

DOI: 10.5846/stxb201401080058

谢慧玮, 周年兴, 关健. 江苏省自然遗产地生态网络的构建与优化. 生态学报, 2014, 34(22): 6692-6700.

Xie H W, Zhou N X, Guan J. The construction and optimization of ecological networks based on natural heritage sites in Jiangsu Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6692-6700.

江苏省自然遗产地生态网络的构建与优化

谢慧玮, 周年兴*, 关 健

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

摘要: 自然遗产地是生物的重要栖息场所, 而生态网络是连接自然遗产地的有效途径, 如何有效和合理地构建自然遗产地之间的生态廊道, 连接破碎生境, 对保护自然遗产地生物多样性和区域生态安全具有重要意义。在 ArcGIS 9.3 的技术支持下, 通过合理估算阻力阈值, 采用最小耗费距离模型分析方法, 构建江苏省省域范围内的自然遗产地生态网络保护体系, 并在网络连通性指数分析方法的基础上对生态网络的连通性和有效性进行评价, 针对性地提出自然遗产地生态网络的优化措施。研究结果表明: 78.28% 的林地、88.70% 的滩涂滩地、94.37% 的草地是自然遗产地生态网络的主要景观组成结构; 自然遗产斑块本身对生态网络的构建有较大影响, 其中面积较大、长条型的斑块对维持景观连通性的重要性程度贡献较大; 研究区现状整体生态连通性指数仅 0.001—0.003, 连通性水平较差, 通过构建生态网络, 整体连通性水平可提高到 0.044—0.046, 可能连通性水平可达到 0.074, 表明自然遗产廊道的构建可提高景观的连通性水平; 在现有生态网络结构的基础上, 增加破碎斑块间的生态连接是优化生态网络体系的可行性策略。

关键词: 自然遗产地; 生态廊道; 生态网络; 江苏省

The construction and optimization of ecological networks based on natural heritage sites in Jiangsu Province

XIE Huiwei, ZHOU Nianxing*, GUAN Jian

School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

Abstract: Natural heritage sites are important habitats for fauna and flora, and assist in maintaining ecosystem service functions. Often however, human activities and natural threats have damaged the integrity of such sites, and large habitats have become increasingly fragmented. As a result, regional biodiversity conservation has been seriously threatened. To change this situation, ecological networks are being considered as an effective way to re-connect important natural heritage sites. Within a rational ecological network, the flow of material, energy and information among various areas can be ensured and the quality of natural ecosystems can be improved. The effective setting up of ecological corridors and connecting fragmented habitats are crucial actions in the protection of the biodiversity of natural heritage sites, and in the maintenance of regional ecological security. This is especially true in rapidly urbanizing areas: taking natural heritage sites as the core of an ecological network, constructing these networks and undertaking research on ecological values are particularly important actions in this type of developing area. Jiangsu province is located in the coastal area of eastern China where land resources are limited, and has a high population density and a well-developed economy. Human activities have however disturbed the ecological balance seriously, so there is a need to implement regional ecological networks, to integrate natural heritage resources, and to promote the sustainable development of regional ecosystems. For the present study, natural heritage core-

基金项目: 国家自然科学基金(41271150); 江苏省高校哲学社会科学基金(08SJD7900029); 江苏省社科联文化精品研究课题(12SWC-017); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

收稿日期: 2014-01-08; 网络出版日期: 2014-04-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhounianxing@263.net

areas were firstly selected based on the theory and principles of Landscape Ecology and Conservation Biology, and the different cost values of different landscape types decided with the help of GIS technology. Second, taking Jiangsu Province as an example allowed quantitative simulation of the establishment of natural heritage sites for potential ecological networks using a minimum cumulative resistance model, and the analysis of network connectivity using an integral index of connectivity and probability of connectivity. Third, the main natural heritage corridors in Jiangsu Province were studied, which allowed the determination of suitable optimization measures on the basis of the current corridors. The results show that, in Jiangsu Province, about 78.28% of the forested area, 88.70% of the beach area, and 94.37% of the grassed area together make up the major part of the natural heritage ecological network. These ecological cores have great influence on the establishment of ecological networks. The study also found that the habitats with larger area and greater length have a higher degree of importance in maintaining landscape connectivity. However, the current integral index of connectivity of the study area ranges between 0.001 and 0.003, which indicates poor connectivity. These values would increase to between 0.044 and 0.046, and the possibility of connectivity could go as high as 0.074, if the construction of the proposed ecological networks were achieved. The increment of these values indicates that the construction of natural heritage ecological corridors improves the level of landscape connectivity significantly. Based on the existing ecological network structure, increasing connections between fragmented ecological sites is thus a feasible strategy to optimize the overall ecological network system. Lastly, suggestions on how to achieve optimization of the ecological network are put forward. Overall, the results in this paper provide an important reference point for the sustainable development of natural heritage and biodiversity protection, and also provide useful information for the implementation of natural heritage protection measures.

