
基于生态位适宜度理念的城镇用地空间优化配置研究

*1

李鑫¹ 肖长江^{2,3*} 欧名豪³ 楼淑瑜¹

(1. 江苏师范大学 地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州 221116;

2. 江西财经大学 旅游与城市管理学院, 江西 南昌 330013;

3. 南京农业大学 土地管理学院, 江苏 南京 210095)

【摘要】: 城镇用地空间优化配置是地理学、城市规划学一直关注的话题, 不仅关系着城镇空间形态, 对土地资源整体利用效率也有重要影响。考虑空间单元自身属性的同时, 城镇用地空间优化配置也应考虑邻域单元作用的“外溢性”, 这与生态位适宜度中的“态”与“势”理念吻合, 于是论文根据生态适宜度理论提出了一种城镇用地空间优化配置法, 并通过Matlab编程予以实现, 最后以扬州市区为例进行实证研究。结果显示: 城镇用地空间优化配置不应只考虑空间单元自身属性, 还要考虑空间连续性; 单元自身属性是城镇用地空间优化配置的根本, 可看作生态位适宜度中的“态”值; 城镇用地扩张的空间连续性是通过单元作用的传递来实现, 于是邻域单元的作用大小可看作生态位适宜度中的“势”值。本文基于生态位适宜度的城镇用地空间优化配置法综合考虑了单元自身属性与空间连续性两方面需求, 具有较好科学性, 可用于规划中城镇边界的划定。

【关键词】: 城镇用地; 空间优化配置; 生态位适宜度; 扬州市

【中图分类号】: F323.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2017)03-0376-08

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201703007

城镇用地空间优化配置作为土地利用规划的核心内容, 可以优化空间形态, 释放空间效用, 在相同用地数量约束下, 产生更大

¹ 收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2016-10-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401627) [Project Supported by Natural Science Foundation of China]; 江苏省自然科学基金项目(BK20140236) [Foundation Research Project of Jiangsu Province]

作者简介: 李鑫(1986~), 男, 副教授, 硕导, 主要研究方向为土地资源优化配置. E-mail: topzcg@126.com

*通讯作者 E-mail: 443666139@qq.com

的综合效益；同时由于城镇土地利用关系着农地保护、生态空间保育，因此城镇土地空间优化可总体上缓解土地利用的多目标冲突，有助于土地资源的可持续利用与城镇可持续增长^[1, 2]。目前对城镇土地空间扩张的研究主要是用地理模型模拟目标年用地布局，然而这种模拟单纯根据历史扩张规律推演未来空间布局状况，为决策者提供参考或进一步考察城镇用地扩张的资源环境效应，根据模拟原理不同，模型主要有元胞自动机(CA)与多智能体模型(MAB)两类^[3~6]；若历史布局本身不合理，则模拟的布局结果也不合理，就无法为土地利用规划中城镇边界划定提供科学借鉴，因此该类研究对规划工作的借鉴作用有限^[7]。城镇用地空间优化配置的本质要求是把城镇用地配置给适宜度高的空间单元，其内在逻辑是：适宜度高的单元会产生更大的综合效益，相同数量的城镇用地，因其空间布局的调整，综合效益会有改善，因此达到了优化目的。基于此，有些研究从生态经济视角评价了不同乡镇对建设用地的适宜度，之后再按适宜度大小配置建设用地指标来做到城镇用地空间优化配置，可是由于基本单元是乡镇，因此优化配置的精度并不高，不能为城镇边界划定提供依据^[8, 9]。于是又有研究进一步以栅格为基本单元，评价了不同栅格对城镇用地的适宜度，再按适宜度大小进行配置，然后这种研究并没有考虑栅格间的相互影响^[10]；城镇土地扩张在空间上具有连续性，就是说若某一栅格的属性成为城镇土地则会影响其邻域栅格变为城镇土地的可能性^[11]，这种影响可用经济学中的“外部性”概念来解释，即一个单元的状态会“外溢”，而对周围单元产生影响，这也是为什么城镇用地总是连续扩张而非随机“遍地开花”的原因。

