

基于生态功能评价的湿地景观格局优化及其效应 ——以江苏盐城海滨湿地为例

孙贤斌^{1,2}, 刘红玉^{1,*}

(1. 南京师范大学 地理科学学院 南京 210046; 2. 皖西学院 城市建设与环境系, 六安 237012)

摘要: 景观格局与生态过程是景观生态学研究的重要内容, 基于生态功能和过程影响的景观格局优化是提高景观效益和稳定性重要方法之一。选择江苏盐城海滨地区为研究对象, 应用遥感和 GIS 技术, 对 2007 年湿地景观生态系统服务功能进行定量分析, 并采用阻力面模型研究景观格局优化途径。结果显示: (1) 湿地景观生态功能强度空间差异性显著, 影响区域湿地景观生态过程和功能。(2) 以累积耗费距离面、生态源地、耗费路径为依据, 构建源地、生态廊道和生态节点等景观组分优化景观格局。(3) 景观格局优化改善景观连通度和生态流, 废黄河口附近和大丰港附近等关键区域对景观连通性和生态流重要值最大, 景观连通性受到显著影响, 是景观生态节点优化的首要对象。(4) 加强保护核心斑块源地、提高景观连通度是实现景观格局优化的关键。该研究结果为区域土地利用和生态环境保护提供科学的依据。

关键词: 景观格局优化; 生态功能评价; 效应; 盐城海滨湿地

Optimization of wetland landscape patterns based on ecological function evaluation: a case study on the coastal wetlands of Yancheng, Jiangsu Province

SUN Xianbin^{1,2}, LIU Hongyu^{1,*}

1 College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Department of Urban Construction and Environmental Science, Wanxi University, Liuan 237012, China

Abstract: Identification of the relationships between landscape and ecological processes is one of key issues of landscape ecology. Landscape pattern aims to build optimized landscape which could make landscape eco-efficiency maximization and stabilization. The Yancheng coastal wetlands were chosen for the study. Based on application of remote sensing (RS) and geographical information system (GIS), the functions of wetlands landscape ecosystem services were evaluated firstly, then applying the resistance model, some key ecological function zones were identified, and the optimization of wetlands landscape pattern were put forward in the study area. The research findings include: (1) Ecological process and functions of wetlands in the coastal area were different in spatial distribution. (2) Based on an accumulative cost intensity model, and the calculation of the cost intensity, and the sources identification, the critical ecological positions, corridors, and sources were designed in the study area, and the landscape pattern optimization further discussed. The conclusions includes: (3) Optimization of wetlands landscape pattern improved connectivity of landscape. The critical ecological positions for connectivity of landscape near the bays of the Old Huanghe River estuary and Dafeng Port was the most important, and it was the first primary object to be optimized. (4) The optimized landscape pattern for the Yancheng coastal area is to strengthen protection of nature resources, maintain high landscape connectivity, and promote the sustainable development in land-use and environmental protection.

Key Words: landscape pattern optimization; ecological function evaluation; effect; coastal wetlands, Yancheng

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20070319001); 国家自然科学基金资助项目(40871084); 安徽省人文地理学重点学科建设资助项目(皖西学院)

收稿日期: 2008-11-13; **修订日期:** 2009-01-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

景观生态学主要研究空间格局和生态过程的相互作用,景观格局是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[1-2],生态过程则是发生在景观单元之间的流动或相互作用,如物种的空间运动,干扰和灾害的空间扩散,景观中存在着某种潜在的空间格局,它们由一些关键性的局部、点及位置关系所构成。这种格局对维护和控制某种生态过程有着关键性的作用,要改变景观以控制生态过程,就是通过潜在表面判别和设计某种高效的景观格局。景观格局和生态过程之间的纽带是连通性。连通性是指景观对生态流的便利或阻碍程度^[3-4],连通性良好的湿地景观可以更有效的实现其生态功能。Pascual-Hortal 和 Saura 提出了整体连通性指数(*IIC*)和可能连通性指数(*PC*)是衡量景观格局与功能的重要指标,*IIC* 和 *PC* 也能对景观的连通性做出有效的评价,且结果可以在景观规划中实际应用^[5]。

如何认识景观格局与复杂生态过程之间的内在机制、准确预测景观变化及其后果,以及实现景观格局和生态过程优化途径,景观模型是解决这些问题的重要任务^[6]。近年来,景观格局优化更多地考虑景观要素的空间分布、数量配置,概念模型、数学模型等传统生态过程模拟方法难以实现景观格局优化多目标要求。GIS 技术可以实现景观要素空间化和生态过程在空间上模拟^[7]。如 Holzkamper 等人提出 LUPOLib 景观格局优化方法,通过语言程序实现生态过程模拟,以及改变景观斑块的拓扑关系优化景观的空间状况^[8],实现生态过程和景观空间格局优化的统一。Saroinsong 综合土壤侵蚀风险、土地适宜性和经济现状 3 个方面信息,采用土地资源信息系统对农业景观格局优化^[9]。Seppelt 等人也对农业土地景观格局与营养盐流失进行模拟,提出格局优化途径^[10-11]。Quine 等人应用最小网络耗费评价破碎化林地生态恢复效果和不同格局优化方案对景观连通性的影响^[12];Moilanen 将景观区域、功能优化和目标规划 3 者统一于选择保护策略,优化景观格局和功能也是另一种选择保护途径^[13]。以上研究为景观格局优化提供新的思路和方法,能够从空间上反映景观的空间差异和变化规律,有利于空间格局和复杂生态过程的理解,但对景观格局优化的效果和对生态过程的影响缺乏评价。

