卢新海,任文琴,杨浩,等. 城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响:基于空间计量的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(3):113-124. [LU X H, REN W Q, YANG H, et al. Impact of compact development of urban transportation on green land use efficiency: an empirical analysis based on spatial measurement[J]. China population, resources and environment, 2023, 33(3): 113-124.]

城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响

——基于空间计量的实证分析

卢新海[1,2], 任文琴[1], 杨 浩[1], 柯善淦[1]

(1. 华中师范大学公共管理学院,湖北 武汉 430079; 2. 华中科技大学公共管理学院,湖北 武汉 430074)

摘要 城市交通实现紧凑式发展是必然趋势。土地要素作为城市交通高质量发展的载体,探究城市交通紧凑式发展如何影响土地绿色利用效率,对促进城市土地集约利用、实现碳中和目标具有重要的现实意义。因此,基于2005—2019年中国东部地区84个城市的相关数据,分别构建城市交通紧凑度和土地绿色利用效率评价体系,运用熵值法和非期望产出超效率SBM模型测算城市交通紧凑度和土地绿色利用效率并分析其时空演化规律,最后通过建立空间误差模型探究交通紧凑式发展对城市土地绿色利用效率的影响,并解析了不同交通因子对土地绿色利用效率的差异化作用效果。研究结果表明:①2005—2019年东部地区城市交通紧凑度整体不断提升,且区域差距呈逐渐缩小之势。②研究期内东部地区城市土地绿色利用效率具有显著的空间正相关且利用率整体呈上升趋势,平均效率值由2005年的0.393提升到2018年的0.618;2019年受政府环境规制影响效率值又下降为0.398。③空间计量结果表明,在考虑空间效应的情况下,城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率存在正向的显著性影响;且交通可达性因子的影响力最强,公交系统效率因子居中,交通基础设施建设因子的影响力则稍弱。因此,基于城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率影响的研究结果提出,城市交通发展应多途径推动交通基础设施建设,提升公交系统效率,在落实区域交通可达性高标准的同时促进城市土地绿色利用效率的提高;同时中心城市应主动发挥土地绿色利用效率的空间溢出效应以回应国家对构建紧凑城市和生态城市的要求。

关键词 交通紧凑度;城市土地利用;超效率SBM模型;土地绿色利用效率;空间误差模型

中图分类号 F294.3 **文献标志码** A **文章编号** 1002-2104(2023)03-0113-12 **DOI:10.12062/cpre.20221035**

城市交通与土地利用是一个相互作用的复杂体,交通系统是城市土地利用规划的重要组成部分,是贯彻城市土地可持续利用的媒介之一。然而,交通系统在推进经济社会发展的同时,交通基础设施扩建和交通能耗增加所造成的环境污染等问题也值得进一步思考。土地资源作为交通建设的物质载体,交通紧凑式发展成为土地集约利用的必然选择,也是提高土地绿色利用效率的应有之义。因此,在《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》等政策背景下,为减少交通用地开发利用造成的碳排放[1],应当充分考量城市交通在实现紧凑式发展过程中会对土地绿色利用效率产生何种影响,以便在缓和交通与土地利用矛盾的同时能有效提高城市土地绿色利用效率。

交通系统与城市土地利用作为一个相互联系与制约的循环反馈系统[2],在国家新型城镇化战略的背景下,两者之间的关系不仅复杂、紧张且呈现出更加明显的时空特征[3]。就城市交通系统对城市土地利用的影响研究,国外学者取得了较为丰硕的成果,主要集中在模型方法和基础理论等层面。在模型方法层面例如有Still[4]归纳的个人评价法、简单建模法、经济构架分析法等研究方法,以及Rosni等[5]归纳的土地利用-交通综合法等;在理论层面有早期的农业区位论、工业区位论[6]、中心地理论[7]以及复杂网络理论[8]等,具体参见已有文献[9-11]。

国内学者对其的研究则主要集中在以下两点:一是城市交通对土地利用的影响。虽然土地利用方式是交通路网分布模式的先决条件,但交通路网的网络特征也会

收稿日期:2022-06-02 **修回日期**:2022-10-30

作者简介:卢新海,博士,教授,主要研究方向为土地管理与粮食安全。E-mail:xinhailu@163.com。

通信作者:任文琴,博士生,主要研究方向为城乡土地利用与国土空间治理。E-mail:kkwen227@163.com。

基金项目:中央高校基本科研业务费(优博培育项目)(批准号:2022YBZZ002);国家社会科学基金重点项目(后期资助)"中国海外耕地投资与粮食安全"(批准号:21FGLA003)。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对土地利用的方式、程度和空间布局等产生深远的影响[3]。轨道交通的出现推动了城市土地利用的调整与优化，它通过影响土地的开发和更新最终促进城市的物理转型[12]。轨道交通对城市土地的作用既包含土地利用的微观变化结果，也包括土地开发的宏观空间差异[12-14]。而城市的快速发展也激发了其对轨道交通的需求，进而实现了土地利用与城市空间演变的交互影响[15]。交通发展作为促进土地利用空间格局变化的驱动因素，交通方式的更替还会通过带动周边土地的开发与利用影响城市土地的空间利用格局[10]及土地价格[9]。因此，要注意城市交通与土地利用的协调问题[16-17]。二是交通发展对城市土地利用效率的影响。交通系统作为土地利用演化的重要驱动因素，不仅交通基础设施建设会对土地利用效率产生正向的直接效应和溢出效应[18]，高速交通均衡建设也有助于稳定城市群土地利用效率空间格局的均衡态势[19]。城市土地绿色利用效率作为土地利用贯彻落实新发展理念的着力点，对比交通作用于城市土地利用的研究，学界对交通与城市土地绿色利用效率交互影响的关注相对较少，目前仅将研究视角集中在探究城市土地绿色利用效率的影响因素[20-21]和分析土地绿色利用效率的时空演变规律[22-24]两个方面，研究视角亟待拓展。

总之，交通发展与城市土地利用之间的联系十分紧密，研究者基于不同理论从多个维度进行了卓有成效的研究。然而，这些研究多考虑土地利用的结构、布局与价值升级等，关注利用效率的研究较少；且当前已有关于城市土地绿色利用效率的研究，又较少涉及交通发展对城市土地绿色利用效率影响。东部地区作为中国经济发展活力最旺盛的区域，虽然城市交通系统发展比较完善，但交通发展与城市土地利用的矛盾也相对突出。因此，基于“双碳”目标的公共政策供给，以贯彻落实新发展理念为目标要义，以东部地区 84 个城市为研究对象，运用非期望产出超效率 SBM 模型以及空间计量在内的研究方法，在测度 2005—2019 年交通紧凑度和城市土地绿色利用效率的基础上，探究城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响，以期为城市交通发展和土地资源高效利用提供政策建议。

1 城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响机制分析

交通与土地利用一直是学界关注的热点问题。城市交通紧凑式发展是对构建紧凑城市的回应，可通过交通紧凑度来衡量，即从通达性的角度衡量区域内交通联系的便利程度[25]。参考学者对城市紧凑度概念的解读，可进一步认为交通紧凑度是紧凑城市的核心内容[26]，是在交通基础设施建设逐渐完善和交通可达性程度较高[2]的情况下，以高效而密布的公交系统为服务内容[27]的城市交通发展效力。完善交通基础设施建设可有效提高城市交通路网覆盖密度，公交系统的健全与完备也有助于交通可达性的提升。因此，城市交通紧凑式发展的核心内涵应当包括交通基础设施建设（*TIC*）、交通可达性程度（*TA*）和公交系统效率（*PTSE*）三个主要方面。而城市土地绿色利用效率作为绿色新发展理念下的产物之一，旨在以最小的资源投入，取得区域土地内经济、社会和环境效益的最大化，实现土地最优利用[22]。城市土地绿色利用效率在要求经济和社会效益产出的同时，着重强调土地利用产出的绿色效益，即土地利用过程中对生态环境的保护。通过梳理现有研究发现[2, 18, 28]，交通紧凑式发展将从交通基础设施建设、交通可达性和公交系统效率三个维度对城市土地绿色利用效率产生不同的效应与影响，如图 1 所示。

