

基于多源数据的综合交通优势度与 科技创新产业的空间交互关系

黄玉娟,樊丹丹,姜勇,张伟华

山东交通学院交通与物流工程学院,山东 济南 250357

摘要:为分析山东省综合交通优势度与科技创新产业间的耦合协调关系,基于多源数据,梳理交通枢纽点、线、面特性及综合运输能力,构建综合交通优势度模型;基于政府支出、产业规模、创新产出3要素构建科技创新产业集聚度模型,定量分析山东省16个地级市的综合交通优势度与科技创新产业集聚度的空间分布格局、耦合协调水平和关联影响因素。结果表明:山东各地级市的综合交通优势度与科技创新产业集聚度有明显的空间分布差异,呈以青岛-济南为双核心的放射状空间发展格局;二者的协调水平有明显的空间相关性,存在显著的集聚模式;胶东经济圈、省会经济圈、鲁南经济圈的综合交通优势度与科技创新产业集聚度呈梯度下降式分布;构建多元化的交通网络系统可有效促进区域多式联运,政府支持率是区域科技创新产业规模和产出的直接影响因素;交通优势度与科技创新产业存在明显的正向影响关系,航空运输对科技创新产业的影响最显著;交通建设与科技产业的发展相互促进,交通发展吸引科技创新产业集聚,科技创新产业发展促使交通延伸,二者发展一致,达到高度协调时,产生空间溢出效应,带动周围地区社会经济发展,形成区域一体化的协调发展空间格局。

关键词:交通优势度;科技创新产业;产业集聚度;耦合协调度

中图分类号:[U-9];F512.7

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2024)02-0097-11

引用格式:黄玉娟,樊丹丹,姜勇,等.基于多源数据的综合交通优势度与科技创新产业的空间交互关系研究[J].山东交通学院学报,2024,32(2):97-107.

HUANG Yujuan, FAN Dandan, JIANG Yong, et al. Spatial interaction between comprehensive transportation advantage and science and technology innovation industry based on multi-source data[J].

Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(2): 97-107.

0 引言

区域发展需求驱动交通互联互通,科技进步巩固交通根基,交通与科技协调发展是区域经济蓬勃发展的有效保障^[1]。产业集聚可提升资源配置效率,促使区域交通系统与经济协同聚集、高质量发展,交通优势度是衡量区域交通设施外部环境与内部特性的集成性指标,产业集聚度是描述地区特定产业空间演变过程的核心方法^[2-3]。山东作为第一批交通强国建设试点地区之一,通过交通优势吸引高新技术产业集聚、企业资源集中,通过科技创新产业促进交通发展,探讨山东省交通网络与科技产业的发展关系具有重要的现实意义。

交通优势度研究主要集中在3方面。一是通过交通优势度测度模型分析区域交通发展水平和格局;金凤君等^[4]根据交通地理学理论,以交通网络密度、交通干线影响度和区位优势度为评价指标,建立区域交通优势评价数理模型;王成新等^[5]以交通网络密度、交通干线等级、区位优势度3个评价指标建立交通优势度比较模型,分析山东省各县(市)区的交通优势差异;程佳佳等^[6]以高速公路密度和铁路网密度为

收稿日期:2023-03-13

基金项目:山东省社会科学规划研究项目(22BLYJ13)

第一作者简介:黄玉娟(1978—),女,济南人,教授,理学博士,主要研究方向为数理统计和交通大数据,E-mail:yujuanh518@163.com。

测度指标,分析交通优势度与自然、人口、经济等要素的空间关系;黄晓燕等^[7]采用交通网络密度、邻近度、通达性等指标,构建区域交通优势度综合评价模型,分析海南交通网络的地域空间特征。二是交通优势度与区域经济的相关性分析;魏璐瑶等^[8]分析乡村地域功能转型水平与经济发展程度的时空耦合规律;陈舒婷等^[9]研究发现我国陆路交通优势度的总体经济效应为显著正效应;黄承锋等^[10]分析成渝双城经济圈交通优势度的主要影响机制,认为地区生产总值是主要影响因素;钟洋等^[11]分析长江中游城市群交通优势度发展水平,发现交通枢纽站点的建设水平与社会经济发展的匹配性不强;唐永超等^[12]发现黄河流域交通优势度与经济发展存在明显的空间差异;余增涛等^[13]发现区域交通优势度与经济发展差异受地理环境等因素影响。三是交通优势度与相关经济产业深层次的关联性机制分析,主要包括交通优势度与旅游业^[14-16]、物流业^[17]、城乡发展^[18]间的耦合协调性和空间异质性分析。

对科技创新产业集聚度的研究集中在测度方法、集聚能力与经济模式的联系及影响因素等。科技创新产业集聚度测度方法主要有赫芬达尔指数^[19]、熵值法^[20]、区位熵^[21]等,多采用科技创新产业数据为衡量指标^[22],科技创新产业的集聚程度对区域经济发展有显著正效应^[23],主要受政府管控^[24]、对外开放程度^[25]及交通发展现状等条件约束,与创新人才引进^[26]、地方经济发展^[27]、科技金融发展水平^[28-29]等相关。区域交通网络优化有助于科技创新产业大量集聚和快速发展,科技进步推动交通运输工具在速度、安全性、装载量等方面大幅提升^[30-31]。交通运输系统的发展对区域经济的发展有正向带动作用,促使地区产业经济协同发展,地区经济产业的快速发展也有效改善交通运输基础设施建设,科技创新产业是区域创新发展的先进集体,有必要分析其对交通运输业的影响机制。

