

基于LEI和MSPA的南昌市城市扩张类型与生态景观类型变化关联分析

赵燕如, 邹自力, 张晓平, 危小建

(东华理工大学测绘工程学院, 南昌 330013)

摘要: 中国正处于城市化快速发展阶段, 城市扩张导致大量生态景观日益破碎, 分析城市扩张类型与生态景观类型的变化及其关联机制能为改善生态环境提供指导。以南昌市为研究区, 采用景观扩张指数(LEI)和形态学空间格局分析法(MSPA)识别南昌市的城市扩张类型和生态用地景观类型, 并通过建立缓冲区带分析城市扩张类型与生态景观类型变化的关联特征。结果表明: (1) 南昌市城市扩张主要以边缘型扩张为主, 生态用地以“核心”形态为主; (2) 不同圈层的城市扩张类型和生态景观类型的关系在不同发展阶段差异显著; (3) 在城市扩张过程中, 总体上生态景观越加破碎, 边缘型扩张会加速大型绿色斑块的减小, 飞地型扩张促进绿色景观单元的破碎化, 填充型扩张则有弱化这一过程的作用。研究结果可为控制城市无序扩张提供可靠的理论参考, 并为研究区的城市有序扩张和生态环境保护提供决策依据。

关键词: LEI; MSPA; 城市扩张; 生态景观; 关联分析; 南昌市

随着城市化进程的加快、经济规模的不断扩大, 农业人口向城市的转移及城市自身的发展, 需要规模的扩大来实现。而“摊大饼”式的城市扩张则会导致土地利用粗放、侵占耕地、农地撂荒、生态破坏、环境污染及阻碍城市可持续发展等问题^[1-2]。中国正处于城市化过程的快速发展时期, 城市用地需求和规模都在扩大, 小城市数量持续增加, 大城市、超大城市不断涌现, 由城市无序蔓延所导致的区域社会经济、生态问题频发^[3-4]。加强城市扩张对生态环境影响的研究, 对认清城市扩张所带来的负效应, 从而提出有效控制城市扩张的建议具有重要意义。

目前, 关于城市土地扩张的研究方向主要集中于建设用地扩张模式和形态^[5-12]、驱动机制^[13-17]、生态效应^[18-23]、特征分析^[24-25]、城市增长边界划定^[26-27]以及空间模拟预测^[28-31]等方面。对于城市扩张的生态影响研究, 主要有城市植被变化、热岛效应、大气污染、水体污染、土壤碳循环、城市内涝等。城市土地扩张会侵占不同类型的生态景观, 诸如林地、耕地、湖泊及草地等, 然而现有研究都只涉及到建设用地扩张对某一类型景观生态用地的研究, 如城市扩张对基本农田^[32]、水^[33]的影响研究, 鲜有涉及到不同城市扩张模式与多种生态用地类型的关系研究。未来十年是中国城镇化稳步推进的关键期, 建设用地扩张在今后很长一段时期内仍将持续^[13]。而城市扩张侵占不同的景观类型对环境和气候有不同的影响, 所以研究这两者之间的关系就显得尤为必要。

对此, 本文以南昌市为研究区, 运用GIS中的空间分析工具计算各个时期的景观扩

收稿日期: 2018-09-26; 修订日期: 2019-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(51708098); 江西省社科规划项目(18SH08); 江西省数字国土重点实验室基金项目(DLLJ201613); 江西省自然科学基金项目(20171BAA218018)

作者简介: 赵燕如(1995-), 女, 江西上饶人, 硕士, 研究方向土地利用规划与评价。E-mail: yzhaoy@163.com

通讯作者: 邹自力(1963-), 男, 湖南衡阳人, 教授, 研究方向为土地利用规划与评价、变形监测与分析预测、3S技术与应用。E-mail: zlzou@ecit.edu.cn

张指数值,通过指数值将南昌市各个时段的城市扩张模式分为三种:填充型(Infilling)、边缘型(Edge-expansion)以及飞地型(Outlying)。并对生态用地进行MSPA^[34-35]分析,得到7种不同类型的生态景观类型,通过建立缓冲区分析南昌市不同的城市扩张模式与不同的生态景观类型变化之间的关联特征。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

南昌市为江西省省会,江西省的政治、经济、文化、科技中心。全市总面积7402.36 km²,辖6个市辖区、3个国家级开发区以及3个县,介于115°27'~116°35'E、28°10'~29°11'N之间。南昌地处江西省中部偏北,赣江、抚河下游,滨临鄱阳湖,连接了中国三大重要经济圈(长三角、珠三角、海西区)。

1.2 数据与处理

如图1所示,本文所使用的主要数据有:南昌市2000年、2005年、2010年、2015年土地利用数据。将南昌市土地利用类型分为耕地,林地,草地,水域,建设用地以及未