Key Words: natural heritage; ecological corridor; ecological network; Jiangsu Province

联合国教科文组织《保护世界文化和自然遗产公约》将自然遗产定义为:“从审美或科学角度看具有突出的普遍价值的自然和生物形态、或这些形态所组成的自然物;从科学或保护角度看具有突出的普遍价值的地质和自然地理形态、以及明确划定的濒危动植物栖息地;从科学、保护或自然美角度看具有突出的普遍价值的自然地或明确划分的自然区域^[1]。”自然遗产地具有丰富的生物物种资源,也是重要的生物栖息地,与其他生态系统一起构成了区域生态系统的重要组成部分,维持着区域生态系统服务功能的有效发挥。由于人类活动和自然威胁的不断加强,自然遗产地的完整性受到破坏,栖息地作用得不到有效发挥,使生物多样性受到威胁^[2-4]。而孤立的自然遗产地易被其他异质环境包围,使物种受到不同程度的隔离,不利于自然遗产地的生物多样性保护^[5]。世界自然保护运动已经经历了将自然保护地从点到面,从面到网络的发展历程^[6]。如何对自然遗产地进行合理规划,将孤立的自然遗产地有效合理地连接起来,构建区域自然遗产地生态网络保护体系是当前生物多样性和生态系统保护的重点。

生态网络通过廊道、连接区和缓冲区将其中的核心区域连接起来,实现生态系统中物质、能量流动^[7-8]。生态网络建设作为一种战略性措施已引起规划者、土地管理者的高度重视,被世界各地广泛接受和认同,在多尺度空间规划实践中具有较好的实用性^[6,9-10]。近年来,不少学者进行了多目标多尺度的生态网络和自然遗产地研究,取得了一定的成果^[11-16]。对于快速城市化地区,将自然遗产地作为生态网络的核心区域,开展具有生物保护功能的自然遗产地生态网络的构建与应用研究尤其重要。规划和建立省域尺度的自然遗产地生态网络,减少生境破碎化的影响,有利于促进区域内自然遗产地的健康发展和区域生态系统服务功能的提高。

江苏省国土面积较小,但人口密度大,经济发达,人类活动对生态平衡干扰强度大,对自然遗产地影响深刻。江苏省自然遗产地(主要包括自然保护区、森林公园、风景名胜区和地质公园等自然区域)空间分布不均,亟需通过合理的自然遗产地生态网络规划,有效整合自然遗产地资源,促进区域生态系统可持续发展,维持区域的生物多样性。本研究以省域范围为研究尺度,基于景观生态学、保护生物学

和景观规划等相关理论,在 ArcGIS 9.3 的技术支持下,筛选区域内核心自然遗产斑块,采用耗费距离模型分析方法构建江苏省自然遗产地生态网络,在现状廊道的基础上探讨省域内主要自然遗产廊道的构建及优化措施,为江苏省自然遗产地可持续发展和生物多样性保护提供参考意见,为政策部门开展自然遗产地保护工作提供科学依据。

1 研究区概况

江苏省位于中国大陆东部沿海,位于东经 116°18′—121°57′,北纬 30°45′—35°20′之间,东临黄海,与上海市、浙江省、安徽省接壤,是我国长三角洲城市群的重要组成部分。江苏省地势低平,大部分地区海拔在 50 m 以下,平原面积 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省面积的 68%以上。省内河湖众多,水网密布,有大小河流和人工河道 2900 多条,湖泊 300 多个。江苏属于温带向亚热带的过渡性气候,以淮河、苏北灌溉总渠一线为界,北部属温带季风气候,南部是亚热带季风气候,各地平均气温介于 13—16 ℃,年降水量 800—1200 mm。江苏省自然遗产资源丰富,共有 3 处国家级自然保护区、16 处国家级森林公园、5 处国家级风景名胜区、3 处国家级地质公园等。省内有 540 多种野生动物,其中有麋鹿、扬子鳄、白鳍豚、中华鲟、丹顶鹤等国家一、二级保护动物 18 种。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文数据包括 1:25 万江苏省基础地理信息数据,2008 年 1:10 万江苏省土地利用数据集以及江苏省数字高程数据。自然遗产地信息主要来自于中华人民共和国环境保护部、国土资源部及中国城市建设统计年鉴。论文所需的其他数据来自相关文献资料^[12,17]、专家访谈以及实地调查。

