

环境规制对碳排放时空格局演变的作用路径研究 ——基于东北三省地级市实证分析

王康, 李志学, 周嘉

(哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025)

摘要: 基于2005-2016年东北三省36个地级市面板数据, 定性分析环境规制与碳排放的时空格局演变特征, 并利用中介效应分析法定量研究环境规制对碳排放的影响及作用路径。结果表明: (1) 从各城市对比来看, 环境规制强度呈现出明显的市域差异, 碳排放量呈先增加后减小态势。(2) 从空间格局来看, 环境规制强度呈现由北向南逐渐增强的态势, 区域间差异逐渐增大。环境规制的高水平类型分布集中, 城市数量最多; 低水平类型均位于黑龙江省北部, 城市数量最少。碳排放量的高水平类型集中分布在辽东半岛以及大庆市和吉林市等石油型、冶金型城市, 低水平类型城市数量呈波动增加, 主要分布在东北北部, 且向南逐渐扩散。(3) 东北三省严格的环境规制不仅直接抑制碳排放, 也可以通过优化产业结构和精简粗放投资间接抑制碳排放, 地方政府竞争则会减弱环境规制对碳排放的抑制效应。

关键词: 环境规制; 碳排放; 时空格局; 中介效应; 东北三省

改革开放四十年来, 中国经济水平迅速提高, 经济实力逐步增强, 成为世界第二大经济体。但由于片面追求经济增长, 使环境和资源问题严重恶化。作为老工业基地的东北地区, 工业起步早, 碳排放量巨大, 面临前所未有的环境压力。基于新一轮东北老工业基地振兴发展战略, 加快推进东北生态文明制度体系建设, 制定合理的东北区域节能减排计划, 进而实现东北区域性低碳经济发展, 具有重要意义。

关于环境规制对碳排放影响效应的研究, 有学者认为环境规制对碳排放起到抑制作用, 存在碳排放的“倒逼减排”效应^[1,2]。有学者则持不同观点, 认为环境规制对碳排放存在促进作用, 即“绿色悖论”效应^[3-5]。此外, 有学者认为中国环境规制对碳排放影响呈先促进后抑制的倒“U”型关系, 以及环境规制对碳排放影响在中、东、西部存在区域异质性^[6,7]。也有学者分析环境规制对碳排放的间接影响, 得出环境规制会通过外商直接投资来间接抑制碳排放^[8], 以及在环境规制水平越高的省域, 其产业结构调整碳减排效应越显著^[9]。有学者从空间层面采用空间自相关、空间面板数据模型研究中国城市能源消费碳排放影响因素和演化路径, 发现城市的经济发展和粗放投资促进了城市碳排放^[10]。另外, 也有学者认为环境规制对省际碳生产率有着显著的正向影响^[11]。城市是人类经济社会活动最为活跃的地区, 全球每年能源产出的60%~80%以上都流入城市, 用于满足城市生产生活, 同时也排放了占全球70%的温室气体。显然, 城市是节能减排的重

收稿日期: 2018-10-29; 修订日期: 2019-10-18

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(D2018002); 黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(17JYE403); 哈尔滨市应用技术与开发项目(2016RAXXJ037)

作者简介: 王康(1991-), 男, 山东邹平人, 博士研究生, 研究方向为环境监测评价与规划管理。

E-mail: 1533016387@qq.com

通讯作者: 周嘉(1974-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 研究方向为环境监测评价与规划管理。

E-mail: Harbin_zhoujia@163.com

要区域^[12,13]。综上所述,目前已有研究侧重从国家、区域、行业 and 空间层面,研究环境规制与碳排放相互作用关系,并对碳排放影响机制及因素深入探究,揭示了不同时期和地区的碳排放特点与问题,对中国实现节能减排起到指导意义,但较少关注东北三省地级市层面环境规制与碳排放之间的相互作用和影响。因此,在碳减排的背景下,以城市为基本分析尺度,定量识别东北三省环境规制对碳排放的作用路径及时空演变特征,对促进东北老工业基地振兴和低碳经济发展具有重要的现实意义。

《微观规制经济学》将规制解释为“对构成特定社会、机构,特定经济主体所得,并按照一定的规章制度采取的限制的行为^[14]”。一般而言,环境规制主要分为四类:命令控制型、市场激励型、自愿型及隐型环境规制^[15]。目前,学术界并未形成权威统一的衡量环境规制水平的指标体系,主要基于研究对象的类型和数据的可获得性来制定相应的衡量指标。关于环境规制的衡量指标体系主要有以下几类:(1)环境规制投入指标,如环境污染治理投资额^[16]、污染治理设施的人均费用^[17],以及污染治理投资与其生产总值的比例等来衡量^[18,19];(2)控制环境污染物排放效果,如二氧化硫和烟(粉)尘去除率、废水排放达标率、二氧化碳排放强度以及多种环境污染物排放的综合指数等来衡量^[20-22];(3)环境规制的相关法律法规,如排污费/税的征收、排污权交易系统、环境管理体系认证等来考察^[23];(4)环境规制有效实施情况,如企业污染物处理情况、环保机构(部门)对企业合格排放的检测次数等来考察^[24]。以上指标体系在获取基础数据以及表示环境规制强度方面各有利弊。其中,环境污染治理投资额、环境保护法律政策属于环境投入指标,仅为环境规制的一种侧面表达;环境污染物排放控制效果属于环境产出指标,体现的是各种环境规制手段综合作用的最终效果^[25]。为有效反映东北三省各城市的环境规制强度,同时考虑到单一的环境规制变量指标可能导致研究结果出现偏差,本文基于东北三省各城市的实际污染指标及数据的可获取性,一方面采用多种环境规制强度指标,即分别从环境污染治理投资额、环境保护法律政策以及环境污染物排放控制效果来初步分析东北三省环境规制整体态势,另一方面采用能够体现环境规制最终控制效果的污染物排放综合指数来分析东北三省各城市的环境规制格局演变,并构建计量模型,对碳排放的作用路径予以探究。因此,本文通过多种指标衡量环境规制,全面分析东北三省环境规制整体态势,这与目前大多数采用单一指标研究相比,分析的精确度与结果可信度更高;同时基于地级市面板数据,以东北三省为考察对象,定量研究环境规制对碳排放的影响及作用路径,对指导新一轮东北老工业基地振兴具有重要意义。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

