

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

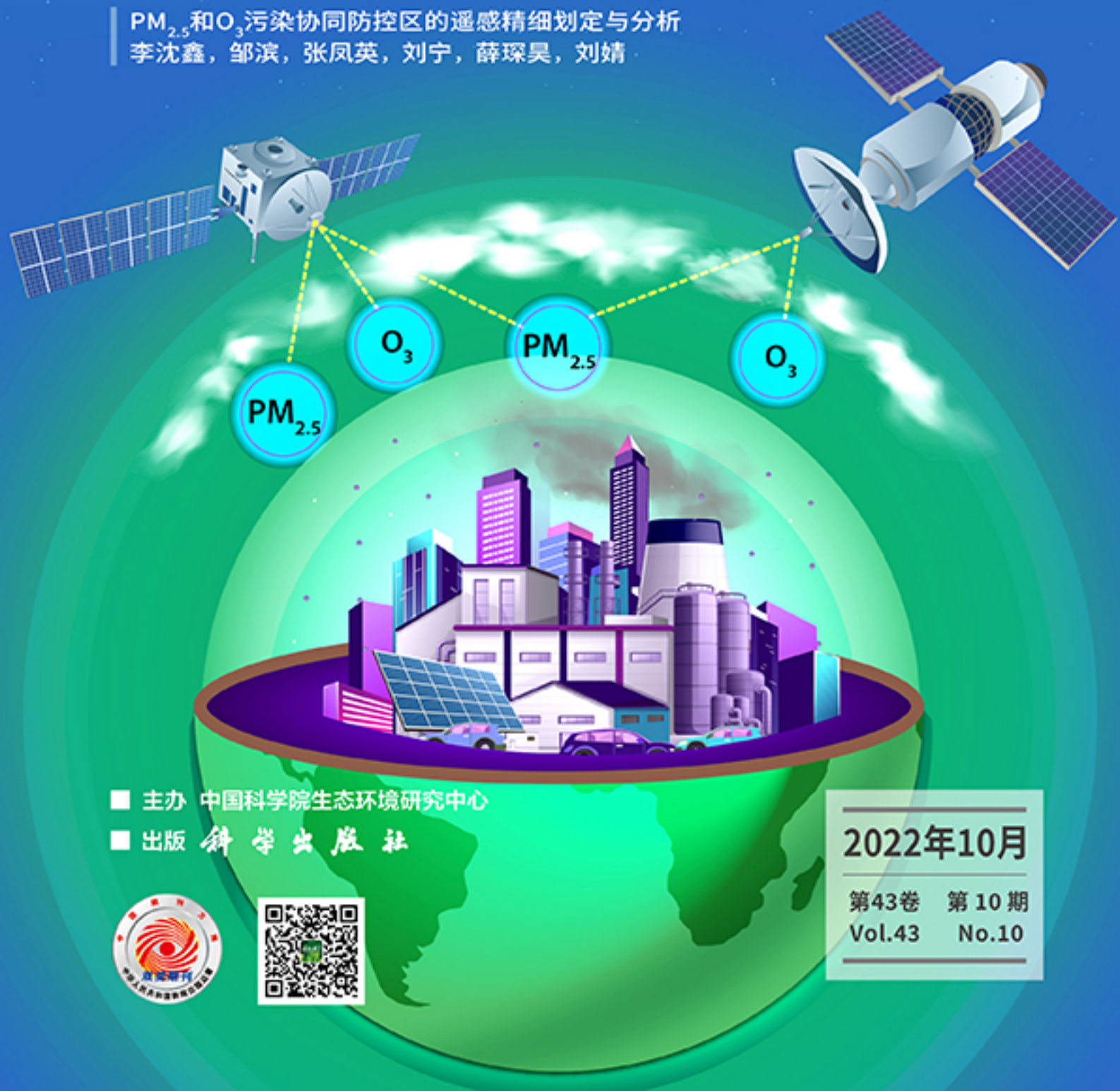
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析
李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年10月

第43卷 第10期
Vol.43 No.10

目次

PM _{2.5} 和O ₃ 污染协同防控区的遥感精细划定与分析	李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧 (4293)
广州市冬季一次典型臭氧污染过程分析	裴成磊, 谢雨彤, 陈希, 张涛, 邱晓暖, 王瑜, 王在华, 李梅 (4305)
佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用	陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 司徒淑婷, 程银琳, 步巧利, 吴蒙, 潘巧英 (4316)
乌海市高分辨率大气污染源排放清单构建及其在臭氧污染成因探究中的应用	张瑞欣, 楚波, 尚春林, 曹喜萍, 李光耀, 朱玉凡, 刘晓, 夏佳琦, 陈强 (4327)
结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征	邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 李思远, 丁朔, 胡康, 张家乐, 陈梅汀 (4338)
机动车制动磨损颗粒物及挥发性有机物的组分特征	门正宇, 刘笃优, 郭全有, 张静, 彭剑飞, 吴琳, 毛洪钧 (4348)
笼养鸡舍冬季挥发性有机物排放特征	曹甜甜, 郑云昊, 张羽, 王悦, 丛群欣, 王源昊, 董红敏 (4357)
上海市生活垃圾房气溶胶中可培养细菌污染状况及种群特征	卢冰洁, 张翔, 王川, 邱俊, 李丹 (4367)
浙江省2008~2018年人为源氨排放清单及分布特征	方利江, 杨一群, 叶观琼 (4380)
“双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图	薛英岚, 张静, 刘宇, 陈瑜, 孙健, 蒋洪强, 张伟, 曹东 (4392)
空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角	郑航, 叶阿忠 (4401)
中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制	白梓函, 吕连宏, 赵明轩, 张楠, 罗宏 (4408)
近年全国地表水水质变化特征	嵇晓燕, 侯欢欢, 王姗姗, 杨凯 (4419)
湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素	范梦苑, 黄懿梅, 张海鑫, 李好好, 黄倩 (4430)
汾河流域地表水化学同位素特征及其影响因素	赵春红, 申豪勇, 王志恒, 梁永平, 赵一, 谢浩, 唐春雷 (4440)
城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 李海军 (4449)
喀什噶尔河下游平原区地下水咸化特征及成因分析	鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 孙英 (4459)
重庆市老龙洞地下河流域硝酸盐来源和生物地球化学过程的识别	王雨畅, 杨平恒, 张洁茹 (4470)
蓝藻水华过程中优势种群演替模式、效应及驱动因子分析	欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李佳欣, 李玉鑫, 施军琼, 吴忠兴 (4480)
珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子	张茉莉, 王思瑞, 昌盛, 王山军, 金德才, 樊月婷, 张坤峰, 谢琼, 付青 (4489)
营养物质对铜绿微囊藻生长和藻际细菌的影响	吕萍, 李慧莉, 徐勇, 郑效旭, 黄振华, 王聪, 徐圣君, 庄绪亮 (4502)
老化作用对微塑料吸附四环素的影响及其机制	王林, 王姝歆, 曾祥英, 何杨, 黄雯, 郑世界, 张建强 (4511)
沉积物和土壤中胶体对氯霉素吸附行为的影响	晏彩霞, 罗燕清, 聂明华, 周旋, 丁明军 (4522)
历史抗生素胁迫改变磺胺甲噁唑和甲氧苄啶对活性污泥的影响: ARGs及其潜在宿主	张忠兴, 樊晓燕, 李星, 高玉玺, 赵君如 (4536)
阳朔典型铅锌矿区流域土壤重金属空间分布特征及来源解析	陈盟, 潘泳兴, 黄奕翔, 王耀耀, 张睿东 (4545)
白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估	郑飞, 郭欣, 汤名扬, 朱冬, 董四君, 康乐, 陈兵 (4556)
基于地理探测器的镇域尺度土壤重金属含量空间分异及其影响因素分析	龚仓, 王亮, 王顺祥, 张志翔, 董航, 刘玖芬, 王德伟, 严步青, 陈映 (4566)
燃煤电厂重金属排放与周边土壤中重金属污染特征及健康风险	车凯, 陈崇明, 郑庆宇, 范辉, 魏明磊, 罗蓬, 郁金星 (4578)
海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别	杨剑洲, 龚晶晶, 王振亮, 高健翁, 杨建坤, 胡树起, 唐世新 (4590)
九龙江口红树林表层沉积物重金属赋存形态及污染评价	张华兰, 于瑞莲, 王瑞安, 胡恭任, 黄华斌, 吴雅清 (4601)
我国茶叶主产区有机肥重金属含量现状	伊晓云, 方丽, 杨向德, 马立峰, 刘美雅, 张群峰, 倪康, 石元值 (4613)
甘肃省农业土壤邻苯二甲酸酯累积特征及来源分析	陈玉玉, 张光全, 张杨, 李明凯, 郝佳欣, 熊有才, 李崇霄, 曹靖 (4622)
三峡库区澎溪河不同高程消落带土壤磷形态及磷酸酶活性分布特征	高艺伦, 方芳, 唐子超, 张蕊, 蒋艳雪, 郭劲松 (4630)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征及其与理化因子的相关性	李昕竹, 贡璐, 唐军虎, 罗艳, 丁肇龙, 朱海强, 张涵, 李蕊希 (4639)
黄土丘陵区柠条人工林不同深度土壤呼吸速率对土壤湿度的响应	孙亚荣, 王亚娟, 赵敏, 薛文艳, 梁思琦, 刘乐, 刘超, 陈云明 (4648)
基于Meta-analysis的生物炭对土壤硝态氮淋失和磷酸盐固持影响	姜志翔, 崔爽, 张鑫, 郝敏, 孙德茂 (4658)
低分子有机酸强化植物修复重金属污染土壤的作用与机制	方治国, 谢俊婷, 杨青, 卢烨桢, 黄海, 朱芸娟, 尹思敏, 吴鑫涛, 都韶婷 (4669)
无机钝化剂对镉污染酸性水稻土的修复效果及其机制	张剑, 孔繁艺, 卢升高 (4679)
改良铅锌矿渣对栎树幼苗铅锌富集与耐性机制	谢天志, 陈永华, 苏荣葵, 刘慧, 姚海松 (4687)
CaO ₂ /FA复合材料富集磷效能及其回收物对土壤改良作用	岳薇, 李大鹏, 吴玲予, 王璐, 汤尧禹, 朱企, 黄勇 (4697)
早稻秸秆还田和减钾对晚稻产量和土壤肥力的影响	黄巧义, 黄建凤, 黄旭, 吴永沛, 李苹, 付弘婷, 唐拴虎, 刘一峰, 徐培智 (4706)
秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响	蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰 (4716)
化肥减量配施秸秆对双季稻田固氮微生物群落的影响	陈凯鹏, 韦菊娟, 陈丹, 王聪, 沈健林, 李勇, 吴金水 (4725)
化肥减量与有机物料添加对华北潮土微生物氮循环功能基因丰度和氮转化遗传潜力的影响	李胜君, 胡荷, 李刚, 王蕊, 赵建宁, 张贵龙, 修伟明 (4735)
长期覆膜条件下农田土壤微生物群落的响应特征	胡志娥, 肖谋良, 丁济娜, 李剑虹, 陈剑平, 葛体达, 鲁顺保 (4745)
长期秸秆还田对潮土真菌群落、酶活性和小麦产量的影响	马垒, 李燕, 魏建林, 李子双, 周晓琳, 郑福丽, 吴小宾, 王利, 刘兆辉, 谭德水 (4755)
土壤改良剂对再生水滴灌根际土壤菌群多样性及病原菌和抗生素抗性基因丰度的影响	崔丙健, 崔二革, 刘春成, 胡超, 樊向阳, 李中阳, 高峰 (4765)
氮素对苜蓿植物修复垃圾堆场镉-多环芳烃复合污染土壤及土壤细菌群落结构的影响	李怡佳, 马俊伟, 李玉倩, 肖琛, 沈心怡, 牛云, 陈家军 (4779)
抗生素降解剂对猪粪堆肥腐熟和细菌群落演替的影响	李琳琳, 张昕, 马军伟, 孙万春, 成琪璐, 林辉 (4789)
《环境科学》征订启事 (4337) 《环境科学》征稿简则 (4407) 信息 (4521, 4705, 4800)	