2.2 研究方法

本文采用耗费距离模型分析方法构建生态网络。首先识别研究区范围内的自然遗产源地,其次计算景观阻力面,确定最小耗费路径,从而获得自然遗产地生态廊道的空间位置,并对网络连通性进行分析。

2.2.1 自然遗产源地的识别

通过对江苏省自然遗产地的调查,将省域范围内的自然保护区、国家级风景名胜区、国家级或省级地质公园、国家级森林公园和其他重要自然斑块确定为重要自然遗产源地^[18]。为保持景观整体性与连通性,不考虑行政界线,合并相邻较小自然斑块,将研究区内面积>3 km²的自然斑块筛选出来作为自然遗产源地,共筛选出 18 个自然遗产源地(表 1,图 1)。

表 1 主要自然遗产源地名称
Table 1 The main natural heritage core-areas

序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name
1	徐州环城森林公园	10	老山森林公园及相邻自然斑块
2	微山湖及相邻自然斑块	11	南京钟山风景名胜区
3	骆马湖湿地自然保护区	12	海安沿海防护林及相邻自然斑块
4	云台山自然保护区及相邻自然斑块	13	启东长江口北支湿地自然保护区
5	盐城珍禽自然保护区	14	汤山方山国家地质公园及宝华山自然保护区
6	大丰麋鹿自然保护区	15	镇江三山风景名胜区及长江豚类自然保护区
7	洪泽湖湿地自然保护区及相邻自然斑块	16	固城湖自然保护区
8	铁山寺森林公园及相邻自然斑块	17	宜兴森林公园及相邻自然斑块
9	高邮湖湿地自然保护区及绿洋湖自然保护区	18	太湖风景名胜区及相邻自然斑块

2.2.2 景观阻力面的确定

物种在不同源地间运动要克服一定阻力才能实现,一般可以通过单元累积阻力大小判断生态斑块在空间上的连通性^[19-20]。确定斑块的阻力值是耗费距离模型的一个难点,不同的阻力赋值对潜在廊道

的模拟具有重要影响^[12]。本文考虑植被覆盖率、植被类型、绿地单元建立时间和人为干扰程度等因素,参考文献资料^[12,17]、咨询相关专家,确定各景观阻力值(表 2),生成景观阻力面(分辨率 30 m × 30 m)(图 2)。

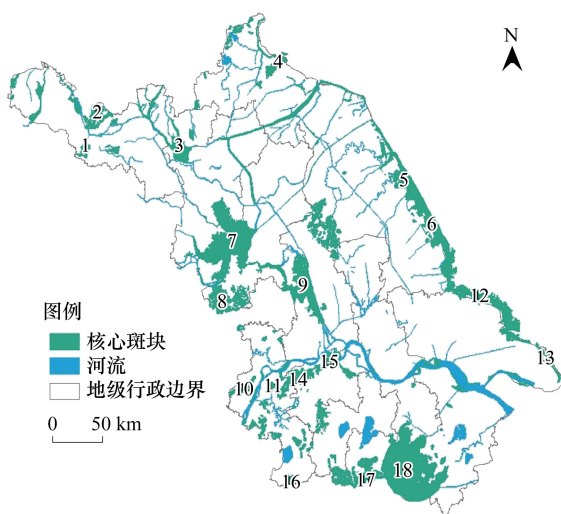


图1 江苏省自然遗产源地分布图

Fig.1 The geographic location of natural heritage core-areas in Jiangsu Province

表2 不同土地利用类型的景观阻力值

Table 2 The cost value of different landscapes

土地利用类型 Land use type	亚类 Subclass	景观阻力 Cost value
自然保护区 Nature reserve	国家级	1
	省级	3
	其他	5
森林公园 Forest park	国家级	3
	省级	5
风景名胜區 Scenic spot		15
林地 forest		5
湿地 Wetland		3
园地 Garden plot		30
草地 Grass		30
耕地 Cultivated land		50
水域 Water		700
城镇建设用地 Urban construction land		950
村庄用地 Residential land		800
主要对外交通用地 Traffic land	高速公路、铁路	1000
	国道、省道	700
其他 Others		600

2.2.3 潜在自然遗产廊道的构建

在识别自然遗产源地和确定景观阻力面的基础上,基于 ArcGIS 9.3 空间分析技术,获得从某一自然遗产源地出发,到达另一自然遗产源地的最小耗费路径。计算从 18 个自然遗产源地出发的所有最短路径,去除重复路径,获得江苏省省域范围内的潜在自然遗产廊道。

