

引用格式:魏璐瑶,陆玉麒.江苏省县域乡村集聚与脆弱性评价[J].地球信息科学学报,2020,22(2):218-230. [ Wei L Y, Lu Y Q. Agglomeration and vulnerability assessment at the county scale in rural Jiangsu Province[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(2):218-230. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190287

## 江苏省县域乡村集聚与脆弱性评价

魏璐瑶<sup>1</sup>, 陆玉麒<sup>1,2,3\*</sup>

1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023;
2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210013;
3. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023

### Agglomeration and Vulnerability Assessment at the County Scale in Rural Jiangsu Province

WEI Luyao<sup>1</sup>, LU Yuqi<sup>1,2,3\*</sup>

1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;
2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China;
3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

**Abstract:** It is significant for promoting the revitalization of beautiful rural areas while exploring the spatial correlation between sustainable development and agglomeration characteristics of rural areas based on the perspective of vulnerability. Taking remote sensing imagery as data source, we interpreted and identified the rural settlement patches of Jiangsu Province in 2016. While using the average nearest neighbor, kernel density estimation, and standard deviation ellipse method to clarify the rural agglomeration pattern in Jiangsu Province at the county scale, we constructed a comprehensive evaluation model of rural total vulnerability from the perspective of resources, economic, and social vulnerability. Furthermore, we explored the relationship between spatial agglomeration characteristics and vulnerability level in rural areas at the county scale. Results show: (1) The distribution of rural areas in Jiangsu Province decreased gradually from the core to the outer edge. Besides, rural settlements were densely distributed in the adjacent areas of southern and central Jiangsu as well as in the central part of northern Jiangsu. The overall spatial heterogeneity and directional characteristics of agglomeration patterns were obvious. (2) There was a regional imbalance in the rural vulnerability of Jiangsu Province at the county scale. While apart from a weak subsystems' correlation, the spatial coupling characteristics were not obvious. (3) There was a significant negative correlation between economic vulnerability, social vulnerability, and resource vulnerability, of which the latter two had weak links of rural development in Jiangsu Province. (4) The single vulnerable subsystems of resources, economy, and society in rural areas of Jiangsu Province at the county scale showed obvious agglomeration characteristics, while the comprehensive vulnerability and agglomeration characteristics had not achieved a benign spatial resonance.

**Key words:** rural settlements; agglomeration scale; agglomeration direction; vulnerability; correlation law; county-level; Jiangsu Province

\*Corresponding author: LU Yuqi, E-mail: luyuqi@263.net

收稿日期:2019-06-10;修回日期:2019-10-12.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41430635)。[ **Foundation item:** Auspices of National Natural Science Foundation of China, No.41430635. ]

作者简介:魏璐瑶(1992—),女,吉林吉林人,博士生,主要从事经济地理与乡村发展研究。E-mail: lmyxpeking@163.com

通讯作者:陆玉麒(1963—),男,江苏张家港人,教授,主要从事空间结构与区域发展研究。E-mail: luyuqi@263.net

**摘要:**基于脆弱性视角探究乡村地域系统可持续发展情况与集聚特征的空间关联效应,对推进美丽乡村建设具有重要意义。以SPOT2/4全色和Landsat TM卫星遥感融合影像为主要数据源,解译校正得到2016年江苏省乡村聚落斑块。在利用平均最近邻距离指数、核密度估计和标准差椭圆方法明确江苏省乡村集聚分布特征的同时,从资源、经济和社会脆弱性视角构建乡村脆弱性综合评价模型,进一步探讨县域乡村空间集聚特征与脆弱性发展程度的关联规律。结果表明:①江苏省乡村地域自内核向外缘分布密度逐渐递减,苏北地区中部、苏南和苏中地区毗邻处乡村聚落密集分布,整体空间异质性和集聚形态的方向性特征明显;②江苏省县域乡村脆弱程度存在地域分区不均衡现象,子系统相关性较弱,空间耦合特征尚不明显;③资源脆弱性子系统与经济、社会脆弱性之间均存在显著负相关关系,是当前江苏省县域乡村发展的薄弱环节;④江苏省县域乡村资源、经济和社会单一脆弱子系统集聚分布特征明显,综合脆弱性与集聚特征并未实现空间良性共振。

**关键词:**乡村聚落;集聚规模;集聚方向;脆弱性;关联规律;县域;江苏省

## 1 引言

乡村是以农业生产和经营活动为主体,由一定规模的非城市人口规律性聚集所形成的包括村庄和集镇在内的地域空间系统<sup>[1-2]</sup>。随着新型城镇化快速推进,人口迁移流动和社会经济要素重组导致乡村地域系统呈现多元化特征,并带来农村生产、生活空间的集聚变化和一系列生态环境问题<sup>[3]</sup>。鉴于当前广泛存在的宅基地闲置废弃、公共基础设施凋敝落后、生态环境亟待修复等现象,在内生发展需求和外源驱动要素的综合作用下,乡村地域系统面临严峻的优化重组和重塑发展响应<sup>[4-5]</sup>。稳步推进新农村建设,改善农村人居环境,实现乡村转型发展势在必行<sup>[6-7]</sup>。中国共产党第十九次全国代表大会明确提出实施乡村振兴战略,旨在通过创新集聚发展优化乡村经济形态、社会形态以及资源空间布局的同时,努力打造生态宜居、人与自然和谐共生的居住环境,构建良好新型城乡关系<sup>[8]</sup>。探究乡村复杂系统的内在驱动逻辑,破解各子系统要素关系失调所引发的脆弱性问题,并与乡村集聚优化方向保持一致,这正是国家层面推进乡村振兴战略的重要出发点和立足点<sup>[9]</sup>。

在人类活动不断加剧的发展背景下,脆弱性研究由自然灾害防治延伸到社会经济发展方面,当前已有研究多以旅游地、沿海城市、资源型城市、矿业城市等为研究区域,探究生态、环境、生计、资源、经济、交通、社会单一子系统或者人地系统、人海系统、生态系统、社会—生态复合系统针对特定扰动所呈现出来的敏感性和不稳定性特征及驱动影响机制。涉及生态环境、气候变化、资源禀赋、农户生计、区域经济等领域,呈现出多学科交融态势,逐渐成为评价地区发展状况和进行合理规划的重要依据<sup>[10-11]</sup>。除评价系统遭受灾害的可能性或者承受不利影响的能力之外,脆弱性研究还体现为在系统内

外部要素综合作用下所形成的包括暴露性、敏感性、压力和适应能力等多维度分析<sup>[12-13]</sup>。由于脆弱性内涵复杂性和跨学科视角差异,人文社科和自然科学领域对于脆弱性的构成要素、研究对象、发生机制和评价方法等存在诸多不同<sup>[14]</sup>。自然科学多强调系统暴露于自然环境的不利影响或者遭受损害的风险,而人文社会学科则更加侧重社会经济领域内的人文驱动因素和恢复机制。根据研究区的结构和功能,相关指标体系从自然环境的基础成因以及社会经济系统的综合表现结果方面进行构建,具体包括气候、降水、水土资源等自然本底条件和人口密度、GDP等社会经济发展情况,从多维度因子层面反映人类活动对于系统所造成的负荷压力和系统的调节恢复能力<sup>[12]</sup>。除归纳研究、统计分析等定性评价方法外,相关研究中综合指数法、图层叠置法、函数模型法、集对分析法、数据包络分析、生态足迹法、状态空间法等定量评价方法同样得到广泛运用<sup>[15-20]</sup>。其中,函数模型法、状态空间法和集对分析法考虑到影响因素之间的耦合作用,但指标选取标准并不统一;数据包络分析法一定程度上避免主观因素干扰,综合指数法、图层叠置法等则较为直观地揭示脆弱性特征和形成机理,但均难以区分评价单元之间的差异性;生态足迹法将研究区生态需求与生态承载力相联系,侧重判断区域生态脆弱性。总体来看,结合主客观因素明确脆弱性内部要素关联作用的研究有待继续深化。

作为与城市过渡连接的纽带,县域乡村研究多针对综合发展水平的空间差异和演化机制展开探讨,缺乏脆弱性视角下的整体评价和子系统关联研究。相比较为成熟的城市群和城市脆弱性研究,乡村地域整体和子系统的脆弱性定量测度、机理分析、阈值分析以及演变分析等实证内容仍较为匮乏,同样也未能揭示系统脆弱性与空间集聚特征的耦合规律<sup>[21-22]</sup>。已有研究表明<sup>[23-24]</sup>,乡村聚落人口分

