



# 地理国情在武汉市土地资源承载力评价中的应用

罗名海<sup>1</sup> 蒋子龙<sup>2</sup> 程 琦<sup>1</sup> 秦思娴<sup>1</sup> 杨娜娜<sup>3</sup> 张歆越<sup>3</sup>

1 武汉市测绘研究院,湖北 武汉,430022

2 华中师范大学城市与环境科学学院,湖北 武汉,430079

3 武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉,430079

**摘要:**基于武汉市地理国情数据,围绕城市土地资源承载力问题,研究建立了一套城市土地资源承载力评价技术方法。首先,根据土地利用功能进行“三生用地空间”划分,将市、区有关经济统计指标按街道进行了尺度下推;其次,在分析评价适宜建设开发用地、已利用建设用地、可开发利用地资源的基础上,开展了土地资源承载状态的综合评价;最后,利用地理加权回归分析方法,分析了人口、经济、交通因素对土地资源承载状态的影响。该方法将城市土地资源承载力评价由传统的人口承载力测算转换为开发建设状态评价,不仅为城市承载力评价提供了一种新的分析思路,也为制定精细化和差异化的城市建设用地资源配置和调控政策提供了科学依据。

**关键词:**地理国情监测;土地资源承载力;空间规划;开发强度

中图分类号:P208

文献标志码:A

随着工业化与城镇化的快速推进,我国经济社会发展与资源环境的矛盾日益突出<sup>[1]</sup>。建立资源环境承载能力监测预警机制,对水土资源、环境容量和海洋资源超载区域实行限制性措施势在必行。国家发改委等13部委联合下发了《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》,对土地资源承载力评价的关键技术进行了阐释,并要求各省、自治区、直辖市等省级单位组织开展以县级行政区为单元的承载力评价工作。传统上,关于土地资源承载力研究多围绕“耕地—食物—人口”展开,旨在计算区域农业生产所提供的粮食能够养活的人口数<sup>[2]</sup>。随着全球化和信息化的快速发展,支撑人口发展的粮食、能源等资源流动性增强,制约区域特别是中小尺度区域人口容量的耕地因子越来越低<sup>[3]</sup>。随着城市化进程的不断推进,关于土地资源承载力的研究逐渐从关注农业生产的传统研究发展为城市土地资源承载力研究<sup>[4]</sup>。

针对城市土地资源承载力研究可分为对不同承载体的研究(如居住用地、工业用地、交通用地

等)、对不同承载对象的研究(如人口、产业等)以及对不同影响因素的研究(如区位、地质条件、人类生产生活需求等)<sup>[5-7]</sup>。从评价方法来看,主要建立在土地利用功能适宜性评价基础上,采用综合指数法、生态足迹法、状态空间法、指数评价法、聚类分析法、主成分分析法、系统动力学方法等方法进行承载能力评价<sup>[8-15]</sup>,多以指标定量为基础开展评价,在空间方面的精准分析评价上仍存在不足。

地理国情普查是指对一个国家国土范围内的地表自然和人文地理要素进行普查,是一项重大的国情国力调查,是全面获取地理国情信息的重要手段,是掌握地表自然、生态以及人类活动基本情况的基础性工作。地理国情数据包括地形地貌、植被覆盖、水域、荒漠与裸露地、交通、居民地与设施等,具有精度高、信息量丰富的特点,为土地资源承载能力评价提供了重要基础<sup>[16-17]</sup>。本研究基于地理国情普查数据,围绕城市土地资源承载力问题,研究建立一套城市土地资源承载力评价技术方法。在此基础上,以武

收稿日期:2018-10-22

项目资助:国家自然科学基金(41471109);中央高校基本科研业务费专项资金(2042016kf0066);地理国情监测国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(2016NGCM10)。

第一作者:罗名海,博士,正高职高级工程师,主要从事地理国情监测方面研究。Luominghai@163.com

通讯作者:蒋子龙,博士,讲师。zliang@mail.ccnu.edu.cn

武汉市为例,研究揭示其土地资源承载力空间格局与成因机理,为优化城市国土空间开发格局提供了相关决策依据。

## 1 评价思路与技术流程设计

### 1.1 总体思路与技术路线

本文在借鉴13部委联合下发的《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》关于土地资源承载力评价方法的基础上,将土地资源承载力界定为在一定资源环境约束条件下的区域土地资源所能支撑的最大开发规模和强度。将承载力评价对象由人口转换为开发利用强度和规模的评价更能直观地反映土地资源承载开发建设的能力,也可有效揭示国土空间开发利用状态及影响因素。为了客观反映土地资源承载力格局,采取基于空间位置的评价方法在街道尺度上对城市土地资源承载压力进行分析评价,可以有效分析土地资源承载力的空间差异性问题。运用分步式算法测算各街道适宜建设用地规模及分布,确定各街道土地开发程度,通过分析现状开发程度以及人口集聚因素,评价区域承载力状况,并探索造成承载力格局差异的因素机理。具体技术流程如图1所示。

