

1992—2016 年京津冀城市群城市扩展过程和驱动分析*

朱 磊^{1,2)} 岳嘉琛^{1,2)} 陈诗音^{1,2)}
黄庆旭^{1)†} 杨双姝¹⁾ 刘紫玟¹⁾

(1)北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室人与环境系统可持续研究中心,100875,北京;

2)北京师范大学地理科学学部地理学院,100875,北京)

摘要 基于长时间序列夜间灯光数据、归一化植被指数和地表温度数据,利用支撑向量机完善了京津冀城市群1992—2016年城市建设用地信息,在此基础上,采用景观扩展指数分析了城市扩展过程,并采用相关分析和 Logistic 回归分析模型,探讨了社会经济和地理区位因素对城市扩展的影响机制,结果表明:京津冀城市建设用地面积从1992年的1 662.8 km²增长到了2016年的9 092.5 km²,年均增长速度为7.3%,京津冀城市群的城市扩展以边缘型为主,社会经济因素与城市扩展呈显著正相关,其中人民生活水平的提高与城市扩展的相关性最高,地理区位因素和政策因素也是影响城市扩展的重要因素,未来京津冀城市群的发展应重点关注空间格局和经济结构的调整,走集约发展之路,探索人口经济密集地区优化开发的模式,促进区域协调发展。

关键词 夜间灯光数据;京津冀城市群;城市化;景观扩展指数;驱动力

中图分类号 F299.27

DOI: 10.16360/j.cnki.jbnuns.2019.02.017

0 引言

城市建设用地是指城市和县人民政府所在地镇内的居住用地、公共管理与公共服务用地、商业服务业设施用地、工业用地、物流仓储用地、交通设施用地、公用设施用地和绿地^[1],快速并准确地提取城市建设用地,分析城市扩展的特征和驱动因素,对认识城市化进程、研究城市可持续发展有着重要的作用。城市群指在特定地域范围内,以1或2个特大城市为核心,由若干城市组成的依托发达的基础设施网络和管理体系所形成的经济上高度一体化的城市群^[2],城市群是城市建设用地的主要聚集地,也是城市扩展的主要发生区域,城市群的城市扩展变化规律是土地利用/覆被变化和城市化的重点研究内容^[3]。

京津冀城市群包括北京、天津以及河北省的石家庄、张家口、保定等13个城市、178个县级行政单元,是我国3大城市群之一,在我国城市群体系中属于国家级城市群^[4],在过去20多年间,京津冀城市群发展迅速,无论是经济总量还是人口规模都有了很大程度的增长,然而此地区的高速发展也带来了一些负面影响,如“异地城镇化”、“大城市病”、社会环境承载力失衡等问题^[5],2015年,国家发布了《京津冀协同发展规

划纲要》,2017年,中共中央、国务院决定设立雄安新区,二者的核心都是有序疏解北京非首都功能,这对于优化京津冀地区城市布局具有重大意义^[6],京津冀的协同发展已经上升到国家战略,在此背景下,量化和分析京津冀城市群的城市扩展过程对于京津冀的协同发展至关重要,也能够为雄安新区设立的必要性提供理论验证和支持。

近年来,许多学者对京津冀城市群的城市扩展开展了研究,如:徐新良等^[7]利用GIS空间分析方法,分析了1990—2008年京津冀城市扩展的时空过程,并运用SLEUTH模型模拟了京津冀城市扩展的未来情景;隆学文等^[8]对20世纪80年代末、90年代末、2008年3个时间段的首都圈京津冀三轴线城市空间结构演变进行了遥感分析,发现其沿中心向外扩展,具有辐射效应;孟丹等^[9]采用遥感和GIS相结合的技术方法,分析了1990—2006年京津冀都市圈的空间扩展特征;侯莉莉等^[10]利用遥感数据分析了2010—2015年北京、天津、石家庄3个城市的格局变化。

夜间灯光数据为获取大尺度的长时间序列的城市扩展动态信息提供有力的数据保障,2010和2012年,美国国家地球物理数据中心先后发布了defense meteorological satellite program-operational linescan

*北京市科技新星资助项目(Z181100006218049);北京师范大学本科生科研训练与创新创业资助项目

†通信作者, e-mail: qxhuang@bnu.edu.cn

收稿日期:2018-09-22

system (DMSP-OLS) 稳定夜间灯光第 4 版数据集和 suomi national polar-orbiting partnership-visible infrared imaging radiometer suite (NPP-VIIRS) 新版夜间灯光数据集。这些夜间灯光数据均经过了一系列严格的数据预处理,能够有效反映城市的灯光信息,使之区别于黑暗的非城市地区,而且适合监测大尺度城市扩展动态的空间分辨率与时间序列信息,为监测中国城市扩展过程提供了一条便捷可靠的途径^[11]。目前已有一些学者利用这些夜间灯光数据集对城市扩展进行研究。如:He 等^[12]利用非辐射校准的 DMSP-OLS 夜间灯光图像和统计数据研究了 20 世纪 90 年代的城市化进程;卓莉等^[13]利用 1992、1996 和 1998 年 3 期 DMSP-OLS 夜间灯光数据,提出一种以像元灯光强度时间变化特征为依据的城市扩展类型的识别方法;杨洋等^[14]基于长时间序列 DMSP-OLS 夜间灯光数据,对 1992—2010 年环渤海地区进行土地城镇化水平的时空测度分析;许伟攀等^[15]利用 NPP-VIIRS 夜间灯光数据,以中美 2 国为例,揭示了快速城市化国家与已完成城市化国家城市规模分布的异同。