东北三省是辽宁、吉林和黑龙江三省的总称,地处 $38^{\circ}43' \sim 53^{\circ}33'N$ 、 $135^{\circ}02' \sim 118^{\circ}53'E$,自南向北跨越暖温带、中温带与寒温带,属湿润、半湿润大陆性季风气候,是中国位置最北、最东、纬度最高的行政大区。东北三省作为中国重要的老工业基地,工业起步早,仍延续着传统的粗放型经济发展方式,高能耗行业密集,产业结构不合理,能源消耗所产生的二氧化碳排放量巨大。2016年,东北三省能源消耗产生的二氧化碳排放量约为13.5亿t,占中国能源消费二氧化碳排放总量的10.5%,而GDP占比仅有6.73%。东北三省作为中国重工业聚集区,自然成为全国碳减排工作的重点。

1.2 研究方法

首先采用多种环境规制强度指标, 全面分析东北三省环境规制的整体态势; 其次采用污染物排放综合指数和碳排放量核算方法分别测算东北三省各城市环境规制强度和碳排放量, 并利用 ArcGIS 自然间断点法定性分析环境规制与碳排放的时空格局演变特征, 进一步利用中介效应分析法定量研究环境规制对碳排放的作用路径及效应。

1.2.1 基于污染物排放的环境规制强度测度

采用污染物排放综合指数测度东北三省各城市的环境规制强度, 即选取各城市单位总产值的废水排放量、二氧化硫排放量以及烟(粉)尘排放量等单项指标, 运用熵值法计算城市层面污染物排放综合指数^[26]。其中, 一个城市的污染物排放综合指数越大, 其环境规制强度越弱。

1.2.2 能源消费碳排放量测算

根据式(1)测算东北三省各城市碳排放量:

$$C = \sum_{i=1}^8 EN_i \times EF_i \quad (1)$$

式中: C 为碳排放总量; EN_i 为第 i 类能源标准煤消费量; EF_i 为第 i 类能源碳排放系数; i 为能源种类(表1)。

1.2.3 计量模型构建

(1) 理论分析与研究假设

在环境规制对碳排放的作用效应方面, 存在“绿色悖论”与“倒逼减排”两种观点^[9]。政府通过一系列环境规制措施促成“倒逼减排”效应: 一方面通过命令控制型环境规制对高污染高能耗企业进行整顿关停, 迫使其缩减生产规模或者强制使用低碳技术, 在一定程度上降低能源消耗强度, 减少碳排放量; 另一方面通过市场激励型环境规制, 即采用征收排污税、环境保护税、污染治理补贴等方式, 使得企事业、当事主体增加能源成本, 促使其使用环保技术, 进而减少碳排放量^[1,2]。而 Sinn^[27]提出的“绿色悖论”理论正好相反: 从对化石燃料消费征税到开发可再生能源等, 这些旨在减少二氧化碳排放的措施, 会使全球化石燃料需求减少, 损害资源所有者的财富最大化; 然而, 当预期到这些措施会损害其资源的未来价格时, 就会加快资源开采, 导致短期内化石燃料开采率的提高, 从而在短期内增加碳排放。基于此, 本文提出假设1: 环境规制对碳排放产生直接影响。

Porter^[28]提出的“波特假说”, 认为更加严格但设计合理的环境规制可以激励企业创新和技术进步, 产生“创新补偿”, 这不仅能够改善环境绩效, 而且还可以抵消部分监管的额外成本, 提高企业竞争力。Walter 等^[29]提出的“污染避难所”假说, 认为政府通过严格的环境规制政策使得高污染企业产生高昂的“环境遵循成本”, 迫使高污染企业向环境规制低

表1 主要能源折标煤系数与碳排放系数

Table 1 Contracted coal coefficient and carbon emission coefficient of main energy

碳源	折标煤系数	碳排放系数
煤炭	0.7143 t · t ⁻¹	0.7559
焦炭	0.9714 t · t ⁻¹	0.8556
原油	1.4286 t · t ⁻¹	0.5860
汽油	1.4714 t · t ⁻¹	0.5538
煤油	1.4714 t · t ⁻¹	0.5743
柴油	1.4574 t · t ⁻¹	0.5918
燃料油	1.4286 t · t ⁻¹	0.6182
天然气	1.33 × 10 ⁻³ t · m ⁻³	0.4483

水平地区转移,而清洁型产业则不会出现这种情况,从而严格的环境规制能促进当地产业结构升级,降低碳排放。同时,一些发展中国家为了追求经济的快速发展,以牺牲环境质量为代价,降低环境规制门槛,吸引外资流入,使得国外污染密集型企业迁移到国内来发展,从而产生更多的碳排放量,出现“污染天堂”现象。Atkinson等^[30]提出的“污染光环”假说则认为,发达国家的外资企业在向东道国转移时,同时也带来绿色清洁的生产技术,提高当地的生产环保水平,从而有利于降低碳排放量。基于此,本文提出假设2:环境规制通过产业结构、外商直接投资等路径间接影响碳排放。

地方政府竞争是各地方政府间采取降低环境标准、实施税收优惠以及营造良好投资环境等方式,吸引外部资金、人才和技术等要素流入本地,提高经济的竞争优势,进而促进当地经济增长的行为^[31,32]。有学者认为中国地方政府竞争的主要因素是财政收入和政治晋升^[32]。其长期存在的地区封锁、地方保护主义和“大而全”的地区发展战略,可以看作是地方官员在政治晋升博弈中做出最优反应的必然后果^[33]。由于经济分权和政治集权制度而形成的促进激励机制,地方政府之间已经形成“为增长而竞争”的局面;此外,地方政府官员未严格有效实施环境保护政策,以吸引更多的高性能、高税收、高污染企业,来提高当地经济增长绩效,而不是旨在解决本地区的环境问题,最终可能导致环境状况的普遍恶化^[34-36]。与此同时,地方政府为谋求财政收入,侧重于引进和发展经济效益高、规模总量大的行业,而资本密集、规模效应显著以及易集中建设工业区的污染性产业,正符合地方政府的要求,该产业的引进和发展无论是对地方财政收入还是政府官员绩效都具有显著的促进作用,因而受到地方政府的青睐^[37]。因此,地区的外商投资演变成地方政府竞争的一种模式,片面追求外商投资或者GDP来维持在较高经济水平,也对碳排放量产生一定影响。基于此,本文提出假设3:地方政府竞争也会影响环境规制对碳排放的作用效应。