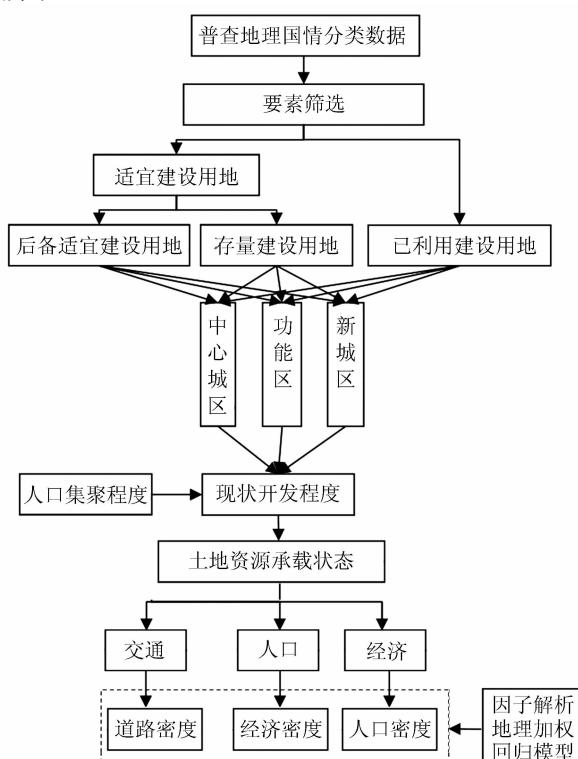


图1 城市土地资源承载力评价技术流程

Fig. 1 Technological Process of Evaluation of Capacity of City Land

首先,结合地理国情分类数据测算城市适宜建设用地规模与分布,并对适宜建设用地的后备存量、增量规模及分布状况分别进行测算。其中,存量建设用地是指城市已利用建设用地中可以盘整利用的部分,具体用划定的三旧改造范围面积表示。增量建设用地是指可被作为人口集聚、产业布局和城镇发展的后备适宜建设用地,具体可用适宜建设用地减去已利用建设用地来表示。

其次,分区域开展土地资源承载力评价。鉴于中心城区、功能区以及新城区在空间区位、功能定位、发展基础以及发展导向上各不相同,不同区域对土地资源的需求程度是有区别的,在承载状态阈值参数设定时需分别进行考虑。

最后,建构土地资源承载力成因解析框架,采用探索性分析和相关性分析的方法,对影响土地资源承载力的关键因素进行初步筛选。结合专家咨询打分,得出人口集聚程度、经济发展水平、交通发展水平等是城市土地资源承载状态的核心压力要素。因此,在此基础上,本文从人口、经济、交通等方面开展土地资源承载状态的机理解析。

### 1.2 土地资源承载力评价方法

#### 1.2.1 数据来源与预处理过程

土地资源承载状态评价中土地用途数据来源于地理国情普查。其中,在测算适宜建设用地规模时,从保障粮食安全、生态安全的角度出发,综合考虑农业生产、生态用地、地形限制、水资源等因素对土地建设开发的影响,结合武汉市实际情况,筛选出地形高程、林草用地、水域、荒漠以及基本农田等关键约束因素。具体处理过程为,将地形高程低于500 m且坡度小于15°的地块视为可建设用地,在此基础上扣除林草用地、水域、荒漠以及基本农田等用地面积之后的土地为适宜建设用地。已利用建设用地用地理国情普查中的房屋建筑区、道路、构筑物、人工堆掘物等综合测算,存量建设用地用三旧改造范围表示。

在土地资源承载状态成因解析中,分街道人口数据来源于武汉市各区统计年鉴,街道人口密度用街道人口数量与街道面积之比测算得出。街道交通数据来源于地理国情普查中道路要素,街道道路密度用街道道路总长度与街道面积之比测算得出。街道经济密度用街道国内生产总值(gross domestic product, GDP)与街道面积之比表示,由于街道尺度的GDP数据存在统计缺失,需要用分区GDP进行尺度下推。其中,分区GDP数据来源于武汉市各区统计年鉴。从功能的角度,土地可划分为生产用地、生活用地和生态用地三大类,即三生用地。

生产用地是指进行农业、工业和商业活动获取产品和供给功能的用地,生活用地是提供承载和保障人居功能的用地,而生态用地则是以调节、维持和保障生态安全功能为主的用地。本文首次尝试构建了基于三生用地占比关系的 GDP 尺度下推方法。一般而言,某种功能用地占比越大,其相对应的经济指标占比也越高。因此,经济指标尺度下推过程

可以按照功能空间的划分与提取,分别计算各街道功能用地占全区的比例,以此为依据计算街道尺度该功能用地对应的经济产出指标。

结合地理国情普查及规划类城市用地现状调查数据进行三生用地空间的划分,为各类指标在街道尺度的下推服务。三生用地空间相关数据构成以及涉及到的尺度下推指标分别见表 1 和表 2。

