

气候变化的经济后果真的“亲贫”吗

金 刚, 沈坤荣, 孙雨亭

[摘要] 已有研究气候变化经济后果的文献多侧重于探讨应对气候变化的适应性行为的收益,却忽视了适应性行为背后的能源消耗与污染排放成本。为统筹考察气候变化对经济增长与节能减排的影响,本文采用非径向方向性距离函数(NDDF)核算了2003—2016年中国城市层面的绿色经济效率,通过识别日度气温变化对绿色经济效率的因果效应评估了气候变化的经济后果。研究发现,以气温区间6—12℃为基准,气温下降或上升均对绿色经济效率存在负面影响。并且,这一效应仅存在于发达城市,在落后城市并不显著,体现出气候变化经济后果的“劫富”特征,与以往文献大多发现的“亲贫”特征迥然不同。经稳健性检验与排除可能的竞争性解释后,这一结论依然成立。机制检验显示气温上升通过影响劳动生产率、节能减排效率以及地方政府环境规制执行力度等渠道产生“劫富”式经济后果。根据中期(2041—2060年)与长期(2061—2080年)中国各城市未来气候变化的RCP8.5路径,模拟结果显示,未来高温天数的增加将持续对发达城市绿色经济效率产生不利影响,且负向影响随时间推移呈加剧之势。本文的研究为理解气候变化的经济后果提供了新视角,也为地方政府气候治理责任界定提供了经验依据。

[关键词] 气候变化; 绿色经济效率; 适应性行为; 节能减排

[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2020)09-0042-19

DOI:10.19581/j.cnki.ciejournal.2020.09.002

一、引言

在全球气候变暖的大背景下,气候变化如何影响经济发展,一直是政策界与学术界关注的热点问题。已有研究从不同视角出发,考察了平均气温上升对农业(Mendelsohn et al.,1994;Schlenker et al.,2005;Schlenker and Roberts,2009;Zhang et al.,2017)、工业产出或经济增长(Dell et al.,2012;Chen and Yang,2019)、健康或死亡率(Heutel et al.,2017;Yu et al.,2019;Kim et al.,2019)、国际贸易(Jones and Olken,2010;Li et al.,2015)、劳动生产率或全要素生产率(Zhang et al.,2018;Letta and Tol,2019;Kumar and Khanna,2019)等方面的影响。这些研究一致发现,平均气温上升这

[收稿日期] 2019-10-19

[基金项目] 国家社会科学基金重大项目“我国高质量发展的能力基础、能力结构与推进机制”(批准号19ZDA049);国家自然科学基金青年项目“地方性环境治理政策的扩散机制与政策效应研究:以‘河长制’为例”(批准号71903085);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“气候变化的经济效应:理论机理与中国证据”(批准号010414370114)。

[作者简介] 金刚,南京大学经济学院助理研究员,经济学博士;沈坤荣,南京大学经济学院教授,博士生导师,经济学博士;孙雨亭,东南大学经济管理学院博士研究生。通讯作者:金刚,电子邮箱:jingang@nju.edu.cn。感谢《中国工业经济》第二届应用经济学高端前沿论坛与会者、山东大学经济研究院2019年第11期“博士研究生高端学术论坛”与会者、匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

—气候变化形式对上述经济变量均呈现负面影响。但是,进一步探究气候变化的经济后果主要影响发达地区还是落后地区,已有研究对此尚未形成共识。

较多研究认为,气候变化的负面影响主要存在于落后地区而非发达地区,即气候变化的经济后果具有“亲贫”特征(Dell et al.,2012;Deryugina and Hsiang,2014;Letta and Tol,2019;Kumar and Khanna,2019)。但与此同时,也有文献发现不同的结论。例如,Burke et al.(2015)采用全球166个国家1960—2010年的生产率数据,发现气候变化造成的生产率损失在富国与穷国之间并没有明显差异。遗憾的是,虽然关于气候变化经济后果地区异质性的研究存在争议,但鲜有文献关注气候变化偏向富裕地区的负面效应。这些研究大多忽视了相比落后地区,富裕地区为应对气候变化采取的适应性行为背后具有巨大的能源消耗与污染排放成本(Li et al.,2018),而这可能会影响气候变化对富裕地区的经济后果。

由此,如果统筹考虑生产率、能源消耗以及污染排放来研究气候变化对绿色经济效率的影响效应,气候变化的经济后果具有地区“亲贫”特征的结论仍然成立吗?关于这一问题的回答是对现有理论研究不足的填补,对于中国实现经济发展与气候治理的双赢同样具有重要的现实意义。作为全球第二大经济体,中国积极应对气候变化,在党的十八大以后相继发布《中国落实2030年可持续发展议程国别方案》《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》以及《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》等文件,深入推进气候治理,在国际上主动参与《联合国气候变化框架公约》谈判,率先提出中国应对气候变化的自主贡献方案。在主动增加气候治理责任的同时,中国已由经济发展的高速增长阶段转向追求高质量增长的阶段,致力于实现工业经济绿色发展(史丹和李鹏,2019)。在此背景下,厘清气候变化对绿色发展的影响效应及其地区异质性,既有助于优化设计中国以绿色发展为导向的气候治理政策,也能够激发各地方政府参与气候变化协作治理的内生动力。

基于此,本文首先基于非径向方向性距离函数(Non-radial Directional Distance Function, NDDF)核算了2003—2016年中国城市绿色经济效率。在此基础上,通过估计气温变化对绿色经济效率的短期效应,结合未来气候变化的路径,试图识别气候变化对绿色经济效率的影响。研究发现,以6—12℃为基准区间,气温下降或上升均对发达城市绿色经济效率产生显著的负面影响,对落后城市的影响均未通过显著性检验。基于气温变化对不同城市绿色经济效率的影响效应,在“一切照旧”的二氧化碳排放模式下,气候变化(日均气温大于24℃的天数增加)在中期(2041—2060年)将使得发达城市绿色经济效率平均下降0.0615个单位,在长期(2061—2080年)将使得发达城市绿色经济效率平均下降0.1054个单位。而无论是中期还是长期气候变化,均未对落后城市绿色经济效率产生显著的负面影响。由此可见,从绿色经济效率的角度看,气候变化的经济后果呈现出“劫富”而非“亲贫”特征。

本文有如下创新之处:①从适应性行为成本的崭新视角拓展了气候变化与经济生产率之间关系的研究。尽管近期的一些文献开始认识到人们应对气候变化采取的适应性行为本身具有非生产性能源消耗与污染排放成本,但是仍未有文献实证检验这种非生产性成本对经济造成的影响以及该影响的地区异质性。本文通过识别气候变化对绿色经济效率的因果效应,有效弥补了这一不足。②首次验证了发达地区为应对气候变化可能存在“过度适应”的行为,这些“过度适应”行为背后的非生产性能源消耗与污染排放反而会拖累绿色经济发展。这一结果表明,发达地区合理使用适应性行为,将有助于实现气候治理与经济的双赢,并且能够为落后国家和地区在经济发展过程中设计合理的气候治理政策提供有益参考。③在气候变化经济后果的研究中补充了关于中国经验的研究。中国作为地区间发展不平衡的转型国家,提升其气候治理公共品供给水平的关键在于强化更

有能力参与气候治理的发达地区的治理激励。各地区在参与气候治理决策时面临收益与成本的权衡,对于受害程度较小的地区而言,气候治理的收益不足以覆盖成本,往往缺乏积极参与气候治理的激励。本文发现气候变化的经济后果具有“劫富”特征,这一结论廓清了发达地区参与气候治理的收益,有助于强化发达地区参与气候治理的激励。

余文结构安排如下:第二部分是文献回顾与机理分析;第三部分是中国绿色经济效率的测度;第四部分是实证策略设计;第五部分是实证结果及分析,包括基准回归与稳健性检验等;第六部分是拓展性讨论;第七部分是气候变化的影响效应评估;最后是结论与政策启示。

二、文献回顾与机理分析

气候变化经济学的早期文献集中于探索气候变化对农业部门的影响 (Mendelsohn et al., 1994)。随着研究的深入,研究对象逐渐从农业转向制造业、房地产业等其他经济部门(Chen and Yang, 2019; Hauer et al., 2016; Zhang et al., 2018)。与此同时,脱离于单个部门的研究视野,一些文献开始系统考察气候变化对总体经济产出的影响(Burke et al., 2015; Dell et al., 2012; Caldeira and Brown, 2019)。在这些研究中,无论研究对象是单个部门还是经济总产出,气候变暖总会带来负面效应基本已形成共识。这一共识使得全球气候治理的必要性愈发凸显。但是,在气候变化经济后果的地区异质性方面产生了分歧,这直接影响了处于不同发展阶段的地区参与全球气候治理的成本收益考量以及相应的治理政策。

不少研究认为气候变化的负向冲击更多作用于贫穷国家或地区。这些文献从两个角度进行了解释:一是落后地区的产业结构不同于发达地区。相比之下,落后地区的农业占比更高,而气候变化一旦产生负面的经济效应,农业部门总是首当其冲。相应地,由于产业结构低端化,户外体力密集型劳动占比更高,也是落后地区承受气候变化主要影响的关键因素。二是发达地区的技术与资本更胜一筹,具有更强的气候变化适应能力,因而在面临气候变化时,发达地区能够采取更为有效的应对气温上升的适应性行为,从而“绝缘”于气候变化的负面效应。例如,对于发达地区的工厂而言,空调的使用普及化是应对高温的有效方式,但是落后地区难以承担普及空调等适应性行为的成本(Deryugina and Hsiang, 2014)。因此,相比发达地区,落后地区的经济发展在气候变化中受损更大。