(2) 模型构建

以2005-2016年东北三省36个地级市面板数据为基础,借鉴温忠麟等^[38]提出的中介效应分析及检验流程。选择碳排放量为被解释变量,环境规制为核心解释变量,地区人口、经济发展水平作为控制变量,产业结构、外商直接投资为中介变量,对各变量同时取对数处理,构建模型如下:

$$\ln C_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln HG_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln COP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: $\ln C_{it}$ 为碳排放量,采用东北三省各城市8种能源消费量核算的碳排放量; $\ln HG_{it}$ 为环境规制,采用污染物排放综合指数来测度东北三省各城市的环境规制强度; $\ln GDP_{it}$ 和 $\ln COP_{it}$ 为控制变量,分别为东北三省各城市人均生产总值和年末总人口数; ε_{it} 为随机扰动项。若模型(2)中系数 β_1 显著,说明环境规制对碳排放影响显著,满足第一步条件,继续进行后续检验。

将外商直接投资和产业结构作为中间变量,依次纳入模型(2)中,构建模型(3)、模型(4)验证环境规制—外商直接投资—碳排放和环境规制—产业结构—碳排放两条路径是否具有中介效应:

$$M = \alpha_0 + \beta_1 \ln HG_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln COP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln C_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln HG_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln COP_{it} + \beta_4 M + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: M 为中介变量, 即外商直接投资 ($\ln FDI_{it}$)、产业结构 ($\ln IND_{it}$)。选取各城市第三产业产值占第二产业的比例作为产业结构指标, 用各城市人均实际利用外商投资情况来衡量外商直接投资。依次检验模型 (3) 中系数 β_1 和模型 (4) 的系数 β_4 , 若两个都显著, 则环境规制对碳排放的间接效应显著; 转到第四步, 若模型 (3) 的系数 β_1 显著, 即环境规制对碳排放的直接效应显著; 进行第五步, 比较模型 (3) 中系数 β_1 与模型 (4) 的系数 β_4 相乘项的符号和模型 (4) 的系数 β_1 是否同号, 若同号, 属于部分中介效应。

为检验环境规制对碳排放的作用关系是否受到地方政府竞争影响, 逐个选取调节变量, 即经济发展水平和外商直接投资分别与环境规制的交叉项, 构建模型 (5) 验证调节效应:

$$\ln C_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln(HG_{it} \times N) + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln COP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中: N 为调节变量, 即经济发展水平 ($\ln GDP_{it}$) 和外商直接投资 ($\ln FDI_{it}$), 若模型 (5) 的系数 β_1 显著, 则存在调节效应。

采用环境规制滞后一期数据 ($\ln HG_{t-1}$) 作为核心解释变量, 并对所有数据序列进行单位根检验和协整检验, 同时对模型进行 F 检验和 Hausman 检验后, 应采用个体固定效应模型进行回归估计。使用 Stata 15.1 软件对以上模型进行估计。

1.3 数据来源

以 2005-2016 年东北三省 36 个地级市的数据样本进行测算分析, 基础数据来源于《中国环境统计年鉴》《黑龙江统计年鉴》《吉林统计年鉴》《辽宁统计年鉴》以及其他相关地市年鉴与统计报表。东北三省各城市生产总值以 2005 年不变价核算。以人民币兑换美元当年汇率 (表 2) 来计算当年东北三省各城市外商直接投资额。对于个别年份缺失的数据, 根据其数据本身的变化趋势进行平滑处理。

表 2 2005-2016 年历年人民币兑美元平均汇率

Table 2 Average exchange rate of RMB to US dollar from 2005 to 2016

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
平均汇率	8.276	8.070	7.807	7.299	6.836	6.828	6.621	6.301	6.289	6.142	6.228	6.642

2 结果分析

2.1 东北三省环境规制与碳排放整体态势分析

2.1.1 环境规制整体态势

(1) 基于环境污染治理投资的环境规制强度解析

东北三省环境污染治理投资占 GDP 比例的变化态势存在明显差异 (图 1): 黑龙江省环境污染治理投资占 GDP 比例呈先上升后下降态势, 上升幅度在东北三省中最大; 辽宁省环境污染治理投资占 GDP 比例的变化态势大致呈 M 型, 下降幅度最大; 而吉林省环境污染治理投资占 GDP 比例于 2010 年达到峰值后基本呈下降态势。从 2013 年以后东北三省环境污染治理投资占 GDP 的比例均有不同程度下降, 原因是在前期环境污染治理投资收到效果, 环境质量在逐步改善, 因而各省份环境污染治理投资相对减少。

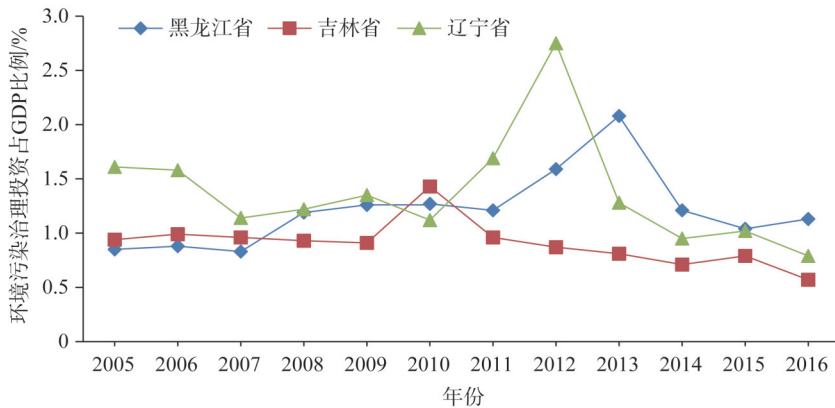


图1 2005-2016年东北三省环境污染治理投资占GDP的比例

Fig. 1 The proportion of investment in environmental pollution control in the three provinces of Northeast China as a proportion of GDP from 2005 to 2016

(2) 基于环境保护法律政策的环境规制强度解析

近年来,针对不断恶化的环境污染问题,东北三省相继出台一系列与环境保护相关的法律法规。其中,辽宁省出台地方法规最多,涉及面最广,包括辽宁省及部分城市的水、大气、环境噪声、机动车排气等污染防治;吉林省出台12条地方法规,以自然保护区管理条例居多;黑龙江省主要在大气污染防治、湿地保护、工业污染防治和排污费征收等方面出台11条法规。东北三省的环保法治标准体系逐步形成并不断完善,环境规制体系也得以快速发展。

(3) 基于污染物排放综合指数的环境规制强度解析

东北三省各城市环境规制强度呈现显著差异(图2):黑龙江省大部分城市污染物排放综合指数比吉林省和辽宁省城市高,环境规制较为宽松,其中大兴安岭和鹤岗的环境规制最为宽松;辽宁省大部分城市污染物排放综合指数比其他两个省份城市低,实行更为严格的环境规制,其中沈阳市环境规制最严格。总体上,辽宁省环境规制最为严格,其次是吉林省,黑龙江省环境规制最为宽松,这与从环境污染治理投资和环境保护法律

