

经济集聚对中国三大城市群土地利用生态效率的影响

宋家鹏^{1,2}, 陈松林^{1,2}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007)

摘要: 基于非期望产出的超效率EBM模型, 测算2005—2016年京津冀、长三角和珠三角等中国三大城市群土地利用生态效率, 采用核密度函数对其演变特征进行分析, 并运用面板门槛回归模型和面板向量自回归模型, 从产业和人口两个角度分析经济集聚对城市群土地利用生态效率的非线性影响和直接冲击。结果表明: (1) 2005—2016年间中国三大城市群土地利用生态效率总体呈现先收敛后分化的演化特征, 不同城市群之间的土地利用生态效率时空演变具有显著差异; (2) 第三产业集聚水平和人口集聚水平对城市群土地利用生态效率表现出单门槛效应, 表明适度产业集聚和人口集聚对城市群土地利用生态效率具有正向促进作用, 反之则会导致促进作用下降甚至出现负向影响; (3) 第三产业集聚水平和土地利用生态效率自身对土地利用生态效率的直接冲击都是从开始就达到顶峰而后收敛为0, 而第二产业集聚水平和人口集聚水平则是先负向冲击后持续正向冲击。城市群在制定经济发展政策和土地利用政策时, 既要充分发挥经济集聚的正面环境效应, 也要重视不同经济集聚的适度性和动态性。

关键词: 土地利用生态效率; 经济集聚; 超效率EBM; 面板门槛回归模型; 面板VAR模型; 中国三大城市群

改革开放以来, 京津冀、长三角和珠三角等城市群凭借优越的地理条件^[1], 经济活动迅速集中于城市群内部, 企业间投资支出“潮涌”不断^[2], 三大城市群逐渐成为中国与世界交流的最前线, 城市群能否健康发展牵动着整个中国的经济^[3]。但是, 生产要素和经济活动不断在城市群空间集中又导致城市用地迅速扩张, 甚至出现土地城市化显著超前于人口城市化的状况^[4,5]。在城市聚集建立的发展过程中, 人们具备了更加丰富的物质生活条件与生活上的便利, 但城市化集聚性建设所带来的环境污染也同步降低了人们的生活质量。例如, 粗放型经济集中布局, 使三大城市群土地资源浪费、环境污染等问题日益严重, 城市用地侵占生态空间使生态环境系统胁迫压力加大, 激化一系列生态环境问题^[6]。因此, 探究经济集聚与土地资源利用的生态环境效应之间的关系, 既是服务国家发展战略的需要, 对于城市群管理者合理布局土地资源和引导生产要素集聚和生态建设也具有重要指导意义。

资源、环境和经济发展之间的相互关系一直是学者们关注的焦点, 针对经济集聚、土地资源利用的生态环境效应的研究更是其中的重点, 然而二者之间却未能形成系统的研究。学者们在研究期间, 主要侧重于各角度的经济集聚程度对环境污染所产生的影响, 如水污染、碳排放等。研究发现经济集聚与污染排放之间存在倒“U”型或倒“N”型的复杂关系, 以及空间溢出效应^[7-9]。而资源利用的生态环境问题, 学界多从生态效率

收稿日期: 2020-02-15; 修订日期: 2020-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771136); 福建省科技计划项目(2019R0124)

作者简介: 宋家鹏(1994-), 男, 广东清远人, 硕士, 主要从事土地利用与区域可持续发展研究。

E-mail: 18127255387@163.com

通讯作者: 陈松林(1964-), 男, 福建南安人, 博士, 教授, 主要从事土壤与土地资源研究。E-mail: slchen6@163.com

中寻求最优解，此类研究在于探索如何以最小的资源、经济投入和环境污染代价获取最大的效益^[10]，主要围绕指标选取^[11]、模型方法^[12-15]、生态效率的时空特征^[16,17]以及不同行业生态效率^[18-22]等方面开展研究工作。值得注意的是，关于土地资源利用的生态效应研究多是探索国家、省、市等尺度和长时序的土地利用变化所导致的生态服务或生态质量变化^[23,24]。

通过文献梳理发现，经济集聚推动城市群的发展，而城市群经济发展导致城市土地无序扩张。以往研究所揭示的经济集聚与生态环境之间的复杂关系以及利用生态效率探究资源如何高效利用，均为本文提供坚实的理论基础。城市经济集聚直接影响资源投入强度和方向，但当前鲜有探究经济集聚对资源生态影响的文章，尤其是作为城市发展载体的土地资源，经济集聚如何影响土地资源利用的生态效率仍处于探索阶段；此外，以往经济集聚和生态环境的关系研究多利用单一模型，忽略二者可能同时存在线性和非线性、直接和复杂的关系。因此，本文通过构建测度中国三大城市群土地利用生态效率的指标体系，分析三大城市群土地利用生态效率演变规律，并从不同角度的经济集聚出发，建立经济集聚与土地利用生态效率的计量模型。由于生态效率是在全面考虑经济、资源和环境的投入产出后的一个综合指标，经济集聚对其影响可能是多样的，因此分别采用面板门槛模型和基于面板向量自回归模型（PVAR）的脉冲响应分析进行实证研究，为制定城市群资源利用与产业布局优化、促进经济发展与生态环境良性耦合的对策提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 变量选择

（1）被解释变量：土地利用生态效率是指利用单位面积土地投入的各类资源所产生的经济效益，以及该经济效益下单位面积土地所承担的生态成本^[25]，土地作为城市群经济发展的载体，土地利用生态效率受到经济、资源、生态环境等方面的约束。因此，参考有关土地利用生态效率的研究^[26]，采用强度指标下的KLEM模型构建土地利用生态效率评价体系（表1）。由于传统研究中所主要采用的DEA模型分析法具有显著的局限性，不能准确估算出效率值，而以非期望产出理论为基础所建立的非导向EBM模型法与超效率方法相结合能够避免传统模型在研究时产生的局限性^[26,27]，因此该模型可描述为：

$$\gamma^* = \min \frac{\theta - \varepsilon_x \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i \bar{x}_i}{x_{ik}}}{\varphi + \varepsilon_y \sum_{r=1}^s \frac{\omega_r^+ \bar{y}^+}{y_{rk}} + \varepsilon_b \sum_{p=1}^q \frac{\omega_p^- \bar{y}^{b-}}{b_{pk}}} \tag{1}$$

