

中国经济集聚与绿色经济效率<sup>\*</sup>

林伯强 谭睿鹏

**内容提要:** 本文使用非径向方向距离函数在超效率 DEA 框架下构建能够评价中国地级及以上城市的绿色经济效率指标,并进一步实证研究了经济集聚对绿色经济效率的影响。为了解决经济集聚与绿色经济效率之间由于反向因果造成的内生性问题,本文使用各城市地形起伏度以及 1933 年是否通铁路作为经济集聚度的工具变量,主要发现有:经济集聚度大小合理时,对绿色经济效率的影响是正向的(主要表现出集聚效应),当经济集聚程度大于临界值时影响是负向的(主要表现出拥堵效应)。分行业看,第二产业和第三产业集聚对绿色经济效率的影响与整体集聚度的影响类似。经济集聚对绿色经济效率的先促进后抑制的作用主要是通过基础设施、劳动力市场高级程度以及环境规制起作用的。在加入东部地区虚拟变量、中部地区虚拟变量或东部地区虚拟变量和经济集聚度的交叉项,采用 ivTobit 或 Fractional Response 模型,以及剔除四个直辖市的数据对模型系数重新进行估计后,得到的结果基本一致,证明了结果的稳健性。因此,现阶段中国经济要继续增加集聚程度,但在发展过程中也要考虑到当地经济和基础设施的承载力,防止集聚度过大带来的负向效应。

**关键词:** 经济集聚 绿色经济效率 集聚效应 拥堵效应 工具变量法

## 一、引言

中国经济改革开放近四十年来取得了巨大成就,但付出了严重的环境和能源资源代价。目前中国经济持续保持中高速增长,国内生产总值稳居世界第二。但与此同时,环境污染严重,以二氧化硫为主的空气污染物、氮氧化物、烟尘、粉尘、PM 颗粒物污水排放量和固体废弃物排放量目前都居世界首位。在能源消耗方面,中国自 2009 年开始已经超过美国成为世界第一大能源消费国。为了在新时代更好地进行生态文明建设,贯彻人与自然和谐共生的发展理念,未来中国经济发展亟需转向综合考虑经济增长,环境保护和资源节约的增长方式,简称“绿色发展”,以期实现美丽中国的建设目标。探究中国“绿色发展”的评价标准和影响因素成为一个重要的学术课题。

在中国经济迅速发展过程中,经济集聚成为另一个典型的经验事实。整体来说,中国各地区的经济集聚程度均有所增加。经济集聚与经济增长高度相关(Hohenberg & Lees, 1985),但影响的具体方向却未有定论(章元和刘修岩, 2008)。经济集聚与环境污染的关系也是众说纷纭(Feldman, 1999),没有统一结论。那么经济集聚对中国“绿色发展”的影响又如何呢?集聚在中国未来转向“绿色发展”的过程中会扮演什么角色呢?实证研究中国经济集聚对绿色经济效率的影响有利于加深对经济集聚与经济发展、环境污染之间关系的理解,可以更好地制定产业政策,实现节能减排目标,并为美丽中国建设添砖加瓦。

本文通过对经济集聚与中国地级及以上城市绿色经济效率之间关系的实证研究,试图回答以

<sup>\*</sup> 林伯强,厦门大学管理学院中国能源政策研究院、能源经济与能源政策协同创新中心,邮政编码: 361005,电子信箱: bqlin@xmu.edu.cn; 谭睿鹏,厦门大学经济学院中国能源经济研究中心,邮政编码: 361005,电子信箱: tanruipeg652@126.com。本文得到国家社会科学基金重点项目(No. 17AZD013)的支持。作者感谢匿名审稿专家的建设性意见,但文责自负。

下两个问题: 第一, 经济集聚如何影响中国城市绿色经济效率? 第二, 经济集聚对中国绿色经济效率的影响是通过何种路径进行传导的?

## 二、文献综述和理论分析

### 1. 集聚与经济增长和环境污染

经济集聚是指经济活动在某一地理区域内相对集中的现象( Porter, 1998)。Krugman( 1991a) 和 Krugman & Venables( 1995) 将空间因素纳入传统经济学分析中, 试图从新的角度解释经济增长的原因和经济活动分布的规律, 他们认为: 经济集聚带来的正外部性会使企业生产的单位成本降低, 主要原因包括经济活动集中后降低单位距离的运输成本, 便捷的商业信息会带来交易成本的降低, 公共物品( 主要是基础设施) 可以发挥显著的规模经济效益( Fan & Scott, 2003) 等。大量同行业或不同行业的企业在一个地区集中进行生产活动, 使得企业可以在这一区域内共享知识溢出和熟练度更高的劳动力市场; 不同行业之间的知识溢出是原始创新的重要源泉; 与此同时, 经济活动集中度高的地区各种设施设备往往也更齐全, 这样各活动主体可以共享当地的设施, 使得单个用户的使用成本降低; 再次, 多样性经济活动的集聚可以使得生产要素在使用者和拥有者之间更好的匹配, 如对劳动要素而言, 经济集聚可以降低劳动者失业后要重新进行培训适应新岗位的成本和企业由于不能及时雇佣到劳工带来的成本。

这些正外部性也被称为集聚的促进效应, 正是由于这一效应, 经济集聚效应被很多学者证明可以促进地区经济增长( Ciccone, 2002; Brühlhart & Mathys, 2008; 范剑勇, 2006; 孙浦阳等, 2013)。在产生正外部性的同时, 经济集聚也会产生负外部性, 被称为集聚的拥堵效应。Brakman et al. ( 1996) 首次提出了集聚可能产生的拥堵效应, 其产生的原因包括环境污染、空间和资源限制以及拥堵的交通、电信和储存设施。直观上看, 拥堵效应的存在具有合理性: 如果经济集聚只有正外部性, 那么一个地区的集聚程度将会无限增加, 显然与实际不符( 李君华, 2009)。Sbergami( 2002) 认为集聚会对经济增长产生动态影响并发现生产性集聚并不能促进增长, 与 Paci & Usai( 2000) 的发现不谋而合。除了纯粹的正向或负向影响外, 还有研究发现集聚对经济增长的影响是先促进后抑制的。Futagami & Ohkusa( 2003) 证明经济增长率与市场规模大小之间呈现倒“U”型关系, 中等规模市场的经济体发展速度最快, 集聚程度对经济增长的影响是非线性的。Lin et al. ( 2011) 用中国纺织业企业层面的微观数据发现产业集聚对企业生产率的影响也呈现倒“U”型关系。在集聚程度较小时, 其产生的正外部性大于负外部性, 知识溢出效应, 生产专门化, 共享所在地先进的基础设施以及运输费用的降低等都可促进生产效率提高和经济增长。但随着集聚程度的提高, 很有可能使得当地经济无法承载太多的企业生产, 造成企业恶性竞争, 有限的资源和空间不足以保证企业正常运行, 最终使产业集聚的负外部性超过正外部性, 对经济增长产生不利影响。由此可见, 经济集聚所带来的正负外部性同时存在并发生作用, 表现出的是其总作用大小。经济集聚对经济增长的影响是正是负取决于其促进效应和拥堵效应的共同结果。