针对交通优势度定义、模型建立及相关经济产业研究仍有部分不足:一是对交通基础设施的评价模型仅从单一的路网密度、资本存量和影响系数等方面进行静态描述,缺乏多元化的数据支撑;二是针对交通优势度与经济产业的关联性分析仅侧重于对传统产业的耦合协调性、空间关联性,缺乏对新型产业、高新技术产业的引证分析;三是交通优势度与经济产业效率和演变形式的耦合分析较多,缺乏交通优势度对经济产业集聚度和吸引力的论证。

本文通过全面、综合、动态、多源的路网数据、站点密度、通行规模及客货运输等数据,构建综合交通优势度模型,基于政府支出、产业规模、创新产出3要素分析科技创新产业集聚度,划分综合交通优势度与科技创新产业集聚度的耦合协调等级,采用 ArcGIS、SPSS 等软件分析 2020 年山东省 16 个地级市的综合交通优势度与科技创新产业集聚度的耦合协调水平和空间分布态势,采用稳健性回归分析二者内部各相关要素协同发展的影响机制,从数据和空间层面阐述二者内部的影响因素和作用机制,为提高山东省交通运输与科技创新产业发展水平提出相关建议。

1 研究数据与方法

1.1 数据来源

通过山东省地理信息公共服务平台获取 2020 年山东省 16 个地级市的高速公路收费站和服务区数、铁路站点数等,通过高德地图获取铁路交通干线里程,通过全国列车时刻表在线查询平台整理日停靠高铁车次数,通过文献^[32]获取航空飞机起降架次和航空货运吞吐量,通过山东省港口集团有限公司官网获取港口泊位数,其余数据来自文献^[33]。

1.2 综合交通优势度

交通基础设施是有点、线、面特征的网络型设施架构,通过局部优化交通枢纽要素比例完善整体交通基础设施条件。在经济区域内,随交通节点的增多和优化,交通基础设施的网络结构更完善,网络中任意 2 点间交通线路的改善或新建都能影响交通线路辐射的腹地范围,影响交通网络中其他线路走向,间接影响本地区其他产业的发展趋势。

本文基于文献^[20]的快速交通优势度评价模型,选取山东省公路运输、铁路运输、航空运输、海运 4 类交通运输系统作为综合交通优势度评价对象。综合交通优势度的评价指标如表 1 所示。

表 1 综合交通优势度评价指标

准则层	指标层	测算方法
公路 运输	路网密度	城市公路运营里程与城市行政区域面积之比
	路网优势度	城市公路密度与山东省平均公路密度之比
	衔接与服务功能	城市高速公路收费站和服务区数与城市行政面积之比
	中转集散功能	日均客运量、日均货运量
	枢纽影响力	城市各高速收费站与城市行政中心最短距离的分段计分之,0~30 km 计 2.0 分,>30~60 km 计 1.0 分,>60 km 计 0.5 分
铁路 运输	路网密度	城市铁路运营里程与城市行政区域面积之比
	站点密度	城市铁路站点数与铁路运营里程之比
	站点等级	站点等级分为特等、一等、二等、三等、四等,分别计 2.5、2.0、1.5、1.0、0.5 分
	通行规模	日停靠铁路车次数
	枢纽影响力	城市各铁路车站与城市行政中心最短距离分段计分之,0~100 km 计 2.0 分,>100~200 km 计 1.0 分,>200 km 计 0.5 分
航空 运输	机场等级	依据文献[34]划分的机场等级为 4F、4E、4D、4C、3C,分别计 5.0、4.0、3.0、2.0、1.0 分
	通行规模	日均飞机起降架次
	通行效率	日均旅客发送量
	枢纽影响力	城市各机场与城市行政中心最短距离的分段计分之,0~30 km 计 2.0 分,>30~60 km 计 1.0 分,>60 km 计 0.5 分
海运	泊位密度	城市港口泊位数与城市行政区域面积之比
	衔接与服务功能	日均货物吞吐量
	中转集散功能	日均客运量
	枢纽影响力	城市各港口与城市行政中心最短距离的分段计分之,0~30 km 计 2.0 分,>30~60 km 计 1.0 分,>60 km 计 0.5 分

本文采用 Diakoulaki 等^[35]提出的客观权重赋权法(criteria importance though intercriteria correlation, CRITIC),综合考虑各指标间的对比强度与冲突性计算权重。第 j 项指标包含的信息量^[36]

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^n (1 - R_{kj}), k \neq j, j = 1, 2, 3, 4,$$

式中: δ_j 为第 j 项指标数据的标准差,即第 j 项指标的对比强度; R_{kj} 为第 j 项指标与第 k 项指标的相关系数; n 为评价指标数。

第 j 项指标的权重

$$w_j = C_j / \sum_{j=1}^4 C_j。$$

计算各交通运输系统的权重,如表 2 所示。

表 2 各交通运输系统的权重

将交通系统优势度评价指标数据标准化处理后,进行综合加权,得到第 i 个地级市的综合交通优势度

$$D_i = w_1 d_{i1} + w_2 d_{i2} + w_3 d_{i3} + w_4 d_{i4},$$

式中: $w_1 \sim w_4$ 分别为公路运输、铁路运输、航空运输和海运 4 类交通运输系统的权重, $d_{i1} \sim d_{i4}$ 分别

交通运输系统	指标变异性	指标冲突性	C_j	$w_j/\%$
公路运输	0.884	2.947	2.606	23.8
铁路运输	1.187	2.018	2.395	21.9
航空运输	1.329	2.031	2.698	24.7
海运	1.252	2.587	3.239	29.6

