

吴健生,毛家颖,林倩,等.基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例[J].地理科学,2017,37(1):28-36.[Wu Jiansheng, Mao Jiaying, Lin Qianet al. Urban Growth Boundary Based on the Evaluation of Habitat Quality: Taking the Yangtze River Delta as an Example. Scientia Geographica Sinica,2017,37(1):28-36.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.01.004

基于生境质量的城市增长边界研究

——以长三角地区为例

吴健生^{1,2},毛家颖¹,林倩³,李嘉诚^{1,4}

(1.北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院城市人居环境科学与技术重点实验室,广东 深圳 518055;
2.北京大学城市与环境学院地表过程分析与模拟教育部重点实验室,北京 100871;3.宁波市城乡规划研究中心,浙江 宁波 315040;4.深圳市城市规划设计研究院城市发展及土地政策研究所,广东 深圳 518028)

摘要:基于“生态优先”理念,提出一种利用生境质量评估策略的城市增长边界划定方法。结合 ArcGIS 和 InVEST 模型,通过综合评估生境自身及其在威胁情境下的质量,模拟各市独立规划、建设用地指标再分配及区域一体化发展的三类建设用地扩张情景,分别划定 2024 和 2034 年的长三角地区城市增长边界。结果表明:研究区生境质量总体呈南高北低格局,平均生态系统服务价值密度为 10 770.604 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),高质生境位于西南地区;根据指标再分配及一体化发展情景模拟的 2024 年研究区建设用地总量分别为 10 583.273 km^2 和 10 489.090 km^2 ,2034 年达到 13 603.535 km^2 和 13 252.370 km^2 ;模拟的建设用地集中在东部沿海地区,并向北部及环杭州湾区域拓展;建设用地指标再分配能从整体上减少建设用地对优质生境的占用,区域一体化发展则能进一步降低城市发展造成的生态压力。

关键词:城市增长边界;生境质量;生态系统服务;长三角地区;InVEST 模型

中图分类号:F292 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2017)01-0028-09

随着城市化进程的不断加快,土地资源供需矛盾突出,城市边界无序扩张,生态系统服务能力的削弱和退化^[1,2]已成为制约城市可持续发展的重要因素之一^[3],因此如何确定适度的城市增长规模是当前城市研究的热点话题。其中,以“精明增长”和“新城市主义”为理论基础的“城市增长边界”(Urban Growth Boundary, UGB)备受关注,它是指通过划定城市土地和农村土地之间的界线,将合法的城市开发限定在一定区域内,从而控制城市的无序蔓延,在某种程度上是一种“不发展政策”^[4,5]。自 20 世纪 30 年代英国伦敦的“绿带”政策,该理念已在多国得到了实践推广,如美国波特兰大都市区规划、日本“划线制度”、南非“城市藩篱”等^[6-8]。中国对城市增长边界的引介可追溯至 20 世纪 90 年代末^[9],研究重点由国外经验介绍转移至城市增长边界的中国化效能^[10,11],并衍生出“规划七

线”、“四区边界”、“城镇建设用地边界”等类似概念^[12]。目前城市增长边界的两类划定方法,无论是基于人口预测和用地标准设定规模指标及进行空间布局^[13,14],还是基于 CA、Sleuth 等模型进行城市增长的空间模拟^[15-17],或只考虑经济、政策等非生态因素,或只以人均建设用地面积指标对“生态适宜性”原则进行侧面反映,对生态系统自身反馈的关注明显不足。因而,亟需将生态效应纳入城市规划实践,这不仅凸显了城市规划的全局综合效应,而且对维持城市复合系统的自然保育功能和实现可持续发展至关重要。

生态系统服务是指生态系统与生态过程中,人类赖以生存和发展的自然环境条件和效用^[18-20],作为连接生态系统和人类福祉的桥梁,将其与城市增长边界划定相衔接,是生态研究接轨城市发展必不可少的一步。当前研究侧重于生态系统服

收稿日期:2016-02-23; 修订日期:2016-05-26

基金项目:国家自然科学基金(41330747)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41330747).]

作者简介:吴健生(1965-),男,湖南新化人,教授,博导,主要从事城市化与生态环境研究。E-mail: wujiansheng@pkusz.edu.cn

通讯作者:毛家颖。E-mail: mjysfz@126.com

务价值评估方法^[21-23]、服务分类^[24,25]、服务空间布局^[26-28]及服务的形成和变化机理^[29-31]等,大多关注生态系统服务本身的协调权衡及规划的生态效应评价,缺乏生态研究在城市规划中的先导性应用。本文从生态系统服务视角研究城市增长边界,构建基于“生态优先”理念的城市增长“生态边界”的划定方法,从而探讨生境质量影响最小化情境下的城市扩展路径,为长三角地区及全国其他类似区域的城市可持续发展提供科学支撑。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

长三角地区是长江中下游平原的重要组成部分,选取经济地理意义上的狭义长三角地区为研究区,总面积约为115 399.31 km²,包含苏、浙、沪的16个城市^[32](东经119°20′~122°32′,北纬28°14′~33°25′)。长三角地区地处北亚热带季风气候,地貌以平原为主体,在西部和南部间有低丘散布^[33]。总体来看,南部主要分布为林地和草地,北部则以耕地居多,河网密布于整个区域,耕地、林地、草地和水域分别占研究区面积的52%、25%、3%和9%。作为中国第一大经济区及率先跻身于世界级城市群的地带,长三角地区的城市蔓延不仅挤占了生态用地,加剧了生境破碎化程度,还导致了一系列环境问题的产生,部分地区生态承载力已全面超载。城市增长累积的诸多负面效应已严重威胁长三角地区生态环境,并成为了地区可持续发展的主要障碍。

