

城市经济密度与全要素生产率^{*}

——兼论城市规模的调节效应

程开明 刘书成

【摘 要】城市经济聚集度是影响生产效率的重要因素,不同规模城市的生产率存在明显差异。在明晰作用机制和影响路径的基础上,文章利用中国地级及以上城市面板数据检验城市经济密度与全要素生产率的“倒U形”关系和城市规模的调节效应。研究表明,在规模经济正外部性和拥挤效应负外部性的共同作用下,城市经济密度对全要素生产率的影响呈稳健的“倒U形”特征,城市经济密度的总体门槛值为34亿元/平方公里;城市规模对两者之间的关系起正向调节作用,城市规模扩大有利于提高经济密度门槛值。新发展格局下,需采取因地制宜的城市发展策略,推动大中小城市协调发展,规避城市蔓延,不断提高城市生产率。

【关键词】经济密度 全要素生产率 倒U形关系 城市规模 调节效应

【作 者】程开明 浙江工商大学统计与数学学院、统计数据工程技术与应用协同创新中心,教授;刘书成 浙江工商大学统计与数学学院,硕士研究生。

一、引 言

生产要素在城市集聚能够带来规模经济和正外部性已是不争的事实。然而,人口与经济要素在城市空间的过度集聚也会产生巨大的拥挤成本,引发土地租金上涨、交通拥堵加重、环境污染突出等问题。学界对城市集聚与生产效率的关系仍存在一定争议,部分学者认为随着城市聚集度上升,生产效率越来越高(陈乐,2022;Lu等,2021),也有学者指出城市过度集聚会带来明显的拥挤成本,导致集聚净收益下降(苏红键、魏后凯,2013;孔令乾等,2019)。那么,何种集聚程度对城市而言最有效率?探究城市经济密度与全要素生产率的关系对于理解城市集聚程度影响效率的内在机制,推动形成合理的城市聚集度、促进城市高质量发展至关重要。

^{*} 本文为国家社科基金重大招标项目“中国城镇化阶段性特征统计测度及驱动效应评估研究”(编号:20&ZD133)的阶段性成果。

经济集聚度的不同是导致地区生产效率差异的一个重要因素。部分学者首先关注到城市规模与生产效率之间的关系,形成一些理论认识与经验证据(王俊、李佐军,2014; Shen 等,2019)。但 Ciccone 等(1996)深入分析发现,相对于城市规模,城市密度能更准确地衡量经济活动的集聚程度,反映出真实的城市集聚程度,由此引发了对城市密度与生产效率关系的探讨。

有关城市密度与生产效率关系的研究,大多基于集聚经济视角来考察劳动生产率对城市密度的弹性系数。Ciccone 等(1996)提出经济活动密度与生产率关系的理论模型,分析表明经济密度每增加 1 倍,劳动生产率平均提高 6%。范剑勇(2006)发现就业密度对劳动生产率具有促进作用,劳动生产率对就业密度的弹性系数约为 8.8%。陈良文和杨开忠(2007)指出城市经济密度对劳动生产率具有正向效应,1996~2004 年城市劳动生产率对经济密度的弹性系数介于 1.0%~1.9%之间。事实上,密度是集聚经济的空间表现,其对生产效率存在正、负两个方向的外部性,正外部性主要源于规模经济,负外部性则主要源于拥挤效应。

从规模经济角度看,城市密度越高,劳动力共享、前后向联系与知识溢出等集聚效应更明显,城市生产效率更高(汪行东等,2018);从拥挤效应角度来看,城市密度过高易造成土地租金、运输和交通成本大幅上升,导致城市生产效率下降(Zhang 等,2012)。双重效应的存在使得城市密度与生产效率之间可能存在“倒 U 形”关系,已被部分实证分析所证实。国家层面的数据分析显示,一个国家的经济增长存在最优人口密度(谢里等,2012);周圣强、朱卫平(2013)基于 60 个工业城市的数据分析也证实了拥挤效应对全要素生产率的影响存在拐点。更全面的城市数据分析显示,城市密度与全要素生产率之间存在“倒 U 形”关系,最优城市人口密度约为 1.30 万人/平方公里(柯善咨、赵曜,2014),而且最优人口密度随城市规模的增大而上升(赵曜,2015)。

综上所述,已有文献对城市密度与生产效率之间的关系开展了大量理论分析和实证检验,得到一些有价值的结论,但总体来看以下几方面仍有待进一步探讨:一是验证城市经济密度与生产效率的“倒 U 形”关系。现有文献重点考察了城市人口密度、就业密度与生产效率的“倒 U 形”关系,较少聚焦于经济密度来开展分析。相对于人口密度和就业密度,经济密度同时涵盖人口规模和人均产出两个维度,更具综合性且与生产效率的关系更加紧密直接,其对全要素生产率的影响有待进一步验证。二是明晰城市经济密度影响生产效率的机制。部分学者将经济密度作为影响城市生产效率的核心解释变量,但未对其内在机制及路径进行解析。为增强实证结果的说服力,有必要阐释相应影响的具体机制;三是考察城市规模在经济密度影响生产效率过程中的调节效应,明确城市规模对经济密度门槛值的具体影响。

鉴于此,本文依据新经济地理学理论构建城市生产率的一般均衡分析模型,试图从规模经济的正外部性和拥挤效应的负外部性探讨与分解城市经济密度对全要素生产率的影响及其作用路径,并利用 2009~2019 年中国地级及以上城市面板数据检验相应关系,考察城市规模的调节效应。本文的边际贡献在于:(1)选取相对于人口密度、就业密度而言更具综合性且与生产效率关联更加紧密的经济密度,检验城市密度与全要素生产率的关系;(2)构建理论模型分析城市经济密度与生产效率之间“倒 U 形”关系的机制及路径;(3)考察城市规模在经济密度影响全要素生产率过程中的调节效应。

二、理论机制及影响路径

(一) 城市经济密度影响生产效率的理论机制

基于 Abdel-Rahman 等(2004)提出的单中心圆形城市结构,假设城市内有两大生产部门,即生产部门 I 和为其提供中间产品或服务的生产部门 II。生产活动均在城市中心商务区内进行,城市总人口数为 N ,假定所有人口均从事生产活动,即劳动力总量就是城市总人口 N 。假定一个城市内劳动者具有相同的人力资本水平,单位时间产出相同,故在城市面积给定的条件下经济密度与劳动力总量直接相关。劳动者居住于中心商务区外围,每个劳动者均拥有 1 单位时间的劳动力禀赋(对应 1 单位经济产出),有效劳动供给(劳动者实际参与生产活动的时间)为时间禀赋与通勤时间之差,这取决于居住地与中心商务区之间的距离。用 t 表示单位距离的通勤时间, D 表示城市经济密度。

