

乡镇生态环境质量评价及其影响因素研究

——以江苏省为例

崔远政 查慧 王磊 杨诗敏 段学军

河海大学水文水资源学院

中国科学院南京地理与湖泊研究所 中国科学院流域地理学重点实验室

摘要：良好生态环境是最普惠的民生福祉，准确识别乡镇生态环境质量的影响因素有利于科学、精准防治，改善生态环境质量。目前，对于乡镇(街道)尺度生态环境质量的社会经济影响因素研究比较缺乏，且较少关注其影响因素的空间异质性。首先利用遥感技术观测的生态环境质量指数对江苏省各乡镇(街道)的生态环境质量状况进行分析和评价，并在此基础上运用地理加权回归(GWR)模型定量探究乡镇(街道)生态环境质量的社会经济影响因素的空间异质性，最后，给出相关政策建议。结果表明：(1)基于自然间断点分级法，生态环境质量评级为中等的乡镇占多数，整体表现为西高东南低；(2)乡镇(街道)尺度的生态环境质量指数分布存在显著的空间自相关性，核心热点区以太湖、洪泽湖、高邮湖3个江苏省面积最大的湖泊为核心向外扩展；(3)多数乡镇(街道)的高技术产业企业从业人员数、地均第三产业生产总值、垃圾集中处理村占比及农业机械总动力对生态环境质量存在正相关影响，而人口密度和人均GDP则表现为负相关影响。由于社会经济因素呈现显著的空间异质性，因此需要根据地区实际制定差异化的生态环境保护对策和措施。

关键词：生态环境质量；地理加权回归；空间异质性；社会经济影响因素

作者简介：崔远政(1989~)，男，副教授，主要研究方向为环境地理和可持续发展。E-mail:ryancyz@hhu.edu.cn；*段学军，E-mail:xjduan@niglas.ac.cn

收稿日期：2022-12-09

基金：国家重点研发计划项目(2018YFD1100100)；国家自然科学基金青年项目(42101326)

生态环境是生态文明建设的重要组成部分，生态环境的可持续发展是实现经济和社会可持续发展的前提[1]。当前，我国生态文明建设进入了促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。然而，各类环境污染、生态破坏呈高发态势，尤其是乡镇企业的污染排放问题越来越突出，生态恶化范围不断扩大[2]。大部分乡镇由于环境监测设备落后，环保专业知识缺乏，无法对地区生态环境质量进行准确评估，而环境监管部门对乡镇一级的环境监管往往又鞭长莫及，导致地区环保工作难以开展，人民健康及经济可持续发展受到严重威胁。因此，如何对乡镇(街道)尺度的生态环境质量进行快速、准确的评价并识别其相关影响因素成为了现阶段亟待解决的问题。

生态环境质量指生态系统的总体或部分生态环境因子的组合体对人类的生存及社会经济可持续发展的适宜程度[3]，可以有效

地表明人类生产活动与一个地区的环境之间是否协调。对地区生态环境质量进行快速、准确地评价是治理环境污染、改善生态环境的基础和前提[4]。通常,评价方法可归结为定性和定量两类,由于定性评价权重和指标值的设置具有一定主观性,难以应用于实际生态环境管理和决策工作。近年来,评价方法逐渐转向基于模型及公式的定量方向。如 Xiong 等[5]针对湖南省生态环境的区域特征和主要环境问题,建立了包括自然环境、灾害、环境污染和社会经济因素在内的综合评价指标体系,并使用层次分析法确定各因素权重。总的来说,生态环境质量评价的方法多样,目前为止理论、规范尚未统一[6],多数方法难以避免指标选取的主观性以及存在长时序大范围数据的获取较为困难等问题。徐涵秋[7]提出了基于遥感技术观测的生态环境质量指标,通过采用主成分变换方法集成植被指数、湿度分量、地表温度以及土壤指数 4 个评价指标构建生态环境质量综合指数,可以快速简便地评价区域生态质量,经研究分析[8,9]在不同区域和生态系统中均具有一定有效性。相较于其他方法,此生态环境质量指数在数据获取手段,指标选取及耦合方式等方面更加客观合理,特别适合乡镇(街道)尺度的结果可视化和空间分析,其结果对于乡镇(街道)生态环境质量的监测具有指导意义[10]。

此外,还需要在正确认识乡镇(街道)生态环境质量状况的基础上进一步探究其社会经济影响因素。目前研究多考虑单一因素对生态环境质量的影响,而缺乏对于人口密度、经济发展状况等社会经济因素的综合考量,如李静怡等[11]将生态环境质量指标与平均可支配收入耦合计算耦合协调度,探讨了贫困与生态环境质量的关系;Chen 等[12]建立 PSR 指标体系,衡量中国城市扩张对生态环境的影响。并且,已有研究多采用多元线性回归等传统全局回归模型,其模型无法揭示影响因子在不同地区的空间异质性及其对环境影响的非均质性。地理加权回归模型(Geographically Weighted Regression, GWR)对空间变量进行局部回归,揭示不同参数在不同地区产生的空间异质性[13,14],克服了传统全局回归方法无法解决空间数据非平稳性的缺点,被广泛用于空间数据影响因素分析的研究中。Zhu 等 [15]利用 GWR 模型分析杭州市城市化对生境质量的影响,发现其影响因时间和空间而异,并且相较于 OLS 模型来说,GWR 模型能够更好地解释影响的局部变化,同时降低模型残差的空间自相关;Chen 等[16]基于 GWR 模型探讨产业结构、收入差距等 6 个社会经济因素对人群暴露于 PM_{2.5} 的影响,结果表明其在局部尺度上的强度和方向存在明显的空间异质性。