基于生物空间运动的潜在趋势与景观格局改变之间的关系的认识,Adriaensen 和 Knaapen 等人提出了用最小累计阻力模型来作为景观格局优化的依据^[14-15]。阻力面模型应用涉及城市景观规划^[16-17]、保护区功能划分和生态安全分析^[15,18]、区域经济过程分析^[19],破碎化生境格局优化^[20]等领域。现阶段对生态功能和过程影响的研究还不够成熟,还不能满足对景观格局优化的理论指导要求,与景观格局优化的数学模型和计算机模型等方法比较,阻力面模型可以更好地揭示景观格局与生态过程和功能之间的联系,为景观格局优化提供一定的理论基础^[7,15-16],在景观和区域生态管理和规划等诸方面都具有重大的理论和实践意义^[7,21]。

盐城滨海湿地地处江苏中部沿海地区,是我国重要淤泥质类型,海岸滩涂湿地是江苏沿海分布最广的湿地类型,分布着极其丰富的生物资源,成为江苏沿海湿地生态系统的核心,已列入国际重要湿地名录,湿地资源保护具有全球性重要意义^[22-23]。目前正面临经济快速发展的挑战,湿地生态环境保护和区域开发的矛盾更加突出。由于滨海湿地面临围垦、米草生物入侵、海平面上升和海岸蚀退等问题,自然湿地不断退化。本文以此区域为研究对象,基于阻力模型方法,并借助遥感资料和 GIS 的空间信息处理技术,进行湿地景观格局优化,以及评价优化关键区对景观连通性重要性的影响,有利于景观生态功能发挥,以保护区域生态环境和生物多样性,促进区域可持续发展。

1 研究区域

江苏盐城海岸带位于江苏沿海的中部,是典型的粉沙淤泥质海岸,分属响水、滨海、射阳、大丰和东台五县市,地跨 32° 34'—34° 28' N,119° 27'—121° 16' E 之间。市境内海岸线长 582km,占全省海岸线的 60%,本文的研究区域范围为北至连云港市与盐城市交界的灌河,南至南通市与盐城市交界的北凌河附近,西至海堤公路向陆 1km 附近,具体与乡镇行政界限一致,东至 2007 年遥感影像中滩涂外边界,以上研究范围内总面积约 4635.3km²,海滨湿地生境类型,主要包括潮间带、潮上带、海滨湿地区以及部分农田等人类活动区(图 1)。

2 数据资料来源与处理

本研究采用的数据资料有:2007 年 ALOS(日本)遥感影像图(2006 年 11 月 9 日和 12 月 25 日,以及 2007

年1月11日和2月21日的4个全景,分辨率为10m)、1:5万盐城基础数据(包括县、乡镇行政边界、水系等)。以1:5万盐城基础图参考,运用ENVI4.3软件对遥感数据进行几何纠正,按照研究区行政边界裁剪,获得研究区遥感图。遥感影像结合实地调查,建立遥感解译标志,在ArcGIS9.2软件中进行目视解译,并进行野外精度验证,正确率为93%,满足本研究需要。

根据盐城海岸湿地的景观特征,参照Ramsar《湿地公约》湿地分类的方法,建立盐城海岸湿地景观生态分类系统。将江苏海滨湿地分为自然湿地和人工湿地两大类型,共计10种湿地类型,其中自然湿地包括:面状河流(包括面状水渠)、芦苇沼泽、碱蓬沼泽、米草沼泽、光滩(或者滩涂)5种类型,人工湿地包括盐田、水田、淡水养殖塘和海水养殖塘等4种类型(图2)。

