

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

李晓文*, 肖笃宁, 胡远满

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要:在对辽河三角洲滨海湿地进行景观规划“预案”设计以及相应的生境分析基础上,运用景观生态决策与评价支持系统(LEDESS-model)对指示物种丹顶鹤和黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力进行了空间模拟和定量分析,结果表明:在大规模农业开发的背景下,预案 A 通过湿地调整及生境补偿措施,不仅可以维持湿地生境面积“无净损失”(No-net-loss),而且可以相当程度地提高指示物种繁殖生境的生态承载力;预案 B 通过一系列减轻生境破碎化影响的生境管理措施,也显著地提高了丹顶鹤繁殖生境的生态承载力,但对黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力的改善不如前者显著;预案 C 的模拟结果说明采取“滚动”开发模式,可以有效减轻区域农业开发对物种生境的负面影响,在本研究限定的开发规模下(8000hm²),对指示物种丹顶鹤、黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力没有明显影响。

关键词: 预案研究; 指示物种; 生态承载力; LEDESS 模型; 辽河三角洲滨海湿地

The effects of different land-use scenarios on habitat carrying of indicator species in the Liaohe River Delta wetlands

LI Xiao-Wen, XIAO Du-Ning, HU Yuan-Man (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110015, China)

Abstract: To quantify the ecological consequences of the landuse scenarios of Liaohe Delta Wetland, LEDESS-model (Landscape Ecological Decision and Evaluation Support System) was employed to model effects of the scenarios on breeding carrying capacity (BCC) of indicator species (i. e. Red-crowned Crane and Saunder's Gull). The result indicates that, wetland mitigation (scenario A) can both greatly improve the breeding carrying capacity of Red-crowned Crane and Saunder's Gull except maintaining “no-net-loss” of the natural wetland even under the pressure of large-scale regional agriculture development. Habitat management applied to reduce the effects of habitat fragmentation, i. e. scenario B can remarkably enhance the BCC of Red-crowned crane also, but the optimizing effects on BCC of Saunder's Gull are much inferior to the scenario A. The modeling results of scenario C illustrated that the “scrolling” development mode can efficiently mitigate the negative impact of regional agriculture development on habitat suitability of indicator species, thus the BCC of both indicator species can keep relatively stable compared with the current situation. Besides, the results showed that when home range of Red-crowned crane increased from 100hm² to 600hm², and breeding size of saunder's Gull varied from 100m²/individual to 1600m²/individual, the BCC firstly declines sharply then becomes constringent and remains stable, this characterizes the habitat structure which contains several large core habitats combined with much more marginal ones with small size, and especially highlights the importance of the core habitat to the indicator species with large home

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(项目编号:49631040)

收稿日期: 1999-11-19; **修订日期:** 2000-11-20

作者简介: 李晓文, 男, 武汉人, 博士。主要从事湿地和景观生态学研究。

* 现通讯地址: 北京大学城市与环境学系生态室, 1000871

range or breeding size.

Key words: scenarios study; indicator species; carrying capacity; LEDESS-model, Liaohe River Delta

文章编号:1000-0933(2001)05-0709-07 中图分类号:Q149 文献标识码:A

1 生态承载力的有关概念及其在本研究中的应用

“承载力(Carrying capacity)”在野生动物生物学中是应用非常广泛的一个术语。最初“承载力”一词是从牧场管理学中借用过来的,牧场管理者将承载力当作牧场的生产力,即牧场能够养活动物的数量。更精确的讲,牧场管理者将承载力定义为:牧场能够养活的可以得到最大持续性生产量的牲畜头数^[1]。实践中,牧场管理者常常强调食物因子(可食性植物生产量)是限制牧场承载力的主要因子。而野生动物管理者则必须考虑包括隐蔽物、各种干扰因素在内多种因子可能的限制作用。

Bailey^[2]进一步将承载力区分为“经济承载力”和“生态承载力”,经济承载力属于牧场管理学的概念,由动物种群生产力的管理目标、动物的质量和生境的状况来定义。生态承载力则属于野生动物管理学范畴,是指在无狩猎等干扰下种群与环境所达到的平衡点,在无狩猎或正常水平的狩猎对种群数量无多大影响的情况下,生态承载力仅由有限的生境资源决定。生态承载力依种群密度可以区分为3种类型:存在密度(Subsistence density)、容忍密度(Tolerance density)和安全密度(Security density)。

