

地理科学
Scientia Geographica Sinica
ISSN 1000-0690, CN 22-1124/P

《地理科学》网络首发论文

题目: 都市水源区村域社会-生态系统脆弱性空间分异的地理影响模式——以上海市青浦区为例

作者: 任国平, 刘黎明, 李洪庆, 季翔, 赵旭

收稿日期: 2020-04-28

网络首发日期: 2021-09-06

引用格式: 任国平, 刘黎明, 李洪庆, 季翔, 赵旭. 都市水源区村域社会-生态系统脆弱性空间分异的地理影响模式——以上海市青浦区为例[J/OL]. 地理科学. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P.20210903.1519.012.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

都市水源区村域社会-生态系统脆弱性 空间分异的地理影响模式 ——以上海市青浦区为例

任国平¹, 刘黎明², 李洪庆³, 季翔⁴, 赵旭¹

(1. 湖南城市学院管理学院/湖南省新型城镇化研究院, 湖南 益阳 413000; 2. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 3. 河海大学公共管理学院, 江苏 南京 211100; 4. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002)

摘要:以上海市青浦区为例,采用数据包络模型、空间自相关模型、多元 Logistic 回归模型、**地理探测器和层次聚类模型分析该区 184 个行政村社会-生态系统脆弱性的空间差异及地理影响机制**。研究表明:① 基于熵权集结交叉的“投入-产出”效率模型对村域社会-生态系统脆弱性评价结果更具可信度和精确性,2018 年行政村社会-生态系统脆弱性空间上呈由东向西逐渐降低的变化趋势,脆弱性均值为 0.583;② 地理因素对经济发达村域社会-生态系统脆弱性空间分异仍旧具有重要影响。距上海市中心距离、距淀山湖距离、距青浦区中心距离和水域面积成为影响该区社会-生态系统脆弱性的 4 种主导地理因素,其地理影响力呈现系统结构空间差异和种类属性替代及程度转化;③ 依据地理因素影响聚类分析将该区社会-生态系统脆弱性地理因素空间耦合模式分为 10 种,多地理因素耦合模式是主要决定类型,呈现中部多因素主导和两侧单因素主导并存的多元环状地域决定格局;针对不同类型提出调控区域社会-生态系统脆弱性的可行方式。

关键词: 社会-生态系统;脆弱性评价;"投入-产出"效率模型;地理因素;地理影响模式;上海青浦区

中图分类号: F301.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2021)X-1469-10

脆弱性作为系统或系统组分对风险的承受和恢复能力^[1],是区域可持续发展研究的热点和前沿^[2,3];社会经济环境变化给区域社会-生态系统带来前所未有的挑战,驱使着长期处于低水平均衡状态下相对稳定的封闭系统逐渐转变为一个偏离平衡状的开放系统^[4],深刻影响着区域内农业、农村和农民的发展^[5]。受快速城镇化、工业化和现代化压力影响,乡村社会及其生态系统逐渐暴露出对环境压力变化的脆弱性^[6]。作为表征区域自然和经济区位属性的地理因素与社会-生态系统关系极为密切,对乡村社会-生态系统脆弱性形成及

程度具有放大或缩小作用^[7]。都市城郊的水源涵养区具有优越的地理区位,其社会-生态系统受社会经济压力最为直接和敏感^[8];一方面,都市城郊作为城镇化、工业化和现代化的前沿阵地,在社会经济变革中通过能流、物流和信息流促进相对封闭的乡村系统快速解构成偏离或远离平衡状态的开放系统;另一方面,带有较强乡村地域属性的水源涵养区,固有乡村结构禀赋和水源区标签在压力干扰下极力维护着社会-生态系统封闭状态,阻碍着该系统开放的程度和速率。因此,评估都市水源区村域社会-生态系统脆弱性,分析其空间特征

收稿日期: 2020-04-28; **修订日期:** 2020-07-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471455)、湖南省社会科学基金(20JD011)、湖南省教育厅重点课题(19A086)、湖南省高校青年骨干教师培养项目(2018QG018)、数字化城乡空间规划关键技术湖南省重点实验室基金(2018TP1042)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41471455), Social Science Foundation of Hunan (20JD011), Social Science Key Foundation of Hunan (19A086), Training Project Foundation of Hunan Education Department (2018QG018), Key Laboratory of Key Technologies of Digital Urban-rural Spatial Planning of Hunan (2018TP1042).]