经济密度上升通过两条路径导致城市总产出的变化:一是新引进劳动者的就业将提高产出水平;二是新引进劳动者和要素集聚给城市带来负外部性,这种负外部性源于城市道路负荷增大导致的通勤时间延长,从而减少产出。假设密度增加导致的边际负外部性为 θ ,即 $dt/dD=\theta$,则有 $t=t_0+\theta D$,其中 t_0 表示单位距离的必要通勤时间。

给定城市总人口和经济密度,城市半径为 $\bar{r}=\sqrt{N/(\pi D)}$ 。由于劳动者通勤时间不能超过其时间禀赋,故存在约束条件: $t\bar{r}=\pi^{-1/2}N^{1/2}(t_0D^{-1/2}+\theta D^{1/2})<1$ 。城市总通勤时间 $T=2\pi\int_0^{\bar{r}}r^2Dtdt=\frac{2}{3}\pi^{-1/2}(t_0D^{-1/2}+\theta D^{1/2})N^{3/2}$,若劳动者的时间禀赋仅用于通勤和工作,则城市总有效劳动时间 $L=N-T$ 。由此可知,有效劳动时间与城市人口规模正相关,而与城市密度的关系不确定:一方面,经济密度提高通过劳动力池效应实现厂商间劳动力共享,缩短劳动者的通勤距离,减少通勤时间($t_0D^{-1/2}$ 变小);另一方面,经济密度过高产生的拥挤效应可能造成单位距离的通勤成本增加,导致通勤时间延长($\theta D^{1/2}$ 变大)。

为简化模型,假设生产部门 I 的规模报酬不变,则城市总产出函数为:

$$F(L_1, K_1, x(h)) = L_1^\alpha K_1^\beta \left\{ \int_0^{n_2} [x(h)]^p dh \right\}^{\gamma/p} \quad (1)$$

其中 L_1 、 K_1 分别表示生产部门 I 消耗的劳动力和资本量, $x(h)$ 表示中间产品或服务 h 的使用量, n_2 表示生产部门 II 中厂商的数量。 ρ 表示中间产品或服务之间的差异化程度 ($0 < \rho < 1$), ρ 越趋近于 0 说明差异越大, 即异质性越强。 γ 表示生产部门 I 的中间投入比例, 即对生产部门 II 的经济依赖程度 ($\alpha + \beta + \gamma = 1$), 反映部门间经济技术联系。

假设劳动力和资本在城市内自由流动, 劳动报酬率和资本收益率将达到均衡状态。若生产部门 II 的规模报酬递增, 引入 $D^{-\varepsilon}$ 表示经济密度增加带来的正外部性, 参数 ε 衡量效应值大小 ($\varepsilon > 0$), ε 越大说明正外部性越强。生产部门 II 的成本函数为:

$$C(h) = D^{-\varepsilon} w^{1-\delta} r^{\delta} [cx(h) + g] \quad (2)$$

其中, w 和 r 分别表示劳动报酬率和资本收益率, c 和 g 分别表示生产部门 II 的边际投入和固定投入。考虑到经济密度提高将产生知识溢出效应, 有效促进知识传播和技术创新, 从而提高生产效率, 降低生产成本。基于 Dixit-Stiglitz 标准垄断竞争模型, 生产部门 II 的需求函数为:

$$x(h) = \gamma Y I^{\sigma-1} p(h)^{-\sigma} \quad (3)$$

其中, $p(h)$ 表示中间产品或服务的价格, $I = \left\{ \int_0^{n_2} [p(h)]^{1-\sigma} dh \right\}^{1/(1-\sigma)}$ 为价格指数, σ 表示中间产品或服务的替代弹性 ($\sigma = 1/(1-\rho)$)。由利润最大化条件可得成本加成定价 $p(h) = [\sigma c / (\sigma - 1)] D^{-\varepsilon} w^{1-\delta} r^{\delta}$, 进一步得到均衡价格指数 $I^* = [\sigma c / (\sigma - 1)] D^{-\varepsilon} w^{1-\delta} r^{\delta} n_2^{1/(1-\sigma)}$ 。可见, 经济密度提高带来的规模效应能够降低中间产品或服务的价格, 从而减少生产部门 I 的中间投入。均衡时中间产品或服务的需求量 $x(h) = (\sigma - 1)g/c$, 劳动力总报酬 $wL = (1 - \beta - \delta + \alpha\delta + \beta\delta)F(\cdot)$, 资本总报酬 $rK = (\beta + \delta - \alpha\delta - \beta\delta)F(\cdot)$, 于是生产部门 II 规模为:

$$n_2 = \frac{\gamma D^{\varepsilon} (w/r)^{\delta} L}{[\beta + (1 - \delta)\gamma] \sigma g} \quad (4)$$

根据 $L_1 = \{\alpha / (1 - \beta - \delta + \alpha\delta + \beta\delta)\} L$ 和 $K_1 = \{\beta / (\beta + \delta - \alpha\delta - \beta\delta)\} K$, 其中 L 和 K 分别为城市有效劳动力和资本总量, 可知劳动报酬率与资本收益率满足下列关系:

$$\frac{w}{r} = \frac{(1 - \beta - \delta + \alpha\delta + \beta\delta)K}{(\beta + \delta - \alpha\delta - \beta\delta)L} \quad (5)$$

将上述关系代入式(4)整理可得:

$$n_2 = \frac{\gamma D^{\varepsilon} [\beta + (1 - \delta)\gamma]}{L^{\delta-1} K^{-\delta} [g\sigma(\alpha + \delta\gamma)^{\delta}]} \quad (6)$$

将式(3)和式(6)代入式(1), 城市总产出函数转化为如下形式:

$$F(D, L, K, \gamma) = D^{\varepsilon\gamma/\rho} L^{\alpha + (1-\delta)\gamma/\rho} K^{\beta + \delta\gamma/\rho} \gamma^{\gamma/\rho} Z \quad (7)$$

