

北京城市蔓延的测度与分析

蒋芳^{1,2}, 刘盛和¹, 袁弘^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对现阶段我国城市用地快速扩张和无序蔓延的现实问题, 以北京市在 1996~2004 年期间的城市扩展作为研究案例, 提出可以从城市扩展形态、扩展效率和外部影响等三个方面来判识城市蔓延现象, 并提出基于地理空间指标体系的城市蔓延测度方法, 主要由涉及人口、经济、土地利用、农业、环境和城市生活等方面的 13 项指标所组成。实证分析结果表明, 该方法可以有效地测度和量化研究区城市蔓延的特征: ① 建设用地斑块具有明显的破碎化和不规则化趋势, 缺乏良好的规划控制, 不连续开发、条带式开发和跳跃式开发特征明显, 扩展形态不尽合理; ② 新增建设用地的建设密度和容积率较低, 并且新增用地的人口密度和经济产出水平均低于原有用地绩效, 扩展效率不高; ③ 城市蔓延占用大量的耕地和开敞空间、加重了交通负担, 对农业、环境和城市生活存在显著的负面影响。

关键词: 城市蔓延; 测度方法; 地理空间指标; 北京

1 引言

20 世纪 50 年代后期, 伴随着住宅、工业和商业的郊区化过程, 美国的城市化地区不断地向外延伸和发展, 形成蔓延之势, 侵吞了大量的农田、森林的同时也带来了城市环境、交通等方面的影响。这种失控的城市化地区蔓延发展的现象, 被称为“城市蔓延”(Urban Sprawl)^[1]。该问题直接关系到城市和区域能否可持续发展, 引起了广泛的社会关注, 有关的学术讨论随之兴起, 研究内容涵盖城市蔓延的特征、成因、后果以及增长管理对策等方面。

我国正处在城市化快速发展的时期, 一些大城市边缘区土地开发失控, 建设用地盲目蔓延情况严重。2006 年陆大道院士指出, 近十年来我国城镇化空间失控现象极为严重, 形成了大分散和蔓延式的扩张, 如果不能有效遏制“冒进式”城镇化和空间失控的严峻态势, 将会严重阻碍我国整个现代化的进程。随着城市蔓延的弊端逐渐显露, 政府部门及相关领域学者纷纷着手寻找城市蔓延的破题之解, 不少专家学者提出要对城市扩展过程进行增长管理的建议和设想^[2-4]。

要寻找城市蔓延问题的解决之法, 必须首先分析城市蔓延的具体特征, 进而揭示城市蔓延的独特成因, 才有可能提出切实可行的调控对策。而目前关于我国城市蔓延的认识还停留在直观判断、定性讨论的层面上, 缺少针对性的量化研究, 关于如何识别城市蔓延、如何评价城市蔓延的程度、如何检验城市蔓延的调控效果等关键问题都无从谈起。西方关于城市蔓延的研究起步较早, 提过一些测度城市蔓延的方法和评价指标。但这些测度方法或指标多是基于西方的城市化背景提出的, 并不能切实反映我国城市蔓延的独特成因和空间特征。

收稿日期: 2007-01-20; 修订日期: 2007-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571056); 北京市科委博士论文资助专项 (ZZ0608) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40571056; Special Fund from the Science and Technology Department of Beijing Municipality, No.ZZ0608]

作者简介: 蒋芳 (1979-), 女, 博士研究生, 主要研究方向: 城市化与区域发展、土地利用规划、都市农业。

E-mail: jiangf.04b@igsnrr.ac.cn

北京市是我国城市蔓延问题突出的典型区域,城市土地利用规模“超常膨胀”,以同心圆式蔓延、局部扇面式扩展、廊道式辐射、飞地式增长和粘合式填充等方式扩展,逐步形成“摊大饼”外延发展的局面^[5-8]。因此,本文选择北京市为研究区,在归纳西方已有城市蔓延量化方法的基础上,有针对性地设计并提出测度城市蔓延的地理空间指标体系,探讨城市蔓延的内部空间差异,以期为进一步探讨城市蔓延形成机制和调控对策提供参考。

2 城市蔓延的测度方法

2.1 对已有城市蔓延测度方法的评述

从目前国外研究进展来看,主要采用指标法来量化表达城市蔓延的程度。国外一些研究组织基于对城市蔓延特征的认识提出了量化指标,其中比较有影响力的是:Sierra Club、USA Today 和 Smart Growth America 所提出的蔓延指数^[9-11]。Sierra Club (1998年)采用四项量化指标将美国都市区的蔓延情况进行了排序,包括:①从市区迁移到郊区的人口;②用地和人口增长率的比较;③交通时间花费;④开放空间的减少。2001年 USA Today 提出采用人口普查统计区之外的人口份额来度量都市区蔓延情况。2002年 Smart Growth America 开展了一项关于城市蔓延影响生活质量的研究,采用4个因子来度量城市蔓延:①居住密度;②居住、就业和服务的混合程度;③中心区的活力;④城市路网的可达性。除此之外,一些西方学者也对城市蔓延的测度也进行了有益探讨^[12-21],大都是通过GIS和描述性统计分析方法构建多元指标来刻画城市蔓延。所采用的指标涉及人口、就业、交通、资源消耗、建筑美学和生活质量等方面,常用指标包括:①增长率,如,人口增长率、建成区面积增长率等;②密度,如,人口密度、居住密度、就业密度等;③空间形态,如,破碎化程度、可达性和邻近度等。总的来看,国外研究多以整个城市为分析单元来计算各项指标,虽然能够较好地反映某城市或区域的整体蔓延程度,但是却忽略了单个城市内部的空间差异。而且,有的指标是基于西方城市化背景提出的,并不适合用来度量我国的城市蔓延,如,独立式住宅的份额。另外,有些指标所需的数据在我国还不存在历史资料,难以加以采用。例如,就业密度指标。

