

专业化、多样性与中国省域工业污染排放的关系

王艳华^{1,2}, 苗长虹^{1,2}, 胡志强^{1,2}, 张 艳¹

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明传承与现代文明建设河南省协同创新中心, 开封 475001; 2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004)

摘要: 集聚外部性是集聚影响工业污染排放的重要机制, 不同的集聚方式对应不同的污染排放行为。以中国 31 个省市工业废水、工业废气、工业固废为例, 基于集聚外部性理论, 将工业集聚分为专业化、多样性、相关多样性和非相关多样性等 4 种类型, 在分析工业污染排放强度空间格局特征的基础上构建计量模型考察工业集聚与工业污染排放的关系, 结果表明: (1) 工业废水、废气、固废污染强度的省域差异显著, 空间分布上均有不断集中的趋向。(2) 多样性集聚比专业化集聚更有利于降低工业污染排放强度。多样性集聚对工业废水强度下降的作用最大, 对废气和固废污染的减排作用较小。产业关联是多样性集聚发挥环境“自净”效应的重要条件, 相关多样性有利于降低工业污染排放强度, 而非相关多样性会加剧污染排放。(3) 从不同污染型产业看, 废水污染型产业的专业化集聚有利于污染强度下降, 而废气和固废污染型产业专业化集聚会加剧污染排放, 污染型产业多样性发展均有利于污染强度下降。(4) 不同集聚类型对工业污染的影响存在着区域和污染类型的异质性。(5) 要进一步降低工业污染, 应提高集聚产业的多样化水平, 强化产业间的内在关联。同时, 应根据不同区域、不同污染型产业、不同工业污染物制定差异化防治措施。

关键词: 工业集聚; 相关多样性; 非相关多样性; 污染排放强度

产业集聚是基于分工深化而形成的空间组织形式, 对国民经济发展有着重要的促进作用^[1-2]。然而, 随着工业集聚程度上升, 规模扩大和能耗增加所带来的诸如废水、废气、固体废弃物正逐渐成为环境污染的主要源头。以 2015 年为例, 全国工业 SO₂ 占 SO₂ 排放总量的 83.73%, 工业烟(粉)尘占烟(粉)尘排放总量的 80.14%。根据中华环保联合会 2010 年对 18 家工业园区进行的一份调查显示, 包括两家国家级、7 家省级、9 家县市级在内的 18 家工业园区均存在不同程度的环境问题, 其中水污染 18 家, 占 100%, 大气污染 14 家, 占 78%。所以, 如何正确处理工业集聚与污染排放之间的关系已成为学术界关注的重点问题。

当前, 工业集聚对工业污染的影响已是人文—经济地理学科的研究热点之一^[3-4], 学术界对二者之间的关系形成了迥异的观点, 核心争论是: 工业集聚对污染而言是集中治

收稿日期: 2018-07-02; 修订日期: 2018-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41430637, 41601119); 教育部人文社会科学研究项目 (15YJC790111); 河南大学优青培育项目 (yqpy20170036)

作者简介: 王艳华 (1981-), 女, 河南鹤壁人, 博士研究生, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: wangyanhualady@126.com

通讯作者: 胡志强 (1988-), 男, 江苏连云港人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: whhuzhiqiang@163.com

理还是集中排放?具体包括三个方面:一是认为工业集聚过程中产能扩张和能源消费增加所带来的环境负外部性及“拥挤效应”会加剧区域工业污染水平^[5-7],二是认为工业集聚的环境正外部性能够有效实现区域工业污染减排^[8-10],三是认为工业集聚与工业污染的关系有较大不确定性^[11-12]。随着研究深入,不少学者对集聚作了进一步细化,重点考察专业化、多样性等不同类型的集聚对工业污染的作用差异^[13-14]。同时,还从动态视角关注了集聚与污染的非线性关系^[15]。然而,综观相关文献可知:已有研究大多仍将产业集聚视为一个整体^[15-16],较少甄别产业集聚背后不同集聚类型的外部性差异对工业污染的影响,虽然已有学者从专业化和多样性角度分析不同集聚类型下集聚与工业污染的关系^[13-14],但仍未对产业关联水平差异下集聚对污染排放的影响予以充分关注。随着演化经济地理学的发展,越来越多学者在多样性集聚的基础上提出:具有内在关联的产业多样化才有利于产生技术溢出和创新^[17],而这恰是集聚产业促进污染减排的重要因素。在工业污染的表征上,已有文献多以工业废气作为衡量指标^[18],关于废水和固废污染的研究仍较为少见,对不同污染物异质性特征的考察相对不足。那么,不同集聚类型的环境外部性有何不同?对不同工业污染物的作用有何差异?多样化集聚的环境减排效应是否受产业关联差异的影响?为回答以上问题,本文基于中国31个省市,从外部性差异视角将集聚分为专业化、多样性、相关多样性、非相关多样性等不同类型的集聚,在系统分析中国工业污染时空特征的基础上,从区域整体和污染产业两个层面构建面板回归模型考察不同集聚类型对工业废水、工业废气和工业固废排放强度的影响,以期对区域工业污染防治过程中采取合适的集聚形式提供决策依据。

1 理论框架

外部性是产业集聚影响污染排放的重要原因之一。已有研究发现,经济增长主要通过规模效应、结构效应和技术效应影响区域污染排放^[19]。根据集聚外部性理论的相关论述,集聚主要通过环境正外部性和环境负外部性作用于经济规模、产业结构、技术水平,进而影响污染排放。其中,环境正外部性能够促进污染减排和污染水平下降,具体原理包括:产业集中为废弃物的集中处理创造了条件,可以实现治污的规模效应;企业会通过提高生产工艺和技术创新水平来保持相对其他企业的竞争力进而实现产业竞争效应;不同企业的交流合作有利于产生学习示范效应和技术溢出效应。环境负外部性会加剧区域污染排放,具体原理包括:产业空间集中会引起能源资源消耗的上升;邻近地区因无序竞争和产业雷同形成恶性竞争效应;企业密度上升提高了生产成本和污染排放进而导致拥挤效应。