其中, Z 恒为常数。由 $\beta + \alpha + \gamma/\rho > 1$ 可知, 集聚经济效应使城市总产出表现出规模报酬递增的特征。在此, 采用人均产出 Ω 代表城市生产效率, 将 $L = N - T$ 代入式(7)可得:

$$\Omega = D^{\varepsilon \gamma / \rho} N^{\gamma(1/\rho - 1) \gamma / \rho} K^{\beta + \delta \gamma / \rho} \gamma^{\gamma / \rho} \left(1 - \frac{2}{3} \pi^{-1/2} (t_0 D^{-1/2} + \theta D^{1/2}) N^{1/2} \right)^{\alpha + (1 - \delta) \gamma / \rho} Z \tag{8}$$

由生产率函数可知,城市生产效率 Ω 受经济密度 D 、人口规模 N 、资本总量 K 、生产部门间依赖程度 γ 及中间产品或服务之间的差异化程度 ρ 的影响。将式(8)对经济密度 D 求导,简记 $F(N) = \frac{1}{3} \pi^{-1/2} N^{1/2}$, $F(\gamma) = (\rho \alpha + \gamma - \delta \gamma) / (\varepsilon \gamma)$, 可得:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial D} = \begin{cases} >0, & D < \left[\frac{1+G_2(F, \gamma)}{G_1(F, \gamma)} \right]^2 \\ <0, & D > \left[\frac{1+G_2(F, \gamma)}{G_1(F, \gamma)} \right]^2 \end{cases} \tag{9}$$

其中, $G_1(F, \gamma) = 2\theta[2 + F(\gamma)]F(N)$, $G_2(F, \gamma) = \sqrt{1 - 4\theta t_0[4 - F^2(\gamma)]F^2(N)}$, $D \geq 0$ 。

由上述模型分析可知,城市经济密度与生产效率呈先升后降的“倒 U 形”关系,即随着经济密度的提高,生产效率起初处于不断上升的通道,直至跨越密度门槛值后步入下降通道。

(二) 城市经济密度对生产效率的影响路径

城市经济密度对生产效率的影响路径可分为正外部性和负外部性两种。正外部性源于规模经济,具体包括:(1)通过劳动力共享增加城市有效劳动供给 L ,借助生产部门 II 的规模经济助推城市生产效率提升;(2)通过知识溢出效应提升生产部门的技术创新能力,提高生产效率;(3)通过前后向联系提高中间产品或服务利用率,提升生产部门间的依赖程度 γ ,从而提高生产效率。负外部性则源于拥挤效应,由于经济密度过高对城市交通造成压力,导致通勤成本 T 大幅增加、城市有效劳动力减少,从而降低生产效率。具体影响路径如图所示。

正外部性和负外部性的变化均呈非线性特征。城市经济密度提高起初促进规模经济正外部性的有效发挥,而当经济密度过高时,拥挤效应带来的负外部性迅速增强,从而抑制集聚净效应。在正、负外部性的共同作用下,城市经济密度与生产效率的关系可能呈现出“倒 U 形”特征。同时,导致城市生产效率由升转降的经济密度门槛也不是一个固定值,往往随着城市规模、产业结构等因素的变动而变化。

从城市规模的角度来看,相较于中小城市,大城市往往更具集聚效应,更有利于发挥规模经济对生产活动的正外部性,包括共享、匹配和知识溢出三种效应。因此,正外部性强度 ε 的取值随城市规模 N 的

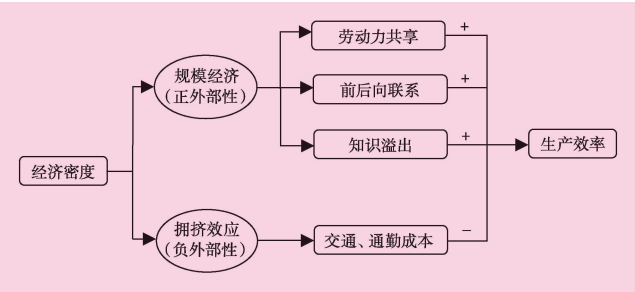


图 城市经济密度影响生产效率的路径

扩大而增大,也即城市规模会强化经济密度 D 对生产效率 Ω 的边际影响,从而起到正向调节效应。

(三) 研究假设

基于上述理论机制及影响路径解析,本文提出两个研究假设:假设 1:城市经济密度与生产效率之间存在“倒 U 形”关系;假设 2:在城市经济密度对生产效率的影响过程中,城市规模发挥正向调节效应,城市规模扩大将提高经济密度阈值。

三、实证设计

(一) 计量模型与变量选取

为检验城市经济密度与全要素生产率之间的“倒 U 形”关系,分析城市经济密度对全要素生产率的影响,根据理论机制及路径分析,本文设定的面板计量模型为:

$$TFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_{it} + \beta_2 \ln^2 D_{it} + \beta_3 \ln K_{it} + \beta_4 \gamma_{it} + \beta_5 \ln urban_{it} + \beta_6 \ln edu_{it} + \beta_7 \ln green_{it} + \beta_8 \ln road_{it} + \beta_9 \ln gover_{it} + \beta_{10} \ln fdi_{it} + \mu_i + \xi_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

其中, μ_i 、 ξ_t 和 ε_{it} 分别表示城市固定效应,年份固定效应和随机扰动项。为消除可能的异方差影响,对城市经济密度(D)、城市资本存量(K)、城市人力资本水平(edu)、人均城市道路面积($road$)等变量进行对数处理。

被解释变量 TFP 为城市全要素生产率,相较于人均产出,全要素生产率能够更全面准确地反映城市生产效率。因此,本文以城市固定资本存量、财政支出和就业人员总数作为投入变量,以城市生产总值作为产出变量,采用超效率 SBM 模型进行测算求得。

核心解释变量为城市经济密度的对数($\ln D$)及其平方项,用以检验经济密度与全要素生产率可能存在的“倒 U 形”关系,城市经济密度采用“市辖区生产总值与建成区土地面积之比”衡量,取对数后引入模型,预期参数符号为 $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ 。根据集聚经济理论,城市建成区是经济活动的主要发生地,故采用建成区面积能更准确地反映经济集聚程度(郭琪、贺灿飞,2012)。鉴于以建成区为统计口径的生产总值数据难以获得,故采用市辖区生产总值与建成区土地面积之比代表经济密度,当然这一定程度上削弱了经济产出与经济活动区域的空间匹配度,后续利用“市辖区生产总值与市辖区土地面积之比”作为经济密度的替换指标进行稳健性检验^①。

