

孙兆旭, 陈景帅, 赵领娣, 等. 多维视角下环境规制对公共健康的影响与作用机制 [J]. 地理科学, 2025, 45(5): 963-974. [Sun Zhaoxu, Chen Jingshuai, Zhao Lingdi et al. Impact and mechanism of environmental regulation on public health from a multidimensional perspective. Geographical Science, 2025, 45(5): 963-974.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.20240287; cstr: 32176.14.geoscience.20240287

多维视角下环境规制对公共健康的影响与作用机制

孙兆旭¹, 陈景帅², 赵领娣^{1,3}, 陈东景⁴

(1. 中国海洋大学经济学院, 山东 青岛 266100; 2. 山东社会科学院, 山东 济南 250002; 3. 中国海洋大学海洋发展研究院, 山东 青岛 266100; 4. 青岛大学经济学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 基于 2003—2021 年中国 30 个省份数据, 采用熵权 TOPSIS 法从多维角度综合评价公共健康水平, 利用双固定效应模型、中介模型、门槛模型和面板误差修正模型(PECM)系统研究环境规制对公共健康的影响和作用机制。结果表明: ①环境规制能够改善公共健康, 同时应注重环境规制的适度性以有效发挥其公共健康改善效应。②沿海省份环境规制的公共健康改善效应比内陆省份更为明显, 而相较于低煤炭消费占比的省份, 高煤炭消费占比省份环境规制的公共健康改善效应未出现明显增强。③技术创新、产业结构升级和能源效率在环境规制对公共健康的影响中存在中介作用。④随着市场化程度提高, 环境规制的公共健康改善效应逐渐减弱, 而在老龄化程度持续加深影响下, 环境规制的公共健康改善效应逐渐增强。⑤PECM 结果证实环境规制无论在短期还是长期均具有公共健康改善作用。本研究为推进人与自然和谐共生的现代化进程和“健康中国”战略提供参考。

关键词: 多维视角; 环境规制; 公共健康; 面板误差修正模型

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2025)05-0963-12

健康是人类社会发展的永恒主题, 也是增强居民幸福感和实现国家可持续发展的最根本资源。随着居民生活条件改善, 其健康需求逐渐提高。但无序经济活动与生态环境矛盾激化, 污染物不断累积, 导致系统稳定性破坏^[1], 产生一系列环境损害健康事件, 如伦敦烟雾事件、洛杉矶光化学污染以及日本福岛核污染水排海引发的健康担忧。中国长期采取粗放型发展方式, 经济总量虽已跃居世界第 2, 但经济发展质量较低, 环境污染事件频发, 居民环境健康风险突出^[2]。在此背景下, 2016 年“健康中国”被确立为国家战略, 将全面加强环境卫生治理作为重要战略目标之一。党的二十大(https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm)再次提及推进“健康中国”建设, 强调健康优先发展的战略地位。环境规制是政府纠正市场经济增长负外部性的有效工具, 科学评估其公共健康效应对促进居民健康和改善社会福利具有重要现实意义。

合理评估公共健康水平得到学者们的重点关注, 主要从狭义和广义层面理解以及测度: ①狭义公共健康仅指健康结果, 学者们较多采用单一健康结果指标进行表征, 如死亡率^[3]、平均预期寿命^[4]等。也有学者尝试采用综合性健康结果指标, 反映公共健康水平^[5]。②广义公共健康则被赋予体系化内涵, 是包含各方利益相关者“有组织的社会努力”的公

收稿日期: 2024-01-04; **修订日期:** 2024-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(71974176)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (71974176).]

作者简介: 孙兆旭(1995—), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 主要从事资源开发与国民经济可持续发展研究。
E-mail: sunzhx@163.com

通信作者: 赵领娣。E-mail: lingdizhao512@163.com

共事业^[6]。基于此概念,部分学者认为公共健康水平测度体系不应仅包含健康结果指标,应进一步优化评估维度设计,纳入更广泛且具有现实性的指标^[7-8]。另外,环境规制效应是学者们的持续性研究议题,主要关注于:①环境规制的减污效应。环境规制的直接目的是约束个体或组织的排污行为,降低污染物的环境损害。学者们已从水体、空气和固体^[9-10]等污染类型角度证实环境规制对污染排放的重要限制作用,形成较为全面的研究体系。另外,环境规制强度不同使地区间排污限制力度存在差异,污染行业容易在环境规制强度“洼地”集聚,产生“污染天堂”^[11]。②环境规制的经济效应。环境规制的最终目的是实现经济系统与生态系统协调发展^[12]。学者们主要利用地区和企业数据分析环境规制对经济发展质量、产业转型、就业结构^[13-14]等方面的影响效应,并采用“成本论”和“创新补偿论”对其经济效应开展较为全面的分析。更多的研究结论表明环境规制是促进经济发展的重要因素^[15]。

环境规制的健康效应研究相对较少,主要有以下特点:①基础理论模型的一致性。环境规制影响健康的理论基础是 Grossman^[16] 提出的健康需求模型,在 Cropper^[17] 将污染变量引入健康生产函数以说明其对健康折旧率的影响后逐渐完善。学者们通过构建健康生产函数分析环境规制对健康的影响效应^[18-19]。②主要以“环境规制→环境污染→健康”的逻辑思路展开分析^[20-21]。由于污染变量在健康生产函数推导过程中的重要作用,从经济学视角量化分析环境污染的健康效应不仅成为研究重点^[22-23],也使得环境规制的健康效应分析思路较为局限。该思路虽然能够部分解释环境规制与健康的关系,取得一些研究成果,但未能揭示其中的深层次逻辑。③部分学者采用双重差分方法检验具体环境规制政策与健康之间的因果关系^[18,24],但仍以上述分析思路为主,其机制讨论仍存在局限。

