

DOI: 10.20103/j.stxb.202311212534

贾培煜, 杨洁, 李宗善, 梁海斌, 任笑雨, 郭静. 黄河流域污染型企业空间分布特征及其影响因素. 生态学报, 2024, 44(14): 6067-6079.

Jia P Y, Yang J, Li Z S, Liang H B, Ren X Y, Guo J. Spatial distribution characteristics and influencing factors of polluting enterprises in the Yellow River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(14): 6067-6079.

黄河流域污染型企业空间分布特征及其影响因素

贾培煜^{1,2,3}, 杨洁^{1,3}, 李宗善^{4,*}, 梁海斌^{1,2,3}, 任笑雨^{1,3}, 郭静⁵

1 太原师范学院地理科学学院, 晋中 030619

2 太原师范学院碳中和研究院, 晋中 030619

3 太原师范学院汾河流域地表过程与资源生态安全山西省重点实验室, 晋中 030619

4 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

5 西安外国语大学旅游学院(人文地理研究所), 西安 710128

摘要: 污染型企业作为黄河流域生态保护和高质量发展间的矛盾集合体, 优化调控其空间布局是促进黄河流域生态和经济协同发展的重要举措。构建污染型企业空间点数据库, 利用标准差椭圆、核密度分析、Ripley's K 函数及空间自相关等多种空间分析方法刻画 1979—2020 年黄河流域污染型企业空间分布特征, 采用地理探测器分析其与自然环境、经济环境等地理环境关系。结果表明: ①污染型企业紧密围绕黄河干支流分布, 且存在向黄河源头扩张的趋势。②污染型企业在黄河流域具有显著空间集聚性, 总体呈现出“中心集聚”“中心集聚-多点分散”“中心集聚连片-多点分散”和“中心集聚连片”四种空间集聚形态, 且集聚程度随距离尺度增加先增强后减弱。当污染型企业集聚程度最高时, 其空间分布范围呈扩张趋势。③经济因素为黄河流域污染型企业空间分布的主导因素, 但社会因素和其他因素的交互作用对其空间分布的影响力更强, 污染型企业空间关联类型同流域经济社会发展差异呈现显著俱乐部趋同效应。研究为污染型企业在黄河流域的空间布局优化调控提供支撑。

关键词: 污染型企业; 空间分布特征; 地理探测器; 影响因素; 黄河流域

Spatial distribution characteristics and influencing factors of polluting enterprises in the Yellow River Basin

JIA Peiyu^{1,2,3}, YANG Jie^{1,3}, LI Zongshan^{4,*}, LIANG Haibin^{1,2,3}, REN Xiaoyu^{1,3}, GUO Jing⁵

1 Institute of Geographical Science, Taiyuan Normal University, Jingzhong 030619, China

2 Institute of Carbon Neutrality, Taiyuan Normal University, Jingzhong 030619, China

3 Shanxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecological Security in Fenhe River Basin, Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, China

4 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

5 School of Tourism & Research Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China

Abstract: Polluting enterprises represent a conflict between ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. Optimizing and regulating the spatial layout of polluting enterprises is an important measure to promote the coordinated development of ecology and economy in the Yellow River Basin. By constructing a spatial point database of the polluting enterprises, and using multiple spatial data analysis such as the standard deviation ellipse, kernel density analysis, Ripley's K function and the global spatial autocorrelation, this study examined the directional trend, spatial

基金项目: 山西省“1331 工程”服务流域生态治理产业创新学科集群建设项目(晋教科[2021]4号); 山西省高等学校哲学社会科学研究项目(2020W130)

收稿日期: 2023-11-21; **网络出版日期:** 2024-03-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zslst@rcees.ac.cn

agglomeration form, the degree of spatial agglomeration at different distance scales, and spatial correlation of polluting enterprises in the Yellow River Basin from 1979 to 2020. This study further examined the spatial association of polluting enterprises with the natural environment, economic environment, and other geographical environments using Geodetector for factor detection and interactive detection. The results showed that: (1) From 1979 to 2020, the number of polluting enterprises in the Yellow River Basin continued to grow. Polluting enterprises were closely clustered around the main channel and tributaries of the Yellow River, with the spatial distribution range of such enterprises expanding toward the source of the Yellow River. (2) The polluting enterprises exhibited significantly spatial agglomeration in the Yellow River Basin. As the degree of agglomeration of polluting enterprises increased, the spatial scope of their agglomeration distribution expanded, and generally presented four spatial agglomeration forms: central agglomeration, central agglomeration with multi-point dispersion, central continuous agglomeration with multi-point dispersion, and central continuous agglomeration. The agglomeration degree of polluting enterprises initially increased, and then decreased, as the geographical distance scale increased. Furthermore, the spatial distribution range of the polluting enterprises with the highest degree of agglomeration was expanding. (3) Economic factors were the dominant drivers of the spatial distribution of polluting enterprises in the basin, while the interactions between social factors and other factors had a strong impact on the distribution. The spatial correlation type of polluting enterprises and the differences in economic and social development in the basin had a significant club convergence effect. The polluting enterprises had significant positive spatial correlation, and their spatial correlation types were mainly high-high agglomeration and low-low agglomeration. The high-high agglomeration type was mainly distributed in the lower reaches of the Yellow River Basin, and the low-low agglomeration type was mainly distributed in the upper and middle reaches of the Yellow River Basin. This study provides support for the spatial layout optimization and regulation of polluting enterprises in the Yellow River Basin.

Key Words: polluting enterprises; spatial distribution characteristics; Geodetector; influencing factors; Yellow River Basin

经济增长和环境污染的冲突是工业化进程中无法忽视的世界性难题^[1]。改革开放以来,工业化有力促进中国经济快速增长,而工业发展产生的污染物对环境造成极大压力^[2]。污染型企业作为绝大多数污染物的直接生产者^[3],是与环境状况联系最为密切的一部分^[4],在促进区域经济增长的同时,其空间布局不合理会加剧环境恶化,对地区的生态环境造成威胁,严重影响社会稳定和经济发展。在经济发展与环境污染的双重压力下,生态保护和污染型企业布局的矛盾成为亟待解决的重要问题之一。黄河流域作为我国重要的生态安全屏障和经济社会发展的重点区域^[5-6],黄河流域生态保护和高质量发展受到党和国家高度重视,已成为重大国家战略^[7]。黄河流域内以资源开采及加工为代表的污染型企业是黄河流域生态保护和高质量发展间的矛盾集合体,因其高污染、高能耗的特征而成为重点关注对象,研究其空间分布特征及影响因素,对识别污染源头的空间分布、优化空间布局、促进黄河流域生态保护和高质量发展具有重要实践意义。