可见，为使城镇用地空间优化配置服务于城镇边界划定，应以栅格为基本单元进行空间适宜性评价，并同时考虑邻域栅格对适宜度的影响，综合这两方面进行空间优化配置，而这恰好与生态位适宜度理念相吻合，即生物单元的“态”与“势”两方面决定着其在现实生境中的地位^[12]。鉴于此，本研究以生态位适宜度评价理论为指导，构造一种城镇用地空间优化配置方法，为空间规划中城镇边界划定提供科学依据，同时可提高城镇土地利用效率，促进土地资源持续利用。下文研究方法中首先介绍生态位适宜度评价的基本内容，其次介绍基于该理论的城镇用地空间优化配置法；并以江苏省扬州市区为实例，论证本研究所提出的城镇用地空间优化配置法的可行性与科学性，同时为扬州城市边界划定提供参考。

1 研究方法

1.1 生态位适宜度评价理论

在生态位基本概念基础上，国内学者赵松岭、欧阳志云提出了生态位适宜度评价理论，其核心思想是：一个生物在生态系统中的位置不仅取决于它的结构、生理与行为，也受相邻物种竞争作用之影响，前者称为生态位的“态”，后者称为“势”^[13, 14]。基本公式是：
$$N = \frac{S}{P}$$
，其中N是生态位适宜度大小，S表示“态”大小，P是“势”大小。同样，一个栅格单元是否可转化为城镇用地是由其适宜度大小决定，适宜度越大则应优先转化为城镇用地。本研究基于生态位理念对城镇土地空间适宜度进行评价，其中栅格本身的属性，如土地利用、自然条件、区位条件等被认为是生态位适宜度的“态”，邻域栅格对其的影响被认为是“势”，比如栅格A被设置为城镇用地，则其邻域栅格成为城镇土地的可能性会增加，这种作用就是“势”。

1.2 基于生态位适宜度的空间优化配置方法概述

上文指出要根据生态位适宜度理论进行城镇用地空间优化配置，具体来说这是一个循环迭代过程，具体步骤是：①评价不同栅格单元对城镇土地适宜度“态”的大小，把“态”值最大栅格的属性改为城镇用地，此时其对邻域栅格产生了影响，即产生了“势”的作用；②根据设定的空间规则测算邻域栅格“势”的大小，再计算全部栅格对城镇用地的生态位适宜度大小一即“态”与“势”之和，把总体适宜度最大的栅格设为城镇用地，于是其又对周围邻域产生了“势”的作用；③再计算“势”的大小进而重新测算生态位适宜度，再把适宜度最大的栅格改为城镇用地，如此循环往复直到城镇用地的累计数量达到所设定阈值为止。上述过程可在Matlab软件中编程实现，流程见图1，而最主要的两点是：一是评价栅格对城镇用地适宜度中“态”的大小；二是确定邻域栅格的影响规则，即适宜度中“势”的计算规则。

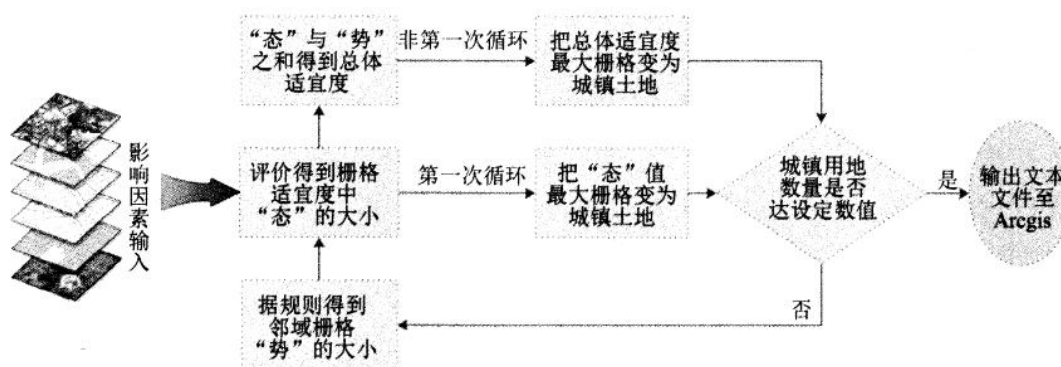


图1 基于生态位适宜度的城镇用地空间优化配置法

Fig.1 Flowchart of Spatial Optimized Allocation for Urban Land Based on the Idea of Niche Fitness