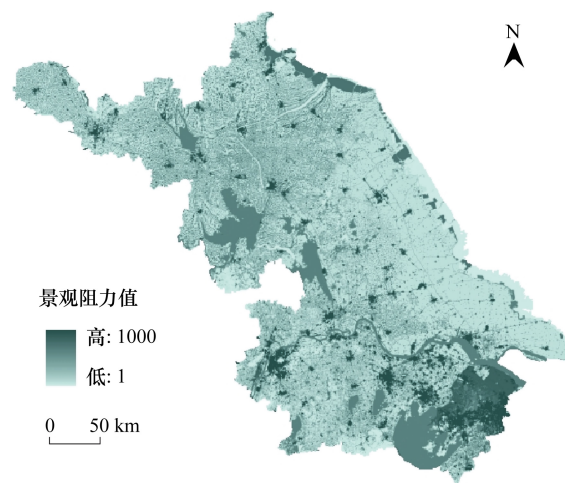


图2 研究区景观阻力面

Fig.2 The cost surface of the study area

2.2.4 网络连通性的分析

景观连通性是描述廊道、网络或基质在空间上如何连接和延续的一种测定指标^[21-22]。景观的连通性水平不仅取决于自然斑块的面积大小,还与斑块间的空间距离和耗费阻力等因素有关^[23]。整体连通性指数 IIC 和可能连通性指数 PC 综合考虑景观中各个因素对生态过程的承载能力,可以直接反映景观连通性的动态变化,识别各斑块对生态连接度的相对重要程度^[24]。本文采用 IIC 和 PC 指数分析研究区现状廊道及潜在自然遗产廊道的景观连通性水平及各斑块对景观连通性的重要程度^[24]。计算公式如下:

(1) 整体连通性指数 IIC

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(a_i a_j) / (1 + nl_{ij})]}{A_L^2} \quad (1)$$

式中, n 表示景观中斑块总数, a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积, nl_{ij} 表示斑块 i 和斑块 j 之间的连接数, A_L 表示整个景观的面积。 $0 \leq IIC \leq 1$, $IIC = 0$, 生境斑块之间没有连接; $IIC = 1$, 整个景观都为生境斑块。

(2) 可能连通性指数 PC

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2} \quad (2)$$

式中, n 表示景观中斑块总数, a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积, p_{ij}^* 表示物种在斑块 i 和斑块 j 直接扩散的最大可能性, A_L 表示整个景观的面积。

$0 < PC < 1$, PC 越大, 表示生境斑块之间的连通可能性越大。

(3) 斑块的重要值 dI

$$dI(\%) = 100 \frac{I - I_{\text{remove}}}{I} \quad (3)$$

式中, I 为景观中所有斑块的整体指数值, I_{remove} 是去除单个斑块后剩下斑块的整体指数值。

通过软件 Conefor Sensinode 2.2^[25] 和 ArcGIS 9.3 计算整体连通性指数 IIC 和可能连通性指数 PC 时, 需要指定景观中生境斑块连通的阻力距离阈值。只有当斑块间成本值小于阈值时才认为它们是连通的。根据研究区范围、自然遗产地分布格局, 参考已有研究成果^[23-26], 设定 2, 4, 8, 12, 16, 20, 25, 30 km 为距离阈值。为了与 IIC 结果具有可比性, 将距离阈值斑块之间连通的可能性设为 0.5。在计算斑块重要值 dI 时, 选择不同的指数类型 I , 计算得到的各斑块重要值是不同的。本文选择的变量 I 为整体连通性指数 IIC 和可能连通性指数 PC , 分别用 $dIIC$ 和 dPC 表示, 计算斑块在维持景观连通性的作用强度。

3 结果与分析

3.1 潜在自然遗产地生态网络的景观组成结构

基于最小耗费距离模型生成的潜在自然遗产廊道如图 3 所示。以图 1 和图 3 为依据, 计算生态网络中的不同景观组成(表 3)。分析表 3 得出, 研究区 39.74% 的林地面积、47.83% 的滩涂滩地、43.70% 的草地是自然遗产源地的主要用地类型; 38.54% 的林地面积、40.87% 的滩涂滩地、50.67% 的草地是自然遗产潜在廊道的主要用地类型。可见, 林地、滩涂滩地、草地是生物的重要栖息场所, 也是生物物种迁移的重要生境斑块。

江苏省面积广阔的湿地为丰富的湿地鸟类和鱼类资源提供了适宜的生存环境。太湖等湖泊水域支持了大量的鱼类、浮游动植物及底栖动物资源。随着近年来江苏省建设用地与农村居民点的过度扩张, 用地矛盾突出、土地结构不合理, 对自然遗产地保护造成了强烈冲击。从表 3 中可见, 在计算得出的潜在廊道景观组成中, 城镇建设、村庄用地及其他建设用地占到了廊道面积的 16%, 但事实上城镇等建设用地植被覆盖率低, 受人为干扰强, 是阻碍生物扩散的主要因素, 只有鸟类可以在空中飞越建设用

