

# 中国县域乡村脆弱性空间特征与形成机制及对策

杨忍, 潘瑜鑫

(中山大学地理科学与规划学院 中国区域协调发展与乡村建设研究院, 广州 510275)

**摘要:** 基于乡村脆弱性本质内涵, 构建了中国县域乡村脆弱性综合测度的指标体系, 对中国县域乡村脆弱性水平进行综合测度; 通过遴选具有典型代表性的5条样带, 深化分析中国乡村脆弱性的区域差异特征及其形成机制, 并提出具有针对性的应对策略。结果表明: ① 中国县域乡村脆弱性整体上处于较低脆弱度和中脆弱度阈值区间, 并具有明显的空间差异性, 沿“博台线”呈南北分异的空间格局, 东北部乡村脆弱性偏低, 西南部乡村脆弱较高。② 外部性环境因素是诱发乡村脆弱性的先导因素, 生态暴露、生态敏感和生态适应构成的乡村生态子系统是乡村脆弱性的根本性影响因素; 经济暴露、经济敏感和经济适应构成的乡村经济子系统是乡村脆弱性的核心影响因素; 社会暴露、社会敏感和社会适应组成的乡村社会子系统也是乡村脆弱性的重要影响因素。③ 以“地理区位、乡村脆弱性主导驱动因素和脆弱性程度”为依据, 将中国县域乡村脆弱性划分为8个地域类型区。不同类型区域, 遵循因地制宜原则, 破除地区根植性和路径依赖, 增强乡村地域系统扰动源的预测和监测, 并对系统自身敏感性进行科学管制, 提升乡村系统的适应能力, 促进乡村可持续发展。

**关键词:** 乡村脆弱性; 乡村地域系统; 乡村可持续发展; 乡村振兴; 乡村地理学; 中国  
DOI: 10.11821/dlxb202106009

## 1 引言

随着全球化、城市化、工业化、信息化和市场化不断蔓延至乡村<sup>[1-2]</sup>, 乡村地域系统的空间格局、经济形态和环境状态等发生了根本性转变, 各类资本、技术和意识从城市传递至乡村市场<sup>[3]</sup>, 乡村地域系统的要素、结构和功能急速重组和转型, 系统稳定性也遭到剧烈冲击和扰动, 普遍存在脆弱性隐忧。2018年经济合作与发展组织(OECD)发布了《2018年全球脆弱性》报告, 报告强调在多维因素的共同驱动下, 生态环境系统、经济系统和社会文化系统等领域的脆弱性仍在持续。长期以来, 众多学科和重大科研计划持续关注脆弱性议题, 其中具有代表性的重大科学计划和组织有国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、国际地球生物圈计划(IGBP)、未来地球计划(Future Earth)、联合国可持续发展目标(SDGs)和政府间气候变化专门委员会(IPCC)等。全球化、工业化和城市化等共同作用, 致使各种资源在空间上的重组和再配置, 对全球经济社会发展产生了重要影响; 同时带来了乡村空间系统的急速重构与衰落, 乡村可持续发展和振兴面临着重大挑战<sup>[4]</sup>, 因地制宜地缓解乡村脆弱性的应对策略亟待进一步凝练<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2020-05-20; 修订日期: 2021-04-29

基金项目: 广东省重点领域研发计划(2020B0202010002); 国家自然科学基金项目(41871177, 41801088) [Foundation: Key-Area Research and Development Program of Guangdong Province, No.2020B0202010002; National Natural Science Foundation of China, No.41871177, No.41801088]

作者简介: 杨忍(1984-), 男, 贵州毕节人, 博士, 副教授, 博士生导师, 研究方向为乡村地理、城乡发展与土地利用。  
E-mail: yangren0514@163.com

“脆弱性”这一概念根源于对自然灾害和贫穷的研究,它有不同的定义,通常包括应付诸如自然灾害等干扰影响的个人或群体的属性<sup>[6]</sup>。关于脆弱性的研究和应用所涉领域广泛,早期主要应用于洪水和干旱等灾害领域,以及森林、海岸等生态系统领域的系统评估<sup>[7-8]</sup>。随着自然系统和社会经济系统逐渐融合与渗透<sup>[9]</sup>,人类活动对自然环境的影响及其之间的交互作用越发显著,脆弱性的相关研究延伸至人—地关系地域系统和社会—经济—生态耦合系统等方面。以Holling<sup>[10]</sup>为代表的脆弱性联盟(Resilience Alliance)最早运用适应性循环理论对社会—生态系统的弹性进行综合分析。常见的脆弱性评估框架有VSD(Vulnerability Scoping Diagram)、ADV(Agents' Differential Vulnerability)和PSR(Pressure-State-Response)<sup>[11]</sup>。在明晰脆弱性内涵的基础上,建立脆弱性评价指标体系,整合构建了脆弱性研究框架,通常将脆弱性分解为暴露度、敏感性和适应能力3个层面。此外,有学者从系统主体角度出发,将脆弱性置于资源、生态环境、经济、社会脆弱性4个层面进行评价分析<sup>[12-13]</sup>。在研究内容上,国内外有关脆弱性的研究成果主要聚焦于气候变化、自然灾害和环境变化背景下的脆弱性概念内涵、评估框架、时空特征、影响因素和治理政策等方面<sup>[14]</sup>。在研究方法上,主要采用综合指数法、灰色关联分析法、BP神经网络法<sup>[13-16]</sup>等对脆弱性程度进行综合量化分析。伴随GIS和RS技术的应用和发展,评价指标更加客观化,可视化表达也更加清晰直观<sup>[17]</sup>。研究区域多集中于资源型城市、沿海地区、旅游城市等区域<sup>[18-19]</sup>。与此同时,针对乡村脆弱性的研究逐渐兴起,产出了丰硕的研究成果,研究涉及县域、村域和农户等多个尺度<sup>[15, 20]</sup>。

纵观国内外针对脆弱性的研究进展,一方面,通常采用具有较强操作性和规范性的VSD模型、以行为主体为中心的“交互式脆弱性评估模型”和PSR模型对乡村脆弱性进行评估,针对不同地域类型乡村脆弱性的分析框架和评价体系,仍有必要进一步探索和完善。另一方面,已有的研究更多侧重于城市或一些特定地域类型区的脆弱性评价指标体系的构建和脆弱度的测度,针对乡村脆弱性的影响因素和形成机制的探讨鲜为少见。中国乡村发展存在明显的空间非均衡问题,加上自然灾害的侵扰,乡村脆弱性问题频发,深化乡村脆弱性议题的研究迫在眉睫<sup>[21]</sup>。新时代,中国将实施乡村振兴作为国家重大战略,掣肘中国乡村发展的影响因素和乡村系统脆弱性程度的精准识别是当前乡村地理学研究领域急需回答的科学命题。乡村脆弱性研究是乡村可持续发展研究的重要组成部分<sup>[22-23]</sup>,乡村脆弱性是在脆弱性的基础上衍生而来,指暴露于自然活动和人类活动交互作用影响下的乡村地域系统,囿于系统自身敏感性和适应能力的差异,而呈现出的系统脆弱性状态和程度。本文通过构建乡村脆弱性的概念分析框架、评价指标体系及其度量模型,对中国县域乡村脆弱性进行综合测度,并结合5条典型样带的乡村脆弱性的综合分析,揭示其空间分异特征,剖析其影响因素的耦合传导和互联形成机制。同时参考前人相关区划方案,对中国县域乡村脆弱性进行地域类型划分,重点剖析各地域类型区其暴露度、敏感性和适应能力的影响因素,因地制宜地提出破解乡村脆弱性问题的应对策略,以期为中国乡村振兴与繁荣发展提供基础性研究成果。

## 2 乡村脆弱性概念内涵解析

乡村脆弱性指乡村地域系统暴露于自然环境变化和人类活动交互作用的扰动中,系统依据自身结构特征和功能属性的差异,在对不利扰动做出被动适应、逐渐适应或转型适应的响应后,系统表征出的遭受损害的状态和程度<sup>[12]</sup>。因此,乡村脆弱性是一个有关暴露度、敏感性和适应能力的函数关系<sup>[12, 24]</sup>。本文在对前人有关脆弱性内涵<sup>[20, 24-25]</sup>理解和总结的基础上,对乡村脆弱性的概念内涵从以下方面做进一步阐释。

(1) 暴露度指系统受到外界扰动的强度，扰动源包括自然灾害、气候变化、土地退化和生物多样性丧失等自然环境异常扰动，以及城镇化与工业化、乡村非理性建设、社会体制变革、生态环境破坏和疾病蔓延等人为活动。扰动源事件发生的频率和振幅影响暴露程度，系统可能同时遭受多种扰动源的侵扰。敏感性指系统在遭受外部扰动时迅速感知的能力，取决于系统结构的内在结构属性和特征功能，例如，系统的封闭性或开放性、隔离性或耦合性、客体性或主体性、单一性或综合性、固化性或流动性、耗散性或稳定性等各种属性特征<sup>[12]</sup>。敏感性程度是一个介于0到1的闭区间，系统越封闭其敏感性值趋于1，反之越开放其值趋于0。适应能力指在外界扰动作用于系统时，系统被动适应，或是逐渐调整适应，抑或是利用工程化和技术性手段转型适应的能力。适应能力的强弱会在一定程度上减缓或是加深系统的脆弱性程度。