一是推广公交体系所产生的减排效应，主要通过对产业结构和能源结构两个方面进行调整来实现。在产业

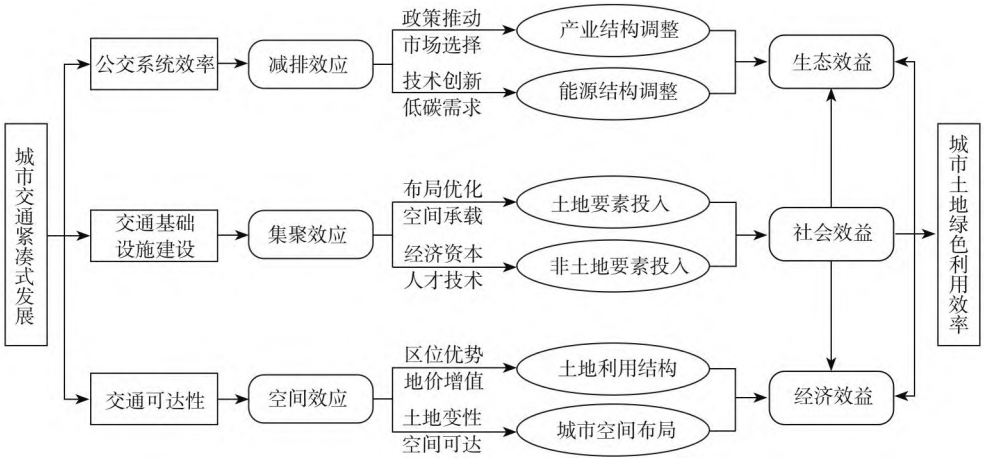


图 1 城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响机制

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

结构调整方面，公交系统作为城市绿色交通系统的核心内容，不仅是连接城市土地利用与交通协调发展的纽带，更重要的是高密度的公交流量是实现交通导向式发展模式（TOD）的关键。交通导向式发展（TOD）理论要求城市内部土地利用多样化与公交、自行车和人行道等基础设施建设并行，城市外部通过高速交通与其他区域连接[11]。因此，公交体系通过公共交通用地综合开发和公共交通工具高密度覆盖等举措的施行与推广，弱化了居民对私家车的需求，改变了交通运输工具的生产格局，交通用具生产要素逐渐向公共交通体系倾斜，在政府政策与市场需求的双重推力下交通行业的产业结构将逐步实现调整与升级，进而推动城市土地利用结构的转变与土地绿色利用效率的提升。同时，鉴于《国家综合立体交通网规划纲要》中强调要加快推进绿色低碳交通，实现交通领域二氧化碳排放尽早达峰[29]的要求，推动了公交系统能源结构的改善。交通领域二氧化碳的排放量约占中国碳排放总量的10%[30]，实现交通领域碳减排加速了减排技术的不断创新。技术创新有助于提升能源要素的利用效率、促进能源结构的调整，进而构建绿色低碳循环发展的清洁低碳能源体系[31]。交通行业能源结构的调整，在降低交通领域环境污染指数的同时还能创造巨大的生态效益，凸显了土地利用的绿色内涵。

二是建设交通基础设施所产生的集聚效应，主要包括土地要素和非土地要素两个方面的集聚。交通基础设施作为城市交通实现紧凑式发展的前提条件，快速城市化决定了对其建设数量和质量要求的提升。当前，城市交通用地的开发，地上空间主要是以公共汽（电）车交通线路布局为主的城市道路修建，还包括道路照明、桥梁以及其他基础设施等；地下空间则以发挥“时空压缩效应”的地铁等相关设施为主。随着交通基础设施的扩建，要求在集聚城市土地要素的基础上优化土地利用结构、完善交通基础设施线路布局、重构城市空间，实现土地资源承载量与土地绿色利用效率的提升。但是，基于土地资源稀缺性与地理位置的固定性等自然属性，除土地要素的投入外需要同时考虑增加对商业经济资本、高新技术和劳动力资源等非土地要素的投入，以挖掘土地资源用于交通基础设施开发建设中潜在的集聚力。这是因为城市土地因交通布局所产生的溢价越高，对经济要素的集聚力就越强，其所负荷的商业经济活动承载的经济价值也越高。同时，交通网络紧凑式分布可推动交通领域绿色与清洁新兴技术的更迭与创新。通过技术创新产生的联动效应不仅可以进一步改变土地原有的利用结构和方式，减少交通设施在生命周期内所造成的环境污染，提高土地利用的期望产出，还有助于扩大交通领域的就业规模和就业质量，提高全局的劳动生产率[18]。

三是提高交通可达性所产生的空间效应，主要表现在对土地利用结构和城市空间布局的优化。交通可达性是指交通线路的通达程度，能够反映活动区位和交通需求的变化，是连接土地利用和交通发展的关键环节，决定着城市用地规模和强度、土地利用结构以及城市空间布局等[11]。路网密度是交通可达性的核心要素，提高交通路网覆盖密度能够降低运输成本，通过提高物流速率引发产业竞争进而产生区位优势，有利于在激活地区劳动力的基础上提升自然资源和商业资本的使用率，从而进一步扩大市场和深化产业分工，创造经济效益的同时实现土地资源在产业间动态调整以提高利用率的目的[18]。同时，交通可达性所引发的产业集聚能够有效挖掘土地潜在的资源禀赋特征，激发地域优势之余也会带动周边土地的增值。因此，可达性通过提高土地利用增量，带动土地绿色利用效率的提高[11]。此外，交通可达性还会在影响土地利用性质的基础上推动跨区域非土地要素流通速率的提升，从而更进一步地促进交通沿线土地利用性质的转变与不断发展。同时，鉴于优化交通道路网布局所产生的城市空间可达性特征，可在改变土地区位的情况下使不同性质用地在交通沿线的影响范围内重新进行区位选择[9]，尽可能实现紧凑交通发展过程中土地资源投入与产出的最佳效率比。这也促使政府在考虑土地适宜开发强度的情况下做出更高标准的土地利用决策以提升城市土地绿色利用效率。

2　研究区域与研究方法

2.1　研究区域概况与数据来源

中国东部地区按照区域经济带的划分而命名，包括北京市、上海市、天津市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省和海南省10个省份。截至2019年，东部地区行政区域面积约为4 612.01万hm^2，市辖区人口约为36 625万人，GDP总量约占中国GDP的53.52%，分布着京津冀城市群、长江三角洲城市群和珠江三角洲城市群等经济增长极。因此，东部地区作为中国经济发展的前沿和重点开发区，城市化水平较高，尤其是在交通系统不断完善的情况下，其土地利用效率成为该地区实现可持续发展的重要依托。因此，基于分析数据的可获得性和完整性，文章选取除海南省外东部9省份84个城市为研究样本；鉴于市辖区既是城市的核心构件也是经济中心，将市辖区作为研究主体。基础数据主要来自《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》和各城市统计年鉴等，研究时间线为2005—2019年。对于少部分城市缺失的数据，主要参考省级统计年鉴补充或采用线性插值法补全。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 变量选取与测度

