

农村人居环境健康脆弱性评价及障碍因素分析*

——以湖南省68个县域为例

周 为 张宁宁 张 帆

(湖南农业大学公共管理与法学学院, 湖南 长沙 410125)

[摘 要]在健康中国建设和乡村振兴持续推进的背景下,农村人居环境治理与居民健康改善之间的关系成为基层公共治理的重要议题。既有研究多关注农村环境整治成效或居民健康水平,但对县域尺度下农村人居环境健康脆弱性的空间分布格局及主要障碍因素仍缺乏系统识别。研究以湖南省68个县域为样本,构建“暴露性-敏感性-应对性”的农村人居环境健康脆弱性评价指标体系,采用集对分析法测算健康脆弱性指数,结合ArcGIS软件将指数可视化,并采用障碍度模型识别县域健康脆弱性的主要制约因素。研究发现:第一,脆弱性及暴露性、敏感性、应对性分布区域呈现一定规律和空间聚集现象;第二,暴露性是推动脆弱性上升的重要因素,降低暴露水平有助于缓解脆弱性;第三,家庭内有厕所所占比重、农业污水排放量、农业柴油使用量、农药使用量和水土流失综合面积是主要障碍因子。结果表明,县域“降脆”应聚焦基础卫生设施管护、农业面源污染治理和生态承载压力缓解,并从暴露源控制、绿色生产转型和基层治理能力提升等方面协同推进。

[关键词]农村健康脆弱性 人居环境 障碍因素 湖南省

[中图分类号] R127; X321 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2026)04-0057-11

党的二十大报告明确提出,要推进健康中国建设,把保障人民健康放在优先发展的战略位置,并强调要推进乡村振兴和公共健康治理,提升农村整体发展水平。这一战略导向,意味着农村居民健康不再只是个体福祉问题,更是与国家发展全局紧密相连的重大议题。^[1]然而,在宏观政策的推动下,农村健康改善的现实图景却并非一片乐观。^[2]

近年来,随着农村人居环境整治的深入开展,污水治理、垃圾处理和基础设施建设水平得到提升,环境指标整体呈现改善趋势。生

态环境部《2021年农村环境整治年度报告》显示,全国农村生活污水治理率达到28%^[3],较2015年提高了近10个百分点,农村卫生厕所普及率超过70%^[4](P58)]。这些数据表明,农村环境治理确实取得了阶段性成效。但与此同时,居民健康状况并未在所有地区同步改善^[5]。相关研究表明,农村居民仍面临慢性病负担、健康服务可及性不足和健康水平差异等长期性问题,城乡居民在健康水平和健康服务可及性等方面仍存在显著差异^[6]。由此可见,环境改善与健康改善之间存在不完全匹配的现象,尤其

收稿日期:2025-05-13;修回日期:2025-09-04

*基金项目:国家社会科学基金后期资助项目“人口变动、环境治理影响下的农村健康系统韧性”(25FGLB035)

作者简介:周为,博士、副教授,主要从事基层社会风险治理、农村公共管理研究;张宁宁,硕士研究生,主要从事基层治理研究;张帆,硕士,主要从事基层治理研究。

在县域层面更为突出——一方面环境设施建设投入持续增加,另一方面居民健康风险依旧累积。

这种不完全匹配并非意味着环境治理成效不足,而是提示我们仅靠基础设施建设和短期污染指标达标,可能不足以应对农村居民长期累积的健康风险。以湖南省为例,2020年第七次人口普查数据显示,其农村65岁及以上人口比例为18.86%^[17];而同期的县域污水集中处理率却相对较低,农业面源污染依然严重。这种结构性短板,使农村居民在面对环境风险和公共卫生冲击时表现出更高的健康脆弱性。

因此,理解和破解这一困境,需要将“健康脆弱性”置于人居环境治理的框架下加以分析。健康脆弱性不仅涉及环境风险的暴露程度,还受到人口敏感性与治理应对能力的共同影响。现有研究虽对脆弱性理论有所拓展,但多数停留在宏观尺度或城市语境^[8],多聚焦于经济贫困^[9]与医疗服务^[10],缺乏基于县域层面的实证研究。这不仅限制了对农村健康风险结构性根源的揭示,也使得政策建议难以精准契合基层治理实际。

在这一背景下,本文以湖南省68个县域为样本,围绕三个问题展开分析:第一,农村健康脆弱性在县域尺度上呈现怎样的空间分布格局?第二,哪些因素构成了制约“降脆”的主要障碍?第三,如何结合县域经济社会发展实际,提出更具针对性的“降脆”治理路径?通过对这些问题的回应,本文力图揭示环境改善与健康改善之间“不完全匹配”的深层逻辑,也期望能为其他类似地区的公共政策制定与基层治理实践提供思路与启示。

一、文献综述

(一)“脆弱性”概念界定与研究进展

“脆弱性”通常用于描述系统在外部冲击下受到不利影响的倾向^[11],随着环境风险与公

共健康议题的交织,这一概念逐渐被引入健康研究,并演化出“健康脆弱性”的表述和分析框架^[12]。其中,暴露性指人群在环境污染、自然灾害或流行病面前的风险接触程度;敏感性强调群体的社会经济地位、身体特征或既有健康状况对冲击的放大效应;应对性则体现医疗保障、公共服务和社会支持网络在缓解健康损害中的作用。

不同学者对三维框架的理解和应用表现出差异化倾向。Christina Zarowsky等^[13]强调在卫生系统研究中应关注暴露性的动态性及其核心地位;Morgan M. Levison等^[14]则提出通过灾害暴露概率、敏感性与适应能力三方面来描述气候变化情境下的健康脆弱性,从而扩展了传统研究中对“应对性”与“敏感性”的依赖。国内学者的研究多集中于城市尺度,例如王若楠等^[15]在突发公共卫生事件应急系统的脆弱性评价中,将“暴露性”作为基础性维度加以强调。这些成果在丰富脆弱性理论的同时,也推动了其在健康领域的应用。