本文的研究区域为江苏省。改革开放以来江苏省经济飞速发展,2021 年江苏省以全国 1.1%的国土面积承载了约 6%的人口,贡献了超过 10%的 GDP。然而,省内经济南北梯度差异和县域间差异日趋扩大[17],经济发展与资源环境的矛盾突出,因此以其作为研究区具有典型性和必要性。除此之外,从研究尺度看,目前有关环境影响因素的研究多从省份、城市等宏观层面展开,而缺少微观层面的分析。考虑到各个乡镇的人口规模、经济和技术发展水平等各不相同,只有开展乡镇(街道)级的小尺度研究,才能更准确地识别社会经济影响因素,从而帮助各地区因地制宜地制定差异化的调控措施。鉴于此,本文聚焦于江苏省,通过遥感技术获取的生态环境质量指数对各乡镇(街道)生态环境状况进行评价;并在此基础上利用全局回归模型与地理加权回归模型定量解析影响乡镇(街道)生态环境质量的社会经济因素,剖析其空间异质性成因,以期为江苏省生态环境可持续发展相关决策提供更为精准的信息支撑和科学依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 生态环境质量指数(RSEI)

本文中的生态环境质量指数计算采用了 Xu 等[18]提出的方法,该指数选择绿度、热度、湿度和干度四个与生态环境质量密切相关的组成部分来构建,分别由归一化植被指数、温度、土壤水分、建筑面积表征。

4 个指标中,绿度与湿度为生态环境的正向指标,而干度与热度为负向指标。为剔除量纲需对其进行归一化处理,接着通过主成分分析法对合进行综合指标的构建,其公式如下:

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0min}) / (RSEI_{0max} - RSEI_{0min}) \quad (1)$$

$$RSEI_0 = 1 - PC1 \quad (2)$$

式中：PC1 为主成分分析结果所得第一主成分；RSEI_{0 max} 为 RSEI₀ 的最大值；RSEI_{0 min} 为 RSEI₀ 的最小值；RESI 值越高则表示生态环境质量越好。

1.1.2 探索性空间数据分析 (ESDA)

探索性空间数据分析以空间关联性测度为核心，是一系列空间数据分析方法的集合[19]。首先，通过 Global Moran's I 测度全局自相关性，其表达式为：

$$I = \frac{\sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}} \quad (3)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i$$

式中：； x_i 和 x_j 分别表示在 i 处和 j 处的属性值； W_{ij} 为空间权重值。

为进一步揭示江苏省生态环境质量的局部空间集聚状况，通过 Getis-Ord G^* 指数测度各乡镇(街道)的环境质量的冷热区域空间分布情况，其表达式为：

$$G^*_i(d) = \sum_{i=1}^n W_{ij}(d) X_i / \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

对 $G^*_i(d)$ 进行标准化处理：

$$Z(G^*_i) = \frac{G^*_i - E(G^*_i)}{\sqrt{\text{Var}(G^*_i)}} \quad (5)$$

式中： X_i 表示 i 城市的生态环境质量指数； $E(G^*_i)$ 与 $\text{Var}(G^*_i)$ 分别表示 G^*_i 的数学期望与方差。若 $Z(G^*_i)$ 值为正且统计显著，则表明 i 处周边高值集聚，属于热点区，反之，若 $Z(G^*_i)$ 值为负且统计显著，表明 i 处周边低值集聚，属于冷点区。

1.1.3 地理加权回归模型 (GWR)

传统的普通最小二乘回归模型 (Ordinary Least Squares, OLS) 假设变量具有同质性，无法探测其影响因素所表现的空间异

质性，Brunsdon[13]和Fotheringham[14]提出的地理加权回归模型依据不同的空间带宽和核函数，结合广义最小二乘法，以揭示变量之间的空间非平稳性，其表达式为：

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^m \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中： (u_i, v_i) 是江苏省*i*乡镇的地理坐标； $\beta_k(u_i, v_i)$ 为乡镇*i*的第*k*个解释变量的回归参数； $\beta_0(u_i, v_i)$ 为常数项；*m*为解释变量的个数； ε_i 为随机误差。

空间权重函数的选取是GWR模型的核心，对于模型参数的精准估计至关重要。本文对固定高斯函数和自适应双平方函数2种常用空间权重函数进行比较，以确定适合本区域的最优空间权重，其表达式分别为：

$$W_{ij} = \exp\left(-\left(d_{ij}/b\right)^2\right) \quad (7)$$

$$W_{ij} = \begin{cases} [1 - (d_{ij}/b)^2]^2, & d_{ij} \leq b \\ 0 & , d_{ij} > b \end{cases} \quad (8)$$

式中：*b*表示带宽； d_{ij} 表示样本点*j*与回归点*i*之间的距离； W_{ij} 为权重。固定高斯函数为连续的单调递减函数，可表示当距离增加时权重的衰减速度。

本文通过AICc统计量对两模型进行比较，在比较模型时，通常AICc越小代表拟合情况越好。

1.2 数据来源与处理

以江苏省乡镇、街道作为基本单元，研究全省2017年生态环境质量状况，并探究其社会经济影响因素的影响程度及空间分异。2017年江苏省生态环境质量指数计算参考Xu等[18]的计算方法；乡镇(街道)人口密度、人均GDP、高技术产业企业从业人员数、地均第三产业生产总值、垃圾集中处理村占比和农业机械总动力等数据来源于江苏省统计局提供的2017年江苏省乡卡数据、《江苏统计年鉴(2018)》[20]、2017年各市县的国民经济与社会发展统计公报。

2 结果分析

2.1 江苏省生态环境状况评价

根据生态环境质量指数RSEI数据在ArcGIS 10.8软件平台中制作2017年江苏省各乡镇生态环境质量指数的空间分布状况图(图1)。为保证类别之间差异最大化，使用自然间断点分级法将其分为差(0.222~0.322)、较差(0.322~0.409)、中等(0.409~0.482)、良好(0.482~0.562)、优秀(0.562~0.696)5类。可以发现，江苏省乡镇(街道)的生态环境质量指数大部分评级为中等，整体表现为西高东南低，存在空间分异现象，苏南地区分异尤为明显。具体来看，指数优秀及良好的乡镇主要位于宿迁市、扬州市，以及南京市、苏州市、无锡市、常州市南部等地区；生态环境质量指数较差和差的乡镇(街道)主要集中于苏州市、无锡市、常州市北部，在各市都有零星分布。

