

引用格式:何宗菲, 於家, 陈芸, 等. 城市建设用地的潜在生态适宜性评价: 以上海市宝山区为例[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 558-569. [He Z F, Yu J, Chen Y, et al. Potential ecological suitability evaluation of urban construction land: A case study in Baoshan District, Shanghai[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 558-569.] DOI: 10.18402/resci.2020.03.14

# 城市建设用地的潜在生态适宜性评价

## ——以上海市宝山区为例

何宗菲<sup>1</sup>, 於家<sup>1</sup>, 陈芸<sup>2</sup>, 温家洪<sup>1</sup>, 尹占娥<sup>1</sup>

(1. 上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234; 2. 澳大利亚联邦科学与工业研究组织 (CSIRO) 水土研究所 (Land & Water), 堪培拉 ACT 2601, 澳大利亚)

**摘要:** 在城市快速扩张的区域, 传统基于土地利用现状的生态适宜性评价方法在支持未来城市建设用地的开发决策方面具有一定的局限性。本文首次提出了城市建设用地潜在生态适宜性评价的概念和方法, 把模拟预测得到的未来城市土地利用分布作为重要因子加入生态适宜性评价框架, 生成更适合于未来城市建设用地规划决策的潜在生态适宜性评价结果。以上海市宝山区为例, 空间化展现城市用地扩张背景下的2050年城市建设用地潜在生态适宜性分布情况, 并与传统生态适宜性评价结果进行空间量化对比分析。分析结果表明, 潜在生态适宜性评价有效降低了不适宜及较不适宜开发用地与未来城市建成区重叠度较高的矛盾(分别由9.74%和22.7%降低为0.0%和14.5%), 能更好地匹配城市开发边界规划和生态空间规划, 突显未来发展过程中的生态保护重点区域。本文实证了新方法的科学性和有效性, 该方法能更好地为城市扩张背景下的生态城市规划提供决策支持。

**关键词:** 潜在生态适宜性评价; 城市建设用地; 城市扩张; 元胞自动机; 上海市宝山区

DOI: 10.18402/resci.2020.03.14

## 1 引言

近年来, 随着中国城市化进程的飞速发展, 城市建设用地迅速扩张, 严重地影响了城市生态保护和可持续发展<sup>[1]</sup>。如何合理规划城市建设用地, 缓解城市建设用地扩张与生态安全之间的矛盾, 实现可持续的集约化使用, 已成为城市规划工作者和相关学者的研究重点<sup>[2-4]</sup>。在目前的城市生态规划研究工作中, 生态适宜性评价是一项基础性的工作, 对科学合理地分析城市建设用地开发对城市生态的影响程度, 进而对城市建设用地的开发和规划提供决策支持具有重要意义<sup>[5]</sup>。

目前, 国内外学者围绕土地生态适宜性评价已开展了一系列相关的学术研究<sup>[6,7]</sup>, 涵盖耕地质量评价<sup>[8]</sup>、城镇开发<sup>[9]</sup>、城区重建<sup>[10]</sup>、植被保护<sup>[11]</sup>、绿色基础

设施建设<sup>[12]</sup>、药材种植区开发<sup>[13]</sup>、动物生境评估<sup>[14,15]</sup>等广泛的科研及实践工作。近年来人工智能方法和模糊理论也被引入生态适宜性评价中, 使得评价过程更加智能化, 评价的结果能够满足不同情景的需求。这些方法包括人工神经网络<sup>[16]</sup>、蚁群算法<sup>[17]</sup>、元胞自动机<sup>[18]</sup>、灰色关联度分析<sup>[19]</sup>、模糊综合评价<sup>[20]</sup>等。

城市建设用地生态适宜性评价领域, 国内外学者开展了大量相关研究<sup>[21-25]</sup>。Li等<sup>[26]</sup>采用最小累积阻力模型计算得出满足社会经济发展和生态保护需求的生态用地量, 结合不同的评价指标建立评价模型, 分析了生态适宜用地的分布特征。Sawalha<sup>[27]</sup>着重考虑对农业用地的保护, 分析了以色列希伯伦市的城市用地生态适宜性, 并针对当前城市的无序扩展模式, 提出了决策建议。Malmir等<sup>[28]</sup>综合模糊逻

收稿日期: 2019-02-27; 修订日期: 2019-06-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201548); 国家社会科学基金重大项目(18ZDA105); 上海师范大学科研发展基金项目(KF201908; KF201852)。

作者简介: 何宗菲, 男, 浙江湖州人, 硕士研究生, 研究方向为生态适宜性评价与土地利用变化模拟。E-mail: hzfsean@163.com

通讯作者: 於家, 男, 上海市人, 博士, 副教授, 研究方向为土地适宜性评价、空间优化。E-mail: yujia@shnu.edu.cn

2020年3月

辑和网络分析法,引入了生物物理和社会经济方面的27个评价因子,对伊朗阿瓦兹县城市发展用地的生态适宜性进行评价,论证了提出的方法在城市发展用地上的适用性。赵腾等<sup>[29]</sup>结合雄安新区特色小镇“生态—生产—生活”协调发展的要求,采用层次分析方法,对雄安新区进行生态适宜性评价,并形成生态功能分区。王宪恩等<sup>[30]</sup>构建了网络分析法与GIS耦合的城市建设用地生态适宜性耦合评价模型,并对长春市建设用地生态适宜性开展评价。

从上述研究可以看出,建设用地生态适宜性评价作为研究城市建设问题的重要参考,在城市规划和生态保护等方面作出了一定的贡献,学者们取得了不少研究成果,推动了该研究领域的发展<sup>[1]</sup>。但大多数传统生态适宜性研究以土地利用和生态环境的现状为基础,对城市土地利用的动态变化缺少考虑,在支持快速城市化地区未来城市建设用地的规划和开发方面具有一定局限性。因此,在城市扩张模拟与预测的基础上探讨未来的生态适宜性,以提高城市建设用地生态适宜性评价结果的实用性和前瞻性,具有较强的实际意义和研究价值。

基于当前的研究现状,本文首次提出“城市建设用地潜在生态适宜性评价”的概念与方法。概念上,城市建设用地潜在生态适宜性评价是一种针对城市建设用地开发开展的,具有一定前瞻性的生态

适宜性评价。其考虑城市扩张对城市生态环境及其服务价值的显著影响,尤其适用于评价城市扩张较快区域的生态适宜性,对未来城市建设用地的开发决策提供更为合理与具有前瞻性的生态适宜性空间评价结果。方法上,基于国内外城市建设用地生态适宜性评价相关研究成果<sup>[31,32]</sup>,加入城市扩张模拟<sup>[33,34]</sup>手段,预测未来情景下的土地利用分布数据,以弥补传统生态适宜性评价中仅使用土地利用现状数据作为条件的不足。并以上海市宝山区为研究区进行案例分析,验证所提出方法的有效性和实用性。