地, 因而这类廊道在实践中很难实施。

表 3 自然遗产廊道的景观组成

Table 3 Structure analysis of the potential natural heritage corridor

土地利用类型 Land use types	总面积 /km ² Total area	源地的 景观组 成/km ² Area in core-areas	潜在廊道 的景观组 成/km ² Area in ecological network as corridors
林地 forest	3309.11	1314.92	1275.43
滩涂滩地 Beach	2848.22	1362.47	1164.00
草地 Grassland	1277.69	558.38	647.39
耕地 Cultivated land	64471.41	41.45	8948.46
水域 Water	11951.52	5332.59	1198.20
城镇用地 Urban land	5510.09	0.00	515.44
村庄用地 Residential land	12449.00	0.00	1754.67
其它建设用地 Other construction land	1719.87	0.00	334.69
其它 Others	32.85	0.42	14.95
总计 Total	103569.76	9829.23	15853.23

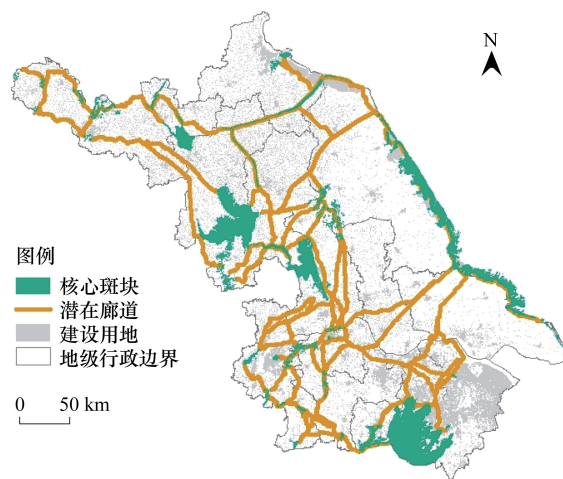


图 3 江苏省潜在自然遗产廊道

Fig. 3 The potential natural heritage corridor of the study area

通过分析现状廊道(图 1)与潜在自然遗产廊道(图 3)可以得出: (1) 江苏省现状廊道以植被带、河流为主。全省大部分河道水系四通八达, 相互沟通, 形成较为发达的河流廊道体系。其中, 京杭大运河纵贯全境, 由北向南沟通了微山湖、骆马湖、洪泽湖、高邮湖及太湖, 是全省主要骨干河道。但在区域尺度上绿地分布不均, 且河流两岸缺少绿地斑块, 沿河流形成的潜在自然遗产廊道较少, 空间连接度不高。 (2) 构建的江苏省潜在自然遗产地廊道, 可以形成初步的生态网络体系, 为物种栖息和扩散、迁移提供良

好的生态廊道,提高了生态连接性。其中,扬州和盐城交界处的湿地斑块、长江沿岸的绿地小斑块,在潜在廊道中起到了“踏脚石”的作用,是物种迁移的基本保障。但是,南京钟山风景区被城市建设用地包围,不利于物质能量交流,潜在廊道沿着周边的湿地斑块,通过迂回曲折的路径与其他自然遗产斑块连接。可见建设用地对物种迁移的阻碍作用较强。

3.2 自然遗产地生态网络的景观连通性

3.2.1 网络整体连通性

根据式(1)和式(2)计算研究区内现状绿地和潜在廊道的景观连通性指数(表4)。整体连通性指

数和可能连通性指数呈现出随着阈值增大而增大的趋势,较大的距离阈值有利于斑块连通性。目前研究区不同距离阈值范围内的生态网络整体连通性水平仅 0.001—0.003,处于较低水平,绿地斑块间缺少连接。通过构建江苏省潜在自然遗产廊道,景观连通性指数明显提高。随着距离阈值的增大,连通性指数缓慢增长,潜在廊道的整体连通性指数可达到 0.044—0.046,可能连通性指数可达到 0.073—0.074,此时生态网络连通性基本达到较高水平。因此,构建自然遗产廊道,可以提高生境适应性和增加景观连通性。

表 4 景观连通性指数

Table 4 The values of landscape connectivity indices

指数 Indices	类别 Types	距离阈值 Threshold of distance/km						
		2	8	12	16	20	25	30
整体连通性指数	现状绿地	0.00159	0.00163	0.00170	0.00184	0.00303	0.00345	0.00353
Integral of Connectivity Index (IIC)	潜在廊道	0.04450	0.04579	0.04585	0.04596	0.04607	0.04614	0.04619
可能连通性指数	现状绿地	0.00230	0.00284	0.00339	0.00398	0.00454	0.00519	0.01279
Probability of Connectivity Index (PC)	潜在廊道	0.07276	0.07339	0.07358	0.07370	0.07379	0.07386	0.07391