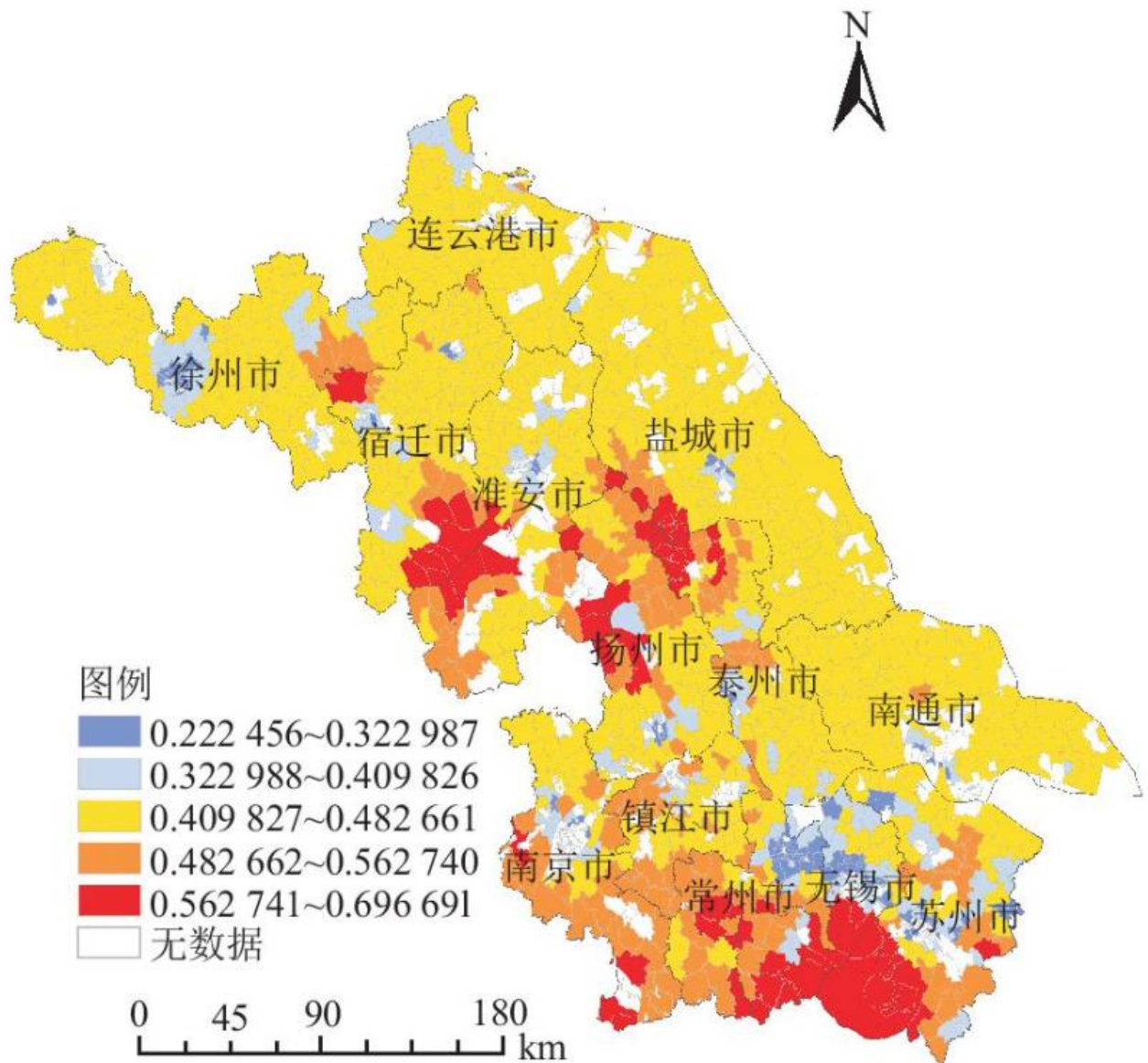


图 1 2017 年江苏省乡镇(街道)生态环境质量指数的空间分布图

使用 Global Moran' s I 进行空间自相关分析, Global Moran' s I 指数为 0.41, Z 值为 21.75, 在 0.01 的置信度水平下通过检验, 表明生态环境质量指数分布存在显著的空间自相关性。为进一步判断其空间分布的高低值聚类情况, 计算生态环境质量指数的全局 G 系数, 所得 Z 值为负且检验结果显著, 表明生态环境质量指数的低值在研究区内聚类。但观测 General G 指数与期望 General G 指数相等, 表明研究区内高低值同时发生聚类, 因而彼此相互抵消[21], 需要通过 LISA 验证局部空间聚类的显著性。因此, 计算 2017 年江苏省遥感生态指数的 Getis-Ord G*指数, 再将 G*指数从高到低依次分为核心热点区、次核心热点区、边缘热点区、边缘冷点区、次核心冷点区和核心冷点区 6 种类型, 生成空间分布热点图(图 2)。由图可知, 核心热点区包括龙集镇、临泽镇、晶桥镇等 114 个乡镇和街道, 以太湖、洪泽湖、高邮湖 3 个江苏省面积最大的湖泊为核心向外扩展, 次核心热点区与边缘热点区个数分别为 46、30 个, 在淮安市与扬州市、南京市与常州市等交界地带及苏州、南京边缘地带集中分布。核心冷点区主要位于苏州市、无锡市、徐州市、常州市北部、盐城市中部及扬州市南部等地区, 在淮安市、泰州市、南通市、南京市等地零星分布, 共计 189 个乡镇和街道。

2.2 江苏省生态环境影响因素分析

2.2.1 模型拟合结果

首先估算 OLS 方法的回归结果(表 1), 整个模型通过了 1%水平的显著性检验, 6 个变量也通过了 1%的显著性检验, 且变量的方差膨胀因子(Variance Inflation Factor, VIF)均小于 10, 表明变量间不存在多重共线性问题。决定系数 R^2 为 0.394, 校正 R^2 为 0.390, 表明 OLS 回归模型仅能解释约 39%的生态环境质量指数。Koenker (BP) 统计量通过 1%显著性检验, 说明模型具有整体的统计显著性。使用稳健概率评估解释变量的统计学显著性, 除农业机械总动力外, 其余 5 个变量均显著。联合卡方统计量具有统计显著性($P=0.000$), 说明其具有统计学上的显著非稳态, 因此需要采用 GWR 进行进一步分析。