为第 i 个地级市公路运输、铁路运输、航空运输和海运 4 类系统的各优势度评价指标标准化数据之和。

1.3 科技创新产业集聚度

畅通便捷的交通促使区域经济产业大量涌入和溢出,汇集和容纳科研工作体系,区域高新科技力量支持传统交通升级为智慧交通,提高交通运输效率、减少拥堵和排放、保障交通安全和便利出行。结合政府支出、产业规模、创新产出3方面因素,建立山东省16个地级市科技创新产业集聚度模型,衡量科技创新产业的市场支配能力,各级指标如图1所示。

第*i*个地级市的科技创新产业集聚度

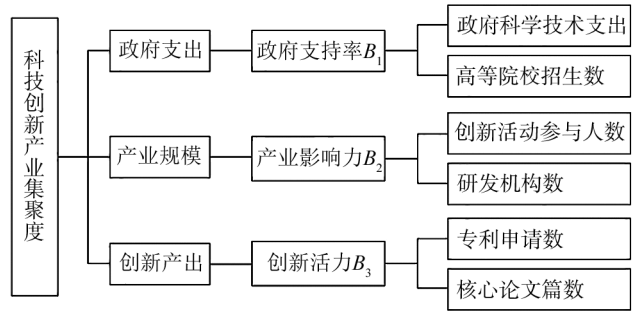


图1 科技创新产业集聚度分析指标

$$C_{R,i} = \sum_{j=1}^r \frac{x_{ij}}{x_j},$$

式中: x_{ij} 为第*i*个地级市第*j*项指标数据, x_j 为山东省科技创新产业第*j*项指标数据, r 为科技创新产业集聚度评价指标数。

$0 < C_{R,i} < 1$, $C_{R,i}$ 越大,产业发展越集中,集聚度越高。

1.4 耦合协调度

耦合度反映2个或2个以上系统间的拟合程度。第*i*个地级市的综合交通优势度与科技创新产业间的耦合度

$$C_i = 2\sqrt{D_i C_{R,i} / (D_i + C_{R,i})^2}。$$

耦合协调度表示2个或2个以上系统间因相互作用而彼此影响的程度,反映系统间相互促进发展的良性互动水平^[37]。构建耦合协调度模型,研究山东省16个地级市的综合交通优势度与科技创新产业间的联系强度和作用机制,探究二者间的整体水平和协同效应。计算第*i*个地级市综合交通优势度与科技创新产业间的耦合协调度

$$G_i = \sqrt{C_i T_i},$$

式中: T_i 为第*i*个地级市的综合交通优势度与科技创新产业集聚度的综合协调指数, $T_i = \alpha D_i + \beta C_{R,i}$,其中, α 为综合交通优势度权重, β 为科技创新产业集聚度权重, $\alpha + \beta = 1$,由CRITIC法计算得: $\alpha = 0.769$, $\beta = 0.231$ 。

1.5 相关性回归分析

从空间角度对综合交通优势度和科技创新产业的发展格局进行一致性分析,若二者发展格局有协调效应,说明交通发展推动科技创新行业的兴盛,但不同的交通运输系统对科技创新产业的作用力不同,即各种交通运输方式与科技创新产业的相关性有差异,辩证分析二者间的相互作用程度,因地制宜促进资源合理分配和调度。本文将公路运输、铁路运输、航空运输、海运分别作为影响科技创新集聚度的自变量,采用稳健性回归分析不同交通方式对科技创新产业的贡献值和影响力^[38]。

2 结果分析

2.1 计算结果

计算2020年山东16个地级市的综合交通优势度 D_i 、科技创新产业集聚度 $C_{R,i}$ 、耦合度 C_i 、综合协调指数 T_i 、耦合协调度 G_i ,确定耦合协调等级 R_i 及耦合协调程度,结果如表3所示。

根据地理位置将山东省划分为3个经济圈:以省会济南为代表的省会经济圈、以青岛为主的胶东经济圈和以临沂为龙头的鲁南经济圈。根据表3,计算山东省胶东经济圈、省会经济圈、鲁南经济圈的平均交通优势度分别为2.278、1.256、1.348,平均产业集聚度分别为0.403、0.265、0.185,平均耦合协调度分别为0.677、0.475、0.444。

表 3 2020 年山东省 16 个地级市的 D_i 、 $C_{R,i}$ 、 C_i 、 T_i 、 G_i 、 R_i 及耦合协调程度

城市	D_i	$C_{R,i}$	C_i	T_i	G_i	R_i	耦合协调程度	城市	D_i	$C_{R,i}$	C_i	T_i	G_i	R_i	耦合协调程度
青岛	3.069	0.894	1.000	0.990	0.995	10	优质协调	德州	1.319	0.168	0.873	0.286	0.500	5	濒临失调
济南	2.658	0.697	0.996	0.861	0.926	10	优质协调	淄博	1.185	0.279	0.999	0.271	0.520	6	勉强协调
烟台	2.703	0.388	0.930	0.721	0.819	9	良好协调	泰安	0.993	0.161	0.953	0.179	0.414	5	濒临失调
日照	2.250	0.129	0.592	0.510	0.550	6	勉强协调	菏泽	0.945	0.115	0.828	0.155	0.358	4	轻度失调
潍坊	1.885	0.438	0.992	0.540	0.732	8	中级协调	枣庄	0.940	0.080	0.451	0.138	0.249	3	中度失调
济宁	1.613	0.321	0.979	0.420	0.641	7	初级协调	聊城	0.735	0.181	0.990	0.107	0.326	4	轻度失调
临沂	1.479	0.226	0.931	0.350	0.571	6	勉强协调	东营	0.700	0.111	0.998	0.052	0.228	3	中度失调
威海	1.511	0.167	0.863	0.295	0.505	6	勉强协调	滨州	0.542	0.259	0.403	0.060	0.155	2	严重失调

