

基于 GIS、RS 的盐城国家级珍禽自然保护区 丹顶鹤生态安全研究

吴海杰

(江苏省环境工程咨询中心, 江苏 南京 210036)

[摘要] 丹顶鹤的生态安全是指丹顶鹤所处的生态系统能够维持丹顶鹤种群持续生存的需求和条件, 其中关键是丹顶鹤生境的安全. 丹顶鹤生境安全从根本上取决于生境的适宜性和人为对生境的干扰程度. 本文从丹顶鹤生境安全和人为干扰程度两方面对丹顶鹤生态安全进行评价, 采用指标体系法, 利用 arcgis9, 通过赋值、计算对盐城自然保护区 2005 年丹顶鹤生态安全和套河口以南 1992 ~ 2005 年丹顶鹤生态安全变化态势进行评价. 结果表明: 2005 年研究区总体上是适宜丹顶鹤栖息的, 区内安全状态的面积占 15.96%, 较安全状态的面积最大, 占 64.78%; 研究区内套河口以南 1992 ~ 2005 年生态安全等级的变化格局以严重危险、危险和预警等级面积的显著增加, 较安全等级面积大幅度缩减, 安全等级面积略有减少为基本特征. 套河口以南 1992 ~ 2005 年丹顶鹤生态安全动态变化态势的基本状况是: 有近一半面积处于变化甚微的状态, 有 35.6% 的地域呈现不同强度的恶化态势, 12.85% 的区域有所改善, 2.84% 的区域有较大改善.

[关键词] 丹顶鹤, 自然保护区, 生态安全, 盐城

[中图分类号] P94 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2013)03-0081-08

GIS, RS Based Study on Ecological Security of Red-Crowned Cranes in Yancheng National Rare Bird Nature Reserve

Wu Haijie

(Jiangsu Environment Engineering Consulting Center, Nanjing 210036, China)

Abstract: Ecological Security of red-crowned crane refers to the Ecological Security where red-crowned cranes inhabit can maintain the living conditions of red-crowned cranes, and importantly, security of red-crowned cranes is the key point. Fundamentally, ecological security of red-crowned cranes depends on ecological suitability and human interference with ecology. Thus, the author evaluates the ecological security of red-crowned cranes from the two factors mentioned above, and applies index system, arcgis 9, evaluation and computation to assess red-crowned cranes' ecological security (2005) in Yancheng Nature Reserve and the variation state (1992 ~ 2005) of red-crowned cranes' ecological security in southern Hatao Estuary. Findings are the following: in 2005, as a whole, researching area was suitable for red-crowned cranes, security-area held 15.96%, less-security-area possessed 64.78%; in southern Hatao Estuary, from 1992 to 2005, grading variation of ecological security showed that critical-dangerous-area, dangerous-area and early-warning-area expanded greatly, less-security-area shrank amazingly, and security-area decreased a little bit. Besides, dynamic variation of ecological security indicates that almost half of research area is stable, 35.6% shows different-intensity of worsen state, 12.85% changes for the better and 2.84% improves a lot.

Key words: red-crowned cranes, nature reserve, ecological security, Yancheng

江苏盐城国家级珍禽自然保护区是我国第一个也是最大的海岸带湿地类型的保护区, 其主要保护对象为丹顶鹤 (*Grus japonensis*) 等珍稀鸟类和潮滩 (tidal flat) 湿地. 丹顶鹤为东亚特有种、国家一级保护动物, 也是最受国人喜爱的一种鹤, 有学者推荐它作为国鸟^[1]. 丹顶鹤是涉禽, 主要在湿地生活, 目前全球野

收稿日期: 2013-03-29.

通讯联系人: 吴海杰, 高级工程师, 研究方向: 环境规划管理. E-mail: haijiewu@126.com

生个体共约 2 700 只,中国有 1 500 多只,自从 1983 年盐城自然保护区成立以来,丹顶鹤数量逐渐上升,近几年在 800 ~ 1 100 只范围内波动. 1999 ~ 2000 年越冬期鹤群数量达 1 128 只,是该保护区成立迄今最多的一年^[2]. 江苏全省约有滩涂 6 524 km²,其中盐城有 3 293 km²,是江苏面积最大的后备土地资源^[3]. 人类对盐城滩涂的不断围垦开发,加剧了自然生境的破碎化,威胁到丹顶鹤的生存. 因此,研究该区域丹顶鹤的生态安全很有必要.