(2) 乡村人—地关系地域系统是一个运动在不同时空尺度下的动态系统，时间之矢和空间之字交织运行，在不同尺度上要素存在明显的差异（图1）。在空间尺度上，乡村地域系统由微观至宏观包括家庭/农户尺度、区域/地方尺度和全球/国家尺度3个尺度，以形成“基于地点”的环境和社会之间相互作用的理解<sup>[26]</sup>。此外，有学者将其理解为由家庭、群体和社会组织三个层级组成的社会尺度<sup>[12]</sup>。微观尺度中的要素为宏观尺度的内生因素，宏观尺度中的要素为微观尺度的外源因素，要素不断交织，相互作用。在时间之矢上，系统会不断经历外部扰动，并不断调整适应。且扰动和适应带来的影响可能具有滞后性，因此不能割裂在时间维度上乡村脆弱性的研究。

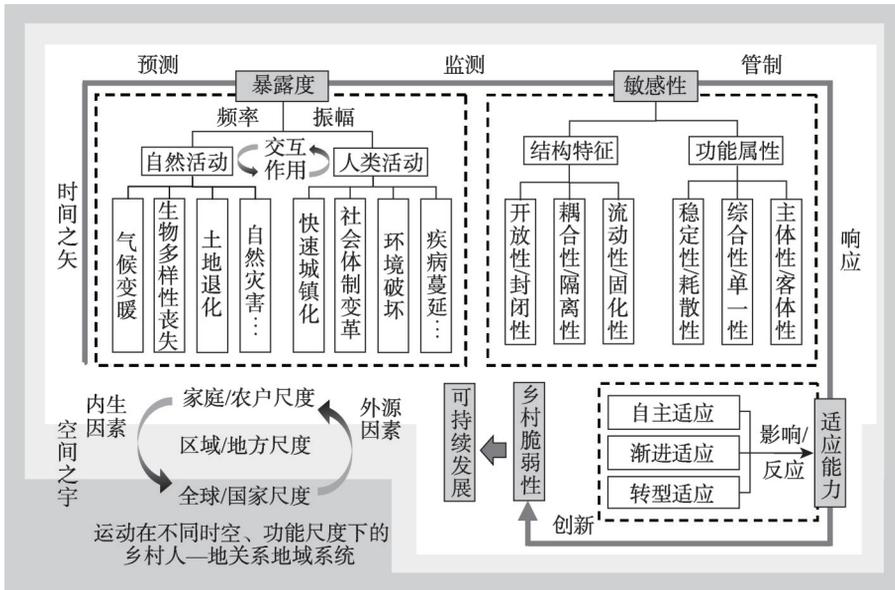


图1 乡村脆弱性的概念内涵

Fig. 1 The concept and connotation of rural vulnerability

(3) 从系统阶段的角度看，系统先后经历了预测扰动源→监测系统动态→管制结构功能→作出响应→创新路径5个阶段，乡村地域系统在外界不断扰动和内部性不断调整适应的过程中持续演进，科学认知乡村地域系统的演进阶段是规避和调控乡村地域系统的基础，也是提出降低乡村脆弱性措施和策略的前提。

(4) 基于对乡村脆弱性概念内涵的理解，构建了如图2所示的理想状态下乡村脆弱性的度量模型。模型横轴由左至右表示由脆弱状态逐渐向可持续状态过渡转换；左、右

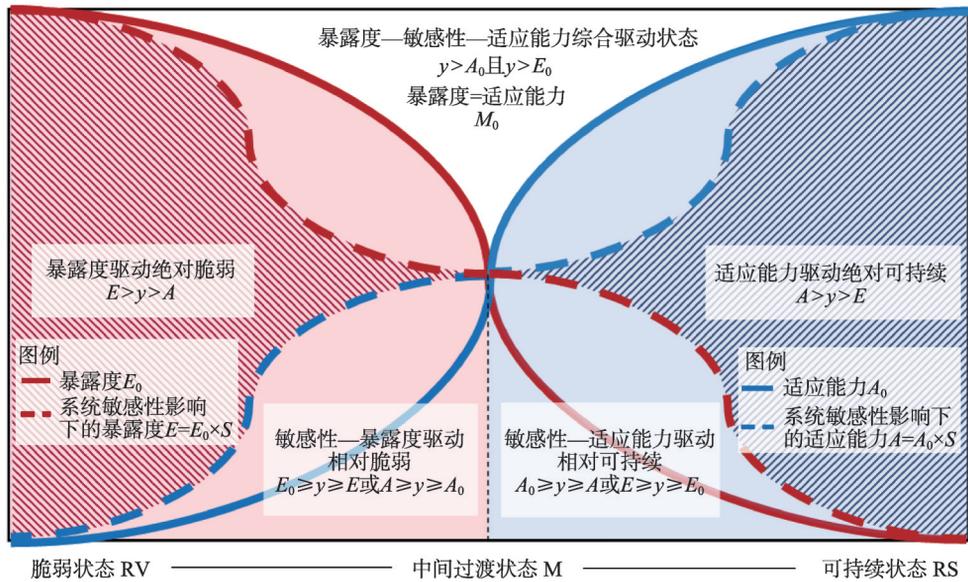


图2 理想状态下乡村脆弱性的度量模型  
 Fig. 2 The ideal model for measuring rural vulnerability

纵轴实线分别表示原始暴露度  $E_0$  和原始适应能力  $A_0$ ，虚线分别表示系统受到敏感性  $S$  影响下的暴露度  $E$  和适应能力  $A$ 。当任意点  $y$  处于不同位置时，系统将处于不同脆弱性/可持续状态，并且是由暴露度、敏感性和适应能力或多种因素综合驱动作用下呈现出的状态。

① 当  $A = A_0 = y = E_0 = E$  时，暴露度等于适应能力，位于临界点，乡村处于中间过渡状态  $M_0$ 。② 当  $E_0 > E > A > A_0$  时，暴露度大于适应能力，乡村脆弱性为正值，乡村处于脆弱状态：当  $E > y > A$  时，主要受暴露度因素影响，乡村处于暴露度驱动绝对脆弱状态；当  $E_0 \geq y \geq E$  或  $A \geq y \geq A_0$  时，受暴露度敏感性影响，乡村处于敏感性—暴露度驱动相对脆弱状态。③ 当  $A_0 > A > E > E_0$  时，适应能力大于暴露度，乡村脆弱性为负值，乡村处于可持续状态：当  $A > y > E$  时，主要受适应能力因素影响，乡村处于适应能力驱动绝对可持续状态；当  $A_0 \geq y \geq A$  或  $E \geq y \geq E_0$  时，受适应能力和敏感性影响，乡村处于敏感性—适应能力驱动相对可持续状态。④ 当  $y > A_0$  且  $y > E_0$  时，脆弱性受到暴露度、敏感性和适应能力综合影响，呈现出暴露度—敏感性—适应能力综合驱动状态。

### 3 研究方法 with 数据来源

#### 3.1 乡村脆弱性综合测度指标体系

3.1.1 指标体系构建 基于对国内外相关研究的归纳总结和乡村脆弱性内涵的认知<sup>[25, 27]</sup>，县域乡村脆弱性的综合测度从暴露度、敏感性和适应能力3个方面展开，具体包括21项指标（表1），采用乡村脆弱性指数（ $RVI$ ）表征县域乡村脆弱性程度，指标的正负向分别表示其对乡村脆弱性是增强或减缓的作用。

(1) 暴露度反映乡村地域系统受到外界扰动的程度。暴露度测度选取了植被退化、土壤侵蚀、年平均降水量、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温、工业废气排放、大气污染物、经济活动强度7项指标，皆为正向指标。植被退化、土壤侵蚀、年平均降水量和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温4项指标反映自然环境变化对系统的扰动，工业废气、大气污染物和经济活动强度3项指标反映人

表1 乡村脆弱性评价指标体系

Tab. 1 The evaluation system of the rural vulnerability index

准则层	指标层	要素内容	权重	指标性质
暴露度(+) 0.3020	植被退化	NDVI下降斜率平均值/GDP增量	0.0517	+
	土壤侵蚀	土壤侵蚀强度/GDP增量	0.0517	+
	气候因素	年平均降水量×人口规模	0.0467	+
		≥ 10 °C 积温×人口规模	0.0472	+
	工业废气	单位GDP工业SO <sub>2</sub> 排放量	0.0321	+
	大气污染	单位GDP大气细颗粒物(PM <sub>2.5</sub> )浓度	0.0370	+
	经济活动强度	夜间灯光强度/人口规模	0.0356	+
敏感性(+) 0.3882	地形起伏	平均坡度	0.0480	+
		平均高程	0.0446	+
	植被覆盖	平均NDVI	0.0474	-
	人口密度	人口密度	0.0468	+
	经济实力	人均地区生产总值	0.0516	-
	财政能力	财政贡献量	0.0516	-
	农业发展	第一产业增加值	0.0482	+
	产业结构	第二、三产业产值/地区生产总值	0.0499	-
适应能力(-) 0.3098	粮食安全	人均粮食占有量	0.0516	+
	教育水平	每万人中小学生在学数	0.0517	+
	医疗卫生	每万人医疗卫生机构床位数	0.0516	+
	社会福利	每万人社会福利院床位数	0.0517	+
	储蓄水平	居民储蓄存款余额	0.0516	+
	农业机械化水平	农业机械总动力	0.0515	+