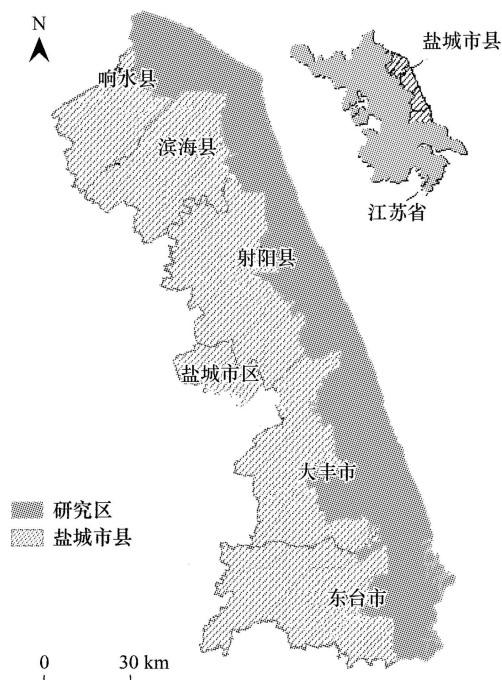


图1 研究区域与位置

Fig.1 Location of the study area

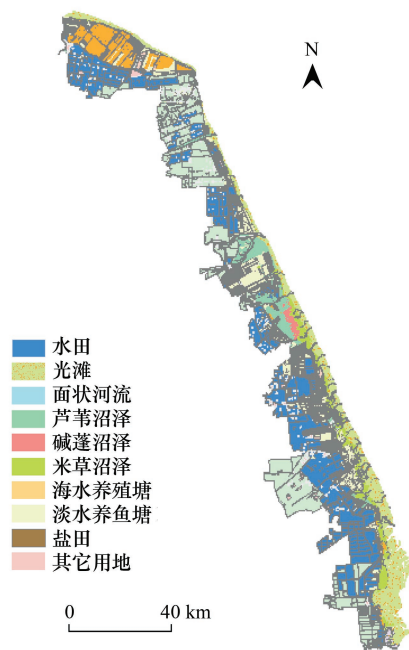


图2 2007年盐城海滨湿地景观类型

Fig.2 Type of wetland landscape in the coastal zone of Yancheng in 2007

3 研究方法

3.1 景观生态服务价值评价

采用Costanza等人的生态系统服务功能价值评价模型,参考陈仲新等人的国内生态系统服务与效益的生态价值估算标准,以谢高地等人修订的不同类型生态系统单位面积服务价值为依据^[24-26],对2007年海滨湿地各种景观类型进行生态服务功能评价。

3.2 阻力面和累积耗费路径分析

依靠ArcGIS9.2空间分析功能,将单位面积服务价值高的自然湿地景观核心斑块提取出来,作为景观生态功能的“源地”。采用累积耗费阻力模型,依靠源地景观和生态功能空间强度分布等级分布两大要素获得景观生态功能累积耗费强度表面。景观累积耗费阻力模型通过累积强度耗费值来表达。景观强度耗费值是指生态流在景观栅格单元之间移动所需要克服一定的强度差的耗费。本研究中景观耗费强度取决于景观生态服务价值的高低,服务价值越高,景观栅格单元之间的物质、能量等传输越容易,生态流越畅通,景观耗费强度值越小。景观累积耗费强度是耗费值在一定空间上的累积效应。其公式如下^[27]:

$$C_i = \sum (D_i \times F_j) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m)$$

式中, D_i 是空间某一景观单元*i*到目标景观单元(源地)所经过的栅格单元数; F_j 是空间某一景观单元*j*的生态

功能相对强度值; C_i 是第 i 个景观单元到目标景观单元(源地)的累积耗费值; n 为基本景观单元总数。耗费强度分析包括源和一个代价表面,是为每一个基本像元计算其通过代价表面到最近源的最低累积耗费强度。以上通过 GIS 空间分析代价距离模块来实现。

利用 ArcGIS9.2 空间分析模块和水文分析模块,借鉴水文分析原理和方法^[28],在景观累积耗费强度表面上,对景观生态流的“脊线”和“谷线”进行提取,并进行邻域分析、阈值设置处理,从而得到生态流最大耗费路径和最小耗费路径。

3.3 景观生态功能关键区识别和优化

根据强度面和最小耗费路径确定生态廊道,景观流运行最低耗费路径和最高耗费路径的交汇区域或者最大耗费路径或最小耗费路径不连续处为生态关键点。依据景观生态源汇的理论和景观连通性等原理,提出区域湿地景观的源地、生态廊道和关键点优化途径。

3.4 景观生态功能关键区优化效应分析

连通性良好的湿地景观可以更有效的实现其生态功能。生态流通指数(flux, F)^[29]、整体连通性指数(IIC)和可能连通性指数(PC)既可反映景观的连通性,又可计算景观中各关键点(或斑块)对景观连通性的重要值^[3],以此作为关键点对景观连通性影响和效应分析。关键点的重要值,这里指对景观保持连通的重要性。根据不同的指数计算得到各关键点的重要值是不同的。分别选取 F 、 IIC 指数和 PC 指数来计算关键点的重要值(dI):

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

式中, I 表示景观中所有关键点的整体指数值, I_{remove} 是去除某关键点后剩下的关键点的整体指数值。重要值的计算在 Conefor Inputs for ArcGIS9. x 和 Conefor Sensinode2.2 软件中进行^[29]。

4 结果分析

4.1 海滨湿地景观生态功能评价

湿地景观生态服务被划分为气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐共 9 类^[26],根据每类景观生态系统服务价值当量因子计算生态服务功能强度。湿地生态系统服务功能是衡量其景观生态功能的主要指标。在人类干扰逐渐增强的海滨湿地景观区域,人类对湿地景观改造程度和景观组成是影响区域景观生态服务类型和强度的主要因素。在分析研究区域景观结构和组成的基础上,评价 2007 年海滨湿地各种景观类型生态服务功能(表 1),以此分析盐城海滨湿地区域景观生态功能强度的空间差异,作为景观空间格局调控的基础依据。在研究区景观栅格单元上确定各种景观类型的生态服务规律强度,其结果作为景观累积耗费强度表面分析的依据。

表 1 盐城海滨湿地景观类型生态系统服务功能价值

Table 1 Ecosystem services value of wetland landscape types in the coastal zone of Yancheng

景观类型 Type of landscape	景观面积/hm ² Area	总价值/(万元) Total value/(10 ⁴ yuan)	价值比重/% Percent of value
(芦苇、碱蓬、米草)沼泽 Marsh	39699	670038.1	86.91
盐田、光滩 Mud flat and Salt field	59877	51.6	0.01
水田 Paddy field	222786	17667.8	2.29
养殖塘 Fish pond culture	90729	312.8	0.04
河流 River	11313	82870.8	10.75
其它用地 Others	32085	0	0
合计 Total	456489	770941.3	100

