

武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局与 规模等级模式分异研究¹

王海军^{1, 2}, 王惠霞¹, 邓羽³, 宋涛³, 祁帆⁴, 张辉⁴

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 地理信息系统教育部重点实验室, 湖北 武汉 430079; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
4. 中国土地勘测规划院, 北京 100029)

【摘要】在国家大力推进新型城镇化和优化国土空间开发格局战略背景下, 都市圈成为区际竞争的核心载体, 定量认知基于长时间序列的都市圈城镇扩展时空格局与不同规模等级城市的模式分异规律, 对提升城市空间治理能力与制定因地制宜的空间管控策略具有重要意义。基于 1990~2015 年 4 个阶段(1990~2000、2000~2005、2005~2010、2010~2015 年)的武汉城市圈土地利用现状数据, 用城镇用地来源、城镇扩展速率、城镇用地扩展差异指数、重心坐标、分维数以及扩展强度指数的等扇分析等指标对武汉城市圈城镇扩展的时空格局以及规模等级模式分异进行研究。结果表明: 武汉城市圈城镇用地扩展的主要来源是耕地, 其次是水域、林地、其他建设用地和农村居民点, 来源由单一趋向多元化; 城镇用地扩展速率具有明显的波动性和阶段性特征, 以及扩展具有空间分异性和空间集聚性; 不同时期的中快高速扩展区域呈现出不同的形状, 比如扇形、“U”型; 根据雷达图把城镇用地的扩展模式划分成单翼、多翼和扇形扩展 3 种模式, 各城市主要扩展方向没有一致性, 呈现出小城市扩展方向大城市聚拢的特征; 武汉城市圈城市形态较为规则平整, 分维数具有波动性特征; 武汉、黄石、咸宁的重心往西南方向迁移, 鄂州、黄冈、孝感的重心往西北方向迁移; 不同等级城市的扩展格局以及模式具有差异性, 中小城市的扩展速度大于大城市, 城市形态都趋于稳定。

【关键词】: 土地利用变化; 城市扩展; 时空格局; 模式分异; 武汉城市圈

【中图分类号】: F293.2 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227 (2018) 02-0272-14

【DOI】: 10.11870/cjlyzyyhj201802006

改革开放以来, 城市化成为我国转型期社会经济快速发展的必然结果, 同时也是社会经济加速重构的助推器。早在 2001 年诺贝尔经济学奖获得者约瑟夫·斯蒂格利茨就曾指出, 中国城市化发展是影响 21 世纪人类社会发展的两大关键因素之一^[1]。城市发展离不开赖以生存的土地资源, 由此城市化成为城镇用地扩展的主要驱动力^[2~5]。同时, 城镇用地扩展将会在城市空间形态与空间发展模式上产生难以逆转的锁定效应^[6]。因此, 城镇用地扩展已经成为国内外地理学界关注的热点问题^[7~9]。目前, 国内外

¹[收稿日期]: 2017-04-06; [修回日期]: 2017-05-07

[基金项目]: 国家自然科学基金面上项目(41571384); 国家自然科学基金重点项目(71433008); 国家基础科学人才培养基金项目(J1103409); 国土资源部土地资源调查评价项目(DCPJ161207-01)

[作者简介]: 王海军(1972~), 男, 博士, 教授, 主要从事地理模拟、城市规划和土地资源评价等研究。E-mail: landgiswhj@163.com

对城镇用地扩展的研究从内容上看主要集中在城市扩展格局与规律、城市扩展的动力机制^[10~12]、城市扩展的应对对策^[13, 14] 3 个方面, 其中城市扩展格局与规律又可以细分成城市扩展的时空特征^[15~17]、城市扩展的模式^[18]、城市扩展的阶段^[19]; 从研究方法上看主要包括城镇扩展速率、城镇扩展强度指数等表征扩展速度维度指标, 以及分维数、紧凑度、斑块平均大小、面积加权的平均形状因子等景观格局指数来表征城镇扩展形态维度指标^[20], 以及重心坐标转移等表征城市扩展空间格局变化维度指标; 从研究尺度上看主要包括单个城市^[21, 22]、城市群^[23~25]、全国^[26]以及一些特色区域^[27, 28]。然而, 既有成果主要采用单一维度或单一指标对长江三角洲、珠江三角洲、环渤海等东部沿海地区进行研究, 对位于中部地区典型城市、都市圈和城市群时空格局的多维度定量刻画和空间模式综合认知的研究较少。武汉城市圈是长江中游最大且最密集的城市群, 多年来已经发展成为以长江经济带为主轴的东部、中部、西部互动发展的关键接力点与重要增长极^[29], 因此, 采用多维度多指标研究武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局和模式分异对把握城市空间演化规律与认知空间管控效应具有典型意义与参考价值, 进而为国家大力推进新型城镇化战略背景下提升城市空间治理能力提供支撑。

本文以武汉城市圈作为研究区域, 基于 ArcGIS10.2 平台以及 1990、2000、2005、2010、2015 年的城市圈城镇用地信息, 1990~2000 年、2000~2005 年、2005~2010 年、2010~2015 年 4 个时期作为研究时段, 从城镇用地扩展速率、城镇用地扩展来源、分维数、重心坐标迁移、城镇用地扩展差异指数、城镇用地扩展模式与方向多维度多指标对武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局进行分析, 并将武汉城市圈 38 个区县划分成大中小城市, 分析不同等级规模城市空间扩展的模式差异。

1、研究区域、数据源和方法

1.1 研究区域

武汉城市圈是以武汉市为中心, 100 公里为半径, 由武汉市以及黄石市、鄂州市、黄冈市、孝感市、咸宁市、仙桃市、天门市、潜江市 9 个城市组成的城市群, 土地总面积达到了 $5.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占湖北省总土地面积的 31.2%^[29]。2015 年, 武汉城市圈的常住人口为 3120.62 万人, 占全省总人口的 53.3%, 地区生产总值为 18535.51 亿元, 占全省地区生产总值的 62.7%。2015 年, 武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门、潜江的生产总值占城市圈的比例分别为 58.84%、6.63%、3.94%、8.57%、7.86%、5.56%、3.22%、2.37%、3.01%, 占城市圈 33.99% 人口的武汉市的地区生产总值最高, 其次是人口占比 20.16% 的黄冈市。