由于能源成为现代经济生产活动中不可或缺的因素, 而化石能源的消耗会排放大量环境污染物, 因此环境污染往往伴随着经济增长, 现有文献对集聚和环境污染的关系研究也没有定论: 一些研究者认为集聚不利于地区环境质量提升, 典型的有 Ren et al. ( 2003) 以及 Verhoef et al. ( 2002)。主要原因是因为集聚造成的经济生产规模扩张会加速资源的消耗速度, 从而恶化集聚地的生态环境。但也有一些研究认为集聚可以缓解地区环境污染, 如李勇刚和张鹏( 2013) 发现产业集聚的环境外部性为正, 李顺毅和王双进( 2014) 则建议提高产业集聚程度可以有效缓解工业发展与生态环境之间的矛盾。在这些研究中, 集聚之所以能够减轻环境污染主要是因为其可以促进技术创新和知识溢出效应, 从而使得更多的企业采用更加环保的生产技术。与以上两种观点不同的是, 李伟娜

等(2010)证明中国大气污染与制造业集聚度之间呈现“N”型曲线关系;杨仁发(2015)发现产业集聚影响环境污染具有门槛效应,在集聚度低于门槛值时,产业集聚度增加将加剧环境污染,但当产业集聚度大于门槛值时,其增加将使得环境污染程度得以改善。

因为绿色经济效率是在全面考虑经济增长、资源节约和环境保护三者之后的一个综合指标,结合以上分析,本文推论经济集聚对绿色经济效率有影响,且该影响很可能是非线性的。

## 2. 绿色经济效率的构建方法

将经济生产过程中的多投入(包括资本、劳动和能源)综合到绿色经济效率评价中是目前比较流行的做法(林伯强和杜克锐,2013),其优点是可以考虑到各种不同要素之间的替代作用。为了能够同时兼顾生产过程中产生的“好”产出和“坏”产出(期望产出和非期望产出),方向距离函数被用来评价经济和绿色经济效率(涂正革,2008;Zhou et al.,2010;金飞和张琦,2013)。为了克服传统方向距离函数的缺陷,非径向方向距离函数被广泛使用(Sahoo & Tone,2009)。

可以发现,现有文献主要存在以下几个方面的缺陷:第一,多数文献还是侧重于集聚对经济增长或环境污染某一方面的影响,鲜有研究者考虑集聚对经济发展和环境污染的综合影响。鉴于此,本文的被解释变量是综合考虑经济增长、资源节约和环境保护的绿色经济效率,本文将探究经济集聚对它的影响,在此基础上提出的政策建议有助于新时代贯彻新发展理念、建设生态文明,营造良好的生产生活环境。第二,对经济集聚与产业集聚两个不同概念没有进行有效区分,多数研究有混为一谈的嫌疑。产业集聚衡量的是某一产业在特定地理区域内的集中程度,常用的衡量指标有位熵(Keeble et al.,1991),Gini指数(Wen,2004),Hoover指数(Chen,2009)和EG指数(Lin et al.,2011);而经济集聚衡量的是某一地理区域内整个经济活动的集中程度,经常使用就业密度进行度量(Brühlhart & Mathys,2008;Baumont et al.,2004),使用不同的衡量指标可能会造成结论上的差异。第三,不论被解释变量是经济增长还是环境污染,其与集聚程度之间可能存在反向因果关系,两者是一个相互影响的内生性过程(Martin & Ottaviano,1999),由此导致的内生性问题在多数文献中没有得到很好地解决。现有文献中提出的比较有代表性的工具变量基本是从历史的角度出发,包括1933年中国各城市是否通铁路(吴晓怡和邵军,2016);1845年英国的铁路分布(Fingleton & Longhi,2013);美国各州是否曾有深水港(Ciccone & Hall,1996)等。第四,多数文献对绿色经济效率的测算聚焦在中国省级或行业层面(王兵等,2010;林伯强和刘泓汛,2015),这一处理以省或行业作为单独的决策单元显得太过宏观,无法捕捉到更加微观层面的信息。目前已有的衡量中国城市级别绿色经济增长的文献仅有李江龙和徐斌(2018),他们计算的时间区间为2003—2012年。但中国GDP增速从2012年开始回落,2015年以来的GDP年平均增速更是降至7%以下,习近平总书记论断中国经济发展已经进入了新常态,在环境承载力方面已经达到或接近上限,必须推动形成绿色低碳发展新模式。因此,有必要把中国城市绿色经济效率的计算延伸到最近年份。第五,已有文献在对绿色经济效率的影响因素分析中,多是从对外贸易(林伯强和刘泓汛,2015)、收入(涂正革,2008)、外商直接投资(王兵等,2010)、经济结构(袁晓玲等,2009)、环境规制(沈能,2012)等角度,少有从经济集聚的角度展开分析,而且也少有研究具体分析经济集聚对绿色经济效率的影响途径。

因此,本文的主要贡献有:在生产函数中加入能源要素,推导了经济集聚对绿色经济效率的影响,并作为后文实证研究的基础;综合考虑经济增长、资源节约和环境保护三个方面构建评价中国地级及以上城市绿色经济效率的指标,并分析经济集聚的影响和传导路径;为解决经济集聚的内生性问题,使用中国地理数字高程模拟数据结合GIS技术构建出中国地级及以上城市地形起伏度,并将其作为经济集聚的一个工具变量。

### 三、数据与方法

#### 1. 绿色经济效率评价指标的构建

为了使用非径向方向距离函数,本文构造的环境技术与 Färe & Grosskopf (2004) 以及 Zhou & Ang (2008) 等保持一致。然后将每个城市作为一个决定单元,参照李江龙和徐斌(2018),在非径向方向距离函数中对资本(K)和劳动(L)投入的权重都设置为0,因为需要将这两者的无效率分解出来;能源投入(E)、GDP、工业废水(WW)、工业二氧化硫(WG)和工业烟粉尘(SD)的权重分别被设置为1/3、1/3、1/9、1/9和1/9。这五者可以增加或减少的比例通过超效率DEA模型(陈诗一,2012)进行计算,<sup>①</sup>最终构建第 $m$ 个城市在第 $t$ 期的绿色经济效率作为本文的被解释变量:

$$EEP_{mt} = \frac{1}{2} \left( \frac{(E_{it} - \beta_{E,mt}^* E_{mt}) / (G_{mt} + \beta_{G,mt}^* G_{mt})}{E_{mt} / G_{mt}} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{3} \sum_{U=WW, WG, SD} \frac{(U_{mt} - \beta_{U,mt}^* U_{mt}) / (G_{mt} + \beta_{G,mt}^* G_{mt})}{U_{mt} / G_{mt}} \right) \quad (1)$$

其中, $\beta_E^*, \beta_G^*, \beta_{WW}^*, \beta_{WG}^*, \beta_{SD}^*$ 为超效率DEA模型的最优解。计算该指标用到的数据有资本、劳动、能源、GDP、工业废水、工业二氧化硫和工业烟粉尘。其中资本存量数据使用永续盘存法计算得到,所需要的原始数据有各地级及以上城市固定资产投资,来自CEIC中国经济数据库;各城市基期(2000年)资本存量数据来自向娟(2011)的估算;本文认为同一个省内各城市的资本存量折旧率相同,该数据同样来自向娟(2011)。劳动数据、能源消费量数据和GDP数据来自CEIC中国经济数据库;除工业烟粉尘数据来自《中国城市统计年鉴》外,其他两类污染物数据来自CEIC中国经济数据库。