综上,学术界已对环境规制、环境污染和健康主题开展多方面研究,但仍存在以下不足:①现有文献以环境污染健康效应、环境规制的减污和经济效应研究为主,环境规制健康效应研究不足;②相关研究大都采用单一健康结果指标衡量公共健康水平,同时仅对环境规制健康效应的正负性进行说明,具有片面性;③多数研究将环境规制影响健康的机制分析思路局限于环境污染,致使机制分析较为单一且缺乏系统性。本文从以下3方面作出边际贡献:首先,从多维度构建公共健康水平指标评价体系,并进行综合测度,避免采用单一指标表征的片面性;其次,从非线性和长短期角度全面分析环境规制对公共健康的影响效应;最后,系统性拓展环境规制对公共健康的影响机制分析,对技术创新、产业结构升级和能源效率进行中介机制检验。

1 理论分析与研究假设

1.1 环境规制对公共健康的影响效应

界定公共健康概念是本文理论分析的必要前提。本文不局限于以死亡率为代表的健康结果维度,而是进一步将环境暴露风险和公共健康保障纳入评价维度,更为全面地反映公共健康水平^[25]。基于广义健康概念,环境规制对公共健康的影响效应直接表现为环境规制对其环境暴露风险维度的影响结果。以往研究基于狭义公共健康,将环境暴露风险排除在公共健康测度之外,更多地将环境污染作为机制变量。环境污染的健康损害拥有丰富的事实依据和经验证据,应当将环境暴露风险作为公共健康水平的重要评价维度。

基于上述概念界定,考虑到环境规制的直接目的是减少环境污染和改善居民生活环境质量,其主要从以下方面形成对公共健康的影响效应:①环境规制能够直接降低居民环境暴露产生的患病风险,减弱污染因素对健康结果的威胁;②环境规制释放的“环境改善”信号有助于居民调节生活情绪,引导居民强化环境保护与健康意识;③环境规制为

企业转型发展注入动力,推动企业寻求技术创新突破,以提供更符合居民健康需求的产品,塑造现代健康生活环境。然而需要注意到,环境规制应遵循适度原则^[26],实现其对公共健康最优改善效果。强度过高可能导致企业排污成本沉重,挤出生产和研发资金,减少健康产品供给,弱化公共健康保障。因此,提出假设 1a:适度的环境规制有助于改善公共健康。

环境规制主要通过改变企业行为实现环境保护和保障居民健康^[10,18]。企业对于环境规制的反应可以从短期和长期角度进行区分。从短期来看,环境规制通过增加排污成本迫使企业减少污染排放,促使居民环境健康风险降低。长期环境规制压力促使企业改变短视的经营策略,倾向于采取技术创新措施,通过改变成本结构和资源配置方式,为居民营造良好健康环境。因此,提出假设 1b:环境规制具有显著的短期和长期公共健康改善效应。

1.2 环境规制对公共健康的作用机制

1)技术创新。“波特假说”认为适度环境规制对企业具有“倒逼”效应,迫使企业以技术创新弥补环境成本^[26]。技术创新对公共健康的改善作用主要体现在:①技术创新促使企业优化生产环节,重新配置要素资源,实现生产效率提高和废物排放减少的良好效果。这不仅降低了居民环境暴露风险,也提高了企业经济效益。②随着创新型技术应用,企业健康类产品和服务不仅种类不断增多,满足日益多元化的居民健康需求,其产品和服务质量也得到明显提升,刺激居民健康消费欲望,增强其健康获得感,改善居民健康状况。结合前文分析,提出假设 2a:技术创新在环境规制影响公共健康的过程中具有中介作用。

2)产业结构升级。由于地方政府间的利益博弈,各地环境规制强度存在差异。为降低环境成本,具有转移能力的污染型企业转移至较低环境规制强度的区域^[11,27],促使转出地生产要素流入清洁型企业,加快当地产业结构高级化。产业结构升级主要从以下方面影响公共健康:①污染型产业比重下降直接减少当地污染排放,促进当地环境质量改善,降低居民环境暴露风险。②随着生产要素向第三产业转移,以医疗卫生服务、健康服务管理、健康保险服务为代表的健康产业部门不断发展,逐步培育居民健康管理意识,引导居民增加健康投入,获取全方位健康保障,改善其健康状况。因此,提出假设 2b:产业结构升级在环境规制影响公共健康的过程中具有中介作用。

3)能源效率。能源效率对公共健康的改善效果可从以下方面解释:①中国能源消费结构以煤炭、石油等化石能源为主,能源消耗是加剧环境健康风险的主要原因。②提高能源效率是实现经济发展和生态保护“双赢”的必然选择,以较少能源投入和废物排放换取单位经济效益,是缓解经济发展与生态环境矛盾的有效方式。③已有研究表明将能源效率提高所节省的能源用于提升室内温度,有助于改善由呼吸类疾病引发的健康问题^[28]。环境规制对能源效率提升作用则取决于在环境规制压力下企业采取清洁能源替代、优化生产流程、更新低效生产设施等措施的主动性。因此,提出假说 2c:能源效率在环境规制影响公共健康的过程中具有中介作用。

1.3 环境规制对公共健康的影响效应变化:市场环境和人口环境视角

1)市场环境。中国市场化改革重点是发挥市场机制在资源配置中的决定性作用,主要表现在:①完善的市场机制增强了产业间要素资源的流动性,各类交易分配活动促进要素资源合理配置。②合理的价格信号引导微观企业做出正确资源配置决策,有效缓解资源错配,提高企业生产效率和减少污染排放。③有效供求机制将居民健康需求信号传递至健康产业,激发其研发和生产积极性,投入更多要素资源,提供丰富且优质的健康产品和服务。市场环境优化为居民健康提供的有效保障可能掩盖环境规制对公共健康的改善效果。排污权市场交易机制实质上也是市场化的重要组成部分,有效分担政府环境规制政策的治污压力。由此提出假设 3a:随着市场化程度提高,环境规制对公共健康的正向影响减弱。