1.2 数据来源

研究所用的数据主要包括覆盖武汉城市圈的 1990 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 5 个时期的土地利用栅格数据和武汉城市圈行政区划矢量数据 (为了便于研究, 将江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、武昌区、青山区、洪山区作为武汉主城区, 黄石港区、西塞山区、下陆区、铁山区为黄石主城区), 以及武汉城市圈 38 个区县的常住人口数据, 来源于中国科学院资源环境科学数据中心和 2016 年湖北省统计年鉴。本文研究将 1990~2015 年划分为 1990~2000 年、2000~2005 年、2005~2010 年、2010~2015 年 4 个时段来进行研究, 根据中国科学院资源环境科学数据中心的 1:10 万比例尺土地利用现状遥感监测数据库提供的 1990 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 5 期 30x30m 土地利用栅格数据集 (以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源, 通过人工目视解译生成), 包括耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地 6 个一级类型以及 25 个二级类型 (其中城乡工矿居民用地分为城镇用地、农村居民点和其他建设用地 3 个二级类型), 获得 5 期的城镇用地信息和其他土地利用类型数据, 获得 25 年的城镇用地扩展变化图 (图 1) 以及部分城市的城镇用地扩展变化图。

1.3 研究方法

本文用城镇扩展速率^[30]、城镇扩展强度指数^[31]、城镇扩展差异指数^[32]、重心坐标转移^[33]、分维数^[34]、转移矩阵方法来对城市圈城镇用地扩展的时空格局和模式分异进行研究, 各方法的详细计算过程参见文献^[30~34]。其中为了更好地研究城市圈城镇用地扩展的空间特征, 将等扇分析方法与城镇扩展强度指数进行结合, 以便分析各城市在各个方向上的扩展差异和特征。

	水域	15.18	水域	12.88	其他建设用地	21.87	农村居民点	22.84
	林地	9.14	林地	5.98	农村居民点	14.49	其他建设用地	7.19
	—	—	—	—	林地	10.82	—	—
	耕地	88.52	耕地	81.11	耕地	38.58	耕地	69.16
鄂州	水域	11.48	水域	16.92	其他建设用地	32.62	农村居民点	22.87
	—	—	林地	1.97	农村居民点	24.43	其他建设用地	7.19
	耕地	92.25	耕地	62.48	耕地	71.98	耕地	66.03
黄冈	林地	5.46	水域	31.57	农村居民点	12.21	林地	15.07
	水域	2.29	林地	4.24	水域	6.07	水域	14.73
	耕地	95.79	耕地	96.6	耕地	78.94	耕地	78.76
孝感	林地	2.13	水域	2.64	其他建设用地	13.38	水域	12.25
	水域	1.68	—	—	水域	3.64	农村居民点	4.50
	耕地	95.79	耕地	63.71	耕地	63.00	耕地	49.26
咸宁	水域	2.61	林地	29.58	林地	19.81	其他建设用地	35.91
	林地	1.60	水域	3.77	农村居民点	4.69	水域	11.28
仙桃	耕地	100	耕地	95.56	耕地	57.13	耕地	99.93
	—	—	其他建设用地	4.44	农村居民点	26.24	—	—
	—	—	—	—	其他建设用地	13.14	—	—
	耕地	93.42	耕地	99.9	耕地	69.09	耕地	55.04
天门	水域	6.58	—	—	农村居民点	26.84	其他建设用地	35.01
	—	—	—	—	水域	4.01	水域	9.95
	耕地	100	耕地	69.62	耕地	70.51	耕地	98.86
潜江	—	—	水域	25.49	其他建设用地	13.92	其他建设用地	1.14
	—	—	其他建设用地	4.89	水域	6.42	—	—

2.1.2 城镇用地扩展速率分析

把武汉城市圈土地利用数据和行政区划在 ArcGIS10.2 中进行叠加, 获得 9 个城市和城市圈的城镇用地面积, 从而计算 9 个城市和城市圈的城镇用地扩展速率 (表 2)。

表 2 1990~2015 年武汉市圈城镇扩展速率

城市	1990~2000	2000~2005	2005~2010	2010~2015
武汉市	1.308	5.262	6.699	0.783
黄石市	1.091	3.145	8.78	2.332
鄂州市	3.065	5.197	12.2	3.975
黄冈市	6.179	2.001	7.474	0.448
孝感市	3.74	3.562	6.916	3.059
咸宁市	1.72	4.069	11.758	0.078
仙桃市	2.724	0.994	19.139	1.97
天门市	2.11	2.411	24.387	2.856
潜江市	3.736	2.24	18.595	0.211

武汉城市圈	2.083	4.232	8.192	1.201
平均值	2.853	3.209	12.883	1.746
标准差	1.582	1.457	6.381	1.417

(1) 武汉城市圈扩展速率总体特征。1990~2015 年, 武汉城市圈城镇用地面积持续增加, 建成区范围持续扩展, 城镇用地面积从 1990 年的 42991.50hm² 扩展到 2015 年的 94047.93hm², 25a 间, 扩展面积是期初城镇用地面积的 2.19 倍。武汉城市圈 1990~2010 年城镇用地的扩展速度不断增加, 2010 年之后的扩展速度有放缓的趋势。1990~2005 年城镇用地扩展速度较为快速, 城镇用地扩展速率分别为 2.08、4.23; 随着 2004 年武汉城市圈的成立以及各种优惠政策的落实, 城市之间的相互作用越来越大, 所以在 2005~2010 年城镇用地扩展速度进入高速化阶段, 为 1990~2015 年的城镇用地净增面积贡献了 50.49%, 城镇用地扩展速率达到了 8.19; 2010 年之后可能受到了土地利用总体规划的限制, 城镇用地扩展速率为 1.20, 扩展速度放缓。