目前,对京津冀城市群城市扩展的研究大多以某几期遥感影像为基础,较少有完整的逐年数据,难以准确揭示城市扩展的模式,并且研究的时效性较低。2012 年以后,特别是 2015 年京津冀城市群规划出台之后的研究很少。因此,本文将基于 2012—2016 年 NPP-VIIRS 数据提取京津冀城市群的城市建设用地,并与基于 DMSP-OLS 数据提取的城市建设用地信息构成 1992—2016 年逐年时间序列的城市扩展数据。然后利用景观扩展指数,分别在城市群尺度和城市尺度上分析 1992—2016 年京津冀城市群城市扩展的特征。最后,利用相关分析方法,讨论社会经济发展与城市扩展的关系,并利用 Logistic 回归方法,探讨京津冀城市群建设用地和地理区位的关系,并与国家政策进行对比,明确了政策因素对城市扩展的影响。

1 研究区与数据

1.1 研究区 研究范围是由北京市、天津市、石家庄市、张家口、保定等 13 个城市组成的京津冀城市群,总面积 21.8 万 km²。京津冀城市群地处华北平原北部、西邻太行山、北邻燕山,气候为暖温带大陆性季风气候。京津冀城市群与珠江三角洲城市群和长江三角洲城市群并列列为 3 大城市群,它也是我国的政治、经济、科技、文化的中心。2016 年京津冀城市群全年 GDP 达 75 624.97 亿元,占全国 GDP 的 10.17%,常住人口达到了 1.12 亿,占全国总人口的 8.1%^[16]。

1.2 数据 共使用了 5 种数据。

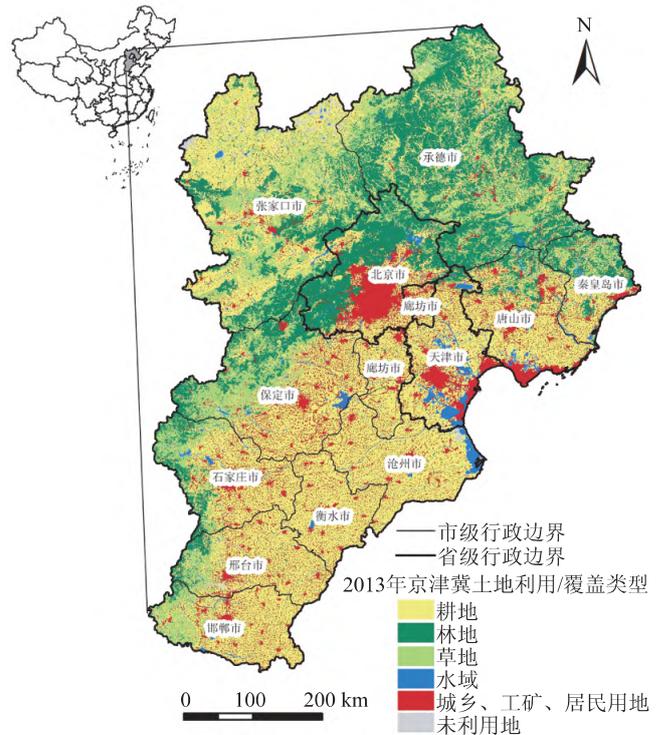


图 1 研究区概况

1) NPP-VIIRS 夜间灯光数据来自美国国家地球物理数据中心 (<https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/>)。美国国家地球物理数据中心网站自 2012 年 4 月开始每月发布 1 期 NPP-VIIRS 夜间灯光数据,数据的时间跨度为 2012 年 4 月—2016 年 12 月。与 DMSP-OLS 夜间灯光数据相比,NPP-VIIRS 夜间灯光数据将分辨率提高到了 500 m,且其较宽的辐射探测范围不会出现灯光饱和现象,清晰度和灵敏度都得到了提高,可以更准确地进行城市建设用地的提取^[17]。

2) 中分辨率成像光谱仪 (moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS) 植被覆盖指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 数据来自美国航空航天宇航局戈达德航天中心网站 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>)。本文采用 2012—2016 年 MODIS13A1 的 500 m 分辨率 16 d 合成的植被指数产品,可以有效反映植被的盖度,为排除水体和未利用地提供重要的辅助信息。

3) 地表温度 (land surface temperature, LST) 数据来自美国航空航天宇航局戈达德航天中心网站 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>)。本文采用 2012—2016 年 MODIS11A2 的 1 000 m 分辨率 8 d 合成的夜间地表温度数据,它可以有效反映地表温度,为城市建设用地提取提供重要的辅助信息。

4) 1992—2010 年京津冀城市建设用地数据来自 He 等^[18]提取的 1992—2010 年中国城市土地数据。该

数据准确地反映了 1992—2010 年中国的城市扩张,数据分辨率为 1 km,总体平均精度为 95.2%,Kappa 值为 0.66。为确保计算分析过程中的准确性,以上空间数据均采用 Albers 等积投影,空间分辨率统一为 500 m。

5) 社会经济数据均来自《中国统计年鉴》《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》和《河北经济年鉴》^[16,19-21]。90 m 高程数据和 1:400 万的河流、公路、铁路、地级市和县级中心矢量数据来自国家地理信息公共服务平台 (<http://service.tianditu.gov.cn/>)。

2 方法

2.1 数据预处理 数据预处理由 2 部分组成。对于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据,用 ArcGIS10.2 裁剪出京津冀城市群区域。由于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据并未排除夜间的火光、气体燃烧等异常光源信息,参考唐梁博等^[22]的研究,选取首都国际机场的最高灯光数据作为最大灯光阈值,用 ArcGIS10.2 的栅格计算器工具对其进行过亮像元的过滤,即异常值的过滤。参考 He 等^[18]研究,对 NPP-VIIRS 夜间灯光数据进行年平均合成,对 NDVI 数据和 LST 数据进行年最大值合成,获得 2012—2016 年植被和温度数据。

