

挠力河流域东方白鹤生境质量变化景观模拟

刘红玉¹, 李兆富², 白云芳³

(1. 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097;

2. 南京农业大学资源与环境科学院, 南京 210095; 3. 昆明理工大学, 昆明 650224)

摘要: 挠力河流域是濒危水禽东方白鹤主要繁殖区域。基于东方白鹤主要生境因子与景观植被类型之间的关系, 利用 GIS 技术, 以其生境类型图为基础, 通过建立 HSI 模型, 模拟评价了近 40 年来东方白鹤生境质量变化过程。结果显示 (1) 该流域湿地面积丧失了 87 %; (2) 两种重要生境类型完全丧失, 湖泊数量丧失 93 % 左右, 岛状林湿地数量丧失 66 %; (3) 湿地景观的这些变化以及地理隔离导致了东方白鹤最佳适宜生境面积减少了 95 %, 最小繁殖生境面积减少了 97 %; (4) 东方白鹤种群数量迅速下降, 20 世纪 80 年代后其繁殖种群逐渐消失; (5) 研究也显示, 东方白鹤潜在的生境质量使该区依然具有恢复一定种群数量的能力。

关键词: 东方白鹤; 生境质量; 景观模拟; 挠力河流域

文章编号: 1000-0933(2006) 12-4007-07 **中图分类号:** P941, Q145 **文献标识码:** A

Landscape simulating of habitat quality change for oriental white stork in Naoli River Watershed

LIU Hong-Yu¹, LI Zhao-Fu², BAI Yur-Fang³ (1. Key Lab of Environment Change and Ecology Construction, Jiangsu Province, College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210097 China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4007 ~ 4013.

Abstract: The Naoli River Watershed is an important breeding area for rare and endangered Oriental White Stork. Four major habitat factors for Oriental White Stork were identified by fieldwork, including disturbance, food, water regime and shelter in the study area. Although these four habitat factors have indirect relationship with vegetation types, disturbance degree, food richness, water depth and shelter condition can reflect indirectly by vegetation types. So, based on maps of detailed vegetation types in 1960s, 1970s, 1980s, and 2004, each habitat factor map was made by uniting vegetation map through GIS technique. Ten habitat types for Oriental White Stork were identified by overlay of these habitat factor maps. A habitat suitability index (HSI) model reflecting habitat factors and human impacts in landscape scale were built. Seven units were considered in the model: (1) human disturbance; (2) food richness; (3) water regime in wetland; (4) Vegetation shelter type; (5) distance from road and residential area; (6) the smallest breeding area and the best suitable area; (7) distance from food area to nest area. All these units were investigated in the study area. Results document that the suitable habitat quality for Oriental White Stork was declined significantly in the last 40 years. That is because Changes of habitat types and fragmentation of landscape occurred in the study area. As a result, the total area of wetland reduced 87 %. Two important habitat types including *Carex lasiocarpa* marsh, reed marsh and 95 % open water area were completely lost. The island-like forest wetlands were very important nesting area for Oriental White Storks in the region. Therefore decrease in patch number of island-like forest wetlands and their geographical isolated by human destroying have significant effects on habitat quality and species population for Oriental White Stork. This phenomenon resulted in

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40471003)

收稿日期: 2005-10-15; **修订日期:** 2006-06-11

作者简介: 刘红玉 (1963 ~), 女, 辽宁辽阳人, 博士, 教授, 主要从事湿地景观变化与环境效应研究. E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40471003)

Received date: 2005-10-15; **Accepted date:** 2006-06-11

Biography: LIU Hong-Yu, Ph. D., Professor, mainly engaged in wetland landscape change and environment effects. E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

95 % of high suitable area reducing. And the smallest habitat area decreased 97 % in 2004. The population of Oriental White Storks declined rapidly and disappeared after 1980s. Research also shows that the potential habitat quality for Oriental White Storks still exists in the study area. There are about 1217.43km² middle suitable wetlands in the study area. So it still has ability to restore population of Oriental White Storks. Study also shows that the HSI model has important value for evaluating habitat quality for Oriental White Storks in landscape scale.

