

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.12.012

基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的 京津冀城市群经济集聚特征分析

张建文¹, 梁彦庆^{1,2,3}, 崔立烨⁴, 官洋溢¹, 杨群叶¹

1. 河北师范大学地理科学学院, 石家庄 050024; 2. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 石家庄 050024;
3. 河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050024; 4. 河北省国土空间规划编制研究中心, 石家庄 050056

摘要: 分析城市群经济集聚特征对识别城市群空间发展模式以及推进城镇化快速发展具有重要意义。选取 2012—2018 年京津冀城市群 NPP-VIIRS 夜间灯光数据, 在基础处理并经统计数据对比验证的基础上, 采用基尼系数、首位城市集聚度以及市域亮源地均灯光强度表征京津冀城市群整体及各城市的经济集聚程度, 运用核密度估计法、标准差椭圆法和重心转移模型探讨城市经济集聚的时空变化特征。结果表明: ① 研究期内京津冀城市群整体经济集聚程度呈先上升后下降再上升的趋势, 但总体上相对稳定, 各城市经济集聚程度随时间变化分层更加明显。② 城市群经济集聚呈现稳定的双核—多中心发展空间结构, 以京津为中心形成双核中心结构引领、西北—东南走向集中的高经济集聚区, 以唐山、石家庄和廊坊为中心形成东北—西南走向的经济集聚第二梯度区, 其余城市分布在城市群外围形成低经济集聚发展区。③ 城市经济集聚在离散趋势上呈收缩状态, 空间分布上呈现东北—西南分布格局, 时间演变上相对稳定; 经济集聚重心无明显的方向特征, 在东北和西南方向上小幅摆动。

关键词: 经济集聚; 夜间灯光数据; 京津冀城市群; 空间结构

中图分类号: F293.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)12-0095-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Economic Agglomeration Characteristics of Beijing-Tianjin-Hebei Urban Cluster Based on NPP-VIIRS Night Light Data

ZHANG Jianwen¹, LIANG Yanqing^{1,2,3}, CUI Liye⁴,
GUAN Yangyi¹, YANG Qunye¹

1. School of Geographic Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China;

2. Hebei Innovation Center for Remote Sensing Identification Technology of Environmental Changes, Shijiazhuang 050024, China;

3. Lab of Environmental Change and Ecological Construction of Hebei Province, Shijiazhuang 050024, China;

4. National Territory Spatial Planning Research Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050056, China

收稿日期: 2020-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471090); 河北省教育厅科学技术研究重点项目(ZD2019115); 河北师范大学科技类科研重点基金项目(L052018Z09); 河北省自然地理学重点学科项目。

作者简介: 张建文, 硕士研究生, 主要从事区域经济与土地利用的研究。

通信作者: 梁彦庆, 博士, 副教授。

Abstract: It is of great significance for identifying the spatial development pattern of urban clusters and promoting the rapid development of urbanization to analyze the characteristics of economic agglomeration in urban clusters. This paper selects the NPP-VIIRS night light data of Beijing-Tianjin-Hebei from 2012 to 2018 and, based on basic processing and timing construction with statistical data contrast, characterizes the economic clustering degree of the whole urban cluster and each of the three regions, using Gini coefficient, the first urban agglomeration degree and the average light intensity of their bright source areas. The nuclear density estimation method, the standard deviation ellipse method and the gravity center transfer model are used to explore the urban economic agglomeration temporal and spatial variation characteristics. The results show that during the study period, the overall economic agglomeration degree of this urban cluster showed a trend of rising-falling-rising, but on the whole, it was relatively stable, while the economic agglomeration degree of each region changed more obviously with time; that the agglomeration of urban cluster economy exhibited a stable spatial structure of dual-polycentric development and, with Beijing and Tianjin as a bi-centered structure to lead the way, formed a concentrated high economic agglomeration zone along the northwest-southeast direction, a secondary gradient zone of economic agglomeration from northeast to southwest with Tangshan, Shijiazhuang and Langfang as the centers, and some low economic agglomeration development areas distributed around the above zones; and that urban economic agglomeration was contracted in the discrete trend and showed a northeast-southwest distribution pattern in spatial distribution, which was relatively stable in time evolution; the economic agglomeration center showed no conspicuous directional characteristics, and it swung slightly in the northeast-southwest direction.

Key words: economic agglomeration; night light data; Beijing-Tianjin-Hebei urban cluster; spatial structure

经济在空间上的不均匀分布是当今世界经济发展的一个突出特征^[1]。我国在 20 世纪 90 年代中期之后,市场成为资源配置的主要作用力。于是,在经济规律的自发作用下,生产要素开始集聚到一定的区域或城市。经济活动集聚所带来的集聚效应和规模经济,使得经济活动集聚区相对于其他区域得到了更加快速的经济增长,城市经济集聚也成为了新经济地理学关注的一个重点问题^[1-2]。在经济集聚的相关研究中,通常使用基于统计数据的单位面积经济(地均二、三产业生产总值、地均 GDP 等)作为经济集聚程度的度量指标,如周侃等^[3]选取单位面积上非农产出作为经济集聚度量指标分析经济集聚对区域水污染物的影响,汪聪聪等^[4]也同样选用单位面积的非农产出指标分析经济集聚对雾霾污染的影响,张翠菊等^[5]利用单位面积城市土地的 GDP 产出来衡量城市经济活动的集聚程度;或是通过单位面积人口等指标来衡量城市经济集聚程度,如刘修岩等^[1]采用每平方公里的人口数量作为经济集聚程度的度量,认为人口密度是衡量经济活动集聚的较为合适的指标;亦或通过经济规模或人口的基尼系数、赫芬达尔指数、泰尔指数等指标来表示该区域的集聚程度,研究尺度多以国家或省域单元为主,如邓丽君等^[6]引入城市基尼系数测算城市群人口和经济的集聚程度,李佳洺等^[7]利用城市基尼系数和首位城市集聚度对我国 20 个城市群的经济和人口的集聚程度进行测度和分析,刘满凤等^[8]用赫芬达尔指数、基尼指数和地理集中度指数测度了我国省级区域的经济集聚度水平。采用统计数据能够对城市经济集聚程度进行有效研究,但存在统计数据口径不统一、空间分辨率低、实时性较差等缺点,导致对城市经济集聚特征刻画不够精准。

