

农村水环境政策与污染的时空迁移特征及关系

万欣, 张怡, 苏鹏程, 骆心怡, 林佳欣

引用本文:

万欣, 张怡, 苏鹏程, 骆心怡, 林佳欣. 农村水环境政策与污染的时空迁移特征及关系[J]. [农业环境科学学报](#), 2024, 43(4): 886-895.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0289>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[发展环水有机农业控制农业面源污染的政策与建议](#)

王磊, 席运官, 肖兴基, 高吉喜

[农业环境科学学报](#). 2017, 36(8): 1590-1594 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0340>

[我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算](#)

王军霞, 徐菲, 刘瑞民, 董广霞

[农业环境科学学报](#). 2017, 36(7): 1316-1322 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0322>

[乡村地域系统环境污染演化过程及驱动机制研究](#)

王永生, 施琳娜, 刘彦随

[农业环境科学学报](#). 2020, 39(11): 2495-2503 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0438>

[南水北调中线工程水源地化肥施用时空分布特征及其环境风险评价](#)

房珊珊, 杨珺, 强艳芳, 王彦东, 席建超, 冯永忠, 杨改河, 任广鑫

[农业环境科学学报](#). 2018, 37(1): 124-136 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0871>

[中国硝酸盐脆弱区划分与面源污染阻控](#)

马林, 卢洁, 赵浩, 柏兆海, 胡春胜

[农业环境科学学报](#). 2018, 37(11): 2387-2391 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1369>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

万欣, 张怡, 苏鹏程, 等. 农村水环境政策与污染的时空迁移特征及关系[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(4): 886–895.

WAN X, ZHANG Y, SU P C, et al. Spatiotemporal migration patterns and relationships between rural water environment policies and pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(4): 886–895.



开放科学 OSID

农村水环境政策与污染的时空迁移特征及关系

万欣, 张怡*, 苏鹏程, 骆心怡, 林佳欣

(河海大学商学院, 南京 211100)

摘要:为了揭示农村水污染与政策治理的时空演化关系,在测算政策力度与污染强度的基础上,绘制两指标的重心迁移轨迹,并结合夏普利值分解法确定各省份所属的“政策-污染”类型,进一步采用格兰杰因果检验法深入剖析各类型下政策与污染的因果关系。结果表明:政策与污染的重心均位于我国东南部,但两者的迁移轨迹联动性较差,前者呈现“偏南-偏西-偏北-偏东”的迁移趋势,而后者整体向南迁移;从政策与污染的关系来看,“增长-降低”型省份的污染降低导致政策力度增长,且东、西部省份增长的动因有所不同;“降低-降低”型省份的污染降低会导致政策力度下降,但在具体污染维度上存在政策关注失衡现象;所有“污染增长”型省份在两指标上不存在格兰杰因果关系。建议在未来政策制定中考虑政策与污染结果的联动性,加强政策的精准性、协同性和前瞻性,这将有助于提升政策规制的效率和效果。

关键词:农村水污染;重心迁移;政策力度;污染强度;“政策-污染”类型

中图分类号:X52 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2024)04-0886-10 doi:10.11654/jaes.2023-0289

Spatiotemporal migration patterns and relationships between rural water environment policies and pollution

WAN Xin, ZHANG Yi*, SU Pengcheng, LUO Xinyi, LIN Jiaxin

(School of Business, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to reveal the temporal and spatial evolutionary relationships between rural water pollution and the corresponding governance policies, the migration paths of gravity centers for the two indicators were plotted based on measurements of policy strength and pollution intensity. Then, various provinces were classified into different “policy-pollution” types by using the Shapley value decomposition method, and the causal relationship between policy and pollution under each type was analyzed based on the Granger causality test method. The results showed that both the gravity centers of policy and pollution located in southeast China, but their migration paths were not aligned with each other. The former exhibited a “south-west-north-east” directional trend, whereas the latter consistently demonstrated a propensity for migration towards the south. In terms of the link between policy and pollution, it was observed that the reduction in pollution intensity contributed to an enhancement in policy strength in “growth-reduced” type provinces. However, the drivers for this enhancement differ between eastern and western provinces. As for provinces classified as “reduced-reduced”, the decrease in policy effectiveness was found to be a result of reduced pollution intensity; however, there were instances of policy deviation evident in specific dimensions of pollution. At last, the provinces falling under the “pollution growth” category did not exhibit Granger causality between policy and pollution. Therefore, it was recommended that future policy-making incorporates its association with pollution outcomes and enhances the precision, synergy, and foresight of policies, which is beneficial to the elevation of efficiency and effectiveness of policy formulation.

Keywords: rural water pollution; gravity center migration; policy strength; pollution intensity; “policy-pollution” type

收稿日期:2023-04-13 录用日期:2023-08-03

作者简介:万欣(1985—),女,吉林通化人,博士,副教授,主要从事城乡可持续建设与治理研究。E-mail:waxin@hhu.edu.cn

*通信作者:张怡 E-mail:zhangyi99@hhu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(71802071);中央高校基本科研业务费专项资金项目(B230207062)

Project supported: The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China(71802071); The Fundamental Research Funds for the Central Universities(B230207062)

党的二十大报告指出要“全面推进乡村振兴”,强调“建设宜居宜业和美乡村”。实现乡村振兴必须牢固树立和践行“绿水青山就是金山银山”的理念,站在“人与自然和谐共生”的高度谋划发展。改善农村人居环境是实施乡村振兴战略的关键举措,是推动城乡建设高质量发展的重要任务,而水污染又是农村环境问题的重中之重。2020年公布的《第二次全国污染源普查公报》显示,我国农业源水污染物占比接近排放总量的50%。农村污水收集和处理设施落后,村民环境危害警觉性偏低,使得农村水污染具有隐蔽性、分散性和随机性的特点,成为亟待解决的环境问题^[1]。近年来,在中央政策的带动下,各地针对农村地区在生态环境保护、河湖治理、人居环境整治等方面频繁出台专项或综合性的水环境治理政策。然而,由于政策问题的动态性和政策环境的不断变化,农村水环境治理仍面临诸多问题。各地的政策供给是否与污染治理匹配?两者在时空上的演变规律如何?各省份政策与污染是否存在因果联系?这些关键问题的回答有助于从协同治理角度把握政策工具对农村水污染的治理成效,识别政策制定的薄弱环节,加强各省份政策与污染治理的协调有序发展。

