

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

崔学刚^{1,2}, 方创琳¹, 张 蕾¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 110101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 中国城市群正面临着土地利用效率偏低的问题, 而高速交通建设是驱动土地利用变化的一个重要因素, 因而探究高速交通建设与土地利用效率的空间关系将是一个重要议题。以山东半岛城市群42个陆域县级单元为例, 采用高速公路相对密度、与高铁站点及机场的空间距离等指标, 构建高速交通优势度评价模型, 并以土地、资本、劳动力及经济、环境效益作为土地投入产出要素, 采用DEA模型测算土地利用效率。通过分析高速交通优势度和土地利用效率的空间关系, 结果发现: ①两者之间的协调性存在空间差异性, 以济南、青岛两大枢纽为中心, 枢纽圈层(另含青州、威海次级枢纽)呈现显著的空间协调性, 而随着与枢纽城市距离的增大, 空间协调性呈现衰减态势, 其中潍坊、海阳等远离枢纽城市的交通干线沿线地区土地利用效率滞后于高速交通优势度, 而利津、垦利和五莲等远离枢纽城市和交通干线的欠发达地区呈现低水平的空间协调性; ②缘于要素集聚与内生增长机制, 高速交通类型多样性与土地利用效率具有显著的正向关系; ③高速交通可通过枢纽效应促进优势要素与技术以空间外溢的形式在核心城市与一般城市之间传递, 进而重构区域土地利用效率空间格局; ④高速公路的均衡建设促使山东半岛城市群破除了高速交通建设的短板效应制约, 土地利用效率空间格局整体呈现均衡态势, 加之高铁站点、机场节点式布局明显, 导致土地利用效率呈现宏观上高效集约、微观上团—轴凸显的空间格局。

关键词: 高速交通优势度; DEA; 土地利用效率; 空间关系; 山东半岛城市群

DOI: 10.11821/dlxb201806012

1 引言

中国正处于快速城镇化时期, 城镇土地利用过程中存在着总量失控、利用粗放、结构失衡以及环境恶化等严峻问题^[1]。若以2005-2014年中国城市建设用地扩张速度与非农产业增速做对比, 可发现城市建设用地面积增长率正以年均1.09个百分点的态势递增, 而第二、三产业增加值增长率却以年均0.4个百分点的态势递减(按照可比价格计算), 体现了近10年来非农产业增速显著滞后于城市建设用地扩张速度。由此可见, 近年来中国大规模的土地开发建设未能获得最优收益, 相反在现实中造成大量宝贵土地资源被闲置浪费甚至过度破坏。现有国情决定了土地利用过程中需由“量的管控”转为“质的提升”, 因此应将关注重点转向土地集约利用与投入产出等方面。

在土地集约利用与投入产出研究中, 以土地利用效率评价为代表。西方生态学派最

收稿日期: 2017-07-21; 修订日期: 2018-03-23

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(41590840, 41590842) [Foundation: Major Program of National Natural Science Foundation of China, No.41590840, No.41590842]

作者简介: 崔学刚(1990-), 男, 山东淄博人, 博士生, 主要从事城市地理与区域规划研究。E-mail: cuixg.16b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 方创琳(1966-), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 研究员, 主要从事城市发展与规划研究。E-mail: fangcl@igsnrr.ac.cn

1149-1161 页

早涉及此类研究,其以描述及归纳的方法将城市土地利用模式总结为轴向、同心圆、扇形与多核四类模式^[2-4]。在随后的研究中,经济发展水平、政策合理性、产业与消费结构等对城市土地利用的影响逐渐被揭示^[5-8]。总体来看,西方学者偏向城市土地利用效率的理论基础与评价方法、城市土地的集约利用与优化配置以及实地调研与决策规划等研究内容^[9]。相比较而言,国内学者研究了城市土地利用效率的基本理论,并在实际应用中采用了协调度模型^[10]、非期望产出模型^[11]、主成分分析法和加权法^[12]、模糊综合评价法^[13]、回归分析法^[14]、数据包络法^[15]及系统分析和层次分析法^[16]等评价方法。

交通系统作为土地利用演化中的一个重要驱动因素^[17],其对土地利用的影响过程及作用机制也受到关注,这分别体现在城市空间形态^[18]、土地利用结构^[19]及土地价格^[20-21]等方面,并利用一体化、协调性等模型对两者间的相互关系展开评价^[22]。但整体而论,研究过多集中于单一城市土地利用与内部交通系统之间的作用关系,欠缺对大尺度区域内的综合交通体系与土地整体利用格局空间关系的研究。近年来,中国城市群存在土地开发粗放无序、投入产出效率偏低等问题^[23-24],而随着以高铁为代表的高速交通逐渐连通各主要城市群,研究高速交通建设与城市群土地利用效率存在何种空间关系将具有重要意义。基于上述原因,本文以山东半岛城市群为例,分别采用高速交通优势度模型和数据包络分析法(DEA)揭示高速交通优势度及土地利用效率的空间规律,旨在探究高速交通优势度与城市群土地利用效率的空间关系。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

山东半岛城市群地处中国东部沿海地区,东部毗邻日本、韩国两个发达国家,南北承接长三角、京津冀两个国家级城市群,为黄河中下游地区的重要出海通道,包括济南、青岛、淄博、东营、烟台、潍坊、威海、日照8个地级市和邹平县,属于山东省经济发达地区及重点开发区域,是中国重要的城镇密集地区。在全国层面来讲,山东半岛城市群的高速交通建设具有显著的比较优势。统计数据显示,截止到2014年,山东半岛城市群高速公路通车里程已达2782.4 km,高速公路密度为0.037 km/km²,是全国水平的3.1倍。此外,山东半岛城市群有京沪线山东段、胶济线和青烟威荣线3条主要高铁线路(含有高铁通行的普通线路),以及济南、青岛、东营(垦利)、烟台、潍坊、威海6个运输机场和雪野、蓬莱、大高、平阴4个通用机场。总体来讲,山东半岛城市群高速交通体系正在快速成型,目前初步形成了以高速公路为主体,以高速铁路、航空运输为辅的综合化、立体式的高速交通网络。其中,济南和青岛两大交通中心开始发育成为区际性的高速交通枢纽。