2.2 提取城市建设用地 在收集并处理了 2012—2016 年的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据、MODIS 的 LST 数据和 NDVI 数据后,基于支撑向量机 (support vector machine, SVM),提取京津冀城市群 2012—2016 年的城市建设用地^[18]。需要说明的是,在利用 SVM 方法提取城市建设用地之后,参考何春阳等^[23]的研究,进行了数据的后期处理,即假设京津冀城市群的城市建设用地是连续增加的,即在前一年出现的城市建设用地斑块在下一年的图像中应该也是城市建设用地,不会消失。将城市建设用地提取结果与刘纪远等^[24]使用 Landsat TM 提取的 30 m 分辨率京津冀城市建设用地进行对比。对比结果显示,基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据提取的城市建设用地整体精度达到 97.62%,Kappa 系数达到 0.67,可以用于京津冀城市群的城市扩展动态研究。

2.3 计算景观扩展指数 采用刘小平等^[25]提出的景观扩展指数 (landscape expansion index, LEI, 量符号为 I_{LE}) 对京津冀城市群城市扩展模式进行定量分析:

$$I_{LE} = \frac{A_0}{A_0 + A_v} \times 100\%$$

式中 A_0 是指新增城市建设用地的缓冲区与已有城市建设用地相交的面积; A_v 是指该缓冲区与非城市建设用地相交的面积。根据 I_{LE} 值的不同,可将城市扩展模式分成飞地型 (outlying)、边缘型 (edge-expansion) 和

内填型 (infilling) 3 种类型:飞地型是指新增的城市建设用地与已有城市建设用地之间没有直接接触的扩展模式,即 $I_{LE} = 0$;边缘型是指在已有城市建设用地的边缘继续扩展的模式,即 I_{LE} 值为 0~50;内填型是指新增城市建设用地被已有城市建设用地包围的区域的扩展模式,即 I_{LE} 为 50~100。 I_{LE} 不仅可体现景观的空间格局,还可显示出景观格局的动态变化过程信息^[25]。

3 结果

3.1 京津冀城市群城市面积扩展 京津冀城市群的城市建设用地扩展迅速 (图 2)。城市建设用地面积从 1992 年的 1 662.8 km² 增长到了 2016 年的 9 092.5 km²,增长了 4.5 倍。1992—2016 年间,京津冀城市面积年均增速为 7.3%,2008 年年均增速最小,为 2.0%,1993 年年均增速最大,达到 20.7% (图 3-b)。城市建设用地占整个京津冀总面积的比例从 1992 年的 0.8% 增长到 2016 年的 4.2%。Xu 等^[26]的研究发现,1992—2015 年在全国尺度上城市建设用地面积年均增速为 8.1%。因此京津冀城市群城市建设用地增速略低于全国平均水平。

