

黄土高原传统农区乡村人居环境系统 恢复力及关键因素研究 ——以陕北佳县为例

杨晴青¹, 孙馨蕊², 张惠卿², 高岩辉³, 曹小曙¹

(1. 陕西师范大学西北国土资源研究中心, 西安 710119; 2. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119;

3. 西安外国语大学旅游学院·人文地理研究所, 西安 710128)

摘要: 传统农区村庄表现出更易受到环境变化的不利影响以及更难恢复的特征, 增强其人居环境系统恢复力是摆脱不利影响、实现乡村转型与振兴的有力途径。基于“缓冲—适应—转型与创新”维度提出了乡村人居环境系统恢复力构成框架。以陕北黄土高原佳县62个样本村为研究对象, 运用田野调查、GIS空间分析、障碍度与贡献度模型等方法, 开展了恢复力评估、关键因素识别的实证研究。研究发现: (1) 研究区乡村人居环境系统恢复力空间差异较小, 恢复力值低于0.5的村庄占比达61.29%。自然生态系统恢复力普遍高于社会经济系统和支撑系统, 支撑系统的空间差异最大, 自然生态系统最小。(2) 乡村人居环境系统恢复力的关键贡献维度包括自然生态系统与支撑系统的适应能力以及社会经济系统的缓冲能力。具有变革意义的转型与创新能力极低, 空间差异极大, 是85%以上村庄社会经济系统、支撑系统恢复力形成的关键障碍维度。(3) 乡村人居环境系统恢复力形成的关键要素中, 贡献者为生态服务体验、社区感、邻里友好与社区管理服务, 障碍者为农业文化景观、家庭农场、农业专业合作社、文化传承支持与物流寄递服务。

关键词: 乡村人居环境系统; 恢复力; 空间分异; 障碍因子; 贡献因子; 黄土高原

全球气候变化、市场竞争与供需变化、城市化与工业化过程等对乡村发展产生了深刻影响, 由此引发的乡村衰退已成为全球性趋势^[1]。各类极端风险事件与未来不确定性变化也将持续挑战乡村可持续发展能力。恢复力(也称韧性、弹性)强调系统面对环境变化或不确定性扰动的缓冲、适应、创新与转型, 在全球可持续性、农业和农村发展等领域研究和政策议程中占据了中心地位^[2]。1973年Holling^[3]创造性地将恢复力引入到生态系统稳定性研究中。之后, 恢复力研究向社会系统、社区等层面扩展, 并成为实施可持续发展的重要途径之一, 其概念内涵也随之不断丰富^[4]。在社会—生态耦合系统研究领域, 关于恢复力的概念界定尚未达到共识, 理论框架研究处于初步探索阶段。“乡村恢复力”因其对乡村衰败的回应而获得关注, 强调居民和地方通过改变他们的行为和适应新环境

收稿日期: 2023-09-18; 修订日期: 2024-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001202, 42171208); 陕西省社会科学基金项目(2022R019); 陕西省创新能力支撑计划(2023-CX-RKX-167)

作者简介: 杨晴青(1992-), 女, 湖南桃江人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事人居环境与区域可持续发展研究。E-mail: qingqingyang@snnu.edu.cn

通讯作者: 曹小曙(1970-), 男, 甘肃灵台人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事人地系统与国土空间治理研究。E-mail: caoxsh@snnu.edu.cn

来改善他们的福祉^[5]。国内外关于乡村恢复力的研究集中于气候变化或不确定性变化下生计、社区恢复力等主题,案例研究成果集中于两方面:一是基于指标体系和行动者感知两种方法对恢复力水平进行定性或定量研究,探讨时空分异特征^[6-8];二是对乡村空间、社区、家庭生计等不同层级恢复力的影响因素进行讨论^[9-12]。现有研究重点关注了气候、市场变化等单一因素对农业生产、地方环境的扰动,而对于面向多重扰动或未来不确定性变化的乡村地域系统恢复力的探索不够。与此同时,中国乡村发展的特征与新形势要求乡村恢复力研究应由应对急性扰动拓展至关注复杂、慢性的社会变革^[13]。此外,乡村恢复力研究、实践项目虽迅速扩展,但在发展中国家的实证应用仍非常有限^[14]。适应于中国实践的本土化范式较为缺乏,指向恢复力形成与建设的理论框架与典型区域案例实证研究亟待加强,恢复力实践工作也亟待开展。

人居环境科学是吴良镛先生^[15]在道氏学说基础上创立的以人类聚居为研究对象着重探讨人与环境相互关系的科学。其中,规划学、建筑学等学科较多地关注了人居环境硬件及其具体形态,如建筑体本身、住区规划等;国际组织及各国政府侧重于人居环境工程实践工作,如实施住房工程、卫生综合整治等;系统综合视角的人居环境研究相对较弱,又由于长期以来人居环境研究的“城市主义”倾向以及长时序、系统性乡村资料的不足,学界对乡村人居环境系统(Rural Human Settlements System, RHSS)的研究滞缓于区域/城市人居系统。研究视角聚焦宏观尺度自然适宜性、满意度、综合质量研究,研究内容主要包括基于“指标—评估”模式开展评估、排序、时空分异刻画^[16,17],识别相关因素与影响因素^[18],探寻动态演变机制^[19]。近期研究视角开始转向利用脆弱性、恢复力理论研究环境变化对乡村社会的扰动以及如何适应等前沿议题,并形成了少量的案例评估、理论初探成果^[20-25]。但距离彻底解答“因何脆弱”“如何适应”等科学问题任重道远。此外,已有研究多从人居五大子系统出发构建指标体系,因缺乏对系统内涵及构成的逐层解构,其指标体系无法充分体现RHSS脆弱性、韧性、可持续发展能力、综合质量等多评估目标间的根本性差异。尤为重要的是,脆弱性与恢复力为不同但互补的概念框架^[21],将两者理解为简单的对立面关系,即仅以同一指标或指标体系的不同方向作为区分,或是将两者理解为包含与被包含的关系等无法体现各自对环境变化的反应。因此,在单独进行RHSS脆弱性或恢复力评估时,解析概念构成、明确指标属性尤为重要^[6,20]。基于此,对脆弱性、恢复力结构以及关键要素的理论探讨,不同扰动下脆弱性、恢复力的响应与演化过程的实证等均待深入研究。

传统农区、农牧交错带、生态脆弱区等是乡村恢复力研究、实践的关键区域,其乡村可持续发展事关乡村振兴、高质量发展、共同富裕等国家战略的顺利实施。面向乡村可持续发展的恢复力构成特征、障碍诊断、机理等研究既是亟待获得学理回答的科学问题,又对于指导乡村建设与规划具有鲜明的实践意义。黄土高原是人地系统变化剧烈、关系最为敏感的区域之一,具有生态脆弱、乡村弱势的典型特征,在乡村收缩与多重扰动背景下亟待寻求重构与创新发 展之路。综上,本文将在多重扰动与不确定性变化下,基于野外实地调研与定量评估空间分析技术,以陕北黄土高原佳县为案例地,探讨传统农区的RHSS恢复力构成框架及分布特征。具体来说,本文将回答三个问题:(1)传统农区RHSS恢复力的构成及评估框架;(2)村域尺度下典型案例区RHSS恢复力及其构成的空间分异特征;(3)RHSS恢复力形成中的关键障碍因素与贡献因素及分布。

1 研究方法与数据来源

1.1 RHSS恢复力的理论认知

1.1.1 黄土高原传统农区 RHSS 的多重扰动

RHSS 指由聚居中所涉及到的与生活、居住和基本生产活动相关的生存环境共同构成的复杂巨系统,是人—环境耦合系统的典型表现。近40年来,在自然、人文多重扰动与政策调控、农户适应之下,黄土高原RHSS结构与关系发生剧烈变化。一方面,在三北防护林工程、退耕还林工程、天然林资源保护工程等国家级生态修复工程持续推进下,生态系统服务能力提升,人居设施系统建设、脱贫攻坚成效显著^[26]。宏观区域的生态恢复与社会经济发展实现双赢:植被覆盖持续增加,土壤保持和固碳服务改善,粮食产量提高^[27];地方尺度上,标准化村卫生室实现行政村全覆盖,收入增加,居住、社会、支撑子系统脆弱性值显著下降^[25]。另一方面,在多重扰动下,传统农区发展陷入“发展机会不足—要素流失—乡村衰败”的恶性循环,引致人居社会文化、公共服务供给、产业经济等多系统发展滞缓,脆弱性加重^[21]。