2.2 数据来源

以2014年为研究时点,并以县级单位为基础评价单元。考虑到山东半岛城市群内的海岛及海岛县(长岛县)暂无高速交通设施,故仅以42个陆域县级单位(县、县级市、市区)为基本评价单元。高速交通线路长度方面,所需高速公路通车里程数据来自山东省交通规划设计院提供的2014年统计资料。高速交通站点方面,选取济南、青岛、东营、烟台、潍坊、威海6个运输机场,并选取16个高铁站点统计(1个县级单元只选取1个代表性高铁站点),即济南西站、章丘站、青岛站、胶州北站、即墨北站、莱西北站、淄博站、烟台南站、莱阳站、海阳北站、潍坊站、青州站、高密站、昌乐站、威海站、荣成站。各县级单元代表性高铁站点选取将遵循以下原则:①正式高铁站点与非正式高

铁站点相比较, 正式高铁站点优先; ② 非正式高铁站点之间作比较, 高铁日均班次多者优先。③ 其他情况下选择本县市最具代表性的站点。此外, 青烟威荣沿线设有多处镇级站点, 但为了统计的方便性及指代地区的明确性, 且此类站点多数仅与线内站点存在高铁联系, 近距离的城际功能大于远距离的区际功能, 整体对外联系强度不足, 故暂不纳入统计。土地投入及产出指标方面, 所需数据来自《山东省城镇化发展报告 2015》和《山东统计年鉴 2015》。

3 研究方法

3.1 高速交通优势度评价模型

3.1.1 基本内涵 金凤君于 2008 年最早提出交通优势度的概念, 他将交通优势度视为一种由区域交通支撑力、联系和集聚力以及区位优势 3 个层面集合而成的综合性指标^[25]。交通优势度以包含评价区域在内的更大尺度的区域系统为评价对象, 基于数量分析的方法并以对比的视角判断评价区域的交通优劣程度和等级标准。交通优势度所反映的区域交通优势通常由多种交通方式综合作用而成, 可借用交通优势度概念定义某种特定交通方式的相对优势, 并引入高速交通优势度概念评价区域高速交通的优劣程度。综上所述, 高速交通优势度是以交通优势度理论为基础, 以评价区内高速交通优劣程度和等级标准为评价对象的一种数量比较方法, 评价指标涉及到高速交通网络、节点的密度以及高速交通轴线的辐射能力等层面。

3.1.2 评价体系构建

根据金凤君等^[25]、王成新等^[26]、孟德友等^[27]的观点, 交通优势度评价模型主要由 3 个方面构成: ① 计算交通路网及节点的密度, 假设某区域的行政面积是 A_i , 而该区域的交通线路长度或者节点数量为 L_i , 那么该区域的交通网络密度 D_i 的具体数值即可由 L_i 与 A_i 相除得到; ② 评价各类交通线路及枢纽等对区域的影响程度, 首先应当判断区域内是否有交通线路经过或者有交通设施布局, 若发现区域内无任何交通线路或设施, 其次应当测算该区域与境外交通线路及设施的空间距离, 最后再根据与不同交通线路及设施的空间距离分别赋予不同的影响值; ③ 评价区域优势度, 基本方法是对各区域与所在区域系统内的中心城市的空间距离进行分级并分别赋值。

参照上述模型框架, 构建一种简化而实用的高速交通优势度评价体系。高速交通优势度评价体系主要由 3 类评价子体系构成, 即高速公路优势度 (B_1)、高速铁路优势度 (B_2) 和航空运输优势度 (B_3), 每类评价子体系都有与之对应的评价标准。具体来说, 由于高速公路具有多出入口式的设计特征, 受其实际影响的缓冲区具有绵长、连续等特点, 故以高速公路网络密度 (即区域高速公路密度与城市群平均水平的比值) 作为评价其优势度的有效指标; 而高速铁路的影响一般通过其站点效应得到表现, 故以区域与高铁站点的空间距离作为评价其优势度的有效指标, 并以金凤君的交通技术干线水平权重赋值为参考, 选择 30 km 以内、30~60 km 作为距离分段标准^[25]; 航空运输优势度评价指标的选取类似于高速铁路优势度评价指标的选取, 但为了突出不同等级机场影响力的差异, 又依据机场等级划分为重要干线机场 (济南和青岛) 和普通干线机场 (东营、烟台、潍坊、威海)。每类评价子体系通过专家赋值法计分并赋予权重为 1/3, 将计分结果乘以权重累加即可算得区域高速交通优势度 (A), 具体评价方式如表 1 所示。

3.2 数据包络分析法

3.2.1 模型介绍 数据包络分析法 (Data Envelopment Analysis, DEA) 是先后由 Charnes

表1 高速交通优势度评价体系
Tab.1 Evaluation system of high-speed transport superiority degree

评价总体系	评价子体系	计分标准
高速交通优势度 A	高速公路优势度 B_1	以区域高速公路密度与城市群平均水平的比值计分
	高速铁路优势度 B_2	拥有高铁站点 (计2分)
		距离高铁站点 30 km 以内 (计1.5分)
		距离高铁站点 30~60 km (计1分)
	航空运输优势度 B_3	拥有重要干线机场 (计2分)
		拥有普通干线机场 (计1.5分)
		距离机场 50 km 以内 (按照机场等级计分, 重要干线机场计1分, 普通干线机场计0.5分)

和Banker等人提出并改进的一种线性规划方法^[28-29],它基于相对效率的理念对具有同种类型的多投入、多产出的决策单元进行评价,同时避免了由参数预估造成的主观干扰与繁琐运算^[30]。DEA模型主要包括C²R、BC²、C²GS²、C²W与C²WH五类,其中,C²R模型是一种以固定规模报酬为假设的适合于指标有效性评价与贡献率测算的测度方法^[31],适用于本文对土地利用效率的评价研究。DEA模型假定研究对象包括 n 个决策单元 (Decision Making Units, DMU),用 j 表示 ($j = 1, 2, \cdots, n$);每个决策单元的投入和产出变量分别用 x_j 和 y_j 表示; θ 指的是每个决策单元的相对效率值; λ_j 表示每个决策单元线性组合的系数。对于C²R模型而言,其表达形式如下:

$$\begin{cases} \text{Min} \theta \\ s.t. - \sum_{j \in n} \lambda_j x_j + \theta x_0 \geq 0 \\ \sum_{j \in n} \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j \in n \end{cases} \quad (1)$$

正如前面所述,C²R模型的前提假设为固定规模报酬,因此 θ 表示由技术效率和规模效率构成的综合效率。若加入凸性假设 $\sum \lambda_j = 1$,则可转化为BC²模型,此时 θ 表示纯技术效率。

