

向海自然保护区丹顶鹤生境结构空间特征

张艳红¹, 邓 伟², 张树文³

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130026; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林长春 130012)

摘要:丹顶鹤为国家一级保护珍稀禽类,是向海自然保护区重点保护对象,在我国乃至世界范围的丹顶鹤保护中占有重要的地位。近年来,由于自然条件和人类活动的干扰,丹顶鹤的天然家园—沼泽湿地发生退化,其生存受到威胁,丹顶鹤的数量波动变化较大。为了有效地保护丹顶鹤有必要详细了解和掌握其生境结构的特征和变化特点,以了解丹顶鹤的生境动态。在 RS、GIS 技术和统计分析方法的支持下,运用景观生态学方法对向海自然保护区丹顶鹤生境空间结构特征从景观特征、生境斑块空间关系和生境破碎化 3 个方面进行分析。选择景观斑块面积、周长、斑块大小以及斑块密度等描述保护区景观格局基本特征。利用斑块的邻接边界长度和斑块间隙指数分析丹顶鹤生境——沼泽斑块的空间邻接关系和聚集程度,数据表明沼泽斑块与人类活动频繁的耕地邻接较为紧密,而自身的间隙指数自 20 世纪 70 年代以来有明显增大趋势。分析了由于自然原因和人为活动影响所造成的丹顶鹤生境斑块的空间破碎化程度。计算结果表明,由于沼泽生境自身条件的限制,研究区内物理性破碎化减少的生境面积为 2039.6 hm²,人为破碎化(居民地和道路)减少的生境面积为 3845.1 hm²,这样研究区内丹顶鹤适宜生境面积为 13680.1 hm²,可见人类活动对丹顶鹤生境影响很大。研究为保护区内丹顶鹤物种的保护和生境管理提供重要的科学依据。

关键词:生境结构;空间特征分析;丹顶鹤;向海自然保护区;遥感与地理信息系统

文章编号:1000-0933(2006)11-3725-07 中图分类号:Q145 文献标识码:A

The spatial structure analysis of the Red-crown Crane's habitat in Xianghai National Nature Reserve based on RS and GIS techniques

ZHANG Yan-Hong¹, DENG Wei², ZHANG Shu-Wen³ (1. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3725 ~ 3731.

Abstract: Xianghai National Nature Reserve plays a key role in the protection of Red-crown crane (*Grus japonensis*), a worldwide endangered waterfowl species, which has been listed as one of rare birds by Chinese government. Recently, Red-crown crane's habitat is threatened by both natural factors and human activities. In order to quantitatively analyze the cause and effects of the red-crown crane's habitat change in Xianghai National Nature Reserve, the pattern dynamics of the habitat from 1976 to 2000 is calculated with the help of RS, GIS techniques and statistical methods. Three aspects of spatial landscape configurations of the study area are analyzed here. Firstly, a variety of landscape indices, such as proportional index of landscape components, diversity index and so on, are selected to describe the primary landscape dynamics of Xianghai National Nature Reserve at

基金项目:吉林大学青年教师基金资助项目(419080102423);国家自然科学基金资助项目(40571061)。

收稿日期:2006-08-06;修订日期:2006-06-09

作者简介:张艳红(1974~),女,山东苍山人,博士,主要从事地理信息系统专业的教学和遥感、地理信息系统技术在湿地、水资源调控的应用研究。E-mail: zhangyanh@jlu.edu.cn or zhyh98@163.com

致谢:本文修改过程中得到中国科学院东北地理与农业生态研究所张树清研究员、刘兆礼研究员的悉心指导,特此感谢

Foundation item: The project was financially supported by young teacher foundation of Jilin University (No. 419080102423) and national natural science foundation of China (40571061)

Received date: 2005-08-06; Accepted date: 2006-06-09

Biography: ZHANG Yan-Hong, Ph. D., mainly engaged in Geographical Information System, Remote Sensing & Geographical Information System applied in wetlands and water resources. E-mail: zhangyanh@jlu.edu.cn or zhyh98@163.com