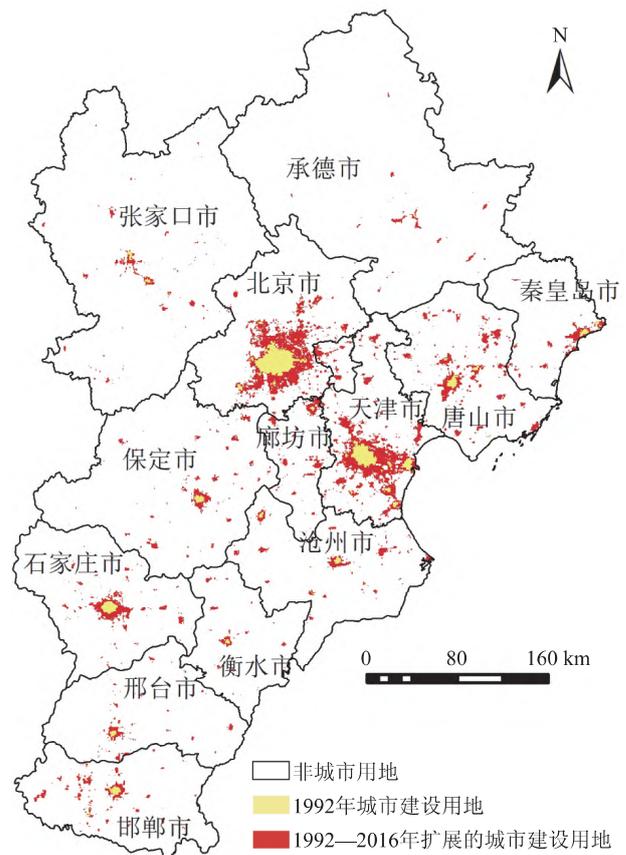


图 2 1992—2016 年京津冀城市群城市建设用地扩展空间分布

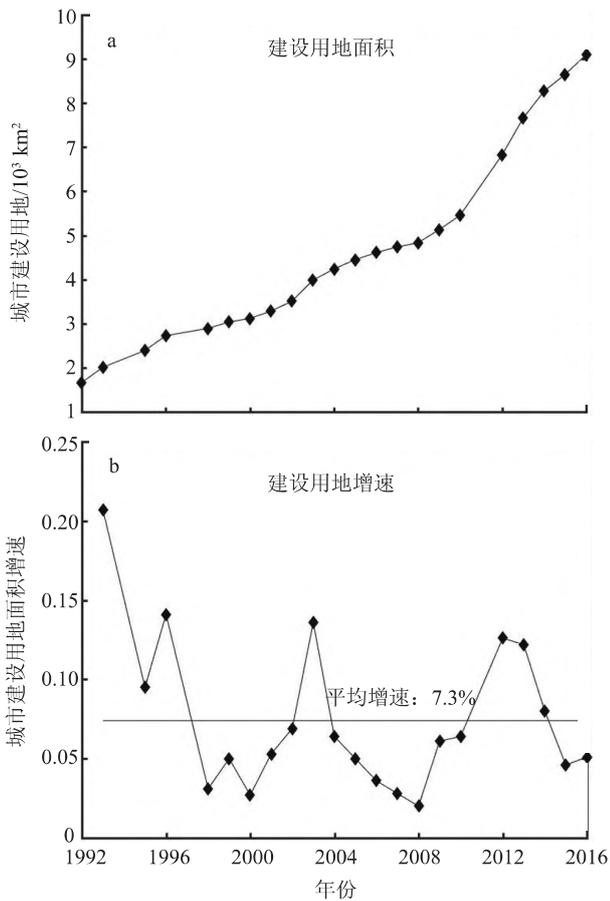


图 3 1992—2016 年京津冀城市建设用地面积变化

不同城市的城市扩展速度差异显著。1992—2016 年,城市建设用地年均增速最快的是承德和廊坊,年均

增速分别达到了 17.4%和 17.1%。北京市年均增速最低,仅为 5.5%。其他 10 个城市年均增速均为 7.1%~10.0%(表 1)。从城市扩展面积来看,北京市和天津市的年平均扩展面积最大,分别为 78.7 和 75.8 km²·a⁻¹。

表 1 1992—2016 京津冀城市群的城市扩展

城市	年均扩展面积/(km ² ·a ⁻¹)	城市扩展年均增速/%
承德	5.8	17.4
廊坊	18.0	17.1
衡水	4.8	10.0
唐山	32.2	9.9
邢台	8.3	9.6
保定	15.5	9.5
沧州	14.2	9.3
张家口	11.5	8.7
秦皇岛	10.2	8.3
邯郸	14.2	7.8
石家庄	20.6	7.4
天津	75.8	7.1
北京	78.7	5.5

3.2 京津冀城市群的城市扩展模式 1992—2016 年间京津冀城市群的城市扩展类型以边缘型为主(图 4),边缘型扩展面积为 5 559.9 km²,占城市扩展总面积的 67.0%(表 2)。边缘型扩展面积比例在 1992—2016 年间均超过 50%。其中最小值为 53.5%,出现在 2012—2013 年。最大值为 81.3%,出现在 1998—1999 年。

表 2 1992—2016 京津冀城市群逐年城市扩展类型面积及比例

年份	边缘型		飞地型		内填型		扩展总面积 km ²
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
1992—1993	267.0	77.4	37.0	10.7	41.0	11.9	345.0
1993—1995	301.0	79.0	26.0	6.8	54.0	14.2	381.0
1995—1996	211.0	62.6	40.0	11.9	86.0	25.5	337.0
1996—1998	122.0	72.6	23.0	13.7	23.0	13.7	168.0
1998—1999	113.0	81.3	7.0	5.0	19.0	13.7	139.0
1999—2000	54.0	65.1	2.0	2.4	27.0	32.5	83.0
2000—2001	127.0	77.4	10.0	6.1	27.0	16.5	164.0
2001—2002	179.0	78.9	17.0	7.5	31.0	13.7	227.0
2002—2003	356.0	73.4	62.0	12.8	67.0	13.8	485.0
2003—2004	166.0	65.1	38.0	14.9	51.0	20.0	255.0
2004—2005	167.0	78.8	17.0	8.0	28.0	13.2	212.0
2005—2006	117.0	73.6	10.0	6.3	32.0	20.1	159.0
2006—2007	86.0	65.6	14.0	10.7	31.0	23.7	131.0
2007—2008	75.0	70.1	2.0	1.9	30.0	28.0	107.0
2008—2009	200.0	67.3	14.0	4.7	83.0	27.9	297.0
2009—2010	192.0	58.2	27.0	8.2	111.0	33.6	330.0
2010—2012	1 508.3	68.1	619.0	28.0	86.8	3.9	2 214.1
2012—2013	445.5	53.5	47.8	5.7	339.0	40.7	832.3
2013—2014	364.8	59.4	42.5	6.9	207.3	33.7	614.5
2014—2015	225.3	59.4	30.8	8.1	123.5	32.5	379.5
2015—2016	283.0	64.1	38.0	8.6	120.8	27.3	441.8
1992—2016	5 559.9	67.0	1 124.0	13.5	1 618.3	19.5	8 302.1

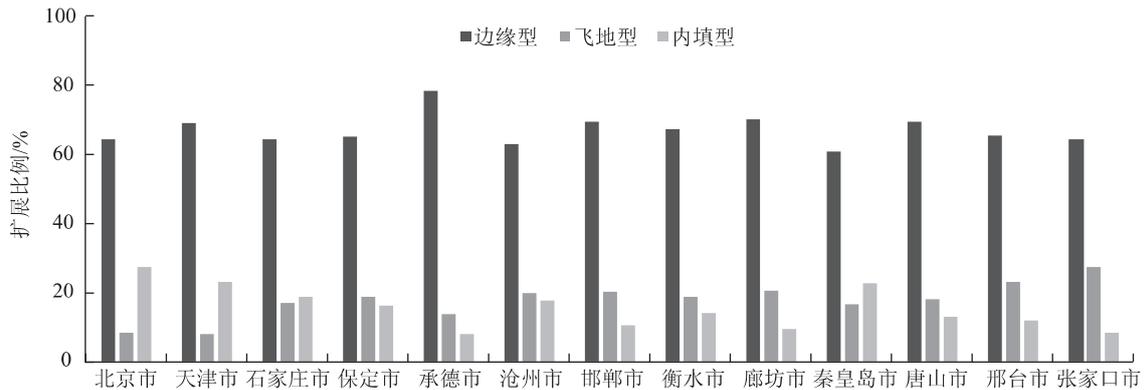


图 4 1992—2016 年京津冀城市群各地级市城市扩展模式对比

1992—2016 年京津冀城市群内填型扩展面积大于飞地型扩展面积。1992—2016 年京津冀城市群内填型扩展面积达到了 1 618.3 km²，占总扩展面积的 19.5%，而飞地型扩展面积只有 1 124.0 km²，占总扩展面积的 13.5%，是内填型扩展面积的 69.5%。