随着研究的深入,不少学者提出集聚有不同的类型,并根据外部性是否来源于同一产业将集聚外部性分为马歇尔外部性和雅各布斯外部性,马歇尔外部性来自相同产业集中的专业化集聚^[20],雅各布斯外部性来自不同产业集中的多样性集聚^[21]。随着演化经济地理学的发展,Frenken等^[17]和Porter^[22]认为雅各布斯外部性关于多样化有利于技术溢出的表述仍不够精确,并在此基础上将多样性概念进一步细化为相关多样性和非相关多样性,强调产业间关联水平对技术溢出的重要性。正基于此,本研究从集聚外部性差异出发,将集聚分为专业化、多样性、相关多样性和非相关多样性等不同类型的集聚。

1.1 专业化、多样化与工业污染排放

作为不同集聚类型,专业化、多样化均有着加剧或降低工业污染的可能性。首先,从污染减排角度看,专业化集聚可以在行业内形成网络化结构,提高产业间的技术溢出,还能共享污染处理设施、环保专职人员以及环保知识,形成污染治理的规模效应,进而降低污染排放总量及强度。多样性集聚则有利于不同产业的跨界交流合作,提高技术溢出水平和生产工艺,形成学习示范效应,降低污染排放。其次,从污染加剧角度看,专业化集聚与多样性集聚带来的集聚效益会吸引更多的企业集中,形成拥挤效应,导致生产要素价格的上升,规模和产能的扩大势必加剧污染排放;而且,企业治污成本的下降,有可能促使企业采取多排放行为。从已有文献看,相关实证研究对二者与污染的关系尚未达成一致结论,谢荣辉等^[13]基于中国地市尺度面板数据进行的研究发现,多样化集聚比专业化集聚更有利于工业污染的减排;杨礼琼等^[23]则从非线性角度对专业化、多样性与工业污染的关系进行了探讨,发现专业化和多样性与工业污染都呈倒“U”型关系,即随着集聚程度的上升和拥挤效应的显现,两种集聚类型都有加剧工业污染排放的可能性(图1)。

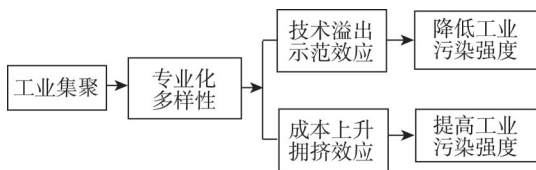


图1 专业化、多样性与工业污染的关系

Fig. 1 The relationship between specialization, diversification and industrial pollution

1.2 相关多样性、非相关多样性与工业污染排放

根据演化经济地理学理论的相关论述,多样性集聚可进一步分为两种情况:多样且关联和多样且非关联,而产业之间存在关联是多样性集聚产生技术外溢的重要条件^[17,24]。相关多样化集聚以较强的产业关联为基础,产业之间不仅可以通过共享资源、信息和知识来降低成本,从而提升企业和行业的生产效率,还能通过不同产业间的跨界合作与交流,激发有效的互动学习和创新,实现不同产业间的互补,产生有利于污染减排的技术溢出;其次,存在投入产出关联的产业会因存在物质交换而呈现共生状态,一个企业生产过程中的副产品或废弃物可作为其他企业生产所必需的原材料或中间投入品,可以在集聚产业内部形成物质资源的循环利用,进而减少工业污染的排放,促进强度下降。这超越了传统的本地化经济和雅各布斯外部效应的二分法对相关多样化的解释^[24];而非相关多样化集聚,因为产业间的关联性较为有限,企业在技术和投入产出方面的交流相对较少,这极大地限制了产业间的技术外溢及其对污染的减排作用,而且非相关产业集中导致规模扩大所形成的拥挤效应会进一步加剧区域的工业污染排放(图2)。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 工业污染

已有文献对工业污染的测度主要包括排放总量和排放强度两个层面。本研究以单位工业总产值的工业废水、废气和固废

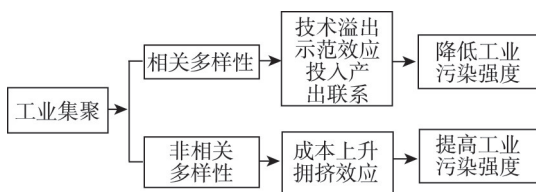


图2 相关多样性、非相关多样性与工业污染的关系

Fig. 2 The relationship between related variety, unrelated variety and industrial pollution

排放量表征三种工业污染物的排放水平。之所以选用工业污染强度表征区域工业污染排放,主要是考虑到中国大多数地区处于工业化进程中,工业对区域经济仍有着至关重要的作用,在维持一定增长水平的同时将工业污染的排放量控制在已有收入和技术水平以下同样十分重要。同时,省域尺度差异较大,技术水平、产业结构和发展阶段各有不同,污染强度不仅能较好地表征区域工业污染水平,而且能提高区域可比性。

2.1.2 不同集聚类型的测度

(1) 专业化与多样性测度——区域层面

以规模最大行业区位商来测度专业化水平,为实现全国不同省域的横向比较,以相对专业化指数测度专业化水平,以赫芬达尔指数的倒数测度多样性水平,计算公式分别如下:

$$rzi = \max_j (s_{ij}/s_j) \quad (1)$$

$$rdi = 1 / \sum_j |s_{ij} - s_j| \quad (2)$$

式中: rzi 表示专业化; rdi 表示多样性; s_{ij} 表示行业 j 在省域 i 中的就业份额; s_j 是产业 j 在全国所占份额。

(2) 专业化与多样性测度——产业层面

为了进一步考察不同污染型产业的专业化集聚和多样性水平对工业污染排放的影响,本研究测度了不同污染型产业的专业化、多样性水平。根据全国二位数行业污染排放强度和产业规模构建产业污染密集指数^[25],确定了废水污染型、废气污染型和固废污染型等不同类型产业^①,二位数污染型行业以 i_p 表示,由二位数汇总得到的区域污染型产业以 z 表示;以污染型产业 z 的区位商表征专业化集聚,以污染型二位数产业 i_p 的赫芬达尔指数的倒数表示多样性集聚。据此分别得到工业废水、废气、固废污染型产业的专业化、多样性水平。