人—环境耦合系统始终处于内外部自然环境与人文条件的胁迫之下^[28],黄土高原乡村人居系统既频繁遭受突发剧烈型扰动冲击,如山洪、崩塌等自然灾害,又长期处于人口流失、老龄化、气候变化等缓慢型扰动的威胁下^[29]。以陕北黄土高原为代表的偏远弱势农区乡村因自然本底脆弱、适应能力缺乏,更易受到环境变化的不利影响,具有更难恢复的特征。在当前及未来一定时期内,该地区乡村人居系统面临的挑战及其不利影响可归纳为:(1)在全球气候变化背景下,陕北黄土高原地区降水、气温均呈现增加的趋势,可能导致未来更加频繁的暴雨和极端干旱,给地区农业生产、居民生活以及生态恢复带来极大压力^[30];(2)陕北黄土高原地区沟壑纵横的地形条件以及脆弱的生态环境,将长期制约人居经济建设活动与土地依赖型产业的发展;(3)在乡村人口、市场收缩背景下,人居基础设施与公共服务配置半径增大、供需匹配不协调,并形成恶性循环;(4)人口外流、社会主体老弱化,以及引致乡土文化淡化、陷入传承困境等特征,既是乡村活力、乡村性丧失的关键表征又是根源^[21];(5)农产品市场竞争、供需变化扰动致使地方农业发展、依赖型生计陷入困境,倒逼产业转型与升级^[25];(6)生态功能区人居巨系统发展中不断涌现出系统间、多主体间、尺度间的权衡问题,将带来生计、生态、文化遗产、社会稳定等多方面风险。如生物多样性、水土保持等生态功能与农业规模化间的权衡,区域尺度生态、粮食安全保障与农户收入增长的权衡,地方韧性形成与家庭发展需求的权衡等^[31,32]。

1.1.2 恢复力思维下 RHSS 恢复力的内涵解析

生态系统稳定性研究中恢复力被定义为“管理或应对变化的能力”^[3]。恢复力思维则超越了恢复至原有状态的缓冲器概念,整合了社会生态系统中的持久性、适应性和可转换性三个方面,强调适应性演化与创造性转型^[2,33]。中国本土化的研究指出乡村恢复力是对系统脆弱性、外界扰动冲击的响应,抵御、适应、转型能力呈递进关系,并描绘了乡村社区在特定冲击下如何从抵抗到适应,或实现转型的演变过程^[4,34]。乡村恢复力现已成为回应乡村衰败、理解乡村内核系统与外界环境变化交互的重要工具,是可持续性科学的前沿与热点话题,吸引了来自地理学、社会学、经济学等领域学者以及资源管理者的关注。学者从不同学科视角出发,探求在多重扰动与不确定性背景中实现乡村可持续发展、乡村振兴目标可能的解。

黄土高原传统农区 RHSS 面临着多重扰动、权衡关系以及未来不确定性变化,已有研

究指出RHSS恢复力是系统吸收变化和扰动、推进更新与转型、维持系统健康运转、保持生机的能力^[21]。借鉴社会—生态系统恢复力、乡村恢复力理论^[2,34]，将RHSS恢复力同样解构为缓冲能力、适应能力、转型与创新能力三个方面。三方面能力形成的资本需求、难易程度、累积时长不同，在应对扰动（包括良性扰动）时作用不同，为递进关系。缓冲能力（持久性）强调保持现有功能和结构的同时缓冲系统冲击的能力，是系统保持稳定的基础^[2,33]；适应能力（适应性）强调通过认知、学习、组织管理来应对不确定性和意外等挑战，是系统能够积极主动地应对扰动或变化、保持宜居的关键^[2,33]；转型与创新能力（可转换性）指人居系统通过不断的更新与重构，被动或主动地创造新稳态以及跨越阈值进入新的发展轨道的能力，是系统永葆生机、善用“机会之窗”的决定性能力。创造一条由传统农业发展型走向农业现代化、多功能化的全新轨迹是传统农区RHSS恢复力的核心内容。

1.1.3 RHSS恢复力的“缓冲—适应—转型与创新”三维构成

以吴良镛先生^[15]人居环境系统观为基础，从自然生态、社会经济、支撑三个子系统搭建RHSS恢复力构成框架（图1）。（1）自然生态系统是聚居存在、演化的基础：缓冲能力取决于其基底环境，适应能力强调利益主体对资源、环境的利用及管理^[35]，转型与创新能力则与生态资源的可转化性密切相关，因而与资源管理者挖掘与活化资源的能力相联系^[36]。（2）社会经济系统包括经济发展、社会关系、人口趋势、文化特征、健康和福利等方面：其缓冲能力指及时抵御负面冲击的能力，取决于长期交往中积淀的社会资本条件；适应能力指系统在增加地方发展机会、加强联系、增进协作以应对变化的能力^[37,38]；社会变革对社会经济的恢复力至关重要，农区转型与创新指向于面向现代化新轨迹的能力，如多功能化、数字化及新的组织模式等方向^[4]。（3）支撑系统指通过基础设施与公共服务网络将乡村聚落联结成一个整体，能够对其他系统产生巨大影响^[15]：食品安全保障、基本公共服

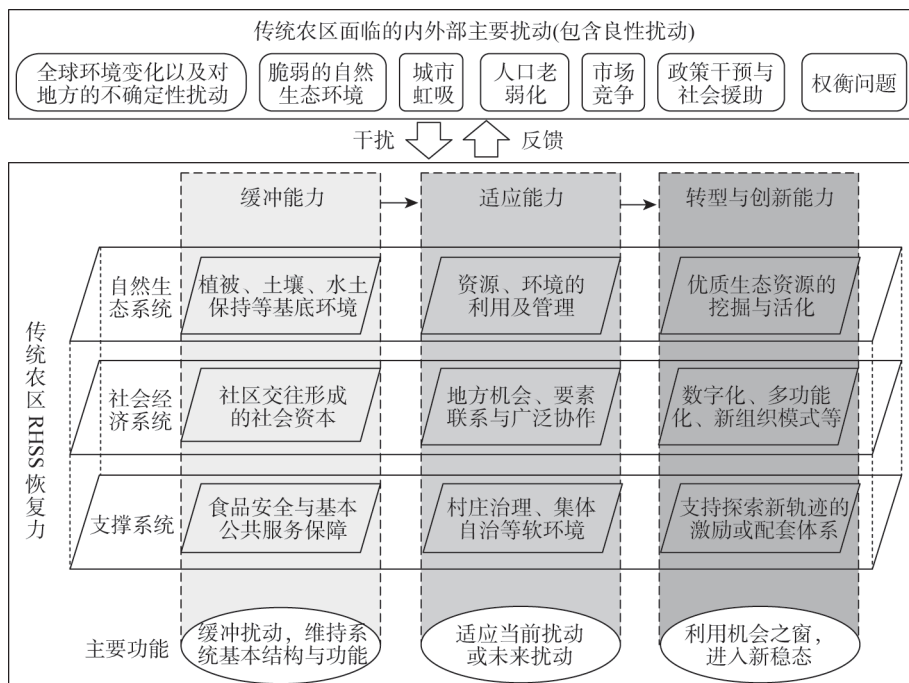


图1 传统农区RHSS恢复力的构成框架

Fig. 1 Constitutive framework for RHSS resilience in traditional agricultural areas

务的供给环境决定地方缓冲冲击水平;适应能力侧重于支撑系统的软环境方面,强调地方组织管理和村庄治理,推进公众参与和集体自治的能力;为其他子系统探索新发展道路营造适配环境,如灵活、探索性的新机制或激励策略等均是支撑系统转型与创新能力的內容。

1.2 研究区概况与数据来源

佳县地处陕西省榆林市,属中国北方农牧交错带,是黄土高原传统农区的典型县域。面积为2029.82 km²,辖12镇1个街道办事处、324个行政村。2020年,佳县户籍人口26.53万,常住人口11.30万,其中乡村常驻人口7.51万,农村常住居民人均可支配收入11281元。红枣业是全县商品经济的重要支柱产业,是当地林区农户的重要收入来源。耕地面积81.63万亩(1亩≈667 m²),人均3亩,主要种植粮食作物。佳县属半干旱气候,旱、涝、雹灾害易发,水土流失严重。地势复杂,形成了三类地貌差异明显的区域:北部风沙区山大坡缓,属于毛乌素沙漠南缘;西南丘陵沟壑区被河流及支毛沟交错切割,呈沟壑地形;东南黄河沿岸土石山区以石沟纵横、薄土层为地貌特征,耕地资源极缺。

数据来源于田野调查采集的第一手数据,以及地理环境空间信息数据。2018年7月16日至8月2日,研究团队采用分层随机抽样确定并调研了覆盖12镇1个街道办事处的65个样本村^[39]。2022年8月1-17日,研究团队针对62个样本村开展跟踪调查,余下3个样本村因交通中断等无法实施调查。本文主要采用结构化问卷调查,即以不同利益主体为调查对象(包括农户、村民委员会成员、回流人口、乡贤或熟知村情者)发放问卷430份,获取有效问卷422份。地理环境信息为栅格属性数据,采用ArcGIS空间分析工具获取村域信息。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、土壤有机碳含量、降雨侵蚀力因子 R 、土壤可侵蚀性因子 K 、坡度坡长因子 LS 等数据集来源于国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>)。植被覆盖因子 C 基于 $NDVI$ 与 C 的关系计算得出^[40],水土保持措施因子 P 基于Globe Land 30数据赋值不同土地利用类型^[41]。

1.3 RHSS恢复力的评估模型

1.3.1 RHSS恢复力的指标体系

本文将以RHSS恢复力的三维度构成框架为基础,遵循科学性、代表性、数据可获得性的原则,探索构建适应于黄土高原传统农区RHSS恢复力的表征指标体系(表1)。构建思路如下:

自然生态系统恢复力的三维度表征。(1)地表植被覆盖($X1$)、土壤肥力($X2$)、水土保持率($X3$)是居民生产、生活活动的生态基底,对生态系统可持续发展意义重大;(2)水资源供给不足、生态环境脆弱是黄土高原传统农区实现农业现代化、宜居生活的主要障碍。增强资源、环境管理能力($X4$ 、 $X5$),对于应对新社会环境挑战、促进自然生态系统健康与持续发展至关重要^[35];(3)良好的生态服务体验($X6$)、独特的农业文化景观($X7$)是一个地区独特、高价值的生态资源,具备转换为旅游、生态产品以吸引外部游客或人口回流的潜力,是乡村多功能转型的资源基础^[4,36]。

社会经济系统恢复力的三维度表征。(1)强烈的社区感($X9$)能够促进地方凝聚力,对抗人口结构的负面变化^[35],社会互助($X8$)、邻里友好($X10$)则体现了乡村居民利用自我资源、社会资本缓冲扰动或变化的能力^[42]。(2)乡土文化活动能积极地反映乡村活力、地方的自我与外部形象($X11$),并促进环境、技术、经济和社会等方面地方知识的传播^[43]。丰富的就业机会将带来地方经济的发展,增进地方内外部经验、信息和联系($X12$),增加乡村居民应对变化、适应与协作的信心^[35,44]。最近的研究也强调了地方传承、

表1 基于“缓冲—适应—转型与创新”的传统农区RHSS恢复力评估指标体系

Table 1 Index system for assessing the resilience of RHSS in traditional agricultural areas on "buffer-adaptation-transformation and innovation"

子系统 <i>S</i>	维度层 <i>D</i>	指标层 <i>X</i>	指标来源说明	标准值 (Min, Max)
自然生态系统恢复力 <i>NR</i>	缓冲能力 <i>N1</i>	<i>X1</i> 年最大植被覆盖	2020—2022年逐月计算的年最大 <i>NDVI</i> 值, 村域均值	0, 1
		<i>X2</i> 土壤肥力	0~15 cm土层的土壤有机碳含量/(mg/kg), 村域均值	1.21, 11.2
		<i>X3</i> 水土保持率	土壤侵蚀强度轻度以下的面积占比/%	0, 100
	适应能力 <i>N2</i>	<i>X4</i> 水资源供给	生活用水充足度; 农地灌溉用水充足度	1, 5
		<i>X5</i> 环境保护	卫生环境整洁度; 注重生态保护与卫生监管度	1, 5
	转型与创新能力 <i>N3</i>	<i>X6</i> 生态服务体验	空气质量优异度; 自然景色优美度	1, 5
		<i>X7</i> 农业文化景观	农业文化或农耕生产景观的丰富度	1, 5
社会经济系统恢复力 <i>SER</i>	缓冲能力 <i>SE1</i>	<i>X8</i> 社会互助	劳动力互帮家庭数; 热心肠或公道人数	1, 5
		<i>X9</i> 社区感	外出时对村庄的怀念程度; 对村庄的归属感; 对村庄的自豪感	1, 5
		<i>X10</i> 邻里友好	邻居之间的信任程度; 邻里关系友好程度; 对外来人口、老弱群体友好程度	1, 5
	适应能力 <i>SE2</i>	<i>X11</i> 乡土文化传承	村庄举办传统文化活动的频次	1, 5
		<i>X12</i> 就业机会	村庄或乡镇的企业、合作社提供的就业岗位丰富度	1, 5
		<i>X13</i> 集体效能	面对困难时的团结程度; 召集劳动力时的难易程度; 筹集资金的难易程度	1, 5
	转型与创新能力 <i>SE3</i>	<i>X14</i> 电子商务发展	村庄通过电子商务出售农产品的家庭数/个	1, 5
		<i>X15</i> 家庭农场发展	村庄家庭农场数量/个	0, 8
		<i>X16</i> 农业专业合作发展	村庄农业专业合作社数量/个	0, 9
支撑系统恢复力 <i>SR</i>	缓冲能力 <i>S1</i>	<i>X17</i> 交通可达性	至镇(乡)中心的最短耗时与至县及以上中心的最短耗时的均值/h	0.38, 1.07
		<i>X18</i> 公共客运服务	村庄公共客运服务便利程度	1, 5
		<i>X19</i> 食品供给服务	村庄或乡镇餐饮、购物环境便利优质	1, 5
		<i>X20</i> 社区管理服务	发布通知、信息及时有效; 处理纠纷、评选时公正; 应急管理能力强	1, 5
	适应能力 <i>S2</i>	<i>X21</i> 领导力	村领导者的个人能力水平; 镇政府有能力领导本镇未来发展得更好; 村委有能力领导村庄未来发展得更好	1, 5
		<i>X22</i> 社区参与	村委村民微信群发布通知频度; 微信群活跃程度; 村庄举行公共会议、集体活动频度	1, 5
	转型与创新能力 <i>S3</i>	<i>X23</i> 新型农业支持	村委对地膜种植、生产托管的重视度; 对参与专业合作社的鼓励度; 对电子商务、互联网营销的培训支持度	1, 5
		<i>X24</i> 文化传承支持	村委对举办传统活动或推广特色工艺品的支持度; 对农耕文化、农业遗产挖掘与推广的重视度	1, 5
		<i>X25</i> 物流寄递服务	村庄内是否存在快递揽收服务, 是否存在快递派送服务	0, 1

注: 1. 指标计算: *X3* 采用美国通用土壤流失方程 ($A=R\times K\times LS\times C\times P$), 参考李天宏等^[40]研究计算得出土壤流失量, 将 2500 t/(km²·a) 侵蚀模数以下认定为土壤侵蚀强度为轻度; *X15*、*X16* 来源于农业农村局的名录信息; *X17* 采用 ArcGIS 网络分析法计算, 将榆林市道路网内的高速公路、二级公路与沿黄公路、三级以下公路三类分别赋值速度 100 km/h、60 km/h、40 km/h; *X14*、*X25* 采用村庄管理人员的问卷信息, *X25* 按“两种都不存在”“仅存一种”“两种都存在”依次赋值 0、0.5、1; 其余指标采用 5 点量表获取样本村不同利益主体评分均值, 包含两个以上问题的指标取问题评分的均值。2. 标准最小值、最大值设定: *X2* 的标准最小值、最大值采用黄土高原地区对应土层的最小值与上四分位数; *X15*、*X16*、*X17* 以样本的最小值、最大值为标准值; 其余指标均以目标系统恢复力可能达到的最小值、最大值为标准值。

传统活动对于增加就业机会、建立恢复力社区的重要性^[37]。集体效能(X13)强调基于社区利益实现共同目标、克服紧急情况的集体力量,是社区恢复力的重要组成^[38]; (3) 实地调研与已有研究指出,发展电子商务(X14)、多功能家庭农场(X15),走向专业化与多主体合作(X16)是研究区社会经济创新发展的主要实践^[4]。

支撑系统恢复力的三维度表征。(1) 缓冲能力主要体现在交通可达性(X17)、公共运输(X18)、食品安全供给(X19)等基础保障方面。(2) 乡村尺度良好的治理要素能够提高多主体对变化的认识与应对能力,如社区管理能力(X20)、领导能力(X21),以及与社会凝聚力密切关联、体现个体对集体活动支持的社区参与(X22)^[38,45]; (3) 黄土高原农区支撑系统的转型与创新能力,体现在服务于农业多功能转型、推进地方资源转化等方面。具体表现为地方对生产托管、参与合作社、电子商务推广的支持(X23),对文化传承活动的鼓励与支持(X24),以及村级寄递服务能力(X25)。

1.3.2 数据标准化与指标聚合

首先,对指标数据运用极值标准化法将指标值归为[0, 1]区间,正向指标采用式(1)处理,仅指标X17采用式(2)处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \text{Min}(x_j)}{\text{Max}(x_j) - \text{Min}(x_j)} \quad (1)$$

$$x'_{ij} = \frac{\text{Max}(x_j) - x_{ij}}{\text{Max}(x_j) - \text{Min}(x_j)} \quad (2)$$

式中: x_{ij} 则为第*i*个样本第*j*个指标的值; x'_{ij} 为相应的标准化值; $\text{Min}(x_j)$ 、 $\text{Max}(x_j)$ 值均采用设定的标准值,即该指标能够达到的最大值、最小值。

其次,采用平均权重法进行集成函数运算为社会生态系统评估领域应用较为广泛的方法。基于平均权重,依次对指标层、维度层、子系统层进行聚合,见式(3)。

$$D_{id} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x'_{idj}; S_{is} = \frac{1}{3} \sum_{d=1}^3 D_{isd}; R_i = \frac{1}{3} \sum_{s=1}^3 S_{is} \quad (3)$$

式中: D 、 S 、 R 分别表示样本的能力值、恢复力值、RHSS的恢复力值; x' 表示样本的标准化值; i 表示样本; d 表示维度; s 表示子系统; j 表示指标。

1.3.3 RHSS恢复力等级划分

借鉴现有研究中RHSS综合质量或脆弱性等级的划分方法^[24],结合系统恢复力以及维度能力值的分布特征,设定恢复力强弱等级分界点,划分恢复力与维度层能力等级(表2)。其中,“0”“1”值分别代表样本村在该系统(维度)完全缺乏恢复力、拥有完全的恢复力。

