

DOI: 10.5846/stxb201706041025

曲艺, 罗春雨, 张弘强, 曾星雨, 崔玲, 李海燕, 倪红伟. 基于历史生物多样性与湿地景观结构的三江平原湿地恢复优先性研究. 生态学报, 2018, 38(16): - .

Qu Y, Luo C Y, Zhang H Q, Zeng X Y, Cui L, Li H Y, Ni H W. Prioritization of wetland restoration in Sanjiang Plain, based on historical biodiversity and landscape structure. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): - .

## 基于历史生物多样性与湿地景观结构的三江平原湿地恢复优先性研究

曲 艺, 罗春雨, 张弘强, 曾星雨, 崔 玲, 李海燕, 倪红伟

黑龙江省科学院自然与生态研究所, 湿地与生态保育国家地方联合工程实验室, 黑龙江省湿地与恢复生态学重点实验室, 哈尔滨 150040

**摘要:** 三江平原是我国最大的淡水沼泽分布区, 建国后大规模的农业开发活动导致湿地面积锐减, 湿地生态系统服务功能退化, 产生一系列的生态环境问题, 有必要进行湿地恢复。生物多样性的历史分布和湿地景观结构特征对湿地恢复具有重要指导意义。在分析三江平原湿地景观格局变化的基础上, 结合三江平原历史生物多样性保护价值(即湿地恢复价值)以及各县市内湿地景观结构(现有湿地分布比例)对湿地恢复进行了优先性分析, 确定了不同县市内不同空间位置上湿地恢复优先等级。景观格局变化分析结果表明, 三江平原在 20 年间, 湿地面积大幅减少, 且破碎化现象严重, 70% 以上的退化或消失湿地被耕地侵占; 基于历史生物多样性保护价值的湿地恢复价值评估表明, 目前已经退化或消失的湿地有 57.56% 具有相对较高的恢复价值, 而且还有 22.02% 的区域处于中等恢复价值水平, 恢复潜力较大; 结合现有湿地分布比例的结果表明, 在三江平原的 19 个受湿地影响的市县中, 有 2 个一级恢复区, 6 个二级恢复区, 9 个三级恢复区和 2 个四级恢复区。本研究为今后三江平原湿地恢复行动的时空顺序确定提供了参考, 同时为缺少生物多样性历史监测数据的区域提供了快速的湿地恢复评估方法。

**关键词:** 历史生物多样性; 湿地景观结构; 优先性排序; 湿地恢复; 三江平原; C-Plan

## Prioritization of wetland restoration in Sanjiang Plain, based on historical biodiversity and landscape structure

QU Yi, LUO Chunyu, ZHANG Hongqiang, ZENG Xingyu, CUI Ling, LI Haiyan, NI Hongwei\*

National and Local Joint Laboratory of Wetland and Ecological Conservation, Key Laboratory of Wetland and Restoration Ecology, Heilongjiang Academy of sciences, Institute of Natural Resources, Harbin 150040, China

**Abstract:** Sanjiang plain is the largest distribution area of fresh water swamp in China. The large-scale agricultural activities resulted in a sharp decrease in wetland area, which led to degradation of wetland ecosystem services and a series of ecological and environmental problems. Wetland restoration is urgently needed. The historical biodiversity distribution and landscape structure of wetlands have an important guiding significance for wetland restoration. Based on the analysis of landscape pattern changes of wetlands, we combined conservation value of historical biodiversity (representing restoration value) and landscape structure of wetland (area proportion) to prioritize the wetland restoration efforts. Our results showed that during 1995 and 2015, the total area of Sanjiang plain wetland was reduced from 14308.55 km<sup>2</sup> to 8532.29 km<sup>2</sup>, and approximately 40% of the original wetland had been degraded into grassland or converted to farmland. Meanwhile, the number of patches has doubled, with the rate of 110.3 patches per year; the patch density increased from 0.15 /km<sup>2</sup> in 1995 to 0.52 /km<sup>2</sup>; the maximum patch area decreased from 21.20km<sup>2</sup> to 14.64 km<sup>2</sup>. All these figures show that the

基金项目: 国家自然科学基金(41501583); 黑龙江省科学院青年创新基金(CXMS2017ZR01; CXMS2018ZR02)

收稿日期: 2017-00-00; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nihongwei2000@163.com