## 2 研究区与数据来源

### 2.1 研究区概况

研究区选择了位于上海市宝山区内301.6 km<sup>2</sup>的陆域面积(图1)。宝山区全境东西长56.15 km,南北宽约23.08 km,全区地势平坦,濒临长江,地理位置优越,生态环境良好。研究区内包括3个街道、9个镇和1个工业区,集聚了上海市1/10的人口,城市化速度较快,具有较好的发展前景,在未来的发展规划中,宝山区将完成从中心拓展区到主城区的转变。

### 2.2 数据来源

研究区数据将用于模拟城市扩张和生态适宜性评价2个部分。数据来源包括上海市宝山区

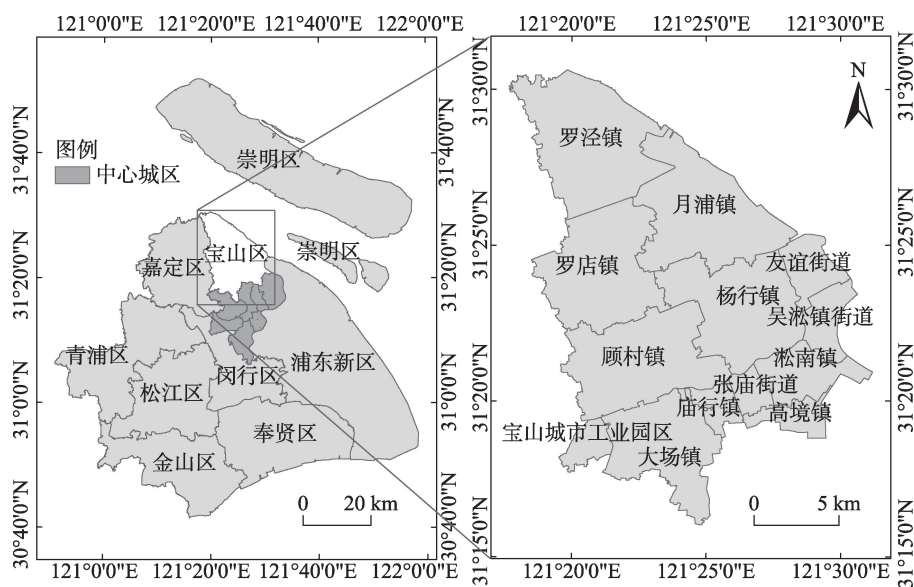


图1 上海市宝山区地理位置示意图

Figure 1 Location of Baoshan District, Shanghai, China

1990、1995、2000、2003、2006、2009和2015年的土地利用矢量图,宝山区内商业区分布数据、地铁站点分布数据、中心城区分布数据、主干道分布数据、DEM数据、2015年上海市宝山区统计年鉴、2017—2035年上海市宝山区总体规划等文件。数据处理时统一将研究区不同类型的空间数据转换为栅格类型数据,像元分辨率为50 m。

### 3 研究方法

本文提出的城市建设用地潜在生态适宜性评价是以城市快速扩张区域的城市建设用地为对象,以未来城市土地利用分布和格局为情景前提,开展的针对城市建设用地开发的生态适宜性评价工作。技术上,本文将城市扩张模拟结果作为生态适宜性评价中的重要影响因子,形成新的城市建设用地潜在生态适宜性评价方法。整个研究方法的技术路线如图2所示,实现过程分为以下3个部分。

#### 3.1 城市扩张模拟

该部分以多年份历史土地利用空间数据及城市扩张影响因子空间数据为基础,基于元胞自动机模型,进行城市扩张模拟,生成当前年份的“当前土地利用分布模拟图”。将该图与“当前实际土地利用分布图”进行对比和精度检验。如果精度不能满足要求,则对模拟参数进行优化,并重新执行城市扩张模拟过程,直到模拟精度满足要求。提取上述优化过的模拟参数,结合预测的未来目标年份城市建设用地增长量,再次进行城市扩张模拟,得出“未来目标年份土地利用分布模拟图”。以该图为准生成“未来城市建成区因子”,作为生态适宜性评价中的重要评价因子,参与城市建设用地潜在生态适宜性评价工作。

##### 3.1.1 多年份土地利用数据处理

将上海市宝山区土地利用数据按照土地利用分类体系合并为交通用地、农用地、城市用地、未利用地、林地和水域6种用地类型,并转换为像元分辨率为50 m的栅格数据。宝山区1995、2003、2009和2015年土地利用空间数据如图3所示,2003、2009和2015年的土地利用空间分布数据将参与城市扩张模拟分析。

##### 3.1.2 城市扩张影响因子空间数据处理

城市扩张模拟中,需要根据各类城市扩张影响

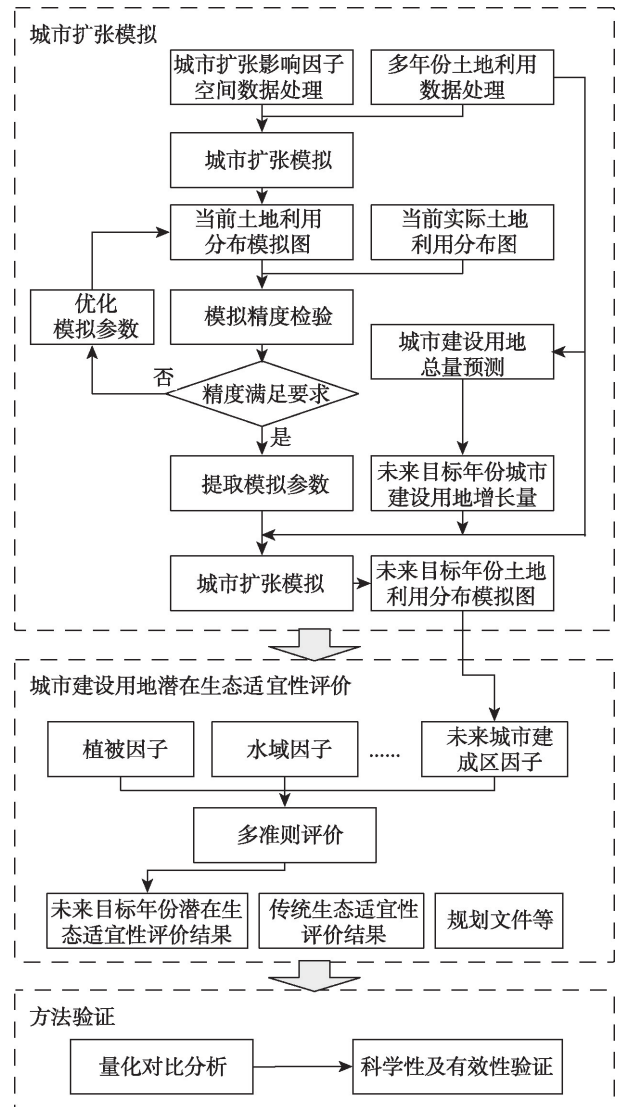


图2 城市建设用地潜在生态适宜性评价技术路线

Figure 2 Technical roadmap of evaluating the potential ecological suitability of urban construction land