国内关于城市蔓延的针对性研究还比较少,还没有关于城市蔓延量化方法的系统研究。但是,城市扩展的研究由来已久,相关的量化指标有一定的借鉴作用。常用于分析城市扩展的指标包括:①反映空间特征的指标:建设用地密度^[22]、年均扩展强度指数^[23-25];②反映规模变化的指标:扩展面积及百分比^[26];③反映时间变化的指标:年均扩展速度^[2]、城市用地规模增长弹性系数^[27];④景观格局指标:形状指数、分维数、景观分离度指数、多样性指数等^[28-30]。其中,后三类指标更适用于城市扩展情况的总体分析,难以反映城市扩展的内部空间差异。建设用地密度和年均扩展强度指数较适用于刻画城市扩展的空间分异,可以表达城市蔓延低密度和强变化的特性,但对于捕捉城市蔓延特有的扩展形态,还缺乏一定的针对性。

综上所述,国外关于城市蔓延量化方法的研究较有针对性,但是部分指标并不能完全适用于分析我国的城市蔓延问题。我国有关城市扩展分析的量化指标也不能简单应用于城市蔓延的测度。因此,本文在综合国内外研究进展的基础上,结合研究区的实际情况,尝试提出测度城市蔓延的地理空间指标体系。

2.2 城市蔓延测度的地理空间指标体系

关于城市蔓延的定义,国外很多学者基于实证研究的结果做出过不同的阐述。一般认为,城市蔓延是一种低密度、分散的、高度依赖机动车的城市扩展形式,同时具有其他一些环境和社会影响特征^[31-34]。而本文所说的城市蔓延是指非农建设用地以高速、低

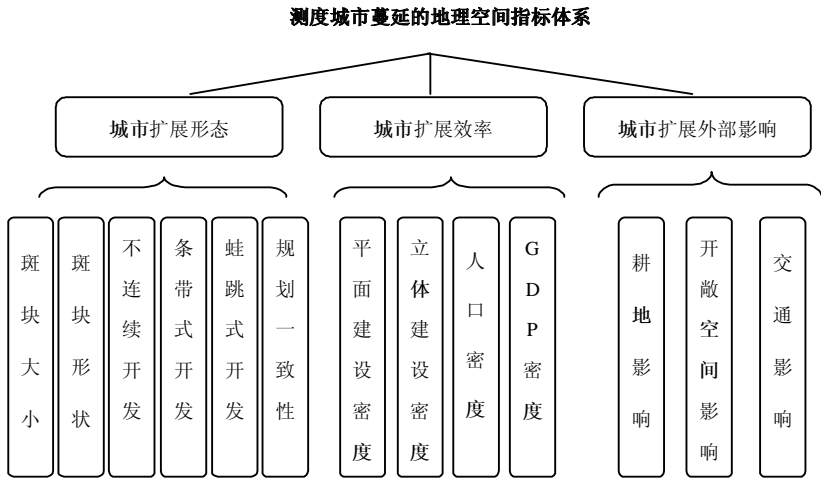


图 1 测度北京城市蔓延的地理空间指标体系

Fig. 1 Geo-spatial indices for measuring urban sprawl in Beijing

效、无序的形式向周边地区进行扩张。

据此,分别从城市扩展形态、扩展效率和外部影响等三个方面出发,逐步筛选具有良好反映能力、可以量化、数据获取便利的指标共计 13 个,构成了度量城市蔓延的地理空间指标体系(图 1)。在城市扩展形态方面,采用斑块的大小和形状、典型扩展方式以及规划一致性等 6 个指标来反映土地利用方式的空间差异;在扩展效率方面,采用新开发地块的平面和立体建设密度、人口密度和 GDP 密度来反映土地利用的集约程度、人口承载能力和经济产出能力的空间差异;在外部影响方面,采用农地减少、开敞空间减少和交通负担等 3 个指标来反映城市蔓延可能对农业、环境和城市生活产生的影响。本文以研究区的建设用地(主要包括城镇用地、农村居民点用地和独立工矿用地等地类)为考察对象,采用该地理空间指标体系尝试进行城市蔓延的测度。

3 城市蔓延的测度结果

3.1 研究区概况

北京位于华北平原西北边缘,东南距渤海约 150 km。全市土地面积 16 410 km²,其中,山区面积占 61.4%,平原面积占 38.6%^[35]。截至 2005 年底全市常住人口已达到 1538 万人,其中城镇人口占 83.62%^[36]。“十五”期间,全市地区生产总值年均增长 11.9%,2005 年全市实现地区生产总值 6814.5 亿元^[37]。随着经济社会的快速发展,北京市建设用地面积呈现快速、低效增长趋势。1996 年到 2004 年间非农建设用地共增加了 965 km²,年均增长率为 4.62%,相当于同期总人口增长速度的两倍多,而且单位经济增长消耗的土地较多,每增加亿元 GDP 需增加建设用地 36 hm²。