近年来,自然湿地景观受人类农业活动的影响,人工湿地的组分迅速增加,面积逐渐增加扩大,景观生态系统服务功能发生显著变化。研究区内各种类型景观生态功能强度空间差异性显著(图 3),其中射阳河口与

斗龙港口之间的中部区域生态功能价值最高;其次,斗龙港口以南的米草沼泽、碱蓬沼泽等有植被分布的湿地区域生态功能价值较高;而光滩、农田、养殖塘等景观类型生态服务功能价值较低。所以有植被覆盖率高的自然湿地景观对整个区域景观生态功能起着重要的调控作用,为维护区域生态系统稳定和生物多样性保护发挥重要作用。随着人类对海滨湿地的围垦和开发,人工湿地面积逐渐增大,自然湿地面积迅速减少,湿地景观生态服务功能减弱。

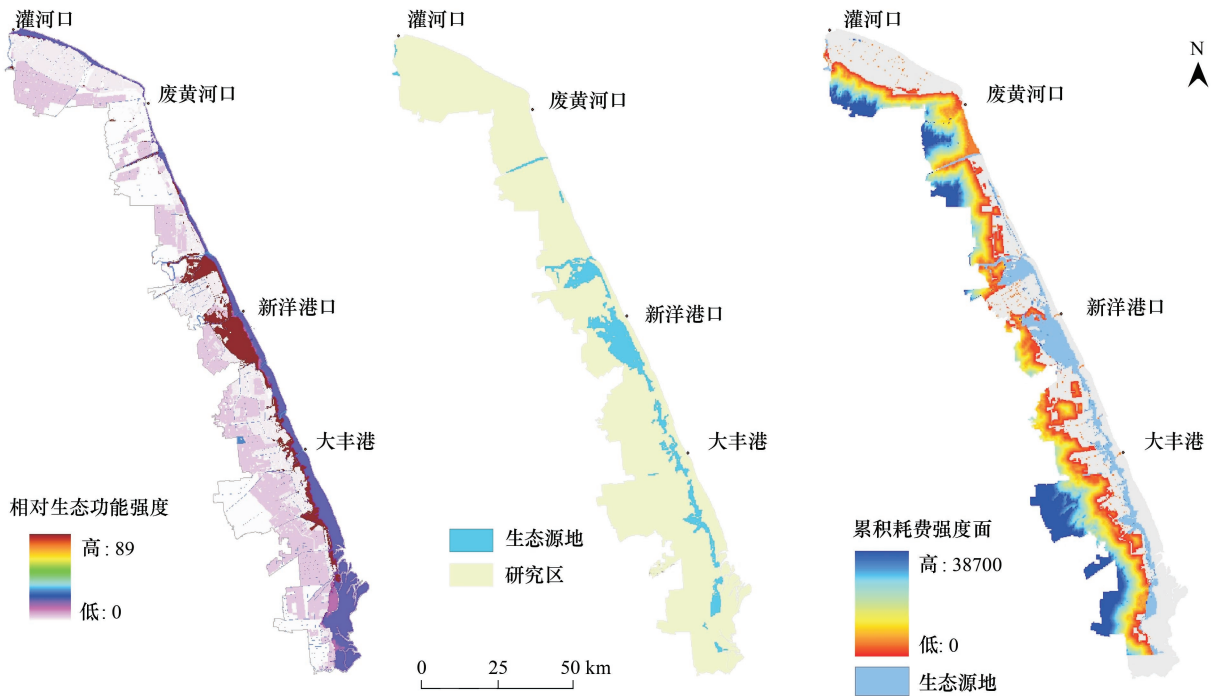


图3 2007年盐城海滨湿地相对生态功能强度及其景观累积耗费强度表面

Fig.3 Eco-function intensity and accumulative cost relative intensity surface in the coastal zone of Yancheng in 2007

4.2 景观生态功能关键区识别和优化

4.2.1 生态源地识别和优化

基于景观生态源和汇的理论,源是景观中促进景观过程发展的景观组分^[30],具有一定的空间扩展性和连续性。因此,从景观生态服务功能强弱和价值大小等方面考虑,生态服务价值高的区域必然是发挥生态功能良好的源地。所以,根据研究区生态功能价值为依据,选择植被覆盖率高的自然湿地景观、空间上连续、面积大的核心斑块,作为景观生态功能的“源地”。在盐城海滨区域,单位面积服务价值高的水域、米草沼泽、芦苇沼泽和碱蓬沼泽是应该保护的生态源地(图3)。生态源地的主体植物为芦苇、互花米草和碱蓬,为了保护的有效性,设定生态源地的核心斑块最小面积为10个栅格单元($200\text{m} \times 200\text{m}$)^[16],即 40hm^2 。

江苏盐城海滨湿地景观生态源地,主要包括盐城自然保护区核心区、射阳河口以南的大片芦苇沼泽湿地,以及斗龙港以南呈条带状分布的芦苇沼泽、碱蓬沼泽、水域和米草沼泽区域(图3)。这些源地对控制和促进区域生态功能稳定具有重要作用,应当加强生态环境保护,维持和增大源地斑块的面积,周围建立50—100m的缓冲带,提高景观生态功能。