因子的空间数据,分析土地利用变化机理,挖掘土地利用变化转换规则。本文选取的影响因子根据行政中心数据、道路数据、地铁站点数据和商业中心数据等城市基础数据来生成。影响因子空间数据包括“行政中心距离”“商业中心距离”“道路距离”和“地铁站点距离”栅格图,距离变量归一化处理成0~1的浮点数值,像元分辨率统一为50 m。

##### 3.1.3 城市建设用地总量预测

在开展未来目标年份的城市扩张模拟前,需要对目标年份的城市建设用地总量进行预测。总量预测需结合实际研究区的社会经济发展水平和土地利用规划政策,合理预测未来城市建设用地的增

2020年3月

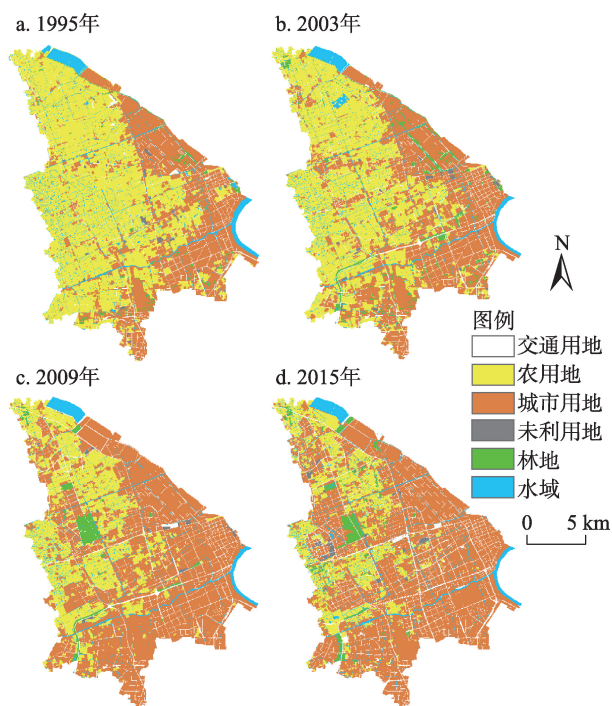


图3 1995、2003、2009和2015年上海市宝山区土地利用空间分布图

Figure 3 Land use map of Baoshan District, Shanghai, China in 1995, 2003, 2009 and 2015

量与规模。采用时间序列分析法,通过对不同年份的城市建设用地总量的量化统计,分析其变化趋势,并通过线性及非线性拟合来预测未来情景下的城市建设用地总量。通过一系列线性及非线性拟合结果的对比,分析不同拟合结果中城市建设用地总量相比实际年份的城市建设用地总量的变化情况,同时结合《上海市宝山区总体规划暨土地利用总体规划(2017—2035)》中对2035年城市建设用地的开发与规划要求,最终选取合适的拟合函数对城市建设用地总量变化趋势进行拟合,并确定未来目标年份的城市建设用地总量。

选取的未来目标年份为2050年,为预测该年城市建设用地总量,提取了1990—2015年共6个年份的城市建设用地总量数据,并在此基础上开展城市建设用地总量变化的线性和非线性拟合(图4)。拟合中假设了3种城市建设用地增长情景,分别是增长趋缓、增长平稳和增长加速,建立了3种情景下的总量预测函数模型,并用2035年城市建设用地规划总量对总量预测结果进行分析和检验。最终,选取

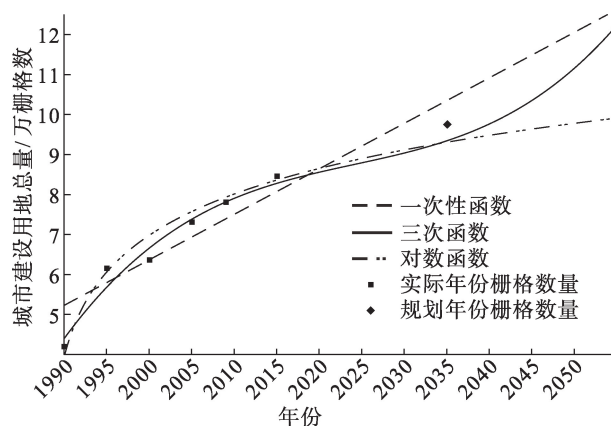


图4 3种情景下的上海市宝山区城市建设用地总量预测

Figure 4 Prediction of total urban construction land under three scenarios for Baoshan District, Shanghai, China

了对数函数模型进行总量预测,2050年上海市宝山区城市建设用地总量的预测结果为244.5 km<sup>2</sup>。

### 3.1.4 基于ANN-CA的城市扩张模拟

基于已经获取的多年份的土地利用数据、城市扩张影响因子数据和城市建设用地总量预测结果,可进一步实现研究区的城市扩张模拟。城市扩张模拟方法采用基于人工神经网络的元胞自动机模型(ANN-CA)<sup>[35]</sup>。ANN-CA模拟分为模型训练阶段和模型模拟阶段,在模型训练阶段通过抽样数据训练人工神经网络,得出不同土地利用类型间的转换概率<sup>[36]</sup>;模型模拟阶段,设定土地利用转换概率阈值,通过比较研究区内所有栅格的土地利用转换概率与阈值,完成栅格的土地利用类型转换,生成城市扩张模拟结果。

本文中的城市扩张模拟通过GeoSOS软件实现。运用GeoSOS软件中的土地利用模拟模块,导入2003、2009和2015年的土地利用栅格数据,并加入城市扩张影响因子空间数据,将城市建设用地变化量设置为2015年城市建设用地总量与2009年城市建设用地总量的差值,通过执行模拟过程,并反复优化模拟参数,最终生成2015年的土地利用分布模拟图(图5)。

2015年的土地利用分布模拟图的模拟精度通过模拟正确率(PCM)和Kappa系数<sup>[37]</sup>来评估。将该图和2015年实际土地利用分布图做比较,计算得到PCM为0.812, Kappa系数为0.652。根据Cohen提出的Kappa系数分类评价标准<sup>[38]</sup>(表1),该模拟结果