表 1 三生用地空间相关数据构成

Tab. 1 Statistics of Three Space Type

序号	图层名	数据描述	
1	生态用地	林草	由国情普查地表覆盖中林草覆盖构成
2		水域	由国情普查地表覆盖中水域和用地现状调查水域构成
3		农业生产用地	由国情普查地表覆盖中种植土地构成
4	生产用地	工业生产用地	由用地现状调查中工业用地和国情普查城镇功能单元中工矿企业构成
5		商业生产用地	商业服务业设施用地
6	生活用地		全市除生态用地、水、农业生产用地、工业生产用地和商业生产用地以外的区域
7		三产生产用地	由用地现状调查中公共管理与公共服务用地、物流仓储用地、商业服务业设施用地、公共设施用地和地理国情普查地表覆盖中房屋建筑工地构成

表 2 涉及到的指标尺度下推方法

Tab. 2 Methods for Scaling Down

指标分类	指标名称	尺度下推方法	备注
经济类指标	街道第一产业增加值	街道种植土地面积占行政区种植土地面积比例	
	街道第二产业增加值	街道工业用地面积占行政区工业用地面积比例	用地现状调查的工业用地、地理国情城镇功能单元中的工矿企业
	街道第三产业增加值	街道公共管理与公共服务用地、商业与服务业设施用地、物流仓储用地、公用设施、房屋建筑工地面积占行政区上述用地面积比例	第三产业增加值包括教育医疗、交通运输仓储和邮政业、批发和零售业、住宿和餐饮业、金融业、房地产业、其他服务业
	街道 GDP	街道第一产业增加值 + 街道第二产业增加值 + 街道第三产业增加值	

获得 GDP 尺度下推结果后,采取随机抽样方法对部分街道进行了走访调研,具体对宝丰街、荣华街、一元街、车站街、民族街、粮道街等街道办进行了调研,将尺度下推结果与街道真实 GDP 数据进行检验对比,结果显示尺度下推结果与真实 GDP 之间误差在 20% 以内。本尺度下推结果仅用于辅助解析土地资源承载状态的影响因素,对土地资源承载状态指数计算不存在影响。因此,在对分析结果不造成重大影响的基础上,本文尝试建构的经济数据尺度下推方法可以为相关分析缺失数据时提供一种数据获取支持。

### 1.2.2 土地资源承载状态测算方法与步骤

对地理国情普查数据按功能用途进行类型划分,采用分步式方法分别测算适宜建设用地规模与分布、已利用建设用地规模与分布、后备适宜建设用地规模与分布等,综合考虑可盘整的存量建设用地规模与分布,确定现有开发格局及分布区域。通过分析各街道现状开发强度,并以街道人口密度与全市人口密度的比值作为人口因子

修正系数,综合测算得出各街道土地资源承载状态情况。其中,涉及的适宜建设用地、已利用建设用地、后备适宜建设用地、存量建设用地、可开发土地资源、现状开发程度以及土地资源承载状态指数等指标计算方法如下:

$$\text{适宜建设开发用地} = (\text{地形坡度} \cap \text{海拔高度}) - \text{水域} - \text{林草} - \text{荒漠与裸露地表} - \text{基本农田}$$

$$\text{已利用建设用地} = \text{房屋建筑区} + \text{道路} + \text{构筑物} + \text{人工堆掘物}$$

$$\text{后备适宜建设用地} = \text{适宜建设开发用地} - \text{已利用建设用地}$$

$$\text{存量建设用地} = \text{三旧改造范围}$$

$$\text{可开发土地资源} = \text{后备适宜建设用地} + \text{存量建设用地}$$

$$\text{现状开发程度} = (\text{已利用建设用地} - \text{三旧改造范围}) / \text{适宜建设开发用地}$$

$$\text{人口因子} = \text{街道人口密度} / \text{市人口密度}$$

$$\text{土地资源承载状态指数} = \text{人口因子} \times \text{现状开发程度}$$

其中,土地资源承载状态指数值越大,表示土地资源压力越大;其值越小,则表示土地资源压力越小。

### 1.2.3 成因解析方法

地理加权回归(geographic weighted regression, GWR)主要用于建立具有空间异质性的现象与影响因子之间的定量关系模型。依据相关资料及选取一系列影响土地资源承载力的指标因子,通过地理加权回归分析建立模型,可以定量估计土地资源承载力与影响因子之间的定量关系,并进一步探索其空间异质性。基础 GWR 模型一般可表达为:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^m \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

式中,  $y_i$  为位置  $i$  处的因变量值;  $x_{ik}$  ( $k=1 \dots m$ ) 为位置  $i$  处的自变量值;  $(u_i, v_i)$  为位置  $i$  的点坐标;  $\beta_0(u_i, v_i)$  为截距项;  $\beta_k(u_i, v_i)$  ( $k=1 \dots m$ ) 为回归分析系数。