尽管从产业结构与适应性行为两个角度看,气候变化的经济后果具有“亲贫”特征不无道理(Letta and Tol, 2019),但不可否认的是,气候变化的影响理论上也可能偏向发达地区。本文结合以往研究,主要从劳动生产率、节能减排以及政府环境治理三个渠道来阐述气候变化的绿色经济效应偏向发达地区的作用机理。

1. 劳动生产率渠道

不少研究认为,气温变化影响农业之外的其他经济部门,主要是通过影响劳动生产率实现的(Caldeira and Brown, 2019),因此,劳动生产率理论上是气候变化影响绿色生产率的重要机制。气候变化经济学的相关研究显示,气温过冷或过热都会使得劳动者无法专注工作,从而降低劳动者的生产率(Cai et al., 2018; Qiu and Zhao, 2019),尤其高温环境还会加剧劳动者的疲劳感,使得劳动生产率的下降更为明显(Galloway and Maughan, 1997)。尽管直觉上,相比室内脑力密集型劳动者,户外体力密集型劳动者更可能受到气候变化的影响,但人体工程学的研究表明,脑力密集型的复杂劳动相比体力密集型的简单劳动遭受高温的干扰更大(Ramsey and Kwon, 1992; Zander and Mathew, 2019)。发达地区产业结构偏向高端化,决定了脑力密集型的复杂劳动占比更大。因此,相比落后地区,发达地区的绿色生产率可能更容易遭受气候变化的负面冲击。

2. 节能减排渠道

以往文献大多强调人们应对气候变化采取的适应性行为所产生的正面效应,却忽视了这些适应性行为背后通常存在巨大的能源消耗与污染排放成本(Carleton and Hsiang, 2016)。例如,大量空调的安装使用,尽管有助于缓解高温对劳动生产率的不利影响,但是也造成了非生产性能源消耗与污染排放的大量增加,降低节能减排绩效,不利于经济可持续发展。Deschênes and Greenstone (2011)研究发现气温变化与电力消费呈现“U”型曲线关系,过低或过高的气温都会使得电力消费变得更多。在面临相同的气候变化时,由于经济发展水平不同,各地区采取的适应性行为存在差异,因而气候变化对不同地区的能源消耗与污染排放存在差异性影响。对于中国而言,Wiedenhofer et al. (2017)的研究发现由于消费模式和能力的不同,富裕与贫穷地区产生的能源消耗与相应的污染排放呈现出明显的地区不均等,占总人口仅5%的富裕人口却通过家庭消费产生了占比高达19%的碳排放。Yu et al. (2019)更为明确地指出,城市居民会显著增加能源消费以应对气候变化,而农村居民较少对气候变化采取适应性行为。因此,可以推断,具有不同城市化率的地区的能源消耗与污染排放将会受到气候变化不同程度的影响。相比落后地区,发达地区的人们既更愿意也更有能力采取应对气候变化的适应性行为,故这些地区的节能减排绩效也更易遭受气候变化的冲击。因此,本文认为,节能减排这一渠道可能也是气候变化更多影响发达地区绿色生产率的重要机制。

3. 政府环境规制执行渠道

一个地区的绿色生产率如何受到气候变化的冲击不仅与地区的适应性行为相关,也在一定程度上取决于地方政府环境规制力度。尤其在中国,节能减排绩效很大程度上受到辖区环境规制执行力度的影响。随着中国污染治理压力不断加大,地方政府环境规制执行力度从普遍非完全执行中央政府环境政策逐步转向“竞相向上”与“逐底竞赛”并存的环境规制互动模式。在这一过程中,发达地区与落后地区环境治理模式出现分野。其中,经济发达地区执行环境政策的力度较高,而经济落后地区环境规制仍维持在较低水平(金刚和沈坤荣, 2018)。对于发达地区而言,尽管相比落后地区环境规制执行力度较高,但是当气温上升至高温区间时,地方政府可能会预期其对经济产出的不利影响,从而通过降低环境规制执行力度的方式促进经济产出的增加,缓解这一负向效应。对于落后地区来说,由于环境规制执行的水平一直较低,进一步降低环境规制执行水平从而缓解气候变化负面影响的空间已然较小。因此,本文认为气候变化也可能通过地方政府环境规制执行的渠道产生对发达地区的偏向效应。

三、中国绿色经济效率核算

1. 测算方法

参考李江龙和徐斌(2018)的做法,本文采用 Zhou et al. (2012)提出的非径向方向性距离函数(NDDF)核算中国城市层面的绿色经济效率。基于NDDF核算绿色经济效率首先需要确定生产过程的投入与产出要素。本文选择投入要素包括资本(K)、劳动(L)以及能源(E)。产出要素包括期望产出(Y)和非期望产出(U)。其中,非期望产出表示污染排放,具体采用废水排放量(W)、二氧化硫排放量(S),以及烟(粉)尘排放量(D)来表示。设定生产技术形式如下:

$$T = \left\{ \begin{array}{l} (K, L, E, Y, W, S, D) : \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} K_{it} \leq K, \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} L_{it} \leq L \\ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} E_{it} \leq E, \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} Y_{it} \geq Y, \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} W_{it} = W \\ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} S_{it} = S, \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \lambda_{it} D_{it} = D, \lambda_{it} \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

式(1)中, λ_u 是用来构造包络所有观测值凸组合的强度变量。本文定义非径向方向性距离函数为:

$$\overrightarrow{ND}(K, L, E, Y, W, S, D; g) = \sup\{\omega^T \beta : (K, L, E, Y, W, S, D) + g \cdot \text{diag}(\beta) \in T\} \quad (2)$$

式(2)中, $g = (-g_K, -g_L, -g_E, g_Y, -g_W, -g_S, -g_D)$ 是方向向量, 表示生产函数各个变量变化的方向。 $\omega = (\omega_K, \omega_L, \omega_E, \omega_Y, \omega_W, \omega_S, \omega_D)^T$ 是权重向量, 表示各投入产出变量的标准化权重。松弛向量 $\beta = (\beta_K, \beta_L, \beta_E, \beta_Y, \beta_W, \beta_S, \beta_D)^T \geq 0$ 是生产函数中各个变量变化的比例。NDDF 允许向量 β 中的不同元素取不同的数值, 即各投入产出变量可以以不同的比例扩张或缩减。符号 diag 表示对向量 β 的对角化处理。为全面考察经济实际运行过程中各投入产出变量缩减或扩张的空间, 本文参考林伯强和刘泓汛(2015), 设置方向向量为 $g = (-K, -L, -E, Y, -W, -S, -D)$ 。具体地, 设定投入要素中劳动、资本、能源的权重各为 1/9。期望产出的权重为 1/3, 非期望产出中废水, 二氧化硫和烟(粉)尘排放量的权重各为 1/9, 因此权重向量为 $\omega = (\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{3}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9})^T$ 。

上述非径向方向性距离函数可以通过以下线性规划方程求得最优解:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{ND}(K, L, E, Y, W, S, D) = & \max\left(\frac{1}{9}\beta_K + \frac{1}{9}\beta_L + \frac{1}{9}\beta_E + \frac{1}{3}\beta_Y + \frac{1}{9}\beta_W + \frac{1}{9}\beta_S + \frac{1}{9}\beta_D\right) \\ \text{s.t. } & \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u K_u \leq K - \beta_K g_K, \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u L_u \leq L - \beta_L g_L \\ & \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u E_u \leq E - \beta_E g_E, \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u Y_u \geq Y + \beta_Y g_Y \\ & \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u W_u = W - \beta_W g_W, \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u S_u = S - \beta_S g_S \\ & \sum_{i=1}^T \sum_{u=1}^N \lambda_u D_u = D - \beta_D g_D, t=1, 2, \dots, T, i=1, 2, \dots, N \\ & \lambda_u, \beta_K, \beta_L, \beta_E, \beta_Y, \beta_W, \beta_S, \beta_D \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

求解式(3)可得最优解 $\beta^* = (\beta_K^*, \beta_L^*, \beta_E^*, \beta_Y^*, \beta_W^*, \beta_S^*, \beta_D^*)^T$ 。对于城市 i 在 t 年的生产而言, 劳动投入、资本投入、能源消费、期望产出以及各非期望产出的目标值分别为: $K - \beta_{K,u}^* g_{K,u}^*$ 、 $L - \beta_{L,u}^* g_{L,u}^*$ 、 $E - \beta_{E,u}^* g_{E,u}^*$ 、 $Y + \beta_{Y,u}^* g_{Y,u}^*$ 、 $W - \beta_{W,u}^* g_{W,u}^*$ 、 $S - \beta_{S,u}^* g_{S,u}^*$ 以及 $D - \beta_{D,u}^* g_{D,u}^*$ 。若 $\beta_{it}^* = 0$, 说明城市 i 在 t 年已经在现有的投入与产出水平上实现最优目标。