制度建设是环境治理体系现代化建设的关键维度,从制度层面对农村水污染治理的研究主要关注了3个方面。一是对如何完善相关治理机制的探讨,如陆杉等^[2]、周志波^[3]、刘某承等^[4]分别采用回归分析、实验经济学、模型模拟等方法,分析了财政分权、环境税征收和生态补偿等机制的改进对农业面源污染防治的影响;马鹏超等^[5]通过回归分析探讨了农户参与河长制治理意愿的影响机制。二是对农村水环境污染相关政策进行计量分析,相关研究从政策数量、区域分布、词频分析、发文主体等一个或多个角度,刻画面源污染^[6]、畜牧业碳减排^[7]等政策的演化特征及发展趋势。三是对政策实施效果的检验和评估,一些学者重点关注了农业支持保护、有机肥补贴、绿色农业补贴等某方面政策的实施效果,也有学者针对更为宽泛的农村水环境政策总体进行分析,使用的研究方法主要有双重差分法^[8]、回归分析法^[9]、灰色系统模型^[10]等。由此可见,从制度层面探讨农村水环境污染的现有研究中,缺少对政策工具与污染治理结果的联合考虑,虽然有研究分析了相关政策实施对污染治理的影响效果,但主要采用传统的统计分析方法,仅能考虑政策有无的影响,未能从时间和空间双重维度对政策与污染的演化关系作深入分析。

为了把握环境、经济、人口发展在地理上的演进特征,一些学者将空间统计学领域的重心迁移模型应用于大气污染物^[11]、城市空间扩展^[12]、人口分布格局^[13]等问题的研究上。这些研究通常会将重心迁移模型与贡献度分解法结合,以探索相关要素(如不同区域或影响因素等)对重心时空演变的推力。例如,李兰兰等^[14]和Zhang等^[15]分别描绘了天然气消费和低碳能源技术创新的重心迁移路径,并用夏普利值分解技术分析各省份对迁移路径牵引的贡献情况。Li等^[11]结合重心迁移模型和LMDI模型,研究了碳排放的重心迁移路径,并识别了迁移路径下贡献度最高的风险因素。因此,为了实现更为复杂的研究目的,有必要将重心迁移模型与贡献度分解法结合,深入揭示农村水污染治理的宏观迁移和区域贡献特征。

基于水污染治理时空关联的特点以及相关研究缺乏的现状,本研究收集2004—2020年省级(包括直辖市、自治区)层面的农村水环境政策文本和水污染物相关数据,测算政策力度与污染强度指标值,在此基础上采用重心迁移模型对两指标的时空迁移特征进行分析,进一步结合夏普利值分解法将典型省(市)划分为4种类型,并利用格兰杰因果检验法探讨各类型下政策与污染治理的关系。本研究引入空间统计领域研究方法,同时考虑时间和地理维度的影响,探讨农村水环境政策治理成效,有助于从宏观层面把握政策与污染的联动关系,为理解省级层面农村水环境政策协同、形成政策合力提供了新的研究思路和研究途径,可为相关政策制度体系构建与优化提供参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 政策力度与污染强度测算

1.1.1 政策力度测算方法

政策力度表示政策的治理强度,体现了政策的权威性和执行力度。参考相关研究^[16-17],某政策的年度政策力度(PS)由该政策所属的政策类型(PT)、发文部门(PD)、政策主题覆盖率(PC)以及政策的当年有效天数($Days$)4个变量决定,具体如公式(1)所示。当年有效天数是某政策在某年的有效实施天数。据此,某省(市)当年所有有效政策的政策力度值可由每一政策的 PS 值相加和得到。

$$PS = PT \times PD \times PC \times \frac{Days}{365} \quad (1)$$

不同类型政策的效力等级不同,参照《立法法》《行政规章制定程序条例》《党政机关公文处理工作条

例》等,将属于知照性、指挥性、规划性和法规性的政策文件,按1~4分依次对PT赋值^[16],具体见表1。根据省级发文部门的层级,对PD按1~3分赋值^[17],具体见表2。

表1 政策类型赋值表

Table 1 Assignment table of policy types

政策类型 Policy type	分值 Score
法规性文件: 条例、办法、规定等	4
规划性文件: 规划、纲要、方案等	3
指挥性文件: 决定、意见、政策性通知等	2
知照性文件: 通告、通报、知照性通知等	1

表2 政策发文部门赋值表

Table 2 Assignment table of policy issuing departments

发文部门 Policy issuing department	分值 Score
省级人大及常委会	3
省级人民政府	2
省级人民政府下属部门	1

考虑到政策具有综合性,即一个政策文本中只有部分内容与某主题相关,因此通过计算在某个政策文本中与农村水环境污染主题相关的文字覆盖比例(PC)来确定该主题的权重。首先,根据政策文本绘制词云图,以确定相关段落的关键词,包括“农村环境”“农村水”“化肥”“秸秆”“畜禽粪便”“养殖污染”“农村饮用水”“面源”“农村地下水”“黑臭水体”“农村污水”“农村居住环境”等。然后,利用质性分析软件Nvivo标定含有上述关键词的段落,计算对应的文字总量(MW)。最后,将MW与该政策的文字总量(TW)相比,即可求得PC,见公式(2)。

$$PC = \frac{MW}{TW} \quad (2)$$

1.1.2 农村水污染物测算方法

农村水污染通常包括在农田耕作过程中使用的农药、化肥、农膜及所产生的农田固体废弃物,养殖业排污以及农民生活所带来的水污染。由于全国范围内的农药流失和农膜残留污染量数据较难获取,所以本文所计算的水污染物不包括上述来源。最终,本文考虑的污染源包括农田化肥施用、农田固体废弃物、畜禽养殖业、水产养殖业和农村生活5个方面。农村水污染通常以化学污染物的形式存在,通过统计化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)三类污染物浓度来评价水质^[18]。

