

黄河流域河南段排污产业集聚与水污染耦合协调研究

焦士兴¹, 王雅思¹, 夏楚¹, 王安周², 李中轩³, 赵荣钦⁴, 林璐霜¹

(1. 安阳师范学院 资源环境与旅游学院, 河南 安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学, 河南 洛阳 471000; 3. 许昌学院 城市与环境学院, 河南 许昌 461000; 4. 华北水利水电大学 测绘与地理信息学院, 河南 郑州 450046)

摘要: 为加强黄河流域河南段排污产业集聚对水污染的影响研究, 在构建排污产业集聚和水污染系统三级评价指标体系基础上, 采用耦合协调发展等模型, 综合分析了排污产业集聚、水污染以及二者的耦合协调发展水平和相对发展类型。结果表明: 黄河流域河南段 8 个市排污产业集聚程度差异明显且整体偏低, 但年均增长率显著不同; 水污染综合评价指数呈波动变化, 区域差异明显; 黄河流域河南段 8 个市排污产业集聚与水污染的耦合协调发展在 2008、2012、2015 和 2017 年均处于拮抗与磨合并存阶段, 2020 年则转化为拮抗阶段; 相对发展类型由 2008 年的 I、II、III、V 4 种类型向 2020 年的 I、II、III 3 种类型转化。研究结果能较好地反映黄河流域河南段排污产业集聚与水污染的耦合协调关系。基于此, 应推进现代化产业结构升级, 大力实施区域水污染排放总量控制, 坚决关停重污染企业, 推动经济高质量发展, 逐步实现资源节约型、环境友好型社会目标。

关键词: 排污产业集聚; 水污染; 耦合协调; 相对发展度; 黄河流域

中图分类号: X52; F127

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2023)02-0009-08

Industrial agglomeration and water pollution in Henan section of the Yellow River Basin

JIAO Shixing¹, WANG Yasi¹, XIA Chu¹, WANG Anzhou², LI Zhongxuan³, ZHAO Rongqin⁴, LIN Lushuang¹

(1. School of Resources Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, China; 2. Luoyang 19th High School, Luoyang 471000, China; 3. College of Urban and Environmental Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China; 4. College of Surveying and Geo-informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Based on the construction of a three-level index evaluation system of industrial agglomeration and water pollution, models such as coupling coordination were adopted to analyze industrial agglomeration, water pollution, and the development level of coupled coordination between these two aspects and types of relative development in order to strengthen the study of the impact of industrial agglomeration on the water pollution in Henan section of the Yellow River Basin. The results show that the degree of industrial agglomeration of the eight cities in the section is significantly differentiated and generally low, but the average annual growth rate is varied greatly. The comprehensive evaluation index of the water pollution is fluctuating with significant regional differences. The coupling coordination development of industrial agglomeration and water pollution is the coexistence of the antagonistic stage and the running in stage in 2018, 2012, 2015 and 2017, and transformed to the antagonistic stage in 2020. In addition, the relative development types transferred from four types (type I, II, III and V) in 2008 to three types (type I, II and III) in 2020. The research results can correctly reflect the coupling coordination between the industrial agglomeration and water pollution in Henan section of the Yellow River Basin. For the promotion of high-quality economic development and the achievement of the strategic objectives of "building a resource-saving and environment-friendly society", it is suggested that the modern industrial structure

收稿日期: 2022-09-25; 修回日期: 2023-01-04

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(21A170001); 安阳市 2020 年科技发展计划项目(101); 安阳师范学院大学生创新基金项目(202210479071)

作者简介: 焦士兴(1970—), 男, 河南周口人, 教授, 主要从事水资源和水环境研究。

should be upgraded, the total control of regional water pollution emissions should be implemented, and the enterprises producing heavy pollution should be shut down.

Key words: industrial agglomeration; water pollution; coupling coordination; relative development degree; the Yellow River Basin

1 研究背景

产业集聚对区域经济发展具有重要的促进作用^[1],是具有显著特色的经济组织形式。但产业集聚促使企业规模扩张和能耗增加,造成流域水污染加剧^[2];水污染又反向抑制产业集聚水平提升,因此二者存在着双向作用^[3]。

产业集聚与水污染关系研究是当前热点领域^[4],二者关系复杂,实质是产业集聚发展的环境外部性问题^[5]。2003年, Ren等^[6]研究了上海市土地利用与水质的关系,认为产业集聚导致土地过度开发并引起水质下降;2009年, Zeng等^[7]构建了空间经济增长模型,以两个国家和两个部门为例研究了产业集聚与水污染的关系,认为制造业集聚有利于减小“环境避难所”效应;2015年, Pandey等^[8]研究了印度工业用地与水污染的关系,表明工业用地扩张导致水质恶化。国内对该问题的研究集中于正负效应、空间耦合等方面,卢越^[9]认为海河流域污染产业集聚不利于水环境改善;王艳华等^[10]认为废水污染型产业的专业化集聚有利于发挥治污的规模效应,从而降低水污染强度;黄璨等^[11]研究表明产业集聚与水污染仅存在单向格兰杰因果关系(Granger causality);高爽等^[12]认为水污染与制造业集聚的空间关联性存在行业和地域差异,其中与纺织等行业的空间关联性较为显著;于慧等^[13]、张姗姗等^[14]认为排污企业集聚与水污染具有较强的正向空间耦合关系,制造业集聚会造成水环境污染。