表2 RHSS、子系统恢复力以及维度能力的等级区间

Table 2 Hierarchical ranges for the resilience of RHSS, subsystems, and the capacity of dimensions

等级	极低	较低	中低	中高	较高	极高
区间	0~0.300	0.301~0.400	0.401~0.500	0.501~0.600	0.601~0.700	0.701~1

1.4 空间差异性分析

变异系数为地理数据空间差异分析的常用方法,本文采用该方法测度RHSS恢复力、子系统恢复力、三维度能力的空间差异程度^[24],见式(4):

$$CV = \frac{1}{\bar{V}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: CV 为变异系数; \bar{V} 为各样本村系统或维度数值的均值; V_i 为各样本村 i 系统或维度数值; n 为样本村个数(个)。变异系数越小, 表明研究区内部系统或维度的空间分异越小。

1.5 RHSS恢复力的关键因素诊断

识别人居环境系统恢复力的关键贡献因素与障碍因素是恢复力建设实践的依据。首先, 利用贡献度模型与障碍度模型, 分别测算系统层、维度层、指标层对综合恢复力的贡献度、障碍度, 见式(5)、式(6)。其次, 根据贡献度、障碍度测算结果, 将贡献度/障碍度最大的指标要素、维度、子系统认定为该样本村的贡献/障碍因素。最后, 根据62个样本村内贡献/障碍因素的分布, 确定研究区RHSS恢复力的关键贡献/障碍因素。

$$C_{ij} = \frac{I_j \times X'_{ij}}{\sum_{j=1}^{27} (I_j \times X'_{ij})}; C_{id} = \sum_{j=1}^n C_{ijd}; C_{is} = \sum_{d=1}^3 C_{ids} \quad (5)$$

$$Z_{ij} = 1 - X'_{ij}; O_{ij} = \frac{I_j \times Z_{ij}}{\sum_{j=1}^{27} (I_j \times Z_{ij})}; O_{id} = \sum_{j=1}^n O_{ijd}; O_{is} = \sum_{d=1}^3 O_{ids} \quad (6)$$

式中: I_j 为因子贡献度, 即指标 j 的权重; Z_{ij} 为第 i 个样本第 j 个指标与恢复力目标之间的差距, 即单项指标评估值与100%之差; C_{ij} 、 C_{id} 、 C_{is} 分别为单项指标、维度、子系统对RHSS恢复力的贡献度; O_{ij} 、 O_{id} 、 O_{is} 分别为单项指标、维度、子系统对RHSS恢复力的障碍度; C_{ijd} 、 C_{ids} 分别为第 d 个维度中单项指标、第 s 个子系统中单项维度对RHSS恢复力的贡献度; O_{ijd} 、 O_{ids} 分别为第 d 个维度中单项指标、第 s 个子系统中单项维度对RHSS恢复力的障碍度。

2 结果分析

2.1 RHSS恢复力总体分布与空间差异

由RHSS恢复力及其构成的箱形图、变异系数可知(图2、表3), RHSS恢复力值的中位数(P25, P75)分别为0.47(0.44, 0.52), 中位数与四分位数间距极小, 变异系数低至0.12, 表明样本村恢复力值分布十分集中, 空间差异小。子系统层, 社会经济系统、支撑系统恢复力偏低, 中位线大幅低于均值, 呈现低位均衡特征。此外, 支撑系统恢复力箱体较宽, 样本村值分布较为分散, 变异系数高至0.21。自然生态系统恢复力值相对较高, 箱体较窄, 变异系数低至0.09。

在维度层方面: (1) 自然生态系统各维度能力值的下四分位数均在0.50以上, 但适应能力、转型与创新能力箱体较宽, 变异系数偏高。(2) 社会经济系统各维度能力的差异较大, 缓冲能力、适应能力、转型与创新能力的中位数分别为0.68、0.41、0.11。同时, 缓冲能力、适应能力箱体较窄, 变异系数较低, 而转型与创新能力箱体宽广, 中位数大幅低于均值, 变异系数高至0.91。(3) 支撑系统适应能力表现较佳, 缓冲能力中等, 转型与创新能力低, 中位数值依次为0.62、0.43、0.23。适应能力箱体较窄, 变异系数低。转型与创新能力箱体宽广、上截断线长, 变异系数高至0.56。综上, 自然生态系统在缓冲、适应、转型与创新能力方面均表现出良好的潜力, 而在支撑系统、社会经济系统内, 作为适应变化、激发新发展轨迹的转型与创新能力仍处于低位, 且空间差异突出。

2.2 RHSS恢复力及其构成的空间分布

2.2.1 综合恢复力

研究区村庄尺度RHSS恢复力以中低、中高等级为主, 中低以下等级村庄占比

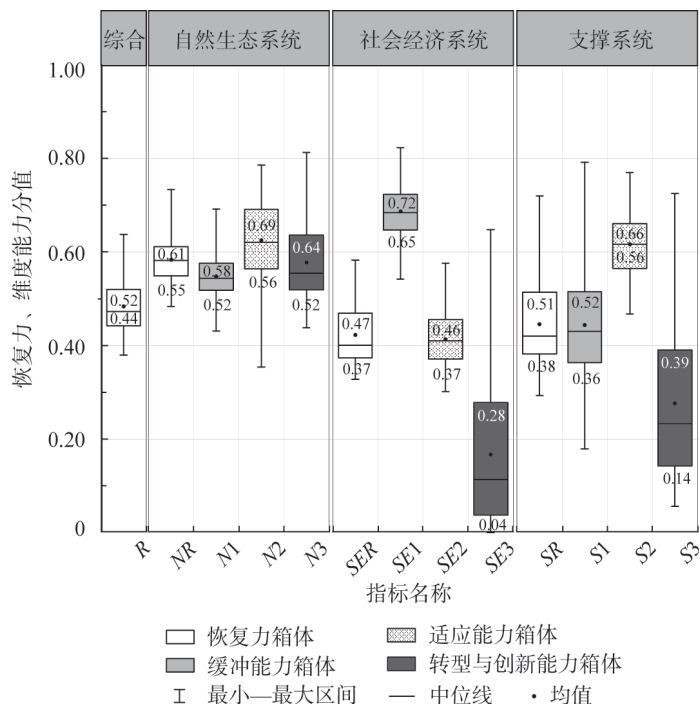


图2 研究区62个样本村RHSS恢复力及其构成的箱型图

Fig. 2 Box plot of RHSS resilience and its components among 62 sample villages in Jiaxian county

61.29%，中高等级村庄占比35.48%（图3）。中低等级广泛分布于西南丘陵沟壑区，中高等级村庄沿省道、县道分布，或邻近县城、镇（乡）中心。谢家沟、打火店、大会坪村是研究区内最具恢复力的村庄，其RHSS恢复力属较高等级，在新型农业发展、可达性、物流服务方面的条件较佳。而以人口萧条、居住分散、低可达性为典型特征的杨家沟、雷家沟、关甲村的RHSS恢复力属于较低等级。

2.2.2 自然生态系统恢复力

图4展示了RHSS子系统恢复力及内部三维度能力的空间差异。自然生态系统恢复力几乎全部处于中高及以上等级，较高等级村庄分散分布于省道、县道沿线，拥有全球重要农业文化遗产资源的中国传统村落泥河沟村属于极高等级。缓冲、适应、转型与创新维度发展较为一致，中高级别村庄均广泛分布。传统村落、农林特色村多拥有较高级别的缓冲能力，而县道、省道沿线的少量村庄属于中低级别。适应能力方面存在大量较高、极高级别的样本村，以人口萧条、老弱化为特征的见虎塬、秦家沟、双碾沟等村属于较低、中低级别。转型与创新能力方面，三分之一的村庄属于较高、极高级别，主要分布于以生态修复与景观营造为发展重点的黄河沿岸地区。

表3 研究区RHSS恢复力及其构成的变异系数

系统层	变异系数	维度层	变异系数
NR	0.09	N1	0.10
		N2	0.14
		N3	0.15
SER	0.16	SE1	0.08
		SE2	0.14
		SE3	0.91
SR	0.21	S1	0.31
		S2	0.11
		S3	0.56
R	0.12		

2.2.3 社会经济系统恢复力

社会经济系统中,属中低、较低级别恢复力的村庄广泛分布,少量中高级别村庄分布于省道、县道沿线。该系统缺乏较高、极高级别,内部三维度发展极不均衡,区域内部特征相近。绝大部分村庄缓冲能力属于较高、极高级别,适应能力属于中低、较低级别,转型与创新能力属于极低级别。此外,谢家沟村的转型与创新能力较高,缓冲能力极高,但适应能力较低,该村特征为集中安置居住,现以农业规模化、专业化发展以及创新经营模式为方向,为研究区的“明星村”。