4.2.2 生态廊道识别和优化

生态廊道是发挥景观生态功能的途径,为源地斑块间的联系通道,可以增强景观组分或者系统要素之间的联系和防护功能等,主要用于生态系统营养物质和能量流动、生物种迁移等方面,其连通性是衡量廊道结构的基本指标^[31-32],由于区域景观生态格局破碎化、景观结构和组分趋于人工化,加强生态廊道建设,增强源地之间、景观组分之间的连接程度,是维护和增强区域生态功能的主要途径,有利于区域保护区功能的发挥和生

物多样性的维持。

景观强度耗费表面的值是表示从该位置栅格单元到达源地途径中所积累生态服务功能价值。从盐城海滨湿地景观累积耗费强度表面来看(图3),自西向东景观耗费强度呈现下降趋势,旱地、居民地对与源地斑块景观强度差较大,而源地的景观强度差最小,河流、面状人工沟渠景观强度差较小,有利于景观功能的运行。由海滨湿地景观累积耗费强度表面,确定景观功能流运行的最小耗费强度,得到景观生态廊道空间位置(图4)。

盐城海滨湿地生态廊道主要包括:大致与海岸线平行的水陆交界廊道、东西延伸的河流水系廊道(图4);在此基础上,根据区域景观类型特点,构建一定宽度廊道,重要地段廊道(如道路两侧、工业和港口建设用地周围)建立植被绿化缓冲带,以保障与源地景观生态流的畅通。

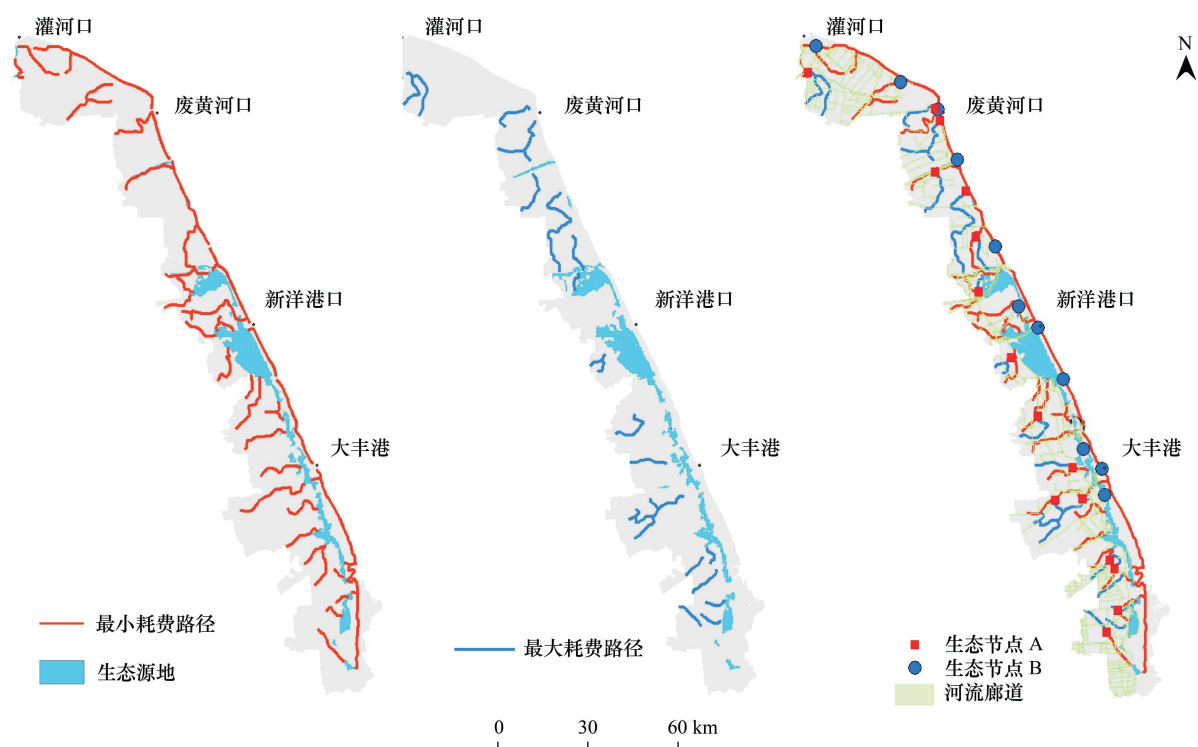


图4 2007年盐城海滨湿地景观生态廊道及生态节点空间分布格局

Fig. 4 Corridor and eco-node for optimized landscape pattern in the coastal zone of Yancheng in 2007

4.2.3 生态节点识别和优化

生态节点是指在景观空间中,连接相邻生态源,并对生态流运行起关键作用的点,一般分布于生态廊道上生态功能最薄弱区域。该处在空间距离跨度较大或者受外界其它景观阻碍作用,致使营养物质、能量流通受阻,生物种难以迁移,不利于景观生态功能发挥;从景观生态功能上来说,节点处受到受外界的干扰和冲击比较敏感,对景观功能稳定性影响较大。所以,生态节点的识别和构建,有助于增加景观生态网络的连通性,对维持景观生态功能发挥和区域可持续发展均非常重要。