综上,国内外产业集聚与水污染的研究主要集中于相互关系、空间关联性等方面^[9-14],鲜有探讨二者之间的耦合协调关系^[13]。黄河流域是我国重要的经济地带,经济的发展促成产业集聚,产业集聚又加剧了流域水污染,尤其是排污工业企业集聚^[15]。河南省作为农业大省以及中原经济区核心区域,水资源需求量大且供需矛盾突出^[16]。研究黄河流域河南段的排污产业集聚对水污染的影响,有助于优化产业布局和促进水环境治理保护,从而推动黄河流域生态保护和高质量发展。基于此,采用耦合协调发展等模型,在综合分析排污产业集聚、水污染基础上,分析了二者的耦合协调发展水平和相对发展类型,从而为实现其耦合协调发展提供

决策参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

黄河自陕西省渭南市潼关县流入河南省境内,依次流经三门峡、洛阳、济源、焦作、郑州、新乡、开封、濮阳8个市,是中下游流域中唯一同时具有中游、下游双重属性的流域段,面临着经济发展和水污染的双重压力。20世纪80年代黄河两岸布局的化工厂、造纸厂等造成了流域的严重污染,尤其是近年来产业集聚、人类活动等原因,导致黄河流域河南段已经成为高耗能、高污染企业较为集中的区域之一^[17]。黄河流域河南段2020年总人口约为 $3\,986 \times 10^4$,占河南省总人口的41.07%;2020年GDP总量约为 $28\,445.2 \times 10^8$ 元,占河南省比重为51.72%,黄河流域河南段作为关键的经济带和文化带,在黄河国家战略中具有重要的地位^[18]。

2.2 数据来源

研究数据来源于《河南统计年鉴》(2009—2021年),包括排污产业集聚、水污染两个指标层以及食品、纺织行业等6个系统层,涉及饮料酒产量、塑料制品产量、粗钢产量、化肥施用折纯量、人均日生活用水量、固定资产投资等17项具体指标,缺失数据采用均值法进行插补。

2.3 研究方法

2.3.1 指标体系构建 污染物排放超标是水质恶化的主要原因,排污产业集聚与水污染关系密切。工业污染主要集中于食品、饮料、造纸等少数污染密集型行业^[19],污染源为直接排入河道的工业废水,考虑黄河流域河南段8市的资源禀赋、产业基础等^[20],确定食品、纺织等6类行业中饮料酒产量等10个指标计算排污产业集聚评价指数。水污染按照来源分为农业、工业和生活水污染,其中农业污染是水体富营养化的重要原因,污染源为化肥污染等^[21-22];工业污染物排放超标是水质下降的主要原因,涉及工业废水排放总量等指标^[23];生活污水主要与人口密度、生活用水量有关,故选取化肥施用折纯量等7个指标来计算水污染评价指数。基于此,在遵循科学性、系统性、普遍性与可行性等原则基础上,结合相关研究构建了排污产业集聚和水污染两

个系统的三级指标评价体系。排污产业集聚和水污染指标评价体系如表 1 所示。采用 SPSS17.0 的双变量 Spearman 相关性分析,对评价指标之间可能存在的共线性和内生性问题进行检验。结果表明,不同年份的评价指标均能通过共线性检验,因此指标构建及选取较为合理。

表 1 黄河流域河南段排污产业集聚和水污染指标评价体系

目标层	系统层	指标层	指标单位	指标功效	权重
排污产业集聚	食品、纺织行业	饮料酒产量	10 ³ L	-	0.099
		畜肉制品产量	t	-	0.098
		纱产量	10 ⁴ t	-	0.097
	能源、化工行业	原煤产量	10 ⁴ t	-	0.092
		塑料制品产量	10 ⁴ t	-	0.105
		农用化肥折纯量产量	10 ⁴ t	-	0.094
	冶金、造纸行业	原铝产量	10 ⁴ t	-	0.090
		粗钢产量	10 ⁴ t	-	0.104
		10 种有色金属产量	10 ⁴ t	-	0.113
		机制纸及纸板产量	10 ⁴ t	-	0.108
水污染	农业水污染	化肥施用折纯量	t	-	0.028
		节水灌溉机械	套	+	0.329
		畜禽养殖头数	10 ⁴	-	0.087
	工业水污染	工业废水排放总量	10 ⁴ t	-	0.028
		固定资产投资	10 ⁸ 元	+	0.207
生活水污染	人口密度	人/km ²	-	0.244	
	人均日生活用水量	L	-	0.077	