Sanjiang plain wetlands present overall fragmentation characteristics. The spatial distribution of wetlands in Sanjiang plain is uneven, and the proportion of wetlands in each eastern county is higher, more than 10%; however, the proportion of wetlands in the central and western counties is lower, and the proportion of wetlands in Qitaihe and Youyi county is even less than 5%. Irreplaceability index (IRR) was divided into five grades:  $0 \leq \text{IRR} \leq 0.09$  (Rank 1),  $0.09 < \text{IRR} \leq 0.21$  (Rank 2),  $0.21 < \text{IRR} \leq 0.39$  (Rank 3),  $0.39 < \text{IRR} \leq 0.62$  (Rank 4),  $0.62 < \text{IRR} \leq 1$  (Rank 5), respectively, representing different levels of restoration value. In the degraded or lost wetlands, 57.56% have high restoration value and 22.02% areas are in the middle level, which indicate great potential for wetland recovery. Four restoration priority zones were divided according to wetland restoration value and the landscape structure requirement of wetland. In the 19 counties affected by wetlands, 2 counties (Qitaihe and Youyi) fall in the first grade of restoration priority; 6 counties (Huachuan, Huanan, Yilan, Boli, Hegang, and Jidong) fall in the second grade of restoration priority; 9 counties (Fujin, Mishan, Suibin, Fuyuan, Tongjiang, Raohe, Luobei, Baoqing, and Tangyuan) fall in the third grade of restoration priority; and 2 counties (Hulin and Jiamusi) fall in the last grade of restoration priority. If the proposed high restoration value areas in Sanjiang plain wetland were properly restored, the proportion of wetland in the plain would increase from 7.85% to 13.17%, which would probably increase the regional security and stability, and is more likely to maximize the restoration of wetland biodiversity. Our study provides a reference for future operations of wetland restoration in the Sanjiang plain, meanwhile, the method can be applied to priority analysis for other ecosystem restorations. This method provides a rapid assessment of wetland restoration priorities for the regions that is lacking in historical occurrence data of biodiversity surrogates.

**Key Words:** historical biodiversity; landscape structure; prioritization; wetland restoration; Sanjiang plain; C-Plan

经济快速发展背景下,湿地被大量的建设用地和农田侵蚀,导致湿地面积锐减,生态系统服务功能下降,威胁到区域可持续发展<sup>[1-2]</sup>。近年来,人们逐渐意识到湿地恢复与重建的重要性,湿地恢复成为湿地研究的热点。但多数研究倾向于小尺度的、以植被恢复为主湿地恢复技术和管理<sup>[3-5]</sup>。对于区域或景观尺度上确定湿地恢复优先性的研究较少,尤其是历史生物多样性对湿地恢复的支持作用和湿地景观结构对区域可持续发展的意义,在湿地恢复优先性研究中未得到应有的关注。

湿地恢复优先性评价,是指资源有限条件下,基于湿地恢复的最紧迫目标和限制因素,评估各分区湿地恢复的先后性,为阶段性恢复湿地提供选址依据的空间决策方法<sup>[6]</sup>。目前,比较常用的区域尺度湿地恢复优先性评估方法主要是多指标综合法,评估指标主要包括物种栖息地分布、土地利用类型、土壤类型、地形因子、水文因子等<sup>[7-8]</sup>。如 Dale 和 Siobhan<sup>[7]</sup>通过土壤、土地利用、河流等级、地形饱和指数等因子,建立适宜性模型,根据湿地恢复的适宜性进行了湿地恢复优先性评估;董张玉等<sup>[8]</sup>以东北地区退化湿地为研究对象,根据景观结构因子、河流及道路密度、湿度指数、地貌条件、耕地生产力 5 方面对湿地恢复潜力进行空间分析,确定了东北地区湿地恢复的优先性。Wilson 等结合时间滞后性、湿地可恢复性、随机事件概率、反馈、空间连接性等因素开发了用于恢复优先性评估的决策支持工具<sup>[9]</sup>。以上研究均为景观或区域尺度的湿地恢复评估提供了科学参考,但这些研究忽略了历史生物多样性对湿地恢复的支持作用和湿地景观结构在区域可持续发展中的重要意义。

生物多样性是当前保护系统的主要指标,因此湿地恢复也应从生物多样性角度考虑其恢复价值。但值得注意的是,历史生物多样性时间节点的选择应考虑开垦年限。研究表明,一定开垦年限内的耕地,在土壤种子库的作用下,才具有一定程度的植被恢复能力<sup>[10-11]</sup>。湿地植被恢复潜力与不同年限开垦的湿地土壤中残留种子的物种数量有关<sup>[12-14]</sup>。通过植被恢复后才可能恢复动物多样性与功能多样性<sup>[15-16]</sup>。因此,可将一定年限内的历史生物多样性作为湿地恢复优先性的一个评价指标来体现湿地恢复价值。