(二)环境健康风险评估方面的研究

环境健康是指人类与环境之间的相互作用,涵盖物理、化学、生物等因素及其相关行为对健康可能造成的影响。^[16]作为公共治理的重要议题,环境健康长期受到学界关注。已有研究表明,环境污染物的长期暴露会显著恶化环境质量,并直接威胁人群健康^[17],进而对经济发展和社会稳定产生深远影响。现阶段的研究主要集中在以下三个方面。第一,气候与污染风险的健康效应。部分学者以气候变化和极端天气为切入点^[14],探讨热浪、洪涝、空气污染对公共健康的冲击,揭示了环境风险与健康脆弱性之间的显著相关性。第二,城乡差异及环境不平等。研究指出,经济增长^[18]和城市化虽然改善了医疗条件,却在一定程度上扩大了城乡之间在环境暴露与健康风险方面的差距^[19]。第三,治理与制度因素。环境治理能力^[20]和公共服务水平^[21-22]被证明与居民健康状况密切相关,而治理缺陷可能会放大环境健康风险的传

导效应。

(三) 农村“健康脆弱性”研究

与城市地区相比,农村由于长期发展不足和人口外流,存在更为严峻的环境健康风险^[16],并且居民的健康素养普遍偏低,健康问题呈现出与城市不同的特征^[2]。已有研究在“脆弱性”议题上积累了较多成果,Ya Li等^[11]通过实地调查与回归分析方法揭示了农村“医疗贫困脆弱性”的表现与影响因素;Gaoling Wang^[23]运用分位数回归和结构方程模型探讨了农村老年群体的“健康贫困脆弱性”;Ying Ma等^[24]采用三阶段可行广义最小二乘法和结构方程模型研究农村慢性病老年人家庭的“贫困脆弱性”,探讨贫困的健康风险因素和作用路径。这些研究拓展了对农村弱势群体的了解,但总体上仍局限于贫困脆弱性或医疗脆弱性,较少从环境风险与健康脆弱性交织的角度加以系统探讨。

与此同时,现有研究多集中在宏观尺度,例如在“一带一路”倡议区域^[25]或中低收入国家开展综合健康脆弱性评估^[26],或者基于全球脆弱性评价方案进行跨国比较^[12],均揭示了健康脆弱性在国际层面的普遍性。然而,这类研究在县域尺度上的适用性不足,未能有效反映农村地区微观环境差异及基层治理的现实特征。

(四) 文献述评与本研究的特点和创新

纵观现有研究,可以发现基于脆弱性理论的三维框架(暴露性-敏感性-应对性)已在环境与健康研究中得到广泛应用,为理解健康风险提供了方法论上的借鉴,也为相关的实证测度提供了基本工具。该框架不仅帮助学者揭示了不同人群在风险暴露、社会敏感性和治理应对方面的差异,也在一定程度上推动了环境与健康议题从单一维度向综合视角的转变。然而,整体来看,相关研究仍存在若干有待深化之处。

首先,在研究对象方面,现有成果多以宏观区域或大中城市为主要场域,对县域这一能够反映城乡差异、凸显基层治理特征的重要层

级关注相对有限。这使得部分结论在解释农村健康困境时存在外推上的局限。其次,在研究议题方面,农村语境下的健康问题往往聚焦于“贫困脆弱性”或“医疗脆弱性”,而人居环境中诸如面源污染、饮水安全、基础设施缺口等风险源较少被系统纳入脆弱性分析,由此导致环境风险与健康效应之间的复杂关系尚未得到充分揭示。再次,在研究方法方面,现有研究多以定性推演或回归模型为主,跨维度、多指标的综合测度框架仍显不足。这在一定程度上限制了对健康脆弱性的空间差异与障碍因子的深入识别。

本文的研究特色主要体现在三个方面:一是在研究视角上,将健康脆弱性置于农村人居环境治理的框架中,强调环境风险与健康效应的交互作用;二是在研究尺度上,聚焦县域这一基层治理的关键单元,以揭示农村健康脆弱性的空间分布特征;三是在研究方法上,构建“暴露性-敏感性-应对性”三维测度体系,并结合集对分析和障碍度模型,识别制约健康改善的关键因子,进而提出更具针对性的“降脆”治理路径。通过这些探索,本文力求在理论深化与实践回应之间建立联系,为乡村振兴与健康中国战略提供新的学理支撑和政策启示。

二、研究区域与研究方法

(一) 研究区域

湖南省位于中国中南部,是典型的农业大省,也是东部沿海与中西部地区的过渡地带。该省地形复杂、发展水平差异显著。一方面农业基础雄厚,另一方面农村地区长期面临资源短缺、环境污染与人居环境治理不足等问题。^[27]湖南省资源环境承载压力较为突出,农村人居环境治理存在明显地域分异,部分县域在污水治理、环境基础设施供给、人口老龄化和农业面源污染防治等方面仍面临现实约束,使农村居民在环境风险面前呈现出更高的健康脆弱性。加

之湖南省自然状况较为复杂, 社会经济发展存在差异性, 导致人居环境状况多样, 各地区的乡村人居环境治理存在明显的地域分异。^[28] 本文选择湖南省68个县域为样本, 探讨各县农村健康脆弱性以及主要影响因素, 以期为类似地区环境健康治理提供参考。