注:为利于排污产业集聚和水污染系统耦合协调分析,指标功效均采用负向指标计算(节水灌溉机械、固定资产投资除外);畜禽养殖采用猪当量计算,计算公式见参考文献[21]。

2.3.2 熵值法计算权重 熵值法是根据指标数量值对系统的影响来确定权重。权重是以系统整体最优化作为出发点,权衡各指标在评价系统中的作用和贡献,权重越大表明在构建体系中的作用越大,反之则越小。熵值法权重计算方法如下:

$$D_{ij} = M'_{ij} / \sum_{i=1}^n M'_{ij} \quad (1)$$

$$S_j = -k \sum_{j=1}^m D_{ij} \ln D_{ij} \quad (2)$$

$$P_j = 1 - S_j \quad (3)$$

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^m P_j \quad (4)$$

式中: D_{ij} 为*i*城市第*j*项指标的比重; S_j 、 P_j 分别为第*j*项指标熵值、差异系数; W_j 为指标权重; M'_{ij} 为指标标准化数值; $k = 1/\ln n$; n 、 m 分别为城市数量、指标数量。

2.3.3 综合评价模型 综合评价可反映排污产业集聚和水污染的整体水平。依据指标标准化处理值^[22]及其权重,测算排污产业集聚与水污染系统综合评价指数,计算方法如下:

$$U = \sum_{j=1}^n (W_j \cdot M'_{ij}) \quad (5)$$

式中: U 为综合评价指数, W_j 、 M'_{ij} 含义同上。

2.3.4 耦合协调发展模型 耦合协调发展模型反映了排污产业集聚与水污染的协调发展关系,耦合协调度可以更精准地反映两个系统的整体协同效应。为研究排污产业集聚与水污染的相对发展状况,引入相对发展度^[24]。耦合协调度和相对发展度的计算方法如下:

$$C = \{U_1 \cdot U_2 / [(U_1 + U_2) / 2]^2\}^y \quad (6)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (7)$$

$$D = (C \cdot T)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$E = U_1 / U_2 \quad (9)$$

式中: C 为耦合度; T 为排污产业集聚与水污染总的综合评价指数,反映了二者的协同效应; D 、 E 分别为排污产业集聚与水污染之间的耦合协调度、相对发展度。 U_1 、 U_2 分别为排污产业集聚、水污染的综合评价指数; y 为调节系数,因有两个系统,故 $y = 2$; α 、 β 为特殊贡献权重,取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

参考耦合协调度及相对发展度研究成果,确定产业集聚与水污染耦合协调发展类型及特征^[25],如表 2 所示。

3 结果与分析

3.1 排污产业集聚综合评价

为确定研究期内黄河流域河南段 8 个市排污产业集聚状况,采用综合评价模型得到综合评价指数,结果见图 1。

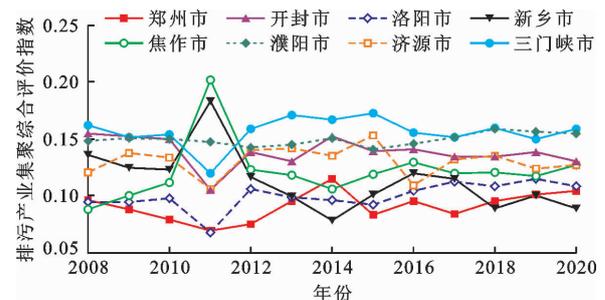


图 1 2008—2020 年黄河流域河南段 8 个市排污产业集聚综合评价指数

由图 1 可见,黄河流域河南段 8 个市排污产业集聚差异明显,年均综合评价指数排序为郑州市

(0.091) < 洛阳市(0.100) < 新乡市(0.113) < 焦作市(0.122) < 济源市(0.130) < 开封市(0.138) < 濮阳市(0.149) < 三门峡市(0.156)。郑州市的排污产业集聚程度最高,这是由于丰富的自然资源、便利的交通为产业发展提供了优越条件,且通过多项措施不断优化经济发展环境,促进了产业集聚区的发展;三门峡市污染性产业集聚程度最低,原因在于该市矿产资源日渐枯竭导致产业集聚基础薄弱,环境可持续竞争指数偏低^[26]。黄河流域河南段8个市排污产业集聚综合评价指数整体偏低,原因在于区域以传统产业为主,产业创新能力相对薄弱。