3.2 数据与方法

本文采用的基础数据包括:北京市 2000 年全国第五次人口普查各乡镇人口、2005 年 1%抽样调查各区县人口、2005 年各区县 GDP、1996 年和 2004 年土地利用变更调查数据与现状图、上版土地利用总体规划(1997-2010 年)、根据 1998 年到 2003 年土地出让案例矢量化的容积率样点分布图。另外根据分析需要,在北京市行政区域界线基础地理底图上标注高速公路路段与各市、区级中心位置,形成高速公路分布图和市区级中心分布图。

指标计算过程包括:①数据准备。首先进行必要的的数据准备,将不同来源、不同形

表 1 各单项指标的计算方法及数据来源

Tab. 1 Definition of geo-spatial indices for measuring sprawl in Beijing

指标	数据来源	计算方法
人口密度 (PDI)	2000 年五普乡镇人口 2005 年 1% 抽样调查区县人口 2004 年土地利用现状图	插值分析 (插值方法 KRIGING, 样本数: 200); 公式: $PDI = \text{乡镇人口} / \text{乡镇土地面积}$
GDP 密度 (GDI)	2005 年各区县 GDP 2004 年各区县土地总面积	栅格转换; 公式: $GDI = \text{区县 GDP} / \text{区县土地面积}$
斑块面积 (AI)	1996 年、2004 年土地利用现状图	矢量叠加分析、面积属性计算、栅格转换; 公式: $AI = \text{新增用地单个图斑面积}$
斑块形状 (SI)	1996 年、2004 年土地利用现状图	矢量叠加分析、形状指数计算、栅格转换; 公式: $SI = 0.25 \times \text{斑块周长} / \sqrt{SQR(\text{斑块面积})}$
平面建设密度 (HDI)	2004 年土地利用现状图	栅格转换、邻域分析 (邻域大小: 10×10 像元); 公式: $HDI = \text{邻域内城镇用地面积} / \text{邻域总面积}$
立体建设密度 (VDI)	1998 年-2003 年 容积率样点分布图	插值分析 (插值方法 KRIGING, 样本数: 2226) 公式: $VDI = \text{建筑面积} / \text{用地面积}$
不连续开发 (DDI)	1996 年、2004 年土地利用现状图	矢量叠加分析、距离分析、栅格转换; 公式: $DDI = \text{新增用地图斑距离最近原开发图斑}$
条带式开发 (SDI)	1996 年-2004 年高速公路分布图	矢量叠加分析、距离分析、栅格转换; 公式: $SDI = \text{新增用地图斑距离最近高速公路}$
蛙跳式开发 (LDI)	市、区县级中心分布图	矢量叠加分析、距离分析、栅格转换; 公式: $LDI = \text{新增用地图斑距离最近市、区县中心}$
规划一致性 (PCI)	上版土地利用总体规划	叠加分析; 公式: $PCI = \{1, 0\}$, 其中 1 代表与规划不符
耕地影响 (AII)	1996 年、2004 年土地利用现状图	叠加分析; 公式: $AII = \{1, 0\}$, 其中 1 代表占用耕地
开敞空间影响 (OII)	1996 年、2004 年土地利用现状图	叠加分析; 公式: $OII = \{1, 0\}$, 其中 1 代表占用开敞空间
交通影响 (TII)	2000 年五普乡镇人口 2005 年 1% 抽样调查区县人口 1996 年、2004 年土地利用现状图 市、区县级中心分布图	基于人口密度和空间距离的交通影响分析 公式: $ITT = \text{某像元内人口} \times \text{到市区中心的距离}$

式的数据进行初步处理, 形成各专题图件数据库。② 单指标空间化处理。对各单项指标主要采用空间分析与建模方法进行空间化处理, 将所有指标都统一到 100×100 米栅格的平台上, 各指标计算过程见表 1。③ 单指标标准化处理。由于各单项指标的量纲和数量变化幅度都有所不同, 故采用极差标准化方法对各指标值进行标准化处理。④ 多指标合成。采用因素成对比较法确定各指标权重, 再根据各指标与城市蔓延的相关关系, 对标准化后的各指标进行加权求和得到城市蔓延的综合指数。公式如下:

$$USI = -0.02[AI] + 0.02[SI] + 0.08[DDI] - 0.09[SDI] + 0.10[LDI] + 0.14[PCI] - 0.05[HDI] - 0.05[VDI] - 0.05[PDI] - 0.05[GDI] + 0.12[AII] + 0.12[OII] + 0.12[TII] \quad (1)$$

式中: USI 代表城市蔓延综合指数, 各和项分别代表 13 个单项指标, 和项符号反映与城市蔓延的相关关系。

3.3 城市蔓延单项指标的测度结果

(1) 北京市建设用地斑块具有明显的破碎化和不规则化趋势, 缺乏良好的规划控制, 不连续开发、条带式开发和跳跃式开发特征明显, 扩展形态不尽合理。

斑块大小的分析结果表明: 北京建设用地的大幅增长主要是土地开发数量而非规模的增加, 1996 年到 2004 年斑块数量增加了 31%, 平均斑块大小仅增加 13%。新增建设用地平均斑块面积为 1.52 km^2 , 64% 的新增用地面积不足 1 km^2 , 用地斑块破碎化趋势明显 (图 2a); 斑块形状的分析结果表明: 新增用地斑块形状指数较大, 平均为 1.7; 斑块形状指数变化幅度较大, 从 0.97 到 4.33 不等, 约有 65% 的新增用地斑块形状指数超过 1.7, 说明用地斑块形状呈现不规则化趋势 (图 2b); 规划一致性的分析结果表明: 大多数新增建设用地处于规划约束范围之外, 其中约有 35% 的新增城镇用地超出规划范围, 同时还