Key words: Oriental White Storks; habitat quality; HSI model; Naoli River Watershed

人类已濒临地球上最严重的生态危机。全球范围内的物种消亡速度已经超过了“正常”速度的两倍,达到了历史上的最高点。地球上生物多样性危机与人类以史无前例的速度改变景观活动同时发生^[1,2]。因此,生物多样性保护逐渐由单一物种保护转向景观保护,景观逐渐成为生物多样性保护和管理的最佳空间尺度。

近年来,在大量开展景观变化和人类活动对景观格局影响量化研究工作基础上^[3,4],景观变化对生物多样性影响研究越来越引起关注^[5,6],由此也推进了景观研究工作进展^[7,8]。目前,国内外许多研究涉及景观变化对植物物种多样性影响^[9]。也有研究开始涉及对野生动物生境和物种的影响。但对无脊椎动物、昆虫、爬行类动物研究较多^[10],而对水禽生境和多样性研究较少。研究方法也逐渐由地面典型物种和生境调查到利用遥感和地理信息系统技术进行量化分析。也有研究利用模型开展物种与生境关系的探讨^[11],但缺乏景观结构对水禽多样性影响研究。而长时间尺度,多时段景观变化对珍稀水禽生境质量和种群动态变化的影响研究更为缺乏。

东方白鹳(*Ciconia boyciana*)是仅分布在亚洲的大型涉禽,因数量稀少,已被列入《濒危野生动植物国际贸易公约》的附录中。三江平原地区是东方白鹳主要栖息繁殖地之一。其中,挠力河流域历史时期湿地面积占流域面积的 63 %^[6],是东方白鹳的重要栖息和繁殖区域。但由于该流域自 1950 年以来,经历四次大规模农业开发活动,使大面积湿地不断转化为农田。目前已造成 87 % 的湿地丧失和景观结构的巨大变化^[8],严重破坏了东方白鹳适宜生境条件,使东方白鹳种群数量急剧减少,甚至到了绝迹的边缘。本文结合野外生境要素调查,通过建立景观尺度生境质量模型,量化评价东方白鹳生境质量变化过程,为保护该区湿地及其生物多样性提供科学依据。

1 研究方法

1.1 生境要素调查

2005 年春、夏、秋三季,对东方白鹳繁殖生境和觅食生境要素进行了野外调查。东方白鹳生境要素调查方法采用寻找东方白鹳巢和觅食区,将巢和觅食区按发现顺序编号,用 GPS 定位,测量营巢地和觅食地主要生境因子。共调查东方白鹳繁殖生境样方 145 个,觅食生境样方 245 个。通过对各生境因子统计分析和显著性检验获得如下结果: 干扰、覆被类型、积水条件和食物条件是东方白鹳主要生境要素^[12,13]; 岛状林湿地是东方白鹳主要繁殖区域; 觅食生境主要是湖泊、苔草、小叶章、芦苇等湿地类型; 东方白鹳对外界干扰比较敏感,通常喜欢在干扰较小的生境中繁殖,一般觅食区离人类活动场所的距离大于 450m。

1.2 生境类型图制作

1.2.1 数据来源 空间数据来源于不同时期的地形图资料、遥感数据和已有的调查成果等。利用 20 世纪 60 年代 1:20 万地形图件,参考同期土地调查图件,代表 20 世纪 60 年代;利用 1976 年 MSS 影像解译数据和同年开荒调查图代表 20 世纪 70 年代;利用 1983 年国家“七五”攻关成果 1:20 万植被调查图代表 20 世纪 80 年代;利用 2004 年 6~7 月 TM 遥感解译数据反映现状。这些图件经过数字化处理、统一数学基础和精度,制作各期土地利用/湿地景观类型图。

1.2.2 生境类型图制作 由于水禽生境不是由单一生境类型构成,而是既能提供食物又能提供安全的隐蔽场所的特殊地理区域^[14]。确定挠力河流域湿地生境类型包括各类苔草沼泽、芦苇沼泽、小叶章湿草甸、灌丛湿地、岛状林湿地、河流、泡沼等景观类型^[15,16]。这些不同的景观类型或不同景观类型的组合类型构成了该区

复杂多样的湿地水禽生境结构类型。为此,以各期植被景观图为基础数据,利用 GIS 技术对东方白鹤四种生境因子(干扰、覆被类型、积水条件和食物条件)进行分级(表 1),归并植被景观类型为生境因子类型。然后叠加这四种生境因子类型图,进行制图综合处理,生成东方白鹤生境类型图。以此反映东方白鹤的生境类型特征及其时空变化过程。