黄河流域河南段8个市排污产业集聚综合评价

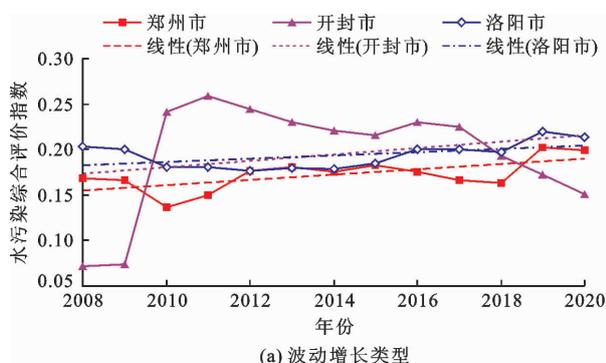
指数年均增长率显著不同。相邻年份增长率平均值排序为新乡市(4.5%) > 焦作市(2.6%) > 济源市(1.6%) > 开封市(1.5%) > 洛阳市(0.8%) > 三门峡市(0.5%) > 郑州市(0.1%) > 濮阳市(-0.2%)。郑州等7个市排污产业集聚综合评价指数呈增长态势,濮阳市则呈下降态势。其中新乡市增长幅度最大,排污产业集聚程度降低,这与以制造业为传统支柱产业、创新能力不足以及有待改造升级等有关^[27];濮阳市则呈现负增长,排污产业集聚程度逐渐增大,归因于濮阳市作为资源型城市,石油产业仍然是全市的支柱产业,且化工产业发展迅速等^[28];其余6个市则介于新乡市和濮阳市之间。

表2 排污产业集聚与水污染耦合协调类型与阶段划分

耦合协调度 D	相对发展度 E	类型	耦合协调发展特征	耦合协调发展阶段
$D < 0.4$	$0 < E \leq 0.8$	I	产业集聚滞后于水污染,系统趋于退化	拮抗
	$0.8 < E \leq 1.2$	II	产业集聚同步于水污染,系统趋于优化	
	$E > 1.2$	III	产业集聚超前于水污染,系统趋于退化	
$0.4 \leq D < 0.6$	$0 < E \leq 0.8$	IV	产业集聚滞后于水污染,系统趋于退化	磨合
	$0.8 < E \leq 1.2$	V	产业集聚同步于水污染,系统趋于优化	
	$E > 1.2$	VI	产业集聚超前于水污染,系统趋于退化	
$0.6 \leq D < 1$	$0 < E \leq 0.8$	VII	产业集聚滞后于水污染,系统趋于退化	协调
	$0.8 < E \leq 1.2$	VIII	产业集聚同步于水污染,系统趋于优化	
	$E > 1.2$	IX	产业集聚超前于水污染,系统趋于退化	

3.2 水污染综合评价

根据综合评价模型,计算得到2008—2020年黄河流域河南段8个市水污染综合评价指数及其变化趋势,并将其分为波动增长和波动下降两类,结果见图2。



由图2可见,2008—2020年黄河流域河南段8个市水污染综合评价指数呈波动变化,其中,郑州、洛阳、开封3个市呈波动增长态势(图2(a));焦作、三门峡、新乡、济源、濮阳5个市呈波动下降态势(图2(b))。

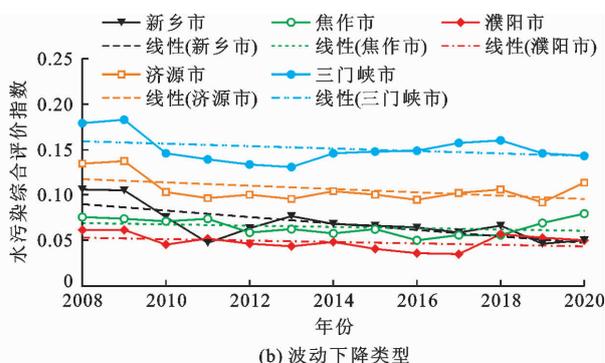


图2 2008—2020年黄河流域河南段8个市水污染综合评价指数及其变化趋势

开封市水污染综合评价指数增长幅度最大,由2008年的0.071增长到2020年的0.151,原因在于期间开封市实施了水污染防治攻坚方案,排查整治

了有色金属、造纸等行业,推进了企业清洁化生产、开展了重点流域综合整治,水污染治理效果显著。新乡水污染综合评价指数下降幅度最大,由2008年

的0.106下降到2020年的0.050,水污染的严重性进一步加剧,原因在于该市污水处理技术和设施相对落后,工业废水排放不达标。2011年我国颁布了环境保护“十二五”规划,郑州、洛阳、开封3个市加强了重点区域水污染防治,有效控制了污染程度的加剧;其余5个市工矿企业结构单一、技术较落后,产生了大量污水、废水并不断渗入地下水。