1.2 数据来源

长三角地区2010年土地利用数据源于国家基础地理信息中心研发的全球30 m分辨率地表覆盖产品(DOI:10.11769/GlobeLand30.2000.db;DOI:10.11769/GlobeLand30.2010.db),并汇总2006~2014年各市统计年鉴中的城市化率及人口统计数据用于情景预测。

1.3 研究方法

综合生境自身及在威胁情境下的质量,在生境质量评估基础上,分别设定2024、2034年城市建设用地需求情景,划定城市增长边界。

1.3.1 生境质量评估

1) 基于自身的生境质量定量评估

一般而言,生态系统服务价值量高的地类能为物种提供较好生境^[34],故以生态系统服务价值量表征生境自身质量。参照中国生态系统服务价值

当量因子表^[35],以CPI指数修正后的460.67元/hm²作为单位当量因子的经济价值量,并针对研究区进行生物量因子修正^[36],设定长三角地区与全国农田生态系统之比为1.76:1.00,计算得到研究区林地、草地、耕地、水域等生态系统的单位面积生态服务价值量。生态用地存在集聚效应^[37],基于GIS块状分析统计300 m×300 m栅格研究单元的生态系统服务价值量,生成研究区生境自身质量评价图。生物量因子修正公式如下:

$$p_{ij} = \left(\frac{a_j}{A_j} \right) \times P_{ij} \quad (1)$$

式中, p_{ij} 为校正后的第 j 类生态系统第 i 种生态服务功能单位面积的价值量; a_j 为第 j 类生态系统的生物量; A_j 为全国一级生态系统类型单位面积平均生物量; P_{ij} 为第 j 类生态系统第 i 类生态服务功能单位面积的全国平均取值。

2) 基于威胁的生境质量定量评估

生境质量一般随附近人类土地利用及其强度的加大而降低^[38],故基于生境所受威胁的综合分析,采用InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型,评估生境在威胁情境下的质量。InVEST模型常用于生态系统服务定量评估,其中,生境质量(Habitat Quality)的衡量包含4个要素:各威胁的相对影响、各生境对各威胁因子的相对敏感性、生境与威胁源距离及土地受合法保护的等级。生境对威胁因子的敏感度越高,该因子对生境退化的影响越大,假定栅格 x 处的用地或生境类型为 j ,则该点受到的总威胁指数(D_{sj})可表示为:

$$D_{sj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

式中, r 为威胁因子, R 为威胁因子总量, y 为威胁因子 r 栅格图层中的单个栅格, Y_r 为威胁因子 r 图层中的栅格总和, W_r 为归一化威胁权重, r_y 用于判断栅格 y 是否为威胁因子 r 的来源地, i_{rxy} 为生境与威胁因子之间的距离函数, β_x 表示在社会、法律等保护状态下威胁源到栅格 x 的可达性水平, S_{jr} 表示土地覆被类型 j 对于威胁因子 r 的敏感性,则 x 处土地覆被类型 j 的生境质量(Q_{sj})为:

$$Q_{sj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{sj}^z}{D_{sj}^z + k^z} \right) \right] \quad (3)$$

式中, z 和 k 为尺度常数, $z=2.5$, k 为半饱和常数; H_j 是土地覆被类型 j 对应的生境类型得分,表示该土地覆被类型作为生境的支持能力。

假定土地的法律保护处于有效状态,基于2010年30 m×30 m土地利用/植被覆盖图(Current Land Cover Map),界定耕地、林地、草地、水域为生态用地,提取建设用地、铁路、主要公路、次要公路、港口和航道等6类威胁因子图层(Threat Layers),结合文献查阅及专家访谈^[39],确定威胁因子权重、威胁源对生态用地的最大影响距离(Threats Data)及生态用地对威胁因子的敏感度(Sensitivity of Land Cover Types to Each Threat)(表1)。

表1 长三角地区威胁数据表

Table 1 The threat data in the Yangtze River Delta

威胁源	权重	敏感度				最大影响 距离(km)
		耕地	林地	草地	水域	
建设用地	1	0.4	0.75	0.45	0.8	10
铁路	0.8	0.3	0.65	0.25	0.65	3
主要公路	1	0.2	0.55	0.15	0.55	5
次要公路	0.6	0.1	0.45	0.1	0.45	1
港口	1	0.4	0.8	0.45	0.8	10
航道	0.8	0.2	0.7	0.25	0.7	3

3) 生境质量综合评估

对以上两类评估结果分别进行极差标准化,以生境自身质量为基数,以生境在威胁情境下的质量表征生态用地受外部胁迫后的质量保存系数,通过乘积运算生成生境综合质量评价图。

1.3.2 情景设定及城市增长边界划定

建设用地量预测是城市增长边界划定的基础。以2006~2014年为基准,假定规划期内城乡人口比以指数模式增长,城乡人口比增长率与人口总规模增长率与历史平均增速保持一致,利用城乡人口增长率差法^[40]和综合增长率法^[41],分别模拟城市化率及常住总人口,结合人均城市建设用地量,预测2024及2034年城市建设用地量:

$$C_{(t,n)} = \frac{URR_{(t)} \times \exp[n \times rur_{(t,n)}] \times P_{(t)} \times (1+a)^n \times C}{1 + URR_{(t)} \times \exp[n \times rur_{(t,n)}]} \quad (4)$$