(二) 指标与方法

1. 指标体系的构建与权重的确定

健康脆弱性评估是一种衡量个人、群体或地区在健康风险面前承受能力与适应能力的方法。评估指标的选取是计算人口健康脆弱性的基础, 对结果有着至关重要的作用, 所以要遵循科学性、全面性、易操作性、可比性、可追溯性等原则。本文健康系统脆弱性指标体系的构建是在童磊等人^[29]对“城市人口健康脆弱性”解读的基础上, 将研究焦点转向农村地区, 而农村最大的风险源是“暴露”问题, 因此本文根据Christina Zarowsky等^[13]和Morgan M. Levison等^[14]在脆弱性研究中对风险暴露的考量, 加入了“暴露性”的维度描述农村健康脆弱性, 结合农村人居环境的暴露风险源构建起“暴露性、敏感性、应对性”三维度评价指标体系。该指标体系共包含18个指标, 指标名称、含义及属性见表1。指标数据来源于《湖南省统计年鉴2021》《中国环境统计年鉴2021》《第七次人口普查》《红黑人口库》《第三次国土调查主要数据公报》《2021湖南农村统计年鉴》《百度地图》《湖南省各县人民政府网站》《县级人民政府网站2020年财政收支决算报告》。

表1 农村健康脆弱性评价指标体系

维度			指标	指标含义
健康脆弱性	暴露性		家庭内有厕所所占比重(%)	反映地区基础卫生状况(-)
			生活污水有害物质(COD, AN)排放量(吨)	反映地区水环境质量状况(+)
			农业污水有害物质(COD, AN)排放量(吨)	反映地区水环境质量状况(+)
			农用柴油使用量(吨)	反映地区大气质量状况(+)
			农药使用量(吨)	反映地区土壤质量状况(+)
			防疫站个数(个)	反映地区卫生防疫水平(-)
	敏感性		两癌筛查率(%)	反映地区妇女保健情况(-)
			15—64岁妇女平均存活子女数(人)	反映地区儿童保健情况(-)
			65岁及以上人口所占比重(%)	反映地区人口年龄结构(+)
			15岁及以上人口文盲率(%)	反映地区人口受教育水平(+)
			年末城镇人口比重(%)	反映地区城市化水平(-)
			水土流失综合面积(千公顷)	反映地区环境承载能力(+)

健康脆弱性	应对性	人均GDP(元)	反映地区经济发展水平(-)
		每千人拥有床位数(张)	反映地区医疗服务可及性(-)
		人均医疗保健支出(元)	反映地区个体健康投入状况(-)
		农村居民人均可支配收入绝对值(元)	反映地区居民生活水平(-)
		人均财政医疗卫生支出(元)	反映政府医疗卫生强度(-)
		人均财政环境保护支出(元)	反映地区环境保护能力(-)

注: “+”“-”分别表示不同指标对目标层的同向或异向关系, 与准则层无关。

为了消除变量量纲和变异范围影响, 本文选择极差法, 通过测量某个特征在不同样本之间的最大和最小值来获取差异范围大小, 从而对数据进行标准化处理。并在此基础上选取了熵权法确定脆弱性各影响因素的权重(见表2), 能客观地对评价体系中的指标赋权, 避免了主观赋权的不公允性和不客观性, 公式如下^[30]:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^{68} (1 - e_j)}$$
$$e_j = -k \sum_{j=1}^{68} q_{ij} \ln q_{ij}$$
$$q_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij}} \text{ (当 } q_{ij}=0 \text{ 时, } q_{ij} \ln q_{ij}=0 \text{)}$$

式中: w_j 为第 j 个指标的权重; $k=1/\ln 68$; $\ln$ 为自然对数, p_{ij} 为运用极差法求得的原始指标归一化值。

表2 脆弱性评价指标体系与权重

维度	指标	权重	维度	指标	权重	维度	指标	权重
暴露性	家庭内有厕所所占比重	0.1888	敏感性	防疫站个数	0.0148	应对性	人均GDP	0.0080
	生活污水有害物质(COD, AN)排放量	0.0693		两癌筛查率	0.0072		每千人拥有床位数	0.0144
	农业污水有害物质(COD, AN)排放量	0.1156		15—64岁妇女平均存活子女数	0.0560		人均医疗保健支出	0.0142
	农用柴油使用量	0.1948		65岁及以上人口所占比重	0.0288		农村居民人均可支配收入绝对值	0.0131
	农药使用量	0.1134		15岁及以上人口文盲率	0.0519		人均财政医疗卫生支出	0.0080
				年末城镇人口比重	0.0128		人均财政环境保护支出	0.0109
				水土流失综合面积	0.0779			

2. 评价方法

根据集对分析思想^[31], 将人居环境治理视域下健康脆弱性系统中相应评价指标确定为集合 E , 相应的指标评价标准确定为集合 U , E 和 U 结成集对 $H\{E, U\}$ 。具体而言, 设人居环境治理视域下湖南省农村健康脆

弱性问题为 $Q=\{E, G, W, D\}$, 其中评价方案 $E=\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, 即行政区域集; 每个评价方案有 n 个指标 $G=\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$; 指标权重 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 评估指标的值记为 $dkp(k=1, 2, \dots, m; p=1, 2, \dots, n)$, 则问题 Q 的评价矩阵 D 为:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

(1) 确定评价指标的同一度和对立度

根据理论和现实分析, 组成最优方案集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和最劣评价指标方案集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。根据集合 $\{vp, up\}$, 评价矩阵 D 中 dkp 的同一度 akp 和对立度 ckp 在不同情况下分别如下:

$$\begin{cases} \text{当d对评价结果起正向作用时} \begin{cases} a_{kp} = \frac{d_p}{u_p + v_p} \\ c_{kp} = \frac{u_p v_p}{d_p(u_p + v_p)} \end{cases} \\ \text{当d对评价结果起反向作用时} \begin{cases} a_{kp} = \frac{u_p v_p}{d_p(u_p + v_p)} \\ c_{kp} = \frac{d_p}{u_p + v_p} \end{cases} \end{cases}$$

(2) 确定脆弱性集对间关系

集对 $\{Ek, U\}$ 在区间 $[V, U]$ 上的联系度 μ 为

$$\begin{cases} \mu(E_k, U) = a_k + b_{ki} + c_{kj} \\ a_k = \sum w_p a_{kp} \\ c_k = \sum w_p c_{kp} \end{cases}$$