表1 城市群土地利用生态效率评价体系

Table 1 Index system of land use eco-efficiency evaluation of urban agglomerations

指标类型	一级指标	二级指标
投入指标	资本要素投入（K）	地均固定资产投入
	劳动投入（L）	地均从业人员
	能源投入（E）	地均供水总量、地均用电量
	自然要素投入（M）	建成区面积
产出指标	效益产出（期望产出）	地均地方生产总值
	污染产出（非期望产出）	地均工业废水排放量、地均工业烟尘排放量、地均工业二氧化硫排放量

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + \bar{x}_i = \theta x_{ik}, i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - \bar{y}_r^+ = \theta y_{rk}, r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n b_{pj} \lambda_j + \bar{y}_p^{b-} = \varphi b_{pk}, i = 1, \dots, q \\ \lambda_j \geq 0, \bar{x}_i, \bar{y}_r^+, \bar{y}_p^{b-} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中： γ^* 为土地利用生态效率值；决策单元 k 的土地利用投入、期望产出和非期望产出分别用 x_{ik} 、 y_{rk} 和 b_{pk} 表示；投入、期望产出和非期望产出的松弛变量分别为 \bar{x}_i 、 \bar{y}_r^+ 、 \bar{y}_p^{b-} ；投入、期望产出和非期望产出的权重分别为 ω_i 、 ω_r^+ 、 ω_p^{b-} ；投入、期望产出和非期望产出的产出数分别为 m 、 s 、 q ；投入、期望产出和非期望产出的非径向范围内重要性参数分别为 ε_x 、 ε_y 、 ε_b ，其中 ε 取值范围在0~1之间； λ 为线性组合系数； θ 为规划参数。

(2) 核心解释变量：经济集聚是各类经济活动向区域集中的过程和现象，综合相关文献^[7-9,21,27]，传统研究经济集聚的课题仅是基于单位面积GDP产出来进行分析，本文基于这种传统分析观点，在进行经济集聚分析时，将其划分成为两个层面：一是产业，另一个是人口，旨在从更加微观的视角分析不同层面的经济集聚对土地利用生态效率的影响。其中：

产业层面分为第二产业集聚程度（AGG2）和第三产业集聚程度（AGG3）。产业集聚可以使相关企业布局更为集中，降低企业的土地投入和物流成本，提高资源利用效率^[27]，但是过度的产业集聚也可能导致产能冗余，造成土地资源浪费。由于某种产业在经济领域的活跃性可以通过其对应的就业人数来表征，而区位熵能够具体呈现出区域范围内此产业的聚集度。基于此，采用城镇单位就业人数的区位熵来描述二、三产业集聚的程度。

城市人口和辖区面积的比值能够客观地反映出当地人口的聚集状态，即城市人口密度（UD）。城市繁荣和经济活动需要依靠生产者、消费者和建设者，人口密度越大则城市经济活动和交流就越频繁，此外人口在城市中集聚可以使城市以更少的土地资源投入满足更广大人民群众的需求。

(3) 控制变量：综合已有成果^[12,21,28,29]发现，城市群的规模、科技发展以及与外界交流的程度对资源利用也具有重要作用，因此年末总人口、科学技术财政支出和实际使用外资金额分别代表城市规模（SCAL）、科技水平（TECH）和对外开放水平（OPEN）。

1.2 面板门槛回归模型

利用门槛效应旨在研究城市群经济集聚达到特定的集聚程度后，引起的土地利用生态效率发生方向或数量的结构突变，而该集聚程度即为门槛值。因此，借鉴Hansen^[31]构建的面板门槛模型研究城市群经济集聚对土地利用生态效率的影响，探究城市群经济集聚与土地利用生态效率的非线性关系。

假设只存在一个门槛，从而建立单门槛模型，其一般形式为：

$$\begin{aligned} \ln LUE_{it} = & \alpha X_{it} + \beta_1 \ln AGG2_{it} \times I(\ln AGG2_{it} \leq \delta_1) + \\ & \beta_2 \ln AGG2_{it} \times I(\ln AGG2_{it} > \delta_1) + C + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\ln LUE_{it} = \alpha X_{it} + \beta_1 \ln AGG3_{it} \times I(\ln AGG3_{it} \leq \delta_1) + \beta_2 \ln AGG3_{it} \times I(\ln AGG3_{it} > \delta_1) + C + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln LUE_{it} = \alpha X_{it} + \beta_1 \ln UD_{it} \times I(\ln UD_{it} \leq \delta_1) + \beta_2 UD_{it} \times I(\ln UD_{it} > \delta_1) + C + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中： i 和 t 分别表示城市和时间；土地利用生态效率（ LUE_{it} ）是被解释变量；门槛变量分别是第二、三产业集聚度（ $AGG2_{it}$ 、 $AGG3_{it}$ ）以及城市人口密度（ UD_{it} ）； X_{it} 是一组控制变量，包括城市规模（ $SCAL$ ）、科技水平（ $TECH$ ）和对外开放水平（ $OPEN$ ）； δ_1 是门槛值； α 、 β_1 和 β_2 是各自变量在不同门槛值下的影响系数； C 为常数； ε_{it} 随机扰动项； $I(\cdot)$ 为定性函数。

1.3 面板向量自回归模型

在进行时间序列经济变量的动态关系测量时，可以应用向量自回归模型（VAR），该模型允许滞后期，以及内生变量和个体异质性，但本文采用面板数据。因此，借鉴相关论文^[30]使传统VAR模型拓展为面板向量自回归（PVAR）模型，同时保持时序特征的优点，其基础模型表示为：

$$y_{it} = a_{0t} + \sum_{l=1}^m a_{lt} y_{it-l} + f_i + d_{c,t} + u_{it} \quad (6)$$