式中, $C_{(t,n)}$ 为 t 至 $t+n$ 时期的城市建设用地面积; $URR_{(t)}$ 为 t 时期的城乡人口比; $rur_{(t,n)}$ 代表规划期内城乡人口比增长率,即城镇人口增长率与农村人口增长率之差; $P_{(t)}$ 为 t 时期的常住总人口; a 为规

划期内人口年增长率,包括自然与机械增长率; C 为人均城市建设用地面积,以100 m²/人纳入计算^[42];数据主要来自2007~2015年《中国统计年鉴》^[43]、《浙江省统计年鉴》^[44]、《江苏省统计年鉴》^[45],人口相关数据均以常住人口为统计口径。

根据长三角地区一体化发展程度及建设用地指标再分配情况,设定三类规划情景。情景一:研究区一体化发展程度低,各市独立发展,在各市范围内分别进行建设用地量预测及用地分配,仅实现城市间边界的小范围融合;情景二:研究区一体化发展程度较低,各市仍独立发展,但可通过建设用地指标再分配方式调整城市边界,分别预测各市建设用地量,汇总后在长三角范围内进行用地分配;情景三:研究区一体化发展程度高,经济人口要素自由流动,基于长三角整体发展趋势进行建设用地总量预测,并在长三角范围内实现用地分配。

以不同情景的城市建设用地预测结果为阈值,选取生境质量低值斑块为建设用地。城市发展存在自身规律,为体现建设用地的空间集聚效应,同时模拟城市间边界融合现象,经建设用地结果矢量化及面积统计,剔除小于10 hm²的破碎化区域^[46],并结合滤波分析,以八邻域的加权平均值重新定义中心栅格属性,对城市边界进行细微调整。

2 结果与分析

2.1 长三角地区生境质量空间分异

长三角地区平均生态系统服务价值密度(即单位面积的生态价值量)为10 770.6元/(hm²·a),并呈现显著的空间异质性(图1),其中杭州价值密度最高[17 694.3元/(hm²·a)],上海最低[4 417.28元/(hm²·a)](图1a),而受北耕南林的土地利用格局影响,南部生境自身质量普遍较高,水域集中地的生态集聚效应突出(图2a)。生境受威胁区域则主要分布在环杭州湾及东部沿海地区,低质生境呈现“块网结合”模式(图2b),相较而言,上海、无锡、苏州、嘉兴的建设、交通用地等生境威胁因子布局紧凑,生境受威胁程度较高,且内部异质性明显,而上海低质生境比例最大(图1b)。总体来看,长三角地区生境综合质量呈现南高北低态势,低质生境主要分布在西北及环杭州湾区域,高质生境则位于西南地区(图2c),杭州、苏州、台州的生境质量整体较高,上海生境质量最低,南通生境均质化程度最高,苏州生境质量分布最为不均(图1c)。

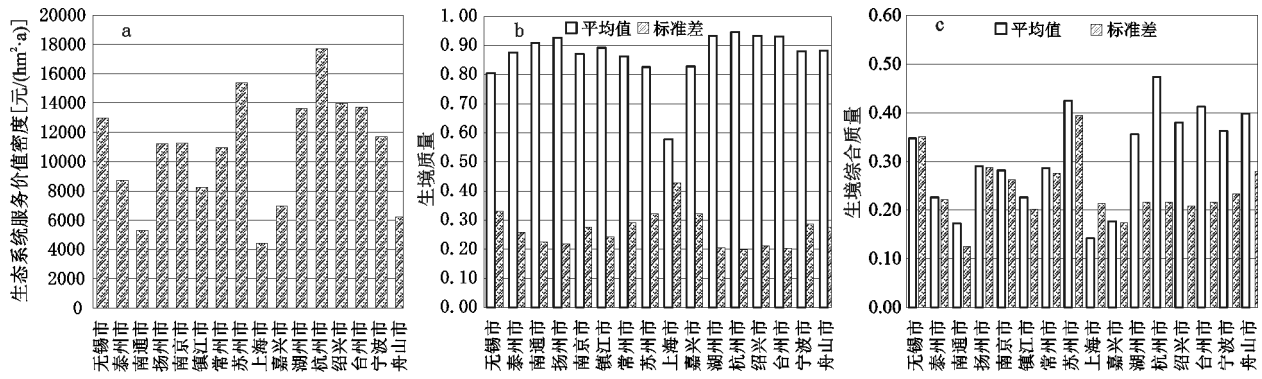


图1 生态系统服务价值密度(a)、基于威胁的生境质量(b)及生境综合质量(c)统计

Fig.1 Statistical graphs of ecosystem service values' density (a), threatened-habitat quality (b) and comprehensive habitat quality (c)