中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制

白梓函, 吕连宏*, 赵明轩, 张楠, 罗宏

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 在“走出去”战略和“一带一路”倡议下, 中国与世界之间的商品服务贸易和生产要素流动愈发频繁, 对外直接投资总量可观且增长明显; 伴随着经济的粗放发展与对外投资的大幅增长, 中国对外直接投资 (OFDI) 的环境效应备受关注. 通过理论分析和逻辑推导提出了中国对外直接投资对环境造成影响的 3 个可能路径, 选取 2004 ~ 2019 年中国省级数据构造将主要环境污染物排放量和碳排放量囊括在内的环境负荷指数为因变量, 建立中介效应模型分析中国 OFDI 的母国减污降碳效应和实现机制. 结果表明: ①中国对外直接投资能够减轻环境负荷, OFDI 每增长 1% 会使得环境负荷减少 0.051% ~ 0.076%; ②中国 OFDI 通过促进产业结构高级化和技术创新进步的方式减轻母国环境负荷, 其 1% 的增长通过二者的间接效应使得环境负荷分别减少 0.060% 和 0.006%; 通过经济规模扩大的路径则会增加环境负荷 0.009%; 同时, 对外直接投资通过直接效应带来环境负荷减少 0.014% ~ 0.034%. 以产业结构高级化、技术创新进步和经济规模扩张为中介带来的环境负荷减少的贡献度分别为 65.9% ~ 84.5%、6.6% ~ 8.5% 和 -12.7% ~ -9.9%, OFDI 直接带动环境污染负荷变化贡献度为 19.7% ~ 37.4%. 最后提出了继续推动中国企业和资本走出去、鼓励国内相对劣势产业开拓国外市场、加强逆向技术溢出效应和形成可持续的低碳发展模式等政策建议.

关键词: 对外直接投资 (OFDI); 中介效应; 碳达峰; 减污降碳; 环境污染

中图分类号: X32 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4408-11 DOI: 10.13227/j.hjkk.202201283

Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism

BAI Zi-han, LÜ Lian-hong*, ZHAO Ming-xuan, ZHANG Nan, LUO Hong

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Under the “Going out” strategy and the Belt and Road Initiatives, the trade in goods and services and flow of production factors between China and the rest of the world have become more frequent, and the total amount of outward foreign direct investment (OFDI) is considerable and growing significantly. Therefore, along with the extensive economic growth and the substantial growth of foreign investment, the environmental impact of OFDI has become noteworthy. Here, through theoretical analysis and logical deduction, three possible pathways of the impact of OFDI in China on the environment were presented as hypotheses, which included the industrial structure, the technological innovation progress, and the economic-scale expansion. Using Chinese provincial data from 2004 to 2019, an environmental load index including main environmental pollutant emissions and carbon emissions was constructed. Taking this as the dependent variable, an intermediary effect method was constructed to analyze the home pollution and carbon reduction effect and the influence mechanism of OFDI in China. The results showed that ① OFDI in China reduced the environmental load, and each 1% increase in OFDI reduced the environmental load by 0.051% - 0.076%. ② The OFDI in China reduced the environmental load by advancing the industrial structure and technological innovation progress, and a 1% increase in OFDI resulted in a 0.060% and 0.006% reduction in environmental load through their indirect effects, respectively, whereas OFDI increased the environmental load by 0.009% through the path of economic-scale expansion. The contributions of leading environmental load changes mediated by advancing industrial structure, technological innovation progress, and economic-scale expansion were 65.9% - 84.5%, 6.6% - 8.5%, and -12.7% - -9.9%, respectively, and the contribution of OFDI directly driving the environmental load to change was 19.7% - 37.4%. Based on this, policy recommendations, including promoting Chinese enterprises and capital going abroad, encouraging relatively disadvantaged domestic industries to explore foreign markets, strengthening reverse technology spillover effects, and forming a sustainable low-carbon development mode, have been proposed.

Key words: outward foreign direct investment (OFDI); intermediary effect method; carbon peaking; pollution and carbon reduction; environment pollution

自 2001 年加入世界贸易组织 (WTO) 以来, 中国和世界之间贸易与资本流动蓬勃增长. 2020 年中国货物贸易和服务贸易额分别位居世界第一位和第二位; 外商直接投资和对外直接投资分别居发展中国家首位和世界首位. 后者在中国“走出去”战略和“一带一路”倡议背景下增长明显, 2020 年流量金额高达 1537.1 亿美元, 较上年同比增长 12.3%, 占全球总量的 20.2%; 对推动中国充分利用国内外市场和资源, 加速技术进步、促进产业升级和激发经济活力具有重要意义.

与此同时, 中国社会主要矛盾发生转变, 经济高速增长和粗放发展模式所导致的生态环境发展不平

衡与不充分已成为社会所广泛关注的议题; 环境污染在引起居民健康问题的同时^[1], 对经济发展产生负面影响^[2], 并成为诱发社会不平等的因素^[3]. 另一方面, 2021 年 3 月 15 日习近平总书记提出“要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局”. 大气污染物与二氧化碳等温室气体排放具有同根同源的特点^[4,5], 实施大气污染物与温室气体协同控制的

收稿日期: 2022-01-27; 修订日期: 2022-03-03

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (2021 YSKY-07); 国家自然科学基金项目 (21BJY247)

作者简介: 白梓函 (1998 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境经济与管理, E-mail: haizhan29@163.com

* 通信作者, E-mail: lvli@craes.org.cn

要求明确纳入法律^[6]。随着全球气候变化加剧及中国“双碳”目标提出,碳排放作为影响环境的重要因素纳入排放总量控制体系。

中国对外直接投资(outward foreign direct investment, OFDI)在流向国外高能耗高污染行业的同时也流向了科学研究和信息技术等领域,对本国环境产生的正负影响及其传导机制值得探究。目前研究关于国际资本流动对环境影响的研究可以大致划分为以外商直接投资和以对外直接投资为核心变量的两类研究,前者成果较丰富^[7~13],而后者则相对较少。在以 OFDI 为核心变量的研究中,部分学者将目光集中在探究其对碳排放的影响^[14~20],通过固定效应模型、门槛模型、联立方程组模型或空间计量模型定量识别 OFDI 的碳排放效应。也有研究利用二氧化硫、氮氧化物和工业“三废”等污染物排放作为环境质量的衡量指标^[21,22],探究 OFDI 与环境污染排放之间的因果关系。由于对外直接投资是以企业为主体的行为,因此也有研究从微观层面探究企业对外直接投资对环境污染的影响^[23,24]。但上述文献均较少涉及对影响传导路径的深入研究,故而近年来一些学者在此基础上通过设置交互项等方式探究 OFDI 对环境的影响机制^[25~28]。

综上,目前研究集中分析了对外直接投资对环境污染和碳排放的环境效应及影响机制,对本文具有重要参考意义。基于此,本文可能的研究创新与贡献在于:①通过理论推导与中介效应实证分析,说明了产业结构、技术创新和经济规模是外商直接投资环境效应的多重影响路径,并对 OFDI 产生的环境效应和影响机制进行识别与检验。②贯彻减污降碳、协同治理理念,将二氧化硫、烟(粉)尘、氨氮和工业“三废”等污染物排放同碳排放纳入统一指标,以综合衡量环境影响因素,进而考察中国对外直接投资对母国的减污降碳效应。

