

三江平原东北部湿地生态安全格局设计

刘吉平^{1,*}, 吕宪国², 杨 青², 王海霞¹

(1. 吉林师范大学生态环境研究所, 四平 136000; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要:以三江平原东北部为研究区域,采用“3S”技术和数学模型,根据景观尺度上生物多样性保护规划的景观生态安全格局方法,对三江平原湿地生物多样性保护进行规划设计。利用 GAP 分析方法预测湿地鸟类丰富度,并评价和计算了湿地鸟类干扰度,在此基础上构建物种运动阻力模型,并利用此模型计算物种运动阻力指数,建立物种运动等阻力面,在阻力面上识别战略点、辐射道和源间联接等景观组分。为了保护本区的湿地生物多样性,提出扩大保护区的面积、建立保护区与热点之间的廊道和设立微型保护地块的规划措施。提出的湿地鸟类多样性保护的景观生态安全格局技术与方法,不但为三江平原湿地及其生物多样性的保护和管理提供科学依据,而且丰富和发展了我国生物多样性保护的理论与方法。

关键词:景观生态安全格局;生物多样性保护;生态规划;三江平原

文章编号:1000-0933(2009)03-1083-08 中图分类号:Q149 文献标识码:A

Wetland landscape ecological security patterns analysis and plan in Northeast of Sanjiang Plain

LIU Ji-Ping^{1,*}, LÜ Xian-Guo², YANG Qing², WANG Hai-Xia¹

¹ Institute of Ecological Environment, Jilin Normal University, Siping, 136000, China

² Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun, 130012, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1083 ~ 1090.

Abstract: Based on the theories and methods of landscape ecology and protection biology, “3S” technique and mathematical models were used to plan the wetland biodiversity conservation in the Sanjiang plain. Wetland bird richness and disturbance degree were assessed and calculated by using GAP Analysis. Bird species movement resistance surface was builded and security patterns was judged using species movement resistance model. Landscape elements were identified based on species movement resistance surface, such as strategic points, radiation routes, inter-source linkage, and so on. Some protecting countermeasures were put forward for biological conservation, including extending protecting area, establishing corridors protected area and hotspot, and identifying micro-scale protected area. In conclusion, the study put forward scientific evidence for the protection and management of wetland biodiversity in Sanjiang Plain, and developed and enriched the theories and methods of Chinese biodiversity protection.

Key Words: landscape ecological security patterns; biodiversity conservation; ecological planning; Sanjiang Plain

区域生态安全格局是指能够保护和恢复生物多样性,维持生态系统结构、功能和过程的完整性,实现对区域生态环境问题有效控制和持续改善的区域性空间格局^[1]。区域生态安全格局重点研究关键生态系统的完整性和稳定性,景观斑块动态与景观生态过程的连续性,生态系统健康与服务功能的可持续性,景观对干扰的阻抗与恢复能力^[2]。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起着关键性的作用,这种格局被称为景观生态安全格局^[3]。景观生态

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX3-SW-NA-01);吉林师范大学科研创新团队资助项目(JLSDCXTD200807)

收稿日期:2007-10-08; 修订日期:2008-06-17

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

安全格局组分对生态过程具有明显的控制作用,对于一个退化的区域景观,抓住对景观内的生态流有控制意义的关键部位或战略性组分,在两个或多个孤立栖息地之间构筑廊道,才可以使恢复过程更有效,包括有效地使乡土物种得以维持和繁衍和有效地阻止外来物种的侵入^[4]。在生物保护中,一个典型的安全格局包含源(source)、缓冲区(buffer zone)、源间联接(inter-source linkage)、辐射道(radiation routes)、战略点(strategic points)等景观组分^[3]。

生态安全已成为近期国内外研究的热点。国外对生态安全的研究始于20世纪70年代末,现已取得了不少成果,主要集中在生态安全定义的扩展^[5]、环境变化与安全的经验性研究^[6]、环境变化与安全的综合性研究^[7]及环境变化与安全内在关系研究^[8]等方面,但是这些研究探讨的多是在全球或是国家层面上的问题,而对地方或区域层面上的生态安全研究尚显薄弱,对一些地方或区域特别的环境压力与安全的关系有所忽略^[9]。国内对生态安全的研究是从20世纪90年代起步,对生态安全的概念、空间格局、监控、评价和保障体系作了一定的探讨^[1-4,9-14],对生态安全的理论与实践的研究正在深入。