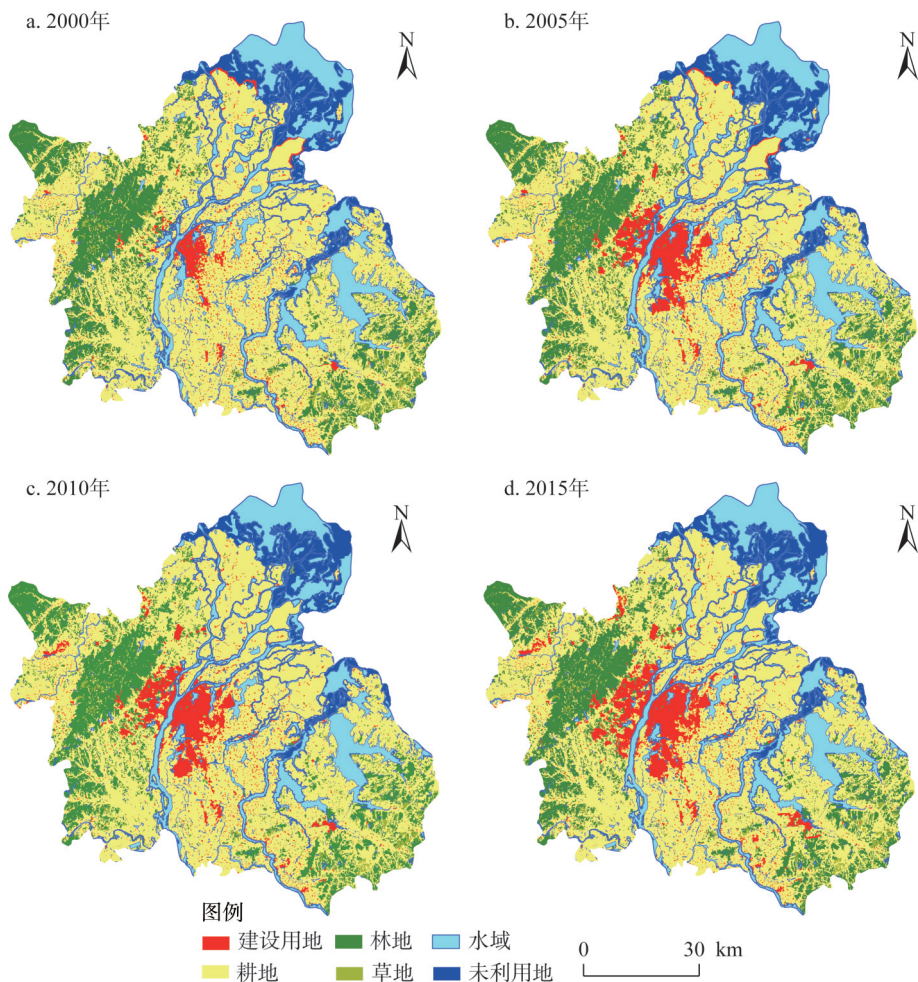


图1 2000-2015年土地利用现状

Fig. 1 Landuse map of Nanchang during 2000-2015

利用土地。首先,基于GIS软件平台提取不同土地利用类型栅格数据。然后,定义前景和背景,对不同时期的栅格数据进行形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)处理。最后,重新回到ArcGIS平台,建立缓冲带,进行南昌市城市扩张类型与生态景观类型的变化关联分析。

1.3 研究方法

1.3.1 景观扩张指数

景观扩张指数(Landscape Expansion Index, LEI)可以定量地表达景观扩张规模、识别城市空间扩张的类型。本文借鉴刘小平等^[10]提出的缓冲区方法计算LEI,该指数以扩张斑块的缓冲区为基础进行表达:

$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_o + A_v} \quad (1)$$

式中:LEI为新增斑块的景观扩张指数; A_o 为扩张斑块缓冲区与原斑块的重合面积; A_v 为扩张斑块缓冲区面积与 A_o 的差值,即缓冲区与原斑块的非重合面积。

由式(1)可知,LEI的取值范围是[0, 100],当LEI=0时,扩张斑块缓冲区与原斑块没有重合,扩张模式为飞地型;本文中定义LEI≥50为填充型扩张,即当LEI处于[50, 100)时,则景观扩张模式为填充型;当LEI的取值处于(0, 50)时,景观扩张模式为边缘型。

对于城市景观扩张过程,以平均斑块扩张指数(MLEI)来定义:

$$MLEI = \sum_{i=1}^N \frac{LEI_i}{N} \quad (2)$$

式中:LEI_i为新增建设用地的景观扩张指数;N为新增斑块总的数量;MLEI的值越大其景观扩张规模越紧凑。

以面积加权平均斑块扩张指数(AWLEI)来考虑单个新增斑块在整个斑块扩张类型中的地位,公式如下:

$$AWLEI = \sum_{i=1}^N LEI_i \times \left(\frac{a_i}{A} \right) \quad (3)$$

式中:LEI_i为新增建设用地的景观扩张指数; a_i 是新增斑块的面积;A是所有新增斑块的总面积。

1.3.2 形态学空间格局分析

MSPA可以识别目标像元集与结构要素之间的空间拓扑关系,将目标像元集分为核心区、孤岛、孔隙、边缘区、连接桥、环道和支线7种生态景观类型(图2)^[36-37]。其定义、生态学含义如表1所示。

首先,基于研究区域的土地利用数据,提取出林地、耕地及草地景观类型作为研究区的MSPA方法的前景要素,其他用地类型作为背景要素。然后,将数据转化为栅格数据文件。最后,采用Guidos分析软件对栅格数据进行MSPA处理,由此得到7种不交互的景观类型。

2 结果分析

2.1 南昌市建设用地扩张时空格局变化

分别统计研究区在三个时期内三种城市扩张方式各自所占的面积比例(图3)。综合

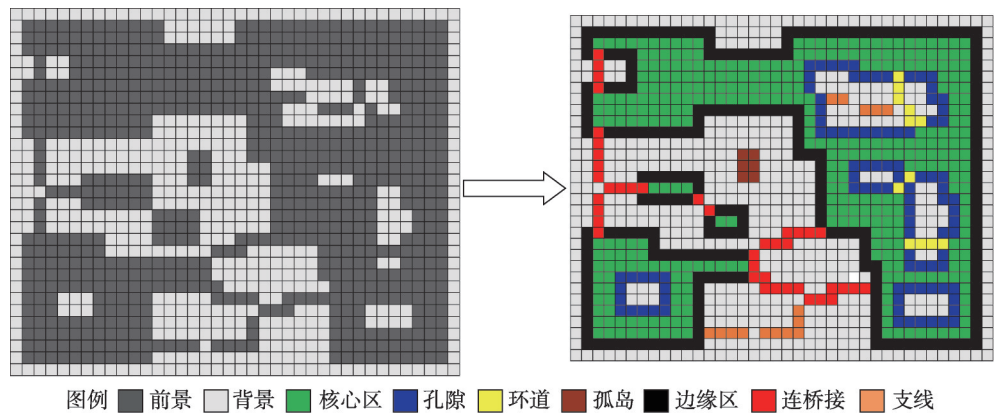


图2 MSPA 结构示意图

Fig. 2 The landscape type map of MSPA

表1 MSPA 的景观类型定义及生态学含义

Table 1 The definition and ecological meaning of morphological spatial pattern analysis (MSPA) classes		
景观类型	定义	生态学含义
核心区 (Core)	前景像素点远离背景像素点的距离大于指定大小的某个参数的像素集合	大型自然斑块、野生动植物栖息地、森林保护区等
孤岛 (Islet)	未连接任何的前景区域的斑块, 并且面积小于核心区的最小阈值	彼此不相连的孤立、破碎的小型自然斑块, 通常包括建成区内的小型城市绿地
孔隙 (Perforation)	中心区内部的孔洞, 由背景构成	核心区内部的建设用地, 不具有生态效益
边缘区 (Edge)	前景外部的边缘	是核心区和建设用地之间的过渡, 具有边缘效应
连接桥 (Bridge)	至少有 2 个点连到不同的核心区	连通核心区之间的带状生态用地, 即区域绿色基础设施中的廊道, 促进区域内部物种迁徙、能量流动与网络形成
环道 (Loop)	至少有 2 个点连接到同一核心区	连接同一核心区的生态走廊, 规模小、与外围自然斑块的连接度低
支线 (Branch)	仅有一边连接到边缘区、桥接区或环道区	仅与核心区一端联系的生态斑块, 景观连接度较差