存在密度这一术语通常用在草食性动物中。存在密度是指仅由食物资源限制的非狩猎性种群的数量,以 Logistic 模型表示则存在密度是处于饱和期的密度,此饱和期的密度即为生态承载力。在美国的一些大型国家公园中,存在密度就是草食性动物的管理目标^[3],由于存在密度是生态密度的极点,所以种群质量和生境状况相对较差,种群的繁殖率低。

容忍密度是在以种内行为和(或)生理机制为调节种群数量的主要机制时生境可以维持的动物数量。Leopold^[4]和 King^[5]称这种密度为饱和点密度,在 Logistic 模型中容忍密度是指处于曲线顶点处的密度,容忍密度对占区动物具有特殊意义,由于空间和食物资源的竞争,占区动物总是试图保卫着一块拥有食物、隐蔽物和其他生境资源的地域,如果在生境管理中,通过一定措施改造那些各种生境资源分布不均的地区,将使生境状况得到改善,并可容纳更多的动物个体,因为新改造的适宜生境空间会被新的个体填充。处于容忍密度水平上,种群中所有动物也许都处于良好的状态,或许存在等级性的差别,也就是说等级序位低的和那些没有占区的动物的状况最差,这些个体的生殖率及存活率较低^[6]。

安全密度是在动物所需生境因子能够减轻捕食强度时,生境能够维持的动物数量。这些需求因子为隐蔽物、隐蔽物的散布形式和空间格局,假如空间是限制因子,则安全密度就是容忍密度。在安全密度之上,种群中个体间的社会不相容性可能会使一些动物离开安全生境,则这些个体被捕杀的几率也就增高了。

本文在生境适宜性分析基础上,为进一步定量评价和分析各预案导致的对物种生境的影响,对各预案条件下指示物种丹顶鹤和黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力进行了空间模拟,并与现状进行了对比。本文采用的是处于“容忍密度”下的生态承载力概念,这是因为丹顶鹤、黑嘴鸥在繁殖季节都有一定的占区行为,特别是丹顶鹤的繁殖个体具有典型的领域行为。另外,本文基于有关资料和野外调查,认为食物在繁殖期非指示物种生态承载力的限制性因子,主要限制因子为隐蔽物特征和人为干扰导致的生境破碎化。考虑到个体差异导致的容忍密度域值的不同,本研究模拟了不同容忍密度(即不同大小领域面积或繁殖密度)条件下,指示物种的生态承载力。

2 生态承载力的空间模拟方法

在生境适宜性分析基础上,运用 LEDESS 模型的生境分析模块模拟、计算各预案及其现状导致的指示物种繁殖生境的生态承载力,步骤如图 1。LEDESS 模型所需的 GIS 平台为 Arcview3.0a 的 SpatialAnalyst 模块。

在生境分析模块中关键步骤是要确定生境质量、领域面积和生态承载力之间关系的知识库表,研究中模拟了指示物种不同领域面积或繁殖密度条件下的生态承载力,如当定义丹顶鹤的繁殖领域面积为 400hm²,即指一对繁殖的丹顶鹤需要 400hm²,且生境质量为 100 的生境斑块,由于采取了 100m×100m 的

