

安徽省安庆市沿江沼泽湿地恢复空间分析

董张玉^{1,2}, 杨学志², 王宗明³, 周芳¹, 艾加秋^{1,2}, 贾璐^{1,2}

(1. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009; 2. 工业安全与应急技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230009; 3. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘要: [目的] 对安徽省安庆市沿江沼泽湿地区的沼泽湿地生态系统恢复进行空间分析, 为沼泽湿地生态环境的改善提供科学依据。[方法] 针对安庆市沿江沼泽湿地退化严重的现状, 在分析区域功能特征的基础上, 构建沼泽湿地空间恢复模型, 并实现区域内沼泽湿地空间恢复, 继而得到沼泽湿地优先、次优先恢复以及不可恢复级别。最后从整体景观效果和沼泽湿地功能两个恢复角度评价沼泽湿地恢复效果。[结果] 安庆市沿江沼泽湿地恢复面积为 $5.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 在现有沼泽湿地面积基础上提高了 35.78%。以耕地为主, 占沼泽湿地恢复面积的 91.43%。其中, 优先恢复面积为 $2.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 主要分布于研究区的中北部地区; 次优先沼泽湿地恢复面积为 $2.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。不可恢复面积为 $3.61 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 主要为水域、建筑用地等不可变更区域。[结论] 经过恢复效果验证, 从景观整体格局分析可知, 沼泽湿地恢复后, 研究及区域内沼泽湿地的斑块数量减少, 而平均斑块密度增加, 聚集度指数增加, 景观多样性指数上升, 说明沼泽湿地恢复实施后, 景观格局更有利于朝着沼泽湿地生态功能的发挥, 对维护区域生态安全具有很大的现实意义。

关键词: 空间恢复; 湿地功能; 水文调节; 安庆市沿江地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0178-06

中图分类号: Q948

文献参数: 董张玉, 杨学志, 王宗明, 等. 安徽省安庆市沿江沼泽湿地恢复空间分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 178-183. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.030; Dong Zhangyu, Yang Xuezhizhi, Wang-zong Ming, et al. Spatial analysis on wetland restoration along Yangtze River in Anqing City, Anhui Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 178-183. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.030

Spatial Analysis on Wetland Restoration Along Yangtze River in Anqing City, Anhui Province

DONG Zhangyu^{1,2}, YANG Xuezhizhi², WANG Zongming³, ZHOU Fang¹, AI Jiaqiu^{1,2}, JIA Lu^{1,2}

(1. College of Computer and Information, Hefei University of Technology,

Hefei, Anhui 230009, China; 2. Anhui Province Key Laboratory of Industry Safety and

Emergency Technology, Hefei, Anhui 230009, China; 3. Northeast Institute of Geography and

Agricultural Ecology, University of Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102, China)

Abstract: [Objective] Conducting a spatial analysis on wetlands ecosystem restoration along Yangtze River in Anqing City, Anhui Province, in order to provide scientific basis for improving the wetland ecological environment. Wetland restoration is critical to manage these conditions. [Methods] In this study, hydrological regulation and habitat suitability, as the most important functions of wetland, were selected to identify suitable wetland restoration sites. Using these two function layers, together with the spatial analysis function of geographic information system(GIS) and remote sensing(RS) image data, we identified and prioritized suitable sites for wetland restoration in the study area. Those areas which have high hydrological regulation and

收稿日期: 2017-04-11

修回日期: 2017-05-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“面向生态服务能力提升的沼泽湿地空间格局优化方法研究”(41601452); 中国科学院流域地理学重点实验室开放基金项目“遥感与 GIS 技术支持的沼泽湿地空间恢复决策研究: 以安庆沿江为例”(WGS2015009); 中国博士后科学基金项目“SAR 与可见光图像融合关键技术研究”(2016M602005)

第一作者: 董张玉(1986—), 男(汉族), 安徽省安庆市人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事湿地生态环境研究。E-mail: dzyhfut@hfut.edu.cn.

are good or fair habitat suitability for water birds, can support wetland restoration. The potential sites were prioritized in terms of patch size and proximity of natural wetlands and water bodies. [Results] We obtained two priority classes (the high one and a low one) of wetland restoration in a spatial scale. The results of this study showed that the areas with high and low priority classes for wetland restoration are 82 628 and 247 039 hm^2 , respectively, which account for 1.23% and 3.67% of the total study area. [Conclusion] The high-priority class areas would be used for the wetland restoration. Besides the wetland restoration in the north-east region, wetland landscape pattern is also more advantageous for wetland ecological function. It will provide scientific basis for the implementation of northeast region wetland restoration.