2008—2020年黄河流域河南段8个市水污染综合评价指数区域差异明显。年均值排序为开封市(0.194) > 洛阳市(0.193) > 郑州市(0.173) > 三门峡市(0.151) > 济源市(0.106) > 新乡市(0.069) > 焦作市(0.065) > 濮阳市(0.048)。开封市实施的“一渠六河”连通治理工程,尤其是地表水专项治理措施明显改善了水环境,使水污染综合评价指数处于较高水平;濮阳市水污染综合评价指数最小,主要原因是该市依靠石化工业发展、节水治污资金不足、污水处理能力偏低,从而加剧了水环境污染。郑州、

洛阳、三门峡、开封和济源等5个市水污染综合评价指数平均值均大于0.1,原因在于城市水污染治理技术及政策体制逐渐成熟,水环境逐渐得到改善;新乡、焦作、濮阳3个市水污染综合评价指数平均值则小于0.1,原因在于污水处理技术不够成熟,致使大量处理不达标的生活污水和工业废水被直接排放。

3.3 耦合协调度及相对发展度分析

基于2008—2020年黄河流域河南段8个市排污产业集聚与水污染综合评价,运用公式(6)~(9)计算耦合协调度 D 值和相对发展度 E 值,再依据表2进行类型划分并分析其协调发展关系,结果如表3所示。表3中2008—2020年期间时间分界点为2012、2015、2017年,原因在于2012年是我国进入经济新常态的起始之年,2015年开始实施了《中华人民共和国环境保护法》,2017年中国共产党第十九次全国代表大会首次提出了实现经济高质量发展的理念。

表3 2008—2020年黄河流域河南段8个市排污产业集聚与水污染耦合协调度 D 和相对发展度 E 及其类型划分

城市	2008年			2012年			2015年			2017年			2020年		
	D 值	E 值	类型												
郑州	0.3564	0.5690	I	0.3393	0.4250	I	0.3504	0.4540	I	0.3438	0.5040	I	0.3798	0.5253	I
开封	0.3239	2.1691	III	0.4289	0.5666	IV	0.4160	0.6460	IV	0.4166	0.5964	IV	0.3743	0.8643	II
洛阳	0.3723	0.4652	I	0.3701	0.6010	I	0.3611	0.4991	I	0.3873	0.5612	I	0.3897	0.5055	I
新乡	0.3470	1.2802	III	0.2933	1.8328	III	0.2863	1.5132	III	0.2861	1.9728	III	0.2579	1.7850	III
焦作	0.2856	1.1724	II	0.2908	2.1013	III	0.2930	1.9049	III	0.2858	2.1477	III	0.3176	1.5962	III
濮阳	0.3087	2.4145	III	0.2854	3.0587	III	0.2746	3.4986	III	0.2701	4.3037	III	0.2963	3.1099	III
三门峡	0.4131	0.9062	V	0.3815	1.1848	III	0.3998	1.1642	III	0.3929	0.9625	II	0.3886	1.1096	II
济源	0.3567	0.8918	II	0.3442	1.4021	III	0.3523	1.5234	III	0.3409	1.2946	III	0.3467	1.1147	II

3.3.1 耦合协调度分析 由表3可见,黄河流域河南段8个市排污产业集聚与水污染的耦合协调度在2008、2012、2015和2017年均处于拮抗与磨合并存阶段,2020年则转化为拮抗阶段。

2008年,除三门峡市排污产业集聚与水污染的耦合协调度为磨合并存阶段之外,其余7个市均处于拮抗阶段,其中,三门峡市耦合协调度最大($D = 0.4131$),表明三门峡市在排污产业方面监察力度较大,水污染问题得到了综合整治;焦作市耦合协调度最小($D = 0.2856$),2008年焦作市排污产业集聚综合评价值为0.088、水污染综合评价值为0.075,排污企业有增加趋势,同时造成水污染进一步加剧。郑州等其余6个市耦合协调度值在0.3087~0.3723之间波动,表明排污产业过度集聚,其污染效应超过

环境承载力,从而引发了水环境污染^[13]。总之,2008年黄河流域河南段8个市耦合协调度介于0.2856~0.4131之间,均值为0.3455。

2012年,除开封市排污产业集聚与水污染的耦合协调度处于磨合并存阶段之外,其余7个市均处于拮抗阶段。相比2008年,开封市耦合协调度值增长幅度最大,表明开封市在推进治理排污产业集聚区的同时,注重水污染改善;三门峡市耦合协调度下降幅度最大,排污产业集聚较2008年有缓慢增长趋势,水环境有待改善。郑州等其余6个市耦合协调度值变化相对稳定,主要在于2011年《国家环境保护“十二五”规划》刚刚颁布,排污产业集聚仍处于开放发展阶段,水污染治理效果不明显。总之,2008年黄河流域河南段8个市耦合协调度介于0.2854~0.4289之间,均