采用第二次全国污染源普查公布的《排放源统计

调查产排污核算方法和系数手册》中的《农业源产排污核算方法和系数手册》(简称《手册》)里的公式计算农田化肥施用和水产养殖业所带来的农村水污染物,即COD、TN和TP的排放量。《手册》中未涉及的以及部分参数无法获取的情况,采用单元调查评估法^[19-20]计算污染量,包括农田固体废弃物、畜禽养殖业和农村生活污染物。

通过计算得到各省(市)的COD、TN、TP排放量后,将3个指标使用熵值法汇总为水污染物流失总量,如公式(3)所示。为了消除各省(市)农业规模差异的影响,借鉴相关研究^[20],用单位农用地面积的水污染物流失量来表示各省(市)的污染强度,如公式(4)所示。

$$E = 0.370EU_{\text{COD}} + 0.283EU_{\text{TN}} + 0.347EU_{\text{TP}} \quad (3)$$

$$EI = \frac{E}{AL} \quad (4)$$

式中: E为农村水污染物的流失总量; EU_{COD} 、 EU_{TN} 、 EU_{TP} 分别为水污染物中COD、TN、TP的流失量; AL为农用地面积; EI为污染强度。

1.1.3 数据来源与统计特征

本文在北大法宝、万方数据等数据库以及各地政府官网上,检索农村水环境治理相关主题的省级政策文件,根据中央一号文件发布时间,并考虑数据可获取性,时间跨度设定为2004—2020年。关键词选取参考相关文献,并结合《农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战实施意见》《农业面源污染治理与监督指导实施方案(试行)》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》等中央级政策文件,详见表3。采用的关键词包括“农业面源污染”“农村水污染”“农村水环境”“农村地下水”“农村生活污水”“农业农药污染”“农村黑臭水体”“农业化肥”“农业秸秆”“农村畜禽污染”“农村养殖污染”“农村饮用水保护”等。根据以上设定,最终筛选出2 627项政策文件,绘制的词云图如图1所示。本文所谓“农村水环境政策”主要包括两类:一类是针对农村生活污水、黑臭水体、畜禽养殖污染、秸秆焚烧污染等突出水污染问题专门出台的政策,此类政策约占20%。另一类是乡村建设治理、生态环境保护等方面出台的综合性政策,其中部分章节或条款涉及农村水环境治理,此类政策约占80%。例如,《北京市提升农村人居环境推进美丽乡村建设的实施意见(2014—2020年)》中涵盖农村污水治理、村庄环境综合整治等内容。《浙江省人民政府关于进一步加强环境污染整治工作的意见》中包括农业农村污

表3 政策筛选关键词及来源

Table 3 Keywords and corresponding sources for policy filter

关键词 Keyword	中央政策 Central policy	文献 Academic literature
农业面源污染、农村水污染、农村水环境	《农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战实施意见》《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《中共中央、国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》《“十四五”全国农业绿色发展规划》等	[6,10,21]等
农村黑臭水体	《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》等	[22]等
农村生活污水	《农业面源污染治理与监督指导实施方案(试行)》《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《“十四五”全国农业绿色发展规划》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》等	[6,23]等
农村地下水、农村饮用水保护	《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》等	[23]等
农业化肥、农业农药污染	《中共中央、国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》等	[6,10,21,23]等
农业秸秆	《“十四五”全国农业绿色发展规划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》等	[6,10,21]等
农膜、地膜、农用薄膜	《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》等	[6,21]等
农村畜禽污染、农村养殖污染	《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《“十四五”全国农业绿色发展规划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》《农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021—2025年)》等	[6,21,23]等



图1 农村水环境政策文本词云图

Figure 1 Word cloud map of rural water environment policies

染治理模块等。

各省(市)政策力度的描述性统计结果见表4。由表4可知,长三角地区的江苏、浙江和安徽三省的政策力度均值、标准差及样本量均排在前几位,说明三省针对农村水污染出台的政策数量及规制力度较大,但波动性也较大。各省(市)在政策类型和发文部门方面的差异较小,政策主题覆盖率均值处于10.96%~28.89%之间,说明各省(市)在政策文件的层级和发文主体上差异不大,且有相当比例的政策是综合性的。

农村水污染强度数据主要来源于《中国农村统计

年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国渔业年鉴》等。计算中所需系数从《农业源产排污核算方法和系数手册》及文献[19,24]中查阅得到。表5展示了各省(市)农村水污染强度的描述性统计结果。对于污染强度而言,上海市的均值、标准差均明显高于其他省(市),表明其农村水污染问题较为突出,且污染的波动幅度较大;此外,北京市虽然均值未排在前列,但污染的变化性最大;相比之下,内蒙古、西藏、新疆和青海等经济欠发达省份的污染强度均值明显较低。

1.2 重心迁移模型

为了描述农村水环境政策力度和污染强度的重心迁移路径,计算两指标在各省(市)每一年的重心坐标,如公式(5)所示。

$$\begin{cases} \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \\ \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \end{cases} \quad (5)$$

式中: n 为区域个数; (x_i, y_i) 取各省(市)的地理中心坐标; m_i 为相应的政策力度值或污染强度值; \bar{X} 和 \bar{Y} 分别为重心经度和纬度坐标。

根据重心坐标值,可计算移动方向、移动距离、与几何重心的距离、一致性比较4项指标,以进一步分析重心迁移轨迹的特征。

(1)移动方向:移动方向用重心在空间上的移动角度(θ)来表示,暗示了在该区域内政策或污染发展

表4 各省(市)农村水环境政策力度描述性统计结果

Table 4 Descriptive statistical results of rural water environment policy strength for each province (municipality)

