

基于空间区位条件的长株潭城市群 城市用地扩张研究

欧阳晓¹ 朱翔² 贺清云²¹

(1. 湖南财政经济学院 湖南省经济地理研究所, 中国湖南 长沙 410205;

2. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 中国湖南 长沙 410081)

【摘要】:从空间区位条件视角研究城市群的城市用地扩张规律和机制,对于科学编制城市群空间规划具有重要意义。以长株潭城市群为例,结合2000、2005、2010和2015年遥感影像提取的城市用地信息,运用改进的引力模型、缓冲区分析等方法,分析了2000—2015年长株潭城市群空间区位条件与城市用地扩张的相关关系。结果表明:①城市群处于不同的发展阶段,其城市用地扩张表现出不同的特征,研究期内城市群的城市用地扩张强度呈先加强后减弱的趋势。②对城市群中心城市的辐射范围进行强弱交互区域的划分,强交互区呈现向外扩张的趋势,中心城市辐射能力不断增强,城市群内部的聚合力不断增大。③中心城市的辐射影响对周围城市用地扩张有正向推动作用,其中强交互区内的城市用地扩张强度受中心城市作用力推动效果明显强于弱交互区。④80%以上的新增城市用地集中在高速公路沿线10km范围内,交通网络对城市群城市用地扩张具有引导作用。

【关键词】:空间区位条件 城市用地扩张 强弱交互区 区域一体化 交通网络

【中图分类号】:F291.1 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1000-8462(2020)05-0183-08

城市群是城市发展形成的高级空间形态,其内部的城市扩张已不是单个城市初期孤立的扩张模式,而是外力和内力等驱动因素综合作用下的扩张模式。目前,城市群作为区域经济增长的新引擎,是城市用地扩张的集中区^[1-2]。随着湘江新区规划和长沙南部新城规划的实施,如何有效管控长株潭城市群的城市用地扩张成为规划部门重点关注的问题。因此,从空间区位条件视角研究城市群的城市用地扩张规律和机制,有助于明确城市用地扩张的方向,对于科学编制城市群空间规划具有重要意义。

城市用地扩张是最激烈和不可逆的土地利用变化形式,城市无序扩张与土地资源稀缺的矛盾越来越突出,在多个时空尺度上造成了城市的景观格局^[3-5]、生态环境^[6-8]、土地利用^[9-10]等方面深刻变化。为了解决城市用地扩张所带来的负面影响和环境问题,国内外学者针对城市用地扩张规律^[11-12]、驱动机制^[13-14]、形态特征^[15]、变化趋势^[16-18]等问题开展大量的研究。城市用地密度、城市用地扩张强度等指数被用于表征城市用地的扩张^[19-24]。同时,随着3S技术的发展,利用多时序的遥感数据采用不同的信息挖掘方法对城市用地进行监测^[25-30],使得城市用地扩张的空间研究变得更加直观。相关研究表明,城市用地空间扩张受自然、经济和社会等要素的驱动作用以及生态保护等阻力作用的影响,同时,城市用地扩张还会受到城市间的相互作用力的影响,即城市间的引力作用^[31]。其中,周一星根据城市间的经济联系方向会影响区域城镇体系布局,提出了“经济联系方向论”,即城镇体系的布局会沿着区域

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA040)。

作者简介: 欧阳晓(1990-),男,湖南邵阳人,博士。主要研究方向为城市化过程及生态环境效应。E-mail: xiao.ouyang@foxmail.com。朱翔(1955-),男,北京人,教授,博士生导师。主要研究方向为城市与区域规划。E-mail: zhuxiang882000@aliyun.com。

主要的经济联系方向,并表现出低等级的城市向高等级的城市靠拢^[32]。焦利民等定量分析城市间联系与城市扩张之间的关系,发现城市间空间相互作用能够提升城市扩张强度^[33]。此外,不同交通网络的完善,缩短了城市间的时空距离,对城市用地扩张具有正向引导作用^[34-35]。其中,毛蒋兴等系统地开展交通系统、交通模式对土地利用变化的影响机制研究,发现交通系统、交通模式对土地利用开发具有吸引效应^[36-37]。陶卓霖等认为交通网络作用与城市空间相互作用对城市用地扩张具有类似影响效果,对城市用地起到正向引导作用^[31]。