Keywords: spatial restoration; wetland function; hydrological regulation; Yangtze River in Anqing City

沼泽湿地是重要的生态系统,其功能独特性是不可替代的,具有重要的生态、经济和社会价值^[1]。近几十年来,全球性的沼泽湿地退化和消失危机引发了严重的生态环境和社会问题,直接威胁到区域、国家乃至全球的可持续发展^[2-3]。自《沼泽湿地公约》缔结以来,国际社会越来越意识到加强沼泽湿地生态优化、沼泽湿地恢复、促进沼泽湿地可持续利用的重要性和迫切性,而且国际社会对沼泽湿地的关注也从最初仅强调沼泽湿地作为水禽栖息地的功能,拓展到沼泽湿地优化、沼泽湿地恢复、沼泽湿地保护及合理利用的各个方面^[4-5],其中沼泽湿地的优化、恢复与保护成为国际社会关注的热点^[6]。因此,结合相关技术实现沼泽湿地恢复,对生态环境的改善具有重要的研究意义和实际价值。在自然和人为因素的综合作用下,安庆市沿江沼泽湿地类型发生了显著变化^[7],由复杂的草甸、湖泊、森林等草本沼泽向以毛果台草为主的草甸沼泽和人工沼泽湿地如水稻田等单一类型转化^[8];从景观上看,大面积连片分布的沼泽几乎已经不复存在,取而代之的是斑块数量呈现出显著增加的趋势,沼泽湿地破碎化严重,草甸湿地和沼泽湿地大量丧失;在空间上,自然沼泽湿地逐渐向低河漫滩的河流两岸萎缩,呈带状分布,且逐渐破碎化。人工沼泽湿地非集中分布,其中稻田散布在旱田和自然沼泽湿地中,水渠发展迅速,呈现出网状景观格局,植被演替过程加快,植株变得矮小,物种存在缺失,生物多样性受损,沼泽湿地调蓄功能下降,旱涝灾害频繁^[9]。东北地区沼泽湿地短时限、高强度的农业开发不仅导致沼泽湿地面积丧失、景观结构变化,还通过改变水文、局地气候、土壤养分等影响区域生态环境质量,进而威胁区域生态安全^[10]。随着遥感和 GIS 技术在沼泽湿地生态系统研究中的应用不断深入^[11-12],各种理论的不完善。本文首先根据安徽省安庆市沿江沼泽湿地功能特征,再借助 3S 技术和空间分析技术,对其主要功能(径流调节功能、野生动物栖息地适宜性

功能)进行系统性分析评价,进而在多目标理论的指导下,构建一种基于沼泽湿地功能特征的恢复模型,对安庆市沿江不同沼泽湿地区的沼泽湿地生态系统恢复进行空间分析,进而在维护沼泽湿地生态系统稳定的同时,实现区域内沼泽湿地功能的最大限度发挥。从而为沼泽湿地生态环境的改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于安徽省西南部,长江下游北岸,皖鄂赣三省交界处,东与安徽省池州市、铜陵市隔江相望,南以长江与江西省九江市相连,西界湖北省黄梅、蕲春、英山 3 县,北接安徽省六安市、巢湖市,是长江沿岸著名的港口城市。地理坐标为北纬 $29^{\circ}47' - 31^{\circ}17'$,东经 $115^{\circ}46' - 117^{\circ}44'$,总面积 $1.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。长江流经市境约 200 km。研究区域为安庆市全境,包括迎江、大观、宜秀区 3 个市辖区,怀宁、枞阳、潜山、太湖、宿松、望江、岳西 7 个县和桐城县级市。境内有大龙山、妙道山、石莲洞 国家级森林公园,鹞落坪国家级自然保护区,世界著名湿地、中国湿地自然保护区安庆市沿江湿地。由于水土流失,泥沙淤积,湖泊滩地大面积形成,为围垦创造了有利条件。特别是 20 世纪 60—70 年代,为了解决湖圩区耕地严重不足的矛盾,湖泊滩地大量围垦,致使湿地大面积减少。现今,主要有沿大别山森林生态系统和沿江湿地生态系统两大生态功能区。