另外,平原地区的湿地洪水调蓄功能与水质提升功能的发挥还与湿地景观结构相关。过低的湿地比例会

导致区域洪水蓄积能力和水质净化能力薄弱。Delaney<sup>[17]</sup>通过对美国农业活动影响下的洪泛平原(floodplain)研究建议,一个区域要想得益于湿地的洪水调蓄与水质提升功能,应具有5%—10%的湿地分布比例。因而现有湿地分布比例也是湿地恢复优先性评估需要考虑的重要内容。

综上所述,本研究结合历史生物多样性和湿地景观结构,对三江平原湿地的恢复优先性进行分析。湿地景观结构选取现有湿地比例为衡量指标,以行政县为空间单元,便于管理与实施,计算方法为每个县域内现存湿地面积与所在县域面积之比。历史生物多样性由于缺乏监测数据,难以通过生物多样性指数来表征历史生物多样性的空间分布差异,因此选取生物多样性保护中常用的系统保护规划(Systematic Conservation Planning, SCP)方法,以不可替代性指数(每个规划单元在完成区域整体保护目标过程中的重要性)体现生物多样性保护价值。SCP方法即使在缺乏实际监测数据的情况下,也可通过预测物种潜在栖息地进行快速评估,在保护对象选取、保护对象潜在空间分布预测、量化保护目标设定等步骤的基础上,通过不可替代性分析计算每个规划单元的不可替代性指数,最终构成区域整体生物多样性空间分布格局,即生物多样性保护价值的空间分布<sup>[18-19]</sup>。目前该方法已经在生物多样性保护中得到广泛应用,逐渐也在湿地恢复规划中体现出应用潜力<sup>[9]</sup>。

本研究主要包括四个步骤:1)通过分析三江平原湿地的景观格局变化趋揭示三江平原湿地恢复的必要性;2)利用SCP方法计算历史生物多样性的不可替代性指数,体现湿地恢复价值;3)以县为空间单元计算每个县内的现有湿地比例,体现湿地恢复的紧迫性;3)结合湿地恢复价值和恢复紧迫性,对三江平原湿地恢复的优先性进行分析。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

三江平原是我国最大的淡水沼泽分布区,同时也是中国环保部确定的35个生物多样性热点地区之一。本研究将研究范围定义为三江平原现有湿地及1995年来退化与消失的区域,即1995年湿地分布范围。自1995年以来,三江平原湿地减少了5776.26 km<sup>2</sup>,高达原湿地分布面积的40%。大面积的湿地被农田侵占,有部分湿地虽未开垦为农田,但也退化为沼泽草甸或杂草草甸,导致区域内生物多样性迅速流失,动植物物种减少,很多物种已经被列为濒危等级,尤其是以湿地为栖息地的鸟类<sup>[20]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

湿地景观格局变化中用到的1995年及2015年的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。生物多样性代表性特征主要包括物种、生态系统和生态过程。物种栖息地预测、生态系统及生态过程空间化数据均为1995年空间数据。40个物种的潜在栖息地利用栖息地适宜性模型进行模拟,所需数据包括土壤、植被类型、DEM、河流、居民分布等;代表性生态系统通过专家咨询获得,在植被类型图中提取;代表性生态过程包括河流廊道(Riverine corridors)、高低地交界(Lowland-upland gradients)和宏观环境交界(Macro-habitat interfaces)通过空间分析提取<sup>[21]</sup>。植被类型图来自于中国湿地科学数据库(CWSD, <http://www.marsh.csdb.cn/>),其他数据来源于中国地球系统科学数据共享网(<http://www.geodata.cn>),物种栖息地特征信息来源于中国物种红色名录<sup>[22]</sup>。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 景观格局变化分析

采用景观格局分析方法对三江平原湿地整体变化情况进行了分析。为了反映三江平原湿地的土地利用演变方向,将所有景观类型划分为5种类型,湿地、草地、林地、农田及建设用地。在1995和2015两期土地利用景观分类图基础上,通过景观格局指数分析软件FRAGSTAS和EXCEL构建景观转移矩阵,分析了湿地的土地利用演变方向。

将湿地分为水域、滩涂、沼泽、沼泽化草甸、湿草甸,计算了1995年与2015年三江平原各类型湿地整体特

征(斑块数、形状指数、斑块密度等)、景观镶嵌格局特征(分离度、破碎度)、及反映景观异质性的特征(多样性指数、优势度、均匀度)方面的景观格局指数,用以分析近 20 年来三江平原湿地空间格局变化情况。