类活动对系统产生的影响,两者交互作用,共同对乡村地域系统产生扰动,同时考虑经济活力和人口规模在一定程度上加剧或减缓其扰动程度,将人口规模、GDP总量和GDP增量作为暴露量。其中,植被退化程度利用NDVI下降斜率平均值与GDP增量比值来表征,植被指数能够反映地表植被覆盖状况和生长状态。土壤侵蚀用土壤侵蚀强度与GDP增量的比值来表征,指单位面积和时段内陆地表层土壤受到自然营力和人类活动交互作用,产生剥蚀并发生位移的侵蚀程度。水热条件是区域气候环境的代表性指标,过高的降水量和温度都会增加系统的暴露程度。工业废气用单位GDP工业SO<sub>2</sub>排放量来表征,SO<sub>2</sub>是大气主要污染物之一,其排放量越大,系统暴露度越高。大气污染物用单位GDP大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)浓度来表征,PM<sub>2.5</sub>是造成雾霾天气进而影响交通畅行和人体健康的主要物质,其浓度越高,暴露程度越大。经济活动强度用夜间灯光强度与人口增长量的比值表示,夜间灯光亮度越大表示人类经济活动越强,带来的暴露度也相应地增加。

(2) 敏感性反映乡村地域系统容易受到外界扰动的影响程度。系统敏感性程度越低,表示其在应对外界扰动时越稳定。敏感性选取坡度、高程、植被覆盖、人口密度、经济实力、财政能力、农业发展和产业结构8项指标。地形起伏与植被覆盖的自然本底条件是系统敏感性的基础,例如,过高的坡度和高程、过低的植被覆盖程度都是增加系统敏感性的重要因素。然而,随着社会经济的发展,人口和产业经济因素成为影响系统敏感性的主要指标。其中人口密度和农业发展是正向指标,人口密度或产业结构中第一产业占比过高都会增加系统的敏感性。此外,地区的经济实力、财政能力和产业结构为负向指标,地区良好的经济实力、雄厚的财政能力、合理的产业结构都能够有效抵御外界扰动。

(3) 适应能力反映系统被动适应、逐渐适应和调整适应外界扰动的能力水平。系统的适应能力越强,表明系统在应对外界扰动时,能够更快地调整适应。适应能力测评选取粮食安全、教育水平、医疗卫生、社会福利、储蓄水平和农业机械化水平6项指标,皆为负向指标。人均粮食占有量的提升、邮电通讯的畅通、医疗卫生基础设施的完善等都会在一定程度上增加系统在面对外部扰动时的应对能力,从而增加系统未来发展的可持续性。

**3.1.2 数据标准化与指标权重确定方法** 为消除指标间的量纲、性质差异和数量级的影响,选用极差标准化法进行数据标准化处理。将能够增加乡村脆弱性的指标定义为正向指标,反之,定义为负向指标。其中:

$$\text{正向指标标准化的公式为: } x_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

$$\text{负向指标标准化的公式为: } x_{ij} = (X_{j\max} - X_{ij}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (2)$$

式中:  $X_{ij}$ 、 $X_{j\min}$ 、 $X_{j\max}$ 、 $x_{ij}$ 分别为第*i*个县域第*j*项指标的原始值、最小值、最大值和标准化值。

传统确定指标权重的方法较多,包括主成分分析法、层次分析法和熵值法等。熵值法的计算结果表征为某指标的离散程度,离散度越大,则该指标对综合测评的影响就越大,由于其评价问题较为客观、精确性较高,本文利用熵值法确定各指标的权重系数(表1)。

**3.1.3 乡村脆弱性综合测度模型** 在对乡村脆弱性的评价中,暴露度与乡村脆弱性呈现出正相关关系,即暴露度越大,乡村越脆弱;适应能力与其有负相关关系,即适应能力越弱,乡村越脆弱;敏感性反映了乡村自身的特性,因此其与乡村脆弱性具有乘数关系。据此,乡村脆弱性评价模型如下:

$$RVI = f\{EI, SI, AI\} = (EI - AI) \times SI \quad (3)$$

式中:  $RVI$ 表示乡村脆弱性指数;  $EI$ 、 $SI$ 、 $AI$ 分别代表乡村暴露度指数、乡村敏感性指数和乡村适应能力指数。各维度指数分别通过加权求和法求取,以  $EI$  为例,公式为:

$$EI = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (4)$$

式中:  $w_j$ 和  $x_{ij}$ 分别为各维度指标的权重和标准化值;  $n$ 为各维度指标数量。

### 3.2 乡村脆弱性的评定与分级

通过计算得到乡村暴露度指数  $EI$ 、乡村敏感性指数  $SI$  和乡村适应能力  $AI$ , 根据自然断点法按照乡村  $EI$ 、 $SI$ 、 $AI$  的大小将其分为5级,依次划分为低值区、较低值区、中值区、较高值区和高值区。进而通过公式计算可得乡村脆弱性指数  $RVI$ , 根据自然断点法将其分为5个级别,分别为低脆弱度、较低脆弱度、中脆弱度、较高脆弱度和高脆弱度(表2)。

### 3.3 样带与地统计趋势线方法

样带(Transect)代表一系列由于主导因素驱动在地理梯度上有规律变化或呈现出显著差异的连续线性研究站点的集合<sup>[28-29]</sup>。为深入揭示中国县域乡村脆弱性的空间格局及归因,延续前期的研究,遴选北方边境、陇海兰新铁路线、长江沿岸、G106国道和东部沿海100 km内的县域5条样带<sup>[28]</sup>;趋势线分析(Trend Analysis)是以GIS为分析平台,将数据通过投影绘制在  $x, y, z$  三维透视图中的分析方法<sup>[30]</sup>。趋势线分析方法将  $(x, y)$  平面上的散点图投影到  $(x, z)$  南北向正交平面和  $(y, z)$  东西向正交平面上。研究过程中以样带为基础,结合趋势线方法,揭示乡村脆弱性空间上的地理梯度特征<sup>[28]</sup>, 尝试总结其归因。

表2 中国县域乡村脆弱性综合测度分级标准

Tab. 2 Grading criteria for the comprehensive assessment of rural vulnerability in China

分级	乡村脆弱性	暴露度	敏感性	适应能力	
一级	低脆弱度/低值区	< 0.445	< 0.309	< 0.429	< 0.093
二级	较低脆弱度/较低值区	0.446~0.512	0.310~0.374	0.430~0.522	0.094~0.154
三级	中脆弱度/中值区	0.513~0.573	0.375~0.463	0.523~0.616	0.155~0.230
四级	较高脆弱度/较高值区	0.574~0.698	0.464~0.622	0.617~0.748	0.231~0.346
五级	高脆弱度/高值区	≥ 0.699	≥ 0.623	≥ 0.749	≥ 0.347

### 3.4 数据来源

乡村脆弱性评价指标体系中的社会经济方面的指标数据主要来自《中国县域统计年鉴2016》，根据2016年各地市统计年鉴、县域统计年鉴和部分县级以上统计公报进行补充。平均高程、年度平均NDVI指数、土壤侵蚀程度、年平均降水量、≥ 10 °C积温等暴露度指标数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心网站 (<http://www.resdc.cn>)；单位GDP工业SO<sub>2</sub>排放量和PM<sub>2.5</sub>浓度来源于中国多尺度排放清单模型MEIC网站 (<http://meicmodel.org>)，通过对能源、工业、居住、交通4种排放源数据图层进行叠合，利用ArcGIS 10.2的分区统计工具，得出各县域平均的PM<sub>2.5</sub>浓度数据。选择工业排放源图层，经分区统计得到各县域SO<sub>2</sub>排放量数据，由于网站仅提供2008—2016年偶数年数据，因此本文选择2016年网格化排放数据进行分析；年度夜间灯光数据来源于NOAA/NCEI美国国家环境信息中心 (<https://ngdc.noaa.gov>)，2015年中国年度夜间灯光数据选取VISR云遮眼已去除异常值的灯光数据；由“SRTMSLOPE 90 m分辨率坡度数据产品”经拼接与分区统计得到各县域地形坡度数据。基于以下几个方面考虑综合分析处理：① 由于港澳台地区的数据获取所限和部分县（区）数据缺失，研究未涉及这些区域，具体研究的县域单元数为2013个；② 考虑到经济社会条件对乡村脆弱性有着重要的影响，中国各市辖区城市化水平普遍较高，乡村脆弱性程度较低，因此不将市辖区纳入研究范畴；③ 对于行政区划调整的县域单元名称统一以2010年中国县域行政单元为基准进行修正。