2)人口环境。2000年以来,中国人口环境变化的突出表现为人口结构趋向老龄化。受此影响,环境规制对公共健康的影响效应产生变化主要有以下原因:①老龄人口身体机能以及抵御健康冲击的能力出现明显下降,环境质量变化对老龄人口健康的影响更为明显,这凸显出环境规制对于保障老龄人口健康的重要意义;②在老龄化趋势下,“银发经济”展现出强大发展潜力,强调以“医养结合”方式保障老龄人口健康,推动健康和养老服务业发展,吸纳在环境规制压力下产生的失业劳动力,并且引导资本要素流入该类产业,加快产业结构转型升级。据此,提出假设 3b:随着老龄化程度提高,环境规制对公共健康的正向影响增强(图 1)。

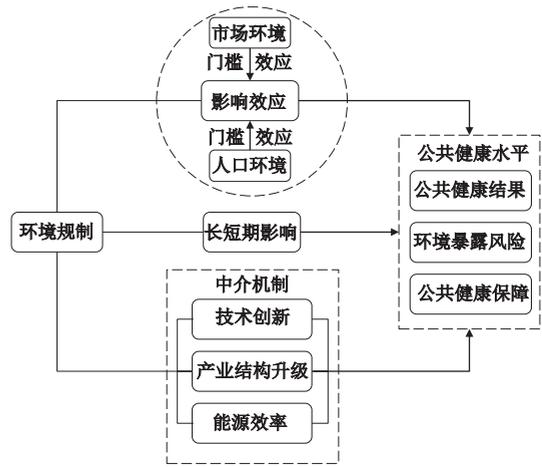


图 1 环境规制影响公共健康的研究框架

Fig.1 Research framework on impact of environmental regulation on public health

2 研究设计

2.1 模型设定

1)基准回归模型。基于 Grossman 健康生产函数^[16]和前文分析框架,结合模型检验,从宏观层面构建双固定效应的基准回归模型,形式如下:

$$PH_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ER_{it} + \alpha_2 X_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, i 和 t 分别代表省份和年份; PH 代表公共健康水平; ER 代表环境规制; X 代表控制变量组; λ_i 和 μ_t 分别代表个体和时间固定; α_0 代表常数项, α_1 、 α_2 代表对应变量系数; ε_{it} 代表随机误差项。

2)中介效应模型。参考江艇^[29]对中介检验思想和中介因果关系作用渠道的解释,采用两步法开展中介机制检验。中介效应检验模型如下:

$$M_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ER_{it} + \alpha_2 X_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中, M 表示中介变量,分别代表技术创新、产业结构升级和能源效率。中介变量与被解释变量的因果性应给予充分理论阐释,避免将中介变量作为“坏”控制变量引入回归模型。

3)门槛效应模型。本文采用 Hansen^[30]提出的门槛效应模型,分析市场化和人口环境变化影响下环境规制的公共健康效应变化,模型形式如下:

$$PH_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ER_{it} \cdot I(q_{it} \leq \varphi) + \alpha_2 ER_{it} \cdot I(q_{it} > \varphi) + \alpha_3 X_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中, q 是门槛变量,分别代表市场化和人口老龄化; φ 代表门槛值,门槛个数和数值根据门槛效应检验结果确定; $I(\cdot)$ 代表指示性函数; α_3 为对应变量系数。

4)面板误差修正模型(PECM)。参考薄文广等^[31]的研究,利用 PECM 考察环境规制对公共健康的短期和长期效应,建立模型如下:

$$\Delta PH_{it} = \alpha_0 + \phi ecm_{it} + \sum_{k=1}^n \eta_{1k} \Delta ER_{i,t-k+1} + \sum_{k=2}^n \eta_{2k} \Delta PH_{i,t-k+1} + \varepsilon_{it}, \quad ecm_{it} = PH_{it} - \beta ER_{it} \quad (4)$$