布趋势与乡村聚落景观格局较为一致,后者在一定程度上正是受到聚落人口规模和结构的影响。乡村经济发展和农民生活水平提高导致居住行为以及活动空间的改变,同时也会引起乡村聚落内部空间结构与功能组织的演变。特别是对于自然条件优越、社会经济优势显著的江苏省而言,乡村聚落空间分异格局可以近似表征乡村集聚演化特征。

本文在明确江苏省县域乡村集聚规模和方向特征的同时,从跨学科视角出发,立足资源、经济和社会脆弱性子系统对江苏省县域乡村脆弱性进行综合评价。探讨其脆弱性子系统的要素关联效应、作用强度和形成成因,揭示县域乡村脆弱性与空间集聚特征之间的耦合规律,以期响应国家乡村振兴战略的实施、合理引导集聚发展提供借鉴和参考。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

江苏省位于中国东部沿海地区,地处 $116^{\circ}18' E-121^{\circ}57' E, 30^{\circ}45' N-35^{\circ}20' N$ ,以平原地貌为主,水网稠密纵横,海拔较低,西南、西北部多丘陵,气候分明,农业资源禀赋良好。下辖1个副省级城市南京、12个地级市及96个县(市、区),其中包括19个县、22个县级市和昆山市、泰兴市、沭阳县3个省直管试点市(县)。全省平原面积占比超过86.89%,位居中国各省之首,地跨长江、淮河南北,京杭大运河纵贯其中,沿海未围滩涂面积约占全国1/4,动植物资源和有色金属、粘土、稀有金属等矿产资源同样较为丰富,可谓具有良好的平原地区自然本底和资源禀赋条件(图1)。江苏省交通发展水平同样居于全国前列,各类交通基础设施配备比较完善。2016年末全省农村公路密度为 $138 \text{ km}/10^2 \text{ km}^2$ ,农村公路网密度和高等级公路比重具有明显优势。此外,考虑到新型城镇化过程中人类社会经济活动对乡村地域脆弱性产生的重要影响,从省域经济综合竞争力、人均GDP和地区发展与民生指数(DLI)均位列全国第一的发展水平,但同时省域内苏南、苏中、苏北地区的历史发展基础、区位交通条件、市场发育程度、产业结构转换能力和区域政策导向等存在显著差异角度来看,研究区域在全国层面具有典型代表性。

### 2.2 数据来源

本研究以SPOT2/4全色10 m空间分辨率和多

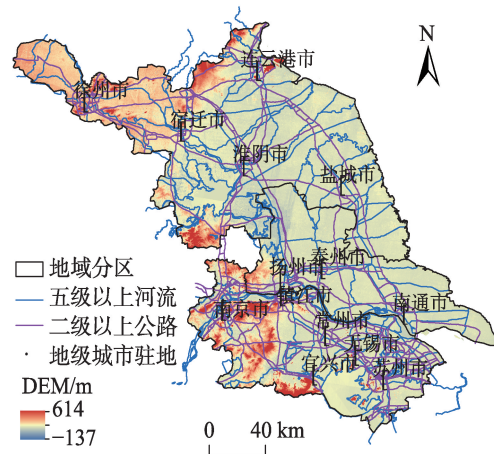


图1 江苏省行政区划

Fig. 1 Administrative divisions of Jiangsu Province

光谱30 m空间分辨率的Landsat TM卫星遥感融合影像为主要数据源,利用ENVI软件进行几何校正、图像增强和坐标配准等处理,人机交互目视解译出2016年江苏省建设用地斑块。参照土地利用变更调查数据库中的土地利用类型图斑和叠加行政村边界矢量数据,校正得到江苏省乡村聚落分布格局<sup>[25]</sup>。剔除全域空间中的市辖区范围,将全省41个县域单元作为研究对象。江苏省地级城市驻地、二级以上公路和五级以上河流矢量数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台,DEM数据利用地理空间数据云平台进行获取,社会经济数据则来源于2017年《江苏统计年鉴》<sup>[26]</sup>和《中国县域统计年鉴(县市卷)》<sup>[27]</sup>。

## 3 研究方法

### 3.1 概念内涵

#### 3.1.1 乡村集聚内涵

在城镇化外力作用和乡村内生发展机制的共同驱动下,针对空间混乱无序和形态分散现象,乡村面临集聚重构的发展需求。规模经营生产方式的改变以及非农化程度的增加,导致乡村具有适度集聚发展的可能,从而形成以中心镇、中心村为核心的乡村空间集聚化导向和产业、人口、农地等基本构成要素的集中发展趋势<sup>[28]</sup>。

#### 3.1.2 乡村脆弱性内涵

乡村系统在集聚和重构过程中,构成要素由于受到外部因素扰动的暴露制约和内在结构不稳定的敏感驱动,会呈现出一种易变脆弱的属性特征。



然而在乡村向着负方向不利发展的同时,其内含的主体功能自适应性在抑制平衡脆弱性的过程中螺旋式上升并不断凸显,最终呈现出响应式调节和反馈效应。鉴于研究区社会经济发展的特殊性和优越性以及良好的生态环境和自然本底条件,不同于通常意义上自然科学学科对于系统遭受单一灾害扰动的脆弱性研究,更加侧重评价单元所承受的社会经济要素不利影响,而这也正是当前江苏省县域乡村发展过程中脆弱性产生的决定性致因。在相关学者研究基础上<sup>[29-30]</sup>,结合江苏省乡村发展情况,最终采用“敏感性—适应能力”准则来表征脆弱性。具体来看,敏感性强调受到外部环境和压力胁迫正负面双重作用的程度表征,侧重描述系统现状稳定性,自然本底、经济实力、经济效率和收入差异等指标均包括在其中。适应能力则代表系统面对外界风险胁迫的自我调节适应能力和恢复潜力,预

示系统未来的可持续发展情况,具体包括基础设施、财政支出、收入差异、就业程度等指标<sup>[31]</sup>。敏感性与乡村脆弱性呈现正向相关关系,敏感性越强,脆弱程度越高。而适应能力越强,应对外界胁迫和内在更新时的重组能力越为突出,会对乡村脆弱性起到负反馈作用。敏感性和适应能力相互影响,共同判定脆弱性视角下江苏省乡村综合发展水平<sup>[32]</sup>。

### 3.2 指标体系构建

依据指标选取的系统性、科学性和代表性原则,采用聚类分析方法对乡村脆弱性评价指标体系进行归类筛选和共线性检验,从资源脆弱性、经济脆弱性和社会脆弱性三大基本维度出发,最终确定乡村脆弱性评价指标体系<sup>[13,30-31]</sup>(表1)。就具体因子而言,农业劳动生产率指农林牧副渔的总产值与从业人员比重,侧重生产结构中劳动力投入与经济产