观察三个时期的城市发展, 可以发现边缘型扩张处于主导地位。在 2000-2005 年间, 边缘型扩张占据了新增加城市用地总面积的 64.04%, 且在 2005-2010 年间和 2010-2015 年间都有较大的增幅, 分别增至 74.00% 和 84.52%。填充型扩张所占的城市扩张面积不断减少, 由 2000-2005 年间的 31.10% 减至 2005-2010 年间的 15.36%, 到 2010-2015 这五年间已经低于 10.00%。总的来看, 飞地型扩张所占的比例一直是三种扩张类型中最少的, 但没有太大的变化, 由 2000-2005 年间的 4.86% 增加到 2005-2010 年间的 10.64%, 在 2010-2015 年间出现了较小幅度的减小, 减至 7.70%。

边缘型扩张的斑块数目一直是最多的, 相对于在 2000-2005 年间的 75.26% 和 2010-2015 年间的 66.67%, 在 2005-2010 年间有了大比例的增加, 占南昌市建设用地扩张类型总数量的 97.52%, 呈现先增后减的趋势。在这三个时期内飞地型扩张斑块数呈现明显的先减后增趋势, 由 22.30% 减小到 1.21% 再增至 23.33%。这两种扩张类型表现出了相反的变化趋势。填充型扩张所占的比例分别为 2.44%、1.27%、10.00%, 先是出现了微小的减小趋势再表现出了较大比例的增加。填充型和飞地型扩张变化趋势一致, 但飞地型变化的幅度明显高于填充型扩张。

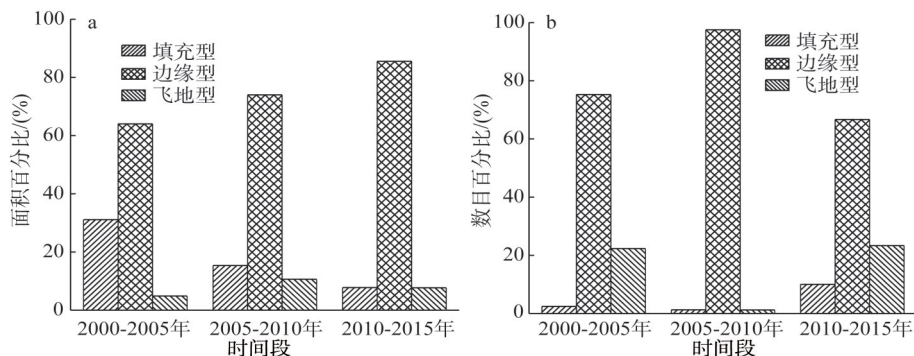


图3 三种扩张模式在不同时间段的面积百分比和数目百分比

Fig. 3 The area percentages and number percentages of the three patterns of expansion at different periods

分别计算各个时间段的南昌市平均斑块扩张指数 ($MLEI$) 和面积加权平均斑块扩张指数 ($AWLEI$)。 $MLEI$ 在 2000-2015 年间呈现明显的上升趋势, 三个时间段的值分别为 16.06、21.34、22.12。 $AWLEI$ 在三个时间段内呈现出下降的趋势, 三个时期的值分别为 29.08、26.83、20.10。 $MLEI$ 值和 $AWLEI$ 值出现了相反的变化, 说明南昌市的扩张愈加分散, 且斑块类型整体扩张规模越来越小, 边缘型和飞地型扩张形态数量增多, 这与城市内部可挖掘的土地数量减少, 外部扩张斑块细碎有关。

识别出各类斑块具体空间分布 (图 4)。具体地, 南昌市 2000-2005 年间扩张斑块共有 287 块, 64 块斑块 (面积共计约 10.33 km²) 呈飞地型特征增长, 主要位于新建县和南昌县附近的城镇。有 7 块斑块属于填充型增长, 呈现斑块集中、面积大的特点, 基本位于青山湖区东部、西湖区、南昌县临近市区地区, 共计面积约 66.10 km²。边缘型增长占了大部分, 共有 216 块, 主要位于青山湖区西部、新建县和南昌县靠近市区部分以及进贤县南部, 约 136.09 km²。飞地型增长分散较广且数量多, 而填充型则较集中连片。2005-2010 年间共有扩张斑块 1736 块但面积却远远少于上一阶段, 边缘型增长仍占主要部分, 但是边缘型增长分布较上一阶段广, 多分布在安义县、新建县以及南昌县。填充式增长数量较上一阶段有所增长且分散, 有 22 块, 约有 8.58 km²。飞地型数量较上一阶段有所减少, 有 21 块共计面积 5.95 km²。2010-2015 年间增长斑块数量减小共有 150 块, 但面积却迅速增至 85.3 km², 表明每个扩张斑块的面积在扩大, 飞地型增长共有 35 块, 面积约 6.57 km², 分散于各县, 填充型增长虽然只有 15 块, 但面积约 6.63 km², 其中大面积位于南昌县靠近青山湖地区。边缘型增长共有斑块 100 块, 面积约 72.1 km², 这一阶段的边缘型增长主要出现在新建县和进贤县内。

2.2 基于 MSPA 方法的南昌市生态景观格局分析

经过 MSPA 分析得到各时点南昌市生态景观功能类型格局图 (图 5)。随着研究区城市建设用地的快速扩张, 城市边缘地带的核心斑块逐渐被蚕食, 面积减少, 生态景观破碎度加剧。分别选取景观破碎度变化较大的九点来表达景观破碎过程, 在选取的点中核心区 and 边缘区面积都发生了改变且伴随着其他一种或多种景观类型的变化。其中, A、B 两点孔隙面积较其他类型变化显著, C、D 两点连接桥和支线较其他景观类型变化显著, E、G 点连接桥变化最为显著, F 点孔隙变化较其他类型大、H 点连接桥及环道较其他类型变化大, I 点孤岛较其他景观类型变化较大。在 2000-2015 年间建设用地快速增长从而