1.2 数据来源及预处理

本研究涉及的数据包括 Landsat Thematic Mapper(TM)影像;气象数据;2015 年安庆市沿江土地利用数据;DEM 数据;NDVI, LAI;河流、道路矢量数据以及其他辅助数据。安庆市沿江地区 2015 年土地利用数据采用面向对象分类的方法,由 TM 遥感影像经人工目视解译得到。面向对象分类方法主要包括 2 个步骤^[14-15]:影像分割和分类规则的设定。影像分

割主要涉及分割尺度、形状权重等参数的设定。经过多次试验,本文具体分割参数选择如下:颜色(光谱)权重为 0.8,形状权重为 0.2,其中光滑度权重为 0.9,紧凑度权重为 0.1,分割尺度为 10。安庆市沿江地区土地覆盖分类规则主要包括:植被指数、亮度指数、形状比等。按照以上步骤,将区域划分为林地、草地、沼泽湿地、水体、人工表面、耕地以及未利用地 7 种一级

类型(附图 2)。根据野外样点验证得知,安庆市沿江土地覆盖总体精度约为 91%,满足本研究的需求。表 1 显示了各类型面积及其占总面积比例,其中,林地和耕地是区域内的主要地物类型,分别为 $7.10 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 和 $3.98 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占区域总面积的 72%,区域内沼泽湿地面积为 $1.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$,仅占区域总面积的 8.67%,主要分布于沿江以及河流周边。

表 1 安庆市沿江地区 2015 年土地覆盖数据

土地利用类型	林地	耕地	湿地	草地	人工表面	水体	未利用地
面积/ hm^2	710 155	397 968	133 540	351	185 668	86 780	25 474
面积比例/%	46.11	25.84	8.67	0.02	12.05	5.63	1.65

所需要的气象数据包括沿江的降雨量、平均风速、平均气温、平均相对湿度等,由中国气象科学数据共享服务网下载得到(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。DEM 数据是 1:25 万的 30 m 分辨率,沿江的南部地区高程相对于北部平原地区要高。NDVI 数据经过 Landsat Thematic Mapper (TM) 影像反演得到,计算公式为: $(\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$,其中, NIR 和 R 分别为近红外波段($0.76 \sim 0.96 \mu\text{m}$)和红波段($0.62 \sim 0.69 \mu\text{m}$)。

LAI 主要用来计算沿江的实际蒸散,是由 NDVI 反演得到,主要植被类型的 LAI 计算方法如下。

$$\begin{aligned} \text{耕地: LAI} &= 0.7271 \exp(3.0236 \text{NDVI}) \\ \text{林地: LAI} &= 0.9428 \exp(2.4725 \text{NDVI}) \\ \text{草地: LAI} &= 0.8253 \exp(0.3309 \text{NDVI}) \\ \text{沼泽湿地: LAI} &= 1.1273 \text{NDVI} - 0.3468 \end{aligned} \quad (1)$$

河流、道路矢量数据从 2015 年土地利用数据提取得到,在 ArcGIS 9.3 数据处理平台下,利用 Line Density 命令分别生成河流、道路密度图,用于分析区域内水禽栖息地适宜性。其他辅助数据主要包括野外验证点数据等。以上数据均被统一到同一坐标系和投影之下。所采用的投影为 UTM 投影,并采用全国统一的中央经线,中央经线为东经 105° ,所有数据都被统一成 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 栅格大小的 Grid。

1.3 研究方法

以降水和蒸散数据为基础,结合遥感与 GIS 分析技术,对 2010 年沿江地区水文调节功能进行评价。其中用到的气象数据包括降雨量、日照时间、平均风速、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、平均气压等。首先根据沿江的气象站点分布,对站点数据进行插值。按照 Penman-Monteith 公式计算出沿江地区的潜在蒸散数据,再结合 LAI 降雨量反演出实际