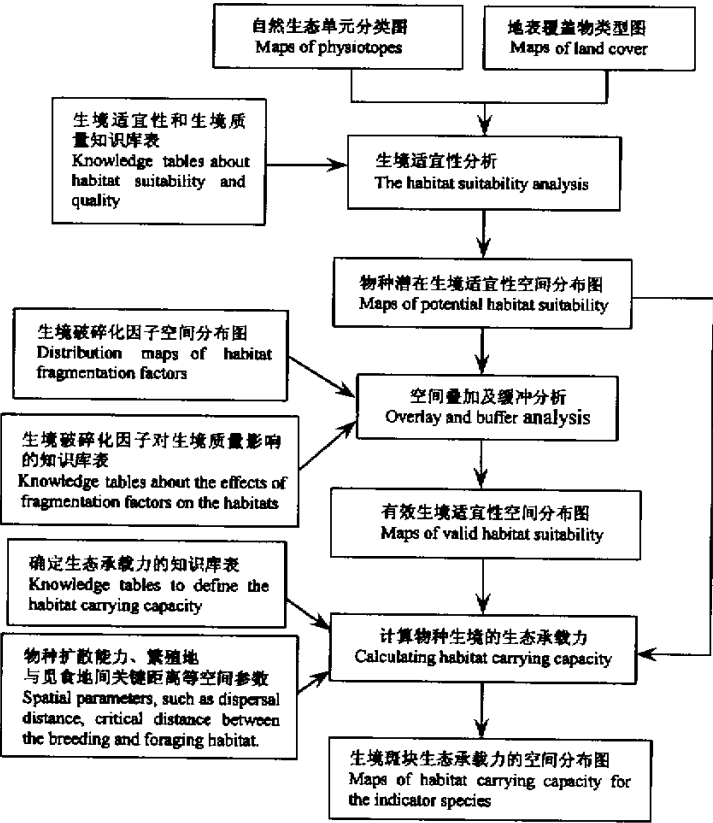


图1 LEDESS模型生境分析模块结构图

Fig.1 The operation and structure of habitat modular of LEDESS model

栅格,则其斑块生境质量总值为栅格数(400)×生境质量等级值(100),即40000。如繁殖生境质量等级低于100(如50),则显然需要大于400hm²(如800hm²)的生境斑块,才能达到40000的生境质量总值,从而被丹顶鹤利用。当丹顶鹤繁殖领域面积为400hm²时,生境质量总值低于40000的生境斑块,被认为是不能被利用的无效斑块(承载力为0)而剔除。当考虑其他领域面积丹顶鹤繁殖生境的生态承载力时,与上述原则一样。表1为当领域面积为400hm²时,确定丹顶鹤繁殖生境生态承载力的知识库表。

当模拟黑嘴鸥繁殖生境生态承载力时,建立知识库的原理和方法与前述丹顶鹤的相同。表2为当黑嘴鸥繁殖种群密度为200m²/只时,确定其繁殖生境生态承载力的知识库表。

3 结果与分析

3.1 丹顶鹤繁殖生境的生态承载力

一般而言,繁殖生境生态承载力取决于生境斑块大小、生境质量(隐蔽条件、食物丰盛度)和动物行为学特性(如领域或巢域大小、繁殖生境与觅食生境间距离)。生境条件较好时,领域面积可以较小;生境条件差时,则动物需要较大的领域面积以获取足够的生存空间和食物资源^[7]。丹顶鹤属于大型水禽,繁殖季节表现出非常明显的领域性,其领域大小尽管也受生境质量影响,但仍有相对稳定性,一般在200hm²至400hm²范围内变化。根据到不同的生境质量和个体领域性差异,运用LEDESS模型生境模块模拟了规划前后领域面积从100hm²到600hm²范围内变化时丹顶鹤繁殖生境的生态承载力。

图 2 显示了通常状况下当丹顶鹤繁殖领域面积为 300hm² 时,各预案及其现状丹顶鹤繁殖生境生态承载力的空间模拟结果,包括繁殖生境各斑块的生态承载力及其空间分布。表 3 为针对不同领域面积(100hm² 至 600hm²)时,丹顶鹤繁殖生境生态承载力模拟结果。

表 1 确定丹顶鹤繁殖生境生态承载力的知识库表(领域面积为 400hm²)

Table 1 The knowledge table to quantify the breeding carrying capacity of Red-crowned crane with home range of 400hm²

繁殖生境质量总值 (栅格数×繁殖生境质量等级)		生态承载力 (繁殖对)
The total value of breeding habitat quality(number of grids× the value of breeding habitat quality)		Habitat carrying capacity (breeding pairs)
From	To	
0	40000	0
40001	80000	1~2
8001	200000	2~5
200001	400000	5~10
400001	1000000	10~25
1000001	2000000	25~50

表 2 确定黑嘴鸥繁殖生境生态承载力的知识库表(繁殖密度 200m²/只)

Table 2 TH knowledge table to identify the breeding capacity of Saunder's Gull with breeding habitat size of 200 square meter/individual