省(市) Province	年均值 Annual average value/分	标准差 Standard deviation/分	样本数 Sample size/个	政策类型 Policy type/分		发文部门 Policy issuing department/分		政策主题覆盖率 Policy theme coverage rate/%			
				均值 Average	标准差 Standard deviation	均值 Average	标准差 Standard deviation	均值 Average	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value
				安徽省	45.00	36.10	144	2.46	0.66	1.57	0.56
北京市	9.47	5.91	68	2.58	0.65	1.71	0.52	10.96	0.12	0.11	59.73
福建省	42.10	29.95	161	2.48	0.69	1.58	0.54	23.36	0.22	0.29	83.39
甘肃省	22.71	18.13	71	2.61	0.67	1.67	0.59	24.63	0.25	1.39	87.28
广东省	25.16	14.58	76	2.51	0.68	1.52	0.60	19.76	0.19	1.19	80.60
广西壮族自治区	19.91	13.32	57	2.64	0.69	1.64	0.58	27.35	0.25	0.43	80.04
贵州省	21.41	15.66	76	2.40	0.63	1.52	0.58	24.68	0.23	1.06	89.61
海南省	15.82	14.03	71	2.47	0.79	1.68	0.60	18.07	0.17	1.93	82.14
河北省	34.13	23.78	115	2.56	0.78	1.67	0.64	21.54	0.22	0.51	87.99
河南省	42.52	23.44	123	2.50	0.70	1.82	0.48	19.37	0.22	0.21	89.44
黑龙江省	17.42	18.52	77	2.63	0.65	1.58	0.57	23.18	0.24	0.79	87.31
湖北省	34.20	19.67	115	2.38	0.65	1.57	0.55	18.48	0.20	0.39	85.57
湖南省	27.56	21.52	90	2.49	0.64	1.62	0.51	22.84	0.19	0.45	74.06
吉林省	18.81	17.18	74	2.55	0.68	1.79	0.64	20.77	0.21	0.96	81.32
江苏省	65.16	31.24	175	2.47	0.75	1.76	0.58	21.85	0.23	0.29	100.00
江西省	20.80	13.74	78	2.39	0.61	1.70	0.56	21.37	0.23	0.89	87.21
辽宁省	18.98	17.50	64	2.62	0.70	1.89	0.50	20.02	0.20	0.71	88.63
内蒙古自治区	18.63	15.25	56	2.46	0.71	1.75	0.54	18.99	0.22	1.09	92.33
宁夏回族自治区	20.98	14.57	57	2.56	0.68	1.81	0.44	17.72	0.18	2.24	87.39
青海省	13.45	12.59	39	2.69	0.66	1.85	0.37	21.76	0.19	1.14	83.86
山东省	45.92	25.25	128	2.45	0.68	1.57	0.63	28.16	0.27	1.58	100.00
山西省	25.11	13.61	65	2.70	0.68	2.00	0.46	19.03	0.21	0.22	85.10
陕西省	41.44	22.83	84	2.44	0.61	1.62	0.58	26.12	0.25	0.87	84.28
上海市	30.27	22.20	114	2.40	0.62	1.35	0.50	27.29	0.24	0.28	100.00
四川省	28.29	18.53	80	2.41	0.69	1.61	0.61	22.73	0.22	1.41	88.06
天津市	12.25	8.56	47	2.69	0.72	1.88	0.57	17.23	0.20	0.89	77.29
西藏自治区	3.06	1.63	11	2.36	0.67	1.73	0.47	18.29	0.21	0.44	73.62
新疆维吾尔自治区	10.15	4.87	30	2.68	0.70	1.68	0.54	14.45	0.18	1.03	64.44
云南省	10.39	5.98	41	2.48	0.74	1.71	0.60	15.20	0.19	0.45	82.65
浙江省	58.03	35.11	183	2.54	0.74	1.50	0.57	21.95	0.22	0.11	100.00
重庆市	16.19	12.76	57	2.33	0.63	1.50	0.57	28.89	0.22	0.35	83.79

较快、较强的方位省(市),具体计算见公式(6)。

$$\theta_{(k+1)-k} = n\pi/2 \times \arctg[(\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k)/(\text{long}_{k+1} - \text{long}_k)] \quad (6)$$

式中: $\theta_{(k+1)-k}$ 为 $k+1$ 年相对于 k 年的偏移角度; n 为调控参量,可取0、1、2,并规定正东方向为 0° ,正方向为逆时针方向。

(2)移动距离:重心的移动距离主要反映政策或污染重心点的变化幅度,可体现出变化的灵活性,见公式(7)。

$$d_{(k+1)-k} = C \times \sqrt{(\text{long}_{k+1} - \text{long}_k)^2 + (\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k)^2} \quad (7)$$

式中: $d_{(k+1)-k}$ 指 k 时间重心点到 $k+1$ 时间重心点的迁移距离; C 为常数,通常取值 $111.111 \text{ km} \cdot (\text{°})^{-1}$,表示由度数转化为距离长度的系数。

(3)与几何重心的距离:几何重心是地理属性在空间区域内平均分布时的理论重心,政策、污染的重心点坐标与几何重心坐标之间的距离反映了其不均衡程度,该距离越大表明空间不均衡性越强。

(4)一致性指标:该指标用于衡量两要素方向上的一致性。用要素间重心迁移路径角度差的余弦值

表5 各省(市)农村水污染强度描述性统计结果(kg·hm⁻²)Table 5 Descriptive statistical results of rural water pollution intensity for each province(municipality)(kg·hm⁻²)

省(市) Province	均值 Average	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value
安徽省	16.51	1.43	14.80	19.38
北京市	17.12	6.03	6.23	26.99
福建省	10.74	1.36	8.65	12.73
甘肃省	2.77	0.40	2.11	3.39
广东省	18.85	1.47	16.94	21.89
广西壮族自治区	10.62	0.75	9.15	11.99
贵州省	6.08	0.54	5.45	7.39
海南省	11.15	1.22	9.50	15.55
河北省	17.57	2.26	13.61	22.74
河南省	27.10	2.90	22.63	33.33
黑龙江省	2.62	0.17	2.32	2.90
湖北省	13.96	0.83	12.87	16.68
湖南省	15.64	1.15	14.08	18.16
吉林省	4.72	0.22	4.09	5.04
江苏省	29.76	3.02	26.75	39.15
江西省	13.06	0.70	11.84	14.90
辽宁省	11.47	0.65	10.45	12.40
内蒙古自治区	0.94	0.13	0.70	1.15
宁夏回族自治区	3.27	0.29	2.89	3.69
青海省	1.60	0.14	1.43	2.06
山东省	35.51	2.75	31.68	42.14
山西省	6.19	0.83	4.44	7.62
陕西省	3.46	0.37	3.03	4.32
上海市	43.66	4.56	35.17	53.95
四川省	6.84	0.41	6.22	7.85
天津市	27.42	3.33	22.79	34.11
西藏自治区	1.05	0.09	0.87	1.17
新疆维吾尔自治区	1.34	0.22	1.09	1.73
云南省	3.93	0.11	3.75	4.10
浙江省	11.64	1.57	9.75	14.84
重庆市	7.87	1.03	7.05	10.25