蒸散,最后采用降雨量栅格减去实际蒸散得到最终区域的水文调节。通过遥感数据与气象数据可以快速、便捷地计算得到区域尺度上的实际蒸散量(ET),计算公式为:

$$\text{ET} = 9.78 + 0.0072 \text{ET}_0 \cdot \text{PPT} + 0.051 \text{PPT} \cdot \text{LAI} \quad (2)$$

式中:ET₀——潜在蒸散;LAI——叶面积指数

以遥感和 GIS 为技术支撑,结合水禽栖息地的环境特征以及环境状况,选择影响水禽栖息的水源状况(河流密度和湖泊密度)、干扰条件(道路密度和居民点聚集度)、食物丰富度(NDVI)以及遮蔽物(土地利用和坡度)作为评价指标,采用层次分析法确定各因子权重,再结合 GIS 的空间分析手段,实现安庆市沿江水禽栖息地适应性的空间分析。其中,各因子权重如表 2 所示。考虑到定性数据和定量数据的标准化统一计算,对适宜性指数采用百分制形式(0~100)进行量化分级,即适宜性最好(100~75)、适宜性一般(75~50)、适宜性差(50~25)、不适宜(25~0)等 4 个等级,最终确定适宜性最好、适宜性一般、适宜性差、不适宜 4 个等级。

本研究结合沼泽湿地的功能特征,选择沼泽湿地水文调节和水禽栖息地功能作为沼泽湿地恢复评价指标,采用空间分析模型,设计沼泽湿地恢复方案。其中水文调节功能反映了沼泽湿地的水文特征,这也是沼泽湿地的主要特征之一,水文调节的好坏直接决定可沼泽湿地的可恢复性程度,因此选择水文调节功能强的区域作为备选的沼泽湿地优先恢复区域。仅仅考虑水文调节难以说明沼泽湿地的特征。因此,选择沼泽湿地的另一个主要特征水禽栖息地适宜性作为判断依据。将适宜性最好的区域作为沼泽湿地优先恢复区域,适宜性较好的区域作为次优先恢复区域,不适宜区域作为不可恢复区域。综合以上分析可

以得出基于功能特征的沼泽湿地恢复方案:水文调节功能强且水禽栖息地适宜性最好的区域为沼泽湿地优先恢复级别;水文调节功能强且水禽栖息地适宜性较好的区域为次优先恢复级别;水文调节功能弱或者水禽栖息地不适宜区域为不可恢复级别。为了实现 GIS 的空间分析叠加,将水文调节和水禽栖息地适宜性功能分别进行栅格量化。按照以上原则最终得到安庆市沿江沼泽湿地空间恢复的优先、次优先以及不可恢复的级别。基于功能特征的沼泽湿地恢复空间模型如图 1 所示。

表 2 水禽栖息地各影响因子权重

目标层	准则层		决策层	
	影响因子	权重	影响因子	权重
地湿 适地 宜水 性禽 评栖 息	水源状况	0.3	河流密度	0.35
			湖泊密度	0.65
	干扰因子	0.2	道路密度	0.45
			居民点密度	0.55
	遮蔽物	0.2	土地利用类型	0.75
			坡度	0.25
食物丰富度	0.3	NDVI	1.00	

流、湖泊周围。数据显示,安庆市沿江水禽栖息地的适宜性面积相对较少,这与人类活动增加有关。适宜性最好等级主要分布于河流、湖泊等水源与食物比较充足地区边缘,这些区域极其适合水禽类生存,其地势平坦、水源充足、有大面积的沼泽湿地及河滩地,区域内人口稀少,很少有村庄及道路设施干扰,为水禽提供了良好的觅食、隐蔽和繁殖场所。临近适宜性最好的区域,处于栖息地适宜性最好的缓冲区,耕地低产区域,该区域内居民点相对比较分散分布区域。适宜性差的区域主要包括高产农田区,位于道路和居民密集区及其缓冲地带,受人为干扰力较强,对生态敏感性很弱,生态系统稳定性差。不适宜区域主要包括城镇居民点,人为干扰比较强的区域,不适宜水禽栖息,占总用地的 13.34%。