繁殖生境质量总值 (栅格数×繁殖生境质量等级)		生态承载力 (繁殖个体)
The total value of breeding habitat quality(number of grids× the value of breeding habitat quality)		Habitat carrying capacity (breeding pairs)
From	To	
0	200	0
201	2000	1~10
2001	10000	10~50
10001	20000	50~100
20001	40000	100~200
40001	100000	200~500
100001	200000	500~1000
200001	400000	1000~2000

3. 1. 1 现状 从模拟结果看,就现状而言,尽管辽东湾湿地仍保有大面积的芦苇沼泽,但由于人为活动导致的生境破碎化的影响,丹顶鹤繁殖生境生态承载力却很低,如以丹顶鹤常见的领域面积 300hm² 计算,其繁殖生境生态承载力仅分别为 17 至 39 繁殖对,显然处于十分濒危的状态。图 2 还显示目前最重要的一个位于双台河口东岸(赵圈河苇场内),能容纳 5~10 对丹顶鹤繁殖的核心生境,而此区域经过大规模农业开发后,其周边不少苇田以及滩涂已辟为稻田,实际上这部分芦苇沼泽已完全孤立,失去了与滩涂生境的演替联系和不断进行自我更新的空间,并完全置于人为管理之下,如若灌溉等管理措施不当,或者生境破碎化程度进一步加剧,则将岌岌可危。

3. 1. 2 预案 A 预案 A(湿地调整)通过湿地调整措施,在维持芦苇湿地无净损失,同时满足大规模农业开发的土地需求前提下,仍使丹顶鹤繁殖生境的生态承载力有大幅度提高。模拟结果显示,湿地调整措施,使得双台河口西岸滩涂新出现了大面积的核心繁殖生境,生境破碎化也得以改善,生态承载力显著提高且变得较为稳定。如其领域面积在 400hm² 至 600hm² 范围变动时,生态承载力的变化并不大,显示有利于较大领域面积的丹顶鹤生存的趋势。

3. 1. 3 预案 B 预案 B 通过生境管理措施,对破碎化生境进行优化,同样显著提高了丹顶鹤繁殖生境的生态承载力,甚至在 100hm² 至 300hm² 领域范围内,预案 B 的生态承载力还略高于预案 A。以 400hm² 领域面积为例,从图 2 中可见,除了东岸的一块核心生境外,原来油井分布密集,破碎化非常严重的双台河口西岸欢喜岭地区,经预案 B 的生境管理措施后被优化为另一个能容纳 5 至 10 对丹顶鹤繁殖的大型生境斑块。可见,预案 B 采取的生境管理措施对生境质量的改善是十分有效地,从另一角度也表明此区域丹顶鹤生境破碎化现状是相当严重的。

3. 1. 4 预案 C 预案 C 主要用来与现状进行对比,以评价农业开发的影响。模拟结果表明,尽管与现状相比减少了 8000hm² 的边缘生境,但丹顶鹤繁殖生境的生态承载力并未明显降低,除 100hm² 及 200hm² 较小领域面积的丹顶鹤繁殖生境生态承载力稍有降低外,当领域面积在 300hm² 至 600hm² 范围内波动时,繁殖生境生态承载力基本与现状保持一致。可见,在注意控制破碎化因素前提下,通过“滚动”开发模式,牺牲部分边缘和次级生境以满足农业开发的需求,并不会对本区丹顶鹤繁殖产生明显不利影响。