2.2.4 支撑系统恢复力

支撑系统中拥有特色产业或地处镇(乡)中心的村庄,如中砦、上高寨、官庄、木头峪、峪口等,均拥有中高、较高、极高的恢复力以及缓冲能力,其余绝大部分村庄属于中低、较低级别。在适应能力方面,存在大量处于较高、极高级别的村庄,且多分布于省道、县道沿线,实地调研中对于交通干线沿线村的公共交通、生产公路、寄递服务等基础设施环境的评判同样较佳。转型与创新能力方面,仅移民安置村谢家沟、艺术小镇峪口村属于较高、极高级别。多功能化、农业转型发展的村庄属于中高、中低级别,包括乡镇行政中心驻地村与泥河沟、大会坪、峪口、任家畔等文旅融合发展村及勃牛沟、打火店、王宁山等农业规模化、合作化发展村庄。上述村庄的多功能、农业转型尚处于起步阶段,因而在社会经济系统中的转型与创新能力仍处于较低级别。此外,其余绝大部分村庄属极低级别,实地调研发现其典型弱势特征包括缺乏资金支持、耕地分散或缺乏、生产基础设施建设滞后、传统种粮或低效枣林主导。

2.3 RHSS恢复力形成的关键要素

2.3.1 不同层级要素的贡献度与障碍度排序

根据系统层、维度层、指标层对综合RHSS恢复力的贡献度、障碍度的结果,依据62个样本村平均贡献度、障碍度进行排序(表4)。从系统层来看,RHSS恢复力主要来源于自然生态系统,而社会经济系统是RHSS恢复力的最大障碍者。从维度层来看,社会经济系统缓冲能力、支撑系统适应能力,以及自然生态系统的适应能力、转型与创新能力成为RHSS恢复力的主要贡献维度。社会经济系统转型与创新能力、适应能力,支撑系统的转型与创新能力、缓冲能力为RHSS恢复力的主要障碍维度。这表明,当前研究区缓冲、吸收扰动风险的能力主要源于社会经济系统,支撑系统为障碍者;适应不确定性与挑战的能力来源于自然生态、支撑系统,社会经济系统难以提供支持;寻求转型与新发展轨迹的能力仅依赖于自然系统,而其余系统均表现出高度障碍。

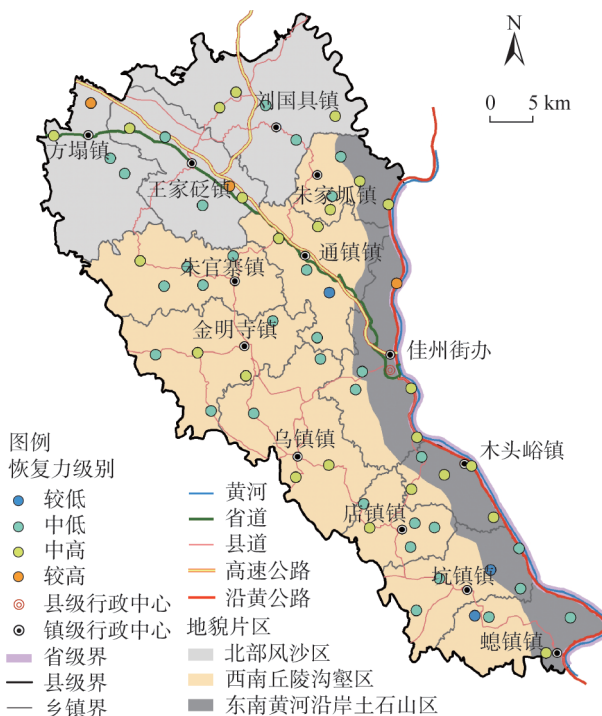


图3 研究区62个样本村及RHSS恢复力的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of 62 sample villages and the RHSS resilience in Jiaxian county

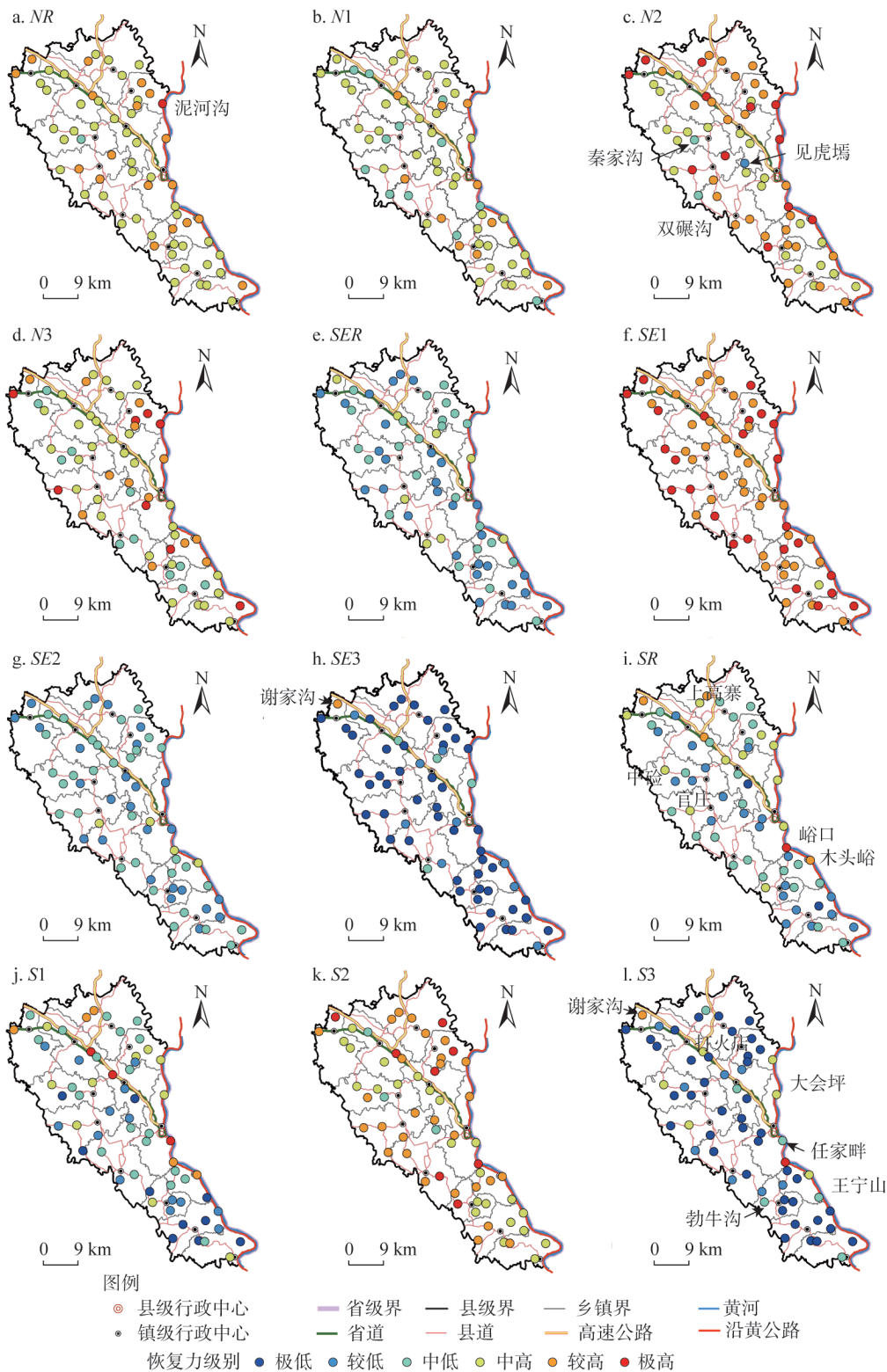


图4 研究区RHSS子系统恢复力及其构成的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of RHSS subsystem resilience and its components in Jiaxian county

表4 研究区62个样本村RHSS恢复力构成的平均贡献度与障碍度

Table 4 Contribution and barrier degrees of RHSS resilience compositions among 62 sample villages in Jiaxian county					
层级	排序	贡献因子	平均贡献度	障碍因子	平均障碍度
指标层	1	N生态服务体验	0.093	N农业文化景观	0.073
	2	N环境保护	0.073	SE家庭农场发展	0.070
	3	N水资源供给	0.071	S文化传承支持	0.059
	4	SE社区感	0.060	SE农业专业合作发展	0.059
	5	SE邻里友好	0.059	SE就业机会	0.055
	6	S社区管理服务	0.056	SE电子商务发展	0.055
	7	SE集体效能	0.049	S新型农业支持	0.052
	8	N水土保持率	0.047	S食品供给服务	0.050
维度层	1	SE缓冲能力	0.159	SE转型与创新能力	0.179
	2	N适应能力	0.144	S转型与创新能力	0.155
	3	S适应能力	0.142	SE适应能力	0.127
	4	N转型与创新能力	0.134	S缓冲能力	0.119
系统层	1	N恢复力	0.405	SE恢复力	0.374
	2	S恢复力	0.304	S恢复力	0.356
	3	SE恢复力	0.291	N恢复力	0.270

从指标层来看，生态服务体验、环境保护、水资源供给是研究区 RHSS 恢复力的前三位贡献指标，指向政府对自然生态系统的适应性干预。表明在一系列生态建设工程与管治措施下，研究区的生态人居改善现已成为 RHSS 恢复力的源泉。社区感、邻里友好、集体效能则是在乡土文化与社会互动环境下积累而成，是黄土高原传统乡村最稳定的恢复力来源。农业文化景观、家庭农场发展、文化传承支持则是 RHSS 恢复力的前三位障碍指标。研究区地处农牧交错带，游牧农业与传统农耕文化交融，但归因于当地对文化传承支持较弱等原因，农业文化景观尚未被识别、活化，家庭农场同样发展缓慢。因此，当前研究区的农业多功能化水平低，难以成为更具广泛价值的 RHSS 恢复力来源。家庭农场、农业专业合作发展、电子商务发展、就业机会、新型农业支持指标之间存在密切联系，均指向农业转型与现代化方向，这些指标均是当前研究区 RHSS 恢复力形成的主要障碍。