(2) 区域扩展速率总体上先增加后减小, 呈现波动性和阶段性特征。1990~2010 年, 9 个城市城镇用地扩展速度上升, 特别是 2005~2010 年, 扩展速度迅猛增加, 之后扩展速度又急速下降呈现一定的波动性。1990~2010 年各城市的扩展速率呈现上升趋势, 其中, 天门、潜江、仙桃扩展速率的波动性最大, 1990~2005 年扩展速率较低, 在 2~4 之间, 到 2005~2010 年扩展速率骤升, 扩展速率分别为 19.13、24.38、18.59, 远远高于城市圈其他城市的扩展速率水平, 2010~2015 年扩展速率骤降; 咸宁、鄂州扩展速率的波动性次之, 2005~2010 年的扩展速率为 11.76、12.20; 武汉、孝感、黄冈的城镇扩展速率的波动性相对较小, 四个时期的扩展速率相差不大。

(3) 扩展速率的区域差异明显, 差异性波动性明显。区域差异性随着城市发展逐渐上升, 1990~2000 年、2000~2005 年、2010~2015 年的扩展速率标准差相差不大, 2005~2010 年城市之间差异性达到最大, 表明武汉城市圈城镇用地扩展具有明显的空间集聚性和空间分异性。

2.1.3 城镇用地扩展差异指数分析

以区县为尺度, 根据公式计算城镇扩展差异指数, 并采用自然断裂点分级方法将武汉城市圈城镇扩展速度划分为高速发展、快速发展、中速发展、低速发展和缓慢发展 (图 2)。从图中可知, 中小城市城镇用地扩展速度快, 大城市城镇用地扩展速度慢。

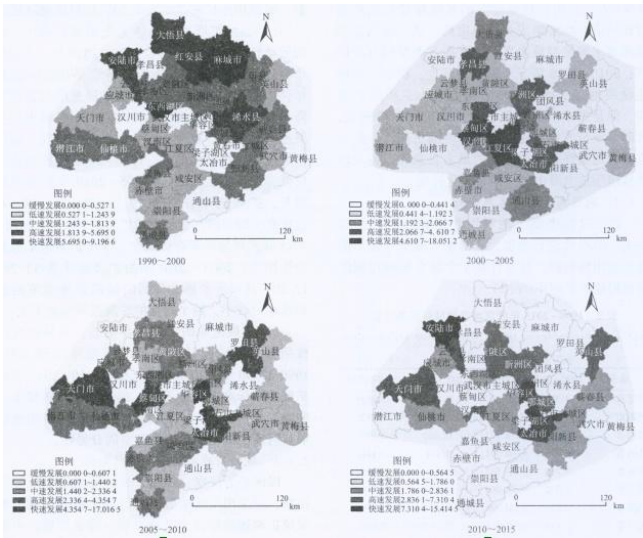


图 2 1990~2015 年武汉城市圈城镇用地扩展差异指标分异

1990~2000 年，城镇扩展速度快的城市大部分位于城市圈的北部，尤其是东北方向，大致呈现出以武汉主城区为中心，武汉主城区西北至东的中快高速扩展的扇形区域，其中麻城市、东湖西区的扩展速度最快；2000~2005 年，大部分城市处于低速、缓慢扩展阶段，这些城市大都距离武汉主城区较远，而距离武汉主城区较近的一些城市如江夏区、蔡甸区、孝昌县等则快速发展起来，尤其是武汉市远城区的发展速度很快，这些扩展速度较快的城市大都围绕在武汉主城区周围，形成一个包围武汉主城区的短“U”型中快高速扩展的区域；2005~2010 年，华容区的发展速度最快，其余大部分城市处于中速发展阶段，中快高速扩展区域大致可以分为三个区域，一个是以应城市—天门市—潜江市—仙桃市—蔡甸区—东西湖区—黄陂区—孝昌县组成的环状，两外两个是以罗田县—团风县—华容区和大冶市—咸安区—赤壁市组成的“//”型区域；2010~2015 年，安陆市的发展速度最快，该时段的城市很大一部分都处于低速和缓慢发展阶段，扩展速度较快的区域主要集中分布在城市圈的北部，主要是天门市—云梦县—安陆市和黄陂区—新洲区—华容区—鄂城区—大冶市组成的城市圈北部的“八”字型中快高速扩展区域。

2.1.4 重心坐标迁移分析

基于 ArcGIS10.2 平台，获得各区县在 1990 年的重心坐标，再根据公式计算出 9 个城市在研究的 4 个时期的重心坐标，以及 9 个城市在某一研究时期相对于前一个研究时期的迁移方向以及 1990~2015 年的总体迁移方向（表 3）。结果表明，仙桃、天门、潜江 1990~2015 年的重心几乎没有变化；武汉、黄石、咸宁的重心坐标总体上往西南方向迁移，鄂州、黄冈、孝感的重心坐标总体上往西北方向迁移，各城市某一研究时期相对于前一研究时期的迁移方向并没有明显的规律性。鄂州、黄冈的重心迁移有向武汉市方向迁移的趋势。

表 3 1990~2015 年武汉城市圈城镇用地重心坐标迁移

城市	迁移方向				
	1990~2000	2000~2005	2005~2010	2010~2015	1990~2015
武汉	西北	东南	西南	东南	西南
黄石	东南	西南	西南	西南	西南
鄂州	东南	西北	西北	西北	西北
黄冈	西北	东南	东南	东北	西北
孝感	东北	东北	西南	西北	西北
咸宁	西南	东北	西南	西南	西南