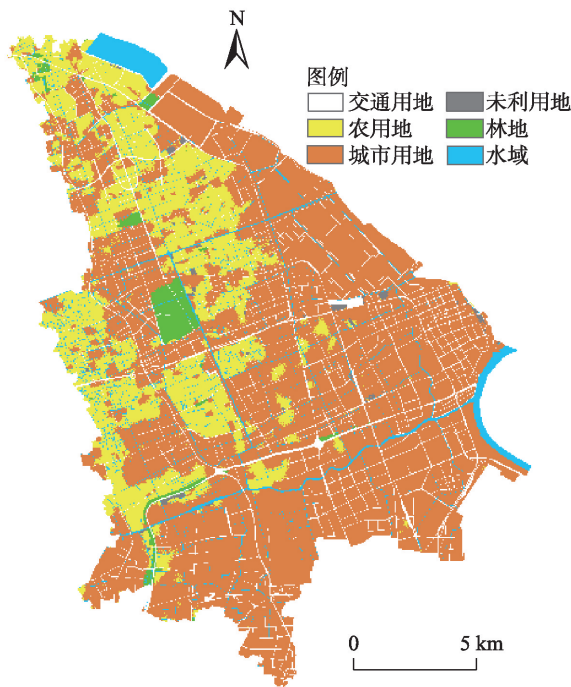


图5 2015年上海市宝山区的土地利用分布模拟图

Figure 5 Simulation result of land use distribution in Baoshan District, Shanghai in 2015

表1 Kappa系数分类标准

Table 1 Classification standard of Kappa coefficient

Kappa	<0.0	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
一致性程度	很差	微弱	弱	适中	显著	最佳

Kappa系数一致性程度显著,模拟效果较好。

### 3.1.5 2050年城市土地利用分布模拟图的生成

在模拟了2015年上海市宝山区土地利用空间分布并获得了较好的模拟精度的基础上,进一步模拟2050年的土地利用空间分布。利用对2050年城市建设用地总量的预测结果,得出该年城市建设用地相比2015年城市建设用地的增量(栅格图中共13110个栅格单元)。通过进一步的城市扩张模拟,生成2050年宝山区土地利用分布模拟图(图6)。提取该图中的城市用地,生成2050年未来建成区因子,作为潜在生态适宜性评价体系中的重要评价因子。

### 3.2 城市建设用地潜在生态适宜性评价

该部分主要构建城市建设用地潜在生态适宜性评价体系。该评价体系中,除了未来城市建成区因子外,需结合研究区的实际情况,合理选取其他

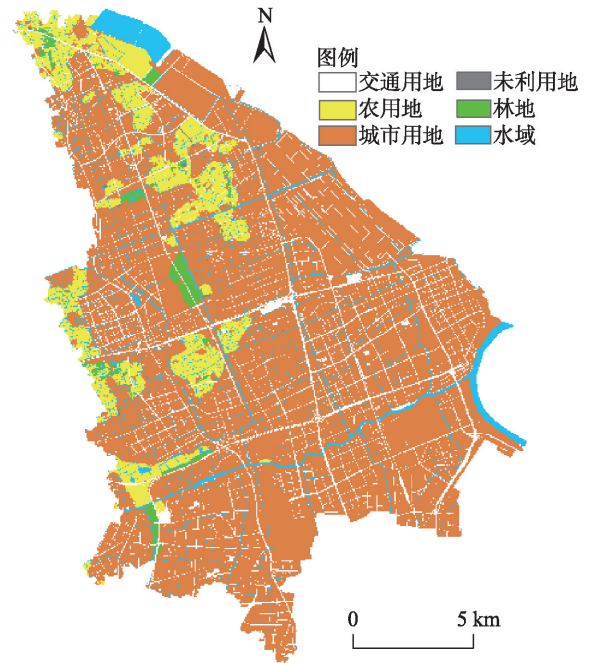


图6 2050年上海市宝山区城市土地利用分布模拟图

Figure 6 Simulation result of land use distribution in Baoshan District, Shanghai in 2050

潜在生态适宜性评价因子。完成评价体系构建后,运用多准则评价方法,对研究区域内的潜在生态适宜性进行空间评价,将评价结果分级,形成未来目标年份的潜在生态适宜性评价结果图。将评价因子中的未来城市建成区因子替换为当前城市建成区因子,执行评价过程,生成传统生态适宜性评价结果图。

#### 3.2.1 潜在生态适宜性评价因子的选取

城市建设用地潜在生态适宜性评价因子的选取直接影响着评价结果的合理性,所以在选取评价因子的时候应结合主导性、代表性和可计量性的原则选取<sup>[39]</sup>。宝山区城市建设用地潜在生态适宜性评价中,具体的自然生态和社会因子选取了“地形”“水域”“植被”“人口密度”“未来城市建成区”和“交通”6个影响因子,选取的原因具体阐述如下:

(1)地形因子:地形指的是地表的形态,地形在城市的建设中起着重要的影响。一般来说,平坦的地形往往更利于城市的开发与建设。

(2)水域因子:上海市宝山区地处黄浦江和长江的交汇点,堪称上海的“水路门户”,区内还有盖

2020年3月

藻浜、北泗塘、杨盛河、潘泾等小河流。水系对于维持生态平衡和生态安全起着重要作用。因此,城市建设用地的规划开发需协调好与水系之间的关系。

(3)植被因子:宝山区内天然植被较少,绝大部分是人工植被,但植被的存在与保护是保障城市生态系统服务的基础,在保护城市生物多样性和改善生态环境方面具有重要作用,在未来城市建设用地的开发建设中必须进行保护。

(4)人口密度因子:人口密度反映了单位土地面积上的人口数量,人口的分布往往与城市的发展建设有着密切的关联,在一定程度上也能影响城市建设用地空间演化的趋势。

(5)未来城市建成区因子:未来城市建成区因子是潜在生态适宜性评价中最为重要的因子之一,是使其不同于传统生态适宜性评价的关键。本文中,未来城市建成区因子来源于2050年上海市宝山区城市土地利用模拟结果中的城市用地。通过加入该预测性的评价因子,使生态适宜性评价具有一定的前瞻性。

(6)交通因子:交通路网对城市建设起着巨大的推动作用,较高的路网密度、交通可达性和便捷度能形成该区域的交通区位优势,影响着城市建设用地的开发建设。

### 3.2.2 潜在生态适宜性评价方法

城市建设用地潜在生态适宜性评价是一种量化的空间多准则评价方法,在研究过程中需为选取的评价影响因子确定权重。通常确定权重的方法有PSR模型法<sup>[40]</sup>、德尔菲法<sup>[41]</sup>、层次分析法<sup>[42]</sup>和模糊综合评价法<sup>[43]</sup>。本文选择了层次分析法,该方法是一个系统的、综合性思维的决策分析方法,使研究者从问题的本质、要素的理解出发得出定量的分析和判断。该方法一般分为下面几个基本步骤:建立层次结构模型,构造成对比较矩阵,计算权向量并做一致性检验,计算组合权向量并做组合一致性检验,最后生成满足一致性检验的影响因子的权重。

### 3.2.3 评价影响因子的等级划分及因子权重的确定

本文中评价因子的适宜性等级分为5级,用1~5的自然数分值代表城市建设用地的适宜性高低。各评价因子的权重通过层次分析法确定,宝山区的城市建设用地潜在生态适宜性评价因子的等