2.3.2 关键系统、维度的分布特征

基于 62 个样本村 RHSS 系统层、维度层贡献因子与障碍因子的分布占比统计显示(图 5)，自然生态系统与社会经济系统是研究区 RHSS 恢复力形成的关键子系统，前者为 93.4% 的样本村恢复力形成的贡献者，后者为 77.4% 的样本村的障碍者。

在维度层，转型与创新能力是研究区子系统恢复力形成的关键障碍维度，在社会经济系统、支撑系统中分别占据 85.5%、95.2% 的样本村；适应能力是自然生态系统、支撑系统恢复力形成的关键贡献维度，分别占据 69.4%、90.3% 的样本村；缓冲能力是社会经济系统恢复力形成的关键贡献维度，占据全部样本村。此外，自然生态系统恢复力形成的贡献维度、障碍维度分布的空间差异较大：障碍维度方面，缓冲能力、转型与创新能力均占据了 40% 以上的样本村；贡献维度方面，转型与创新能力仍占据 22.6% 的样本村，缓冲能力占据 8.1% 的样本村。以上表明，研究区转型与创新能力发展不足，是 RHSS 恢复力形成的关键障碍，而社会经济系统的缓冲能力、自然生态系统与支撑系统的适应能力则是恢复力形成的关键贡献维度。

2.3.3 关键指标要素的分布特征

基于62个样本村RHSS恢复力的贡献指标与障碍指标的分布占比统计显示(图6),生态服务体验、农业文化景观是自然生态系统恢复力的关键要素,样本村占比分别达到91.9%、87.1%,前者为贡献要素、后者为障碍要素。在实地调研中,受访者多以“村里空气非常好”“山坡逐渐绿化”等关键词评价村庄的自然生态环境。除此之外,少量样本村以土壤肥力、水资源供给、环境保护为障碍要素,同样有少量样本村以水资源供给、环境保护为贡献要素。

在社会经济系统中,社区感、邻里友好是分布广泛的恢复力贡献因子,在样本村中分布占比分别达到56.5%、38.7%。实地调研中,受访者反复提及“村里人出了什么事,有什么需要,大家(村民)都会去帮忙”“邻居经常串门聊天”,外出务工者强调“在外吃的住的都不如家里,空气也没有家里好”,均表达出当地居民对乡土环境强烈的依恋与幸福感。而家庭农场、农业专业合作社发展是分布广泛的恢复力障碍因子,分布占比分别达到85.5%、35.5%。仍有不足10%的样本村以集体效能、家庭农场、农业专业合作社发展为贡献因子,这些样本村表现出较高的村庄治理能力,并依托高标农田建设、土地平整、宽幅梯田等农业项目与支持政策,发展多功能农业、创新集体经营模式,如打火店村、谢家沟村等标杆村庄。

在支撑系统中,社区管理服务、文化传承支持分别为关键贡献要素、关键障碍要素,分布占比分别为56.5%、46.8%。实地调研发现,当地村庄管理已形成网格化模式,行政村均已建立村民服务微信群,常驻人口较多的村庄创建了村民交流微信群,信息服务水平得到极大提高。然而,其余要素在不同样本村表现差异较大,甚至表现出截然相反的功能。大量样本村的交通可达性、物流寄递服务等指向运输网络的要素已成为恢复力的主要贡献源,仅不足2%的样本村分别以公共运输服务、领导力为恢复力形成的贡献因子。而地处偏远、居住分散且人口较少的大量样本村以物流寄递服务、交通可达性、公共运输服务为恢复力形成的障碍因子。除此之外,食品供给服务、新型农业支持同样为部分样本村恢复力形成的障碍因子。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于“缓冲—适应—转型与创新”维度,构建了适宜于黄土高原传统农区、操

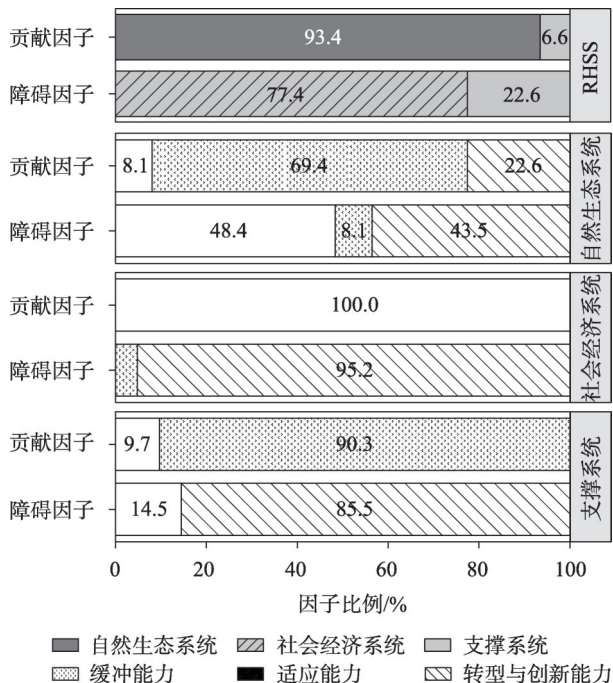


图5 研究区62个样本村RHSS恢复力及子系统恢复力的贡献者与障碍者分布占比

Fig. 5 Distribution shares of contributors and barriers to RHSS and subsystem resilience among 62 sample villages in Jiaxian county

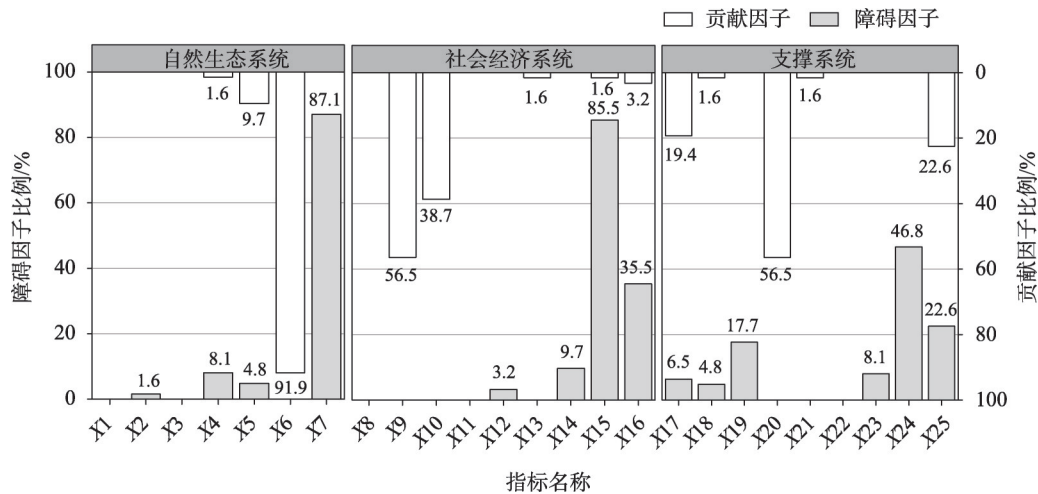


图6 研究区62个样本村RHSS恢复力的贡献指标和障碍指标分布占比

Fig. 6 Distribution shares of contribution and barrier indicators of RHSS resilience among 62 sample villages in Jiaxian county

作性较强的RHSS恢复力评估框架，并以佳县62个样本村为研究对象，基于ArcGIS空间可视化平台探索了黄土高原传统农区RHSS恢复力及其构成的空间分异特征，开展了关键要素识别。主要结论如下：

（1）75%样本村的RHSS恢复力低于0.52，处于中高及以下等级。自然生态系统恢复力较高且空间差异小，社会经济系统、支撑系统恢复力较低且空间差异较大；社会经济系统缓冲能力较高，自然生态系统、支撑系统的适应能力较高，社会经济系统、支撑系统的转型与创新能力低且空间差异极大。

（2）RHSS恢复力中低级别村庄广泛分布于西南丘陵沟壑区，中高级别村庄沿省道、县道分布，或邻近于县城、镇中心。以乡中心、旅游开发或新型农业发展为特征的少量村庄在社会经济系统、支撑系统拥有中高以上级别的恢复力，而地处黄河沿线景观带的传统村落、农林特色村在自然生态系统拥有较高以上级别的恢复力。

（3）传统农区村庄RHSS恢复力主要来源于自然生态系统，以及社会经济系统的缓冲能力、支撑系统的适应能力维度，而社会经济系统、支撑系统的转型与创新能力则为RHSS的障碍维度。阻碍RHSS恢复力形成的关键要素包括农业文化景观、家庭农场、农业专业合作社、文化传承支持、物流寄递服务，而贡献于RHSS恢复力形成的关键要素包括生态服务体验、社区感、邻里友好、社区管理服务。