现阶段关于长株潭城市群的城市用地扩张的研究,主要是分析单个城市(以长沙市居多)或者城市群都市区的城市用地扩张特征和驱动机制的研究^[5,38-41],缺乏空间区位条件与城市用地扩张二者之间的相关研究,空间区位条件作为抽象的城市用地扩张要素,量化描述是研究其驱动机制的难点。因此,以长株潭城市群为研究对象,定量分析城市群在2000—2015年期间的城市用地扩张特征与空间相互作用演变规律,探讨空间区位条件与城市用地扩张相关关系,旨在分析:①城市群的城市用地扩张特征;②城市群的空间相互作用演变特征;③空间区位条件下城市用地如何进行扩张。研究结果有助于把握未来城市用地扩张的变化趋势,为制定长株潭城市群的空间规划提供科学依据。

1 研究区和数据来源

1.1 研究区

长株潭城市群地处我国东部与中西部的过渡带、长江地区与沿海地区的结合部,是我国南方重要的“十字路口”。2000—2015年期间,城市群的城市用地扩张速度快,整个城市群的城市用地面积和建成区面积逐年扩大,用地供需和城市扩张之间的矛盾逐渐凸显。研究区由长沙、株洲、湘潭等3个地级市组成,包括23个县(市、区)级行政单元,本研究以2015年调整的行政区划为基准,分别合并长沙市区(将望城县作为一个独立的行政单元)、株洲市区、湘潭市区,最终形成15个研究单元,如图1所示。



图1 研究区

1.2 概念界定

1.2.1 空间区位条件

城市间相互作用是城市群地域结构赖以形成的基础^[42]。交通网络的完善能够提升城市群空间可达性,从而导致土地利用类型的变化,使得城市新增用地沿着交通网络进行布局^[43]。因此,本研究将城市间的相对位置和交通区位条件作为城市群的空间区位

条件,其主要通过城市间相互作用和交通网络引导作用从城市外部影响城市用地扩张。

1.2.2 城市用地

目前,学术界对城市用地的概念尚未统一,不同的概念导致研究区城市用地面积存在差异^[44]。本研究将城市用地定义为城市建设用地和建制镇建设用地等不透水地表所覆盖的开发用地,主要包括非植被覆盖区、人工地表如交通、建筑和工业设施等。而以植被覆盖为主的区域不属于城市用地。

1.3 数据来源

对长株潭城市群 2000、2005、2010 和 2015 年 4 个时间节点的城市用地扩张进行监测,采用的数据主要包括:①4 个时间节点的季节的 Landsat 遥感影像(为了有效地将城市用地和农田区分开),利用 Google Earth Engine(GEE)平台^[45],提取每个时间节点的城市用地信息,如图 2 所示。城市用地面积与《中国城市统计年鉴》和《湖南统计年鉴》的城市用地数据对比总体精度达到 0.89-0.94,符合本次研究精度的要求。②交通网络数据,来源于 Open Street Map 地图数据,根据线路开通时间,获取相应时间节点的交通数据。③长沙、株洲、湘潭等地的经济、社会、生态环境等统计数据,来源于 2000—2015 年三市的统计年鉴以及县(市、区)的统计公报。

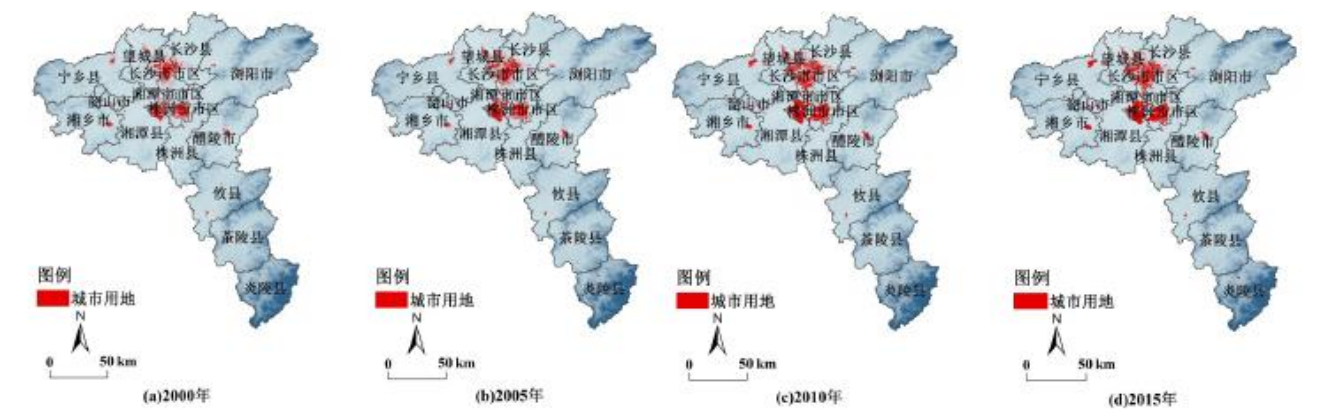


图 2 城市群 2000、2005、2010、2015 年城市用地分布

2 研究方法

2.1 基于空间相互作用模型和断裂点理论的中心城市影响范围界定

2.1.1 城市发展质量

城市发展是一个复杂的系统,涉及经济、社会、环境等多方面的变化。因此,城市发展质量的评价需要从综合视角出发,选取经济、社会、环境等三个方面的指标,构建城市发展质量评价指标体系(表 1)。指标既包括一般指标,也包括人均指标。