3.2.2 斑块重要性

基于式(3)计算出不同距离阈值下所有自然遗产地及绿地斑块的重要程度。经过多次计算比较,得出随着阈值变化, $dIIC$ 和 dPC 值也随之变化。在一定范围内, $dIIC$ 和 dPC 所反映的斑块重要性排序相对一致。本文以距离阈值 30 km 为例,把不同重要性的自然遗产斑块进行分级处理,将连通性重要值 $dIIC$ 和 dPC 分为 7 个等级(图 4)。分析图 4 可

知,在斑块重要性程度评价中,洪泽湖湿地自然保护区和高邮湖湿地自然保护区斑块面积较大,位于研究区中部,较好地连接苏北、苏南自然景观,具有较高的重要性。盐城湿地珍禽、大丰麋鹿及海安沿海防护林自然保护区是较宽较长的湿地斑块,形成了天然的沿海廊道。这些斑块减小了物种迁移和扩散的景观阻力,有利于物质能量的流动,在物种生境斑块和连接性廊道方面起着重要的作用。太湖风景名

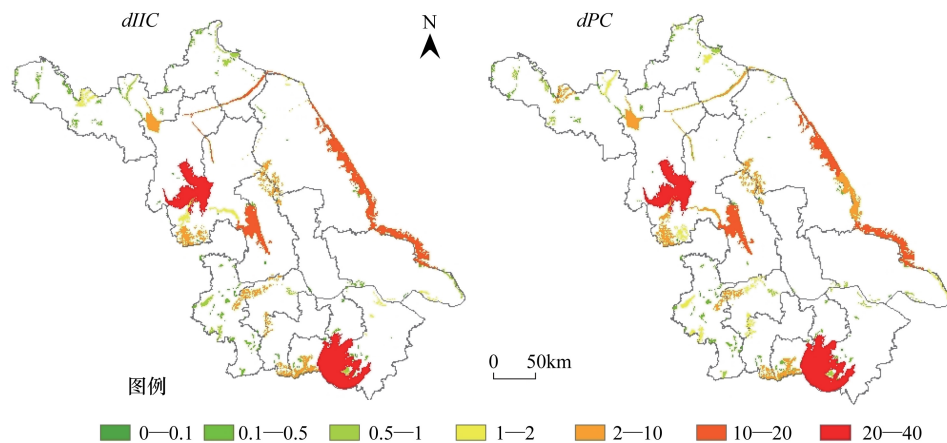


图 4 距离阈值为 30 km 时斑块重要性

Fig.4 Importance value of patches under 30 km threshold

胜区位于江苏南部,面积较大,作为核心斑块,是大量鱼类和浮游动植物的生活环境,其作为景观基质,对爬行类和哺乳类动物阻力较大,而其周围较丰富的绿地资源,具有向其他绿地斑块扩散的潜力,说明良好的滨水湿地环境能够增强景观的连通性。上述结果表明,大面积斑块,较长较宽廊道、或者是边界较为复杂的斑块重要程度较高,生境适应性相对较好。

3.3 自然遗产地生态网络的优化

通过对潜在自然遗产廊道和现状河流的分析,提出江苏省“三横两纵”的主要自然遗产廊道结构。

“三横”分别是:(1)长江自然遗产廊道。从西到东连通南京珍珠泉—老山森林公园—钟山风景名胜区—汤山方山地质公园—宝华山自然保护区—镇江三山风景名胜区—长江豚类自然保护区,沿长江两岸建设带状公园或者滨水公园绿地等形式,保证这些自然斑块的生态完整性,建立景观间的连接,形成一条绿带,对维持长江流域生态系统稳定性具有重要作用。(2)淮河自然遗产廊道。沿着淮河入海水道及苏北灌溉总渠构建绿道,连接洪泽湖湿地自然保护区—盐城珍禽自然保护区。(3)苏北自然遗产廊道。连接徐州环城森林公园—骆马湖湿地自然保护区—连云港云台山自然保护区。通过适当增加生态建设用地以优化空间布局和改善区域内的生态连通性水平。