## 4 结果与分析

### 4.1 中国县域乡村脆弱性的空间特征

综合考虑行政区划的完整性、自然条件、资源禀赋和社会经济发展水平等因素，并参考前人的划分方式<sup>[31]</sup>，将中国2013个县域单元划分为大西北地区、黄河中游地区、南部沿海地区、长江中游地区、东部沿海地区、北部沿海地区、西南地区 and 东北地区八大类型区（表3）。此外，胡焕庸线和博台线将中国区域划分为四大象限<sup>[32]</sup>，东南西北部分别为第1、2、3、4象限。中国县域乡村脆弱性的区域差异特征显著，如何辨别不同地域类型区域乡村脆弱性影响因素，并因地制宜地制定应对策略是实现乡村可持续发展亟需解决的重点问题。

(1) 乡村脆弱性：中国2013个县域RVI均值为0.522，较低脆弱度和中脆弱度的县（区）占主导，分别占总数的32.34%和39.84%，两者总和占全部县域数量的72.18%；处于较高脆弱度和低脆弱度的县（区）数量次之，分别为312个和218个，分别占县（区）总数的15.50%和10.83%；处于高脆弱度的县（区）最少，仅占总数的1.49%，中国县域乡村脆弱性水平呈现偏峰倒“U”型的分布状态。在空间格局上，沿“博台线”<sup>[32]</sup>呈“两极化”发展态势，中国县域乡村脆弱性水平大致呈现出东北部低，西南部高的空间分异

表3 各类型区乡村脆弱性的数理特征

Tab. 3 Mathematical characteristics of territorial types of rural vulnerability

地域类型	脆弱性指数		暴露度指数		敏感性指数		适用能力指数	
	等级	均值	等级	均值	等级	均值	等级	均值
大西北地区	中	0.543	低	0.285	较高	0.711	较低	0.105
黄河中游地区	较低	0.499	较低	0.316	较低	0.512	较低	0.141
南部沿海地区	较高	0.595	中	0.434	中	0.529	较低	0.099
长江中游地区	中	0.534	中	0.391	较低	0.499	较低	0.147
东部沿海地区	中	0.517	中	0.416	较低	0.441	中	0.204
北部沿海地区	较低	0.463	较低	0.335	较低	0.473	中	0.213
西南地区	中	0.560	较低	0.355	中	0.598	较低	0.106
东北地区	较低	0.450	低	0.302	较低	0.486	中	0.205

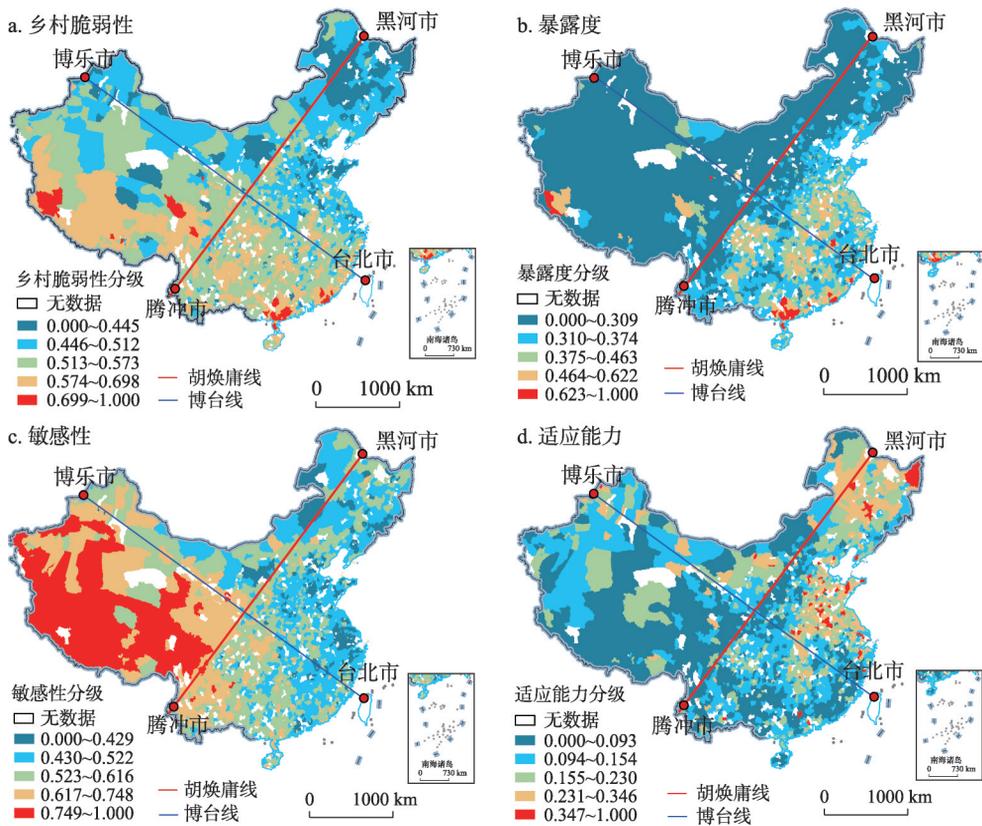
注: ① 大西北地区:包括甘肃、青海、宁夏、西藏、新疆两省三区。② 黄河中游地区:包括陕西、山西、河南、内蒙三省一区。③ 南部沿海地区:包括福建、广东、海南三省。④ 长江中游地区:包括湖北、湖南、江西、安徽四省。⑤ 东部沿海地区:包括上海、江苏、浙江一市两省。⑥ 北部沿海地区:包括北京、天津、河北、山东两市两省。⑦ 西南地区:包括云南、贵州、四川、重庆、广西三省一市一区。⑧ 东北地区:包括辽宁、吉林、黑龙江三省。

特征(图3a),第1和第2象限的 $RVI$ 高于第3和第4象限;东北、北部沿海、黄河中游、东部沿海、长江中游、大西北、西南和南部沿海地区的 $RVI$ 依次递增。

(2) 暴露度:从 $EI$ 看,其均值为0.522,大部分县(区)的暴露度水平处于较低值区和中值区。低值区、较低值区、中值区、较高值区和高值区县域单元分别占总数的10.83%、32.34%、39.84%、15.50%和1.49%。在空间格局上,沿“胡焕庸线”呈“两极化”分异特征,第1和第4象限的 $EI$ 明显高于第2和第3象限。低暴露度地区主要集中在大西北、东北和黄河中游地区;西南和大西北地区等生态环境脆弱和自然环境条件欠佳地区的 $EI$ 较高,该地区主要受自然环境因素的约束和温带季风气候影响,降水量少且集中,水热条件匹配性较差,面临土地植被退化和土壤侵蚀等多重生境问题(图3b);北部沿海、东部沿海和南部沿海地区等沿海区域 $EI$ 递增,这些地区的人类经济活动强度高,工业废气排放和大气污染问题突出,相较其他区域遭受到较大程度的外界扰动。

(3) 敏感性:从 $SI$ 看,处于不同敏感性等级的县(区)分布相对均匀。其中较低值区和中度值区的县域单元最多,分别占总数的36.21%和31.35%,其次为低值区和较高值区,占比分别为11.43%和15.25%,处于高值区的县(区)数最少,占总数的5.76%。在空间格局上,敏感性程度的空间分异特征显著(图3c),与乡村脆弱性空间格局具有相对一致性,第3象限的 $SI$ 最高,其次为第4象限,东部地区(0.487)的 $SI$ 略低于中部地区(0.496),明显低于西部地区(0.641)。中东部地区水土资源禀赋较好,自然环境条件相较西部地区更佳,经济社会发展水平相对较高,在受到外源因素侵扰时,系统有一定的自组织和缓解扰动能力;相反,在广大西部地区,生态环境脆弱、系统敏感性较强、产业结构不合理等因素一定程度上加剧西部地区的乡村脆弱性。

(4) 适应能力:从 $AI$ 看,总体上较低,处于低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的县(区)随级别升高而数量递减,其县域单元分别占总数的32.84%、31.20%、21.26%、11.72%和2.98%。上海市的 $AI$ 最高(0.388);其次为山东、黑龙江、天津和江苏;西藏自治区 $AI$ 最低(0.068)。从空间分布上看,“胡焕庸线”东南部的 $AI$ 高于西北部,第1象限的 $AI$ 最高,县域乡村适应能力的空间分布存在呈现出一定的河流水系空间指向性(图3d),沿海、沿河地区 $AI$ 普遍较高,空间差异相对均衡。沿海地区的 $AI$ 普遍高于大西北、西南和黄河中游等内陆地区(表3)。基础设施、教育水平、医疗卫生水平和社会福利水平等的完善程度较高的地区的乡村适应能力普遍较强。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1698号的标准地图制作,底图无修改。