$[\cos(\Delta\theta)]$ 来衡量,该值为正意味着两要素在迁移方向上更为一致,反之则不一致。需要说明的是,因政策力度与污染强度是反向指标,所以不一致比例越大说明两指标越协调。

1.3 夏普利值分解法

与其他贡献度分析方法相比,夏普利值分解法既能考虑自变量之间的关联性,又能考虑其他变量的间接贡献,还可兼顾变量前后期大幅度变化的情况。由于各省(市)的水流是关联的,一个省(市)政策力度值的降低或农村水污染强度值的的增长势必会对周边造

成影响,所以各省(市)间的政策力度值或污染强度值是相关联的,并且受国家政策牵引,两指标在某些时间节点上可能出现较大变化幅度。因此,本文用夏普利值分解法计算各省(市)的贡献度。边际贡献的计算公式见公式(8)和公式(9),考虑到 n 个小区域排列位置的影响,经排列组合后的计算公式见(10)。

$$MC = \Delta\bar{X}(K) - \Delta\bar{X}(K \setminus \{i\}) \quad (8)$$

$$MC_i = \Delta\bar{X}(Pre^i(S) \cup \{i\}) - \Delta\bar{X}(Pre^i(S)) \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{aligned} C\bar{X} &= \frac{1}{n!} \sum_{S \in \Pi(n)} MC_i \\ &= \frac{1}{n!} \sum_{S \in \Pi(n)} [\Delta\bar{X}(Pre^i(S) \cup \{i\}) - \Delta\bar{X}(Pre^i(S))] \\ C\bar{Y} &= \frac{1}{n!} \sum_{S \in \Pi(n)} MC_i \\ &= \frac{1}{n!} \sum_{S \in \Pi(n)} [\Delta\bar{Y}(Pre^i(S) \cup \{i\}) - \Delta\bar{Y}(Pre^i(S))] \end{aligned} \right. \quad (10)$$

式中:区域 $K = \{1, 2, \dots, n\}$; MC 为第 i 个区域对整个区域 K 的边际贡献; S 为前 s 个小区域的某一种排列顺序; $Pre^i(S)$ 为区域 i 前面的区域集合; $\Pi(n)$ 为 n 个小区域的所有排列组合; $C\bar{X}$ 、 $C\bar{Y}$ 分别为 X 轴和 Y 轴方向上的贡献度。

1.4 面板格兰杰因果检验法

格兰杰因果检验用于检验变量 A 是否为另一变量 B 的原因,回归模型见公式(11)^[25]。

$$B_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} B_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} A_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

式中: i 为截面成员个数; t 为观测时期数; K 为变量 A 和 B 的最大滞后阶; α_i 和 ε_{it} 分别是常数项和随机项; $\gamma_i^{(k)}$ 和 $\beta_i^{(k)}$ 分别是自回归系数和回归系数。

若在包含了变量 A 、 B 的过去信息的条件下对 B 进行预测的效果要优于单独由 B 的过去信息对 B 进行预测的效果,即 A 有助于解释 B 的未来变化,则认为 A 是引致 B 的格兰杰原因。由此,两变量间存在4种检验关系:(1)无因果关系;(2)从 A 到 B 的单向因果关系;(3)从 B 到 A 的单向因果关系;(4)双向因果关系。

2 结果与讨论

2.1 重心迁移特征分析

全国范围内政策力度和污染强度的重心迁移路径图见图2。从政策力度重心迁移路径来看,其整体位于河南省界内,迁移方向可明显分为2004—2006、

2006—2009、2009—2017年和2017—2020年4个阶段,呈现“偏南-偏西-偏北-偏东”的移动轨迹。就污染强度而言,路径图位于安徽省的西北角,整体迁移幅度小于政策力度,方向上一直呈现南移的迁移轨迹。在某时间段内,若政策与污染同向移动,则污染增强的方向也是政策加强的方向,说明治理效果较差。由图2可知,整体上政策与污染变动趋势的关联性较弱,但在2009—2017年间两者呈现反向迁移,说明此阶段政策推力和污染推力来自相反方向,在一定程度上反映了政策规制的有效性。

对政策力度与污染强度各年移动方向、移动距离、与几何重心的平均距离以及两者一致性的计算结果见表6。在移动距离上,政策力度的离散性更强,其合计值约为污染强度的3倍,说明农村水环境政策出台的力在不同省(市)呈现出时间和空间上的较大差异,而污染强度的时空变化比较同步。从移动方向来看,污染强度的移动方向角在东南或西南范围的占比达到81.25%,说明污染整体向南迁移;相比之下,政策力度在各方向上占比均衡。在污染方位上,由图2可知两指标的路径线均位于几何重心的东南方向,即在空间上一致向东南方向倾斜,说明经济较为发达的东南部省份是农村水污染的聚集地,也是相关政策出台力度最大的区域,结合表6中与几何重心距离的结果——污染强度比政策力度更向东南方向倾斜,表明东南方向省(市)相关政策出台未能跟上污染迁移的步伐。从一致性指标 $\cos(\Delta\theta)$ 来看,两指标向相反方向迁移的比例为31.25%,表明在研究期的大部分时间内政策与污染不存在反向作用关系,即协调性较差,这与图2呈现的特征一致。因此,相关部门应根据不同阶段的污染特征以及污染治理成效,通过流域间、省际间协同配合,合理调整政策重心,改善政策工具与污染治理的时空耦合关系。

2.2 “政策-污染”关系分析

2.2.1 类型划分

利用夏普利值分解法可以确定各省(市)对迁移路径线的贡献百分比,结合各省所在地理位置,得到政策力度和污染强度在整个区域中对迁移方向的贡献,即时间维度上与往年相比、在空间维度上与其他省(市)相比两指标的增减情况^[26]。根据政策和污染两维度分别的增减量情况,得到反映“政策-污染”关系的4种类型,即“增长-降低”型、“降低-降低”型、“降低-增长”型、“增长-增长”型,具体见表7。