### 1.3.2 基于历史生物多样性保护价值的湿地恢复价值评价

本研究以 1995 年的历史生物多样性保护价值代表湿地恢复价值。这一时间节点的选取考虑了不同开垦年限内土壤种子库的存留数量。研究表明湿地被开垦 20 年内土壤中仍然有种子库存在,湿地植被在自然条件下还有恢复的可能性,进而恢复植被及相应的动物种群和生态系统功能<sup>[15-16]</sup>;而退化或开垦 20 年以上的湿地中土壤种子库已经基本消失<sup>[14]</sup>。

历史生物多样性保护价值利用 SCP 方法进行评估,主要步骤包括生物多样性代表性特征选取与历史空间分布确定、代表性特性保护目标设定、不可替代性分析确定历史生物多样性保护价值(恢复价值)。本研究选取 40 个代表性物种(36 种濒危与保护鸟类;4 种保护植物)、9 个代表性生态系统类型(8 类对三江平原生物多样性具有重要贡献的沼泽湿地和水域生态系统)、6 个代表性生态过程关键区(河流关键区、3 个等级的地下水分布区、大生境交界处、高低地交界处),共 55 个生物多样性代表特征。其历史分布区通过历史湿地分布数据、土壤数据、DEM 等模拟或提取。代表性特征的保护目标(历史分布面积中需要保护的百分比)在综合考虑物种濒危等级、保护等级、栖息地稀有性的基础上,通过专家赋分计算获得。历史生物多样性恢复价值通过 C-Plan 保护规划软件进行不可替代性分析(Irreplaceability Analysis)获得。利用 Jenks Natural Break 分类方法将不可替代性值分为高恢复价值、较高恢复价值、中等恢复价值、较低恢复价值和低恢复价值五个等级,结合 GIS 软件显示不同等级的湿地恢复价值空间格局。

### 1.3.3 基于景观结构指数的恢复紧迫性评价

以现有湿地分布比例为湿地景观结构指标,对湿地恢复紧迫性进行分析。为了方便管理与恢复计划的实施,选取行政县为湿地分布比例的计算单元。根据 Delaney 对洪泛平原适宜湿地分布比例的研究结论(鉴于湿地洪水调蓄与水质提升功能发挥的湿地分布比例应达到 5%—10%),将三江平原各市县分为高紧迫性恢复区(<5%)、中等紧迫性恢复区(5%—10%)和低紧迫性恢复区(>10%)3 个等级。

### 1.3.4 湿地恢复优先性分析

结合湿地恢复价值(不可替代性值)和恢复紧迫性(现有湿地分布比例)进行湿地恢复优先等级划分。高紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例大于 5%的为一级优先区(P1);高紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例小于 5%的为二级优先区(P2);中等紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例大于 5%的为三级优先区(P3);中等紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例小于 5%的为四级优先区(P4);低紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例大于 5%的为五级优先区(P5);低紧迫性恢复区中高恢复价值区面积比例小于 5%的为六级优先区(P6)。

## 2 研究结果

### 2.1 三江平原湿地景观格局变化

1995—2015 年间,三江平原湿地总面积由 14308.55 km<sup>2</sup>减少到 8532.29 km<sup>2</sup>,约 40%的湿地已经退化为杂草地或转化为农田。景观转移矩阵表明,退化或消失的湿地中,70.92%转变为耕地,20.36%退化为杂草地,7.76%转化为林地,仅 0.95%转化为其他土地覆被类型(图 1)。

20 年间,三江平原湿地面积大幅下降,而斑块数量却出现了显著增加的趋势,斑块数量增加了一倍,平均每年增加 110.3 块;斑块密度从 1995 年的 0.15 个/km<sup>2</sup>,