2.2.1 城市交通紧凑式发展测度

根据对城市交通紧凑式发展内涵的解读，通过交通紧凑度（*UTC*）的测量来表征城市交通紧凑式发展程度，以分析交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响。首先，根据已有研究选取测量维度[2, 32-33]，并通过因子分析法将多个原始指标进行划归处理。因子分析法主要是通过因子载荷矩阵，根据方差贡献率的大小提取可以包含原始数据的公因子，从而构建指标体系的过程[34]。为此，对2005—2019年的原始数据进行KMO检验，结果均在0.6以上，且巴特利特球形检验统计量通过1%的显著性检验，适合采用因子分析。因此，运用SPSS 25.0软件对历年的原始数据做因子分析，选择最大方差法，按照特征值大于1的条件提取公因子，共可提取3个公因子，分别对应于交通可达性、交通基础设施建设和公交系统效率三个方面，且累计方差贡献率均在75%以上，说明提取的公因子可以解释原始变量的大部分信息。具体指标评价体系见表1。

2.2.2 城市土地绿色利用效率测度

城市土地绿色利用效率（*ULGUE*）可解读为在技术条件和资源要素兼备的条件下取得土地要素与非土地要素的投入与经济、社会和生态环境等维度的土地利用产出的比值[22]。城市土地绿色利用效率是对城市土地利用效率内涵和外延的拓展，需要在注重传统投入与经济产出配置比的基础上考虑环境因素对土地利用的影响，目的是在绿色发展理念下实现经济、社会和生态环境的协调统一与可持续发展[22, 35]。同时，土地绿色利用意在强调生态效益，即通过减少资源消耗和污染排放实现城市土地资源的绿色可持续利用[36]。因此，城市土地绿色利用的产物并非都是“期望产出”，也存在以环境污染物为主要代表的“非期望产出”，即土地利用负外部性的产生。

参考已有研究[22, 34, 37]，在土地绿色利用效率投入指标层面选择土地、资本、劳动力作为土地利用的必备要素。其中，土地面积是城市“三生空间”发展的基础和载体，城市建设用地面积的变化能够有效体现城市“三生空间”的配置调整与结构转变，从而影响城市土地绿色利用效率。而资本和劳动力投入是地区经济效率和竞争力的主要影响要素，第二、三产业作为城市经济增长的主要来源且多分布在市辖区范围内，因此市辖区二三产业从业人员能够较好地衡量劳动力要素的投入，固定资产投资额则作为衡量资本要素的指标[38]。期望产出是土地利用过程中符合人们预期的效益产出，主要包括经济、社会和生态三个指标层面。市辖区二、三产业增加值可以有效反映土地利用中的经济效益；社会效益以提高人民福祉为最终目标，因此采用城镇居民家庭人均可支配收入表征；绿化覆盖情况可大致反映城市的生态环境状况和土地绿色利用程度的环境产出[34]，建成区作为行政区范围内实际建设发展的区域，可通过建成区绿化覆盖率表征城市的绿化水平。非期望产出则以土地绿色利用中的环境污染物为主，东部地区城市的工业化程度较高，在考虑数据可获得性的基础上选取工业污染相关排放物作为非期望产出的指标参考，具体指标体系构建见表2。

2.2.3 控制变量的选取与测度

为增强模型估计的可靠性，此次研究引入多个控制变量。城市土地绿色利用效率的影响因素较多，参考已有相关研究[35]，综合考虑当前土地绿色利用现状，控制变量选取为城市经济发展程度（*Economics*），用市辖区生产

表1 城市交通紧凑式发展评价指标体系

变量	准则层	指标层
城市交通紧凑度（*UTC*）	交通可达性（*TA*）	人均道路面积/m^2
		建成区道路面积率/%
		建成区路网密度/（km/ km^2）
	基础设施建设（*TIC*）	桥梁数/座、人行道面积/万 m^2
		道路照明灯盏数/盏
		安装路灯道路长度/km
	公交系统效率（*PTSE*）	年末实有出租车营运车辆数/辆
		全年公共汽（电）车客运总量/万人次
		年末实有公共汽（电）车营运车辆数/辆

表2 城市土地绿色利用效率评价指标体系

变量	指标类型	类别	具体指标
城市土地绿色利用效率（*ULGUE*）	投入指标	土地投入	城市建设用地面积/hm^2
		资本投入	城市固定资产投资额/亿元
		劳动力投入	市辖区二、三产业从业人员/万人
	期望产出指标	经济效益	市辖区二、三产业增加值/亿元
		社会效益	城镇居民家庭人均可支配收入/元
		生态效益	建成区绿化覆盖率/%
	非期望产出指标	环境污染	工业废水排放量/万t
			工业二氧化硫排放量/t
			工业烟尘排放量/t

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

总值增长率衡量；对外开放程度（*Open*），使用外商直接投资合同项目数量衡量；城市化水平（*Urban*），用城区人口占市辖区人口比重衡量；人力资本水平（*Human*），以市辖区每万人高校师生比衡量。

2.3 研究方法

2.3.1 熵值法

熵值法是通过计算熵值，以某个指标的熵值大小，即指标的离散程度表示该指标的影响程度，具体计算步骤参考其他文献[39]。在熵值法计算之前，为避免指标之间量纲和正负取向的影响，采用极差法对原始数据进行无量纲标准化处理；最后采用线性加权法求取综合评价指数。

$$S_j = \sum_{j=1}^{m} w_j T_{ij} \tag{1}$$

式中：T_{ij}表示第$i(i=1,2,\cdots,n)$年第$j(j=1,2,\cdots,m)$项指标标准化处理后的数值；S_j为综合评价得分，W_j为计算得出的权重。

2.3.2 非期望产出超效率SBM模型

传统DEA模型的效率测度并未将非期望产出纳入模型，因此无法测度存在非期望产出指标的效率值；TONE提出的非期望产出SBM模型，在解决传统DEA模型的缺陷和反应效率评价等方面优于其他模型[34]。但SBM模型的测度结果中，面对多个决策单元（DMU）为1的情况时，难以区分有效决策单元之间的差异。为此，基于非期望产出的超效率SBM模型应运而生。与SBM模型相比，超效率SBM模型同时结合了超效率模型和SBM模型的优点，可有效解决效率评价中的松弛问题及准确估计DMU的超效率值[23,34]。其具体模型构建如下[22]：

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{S_1+S_2}\left(\sum_{r=1}^{S_1}\frac{S_r^g}{Y_{r_o}^g} + \sum_{r=1}^{S_2}\frac{S_r^b}{Y_{r_o}^b}\right)} \tag{2}$$

$$s.t.\ x_o = X\lambda + S^-$$
$$y_o^g = Y^g\lambda - S^g$$
$$y_o^b = Y^b\lambda + S^b$$
$$S^- \geqslant 0, S^g \geqslant 0, S^b \geqslant 0, \boldsymbol{\lambda} \geqslant 0$$

式中：ρ表示城市土地绿色利用效率，m表示每个DMU的投入种类$(x \in R^m)$，S_1种期望产出$(y^g \in R^{S_1})$，S_2种非期望产出$(y^b \in R^{S_2})$；S^-表示投入的冗余，S^b表示非期望产出的冗余，S^g表示期望产出的不足；r表示第r个DMU，r_o表示待求的DMU，$\boldsymbol{\lambda}$是权重向量。