式中： $i=1, \dots, N$ ，代表样本； $t=1, \dots, T$ ，代表年度； y_{it} 表示包含4个变量的列向量，分别为土地利用生态效率（ LUE ）、第二产业集聚水平（ $AGG2$ ）、第三产业集聚水平（ $AGG3$ ）和人口集聚水平（ UD ）；滞后阶数为 m ；干扰项为 u_{it} ；不可测界面个体固定效应与方程回归系数的向量分别对应的是 f_i 以及 a_{0t} 、 a_{lt} ；时间固定效应变量为 $d_{c,t}$ 。

1.4 研究对象与数据来源

本文根据国务院颁发的文件和相关城市群的研究^[6]为依据，确定京津冀包括北京、天津、河北全省共13个城市，长三角包括上海、江苏（9市）、浙江（8市）以及安徽（8市）共26个城市，由于香港特别行政区和澳门特别行政区数据难以获取，因此珠三角仅包括广东省的珠三角9市。三大城市群是中国经济发展巨大引擎，是中国与国际交流的门户，其中2018年三大城市群在全国的GDP占比高达37.4%，集装箱吞吐量占全国的69.5%，在经济集聚和国际交流不断深化的今天，三大城市群对于中国的发展显得更加举足轻重。数据主要采用不同省市的统计年鉴，以及《中国城市统计年鉴》（2006—2017年），为弥补个别缺失数据，使用插值法补全。

2 结果分析

2.1 城市群土地利用生态效率的时空特征

从时间剖面看（图1），2005—2016年三大城市群土地利用生态效率呈现出波动起伏的动态变化过程，不同城市群具有截然不同的变化特征。其中，京津冀土地利用生态效率提升幅度最大，虽然期间稍有回落，但总体仍保持增长态势。这主要是北京和天津两大增长极的拉动，两大城市通过城市土地扩张管控以达到积极调整产业结构和布局的目的，环境污染严重的企业纷纷迁移和关停，为高新技术产业和新兴服务业如计算机、互联网等行业腾空产业用地，提高土地利用效益，另外，以承办奥运会、APEC会议等大型国际活动为契机，北京市政府加强大气污染、水污染等的治理，因此京津冀城市群土地利用生态效率在2005—2008年间上升了一个台阶，并保持总体增长的态势。另外，与

京津冀城市群对比来看,珠三角城市群整体呈现阶梯式降低的趋向,且下降幅度较大,表明在研究期初始时期,珠三角城市群毗邻港澳和国家政策的优势,吸引外资建厂,土地利用高产出。同时城区用地扩张,高投入也引起生态环境质量下降,而且受限于珠三角城市群腹地小,城市建设用地扩张侵占更多的生态用地导致土地利用生态效率下降。值得注意的是,珠三角城市群在2008年开始积极实行“腾笼换鸟”政策,因此在2008—2011年期土地利用生态效率保持平稳

并略有上升,但随着珠三角核心区的产业向惠州、江门和肇庆转移,这些城市加大土地资源投入开发产业转移园区,导致城市群整体土地利用生态效率下降。长三角城市群土地利用生态效率总体仍保持稳定,但曲线表现为先提高后下降的特征,表明依靠土地扩张的投入产出模式开始不适应高质量发展的要求,导致生态效率下降。

从空间分布及其形态变化来看(图2),三大城市群内部土地利用生态效率具有各不相同的时空格局特征。京津冀城市群整体上呈现效率值从北向南逐渐降低的特征,并且随着核心城市北京的首都功能强化,土地利用生态效率的不断提高,形成向四周辐射的格局,靠近北京的城市土地利用生态效率随之提升;长三角城市群土地利用生态效率空间分布整体较为均衡,但在南京与合肥的交界附近会形成明显的低谷区;珠三角城市群土地利用生态效率大致呈现珠江口两岸的核心城市效率提高,而外围城市如惠州、江门和肇庆的效率值降低的空间分布格局,说明核心城市产业向外转移在其中起到至关重要的作用。

采用Kernel核密度对2005—2016年中国三大城市群土地利用生态效率进行估计,生成的核密度曲线能有效解释城市群土地利用生态效率的演进特征(图3)。从曲线形状分布看,所有年份核密度函数呈现“M”型双峰分布,表明研究期内中国三大城市群土地利用生态效率呈两极分化,且表现出两个演进阶段。第一个阶段是2005—2011年间土地利用生态效率呈现集聚态势,第二个阶段是2011年以后出现的两极分化态势;从波峰所处的位置看,各年份波峰均位于左侧,表明三大城市群土地利用生态效率仍可以通过资源有效利用来提升;从双尾的位置看,核密度函数的左尾延长度呈现先增后减的趋势,而右尾则逐渐减少,说明土地利用生态效率低值区域存在较大波动,高值区波动则逐渐变小。

2.2 经济集聚对土地利用生态效率的门槛效应

表2为验证的解释变量的多重共线性结果,各变量VIF值均未超过10,即证明研究中采用的变量全部符合检验标准;在此基础上,选择Hausman方法计算得出22.68卡方统计量值,其P值<0.01,即证实与原假设不符,所以选择固定效应模型来估算门槛值;为避免产生数据异方差,选择自然对数形式来设置各变量后,再选择Stata 15软件来分别验证与估算式(5)~式(7)。

通过观察所呈现出的门槛效应和显著性检验结果(表3)可知,第二产业集聚水平没有通过各门槛显著性检验,意味着在城市群土地利用上其无门槛效应;但第三产业

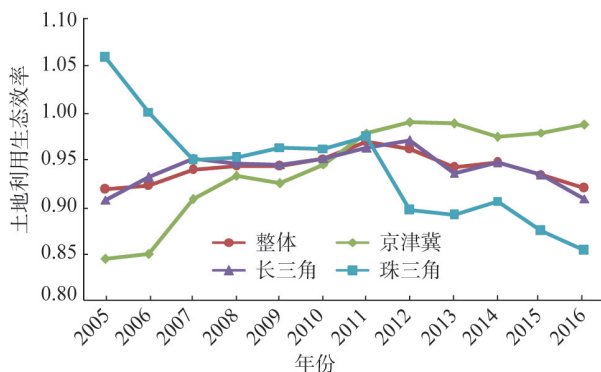


图1 2005—2016年中国三大城市群土地利用生态效率均值

Fig. 1 The average land use eco-efficiency of three major urban agglomerations of China during the period 2005-2016