1 理论分析与研究假设

探究国际贸易与环境之间关系的研究可以追溯至 Pethig^[29]和 Copeland 等^[30]的“污染者天堂”假说, Grossman 等^[31]进一步指出,结构效应、技术效应和规模效应是国际贸易中决定污染排放的 3 个因素。国际贸易与生产要素的国际流动相互补充并相互促进,借鉴国际贸易的环境效应研究思路,本文将资本作为一种生产要素,从产业结构、科技创新和经济规模这 3 个方面研究中国对外直接投资对母国环境影响,见图 1。

对外直接投资对母国产业结构的作用路径可从两方面考虑:微观层面上,母国在东道国进行投资建

厂,开拓国外市场、扩大企业市场需求、带来规模经济,促使企业生产流程升级;在对发达国家或具有相对优势国家进行投资时,可引进新兴国外产品或进行已有产品升级^[32],共同促进企业产品结构的升级,进而带来母国产业结构升级。宏观层面上,在对具有产业相对劣势的国家进行投资时,母国正在或将要处于比较劣势的产业为寻求新的发展市场进行对外投资,母国边际产业开始转移^[33],同时为新兴产业和具有比较优势的产业提供更多资源和发展空间,实现母国产业结构的升级。此外,通过补充母国短缺资源从而突破产业发展瓶颈^[34]、对外投资产业的产业链带动^[35]等也是 OFDI 影响产业结构的不同路径。

对外直接投资对母国技术创新能力的影响则主要是通过逆向技术溢出效应实现。以跨国企业为主体的对外直接投资使得企业充分接近国外研发资源^[36],获取经验和管理等研发要素、取得东道国研发成果、培养母国或吸纳东道国研发人员。通过学习、模仿与合作下的示范效应以及为适应东道国企业竞争压力而积极获取研发要素的竞争效应,充分促进 OFDI 的逆向技术溢出,实现企业技术升级,进而促进母国科技创新能力。

对外直接投资对母国经济规模的影响可概括为需求拉动和供给推动。前者由于 OFDI 带动母国资本品及中间商品出口增加,实现国外需求的增长;其增长进一步扩大母国就业^[37]、增加居民收入并促进消费,实现国内需求的增长。在供给推动方面,对外投资带来部分要素的供给流动^[38]和供给效率的提升,同时在开放经济结构供给优化的过程中带来进口与出口、市场结构和贸易方式结构的调整,扩大有效供给,推动经济规模增长。

另一端,产业结构、技术创新和经济规模对环境的影响机制则相对清晰。三次产业在运行过程中对劳动力、资源、技术和资本等要素的需求大相径庭,因而其对污染物和碳排放的影响也不尽相同^[39]。在产业结构高度化转型的过程中,产业向着高附加值、高集约化和高技术化发展,新兴的高新技术产业和服务业在对经济增长起积极贡献的同时也缓解了部分“两高”产业带来的环境压力。技术进步层面,技术创新有助于提高生产效率和节能降耗,绿色技术的进步更是能够节约资源和减少污染。经济规模方面,经济发展与环境污染相伴相生,尤其产品的生产和服务的提供会带来污染物和碳的排放,且中国整体尚处于相对依赖于要素投入的外延型增长,市场化下 OFDI 行为带来的经济规模扩大对环境产生负面影响。

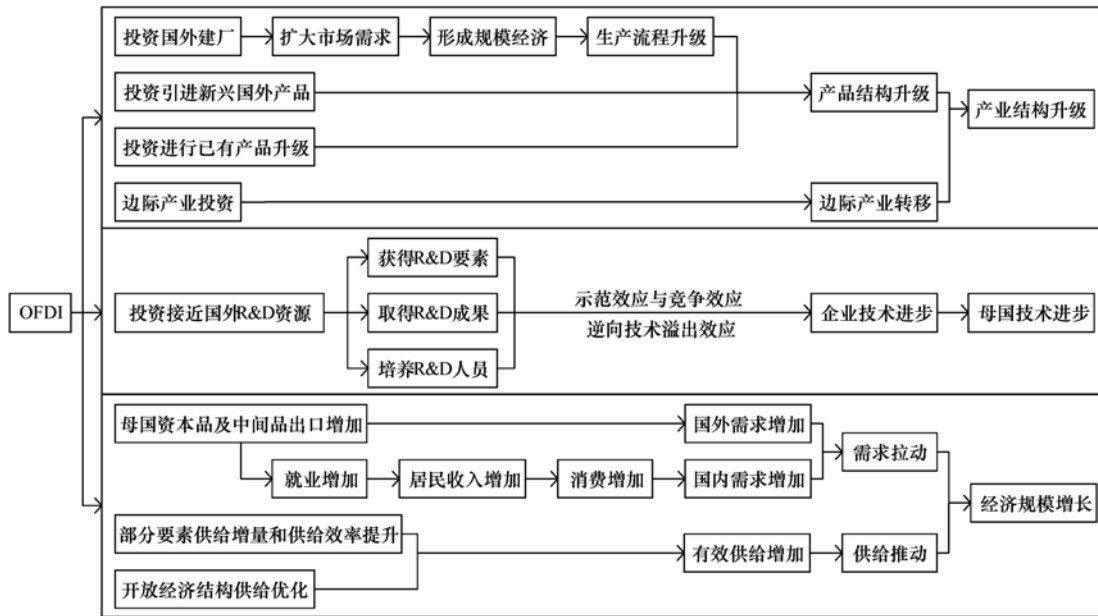


图1 OFDI对母国产业结构、技术创新和经济规模作用机制

Fig. 1 Effect mechanism of OFDI on industrial structure, technological innovation, and economic scale of home country

基于上述分析,本文提出如下研究假说。

H1: 对外直接投资能够对母国环境产生影响;
H2: 对外直接投资的增长有利于产业结构升级、技术创新进步和经济规模增长; 产业结构升级、技术创新进步有利于改善环境质量, 而 OFDI 带来的经济规模增长具有负面环境效应。

2 模型设定与变量选取

2.1 模型设定

为检验中国对外直接投资对母国产生的环境效应, 构建如下基准模型:

$$P_{it} = \alpha + \beta \cdot \text{OFDI}_{it} + \gamma \cdot X_{it} + v_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, i 为省份, t 为年份, P 为被解释变量, 表示环境负荷指数; OFDI 为核心变量, 表示直接对外投资; β 为关键待估参数, 表示 OFDI 对 P 的总效应; X 为控制变量矩阵, 包括环境财政投入、对外开放程度、能源消费情况、居民收入水平和人口规模; v_i 、 δ_t 和 ε_{it} 为空间、时间和随机扰动项。

通过理论分析, 探究产业结构、技术创新和经济规模对中国环境影响的中介效应是否存在及影响方向, 构建如下中介模型:

$$\text{FIS}_{it} = \alpha_1 + \beta_1 \cdot \text{OFDI}_{it} + \gamma_1 \cdot X_{it} + v_{1i} + \delta_{1t} + \varepsilon_{1it} \quad (2)$$

$$\text{TI}_{it} = \alpha_2 + \beta_2 \cdot \text{OFDI}_{it} + \gamma_2 \cdot X_{it} + v_{2i} + \delta_{2t} + \varepsilon_{2it} \quad (3)$$

$$\text{GDP}_{it} = \alpha_3 + \beta_3 \cdot \text{OFDI}_{it} + \gamma_3 \cdot X_{it} + v_{3i} + \delta_{3t} + \varepsilon_{3it} \quad (4)$$

$$P_{it} = \alpha_0 + \beta_0 \cdot \text{OFDI}_{it} + \theta_0 \cdot M_{it} +$$

$$\gamma_0 \cdot X_{it} + v_{0i} + \delta_{0t} + \varepsilon_{0it} \quad (5)$$

式中, RIS、TI 和 GDP 为中介变量, 分别表示产业结构、技术创新和经济规模, 式(2)~(4)中系数 β_1 、 β_2 和 β_3 为 OFDI 对 3 个中介变量的效应; 式(5)中 M 表示 3 个中介变量, θ_0 为控制了 OFDI 影响后中介变量对 P 的效应, β_0 为 OFDI 对 P 的直接效应。

2.2 变量说明与数据来源

2.2.1 被解释变量与核心变量

以中国“双碳”目标设定为背景, 以减污降碳协同治理为要求, 将经济增长与碳排放控制相协调^[40], 将二氧化硫、烟(粉)尘、氨氮和工业“三废”等污染物排放同碳排放一起, 使用熵值法构建环境负荷指数。其中, 碳排放量通过煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气共八类化石能源消耗量计算^[41]:

$$C_{it} = \sum_{j=1}^n (E_{ijt} \cdot \sigma_j \cdot \rho_j) \cdot \frac{44}{12} \quad (6)$$

式中, C_{it} 为 i 省份 t 年的 CO_2 排放量, E_{ijt} 为 i 省份 t 年 j 类能源消费量, σ_j 为 j 类能源折标煤系数, ρ_j 为 j 类能源碳排放系数。

由于熵值法能够根据指标之间差异程度决定权重系数, 形成客观的数据降维效果^[42], 将工业废水排放量、工业 COD 排放量、工业氨氮排放量、工业废气排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟(粉)尘排放量、一般工业固体废物产生量和碳排放量依据熵值法计算环境负荷指数:

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (7)$$

$$e_j = \sum_{i=1}^n (p_{ij} \cdot \ln p_{ij}) / \ln n \quad (8)$$

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (9)$$

$$s_i = \sum_{j=1}^m (w_j \cdot x_{ij}) \quad (10)$$

式中， i 为样本， j 为各类污染物和碳排放量指标， x_{ij} 为进行标准化后数据， s_i 为最终环境负荷指数。

核心变量对外直接投资选取各省份历年对外直接投资流量额，以当年汇率（年平均价）折算为人民币后，并以 2004 年为基期进行平减。

2.2.2 中介变量与控制变量

产业结构优化升级是指在三次产业协调发展的基础上，实现经济增长主要驱动由劳动力驱动、资源驱动向资本驱动或技术驱动。根据配第-克拉克定理，本文参考付凌晖^[43]的方法通过三次产业增加值所构成的空间向量，描述三次产业沿着第一、二、三产业顺序上升的过程以较准确地量化中国产业结构升级状况。计算过程如下：

$$\theta_j = \arccos \frac{\sum_{i=1}^3 (x_{i,j} \cdot x_{i,0})}{\left[\sum_{i=1}^3 (x_{i,j}^2)^{1/2} \right] \cdot \sum_{i=1}^3 (x_{i,0}^2)^{1/2}} \quad (11)$$
$$(j = 1, 2, 3)$$

$$W = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^k \theta_j \quad (12)$$

式中， $x_{i,0}$ 为第 i 产业增加值占 GDP 比重，定义向量 $X_0 = (x_{1,0}, x_{2,0}, x_{3,0})$ ， θ_1 、 θ_2 和 θ_3 为 X_0 与向量 $X_1 = (1, 0, 0)$ 、 $X_2 = (0, 1, 0)$ 和 $X_3 = (0, 0, 1)$ 的夹角。 W 为产业结构高级化值，其值愈大说明产业结构高级化水平愈高。

技术创新方面，选取有效发明专利数以衡量技术创新成果产出，选取专利申请受理量代表技术创新积

极性和活跃度，选取 R&D 经费内部支出表示技术创新的资金投入，三项指标通过前文熵值法进行降维，生成指标用以指代不同年间各省份技术创新情况。

经济规模方面，用地区生产总值进行衡量。

经过初步回归筛选，选取控制变量包括：①环境财政投入（节能环保支出占比，即各地区节能环保支出与地方一般公共预算支出的比值）通过对污染防治和能源节约利用的支出对环境产生一定积极影响，例如扩大北方地区清洁取暖试点范围和推行购置新能源汽车补贴等措施，能够减少大气污染排放并促进能源高效利用。②对外开放程度（使用经营单位所在地进出口总额指代）决定了一国与世界之间要素的流动量从而影响资源消耗与环境质量。③能源消费（以地区能源消费总量描述），尤其是化石能源的消费与碳排放和大气污染物排放具有紧密关系。④居民收入（城镇居民人均可支配收入）则用于控制不同地区不同年份居民的消费水平，侧面对居民生活所产生的污染排放进行描述。⑤人口规模（年末常住人口）用于剔除由于人口增长所带来的正常污染和碳排放增加对环境造成的影响，从而更准确地识别 OFDI 带来的环境效应。

2.2.3 数据来源及描述性统计

本文选取 2004 ~ 2019 年中国 30 个省、自治区和直辖市（受数据限制未包含西藏自治区和港澳台地区）作为样本，数据来源于文献[44 ~ 49]、国家统计局数据（<https://data.stats.gov.cn/>）、各省市 2005 ~ 2020 年统计年鉴和统计公报和财政决算情况报告。少量缺失值通过期望最大化法进行填充。以货币为单位的数据均将 2004 年为基期进行平减处理。同时为降低异方差和数据非平稳性影响，对所有变量取自然对数进行后续研究。变量描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量		样本量	单位	平均值	标准差	最大值	最小值
因变量	<i>P</i>	480	环境负荷指数(无量纲)	20.833	13.949	67.259	0.769
关键变量	OFDI	480	直接对外投资/万亿元	0.687	1.512	11.998	0.000
中介变量	RIS(0)	480	产业结构高级化指数(无量纲)	2.588	0.321	3.342	1.373
	RIS(1)	480	第三与第二产业产值比值(无量纲)	1.041	0.584	5.169	0.494
	TI(0)	480	技术创新指数(无量纲)	20.833	34.764	259.399	0.069
	TI(1)	480	有效发明专利数/万件	2.089	4.101	29.587	0.001
	GDP(0)	480	地区生产总值/万亿元	1.265	1.185	7.369	0.043
	PERGDP(1)	480	人均地区生产总值/万元	2.950	1.904	11.246	0.396
控制变量	EEP	480	节能环保支出占比/%	6.903	6.426	51.155	0.163
	FT	480	进出口总额/万亿元	5.361	9.418	52.230	0.023
	EC	480	能源消费总量/亿吨标准煤	1.299	0.835	4.139	0.074
	DI	480	城镇人均可支配收入/万元	1.655	0.787	5.264	0.677
	POP	480	年末常住人口/千万人	4.455	2.688	11.521	0.061

3 实证分析与结果检验

3.1 基准回归

由于数据为时间范围小于截面维度的短面板,时间效应所导致的伪回归可能性较小^[50~52];加之对数据进行自然对数处理,减小了数据可能存在的非平稳性,因而无需进行平稳性与协整性检验.为识别中国对外直接投资对本国的环境效应,首先以式(1)描述 OFDI 对环境的总效应.从实际意义出发,选取样本囊括中国大部分省份,可以不看作从总体中抽样的结果;且各省之间存在非

随机的异质性截距,因而更倾向于选择固定效应模型进行估计.结合 BP 检验、F 检验和 Hausman 检验结果,最终选择固定效应模型作为基准回归最终模型,回归结果如表 2 所示.以混合回归模型 1 作为参照,以固定效应模型 2 和聚类稳健标准误的固定效应模型 3 进行估计,三者均表明 OFDI 对环境负荷具有显著的总负向效应,即 OFDI 每增长 1% 会使得环境负荷减少 0.051%~0.076%.这表明在控制环境财政投入、对外开放程度和能源消费水平等情况下,OFDI 对本国具有正向的总环境效应.

表 2 基准回归结果¹⁾

Table 2 Estimated results of the benchmark regress model

解释变量	lnP		
	模型 1	模型 2	模型 3
ln OFDI	-0.076 *** (-5.235)	-0.051 *** (-2.622)	-0.051 * (-1.833)
ln EEP	-0.213 *** (-6.924)	-0.170 *** (-7.937)	-0.170 *** (-4.252)
ln FT	-0.058 *** (-3.219)	-0.229 *** (-5.862)	-0.229 *** (-2.674)
ln EC	0.869 *** (14.511)	0.939 *** (9.730)	0.939 *** (5.146)
ln DI	-0.934 *** (-12.047)	-0.937 *** (-14.898)	-0.937 *** (-7.283)
ln POP	0.168 *** (3.943)	0.155 *** (7.894)	0.155 *** (3.91)
常数项	2.756 *** (30.78)	3.132 *** (38.67)	3.132 *** (53.804)
调整的 R ²	0.809 1	0.687 7	0.687 7
样本量	480	480	480
BP 检验	1 389.40 ***		
F 检验	93.45 ***		
Hausman 检验	28.01 ***		

1) ***, ** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著,下同;括号中的数值为 *t* 统计值

3.2 中介效应

为进一步探究中国对外投资对本国环境效应的影响机制,使用多重中介效应模型进行识别和估计.参考温忠麟等^[53]对中介效应检验流程的说明,通过逐步检验法先行检验式(2)~(4)中系数 β_1 、 β_2 和 β_3 以及式(5)中 β_0 和 θ_0 显著

性,再运用 Bootstrap 法对直接效应和间接效应检验.基准回归中变量 lnOFDI 对 lnP 影响显著,故而以之为基础进行后续逐步检验,结果见表 3.参考模型实际意义并结合 Hausman 检验结果,模型 4~模型 9 均选取固定效应模型进行估计.

表 3 中介效应逐步检验结果¹⁾

Table 3 Estimated results of intermediary effect method on causal steps approach

解释变量	产业结构		技术创新		经济规模	
	模型 4 ln RIS(0)	模型 5 lnP	模型 6 ln TI(0)	模型 7 lnP	模型 8 ln GDP(0)	模型 9 lnP
ln OFDI	0.081 *** (4.486)	-0.017 ** (-2.280)	0.040 ** (2.724)	-0.014 (-1.145)	0.019 *** (4.490)	-0.034 ** (-2.647)
ln RIS(0)	—	-0.745 *** (-4.533)	—	—	—	—
ln TI(0)	—	—	—	-0.140 *** (-3.703)	—	—
ln GDP(0)	—	—	—	—	—	0.489 *** (3.432)
ln EEP	0.076 * (1.856)	-0.168 *** (-7.800)	0.082 *** (3.084)	-0.159 *** (-7.429)	-0.017 ** (-2.466)	-0.162 ** (-7.579)
ln FT	0.134 *** (6.073)	-0.243 *** (-5.989)	0.287 *** (5.927)	-0.189 *** (-4.721)	0.131 *** (10.200)	-0.165 *** (-3.845)
ln EC	-0.524 *** (-9.597)	0.883 *** (8.334)	1.060 *** (8.868)	1.087 *** (10.532)	0.431 *** (13.602)	1.150 *** (10.134)
ln DI	0.956 *** (26.846)	-0.835 *** (-8.204)	1.514 *** (19.446)	-0.725 *** (-8.592)	0.777 *** (37.610)	-0.556 *** (-4.376)
ln POP	0.085 *** (2.962)	-0.032 ** (-2.061)	0.148 ** (2.296)	0.275 * (2.006)	0.023 ** (2.724)	-0.021 (-0.402)
常数项	-0.354 *** (-7.733)	3.094 *** (35.894)	1.068 *** (10.650)	3.281 *** (36.678)	-0.560 *** (-21.019)	2.858 *** (25.288)
调整的 R ²	0.715 7	0.665 0	0.912 3	0.712 5	0.973 1	0.669 5
Hausman 检验	39.17 ***	46.74 ***	43.26 ***	19.27 **	115.41 ***	27.28 ***
观测值	480	480	480	480	480	480