1.3 东方白鹤生境质量模型(HSI)建立

1.3.1 模型变量确定 本文采用的生境质量模型评价方法是在地理景观尺度,针对动物种群评价的一种间接评价方法。即是采用建立在生境-物种模型基础上的模拟模型与景观图的耦合研究生境质量变化过程。为此首先确定了 7 个模型变量:干扰程度(V1)、食物丰富度(V2)、水情势(V3)、覆被类型适宜性(V4)、空间格局适宜性(V5)、最小繁殖生境面积和最佳适宜性生境面积(V6)、最大巢区和觅食区距离(V7)。其中 V1、V2、V3、V4 通过权重方法进行界定。权重大小经过野外调查检验,结果见表 1。V5 界定道路的影响距离为 450m,即道路两侧 450m 范围内为干扰区域,其生境不能被东方白鹤繁殖期间利用;居民点影响距离为 1000m^[17,18]。V6 界定为 3.2km^{2[19]};小于该面积不能被东方白鹤繁殖期间所利用。考虑周围干扰状况,界定 3 倍的最小生境面积^[20]即 9.6km² 为最适宜生境面积的阈值。V7 界定筑巢区距觅食区最大距离为 2km^[21],即巢区和觅食区距离小于 2km 会被东方白鹤繁殖期间利用。

表 1 东方白鹤生境因子分级和权重

Table 1 Habitat classification for Oriental White Stork											
编码	干扰分级	权重	编码	食物分级	权重	编码	水情势分级	权重	编码	植物覆被分级	权重
Id	V1 classification	Weight	Id	V2 classification	Weight	Id	V3 classification	Weight	Id	V4 classification	Weight
1001	无干扰 ND	1.0	2001	食物丰富 HF	1.0	3001	常年积水 HW	0.8	4001	适宜 HS	1.0
1002	轻干扰 LD	0.8	2002	食物较丰富 MF	0.8	3002	季节性积水 MW	0.5	4002	较适宜 MS	0.8
1003	中干扰 MD	0.5	2003	食物较贫乏 LF	0.5	3003	潮湿 LW	1.0	4003	微适宜 LS	0.4
1004	重干扰 HD	0.0	2004	食物贫乏 NF	0.0	3004	干燥 NW	0.0	4004	不适宜 NS	0.0

ND: none disturbance; LD: low disturbance; MD: middle disturbance; HD: high disturbance; HF: high food; MF: middle food; LF: low food; NF: none food; HW: high water; MW: middle water; LW: low water; NW: none water; HS: high suitable; MS: middle suitable; LS: low suitable; NS: none suitable

1.3.2 生境质量模型(HSI)建立 分两步构建东方白鹤 HSI 模型。首先不考虑道路和生境面积的空间影响,仅考虑 V1,V2,V3,V4 4 个生境影响因子,构成如下条件生境适宜性模型:

$$HSI1 = (V1 \times V2 \times V3 \times V4) 1/2$$
 (1)

再考虑空间格局影响,则空间生境适宜性模型为:

$$HSI2 = (V5 > 450m) \quad (V6 > 9.6km^2) \quad (V7 < 2km)$$
 (2)

综合考虑以上各种生境要素,生境适宜性模型为:

$$HSI = (V1 \times V2 \times V3 \times V4) 1/2 \quad (V5 > 450m) \quad (V6 > 9.6km^2) \quad (V7 < 2km)$$
 (3)

2 结果分析

2.1 东方白鹤的生境类型及其变化

通过分析东方白鹤生境类型变化发现:在 10 种生境类型中,作为东方白鹤重要觅食区的 1112,1212,1222,2112 类型面积和斑块数量呈持续减少趋势,20 世纪 80 年代以后减少速度更快。其中类型 1112 和 1222 已经消失;类型 1212 面积减少了 40 %左右;类型 2112 为湖泡湿地,是东方白鹤主要觅食地,其面积减少了 30 %左右,而斑块数量丧失了 93 %左右。作为筑巢区域的 2331 类型面积丧失了 67 %,到 80 年代斑块数量丧失了 66 %。虽然 20 世纪 80 年代以后在路边和居民点附件种植了岛状林带,斑块数量增加了 91 %,但大多数斑块不能作为东方白鹤栖息生境而被利用。而非重要类型如 4342,4444 等面积和斑块数量均成增加趋势。生境类型的这些变化必然对东方白鹤生境质量和种群数量产生重要影响(表 2)。

2.2 东方白鹤生境适宜性及其时空变化

利用公式(1)的 HSI1 模型对东方白鹤生境类型图中的类型进行计算,再根据计算结果进行重新分类,生成东方白鹤条件生境适宜性评价图。重新分配的结果界定如下:(1)如果 HSI1 = 0.9 ~ 0.60,生境适宜性水平