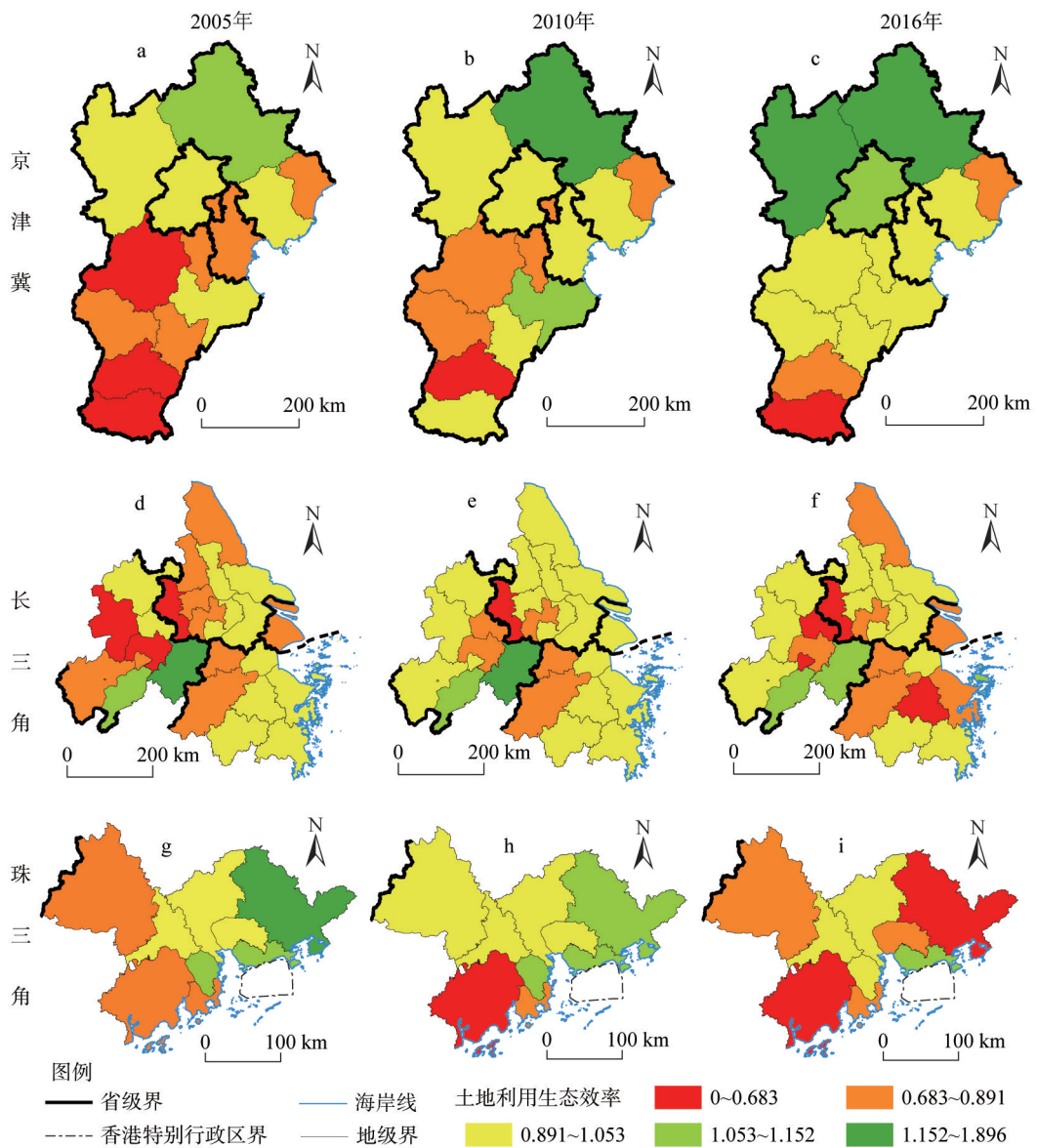


图2 中国三大城市群土地利用生态效率时空格局

Fig. 2 Spatio-temporal pattern of land use eco-efficiency of three major urban agglomerations of China

集聚水平与人口集聚水平也只通过一个门槛显著性检验，即意味着两者有一个门槛，以下将进行详细阐述。

(1) 第三产业集聚水平对城市群土地利用生态效率影响呈现显著的单门槛效应，且影响的方向和程度与门槛值有关（表4、表5）。当第三产业集聚水平的对数值低于-0.7139时，其对土地利用生态效率的相关系数为0.257；而当第三产业集聚水平突破该值时，其对土地利用生态效率则呈现轻微的负效应（-0.072），说明第三产业集聚水平对城市群土地利用生态效率的影响方向与门槛值有关。

通过观察样本发现，南通市、绍兴市和东莞市未跨过第三产业集聚水平的门槛，究其

原因，这类城市主要发展传统工业，第三产业发展在城市中的表现相对滞后，因此第三产业集聚水平的提高有助于当地土地资源更加高效利用，生态环境更加优化。而其他跨过第三产业集聚水平门槛的城市则表现为第三产业集聚水平过高，导致产业发展不平衡，未能充分利用各类土地资源，但由于第三产业的生态友好性，因此从弹性系数来看对土地利用生态效应的负面影响较小。因此，对于传统的工业型城市，需要加快“腾笼换鸟”和“退二进三”的脚步，发展第三产业，减轻传统工业的土地资源浪费和对生态环境的破坏；而第三产业集聚水平较高的城市则需要平衡好产业之间的关系，在保持第三产业持续良好发展和淘汰落后产业的基础上，注重引进环境友好型的第二产业如高端制造业，提高土地利用生态效率。