1) 括号中的数值为 *t* 统计值

以产业结构作为中介效应的传导路径的结果中,模型 4 中 OFDI 的增长对产业结构升级具有显著正向作用,前者 1% 的增长会带动产业结构高级化指数增长 0.081%。模型 5 在控制了产业结构后对外直接投资的增加会减轻环境负荷,此时 OFDI 对环境负荷的直接效应为负;而在控制 OFDI 在同一水平时产业结构的高级化同样会减轻环境负荷。结合模型 4 和模型 5 结果,此时 OFDI 以产业结构升级作为中介对环境负荷的间接效应为负,即对外直接投资 1% 的增长通过对产业结构路径减轻环境负荷 0.060% (0.081 与 0.745 的乘积),直接减轻环境负荷 0.017%。

中国在对外投资过程中,一些相对劣势的“夕阳产业”和发展成熟产业向国外投资并开辟市场,为国内新兴产业释放成长空间,实现产业结构的升级。另一方面,原油、天然气等能源,铁矿石和大豆等原料,技术和专利等部分短缺生产要素通过对外投资转移至国内,使得相关产业突破发展瓶颈,推动中国产业的高级化。因此由 OFDI 带来的这部分产业升级效应多将新兴产业、资源和技术留在中国,消耗更少资源并产生更少污染。

在以技术创新作为中介效应的传导路径中,模型 6 中 OFDI 每增长 1% 会带来技术创新指数 0.040% 的增长。模型 7 在控制 OFDI 后技术创新的增长会使得环境负荷下降,当控制技术创新后 OFDI 对环境负荷的影响不再显著。说明通过技术创新进步这条路径,中国对外投资 1.000% 的增长会产生环境负荷减少约 0.006% (0.040 和 0.140 的乘积) 的间接效应;而当控制技术后 OFDI 很大程度上不能再对环境负荷产生影响。

中国对外直接投资有助于企业充分接触东道国

研发资源,通过技术互动、技术传递和技术吸收的循环机制^[54]获取东道国研发要素、研发成果与研发人员,提高母国技术创新水平。不仅推动中国去污和负碳等相关技术的进步,同时带来生产效率的提升,减少资源消耗与污染排放。

在以经济规模作为中介效应的传导路径中,模型 8 中 OFDI 在 0.01 的显著水平上对 GDP 产生影响,即 OFDI 每增加 1% 会带动 GDP 增长 0.019%。模型 9 在控制 GDP 情况下,OFDI 对环境负荷表现出负向影响;控制 OFDI 时,GDP 的增长会带来环境负荷的增加。由于模型 8 中 OFDI 对 GDP 的影响与模型 9 中同一 OFDI 水平下 GDP 对环境负荷的影响相反,故而呈现出遮掩效应(间接效应和直接效应符号相反,出现总效应绝对值较二者减小的现象^[53])。换言之,尽管考虑经济规模作为路径时中国对外直接投资能够减小环境负荷(0.034),但由其导致的经济规模扩大却增加了环境负荷、产生了正的间接效应(0.009,即 0.019 与 0.489 的乘积),从而抵消了一部分经济规模减轻环境负荷的影响(-0.034 与 0.009 之和)。

一方面,OFDI 规模扩大通过 GDP 增长所带来的环境负担加大。原因在于过去几十年间中国“高投入、高消费、高排放和低效率”^[55]相对粗放的经济发展模式下,OFDI 带动经济规模增长的主要贡献正是出自于采矿业、制造业、建筑业、电力/热力/燃气及水的生产和供应业等行业(图 2),从而由中国对外直接投资带动经济规模增长下所产生了负向的间接环境效应。另一方面,在控制经济规模为同一水平后 OFDI 带来的直接环境效应为正,即 OFDI 增长有利于环境负担的减轻。从中国对外直接投资结构来看,由于采矿业、制造业、建筑业、电力/热力/

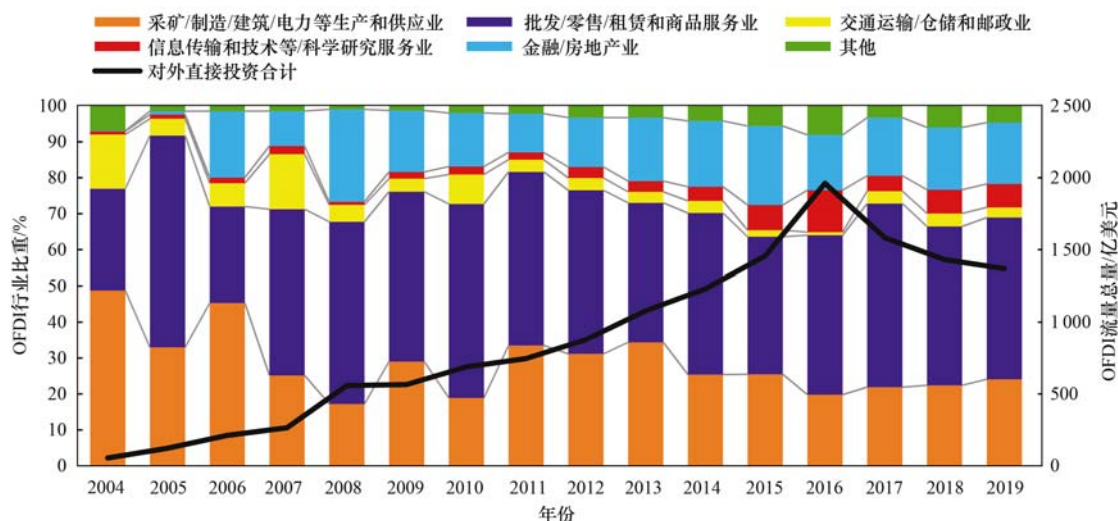


图 2 2004 ~ 2019 年中国对外直接流量总量与行业分布

Fig. 2 Total OFDI flow and industry distribution in China from 2004 to 2019

燃气及水的生产和供应业投资流量不断攀升,近年来合计占比稳定在 20% 以上,转移了这部分相对高耗能行业给本国带来的环境负荷,故而显示出正向环境直接效应。

综合以上分析可得到中国对外直接投资减污降碳不同路径的贡献度:通过产业结构高级化带来环境负荷减少的贡献比重为 65.9%~84.5%,通过技术创新升级的贡献比重 6.6%~8.5%,通过经济规模扩大的贡献比重 -12.7%~-9.9%,而 OFDI 直接导致环境污染负荷变化比重 19.7%~37.4% (共计 100%)。

Bootstrap 法作为一类非参数蒙特卡罗方法,在不新增样本信息或提出假设的情况下通过样本的再抽样对总体分布进行统计论断,是检验中介效应模

型间接效应和直接效应的有效工具^[56]。表 4 为偏差矫正的非参数百分位 Bootstrap 法对产业结构、技术创新和经济规模三者作为中介变量的检验结果。其中 OFDI 增长通过产业结构升级和技术创新进步所给环境负荷造成影响的间接效应为负(-0.028 和 -0.014),通过经济规模扩张给环境负荷影响的间接效应为正(0.013);产业规模、技术创新和经济规模作为中介路径时三者对环境负荷均产生负面影响(-0.045、-0.036 和 -0.034);经济规模作为中介变量时,其直接效应和间接效应作用方向相反,在遮掩效应下 OFDI 通过经济规模对环境产生的总效应是直接效应与间接效应相互抵消后的结果。总的来看,Bootstrap 中介效应检验结果与上文逐步回归结果基本一致,互为验证。

表 4 中介效应 Bootstrap 检验结果

Table 4 Bootstrap test results for intermediary effect

中介变量	传导路径	效应类别	效应系数	标准误	95% 置信区间	
					下限	上限
产业结构	ln OFDI-ln RIS-lnP	间接效应	-0.028 ***	0.042	-0.053	-0.003
		直接效应	-0.045 ***	0.015	-0.763	-0.016
技术创新	ln OFDI-ln TI-lnP	间接效应	-0.014 **	0.006	-0.026	-0.002
		直接效应	-0.036 ***	0.018	-0.066	-0.006
经济规模	ln OFDI-ln GDP-lnP	间接效应	0.013 ***	0.005	0.004	0.022
		直接效应	-0.034 ***	0.019	-0.061	-0.007

3.3 内生性检验与稳健性检验

模型内生性会导致估计结果产生偏误^[57],动态面板数据模型下的差分 GMM 和系统 GMM 估计^[58]是克服该问题的有效手段,后者相较而言能够在遗漏部分变量和存在测量误差的情况下得到更具有一致性的估计^[59]。同时二者通过引入因变量滞后项进行回归,能够很大程度上克服因变量 0 阶非平稳可能导致的伪回归。因此,基准模型作为本文研究的起点,为防止其可能存在的内生导致后续分析结果出现偏误,对其构造动态面板模型并通过差分 GMM 和系统 GMM 进行参数估计。表 5 中模型 10 和模型 11 为估计结果,均通过 Wald 模型有效性、扰动项差分 2 阶不相关 AR(2)和 Sargan 过度识别检验。核心变量 ln OFDI 系数依据显著,与模型 1~模型 3 估计结果基本一致,为中国对外直接投资能够显著减轻中国环境负荷提供了更为有力的支撑。

前文已通过混合回归模型、固定效应模型及动态面板数据模型对基准回归进行了检验,为进一步增强本文结论的可信度,对中介效应模型进行稳健性检验。在产业结构路径方面,采用第三与第二产业产值比值衡量各省产业结构高度化情况;在技术创新层面,采取有效发明专利数作为衡量技术创新成果的中介变量;在经济规模层面,采用人均地区生

产总值描述经济发展水平。进行中介效应的稳健性检验结果如表 5 所示,核心变量 ln OFDI 系数依旧显著且未改变正负方向,其余控制变量系数方向模型 4~模型 9 基本保持一致。需要说明的是,模型 16 中 ln POP 系数为负与模型 8 相反,其原因在于常住人口与人均地区生产总值确呈现逆向关系,不同于后者呈现出常住人口增长对该地区生产总值具有带动作用的结果。