三江平原是由黑龙江、松花江和乌苏里江汇流冲积而形成的沼泽化低平原,是我国最大的淡水湿地分布区之一,同时也是受人类活动影响天然湿地分布面积减少最快的区域之一^[15]。三江平原的众多河流,由于河道历史变迁频繁,在该区形成了森林、灌丛、草甸等植被类型,发育了沼泽、湖泊、河流、草甸等多种天然湿地生态系统,其生境之复杂、湿地类型之丰富在世界温带地区十分突出,对本区湿地进行有效保护,对保持东北亚的生态环境具有重大的国际意义^[16]。在《中国生物多样性保护计划》和《中国生物多样性国情研究报告》中,根据物种丰富度和特有种的数量将三江平原确定为湿地生物多样性的关键地区之一^[17],同时三江平原也位于世界自然基金会(WWF)确立的旨在拯救地球上急剧损失的生物多样性优先保护区域的“全球200”中的关键生态区“俄罗斯远东江河和湿地生态区”之中。为了保护三江平原的湿地及其生物,建立了兴凯湖自然保护区、三江平原自然保护区和洪河自然保护区等国家级湿地保护区,2001年,三江、兴凯湖、洪河三个国家级自然保护区被列入拉姆萨国际重要湿地名录。因此选择三江平原作为研究区,具有其典型性和代表性。

GAP分析是从景观或生态系统的尺度上实施生物多样性保护的地理学方法^[18],改进GAP方法可用于生态安全格局的分析与评价^[19]。本文利用GAP分析所提供的生物地理信息,构建物种运动阻力指数模型,绘制物种运动等阻力面,判别景观生态安全格局,并在景观尺度上对三江平原湿地生物多样性进行规划设计,为三江平原湿地生物多样性的保护和管理提供科学依据。

1 研究区域概况

本研究区位于三江平原东北部,黑龙江省抚远县、同江市和饶河县境内,黑龙江和乌苏里江汇流的三角地带,地理坐标为47°19'47"N~48°27'56"N,132°49'59"E~135°05'26"E,总面积为12800km²,人口15.5万。本区为寒温带湿润半湿润大陆性季风气候,其特点是春季降水少,夏季短暂,雨热同季,秋季凉爽、寒潮和初霜较早,冬季漫长,严寒而干燥。多年平均气温为1~2℃,最冷月为1月份,平均为-21.2℃,最热月为7月份,为21.7℃。多年平均降雨量为595.7mm,降雨量年内分配不均,主要集中在7、8两月。全年平均蒸发量为1241mm,主要集中在5、6月份。全年日照时数2552h,霜期平均为136d,盛行偏西风,全年平均风速为3.5m/s。全年土壤冻结期210d左右,积雪期150d左右,土壤最大冻深212cm。研究区以低冲积平原为主,地势由西南向东北倾斜,地貌类型包括河漫滩、阶地、台地、低山、丘陵等,以一级阶地、河漫滩和洼地为主体。主要的湿地土壤类型为潜育化白浆土、沼泽土和泥炭土,植物区系组成属于长白植物区系。主要景观类型为沼泽、灌丛、林地、河流、湖泊、农田、居民点等。

研究区主要有两个国家级湿地自然保护区:洪河湿地自然保护区和三江湿地自然保护区。洪河自然保护区位于我国三江平原的东北部,地处抚远县和同江市的交界处,47°42'18"~47°52'07"N,133°34'38"~133°46'29"E,总面积为218.36km²。三江自然保护区位于黑龙江省抚远县和同江市境内,地处三江平原东北部,黑龙江和乌苏里江汇流的三角地带,地理坐标为47°26'0"~48°22'50"N,133°43'20"~134°46'40"E,总面积为1980.89km²。

2 研究方法

用景观阻力来衡量景观中栖息地岛屿的隔离状态在景观生态规划中具有重要意义。景观阻力根据景观界面特征和距离来衡量物种穿越景观时遇到的阻力。其中一个最具有吸引力的阻力计算模型是最小累积阻力模型(minimum cumulative resistance, 即 MCR)。根据 MCR 可以得到一个阻力表面。根据阻力表面上的某些空间属性,包括点线面特征可以判别对控制生态流和物种运动有关键意义的潜在的战略局、位置 and 空间联系,即景观生态安全格局,它们对保护生物多样性和维护生态过程的健康与安全具有重要意义。基于景观生态安全格局进行景观生态规划设计可以使生物保护和景观改变具有高效性^[10]。本文在对湿地鸟类丰富度的预测和干扰度计算的基础上,构建物种运动阻力模型,并利用此模型计算物种运动阻力指数,建立物种运动等阻力面,判别景观生态安全格局,在此基础上提出景观规划措施。