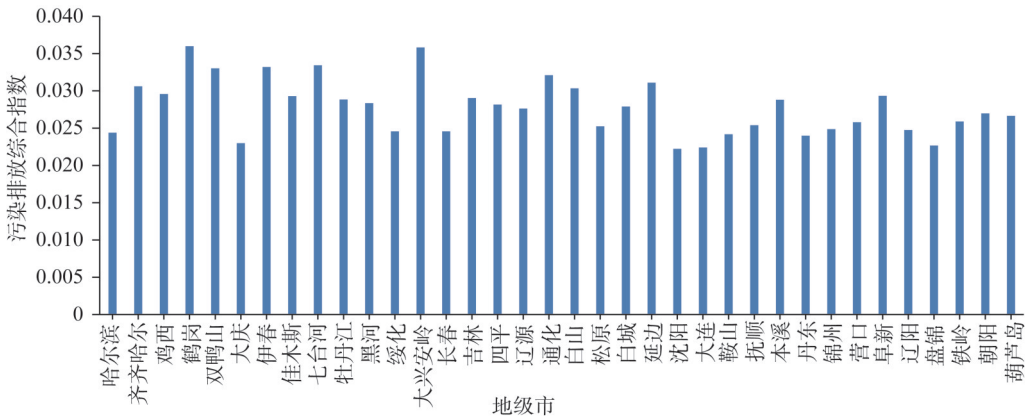


图2 2005-2016年东北三省各城市环境规制平均得分

Fig. 2 The average scores of environmental regulations in various cities of Northeast China from 2005 to 2016

政策两个方面来衡量东北三省环境规制强度基本相同。

2.1.2 碳排放整体态势

根据式(1)计算东北三省能源消费碳排放量,如图3所示。从变化趋势看,研究期内东北三省能源消费碳排放量均呈先增加后减小态势,辽宁省一直维持在较高水平碳排放量,这是由于同样作为东北老工业基地的辽宁省,其工业体系成熟相对较早,钢铁制造业、有色金属加工业等高耗能的工业企业较多。

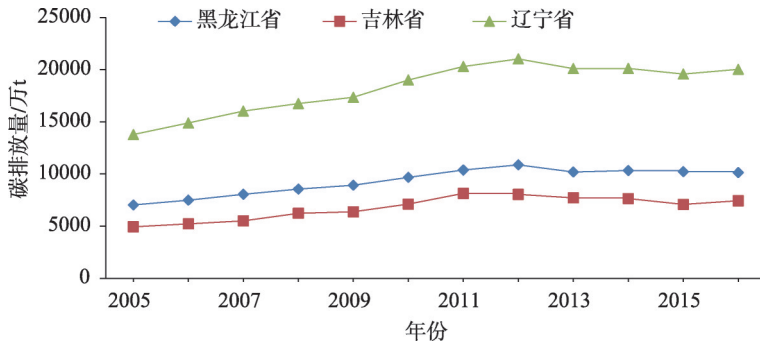


图3 2005-2016年东北三省能源消费碳排放总量趋势

Fig. 3 The total carbon emission trend of energy consumption in the three provinces of Northeast China in 2005-2016

2.2 东北三省环境规制与碳排放时空演变分析

2.2.1 环境规制内部格局演变

基于东北三省各城市污染物排放综合指数,选取变化较典型的2005年、2009年、2012年和2016年作为代表性年份,通过自然间断点法将环境规制强度分为4种类型(高、中高、中低、低)。

从环境规制强度水平类型来看(图4):(1)环境规制的高水平类型城市数量不断增加,由东北北部向南部迁移,并在沈阳—大连一线不断聚集,2016年在辽宁大部形成团状聚集区。(2)环境规制的中高水平类型城市数量基本不变。研究初期呈分散状,大多分布在高水平类型城市外围,2016年在黑龙江南部和吉林大部重新形成新的聚集区。(3)2005年环境规制的中低水平类型城市主要分布在黑龙江和吉林东部以及辽宁南部,2009年该类型城市全部位于黑龙江省和吉林省,并在两省份呈东西对称分布,2012年以后这一态势逐渐强化,城市数量不断减少。(4)环境规制的低水平类型城市数量不断减少,研究后期该类型城市全部分布在黑龙江省北部。

总体来看,东北三省环境规制强度水平呈现由北向南逐渐增强的态势,区域间差异逐渐增大;高和中高水平类型区分布集中,城市数量多,说明东北三省环境规制水平不断增强;中低和低水平类型区主要分布在黑龙江北部和吉林东部,城市数量不断减少。

2.2.2 碳排放内部格局演变

根据式(1)计算东北三省各城市能源消费碳排放量。选取2005年、2009年、2012年和2016年作为代表性年份,对比分析东北三省各城市在研究时段内碳排放量空间演变。

从碳排放量水平类型来看(图5):(1)2003年碳排放量高水平类型城市在辽宁省境内呈N型分布,2009年主要分布在辽东半岛和东北中部,2016年位于东北中部的聚集区逐渐消失,重新在辽宁半岛形成新的聚集区。(2)碳排放量的中高水平类型城市数量逐

