

# 基于 GIS 的上海城市生态保护重要性分析

徐睿泽

(中国地质大学(北京), 信息工程学院 北京 100083)

**摘要:** 面对当前阶段资源短缺、生态退化日益加剧的现象, 为建设资源节约集约利用的高密度超大城市, 推动上海市的健康可持续发展。本文建立适合上海实际情况的指标评价体系, 在生态保护方面选取 5 个一级指标以及 9 个二级指标, 采用层次分析法和基于 GIS 的空间可视化技术对生态系统服务功能重要性进行评价, 并基于生态廊道和自然保护区对生态保护重要区和极重要区的划定进行修正。研究结果表明: 崇明区、青浦区西南部、松江区、金山区和奉贤区是生态保护极重要区, 是发展生态的重要区域; 上海市沿海滩涂湿地的生物多样性维护和生态服务功能优良, 为上海市提供了陆海开放型的国土开发格局; 本文基于上述评价结果提出合理建议, 明确上海市在城市建设中面临的风险和问题, 从而因地制宜地优化国土空间格局并完善主体功能定位。

**关键词:** 承载力评价; 层次分析; GIS 技术; 生态保护

## 0 引言

随着城市规模的不断扩大, 人地矛盾突出, 导致生态环境保护和城市产业发展出现冲突, 为保障城市健康稳定的发展, 充分了解生态环境现状及存在的问题是至关重要的。国外学者 Verhulst 和 Pearl<sup>[1]</sup>最早提出了承载力的数学模型——Logistic 模型, 用于描述环境容量对人口数量的限制。Arrow 等<sup>[2]</sup>研究分析了经济增长与环境和恢复力间的关系, 逐渐加强了人们对资源环境承载力的重视。同样, 我国也从评价方法和研究视角两方面展开国土空间开发建设适宜性的评价<sup>[3]</sup>。余挚海<sup>[4]</sup>基于 RS 和 GIS 技术, 从上海市土地覆盖入手研究生态环境演变, 从而提出改善上海市生态环境的建议。陈静文<sup>[5]</sup>以上海市为例, 建立了一个量化城市生态系统评价的指标体系, 对其城市生态系统现状和发展水平的均衡性进行了分析, 并完成对未来生态质量优劣程度的预测。本研究在城市尺度下以上海市为研究对象, 结合 GIS 技术, 从生态系统功能重要性角度选取水源涵养功能、水土保持功能、防风固沙功能、海岸防护功能和生物多样性维护功能五个因子展开生态环境质量的评价, 从而明确当地自然资源禀赋特征的优势和劣势, 进而评估城市生态质量的好坏, 保障上海市的可持续发展。

## 1 研究区与数据源

### 1.1 研究区

上海市的地理位置为北纬 30°40′ - 北纬 31°53′, 东经 120°51′ - 东经 122°12′, 位于我国南北海岸线中段, 长江入海口处。其气候为北亚热带海洋性季风气候, 同时上海市河流数量较多、水网密集, 过境水量大, 其丰富的水资源为建立良好的生态系统提供保障。上海市在 2018 年被评为“世界一线城市”, 其 GDP 总量达到了 38155.32 亿元, 位居国内内陆城市第一。同时大量的外来人口涌入, 也让上海市常住人口总量达到了 2428.14 万人。根据上海市主体功能区划规划功能, 在 16 个行政区中崇明区为综合生态发展区。

### 1.2 数据源

本文从上海市政府网、上海市统计年鉴、上海市资源公报和相关网站等多方面收集空间数据和属性数据, 以保证数据的完整性。表 1 为本研究中用到的空间数据及其数据来源, 其中所有数据都采用 CGCS2000 地理坐标系, 以 117° 为中央经线的高斯克吕格投影

坐标系, 分辨率统一进行重采样为 250m。表 2 为本研究中用到的属性数据及其数据来源, 将处理后的数据导入 ArcGIS10.2 软件中进行所需要的空间可视化。

表 1 空间数据

数据集名称	类型	精度	来源
全国各省市县行政区划	矢量	----	地理空间云平台
全国河流数据集	矢量	----	CSDN
NPP 数据集	栅格	1km	全球变化科学研究数据出版系统
DEM 数据	栅格	30m	地理空间数据云 (ASTER GDEM 产品)
中国 1:100 万土壤数栅格数据集	栅格	1km	CSDN
土地覆盖数据	栅格	30m	清华大学 FROM-GLC30 产品