表1 江苏省乡村脆弱性评价指标体系

Tab.1 Index system for rural vulnerability assessment of Jiangsu Province

目标层(权重)	准则层(权重)	因子层	权重	具体指向	作用方向	
A <sub>1</sub> 资源脆弱性(0.30)	A <sub>11</sub> 利用脆弱性(0.50)	X <sub>1</sub> 农村人均用电量/(kW·h/人)	0.61	敏感性	+	
	A <sub>12</sub> 保障脆弱性(0.50)	X <sub>2</sub> 人均粮食作物播种面积/(h·m <sup>2</sup> /人)	0.39	敏感性	-	
A <sub>2</sub> 经济脆弱性(0.35)	A <sub>21</sub> 增长脆弱性(0.60)	X <sub>3</sub> 人均地区生产总值/(元/人)	0.13	敏感性	-	
		X <sub>4</sub> 第二、三产业产值占GDP比重/%	0.17	敏感性	-	
		X <sub>5</sub> 人均第三产业增加值/(万元/人)	0.10	敏感性	-	
		X <sub>6</sub> 农村常住居民人均可支配收入/(元/人)	0.11	敏感性	-	
		X <sub>7</sub> 农村人均固定资产投资/(元/人)	0.12	适应能力	-	
		X <sub>8</sub> 人均地方公共财政支出/(元/人)	0.10	适应能力	-	
		X <sub>9</sub> 地均农业机械动力/kW/(h·m <sup>2</sup> )	0.16	敏感性	-	
		X <sub>10</sub> 人均邮电业务总量/(元/人)	0.12	适应能力	-	
		A <sub>22</sub> 效率脆弱性(0.40)	X <sub>11</sub> 土地产出率/(亿元/km <sup>2</sup> )	0.51	敏感性	-
			X <sub>12</sub> 农业劳动生产率/(元/人)	0.50	敏感性	-
A <sub>3</sub> 社会脆弱性(0.35)	A <sub>31</sub> 人口脆弱性(0.30)	X <sub>13</sub> 人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.38	敏感性	=	
		X <sub>14</sub> 人口自然增长率/%	0.36	适应能力	=	
		X <sub>15</sub> 教育水平/%	0.26	适应能力	-	
		A <sub>32</sub> 发展脆弱性(0.40)	X <sub>16</sub> 农村常住居民恩格尔系数/%	0.14	敏感性	+
			X <sub>17</sub> 人均社会消费品零售额/(元/人)	0.15	适应能力	-
			X <sub>19</sub> 人均储蓄存款水平/(元/人)	0.17	适应能力	-
			X <sub>20</sub> 第一产业就业水平/%	0.23	适应能力	-
			X <sub>21</sub> 第二、三产业就业水平/%	0.16	适应能力	-
			X <sub>22</sub> 科技创新水平/%	0.17	适应能力	-
		A <sub>33</sub> 设施脆弱性(0.30)	X <sub>23</sub> 公路密度/(km/km <sup>2</sup> )	0.26	适应能力	-
		X <sub>24</sub> 人均民用汽车拥有量/(辆/人)	0.23	适应能力	-	
		X <sub>25</sub> 人均卫生机构床位数/(床/百人)	0.29	适应能力	-	
		X <sub>26</sub> 人均公共图书馆图书藏量/(册/百人)	0.23	适应能力	-	

注:作用方向中“-”表示负反馈性质,值越大,脆弱性风险越低;“+”表示正向作用,值越大,脆弱程度越严重;“=”表示中立指标,并无明显正负指向。



出之间的效率回报评价;考虑到乡村小学教育实现基本普及的实际发展情况,利用普通中学在校学生人数占年末常住人口的比重衡量学生受教育程度;根据科技专利的申请受理量与申请总量的比值判定乡村发展过程中的科技创新水平;第一产业就业水平采用农林牧渔业从业人员数与乡村从业人员总数的比值,以反映就业结构的变化情况和乡村劳动力的基本素质;医疗卫生水平则利用卫生机构床位数与年末总人口的比重来表示,从健康优势角度判断乡村自身发展条件。

### 3.3 计算方法

#### 3.3.1 平均最近邻距离指数(ANN)

通过测算乡村聚落中心点与其最近邻要素质心位置的平均距离,并将其和假设随机分布的期望平均距离进行比较,来揭示乡村聚落的空间分布均衡程度,具体模型如下:

$$ANN = D_o / D_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i / \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n}{A}} \quad (1)$$

式中:  $D_o$  为实际要素与其最近邻要素中心点距离的平均值;  $D_E$  为使用相同数量要素覆盖相同总面积的随机分布距离;  $d_i$  指要素  $i$  与其近邻要素的距离;  $n$  为区域内乡村聚落数量;  $A$  则是研究区包络线总面积。当  $ANN=1$  时,乡村聚落呈现随机式分布;  $ANN<1$  则为集聚式分布;  $ANN>1$  时,要素趋向离散或竞争式分布<sup>[33]</sup>。

#### 3.3.2 核密度估计(KDE)

作为非参数密度估计的一种有效统计方法,依据离核心要素越近的区域所受中心辐射值越大的原理,核密度估计方法通过对研究区内每个栅格像元点建立圆形平滑曲面,利用函数方法计算输出栅格像元周围点要素的密度,模型表示为:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{h^2} K\left(\frac{d_i}{h}\right) K\left(\frac{d_i}{h}\right) = \frac{3}{4} \left(1 - \frac{d_i^2}{h^2}\right) \quad (2)$$

式中:  $f(x, y)$  为位置点  $(x, y)$  处的核密度估计函数;  $h$  为带宽即路径距离衰减阈值;  $n$  表示与位置点  $(x, y)$  的路径距离小于或者等于  $h$  的观测点个数;  $d_i$  则是位置点  $(x, y)$  与第  $i$  个观测位置之间的实际距离;  $K$  函数选择应用广泛的4次空间权重方程。依据距离衰减理论,密度相关性与到核心要素的距离成反比,当与核心要素的网络距离达到阈值时,核密度为最低值0,空间分布形态最为稀疏<sup>[34]</sup>。

#### 3.3.3 标准差椭圆(SDE)

基于研究对象的全局空间分布格局,构建以椭

圆中心、分布形态、长短半轴、旋转角度等为基本参数的空间分布椭圆,反映地理要素的空间分布趋势和形态。标准差椭圆范围为地理要素的主体分布区域,其中心点表示椭圆二维空间的相对位置,旋转角体现笛卡尔坐标系下沿正北方向顺时针旋转至椭圆长轴的夹角趋势。平均中心坐标中长轴表示要素分布方向,短轴表示要素分布范围,二者所构成的扁率越大,集聚式空间分布的方向性越明显。短轴越短,要素向心力越强,反之更为离散<sup>[35]</sup>。主要公式如下:

$$\begin{cases} DE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \\ SSDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \end{cases} \quad (3)$$

$$\tan \theta = \frac{\left(\sum_{i=1}^n w_i^2 - \sum_{i=1}^n z_i^2\right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i^2 - \sum_{i=1}^n z_i^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^n w_i z_i\right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n w_i z_i} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cos \theta - z_i \sin \theta)^2}{n}} \\ \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \sin \theta - z_i \cos \theta)^2}{n}} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $(x_i, y_i)$  为第  $i$  个地理要素的空间坐标;  $(\bar{x}, \bar{y})$  为研究区要素点质心;  $n$  是研究区内乡村居民点要素总数;  $(w_i, z_i)$  表示要素距离面积加权平均中心的区位偏差即相对坐标;  $\theta$  为研究区内点分布的转角;  $\sigma_x$  和  $\sigma_y$  则分别指沿长轴和短轴的标准差;  $(SDE_x, SDE_y)$  表征地理单元主体区域构成的标准差椭圆坐标。

#### 3.3.4 综合测度模型

为消除不同量纲和量级对于乡村脆弱性评价结果可能产生的偏差性影响,根据指标的正负向性质利用极差法进行标准化处理,对于无方向的适度指标而言,采用以下方法<sup>[36]</sup>:

$$x_{ij} = \frac{2|X_{ij} - \bar{X}_i|}{\bar{X}_i} \quad (6)$$

式中:  $x_{ij}$  为标准化后数值;  $X_{ij}$  为原始数据;  $\bar{X}_i$  为第  $i$  个指标的平均值。为体现评价系统差异,提高评价结果的科学性和可信度,采用主客观组合赋权方法确定各评价因子权重,以减小单一评价方法对于系统目标决策的差异化影响。

首先用CRITC法进行客观权重计算<sup>[37]</sup>,通过具体指标间的对比和相关性来衡量冲突大小,考虑到计量单位的影响,使用变异系数进行优化。具体公式为:

$$M_j = c_j \sum_{i=1}^m (1 - r_{ij}) \quad (7)$$

式中: $M_j$ 为指标 $j$ 所包含信息量, $M_j$ 越大,指标 $j$ 所包含的信息越多,权重也越大; $c_j$ 为指标 $j$ 的变异系数, $c_j = \sigma_j / \bar{x}_j$ ,其中 $\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$ , $\sigma_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)$ ;  $m$ 为指标因子个数; $r_{ij}$ 是指标 $i$ 和 $j$ 的相关系数(式(8))。

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{i=m, j=n} (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}_i)^2 \times \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}_j)^2}} \quad (8)$$

因子 $j$ 的客观权重为:

$$\omega_{ij} = M_j / \sum_{j=1}^n M_j \quad (9)$$

结合具有环境、乡村、社会、经济专业及复合领域相关研究背景的专家们对于评价因子的主观权重认知系数 $\omega_{2j}$ ,利用最小相对信息熵原理构建函数,最终得到组合权重,公式如下:

$$F = \sum_{i=1}^n \omega_{1j} (\ln \omega_{1j} - \ln \omega_{2j}) + \sum_{i=1}^n \omega_{2j} (\ln \omega_{1j} - \ln \omega_{2j}) \quad (10)$$