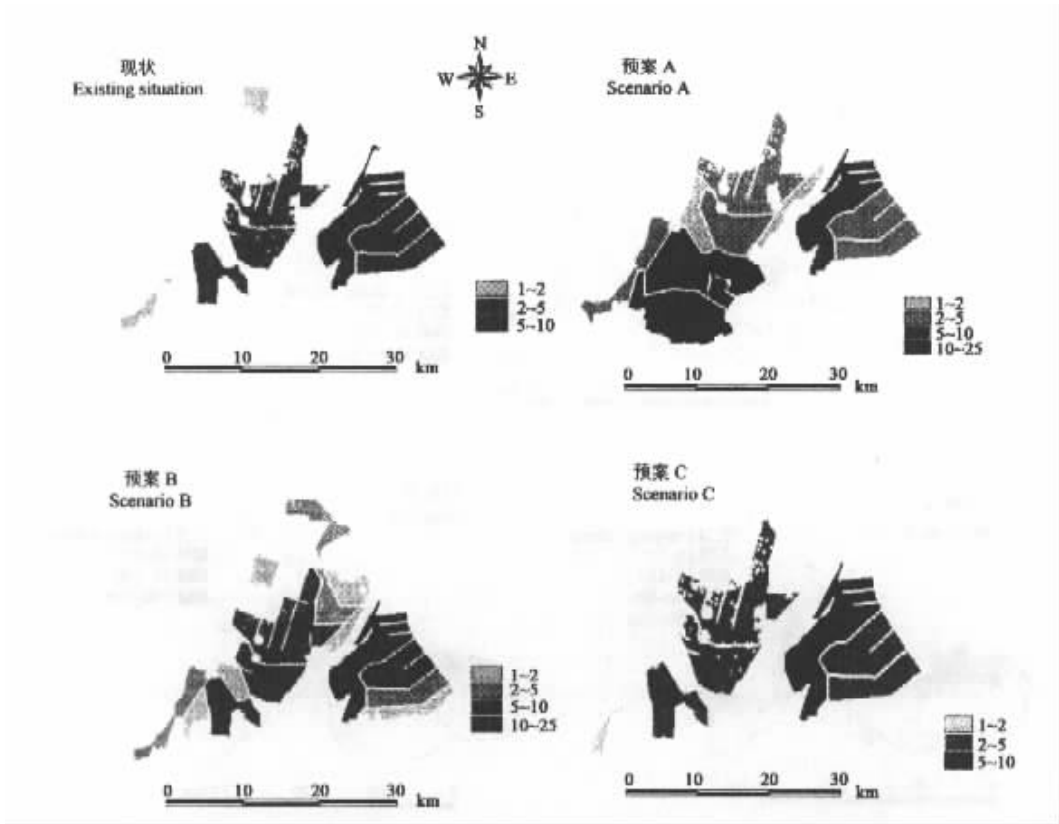


图 2 当领域面积为 300hm² 时,各预案及其现状的丹顶鹤繁殖生境生态承载力(Cc)空间模拟结果(繁殖对)

Fig. 2 The modeling results of breeding carrying capacity of Red-crowned Crane with home range of 300hm² (breeding couples)

表 3 不同领域面积各预案及现状丹顶鹤生境繁殖生态承载力模拟结果

Table 3 The breeding carrying capacity of Red-crowned Crane with different home range from 100hm² to 600hm²

预案 Scenario	基于不同领域面积丹顶鹤繁殖生境的生态承载力(繁殖对)					
	The breeding habitat carrying capacity of Red-crowned Crane based on different home ranges (breeding couples)					
	100hm ²	200hm ²	300hm ²	400hm ²	500hm ²	600hm ²
现状 Current situation	72~167	34~76	17~39	13~29	9~21	7~15
预案 A Scenario A	135~291	56~129	37~89	20~57	24~52	19~41
预案 B Scenario B	150~338	67~150	44~97	27~60	23~51	18~41
预案 C Scenario C	62~142	29~66	16~37	13~29	9~21	7~15

3.2 对黑嘴鸥繁殖生境生态承载力的影响

黑嘴鸥属于小型滨海鸟类,繁殖时营群巢,繁殖个体不表现出明显的领域性。其繁殖种群密度主要取决于生境质量,并易随环境变化而大幅度波动。一般而言,繁殖季节,其繁殖种群巢间距变动范围可从几米至几十米,取決与生境质量,特别是天津厚蜆、沙蚕等大宗食物丰富度及翅碱蓬等地表覆盖物的空间分布状况。考虑到不同生境质量条件下黑嘴鸥繁殖种群密度的变化,模拟了 100m²、200m²、400m²、800m² 和 1600m² 等不同水平繁殖种群密度下,黑嘴鸥繁殖生境生态承载力。表 3 和图 4 模拟结果,即为不同预案,不