表 2 属性数据

数据集名称	来源
气象数据集 (气温、降雨量、风速、湿度)	中国气象数据网
上海市水文数据 (各区用水量控制指标、水功能区划、地表水资源量)	上海市水务局的水资源公报、上海市生态环境局水环境质量《地表水环境质量评价办法 (试行)》
上海市各区用水量	《上海市用水定额 (试行)》和《上海市供水规划 (2019-2035 年)》

## 2 研究方法

### 2.1 生态保护重要性评价指标

国土空间开发适宜性评价是遵循土地适宜性原则, 利用一定的地理空间基础数据, 采用统一方法对全域空间进行生态保护重要性评价, 从而确定各地区的农业生产和城镇建设适宜性等级。因此构建科学合理的生态保护重要性指标体系是十分必要的, 其体系应遵循科学性、系统性、综合性、层次性、区域性、动态性的基本原则。本文中生态保护重要性评价中所需要的三级评价因子如表 3 所示。

表 3 生态保护重要性评价指标

一级		二级		三级	
评价因子	说明	评价因子	说明	评价因子	说明
WR	生态系统水源涵养服务功能指数	NNPmean	多年植被净初级生产力平均值		
		Fsic	土壤渗流因子		
		Fpre	多年平均降水量		
		Fslo	坡度因子		
Spro	水土保持服务能力指数	K	土壤可蚀性因子	mc	粘粒 (<0.002mm)
				msilt	粉粒 (0.002mm-0.05mm)

			ms	砂粒 (0.05mm-2mm)
			orgC	有机碳含量 (%)
		NNPmean	多年植被净初级生产力平均值	
		Fslo	坡度因子	
Sws	防风固沙服务能力指数	Fq	多年平均气候侵蚀力	
			u	3米高处的月平均风速
			ETPi	月潜在蒸发量 (mm)
			Pi	月降水量 (mm)
			Ti	月平均气温
			ri	月平均相对湿度 (%)
		NNPmean	多年植被净初级生产力平均值	
		D	地表粗糙度因子	
Sli	海岸线防护能力指数	Li(i=0,1...8)	土地覆盖类型	
Tva	生物多样性功能指数	Li(i=0,1...8)	土地覆盖类型	
		Abio	生物丰度指数的归一化系数	

2.2 生态保护重要性单因子评价方法

依据评价指标的选取标准, 本文从生态系统功能重要性的角度出发, 分别对水源涵养功能重要性、水土保持功能重要性、防风固沙功能重要性、海岸防护功能重要性和生物多样性维护功能重要性 5 个单因子进行评价, 计算公式中用到的评价因子的符号说明见表 3, 具体的评价方法如下:

(1) 水源涵养功能重要性评价:

$$WR = NPPmean \times Fsc \times Fpre \times (1 - Fslo) \quad \text{---式 (1)}$$

利用 ArcGIS10.2 软件对式 (1) 中的四个评价因子分别进行掩膜、反距离权重法插值和计算坡度的处理, 即实现研究区数据的空间可视化, 然后采用模糊隶属度工具对上述四个因子进行归一化处理, 并利用栅格计算器按照式 (1) 进行模型计算。

(2) 水土保持功能重要性评价:

$$Spro = NPPmean \times (1 - K) \times (1 - Fslo) \quad \text{---式 (2)}$$

$$K = (-0.01383 + 0.51575K_{EPIC}) \times 0.1317 \quad \text{---式 (3)}$$

$$K_{EPIC} = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\} \times [m_{silt} / (m_s + m_{silt})]^{0.3} \\ \times \left\{ 1 - \frac{0.25orgC}{[orgC + \exp(3.72 - 2.95orgC)]} \right\} \times \{ 1 - 0.7(1 - m_s/100) / [(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp(-5.51 + 22.9(1 - m_s/100))] \} \quad \text{----式 (4)}$$