表 1 城市发展质量评价指标体系

准则层	指标层
经济实力	人均 GDP (元)、人均地方财政收入 (万元)、第三产业占 GDP 比例 (%)、人均社会固定资产投资 (万元)、人均社会消费品零售 总额 (万元)
社会发展	年末总人口数 (万人)、中等学校 (所)、每万人拥有床位数 (个)

$$M = \sum_{i=1}^m (w_i \times C_{ij}) \quad (1)$$

式中:M 表示 i 城市发展质量,用于反映城市发展的综合实力; w_i 为每个指标的权重; C_{ij} 为每个指标的标准化值。

2.1.2 空间相互作用模型

基于改进的引力模型构建空间相互作用模型,测算城市间的空间相互作用强度^[46]:

$$R_{ij} = k \frac{M_i M_j}{d_{ij}^2} \quad (2)$$

式中: R_{ij} 为城市间的空间相互作用强度,即城市间的吸引力; M_i 和 M_j 表示城市 i 和城市 j 的发展质量; d_{ij} 表示城市间的交通距离,通过 ArcGIS 平台中的 OD Cost Matrix 工具计算得到; k 表示引力系数,本研究取 $k=1$ 。

2.1.3 中心城市影响范围界定

根据改进的断裂点理论绘制中心城市与非中心城市间的空间相互作用的断裂线,将受中心城市作用力大于平均值的区域划分为强交互区域,其余区域划分为弱交互区域^[47]。

$$D_i = d_{ij} / \left(1 + \sqrt{R_j / R_i} \right) \quad (3)$$

式中: D_i 为非中心城市到断裂线的距离; R_i 、 R_j 分别代表非中心城市和中心城市的空间相互作用。

2.2 城市用地扩张强度

城市用地扩张强度(UEI)表示城市在不同时期县(市、区)城市用地增长量占县(市、区)行政区划面积的百分比,用于对比分析不同时期城市用地扩张强度的大小^[48],单位为%。其公式为:

$$UEI = (U_{end} - U_{start}) / (U_{urban}) \times 100\% \quad (4)$$

式中: U_{start} 、 U_{end} 分别代表研究初期和研究末期县(市、区)的城市用地面积; U_{urban} 代表相应县(市、区)的行政区划面积。

2.3 重心模型

采用重心模型^[48]对 2000—2015 年城市群城市用地扩张重心移动轨迹进行监测。其公式为:

$$X_t = \sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{it} \quad (5)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{it} \quad (6)$$

式中: X_t 和 Y_t 分别代表 t 年县(市、区)城市用地的重心坐标 (x, y) ; C_{it} 代表研究单元 i 的城市用地面积; X_i 和 Y_i 代表研究单元 i 的几何中心坐标 (x, y) , 通过 ArcGIS 平台计算得到。

2.4 缓冲区分析模型

通过建立围绕交通道路(本研究以高速公路为例)向外等距扩散缓冲带,以缓冲带作为城市用地扩张空间分异的基本单元,分析不同时期城市用地扩张过程所体现出来的空间行为特征^[49],其公式为:

$$B_i = \{x: d(x, U_i) \leq R\} \quad (7)$$

式中: B_i 为缓冲区; x 为点位; U_i 为交通道路; d 为 x 到 U_i 的距离; R 为半径。

2.5 指数回归模型

采用指数回归模型分析城市用地扩张强度与空间相互作用的相互关系,以城市用地扩张强度为因变量,以空间相互作用为自变量,建立指数回归模型^[50],其公式为:

$$A_{UEI} = \alpha A_{ITA} + \beta \quad (8)$$

式中: A_{UEI} 代表城市用地扩张强度; A_{ITA} 代表空间相互作用; α 、 β 分别代表系数和随机项。

3 结果与分析

3.1 城市用地扩张强度和空间格局特征分析

从每个县(市、区)以及整个城市群的城市用地扩张强度(表 2)可以看出:不同等级的城市其城市用地扩张强度有所不同,长沙、株洲、湘潭 3 市的市区成为城市群扩张高强度的集聚区,引领整个城市群的城市化发展;位于市区周边的望城县、长沙县、浏阳市、湘潭县、株洲县的城市用地扩张强度要高于其他远离市区的县(市)。2000—2005、2005—2010 以及 2010—2015 年,整个城市群的城市用地扩张强度分别为 0.653%、0.849%以及 0.577%,根据城市用地扩张强度可以将城市群的城市用地扩张分为两个阶段:①2000—2010 年,外商直接投资、出口和消费的带动下城市群不断扩张,城市用地扩张强度逐年加强。②2010 年以后,城市群的扩张受到“两型社会”建设和“区域协调”发展等城市发展战略的影响,城市用地扩张强度逐年减弱。

表 2 2000—2015 年城市群城市用地扩张强度

研究单元	城市用地扩张强度 (%)
------	--------------

	2000-2005	2005-2010	2010-2015
长沙市区	1.677	2.098	2.125
望城县	1.142	1.727	1.856
长沙县	0.777	1.050	1.209
宁乡县	0.207	0.307	0.444
浏阳市	2.341	3.741	4.670
湘潭市区	2.047	2.389	4.259
湘乡市	0.190	0.210	0.289
韶山市	0.418	0.485	0.622
湘潭县	0.290	0.378	0.207
株洲市区	0.549	0.673	0.734
株洲县	0.062	0.090	0.092
醴陵市	0.313	0.416	0.469
攸县	0.094	0.161	0.206
炎陵县	0.034	0.041	0.073
茶陵县	0.084	0.105	0.127
城市群	0.653	0.849	0.577

城市群的城市用地扩张空间格局变化过程(图 3)可以看出,城市群的城市用地空间扩张主要分布在长沙、株洲以及湘潭三市的市区,以现有城市用地为中心向边缘进行梯度扩张,表现出连片发展的扩张模式,导致城市过度扩张、交通拥堵、热岛效应等“城市病”,成为实现城市群可持续发展的障碍。其他县(市)的城市用地空间扩张范围要明显小于市区,同样呈现以现有城市用地为中心向边缘进行梯度扩张。其中,长沙县、株洲县、湘潭县到 2015 年基本上成为了市区的一部分,城市用地空间扩张范围比远离市区的县(市)要大,主要是因为三市区的资本积累丰富、基础设施完善以及经济外部性和空间外溢效应明显,周边县成为了市区空间外溢效应的主要承载空间,从而推动其城市用地扩张。

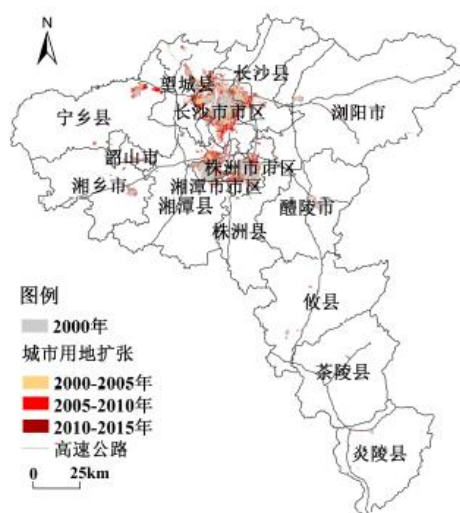


图 3 2000—2015 年城市群城市用地扩张空间分布

3.2 城市群空间相互作用变化分析

城市群中心城市(长沙市区)的强交互区面积变化过程(图 4)可以看出,城市群内部空间相互作用表现出等级性,株洲、湘潭两市的市区受到中心城市影响作用较强,外围区域随着距离中心城市的远近表现出由强变弱的趋势,并且年际间,中心城市的影响范围呈圈层状向四周进行扩散。主要是因为长沙、株洲、湘潭三市的市区之间联系最为紧密,三者综合实力较强且距离较近,有利于人力、信息、技术和资金等要素集聚和流动,使得中心城市的辐射范围能够全面覆盖这些区域,但是,中心城市辐射范围具有“距离衰减规律”,导致中心城市对其他城市的作用力具有地域差异性,边缘或远离中心城市的县(市)受到的影响作用小,从而导致中心城市影响范围出现强弱交互的区域。同时,随着长株潭一体化建设的推进,城市群内的交通网络不断完善,城市间的内在联系更加紧密,使得不同城市间的行政壁垒不断弱化,中心城市的影响范围不断扩大。总体而言,长株潭城市群中心城市的强交互区面积逐步扩大,标志着城市群一体化建设程度越来越高。