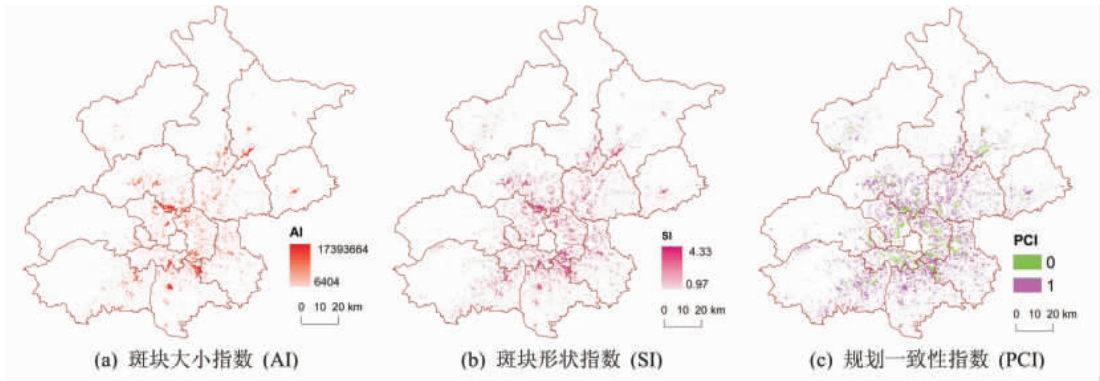


图2 北京新增建设用地斑块大小指数及形状指数计算结果

Fig. 2 The calculation result of patch area index and patch shape index

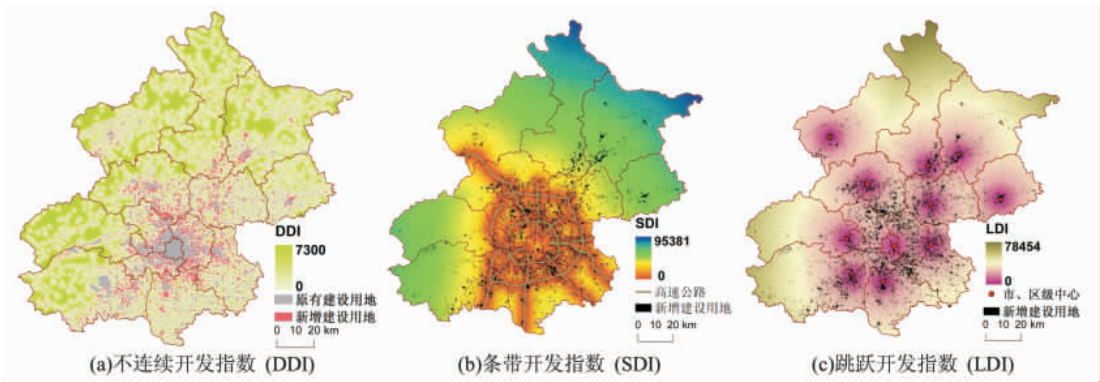


图3 北京三种典型开发形式指标的空间化计算结果

Fig. 3 The calculation result of discontinuous, strip and leapfrog development index

有7%的原有规划范围没有开发,反映出土地开发缺乏良好的规划引导和控制,并且规划落实情况较差(图2c)。

不连续开发的分析结果表明:新增建设用地到原有用地的平均距离为0.26 km,约63%的新增建设用地不邻接原有用地。其中,新增城镇用地和工矿用地到原用地的平均距离分别是1.58 km和0.54 km,具有明显的不连续开发特征(图3a);条带式开发的分析结果表明:新增建设用地到高速公路的平均距离为8.57 km,约22%的新增用地位于高速公路1 km缓冲区内。其中,新增城镇用地距离高速公路平均为4.79 km,约55%的新增城镇用地位于高速公路2 km缓冲区内,具有明显的条带式开发特征(图3b);蛙跳式开发的分析结果表明:新增建设用地到市、区级中心的距离平均为12.02 km,约55%的新增建设用地距离市、区级中心超过10 km,具有明显的蛙跳式开发特征(图3c)。

(2)北京市新增建设用地的建设密度和容积率较低,并且新增用地的人口密度和经济产出水平平均低于原有用地绩效,扩展效率不高。

平面建设密度的分析结果表明:新增建设用地的建设密度平均为0.35,低于1996年建设用地的平均密度0.52。而且,远郊区县城的新增用地密度不足中心4区的1/5、不到近郊区的1/3。反映出新增建设用地的建设密度较低,并且圈层差异较大(图4a);立体建设密度的分析结果表明:新增建设用地平均容积率为1.26,建筑容积率从0.28到8.18不等,约有90%的新增建设用地容积率不足2,其中远郊区县的容积率水平普遍较低,约在1.5左右,反映出建设用地的扩展密度较低、集约利用程度不高(图4b)。

人口密度的分析结果表明:新增建设用地范围内的人口密度平均为2120人/km²,

低于1996年原有用地范围内的平均人口密度4091人/km²。其中,新增城镇用地和独立工矿用地在各圈层的人口密度都低于原有用地,反映出新增建设用地的承载力不高(图5a);GDP密度的分析结果表明:新增建设用地范围内的GDP密度平均为0.54亿元/km²,低于1996年原有用地范围内的平均GDP密度1.13亿元/km²,仅约30%的新增建设用地处于GDP密度高于1亿元/km²的区域内,反映出新增建设用地的经济产出水平较低(图5b)。