近年来,学者们对黄河流域环境污染的空间分布特征及影响因素进行了深入研究。已有研究证实,黄河流域水污染、大气污染具有显著的正向空间溢出效应和空间集聚特征,大气污染还存在明显的空间扩张趋势^[8-11];土壤污染在工业园区、重污染企业周边、有色金属矿区和重点行业企业用地空间分布显著^[12]。有学者指出环境污染的主要来源是污染型企业^[13]。污染型企业区位选择成为环境污染空间分布特征的成因之一,其集聚格局在一定程度上反映出污染排放在地理空间上的表现形态,与环境污染空间分布呈现正向耦合作用^[8,14]。交通、技术及劳动力成本等条件变化引起中西部、中小城市及欠发达城市对污染型企业区位选择产生吸引^[15-16],伴随中心城市环境规制力度不断加强,污染型企业趋向中心城市布局的模式发生改变,开始向城市外围迁移^[17],污染更加隐蔽和难于治理^[18-19]。为更好地展示企业的空间分布特征,学者们采用标准差椭圆^[20]、Ripley's K 函数^[20-21]、核密度^[21-23]等多种空间分析方法从不同角度展开研究,并从人口规模、经

济发展水平等方面研究其影响因素,得出当污染排放与人口、经济同向集聚会导致环境污染加剧^[24-25]。

综上,学者们从自然地理学和生态学视角采用空间分析方法对水污染、大气污染、土壤污染的空间分布和环境影响进行了卓有成效的研究,但缺乏对污染产出源头的空间格局研究。经济地理学在研究区位选择与经济活动和地理环境的关系上有其自身的优势与特点,应当在黄河流域生态与经济协同发展方面发挥学科特长。污染型企业作为经济活动对环境影响显著的污染源头,从区位视角厘清其空间分布特征是明晰污染排放空间格局、有效控制环境污染、保障生态安全的重要前提。基于此,本文构建污染型企业空间点数据库,研究污染产出源头-污染型企业在地理空间上的集聚过程、空间分布特征、发展趋向,分析其与经济、社会、资源、环境的关系,讨论优化调控和发展方向,以期丰富经济地理学在黄河流域生态保护和高质量发展方面的研究成果,为污染型企业在黄河流域的空间调控提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文采用《黄河志》(卷二)中对黄河流域的划定范围,共划分出九省(区)的 69 个市(州)(图 1)。黄河流域国土面积为 214.16 万 km²,占全国国土面积的 22.32%。据统计,2020 年,黄河流域地区生产总值为 134322.38 亿元,占全国国内生产总值的 13.25%。黄河流域横跨我国地势三大阶梯,分布有水源涵养、水土保持等四类国家级重点生态功能区和西北荒漠绿洲交接带、北方农牧交错带等五大生态脆弱区,形成了生态重要性和生态脆弱性并存局面;同时黄河流域作为我国重要的能源、化工、原材料和基础工业基地^[7],对域内乃至全国经济发展具有重要的战略意义。



图 1 黄河流域范围图

Fig.1 Division of the Yellow River Basin scope

1.2 数据来源及处理

本文依据中华人民共和国生态环境部印发的《环境保护综合名录(2021)》和《重点排污单位名录管理规定(试行)》(环办监测[2017]86号)(原环境保护部办公厅印发)两文件划分的煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、非金属矿采选业等 31 大类的污染型行业(表 1),统计出行业下属的污染型企业样本并利用天眼查平台(<https://www.tianyancha.com/>)查询统计了 1979 年 1 月 1 日—

2020年12月31日注册成立且在营污染型企业数据。出于污染产出的角度考虑,从全行业样本中剔除掉经营范围仅存在销售类型的样本,共整理出212058家污染型企业,将企业地址通过百度地图API接口查询并转化为企业经纬度坐标,构建企业空间点数据库。黄河流域污染型企业影响因子数据来自于各省、市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报及《中国城市统计年鉴》,缺失数据运用插值法进行补全。本文使用省份名称仅代表黄河流域涉及的地市(州)。如:四川省仅代表阿坝藏族羌族自治州。

本文从省域尺度对1979—2020年黄河流域九省(区)污染型企业展开研究,相较于流域尺度能细致展现黄河流域污染型企业空间分布特征。基于此,本文选取改革开放后国营工业企业扩权试点改革(1979年)、中国加入世界贸易组织后企业迅速增长(2001年)、次贷危机后中国工业企业发展迅猛(2008年)、“史上最严”大气治污计划《大气污染防治计划》发布后企业转型升级(2013年)及新冠疫情爆发后企业发展遭受多重压力(2020年)五个特征年份呈现演变差异,特征年份污染型企业样本保留特征年份之前企业状态为存续和开业的企业。

表1 污染型行业类别划分
Table 1 Classification of polluting industries

污染型行业门类 Polluting industry categories	大类划分 Classification of major categories	大类数量 Number of major categories
采矿业 Mining industry	煤炭开采和洗选业;石油和天然气开采业;黑色金属矿采选业;有色金属矿采选业;非金属矿采选业	5
制造业 Manufacturing industry	农副食品加工业;食品制造业;酒、饮料和精制茶制造业;纺织业;纺织服装、服饰业;皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业;家具制造业;造纸和纸制品业;印刷和记录媒介复制业;石油、煤炭及其他燃料加工业;化学原料和化学制品制造业;医药制造业;化学纤维制造业;橡胶和塑料制品业;非金属矿物制品业;黑色金属冶炼和压延加工业;有色金属冶炼和压延加工业;金属制品业;专用设备制造业;汽车制造业;电气机械和器械制造业;计算机、通信和其他电子设备制造业;仪器仪表制造业	23
电力、热力、燃气及水生产和供应业 Electricity, heat, gas and water production and supply industry	电力、热力生产和供应业;燃气生产和供应业;水的生产和供应业	3

本文依据新国家标准《国民经济行业分类》(GB/T4754—2017)的大类进行行业划分

1.3 研究方法

1.3.1 标准差椭圆

标准差椭圆是研究要素空间分布方向性特征的典型方法之一,从整体上反映要素在空间分布上的范围和主导方向^[20],中心点反映全部要素在空间上的重心。本文采用标准差椭圆方法分析黄河流域污染型企业空间分布的方向性特征,其计算公式为:

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (1)$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (2)$$

式中, x_i 和 y_i 是要素 i 的空间坐标位置; $\{\bar{X}, \bar{Y}\}$ 代表要素的算术平均中心; n 为要素总和。

1.3.2 核密度

核密度通过计算要素在其周围邻域中的密度^[23],可以反映要素在空间中的集聚程度。本文采用核密度分析黄河流域污染型企业的空间集聚形态特征,其计算公式为:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (3)$$

式中, $f(x)$ 指核密度估计值, 被称为核函数; n 为污染型企业个数; h 为带宽, 其值大于零; $x - x_i$ 为估值点 x 到数据点 x_i 的距离^[18]。本文运用自然断裂点分级法将核密度划分为高值区、较高值区、中值区、较低值区及低值区 5 个等级。