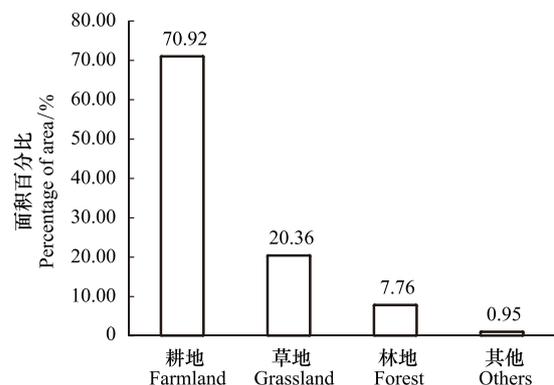


图 1 三江平原土地利用演变方向

Fig.1 Land using evolution of Sanjiang Plain

增长到 0.52 个/km<sup>2</sup>;最大斑块面积从 21.20 减少到 14.64,这些都表明三江平原湿地整体上呈现出破碎化的特征。对于水域和滩涂,各项指数都呈现出增加的趋势,而沼泽、沼泽化草甸和湿草甸除了斑块密度与周长面积分维升高外,其他基本都减少,说明农田开垦导致自然斑块被肆意分割,沼泽、沼泽化草甸和湿草甸的面积缩减,且破碎化严重。尤其是沼泽湿地和湿草甸的面积减少幅度很大,超过原湿地面积的 20%。各类湿地类型的景观形状指数基本都存在增加的趋势,只有湿草甸呈现下降趋势,这说明人类在开垦过程中,对沼泽和沼泽化草甸的占用较多,导致这两种类型的湿地进一步复杂化;而湿草甸面积百分比增加幅度很大,但景观形状指数减少,可能是由于农田疏干造成水文条件变迁,沼泽与沼泽化草甸地下水位下降,使其向湿草甸发生演替而造成的(表 1)。

表 1 各湿地类型基本景观指数

Table 1 Basic landscape index of different wetland types

湿地类型 Wetland types	景观指数 Landscape index									
	1995					2015				
	PLAND/ %	PD/ (个/100hm <sup>2</sup> )	LPI/%	LSI	PAFRAC	PLAND/ %	PD/ (个/100hm <sup>2</sup> )	LPI/%	LSI	PAFRAC
水域	18.82	0.06	8.39	27.52	1.16	27.14	0.11	14.23	28.87	1.19
滩涂	13.28	0.01	2.00	16.71	1.13	17.4	0.06	3.11	24.34	1.21
沼泽化草甸	15.05	0.02	3.14	33.69	1.31	13.61	0.11	3.01	37.92	1.24
沼泽	47.76	0.05	21.2	52.81	1.39	38.01	0.22	14.64	53.69	1.28
湿草甸	5.09	0.01	1.87	29.06	1.48	3.83	0.03	0.93	24.74	1.29

PLAND:斑块所占景观面积比例,Percentage of Landscape;PD:斑块密度,Patch Density;LPI:最大斑块占景观面积比例,Largest Patch Index;LSI:景观形状指标,Landscape Shape Index;PAFRAC:周长/面积分维数,Perimeter Area Fractal Dimension。

## 2.2 三江平原湿地恢复价值空间分布与等级划分

根据 SCP 方法构建的三江平原 1995 年生物多样性空间分布格局如图 2 所示。图中现有湿地内的不可替代性代表保护价值,湿地退化区(现有湿地以外区域)的不可替代性代表湿地恢复价值。将连续的不可替代性指数(IRR, Irreplaceability)分为 5 个等级:0 ≤ IRR ≤ 0.09 (Rank1), 0.09 < IRR ≤ 0.21 (Rank2), 0.21 < IRR ≤ 0.39 (Rank3), 0.39 < IRR ≤ 0.62 (Rank4), 0.62 < IRR ≤ 1 (Rank5), 分别代表低恢复价值、较低恢复价值、一般恢复价值、较高恢复价值和高恢复价值。

从各恢复等级面积及比例(表 2)可以看出,目前已经退化或消失的湿地有一半以上有相对较高的恢复价值,而且还有 20%左右的区域处于中等恢复价值水平,这些具有较高湿地恢复价值的区域为今后的湿地恢复工作开展的空間位置及优先性提供了科学的参考。

表 2 不同恢复等级及面积比例

Table 2 Area and proportion of each restoration rank

恢复等级 Restoration rank	不可替代性 IRR Irreplaceability	等级描述 Description	面积 Area/km <sup>2</sup>	占退化湿地面积百分比 Proportion of degraded or lost wetlands/%
五级 Rank5	0.62 < IRR ≤ 1	恢复价值很高	1913.95	33.13
四级 Rank4	0.39 < IRR ≤ 0.62	恢复价值较高	1411.04	24.43
三级 Rank3	0.21 < IRR ≤ 0.39	恢复价值一般	1271.65	22.02
二级 Rank2	0.09 < IRR ≤ 0.21	恢复价值较低	636.44	11.01
一级 Rank1	0 ≤ IRR ≤ 0.09	恢复价值很低	543.18	9.41

较高的恢复价值区域主要呈现出沿河流分布的特征,尤其是在松花江、黑龙江和挠力河的交汇处,兴凯湖周围的湿地分布区也有较高的恢复价值。在松花江与黑龙江交汇处的抚远县,地下水资源和河流廊道对形成较高的不可替代性起到主要作用;而在挠力河流域,对高不可替代性贡献最大的是河流廊道与多数物种的主要栖息地——芦苇沼泽湿地;在研究区的东南部,水域生态系统和具有代表性的沼泽湿地生态系统是高不可