1.3 城镇用地适宜度中“态”的评价

本研究中城镇用地适宜度中的“态”是指栅格自身因素对其适宜度的影响大小，论文从区位、自然、土地利用三方面提出了评价因子。需说明的是对于要保护的基本农田、自然保护区、历史文物保护区等具有丰富非市场价值的空间，论文认为其不宜于城镇建设，因此划定为禁止建设区，就是说在城镇用地空间配置时不占用这些地区。区位因素主要选择与城市距离、与省级以上高速公路距离、与点状基础设施距离(车站、港口、机场)。与城市距离越近，更容易受城市辐射影响，对城镇用地适宜性越高，与基础设施越近，要素流动更便捷，非农经济更活跃，因此宜于配置为城镇用地。对区位因素的量化，首先选择相应点源与线源，即城市中心、线状交通、点状设施，用 Arcgis 中的 Euclidean Distance 工具求取全部栅格到点源、线源的距离，距离越大，则栅格适宜性越小，反之适宜性越大，根据这种线性关系标准化全部栅格的距离属性，得到不同栅格因区位因素影响对城镇用地的适宜性大小。自然因素选择高程、坡度、地形起伏度，一般认为高程越高、坡度及起伏度越大，则城建成本越高，且更容易导致对生态环境的扰动破坏，因此不宜于配置为城镇用地，但实际上只有当坡度、高程及起伏度大于一定数值时，这种线性作用才成立，而小于一定值时，对城镇用地适宜度影响并不大。参考已有文献，本研究认为高程小于 100 m，坡度小于 5° 及起伏度小于 30m 时对城镇用地适宜度没影响^[15]。对于自然因素的量化，坡度与高程可以 DEM 文件为基础得到，对于地形起伏度则用 Arcgis 中 Spatial Analyst 模块下的 Neighborhood Statistics 工具得到，于是所有栅格都具有了高程、坡度、地形起伏度的数值，小于上述临界值时，认为对城镇用地适宜度是 1，而大于临界值时按照线性关系标准化得到栅格因各自然因素影响对城镇用地的适宜度大小。城镇用地空间优化配置结果只有以现实为基础才具有可实施性，若优化配置方案是把现状推倒重建，则对土地利用规划的借鉴意义不大，因此必须考虑土地利用现状对城镇用地适宜度的影响。土地利用现状对城镇用地适宜度影响主要表现在转化成本方面，比如现状建设用地转化为城镇用地成本较小，则适宜性较高，而农用地、甚至滩涂水域转化为城镇用地的成本较高，于是适宜度就小，本文在已有研究基础上通过专家咨询法得到不同属性用地对城镇用地适宜度的相对大小^[16]，见表 1。

表 1 城镇用地适宜度中“态”的评价因素

Tab.1 Evaluation Factors of the State in the Niche for Urban Land Fitness

因素	因子	描述
区位因素	与城市距离	根据影响因子与适宜度之间的线性关系，标准化可得到不同栅格对城镇用地的适宜度大小
	与省级以上高速公路距离	
	与点状基础设施距离	
自然因素	高程	根据影响因子与适宜度之间的间断线性关系，标准化得到不同栅格的适宜度大小
	坡度	
	地形起伏度	
土地利用	不同用地属性转化为城镇用地的相对适宜度大小：耕地=0.2；园地、林地=0.4；其它农用地=0.5；城镇工矿土地=1；农村居民点=0.6；其它建设用地=0.8；其它土地=0.6	

已得到了不同影响因子对城镇用地适宜度的作用大小，根据“木桶”效应，适宜度大小取决于相对最小因素的数值，因此下面用其几何平均值计算不同栅格的城镇用地综合适宜度的“态”值，公式是^[17]：

$$S_{i,j} = \left(\prod_{m=1}^M S_{i,j,m} \right)^{1/M} \quad (1)$$

式中， $S_{i,j}$ 表示第 i 行且第 j 列栅格的城镇用地适宜度“态”值； M 为影响因素个数； $S_{i,j,m}$ 是栅格 (i, j) 第 m 个影响因素对城镇用地适宜度的作用大小。