K 因子是按照式 (3) 和式 (4) 利用土壤数据集计算得到的, 进而采用模糊隶属工具和栅格计算器对式 (2) 因子做与式 (1) 相

同处理。

(3) 防风固沙功能重要性评价:

$$Sws = NPPmean \times K \times Fq \times D \quad \text{---式 (5)}$$

$$Fq = 1/100 \sum_{i=1}^{12} u^3 \{ (ETP_i - P_i) / ETP_i \} \times d \quad \text{---式 (6)}$$

$$ETP_i = 0.19 (20 + T_i)^2 \times (1 - r_i) \quad \text{---式 (7)}$$

$$u_2 = u_1 (Z_2 / Z_1)^{\frac{1}{7}} \quad \text{---式 (8)}$$

$$D = 1 / \cos(\theta) \quad \text{---式 (9)}$$

按照式 (6) - 式 (8) 计算气象站点数据得到 Fq, 从而在 ArcGIS 软件中通过反距离权重插值法进行空间可视化; 利用坡度数据基于 ArcGIS 软件中的字段计算器按照式 (9) 计算 D 因子。进而采用模糊隶属工具和栅格计算器对式 (5) 因子做与式 (1) 相同处理。

(4) 海岸防护功能重要性评价:

《全国海洋功能区划(2011 年-2020 年)》文件中提出, 到 2020 年上海市自然岸线保有率要达到 12% 以上。因此本文选取 8 个土地利用类型作为评价因子, 建立海岸带 3 千米缓冲区的生态环境遥感评价体系, 并利用层次分析法计算每个评价指标的权重 (表 4), 通过权重以及每个因子在各区域面积占比, 从而计算每个区域的综合评价价值。

表 4 上海市海岸带生态环境质量评价体系

目标层	准则层	指标层	说明	权重
海岸带生态环境质量	不透水面	城镇住宅	由城市道路及自然支流划分, 完整的居住地段	-0.085
		工业用地	独立的工厂车间, 建筑生产用地等	-0.189
		道路交通	道路、铁路、机场、港口等交通运输设施	-0.03
	农用地	耕地	种植作物的农田	0.036
		草地	公园绿化	0.035
		林地	主要包括经济林、防护林和疏木林	0.097
	水域湿地	灌木	丛生状态比较矮小的树木	0.05
		水体	主要指河流、湖泊和水库	0.123
		湿地	滩涂湿地	0.275
		其他用地	尚未用地的区域	-0.08

(5) 生物多样性维护功能重要性评价:

本文结合《生态环境质量评价方法及分级标准》相关文件以及余挚海<sup>[5]</sup>对上海市生态环境演变的研究并利用生物丰度指数, 即通过单位面积上不同生态系统类型在生物物种数量上的差异, 来间接地反映被评价区域内生物的多样性。生物丰度的权重分配与公式如

下面的公式所示:

$$\text{生物丰度指数} = \frac{Abio \times (0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水体湿地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{不透水面} + 0.01 \times \text{裸地})}{\text{区域总面积}} \quad \text{式 (10)}$$

根据国家环保部相关文件的归一化指数的经验数据, Abio

=400.62

### 2.3 集成评价方法

在完成上述单因子的评价后,需要将单因子进行加权叠加并利用自然断点法分级,进而得到生态系统服务功能重要性的集成评价结果。本文运用层次分析法并结合上海市实际情况,利用 Matlab 软件为上述五个单因子分配权重,模型最终的计算结果 CR=0.0275,被认为符合一致性检验。

本文将上海生态系统服务功能重要性评价结果与上海市生态敏感性评价结果做配准,进行像元统计从而得到上海市初判的生态保护重要性分级结果,进而根据《上海市生态保护红线》文件中生态保护红线的划定,基于生态廊道和生态系统完整性修边对初判结果进行升级修正,最终得到修正后的生态保护重要性评价结果。

### 3 生态保护重要性评价结果

图 1 展示了上海市水源涵养功能、水土保持以及防风固沙重要性的评价结果。图 1(a) 结果显示 WR 值总体由东北向西南逐渐降低。可以看出北部崇明岛的水文环境状况最佳,植被覆盖度高且土壤沙化和水土流失情况得到很好地控制。图 1(b) 结果显示 Spro 值总体由东北向西南逐渐降低,其中黄浦江流域及临江市中心的数值最低。因此应该重点开展对黄浦江流域的水土保护工作,从而满足可持续发展的客观要求。从图 1(c) 中不难发现 Sws 值总体呈北部高南部低的分布特征,因此应该重点加强上海市中部及南部尤其是海岸带的防风固沙建设工作,来保证农田、交通和居民地不受沙流的侵害。