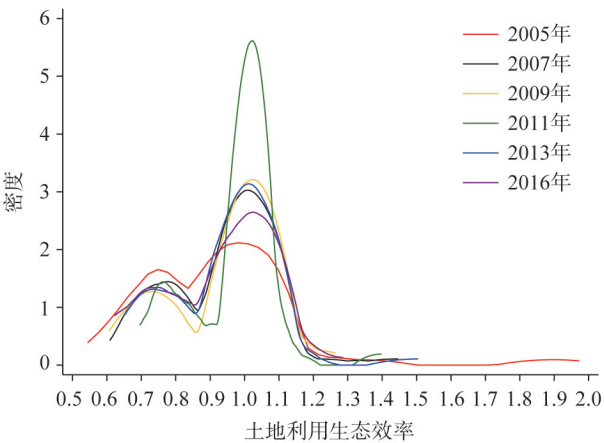


图3 中国三大城市群土地利用生态效率核密度曲线

Fig. 3 The kernel density curve of three major urban agglomerations of China

表2 各变量方差膨胀因子

Table 2 Variance inflation factor of variables							
	AGG2	AGG3	UD	SCAL	TECH	OPEN	均值
VIF	4.62	4.49	1.62	1.14	2.45	3.02	2.89
1/VIF	0.22	0.22	0.62	0.88	0.41	0.33	0.35

(2) 人口集聚水平对土地利用生态效率的影响也呈现显著的单门槛特征，且人口集聚水平以5.6949为门槛值。在门槛值前后，人口集聚对土地利用生态效率的相关系数分别为0.2087和0.1342，表明人口集聚可以促进土地利用生态效率的提高，但城市人口集聚程度一旦高于临界值则会减弱对土地利用生态效率促进的作用。

人口集聚对土地利用生态效率的门槛效应主要有两方面原因。一方面人口集聚未跨越门槛时带来了劳动力和消费市场的集中，有助于土地资源的充分利用，如承德、张家口、池州和宣城这类仍未跨过门槛的城市，其人口集聚的效应有待进一步发挥；另一方面，当人口集聚水平跨过门槛后，城市人口集聚增大则需要投入更多的公共资源，对土地利用生态效率的促进作用有所降低。城市需要制定适宜的人口政策，人口集聚程度太低影响城市发展，太高则会带来就业压力、生态环境压力，但从门槛回归结果看，前三大城市群仍然

表3 门槛效应显著性检验结果

Table 3 Threshold effect significant test result							
门槛变量	门槛个数	F值	P值	BS次数/次	临界值		
					1%	5%	10%
lnAGG2	一门槛	19.88	0.1580	500	39.3925	28.4965	23.4223
lnAGG3	一门槛	43.28**	0.0120	500	43.4634	24.6741	20.8968
	二门槛	6.90	0.5240	500	41.1142	24.8727	17.7062
lnUD	一门槛	81.22***	0.0020	500	63.9877	47.1277	37.7572
	二门槛	15.44	0.6440	500	212.9259	160.1977	121.6815

注：***、**分别表示1%、5%的显著性水平，下同；BS是自抽样法（Bootstrap）的简写。

可以适度提高人口集聚水平，尤其处于门槛系数以下的城市。

(3) 控制变量中，对外开放水平对土地利用生态效率存在正向促进作用。结果符合城市群的定位，表明外向型经济起到促进就业和繁荣经济的作用，提高城市群单位土地产出，故存在正向影响。

表4 门槛值估计
Table 4 Estimation of threshold values

门槛变量	门槛估计值	95%置信区间
lnAGG3	-0.7139	[-0.779, -0.693]
lnUD	5.6949	[5.674, 5.762]

表5 模型参数估计结果
Table 5 Estimation of result of model parameters

变量	回归系数	t值	变量	回归系数	t值
lnSCAL	0.0030	0.07	lnSCAL	-0.0088	-0.18
lnTECH	0.0047	1.10	lnTECH	0.0066	1.58
lnOPEN	0.0167*	1.68	lnOPEN	0.0082	0.84
lnAGG3 · 1 (lnAGG3 ≤ -0.7139)	0.2576***	5.58	lnUD · 1 (lnUD ≤ 5.6949)	0.2087***	3.30
lnAGG3 · 1 (lnAGG3 > -0.7139)	-0.0729**	-2.28	lnUD · 1 (lnUD > 5.6949)	0.1342**	2.16

注：*表示10%的显著性水平，下同。

2.3 经济集聚对土地利用生态效率的脉冲响应

关于分析经济集聚的直接与动态影响程度比较适用的是利用PVAR模型所进行的脉冲响应分析。首先各数据全部选择的是自然对数，同时选择Levin-Lin-Chu (LLC) 与Hadri LM来进行数据单位根校验，以检验数据的平稳性(表6)。然后是模型最优滞后阶数的确定，结合表7的三种判定准则结果来确定滞后1阶的第二、第三产业集聚度(AGG2)、(AGG3)和滞后2阶的城市人口密度(UD)。最后，采用Stata 15软件对lnAGG2、lnAGG3、lnUD和lnLUE变量进行脉冲响应函数分析，汇总Monte-Carlo模拟500次的脉冲响应图。具体分析如下：

(1) 图4a表示土地利用生态效率(lnLUE)对自身的冲击响应。具体来说土地利用生态效率对自身冲击的峰值在第1期，表明当期土地利用生态效率的大小与上一期生态效率有密切关系。随着期数的增加，土地利用生态效率对自身的冲击效应逐渐减弱，并在第8期才基本收敛于0，这说明上一期土地资源利用的情况和城市的生态禀赋对以后的土地利用生态效率具有积极影响，有利于保护生态环境，城市有较高土地利用率的需保持目前发展趋势；城市土地利用率较低且破坏生态环境严重的，需建立自然保护区，实现现有土地资源的优化配置，在保护生态环境基础上，实现土地绿色发展，提高利用率。

(2) 图4b表示第二产业集聚水平(lnAGG2)对土地利用生态效率的冲击响应。第二产业集聚对土地利用生态效率在第1期达到负向冲击的峰值，在第2期往后逐渐变为正向冲击并一直持续到最后。可以看出，第二产业的集聚对土地利用生态效率的影响是长期性的，除了第1期是负向冲击，可能是集聚初期基础设施大量投入导致，第2期开始经济效益凸显，因此对土地利用生态效率产生正向冲击，并逐渐收敛。因此，城市决