1.3.3 Ripley's K 函数

Ripley's K 函数常用于分析不同距离尺度下点状地物的空间分布集聚程度^[26], 本文采用其分析不同距离尺度下污染型企业的空间集聚特征, 其计算公式为:

$$K(d) = A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{w_{ij}(d)}{n^2} \quad (4)$$

式中, $K(d)$ 为 K 函数; A 为研究区面积; n 为研究区内污染型企业个数; d 为距离尺度; $w_{ij}(d)$ 为在距离范围 d 内企业 i 、 j 之间的距离。为保证方差的稳定性, 对 $K(d)$ 函数进行变形, 采用 $L(d)$ 代替 $K(d)$, 对 $K(d)$ 作开平方线性变换,

$$L(d) = \sqrt{\frac{K(d)}{\pi}} - d \quad (5)$$

式中, $L(d)$ 与距离 d 的关系图可用来检测依赖于尺度 d 的污染型企业空间分布特征, $L(d) > 0$ 表示企业集聚分布; $L(d) = 0$ 表示企业随机分布; $L(d) < 0$ 表示企业扩散分布。

1.3.4 空间自相关

空间自相关用于分析某一变量在空间上是否相关以及相关程度, 通常分为全局空间自相关和局部空间自相关, 常采用 Moran's I 统计量来反映^[27]。空间自相关系数定量描述要素在空间上的依赖关系, Moran's I 取值范围为 $[-1, 1]$ 。因县级政府对县域产业发展具有决策权, 本文采用空间自相关对黄河流域县域污染型企业数量的空间相关程度以及空间关联类型进行分析。

全局空间自相关(Global Moran's I) 反映了空间邻接或邻近区域单元属性值的相似程度, 用于分析空间分布模式及空间结构状况特征。Moran's I 计算公式为:

$$I = \frac{\sum_i^n \sum_{i \neq j}^n W_{ij} (X_i - \bar{X}) (X_j - \bar{X})}{\frac{1}{n} \sum_i^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_i^n \sum_{i \neq j}^n W_{ij}} \quad (i \neq j) \quad (6)$$

式中, n 为黄河流域区县数量; i 和 j 为区县要素; X_i 和 X_j 分别为区县 i 和区县 j 污染型企业的数量; \bar{X} 为黄河流域所有区县污染型企业数量的平均值; W_{ij} 为空间权重。所得结果进行 Z 统计显著性检验。

局部空间自相关(Local Moran's I) 用于反映空间聚集行为、聚集位置等空间信息, 计算公式为:

$$I_i = Z_i \sum_{j \neq i}^n W_{ij} Z_j \quad (8)$$

式中, I_i 代表 Local Moran's I ; Z_i 、 Z_j 是观察值的标准化形式; 空间权重矩阵 W_{ij} 是标准化形式, 结果同样采用 Z 检验判定显著性程度。

1.3.5 地理探测器

地理探测器可以用来探测数值型数据或定性数据等因子对因变量空间分异的解释力, 也可以探测双因子共同作用时对因变量的解释程度^[28-29]。本文基于地理探测器因子探测及交互探测分析黄河流域市域污染型企业空间分布的影响因素, 其模型如下:

$$q = 1 - \frac{1}{\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (9)$$

式中, $h = 1, 2, \dots, L$ 为因变量或探测因子的分层; σ^2 为一级区域污染型企业密度的方差; σ_h^2 为次级区域污染型企业密度的方差; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数。 q 为某探测因子的探测力值, q 值越大说明探测因子对污染型企业空间分布影响越大。

2 黄河流域污染型企业空间分布特征

2.1 空间分布方向性趋势

1979—2020 年间,黄河流域污染型企业数量由 98 个增长至 204973 个,增长 2091.6 倍,标准差椭圆面积呈扩大趋势(图 2),表明空间分布范围逐渐扩张。其中,1979—2001 年污染型企业空间分布方向性特征变化明显,2001 年以后污染型企业空间分布方向性趋势趋同。总体来看,青海污染型企业紧邻黄河一级支流湟水分布,且趋向于黄河源头方向扩张;川、甘两省污染型企业空间分布重心趋向黄河干流偏移;晋、陕两省污染型企业趋向黄河干流偏移的同时,还分别趋向黄河一级支流汾河、渭河分布;宁、蒙、豫、鲁四省(区)污染型企业则始终紧密围绕黄河干流分布。

分省区来看,青、川两省污染型企业空间分布总体均趋于“东南-西北”方向,其空间分布重心分别位于海南藏族和阿坝藏族羌族自治州;甘肃污染型企业空间分布以定西市为重心,趋于“东南-西北-东南”方向;宁夏污染型企业空间分布总体趋于“西南-东北-西南”方向,其空间分布重心自 2001 年由吴忠市转移至银川市;内蒙古污染型企业空间分布总体趋向与宁夏污染型企业相反,呈“东北-西南-东北”方向,其空间分布重心自 2001 年由包头市转移至鄂尔多斯市;陕西污染型企业空间分布始终由西南向东北偏移,空间分布重心自 2001 年由咸阳市转移至铜川市;山西污染型企业空间分布总体趋于“东北-西南”方向,空间分布重心始终位于晋中市;河南污染型企业空间分布总体趋于“东北-西南-东北”方向,空间分布重心于 1979—2001 年由郑州市转移至焦作市,2001 年以后转移至郑州市与焦作市及新乡市三市交界处;山东污染型企业同宁夏污染型企业的空间分布趋向一致,但其空间分布重心始终位于济南市。

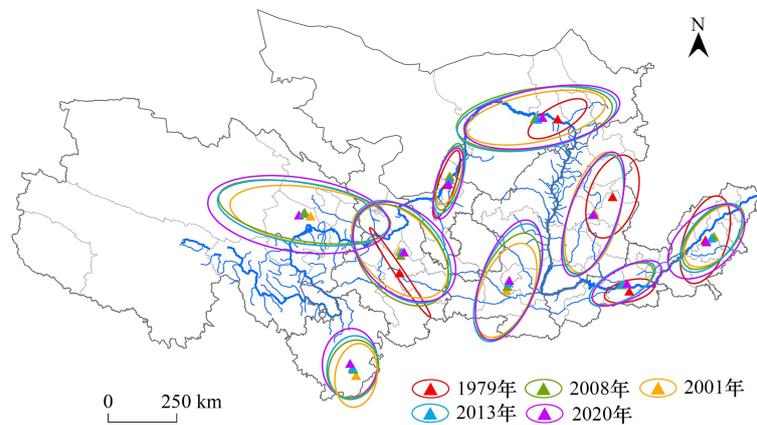


图 2 黄河流域污染型企业空间分布方向性趋势

Fig.2 Directional trend of spatial distribution of polluting enterprises in the Yellow River Basin

2.2 空间集聚形态

1979—2020 年,黄河流域污染型企业集聚程度增强,其集聚分布的空间范围随之扩张,但空间集聚形态不一,形成“中心集聚”“中心集聚-多点分散”“中心集聚连片-多点分散”和“中心集聚连片”四种不同的空间集聚形态(图 3)。高值区外围依次分布较高值区、中值区和较低值区,较低值区还零散分布在其他区域。