本文定义能源效率(EP)为目标能源消耗强度与实际能源消耗强度的比值, 环境效率(PP)为目标污染排放强度与实际污染排放强度的比值。分别表示如下:

$$EP_u = \frac{(E_u - \beta_{E,u}^* \times E_u) / (Y_u + \beta_{Y,u}^* \times Y_u)}{E_u / Y_u} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} PP_u = & \frac{1}{3} \frac{(W_u - \beta_{W,u}^* \times W_u) / (Y_u + \beta_{Y,u}^* \times Y_u)}{W_u / Y_u} + \frac{1}{3} \frac{(S_u - \beta_{S,u}^* \times S_u) / (Y_u + \beta_{Y,u}^* \times Y_u)}{S_u / Y_u} + \\ & \frac{1}{3} \frac{(D_u - \beta_{D,u}^* \times D_u) / (Y_u + \beta_{Y,u}^* \times Y_u)}{D_u / Y_u} \end{aligned} \quad (5)$$

基于式(4)和式(5), 本文定义能源环境效率(EPP)为能源效率和环境效率的加权线性和, 其中能源效率与环境效率的权重分别为 1/2, 表示如下:

$$EPP_u = \frac{1}{2} EP_u + \frac{1}{2} PP_u = \frac{1}{2} \left(\frac{(E_u - \beta_{E,u}^* \times E_u) / (Y_u + \beta_{Y,u}^* \times Y_u)}{E_u / Y_u} \right) +$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{1}{3} \frac{(W_{it} - \beta_{W,it}^* \times W_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{W_{it} / Y_{it}} + \frac{1}{3} \frac{(S_{it} - \beta_{S,it}^* \times S_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{S_{it} / Y_{it}} + \frac{1}{3} \frac{(D_{it} - \beta_{D,it}^* \times D_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{D_{it} / Y_{it}} \right] \quad (6)$$

为全面反映经济运行效率,在能源环境效率的基础上进一步考虑劳动与资本的效率,核算绿色经济效率($Gtfp$)。同样按照式(3)中投入和产出变量(加总)权重相等的原则,设定劳动(L)、资本(K)、能源(E)、废水(W)、二氧化硫(S)、烟(粉)尘(D)目标值与实际值比值的权重分别为 1/6,将其加权平均得到绿色经济效率($Gtfp$)的表达式:

$$Gtfp_{it} = \frac{1}{6} \left[\frac{(K_{it} - \beta_{K,it}^* \times K_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{K_{it} / Y_{it}} + \frac{(L_{it} - \beta_{L,it}^* \times L_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{L_{it} / Y_{it}} + \frac{(E_{it} - \beta_{E,it}^* \times E_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{E_{it} / Y_{it}} + \frac{(W_{it} - \beta_{W,it}^* \times W_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{W_{it} / Y_{it}} + \frac{(S_{it} - \beta_{S,it}^* \times S_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{S_{it} / Y_{it}} + \frac{(D_{it} - \beta_{D,it}^* \times D_{it}) / (Y_{it} + \beta_{Y,it}^* \times Y_{it})}{D_{it} / Y_{it}} \right] \quad (7)$$

2. 变量与数据

本文采用 2003—2016 年中国城市数据测算绿色经济效率,由于部分城市相关变量的数据缺失,最终选取 284 个地级及以上城市作为研究对象。城市层面的投入与产出数据全部来自历年《中国城市统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

投入变量:①劳动(L),采用全市年末单位从业人员数(万人)衡量。②资本(K),采用永续盘存法计算得到。基期资本存量借鉴吴延兵(2006)的计算方法,根据 $K_0 = I_0 / (g + \delta)$ 估算得到。资本折旧率 δ 参考单豪杰(2008)采用的 10.96%。 I_0 表示基期固定资产投资额, g 表示固定资产投资增长率。固定资产投资采用投资价格指数平减。③能源(E),借鉴李江龙和徐斌(2018),采用各城市全年用电量表示。

产出变量:①期望产出,采用 GDP 表示;②非期望产出,本文选取废水排放量(W),二氧化硫排放量(S)和烟(粉)尘排放量(D)作为非期望产出的代理指标。需要指出,《中国城市统计年鉴》在 2011 年之前单独统计烟尘排放量,而未报告粉尘排放量。在 2011 年之后则统计烟(粉)尘排放量。为避免统计口径不一致造成的偏误,本文首先计算 2003—2010 年各省份烟尘与粉尘排放比例,然后根据此比例与城市层面的烟尘排放数据,估计出 2003—2010 年城市层面可比口径的烟(粉)尘排放量。

3. 测算结果

参考黄燕萍等(2013)的做法,根据样本期间各城市的 GDP 平均值,本文将全部城市划分为两类:发达城市与落后城市。图 1 报告了发达城市与落后城市样本期间绿色经济效率及其分解项的概率分布。可以发现,相比落后城市,发达城市绿色经济效率的分布偏右,表明发达城市的绿色经济效率整体上高于落后城市。但是,就能源环境效率、能源效率以及环境效率而言,发达城市相比落后城市的优势并不明显。可见,即使是发达城市,在节约能源消耗与降低污染排放方面仍然存在较大的空间。

四、实证设计

1. 计量模型

气候与气温是两个不同的概念。气候变化是一个长期概念,而气温变化是一个短期概念,通常可以将气候理解为气温的分布函数(Dell et al., 2012, 2014; Hsiang, 2016)。本文参考已有文献的建议(Hsiang, 2016; 李承政等, 2019),通过估计气温变化效应来识别过去气候变化对绿色经济效率的

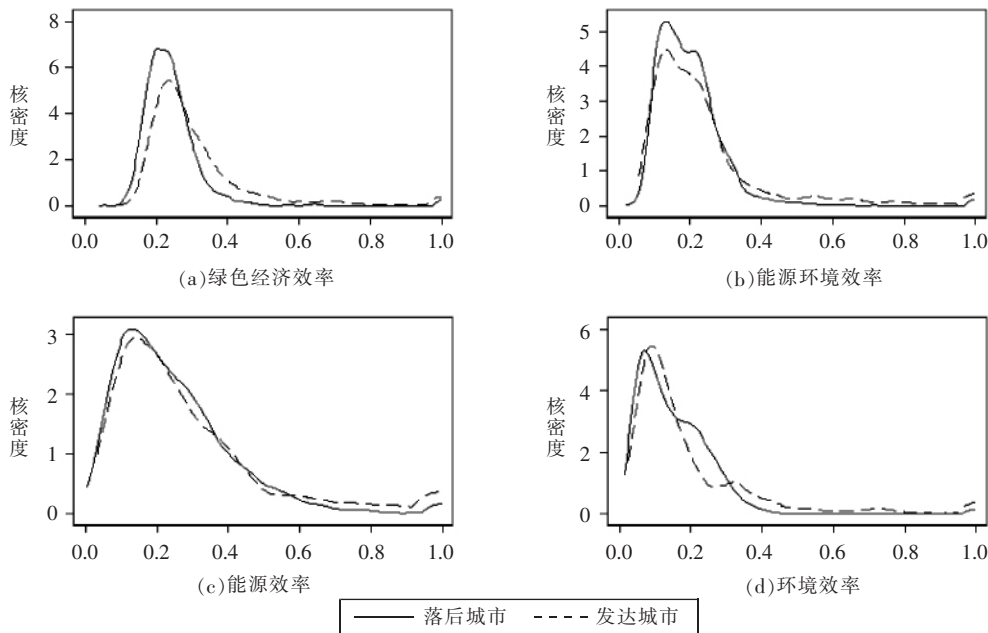


图1 绿色经济效率及其分解项的概率密度分布

因果效应,再结合未来气候变化路径,模拟未来气候变化对绿色经济效率的影响。因此,本文的实证分析具体包括两个步骤:①识别日度气温变化对绿色经济效率的因果效应;②根据气候预测模型估计未来气温变化趋势,结合日度气温变化的因果效应,模拟出未来气候变化对绿色经济效率的影响。

估计气温变化对绿色经济效率的因果效应。具体地,参考 Deryugina and Hsiang(2014)的做法,根据日度平均气温构建气温区间变量,计算一年中气温落入每个区间的天数,采用如下回归方程进行估计:

$$Gtfp_{it} = \alpha^m Tbin_{it}^m + \lambda Weather_{it} + \eta_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式(8)中, $Tbin_{it}^m$ 表示城市*i*在年份*t*日平均气温落入第*m*个气温区间的总天数。在基准回归中,本文将日平均气温以6℃为长度划分成9个气温区间,分别是小于-12℃、-12—-6℃、-6—0℃、0—6℃、6—12℃、12—18℃、18—24℃、24—30℃、大于30℃。为避免出现多重共线性问题,本文选择气温区间6—12℃为基准组^①。 $Weather_{it}$ 表示城市*i*在年份*t*的其他天气变量。参考相关文献的做法(Li et al., 2015),本文控制的天气变量包括:降水量、日照时间、气压、露点温度以及平均风速。通过控制