“两纵”分别是:(1)京杭大运河自然遗产廊道。京杭大运河是重要的文化和自然遗产,是贯通江苏南北的骨干河道,是连通省内自然遗产地的重要廊道。沿运河两侧保留自然生态用地,规划为风景区,形成一条沿京杭大运河的主要生态廊道和绿色缓冲带。尤其是对运河沿岸水质的监测,保护好湖泊动植物的生存环境。(2)沿海自然遗产廊道。结合研究区沿海滩涂湿地的保护与利用,将廊道向北延伸至连云港云台山自然保护区,形成江苏省防风固堤、防灾减灾的生态防护体系。此外,在不同遗产地之间还应该构建“踏脚石”生态斑块,构建及强化连接性廊道,为物种迁移提供良好的生境。与此同时,廊道交叉处是影响生态网络连通性的关键区域,是生态优化的首选对象,可以适当扩大已有生态斑块面积,增加新的生态斑块以提高自然遗产地生态网络连通性,或是提供专门的通道以降低城市建设用地

和对外交通用地对野生动物迁移的阻隔作用。

4 结论与讨论

建立和优化连接自然遗产地之间的生态网络对维持区域可持续发展具有重要意义。本文基于耗费距离模型分析方法构建了江苏省省域范围内的自然遗产地生态网络,在此基础上采用连通性指数评价现状廊道和潜在自然遗产廊道的连通性水平,提出了自然遗产地生态网络的优化措施。研究结果表明:林地、湿地、草地是自然遗产地生态网络的主要景观组成结构;自然遗产体系中面积较大或者形状较长、较宽斑块的重要性程度较高;江苏省省域范围内的现状生态连通性水平较低,通过自然遗产地生态网络的构建可以有效地提高生态连通性水平,有利于促进研究区内生态系统的物质能量流动、生物多样性保护以及区域生态安全。

研究区生态网络的构建主要受以下几个方面影响:

(1)不同土地利用类型景观阻力值的影响

对于不同物种,迁移阻力值是不同的,基于不同阻力值计算模拟的潜在生态廊道也差异明显^[11]。已有研究表明植被群落特征以及人为干扰强度对生物迁移和生境适宜性起着决定性作用^[27]。本文在有限的资料基础上,确定阻力值时考虑植被覆盖率、植被类型、绿地单元建立时间和人为干扰程度等因素,一定程度上符合区域尺度上构建生态廊道的要求。

此外,影响物种迁移的阻力因素不仅和土地类型有关,还与地形坡度等因素有关。但本文所选区域地处长江中下游平原地区,地形平坦,研究区 95% 的面积都处于海拔 50 m 以下,所以在本研究中未作讨论。

(2)廊道宽度选择的影响

廊道结构及功能的复杂程度使廊道宽度随着物种生活习性、廊道结构、连接度以及土地利用方式的变化而变化^[28]。比如鸟类在短距离内甚至不需要廊道,而大型哺乳动物迁移廊道的宽度需要几公里甚至几十公里。为满足研究区内生物的长久迁移,经过多次尝试,选择较为合理的 2 km 作为自然遗产地生态廊道宽度。在今后研究中可以结合目标物种调整廊道宽度。

(3) 社会文化因素的影响

自然要素与文化要素之间的关系紧密。在未来生态网络的实施中需要综合考虑人类对生态结构的影响及自然与文化之间的相互作用,构建复合型生态网络更有利于区域的可持续发展。在现实景观中,生态功能的发挥并不局限于某一固定空间,生态流会延伸至研究区以外区域。因此在今后研究中应该进一步深化多尺度、多维度的自然遗产地生态网络研究。

References:

- [1] The General Conference of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. Paris: UNESCO, 1972.
- [2] Manachini B, Billeci N, Palla F. Exotic insect pests: the impact of the Red Palm Weevil on natural and cultural heritage in Palermo (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 2013, 14 (3): 177-182.
- [3] Fox T A, Hugenholtz C H, Bender D, Gates C C. Can bison play a role in conserving habitat for endangered sandhills species in Canada?. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21 (6): 1441-1455.
- [4] Hazen H. Valuing natural heritage: park visitors' values related to world heritage sites in the USA. *Current Issues in Tourism*, 2009, 12(2): 165-181.
- [5] Guo Z L, Li X Y, Cui G F. Construction methods of nature reserve system: research progress. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(8): 2220-2228.
- [6] Jongman R H G, Pungetti G. *Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 1-32.
- [7] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. *Landscape Ecology: Principles and Applications*. Beijing: Science Press, 2011.
- [8] Jongman R H G. Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 32(3): 169-183.
- [9] Marulli J, Mallarach J M. A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 71(2): 243-262.
- [10] Liu B Y, Wang P. Green space ecological network planning: evolution and research frontier in China. *Chinese Landscape Architecture*, 2010, 26(3): 1-5.
- [11] Chang H F, Wang Y L, Li G C, Wu J S, Li Z G. Landscape functions network construction and application in watershed scale: a case study on Taiwan Wuxi watershed. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 974-980.
- [12] Yin H W, Kong F H, Qi Y, Wang H Y, Zhou Y N, Qin Z M. Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(10): 2863-2874.
- [13] Wang Y C, Guo N, Peng Z W. The study on the construction of the regional pattern for ecological security based on the integrated protection of the lake: a case study of Wolong Lake in Shenyang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 29(7): 107-112.
- [14] Xu W W, Sun X, Zhu X D, Zong Y G, Li Y F. Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: a case study of urban district of Nanjing. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1264-1272.
- [15] Sun X, Zhang X J, Li X. The techniques for natural landscape protection and recovery based on urban green space ecological network and urban green space ecological network planning. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 29(10): 34-39.
- [16] Fu Q, Song J, Mao F, Wu Y X, Yao H, Tang J B. Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3670-3680.
- [17] Gurrutxaga M, Lozano P J, Barrio G. GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. *Journal for Nature Conservation*, 2010, 18 (4): 318-326.
- [18] Zhao Y. *Geography of Jiangsu*. Beijing: Beijing Normal University Press, 2011.
- [19] Schadt S, Knauer F, Kaczensky P, Revilla E, Wiegand T, Trepl L. Rule—based assessment of suitable habitat and patch connectivity for the Eurasian lynx. *Ecological*, 2002, 12 (5): 1469-1483.
- [20] Liu X F, Shu J M, Zhang L B. Research on applying minimal cumulative resistance model in urban land ecological suitability assessment: as an example of Xiamen City. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 421-428.
- [21] Cantwell M D, Forman R T T. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecology*, 1993, 8(4): 239-255.
- [22] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [23] Sun X B, Liu H Y. Effects of land use change on wetland landscape connectivity and optimization assessment of connectivity: a case study of wetlands in the Coastal zone of Yancheng, Jiangsu. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 892-903.
- [24] Saura S, Pascual-Hortal L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83(2): 91-103.
- [25] Saura S, Torné J. Conefor Sensinode 2. 2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape

- connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(1): 135-139.
- [26] Liu S L, Yang J J, An C, Qiu Y, Wang J. Ecological effect of land consolidation: an assessment based on landscape connectivity. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(3): 689-695.
- [27] Matthews M J, O'Connor S, Cole R S. Database for the New York State urban wildlife habitat inventory. *Landscape and Urban Planning*, 1988, 15(1-2): 23-37.
- [28] Zhu Q, Yu K J, Li D H. The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2406-2412.
- 参考文献:**
- [5] 郭子良, 李霄宇, 崔国发. 自然保护区体系构建方法研究进展. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2220-2228.
- [7] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2011.
- [10] 刘滨谊, 王鹏. 绿地生态网络规划的发展历程与中国研究前沿. *中国园林*, 2010, 26(3): 1-5.
- [11] 张小飞, 王仰麟, 李贵才, 吴健生, 李正国. 流域景观功能网络构建及应用——以台湾乌溪流域为例. *地理学报*, 2005, 60(6): 974-980.
- [12] 尹海伟, 孔繁花, 祈毅, 王红扬, 周艳妮, 秦正茂. 湖南省城市群生态网络构建与优化. *生态学报*, 2011, 31(10): 2863-2874.
- [13] 王云才, 郭娜, 彭震伟. 基于湖泊整体保护的区域生态网络格局构建研究——以沈阳卧龙湖生态区保护规划为例. *中国园林*, 2013, 29(7): 107-112.
- [14] 许文雯, 孙翔, 朱晓东, 宗跃光, 李杨帆. 基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别. *生态学报*, 2012, 32(4): 1264-1272.
- [15] 孙逊, 张晓佳, 雷芸, 李雄. 基于城镇绿地生态网络构建的自然景观保护恢复技术与网络规划. *中国园林*, 2013, 29(10): 34-39.
- [16] 傅强, 宋军, 毛锋, 吴永兴, 姚涵, 唐剑波. 青岛市湿地生态网络评价与构建. *生态学报*, 2012, 32(12): 3670-3680.
- [18] 赵媛. 江苏地理. 北京: 北京师范大学出版社, 2011.
- [20] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用——以厦门为例. *生态学报*, 2010, 30(2): 421-428.
- [22] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [23] 孙贤斌, 刘红玉. 土地利用变化对湿地景观连通性的影响及连通性优化效应-以江苏盐城海滨湿地为例. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 892-903.
- [26] 刘世梁, 杨珏婕, 安晨, 邱扬, 王军. 基于景观连接度的土地整理生态效应评价. *生态学杂志*, 2012, 31(3): 689-695.
- [28] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. *生态学报*, 2005, 25(9): 2406-2412.