2.3.3 空间计量模型

（1）空间自相关分析。空间自相关是用来反映空间邻近单元属性值的总体相似程度[22]。根据地理学第一定律：任何事物与其他事物都相关，但距离相近的事物比距离较远的事物相关性更强。目前，莫兰指数是测度空间自相关的主要指标，其取值范围在[-1，1]之间，以$I=0$不存在空间自相关为临界点，$I>0$表示变量存在空间正相关；$I<0$表示变量存在空间负相关。根据样本的地理特征该研究选择Queen邻接的空间权重矩阵测度莫兰指数值。莫兰指数计算公式如下：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}\left(X_i - \bar{X}\right)\left(X_j - \bar{X}\right)}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}}, \left(i \neq j\right) \tag{3}$$

式中：n为样本数量，X_i和X_j分别表示区域i和区域j的地理属性观测值，$\bar{X}$为观测值平均数，S^2为样本方差，$\boldsymbol{W}_{ij}$为空间权重矩阵。

（2）空间计量模型。常用的空间计量模型有空间滞后模型（SLM）、空间误差模型（SEM）和空间杜宾模型（SDM）。空间滞后模型添加了被解释变量的空间滞后项，被解释变量的影响因素会在空间维度上作用于相邻空间单元，即在一定空间范围内的解释变量会受到相邻空间单元的影响，用于分析解释变量在某空间范围内的相互作用。空间误差模型加入了空间相关的误差项，即空间依赖作用依托于空间误差项来发挥作用，表示一定空间范围内的模型误差项被邻近空间模型误差项所影响。空间杜宾模型可以看作是空间滞后模型和空间误差模型的结合，即被解释变量受本地解释变量的影响，还受周边地区解释变量和被解释变量的影响。

3 实证结果与分析

3.1 变量计算

3.1.1 城市交通紧凑度

借助熵值法测算2005—2019年东部地区84个城市的交通紧凑度，并利用ArcGIS软件中的自然断点法根据获得的城市交通紧凑度指数将84个城市的交通紧凑度划分为不紧凑、低度紧凑、中度紧凑、比较紧凑和高度紧凑5类，表3为东部地区城市交通紧凑度分布特征表，图2为分布特征图。结合表3、图2的数据分析可得，东部地区城市交通紧凑度整体呈上升趋势，15年间平均紧凑度由2005年的0.089上升到2019年的0.146。以上海为南北分界线，东部地区交通紧凑度的空间格局表现为北部区域整体高于南部区域，且省会城市的紧凑度水平偏高，例如济南、南京、杭州、广州等。同时，随时间推移整个区域的交通紧凑度差距在逐步缩小，例如，2005年交通不紧凑城市为44个，到2012年发展到26个，2019年缩减到20个，变化比较明显；交通比较紧凑城市则从2005年最初的

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 2005—2019 年东部地区城市交通紧凑度分布特征表

紧凑度	城市		
	2005 年	2012 年	2019 年
不紧凑（0.011~0.057）	承德，张家口，保定，廊坊，沧州，衡水，邢台，邯郸，德州，滨州，济宁，泰安，连云港，宿迁，淮安，盐城，湖州，嘉兴，绍兴，舟山，衢州，金华，丽水，南平，宁德，三明，龙岩，泉州，莆田，漳州，韶关，汕头，湛江，茂名，肇庆，梅州，汕尾，河源，阳江，清远，中山，潮州，揭阳，云浮（44）	承德，邢台，衡水，沧州，廊坊，德州，舟山，衢州，丽水，南平，宁德，三明，龙岩，莆田，漳州，韶关，茂名，肇庆，梅州，汕尾，河源，阳江，清远，潮州，揭阳，云浮（26）	承德，邢台，衡水，沧州，德州，菏泽，丽水，南平，宁德，三明，龙岩，湛江，茂名，梅州，汕尾，河源，阳江，中山，揭阳，云浮（20）
低度紧凑（0.058~0.110）	石家庄，唐山，秦皇岛，聊城，东营，菏泽，淄博，潍坊，烟台，威海，枣庄，日照，徐州，扬州，泰州，南通，镇江，宁波，温州，福州，厦门，惠州，佛山，江门（24）	张家口，保定，邯郸，唐山，秦皇岛，聊城，滨州，东营，菏泽，济宁，泰安，威海，枣庄，日照，连云港，宿迁，淮安，盐城，泰州，镇江，湖州，嘉兴，绍兴，金华，泉州，汕头，惠州，中山，江门，湛江（30）	张家口，保定，邯郸，廊坊，秦皇岛，聊城，滨州，东营，泰安，威海，枣庄，日照，连云港，宿迁，镇江，湖州，嘉兴，舟山，衢州金华，福州，泉州，莆田，漳州，汕头，佛山，肇庆，惠州，清远，潮州（30）
中度紧凑（0.111~0.206）	济南，青岛，临沂，常州，无锡，苏州，杭州，台州，东莞，珠海（10）	石家庄，淄博，潍坊，烟台，临沂，徐州，扬州，南通，常州，宁波，台州，温州，福州，厦门，佛山，珠海（16）	石家庄，唐山，济宁，潍坊，烟台，临沂，徐州，淮安，盐城，扬州，泰州，常州，绍兴，台州，温州，厦门，江门（17）
比较紧凑（0.207~0.463）	天津，南京，广州，深圳（4）	天津，济南，青岛，南京，无锡，苏州，杭州，广州，东莞（9）	济南，淄博，青岛，南通，南京，无锡，苏州，杭州，宁波，广州，韶关，珠海，东莞（13）
高度紧凑（0.464~0.844）	北京，上海（2）	北京，上海，深圳（3）	北京，天津，上海，深圳（4）