3.2 讨论

RHSS恢复力提升事关乡村可持续发展与民生福祉的实现。本文基于恢复力思维，从系统综合视角切入乡村人居环境的营造工作，将关注点由人居环境系统物质建设、综合质量评估转向人居系统可持续性问题，探究在扰动、不确定性环境中，乡村人居系统如何形成强劲的恢复力以缓冲冲击和“向前弹跳”。可持续性科学涵盖了回应不同问题或以不同目标为导向的丰富概念或思维框架，如何准确、清晰地构建评估框架，要求研究者对概念内涵及其构成的深度理解与层层解构。本文区别于已有研究仅基于耦合系统的子系统领域提炼表征指标，从“缓冲—适应—转型与创新”三维度探索性构建RHSS恢复力构成框架，并明确恢复力的三维度结构在自然、社会、支撑子系统中的具体体现及主要作用，该构成框架可适用于不同尺度的RHSS恢复力评估。此外，基于恢复力内涵

及构成而构建的指标体系或将更为清晰地展现其对环境变化反应、目标价值的理解,避免陷入恢复力评估与可持续性科学中其他目标评估混杂的境地。陕北佳县是黄土高原传统农牧区的典型县域,乡村地域系统长期处于多重扰动环境中,地方对粮食安全保障、生态功能维护与乡村经济发展等多方面需求均十分迫切。因此,重构RHSS的恢复力是该类地区应对复杂多变的环境,抓住危机或机遇中出现的“机会之窗”,实现可持续高质量发展的必要途径。本文开展了村域尺度的实证研究,识别了RHSS恢复力的关键要素以及转型与创新能力短板突出等问题,研究结果可为黄土高原传统农区乡村建设的重点提供依据与干预指向。

本文也存在一些不足及待深入研究之处。一是,除刻画自然本底、交通路网、产业发展的村域指标来源于客观数据外,大部分指标数据来源于田野调查问卷,存在受访者的主观感知与客观实际的差异等问题。当然,本文基于课题组多期跟踪调查的62个样本村而展开,并以不同利益主体作为受访者,力图获取更为全面的乡村居民感知与体验信息,回归“以人为本”的人居环境科学研究。二是,虽然探讨了RHSS恢复力的构成以及形成的关键因素,但尚未涉及更具普遍价值的形成过程、路径及机制的挖掘。三是,研究揭示了当前RHSS恢复力主要来源于自然生态系统,生态服务体验为关键的贡献因子,这一结论与区域外大众对黄土高原生态环境恶劣的刻板印象不同,但与黄土高原植被覆盖增加、生态系统服务能力提高等宏观尺度研究成果相契合^[26,27]。因此,亟待开展微观尺度RHSS恢复力的关联分析与对话,由聚焦典型案例地拓展至黄土高原区域尺度,解析长时序的动态变化,缝合公众认知与地方感知、科学研究结果的差异。

致谢:感谢陕西师范大学本科生延啸衍、杨可欣、陈扬、冯楚愉同学在野外调研与数据处理过程中的贡献。

参考文献(References):

- [1] LIU Y S, LI Y H. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.
- [2] FOLKE C, CARPENTER S, WALKER B, et al. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 2010, 15(4): 20. <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>.
- [3] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 7(4): 1-23.
- [4] LI Y H. A systematic review of rural resilience. *China Agricultural Economic Review*, 2023, 15(1): 66-77.
- [5] MCINTOSH A, STAYNER R, CARRINGTON K, et al. Resilience in rural communities: Literature review. Armidale, Australia: Center for Applied Research in Social Science, 2008: 3-6.
- [6] 贾焱焱, 胡静, 刘大均, 等. 山区民族旅游地乡村聚落韧性评估及尺度关联研究. *经济地理*, 2022, 42(8): 194-204. [JIA Y Y, HU J, LIU D J, et al. Resilience assessment and scale correlation of rural settlements in mountainous ethnic tourism destinations. *Economic Geography*, 2022, 42(8): 194-204.]
- [7] MARU Y T, SMITH M S, SPARROW A, et al. A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. *Global Environmental Change*, 2014, 28: 337-350.
- [8] 祝文婷, 韦燕飞, 李文辉, 等. “三生”视角下的西江流域(广西段)乡村韧性时空分异特征. *水土保持研究*, 2023, 30(4): 438-446. [ZHU W T, WEI Y F, LI W H, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics of rural resilience in the Xijiang River Basin (Guangxi Section) from the perspective of production-living-ecology. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(4): 438-446.]
- [9] 和佳慧, 吴映梅, 余丽娇, 等. 西部地区乡村韧性的时空演变及驱动因子探测. *地域研究与开发*, 2023, 42(1): 144-148, 160. [HE J H, WU Y M, YU L J, et al. Spatio-temporal evolution and driver detection of rural resilience in Western China. *Areal Research and Development*, 2023, 42(1): 144-148, 160.]
- [10] 王成, 吴昕玥. 重庆市乡村生产空间系统韧性扰动因素的空间效应及作用关系. *资源科学*, 2022, 44(8): 1604-1614.

- [WANG C, WU X Y. Spatial effect and relationship of disturbances to the resilience of rural production spatial system in Chongqing Municipality. *Resources Science*, 2022, 44(8): 1604-1614.]
- [11] 资明贵, 周怡, 罗静, 等. 山区乡村地域系统韧性测度及影响因素研究: 以大别山区罗田县为例. *地理科学进展*, 2022, 41(10): 1819-1832. [ZI M G, ZHOU Y, LUO J, et al. Measurement and influencing factors of rural regional system resilience in mountainous areas: A case study of Luotian county in the Dabie Mountains. *Progress in Geography*, 2022, 41(10): 1819-1832.]
- [12] 韩文维, 陈佳, 袁倩文, 等. 恢复力视角下秦岭贫困山区乡村振兴潜力研究. *自然资源学报*, 2021, 36(10): 2571-2584. [HAN W W, CHEN J, YUAN Q W, et al. Rural revitalization potential and influencing factors in poor mountainous areas of Qinling Mountains from the perspective of resilience. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(10): 2571-2584.]
- [13] 买欣, 陶伟, 刘望保. 国内外乡村韧性研究进展评述. *人文地理*, 2023, 38(2): 28-34. [MAI X, TAO W, LIU W B. Literature review on the research progress of rural resilience. *Human Geography*, 2023, 38(2): 28-34.]
- [14] SCHWARZ A-M, BÉNÉ C, BENNETT G, et al. Vulnerability and resilience of remote rural communities to shocks and global changes: Empirical analysis from Solomon Islands. *Global Environmental Change*, 2011, 21(3): 1128-1140.
- [15] 吴良镛. 人居环境科学导论. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001:10-30. [WU L Y. Introduction to Sciences of Human Settlements. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001: 10-30.]
- [16] 朱媛媛, 周笑琦, 罗静, 等. 长江中游城市群乡村人居环境质量评价及其时空分异. *经济地理*, 2021, 41(4): 127-136. [ZHU Y Y, ZHOU X Q, LUO J, et al. Spatio-temporal evaluation of rural human settlements quality and its differentiations in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Economic Geography*, 2021, 41(4): 127-136.]
- [17] 王艳飞, 李婷婷, 孟祥涛. 2010—2020年中国乡村人居环境质量评价及其演变特征. *地理研究*, 2022, 41(12): 3245-3258. [WANG Y F, LI T T, MENG X T. Evaluation of China's rural human settlements quality and its spatiotemporal change characteristics from 2010 to 2020. *Geographical Research*, 2022, 41(12): 3245-3258.]
- [18] 宋关东, 唐承丽, 周国华. 湖南省乡村人居环境质量时空格局演变及影响因素. *水土保持研究*, 2023, 30(5): 427-434, 452. [SONG G D, TANG C L, ZHOU G H. Analysis on spatiotemporal pattern evolution and influencing factors of rural human settlements quality in Hunan province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(5): 427-434, 452.]
- [19] 曾菊新, 杨晴青, 刘亚晶, 等. 国家重点生态功能区乡村人居环境演变及影响机制: 以湖北省利川市为例. *人文地理*, 2016, 31(1): 81-88. [ZENG J X, YANG Q Q, LIU Y J, et al. Research on evolution and influential mechanism for rural human settlement in national key ecological function areas: A case of Lichuan. *Human Geography*, 2016, 31(1): 81-88.]
- [20] 汤礼莎, 龙花楼, 戈大专. 乡村人居环境弹性形成的空间分异特征与机制: 以洞庭湖区为例. *地理学报*, 2023, 78(6): 1339-1354. [TANG L S, LONG H L, GE D Z. Spatial differentiation characteristics and mechanism of rural human settlement resilience formation: A case study of Dongting Lake Area. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(6): 1339-1354.]
- [21] 杨晴青, 高岩辉, 杨新军. 基于扎根理论的乡村人居环境系统脆弱性—恢复力整合研究: 演化特征、路径与理论模型. *地理研究*, 2023, 42(1): 209-227. [YANG Q Q, GAO Y H, YANG X J. Study on the integration of vulnerability and resilience of rural human settlements system based on grounded theory: Evolutionary characteristics, paths and theoretical model. *Geographical Research*, 2023, 42(1): 209-227.]
- [22] 王成, 代蕊莲, 陈静, 等. 乡村人居环境系统韧性的演变规律及其提升路径: 以国家城乡融合发展试验区重庆西部片区为例. *自然资源学报*, 2022, 37(3): 645-661. [WANG C, DAI R L, CHEN J, et al. Research on the evolution law and promotion pathway of rural human settlements system resilience: A case study of Western Chongqing, a national pilot area for urban-rural integration. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(3): 645-661.]
- [23] 郭佳, 翟国方, 葛懿夫. 乡村人居环境综合韧性指数构建及实证研究: 以江苏省为例. *上海城市规划*, 2023, (2): 15-22. [GUO J, ZHAI G F, GE Y F. Construction and empirical study of comprehensive resilience index of rural human settlements: A case study of Jiangsu province. *Shanghai Urban Planning Review*, 2023, (2): 15-22.]
- [24] 杨晴青, 高岩辉, 杨新军, 等. 黄土高原半干旱区微尺度乡村人居环境系统脆弱性测度及时空分异: 以陕西省佳县为例. *干旱区地理*, 2020, 43(5): 1371-1381. [YANG Q Q, GAO Y H, YANG X J, et al. Measurement and spatial-temporal differentiation of vulnerability of microscale rural human settlements in the semi-arid region of the Loess Plateau: A case study of Jiaxian county, Shaanxi province. *Arid Land Geography*, 2020, 43(5): 1371-1381.]
- [25] 杨晴青, 杨新军, 高岩辉. 1980年以来黄土高原半干旱区乡村人居环境系统脆弱性时序演变: 以陕西省佳县为例. *地理科学进展*, 2019, 38(5): 756-771. [YANG Q Q, YANG X J, GAO Y H. Change in vulnerability of rural human settlement in the semi-arid area of the Loess Plateau since 1980: A case study of Jiaxian county, Shaanxi province. *Progress in Geography*, 2019, 38(5): 756-771.]