由以上分析的最小和最大耗费路径(图4),在最大和最小耗费路径的交汇区域或者耗费路径不连续处,结合研究区的景观格局特征,可以得到景观生态节点的空间分布位置(图4)。根据生态节点位置可以分为:最大耗费路径和最小耗费路径交汇处(生态节点A)、最大耗费路径或最小耗费路径不连续处(生态节点B)。盐城海滨湿地景观生态节点A类16个和生态节点B类11个。其中A类中的8个位于河口湿地区域,说明河口区域湿地的重要性。其原因一方面,河口湿地处于多种交错带之内,景观空间异质性高;另一方面,近年来,随着河口周边地区经济的快速发展,河口湿地景观受到人为活动的干扰越发强烈,其景观破碎化程度随之

增大;自然与人为因素在不同时空尺度上对湿地景观作用的最终结果是景观连通性降低,如新洋港、大丰港、斗龙港附近 3 个生态节点均是由于港口建设导致生态廊道不连续的典型区域。A 类中的其它 3 个是处于核心斑块源地之间,由于人类围垦活动加剧,源地之间逐渐被分割。B 类 11 个生态节点处于较大面积、不同类型湿地景观斑块之间,加强此类节点周围景观优化有利于景观生态网络的构建,维持良好的景观连通性。生态节点处于核心斑块之间、自然湿地与人工湿地之间,对区域景观生态流影响起着关键作用,这 27 个节点可以把各源地之间的生态廊道紧密联系起来,构成节点、廊道、源地景观网络系统格局,从而优化区域景观格局,改善景观格局破碎和连通性低的现状,实现景观格局优化目标。

盐城海滨湿地景观空间格局动态变化表明,湿地滩涂围垦、自然湿地的开发利用是影响景观格局变化的主要因素,由于水域养殖、港口建设等人工干扰用地等逐渐增加,景观格局破碎和连通性降低是景观格局优化所要面临的主要问题。因此,在景观格局优化时,考虑盐城自然保护区物种保护和景观的稳定性,要遵循维持景观多样性和保护物种的生境适宜性等原则,重视对现有芦苇沼泽、水域等自然湿地景观源地的保护,构建和优化生态廊道、生态节点,通过调整和优化景观组分和空间分布格局,使景观结构合理,有利于景观功能的发挥,实现景观格局优化的目标。

4.3 景观生态功能关键区优化效应分析

景观功能是通过景观组分之间的物质、能量、物种等生态流的有效交换和分配来实现的,景观组分之间的连接程度及其空间作用对景观功能的维持域发挥具有重要影响^[33]。图 5 是 27 个景观生态关键点变化对景观格局连通度和生态流的影响情况。对景观连通性和生态流重要值越大的点,越是滨海湿地景观的敏感区域,是景观优化的首要保护的对象。生态流的变化(dF)显示:位于废黄河口附近的生态节点(3、19 和 20)的生态流指数变化最大,其次是位于大丰港附近的 5 个点(11—12、25—27)、扁担河口附近(20)和新洋港口附近(23)各 1 个点,以及川东港以西的两个点(13、14),以上各点的生态流指数变化均在 6.48 以上。其它各点变化较小。

整体连通性指数变化($dIIC$)和可能连通性指数变化(dPC)的情况基本一致,对景观整体连通性和可能连

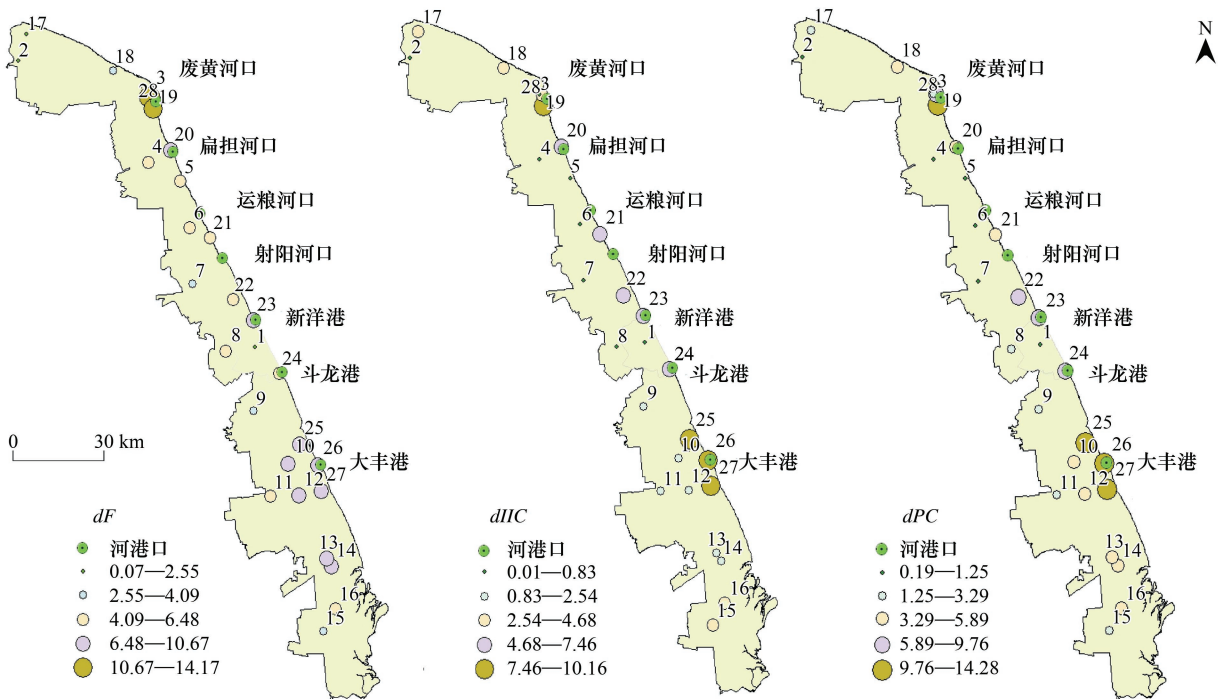


图 5 优化生态关键点对生态流和景观连通性的响应

Fig.5 Response of eco-node for optimized to eco-flux and connectivity on wetlands landscape