① 选择气温区间6—12℃作为基准组主要基于两方面原因:一是Chen and Yang(2019)明确指出了选择气温基准组的标准:尝试选择不同的气温区间作为基准组进行回归分析,当某一气温区间作为基准组时,其余气温区间的估计系数均显著为负,则选择该气温区间为最终使用的基准组。本文选择基准组的方法与Chen and Yang(2019)一样,依此标准选择的基准组可以被视为有利于提升绿色经济效率的最优气温区间。同时,本文选择的基准气温区间范围也与Burke et al.(2015)、Zhang et al.(2018)等类似。二是本文主要通过识别气温对绿色经济效率的影响效应来预测未来气候变化的经济后果,通过考察不同气温区间中期与长期平均天数的演变趋势,结合各气温区间的估计系数,最终预估未来气候变化的影响。在此过程中基准气温区间平均天数的演变是不加以考虑的,故气温区间的平均天数随时间推移的变化越小越适宜作为基准区间。根据中国城市中长期气候变化路径,气温区间6—12℃的平均天数在中期与长期相比本文样本期间(2003—2016年)的变化幅度最小。其中,中国城市中长期气候变化路径参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件。

这些外生天气变量,可以较好地利用气温的外生变化进行因果识别(Auffhammer et al.,2013)。 η_i 表示城市固定效应, σ_i 表示年份固定效应。 ε_{it} 表示聚类到城市层面的稳健性标准误。

2. 变量选取及数据来源

构建气温区间变量 $Tbin_{it}^m$ 所需的日度平均气温与降水量、日照时间、气压、露点温度以及平均风速等控制变量的数据均来自欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的 ERA-Interim 数据库。本文首先整理出中国范围内对应于 $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ 网格的各个天气变量每日层面的数据,然后根据经纬度将网格的天气变量数据匹配到地级市层面。除日度平均气温外,其余天气变量均由日度层面数据转换为年度层面的均值。由于在周末生产活动会出现暂停,不易受到气温的影响,因此,本文在构造核心解释变量 $Tbin_{it}^m$ 时,删除了周末气温信息,仅考虑一年中的工作日气温。

五、实证结果及分析

1. 基准回归结果

表1报告了基于式(8)展开的基准回归估计结果^①,各气温区间的估计系数均以6—12℃区间为基准组。第(1)列报告了基于全部城市样本的回归结果,可以发现气温变化与绿色经济效率总体呈现倒“U”型曲线关系:以6—12℃气温区间为基准,气温下降或上升均会对绿色经济效率产生负面影响。但是,当气温低于6—12℃区间时,只有当气温在0—6℃区间与-12—-6℃区间时,气温对绿色经济效率的负向影响才统计显著;而当气温高于6—12℃区间时,只有当气温位于18—24℃区间,负向效应才统计显著,当气温大于24℃后,这一负向影响就不再统计显著。产生这一结果的原因可能在于气温变化对落后城市与发达城市的影响存在异质性。全部城市样本使得不同样本的结果混淆在一起,降低了系数估计的显著性。为此,本文重点关注分别基于落后城市与发达城市样本的估计结果。

第(2)列报告了基于落后城市样本的回归结果,可以发现无论是低于6—12℃的气温,还是高于6—12℃的气温,其对落后城市绿色经济效率的影响均不具有统计显著性。并且,不同气温区间的影响效应大小均接近于0。第(3)列报告了基于发达城市样本的回归结果,可以发现对于发达城市而言,气温变化与绿色经济效率呈现明显的倒“U”型曲线关系。与6—12℃基准区间相比,更低或更高的气温均不利于绿色经济效率,这与全样本的估计结果一致,表明气温变化的经济后果呈现“劫富”而非“亲贫”特征。这一结果意味着对于发达城市而言,最有利于绿色经济效率的气温区间是6—12℃,这与其他研究气候变化影响效应的文献所得结论类似。例如,Burke et al.(2015)研究发现全要素生产率在气温为13℃时达到顶峰。相对6—12℃区间而言,在更低的气温区间中,当气温从小于-12℃逐渐上升至6℃时,绿色经济效率总体呈上升趋势,但仅当气温位于-12—-6℃与0—6℃时,气温变化对绿色经济效率的影响统计显著;在更高的气温区间中,当气温从12℃逐渐上升至大于30℃时,气温变化对绿色经济效率呈现显著且持续的负向影响。并且,相比6—12℃基准区间,随着气温的不断升高,气温区间变量估计系数的绝对值不断变大,表明负面影响效应愈发明显。根据各气温区间的估计系数大小,可以具体估算出气温上升作用于发达城市的经济后果。以气温在12—18℃区间为例,该气温区间变量的估计系数为-0.0016,通过5%水平的显著性检验。这一结果表明,相对平均气温在6—12℃的一天而言,在12—18℃气温区间的天数每增加一天,将降低发达城市绿

^① 为更清晰展示气温变化对不同城市绿色经济效率的异质性影响,本文还绘制了基于不同城市样本各气温区间变量估计系数的变化图,具体内容参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件。

色经济效率 0.0016 个单位。假设一年之内 365 天的绿色经济效率完全相同,在本文样本期间发达城市绿色经济效率的均值为 0.2627,因此,在 12—18℃气温区间的天数每增加一天,将降低发达城市绿色经济效率的 0.6091%。转化为气温的边际效应,则为-0.1015%/℃。由此可见,在发达城市,气温上升对绿色经济效率产生的负面效应不仅统计显著,在经济层面也是显著的^①。

2. 稳健性检验

为保证本文基准结论的可靠性,本文展开以下稳健性检验^②:

(1)控制地区一年份联合固定效应。在基准回归中,尽管本文控制了城市和年份固定效应,但可能遗漏了一些地区层面随年份变化的变量。为此,本文将年份固定效应更换为地区一年份固定效应,同时控制城市固定效应与地区一年份联合固定效应。实证结果表明,即使控制城市固定效应与地区一年份联合固定效应,本文的基准结论依然成立。

(2)调整标准误。在基准回归中,本文将稳健标准误聚类到城市层面,考虑了标准误可能在城市层面的序列相关性。但是每年同一省份内地级市层面的标准误也可能存在相关性。为此,采用两种方法对标准误进行调整:①将标准误同时聚类到城市与省份一年份两个维度。②参考沈坤荣和金刚(2018),采用空间 HAC 聚类标准误方法。具体地,设定空间相关的地理距离为 50km,序列相关为 1 期进行检验。实证结果显示,本文的基准结论并未受到标准误调整方式的干扰。

(3)调整气温区间的长度。在基准回归中,本文设定气温的区间长度为 6℃,这一设定的隐含假设是,在同一气温区间内不同气温的天数增加一天所产生的绿色经济效应是同质的。以 12—18℃为例,相比 6—12℃气温区间,增加平均气温为 13℃的一天与增加平均气温为 18℃的一天对绿色经济效率的影响效应相同。显然,气温区间的长度越长,该假设就越强。为避免本文的基准结论受到这一先验设定的干扰,将气温区间的长度缩短为 3℃进行稳健性检验,此时气温基准区间为 9—12℃。实证结果显示,本文的基准结论并未受到人为设定区间长度的影响。

(4)重新定义落后城市与发达城市。在基准回归中,区分落后城市与发达城市的标准是样本期间各城市的 GDP 均值。为避免气温变化的经济后果具有“劫富”特征这一结论受到样本划分标准的干扰,本文采用如下三种方式重新划分样本进行稳健性检验^③:①参考 Kumar and Khanna(2019)的

① 相对于 6—12℃基准区间,更高的气温变化对绿色经济效率的影响效应均统计显著,因此在下文的分析中本文重点针对相比基准区间更高气温的变化效应进行阐释。需要指出,气温降低或上升影响绿色经济效率的机制在理论上类似,但从实证结果看,低于基准气温区间的多个区间变量在统计意义上并不显著,产生这一结果的可能原因是:尽管气温下降与上升都会引发人们的适应性行为,并随之增加非生产性能源消耗与污染排放,但与夏季应对高温采用空调从而增加二次能源(电)消耗不同的是,在冬季北方地区集中供暖消耗的主要是煤而不是电。由于城市层面燃煤数据不可得,本文在计算绿色经济效率时并未考虑这一能源消耗。因此,气温下降对能源消耗产生的影响并未完全被本文计算得到的绿色经济效率所捕捉。有研究表明,对于中国的制造业企业而言,当冬季气温下降时,气温变化可能会改变企业雇佣工人的性别结构;增加男性工人比例(Chen and Yang, 2019)。这可能会在一定程度上缓解气温下降的不利影响。感谢匿名评审专家对于这一关键问题提供的有益启示。

② 稳健性检验的具体结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

③ 虽然人均 GDP 通常被用来衡量一个国家的发达程度,但是本文并未采用该变量衡量城市的发达程度,原因在于两个方面:一是在中国,人均 GDP 最高的城市不少是资源型城市,如阿拉善、鄂尔多斯、大庆、东营以及克拉玛依等。很难说这些城市就比深圳、无锡、苏州以及广州之类的城市更加发达,采用人均 GDP 衡量一个城市的发达程度容易产生东营甚至比上海发达的误解。二是一国内部城市之间的人口流动相比国与国之间更加便利,一个城市的人口数量实际上也是这个城市发达程度的体现,因而采用 GDP 总量而不是人均 GDP 可能更能全面反映一个城市的发达程度。