式中, Δ 代表一阶差分; ecm 代表误差修正项; ϕ 代表误差修正速度; k 是滞后阶数, n 是最佳滞后阶数; η 是短期修正系数; β 是长期影响系数。

2.2 变量选取

①被解释变量为公共健康水平(PH), 采用熵权 TOPSIS 法开展多维综合评价, 计算公式参见文献 [32]。基于科学性、系统性、有效性和数据可获性原则, 从公共健康结果、环境暴露风险和公共健康保障维度综合评价公共健康水平^[25]。公共健康结果是公共健康水平的直接表现, 选取总体死亡率、围产儿死亡率、孕产妇死亡率、5 岁以下儿童重度营养不良比重和甲乙类法定报告传染病发病率指标进行衡量。环境暴露风险是公共健康水平提升的阻滞因素, 选取万元 GDP 水体、气体和固体工业污染物(工业废水、工业化学需氧量、工业二氧化硫、工业颗粒物和一般工业固体废弃物)排放量指标进行测度。公共健康保障是公共健康水平提升的重要路径, 选取基本医疗参保率、每 1 000 人医疗卫生机构床位数、每万人医疗机构数量、每万人医护人员数以及人均地方财政医疗卫生支出指标进行衡量。②核心解释变量为环境规制(ER)。考虑到环境规制政策具有较强综合性, 采用单一指标测度具有片面性。借鉴纪小乐等^[15] 研究, 从治理产出角度评估环境规制强度, 仍采用熵权 TOPSIS 法进行测度, 包括 3 项指标: 一般工业固体废弃物综合利用率、污水集中处理率、建成区绿化覆盖率。③门槛变量与中介变量。市场化(MZ)和老龄化(AD)为门槛变量。以王小鲁等^[33] 编制的市场化指数作为市场化变量; 采用 65 岁以上人口占总人口的比例衡量老龄化程度。技术创新(TI)、产业结构升级(IU)和能源效率(EE)为中介变量。技术创新采用较为直观的专利申请数量测度。基于第一、二、三产业产值占比, 分别取 1、2、3 的系数相乘并求和得到产业结构升级指数, 公式参见文献 [34]。根据实测热值计算的各类能源折标准煤系数测算能源消耗总量, 以总产值与能源消耗总量之比表征能源效率^[35]。④控制变量^[36-37] 包括: 经济发展水平(EL)以人均 GDP 衡量; 对外开放度(OD)以外商直接投资与 GDP 比衡量; 人口密度(PD)以总人口与省份面积比衡量; 政府支持(GS)以财政支出与 GDP 之比衡量; 受教育程度(ED)以平均受教育年限衡量。

2.3 数据来源

本文研究区域为中国 30 个省级行政区, 西藏、香港、澳门以及台湾因数据获取问题未被纳入研究。数据来源于《中国统计年鉴》^[38]、《中国卫生健康统计年鉴》^[39] 以及各省份地方统计年鉴和统计公报。针对个别指标存在缺失值的问题, 采用插值法补齐。为剔除通胀因素对价格变量的影响, 以 2003 年为基期, 利用价格指数进行平减处理。对部分变量取对数以避免异方差影响, 提高回归结果准确性。

3 结果分析

3.1 基准回归分析

本文采用方差膨胀因子(VIF)检验多重共线性, 其均值为 2.62, 表明不存在严重多重共线性; 单位根检验结果表明各变量具有平稳性。由表 1 可知, 无论加入控制变量组与否, (1)(2)列的回归结果均显示 ER 系数显著为正, 初步表明环境规制对公共健康具有显著的正向促进效应。(3)列回归结果显示 ER 系数仍显著为正, ER^2 系数显著为负, 表明随着环境规制强度提高, 其对公共健康的改善作用会变为抑制作用, 呈现倒 U 型影响。加强环境规制并非能够提高全部行业生产, 其强度过高导致部分行业生产力下降, 致使其与环境生产率也呈倒 U 型关系^[26]。过度环境规制不利于健康产品供给, 应遵循适度原则, 促进公共健康水平提高。假设 1a 由此得证。

3.2 中介机制分析

由表 2 可知, (1)(5)列的 ER 系数显著为正, 表明环境规制能够促进技术创新和能源

效率提升。技术创新水平和能源效率提高使企业更有效地控制生产过程中的污染排放,降低居民环境暴露风险,同时提高企业生产效率,为公众提供更高质量的健康产品,更好地保障公共健康。假设 2a 和假设 2c 由此得证。表 2 的(3)列结果表明环境规制对 IU 的影响显著为负,其原因在于:①地区环境规制强度差异促使高污染产业转移至较低环境规制强度地区,不利于转入地产业结构升级。②由于初期环境规制的成本效应强于创新补偿效应,环境规制与产业结构升级呈 U 型关系^[27]。本文引入 ER^2 再次回归,验证二者的 U 型关系。表 2 的(4)列结果表明环境规制对产业结构升级呈 U 型影响,即随着环境规制强度增加,环境规制对产业结构升级的促进作用逐渐显现。污染型产业比重下降和服务业比重上升,有助于降低环境暴露风险和提高健康服务质量,改善公共健康。假设 2b 由此得证。表 2 的(2)(6)列分别检验了环境规制对技术创新和能源效率的非线性影响,结果显示非线性特征不明显。

表 1 环境规制影响公共健康的基准回归结果

Table 1 Benchmark regression results of the impact of environmental regulation on public health

变量	(1)	(2)	(3)
ER	0.1666*** (5.53)	0.0936*** (5.53)	0.3501*** (4.79)
ER^2			-0.2332*** (-3.88)
控制变量	是	是	是
省份/年份固定	是	是	是
R^2	0.9309	0.9433	0.9491

注:***表示在1%统计水平下显著; ER 代表环境规制; ER^2 代表环境规制的二次项;括号内为 t 统计量;空白处表示该变量未放入此回归过程;样本量为570,不含西藏、港澳台数据。

表 2 环境规制影响公共健康的中介机制检验结果

Table 2 Results of the mediating mechanism test on the impact of environmental regulation on public health

变量	$\ln TI$		IU		$\ln EE$	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ER	1.0867*** (4.54)	0.1596 (0.17)	-0.0818* (-1.87)	-0.2681*** (-8.37)	0.2655* (2.03)	-0.1043 (-0.26)
ER^2		0.8428 (1.03)		0.1693*** (4.51)		0.3361 (1.06)
控制变量	是	是	是	是	是	是
省份/年份固定	是	是	是	是	是	是
R^2	0.9464	0.9467	0.8603	0.8634	0.9024	0.9028

注:***、*分别表示在1%、10%统计水平下显著;括号内为 t 统计量; ER 代表环境规制; TI 为技术创新; IU 为产业结构升级; EE 为能源效率;空白处表示该变量未放入此回归过程;样本量为570;不含西藏、港澳台数据。