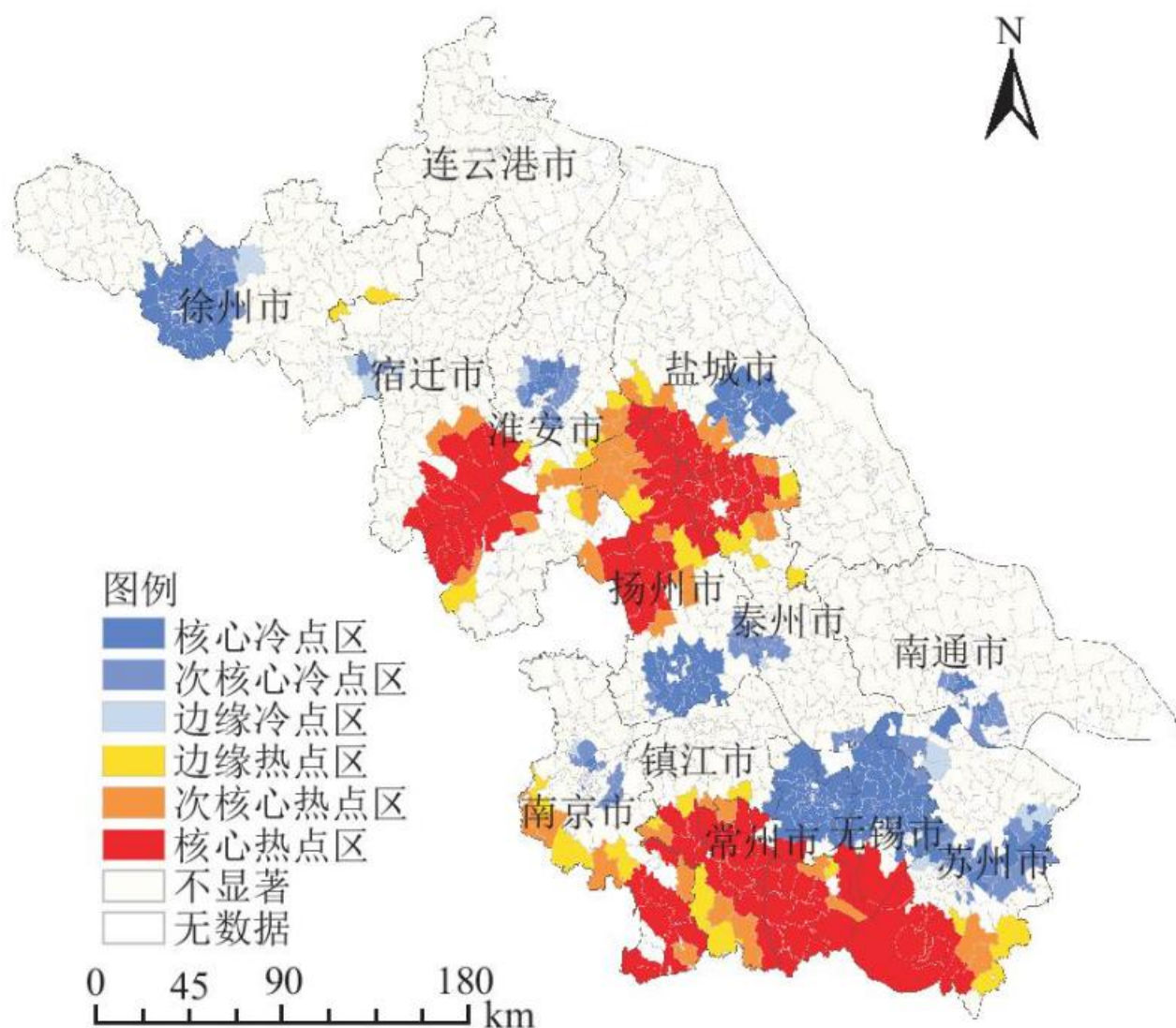


图 2 2017 年江苏省乡镇(街道) 生态环境质量指数空间分布热点图

表 1 OLS 模型运算结果

变量	系数	标准差	t 统计量	容忍度	稳健概率	VIF
Constant	-0.671	0.053	-12.676		0.000*	
lnP	-0.151	0.012	-12.576	0.256	0.000*	3.91
lnGDP	-0.039	0.01	-3.814	0.314	0.000*	3.188
lnTEC	0.011	0.003	3.216	0.939	0.000*	1.064
lnTERT	0.035	0.009	4.008	0.157	0.000*	6.369
lnRD	0.081	0.023	3.538	0.839	0.000*	1.192
lnTPAM	0.013	0.004	3.199	0.785	0.08	1.274
R2	0.394					
校正 R2	0.39					
Koenker (BP) 统计量	58.169					
联合卡方统计量	509.651					

注：*表示解释变量具有统计显著性。lnP 表示人口密度，lnGDP 表示人均 GDP，lnTEC 表示高技术产业企业从业人员数，lnTERT 表示地均第三产业生产总值，lnRD 表示垃圾集中处理村占比，lnTPAM 表示农业机械总动力。

据表 2 可知，两种权函数的 GWR 模型 R2 及调整后的 R2 均高于 OLS 模型，残差平方和及 AICc 值均小于 OLS 模型的，表明 GWR 模型更适合本研究。将两种空间权函数进行对比可知，自适应双平方函数具有最高的 R2 及调整后 R2，且残差平方和及 AICc 值更小，拟合精度最佳。最终，本文选取以自适应双平方函数的 GWR 模型结果进行分析与解释。