2.1.5 城镇用地扩展形态分析

基于 ArcGIS10.2 平台，提取 1990~2015 年各区县建成区的面积和周长，计算各区县的分维数结果如表 4。一般来说，分维数在 1~2 之间，分维数越大，城市边形态越复杂；分维数小于 1.5 时，城市形态较为规则、完整；分维数大于 1.5 时，城市形态较为复杂、曲折；越接近 1.5，城市形态的稳定性越差。1990~2015 年除了江夏区 2005 年的分维数为 1.258，其他各区县的分维数都在 1.00~1.25 之间，城市形态较为规则完整，城市形态的稳定性较好；各区县在 25a 间的分维数变化不大，具有明显的波动性。1990~2000 年，各城市分维数变化不一致，但基本上一半城市增加，一半城市减少，城市建成区面积增加有外向扩展也有内向填充模式；2000~2005 年，城镇用地的扩展速率上升，城镇用地面积增加快速，大部分城市在 2005 年，分维数上升达到最大值，城市边界的非线性以及不规则性增强，城市空间形态趋于复杂，城市建成区面积的扩展以向城市外缘扩展为主；2005~2010 年，各城市的城镇用地扩展速率最高，然而在这期间大部分城市的分维数相对于 2005 年有所下降，城市空间形态不规则程度下降，城市建成区面积的扩展以城市边缘的填充式发展为主，在 2005~2010 年，农村居民点以及其他建设用地转化为城镇用地的规模扩大，这期间武汉城市圈大部分城市人侵内部的农村居民点和其他建设用地，或者进行内部改造，所以虽然城镇扩展速率达到最大，但是分维数有所下降；2010~2015 年，城镇用地扩展速率下降，大部分城市分维数缓慢增加，城市建成

区面积的扩展以外向扩展为主。

表 4 武汉城市圈 38 个区县 1990~2015 年分维数

城市	区县	1990	2000	2005	2010	2015
武汉市	武汉主城区	1.24	1.239	1.245	1.208	1.209
	蔡甸区	1.116	1.125	1.213	1.185	1.176
	江夏区	1.19	1.196	1.258	1.244	1.239
	汉南区	1.162	1.154	1.168	1.172	1.171
	黄陂区	1.144	1.1	1.127	1.147	1.149
	东西湖区	1.213	1.189	1.228	1.202	1.199
	新洲区	1.177	1.157	1.204	1.172	1.19
	大冶市	1.079	1.082	1.172	1.18	1.231
黄石市	黄石主城区	1.233	1.232	1.244	1.236	1.235
	阳新县	1.084	1.076	1.093	1.102	1.115
鄂州市	鄂城区	1.193	1.184	1.205	1.204	1.212
	华容区	1.103	1.103	1.141	1.183	1.182
黄冈市	红安县	1.135	1.186	1.146	1.115	1.116
	罗田县	1.135	1.172	1.194	1.137	1.137
	麻城市	1.122	1.172	1.176	1.112	1.133
	英山县	1.15	1.15	1.16	1.176	1.183
	团风县	1.133	1.144	1.134	1.125	1.125
	浠水县	1.174	1.16	1.175	1.178	1.141
	蕲春县	1.16	1.129	1.138	1.12	1.114
	黄州区	1.179	1.179	1.193	1.178	1.178
	黄梅县	1.184	1.183	1.18	1.144	1.131
	武穴市	1.175	1.165	1.164	1.088	1.089
孝感市	大悟县	1.118	1.143	1.178	1.104	1.128
	安陆市	1.117	1.129	1.131	1.131	1.16
	孝昌县	1.073	1.042	1.15	1.103	1.096
	云梦县	1.116	1.122	1.141	1.121	1.15
	孝南区	1.157	1.167	1.182	1.143	1.147
	应城市	1.102	1.072	1.114	1.123	1.132
	汉川市	1.154	1.153	1.166	1.137	1.137
	嘉鱼县	1.137	1.135	1.175	1.16	1.16
咸宁市	咸安区	1.214	1.226	1.233	1.191	1.191
	赤壁市	1.193	1.194	1.211	1.185	1.184
	通山县	1.125	1.125	1.162	1.162	1.17
	崇阳县	1.146	1.149	1.153	1.16	1.16

	通城县	1.138	1.135	1.171	1.148	1.148
仙桃市	仙桃市	1.169	1.149	1.162	1.129	1.149
天门市	天门市	1.18	1.211	1.19	1.161	1.164
潜江市	潜江市	1.164	1.145	1.171	1.16	1.164

2.1.6 城镇用地扩展模式与方向分析

以区县为单位，各区县建成区中心为圆心，从北偏东 15° 开始将各区县分成 12 个扇形区域（划分成 N、NNE、NEE、E、SEE、SSE、S、SSW、SWW、W、NNW、NNW、N12 个方向）与各时期的城镇用地数据进行叠加，计算各区县不同时期各方位的城镇扩展强度指数，并根据计算结果制作各区县扩展强度指数的雷达图（图 3）。其中武汉市 6 个远城区除了各城市的中心城区以外还有 1 或 2 个主要扩展区域，将这些主要扩展区域也一并进行研究。