(3)北京城市蔓延占用大量的耕地和开敞空间、加重了交通负担,对农业、环境和城市生活存在显著的负面影响。

根据耕地影响指数(AII)、开敞空间影响指数(OII)、交通影响指数(TII)的空间化结果(图6),城市蔓延已经对农业、环境和城市生活带来了不同程度的影响。首先,城市蔓延造成了城市近郊大量优质耕地的流失,1996年到2004年间新增建设用地占用耕地总量达到870km²,大多分布在远郊区。其次,城市蔓延也侵占了城郊少数林地、草地和有限的河湖水系,1996年到2004年

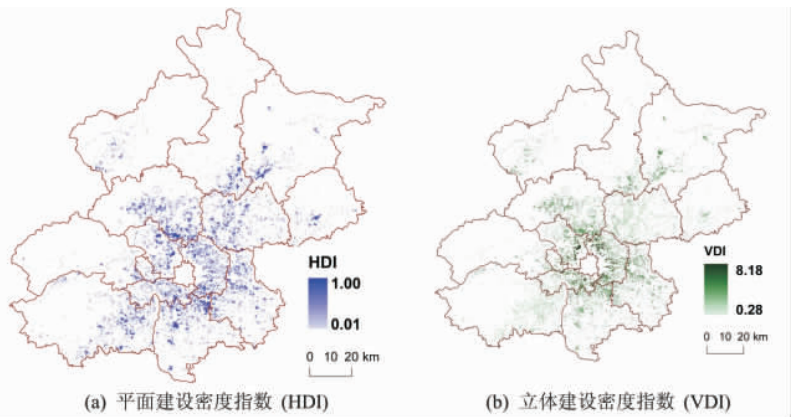


图4 北京平面建设密度和立体建设密度指数计算结果
Fig. 4 The calculation result of horizontal density index and vertical density index

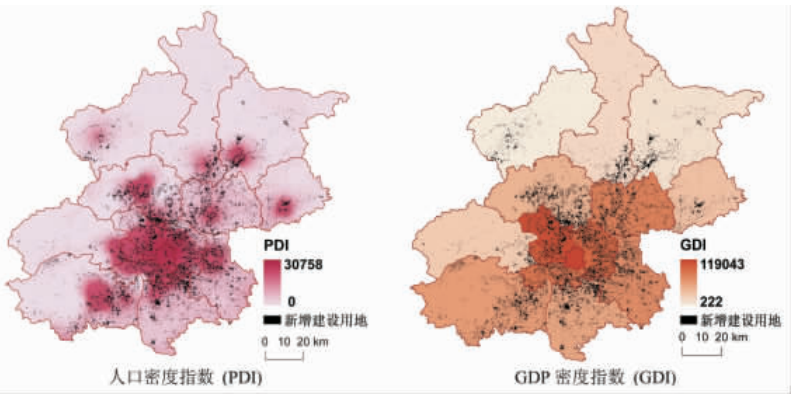


图5 北京人口密度和GDP密度的空间化结果
Fig. 5 The calculation result of population density and GDP density index

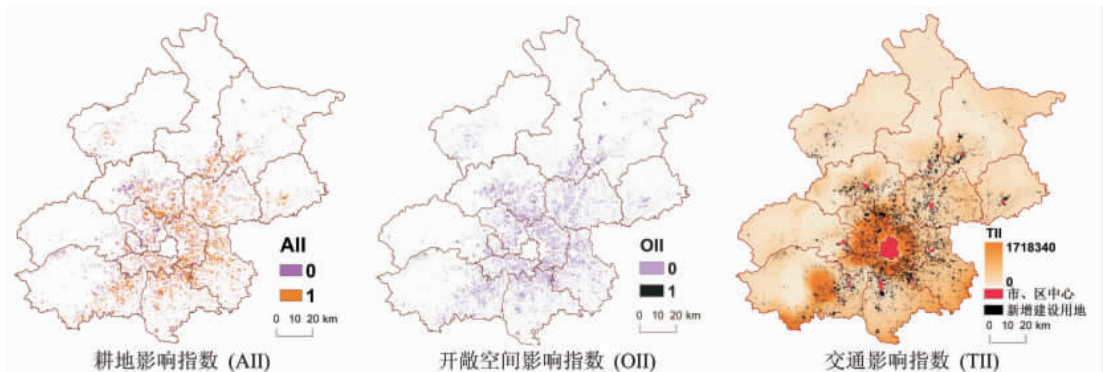


图6 北京耕地影响指数、开敞空间影响指数和交通影响指数的空间化结果
Fig. 6 The calculation result of arable land, open space and transportation impact index

间新增建设用地占用林、草、水等土地总量达 156 km², 主要分布在远郊区。另外, 城市蔓延引起新增建设用地到市、区中心的距离明显增加, 据统计城镇用地到市、区中心的平均距离增加了 21%, 这不可避免地将会加重城市的交通负担。

(4) 北京城市蔓延总量北多南少, 蔓延程度北低南高; 近郊外缘与远郊区县接合地带及高速公路之间区域的蔓延情况突出; 蔓延的空间模式有: 城近郊外缘的近域蔓延、高速公路沿线的条带开发、分散的独立工矿用地开发、城镇居住用地和工业用地的等级跳跃式开发。