(3) 相关多样性与非相关多样性

本文基于 Frenken 等^[17]的研究,从不同产业的“投入产出”关系和“技术距离”出发,以熵指标方法测度相关多样性和非相关多样性。在指标计算前,首先根据技术邻近度对不同层次产业进行分类,参考潘文卿等^[26]的研究成果,根据中国 1997 年、2002 年、2007 年的投入产出表,构建产业间技术溢出指标,再对该指标进行聚类分析,得到四类

① 根据全国层面二位数工业产业的污染及产值数据,通过污染排放强度(单位工业产值的污染物排放量 E)与规模(各产业污染物排放量占污染排放总量的比例 P)构建污染密集指数 A ,公式为: $A = (E \times P)^{1/2}$;污染密集指数越大,说明产业污染越严重,分别选取废水、废气、固废污染密集指数前十位的产业作为污染密集型产业。其中,综合废水污染密集型产业包括电力、热力的生产和供应业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、造纸及纸制品业、化学纤维制造业、木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业、黑色金属矿采选业,废气污染密集型产业包括造纸及纸制品业、化学原料及化学制品制造业、纺织业、黑色金属冶炼及压延加工业、电力、热力的生产和供应业、有色金属矿采选业、农副食品加工业、煤炭开采和洗选业、酒、饮料和精制茶制造业、化学纤维制造业,固废污染密集型产业包括煤炭开采和洗选业、有色金属矿采选业、黑色金属矿采选业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、电力、热力的生产和供应业、非金属矿采选业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业。2015 年废水、废气、固废污染产业的污染排放量分别占全国总排放量的 92%、72%、95%,说明所选行业具有较强代表性。

比较明显的聚集集合（“技术距离”相对更近）。本文据此将34个工业二位数行业分为以下四类：

① 第一类：煤炭开采与洗选业、石油天然气开采业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、非金属矿采选业、非金属矿物制品业、电力、热力的生产和供应业；

② 第二类：农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业、烟草制品业、纺织业、纺织服装、鞋、帽制造业、皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业、木材加工及制品业、家具制造业、造纸及纸制品业、印刷媒介业、文教体育用品制造业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、医药制造业；

③ 第三类：化学原料及化学制品制造业、化学纤维制造业、橡胶和塑料制品业、燃气的生产和供应业

④ 第四类：黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、金属制品业、专用设备制造业、通用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、仪器仪表及文化办公机械制造业。

在产业分类基础上，以大类行业的熵表示非相关多样性，以每个大类行业中细分行业熵的加权和来表示相关多样性，计算公式如下：

$$uv = P_{gj} \log_2(1/P_{gj}) \quad (3)$$

$$rv = P_{gj} H_{gj} \quad (4)$$

$$H_{gj} = \sum_i \frac{P_{ij}}{P_{gj}} \log_2 \left(\frac{1}{P_{ij}/P_{gj}} \right) \quad (5)$$

式中： uv 表示非相关多样性，越大说明集聚产业的关联度越低； g 指根据二位数行业合并的4个行业大类； P_i 和 P_g 分别表示各个（类）行业就业占总就业的比例； rv 表示相关多样性，越大表示集聚产业关联度越高； i 为34个二位数行业。

2.2 数据来源

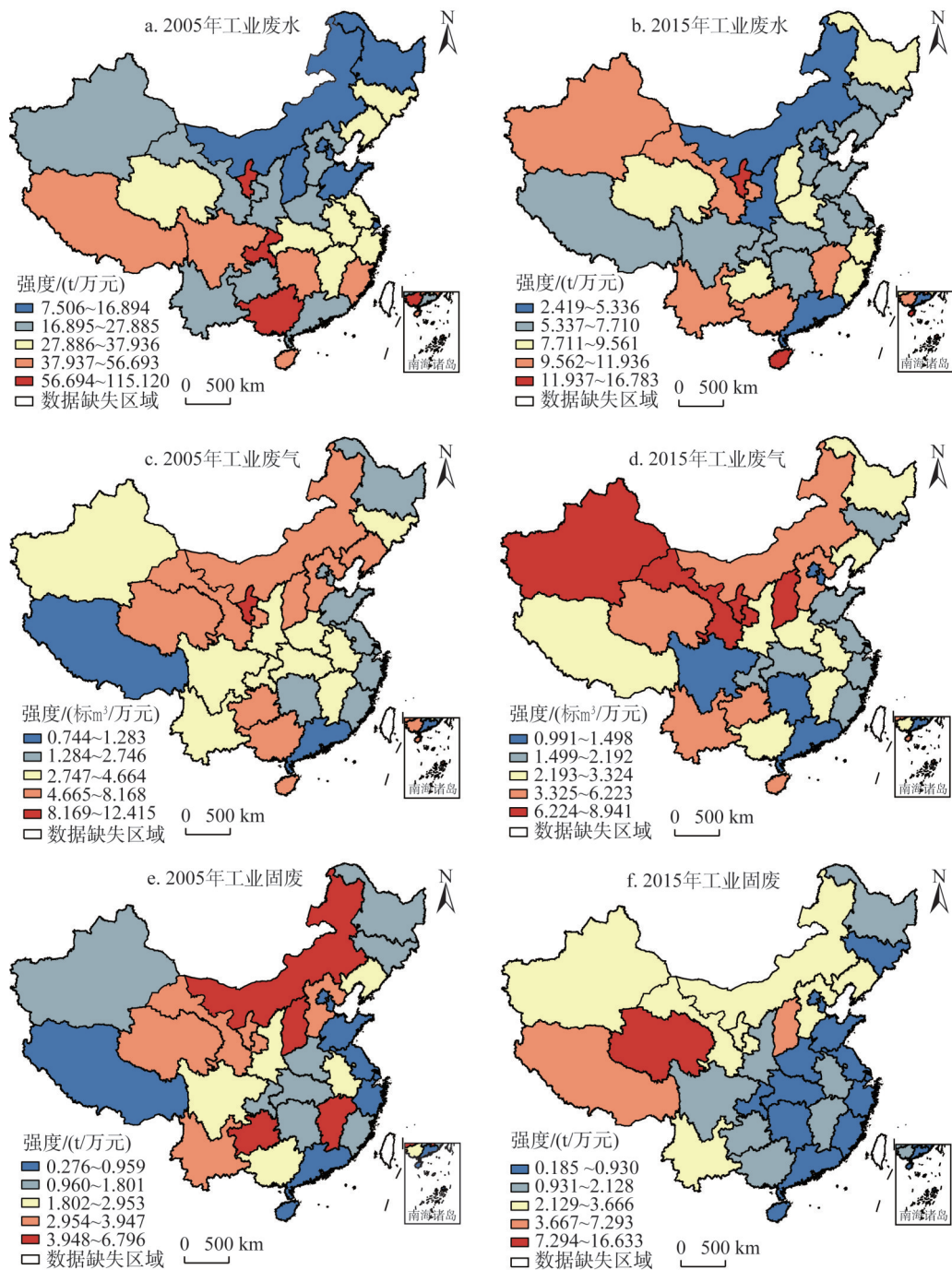
本文所采用的工业污染数据整理自《中国环境统计年鉴（2006-2016）》^[27]、《中国环境年鉴（2006-2016）》^[28]，工业总产值和细分工业行业就业人数主要整理自《中国工业经济统计年鉴（2006-2016）》^[29]和各省对应年份的统计年鉴。