同种群繁殖密度下黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力。

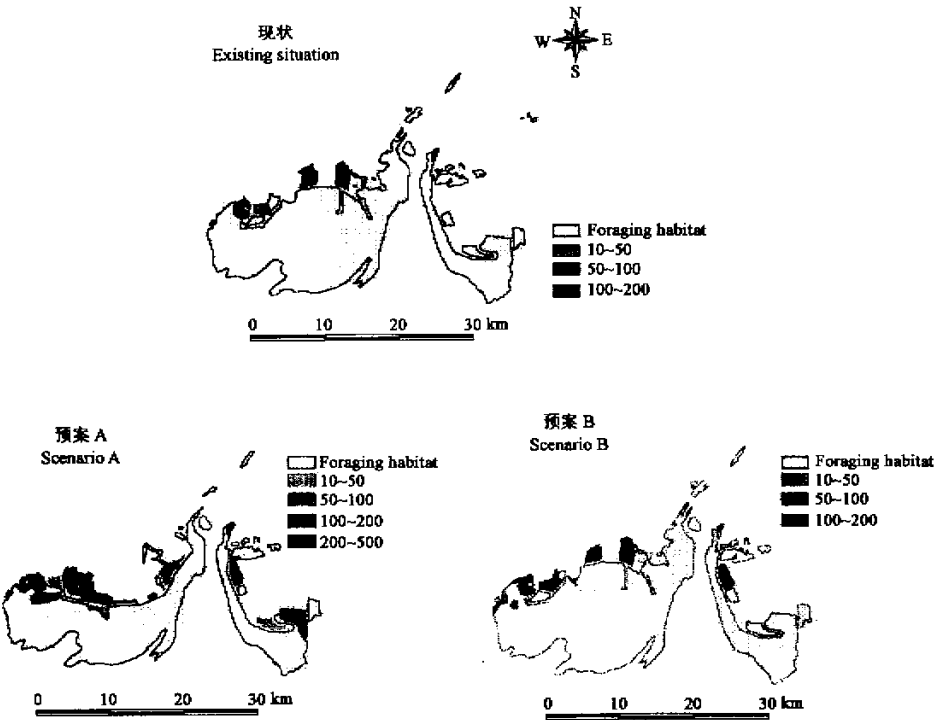


图 3 各预案与现状条件下黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力的模拟结果(假定平均繁殖生境大小为 200m^2), 预案 C 的结果与预案 A 相同

Fig. 3 The modeling results of breeding habitat carrying capacity of Saunders' Gull under different scenarios with the breeding habitat size

3. 2. 1 现状 由于大洼小三角洲农业开发导致双台河口东岸原有黑嘴鸥繁殖生境的消失, 目前其繁殖生境仅局限于双台河口西岸局部滩涂, 如十里、南小河等地区, 依 $100\text{m}^2/\text{只}$ 繁殖密度(巢间距为 11.28m) 计算其繁殖个体数量为 720 至 1800 只。而这些区域却正受着越来越严重的人为活动的影响, 如南小河及其新生滩涂, 目前已道路密集成为辽河油田重点开发区域, 而十里地区滩涂, 则由于近年来水产养殖业的恢复, 有将其转变为虾蟹田的趋势。因此, 就现状而言, 如不进一步加强生境管理和保护, 黑嘴鸥生境同样不容乐观。模拟结果还显示, 当生境质量降低, 种群繁殖密度成倍减少时, 其繁殖生境平均生态承载力在 100m^2 至 400m^2 范围内迅速下降, 而在 400m^2 至 1600m^2 范围内变化时, 则变化有所平缓, 显得较为稳定, 这是由于, 当生境质量下降, 种群繁殖密度降低时, 首先是一些较小的生境斑块消失, 但由于南小河、十里等大型生境斑块的存在, 即使生境质量大幅度降低, 仍能保证一部分数量黑嘴鸥对繁殖生境的需求。这种大型生境斑块的存在也是辽东湾湿地成为黑嘴鸥在世界上最重要的繁殖地的原因。

3. 2. 2 预案 A 模拟结果表明, 通过建造生境岛、对退化生境进行恢复、利用废弃虾蟹田等生境调整措施, 不同种群繁殖密度下黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力均有了极大幅度的提高(接近现状的 3 倍), 从图中可以看出, 这主要由于经过湿地调整, 在双台河口西岸南小河滩涂新产生了若干大型能容纳 1000 以上繁殖个体的大型核心繁殖生境斑块, 同时东岸通过对退化草甸(五千七)的恢复和废弃虾蟹田以及滩涂的利用, 也新出现了 3 块较大核心斑块。