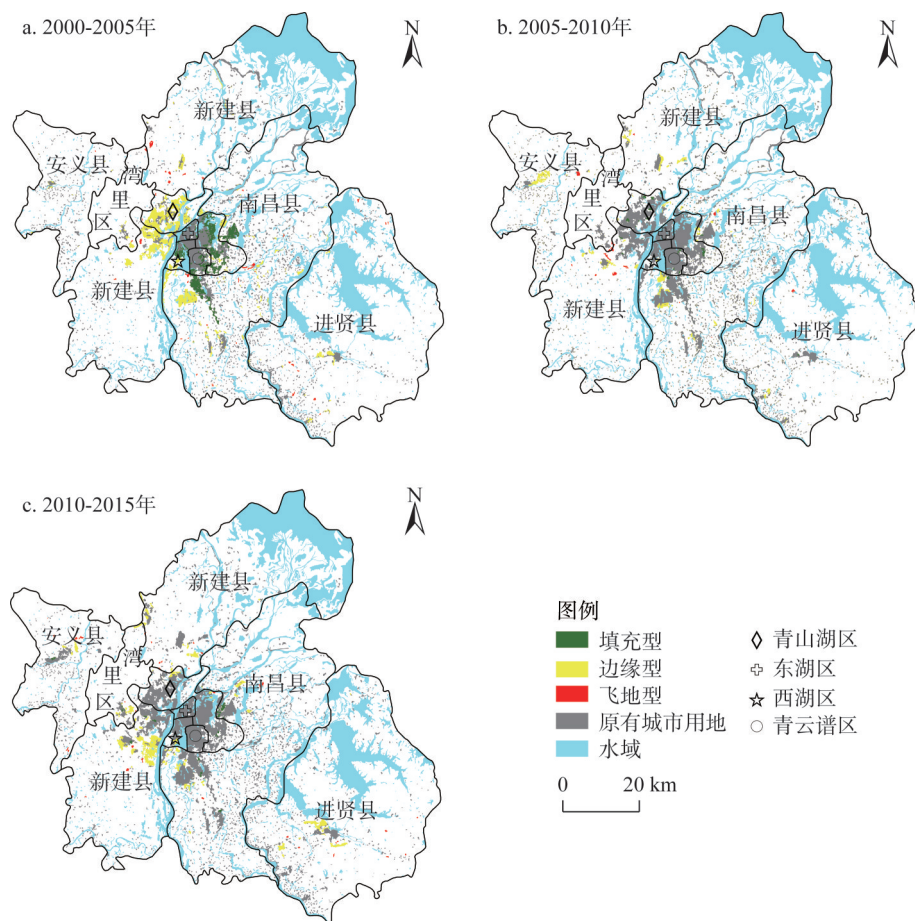


图4 各个时间段的的城市扩张类型图

Fig. 4 Urban expansion type map for each period

导致景观细碎化,究其原因,主要与南昌市人口从593.39万增至766.75万,《南昌市城市规划(2003-2020年)》的实施,实力南昌、创新南昌、开放南昌、智慧南昌、美丽南昌和文明南昌这“六个”南昌建设的提出以及《南昌市土地利用总体规划(2006-2020年)》从宏观上对南昌市进行土地利用调控有关。

统计出2000-2015年间各生态景观类型面积(表2),核心区在研究区内分布最广,在四个时期内面积均为4000 km²以上,其次是边缘区、孔隙、环道、连接桥、支线,孤岛最少,低于10 km²。2000-2015年间的核心区、孔隙、连接桥、环道面积总体上以较慢的速度递减;孤岛和边缘区表现出先减后增的趋势;支线则以较小的幅度呈现出先增加后减少再增加的趋势;生态景观总面积先减后增再减。生态景观面积减少数量增多,在一定的程度上表明城市建设用地不断增加,生态景观面积不断减小,城市景观破碎度增加,景观连通性有所降低,这与这一时期南昌市的城市空间快速扩张有关。