图3 2015年中国县域乡村脆弱性空间分布

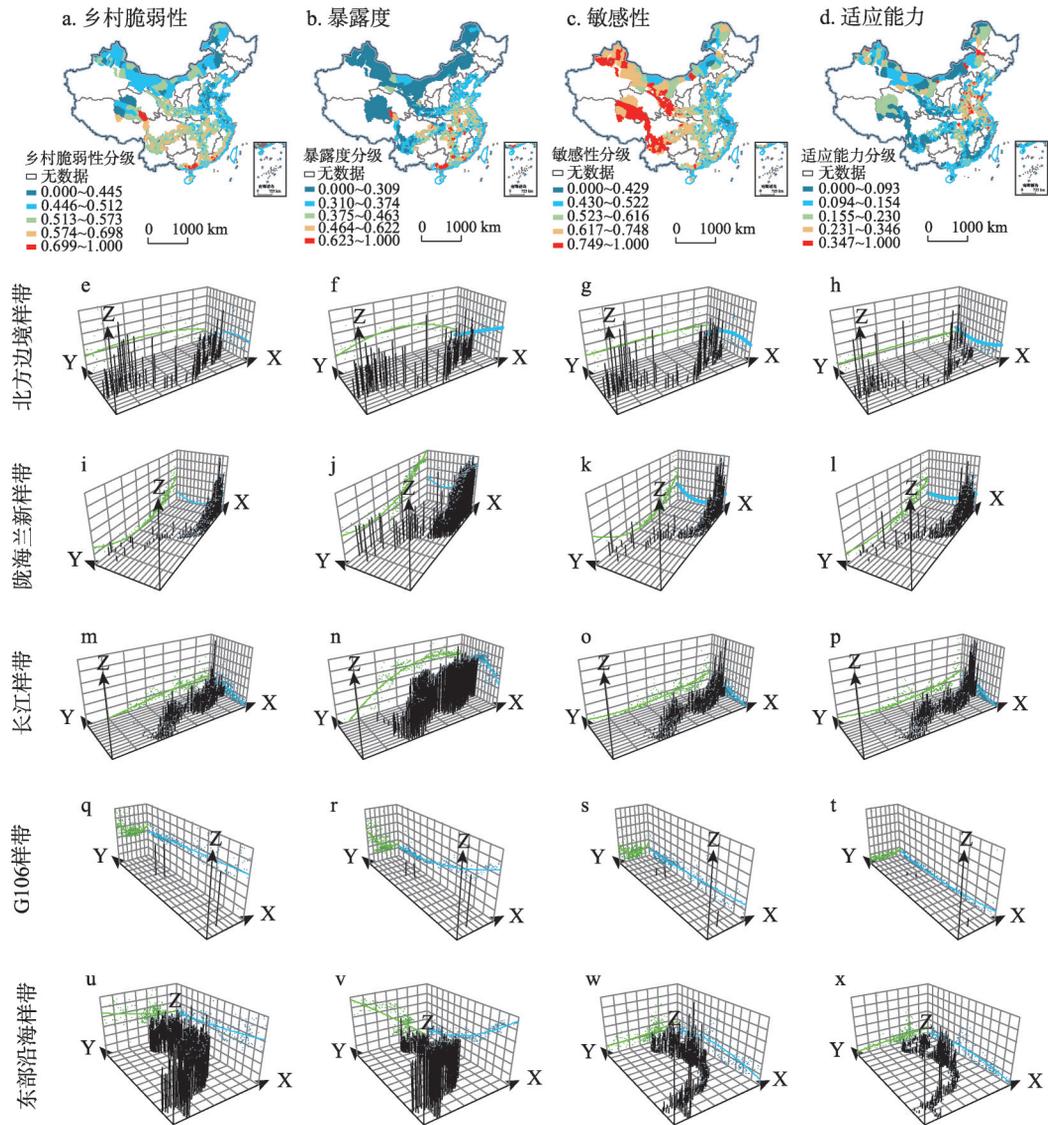
Fig. 3 The spatial distribution of rural vulnerability in China in 2015

### 4.2 典型样带乡村脆弱性特征

延续作者前期研究,本文重点选取了横贯东西和南北的北方边境沿线、陇海兰新铁路线、长江沿岸、G106国道和东部沿海100 km内的县域5条样带,绘制出各样带的脆弱性指数、暴露度指数、敏感性指数和适应能力指数的空间变化趋势线(图4),从地理因素空间梯度角度出发,深化分析中国县域乡村脆弱性的区域差异和归因。

(1) 北方边境样带,是RVI较高的样带,主要由新疆、内蒙古和甘肃的北部边境区域构成。东西的差异并不显著,RVI趋势线基本呈现出直线,大致呈现为东部低、中部高、西部较低的平缓趋势。该样带受到自然环境本底条件约束,横跨干旱、干旱半干旱和湿润半湿润地区,经由森林、草原、沙漠和戈壁等土地类型,光热条件普遍好,降水稀少且集中;煤炭、稀土和石油等矿产资源丰富。农业发展以畜牧业和灌溉农业为主,伴有矿产资源采掘业和石化行业,受到过度开垦放牧、肆意开采矿石原料等影响,造成植被覆盖退化、生态环境脆弱和土地荒漠化等问题。进而导致自然灾害频发,基础设施建设滞后,经济发展整体水平偏低,适应能力不足,人地关系矛盾突出,乡村地域系统的RVI偏高。

(2) 陇海兰新铁路样带,横贯江苏、安徽、河南、陕西、甘肃和新疆6省(自治区),是一条贯穿中国东、中、西部的铁路大动脉。陇海兰新铁路沿线的RVI大致呈“U”型排列,东西部高于中部地区。受到城市辐射带动和区域经济发展水平影响,东部



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1698号的标准地图制作,底图无修改。

图4 2015年样带乡村脆弱性趋势线

Fig. 4 The rural vulnerability trend line of the transect in 2015

地区乡村在区域经济快速发展、区位和市场优势等的驱动下, 普遍历经乡村工业化和乡镇企业发展的阶段, 激活农村经济活力, 改善了农村人居环境, 但也增加了乡村的EI和AI。中部地区作为传统农区, 农业生产的基础条件较好, 同时农村长期属于劳务输出外流地区, 中部相对东部地区工业发展受到约束, 乡村的EI偏低, 在城乡发展转型过程中, 乡村人口结构、土地利用结构和产业结构逐渐转型, 乡村发展的AI逐渐增强。西部乡村受制于地形地貌的影响, 农业自然气候条件相对较差, 长期人口外流, 基础设施落后、空心村普遍存在, 耕地利用边际化和经济社会空心化等问题严重, 农民收入不稳定等导致了乡村的EI和SI偏高, AI偏低<sup>[33]</sup>。

(3) 长江沿线样带, 从上海至四川攀枝花, 东西绵延 3000 km, 包括以上海、南京、武汉、重庆 4 个特大城市为中心的城市群。长江样带  $RVI$  由西向东递增, 呈现出上游最低, 中游较低, 下游最高的趋势。长江流经地区西北高、东南低, 在山脉的阻隔下呈三级阶梯分布, 地势落差大, 水能资源丰富; 大多数地区属于亚热带季风气候区, 水热条件良好; 土地肥沃, 耕地资源丰富, 人均粮食占有量高, 是中国重要的商品粮基地。但是, 城镇化和工业化带来了大量面源污染和废弃工业气体排放, 乡村水土环境恶化, 增加了中下游地区乡村的  $EI$ 。此外, 优越的地理位置、适宜的气候条件、便利的交通条件吸引了大量人员定居, 人口密度大,  $SI$  和  $AI$  增强的同时给土地承载能力带来了极大的考验。

(4) G106 国道样带, 是贯穿中国华北、华中、华南地区的一条国道, 北起北京市西城区、南至广州市荔湾区, 经过北京、河北、山东、河南、湖北、湖南、广东 7 个省(市)。该样带  $RVI$  南北趋势线平稳, 但华中和华南地区略高于华北地区。华北地区地势平坦, 农业生产条件优越, 耕地资源丰富但水资源相对短缺, 乡村暴露度较低; 华中地区乡村主体老弱化和农村空心化和环境污损化等问题突出, 制约乡村的可持续发展, 导致  $SI$  程度较高。华南地区以低山丘陵为主, 临海的区位优势和经济区、自贸区的政策优势, 使得  $SI$  降低。大批资本和劳动力的涌入, 城乡要素流动快速,  $AI$  增强的同时乡村整体发展环境趋好。

(5) 东部沿海样带, 包括山东、河北、天津、辽宁、江苏、浙江、福建、上海、广东和海南省(市)南部的大部分县域区域。受沿海区位优势 and 区域发展政策影响较多,  $SI$  低,  $AI$  较高, 南部沿海部分地区粗放工业化的发展模式, 导致该地区污染严重, 珠三角  $RVI$  高于长三角和北部京津冀地区县域  $RVI$ 。该样带地形以平原和丘陵为主, 河网交织密布; 受亚热带季风气候影响, 水热条件优越, 气候温暖湿润, 但是样带上集三大城市群地区, 城市空间持续扩张, 致使耕地非农化规模和速率较高,  $EI$  较高。受沿海地理优势的影响, 东部沿海地区开放程度较高, 对外经济联系密切, 市场化进程快速, 促进了区域内人流、物流、资金流和信息流的快速流动和产业的转型升级, 区域  $SI$  低, 加之粤港澳大湾区和自贸区建设等政策红利的推动, 使得区域  $AI$  大大增强。