3 结果分析

3.1 中国省域工业污染排放强度的时空特征

2005-2015年，工业废水、废气、固废污染排放强度的省域格局差异较大，且在空间上均有较为明显的集中趋向（图3）。2005年，工业废水排放强度较高的地区主要集中在南方省份，其中广西的排放强度最高且极为突出，达到了115.1 t/万元，北方地区除辽宁、吉林和宁夏外整体较低。至2015年，工业废水排放强度的空间格局变化较大，南方高排放强度省份明显变少，而北方像河南、山西、宁夏、甘肃、新疆等地的排放强度上升较大（图3a、图3b）。

工业废气污染排放强度的空间分布格局变化不大，北方省份的污染强度明显提高（图3c、图3d）。2005年，工业废气污染水平较高的区域主要集中在北方，如辽宁、内蒙古、山西、河北、宁夏、甘肃等，其中宁夏的工业废气排放强度全国最高，达到了12.42



注: 本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1598号的标准地图制作, 底图无修改。

图3 中国省域工业污染排放强度的空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of industrial pollution intensity in China

标m³/万元, 而沿海和南方省份则整体较低。至2015年, 工业废气污染分布格局总体稳定, 但北方、西北省份(山西、甘肃、新疆)的污染水平有了明显上升, 污染分布集中

趋向明显。

2005年,工业固废污染排放强度较高的区域同样分布在北方,如河北、内蒙古、山西、宁夏、甘肃等省,工业固废污染强度水平居于全国前列,南方地区除江西、贵州和云南,整体强度不高。至2015年,南方整体较优,黄河以南、青藏高原以东广大区域污染水平总体较低,广东的污染强度最低,江西、云南、贵州、广西、四川的工业固废污染强度下降明显,而青海、西藏的污染强度上升较快,分别以16.63 t/万元和5.72 t/万元位居全国前两位(图3e、图3f)。

3.2 工业集聚与工业污染关系的实证分析

3.2.1 指标选取与模型构建

根据不同集聚类型与工业污染关系的理论分析,综合考虑指标的可量化性、代表性、时序数据可获得性,本研究将工业污染作为被解释变量,以三种工业污染物的排放强度来表征,以专业化、多样性、相关多样性、非相关多样性作为解释变量,同时选取人口集聚、产业结构、对外开放、科技水平、环境管制作为控制变量,分别以单位国土面积人口数量(pop)、第二产业比例(str)、外资占GDP比例($open$)、公共财政预算支出中的科学技术项目的支出比例(tec)、单位工业总产值的污染治理投资额(en)来表征。根据选定的变量,通过建构面板回归模型考察专业化、多样性集聚对污染的作用,模型定义如下:

$$\ln pol_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 rzi_{it} + \beta_2 rdi_{it} + \beta_3 rv_{it} + \beta_4 uv_{it} + \beta_5 \ln pop_{it} + \beta_6 str_{it} + \beta_7 open_{it} + \beta_8 tec_{it} + \beta_9 \ln er_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: pol 表示工业污染排放; $\beta_1 \sim \beta_4$ 依次是不同集聚类型的回归系数; $\beta_5 \sim \beta_9$ 依次是相关控制变量的回归系数; α_{it} 为个体固定效应; ε_{it} 为随机扰动项; i 、 t 分别表示区域和时间。为保证回归结果的可靠性,本文首先对模型和指标进行必要的处理和检验:(1)为保证数据平稳性,削弱序列的共线性、异方差对估计结果的影响,对模型部分指标取对数;(2)将人均GDP统一折算为2005年不变价;(3)以Hausman检验对随机效应模型的可行性进行测度,若模型的卡方 P 值小于0.05,则说明拒绝原假设,应选择固定效应作为模型的估计方法,反之则选择随机效应;(4)为了区分工业集聚对工业污染影响的区域差异,在对全部样本进行总体分析的同时,将全部省域按沿海和内陆^②分别进行了回归;(5)考虑到污染排在受到区域整体产业结构特征影响的同时,还与特定污染密集型产业关系密切。所以,本文在分析整体区域专业化、多样性对污染排放的基础上,进一步考察不同污染型行业专业化、多样性集聚对污染排放的影响。

3.2.2 区域专业化、多样性与工业污染的关系

首先对区域专业化、多样性与工业污染排放之间关系进行计量检验,分全国、沿海和内陆等不同尺度,具体结果见表1。

从全国层面看,专业化指数与工业废水、废气排放强度的回归系数不显著,与工业固废排放强度显著正相关,而多样性指数与三种工业污染物排放强度的回归系数均为负向显著,说明多样化的产业结构存在更强的技术溢出和投入产出联系,进而促进污染下