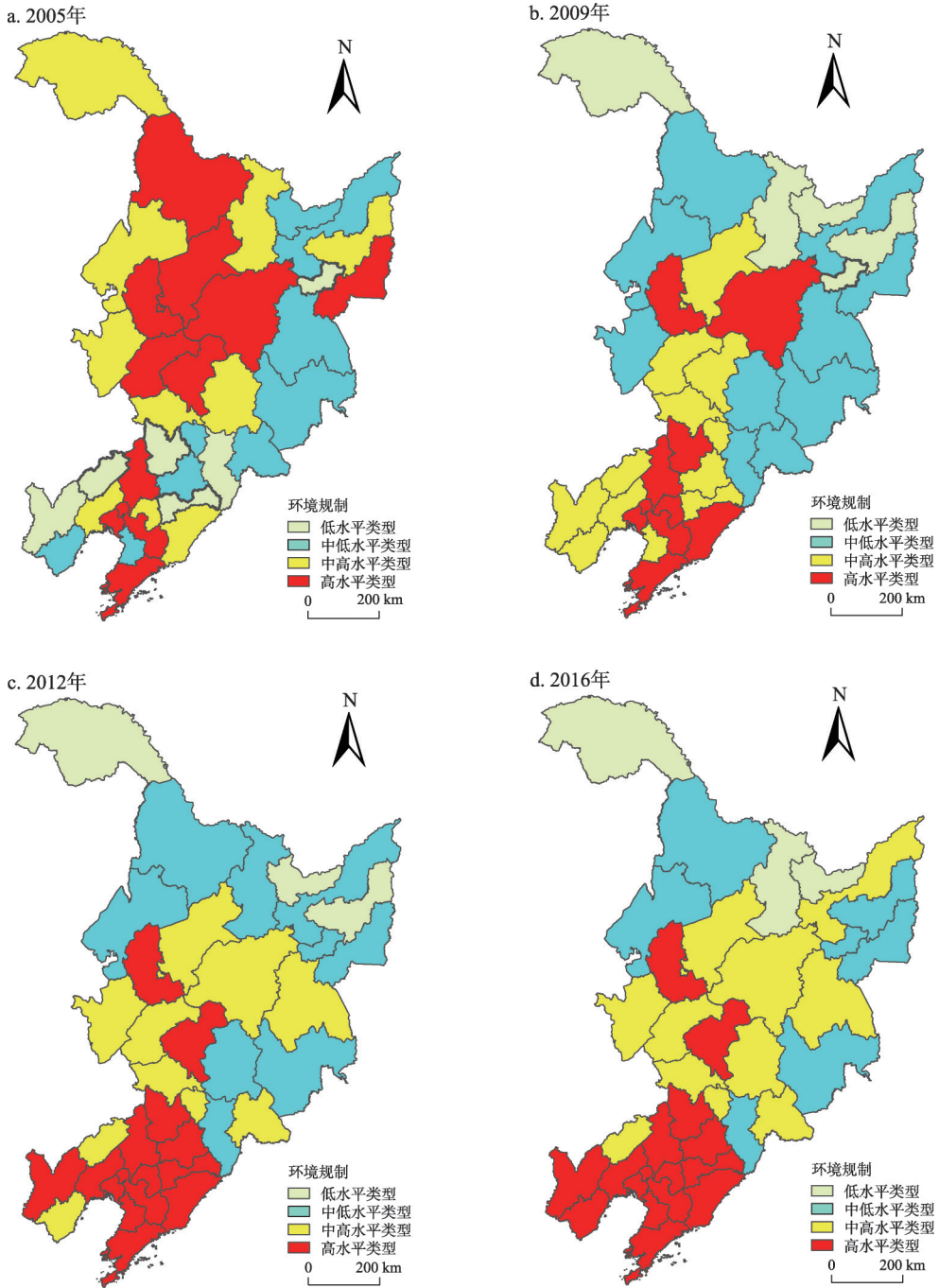


图4 2005年、2009年、2012年和2016年东北三省环境规制强度空间格局

Fig. 4 Spatial pattern of environmental regulation intensity in the three provinces of Northeast China in 2005, 2009, 2012 and 2016

渐减少，分布范围也由以东北中部为主向南逐渐收缩，且大多位于高水平类型城市外围。(3) 碳排放量的中低水平类型城市数量无变化，位于东北东部的聚集区逐渐消失。(4) 碳排放量的低水平类型城市数量呈波动增加，空间分布范围也发生明显变化，由以

东北北部为主向南逐渐扩散,且向南的这一态势逐渐强化。

总体来看,东北三省能源消费碳排放量水平呈现下降态势,碳排放量的高水平类型

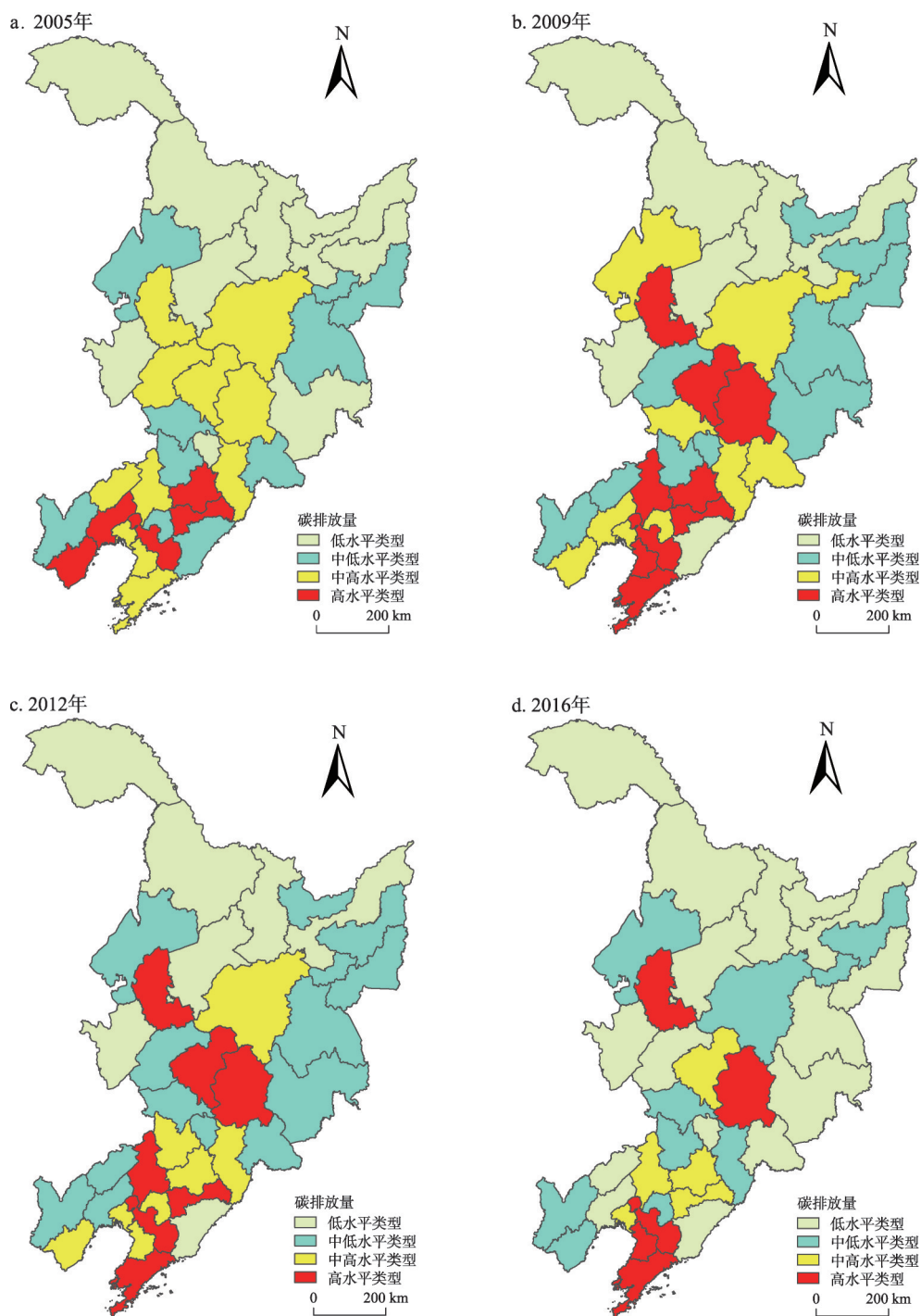


图5 2005年、2009年、2012年和2016年东北三省能源消费碳排放量空间格局

Fig. 5 Spatial pattern of carbon emissions from energy consumption in the three provinces of Northeast China in 2005, 2009, 2012 and 2016