1979 年,黄河流域仅有蒙、晋、豫三省(区)污染型企业集聚分布,呈“中心集聚”分布形态。2001 年,黄河流域污染型企业数量增长,空间分布范围扩张,九省(区)污染型企业均集聚分布,其中,青、甘、陕三省污染型企业呈“中心集聚”分布;川、蒙、晋、豫、鲁五省(区)污染型企业呈“中心集聚-多点分散”分布;宁夏污染型企业呈“中心集聚连片”分布。2008 年,黄河流域青、川、甘、宁、蒙、陕、晋、豫八省(区)污染型企业核密度高值区分布范围扩张,而山东污染型企业核密度高值区分布范围收缩。其中,青、甘、陕三省污染型企业仍呈“中

中心集聚”分布;蒙、晋、鲁三省(区)污染型企业呈“中心集聚-多点分散”分布;川、豫两省污染型企业呈现出“中心集聚连片-多点分散”分布;宁夏污染型企业仍呈“中心集聚连片”分布形态。2013年,九省(区)污染型企业核密度高值区分布范围进一步扩张,黄河流域青、陕两省污染型企业呈“中心集聚”分布;甘、蒙、晋三省(区)污染型企业呈“中心集聚-多点分散”分布;川、豫、鲁三省污染型企业呈“中心集聚-多点连片”分布;宁夏污染型企业呈“中心集聚连片”分布。2020年,除内蒙古外的八省(区)污染型企业核密度高值区分布范围呈扩张趋势。其中,黄河流域青、陕两省污染型企业呈“中心集聚”分布;甘、蒙两省(区)污染型企业呈“中心集聚-多点分散”分布;川、晋、豫、鲁四省污染型企业呈“中心集聚连片-多点分散”分布;宁夏污染型企业呈“中心集聚连片”分布形态。

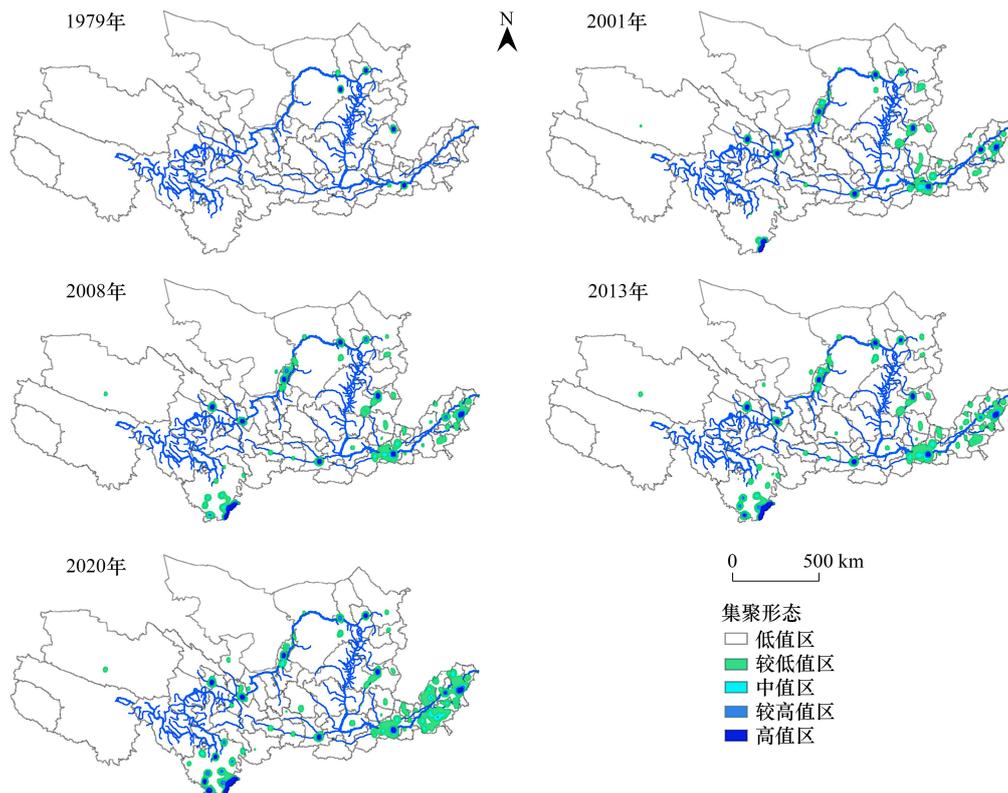


图3 1979、2001、2008、2013、2020年黄河流域污染型企业集聚形态

Fig.3 Concentration patterns of polluting enterprises in the Yellow River Basin in 1979, 2001, 2008, 2013 and 2020

2.3 多距离尺度下空间集聚程度

1979—2020年,不同测度距离下黄河流域九省(区)污染型企业集聚程度不同,在观测 k 值与预期 k 值差异最大时,污染型企业集聚程度最高。随测度距离增加,黄河流域九省(区)污染型企业集聚程度先增强后减弱。在集聚程度达最高时,黄河流域青、甘、宁、蒙、陕、豫、鲁七省(区)污染型企业集聚范围呈扩张趋势;川、晋两省污染型企业集聚范围则呈缩小趋势(图4)。

2.4 空间相关性

2.4.1 全局空间自相关

1979—2020年,全局Moran's I 值呈增长趋势, Z 检验值均为正且显著,表明黄河流域县域污染型企业数量具有显著的空间正相关性且空间相关性持续增强(表2)。污染型企业全局Moran's I 由1979年的0.0644增长至2020年的0.3648,表明黄河流域污染型企业数量高的区县会带动周边区县污染型企业向其集聚分布。