1992—2016 年间京津冀城市群内各城市的城市扩展类型均以边缘型为主(图 4)。京津冀城市群内 13 个城市边缘型扩展面积比例为 61.0%~78.5%，其中边缘型扩展面积比例最大的城市为承德市，最小的城市为秦皇岛市。这 13 个城市的内填型扩展面积比例为 7.8%~27.3%，超过 20%的城市仅有 3 个，分别为北京市、天津市和秦皇岛市，其比例分别为 27.3%、22.9%和 22.5%。而这 13 个城市的飞地型扩展面积比例为 7.71%~27.2%，超过 20%的城市仅有 4 个，分别为邯郸市、廊坊市、邢台市和张家口市，其比例分别为 20.1%、20.3%、22.8%和 27.2%。飞地型扩展模式的增加会导致城市建设用地的形态变得复杂，这与王海军等^[27]研究发现的 1990—2015 京津冀南部的邯郸和邢台市比北部城市的建设用地形状更复杂、分形维数变化更大的结论相吻合。

4 讨论

4.1 社会经济发展因素对城市扩展的影响 研究表明，城市扩展与城市经济的发展和人口的增长有密切的关系^[28]。参考谈洪明等^[29]和黄庆旭等^[30]的研究，分析社会经济发展对京津冀城市扩展的影响。选择经济、

人口、固定资产投资和人民生活水平这 4 类数据进行分析。其中：经济数据包括地区生产总值、第二产业增加值、第三产业增加值、建筑业增加值、工业增加值和人均地区生产总值；人口数据包括常住人口和城市人口比例；固定资产投资数据为全社会固定资产投资；人民生活水平数据包括城镇居民人均可支配收入和城镇居民家庭人均消费支出。以上数据来自《中国统计年鉴》《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》和《河北统计年鉴》^[16,19-21]。考虑到数据的量纲差异，参考已有的研究^[30-31]对于原始数据进行了标准化处理，计算式为

$$Y_i = \frac{X_i - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}}$$

式中 Y_i 为标准化处理结果， X_i 为某年度数据， $X_{i,\max}$ 、 $X_{i,\min}$ 分别为同一类别数据的最大值和最小值。

结果表明社会经济的发展是促进京津冀城市群城市扩展的重要因素(表 3)。经济类、人口类、固定资产投资类和人民生活水平类因子与京津冀城市群城市扩展均显著相关，其相关关系均通过了 0.01 水平的显著性检验。其中：人民生活水平的提高对城市扩展有很强的驱动作用，其相关系数均超过了 0.99；城市人口比例的增加与城市扩展的相关关系在所选因子中最弱，可能是因为居住成本、户籍制度和资源承载力的限制，但相关系数仍然达到 0.93；其余因素与城市扩展的相关系数均超过了 0.97。今后京津冀城市群的发展可以加强对基础设施建设、产业转型和人口调控等方面的关注。

表 3 城市扩展与社会经济发展的相关关系

经济类					人口类		固定资产 投资类	城镇居民 生活水平类		
地区生产 总值	第二产业 增加值	第三产业 增加值	建筑业 增加值	工业 增加值	人均地区 生产总值	常住人口	城市人口 比例	全社会固定 资产投资	人均可 支配收入	家庭人均 消费支出
0.987**	0.978**	0.987**	0.988**	0.976**	0.987**	0.982**	0.929**	0.976**	0.992**	0.994**

** 在 0.01 水平(双侧)显著相关。

4.2 地理区位因素对城市扩展的影响 地理区位因素对城市扩展有重要的作用.参考黄庆旭等^[30]的研究,选取坡度、距市中心的距离、距铁路的距离、距河流的距离、距县中心的距离、距一般公路的距离这 6 项对城市扩展可能有着较大影响的指标,利用 Logistic 回归分析模型,分析了 2016 年京津冀城市群城市建设用地和区位要素的关系(表 5).

表 5 2016 年京津冀城市群的城市建设用地 Logistic 回归结果

地理区位	回归系数	标准误差	让步比 $\exp(\beta)$
距县中心的距离	-12.26	0.22	4.74×10^{-6}
坡度	-12.08	0.43	5.67×10^{-6}
距市中心的距离	-5.80	0.13	3.02×10^{-3}
距铁路的距离	-5.21	0.18	5.46×10^{-3}
距一般公路的距离	-2.84	0.16	0.06
距河流的距离	-1.54	0.19	0.21
常量	1.20	0.03	3.31

显著性均 <0.01 .

由表 5 可知,区位要素在京津冀城市扩展中扮演重要角色.6 项指标的让步比均 <1 ,说明这 6 种指标越小,城市出现的概率越大.其中,距县中心的距离的让步比最小, $<10^{-5}$,距市中心的距离的让步比也仅为 3.02×10^{-3} ,这说明城市扩展多为边缘型扩展模式,沿着已有城市建设用地的边缘扩展.这一结果与已有的研究王利伟等^[32]发现京津冀城市群空间扩展模式呈现出以中心城市为主,向次级中心城市圈层扩展的特

征有较好的一致性.也与本文发现的距县中心的距离让步比最小的现象相吻合.坡度的让步比为 5.67×10^{-6} ,说明地形因素对京津冀城市群城市扩展的限制效果明显. Logistic 回归分析发现距铁路的距离和距一般公路的距离的让步比为 $5.46 \times 10^{-3} \sim 0.06$,进一步说明距离交通干线的距离越近,出现城市建设用地的概率越大.研究者在京津冀城市群也有类似发现,曾馨漫等^[33]通过缓冲区分析发现 80% 以上的新增城市建设用地集中在高速公路沿线 10 km 范围内.此外距河流的距离的让步比为 0.21,河流两侧的城市扩展并不明显,这也与京津冀城市群的湿地保护措施相一致.