其中, $\sum_{i=1}^n \omega_{1j} = 1$ , $\omega_{1j} > 0$ ,利用拉格朗日乘数法解得最优解,即可得到各因子的权重(表1)。

$$\omega_{1j} = \sqrt{\omega_{1j} \omega_{2j}} / \sum_{j=1}^n \sqrt{\omega_{1j} \omega_{2j}} \quad (11)$$

基于多因子分析方法测度乡村子系统脆弱性,再对子系统进行加权求和,得到乡村地域系统综合脆弱性指数。

## 4 结果及分析

### 4.1 乡村集聚特征

#### 4.1.1 乡村集聚规模分析

利用点模式空间分析方法,采用平均最邻近指数反映江苏省乡村地域的空间集聚特征。基于随机化零假设计算的 $Z$ 得分越高,集聚程度越明显。若 $Z$ 得分大于0,研究区为高值聚类,否则为低值聚类。若 $Z$ 得分接近于0,研究区内聚类形态尚不明显。江苏省乡村聚落平均观测距离为464.88 m,预期平均距离为546.83 m,平均最近邻距离指数为0.85,集聚式分布特征明显。校验值 $Z$ 得分为-108.56,随机产生此聚类模式的可能性较低,甚至小于1%。

斑块密度一定程度上反映了网格内平均聚落数量规模,结合核密度和自然断裂法,得到江苏省乡村地域的集聚规模特征(图2)。省域范围内,中北和中南部乡村聚落分布密度较高,居民点密度达到1.85个/km<sup>2</sup>以上。中部沿长江地区乡村聚落分布集中,并依次向南、北两侧呈现阶梯状稀疏式分布,淡水湖洪泽湖、高邮湖、太湖周围腹地乡村聚落较为分散。除丰县、沛县、溧阳市、仪征市、苏州市东部和南部以及南京市西部等地域外,江苏省界和东部临海地区乡村聚落均呈现出低值稀疏的空间分布特征。

江苏省乡村聚落分布与地形地貌特征具有较强的空间对应关系,总体实现了关联共振。地势自西北向东南倾斜的徐淮平原中部、以滩涂作为重要后备土地资源的滨海平原以及长江中下游平原地区乡村聚落密集分布,而以丘陵岗地为主的洪泽湖

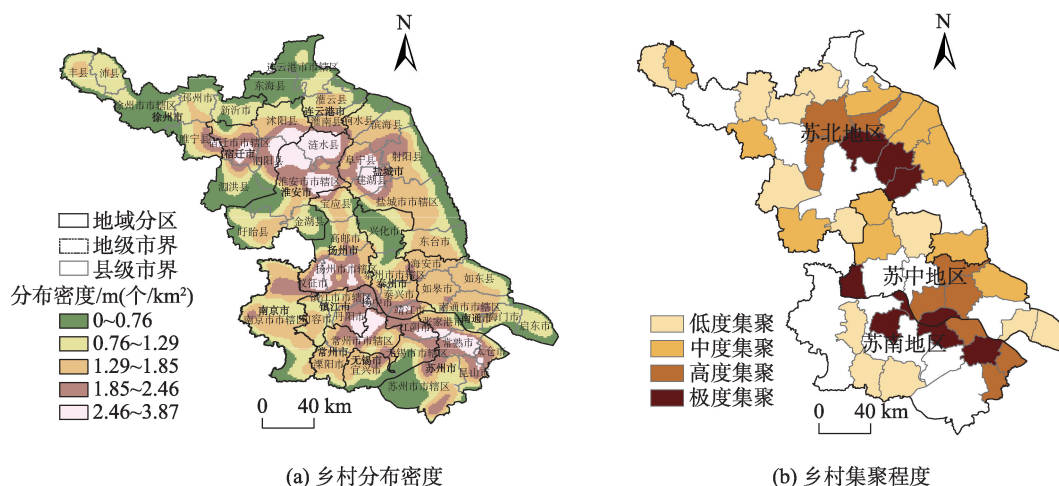


图2 2016年江苏省乡村集聚规模和程度分级

Fig. 2 Scale and classification of rural agglomeration over Jiangsu Province in 2016

地区、四周高中间低的洼地式里下河平原地区以及沿太湖丘陵地区乡村聚落分布稀疏。丰县、沛县由于省道路网密布、交通区位优势明显,成为介于集聚与稀疏布局之间的过渡性地域单元。采用类内差异最小、类间差异最大的自然断裂法,依据乡村分布密度表征集聚程度,并具体划分为低度、中度、重度和极度集聚。苏北地区中部以及苏中、苏南地区交界处连片集聚程度较高,低度、高度和极高集聚地域均占统计单元总量的21.95%,中度集聚县域单元占比最高且空间分布更为分散。

#### 4.1.2 乡村集聚方向分析

为揭示地理要素空间分布的相对位置及主要发展趋向,通过构建乡村聚落的标准差椭圆,揭示空间分布的高值区域和方向特征。研究发现,江苏省域内乡村聚落分布形态为标准椭圆形,且其长轴方向与研究区空间形态具有一致性,均为西北—东南方向(图3)。这与贯通全省的京杭运河空间分布特征具有较高的拟合性,也印证了丰沛发达的水系条件对于人类生产生活和经济发展的意义。全省乡村聚落面积加权重心落在苏中地区高

邮市中部,椭圆旋转角度为 $145.76^{\circ}$ 。从地域分区角度而言,对苏南、苏中、苏北地区的乡村集聚方向和标准差椭圆质心坐标进行对比分析(表2)。苏南、苏中、苏北地区乡村空间集聚分布方向性明显,标准差椭圆形状及旋转方向均与各分区空间形态保持相对契合。其中苏北地区标准差椭圆覆盖范围包括邳州市东南部、睢宁县东部、东海县、灌云县、响水县、滨海县、滨海县、射阳县、灌南县的西南部、泗洪县东北部、宝应县北部以及沭阳、涟水、阜宁、建湖、泗阳、新沂全县范围,面积加权重心处于淮安市市辖区内;苏中地区标准差椭圆覆盖范围包括高邮市和泰兴市大部分地区、兴化市南部、靖江市东部、如东县西部以及如皋市全域,椭圆质心落在泰州市市辖区内;苏南地区标准差椭圆覆盖范围包括张家港市和常熟市西南部、宜兴市、溧阳市、溧水县的北部以及句容市、丹阳市和江阴市全域,面积加权重心位于常州市市辖区内。经比较,江苏省乡村空间集聚格局与平均最近邻距离指数和核密度分析结果较为一致,呈现出明显的高密度分布特征。

#### 4.2 乡村脆弱性特征

根据乡村综合脆弱性和各子系统脆弱性指数,采用自然间断分级法分为4个等级,分别为轻度脆弱(L型)、中度脆弱(M型)、重度脆弱(H型)和极度脆弱(S型),用以表征乡村地域脆弱性的空间异质性规律(表3)。江苏省县域乡村脆弱性均值为0.55,高于全国地级及以上城市平均脆弱性指数<sup>[22]</sup>,但仍属于中度脆弱程度。从各脆弱类型地域单元数量及占比来看,全省资源脆弱性发展情况良好,多体现为轻度脆弱型,占比高达43.90%。经济脆弱性主要体现为重度脆弱和极度脆弱的劣势发展状态,两者共占县域单元总数的63.41%。中度和轻度脆弱型地域单元在社会脆弱性分系统和综合脆弱性系统中占比较高。分系统脆弱性之间非均衡性特征显著(表4)。

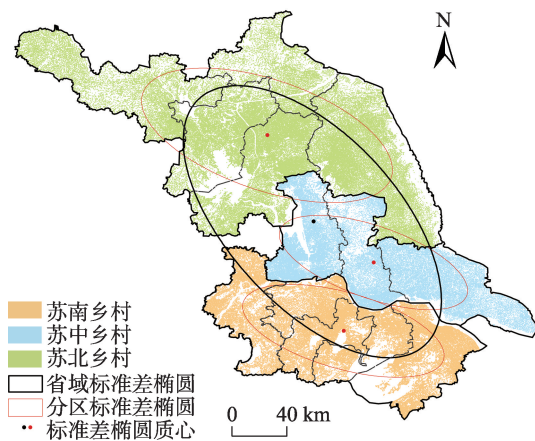


图3 2016年江苏省乡村集聚方向分析  
Fig. 3 Rural agglomeration direction analysis of Jiangsu Province in 2016