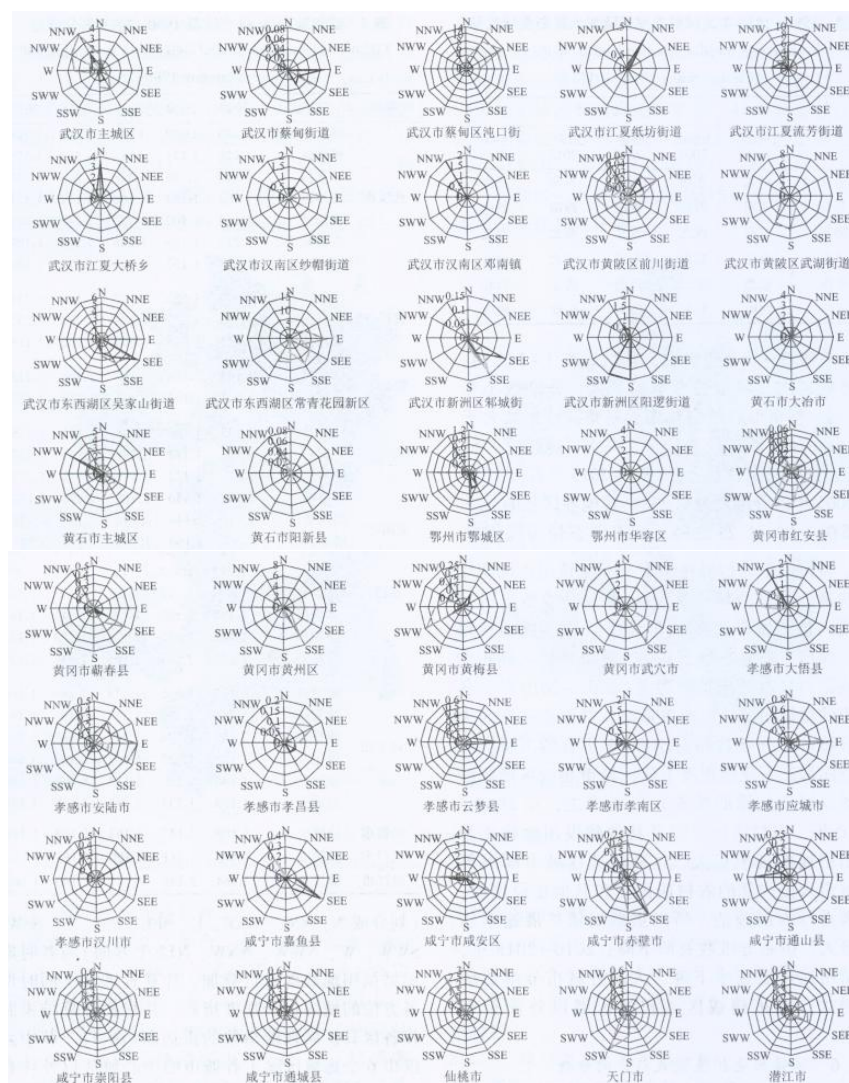


图 3 1990~2015 年武汉市城市圈 38 个区县城镇用地扩展强度指数雷达图

通过对武汉城市圈 38 个区县的雷达图进行对比研究，可以将区县的城镇用地扩展模式划分成 3 种类型：如果区县的城镇用

地只是单一方向扩展则为单翼扩展模式；如果城镇用地向多个方向扩展但是各方向较为分散不连续、不形成扇形形状的为多翼扩展模式；如果城镇用地向多个方向扩展同时各方向连续形成扇形形状的为扇形扩展模式。1990~2000 年单翼扩展模式的的城市有 12 个，多翼扩展模式的的城市有 9 个，扇形扩展模式的的城市有 17 个；2000~2005 年单翼扩展模式的的城市有 18 个，多翼扩展模式的的城市有 3 个，扇形扩展模式的的城市有 14 个，这时期多为单一方向的扩展为主；2005~2010 年单翼扩展模式的的城市有 14 个，多翼扩展模式的的城市有 14 个，扇形扩展模式的的城市有 16 个，这个时期的扩展模式单翼扩展、多翼扩展、扇形扩展模式较为均衡，大城市对中小城市的带动作用明显，大部分城市的城镇扩展速度较高，且多为向城市四周扩展；2010~2015 年单翼扩展模式的的城市有 20 个，多翼扩展模式的的城市有 10 个，扇形扩展模式的的城市有 10 个，这个时期的城镇扩展速度较慢，扩展模式以单翼为主。

表 5 武汉城市圈 38 个区县 1990~2015 年城市用地空间扩展模式和扩展方向

城市	区县	1990~2000	2000~2005	2005~2010	2010 ~2015	扩展方向
武汉市	武汉主城区	扇形扩展	多翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	W-NNW-N-NNE、S-SSE-SEE
	蔡甸区蔡甸街道	多翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	单翼扩展	W-NNW、E-SEE-SSE-S
	蔡甸区沌口街	无扩展	扇形扩展	扇形扩展	多翼扩展	N-NNE-S-SEE
	江夏区纸坊街道	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	扇形扩展	NNW, N-NNE-NEE
	江夏区流芳街道	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	W-NNW-N-NNE-E-SEE
	江夏区大桥乡	无扩展	单翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	N-NNW-NNW-W, S
	汉南区纱帽街道	单翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	无扩展	N-NNE-NEE-N
	汉南区邓南镇	无扩展	单翼扩展	单翼扩展	扇形扩展	NNW、NEE-NNE
	黄陂区前川街道	扇形扩展	扇形扩展	多翼扩展	单翼扩展	SWW-W-NNW, NEE-NNE
	黄陂区武湖街道	无扩展	单翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	SSE-S-SWW-W
	东西湖区吴家山街道	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	W-SSW-S-SSE-E
	东西湖区常青花园新区	扇形扩展	多翼扩展	多翼扩展	单翼扩展	N-NEE-NNE、SSW-SSE-E
	新洲区邾城街	扇形扩展	扇形扩展	多翼扩展	多翼扩展	N-NNE、E-SSE-S
	新洲区阳逻街道	单翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	N-NNW-NNW, S-SSW
黄石市	大冶市	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	多翼扩展	NNW-NNE-NEE
	黄石主城区	单翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	N-NNW-SWW-S-SSE
	阳新县	单翼扩展	多翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	NNW、E-SEE
鄂州市	鄂城区	多翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	多翼扩展	NEE-SEE-S、W
	华容区	无扩展	多翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	W、E
黄冈市	红安县	扇形扩展	扇形扩展	多翼扩展	多翼扩展	NNW, NEESSW-SSE-E
	罗田县	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	S-SSW-SWW
	麻城县	单翼扩展	单翼扩展	多翼扩展	单翼扩展	S-SWW-W-N, WWN-NNE, E
	英山县	扇形扩展	多翼扩展	多翼扩展	扇形扩展	E-SEE-SEE, SWW-SSW
	团风县	单翼扩展	单翼扩展	多翼扩展	无扩展	W-NNW-NNW
	浠水县	扇形扩展	扇形扩展	单翼扩展	扇形扩展	S-SEE-SSE, W-NNW
	蕲春县	多翼扩展	单翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	SSE-SEE、NNW、SSE-SWW
	黄州区	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	S-SSE-SEE
	黄梅县	单翼扩展	多翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	SWW-NNW-N-NNE
	武穴市	扇形扩展	单翼扩展	扇形扩展	无扩展	SSE-SEE, SSW-W-NNW