作者简介: 任国平(1982-),男,湖南益阳人,副教授,博士,主要研究方向为乡村演变与治理。E-mail: renguoping82@163.com

通讯作者: 刘黎明。E-mail: liulm@cau.edu.cn

及其地理因素影响下的地域分异机制对“严格保护和大力发展”冲突区域的社会-生态系统降低脆弱性,实现区域可持续发展具有重要科研价值和社会意义。

脆弱性作为可持续发展科学的核心问题,在IHDP、IPCC、IGBP等国际研究计划推动下对其内容研究主要集中在以下几个方面。① 从脆弱性概念定义及理论构建^[9]拓展为灾害系统^[10]、生态系统^[11]、水资源系统^[12]、社会系统^[4]、经济系统^[13]等单一系统脆弱性和人地耦合系统脆弱性^[14]研究;② 从系统脆弱性影响要素和影响机制的定性分析^[15]拓展为系统脆弱性综合评价的定量研究^[16];③ 从采用单一方法评价系统脆弱性^[17]拓展为多方法耦合与综合比较研究^[18];④ 从自然地理脆弱的贫困山区^[6]、沿海区域^[13]、生态湖区^[17]拓展为旅游地^[7]、乡村^[19]等其它区域的脆弱性研究。然而,以上研究仍存在以下不足:① 多采用“暴露度-敏感性-适应能力”指标对系统脆弱性进行评价,忽视了各子系统结构对系统整体脆弱性的影响。② 倾向于依据特定的模式采用指标体系综合法开展评价,忽视了指标准间的逻辑关系导致的脆弱性形成机理弱化问题和权重方法选择导致的评价结果可信度问题。③ 倾向于将脆弱性和贫困进行关联,形成“地理环境限制-社会发展缓慢-经济落后-压力扰动-系统脆弱”逻辑导向,该范式将地理环境恶劣作为贫困和系统脆弱性的默认前提,成为选择典型案例区的重要依据。地理环境作为区域固有的

区位禀赋,对区域受到干扰后导致系统状态偏离平衡造成系统损失进而产生系统脆弱性程度改变具有重要的作用。然而,贫困和发展是区域面临的重要问题^[5],经济发达区域的社会-生态系统在巨大的经济干扰和快速的社会变革压力作用下业已偏离平衡的系统使其处于远离平衡状态,同样可能造成系统遭受损害,形成系统脆弱性。青浦区地处长江三角洲经济圈的中心地带且内辖上海市水源保护区,是长三角区域一体化的“桥头堡”。因此,评估该区域村域社会-生态系统脆弱性,分析其空间特征及其地理因素影响下的地域分异机制具有典型性。

1 研究区概况

青浦区位于 $120^{\circ}53'\sim 121^{\circ}17'E$ 、 $30^{\circ}59'\sim 31^{\circ}16'N$ 的上海市西南部,太湖下游、黄浦江上游,总面积 668.54 km^2 ,具有承东启西、东联西进的枢纽作用和对华东地区的辐射作用(图1)。近10 a间,快速城镇化和工业化深刻影响着该区社会-生态系统可持续发展,主要表现为:① 城镇扩张迅速和非农人口转移规模较大。2008—2018年该区域城镇化率年均增长1.18%,人口总量增长了2.24倍,农村劳动力转移55.79万人次(www.shqp.gov.cn/stat)。② 土地利用类型变化显著。农业土地利用总面积减少 701.96 hm^2 ,水域面积减少 735.39 hm^2 ,建设用地增加 795.84 hm^2 。③ 土地利用结构破碎,乡村景观多样性降低。斑块密度年均增长2.01

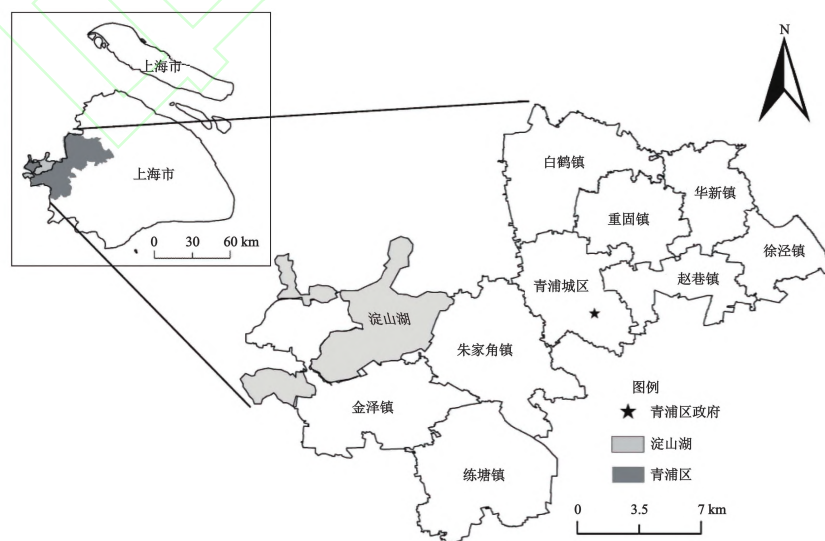


图1 上海市青浦区

Fig.1 Location of the Qingpu District in Shanghai

- [1] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science* 24(1): 107-127.
- [2] Wang JF, Zhang TL, Gu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators* 67: 250-256.
- [3] 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报* 72(1): 116-134.
- [Wang JF, Xu CD. 2017. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica* 72(1): 116-134.]

2 研究方法与数据

2.1 研究方法

1) 脆弱性评价指标体系构建与验证。① 指标体系构建。村域社会-生态系统作为一个复杂开放的系统, 其耗散结构在势能差异驱动下产生内外能量和信息交换, 本质上可将其视为“投入-产出”系统^[21]。内外环境的干扰对社会-生态系统脆弱性程度具有放大或缩小的作用, 是该系统形成脆弱性的决定性因素^[22]; 而系统通过其自身结构的优化或人为活动措施的调整可增强系统的稳定性; 该系统脆弱性过程符合“压力-状态-响应”(PSR)的分析框架^[23]。因此, 研究构建“社会-经济-环境(SEE)”和“压力-状态-响应”模型的多因子“投入-产出”脆弱性评价指标体系(表 1)。② 评价指标验证。为克服决策单元对评价指标数目的限制, 采用 Pearson 相关分析对预构建的输入和输出指标进行检验, 将负相关指标进行剔除^[18]。验证结果表明, 选取的输入和输出指标均呈正相关关系, 满足数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)评价模型对指标扩张性前提假设。