表2 2016年江苏省乡村集聚方向标准差椭圆测度

Tab. 2 Standard deviation ellipse measurement of rural agglomeration direction of Jiangsu Province in 2016

方向	地域			
	全省	苏北地区	苏中地区	苏南地区
平均中心坐标	119.54°E, 32.88°N	119.04°E, 33.80°N	120.18°E, 32.44°N	119.86°E, 31.71°N
X轴长度/km	185.18	132.78	101.46	106.90
Y轴长度/km	90.77	63.82	41.78	44.54
旋转角度/ $^{\circ}$	145.76	114.68	113.52	109.44
扁率	0.87	0.89	0.86	0.86



表3 江苏省乡村脆弱性分级标准

Tab. 3 Grading standards of rural vulnerability in Jiangsu Province

脆弱性分级	轻度脆弱性(L)	中度脆弱性(M)	重度脆弱性(H)	极度脆弱性(S)
资源脆弱性	$\leq 0.11$	[0.11, 0.19]	[0.19, 0.31]	$\geq 0.31$
经济脆弱性	$\leq 0.46$	[0.46, 0.69]	[0.69, 0.79]	$\geq 0.79$
社会脆弱性	$\leq 0.65$	[0.65, 0.76]	[0.76, 0.90]	$\geq 0.90$
综合脆弱性	$\leq 0.51$	[0.51, 0.56]	[0.56, 0.59]	$\geq 0.59$

表4 2016年江苏省乡村脆弱性均值和类型占比

Tab. 4 Mean and type ratio of rural vulnerability of Jiangsu Province in 2016

脆弱性分级	L型		M型		H型		S型		总体 均值
	均值	比例/%	均值	比例/%	均值	比例/%	均值	比例/%	
资源脆弱性	0.15	43.90	0.15	24.39	0.16	19.51	0.18	12.20	0.17
经济脆弱性	0.70	14.63	0.72	21.95	0.72	26.83	0.73	36.59	0.71
社会脆弱性	0.73	29.27	0.74	39.02	0.74	24.39	0.80	7.32	0.83
综合脆弱性	0.55	31.71	0.56	31.71	0.56	19.51	0.56	17.07	0.55

除如东县外,江苏省乡村综合脆弱性极度恶劣的地域单元均分布在苏北地区,占该地域单元总数的1/3,系统内要素暴露于外界损坏或者威胁的程度较高。苏南地区的综合脆弱性情况较为乐观,均体现为轻度和中度脆弱性,且空间连片集聚特征明显。从分要素系统来看,资源脆弱性基本上呈现出自西北向东南逐渐增强的特征,以盱眙县为典型代表的苏北地区资源禀赋良好,80%的县域单元均处于轻度脆弱水平。经济脆弱性子系统与资源脆弱性的空间分布存在部分对应关系,分系统脆弱性自西北向东南地区有所降低,接近15%的地域单元为轻度脆弱型且全部分布在苏南地区。作为江苏省试点省直管县(市)之一,昆山市以其优越的地理区位和高新技术产业发展背景,吸引大量资本投入并成为经济发展的高增长地区,体现出轻度经济脆弱性特征。

灌云县则有待继续深入探索产业结构调整和创新升级模式,提升自身的经济环境扰动应对能力。泗洪县、如东县和昆山市社会脆弱性程度较高,且空间分布较为分散。重度脆弱性地域单元均分布在苏北和苏中地区,占该区域县域单元总数的32.26%,系统一定程度上承受着难以抵抗外界损失和环境干扰的发展压力。江苏省县域乡村脆弱性地域空间异质性显著,分系统脆弱性间的相关性较弱,仅有苏南地区经济脆弱性和综合脆弱性之间存在部分空间耦合关系,其他子系统空间叠合特征尚不明显(图4)。

从目标作用角度而言,乡村资源、经济和社会脆弱性三大维度对乡村地域系统综合脆弱性的实现做出不同贡献。为进一步明确各子系统之间的关联作用程度,对各子系统脆弱性进行 Spearman 相关性统计分析(表5)。

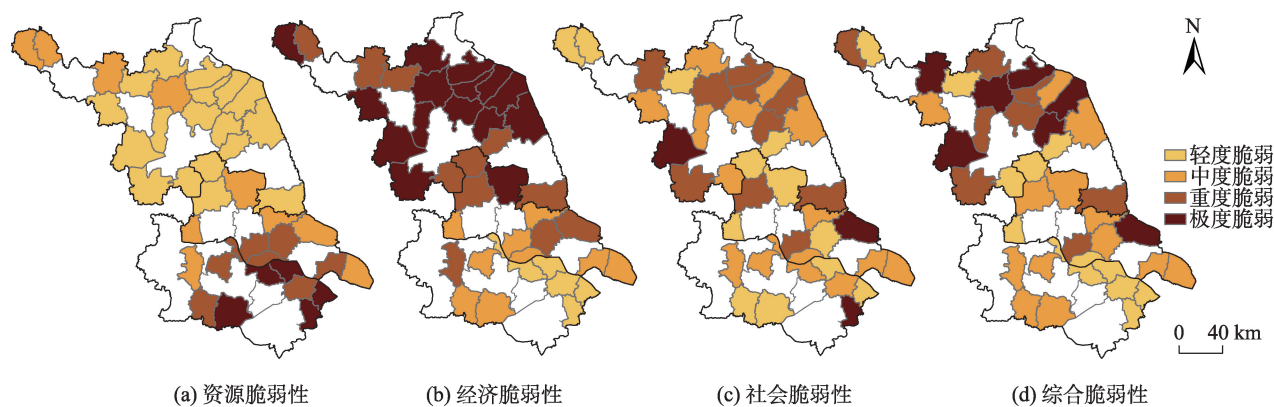


图4 2016年江苏省县域乡村脆弱性空间分异特征

Fig. 4 County-scale spatial differentiation characteristics of rural vulnerability over Jiangsu Province in 2016

表5 江苏省乡村分系统脆弱性统计  
Tab. 5 Statistical analysis of rural subsystem vulnerabilities in Jiangsu Province

Spearman 相关性	资源脆弱性	经济脆弱性	社会脆弱性
资源脆弱性	1.00	-0.84**	-0.31*
经济脆弱性	-0.84**	1.00	0.24
社会脆弱性	-0.31*	0.24	1.00

注：“\*”和“\*\*”分别表示相关性在0.01和0.05水平上显著。

结果表明,资源脆弱性与经济脆弱性子系统之间存在显著负相关作用,未来经济发展将面临较大的资源诅咒效应。资源脆弱性与社会脆弱性子系统之间的负相关作用较为弱化,但资源禀赋条件仍会对社会发展产生一定的阻滞作用。而经济脆弱性和社会脆弱性子系统之间显著相关性水平为0.13,从统计意义上而言,未能真正确立两者之间的正相关关系,乡村脆弱性分系统间存在较为复杂的作用机理。为进一步明确各子系统对整体评价的贡献度大小,构建百分数坐标形式的平面三角坐标图(图5)。在等边三角形SMB中,S点代表系统适应性值最大为1,由S点到M点和B点的过程中逐渐减小直至0,同理M点的敏感性和B点的暴露性最强。等边三角形模型中3条边分别表示资源脆弱性、社会脆弱性和经济脆弱性子系统在综合系统中所占的比重,三角图内部连线按照子系统比例纵向划分地域单元脆弱性类型和作用程度。相比资源脆弱性,江苏省县域乡村社会、经济脆弱性问题更为凸显,分系统脆弱程度呈现出经济>社会>资源的严峻态势,经济、社会脆弱性仍是当前江苏省县域乡村发展的薄弱环节。

根据各子系统的作用频次和方向,将乡村脆弱

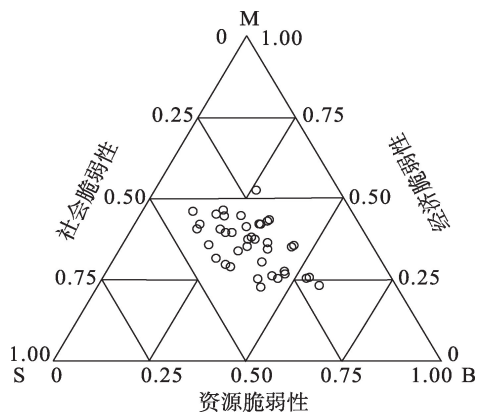


图5 江苏省乡村脆弱性子系统关联性分析  
Fig. 5 Analysis of rural vulnerability subsystem association in Jiangsu Province