丹顶鹤的生态安全是指丹顶鹤所处的生态系统能够维持丹顶鹤种群持续生存的需求和条件. 生境是指生物生存环境,由生物与非生物环境(物理环境)构成^[4]. 丹顶鹤的生态安全从根本上取决于丹顶鹤生境的安全,包括生境适宜性和人为对生境的干扰程度. 因此丹顶鹤的生态安全可以解释为受到人类干扰后所能保持的丹顶鹤生境的生态适宜性. 对鸟类生境生态适宜性和人为干扰的研究是近年来研究的热点,国内外很多学者分别从繁殖和觅食生境条件^[5~14]、气候变化^[15~17]、城市化^[18~21]、自然灾害^[22~23]、人为活动对鸟类的影响^[24~28]等多方面开展了调查研究. 但目前此类研究较为分散,主要集中在单个或几个生态适宜因素或人为干扰因素上,综合生境生态适宜性和人为干扰因素两方面因素对鸟类进行生态安全研究的成果还很少.

1 研究区概况

如图 1 所示,江苏盐城沿海湿地珍禽国家级自然保护区位于江苏省盐城市境内的沿海地带,地跨东台、大丰、射阳、滨海和响水五县(市);地理坐标为:北纬 32°36′50″ ~ 34°32′24″,东经 119°47′35″ ~ 121°05′10″.

2 研究方法

2.1 评价指标、评价方法和评价标准

丹顶鹤安全评价包括对丹顶鹤生境的生态适宜性分析和人为干扰程度分析. 前者考虑维持丹顶鹤可持续生存的生境条件及其适宜程度;后者考虑对丹顶鹤生态适宜性造成干扰、破坏的因素及其影响强度.

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^[29]. 物种生境的生态适宜性因素主要包括物理环境因素和生物环境因素两种^[30]. 前者包括气候、地形、地质和海拔等;后者包括植被覆盖、适宜建巢植被、食物获取、栖息生境稳定性、天敌和物种竞争等. 在盐城珍禽保护区生态系统尺度内,影响丹顶鹤生境的物理环境因素相当长时间内保持稳定,因此生物环境的变动是影响丹顶鹤生境生态适宜性的主要因素. 由于没有天敌存在,生物环境因素的选择主要通过调查、分析丹顶鹤在保护区的生态习性,结合相关文献资料,选取植被和土地利用类型及水质作为评价指标.

人为对丹顶鹤生境产生干扰主要来自人类活动及其产生的噪音影响,干扰程度的大小取决于人为活动强度和噪声强度等,选取距离道路和建筑物的距离来表示人为干扰的强度.

丹顶鹤生态安全评价各指标评价标准如表 1 所示.

表 1 丹顶鹤生态安全评价各指标评价标准

Table 1 Evaluation criterion of red-crowned cranes ecological security

生态安全等级	安全	较安全	预警	危险	严重危险
植被类型	芦苇、盐蒿、盐田	大米草、农田、养殖塘	滩涂	林业用地	城镇用地
水质(类别)	I	II	III	IV	V
距建设用地的距离/m	>5 000	1 000 ~ 5 000	400 ~ 1 000	200 ~ 400	<200
距道路的距离/m	>1 000	500 ~ 1 000	200 ~ 500	100 ~ 200	<100

根据表 1 的评价标准,对丹顶鹤生态安全评价指标进行赋值,按照下列公式进行计算和评价:



图 1 地理位置图

Fig.1 Location map

$$S = \sum (S_i \times W_i), \tag{1}$$

其中, S 表示丹顶鹤生态安全度, S_i 为各评价指标值, W_i 为各指标权重. 各指标权重通过专家评分获得: 植被类型权重为 0.4, 水质权重 0.2, 距道路距离权重 0.1, 距建设用地距离权重 0.3.