2) 脆弱性评价方法及验证。研究采用 DEA 模型对区域社会-生态系统脆弱性进行评价。鉴于相对效率评价模型(Charnes Cooper Rhodes Data Envelopment Analysis, CCR-DEA)极端权重分配导致的蓄意割裂评价单元间关联和无法区分有效单元大小造成脆弱性排序困难问题^[24], 研究引入对抗交叉效率评价模型(Aggressive Cross Evaluation Data Envelopment Analysis, ACE-DEA)对 CCR-DEA 模型进行修正和比较^[12]; 为克服 ACE-DEA 模型“保大压小”原则计算最优解导致评价单元高度关联性造成的评价结果偏大问题^[25], 研究构建熵权集结交叉效率评价模型(Entropy Weight Data Envelopment Analysis, EW-DEA)对 ACE-DEA 模型进行改进, 公式如下:

$$E_k^* = \theta E_{kk} + (1 - \theta) \sum_{k=1, i \neq k}^n r_{ki} E_{ki}$$

式中, E_k^* 为第 k 个评价单元的综合脆弱性效率; θ 为评价系数, $\theta \in [0, 1]$, 研究参照李璐等成果取值为 0.5^[18]; E_{kk} 表示第 k 个评价单元的脆弱性效率; r_{ki} 为他评效率集结权重; E_{ki} 为采用第 k 个单元的

为验证 ACE-DEA 模型因关联导致评价结果偏高问题, 采用 GeoDa095 软件的空间自相关分析法对该方法得到的脆弱性空间集聚特征进行研究, 方法见文献 [20]。

3) 脆弱性空间分异地理影响因素分析方法。采用地理探测器模型分析区域社会-生态系统脆弱性区域分异的决定力指标; 该方法基于空间分异理论和集合论, 通过对因子力空间叠加技术以识别多因子间交互因果作用, 研究过程见文献 [26]。采用地理空间因素开展脆弱性的空间变异研究, 可较好地透视区位条件对脆弱性的空间分异形成的规律和机制^[27]; 因此, 从自然和经济属性 2 个方面选择 11 个指标进行表征(表 2)。

2.2 数据来源与处理

1) 数据来源。① 地理空间数据: 土地数据采用 2018 年 1:5 000 土地利用现状图; DEM 数据来源于资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=217>)。② 社会统计数据: 2019 年的《青浦区统计年鉴》《青浦区乡镇统计年鉴》《青浦区农业统计年鉴》《青浦区国民经济汇编》《青浦区环境状况公报》《青浦区旅游年鉴》(www.shqp.gov.cn/stat/)等。③ 农户调研数据: 村域土地类数据来源于《农村集体建设用地减量化普查》^[28]; 农户社会经济类数据源于农业委员会农村固定观察点农户数据和课题组 5 人于 2019 年 7~10 月开展的参与式农户调查(共计 1 485 份, 有效回收率 95%)。

2) 数据处理。① 参照《第二次全国土地调查技术规程(TD/1014-2007)》(www.hbba.sacinfo.org.cn)将地类转换成耕地、园地、林地、草地、建设用地、交通用地、水域和未利用地 8 类。② 将矢量图转换成像元为 30 m 的栅格图, 使用 Fragstats3.3 软件提取闲置用地斑块数、景观分维数、土地斑块密度。③ 利用 ArcGIS 空间统计功能计算道路密度。④ 采用行政村关联的所有时间成本均值作为村域空间可达性指标值。

3 结果与分析

3.1 不同模型的社会-生态系统脆弱性评价结果分析

1) 不同区域的社会-生态系统脆弱性(Socio-

表 1 2018 年行政村社会-生态系统脆弱性评价指标体系

Table 1 Assessment index system of social-ecosystem vulnerability in each administrative villages in 2018

目标层	准则层	指标层	指标说明	方向
经济脆弱性	压力-投入	GDP/万元	表征区域经济整体实力压力	+
		二三产业增长率/%	表征非农产业发展压力	+
		农业总产值/万元	表征农业产业发展压力	-
	状态-产出	年人均收入/万元	表征个体抗脆能力状态	-
		家庭资产增加值/万元	表征家庭抗脆能力状态	-
		生产资料价格指数/%	表征经济运行状态	+
	响应-产出	人均可支配收入/万元	表征家庭环境改善能力	-
		家庭资产增加值/万元	表征家庭生计资本增值能力	-
		道路密度/%	表征区域对外联系能力	-
社会脆弱性	压力-投入	城镇化率/%	表征区域非农人口压力	+
		人口总量/万人	表征区域总人口承载压力	+
		人口密度/(人/hm ²)	表征单位面积人口承载压力	+
	状态-产出	人口净流出数/万人	表征社会身份转变响应	+
		聚耕比/%	表征农户应脆响应	+
		农业从业人数/万人	表征社会就业状态	-
		耕地抛荒面积/hm ²	表征农业行为应脆响应	+
	响应-产出	粮食产量/t	表征区域粮食安全状态	-
		固定资产投资额/万元	表征社会服务抗脆能力状态	-
		家庭教育支出/%	表征家庭抗脆能力状态	-
生态脆弱性	压力-投入	乡镇医疗保险覆盖率/%	表征公共医疗抗脆能力状态	-
		化肥使用量/t	表征农业水土环境污染压力	+
		地膜施用量/t	表征农业生态环境污染压力	+
	状态-产出	三废排放量/t	表征工业环境污染压力	+
		植被覆盖率/%	表征区域绿地状态	-
		土地退化指数/%	表征区域土地质量状态	+
		土地斑块密度/(个/hm ²)	表征农业破碎状态	+
	响应-产出	农业景观分维数	表征农业景观形态状态	+
		土地整理面积/hm ²	表征区域生态环境改善力度	-
		环保投入/万元	表征区域环境保护力度	-
		单位面积粮食产量/(kg/hm ²)	表征系统粮食生产力	+