^② 根据空间位置和总体发展水平将全国省域分为东部沿海和西部内陆两部分。沿海省域包括北京、天津、辽宁、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南;内陆省域包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、江西、湖南、湖北、内蒙古、陕西、四川、重庆、贵州、云南、广西、宁夏、甘肃、青海、新疆。

表1 专业化、多样性与工业污染的关系

Table 1 The relationship between specialization, diversity and industrial pollution

	工业废水			工业废气			工业固废		
	全国	沿海	内陆	全国	沿海	内陆	全国	沿海	内陆
<i>rzi</i>	-0.016 (0.021)	0.128 (0.097)	-0.040* (0.022)	0.006 (0.013)	-0.122** (0.052)	0.023 (0.015)	0.036* (0.021)	-0.133** (0.058)	0.076*** (0.023)
<i>rdi</i>	-0.921*** (0.138)	-0.499* (0.285)	-0.848*** (0.164)	-0.230*** (0.088)	0.546*** (0.153)	-0.360*** (0.111)	-0.224* (0.137)	0.148 (0.170)	-0.218 (0.171)
<i>pop</i>	-8.465*** (0.591)	-4.895*** (0.623)	-13.564*** (1.232)	-1.719*** (0.377)	-2.069*** (0.335)	1.168 (0.836)	-0.561 (0.588)	-2.648*** (0.371)	6.966*** (1.285)
<i>str</i>	-0.058*** (0.007)	-0.019 (0.013)	-0.061*** (0.008)	-0.013*** (0.004)	-0.006 (0.007)	-0.015*** (0.005)	-0.002 (0.007)	-0.001 (0.008)	-0.012 (0.008)
<i>fdi</i>	2.095 (2.189)	13.505*** (3.257)	-3.721 (2.645)	-0.061 (1.394)	-1.254 (1.752)	0.946 (1.795)	-1.297 (2.177)	0.852 (1.939)	-1.690 (2.758)
<i>tec</i>	6.452 (5.061)	3.857 (4.198)	3.152 (11.951)	-1.167 (3.223)	4.633** (2.257)	-2.373 (8.111)	-13.632*** (5.032)	2.228 (2.499)	-28.854** (12.464)
<i>en</i>	0.004 (0.006)	1.219*** (0.378)	0.002 (0.007)	-0.012*** (0.004)	0.217 (0.203)	-0.011** (0.004)	-0.022*** (0.006)	0.210 (0.225)	-0.018*** (0.007)
<i>c</i>	51.433*** (3.222)	34.517*** (4.585)	70.137*** (5.738)	11.177*** (2.052)	13.511*** (2.466)	-2.909 (3.894)	3.910 (3.203)	16.493*** (2.729)	-30.640*** (5.984)
<i>R</i> ²	0.672	0.831	0.642	0.838	0.918	0.805	0.823	0.960	0.675
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应

注：*、**、***分别表示在0.1、0.05、0.01水平上显著，括号内数字为残差值，下同。

降，而专业化产业结构的技术溢出则相对有限，其产生的拥挤效应甚至会加剧工业固废的污染强度水平。所以，多样性集聚比专业化集聚更有利于降低工业污染排放。从不同污染物看，多样化集聚对污染的系数从小到大依次是工业废水、工业废气和工业固废，说明多样性集聚对工业废水污染强度的下降作用最大，对工业废气和固废污染的作用则相对较小。

从不同区域看，专业化、多样性对工业污染排放强度的作用有着明显的沿海—内陆和污染物类型差异。多样性指数在沿海和内陆对工业废水均有减排作用，专业化指数在沿海与工业废水排放强度关系不显著，在内陆地区为负向显著，但回归系数和显著性都很低，说明无论沿海还是内陆，多样性集聚的废水减排效果均要优于专业化集聚。专业化、多样性对工业废气和工业固废作用的区域差异具有相似性。专业化在沿海地区可降低废气和固废污染排放强度，多样性集聚对废气和固废的作用均不明显。而在内陆地区，专业化集聚对废气的减排作用不显著，甚至会加剧固废污染水平，多样化集聚对废气减排作用明显，对固废污染作用不显著但同样呈负向作用，说明由于不同污染的产业结构指向差异，专业化集聚、多样性集聚的环境外部性有着明显的污染物类型异质性，这也与已有研究形成较好的相互印证^[30]。

3.2.3 区域相关多样性、非相关多样性与工业污染的关系

基于相关指标的量化和模型构建，对区域相关多样性、非相关多样性与工业污染之间关系进行实证测度，同样分全国、沿海和内陆等不同尺度，具体结果见表2。

从全国看，相关多样性指数与工业废水、固废排放强度的回归系数显著为负，与工业废气排放强度关系不显著，而非相关多样性指数与三种工业污染物排放强度的回归系

表2 相关多样性、非相关多样性与工业污染的关系

Table 2 The relationship between related variety, unrelated variety and industrial pollution