1.4 城镇用地适宜度中“势”的测算规则

需要说明的是并不是每个栅格都具有对城镇用地适宜度的“势”，只有一个栅格首先成为了城镇用地，那么该栅格才可以对邻域栅格产生“势”的作用，邻域规则见图 2 左，即只有核心栅格外围两层范围才被定义为邻域。第 1 次循环结束时，1 个栅格变为了城镇用地，于是可对邻域产生“势”的作用，第 2 次循环结束时，有 2 个栅格变为城镇用地，于是可对各自邻域都产生“势”的作用。比如栅格 A 与 B 同时对各自邻域产生了“势”，而栅格 C 既在 A 的邻域范围又在 B 的邻域范围内，此时如果 C 在 A 的第 1 层邻域，且在 B 的第 2 层邻域，则以 A 为基准计算 C 的“势”，如图 2 中间所示，而如果 C 是在 A 的第 1 层邻域，同时也在 B 第 1 层邻域，即邻域层数相同，此时比较栅格 A 与 B 的“态”值，即值，若 A 的“态”值大于 B 的“态”值，则选择以 A 为基准计算栅格 C 的“势”，具体见图 2 右。

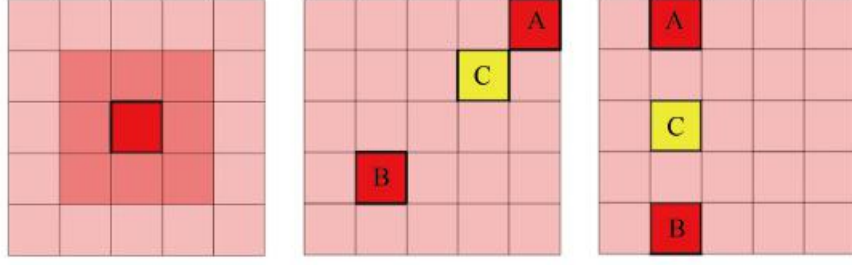


图 2 城镇用地适宜度中“势”的空间邻域规则

确定上述规则后，另一个问题是如何计算邻域中栅格“势”的大小，本研究认为“势”的大小取决于两方面，一是核心栅格的适宜度“态”值大小，“态”值越大则其对邻域“势”的作用越强，二是邻域栅格与核心栅格的相对距离，若邻域栅格在第一层，核心栅格对其的影响作用衰减较小，因此“势”的作用较大，而如果在第二层则由于距离衰减较大，“势”的作用较小。于是邻域栅格“势”的计算公式是：

$$P_{m,n} = \begin{cases} S_{i,j}/8 & \text{栅格}(m,n) \text{在第1层} \\ S_{i,j}/16 & \text{栅格}(m,n) \text{在第2层} \end{cases} \quad (2)$$

式中， $S_{i,j}$ 是核心栅格的“态”值大小； $P_{m,n}$ 是邻域栅格“势”值大小。流程图 1 已说明每次循环结束都会有新栅格变为城镇用地，进而对新邻域产生“势”的作用，因此每次循环结束都要更新栅格的“势”值，都要重新计算栅格对城镇用地的总体适宜度，进而在下次循环中以此为据，选择总体适宜度最大的栅格变为城镇用地。对此，Matlab 程序中用四个矩阵变量来表达：第 1 个矩阵记录不同栅格“态”值大小，第 2 个矩阵记录“势”值大小，第 3 个记录栅格的总体适宜度大小，第 4 个是一个 flag 矩阵，记录邻域栅格所在的层数。

2 实证研究

2.1 研究区与数据来源

扬州市辖区位于江淮平原南端，长三角北翼，具体在长江与京杭大运河交汇点上，包括广陵区、邗江区、江都区与开发区，土地总面积为 2 306 km²，2014 年国民生产总值 2 369 亿元，总人口 232 万。2013 年建设用地 597 km²，占总面积的 25.87%，其中城镇用地 228 km²，占总面积的 9.89%。近年来随着全面融入长三角战略的实施，扬州市 GDP 以年均 10%以上速度增长，高于江苏省及全国平均水平，相应建设用地扩张迅速，城镇化水平不断提高，尤其是 2011 年江都市被划入市区，壮大了中心城区实力，提高了其辐射能力。扬州城市发展的关键是用地的空间优化配置，其不仅可以保护扬州的历史文化与风景名胜古迹，还可以统筹城乡发展，强化区域内部组织分工，整合城市空间，提高城市运行效率。于是下面用本文提出的基于生态位适宜度理念的城镇用地空间优化配置法对扬州市区 2030 年城镇用地作优化配置，为空间规划中城镇边界划定提供切实参考，一方面指导社会经济活动进行合理土地利用，二是对行政区划调整后的市辖区进行空间整合。