3.2.2 指标体系构建 土地利用效率评价涉及经济、社会、环境等方面,根据吴得文等^[15]、杨海泉等^[32]的观点,并结合县域评价单元的空间范围和土地利用特征,将土地、资本、劳动力作为土地的投入要素,分别对应建成区面积 (km²)、全社会固定资产投资 (万元) 和第二、三产业从业人员 (万人)。由于社会效益及技术进步等指标尚难以量化,故仅将经济效益和环境效益作为土地的产出要素。其中,经济效益对应第二、三产业增加值 (亿元) 和公共财政预算收入 (万元),环境效益对应建成区绿化覆盖面积 (hm²)。

4 结果分析

4.1 高速交通优势度分析

利用ArcGIS软件中自然断点法将42个县级单元的高速交通优势度分成5类 (图1),即:① I类地区 (区间在1.448~2.058之间),占评价单元总数的14.2%,主要分布于东部沿海节点、半岛与内陆通道结合处及内陆核心地区,多为综合性的高速交通枢纽及其临近地区;② II类地区 (区间在1.091~1.447之间),占评价单元总数的19%,主要在I类地区的外围构成圈层或散点分布,主要受I类地区的辐射及自身优势的双重影响,高速交通

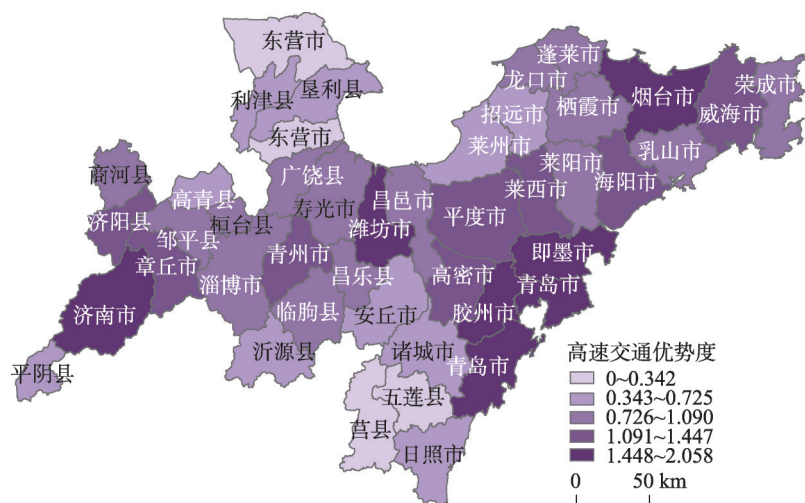


图1 2014年山东半岛城市群高速交通优势度空间格局

Fig. 1 Spatial pattern of high-speed transport superiority degree in Shandong Peninsula urban agglomeration in 2014

组合类型较前者偏少; ③ III类地区 (区间在 0.726~1.090 之间), 占评价单元总数的 35.7%, 数量最多, 集中于 I、II 类地区的外围并沿胶济线、青烟威荣线两条轴线分布, 呈现“圈层+轴线”的组合式空间布局特征, 受 I 类地区的辐射影响小于 II 类地区, 高速交通组合类型也较 II 类地区继续偏少; ④ IV 类地区 (区间在 0.343~0.725 之间), 占评价单元总数的 23.8%, 主要分布在偏离主要交通干线的南北两翼地区, 受枢纽城市的影响已大为减弱, 高速交通类型十分单一, 通常只建有高速公路; ⑤ V 类地区 (区间在 0~0.342 之间), 只有东营、莒县和五莲 3 个地区, 除东营通有高速公路外, 其他两县均无任何高速交通设施, 且远离枢纽城市, 难以接受外部高速交通设施的有效辐射。

在总体格局方面, 优势度较高地区 (I 类、II 类和部分 III 类地区) 以青岛为原点、沿胶济线和青烟威荣线两条轴线向外放射, 呈现“雁型+放射状”的空间格局, 而济南 (2.058)、潍坊 (1.564)、青岛 (2.038)、烟台 (1.721) 是其中的重要节点。可以发现, 此类地区自古便是交通发达之地, 从近代津浦、胶济等铁路贯通, 至现代济青高速、京沪高铁、济南与青岛 2 座重要干线机场及 3 座普通干线机场均在此建设, 奠定了其高速交通优势。随着济青高铁的立项动工、原有机场的改造升级、新增机场的建设 (青岛胶东国际机场、烟台蓬莱国际机场) 以及高速公路网的进一步完善, 此区域的高速交通优势还有巨大的提升空间, 未来若干年内其优势地位难以撼动。

在局部特征方面, 圈层状组团结构凸显, 业已形成济南 (2.058)、青岛 (2.038) 一级组团, 以及烟台 (1.721) —威海 (1.360)、潍坊 (1.564) —青州 (1.159) 次级组团。一方面, 高速交通设施具有空间辐射性, 如济南、青岛两市机场、高铁站等设施可以辐射临近区域, 导致此类地区高速交通优势度增强, 且围绕高速交通枢纽呈圈层递减态势, 呈现显著的空间正相关。另一方面, 高速公路、高速铁路具有空间连续性, 往往穿过多个临近区域, 构成复杂的交通网络结构, 故交通枢纽周边区域的高速交通设施通常也较发达, 自身高速交通优势也较显著。以上原因直接导致交通枢纽与周边区域的高速交通优势度布局呈圈层结构。

在区域差异方面, 胶东沿海地区优势度 (由青岛、烟台、威海市域组成, 均值为 1.168) 略高于半岛内陆地区 (由济南、淄博、潍坊市域和邹平县域组成, 均值为 1.011),

再显著高于由北端（东营市域，均值为0.603）和南端（日照市域，均值为0.248）构成的两翼地区。相比较而言，胶东沿海地区的优势在于机场数量多（3座）、高铁站点覆盖率高（56.3%）、高速公路密度也相对较高（0.045 km/km²），而半岛内陆地区的各方面优势略低，如机场有2座、高铁站点覆盖率为36.8%、高速公路密度为0.035 km/km²。此外，优势度洼地主要有位于北端的东营市域、南端的日照市域及临界的潍坊市域南部，以及胶东沿海地区的烟台市域西部3块，仅有1座机场（东营机场）且至今未建有高铁站点，高速公路密度也仅有0.024 km/km²，部分地区（如莒县、五莲和安丘）甚至仍未开通高速公路。