替代性的主要贡献类型。

### 2.3 三江平原湿地恢复紧迫性划分

在三江平原所有县市中,集贤县、双鸭山市、鸡西市、穆棱市主要景观类型为森林,因此不将其考虑进湿地恢复范围,其他参与分析的县市共 19 个。各县市现有湿地比例表明(表 3),三江平原现有湿地空间分布不均衡,东部县市湿地比例较高,基本都在 10% 以上,甚至有些县市湿地比例已经达到 20% 以上(密山市、抚远县、同江市);而中部与西部县市湿地比例均较低,七台河市、友谊县的湿地比例甚至不足 5%。根据表 3 中现有湿地比例可将三江平原各市县分为高紧迫性(湿地比例 < 5%)、中等紧迫性(湿地比例 5%—10%)、低紧迫性(湿地比例 > 10%) 3 个等级。其中高紧迫性县市 2 个,中等紧迫性县市 6 个,低紧迫性 11 个。

### 2.4 三江平原湿地恢复优先性排序

三江平原涉及到湿地退化与消失的县市内湿地面积比例及高恢复价值区比例如表 3 所示。由于在高紧迫性与中等紧迫性县市中不存在高恢复价值大于 5% 的区域,因此将高紧迫性县市中高恢复价值小于 5% 的区域划入一级恢复优先区(P1);中等紧迫性县市中高恢复价值小于 5% 的区域划入二级恢复优先区(P2);低紧迫性县市中高恢复价值大于 5% 的区域划入三级恢复优先区(P3);低紧迫性县市中高恢复价值大于 5% 的区域划入四级恢复优先区(P4)。

湿地恢复优先等级空间分布如图 3 所示。友谊县、七台河市、鹤岗市、依兰县、桦南县、勃利县、桦川县、鸡东县虽然高恢复等级区域所占比例较少,但湿地分布面积比例非常少,因此具有较高的恢复紧迫性。以上区域应尽快在关键区上快恢复一定比例的湿地面积,以保证市县范围内的生态系统稳定与安全,但这些区域农田开垦时间较长,湿地恢复比较困难。

## 3 讨论

经过几十年的开垦与城市建设,三江平原湿地面积已经减少 75% 以上,物种栖息地及迁移廊道破碎化,影响到物种的繁衍生存及其基因流动<sup>[23-24]</sup>,同时也阻碍了区域生态安全与可持续发展。目前三江平原湿地面积占区域总面积的 7.85%,虽然在 5%—10% 范围内,但比例偏低,且分布不均匀,尤其在建设用地与农田集中分布区,湿地分布比例甚少。三江平原各类型自然保护区面积仅占三江平原总面积的 3.88%,而且大多数自然保护区由于管理不力已经被农田侵蚀,如果湿地再持续退化或消失,三江平原区域的生态安全与稳定将难以维持,三江平原湿地恢复尤为紧迫。本研究结合湿地历史生物多样性与景观结构确定了湿地恢复的空间位置与优先性,若将本研究提出的高恢复价值区域进行合理恢复,三江平原湿地总面积将由 7.85% 增加到 13.17%,在增加区域安全性与稳定性的同时,还能够最大限度地恢复湿地生物多样性。

表 3 湿地面积比例及高恢复价值区比例

Table 3 Areal proportion of existing wetlands and proportion of high restoration value areas

优先等级 Priority ranks	包含县市 Counties	现有湿地比例/% Ratio of existing wetlands	高湿地恢复价值区域比例/% Ratio of high restoration value areas
P1	七台河市	4.27	1.18
	友谊县	1.54	3.97
P2	桦川县	8.50	3.55
	桦南县	5.69	2.97
	依兰县	5.99	2.91
	勃利县	5.73	2.88
	鹤岗市	6.30	0.96
	鸡东县	6.21	0.46
P3	富锦市	12.46	27.18
	密山市	28.34	25.88
	绥滨县	18.61	15.79
	抚远县	40.27	10.56
	同江市	32.31	8.87
	饶河县	12.75	8.70
	萝北县	10.82	7.18
	宝清县	11.37	5.90
P4	汤原县	10.24	5.76
	虎林县	15.89	4.37
	佳木斯市	13.03	3.40

P1:高紧迫性县市中高恢复价值小于 5% 的区域划入一级恢复优先区;P2:中等紧迫性县市中高恢复价值小于 5% 的区域划入二级恢复优先区;P3:低紧迫性县市中高恢复价值大于 5% 的区域划入三级恢复优先区;P4:低紧迫性县市中高恢复价值大于 5% 的区域划入四级恢复优先区