4.3 政策因素对城市扩展的影响 政府政策在城市扩展过程中扮演着重要的角色.本文进一步搜集了不同时期国家和省级政府的 5 年规划纲要^[34-40],将规划内容和本文的研究结果进行对比(表 6):首先,京津冀 1992—2016 年城市建设用地的持续快速扩展与国家在国家尺度上积极推进城镇化的政策一致;其次,京津冀 1992—2016 年城市建设用地扩展最快的城市均在河北省,北京市和天津市的年均增速较小(表 1),这与国家重点发展中小城市、控制大城市规模的政策紧密相关;第三,在京津冀尺度上,2005 年以后城市扩展模式内填型比例明显高于 2005 年以前(表 2).这也较好吻合了京津冀十一五、十二五规划中整治城中村、改造棚户区等政策.

表 6 1992—2016 年部分政府政策

年份	政策名称	相关政策
1991—2000	《关于国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要的报告》 《国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》	控制大城市发展,合理发展中小城市.形成大中小城市规模适度的城镇体系.
2001—2015	《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》	积极稳妥地推进城镇化,逐步改变城乡二元结构.逐步形成辐射作用大的城市群,促进大中小城市和小城镇协调发展.
2006—2015	《北京市国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》 《北京市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》	基本完成“城中村”整治 完成城市和国有工矿棚户区改造任务
2006—2015	《天津市国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》 《天津市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》	全面完成城中村改造任务
2006—2015	《河北省国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》 《河北省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》	加快城中村、旧居住区、棚户区改造

5 研究结论与展望

5.1 研究结论 1992—2016 年京津冀城市群的城市建设用地逐年增加,城市建设用地面积从 1662.8 km^2 增长到了 9092.5 km^2 .城市建设用地面积年均增速为 7.3%,年均扩展面积为 310 km^2 .其中,承德和廊坊年均增速最快,均超过了 17%,而北京市年均增速最低,仅为 5%.

1992—2016 年间京津冀城市群边缘型扩展面积所占比例最高,边缘型扩展面积占城市扩展总面积的比例为 67.0%.而内填型和飞地型扩展面积比例分别为 19.5%和 13.5%.在此期间,京津冀城市群内 13 个城市的城市扩展类型也均以边缘型为主,比例为 61.0%~78.5%.

经济的发展、人口的增长、固定资产投资的增加和人民生活水平的提高均与京津冀城市群城市扩展呈现

显著相关,其中城镇居民人均收入和支出与城市扩展的相关系数最高,超过了 0.99。Logistic 回归进一步表明,限制城市扩展的最显著的指标是坡度,城市扩展大多沿着已有城市建设用地和交通干线发生。今后,京津冀城市群的发展应重点关注空间结构和经济结构的调整,走集约发展之路,探索出人口经济密集地区优化开发的模式,促进区域协调发展。

5.2 不足与展望 本研究存在以下不足:DMSP-OLS 数据和 NPP-VIIRS 数据分辨率较低,这可能导致面积较小的城市建设用地提取不准确;这 2 种数据的分辨率不相同,使得基于 2 套数据提取的城市建设用地可比性较弱,需要经过后期处理。不过文本使用的 1992—2016 年数据在一定程度上可以反映京津冀城市群的城市扩展过程。未来随着 NPP-VIIRS 数据时间序列不断增长,可以进行时间尺度更长的动态分析。