经济集聚反映经济活动在地域空间内的集中程度^[3],在人类经济活动的刻画上,夜间灯光影像相比普通遥感卫星影像,记录的地表灯光强度信息能更加直接反映人类经济活动的差异,对于经济活动的空间表达更加具象和客观;相比统计数据,则更易获取、覆盖范围更广、实时性更强^[9]。目前应用较广泛的夜间灯光数据主要是 DMSP/OLS(Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System)和 NPP-VIIRS(National Polarorbiting Partnership, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)2 种类型,其中 DMSP/OLS 夜间灯光数据以年度数据形式发布,不同年份的可比性较差,存在灯光饱和的现象,应用之前需要进行复杂的预处理,数据产品在 2013 年之后停止更新,由于发布时间较早且时间序列较长,在经

济活动研究中的应用较广泛^[10]; 新一代 NPP-VIIRS 夜间灯光数据产品具备更精细的时空分辨率, 不同年份数据可比性较强, 数据不存在饱和现象, 发布于 2012 年并且持续更新, 成为经济活动估算的新研究热点^[11]. 在经济集聚的研究中, 不存在灯光饱和的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据用于研究如京津冀城市群经济差异较大的区域更具优势.

城市群是我国经济活动集聚的主要载体, 是经济发展的重要引擎^[12]. 京津冀城市群为我国三大城市群之一, 作为北方人口和经济活动最核心的区域, 在京津冀协同发展国家战略引导下, 探讨其城市经济集聚特征对分析城市群不均衡发展机理、制定针对性的区域经济发展方针具有重要意义.

综上, 本文基于城市群角度, 对 2012—2018 年 10 月 NPP-VIIRS 夜间灯光数据进行预处理, 利用基尼系数、首位城市集聚度以及地均灯光强度来测算城市群和各城市的经济集聚程度, 采用核密度估计法、重心模型、标准差椭圆法探究京津冀城市群经济集聚时空特征, 拟为城市群协调发展政策的制定提供依据.

1 数据来源及研究方法

1.1 研究区域

京津冀城市群位于我国环渤海地区心脏地带, 介于东经 $113^{\circ}27'$ — $119^{\circ}50'$, 北纬 $36^{\circ}05'$ — $42^{\circ}40'$ 之间, 包含北京、天津 2 个直辖市和河北省的 11 个地级市, 土地面积 21.6 万 km^2 , 属温带季风气候. 截至 2017 年底, 常住人口 1.12 亿人, 约占全国的 8%; GDP 总量达到 80 580.5 亿元, 约占全国的 10%, 是我国北方人口和经济活动最密集的城市区域和经济核心区^[13].

1.2 数据来源及处理

1.2.1 数据来源

NPP-VIIRS(2012—2018 年)和 DMSP/OLS(2012 年、2013 年)夜间灯光数据来源于美国国家海洋和大气管理局官网(<https://www.ngdc.noaa.gov/eog>). 京津冀城市群市域行政区边界数据来源于 1:100 万全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn>); 相关统计数据来源于 2013—2019 年《中国城市统计年鉴》《河北省经济年鉴》《天津经济年鉴》和《北京经济年鉴》.

1.2.2 数据预处理

由于北半球 NPP-VIIRS 数据集冬季像元 DN 值受积雪的影响, 夏季像元 DN 值杂散光污染严重^[14], 因此选择数据质量较好的 2012—2018 年 10 月共 7 期灯光影像; DMSP/OLS(2012—2013 年)不存在背景噪声, 用于处理 NPP-VIIRS 背景噪声.

为避免影像网格变形带来的影响并便于计算影像亮源像元的面积, 将行政区边界矢量图和夜间灯光影像均转换成兰伯特等面积投影坐标系并将影像网格重采样为 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$, 然后利用行政区边界矢量图裁剪灯光影像. 利用 2012 年和 2013 年 DMSP/OLS 夜间灯光影像非 0 的像元生成掩膜, 分别提取 2012 年和 2013—2018 年 NPP-VIIRS 影像数据作为稳定的夜间灯光区域, 将掩膜外区域像元值赋为 0. 由于北京市为研究区经济最发达的城市, 因此提取 2018 年北京市行政区范围的最大灯光 DN 值作为阈值, 将高于此阈值的 DN 值赋为该值以达到减弱极高异常值影响的目的, 同时将负值像元赋为 0, 从而得到校正后的灯光影像.

1.3 研究方法

1.3.1 经济集聚程度测度方法

经济集聚反映的是经济活动在地域空间内的集中程度, 利用 NPP-VIIRS 夜间灯光影像与人类经济活动相关性^[9], 通过夜间灯光数据测算城市群及各城市的经济集聚程度.

1) 基于灯光强度的城市群整体经济集聚程度测定方法

统计城市行政区范围内的灯光累计值来表示其经济发展规模, 以首位城市集聚度表示首位城市经济规模在整个城市群中的比重, 即首位城市灯光累计值与整个城市群灯光累计值的比值, 从首位城市的角度来分析城市群经济发展是否集聚, 其计算公式为:

$$W_i = P_i / T_i \quad (1)$$

式中: W_i 为第 i 年首位城市集聚度; P_i 为第 i 年首位城市灯光累计值; T_i 为第 i 年城市群总灯光累计值.