2.2 安庆市沿江沼泽湿地恢复空间顺序

在以上分析的基础上,结合图 1 模型描述的沼泽湿地空间恢复方案实现安庆市沿江沼泽湿地恢复空间顺序如图 2 所示。由图 2 可知,沼泽湿地恢复主要针对海拔比较低的平原地区,主要集中在区域的东南部地区以及沿江周边地区。优先级沼泽湿地恢复分布于整个安庆市沿江,主要分布于以下两个位置,首先是位于河流、湖泊(例如:沿江)等开放水体周边,这些区域自然环境较差,土地利用相对较低,且接近水体,沼泽湿地恢复比较容易,另一部分优先级恢复区域位于平原地区的耕地以及草地,这些区域耕地生产力相对较低,恢复成沼泽湿地有利于大区域生态系统的协调性;次优先恢复区域面积相对于优先级别较少,主要是增加优先级别沼泽湿地恢复的连通性,优化沼泽湿地景观格局,集中在平原地区。其中:优先级别为近期沼泽湿地恢复目标,次优先为中长期沼泽湿地恢复计划,并且用于增进优先恢复沼泽湿地斑块的连通性。经过统计分析得知,安庆市沿江优先、次优先、不可恢复区域的面积分别为 $2.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$, $2.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$, $3.61 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。占整个研究区域面积的 1.91%, 1.86%, 2.34%。其中:经过优先恢复后,安庆市沿江的沼泽湿地与 2000 年的沼泽湿地面积较为接近,也即,按照论文的沼泽湿地优先恢复方案实施沼泽湿地恢复,能够将区域内的沼泽湿地恢复到 2000 年的状态。若优先、次优先沼泽湿地恢复均实施以后,安庆市沿江的沼泽湿地面积将达到了 1990 年状态。

2.3 沼泽湿地恢复效果验证

在沼泽湿地恢复结果分析的基础上,分别从整体景观效果、沼泽湿地功能特征进行沼泽湿地恢复效果评估。

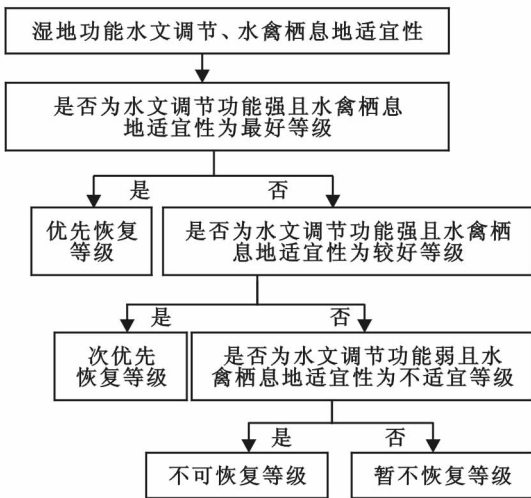


图 1 沼泽湿地恢复空间模型

2 结果与分析

2.1 水禽栖息地适宜性分析

采用 GIS 空间分析技术,获取安庆市沿江水禽栖息地适宜性评价的指标因子,主要包括:水源状况(河流密度、湖泊密度)、干扰条件(道路密度、居民点密度)、食物丰富度(NDVI 数据)以及遮蔽物(坡度、土地利用)。在 GIS 的支持下,得到安庆市沿江水禽栖息地适宜性分析结果图(附图 3)。基于以上数据分析结果表明,安庆市沿江水禽栖息地适宜性最好、适宜性良好的区域占总面积的 41.76%,集中分布在河