#### 2. 模型推导

根据Ciccone & Hall (1996)和Ciccone (2002),并将能源纳入生产函数,本文的模型推导如下:

假设一个国家 $c$ 拥有众多不同区域,各区域 $r$ 的土地面积大小不一。如果区域 $r$ 内单位土地面积上产出为 $q$ ,其生产函数可以表示为:

$$q = f(l, k, e, Q_{rc}, A_{rc}, \Omega_{rc}) \quad (2)$$

其中, $l$ 表示单位土地面积上雇佣的劳动力人数; $k$ 表示单位土地面积上用于经济活动的实物资本; $e$ 表示单位土地面积上用于经济生产所消耗的能源; $\Omega_{rc}$ 表示该区域内考虑经济生产活动中资本、劳动、能源、“好”产出和污染物的经济产出效率,也即本文要研究的绿色经济效率; $Q_{rc}$ 表示总产出; $A_{rc}$ 表示该区域的总土地面积。

在实证研究中,通常假设生产函数服从柯布道格拉斯函数形式且单位面积上的经济产出对该区域的产出密度弹性为常数,所以生产函数的具体形式可以表示为:

$$q = f(l, k, e, Q_{rc}, A_{rc}, \Omega_{rc}) = \Omega_{rc} (l^\beta k^{1-\beta-\gamma} e^\gamma)^\alpha \left( \frac{Q_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} \quad (3)$$

其中, $\beta$ 和 $\gamma$ 分别表示劳动和能源的产出弹性( $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$ )。假设劳动、资本和能源在各区域的土地上均匀分布,所以该区域的总产出可以表示为:

$$Q_{rc} = q A_{rc} = \Omega_{rc} (l^\beta k^{1-\beta-\gamma} e^\gamma)^\alpha \left( \frac{Q_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} A_{rc}$$

<sup>①</sup> 限于篇幅,文中未给出具体推导计算过程,如有需要请向作者索取。

$$= A_{rc} \Omega_{rc} \left[ \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\beta} \left( \frac{K_{rc}}{A_{rc}} \right)^{1-\beta-\gamma} \left( \frac{E_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\gamma} \right]^{\alpha} \left( \frac{Q_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \quad (4)$$

其中,  $L_{rc}$  表示该区域的总就业人数;  $K_{rc}$  表示该区域使用的总实物资本;  $E_{rc}$  表示该区域消耗的总能源。根据 (4) 式, 可以解得单位劳动投入的产出为:

$$\frac{Q_{rc}}{L_{rc}} = \Omega_{rc}^{\lambda} \left[ \left( \frac{K_{rc}}{L_{rc}} \right)^{1-\beta-\gamma} \right]^{\alpha\lambda} \left( \frac{E_{rc}}{L_{rc}} \right)^{\alpha\gamma\lambda} \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\alpha\lambda-1} \quad (5)$$

根据生产过程中各生产要素的边际产出等于其价格原则, 可以得到:

$$K_{rc} = \frac{\alpha(1-\beta-\gamma) Q_{rc}}{r_c}, E_{rc} = \frac{\alpha\gamma Q_{rc}}{p_e} \quad (6)$$

其中,  $r_c$  和  $p_e$  分别表示资本和能源价格。将 (6) 式代入 (5) 式可以推得:

$$\begin{aligned} \frac{Q_{rc}}{L_{rc}} &= \Omega_{rc}^{\frac{\lambda}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}} \left[ \frac{\alpha(1-\beta-\gamma)}{r_c} \right]^{\frac{(1-\beta-\gamma)\alpha\lambda}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}} \left( \frac{\alpha\gamma}{p_e} \right)^{\frac{\alpha\lambda\gamma}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}} \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\frac{\alpha\lambda-1}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}} \\ &= \Omega_{rc}^w \Lambda_r \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right)^{\theta} \end{aligned} \quad (7)$$

其中,  $w = \frac{\lambda}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}$ ,  $\Lambda_r = \left[ \frac{\alpha(1-\beta-\gamma)}{r_c} \right]^{\frac{\alpha\lambda(1-\beta-\gamma)}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}} \left( \frac{\alpha\gamma}{p_e} \right)^{\frac{\alpha\lambda\gamma}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}}$ ,  $\theta = \frac{\alpha\lambda-1}{1-\alpha\lambda(1-\beta)}$ 。  $w$ 、 $\Lambda_r$ 、 $\theta$  都是常数。所以:

$$\Omega_{rc} = \Lambda_r^{-\frac{1}{w}} \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right)^{-\frac{\theta}{w}} \left( \frac{Q_{rc}}{L_{rc}} \right)^{\frac{1}{w}} \quad (8)$$

在 (8) 式中,  $\frac{L_{rc}}{A_{rc}}$  即为本文重点关注的解释变量: 经济集聚程度, 用单位土地面积上的劳动力进行衡量。结合前文分析, 经济集聚对绿色经济效率的影响很可能是非线性的, 因此在 (8) 式两边取对数, 加入经济集聚度的二次项, 并进一步加入其他控制变量, 本文用来估计的计量模型如下:

$$\ln \Omega_{rc} = \alpha + \beta_1 \ln \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right) + \beta_2 \left[ \ln \left( \frac{L_{rc}}{A_{rc}} \right) \right]^2 + \beta_3 \ln \left( \frac{Q_{rc}}{L_{rc}} \right) + \beta_4 X_{rc} + \varepsilon_{rc} \quad (9)$$

### 3. 控制变量

在其他控制变量中, 本文用人均 GDP 来衡量一个城市的经济发展水平, 另外根据环境库兹涅茨曲线理论, 用人均 GDP 的平方项来模拟绿色经济效率与经济发展水平之间是否也存在“U”型或倒“U”型关系; 剩余控制变量包括: 所有制结构、政府干预程度、对外开放程度、地区产业结构、环境规制、科技创新水平、知识溢出效应、城市基础设施以及劳动力市场高级程度。所有制结构变量用地区市场化程度进行衡量(蒋殿春和张宇, 2008)。Song et al. (2011) 表明所有制是影响效率的重要变量, 在本文中用该地区私有部门职工人数占从业人员总数的比例来度量。政府干预程度也是影响绿色经济效率的重要因素(Li & Lin, 2017): 政府对经济市场有限度的干预可以调节资源配置, 缓解由于市场失灵而导致的垄断和信息不对称等问题(冯继康, 1994), 有利于绿色经济效率的提高。但如果政府对市场的干预程度过大, 就会扰乱市场秩序, 不能调节由市场失灵引起的一系列问题, 还会进一步引起资源配置的无效率, 不利于绿色经济效率的提高。在本文中用地方财政支出占当地 GDP 的比例来衡量政府干预程度。一个地区的对外开放程度同样影响其绿色经济效率, 主要原因包括技术扩散效应(Taskin & Zaim, 2001) 和“污染天堂”假说(Zeng & Zhao, 2009)。在本文中采用各城市的进出口总额占该地区 GDP 的比例来衡量一个地区的对外开放度。地区产业结构用各城市的第二产业产值占 GDP 的比重进行衡量。通常来讲, 第二产业比重越高, 其带来的污染也越严重, 会对绿色经济效率产生不利影

