

文章编号:1000-5641(2015)01-0240-12

遥感和 GIS 支持下的上海浦东新区 城市生态网络格局现状分析

张 林, 田 波, 周云轩, 朱春娇

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 上海浦东新区的绿地、林地、湿地是其重要生态栖息地,同时构成基本生态网络。受城市人口不断增加和经济快速增长影响,上海浦东新区建成区快速扩张,生态栖息地资源不断减少,斑块破碎化加大,基本生态网络连通性下降,生态功能下降。本研究以 2011 年福卫二号高分辨率遥感影像为基础数据,结合地面调查,通过面向对象遥感分类方法和人工交互后处理,获得浦东新区绿地、林地、湿地土地利用现状。在 GIS 技术支持下,采用多层次权重、最小费用路径法和重力模型对浦东新区生态网络结构进行了定量分析与评价。结果表明:① 浦东新区湿地、林绿地总面积 17.99 万 hm^2 , 占区域面积的 65.41%, 生态用地比重较大;② 生态适宜性较强的大型斑块较少,且南北不均;③ 林地是组成研究区生态网络的优势景观要素类型,10 m 缓冲结果中林地占 51.39%;④ 由重力模型得到生态斑块间作用强度可知,九段沙及南汇东滩禁猎区生态区位十分重要;⑤ 随着生态廊道缓冲距离的增加,土地利用方式变化巨大,生态用地减少、建设用地增加。

关键词: 生态网络; 廊道; 遥感; 地理信息系统; 浦东新区

中图分类号: Q948, S718 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2015.01.029

Remote sensing and GIS-based analysis of urban ecological network in Pudong New Area, Shanghai

ZHANG Lin, TIAN Bo, ZHOU Yun-xuan, ZHU Chun-jiao

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Grassland, forest land and wetland are ecological habitats and elements of the basic urban ecological network of Pudong New Area in Shanghai. Due to the rapid growth in population and economy, the built-up area of Pudong New Area expands quickly, which result in the ecological habitats area decrease and fragmentation. The immediate consequences are the lower-

收稿日期:2014-01

基金项目:上海市第二次湿地资源调查项目(44470310);全球变化研究国家重大科学研究计划(2010CB951204)

第一作者:张林,男,硕士研究生,研究方向为地理信息系统应用与开发。

E-mail: zhanglinssy@163.com.

通信作者:周云轩,男,教授,博士生导师,研究方向为海岸带遥感与地理信息系统应用。

E-mail: zhouyx@sklec.ecnu.edu.cn.

ing of its ecological function and connectivity of the ecological networks. Using high resolution images from satellite FW2 acquired in 2011 and in combination with the ground investigations, we obtain the land use and land cover data of grass lands, forests land and wetlands by applying object-oriented remote sensing classification method and visualpost-processing method. Supported by GIS techniques, we use several quantitative analysis algorithms, including Multilevel Weights, Least-Cost Path and Gravity Model, to quantify the structure of the ecological network. The results show that: ① the total area of grass lands, forest lands and wetlands in Pudong New Area is $179.9 \times 10^3 \text{ hm}^2$, which is 65.41% of the total area; ② there are few large patches with strong ecological suitability, and imbalanced along north-south direction; ③ the forest lands are the superior landscape type in the ecological network of the study area and make up 51.39% in the 10-meter-width ecological buffer zone; ④ Jiuduansha Wetland and Nanhui Dongtan Wildlife Sanctuary play important roles in ecological niche; and ⑤ land use structure changes rapidly with the increase of buffer distance, that is the ecological habitats reduce while building area increases.

Key words: ecological network; corridor; remote sensing; GIS; Pudong New Area

0 引 言

随着长三角区域城市化进程的不断推进,城市人口不断增加,建成区快速扩张.以浦东新区为代表的长三角城市在促进区域经济社会发展的同时,也面临着—系列城市生态问题.表现在不断变化的土地利用方式影响着城市生态系统的机能、自净能力和景观承载力;城市自然生态景观要素数量不断减少、类型趋于单一;区域内自然生态单元要素特别是湿地、绿地、林地不断被侵占,表现破碎化、岛屿化;城市生态空间连通性降低^[1,2],生态空间网络整体性不断破坏,生态服务功能不断下降^[3,4].

为改善城市生态现状,国内外一些学者提出了构建城市生态网络的思路^[5,6],用于加强自然环境的保护与恢复,减少城市生态用地的破碎化,提升城市生态系统健康水平和生态服务功能^[7].2011年,上海市首次提出并发布建设多层次、成网络、功能复合的城市生态网络规划,将城市生态网络建设纳入生态文明建设的重要组成部分.

生态网络是指自然的或植被稳定的以及依照自然规律而相连接的空间,主要以湿地、绿地、耕地和林园地为主,强调自然的过程和特点^[8],是由生态景观及其之间的连线所组成的结构完整、功能完善的生态系统^[3].城市生态网络建设的实质是利用植被带、河流和农田等生态单元,通过线性廊道将城市中分散孤立的各种类型生态斑块联系起来,形成一个结构成熟、功能完善的生态系统^[9].国外对于构建生态网络的研究开展较早,从20世纪80年代开始,欧美就出现了一些生态网络规划的理论 and 实践,如欧洲的生态基础设施(Ecological Infrastructure)、生态架构(Ecological Framework)及美国的绿道体系(Greenway System)等^[10].国内有关生态网络的研究起步较晚,近年来取得了较大发展,如通过景观指数^[6-12]、网络分析^[13]等方面对于生态网络结构进行评价分析,进而对生态网络优化提供参考.但国内大多研究关注单一生态要素,如绿地^[8-14]或湿地^[15]等,或者是仅以某一角度如景观角度对生态本底数据的自然、社会属性(如面积、保护破坏程度、植被覆盖度等)进行深层次的分析比较.本文主要是以遥感和地面调查技术为基础,在辨识浦东新区林绿地、湿地生态空间分