2.1 湿地鸟类丰富度的预测

预测动物分布是 GAP 分析的一个重要步骤,本文利用面积相等的六边形作为预测单元,结合 GAP 分析所得的鸟类生境类型分布图,根据湿地鸟类-生境关系模型,预测每个评价单元内湿地鸟类的出现次数,计算湿地鸟类丰富度。

由于正六边形中心到邻近的正六边形中心的距离相等,面积相等,并且可以对六边形进行更详尽的划分,也可以进行合并,正六边形可以消除行政界线对预测物种的影响,因此选择面积相等的正六边形作为评价和预测单元。每个评价单元面积约 1 km²,全区共划分了 13016 个正六边形(包括边界处破碎的六边形)。

分别将评价预测单元图与湿地鸟类生境分布图(根据 TM/ETM 影像、植被类型分布图、水文图相叠加而成)、土壤类型图(数字化三江平原土壤图)、地貌类型图(数字化三江平原地貌图)、DEM(数字化三江平原地形图,并在 ArcGIS 内处理而得到)相叠加,计算每个六边形内及其周边地区(以六边形为中心面积为 7 km² 的六边形)的生境类型数、斑块数、破碎度、各生境的面积、地貌类型数、平均海拔高度和土壤类型数。

用系统聚类法对研究区所有六边形进行系统聚类,采用的指标包括六边形内及周边地区生境类型数、斑块数、破碎度以及各生境的面积。共将研究区内六边形分为 10 类,然后在每一类里选择典型生境类型和结构的 3 个六边形,对 30 个六边形在 2004 年春、秋两季进行野外观测,利用样点统计法对湿地鸟类进行野外观测。同时收集近年来保护区和科研项目所调查的鸟类资料(《三江自然保护区科学考察报告》、《洪河自然保护区科学考察报告》、《洪河自然保护区生物多样性》、《中国沼泽志》和湿地 GEF 项目,包括各种鸟类出现的时间、地点、数量、生境等),并按其地理坐标将其叠加到预测单元图上,分析预测单元内鸟类出现与生境结构、生境面积、破碎度、鸟类体型之间的关系,结合鸟类与生境关系的相关文献,在专家评议的基础上制定预测标准。预测标准主要考虑六边形内鸟类出现与六边形内的破碎度、适宜生境面积与六边形周边地区筑巢面积的关系等^①。

按预测标准,根据生境类型图和物种-生境关系模型,对 103 种湿地鸟类在六边形内出现与否进行预测,然后对其求和,利用 ArcGIS 软件将其与预测单元图进行连接,便可得到研究区的湿地鸟类物种丰富度分布状况。经野外调查检验,平均预测精度达 92.05%,预测精度较高,可满足本文研究的需要。

2.2 干扰度的计算

为了定量分析人类活动对湿地鸟类的干扰程度,选择专家打分法来定量分析人类活动对湿地鸟类的干扰。根据三江平原的现状和人类活动对湿地鸟类的干扰强度,选择居民点、道路、排水沟和农田 4 种干扰方式计算湿地鸟类干扰度。

居民点、农田、排水沟在每个预测单元的面积是通过生境类型图里各生境面积进行统计而得到的,由于道路为线状要素,因此利用 GIS 手段,对道路进行 15m 宽的缓冲处理,建立道路的面状图,然后与预测单元进行叠加,即可得到各预测单元内道路的面积。

① 刘吉平. 三江平原湿地鸟类生境多样性的 GAP 分析. 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士学位论文, 2005. 56 ~ 67

居民点、道路、排水沟和农田对湿地鸟类的影响程度是通过专家打分法而定,主要考虑干扰对湿地鸟类繁殖、食物资源、适宜生境面积等影响,根据专家打分,居民点、道路、排水沟和农田对湿地鸟类的影响程度分别为 0.45、0.35、0.15、0.05,因此干扰度的计算公式里居民点、道路、排水沟和农田的系数分别为 0.45、0.35、0.15、0.05。