本次评价把丹顶鹤保护区生态安全也划分为 5 个等级, 分别为严重危险、危险、预警、较安全和安全. 各等级的状态特征如表 2 所示, 据此可以对保护区丹顶鹤生态安全状况进行综合判别.

表 2 丹顶鹤生态安全度划分

Table 2 The ecological security degree of the red-crowned crane

生态安全度	生态安全等级	状态特征	颜色识别
0~0.2	严重危险	人类活动剧烈, 生境严重破坏, 完全不适宜丹顶鹤栖息	红
0.2~0.4	危险	人类活动强度较大, 生境破坏较大, 生态系统服务功能严重退化, 基本没有丹顶鹤栖息	橙
0.4~0.6	预警	有一定的人类活动, 生境遭到一定破坏, 偶尔有丹顶鹤栖息	黄
0.6~0.8	较安全	人类活动很少, 比较适宜丹顶鹤的栖息	绿
0.8~1	安全	很适宜丹顶鹤栖息	蓝

2.2 评价单元和数据处理

(1) 数据来源

1992 年遥感数据采用 ETM 遥感影像, 景号 136/47 (1992 年 6 月 7 日), 投影方式采用高斯-克吕格投影.

2005 年遥感数据采用印度资源卫星 IRS-P6 数据, 景号 136/46 (2005 年 5 月 3 日)、136/47 (2005 年 4 月 14 日), 数据来源为中国卫星遥感地面站. 投影方式采用高斯-克吕格投影.

(2) 评价单元

2005 年印度资源卫星遥感影像分辨率为 24×24 m, 1992 年 ETM 遥感影像分辨率为 28×28 m, 在丹顶鹤生态安全评价研究中, 选取 1992 年 ETM 遥感影像相应的分辨率 (28×28 m) 栅格作为基本评价分析单元.

(3) 数据处理

数据预处理主要是对遥感数据进行解译, 解译采用 env4.2 软件进行处理, 遥感影像经过增强处理后, 进行标准假彩色合成, 各波段对应的颜色分别为: RED—4, GREEN—3, BLUE—2. 采用监督分类和外业调查相结合的方式数据进行数据解译.

数据处理采用 ARC/INFO9.2 工作平台, 插值采用反距离插值法 (IDW).

3 研究结果和分析

3.1 2005 年保护区丹顶鹤生态安全状况评价结果与分析

3.1.1 2005 年保护区丹顶鹤生态安全状况评价结果

2005 年保护区丹顶鹤生态安全状况评价结果如图 2 所示.

3.1.2 2005 年保护区丹顶鹤生态安全状况分析

(1) 2005 年丹顶鹤生态安全总体状况如表 3 所示.

表 3 2005 年丹顶鹤生态安全评价各安全等级面积统计

Table 3 The area of each degree in 2005

等级	面积/km ²	比例/%
0~0.2 (红, 严重危险)	11.69	0.51
0.2~0.4 (橙, 危险)	95.87	4.21
0.4~0.6 (黄, 预警)	331.21	14.53
0.6~0.8 (绿, 较安全)	1 476.55	64.78
0.8~1 (蓝, 安全)	363.85	15.96
合计	2 279.18	100.00

从表 3 可以看出, 保护区目前还是比较适宜丹顶鹤栖息的. 较安全级别所占面积最大, 有 1 476.55 km², 占 64.78%; 安全级别区域也有 363.85 km², 占 15.96%; 严重危险和危险级别区域仅有 107.56 km²,