2.2 综合交通优势度分析

2020 年山东省 16 个地级市公路运输、铁路运输、航空运输、海运 4 类交通运输系统的占比及其交通优势度如表 4 所示。

表 4 2020 年山东省 16 个地级市不同交通系统的占比及其交通优势度

城市	交通优势度				交通运输系统占比/%				城市	交通优势度				交通运输系统占比/%			
	公路	铁路	航空	海运	公路	铁路	航空	海运		公路	铁路	航空	海运	公路	铁路	航空	海运
青岛	2.55	3.52	3.50	2.73	21	29	28	22	德州	2.40	3.33	0	0	42	58	0	0
济南	3.62	4.04	3.66	0	32	36	32	0	淄博	1.93	3.20	0	0	38	62	0	0
烟台	0.88	3.00	2.38	3.34	9	31	25	35	泰安	2.37	1.99	0	0	54	46	0	0
日照	1.48	1.96	2.47	2.87	17	22	28	33	菏泽	2.88	1.32	0	0	69	31	0	0
潍坊	2.64	3.58	1.84	0	33	44	23	0	枣庄	2.03	2.08	0	0	49	51	0	0
济宁	2.43	2.92	1.56	0	35	42	23	0	聊城	3.12	0.22	0	0	93	7	0	0
临沂	2.69	1.55	2.11	0	42	24	33	0	东营	0.07	0.70	2.10	0	2	24	73	0
威海	0.65	1.60	1.53	2.06	11	27	26	35	滨州	1.91	0.52	0	0	79	21	0	0

由表 3、4 可知:1)2020 年山东省 16 个地级市的平均综合交通优势度为 1.598,青岛、济南、烟台、日照、潍坊和济宁 6 个地级市的综合交通优势度均大于平均值。2)青岛的综合交通优势度大于 3.000,4 类交通运输系统内部发展要素优越且协调水平较高。3)济南、烟台、日照的综合交通优势度为 >2.000~3.000,济南的主要运输方式为公路运输、铁路运输和航空运输,各交通系统占比均衡,铁路运输为最优交通运输方式,促进区域铁路运输发展可有效优化交通网络;烟台和日照综合发展 4 类交通运输系统,但航空运输、公路运输的交通优势度和内部交通运输体系的协调性不及青岛。4)潍坊、济宁、临沂、威海、德州、淄博的综合交通优势度为 >1.000~2.000,潍坊、济宁和临沂的主要运输方式为公路运输、铁路运输和航空运输,运输系统内部发展均衡性和铁路运输发展不及济南和潍坊;威海综合发展 4 类交通运输系统,由于交通系统内部发展均衡性较差,公路运输、铁路运输、航空运输、海运的交通优势度较小;德州、淄博的主要运输方式为公路运输和铁路运输,缺乏多式联运运输体系是其综合交通优势度较小的主要原因。5)其余地级市的综合交通优势度小于 1.000,交通运输系统发展不均匀导致综合交通优势度小。

交通运输发展不仅依赖多元化的交通系统,还需内部交通系统均衡协调、可持续发展,区域交通运输方式越全面,发展越均衡,其综合交通优势度越高,铁路运输是促进区域交通互联互通、优化格局的主导因素。为有效提升区域综合交通优势度,一是构建多元化的交通运输网络体系,促进区域间运输网络互

互联互通和多式联运;二是组织协调各交通方式同步可持续发展;三是夯实铁路运输和公路运输体系的基础设施建设,积极发展航空和水路运输体系,因地制宜打造多元化区域交通运输网络。

2.3 科技创新产业集聚度分析

2020年山东省16个地级市科技创新产业集聚度不同评价指标得分及占总分的比例如表5所示。

表5 2020年山东省16个地级市科技创新产业集聚度不同评价指标得分及占总分的比例

城市	评价指标得分			评价指标得分占比/%			城市	评价指标得分			评价指标得分占比/%		
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3		B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3
青岛	0.383	0.270	0.242	43	30	27	聊城	0.009	0.128	0.031	5	76	18
济南	0.177	0.235	0.171	30	40	29	德州	0.042	0.078	0.035	27	50	23
潍坊	0.100	0.185	0.098	26	48	26	威海	0.032	0.078	0.036	22	53	25
烟台	0.133	0.170	0.065	36	46	18	泰安	0.016	0.076	0.028	13	63	23
济宁	0.035	0.186	0.056	13	67	20	日照	0.040	0.053	0.021	35	46	18
淄博	0.047	0.146	0.045	20	61	19	菏泽	0.010	0.055	0.033	10	56	34
滨州	0.074	0.143	0.031	30	58	13	东营	0.026	0.055	0.029	24	50	26
临沂	0.038	0.109	0.054	19	54	27	枣庄	0.012	0.033	0.026	17	46	37

由表3、5可知:1)2020年山东省16个地级市的平均科技创新产业集聚度为0.288,青岛、济南、潍坊、烟台和济宁5个地级市的科技创新产业集聚度大于平均值;青岛和济南的科技创新产业集聚度大于0.500,是山东省科技创新产业核心发展城市,科学技术财政支持力度较高,产业影响力和创新活力发展势头良好;潍坊、烟台和济宁的科技创新产业集聚度为 $>0.300\sim 0.500$,潍坊、烟台的政府支持率均不低于0.100,产业影响力和创新活力不及济南和青岛。2)淄博、滨州和临沂的科技创新产业集聚度为 $>0.200\sim 0.300$,政府支持率不占优势,但产业影响力较大,主要表现在科技创新研究机构 and 人员占比较大,在低政府支持率和高产业影响力的不平衡分布状态下,区域科技创新活力欠佳。3)聊城、德州、威海、泰安、日照、菏泽和东营的科技创新产业集聚度为 $>0.100\sim 0.200$,聊城和泰安的政府支持率较小,但由于良好的产业影响力表现出较高的科技创新活力,说明企业的科技创新研究机构对区域科技创新产业集聚度有一定的正面效应。4)枣庄的科技创新产业集聚度小于0.100,在创新活力相对均衡的状态下,政府支持率和产业影响力不占优势。