干扰度的计算公式为:

$$D = \frac{0.45S_1 + 0.35S_2 + 0.15S_3 + 0.05S_4}{S} \times 100\% \quad (1)$$

式中, D 为干扰度(%); S_1 为六边形内居民区的面积(m^2); S_2 为六边形内道路的面积(m^2); S_3 为六边形内排水沟的面积(m^2); S_4 为六边形内农田的面积(m^2); S 为六边形的面积(m^2)。

2.3 物种运动阻力模型的构建

该模型主要考虑湿地鸟类丰富度和人类干扰强度两个因子,物种运动阻力指数的计算公式为:

$$M = \frac{D}{R} \quad (2)$$

式中, M 为物种运动阻力指数; D 为六边形内的干扰度; R 为六边形内湿地鸟类的丰富度。

阻力面反映了物种运动的潜在可能性及趋势。由于物种运动阻力指数随着干扰度的增加而增加,随着物种丰富度的增加而减少,因此物种运动阻力指数越大,物种越不易到达。

3 三江平原湿地景观生态安全格局的识别

3.1 源的确定

在多数情况下,景观生态规划的保护对象是多个物种和群体,而且它们应具有广泛的代表性,能充分反映保护地的多种生境特点。本研究将湿地鸟类丰富度较高、生境类型较复杂的热点地区和保护区作为源。

三江平原湿地生物多样性热点地区主要是指那些分布在保护区之外、生物多样性较丰富、对环境变化反应较敏感的地区。本研究将 GAP 分析所得到的研究区的生境图、湿地鸟类物种丰富度图、国家级保护鸟类分布图、湿地鸟类的干扰图相叠加,在保护区外寻找生境多样性高、鸟类物种丰富度高、具有稀有濒危湿地鸟类分布、人类活动干扰较弱的地区,这些地区就是三江平原湿地生物多样性热点地区。

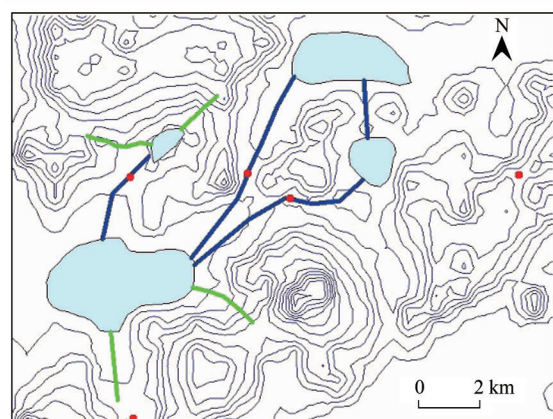
3.2 建立等阻力面

物种对景观的利用被看作是对空间的竞争性控制和覆盖过程。而这种控制和覆盖必须通过克服阻力来实现。所以,阻力面反映了物种空间运动的趋势。建立阻力面的模型有引力模型、潜能模型、扩散模型、最小累积阻力模型等。本研究中以物种运动阻力模型来建立阻力面。

计算研究区内每个六边形的物种运动阻力指数,在 ARC/INFO 里自动生成物种运动等阻力线,根据物种运动等阻力线来判别安全格局。

3.3 判别安全格局

阻力面是反映物种运动的时空连续体,类似地形表面。阻力面可以用等阻力线表示为一种矢量图(图 1)。这一阻力表面在源处下陷(dip),在最不易达到的地区阻力面呈峰(Peak)突起,而两陷之间有低阻力的谷线(course)相连,两峰之间有高阻力的脊线(ridge)相连。每一谷线和脊线上都各有一鞍,他们是谷线或脊线上的极值(最大或最小)。根据阻力面,进行空间分析可以判别源间联接、辐射道和战略点(图 1),进而进行景观



图例 Legend
 战略点 Strategic points
 源间联接 Inter-source linkage
 辐射道 Radiation routes
 等阻线 Equal resistance line
 源 Source

图 1 阻力面与生态安全格局图

Fig. 1 Resistance surface and security pattern

生态保护规划。

3.3.1 源间联接

源间联接实际上是阻力面上相邻两源之间的阻力低谷。根据安全层次的不同,源间联接可以有一条或多条(图1)。它们是生态流之间的高效通道和联系途径,在保护规划时,常将其规划为廊道。对于湿地鸟类来说,源间联接大部分为河流或湖泊,通过它们湿地鸟类可以进行迁移扩散。