注: +表示指标与脆弱性呈正相关;-表示指标与脆弱性呈负相关。

ecosystem Vulnerability of Rurality, RV_{S-E})均值表明,青浦区 RV_{S-E} 均值大小为: 0.699(ACE-DEA)>0.623(CCR-DEA)>0.583(EW-DEA); 选取 11 个乡镇排名前列的行政村对各模型的 RV_{S-E} 值差异进行比较得到, ACE-DEA 模型评价价值显著高于另 2 种模型, CCR-DEA 和 EW-DEA 模型评价价值较为接近。然而, CCR-DEA 模型评价结果无法将有效单元

($RV_{S-E}=1$)的中新村、金星村、北埭村进行区分。

2)为验证 ACE-DEA 模型因关联导致评价结果偏高问题, 研究对 3 种模型的 RV_{S-E} 值进行空间自相关分析得到以下结果。在 5% 显著水平下, 3 种模型的 Z 值均高于临界值 1.96, 通过显著性检验; 但 3 种模型的 Moran's I 值却呈现 ACE-DEA(0.815)>EW-DEA(0.384)>CCR-DEA(0.248)

表 2 行政村社会-生态系统脆弱性的地理影响因素

Table 2 Geographical influence factors of socio-ecosystem vulnerability for administrative villages

指标类	指标	数据类型	指标说明	计算方法
自然地理属性	Y_1 坡度/(°)	多分类	区域平整程度	通过DEM提取坡度并重分类: 0°~1°、1°~2°和2°~3°分别赋值为1、2、3
	Y_2 高程/m	连续型	区域起伏程度	高程数据(分辨率30 m), 通过DEM提取
	Y_3 耕地面积/hm ²	连续型	区域资源禀赋	土地矢量图中提取旱地和水田面积
	Y_4 水域面积/hm ²	连续型	区域资源禀赋	土地矢量图中提取坑塘水面面积
	Y_5 距最近河流距离/km	连续型	亲水性程度	采用河流栅格数据统计获取
	Y_6 距淀山湖距离/km	连续型	亲湖性程度	同 Y_5 。统计村委至淀山湖中心距离
经济地理属性	Y_7 距最近主干道距离/km	连续型	交通便捷程度	同 Y_5 。统计村委至主干道距离
	Y_8 距乡镇中心距离/km	连续型	近距离经济干扰程度	同 Y_5 。统计村委至乡镇政府距离
	Y_9 距青浦区中心距离/km	连续型	社会公共服务辐射程度	同 Y_5 。统计村委至青浦区政府距离
	Y_{10} 距上海市中心距离/km	连续型	经济产业辐射转移程度	同 Y_5 。统计村委至上海市中心距离
	Y_{11} 村域空间可达性	连续型	村域距离差距干扰程度	采用栅格统计最小时间成本值

的差异。该结果客观地验证了何亚伯^[12]、李璐等^[18]关于 ACE-DEA 模型评价结果偏大而导致其空间关联性差异的结论。因此, 研究采用 EW-DEA 模型评价结果分析青浦区社会-生态系统脆弱性空间分异特征。

3.2 基于 EW-DEA 模型的脆弱性评价结果分析

2018 年青浦区子系统 RV_{s-E} 均值为社会子系统(0.612)>经济子系统(0.589)>生态子系统(0.548), 社会子系统脆弱成为影响该区脆弱性的重要原因。社会子系统脆弱性由中部向东西部递增, 公共服务投入数量和覆盖范围是造成此种格局的重要原因; 经济子系统脆弱性沿该区中轴线“徐泾镇-赵巷镇-夏阳镇-朱家角镇”向南北递增, 该区双经济中心的特殊经济区位成为抵抗经济脆弱性重要的原因; 生态脆弱性由西部向东部递增, 呈现两级分化的格局源于多元规划限制。

研究采用 ArcGIS 的自然断点法对 2018 年青浦区 184 个行政村的 RV_{s-E} 值进行划分, 得到以下

结果(表 3)。该区社会-生态系统脆弱性等级可分成 5 个等级, 空间上表现为脆弱性由中部向南北递增变化。青浦区脆弱性中等(3 等)的行政村个数为 49 个, RV_{s-E} 值范围为(0.623,0.711], 主要分布在青中和青东区域; 脆弱性高等(1 等)的区域面积为 121.12 km², 主要分布在南部和北部; 脆弱性中低等(4 等)和低等(5 等)的行政村集中分布在中部和西部区域, RV_{s-E} 值范围 [0.404,0.623], 包含 75 个行政村。

3.3 村域社会-生态系统脆弱性空间分异地理影响分析

为准确找寻影响社会-生态系统脆弱性空间分异的地理因素, 研究对从自然和经济属性 2 个维度选择的 11 个地理指标进行检验。由于坡度因素为多分类变量, 研究采用多元 Logistic 回归模型, 回归结果显示: 距上海市中心距离、距淀山湖距离、距青浦区中心距离、水域面积、村域空间可达性、距最近主干道距离、耕地面积 7 个因子的在 0.01