级划分如表2所示。

评价过程中采用多因子综合评价模型<sup>[44]</sup>对结果进行评价,评价影响因子中的“水域”“植被”“未来城市建成区”和“交通”由2050年上海市宝山区城市土地利用模拟结果中提取。根据各影响因子的单因子等级分值和权重进行加权叠加计算,并将评价结果按最终的综合评价分值分为5类:适宜开发用地、较适宜开发用地、基本适宜开发用地、较不适宜开发用地、不适宜开发用地。另外,为与传统的生态适宜性方法比较,将方法流程中的未来城市建成区因子替换为2015年的城市建成区因子,“水域”“植被”“交通”因子由2015年实际土地利用分布图中提取,并保持其他评价因子和因子权重一致,生成2015年城市建设用地的传统生态适宜性评价结果。

### 3.3 方法验证

将未来目标年份潜在生态适宜性评价结果(以下简称“潜在结果”)与传统生态适宜性评价结果(以下简称“传统结果”)进行对比分析,同时结合未来目标年份土地利用分布开展空间分析,验证新方法

表2 上海市宝山区城镇建设用地潜在适宜性评价各因子的适宜性等级划分标准

Table 2 Suitability classification standard of each criterion for potential ecological suitability evaluation of urban construction land in Baoshan District, Shanghai

因子	适宜性程度	分类条件	单因子分值	权重
高程	适宜	0~2 m	4	0.0632
	最适宜	2~3 m	5	
河流	最不适宜	河流本身	1	0.1761
	不适宜	60 m内区域	2	
植被	最不适宜	林地	1	0.2656
	不适宜	农田	2	
	最适宜	非植被区	5	
人口密度	最不适宜	人口密度低	1	0.2682
	不适宜	人口密度较低	2	
	较不适宜	人口密度中等	3	
	适宜	人口密度较高	4	
未来城市建成区	最适宜	建成区区域	5	0.1301
	较不适宜	非建成区区域	3	
道路	最适宜	250 m内区域	5	0.0968
	较不适宜	250~500 m区域	3	
	最不适宜	>500 m区域	1	

法的实用性和有效性。选择典型区域——宝山区罗店镇的案例,对比分析罗店镇生态适宜性评价的“潜在结果”与“传统结果”,结合上海市规划文件,讨论城市建设用地潜在生态适宜性评价相比传统生态适宜性评价在支持城市建设用地的开发决策方面的优势。

## 4 结果与分析

### 4.1 生态适宜性评价结果对比

2015年城市建设用地的传统生态适宜性评价结果,如图7a所示,为“传统结果”;通过潜在生态适宜性评价过程,预测得到的2050年潜在生态适宜性评价结果如图7b所示,为“潜在结果”。对比“传统结果”与“潜在结果”可以发现,未来宝山区在城市建设用地扩张的趋势下,生态适宜性格局有显著的区别。

将对比结果进行量化可知(图8)，“传统结果”中,不适宜开发用地面积 $61.0\text{ km}^2$ ,已超过2035年规划中的非建成区面积,41.1%落在2050年城市建成区内,与其重叠度为9.74%;较不适宜开发用地的面积为 $72.4\text{ km}^2$ ,空间分布较广,没有聚焦到区域内生态敏感性较高的区域,与城市建成区的重叠度为22.7%;另外,适宜和较适宜开发用地所占面积总和仅为 $109.3\text{ km}^2$ ,占总用地的36.23%,与已有城市建设用地在空间上的重叠度较低。分析“潜在结果”

可知,不适宜开发用地的面积 $22.4\text{ km}^2$ ,与2050年城市建成区重叠度降为0.0%;较不适宜开发用地分布更为集中,面积为 $65.5\text{ km}^2$ ,与城市建成区的重叠度降低为14.5%;适宜和较适宜开发用地所占面积总和为 $125.2\text{ km}^2$ ,占总用地面积的41.52%,与实际已有城市建设用地具有较高的空间重叠度。

参考《上海市宝山区总体规划暨土地利用总体规划(2017—2035)》文件中的2035年城市开发边界和生态空间规划,开展进一步的空间量化对比分析。将“潜在结果”及“传统结果”中的不适宜开发用地与城市开发边界图、生态空间规划图进行叠置分析,发现“潜在结果”中的不适宜开发用地有71.57%落在规划的开发边界外,而“传统结果”仅58.85%,所以“潜在结果”与2035年城市开发边界规划能更好地匹配。另外,与生态空间规划图叠置后发现,“潜在结果”中的不适宜开发用地落在规划的生态空间内的比率比“传统结果”高14.35%,所以“潜在结果”与生态空间规划更为匹配。

### 4.2 典型区域案例验证

为了更进一步从小尺度上分析城市建设用地潜在生态适宜性评价结果的意义,本文选取了评价结果中的典型区域——宝山区罗店镇进行详细分析(图9)。2050年该区域预测的非城市用地为 $12.948\text{ km}^2$ ,而罗店镇“传统结果”中的不适宜开发

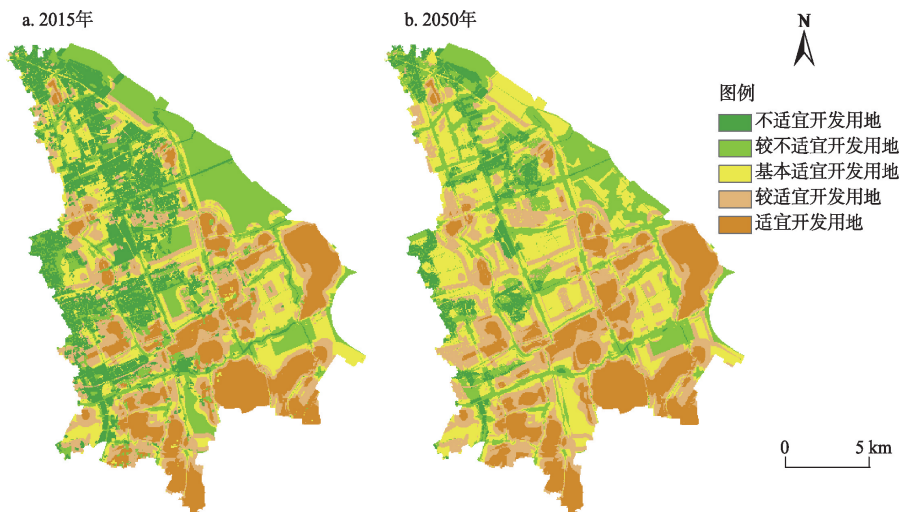


图7 2015和2050年上海市宝山区城市建设用地生态适宜性评价结果对比

Figure 7 Ecological suitability evaluation results of urban construction land in Baoshan District, Shanghai, China in 2015 and 2050