landscape level. The result shows that the landscape diversity in the study area is rich and no dominance occurs. Grassland occupies the largest area with a proportion of 23.48%, and marsh land lies in the second position with a proportion of 18.87%. The results also demonstrate that marsh land area has decreased largely since 1976a, by contraries, the area of arable land and salt-alkali land has increased greatly. Secondly, indices describing adjacent edge length and patch gap are used to express the spatial adjoining or neighboring relationship between the crane's habitat and other land use/cover categories, and the proximity characteristics among the habitat patches. The result tells us that the marsh habitats are mostly close to arable land and salt-alkali land. As salt-alkali land is often transferred from arable land, the adjoining relationship between marsh land and arable land and salt-alkali land is unfavorable for Red-crown crane to inhabit or breed in the marsh habitats. This also means that the Red-crown crane habitat is faced with severe human disturbance. Finally, the spatial fragmentation of the Red-crown crane's habitat is analyzed. According to former studies, Red-crown cranes primarily choose reed marsh patches as their habitats. But being a suitable habitat, a reed marsh patch must possess of favorable landscape characteristics, e. g., the minimum reed marsh patch size ($> 30 \text{ hm}^2$), the least distance ($< 15 \text{ m}$) from the habitat patch to the closest water body. Human activities also put negative effects on the selection of a habitat, so that reed marsh patches within a distance of 1.5 km to residential area or roads are not considered as Red-crown crane's habitat here. Thus there is only 13,680.1 ha of reed marshes suitable for red-crown crane inhabiting in the total 19,567.0 ha reed marshes while considering the above mentioned constraints to habitats.

Key words: analysis; habitat structure; Red-crown crane; Xianghai National Nature Reserve; RS & GIS

生境(栖息地)是指动物生活的周围环境,就鸟类而言则指个体、种群或群落在某一生活史阶段(如繁殖期、越冬期等)所占据的环境类型^[1]。对于一个特定的地域,物种数量的多少取决于野生动物在此空间范围内所能获得的食物、水、隐蔽物、空间的大小和多少,而这些必需物的可获得性则受到地域范围内各种生境因子(水体、植被)的分布和空间组合的影响。因此,为了更好地保护野生生物,进行生物生境的优化组合研究备受关注^[2~4],其中以保护野生生物为目标的自然保护区建立以及对保护区功能有效划分是人类对野生动物保护的成功案例。向海自然保护区是以保护野生动植物为突出功能的国家级自然保护区,由于其位于东亚~澳大利亚水禽迁徙线上^[5],季节性迁徙的水禽超越国界而具有重要的国际意义。特殊的地理位置和国际性鹤类生境保护功能引起地方、国家以及不同科研领域的高度重视,就有关保护区的生态环境、丹顶鹤数量变化、所在流域的物质生物化学演化及保护区的功能划分等做了不少研究^[6~9]。针对区内鹤类生境优化的水位阈值进行过模拟^[10],并在此基础上对湿地水量平衡进行预算^[11],但是对于保护区内丹顶鹤生境结构的特征和变动情况目前还不十分清楚,这对于丹顶鹤的保护十分不利。本文主要运用 RS 和 GIS 技术结合统计方法分析保护区内丹顶鹤生境结构空间组合特征以及变动情况,为保护区丹顶鹤的保护与管理提供重要的科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

向海自然保护区位于吉林西部的通榆县境内,总面积为 10.55 万 hm^2 ,其地理坐标为 $122^\circ 05' \sim 122^\circ 31' \text{ E}$, $44^\circ 55' \sim 45^\circ 09' \text{ N}$,处于北温带大陆性季风气候带的半干旱地区,春季多风干旱,夏季温暖,冬季严寒少雪,风沙较多,大陆性显著。年平均蒸发量可达 1945 mm ,年平均降雨量仅为 400 mm ,主要集中在夏季,可占全年降水的 73%,特别是 7、8 月份降水就可占到全年降水的 60%左右,且多为暴雨,年均温为 5.1°C ,最高达 37°C ,最低为 -32°C 。区内水系不甚发达,主要有霍林河和额穆泰河,由于蒸发和渗漏,无明显的河床,只在雨季丰富时形成季节性河流。本区在大地构造上属于松辽凹陷的西部沉降带,地貌以沙化和盐渍化平原为主要特征,地势由西向东倾斜,海拔在 $156 \sim 192 \text{ m}$ 之间,垄状沙丘与垄间洼地相间分布。特有的地质、地貌、区域气候和水文条件奠定了本区域沼泽湖泊广泛分布的物质基础,整个区域沼泽湖泊星罗棋布,其中水域面积 12500 hm^2 ,沼泽面积 23600 hm^2 。由于区内景观的复杂性,这里分布有丰富的动植物资源。据初步统计^[12],区内有高等野生植物 600 多种,其中药用植物 263 种,隶属 76 科,256 属。向海自然保护区于 1986 年被政府批准为国家级自然保护区,并定位于野生动植物资源的保护,特别是珍稀水禽栖息地保护。在这里可以见到 6 种鹤,分别为白鹤