3.3 门槛效应分析

根据门槛效应检验结果,本文采用单一门槛模型探究老龄化影响下环境规制的公共健康效应变化,市场化影响下环境规制的公共健康效应则采用双重门槛模型分析,检验结果留存备案。由表 3 可知,随着门槛变量取值范围变化, ER 系数发生明显变化。表 3 的(1)列结果显示,当 $\ln MZ$ 分别超过第一和第二门槛值时, ER 系数逐渐下降且显著性未受影响。随着市场化水平提高,环境规制对公共健康的促进作用减弱。市场机制完善不仅分担了环境规制治污压力,还能够提高企业绿色生产效率,提供优质健康产品。假设 3a 由此得证。表 3 的(2)列结果显示,当 $\ln AD$ 超过 2.672 2 时, ER 系数明显增大且显著性增强。随着老龄化程度加深,环境规制的公共健康改善效应逐渐增强。环境规制对于满足日益增加的老

表 3 环境规制影响公共健康的门槛回归结果

Table 3 Regression results of the threshold for the impact of environmental regulation on public health

变量	(1)	变量	(2)
<i>ER</i> ($\ln MZ \leq 2.0666$)	0.0975*** (6.49)	<i>ER</i> ($\ln AD \leq 2.6722$)	0.0416* (1.74)
<i>ER</i> ($2.0666 < \ln MZ \leq 2.3273$)	0.0777*** (4.90)	<i>ER</i> ($\ln AD > 2.6722$)	0.0914*** (5.82)
<i>ER</i> ($\ln MZ > 2.3273$)	0.0625*** (4.03)		
控制变量	是	控制变量	是
省份/年份固定	是	省份/年份固定	是
R^2	0.9550	R^2	0.9510

注: **、* 分别表示在 1%、10% 统计水平下显著; 括号内为 *t* 统计量; *MZ* 为市场化; *AD* 为老龄化; *ER* 为环境规制; 空白处表示该变量未放入此回归过程; 样本量为 570, 不含西藏、港澳台数据。

年人口对健康环境需求、保障老年人口健康具有重要意义。假设 3b 由此得证。

3.4 异质性分析

本文从地理位置和能源结构角度分析环境规制影响公共健康的异质性特征。由表 4 可知, 各组回归结果均表明环境规制显著改善了公共健康。沿海省份的 *ER* 系数更为显著, 表明沿海省份环境规制的公共健康改善效应强于内陆。由于沿海省份陆海产业集聚程度较高, 经济活动密集, 受到陆海污染双重影响, 污染形势严峻, 加上人口稠密, 该区域环境规制的公共健康改善效果更为显著。中国能源结构以煤炭为主, 而煤炭属于高污染能源, 对居民健康存在严重威胁。以研究期内煤炭消耗占总能源消耗量比重的平均值为标准, 分为高煤炭占比和低煤炭占比组。结果表明显著性未出现明显差异。这可能是由于高煤炭占比省份大都位于中西部, 污染物受季风、河流和地形等因素影响向东扩散^[40], 尤其是空气污染跨界性质削弱了不同能源结构下环境规制的公共健康效应差异。

表 4 环境规制影响公共健康的异质性回归结果

Table 4 Heterogeneity regression results of the impact of environmental regulation on public health

变量	地理位置		能源结构	
	沿海省份	内陆省份	高煤炭占比	低煤炭占比
<i>ER</i>	0.1525*** (5.81)	0.0880** (2.77)	0.0464*** (3.04)	0.1205*** (3.02)
控制变量	是	是	是	是
省份/年份固定	是	是	是	是
R^2	0.9588	0.9534	0.9594	0.9519
样本量	209	361	361	209

注: **、* 分别表示在 1%、5% 统计水平下显著; 括号内为 *t* 统计量; *ER* 为环境规制; 不含西藏、港澳台数据。

3.5 环境规制对公共健康的长短期影响分析

在 PECM 估计之前, 协整检验结果表明环境规制与公共健康存在长期稳定均衡关系; 格兰杰因果检验表明环境规制是公共健康的单向格兰杰原因。基于 Blackburne 和 Frank^[41] 提出的 PECM 估计方法, 采用组平均(MG)估计、混合组平均(PMG)估计与固定效应动态面板(DFE)方法估计环境规制长短期公共健康效应。根据 AIC 和 BIC 准则, 确

定最优滞后阶数为 1。Hausman 检验结果显示, PMG 估计显著优于 MG 和 DFE 估计。由表 5 可以看出, ER 的长期效应系数均显著为正, 表明环境规制对公共健康呈现正向的长期均衡关系。 ecm 系数均显著为负, 符合变量向均衡状态进行负向修正的机制。当期 ER 短期效应系数均显著为正, 表明环境规制在短期内同样会对公共健康产生改善效果。综上, 假设 1b 得证。3 种估计方法滞后 1 期的 PH 和 ER 系数结果存在差异, PMG 估计结果表明滞后 1 期公共健康和环境规制对当期公共健康水平的短期影响不显著。

表 5 环境规制影响公共健康的 PECM 估计结果

Table 5 PECM estimation results of the impact of environmental regulation on public health

	变量	PMG	MG	DFE
EC	ER	0.5353*** (36.50)	0.7236*** (6.70)	0.4929*** (11.36)
SR	ecm	-0.2052*** (-5.79)	-0.2305*** (-6.74)	-0.1411*** (-8.14)
	ΔPH_{t-1}	-0.0005 (-0.01)	-0.0198 (-0.38)	0.0596 (1.37)
	ΔER_t	0.0676*** (3.55)	0.0810*** (4.67)	0.0447*** (2.67)
	ΔER_{t-1}	-0.0227 (-1.47)	-0.0308** (-2.20)	-0.0268* (-1.65)