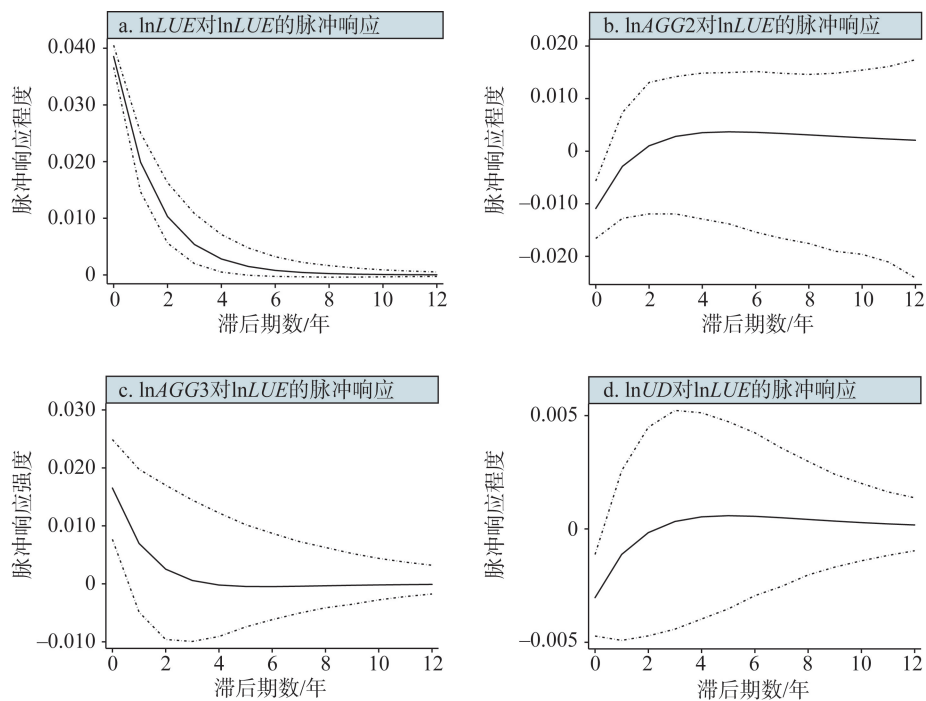
表6 各变量平稳性检验
Table 6 Test for stationary of variables

统计量	LLC 检验	Hadri 检验
lnLUE	-8.279***	24.920***
lnAGG2	-3.059***	29.668***
lnAGG3	-4.140***	29.394***
lnUD	-5.006***	21.588***

表7 各变量最优滞后项选择

Table 7 The choice of lag order of variables

LAG	AGG2			AGG3			UD		
	AIC	BIC	HQIC	AIC	BIC	HQIC	AIC	BIC	HQIC
1	-4.30*	-3.43*	-3.95*	-3.40*	-2.53*	-3.05*	-4.63	-3.76	-4.29
2	-4.23	-3.25	-3.84	-3.24	-2.26	-2.86	-6.53*	-5.55*	-6.14*
3	-4.10	-2.99	-3.66	-3.13	-2.02	-2.69	-6.31	-5.20	-5.87
4	-3.84	-2.57	-3.33	-3.12	-1.85	-2.61	-6.02	-4.75	-5.51



注：实线为脉冲响应曲线，上下两条虚线分别代表5%和95%的分位点线。

图4 脉冲响应函数结果

Fig. 4 Impulse response function results

策部门要重视第二产业集聚，从长远来看，第二产业集聚具有正向累积和持续利好的优势，对于充分利用土地资源有重要作用，除此以外，冲击曲线后半部分的收敛警示城市第二产业集聚需要甄别其对生态环境的负面影响，不能走边发展边污染的老路。

(3) 在土地利用生态效率层面，第三产业集聚水平($\ln AGG3$)产生的冲击响应见图4c。第三产业集聚对土地利用生态效率的正向冲击在第1期迅速达到峰值后开始收敛，到第4期为0以后，便在0和微弱的负向冲击之间变动，表明第三产业集聚对土地利用生态效率具有递减的正向累积效应，这说明第三产业集聚有助于直接提高土地利用生态效率，但是过度的第三产业集聚可能会导致土地资源浪费，因此出现微弱的负向冲击，这与门槛效应结果相对应。

(4) 图4d表示人口集聚水平($\ln UD$)对土地利用生态效率的冲击响应。从图中可以看出，人口集聚的冲击与第二产业冲击具有相似性，人口集聚水平在第1期达到负向冲

击的峰值后,马上收敛为0,第2期开始冲击转变为正向。究其原因,人口集聚所带来的
人口红利需要人口充分转化为劳动力和消费市场后才能显现,存在一定的滞后期。因
此,城市制定的人才引进政策要和基础设施与就业岗位相匹配,使得人口集聚能迅速达
到正向冲击,释放生产活力提高土地利用生态率。

3 结论与讨论

3.1 结论

结合非期望产出超效率EBM模型,重点通过度量分析了我国三大城市群的土地利用
生态效率(2005—2016年),分析其时空格局和演变规律,并利用面板门槛回归模型和
面板向量自回归模型分析经济集聚对土地利用生态效率的不同影响,得出如下主要结论:

(1) 2005—2016年,三大城市群之间时空格局及演化特征具有显著差异。京津冀城
市群表现出持续上升的时间态势,空间格局上则呈现围绕北京协同上升;珠三角城市群
土地利用生态效率在时序上呈阶梯式下降,空间上呈现核心城市上升、周边城市下降的
格局;长三角城市群土地利用生态效率则保持相对稳定。城市群土地利用生态效率演化
经历了先收敛后分化的两个阶段,且高值和低值区波动较大,需要注意城市群内部的均
衡发展,防止土地利用效率分化进一步扩大。

(2) 第三产业集聚和人口集聚对土地利用生态效率存在单门槛效应,分别表现为第
三产业集聚对土地利用生态效率的作用方向与门槛值有关,人口集聚对土地利用生态效
率影响为正向,但越过门槛值后正向影响减弱,而第二产业集聚水平与土地利用生态效
率不存在门槛效应。门槛效应启示城市发展第三产业需要保持适度,在制定土地资源配
置决策时就要合理分配二三产业发展空间,要以建设用地管制来引领产业发展,切忌过
度“脱实向虚”、过犹不及;在人口发展政策方面,城市应根据自身土地利用情况和城市
基础设施状况,防止人口在大城市过于集中,而中小城市应立足城市特色优势产业,积
极吸引人口从大城市回流,同时坚决管控城市土地扩张。