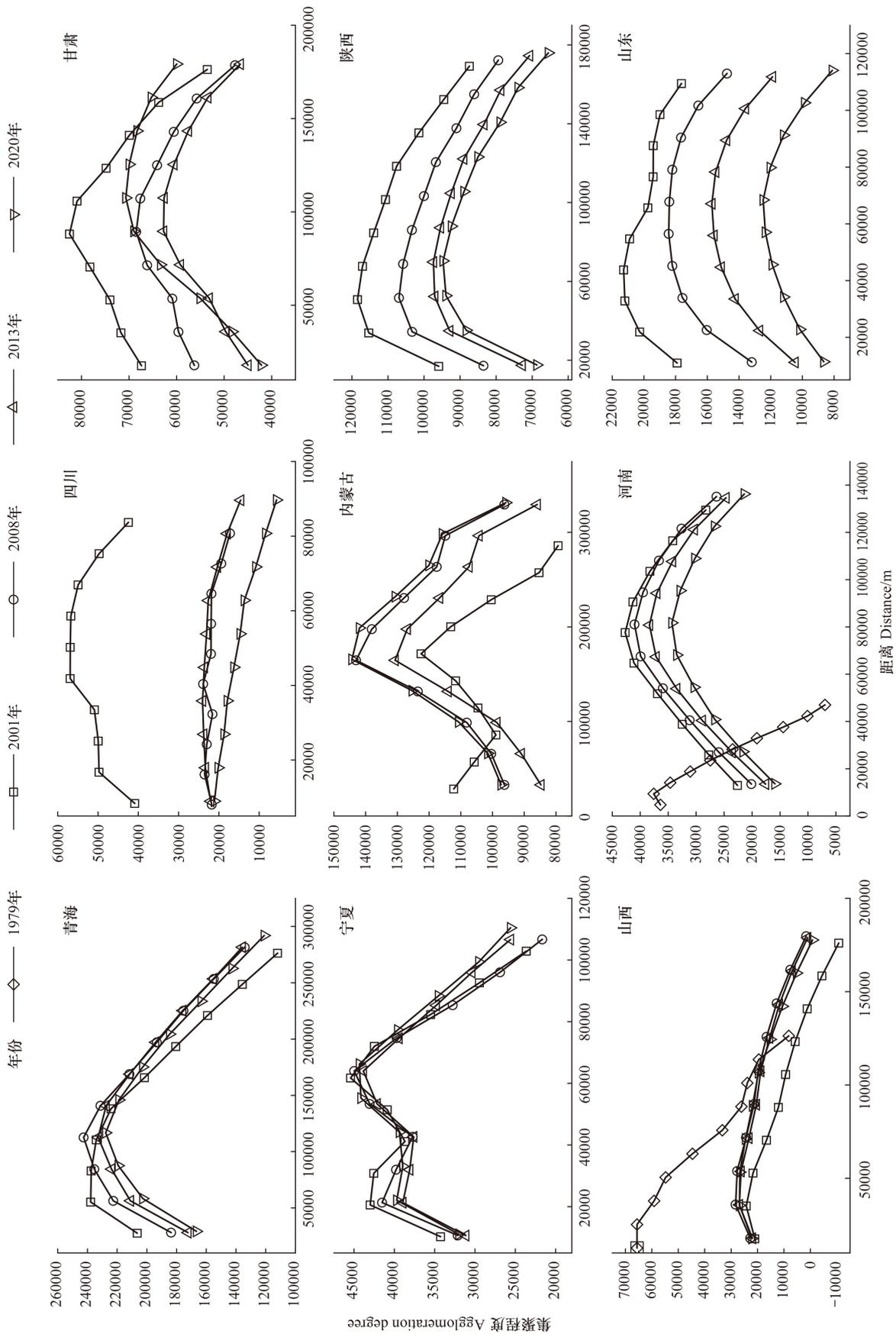


图4 黄河流域九省(区)污染型企业不同距离尺度下的集聚程度
 Fig.4 Agglomeration degree of polluting enterprises in nine provinces (districts) of the Yellow River Basin under different distance scales

表 2 1979、2001、2008、2013、2020 年黄河流域污染型企业全局 Moran's I 值Table 2 Global Moran's I of polluting enterprises in the Yellow River Basin in 1979, 2001, 2008, 2013 and 2020

	1979 年	2001 年	2008 年	2013 年	2020 年
Moran's I	0.0644	0.2839	0.3077	0.3096	0.3648
Z Score	8.8360	31.3396	33.9561	34.0833	40.0653

2.4.2 局部空间自相关

1979—2020 年,黄河流域污染型企业高-高集聚型和低-低集聚型在空间分布上表现出显著的差异性,高-高集聚型分布区县数量从 21 增至 126,由分散分布在宁、晋、豫三省部分区县演变为集中分布在黄河流域下游地区;低-低集聚型分布区县数量从 98 增至 225,由分散分布在甘、陕、鲁三省部分区县演变为大面积分布在黄河流域上中游地区(图 5)。

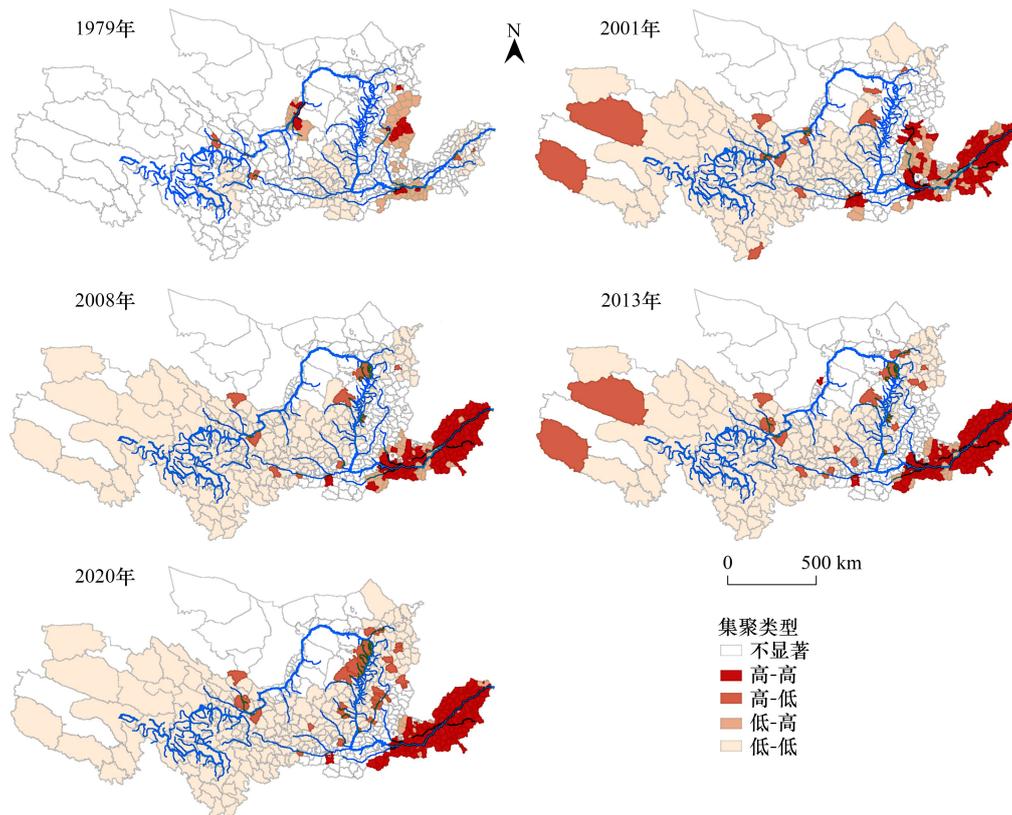


图 5 1979、2001、2008、2013、2020 年黄河流域污染型企业局部空间自相关

Fig.5 Local spatial autocorrelation of polluting enterprises in the Yellow River Basin in 1979, 2001, 2008, 2013 and 2020