2.2.2 关系分析

根据上述类型划分方法,可确定各省(市)在研究期内各年的分类情况。分别统计各省(市)属于4种“政策-污染”类型的占比,通过对不同占比取值进行测算,发现以35%作为划分标准,可最大限度区分各类型省(市)。据此,对31个省(市)中的24个确定了所属的“政策-污染”类型,其余省(市)由于特征不明显未能划分到任何类型中。划分结果见表8。

为了分析政策与污染之间的因果关系,对各类型省(市)的数据进行格兰杰因果检验。首先,对政策力度和污染强度取自然对数,分别记为 $\ln PS$ 和 $\ln EI$,以消除数据间异方差的影响。然后,采用LLC检验、Fisher-ADF检验和Hadri LM检验对 $\ln PS$ 和 $\ln EI$ 进行单位根检验,判断其平稳性。结果显示,本文各序列均为稳定序列,能够使用原始数据进行格兰杰因果检验。最后,根据AIC、BIC和HQIC 3个统计量最小,来确定最优滞后阶数。格兰杰检验结果见表9。

从表9中可见,对于“增长-降低”型的省(市),污染对政策存在滞后2阶的单向因果关系,即污染强度的相对降低会导致政策力度的相对增加。污染强度值下降说明该类型省(市)在水污染治理上已经取得一定成效,然而我国环境治理处于负重前行阶段,政

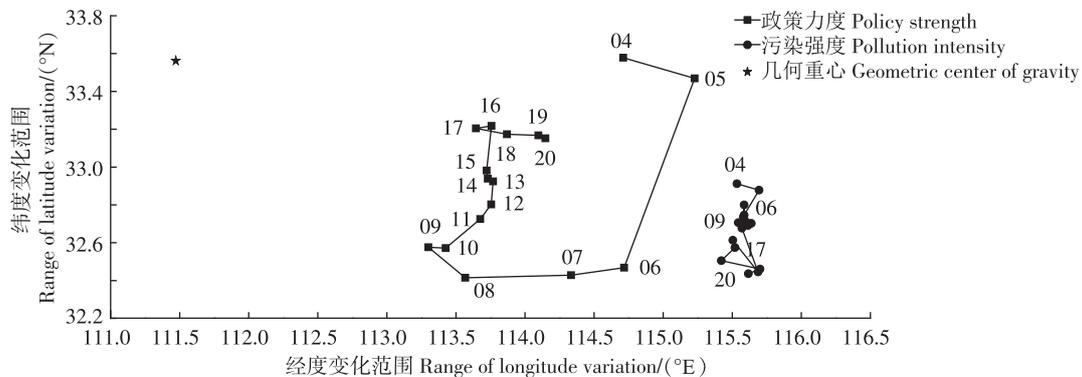


图2 政策力度与污染强度的重心迁移路径图

Figure 2 Gravity center migration paths of policy strength and pollution intensity

表6 政策力度与污染强度的移动距离与方向

Table 6 Moving distance and direction of policy strength and pollution intensity

项目 Item	政策力度 Policy strength				污染强度 Pollution intensity				一致性 Consistency [cos($\Delta\theta$)]
	经度/ Longitude/ (°E)	纬度/ Latitude/ (°N)	移动距离 Displacement distance/km	移动方向角 Moving direction angle/(°)	经度/ Longitude/ (°E)	纬度/ Latitude/ (°N)	移动距离 Displacement distance/km	移动方向角 Moving direction angle/(°)	
2004年	114.71	33.58	—	—	115.53	32.91	—	—	—
2005年	115.23	33.47	58.73	-11.97	115.69	32.88	18.14	-11.92	0.99
2006年	114.72	32.47	124.83	-117.03	115.59	32.75	18.92	-129.13	0.98
2007年	114.33	32.43	42.83	-174.14	115.59	32.80	6.01	-89.65	0.10
2008年	113.57	32.41	85.17	-178.94	115.58	32.74	7.15	-94.33	0.09
2009年	113.30	32.58	34.63	148.73	115.54	32.71	5.32	-140.95	0.34
2010年	113.43	32.57	13.87	-2.03	115.59	32.71	5.57	9.39	0.98
2011年	113.68	32.73	32.61	31.48	115.64	32.70	5.19	-15.81	0.68
2012年	113.75	32.80	12.31	44.38	115.61	32.69	3.00	-155.93	-0.94
2013年	113.77	32.92	13.60	83.43	115.62	32.70	1.27	70.51	0.97
2014年	113.73	32.94	4.57	159.27	115.57	32.68	5.95	-153.34	0.68
2015年	113.72	32.98	4.81	100.90	115.69	32.45	28.92	-63.13	-0.96
2016年	113.76	33.22	26.55	81.59	115.50	32.61	27.63	137.47	0.56
2017年	113.64	33.20	12.58	-173.51	115.52	32.57	4.67	-68.04	-0.27
2018年	113.87	33.17	25.16	-8.02	115.42	32.51	13.41	-144.95	-0.73
2019年	114.10	33.17	25.34	-1.47	115.70	32.46	31.47	-8.99	0.99
2020年	114.15	33.15	5.85	-17.10	115.62	32.44	9.75	-163.71	-0.83
合计	—	—	523.45	—	—	—	192.38	—	—
与几何重心的 平均距离/km			289.26				468.31		—

表7 “政策-污染”类型表

Table 7 Table of “policy-pollution” types

政策 Policy	污染 Pollution	
	相对增长 Relative growth	相对降低 Relative reduction
相对增长	“增长-增长”型	“增长-降低”型
相对降低	“降低-增长”型	“降低-降低”型

表8 24个省(市)分类结果

Table 8 Classification results of 24 provinces(municipalities)

类型 Type	省(市) Province
“增长-降低”型	上海、浙江、江西、四川、青海
“降低-降低”型	北京、广东、山西、河南、贵州、西藏、陕西
“降低-增长”型	天津、山东、海南、内蒙古、湖北、云南、新疆
“增长-增长”型	河北、江苏、广西、安徽、黑龙江