为最适宜 ; (2) 如果 $HSI1 = 0.60 \sim 0.46$, 生境适宜性水平为较适宜 ; (3) 如果 $HSI1 = 0.46 \sim 0.25$, 生境适宜性水平为微适宜 ; (4) 如果 $HSI1 = 0.25 \sim 0.0$, 生境适宜性水平为不适宜 ; 利用该方法对挠力河流域 40a 来东方白鹳繁殖生境条件适宜性评价结果如图 1。

表 2 挠力河流域东方白鹳繁殖生境类型及时空变化

类型号 Code	斑块数/面积 (km ²) Patch number/area (km ²)			
	20 世纪 60 年代 1960 's	20 世纪 70 年代 1970 's	20 世纪 80 年代 1980 's	2004
1112	40/4241.62	43/3684.58	29/3106.03	0/0
1212	4/156.24	4/156.24	1/508.66	3/93.36
1222	4/625.00	4/557.68	9/201.54	0/0
2112	924/76.25	900/76.09	254/64.64	65/53.89
2222	109/2290.03	110/2212.53	60/999.30	512/1321.66
2331	162/206.71	101/144.62	55/95.94	604/68.73
2433	105/6930.32	105/6929.53	104/7279.17	535/5514.41
3333	139/2112.90	158/2031.93	106/452.52	2427/389.95
4444	23/5991.35	29/6837.22	169/9886.39	765/13678.98
4342	—	—	11/36.24	914/1509.45

图中数字代码是按表 1 中编码最后一位数字 , 从干扰条件到食物条件 , 到水情势和主要植被景观类型顺序进行命名 ; 1112 苔草沼泽 *Carex* marsh ; 1212 芦苇沼泽 Reed marsh ; 1222 芦苇-小叶章沼泽 *Ph. Australis*-*Deyeuxia angustifolia* marsh ; 2112 河、泡沼 River and lake ; 2222 小叶章-苔草湿草甸 *Deyeuxia angustifolia*-*Carex* wet meadow ; 2331 岛状林湿地 Forest swamp ; 2433 山区林地 Forest in mountain ; 3333 草甸、灌丛 Wet meadow and shrub ; 4444 小叶章-杂类草草甸、旱地、居民地 *Deyeuxia angustifolia*-*Calamagrostis epigeios*-*Hemarthria japonica*-*Ph. australis* wet meadow , agriculture land and residential area · 4342 水田 Paddy field

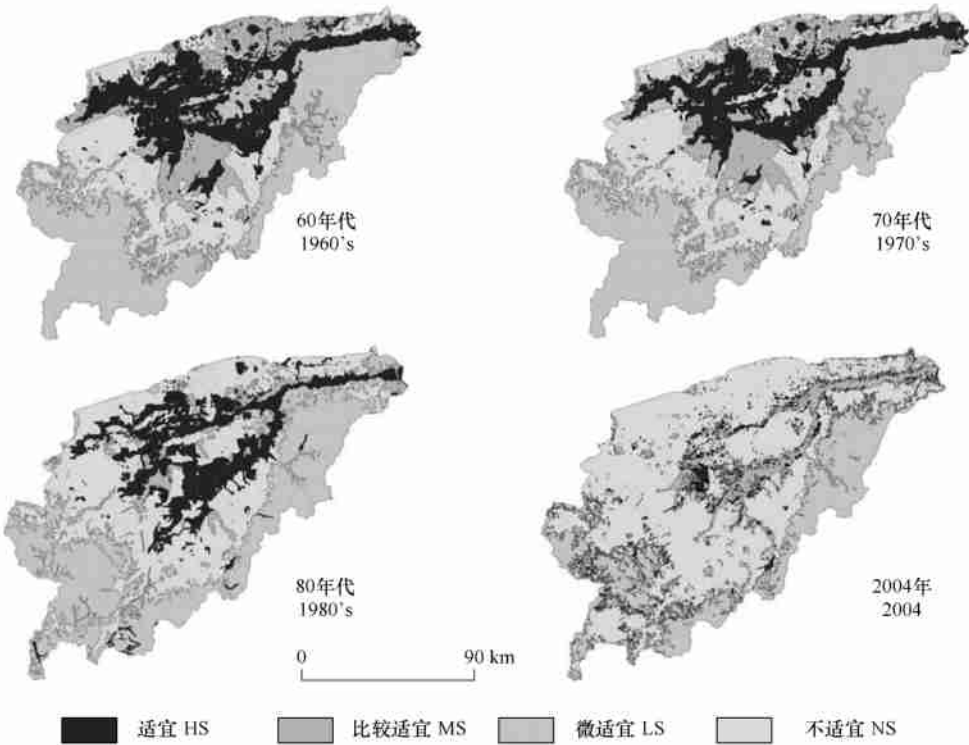


图 1 挠力河流域东方白鹳条件生境适宜性 ($HSI1$) 及其变化

Fig. 1 Habitat suitability and its changes for Oriental White Stork in Naoli River Watershed HS High suitable ,MS Middle suitable ,LS Low suitable ,NS None suitable