城市基尼系数采用马歇尔提出的方法^[15], 用以分析经济集聚程度随时间变化的特征, 其计算公式为:

$$G_i = T_i / 2S_i(n-1) \quad i = 2012, 2013, \dots, 2018 \quad (2)$$

式中: G_i 为第 i 年的基尼系数; T 为城市群各城市之间灯光累计值之差的绝对值总和; S 为整个城市群的灯光累计值; n 为城市群内的城市数量. 基尼系数的取值范围在 0~1 之间, 其值越接近 0, 表明经济活动越分散; 越接近 1, 表明经济活动越集中^[16].

2) 基于地均灯光强度的城市经济集聚程度测定方法

采用测算后的地均灯光强度来代表城市群各城市的经济集聚程度, 数值越大表示该城市的经济集聚程度越高, 反之相反. 计算公式为:

$$D_j = TDN_j / S_j \quad (3)$$

式中: D_j 为 j 城市地均灯光强度; TDN_j 为 j 行政区范围的灯光累计值; S_j 为 j 行政区的亮源区面积.

1.3.2 经济集聚特征分析方法

1) 用于经济集聚空间结构特征分析的核密度估计法

通过对随机变量概率密度进行估计, 采用连续的密度曲线描述随机变量的分布形态和演化规律^[17]. 假设随机变量 X 的密度函数为 $f(x)$, 在点 x 的概率密度估计如(4)所示. 选择常用的高斯核函数对京津冀城市群经济集聚空间结构特征进行估计, 表达式如公式(5):

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - \bar{X}}{h}\right) \quad (4)$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (5)$$

式中: N 为城市个数; h 为带宽; $K(x)$ 为核函数; X_i 为独立分布的城市; \bar{X} 为均值.

2) 用于经济集聚离散趋势特征分析的标准差椭圆法

采用标准差椭圆长短轴、方向角、扁率等参数, 定量描述经济集聚的离散趋势特征. 长短轴表示经济集聚的分布范围; 方向角为长轴与正北方向顺时针的夹角, 表示经济集聚的分布方向; 长短轴的比值为扁率, 扁率越大, 表示分布越集聚, 反之越分散^[18-19]. 标准差椭圆的计算公式为:

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2}{n}} \quad SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{Y})^2}{n}} \quad (6)$$

式中: SDE_x 和 SDE_y 分别为标准差椭圆 x 轴和 y 轴方向上的轴长; x_j 和 y_j 为经济集聚的坐标; \bar{X} 和 \bar{Y} 为经济集聚的平均中心坐标; n 为城市群城市总数.

3) 用于经济集聚重心迁移特征分析的重心轨迹法

通过计算重心及其变化轨迹, 分析经济集聚的重心迁移特征^[19], 计算公式如下:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad \bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (7)$$

式中: \bar{x}_i 和 \bar{y}_i 分别为第 i 年经济集聚重心的横坐标和纵坐标; M_i 为第 i 年地均灯光强度; X_i 和 Y_i 为第 i 年行政区几何重心点的横坐标和纵坐标.

2 结果及分析

2.1 指标合理性检验

已有研究证明^[18], 夜间灯光强度与 GDP 高度相关, 本以夜间灯光数据测算的灯光强度(灯光累计值)作为经济规模的代理变量(将不再验证), 而以亮源区地均灯光强度(地均灯光累计值)作为经济集聚程度的代理变量的实证研究较少, 为了确保指标合理性, 以 2012 年、2014 年和 2016 年为例, 将亮源区地均灯光

强度与地均 GDP 进行相关性检验和回归分析. 由图 1 可知, 两者具有很强的线性相关关系, 决定系数(R^2)均达到 0.90 以上, 表明地均灯光强度指标能够作为经济集聚程度的代理变量.