(3) 经济集聚对城市群土地利用生态效率存在不同程度的动态冲击,土地利用生态
效率自身和第三产业集聚对土地利用生态效率的影响是持续的正向冲击后收敛为0,而
第二产业集聚和人口集聚则表现为第1期达到负向冲击顶峰而后逐渐转变为持续的正向
冲击,略微收敛的态势。通过脉冲响应分析,城市群经济集聚对土地利用生态效率主要
有两点启示:①经济集聚对土地利用生态效率往往是滞后的,各城市区域间的土地资源
与生态禀赋是存在显著差异的,因此要求政府实施差异化的区域发展政策,引导各地结
合土地生态的实际情况,重新对土地利用进行科学规划,把握好新增建设用地和存量土
地的关系,从长远角度制定土地利用和生态环境保护政策,加大有关生态环境保护的财
政投入,为城市保留自然保护区和生态用地。②不同层面的经济集聚对土地利用的生态
的影响具有明显差异,城市要在夯实第二产业基础上大力发展新兴服务业,同时通过高
端人才引进加强技术创新,为产业升级发展提供动能。

3.2 讨论

土地利用生态效率为定量研究土地利用效益与生态环境的关系提供有效的手段,但
当前以生产函数为基础的土地利用生态效率指标体系构建仍较为单一,有待进一步完
善,未来应向综合化、复杂化发展。同时希望通过本结果,为提高城市土地利用生态效

率提供合理的解决方案。未来还可以深化研究的方面包括:对不同类别的城市进行分类,从长时间尺度对比研究经济集聚对不同类型城市土地利用生态效率的影响;加强城市土地利用生态效率对经济集聚过程的互馈机制研究;深化土地利用生态效率指标体系的探索研究,指标选择应该注重自然本底;为解决土地利用的生态问题,在经济集聚与土地利用生态效益关系研究的基础上,加强土地资源优化配置的策略支持。

参考文献(References):

- [1] 张跃,王图展,刘莉.中国市域工业污染对劳动力集聚的影响研究.地理科学,2019,39(10):1654-1662. [ZHANG Y, WANG T Z, LIU L. Impact of industrial pollution on labor agglomeration in China. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(10): 1654-1662.]
- [2] 赵娜,王博,刘燕.城市群、集聚效应与“投资潮涌”:基于中国20个城市群的实证研究.中国工业经济,2017,(11):81-99. [ZHAO N, WANG B, LIU Y. Urban cluster, agglomeration effect and "investment wave phenomenon": Empirical analysis based on 20 urban clusters in China. China Industrial Economics, 2017, (11): 81-99.]
- [3] 方创琳,毛其智,倪鹏飞.中国城市群科学选择与分级发展的争鸣及探索.地理学报,2015,70(4):515-527. [FANG C L, MAO Q Z, NI P F. Discussion on the scientific selection and development of China's urban agglomerations. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 515-527.]
- [4] 乔伟峰,吴菊,戈大专,等.快速城市化地区土地利用规划管控建设用地扩张成效评估:以南京市为例.地理研究,2019,38(11):2666-2680. [QIAO W F, WU J, GE D Z, et al. Evaluating the controlling effectiveness of land-use planning on construction land expansion under the rapid urbanization: A case study of Nanjing city. Geographical Research, 2019, 38(11): 2666-2680.]
- [5] 王亚华,袁源,王映力,等.人口城市化与土地城市化耦合发展关系及其机制研究:以江苏省为例.地理研究,2017,36(1):149-160. [WANG Y H, YUAN Y, WANG Y L, et al. Relationship and mechanism of coupling development between population and land urbanization: A case study of Jiangsu province. Geographical Research, 2017, 36(1): 149-160.]
- [6] 任宇飞,方创琳,蔺雪芹.中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价.地理学报,2017,72(11):2047-2063. [REN Y F, FANG C L, LIN X Q. Evaluation of eco-efficiency of four major urban agglomerations in eastern coastal area of China. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(11): 2047-2063.]
- [7] 邵帅,张可,豆建民.经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验.管理世界,2019,35(1):36-60,226. [SHAO S, ZHANG K, DOU J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China. Management World, 2019, 35(1): 36-60, 226.]
- [8] 周侃,王强,樊杰.经济集聚对区域水污染物排放的影响及溢出效应.自然资源学报,2019,34(7):1483-1495. [ZHOU K, WANG Q, FAN J. Impact of economic agglomeration on regional water pollutant emissions and its spillover effects. Journal of Natural Resources, 2019, 34(7): 1483-1495.]
- [9] 钟娟,魏彦杰.产业集聚与开放经济影响污染减排的空间效应分析.中国人口·资源与环境,2019,29(5):98-107. [ZHONG J, WEI Y J. Spatial effects of industrial agglomeration and open economy on pollution abatement. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(5): 98-107.]
- [10] 胡熠娜,彭建,刘焱序,等.区域生态效率研究进展.生态学报,2018,38(23):14-21. [HU Y N, PENG J, LIU Y X, et al. Review on regional eco-efficiency research. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): 14-21.]
- [11] 王耕,李素娟,马奇飞.人类福祉视角下中国生态效率时空演化研究.地理科学,2018,38(10):1597-1605. [WANG G, LI S J, MA Q F. Spatial-temporal evolution of Chinese eco-efficiency from the perspective of human well-being. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10): 1597-1605.]
- [12] 罗能生,李佳佳,罗富政.中国城镇化进程与区域生态效率关系的实证研究.中国人口·资源与环境,2013,23(11):55-62. [LUO N S, LI J J, LUO F Z. Empirical analysis on the relationship between the China urbanization and region eco-efficiency. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(11): 55-62.]
- [13] REBOLLEDO-LEIVA R, ANGULO-MEZA L, IRIARTE A, et al. Comparing two CF+DEA methods for assessing eco-efficiency from theoretical and practical points of view. Science of the Total Environment, 2019, 659: 1266-1282.
- [14] ZHOU C S, SHI C L, WANG S J, et al. Estimation of eco-efficiency and its influencing factors in Guangdong province