布现状基础上,根据生态网络单元基础数据自然和社会属性,进行分等定级,构建多层次的权重指标体系,利用最小费用法构建浦东新区潜在生态廊道,采用重力模型提取重要廊道,通过缓冲区分析对生态廊道和网络结构进行分析,为浦东新区城市生态网络构建和优化提供科学依据。

1 研究区概况

上海市浦东新区位于上海市东部,长江三角洲东缘,东临东海之滨,属长江口冲击平原,为平原河网感潮区,其地理范围在($121^{\circ}26' \sim 121^{\circ}59' E$, $30^{\circ}50' \sim 31^{\circ}23' N$)之间。它集滨江临海之利,有着较丰富的生态资源,是上海市经济发展的引擎,国家重大发展战略区之一,也是我国快速城市化的典型代表区域。随着浦东新区 20 世纪 90 年代开发开放,特别是近 10 年以来,浦东新区城市化进程不断加快,快速城市化给浦东新区生态环境带来了巨大影响^[16]。城市建成区迅速扩张,土地利用方式发生巨大变化,许多生态用地转为建设用地^[17],生态用地连通性下降,斑块破碎化严重,城市生态网络结构和生态功能面临较大威胁。本文选取浦东新区为研究区,以现浦东新区行政区划为界(见图 1),包括浦东新区所辖陆域和九段沙湿地国家级自然保护区在内的湿地水域,区域总面积 27.5 万 hm^2 ,其中林地总面积约 1.9 万 hm^2 ,绿、草地面积约 1.38 万 hm^2 ,湿地总面积 14.71 万 hm^2 ,湿地植被面积为 0.68 万 hm^2 。

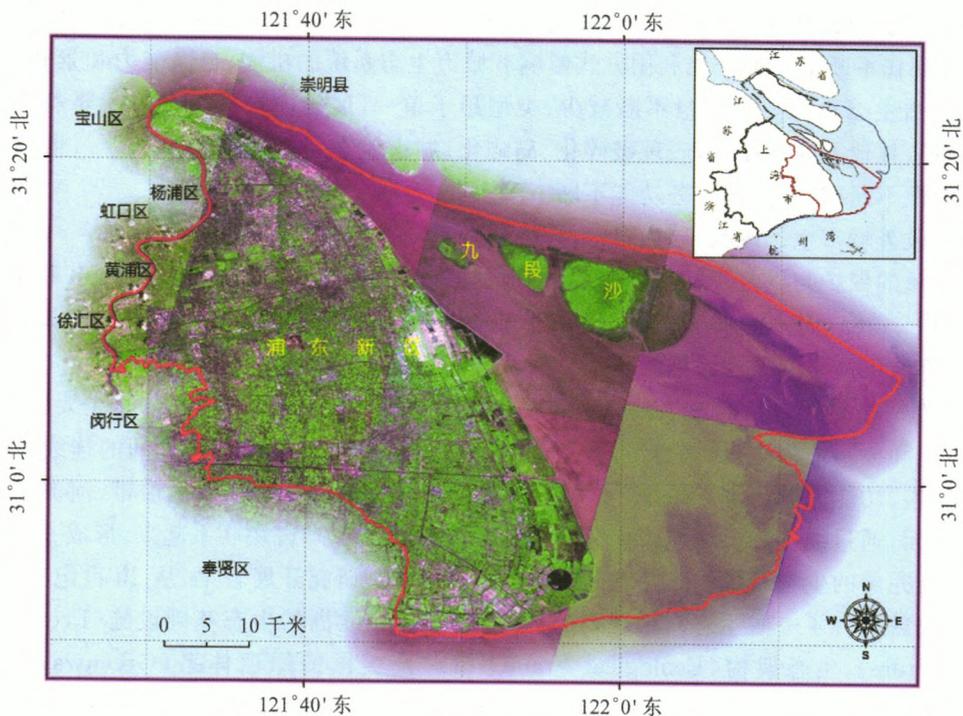


图 1 研究区位置(底图为 2011 年福卫 2 影像)

Fig. 1 Study area with satellite image of FW2 acquired in 2011

2 方 法

通过遥感和地面调查相结合的方法获取浦东新区绿地、林地、湿地、道路交通和城市建设用地等地类,按照林绿地与湿地生境类型、面积、保护程度等属性信息,对生境斑块进行多层次的等级,选择重要的生态斑块作为核心斑块,建立多层次的生态斑块适应性评价体系,构建景观阻力图(即消费面)。按照最小费用法,空间计算各核心板块间潜在生态廊道。使用重力模型分析核心斑块间相互作用力来选择重要生态廊道。对重要生态廊道进行缓冲分析,分析生态廊道缓冲区域土地利用结构,得到研究区域生态网络布局 and 结构现状。采取技术路线详见图 2。