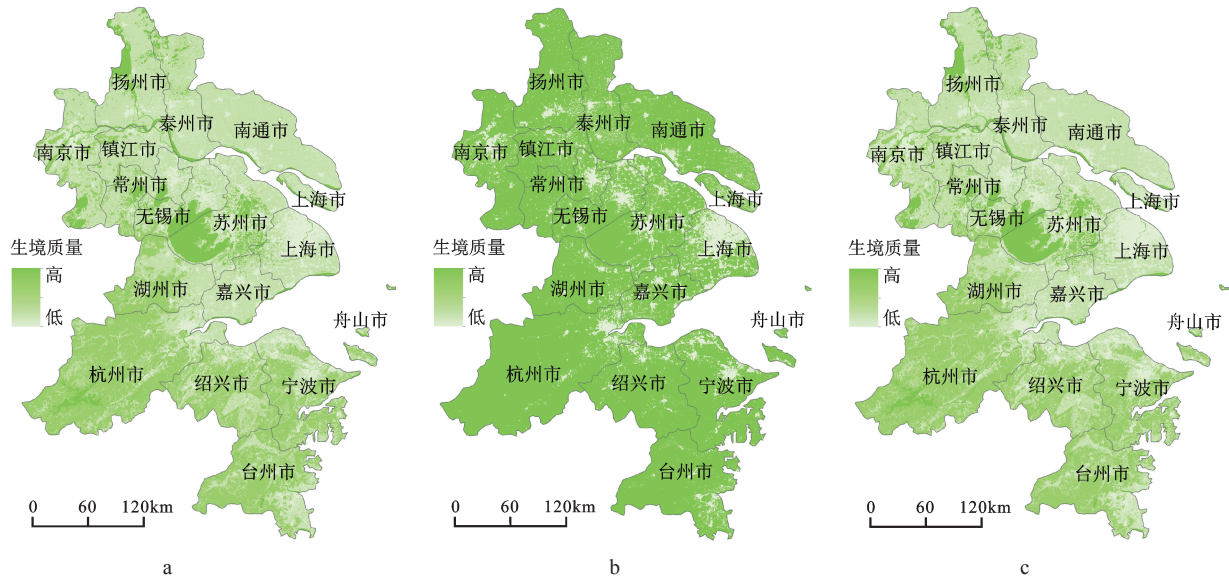


图2 生境基于自身质量(a)、威胁质量(b)及综合质量(c)空间分布

Fig.2 Spatial distribution of self-habitat quality (a), threatened-habitat quality (b) and comprehensive habitat quality (c)

2.2 长三角地区城市建设用地扩张情景模拟

模拟建设用地扩张的3类情景分别以各市建设用地量、各市汇总后建设用地量及长三角建设用地量为阈值,相应的城市建设用地预测量如表2所示。2014~2024年,情景二和情景三的建设用地增加量分别为2 546.644 km²和2 452.462 km²,年均增长率为3.106%和3.003%,2024~2034年增加量上升为3 020.262 km²和2 763.280 km²,年均增长率则下降为2.829%和2.632%。20 a间,情景一的各市建设用地增长量有较大差异,其中上海市扩张最多(分别为691.578 km²和907.599 km²),而苏州市扩张最快(年均增长率分别为5.214%和4.752%)。

2.3 长三角地区城市增长边界划定

根据3类情景模拟的2024、2034年城市增长边界如图3所示,城市建设用地集中分布在东部沿海地区,并主要向北部及环杭州湾区域拓展。上海作为长三角枢纽城市,建设用地比例及集聚度显著高于其余各市。以省级行政边界为界的长三角北翼的建设用地规模明显高于南翼,但基于Fragstats4平台的建设用地破碎程度(PD、ED、AREA_MN、CONTAG)计算结果表明,南部地区破碎化程度较低,建设用地内部联系紧密,有利于产生聚集经济,促进城市公共物品的供给和土地利用结构的优化,推动城市的长远发展。江苏和浙江省内部建设用地同样呈现明显的分异特征,集聚

表2 3类情景下城市建设用地需求量预测

Table 2 The predicted urban construction land under three scenarios

情景	区域	2024年城市建设用地需求量(km ²)	2034年城市建设用地需求量(km ²)	情景	区域	2024年城市建设用地需求量(km ²)	2034年城市建设用地需求量(km ²)
情景一	上海	2864.578	3772.177	情景一	无锡	609.556	745.237
	杭州	865.583	1097.031		常州	411.636	506.986
	南京	831.589	1025.493		镇江	254.929	298.485
	宁波	736.942	961.495		苏州	1238.989	1881.625
	舟山	94.939	116.762		扬州	334.810	381.189
	嘉兴	378.285	496.456		泰州	350.377	400.938
	绍兴	387.417	477.447		南通	562.589	645.837
	湖州	215.216	262.478		情景二	长三角地区	10583.273
台州	445.837	533.898	情景三	长三角地区	10489.090	13252.370	