性作用类型划分为单一作用、复合作用和均衡作用3类。并在结合江苏省县域乡村综合脆弱性特征的基础上,进一步细化得到九种脆弱性类型划分,分别为单一轻度型(SL)、单一中度型(SM)、单一重度型(SH)、单一极度型(SS)、复合轻度型(CL)、复合中度型(CM)、复合重度型(CH)、复合极度型(CS)以及均衡中度型(BM)。2016年江苏省县域乡村脆弱性呈现出部分“集群化”空间分布特征,特别是单一子系统要素作用形成的脆弱性格局集聚分布明显。苏南地区西部以及苏中和苏南地区交界处呈现西北—东南向集聚分布特征,苏北地区中部以单一极度型为核心向四周辐射形成东北—西南向集聚子群。资源脆弱性、经济脆弱性和社会脆弱性子系统共同作用形成的均衡中度型乡村地域全部分布在苏中地区,苏中和苏南地区的毗邻地域复合轻度脆弱型集聚特征明显(图6)。

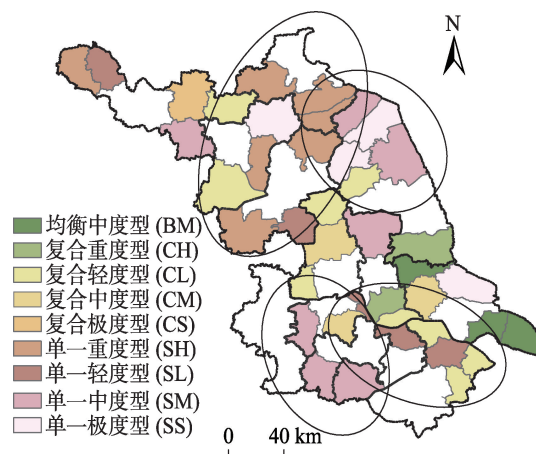


图6 2016年江苏省县域乡村脆弱性聚类  
Fig. 6 County-scale rural vulnerability types over Jiangsu Province in 2016

统计分析子系统要素对于综合脆弱性的作用程度,探究不同县域乡村脆弱性致因,包括经济(E)、社会(S)、资源(R)单一要素以及任意两者甚至三者的复合组合要素。以苏北地区东北部和苏南地区东南部为典型代表的县域乡村单元亟待继续减弱经济脆弱性,金湖县、兴化市资源脆弱性问题较为突出,响水县、盱眙县和仪征市则应形成应对外界变化时的敏感抗压能力。除如皋市面临较为严峻的经济、资源双要素脆弱性局面外,资源、社会双系统以及社会、经济双系统脆弱型乡村空间布局分散,分别占据统计单元总数的12.20%和26.83%。而17.07%的县域乡村则在资源、经济、社

会要素的综合均衡作用下,最终形成系统脆弱性,主要集中在苏北和苏中地区(图7)。

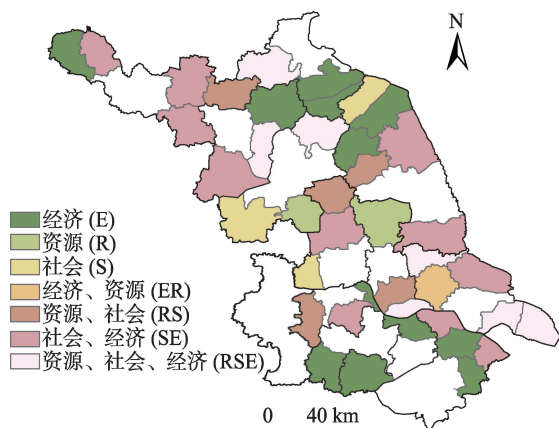


图7 江苏省县域乡村脆弱性成因的空间分异特征  
Fig. 7 County-scale spatial differentiation characteristics of rural vulnerability over Jiangsu Province

#### 4.3 乡村集聚与脆弱性关联评价

从省域范围来看,乡村综合脆弱性与集聚规模并不存在明显的空间对应关系,乡村聚落较为集中的县域单元其脆弱情况并不乐观。苏南和苏中地区毗邻交界处集聚规模较高,在应对乡村系统内外要素共同作用形成的适应能力推动下,该区域脆弱性发展情况良好。而苏北地区东北部沭阳县、灌云县、泗阳县及其邻近地域在探索规模化集聚发展路径的同时,未能实现乡村经济、社会和资源子系统的科学协调发展,综合脆弱程度均处于重度及以上水平。

依据乡村集聚和综合脆弱性分类评价结果及相对作用程度,将江苏省县域乡村集聚脆弱关联程度划分为低集聚高脆弱型(LH)、高集聚低脆弱型(HL)、中集聚中脆弱型(MM)以及高集聚高脆弱型(HH)4类(图8)。其中,LH型乡村地域主要分布在苏中和苏北地区,占比接近统计单元总数的30%,亟待加强系统内部优化调控和区域合作联系,降低社会经济发展要素的敏感性,有序引导乡村聚落适度集聚。HL型县域乡村数量超过地域单元总数的三分之一,除沛县和建湖县外,其余均分布在苏中地区及其与苏南地区的交界处。集聚性与脆弱性彼此关联作用,形成了一定程度的良好发展态势,但是也应避免乡村过度集聚可能会带来的承载压力问题,多渠道提高村民参与社会治理的积极性,增强抵抗社会生态系统风险的能力。

集聚与脆弱性的正向关联效应包括中等耦合和高等耦合,其中MM型乡村地域实现人地双向适

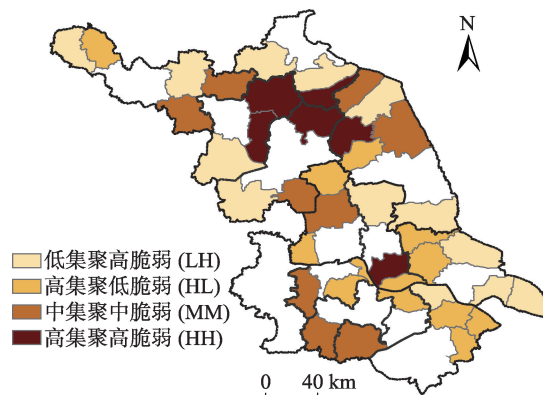


图8 2016年江苏省县域乡村集聚和脆弱性的空间关联格局  
Fig. 8 Spatial correlation pattern of county-scale rural agglomeration and vulnerability over Jiangsu Province in 2016

应,在合理挖掘土地整理潜力、重构乡村发展格局的同时增强了人类福祉,在抵御外界不利干扰和平衡内部系统层面也展现了良好的调控能力。而沭阳县、泗阳县、灌南县、涟水县、阜宁县和泰兴市这六个HH型乡村地域则面临较为迫切的转型发展需求,在过高的乡村集聚规模和较低的系统抗干扰能力共同作用下,该区域暴露在灾害和风险冲击下可能遭受更多不利影响。应积极探索乡村合理布局和人口适度迁移的变革方案,提高自身摆脱不良稳态和应对干扰的能力。总体来看,江苏省县域乡村实现集聚与脆弱性良好关联发展的地域占比仅为21.95%,超过七分之一的HH型乡村亟待快速转变发展模式和调整规模布局。苏南地区县域乡村集聚与脆弱性关联发展态势良好。

综上所述,江苏省苏南、苏中、苏北地区县域乡村集聚方向具有“西北—东南”一致性。地域分区脆弱性特征显著不同,县域乡村集聚与脆弱性分区关联规律同样有所差异(表6),区域梯度层次分明,应针对其个性化特点予以不同的发展建议,以促进地区间的协同发展。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

基于平均最近邻距离指数、核密度估计和标准差椭圆方法,系统分析2016年江苏省乡村聚落集聚规模和方向特征。以“敏感性—适应能力”为准则,从资源脆弱性、经济脆弱性和社会脆弱性3个基本维度出发,构建乡村脆弱性综合测度模型,表征分系统脆弱性和总体脆弱性空间分异和关联特征,探



表6 江苏省乡村地域分区发展特征及方向

Tab. 6 Characteristics and direction of rural partition areas in Jiangsu Province