表 2 OLS 与 GWR 模拟效果对比

模型	空间权函数	R2	校正 R2	残差平方和	AICc
OLS	-	0.394	0.39	448.887	1 770.178
GWR	固定高斯函数	0.789	0.731	159.564	1 394.564
	自适应双平方函数	0.805	0.746	148.165	1 372.550

2.2.2 GWR 模型结果分析

各影响因素对生态环境质量影响的系数描述性统计见表 3。由表可知，人口密度(LnP)、人均 GDP(LnGDP)的系数平均值为负值，表明其增加将引起生态环境恶化，这是因为一个地区人口越多、经济体量越大，对环境的索取和污染排放就越多，环境压力越大。高技术产业企业从业人员数(LnTEC)、地均第三产业生产总值(LnTERT)、垃圾集中处理村占比(LnRD)及农业机械总动力(LnTPAM)系数平均值为正，这些影响因素的提高对生态环境质量具有改善作用。

表 3 各影响因素对生态环境质量影响的 GWR 系数对比

变量	均值	最小值	25%分位值	中位数	75%分位值	最大值	标准差	P 值
LnP	-0.611	-2.205	-0.811	-0.5	-0.279	0.323	0.485	0
LnGDP	-0.209	-1.497	-0.25	-0.11	0.025	0.524	0.378	0
LnTEC	0.085	-0.138	-0.002	0.051	0.169	0.495	0.121	0.001
LnTERT	0.134	-0.617	-0.1	-0.06	0.288	1.554	0.371	0
LnRD	0.074	-1.275	-0.004	0.054	0.157	0.64	0.18	0
LnTPAM	0.113	-0.479	-0.014	0.134	0.263	0.79	0.203	0.001

各回归系数分布箱型图见图 3。从系数最大、最小值来看，所有变量的最大值与最小值正负均不一致，表明这些因素对生态环境质量影响的作用方向具有空间分异。其中，人口密度、人均 GDP、地均第三产业生产总值的系数值分布差异较大，其对环境的影响随着空间的改变发生而显著变化。

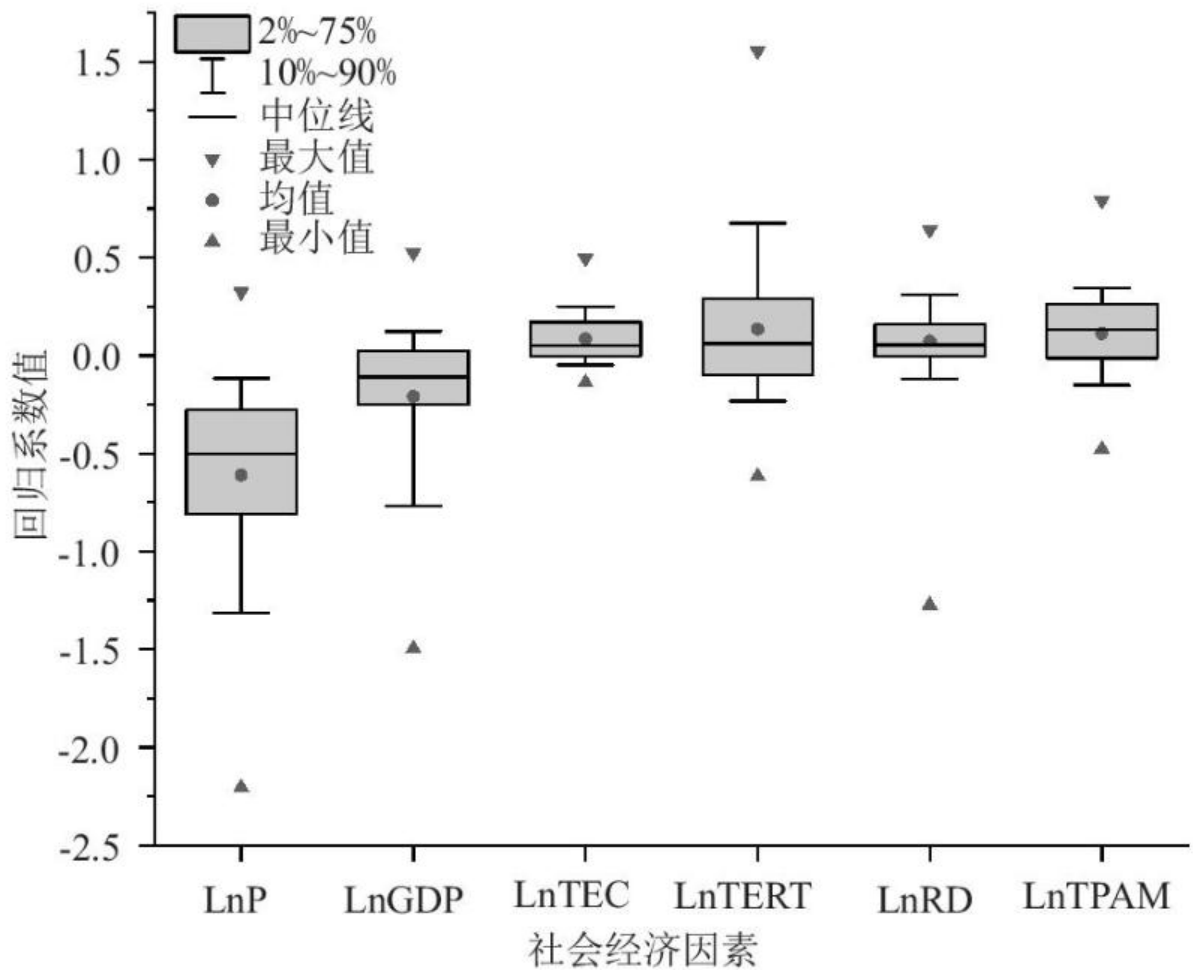


图 3 GWR 模型回归系数箱型图

因此,本研究采用 ArcGIS 软件将各变量在不同位置的 GWR 回归系数制作成空间分布图(图 4),进一步分析这些影响因素对生态环境质量影响的空间分异。

(1)人口密度因素的回归系数在江苏各乡镇和街道全域几乎都为负,表明人口密度的增加将引起生态环境质量显著下降。从回归系数分布来看,人口密度对生态环境质量的影响程度整体呈现南高北低的特征,其中苏州市、无锡市、常州市受人口密度因素影响最大,这意味着相较于其他地区,在苏锡常地区采取严格的人口控制政策将取得更好的环境改善效果。