2.3 南昌市城市扩张类型与生态景观类型变化关联分析

结合本研究区域的实际情况,对南昌市各时间段扩张结果和MSPA生态景观分类结果以2 km作为缓冲距离,覆盖整个区域建立31个缓冲区(图6)。

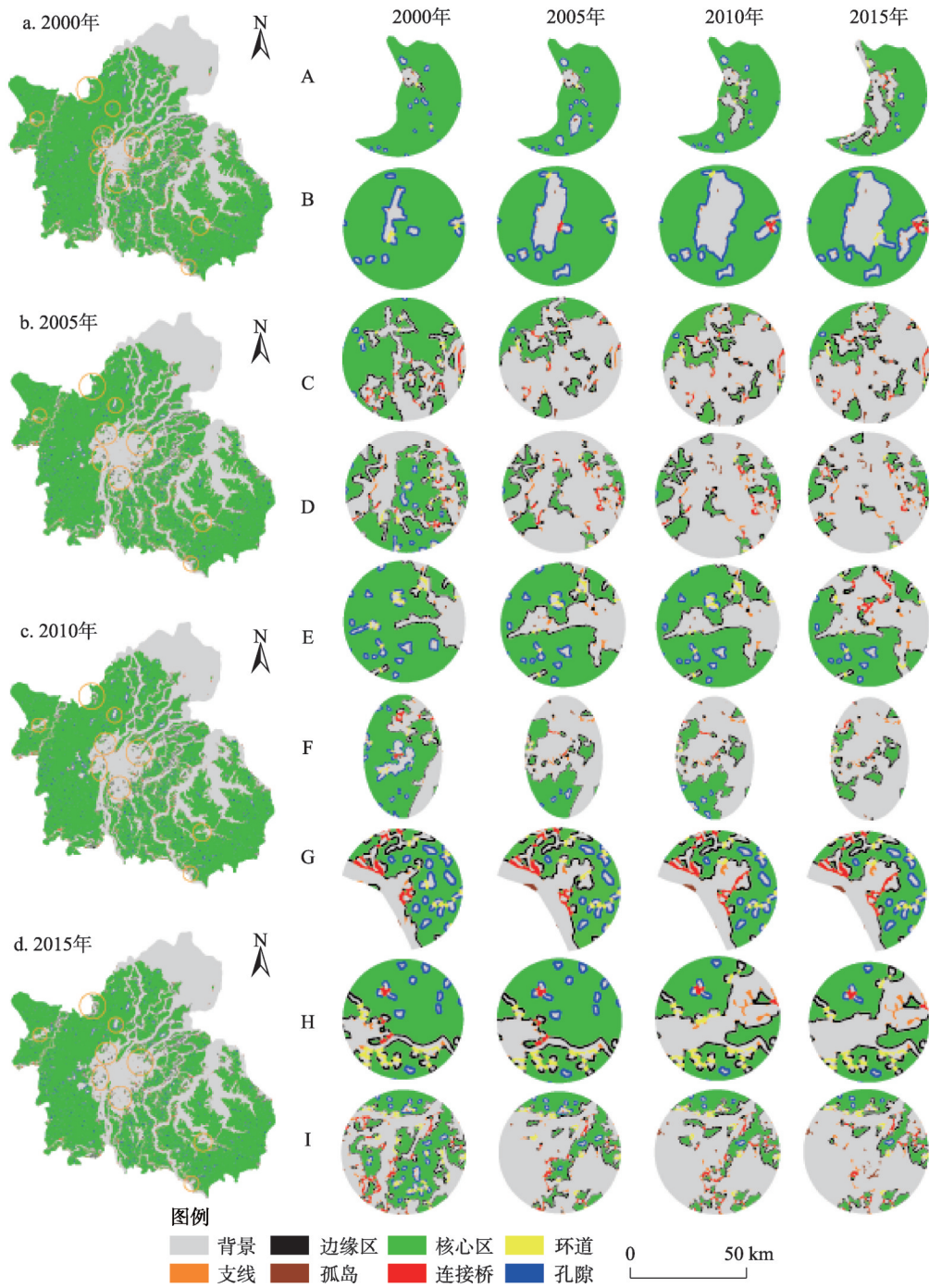


图5 2000-2015年南昌市MSPA类型空间变化

Fig. 5 MSPA type space change in Nanchang during 2000-2015

分别统计各扩张类型在不同时间段各圈层中的面积和各景观类型在不同时间段各圈层中的变化量（图7）。综合分析下图，得出以下结论：

（1）在2000-2005年中，南昌市在3~8圈层中得到了快速的扩张且速度远大于后两个

表2 2000-2015年各生态景观类型统计表

Table 2 Ecological landscape types of statistical tables during 2000-2015 (km²)

年份	核心区面积	孤岛面积	孔隙面积	边缘区面积	连接桥面积	环道面积	支线面积	生态景观总面积
2000	4320.56	4.65	365.00	470.08	61.18	95.02	50.32	5366.81
2005	4192.65	4.17	341.87	460.41	56.25	84.08	52.10	5191.53
2010	4195.34	4.97	343.90	458.47	55.15	84.60	50.83	5193.26
2015	4092.20	6.57	338.05	470.97	57.76	86.90	54.26	5106.71

阶段，为了满足城区的快速发展，以填充型扩张来挖掘城市内部潜力，以边缘型扩张扩大城区面积，飞地型扩张面积较少。在3~8圈层中，城市化快速推进，绿色景观愈加破碎，连通性降低，核心区、孔隙及环道的面积呈现下降趋势，且核心区的面积下降的速度随着城市扩张面积的增加而加快，支线、孤岛、边缘区及连接桥的面积呈现相反的趋势，都有一定数量的增加。在15~20圈层中核心区、边缘区面积有所增加，城市扩张速度减慢。在19~22圈层中边缘型扩张出现了一个小高峰段，飞地