根据城市蔓延综合指数的计算结果, 将新增建设用地划分为四种类型: 合理扩展、轻度蔓延、中度蔓延和高度蔓延 (图 7), 进而归纳城市蔓延的总体特征: ① 从方位上看, 合理扩展北多南少, 在北部四个象限所占的比重均超过 20%, 重度蔓延南多北少, 在南部所占比重平均为 40%。② 从乡镇区划来看, 合理扩展主要分布在近郊局部和远郊区县中心周边乡镇, 重度蔓延主要集聚在近郊区外缘及高速公路之间的区域。其中, 近郊平原乡镇的蔓延以布局乱、总量多为基本特点, 而远郊乡镇的蔓延以分布零散、数量较少为基本特点。

依据城市蔓延综合指数的评价结果, 归纳出北京城市蔓延的主要空间模式: ① 城市近郊外缘的近域蔓延, 该模式直接引起城郊优质农田和开敞空间的大量流失, 破坏了“分散集团”的规划设想进而加重中心城区的承载负担; ② 高速公路沿线的条带开发, 这种“轴向扩展+轴间填充”的模式加快了城市向外扩张的速度, 推动形成“摊大饼”的空间格局, 阻碍了“星状扩展格局”的形成。③ 分散的独立工矿用地开发, 该模式直接导致土地资源的大量消耗和低效利用, 打乱整体的用地布局; ④ 城镇居住用地和工业用地的等级跳跃式开发, 该模式加速了郊区县的蔓延, 在一定程度上扰乱了在郊区县培育多功能副中心的规划设想。

4 结论与讨论

本文提出了基于地理空间指标体系的城市蔓延测度方法, 从城市扩展形态、扩展效率和扩展的外部影响等方面分析了北京市的城市蔓延情况。分析结果表明: 非农建设用地斑块具有明显的破碎化和不规则化趋势, 缺乏良好的规划控制, 不连续开发、条带式开发和跳跃式开发特征明显, 扩展形态不尽合理; 新增非农建设用地的建设密度和容积率较低, 并且新增用地的人口密度和经济产出水平均低于原有用地绩效, 扩展效率不高; 城市蔓延占用大量的耕地和开敞空间、加重了交通负担, 对农业、环境和城市生活存在

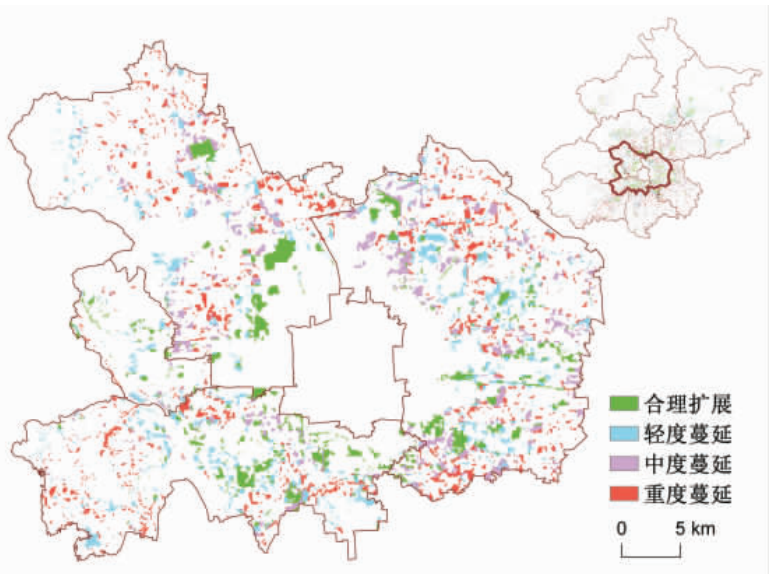


图 7 城市蔓延综合指数度量结果

Fig. 7 Measurement result by urban sprawl integrated index

显著的负面影响。总体来说,城市蔓延总量北多南少,但蔓延程度却是北低南高;近郊外缘与远郊区县接合地带及高速公路之间区域的蔓延较为突出;蔓延的主要空间模式有:城近郊外缘的近域蔓延、高速公路沿线的条带开发、分散的独立工矿用地开发、城镇居住用地和工业用地的等级跳跃式开发。