政府高度支持下,区域科技创新产业的影响力和创新活力提高,说明科技创新产业的凝聚力需大量的财政资金,扩大科技创新产业影响力,吸引人才、资源、技术涌入,激发科技创新产业活力,提高科技创新产业的集聚度,在人才、资源、技术集聚过程中,需区域交通运输网络系统高度配合。

2.4 耦合协调水平分析

2020年山东省16个地级市的综合交通优势度和科技创新产业集聚度的拟合曲线如图2所示。由图2可知:区域交通与科技创新产业发展正相关,交通网络系统的发达程度间接决定科技创新产业的发展方向和集聚水平,有青岛、济南等5个地级市为高高聚集状态,聊城、泰安等10个地级市为低低聚集状态,日照呈综合交通优势度高、科技创新产业集聚度低的高低聚集状态,科技创新缺乏活力,创新成果较少。

2020年山东省16个地级市的综合交通优势度与科技创新产业的耦合协调关系如图3所示。由图3和表3可知:1)青岛和济南的综合交通优势度和科技创新产业优质协调,耦合协调度分别为0.995、

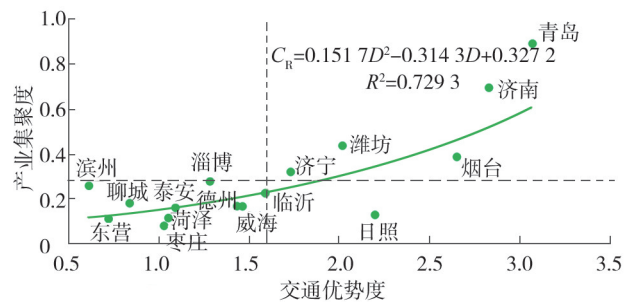


图2 交通优势度和科技创新产业集聚度的拟合曲线

0.926,区域交通与科技创新产业间有极高的耦合性和协同性。2)烟台为良好协调城市,耦合协调度为0.819。3)潍坊为中级协调城市,耦合协调度为0.732,区域交通与科技创新产业间有较高的耦合性,但二者的协同性较差。4)济宁为初级协调城市,耦合协调度为0.641。5)临沂、日照、淄博和威海为勉强协调城市,耦合协调度分别为0.571、0.550、0.520、0.505,表现为耦合性较高,协同性较低。6)其余地级市的耦合协调度小于0.500,即综合交通优势度与科技创新产业为失调状态,二者缺乏协同性。对比交通优势度和科技创新产业集聚度分布点与趋势线可知,烟台交通优势度较大、科技创新产业集聚度较小,潍坊交通优势度和科技创新产业集聚度的分布点与趋势线吻合,交通优势度越大,随科技创新产业集聚度的增大,二者更协调,说明优化区域交通,可有效促进科技创新产业的发展。

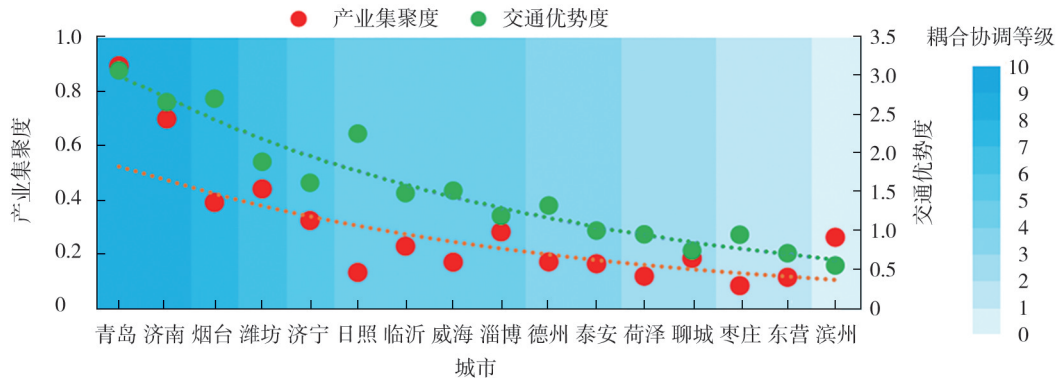


图 3 2020 年山东省 16 个地级市的综合交通优势度与科技创新产业的耦合协调关系

交通优势度在科技创新产业耦合协调性分析中占主导地位,且交通运输与科技创新产业间为互相制约的正向关系,科技产业的高度集聚促使交通运输空间溢出和辐射,最终二者趋于交通科技产业区域空间协调发展。科技创新产业对城市交通和城市属性有较强的依赖性,交通发达城市、中心城市和规模较大城市有较强的科技产业链,各地级市应借助区域交通网络优势,合理带动科技创新产业的发展,加强区域间人才、技术流动。由 16 个地级市的耦合协调等级可知:交通的发展先于科技创新产业的发展,交通是产业经济发展的基础,产业是交通的动力,二者协调同步发展有利于区域经济的高质量发展。