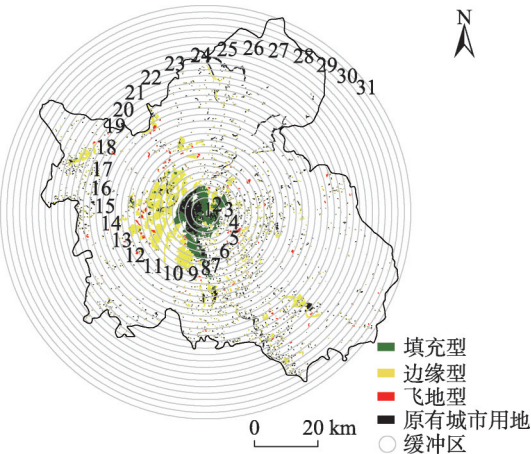


图6 研究区缓冲区分析

Fig. 6 Buffer analysis of the study area

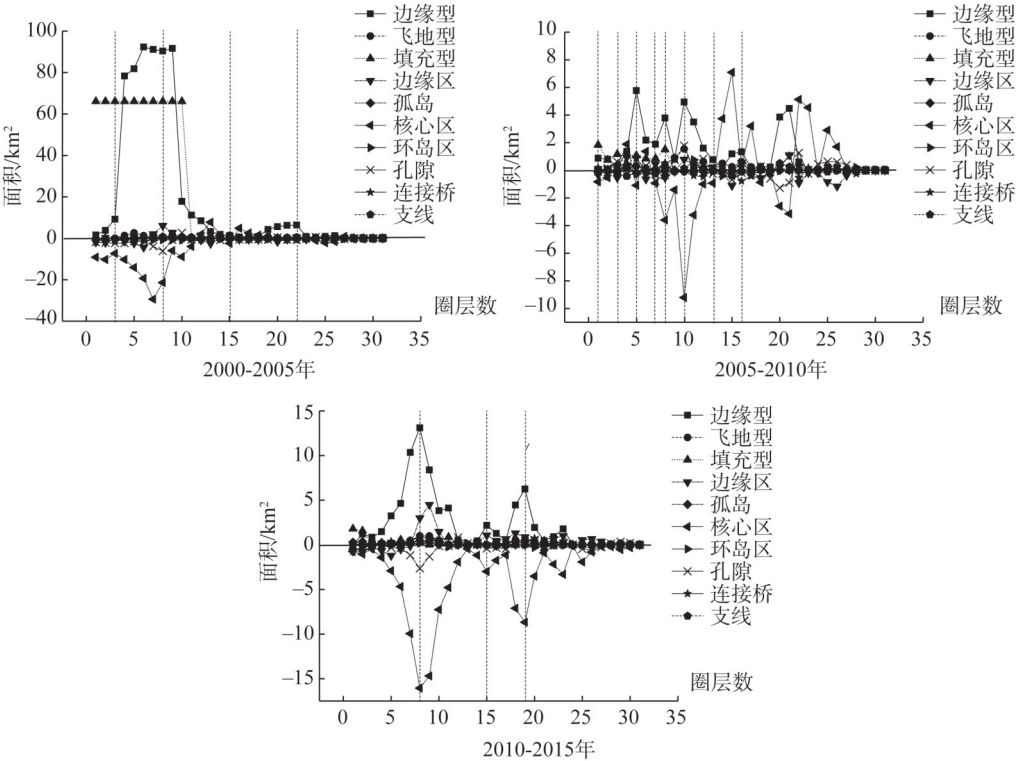


图7 各扩张类型与各景观类型变化关系

Fig. 7 Relationship between various types of expansion and landscape types

型面积有小幅度的增加,核心区面积呈现下降的状态,其他各景观类型无明显变化。

(2) 在2005-2010年这一阶段中,城市扩张还是以边缘型扩张为主且变化幅度大,填充型扩张主要出现在1~8圈层中,为了更加集中用地,1~3圈层以填充型扩张为主导。飞地型扩张以小面积扩张形式主要出现在5~16圈层中,与边缘型扩张共同作用,促使核心区在7~13圈层一直处于减少状态,并在第10圈层减少了9.21 km²,其他景观类型随着扩张类型的变化出现小幅度的增减变化。在这五年期间,各县城都得到了快速发展,且边缘型扩张起主要作用,导致核心区面积减少,连接核心区与核心区、以及核心区与外部环境的环道、连接桥等景观类型面积呈现一定幅度的增加。

(3) 填充型在2010-2015年这一阶段中的前三圈层中仍然起主导作用,中心城区土地利用更加集约,而在随后的圈层中以边缘型扩张为主,飞地型扩张为辅。边缘型、飞地型、边缘区、支线及孤岛的变化趋势基本一致,核心区、孔隙变化趋势大致相同,环道和连接桥呈现先增后减再增的变化趋势。随着城市扩张的加快,大型生态景观类型面积不断减少,且递减的速度不断加快,具有边缘效应的边缘区和破碎的绿色斑块面积不断增加。

城市扩张会导致大型绿色生态景观破碎,且扩张速度越快,大型生态斑块减少的速度也不断加快。在南昌市三个阶段的扩张过程中,1~3圈层中的市区中主要以填充型扩张为主,通过边缘型和飞地型扩大城区范围。随着城市化的推进,景观类型越加破碎,连通性降低,大型绿色斑块逐渐减少,飞地型扩张会加速景观类型的破碎进程,且不同圈层的城市扩张类型和景观类型的关系在不同发展阶段有显著的差异。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文运用建立缓冲区求取 LEI 值的方法,识别出不同时期城市扩张类型,结合MSPA区别出7种景观类型,通过建立缓冲区分析南昌市城市扩张类型与生态景观类型变化关联。结果显示:城市扩张会分割不同的景观类型,尤其是像核心区这样的大型绿色斑块,且生态景观总面积在时间轴上大致呈现出减少的变化趋势;南昌市城市扩张主要以边缘型为主,生态用地以“核心”形态为主;不同阶段的城市扩张类型和生态景观类型的关系在不同发展阶段差异显著;在城市扩张过程中,中心城区主要以填充型扩张提高城市紧凑度,总体上生态景观越加破碎,边缘型扩张会加速大型绿色斑块的减小,飞地型扩张促进绿色景观单元的破碎化,填充型扩张则有弱化这一过程的作用。

南昌市作为江西的省会城市,其建设用地扩张过程既是经济高速增长的结果,也是国家在城镇化政策在空间上的表现。从对南昌市2000-2015年的建设用地景观扩张分析来看,经济增长、产业结构的调整使城市土地更加集中连片,在发展过程中,飞地型扩张数量减少,边缘式起主导作用,但在扩张过程中也要避免“摊大饼”式的扩张,防止生态环境问题的产生。

3.2 讨论

(1) $MLEI$ 和 $AWLEI$ 的值都能在一定程度上表达斑块类型整体的空间扩张过程^[9]。在南昌市的扩张过程中,2005-2010年的边缘型($0 < LEI < 50$)扩张数量占比远高于

2000-2005年,而2010-2015年的填充型($50 \leq LEI < 100$)扩张数量占比远高于2005-2010年,导致 $MLEI$ 呈现出逐渐增加的趋势。填充型扩张面积不断减少,而边缘型扩张所占的面积有显著的增加,造成 $AWLEI$ 的值逐渐下降。 $AWLEI$ 值与 $MLEI$ 值的变化趋势说明大面积斑块的扩张以分散为主,且城市扩张以边缘型和飞地型扩张为主。 $MLEI$ 和 $AWLEI$ 指数计算简单、适用度高,但受空间扩张模式影响较大,若研究区影像分辨率较低则采用此方法需谨慎,且这两个指数只能在一般程度上表示城市扩张过程,要想更加精确的表达城市扩张过程则需采用其他更加合适的方法。

(2)在南昌市MSPA的分析结果中(图5),生态景观面积变化显著,“核心”形态分布最为广泛且变化较其他类型明显,另外六种景观类型变化较小。但影像分辨率对MSPA的处理结果影响较大,使得小的景观类型不能精确提取,进而影响七种景观类型的面积数量和空间分布,故使得除核心区外其他六种景观类型的变化不显著。

(3)通过对建立的31个圈层的分析,宏观上可以得到边缘型、飞地型扩张会加速大型绿色斑块的减小,促进绿色景观单元的破碎化,填充型扩张则有弱化这一过程作用的结论。但是,研究时间尺度的选取对所得结果有严重影响。因为建设用地的扩张对景观生态类型结构的影响有滞后性,若采用比较长的时间间隔来获取建设用地扩张数据,会抑制城市扩张随机性对两者关系研究的影响。

(4)从2000-2015年的南昌市建设用地扩张分析来看,边缘式增长是城镇的主要增长模式,但盲目增长会导致城市无序蔓延。因此,在新增建设用地报批上计算景观扩张指数,研究生态景观类型现状,能够让决策者清晰城镇空间扩展趋势,对下一阶段的发展做出科学性、发展性的预判,从宏观上对城市的无序蔓延进行控制。

