

基于空间网格的区域生态承载力与 产业布局一致性评价

陆文涛^{1,2} 付正辉^{3,4,†} 郭怀成⁴ 吕红迪^{2,†} 于雷²

1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012;
4. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; † 通信作者, E-mail: fzh@pku.edu.cn(付正辉), 279319124@qq.com (吕红迪)

摘要 以千米尺度的空间网格为基本测算单元, 通过构建合适的评价指标体系, 开展区域生态承载力与产业布局一致性评价。以上海市青浦区为案例的研究结果表明: 1) 该方法可以有效地识别区域生态承载力与产业压力空间分布状况, 能够对区域生态承载力与产业布局一致性展开评价; 2) 青浦区平均产业压力指数为0.51, 生态承载力指数为0.25, 全区生态承载力与产业布局一致性较高, 平均一致性指数为3.12。

关键词 空间网格; 生态承载力; 产业压力; 一致性评价

Consistency Evaluation of Regional Ecological Carrying Capacity and Industrial Layout Based on Spatial Grid

LU Wentao^{1,2}, FU Zhenghui^{3,4,†}, GUO Huaicheng⁴, LÜ Hongdi^{2,†}, YU Lei²

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012; 3. Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012; 4. College of Environment Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; † Corresponding authors, E-mail: fzh@pku.edu.cn (FU Zhenghui), 279319124@qq.com (LÜ Hongdi)

Abstract Based on the spatial grid of the kilometer scale, the basic evaluation unit is constructed. The consistency evaluation of regional ecological carrying capacity and industrial layout are carried out. The Qingpu District of Shanghai is used as a research case. The results show that proposed method can effectively identify the regional ecological carrying capacity and the spatial distribution of industrial pressure, and evaluate the consistency of the regional ecological carrying capacity and industrial layout. The average industrial pressure index of Qingpu District is 0.51, and the ecological carrying capacity index is 0.25. The ecological carrying capacity of Qingpu district has a high consistency with the industrial layout, and the average consistency index is 3.12.

Key words spatial grid; ecological carrying capacity; industrial pressure; consistency evaluation

承载力的概念来自物理学, 指物体在不产生任何破坏时所能承受的最大负荷^[1]。20世纪70年代开始, 由于能源枯竭、环境恶化等现象日趋严重, 承载力概念广泛应用于环境、能源和经济等领域的研究中^[2-9]。近年来随着研究的深入, 承载力的概念已应用于多个领域, 并产生生态承载力、环境承载力和土地承载力等概念。代表区域资源和环境子系统对社会经济、人口活动支撑和容纳能力的生态承载力研究一直备受国内外学者关注, 已成为区域

可持续发展的重要理论支撑^[10]。

目前, 我国经济增速放缓, 但工业化和城镇化进程加快, 资源环境与经济发展的矛盾较为突出。为了解决区域发展面临的问题, 部分学者将产业发展与生态承载力相联系, 针对产业发展对生态承载力的影响、基于生态承载力评价的产业优化等问题展开研究, 探讨二者的相互作用^[11-14]。生态承载力已成为区域产业发展的重要约束条件, 其大小决定一个地区的产业类型以及产业空间布局方式^[15]。

基于生态承载力的理论和方法,识别区域产业发展的关键生态限制因素,研究构建产业发展与生态承载力一致性评价的方法,成为当前生态承载力与产业经济领域的研究重点和难点。

本研究从空间尺度出发,以千米尺度格点为基本单元,构建合适的生态承载力与产业结构评价指标体系,计算区域空间尺度产业压力指数和生态承载力指数,并进行空间网格的区域生态承载力与产业布局一致性评价,从而为区域产业结构空间布局调整和优化决策提供科学支持。