响。环境规制也是影响绿色经济效率的重要因素。“波特假说”认为,适当的环境规制可以刺激企业的创新活动,提升产品竞争力,绿色经济效率会因此提升;但也有研究认为,环境规制会减少企业的研发投入,增加生产成本,不利于绿色经济效率的提升( Lanoie et al.,2008)。文献中一般使用污染治理投资来衡量环境规制程度( 田光辉等,2018),然而中国城市级别的污染治理投资数据无法获得,故在本文中使用工业固体废物综合利用效率来衡量环境规制程度。当环境规制严格的时候,企业不敢排放过多的污染物,废弃物综合利用效率就高,反之利用率就低。科技创新水平也是一个重要的控制变量,用各城市科技支出占 GDP 的比例进行衡量。根据内生经济增长理论,企业研发投入越高,有利于促进技术创新和技术进步,并相应地提高企业生产效率和绿色经济效率。

此外,基于现有的关于经济集聚与环境污染的文献中发现的影响因素,本文还考虑知识溢出效应、基础设施和劳动力市场高级程度对绿色经济效率的影响。知识溢出效应对经济增长具有重要作用( Arrow,1970),该效应可以使一些相对规模较小的企业接受规模较大的企业研发投入的影响,共同提高生产效率。而知识溢出效应受到空间距离范围的影响( Branstetter,2001)。经济集聚的外部规模经济效应之一就是,促进知识的扩散和新技术的形成( 藤川昌久,2004),经济集聚度高的地方不同企业之间可以相互学习,一些企业进行的研发投入产生的影响可以通过溢出效应扩散到那些没有能力进行研发的企业;经济集聚还能加强企业之间的竞争,促进信息有效沟通和交流,降低信息传递成本,推动知识的吸收( Krugman,1991b);经济集聚度更高的地方往往产业多样性也更高,很多无直接关联的企业在空间范围内的集聚更可能催生新事物的诞生。考虑到城市数据可得性,用高等学校教师人数占总劳动人数的比例衡量知识溢出效应。第二,关于基础设施的影响。基础设施被证明会显著正向影响中国全要素生产率( 刘生龙和胡鞍钢,2011)。经济集聚度更高的地方往往基础设施也更加先进发达,通勤成本和信息沟通成本的下降使得不同企业之间的联系更加方便快捷,这也是经济集聚的正外部性之一。本文用城市人均电话用户数和人均公共交通工具数来分别衡量能降低信息沟通成本和通勤成本的基础设施。第三,关于劳动力市场的影响。人均人力资本更高的劳动力市场对形成规模经济和促进规模报酬递增有重要推动作用,而集聚程度高的地区通常劳动力高级化程度也更高,可以对绿色经济效率产生正向推动作用。人力资本的提高往往依赖于教育水平,所以本文用各城市高校在校生人数占劳动人数的比例衡量当地劳动力市场高级化程度。最后,用时间趋势  $t$  来控制其对绿色经济效率的线性影响。文中数据来自《中国城市统计年鉴》和 CEIC 中国经济数据库,所有有时间价值的变量( 资本存量、GDP、进出口总额、财政支出、科技支出) 都折算到以 2003 年为基期。<sup>①</sup> 因为大多数城市的进出口数据从 2004 年开始统计,而该变量被用来衡量一个城市的对外开放程度,因此本文实证区间为 2004—2016 年。

## 四、结果讨论

### 1. 计量结果分析

表 1 是分别使用普通最小二乘法和两阶段最小二乘法对( 9) 式估计的结果,第一列使用的面板数据固定效应模型。<sup>②</sup>

① 由于本文使用的变量较多,限于篇幅,未给出变量基本统计量表格,可向作者索取。

② 直接使用面板数据固定效应模型主要有两方面的考虑: 一方面, Guggenberger( 2010) 建议直接用固定效应而不是用两步法估计参数; 另一方面,随机效应假设个体固定效应项与解释变量不相关,这一假设在现实中往往很难成立。

表 1 OLS 和 2SLS 估计结果

	OLS	2SLS		
	固定效应	第一阶段	第一阶段	第二阶段
<i>agg</i>	0.160 *** (2.67)			-0.739 ** (-2.12)
<i>agg2</i>	0.030 *** (3.74)			-0.088 ** (-2.03)
<i>ups_downs</i>		-0.006 (-0.77)	0.154 ** (2.48)	
<i>railway_1933</i>		0.504 *** (14.84)	-3.97 *** (-16.24)	
control variables	控制	控制	控制	控制
常数项	-2.228 *** (-9.01)	-6.457 *** (-12.29)	39.20 *** (8.99)	-5.372 *** (-8.40)
N	3705	3705	3705	3705
F		55.25	57.91	95.20
Adjusted R <sup>2</sup>	0.403	0.345	0.357	0.350
Cragg-Donald Wald F statistic				22.32

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%; *agg2* 表示经济集聚程度的平方项; 括号里的值是 *t* 值; 两阶段最小二乘法中第一阶段的被解释变量分别为集聚的一次项和二次项。

在表 1 第 1 列中加入各控制变量进行最小二乘回归,①可以发现经济集聚程度的二次项为正,证明经济集聚程度与绿色经济效率呈“U”型关系,在经济集聚程度较小时,随着它的增加将对绿色经济效率产生不利影响;当经济集聚程度大于临界值时,它的提高将有利于绿色经济效率的提高。

但是,通常认为经济集聚程度与绿色经济效率之间存在内生性关系。经济集聚程度会影响绿色经济效率,但反过来,绿色经济效率高的地方通常人口密度也越大,即经济集聚程度与绿色经济效率之间可能存在反向因果关系。本文将使用工具变量来解决这一内生性问题。合适的工具变量需要满足两个条件:相关性和外生性。它们可以解释经济集聚程度的变化,但与此同时它们不能通过其他途径直接或间接地影响绿色经济效率。

寻找工具变量通常从地理角度或历史角度出发,因为地理上的某些指标通常是天然形成的而历史上的一些变量与现在相距甚远,可以认为它们两者都不直接影响研究者感兴趣的现在经济系统中的被解释变量(如经济增长等),满足外生性条件。另一方面,地理上或历史上的一些指标却可能与一些解释变量(如犯罪率、制度等)相关,符合相关性条件。比如,方颖和赵扬(2011)从历史的角度把中国 1919 年基督教教会初级小学的注册学生人数作为制度的工具变量并衡量了制度对中国经济增长的影响;Barone & Narciso(2015)从地理学角度思考,把城市坡度作为意大利黑手党活动活跃程度的工具变量来分析有组织的犯罪活动对商业补贴的影响。

根据封志明等(2007)的研究,地形起伏度是影响中国人口分布和劳动力密集程度的重要因素之一。某一区域的地形起伏度是由该区域的最高与最低海拔高度、平地面积和区域总面积共同决

① 限于篇幅,未给出各控制变量结果,如有需要可向作者索取。

定的,是一种天然形成的地理上客观存在的因素。因此可以认为该指标不直接影响绿色经济效率。但地形起伏度却与人口密度的相关性较高,会负向影响人口密度。所以把地形起伏度作为经济集聚的一个工具变量是比较合理的。使用 GIS 技术和中国 1:100 万地理数字高程模拟数据,基于  $1\text{km} \times 1\text{km}$  的规格提取栅格数据,选取  $10\text{km} \times 10\text{km}$  栅格为测量单元,在每个测量单元 ( $100\text{km}^2$ ) 内,地形起伏度 ( $ups\_downs$ ) 的测量公式为:

$$ups\_downs = \frac{[max(H) - min(H)] \times [1 - P(A)/A]}{500} \quad (10)$$

其中,  $max(H)$  和  $min(H)$  为各测量单元内最高和最低海拔高度,  $A$  为测量单元的面积,  $P(A)$  为测量单元内的平地面积,平地的判断标准为  $25\text{km}^2$  内最高海拔与最低海拔之差小于或等于 30 米。