表 3 2018 年青浦区社会-生态系统脆弱性等级

Table 3 Vulnerability of subsystems in Qingpu District in 2018

脆弱性等级	值域范围	脆弱性均值	行政村数量/个	区域面积/km ²	面积占比/%
1等	(0.746,0.787]	0.761	31	121.12	18.12
2等	(0.711,0.746]	0.734	29	103.53	15.49
3等	(0.623,0.711]	0.682	49	195.57	29.25
4等	(0.538,0.623]	0.577	37	119.47	17.87
5等	[0.404,0.538]	0.465	38	128.85	19.27

水平上显著且呈正相关;其余4个因素的方差膨胀因子均超过15,表明存在严重的共线性,应予以剔除。采用地理探测器模型进行多级探测得到不同区域和各子系统脆弱性的影响力(表4)。

1)主导地理因素影响力差异显著。由表4可知,影响青浦区社会-生态系统脆弱性的4种主导因素的影响力依次为:距区中心距离、距淀山湖距离、距市中心距离、水域面积。

2)地理因素影响力呈现种类属性替代和程度转化,经济地理类指标影响更大。从影响青浦区7种主导地理类指标分析(表4),经济地理类指标在数量上和程度上均高于自然地理类指标,对该区域社会-生态系统脆弱性影响更加深远。耦合了人类响应行为和空间性的经济地理要素相比纯自然要素更具外部性效应;相比之下,自然地理要素对该系统的影响更多地表现为背景环境因素的隐性和缓慢特性。而从地理指标种类内部看表征区域资源禀赋的水域面积指标影响力高于耕地面积;表征区域经济联系的村域空间可达性指标高于距最近主干道距离。该结果与王群^[17]、杨新军^[19]等学者研究稍有差异。区域差异可能是造成上述结果分异的重要原因。青浦区作为都市城郊的水源涵养地,资源禀赋指标由资源性向资产性转变,而资源功能随之由农业生产功能向美学享受功能转变;同时,该区在接受上海市经济辐射过程中,作为联

系区域经济发展的“硬件-交通因素-间接联系”对脆弱性的影响力被弱化,取而代之的是“软件-可达性因素-直接联系”。

3)地理因素影响力呈现系统结构空间差异性,对社会子系统影响力最大(表5),经济地理要素对青东区域的生态子系统和社会子系统的影响力较大,其中,距上海市中心距离对生态子系统的影响力最大(0.689),距青浦区中心距离对社会子系统影响力最大(0.438);然而自然地理要素对青西区域的社会子系统(0.454)和经济子系统(0.421)影响较大。从全区角度分析,地理因素对子系统的影响力均值依次为:社会子系统(0.329)、生态子系统(0.319)和经济子系统(0.308);且经济地理因素的影响力高于自然地理因素。

3.4 村域社会-生态系统脆弱性地理因素空间耦合模式分析

研究对行政村4种主导地理因素影响力采用Q型聚类法划分地域类型,并结合国土整治方式为调控区域社会-生态系统脆弱性提供建议^[29]。聚类结果表明,青浦区社会-生态系统脆弱性地理因素空间类型可分为10种类型;其中,单因素类型4种,双因素类型3种,三因素类型2种和多因素类型1种(表6)。青浦区社会-生态系统脆弱性地理因素空间耦合类型主要受多因素耦合影响,且呈现中部多因素主导和两侧单因素主导并存的多

表4 各地理因素对区域脆弱性影响力

Table 4 The coupling analysis of vulnerability grades and influencing factors

区域	乡镇	Y_6	Y_7	Y_3	Y_{11}	Y_9	Y_4	Y_{10}
青东区域	徐泾镇	0.446	0.269	0.115	0.329	0.584	0.326	0.358
	赵巷镇	0.459	0.258	0.126	0.308	0.572	0.338	0.369
	华新镇	0.449	0.246	0.175	0.215	0.569	0.345	0.372
	重固镇	0.455	0.281	0.205	0.229	0.557	0.366	0.395
	白鹤镇	0.385	0.314	0.459	0.217	0.507	0.397	0.337
青中区域	夏阳镇	0.315	0.210	0.511	0.262	0.451	0.401	0.468
	香花桥镇	0.324	0.235	0.469	0.259	0.449	0.386	0.459
	盈浦镇	0.339	0.219	0.485	0.253	0.432	0.412	0.447
青西区域	朱家角镇	0.512	0.345	0.411	0.401	0.495	0.450	0.455
	练塘镇	0.499	0.348	0.109	0.354	0.502	0.259	0.451
	金泽镇	0.642	0.195	0.516	0.358	0.265	0.491	0.311
青浦区		0.475	0.304	0.284	0.331	0.532	0.394	0.428

注:各变量名称参考表2,下表同。

表 5 各地理因素对子系统脆弱性影响力

Table 5 The coupling analysis of vulnerability grades and influencing factors

区域	子系统	Y_6	Y_7	Y_3	Y_{11}	Y_9	Y_4	Y_{10}
青东区域	社会	0.387	0.259	0.188	0.169	0.511	0.115	0.438
	经济	0.212	0.208	0.109	0.161	0.586	0.074	0.354
	生态	0.145	0.186	0.125	0.175	0.689	0.106	0.341
青中区域	社会	0.336	0.393	0.274	0.311	0.497	0.325	0.498
	经济	0.301	0.328	0.227	0.264	0.457	0.247	0.468
	生态	0.299	0.337	0.241	0.301	0.448	0.295	0.457
青西区域	社会	0.454	0.232	0.438	0.194	0.396	0.428	0.404
	经济	0.421	0.228	0.425	0.148	0.336	0.417	0.333
	生态	0.409	0.214	0.412	0.186	0.298	0.398	0.347
青浦区	社会	0.396	0.279	0.267	0.235	0.435	0.279	0.413
	经济	0.365	0.255	0.254	0.191	0.460	0.246	0.385
	生态	0.381	0.246	0.259	0.221	0.478	0.266	0.382