孝感市	大悟县	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	N-NNW-W
	安陆市	扇形扩展	单翼扩展	无扩展	多翼扩展	N-NEE-SEE、SSW
	孝昌县	无扩展	多翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	NNE-E-SSE、SSW
	云梦县	多翼扩展	扇形扩展	多翼扩展	单翼扩展	SSW-W、NNE、E-SSE-S
	孝南区	单翼扩展	多翼扩展	单翼扩展	扇形扩展	W-SWW-SSW, SEE
	应城市	多翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	扇形扩展	NNE-E-SSE-S
	汉川市	多翼扩展	单翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	SSE、NNW、N-NEE-NEE
咸宁市	嘉鱼县	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	SEE、NNW
	咸安区	单翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	无扩展	NNE、E-SEE-SSE、W' SWW
	赤壁市	单翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	N-NNW、SWW、NEE、SEE-S
	通山县	无扩展	单翼扩展	单翼扩展	无扩展	W、SEE
	崇阳县	多翼扩展	单翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	S, NNE-NNW-W
	通城县	单翼扩展	扇形扩展	扇形扩展	单翼扩展	N-NEE-NEE
仙桃市	仙桃市	扇形扩展	单翼扩展	单翼扩展	单翼扩展	NNW-NNW, SSW-S-SSE
天门市	天门市	多翼扩展	多翼扩展	扇形扩展	单翼扩展	NNW-W-SSW-S, SSE, N
潜江市	潜江市	多翼扩展	多翼扩展	多翼扩展	单翼扩展	NNW-N-NEE、S-SEE、S

研究区域内各区县在不同时期不同方位的城镇扩展强度指数的差异性比较明显，各区县在 1990-2015 年城镇用地的扩展方向如表 5。将 38 个区县 1990-2015 年的主要扩展方向归纳为东北、东南、西南、西北、东、西、南、北八个方向，蔡甸区沌口街、江夏区纸坊街道、江夏区流芳街道、汉南区、黄陂区前川街道、东西湖区常青花园新区、安陆市、孝昌县、云梦县、应城市、汉川市、通城县主要向东北方向扩展；武汉主城区、蔡甸街道、东西湖区、新洲区邾城街、黄石主城区、阳新县、鄂城区、红安县、英山县、团风县、浠水县、蕲春县、黄州区、武穴市、安陆市、孝昌县、嘉鱼县、咸安区、赤壁市、潜江市、通山县主要向东南方向扩展；黄陂区、东西湖区、新洲区阳逻街道、红安县、罗田县、麻城市、英山县、黄梅县、武穴市、孝南区、咸安区、天门市、浠水县主要向西南方向扩展；武汉主城区、蔡甸街道、江夏区流芳街道、江夏区大桥乡、汉南区邓南镇、黄陂区前川街道、新洲区阳逻街道、黄石主城区、阳新县、团风县、黄梅县、大悟县、嘉鱼县、赤壁市、崇阳县、仙桃市、潜江市主要向西北方向扩展；华容区向东部扩展，通山县、鄂城区、华容区主要往西部扩展（图 4）。蔡甸区、江夏区、汉南区、黄陂区、新洲区、东西湖区和华容区 1990~2015 年的主要扩展区域为与武汉主城区临近的区域，主要往武汉主城区方向扩展；大冶市、鄂城区主要往黄石主城区方向扩展；黄冈市各区县主要扩展方向为东南和西南方向，尤其是西南方向；孝感市各区县的主要扩展方向为东北和东南方向；咸宁市各区县主要扩展方向为东南和西北方向；说明武汉主城区和黄石市作为武汉城市圈的中心和副中心城市，对周边城市城镇用地扩展有吸引作用。

2.2 城镇用地扩展的规模等级模式分异分析

根据国务院 2014 年发布的城市规模划分标准以及湖北省 2016 年统计年鉴数据，研究区域包括了 10 个小城市、24 个中等城市、4 个大城市（其中武汉市主城区划分为一类大城市，其他 3 个为二类大城市），从城镇扩展的速度、形态和模式等维度对不同等级城市的城镇用地扩展模式分异进行分析（表 6）。

根据 1990~2015 年 38 个区县的城镇扩展差异指数，用自然断裂点分级方法将其划分为高速发展、快速发展、中速发展、低速发展和缓慢发展五个级别：60%小城市处于低速发展水平，20%小城市处于缓慢发展水平；60%以上的中等城市处于中速和快速发展水平，37.5%的中等城市处于低速发展水平，这些中等城市虽然处于低速发展水平，但是大部分城市的扩展速度要比同处

于低速发展的小城市高；一类大城市处于缓慢发展水平，二类大城市的汉川市处于缓慢发展水平，仙桃市和天门市则处于中速发展水平。分维数波动性用 38 个区县的 1990、2000、2005、2010、2015 年分维数的最大值与最小值之差表示，小城市分维数的波动性在 0.015~0.081 之间，中等城市分维数的波动性在 0.011~0.151 之间，一类大城市分维数的波动性为 0.037，二类大城市分维数的波动性在 0.029~0.051 之间。基于 1990~2015 年各区县各方位的城镇扩展强度指数结果划分出扩展模式，小城市扩展模式单翼、多翼、扇形都存在，而且较为均衡，中等城市的单翼扩展模式很少，大部分为多翼和扇形扩展模式，一类大城市则是多翼扩展模式，二类大城市是单翼和扇形扩展模式。结果表明：小城市的城镇扩展差异指数处于中等水平；分维数在 1.103~1.211 之间，分维数的波动性在这三个等级城市中居中，而且 2015 年分维数与 2010 年分维数基本持平，城市边界逐渐稳定；城市扩展模式的特征性较不明显，单翼扩展、多翼扩展、扇形扩展模式较为均衡。