(3) 确定人居环境治理视域下农村健康脆弱性

r_k 指数反映了待评价方案 E_k 与评价基准集的关联程度, r_k 越大表示被评价对象越接近评价基准。方案 Ek 与评价基准的贴近度 r_k 可定义为: $r_k = \frac{\alpha_k}{\alpha_k + c_k}$

根据 r_k 的大小即可分析人居环境治理视域下湖南省农村健康脆弱性程度, r_k 越大表示人居环境治理视域下湖南省农村健康脆弱性越大, 农村健康系统的稳定性越差。同理, 各县域农村健康的暴露性指数、敏感性指数和应对性指数皆采用上述步骤计算。

三、研究结果

(一) 相关性分析

根据评价模型, 计算得到湖南省68个县的农村健康脆弱性指数, 及其二级指标暴露性、敏感性和应对性指数。研究结果表明, 湖南省县域间健康脆弱性指数、暴露性指数、敏感性指数和应对性指数均存在明显差异。其中, 脆弱性指数与其二级指标暴露性指数排名相差三位以内的有25个县, 与其二级指标敏感性指数排名相差三位以内的只有6个县, 与其二级指标应对性指数排名相差三位以内的有10个县。结果显示, 与敏感性和应对性相比, 暴露性指数与健康脆弱性指数在空间分布上具有更高的一致性。

为进一步验证指标之间的关系, 将研究区域健康暴露性指数、敏感性指数、应对性指数与脆弱性指数进行相关性分析(见表3), 健康脆弱性与敏感性之间双侧显著性检验结果为 $0.506 > 0.01$, 因此二者之间无明显的相关关系, 而表中健康脆弱性与暴露性之间的t检验结果为 $0.000 < 0.01$, 表明两者之间显著相关, 且相关系数为0.949, 即健康脆弱性与暴露性之间具有很强的线性相关性。健康脆弱性与应对性之间相关系数为0.390, 同样表明二者之间有关关系, 这与上文分析结果相吻合。

表3 健康脆弱性与各维度相关性分析

		脆弱性	暴露性	敏感性	应对性
脆弱性	皮尔逊相关性	1	0.949**	0.082	0.390**
	Sig. (双尾)		0.000	0.506	0.001
暴露性	皮尔逊相关性	0.949**	1	-0.222	0.545**
	Sig. (双尾)	0.000		0.069	0.000
敏感性	皮尔逊相关性	0.082	-0.222	1	-0.339**
	Sig. (双尾)	0.506	0.069		0.005
应对性	皮尔逊相关性	0.390**	0.545**	-0.339**	1
	Sig. (双尾)	0.001	0.000	0.005	
样本数		68			

(二) 农村健康脆弱性等级分布特征分析

为了更加直观地展现不同县域环境治理状况对农村健康脆弱性影响, 突出各县域之间的异质性, 本文利用ArcGIS对评价指数得分进行分级, 将湖南省各县的评价指数分级

显示在湖南省地图上,进行可视化分析。以脆弱性指数的平均值($AVG=0.542381$)和标准差($STD=0.083025$)作为评价依据,将各县域的健康脆弱性指数划分为低度、轻度、中度和高度4个脆弱性等级。其中,脆弱性指数介于($0, AVG-STD$)即($0, 0.459356$)之间的县界定为低度脆弱县,介于($AVG-STD, AVG$)即($0.459356, 0.542381$)之间的地区为轻度脆弱县,介于($AVG, AVG+STD$)即($0.542381, 0.625406$)、($AVG+STD, 1$)即($0.625406, 1$)之间的地区分别界定为中度脆弱县和高度脆弱县。湖南省各县域的综合脆弱性指数分级结果见图1。

如图1所示,高度脆弱性县域有11个;中度脆弱性县域有27个;轻度脆弱性县域有17个;低度脆弱性县域有13个。高度脆弱性县域集中在湖南省中部,呈线状分布,中度脆弱性县域伴随高度脆弱性县域呈块状分布,这两类县域占全省总县域的55.88%;轻度和低度脆弱性地区多分布在湖南省西部和南部外缘,这两类县域占全省总县域的44.12%。

将健康脆弱性二级指标的暴露性、敏感性和应对性指数划分为低度、轻度、中度和高度4个等级(如图2、图3、图4所示)。

暴露性指数:暴露性指数高的县域集中在湖南省北部和中部,暴露性低和轻度地区集中在西部和东南部。高度、中度暴露性县域占全省总县域的51.47%,轻度、低度暴露性县域占全省总县域的48.53%。

敏感性指数:高度敏感性和中度敏感性县域集中在湖南省西北部,轻度敏感性和低度敏感性县域集中在湖南省东部和东南部地区。高度、中度敏感性县域占全省总县域的44.12%,轻度、低度敏感性县域占全省总县域的55.88%。

应对性指数:高度应对能力和中度应对能力的县域集中分布于北部和东南部。高度、中度应对能力县域占全省总县域的48.53%,轻度、低度应对能力县域占全省总县域的51.47%。