注: 青东区域、青中区域和青西区域所包含的乡镇见表4。

元环状地域决定格局。单因素影响区域面积为 210.60 km², 主要分布在该区周边的 55 个行政村, 其中经济环境胁迫类为主要类型, 占区域总面积的 9.59%。多因素耦合影响区域占总面积的 68.50%, 主要分布于该区中部的 129 个行政村, 其中“经济环境-自然环境耦合影响类”是双因素耦合影响的主要类型, 占区域总面积的 12.44%, 主要分在中部及中部偏西区域; “经济环境-自然环境-公共服务复合影响类”是三因素耦合影响的主要类型, 占区域总面积的 16.79%, 主要分布在中部的盈浦镇、夏阳镇、香花桥镇和朱家角镇; 地理

因素综合影响类的 12 个行政村主要分布在中部的夏阳镇和朱家角镇。

4 结论与展望

4.1 结论

1) 区域社会-生态系统脆弱性是区域社会-生态系统在“环境-社会-经济”压力变化下导致致脆压力和孕脆环境变动, 造成承脆体状态和响应差异的过程, 该过程符合“压力投入-状态和响应产出”的致脆效率。

2) 基于熵权集结交叉的效率评价模型(EW-

表 6 青浦区社会-生态系统脆弱性地理耦合类型及其治理方式

Table 6 The governance patterns of geographical types and governance for social-ecosystem vulnerability in Qingpu District

类型	地理因素耦合模式	行政村/个	面积/km ²	占比/%	治理重点	治理措施
单因素	经济环境胁迫类	18	64.08	9.59	村域组织及文化	社会综合整治
	自然环境约束类	14	57.4	8.59	田林湖自然肌理	农用地整治
	公共服务制约类	11	35.42	5.30	社会公共空间	撤并改造治理
	资源丰度限制类	12	53.7	8.03	水体污染	水环境治理
双因素	经济-自然耦合影响类	24	83.15	12.44	产业承接类型	产业整治
	自然-公共服务耦合影响类	21	77.15	11.54	公共服务融合	基础设施治理
	公共服务-资源丰度耦合影响类	18	70.88	10.60	空间破碎	生态修复
三因素	经济-自然-公共服务复合影响类	34	112.22	16.79	资源利用	减量化治理
	经济-自然-资源丰度复合影响类	20	65.2	9.75	空间品质	环境综合整治
多因素	地理因素综合影响类	12	49.32	7.38	资源统筹共享	空间综合整治

DEA),对区域社会-生态系统脆弱性评价结果更具可信度和精确性。该模型能较好地分辨社会-生态系统脆弱性指标间逻辑关系和处理多指标权重依赖导致的评价结果失真问题;亦能克服CCR-DEA模型极端权重分配导致的蓄意割裂评价单元间关联和无法区分有效单元大小造成脆弱性排序困难问题和ACE-DEA模型“保大压小”原则计算最优解导致评价单元高度关联性造成的评价结果偏大问题。

3)地理因素对经济发达村域社会-生态系统脆弱性空间分异仍旧具有重要影响。但其影响力呈现系统结构空间差异性,对基于长时间社会人文和生产生活方式等复合形成的更具结构刚性的社会子系统影响更大;同时地理因素影响力呈现种类属性替代和程度转化,耦合了人类响应行为和空间性的经济地理要素比纯自然地理要素影响更大,自然地理要素对该系统的影响更多地内化为背景环境因素具有隐性特性。

4)地理因素与经济发达村域社会-生态系统脆弱性分布具有高度的空间重叠性,并在影响程度和方式上呈现单因素致脆性逐渐弱化,多因素复合致脆性明显的特征。一方面,发达区域在经济快速推进下其社会-生态系统业已成为一个偏离平衡状态的开放系统,单一的自然地理因素已经内化为社会-生态系统脆弱性的环境背景,其致脆的独立性在各子系统要素流动和系统融合过程中被稀释,甚至发生属性的依附和转变。另一方面,随着社会转型、经济变化、产业更替、行为自利等压力因素对该偏离平衡状态系统持续冲击,经济地理因素和多因素耦合致脆性更加显化,其复合致脆性依托经济产业多元性改变着经济子系统的脆弱性,依托人文习俗的城市化改变着社会子系统的脆弱性,依托人类需求多样性改变着生态子系统的脆弱性,加之区域自然地理区位的差异性和系统结构的非均衡性;最终造成区域社会-生态系统脆弱性差异化的地域格局。

4.2 展望

1)考虑到数据获取性和表征性难度,对产出指标中管理类指标较少(如管理能力、政策透明度等),然而该类指标对于综合应脆能力大小具有一定的影响;由于效率模型的指标扩张性前提,研究在投入-产出指标相关性分析中剔除了较多可能对研究精度有较大影响的指标。由于影响社会-生

态系统脆弱性的因素间相互关系较为复杂,以及对脆弱性内涵理解的局限性,今后将在指标选取、理论认知、机理分析等方面进行进一步探索,构建更为科学合理的脆弱性评价指标体系,并注重脆弱性构成要素间的关系探讨。