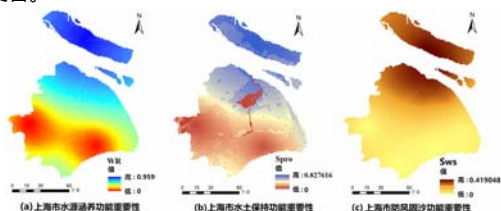
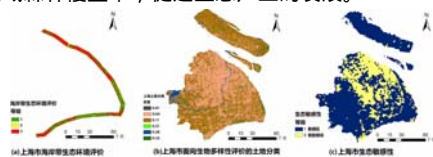


图 1 功能重要性评价结果

图 2(a) 展示了上海沿海的 5 个城区的土地覆盖情况和海岸防护功能的重要性等级,由评价结果可以看出东南部的浦东新区和奉贤区的海岸线生态环境有待提高。图 2(b) 展示了生物多样性的评价结果,结果显示上海市应加强草地、水体湿地和林地的建成面积,来提高当地生物多样性达到维持生态平衡的目的。生态敏感性指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反映程度,表征发生区域生态环境问题的难易程度和概率大小。图 2(c) 可以看出上海市生态敏感性在空间上呈现显著差异,北部崇明岛、西南部和东部多呈现一般敏感和敏感的状态,而中部的中心城区多为极敏感的集中区域,处于脆弱生态环境的现象,极易受到人为的干扰。对于敏感区应提高区域森林覆盖率,促进生态产业的发展。



### 图 2 海岸带与生物多样性维护功能重要性评价结果

在图 16 中可以看出南汇区、奉贤区和金山区的海岸线和崇明岛是上海市的极重要保护区,综合考虑黄浦江和吴淞江两个生态廊道、青浦区的西南部因淀山湖和被当地立法保护作为生态建设重点的崇明岛,在升级修正后就得到了右图中上海市修正生态保护重要性等级的评价结果。

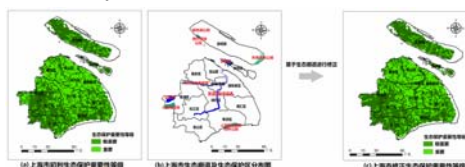


图 3 生态保护重要性修正

### 4 讨论

综合研究分析,上海市目前加强内陆、滨江沿海岸线和沿海滩涂的生态保护,并将青浦西南、黄浦江上游、金山、奉贤西、崇明作为生态保育区,扩大生态空间来提升生态服务价值。此外,上海市形成了以生态廊道为生态骨架、多层次环状的生态保护空间格局,内环为上海市中心,外环为南部和西部地区。这有效遏制了中心城区向周边地区蔓延,实现了中心城区与外围城区之间的生态空间互联互通,强化了生态功能对城市空间结构和布局的硬约束,保障城市可持续发展。

#### 参考文献

- [1] Maurice Vogels,Rita Zoeckler,Donald M. Stasiw,et al. P. F. Verhulst's "notice sur la loi que la populations suit dans son accroissement" from correspondence mathematique et physique. Ghent, vol. X, 1838[J]. Journal of Biological Physics,1975,3(4): 183-192.
- [2] Pearl R,Reed L J. On the Rate of Growth of the Population of the United States since 1790 and Its Mathematical Representation.[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,1920,6(6): 275-288.
- [3] Kenneth Arrow,Bert Bolin,Robert Costanza,et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment[J]. Ecological Economics,1995,15(2): 91-95.
- [4] 喻忠磊, 张文新, 梁进社,等.国土空间开发建设适宜性评价研究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(9): 1107-1122.
- [5] 余挚海. 基于 RS 与 GIS 的上海市生态环境演变研究[D]. 东华大学,2013.
- [6] 陈静文. 面向生态城市建设的城市生态系统评价[D]. 同济大学,2007.

作者简介:徐睿泽,女, 1999-, 主要从事地理信息系统应用研究。