参考文献(References):

- [1] 肖琳,田光进,乔治.基于Agent的城市扩张占用耕地动态模型及模拟.自然资源学报,2014,29(3): 516-527. [XIAO L, TIAN G J, QIAO Z. An agent-based approach for urban encroachment on cropland dynamic model and simulation. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 516-527.]
- [2] 赵国梁,郑新奇,刘东亚,等.基于遥感和GIS的城市扩张稳态指数及其应用.农业工程学报,2017,33(11): 272-281. [ZHAO G L, ZHENG X Q, LIU D Y, et al. Urban expansion steady-state index of urban expansion based on remote sensing and GIS and its applications. Transactions of the CSAE, 2017, 33(11): 272-281.]
- [3] 安乾,李小建,吕可文.中国城市建成区扩张的空间格局及效率分析(1990-2009).经济地理,2012,32(6): 37-45. [AN Q, LI X J, LYU K W. A research on the spatial structure and efficiency of China's expansion of urban built-up area (1990-2009). Economic Geography, 2012, 32(6): 37-45.]
- [4] 童陆亿,胡守庚.中国主要城市建设用地扩张特征.资源科学,2016,38(1): 50-61. [TONG L Y, HU S G. Characterizations of urban sprawl in major Chinese cities. Resources Science, 2016, 38(1): 50-61.]
- [5] 岳文泽,汪锐良,范蓓蕾.城市扩张的空间模式研究:以杭州市为例.浙江大学学报:理学版,2013,40(5): 596-605. [YUE W Z, WANG R L, FAN B L. Spatial patterns analysis of urban expansion in Hangzhou city. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2013, 40(5): 596-605.]
- [6] 俞艳,胡珊珊,童艳,等.基于公共边测度的城市扩张模式建模研究.地理与地理信息科学,2017,33(1): 78-81. [YU Y, HU S S, TONG Y, et al. Research on modeling for urban expansion pattern recognition based on shared boundary analysis. Geography and Geo-Information Science, 2017, 33(1): 78-81.]
- [7] 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.地理学报,2009,64(12): 1430-1438. [LIU X P, LI X, CHEN Y M, et al. Landscape expansion index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1430-1438.]
- [8] 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.地理学报,2003,58(6): 885-892. [LIU J Y,

- WANG X S, ZHUANG D F, et al. Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 885-892.]
- [9] 武鹏飞, 周德民, 宫辉力. 一种新的景观扩张指数的定义与实现. *生态学报*, 2012, 32(13): 4270-4277. [WU P F, ZHOU D M, GONG H L. A new landscape expansion index: Definition and quantification. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 4270-4277.]
- [10] LIU X P, LI X, CHEN Y M, et al. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 2010, 25(5): 671-682.
- [11] CAMAGNIA R, GIBELLI M C, RIGAMONTI P. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 2002, 40(2): 199-216.
- [12] 潘竞虎, 韩文超. 近20 a 中国省会及以上城市空间形态演变. *自然资源学报*, 2013, 28(3): 470-480. [PAN J H, HAN W C. Spatial temporal changes of urban morphology of provincial capital cities or above in China. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(3): 470-480.]
- [13] 舒帮荣, 李永乐, 曲艺, 等. 不同职能城市建设用地扩张及其驱动力研究: 基于中国137个地级以上城市的考察. *南京农业大学学报: 社会科学版*, 2014, 14(2): 86-92. [SHU B R, LI Y L, QU Y, et al. Urban land expansion and its driving forces in different functional cities: An empirical analysis based on 137 cities in China. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2014, 14(2): 86-92.]
- [14] 赵可, 张安录. 城市建设用地扩张驱动力实证研究: 基于辽宁省14市市辖区数据. *资源科学*, 2013, 35(5): 928-934. [ZHAO K, ZHANG A L. Driving forces behind urban land expansion based on panel data for 14 cities in Liaoning. *Resources Science*, 2013, 35(5): 928-934.]
- [15] 车前进, 段学军, 郭垚, 等. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制. *地理学报*, 2011, 66(4): 446-456. [CHE Q J, DUAN X J, GUO Y, et al. Urban spatial expansion process, pattern and mechanism in Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(4): 446-456.]
- [16] 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. *地理研究*, 2011, 30(12): 2272-2280. [HE Z, ZHAO W L, HE J P. Remote sensing monitoring of urban sprawl based on object-oriented and driving forces analysis: A case study of Zhengzhou city. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2272-2280.]
- [17] 高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机理研究学派综述. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 743-754. [GAO J L, CHEN J L, SU X. Urban expansion and its driving mechanism in China: From three main schools' perspectives. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 743-754.]
- [18] 谢高地, 张彪, 鲁春霞, 等. 北京城市扩张的资源环境效应. *资源科学*, 2015, 37(6): 1108-1114. [XIE G D, ZHANG B, LU C X, et al. Rapid expansion of the metropolitan areas and impacts of resources and the environment. *Resources Science*, 2015, 37(6): 1108-1114.]
- [19] 韩瑞丹, 张丽, 郑艺, 等. 曼谷城市扩张生态环境效应. *生态学报*, 2017, 37(19): 6322-6334. [HAN R D, ZHANG L, ZHENG Y, et al. Urban expansion and its ecological environmental effects in Bangkok, Thailand. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(19): 6322-6334.]
- [20] SETO K C, GÜNERALP B, HUTYRA L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109: 16083-16088.
- [21] BOUNOUA I L, ZHANG P, MOSTOVOY G, et al. Impact of urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*, 2015, 10(8), doi: 10.1088/1748-9326/10/8/084010.
- [22] FAN P L, CHEN J Q, JOHNC R. Urbanization and environmental change during the economic transition on the Mongolian Plateau: Hohhot and Ulaanbaatar. *Environmental Research*, 2016, 144: 96-112.
- [23] DU N R, OTTENS H, SLIUZAS R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies: A case study of Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 94(3-4): 175-185.
- [24] 张洁, 蔡逸涛, 杨强, 等. 基于CA-SVM模型的莆田市城市扩张特征研究. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2018, 42(4): 148-152. [ZHANG J, CAI Y T, YANG Q, et al. Study on characteristic of urban expansion based on CA-SVM model: Taking Putian city in Fujian province as an example. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2018, 42(4): 148-152.]