在 $HSI1$ 条件生境适宜性模型评价基础上 , 再考虑东方白鹳繁殖生境的空间格局影响 , 应用生境空间适宜性模型 (2) $HSI2$ 进行分析。分析方法是利用 GIS 系统进行道路和居民点的 Buffer 空间分析 , 排除道路和居民

点的干扰影响和小于 9.6km^2 的无效面积及巢区与觅食区距离大于 2km 的之外的湿地,生成东方白鹤繁殖生境适宜性评价图(图 2)。

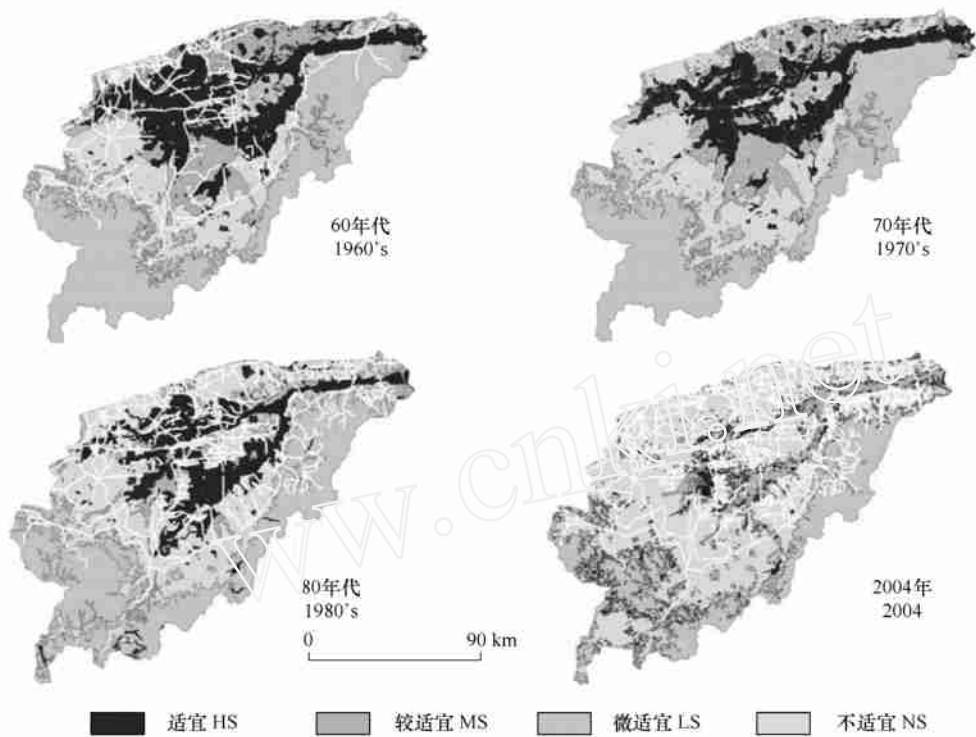


图 2 挠力河流域东方白鹤繁殖生境适宜性 (HSI) 评价图

Fig. 2 Evaluation of breeding habitat suitability for Oriental White Stork in Naoli River Watershed

表 3 显示了东方白鹤繁殖生境质量变化过程。从表中 HSI1 和最小繁殖生境面积(面积大于 3.2km^2) 数据反映,40a 来东方白鹤条件适宜生境面积减少了 95 %,满足最小繁殖生境面积减少了 97 %。其中 20 世纪 80 年代以前变化速度较小,适宜生境面积减少了 13 %,最小繁殖生境面积减少了 21 %。而 80 年代以后,变化速度迅速增加,适宜生境面积减少了 94 %,满足最小繁殖面积减少了 97 %。较适宜生境面积也呈减少趋势,但规模和速度小于适宜生境变化,减小速度在 55 %左右,80 年代以后略有增加。而不适应生境面积呈持续增加趋势。增长幅度在 60 %~93 %之间。可见 80 年代以后的经济发展使东方白鹤适宜生境面积迅速萎缩减小,这对该物种种群栖息繁殖必然带来巨大威胁。