(*Grus leucogeranus*)、白头鹤(*Grus monacha*)、灰鹤(*Grus grus*)、丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白枕鹤(*Grus vipio*)、蓑羽鹤(*Anthropoides virgo*), 占世界鹤类种数的 40%, 占我国鹤类种数的 2/3, 在保护区内还分布有珍稀树种蒙古黄榆。保护区内人为景观主要是建设性窝棚、引水灌渠、道路和为游人提供各种建筑。

1.2 数据的获取与处理

本文选择高质量的 2000 年陆地卫星 ETM 标准假彩色合成遥感影像为基本信息源, 与 1:5 万地形图精确配准, 并参照向海自然保护区管理处手绘的土地利用图进行研究区土地覆盖类型提取作为丹顶鹤生境结构特征分析的基础数据。根据土地利用方式和研究需要, 本文将土地覆盖类型划分为耕地、林地、草地、水域、沼泽、沙地、盐碱地和居民地, 在 GIS 软件支持下, 根据影像特征(主要是颜色、纹理等)建立判读标志, 进行交互式影像判读, 提取研究区景观类型信息, 绘制景观类型图, 见图 1。为了了解丹顶鹤生境结构空间变化特点本文用同样方法获取了 1976 年、1986 年和 1996 年的景观类型图。此外, 本文还根据 1:5 万地形图获取了研究区廊道类型信息, 主要为河流、道路, 根据向海自然保护区的功能区划图获取居民点和灌渠信息(图 2)。

1.3 研究方法

1.3.1 景观格局基本特征分析方法

所谓景观格局就是指大小不一、种类不同的斑块在空间上相互邻接关系。当前用于描述景观特征的指标非常多, 在许多景观分析中都有成功应用的例子^[13-16]。为了获取向海自然保护区景观格局的总体特征, 本文选用斑块面积(A_i)、斑块周长(P_i)、斑块体的平均大小(A_a)、斑块面积比例(P_r)和斑块密度(D)来描述保护区内的景观特征, 其具体的含义见文献^[17]。

1.3.2 沼泽斑块空间关系分析方法

丹顶鹤主要生活在水草肥美的沼泽地, 据李枫研究^[18], 丹顶鹤巢址 100% 选择在芦苇沼泽地, 因此本文将沼泽作为研究对象, 分析其空间邻接和相离关系。

目前基于景观斑块数量和面积属性进行相关指数计算反映景观空间格局研究很多, 而基于斑块边界特征进行各种景观指数运算以反映斑块空间格局研究未受到应有的重视^[19]。实质上, 不同的景观斑块在空间上相互邻接、镶嵌组合, 不同的斑块之间不断地进行着物质、能量和信息的交换, 使得斑块内部物质、能量的不断更新与结构调整, 最终体现在景观斑块的扩张、聚集或收缩变化, 边界作为景观斑块的重要属性, 对景观格局的变化具有灵敏的反映。这种最先发生在斑块边界的变化即为边缘效应^[20]。而且, 同类型斑块不同邻接关系对丹顶鹤生境选择产生不同影响, 例如同样沼泽斑块因为与居民地邻接和与草地邻接差异而对丹顶鹤生境选择产生两种结果。因此, 基于斑块边界分析斑块的空间邻接关系既可以充分反映各种斑块在空间关系的疏密程度又可进一步反映对丹顶鹤生境选择的影响。本文选择斑块公共边界的邻接长度和邻接频次反映沼泽斑块的邻接关系, 主要在 Arc/Info 平台下找出沼泽与其它景观斑块的公共边界并计算邻接长度和邻接频次。

丹顶鹤对沼泽生境的选择受到沼泽斑块间距离的影响。据实地调查发现, 一块面积不大的苇丛会因为距离主体沼泽地较近而成为丹顶鹤家园的首选, 相反则不然。这反映了同种斑块连接度对物种生存的影响^[17]。斑块间隙指数(P_i)能够很好地描述沼泽斑块的相离关系。本文用连接指数来表达, 其运算公式如下^[21]:

$$P = \sum_{i=1}^N \left[\frac{K(i)}{\sum_{i=1}^N K(i)} \right]^2 \quad (1)$$

$$K(i) = R(i)/D_0(i) \quad (2)$$

$$R(i) = \sqrt{A(i)} \quad (3)$$

将(2)、(3)式代入(1)式得:

$$P = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sqrt{A(i)/D_0(i)}}{\sum_{i=1}^N \sqrt{A(i)/D_0(i)}} \right]^2 \quad (4)$$