	工业废水			工业废气			工业固废		
	全国	沿海	内陆	全国	沿海	内陆	全国	沿海	内陆
<i>rv</i>	-1.929*** (0.622)	-3.687*** (0.710)	0.275 (0.775)	0.434 (0.296)	0.810 (0.479)	0.235 (0.388)	-1.326*** (0.368)	0.250 (0.504)	-2.435*** (0.378)
<i>uv</i>	2.973*** (0.736)	1.131 (1.002)	5.672*** (0.917)	1.833*** (0.350)	0.485 (0.676)	2.376*** (0.459)	3.286*** (0.435)	-0.226 (0.711)	3.039*** (0.448)
<i>pop</i>	-6.990*** (0.621)	-4.237*** (0.581)	-15.447*** (1.333)	-2.373*** (0.295)	-2.238*** (0.392)	-3.132*** (0.668)	-1.759*** (0.366)	-2.755*** (0.412)	-0.273*** (0.083)
<i>str</i>	-0.059*** (0.007)	-0.023** (0.011)	-0.064*** (0.008)	-0.026*** (0.003)	-0.009 (0.008)	-0.026*** (0.004)	-0.024*** (0.004)	0.003 (0.008)	-0.026*** (0.005)
<i>fdi</i>	1.283 (2.193)	10.843*** (2.812)	-4.833* (2.605)	-1.089 (1.041)	-1.536 (1.898)	-0.901 (1.306)	-2.748** (1.295)	0.111 (1.996)	-2.635* (1.538)
<i>tec</i>	4.668 (5.090)	3.269 (3.605)	-9.172 (11.037)	2.641 (2.417)	4.155* (2.433)	-1.732 (5.531)	-4.105 (3.005)	2.299 (2.559)	-11.962* (6.502)
<i>en</i>	0.118** (0.060)	1.011*** (0.317)	0.058 (0.060)	-0.008 (0.028)	0.418* (0.214)	-0.021 (0.030)	0.001 (0.035)	0.377* (0.225)	0.019 (0.035)
<i>c</i>	41.923*** (3.820)	34.493*** (4.908)	71.967*** (6.132)	12.253*** (1.814)	13.688*** (3.312)	14.288*** (3.073)	9.091*** (2.256)	16.881*** (3.484)	3.250*** (0.782)
<i>R</i> ²	0.664	0.874	0.653	0.896	0.904	0.864	0.935	0.957	0.452
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	随机效应

数均为正向显著，说明具有内在关联的产业结构具有更强的技术溢出和投入产出联系，可以有效降低污染排放强度，而非关联产业集中会限制技术溢出的产生，且拥挤效应会加剧工业污染的排放，即产业的相关多样化集聚可以有效地实现污染减排，而非相关多样化集聚会加剧工业污染。从不同污染物看，相关多样化集聚对工业废水、工业废气和工业固废排放强度的回归系数依次为-1.929、0.434（不显著）、-1.326，说明相关多样性集聚对工业废水污染强度的降低作用最大，对工业固废污染的作用相对较小，对工业废气影响有限。

分区域看，在东部沿海，除了相关多样性对工业废水排放强度有明显负向作用外，相关、非相关多样性与工业废气、工业固废排放强度的回归系数均不显著。在中西部内陆，相关多样性与工业固废的作用为负向显著，对工业废水、废气影响不显著；而非相关多样性与三种工业污染物强度的回归系数均为正向显著，说明相关多样性对废水、废气减排的外部性虽未充分发挥，但非相关多样性导致的污染强度加剧要明显高于东部沿海。这样的区域差异可能与沿海和内陆不同的发展水平有关，东部相比中西部内陆有着更高的经济和产业结构水平，技术发达、污染监管处理更为严格，内部差异不大，所以产业关联对工业污染的作用相对较小。中西部内陆处在工业集聚起步或上升阶段，非相关产业集聚的“拥挤效应”加剧了污染的排放，而产业内部还没有形成网络化结构使得产业关联的“自净”效应尚未充分发挥。

3.2.4 不同污染密集型产业视角下专业化、多样性与工业污染的关系

以上主要从整体视角分析区域专业化和多样性特征对工业污染的影响。因为所有工业部门都会不同程度地产生污染物排放，所以整体视角的考察对区域总体工业发展战略的制定是有指导意义的。但是，区域工业污染排放与产业结构尤其是污染型产业的集聚

表3 不同污染密集型产业视角下专业化、多样性与工业污染的关系

Table 3 The relationship between specialization, diversity and industrial pollution from the perspective of different pollution intensive industries

	废水污染型工业	废气污染型工业	固废污染型工业
<i>rzi</i>	-1.081*** (0.139)	0.297*** (0.095)	0.639*** (0.172)
<i>rdi</i>	-1.354*** (0.096)	-0.182*** (0.068)	-0.339*** (0.122)
<i>pop</i>	-4.359*** (0.519)	-2.495*** (0.329)	-0.846 (0.653)
<i>str</i>	-0.052*** (0.005)	-0.021*** (0.003)	0.004 (0.007)
<i>fdi</i>	-0.742 (1.722)	-1.159 (1.052)	-2.811 (2.114)
<i>tec</i>	2.008 (4.045)	3.605 (2.484)	-6.896 (5.019)
<i>en</i>	0.003 (0.005)	0.135* (0.080)	-0.023*** (0.006)
<i>c</i>	47.126*** (2.522)	17.716*** (1.686)	8.416*** (3.180)
<i>R</i> ²	0.679	0.412	0.472
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应

水平关系密切。据此，本文构建面板回归模型分析不同污染型产业的专业化、多样性特征对工业污染排放的影响，结果见表3。

首先，废水污染型产业的专业化和多样性集聚均有利于工业废水排放强度的下降。废水污染型产业专业化指数与工业废水排放强度的回归系数为负向显著，多样性指数同样显著为负，即高废水排放行业的集中或多样的产业结构均有利于污染水平下降，说明废水污染型产业的专业化能通过共享污染处理设施和环保专职人员形成污染治理的规模效应，有利于废水排放强度下降的技术溢出的产生。同时，多样的废水污染型产业有利于不同产业的跨界交流和投入产出合作，进而降低污染。

其次，废气和固废污染型产业的专业化指数与废水、固废污染排放强度的回归系数均为正向，且通过了相应显著性水平检验；多样性指数与污染排放强度的回归系数均为负向显著，说明废气污染型和固废污染型产业的专业化集聚会加剧污染强度，而二者的多样性集聚则有利于降低工业污染排放。

4 结论与讨论

产业集聚作为一种重要的经济组织型式，为促进区域快速发展做出了突出贡献。但是，不同的集聚类型对污染的作用原理有着较大差异。本文以中国31个省市为例，基于集聚经济理论，在系统阐述中国省域工业污染强度特征的基础上，对不同产业集聚类型与工业污染的关系进行分析，得出如下结论：