2.5 稳健性回归分析

对 2020 年山东省综合交通优势度与科技创新产业集聚度及二者内部相关元素进行回归分析,结果如表 6~8 所示。

表 6 综合交通优势度与科技创新产业集聚度稳健性回归分析

项目	回归系数	标准误差	t	p	S ²	调整 S ²	F
常数	0.762	0.157	4.859	0.000**	0.637	0.611	F(1,14)=24.593, (p=0.000)
产业集聚度	2.773	0.434	6.391	0.000**			

注:t 为相关系数,p 为显著性,S² 为拟合优度,F 为在显著性水平下的临界值,** 代表 5% 的显著性水平。

表 7 科技创新产业集聚度与各交通系统稳健性回归分析

项目	回归系数	标准误差	t	p	S ²	调整 S ²	F
常数	-0.124	0.092	-1.347	0.178	0.705	0.598	F(4,11)=6.576, (p=0.006)
公路运输	0.075	0.040	1.872	0.061			
铁路运输	0.055	0.031	1.751	0.080			
航空运输	0.084	0.030	2.828	0.005**			
海运	0.004	0.031	0.146	0.884			

表8 综合交通优势度与科技创新产业3要素稳健性回归分析

项目	回归系数	标准误差	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>S</i> ²	调整 <i>S</i> ²	<i>F</i>
常数	0.772	0.232	3.322	0.001**			
政府支持率	-1.461	3.271	-0.447	0.655	0.587	0.484	<i>F</i> (3,12)=5.697, (<i>p</i> =0.012)
产业影响力	1.484	2.675	0.555	0.579			
创新活力	10.819	5.705	1.896	0.058			

由表6可知:将科技创新产业集聚度作为自变量,交通优势度作为因变量进行稳健回归分析,产业集聚度的回归系数为2.773($t=6.391, p=0.000<0.01$),说明科技创新产业集聚度对交通优势度有显著的正向影响。

由表7可知:将公路运输、铁路运输、航空运输、海运作为自变量,产业集聚度作为因变量进行稳健回归分析,公路运输、铁路运输、航空运输、海运的回归系数分别为0.075($t=1.872, p=0.061>0.05$)、0.055($t=1.751, p=0.080>0.05$)、0.084($t=2.828, p=0.005<0.01$)、0.004($t=0.146, p=0.884>0.05$),航空运输对产业集聚度有显著的正向影响,但公路运输、铁路运输、海运对产业集聚度没有显著影响。

由表8可知:将政府支持率、产业影响力、创新活力作为自变量,交通优势度作为因变量进行稳健回归分析,政府支持率、产业影响力、创新活力的回归系数分别为-1.461($t=-0.447, p=0.655>0.05$)、1.484($t=0.555, p=0.579>0.05$)、10.819($t=1.896, p=0.058>0.05$),3个要素对交通优势度均无显著影响。

交通方式对科技创新产业的影响关系由大到小依次为航空运输、铁路运输、公路运输、海运,说明航空运输是备受青睐的运输方式,舒适度较高;高速铁路的运行安全性、舒适性及运输效率较高;公路运输是促进科技产业集聚发展的主要运输体系,可实现点对点运输,受时间、天气等影响较小,私密性和可操作性较强。科技创新产业对综合交通优势度的影响从大到小依次为创新活力、产业影响力、政府支持率,山东省目前处于科技产业投入初级阶段,未形成全方位多角度的产业规模,未对山东省综合运输产生明显的宏观影响。

2.6 空间分布格局

地理环境是导致区域差异性发展的主要因素之一,采用软件 Arc GIS10.2对2020年山东省16个地级市的综合交通优势度和科技创新产业集聚度的空间分布规律进行可视化分析。结果表明:2020年山东省综合交通优势度、科技创新产业集聚度及二者间的耦合协调水平在空间上均呈以青岛、济南双核心的散射状发展格局,沿海以青岛为核心逐渐向内陆递减,内陆以济南为核心向四周递减,交通运输领先科技创新产业的发展。交通运输与科技创新产业的发展格局在空间层面有协同效应,二者相辅相成,相互促进,区域交通基础设施发展促使产业经济聚集与发展,地区经济产业的蓬勃发展反作用于区域交通,为地区交通建设和延伸注入动力,科技创新产业作为产业经济的核心部分,滞后于区域交通发展,并依赖区域交通发展,交通发展吸引科技产业集聚,科技产业集聚带动交通建设和联系,交通运输与科技产业相互促进,互为因果。

3个经济圈的平均交通优势度、科技创新产业集聚度及二者的耦合协调度呈阶梯型网格化发展格局。胶东经济圈的交通运输发展主要依靠优越的地理环境和雄厚的经济基础,有海运和面向国际的航空运输系统,其中青岛、烟台在发展自身交通运输系统的基础上,通过交通、经济互联互通带动周围地市协调同步发展;科技创新产业以青岛为核心高度集聚发展,向烟台和潍坊辐射,二者均有不同程度的空间溢出效应。省会经济圈以济南为核心,依靠强劲的政策资源导向,交通基础设施网络四通八达,科技创新产业集聚,二者均有不同程度的空间吸附效应,是山东内陆城市交通系统和产业发展的联系纽带和资源汇集中心。鲁南经济圈地处山东西南部,交通运输和科技创新产业发展相对落后,但交通运输系统空间发展较均衡,济宁、临沂为交通建设核心城市,科技创新产业集聚度不突出,目前正处于大力发展交通,引进