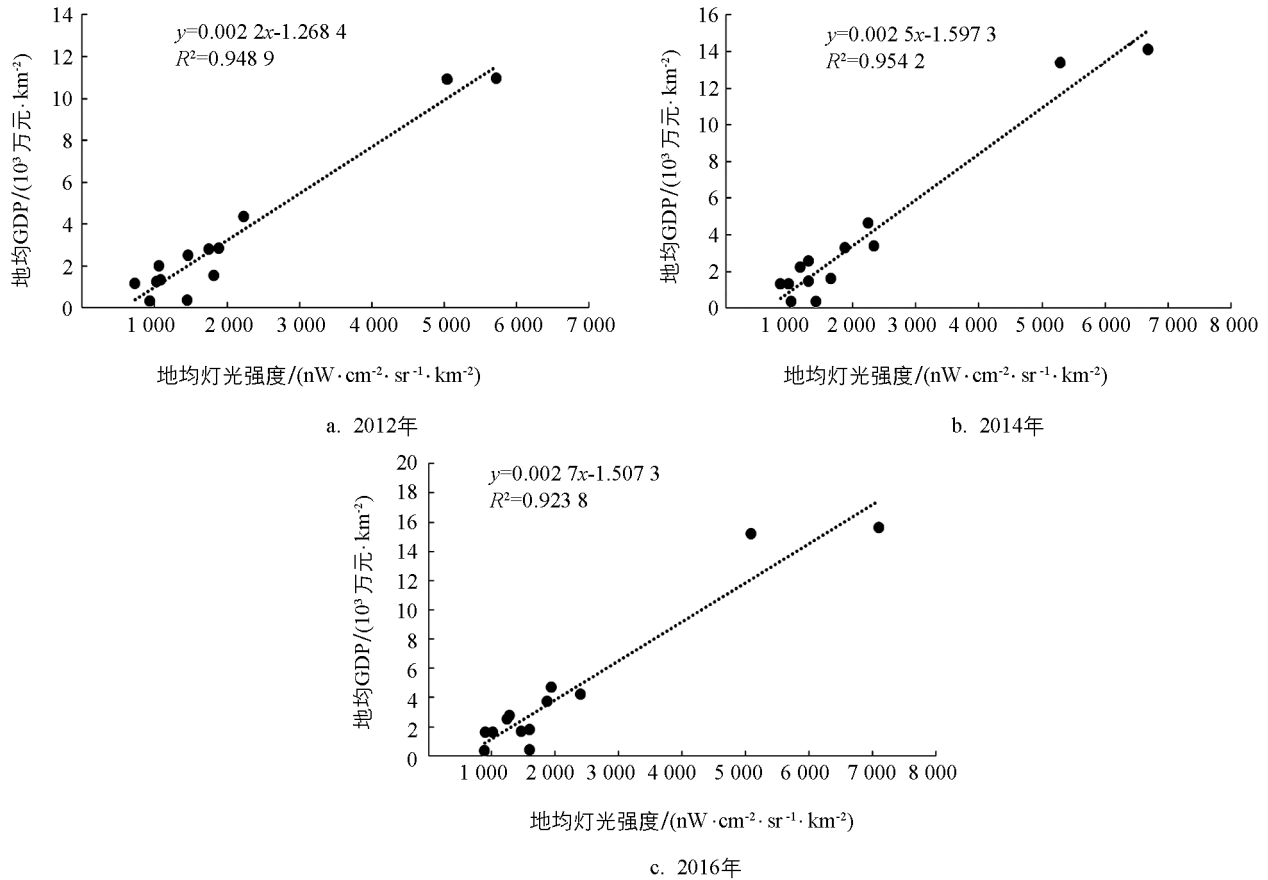


图 1 地均灯光强度与地均 GDP 的相关关系

2.2 经济集聚时间变化特征

基于灯光累计值结合公式(1)、公式(2)测算首位城市集聚度和城市基尼系数, 分析城市群整体经济集聚程度的时间变化特征.

由图 2 可知, 2012—2018 年, 首位城市集聚度均在 0.200 以上, 最高值为 2015 年达到 0.256, 可见京津冀城市群经济一直处于非均衡发展状态, 集聚显著, 但由于首位城市集聚度均在 0.5 以下, 表明经济集聚还未达到过度集聚的程度. 从各城市之间经济规模差异的角度, 利用城市基尼系数进行城市群经济集聚程度的时间变化分析, 发现其总体上呈波动平衡的状态. 具体来看, 城市基尼系数 2012—2015 年不断变大, 由 0.189 增大到 0.215, 经济集聚程度在前期不断上升; 2015—2017 年降至 0.175, 经济集聚程度在中后期开始平稳下降, 主要是由于 2015 年之后《京津冀协同发展规划纲要实施方案(2015—2020 年)》开始落实所致; 2017 年国家级雄安新区在河北设立, 京津冀城市群协同发展达到新高度, 城市基尼系数降至研究期内最小值; 总的来说, 城市基尼系数的范围大约在 0.18~0.21 之间, 基本保持一个相对稳定的状态, 经济集聚程度波动主要体现在其对国家战略及相关政策变化响应较为灵敏.

通过公式(3)测算地均灯光强度进而分析城市群内各城市经济集聚程度的时间演变特征(图 3). 从时间演变上看, 各城市经济集聚程度虽有波动, 但总体上一直处于相对稳定的上升趋势. 研究期内, 一直处于高位的是北京和天津, 两市明显高于河北省各市且绝对差异随时间在逐渐变大, 可见京津与河北省各市在经济体量上相差显著, 其优势区位的累积性与自我强化性使其与河北省各市绝对差异不断扩大; 河北省内经济集聚程度较高的是唐山、石家庄、秦皇岛和廊坊, 初期以唐山最高、石家庄和秦皇岛次之、廊坊最低, 后期则以廊坊最高、石家庄和唐山次之、秦皇岛最低, 体现出廊坊依托其环京津的独特区位优势而迅速发展的特征; 较低的是邢台、承德、衡水等市, 其中尽管衡水随时间变化呈不断增长

趋势,但一直处于末位。京津冀城市群经济集聚程度整体上具有明显的分层结构,且随时间变化各市经济集聚程度的分层亦更加明显。

从各城市经济集聚程度年均增长变化上看,研究期内一直处于正增长的城市仅有北京,初期和后期的增速较快,在 0.10 以上,中期增速较为平缓,约在 0.01~0.05 之间;负增长年份相对较多的城市主要是邯郸、秦皇岛、唐山和天津,其中邯郸 4 年(2013 年—2015 和 2018 年)、秦皇岛 3 年(2013—2015 年)、唐山和天津市也均为 3 年(2014—2016 年),可以看出京津冀城市群经济集聚程度随时间变化呈现出北京长期高位稳定,邯郸、秦皇岛、唐山和天津波动发展,其他城市相对低位稳定的演变特征。