(2)人均生产总值的回归系数在超过一半的乡镇表现为负值,其提高将引起大部分地区生态环境质量的降低。从回归系数分布来看,苏北、苏中地区人均 GDP 的空间分异较小,苏南地区表现出明显的空间分异,呈现东高西低的特征,其中苏州市、无锡市人均 GDP 的增高给生态环境质量带来较大的负面影响。苏锡常地区经济发展水平高,2021 年人均 GDP 排名位于江苏省前 4,尽管近年来在大力推进产业转型及清洁生产,但经济的快速增长仍给生态环境带来一定的压力。

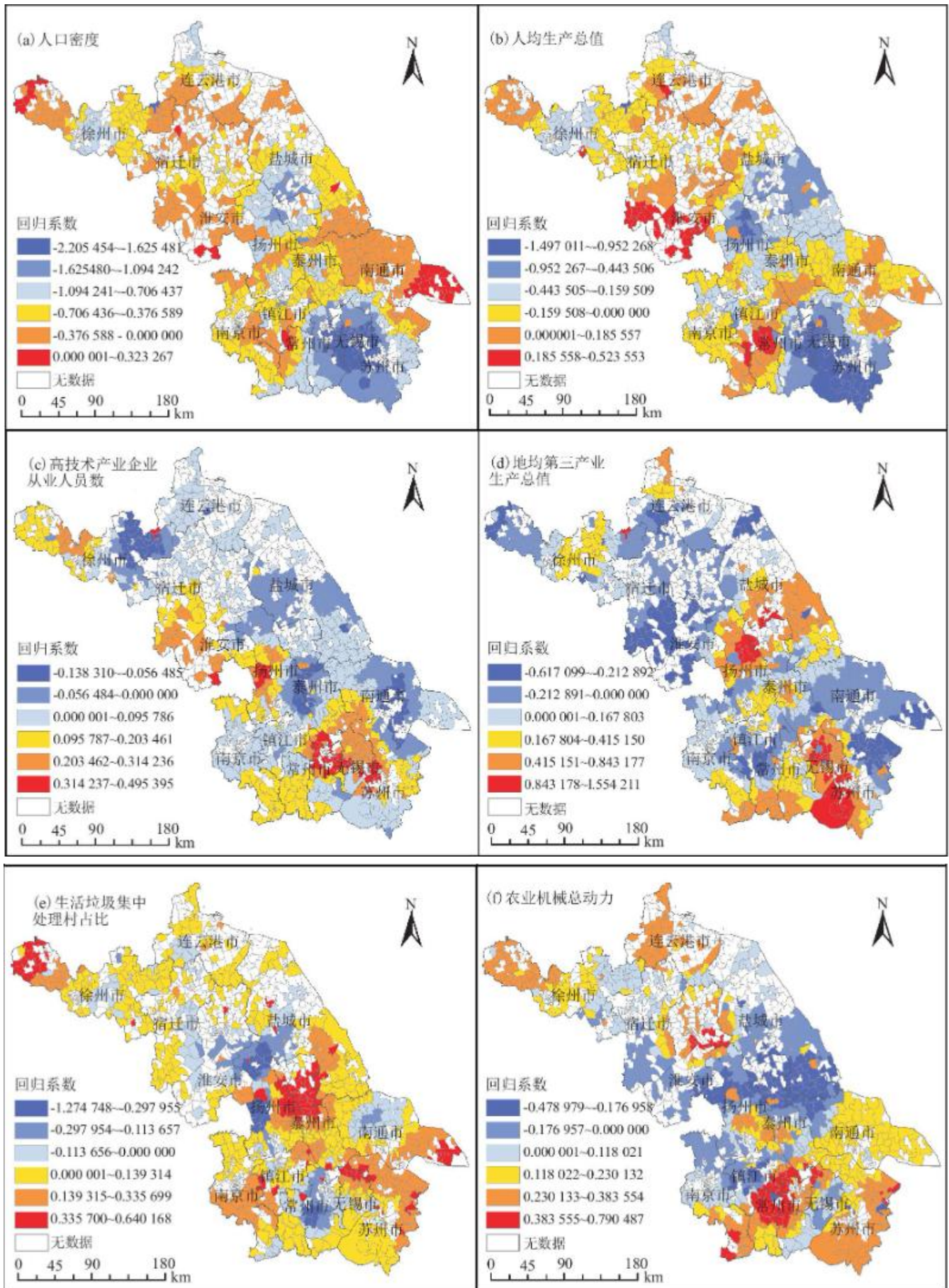


图 4 GWR 模型影响因素回归系数空间分布图

(3) 高技术产业企业从业人员数的回归系数在大部分乡镇和街道表现为正, 苏锡常地区正向影响尤为明显, 而其周边的南通市、泰州市、镇江市及北部的徐州市、盐城市等地区回归系数大部分为负值。这或许是由于各地区在产业转移中扮演的角色不同, 苏锡常地区毗邻上海市, 优先承接其电子信息、智能制造等对环境污染较小高新技术产业转移; 而周边的南通市、泰州市、镇江市及北部的徐州市、盐城市等正由工业化中期向后期转换[22], 需要承接南京市及苏锡常地区调整转出的制造业, 环境压力较大。此外, 苏锡常地区的高科技发展可能有助于提升环境监测水平及治污能力, 从而改善生态环境质量。