1 研究区概况

青浦区位于上海市西南部(120°53′—121°17′E, 30°59′—31°16′N),太湖下游,黄浦江上游。东与虹桥综合交通枢纽毗邻,西连江苏省吴江和昆山两市,南与松江区、金山区及浙江省嘉善县接壤,北与嘉定区相接,为长江三角洲经济圈中心地带,总面积为668.54 km²。境内辖有上海市最大的淡水湖泊淀山湖,辖区内水域面积占全区土地总面积的18.6%。近年来,区域经济运行总体平稳,2018年实现地区生产总值1074.3亿元,比上年增长6.4%。全区共有8个镇、3个街道,分别是赵巷镇、徐泾镇、华新镇、重固镇、白鹤镇、朱家角镇、练塘镇、金泽镇、夏阳街道、盈浦街道和香花桥街道(图1)。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

根据区域实际情况和发展目标,参照现有研究中可持续发展度量指标体系和生态市建设指标体系,以土地利用、经济发展状况和环境质量等指标

为基础,构建生态承载力指数评价指标体系和产业压力指数评价指标体系。指标体系分为目标层、准则层和指标层3个层次。根据专家打分法,获得3个层次不同指标对应的权重,如表1所示。其中,NDVI指数和区域生态服务价值权重值最低,不同污染物环境容量指标具有最高的权重。

2.2 一致性评价方法

以生态承载力指数和产业压力指数评价指标体系为基础,以1千米格点尺度为基本测算单元,计算生态承载力指数和产业压力指数。用产业压力指数和生态承载力指数的比值——承压度指数(DPI)来表征区域生态承载力与产业布局的一致性关系,根据研究区域DPI进行承载力与产业布局一致性评价。DPI计算公式为

$$DPI_j = W_j / C_j (j = 1, 2, 3, \dots, m),$$

DPI_j为第j个单元的承压度, W_j为第j个单元的产业压力指数, C_j为第j个单元的生态承载指数。

表1 生态承载力指数和产业压力指数评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of ecological carrying capacity index and industrial pressure index

目标层	准则层	指标层	权重
生态系统承载力	生态弹性指数	土地利用(林地、草地、水域)	0.04
		NDVI	0.03
		生态空间	0.13
	资源供给指数	建成区面积	0.05
		COD 环境容量(t)	0.15
		氨氮环境容量(t)	0.15
	环境容量指数	总磷环境容量(t)	0.15
		污染土地面积	0.15
		区域人口密度	0.04
	获得性支撑力指数	区域 GDP 密度(亿元)	0.08
产业压力	资源消耗指数	生态服务价值	0.03
		分区能源消费量(t)	0.125
		农业用水量(t)	0.125
	环境污染指数	氨氮(t)	0.125
		COD(t)	0.125
		总磷(t)	0.125
		NO _x (t)	0.125
		PM _{2.5} (t)	0.125
		二氧化硫(t)	0.125

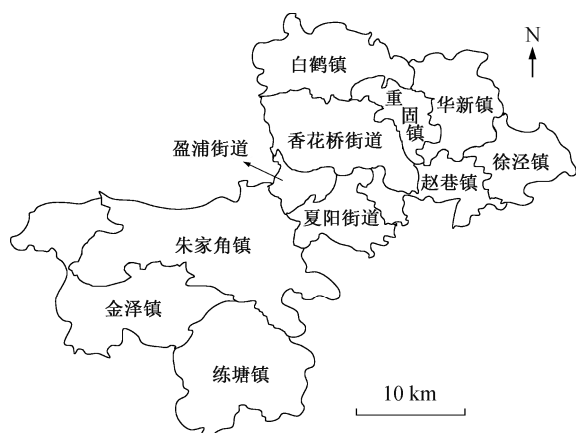


图1 青浦区行政区划

Fig. 1 Geographical location of Qingpu District

2.3 数据处理

指标体系中的各个指标都具有各自的量纲和分布区间,无法直接进行比较和运算。为消除各评价指标量纲差异的影响和统一指标的变化范围,先对体系中的原始指标进行无量纲变换处理:

$$x_i' = \begin{cases} \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_i \text{ 为效益性指标,} \\ \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_i \text{ 为成本性指标,} \end{cases}$$