3.2.3 预案B和预案C 模拟结果表明:总体而言,通过生境管理措施,减轻了道路、油井等生境破碎化因素的影响,从而与现状相比,各水平繁殖密度的黑嘴鸥繁殖生境生态承载力也有明显提高,但远没有预案A提高的幅度大。由于,预案C中农业开发只涉及苇田边缘部分,而未涉及滩涂区域,对黑嘴鸥生境应无明显影响。因此,可以认为,预案C中黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力与现状基本一致。

表4 不同繁殖密度条件下,各预案及其现状黑嘴鸥繁殖生境生态承载力的比较

Table 4 The BCC of Saunder's Gull with different breeding habitat size under current situation and the scenarios					
预案 Scenario	不同种群繁殖密度下黑嘴鸥繁殖生境的生态承载力(繁殖个体)				
	The breeding habitat carrying capacity (breeding individuals) of Saunder's Gull based on the different breeding habitat size (100~1600m ² /individual)				
	100hm ²	200hm ²	400hm ²	800hm ²	1600hm ²
现状 Current situation	720~1800	470~1100	212~470	82~270	73~230
预案A Scenario A	2680~5750	1280~2720	513~1330	234~740	216~660
预案B Scenario B	1170~2900	671~1510	571~1210	331~760	263~580
预案C Scenario C	720~1800	470~1100	212~470	82~270	73~230

4 结论

根据有关文献和野外观察,野生丹顶鹤领域面积通常为 300hm²,黑嘴鸥繁殖种群密度为 200m²/只。综合指示物种丹顶鹤、黑嘴鸥繁殖生境生态承载力的模拟结果,可看出:从提高目标指示物种生态承载力角度而言,显然预案A最为成功,与现状相比,预案A通过对芦苇湿地的补偿、生境质量的优化将丹顶鹤的生态承载力提高了2倍多,通过大规模兴建生境岛将黑嘴鸥生态承载力提高了近2.5倍。预案B通过改善生境破碎化因子也大幅度提高恶劣丹顶鹤的生态承载力,提高程度甚至略高于预案A,通过将部分敏感生境地区虾蟹田废弃,转变为黑嘴鸥生境,使黑嘴鸥繁殖生境生态承载力也有一定幅度提高,但幅度远低于预案A。预案C尽管没有对生境进行任何形式补偿,但模拟结果却表明:大规模农业开发后,指示物种丹顶鹤、黑嘴鸥繁殖生境生态承载力能基本能维持现状水平。说明,预案设计限定的规模下,农业开发采用的“滚动”开发模式,能有效控制生境破碎化的加剧,减轻人为干扰的影响。另外,图3及图5的模拟结果还显示,当指示物种丹顶鹤的领域面积在 100hm²至 600hm²,黑嘴鸥的繁殖密度在 100m²至 1600m²范围内变化时,其繁殖生境生态承载力先迅速下降,随后维持一定稳定性,说明本区域存在大型核心生境斑块能始终支持一定数量的较大领域、繁殖面积的指示物种。

参考文献

[1] Stoddart L A, Smith A D and Box T W. *Range management*. 3rd ed. McGraw-Hill Co. New York, 1955. 532.

[2] Bailey J A. *Principles of Wildlife Management*. John Wiley & Sons Inc. New York, 1984.

[3] Houston D B. Ecosystems of national parks. *Science*, 1971, (172): 648~551.

[4] Leopold A. *Game management*. Charles Scribner's Sons, New York, 1933. 226.

[5] King R T. The essentials of a wildlife range. *Journal of Forestry*, 1938, (36): 457~464.

[6] Carrick R. Ecological significance of territory in the Australian magpie, *Gymnorhina tibicen*. *Proc. Interat. Ornithol. Congress*. 1963, 13: 740~753.

[7] 陈化鹏, 高中信. 野生动物生态学. 哈尔滨: 东北大学出版社, 1992. 8: 187~208.

[8] 胡远满. 人类活动对水禽生境的破碎化影响的生物圈保护区及其持续发展国际学术研讨会. 昆明, 1997. 11.