2.3 东方白鹤生境破碎化效应

东方白鹤生境破碎化影响不但表现为生境面积的迅速减少导致的生境丧失,而且还表现为残留生境斑块之间距离不断增加,以及破碎化最小景观生境残片数量不断增加。其中生境丧失是直接造成东方白鹤种群数量变化的主要原因。从表 3 中 HSI 数据显示,40a 来,东方白鹤适宜生境面积已完全丧失,较适宜生境面积减少了 68 %,而不适宜生境面积增加了 14 倍。丧失的生境中,岛状林湿地的丧失给东方白鹤的繁殖带来巨大威胁。因为岛状林湿地是东方白鹤的筑巢区域。20 世纪 80 年代如果不考虑岛状林湿地对东方白鹤的繁殖生境影响,可以满足 300 多对繁殖需求,但考虑岛状林湿地丧失对东方白鹤的影响,能够满足东方白鹤筑巢条件的岛状林湿地斑块数量仅为 25 处,因此仅能维持 9 对东方白鹤的繁殖,这也是理想状态的数字。到 2004 年,东方白鹤繁殖生境由于缺乏岛状林湿地而完全丧失,但如果在湿地周围恢复岛状林湿地,还可维持 100 多对东方白鹤的繁殖。

生境破碎化主要是通过影响其生存空间而影响种群数量和种群的灭绝。当破碎化的景观生境残片面积小于水禽所需的最小巢穴区域领域面积时则不能维持其种群的长期生存。所以,象东方白鹤这样要求较大空

间生境的物种,在破碎化的景观中由于找不到合适的栖息地和较大的活动空间而面临着更大的外界干扰压力,最易受到破碎化的影响。从表 3 HSI 与 $HSI1$ 的比值发现,20 世纪 60 年代,繁殖生境适宜面积占生境适宜性面积的 90 %以上,生境处于连续完整状态。岛状林、泡沼湿地星罗棋布,周围被沼泽湿地所包围,可利用的最佳生境面积很大;20 世纪 70 年代,由于人类土地利用影响,有些岛状林湿地从沼泽湿地中隔离出来,不能满足东方白鹳繁殖的筑巢需求。因此,最佳繁殖生境面积仅占 37 %,20 世纪 80 年代以后, $HSI/HSI1$ 的比值迅速下降为 3 %以下,因为不适宜东方白鹳繁殖需求的小斑块数量不断增加,不能满足最佳繁殖生境需求面积的斑块数从 244 块增加到 643 块。到目前,挠力河流域能够维持东方白鹳繁殖生境需求的湿地生境已不复存在。

表 3 挠力河流域东方白鹳繁殖生境适宜性及其破碎化效应

Table 3 Breeding habitat Suitability and fragmentation effects for Oriental White Stork in Naoli River Watershed						
年代 Year	适宜生境分级 Suitable classification	面积/斑块数 (Area/patch) (km ² /个)			HSI	生境承载能力 繁殖对 Breeding pair
		$HSI1$	道路影响 Road effect	最小繁殖生境面积 The smallest breeding area		
60 年代 1960 's	适宜 High suitable	4313.888/384	382.014/258	4148.536/52	4003.79/26	416
	较适宜 Middle suitable	2915.025/95	277.839/121	2524.016/59	2373.86/30	247
	微适宜 Low suitable	9043.218/157	335.350/112	8544.106/55	8365.19/24	0
	不适宜 None suitable	5991.352/23	5244.581/165	746.769/80	518.432/74	0
70 年代 1970 's	适宜 High suitable	4061.532/461	349.395/355	3582.511/21	1497.65/15	156
	较适宜 Middle suitable	2770.213/107	338.905/130	2313.506/64	4067.63/38	423
	微适宜 Low suitable	8961.465/174	546.581/161	8245.464/65	8083.19/37	0
	不适宜 None suitable	6837.223/29	1014.946/102	5726.543/100	5539.17/67	0
80 年代 1980 's	适宜 High suitable	3775.271/269	408.998/301	3267.852/63	95.945/25	9
	较适宜 Middle suitable	1200.842/67	151.311/95	982.387/57	3829.975/30	398
	微适宜 Low suitable	7740.52/182	440.063/151	7164.884/50	7043.02/30	0
	不适宜 None suitable	9913.799/171	1959.563/215	7658.966/167	7285.11/105	0
2004	适宜 High suitable	215.987/643	40.703/330	111.395/5	0/0	0
	较适宜 Middle suitable	1321.655/512	105.337/298	1149.779/18	1217.43/16	126
	微适宜 Low suitable	6213.375/2918	451.161/1049	5269.239/73	4732.94/31	0
	不适宜 None suitable	14879.415/702	3452.522/403	11062.471/174	10695.26/105	0