- [25] 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. 自然资源学报, 2015, 30(12): 2045-2056. [ZENG X M, LIU H, LIU W D. Spatial pattern and club convergence analysis of urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(12): 2045-2056.]
- [26] 刘辉, 张志赟, 税伟, 等. 资源枯竭型城市增长边界划定研究: 以淮北市为例. 自然资源学报, 2017, 32(3): 391-405. [LIU H, ZHANG Z Y, SHUI W, et al. Urban growth boundary delimitation of resource-exhausted cities: A case study of Huaibei city. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 391-405.]
- [27] 丛佃敏, 赵书河, 于涛, 等. 综合生态安全格局构建与城市扩张模拟的城市增长边界划定: 以天水市规划区(2015-2030年)为例. 自然资源学报, 2018, 33(1): 14-26. [CONG D M, ZHAO S H, YU T, et al. Urban growth boundary delimitation method integrating comprehensive ecological security pattern and urban expansion simulation: A case study of planning areas in Tianshui city (2015-2030). *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(1): 14-26.]
- [28] 李平星, 樊杰. 城市扩张情景模拟及对城市形态与体系的影响: 以广西西江经济带为例. 地理研究, 2014, 33(3): 509-519. [LI P X, FAN J. Scenario simulation of regional urban expansion and effects on urban form and system: A case study of Xijiang River Economic Belt in Guangxi. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 509-519.]
- [29] 张伟, 冯微微, 毛小岗, 等. 基于反馈机制的城市扩张模拟研究进展. 地理与地理信息科学, 2012, 28(2): 70-75. [ZHANG W, FENG H H, MAO X G, et al. Research progress on urban growth modelling based on the feedback mechanism. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(2): 70-75.]
- [30] 周淑丽, 陶海燕, 卓莉. 基于矢量的城市扩张多智能体模拟: 以广州市番禺区为例. 地理科学进展, 2014, 33(2): 202-210. [ZHOU S L, TAO H Y, ZHUO L. Vector-based multi-agent simulation of urban expansion: A case study in Panyu district in Guangzhou city. *Progress in Geography*, 2014, 33(2): 202-210.]
- [31] 何丹, 金凤君, 蔡建明. 近20年京津廊坊地区城市增长模拟和预测研究. 经济地理, 2011, 31(1): 7-13. [HE D, JIN F J, CAI J M. Simulation and prediction of urban spatial growth in the past 20 years in Jing-Jin-Lang area. *Economic Geography*, 2011, 31(1): 7-13.]
- [32] 程旭, 杨海娟. 城市扩张对大城市周边基本农田的影响: 以西安市长安区为例. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 25-34. [CHENG X, YANG H J. Analysis of the effects of urban expansion on the basic farmland around the big city: A case study of Chang'an in Xi'an. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(8): 25-34.]
- [33] 张凯, 冉圣宏, 田玉军, 等. 干旱区绿洲城市扩张对水资源的影响: 以石河子市为例. 资源科学, 2011, 33(9): 1720-1726. [ZHANG K, RAN S H, TIAN Y J, et al. Influence of oasis urban expansion on water resources in arid areas: A case study for Shihezi city. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1720-1726.]
- [34] 许峰, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于MSPA与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建. 生态学报, 2015, 35(19): 6425-6434. [XU F, YIN H W, KONG F H, et al. Developing ecological networks based on MSPA and the least-cost path method: A case study in Bazhong western new district. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(19): 6425-6434.]
- [35] 曹翊坤, 付梅臣, 谢苗苗, 等. 基于LSMM与MSPA的深圳市绿色景观连通性研究. 生态学报, 2015, 35(2): 526-536. [CAO Y K, FU M C, XIE M M, et al. Landscape connectivity dynamics of urban green landscape based on morphological spatial pattern analysis (MSPA) and linear spectral mixture model (LSMM) in Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(2): 526-536.]
- [36] SOILLE P, VOGT P. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(4): 456-459.
- [37] 刘颂, 何蓓. 基于MSPA的区域绿色基础设施构建: 以苏锡常地区为例. 风景园林, 2017, (8): 98-104. [LIU S, HE B. Construction of regional green infrastructure based on MSPA: Case study on Suzhou-Wuxi-Changzhou area. *Landscape Architecture*, 2017, (8): 98-104.]

The relationship analysis of urban expansion types and changes in ecological landscape types based on LEI and MSPA in the city of Nanchang

ZHAO Yan-ru, ZOU Zi-li, ZHANG Xiao-ping, WEI Xiao-jian

(School of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: The economic growth and urbanization development of Nanchang have been accelerated significantly and considerably by China's rapid urbanization and industrialization since the reform and opening-up in the late 1980s. However, due to the rapid urban expansion, the ecological and environmental problems caused by the fragmentation of green landscapes have become more serious. Thus, this paper chose Nanchang city as an example to analyze the changes and relationship of urban expansion types and ecological landscape types, which will provide guidance for improving the ecological environments. Firstly, this paper used the Landscape Expansion Index (*LEI*) to identify the expansion models of the three periods, and analyzed the variations of construction land expansion from both time and space, based on the land use data of 2000, 2005, 2010 and 2015. Then, the Morphological Spatial Pattern Analysis (*MSPA*) method was used to obtain the ecological landscapes of the four periods, and expressed the ecological landscape fragmentation process from nine representative points. Finally, multiple buffer layers were created to explore the correlation between the variations in different expansion types and landscape types. The results are shown as follows. (1) Edge-expansion is the main expansion pattern, while ecological landscape is dominated by "core", and the variation of expansion types and landscape types varies with time. (2) The relationship between urban expansion types and ecological landscape types in different circles is significantly different at different development periods. (3) During the urban expansion process, infilling expansion is the main method to improve the compactness at the central urban area. In general, the ecological landscape is more fragmented, the edge-expansion will accelerate the reduction of large green patches, and the outlying expansion promotes the green landscape units more fragmentary, while infilling expansion has the effect of weakening the process. According to the research results, calculating the landscape expansion index of the newly approved construction land and studying the current situation of ecological landscape types will enable decision makers to identify the urban expansion trend and make scientific and developmental predictions for the next stage of development. Then, decision makers can control the disorderly urban sprawl from a macroscopic level.

Keywords: *LEI*; *MSPA*; urban expansion; landscape pattern; relationship analysis; Nanchang