在高速交通组合类型方面，类型越丰富的地区优势度也越大，两者之间存在显著正相关。对高速交通组合类型进行分类，并剔除掉样本数过少、参考价值不足的类型，可分成“高速公路+高速铁路+航空运输综合模式”、“高速公路+高速铁路组合模式”以及“高速公路单一模式”3种主要类型。根据归纳及分析可知，不同类型的优势度呈现出“高速公路+高速铁路+航空运输综合模式”（均值为1.748）>“高速公路+高速铁路组合模式”（均值为1.211）>“高速公路单一模式”（均值为0.789）的规律。此外，分析高速交通优势度与不同交通方式的相关性可知，其与高速铁路的相关性（0.793）>与航空运输的相关性（0.779）>与高速公路的相关性（0.700），这缘于高速公路的相对均衡分布和高速铁路与航空运输的高度不均衡分布使得后两者对优势度的影响相对偏大。

4.2 土地利用效率分析

通过DEA模型计算42个县级单元的土地利用效率，并利用自然断点法分为5类（图2），即：① I类地区（区间在0.971~1.000之间），占评价单元总数的33.3%，土地利用效率普遍达到最优，集中在胶东沿海地区和以济南—淄博为核心的内陆腹地，包括济南、青岛两大中心城市，多为经济发达、产业基础良好或者高新技术产业发育良好的地区；② II类地区（区间在0.907~0.970之间），占评价单元总数的28.6%，土地利用效率相对较高，多聚集在I类地区的外围，经济发展水平不一，在一定程度上受土地利用效率的空间溢出效应的影响；③ III类地区（区间在0.859~0.906之间），占评价单元总数的14.3%，多集中在胶东沿海地区的I、II类地区外围，土地利用效率相对滞后于经济发展水

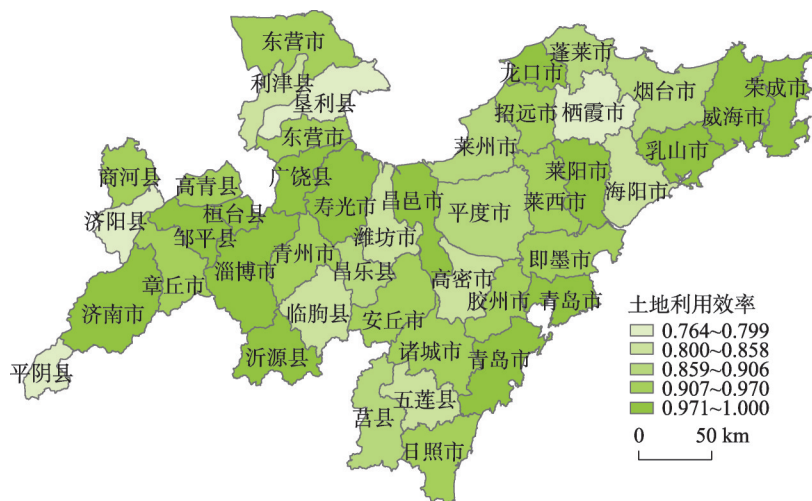


图2 2014年山东半岛城市群土地利用效率空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of land-use efficiency in Shandong Peninsula urban agglomeration in 2014

平; ④ IV类地区 (区间在0.800~0.858之间), 占评价单元总数的14.3%, 土地利用效率相对较低, 经济发展水平不高, 呈现散点分布态势; ⑤ V类地区 (区间在0.746~0.799之间), 占评价单元总数的9.5%, 位于城市群边缘地带, 土地利用效率低且经济较为落后。

在总体格局方面, 高土地利用效率单元构成了以济南—淄博、青岛、威海等为核心的几大组团, 外围圈层土地利用效率呈现梯度递减态势, 而土地利用效率较低地区以散点分布态势有序镶嵌。尤其在济南—淄博组团, 地区间的空间溢出效应和联动效应显著, 济南、淄博等核心城市的标杆效应及技术优势有效扩散至邻近地区, 促使该地区有个7单元达到土地利用效率最优值 (1.000), 占到土地利用效率最优单元总数的53.8%。对比发现, 沿海节点城市的空间溢出效应相对较低, 青岛、威海两个组团规模偏小、土地利用效率相对不高。此外, 低土地利用效率单元多在高土地利用效率组团交界及外端地带, 自身投入要素组合有待优化, 受到的高土地利用效率单元的空间溢出效应也明显减弱。就整体情况而言, 山东半岛城市群土地利用效率整体较高, I、II类地区占到总数的61.9%, IV、V类地区仅占总数的23.8%, 且土地利用效率最低值也达到0.764。

在区域差异方面, 胶东沿海地区土地利用效率 (均值为0.936) > 半岛内陆地区土地利用效率 (均值为0.925) > 北端土地利用效率 (均值为0.902) > 南端土地利用效率 (均值为0.893)。通过比较可知, 胶东沿海地区土地利用效率呈现“沿海高、中间低”的格局, 而半岛内陆地区土地利用效率呈现“核心高、四周低”的格局, 且胶东沿海地区在要素投入结构方面较半岛内陆地区更为合理, 产出的经济、环境效益也较高。相对来说, 胶东沿海地区中心地带和半岛内陆地区边缘地带还需在投入方面进行优化与调整。北端土地利用效率偏低主要是由于东营市域土地资源充足, 人口压力偏小, 对于要素投入结构的优化动力相对较小, 另有地理位置相对闭塞导致受到的高土地利用效率单元的空间溢出效应微弱, 只有市区部分土地利用效率达到II类地区标准。相对而言, 南端土地利用效率偏低主要是由于日照市域经济水平落后, 要素投入结构不佳, 加之地理位置同样闭塞, 导致区域整体土地利用效率处于4大区域中的最低水平。

在土地规模收益方面, 处于规模收益递增的单元有24个, 占总数的57.1%, 以半岛内陆地区居多 (13个), 胶东沿海地区次之 (7个), 要素投入相对不足; 处于规模收益不变的单元有13个, 占总数的31%, 其中, 半岛内陆地区和胶东沿海地区均占6个, 要素投入达到最大规模产出; 处于规模收益递减的单元有5个, 占总数的11.9%, 为胶州、即墨、东营、烟台、日照5个地区, 要素投入存在冗余 (表2)。总体来讲, 需要加大半岛内陆和胶东沿海部分地区的要素投入力度, 并适度削减规模收益递减地区的冗余要素投入, 使山东半岛城市群土地利用效率整体趋于最优水平。