表 1 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)
	全部城市	落后城市	发达城市
小于-12℃	-0.0003 (0.0007)	0.0004 (0.0007)	-0.0016 (0.0015)
-12—-6℃	-0.0014** (0.0006)	-0.0004 (0.0005)	-0.0047** (0.0019)
-6—0℃	-0.0005 (0.0004)	-0.0001 (0.0004)	-0.0011 (0.0010)
0—6℃	-0.0006** (0.0003)	-0.0002 (0.0002)	-0.0013** (0.0006)
12—18℃	-0.0002 (0.0003)	0.0001 (0.0002)	-0.0016** (0.0007)
18—24℃	-0.0006* (0.0004)	-0.0002 (0.0004)	-0.0021*** (0.0008)
24—30℃	-0.0005 (0.0005)	0.0000 (0.0005)	-0.0025** (0.0010)
大于 30℃	-0.0006 (0.0005)	-0.0000 (0.0005)	-0.0029** (0.0012)
观测值	3903	2883	1020
R ²	0.6123	0.5199	0.6725
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。基准组为 6—12℃气温区间。控制变量包括降水量、日照时间、气压、露点温度以及平均风速。标准误差类到城市层面。被解释变量均为绿色经济效率。包括常数项但未报告结果。以下各表同。

做法，以 2003—2016 年各城市 GDP 的中位数划分落后城市与发达城市样本；②以 2003—2016 年各城市 GDP 的上下四分位数划分落后城市与发达城市样本；③以样本初期 2003 年各城市的 GDP 均值划分落后城市与发达城市样本。实证结果显示，无论采用何种划分标准，本文的基准结论依然成立。

(5) 调整绿色经济效率核算方法。绿色经济效率的核算结果不仅取决于各投入产出变量的权重，也受到投入产出指标选择的影响。本文从以下三个方面重新核算绿色经济效率并展开稳健性检验：①参考李江龙和徐斌(2018)，将劳动与资本的权重设置为 0，能源投入的权重相应地设为 1/3，即设定权重 $\omega=(0,0,1/3,1/3,1/9,1/9,1/9)^T$ ，重新核算绿色经济效率。②由于本文能源投入指标为用电量，而火力发电厂的主要污染物是二氧化硫与烟(粉)尘，因此本文分别使用二氧化硫和烟(粉)尘作为污染产出变量重新核算绿色经济效率。③基准回归中调整烟(粉)尘跨期统计口径的方式可能影响本文的结论，为此参考林伯强和谭睿鹏(2019)，直接采用《中国城市统计年鉴》中报告的烟(粉)尘

数据进行绿色经济效率的核算。实证结果显示,本文的基准结论未受到绿色经济效率核算方法的干扰。

(6)调整控制变量。本文针对控制变量选择采取了两个稳健性检验:①对自然外生变量进行调整。在研究气温变化影响经济产出的文献中,一些文献就是否应该加入降水作为控制变量存在争议(Auffhammer et al.,2013)。因此,删除降水控制变量进行稳健性检验。②增加经济变量作为控制变量。尽管增加经济变量可能会带来“过度控制”和“坏的控制”的问题,但不加以控制也可能存在遗漏变量偏误。为此本文参考林伯强和刘泓汛(2015)选择的控制变量,进一步控制人均GDP(*Pgdp*)、环境规制程度(*Envir*)、产业结构(*Stru*)、外商投资占GDP比重(*Fdi*)、财政自主度(*Fiscal*)以及人口密度(*Popdensity*)等经济变量^①。实证结果显示,对控制变量的调整未改变本文的基准结论。

(7)使用平衡面板数据。本文基准回归采用的是非平衡面板数据,为避免部分城市在样本期间数据不连续影响本文的结论,本文采用样本期间的平衡面板数据进行检验。实证结果显示,本文的基准结论仍然成立。

(8)控制被解释变量的滞后项。绿色经济效率可能存在跨期相关性,因此本文进一步采用两种方法控制被解释变量的滞后项进行检验:①采用差分GMM进行回归;②参考Dell et al.(2014)的建议,采用被解释变量的期初值与年份虚拟变量的交乘项替代被解释变量的滞后项进行回归。实证结果显示,即使考虑绿色经济效率存在的跨期相关性,本文的基准结论也依然成立。

3. 排除替代性解释²

在前文检验中,本文发现的一个重要结论是:相对于6—12℃气温区间,气温上升对绿色经济效率存在显著的负向影响,并且这一负向效应随气温的增加不断增强。更为重要的是,这一效应仅存在于发达城市,而不存在于落后城市,表现出气温变化的“劫富”特征。但是,气温变化的经济后果可能并不特定作用于经济发达的城市,只是特定影响具有某种特征的城市,而具有这种特征的城市恰好正好是发达城市。具体地,有三个潜在的替代性解释可能对本文的核心结论构成挑战^③:①气温上升对绿色经济效率的负面影响并非偏好于经济发达地区,而只是特定作用于炎热地区(Letta and Tol,2019;Kumar and Khanna,2019)。在中国,经济发达的城市恰好相比落后城市的平均气温更高。②气温上升对绿色经济效率的负面影响具有“劫富”特征可能只是因为这些地区恰好降水比较多,与地区本身的经济发达程度无关。而在中国,经济发达的城市恰好降水量也相对较多。这一替代性解释的逻辑是:在降水较多的城市,人们能够从事户外工作的时间相对较少。因此,户外工作可能更多暴露于高温之下,进而使得气温上升对这些城市产生的负向影响更加明显。③气温上升对绿色经济效率的负面影响可能只是特定作用于湿度更高的城市,而非经济更为发达的城市。在中国,经济发达的城市恰好又是湿度较高的城市。这一替代性解释的逻辑是:人们的体感温度既取决于外界的气温,也受到相对湿度的影响。相对湿度会放大人们对外界气温的感知,即相对湿度越高的地方,人们在高温环境中越会感到炎热,因此气温上升的负向影响可能只是特定作用于那些人们更加容易感知高温的城市。检验结果表明,本文的基准结论并未受到这三个替代性解释的威胁。

4. 安慰剂检验

前文基于工作日气温变化展开的实证检验发现,对于经济发达城市而言,当气温超过12℃后,气温上升对绿色经济效率存在显著负向影响。本文认为产生这一结果的主要原因是气温上升影响

① 关于经济变量的定义参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

② 排除替代性解释的回归结果与具体解释参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

③ 本文分别绘制了样本期间城市平均气温、降水量、相对湿度与GDP的散点图,发现这三个变量均与GDP呈现正相关关系。具体参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

了生产活动中的劳动生产率与适应性行为等。为排除遗漏变量可能对前文因果识别的干扰,本文基于周末气温重新构造核心解释变量进行安慰剂检验^①。如果前文结论未受到遗漏变量干扰,那么理论上应该能够发现,基于周末日度气温构造的气温区间变量不会对发达城市绿色经济效率产生显著的影响。检验结果表明,当周末平均气温超过12℃后,气温上升对城市绿色经济效率的影响几乎均不显著,这与Deryugina and Hsiang(2014)的结果一致。其中,仅当气温上升至18—24℃区间时,其对发达城市绿色经济效率的影响估计系数通过了10%水平的显著性检验。而当气温上升至大于30℃区间时,气温区间变量的估计系数却为正,与基准结果不符。总的来说,周末气温上升并未产生持续显著的负向影响。因此,本文基准结论未受到遗漏变量的干扰。

六、拓展性讨论

1. 最高气温冲击的影响

理论上,相比每日平均气温,每日最高气温冲击的影响持续时间更为短暂,但二者又存在紧密关联。本文发现的气温变化的经济后果究竟是最高气温变化引起的还是日均气温变化导致的,仍需进一步探究。本文从ERA-Interim数据库整理得到中国各城市2003—2016年工作日期间每日最高气温,设定气温区间长度为6℃,共形成10个区间变量。以气温区间18—24℃为基准组,检验结果表明^②,与最高气温在18—24℃区间相比,无论气温下降还是上升,均未对发达城市绿色经济效率呈现显著且持续的影响。由此可见,前文所发现的平均气温变化对发达城市绿色经济效率的负面影响并非由较短时间的最高气温引致。

2. 平均气温的长期影响

前文研究仅讨论了气温变化的当期影响,在此基础上本文进一步讨论平均气温变化对绿色经济效率的长期影响。具体地,将各气温区间变量的一阶与二阶滞后项一起加入到方程(8)中进行回归。以发达城市为研究对象,图2报告了各气温区间变量的当期效应、一阶滞后效应、二阶滞后效应以及累积效应。可以发现,以气温在6—12℃为基准,当气温下降至0—6℃与-12—-6℃时,当期、滞后一期以及累积效应均在10%水平显著。但是当气温低于6℃时,气温下降的滞后两期效应均不显著。以气温在6—12℃为基准,当气温上升时,其滞后一期、滞后两期以及累积效应均未通过至少10%水平的显著性检验。这一结果表明以6—12℃为基准,气温变化的经济后果并不存在持续的长期效应,与Deryugina and Hsiang(2014)和Zhang et al.(2017)的结论基本一致。由此可见,气温变化影响城市绿色经济效率的机制可能并非资本跨期投资或库存决策等,否则应该能够看到这一影响存在长期效应。

当控制气温区间变量的滞后一期项与滞后两期项时,气温在24—30℃与大于30℃区间的当期估计系数虽然为负,但是未通过显著性检验。需要指出的是,这一结果并未对本文基准结果形成重要的挑战,其原因是:①在本文研究的样本中,发达城市样本相对较少。在加入两阶滞后项后,回归使用的样本量进一步减少,标准误相对增大,从而降低了估计系数的显著性。②不同阶数的滞后项与当期气温区间变量之间存在一定程度的共线性,因而当期气温变量的影响效应一定程度上被其滞后项所吸收。