其他解释变量包括城市资本存量(K)和反映部门间经济联系的产业结构(γ),预期参数为 $\beta_3 > 0, \beta_4 < 0$ 。本文借鉴单豪杰(2008)的做法,通过永续盘存法估算城市资本存量

① 为剔除价格因素影响,以 2009 年为基期采用各省份 GDP 平减指数对市辖区生产总值进行调整。

② 资本存量以 2009 年为基期采用各省份固定资产投资平减指数进行调整。

并取对数^②。由于不同产业的集聚效应有所差异,产业结构也会影响全要素生产率,故以第三产业增加值与第二产业增加值之比代表产业结构。

模型中还包含 6 个控制变量。城镇化水平(*urban*)以市辖区年末非农业人口占总人口的比重衡量;人力资本水平(*edu*)以市辖区每万人普通高等院校在校学生数衡量,取对数后加入模型。考虑到公共基础设施对城市运行效率的影响,为降低内生性,基础设施水平选取建成区绿化覆盖率(*green*)和人均城市道路面积(*road*)反映,其中人均城市道路面积取对数后加入模型。此外,国家及地方政府实施的经济政策也对城市生产效率造成影响,政策干预度(*gover*)以一般公共财政支出占地区生产总值的比重衡量;经济开放度(*fdi*)则用以人民币计价的外商直接投资额占地区生产总值的比重衡量。

(二) 城市全要素生产率测算

全要素生产率(TFP)是反映生产效率的核心指标,也是衡量要素投入对经济增长贡献的重要依据(江艇等,2018)。本文依据中国地级及以上城市数据,采用超效率 SBM 模型测算城市全要素生产率。

1. 超效率 SBM 模型

数据包络分析(DEA)是效率评估的常用方法,传统 DEA 模型大多基于径向和角度测算,难以考虑到投入产出的松弛性问题,导致测算的效率值存在偏差(Chen 等,2019)。为克服这一缺陷,Tone(2002)对该模型进行修正,构建超效率 SBM 模型,不仅能够有效避免由径向与角度所产生的偏差,还可实现对多个有效单元的评价。超效率 SBM 模型为:

$$\begin{aligned} \min \rho_{SE} = & \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 + \frac{1}{q} \sum_{r=1}^q s_r^+ / y_{rk}} \\ & s.t. \\ & \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \gamma_j + s_i^- \leq x_{ik} \\ & \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \gamma_j - s_r^+ \leq y_{rk} \\ & \gamma, s^-, s^+ \geq 0 \\ & i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, q; j=1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, ρ_{SE} 为效率值; x 和 y 分别表示投入和产出变量; m 和 q 分别表示投入和产出的指标个数; k 表示生产时期; i 和 r 分别表示投入和产出的决策单元; s^+ 和 s^- 分别表示投入和产出的松弛变量; γ 为权重向量。若 $\rho_{SE} \geq 1$,说明决策单元相对有效;反之,若 $\rho_{SE} \leq 1$,说明决策单元相对无效,即存在效率损失。

2. 变量及数据来源

投入产出变量的选择对 SBM 模型十分重要,本文依据经济增长理论中的生产函数,以城市作为决策单元测算全要素生产率,具体变量选择及数据来源如下:

(1)投入变量。经济增长理论将资本和劳动作为经济增长的主要投入要素。关于资本要素,固定资产投资对地区经济发展起着决定性作用,而产出更多依赖于过往投资形成的资本存量(刘建国等,2012),故采用城市固定资本存量代表资本投入;同时,考虑到政府政策对生产效率造成的深远影响,将地方财政一般预算内支出也作为投入变量。劳动要素则延续多数文献的方法,将城镇单位从业人员与私营个体从业人员加总得到从业人员总数,用以代表劳动投入。

(2)产出变量。产出指标选用国内生产总值衡量,用以反映经济产出,并以 2009 年为基期利用城市所在省份的 GDP 平减指数剔除价格因素影响。

本文将 280 个地级及以上城市作为 SBM 模型中的决策单元(DMU),时间跨度为 2009~2019 年。指标数据根据中经网数据库中的城市年度库和历年《中国城市统计年鉴》整理得到。

3. 测算结果

采用超效率 SBM 模型,借助 Matlab 软件测算全要素生产率,并按照 GDP 规模将城市划分为五大等级^①,对历年各类城市全要素生产率的平均值进行横向比较,具体结果

如表 1 所示。

表 1 不同 GDP 规模城市的全要素生产率平均值

年份	全国	一线城市	二线城市	三线城市	四线城市	五线城市
2009	0.5440	1.1297	0.7690	0.5567	0.2565	0.1227
2010	0.5356	1.0990	0.7529	0.5059	0.2491	0.1356
2011	0.5383	1.1199	0.7464	0.5277	0.2762	0.0858
2012	0.5481	1.1274	0.7666	0.5121	0.2673	0.1319
2013	0.5507	1.1290	0.7573	0.5170	0.2964	0.1176
2014	0.5511	1.1672	0.7680	0.5051	0.2622	0.1179
2015	0.5807	1.2071	0.7789	0.5324	0.2798	0.1702
2016	0.5891	1.2342	0.7911	0.5617	0.2926	0.1816
2017	0.5934	1.2251	0.7895	0.5509	0.2947	0.1822
2018	0.5950	1.2186	0.7854	0.5486	0.2958	0.1832
2019	0.5929	1.2095	0.7803	0.5493	0.2963	0.1839
平均值	0.5685	1.1696	0.7714	0.5288	0.2788	0.1466

平均而言,城市规模与全要素生产率呈正相关关系,GDP 规模越大的城市全要素生产率越高。从时间趋势来看,不同规模城市全要素生产率的变动趋势存在差异。GDP 规模较小的城市(四线、五线城市)全要

① 根据 2009~2019 年 GDP 平均值对城市进行划分,10000 亿元以上为一线城市(共 10 个),5 001~10 000 亿元为二线城市(共 21 个),2 001~5 000 亿元为三线城市(共 63 个),1 001~2 000 亿元为四线城市(共 85 个),1 000 亿元及以下为五线城市(共 101 个)。