3.3.2 辐射道

从图1中还可以识别以某源为中心向外辐射的低阻力谷线。他们形同树枝状河流成为物种向外扩散的低阻力通道。这里,物种运动被当作是能动的对景观的控制过程来认识,而不是被动的保护对象。这对保护对象的未来发展和进化是必要的,而保护生物的进化过程在生物保护中具有非常重要的意义^[20]。

3.3.3 战略点

战略点是直接从阻力面上反映出来的以相邻源为中心的等阻力线的相切点,主要分布在两相邻源之间的鞍部地区(图2),战略点类似地形图中的鞍部。战略点对控制生态流有至关重要的意义,在这些关键地段设立生物保护地块对整个生物保护和形成景观基础具有重要意义^[21]。湿地鸟类丰富度高的地区大部分与生态安全格局的战略点位置相重合。

将上述各种存在的和潜在的景观结构组分叠加组合,就形成某一安全水平上的生物保护安全格局。

4 三江平原湿地生物多样性保护的景观生态规划

4.1 扩大保护区的面积

计算研究区对国家一级保护鸟类丹顶鹤和东方白鹤的承载力。洪河保护区和三江保护区内丹顶鹤繁殖的适宜生境面积总共 60.3 km^2 ,丹顶鹤繁殖的领域面积为 2.6 km^2 ,这样两个保护区内只能承载 23 对丹顶鹤繁殖。两个保护区内东方白鹤繁殖的生境总面积为 72.0 km^2 ,东方白鹤繁殖的领域面积为 3.2 km^2 ,这样两个保护区内只能承载 22 对东方白鹤繁殖。这里没有考虑生境破碎化对其影响,假如考虑生境破碎化,两个保护区对丹顶鹤和东方白鹤的生境承载力更低。

Franklin^[22]认为 50 个生物个体是保持种群的遗传变异的最低限度。这一数据建立在动物繁育学家实践经验的基础上,他们指出动物群体可在每代丧失 2% ~ 3% 的遗传变异性的情况下维持生存。因此保护区内适宜生境的面积不能保证丹顶鹤或东方白鹤种群的遗传变异,必须扩大保护区的面积而保证湿地鸟类对适宜生境面积的需求。

与三江保护区相比,洪河保护区面积较小,而且热点地区大部分分布在洪河保护区周边地区,因此考虑应将洪河保护区的面积扩大。根据等阻力面和热点地区的分布,应将洪河保护区向东、向南扩张,具体设计如图3所示。

由图3可以看出,保护区扩张的地方大部分是最优先保护的热点地区或保护区与热点地区连接的辐射道或源间连接上。扩张后的洪河保护区包括了部分最优先保护的热点地区,对于热点地区的保护和一些湿地鸟类最小种群的维持具有重要意义。

4.2 建立保护区与热点地区之间的廊道

廊道在生物多样性保护中具有重要作用:廊道能为某些物种提供特殊生境或暂息地、增加物种重新迁入的机会和促进斑块间物种的扩散。许多实地考察也证实了廊道的这种功能^[23]。廊道的联系和辐射功能使它