3. 平均气温的空间溢出效应

本文进一步对平均气温变化可能存在的空间溢出效应进行检验。以6—12℃为基准,如果气温

① 安慰剂检验结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

② 最高气温变化的估计结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

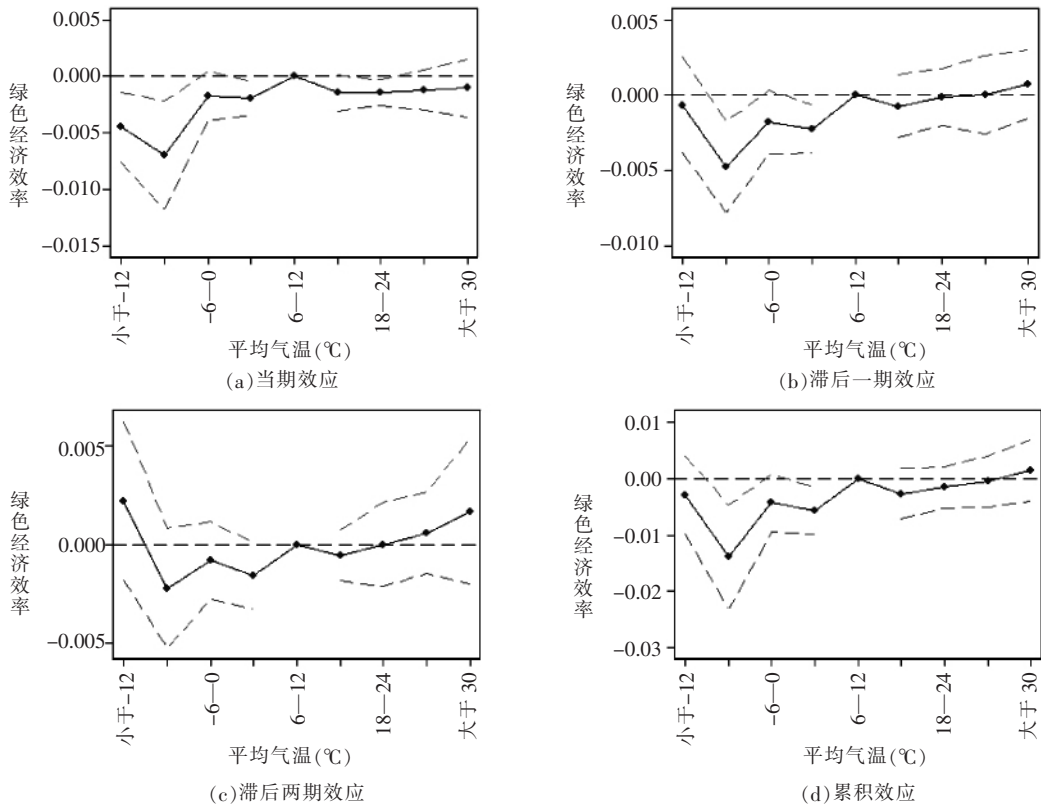


图2 气温变化的长期影响

上升驱使本地高效率企业搬迁到气温相对较低的邻近城市,那么气温上升的影响效应就不仅局限于本地;在使得本地绿色经济效率降低的同时,可能会增加邻近地区绿色经济效率。如果存在这一空间溢出效应的话,那么仅通过本地效应就无法全面评估气温上升带来的经济影响。为此,本文以发达城市为研究对象,根据每个城市的经纬度指标构建权重为地理距离倒数的空间权重矩阵,对大于12°C的气温区间变量的空间溢出效应进行考察,结果如图3所示。可以看出,当加入各个气温区间的空间滞后项后,大于12°C的气温区间变量对本地绿色经济效率的影响效应仍然显著为负,进一步验证了本文的基准结果。与此同时,以6—12°C为基准,无论气温上升至12—18°C、18—24°C、24—30°C或者大于30°C区间,本地绿色经济效率受到300—400km、400—500km、500—600km、600—700km以及700—800km地理范围内邻近城市对应气温区间的影响效应均在0上下波动,且未通过10%水平的显著性检验^①。这一结果表明,以6—12°C为基准,气温上升对发达城市绿色经济效率的影响并不存在空间溢出效应。

4. 平均气温的效率损耗:反事实分析

参考Deryugina and Hsiang(2014)的反事实分析思路,本文试图估算平均气温未保持在最优区间6—12°C所产生的绿色经济效率损耗。假定每个城市为最大化绿色经济效率目标都具有自主选择其所在气温区间的能力。那么根据前文分析,发达城市将选择每天平均气温位于6—12°C的区间。根据基准回归中各气温区间的估计系数与发达城市各气温区间的平均天数,结合各发达城市的实际

^① 由于发达城市在地理空间直接相连的情况较少,故本文设定地理范围从300km开始。

绿色经济效率可以计算得到其最优绿色经济效率^①。基于发达城市样本,对比其实际绿色经济效率与最优绿色经济效率随时间推移的变化情况。可以发现,从数值看,最优绿色经济效率几乎一直是实际绿色经济效率的2倍。这意味着平均气温未保持在最优区间带来的绿色经济效率损耗几乎与实际绿色经济效率一样大。需要指出,尽管从具体数值上看,此处反事实分析能够提供的有效信息较少,但至少说明气候治理政策能够挖掘发达城市相当可观的绿色经济效率增长潜能。

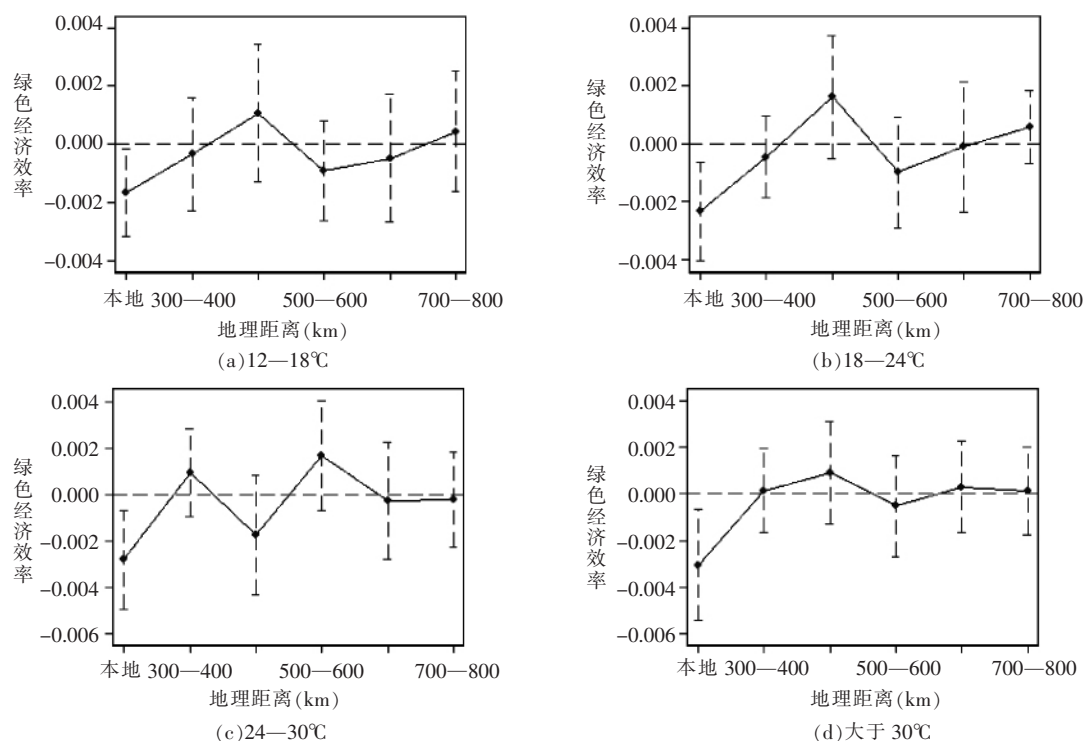


图3 气温变化的空间溢出效应

5. 机制讨论

前文机理分析部分已经指出,气温上升可能通过劳动生产率、节能减排效率以及环境规制等渠道影响绿色生产率,那么相对于6—12℃的基准区间,气温上升负向影响发达城市绿色经济效率的主要机制是什么?本文逐一展开分析。^②

(1)虽然本文难以获得各城市体力劳动密集型工人与脑力劳动密集型工人的数量以及对应的经济产出,但是理论上,若脑力劳动密集型工人劳动生产率是气温上升对发达城市绿色经济效率产生负向影响的主要机制,那么可以预期相对于6—12℃的基准区间,气温上升对劳动生产率的负向影响应主要体现在发达城市,而非落后城市。本文将根据样本期间各地级市生产总值与劳动数量计算的劳动生产率作为被解释变量,并区分落后城市与发达城市样本进行回归分析。检验结果表明,当气温超过12℃后,气温上升对城市劳动生产率的负向影响只在发达城市成立,在落后城市中二者之间的关系并未通过显著性检验。这与本文的预期相符。此外,当气温超过24℃后,气温上升对劳动