图 2 安庆市沿江沼泽湿地恢复的空间顺序

采用 Fragstats 景观格局指标计算软件进行分析。借助景观指数分析方法,对研究区景观生态格局进行定量分析,安庆市沿江沼泽湿地恢复后类别水平上景观指数的比较结果详见表 3。表 3 中数据显示,沼泽湿地恢复后,在类别水平上,区域内沼泽湿地的斑块密度大幅度减少,说明实施沼泽湿地恢复以后,沼泽湿地景观的破碎化程度降低;而沼泽湿地的平均斑块面积在增加,同时,沼泽湿地的最大斑块指数(LPI)、聚集度指数(AI)也呈现与之相同的变化趋势,说明沼泽湿地恢复后区域内沼泽湿地总面积增加的同时,景观类型的空间格局也发生了显著变化。沼泽湿地最大斑块面积的增加和斑块聚集程度的加大,说明沼泽湿地恢复实施后的景观格局更有利于朝着沼泽湿地生态功能的发挥,对维护区域生态安全具有很大的意义;数据显示,沼泽湿地景观类型的平均形状指数(SHAPE)表现为下降趋势,由恢复前的 2.914 下降到 2.168。沼泽湿地恢复工程实施后,有相当一部分属于人为开垦的耕地与属于自然景观的沼泽湿地直接相邻,因此造成沼泽湿地斑块的边界趋于规则,平均形状指数下降。

表 3 安庆市沿江沼泽湿地恢复后类别水平上景观指数的比较

指数	PD	LPI	AREA	SHAPE	AI
恢复前	0.056	1.496	814.37	2.914	93.81
恢复后	0.023	2.193	831.91	2.168	97.45

注:PD, LPI, AREA, SHAPE, AI 分别为斑块密度、最大斑块指数、斑块面积、平均形状指数、聚信度指数。

3 讨论与结论

综合国内文献^[16]调查可知,许多对沼泽湿地恢复的研究主要集中在定性分析。本研究结合遥感数据和 GIS 空间分析工具,并且以沼泽湿地水文调节和

水禽栖息地适宜性功能来定量的确定沼泽湿地恢复方案,与传统的方法相比,该方案首先充分考虑了沼泽湿地的功能特征,能够在改善沼泽湿地生态环境的同时最大限度的发挥沼泽湿地的功能。其次,能实现大范围区域的沼泽湿地恢复,并且准确地确定沼泽湿地恢复区域,为沼泽湿地恢复项目实施带来便捷。虽然不能取代传统的沼泽湿地恢复研究方法,但是从一个全新的角度实现了沼泽湿地恢复,能为沼泽湿地恢复工程的实施提供科学依据。

相关研究表明,具体的沼泽湿地恢复实施是比较困难的。不同的生态环境需求需要考虑不同的沼泽湿地恢复因子,本文选择沼泽湿地水文调节和水禽栖息地适宜性功能作为沼泽湿地恢复方案的指标因子,结合更多的沼泽湿地功能特征和环境因子实现沼泽湿地恢复会得到更加准确可靠的沼泽湿地恢复方案。例如,景观指标、生态足迹等等。但是,在沼泽湿地恢复方案中包括所有指标因子是不可能的。所以指标因子的选择始终是从可行性和重要性之间进行平衡。本研究的分析重点是实现沼泽湿地功能特征的最大发挥,因此选择主要的沼泽湿地功能作为恢复方案的指标因子进行分析。国内外学者^[17]已经使用了本研究中类似的方法来进行恢复沼泽湿地。但在他们的研究中,主要的集中在于退耕还湿的角度考虑,没有从全区的所有类型上实现沼泽湿地的恢复。

研究结果表明,在安庆市沿江有相当数量的区域适合退化为沼泽湿地。经过分析得到了两种优先级别沼泽湿地恢复。恢复面积分别为 $2.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $2.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占区域面积的 1.91% 和 1.86%。通常,优先级区域位于平原地区,有足够的水,并为水禽等沼泽湿地动植物提供良好的栖息地。这些区域转换为沼泽湿地的潜力较高,并且不适合其他土地利用(例如,农田、林地、或住宅用途)。因此,优先级别作为沼泽湿地近期恢复的重点区域。次优先级别的

沼泽湿地恢复区域位于优先级别的周边,斑块密度比优先级别的要高。次优先级别沼泽湿地恢复后,能够很好的增强沼泽湿地斑块的连通性,进一步增加沼泽湿地斑块密度,减少沼泽湿地破碎化,这样有利于沼泽湿地生态环境的改善。因此,次优先级别沼泽湿地恢复是中远期的沼泽湿地恢复目标。对于不适宜沼泽湿地恢复区域,考虑到其他生态系统的维护,这些区域不适合沼泽湿地的恢复。综合考虑,在短期内,沼泽湿地恢复会影响到耕地的生产,但是从长远来看,进行沼泽湿地恢复对于生物多样性保护和生态环境改善具有重要的意义^[18]。