2020年3月

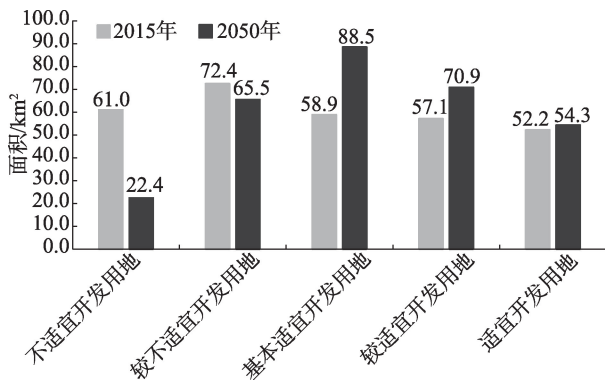


图8 2015和2050年上海市宝山区城市建设用地潜在生态适宜性评价结果量化对比

Figure 8 Quantitative comparison of potential ecological suitability evaluation results of urban construction land in Baoshan District, Shanghai, China in 2015 and 2050

用地面积显著大于该面积,为18.598 km<sup>2</sup>。通过图9b与图9c的空间叠置分析发现,上述不适宜开发的用地中,包含2050年城市建设用地的面积为8.425 km<sup>2</sup>;而“潜在结果”中,不适宜开发用地面积为7.678 km<sup>2</sup>。将图9b与图9d叠置分析可发现,不适宜开发的用地中包含2050年城市建设用地的面积降低为0 km<sup>2</sup>。由此可见,潜在生态适宜性评价相比传统生态适宜性评价而言,降低了不适宜开发用地与未来城市建设用地间重叠的矛盾。

## 5 讨论与结论

### 5.1 讨论

根据上文分析可知,“传统结果”中有着大量的不适宜开发用地,然而在城市用地扩张的大背景

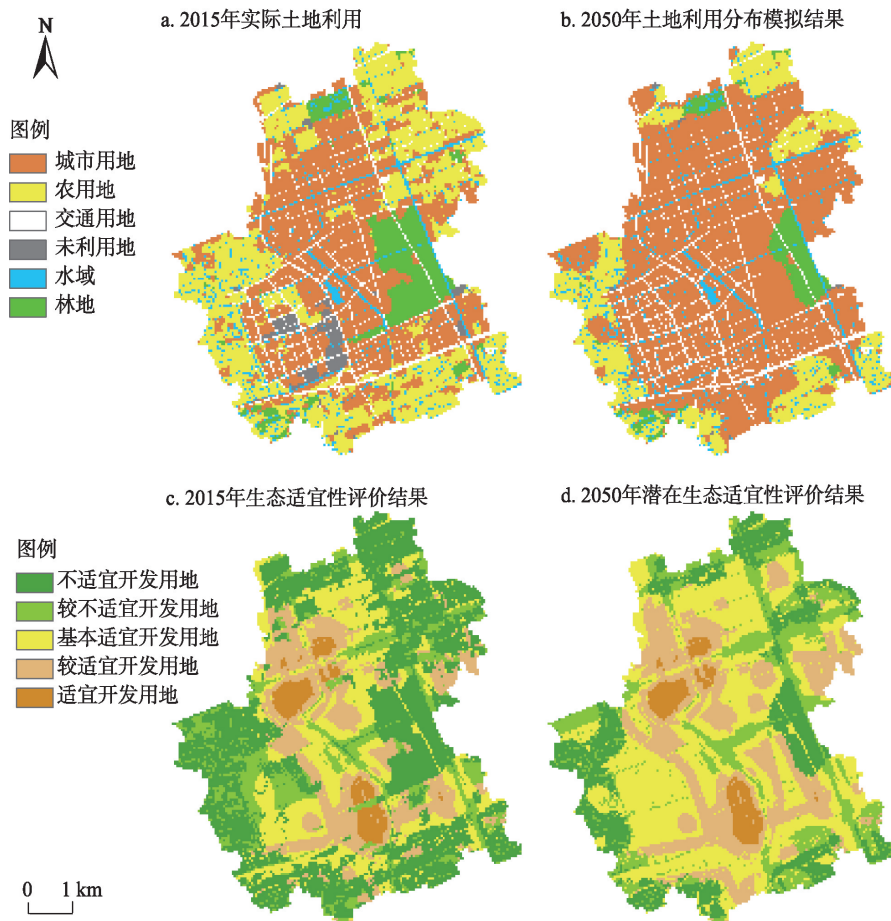


图9 上海市宝山区罗店镇的土地利用分布和城市建设用地生态适宜性评价结果(a. 2015年实际土地利用; b. 2050年土地利用分布模拟结果;c. 2015年生态适宜性评价结果;d. 2050年潜在生态适宜性评价结果)

Figure 9 Land use distribution and resultant map of ecological suitability evaluation of Luodian Town, Baoshan District, Shanghai. (a. Actual land use of 2015; b. Simulated land use of 2050; c. Ecological suitability evaluation result of 2015; d. Potential ecological suitability evaluation result of 2050)



下,部分不适宜开发用地区域已经向城市建设用地发生了转换,因此该评价结果已经不能有效地指导未来与城市建设用地开发相关的具体生态规划工作。而“潜在结果”充分考虑了未来城市建成区的空间格局,将未来城市建成区作为一个重要的评价因子加入到生态适宜性评价框架中,使得评价结果更能突显未来发展过程中的生态保护重点区域,相关人员可基于该评价结果对重点区域进行提前规划和保护。与上海市宝山区土地利用总体规划文件中的空间量化要求进行对比,“潜在结果”相比“传统结果”能够更好地与2035年城市开发边界规划及生态空间规划相匹配,并为更远期的城市规划提供决策参考。从上海市宝山区罗店镇小尺度分析以及图9可以看出,城市建设用地潜在生态适宜性评价结果能够明确划分出需要重点保护的不适宜开发与较不适宜开发区域,并且这些区域能够与未来的城市生态用地的空间分布相匹配。因此,该评价结果能够在小尺度上标识需要重点保护的区域。而传统生态适宜性评价的结果,特别是不适宜开发区域的空间分布,与城市建设用地快速扩张后的空间分布存在较高的重叠度,较大程度上降低了该评价结果在城市建设用地开发与规划中的实际应用价值。因此,在城市快速扩张的背景下,本文提出的城市建设用地潜在生态适宜性评价相比传统的评价方法具有比较明显的优势。

本文提出的方法能够适用于不同发展阶段的研究区域中城市建设用地生态适宜性评价工作。本文选取了上海市宝山区作为研究区,由于该区域的城镇化率较高,研究中更加强调对不适宜开发与较不适宜开发区域的保护,防止城市建设用地对城市生态用地的侵占。对于城镇化水平较低的其他研究区来说,本文提出的评价方法同样能够适用。对这类研究区来说,未来城市建设用地的投建与开发仍然是其主要的发展趋势。应用本方法除了能够帮助其划定重点保护区域外,还能够根据评价获得的“适宜开发用地”空间分布,明确未来适合城市建设用地开发的区域,并为新增建设用地的空间规划提供决策支持,为促进城市建设用地的空间集约和紧凑布局提供参考依据。