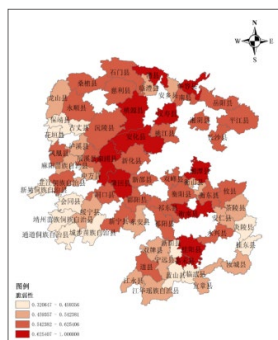


图1 湖南省农村健康脆弱性空间分布图

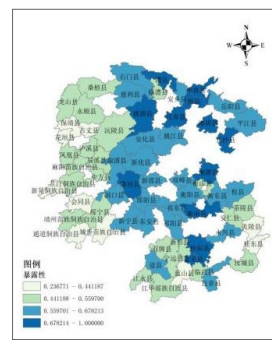


图2 湖南省农村暴露性空间分布图

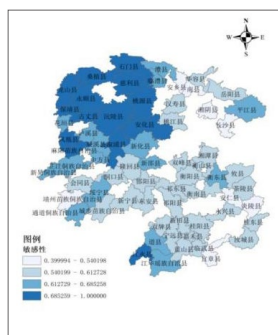


图3 湖南省农村敏感性空间分布图

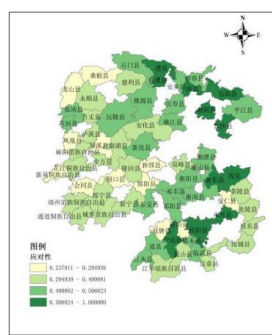


图4 湖南省农村应对性空间分布图

(三) 县域特征分析

表4展示了湖南省68个县域在不同脆弱性等级下的维度表现。为便于比较,将暴露性、敏感性和应对性三个二级指标中的“高度、中度”归为偏高水平,将“轻度、低度”归为偏低水平。在11个高度脆弱性县域中,暴露性均处于偏高水平,而在13个低度脆弱性县域中,无暴露性偏高的县域。这表明风险暴露水平是区分高、低脆弱性县域的重要依据,高暴露性往往伴随较高健康脆弱性。

在27个中等脆弱的县域里,74.07%的县域暴露性偏高,48.15%的县域呈现偏高敏感性,40.74%的县域呈现偏低应对性,与高度脆弱性县域相比,中度脆弱县域的暴露性偏高比例有所下降,但人口敏感性偏高和应对能力不足的影响仍较突出。由此可见,降低暴露性能够有效降低脆弱性,但当地较高的人口敏感性,以及较低的面对环境污染的应对能力也会导致脆弱性处于较高水平。

轻度和低度脆弱性县域中,尽管部分地区仍存在应对能力不足问题,但暴露性偏高县域

明显减少,说明较低的环境风险暴露有助于维持较低的脆弱性水平。

表4 各县域特征表现

			暴露性	敏感性	应对性	脆弱性指数 数最大值	脆弱性指数 数最小值	脆弱性指数 数中位数
高度脆弱性县域（11个）	桃源县	高中	高高	中轻				
	安化县	高中	高轻	中中				
	嘉禾县	高中	轻中	中高				
	衡南县	高中	中高	轻中	0.720	0.626	0.640	
	澧县	高中	轻轻	中高				
	溆浦县	高中	轻轻	中高				
	华容县	高中	轻轻	中高				
	桂阳县	高中	轻轻	中高				
	隆回县	高中	轻轻	中中				
	湘潭县	高中	轻轻	中中				
	汉寿县	高中	轻轻	中中				
中度脆弱性县域（27个）	平江县	中高	中低	中高				
	南县	中高	低轻	高低				
	湘阴县	高中	轻轻	中中				
	邵阳县	中中	轻轻	中中				
	衡阳县	中中	轻轻	中中				
	祁阳市	中中	轻轻	中中				
	石门县	中中	高高	中中				
	祁东县	中中	轻中	中中				
	新化县	中中	轻中	中中				
	永兴县	中中	轻高	中高				
	桑植县	中中	高高	低轻	0.621	0.546	0.580	
	慈利县	中中	高高	轻高				
	攸县	中中	轻中	高高				
	衡东县	中中	中轻	高高	0.621	0.546	0.580	
	双峰县	中中	中轻	高高				
	永顺县	中中	高中	轻轻				
	新邵县	中中	中中	低低				
	洞口县	中中	中中	低低				
	辰溪县	中中	中中	低低				
	岳阳县	中中	轻中	高低				
	凤凰县	中中	轻高	高低				
	长沙县	中中	高高	高高				
	道县	中中	中中	高中				
	芷江侗族自治县	中中	中中	中轻				
	桃江县	中中	中轻	中轻				
	新宁县	中中	中轻	中轻				
	沅陵县	中中	中高	中中				
轻度脆弱性县域（17个）	龙山县	轻轻	高中	低高				
	临澧县	轻轻	高中	高中				
	东安县	轻中	中中	高中				
	江华瑶族自治县	轻轻	中中	轻中				
	安仁县	轻轻	低低	低轻				
	宜章县	轻中	低低	轻轻				
	茶陵县	轻轻	轻轻	轻轻				
	宁远县	轻轻	轻高	高中	0.539	0.483	0.517	
	江永县	轻轻	高高	中中				
	衡山县	轻轻	轻中	中轻				
	汝城县	轻轻	轻中	轻轻				
	中方县	轻轻	轻中	轻轻				
	麻阳苗族自治县	轻轻	高中	轻轻				
	绥宁县	轻轻	高中	轻轻				
	泸溪县	轻轻	中中	轻轻				
	安乡县	中中	低低	轻中				
	双牌县	中中	轻轻	中低				
低度脆弱性县域（13个）	临武县	轻轻	轻轻	中中				
	靖州苗族侗族自治县	轻轻	低低	轻轻				
	会同县	低轻	轻轻	低低				
	新田县	低轻	轻轻	低轻				
	城步苗族自治县	低低	轻轻	轻轻				
	通道侗族自治县	低低	中中	轻中	0.457	0.321	0.433	
	保靖县	低低	高中	中中				
	花垣县	低低	中中	中低				
	新晃侗族自治县	低低	中中	低轻				
	桂东县	低低	轻轻	轻轻				
	蓝山县	低低	轻轻	轻轻				
	炎陵县	低低	低低	轻轻				
	古丈县	低低	高高	轻轻				

(四) 空间自相关分析

为检验县域农村健康脆弱性是否存在空间集聚特征,本文以湖南省68个县域农村健康脆弱性指数为观测值,基于县域空间邻接关系构建Queen邻接空间权重矩阵,并采用全局Moran's I 和局部Moran's I 进行空间自相关分析。检验结果显示, Moran's I 指数为0.298,表明湖南省县域农村健康脆弱性存在正向空间相关,说明相邻县域之间的健康脆弱性水平并非随机分布,而是具有一定空间依赖特征。