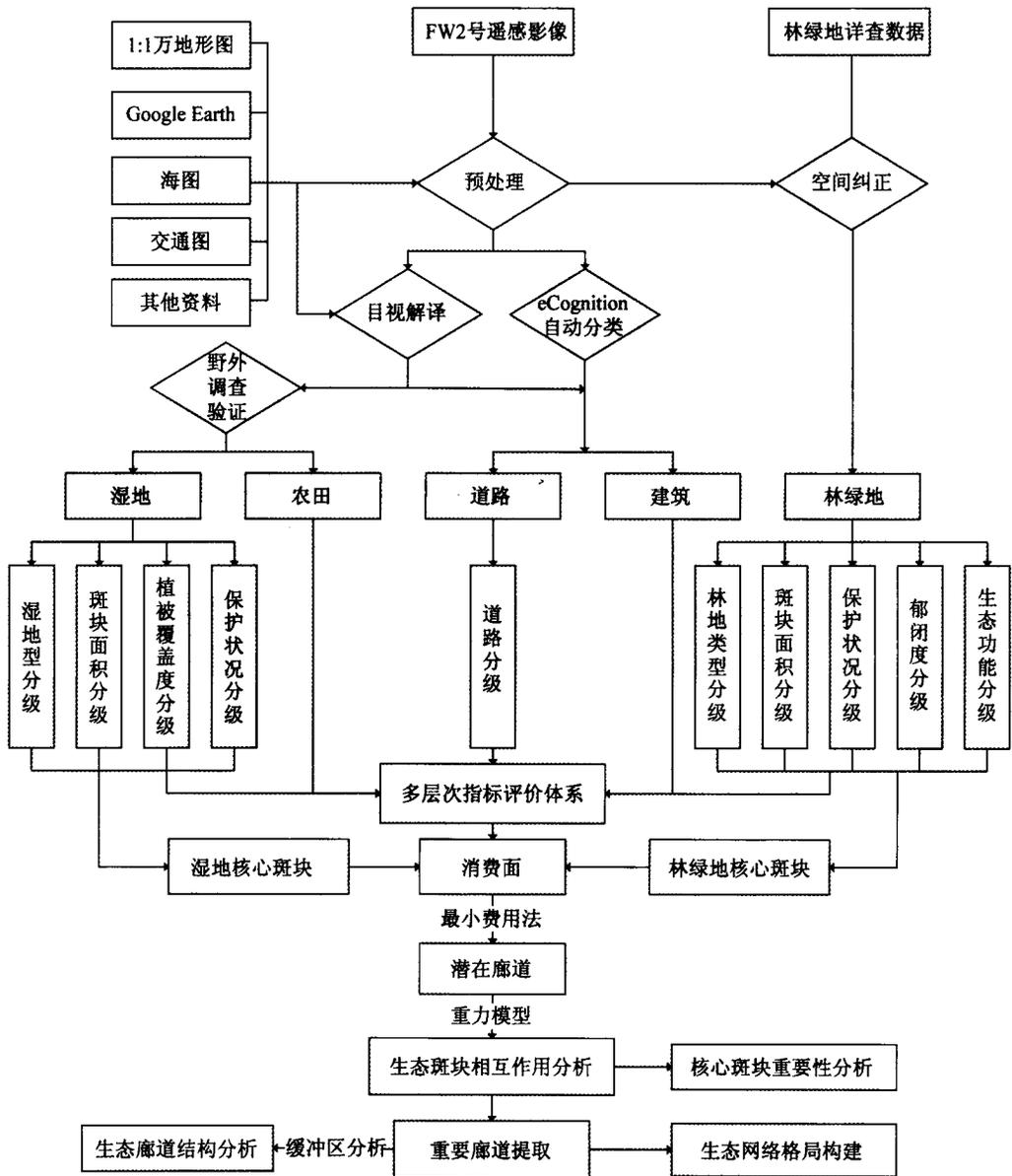


图 2 技术路线图

Fig. 2 Methodology flow chart

2.1 生态网络单元空间分布现状识别与提取

研究区域内生态网络单元空间分布的识别与提取主要采用遥感、GIS 技术和地面调查相结合的计算机提取方法,采用的数据主要有 2011 年 10 月福卫 2 号卫星(FW2)遥感数据(空间分辨率 2 m)、1:10 000 地形图、上海市 2011 年海图等. 对 FW2 号遥感数据进行辐射校正、几何校正和图像增强等预处理后,基于决策树的 eCognition 自动分类与目视解译相结合的方法进行生态网络要素的识别和土地利用解译. 通过湿地数据进行百分之百野外调查验证,获得准确的湿地空间信息和属性信息. 结合浦东新区林绿地详查数据,以 FW2 号遥感影像数据为基础,得到研究区内林绿地分布数据. 参照交通图和 FW2 数据,利用 GIS 数字矢量化提取区域内道路交通数据. 依照 GIS 空间数据库构建标准,整合生态要素数据,得到浦东新区林地、绿地、湿地等生态网络单元分布空间数据库和土地利用现状(见图 3).