(4) 地均第三产业生产总值的提高在大部分地区表现为正向影响, 其中在扬州、盐城市及苏锡常地区正向影响明显, 而对南通市、镇江市及江苏北部大部分城市有显著的负面影响。相较于第一产业及第二产业而言, 第三产业虽然对自然资源 and 环境的依赖程度低, 但交通运输业、旅游业、商业等服务行业的发展都会对生态环境造成不同的影响。扬州及苏锡常地区环境基础设施完善、营商和旅游行业服务水平高, 苏锡常都市圈的一体化轨道交通规划也从一定程度上减少了交通污染的排放, 因此第三产业繁荣的同时生态环境质量也随之提高。而其周边地区及苏北环境基础设施相对较为落后、部分乡镇交通网络还不够完善, 因此发展第三产业可能会给当地的环境带来一定的压力。

(5) 生活垃圾集中处理村占比对环境的影响在约 3/4 的乡镇呈现正向。从回归系数分布来看, 整体表现为江苏的中部地区最高, 其中泰州、苏州市各乡镇回归系数几乎都为正值, 表明在这些地区施行生活垃圾集中处理将显著改善生态环境质量, 同时提高居民的环保意识, 改善当地乡镇和街道的人居环境。

(6) 农业机械总动力的回归系数在大部分乡镇为正值, 从空间分布上来看呈现南北高中间低的特点, 其中, 连云港市、苏州市、南通市、常州市表现为高值, 而盐城市、泰州市、镇江市农业机械总动力的提高对环境造成显著的负面影响。这可能是由于地区间农业机械化发展水平不同。农业机械化的过程中不可避免地产生能源消耗与污染物排放, 过度化的农业机械运用甚至将导致农业资源环境系统失去自我调节与恢复的能力, 从而引起大气污染、土壤污染及农作物污染等问题。因此在推进农业机械化的过程中不能仅仅强调扩大规模, 更要注重节能、低碳、可持续。

3 结论和建议

党的二十大报告提出尊重自然、顺应自然、保护自然, 是全面建设社会主义现代化国家的内在要求, 需要深入推进污染防治, 坚持从源头治理, 持续深入打好蓝天、碧水、净土保卫战, 推进城乡人居环境整治。本文聚焦于江苏省乡镇(街道)尺度, 基于 GWR 模型探究影响乡镇和街道生态环境的社会经济因素, 剖析其空间异质性成因, 主要结论和政策建议如下:

(1) 根据生态环境质量指数, 采用自然间断点分级法对江苏省各乡镇和街道进行分级, 结果显示大部分乡镇和街道评级为中等, 整体表现为西高东南低, 存在空间分异现象, 苏南地区分异尤为明显。

(2) 使用 Global Moran' s I 进行空间自相关分析, 结果表明江苏省乡镇(街道)尺度的生态环境质量指数分布存在显著的空间自相关性。进一步计算生态环境质量指数的 Getis-Ord G*指数, 由其生成的空间分布热点图可知, 核心热点区包括龙集镇、临泽镇、晶桥镇等 114 个乡镇和街道, 以太湖、洪泽湖、高邮湖 3 个江苏省面积最大的湖泊为核心向外扩展, 核心冷点区主要位于苏州市、无锡市、常州市北部、徐州市、盐城市中部及扬州市南部等地区, 在淮安市、泰州市、南通市、南京市等地零星分布。

(3) 根据 GWR 模型结果显示, 6 个影响因素与生态环境质量指数的关系呈现显著的空间异质性: 从人口角度来看, 人口密度的回归系数几乎全域为负, 其中苏锡常地区受影响最大, 应采取严格的人口控制政策, 考虑自身实际人口接纳水平[23], 将人口控制在合理的承载规模[24], 引导人口向新城区和郊区疏解, 降低中心城区环境压力[25]。然而, 人口密度过大问题产生的主要

原因在于地区间经济发展与公共服务供给的不平衡,因此亟需加强省内“南北联动”、“跨江融合”,缩小城乡差距,促进地区协调发展。对于经济发展较落后的乡镇(街道)来说,应找准自身发展定位,补齐产业短板,促进劳动力回流;而对于发达乡镇(街道)来说,要发挥对周边欠发达地区的辐射带动作用。从经济发展角度来看,人均生产总值的提高可能会引起部分地区生态环境的下降,经济发达地区由于产业集聚,更容易引起大气污染及水污染问题,需要优化产业空间布局及资源配置[26,27]。从科技发展角度来看,多数乡镇(街道)的高新技术产业企业从业人员数的回归系数对生态环境质量影响表现为正向,特别是在苏锡常地区表现更加明显,说明产业结构的变化对生态环境影响显著,各乡镇(街道)应加速淘汰“三高”行业,立足本地创新优势发展特色产业[28]。同时,也要加大生态环保资金投入力度,强化环境治理能力。除此之外,应促进全省交通一体化,实现节能减排,同时协调好地区旅游与生态系统间的关系,推动绿色旅游。并因地制宜地继续加强建设和提升生活垃圾分类和处理体系,改善人居环境。农业机械化为促进农业现代化发展发挥了重要作用,但当前部分农业机械仍存在技术含量低、油耗量高、作业过程中易对土壤与农作物造成污染等问题,因此需要推动农机装备产业向高质量发展转型,在推进农业机械化的同时促进农业向智能化、绿色化方向发展,坚守农业生态红线。

本文基于遥感技术所获取的生态环境质量指数对江苏省各乡镇(街道)的生态环境质量进行总体评价,接着利用GWR模型对生态环境质量的社会经济影响因素进行空间异质性分析,进一步丰富了目前江苏省乡镇(街道)尺度环境影响因素的研究,为各地区从乡镇和街道层面制定决策提供依据。但由于乡镇(街道)尺度的社会经济数据获取较为困难,本文仅限于2017年的空间分析,并未涉及时间尺度的比较研究,未来工作可从时间和空间两个尺度同时探究影响因素的变化,从而提供更加精准的决策建议。此外,本文探讨了第三产业发展对生态环境质量的影响,但并未具体分析交通运输业、旅游业、餐饮业等对生态环境有何影响,未来需要在此方面深化研究。