进一步采用LISA聚类图识别局部空间关联类型,结果如图5所示。在68个县域中,高-高集聚县域9个,低-低集聚县域3个,低-高异常县域4个,高-低异常县域1个,其余51个县域未通过显著性检验。其中,高-高集聚表示高脆弱县域周边仍以高脆弱县域为主,低-低集聚表示低脆弱县域周边仍以低脆弱县域为主;低-高异常和高-低异常则说明个别县域与周边县域的脆弱性水平存在明显差异。总体来看,湖南省县域农村健康脆弱性不仅存在整体正向空间相关,而且在局部层面呈现高值集聚、低值集聚与空间异质并存的特征。

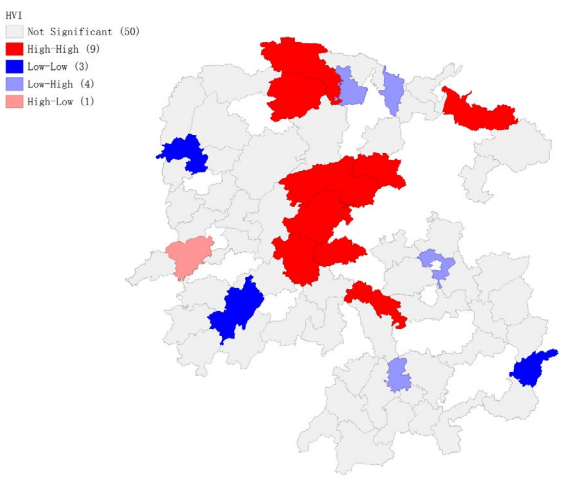


图5 湖南省县域农村健康脆弱性局部空间自相关结果

四、健康脆弱性评价指标障碍因素分析

在农村健康脆弱性综合评价的基础上,本

文进一步引入障碍度诊断模型^[30],用于识别并剖析影响湖南省农村健康脆弱性的主要障碍因子,从而为提出“降脆”路径提供实证依据。该模型以健康脆弱性评价体系为基础,综合考虑因子贡献度、指标偏离度和障碍度三个变量,以衡量不同指标对总体脆弱性的制约程度。具体而言,通过障碍度分析公式,可计算各指标层因子对目标变量的障碍效应,其计算方法如下:

根据数据的标准化处理结果,得到标准化数值 y_{ij} ,计算指标偏离度 d_{ij} 。

$$d_{ij}=1-y_{ij}$$

下一步计算指标层障碍度 A_{ij} 。

$$A_{ij}=\frac{\omega_{ij}d_{ij}}{\sum_{i=1}^n \omega_{ij}d_{ij}} \times 100\%$$

式中, y_{ij} 为第 i 项指标的标准化值; d_{ij} 为指标偏离度,表示单项因子与最大目标之间的差距,定义为指标标准化值 y_{ij} 与1之间的差距; A_{ij} 为第 i 项指标的障碍度,表示第 i 项指标对脆弱性的影响程度; ω_{ij} 为第 j 项指标的权重系数。 A_{ij} 得分越高,意味着第 i 项指标对降低脆弱性的阻碍越大,对“降脆”越不利。

障碍度诊断结果显示(图6),农村健康脆弱性的形成并非由单一指标决定,而是多维因素叠加作用的结果。其中,厕所普及率、生活污水和农业污水污染物排放量、农药与柴油使用量、水土流失强度等因子在障碍度排序中频繁出现,成为影响脆弱性水平的主要因素。厕所普及率在各县域中累计出现64次,反映出“厕所革命”虽在全国范围取得明显进展,但在一些地区仍存在“重建设、轻管护”的问题,管护责任落实不到位使得设施使用率和持久性难以保障;农业面源污染相关指标障碍度较高,表明绿色生产方式尚未全面普及,农药和柴油的高投入模式依然普遍存在;水土流失问题则揭示了生态环境脆弱县域在自然条件与发展需求之间的制度性张力。

从县域治理实践看,这些障碍因素往往叠加财政能力有限、农户经营规模偏小、基层干部数量不足以及农村人口老龄化等现实约束,

使得“建管并重”和“绿色转型”的政策要求在落地过程中遇到阻滞。县域层面财政支撑能力有限,难以持续保障污水处理、厕所管护等日常运行开支;农户对绿色农业技术的接受度较低,进一步加剧了农业面源污染的治理难度;人口老龄化则削弱了村庄公共事务共治的能力,使得环境治理与健康改善的互动更加复杂。

因此,后续“降脆”路径应紧扣障碍度排序,优先围绕厕所管护、污水治理和农业绿色转型等高频障碍因子精准施策。

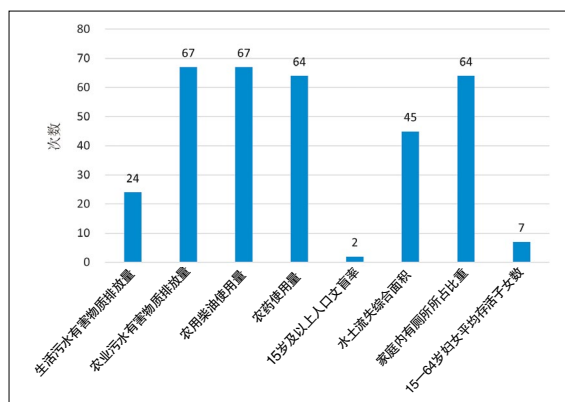


图6 湖南省各县影响健康脆弱性的主要障碍因子

五、结论与“降脆”建议

(一) 结论

本文基于脆弱性理论,从“暴露性-敏感性-应对性”三维框架出发,对湖南省68个县域的健康脆弱性进行了系统测度与障碍因素分析。研究得到以下主要结论。

一是县域健康脆弱性存在显著的空间差异与集聚效应。不同县域在脆弱性水平上表现出明显的不均衡性,脆弱性高值区往往集中分布并形成区域集聚。这表明健康脆弱性并非孤立现象,而是受到区域环境条件、社会经济水平和治理能力的共同影响,具有显著的空间依赖特征。