① 本文绘制了发达城市实际平均绿色经济效率与最优平均绿色经济效率的时间变化图。具体内容参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

② 机制讨论的回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

生产率的影响尽管仍为负,但不再统计显著。产生这一结果的原因可能是发达城市脑力密集型劳动者的工作场所采用了应对高温的适应性行为,从而一定程度缓解了气温上升对劳动生产率的不利影响。

(2)在前文的检验中,当平均气温超过 24℃以后,气温上升仍然对发达城市绿色经济效率存在负向影响。那么在这个气温区间,气温上升影响绿色经济效率的机制不是劳动生产率,是否是节能减排等其他机制?为回答这一问题,本文将被解释变量绿色经济效率替换为能源效率、环境效率以及能源环境效率分别进行回归分析。检验结果表明,当气温超过 12℃以后,气温上升对发达城市能源效率、环境效率以及能源环境效率基本呈现显著的负向影响。并且,随着气温的不断上升,影响效应总体上不断增强。形成鲜明对比的是,这一影响效应几乎不存在于落后城市。由此可见,当气温超过 12℃以后,气温上升引致发达城市过多的非生产性能源消耗与污染排放,造成了能源效率与环境效率的双重下降,也是引致气温变化经济后果呈现“劫富”特征的重要机制。值得一提的是,在落后城市,当气温超过 12℃以后,只有当气温大于 30℃时,气温变化对能源效率的负向影响才通过 5%水平的显著性检验。这一结果显示为降低能源消耗成本,只有在最高气温的情况下,落后城市才启动应对气温变化的适应性行为。

(3)本文认为,当气温超过 12℃以后,气温上升降低发达城市的环境效率,进而降低其绿色经济效率,可能不仅仅是发达城市适应性行为过度增加的结果,还可能是地方政府策略性选择环境规制执行力度的结果。为检验这一可能的机制,本文从公众环境研究中心获得 2004—2013 年各城市政府所披露的存在环境违规行为的企业数量,采用该城市工业企业数量进行标准化构造出城市层面的环境规制执行力度作为被解释变量进行回归分析。检验结果表明,当气温超过 12℃后,气温上升对发达城市地方政府环境规制力度存在持续的负向影响,且影响效应不断增强。其中,一旦气温超过 24℃,这一负向影响就在统计上显著。由此可见,当气温上升至较高温区间时,发达城市政府降低环境规制执行力度也是气温上升降低发达城市绿色经济效率的主要机制之一。需要指出,当气温大于 30℃时,气温上升对落后城市环境规制执行力度也存在显著的负向影响,但是这一负向影响并未降低落后城市的环境效率。其可能的原因是落后城市平均环境规制执行力度本身就较低,气温上升降低环境规制执行力度的影响效应也相对较小,不足以改变其环境效率。

七、气候变化的影响效应评估

基于前文检验的短期气温变化对绿色经济效率的影响效应,再结合气候变化预测模型的模拟数据,可以预测未来气候变化对绿色经济效率的影响效应。具体地,本文基于 HadGEM2-ES (Hadley Global Environment Model 2-Earth System)预测的气候变化模拟数据,限定数据空间分辨率为 5 分(Minute),将该栅格数据与城市进行匹配得到中国各城市中期(2041—2060 年)与长期(2061—2080 年)气候变化的情况^①。HadGEM2-ES 数据包括 4 个典型的浓度路径情景:RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 以及 RCP8.5。其中,在 RCP(Representative Concentration Pathways)8.5 路径下,预测模型假定二氧化碳的排放“一切照旧”,本文从这一路径考虑未来气候变化对中国不同城市绿色经济效率的影响效应。

根据基准回归得到的各气温区间相对基准气温区间 6—12℃的估计系数,再结合不同城市中期

^① HadGEM2-ES 提供的气候变化模拟数据是月度层面的气温数据,本文参考 Yu et al.(2019)的方法得到各城市中期与长期路径下日度层面的平均气温数据。据此本文绘制了各城市在 2003—2016 年、中期与长期路径下日度平均气温的分布图,具体内容参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

(2041—2060年)与长期(2061—2080年)RCP8.5浓度路径日度平均气温的分布变化,本文计算得到中期与长期气候变化对不同城市绿色经济效率的总体影响,结果见表2。可以发现,落后城市的绿色经济效率均未受到中期或长期气候变化的显著影响。对于发达城市而言,在气候变暖的大趋势下,大于24℃气温区间的天数增加将在中期与长期对其绿色经济效率产生显著的负向影响。这一结果表明,从中期与长期看,气候变化的经济后果仍然是“劫富”而非“亲贫”的。并且,这一区间气候变化的长期影响效应(-0.1054)几乎是中期影响效应(-0.0615)的2倍。这说明如果气候变暖趋势得不到遏制,高温(大于24℃)区间天数的增加将会对中国发达城市绿色经济效率产生日益严重的负面影响,严重损害中国经济持续高质量增长的潜力。不过由于较低温区间(小于24℃)平均天数的下降,高温(大于24℃)区间天数增加引致的发达城市绿色经济效率损耗可以得到一定程度的弥补。这使得全部气温区间的总体气候变化在中期与长期对发达城市绿色经济效率产生的负向影响并未通过至少10%水平的显著性检验。尽管如此,需要警惕的是,如果高温(大于24℃)区间平均天数持续上升,总体气候效应很可能最终体现为显著的负面效应。因此,促进节能减排,使得气候变化尽快脱轨于“一切照旧”的模式理应是当前气候治理政策的核心目标。

表2 中期与长期气候变化对绿色经济效率的影响

		不同气温区间的气候效应			总气候效应
		小于-6℃	-6℃—24℃	大于24℃	
中期(2041—2060年)	落后城市	-0.0007 (0.0026)	0.0021 (0.0036)	-0.0002 (0.0108)	0.0012 (0.0098)
	发达城市	0.0063* (0.0035)	0.0326*** (0.0116)	-0.0615** (0.0247)	-0.0226 (0.0214)
长期(2061—2080年)	落后城市	-0.0008 (0.0044)	0.0036 (0.0057)	-0.0005 (0.0187)	0.0023 (0.0169)
	发达城市	0.0099 (0.0057)	0.0524*** (0.0181)	-0.1054** (0.0431)	-0.0431 (0.0375)

注:气候效应的估计系数基于表1报告的系数估计结果与中长期气候变化路径计算得到。

八、结论与政策启示

本文整理了2003—2016年中国284个地级及以上城市每日平均气温数据,将其与采用NDDF模型核算得到的城市绿色经济效率进行匹配,通过构造长度为6℃的气温区间变量识别了气温变化对绿色经济效率的因果效应。利用气温变化因果效应识别气候效应,并结合气候预测模型的模拟数据,预测了未来气候变化对绿色经济效率的影响。研究发现:①以6—12℃气温区间为基准,气温下降或上升均对城市绿色经济效率存在负向影响。其中气温上升产生的负向影响持续统计显著且影响效应不断扩大。并且这一影响效应仅体现在发达城市,在落后城市并不存在。②当气温大于12℃以后,气温上升对发达城市绿色经济效率的影响既不存在长期效应,也不具有空间溢出特征。③当气温大于12℃以后,气温上升通过降低劳动生产率、节能减排效率以及促使地方政府放松环境规制执行力度等机制对发达城市绿色经济效率产生负面影响。④在“一切照旧”的二氧化碳排放模式下,气候变化的经济后果无论在中期(2041—2060年)还是在长期(2061—2080年)均体现出“劫富”而非“亲贫”的特征。在气候变暖的趋势下,高温区间(大于24℃)天数的增加将在中期使得发达城市绿色经济效率平均下降0.0615个单位,在长期则将使得发达城市绿色经济效率平均下降0.1054个单位。

本文研究通过考察气候变化对绿色经济效率的影响效应,为理解气候变化的经济后果提供了全新的视角,研究结论对于推动中国实现气候变化治理与绿色经济发展共赢具有重要的政策启示:

(1)从短期看,更为合理地采用适应性行为应对气候变化,在不断适应气候变化的过程中提高节能减排效率。本文研究表明,气候变化对绿色经济效率的负向影响之所以偏向发达城市,一个可能的原因是发达城市在应对气候变化时过度使用适应性行为。这种过度的适应性行为带来了大量的能源消耗与不必要的污染排放,同样阻碍了中国经济向高质量发展阶段的快速迈进。为此,对于发达城市,既需要加强地方政府间气候协作治理的积极性,主动承担更多的治理责任,更需要努力构建低碳城市,推动适应性行为的合理运用,杜绝能源浪费。不仅如此,本文研究还发现,发达城市政府可能采取降低环境规制执行力度的策略性行为应对气候变化对经济发展的不利影响。因此,推动地方政府环境规制规范化执行,杜绝环境投机主义,实现节能减排有序推进与产业结构转型升级相适应也是发达城市参与气候治理的核心要义。