针对上述 GWR 模型,在指定空间位置  $i$  处采用加权线性最小二乘方法对模型进行求解,其公式为:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \quad (2)$$

式中,  $\mathbf{X}$  为自变量抽样矩阵,其中第 1 列全为 1 (用以估计截距项);  $\mathbf{y}$  为因变量抽样值向量;  $\hat{\beta}(u_i, v_i) = [\beta_0(u_i, v_i) \dots \beta_m(u_i, v_i)]^T$  为在位置点  $(u_i, v_i)$  处的回归分析系数向量;  $\mathbf{W}(u_i, v_i)$  为权重对角矩阵,其中对角线上的值代表每个数据点到回归分析点  $(u_i, v_i)$  的空间权重值,可通过关于两个位置之间的空间邻近度量的核函数计算得到。这里将人口、经济、交通等因素作为自变量,将土地资源承载状态指数作为因变量,建立承载力指标同人口、经济、交通等因素的地理加权回归模型,求解得到随空间变化的回归分析系数。系数的绝对值表征自变量变化一个单位随之引起的因变量变化的大小,系数的符号表征自变量对因变量所起到的作用为“正向”或是“负向”。以此来定量化表达人口、经济、交通等因素同城市土地资源承载力之间的关系。

## 2 基于武汉市的实例评价分析

### 2.1 土地资源承载力格局特征

#### 2.1.1 适宜建设开发用地

根据适宜建设开发用地的计算公式,采用 GIS 空间叠置分析法对武汉市适宜建设开发用地规模与分布进行测算与分析。其中,分级阈值的

选取依据《省级主体功能区划技术规程》关于适宜建设用地的分级标准,并结合武汉市实际情况以及数据的自然分级特征综合划定,结果如图 2 所示。从图 2(a)可以看出,适宜建设开发用地的空间分异性明显。对于江汉区、江岸区、硚口区的部分街道,适宜建设开发用地占比达到 90% 以上;对于黄陂区的木兰山风景区,适宜建设开发用地占比仅占 7.83%。从适宜建设开发用地占比的密度分布图 2(b)中可以看出,大部分街道适宜建设用地占比在 40%~70% 之间,约占全部街道的 61.88%。从空间分布来看,“北山南泽、西野东岗”的自然空间格局对适宜建设开发用地的约束作用较强。适宜建设开发用地多分布在地势平缓、水域占比较小的区域,主要包括中心城区大部分街道、新城区的城关镇及周围街道。

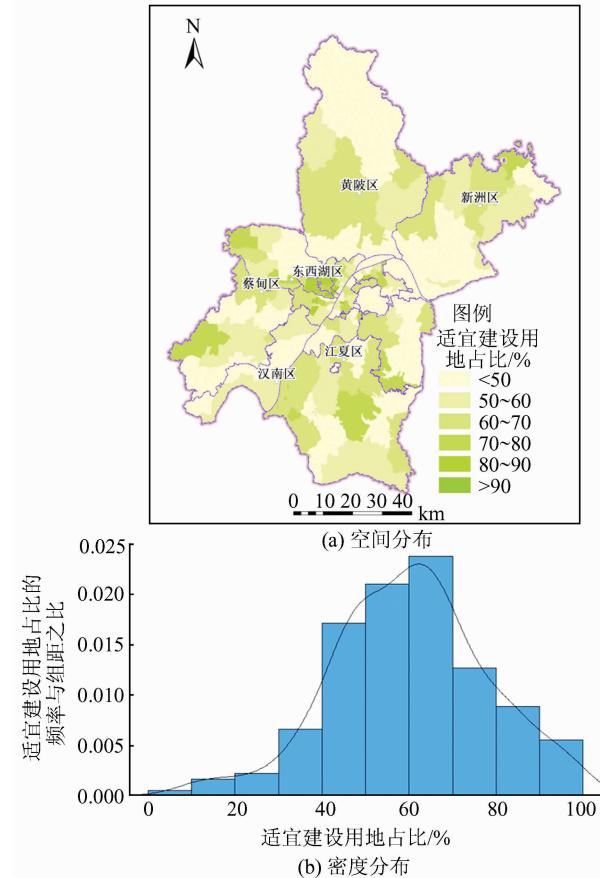


图 2 2016 年武汉市适宜建设开发用地  
占比空间分布与密度分布

Fig. 2 Spatial and Density Distributions of Construction Suitable Land of Wuhan in 2016

#### 2.1.2 已利用建设用地

根据已利用建设用地的计算公式,测算武汉市已利用建设用地的规模与分布情况。其中,分级阈值的选取依据《湖北省主体功能区规划》关于武汉市各区县开发强度的要求以及数据的自然分