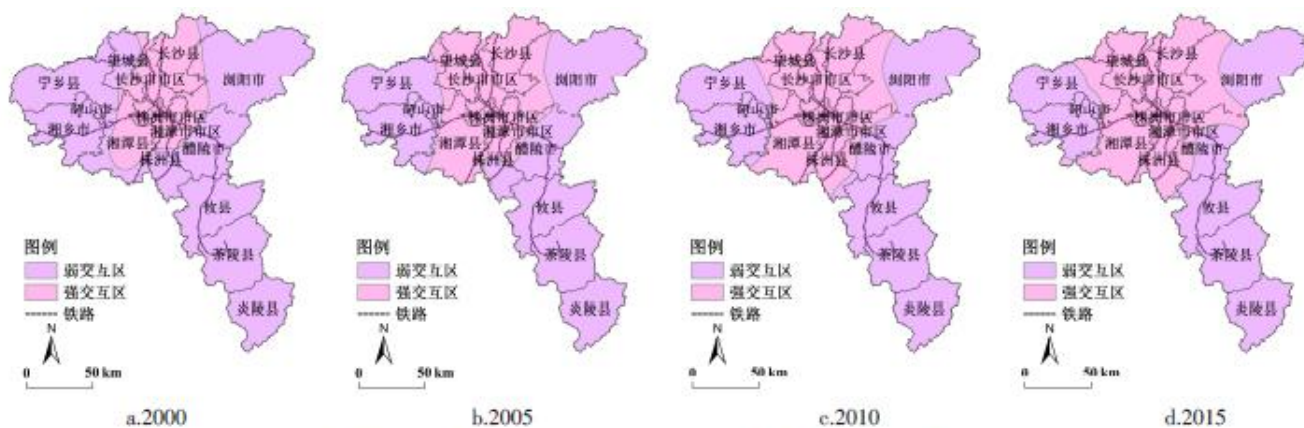


图 4 城市群 2000、2005、2010、2015 年中心城市影响范围

3.3 空间相互作用与城市用地扩张关联分析

通过指数回归方程拟合了受中心城市作用力与城市用地扩张强度之间的相关关系,得到 2005、2010 和 2015 年,受中心城市作用力与城市用地扩张强度拟合度 R^2 分别为 0.7749、0.6879 和 0.6365,说明回归的效果较好。从图 5 回归曲线结果显示,2000—2015 年期间,受中心城市辐射影响力与城市用地扩张强度呈正相关,城市受中心城市作用力越大则城市用地扩张强度越高。其中,强交互区内城市用地扩张强度受中心城市作用的影响程度要明显高于弱交互区的城市(红色线为非中心城市受中心城市作用力的平均值)。同时,为了更好地进行城市用地管理,基于回归模型的推导,2005、2010 和 2015 年受中心城市作用力的阈值分别为 8.91、9.98 和 11.3,都接近非中心城市受中心城市作用力的平均值,规划部门可以依据强弱交互区的类型对城市用地开发进行差异化的管理。

城市间的空间相互作用不仅影响城市用地扩张强度,而且影响着城市用地扩张方向,强交互区的城市用地比较集中,弱交互区的城市用地比较分散。2000—2005 年,长株潭城市群处于一体化建设初期,城市群的交通网络结构尚未完善,中心城市对周边县(市、区)的城市用地扩张方向影响能力不强。2005—2010 年,城市群进入高速发展阶段,中心城市对周边邻近的县(市、区)发展起到强有力的辐射作用,受到中心城市的交通区位、产业布局、科教文化等方面的吸引,强交互区范围内的县(市、区)向中心城市的方向建立开发区或者新城,并以不同的速度向城市群的中心城市靠拢。2010—2015 年,城市群的中心城市通过改善交通网络加快了生产要素向周边城市扩散的速度,长沙、株洲以及湘潭三市的市区城市用地基本上连成一片,强交互区范围内的县(市、区)仍然保持向中心城市靠拢发展态势(图 6)。