其中, x_i' 为归一化后的结果, x_i 为各指标计算后得到的原始结果, x_{\max} 为各指标原始结果的最大值, x_{\min} 为各指标原始结果的最小值。

2.4 数据获取

本研究中土地利用、NDVI、区域人口密度、区域GDP密度和生态服务价值等为1千米尺度的栅格数据,来自中科院资源环境科学数据中心^[16-19]。生态空间区划、环境容量和污染物排放状况等来自上海市“三线一单”^①环境容量计算结果及上海市统计年鉴,并基于行政区划、“三线一单”保护区划和环境管控单元的区划结果,进行空间插值及栅格化处理获得。

3 区域生态承载力与产业空间一致性评价结果

根据建立的生态承载力指数和产业压力指数指标体系及其权重,结合青浦区相关数据,分别得到青浦区生态承载力指数、产业压力指数以及生态承载力与产业空间一致性评价结果,如图2所示。

可以看出,青浦区产业压力呈现明显的两极分

化状态,压力指数较大的区域集中在东北部产业聚集及人口密集地区,产业区位与人口密集程度具有高度的一致性。西南区域产业压力相对较小。从行政区划看,盈浦街道、夏阳街道、香花桥街道和重固镇压力最大,华新镇、赵巷镇和徐泾镇稍微降低,金泽镇、朱家角镇和练塘镇产业压力指数最低。整体而言,青浦区产业压力指数在0.24~0.85之间,全区平均产业压力指数为0.51。

青浦区生态系统承载力分布较为复杂,整体上呈现东北高、西南低的格局。从行政区划看,盈浦街道、夏阳街道、香花桥街道、徐泾镇和赵巷镇承载力最大,香花桥街道、华新镇和白鹤镇明显降低,金泽镇、朱家角镇和练塘镇生态系统承载力指数最低。青浦区生态系统承载力指数在0.03~0.70之间,全区平均生态承载力指数为0.25。

青浦区生态承载力与产业布局一致性指数显示,一致性评价较差的区域集中在东北部和西部,主要为产业集中区域和生态环境较敏感脆弱区域。整体而言,青浦区生态承载力与产业布局一致性较高,仅有少量地区呈现不一致性,一致性指数在0.86~12.75之间,全区平均一致性指数为3.12。

4 结论

本文以上海市青浦区为研究案例,基于构建的生态承载力指数评价指标体系和产业压力指数评价指标体系,以千米尺度格点为基本测算单元,进行区域生态承载力与产业布局一致性评价,得到结论如下。

1) 本文方法可以有效地评价区域生态承载力和产业压力空间分布状况,能够对区域生态承载力

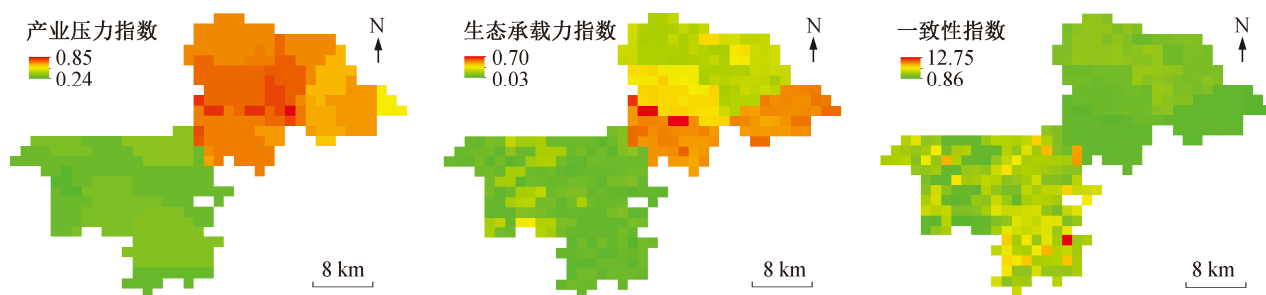


图2 青浦区产业压力指数、生态承载力指数及其一致性评价指数

Fig. 2 Industrial pressure index, ecological carrying capacity index and the consistency index of Qingpu District