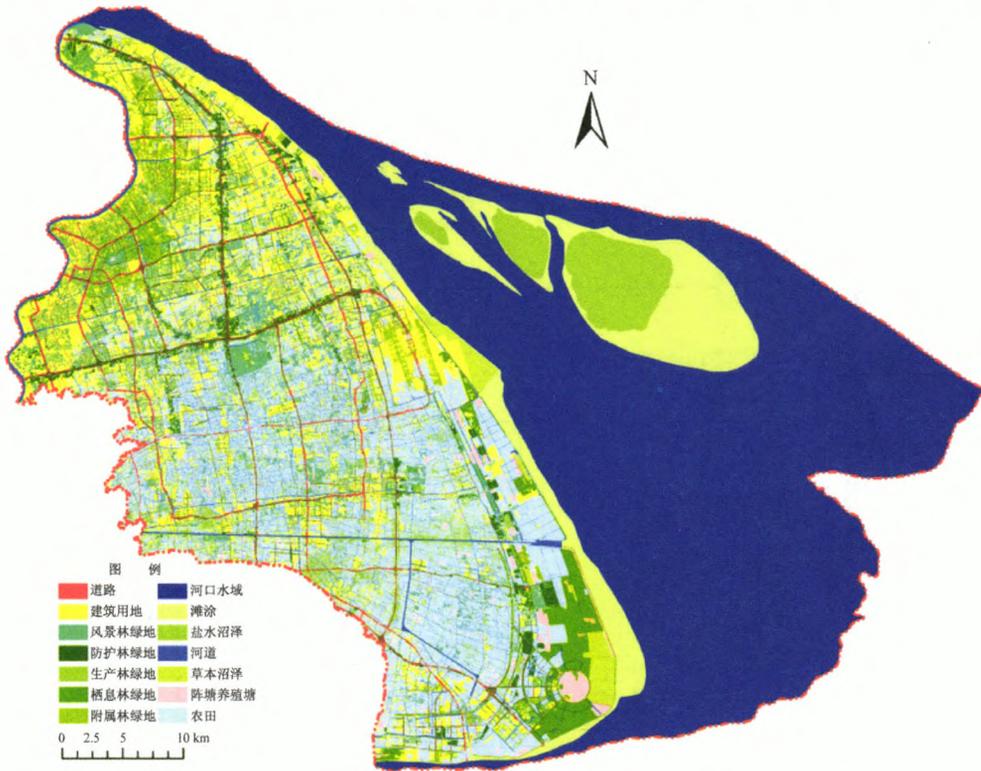


图 3 2011 年浦东新区土地利用现状图

Fig. 3 The spatial distribution of land use classification of Pudong New Area, in 2011

2.2 生态网络核心斑块选择与确定

生态网络核心斑块选取主要考虑生态斑块的景观类型、斑块面积、植被覆盖度、受保护等级、生态功能和空间分布格局等多方面因素^[14]. 本研究将面积大于 5 hm² 的林、绿地、面积大于 50 hm² 的湿地作为备选核心斑块,筛选其中生态区位重要、受保护状况良好的斑块. 最终本文选取了 18 个生态单元地块作为核心斑块(见图 4). 核心斑块主要包括自然保护区(16、17、18 号斑块)、自然保护小区(12、15 号斑块等)、森林公园(1、14 号斑块等)、湿地公园(3、6 号斑块等)、绿地公园(2、4、5、9 号斑块等)及大面积苗圃(11、12 号斑块)等,总面积为

25 920.42 hm²,占区域内总生态用地面积的 10.71%,其中湿地面积 20 113.02 hm²,林地面积 2 851.61 hm²,绿地面积 1 300.41 hm²,农田面积 1 089.81 hm².



图 4 浦东新区核心斑块分布图

Fig. 4 The core ecological patches of Pudong New Area

2.3 生境斑块景观阻力消费面构建

潜在生态网络是由核心斑块间不同土地利用类型的斑块适应性和景观阻力所决定^[18,19]. 生境斑块适应性是指某一生境斑块对物种生存、繁衍、迁徙等活动的适应性程度. 景观阻力是物种在不同景观单元之间进行迁移的难易程度,与生境适宜性成反比关系^[20]. 所有斑块景观阻力值的空间分布则构成景观阻力消费面. 生境景观阻力值主要由景观类型决定,也受自然和社会属性影响. 景观阻力值计算需要考虑景观类型、斑块面积、保护利用状况、植被覆盖度、健康度等综合因素. 对此,在计算生态斑块景观阻力值时,采用计算公式如下:

$$C_i = M_i \cdot \prod W_j. \quad (1)$$

其中, C_i 为斑块*i*的景观阻力值, M_i 为斑块*i*对应的景观类型的基准阻力值, W_j 为斑块*i*的第*j*个属性分级后的景观阻力系数. 在综合国内已有研究^[8,20]的基础上,确定浦东新区不同景观类型基准阻力值(见表 1). 对斑块不同属性及属性值对生境景观适应性影响程度进行分等定级,确定浦东新区不同景观及属性的景观阻力系数(见表 2 和表 3). 湿地核心斑块主要选择湿地型、湿地面积、植被覆盖率和保护程度 4 个指标;林地绿地核心斑块,主要选择林种、面积、保护分级、郁闭度和生态功能分级等指标. 根据公式(1),计算得到浦东新区区域内所有生境斑块的景观阻力消费基准面(见图 5).