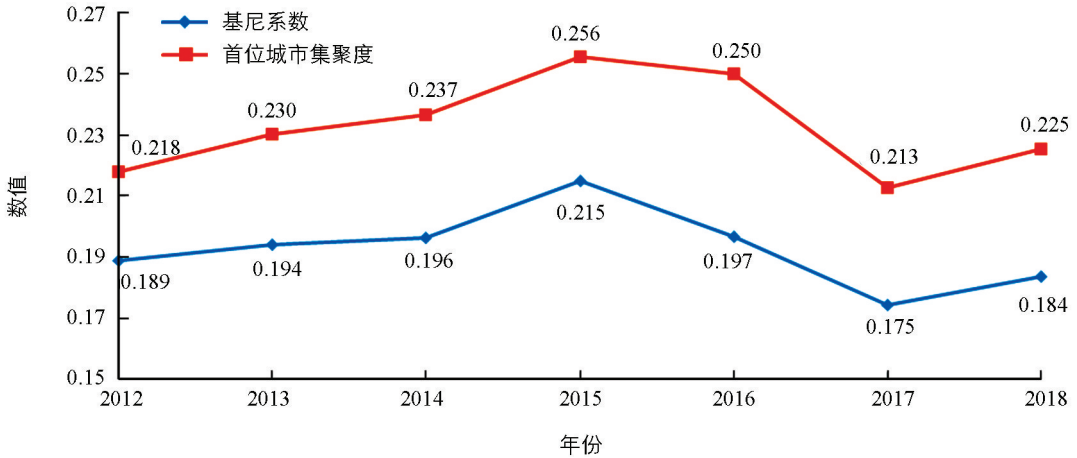


图 2 京津冀城市群 2012—2018 年首位城市集聚度和城市基尼系数变化

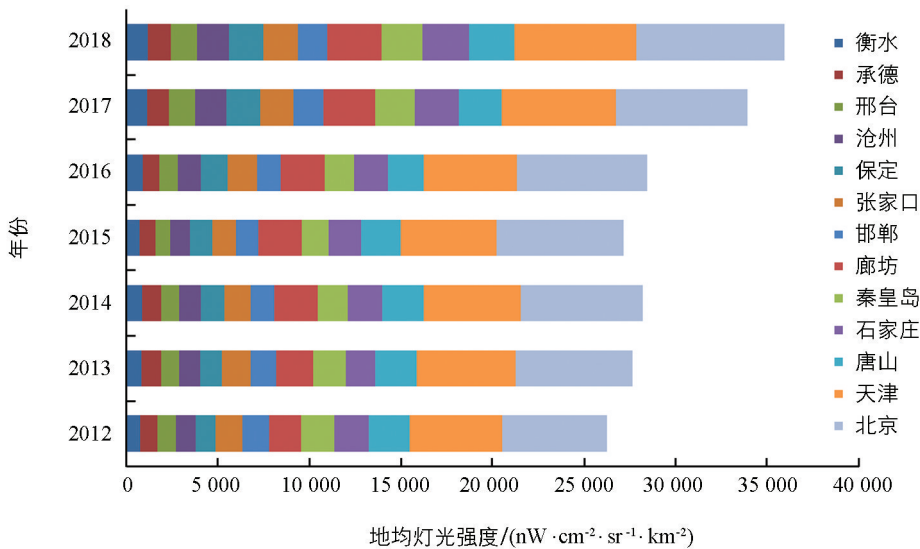
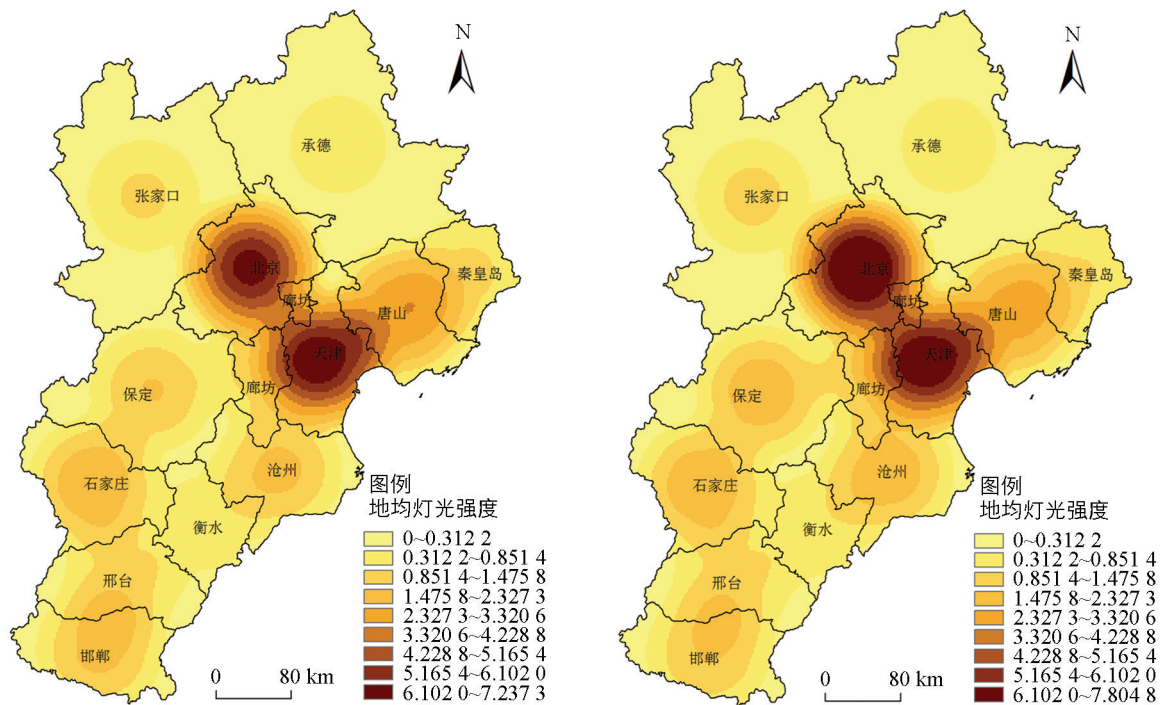