图 4 武汉城市圈 38 个区县 1990~2015 年城镇用地主要扩展方向图

中等城市的城镇扩展差异指数最大，城镇用地扩展速度最快；分维数在 1.042~1.258 之间，分维数的波动性在这三个等级城市中最大，与小城市和大城市相比，城市边界相对处于不稳定状态；1990~2015 年，中等城市城镇扩展以多翼扩展和扇形扩展为主，城镇用地扩展向多个方向或者连片扩展。

一类大城市的城镇扩展差异指数最小，扩展速度缓慢；分维数在 1.120~1.245 之间，分维数的波动性在这三个等级城市中低于平均水平，2010~2015 年分维数趋于稳定，城市边界处于稳定状态；城市扩展以多翼扩展模式为主；二类大城市中汉川市的城镇扩展差异指数处于缓慢发展水平，仙桃市和天门市的则处于中速发展水平，分维数在 1.129~1.211 之间，分维数的波动性在这三个等级城市中处于中等，2010~2015 年分维数趋于稳定，城市边界处于稳定状态；城市扩展以单翼扩展和扇形扩展模式为主。

表 6 武汉城市圈城镇用地扩展模式差异

城市等级	典型城市	扩展速度（1990~2015 年）		分维数波动性	扩展模式（1990~2015 年）	
		类型	值			
小城市	武汉市汉南区	缓慢发展	0.613	0.017	纱帽街道	扇形扩展
					邓南镇	单翼扩展
	黄冈市英山县	低速发展	0.982	0.033		多翼扩展
	黄冈市团风县	低速发展	1.241	0.019		扇形扩展

		黄冈市黄州区	中速发展	1.579	0.015	扇形扩展	
		咸宁市嘉鱼县	低速发展	1.147	0.041	多翼扩展	
		咸宁市赤壁市	低速发展	1.083	0.027	多翼扩展	
		咸宁市通山县	缓慢发展	0.481	0.045	单翼扩展	
		咸宁市崇阳县	低速发展	0.952	0.015	扇形扩展	
		咸宁市通城县	低速发展	1.421	0.037	扇形扩展	
		鄂州市华容区	高速发展	12.0438	0.081	单翼扩展	
						蔡甸街道	多翼扩展
		武汉市蔡甸区	快速发展	8.228	0.097	沌口街	扇形扩展
						纸坊街道	单翼扩展
		武汉市江夏区	快速发展	7.047	0.068	流芳街道	多翼扩展
						大桥乡	扇形扩展
		武汉市黄陂区	中速发展	1.64	0.048	前川街道	扇形扩展
						武湖街道	扇形扩展
		武汉市东西湖区	快速发展	6.077	0.039	吴家山街道	扇形扩展
						常青花园新区	扇形扩展
		武汉市新洲区	中速发展	2.127	0.047	邾城街	扇形扩展
						阳逻街道	多翼扩展
		黄石市大冶市	快速发展	4.993	0.151		单翼扩展
		黄石市主城区	缓慢发展	0.411	0.011		多翼扩展
		黄石市阳新县	低速发展	0.851	0.039		多翼扩展
		鄂州市鄂城区	低速发展	1.258	0.028		多翼扩展
		黄冈市红安县	低速发展	1.043	0.07		扇形扩展
		黄冈市罗田县	中速发展	2.007	0.059		扇形扩展
		黄冈市麻城市	中速发展	2.022	0.064		单翼扩展
		黄冈市浠水县	低速发展	1.282	0.037		扇形扩展
		黄冈市蕲春县	中速发展	1.153	0.046		多翼扩展
	中等城市	黄冈市黄梅县	缓慢发展	0.627	0.053		扇形扩展
		黄冈市武穴市	低速发展	0.863	0.086		扇形扩展
		孝感市大悟县	中速发展	2.424	0.074		扇形扩展
		孝感市安陆市	中速发展	1.899	0.044		扇形扩展
		孝感市孝昌县	中速发展	2.125	0.108		扇形扩展
		孝感市云梦县	低速发展	1.156	0.034		扇形扩展
		孝感市孝南区	低速发展	1.18	0.039		单翼扩展
		孝感市应城市	中速发展	1.589	0.06		扇形扩展
		咸宁市咸安区	低速发展	1.083	0.042		多翼扩展
		潜江市	中速发展	1.666	0.026		多翼扩展
	一类	武汉市主城区	缓慢发展	0.366	0.037		多翼扩展
		汉川市	缓慢发展	0.319	0.029		扇形扩展
	大城市	仙桃市	中速发展	1.576	0.04		单翼扩展
	二类	天门市	中速发展	2.056	0.05		扇形扩展

3、结论

本文从城镇用地来源、城镇扩展速率、城镇用地扩展差异指数、重心坐标、分维数以及扩展强度指数的等扇分析等角度对武汉城市圈 1990~2015 年城镇用地扩展的时空格局和模式分异进行分析,得出如下结论:

(1) 耕地是武汉城市圈城镇用地面积扩展的最主要来源,水域、林地、其他建设用地、农村居民点也阶段性的成为城镇用地的重要来源,城镇用地的来源由较为单一的耕地向多元化发展。1990~2015 年,武汉城市圈城镇用地面积增长了 51056.28hm²,扩展面积是期初城镇用地面积的 2.19 倍,4 期的城镇用地扩展速率的均值分别为 2.85、3.21、12.88、1.75,具有明显的波动性和阶段性特征;城市之间的扩展速率有明显的差异,中小城市的扩展速率要大于大城市的扩展速率,4 期标准差分别为 1.58、1.46、6.38、1.42。