二是暴露性是导致健康脆弱性上升的关键维度。实证结果显示,暴露性与健康脆弱性之间具有高度联动性,高暴露水平往往伴随高脆弱性。相比之下,敏感性和应对性虽然同样发

挥作用,但影响程度和趋势均弱于暴露性。这意味着,降低暴露性水平是“降脆”的优先方向,应将防范和控制潜在健康风险源置于比事后补偿更重要的位置,从而实现健康风险的源头治理。

三是障碍因子集中于环境暴露与基础设施领域,凸显县域治理短板。障碍度分析发现,厕所普及率、污水处理率、农业面源污染以及水土流失是制约健康脆弱性改善的主要因子。这些问题并非单纯源于资源缺乏,而是更多反映出县域层面的结构性约束,包括设施运行维护不足、财政保障能力有限、绿色生产推广缓慢等。由此可见,提升农村健康水平不仅需要技术和资金的投入,更需要通过政策设计和治理能力建设,推动“建管并重”“绿色转型”以及“生态与健康协同治理”。

本研究以湖南省68个县域为分析单元,样本兼具农业主导、生态承载压力较大和基层治理资源有限等特征,具有中部丘陵区农村健康治理的典型性。虽然结论具有区域限定性,但其指标体系、障碍识别方法及“暴露-敏感-应对”分析框架,对类似地区仍具有一定借鉴意义。

(二) 讨论与“降脆”建议

基于健康脆弱性指数测度和障碍因素分析结果,农村健康脆弱性治理亟需在“高频因子优先突破—制度能力协同提升—县域约束因地应对”的框架下展开。

一是健全公共卫生基础设施的建管并重机制。厕所普及率和污水处理率在障碍度排序中居于前列,说明设施建设虽已取得进展,但在运行维护与长效管护上仍存在薄弱环节。建议在继续推进“厕所革命”和污水治理工程的同时,更加注重管护责任落实与资金保障,探索政府购买服务、村集体共管、社会化参与等多元模式,形成可持续的运行机制。

二是推动农业绿色转型与农户适应性提升。农药和柴油使用量较高是农村健康脆弱性的重要障碍因子,反映出现有生产方式与绿色

转型要求之间存在差距。建议强化财政引导和技术推广,推动农户逐步采用低毒低残留农药和清洁能源机械;同时,通过农技推广员驻村服务和合作社引领,提高农户对绿色生产的接受度和适应性。此举既能减少农业面源污染,也能降低健康脆弱性源头风险。

三是完善县域财政保障体系与提升基层治理能力。障碍度分析结果表明,厕所普及率、污水处理率、农药与柴油使用量、水土流失等指标在障碍排序中频繁出现,成为影响农村健康脆弱性的关键因子。这些结果揭示出农村基础设施“重建设、轻管护”、农业绿色转型推进不足以及生态环境脆弱等突出问题。已有研究表明,这类现象往往与县域财政能力有限^[32]、基层治理力量不足^[33]密切相关:一方面,财政投入不足导致设施运行维护难以为继;另一方面,基层治理资源有限,加之人口老龄化,使公共事务管护和环境治理的持续性面临挑战。因此,建议中央与省级财政进一步加大对欠发达县域的转移支付力度,重点支持农村污水处理、厕所管护和绿色农业转型项目。同时,应通过培训和激励机制提升基层干部的治理能力,推动村庄公共事务共治,缓解人口老龄化对治理能力的冲击。

四是统筹生态保护与健康改善的协同路径。障碍度分析结果显示,水土流失等生态因子在部分县域占比较高,反映出生态环境脆弱性与健康脆弱性之间存在显著耦合关系。为此,在推进生态保护红线和水土保持工程等政策的同时,应将健康风险纳入生态治理评估框架,强化对环境改善与居民健康效应的统筹考量。进一步而言,可探索“生态补偿—健康收益”联动机制,将生态修复成效与公共健康改善相结合,从而实现生态安全与健康提升的协同目标。

参考文献:

- [1]汪斌. 健康中国背景下国民健康意识特征及影响机制[J]. 深圳社会科学, 2022, 5(3): 80-90.
- [2]Wang W, Zhang Y, Lin B, et al. The urban-rural disparity in the status and risk factors of health