集中分布在辽东半岛以及大庆市和吉林市等石油型、冶金型城市，碳排放量的低水平类型城市数量呈波动增加，主要分布在东北北部，且向南逐渐扩散。

2.3 东北三省环境规制对碳排放的作用路径分析

环境规制对碳排放影响的回归结果如表3、表4所示。

表3显示，模型（2）中环境规制对碳排放的回归系数为显著正相关，即污染排放综合指数越高，环境规制越宽松，碳排放量越大；反之，污染排放综合指数越低，环境规制越严格，碳排放量越少，表明东北三省环境规制对碳排放起到抑制作用。地区经济发展水平和人口规模的回归系数均为正值，且通过了显著性检验，说明地区经济发展水平提升和人口增加势必会造成更多的能源、资源使用，而能源消耗会给环境造成一定影响，进而导致碳排放量增加。

在模型（3）中，环境规制对外商直接投资和产业结构的回归系数均通过5%显著性检验，进而验证了环境规制对中介变量的作用效果。环境规制对外商直接投资的回归系数为正值，说明严格的环境规制不利于引进

表3 模型（2）和模型（3）回归结果

Table 3 Model 2 and 3 regression results

变量	模型（2）		模型（3）	
	lnC	lnFDI	lnIND	
lnHG _{t-1}	0.739*** (4.58)	1.437** (3.62)	-0.317** (-1.62)	
lnGDP	0.091** (0.79)	1.052*** (19.07)	-0.043** (-1.54)	
lnCOP	0.513*** (3.21)	0.507*** (2.94)	0.235** (2.27)	
常数项	5.233*** (5.13)	6.253*** (3.57)	-2.45*** (-2.81)	
Adj R-squared	0.891	0.883	0.865	
F检验	7.975***	8.632***	6.271***	
Hausman 检验	Prob>chi2 =0.000	Prob>chi2 =0.000	Prob>chi2 =0.000	

注：*、**、***分别为5%、1%显著水平下显著，下同。

表4 模型（4）和模型（5）回归结果

Table 4 Model 4 and 5 regression results

变量	模型（4）		模型（5）	
	lnC	lnC	lnC	lnC
lnHG _{t-1}	0.708** (4.39)	0.746** (4.47)	—	—
ln(HG _{t-1} ×FDI)	—	—	-0.038*** (-0.61)	—
ln(HG _{t-1} ×GDP)	—	—	—	0.011*** (0.53)
lnGDP	0.032** (0.11)	0.012** (0.47)	-0.037 (-0.11)	0.312** (0.67)
lnCOP	0.537*** (3.61)	0.483*** (3.41)	0.482*** (3.32)	0.507*** (3.11)
lnIND	-0.153*** (-3.32)	—	—	—
lnFDI	—	0.018*** (0.53)	—	—
常数项	5.532*** (5.17)	5.72*** (5.61)	2.34** (3.35)	3.27*** (3.58)
Adj R-squared	0.835	0.854	0.871	0.862
F检验	14.725***	14.347***	13.745***	14.347***
Hausman 检验	Prob>chi2=0.004	Prob>chi2=0.000	Prob>chi2=0.000	Prob>chi2=0.000

外商投资,即高标准的环境规制会使高污染高耗能外企增加生产成本,促使高污染高耗能企业向环境规制低水平地区转移,进而出现“污染天堂”现象。环境规制对产业结构的回归系数为负值,说明严格的环境规制能够促进产业结构优化升级。随着环境规制越来越严格,高耗能高污染产业将承担更高的环境成本,获得的利润也就变小,为谋求更好的生存,企业通过迁移或者产业升级来规避带来的高额环境成本,从而促进清洁产业、服务业和信息产业等第三产业兴起,优化产业结构。

表4显示,模型(4)中外商直接投资和产业结构对碳排放的回归系数均通过1%显著性检验,满足存在中介效应第二步条件,说明环境规制通过外商直接投资和产业结构影响碳排放的间接效应显著;此外,加入中介变量后,虽然环境规制对碳排放影响的显著性降低,但环境规制对碳排放的影响系数均为负数,依然存在显著的抑制作用,满足存在中介效应第四步条件,表明环境规制对碳排放存在直接抑制作用。另外,通过比较模型(3)和模型(4)的系数发现,外商直接投资和产业结构均满足存在中介效应第五步的条件,都属于部分中介效应,表明东北三省严格的环境规制不仅可以直接抑制碳排放,也可通过优化产业结构和抑制外商直接投资来间接抑制碳排放。

在模型(5)中依次加入经济发展水平和外商直接投资与环境规制的交叉项,验证地方政府绩效考核中地区经济发展水平和外商直接投资对环境规制的影响程度,结果显示经济发展水平和外商直接投资与环境规制的交叉项均通过1%显著性检验,说明东北三省环境规制对碳排放影响受到地方政府绩效考核竞争的影响。环境规制与经济发展水平交叉项的回归系数要小于模型(2)中经济发展水平的回归系数,由此可见经济发展水平的提高与政府制定宽松的环境规制有显著关系,主要是以片面追求经济增长为特征的经济体制和政绩考核制度的弊端,地方政府为追求经济增长,增强本地政府绩效成绩,制定宽松的环境规制,增加了碳排放量,不利于地区低碳经济的发展。环境规制与外商直接投资交叉项的系数为负值,且通过显著性检验,说明以经济发展为唯一目标的部分地方政府对高耗能高污染外资企业的引进,减弱了环境规制对碳排放的抑制作用效果。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于2005-2016年东北三省36个地级市面板数据,定性分析环境规制与碳排放的时空格局演变特征,并利用中介效应分析法定量研究环境规制对碳排放的影响及作用路径,得到结论如下:

(1)从各城市对比来看,环境规制强度呈现出明显的市域差异,其中黑龙江省大兴安岭地区环境规制最为宽松,辽宁省沈阳市环境规制最严格。总体来看,辽宁省环境规制最为严格,其次是吉林省,黑龙江省环境规制最为宽松;东北三省碳排放量均呈先增加后减小态势,辽宁省一直维持在较高水平碳排放量。