(1) 工业废水、废气、固废污染排放强度的省域差异较大，且均有不断集中的趋

向。其中,高工业废水排放强度的地区主要集中在西北、西南省域;工业废气、固废排放强度南北差异明显,北方省份的强度水平总体更高。

(2)从总体看,产业多样化集聚比专业化集聚更有利于降低工业污染排放强度,多样化对工业废水污染的减排作用最大,对工业废气和工业固废污染的减排作用则相对较小。专业化集聚、多样性集聚在沿海和内陆对工业污染的作用存在污染物类型差异。产业的相关多样化集聚可以有效地实现污染强度下降,而非相关多样化集聚会加剧工业污染。从不同污染物看,多样性集聚对工业废水污染强度下降的作用最大,对工业废气和固废污染的作用则相对较小。从不同区域看,非相关多样性在中西部内陆对工业污染强度的加剧作用比东部沿海更明显。从不同污染型产业看,废水污染型产业的专业化集聚有利于污染强度下降,而废气和固废污染型产业专业化集聚会加剧污染排放,污染型产业多样性发展有利于污染强度下降。由此可以得到的政策启示如下:

中国工业污染的防治,要大力提高产业多样性水平,发挥多样性集聚的污染减排效应。相关措施包括完善区域基础设施,对外来企业给予必要的政策扶持,优化投资环境;根据区域禀赋积极培育潜在新产业;打破区域保护主义,促进资本自由流动。同时,要在实现产业多样化发展的同时努力提高产业间的关联程度,促进技术外溢,可采取的举措包括加大对具有带动引领作用的主导产业的支持,围绕主导产业培育具有前后向联系的配套产业、延伸产业链,促进产业联动发展,还要基于当地产业基础对招商引资企业进行筛选。对于不同污染型产业而言,要努力营造更为多样的产业环境,以降低废水、废气、固废的污染水平,同时要避免废气、固废污染型产业的空间过度集中。同时,工业污染防治要根据不同区域和不同污染类型采取差异化集聚形式。

(3)当前,国内由东部向中西部内陆的产业转移方兴未艾,中西部地区迎来了实现产业升级和经济发展的机会窗口,产业园区、经济技术开发区成为内陆地区承接东部产业的重要载体。然而,不少集聚区在产业承接过程中存在着明显的急功近利特征和产业选择的盲目性,单纯注重集聚产业数量而忽视产业间的关联与嵌入,形成了严重的环境问题。所以,中西部地区在大力承接转移产业的过程中应根据区域产业基础进行进驻产业的甄选,完善园区建设和招商引资过程的产业准入机制,大力提升产业的相关多样性水平,实现产业联动发展。

(4)本文从集聚外部性差异视角将集聚进一步分为专业化、多样性、相关多样性和非相关多样性等不同类型,这与已有文献大多将集聚笼统地视为一个整体相比,可以提高研究结论的准确性和决策制定的针对性,同时可以进一步丰富集聚外部性理论的相关内容。但是,本文还有以下不足:在内容上,受限更为细化行业数据的可获取性,未充分考察不同污染型产业的相关、非相关多样性与污染排放的关系,这有待在今后研究中获取更为精细的数据做进一步分析;在模型方法上,与单纯的时序或截面回归相比,本文采用的面板回归模型既考虑到了集聚与污染时序变化关系,又包括了省域之间个体差异对二者关系的影响,信息量更为丰富。另一方面,本研究以31个省为实证区域,截面样本数量少,采用面板回归能显著增加样本数量,满足了文章进一步分析东中西不同区域工业集聚与污染排放关系的研究需要。但是,本研究中的面板回归模型只能考察集聚与污染之间的线性关系,未对集聚与污染之间非线性关系和空间溢出效应给予回答。集聚在不同阶段往往有着不同的结构及规模特点,产生的环境外部性类型和大小也会有

所差异,而且相邻区域的产业政策、环保政策和产业联系会形成集聚对污染的空间溢出作用。所以,进一步构建门限面板回归模型和空间面板回归模型考察工业集聚与污染排放之间的非线性关系和空间溢出特征,将是今后的重点研究方向。

参考文献(References):

- [1] KRUGMAN P. *Geography and Trade*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [2] 毛熙彦,刘颖,贺灿飞.中国资源性产业空间演变特征.自然资源学报,2015,30(8):1332-1342. [MAO X Y, LIU Y, HE C F. Spatial pattern dynamics of resource-based industry in China. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1332-1342.]
- [3] WAGNER U J, TIMMINS C D. Agglomeration effects in foreign direct investment and the pollution haven hypothesis. *Social Science Electronic Publishing*, 2009, 43(2): 231-256.
- [4] 贺灿飞,周沂.环境经济地理研究.北京:科学出版社,2016. [HE C F, ZHOU Y. *Studies on Environmental Economic Geography*. Beijing: Science Press, 2016.]
- [5] DUC T A. Experimental investigation and modeling approach of the impact of urban wastewater on a tropical river: A case study of the Nhue River, Hanoi, Vietnam. *Journal of Hydrology*, 2007, 334(3): 347-358.
- [6] FAGBOHUNKA A. The impacts of agglomeration on the immediate environment, using the Lagos region as a study case. *European Scientific Journal*, 2012, 8(6): 33-48.
- [7] 王兵,聂欣.产业集聚与环境治理:助力还是阻力.中国工业经济,2016,(12):75-89. [WANG B, NIE X. Industrial agglomeration and environmental governance: The power or resistance-evidence from a quasi-natural experiment of establishment of the development zone. *China Industrial Economics*, 2016, (12): 75-89.]
- [8] BAOMIN D, JIONG G, ZHAO X. FDI and environmental regulation: Pollution haven or a race to the top?. *Journal of Regul Economics*, 2012, 41(2): 216-237.
- [9] ZENG D Z, ZHAO L X. Pollution havens and industrial agglomeration. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(2): 141-153.
- [10] 王晓硕,宇超逸.空间集聚对中国工业污染排放强度的影响.中国环境科学,2017,37(4):1562-1570. [WANG X S, YU C Y. Impact of spatial agglomeration on industrial pollution emissions intensity in China. *China Environmental Science*, 2017, 37(4): 1562-1570.]
- [11] IKAZAK I D, NAITO T. Optimal environmental and industrial policies and imperfect agglomeration effects. *Regional Science Policy & Practice*, 2009, 1(2): 141-157.
- [12] 刘军,程中华,李廉水.产业聚集与环境污染.科研管理,2016,37(6):134-140. [LIU J, CHENG Z H, LI L S. Industrial agglomeration and environmental pollution. *Science Research Management*, 2016, 37(6): 134-140.]
- [13] 谢荣辉,原毅军.产业集聚动态演化的污染减排效应研究.经济评论,2016,(2):18-28. [XIE R H, YUAN Y J. Research on the pollution abatement effect of industrial agglomeration's evolution. *Economic Review*, 2016, (2): 18-28.]
- [14] 邓玉萍,许和连.外商直接投资、集聚外部性与环境污染.统计研究,2016,33(9):47-54. [DENG Y P, XU H L. Foreign direct investment, agglomeration, externalities and environmental pollution. *Statistical Research*, 2016, 33(9): 47-54.]
- [15] 张可,豆建民.集聚与环境污染:基于中国287个地级市的经验分析.金融研究,2015,(12):32-45. [ZHANG K, DOU J M. Agglomeration and environmental pollution: An empirical analysis based on 287 prefecture level cities in China. *Journal of Financial Research*, 2015, (12): 32-45.]
- [16] 刘满凤,谢晗进.中国省域经济集聚性与污染集聚性趋同研究.经济地理,2014,34(4):25-32. [LIU M F, XIE H J. The convergence research of economy aggregation and pollution aggregation among China's provinces. *Economic Geography*, 2014, 34(4): 25-32.]
- [17] FRENKEN K, OORT F, VERBURG T. Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, 2007, 41(5): 685-697.
- [18] 杨仁发.产业集聚能否改善中国环境污染.中国人口·资源与环境,2015,25(2):23-29. [YANG R F. Whether industri-