图 3 2012—2018 年京津冀城市群各城市地均灯光强度

2.3 经济集聚空间结构特征

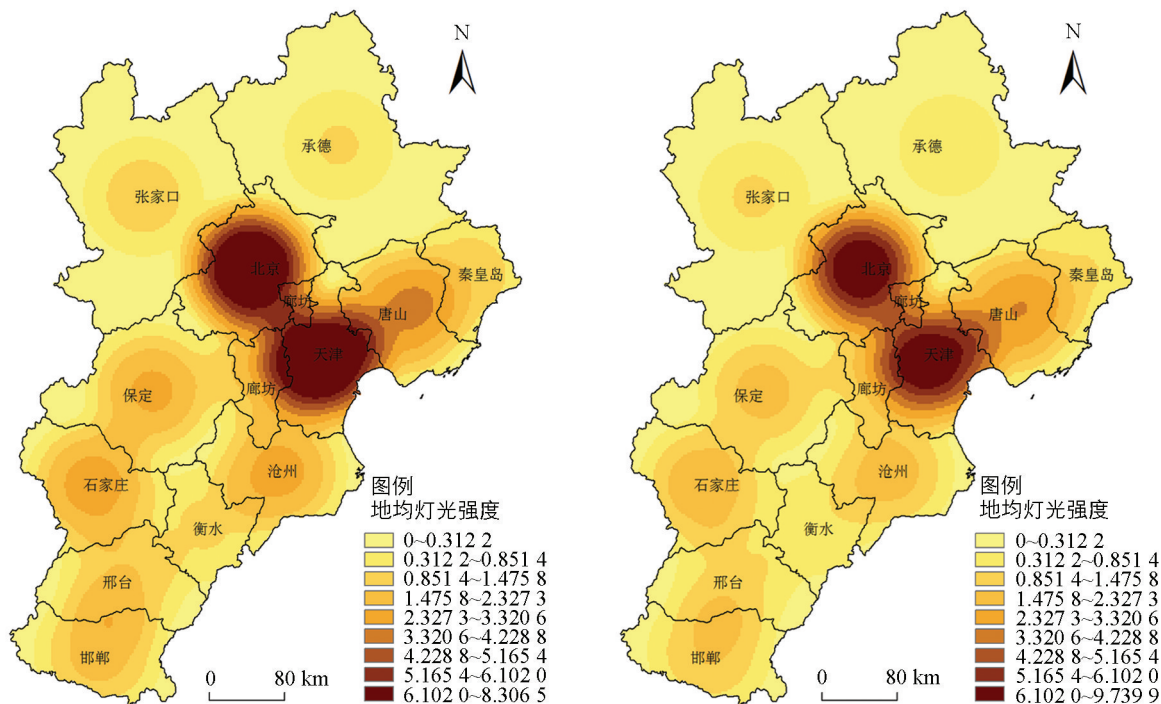
运用 ArcGIS 结合核密度估计公式(4)、(5)可视化表达经济集聚空间结构演变特征(图 4)。

2012—2018 年,经济集聚的最大值为北京和天津两市,其他城市与京津两市存在较大差异。总体上看,京津冀城市群经济集聚表现出明显的空间结构差异,呈现双核集聚(北京—天津)—多中心发展的空间集聚模式。北京和天津双核地位非常稳定,与刘浩等^[13]对 1992—2013 年京津冀城市群经济结构的研究具有较强的一致性,可见城市群双核结构不仅受到经济基础和人口规模等社会经济因素影响,其形成还具有一定的历史因素;廊坊依托其京津走廊的独特地域优势,经济集聚程度不断提高且增速较快,而唐山和石家庄两市与京津虽然还有较大差距,但发展迅速且上升趋势明显,与廊坊一同成为京津冀经济集聚的第二梯度;城市群外围以承德、沧州、衡水、邢台等形成经济集聚的低谷区。从核密度表示的空间关系分析,空



a. 2012年

b. 2014年



c. 2016年

d. 2018年

底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网站, 审图号: GS(2016)1610 号。

图 4 京 津 冀 城 市 群 经 济 集 聚 空 间 特 征

间相关性较差的城市经济集聚呈同心圆式扩散, 如经济集聚程度较高的北京和较低的张家口、承德等; 空间相关性较强的城市多呈椭圆式扩散且具有方向性, 如天津有向东北和西南方向扩散的趋势, 对唐山和廊坊的影响较大. 从空间辐射的相关性上分析, 城市群经济集聚结构总体上呈以京津为核心并向周边辐射的西北—东南方向经济集聚核心区; 西南区域形成保定、石家庄、邢台和邯郸的 S 型不同程度经济集聚发展

区,核心城市为石家庄;东北区域则形成以天津为核心的唐山、秦皇岛的东北—西南方向的沿海经济集聚发展区;西北区域受周围城市影响较小,形成以张家口、承德各自为中心发展的低经济集聚程度区.天津作为双核之一,在经济集聚的相关关系上和北京具有粘连之势,和经济集聚程度较高的唐山以及廊坊联系紧密,同时也是沿海经济集聚发展区的核心城市,对京津冀城市群经济集聚空间结构具有重要的影响.从经济集聚随时间变化体现的差异上看,年际间空间特征相似度较高,空间结构变化较小且呈稳定发展的状态;年内空间特征差异明显,高经济集聚区大致在城市群中心,经济集聚呈断崖式发展,使得分布于城市群外围的河北各市与京津两市一直差异巨大,形成连片的低经济集聚发展区.

不同等级的经济集聚梯度区呈现不同的方向特征,表明经济集聚并非圈层扩散,但空间相关性依然存在,距离的远近虽然对经济集聚的空间结构具有一定的影响,但也是其必要非充分条件.京津两市由于与河北各市经济发展存在较大的差异、空间结构不均衡现象显著,一直是经济集聚的热点区;紧邻热点区的张家口、承德两市的环京低经济集聚带表现的则是城市群经济集聚的空间异质性,其原因更多是生态抑制性的低经济增长;作为河北省省会的石家庄和具有良好工业基础的唐山以及受京津两市影响较大的廊坊,在经济发展的过程中经济集聚程度不断提高,但受总量水平和空间距离制约只对周边地区一定范围内产生影响,带动作用相对较小.