级特征综合划定,结果如图 3 所示。通过对已利用建设用地的统计分析图 3(a)可以看出,中心城区已利用建设用地占比明显高于周围的功能区和新城区。已利用建设用地占比最大的街道为江汉区的前进街,其值为 99.06%;占比最小的街道为江夏区的梁子湖风景区办事处,其值为 1.16%。根据已利用建设用地占比的密度分布统计图 3(b)可以看出,其值在 0~20%,以及 40%~50% 阶段分布最为集中,约占全部街道的 44.75%。

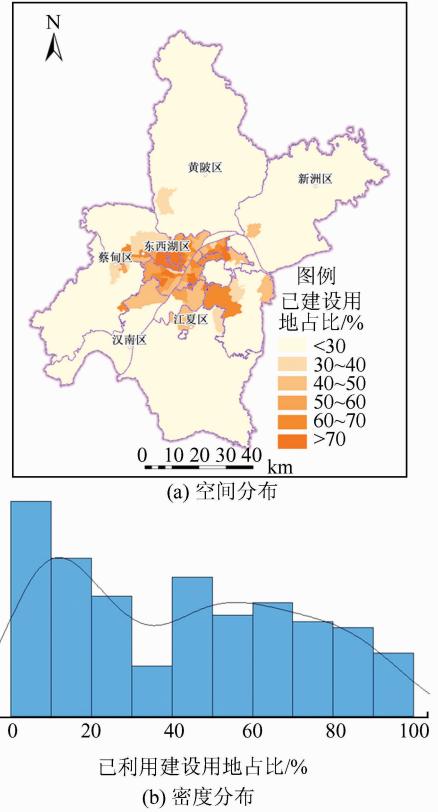


图 3 2016 年武汉市已利用建设用地  
占比空间分布与密度分布

Fig. 3 Spatial and Density Distributions of Constructed Land of Wuhan in 2016

### 2.1.3 可开发土地资源

根据可开发土地资源的计算公式,测算武汉市可开发土地资源的规模与分布情况。其中,分级阈值的选取依据《省级主体功能区规划技术规程》中关于后备土地资源分级阈值以及武汉市的实际情况综合划定。通过对可开发土地资源的统计分析(见图 4),可以看出武汉市可开发土地资源丰富的区域多集中在中心城区外环的新城区和三旧改造面积占比比较大的少部分中心城区。从图 4(a)可以看出,可开发土地资源占比最大的街道为硚口区的易家街,可开发土地资源为 3 612 406.14 m<sup>2</sup>,占整个街道面积的 44.55%;而

对于中心城区其他不包含三旧改造范围的街道,可开发土地资源基本为 0,可以看出三旧改造是影响中心城区的可开发土地资源占比的重要因素。特别是中心城区的部分乡镇,虽然可用的后备建设用地部分为零,但可盘整的存量建设用地很多,通过对三旧改造的存量挖潜,同样可以增加可开发土地资源储备规模,从而降低土地资源承载压力。根据可开发土地资源占比的密度分布统计,图 4(b)可以看出武汉市各街道可开发土地资源占比多集中在 0~10% 之间,约占全部街道的 60.22%。

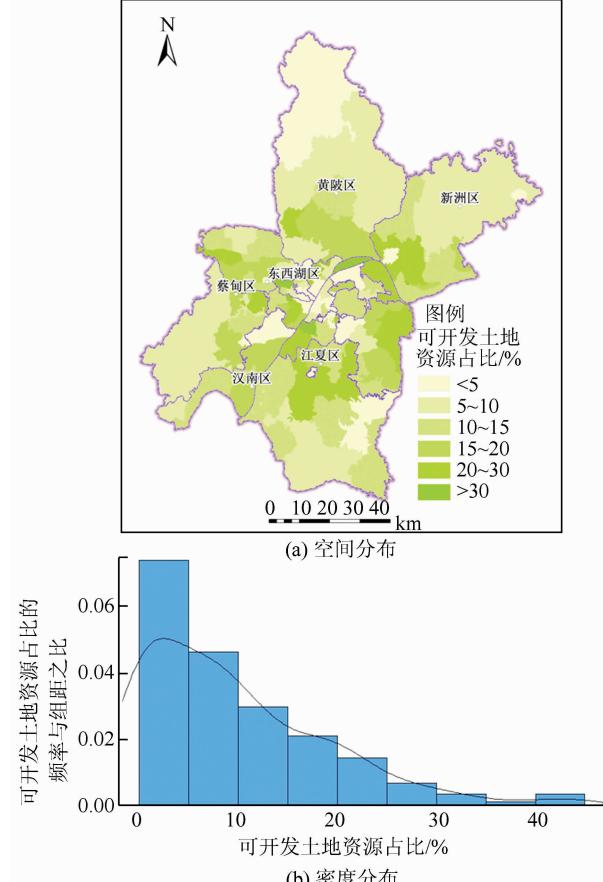


图 4 2016 年武汉市可开发土地资源  
占比空间分布与密度分布

Fig. 4 Spatial and Density Distributions of Construction Available Land of Wuhan in 2016