4 政策建议

(1)在“十四五”生态环境持续改善、美丽中国建设不断推进的背景下,在全球气候变化危机加剧、中国提出“双碳”目标的情况下,要肯定中国对外投资对本国环境产生的积极影响,继续推动中国企业和资本走出去,更好利用国际国内两个市场、两种资源,实现国内国际双循环相互促进,企业“走得出去、留得下、发展好”,助力生态文明建设迈上新台阶。

(2)结合边际产业转移理论和比较优势理论,应继续鼓励国内处于相对劣势或产能过剩的企业或产业积极开拓国外市场,在其取得更大市场和更多利润的同时为国内具有比较优势的产业和新兴产业提供发展空间和资源,推动中国产业结构高度化,为

表 5 内生性检验与稳健性检验结果

Table 5 Results of endogeneity test and robustness test

变量	内生性检验				稳健性检验			
	差分 GMM		系统 GMM		技术创新		经济规模	
	模型 10	模型 11	模型 12	模型 13	模型 14	模型 15	模型 16	模型 17
lag(lnP)	0.654 ^{***} (19.636)	0.879 ^{***} (21.507)	—	—	—	—	—	—
ln OFDI	-0.039 ^{**} (-2.047)	-0.025 ^{***} (-3.153)	0.106 ^{***} (18.587)	-0.024 ^{***} (-3.027)	0.125 ^{***} (7.264)	-0.033 [*] (-1.799)	0.012 ^{**} (2.298)	-0.181 ^{***} (-4.482)
ln RIS(1)	—	—	—	-2.167 ^{***} (-6.422)	—	—	—	—
ln TI(1)	—	—	—	—	—	-0.116 [*] (-1.972)	—	—
ln PERGDP(1)	—	—	—	—	—	—	—	0.186 ^{***} (5.847)
ln EEP	0.034 ^{***} (3.181)	0.004(0.879)	0.003(1.071)	-0.163 ^{***} (-7.952)	0.240 ^{***} (4.188)	-0.166 ^{***} (-7.604)	-0.001(-0.462)	-0.170 ^{***} (-7.931)
ln FT	-0.029(-1.050)	-0.026(-0.477)	0.061 ^{***} (2.929)	-0.216(-5.755)	0.382 ^{***} (3.669)	-0.223 ^{***} (-5.616)	0.173 ^{***} (10.555)	-0.244 ^{***} (-5.582)
ln EC	0.305 ^{***} (6.999)	0.116 ^{***} (3.867)	-0.041 ^{***} (-3.194)	0.849 ^{***} (9.084)	1.554 ^{***} (6.039)	0.965 ^{***} (9.406)	0.449 ^{***} (11.091)	0.900 ^{***} (8.250)
ln DI	-0.464 ^{***} (-8.517)	0.177 [*] (1.952)	0.139 ^{***} (16.350)	-0.639 ^{***} (-8.355)	2.317 ^{***} (13.815)	-0.899 ^{***} (-11.951)	0.651 ^{***} (24.679)	-0.993 ^{***} (-10.250)
ln POP	0.036 ^{**} (2.386)	0.085 ^{***} (4.116)	-0.08(-1.18)	-0.141(-0.281)	0.183 ^{**} (2.454)	0.290 ^{***} (2.652)	-0.361 ^{***} (-3.943)	-0.031(-1.429)
常数项	—	0.300 ^{**} (2.066)	0.996 ^{***} (91.280)	0.975 ^{***} (2.827)	-2.060 ^{***} (-9.538)	3.098 ^{***} (34.847)	0.568 ^{***} (16.723)	3.083 ^{***} (29.804)
调整的 R ²	—	—	0.7418	0.6626	0.8092	0.7001	0.9503	0.6562
Hausman 检验	—	—	19.43 ^{***}	31.49 ^{***}	23.85 ^{***}	19.22 ^{**}	104.26 ^{***}	17.82 ^{**}
AR(2)	0.24	0.49	—	—	—	—	—	—
Sargan 检验	0.18	0.86	—	—	—	—	—	—

1) 括号()中的数值为 t 统计值

国民经济健康增长、国民收入稳步提升以及生态环境持续优化贡献力量。

(3)通过投资“走出去”实现技术“引进来”。通过在国外创建合资及独资企业、成立跨国公司、直接投资国外企业等对外投资方式充分接近国外研发资源,搭建跨国技术转移合作多元平台,积极获取国外研发要素和研发成果、加强吸纳东道国研发人才、持续借助东道国优势条件提升本国人力资本水平;简化企业海外技术和研发中心建立的审查流程等政策,引导 OFDI 流向技术密集企业、产业和国家,积极鼓励技术获取型对外投资,从而加强 OFDI 的逆向技术溢出。

(4)需把握中国经济转型时机,形成可持续且包容的低碳发展模式,让更多拉动经济增长的投资流向可再生能源和化石能源清洁利用领域、高附加值加工制造业、信息传输和信息技术服务业、科学研究和技术服务业、绿色金融等领域,在保持中国对外投资对环境的积极直接效应的同时,努力扭转对环境的负面间接效应。

5 结论

(1)中国对外直接投资能够减轻环境负荷。OFDI 每 1% 的增长会形成总的正向环境效应,使得环境负荷减少 0.051%~0.076%。

(2)中国对外直接投资能够同时通过促进产业结构高级化和自身增长的方式减轻环境负荷;能够通过技术创新进步减轻环境负荷,但很大程度上不能在保持技术创新水平不变的情况下对环境产生影响;能够通过经济规模增长来减轻环境负荷,但 OFDI 仅通过经济规模对环境负荷产生的间接效应抵消了部分对外直接投资对环境产生的正向作用。以产业结构高级化、技术创新进步和经济规模扩张为中介带来环境负荷减少的贡献度分别为 65.9%~84.5%、6.6%~8.5% 和 -12.7%~-9.9%,OFDI 直接带动环境污染负荷变化贡献度为 19.7%~37.4%。

参考文献:

- [1] 秦耀辰,谢志祥,李阳. 大气污染对居民健康影响研究进展[J]. 环境科学, 2019, 40(3): 1512-1520.
Qin Y C, Xie Z X, Li Y. Review of research on the impacts of atmospheric pollution on the health of residents [J]. Environmental Science, 2019, 40(3): 1512-1520.
- [2] 祁毓,卢洪友,张宁川. 环境质量、健康人力资本与经济增长[J]. 财贸经济, 2015, (6): 124-135.
Qi Y, Lu H Y, Zhang N C. Environmental quality, healthy human capital and economic growth [J]. Finance & Trade Economics, 2015, (6): 124-135.
- [3] 祁毓,卢洪友. 污染、健康与不平等——跨越“环境健康贫困”陷阱[J]. 管理世界, 2015, (9): 32-51.
- [4] 王涵,马军,陈民,等. 减污降碳协同多元共治体系需求及构建探析[J]. 环境科学研究, 2022, 35(4): 936-944.
Wang H, Ma J, Chen M, et al. Analysis on the demand and construction of the collaborative multi-governance system of pollution reduction and carbon reduction [J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(4): 936-944.
- [5] 王斯一,吕连宏,罗宏. “十四五”及未来我国应对气候变化目标指向及战略路径研究[J]. 环境保护, 2020, 48(20): 51-55.
Wang S Y, Lv L H, Luo H. Study on China's climate change targets and strategies for the 14th five-year plan and the future [J]. Environmental Protection, 2020, 48(20): 51-55.
- [6] 中华人民共和国全国人民代表大会. 中华人民共和国大气污染防治法(2018 年修订版)[M]. 北京: 中国法制出版社, 2018.
- [7] Birdsall N, Wheeler D. Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution havens? [J]. The Journal of Environment & Development, 1993, 2(1): 137-149.
- [8] Ali F A, Fiess N, MacDonald R. Do institutions matter for foreign direct investment? [J]. Open Economies Review, 2010, 21(2): 201-219.
- [9] 刘飞宇,赵爱清. 外商直接投资对城市环境污染的效应检验——基于我国 285 个城市面板数据的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2016, (5): 130-141.
Liu F Y, Zhao A Q. Test for the effect of foreign direct investment on environmental pollution in cities: empirical analysis of panel data from 285 cities [J]. Journal of International Trade, 2016, (5): 130-141.
- [10] 郑强,冉光和,邓睿,等. 中国 FDI 环境效应的再检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(4): 78-86.
Zheng Q, Ran G H, Deng R, et al. Re-examination on the environmental effect of FDI in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(4): 78-86.
- [11] Zugravu-Soilita N. How does foreign direct investment affect pollution? Toward a better understanding of the direct and conditional effects [J]. Environmental and Resource Economics, 2017, 66(2): 293-338.
- [12] 姜磊,周海峰,柏玲. 外商直接投资对空气污染影响的空间异质性分析——以中国 150 个城市空气质量指数(AQI)为例[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 351-360.
Jiang L, Zhou H F, Bai L. Spatial heterogeneity analysis of impacts of foreign direct investment on air pollution: empirical evidence from 150 cities in china based on AQI [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(3): 351-360.
- [13] Demena B A, Afesorgbor S K. The effect of FDI on environmental emissions: evidence from a meta-analysis [J]. Energy Policy, 2020, 138, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111192.
- [14] Yang L G, Liu Y N. Can Japan's outwards FDI reduce its CO₂ emissions?: A new thought on polluter haven hypothesis [J]. Advanced Materials Research, 2013, 807-809: 830-834.
- [15] 许可,王瑛. 中国对外直接投资与本国碳排放量关系研究——基于中国省级面板数据的实证分析[J]. 国际商务研究, 2015, 36(1): 76-86.
Xu K, Wang Y. The influence of China's OFDI on its domestic CO₂ emissions: An empirical analysis based on China's provincial panel data [J]. International Business Research, 2015, 36(1): 76-86.
- [16] 聂飞,刘海云. 基于城镇化门槛模型的中国 OFDI 的碳排放效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 123-