本文提出城市蔓延测度的地理空间指标体系,可以有效刻画研究区城市蔓延的程度和空间差异。其中,扩展形态方面的指标更细致地反映了城市蔓延的空间形态。其中,斑块大小和形状指数直接反映微观扩展状态;不连续开发指数、条带式开发指数和跳跃式开发指标具体反映扩展模式;规划一致性指标直接考察用地扩展是否符合原有规划意图。扩展效率方面的指标在一定程度上依赖于人口、经济社会统计数据的空间化模拟效果,取决于多源基础资料的充实程度和空间化模型的模拟精度。尤其是GDP的统计数据限于区县尺度,对于经济产出空间差异的刻画还不够充分。扩展的外部影响指标可以较好地量化城市蔓延所带来的影响,但是还存在其他一些外部影响,例如城市蔓延对能源消耗的影响,由于仅有全市统计数难以量化到空间层面上,故而未能纳入测度城市蔓延的地理空间指标体系。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Bo. Study on Urban Growth Management in China. Beijing: Xinhua Press, 2004. 56-57. [张波. 中国城市成长管理研究. 北京: 新华出版社, 2004. 56-57.]
- [2] Liu Shenghe. Spatial pattern and dynamic mechanism of urban land use growth. *Progress in Geography*, 2002, 21(1): 43-50. [刘盛和. 城市土地利用扩展的空间模式与动力机制. *地理科学进展*, 2002, 21(1): 43-50.]
- [3] Sun Chengren. Smart growth, the future of Chinese cities. *Ministers and Governors Forum*, 2003-11-29. [孙成仁. 精明增长、中国城市的未来. 中国省部长论坛, 2003-11-29.]
- [4] Yan Jinming. Land resource management calls for rational notion. *People's Forum*, 2005, (6): 40-41. [严金明. 土地管理应有理性思维. *人民论坛*, 2005, (6): 40-41.]
- [5] Liu Shenghe, Wu Chuanjun, Shen Hongquan. A GIS-based model of urban land use growth in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 407-416. [刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于GIS的北京市土地利用扩展模式. *地理学报*, 2000, 55(4): 407-416.]
- [6] Zong Yueguang, Zhou Shangyi, Zhang Zhenshi et al. Spatial characteristics of suburbanization and its developing strategies in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 135-142. [宗跃光, 周尚意, 张振世等. 北京城郊化空间特征与发展对策. *地理学报*, 2002, 57(2): 135-142.]
- [7] Xu Xiaoli, Shi Peijun, He Chunyang. The urbanization process comparison of Beijing and Shenzhen. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 221-229. [徐小黎, 史培军, 何春阳. 北京和深圳城市化比较研究. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 221-229.]
- [8] He Chunyang, Chen Ji, Shi Peijun et al. City expansion model of metropolitan area in China: A case study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 294-304. [何春阳, 陈晋, 史培军等. 大都市区城市扩展模型: 以北京城市扩展模拟为例. *地理学报*, 2003, 58(2): 294-304.]
- [9] Sierra Club. *The Dark Side of the American Dream*. Research Report, 1998. <http://www.sierraclub.org/sprawl/report98/report.asp>.
- [10] USA Today. A comprehensive look at sprawl in America, 2001. <http://www.usatoday.com/news/sprawl/main.htm>.
- [11] Reid Ewing, Rolf Pendall, Don Chen. Measuring sprawl and its impacts, 2002. 1-42. <http://www.smartgrowthamerica.org>.
- [12] Nelson A C. Comparing states with and without growth management: Analysis based on indicators with policy implications. *Land Use Policy*, 1999, 16: 121-127.
- [13] Kline J D. Comparing states with and without growth management analysis based on indicators with policy implications comment. *Land Use Policy*, 2000, 17: 349-355.
- [14] Gerald Shoultz. ASPH/CDC Fellow, National Center for Health Statistics. Measures of sprawl applied to urban and rural areas, and cardiovascular disease mortality: A Bayesian spatial analysis. *Population Association of America Annual Meeting Report*, 2005. 1-3.
- [15] Paul M Torrens, Marina Alberti. Measuring sprawl. Working Paper Series of Centre for Advanced Spatial Analysis, 2000. 1-43.