注：括号内数字为城市个数。

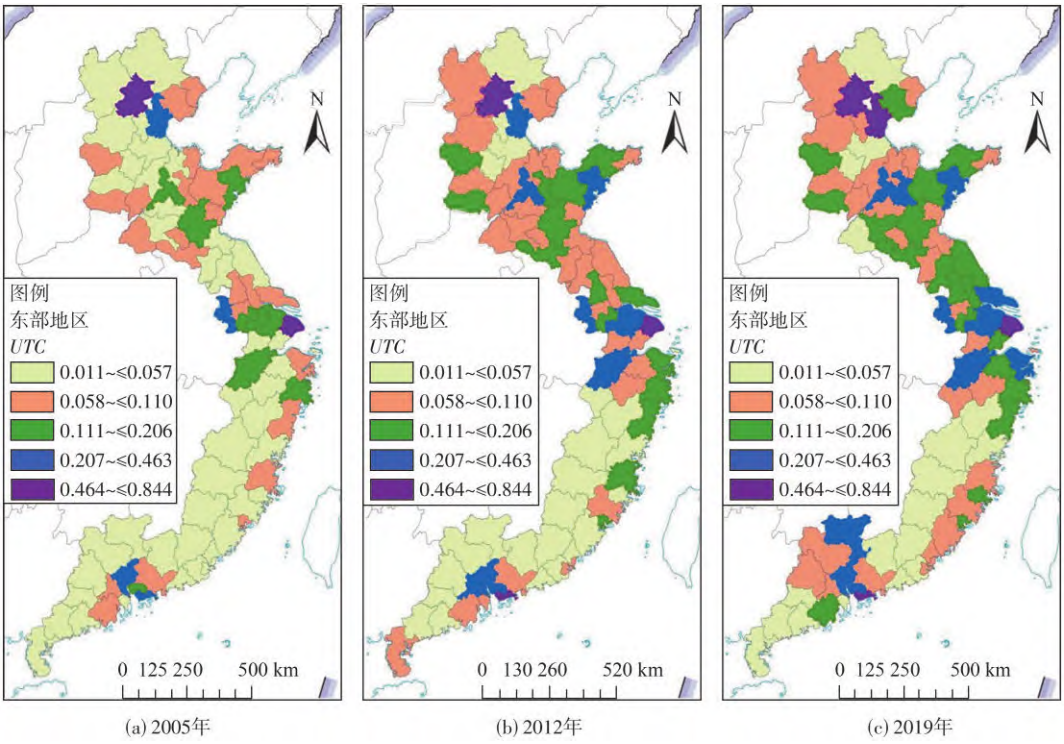


图 2 2005—2019 年东部地区城市交通紧凑度时空演变特征

注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS（2019）1823 的标准地图制作，底图无修改。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4个发展到2012年的9个后扩展到2019年13个，且基本为省会城市或副省会城市。事实上，东部地区城市交通发展势头迅猛，是借力中国城镇化战略的实施和城市群、都市圈的规划实践。中国城镇化率从2005年的42.99%上升到2019年60.60%，平均每年上升1.174个百分点。中国的城镇化过程伴随有大量交通基础设施的建设，多种交通路网逐步实现了广范围、高密度的覆盖，为城市交通实现紧凑式发展奠定了基础。对比而言，京津冀都市圈、长三角城市群和珠三角城市群作为较早发展的城市群，不仅城市化进程发展较快且中心城市对外围的辐射作用明显，例如北京、天津、上海、深圳等对周边城市交通的紧凑式建设所发挥的带动作用。而山东半岛城市群和粤闽浙沿海城市群作为后起之秀，城市一体化的推进速度有限；因此，这也导致诸如青岛和福州等中心城市所发挥的扩散效应受阻。这表明交通系统实现紧凑式发展仍有赖于城市的开发建设，应积极提高城市土地绿色利用效率。

3.1.2　城市土地绿色利用效率

利用MATLAB软件，借助包含非期望产出超效率SBM模型对东部地区2005—2019年84个城市土地绿色利用效率进行测算（表4）。可以看出，东部地区城市土地绿色利用效率整体呈上升趋势，2005—2010年上升趋势明显，2010—2014年有所下滑，除2019年外2015—2018年又逐渐提升，地区整体效率的平均值在0.5左右浮动。事实上，复杂指标体系计算下的城市土地绿色利用效率与实际的政策实践息息相关。2011年《全国主体功能区规划》将国土空间划分为四类不同的空间开发格局，东部地区作为重点开发区承载着区域工业化、经济化和城镇化的重任，土地资源开发强度不断提高，但由此造成的环境污染也接踵而来，间接导致土地绿色利用效率下降。2015年提出绿色发展理念后，强化了重点开发区域的环境保护意识，土地资源开发被注入绿色理念，土地绿色利用效率逐渐回升。然而，由于2018和2019年政府发布了多项关于加强生态环境保护防治污染的政策法规，这些新的命令控制型的环境规制使污染治理成本增加的同时也挤占了其他领域的投资，且这种“挤出效应”会在初期增大，导致阶段内单位土地的综合产出下降，进一步影响土地绿色利用效率[21]，因此，2019年的土地绿色利用效率又出现了下降的情况。总之，城市土地绿色利用效率的时空异质性同时取决于城市的空间定位、土地资源禀赋情况及社会经济的发展状态[23]。

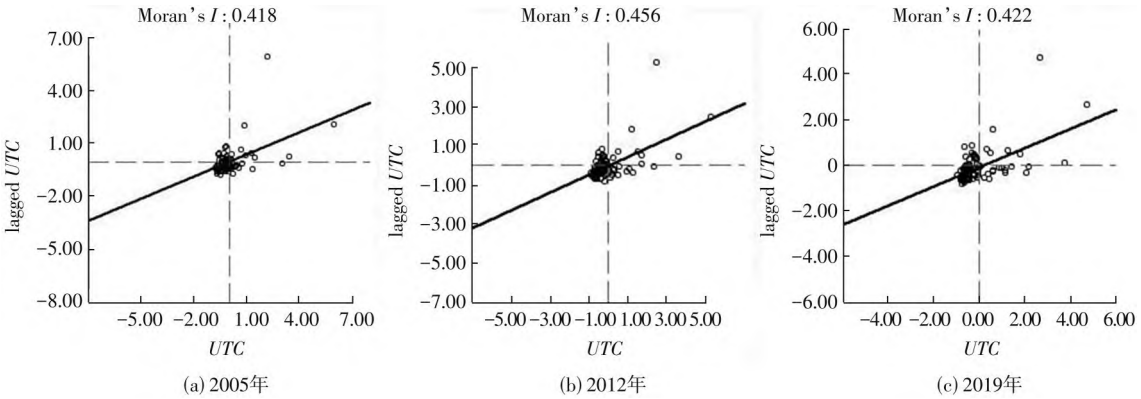
3.2　空间格局演变特征

3.2.1　城市交通紧凑式发展空间自相关分析

利用GeoDa软件计算城市交通紧凑度2005—2019年的Moran’ *I*指数，结果见表5。*I*值均为正数且集中在0.267~0.465，*P*值小于0.01通过了1%的显著性水平检验，即认为交通紧凑式发展具有强的空间自相关性，可进行其他相应分析。以2005年、2012年和2019年为代表，分析东部地区城市交通紧凑度变化情况。如图3所示，交通紧凑度的莫兰散点图表征了东部地区城市交通紧凑度随时间迁移的空间集聚强度变化情况。由2005年到2019年城市交通紧凑度指数基本聚集在第三象限，呈现出明显的低-低聚集特征，表明东部地区城市交通紧凑度整体偏低。但经过15年的发展，散点图由第三象限的低-

表4　2005—2019年东部地区城市土地绿色利用效率平均值

年份	土地绿色利用效率	年份	土地绿色利用效率
2005	0.393	2013	0.454
2006	0.476	2014	0.448
2007	0.353	2015	0.572
2008	0.510	2016	0.592
2009	0.561	2017	0.596
2010	0.627	2018	0.618
2011	0.530	2019	0.398
2012	0.592	–	–



(a) 2005年　(b) 2012年　(c) 2019年

图3　2005—2019年东部地区城市交通紧凑度散点图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

低聚集逐渐向第一象限移动，表明东部城市交通发展质量在不断提升，趋向高-高聚集。这得益于京津冀协同发展战略、长三角一体化发展战略和珠江三角洲模式的战略实践，推动城市向紧凑城市迈进的同时加速了东部地区城市交通的紧凑式与一体化发展。