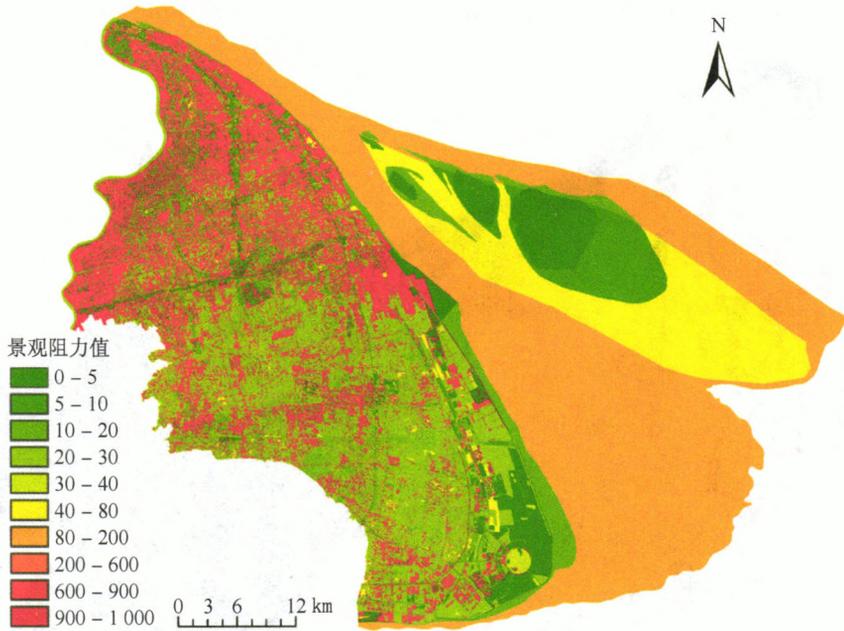


图 5 浦东新区景观阻力消费基准面

Fig. 5 The cost surface map of Pudong New Area

表 1 不同景观类型基准阻力值

Tab. 1 Base impedance values of different land use type

景观类型	河口 水域	滩涂	盐水 沼泽	河道	草本 沼泽	库塘 养殖 塘	风景 林绿地	防护 林绿地	生产 林绿地	栖息 林绿地	附属 林绿地	主干 道	附属 道路	农田	建筑 用地
基准阻力值	100	10	3	20	1	40	10	8	15	3	15	600	400	30	1 000

表 2 湿地景观阻力分级表

Tab. 2 Resistance coefficient of wetland

湿地属性	分级	阻力系数
湿地面积/hm ²	<5	1.4
	5~10	1.2
	10~100	1
	>100	0.8
保护等级	国家自然保护区	0.6
	自然保护区、湿地公园等	0.8
	一般公园、景观湖等	1
	无保护形式	1.2
植被覆盖度	0~5%	1.2
	5%~15%	1
	15%~30%	0.8
	30%~50%	0.6
	>50%	0.4

表 3 林绿地景观阻力分级表

Tab. 3 Resistance coefficient of forest and grass land

绿地属性	分级	阻力系数
林绿地面积 /hm ²	<5	1.2
	5~10	1
	10~100	0.9
	>100	0.8
保护分级	特殊	0.5
	重点	0.8
	一般	1
	无	1.2
郁闭度	0%~10%	1.2
	10%~30%	1.1
	30%~60%	1
	60%~100%	0.8
生态功能	好	0.9
	中	1
	差	1.1

2.4 潜在廊道分析与重要廊道提取

最小累计阻力模型是指从源到目的地运动过程中所需消耗最小代价的模型^[21],最初源于对物种扩散过程的研究,近些年已经用于适宜性评价^[22]、选址^[23]、生态格局规划与构建^[24,25]等多方面. 最小累计阻力模型基本公式如下:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} R_i). \quad (2)$$

其中, MCR 为最小累积阻力值, D_{ij} 表示从源 j 到景观单元 i 的空间距离, R_i 表示景观单元 i 的阻力值. 以 ArcGIS 为空间分析软件平台, 采用空间路径分析法得到 18 个核心斑块间最小阻力路径, 即潜在生态廊道(见图 6a).

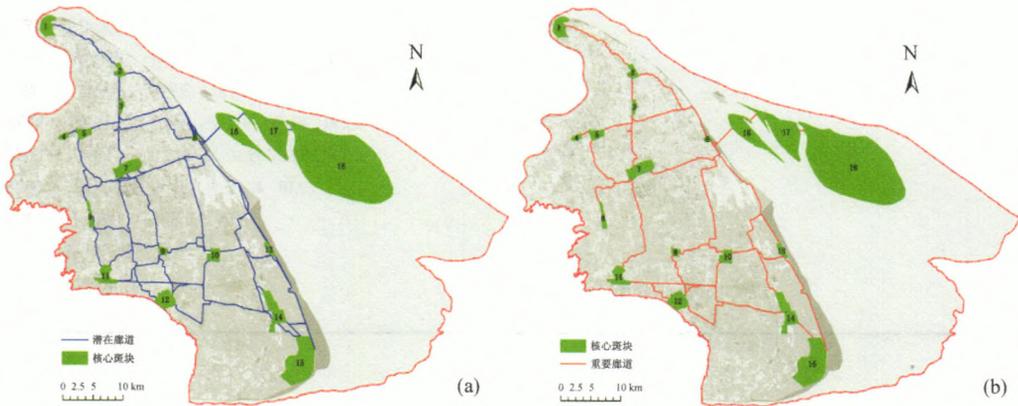


图 6 潜在生态廊道分布图(a)与利用重力模型提取的浦东新区重要廊道(b)

Fig. 6 The potential ecological network (a) and the important ecological network based on gravity method (b)

潜在生态廊道的有效性和连接斑块的重要性主要依据核心斑块与目标之间的相互作用强度^[26]. 基于重力模型^[14], 本文构建了 18 个核心斑块间相互作用矩阵表(见表 4), 定量评定生态斑块间相互作用强度, 以此来判断生态廊道的重要性. 根据相互作用矩阵结果, 提取相互作用力大于 200 的廊道, 作为生态网络骨干廊道, 得到浦东新区重要生态网络图(见图 6b). 重力模型计算公式如下:

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\left[\frac{1}{p_a} \times \ln(S_a) \right] \left[\frac{1}{p_b} \times \ln(S_b) \right]}{\left(\frac{L_{ab}}{L_{\max}} \right)^2} = \frac{L_{\max}^2 \ln(S_a S_b)}{L_{ab}^2 p_a p_b}. \quad (3)$$

其中, G_{ab} 是斑块 a 和 b 之间相互作用力, N_a 和 N_b 分别是两斑块的权重值, D_{ab} 是 a 和 b 两斑块间潜在廊道阻力的标准化值, p_a 为斑块 a 的阻力值, S_a 是斑块 a 的面积, L_{ab} 是斑块 a 到 b 之间廊道的累积阻力值, L_{\max} 是研究区内所有廊道阻力的最大值.

2.5 重要廊道缓冲区土地利用结构分析

生态廊道构建应该要有一定宽度, 才能更好的发挥其生态服务价值. 为研究浦东新区不同廊道宽度土地利用结构, 以重要廊道为基础, 通过缓冲区空间分析, 分别得到 10 m、50

m、100 m 和 500 m 的缓冲区内林地、绿地、湿地、道路交通、建设用地等土地利用构成(见图 7)。

表 4 浦东新区生态网络核心斑块相互作用矩阵

Tab. 4 Node interaction in ecological network of Pudong New Area

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.00	284.51	125.08	36.56	41.45	64.61	45.60	24.91	11.82	21.34	17.56	32.26	27.83	22.02	195.97	220.55	393.22	325.95
2		0.00	2 111.11	164.72	230.21	264.21	244.45	80.08	32.56	58.76	45.33	78.41	88.00	65.32	605.47	519.27	868.08	702.51
3			0.00	209.91	347.16	176.86	357.44	82.26	30.85	53.84	41.62	70.04	62.18	46.45	429.38	364.79	615.60	500.35
4				0.00	1 548.30	81.11	127.98	85.32	20.53	35.71	29.51	50.53	40.78	31.09	283.93	249.65	431.90	354.50
5					0.00	85.72	163.12	98.27	21.08	36.34	29.73	49.98	41.87	31.40	289.18	238.92	407.99	332.82
6						0.00	275.85	106.10	56.36	374.32	63.87	240.03	933.28	501.93	5 633.57	1 751.99	2 498.24	1 911.78
7							0.00	178.92	49.45	89.86	59.44	91.61	109.50	74.31	725.47	410.99	656.05	521.07
8								0.00	34.78	46.04	110.27	95.04	52.76	39.96	365.99	314.37	541.10	442.91
9									0.00	152.91	109.83	243.84	61.70	53.32	352.98	191.58	336.02	277.22
10										0.00	92.32	790.22	706.76	555.76	2 895.98	628.37	1 014.45	809.83
11											0.00	562.29	50.13	50.78	357.50	269.83	489.13	408.20
12												0.00	270.90	307.76	1992.42	799.78	1 398.83	1 150.56
13													0.00	1 959.61	38 341.57	849.57	1 304.87	1 023.71
14														0.00	41 655.91	668.93	1057.43	836.55
15															0.00	5 961.52	9 250.67	7 260.65
16																0.00	593 790.65	259 608.95
17																	0.00	6 060 715.47
18																		0.00

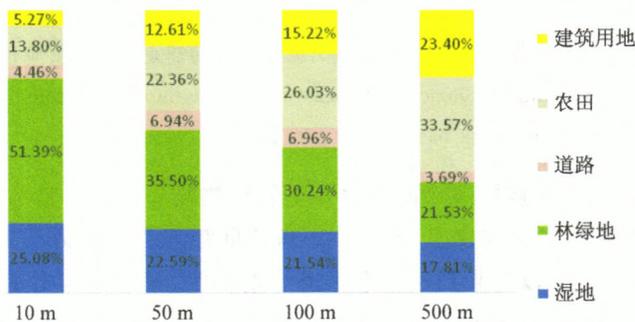


图 7 不同缓冲距离重要廊道土地利用构成

Fig. 7 Land use structure of different buffer distance

3 结果与讨论

(1) 景观阻力分析

由浦东新区景观阻力消费面(见图 5)可以看出,浦东新区景观阻力有明显的“北高南低”的特点.浦东新区北部区域因经济发展迅速,城市化扩张明显,大量建筑用地和道路使区域景观阻力偏高;在外环线、滨海带的防护绿地以及建成区内附属草地、林地等区域,景观阻力值较小,有明显的带状分布.