本文数据可分为两部分，一是社会经济数据来源于《江苏统计年鉴 2015》，二是土地利用空间数据是 2013 年基于二调变更图，精度是 1:5000。研究中栅格精度是 100×100 m，研究区栅格数目是 591×468。同时文中的城镇用地就是国土资源分类中的城镇工矿用地。

2.2 研究结果

首先识别出研究区内的基本农田、历史文化保护区、风景名胜保护区等禁止建设区，作为城镇用地扩张的禁止区，在后续城镇用地空间配置时避让这些栅格单元，在此基础上按照本文提出的方法进行空间优化配置。《扬州市土地利用总体规划(2006-2020 年)》规定 2020 年扬州市辖区城镇用地指标是 617 km²，根据未来城镇化发展趋势及产业结构转型要求，论文预测 2030 年扬州市辖区城镇用地规模是 821 km²，即需要从市区范围内选择 82 100 个栅格，将其属性改为城镇用地^[18]。

2.2.1 城镇用地空间优化配置结果

图 3 是市辖区 2013 年土地利用现状图；图 4 是根据 2020 年土地利用规划与城市规划耦合得到的市辖区城镇用地规划布局图；图 5 是用本文方法得到的 2030 年城镇用地空间优化配置图；图 6 是单纯根据“态”值得到的 2030 年优化配置结果。可见目标年城镇用地主要分布在市辖区的中南部，具体分布在从邗江区中部的槐泗镇至南部瓜州镇、八里镇及施桥镇一带，从江都区北部的邵伯镇、真武镇到南部的大桥镇一带，对于江都区东北及邗江区北部的乡镇不应再配置新增城镇用地，而要实行城镇用地的逐步缩减政策。中北部的邵伯湖生态保护区及南部长江岸堤的水源地不应配置城镇用地，且发现以基本农田与生态保护区为主要内容的禁止建设区在空间上起到屏障作用，有效控制了城镇用地蔓延。与现状城镇用地布局对比发现，未来新增城镇用地主要分布在邗江区及江都区，而广陵区等则主要是存量用地再开发，尤其是江都区目标年城镇用地数量有大幅提高，这说明江都区应是扬州未来开发重点，市区的资金及资源应向江都区倾斜，提升其开发程度。目标年中有 418 km²的城镇用地指标配置在江都区，有 235km²配置在邗江区，其余 168 km²配置在广陵区、维扬区与开发区，江都区与邗江区占了全部指标的 79.5%，可见是未来土地开发建设重点区，尤其是江都区，其现状城镇用地数量仅为 77 km²，未来 20 年需增加 4 倍多，快速的土地城镇化过程可能带来相应的生态与社会问题，因此要提前制定相应措施来减缓这些影响。同时我们发现优化配置后的目标年城镇用地布局把江都区与原市区连成一片，空间集中程度有大幅提高，改变了目前两者相对分割的局面，这是因土地指标是最基础的资源，相应的资金、人才及其他要素都会伴随土地指标而流动，于是本研究中城镇用地指标配置方案有利于江都由市改区后快速融入中心城区，提高了扬州市区的中心性及辐射能力。