- al agglomeration can reduce environmental pollution or not. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25 (2): 23-29.]
- [19] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-378.
- [20] MARSHALL A. *Principles of Economics*. London: MacMillan, 1920.
- [21] JACOBS J. *The Economy of Cities*. New York: Vintage Books, 1969.
- [22] PORTER M E. The economic performance of regions. *Regional Studies*, 2003, 37(6-7): 549-578.
- [23] 杨礼琼, 李伟娜. 集聚外部性、环境技术效率与节能减排. *软科学*, 2011, 25(9): 14-19. [YANG L Q, LI W N. Agglomeration externality, environmental technology efficiency and ESER. *Soft Science*, 2011, 25(9): 14-19.]
- [24] BOSCHMA R, IAMMARINO S. Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic Geography*, 2009, 85(3): 289-311.
- [25] 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. *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. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(7): 789-796.]
- [26] 潘文卿, 李子奈, 刘强. 中国产业间的技术溢出效应: 基于 35 个工业部门的经验研究. *经济研究*, 2011, (7): 18-29. [PAN W Q, LI Z N, LIU Q. Inter-industry technology spillover effects in China: Evidence from 35 industry sectors. *Economic Research Journal*, 2011, (7): 18-29.]
- [27] 中华人民共和国国家统计局. 中国环境统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2006-2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Environmental Statistics Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2006-2016.]
- [28] 中华人民共和国国家统计局. 中国环境年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2006-2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Environmental Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2006-2016.]
- [29] 中华人民共和国国家统计局. 中国工业经济统计年鉴(2006-2016). 北京: 中国统计出版社, 2006-2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Industry Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2006-2016.]
- [30] 徐辉, 杨烨. 人口和产业集聚对环境污染的影响: 以中国的 100 个城市为例. *城市问题*, 2017, (1): 53-60. [XU H, YANG Y. The impact of population and industrial agglomeration on environmental pollution: A case study of 100 cities in China. *Urban Problems*, 2017, (1): 53-60.]

Specialization, diversity and their impacts on China's provincial industrial pollution emissions

WANG Yan-hua^{1,2}, MIAO Chang-hong^{1,2}, HU Zhi-qiang^{1,2}, ZHANG Yan¹

(1. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Province, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

Abstract: As industrial agglomeration increases, wastewater, waste gas, and solid waste are becoming the main sources of environmental pollution. Therefore, how to correctly deal with the relationship between industrial agglomeration and pollution emissions has become a hot issue in the current academic circles. Agglomeration externality is an important mechanism to reduce industrial pollution emission, and different agglomeration modes correspond to different

pollution emission behaviors. Therefore, this study divides agglomeration into four types such as specialization, diversity, related diversity, and unrelated diversity. The research goal of this paper is to investigate the effects of different agglomeration types on pollution emissions. Taking 31 provincial units in China as an example, based on the theory of agglomeration economy, this paper analyses the characteristics of industrial pollution in China and studies the relationship between industrial agglomeration and different industrial pollution. The main conclusions are as follows: (1) There is a significant spatial difference in the intensity of industrial wastewater, waste gas and solid waste. Generally speaking, the discharge intensity of industrial wastewater in the Yangtze River Basin is higher, and that of the northwest and southwest regions are rising significantly. The emission intensity of industrial waste gas and industrial solid waste in the north and northwest regions is higher. (2) Diversity is more beneficial to the reduction of emission intensity of industrial pollution than specialized agglomeration. Diversity has the greatest impact on industrial waste water, and has little effect on the gas and solid pollution. Industrial linkage is an important condition for diversity agglomeration to produce environmental 'self- purification' effect. Related diversity is conducive to the decrease of emission intensity of industrial pollution, and unrelated diversity will exacerbate pollution levels. (3) From the perspective of different polluting industries, the specialized wastewater pollution industries is conducive to the decline of pollution intensity, while the specialized waste gas and solid waste pollution industries will intensify pollution emissions. The diversified development of the polluting industry is conducive to the decline of pollution intensity. (4) The effects of different agglomeration types on industrial pollution are heterogeneous in terms of regional and pollution types. (5) To further reduce industrial pollution, we should improve the diversity of the agglomeration industry. We should also pay more attention to the improvement of the inner correlation between the industries and avoid the spatial concentration of the unrelated industries. At the same time, differentiated prevention and control measures should be formulated according to different regions, polluting industries, and industrial pollutants.

Keywords: industrial agglomeration; related variety; unrelated variety; pollution intensity