值为0.3417。

2015、2017年除开封市排污产业集聚与水污染的耦合协调发展处于磨合阶段之外,其余7个市均处于拮抗阶段。三门峡市和开封市耦合协调度较2012年变化幅度较大,其中三门峡市有所下降,原因在于排污产业集聚的同时水污染程度有所增加(图1、2);开封市则有所增加,原因在于注重减少排污产业集聚的同时,水污染程度得到了有效控制。在《国家环境保护“十二五”规划》和《中华人民共和国环境保护法》的双重作用下,郑州等其余6个市耦合协调度基本保持稳定,耦合协调水平不断向良性方向发展。总之,2015、2017年黄河流域河南段8个市耦合协调度介于0.2701~0.4166之间,均值为0.3411。

2020年郑州等8个市均处于拮抗阶段。其中,郑州、洛阳、焦作、濮阳和济源5个市的耦合协调度值一直处于波动上升状态,耦合协调水平向良性发展;开封、新乡和三门峡3个市耦合协调度值呈波动下降阶段,在产业集聚区快速发展下,水污染综合评价均值由2017年的0.147减小为2019年的0.115,水污染状况有所加剧。总之,2020年黄河流域河南段8个市耦合协调度介于0.2579~0.3897之间,均值为0.3439。

3.3.2 相对发展度分析 由表3可见,郑州等8个市排污产业集聚与水污染的相对发展类型在2008、2017年存在4种类型,2012、2015、2020年存在3种类型(表3)。开封市由Ⅲ类型(2008年)向Ⅳ类型(2012年)、Ⅱ类型(2020年)转化;焦作市由Ⅱ类型(2008年)向Ⅲ类型(2012年)转化;三门峡市由Ⅴ类型(2008年)向Ⅲ类型(2012年)、Ⅱ类型(2017年)转化;济源市由Ⅱ类型(2008年)向Ⅲ类型(2012年)、Ⅱ类型(2020年)转化,但均向产业集聚滞后于水污染方向发展;其余4个市相对发展类型保持稳定。

2008年郑州等8个市相对发展类型有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ4种。其中郑州、开封、济源3市为Ⅰ类型,为产业集聚滞后于水污染发展;开封、新乡、濮阳3市为Ⅲ类型,为产业集聚超前于水污染发展;焦作市为Ⅱ类型,三门峡市为Ⅴ类型,2个市均为产业集聚同步于水污染发展。相对发展类型主要集中于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类型,原因在于2008年《中华人民共和国水污染防治法》开始实施。

2012、2015年郑州等8个市相对发展稳定且相对发展类型有Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ3种。郑州市、洛阳市均为Ⅰ类型,开封市为Ⅳ类型,均处于产业集聚滞后于水

污染状态;新乡等其余5个市为Ⅲ类型,处于产业集聚优于水污染状态。从变化情况看来,开封市由Ⅲ类型(2008年)转化为Ⅳ类型(2012年),原因在于开封市出台了城市河流清洁行动实施方案,统筹水陆系统,全面推进水污染防治、水生态保护和水资源管理,水污染防治工作进展良好;焦作市由Ⅱ类型(2008年)转化为Ⅲ类型(2012年),三门峡市由Ⅴ类型(2008年)转化为Ⅲ类型(2012年),均从产业集聚同步于水污染发展转化为产业集聚超前于水污染发展,原因在于焦作市2010年实施了水污染防治措施,对工业企业治污项目和城镇污水处理项目开展了在线水质监控;三门峡市2012年发布了污染物总量减排实施方案,并根据“十二五”规划总体要求进行减排,及时关闭未达标企业。

2017年与2015年相比,郑州等8个市同为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ4种。其中郑州等7个市相对发展类型处于稳定发展状态;三门峡市则由Ⅲ类型(2015年)向Ⅱ类型(2017年)转化,再次转化为产业集聚同步于水污染发展,原因在于2017年有色金属、煤炭开发、非金属矿采选业等污染性产业对三门峡市工业经济作用明显。

2020年郑州等8个市相对发展类型有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ3种。相比2017年,郑州等7个市仍处于稳定发展状态;济源市由Ⅲ类型(2017年)向Ⅱ类型(2020年)转化,由产业集聚超前于水污染发展转化为产业集聚同步于水污染发展,原因在于受新冠疫情的影响,多家大型企业停止运营,为确保热力电力问题,疫情期间煤炭持续供应;开封市则由Ⅳ类型(2017年)向Ⅱ类型(2020年)转化,由产业集聚滞后于水污染转化为产业集聚同步于水污染发展,原因在于开封市政府调整产业布局,推进黑臭水体治理,加强了城镇污水收集和处理设施建设。