策力度仍在增加有其合理性。上海、浙江等东部省(市)早期经济快速发展导致水污染问题突出,虽然目前水污染治理成效显著,但未来仍面临河湖富营养化、多元复合水污染等治理难题,并且在污染消减到一定程度后,其对处理技术和成本控制提出了更高的要求。因此,未来政策增长应着重针对农村水环境治

理顽疾,加强技术和经济类政策工具使用,形成支持技术创新和新技术推广与应用的政策环境。相比之下,该类型中江西、四川、青海等西部省(市)政策增长的动因主要在于,借鉴了东部发达省(市)农村环境治理的经验,更具前瞻性和预防性地出台了相关政策,尤其是在秸秆综合治理方面,这对于避免走“先污染后治理”的老路是尤为必要的。

对于“降低-降低”型的省(市),污染对政策存在滞后1阶的单向因果关系,即污染强度降低是导致政策力度降低的原因。虽然该类型中污染和政策同向变动,但就具体的污染指标而言,两者的变动程度并不协调,说明在具体的污染治理维度上存在政策关注失衡现象。这一现象在水产养殖污染和化肥施用污染上表现最为突出,即污染下降有限,但对应的政策力度却大幅下降。一方面由于该类型中大多数省(市)地处内陆,水产养殖往往不是水体污染的主要来源,因此在政策上重视程度相对较低;另一方面,多数省(市)以山地、丘陵为主要地形,地面高差导致农田化肥等污染物易发生径流流失,加剧河湖富营养化问题。因此,未来政策应根据当地产业、地形等特点,对

表9 面板格兰杰因果检验
Table 9 Panel Granger causality test

类型 Type	原假设 Null hypothesis	最优滞后期 Optimal lag period	F值 F-value	P值 P-value	结论 Conclusion
“增长-降低”型	lnPS不是lnEI的格兰杰原因	2	0.608 9	0.542 6	接受
	lnEI不是lnPS的格兰杰原因		2.538 6	0.011 1	拒绝
“降低-降低”型	lnPS不是lnEI的格兰杰原因	1	-0.156 5	0.875 6	接受
	lnEI不是lnPS的格兰杰原因		3.615 2	0.000 3	拒绝
“降低-增长”型	lnPS不是lnEI的格兰杰原因	1	0.001 8	0.998 5	接受
	lnEI不是lnPS的格兰杰原因		-1.019 5	0.308 0	接受
“增长-增长”型	lnPS不是lnEI的格兰杰原因	1	0.127 0	0.898 9	接受
	lnEI不是lnPS的格兰杰原因		-0.513 0	0.608 0	接受

污染下降有限的维度精准化、属地化地制定相关政策。例如,积极鼓励和引导分散型水产养殖户参与水环境保护行动、根据地形地貌建立化肥施用制度、合理规划和兴建水土保持工程等。

此外,在1%置信水平下,“降低-增长”型和“增长-增长”型下的lnPS和lnEI之间均不存在格兰杰因果关系,即整体而言,污染增长与政策力度降低或增长没有因果关系。相较于“污染降低”类省(市),“污染增长”类省(市)的污染治理思路和方法与当地的适配度较差,政策和污染的关系处于相对无序状态,即两者存在脱钩。“政策增长”情况下的脱钩可能与政策执行不利有关。“政策降低”情况下的脱钩表明污染的增长很可能是由非政策力度原因导致的,如政策内容与当地水污染情况适配性差等。

3 结论

(1)总体来说,政策与污染的重心均位于我国东南方向,政策呈现出“偏南-偏西-偏北-偏东”的迁移轨迹,变化幅度较大,离散性较强,而污染强度整体向南迁移,且与政策相比更向东南方向倾斜,变化幅度较小。

(2)“增长-降低”型包括上海、浙江、江西、四川、青海等5个省(市),在该类型中滞后2期的污染降低是政策增长的格兰杰原因。上海、浙江等东部省(市)未来需要重点针对农村水污染顽疾问题,加强技术和经济类政策工具使用,突破技术瓶颈;而对于江西、四川、青海等西部省(市)借鉴发达省(市)经验,前瞻性和预防性制定政策是关键。

(3)“降低-降低”型省(市)包括北京、广东、山西、河南、贵州、西藏、陕西7个省(市),该类型下滞后1期的污染降低是政策降低的格兰杰原因。在具体污染指标上存在政策关注失衡现象,在水产养殖污染和农田化肥施用污染上该现象最为突出,应充分考虑

当地特点,针对突出污染问题精准化制定相关政策。

(4)“降低-增长”型和“增长-增长”型省(市)的政策与污染之间不存在格兰杰因果关系。“污染增长”的情况下政策与污染脱钩,这很可能与政策执行、环境因素等政策制定力度之外的因素影响有关。

参考文献:

- [1] 姚婧, 杨丽君, 肖宇婷, 等. 基于社会-经济因子修正的沱江流域农业面源总磷污染负荷时空演变研究[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(5): 1022-1035. YAO J, YANG L J, XIAO Y T, et al. Spatial-temporal evolution of agricultural non-point sources of total phosphorus pollution loads in Tuojiang River watershed based on correction of social-economic factors[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(5): 1022-1035.
- [2] 陆杉, 唐佳欣, 熊娇. 财政分权与农业面源污染: 空间溢出与门槛特征[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2022, 28(6): 67-77. LU S, TANG J X, XIONG J. Fiscal decentralization and agricultural non-point source pollution: spatial spillover and threshold characteristics[J]. *Journal of Central South University(Social Sciences)*, 2022, 28(6): 67-77.
- [3] 周志波. 环境税规制农业面源污染的实验经济学研究: 基于重庆市北碚区、合川区8个乡镇的样本[J]. 贵州财经大学学报, 2023(1): 70-80. ZHOU Z B. Experimental economics study on regulation of agricultural non-point source pollution by environmental tax: based on the samples of 8 townships in Beibei and Hechuan district of Chongqing[J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics*, 2023(1): 70-80.
- [4] 刘某承, 白云霄, 杨伦, 等. 生态补偿标准对农户生产行为的影响: 以云南省红河县哈尼稻作梯田为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(9): 1339-1349. LIU M C, BAI Y X, YANG L, et al. Impacts of eco-compensation on the farmers' production behavior of Hani Rice Terraces in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(9): 1339-1349.
- [5] 马鹏超, 朱玉春. 农户参与河长制治理意愿的影响机制研究: 群体认同与干群互动[J]. 华中科技大学学报(社会科学版), 2020, 34(6): 80-91. MA P C, ZHU Y C. Research on the influencing mechanism of farmers' willingness to participate in river chief system governance: group identification and cadres-masses interaction[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology(Social Science Edition)*