因为在模型中不仅加入了经济集聚程度,还加入了它的二次项,即存在两个内生变量,因此至少需要两个工具变量。历史上各地的经济集聚状况通常认为与现在的集聚状况相关,但从时间上看与现在又相距甚远,可以认为对现在的被解释变量影响不大(吴晓怡和邵军,2016)。铁路作为一种重要的交通基础设施对中国经济发展的作用不言而喻,国内出现了多座“由火车拉来的城市”,如石家庄、郑州、鹰潭、株洲等。在旧中国时代,经济和铁路发展都极其落后,而铁路对于降低运输成本有重要作用,有利于集聚经济和城市的形成。由于历史的延续性,本文推断 1933 年各城市是否通铁路对经济集聚程度有影响作用。但 1933 年及之前建设铁路的决定距今已有 80 多年的历史,这已经成为一个历史事实,不会对各城市今日的绿色经济效率产生影响。借鉴 Ciccone & Hall(1996)以及章元和刘修岩(2008),把中国各城市 1933 年是否通铁路这一历史事实作为经济集聚程度的另一个工具变量。如果 1933 年该城市有铁路通过,则变量“ $railway\_1933$ ”为 1,否则为 0。是否为“1”是根据白寿彝(2012)《中国交通史》一书中第五篇第三章“现代中国之陆路交通”中关于中国铁路的建设历史和铁道部(1934)编辑的《中国铁道便览》中 1933 年中国铁路全图确定的。

表 1 第三到五列呈现了使用两个工具变量对模型重新进行估计的结果。在加入了所有的控制变量后,第一阶段的 F 检验值分别为 55.25 和 57.91,均大于 10,符合经验法则,且 Cragg-Donald Wald 检验统计量 22.32,大于临界值 7.03(Stock & Yogo,2005),说明不存在弱工具变量问题。从第二阶段的估计结果可以看出,城市绿色经济效率与经济集聚度之间的关系呈倒“U”型,与不用工具变量时的结果完全相反,说明如果不考虑绿色经济效率与经济集聚度之间的内生性问题,可能得到完全相反的结论。当经济集聚程度处于合理范围时,集聚带来的正外部性如运输成本和信息沟通成本的降低,劳动力市场中更多的劳动力机会以及企业间的技术溢出效应使得该地区整体的经济生产率上升,能源使用效率得到改善的同时还带来了污染物排放的降低,因此该地区的绿色经济效率得到改善,此时经济集聚主要表现出集聚效应。当集聚程度过大,经济密度太高时,当地基础设施跟不上如此大量劳动力人员涌入带来的需求,会对当地经济和自然资源的承载力造成压力和挑战,主要表现为市场不够和交通拥堵,进而会降低企业劳动生产率,造成资源利用率降低,污染物排放加剧,不利于绿色经济效率的提高,此时经济集聚的拥堵效应大于集聚效应。这一发现与 Lin et al.(2011)对中国纺织业企业生产率与产业集聚的研究结论一致,经济集聚程度过大会对企业生产率造成负向影响,也称为集聚不经济。<sup>①</sup>

以上讨论是基于一个地区的整体经济集聚程度,为了进一步区分第二产业和第三产业集聚,本文分别检验这两大产业集聚对绿色经济效率的影响,得到的结果如表 2 所示。

<sup>①</sup> 限于篇幅限制,本文未给出其他控制变量的回归结果,如有需要可向作者索取。



表 2 分行业集聚估计结果

	第二产业				第三产业			
	OLS	2SLS			OLS	2SLS		
		第一阶段	第一阶段	第二阶段		第一阶段	第一阶段	第二阶段
<i>ups_downs</i>		-0.001 (-0.14)	0.106 (1.17)			0.004 (0.57)	0.072 (1.00)	
<i>railway_1933</i>		0.494*** (13.43)	-4.853*** (-14.57)			0.539*** (15.77)	-5.005*** (-16.96)	
<i>agg</i>	0.072 (1.40)			-0.980** (-2.29)	0.399*** (5.62)			-0.755** (-2.40)
<i>agg2</i>	0.016*** (2.92)			-0.095** (-2.19)	0.045*** (5.46)			-0.076** (-2.28)
control variables	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-3.082*** (-11.95)	-7.773*** (-12.60)	56.720*** (8.73)	-6.252*** (-6.57)	-2.076*** (-7.50)	-6.969*** (-13.79)	47.840*** (9.93)	-5.619*** (-8.42)
N	3705	3705	3705	3705	3705	3705	3705	3705
F	123.1	73.02	70.32	79.77	123.0	42.63	45.12	84.18
Adjusted R <sup>2</sup>	0.438	0.409	0.424	0.282	0.438	0.311	0.314	0.352
Cragg - Donald Wald F statistic				9.988				23.21

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%; *agg* 和 *agg2* 分别表示经济集聚度的一次项和二次项; 第二产业集聚和第三产业集聚分别用单位土地面积上第二产业和第三产业的工作人数衡量。

与前文类似,在估计两大产业集聚度的影响时,若直接使用最小二乘法(OLS),则二次项系数为正且显著,若用工具变量两阶段最小二乘法(2SLS),二次项系数显著为负,说明在该模型中若不纠正内生性问题,变量系数估计的结果偏差很大。在对两大产业分别用工具变量估计后,其第一阶段的 F 值均大于 10 且 Cragg-Donald Wald F 统计量分别为 9.988 和 23.21,均大于临界值 7.03,说明不存在弱工具变量问题。两大产业集聚与绿色经济效率之间的关系呈倒“U 型”,与一个城市整体集聚度的影响相似。在第二产业集聚初期,由于其资本密集型的特征,将带来当地经济水平的快速发展,且其增速带来的正向效应要大于在这一阶段内由于能源使用而排放的污染物造成的负向效应,因此会使得绿色经济效率得到提高;但是,当第二产业集聚程度增加到一定水平后,它的继续提高不仅不能带来经济产出的增加,还会排放大量污染物,由此使得绿色经济效率下降。对第三产业来说,其多为服务业、金融业等“绿色”行业,在产出过程中使用的能源少,排放的污染物也少,在其集聚程度较低时,它所带来的集聚外部性为正,但是同样地,当其集聚程度过大时,会超过当地经济和自然资源的承载力,比如当工作空间过于狭窄时,工作人员常常会心情低落,从而降低他们的劳动生产率;众多企业发生对当地资源的争夺等情况,因此使得集聚的外部性由正转负。虽然第三产业耗能少,但此时污染少带来的正效应不足以抵消经济产出下降带来的负效应。

## 2. 传导路径寻找与验证

为了进一步理解经济集聚为何能影响绿色经济效率,本小节建立如下面板数据模型探究经济集聚影响绿色经济效率的途径:

$$z_{m,t} = \alpha + \beta agg_{m,t} + \gamma agg_{m,t}^2 + \phi X_{m,t} + \varepsilon_{m,t} \quad (11)$$