素生产率保持不断上升的趋势,但增长速度趋于放缓;GDP 规模较大的城市(一线、二线城市)全要素生产率呈现出先升后降的“倒 U 形”发展态势。

(三) 计量模型的数据说明

本文采用 2009~2019 年 280 个地级及以上城市面板数据开展计量模型的实证分析,数据来自中国研究数据服务平台(CNRDS)、历年《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》和部分城市的统计年鉴。变量的基本描述性统计如表 2 所示。

表 2 变量描述性统计(N=3080)

变 量	均值	标准差	最小值	最大值
全要素生产率	0.598	0.256	0.124	2.477
经济密度	2.831	0.478	0.591	6.576
资本存量	7.679	0.911	4.727	10.297
产业结构	1.107	0.654	0.113	5.347
城镇化水平	0.653	0.250	0.202	1.000
人力资本水平	6.218	1.248	0.000	7.921
绿化覆盖率	0.412	0.185	0.164	0.665
人均道路面积	2.618	1.032	0.095	4.495
政策干预度	0.187	0.090	0.296	0.809
经济开放度	1.684	0.701	0.000	0.183

四、实证结果分析

(一) 基本估计结果

为避免“伪回归”现象,本文采用 LLC 检验和 IPS 检验进行单位根检验,均在 1%显著性水平上拒绝原假设,故认为数据是平稳的。Hausman 检验在 1%显著性水平上拒绝随机效应与固定效应模型结果一致,说明选取固定效应模型更为合理。采用聚类稳健标准误的固定效应模型(FE-r)估计结果如表 3 中模型 1 所示,核心解释变量城市经济密度对全要素生产率的一次项系数显著为负、二次项系数显著为正,表明城市经济密度与全要素生产率之间存在显著的“U 形”关系。这与前述理论机制的分析结果相反,也与国内外多数同类研究的结论不一致。鉴于城市经济密度与全要素生产率之间可能存在双向因果关系,全要素生产率较高的城市经济发展水平通常较高,吸引更多的资本和劳动力流入,有利于提高城市经济密度(陈良文等,2009)。因而,不考虑经济密度的内生性问题很可能得出错误的结论。

(二) 内生性问题处理

为控制内生性问题,本文分别采用两阶段最小二乘法(2SLS)和广义矩估计(GMM)对模型进行估计。有关集聚经济的实证分析主要采用两类工具变量:一是地区土地面积(Ciccone 等,1996;范剑勇,2006);二是滞后期变量,如政策因素滞后项(陈良文、杨开忠,2007)、人口密度滞后项(梁婧等,2015)、经济密度滞后项(Li 等,2018)和生产率滞后项(杨东亮、李朋骞,2019)等。此外,苏红键等(2013)采用城市客运总量密度作为衡量经济活动密度的代理变量,本文在此基础上加以拓展,选取城市货运总量密度和城市用电量

密度作为经济密度的工具变量^①,以降低城市经济密度的内生性。一方面,企业生产、居民生活和城市运转都离不开电力,城市用电量与经济发展水平高度相关(实际相关系数超过 0.6),故城市用电量密度与经济密度直接相关;另一方面,城市用电量密度与全要素生产率不存在直接关系,在模型中是外生的。

过度识别检验结果显示卡方统计量为 0.367, p 值为 0.689,不能拒绝原假设,即所选工具变量均是外生的。相关性检验结果显示 Shea's Partial R^2 为 0.085, F 值为 25.45,虽然目前没有基于 Shea's Partial R^2 值判断弱工具变量的标准,但可从经验上依据 F 值大于 10 而拒绝原假设,即不存在弱工具变量情形(杨东亮、李朋骞,2019);Wald 检验的最小特征值为 19.65,大于对应的临界值 10.73,拒绝原假设,进一步证明不存在弱工具变量问题。经外生性和相关性检验,城市货运总量密度和用电量密度是经济密度的有效工具变量。当工具变量个数多于内生变量时,广义矩估计往往更有效率。表 3 中模型 2 至模型 4 分别展示了两阶段最小二乘法估计(FE-2SLS)、两步广义矩估计(FE-GMM)和迭代广义矩估计(FE-IGMM)的结果。

(三)“倒 U 形”关系检验

引入工具变量后,Hausman 检验在 1%的显著性水平上均拒绝 FE-2SLS、FE-GMM 和 FE-IGMM 的回归系数与前文拟合的 FE-r 的回归系数没有系统性差异的原假设,说明核心解释变量“经济密度”的确存在显著的内生性。同时,从判定系数 R^2 的变动也可看出,引入工具变量在一定程度上降低了城市全要素生产率对经济密度的反作用所造成的虚高拟合优度。FE-2SLS、FE-GMM 和 FE-IGMM 的参数估计结果差别不大,说明采用工具变量后的估计结果较为稳健。由于 FE-GMM 的拟合优度相对较高,下文将重点对 FE-GMM 的估计结果进行解释,后文稳健性检验、城市规模调节效应的检验均采用 FE-GMM 估计。

从模型 FE-GMM 的估计结果看,经济密度的一次项系数显著为正、二次项系数显著为负,与理论预期相符,表明城市经济密度对全要素生产率的影响总体上符合“倒 U 形”特征。其他解释变量中,城市生产性资本的系数显著为正,与预期吻合,表明生产性资本投入增加促使全要素生产率提高。产业结构的系数显著为正,也符合预期,表明第三产业比第二产业的投入产出更为高效,有利于提高全要素生产率。

Lind 等(2010)指出,仅根据一次项和二次项的系数判定“倒 U 形”关系不够严谨,故进一步依据其提出的 3 个标准来对城市经济密度与全要素生产率“倒 U 形”关系的真实性进行检验,检验结果仍支持“倒 U 形”关系成立。以 FE-GMM 估计为例,检验结果表

① 城市货运总量为公路货运量、铁路货运量和航空货运量的加总,城市货运总量密度为货运总量与建成区面积之比;城市用电量密度为城市用电总量与建成区面积之比。数据来自《中国城市统计年鉴》。

表 3 经济密度与全要素生产率关系的回归结果(N=3080)