- [16] George Galster, Royce Hanson, Hal Wolman et al. Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. Working Paper of Fannie Mae, 2000. 1-38.
- [17] Edward Glaeser, Matthew Kahn, Chenghuan Chu. Job sprawl: Employment location in U.S. metropolitan areas. Survey Series of Center for Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, 2001. 1-8.
- [18] Carlo Lavallo, McCormick N, Kasanko M et al. Monitoring, planning and forecasting dynamics in European Areas: The territorial approach as key to implement European policies. Technical Report of MOLAND Program, 2002. 1-8. <http://moland.jrc.it/>
- [19] John E Hasse, Richard G. Lathrop. Land resource impact indicators of urban sprawl. Applied Geography, 2003, 23: 159-175.
- [20] F Patrick Holmes. Rockies sprawl index. Annual Research Report of the Rockies Project, 2005. 61-70. <http://www.coloradocollege.edu/>.
- [21] Marjo Kasanko et al. Are European cities becoming dispersed? A comparative analysis of 15 European urban areas. Landscape and Urban Planning, 2006, 77: 111-130.
- [22] Huang Yue, Chen Xi, Bao Anming et al. Urban sprawl pattern and spatial features of Urumqi City during the last 15 years. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(3): 364-370. [黄粤, 陈曦, 包安明等. 近15年乌鲁木齐市城市用地扩展动态及其空间特征研究. 冰川冻土, 2006, 28(3): 364-370.]
- [23] Liu Shenghe, Wu Chuanjun, Shen Hongquan. A GIS-based model of urban land use growth in Beijing.. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 407-416. [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. 地理学报, 2000, 55(4): 407-416.]
- [24] Xiao Jieying, Ge Jingfeng, Shen Yanjun. Analysis on urban land use sprawl by using GIS: The case of Shijiazhuang city, China. Geographical Research, 2003, 22(6): 789-798. [肖捷颖, 葛京风, 沈彦俊等. 基于GIS的石家庄市城市土地利用扩展分析. 地理研究, 2003, 22(6): 789-798.]
- [25] Chen Longqian, Guo Dazhi, Hu Zhaoling. Research on spatial differentiation of urban growth using multi-temporal landsat thematic mapper satellite remote sensing images. Journal of China Coal Society, 2004, 29(3): 308-312. [陈龙乾, 郭达志, 胡召玲等. 城市扩展空间分异的 multi-temporal TM 遥感研究. 煤炭学报, 2004, 29(3): 308-312.]
- [26] Fan Zuojiang, Cheng Jicheng, Li Qi. Study on urban growth by using RS and GIS analysis. Remote Sensing Information, 1997, (3): 12-16. [范作江, 承继成, 李琦. 遥感和地理信息系统相结合的城市扩展研究. 遥感信息, 1997, (3): 12-16.]
- [27] Chen Benqing, Xu Hanqiu. Urban expansion and its driving force analysis using remote sensed data: A case of Xiamen city. Economic Geography, 2005, 25(1): 79-83. [陈本清, 徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析: 以厦门市为例. 经济地理, 2005, 25(1): 79-83.]
- [28] Zhang Liquan, Wu Jianping, Zhen Yu et al. A GIS-based gradient analysis of the urban landscape pattern of Shanghai metropolitan region. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(1): 78-85. [张利权, 吴健平, 甄逸等. 基于GIS的上海市景观格局梯度分析. 植物生态学报, 2004, 28(1): 78-85.]
- [29] Zhu Ning, Wang Jiandi. Spatial configuration change of urban growth in Hangzhou. Zhejiang Economy, 2005, (16): 59-59. [朱宁, 王建弟. 杭州城市扩展空间形态变化初探. 浙江经济, 2005, (16): 59-59.]
- [30] Yang Yingbao, Jiang Nan, Su Weizhong et al. Dynamics of landscape ecology in Nanjing city revealed by RS and GIS. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 34-39. [杨英宝, 江南, 苏伟忠等. RS与GIS支持下的南京市景观格局动态变化研究. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 34-39.]
- [31] Richard Moe. National Trust for Historic Preservation, from Communities at Risk: The Consequences of Sprawl. Beijing: Xinhua Press, 1993. [张波. 中国城市成长管理研究. 北京: 新华出版社, 2004. 60-62.]
- [32] Ewing R. Is Los Angeles-style sprawl desirable? Journal of the American Planning Association, 1997, 63(1): 107-126.
- [32] Downs A. How America's cities are growing: The big picture. Brookings Review, 1998, 16(4): 8-12.
- [33] Burchell R W, Shad N A. The evolution of the sprawl debate in the United States. West Northwest, 1999, 5(2): 137-160.
- [34] XinHua Net. Beijing Channel, Beijing Introduction. [新华网北京频道. 北京概览] <http://www.bj.xinhuanet.com/bjpd-whsd/sq.htm>
- [35] Beijing Statistics Bureau, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Beijing. 1% Sample Population Survey Report in 2005. <http://www.bjstats.gov.cn/> [北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 2005年北京1%人口抽样调查主要数据公报.]
- [36] Beijing Statistics Bureau, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Beijing. Beijing National Economy and Social Development Report in 2005 and Tenth Five-Year Plan. <http://www.bjstats.gov.cn> [北京市统计局国家统计局北京调查总队. 北京市2005年暨“十五”期间国民经济和社会发展统计公报.]

Measuring Urban Sprawl in Beijing with Geo-spatial Indices

JIANG Fang^{1,2}, LIU Shenghe¹, YUAN Hong^{1,2}

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: Concerning the rapid urban land growth in recent China, this paper takes the urban growth during 1996 to 2004 of Beijing as a study case, and indicates that urban sprawl can be identified or measured through growth configuration, urban growth efficiency and its impacts of urban growth. It then identifies a geo-spatial indices system for measuring sprawl in Beijing, covering six factors of population, economy, land use, agriculture, environment and urban life quality, a total of 13 indices in all. Specifically speaking, patch area index (AI), patch shape index (SI), discontinuous development index (DDI), strip development index (SDI), leapfrog development index (LDI) and planning consistency index (PCI) are introduced for measuring spatial configuration of urban growth; horizontal density index (HDI), vertical density index (VDI), population density index (PDI) and GDP density index (GDI) are developed for measuring efficiency of urban growth; arable land impact index (AII), open space impact index (OII) and transportation impact index (TII) are used for measuring impacts of urban growth. In order to calculate these 13 indices, different sources data are selected, including land use maps from update survey made by Beijing Bureau of Land Resources, former version of land use master plan, land price and floor-area-ratio samples from land transactions bulletin, digitized map of the transportation lines and county centers, population statistics from the fifth national census and GDP statistical data from Statistical Yearbook, etc. Various GIS spatial analysis methods are used to spatialize these indices into 100m×100m cells, including overlay, interpolation, neighborhood statistics, distance analysis, etc. Besides, an integrated urban sprawl index is calculated by weight sum of these 13 indices, by which the newly developed land patches are classified into four types: rational development, low-grade sprawl, moderate sprawl and high-grade sprawl.

The application result indicates that geo-spatial indices system can capture most typical features and interior differentia of urban sprawl. Construction land in Beijing has kept fast growing with large amount, low efficiency and disordered spatial configuration, which indicates a typical sprawling tendency. The following specific sprawl features are identified by each index. (1) Typical spatial features of sprawling: obvious fragmentation and irregularity of landscape due to unsuccessful enforcement of land use planning; unadvisable pattern of land use growth with typical discontinuous development, strip development and leapfrog development. (2) Low growth efficiency of sprawl: low density of land use growth, low population density and economic output on newly developed area. (3) Other negative impacts on agriculture, environment and city life. According to the integrated sprawl index, sprawling amount in the northern part is larger than that in the southern, but the sprawling extent is in converse case; most sprawling areas include the junctions of near suburbs and outer suburbs, the places along or between highways, etc. Four sprawling patterns are identified: randomly expansion at urban fringe, strip development along highways, scattered development of industrial land, leapfrog of urban residence and industrial area.

Key words: urban sprawl; measurement; geo-spatial indices; Beijing