浦东新区南部区域因有大面积农田、湿地存在,整体景观阻力值较小,特别是南汇东滩

禁猎区区域;景观阻力值较大区域位于各乡镇建成区;值得注意的是南汇东滩禁猎区北部的老港垃圾填埋场和临港新城区域景观阻力值较大,这将会给南汇东滩禁猎区带来一定影响。

(2)重要核心斑块分析

结合浦东新区核心斑块分布图(见图 4)和景观阻力分布图(见图 5)可以看出,浦东新区适宜生物生存栖息的大型生态单元斑块明显不足,且有南多北少的特点。其与区域城市化水平相关,由于经济的发展,浦东新区出现大量的非生态用地,将区域内大生境斑块割裂成小斑块所致。

通过表 4 可以看到,九段沙区域(斑块 16、17、18)与其他斑块的作用强度较大,主要是由于九段沙湿地国家级自然保护区面积较大,并且景观阻力值小,可以反映出九段沙核心斑块在整个浦东新区生态格局中有着重要地位。外环楔形绿地(核心斑块 7)在联系城市建成区内斑块(核心斑块 2~5)与郊区大型斑块起到重要节点作用。滨江森林公园(核心斑块 1)及世纪公园(核心斑块 4)是在建成区内重要公园绿地,但由于建成区内斑块破碎化程度高、适宜生境少,与其他核心斑块联系较弱。

(3)生态廊道土地结构和利用分析

根据生态廊道 10 m 缓冲分析(见图 7),区域内生态网络主要构成要素为林地,占 51.39%,其大部分为道路防护林,占总廊道面积的 39.25%。湿地在联系重要生态斑块中也起到了很大作用,占 25.08%,其中占主导地位的为内陆河道。由于生态廊道大多为人类活动影响较弱的地区,廊道内建筑用地、道路等所占比例很小,为 9.73%。

通过对生态廊道不同缓冲距离的分析(见图 7)可以看出,在较窄廊道宽度(如 10 m)下,生态要素占据着主要部分,所占比例为 90%以上,特别是重要的湿地、林绿地资源,所占比例达 76.47%,在发挥生态服务功能方面起到关键作用。但随着缓冲距离的增长,缓冲区内建筑用地由 5.27%上升到 23.40%,所占比例上升最快;而湿地与林绿地的总和则从 76.47%降到 39.34%,反映出浦东新区高质量的生态廊道宽度较窄,易受到外界影响而被阻断或者造成生态功能的削弱。

(4)浦东新区生态网络结构框架

生态斑块和廊道的有机整合对于生态网络服务功能有着重要作用。根据本文得到的浦东新区重要生态廊道,结合浦东新区生态要素的空间布局,规划提出“两核、一轴、两带、多线”的生态网络框架(见图 8)。

“两核”是指九段沙与南汇东滩禁猎区。这两个区域有着大片的生态用地,而且生境自然度较好,受人为影响较小,是重要的源地。同时,这两个区域位于整个浦东新区的最前沿,在维护浦东乃至整个上海的生态安全有着至关重要的作用。应该得到重点保护和合理管理。

“一轴”是指浦东沿海沿江带,包括浦东新区沿海滩涂带、沿海生态防护林带,是重要的生态栖息地,同时将浦东沿海各重要生态空间在纵向上联系起来,充分发挥生态服务功能。

“两带”是指外环绿地以及沿大治河和绕城高速形成的生态走廊,是浦东新区重要的生态骨架。将城区内重要生态节点联系成一体。

“多线”是指在横向上延伸的由湿地、林绿地组成的廊道,如联系城区绿核和九段沙核心区的张家浜生态廊道,以及联通沿大治河绿带和南汇东滩核心区的南部生态廊道等,都可作为浦东新区生态网络结构的补充和加强。

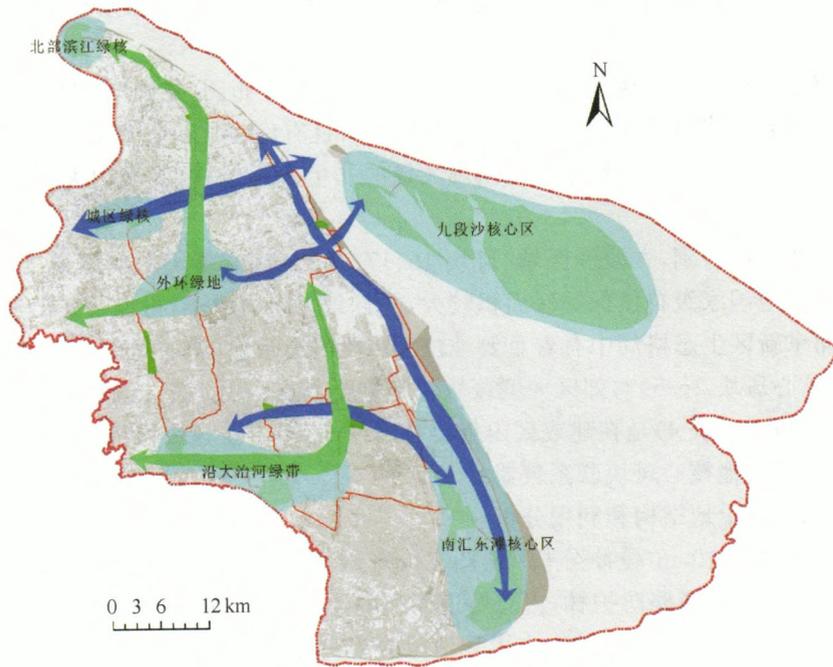


图8 浦东新区生态网络框架

Fig. 8 The ecological network structure of Pudong New Area

4 结 语

本研究主要侧重于生态网络各要素空间分布现状及结构分析。通过针对不同景观属性,在考虑其各级属性信息的前提下,构建了复合多层次的景观阻力评价体系,基于最小费用路径法和重力模型,提取出浦东新区重要生态廊道和生态节点,在此基础上对浦东新区生态网络结构进行了分析评价。

遥感和 GIS 技术在本文的研究中起到重要作用,高精度遥感影像与野外实地调查相结合的方法,提供了详尽而又准确的数据支撑,GIS 强大的空间分析功能则为生态网络结构的评价分析提供了较好的实现手段。