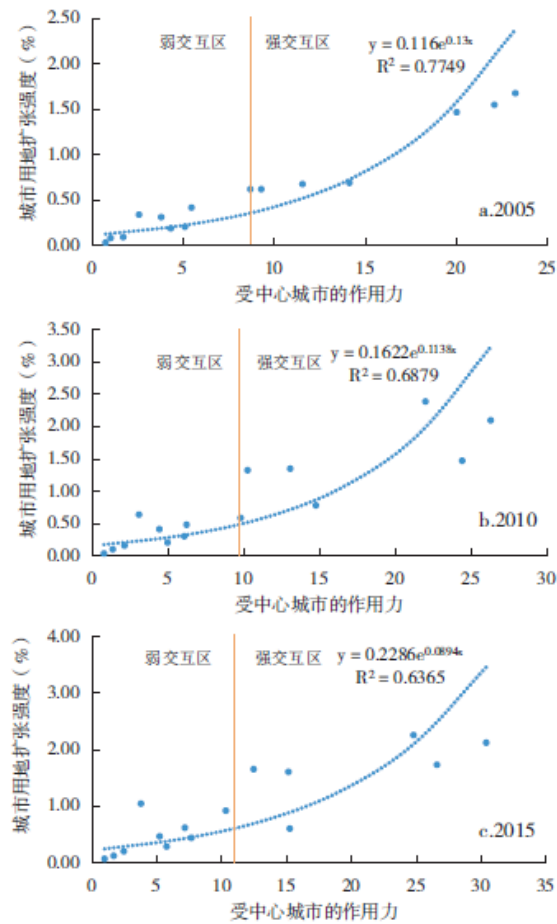


图5 受中心城市作用力与城市用地扩张强度之间的关系



图6 城市群各城市用地扩张中心迁移图

3.4 交通网络与城市用地扩张关联分析

分别对城市群 2000、2005、2010 和 2015 年 4 个年份的高速公路进行缓冲分析,得到 2000—2005、2005—2010 和 2010—2015 年 3 个时期高速公路两侧不同范围内新增城市用地面积(表 3)。从表 3 中可以看出,3 个时期内高速公路沿线 10km 范围内的新增城市用地面积占城市群新增城市用地面积的百分比分别为 80.83%、88.83%、97.03%,表明城市群新增城市用地呈现沿着高速公路进行扩张的模式。

表 3 高速公路沿线缓冲区城市用地面积百分比(%)

	范围	2000—2005	2005—2010	2010—2015
轴线缓冲带	0—5 km	58.32	63.32	67.41
	5—10 km	22.51	25.51	29.62
	>10 km	19.17	11.17	2.97

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究从城市群整体视角出发,结合 2000、2005、2010 和 2015 年遥感影像提取的城市用地信息,利用改进的引力模型、断裂点理论、线性回归模型等方法,探讨长株潭城市群空间区位条件与城市用地扩张之间的相关关系。

①长株潭城市群城市用地扩张强度呈先加速后减缓的趋势。2000—2005 年,城市用地扩张相对较慢;2005—2010 年,城市用地扩张进入了加速发展阶段,城市用地扩张强度不断增强;2010—2015 年,城市用地扩张进入了减速阶段,城市用地扩张强度有所下降。

②长株潭城市群的强交互区面积不断扩大,城市群内部的聚合力不断增大。2000—2005 年,长株潭一体化建设初期,强交互区主要覆盖三市区范围;2005—2010 年,城市群城市之间的各种联系加强,辐射力不断增强,强交互区的范围向三市区周围的城市扩散;2010—2015 年,中心城市辐射作用日益显著,并且形成了株洲市区和湘潭市区两个次中心,标志着城市群进入了更高层次的一体化发展阶段。

③空间区位条件对城市用地扩张具有正向推动和引导集聚的作用。第一,中心城市的辐射影响对周围城市的快速扩张有正向推动作用。由于受到中心城市吸引范围的制约,强交互区内的城市用地扩张强度受中心城市作用的推动效果要强于弱交互区的城市用地扩张;2000—2015 年,强交互区的城市用地比较集中,表现出向心式扩张模式,而弱交互区的城市用地比较分散。第二,交通区位条件对城市群城市用地扩张具有引导作用。缓冲区分析表明,80%以上的新增建设用地集中在高速公路沿线 10km 范围内。

4.2 讨论

①对城市扩张理论的扩充。城市群内部各区域的城市用地扩张表现出向中心城市靠拢和沿交通轴线集聚的空间形态,城市间的空间相互作用和交通可达性成为城市群城市用地扩张的外部驱动因素。随着城市群一体化的建设,中心城市的辐射效应逐渐凸显,其他县(市、区)的功能和定位日趋清晰,产业分工和产业合理梯度分配效益逐步明显,空间相互作用将城市群的中心城市与其他县(市、区)整合起来,影响着城市用地向中心城市靠拢。而交通网络将城市群的中心城市与其他县(市、区)联接起来,提高发展要素的流通效率,其可达性重新构建了城市用地的空间形态,引导着城市用地向主要交通轴线集聚。所以,本研究提出的从空间区