占 4.72%。从 2005 年丹顶鹤的分布来看,安全级别地区是丹顶鹤主要的越冬地,包括灌东盐场、射阳河到大丰港之间的区域。

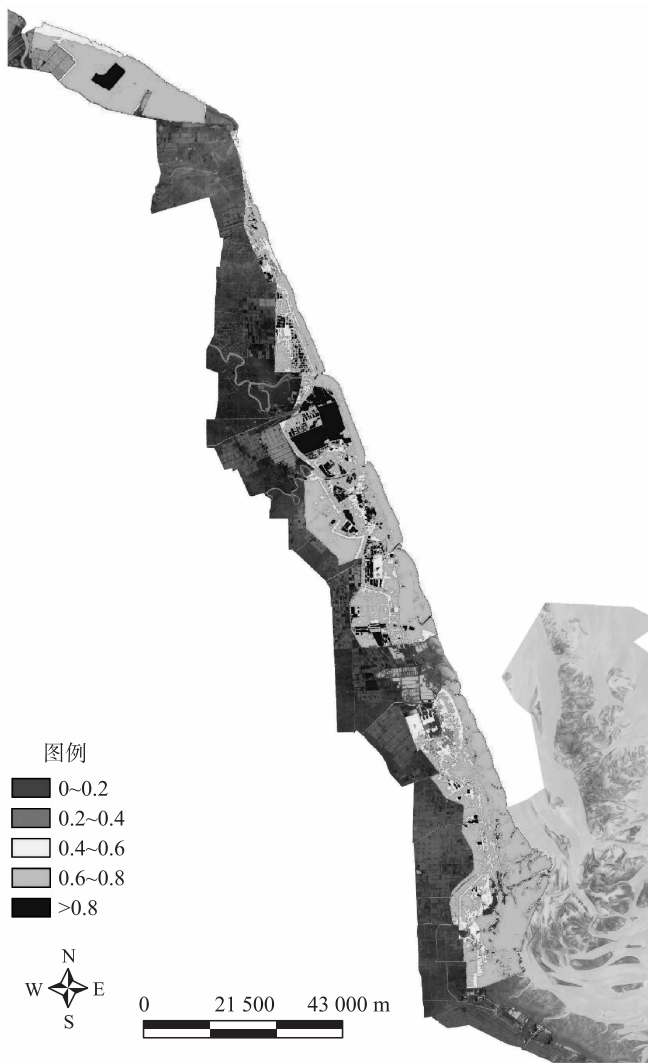


图 2 盐城沿海湿地珍禽自然保护区丹顶鹤生态安全评价结果
Fig.2 The figure of the red-crowned crane ecological security

(2)2005 年各县市丹顶鹤生态安全状况

表 4 2005 年各县市丹顶鹤生态安全等级面积统计
Table 4 The ecological security area of each county in 2005

等级	响水段		滨海段		射阳段		大丰段		东台段	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
0~0.2(红)	0	0	0	0	0.001	0	9.81	1.30	1.89	0.34
0.2~0.4(橙)	0	0	0.86	0.78	24.03	3.97	51.34	6.81	19.63	3.54
0.4~0.6(黄)	33.46	13.18	8.72	7.90	93.28	15.40	136.71	18.14	58.99	10.63
0.6~0.8(绿)	185.52	73.05	100.85	91.33	335.21	55.34	485.76	64.44	464.34	83.66
0.8~1(蓝)	34.99	13.78	0	0	153.22	25.29	70.17	9.31	10.16	1.83
所有等级合计	253.97	100	110.43	100	605.75	100	753.79	100	555.01	100

从各县市丹顶鹤生态安全状况来看,射阳段理想状态区域所占比例最大,达 25.29%,该区域丹顶鹤分布也最多;滨海段没有理想状态区域分布,该区域近年来已经没有丹顶鹤分布;东台段理想状态区域也极少,仅有 10.16 km²,占该段总面积的 1.83%;响水段和大丰段理想状态面积居中,分别为 34.99 km² 和 70.17 km²,所占比例分别为 13.78% 和 9.31%。2005 年各县市恶劣状态区域很少,最多的大丰段也仅有 9.82 km²,响水段和滨海段没有,射阳段也基本没有。

3.2 1992 ~ 2005 年保护区典型区域丹顶鹤生态安全强度变化

3.2.1 1992 ~ 2005 年保护区典型区域丹顶鹤生态安全等级空间格局

选取从畜套河口开始往南的保护区范围作为典型区进行了动态研究. 该典型区域包括了保护区的全部的核心区和缓冲区以及一部分的实验区. 从行政区划来看, 该典型区域包括了射阳段大部分、大丰段和东台段全部. 利用 2.1 节所述的评价方法, 以 28×28 m 的栅格为单元, 对 1992 ~ 2005 年期间丹顶鹤生态安全状况的动态变化进行了评价和分析.