解释变量	模型 1(FE-r)	模型 2(FE-2SLS)	模型 3(FE-GMM)	模型 4(FE-IGMM)
经济密度($\ln D$)	-0.1154** (0.0434)	0.2487*** (0.0668)	0.2253*** (0.0644)	0.2253*** (0.0644)
经济密度的平方($\ln^2 D$)	0.0622*** (0.0123)	-0.0841*** (0.0221)	-0.0751*** (0.0151)	-0.0751*** (0.0151)
资本存量($\ln K$)	0.2847*** (0.0556)	0.1102*** (0.0205)	0.1088*** (0.0195)	0.1088*** (0.0196)
产业结构(γ)	0.1043** (0.0434)	0.0698*** (0.0124)	0.0722*** (0.0087)	0.0722*** (0.0087)
城镇化水平($urban$)	0.0045* (0.0031)	0.0027* (0.0022)	0.0030** (0.0012)	0.0031** (0.0012)
人力资本水平($\ln edu$)	-0.0102 (0.0146)	-0.0189 (0.0221)	-0.0120 (0.0141)	-0.0122 (0.0142)
绿化覆盖率($green$)	-0.0049** (0.0024)	-0.0040** (0.0016)	-0.0040** (0.0016)	-0.0041** (0.0016)
人均道路面积($\ln road$)	0.0498 (0.0506)	0.0871* (0.0365)	0.0880** (0.0374)	0.0880** (0.0372)
政策干预度($gover$)	0.0098** (0.041)	0.0088** (0.0036)	0.0087*** (0.0024)	0.0086*** (0.0024)
经济开放度(fdi)	-0.0074*** (0.0022)	0.0067*** (0.0016)	0.0096*** (0.0012)	0.0098*** (0.0014)
判定系数(R^2)	0.5689	0.5075	0.5303	0.5298
Hausman 检验		180.73(p=0.000)	213.56(p=0.000)	210.42(p=0.000)
经济密度门槛(亿元/km ²)		32	34	34
经济密度门槛的 95%置信区间		[16,50]	[16,50]	[18,50]
经济密度样本区间(亿元/km ²)		[1,725]		

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著，括号内为稳健标准误。所有模型均已控制年份固定效应和城市固定效应。

明：城市经济密度的门槛值为 34 亿元 / 平方公里，95%的置信区间为[18,50]，位于样本城市经济密度的取值范围[1,725]内；“城市经济密度—全要素生产率”曲线斜率在样本取值的最小值处和最大值处均足够陡峭，检验结果在 1%显著性水平上拒绝了“城市经济密度与全要素生产率之间为单调或 U 形关系”的原假设，为两者的“倒 U 形”关系提供了支持。

(四) 稳健性检验

本文进一步通过替换核心解释变量的测度指标，开展模型估计结果的稳健性检验。将城市经济密度指标替换为“市辖区生产总值与市辖区土地面积之比”以代表市辖区经济密度，“市辖区人口与建成区面积之比”代表人口密度和“市辖区非农就业人口数与建成区面积之比”代表就业密度，分别代入 FE-GMM 模型进行估计。这些指标数据来自历年《中国城市统计年鉴》和《中国城市建设统计年鉴》，变量替换后的估计结果如表 4 所示。

由表 4 给出的估计结果可知，经济密度测度指标的替换并未影响到城市经济密度与全要素生产率之间的“倒 U 形”关系，估计结果表现出较强的稳健性。估计得到市辖区经济密度的门槛值为 32 亿元 / 平方公里，95%的置信区间为[17,48]，相较于建成区的经济密度门槛值(34 亿元 / 平方公里)有所下降，印证了以市辖区作为集聚区域测算城市经济密度会一定程度上低估城市经济集聚度的观点。稳健性检验同样支持“倒 U 形”关系，证明经济密度对全要素生产率的边际影响符合“倒 U 形”特征，假设 1 得以印证。

表 4 替换核心解释变量后的估计结果(N=3080)

解释变量	市辖区经济密度	人口密度	就业密度
经济密度(lnD)	0.2203*** (0.0564)	0.6565*** (0.1032)	0.8152*** (0.1268)
经济密度的平方(ln ² D)	-0.0746*** (0.0163)	-0.0759*** (0.0212)	-0.1137*** (0.0243)
资本存量(lnK)	0.3730** (0.2004)	0.2274** (0.1336)	0.1683*** (0.0467)
产业结构(γ)	0.0336** (0.0167)	0.0558 (0.0687)	0.0265* (0.0175)
城镇化水平(urban)	0.0090** (0.0038)	0.0092* (0.0054)	0.0073** (0.0032)
人力资本水平(lnedu)	-0.0102 (0.0133)	-0.0087* (0.0061)	-0.0101* (0.0078)
绿化覆盖率(green)	-0.0094** (0.0039)	-0.0037** (0.0015)	-0.0091** (0.0038)
人均道路面积(lnroad)	0.0446** (0.0171)	0.0236 (0.0255)	0.0393 (0.0406)
政策干预度(gover)	0.0047** (0.0021)	0.0054*** (0.0018)	0.0041*** (0.0012)
经济开放度(fdi)	0.0084*** (0.0023)	0.0075*** (0.0023)	0.0048*** (0.0011)
判定系数(R ²)	0.6987	0.6904	0.7056
密度门槛	32	21123	3844
密度门槛的95%置信区间	[17,48]	[17154,25076]	[3190,4503]
密度样本区间	[1,641]	[2562,83553]	[827,21238]

注：同表 3。

五、拓展分析：城市规模的调节效应

（一）按城市规模分组估计

为进一步考察经济密度与全要素生产率“倒 U 形”关系在不同规模城市的表现,本文将城市按照城区人口规模划分为小城市组、中等城市组和大城市组分别进行FE-GMM估计^①,估计结果如表 5 所示。

小城市组经济密度的一次项和二次项系数均显著为正,城市经济密度与全要素生产率未呈现出“倒 U 形”关系,表明小城市尚处于生产效率的上升阶段,经济密度提升有利于提高全要素生产率。中等城市组和大城市组经济密度的一次项系数显著为正、二次项显著为负,表明经济密度与全要素生产率呈现出显著的“倒 U 形”关系,且大城市组的经济密度门槛值高于中等城市组。由此可见,小城市内部规模经济的正外部性往往大于拥挤效应的负外部性,经济密度与全要素生产率尚未表现出“倒 U 形”关系;随着城市规模扩大,常住人口增多导致大中城市内部拥挤效应的负外部性渐增,逐步超过规模经济的正外部性,使得经济密度与全要素生产率呈现出“倒 U 形”关系。