- [26] 傅伯杰. 黄土高原土地利用变化的生态环境效应. 科学通报, 2022, 67(32): 3768-3779. [FU B J. Ecological and environmental effects of land-use changes in the Loess Plateau of China. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(32): 3768-3779.]
- [27] WU X, WANG S, FU B-J, et al. Socio-ecological changes on the Loess Plateau of China after grain to green program. Science of the Total Environment, 2019, 678: 565-573.
- [28] TURNER II B L, KASPERSON R, MATSON P, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. PNAS, 2003, 100: 8074-8079.
- [29] 李玉恒, 黄惠倩, 宋传垚. 中国西南贫困地区乡村韧性研究: 以重庆市为例. 人文地理, 2022, 37(5): 97-105. [LI Y H, HUANG H Q, SONG C Y. Rural resilience in impoverished areas of Southwest china: A case study of Chongqing. Human Geography, 2022, 37(5): 97-105.]
- [30] LIU M, SHEN Y, QI Y, et al. Changes in precipitation and drought extremes over the past half century in China. Atmosphere, 2019, 10(4): 203, Doi: 10.3390/atmos10040203.
- [31] DONG X B, WANG X W, HEJIE W, et al. Trade-offs between local farmers' demand for ecosystem services and ecological restoration of the Loess Plateau, China. Ecosystem Services, 2021, 49: 101295, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101295>.
- [32] LI D M, WEN Q, QI Y, et al. Trade-off and synergy of rural functions under county depopulation in the typical black soil region of Northeast China. Chinese Geographical Science, 2023, 33(4): 616-633.
- [33] WALKER B, HOLLIN C S, CARPENTER S, et al. Resilience, adaptability and transformability in Social-Ecological Systems. Ecology and Society, 2004, 9(2): 5, <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>.
- [34] 李玉恒, 阎佳玉, 刘彦随. 基于乡村弹性的乡村振兴理论认知与路径研究. 地理学报, 2019, 74(10): 2001-2010. [LI Y H, YAN J Y, LIU Y S. The cognition and path analysis of rural revitalization theory based on rural resilience. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2001-2010.]
- [35] RIVERA M, KNICKEL K, RIOS I D L, et al. Rethinking the connections between agricultural change and rural prosperity: A discussion of insights derived from case studies in seven countries. Journal of Rural Studies, 2018, 59: 242-251.
- [36] KNICKEL K. The marketing of Rhöngold milk: An example of the reconfiguration of natural relations with agricultural production and consumption. Journal of Environmental Policy and Planning, 2001, 3(2): 123-136.
- [37] 朱媛媛, 汪紫薇, 乔花芳, 等. 大别山革命老区旅游区“乡土—生态”系统韧性演化规律及影响机制. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1748-1765. [ZHU Y Y, WANG Z W, QIAO H F, et al. The resilience evolution and influencing mechanisms of the "ruralism-ecology" system of tourist destinations in Dabie Mountains Old Revolutionary Base Area. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1748-1765.]
- [38] LEYKIN D, LAHAD M, COHEN O, et al. Conjoint community resiliency assessment measure-28/10 items (CCRAM28 and CCRAM10): A self-report tool for assessing community resilience. American Journal of Community Psychology, 2013, 52 (3-4): 313-323.
- [39] YANG Q, GAO Y, YANG X, et al. Rural transformation driven by households' adaptation to climate, policy, market, and urbanization: Perspectives from livelihoods-land use on Chinese Loess Plateau. Agriculture, 2022, 12(8): 1111, <https://doi.org/10.3390/agriculture12081111>.
- [40] 李天宏, 郑丽娜. 基于RUSLE模型的延河流域2001—2010年土壤侵蚀动态变化. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1164-1175. [LI T H, ZHENG L N. Soil erosion changes in the Yanhe Watershed from 2001 to 2010 based on RUSLE model. Journal of Natural Resources, 2012, 27(7): 1164-1175.]
- [41] 许月卿, 蔡运龙. 贵州省猫跳河流域土壤侵蚀量计算及其背景空间分析. 农业工程学报, 2006, 22(5): 50-54. [XU Y Q, CAI Y L. Estimation of soil erosion and its spatial analysis in Maotiaohe watershed, Guizhou province. Transactions of the CSAE, 2006, 22(5): 50-54.]
- [42] RAPAPORT C, HORNIK-IURIE T, COHEN O, et al. The relationship between community type and community resilience. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2018, 31(5): 470-477.
- [43] BEEL D E, WALLACE C D, WEBSTER G, et al. Cultural resilience: The production of rural community heritage, digital archives and the role of volunteers. Journal of Rural Studies, 2017, 54: 459-468.
- [44] ŠŮMANE S, KUNDA I, KNICKEL K, et al. Local and farmers' knowledge matters: How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. Journal of Rural Studies, 2018, 59(3): 232-241.
- [45] 李玉恒, 黄惠倩, 宋传垚. 贫困地区乡村经济韧性研究及其启示: 以河北省阳原县为例. 地理科学进展, 2021, 40 (11): 1839-1846. [LI Y H, HUANG H Q, SONG C Y. Rural economic resilience in poor areas and its enlightenment: Case study of Yangyuan county, Hebei province. Progress in Geography, 2021, 40(11): 1839-1846.]

The resilience of rural human settlements system and its key factors in traditional agricultural areas of the Loess Plateau: Taking Jiaxian county in Northern Shaanxi as an example

YANG Qing-qing¹, SUN Xin-rui², ZHANG Hui-qing², GAO Yan-hui³, CAO Xiao-shu¹

(1. Northwest Land and Resources Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 3. School of Tourism &

Research Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China)

Abstract: Rural villages within remote and disadvantaged agricultural areas are more vulnerable to the adverse impacts of environmental change and more difficult to recover, while enhancing the resilience of the human settlements system is a powerful way to get rid of the adverse impacts and to realize the transformation and revitalization of rural areas. This study deconstructed the resilience of RHSS in traditional agricultural areas into three dimensions, that is buffer capacity, adaptive capacity, and transformation and innovation capacity, and constructed the framework for RHSS resilience. Further, the study constructed an index system for assessing the resilience of RHSS in traditional agricultural areas of the Loess Plateau, and carried out a village-scale empirical study with 62 sample villages in Jiaxian county, Northern Shaanxi province. Based on the first-hand information obtained from the field survey, the spatial differentiation characteristics and the key factors of RHSS resilience were revealed by using Arcgis spatial analysis, the contribution model, and the obstacle model. The study found that: Firstly, the proportion of villages in the study area with resilience in RHSS below 0.5 reached 61.29%. As for the subsystems, the resilience of the natural ecosystem is generally higher than that of the socio-economic system and the support system, while there are large spatial differences in the resilience of the support system. Secondly, the resilience of the RHSS in the study area is mainly derived from the adaptive capacity dimension of the natural ecosystem and support system, and the buffering capacity dimension of the socio-economic system. The transformation and innovative capacity, which is of transformational significance, is extremely low and highly spatially differentiated, and an obstacle to the formation of the resilience of the socio-economic and the support systems in more than 85% of the villages. Thirdly, among the key indicators for the formation of the resilience of the RHSS in the study area, the contributors are ecological service experience, sense of community, neighborhood friendliness, and community management services, while the barriers are agro-cultural landscapes, family farms, agricultural cooperatives, cultural heritage support, and logistics and delivery services.

Keywords: rural human settlements system (RHSS); resilience; spatial differentiation; barrier factor; contribution factor; Loess Plateau