表2 2014年山东半岛城市群土地规模收益概况

Tab. 2 Land scale income in Shandong Peninsula urban agglomeration in 2014

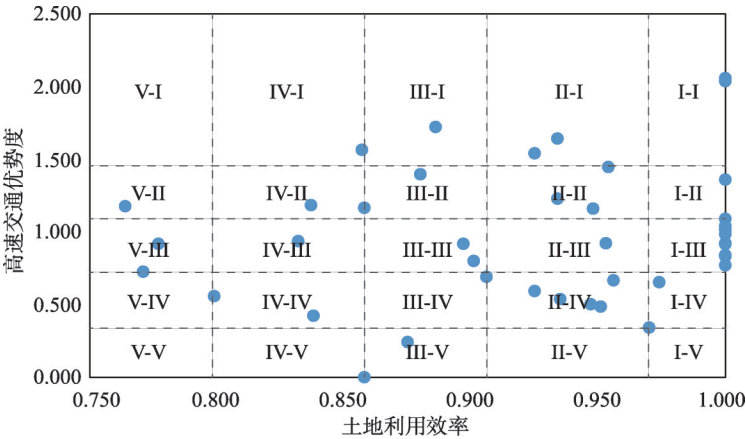
规模收益	所含地区
递增	章丘市、平阴县、济阳县、商河县、平度市、莱西市、高青县、沂源县、垦利县、利津县、莱州市、蓬莱市、招远市、栖霞市、海阳市、潍坊市、青州市、诸城市、安丘市、高密市、临朐县、昌乐县、五莲县、莒县
不变	济南市、青岛市、淄博市、桓台县、广饶县、龙口市、莱阳市、寿光市、昌邑市、威海市、荣成市、乳山市、邹平县
递减	胶州市、即墨市、东营市、烟台市、日照市

4.3 高速交通优势度与土地利用效率的空间关系分析

为研究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, 可借助散点图对土地利用效率和高速交通优势度组合类型进行划分, 并分为22类地区 (图3)。考虑到

研究的直观性和方便性,对不同类型区进行归类合并,I-I、I-II、II-I、II-II类地区归为高土地利用效率—高高速交通优势度地区,I-IV、II-IV、II-V类地区归为高土地利用效率—低高速交通优势度地区,IV-I、IV-II、V-II类地区归为低土地利用效率—高高速交通优势度地区,IV-IV、IV-V、V-IV类地区归为低土地利用效率—低高速交通优势度地区,剩余地区归为中等土地利用效率/中等高速交通优势度地区,共计5类地区。

之后,分析土地利用效率和高速交通优势度组合类型的空间格局(图4),进一步可知:①高土地利用效率—高高速交通优势度地区有8个,占总数的19%,多为区域中心城市兼交通枢纽,如济南、青岛和威海,以及沿交通干线的重要枢纽外围地区,如青州、即墨和胶州,大体沿胶济线、青烟威荣线呈点轴式分布,土地利用效率与高速交通建设之间高度协调;②高土地利用效率—低高速交通优势度地区有7个,占总数的16.7%,多位于枢纽城市(如济南、青岛)外围圈层且偏离主要交通干线,更多地受到来



注:可用X-Y模式表示土地利用效率和高速交通优势度组合类型,其中,X表示土地利用效率等级,Y表示高速交通优势度等级,等级划分标准见图1和图2。

图3 山东半岛城市群土地利用效率和高速交通优势度组合类型

Fig. 3 Combination types of land-use efficiency and high-speed transport superiority degree in Shandong Peninsula urban agglomeration

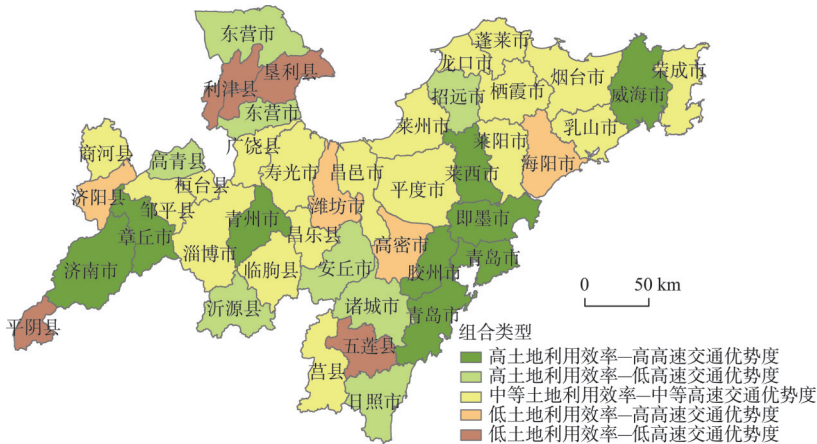


图4 山东半岛城市群土地利用效率和高速交通优势度组合类型空间格局

Fig. 4 Spatial pattern of combination types of land-use efficiency and high-speed transport superiority degree in Shandong Peninsula urban agglomeration

自中心城市的空间外溢效应影响，土地利用效率超前于高速交通建设；③ 低土地利用效率—高高速交通优势度地区有4个，占总数的9.5%，主要位于枢纽城市圈层间的夹缝地带，虽处于交通干线之上，但自身经济发展水平薄弱，受到的中心城市空间外溢效应也较圈层地区更为弱化；④ 低土地利用效率—低高速交通优势度地区有4个，占总数的9.5%，远离枢纽城市与交通干线，土地利用效率和高速交通建设均处于滞后水平；⑤ 中等土地利用效率/中等高速交通优势度地区有19个，占总数的45.2%，为数量最多、分布范围最广的类型，其中，与枢纽城市邻近的地区土地利用效率往往超前于高速交通建设，而远离枢纽城市的地区土地利用效率则较为滞后。总体来看，土地利用效率和高速交通优势度的协调性存在空间差异性，以济南、青岛等两大枢纽城市为核心，济南、青岛、威海和青州等位于枢纽圈层及其沿交通干线的临近地区高速交通优势度与土地利用效率呈现显著的空间协调性。随着与枢纽城市距离的增大，高速交通优势度与土地利用效率的空间协调性呈现衰减态势，其中潍坊、海阳等远离核心枢纽城市的交通干线沿线地区土地利用效率通常滞后于高速交通优势度，而利津、垦利和五莲等远离枢纽城市和交通干线的欠发达地区土地利用效率与高速交通优势度均偏低，呈现显著的低水平空间协调性。