参考文献

- [1] 袁晓玲,李政大.中国生态环境动态变化、区域差异和影响机制[J].经济科学,2013(6):59-76. YUAN X L, LI Z D. Dynamic changes, regional differences and influencing mechanisms of ecological environment in China[J]. Economic Science, 2013(6):59-76.
- [2] 傅伯杰,陈利顶,于秀波.中国生态环境的新特点及其对策[J].环境科学,2000,21(5):104-106. FU B J, CHEN L D, YU X B. The new trends and counter-measurements on eco-environmental issues in China[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2000, 21(5):104-106.
- [3] 叶亚平,刘鲁君.中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J].环境科学研究,2000,13(3):33-36. YE Y P, LIU L J. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(3):33-36.
- [4] 段学军,陈雯,朱红云,等.长江岸线资源利用功能区划方法研究——以南通市域长江岸线为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(5):621-626. DUAN X J, CHEN W, ZHU H Y, et al. Method to make function division of waterfront resources along the Yangtze River: A sample on the waterfront for Nantong city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006, 15(5):621-626.
- [5] XIONG Y, ZENG G M, CHEN G Q, et al. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—A case study of Hunan Province, China[J]. Ecological Modelling, 2007, 209(2/3/4):97-109.
- [6] LOISEAU E, JUNQUA G, ROUX P, et al. Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 112:213-225.

-
- [7] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5):889-897. XU H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. China Environmental Science, 2013, 33(5):889-897.
- [8] YUAN B D, FU L N, ZOU Y A, et al. Spatiotemporal change detection of ecological quality and the associated affecting factors in Dongting Lake Basin, based on RSEI[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 302:126995.
- [9] SUN C, LI J L, LIU Y C, et al. Ecological quality assessment and monitoring using a time-series remote sensing-based ecological index (ts-RSEI) [J]. GIScience & Remote Sensing, 2022, 59(1):1793-1816.
- [10] 王芳, 李文慧, 林妍敏, 等. 1990—2020年黄河流域典型生态区生态环境质量时空格局及驱动力分析[J]. 环境科学, 2023, 44(5):2518-2527. WANG F, LI W H, LIN Y M, et al. Spatiotemporal pattern and driving force analysis of ecological environmental quality in typical ecological areas of the Yellow River Basin from 1990 to 2020[J]. Environmental Science, 2023, 44(5):2518-2527.
- [11] 李静怡, 王艳慧. 吕梁地区生态环境质量与经济贫困的空间耦合特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6):1715-1724. LI J Y, WANG Y H. Spatial coupling characteristics of eco-environment quality and economic poverty in Lüliang area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(6):1715-1724.
- [12] CHEN D L, LU X H, HU W B, et al. How urban sprawl influences eco-environmental quality: Empirical research in China by using the Spatial Durbin model[J]. Ecological Indicators, 2021, 131:108113.
- [13] BRUNSDON C, FOTHERINGHAM A S, CHARLTON M E. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity[J]. Geographical Analysis, 1996, 28(4):281-298.
- [14] FOTHERINGHAM A S, BRUNSDON C, CHARLTON M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships[M]. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2002.
- [15] ZHU C M, ZHANG X L, ZHOU M M, et al. Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China[J]. Ecological Indicators, 2020, 117:106654.
- [16] CHEN J, ZHOU C S, WANG S J, et al. Identifying the socioeconomic determinants of population exposure to particulate matter (PM_{2.5}) in China using geographically weighted regression modeling[J]. Environmental Pollution, 2018, 241:494-503.
- [17] 蔡安宁, 庄立, 梁进社. 江苏省区域经济差异测度分析——基于基尼系数分解[J]. 经济地理, 2011, 31(12):1995-2000. CAI A N, ZHUANG L, LIANG J S. Analyse of regional economic inequality in Jiangsu Province by decomposition of gini[J]. Economic Geography, 2011, 31(12):1995-2000.
- [18] XU D, YANG F, YU L, et al. Quantization of the coupling mechanism between eco-environmental quality and urbanization from multisource remote sensing data[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 321:128948.
- [19] ANSELIN L. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis[D]. In: Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J, et al (eds.). Geographical Information Systems, Principles, Technical Issues, Management Issues and

Applications. John Wiley & Sons, 1999:253-266.

[20] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. Jiangsu Provincial Statistics Bureau. Jiangsu statistical yearbook 2018[M]. Beijing:China Statistics Press, 2018.

[21] 杜挺, 谢贤健, 梁海艳, 等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6):40-47. DU T, XIE X J, LIANG H Y, et al. County economy comprehensive evaluation and spatial analysis in Chongqing city based on entropy weight-TOPSIS and GIS[J]. Economic Geography, 2014, 34(6):40-47.

[22] 仇方道, 蒋涛, 张纯敏, 等. 江苏省污染密集型产业空间转移及影响因素[J]. 地理科学, 2013, 33(7):789-796. QIU F D, JIANG T, ZHANG C M, et al. Spatial relocation and mechanism of pollution-intensive industries in Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(7):789-796.

[23] 陈明星, 叶超, 陆大道, 等. 中国特色新型城镇化理论内涵的认知与建构[J]. 地理学报, 2019, 74(4):633-647. CHEN M X, YE C, LU D D, et al. Cognition and construction of the theoretical connotation for new-type urbanization with Chinese characteristics[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(4):633-647.

[24] 段学军, 王磊, 康珈瑜, 等. 村镇建设类型划分的理论与方法研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2022, 42(2):323-332. DUAN X J, WANG L, KANG J Y, et al. Classifying rural and township development from the perspective of resources and environmental carrying capacity in provincial China:A case of Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(2):323-332.

[25] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J]. 地理学报, 2018, 73(1):177-191. LIU H M, FANG C L, HUANG J J, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(1):177-191.

[26] VERHOEF E, NIJKAMP P. Externalities in urban sustainability:Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city[J]. Ecological Economics, 2002, 40(2):157-179.

[27] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析[J]. 地理学报, 2010, 65(9):1048-1057. ZHAO R Q, HUANG X J, ZHONG T Y. Research on carbon emission intensity and carbon footprint of different industrial spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(9):1048-1057.

[28] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4):637-650. LIU Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4):637-650.