131.
Nie F, Liu H Y. Carbon emissions effect of China's OFDI evidence from urbanization threshold model [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, **26**(9): 123-131.
- [17] Hao Y, Guo Y X, Guo Y T, *et al.* Does outward foreign direct investment (OFDI) affect the home country's environmental quality? The case of China[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2020, **52**: 109-119.
- [18] 屈小娥, 骆海燕. 中国对外直接投资对碳排放的影响及传导机制——基于多重中介模型的实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, **31**(7): 1-14.
Qu X E, Luo H Y. Impact of China's OFDI on carbon emissions and its transmission mechanism: an empirical analysis based on multiple mediation effect model [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, **31**(7): 1-14.
- [19] Pan X F, Li M N, Wang M Y, *et al.* The effects of outward foreign direct investment and reverse technology spillover on China's carbon productivity[J]. *Energy Policy*, 2020, **145**, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111730.
- [20] 赵军, 王晓辰. 中国对外直接投资对“一带一路”沿线国家碳排放的影响——基于金融发展的门槛效应[J]. *工业技术经济*, 2021, **40**(10): 42-51.
Zhao J, Wang X C. Impact of China's foreign direct investment on carbon emissions of countries along “the Belt and Road” route - based on the threshold effect of financial development [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2021, **40**(10): 42-51.
- [21] 刘玉博, 吴万宗. 中国 OFDI 与东道国环境质量: 影响机制与实证检验[J]. *财贸经济*, 2017, **38**(1): 99-114.
Liu Y B, Wu W Z. Theoretical mechanism and empirical evidence of OFDI from China affecting environmental quality in host countries[J]. *Finance & Trade Economics*, 2017, **38**(1): 99-114.
- [22] 杨果, 郑强. 中国对外直接投资对母国环境污染的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, **31**(6): 57-66.
Yang G, Zheng Q. Impact of China's outward foreign direct investment on environmental pollution in the home country [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, **31**(6): 57-66.
- [23] 余官胜. 企业对外直接投资能否降低母国环境污染——基于跨国面板数据门槛效应的实证研究[J]. *国际商务(对外经济贸易大学学报)*, 2017, (1): 131-139.
Yu G S. Can enterprises foreign direct investment reduce home country's environmental pollution-threshold effect empirical study based on counter-countries' panel data [J]. *International Business*, 2017, (1): 131-139.
- [24] 欧阳艳艳, 黄新飞, 钟林明. 企业对外直接投资对母国环境污染的影响: 本地效应与空间溢出[J]. *中国工业经济*, 2020, (2): 98-116.
Ouyang Y Y, Huang X F, Zhong L M. The impact of outward foreign direct investment on environmental pollution in home country: local and spatial spillover effects [J]. *China Industrial Economics*, 2020, (2): 98-116.
- [25] 周力, 庞辰晨. 中国对外直接投资的母国环境效应研究——基于区域差异的视角[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, **23**(8): 131-139.
Zhou L, Pang C C. Home country environmental effects of China's foreign direct investment: based on the perspective of regional differences [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, **23**(8): 131-139.
- [26] 都斌, 余官胜. 对外直接投资对我国环境污染的影响[J]. *环境经济研究*, 2016, **1**(2): 25-35.
Du B, Yu G S. The impact of outward foreign direct investment on China's environmental pollution [J]. *Journal of Environmental Economics*, 2016, **1**(2): 25-35.
- [27] 龚新蜀, 韩俊杰. 对外直接投资改善母国环境了吗? ——基于中国市场一体化视角[J]. *生态经济*, 2019, **35**(12): 112-118, 152.
Gong X S, Han J J. Does OFDI improve the home country environment? From the perspective of China's market integration [J]. *Ecological Economy*, 2019, **35**(12): 112-118, 152.
- [28] 朱东波, 张月君. 中国对外直接投资影响母国环境的理论机理与实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, **30**(1): 83-90.
Zhu D B, Zhang Y J. The home-country environmental effects of China's OFDI: a theoretical mechanism and empirical study [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, **30**(1): 83-90.
- [29] Pethig R. Pollution, welfare, and environmental policy in the theory of comparative advantage [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1976, **2**(3): 160-169.
- [30] Copeland B R, Taylor M S. North-south trade and the environment [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1994, **109**(3): 755-787.
- [31] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, **110**(2): 353-377.
- [32] De Beule F, Van Den Bulcke D, Zhang H Y. Impact of outward foreign direct investment promotion policy: evidence from newly industrialized, emerging, and developing Asian economies [A]. In: Verbeke A, van Tulder R, Lundan S (Eds.). *Multinational Enterprises, Markets and Institutional Diversity* [M]. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2014.
- [33] Kojima K. Direct foreign investment: a Japanese model of multinational business operations [M]. London: Routledge, 2013.
- [34] 潘素昆, 袁然. 不同投资动机 OFDI 促进产业升级的理论及实证研究[J]. *经济学家*, 2014, (9): 69-76.
- [35] 尹忠明, 李东坤. 中国对外直接投资与国内全要素生产率提升——基于全面提高开放型经济发展水平的视角[J]. *财经科学*, 2014, (7): 21-31.
Yin Z M, Li D K. China's outward FDI and domestic total factor productivity - from the perspective of comprehensive economic openness [J]. *Finance & Economics*, 2014, (7): 21-31.
- [36] 陈菲琼, 钟芳芳, 陈珏. 中国对外直接投资与技术创新研究 [J]. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 2013, **43**(4): 170-181.
Chen F Q, Zhong F F, Chen Y. Chinese OFDI and technology innovation [J]. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)*, 2013, **43**(4): 170-181.
- [37] Padilla-Perez R, Nogueira C G. Outward FDI from small developing economies: firm level strategies and home-country effects [J]. *International Journal of Emerging Markets*, 2016, **11**(4): 693-714.
- [38] 廖红伟, 官萍. “一带一路”背景下要素流动与中国产业结构优化[J]. *济南大学学报(社会科学版)*, 2020, **30**(5): 99-109, 159.
Liao H W, Gong P. Flow of factors and optimization of China's industrial structure in the context of the Belt and Road initiative [J]. *Journal of University of Jinan (Social Science Edition)*, 2020, **30**(5): 99-109, 159.
- [39] 卢愿清, 史军. 中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解

- 及实证分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(7): 2528-2532.
- Lu Y Q, Shi J. Decomposition model of energy-related carbon emissions in tertiary industry for China [J]. Environmental Science, 2012, **33**(7): 2528-2532.
- [40] 赵明轩, 吕连宏, 张保留, 等. 中国能源消费、经济增长与碳排放之间的动态关系[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(6): 1509-1522.
- Zhao M X, Lv L H, Zhang B L, *et al.* Dynamic relationship among energy consumption, economic growth and carbon emissions in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2021, **34**(6): 1509-1522.
- [41] Nie Y Y, Li Q C, Wang E C, *et al.* Study of the nonlinear relations between economic growth and carbon dioxide emissions in the eastern, central and western regions of China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, **219**: 713-722.
- [42] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998, (12): 98-102.
- Guo X G. Application of improved entropy method in evaluation of economic result [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1998, (12): 99-102.
- [43] 付凌晖. 我国产业结构高级化与经济增长关系的实证研究[J]. 统计研究, 2010, **27**(8): 79-81.
- Fu L H. An empirical research on industry structure and economic growth [J]. Statistical Research, 2010, **27**(8): 79-81.
- [44] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2005-2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2020.
- [45] 中华人民共和国商务部, 国家统计局, 国家外汇管理局. 2020 年度中国对外直接投资统计公报 [M]. 北京: 中国商务出版社, 2021.
- [46] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴-2005-2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2020.
- [47] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴-2005-2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2020.
- [48] 国家统计局社会科技和文化产业统计司, 科学技术部战略规划司. 中国科技统计年鉴 2005-2020 [M]. 北京: 中国统计出版社有限公司, 2005-2020.
- [49] 国家知识产权局规划发展司统计处. 专利统计年报-2005-2020 [R]. 北京: 国家知识产权局, 2005-2020.
- [50] Baltagi B H. Econometric analysis of panel data (5th ed.) [M]. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2013.
- [51] 刘源, 史桂芬. 区域协同创新对动态比较优势增进的影响研究——基于省级面板数据的中介效应分析[J]. 经济问题探索, 2021, (7): 20-33.
- Liu Y, Shi G F. Research on the impact of regional synergy innovation on the increase of dynamic comparative advantage-based on province level panel data with mediating effect model [J]. Inquiry into Economic Issues, 2021, (7): 20-33.
- [52] 王恕立, 向姣姣. 对外直接投资逆向技术溢出与全要素生产率: 基于不同投资动机的经验分析[J]. 国际贸易问题, 2014, (9): 109-119.
- Wang S L, Xiang J J. Reverse technology spillovers of outward foreign direct investment and total factor productivity: an empirical analysis based on different investment incentives [J]. Journal of International Trade, 2014, (9): 109-119.
- [53] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, **22**(5): 731-745.
- Wen Z L, Ye B J. Analyses of mediating effects: the development of methods and models [J]. Advances in Psychological Science, 2014, **22**(5): 731-745.
- [54] 郭飞, 黄雅金. 全球价值链视角下 OFDI 逆向技术溢出效应的传导机制研究——以华为技术有限公司为例[J]. 管理科学, 2012, **25**(3): 61-65.
- [55] Yang W P, Zhao J K. Sources of China's economic growth: a case for green accounting [J]. Advances in Management & Applied Economics, 2018, **8**(2): 33-59.
- [56] Cheung M W L. Comparison of approaches to constructing confidence intervals for mediating effects using structural equation models [J]. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 2007, **14**(2): 227-246.
- [57] Anderson T W, Hsiao C. Formulation and estimation of dynamic models using panel data [J]. Journal of Econometrics, 1982, **18**(1): 47-82.
- [58] Blundell R, Bond S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models [J]. Journal of Econometrics, 1998, **87**(1): 115-143.
- [59] 邵小快, 胡怀国. 经济增长实证研究中的内生性[J]. 经济学动态, 2013, (3): 109-118.