人力、资源,发展实体经济阶段。

3 结论与建议

以2020年山东省16个地级市的综合交通优势度与科技创新产业集聚度为例,通过全面、综合、动态、多源的路网数据、站点密度、通行规模及客货运输等交通数据构建综合交通优势度模型,通过科技创新投入、规模、产出3要素构建科技创新产业集聚度模型,分析综合交通优势度与科技创新产业集聚度的空间分布格局和内部各要素的发展态势,基于CRITIC修正的耦合协调模型测度二者的耦合协调水平,采用稳健性回归模型分析二者内部各要素的相互影响机制,得出以下结论:1)区域综合交通优势度取决于交通运输系统的全面性和均衡性,交通运输系统发展越全面,公路运输、铁路运输、航空运输、海运占比越均衡,交通优势度越大;2)政府支出、产业规模、创新产出3要素均衡发展有助于集聚区域科技创新产业,政府支持率通过影响科技创新产业规模和创新产出间接决定区域科技创新产业集聚度,企业内部的科技创新投入力度是区域科技创新活力的关键影响因素;3)交通与科技相辅相成,互为因果,交通激发科技创新产业的活力,科技助推交通网络的延伸,且二者的耦合协调性以交通为主导因素,即区域交通的发展格局和方向间接决定区域科技创新产业的发展速度,大力扶持区域科技创新产业,对交通运输的基础设施建设起加速作用,使交通向智能化、高速化、现代化方向发展;4)山东省综合交通、科技创新产业发展存在较大的空间差异,以青岛、济南为双核心发展格局,目前济南处于吸引周边地市的资源集中力量发展交通、经济的初级阶段,青岛处于通过自身优势影响、辐射周边地区的交通、经济产业等发展的中级阶段,3个经济圈的交通运输和科技创新产业均呈明显的阶梯型网格化发展格局。

对交通运输与科技创新产业发展提出以下建议:1)山东省区域综合交通、科技创新产业发展存在较大的空间差异,未来山东省的发展方向在强化青岛、济南核心发展城市的同时,应加大人力资源、技术知识和产业分布由高水平地区向低水平地区流动,以交通为首的产业应逐渐削弱中心城市的聚集效应,适应城市发展的去中心化趋势,提高山东省地区协调发展水平,打造经济圈协同化、一体化发展的多中心网络化发展格局。2)根据地区政治、经济、地理特征和空间分布特征的差异化,因地制宜合理规划交通网络时空布局和创新激励政策,打造多种交通运输方式互联互通、协调发展,激活区域创新动力无限发展,吸引创新资源不断聚集,筑牢城市间的交通桥梁,缩小创新集聚差异,打造城市交通网络和创新产业多中心网络化的空间格局。3)为促进地区经济产业的快速发展,一方面,夯实城市间的交通基础设施建设,完善城市间交通网络建设,缩短城市时空距离,强化区域综合交通联系纽带;另一方面,提升城市内部的科技创新要素丰裕度,加大科技产业的研发投入水平,有效利用城市空间溢出效应和空间地理特征,带动地理邻近城市转变为新的科技创新极核城市,形成地区交通经济协调创新的新发展格局。

参考文献:

- [1] 卢召艳,黎红梅,魏晓,等.城市群核心区域科技创新潜力评价及影响因素:以长株潭城市群核心区为例[J].经济地理,2022,42(4):141-149.
- [2] 杨建坤,尤兴明.交通优势度评价与区域经济发展研究综述[J].综合运输,2021,43(8):26-31.
- [3] 赵星,王林辉.中国城市创新集聚空间演化特征及影响因素研究[J].经济学家,2020(9):75-84.
- [4] 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[J].地理学报,2008(8):787-798.
- [5] 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[J].人文地理,2010,25(1):73-76.
- [6] 程佳佳,王成金,刘卫东.西北地区交通优势度格局及空间分异[J].地球科学进展,2016,31(2):192-205.
- [7] 黄晓燕,曹小曙,李涛.海南省区域交通优势度与经济发展关系[J].地理研究,2011,30(6):985-999.
- [8] 魏璐瑶,陆玉麒,陈媛.江苏省县乡村地域功能转型与经济发展耦合协调的时空格局分析[J].世界地理研究,2023,32(4):72-83.
- [9] 陈舒婷,李裕瑞,潘玮,等.中国县域陆路交通优势度格局演化及经济效应[J].地理学报,2022,77(8):1937-1952.