注: **、*、* 分别表示在 1%、5%、10% 统计水平下显著; 括号内为 t 统计量; EC 、 SR 分别表示长期效应和短期效应; ER 为环境规制; ecm 代表误差修正项; t 代表年份; Δ 代表一阶差分; PH 代表公共健康; 不含西藏、港澳台数据。

3.6 稳健性检验

①进一步将城市化和消费结构纳入控制变量组, 城市化由城镇人口比重衡量, 消费结构由恩格尔系数衡量。②中国直辖市在经济、政治以及政府行为模式方面具有明显特殊性, 在剔除北京、上海、重庆和天津 4 个直辖市样本后重新对样本回归。③采取变量双边 1% 缩尾处理, 剔除异常值对回归结果稳健性的影响。④采用系统 GMM 处理可能存在的内生性问题, 使用解释变量的滞后变量作为工具变量, 并引入滞后 1 期被解释变量形成动态面板数据开展分析。以上稳健性检验结果与前文一致, 表明环境规制对公共健康的影响系数显著性是稳健的。稳健性检验结果留存备索。

4 结论与建议

4.1 结论

本文利用中国 2003—2021 年省级面板数据, 采用熵权 TOPSIS 法从多维角度对公共健康水平进行综合测度, 系统探究环境规制对公共健康的影响与作用机制, 以拓展环境健康经济学研究框架, 弥补当前研究的认识局限, 为其他处于转型发展时期的新兴国家经济体实现社会经济、环境保护与居民健康的均衡发展提供中国经验借鉴。结论如下: ①环境规制能够显著改善公共健康。且这种改善作用在短期调整和长期动态均衡关系上均具有稳定性。但过度环境规制对公共健康的潜在负向影响, 形成倒 U 型库兹涅茨曲线。环境规制应遵循适度原则以发挥最优公共健康改善效果。②环境规制的公共健康改善效应具有明显的区域异质性。沿海省份在人口密度、经济活动、产业集聚等方面存在明显优势, 但环境健康风险问题也更为突出, 致使其环境规制对公共健康的正向作用更为显著; 在能源结构分组下, 环境规制对公共健康的改善作用未有明显差异。③中介机制分析发现, 环境

规制能够通过促进技术创新、产业结构升级和能源效率提升的中介渠道改善公共健康,这有助于政府采取针对性举措疏通环境规制改善公共健康的机制“堵点”。④门槛效应分析表明,随着市场化和老龄化程度提高,环境规制对公共健康的改善作用具有不同反应。随着市场化增强,环境规制的公共健康改善效应逐渐减弱,而在老龄化影响下,其对公共健康的正向影响逐渐增强。

4.2 政策建议

①注重环境规制适度性,加强区域环境规制协同。适度环境规制对公共健康具有最优改善作用,应根据实际发展情况,及时动态调整环境规制相关法规,增强环境规制适用性,维持环境规制强度处于合理区间;加强区域间环境规制合作,继续完善环境规制跨区域协调机制,积极开展跨区域环境执法行动;加强区域间环境规制强度配合,避免由政策差异过大产生的制度漏洞为污染型企业提供寻租机会。②发挥技术创新、产业结构升级和能源效率的中介机制作用。加大技术创新投入,提升创新产出质量和促进产业化应用,培养亟需领域创新人才,营造保护知识产权和鼓励研发的政策环境;环境规制强度需与当地产业结构相匹配,制定合理产业发展规划,便于高层次产业转移,避免盲目承接污染产业;加快推进能源互联建设和工业园区间能源基础设施共享,完善能源效率标准监管;以“先立后破”为原则,采取价格激励等手段稳妥有序推进可再生能源替代传统化石能源。③积极推动市场化和应对老龄化趋势。引导劳动、资金、技术等生产要素流向健康产业,推动健康产业转型升级,提供多层次健康产品和优质健康服务,满足多样化健康需求;加快产权制度建设以明晰市场主体权责,逐渐完善排污权、碳排放权等市场交易机制,打破区域壁垒,促进全国统一市场形成;深化医疗服务体系改革,完善医疗保险制度和养老保险制度,提高由环境污染引发的慢性病补贴额度,减轻老龄人口就医和生活负担。

参考文献(References):

- [1] 郭玲玲,武春友,于惊涛,等.中国绿色增长模式的动态仿真分析[J].系统工程理论与实践,2017,37(8):2119-2130. [Guo Lingling, Wu Chunyou, Yu Jingtao et al. Dynamic simulation analysis of green growth mode in China. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(8): 2119-2130.]
- [2] Cohen A, Brauer M, Burnett R et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015[J]. *The Lancet*, 2017, 389(10082): 1907-1918.
- [3] 赵璟,靳珍.西部地区城市群经济增长对公共健康的作用[J].现代经济探讨,2021(5):38-46. [Zhao Jing, Jin Zhen. The effects of economic growth on public health in urban agglomerations of western China. Modern Economic Research, 2021(5): 38-46]
- [4] Das T, Das D. Does the augmentation of monetary and non-monetary factors prerequisite for the improvement of health outcomes? Evidence from the Indian states[J]. *International Journal of Health Planning and Management*, 2022, 37(2): 1131-1156.
- [5] Fan Luqing, Li Xiaojia, Koizumi N. Environmental regulation effect on health poverty in China[J]. *Heliyon*, 2024, 10(13): e33523.
- [6] 唐跟利,陈立泰,徐逸岚,等.创建国家卫生城市是否提升了公共健康水平?——基于PSM-DID方法的实证分析[J].公共行政评论,2022,15(4):137-156+199. [Tang Genli, Chen Litai, Xu Yilan et al. Does the establishment of national health city improve public health? Empirical analysis based on the PSM-DID method. *Journal of Public Administration*, 2022, 15(4): 137-156+199.]
- [7] Zhao Jinkai, Yang Wanping, Zhou Na et al. Measurement and space-time evolution of health level under constraint of environmental pollution, China: 2002—2016[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2020, 27(21): 26725-26741.
- [8] 曾伟平,李琳,殷梓惠.经济集聚对中国城市公共健康的影响[J].中国人口·资源与环境,2023,33(9):204-214. [Zeng Weiping, Li Lin, Yin Zihui. Impact of economic agglomeration on urban public health in China. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(9): 204-214.]
- [9] Nikos R, Kounetas E K, Konstantinos T et al. Environmental productivity growth, regulation and types of pollutants:

- Evidence from European firms[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 368: 122078.
- [10] 班斓, 刘晓惠. 不同类型环境规制对于异源性环境污染的减排效应研究 [J]. 宁夏社会科学, 2021(5): 140-151. [Ban Lan, Liu Xiaohui. The study of emission reduction effects of different environmental regulations on the different environmental pollution types. *Ningxia Social Sciences*, 2021(5): 140-151.]
- [11] 蔡宏波, 韩金镕, 钟腾龙. 企业迁移的减排效应——兼论“污染天堂假说”与“波特假说”[J]. 经济学动态, 2022(11): 90-106. [Cai Hongbo, Han Jinrong, Zhong Tenglong. The emission reduction effect of firm relocation: With discussions on the pollution heaven hypothesis and Porter hypothesis. *Economic Perspectives*, 2022(11): 90-106.]
- [12] 徐成龙, 庄贵阳. 基于环境规制的环渤海地区工业集聚对生态效率的时空影响 [J]. 经济经纬, 2020, 37(3): 11-19. [Xu Chenglong, Zhuang Guiyang. Spatial and temporal impact of industrial agglomeration on ecological efficiency in Bohai Economic Rim: A study based on environmental regulation. *Economic Survey*, 2020, 37(3): 11-19.]
- [13] Luo Gengyan, Guo Jitao, Yang Fangyi et al. Environmental regulation, green innovation and high-quality development of enterprise: Evidence from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 418: 138112.
- [14] Jing Yuhan, Hu Mingzhao, Zhao Lingdi. The effect of heterogeneous environmental regulations on the employment skill structure: The system-GMM approach and mediation model[J]. *Plos One*, 2023, 18(8): e0290276.
- [15] 纪小乐, 薛启航, 魏建. 环境规制与数字经济: 中国南北经济差异的诱致与扩大因素分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(12): 94-108. [Ji Xiaole, Xue Qihang, Wei Jian. Environmental regulation and the digital economy: An analysis of the inducement and enlargement factors of economic disparity between northern and southern China. *China Population Resources and Environment*, 2023, 33(12): 94-108.]
- [16] Grossman M. On the concept of health capital and the demand for health[J]. *Journal of Political Economy*, 1972, 82: 233-255.
- [17] Cropper M L. Measuring the benefits from reduced morbidity[J]. *American Economic Review*, 1981, 71(2): 235-240.
- [18] 谢强, 封进. 环境管制的健康效应与福利效应 [J]. 经济学 (季刊), 2023, 23(3): 894-912. [Xie Qiang, Feng Jin. The health and welfare effects of environmental regulation. *China Economic Quarterly*, 2023, 23(3): 894-912.]
- [19] Gao Di, Zhang Xiang, Zhang Xinyi et al. Environmental regulation: An enhancing or burden for social welfare and public health?[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 441: 140985.
- [20] 宋丽颖, 崔帆. 环境规制、环境污染与居民健康——基于调节效应与空间溢出效应分析 [J]. 湘潭大学学报 (哲学社会科学版), 2019, 43(5): 60-68. [Song Liying, Cui Fan. Environmental regulation, environmental pollution and the health of residents: The analysis of mediating effect and spatial spillover effect. *Journal of Xiangtan University (Philosophy and Social Sciences)*, 2019, 43(5): 60-68.]
- [21] Wang Yuze, Eriksson T, Luo Nengsheng. The health impacts of two policies regulating SO₂ air pollution: Evidence from China[J]. *China Economic Review*, 2023, 78: 101937.
- [22] Mujtaba G, Shahzad S J H. Air pollutants, economic growth and public health: Implications for sustainable development in OECD countries[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(10): 12686-12698.
- [23] 王树森, 秦宇, 朱志凯. 空气污染对中老年劳动供给时间的影响——基于生命周期理论的研究 [J]. 中央财经大学学报, 2023(7): 68-83. [Wang Shusen, Qin Yu, Zhu Zhikai. The impact of air pollution on the labor supply of middle-aged and the elderly. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2023(7): 68-83.]
- [24] Xu Junbing, Wang Yuning, Liu Wei. Green to health: The impact of environmental regulation on health status[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 98: 104839.
- [25] 李琳, 曾伟平. 中国城市公共健康水平的时空演化及其影响因素 [J]. 地理研究, 2022, 41(10): 2760-2776. [Li Lin, Zeng Weiping. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban public health level in China. *Geographical Research*, 2022, 41(10): 2760-2776.]
- [26] Wang Yan, Shen Neng. Environmental regulation and environmental productivity: The case of China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 62: 758-766.
- [27] 郭然, 原毅军. 环境规制、研发补贴与产业结构升级 [J]. 科学学研究, 2020, 38(12): 2140-2149. [Guo Ran, Yuan Yijun. Environmental regulation, R&D subsidy and industrial structure upgrading. *Studies in Science of Science*, 2020, 38(12): 2140-2149.]
- [28] 蔡海霞. 基于多维效应的能源效率评估理论——以非参数 DEA 方法为例 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2016, 18(4): 9-18. [Cai Haixia. Energy efficiency assessment theory based on multiple benefits: Non-parametric method DEA as an example. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2016, 18(4): 9-18.]
- [29] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120. [Jiang Ting. Mediating effects and moderating effects in causal inference. *China Industrial Economics*, 2022(5): 100-120.]
- [30] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.
- [31] 薄文广, 钱镓, 屈建成, 等. 新型城镇化与乡村振兴耦合协调及交互影响研究: 基于 156 个地级市面板数据的实证分析 [J]. 中国软科学, 2023(9): 106-116. [Bo Wenguang, Qian Yi, Qu Jiancheng et al. Study on coupling coordination and in-