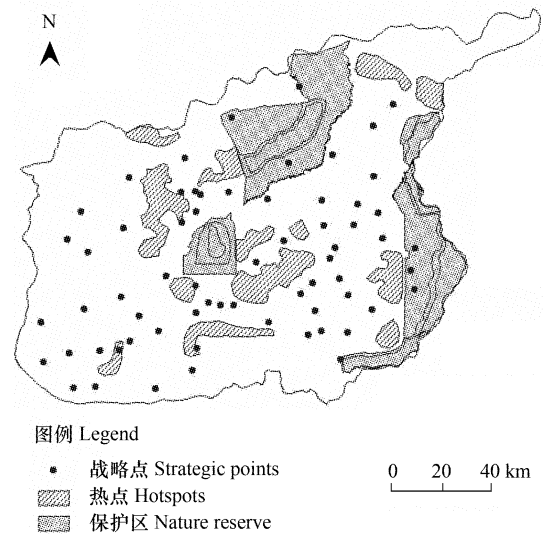


图2 研究区景观战略点分布图

Fig. 2 The distribution of strategic point in study area

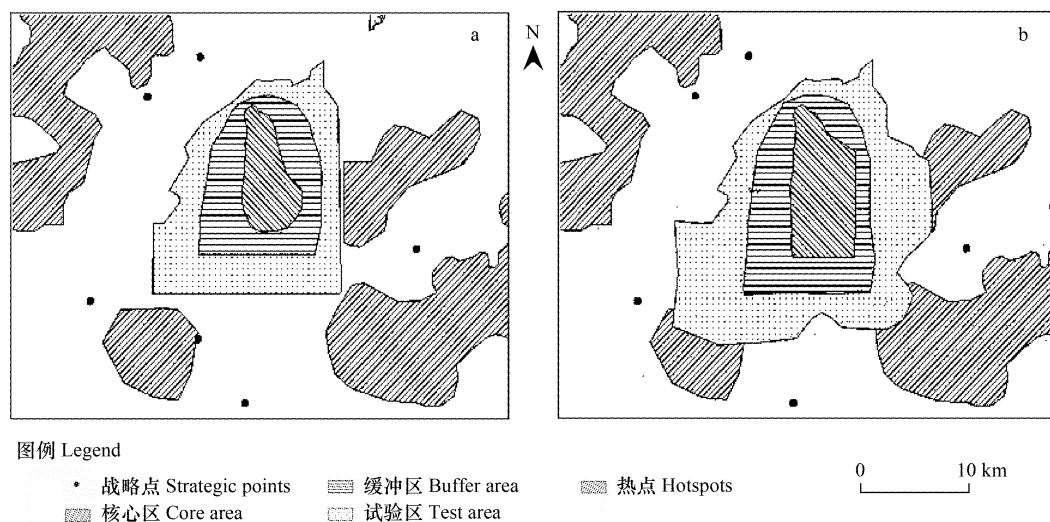


图3 洪河保护区功能区划图(左图)和规划设计图(右图)

Fig.3 Functional divisions(left) and design(right) of Honghe Reserve

们成为促进未来生物多样性进化的重要景观结构。因此应在生物多样性高的热点地区或保护区之间建立生态廊道,优化湿地生态安全格局。在设立廊道时,一般沿等阻力面设立,将廊道设在阻力较低的源间联接或辐射道上(图4),这样才能保证湿地鸟类迁移时阻力较小。

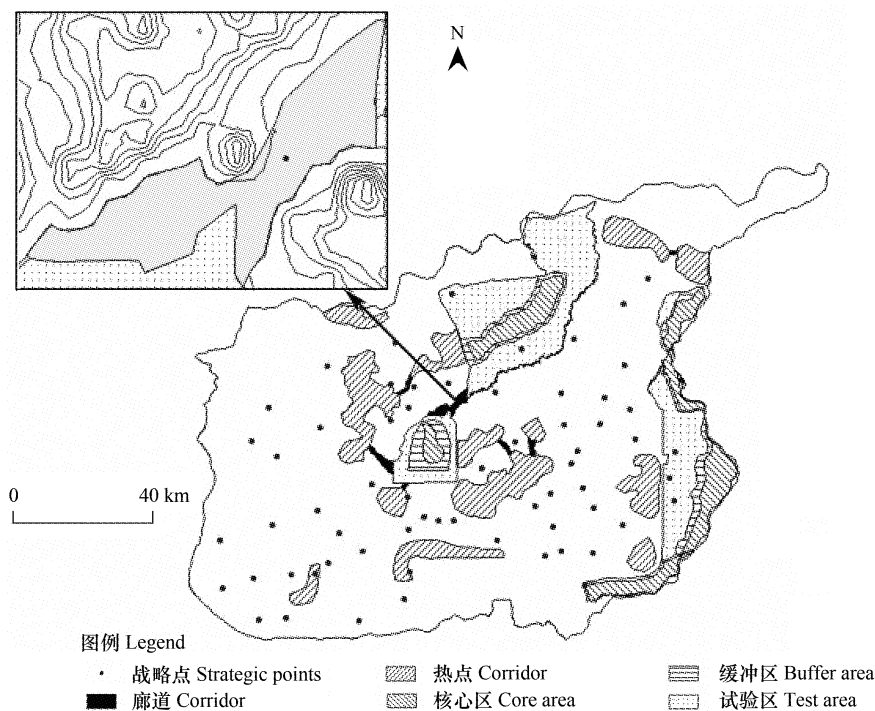


图4 规划的廊道分布图

Fig. 4 The distribution of planning corridor

为了更好的保护三江平原自然保护区和洪河自然保护区的生物多样性,建议在两个保护区之间沿浓江这一源间联接设立一河流廊道,连接重要的物种源以保护物种不断的交流和辐射。河流廊道由河道、洪泛区、高地边缘过渡带三部分组成,是湿地鸟类迁移的栖息场所,为湿地鸟类提供固着点、营养源和屏蔽。