另据前面所述，高速交通类型与高速交通优势度之间存在显著的正相关。在此基础上，进一步分析高速交通类型与土地利用效率的关系，结果发现二者之间联系紧密。对不同高速交通组合类型的地区进行归类，除去“高速公路+航空运输组合模式”和“高速铁路单一模式”类型样本区数量过少导致偏差，土地利用效率与高速交通类型的多样性存在一定的正向关系（表3）。究其原因，影响土地利用效率的关键因素是要素配置，在这一动态过程中，高速交通可通过要素集聚与内生增长机制起到显著的正向促进作用。高速交通能够带来区位优势显著增强，促进要素呈“点”状态势沿高速交通站点或干线集聚，并形成区域增长极核。这些极核的形成优化了土地资源的开发模式，降低了对土地资本投入的依赖程度，进而使得土地资源能够得到高效率的开发。高速交通类型越丰富则要素配置渠道越多样，因此其土地利用效率也更趋向最优。可见，“高速公路+高速铁路+航空运输综合模式”类型地区土地利用效率最高，共计60%的地区达到最优值（1.000）。

表3 山东半岛城市群不同高速交通组合类型地区的土地利用效率均值

Tab. 3 The average value of land-use efficiency in areas with different high speed traffic combination types in Shandong Peninsula urban agglomeration

高速交通组合类型	高速交通种类	样本区数量	土地利用效率均值
高速公路+高速铁路+航空运输综合模式	3	5	0.949
高速公路+高速铁路组合模式	2	10	0.929
高速公路+航空运输组合模式	2	1	0.799
高速公路单一模式	1	23	0.921
高速铁路单一模式	1	1	1.000
无	无	2	0.907

此外，高速交通可通过枢纽效应促进核心城市与一般城市之间的资源交换。一方面，核心城市通过高速交通释放过剩资源给周边城市，并通过极化效应获取自身所需资源；另一方面，一般城市通过高速交通与周边城市发生资源交换，实现与周边城市的优势互补。要素、技术优势通过高速交通以空间外溢的形式相互传递，能够重构区域土地利用效率空间格局（图5）。由于枢纽效应的凸显，青岛周边的安丘、日照等交通、经济相对欠发达地区的土地利用效率却较高，进而解释了高土地利用效率—低高速交通优势

度地区集聚于枢纽城市外围圈层的内在机制。相反地, 潍坊、烟台虽均为“高速公路+高速铁路+航空运输综合模式”类型地区, 但要素投入分别存在不足或冗余等问题, 且与济南、青岛等枢纽城市地理距离相对较远, 削弱了枢纽城市对两地的廊道效应, 导致两地土地利用效率相较于济南、青岛的外围地带偏低。

最后, 从高速交通建设与土地利用效率空间相互作用关系的宏观格局来看, 缘于高速公路的均衡建设, 山东半岛城市群摆脱了高速交通设施建设短缺造成的短板效应制约, 促使土地利用效率格局相对均衡。目前, 山东半岛城市群高速交通网络已初步形成, 覆盖了区域内95.2%的地区。其中, 航空运输覆盖率为14.3%, 高速铁路覆盖率为38.1%, 高速公路覆盖率为92.9%。可见, 高速公路的均衡建设对高速交通网络的高度覆盖起着决定性作用。进而分析山东半岛城市群土地利用格局现状可知, 从相对数值来讲, 土地利用效率存在一定的地区差异; 从绝对数值来讲, 土地利用效率整体处于较高水平, 均值达到0.925, 最大值(1.000)与最小值(0.764)之差仅为0.236, 且90.5%的地区土地利用效率集中在0.800及以上。因此, 相较于高速交通优势度和土地利用效率的空间相对差异性, 两者的空间绝对差异性并不显著, 并在宏观层面上呈现出一定的相对协调格局。

综合来看, 得益于高速公路在山东半岛城市群内的高密度分布, 使得绝大部分地区都在高速交通影响下与中心城市实现良性互动及优势互补, 整个区域内的要素资源也实现了合理整合, 加之高铁站点、机场等节点叠加的影响, 从而塑造了宏观上高效集约、微观上团(济南—淄博、青岛、威海组团)一轴(胶济—青烟威荣轴)凸显的山东半岛城市群土地利用效率空间格局。

综合来看, 得益于高速公路在山东半岛城市群内的高密度分布, 使得绝大部分地区都在高速交通影响下与中心城市实现良性互动及优势互补, 整个区域内的要素资源也实现了合理整合, 加之高铁站点、机场等节点叠加的影响, 从而塑造了宏观上高效集约、微观上团(济南—淄博、青岛、威海组团)一轴(胶济—青烟威荣轴)凸显的山东半岛城市群土地利用效率空间格局。

5 结论与建议

以山东半岛城市群为研究对象, 以县级单位为基本评价单元, 综合运用GIS空间分析技术, 采用高速交通优势度评价体系、DEA模型, 从多角度系统研究了高速交通影响下的土地利用效率特征, 主要结论包括: ① 土地利用效率和高速交通优势度的协调性存在空间差异性, 以济南、青岛两大交通枢纽为中心, 枢纽圈层(另含青州、威海次级枢纽)高速交通优势度与土地利用效率呈现显著的空间协调性, 而随着与枢纽城市距离的增大, 高速交通优势度与土地利用效率的空间协调性呈现衰减态势, 其中潍坊、海阳等远离核心枢纽城市的交通干线沿线地区土地利用效率通常滞后于高速交通优势度, 而利津、垦利和五莲等远离枢纽城市和交通干线的欠发达地区土地利用效率与高速交通优势度均偏低, 呈现显著的低水平空间协调性; ② 缘于要素集聚与内生增长机制, 高速交通类型多样性有利于推动要素的空间重置及集聚, 进而与土地利用效率具有显著的正向关系, 因而三类高速交通方式兼备的地区土地利用效率更趋近最优值(1.000); ③ 高速交