### 4.3 乡村脆弱性的形成机制剖析

(1) 外部性环境变化是诱发乡村脆弱性的先导因素, 分为人为和自然扰动。在全球化、城镇化和工业化背景下, 资本、技术和人口等要素流传递到乡村地区, 在实现城乡联动和带来乡村发展机遇的同时, 乡村地域的生态、经济和社会子系统也面临着巨大扰动和冲击。自然灾害、气候变化和环境污染等自然扰动是诱发乡村脆弱性的重要因素。气候异常变化所致的各种极端天气, 直接对农业生产和淡水供应产生影响。频发的地震、滑坡、泥石流等自然灾害给农业生产和农民(尤其是贫困人口)的生命财产安全带来巨大威胁。同时, 工业化带来大量的“三废”排放, 在城乡开发系统视域下乡村环境暴露度增强, 诱发乡村脆弱性。

(2) 系统的暴露度是影响乡村脆弱性的基础性因素。受到各种人为和自然的扰动影响, 乡村地域系统面临生态、经济和社会暴露的“三重”压力。生态方面表现为乡村土地资源利用低效化、生态环境退化和农村环境污损化等方面的暴露; 对经济子系统造成的暴露压力主要集中在产业方面, 农村产业单一, 一二三产业联动机制尚未形成, 农产品竞争力较弱, 产业价值过短和离散, 农业全要素价值链亟待构建; 此外, 社会暴露方面, 主要体现为乡村发展主体老弱化、社会组织和结构“空心化”、社会治理“中空化”等一系列“乡村病”。

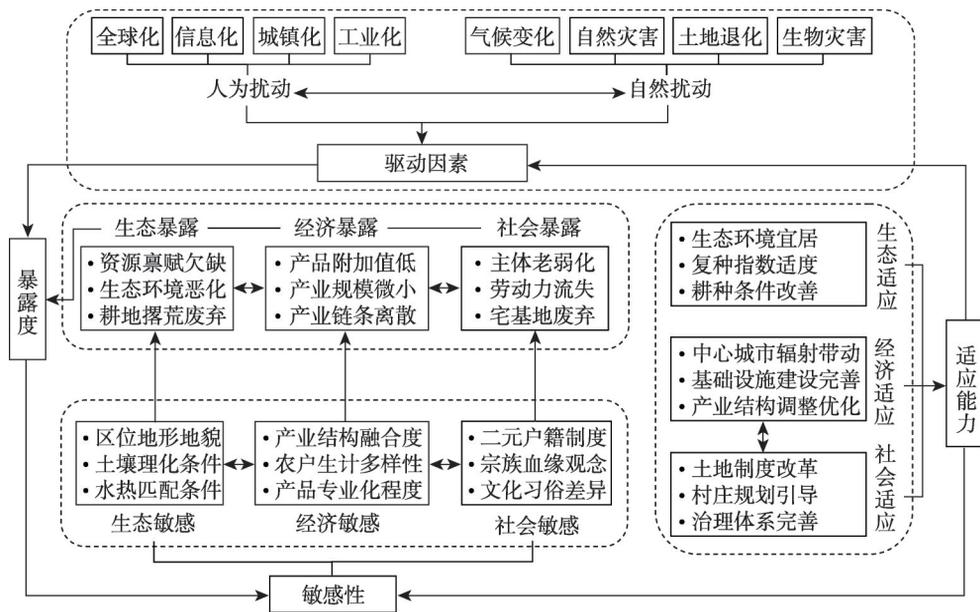


图5 乡村脆弱性形成机制的逻辑框架

Fig. 5 The formation mechanism of rural vulnerability

(3) 系统的敏感性是影响乡村脆弱性的内核推动因素。敏感性的大小对系统的暴露度和适应能力具有乘数效应，能够在阈值范围内将影响扩大或收缩至极值。乡村的区位条件，地形地貌、土壤理化条件和水热匹配条件等是农业生产的基础性条件，影响着乡村系统的敏感性程度；乡村经济发展水平的提高是乡村增强自身发展动力和活力的核心支撑，农民是农村和农业生产的主体，产业结构融合度、农户生计多样性和产品的专业化程度等因素是影响农户生计水平的主要因素，也驱动着乡村的经济敏感性；社会敏感方面，“二元”户籍制度是一年以来束缚城乡融合的主要原因，乡村地区有着根深蒂固的宗族血缘观念和文化习俗上的差异。生态、经济和社会敏感共同影响着乡村地域系统敏感性程度。

(4) 系统的适应能力是影响乡村脆弱性的外援拉动因素。提升系统的适应能力在缓解系统外部驱动因素影响的同时也有助于缓解其敏感性程度。改善乡村人居环境是乡村振兴战略中生态宜居的切实体现；适当提高复种指数是增加土地生产效率的价值体现，提升耕地利用集约度，增强农民收益将增强其应对扰动时的适应能力；经济适应是乡村适应能力最直接的体现，毗邻中心城市的乡村能够享受来自城市的辐射带动和涓滴效应，便捷的交通条件和完善的基础设施有利于提高乡村高质量发展水平，三产结构优化调整将激活村庄发展的内生动力，实现乡村发展从被动“输血”到主动“造血”的质变；社会适应能力综合体现在土地制度改革、村庄规划引导和乡村治理体系完善等方面，村庄规划和治理是对接乡村发展最直接的途径，自下而上的治理体系能够客观地反映农民的问题和需求<sup>[24]</sup>。

#### 4.4 应对策略分析

依据不同地域乡村区位条件、发展导向、暴露度、敏感性和适应能力特征等因素，参考传统地域类型命名方式<sup>[34]</sup>，以“地理区位+乡村脆弱性主导驱动因素+乡村脆弱性程度”三段法命名乡村脆弱性地域类型，将全国划分为大西北高敏感性驱动型脆弱性中水

平区 (I)、黄河中游低暴露度驱动型脆弱性较低水平区 (II)、南部沿海高暴露度驱动型脆弱性较高水平区 (III)、长江中游综合驱动型脆弱性中水平区 (IV)、东部沿海高暴露度—低敏感性驱动型脆弱性中水平区 (V)、北部沿海低敏感性驱动型脆弱性较低水平区 (VI)、西南高敏感性驱动型脆弱性中水平区 (VII)、东北综合驱动型脆弱性低水平区 (VIII) 8种乡村脆弱性类型区域<sup>[33]</sup>, 并针对其脆弱性特征提出应对策略 (表4)。

表4 中国乡村脆弱性类型分区及其应对策略

Tab. 4 Rural vulnerability-type zoning and its coping strategies in China

乡村类型	暴露度特征	敏感性特征	适应能力特征	应对策略
大西北高敏感性驱动型脆弱性中水平区(I)	① 农业生产条件受限;② 自然灾害频发;③ 气候水土匹配差;④ 生态环境脆弱	① 地形起伏大,类型多样,未利用地资源丰富;② 农牧业主体;③ 土地利用效率偏低	① 交通教育医疗等基础设施滞后;② 农业现代化水平低	① 以乡村农业绿色发展为导向,发挥畜牧业优势,大力推进标准化生产,培育当地特色农业品牌;② 国家扶持贫困地区产业发展,制定生计扶贫政策
黄河中游低暴露度驱动型脆弱性较低水平区(II)	① 土壤侵蚀、水土流失严重;② 部分坡耕地耕作条件差	① 乡村产业单一,以农业种植为主;② 水资源短缺,乡村生态环境脆弱	① 资源丰富,但经济带动动力不足;② 城镇对乡村的辐射带动作用不显著	① 提高农业机械化水平,引进适合坡地沟渠地形耕种技术和手段;② 加强农村土地整治,促进都市、休闲、观光农业等新型农业发展;③ 加强生态保育和生态补偿力度
南部沿海高暴露度驱动型脆弱性较高水平区(III)	① 人口密度高,耕地资源人均占有率低,人地关系矛盾突出;② 水热条件优越,资源承载能力强;③ 环境污染较严重	① 临近港澳,开放程度高,是对外开放的窗口;② 受区域外向型经济的影响,出现大量废旧厂房,空间破碎,乡村土地集约化程度低	① 基础设施配套较为完善;② 珠三角对外围地区的辐射带动作用有限	① 有序引导工商资本下乡,完善乡村金融服务体系;② 对“旧城镇、旧厂房、旧村庄”进行更新改造,完善乡村基础设施建设
长江中游综合驱动型脆弱性中水平区(IV)	① 低山丘陵为主宜耕;② 乡村耕地非农化、乡村生产用地空废化等乡村病问题突出	① 地形平坦,起伏小;② 农业生产多样性程度高,农业主体老龄化问题明显	① 基础设施配套不足;② 乡村社会经济发展水平较高	① 以长江经济带发展和成渝城市群一体化发展为契机,镇村联动发展,以城促镇,以镇带乡,形成乡村群;② 加强土地整治,提高集约化程度
东部沿海高暴露度—低敏感性驱动型脆弱性中水平区(V)	① 多平原和丘陵,水热匹配良好;② 土壤肥沃耕地资源丰富,产品附加值高;③ 多撂荒地非农化	① 乡村人口密度较高;② 农户生计多样性程度高,发展大量乡镇工业和家庭手工业	① 基础设施配套完善;② 工业化和城镇化进程迅速,社会经济发展水平高	① 创新农业经营方式,探索互联网+农业,发展农村电商和物流平台,延伸农村产业链条,构建农业全产业链,提升农业品牌效应;② 推进一二三产业融合发展
北部沿海低敏感性驱动型脆弱性较低水平区(VI)	① 水热匹配良好,地势平坦开阔,农业生产条件良好;② 劳动力流失情况严重,空心化现象突出	京津冀一体化战略促进了区域间要素流动,但由于大量乡村资本、劳动力要素涌入城市,虹吸效应显著	① 城镇化和工业化推动下乡村整体发展水平较高;② 交通通达性程度较高	① 加快城乡要素间流通共享;② 提升农民兼业化水平,鼓励就近乡镇就业;③ 促进农业结构调整和产业结构优化升级
西南生态高敏感性驱动型脆弱性中水平区(VII)	① 云贵高原高山地形和喀斯特地貌广布;② 土地荒漠化、石漠化,农业生产条件差;③ 易受地震、干旱等自然灾害的扰动	① 地形复杂,起伏大;② 乡村与外界联系较少,农村外出就业困难;③ 农业生产为主,并且主体老弱化现象突出	① 交通闭塞,基础设施落后;② 城镇化工业化水平低;③ 农业机械化水平较低	① 统筹村庄安全和防灾减灾工程,对自然灾害进行提前的监测;② 加强村庄教育、医疗卫生、网络、交通等基础服务设施的建设和完善
东北综合驱动型脆弱性低水平区(VIII)	① 地势平坦开阔,土壤肥沃,适宜耕种;② 自然资源禀赋良好,林业资源丰富;③ 资源退化,生态环境破坏严重	① 受传统生产模式影响,产业发展随资源枯竭而衰弱,依靠老工业和资源开采为生的村民陷入困境;② 青壮年劳动力流失	① 地区粮食产量高,农业生产水平较高;② 计划经济背景下体制机制僵化	① 整合资源优势发展特色林业,改良农业经营方式,引进专门技术人员,建立特色农业生产基地,激活区域发展内生动力,推进东北地区振兴发展;② 培养环境保护和生态修复意识