2.4 经济集聚离散趋势和重心迁移特征

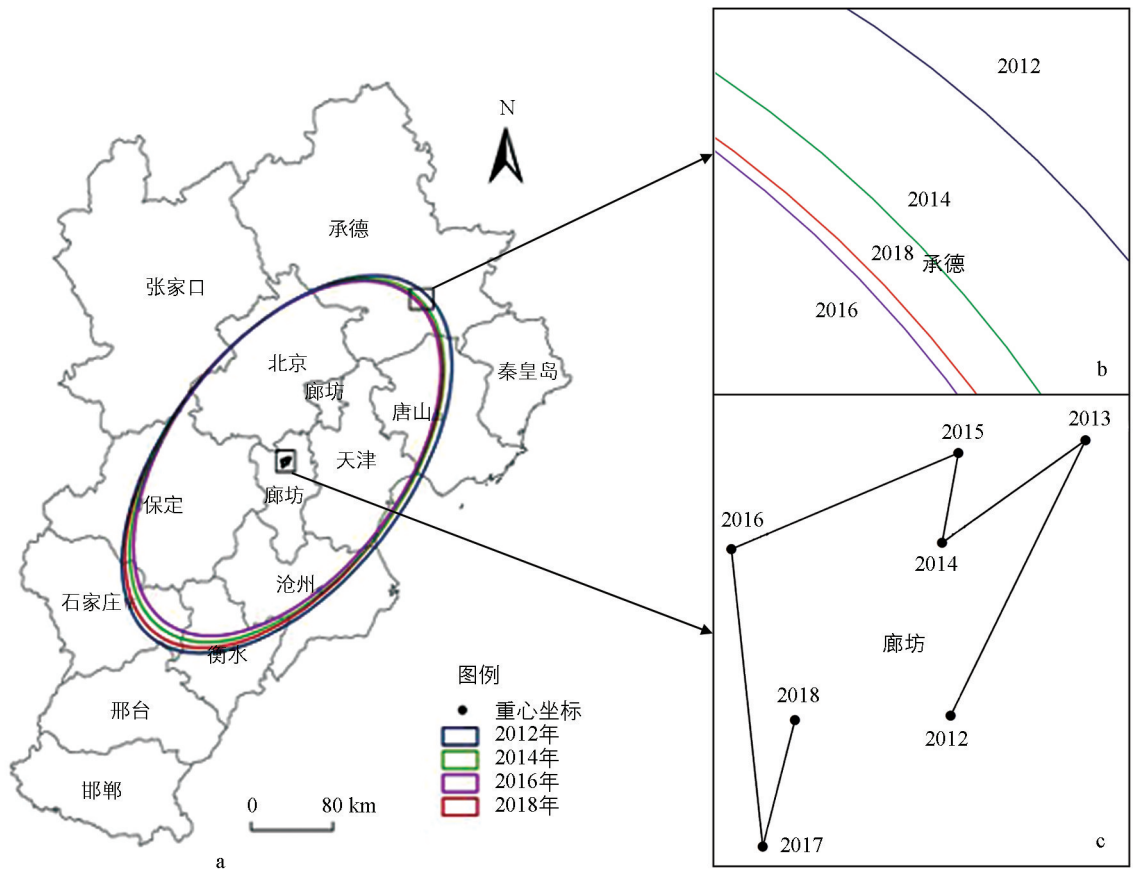
运用 ArcGIS 结合公式(6)绘制标准差椭圆,通过椭圆变化及长短轴、方向角、扁率探讨不同年份城市群经济集聚离散趋势特征.

由图 5 和表 1 可知,椭圆周长 2012—2015 年变小,2015—2017 年变大,2017—2018 年再次变小,表明经济集聚由初期呈现的收缩状态逐步转向扩张,到 2017 年后又出现收缩趋势.经济集聚总体上呈现扩张—收缩—再扩张的变化趋势,并未一味地扩张或是收缩,相同趋势变化的时间较短,表明经济集聚可能受到政策调控的影响.椭圆长短半轴 2012—2015 年不断变短,2015—2017 年长度均变长且长轴的长度增加较多,短轴长度增加相对较少,2017—2018 年长短半轴又开始变短,反映初期经济集聚在东北、西南以及东南方向上均呈现收缩状态,中期经济集聚在南北方向上的扩张速度更快,在东西方向上的扩张速度则相对平缓;后期经济集聚又开始在东北和西南方向上收缩.旋转角由 37.85° 变为 37.03° ,方向有轻微向北偏转,椭圆的扁率数值约为 1.80 且年际变化较小,表明经济集聚方向性明显且较为稳定.总体上经济集聚呈现东北—西南的分布格局且相对稳定,在离散趋势上呈现出东北和西南方向明显收缩、中心集聚的变化特征.

表 1 京津冀城市群经济集聚标准差椭圆主要参数

参数	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
周长/km	1 063.30	1 033.51	1 020.38	997.57	1 014.52	1 042.45	1 029.90
短轴长/km	117.32	117.05	114.38	112.69	115.42	115.57	115.04
长轴长/km	214.05	205.80	204.08	198.87	201.63	209.45	206.28
方向角/ $^\circ$	37.85	36.58	37.03	36.97	35.91	37.07	37.03
扁率	1.82	1.76	1.78	1.76	1.75	1.81	1.79

运用 ArcGIS 结合公式(7)计算重心并绘制重心变化轨迹分析经济集聚的重心迁移特征.由图 5(c)可知,研究期内京津冀城市群经济集聚重心始终分布在廊坊市内,未出现跨区域范围的波动.从重心轨迹看,经济集聚重心未有向同一方向持续移动的趋势,主要在东北和西南方向来回摆动,仅 2016—2017 年为南偏东方向;从移动的距离看,年均迁移距离始终在 7 km 以内;其中,2012—2013 年迁移距离最长为 6.71 km,2014—2015 年迁移距离最小为 2.02 km;总体上看,京津冀城市群经济集聚重心相对稳定,仅在小范围内波动,这可能与京津与河北经济总量相差悬殊有关,同时也反映出近年来经济集聚状态一直以京津为核心,河北与京津及其内部差异相对稳定一时难有较大改变.