相关研究^[19]表明,沼泽湿地的退化和破坏是减少生物多样性和物种灭绝的主要原因之一。研究显示,安庆市沿江适合恢复为沼泽湿地的区域较多。本研究介绍的是一种基于功能特征的方法来实现沼泽湿地的恢复,以此为沼泽湿地恢复和空间优化等相关研究提供技术支持和科学依据。然而,在国内沼泽湿地恢复研究和投入相对较少。沼泽湿地恢复的价值被公众认可的程度不高。据统计,1990年,人类密集的亚洲大约30%的沼泽湿地被排干,8%在南美洲,非洲4%^[20]。要想改变这一现状,首先,需要政府部门给予足够的重视,一方面制定相关的法律法规来控制沼泽湿地退化,另一方面采取相应的沼泽湿地恢复和优化措施实现沼泽湿地恢复成立相应的国家、省级沼泽湿地恢复机构。其次,增强公众意识,使得人们意识到沼泽湿地生态环境的破坏对人类生产生活的不利影响。

一般来说,沼泽湿地的管理主要集中在一个目标如改善水文调节、加强生物多样性,或提供防洪。尽管目前有部分研究集中在如何创建和实现沼泽湿地的恢复目标,但很少有学者从沼泽湿地功能特征的角度实现沼泽湿地恢复。在本论文的研究中,选择水文调节改善和加强生物多样性作为沼泽湿地恢复的目标。第一个目标是实现水文调节改善,包括考虑营养、固体和水源。水文是沼泽湿地最重要的因素之一。第二个沼泽湿地恢复目标是加强生物多样性。选择水禽栖息地适宜性评价作为生物多样性的指标。多目标的沼泽湿地恢复目标比单一目标的投资要大,但针对部门服务而言,多目标的沼泽湿地恢复更加综合的考虑了多个因素,适用范围更加广泛。沼泽湿地恢复能为生态环境的改善提供科学的支持,进而缓解人类活动给生态环境带来的压力和危害。

[参 考 文 献]

[1] Hapner J A, Reinartz J A, Fredlund G G. Avian suc-

cession in small created and restored wetlands[J]. Wetlands, 2003, 9(31):1089-1102.

- [2] 崔保山. 沼泽湿地生态系统生态特征变化及其可持续性问题[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2):43-49.
- [3] Tong Chunfu, Rusty A F, Lu Jianjian. Ecosystem service values and restoration in the urban Sanyang wetland of Wenzhou, China[J]. Ecological Engineering, 2007, 15(29):249-258.
- [4] Bram N, Michael H, Jesse N. Environmental assessment framework for identifying and mitigating the effects of linear development to wetlands[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 99(2):133-140.
- [5] Wen Bolong, Liu Xingtu, Li Xiujun, et al. Restoration and rational use of degraded saline reed wetlands: A case study in Western Songnen Plain, China[J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(2):167-177.
- [6] 黄锡畴, 马学慧. 我国沼泽研究的回顾与展望[M]. 北京: 科学出版社, 1996:238-247.
- [7] 李鱼, 张华鹏, 刘亮, 等. 沙化对向海湿地功能的影响[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2):83-86.
- [8] 刘兴土, 何岩, 邓伟, 等. 东北区域农业综合发展研究[M]. 北京: 科学出版社, 2002:689-703.
- [9] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 20世纪80年代以来捞力河流域沼泽湿地景观变化过程研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6):698-705.
- [10] Han Dayong, Yang Yongxing, Yang Yang, et al. Recent advances in wetland degradation research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4):1293-1307.
- [11] Cui Lijuan, Anna V P, Zhang Mangin. Applications of RS, GIS and GPS technologies in research, inventory and management of wetlands in China[J]. Journal of Forestry Research, 2005, 16(4):317-322.
- [12] Brian L B, David P L, Qi Jiaguo. A classification-based assessment of the optimal spectral and spatial resolutions for Great Lakes coastal wetland imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(1):111-120.
- [13] 周葆华, 操璟璟, 朱超平, 等. 安庆沿江湖泊湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 地理研究, 2011, 30(12):2296-2304.
- [14] 刘贤德, 孟好军, 张宏斌, 等. 黑河流域中游典型退化湿地生态恢复技术研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6):116-119.
- [15] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000[J]. Science in China(Series D): Earth Sciences, 2003, 46(4):373-348.