3.2.2 城市土地绿色利用效率空间自相关分析

根据全局莫兰指数公式，借助GeoDa软件计算得出2005—2019年中国东部地区城市土地绿色利用效率全局Moran's *I*指数，结果见表5。除2013年和2018年外，*Z*值均大于1.96且*P*值小于0.01，通过1%的显著性水平检验，可以认为城市土地绿色利用效率存在空间集聚特征，具有空间自相关性。为进一步分析东部地区城市土地绿色利用效率的空间相关性，以2005年、2012年和2019年为时点绘制莫兰散点图（图4）。由图4可知2005年城市土地绿色利用效率的数据点主要分布在第三象限，呈现低-低聚集现象，表明东部地区城市土地绿色利用效率整体偏低，这与直接计算效率值所得的结果是一致的。2012年的效率数据点则均匀地散落在四个象限，表明城市土地绿色利用效率受区域效率值影响较大，表现为高-高、高-低、低-高和低-低并存，展现了东部地区土地绿色利用效率的空间依赖性和异质性。2019年效率值的散点图分布较2012年更加集中在第三象限，且*I*值有所降低，表明从2012—2019年东部地区城市土地绿色利用效率的空间关联性在减弱。究其根本，东部地区城市土地绿色利用效率的变化是国家对城市生态环境的重视与贯彻落实新发展理念以及执行严格的土地保护政策综合作用下的结果。

3.3 空间计量模型的设定与检验

3.3.1 模型的选择

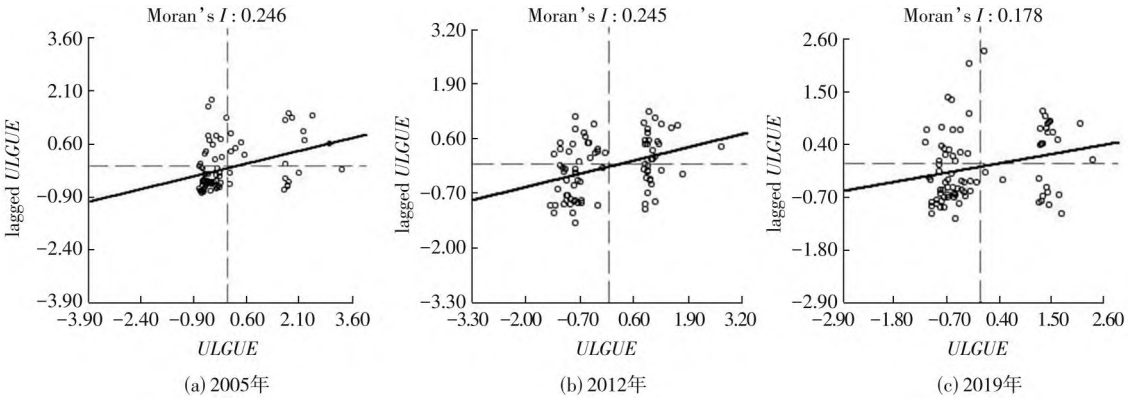
由于城市交通紧凑度和土地绿色利用效率的全局莫兰指数均大于0且小于1，因此可以判断两者存在空间相关关系，在构建模型的过程中需要将空间因素纳入计量模型。同时，采用拉格朗日统计量LM-lag、LM-error及其稳健形式R-LM-lag、R-LM-error的判别标准，根据检验结果及其显著性选择合适的空间计量模型。

为进一步判断计量模型的适用性，在分析之前借助Stata 16.0通过普通最小二乘法进行回归分析，分别比较空间滞后模型和空间误差模型的拉格朗日统计量及其稳健形式，包括解释变量城市交通紧凑度因子分析得出的公交系统效率、交通可达性和交通基础设施建设等变量，被解释变量为城市土地绿色利用效率，以及城市经济发展程度、对外开放程度、城市化水平和人力资本水平等控制变量。

回归结果显示，空间误差模型和空间滞后模型的LM

表5 城市交通紧凑度与土地绿色利用效率*I*值（2005—2019年）

年份	交通紧凑度*I*值	土地绿色利用效率*I*值	年份	交通紧凑度*I*值	土地绿色利用效率*I*值
2005	0.418	0.246	2013	0.440	0.133
2006	0.391	0.503	2014	0.457	0.211
2007	0.452	0.408	2015	0.446	0.244
2008	0.267	0.353	2016	0.447	0.303
2009	0.422	0.423	2017	0.377	0.129
2010	0.465	0.539	2018	0.387	0.010
2011	0.426	0.404	2019	0.422	0.178
2012	0.456	0.245	–	–	–



(a) 2005年 (b) 2012年 (c) 2019年

图4 2005—2019年东部地区城市土地绿色利用效率散点图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统计量均通过了1%的显著性水平检验。但空间滞后模型的R-LM统计量为0.340，未通过显著性检验；空间误差模型的R-LM统计量为0.000且通过了1%的显著性水平检验。因此，选择空间误差模型来解释城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的空间影响。同时，对于这一检验结果从计量经济学的角度来看也具有合理性。这是因为城市土地绿色利用效率的影响因素居多，而此次纳入研究范围的解释变量和控制变量有限，其他并未纳入的因素有待后期进一步剖析。此外，根据Hausman检验结果，chi2(7)=37.65且Prob>chi2=0.000，拒绝原假设选择固定效应。

3.3.2 模型回归及结果分析

根据模型判断结果，采用具有空间固定效应的空间误差模型，具体模型构建如下：

$$ULGUE = a + \alpha TA + \beta TIC + \gamma PTSE + \varepsilon \quad (4)$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \xi \qquad \xi \sim N(0, \delta^2 In) \quad (5)$$

式中：*ULGUE*表示被解释变量城市土地绿色利用效率，*TA*、*TIC*和*PTSE*分别代表解释变量交通紧凑度的三个因子；α、β和γ是模型系数，ε是随机误差项向量；λ是空间滞后误差项$W\varepsilon$的系数，用于衡量观测样本的空间依赖性，ξ表示空间不相关项，且服从于$N(0, \delta^2 In)$。

回归结果见表6。从空间误差模型的估计结果来看，空间误差项的空间系数λ为0.054且通过了1%的显著性水平检验，表明东部地区城市土地绿色利用效率存在显著的空间集聚现象和空间依赖性，即一个城市的土地绿色利用效率不仅与自身因素相关，还会因随机扰动项的存在受到周边邻近城市土地绿色利用效率的影响。解释变量交通可达性、交通基础设施建设和公交系统效率均在5%的显著性水平下对城市土地绿色利用效率产生正向影响，说明整体而言交通紧凑式发展促进了城市土地绿色利用效率的提高。

交通可达性对城市土地绿色利用效率的回归系数为2.207，说明提升交通可达性能有效促进城市土地绿色利用效率的提升，且交通可达性每提升1个百分点，城市土地绿色利用效率提高2.207个百分点。交通可达性通过变更土地性质与用途、改变土地利用格局，在调整土地要素空间配置的基础上影响土地的集约利用程度，在提高土地利用强度的基础上提升土地绿色利用效率。同时，交通可达性所引发的区位优势，缩短了城市产业分化与集聚的周期，更加强调了土地资源的禀赋特征与其带来的商业价值，彰显了提高土地绿色利用效率所实现的经济效益。此外，中心城市土地绿色利用效率所产生的空间效应也将通过可达性创造的要素流动作用潜在影响周边城市的土地绿色利用效率，促进区域一体化的发展。

公交系统效率的参数估计结果与预期一致，回归系数为1.033，说明发达的公交系统将有助于提升城市土地绿色利用效率，且公交系统每提升1个百分点，可使城市土地绿色利用效率提高1.033个百分点。公交系统的建设与推广是借由产业与能源结构调整所引致的减排效应，以驱使交通行业生产更加清洁绿色的交通工具。如此，不仅可以起到优化公交用车和私家车配置比的作用，还能达到降低城市道路路网容量的目的。同时，构建绿色交通体系还可直接减少二氧化碳等温室气体的排放量，对于缓解交通发展对城市生态环境造成的负面影响大有裨益，且凸显了提高城市土地绿色利用效率所蕴含的生态效益价值。

