an University of Technology*: 1-13 [2024-06-25]. <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20240110.1055.003> (in Chinese)
- [8] 李争, 易洁, 李万钰. 基于自然资源利用的农户可持续生计研究综述[J]. 国土资源情报, 2021, (5): 31-38
Li Z, Yi J, Li W Y. A review of studies on sustainable livelihood of farmers based on the utilization of natural resources [J]. *Land and Resources Information*, 2021, (5): 31-38 (in Chinese)
- [9] 叶思菁, 宋长青, 高培超, 程锋, 任书义, 杜彬. 地理空间视角下耕地资源新认知体系构建[J]. 农业工程学报, 2023, 39(9): 225-240
Ye S J, Song C Q, Gao P C, Cheng F, Ren S Y, Du B. Construction of the new cognitive system for arable land resources from geospatial perspective [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(9): 225-240 (in Chinese)
- [10] 谢花林, 李致远. 自然资源领域生态产品价值实现的多主体协同机制与路径[J]. 自然资源学报, 2023, 38(12): 2933-2949
Xie H L, Li Z Y. Multi-agent collaborative mechanism and path for realizing the value of ecological products in the field of natural resources [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38 (12): 2933-2949 (in Chinese)
- [11] 段伟, 任艳梅, 冯冀, 温亚利. 基于生计资本的农户自然资源依赖研究: 以湖北省保护区为例[J]. 农业经济问题, 2015, 36(8): 74-82
Duan W, Ren Y M, Feng J, Wen Y L. Study on natural resource dependence based on livelihood assets: examples from nature reserves in Hubei Province [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2015, 36(8): 74-82 (in Chinese)
- [12] 李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591-601
Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote sensing [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(6): 591-601 (in Chinese)
- [13] 裴志远, 郭琳, 汪庆发. 国家级作物长势遥感监测业务系统设计与实现 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 152-156
Pei Z Y, Guo L, Wang Q F. Design and implementation of operational system for national crop growth condition monitoring with remote sensing [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(8): 152-156 (in Chinese)
- [14] 刘爱霞, 尤淑撑, 韩旭, 牟兴林, 张琳原. 陆地遥感卫星在自然资源调查监测中的应用[J]. 卫星应用, 2022(9): 20-26
Liu A X, You S C, Han X, Mou X L, Zhang L Y. Application of land remote sensing satellite in natural resources investigation and monitoring [J]. *Satellite Application*, 2022(9): 20-26 (in Chinese)
- [15] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897
Xu H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes [J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(5): 889-897 (in Chinese)
- [16] 顾铮鸣, 金晓斌, 杨晓艳, 赵庆利, 蒋宇超, 韩博, 单薇, 刘晶, 周寅康. 基于无人机遥感影像监测土地整治项目道路沟渠利用情况[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 85-93
Gu Z M, Jin X B, Yang X Y, Zhao Q L, Jiang Y C, Han B, Shan W, Liu J, Zhou Y K. Monitoring roads and canals utilization condition for land consolidation project based on UAV remote sensing image [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(23): 85-93 (in Chinese)
- [17] 黄显培, 孟庆祥. 基于多特征卷积神经网络的哨兵二号影像地物分类[J]. 应用科学学报, 2023, 41(5): 766-776
Huang X P, Meng Q X. Land cover classification of sentinel-2 image based on multi-feature convolution neural network [J]. *Journal of Applied Sciences*, 2023, 41(5): 766-776 (in Chinese)
- [18] Scoones I. Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis, *IDS Working Paper* 72, 1998
- [19] 徐爽, 胡业翠. 农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析: 以广西金桥村移民安置区为例[J]. 经济地理, 2018, 38(3): 142-148
Xu S, Hu Y C. Coupling coordination analysis of capital and livelihood stability of farmers: A case study of the resettlement area of Jinqiao village in Guangxi [J]. *Economic Geography*, 2018, 38(3): 142-148 (in Chinese)
- [20] 万金红, 王静爱, 刘珍, 贾慧聪, 高路, 高立龙, 张峰. 从收入多样性的视角看农户的旱灾恢复力: 以内蒙古兴和县为例[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 122-126
Wan J H, Wang J A, Liu Z, Jia H C, Gao L, Gao L L, Zhang F. Drought resilience in view of income diversity of peasant household: a case study on Xinghe County, Inner Mongolia [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, 17(1): 122-126 (in Chinese)
- [21] 王鹏, 刘雪, 孙炜, 侯金金. 农户生计资本与生计稳定性耦合协调研究: 以枣庄市山亭区为例[J]. 地理科学研究, 2022, 11(06): 543-551
Wang P, Liu X, Sun W, Hou J J. Study on coupling coordination of farmers' livelihood capital and livelihood stability: a case study of Shanting district in Zaozhuang City, *Geographical Science Research*, 2022, 11(06): 543-551 (in Chinese)
- [22] GB/T26424—2010 森林资源规划设计调查技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011

- GB/T26424—2010 Technical regulations for forest resources planning, design and investigation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011 (in Chinese)
- [23] 汪昊, 张俊彪, 王志娜. 中国农业现代化水平的测算与俱乐部收敛分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(8): 158-170
Wang H, Zhang J B, Wang Z N. Measurement of the level of agricultural modernization in China and club convergence analysis [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(8): 158-170 (in Chinese)
- [24] 郭秀琪, 李如霞, 刘妍. 河北省农业现代化发展水平、区域差异及障碍因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(3): 207-217
Guo X Q, Li R X, Liu Y. Analysis on the development level, regional difference and obstacle factors of agricultural modernization in Hebei Province [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(3): 207-217 (in Chinese)
- [25] 冯雨雪, 李广东. 青藏高原城镇化与生态环境交互影响关系分析[J]. 地理学报, 2020, 75(7): 1386-1405
Feng Y X, Li G D. Interaction between urbanization and eco-environment in Tibetan Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1386-1405 (in Chinese)
- [26] 张家硕, 周忠发, 陈全, 朱昌丽, 马国璇. 典型喀斯特山区农户生计多样性与多维相对贫困的耦合关系[J]. 山地学报, 2022, 40(3): 450-461
Zhang J S, Zhou Z F, Chen Q, Zhu C L, Ma G X. Relationship between livelihood diversity and multidimensional relative poverty of farming households in typical Chinese Karst Mountains [J]. *Mountain Research*, 2022, 40(3): 450-461 (in Chinese)

责任编辑: 袁文业



第一作者简介: 丁晓颖,工学博士,副教授。主要研究方向为遥感大数据处理与计算机视觉。先后主持中国博士后科学基金面上项目和特别资助项目各1项、湖北省自然科学基金项目1项、其他科研项目3项。在IEEE系列期刊(*IEEE Transactions on Multimedia*、*IEEE Transactions on Image Processing*)等专业期刊发表研究论文多篇。



通讯作者简介: 刘洪,中南财经政法大学农业经济专业在读博士,贵州绿色发展战略高端智库特聘研究员。主要从事农业经济、农村区域发展等方面的研究。主持国家社科基金项目1项、其他省部级或地方咨询项目10余项,参与撰写专著或资政报告10余篇。在《光明日报》《中国社会科学报》《贵州民族研究》等刊物发表论文多篇。荣获贵州省哲学社会科学优秀成果一等奖1项、三等奖2项,贵州省委改革重大课题成果特等奖1项。