多一条廊道就相当于为物种的空间运动多增加一个可选择的途径,为其安全增加一份保险^[24]。因此,为

了更好的保护研究区的湿地生物多样性,应在保护区与热点地区、热点地区与热点地区之间多建立几条廊道,以减少人类干扰对湿地生物的影响。根据实际情况,在阻力较小的源间联接或辐射道,沿等阻力面设计几条大小不一的廊道(图4)。如在洪河保护区西部向热点地区设一廊道,这一热点地区向其东北地区的热点地区又设立一廊道,这样两个保护区之间又增加了一条联结廊道。该廊道主要由沼泽湿地、岛状林、湖泊、灌丛等组成,生境复杂,为多种湿地鸟类迁移时提供食物来源和暂栖地。

4.3 设立微型保护地块

景观中存在着某些关键性的战略点,通过控制这些点而异常有效地控制或促进某种生态过程。许多学者都注意到在某些关键地段设立微型生物保护地块对整个生物多样性保护和形成景观基础具有重要意义^[25], Gibbs^[26]的模拟研究结果表明,小块湿地的丧失(小于1英亩)将会增加某些湿地鸟类和两栖类物种的区域灭绝速度,因为湿地间的距离变得太大而使一些个体无法向外迁徙。因此,小块湿地的作用在景观水平上对区域生物多样性的贡献不能低估。设立微型保护地块是为了建立动物运动的“跳板(Stepping stones)”。同时建立这种内部景观结构的目标是保护位于农田景观中的特殊类型如小片洼地、水体岸边、侵蚀小沟、小高地等特殊生境,使之不受强烈的农业生产活动如施肥、农药使用等的影响,以满足在农田生态系统中保护一些特殊鸟类物种的需要。

在三江平原存在着这样的一些关键部位,人类干扰强度较大,湿地破碎化严重,但生物多样性丰富,且对人为活动敏感。针对这样的部位与保护重要性,建议在三江平原设立保护小区和保护点,作为自然保护区的重要补充。建立自然保护小区(保护点)应是三江平原湿地生态系统管理的重要方式,是保护湿地生物多样性与生态系统功能很实用而有效的生态系统管理方法。三江平原景观战略点大部分分布在大片农田之中(图2)。这些战略点大部分是由环型湿地开垦而来,这里中间低洼,排水不畅,经常因涝而被弃耕。而且这些地块,经常成为大机械作业的障碍,从而影响作业效率。所以应把这一部分耕地恢复至自然状态,并加以保护,为湿地野生动物提供栖息场所。即使在大面积的水稻种植地块中,每隔一定的距离,也应有一定面积的天然湿地(20hm²以上)保护地块,以利于野生水禽的栖息。

在中国科学院三江平原洪河沼泽湿地生态试验站 1km²的观测场内,经过十几年的观察研究发现,虽然试验场周围人为活动频繁,每年仍有3~6对环颈雉鸡、10~20对绿头鸭等湿地鸟类在此筑巢产卵。1998年春天调查发现绿头鸭巢穴40余个,鸭蛋400余枚,所以在大块农田中建立微型保护地块(面积在20hm²以上)是非常必要的。

5 结论

本文利用景观生态安全格局的理论与方法,在对三江平原湿地景观生态安全格局识别的基础上,对三江平原湿地生物多样性保护进行规划设计。通过计算鸟类物种运动阻力指数建立等阻力面,在阻力面上识别战略点、辐射道和源间联接。为了保护本区的湿地生物多样性,提出扩大保护区的面积、建立保护区与热点之间的廊道和设立微型保护地块的规划措施。通过实践证明,基于景观生态安全格局的生物多样性的保护规划是较成功的一种规划方法,本研究不但为三江平原湿地鸟类多样性的保护和管理提供科学依据,而且丰富和发展了我国生物多样性保护的理论与方法。

References:

- [1] Ma K M, Fu B J, Li X Y, *et al.* The regional pattern for ecological security(RPES):the concept and theoretical basis. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(4):761—768.
- [2] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002,13(3):354—358.
- [3] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape planning. *Landscape and Urban Plan*, 1996, 36(5):1—17.
- [4] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999,19(3):399—407.
- [5] Pirages D. Social Evolution and Ecological Security. *Bulletin of Peace Proposals*,1991,22(3):329—334.