① “三线一单”指生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单,是推进生态环境保护精细化管理、强化国土空间环境管控以及推进绿色发展高质量发展的一项重要工作。

与产业布局的一致性展开相关核算与评价,为区域产业布局提供一定的科学依据。

2) 青浦区产业压力呈现明显的两极分化状态,产业压力与产业和人口密集程度具有高度的一致性。全区平均产业压力指数为0.51。青浦区生态系统承载力分布较为复杂,整体上东北高、西南低,全区平均生态承载力指数为0.25。

3) 青浦区生态承载力与产业布局一致性较高,全区平均一致性指数为3.12,仅小部分区域呈现不一致性,一致性评价较差的区域集中在青浦区的东北部产业聚集区和西部生态保护区。

根据本文结果,建议青浦区在未来的发展中通过建立污水处理厂以及增加企业大气污染物超低排放标准等方式提高现有产业园区的生态承载力,同时将未来的发展重点及部分低污染企业向西南部迁移,最终达到区域可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 姜大川. 气候变化下流域水资源承载力理论与方法研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018
- [2] Graymore M L M, Sipe N G, Rickson R E. Sustaining human carrying capacity: a tool for regional sustainability assessment. *Ecological Economics*, 2010, 69(3): 459–468
- [3] Tehrani N A, Makhdoum M F. Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity Load Number (UCCLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems. Case study: Tehran metropolis. *Ecological Indicators*, 2013, 32: 197–211
- [4] Chapman E J, Byron C J. The flexible application of carrying capacity in ecology. *Global Ecology & Conservation*, 2018, 13: e00365
- [5] Marganingrum D. Carrying capacity of water resources in Bandung Basin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bandung, 2018: 012026
- [7] 李金海. 区域生态承载力与可持续发展. *中国人口·资源与环境*, 2001, 11(3): 76–78
- [8] 杨志峰, 隋欣. 基于生态系统健康的生态承载力评价. *环境科学学报*, 2005, 25(5): 586–594
- [9] 李焕, 黄贤金, 金雨泽, 等. 长江经济带水资源人口承载力研究. *经济地理*, 2017, 37(1): 181–186
- [10] 贾克敬, 张辉, 徐小黎, 等. 面向空间开发利用的土地资源承载力评价技术. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 335–341
- [11] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2001
- [12] 王维, 江源, 张林波, 等. 基于生态承载力的成都产业空间布局研究. *环境科学研究*, 2010, 23(3): 333–339
- [13] 覃玲玲, 周兴. 基于生态承载力的产业布局与结构优化研究. *安徽农业科学*, 2011, 39(16): 9822–9826
- [14] 潘洪义, 朱晚秋, 崔绿叶, 等. 成都市人均生态足迹和人均生态承载力空间分布差异. *生态学报*, 2017, 37(19): 50–60
- [15] 荣月静, 郭新亚, 杜世勋, 等. 基于生态系统服务功能及生态敏感性与PSR模型的生态承载力空间分析. *水土保持研究*, 2019, 26(1): 329–335
- [16] 邬娜, 傅泽强, 谢园园, 等. 基于生态承载力的产业布局优化研究进展述评. *生态经济*, 2015, 31(5): 21–25
- [17] 徐新良. 中国GDP空间分布公里网格数据集[EB/OL]. (2017–12–11)[2019–03–15]. <http://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=33>
- [18] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集[EB/OL]. (2017–12–11)[2019–03–15]. <http://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=32>
- [19] 徐新良. 中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集[EB/OL]. (2018–06–06)[2019–03–15]. <http://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=49>
- [20] 徐新良. 中国陆地生态系统服务价值空间分布数据集[EB/OL]. (2018–06–05)[2019–03–15]. <http://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=48>