底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网站, 审图号: GS(2016)1601 号。

图 5 京津冀城市群经济集聚标准差椭圆和重心迁移

3 结论与讨论

3.1 结论

本文在对 NPP-VIIRS 夜间灯光数据进行预处理并经过相关统计数据对比验证基础上, 运用核密度估计法、标准差椭圆法和重心轨迹法等探究了京津冀城市群经济集聚的时空演化以及方向性特征。主要结论如下:

1) 夜间灯光数据测算的指标中, 地均灯光强度和统计数据表征的经济集聚程度相关指标具有较强相关性, 地均灯光强度作为经济集聚程度的度量指标具有合理性。

2) 从时间变化特征上看, 基尼系数和城市首位集聚度表征的城市群经济集聚程度具有相对性特点, 变化上呈波动平衡趋势, 经济集聚存在轻微波动变化。地均灯光强度表征各市经济集聚程度具有绝对性特点, 总体上呈上升的趋势, 但在上升的过程中有些许波动, 随时间变化各城市分层明显。

3) 从空间结构特征上看, 研究期内京津冀城市群的经济集聚呈现双核集聚—多中心发展的空间集聚模式, 呈现出较明显的圈层结构。以京津为核心的高经济集聚双核结构一直比较稳定, 但天津与北京还存在一定差距; 廊坊、唐山和石家庄经济集聚程度不断提高, 成为经济集聚多中心的第二梯度区; 承德、张家口、衡水等低经济集聚区分布在城市群外围。

4) 从离散趋势和重心迁移来看, 研究期内城市群经济集聚呈明显的东北—西南分布格局, 虽然随时间变化方向上有波动, 但变化较小, 具有相对稳定的分布格局, 前期城市经济集聚在离散趋势上呈现收缩的状态, 中后期虽有扩张但总体仍表现为收缩状态。经济集聚重心没有明显的方向性, 在东北和西南方向来回摆动。

3.2 讨论

大尺度、长时间序列的夜间灯光数据成果能够有效支撑地表人口^[20]和经济活动^[21]的研究, 通过对夜

间灯光数据相关指标和表征经济集聚程度常用指标进行相关性分析,发现采用 NPP-VIIRS 夜间灯光数据测算的亮源区地均灯光强度,相较于 DMSP/OLS 夜间灯光数据表示的经济指标,由于数据不存在灯光饱和的问题,在经济水平差异较大的区域能很好地表示区域经济集聚的变化特征.引入夜间灯光研究城市经济集聚特征,与统计数据相比更实时快捷,可以及时发现更多受统计数据因素所限制和忽略的细节.

NPP-VIIRS 夜间灯光数据相较于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的时空分辨率更高,同时数据的处理方式也相对简单,但应用之前需要进行噪声处理,当前的处理方式对数据质量有很大改善,但较长时间序列处理还是存在些许不足和误差,后续研究中可以通过改进数据处理方式来进一步提高研究的精确性.另外,本研究以单一城市群及其内部城市为研究对象,未来可拓展研究的时间维度和空间尺度,并对城市群之间的经济集聚差异进行深入探讨.

参考文献:

- [1] 刘修岩,邵军,薛玉立. 集聚与地区经济增长:基于中国地级城市数据的再检验 [J]. 南开经济研究, 2012(3): 52-64.
- [2] 金煜,陈钊,陆铭. 中国的地区工业集聚:经济地理、新经济地理与经济政策 [J]. 经济研究, 2006(4): 79-89.
- [3] 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 [J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1483-1495.
- [4] 汪聪聪,王益澄,马仁锋,等. 经济集聚对雾霾污染影响的空间计量研究——以长江三角洲地区为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 1-11.
- [5] 张翠菊,张宗益. 产业和人口的空间集聚对中国区域碳排放强度的影响 [J]. 技术经济, 2016, 35(1): 71-77, 125.
- [6] 邓丽君,张平宇,李平. 中国十大城市群人口与经济发展平衡性分析 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2010, 27(2): 154-162.
- [7] 李佳洺,张文忠,孙铁山,等. 中国城市群集聚特征与经济绩效 [J]. 地理学报, 2014, 69(4): 474-484.
- [8] 刘满凤,谢哈进. 中国省域经济集聚性与污染集聚性趋同研究 [J]. 经济地理, 2014, 34(4): 25-32.
- [9] 陈颖彪,郑子豪,吴志峰,等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(2): 205-223.
- [10] ZHANG Q, SETO K C. Mapping Urbanization Dynamics at Regional and Global Scales Using Multi-Temporal DMSP/OLS Nighttime Light Data [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(9): 2320-2329.
- [11] LI X, XU H M, CHEN X L, et al. Potential of NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery for Modeling the Regional Economy of China [J]. Remote Sensing, 2013, 5, 3057-3081.
- [12] 孙铁山. 中国三大城市群集聚空间结构演化与地区经济增长 [J]. 经济地理, 2016, 36(5): 63-70.
- [13] 刘浩,马琳,李国平. 京津冀地区经济发展冷热点格局演化及其影响因素 [J]. 地理研究, 2017, 36(1): 97-108.
- [14] 陈慕琳,蔡红艳. VIIRS/DNB 夜间灯光月度产品插补方法对比——以北京为例 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 126-138.
- [15] 叶玉瑶,张虹鸥. 城市规模分布模型的应用——以珠江三角洲城市群为例 [J]. 人文地理, 2008, 23(3): 40-44.
- [16] 韩帅帅,狄乾斌. 环渤海地区城市密集区的空间识别与集聚特征 [J]. 地域研究与开发, 2016, 35(1): 20-26.
- [17] 魏中宇,苏惠敏,黄荣静. 基于 POI 数据西安市商业集聚特征分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 97-104.
- [18] 晁静,赵新正,李同昇,等. 长江经济带三大城市群经济差异演变及影响因素——基于多源灯光数据的比较研究 [J]. 经济地理, 2019, 39(5): 92-100.
- [19] 闰记影,孙秋兰. 直辖以来重庆市县域经济差异的时空演变 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(8): 106-116.
- [20] 卓莉,陈晋,史培军,等. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟 [J]. 地理学报, 2005(2): 266-276.
- [21] 韩向娣,周艺,王世新,等. 基于夜间灯光和土地利用数据的 GDP 空间化 [J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 396-405.