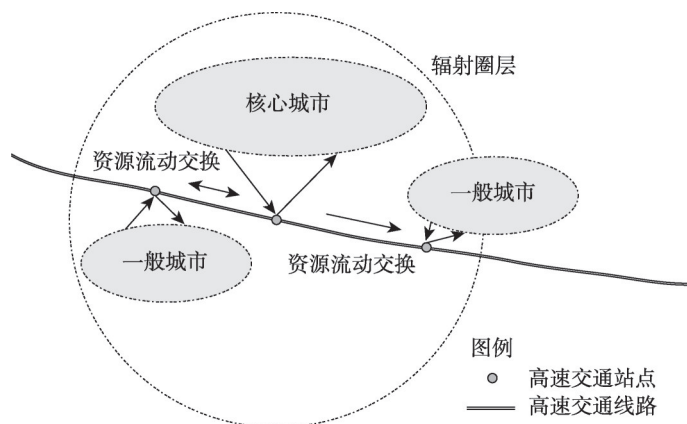


图5 高速交通影响下的区域资源配置过程

Fig. 5 Resource allocation under the influence of high-speed transport

可通过枢纽效应促进优势要素与技术以空间外溢的形式在核心城市与一般城市之间传递,进而重构区域土地利用效率空间格局,并导致济南、青岛等枢纽城市周边地带土地利用效率相对较高;④高速公路的均衡建设促使山东半岛城市群破除了高速交通建设的短板效应制约,土地利用效率空间格局整体呈现均衡态势,且90.5%的地区土地利用效率达到0.800以上,总体处于较高水平,加之高铁站点、机场节点式布局明显,导致土地利用效率呈现宏观上高效集约、微观上团(济南—淄博、青岛、威海组团)一轴(胶济—青烟威荣轴)凸显的空间格局。

针对部分地区高速交通建设与土地利用效率之间存在显著的不协调,建议从以下4个方面进行完善:①完善高速交通覆盖范围,实现县级单元高速公路全覆盖,以及地级单元高铁站点、机场全覆盖,加快推进环渤海高铁山东段、济青高铁的建设,并争取淄博、日照(已于2015年底通航)等干线机场早日建成,实现高速交通在山东半岛城市群的更均衡布局,促使区域内土地要素配置更为均衡;②加快东营、日照等薄弱地区的高速交通建设,实现与枢纽城市、重要交通干线的无缝衔接,加快地区外优势资源向本地区的溢出;③优化胶东沿海高速交通网络,打破位居交通端点对本地区对外交通可达性的制约,实现与内陆之间更便捷的畅通,促进地区内的要素流通环节更为自由开放,从而有效提升胶东沿海薄弱地区的土地利用效率。④更为重要的是,应当在区域土地功能优化与调整过程中重视高速交通建设带来的积极作用,通过实现两者在空间上的协调匹配,最终促使两者同步扩展并产生最大效益。

参考文献(References)

- [1] Liu Xinwei, Zhang Dingxiang, Chen Baiming. Characteristics of China's town-level land use in rapid urbanization stage. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(3): 301-310. [刘新卫, 张定祥, 陈百明. 快速城镇化过程中的中国城镇土地利用特征. *地理学报*, 2008, 63(3): 301-310.]
- [2] Chapin F S, Kaiser E J. *Urban Land Use Planning*. 3rd ed. Illinois: University of Illinois Press, 1967.
- [3] Johnson H M. *Sociology: A Systematic Introduction*. Paris: Allied Publishers, 1960.
- [4] Liu Shenghe, Wu Chuanjun, Chen Tian. A critical review on the progress of urban land use theories in the West. *Geographical Research*, 2001, 20(1): 111-119. [刘盛和, 吴传钧, 陈田. 评析西方城市土地利用的理论研究. *地理研究*, 2001, 20(1): 111-119.]
- [5] Defries R S, Foley J A, Asner G P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 2004, 2(5): 249-257.
- [6] Lambin E F, Geist H J. Regional differences in tropical deforestation. *Environment*, 2003, 45(6): 22-36.
- [7] Akkemik K A. Labor productivity and inter-sectoral reallocation of labor in Singapore (1965-2002). *Ge Growth Math Methods*, 2005, (30): 1-22.
- [8] Peneder M. Industrial structure and aggregate growth. *Structural Change & Economic Dynamics*, 2003, 14(4): 427-448.
- [9] Shen Tao. A review on land use at home and abroad. *Contemporary Economics*, 2013(24): 156-157. [沈涛. 国内外有关土地利用的研究综述. *当代经济*, 2013(24): 156-157.]
- [10] Ou Xiong, Feng Changchun, Shen Qingyun. Application of synergistic model in urban land-use potential appraisal. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(1): 42-45. [欧雄, 冯长春, 沈青云. 协调度模型在城市土地利用潜力评价中的应用. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(1): 42-45.]
- [11] Yang Qingke, Duan Xuejun, Ye Lei, et al. Efficiency evaluation of city land utilization in the Yangtze River Delta using a SBM-Undesirable model. *Resources Science*, 2014, 36(4): 712-721. [杨清可, 段学军, 叶磊, 等. 基于SBM-Undesirable模型的城市土地利用效率评价: 以长三角地区16城市为例. *资源科学*, 2014, 36(4): 712-721.]
- [12] Li Xun, Xu Xianxiang, Chen Haohui. Temporal and spatial changes of urban efficiency in the 1990s. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 615-625. [李郇, 徐现祥, 陈浩辉. 20世纪90年代中国城市效率的时空变化. *地理学报*, 2005, 60(4): 615-625.]
- [13] Jia Zhihai, Hao Jinmin. Evaluation of urban land intensive utilization based on fuzzy comprehensive assessment method: A case study of Changzhi City. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(12): 129-134. [贾智海, 郝晋珉.