交通基础设施建设对城市土地绿色利用效率也具有显著的正向影响。交通基础设施覆盖范围每增加1%，城市土地绿色利用效率将提高0.714%，与已有学者考察交通设施建设与土地利用效率所得出的结论是一致的[18]。交通基础设施的修建促进了要素的区域间流动，以丰富土地要素承载功能为基础，提升经济效益之余可降低人均交通成本；同时，这也促进了非土地要素的集聚，尤其是人力资本集聚在稳固就业、提高全局劳动生产率层面所显露的社会效益更是多维的。因此，在单位土地面积相同的情况下，交通基建越完善的区域其土地绿色利用效率越高。此外，由于土地存量的稳定性，还可通过改变土地产生的可达性效应带来区位优势，突破单项区位决策的局限性从而进一步影响土地的利用效益[18]。

从其他控制变量对城市土地绿色利用效率影响的估计结果来看，城市经济发展水平在5%的显著性水平下对城市土地绿色利用效率产生正向影响，即提高城市经济活力有助于提升城市土地绿色利用效率。由于城市经济实力是城市开发的基础，因此经济水平在城市土地绿色

表6 空间误差模型估计结果

解释变量	回归系数	Z值	控制变量	回归系数	Z值	λ	$Sigma^2$	LogL
TA	2.207**	2.44	*Human*	0.078	0.43	0.054***	0.059***	−8.281
TIC	0.714***	2.76	*Open*	0.000	−0.65			
PTSE	1.033***	2.17	*Urban*	−0.037	−0.49			
			Economic	0.002**	2.04			

注：** $P<0.05$，*** $P<0.01$。变量名称见表1。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利用的投入环节，通过经济要素控制土地开发利用的强度间接影响土地绿色利用效率。但是，人力资本水平对城市土地绿色利用效率的影响虽然是正向的，却并未通过显著性检验。将人力资本看作单一变量探究其影响机制还有待后期深入剖析。对外开放程度和城市化水平对城市土地绿色利用效率均产生了负向影响，也并未通过显著性检验。

4 结论与讨论

文章通过对2005—2019年中国东部地区84个城市面板数据的处理，在测度城市交通紧凑度和土地绿色利用效率的基础上，运用空间误差模型探究了城市交通紧凑度对土地绿色利用效率的影响，主要结论如下：①从城市交通紧凑度测度结果来看，东部地区城市交通呈紧凑式发展，平均紧凑度从2005年的0.089上升到2019年的0.146，整体呈增长趋势；东部地区交通紧凑度的空间格局表现为北部区域高于南部，受空间效应的影响南北的紧凑度差距在不断减小。②从效率测度结果来看，东部地区城市土地绿色利用效率整体呈上升趋势，平均效率由2005年的0.393上升到2018年的0.618，2019年受政府命令控制型环境规制的影响效率值下降为0.398。同时，莫兰指数表明土地绿色利用效率存在显著的空间依赖性，即中心城市的土地绿色利用效率不仅与自身因素有关，还会受周边邻近城市土地绿色利用效率的影响。③城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率具有显著的正向影响，且不同因子的影响效用差异显著。公交系统效率、交通基础设施建设和交通可达性将分别通过减排效应、集聚效应和空间效应等方式影响城市土地绿色利用效率；其作用路径是在调整产业与能源结构实现减排的基础上，以集聚各生产要素为桥梁，最终达到优化城市土地利用结构的目的。

基于以上研究结论，可得到如下启示。①提高交通可达性，推动紧凑城市建设。交通可达性作为连接土地要素和紧凑城市的中介，应在强化交通设施建设力度的基础上“增强重要节点地区交通路网的深度”[3]，以优化城市交通网络的通达性。同时要拓展土地利用的空间布局，主动集聚资源、能源和材料，提升土地绿色利用的承载力和平衡力。此外，由于城市土地绿色利用效率具有空间外溢性，因此交通路网体系的建设应不仅满足中心城市对土地集约利用的要求，还应适当加强城际之间路网的联通效率，以提升区域土地绿色利用效率水平。②提升公交系统效率，建设低碳生态城。针对目前城市交通拥挤、交通碳排放量大的问题，应在绿色发展理念下优化城市交通结构，主要包括提高城市公共交通的出行比例，积极做好地铁修建与运营工作等。同时，公交系统作为政府主导下以非营利为目的的准公共产品，政府可在财政预算中规划出属于建设和推广绿色公共交通的专项资金，逐步构建以绿色交通为引子，以提升城市土地绿色利用效率为目的的节能减排型低碳生态城。③推动交通基础设施建设，提高区域土地绿色利用效率。为降低交通基础设施建设过程中能源消耗和碳排放所造成的环境污染，可利用目前比较成熟的节能减排技术，通过再生能源的收集与利用，降低建设能耗的同时延长基础设施的使用寿命。同时，可通过修缮绿色交通基础设施，优化现有城市交通布局，拓建非机动车道和人行道等，实践低碳出行。

综上，把握交通发展与城市土地利用之间的互动关系对实现城市土地集约利用有着重要意义。此次研究以中国东部地区为样本，旨在揭示城市交通实现紧凑式发展过程中对土地绿色利用效率的影响。结果显示紧凑交通有助于提升城市土地绿色利用效率。但是文章也有不足之处：其一，由于城市交通污染数据获取难度较大，因此在城市土地绿色利用效率的非期望产出部分以工业污染相关指标代替了环境污染，这对土地绿色利用效率的测度结果有一定的影响。其二，关于城市交通紧凑度的衡量维度相对单一，受数据来源和实际情况约束未能将城市轨道交通数据等纳入研究范围，可能导致交通紧凑度指数的计算出现一定的偏差。此外，目前已进入碳中和与碳达峰建设的关键期，实践与政策背景的更迭使得该主题的研究时间线也有待进一步拓展和完善。

参考文献

[1] RIBEIRO H V，RYBSKI D，KROPP J P. Effects of changing population or density on urban carbon dioxide emissions[J]. Nature communications，2019，10：3204.

[2] 唐一鸣，蔡凌雁，洪武扬，等. 交通可达性与土地利用互动关系研究：以深圳市为例[J]. 水土保持研究，2018，25(3)：245-249，375.

[3] 赵哲，曾晨，程铁皎. 交通路网的空间外溢性对土地集约利用的影响：以京津冀城市群为例[J]. 经济地理，2020，40(7)：174-183.

[4] STILL B. The importance of transport impacts on land use in strategic planning[J]. Traffic engineering and control，1996，37：564-571.

[5] ROSNI N A，PONRAHONO Z，NOOR N M. Integrated land use-transportation approach in controlling the growth of urban sprawl using remote sensing and GIS application[J]. IOP conference series：earth and environmental science，2018，169：012007.

[6] HOY A R. Transportation costs and plant location：a review of principal theories[J]. Transportation journal，1962，2(2)：19-24.

[7] 克里斯塔勒. 德国南部中心地原理[M]. 常正文，王兴中，等，译. 北京：商务印书馆，2010.