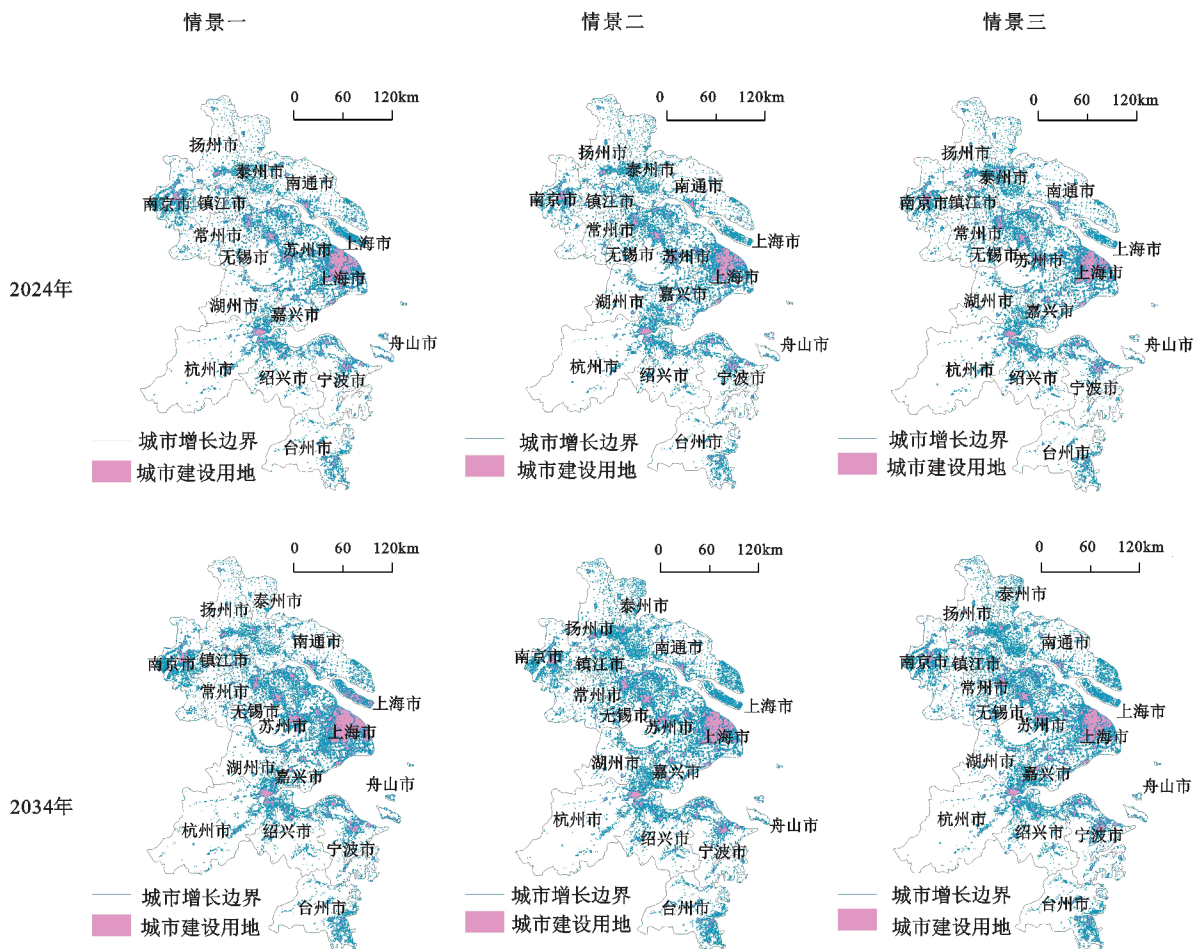


图3 长三角地区不同规划情景下2024、2034年城市增长边界

Fig.3 The simulated urban growth boundary of the Yangtze River Delta in 2024 and 2034 under three scenarios

程度与人口经济情况呈正相关,整体来看,苏南、浙北地区的建设用地比例及集聚度远高于苏中、

浙南地区。在市域尺度上,上海市建设用地比例最高,南通最低,上海、常州、无锡、南京等市的城

市发展均较为集聚。

2.4 不同情景城市增长边界对比

与情景一相比,情景二的边界模拟结果考虑各市生境质量差异,实现了长三角地区生态均衡状态下的建设用地布局,整体上降低了建设用地的生态负面影响。对比不同情景用于划定建设用地的生态门槛,可将长三角地区划分为建设用地指标迁出区、迁入区及迁出-迁入过渡区,进行建设用地指标的再分配。情景二的生态门槛由2024年的0.045上升到2034年的0.083,表明建设用地需求量的增加使生态压力不断加大。而情景一中,上海、杭州、南京、舟山、苏州等5市的生态门槛始终超过同期情景二取值,舟山高达0.174,说明在该区域进行建设用地布局需以更多的优质生境为代价,为缓解建设用地指标与生态保护的矛盾,应将其划为建设用地指标迁出区;宁波、嘉兴、绍兴、湖州、镇江、无锡、常州、扬州、泰州等9市的生态门槛则持续低于同期情景二结果,以嘉兴最低(由2024年的0.006上升至2034年的0.024),说明该区可作为建设用地指标迁入区,进行建设用地的大规模拓展,其中嘉兴市拓展潜力最大;台州、南通两市则随建设用地需求的扩大,由指标迁出区转变为迁入区。情景三基于长三角一体化发展理念,所需建设用地总量最少,且同样实现了指标的再分配,降低了生态负面总效应,说明人口经济要素的自由流动能够进一步缓解生态压力。

3 结论与讨论

3.1 结论

研究以长三角地区为例,结合生态系统服务价值量、InVEST模型生境质量模块和GIS技术,基于生境质量评价结果,分别划定了2024和2034年3类规划情境下的研究区城市增长边界。结果表明,长三角地区平均生态系统服务价值密度为10 770.604元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),生境质量总体呈南高北低格局,内部异质性显著,高质生境位于西南地区,低质生境则以“块网结合”模式位于西北及环杭州湾区域。根据情景二和情景三模拟得到2024年长三角建设用地总量分别为10 583.273 km^2 和10 489.090 km^2 ,并在2034年达到13 603.535 km^2 和13 252.370 km^2 ,建设用地集中分布在东部沿海地区,并向北部及环杭州湾区域拓展,研究区北部建设规模较大,但南部集聚效应更为明显,苏南、