[参 考 文 献]

- [1] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]. 辽宁大连:大连理工大学,2010.
- [2] 吴林林. 黑臭河道净化试验研究及综合治理工程应用[D]. 上海:华东师范大学,2007.
- [3] 孙卫星,汪翔. 浅议受污染水体生态修复技术[J]. 环境科学与技术,2003,26(S2):108-110.
- [4] Cui Baoshan, Yang Oichun, Yang Zhifeng, et al. Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China[J]. *Ecological Engineering*, 2009,35(7):190-1103.
- [5] Cui Zhencai, Yang Yongzhen, Gao Xiaoli, et al. Research and application of ecological river courses restoration technology[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2016,39(1):12-40.
- [6] 李兴德,颜宏亮,李浩宇,等. 城镇河道生态修复方案评价模型构建[C]. 北京:全国河道治理与生态修复技术汇总,2012.
- [7] 贾秀粉. 城市河道生态修复规划、效果评价及生物控藻技术[D]. 天津:南开大学,2011.
- [8] 庞翠超,陶静,吴小慧,等. 强感潮河网生态治理工程综合评价[J]. 人民长江,2016,47(1):15-22.
- [9] 刘培斌,沈来新,刘俊国,等. 基于生态服务价值的永定河(北京段)生态修复效果评价[J]. 水利水电技术,2016,47(4):9-13.
- [10] 胡孟春,张永春,唐晓燕,等. 城市河道近自然修复评价体系与方法及其在镇江古运河的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):187-196.
- [11] 张广萍,周美正,张延,等. 安徽派河流域水污染特征及原因分析[J]. 人民长江,2014(18):20-24.
- [12] 马农乐,赵中极. 基于层次分析法及其改进对确定权重系数的分析[J]. 水利科技与经济,2006,12(11):732-736.
- [13] 梁保松,曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京:科学出版社,2007:105-120.
- [14] 王梅婷,徐得潜,陈凯. 城市河道生态护坡综合评价指标体系研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):198-202.
- [15] 刘学毅. 德尔菲法在交叉学科研究评价中的运用[J]. 西南交通大学学报:社会科学版,2007,8(2):21-25.
- [16] 徐联舫. 用德尔菲专家调查法对超导量子干涉仪的技术预测[J]. 科学学研究,1989,7(1):68-86.
- [17] 冯晖,王志中. 基于专家评价准确度的评估数据处理方法研究[J]. 学位与研究生教育,2002(7/8):59-60.

(上接第 183 页)

- [16] O'Neill, M P, Schmidt J C, Dobrowolski, J P, et al. Identifying sites for riparian wetland restoration: Application of a model to the upper Arkansas River Basin [J]. *Restoration Ecology*, 1997,5(4S):85-102.
- [17] Huang Ni, Wang Zongming, Liu, Dianwei. et al. Selecting sites for converting farmlands to wetlands in the Sanjiang Plain, Northeast China, Based on Remote Sensing and GIS [J]. *Environmental Management*, 2010,46(5):790-800.
- [18] Li Xiaowen, Li Cong, Zhang Lina. Modeling the scenarios of wetland restoration in Hengshui Lake National Nature Reserve [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010,2(1):1279-1289.
- [19] Zhao Ruifeng, Chen Yaning, Zhou Huarong, et al. Assessment of wetland fragmentation in the Tarim River basin, Western China [J]. *Environmental Geology*, 2009,57(2):455-464.
- [20] Finlayson C M, Davidson N C, Stevenson N J. Wetland inventory, assessment and monitoring: Practical techniques and identification of major issues [M]// Darwin: Proceedings of Workshop International Conference on Wetlands and Development, Dakar, Senegal, 8. 14 November 1998, Supervising Scientist Report 161, Supervising Scientist, 2001.