首先,应当加强对扰动源的预测和监测,降低暴露度的影响程度。近年来,气候变化和极端气候事件的发生加剧了乡村的暴露度和脆弱性,不同区位乡村的暴露度存在明显差异,对于地质灾害频发的地区,应当统筹村庄安全和防灾减灾工程,加强预测,规避损害;第二,加强河道整治、垃圾清理、“厕所革命”等村庄环境综合整治,助推美丽乡村建设;第三,充分利用手机信令数据、POI数据等大数据对乡村活动进行动态监测,一旦其扰动的强度超过了乡村自然承载力的适宜区间,上级政府将发出警示信号,进行及时干预。

其次,加强对系统自身敏感性的管制。全球化和信息化的快速发展加速了区域间和城乡间人流、资本流和信息流等要素的流动。在信息技术的支撑下,乡村地域系统逐渐由相对封闭、单一和固化的状态转向开放、流动和综合的系统空间。第一,促进城乡要素合理配置,让乡村共享城市资源,打破城乡二元体制壁垒,推动农民市民化;第二,冲破“农转非”的阻碍,吸引城市人才返乡,有序引导工商资本下乡,完善乡村金融服务体系,鼓励农民由专业农户向兼业农户和非农产业农户的身份过渡转换。

再次,对扰动作出及时响应,进而探索出系统适应能力创新提升策略。在国家乡村振兴和城乡融合发展的战略背景下,亟需建立新型城乡关系,推进城乡高质量协调发展。面向城乡融合发展,提升乡村的适应能力。第一,完善城乡一体化公共服务体系,实现农村公共服务和社会事业全覆盖,包括乡村教育、医疗、公共文化、社会保障和救助等方面内容的均衡配置;第二,加强乡村基础设施建设,推动城乡交通等基础设施的互联互通。此外,乡村经济发展水平的提高是提升其适应能力最直接有效的方法,推进一二三产融合发展,促进产业结构优化升级,在有条件的区域发展如都市农业、休闲农业、观光农业等新型农业类型。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

(1) 中国县域乡村脆弱性区域差异明显。中国县域乡村脆弱性空间上沿“博台线”呈“两极化”发展态势,东北部低,西南部高。东北地区、北部沿海地区、黄河中游地区、东部沿海地区、长江中游地区、大西北地区、西南地区 and 南部沿海地区的乡村脆弱性程度依次递增;低暴露度地区主要集中在经济活动强度较弱的大西北地区、东北地区和黄河中游地区等,东南沿海地区受到较多扰动;敏感性程度空间分异特征明显,东部乡村敏感性略低于中部,明显低于西部;适应能力呈现出一定的河流水系空间指向性,沿河沿海地区适应能力普遍较强。

(2) 外部性环境因素是诱发乡村脆弱性的先导因素,生态暴露、生态敏感和生态适应构成的乡村生态子系统是乡村脆弱性的根本性影响因素;经济暴露、经济敏感和经济适应构成的乡村经济子系统是乡村脆弱性的核心影响因素;社会暴露、社会敏感和社会适应组成的乡村社会子系统也是乡村脆弱性的重要影响因素。

(3) 以地理区位、乡村脆弱性主导驱动因素和脆弱性程度为划分依据,将中国乡村脆弱性类型区分为大西北高敏感性驱动型脆弱性中水平区、黄河中游低暴露度驱动型脆弱性较低水平区、南部沿海高暴露度驱动型脆弱性较高水平区、长江中游综合驱动型脆弱性中水平区、东部沿海高暴露度—低敏感性驱动型脆弱性中水平区、北部沿海低敏感性驱动型脆弱性较低水平区、西南高敏感性驱动型脆弱性中水平区和东北综合驱动型脆弱性低水平区。

(4) 不同乡村地域系统资源禀赋、社会文化、经济发展和政策制度等要素共同影响乡村脆弱性程度, 应打破地区根植性和路径依赖, 科学合理开发与保护, 降低乡村脆弱性, 推进乡村可持续发展。需加强对乡村地域系统扰动源的预测和监测, 综合集成大数据分析和物联网等方法与技术对乡村活动进行全面监测, 以合理阈值作为政府和乡村发展主体介入干预的重要根据; 加强对系统敏感性的管制, 推进城乡间、村镇间的人口、土地、资金和信息等要素有序互动流通, 共享城镇的公共资源, 实现镇村联动发展, 推进乡村全面振兴; 对扰动作出及时响应, 探索乡村系统适应能力提升的科学策略与途径。

## 5.2 讨论

在国家乡村振兴重大战略需求下, 应进一步增强社会文化变迁、政策制度、社会主体等人文要素对乡村脆弱性影响的研究。受限于数据的可获取性, 县域尺度乡村脆弱性的综合测度指标主要选取了偏向自然和经济社会类的指标, 未来将选取典型村庄对乡村脆弱性的形成机理进行深入剖析。由于黄河中游地区多平原地形, 湖南、江西等长江中游地区内有部分丘陵, 增加了其  $SI$ ; 此外, 长江中游经济活动强度相比黄河中游较大,  $EI$  较高; 在地形起伏和经济活动强度综合影响下, 呈现出长江中游的  $RVI$  略高于黄河中游的局面。乡村发展本质内涵是乡村地域系统演化过程中呈现出的正向化过程和阶段结果。乡村转型则指乡村地域系统内外要素重组, 改变其要素关联结构, 使其地域系统功能发生本质变化, 系统从一种状态演化为另一种状态的质变过程和结果。乡村地域系统是一个极其复杂的空间系统, 具有系统形态和结构变化的不确定性特点, 精准辨识系统的要素关联和结构特征, 及其系统演进的动力机制是认知乡村地域系统的基本前提, 有待利用复杂科学、系统科学方法论和幂律的方法进行定量标度。乡村脆弱性研究仅是在考虑到乡村地域系统的扰动源、自组织和自适应机制的基础上, 在县域层面乡村脆弱性的分析重点关注区域与乡村发展相关的“背景值”, 与微观层面比如村域尺度理解和认知稍有差别。在整个乡村科学的研究过程中, 精准识别和厘清乡村脆弱性、乡村韧性和乡村可持续性间的关系和互馈机制, 将是乡村脆弱性研究的重要延伸领域和方向。

## 参考文献(References)

- [1] Woods M. Engaging the global countryside: Globalization, hybridity and the reconstitution of rural place. *Progress in Human Geography*, 2007, 31(4): 485-507.
- [2] Liu Y, Li Y. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.
- [3] Yang Ren. Spatial differentiation and mechanisms of typical rural areas in the suburbs of a metropolis: A case study of Beicun Village, Baiyun District, Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(8): 1622-1636. [杨忍. 广州市城郊典型乡村空间分化过程及机制. *地理学报*, 2019, 74(8): 1622-1636.]
- [4] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: Sustainability science. *Science*, 2001, 292(5517): 641-642.
- [5] Wang Cheng, He Yanzhou. Spatio-temporal differentiation and differentiated regulation of the vulnerability of rural production space system in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(8): 1680-1698. [王成, 何焱洲. 重庆市乡村生产空间系统脆弱性时空分异与差异化调控. *地理学报*, 2020, 75(8): 1680-1698.]
- [6] Janssen M A, Ostrom E. Resilience, vulnerability and adaptation: A cross-cutting theme of the international human dimensions programme on global environmental change. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 237-239.
- [7] De Silva M M G T, Kawasaki A. Socioeconomic vulnerability to disaster risk: A case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community. *Ecological Economics*, 2018, 152: 131-140.
- [8] Birkmann J, Cardona O D, Carreño M L, et al. Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. *Natural Hazards*, 2013, 67(2): 193-211.
- [9] Yang Ren, Chen Yanchun, Zhang Jing, et al. The main theoretical evolution and enlightenment of western rural geography since 1990s. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(4): 544-555. [杨忍, 陈燕纯, 张菁, 等. 20世纪90年代以来西方乡村地理研究的主要理论演变与启示. *地理科学*, 2020, 40(4): 544-555.]