浙北的建设用地规模及集聚度远高于苏中、浙南地区。而由于各地经济发展与生态保护的矛盾存在空间差异,通过建设用地指标再分配的方式,从整体上减少建设用地对优质生境的占用,将嘉兴、宁波、绍兴、湖州、镇江、无锡、常州、扬州、泰州等9市划为建设用地指标迁入区,上海、杭州、南京、舟山、苏州等5市为指标迁出区,并设定台州和南通两市为指标的迁出-迁入过渡区。在此基础上,推动长三角一体化发展、实现人口及经济要素在空间上的自由流动能够进一步降低建设用地需求量,从而缓解城市发展造成的生态压力。

3.2 讨论

城市发展与生态保护历来是研究热点话题,本文尝试基于“生态优先”理念划定城市增长边界,避免了政策及招商引资等随机事件的反向控制,较传统边界划定方法而言更符合城市增长边界的概念内核。而结合InVEST模型及生态系统服务价值量修正策略,方法还为在大尺度上定量化识别生态重点保育区域提供了可能,突破了传统经验主义识别的尺度局限性,且提高了评估准确度。研究所得的生境质量及边界划定的可视化结果能够为长三角地区制定大范围的生态保护政策及城市发展规划提供科学支撑,在此基础上的建设用地指标再分配及长三角一体化发展情景的模拟与对比则进一步探讨了“更优的”城市扩展路径。然而,研究模拟的规划情景均为理想状态,在实际边界划定过程中,跨省用地协调显然困难重重,因此亟需配合开展更为深入的地区协调发展研究,结合经济、人口等相关配套政策,保障和加快要素的自由流动。

作为“一带一路”政策的重要战略区域,长三角地区的城市建设用地布局将随国家重大基础设施分布而进行动态调整,因此将政策这一要素纳入情景模拟中,形成更具弹性的城市增长边界,将更符合城市实际发展情景。本文从城市建设用地“开源”问题出发,探讨的是如何避免建设用地对“优质生境”的占用,从而降低城市发展的生态负面效应,但事实上,更重要的举措在于控制建设用地需求量及提高土地利用效率,促进城市的“精明增长”。此外,本研究将维持生态完整性视作城市发展的先决条件,设定生境质量为建设用地量化的主导要素,而值得注意的是,城市扩张与生态保护常处于一种博弈状态,当生态环境保护抑制了

社会经济发展时,生态必然让步。因此,如何从科学决策角度出发,在保障重点生态区域的基础上,构建同时融合多重要素的量化模型,从而协调出一种实现社会、经济、生态综合效益最大化的优化格局,仍需不断探索。

参考文献(References):