位条件研究城市用地扩张特征的思路对城市扩张理论具有一定的扩充价值。

②对城市群空间规划的启示。长沙市区作为中心城市在区域内起到了一定的辐射和带动作用,但其辐射范围和带动强度仍显不足。城市群未来的发展应该注重城市间的产业协作,发挥各个城市的产业优势,有序推进产业链条的构建,通过产业的高效互动整体提升城市群的空间相互作用。同时,城市群应加快完善交通网络,进一步向网络型的交通模式发展,畅通城市间的要素交流通道,缩减城市间空间相互作用的时间成本。

③综合考虑空间相互作用和交通网络引导作用,采用定量的方法进行城市用地扩张特征研究,能够精确地分析空间区位条件对城市用地扩张的影响,为科学编制城市群空间规划提供理论依据。但随着大数据的发展,人流、信息流、技术流等要素流能够更加有效地描述城市间的空间相互作用强度,如何利用大数据对空间相互作用进行定量分析,是下一步研究的方向。

参考文献:

- [1]姚士谋,周春山,王德,等.中国城市群新论[M].北京:科学出版社,2016.
- [2]肖琳,田光进.天津城市扩展空间模式与驱动机制研究[J].资源科学,2014,36(7):1327-1335.
- [3]韦薇,张银龙,赵兵,等.快速城市化进程中城市扩张对景观格局分异特征的影响[J].生态环境学报,2011,20(1):7-12.
- [4]黄宝荣,张慧智,王学志.城市扩张对北京市城乡结合部自然和农业景观的影响——以昌平区三镇为例[J].生态学报,2014,34(22):6756-6766.
- [5]陈永林,谢炳庚,李晓青.长沙市城市扩张对边缘区景观格局的影响[J].地理与地理信息科学,2016,32(2):94-99.
- [6]谢高地,张彪,鲁春霞,等.北京城市扩张的资源环境效应[J].资源科学,2015,37(6):1108-1114.
- [7]夏甯,李云梅,王桥,等.无锡市城市扩张与热岛响应的遥感分析[J].地球信息科学学报,2009,11(5):677-683.
- [8]吴永娇,马海州,董锁成.城市扩张进程中水环境污染成本响应模拟[J].地理研究,2009,28(2):41-50.
- [9]乔伟峰,毛广雄,王亚华,等.近32年来南京城市扩展与土地利用演变研究[J].地球信息科学学报,2016(2):200-209.
- [10]许彦曦,陈凤,濮励杰.城市空间扩展与城市土地利用扩展的研究进展[J].经济地理,2007,27(2):296-301.
- [11]黎夏,叶嘉安.利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例[J].地理研究,1997,16(4):56-62.
- [12]朱政,郑伯红,贺清云.珠三角城市群空间结构及影响研究[J].经济地理,2011,31(3):404-408.
- [13]张修芳,牛叔文,冯骁,等.天水城市扩张的时空特征及动因分析[J].地理研究,2013,32(12):2312-2323.
- [14]Li G, Sun S, Fang C. The varying driving forces of urban expansion in China: Insights from a spatial-temporal analysis[J]. Landscape & Urban Planning, 2018, 174: 63-77.