通性影响最大的点是位于废黄河口附近(9)、大丰港附近(25—27),其次的点是位于新洋港口附近(23)、斗龙港附近(24)和射阳河口附近(22),以上各点对景观整体连通性的重要值均在 4.68 以上,对可能连通性指数变化均在 5.895 以上; $dIIC$ 和 dPC 的变化不同的点是在扁担河口附近(20)和运粮河口附近(21)。另外,其它点也存在一些差异,但变化较小。以上 3 个指数变化显示,这些最重要生态节点几乎都位于河口(或港口)附近,说明江苏盐城海滨湿地景观连通度受港口开发和建设影响最大。2005 年前,废黄河口附近和大丰港附近区域属于盐城自然保护区实验区,2005 年经过较大范围调整,使区域景观连通性受到显著影响。

连通性是指景观对生态流的便利或阻碍程度,连通性良好的湿地景观可以更有效的实现其生态功能。 IIC 和 PC 能对景观的连通性做出有效的评价,结果可以在景观格局优化中实际应用。通过以上各关键生态点对景观连通度重要性的影响进行评价,有利于对格局优化的有效性认识,也为格局优化的重要性提供一定的科学依据。

江苏海滨湿地生态环境保护和区域开发的矛盾突出,湿地景观格局受人类活动干扰加剧,湿地景观生态服务功能影响显著;海滨湿地以高度活跃、敏感和动态演变为主要特征,具有活跃的生态流;将生态过程和景观格局有机联系起来探讨区域生态环境保护,可以保持生态系统的完整性,又能满足区域经济发展的土地利用需求,有利于区域土地合理利用。

5 结论

(1)1997 年盐城海滨湿地生态系统服务价值评价结果表明,景观生态功能强度空间差异性显著:射阳河口与斗龙港口之间的中部区域生态功能价值最高,光滩、农田、养殖塘等景观类型生态服务功能价值较低。通过湿地景观空间生态服务功能的差异性和累积耗费距离模型,以生态流为纽带,建立景观格局与生态过程逐渐的联系。随着人类对湿地的围垦和开发,景观格局变化导致湿地景观之间连通性降低,使生态流阻隔,影响区域湿地景观生态过程和功能。

(2)以保护有效的源地和维持良好湿地景观连通性为目标,识别生态过程的源地。在盐城海滨区域,水域、米草沼泽、芦苇沼泽和碱蓬沼泽的单位面积服务价值高,作为景观生态功能的“源地”。为了保持景观源地和景观组分之间生态流的畅通,从湿地景观之间的关键区域,构建源地与源地之间、源地与生态廊道的生态节点来优化景观格局。

(3)景观连通性是对生态流的便利或阻碍程度, dF 、 $dIIC$ 和 dPC 能对景观的连通性和生态流的重要性做出有效的评价,可以反映景观格局优化对景观连通性和生态流变化的响应。废黄河口附近是滨海湿地景观生态流最重要的区域,废黄河口附近、大丰港附近等河口和港口是滨海湿地景观连通性最有效区域。

江苏盐城海滨是淤泥质海岸,海岸带湿地处于复杂动态变化之中,阻力面模型仅考虑景观类型之间的生态流动,没有考虑高程、湿地景观带自身演变等因素的影响;另外,景观格局优化还涉及盐城自然保护区功能分区、重点保护物种的生境,所以实际的景观格局优化需要在此基础上根据自然保护区的具体情况和管理措施加以调整。

结合景观生态服务功能和生态过程的联系,运用阻力面模型,有效地提高景观综合效益,为区域景观格局优化工作提供科学依据。

致谢:湿地国际-中国办事处 张晓红博士对写作给予帮助,谨此致谢。

References:

- [1] Xiao D N. Progress on Landscape Ecology. Changsha. Hunan Scientific & Technological Press, 1999: 1-7.
- [2] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. Principle And Application Of Landscape Ecology, Beijing: Science Press, 2001: 126-130.
- [3] Xiong C N, Wei H, Lan M J. Analysis of connectivity on green-land landscape in metropolitan region of Chongqing City. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2237-2244.
- [4] Philippe C, Burel F. The role of spatial-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. Landscape Urban Planning, 1997, 38: 37-43.