- [1] 李冰,毕军,田颖.太湖流域重污染区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].地理科学,2012,32(4):471-476. [Li Bing, Bi Jun, Tian Ying. Effects of Land Use Change on Ecosystem Service Value in the Heavy Polluted Area in Taihu Lake Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(4): 471-476.]
- [2] 白杨,郑华,庄长伟,等.白洋淀流域生态系统服务评估及其调控[J].生态学报,2013,33(3):711-717. [Bai Yang, Zheng Hua, Zhuang Changwei et al. Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 711-717.]
- [3] Ego B,Reyers B,Rouget M et al.Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa[J].*Biological conservation*,2009,142(3):553-562.
- [4] Tannier C,Thomas I.Defining and characterizing urban boundaries:A fractal analysis of the theoretical cities and Belgian cities [J].*Computers,Environment and Urban Systems*,2013,(41): 234-248.
- [5] Long Y,Han H Y,Tu Y C et al.Evaluating the effectiveness of urban growth boundaries using human mobility and activity records[J].*Cities*,2015,(46):76-84.
- [6] Jun M J.The effects of Portland's urban growth boundary on housing prices[J].*Journal of the American Planning Association*, 2006,72(2):239-243.
- [7] Marin M C.Impacts of urban growth boundary versus exclusive farm use zoning agricultural land use[J].*Urban Affairs Review*, 2007,43(2):199-220.
- [8] Tayyebi A, Pijanowski B C,Tayyebi A H.An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An application to Tehran, Iran[J].*Landscape and Urban Planning*,2011,100(1):35-44.
- [9] 韩昊英.城市增长边界的理论与应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2014. [Han Haoying. *Theories and Application of Urban Growth Boundaries*. Beijing: China Architecture and Building Press, 2014.]
- [10] 冯科,吴次芳,韦仕川,等.城市增长边界的理论探讨与应用[J].经济地理,2008,28(3):425-429. [Feng Ke, Wu Cifang, Wei Shichuan et al. Research on urban growth boundary: Theoretical analysis and its application in China. *Economic Geography*, 2008, 28(3): 425-429.]
- [11] 黄明华,田晓晴.关于新版《城市规划编制办法》中城市增长边界的思考[J].规划师,2008,24(6):13-15. [Huang Minghua, Tian Xiaoping. Reflection on urban growth boundary in the new urban planning formulation means. *Planners*, 2008, 24(6): 13-15.]
- [12] 李咏华.城市增长边界设定的路径、技术、方法[M].北京:中国建筑工业出版社,2014. [Li Yonghua. *The Establishment of Urban Growth Boundary Research Path, Technique, Method*. Beijing: China Architecture and Building Press, 2014.]
- [13] 翟宝辉,王如松,李博.基于非建设用地的城市用地规模及布局[J].城市规划学刊,2008,(4):70-74. [Zhai Baohui, Wang Rusong, Li Bo. The scale and allocation of urban land use based on land unfit for construction. *Urban Planning Forum*, 2008, (4): 70-74.]
- [14] 罗震东,张京祥.中国当前非城市建设用地规划研究的进展与思考[J].城市规划学刊,2007,(1):39-43. [Luo Zhendong, Zhang Jingxiang. The total progress on the planning study for the land out of urban constructing in China. *Urban Planning Forum*, 2007, (1): 39-43.]
- [15] 张鸿辉,王丽萍,金晓斌,等.基于多智能体系统的城市增长时空动态模拟——以江苏省连云港市为例[J].地理科学,2012,32(11):1289-1296. [Zhang Honghui, Wang Liping, Jin Xiaobin et al. Simulation of Spatio-temporal Dynamical Change of Urban Growth Based on Multi-agent System: Case Study of Lianyungang City, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(11): 1289-1296.]
- [16] 高玉宏,张丽娟,李文亮,等.基于空间模型和CA的城市用地扩展模拟研究——以大庆市为例[J].地理科学,2010,30(5): 723-727. [Gao Yuhong, Zhang Lijuan, Li Wenliang et al. Urban Expansion Simulation Using GIS Spatial Analysis and Cellular Automata—A Case Study in Daqing City. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(5): 723-727.]
- [17] 何丹,金凤君,周璟.基于Logistic-CA-Markov的土地利用景观格局变化——以京津冀都市圈为例[J].地理科学,2011,31(8): 903-910. [He Dan, Jin Fengjun, Zhou Jing. The Changes of Land Use and Landscape Pattern Based on Logistic-CA-Markov Model—A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(8): 903-910.]
- [18] Millennium Ecosystem Assessment.Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report[M].Washington,DC: Island Press, 2005.
- [19] Kreuter U P,Harris H G,Matlock M D et al.Change in ecosystem service values in the San Antonio area,Texas[J].*Ecological Economics*,2001,39(3):333-346.
- [20] Chaudhary S,McGregor A,Houston D et al.The evolution of ecosystem services: A time series and discourse-centered analysis[J].*Environmental Science and Policy*,2015,(54):25-34.
- [21] Häyhä T,Franzese P P,Paletto A et al. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests[J].*Ecosystem Services*,2015,(14):12-23.
- [22] Stoll S, Frenzel M, Burkhard B et al.Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network[J].*Ecological Modelling*,2015,(295):75-87.
- [23] 王耕,王嘉丽,龚丽妍,等.基于GIS-Markov区域生态安全时空演变研究——以大连市甘井子区为例[J].地理科学,2013,33(8):957-964. [Wang Geng, Wang Jiali, Gong Liyan et al. Spa-