从表 5 可以看出, 1992 ~ 2005 年总体上红、橙、黄色区域都有显著增加, 绿色区域大幅减小, 蓝色区域略有减小. 红色从 1992 年的 0.066 km², 占总面积的 0.005% 到 2005 年面积已扩大到 8.285 km²; 橙色区域从 1992 年的占 0.414% 扩大到 2005 年的 4.872%; 黄色区域面积增加的最多, 2005 年比 1992 年增加了 125.763 km². 减少最多的是绿色区域, 13 年间减少了 167.917 km², 蓝色区域变化不大, 略有减少.

表 5 1992 ~ 2005 年丹顶鹤生态安全各等级面积变化
Table 5 The ecological security area change in 1992 ~ 2005

等级	1992		2005	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
0 ~ 0.2 (红)	0.066	0.005	8.285	0.614
0.2 ~ 0.4 (橙)	5.581	0.414	65.703	4.872
0.4 ~ 0.6 (黄)	78.184	5.80	203.947	15.122
0.6 ~ 0.8 (绿)	1 073.422	79.590	905.505	67.139
0.8 ~ 1 (蓝)	191.441	14.195	165.253	12.253
合计	1 348.693	100	1 348.693	100

从各安全等级分布来看, 蓝色区域面积变化不大, 核心区和芦苇基地仍是最适宜丹顶鹤栖息的区域, 这与保护区核心区的保护与管理有关. 但随着人类活动的加强, 包括出现大量的养殖塘、道路、居民点的修建, 使得适宜丹顶鹤栖息的蓝色区域破碎化现象严重.

3.2.2 1992 ~ 2005 年保护区典型区域丹顶鹤生态安全变化态势与强度

把典型区 1992 年丹顶鹤生态安全度减去 2005 年丹顶鹤生态安全度, 其差值可以反映此期间生态安全变化的态势和强度. 根据极差大小, 将安全度差值处于 -0.05 ~ 0.05 的情况定义为“基本不变”, 负值定义为安全状况改善, 正值定义为安全状况恶化, 均分别划分为两个等级, 这样一共采用 5 个等级来描述这 14 年间的丹顶鹤生态安全状况的变化态势和强度. 具体的等级标准以及实际变化强度的分布情况如表 6 所示, 变化态势与强度的空间分布状况见图 3.

表 6 1992 ~ 2005 年典型研究区丹顶鹤生态安全度变化等级及其分布情况

Table 6 The ecological security degree change of representative region in 1992 ~ 2005

安全度变化等级	射阳段 (大部分)		大丰段		东台段		合计	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
<-0.15 (较大改善)	26.10	4.72	20.75	2.75	6.11	1.10	52.95	2.84
-0.15 ~ -0.05 (有所改善)	101.19	18.30	109.08	14.47	28.92	5.21	239.20	12.85
-0.05 ~ 0.05 (基本不变)	247.95	44.84	336.30	44.62	322.54	58.11	906.79	48.71
0.05 ~ 0.15 (有所恶化)	72.33	13.08	124.18	16.48	146.56	26.40	343.07	18.43
>0.15 (严重恶化)	105.35	19.05	163.43	21.68	50.93	9.18	319.71	17.17
合计	552.92	100	753.74	100	555.06	100	1 861.72	100

从总体上来看, 1992 ~ 2005 年典型研究区内丹顶鹤生态安全状况有近一半面积处于基本不变或变化甚微的态势, 有 35.6% 的地方呈现不同强度的恶化态势, 有 12.85% 的区域有所改善, 只有 2.84% 的区域有较大改善. 从各县市状况来看, 射阳段有较大改善的面积和比例都最大, 面积达 26.10 km², 占 4.72%; 大丰段有较大改善的面积也有 20.75 km²; 东台段有较大改善的面积仅有 6.11 km². 大丰段严重恶化的区域达 163.43 km², 占该段总面积的 21.68%; 射阳段严重恶化的区域也有 105.35 km²; 东台段严重恶化面积相对较小, 为 50.93 km².