-
- [15]Sun Y,Zhao S. Spatiotemporal dynamics of urban expansion in 13 cities across the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration from 1978 to 2015[J]. Ecological Indicators,2018,87:302-313.
- [16]方创琳,鲍超,申玉铭. 水资源约束下西北干旱区城市扩张特征与变动趋势分析——以西陇海兰新经济带城市为例[J]. 自然资源学报,2004,19(2):248-256.
- [17]Wu W,Zhao S,Zhu C,et al. A comparative study of urban expansion in Beijing,Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades[J]. Landscape & Urban Planning,2015,134:93-106.
- [18]马世发,艾彬. 基于地理模型与优化的城市扩张与生态保护二元空间协调优化[J]. 生态学报,2015,35(17):5874-5883.
- [19]贺振,赵文亮,贺俊平. 郑州市城市扩张遥感动态监测及驱动力分析[J]. 地理研究,2011,30(12):2272-2280.
- [20]孙善磊,周锁铨,魏国栓,等. 环杭州湾地区城市扩张的遥感动态监测[J]. 自然资源学报,2008,23(2):327-335.
- [21]杨振山,蔡建明,文辉. 郑州市 2001—2007 年城市扩张过程中城市用地景观特征分析[J]. 地理科学,2010,16(4):600-605.
- [22]焦利民,张欣. 基于圈层建设用地密度分析的中国主要城市扩张的时空特征[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(10):1721-1728.
- [23]郑蔚,梁进社,张华. 中国省会城市紧凑程度综合评价[J]. 中国土地科学,2009,23(4):11-17.
- [24]Jiao L,Liu J,Xu G,et al. Proximity expansion index:an improved approach to characterize evolution process of urban expansion[J]. Computers Environment & Urban Systems,2018,70:102-112.
- [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):1430-1438.
- [26]杨叶涛,龚建雅,周启鸣,等. 土地利用景观格局对城市扩张影响研究[J]. 自然资源学报,2010,25(2):320-329.
- [27]毛卫华,胡德勇,曹冉,等. 利用 MODIS 产品和 DMSP/OLS 夜间灯光数据监测城市扩张[J]. 地理研究,2013,32(7):1325-1335.
- [28]Sudhita H S,Ramachandra T V,Jagadish K S. Urban sprawl:metrics,dynamics and modelling using GIS[J]. International Journal of Applied Earth Observations & Geoinformation,2004,5(1):29-39.
- [29]Ji W,Ma J,Twibell R W,et al. Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics[J]. Computers Environment & Urban Systems,2006,30(6):861-879.
- [30]Gao Z,Kii M,Nonomura A,et al. Urban expansion using remote sensing data and a monocentric urban model[J]. Computers Environment & Urban Systems,2017,51:11-22.
- [31]陶卓霖,喻忠磊,王砾,等. 基于空间区位条件的城市扩展生态阻力面模型及应用[J]. 地理研究,2018,37(1):199-208.

-
- [32]周一星. 主要经济联系方向论[J]. 城市规划, 1998(2):22-25, 61.
- [33]焦利民, 唐欣, 刘小平. 城市群视角下空间联系与城市扩张的关联分析[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10):1177-1185.
- [34]王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响[J]. 地理学报, 2014, 69(12):1833-1846.
- [35]冯志新, 陈颖彪, 千庆兰, 等. 东莞市交通路网格局对城市空间扩张影响研究[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(1):79-86.
- [36]毛蒋兴, 阎小培. 城市土地利用模式与城市交通模式关系研究[J]. 规划师, 2002(7):69-72.
- [37]毛蒋兴, 阎小培. 高密度开发城市交通系统对土地利用的影响作用研究——以广州为例[J]. 经济地理, 2005, 25(2):185-188, 210.
- [38]林目轩, 师迎春, 陈秧分, 等. 长沙市区建设用地扩张的时空特征[J]. 地理研究, 2007, 26(2):265-274.
- [39]周国华, 贺艳华. 长沙城市土地扩张特征及影响因素[J]. 地理学报, 2006, 61(11):1171-1180.
- [40]谭雪兰, 欧阳巧玲, 江喆, 等. 基于 RS/GIS 的长沙市城市空间扩展及影响因素[J]. 经济地理, 2017, 37(3):81-85.
- [41]熊鹰, 余婷, 苏婷. 长株潭城市群土地供需预测及格局分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(S1):222-225.
- [42]董青, 刘海珍, 刘加珍, 等. 基于空间相互作用的中国城市群体系空间结构研究[J]. 经济地理, 2010, 30(6):926-932.
- [43]冯志新, 陈颖彪, 千庆兰, 等. 东莞市交通路网格局对城市空间扩张影响研究[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(1):79-86.
- [44]Liu Z, He C, Zhou Y, et al. How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion[J]. Landscape Ecology, 2014, 29(5):763-771.
- [45]Liu X, Hu G, Chen Y, et al. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 209:227-239.
- [46]周晓艳, 华敏, 秦雅雯, 等. 长江中游城市群空间联系研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(10):1492-1500.
- [47]He J H, Chun L I, Yan Y U, et al. Measuring urban spatial interaction in Wuhan Urban Agglomeration, Central China: A spatially explicit approach[J]. Sustainable Cities & Society, 2017, 32:569-583.
- [48]Yan Y Y, Liu Y L, Liu Y R, et al. Quantifying spatio-temporal patterns of urban expansion in Beijing during 1985-2013 with rural-urban development transformation[J]. Land Use Policy, 2018, 74:220-230.
- [49]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(12):2045-2056.
- [50]Liu Y, Zhang X, Kong X, et al. Identifying the relationship between urban land expansion and human activities

in the Yangtze River Economic Belt, China[J]. *Applied Geography*, 2018, 94:163-177.