CONTENTS

Regionalization and Analysis of PM _{2.5} and O ₃ Synergetic Prevention and Control Areas Based on Remote Sensing Data	LI Shen-xin, ZOU Bin, ZHANG Feng-ying, <i>et al.</i> (4293)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in Guangzhou in Winter	PEI Cheng-lei, XIE Yu-tong, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4305)
Establishment and Application of Foshan Ozone Concentration Forecast Equation	CHEN Chen, HONG Ying-ying, TAN Hao-bo, <i>et al.</i> (4316)
Establishment of High-Resolution Emissions Inventory in Wuhai and Its Application in Exploring the Causes of Ozone Pollution	ZHANG Rui-xin, CHU Bo, SHANG Chun-lin, <i>et al.</i> (4327)
Investigating the Pollutants of Marine Shipping Emissions Along the East China Sea by Combining in-situ Measurements and Automatic Identification System	QIU Hao, LIU Dan-long, WU Yang-zhou, <i>et al.</i> (4338)
Chemical Component of Particulate Matters and VOCs Characteristics During Vehicle Brake Processes	MEN Zheng-yu, LIU Du-you, GUO Quan-you, <i>et al.</i> (4348)
Characterization of VOCs Emissions from Caged Broiler House in Winter	CAO Tian-tian, ZHENG Yun-hao, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (4357)
Concentrations and Community Structures of Culturable Bacteria in Aerosols of Household Garbage Stations in Shanghai	LU Bing-jie, ZHANG Xiang, WANG Chuan, <i>et al.</i> (4367)
Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emissions in Zhejiang Province from 2008 to 2018	FANG Li-jiang, YANG Yi-qun, YE Guan-qiong (4380)
Roadmap of Coal Control and Carbon Reduction in the Steel Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target	XUE Ying-lan, ZHANG Jing, LIU Yu, <i>et al.</i> (4392)
Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration	ZHENG Hang, YE A-zhong (4401)
Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism	BAI Zi-han, LÜ Lian-hong, ZHAO Ming-xuan, <i>et al.</i> (4408)
Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years	JI Xiao-yan, HOU Huan-huan, WANG Shan-shan, <i>et al.</i> (4419)
Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin	FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei, ZHANG Hai-xin, <i>et al.</i> (4430)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Surface Water of the Fenhe River Basin and Influence Factors	ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, WANG Zhi-heng, <i>et al.</i> (4440)
Characteristics and Causes of High-manganese Groundwater in Pearl River Delta During Urbanization	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i> (4449)
Characteristics and Causes of Groundwater Salinization in the Plain Area of the Lower Kashgar River	LU Han, ZENG Yan-yan, ZHOU Jin-long, <i>et al.</i> (4459)
Sources and Biogeochemical Processes of Nitrate in the Laolongdong Karst Underground River Basin, Chongqing	WANG Yu-yang, YANG Ping-heng, ZHANG Jie-ru (4470)
Succession Pattern and Consequences of the Dominant Species During Cyanobacterial Bloom and Its Influencing Factors	OUYANG Tian, ZHAO Lu, JI Lu-lu, <i>et al.</i> (4480)
Structural Characteristics of Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Group of Drinking Water Reservoirs by Water Transmission from Modaomen Waterway in Zhuhai	ZHANG Mo-li, WANG En-rui, CHANG Sheng, <i>et al.</i> (4489)
Effects of Nutrients on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and Bacteria in the Phycosphere	LÜ Ping, LI Hui-li, XU Yong, <i>et al.</i> (4502)
Effect of Aging on Adsorption of Tetracycline by Microplastics and the Mechanisms	WANG Lin, WANG Shu-xin, ZENG Xiang-ying, <i>et al.</i> (4511)
Effect of Colloids in Sediment and Soil on Their Sorption Behavior of Chloramphenicol	YAN Cai-xia, LUO Yan-qing, NIE Ming-hua, <i>et al.</i> (4522)
Historical Antibiotic Stress Changed the Effects of Sulfamethoxazole and Trimethoprim on Activated Sludge: ARGs and Potential Hosts	ZHANG Zhong-xing, FAN Xiao-yan, LI Xing, <i>et al.</i> (4536)
Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-Zinc Mining Area, Yangshuo	CHEN Meng, PAN Yong-xing, HUANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4545)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Baiyangdian Lake	ZHENG Fei, GUO Xin, TANG Ming-yang, <i>et al.</i> (4556)
Spatial Differentiation and Influencing Factor Analysis of Soil Heavy Metal Content at Town Level Based on Geographic Detector	GONG Cang, WANG Liang, WANG Shun-xiang, <i>et al.</i> (4566)
Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils	CHE Kai, CHEN Chong-ming, ZHENG Qing-yu, <i>et al.</i> (4578)
Enrichment Factors, Health Risk, and Source Identification of Heavy Metals in Agricultural Soils in Semi-arid Region of Hainan Island	YANG Jian-zhou, GONG Jing-jing, WANG Zhen-liang, <i>et al.</i> (4590)
Speciation and Pollution Assessment of Heavy Metals in Mangrove Surface Sediments in Jiulong River Estuary	ZHANG Hua-lan, YU Rui-lian, WAN Rui-an, <i>et al.</i> (4601)
Status of Heavy Metal in Organic Fertilizers in Main Tea Growing Regions of China	YI Xiao-yun, FANG Li, YANG Xiang-de, <i>et al.</i> (4613)
Accumulation Characteristics and Sources of PAEs in Agricultural Soils in Gansu Province	CHEN Yu-yu, ZHANG Guang-quan, ZHANG Yang, <i>et al.</i> (4622)
Distribution Characteristics of Soil Phosphorus Forms and Phosphatase Activity at Different Altitudes in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone in Pengxi River, Three Gorges Reservoir	GAO Yi-lun, FANG Fang, TANG Zi-chao, <i>et al.</i> (4630)
Characteristics of Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Other Soil Physical and Chemical Factors in Cotton Fields with Different Continuous Cropping Years in the Oasis on the Northern Edge of Tarim Basin	LI Xin-zhu, GONG Lu, TANG Jun-hu, <i>et al.</i> (4639)
Response of Soil Respiration Rates to Soil Temperature and Moisture at Different Soil Depths of <i>Caragana korshinskii</i> Plantation in the Loess-Hilly Region	SUN Ya-rong, WANG Ya-juan, ZHAO Min, <i>et al.</i> (4648)
Influence of Biochar Application on Soil Nitrate Leaching and Phosphate Retention: A Synthetic Meta-analysis	JIANG Zhi-xiang, CUI Shuang, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (4658)
Role and Mechanism of Low Molecular-Weight-Organic Acids in Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil	FANG Zhi-guo, XIE Jun-ting, YANG Qing, <i>et al.</i> (4669)
Remediation Effect and Mechanism of Inorganic Passivators on Cadmium Contaminated Acidic Paddy Soil	ZHANG Jian, KONG Fan-yi, LU Sheng-gao (4679)
Mechanism of Lead-zinc Enrichment and Resistance of Spent Mushroom Compost to Lead-Zinc Slag in <i>Koeleria paniculata</i>	XIE Tian-zhi, CHEN Yong-hua, SU Rong-kui, <i>et al.</i> (4687)
Phosphorus Enrichment Efficiency of CaO ₂ @FA Composites and the Effect of Its Recovered Material on Soil Improvement	YUE Wei, LI Da-peng, WU Ling-yu, <i>et al.</i> (4697)
Effects of Early Rice Straw Returning with Reducing Potassium Fertilizer on Late Rice Yield and Soil Fertility	HUANG Qiao-yi, HUANG Jian-feng, HUANG Xu, <i>et al.</i> (4706)
Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils	CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, <i>et al.</i> (4716)
Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Straw Application on Diazotrophic Communities in a Double Rice Cropping System	CHEN Kai-peng, WEI Ju-xian, CHEN Dan, <i>et al.</i> (4725)
Impacts of Co-application of Chemical Fertilizer Reduction and Organic Material Amendment on Fluvio-aquic Soil Microbial N-cycling Functional Gene Abundances and N-converting Genetic Potentials in Northern China	LI Sheng-jun, HU He, LI Gang, <i>et al.</i> (4735)
Response Characteristics of Soil Microbial Community Under Long-term Film Mulching	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, DING Ji-na, <i>et al.</i> (4745)
Effects of Long-term Straw Returning on Fungal Community, Enzyme Activity and Wheat Yield in Fluvio-aquic Soil	MA Lei, LI Yan, WEI Jian-lin, <i>et al.</i> (4755)
Effects of Soil Amendments on the Bacterial Diversity and Abundances of Pathogens and Antibiotic Resistance Genes in Rhizosphere Soil Under Drip Irrigation with Reclaimed Water	CUI Bing-jian, CUI Er-ping, LIU Chun-cheng, <i>et al.</i> (4765)
Effect of Nitrogen on the Phytoremediation of Cd-PAHs Co-contaminated Dumpsite Soil by Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and on the Soil Bacterial Community Structure	LI Yi-jia, MA Jun-wei, LI Yu-qian, <i>et al.</i> (4779)
Effect of Antibiotic-Degrading Bacteria on Maturity and Bacterial Community Succession During Pig Manure Composting	LI Wei-lin, ZHANG Xin, MA Jun-wei, <i>et al.</i> (4789)