- [10] 黄承锋,李元龙,陈一铭.成渝地区双城经济圈交通优势度时空演变格局及影响机制研究[J].西安理工大学学报,2021,37(4):478-487.
- [11] 钟洋,林爱文,周志高.长江中游城市群交通优势度与经济发展水平互动关系研究[J].经济问题探索,2019(5):82-88.
- [12] 唐永超,王成新,王瑞莉,等.黄河流域区域交通与经济空间关联研究[J/OL].经济地理.(2020-10-14)[2023-01-08].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1126.k.20201014.1342.002.html>.
- [13] 余增涛,韦素琼,林泽楠.福建省交通优势度与经济水平协调发展研究[J].福建师范大学学报(自然科学版),2017,33(2):79-87.
- [14] 刘安乐,杨承玥,鲁芬,等.滇中城市群交通网络与旅游业耦合发展研究[J].世界地理研究,2017,26(1):65-76.
- [15] 郭向阳,穆学青,明庆忠,等.旅游地快速交通优势度与旅游流强度的空间耦合分析[J].地理研究,2019,38(5):1119-1135.
- [16] 郭向阳,穆学青,明庆忠,等.长江经济带快速交通系统对城市旅游生产率的影响效应分析[J].经济地理,2021,41(12):213-222.
- [17] 李宝库,陆翔.低碳约束下物流效率与交通优势度耦合协调研究:以“一带一路”国内26个节点城市为例[J].科技促进发展,2021,17(3):428-436.
- [18] CUI X G, FANG C L, WANG Z B, et al. Spatial relationship of high-speed transportation construction and land-use efficiency and its mechanism: case study of Shandong Peninsula urban agglomeration [J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29: 549-562.
- [19] 郭庆宾,杨婉蓉.湖北科技创新资源集聚能力的时空演变分析[J].统计与决策,2017(5):123-125.
- [20] 郭庆宾,骆康,刘承良.长江经济带城市群要素集聚能力差异的比较研究[J].地理科学进展,2020,39(4):542-552.
- [21] 傅为一,段宜嘉,熊曦.科技创新、产业集聚与新型城镇化效率[J].经济地理,2022,42(1):90-97.
- [22] 韦佳培.科技创新视角下商贸流通业集聚对绿色经济发展的影响研究[J].商业经济研究,2022(14):14-18.
- [23] 骆康,郭庆宾,刘耀彬.长江经济带科技创新资源集聚能力空间格局及网络结构[J].长江流域资源与环境,2021,30(8):1783-1794.
- [24] 孙伟良,郭帅新.协同创新视阈下的国家高新区区域创新体系建设研究:以杭州高新区为例[J].西南金融,2022(10):3-18.
- [25] CAINELLI G, MONTRESOR S, MARZETTI G V. Production and financial linkages in inter-firm networks: structural variety, risk-sharing and resilience[J]. Journal of Evolutionary Economics, 2012, 22: 711-734.
- [26] 董淑太.区域人才集聚对科技创新效率的影响研究[D].重庆:西南大学,2019.
- [27] LI J M, DONG K Y, DONG X C. Green energy as a new determinant of green growth in China: the role of green technological innovation[J]. Energy Economics, 2022, 114: 106260.
- [28] MANIGANDAN P, ALAM M S, ALAGIRISAMY K, et al. Realizing the sustainable development goals through technological innovation: juxtaposing the economic and environmental effects of financial development and energy use[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30: 8239-8256.
- [29] 张芷若,谷国锋.科技金融与科技创新耦合协调度的空间格局分析[J].经济地理,2019,39(4):50-58.
- [30] GRAHAM D J, GIBBONS S. Quantifying wider economic impacts of agglomeration for transport appraisal: existing evidence and future directions[J]. Economics of Transportation, 2019, 19: 100121.
- [31] 卞雪航,费文鹏,杨雪英,等.交通运输科技创新驱动发展关键制约及发展策略研究[J].交通运输研究,2019,5(4):55-63.
- [32] 中国民用航空局.2020年民航机场生产统计公报[EB/OL].(2021-04-09)[2023-01-20].http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/202104/t20210409_207119.html.
- [33] 山东省统计局,国家统计局山东调查总队.山东统计年鉴2021[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [34] 中国民用航空总局机场司.民用机场飞行区技术标准:MH5001—2021[S].北京:中国民航出版社有限公司,2021.
- [35] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the crltic method[J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7):763-770.
- [36] 俞立平.客观赋权法本质及在科技评价中的应用研究:以学术期刊为例[J].情报理论与实践,2021,44(2):50-56.
- [37] 黄晓杏,谭吉玉,余达锦.我国旅游业-科技创新-交通运输业耦合协调研究:基于八大经济区的实证分析[J].科技

与经济,2021,34(4):96-100.

[38] 姚宜斌,陶本藻,施闯.稳健回归分析及其应用研究[J].大地测量与地球动力学,2002(2):16-19.

Spatial interaction between comprehensive transportation advantage and science and technology innovation industry based on multi-source data

HUANG Yujuan, FAN Dandan, JIANG Yong, ZHANG Weihua

School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

Abstract: In order to analyze the coupling and coordination relationship between the comprehensive transportation advantage and the aggregation degree of the science and technology innovation industry in Shandong Province, based on multi-source data, the characteristics of transportation hubs, lines, and surfaces and comprehensive transportation capacity are sorted out, and a comprehensive transportation advantage model is constructed; based on the three elements of government expenditure, industrial scale, and innovation output, a aggregation degree of the science and technology innovation industry model is constructed to quantitatively analyze the spatial distribution pattern, coupling coordination level, and related influencing factors of the comprehensive transportation advantage and the aggregation degree of the science and technology innovation industry in 16 prefecture-level cities in Shandong Province. The results show that there is a significant spatial distribution difference in the comprehensive transportation advantage and the aggregation degree of the science and technology innovation industry among the prefecture-level cities in Shandong Province, displaying a scattered spatial development pattern with Qingdao-Jinan as the dual core; there is a clear spatial correlation in the coordination level of the two, with a significant aggregation pattern; the comprehensive transportation advantage and the aggregation degree of the science and technology innovation industry in the Jiaodong economic zone, the Provincial Capital economic zone, and the Southern Shandong economic zone show a gradient distribution; building a diversified transportation network system can effectively promote regional multimodal transport, with government support being a direct influencing factor on the scale and output of regional science and technology innovation industries; there is a clear positive relationship between transportation advantage and the science and technology innovation industry, with air transport having the most significant impact on the science and technology innovation industry; transportation construction and the development of the technology industry mutually promote each other, with transportation development attracting the aggregation of science and technology innovation industry, and the development of science and technology innovation industry promoting the extension of transportation, where both developments are consistent; when reaching a high level of coordination, spatial spillover effects are produced, driving the socio-economic development of surrounding areas and forming a coordinated development spatial pattern of regional integration.

Keywords: transportation advantage; science and technology innovation industry; industrial aggregation degree; coupling coordination degree

(责任编辑:赵玉真)