2)高质量的区域一体化是治理村域社会-生态系统脆弱性的根本。区域一体化进程深化有利于拓展本区域价值链,深化分工的广度与深度^[30]。然而,青浦区社会-生态系统脆弱性的研究结果表明多地理因素耦合模式是该区主要决定类型,并呈现中部多因素主导和两侧单因素主导并存的多元环状地域决定格局,具有显著的中心化导向。该区域研究结果充分验证了合作降低系统脆弱性,区域利益冲突所导致的非合作冲突将提升致脆效率。因此,透视青浦区村域社会-生态系统脆弱性空间分异的地理影响模式的空间特征,见微知著:长三角高质量一体化发展应与转变非均衡、中心化发展模式相适应;目标维度上从效率导向转向协调导向,政策维度上由偏向型政策转向普惠型政策,路径维度上完善一体化发展生态,推进区域协调发展目标的实现。

参考文献(References):

- [1] Timmerman P. Vulnerability, resilience and the collapse of society[J]. *Environmental Monograph*, 1981, 21(3): 164-173.
- [2] Briguglio L. Preliminary study on the construction of an index for ranking countries according to their economic vulnerability[M]. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development, 1992.
- [3] Guillaumont P, Chauvet L. Aid and performance: A reassessment[M]. Washington: World Bank Conference Workshop on Aid: 1999.
- [4] 李花, 赵雪雁, 王伟军, 等. 甘南高原乡村社会固有脆弱性及其影响因素[J]. *地理科学*, 2020, 40(5): 804-813. [Li Hua, Zhao Xueyan, Wang Weijun et al. Inherent vulnerability of rural society in Gannan Plateau, China and its influencing factors. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(5): 804-813.]
- [5] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京: 商务印书馆, 2001. [Liu Yanhua, Li Xiubin. *Vulnerable environments and sustainable development*. Beijing: The Commercial Press, 2001.]
- [6] 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 Qun, Yin Mahua, Yang Xingzhu et al. Spatio-temporal evolution and impact mechanism of socio-ecological system vulnerability in poor mountainous tourist destinations: Taking Dabie Mountain area as example. *Acta Geograph-*

- ica Sinica, 2019, 74(8): 1663-1679.]
- [7] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 161-173. [Liu Yansui, Li Jintao. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 161-173.]
- [8] 任国平, 刘黎明, 卓东. 都市郊区景观生态质量空间差异及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(21): 252-263. [Ren Guoping, Liu Liming, Zhuo Dong. Analysis of spatial differentiation of landscape ecological quality and its affecting factors in metropolitan suburbs. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(21): 252-263.]
- [9] Adger W N, Kelly P M. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4(3): 253-266.
- [10] Wisner B P. At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters[M]. New York: Rutledge, 2004.
- [11] Dow K. Exploring differences in our common future(s): The meaning of vulnerability to global environmental change[J]. *Geoforum*, 1992, 23(3): 417-436.
- [12] 何亚伯, 汪洋, 李伟琛, 等. 基于改进DEA交叉效率模型的洪水灾害区域脆弱性评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(5): 86-90. [He Yabo, Wang Yang, Li Yichen et al. Evaluation on regional vulnerability of flood disaster based on improved DEA overlapping efficiency model. *Journal of Safety Science and Technology*, 2016, 12(5): 86-90.]
- [13] 彭飞, 韩增林, 杨俊, 等. 基于BP神经网络的中国沿海地区海洋经济系统脆弱性时空分异研究[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2441-2450. [Peng Fei, Han Zenglin, Yang Jun et al. Time-space differentiation of the vulnerability of marine economy systems in China's coastal area based on BP neural networks. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2441-2450.]
- [14] Maikhuri R K, Nautiyal A, Jha N K et al. Socio-ecological vulnerability: Assessment and coping strategy to environmental disaster in Kedarnath valley, Uttarakhand, Indian Himalayan Region[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 25: 111-124.
- [15] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards: Progress in human[J]. *Geography*, 1996, 20(4): 529-539.
- [16] Liu X Q, Wang Y L, Peng J et al. Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: A case study in middle Inner Mongolia of China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2013, 23(1): 13-25.
- [17] 王群, 陆林, 杨兴柱. 千岛湖社会-生态系统恢复力测度与影响机理[J]. 地理学报, 2015, 70(5): 779-795. [Wang Qun, Lu Lin, Yang Xingzhu. Study on measurement and impact mechanism of socio-ecological system resilience in Qiandao Lake. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 779-795.]
- [18] 李璐, 高睿, 汪洋. 基于熵权集结交叉评价模型的洪灾脆弱性评价[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(2): 237-240. [Li Lu, Gao Rui, Wang Yang. Vulnerability assessment of flood disaster based on entropy-weight aggregation cross evaluation. *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*, 2018, 16(2): 237-240.]
- [19] 陈佳, 杨新军, 王子侨, 等. 乡村旅游社会-生态系统脆弱性及影响机理: 基于秦岭景区农户调查数据的分析[J]. 旅游学刊, 2015, 30(3): 64-75. [Chen Jia, Yang Xinjun, Wang Ziqiao et al. Vulnerability and influence mechanisms of rural tourism socio-ecological systems: A household survey in China's Qinling Mountain Area. *Tourism Tribune*, 2015, 30(3): 64-75.]
- [20] 任国平, 刘黎明, 李洪庆, 等. 都市郊区乡村景观多功能权衡-协同关系演变[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 273-285. [Ren Guoping, Liu Liming, Li Hongqing et al. Evolution on trade-offs and synergy of multifunction of rural landscape in metropolitan suburbs. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(23): 273-285.]
- [21] Cannon T D, Müller M. Vulnerability, resilience and development discourses in context of climate change[J]. *Natural Hazards*, 2010, 55(3): 621-635.
- [22] Pelling M, High C. Understanding adaptation: What can social capital offer assessments of adaptive capacity[J]. *Global Environmental Change*, 2005(15): 308-319.
- [23] Barry S, Johanna W. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability[J]. *Global Environmental Change*, 2006(16): 282-292.
- [24] 王兆峰, 杜瑶瑶. 基于SBM-DEA模型湖南省碳排放效率时空差异及影响因素分析[J]. 地理科学, 2019, 39(5): 797-806. [Wang Zhaofeng, Du Yaoyao. Spatial-temporal differences and influencing factors of carbon emission efficiency in Hunan Province based on SBM-DEA model. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(5): 797-806.]
- [25] Sexton T R, Silkman R H, Hogan A J. Data envelopment analysis: Critique and extensions[J]. *New Directions for Program Evaluation*, 1986(32): 73-105.
- [26] 王劲峰, 胡艺. 基于地理探测器的环境健康风险探测[J]. 环境建模与软件, 2012, 33(7): 114-115. [Wang Jinfeng, Hu Yi. Environmental health risk detection with GeoDetector. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 33(7): 114-115.]
- [27] 陆清平, 赵宇鸾, 葛玉娟. 基于栅格的喀斯特山区土地系统脆弱性评价: 以贵州普定县为例[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(9): 221-229. [Lu Qingping, Zhao Yuluan, Ge Yujuan. Vulnerability assessment of land system in Karst mountainous area based on grid: A case of Puding County in Guizhou. *Environmental Science & Technology*, 2019, 42(9): 221-229.]
- [28] 青浦区统计局. 农村集体建设用地减量化普查[M]. 上海: 青浦统计出版社, 2019. [Bureau of Statistics of the Qingpu District. Census of reduction of rural collective construction land. Shanghai: Qingpu District Statistics Press, 2019.]
- [29] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究[J]. 地理科学, 2019, 39(5): 817-826. [Liu Jing, Jin Xiaobin, Xu Weiyi et al. Evaluation of cultivated land fragmentation and guidance of land consolidation at provincial level. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(5): 817-826.]