### 2.1.4 土地资源承载状态分析

通过对土地资源承载状态指数值的统计分析,得出武汉市土地资源承载状态指数的平均值为 8.12,中心城区土地资源承载状态指数平均值为 16.16,功能区土地资源承载状态指数平均值为 0.73,新城区土地资源承载状态指数平均值为 0.66,结合全市三大类型区中各街道土地资源承载状态指数值分布情况划定不同的阈值,用于评价各街道土地资源承载状态等级。阈值的选取根据数据的自然分级、数据标准差分布以及数据量

分布百分比,并结合专家经验划定全市土地资源承载状态分级标准,分级标准如表3所示。

表3 土地资源承载状态指数分级标准

Tab. 3 Pressure Rank of Carrying Capacity of Land Resources

类型区	状态分级	等级标准
中心城区	压力大	$A \geq 40.60$
	压力中等	$16.16 \leq A < 40.60$
	压力小	$A < 16.16$
功能区	压力大	$A \geq 0.81$
	压力中等	$0.73 \leq A < 0.81$
	压力小	$A < 0.73$
新城区	压力大	$A \geq 0.81$
	压力中等	$0.66 \leq A < 0.81$
	压力小	$A < 0.66$

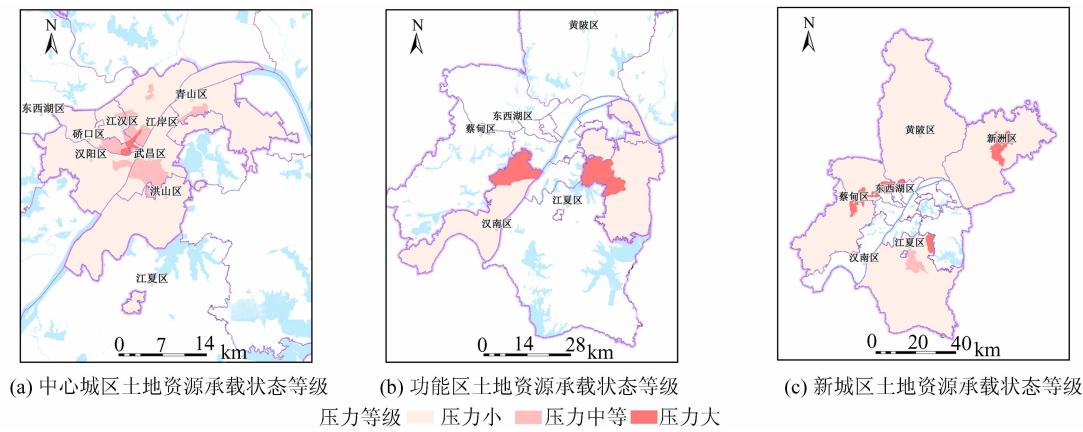


图5 2016年武汉市土地资源承载状态格局

Fig. 5 Spatial Pattern of Carrying Capacity State of Land Resources of Wuhan in 2016

## 2.2 土地资源承载力成因分析

在对土地资源承载力分析的基础上,进一步定量分析土地资源承载状态与人口、经济、交通等数据之间的关系,对土地资源承载状态的成因进行解析。构建土地资源承载状态的全局回归模型与各街道地理加权回归模型。

全局回归分析结果如下:

$$y = 0.271004 + 0.000655x_1 - 0.006365x_2 - 0.005071x_3 - 0.052282x_4$$

式中,  $y$  代表土地资源承载状态指数;  $x_1$  代表人口密度( $\text{人}/\text{km}^2$ );  $x_2$  代表地均 GDP( $\text{亿元}/\text{km}^2$ );  $x_3$  代表城市道路密度( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $x_4$  代表可开发土地资源占比(%)。

从全局回归结果可以看出,土地资源承载状态指数与人口密度正相关,表明街道人口密度越大,其土地资源承载状态压力也会越大;与地均 GDP、城市道路密度、可开发土地资源占比等变量负相关,表明随着街道地均 GDP、道路密度、可开发土地资源等指标的提高,其相应的土地资源承载状态压力会随之降低。

根据上述定义的土地资源承载状态指数标准,测算武汉市土地资源承载状态指数与格局特征,结果如图5所示。结果显示,武汉市土地资源承载状态呈自中心向外围递减的圈层式分布格局,中心城区街道土地资源承载状态压力明显高于功能区和新城区。中心城区土地资源承载状态压力大的街道主要集中在江汉区和江岸区(图5(a)),新城区土地资源承载状态压力大的街道主要集中在东西湖区靠近中心城区的街道以及蔡甸区、新洲区的城关镇(图5(c)),功能区土地资源承载状态压力大的街道主要集中在武汉东湖新技术开发区、武汉经济技术开发区(汉南区)靠近中心城区的街道图5(b)。