3 黄河流域污染型企业空间分布影响因素

3.1 影响因子指标选取

流域是包含自然环境、经济环境等地理环境,具有层次结构和复杂系统功能的地理单元和地理空间^[30]。本文参考已有相关文献^[31—33],综合考虑数据的科学性、全面性、可获取性等原则,分别从经济、社会、资源、环境四个维度选取了 16 个因子构建指标体系(表 3)。其中,经济因素反映地方的整体经济发展实力和发展质量,以吸引企业落位发展;社会因素反映地方社会需求及劳动力水平,影响企业发展状况;资源因素反映地方的资源富集程度及基础设施状况,为降低生产成本,企业更倾向于分布在资源富集、基础设施更为完善的区域;环境因素反映地方的环境质量状况,尤其在环境规制政策作用下,生态环境保护纳入企业考核目标,环境

状况越来越成为企业区位选择的重要影响因素。本文以四个维度 16 个影响因子作为自变量,以污染型企业数量作为因变量,运用地理探测器进行因子探测和交互探测研究黄河流域污染型企业空间分布的影响因子。因海西蒙古族藏族自治州、海北藏族自治州等 12 市统计数据缺失较多,数据平稳性较差,故剔除该 12 市的数据。

表 3 因子变量及指标选取

Table 3 Selection of factor variables and indicators

因素 Factor	因子代码 Factorable code	因子变量 Factor variable	因子指标选取 Factor indicator selection
经济 Economy	X1	人民生活水平	人均国内生产总值
	X2	区域政策力度	地方财政预算内收入
	X3	经济发展潜力	全社会固定资产投资额
	X4	工业化水平	规模以上工业总产值
社会 Society	X5	市场需求	年末总人口
	X6	货物运输能力	货运总量
	X7	技术创新水平	科研综合技术服务业从业人员数
	X8	劳动力市场	第二产业从业人员比重
资源 Resource	X9	水资源	水资源总量
	X10	用电资源	全社会用电量
	X11	交通资源	年末实有道路面积
	X12	资源利用效率	工业固体废物综合利用率
环境 Environment	X13	城市绿化水平	建成区绿化覆盖率
	X14	空气质量状况	二氧化硫排放量
	X15	水质状况	工业废水排放量
	X16	环境改善能力	园林绿地面积

3.2 影响因素

3.2.1 因子探测

2001—2020 年, P 值均为 0.000, 探测结果均具有较高的显著性水平(表 4)。经济因素取代资源因素成为污染型企业空间分布的主导因素。2001 年, 黄河流域污染型企业空间分布的核心影响因子是交通资源、工业化水平、区域政策力度、市场需求及空气质量状况。2008 年, 黄河流域污染型企业空间分布的核心影响因子是环境改善能力、经济发展潜力、交通资源、水质状况及市场需求。环境改善能力、经济发展潜力、水质状况取代了工业水平、区域政策力度及空气质量状况成为核心影响因子。2013 年, 黄河流域污染型企业空间分布的核心影响因子是经济发展潜力、环境改善能力、交通资源、市场需求和水质状况。2020 年, 黄河流域污染型企业空间分布的核心影响因子是市场需求、工业化水平、交通资源、经济发展潜力及水质状况。工业化水平取代水质状况成为核心影响因子。

3.2.2 交互探测

在进行交互探测中, 双因子交互作用对黄河流域污染型企业空间分布的影响力为双因子增强和非线性增强(表 5), 说明双因子交互作用影响力均大于各自单一影响力, 经济、社会、资源、环境等因素交互作用对污染型企业空间分布的解释力更强。在多因子交互作用下, 社会因素与其他因素交互对污染型企业空间分布的影响力最大。

对污染型企业空间分布影响力排名前 10 的交互因子进行分析, 2001 年, 对污染型企业空间分布解释力较强的交互因子是经济发展潜力与劳动力市场、区域政策力度与资源利用效率、区域政策力度与空气质量状况、交通资源与空气质量状况、劳动力市场与城市绿化水平等, 社会因素与资源因素交互对污染型企业空间分布的影响力最大。2008 年, 对污染型企业空间分布解释力较强的交互因子是货物运输能力与劳动力市场、市

场需求与劳动力市场、市场需求与技术创新水平、人民生活水平与市场需求、市场需求与货物运输能力等,社会因素与经济因素交互对污染型企业空间分布的影响力最大。2013 年,对污染型企业空间分布解释力较强的交互因子是空气质量状况与环境改善能力、工业化水平与用电资源、交通资源与城市绿化水平、技术创新水平与城市绿化水平、工业化水平与空气质量状况等,社会因素与环境因素交互对污染型企业空间分布的影响力最大。2020 年,对污染型企业空间分布解释力较强的交互因子是市场需求与水质状况、市场需求与劳动力市场、市场需求与用电资源、市场需求与资源利用效率、工业化水平与市场需求等,社会因素与资源因素交互对污染型企业空间分布的影响力最大。

表 4 黄河流域污染型企业空间分布影响因子探测结果

Table 4 Detection results of influencing factors of spatial distribution of polluting enterprises in the Yellow River Basin

序号 Serial number	2001		2008		2013		2020	
	影响因子 Impact factors	q						
1	X11	0.7420***	X16	0.6707***	X3	0.6924***	X5	0.7734***
2	X4	0.6374***	X3	0.6644***	X16	0.6486***	X4	0.6863***
3	X2	0.5583***	X11	0.5952***	X11	0.6368***	X11	0.5556***
4	X5	0.4736***	X15	0.5883***	X5	0.6133***	X3	0.5537***
5	X14	0.4501***	X5	0.5859***	X15	0.6084***	X15	0.5439***
6	X9	0.4170***	X2	0.5828***	X4	0.6051***	X2	0.5152***
7	X10	0.4030***	X4	0.5775***	X2	0.4858***	X16	0.4771***
8	X6	0.3645***	X9	0.4927***	X6	0.4665***	X6	0.4024***
9	X8	0.3644***	X10	0.3684***	X9	0.3844***	X10	0.3412***
10	X16	0.3610***	X7	0.3490***	X10	0.3740***	X7	0.2873***
11	X7	0.3580***	X14	0.3434***	X7	0.3457***	X13	0.2445***
12	X3	0.3560***	X8	0.3433***	X14	0.2767***	X12	0.2083***
13	X15	0.3550***	X6	0.3161***	X13	0.2428***	X9	0.1577***
14	X12	0.2570***	X1	0.2282***	X8	0.1863***	X8	0.1546***
15	X13	0.2502***	X13	0.1904***	X1	0.1649***	X14	0.1469***
16	X1	0.1435***	X12	0.1831***	X12	0.0693***	X1	0.1393***

q 值为影响因子的影响力强弱;“***”表示通过了 1% 的显著性水平检验

经济、社会、资源、环境等因素的不断发展和共同作用下,促使污染型企业的空间分布趋于复杂化。以市场需求、劳动力市场为代表的社会因素与以工业化水平为代表的经济因素、以交通资源为代表的资源因素、以水质状况为代表的环境因素交互作用对污染型企业空间分布影响力最大。