地域分区	发展特征	发展方向
苏南地区	资源脆弱性程度较高;综合脆弱性情况相对乐观;脆弱性致因多为单一要素;乡村集聚与脆弱性关联发展态势良好,多为HL型和HM型	塑造以关键技术领域核心突破为标志的科技创新能力,推动产业要素集聚,优化资源利用效率,提升新兴产业的成果转化能力和国际竞争优势。
苏中地区	经济脆弱性子系统为中度和重度脆弱程度;脆弱性致因多为复合型要素;乡村集聚与脆弱性关联发展情况多样,HL、HM、LH和HH型均有所体现	注重确立发展特色,积极借助南京和上海等地的教育资源、科学技术和创新能力辐射,加快打造现代化产业特色,持续推进经济发展和区域融合发展,打破行政区划界限。
苏北地区	资源禀赋条件良好,多处于轻度脆弱水平;经济脆弱性程度较高;综合脆弱性情况极度恶劣;脆弱性致因主要为单一要素;乡村集聚与脆弱性关联程度发展情况多样,HL、HM、LH和HH型均有所体现,HH型地域单元集中,迫切面临转型发展需求	充分发挥后发优势,深入挖掘资源禀赋优势,努力摆脱路径依赖效应,营造良好生态环境,提升绿色发展能力和吸引外资投入。可依托旅游业培育经济增长新动力,树立生态景观风貌和名牌效应。

究江苏省县域乡村脆弱性成因以及集聚和脆弱性的空间耦合规律。主要结论如下:

(1)江苏省苏南、苏中、苏北地区乡村聚落呈现出明显的西北—东南向集聚式分布特征,以中北部和中南部地区为核心高密度集中区,由长江流域带向南、北两侧呈阶梯状稀疏分散,这与实际地形地势存在较强的空间对应关系,地域空间异质性特征显著。

(2)江苏省县域乡村综合脆弱性仍处于中等脆弱水平,其中资源脆弱性发展情况良好,轻度脆弱型单元占比达到43.90%,经济脆弱性子系统形势最为严峻,重度脆弱和极度脆弱型单元占比高达63.41%,而社会脆弱性多以轻度和中度脆弱为主。子系统之间异质性明显且相关性较弱,呈现出级差化空间分异特征。就综合脆弱性而言,苏北地区极度脆弱情况突出,约有1/3的县域单元均体现出明显的极度脆弱特征。苏南地区脆弱性较为乐观,均为轻度和中度脆弱型地域,空间聚集连片特征明显。资源脆弱性与经济、社会脆弱性子系统之间存在显著负相关关系,后两者是当前江苏省县域乡村发展的薄弱环节。

(3)依照子系统对于综合脆弱性形成的作用程度,对江苏省县域乡村脆弱性进行“单一轻度型(SL)、单一中度型(SM)、单一重度型(SH)、单一极度型(SS)、复合轻度型(CL)、复合中度型(CM)、复合重度型(CH)、复合极度型(CS)和均衡中度型(BM)”九大类型划分。2016年研究区呈现部分“集群化”空间分布格局,特别是单一子系统作用形成的脆弱性地域集聚特征明显。江苏省县域乡村南部西北—东南向和苏北地区中部东北—西南向集聚子群形成。苏北和苏中地区在资源、经济、社会要素的综合均衡作用下,最终形成系统脆弱性。而苏南和苏中地区交界处复合轻度脆弱性集

聚特征明显。

(4)根据子系统要素对于综合脆弱性的作用程度,探究江苏省县域乡村脆弱性致因,具体包括经济(E)、社会(S)、资源(R)、经济资源(ER)、资源社会(RS)、社会经济(SE)以及资源社会经济(RSE)7类。RS和SE型县域乡村空间布局分散,而全省17.07%的RSE型综合作用地域则主要集中在苏北和苏中地区。

(5)根据江苏省县域乡村集聚和综合脆弱性分类评价及相对作用程度,将二者关联性划分为低集聚高脆弱型(LH)、高集聚低脆弱型(HL)、中集聚中脆弱型(MM)以及高集聚高脆弱型(HH)4类。江苏省整体并不存在明显的空间对应关系,苏南地区关联发展趋势良好。超过七分之一的HH型地域亟待快速转型发展和调整规模布局,且主要集中在苏北地区中部。LH型乡村地域主要分布在苏中和苏北地区,HL型县域乡村单元数量则超过地域单元总数的三分之一。

## 5.2 讨论

本文立足跨学科视角在明确乡村脆弱性内涵的基础上进行定量化评价,探讨平原地区县域乡村集聚特征与脆弱性空间分异的耦合性规律,对于发掘县域乡村人地系统和谐共生的科学途径具有重要意义,同时也是新型城镇化背景下提升发展质量的现实要求,有利于推动乡村转型发展和合理应对脆弱性困境。然而鉴于数据搜集的可获取性以及研究区域的优越发展特点,现有江苏省县域乡村脆弱性评价指标体系多考虑社会经济因子的作用,评价过程中各等级划定具有一定的主观性。此外,仅关注到研究期内各子系统和综合系统的脆弱性程度和空间分异特征,尚且缺乏对于未来县域乡村脆弱性的趋势判定和预警评估。未来将从镇域、村域

微观视角融入更多自然环境和生态服务因子,并对多尺度下不同年份演进中乡村脆弱性的时空演变特征进行动态监测。而乡村地域系统脆弱性的驱动因素、功能识别以及地域类型分异机制和重构发展路径等研究值得继续探讨。