图2 三江平原 1995 年生物多样性空间分布格局

Fig.2 Spatial pattern of biodiversity of Sanjiang Plain in 1995

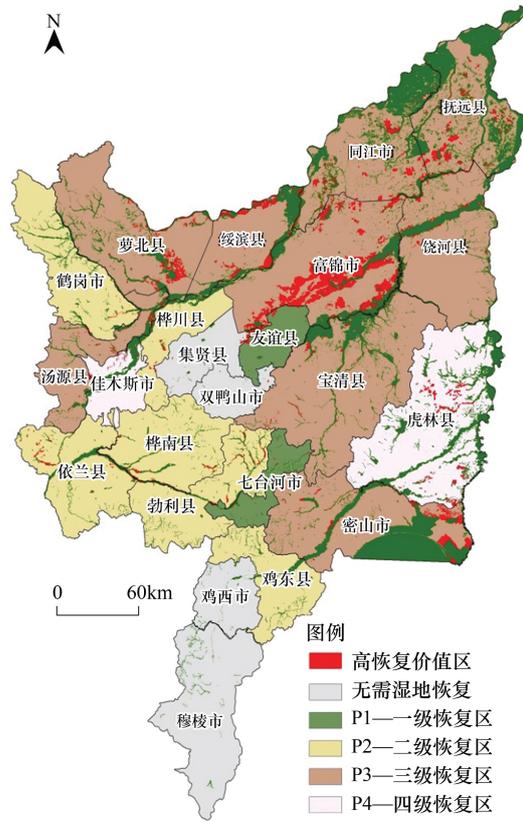


图3 三江平原湿地恢复等级空间分布图

Fig.3 Spatial pattern of wetland restoration ranks of Sanjiang Plain

本研究通过结合历史生物多样性与景观结构为区域湿地恢复优先性研究提供了快速评估方法,也为今后区域湿地恢复计划提供了直观的时空参考。本方法可以应用到其他生态系统类型的恢复优先性研究,尤其是对于缺乏详细生物多样性历史数据与资料的区域。虽然有学者利用不同的方法进行了类似的湿地恢复优先性研究,如 Thomson 等利用 62 个物种栖息地适宜性动态变化时滞性进行的恢复优先性分析<sup>[25]</sup>。但该方法是以未来生物多样性情况为基点所做的优先性分析,而本研究考虑了一定开垦年限内土壤种子库对湿地恢复的影响,以当前生物多样性情况为基点,通过历史生物多样性格局进行恢复优先性排序;另外,本研究综合考虑了物种、代表性生态系统及生态过程,更充分地表达了生物多样性<sup>[21]</sup>。

虽然本研究为湿地恢复评估提供了快速评估方法,但仍存在一些缺陷。历史生物多样性空间格局的构建,虽然是由量化目标驱动的,但在保护对象选取与目标制定过程中也存在主观性和不确定性。另外,三江平原作为我国重要的商品粮基地<sup>[26]</sup>,拥有大面积的农田,农田占地与生物多样性保护是三江平原一直以来的矛盾所在,因此在实际湿地恢复过程中,还应充分考虑耕地类型、湿地恢复潜力(成功恢复的可能性)、恢复成本及途径等问题<sup>[7, 27-28]</sup>。比如考虑从恢复优先区去除受保护的基本农田、通过非法定机制控制人类干扰减少保护成本等。

#### 4 结论

本研究对三江平原近 20 年的湿地空间格局变化进行了分析,三江平原湿地面积大幅减少,且破碎化现象严重,70%以上的退化或消失湿地是被耕地侵占,西部与中部县市湿地比例偏低,不利于生态安全与可持续发展,急需进行湿地恢复。通过结合基于不可替代性的历史生物多样性空间格局和现有湿地分布比例对三江平原湿地进行了湿地恢复优先性分析,将三江平原 19 个受湿地影响的市县划分为 4 个恢复优先等级,并确定了