6 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市用地分类与规划建设用地标准[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011:2
- [2] 陆大道. 京津冀城市群功能定位及协同发展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(3): 265
- [3] B BHATTA S, SARASWATI D, Bandyopadhyay. Urban sprawl measurement from remote sensing data [J]. Applied Geography, 2010, 30(4): 731
- [4] 方创琳, 宋吉涛, 张蕾, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局[J]. 地理学报, 2005(5): 827
- [5] 文魁, 祝丽娟. 京津冀发展报告: 承载力测度与对策[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013
- [6] 李峰, 赵怡虹. 雄安新区与京津冀城市群发展[J]. 当代经济管理, 2018, 40(5): 45
- [7] 徐新良, 通拉嘎, 郑凯迪, 等. 京津冀都市圈城镇扩展时空过程及其未来情景预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(增刊 2): 256
- [8] 隆学文, 马新辉. 首都圈“京津冀”三轴线城市空间格局的遥感分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(3): 367
- [9] 孟丹, 李小娟, 徐辉, 等. 京津冀都市圈城乡建设用地空间扩张特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(2): 289
- [10] 侯莉莉, 朱凌, 胡海燕. 京津冀城市扩展的遥感研究[J]. 北京建筑大学学报, 2016, 32(1): 22
- [11] 李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591
- [12] HE C, SHI P, LI J, et al. Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance-calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data [J]. Chinese Science Bulletin, 2006(13): 1614
- [13] 卓莉, 李强, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 169
- [14] 杨洋, 黄庆旭, 章立玲. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的土地城镇化水平时空测度研究: 以环渤海地区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 141
- [15] 许伟攀, 李郁, 陈浩辉. 基于城市夜间灯光数据的中美两国城市位序规模分布对比[J]. 地理科学进展, 2018, 37(3): 385
- [16] 国家统计局. 中国统计年鉴: 1993—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1993—2017
- [17] ELVIDGE C D, BAUGH K E, ZHIZHIN M, et al. Why NPP-VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights[J]. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2013, 35: 62
- [18] HE C, LIU Z, TIAN J, et al. Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective[J]. Global Change Biology, 2014, 20(9): 2886
- [19] 北京市统计局. 北京统计年鉴 1993—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1993—2017
- [20] 天津市统计局. 天津统计年鉴 1993—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1993—2017
- [21] 河北省人民政府. 河北经济年鉴 1993—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1993—2017
- [22] 唐梁博, 崔海山. 基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据和 Landsat-8 数据的城镇建筑用地提取方法改进: 以广州市为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(9): 69
- [23] 何春阳, 李景刚, 陈晋, 等. 基于夜间灯光数据的环渤海地区城市化过程[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 409
- [24] 刘纪远, 刘文超, 匡文慧, 等. 基于主体功能区规划的中国城乡建设用地扩张时空特征遥感分析[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 71(6): 355
- [25] 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1430
- [26] XU M, HE C, LIU Z, et al. How did urban land expand in China between 1992 and 2015? a multi-scale landscape analysis[J]. PLoS ONE, 2016, 11(5): e0154839
- [27] 王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心-GTWR 模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1076
- [28] LI L, SATO Y, ZHU H. Simulating spatial urban expansion based on a physical process[J]. Landscape & Urban Planning, 2003, 64(1): 67
- [29] 谈明洪, 李秀彬, 吕昌河. 我国城市用地扩张的驱动力分析[J]. 经济地理, 2003, 23(5): 635
- [30] 黄庆旭, 何春阳, 史培军, 等. 城市扩展多尺度驱动机制分析: 以北京为例[J]. 经济地理, 2009, 29(5): 714
- [31] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区城市化过程与机制研究[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 363
- [32] 王利伟, 冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及

- 其动力机制:基于夜间灯光数据方法[J]. 地理学报, 2016, 71(12):2155
- [33] 曾馨漫,刘慧,刘卫东. 京津冀城市群城市用地扩张的空间特征及俱乐部收敛分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(12):2045
- [34] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要(2011—2015) [M]. 北京:人民出版社, 2011
- [35] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要(2006—2010) [M]. 北京:人民出版社, 2006
- [36] 中华人民共和国国务院. 国民经济和社会发展第十个五年计划纲要(2001—2005) [M].北京:人民出版社, 2001
- [37] 中华人民共和国国务院. 国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要(1996—2010) [M]. 北京:人民出版社, 1996
- [38] 中华人民共和国国务院. 关于国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要的报告(1990—2000)[M]. 北京:人民出版社, 1990
- [39] 国家发展和改革委员会发展规划司. 国家各地区国民经济和社会发展十一五规划纲要[M].北京:中国市场出版社, 2006
- [40] 国家发展和改革委员会发展规划司. 国家各地区国民经济和社会发展十二五规划纲要[M]. 北京:人民出版社, 2011

Urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration from 1992 to 2016: the process and driving forces

ZHU Lei^{1,2)} YUE Jiachen^{1,2)} CHEN Shiyin^{1,2)}
HUANG Qingxu¹⁾ YANG Shuangshuma¹⁾ LIU Ziwen¹⁾

(1)Center for Human-Environment System Sustainability (CHESS), State Key Laboratory of Earth Surface

Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2)Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Rapid urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration in recent years has exerted tremendous pressure on the environment. For better urban planning in this region it is important to characterize the expansion process and to identify the driving factors. Time-series nighttime light data, normalized difference vegetation index data and land surface temperature data were used to examine the urban expansion from 1992 to 2016. In addition, landscape expansion index (LEI) was used to analyze the expansion process. Socioeconomic and locational factors that may influence the expansion were investigated by correlation analysis and logistic regression. The built-up areas in the agglomeration were found to have increased from 1 662.8 km² in 1992 to 9 092.5 km² in 2016, with an average annual growth rate of 7.3%. Further, the expansion from 1992 to 2016 was dominated by edge-expansion mode. Most socioeconomic factors were highly correlated with urban expansion, with improvement in living conditions having the largest correlation coefficient. The urban expansion was also affected by locational factors and policy factor. Development of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration should focus on adjustment of spatial pattern of urban expansion and encourage high density and intensive development.

Keywords nighttime light data; Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration; urbanization; landscape expansion index; driving forces

《北京师范大学学报(自然科学版)》征稿简则

(本刊网址: <http://bnujournal.com>)

1 《北京师范大学学报(自然科学版)》是教育部主管、北京师范大学主办的自然科学综合性学术刊物(双月刊,公开发行),主要刊登数学、物理学、化学、天文学、地学、生命科学和技术科学、环境科学、数量经济学、交叉科学、科学史等基础研究和应用研究方面的学术论文。它的任务是:主要反映北京师范大学理科各学院、系、所、中心的最新科研成果,促进国内外学术交流,为我国现代化建设服务。主要读者对象是国内外科技工作者、高等院校理工科教师和研究生等。

2 来稿要求和注意事项

2.1 来稿应具有科学创新性 or 技术先进性,务必论点明确,文字精练,数据可靠。每篇论文(含图、表)一般不超过8 000字,必须包括(按顺序):文题、作者姓名、作者单位及邮政编码、中文摘要、关键词(3~8个)、正文、参考文献表、英文摘要和英文关键词。请在文稿首页地脚处依次注明该文属何种基金资助(并附基金号)、通信作者e-mail、交稿日期。