总体来看,城市经济密度与全要素生产率确实呈现出显著的“倒 U 形”关系,考虑到城市规模所起的调节效应,有理由认为导致全要素生产率下降所需的经济密度门槛

① 2014 年国务院印发的《关于调整城市规模划分标准的通知》将城市按城区常住人口划分为五类七档,此处三组城市 2009~2019 年城区常住人口均值分别为 50 万人以下、50 万~100 万人和 100 万人以上。

表 5 按城市规模分组的估计结果

解释变量	小城市组	中等城市组	大城市组	中等及以上城市组
经济密度($\ln D$)	0.2039*** (0.0476)	0.2605*** (0.502)	0.3296*** (0.0643)	0.2123*** (0.0539)
经济密度的平方($\ln^2 D$)	0.0872*** (0.0227)	-0.0848*** (0.0173)	-0.1049*** (0.0281)	-0.0680*** (0.0161)
资本存量($\ln K$)	-0.0743** (0.0352)	-0.1062*** (0.0314)	0.1231*** (0.0322)	0.2048*** (0.0567)
产业结构(γ)	0.0252* (0.0126)	0.0369*** (0.0098)	0.0483*** (0.0152)	0.0799*** (0.0196)
样本量	1430	957	693	1650
判定系数(R^2)	0.7435	0.7386	0.7495	0.7402
Hausman 检验	190.75 (p=0.000)	212.53 (p=0.000)	244.64 (p=0.000)	203.21 (p=0.000)
经济密度门槛(亿元/km ²)		36	39	38
经济密度门槛的 95%置信区间		[21, 51]	[25, 52]	[22, 52]
经济密度样本区间(亿元/km ²)	[1, 41]	[9, 52]	[10, 725]	[1, 725]

注:受篇幅所限,未列出控制变量,其余同表 3。

应该处于中等城市的门槛值附近,故进一步将中等城市组和大城市组合并为中等及以上城市组重新进行估计,得到新的经济密度门槛值为 38 亿元/平方公里,相较于全样本估计的门槛值(34 亿元/平方公里)应该更为精准。

(二) 由交互项识别调节效应

为进一步明晰城市规模、经济密度与全要素生产率三者的关系,本文尝试引入城市规模($\ln N$)、城市规模与经济密度交互项($\ln N \cdot \ln D$)开展模型 FE-GMM 估计^①,考察经济密度的门槛值是否受城市规模的影响,选取中等及以上城市作为城市样本,估计结果如表 6 所示。

由表 6 给出的估计结果可知,城市规模与经济密度交互项的系数均显著为正,表明城市规模和经济密度对全要素生产率的边际影响存在正向交互效应。模型 5 仅引入城市规模,回归系数显著为正,说明城市规模扩大有利于促进全要素生产率的提高。模型 6 同时引入城市规模、城市规模与经济密度的交互项,回归系数均显著为正,表明城市规模扩大会强

化经济密度对全要素生产率的促进作用,经济密度提高也会强化城市规模扩张对全要素生产率产生

表 6 城市规模与经济密度的交互效应(N=1650)

解释变量	模型 5	模型 6	模型 7
经济密度($\ln D$)	0.1043*** (0.0239)	0.0947*** (0.0204)	0.1254*** (0.0301)
经济密度的平方($\ln^2 D$)			-0.0648** (0.0228)
城市规模($\ln N$)	0.2145*** (0.0485)	0.1832*** (0.0268)	0.2298*** (0.0535)
城市规模×经济密度($\ln N \cdot \ln D$)		0.0247*** (0.0048)	0.0203*** (0.0039)
资本存量($\ln K$)	-0.0953** (0.0396)	-0.1241** (0.0513)	-0.1042* (0.0675)
产业结构(γ)	0.1083** (0.0421)	0.0832* (0.0520)	0.0664** (0.0251)

注:同表 5。

① 采用市辖区人口衡量城市规模,数据来源于《中国城市建设统计年鉴》。

的正向影响。模型 7 引入经济密度的二次项,城市规模与经济密度交互项系数仍显著为正,表明经济密度门槛对城市规模较为敏感,城市规模扩大导致经济密度门槛值的提高。可见,城市规模在经济密度对全要素生产率的影响中发挥了正向调节作用,城市规模扩大将提高全要素生产率由升转降的经济密度门槛值,假设 2 得以印证。

(三) 城市规模调节效应的机制解析

在规模经济的正外部性和拥挤效应的负外部性共同作用下,城市经济密度与生产效率呈现出“倒 U 形”特征。正外部性源于劳动力共享、前后向联系与知识溢出,负外部性源于交通拥堵和通勤成本。城市规模扩大会同时增加规模经济和拥挤效应,并主要通过以下路径起到调节作用:(1)城市规模扩张增加了城市劳动力供给,使劳动力匹配效应更易发挥,提高城市有效劳动供给水平,从而对生产效率产生正向影响。(2)城市规模扩张增加了部门间沟通和交流的频率,使知识溢出效应更为明显,有利于推动生产部门的技术创新,促进生产效率提高。(3)城市规模扩大给城市道路带来更多的运输压力,促使交通成本和通勤时间上升,城市有效劳动供给减少,从而对生产效率产生负向影响。(4)由于公共服务和基础设施的供给都存在规模经济,城市规模的扩大可通过基础设施的优化升级在一定程度上减轻拥挤效应的影响,从而提升生产效率。总体来看,相较于交通和通勤成本,劳动力共享效应和知识溢出效应对城市生产效率的影响更为显著且占据主导地位,即城市规模扩大造成的规模经济要强于拥挤效应。

根据上述理论机制,伴随着城市规模的扩张,城市经济密度对全要素生产率的效应通常有所增强;因此,生产效率将在更高水平的经济密度处出现拐点,即经济密度门槛值有所提高。换言之,在城市经济密度对全要素生产率的效应中,城市规模发挥着正向调节效应,城市规模扩大将提高经济密度门槛值。

六、结论与对策

本文构建了城市经济密度影响生产效率的理论模型,基于影响机制及路径分析提出经济密度与生产效率存在“倒 U 形”关系的假设。采用超效率 SBM 模型测算城市全要素生产率,对“倒 U 形”关系展开实证检验。模型估计过程中,运用广义矩估计方法解决经济密度的内生性问题,测算全要素生产率由升转降的经济密度门槛值,解析城市规模起到的调节作用。