[30] 胡美娟, 李在军, 丁正山, 等. 泛长三角城市资源环境压力演化特征及门槛效应[J]. 地理科学, 2020, 40(5): 701-709. [Hu Meijuan, Li Zaijun, Ding Zhengshan et al. The evolution char-

acteristics and threshold effects of the resource and environmental pressure in the Pan Yangtze River Delta cities. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(5): 701-709.]

Geographical Impact Models of Spatial Differentiation for Social-ecosystem Vulnerability in Urban Water Conservation Area: A Case of Qingpu District of Shanghai

Ren Guoping¹, Liu Liming², Li Hongqing³, Ji Xiang⁴, Zhao Xu¹

(1. College of Urban Management, Hunan City University/ Hunan New-type Urbanization Insitute, Yiyang 413000, Hunan, China; 2. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211100, Jiangsu, China; 4. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: This article introduced the ‘input-output’ efficiency theory and constructed the ‘SEE-PSR’ framework for the analysis of social-ecosystem vulnerability in the village area in Qingpu District of Shanghai. The data envelope model, spatial autocorrelation model, multivariate Logistic regression model, geographical detector and hierarchical cluster model were used to analyze the spatial differences of social-ecosystem vulnerability and its geographical impact mechanism in 184 administrative villages in this area. The results were as follows: 1) The ‘input-output’ efficiency model based on entropy weight aggregation crossover was more reliable and accurate for the evaluation results of village social-ecosystem vulnerability. The vulnerability of the social-ecosystems in the administrative villages showed a trend of gradual decline from east to west, with the average value of vulnerability of 0.583, and the vulnerability of social subsystems became an important reason to limit the decrease of the vulnerability of the social-ecosystems in the region. 2) Geographic factors still had an important impact on the spatial differentiation of social-ecosystem vulnerability in developed villages. The distance from the center of Shanghai, the distance from the Dianshan Lake, the distance from the center of Qingpu District and the area of water area were the four dominant geographical factors affecting the vulnerability of social-ecosystem in this area. The geographical influence presented the spatial difference of system structure, the substitution of type attribute and the transformation of degree. 3) According to the cluster analysis of the influence of geographical factors, the spatial coupling types of social-ecosystem vulnerability factors were divided into 10 types. The multi-geographic factor coupling influence classes were the main decision type, which presented the multi-cyclic regional decision patterns which were dominated by the central multi-factor and co-exist by the single factor on both sides. According to different types, a feasible way to regulate the vulnerability of regional socio-ecological systems was proposed. The results of this study can provide scientific references for urban suburban rural space reconstruction and regional sustainable development with ‘strict protection and vigorous development’ conflict. urban suburban rural space reconstruction and regional sustainable development with ‘strict protection and vigorous development’ conflict. urban suburban rural space reconstruction and regional sustainable development with ‘strict protection and vigorous development’ conflict.

Key words: socio-ecological system; vulnerability assessment; ‘input-output’ efficiency model; geographical factors; geographical impact models; Qingpu District of Shanghai