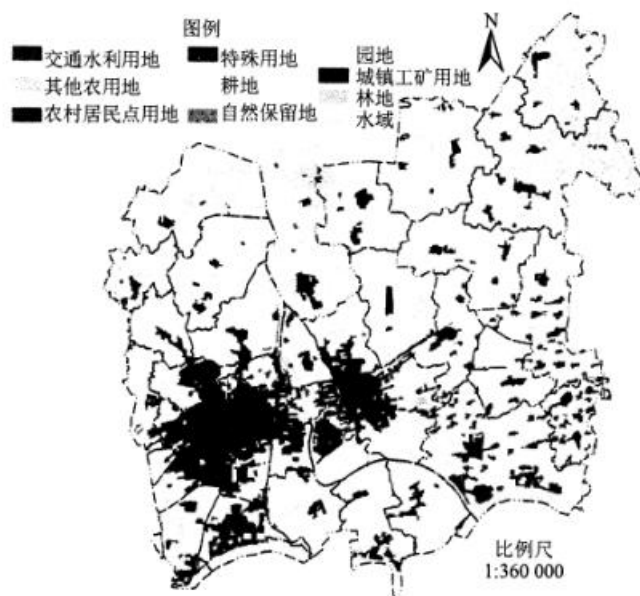


图3 扬州市区土地利用现状图

Fig.3 Current Land Use Patterns of Yangzhou Downtown

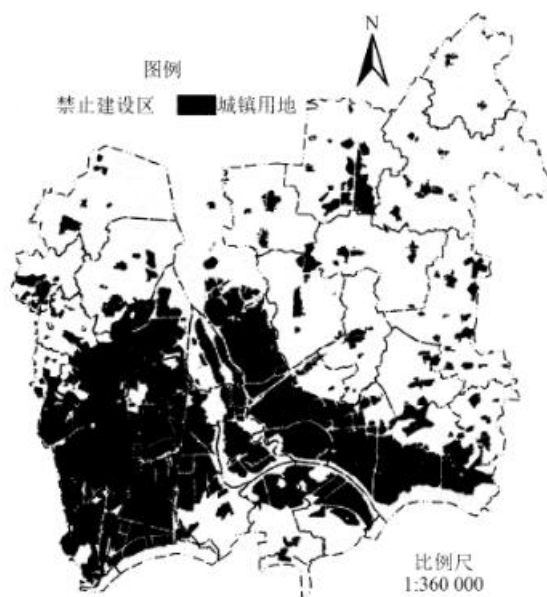


图4 扬州市区2020年城镇用地规划布局

Fig.4 Planning Layout of Urban Land for Yangzhou Downtown of 2020

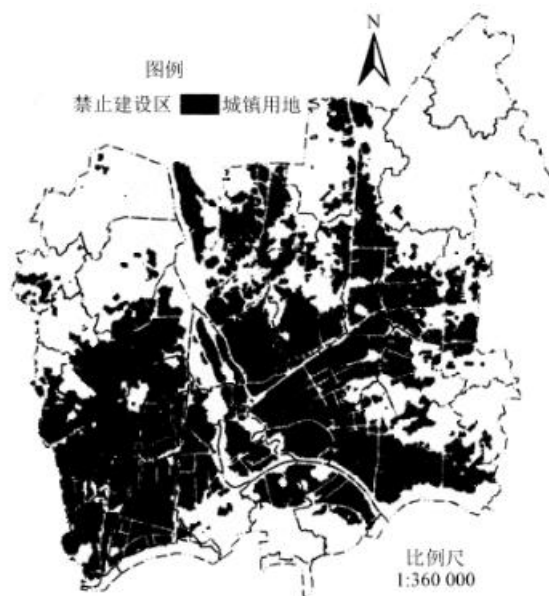


图 5 基于生态位适宜度的城镇用地空间优化配置结果

Fig.5 Optimized Spatial Boundary of Urban Land Based on the Idea of Fitness to Its Niche



图 6 基于生态位中“态”值的城镇用地空间优化配置结果

Fig.6 Optimized Spatial Boundary of Urban Land Based on the State Value of Niche Fitness