(2) 1990~2000 年,武汉城市圈的北部尤其是东北部成为主要扩展区域,呈现出以武汉主城区为中心,西北至东的扇形区域;2000~2005 年,主要扩展区是一个环绕武汉主城区的 U 型区域;2005~2010 年,中快高速扩展区域主要呈现环状和“//”型;2010~2015 年的主要扩展区为城市圈北部的“八”字型区域。

(3) 1990~2015 年,武汉、黄石、咸宁的重心坐标往西南方向迁移,鄂州、黄冈、孝感的重心坐标总体上往西北方向迁移;武汉城市圈各城市的分维数大都小于 1.25,各城市较为规则平整,1990~2015 年,分维数具有波动性的特征。

(4) 武汉城市圈各区县城镇用地的空间扩展模式划分成单翼扩展模式、多翼扩展模式和扇形扩展模式;武汉主城区、黄石主城区等中心城市对周围城市有吸引作用,周围城市的扩展方向呈向中心城市靠拢的趋势。

(5) 不同层次城市的城镇用地扩展模式有所差异,扩展差异指数:中等城市>小城市>大城市;中等城市的分维数波动性最大,二类大城市和小城市的分维数波动性中等,一类大城市的分维数波动性较小;小城市单翼扩展、多翼扩展、扇形扩展模式较为均衡,中等城市以多翼扩展和扇形扩展为主,一类大城市以多翼扩展模式为主,二类大城市以单翼扩展和扇形扩展模式为主。

[参考文献]:

[1]尚正永.城市空间形态演变的多尺度研究——以江苏省淮安市为例[D].南京市:南京师范大学,2011.

[2]WEBER C, PUISSANT A. Urbanization pressure and modeling of urban growth : example of the Tunis Urban Cluster Area[J].Remote Sensing of Environment, 2003, 86 (3) : 341-352.

[3]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):635-639.

[4]吴次芳,陆张维,杨志荣,等.中国城市化与建设用地增长动态关系的计量研究[J].中国土地科学,2009,23(2):19-25.

[5]WANG Y Q, ZHANG X S. A Dynamic Modeling Approach to Simulating Socioeconomic Effects on Landscape Changes[J].Eco-logical modeling, 2001, 140: 141-162.

[6]张文忠,王传胜,薛东前.珠江三角洲城镇用地扩展的城市化背景研究[J].自然资源学报,2008,27(1):100-108.

[7]刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,58(6):885-891.

-
- [8]XIE Y C, YU M, TIAN G J , et al. Socio-economic driving forces of arable land conversion : a case study of Wuxian city , China[J].Global Environmental Change, 2005, 15 (3) : 238-252.
- [9]ZHOU Y, WEI Y H D. Globalization , innovation , and regional development in China[J].Environment and Planning A, 2011, 43 (4) : 781-785.
- [10]史培军, 陈晋. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55 (02) : 161-160.
- [11]吴宏安, 蒋建军, 周 杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60 (1) : 143-150.
- [12]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, 2012, 30 (12) : 2272-2280.
- [13]邢海峰. 包头市近 10 年城市用地扩展的特点, 问题及其对策[J]. 城市发展研究, 2007, 13 (6) : 70-73.
- [14]顾朝林. 论中国城市持续发展研究方向[J]. 城市问题, 1996 (06) : 2-6.
- [15]王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征[J]. 地理学报, 2005, 60 (3) : 392-400.
- [16]顾朝林. 北京土地利用/覆盖变化机制研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14 (04) : 307-312.
- [17]王 涛, 李贝贝, 何 亮, 等. 西安城市扩展时空特征与驱动因素分析[J]. 测绘科学, 2017 (04) : 1-9.
- [18]刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000, 55 (4) : 407-406.
- [19]匡文慧, 邵全琴, 刘纪远, 等. 1932 年以来北京主城区土地利用空间扩张特征与机制分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11 (4) : 428-435.
- [20]FENG L F, WEI F. Understanding spatial-temporal urban expansion pattern (1990-2009) using impervious surface data and landscape indexes : a case study in Guangzhou (China) [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2014, 08: 1-15.
- [21]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, 18 (02) : 200-209.
- [22]曾 磊, 宗 勇, 鲁 奇. 保定市城市用地扩展的时空演变分析[J]. 资源科学, 2004 (04) : 96-103.
- [23]李加林, 许继琴, 李伟芳等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报, 2007, 62 (4) : 437-447.
- [24]张文忠, 王传胜, 薛东前, 等. 珠江三角洲城镇用地扩展的城市化背景研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18 (5) : 575-582.
- [25]朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56 (3) : 253-260.
- [26]王 雷, 李丛丛, 应 清, 等. 中国 1990~2010 年城市扩张卫星遥感制图[J]. 科学通报, 2012, 57 (16) : 1388-1399.

-
- [27]常学礼, 张 宁, 孙小艳, 等. 干旱区绿洲内城市(镇)扩展的空间辐射效应[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 227-235.
- [28]刘雅轩, 张小雷, 雷 军, 等. 新疆绿洲城市空间扩展特征及其驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2011(04): 1015-1021.
- [29]湖北省发展和改革委员会. 武汉城市圈总体规划纲要[EB/OL].
<http://wenku.baidu.com/view/dfb19f60ddccda38376baf96.html>. 2007-04-15.
- [30]朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003(05): 643-650.
- [31]储金龙, 马晓冬, 高 抒, 等. 南通地区城镇用地扩展时空特征分析[J]. 自然资源学报, 2006(01): 55-63+165.
- [32]关兴良, 方创琳, 周 敏, 等. 武汉城市群城镇用地空间扩展时空特征分析[J]. 自然资源学报, 2012(09): 1447-1459.
- [33]李 娜, 闫冬梅, 张 丽. 天津滨海新区——曹妃甸典型地区土地利用演变分析[J]. 遥感技术与应用, 2012(02): 289-295.
- [34]凌赛广, 焦伟利, 龙腾飞, 等. 2000~2014年武汉市城市扩展时空特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1034-1042.
- [35]韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 150.