其中, $z_{m,t}$ 表示经济集聚影响绿色经济效率的可能路径,系数  $\gamma$  用来衡量其影响大小; $agg_{m,t}$ 为第  $m$  个城市第  $t$  年的经济集聚度; $X_{m,t}$ 为控制变量。本文考虑了如下可能的传导途径:基础设施,知识溢

出效应,劳动力市场高级程度和环境规制的影响。在使用工具变量和两阶段最小二乘法控制外生性问题后,得到的结果呈现在表3中。

表3 传导路径寻找和验证

	(1)	(2)	(3)	(4)
	第二阶段	第二阶段	第二阶段	第二阶段
<i>agg</i>	-1.427 *** (-3.42)	0.011 *** (3.77)	-0.088 *** (-4.26)	-2.272 *** (-2.94)
<i>agg2</i>	-0.168 *** (-3.24)	0.001 *** (2.71)	-0.009 *** (-3.40)	-0.282 ** (-2.44)
常数项	-12.94 *** (-17.21)	0.031 *** (6.35)	-0.119 *** (-2.95)	-4.139 *** (-3.68)
control variables	控制	控制	控制	控制
N	3705	3705	3705	3705
F	54.48(58.33)	46.35(49.58)	55.45(57.71)	57.17(59.85)
Adjusted R <sup>2</sup>	0.636	0.542	0.655	0.0983
Cragg-Donald Wald F statistic	21.93	24.06	25.19	22.41

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示显著性水平为10%、5%和1%; *agg* 和 *agg2* 分别表示经济集聚度的一次项和二次项;限于篇幅,只报告每一种路径验证的第二阶段回归结果,列(1)到(4)中第二阶段回归的被解释变量分别为人均公共交通工具数,总劳动人口中高校教师所占比例,高校在校生人数占劳动总人数比例和工业固体废弃物处理率;F值一栏括号外为以集聚一次项为被解释变量回归,括号内为以集聚二次项为被解释变量回归。

在各项回归中加入的控制变量与式(9)中相同,只是在验证某一路径的时候就把该路径的衡量变量删除,比如在列(1)中要验证经济集聚通过交通基础设施来影响绿色经济效率,那么在列(1)的控制变量中则不含人均公共交通工具数这一变量。列(1)一(4)分别验证的是基础设施、知识外溢、劳动力市场高级程度和环境规制作为集聚影响绿色经济效率的路径。仍然使用两阶段最小二乘法估计,第一阶段的F检验值均大于10,且Cragg-Donald Wald F统计量均大于临界值,可以排除弱工具变量问题。根据表3的结果,除了知识外溢效应外,集聚对其他三种影响路径的影响均呈倒“U”型。也就是说,经济集聚对绿色经济效率的倒“U”型影响正是通过基础设施、劳动力市场高级程度和环境规制所发生的。当经济集聚度过大时,上述三种路径均产生不利影响,只有知识溢出效应仍然发生正向影响,但不足以抵消另外三者的负向影响。

### 3. 稳健性检验

为了检验上述结果是否稳健,即经济集聚度对绿色经济效率的影响是否表现出倒“U”型,本文进行如下几种稳健性检验:首先,考虑到中国广袤的地貌,各地区的地理区位和资源禀赋都有较大差异,差异化发展的策略更是可能带来重要影响,比如东部和中部地区享有国家一些优惠的区域发展政策。为了检验政策方面重要的差异可能带来的混杂因素影响(Demurger,2001),在表4列(1)和列(2)中分别加入东部地区虚拟变量和中部虚拟变量。其次,为了验证经济集聚度对绿色经济效率的影响是否具有区域差异性,在表4列(3)中加入东部虚拟变量与经济集聚度的交叉项。再次,由于被解释变量是受限的,使用ivTobit模型在纠正模型内生性问题后对参数进行了再估计,表4列(4)呈现了其结果;考虑到被解释变量可能不是自然归并,在列(5)中呈现了使用Fractional Response模型(Ramvalho et al.,2011)估计的结果。最后,由于特殊的行政地位可能使得直辖市与普通地级市不可比(Demurger,2001),所以在表4列(6)中删除了北京、天津、上海和重庆四个直辖市的数据,并使用剩下的3653个样本进行分析。

表 4 稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>agg</i>	-0.486 (-1.43)	-0.743** (-2.35)	-0.771* (-1.90)	-0.067 (-0.62)	-2.143*** (-2.59)	-0.971*** (-3.16)
<i>agg2</i>	-0.053 (-1.23)	-0.088** (-2.29)	-0.092* (-1.80)	-0.007 (-0.53)	-0.2589** (-2.48)	-0.114*** (-2.99)
control variables	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-4.906*** (-8.14)	-5.356*** (-8.13)	-5.396*** (-7.25)	-0.329* (-1.67)	-8.325*** (-5.77)	-5.809*** (-9.93)
方法	2SLS	2SLS	2SLS	ivTobit	Fractional Response	2SLS
N	3705	3705	3705	3705	3705	3653
F	54.76 (57.82)	82.58 (77.95)	58.12 (58.50)	75.91 (79.99)	70.79 (74.60)	53.01 (56.10)
Adjusted R <sup>2</sup>	0.379	0.349	0.345			0.286
Cragg-Donald Wald F statistic	18.25	20.55	12.88			21.95

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%; *agg* 和 *agg2* 分别表示经济集聚度的一次项和二次项; F 值一行中两个值分别为两个第一阶段的 F 值。

除列(4)和(5)外,其他各列仍然使用两阶段最小二乘法,F检验和 Cragg-Donald Wald F 统计量均表明不存在弱工具变量问题,可以发现,经济集聚度的二次项系数在列(2)、(3)、(5)和列(6)中仍然显著为负,在列(1)和列(4)中虽然不显著,但仍然为负,与上文得到的结论基本一致,表明绿色经济效率与经济集聚度的关系仍然呈现倒“U”型,由此证明本文得到的结论是稳健可靠的。

## 五、结论与政策建议

本文利用中国 2004—2016 年间中国 285 个地级及以上城市的面板数据,使用非径向方向距离函数计算了综合考虑经济增长、资源节约和环境保护的绿色经济效率,从理论和实证两个角度分析了经济集聚对中国城市层面绿色经济效率的影响,寻找并验证了几种可能的影响路径,最后对结果进行了稳健性检验。本文的主要结论如下:第一,经济集聚对综合考虑经济增长、资源节约和环境保护的衡量指标值的影响是非线性的。在经济集聚程度较小时,其对绿色经济效率的影响主要表现出促进效应,当经济集聚程度大于某一值后,其影响主要表现出抑制效应。说明中国城市在集聚发展同时应该注意防止集聚程度过大,通过合理规划防止企业过度竞争以及企业数量超过当地经济和资源的承载力。第二,第二产业和第三产业集聚对绿色经济效率均表现出与地区整体集聚相似的影响。虽然第三产业多为“绿色产业”,其生产过程中排放的污染物比第二产业少得多,但是当集聚程度过大时使得工作空间过于狭窄时,其产出下降带来的负效应并不能抵消污染物排放少带来的正效应。第三,经济集聚对绿色经济效率的倒“U”型影响主要通过三种途径进行传导,即基础设施,劳动力市场高级程度以及环境规制。当经济集聚程度控制在合理范围时,这三种路径均可以在促进信息有效沟通和交流,降低信息传递成本,提高企业生产效率,促进规模经济和规模报酬递增的形成以及减少污染物等方面起到重要的推动作用,从而提高集聚程度高的地区的绿色经济效率;但当经济集聚程度过大时,它们将全部表现出集聚不经济,产生负外部性,从而降低绿色经济效率。