2.2.2 与传统方法及现行规划的对比

前文曾指出本文方法最主要的创新是在城镇用地空间优化配置时考虑了栅格单元的“外部性”作用，即单元间的作用，使城镇土地扩张具有内生连续性，为了证实其有效性，论文用传统方法，即不考虑核心栅格对邻域的影响，只单纯根据栅格“态”值大小进行城镇用地空间优化配置，具体是把各栅格单元按“态”值从大到小排序，优先选择“态”值大的单元，直到累计栅格数量达 82 100 为止，结果见图 6。图 5 与图 6 对比可见，单纯据“态”值大小进行城镇用地空间配置时，用地布局较为分散，图斑破碎化严重，空间集聚水平不高，原因是其只考虑了栅格自身因素对城镇用地扩张的影响，并没有考虑城镇用地扩张内在连续性要求，因此空间配置结果不宜于用作城镇边界来指导未来城市土地利用；而相反由本文方法所产生的用地布局，由于考虑了城镇用地扩张的连续性要求，因此布局的空间组团水平显著提高，更加切合城镇土地利用的实际情况，可直接用作空间规划中的城镇增长边界。本文方法与传统方法最主要的区别是本文方法是基于生态位适宜度评价理论，考虑了“态”与“势”两方面作用，也就是既考虑单元自身属性，同时也考虑邻域栅格对其之影响，而传统方法则只考虑“态”的作用。

图 5、图 6 与现行城镇用地规划布局(图 4)对比发现，首先数量上大于规划用地，这是因为目标年不同，本文优化配置的目标年是 2030 年，图 4 则由 2020 年土地利用规划与城市规划协调得来的城镇土地布局。其次虽然图 5 与图 6 的城镇用地范围基本上都包括了图 4 的大部分用地，叠加分析也发现图 4 有 88.15%用地与图 5 重叠，而与图 6 的重叠率也高达 85.37%，但可明显发现图 4 城镇用地边界与图 5 更相似，而图 6 城镇用地布局则过于破碎化，因此从规划实施管理角度看，论文提出的城镇用地优化配置法比传统法更有优势，产生的边界可为规划提供有力借鉴。再次至 2020 年，因团泊湖与长江的阻碍，图 4 中城镇用地不能继续向北、向南拓展，而只能往江都区东部扩张，这基本上就形成了图 5 的用地布局，因此本文 2030 年城镇用地优化布局不仅具有科学性，也有合理性。

3 结论与讨论

本文从生态位适宜度视角对城镇用地进行了空间优化配置，得到了城镇土地扩张的优化边界：具体以栅格为基本单元，把栅格本身所具有的区位、自然与土地利用现状作为对城镇用地适宜度的“态”，而把邻域栅格对其的影响看作“势”，“态”与“势”之和决定了一个栅格能否变为城镇用地；在 Matlab 中编程以迭代方式完成了对城镇用地的空间优化配置，并以扬州市辖区为例作了实证研究，主要结论是：(1)城镇用地空间优化配置应同时考虑空间单元自身因素及空间连续性两方面要求。(2)单元自身因素是决定单元能否配置为城镇用地的根本，可视为生态位适宜度中的“态”，城镇用地扩张的空间连续性是通过邻域单元间的相互作用实现的，因此邻域单元的作用可视为生态位适宜度中的“势”，“态”与“势”两部分共同决定一个单元能否转为城镇用地。(3)本文提出的基于生态位适宜度的城镇用地空间优化配置方法具有可行性与科学性，可为空间规划中城镇边界划定提供有力工具。

上一级规划规定了不同行政单元规划期内的城镇用地数量，但如何把一定数量的城镇用地优化配置在空间上是下级规划必须面对的问题，目前来看技术手段有限，因为以往地理模型注重城镇用地空间模拟，忽视空间优化配置。本研究提出的城镇用地空间优化配置法综合考虑了空间单元自身因素及邻域单元作用两方面因素，具有可行性与科学性，可直接为城镇边界划定提供借鉴。但首先城镇用地扩张还应当考虑人口、经济、产业结构等宏观因素影响，其次城镇内部有很多用地细类，如设施用地、居住用地、工业用地等，不同细类对邻域栅格的作用大小不同；而由于本研究是在一定用地数量前提下来确定城镇扩张的总体边界，并没有考察目标年用地数量是如何确定，也没对城镇内部用地优化配置进行研究。后续研究应关注如何把宏观尺度的经济、产业等因素与微观尺度的物理因素进行耦合以对城镇用地进行空间优化配置，而改变目前数量优化与空间优化相对割裂的现象。