不同恢复等级市县内湿地恢复的空间位置。本研究为今后三江平原湿地恢复行动的时空顺序提供了参考,同时为缺少生物多样性历史数据的区域提供了快速评估的方法。

**致谢:**感谢中国科学院资源环境科学数据中心、中国地球系统科学数据共享网、中国湿地科学数据库提供的数据支持。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Zedler J B, Kercher S. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 30: 39-74.
- [ 2 ] Prigent C, Papa F, Aires F, Jiménez C, Rossow W B, Matthews E. Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(8): L08403.
- [ 3 ] Young T P. Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, 2000, 92(1): 73-83.
- [ 4 ] Erwin K L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 2009, 17(1): 71-84.
- [ 5 ] Ma Z J, Cai Y T, Li B, Chen J K. Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, 2010, 30(1): 15-27.
- [ 6 ] 姜英男. 淮河行蓄洪区湿地恢复的空间优先性评价[D]. 北京: 北京大学, 2013.
- [ 7 ] White D, Fennessy S. Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale. *Ecological Engineering*, 2005, 24(4): 359-377.
- [ 8 ] 董张玉, 刘殿伟, 王宗明, 任春颖, 汤旭光, 贾明明, 汪燕. 基于空间分析的东北地区湿地优先恢复. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 170-176.
- [ 9 ] Wilson K A, Lulow M, Burger J, Fang Y C, Andersen C, Olson D, O'Connell M, McBride M F. Optimal restoration: accounting for space, time and uncertainty. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(3): 715-725.
- [ 10 ] Capon S J, Brock M A. Flooding, soil seed bank dynamics and vegetation resilience of a hydrologically variable desert floodplain. *Freshwater Biology*, 2006, 51(2): 206-223.
- [ 11 ] Greet J. The potential of soil seed banks of a eucalypt wetland forest to aid restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 2016, 24(5): 565-577.
- [ 12 ] Nishihiro J, Nishihiro M A, Washitani I. Restoration of wetland vegetation using soil seed banks: lessons from a project in Lake Kasumigaura, Japan. *Landscape and Ecological Engineering*, 2006, 2(2): 171-176.
- [ 13 ] Stroh P A, Hughes F M R, Sparks T H, Mountford J O. The influence of time on the soil seed bank and vegetation across a landscape-scale wetland restoration project. *Restoration Ecology*, 2012, 20(1): 103-112.
- [ 14 ] 王国栋, Middleton B A, 吕宪国, 姜明, 王铭, 赵魁义, 姜彦景. 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力. *生态学报*, 2013, 33(1): 205-213.
- [ 15 ] Ontiveros D, Márquez-Ferrando R, Fernández-Cardenete J R, Santos X, Caro J, Pleguezuelos J M. Recovery of the bird community after a mine spill and landscape restoration of a Mediterranean River. *Restoration Ecology*, 2013, 21(2): 193-199.
- [ 16 ] Español C, Gallardo B, Comín F A, Pino M R. Constructed wetlands increase the taxonomic and functional diversity of a degraded floodplain. *Aquatic Sciences*, 2015, 77(1): 27-44.
- [ 17 ] DeLaney T A. Benefits to downstream flood attenuation and water quality as a result of constructed wetlands in agricultural landscapes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50(6): 620-626.
- [ 18 ] Gray M. Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 2011, 38(3): 271-274.
- [ 19 ] Zhang M G, Zhou Z K, Chen W Y, Slik J W F, Cannon C H, Raes N. Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. *Biological Conservation*, 2012, 153: 257-264.
- [ 20 ] 吕宪国. 三江平原湿地生物多样性变化及可持续利用. 北京: 科学出版社, 2009.
- [ 21 ] Lagabrielle E, Rouget M, Le Bourgeois T, Payet K, Durieux L, Baret S, Dupont J, Strasberg D. Integrating conservation, restoration and land-use planning in islands-an illustrative case study in Réunion Island (Western Indian Ocean). *Landscape and Urban Planning*, 2011, 101(2): 120-130.
- [ 22 ] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [ 23 ] Naugle D E, Johnson R R, Estey M E, Higgins K F. A landscape approach to conserving wetland bird habitat in the prairie pothole region of eastern South Dakota. *Wetlands*, 2000, 20(4): 588-604.
- [ 24 ] Ceresa F, Belda E J, Kvist L, Rguibi-Idrissi H, Monrós J S. Does fragmentation of wetlands affect gene flow in sympatric *Acrocephalus* warblers with different migration strategies? *Journal of Avian Biology*, 2016, 46(6): 577-588.
- [ 25 ] Thomson J R, Moilanen A J, Veski P A, Bennett A F, MacNally R. Where and when to revegetate: a quantitative method for scheduling landscape reconstruction. *Ecological Applications*, 2009, 19(4): 817-828.
- [ 26 ] 李云成, 刘昌明, 于静洁. 三江平原湿地保护与耕地开垦冲突权衡. *北京林业大学学报*, 2006, 28(1): 39-42.
- [ 27 ] Keppel G, Morrison C, Watling D, Tuiwawa M V, Rounds I A. Conservation in tropical Pacific Island countries: why most current approaches are failing. *Conservation Letters*, 2012, 5(4): 256-265.
- [ 28 ] Pressey R L, Mills M, Weeks R, Day J C. The plan of the day: managing the dynamic transition from regional conservation designs to local conservation actions. *Biological Conservation*, 2013, 166: 155-169.