综合以上结论,本文给出的政策建议为现阶段不要人为地采取行政措施限制人口向中国大城市集聚,经济集聚程度在一定范围内提高有利于绿色经济效率的改善。同时,在发展过程中要考虑到当地经济、基础设施以及自然资源的承载力,防止集聚程度过大带来的负向效应。

## 参考文献

- 白寿彝, 2012 《中国交通史》, 武汉大学出版社。
- 陈诗一, 2012 《中国各地区低碳经济转型进程评估》, 《经济研究》第 8 期。
- 范剑勇, 2006 《产业集聚与地区间劳动生产率差异》, 《经济研究》第 11 期。
- 方颖、赵扬, 2011 《寻找制度的工具变量: 估计产权保护对中国经济增长的贡献》, 《经济研究》第 5 期。
- 封志明、唐焰、杨艳昭、张丹, 2007 《中国地形起伏度及其与人口分布的相关性》, 《地理学报》第 10 期。
- 冯继康, 1994 《西方经济自由主义的政府干预理论》, 《桂海论丛》第 1 期。
- 蒋殿春、张宇, 2008 《经济转型与外商直接投资技术溢出效应》, 《经济研究》第 7 期。
- 金飞、张琦, 2013 《中国市区县级 TFP 变动问题的讨论: 2007—2010 年》, 《数量经济技术经济研究》第 9 期。
- 李江龙、徐斌, 2018 《“诅咒”还是“福音”: 资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长》, 《经济研究》第 10 期。
- 李君华, 2009 《学习效应、拥挤性、地区的分工和集聚》, 《经济学(季刊)》第 8 期。
- 李顺毅、王双进, 2014 《产业集聚对我国工业污染排放影响的实证检验》, 《统计与决策》第 8 期。
- 李勇刚、张鹏, 2013 《产业集聚加剧了中国的环境污染吗——来自中国省级层面的经验证据》, 《华中科技大学学报(社会科学版)》第 5 期。
- 李伟娜、杨永福、王珍珍, 2010 《制造业集聚、大气污染与节能减排》, 《经济管理》第 9 期。
- 林伯强、杜克锐, 2013 《要素市场扭曲对能源效率的影响》, 《经济研究》第 9 期。
- 林伯强、刘泓汛, 2015 《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》, 《经济研究》第 9 期。
- 刘生龙、胡鞍钢, 2011 《交通基础设施与中国区域经济一体化》, 《经济研究》第 3 期。
- 沈能, 2012 《环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验》, 《中国工业经济》第 3 期。
- 孙浦阳、韩帅、许启钦, 2013 《产业集聚对劳动生产率的动态影响》, 《世界经济》第 3 期。
- 藤川昌久, 2004 《集聚经济学》, 西南财经大学出版社。
- 铁道部, 1934 《中国铁道便览》, 商务印书馆。
- 田光辉、苗长虹、胡志强、苗健铭, 2018 《环境规制、地方保护与中国污染密集型产业布局》, 《地理学报》第 10 期。
- 涂正革, 2008 《环境、资源与工业增长的协调性》, 《经济研究》第 2 期。
- 王兵、吴延瑞、颜鹏飞, 2010 《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长》, 《经济研究》第 5 期。
- 吴晓怡、邵军, 2016 《经济集聚与制造业工资不平等: 基于历史工具变量的研究》, 《世界经济》第 4 期。
- 向娟, 2011 《中国城市固定资本存量估算》, 湖南大学。
- 杨仁发, 2015 《产业集聚能否改善中国环境污染》, 《中国人口资源与环境》第 2 期。
- 袁晓玲、张宝山、杨万平, 2009 《基于环境污染的中国全要素能源效率研究》, 《中国工业经济》第 2 期。
- 章元、刘修岩, 2008 《聚集经济与经济增长: 来自中国的经验证据》, 《世界经济》第 3 期。
- Arrow, K., 1970, “Political and Economic Evaluation of Social Effects and Externalities”, *Analysis of Public Output*, NBER: 1—30.
- Barone, G., and G. Narciso, 2015, “Organized Crime and Business Subsidies: Where Does the Money Go?”, *Journal of Urban Economics*, 86, 98—110.
- Baumont, C., C. Ertur, and J. Le Gallo, 2004, “Spatial Analysis of Employment and Population Density: the Case of the Agglomeration of Dijon 1999”, *Geographical Analysis*, 36(2), 146—176.
- Brakman, S., J. H. Garretsen, R. Gigengack, C. Van Marrewijk, and R. Wagenvoort, 1996, “Negative Feedbacks in the Economy and Industrial Location”, *Journal of Regional Science*, 36(4), 631—651.
- Branstetter, L. G., 2001, “Are Knowledge Spillovers International or Intranational in Scope? Microeconomic Evidence from the US and Japan”, *Journal of International Economics*, 53(1), 53—79.
- Brühlhart, M., and N. A. Mathys, 2008, “Sectoral Agglomeration Economies in a Panel of European Regions”, *Regional Science and Urban Economics*, 38(4), 348—362.
- Chen, Y., 2009, “Agglomeration and Location of Foreign Direct Investment: The Case of China”, *China Economic Review*, 20(3), 549—557.
- Ciccone, A., 2002, “Agglomeration Effects in Europe”, *European Economic Review*, 46(2), 213—227.
- Ciccone, A., and R. E. Hall, 1996, “Productivity and the Density of Economic Activity”, *American Economic Review*, 86(1), 54—70.
- Demurger, S., 2001, “Infrastructure Development and Economic Growth: An Explanation for Regional Disparities in China?”, *Journal of Comparative Economics*, 29(1), 95—117.
- Fan, C. C., and A. J. Scott, 2003, “Industrial Agglomeration and Development: A Survey of Spatial Economic Issues in East Asia and A Statistical Analysis of Chinese Regions”, *Economic Geography*, 79, 295—319.
- Färe, R., and S. Grosskopf, 2004, “Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation: Comment”, *European Journal of*

*Operational Research*, 157(1), 242—245.

Feldman, M. P., 1999, “The New Economics of Innovation, Spillovers and Agglomeration: A Review of Empirical Studies”, *Economics of Innovation and New Technology*, 8(1—2), 5—25.

Fingleton, B., and S. Longhi, 2013, “The Effects of Agglomeration on Wages: Evidence from the Micro - Level”, *Journal of Regional Science*, 53(3), 443—463.

Futagami, K., and Y. Ohkusa, 2003, “The Quality Ladder and Product Variety: Larger Economies may not Grow Faster”, *Japanese Economic Review*, 54(3), 336—351.

Guggenberger, P., 2010, “The Impact of a Hausman Pretest on the Asymptotic Size of a Hypothesis Test”, *Econometric Theory* 26(2), 369—382.

Hohenberg, P., and L. H. Lees, 1985, *The Marking of Urban Europe (1000—1950)*, Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Keeble, D., J. Bryson, and P. Wood, 1991, “Small Firms, Business Services Growth and Regional Development in the United Kingdom: Some Empirical Findings”, *Regional Studies*, 25(5), 439—457.