[8] DING R. The complex network theory-based urban land-use and

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

transport interaction studies[J]. Complexity，2019：4180890.
[9] 韩玲，姚红云. 城市交通与土地利用互动关系研究综述[J]. 重庆交通大学学报：自然科学版，2012，31(增1)：589-593，664.
[10] 郭源园，李莉，李贵才，等. 国内外城市土地利用与交通相互作用研究综述[J]. 国际城市规划，2015，30(3)：29-36.
[11] 王真，郭怀成，郁亚娟，等. 城市土地利用与交通相互关系研究进展[J]. 人文地理，2009，24(4)：91-97.
[12] 何尹杰，吴大放，刘艳艳. 城市轨道交通对土地利用的影响研究综述：基于Citespace的计量分析[J]. 地球科学进展，2018，33(12)：1259-1271.
[13] 李俊芳，姚敏峰，胡华. 郊域轨道交通对土地利用演变的影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2021，21(4)：63-71，105.
[14] 谭章智，李少英，黎夏，等. 城市轨道交通对土地利用变化的时空效应[J]. 地理学报，2017，72(5)：850-862.
[15] 王家丰，王蓉，冯永玖，等. 顾及轨道交通影响的浙中城市群土地利用多情景模拟与分析[J]. 地球信息科学学报，2020，22(3)：605-615.
[16] 彭沙沙，吴小萍，梅盛. 基于GIS的城市轨道交通与土地利用协调研究[J]. 铁道工程学报，2011，28(1)：76-79，85.
[17] 刘建朝，程浩岩，宋顺锋. 城市规模、土地利用与交通承载力[J]. 城市发展研究，2016，23(7)：99-107.
[18] 李璐，徐磊，董捷. 交通设施建设对土地利用效率的空间溢出效应[J]. 城市问题，2017(8)：67-73.
[19] 崔学刚，方创琳，张蔷. 山东半岛城市群高速交通优势度与土地利用效率的空间关系[J]. 地理学报，2018，73(6)：1149-1161.
[20] 赵丹丹，金声甜，鲍丙飞，等. 基于地理探测器的中国中部城市土地绿色利用效率时空演变及影响因素研究[J]. 地球信息科学学报，2020，22(12)：2358-2370.
[21] 徐志雄，徐维祥，刘程军. 环境规制对土地绿色利用效率的影响[J]. 中国土地科学，2021，35(8)：87-95.
[22] 梁流涛，雍雅君，袁晨光. 城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征：基于284个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学，2019，33(6)：80-87.
[23] 卢新海，杨喜，陈泽秀. 中国城市土地绿色利用效率测度及其时空演变特征[J]. 中国人口·资源与环境，2020，30(8)：83-91.
[24] 葛堃，邹珊，卢新海，等. 区域一体化背景下城市土地绿色利用效率空间收敛分析：以长江经济带为例[J]. 华东经济管理，2021，35(3)：31-41.
[25] 张丰焰，周伟. 基于交通紧凑度的农村公路客运线路优化研究[J]. 公路交通科技，2010，27(9)：111-116.
[26] 毛广雄，丁金宏，曹蕾. 城市紧凑度的综合测度及驱动力分析：以江苏省为例[J]. 地理科学，2009，29(5)：627-633.
[27] 郝伟伟，张梅青，刘宗庆. 交通、城市紧凑度与城市生产率关系实证研究：基于京津冀区域地级市面板数据计量分析[J]. 宏观经济研究，2016(1)：109-120.
[28] 田恬，谷达华，牛德利，等. 城市土地利用与城市交通协调关系评价：以重庆市主城区为例[J]. 西南大学学报：自然科学版，2019，41(7)：96-104.
[29] 中华人民共和国交通运输部. 国家综合立体交通网规划纲要[R]. 北京：中华人民共和国交通运输部，2021.
[30] 刘建国，朱跃中，田智宇. “碳中和”目标下我国交通脱碳路径研究[J]. 中国能源，2021，43(5)：6-12，37.
[31] 古惠冬，杨维光，陈文捷. 绿色技术创新对城市碳减排的效应研究[J]. 学术探索，2022(3)：120-132.
[32] 陈涛，张越，王玉阁，等. 可持续发展视域下城市紧凑度与生态环境质量耦合协调关系研究：基于我国直辖市与省会城市的实证[J]. 生态经济，2021，37(10)：93-99，107.
[33] 李顺成，李喜演. 紧凑式城市空间结构对劳动生产率的影响：基于区域经济发展视角的分析[J]. 城市问题，2017(7)：42-47.
[34] 丁一，郭青霞，秦明星. 黄河流域资源型城市土地绿色利用效率时空演变及影响因素[J]. 农业工程学报，2021，37(19)：250-259.
[35] 陈丹玲，卢新海，张超正，等. 多维视域下区域一体化对城市土地绿色利用效率的影响机制研究[J]. 经济与管理研究，2021，42(8)：96-110.
[36] 梁彦庆，官洋溢，黄志英，等. 京津冀土地绿色利用与经济增长耦合协调的时空异质性研究[J]. 生态与农村环境学报，2020，36(12)：1522-1531.
[37] 陈丹玲，卢新海，匡兵. 长江中游城市群城市土地利用效率的动态演进及空间收敛[J]. 中国人口·资源与环境，2018，28(12)：106-114.
[38] 胡碧霞，李菁，匡兵. 绿色发展理念下城市土地利用效率差异的演进特征及影响因素[J]. 经济地理，2018，38(12)：183-189.
[39] 傅琳琳，毛晓红，毛小报，等. 浙江省2013—2018年粮食综合生产能力评价[J]. 浙江农业学报，2021，33(9)：1748-1758.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Impact of compact development of urban transportation on green land use efficiency: an empirical analysis based on spatial measurement

LU Xinhai[1,2], *REN Wenqin*[1], *YANG Hao*[1], *KE Shangan*[1]

(1. College of Public Administration, Central China Normal University, Wuhan Hubei 430079, China;
2. College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract It is an inevitable trend for urban transportation to achieve compact development. Land elements are the carrier of high-quality development of urban transportation, so it is of practical significance to explore how the compact development of urban transportation affects the efficiency of green land use in promoting the intensive use of urban land and achieving China's goal of carbon neutrality. Therefore, based on the relevant data of 84 cities in eastern China from 2005 to 2019, evaluation systems of urban traffic compactness and green land use efficiency were constructed respectively. The entropy method and the unexpected output super efficiency SBM model were used to measure urban traffic compactness and green land use efficiency and to analyze their spatio-temporal evolution laws. Finally, the impact of compact traffic development on urban land green use efficiency was explored by establishing a spatial error model. This study also analyzed the different effects of different traffic factors on land green use efficiency. The research results showed that: ① From 2005 to 2019, the urban traffic compactness in the eastern region had a trend of continual increase, and the regional gap gradually narrowed. ② During the study period, the urban land green use efficiency in the eastern region had a significant positive spatial correlation, and the overall utilization rate showed an upward trend, with the average efficiency rising from 0.393 in 2005 to 0.618 in 2018. In 2019, the efficiency value affected by government environmental regulations dropped to 0.398. ③ The results of the spatial measurement showed that the compact development of urban traffic had a positive and significant impact on green land use efficiency when considering the spatial effect. Moreover, the influence of the traffic accessibility factor was the strongest, the efficiency factor of the public transport system was in the middle, and the influence of the traffic infrastructure construction factor was comparatively weak. Therefore, based on the research results of the impact of compact urban transport development on green land use efficiency, it is proposed that urban transport development should promote the construction of transport infrastructure in multiple ways, improve the efficiency of the public transport system, and promote the improvement of green land use efficiency while implementing a high standard of regional transport accessibility. At the same time, central cities should take the initiative to leverage the spatial spillover effect of green land use efficiency to respond to the national requirements for building compact cities and ecological cities.

Key words traffic compactness; urban land use; super efficiency SBM model; green land use efficiency; spatial lag model

（责任编辑：王爱萍）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net