- [5] Lucla P H, Saura S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 2006, 21(7):959-967.
- [6] Schröder B, Seppelt R. Analysis of pattern-process interactions based on landscape models-Overview, general concepts, and methodological issues. *Ecological Modelling*, 2006, 199:505-516.
- [7] Han W Q, Chang Y, Hu Y M. Research advance in landscape pattern optimization. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(12):1487-1492.
- [8] Holzkämper A, Seppelt R. A generic tool for optimizing land-use patterns and landscape structures. *Environmental Modeling & Software*, 2007, 22: 1801-1804.
- [9] Saroinsong F, Harashina K, Arifin H, Gandasmita K, Sakamoto K. Practical application of a land resources information system for agricultural landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79: 38-52.
- [10] Seppelt R, Voinov A. Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models. *Ecological Modelling*, 2002, 151: 125-142.
- [11] Seppelt R. Regionalized optimum control problems for a geo-ecosystem management. *Ecological Modelling*, 2000, 131:121-132.
- [12] Quine C. P, Watts K. Successful de-fragmentation of woodland by planting in an agricultural landscape? An assessment based on landscape indicators. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90:251-259.
- [13] Moilanen A. Landscape zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*, 2007, 134:571-579.
- [14] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 1992, (23): 1-16.
- [15] Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1):9-15.
- [16] Yue D P, Wang J P, Liu Y B, Li H L, Xie H C, Wang D M. Landscape pattern optimization based on RS and GIS in Northwest of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11):1223-1231.
- [17] Liu G, He X F. Geographic Information System Exercise Tutorial Book. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 65-69.
- [18] Li J H, Liu X H. Research of the nature reserve zonation based on the least-cost distance model. *Journal of Nature Resources*, 2006, 26(2):217-224.
- [19] Wu S H, Li Z B, Zhou S L, Chen D X. A preliminary study of resistance surface model of regional space-economic process. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(5): 535-539.
- [20] Adriaensen F, Chardon J. P, De Blust G, *et al.* The application of 'least-cost' modeling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 64: 233-247.
- [21] Yu K J. Identifying approaches of landscape ecological points and surface models of theoretical geography. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53 (supply): 11-20.
- [22] Liu Q S, Li Y F, Zhu X D. Characteristics of coastal wetland ecosystems and their health design: a case study from Yancheng Nature Reserve, Jiangsu Province, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(3):143-148.
- [23] Chen H Q. Characteristic of wetland resource. and its protection in coastal zone of Jiangsu. *Ecological Economy*, 2003, 10: 195-198.
- [24] Chen Z X, Zhang X S. The benefits of China ecosystem. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17-22.
- [25] Turner R K, Daily G C. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. *Environment Resource Economy*, 2008, 39:25-35.
- [26] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [27] Zhang X F, Wang Y L, Li Z G. Landscape pattern optimization based upon the landscape functions network: a case study in Taiwan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7):69-76.
- [28] Tang G A, Yang X. Spatial Analysis of ArcGIS Exercise Tutorial Book. Beijing: Science Press, 2006: 446-449.
- [29] Saura S, Tomé J. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modeling & Software*, 2009, 24: 135-139.
- [30] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5):1444-1449.
- [31] Liu H Y, Li Z F. Effects land use/cover change on wetland landscape of Honghe Nature Reserve. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11):1215-1222.
- [32] Wu J F, Zeng H, Liu Y Q. Landscape ecological connectivity assessment of Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4):1691-1701.
- [33] Lü Y H, Chen L D, Fu B J. Analysis of the integrating approach on landscape pattern and ecological processes. *Progress in Geography*, 2007, 26(3):1-10.

参考文献:

- [1] 肖笃宁. 景观生态学研究进展. 长沙:湖南科技出版社, 1999: 1-7.

- [2] 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, 2002: 126-130.
- [3] 熊春妮, 魏虹, 兰明娟. 重庆市都市区绿地景观的连接度. 生态学报, 2008, 28(5): 2237-2244.
- [7] 韩文权, 常禹, 胡远满. 景观格局优化研究进展. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1487-1492.
- [15] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [16] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 李海龙, 谢怀慈, 王冬梅. GIS 与 RS 技术支持下的北京西北地区景观格局优化. 地理学报, 2007, 62(11): 1223-1231.
- [17] 刘光, 贺小飞. 地理信息系统实习教程. 北京: 清华大学出版社, 2002: 65-69.
- [18] 李纪宏, 刘学华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区. 自然资源学报, 2006, 26(2): 217-224.
- [19] 吴绍华, 李植斌, 周生路, 陈东湘. 区域经济空间过程阻力面模型的初步研究. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 535-539.
- [21] 俞孔坚. 景观生态战略点识别方法与理论地理学的表面模型. 地理学报, 1998, 53(增刊): 11-20.
- [22] 刘青松, 李杨帆, 朱晓东. 江苏盐城自然保护区滨海湿地生态系统的特征与健康设计. 海洋学报, 2003, 25(3): 143-148.
- [23] 陈洪全. 江苏沿海湿地资源特点及其保护利用. 生态经济, 2003, 10: 195-198.
- [24] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [26] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [27] 张小飞, 王仰麟, 李正国. 基于景观功能网络概念的景观格局优化. 生态学报, 2005, 25(7): 69-76.
- [28] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程. 北京: 科学出版社, 2006: 446-449.
- [30] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [31] 刘红玉, 李兆富. 流域土地利用/覆盖变化对洪河保护区湿地景观的影响. 地理学报, 2007, 62(11): 1215-1222.
- [32] 武剑锋, 曾辉, 刘雅琴. 深圳地区景观生态连接度评估. 生态学报, 2008, 28(4): 1691-1701.
- [33] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. 地理科学进展, 2007, 26(3): 1-10.