- teraction between new urbanization and rural revitalization: Empirical analysis based on panel data of 156 prefecture-level cities. *China Soft Science*, 2023(9): 106-116.]
- [32] 赵领娣, 孙兆旭. 海岸带城市经济发展质量与生态韧性协同发展演化及空间收敛特征 [J]. *经济地理*, 2023, 43(7): 119-129+240. [Zhao Lingdi, Sun Zhaoxu. Evolution of coordinated development between economic development quality and ecological resilience in coastal cities and its spatial convergence features. *Economic Geography*, 2023, 43(7): 119-129+240.]
- [33] 王小鲁, 胡李鹏, 樊纲. 中国分省份市场化指数报告(2021)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021. [Wang Xiaolu, Hu Lipeng, Fan Gang. *Marketization index of China's province: Neri report 2021*. Beijing: Social Science Academic Press, 2021.]
- [34] 刘乃全, 邓敏, 曹希广. 城市的电商化转型推动了绿色高质量发展吗?——基于国家电子商务示范城市建设的准自然实验 [J]. *财经研究*, 2021, 47(4): 49-63. [Liu Naiquan, Deng Min, Cao Xiguang. Does the e-commerce transformation of cities promote green and high-quality development? Evidence from a quasi-natural experiment based on national e-commerce demonstration cities. *Journal of Finance and Economics*, 2021, 47(4): 49-63.]
- [35] 冯烽, 叶阿忠. 回弹效应加剧了中国能源消耗总量的攀升吗?[J]. *数量经济技术经济研究*, 2015, 32(8): 104-119. [Feng Feng, Ye Azhong. Does the rebound effect exacerbate the increasing of China's total energy consumption?. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, 32(8): 104-119.]
- [36] 刘伟明, 喻焯, 贾立江, 等. 低碳城市建设提升了国民健康素养吗 [J]. *当代财经*, 2022(11): 16-26. [Liu Weiming, Yu Huang, Jia Lijiang et al. Does the construction of low-carbon cities enhance the national health quality?. *Contemporary Finance and Economics*, 2022(11): 16-26.]
- [37] Ma Huimin, Di Danyang, Li Lin et al. Environmental decentralization, environmental public service, and public health: Evidence from 289 cities in China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, 44(9): 2905-2918.
- [38] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 2004—2022. 北京: 中国统计出版社, 2004—2022. [National Bureau of Statistics. *China statistical yearbook. 2004—2022*. Beijing: China Statistics Press, 2004—2022.]
- [39] 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴 [M]. 2004—2022. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2004—2022. [National Health Commission. *China health statistical yearbook. 2004—2022*. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2004—2022.]
- [40] 陈优良, 陶天慧, 丁鹏. 长江三角洲城市群空气质量时空分布特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(5): 687-697. [Chen Youliang, Tao Tianhui, Ding Peng. Spatial and temporal distribution characteristics of air quality in the urban agglomeration of the Yangtze River Delta. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(5): 687-697.]
- [41] Blackburne E F III, Frank M W. Estimation of nonstationary heterogeneous panels[J]. *The Stata Journal*, 2007, 7(2): 197-208.

Impact and mechanism of environmental regulation on public health from a multidimensional perspective

Sun Zhaoxu¹, Chen Jingshuai², Zhao Lingdi^{1,3}, Chen Dongjing⁴

(1. *College of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China*; 2. *Shandong Academy of Social Sciences, Jinan 250002, Shandong, China*; 3. *Marine Development Research Institute, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China*;
4. *College of Economics, Qingdao University, Qingdao 266100, Shandong, China*)

Abstract: As environmental health risks increase in China, environmental regulation has become an important option to protect public health. Based on the panel data of 30 provinces in China from 2003 to 2021, this article uses the entropy weight-Topsis method to comprehensively evaluate the level of public health from the perspective of health outcomes, environmental exposure risks, and health protection. The impact and mechanisms of environmental regulation on public health are systematically investigated using the double-fixed effects model, the mediation model, the threshold model, and the panel error correction model (PECM). The results show that: 1) Environmental regulation has an improving effect on public health, while the moderation of environmental regulation should be emphasized to effectively exert its public health-improving effect. An appropriate intensity of environmental regulation is necessary to achieve the optimal public health improvement effect. 2) The public health-improving effect of environmental regulation is more obvious in coastal provinces than in inland provinces, while the public health-improving effect of environmental regulation is not significantly improved in provinces with a high coal consumption ratio compared with provinces with a low coal consumption ratio. 3) Technological innovation, industrial structure upgrading, and energy efficiency play a mediating role in the impact of environmental regulation on public health. 4) As the degree of marketization increases, the public health-improving effect of environmental regulation gradually decreases, while the public health-improving effect of environmental regulation gradually increases under the influence of aging. 5) There is a long-term, stable relationship and one-way Granger causality between environmental regulation and public health. The PECM results confirm that environmental regulation has public health-improving effects in both the short and long term. This article provides reference for China's modernization process, which promotes harmonious cohabitation between humans and nature, as well as the "Healthy China" strategy.

Key words: multidimensional perspective; environmental regulation; public health; panel error correction model