式中, P 为斑块的连接指数, 其值介于 0~1 之间, 值越大, 说明斑块的聚集程度越高, $A(i)$ 为第 i 斑块的面积, $D(i)$ 是与其最近的斑块间距离(距离从斑块的质心计算), N 为斑块数量, $R(i)$ 为与第 i 个斑块等面积的圆半径, $K(i)$ 表示第 i 个斑块等面积的圆半径与斑块间最短距离的比率, 其值越大表示两斑块的距离越近。

1.3.3 丹顶鹤生境破碎化分析方法

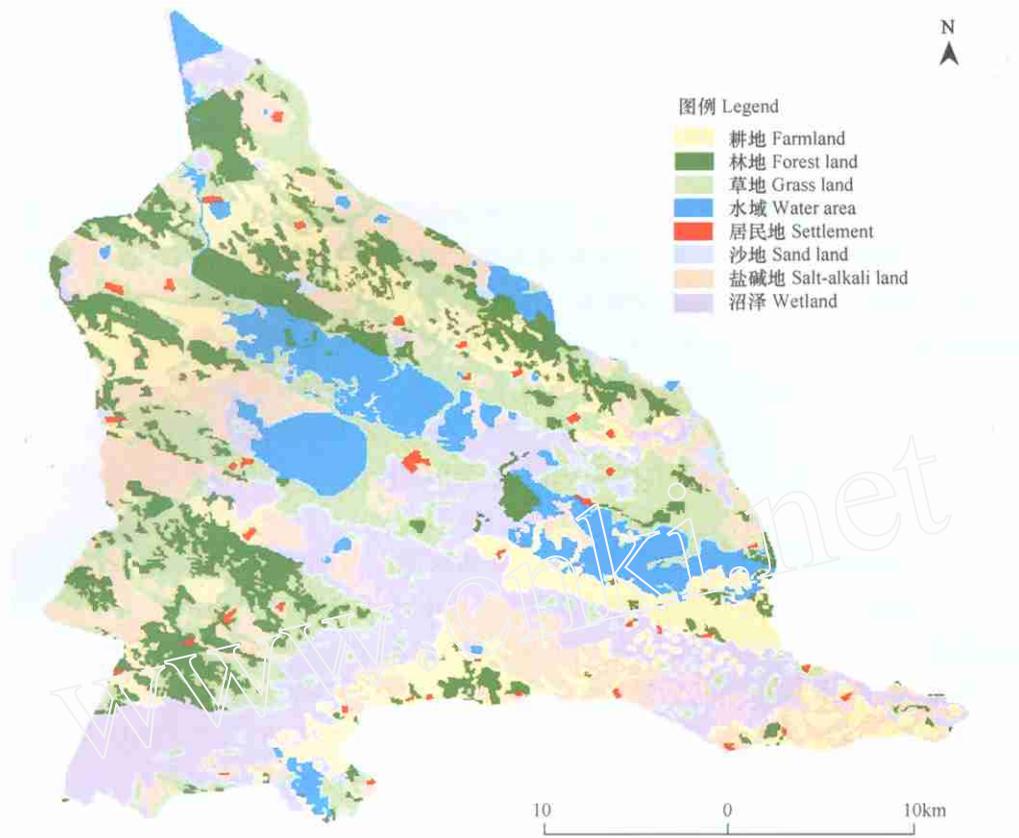


图1 研究区2000年景观类型图
Fig.1 The landscape in research area of 2000

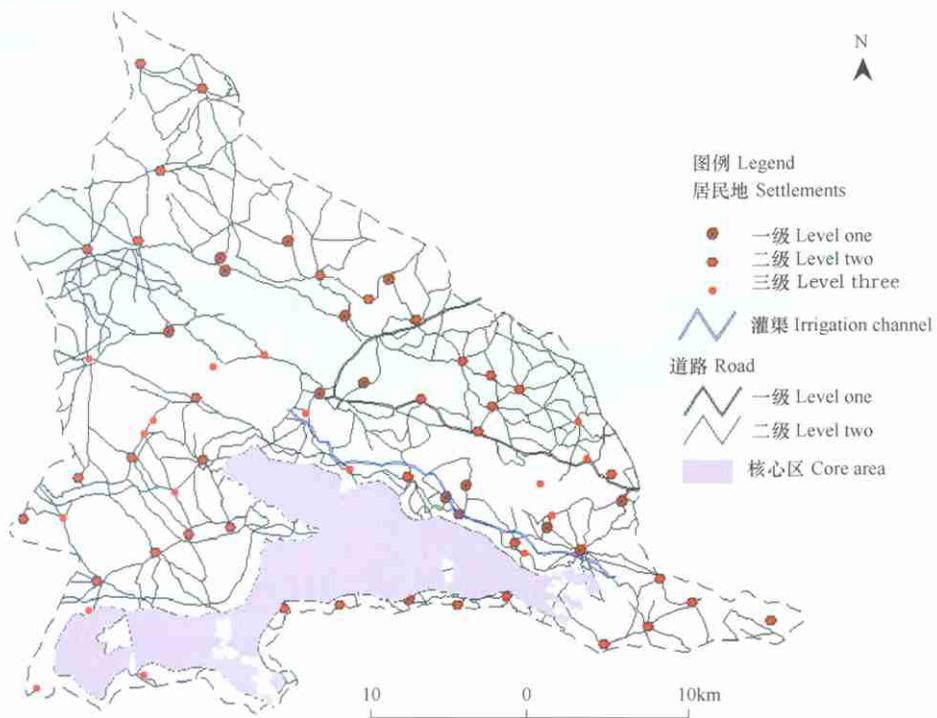


图2 研究区廊道、居民点分布
Fig.2 The distribution of corridors and settlements

(1) 生境破碎化因子分析 生境破碎化是指由于人类活动或自然因素导致的生境由简单、均质、连续的整体向复杂、异质、不连续的斑块镶嵌体演化过程。不同的物种生境破碎化的因素不一样,就水禽而言,指凡是对水禽个体、种群群落的生存、繁衍起干扰、抑制作用的因素都视为破碎化因素,例如点状的油井、风景点,面状的工矿居民地,线状的道路、河流等。针对本保护区的自然和社会经济活动特点,本文选择点状的居民点和线状的道路作为水禽生境破碎化的因素进行分析。之所以将居民点视为点状地物是因为向海自然保护区居民点都是一些生产经营性窝棚,面积小、影响力不具有面状居民地的特点。

(2) 生境破碎化因子定级 影响丹顶鹤生境破碎化的因子本文归纳为居民点和道路,但是不同的居民地和道路其对生境的影响力是不同的。例如,生产经营性窝棚居民主要以打鱼、养家禽或种地为主,其活动对丹顶鹤生境的影响最大,而像一些保护区内的林场管理机构的人类活动主要限制在相关场所,很少能涉足到丹顶鹤的主要分布区,道路同样具有这种功能性质的效应。为了区分这种功能性质的差异所产生的不同结果,本文对保护区内的居民点和道路按照性质和对丹顶鹤影响大小进行分级,分级结果见表 1。