- literacy: A cross-sectional survey in central China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 3848.
- [3]王波, 何军, 车璐璐, 等. 农村生活污水资源利用: 进展、困境与路径[J]. *农业资源与环境学报*, 2023, 40(5): 1255-1264.
- [4]中国农村人居环境发展报告(2021)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021:58.
- [5]Liang X, Yue X. Challenges facing the management of wastewater treatment systems in Chinese rural areas[J]. *Water Science and Technology*, 2021, 84(6): 1518-1526.
- [6]张震. 新中国人口健康转变: 卫生治理与健康策略协同演进的成就[J]. *中国人口科学*, 2022(5): 32-47, 126-127.
- [7]湖南省统计局. 湖南省第七次全国人口普查公报(第四号)[R/OL]. (2021-05-19)[2026-05-13]. https://tjj.hunan.gov.cn/hntj/m/tjgb_1/202105/t20210519_19054787.html.
- [8]梁琼, 张晓波, 宋雪茜. 中国老年人口健康水平空间分布及影响因素[J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42(8): 1994-2000.
- [9]黄建毅, 童磊, 苏飞, 等. 韧性城市框架下的人口健康脆弱性概念及评价方法[J]. *北京联合大学学报*, 2022, 36(1): 26-32.
- [10]韦艳, 汤宝民. 健康冲击、社会资本与农村家庭贫困脆弱性[J]. *统计与信息论坛*, 2022, 37(10): 103-116.
- [11]Li y, Huang L. Assessing the impact of public transfer payments on the vulnerability of rural households to healthcare poverty in China[J]. *BMC Health Services Research*, 2022, 22(1): 242.
- [12]Birkmann J, Jamshed A, Mcmillan J M, et al. Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 803: 150065.
- [13]Zarowsky C, Haddad S, Nguyen V K. Beyond 'vulnerable groups': Contexts and dynamics of vulnerability[J]. *Global Health Promotion*, 2013, 20(1_suppl): 3-9.
- [14]Levison M M, Butler A J, Rebellato S, et al. Development of a climate change vulnerability assessment using a public health lens to determine local health vulnerabilities: An Ontario health unit experience[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(10): 2237.
- [15]王若楠, 余伯韬, 何艳婷, 等. 中国省域突发公共卫生事件应急系统脆弱性评价及驱动因素分析[J]. *中国卫生事业管理*, 2022, 39(10): 730-735.
- [16]Pona H T, Xiaoli D, Ayantobo O O, et al. Environmental health situation in Nigeria: Current status and future needs[J]. *Heliyon*, 2021, 7(3): e06330.
- [17]Zhang L, Yang Y, Lin Y, et al. Human health, environmental quality and governance quality: Novel findings and implications from human health perspective[J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 890741.
- [18]Fan Y, fang M, Zhang X, et al. Will the economic growth benefit public health? Health vulnerability, urbanization and COVID-19 in the USA[J]. *The Annals of Regional Science*, 2022, 70(1): 81-99.
- [19]Hung K K C, Mashino S, Chan E Y Y, et al. Health workforce development in health emergency and disaster risk management: The need for evidence-based recommendations[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(7): 3382.
- [20]周为, 米硕, 袁梓怡. 环境治理与公共健康的相互作用——基于长沙市圭塘河综合治理案例的分析[J]. *行政论坛*, 2024, 31(3): 143-152.
- [21]宋月萍, 李怡霏, 时之鑫, 等. 新型城镇化、公共服务与居民健康: 以村改居为例[J]. *人口与发展*, 2025, 31(4): 112-121.
- [22]米加宁, 张斌, 周为. 人工智能驱动公共服务高质量发展: 理论逻辑、实践模式和发展路径[J]. *北京工业大学学报(社会科学版)*, 2025, 25(6): 45-61.
- [23]Wang G, Shen X, Cheng Z, et al. The impact of informal social support on the health poverty vulnerability of the elderly in rural China: Based on 2018 CHARLS data[J]. *BMC Health Services Research*, 2022, 22(1): 1122.
- [24]Ma Y, Xiang Q, Yan C, et al. Poverty vulnerability and health risk action path of families of rural elderly with chronic diseases: Empirical analysis of 1,852 families in central and Western China[J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 776901.
- [25]Chan E Y Y, Huang Z, Lam H C Y, et al. Health vulnerability index for disaster risk reduction: Application in belt and road initiative (BRI)

- region[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(3): 380.
- [26] Makinde O A, Uthman O A, Mgbachi I C, et al. Vulnerability in maternal, new-born, and child health in low-and middle-income countries: Findings from a scoping review[J]. *Plos One*, 2022, 17(11): e0276747.
- [27] 徐美, 刘春腊. 湖南省资源环境承载力预警评价与警情趋势分析[J]. *经济地理*, 2020, 40(1): 187-196.
- [28] 彭鹏, 顾丹丹, 周国华. 湖南省乡村人居环境脆弱性格局变化及响应指数的影响机制[J]. *经济地理*, 2022, 42(6): 168-178.
- [29] 童磊, 郑珂, 苏飞, 等. 浙江省人口健康脆弱性评估及影响因素分析[J]. *地理科学*, 2020, 40(8): 1293-1299.
- [30] 李贞. 基于熵权TOPSIS模型的山东省海洋经济系统脆弱性评价与障碍度分析[J]. *海洋开发与管理*, 2023, 40(1): 94-103.
- [31] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[J]. *大自然探索*, 1994(1): 67-72.
- [32] 伍海泉, 陈荣赓, 李天峰. 财政压力会影响农村家庭多维相对贫困吗?——基于CFPS面板数据的实证研究[J]. *财政科学*, 2023(4): 124-139.
- [33] 贺雪峰. 资源下乡与基层治理悬浮[J]. *中南民族大学学报(人文社会科学版)*, 2022, 42(7): 91-99, 184.
- 【责任编辑 苏聪文】

Assessment of Rural Human Settlement Health Vulnerability and Analysis of Obstacle Factors: A Case Study of 68 Counties in Hunan Province

ZHOU Wei, ZHANG Ningning & ZHANG Fan

Abstract: Against the backdrop of the ongoing Healthy China Initiative and Rural Revitalization Strategy, the relationship between governance of rural human settlements and residents' health improvement has become a critical issue in grassroots public governance. Existing studies mostly focus on the effectiveness of rural environmental remediation or residents' health levels; however, there is still a lack of systematic identification regarding the spatial distribution patterns and main obstacle factors of the health vulnerability of rural human settlements at the county scale. Taking 68 counties in Hunan Province as samples, this study constructed an "Exposure-Sensitivity-Adaptive Capacity" evaluation index system for rural human settlements. The Set Pair Analysis (SPA) method was employed to calculate the health vulnerability index, which was then visualized using ArcGIS software. Furthermore, an obstacle degree model was utilized to identify the primary constraints on county-level health vulnerability. The results indicate that: (1) There are distinct regularities and spatial agglomeration phenomena in the distributions of vulnerability, exposure, sensitivity, and adaptive capacity; (2) Exposure is a significant factor driving the increase in vulnerability, and reducing exposure levels helps mitigate vulnerability; (3) The proportion of households with toilets, agricultural wastewater discharge, agricultural diesel consumption, pesticide usage, and the total area of soil erosion are identified as the main obstacle factors. The findings suggest that efforts to "reduce vulnerability" at the county level should focus on the maintenance of basic sanitation facilities, the control of agricultural non-point source pollution, and the alleviation of ecological carrying pressure, while promoting synergistic progress in exposure source control, green production transformation, and the enhancement of grassroots governance capabilities.

Keywords: rural health vulnerability; human settlements; obstacle factors; Hunan Province