射阳段和大丰段有部分区域丹顶鹤生态安全状况有较大改善, 主要是由于盐城沿海湿地珍禽自然保护区和大丰麋鹿自然保护区的建立, 对保护和改善当地的生态环境起到了很大的作用. 但随着保护区周边各县市沿海开发力度的加大, 丹顶鹤生态安全状况恶化的区域也急剧增加, 最少的射阳段也超过了 30%, 大丰段和东台段都超过了 35%, 主要是适合丹顶鹤栖息的自然生境遭到了破坏, 被改造成了不适宜丹顶鹤栖息的人工生境, 如居住用地、城镇用地等.

从丹顶鹤分布变化来看, 东台段近年来已鲜有丹顶鹤出现, 而该段也是丹顶鹤生态安全度恶化最严重

的区域,有 17.17% 的区域严重恶化,18.43% 的有所恶化.对比该区域的景观格局变化可以看出,从 1992 年到 2005 年,东台段草地(包括米草和碱蓬)基本完全消失,大都被改造成了旱地,使得适宜丹顶鹤的生境消失,该区域丹顶鹤生态安全度急剧恶化.由于东台段丹顶鹤生境遭到破坏,使得丹顶鹤被迫寻找适宜的生境,从景观格局中可以看出,虽然射阳段适宜丹顶鹤的自然生境也遭到一定的破坏,但由于保护区的管理和建设,核心区相对保护较好,使得丹顶鹤日益向核心区集中.

4 结语

丹顶鹤的生态安全是指丹顶鹤所处的生态系统能够维持丹顶鹤种群持续生存的需求和条件,它从根本上取决于丹顶鹤的生境安全.本文通过对丹顶鹤在盐城自然保护区生态习性的调查研究,参考相关文献资料,结合地理信息分析技术对丹顶鹤生境的生态适宜性和人为干扰程度进行分别评价,前者考虑维持丹顶鹤可持续生存的生境条件及其适宜程度;后者考虑对丹顶鹤生境生态适宜性造成干扰、破坏的因素及其影响强度,对盐城自然保护区丹顶鹤的生态安全进行综合评价.

2005 年的丹顶鹤生态安全评价结果表明,研究区目前总体上是适宜丹顶鹤栖息的.区内处于较安全状态的地域所占面积最大,有 1 476.55 km²,占 64.78%;处于安全状态的面积其次,有 363.85 km²,占 15.96%;处于预警状态的面积占 14.53%,处于危险状态和严重危险状态的面积合计仅占 4.72%.

研究区内套河口以南 1992~2005 年生态安全等级的变化格局以严重危险、危险和预警等级面积的显著增加,较安全等级面积大幅度缩减,安全等级面积略有减少为基本特征.其中,严重危险等级的面积 14 年间扩大了约 123 倍,所占比率从 0.005% 上升到了 0.614%;危险等级的面积扩大了约 11 倍,预警等级所占的面积扩大了近 2 倍.套河口以南 1992~2005 年丹顶鹤生态安全动态变化态势的基本状况是:有近一半面积处于变化甚微的状态,有 35.6% 的地域呈现不同强度的恶化态势,12.85% 的区域有所改善,2.84% 的区域有较大改善.



图 3 1992 年~2005 年典型研究区丹顶鹤生态安全变化态势和强度的空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of ecological security change in 1992~2005

[参考文献](References)

[1] 马逸清,杨广涛.关于国鸟的建议[J].野生动物,2004,25(2):8-9.
Ma Yiqing, Yang Guangtao. Advice on the national bird[J]. Chinese Wildlife, 2004, 25(2): 8-9. (in Chinese)

[2] 吕士成.盐城沿海丹顶鹤种群动态与湿地环境变迁的关系[J].南京师大学报:自然科学版,2009,32(4):89-93.
Lü Shicheng. Relationship between the population dynamics of the wintering Red-crowned Crane in natural reserve for rare birds in beach region and wetland environment variance of Yancheng[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2009, 32(4): 89-93. (in Chinese)

[3] 陈君,陆丽云.江苏沿海滩涂后备土地资源开发研究[J].海洋科学,2001,25(10):23-25.
Chen Jun, Lu Liyun. Inning status and the resource sustainable using discuss of the tidal flat in Jiangsu[J]. Marine Sciences, 2001, 25(10): 23-25. (in Chinese)

[4] 欧阳志云,刘建国,肖寒,等.卧龙自然保护区大熊猫生境评价[J].生态学报,2001,21(11):1 869-1 874.