## 5.2 结论

本文提出了城市建设用地的潜在生态适宜性评价方法,即基于未来土地利用格局的城市建设用地生态适宜性评价方法,并以上海市宝山区为区域开展案例研究。运用ANN-CA模型,对城市扩张过程开展模拟,并在此基础上进一步构建了面向城市建设用地开发的潜在生态适宜性评价体系,生成了城市建设用地潜在生态适宜性评价结果。通过进一步的方法验证,得到如下结论:

(1)通过研究区的案例研究与分析,验证了首次提出的城市建设用地的潜在生态适宜性评价概念的科学性,以及提出的评价方法的有效性,实证了该方法能够适用于评价城市扩张较快区域的生态适宜性,对未来城市建设用地的开发决策能提供具有前瞻性的生态适宜性空间评价结果。

(2)案例中,相比传统生态适宜性评价结果,城市建设用地的潜在生态适宜性评价能够有效降低不适宜和较不适宜开发用地与未来城市建成区之间重叠度高的矛盾,使不适宜开发区域与未来需重点保护的生态空间能更好地匹配。

(3)研究区潜在生态适宜性评价结果与地方性规划数据的空间量化对比发现,该评价结果能够更好地匹配其城市开发边界规划和生态空间规划,有利于为生态城市的开发建设提供更合理的决策支持。

但是本文的案例仍然由于数据可获得性的原因,存在一定局限性,例如没有加入植被多样性因子。在后续的研究中,评价因子的选取仍有改进空间,进一步增强评价结果的可靠性。另外,城市建设用地潜在生态适宜性评价方法的运用需满足一定的区域发展前提条件,不能完全代替传统生态适宜性评价工作,在城市规划与研究工作中可以根据研究区的实际情况选定合适的研究方法和方案。

## 参考文献(References):

- [1] 杨轶, 赵楠琦, 李贵才. 城市土地生态适宜性评价研究综述[J]. 现代城市研究, 2015, (4): 91-96. [Yang Y, Zhao N Q, Li G C. Study on urban land ecological suitability assessment[J]. Modern Urban Research, 2015, (4): 91-96.]
- [2] Liang J, Zhong M Z, Zeng G M, et al. Risk management for optimal land use planning integrating ecosystem services values: A case

2020年3月

- study in Changsha, Middle China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 579: 1675–1682.
- [3] Martin D M, Mazzotta M, Bousquin J. Combining ecosystem services assessment with structured decision making to support ecological restoration planning[J]. *Environmental Management*, 2018, 62(3): 608–618.
- [4] Panagopoulos T, González D J A, Bostenaru D M. Urban planning with respect to environmental quality and human well-being[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 208: 137–144.
- [5] 梁涛, 蔡春霞, 刘民, 等. 城市土地的生态适宜性评价方法: 以江西萍乡市为例[J]. *地理研究*, 2007, 26(4): 782–788. [Liang T, Cai C X, Liu M, et al. Study on methodology of ecological suitability assessment of urban landuse: An example of Pingxiang[J]. *Geographical Research*, 2007, 26(4): 782–788.]
- [6] Beanlands G E, Duinker P N. Ecological framework for environmental impact assessment in Canada[J]. *Atmospheric Environment*, 1983, 17(11): 2376–2377.
- [7] Bydekerke L, Van Ranst E, Vanmechelen L. Land suitability assessment for cherimoya in southern Ecuador using expert knowledge and GIS[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 1998, 69(2): 89–98.
- [8] Liu Y L, Jiao L M, Liu Y F, et al. A self-adapting fuzzy inference system for the evaluation of agricultural land[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 40: 226–234.
- [9] Gong J Z, Liu Y S, Chen W L. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(2): 464–472.
- [10] Wang H, Shen Q P, Tang B, et al. An integrated approach to supporting land-use decisions in site redevelopment for urban renewal in Hong Kong[J]. *Habitat International*, 2013, 38: 70–80.
- [11] McVicar T R, VanNiel T G, Li L T, et al. Parsimoniously modeling perennial vegetation suitability and identifying priority areas to support China's re-vegetation program in the Loess Plateau: Matching model complexity to data availability[J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(7): 1277–1290.
- [12] Greca L P, Rosa D L, Martinico F, et al. Agricultural and green infrastructures: The role of non-urbanised areas for eco-sustainable planning in a metropolitan region[J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159(8–9): 2193–2202.
- [13] Zhang Q, Wen J, Chang Z Q, et al. Evaluation and prediction of ecological suitability of medicinal plant American ginseng (*Panax quinquefolius*) [J]. *Chinese Herbal Medicines*, 2018, 10(1): 80–85.
- [14] Mouton A M, Alcaraz-Hernández J D, Baets B D, et al. Data-driven fuzzy habitat suitability models for brown trout in Spanish Mediterranean rivers[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2011, 26(5): 615–622.
- [15] Dong Z Y, Wang Z M, Liu D W, et al. Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 55: 94–100.
- [16] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 等. 耦合恢复力的林区土地生态适宜性评价: 以吉林省汪清县为例[J]. *地理学报*, 2015, 70(3): 476–487. [Liu Y X, Wang Y L, Peng J, et al. Land ecological suitability assessment for forest coupled with the resilience perspective: A case study in Wangqing County, Jilin Province, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(3): 476–487.]
- [17] Yu J, Chen Y, Wu J P. Modeling and implementation of classification rule discovery by ant colony optimisation for spatial land-use suitability assessment[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2011, 35(4): 308–319.
- [18] Yu J, Chen Y, Wu J P, et al. Cellular automata-based spatial multi-criteria land suitability simulation for irrigated agriculture [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(1): 131–148.
- [19] 张浩, 赵智杰. 基于GIS的城市用地生态适宜性评价研究: 综合生态足迹分析与生态系统服务[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(3): 531–538. [Zhang H, Zhao Z J. Ecological suitability assessment of urban land use based on GIS: Synthesis of ecological footprint analysis and eco-system service[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(3): 531–538.]
- [20] Pilevar A R, Matinfar H R, Sohrabi A, et al. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming[J]. *Ecological Indicators*, 2020, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105887.
- [21] 黄丽明, 陈健飞. 广州市花都区城镇建设用地适宜性评价研究: 基于MCR面特征提取[J]. *资源科学*, 2014, 36(7): 1347–1355. [Huang L M, Chen J F. Suitability evaluation of urban construction land based on features extraction of a MCR surface[J]. *Resources Sciences*, 2014, 36(7): 1347–1355.]
- [22] 何丹, 金凤君, 周璟. 资源型城市建设用地适宜性评价研究: 以济宁市大运河生态经济区为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(4): 655–666. [He D, Jin F J, Zhou J. Urban construction land suitability evaluation in resource-based cities: Taking the Grand Canal Ecologic and Economic Area as an example[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(4): 655–666.]
- [23] Zhang X R, Fang C L, Wang Z B. Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE-GIS): Case of new Hefei City, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2013, 23(6): 740–753.
- [24] Behr D M, Ozgul A, Cozzi G, et al. Combining human acceptance and habitat suitability in a unified socio-ecological suitability model: A case study of the wolf in Switzerland[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(6): 1919–1929.