利用地理加权回归分析模型对土地资源承载状态指数与人口密度、经济密度以及道路密度等要素之间的回归参数进行估计,进一步分析人口、经济和交通因素对土地资源承载状态的影响程度,结果如图6所示。

## 3 结语

本文以武汉市为案例,开展了基于三生用地空间的 GDP 数据尺度下推,基于空间位置运用分步式算法测算了各街道适宜建设、已利用、可开发利用地规模及分布,评价了区域承载力状况,探索了造成承载力格局差异的因素机理。其中,在开发程度等相关参数阈值确定过程中,在综合考虑城市功能定位和适宜建设用地聚集程度上,根据数据的自然分级、数据标准差分布以及数据量分布百分比,并结合专家经验划定武汉市土地资源承载压力分级标准,用于评价武汉市中心城区、功能区以及新城区各街道土地资源承载压力等级。该参数阈值划定方法不仅考虑了评价单元的发展定

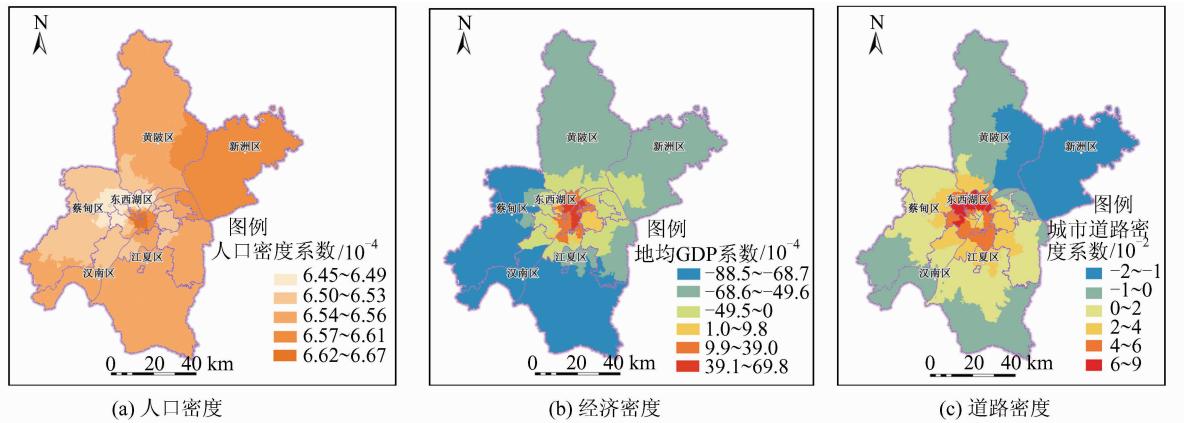


图6 各因素地理加权回归参数估计结果

Fig. 6 Spatial Pattern of Parameters of GWR Estimation

位和自然本底情况,还考虑了各评价单元所处的发展阶段。中心城区、功能区和新城区分别处于不同的发展阶段,其人口集聚程度、土地开发程度以及土地资源开发需求均呈不同的发展态势,在分析过程中不仅划定了不同的评价阈值,还对存量建设用地和后备建设用地进行了区分,从而更真实客观反映武汉市不同类型区域的土地资源承载力状况。

本文基于地理国情普查成果构建了城市土地资源承载能力评价技术方法,提出将土地资源承载力表示为在一定资源环境约束条件下的区域土地资源所能支撑的最大开发规模和强度,将城市土地资源承载力评价由传统的人口承载力测算转换为开发建设状态评价。采用基于空间位置的评价分析思路,不仅为城市承载力评价提供了一种新的分析思路,也为城市进一步制定精细化和差异化的建设用地资源配置和空间调控政策提供了科学依据。

## 参 考 文 献

- [1] Fan Jie, Liu Yi, Chen Tian, et al. The Key Strategies and Innovative Thinking for Optimization on Spatial Pattern of Urbanization in China[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2013, 28(1): 20-27 (樊杰, 刘毅, 陈田, 等. 优化我国城镇化空间布局的战略重点与创新思路[J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(1): 20-27)
- [2] UNESCO & FAO. Carrying Capacity Assessment with a Pilot Study of Kenya: A Resource Accounting Methodology for Exploring National Options for Sustainable Development [C]. The All-Africa Parliamentary Conference on Population and Development, Harare, Zimbabwe, 1986
- [3] Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Yan Huimin, et al. A Review of Resources and Environment Carrying Capacity Research Since the 20th Century: From Theory to Practice[J]. *Resource Science*, 2017, 39(3): 379-395 (封志明, 杨艳昭, 袁慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究:从理论到实践[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395)
- [4] Yang Liang, Lv Yao, Zheng Huayu. Review on Research of Urban Land Carrying Capacity [J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(5): 593-600 (杨亮, 吕耀, 郑华玉. 城市土地承载力研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 593-600)
- [5] Fan Jie. Recovery and Reconstruction After Yushu Earthquake: Evaluation of Carrying Capacity of Resources and Environment [M]. Beijing: Science Press, 2010 (樊杰. 玉树地震灾后恢复重建:资源环境承载能力评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010)
- [6] Shi Yishao, Wang Hefeng, Yin Changying, et al. Study on Estimation of Carrying Capacity of Resource and Environment in Metropolitan Area Shanghai [M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 2015 (石亿邵, 王贺封, 尹昌应, 等. 上海大都市地区资源环境承载力估算方法研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015)
- [7] Li Ting. Study of City Carrying Capacity of Resource and Environment [M]. Shenzhen: Haitian Press, 2010 (李听. 城市资源环境承载力研究[M]. 深圳: 海天出版社, 2010)
- [8] Meadows D H, Meadows D L, Randers J, et al. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind [M]. New York: Universe Books, 1972
- [9] Rees W E. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130
- [10] Waddell P. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2008, 74(1): 10-21