- Ouyang Zhiyun, Liu Jianguo, Xiao Han. An assessment of giant panda habitat in Wolong Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11): 1 869–1 874. (in Chinese)
- [5] 陈水华, 丁平, 郑光美, 等. 岛屿栖息地鸟类群落的丰富度及其影响因子[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 141–149.
Chen Shuihua, Ding Ping, Zheng Guangmei. The richness of island habitat avian communities and their influencing factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2): 141–149. (in Chinese)
- [6] Dimalexis A, Pyrovetsi M, Sgardelis S. Foraging ecology of the Grey Heron (*Ardea cinerea*), Great Egret (*Ardea alba*) and Little Egret (*Egretta garzetta*) in response to habitat, at 2 Greek wetlands[J]. Colonial Waterbirds, 1997, 20(2): 261–272.
- [7] Baxter G S, Fairweather P G. Does available foraging area, location or colony character control the size of multispecies egret colonies? [J]. Wildlife Research, 1998, 25(1): 23–32.
- [8] Smith J P. Nesting season food habits of 4 species of herons and egrets at Lake Okeechobee, Florida[J]. Colonial Waterbirds, 1997, 20(2): 198–220.
- [9] Wong L C, Corlett R T, Young L, et al. Comparative feeding ecology of Little Egrets on intertidal mudflats in Hong Kong, South China[J]. Waterbirds, 2000, 23(2): 214–225.
- [10] Baldi A, Kisbenedek T. Factors influencing the occurrence of Great White Egret (*Egretta alba*), Mallard (*Anas platyrhynchos*), Marsh Harrier (*Circus aeruginosus*), and Coot (*Fulica atra*) in the reed archipelago of Lake Velence, Hungary[J]. Ekologia-bratislava, 1998, 17(4): 384–390.
- [11] Custer C M, Suarez S A, Olsen D A. Feeding habitat characteristics of the Great Blue Heron and Great Egret nesting along the Upper Mississippi River, 1995–1998[J]. Waterbirds, 2004, 27(4): 454–468.
- [12] Lombardini K, Bennetts R E, Tourenq C. Foraging success and foraging habitat use by Cattle Egrets and Little Egrets in the Camargue, France[J]. Condor, 2001, 103(1): 38–44.
- [13] Hilaluddin, Shah J N, Shawl T A. Nest site selection and breeding success by Cattle Egret and Little Egret in Amroha, Uttar Pradesh, India[J]. Waterbirds, 2003, 26(4): 444–448.
- [14] 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[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2001, 33(3): 91–95.
Sheng Lianxi, He Chunguang, Zhao Jun, et al. Analysis of effect of wetland ecological environment change in Xianghai nature reserve on number and distribution of Red-crowned Crane [J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2001, 33(3): 91–95. (in Chinese)
- [15] Hartig E K, Grozev O, Rosenzweig C. Climate change, agriculture and wetlands in Eastern Europe: Vulnerability, adaptation and policy[J]. Climatic Change, 1997, 36(122): 107–121.
- [16] Seoane J, Bustamante J, Diaz-Delgado R. Competing roles for landscape, vegetation, topography and climate in predictive models of bird distribution[J]. Ecological Modelling, 2004, 171(3): 209–222.
- [17] Bennetts R E, Fasola M, Hafner H, et al. Influence of environmental and density-dependent factors on reproduction of Little Egrets[J]. Auk, 2000, 117(3): 634–639.
- [18] 林佳, 宋戈, 宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5 918–5 927.
Lin Jia, Song Ge, Song Siming. Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 33(3): 5 918–5 927. (in Chinese)
- [19] 殷春雪, 李锋, 钱谊, 等. 基于熵权的长沙市城市生态安全综合评估与预测[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(1): 169–174.
Yin Chunxue, Li Feng, Qian Yi, et al. Assessment and forecast for ecological security based on entropy weight method: a case study of Changsha, China[J]. Environmental Science and Technology, 2013, 36(1): 169–174. (in Chinese)
- [20] Bennetts R E, Fasola M, Hafner H, et al. Influence of environmental and density-dependent factors on reproduction of Little Egrets[J]. Auk, 2000, 117(3): 634–639.
- [21] Chen S H, Ding P, Zheng G M, et al. Impacts of urbanization on the wetland waterbird communities in Hangzhou[J]. Zoological Research, 2000, 21(4): 279–285.
- [22] 田家龙, 肖国志, 王怀明, 等. 2001 年大火对扎龙保护区丹顶鹤巢材组成及隐蔽条件的影响研究[J]. 特产研究, 2005(1): 15–18.
Tian Jialong, Xiao Guozhi, Wang Huaiming, et al. Effect of the conflagration in 2001 for compose on nest-material and cover condition of red-crowned crane of the Zhalong Nature Reserve[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2005(1): 15–18. (in Chinese)