研究结果表明:(1)中国城市经济密度与全要素生产率之间存在稳健的“倒 U 形”关系,城市全要素生产率由升转降的总体经济密度门槛值为 34 亿元/平方公里。经济密度对全要素生产率存在正、负两种外部性,正外部性源于规模经济,负外部性源于拥挤效应,两者的共同影响使得“经济密度—全要素生产率”曲线呈现“倒 U 形”特征。

(2)城市规模对经济密度与全要素生产率“倒U形”关系起到明显的调节作用。小城市内部规模经济的正外部性大于拥挤效应的负外部性,随着城市规模的扩大,拥挤效应往往快速上升,造成大中城市的经济密度与全要素生产率呈现“倒U形”关系;城市规模与经济密度存在正向交互效应,城市规模扩大将提高全要素生产率由升转降的经济密度门槛值。

明晰经济活动在城市集聚对生产效率的影响机制及实际效应,对于城市发展过程中形成合理的集聚模式具有启示意义:(1)根据不同的城市经济聚集度制定适宜的发展策略。对于未达到最优经济密度门槛值的众多中小城市,大力促进产业和人口在建成区集聚,避免向城区外围无序扩张,以充分发挥规模经济的正外部性;对于已越过经济密度门槛值的大城市而言,除调整产业结构、发展高端服务业外,还应优化城市产业和人口空间布局,促使城市由单中心向多中心模式发展,降低拥挤效应造成的负外部性,提高生产效率。(2)为实现资源合理配置和区域协调发展,未来推进新型城镇化的重点之一是促进城市规模的适度增长。中小城市全面放开落户限制后,应加强基础设施建设,提升公共服务水平,吸引要素流入和促进产业发展,以城市规模扩大来有效发挥集聚经济优势,通过经济密度的提高带动城市生产效率的提升。大城市逐步放宽落户条件的同时,需构建更为便捷的交通网络,尽力缓解“职住分离”问题,充分发挥城市规模的正向调节作用,提高规模经济对生产效率的正外部性。(3)坚持紧凑型城市发展模式,注意规避城市蔓延问题。劳动力共享、前后向联系与知识溢出是规模经济对生产效率带来正外部性的核心机制,若城市经济活动的空间分布过于分散,规模经济效应往往难以有效发挥,故应大力推进城市紧凑化发展,充分发挥产业和人口聚集带来的规模经济,不断提升城市生产效率。

参考文献:

1. 陈乐(2022):《集聚经济影响城市经济增长的理论基础与实证研究:文献述评与展望》,《地理科学进展》,第7期。
2. 陈良文、杨开忠(2007):《生产率、城市规模与经济密度:对城市集聚经济效益的实证研究》,《贵州社会科学》,第2期。
3. 陈良文等(2009):《经济集聚密度与劳动生产率差异——基于北京市微观数据的实证研究》,《经济学(季刊)》,第1期。
4. 单豪杰(2008):《中国资本存量K的再估算:1952~2006年》,《数量经济技术经济研究》,第10期。
5. 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。
6. 郭琪、贺灿飞(2012):《密度、距离、分割与城市劳动生产率——基于中国2004~2009年城市面板数据的经验研究》,《中国软科学》,第11期。
7. 江艇等(2018):《城市级别、全要素生产率和资源错配》,《管理世界》,第3期。

8. 柯善咨、赵曜(2014):《产业结构、城市规模与中国城市生产率》,《经济研究》,第4期。
9. 孔令乾等(2019):《城市行政级别、城市规模与城市生产效率》,《华东经济管理》,第7期。
10. 梁婧等(2015):《城市规模与劳动生产率:中国城市规模是否过小?——基于中国城市数据的研究》,《经济学(季刊)》,第3期。
11. 刘建国等(2012):《中国经济效率和全要素生产率的空间分异及其影响》,《地理学报》,第8期。
12. 苏红键、魏后凯(2013):《密度效应、最优城市人口密度与集约型城镇化》,《中国工业经济》,第10期。
13. 汪行东等(2018):《经济密度对城市规模与效率关系的影响——以中国地级及以上城市为例》,《城市问题》,第4期。
14. 王俊、李佐军(2014):《拥挤效应、经济增长与最优城市规模》,《中国人口·资源与环境》,第7期。
15. 谢里等(2012):《人口集聚与经济增长:基于跨国数据的经验研究》,《系统工程》,第8期。
16. 杨东亮、李朋骞(2019):《人口集聚的经济效应:基于工具变量的实证研究》,《人口学刊》,第3期。
17. 赵曜(2015):《集聚密度、集聚规模与城市生产率——对中国地级及以上城市最优集聚密度的实证研究》,《中南财经政法大学学报》,第5期。
18. 周圣强、朱卫平(2013):《产业集聚一定能带来经济效率吗:规模效应与拥挤效应》,《产业经济研究》,第3期。
19. Abdel-Rahman H., Anas A.(2004), Theories of Systems of Cities. in Henderson, J.V., Thisse, J.F. *Hand-book of Regional and Urban Economics* (Vol.4). Amsterdam: North-Holland Press. 2293-2339.
20. Chen J.F., Ding T.H., Wang H.M., Yu X.Y.(2019), Research on Total Factor Productivity and Influential Factors of the Regional Water-Energy-Food Nexus: A Case Study on Inner Mongolia, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(17):3051.
21. Ciccone A., Hall R.E.(1996), Productivity and the Density of Economic Activity. *American Economic Review*. 86:54-70.
22. Li Y.C., Liu X.J.(2018), How Did Urban Polycentricity and Dispersion Affect Economic Productivity? A Case Study of 306 Chinese Cities. *Landscape and Urban Planning*. 173:51-59.
23. Lind J., Mehlum H.(2010), With or Without U? The Appropriate Test for a U-Shaped Relationship. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 72(1):109-118.
24. Lu J., Li B., Li H., Al-Barakani A.(2021), Expansion of City Scale, Traffic Modes, Traffic Congestion, and Air Pollution. *Cities*. 108:102974.
25. Shen J., Chen C.L., Yang M.Y., Zhang K.Y.(2019), City Size, Population Concentration and Productivity: Evidence from China. *China & World Economy*. 27(1):110-131.
26. Tone K.(2002), A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*. 143(1):32-41.
27. Zhang P., Yang Q.S., Zhao Y.C.(2012), Relationship Between Social Economic Agglomeration and Labor Productivity of Core Cities in Northeast China. *Chinese Geographical Science*. 22(2):221-231.

(责任编辑:李玉柱)