(2)从空间格局来看,环境规制强度呈现由北向南逐渐增强的态势,区域间差异逐渐增大。环境规制的高水平类型分布集中,城市数量最多;低水平类型全部位于黑龙江北部,城市数量最少。碳排放量的高水平类型集中分布在辽东半岛以及大庆市和吉林市等石油型、冶金型城市,低水平类型城市数量呈波动增加,主要分布在东北北部,且向

南逐渐扩散。

(3) 从作用路径来看,东北三省严格的环境规制不仅直接抑制碳排放,也可以通过优化产业结构和精简粗放投资间接抑制碳排放,地方政府竞争则会减弱环境规制对碳排放的抑制效应。

3.2 讨论

(1) 对辽东半岛等碳排放量较多的地区,开展有针对性的监测检查和违规处罚,保障环境规制的有效实施;对黑龙江省环境规制强度水平较低的城市,应该适当提升环境规制强度,逐步控制和减少碳排放。

(2) 东北三省严格的环境规制会通过优化产业结构和精简粗放投资间接抑制碳排放。因此,东北三省各城市要根据不同经济状况、不同资源禀赋以及不同产业结构采用区域差异化、合理有效的环境规制政策和手段,促进产业结构的优化,同时,还要避免出现主动降低环境标准来招商引资的情况,杜绝引进污染型企业,进一步通过精简粗放投资降低碳排放量。

(3) 地方政府竞争会减弱环境规制对碳排放的抑制效应。因此,东北三省各城市必须重视生态文明建设,建立经济发展与节能减排相结合的政府考核体系,同时城市之间建立环境规制区域协调机制,形成联合控污治污格局,逐渐消除地方政府竞争对这种抑制效应的影响,从而更好地抑制东北三省碳排放量。

参考文献(References):

- [1] 张华,魏晓平.绿色悖论抑或倒逼减排:环境规制对碳排放影响的双重效应.中国人口·资源与环境,2014,24(9):21-29. [ZHANG H, WEI X Q. Green paradox or forced emission reduction: Dual effect of environmental regulation on carbon emissions. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(9): 21-29.]
- [2] 谭娟,宗刚,刘文芝.基于VAR模型的我国政府环境规制对低碳经济影响分析.科技管理研究,2013,33(24):21-24. [TAN J, ZONG G, LIU W Z. The impact of Chinese government environmental regulation on low-carbon economy based on VAR model. Science and Technology Management Research, 2013, 33(24): 21-24.]
- [3] 孙建,柴泽阳.中国区域环境规制“绿色悖论”空间面板研究.统计与决策,2017,33(15):137-141. [SUN J, CHAI Z Y. Research on the spatial panel of "Green Paradox" in China's regional environmental regulation. Statistics & Decision, 2017, 33(15): 137-141.]
- [4] 张华.“绿色悖论”之谜:地方政府竞争视角的解读.财经研究,2014,40(12):114-127. [ZHANG H. The green paradox puzzle: Interpretation from the perspective of local government competition. Journal of Finance and Economics, 2014, 40(12): 114-127.]
- [5] FREDERICK V D P, WITHAGEN C. Is there really a green paradox?. Journal of Environmental Economics and Management, 2012, 64(3): 342-363.
- [6] 王雅楠,左艺辉,陈伟,等.环境规制对碳排放的门槛效应及其区域差异.环境科学研究,2018,31(4):601-608. [WANG Y N, ZUO Y H, CHEN W, et al. Threshold effect and regional differences of environmental regulation on carbon emission. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(4): 601-608.]
- [7] 柴泽阳,杨金刚,孙建.环境规制对碳排放的门槛效应研究.资源开发与市场,2016,32(9):1057-1063. [CHAI Z Y, YANG J G, SUN J. Threshold effects of environmental regulation on carbon emissions. Resource Development & Market, 2016, 32(9): 1057-1063.]
- [8] 刘海云,龚梦琪.环境规制与外商直接投资对碳排放的影响.城市问题,2017,(7):67-73. [LIU H Y, GONG M Q. The impact of environmental regulation and foreign direct investment on carbon emissions. Urban Problems, 2017, (7): 67-73.]
- [9] 徐盈之,杨英超,郭进.环境规制对碳减排的作用路径及效应:基于中国省级数据的实证分析.科学学与科学技术管

- 理, 2015, 36(10): 135-146. [XU Y Z, YANG Y C, GUO J. The paths and effects of environmental regulation on China's carbon emissions: An empirical study based on Chinese provincial data. *Science of Science and Management of S & T*, 2015, 36(10): 135-146.]
- [10] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素. *地理学报*, 2018, 73(3): 414-428. [WANG S J, SU Y X, ZHAO Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 414-428.]
- [11] 李小平, 王树柏, 郝路露. 环境规制、创新驱动与中国省际碳生产率变动. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2016, 16(1): 44-54. [LI X P, WANG S B, HAO L L. Environmental regulation, innovation drive and China's inter provincial carbon productivity change. *Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition*, 2016, 16(1): 44-54.]
- [12] JOHANSSON T B, PATWARDHAN A, NAKICENOVIC N, et al. *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
- [13] IEA. *World Energy Outlook 2012*. Paris: International Energy Agency (IEA), 2012.
- [14] 植草益. *微观规制经济学*. 北京: 中国发展出版社, 1992. [ZHI C Y. *Micro Regulation Economics*. Beijing: China Development Press, 1992.]
- [15] 赵玉民, 朱方明, 贺立龙. 环境规制的界定、分类与演进研究. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(6): 85-90. [ZHAO Y M, ZHU F M, HE L L. Definition, classification and evolution of environmental regulations. *China Population Resources and Environment*, 2009, 19(6): 85-90.]
- [16] LANOIE P, PATRY M, LAJEUNESSE R. Environmental regulation and productivity: Testing the porter hypothesis. *Journal of Productivity Analysis*, 2008, 30(2): 121-128.
- [17] 景维民, 张璐. 环境管制、对外开放与中国工业的绿色技术进步. *经济研究*, 2014, 49(9): 34-47. [JING W M, ZHANG L. Environmental regulation, economic opening and china's industrial green technology progress. *Economic Research Journal*, 2014, 49(9): 34-47.]
- [18] 郭宏毅. 环境规制对制造业产业集聚影响的实证分析. *统计与决策*, 2018, 34(10): 139-142. [GUO H Y. An empirical analysis of the impact of environmental regulation on manufacturing industry agglomeration. *Statistics & Decision*, 2018, 34(10): 139-142.]
- [19] 张成, 陆旸, 郭路, 等. 环境规制强度和生产技术进步. *经济研究*, 2011, 46(2): 113-124. [ZHANG C, LU Y, GUO L, et al. The intensity of environmental regulation and technological progress of production. *Economic Research Journal*, 2011, 46(2): 113-124.]
- [20] 黄志基, 贺灿飞, 杨帆, 等. 中国环境规制、地理区位与企业生产率增长. *地理学报*, 2015, 70(10): 1581-1591. [HUANG Z J, HE C F, YANG F, et al. Environmental regulation, geographic location and growth of firms' productivity in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(10): 1581-1591.]
- [21] 黄清煌, 高明. 环境规制对经济绩效影响的实证检验. *统计与决策*, 2018, 34(2): 113-117. [HUANG Q H, GAO M. Empirical estimation of environmental regulations' influence on economic performance. *Statistics & Decision*, 2018, 34(2): 113-117.]
- [22] 崔学刚, 方创琳, 张蔷. 京津冀城市群环境规制强度与城镇化质量的协调性分析. *自然资源学报*, 2018, 33(4): 563-575. [CUI X G, FANG C L, ZHANG Q. Coordination between environmental regulation intensity and urbanization quality: Case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4): 563-575.]
- [23] 王班班, 齐绍洲. 市场型和命令型政策工具的节能减排技术创新效应: 基于中国工业行业专利数据的实证. *中国工业经济*, 2016, (6): 91-108. [WANG B B, QI S Z. The effect of market-oriented and command-and-control policy tools on emissions reduction innovation: An empirical analysis based on China's industrial patents data. *China Industrial Economics*, 2016, (6): 91-108.]
- [24] BRUNNERMEIER S B, COHEN M A. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2003, 45(2): 278-293.
- [25] 徐成龙, 程钰. 新常态下山东省环境规制对工业结构调整及其大气环境效应研究. *自然资源学报*, 2016, 31(10): 1662-1674. [XU C L, CHENG Y. The action of environmental regulation on industrial structure adjustment and atmo-