- [25] Song S, Zhang S, Wang T Y, et al. Balancing conservation and development in Winter Olympic construction: Evidence from a multi-scale ecological suitability assessment[J]. *Scientific Reports*, 2018, DOI: 10.1038/s41598-018-32548-2.
- [26] Li F, Ye Y P, Song B W. Evaluation of urban suitable ecological land based on the minimum cumulative resistance model: A case study from Changzhou, China[J]. *Ecological Modelling*, 2015, 318 (1): 194-203.
- [27] Sawalha A. An Evaluation of Land Suitability for Urban Development in Hebron City Using Geographical Information Systems[D]. Advisor: Ahmad Ghodieh, 2016.
- [28] Malmir M, Zarkesh M M K, Monavari S M, et al. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP)[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2016, DOI: 10.1007/s10661-016-5401-5.
- [29] 赵腾, 胡凯富. 雄安新区: 基于生态适宜性评价的特色小镇建设[J]. *北京规划建设*, 2018, (5): 103-106. [Zhao T, Hu K F. Xiong'an New Area: Construction of characteristic town based on ecological suitability evaluation[J]. *Beijing Planning Review*, 2018, (5): 103-106.]
- [30] 王宪恩, 丁炎军, 王硕. 基于 ANP-GIS 的长春市城市建设用地生态适宜性评价[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(3): 232-236. [Wang X E, Ding Y J, Wang S. Evaluation of ecological suitability of urban construction land in Changchun City based on ANP-GIS [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(3): 232-236.]
- [31] 李猷, 王仰麟, 彭建, 等. 基于景观生态的城市土地开发适宜性评价: 以丹东市为例[J]. *生态学报*, 2009, 30(8): 2141-2150. [Li Y, Wang Y L, Peng J, et al. Assessment of urban land suitability for construction in view of landscape ecology: A case study of Dandong City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2141-2150.]
- [32] Li Q S, Huang J L, Wang C, et al. Land development suitability evaluation of Pingtan Island based on scenario analysis and landscape ecological quality evaluation[J]. *Sustainability*, 2017, DOI: 10.3390/su9071292.
- [33] 杨小艳, 凌宇, 李龙, 等. 基于最坏情景理论的连云港土地利用变化情景模拟[J]. *资源科学*, 2019, 41(6): 1082-1092. [Yang X Y, Ling Y, Li L, et al. Worst case scenario-based methodology for simulating land-use change in coastal city in China: A case study of Lianyungang[J]. *Resources Science*, 2019, 41(6): 1082-1092.]
- [34] Liu X P, Ma L, Li X, et al. Simulating urban growth by integrating landscape expansion index (LEI) and cellular automata[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(1): 148-163.
- [35] Li X, Yeh A G. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2002, 16(4): 323-343.
- [36] 张美美, 张荣群, 郝晋珉, 等. 基于 ANN-CA 的银川平原湿地景观演化驱动力情景模拟分析[J]. *地球信息科学学报*, 2014, 16 (3): 418-425. [Zhang M M, Zhang R Q, Hao J M, et al. The scenarios simulation analysis of driving forces of wetland landscape evolution using ANN-CA in Yinchuan Plain[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(3): 418-425.]
- [37] 田苗, 王鹏新, 严泰来, 等. Kappa 系数的修正及在干旱预测精度及一致性评价中的应用[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(24): 1-7. [Tian M, Wang P X, Yan T L, et al. Adjustment of Kappa coefficient and its application in precision and agreement evaluation of drought forecasting models[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(24): 1-7.]
- [38] Feinstein A R, Cicchetti D V. High agreement but low kappa: I. The problems of two paradoxes[J]. *Journal of Clinical Epidemiology*, 1990, 43(6): 543-549.
- [39] 穆飞翔, 蒲春玲, 刘祥鑫. 基于 GIS 的乌鲁木齐市中心城区空间增长边界研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(4): 108-115. [Mu F X, Pu C L, Liu X X. Research on the urban downtown growth boundary in Urumqi City[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(4): 108-115.]
- [40] 麦少芝, 徐颂军, 潘颖君. PSR 模型在湿地生态系统健康评价中的应用[J]. *热带地理*, 2005, 25(4): 317-321. [Mai S Z, Xu S J, Pan Y J. Application of the PSR model to the evaluation of wetland ecosystem health[J]. *Tropical Geography*, 2005, 25(4): 317-321.]
- [41] Ishikawa A, Amagasa M, Shiga T, et al. The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1993, 55(3): 241-253.
- [42] 马立平. 层次分析法[J]. *数据*, 2000, (7): 38-39. [Ma L P. Analytic hierarchy process[J]. *Data*, 2000, (7): 38-39.]
- [43] 崔耀平, 吕可文, 何春玲, 等. 生态敏感性限制下的城市建设用地适宜性评价[J]. *测绘科学*, 2016, 41(9): 47-53. [Cui Y P, Lv K W, He C L, et al. Suitability evaluation on urban constructional lands under limit of ecological sensitivity[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2016, 41(9): 47-53.]
- [44] 邱炳文, 池天河, 王钦敏. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(5): 20-23. [Qiu B W, Chi T H, Wang Q M. Application of GIS and its prospect in land suitability assessment[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(5): 20-23.]

# Potential ecological suitability evaluation of urban construction land:

## A case study in Baoshan District, Shanghai

HE Zongfei<sup>1</sup>, YU Jia<sup>1</sup>, CHEN Yun<sup>2</sup>, WEN Jiahong<sup>1</sup>, YIN Zhan'e<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. CSIRO Land and Water, GPO Box 1666, Canberra ACT2601, Australia)

**Abstract:** Traditional ecological suitability evaluation methods based on current land use status have their limitation in supporting development decision for urban construction land in rapid urban-expansion regions. This article first proposed the concept and method of potential ecological suitability evaluation of urban construction land. The method highlights the predicted future urban land-use distribution that is regarded as an important factor in the ecological suitability evaluation framework, and generates the evaluation result that is suitable for future planning and decision making of urban construction land. This study took Baoshan District, Shanghai Municipality, China as the study area and presented the spatial distribution of ecological suitability of urban construction land in 2050 under the background of urban expansion. The result was compared with the traditional ecological suitability evaluation results. The comparison revealed that potential ecological suitability evaluation can effectively reduce the high overlaps of the lands unsuitable or moderately unsuitable to be developed and the future urban buildup areas (reducing the overlap from 9.74% and 22.7% to 0.0% and 14.5%). It can match the urban development boundary planning and ecological space planning better and highlights the key protected ecological regions in future development. The case study proved the soundness and effectiveness of the new evaluation method, which can provide better decision supporting for ecological urban planning under the background of urban expansion.

**Key words:** potential ecological suitability evaluation; urban construction land; urban expansion; cellular automata; Baoshan District, Shanghai