表 5 黄河流域污染型企业空间分布影响因子交互探测结果

Table 5 Interactive detection results of influencing factors on the spatial distribution of polluting enterprises in the Yellow River Basin

序号 Serial number	交互影响因子		交互影响因子		交互影响因子		交互影响因子	
	Interaction influencing factors	2001 q	Interaction influencing factors	2008 q	Interaction influencing factors	2013 q	Interaction influencing factors	2020 q
1	3∩8	0.9747 ^a	6∩8	0.9605 ^a	14∩16	0.949 ^a	5∩15	0.9878 ^b
2	2∩12	0.9706 ^a	5∩8	0.9464 ^a	4∩10	0.946 ^b	5∩8	0.9727 ^a
3	2∩14	0.9684 ^b	5∩7	0.9376 ^a	11∩13	0.937 ^a	5∩10	0.9608 ^b
4	11∩14	0.9672 ^b	1∩5	0.9325 ^a	7∩13	0.9105 ^a	5∩12	0.9607 ^b
5	8∩13	0.9666 ^a	5∩6	0.9294 ^b	4∩14	0.9102 ^a	4∩5	0.9535 ^b
6	11∩12	0.9655 ^b	2∩15	0.9061 ^b	14∩15	0.9093 ^a	5∩11	0.9532 ^b
7	7∩8	0.9618 ^a	7∩15	0.9057 ^b	5∩13	0.9051 ^a	4∩11	0.9478 ^b
8	8∩11	0.9611 ^b	2∩12	0.9032 ^a	5∩16	0.9041 ^b	10∩12	0.9416 ^a
9	10∩14	0.958 ^a	4∩6	0.9006 ^a	5∩14	0.9022 ^a	5∩9	0.9403 ^a
10	5∩11	0.9545 ^b	3∩8	0.8971 ^b	3∩13	0.8988 ^b	1∩5	0.9335 ^a

1—4 代表经济指标,5—8 代表社会指标,9—12 代表资源指标,13—16 代表环境指标;a 代表非线性增强,b 代表双因子增强;表中仅列出影响力排名前 10 的交互探测结果;交互影响因子 1、2、3 为 X1、X2、X3,即影响因子排序

4 讨论

黄河流域地区是我国重要的能源重化工、原材料基地,以资源开采及加工为代表的污染型企业则成为当前黄河流域环境治理关注的重点,识别污染型企业的空间分布特征、优化空间布局,对促进黄河流域生态保护和高质量发展具有重要实践意义。而研究表明,黄河流域污染型企业呈现出的沿河集聚性、区域差异性的分布特征。一方面,黄河流域以其丰富的资源储量建立起基础产业,涵盖大量资源依赖和高耗能的污染型企业,进一步引起同类产业发展和更多污染型企业的建立,污染型企业对水资源的依赖性及对废水排放的需求导致沿河依水发展成为区位选择的首选,所以形成了大量污染型企业沿黄河干支流集聚的空间分布特征。从经济发展需求来看,污染型企业是产业链、供应链和能源供给方面必不可少的生产主体,同样也是经济增长的重要动力,由于对污染型企业产品这一市场需求的存在,导致环境关注度高的区域内污染型企业也不会过分远离^[34]。在未来很长一段时间内,黄河流域污染型企业发展和生态保护的矛盾仍然存在,为保障生态和经济的协同发展,分阶段、分步骤推进污染型企业空间布局优化势在必行。另一方面,由于黄河流域不同省(区)间经济发展水平差异显著^[35],九省(区)污染型企业亦呈现出不同的空间集聚形态,但均以省会为中心集聚分布。陆大道院士曾提出产业首先会在最优区位集聚,并逐渐成长发展^[36],而省会城市作为各省的经济中心,是各省产业布局的重点区域^[37],污染型企业率先在省会城市集聚分布,随城市区域建设用地的饱和,污染型企业布局空间受限,污染型企业开始向周边地区转移,空间分布范围扩张。由于省域内各地区经济发展差异,在省会城市核心示范作用带动下,各地区凭借土地资源等发展条件吸引污染型企业建立,引起集聚空间形态演变。因此,推进黄河流域各省会、地级市的污染型企业空间布局对于有效控制环境污染、保障生态安全具有重要作用,而工业园区作为政府培育产业集群的主要载体^[38],也是企业空间布局优化的重要手段。所以,在保障黄河流域产业链稳定、供应链安全,优势产业稳固的基础上,应以流域国家级工业园区为引领,以省级工业园区为基础,逐步引导污染型企业迁入工业园区,从而为城市高质量发展腾退发展空间,以助力企业协同治污和产业绿色发展。

黄河流域上游重点生态功能区广布^[7],产业开发水平较低、经济体量较小,污染型企业数量较少;黄河流域中游拥有众多传统重工业基地,产业革新难度大,经济社会发展速度偏慢,污染型企业发展相对缓慢,因此黄河流域上中游污染型企业呈现出较为稳定的低-低集聚类型。黄河流域下游山东省受沿海率先开放等政策惠及影响,产业迅猛发展^[39],污染型企业数量显著高于上中游地区,呈现出显著的高-高集聚类型。为推进黄河流域全域经济高质量发展,在进行污染型企业空间调控基础上,黄河流域上中下游应加强产业链、供应链联系,黄河流域上中游应以技术创新为主,推动产业提质增效;下游则应以产业链延伸为主,推动产业创新及绿色化发展。黄河流域上中下游经济社会发展水平差异明显,呈现出稳定的俱乐部趋同趋势^[35],污染型企业空间分布亦呈现出显著的俱乐部趋同趋势。污染型企业的建立带动区域经济发展,在俱乐部趋同效应影响下集聚程度增强,从而促进了区域经济社会发展水平提升,致使污染型企业集聚与区域经济社会发展产生相互促进效应。污染型企业在生产活动带来经济效益的同时,造成资源消耗和环境污染等问题日益突出,地区经济发展水平不再是企业区位选择的绝对主导因素,特别是在环境规制日益强化、人们对环境关注度日益提高、技术要素作用日益突出等多方面因素共同作用下,多因素共振致使污染型企业的空间分布趋于复杂化。

5 结论

本文基于污染型企业空间点数据库,运用标准差椭圆、平均最近邻指数、核密度分析、Ripley's K 函数及空间自相关方法探究 1979—2020 年黄河流域污染型企业空间分布特征,采用地理探测器进行因子探测及交互探测分析污染型企业空间分布的影响因素,得出如下结论:

(1) 黄河流域污染型企业数量持续增长,污染型企业空间分布重心紧密围绕黄河干支流分布,且存在向黄河源头扩张的趋势。

(2)黄河流域污染型企业集聚程度增强,其集聚分布的空间范围随之扩张,呈现出“中心集聚”“中心集聚-多点分散”“中心集聚连片-多点分散”和“中心集聚连片”四种不同的空间集聚形态。污染型企业集聚程度随距离尺度增加先增强后减弱,在集聚程度最高时的空间分布范围处于扩张状态。