- based on Super-SBM and panel regression models. *Ecological Indicators*, 2018, 86: 67-80.
- [15] 马勇, 童昀, 任洁. 多源遥感数据支持下的县域尺度生态效率测算及稳健性检验: 以长江中游城市群为例. *自然资源学报*, 2019, 34(6): 1196-1208. [MA Y, TONG Y, REN J. Calculation and robustness test of county-scale ecological efficiency based on multi-source remote sensing data: Taking the urban agglomeration in the middle reaches of Yangtze River as an example. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1196-1208.]
- [16] 盖美, 聂晨. 环渤海地区生态效率评价及空间演化规律. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 106-117. [GAI M, NIE C. Ecological efficiency evaluation and spatial evolution in Bohai Rim Region. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 106-117.]
- [17] 杨勇, 邓祥征. 中国城市生态效率时空演变及影响因素的区域差异. *地理科学*, 2019, 39(7): 1111-1118. [YANG Y, DENG X Z. The spatio-temporal evolutionary characteristics and regional differences in affecting factors analysis of China's urban eco-efficiency. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1111-1118.]
- [18] 郑德凤, 郝帅, 孙才志. 基于 DEA-ESDA 的农业生态效率评价及时空分异研究. *地理科学*, 2018, 38(3): 102-110. [ZHENG D F, HAO S, SUN C Z. Evaluation of agricultural ecological efficiency and its spatial-temporal differentiation based on DEA-ESDA. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(3): 102-110.]
- [19] 盖美, 展亚荣. 中国沿海省区海洋生态效率空间格局演化及影响因素分析. *地理科学*, 2019, 39(4): 616-625. [GAI M, ZHAN Y R. Spatial evolution of marine ecological efficiency and its influential factors in China coastal regions. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(4): 616-625.]
- [20] 杨皓然, 吴群. 碳排放视角下的江苏省土地利用转型生态效率研究: 基于混合方向性距离函数. *自然资源学报*, 2017, 32(10): 82-94. [YANG H R, WU Q. Study on the eco-efficiency of land use transformation in Jiangsu province from the perspective of carbon emission: Based on the mixed directional distance function. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(10): 82-94.]
- [21] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率. *经济研究*, 2019, 54(2): 119-132. [LIN B Q, TAN R P. Economic agglomeration and green economy efficiency in China. *Economic Research Journal*, 2019, 54(2): 119-132.]
- [22] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应. *地理学报*, 2015, 70(6): 980-992. [GUAN W, XU S T. Study on spatial pattern and spatial effect of energyeco-efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 980-992.]
- [23] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 等. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理. *地理研究*, 2019, 38(9): 63-77. [CHEN W X, LI J F, ZENG J, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China. *Geographical Research*, 2019, 38(9): 63-77.]
- [24] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例. *地理科学*, 2018, 38(1): 100-109. [YANG Q K, DUAN X J, WANG L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 100-109.]
- [25] 王德起, 庞晓庆. 京津冀城市群绿色土地利用效率研究. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(4): 68-76. [WANG D Q, PANG X Q. Research on green land-use efficiency of Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(4): 68-76.]
- [26] TONE K, TSUTSUI M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA-A third pole of technical efficiency. *European Journal of Operational Research*, 2010, 207: 1554-1563.
- [27] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [28] 师博, 沈坤荣. 政府干预、经济集聚与能源效率. *管理世界*, 2013, (10): 6-18, 187. [SHI B, SHEN K R. The government intervention, the economic agglomeration and the energy efficiency. *Management World*, 2013, (10): 6-18, 187.]
- [29] 郑慧, 贾珊, 赵昕. 新型城镇化背景下中国区域生态效率分析. *资源科学*, 2017, 39(7): 90-101. [ZHENG H, JIA S, ZHAO X. An analysis of regional eco-efficiency in China under the background of new-type urbanization. *Resources Science*, 2017, 39(7): 90-101.]
- [30] HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.

Impact of economic agglomeration on land use eco-efficiency of three major urban agglomerations in China

SONG Jia-peng^{1,2}, CHEN Song-lin^{1,2}

(1. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment of Fujian Province, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Analyzing the impact of economic agglomeration on land use eco-efficiency in urban agglomerations is helpful in improving cities' competitiveness and the quality of environment. Using the Super-EBM of undesirable output, in this article we measured the land use eco-efficiency of the three major urban agglomerations of China, namely, the Beijing-Tianjin-Hebei Region, the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta, from 2005 to 2016. Then it analyzed the spatio-temporal evolutionary characteristics of land use eco-efficiency by using Kernel density function. Finally, panel threshold regression model and panel vector auto regression model (PVAR) were established. We discussed the non-linear impact and linear direct impacts of economic agglomeration on the land use eco-efficiency in the urban agglomerations from the perspective of industry and population. The main results are as follows. (1) During 2005-2016, the land use eco-efficiency of the three major urban agglomerations showed an evolutionary characteristic of convergence and differentiation and each urban agglomeration had its own spatio-temporal evolutionary rules. (2) The tertiary industrial agglomeration level and population agglomeration level showed a single threshold effect on the land use eco-efficiency of the urban agglomerations. Therefore, moderate industrial agglomeration and population agglomeration have a positive promotion effect on the land use eco-efficiency of the urban agglomerations, otherwise, the promotion effect will decline or even have a negative impact. (3) The direct impact of the tertiary industry agglomeration level and land use eco-efficiency on the land use eco-efficiency reached the peak from the beginning and then converged to 0, while the secondary industry agglomeration level and population agglomeration level had negative impacts and then changed to be positive. When formulating policies concerning economic development and land use, the local governments must give full play to the positive impact of economic agglomeration on the environment. In addition, they should pay attention to the appropriateness and dynamics of different economic agglomerations.

Keywords: land use eco-efficiency; economic agglomeration; Super EBM; panel threshold regression model; panel VAR model; three urban agglomerations in China