4 讨论

排污产业的集聚程度及其增长率与水污染的严重性及发展趋势不存在必然性。郑州市排污产业集聚程度最高、三门峡市最低,其间为洛阳等6个市;但是水污染综合评价指数则为开封市最大、濮阳市最小,其间为洛阳等6个市。新乡等4个市产业集聚年均增长率相对较高,而洛阳等4个市则相对较低;但是郑州等3个市水污染评价指数则呈波动增长趋势,而新乡等5个市则呈下降趋势,这与聂欣等^[29]的研究成果“集聚与环境污染呈现非线性或者不确定关系”具有一致性。

2008—2020年黄河流域河南段8市排污产业集聚与水污染的耦合协调发展阶段相对稳定,但逐步向耦合协调方向发展。表现出在研究时段内排污产业集聚与水污染的耦合发展阶段稳定在“拮抗阶段”和“磨合阶段”,但是耦合协调度值存在变化且城市类型有所转化,这与焦胜等^[30]“工业集聚与水污染程度同步耦合效应总体稳定显著”且存在“空间局部波动变化”的研究成果具有一致性。

排污产业集聚与水污染尽管处于不同耦合协调发展阶段,但是二者相对发展类型存在滞后、同步和超前3种类型。8个市相对发展类型在2008、2017年存在4种类型,而2012、2015和2020年存在3种类型,这与于慧等^[13]对于张家口地区的研究具有一致性,不同之处在于本研究根据排污值进行了3个阶段9种类型的划分,而文献^[13]对张家口地区的研究则是根据产业集聚强度与污染物排放强度分为高值、低值2个等级,组合为产业低集聚区-污染物低值区等4种类型;同时本研究与高爽等^[12]对于无锡市的研究也具有一致性。

基于数据的可获得性,构建了食品、纺织等6类行业的产业集聚和工业、农业、生活的水污染指标体系,但指标体系构建有待完善。本文主要探讨了排污产业集聚与水污染耦合协调关系,但产业集聚对水污染的作用机制、影响过程以及流域协同治理、环境管制政策等有待进一步研究。

5 结论

为探究排污产业集聚对水污染的影响,构建了排污产业集聚和水污染系统三级评价指标体系,采用耦合协调发展等模型,综合分析了2008—2020年黄河流域河南段排污产业集聚、水污染以及二者的耦合协调发展状况。

(1)黄河流域河南段8个市排污产业集聚程度差异明显且整体偏低,排序由大到小为郑州市、洛阳市、新乡市、焦作市、济源市、开封市、濮阳市、三门峡市;产业集聚综合评价指数年均增长率显著不同,其中新乡、焦作、济源和开封等4个市年均增长率相对较高,洛阳、三门峡、郑州和濮阳等4个市则相对较低。新乡等4个市应推进现代化产业结构升级,加快构建现代化产业体系;而年均增长率相对较低的洛阳等4个市,尤其是增长率为负的濮阳市,应进一步发挥产业集聚区的集聚效应和规模效应,加快发展集中度高、集聚力强新兴产业,促进传统产业转型升级。

(2)黄河流域河南段8个市水污染综合评价指数呈波动变化,郑州、开封、洛阳3个市呈波动增长趋势,新乡等5个市则呈波动下降趋势;水污染综合评价指数区域差异明显,排序由大到小为开封市、洛阳市、郑州市、三门峡市、济源市、新乡市、焦作市、濮阳市。郑州等3个市应大力实施水污染排放总量控制政策,建立主要污染物排放控制和管理体系;新乡等5个市应采取一定的工程性或非工程性措施,加大资金和技术投入,在充分发挥水体自然生态功能的基础上,开展污染严重水体的专项治理。

(3)黄河流域河南段8个市排污产业集聚与水污染的耦合协调发展处于拮抗阶段和磨合阶段。其中2008、2012年郑州等7个市均为拮抗阶段,但三门峡、开封则属于磨合阶段;2015、2017年郑州等8个市均属于拮抗阶段,且发展稳定;2020年郑州等8个市均处于拮抗阶段,逐渐向耦合协调方向发展。郑州等8个市应坚持经济高质量发展,聚焦工业转型升级,优化产业结构,逐渐建设资源节约型、环境友好型社会,通过建立产业集聚区污水集中处理系统等,逐步降低污染物排放量。

(4)黄河流域河南段8个市产业集聚与水污染的相对发展类型由2008年的4种类型向2012、2015年的3种类型转化,2017年再次转化为4种类型,2020年转化为3种类型,开封市、三门峡市、济源市在波动变化中向产业集聚滞后于水污染方向发展,焦作市向产业集聚超前于水污染方向发展,其余4个市相对发展类型不变。郑州等8个市应实现水生态等流域要素的协同治理,保障流域生态安全;根据区域差异制定经济政策,加强流域上游地区产业规划等,确保发展的同时有效控制水污染,实现人水和谐。

参考文献:

- [1] 毛熙彦,刘颖,贺灿飞. 中国资源性产业空间演变特征[J]. 自然资源学报,2015,30(8):1332-1342.
- [2] 李粉,孙祥栋,张亮亮. 产业集聚、技术创新与环境污染——基于中国工业行业面板数据的实证分析[J]. 技术经济,2017,36(3):1-7.
- [3] 卢丽文,宋德勇. 长江经济带水污染密集型产业时空格局演变及影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(12):2597-2606.
- [4] 李勇刚,张鹏. 产业集聚加剧了中国的环境污染吗——来自中国省级层面的经验证据[J]. 华中科技大学学报,2013,27(5):97-106.
- [5] 原毅军,谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J]. 科学学研究,2015,33(9):1340-1347.