(3) 生境破碎化结果输出 根据以上丹顶鹤生境破碎化因子分析,可以将丹顶鹤生境分为可选择生境和适宜生境。在这里可选择生境就是指沼泽面积,适宜生境是物理性破碎化和行为破碎化后的沼泽面积。物理性破碎化是指沼泽面积不超过 30m² 或距离最近水域超过 15m 的,而行为性破碎化是人类活动造成的,根据居民点和道路级别的高低,分别计算其对丹顶鹤生境的影响范围,最终可以计算丹顶鹤适宜生境面积。

表 1 向海自然保护区丹顶鹤生境破碎化因子分级与描述

Table 1 Description and grade for factors causing Red-crown crane's habitat fragmentation in research area

类别 Classification	级别 Level	描述 Description
道路 Road	一级道路	连接乡镇级别的道路
	二级道路	乡间小道
居民地 Settlements	一级居民地	区、镇管理机构所在地
	二级居民地	村屯
	三级居民地	生产经营性窝棚

2 结果分析

2.1 景观格局基本特征

向海自然保护区 2000 年景观类型基本信息见表 2。从表中数据反映的景观结构信息看,向海自然保护区景观类型齐全,无明显优势类型存在,虽然以“向海湿地”著称,但以草地面积最大占 23.48%,其次才是沼泽,占 18.87%,其它盐碱地、林地和水域面积都在 10%左右。从景观斑块信息看,沼泽斑块数 45 块,平均大小 434.82 hm²,其中面积超过 100 hm² 仅有 8 块,占沼泽总面积的 95.5%,说明研究区沼泽分布集中,这利于丹顶鹤生存。另一类分布较为集中的是水域,斑块的平均大小为 304.29 hm²,对丹顶鹤生境选择具有重要意义。其它草地、盐碱地和耕地的密度、斑块体的平均大小都比较大。对比 1976 年景观信息看,沼泽地面积减少了 40%,盐碱地面积扩张 1.8 倍,而耕地增加了 70%,这种景观变化对保护区丹顶鹤生存具有很大的威胁。