- 基于模糊综合评价的城市土地集约利用评价研究: 以长治市为例. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 129-134.]
- [14] Liu Chenggang, Gao Guiping, Zhuang Jun. An empirical analysis of urban economic development and land use efficiency in Shandong Province. *China Economist*, 2005(8): 257-259. [刘成刚, 高桂平, 庄军. 山东省城市经济发展和土地利用效率的实证分析. 经济师, 2005(8): 257-259.]
- [15] Wu Dewen, Mao Hanying, Zhang Xiaolei, et al. Assessment of urban land use efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1111-1121. [吴得文, 毛汉英, 张小雷, 等. 中国城市土地利用效率评价. 地理学报, 2011, 66(8): 1111-1121.]
- [16] Guan Yujie, Chen Xiaojian. A study on urban land use efficiency in Weinan City. *Urban Problems*, 2013(10): 72-77. [官玉洁, 陈晓健. 渭南市城市土地利用效率考察. 城市问题, 2013(10): 72-77.]
- [17] Wand Xuewei, Wang Shijun, Song Yang, et al. Changchun land use spatio-temporal variation under the transportation elements' driving. *Economic Geography*, 2015, 35(4): 155-161. [王雪微, 王士君, 宋颀, 等. 交通要素驱动下的长春市土地利用时空变化. 经济地理, 2015, 35(4): 155-161.]
- [18] Wang Yuping, Chen Kuanmin, Ma Chaoqun. Quantitative analysis of coordination between rail transit network configuration and urban form. *Journal of Railway Engineering Society*, 2008(11): 11-15. [王玉萍, 陈宽民, 马超群. 城市轨道交通网络与城市形态协调性的量化分析. 铁道工程学报, 2008(11): 11-15.]
- [19] Cervero R, Kang C D. Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, 2011, 18(1): 102-116.
- [20] Debrezion G, Pels E, Rietveld P. The impact of rail transport on real estate prices: An empirical analysis of the Dutch housing market. *Urban Studies*, 2011, 48(5): 997-1015.
- [21] Gu Yizhen, Zheng Siqu. The impacts of rail transit on property values and land development intensity: The case of No.13 Line in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(2): 213-223. [谷一桢, 郑思齐. 轨道交通对住宅价格和土地开发强度的影响: 以北京市13号线为例. 地理学报, 2010, 65(2): 213-223.]
- [22] Guo Yuanyuan, Li Li, Li Guicai, et al. Overview of interaction between urban land use and transportation. *Urban Planning International*, 2015, 30(3): 29-36. [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. 国际城市规划, 2015, 30(3): 29-36.]
- [23] Wang Chengxin, Cui Xuegang, Wang Xueqin. Analysis of Chinese "Urban Agglomerations Disease" phenomenon under new urbanization background. *Urban Development Studies*, 2014, 21(10): 12-17. [王成新, 崔学刚, 王雪芹. 新型城镇化背景下中国“城市群病”现象探析. 城市发展研究, 2014, 21(10): 12-17.]
- [24] Fang Chuanglin, Guan Xingliang. Comprehensive measurement and spatial distinction of input-output efficiency of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1011-1022. [方创琳, 关兴良. 中国城市群投入产出效率的综合测度与空间分异. 地理学报, 2011, 66(8): 1011-1022.]
- [25] Jin Fengjun, Wang Chengjin, Li Xiuwei. Discrimination method and its application analysis of regional transport superiority. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 787-798. [金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析. 地理学报, 2008, 63(8): 787-798.]
- [26] Wang Chengxin, Wang Gefang, Liu Ruichao, et al. Empirical research on evaluation model of transport superiority degree: A case study of Shandong Province. *Human Geography*, 2010, 25(1): 73-76. [王成新, 王格芳, 刘瑞超, 等. 区域交通优势度评价模型的建立与实证: 以山东省为例. 人文地理, 2010, 25(1): 73-76.]
- [27] Meng Deyou, Shen Jinghong, Lu Yuqi. Evolvement of spatial pattern of county level transportation superiority in Henan, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 280-287. [孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 河南省县域交通优势度综合评价及空间格局演变. 地理科学, 2014, 34(3): 280-287.]
- [28] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [29] Banker R D, Charnes A, Cooper W W, et al. Constrained game formulations and interpretations for data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 1989, 40(40): 299-308.
- [30] Li Meijuan, Chen Guohong. A review on the research and application of DEA. *Engineering Sciences*, 2003, 5(6): 88-94. [李美娟, 陈国宏. 数据包络分析法(DEA)的研究与应用. 中国工程科学, 2003, 5(6): 88-94.]
- [31] Yu Miao. *Data, Models and Decision*. Beijing: China Machine Press, 2002: 196-198. [于森. 数据、模型与决策. 北京: 机械工业出版社, 2002: 196-198.]
- [32] Yang Haiquan, Hu Yi, Wang Qiuxiang. Evaluation of land use efficiency in three major urban agglomerations of China in 2001-2012. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1095-1100. [杨海泉, 胡毅, 王秋香. 2001-2012年中国三大城市群土地利用效率评价研究. 地理科学, 2015, 35(9): 1095-1100.]

Spatial relationship between high-speed transport superiority degree and land-use efficiency in Shandong Peninsula urban agglomeration

CUI Xuegang^{1,2}, FANG Chuanglin¹, ZHANG Qiang¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Generally, the land-use efficiency is low in the urban agglomerations of China. The high-speed transport construction has been an important factor during the land use change. As a result, it is critical to explore the spatial relationship between high-speed transport superiority degree and land-use efficiency. Taking the 42 counties of Shandong Peninsula urban agglomeration as an example, we build an evaluation model of high-speed transport superiority degree, which is constructed based on the relative density of the highway and the distance from the high-speed rail station and the airport. The land-use efficiency is then calculated by DEA model with capital, labor, economic benefits and environmental benefits as input and output factors. By exploring the spatial relationship between high-speed transport superiority degree and land-use efficiency, we obtain the following results: (1) There is a significant spatial difference in the relationship between the high-speed transport superiority degree and land-use efficiency. Taking the two major hub cities of Jinan and Qingdao as the center, the core circle counties (also including Qingzhou and Weihai sub-hubs) present a significant spatial coordination between their land-use efficiency and high-speed transport superiority degree. With the increase of distance from the hub cities, the spatial coordination is declining. Among them, the land-use efficiency is lower than the high-speed transport superiority degree in the areas along the traffic trunks, which are also away from the hub cities. Meanwhile, the coordination is at a low level in the areas away from hub cities and traffic trunks; (2) Due to mechanism of element agglomeration and endogenous growth, the diversity of high-speed transport has a positive relationship with land-use efficiency; (3) According to the hub effect, high-speed transport facilitates flows of elements and technologies between the core cities and peripheral cities in the form of space spillover. This reconstructs the spatial pattern of regional land-use efficiency; (4) With the help of the balanced layout of expressway, the Shandong Peninsula urban agglomeration can get rid of short board effect caused by less high-speed transport construction. Moreover, owing to the proper node layout of high-speed rail station and airport, land-use efficiency presents not only a well-balanced macro-spatial pattern but also a clustered and linear micro-spatial pattern.

Keywords: high-speed transport superiority degree; DEA; land-use efficiency; spatial relationship; Shandong Peninsula urban agglomeration