2.2 英文摘要一般和中文摘要对应,包括题目、作者姓名(用汉语拼音)、作者单位译名、摘要正文、关键词。英文摘要应符合英语语法规范。

2.3 本刊接收纸稿,请同时将电子版发至邮箱:jbnuns_sub@bnu.edu.cn。来稿要符合编辑出版标准化要求,论文编写格式、量和单位符号等必须符合国家标准的规定,外文字符要分清大小写、正斜体,上下角字符的位置高低应区别明显,易混淆的外文字母、符号,请在第1次出现时用铅笔注明。

2.4 文中图、表只附最必要的。插图切勿过大,宽度一般不超过18 cm,尽量不用彩色,与正文一并交到编辑部,线条图要求提供矢量格式(*.EPS),主线与辅助线粗细比例协调,坐标图中横坐标格点向上、纵坐标格点向右;照片图要求分辨率300 dpi。同时写出图序、图题。

2.5 参考文献只选最主要的列入,数量以不少于15条为宜,读者难以查找到的资料一般不宜引用。参考文献著录本刊执行GB/T7714—2015《信息与文献 参考文献著录规则》,采用顺序编码制的规则,文献序号(用阿拉伯数字外加[])按其在正文中第一次引用的先后顺序连续编排。参考文献表中的文献著录格式如下:

期刊 [序号] 作者(外国人姓前名后,姓的字母全大写,名缩写,省略缩写点“.”;3人以上只列3人,后加“等”字).题名[J].期刊名(外文可缩写,省略缩写点“.”),年份,卷号(期号):起始页码或引用信息所在页码(如期刊无卷号,则为:年份(期号):起始页码或引文页码).DOI

专著 [序号] 作者.书名[M].版次(初版不写).出版地:出版单位,出版年:引文页码

会议论文集 [序号] 作者.题名[C]//论文集主编者.文集名.版次(初版不写).出版地:出版单位,出版年:引文页码

学位论文 [序号] 作者.题名[D].出版地(或保存地):出版单位(或保存单位),年份:引文页码

联机文献 [序号] 作者.题名[EB/OL].(更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径.DOI

2.6 来稿如不符合上述要求,编辑部将先退请作者修改,合格后再送审。稿件不拟录用,将通知作者退稿。

2.7 对拟刊用的稿件,作者在接到录用通知时须按规定的标准缴纳版面费。

3 文稿的著作权属于作者。鉴于本刊已被国内外近30家权威数据库或权威文摘杂志列为固定收录刊源,或摘要转载,或全文上网,或全文进入光盘版杂志,作者来稿时如无特别声明,即视为同意这些有利于扩大本刊影响、有利于促进国内外学术交流的举措。

4 文责由作者自负。编辑部对来稿仅做必要的技术性和文字性修改。来稿发表后,按篇向作者支付稿酬(含可能的其他稿酬),并赠送样刊2册。

北京师范大学学报(自然科学版)编辑委员会

主 任 方维海
副 主 任 刘文彪
编 委 安芷生 保继光 Bertrand M Roehner 薄志山 陈木法 崔宗杰
戴汝为 邓富国 狄增如 Ellen J Langer 方修琦 侯立安
黄元河 姜 力 江 源 李朝义 李红刚 李建平 李庆康
李 崧 李增沪 林学钰 刘伯里 刘昌明 刘鸿亮 刘 嘉
刘若庄 刘 臻 娄安如 吕 宏 Malte J Rasch 毛振明
聂家财 任海云 沈珍瑶 舒友生 孙儒泳 唐海萍 涂展春
王红瑞 王乃彦 王英典 王永炎 王梓坤 吴 思 夏 钊
许新宜 徐宗学 杨胜天 杨志峰 姚 力 殷恒婵 张大勇
张丰收 张新时 张余辉 郑光美 郑志刚 钟秉林 朱宗宏

顾 问 陈浩元
编辑部主任 刘先勤
执行编辑 张桂芳
责任编辑 张桂芳 武 佳 刘先勤 包丽芹 陈丽贞

北京师范大学出版集团期刊社

社 长 姜 钰
副 社 长 曹 巍 陈 雄
综合办公室 周 强 翟冰冰 颜贺华

北京师范大学学报 (自然科学版)
BEIJING SHIFAN DAXUE XUEBAO
(ZIRAN KEXUE BAN)

(1956年创刊, 双月刊, 公开发行)

2019年4月 第55卷 第2期

JOURNAL OF BEIJING NORMAL
UNIVERSITY
(NATURAL SCIENCE)

(Bimonthly, Started in 1956)

Vol.55 No.2 Apr. 2019

主 管: 中 华 人 民 共 和 国 教 育 部
主 办: 北 京 师 范 大 学
承 办: 北京师范大学出版集团
主 编: 保继光 教授
编 辑: 《北京师范大学学报(自然科学版)》编辑部
(100875 北京市海淀区新街口外大街19号)
出 版: 北京师范大学出版社(集团)有限公司
印刷单位: 北京京师印务有限公司
国内发行: 北京报刊发行局
订 购 处: 全 国 各 地 邮 局
国外发行: 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)
网 址: <http://bnujournal.com>
投稿邮箱: jbnuns_sub@bnu.edu.cn

Competent Authorities: Ministry of Education of P.R.C.
Sponsor: Beijing Normal University
Chief Editor: Professor BAO Jiguang
Edited by Editorial Department of Journal of Beijing
Normal University (Natural Science)
Address: No.19, Xijiekouwai St., Haidian District,
100875, Beijing, China
Published by Beijing Normal University Publishing Group
Overseas Distributed by China International
Book Trading Corporation
<http://bnujournal.com>
E-mail: jbnuns_sub@bnu.edu.cn

中国标准连 ISSN 0476-0301
续出版物号 CN 11-1991/N

邮发 国内 82-406
代号 国外 BM 525

定价 40.00元/期
240.00元/年