- [23] 田家龙,贺福银,王建强,等. 2001 年大火对扎龙自然保护区丹顶鹤栖息与繁殖的影响[J]. 林业科技,2004,29(4): 29-31.
Tian Jialong, He Fuyin, Wang Jianqiang, et al. Influence of fire in 2001 on the inhabit and breeding of red-crowned crane in Zhalong Nature Reserve[J]. Forestry Science and Technology, 2004, 29(4): 29-31. (in Chinese)
- [24] 邹红菲,孙岩,马建章. 扎龙湿地注水后恢复初期春季丹顶鹤(*Grus japonensis*)繁殖行为观察[J]. 东北师大学报:自然科学版,2004,36(3):73-78.
Zou Hongfei, Sun Yan, Ma Jianzhang. The breeding behaviors of red-crowned crane(*Grus japonensis*) in initial restoration stage in Zhalong Nature Reserve after irrigating in spring[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2004, 36(3): 73-78. (in Chinese)
- [25] 李晓文,肖笃宁,胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划各预案对指示物种生态承载力的影响[J]. 生态学报,2001,21(5):709-715.
Li Xiaowen, Xiao Duning, Hu Yuanman. The effects of different land-use scenarios on habitat carrying of indicator species in the Liaoh River Delta wetlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(5): 709-715. (in Chinese)
- [26] 李晓文,肖笃宁,胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划各预案对指示物种生境适宜性的影响[J]. 生态学报,2001,21(4):550-560.
Li Xiaowen, Xiao Duning, Hu Yuanman. The effects of different land-use scenarios on habitat suitability of indicator species in the Liaoh River Delta wetlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(4): 550-560. (in Chinese)
- [27] Bautista L M. Effect of weekend road traffic on the use of space by raptors[J]. Conservation Biology, 2004, 18(3): 726-732.
- [28] Burton N H K, Armitage M J S, Musgrove A J, et al. Impacts of man-made landscape features on numbers of estuarine waterbirds at low tide[J]. Environmental Management, 2002, 30(6): 857-864.
- [29] 杨维康,钟文勤,高行宜. 鸟类栖息地选择研究进展[J]. 干旱区研究,2000,17(3):71-75.
Yang Weikang, Zhong Wenqin, Gao Xingyi. A review of studies on avian habitat selection[J]. Arid Zone Research, 2000, 17(3): 71-75. (in Chinese)
- [30] 刘静鹏,崔媛媛,葛京凤. 基于物元分析模型的生态安全预警研究——以河北山区为例[J]. 资源与产业,2012,14(5):135-139.
Liu Jingpeng, Cui Yuanyuan, Ge Jingfeng. A case study on Hebei mountainous area: pre-warning of ecological safety based on matter-element mosel[J]. Resources and Industries, 2012, 14(5): 135-139. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]