参考文献：

-
- [1] HUANG B, ZHANG W T. Sustainable land-use planning for a downtown lake area in central China: multiobjective optimization approach aided by urban growth modeling[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2014, 140(2): 1 - 12.
- [2] CAO K, HUANG B, WANG S W, et al. Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(3): 257 - 269.
- [3] ZHANF H H, JIN X B, WANG L P, et al. Multi-agent based modeling of spatiotemporal dynamical urban growth in developing countries:simulating future scenarios of Lianyungang city, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2015, 29(1): 63 - 78.
- [4] FENG Y J, LIU Y. A cellular automata model based on nonlinear kernel principal component analysis for urban growth simulation[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2013, 40(1):117 - 134.
- [5] OZTURK D. Urban growth simulation of Atakum (Samsun, Turkey) using cellular automata-Markov Chain and multi-layer perceptron-Markov Chain models[J]. Remote Sensing, 2015, 7(5): 5918 - 5950.
- [6] TAN R H, LIU Y L, ZHOU K H, et al. A game-theory based agentcellular model for use in urban growth simulation: a case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2014, 49: 15 - 29.
- [7] 李 鑫, 马晓冬, 肖长江, 等. 基于 CLUE-S 模型的区域土地利用布局优化[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 162 - 167, 172.
- 【LI X, MA X D, XIAO C J, et al. The regional land use layout optimization based on the CLUE-S model[J]. Economic Geography, 2015, 35(1): 162 - 167, 172. 】
- [8] 陈 雯, 孙 伟, 段学军, 等. 苏州地域开发适宜性分区[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 839 - 846.
- 【CHEN W, SUN W, DUAN X J, et al. Regionalization of regional potential development in Suzhou city[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(8): 839 - 846. 】
- [9] 丁建中, 陈 逸, 陈 雯. 基于生态-经济分析的泰州空间开发适宜性分区研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 842 - 848.
- 【DING J Z, CHEN Y, CHEN W. Regionalization of spatial feasible development on based analysis of eco-economy in Taizhou city[J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(6): 842 - 848. 】
- [10] MOHAMMADY S. A swarm optimization based method for urban growth modelling[J]. Environmental Research, Engineering and Management, 2014, 69(3): 40 - 48.
- [11] BROOKES C J. A parameterized region-growing programme for site allocation on raster suitability maps[J].

International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(4): 375 - 396.

[12] 朱春全. 生态位态势理论与扩充假说[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 324 - 332.

【ZHU C Q. The niche ecostate-ecorole theory and expansion hypothesis[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3): 324 - 332.】

[13] 欧阳志云, 王如松, 符贵南. 生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用[J]. 生态学报, 1996, 16(2): 113 - 120.

【OUYANG Z Y, WANG R S, FU G N. Ecological niche suitability model and its application in land suitability assessment[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(2): 113 - 120.】

[14] 李自珍, 赵松岭, 张鹏云. 生态位适宜度理论及其在作物生长系统中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1993, 29(4): 219 - 224.

【LI Z Z, ZHAO S L, ZHANG P Y. The niche-fitness theory and its application to the systems of crop growth[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1993, 29(4): 219 - 224.】

[15] 李 鑫, 甘志伍, 欧名豪, 等. 农村居民点整理潜力测算与布局优化研究——以江苏省江都市为例[J]. 地理科学, 2013, 33(2): 150 - 156.

【LI X, GAN Z W, OU M H, et al. Potential estimation and layout optimization of rural residential land consolidation: a case study on Jiangdu city in Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2): 150 - 156.】

[16] STEWART T J, JANSSEN R, VAN HERWIJNEN M. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning[J]. Computers & Operations Research, 2004, 31(14): 2293 - 2313.

[17] 李 志, 周生路, 吴绍华, 等. 基于生态位适宜度的城市边缘区农居点用地城镇化整治研究——以连云港市为例[J]. 地理科学, 2013, 33(8): 972 - 978.

【LI Z, ZHOU S L, WU S H, et al. The improvement of the urban fringe rural settlements land towards urbanization based on niche fitness evaluation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(8): 972 - 978.】

[18] 扬州市人民政府. 扬州市土地利用总体规划(2006-2020 年) [R/OL]. (2012-03-19).

<http://gtj.yangzhou.gov.cn/gtj/tdlygh/201212/9d102fc4e0fc4890a32fedcf896b0fe7.shtml>.