#### 参考文献(References):

- [1] 李玉恒,阎佳玉,武文豪,等.世界乡村转型历程与可持续发展展望[J].地理科学进展,2018,37(5):627-635. [ Li Y H, Yan JY, Wu W H, et al. The process of rural transformation in the world and prospects of sustainable development[J]. Progress in Geography, 2018,37(5):627-635. ]
- [2] 袁源,张小林,李红波,等.西方国家乡村空间转型研究及其启示[J].地理科学,2019,39(8):1219-1227. [ Yuan Y, Zhang X L, Li H B, et al. Rural spacetransition in western countries and its inspiration[J]. ScientiaGeographicaSinica,2019,39(8):1219-1227. ]
- [3] 龙花楼.论土地整治与乡村空间重构[J].地理学报,2013,68(8):1019-1028. [ Long H L. Land consolidation and rural spatial restructuring[J]. Acta Geographica Sinica, 2013,68(8):1019-1028. ]
- [4] Yang R, Liu Y S, Long H L, et al. Spatio-temporal characteristics of rural settlements and land use in the BohaiRim of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015,25(5):559-572.
- [5] Liu Y S, Li Y H.Revitalize the world's countryside[J]. Nature, 2017,548 (7667):275-277.
- [6] 周思悦,申明锐,罗震东.路径依赖与多重锁定:经济地理学视角下的乡村建设解析[J].经济地理,2019,39(6):183-190. [ Zhou S Y, Shen M R, Luo Z D. Path dependence and multiple lock-in process in rural construction: An economic geography perspective[J]. Economic Geography, 2019,39(6):183-190. ]
- [7] 李智,张小林.中国地理学对乡村发展的多元视角研究及思考[J].人文地理,2017,32(5):1-8. [ Li, Zhang X L. Pluralistic perspectives and thinking of Chinese rural development in geography study[J]. Human Geography, 2017, 32(5):1-8. ]
- [8] 程明洋,刘彦随,蒋宁.黄淮海地区乡村人-地-业协调发展格局与机制[J].地理学报,2019,74(8):1576-1589. [ Cheng Y M, Liu Y S, Jiang N. Study on the spatial pattern and mechanism of rural population-land-industry coordinating development in Huang-Huai-Hai Area[J].Acta-GeographicaSinica, 2019,74(8):1576-1589. ]
- [9] 杨玉珍,黄少安.乡村振兴战略与我国农村发展战略的衔接及其连续性[J].农业经济问题,2019,39(6):77-85. [ Yang Y Z, Huang S A. Rural revitalization strategy and the connection and continuity of rural developmentstrategy in China[J]. Issues in Agricultural Economy. 2019,39(6):77-85. ]
- [10] 杨飞,马超,方华军.脆弱性研究进展:从理论研究到综合实践[J].生态学报,2019,39(2):1-13. [ Yang F, Mao C, Fang H J. Research progress on vulnerability: From theoretical research to comprehensive practice[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(2):1-13. ]
- [11] 李博,苏飞,杨智,等.基于脆弱性视角的环渤海地区人海关系地域系统时空特征及演化分析[J].生态学报,2018,38(4):1436-1445. [ Li B, Su F, Yang Z, et al. Vulnerability-based analysis of the spatial-temporal dynamic patterns of the human-sea territorial system of the Bohai-rim region[J]. ActaEcologicaSinica, 2018,38(4):1436-1445. ]
- [12] 田亚平,向清成,王鹏.区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J].地理研究,2013,32(1):55-63. [ Tian Y P, Xiang Q C, Wang P. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes[J]. Geographical research, 2013,32(1):55-63. ]
- [13] 王群,银马华,杨兴柱,等.大别山贫困区旅游地社会-生态系统脆弱性时空演变与影响机理[J].地理学报,2019,74(8):1663-1679. [ Wang Q, Yin M H, Yang X Z, et al. Spatio-temporal evolution and impact mechanism of socio-ecological system vulnerability in poor mountainous tourist destinations: Taking DabieMountainarea as example [J]. ActaGeographicaSinica, 2019,74(8):1663-1679. ]
- [14] 李鹤,张平宇,程叶青.脆弱性的概念及其评价方法[J].地理科学进展,2008,27(2):18-25. [ Li H, Zhang P Y, Cheng Y Q. Concepts and assessment methods of vulnerability [J]. Progress in Geography, 2008,27(2):18-25. ]
- [15] 林明水,林金煌,程煜,等.省域乡村旅游扶贫重点村生态脆弱性评价——以福建省为例[J].生态学报,2018,38(19):7093-7101. [ Lin M S, Lin J H, Cheng Y, et al. Ecological vulnerability assessment of key villages of tourism poverty alleviation in Fujian Province[J]. Acta Ecological Sinica, 2018,38(19):7093-7101. ]
- [16] Frzier T G, Thompson C M, Dezzani R J. A framework for the development of the SERV model: A spatially explicit resilience-vulnerability model[J]. Applied Geography, 2014,51:158-172.
- [17] 陈佳,杨新军,尹莎,等.基于VSD框架的半干旱地区社会-态系统脆弱性演化与模拟[J].地理学报,2016,71(7):1172-1188. [ Chen J, Yang X J, Yin S, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological-systems in the semi-arid area based on the VSD framework[J]. ActaGeographicaSinica, 2016,71(7):1172-1188. ]
- [18] 徐君,李贵芳,王育红.国内外资源型城市脆弱性研究综述与展望[J].资源科学,2015,37(6):1266-1278. [ Xu J, Li G F, Wang Y H. Review and prospect of resource-based city vulnerability in China and abroad[J]. Resources Science, 2015,37(6):1266-1278. ]
- [19] 张学玲,余文波,蔡海生,等.区域生态环境脆弱性评价方法研究综述[J].生态学报,2018,38(16):5970-5981. [ Zhang X L, Yu WB, Cai H S, et al. Review of the evaluation methods of regional eco-environmental vulnerability[J].

- Acta Ecologica Sinica, 2018,38(16):5970-5981. ]
- [20] 李锋.基于集对分析法(SPA)的中国旅游经济系统脆弱性测度研究[J].旅游科学,2017,27(1):15-28,40. [ Li F. Study of vulnerability measurement of Chinese tourism economic system: Based on SPA[J]. Tourism Science, 2017,27(1):15-28,40. ]
- [21] 袁海红,高晓路.城市经济脆弱性评价研究——以北京海淀区为例[J].自然资源学报,2014,29(7):1159-1172. [ Yuan HH, Gao X L. Assessing the economic vulnerability to disasters of cities: A case study of Haidian District in Beijing[J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(7):1159-1172. ]
- [22] 方创琳,王岩.中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征[J].地理学报,2015,70(2):234-247. [ Fang C L, Wang Y. A comprehensive assessment of urban vulnerability and its spatial differentiation in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(2):234-247. ]
- [23] 吕敏娟,郭文炯.资源型区域乡村聚落规模结构及空间分异动态[J].经济地理,2016,36(12):126-134. [ Luo M J, Guo W J. The dynamic hierarchy and spatial differentiation of rural settlements in resource-based region[J]. Economic Geography, 2016,36(12):126-134. ]
- [24] 罗庆,杨慧敏,李小建.快速城镇化欠发达平原农区的聚落规模变化[J].经济地理,2018,38(10):170-179. [ Luo Q, Yang H M, Li X J. Change of settlement size in the less development agricultural plain area under the background of rapid urbanization[J]. Economic Geography, 2018,38(10):170-179. ]
- [25] 江苏省统计局.江苏省统计年鉴2017[M].北京:中国统计出版社,2017. [ Jiangsu provincial bureau of statistics. Jiangsu statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017. ]
- [26] 国家统计局农村社会经济调查司.中国县域统计年鉴2017[M].北京:中国统计出版社,2017. [ Rural socio-economic survey team of national bureau of statistics of China. China statistical yearbook (township) 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017. ]
- [27] 马晓东,李全林,沈一.江苏省乡村聚落的形态分异及地域类型[J].地理学报,2012,67(4):516-525. [ Ma XD, Li Q L, Shen Y. Morphological difference and regional types of rural settlements in Jiangsu Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2012,67(4):516-525. ]
- [28] 浙北乡村集聚化及其聚落空间演进模式研究[D].杭州:浙江大学,2012. [ Research on rural agglomeration and settlement space evolution mode of North Zhejiang[D]. Zhejiang University, 2012. ]
- [29] 王岩,方创琳.大庆市城市脆弱性综合评价与动态演变研究[J].地理科学,2014,34(5):547-555. [ Wang Y, Fang C L. Comprehensive evaluation and dynamic evolution analysis of Daqing's urban vulnerability[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(5):547-555. ]
- [30] 任崇强,孙东琪,翟国方,等.中国省域经济脆弱性的综合评价及其空间差异分析[J].经济地理,2019,39(1):37-46. [ Ren C Q, Sun D Q, Zhai G F, et al. A comprehensive assessment and spatial difference of China's provincial economic vulnerability[J]. Economic Geography, 2019,39(1):37-46. ]
- [31] 李海玲,马蓓蓓,薛东前,等.丝路经济带背景下我国西北地区城市脆弱性的空间分异与影响因素[J].经济地理,2018,38(2):66-73. [ Li H L, Ma B B, Xue D Q, et al. The spatial differentiation and determinants of urban vulnerability in Northwest China under the background of the Silk Road Economic Belt[J]. Economic Geography, 2018,38(2):66-73. ]
- [32] 杨振,丁启燕,王念,等.中国人口健康脆弱性地区差异与影响因素分析[J].地理科学,2018,38(1):135-142. [ Yang Z, Ding Q Y, Wang N, et al. Distribution characteristics of health vulnerability and its influence factors in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018,38(1):135-142. ]
- [33] 李智,张小林,李红波.县域城乡聚落规模体系的演化特征及驱动机理——以江苏省张家港市为例[J].自然资源学报,2019,34(1):140-152. [ Li Z, Zhang X L, Li H B. Evolution characteristics and driving mechanism of urban-rural scale system at county level: A case of Zhangjiagang city, Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2019,34(1):140-152. ]
- [34] 朱彬,张小林,马晓冬.苏北地区乡村聚落的空间格局及其影响因子分析[J].农业现代化研究,2014,35(4):453-459. [ Zhu B, Zhang X L, Ma X D. The spatial pattern of rural settlements and influencing factors in Northern Jiangsu area[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014,35(4):453-459. ]
- [35] 赵璐,赵作权.基于特征椭圆的中国经济空间分异研究[J].地理科学,2014,34(8):979-986. [ Zhao L, Zhao Z Q. Projecting the spatial variation of economic based on the specific ellipses in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(8):979-986. ]
- [36] 张梅,罗怀良,陈林.资源型城市脆弱性评价——以攀枝花市为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1170-1178. [ Zhang M, Luo H L, Chen L. Vulnerability assessment of resource-based city: A case study of Panzhihua[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018,27(5):1170-1178. ]
- [37] 韩增林,李彬,张坤领.中国城乡基本公共服务均等化及其空间格局分析[J].地理研究,2015,34(11):2035-2048. [ Han G L, Li B, Zhang K L. Evaluation and spatial analysis of the equalization of basic public service in urban and rural areas in China[J]. Geographical research, 2015,34(11):2035-2048. ]