表 2 向海自然保护区景观类型特征

Table 2 The landscape pattern characteristics in research area

类型 Classification	面积 Area (hm ²)	面积比 Proportion (%)	斑块数量 Number	斑块密度 Density (No./hm ²)	斑块周长 Perimeter (km)	斑块均值 Mean size of patch (hm ²)
耕地 Farmland	15436.50	14.88	107	0.10	98.47	144.27
林地 Forest land	15295.00	14.75	214	0.21	109.13	71.47
草地 Grassland	24349.25	23.48	161	0.16	150.31	151.24
水域 Water area	10650.00	10.27	35	0.03	39.76	304.29
居民地 Settlements	809.50	0.78	40	0.04	9.37	20.24
沙地 Sand land	306.25	0.30	6	0.01	3.13	51.04
盐碱地 Salt-alkali land	17297.25	16.68	116	0.11	100.04	149.11
沼泽 Wetlands	19567.00	18.87	45	0.04	81.59	434.82

2.2 沼泽斑块的空间关系分析

2.2.1 空间邻接关系分析 表 3 为保护区沼泽斑块与其它斑块类型的邻接长度和邻接频次。从表中数据可以看出,沼泽与草地的邻接关系最为紧密,二者的邻接边界长度和邻接频次都最大,分别占总邻接长度 39%

和总频次的 31%,其次是盐碱地,分别占总邻接长度的 30%和总频次的 26%,另一类邻接关系紧密的为耕地,分别占总邻接长度的 19.9%和总频次的 21.7%。草地和盐碱地虽然不是丹顶鹤可选择生境,但是这两类景观类型人事活动少,对沼泽生境内丹顶鹤活动影响小,而耕地因为频繁的农事活动和农药使用则会对邻接地沼泽内的丹顶鹤活动甚至生存造成威胁。从丹顶鹤沼泽生境空间邻接分析和耕地空间分布看,虽然丹顶鹤核心分布区内耕地面积较小(占核心区面积的 13.5%),但是耕地与沼泽地紧密邻接的空间格局对于丹顶鹤的保护十分不利。

表 3 保护区沼泽斑块与其它斑块边界邻接关系

Table 3 The adjacency of Wetlands patches edge adjoining to others in research area

	耕地 Farmland	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water area	居民地 Settlements	沙地 Sand land	盐碱地 Salt-alkali land
邻接长度 Communal length (km)	135.3	37.6	264.5	37.7	2.8	0.8	201.6
邻接长度百分比 Percentage (%)	19.9	5.5	38.9	5.5	0.4	0.1	29.6
邻接频次 Communal frequency (time)	65	28	94	30	4	1	77
邻接频次百分比 Percentage (%)	21.7	9.4	31.4	10	1.3	0.3	25.8

2.2.2 沼泽斑块间隙分析 在 ARC/INFO 下首先用 Centroidlabels 求出每个多边形内部质心,然后用 Pointdistance 计算出各个沼泽斑块与最近沼泽斑块的最小距离 (D_i),根据公式计算出沼泽斑块的连接指数,计算结果见表 4。从表中可以看出,向海自然保护区

表 4 向海自然保护区沼泽斑块的连接指数

Table 4 The Connectivity Index of Wetlands Patches in research area

年份 Year	1976 年	1986 年	1996 年	2000 年
连接指数 PI	0.106	0.085	0.079	0.077

区沼泽斑块的连接指数较小,但与东北三江平原沼泽斑块的连接指数大得多(0.0233 ~ 0.0019),这说明保护区内沼泽斑块的聚集程度较大。但是,保护区内沼泽斑块的连接指数有明显降低趋势,由 1976 年的 0.106 减小到 2000 年的 0.077,这意味着保护区内沼泽斑块受各种因素作用呈现出扩散和零碎化发展的态势。