(2)从长期看,更为积极地参与全球气候变化治理,努力在全球气候治理中扮演引领角色。作为全球最大的发展中国家,中国一直履行大国责任,积极应对气候变化,主动推动落实《巴黎协定》等国际气候变化治理框架。与此同时,在经历改革开放后四十年高速增长以后,中国经济已进入高质量发展阶段,维持经济稳定增长且促进生态环境好转是经济发展的核心目标。本文研究表明,中期与长期气候变化均会对中国发达城市的绿色经济效率产生持续的负面影响。因此,更加积极地参与全球气候变化治理,既能展现中国作为一个负责任大国的担当,也是推动中国经济高质量发展的题中应有之义。为此,需要全面贯彻落实绿色发展理念,促进能源结构清洁化,建设全国统一碳排放权交易市场以及深化清洁发展机制等,为全球气候变化治理贡献中国智慧。

当然,本文还存在一定的局限。绿色经济效率既包含能源消耗与污染排放,也涉及传统投入产出的效率转化问题,嵌入了多重结构和要素,因而气候变化如何影响地区的绿色经济效率,仍然存在其他可能的机制。从这个角度看,本文的研究只是一个基本探索。未来研究可以进一步打开气候变化影响绿色经济效率的机制“黑箱”,更为深入地厘清气候变化的经济后果及其地区异质性。

[参考文献]

- [1]黄燕萍,刘榆,吴一群,李文溥. 中国地区经济增长差异:基于分级教育的效应[J]. 经济研究, 2013,(4): 94-105.
- [2]金刚,沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴?——环境规制执行互动与城市生产率增长[J]. 管理世界, 2018,(12):43-55.
- [3]李承政,李旭辉,顾海英. 气候变化计量经济学方法研究进展[J]. 城市与环境研究, 2019,(1):95-111.
- [4]李江龙,徐斌. “诅咒”还是“福音”:资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长[J]. 经济研究, 2018,(9):151-167.
- [5]林伯强,刘泓汛. 对外贸易是否有利于提高能源环境效率——以中国工业行业为例[J]. 经济研究, 2015,(9):127-141.
- [6]林伯强,谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. 经济研究, 2019,(2):119-132.
- [7]单豪杰. 中国资本存量K的再估算:1952—2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008,(10): 17-31.
- [8]沈坤荣,金刚. 中国地方政府环境治理的政策效应——基于“河长制”演进的研究[J]. 中国社会科学, 2018,(5): 92-115.
- [9]史丹,李鹏. 中国工业70年发展质量演进及其现状评价[J]. 中国工业经济, 2019,(9):5-23.
- [10]吴延兵. R&D与生产率——基于中国制造业的实证研究[J]. 经济研究, 2006,(11):60-71.
- [11]Auffhammer, M., S. M. Hsiang, W. Schlenker, and A. Sobel. Using Weather Data and Climate Model Output in Economic Analyses of Climate Change[J]. Review of Environmental Economics & Policy, 2013,7(2):181-198.
- [12]Burke, M., S. M. Hsiang, and E. Miguel. Global Non-linear Effect of Temperature on Economic Production[J]. Nature, 2015,(527):235-239.
- [13]Cai, X., Y. Lu, and J. Wang. The Impact of Temperature on Manufacturing Worker Productivity: Evidence

- from Personnel Data[J]. *Journal of Comparative Economics*, 2018,46(4):889-905.
- [14]Caldeira, K., and P. T. Brown. Reduced Emissions through Climate Damage to the Economy[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019,116(3):714-716.
- [15]Carleton, T. A., and S. M. Hsiang. Social and Economic Impacts of Climate[J]. *Science*, 2016,353(6304):9837.
- [16]Chen, X., and L. Yang. Temperature and Industrial Output:Firm-level Evidence from China [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019,(95):257-274.
- [17]Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken. Temperature Shocks and Economic Growth:Evidence from the Last Half Century[J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2012,4(3):66-95.
- [18]Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken. What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature[J]. *Journal of Economic Literature*, 2014,52(3):740-798.
- [19]Deryugina, T., and S. M. Hsiang. Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States[R]. NBER Working Paper, 2014.
- [20]Deschênes, O., and M. Greenstone. Climate Change, Mortality, and Adaptation:Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the U.S.[J]. *American Economic Journal:Applied Economics*, 2011,3(4):152-185.
- [21]Galloway, S. D. R., and R. J. Maughan. Effects of Ambient Temperature on the Capacity to Perform Prolonged Cycle Exercise in Man[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1997,29(9):1240-1249.
- [22]Hauer, M. E., J. M. Evans, and D. R. Mishra. Millions Projected to Be at Risk from Sea-level Rise in the Continental United States[J]. *Nature Climate Change*, 2016,6(7):691-695.
- [23]Heutel, G., N. H. Miller, and D. Molitor. Adaptation and the Mortality Effects of Temperature across U.S. Climate Regions[R]. NBER Working Paper, 2017.
- [24]Hsiang, S. Climate Econometrics[J]. *Annual Review of Resource Economics*, 2016,(8):43-75.
- [25]Jones, B. F., and B. A. Olken. Climate Shocks and Exports [J]. *American Economic Review*, 2010,100(2):454-459.
- [26]Kim, J., A. Lee, and M. Rossin-Slater. What to Expect When It Gets Hotter:The Impacts of Prenatal Exposure to Extreme Heat on Maternal and Infant Health[R]. NBER Working Paper, 2019.
- [27]Kumar, S., and M. Khanna. Temperature and Production Efficiency Growth:Empirical Evidence [J]. *Climatic Change*, 2019,156(1-2):209-229.
- [28]Letta, M., and R. S. J. Tol. Weather, Climate and Total Factor Productivity [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2019,73(1):283-305.
- [29]Li, C., X. Xiang, and H. Gu. Climate Shocks and International Trade:Evidence from China [J]. *Economics Letters*, 2015,(135):55-57.
- [30]Li, J., L. Yang, and H. Long. Climatic Impacts on Energy Consumption:Intensive and Extensive Margins[J]. *Energy Economics*, 2018,(71):332-343.
- [31]Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus, and D. Shaw. The Impact of Global Warming on Agriculture:A Ricardian Analysis[J]. *American Economic Review*, 1994,89(4):753-771.
- [32]Qiu, Y., and J. Zhao. Too Hot to Focus:The Mean and Distributional Effects of Heat on Labor Productivity[R]. SSRN Working Paper, 2019.
- [33]Ramsey, J. D., and Y. G. Kwon. Recommended Alert Limits for Perceptual Motor Loss in Hot Environments[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1992,9(3):245-257.
- [34]Schlenker, W., W. M. Hanemann, and A. C. Fisher. Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach[J]. *American Economic Review*, 2005,95(1):395-406.
- [35]Schlenker, W., and M. J. Roberts. Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009,106(37):15594-15598.

- [36]Wiedenhofer, D., D. Guan, Z. Liu, J. Meng, N. Zhang, and Y. M. Wei. Unequal Household Carbon Footprints in China[J]. *Nature Climate Change*, 2017,7(1):75–80.
- [37]Yu, X., X. Lei, and M. Wang. Temperature Effects on Mortality and Household Adaptation:Evidence from China[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019,(96):195–212.
- [38]Zander, K. K., and S. Mathew. Estimating Economic Losses from Perceived Heat Stress in Urban Malaysia[J]. *Ecological Economics*, 2019,(159):84–90.
- [39]Zhang, P., O. Deschênes, K. Meng, and J. Zhang. Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation:Evidence from a Half Million Chinese Manufacturing Plants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018,(88):1–17.
- [40]Zhang, P., J. Zhang, and M. Chen. Economic Impacts of Climate Change on Agriculture:The Importance of Additional Climatic Variables other than Temperature and Precipitation [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017,(83):8–31.
- [41]Zhou, P., B. W. Ang, and H. Wang. Energy and CO₂ Emission Performance in Electricity Generation:A Non-radial Directional Distance Function Approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012,221(3):625–635.

Is the Economic Consequences of Climate Change Really Pro-poor

JIN Gang¹, SHEN Kun-rong¹, SUN Yu-ting²

(1. School of Economics, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The literature on the economic consequences of climate change mainly focuses on the benefits of adaptive behavior in response to climate change, ignoring the energy and pollution cost of adaptive behavior. In order to study the economic consequences of climate change more comprehensively, this paper firstly uses the non-radial directional distance function (NDDF) to calculate the prefectural green economic efficiency in China from 2003 to 2016. And then, the causal effect of climate change on green economic efficiency is identified by using random fluctuations in daily temperature. It is found that relative to a day in the 6–12°C bin, the marginal effects on green economic efficiency of additional day in other temperature bins are all negative, indicating that there is an inverted U-shaped relationship between temperature and green economic efficiency. Additionally, the relationship only exists in developed cities, and it is not shown in developing cities, reflecting that climate change “robbing the rich”, which is quite different from the “pro-poor” feature found in most previous literature. The results are robust to a series of robustness checks. The mechanism test further reveals that the negative effect of rising temperature on the green economic efficiency of developed cities when temperature is above 12°C mainly comes from reduced labor productivity, energy and environmental efficiency, and the implementation of local government environmental regulations. According to the medium-term (2041–2060) and long-term (2061–2080) RCP8.5 path of climate change in China, the simulation results show that climate change will continue to have a negative impact on the green economic productivity of developed cities, and the negative impact will increase over time. This study provides a new perspective for understanding the economic consequences of climate change, and also contributes to defining the responsibility of local governments for climate governance.

Key Words: climate change; green economic efficiency; adaptive behavior; energy conservation and emission reduction

JEL Classification: O13 R11 Q54

[责任编辑:李鹏]