- [6] Homer T F. Environmental scarcities and violent conflict: Evidence from cases. *International Security*, 1994, 16 (2): 76—116.
- [7] Dabelko G D, Simmons P J. Environment and security: Core ideas and U. S. government initiatives. *SAJS Review*, 1997: 127—146.
- [8] Jon B. Security and climate change. *Global Environmental Change*, 2003, 13: 7—17.
- [9] Cui S H, Hong H S, Huang Y F. Progress of the ecological security research. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 861—868.
- [10] Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 8—15.
- [11] Guan W B, Xie C H, Ma K M. A vital method for constructing regional ecological security pattern: landscape ecological restoration and rehabilitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 64—73.
- [12] Li X Y, Fu B J, Ma K M, *et al.* The regional pattern for ecological security (RPES): designing principles and method. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1055—1062.
- [13] Guo M, Xiao D N, Li X. Changes of landscape pattern between 1986 and 2000 in Jiuquan oasis, Heihe River basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 457—466.
- [14] Chen X. Spatial pattern modelling of ecological security assessment in a region. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(1): 21—28.
- [15] Liu H Y, Zhang S K, Lu X G. Wetland Landscape Structure and the Spatial-temporal Changes in 50 Years in the Sanjiang Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 391—400.
- [16] Yan C G, Yuan J. The international signification and protection countermeasure of Sanjiang Plain and its biodiversity. *Forestry Resource Management*, 1997, 1: 35—39.
- [17] Li D Q, Shong Y L. Review on hotspot and GAP analysis. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(2): 208—214.
- [18] Scott J M, Csuti B, Jacobi J D, *et al.* Species richness: A Geographic approach to protecting future biological diversity. *Bioscience*, 1987, 37 (11): 782—788.
- [19] Wang B, Guan W B, Wu J A, *et al.* A Method for Assessing Regional Ecological Security Pattern to Conserve Biodiversity — GAP Analysis. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(1): 192—195.
- [20] Erwin T L. An evolutionary basis for conservation strategies. *Science*, 1991, 253: 750—752.
- [21] Forman R T T. Ecologically sustainable landscapes: the role of spatial configuration. In: Zonneveld I S, Forman R T T. eds. *Changing landscapes: an ecological perspectives*. New York: Springer-Verlag, 1990, 173—198.
- [22] Franklin I R. Evolutionary change in small populations. In: Soule M E, Wilcox B A. eds. *Conservation biology: An evolutionary-ecological perspective*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1980. 135—149.
- [23] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, 10(3): 133—142.
- [24] Harries L D, Scheck J. From implications to applications: the dispersal corridors principles applied to the conservation of biological diversity. In: Saunders D A, Hobbs R J. *Nature conservation2: the role of corridors*. Surrey Beatty & Sons, 1991. 189—220.
- [25] Erwin T L. An evolutionary basis for conservation strategies. *Science*, 1991, 253: 750—752.
- [26] Gibbs J P. Importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. *Wetlands*, 1993, 13(1): 25—31.

参考文献:

- [1] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761—768.
- [2] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354—358.
- [4] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. *生态学报*, 1999, 19(3): 399—407.
- [9] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展. *生态学报*, 2005, 25(4): 861—868.
- [10] 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.
- [11] 关文彬, 谢春华, 马克明, 等. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径. *生态学报*, 2003, 23(1): 64—73.
- [12] 黎晓亚, 傅伯杰, 马克明, 等. 区域生态安全格局: 设计原则与方法. *生态学报*, 2004, 24(5): 1055—1062.
- [13] 郭明, 肖笃宁, 李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析. *生态学报*, 2006, 26(2): 457—466.
- [14] 陈星. 区域生态安全空间格局评价模型的研究. *北京林业大学学报*, 2008, 30(1): 21—28.
- [15] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 三江平原湿地景观结构的时空变化. *地理学报*, 2004, 59(3): 391—400.
- [16] 严承高, 袁军. 试论三江平原及其生物多样性的国际意义与保护对策. *林业资源管理*, 1997, 1: 35—39.
- [17] 李迪强, 宋延龄. 热点地区与 GAP 分析研究进展. *生物多样性*, 2000, 8(2): 208—214.
- [19] 王棒, 关文彬, 吴建安, 等. 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段——GAP 分析. *水土保持研究*, 2006, 13(1): 192—195.