在构建景观阻力评价体系时,虽然考虑了湿地、林绿地等不同景观在面积、植被覆盖度、保护程度等多因子不同属性值,能体现不同属性对景观阻力的影响,但由于缺少影响因子与景观阻力精确的数字关系,在系数选取时主要以专家知识为主。生态网络的构建应该是基于多目的(如物种迁移、生态保护、居民休闲等)、多尺度(乡镇级、区级、省级或者更大),对数据的详细程度和指标体系的选取有着更高的要求,未来研究将进一步深入和强化。

由于浦东新区城市化率较高,同时经济发展有着强烈诉求,用地极为紧张,因此进行大规模生态用地建设是不实际的,唯有加强结构优化调整,充分利用原有生态资源,加强生境斑块间的链接和功能构建多层次多维度的城市生态网络,以此发挥最大生态服务功能。

[参 考 文 献]

- [1] FREEMUTH J C. Islands under Siege: National Parks and the Politics of External Threats[M]. Lawrence: Uni-

- versity Press of Kansas, 1991.
- [2] COLLINGE S K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 36 (1):59-97.
- [3] ROBJ, GLORIA P. 生态网络与绿道: 概念, 设计与实施[M]. 余青, 陈海沐, 梁莺莺译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 陆同伟, 宋珂, 杨秀, 等. 基于生态适宜度分析的城市用地规划研究——以杭州市东南部生态带保护和控制规划为例[J]. *复旦学报: 自然科学版*, 2011, 50(2): 245-251.
- [5] BASCHAK L A, BROWN R D. An ecological framework for the planning, design and management of urban river greenways[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 33: 211-225.
- [6] 王海珍, 张利权. 基于 GIS、景观格局和网络分析法的厦门本岛生态网络规划[J]. *植物生态学报*, 2005(1): 144-152.
- [7] 王祥荣. 论生态城市建设的理论、途径与措施——以上海为例[J]. *复旦学报: 自然科学版*, 2001, 40(4): 349-354.
- [8] 鲁敏, 杨东兴, 刘佳, 等. 济南绿地生态网络体系的规划布局与构建[J]. *中国生态农业学报*, 2010(3): 600-605.
- [9] 陈爽, 王进, 詹志勇. 生态景观与城市形态整合研究[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 67-77.
- [10] JACK A. Greenways as a planning strategy [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 33: 131-155.
- [11] 王云才, 刘悦来. 城市景观生态网络规划的空间模式应用探讨[J]. *长江流域资源与环境*, 2009(9): 819-824.
- [12] 王云才. 上海市城市景观生态网络连接度评价[J]. *地理研究*, 2009(2): 284-292.
- [13] 郭微, 俞龙生, 孙延军, 等. 佛山市顺德中心城区城市绿地生态网络规划[J]. *生态学杂志*, 2012(4): 1022-1027.
- [14] 孔繁花, 尹海伟. 济南城市绿地生态网络构建[J]. *生态学报*, 2008(4): 1711-1719.
- [15] 傅强, 宋军, 毛锋, 等. 青岛市湿地生态网络评价与构建[J]. *生态学报*, 2012(12): 3670-3680.
- [16] 韩英. 经济全球化对浦东新区环境保护的压力与对策[J]. *上海环境科学*, 2003(2): 104-109.
- [17] 马凤, 蔡永立. 上海临港新城开发对土地利用及生态系统服务价值的影响[J]. *复旦学报: 自然科学版*, 2013, 52(1): 69-77.
- [18] FORMANR T T. Corridors in a landscape: their ecological structure and function[J]. *Ekologia*, 1983, 2(4): 375-387.
- [19] DAUBER J, HIRSCH M, SIMMERING D, et al. Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2003, 98: 321-329.
- [20] 高赛男. 基于最小路径方法的南京城市绿地网络构建[J]. *山东师范大学学报: 自然科学版*, 2009, 24(3): 90-93.
- [21] KNAAPEN J P, SCHEFFER M, HARMS B. Estimating habitat isolation in landscape[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1992, 23(1): 1-16.
- [22] 赵琳, 田永中. 三峡库区城镇建设用地生态适宜性评价——以涪陵新区为例[C]//山地环境与生态文明建设——中国地理学会 2013 年学术年会西南片区会议论文集. 重庆: [出版社不详], 2013.
- [23] 陈元涛. 基于 GIS 的道路智能化选线方法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [24] 蔡青. 基于景观生态学的城市空间格局演变规律分析与生态安全格局构建[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [25] 尹发能, 王学雷. 基于最小累计阻力模型的四湖流域景观生态规划研究[J]. *华中农业大学学报*, 2010(2): 231-235.
- [26] 尹海伟, 孔繁花, 折毅, 等. 湖南省城市群生态网络构建与优化[J]. *生态学报*, 2011(10): 2863-2874.

(责任编辑 李万会)

遥感和GIS支持下的上海浦东新区城市生态网络格局现状分析



作者: [张林](#), [田波](#), [周云轩](#), [朱春娇](#), [ZHANG Lin](#), [TIAN Bo](#), [ZHOU Yun-xuan](#), [ZHU Chun-jiao](#)

作者单位: [华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海, 200062](#)

刊名: [华东师范大学学报 \(自然科学版\)](#) [ISTIC PKU](#)

英文刊名: [Journal of East China Normal University \(Natural Science\)](#)

年, 卷(期): 2015(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hdsfdxxb201501029.aspx