道路也是生境破碎化的影响因素,道路对东方白鹳生境的影响面积逐渐增加,破碎化的斑块数量较多。20 世纪 80 年代之后,道路对适宜生境的影响面积扩大了 24 倍。20 世纪 50 年代初,由于人类活动远离东方白鹳生境区域,道路对其繁殖生境面积的影响甚微;20 世纪 60 年代以后,大规模农业开发活动使耕地面积不断扩大,人口不断增加,对东方白鹳生境的干扰不断加强,60 ~ 70 年代期间,修建的道路对东方白鹳生境的影响占最佳适宜生境面积的 9 %左右,到 80 年代增加到 11 %,2004 年为 19 %。

东方白鹳生境面积大量丧失,生境日趋破碎化,适宜生境面积不断减少,残留生境斑块之间的距离不断增加,以及其赖以生存的隐蔽物、食物条件、水条件和干扰条件的不断改变,这些要素综合作用,都对东方白鹳种群动态变化产生巨大影响。东方白鹳适宜生境承载能力由 20 世纪 60 年代 416 对降为 0;较适宜生境承载能力由 247 对降为 126 对,说明目前东方白鹳的潜在繁殖生境还是存在的,但必须适当恢复适宜生境需求条件。这里计算的数值只能代表理想状态,因为生境需求条件进行了人为假设,如假设沼泽湿地为食物丰富区域,实际上有些湿地由于污染,鱼类捕获等活动已不能满足食物需求。该结果与过去航空调查的结果相似,说明模型的应用性较强^[22]。

3 结语

本研究利用 HSI 模型,对三江平原挠力河流域典型水禽东方白鹳生境质量变化进行了定量评价。结果显示,挠力河流域东方白鹳生境质量处于严重下降趋势。这主要是由于东方白鹳适宜生境类型面积不断丧失和破碎化的结果,尤其是筑巢区域岛状林湿地景观的大量丧失和地理隔离影响更大。该区东方白鹳生境质量下降和破碎化的直接效应是使种群数量急剧下降。40a 来,东方白鹳适宜生境面积已完全丧失,较适宜生境面积减少了 68 %。尤其 20 世纪 80 年代以后,适宜生境的大量丧失和破碎化是导致东方白鹳繁殖种群灭绝

的主要原因。目前, 东方白鹤繁殖种群已经消失, 但潜在的生境质量依然存在, 说明该区依然具有恢复一定数量东方白鹤种群的能力。这也是近几年对东方白鹤进行人工招引不断取得成功的重要原因之一。

影响东方白鹤生境质量变化的因素很多, 为了实现模型量化分析, 本文仅考虑主要或关键性因素, 没有细致考虑诸如水位深度变化和水质变化的影响, 后续工作可以弥补该方面不足之处。但事实证明, 生境质量模型方法研究结果与实际观测记录吻合较好, 证明了研究方法的科学合理性和可操作性, 也弥补了单纯野外调查的缺欠, 更利于对景观尺度的物种保护和生境结构变化规律的科学认识。

References:

- [1] Westman E O, Pearl M C. Conservation for the 21st century. New York: Oxford University Press, 1989.
- [2] Naveh Z. Interactions of landscape and cultures. Landscape and Urban Planning, 1995, 32: 43 ~ 54.
- [3] McGarigal K, Marks B J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA Forest Service General Technical Report PNW. GTR. 351, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, USA, 1995.
- [4] Liu H Y, Zhang S K, Li Z F, et al. Impacts on wetlands of large-scale land-use changes by agricultural development: the Small Sanjiang Plain, China. AMBIO, 2004, 33(6): 306 ~ 310.
- [5] Ernoul A, Bureau F, Poudevigne I. Patterns of organization in changing landscapes: implications for the management of biodiversity. Landscape Ecology, 2003, 18: 239 ~ 251.
- [6] Liu H Y, Lu X G, Zhang S K. Landscape biodiversity of wetlands and their changes in 50 years in watersheds of the Sanjiang Plain. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1472 ~ 1479.
- [7] Liu H Y, Yang Q, Li Z F, et al. Progress on the impacts of wetland landscape change on waterfowl habitats. Wetland Science, 2003, 1(2): 115 ~ 121.
- [8] 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.
- [9] Cousins S A O, Lavorel S, Davies I. Modeling the effects of landscape pattern and grazing regimes on the persistence of plant species with high conservation value in grasslands in south-eastern Sweden. Landscape Ecology, 2003, 18: 315 ~ 332.
- [10] Mennechez G, Schtickzelle N, Baguette M. Metapopulation dynamics of the bog fritillary butterfly: comparison of demographic parameters and dispersal between a continuous and a highly fragmented landscape. Landscape Ecology, 2003, 18: 279 ~ 291.
- [11] Harbin Li, David I, Gartner, Pu Mou, Carl C. Trettin. A landscape model (LEEMATH) to evaluate effects of management impacts on timber and wildlife habitat. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 27: 263 ~ 292.
- [12] Black H Jr, Thomas J W. Forest and range wildlife habitat management: Ecological Principles and management system. In: R. M. Degraaf (Tech Coord) Proceedings of the workshop on nongame bird habitat management in the coniferous forests of the western United States. U. S. D. A. For. Serv., Gen. Tech Rep PNW-64. Portland, Oregon, 1978. 100 ~ 128.
- [13] Whitfield D P, McLeod D R A, Fielding A H, et al. The effects of forestry on golden eagles on the island of Mull, western Scotland. Journal of Applied Ecology, 2002, 38(6): 1208 ~ 1220.
- [14] Intermountain Aquatics INC 2002. Environmental Conserving and Habitat Restoration. <http://www. Intermountainaquatics.com>
- [15] Liu H Y, Lu X G, Zhang S K, et al. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of the Sanjiang Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(2): 289 ~ 295.
- [16] Liu H Y, Zhang S K, Lu X G. Processes of wetland landscape changes in Naoli River Basin Since 1980s. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6): 698 ~ 705.
- [17] Hu Y M, Bu R C, Li T S, et al. Habitat behavior fragmentation on wild animals. See: Xiao Duning. Progress on Landscape Ecology. Changsha: Hunan Science Technique Press, 1999: 173 ~ 175.
- [18] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z. landscape ecology in Deltaic wetland around Bohai Sea. Beijing: Science Press, 2001. 77 ~ 113.
- [19] Su L Y. Comparative feeding ecology of the red-crowned and white-naped cranes. M. A. thesis. University of Missouri, Columbia, Missouri, 1993. 132 ~ 156.
- [20] Blair Csuti, A. Ross Kester, Hierchical gap analysis for identifying priority areas for biodiversity. In: J Michael Scott, et al. Gap Analysis — a landscape approach to Biodiversity Planning, 1996, 23 ~ 58.
- [21] Sergei M, Smirenskii. Oriental White Stork Action Plan in the USSR. In: Biology and Conservation of the Oriental white stork Ciconia boyciana. South Carolina, U. S. A., 1991. 165 ~ 177.
- [22] Li X M. Wild animal resources and their changes. In: Liu X T, Ma X H. The Natural Environmental changes and their conservation in the Sanjiang Plain. Beijing: Science Press, 2002: 232 ~ 234.

参考文献:

- [6] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其 50 年变化研究. 生态学报, 2004, 24(7): 1472 ~ 1479.
- [7] 刘红玉, 杨青, 李兆富, 等. 湿地景观变化对水禽生境影响研究的进展. 湿地科学, 2003, 1(2): 115 ~ 121.
- [8] 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.
- [15] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 杨青. 三江平原 50 年来湿地景观破碎化过程研究. 应用生态学报, 2005, 16(2): 289 ~ 296.
- [16] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 20 世纪 80 年代以来挠力河流域湿地景观变化过程研究. 自然资源学报, 2002, 17(6): 698 ~ 705.
- [17] 胡远满, 布仁仓, 李团胜, 肖笃宁. 野生动物生境的行为性破碎化研究. 肖笃宁: 景观生态学研究进展. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999: 173 ~ 175.
- [18] 肖笃宁, 胡远满, 李秀珍, 等. 环渤海三角洲湿地的景观生态学研究. 北京: 科学出版社, 2001. 77 ~ 113.
- [22] 李晓民. 野生动物资源及其变化. 见: 刘兴士, 马学慧. 三江平原自然环境变化与生态保育. 北京: 科学出版社, 2002. 232 ~ 234.