- spheric environment effect under the new normal in Shandong province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1662-1674.]
- [26] 余菜花. 环境规制对中国制造业产业布局影响的研究. 北京: 科学出版社, 2017: 148-150. [YU C H. Research on the Influence of Environmental Regulation on the Distribution of China's Manufacturing Industry. Beijing: Science Press, 2017: 148-150.]
- [27] SINN H W. Public policies against global warming: A supply side approach. *International Tax Public Finance*, 2008, 15 (4): 360-394.
- [28] PORTER M. America's green strategy. *Scientific American*, 1991, 264(4): 168.
- [29] WALTER I, UGELOW J L. Environmental policies in developing countries. *Ambio*, 1979, 8(2-3): 102-109.
- [30] ATKINSON S E, LEWIS D H. A cost-effectiveness analysis of alternative air quality control strategies. *Journal of Environmental Economics & Management*, 1974, 1(3): 237-250.
- [31] WITTMAN D. Competitive governments: An economic theory of politics and public finance. *Southern Economic Journal*, 1998, 64(4): 1011-1013.
- [32] 朱向东, 贺灿飞, 李茜, 等. 地方政府竞争、环境规制与中国城市空气污染. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(6): 103-110. [ZHU X D, HE C F, LI Q, et al. Influence of local government competition and environmental regulations on Chinese urban air quality. *China Population Resources and Environment*, 2018, 28(6): 103-110.]
- [33] 周黎安. 晋升博弈中政府官员的激励与合作: 兼论我国地方保护主义和重复建设问题长期存在的原因. *经济研究*, 2004, (6): 33-40. [ZHOU L A. The incentive and cooperation of government officials in the political tournaments: An interpretation of the prolonged local protectionism and duplicative investments in China. *Economic Research Journal*, 2004, (6): 33-40.]
- [34] 杨海生, 陈少凌, 周永章. 地方政府竞争与环境政策: 来自中国省份数据的证据. *南方经济*, 2008, (6): 15-30. [YANG H S, CHEN S L, ZHOU Y Z. Local government competition and environmental policy: Empirical evidence from province's governments in China. *South China Journal of Economics*, 2008, (6): 15-30.]
- [35] 李胜兰, 初善冰, 申晨. 地方政府竞争、环境规制与区域生态效率. *世界经济*, 2014, 37(4): 88-110. [LI S L, CHU S B, SHEN C. Local government competition, environmental regulation and regional ecological efficiency. *The Journal of World Economy*, 2014, 37(4): 88-110.]
- [36] 王文普. 环境规制竞争对经济增长效率的影响: 基于省级面板数据分析. *当代财经*, 2011, (9): 22-34. [WANG W P. The effects of environmental regulation competition on the efficiency of economic growth: Based on the analysis of provincial panel data. *Contemporary Finance & Economics*, 2011, (9): 22-34.]
- [37] 夏丽丽, 闫小培. 基于重化工业发展的珠江三角洲工业空间结构演变研究. *人文地理*, 2009, 24(6): 68-72. [XIA L L, YAN X P. A study on the evolution of industrial spatial structure of Pearl River Delta based on the heavy industry development. *Human Geography*, 2009, 24(6): 68-72.]
- [38] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展. *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. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5): 731-745.]

The effects of environmental regulation on spatio-temporal carbon emissions patterns: Empirical analysis of prefecture-level cities in Northeast China

WANG Kang, LI Zhi-xue, ZHOU Jia

(College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: Based on the data of 36 municipal panels in the three provinces of Northeast China from 2005 to 2016, the spatial and temporal patterns of environmental regulation and carbon emission are analyzed qualitatively. And we use a mediation effects to analyze the influences of environmental regulation on carbon emissions quantitatively. The results show that: (1) The comparison of cities shows that there are obvious urban differences between different cities in the intensity of environmental regulation. The carbon emissions increased first and then reduced; (2) As for the spatial pattern, the intensity of environmental regulation shows a trend of increasing from north to south, and the differences between regions increased gradually. The high-level types of environmental regulation are centrally distributed, and most in cities. The low-level types of environmental regulation are found in the northern part of Heilongjiang Province, and the number of the low-level types is the smallest in cities. The high-level types of carbon emissions are concentrated in regions which are rich in oil and metal resources, such as Liaodong Peninsula and the cities of Daqing and Jilin. And the number of low-level cities has increased, mainly in the northeastern part of the region; (3) The strict environmental regulation in the three provinces of Northeast China not only directly restrains carbon emissions, but also indirectly restrains carbon emissions by optimizing industrial structure and reducing rough investment. Meanwhile, the competition between local governments would reduce carbon emissions of the environmental regulation.

Keywords: environmental regulation; carbon emissions; spatio-temporal patterns; mediating effects; Northeast China