2.3 丹顶鹤生境破碎化分析

根据丹顶鹤对生境选择的条件分析,本文分别计算了丹顶鹤可选择生境面积、物理性破碎化面积、行为性破碎化面积(包括居民地和道路)和适宜生境面积,见表 5。从表中可以看出,物理性破碎化使丹顶鹤生境面积减少了 2039.6 hm^2 ,由原来的 19564.8 hm^2 变为 17525.2 hm^2 。这主要是由于沼泽和水域的组合条件不好造成的。丹顶鹤对生境的选择,不但对芦苇沼泽的面积大小有选择,而且对距离水域的远近也有要求。这样使许多芦苇沼泽虽然自身面积很大,但由于距离水域过远而不适合丹顶鹤栖息。而行为性破碎化使丹顶鹤生境面积急剧减少 3845.1 hm^2 ,其中道路主要为乡间小道影响范围为 124.6 hm^2 ,居民地的影响范围为 3720.5 hm^2 ,最终丹顶鹤的适宜生境面积仅为 13680.1 hm^2 。

表 5 向海自然保护区丹顶鹤生境破碎化计算结果(hm^2)

Table 5 The results of habitats fragmentation in research area (hm^2)

可选择生境 Potential habitats	物理性破碎化生境 Physical fragment habitats	行为性破碎化生境 Behavioral fragment habitats		适宜生境 Suitable habitats
		道路 Road	居民地 Settlements	
19564.8	17525.2	124.6	3720.5	13680.1

3 讨论

(1) 丹顶鹤核心区划分不尽合理 首先,从丹顶鹤核心区面积大小看,保护区内沼泽地总面积达 19564.8 hm^2 ,物理性破碎化后为 17525.2 hm^2 ,都比丹顶鹤核心区面积 15558.6 hm^2 大得多。其次,从沼泽地的空间分布看,丹顶鹤核心区内沼泽面积仅为 7884.6 hm^2 ,沼泽率为 50.7%,保护区内 60%沼泽位于丹顶鹤核心区之外,特别是向海水库上游和下游有大面积的沼泽不在核心区内。考虑缓解丹顶鹤生境压力应当采取相应的措施扩大丹顶鹤核心区的面积和增大核心区的沼泽率。

(2) 丹顶鹤生境退化趋势显著 从文中沼泽斑块分析知道无论从沼泽面积大小还是空间结构上看,丹顶鹤生境都呈现显著的退化趋势,这主要是频繁人事活动造成的。向海自然保护区内重要的乡镇向海蒙古族乡

自 1989 年以来人口、放牧牲畜(牛和羊)数量和耕地面积都呈显著增长趋势,分别增加了 36%、1.99 倍和 10%。增长的人口和牲畜对土地和环境的压力加剧了人与畜、人与鹤、畜与鹤的生存空间矛盾,加剧丹顶鹤生境退化。同时,由于吉林西部气候异常变化,特别是连续的干旱气候导致对气候变化敏感的沼泽湿地蓄水减少、变干,例如 2001、2002 年的连续干旱导致向海湿地 20 多个天然泡沼全部干涸,2003 年积水长达 30a 的泡沼也干涸为盐碱地。

(3) 丹顶鹤生境压力大 本文通过研究区内景观格局基本特征和丹顶鹤生境——沼泽地的斑块结构分析表明,研究区内 2000 年沼泽湿地面积虽然很大 19564.8 hm^2 ,但是在 45 块沼泽斑块中超过 100 hm^2 仅有 8 块,丹顶鹤适宜生境面积仅为 13680.1 hm^2 ,根据何春光多年实地调查^[7],2000 年研究区丹顶鹤的数量为 46 对,则每对丹顶鹤的生境面积为 297.4 hm^2 ,这与周德胜^[21]关于每对野生丹顶鹤最大生境面积为 355 hm^2 相差较大,说明保护区丹顶鹤生境面临很大的压力,需要采取相应的保护措施改善和扩大丹顶鹤生境。

References:

- [1] Yang W K, Zhong W Q, Gao X Y. The developments in habitat selection of birds. *Arid Zone Research*, 2000, 17(3): 71 ~ 75.
- [2] Craig Loehle. Optimizing wildlife habitat mitigation with a habitat defragmentation algorithm. *Forest Ecology and Management*, 1999, 120: 245 ~ 251.
- [3] Amnon Nevo, Luis Garcia. Spatial optimization of wildlife habitat. *Ecological Modelling*, 1996, 91: 271 ~ 281.
- [4] H Thomas Foster II. Dynamic optimization of horticulture among the Muscogee Creek Indians of the southeastern United States. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2003, 22: 411 ~ 424.
- [5] Yutaka Kanaia, Mutsuyuki Uetaa. Migration routes and important resting areas of Siberian cranes (*Grus leucogeranus*) between northeastern Siberia and China as revealed by satellite tracking. *Biological Conservation*, 2002, 106: 339 ~ 346.
- [6] Yu M Q, Tian W, Sun D W. Analysis on protection and sustainable utilization to wetland resource in national natural reserve of Xianghai. *Geography Sciences*, 2000, 20(2): 193 ~ 196.
- [7] He C G, Sheng L X, Lang H Q, et al. Migration dynamics of *Grus japonensis* in recent years spring and conservation of its habitat in Xianghai National Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1523 ~ 1526.
- [8] Bai J H, Yu G Y. Environmental problems of wetland resources and their countermeasures in Xianghai National Nature Reserve. *Rural Eco-Environment*, 2001, 17(1): 17 ~ 20.
- [9] Sheng L X, He C G, Zhao J. Analysis of effect of wetland ecological environment change in Xianghai National Nature Reserve on number and distribution of red-crowned crane. *Journal of Northeast Normal University*, 2001, 33(3): 91 ~ 95.
- [10] Zhang Y H, Liu Z L, Deng W, et al. The water level simulation for crane habitat optimization in Xianghai National Nature Reserve. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 263 ~ 270.
- [11] Zhang Y H, Deng W, Liu Z L, et al. Water control for optimization of crane habitat in Xianghai National Nature Reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 30(2): 45 ~ 51.
- [12] Yu G H, Li W S. Xianghai National Nature Reserve. Beijing: Chinese Forestry Press, 1989. 6 ~ 7.
- [13] Forman R T T, Land Mosaics. *The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [14] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, Sugihara G, Jackson B, DeAngelis D L, Milne B T, Turner M G, Zygmunt B, Christensen S W, Dale V H, Graham R L. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1(3): 153 ~ 162.
- [15] Lipsky Z. The changing face of Czech rural landscape land. *Urban Planning*, 1995, (31): 39 ~ 45.
- [16] Ritters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, Wickham J D, Yankee D H, Timmins S P, Jones K B, Jackson B L. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, 10(1): 23 ~ 39.
- [17] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. Principles and Application in Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2001.
- [18] Li F, Yang H J. The Nest-site Selection by Red-crowned Crane in the Zhalong Wetland. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27(6): 57 ~ 60.
- [19] Zeng H, Kong N N. Landscape pattern analysis based on boundary characteristics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 81 ~ 86.
- [20] Wu J G. Landscape Ecology—Pattern, process, scale and grade. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [21] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 346 ~ 352.
- [22] Zhou D S. The preparatory research on the territory behavior of red-crowned crane. In: Xiao D N ed. *Progress in landscape ecology*. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1999. 123 ~ 127.

参考文献:

- [1] 杨维康, 钟文勤, 高行宜. 鸟类栖息地选择研究进展. *干旱区研究*, 2000, 17(3): 71 ~ 75.
- [6] 俞穆清, 田卫, 孙道伟. 向海国家级自然保护区湿地资源保护与可持续利用探析. *地理科学*, 2000, 20(2): 193 ~ 196.
- [7] 何春光, 盛连喜, 郎惠卿, 等. 向海湿地丹顶鹤迁徙动态及其栖息地保护研究. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1523 ~ 1526.
- [8] 白军红, 余国营. 向海自然保护区湿地资源环境问题及对策分析. *农村生态环境*, 2001, 17(1): 17 ~ 20.
- [9] 盛连喜, 何春光, 赵俊, 等. 向海湿地生态环境变化对丹顶鹤数量及其分布的影响分析. *东北师大学报自然科学版*, 2001, 33(3): 91 ~ 95.
- [10] 张艳红, 刘兆礼, 邓伟, 等. 向海湿地鹤类生境优化的水位模拟. *地理学报*, 2003, 58(2): 263 ~ 270.
- [11] 张艳红, 邓伟, 刘兆礼, 等. 向海湿地鹤类生境优化的水量调控研究. *东北林业大学学报*, 2003, 30(2): 45 ~ 51.
- [12] 于国海, 李万山. 向海自然保护区. 北京: 中国林业出版社, 1989: 6 ~ 7.
- [17] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [18] 李枫, 杨红军, 张洪海, 等. 扎龙湿地丹顶鹤巢址选择研究. *东北林业大学学报*, 1999, 27(6): 57 ~ 60.
- [19] 曾辉, 孔宁宁. 基于边界特征的景观格局分析. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 81 ~ 86.
- [20] 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.
- [21] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. *山地学报*, 2000, 18(4): 346 ~ 356.
- [22] 周德胜. 丹顶鹤领域行为的初步研究. 见: 肖笃宁编. 景观生态学研究进展. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999. 123 ~ 127.