- [10] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4(1): 1-23.
- [11] Polisky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, 2007, 17(3-4): 472-485.
- [12] Huang Xiaojun, Wang Chen, Hu Kaili. Multi-scale assessment of social vulnerability to rapid urban expansion in urban fringe: A case study of Xi'an. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1002-1017. [黄晓军, 王晨, 胡凯丽. 快速空间扩张下西安市边缘区社会脆弱性多尺度评估. *地理学报*, 2018, 73(6): 1002-1017.]
- [13] Wang Yan, Fang Chuanglin. Comprehensive evaluation and dynamic evolution analysis of Daqing's urban vulnerability. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(5): 547-555. [王岩, 方创琳. 大庆市城市脆弱性综合评价与动态演变研究. *地理科学*, 2014, 34(5): 547-555.]
- [14] Khajehei S, Ahmadalipour A, Shao W Y, et al. A place-based assessment of flash flood hazard and vulnerability in the contiguous United States. *Scientific Reports*, 2020, 10: 448. DOI: 10.1038/s41598-019-57349-z.
- [15] He Yanbing, Huang Xiaojun, Zhai Lingxin, et al. Assessment and influencing factors of social vulnerability to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1315-1328. [何艳冰, 黄晓军, 翟令鑫, 等. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素. *地理学报*, 2016, 71(8): 1315-1328.]
- [16] Chen Xiaohong, Wu Guangbin, Wan Luhe. Dynamic simulation of vulnerability and coordination of the coupling of urban and ecological environment based on BP: A case of the coal-electricity base in the eastern Heilongjiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(11): 1337-1343. [陈晓红, 吴广斌, 万鲁河. 基于BP的城市化与生态环境耦合脆弱性与协调性动态模拟研究: 以黑龙江省东部煤电化基地为例. *地理科学*, 2014, 34(11): 1337-1343.]
- [17] Zou Jun, Zheng Wenwu, Yang Yurong. Evaluation of water resources system vulnerability in southern hilly rural region based on the GIS/RS: Take Hengyang Basin as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(8): 1010-1017. [邹君, 郑文武, 杨玉蓉. 基于GIS/RS的南方丘陵区农村水资源系统脆弱性评价: 以衡阳盆地为例. *地理科学*, 2014, 34(8): 1010-1017.]
- [18] Li Bo. Vulnerability in human-sea economic system of Liaoning coastal area in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 711-716. [李博. 辽宁沿海地区人海经济系统脆弱性评价. *地理科学*, 2014, 34(6): 711-716.]
- [19] Su Fei, Chu Yuting, Zhang Pingyu. Analysis of economic vulnerability and obstacle factors of typical tourism cities in China. *Economic Geography*, 2013, 33(12): 189-194. [苏飞, 储毓婷, 张平宇. 我国典型旅游城市经济脆弱性及障碍因素分析. *经济地理*, 2013, 33(12): 189-194.]
- [20] Huang Xiaojun, Huang Xin, Cui Cailan, et al. The concept, analytical framework and assessment method of social vulnerability. *Progress in Geography*, 2014, 33(11): 1512-1525. [黄晓军, 黄馨, 崔彩兰, 等. 社会脆弱性概念、分析框架与评价方法. *地理科学进展*, 2014, 33(11): 1512-1525.]
- [21] Yang Ren, Wen Qi, Wang Cheng, et al. Discussions and thoughts of the path to China's rural revitalization in the new era: Notes of the young rural geography scholars. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(4): 890-910. [杨忍, 文琦, 王成, 等. 新时代中国乡村振兴: 探索与思考: 乡村地理青年学者笔谈. *自然资源学报*, 2019, 34(4): 890-910.]
- [22] Kemp R, Martens P. Sustainable development: How to manage something that is subjective and never can be achieved? *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2007, 3(2): 5-14.
- [23] Griggs D, Stafford-Smith M, Gaffney O, et al. Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 2013, 495(7441): 305-307.
- [24] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [25] Wen Xiaojin, Yang Xinjun, Wang Ziqiao. Assessment on the vulnerability of social-ecological systems in a mountainous city depending on multi-targets adaption. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 299-312. [温晓金, 杨新军, 王子侨. 多适应目标下的山地城市社会—生态系统脆弱性评价. *地理研究*, 2016, 35(2): 299-312.]
- [26] National Research Council. *Our Common Journey: A Transition toward Sustainability*. Washington, DC: The National Academies Press, 1999.
- [27] Ge Dazhuan, Long Hualou. Rural spatial governance and urban-rural integration development. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(6): 1272-1286. [戈大专, 龙花楼. 论乡村空间治理与城乡融合发展. *地理学报*, 2020, 75(6): 1272-1286.]
- [28] Liu Yansui, Yang Ren. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020. [刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理. *地理学报*, 2012, 67(8): 1011-1020.]
- [29] GCTE Report 36: *The Terrestrial Transects: Science Plan*. IGBP of ICSU, Stockholm, 1995.
- [30] Egenhofer M J, Golledge R G. *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

- [31] Zhou Hong. The division of China (mainland) into regions. *Teaching Reference of Middle School Geography*, 2003(5): 6-7. [周红. 中国(大陆)区域的划分. *中学地理教学参考*, 2003(5): 6-7.]
- [32] Fang Chuanglin. Bole- Taipei Line: The important function and basic conception as a line for regional balanced development. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(2): 211-225. [方创琳. 博台线—中国区域发展均衡线的重要功能与建设构想. *地理学报*, 2020, 75(2): 211-225.]
- [33] Liu Yansui, Zhou Yang, Li Yuheng. Rural regional system and rural revitalization strategy in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2511-2528. [刘彦随, 周扬, 李玉恒. 中国乡村地域系统与乡村振兴战略. *地理学报*, 2019, 74(12): 2511-2528.]
- [34] Tu Shuangshuang, Long Hualou, Zhang Yingnan, et al. Process and driving factors of rural restructuring in typical villages. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(2): 323-339. [屠爽爽, 龙花楼, 张英男, 等. 典型村域乡村重构的过程及其驱动因素. *地理学报*, 2019, 74(2): 323-339.]

## Spatial patterns, formation mechanism and coping strategies of rural vulnerability in China at the county level

YANG Ren, PAN Yuxin

(School of Geography and Planning, China Regional Coordinated Development and Rural Construction Institute, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Based on the essential connotation of rural vulnerability, this study constructs an indicator system for the comprehensive measurement of rural vulnerability in China at the county level. Through the selection of five typical representative transects, we will deepen the analysis of the regional differences in China's rural vulnerability and its formation mechanism and propose targeted coping strategies. The results show that: (1) The rural vulnerability of counties in China is generally within the threshold range of low and medium vulnerability characterized by obvious spatial differences. Along the "Bole-Taipei Line", there is a spatial pattern of north-south differentiation. Villages in southwestern China tends to have higher vulnerability than those in northeastern China. (2) External environmental factors are the leading factors that induce rural vulnerability. The rural ecological subsystem, composed of ecological exposure, ecological sensitivity, and ecological adaptation, is the fundamental influencing factor of rural vulnerability. The rural economic subsystem, which is composed of economic exposure, economic sensitivity, and economic adaptation, is the core influencing factor of rural vulnerability. The social subsystem, composed of social exposure, social sensitivity, and social adaptation, is also an important factor influencing rural vulnerability. (3) On the basis of "geographical location, the dominant driving factors of rural vulnerability and the degree of rural vulnerability", rural vulnerability in China at the county level can be identified into eight categories. According to the principle of adapting measures to local conditions, we should break down the regional embeddedness and path dependence. We should strengthen the prediction and monitoring of the sources of disturbance in the rural-area system and scientifically control the sensitivity of the system itself, then improve the adaptation of the rural system to ensure sustainable development of rural areas.

**Keywords:** rural vulnerability; rural regional system; rural sustainable development; rural revitalization; rural geography; China