- [6] REN Wenwen, ZHONG Yong, MELIGRANA J, et al. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai: 1947 - 1996 [J]. *Journal of Environment International*, 2003, 29(5): 649 - 659.
- [7] ZENG Daozhi, ZHAO Laixun. Pollution havens and industrial agglomeration[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(2): 141 - 153.
- [8] PANDEY B, SETO K C. Urbanization and agricultural land loss in India: comparing satellite estimates with census data [J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, 148: 53 - 66.
- [9] 卢越. 产业集聚对流域水污染的影响分析: 以海河流域为例[J]. *北京交通大学学报*, 2019, 18(2): 61 - 68.
- [10] 王艳华, 苗长虹, 胡志强, 等. 专业化、多样性与中国省域工业污染排放的关系[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(3): 586 - 599.
- [11] 黄璨, 王建茗, 成金华. 经济增长、产业集聚与水污染关系的 Bootstrap ARDL 检验: 基于长江经济带的经验考察[J]. *学习与实践*, 2021(9): 63 - 73.
- [12] 高爽, 魏也华, 陈雯, 等. 发达地区制造业集聚和水污染的空间关联——以无锡市区为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(5): 902 - 912.
- [13] 于慧, 仲佳, 刘邵权, 等. 张家口地区排污工业企业集聚与水污染空间耦合特征[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(6): 1416 - 1424.
- [14] 张姗姗, 张磊, 张落成, 等. 苏南太湖流域污染企业集聚与水环境污染空间耦合关系[J]. *地理科学*, 2018, 38(6): 954 - 962.
- [15] 管新建, 梁胜行. 基于熵权模型的黄河流域水资源利用效率综合评价[J]. *中国农村水利水电*, 2016(11): 82 - 85.
- [16] 焦士兴, 郭力菲, 王安周, 等. 基于水足迹理论的河南省水资源利用评价[J]. *人民黄河*, 2021, 43(11): 87 - 91 + 96.
- [17] 刘丽娜, 魏杰, 马云霞, 等. 基于时空变化的黄河流域河南段生态环境评价研究[J]. *环境科学与管理*, 2021, 46(2): 169 - 173.
- [18] 肖东洋, 牛海鹏, 闫弘轩, 等. 1990 - 2018 年黄河流域(河南段)土地利用格局时空演变[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(15): 271 - 281 + 326.
- [19] 石敏俊, 郑丹, 雷平, 等. 中国工业水污染排放的空间格局及结构演变研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(5): 1 - 7.
- [20] 陈沛云. 黄河干流河南段水环境容量与水污染防治对策研究[D]. 开封: 河南大学, 2005.
- [21] 武淑霞. 我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.
- [22] 张水龙, 庄季屏. 农业非点源污染研究现状与发展趋势[J]. *生态学杂志*, 1998, 17(6): 51 - 55.
- [23] 尹怡诚, 刘云国, 刘少博, 等. 中国工业水污染及其成因的 de Bruyn 模型分析[J]. *环境工程学报*, 2015, 9(2): 639 - 644.
- [24] 毕国华, 杨庆媛, 刘苏. 中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展[J]. *经济地理*, 2017, 37(1): 50 - 58.
- [25] 文先明, 王策, 熊鹰, 等. 湖南省新型城镇化与金融支持的耦合协调发展[J]. *经济地理*, 2019, 39(7): 96 - 105.
- [26] 牛艳华. 新经济视角下资源型城市产业竞争力及转型路径: 基于三门峡的实证分析[J]. *河南科学*, 2019, 37(10): 1700 - 1707.
- [27] 冷春雷. 郑新一体化背景下, 新乡产业承接方向探析[J]. *企业观察家*, 2019(12): 90 - 91.
- [28] 王丹. 资源型城市产业转型的问题研究——以河南省濮阳市为例[J]. *产业创新研究*, 2018, 7(5): 98 - 100.
- [29] 聂欣, 陈健. 基于产业集聚视角下中国城市水污染治理研究[J]. *城市观察*, 2017, 52(6): 149 - 161.
- [30] 焦胜, 吴寿盛, 韩宗伟, 等. 湖南“一湖四水”工业集聚与水污染程度的时空演变及关联机制[J]. *经济地理*, 2022, 42(4): 132 - 140.