- tion), 2020, 34(6):80-91.
- [6] 华春林, 张玖弘, 金书秦. 基于文本量化的中国农业面源污染治理政策演进特征分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(7):1385-1398. HUA C L, ZHANG J H, JIN S Q. Analysis to evolution characteristics of policies for controlling agricultural non-point source pollution in China: based on text quantification[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(7):1385-1398.
- [7] 陈秋红, 张园园. 中国畜牧业碳减排政策演进: 基于452份政策文本的分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1):10-23. CHEN Q H, ZHANG Y Y. Evolution of carbon reduction policies for animal husbandry: an analysis based on 452 policies[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University(Social Sciences Edition)*, 2022(1):10-23.
- [8] 刘婷, 徐鹤. 双重差分模型在政策环境评价中的应用研究: 以农业支持保护补贴政策为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(6):1838-1844. LIU T, XU H. Application of difference-in-differences model in policy-based strategic environmental assessment: taking policy for agricultural support and protection subsidy as an example[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12(6):1838-1844.
- [9] LU H, XIE H L. Impact of changes in labor resources and transfers of land use rights on agricultural non-point source pollution in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 207:134-140.
- [10] 张可, 马成文, 丰景春, 等. 基于离散灰色模型的农村水环境政策减排效应及其空间分异性研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(5):157-166. ZHANG K, MA C W, FENG J C, et al. Emission reduction effects and its spatial heterogeneity of rural water environmental policy based on discrete grey model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(5):157-166.
- [11] LI X, WANG J M, ZHANG M, et al. Regional differences in carbon emission of China's industries and its decomposition effects[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 270:122528.
- [12] 王成新, 窦旺胜, 程钰, 等. 快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究[J]. 地理科学, 2020, 40(9):1513-1521. WANG C X, DOU W S, CHENG Y, et al. Spatial expansion and driving force of Jinan City in the stage of rapid urbanization[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(9):1513-1521.
- [13] 闫东升, 孙伟, 王玥, 等. 长江三角洲人口分布演变、偏移增长及影响因素[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12):2068-2082. YAN D S, SUN W, WANG Y, et al. Change in distribution and growth shifts of population in the Yangtze River Delta and influencing factors[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(12):2068-2082.
- [14] 李兰兰, 徐婷婷, 李方一, 等. 中国居民天然气消费重心迁移路径及增长动因分解[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4):606-619. LI L L, XU T T, LI F Y, et al. Gravity center evolution paths and growth factor decomposition of residential natural gas consumption in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(4):606-619.
- [15] ZHANG X, GENG Y, TONG Y W, et al. Spatial characteristics and its driving factors of low-carbon energy technology innovation in China: a gravity movement and exploratory spatial data analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 295:126481.
- [16] 彭纪生, 仲为国, 孙文祥. 政策测量、政策协同演变与经济绩效: 基于创新政策的实证研究[J]. 管理世界, 2008(9):25-36. PENG J S, ZHONG W G, SUN W X. Policy measurement, policy synergy evolution and economic performance: an empirical study based on innovation policy[J]. *Journal of Management World*, 2008(9):25-36.
- [17] 张涛, 马海群. 基于政策文本计算的开放数据与数据安全政策协同研究[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(6):149-155. ZHANG T, MA H Q. Collaborative research on open data and data security policy based on policy text computing[J]. *Information Studies: Theory & Application*, 2020, 43(6):149-155.
- [18] 熊昭昭, 王书月, 童雨, 等. 江西省农业面源污染时空特征及污染风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(12):2821-2828. XIONG Z Z, WANG S Y, TONG Y, et al. Analysis on spatio-temporal characteristics of agricultural non-point sources pollution and pollution risk in Jiangxi Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(12):2821-2828.
- [19] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004(9):1184-1187. LAI S Y, DU P F, CHEN J N. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis[J]. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)*, 2004(9):1184-1187.
- [20] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 2006, 26(6):751-755. CHEN M P, CHEN J N, LAI S Y. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(6):751-755.
- [21] 潘丹, 唐静, 杨佳庆, 等. 1978—2018年中国农村环境管理政策演进特征: 基于206份政策文本的量化分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(6):210-222. PAN D, TANG J, YANG J Q, et al. Evolution of rural environmental management policies from 1978 to 2018: based on 206 policy documents quantification[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(6):210-222.
- [22] 崔艳智, 贾小梅, 黄亚捷, 等. 农村黑臭水体治理现状、问题及对策建议[J]. 中国环境管理, 2022, 14(3):54-59. CUI Y Z, JIA X M, HUANG Y J, et al. Current conditions, issues, and solutions for foul-smelling water bodies in rural locations[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2022, 14(3):54-59.
- [23] 冯青郁, 陈利顶, 杨磊. 农业政策环境扩展模型在我国农业面源污染研究中的应用[J]. 生态学报, 2022, 42(5):1665-1678. FENG Q Y, CHEN L D, YANG L. Review on the potential of applying the APEX model for non-point source pollution in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(5):1665-1678.
- [24] 梁流涛. 中国农业面源污染问题研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2013. LIANG L T. Research on agricultural non-point source pollution in China[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2013.
- [25] GRANGER C. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods[J]. *Econometrica*, 1969, 37(3):424-438.
- [26] 叶明确. 系统重心迁移的贡献度分解方法[J]. 系统管理学报, 2012, 21(4):559-563. YE M Q. Contribution decomposition approach to a system's gravity movement[J]. *Journal of Systems & Management*, 2012, 21(4):559-563.

(责任编辑:李丹)