(3)经济因素为黄河流域污染型企业空间分布的主导因素,但社会因素和其他因素的交互作用对其空间分布的影响力更强。受此影响,黄河流域上中下游污染型企业空间关联类型与黄河流域上中下游经济社会发展差异关系密切。

参考文献(References):

- [1] 田光辉,苗长虹,胡志强,苗健铭. 环境规制、地方保护与中国污染密集型产业布局. 地理学报, 2018, 73(10): 1954-1969.
- [2] 胡志强,苗健铭,苗长虹. 中国地市工业集聚与污染排放的空间特征及计量检验. 地理科学, 2018, 38(2): 168-176.
- [3] 王伊攀,何圆. 环境规制、重污染企业迁移与协同治理效果——基于异地设立子公司的经验证据. 经济科学, 2021, (5): 130-145.
- [4] 刘宁宁,孙玉环,汤佳慧,杜俊涛. 空间溢出视角下中国污染密集型产业集聚的环境效应. 环境科学学报, 2019, 39(7): 2442-2454.
- [5] 安树伟,李瑞鹏. 黄河流域高质量发展的内涵与推进方略. 改革, 2020(1): 76-86.
- [6] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略. 改革, 2019(11): 33-39.
- [7] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话. 求是, 2019(20): 4-11.
- [8] 白璐,孙园园,赵学涛,乔琦,李雪迎,周潇云. 黄河流域水污染排放特征及污染集聚格局分析. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2683-2694.
- [9] 别同,韩立建,何亮,田淑芳,周伟奇,李伟峰,钱雨果. 城市空气污染对周边区域空气质量的影响. 生态学报, 2018, 38(12): 4268-4275.
- [10] 王迪,韩立建,李世玉,李伟峰,钱雨果,周伟奇,谭晓芮,李国栋. 城市群空气污染综合评估范式与应用——以京津冀城市群 PM_{2.5} 污染为例. 生态学报, 2021, 41(11): 4278-4287.
- [11] 滕堂伟,谌丹华,胡森林. 黄河流域空气污染的空间格局演化及影响因素. 地理科学, 2021, 41(10): 1852-1861.
- [12] 刘瑞平,魏楠,宋志晓,王夏晖. 黄河流域土壤污染治理的战略研究. 环境科学与管理, 2021, 46(9): 45-49.
- [13] 马蓓蓓,党星,袁水妹,薛东前,宋永永. 欠发达地区污染企业的区位选择与空间正义. 地理学报, 2022, 77(4): 1009-1027.
- [14] 张姗姗,张磊,张落成,高爽. 苏南太湖流域污染型企业集聚与水环境污染空间耦合关系. 地理科学, 2018, 38(6): 954-962.
- [15] 蔡宏波,钟超,韩金镛. 交通基础设施升级与污染型企业选址. 中国工业经济, 2021(10): 136-155.
- [16] 周沂,贺灿飞,刘颖. 中国污染密集型产业地理分布研究. 自然资源学报, 2015, 30(7): 1183-1196.
- [17] 徐志伟,殷晓蕴,王晓晨. 污染型企业选址与存续. 世界经济, 2020, 43(07): 122-145.
- [18] 周沂,贺灿飞,王锐,王洁玉. 环境外部性与污染型企业城市内空间分布特征——基于深圳污染型企业的实证分析. 地理研究, 2014, 33(5): 817-830.
- [19] Rauscher M. Concentration, separation, and dispersion: Economic geography and the environment. Thuenen-Series of Applied Economic Theory, 2009.
- [20] 张杰,唐根年. 浙江省制造业空间分异格局及其影响因素. 地理科学, 2018, 38(7): 1107-1117.
- [21] 徐维祥,张筱娟,刘程军. 长三角制造业企业空间分布特征及其影响机制研究: 尺度效应与动态演进. 地理研究, 2019, 38(5): 1236-1252.
- [22] 郑艳婷,王韶菲,戴荔珠,吕爱锋. 长江中游地区制造业企业时空演化格局. 经济地理, 2018, 38(5): 117-125.
- [23] 韩会然,杨成凤,宋金平. 北京批发企业空间格局演化与区位选择因素. 地理学报, 2018, 73(02): 219-231.
- [24] Wu S L, Wei Y P, Li Y K, Lu Z X. Impacts of Societal Development on the Evolution of Ecosystem Services in the Heihe River Basin, China. Ecosystem Health and Sustainability, 2023, 9: 0008.
- [25] 徐林清,聂楠. 污染物排放的空间集聚及其影响因素: 基于岭回归模型的分析. 生态经济, 2015, 31(5): 160-165.
- [26] 王劲峰,廖一兰,刘鑫. 空间数据分析教程. 北京: 科学出版社, 2010: 79-81.
- [27] 危小建,辛思怡,张颖艺,龙英豪,张茜. 不同网格尺度下生态系统服务价值空间分异及其影响因素差异——以大南昌都市圈为例. 生态学报, 2023, 43(18): 7585-7597.
- [28] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [29] 陈阳,张琳琳,马仁锋,李冠,卓跃飞,徐忠国. 城市绿色空间可达性与居民分布的空间匹配与影响因素. 生态学报, 2022, 42(24): 9971-9980.
- [30] 刘琳轲,梁流涛,高攀,范昌盛,王宏豪,王瀚. 黄河流域生态保护与高质量发展的耦合关系及交互响应. 自然资源学报, 2021, 36(1): 176-195.
- [31] 徐辉,师诺,武玲玲,张大伟. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变. 资源科学, 2020, 42(1): 115-126.
- [32] 马海涛,徐植枏. 黄河流域城市群高质量发展评估与空间格局分异. 经济地理, 2020, 40(4): 11-18.
- [33] 任保平,杜宇翔. 黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(2): 119-129.
- [34] 徐志伟,欧阳业. 社会公众的环境关注与污染密集型企业的区位选择. 当代经济科学, 2022, 44(6): 112-126.
- [35] 周晓艳,郝慧迪,叶信岳,秦雅雯,马秀馨. 黄河流域区域经济差异的时空动态分析. 人文地理, 2016, 31(5): 119-125.
- [36] 陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展——提出“点-轴系统”和“T”型结构以来的回顾与再分析. 地理学报, 2001, 56(02): 127-135.
- [37] 赵奎,后青松,李巍. 省会城市经济发展的溢出效应——基于工业企业数据的分析. 经济研究, 2021, 56(3): 150-166.
- [38] 戴其文,杨靖云,张晓奇,胡森林. 污染企业/产业转移的特征、模式与动力机制. 地理研究, 2020, 39(07): 1511-1533.
- [39] 盖文启. 我国沿海地区城市群可持续发展问题探析——以山东半岛城市群为例. 地理科学, 2000, 20(3): 274-278.