- Planning Association, 2002, 68 (3): 297
- [11] Higgins G M, Kassam A H, Naiken L, et al. Potential Population Supporting Capacities of Lands in Developing World[C]//Bogue D J, Arriage E E, Anderton D L. Environment and Economy. Chicago: Social Development Center, 1993, 8: 26-23-26-28
- [12] Comprehensive Survey of the Chinese Academy of Sciences Natural Resources Committee. Study on Productivity and Population Carrying Capacity of Land Resources in China [M]. Beijing: China Renmin University Press, 1991 (中国科学院自然资源综合考察委员会. 中国土地资源生产能力及人口承载量研究[M]. 北京: 中国人大出版社, 1991)
- [13] Liu Lei. Research on Regional Carrying Capacity Evaluation of Resources and Environment and Strategic Choice of Territory Planning and Development [M]. Beijing: The People's Publishing House, 2013 (刘蕾. 区域资源环境承载力评价与国土规划开发战略选择研究——以皖江城市带为例[M]. 北京: 人民出版社, 2013)
- [14] Ma Yun, Gan Quan, Huang Qin, et al. Exploration and Practice of Carrying Capacity of Resource and Environment in Sichuan Province [M]. Beijing:
- Science Press, 2017(马赟, 甘泉, 黄勤, 等. 四川省资源环境承载力监测预警的实践与探索[M]. 北京: 科学出版社, 2017)
- [15] Zhong Xiaoqing, Zhao Yongliang, Zhong Shan, et al. Dynamic Analysis on China's Ecological Footprint Supply and Demand from 1978—2004 [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(11): 1 022-1 026 (钟晓青, 赵永亮, 钟山, 等. 我国1978~2004年生态足迹需求与供给动态分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(11): 1 022-1 026)
- [16] Li Deren, Ding Lin, Shao Zhenfeng. Reflections on Issues in National Geographical Conditions Monitoring [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(2): 143-147 (李德仁, 丁霖, 邵振峰. 关于地理国情监测若干问题的思考[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(2): 143-147)
- [17] Li Deren, Ma Jun, Shao Zhenfeng. Innovation in the Census and Monitoring of Geographical National Conditions [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(1): 1-9 (李德仁, 马军, 邵振峰. 论地理国情普查和监测的创新[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(1): 1-9)

## Carrying Capacity Evaluation of Land Resources in Wuhan Based on the Geographical Condition Monitoring

LUO Minghai<sup>1</sup> JIANG Zilong<sup>2</sup> CHENG Qi<sup>1</sup> QIN Sixian<sup>1</sup> YANG Nana<sup>3</sup> ZHANG Xinyue<sup>3</sup>

1 Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China

2 The College of Urban and Environmental Science, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

3 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** This paper conduct a research on carrying capacity evaluation methods and framework of urban land resources based on data from the geographic condition monitoring of Wuhan City. Firstly, we divide the space type according to the land use and scale down the economical statistic indexes into street scale. Secondly, we establish a comprehensive carrying capacity assessment of urban land resources based on the analysis of the construction suitable land, the constructed land and the construction available land. Finally, geographic weighted regression (GWR) tool is adapted to investigate influence of factors including urban population, economy and traffic. The use of GWR transforms the evaluation of urban land resources carrying capacity from traditional population capacity to the evaluation of development status and capability, which not only provides a new way of analysis for the evaluation of urban carrying capacity, but also offers scientific basis for making accurate and differentiated policy of urban construction land resource allocation.

**Key words:** geographic condition monitoring; land carrying capacity; spatial planning; development intensity

**First author:** LUO Minghai, PhD, senior engineer, specializes in the theories and methods of geographical condition monitoring. E-mail: Luominghai@163.com

**Corresponding author:** JIANG Zilong, PhD, lecturer. E-mail: zljiang@mail.ccnu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41471109; the Fundamental Research Funds for the Central Universities, No. 2042016kf0066; Geographical Condition Monitoring of State Key Laboratory of Surveying and Mapping of Geographic Information Council Foundation, No. 2016NGCM10.