Krugman, P., 1991a, *Geography and Trade*, MIT Press.

Krugman, P., 1991b, “Increasing Returns and Economic Geography”, *Journal of Political Economy*, 99(3), 483—499.

Krugman, P., and A. J. Venables, 1995, “The Seamless World: A Spatial Model of International Specialization”, NBER working paper.

Lanoie, P., M. Patry, and R. Lajeunesse, 2008, “Environmental Regulation and Productivity: Testing the Porter Hypothesis”, *Journal of Productivity Analysis*, 30(2), 121—128.

Li, J., and B. Lin., 2017, “Does Energy and CO<sub>2</sub> Emissions Performance of China Benefit From Regional Integration?”, *Energy Policy*, 101, 366—378.

Lin, H. L., H. Y. Li, and C. H. Yang, 2011, “Agglomeration and Productivity: Firm-level Evidence from China’s Textile Industry”, *China Economic Review*, 22(3), 313—329.

Martin, P., and G. Ottaviano, 1999, “Growing Locations: Industry Location in a Model of Endogenous Growth”, *European Economic Review*, 43(2), 281—302.

Paci, R., and S. Usai, 2000, “Technological Enclaves and Industrial Districts: An Analysis of the Regional Distribution of Innovative Activity in Europe”, *Regional Studies*, 34(2), 97—114.

Porter, M. E., 1998, *On Competition*, Harvard Business School Press.

Ramalho, E. A., J. J. S. Ramalho, and J. M. R. Murteira, 2011, “Alternative Estimating and Testing Empirical Strategies for Fractional Regression Models”, *Journal of Economic Surveys*, 25(1), 19—68.

Ren, W., Y. Zhong, J. Meligrana, B. Anderson, W. E. Watt, Jiakuan Chen, and Hok-Lin Leung, 2003, “Urbanization, Land Use, and Water Quality in Shanghai: 1947—1996”, *Environment International*, 29(5), 649—659.

Sahoo, B. K., and K. Tone, 2009, “Radial and Non-radial Decompositions of Profit Change: With an Application to Indian Banking”, *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1130—1146.

Sbergami, F., 2002, “Agglomeration and Economic Growth Some Puzzles”, HEI Working Paper, No: 02/2002.

Song, Z., K. Storesletten, and F. Zilibotti, 2011, “Growing Like China”, *American Economic Review*, 101(1), 196—233.

Stock, J. H., and M. Yogo, 2005, “Testing for Weak Instruments in Linear IV Regression”, In *Identification and Inference for Econometric Models: Essays in Honor of Thomas Rothenberg*, Cambridge University Press.

Taskin, F., and O. Zaim, 2001, “The Role of International Trade on Environmental Efficiency: A DEA Approach”, *Economic Modelling*, 18(1), 1—17.

Verhoef, E. T., and P. Nijkamp, 2002, “Externalities in Urban Sustainability: Environmental Versus Localization-Type Agglomeration Externalities in a General Spatial Equilibrium Model of a Single-Sector Monocentric Industrial City”, *Ecological Economics*, 40(2), 157—179.

Wen, M., 2004, “Relocation and Agglomeration of Chinese Industry”, *Journal of Development Economics*, 73(1), 329—347.

Zeng, D. Z., and L. Zhao, 2009, “Pollution Havens and Industrial Agglomeration”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(2), 141—153.

Zhou, P., and B. W. Ang, 2008, “Decomposition of Aggregate CO<sub>2</sub> Emissions: a Production-theoretical Approach”, *Energy Economics*, 30(3), 1054—1067.

Zhou, P., B. W. Ang, and J. Y. Han, 2010, “Total Factor Carbon Emission Performance: a Malmquist Index Analysis”, *Energy Economics*, 32(1), 194—201.

## Economic Agglomeration and Green Economy Efficiency in China

LIN Boqiang<sup>a</sup> and TAN Ruipeng<sup>b</sup>

(a: School of Management, China Institute for Studies in Energy Policy, Collaborative Innovation Center for Energy Economics and Energy Policy, Xiamen University; b: School of Economics, China Center for Energy Economics Research, Xiamen University)

**Summary:** China's economy has made great strides, but with economic development has come natural resource depletion and serious environmental pollution. China now ranks second globally in GDP, but it ranks first in terms of both pollutant emissions ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , oxynitride, etc.) and primary energy consumption. This has forced China to change modes from traditional development to green development. The three key factors in green development are economic development, resource conservation, and environmental protection.

When rapid development occurs, the degree of economic agglomeration also increases. However, there is no consensus in empirical studies about how economic agglomeration affects economic growth and environmental quality. This raises the question of how economic agglomeration will affect green economy efficiency, as measured by an index that comprehensively considers economic growth, resource conservation and environmental protection. The answer to this question will be helpful in formulating industrial policies, achieving the goals of energy conservation and emissions reduction, and contributing to China's sustainable future development.

Based on panel data from prefecture-level cities and municipalities during the 2004–2016 period, we first use the non-radial directional distance function (NDDF) method to formulate the green economy efficiency index. For our analysis of how economic agglomeration affects green economy efficiency, we identify two instrumental variables (IVs) to address the potential endogeneity problem of reverse causality: terrain relief and whether each city had a railway by 1933, both of which satisfy the relevant and exogenous conditions. When applying the two-stage OLS method, the relationship between economic agglomeration and green economy efficiency is an inverted “U” shape. That is, when the degree of economic agglomeration is in a reasonable range, its increase can improve green economy efficiency because the positive externalities—e.g., lower costs of transportation and communication, more employment opportunities in the labor force market, and spillover effects among different enterprises—can boost productivity. Within this range, there is more desirable output with fewer pollutants emitted. However, when the degree of economic agglomeration is too high, the local infrastructure cannot meet the demand of the increased labor force, and the local economy and natural resources will be pressured. There will be severe transportation congestion, and the productivity of enterprises will drop. Thus, the emergence of negative externalities will harm green economy efficiency.

Analyses of agglomeration effects in secondary and tertiary industries generate similar results to those identified for overall economic agglomeration of a city. In addition, we identify and test four possible channels through which economic agglomeration influences green economy efficiency: infrastructure, knowledge spillover, advanced level of labor force, and environmental regulation. Finally, various robustness checks are conducted to prove that our results are credible.

This paper makes several contributions. First, we add an energy factor into the production function and prove by mathematical expression that economic agglomeration can affect green economy efficiency. Second, we identify two IVs for the variable economic agglomeration: terrain relief (using GIS techniques and geographic elevation data) and whether each city had a railway by 1933 (for which historical information was accessed). Third, we find an inverted “U” shaped-curve between economic agglomeration and green economy efficiency.

These findings have profound policy implications. No administrative measures should be taken to impose artificial limits on internal migration to large cities in China. Within a certain range, an improved degree of economic agglomeration is conducive to the improvement of green economy efficiency. At the same time, the capacity of local infrastructure and natural resources should be taken into account to prevent the negative effects of excessive agglomeration.

**Keywords:** Economic Agglomeration; Green Economy Efficiency; Agglomeration Effect; Congestion Effect; IV Method

**JEL Classification:** K32, O13, P18

(责任编辑: 陈小亮)(校对: 曹 帅)