- tial-temporal Evolution of Regional Eco-security Based on GIS-Markov Model—A Case Study of Ganjingzi District in Dalian, Liaoning Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(8): 957-964.]
- [24] Costanza R, d'Arge R, De Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [25] Daily G C. *Nature's Services: Social Dependence on Nature Ecosystems*[M]. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [26] Leh M D K, Matlock M D, Cummings E C et al. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, (165): 6-18.
- [27] Su C H, Fu B J. Evolution of ecosystem services in the Chinese Loess Plateau under climatic and land use changes[J]. *Global and Planetary Change*, 2013, (101): 119-128.
- [28] 冯应斌, 何建, 杨庆媛. 三峡库区生态屏障区土地利用规划生态效应评估[J]. *地理科学*, 2014, 34(12): 1504-1510. [Feng Yinbin, He Jian, Yang Qingyuan. Evaluation of Ecological Effects in Land Use Planning: A Case Study of Ecological Barrier Zone of Three Gorges Reservoir Area. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(12): 1504-1510.]
- [29] Marquès M, Bangash R F, Kumar V et al. The impact of climate change on water provision under a low flow regime: A case study of the ecosystems services in the Francoli River basin[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, (263): 224-232.
- [30] Kirchner M, Schmidt J, Kindermann G et al. Ecosystem services and economic development in Austrian agricultural landscapes—The impact of policy and climate change scenarios on trade-offs and synergies[J]. *Ecological Economics*, 2015, (109): 161-174.
- [31] Delphin S, Escobedo F J, Abd-Elrahman A et al. Mapping potential carbon and timber losses from hurricanes using a decision tree and ecosystem services driver model[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, (129): 599-607.
- [32] 张旭亮, 宁越敏. 长三角城市群城市经济联系及国际化空间发展战略[J]. *经济地理*, 2011, 31(3): 353-359. [Zhang Xuliang, Ning Yuemin. Urban economic contacting and internationalization spatial development strategy in Yangtze Delta Area urban agglomeration. *Economic Geography*, 2011, 31(3): 353-359.]
- [33] 周炳中, 陈浮, 包浩生, 等. 长江三角洲土地利用分类研究[J]. *资源科学*, 2002, 24(2): 88-92. [Chen Bingzhong, Chen Fu, Bao Haosheng et al. Land use classification in Yangtze River Delta. *Resources Science*, 2002, 24(2): 88-92.]
- [34] 吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. *生态学报*, 2013, 33(13): 4125-4133. [Wu Jiansheng, Zhang Liqing, Peng Jian et al. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(13): 4125-4133.]
- [35] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919. [Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of National Resources*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [36] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 10-13. [Xie Gaodi, Xiao Yu, Zhen Lin et al. Study on ecosystem services value of food production in China. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2005, 13(3): 10-13.]
- [37] 涂小松, 龙花楼. 2000~2010年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化[J]. *资源科学*, 2015, 37(12): 2451-2460. [Tu Xiaosong, Long Hualou. Spatial patterns and dynamic evolution of ecosystem service values in Poyang Lake Region from 2000 to 2010. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2451-2460.]
- [38] Petrosillo I, Zaccarelli N, Semeraro T et al. The effectiveness of different conservation policies on the security of natural capital[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 89(1): 49-56.
- [39] 肖明. GIS在流域生态环境质量评价中的应用[D]. 海口: 海南大学, 2011. [Xiao Ming. The application of GIS in watershed ecological quality evaluation. Haikou: Hainan University, 2011.]
- [40] 宋丽敏. 中国人口城市化水平预测分析[J]. *辽宁大学学报(哲学社会科学版)*, 2007, 35(3): 115-119. [Song Limin. An Analysis of the Level of China's Urbanization. *Journal of Liaoning University (Philosophy and Social Sciences)*, 2007, 35(3): 115-119.]
- [41] 陈尹元, 周宝同, 陈成龙. 重庆市涪陵区城镇化水平驱动机制分析及预测[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(24): 461-465. [Chen Yinyuan, Zhou Baotong, Chen Chenglong. Driving Forces and Forecasting of Urbanization in Fuling District of Chongqing City. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24): 461-465.]
- [42] 国土资源部. 国土资源部关于强化管控落实最严格耕地保护制度的通知[J]. *资源导刊*, 2014, (4): 8-10. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Land and Resources on Strengthening the Control and Implementation of the Most Stringent Farmland Protection System. *Resources Guide*, 2014, (4): 8-10.]
- [43] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2015. [Department of Urban Surveys of National Bureau of Statistics of China. *China City Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2007-2015.]
- [44] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2015. [Zhejiang Province Bureau of Statistics. *Statistical Year Book of Zhejiang*. Beijing: China Statistics Press, 2007-2015.]
- [45] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2015. [Jiangsu Province Bureau of Statistics. *Statistical Year Book of Jiangsu*. Beijing: China Statistics Press, 2007-2015.]
- [46] 李咏华. 生态视角下的城市增长边界划定方法——以杭州市为例[J]. *城市规划*, 2011, 35(12): 83-90. [Li Yonghua. Method of determining urban growth boundary from the view of ecology: A case study of Hangzhou. *City Planning Review*, 2011, 35(12): 83-90.]

Urban Growth Boundary Based on the Evaluation of Habitat Quality: Taking the Yangtze River Delta as an Example

Wu Jiansheng^{1,2}, Mao Jiaying¹, Lin Qian³, Li Jiacheng^{1,4}

(1.Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China; 2.Key Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3.Ningbo Urban-Rural Planning Research Center, Ningbo 315040, Zhejiang, China; 4.Department of Urban Development and Land Policy, Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518028, Guangdong, China)

Abstract: The world's natural ecosystem provides products of 15 trillion pounds annually, but with the universal urban expansion caused by economic development, ecological balance is gradually disrupted. Therefore, it's critical to maintain ecosystem stability in the identification of urban growth boundary, which is regarded as an effective tool to control urban sprawl. However, very few methods, currently, have taken ecosystem into their account. With the concept that "ecology goes first", this article put forward a method to identify the urban growth boundary based on the evaluation of habitat quality. Using the platform of ArcGIS and InVEST model, two aspects of habitat quality were considered in the assessment: the quality of habitat itself and the quality under threats. As a representative of the former quality, ecosystem service value of each cell was calculated. As to the latter one, InVEST model was used to assess cells' threatened degree. In the prediction of the amount of future construction land, three scenarios were developed. The first scenario was based on the assumption that cities had separate development and urban planning. The second scenario assumed that in spite of the separate planning, it's possible to conduct the redistribution of construction land index. The third scenario ignored the boundaries of administrative jurisdiction and regarded the study area as a single. By selecting districts with lower habitat quality as construction land, the simulated urban growth boundary of the Yangtze River Delta in 2024 and 2034 were determined. The conclusions showed that habitat quality in the south of the Yangtze River Delta was overall higher than that in the north and the average density of ecosystem service values was 10 770.6 yuan/(hm² • yr). Habitat with higher quality was located in the southwest area, while the lower one was in the eastern district and Round Hangzhou Bay. By 2024, the predicted quantity of construction land have been to 10 583.27 km² (scenario 1 and 2) and 10 489.09 km² (scenario 3), and then have been to 13 603.53 km² (scenario 1 and 2) and 13 252.37 km² (scenario 3) by 2034. East coastal area would be the center of construction land, and the northern districts and Round Hangzhou Bay were considered to be the main expansion area. In order to avoid the occupation of construction land on habitats with higher quality as a whole, 9 cities were classified as emigration region of construction land index, and 5 cities were categorized as immigration area, and the left 2 cities were transition regions. Moreover, regional integration of the Yangtze River Delta could also helpfully mollify the contradictions between urban development and ecological protection. Policy recommendations on the identification of urban growth boundary were proposed at the end, while possible innovations and inadequacies of this article were also concluded.

Key words: urban growth boundary; habitat quality; ecosystem service; the Yangtze River Delta; InVEST model