

黄河三角洲国家级自然保护区生态敏感性评价

宋晓龙¹, 李晓文^{1,*}, 白军红¹, 黎 聪¹, 郑 钰¹, 焦松松²

(1. 北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875; 2. 山东省林业局野生植物保护站, 济南 250014)

摘要: 基于 GIS 下的网格分析, 建立了结合生境适宜性评价和人为干扰特征分析的生态敏感性评价模型。首先建立被列为世界自然保护联盟 (IUCN) 红色名录濒危等级 (截止到 2007) 的水禽数据库, 并结合相关文献及实地调查, 识别评价所选物种的生境需求。再基于 GIS 下的 200m × 200m 网格系统, 依据生境适宜性评价模型, 从景观水平上进行生境现状评价, 提出“综合生境适宜性的概念”并计算综合生境适宜性指数, 再根据综合指数进行生境适宜性评价; 然后从已建立的数据库中选取典型物种鹤类作为指示种, 同样基于 200m × 200m 的网格, 借助 GIS 技术分析研究区内的人为干扰因子 (道路和油井) 造成的生境损失; 最后在以上的研究基础上, 将生境适宜性评价和人为干扰特征分析的结果叠加运算进行生态敏感性分析。结果表明: 研究区生态敏感性整体上较高, 总的分布规律是靠近沿海的区域敏感性较高, 内陆区域的敏感性较低; 并按生态敏感度的高低, 将研究区划分为极敏感区、敏感区、较敏感区、一般敏感区和不敏感区 5 个等级, 其中极敏感区和敏感区面积共占研究区面积的 55.74%, 较敏感区约占 16.26%, 一般敏感区和不敏感区各占 22.81% 和 5.19%。此外, 为更有效地保护重要生境, 对照保护区现有的功能分区, 并结合评价结果, 讨论了功能分区调整的相关建议。

关键词: 黄河三角洲国家级自然保护区; 生境适宜性评价; 人为干扰分析; 生态敏感性评价

文章编号: 1000-0933 (2009) 09-4836-11 中图分类号: Q14, X24 文献标识码: A

The ecological sensitivity evaluation in Yellow River Delta National Natural Reserve

SONG Xiao-Long¹, LI Xiao-Wen^{1,*}, BAI Jun-Hong¹, LI Cong¹, ZHENG Yu¹, JIAO Song-Song²

1 Environmental School, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Wildlife Protection Station, Shandong Forestry Bureau, Jinan 250014, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4836 ~ 4846.

Abstract: Based on the grid analysis of GIS, with the combination of habitat suitability assessment and human interference analysis, the ecological sensitivity evaluation model was established. Firstly, the endangered water-birds in Yellow River Delta NNR were prioritized as a database according to IUCN 2007 Red List, and the habitat preference was identified and evaluated through literatures review and field survey. By establishing GIS-based 200m × 200m girding system, the existing habitat was evaluated on landscape-level, and a Comprehensive Habitat Suitability Index (CHSI) was developed and calculated by habitat suitability assessment model. Based on CHSI, the habitat suitability was evaluated and graded. Secondly, the typical species Cranes was selected from the established database as indicator species and the habitat loss rate of indicator species associated with anthropogenic interference (roads and oil wells) was also analyzed on 200m × 200m grids by GIS. Finally, on the basis of results from habitat suitability evaluation and human interference analysis, ecological sensitivity analysis was conducted by Overlaying Operation. The results showed that: the ecological sensitivity of study area was quite high on the whole; the overall distribution was high in the coastal region low in the inland region, ranking in five classes of extreme sensitivity, fair sensitivity, moderate sensitivity, sensitivity and no sensitivity. In the area, extreme sensitivity zone and fair sensitivity zone accounted for about 55.74% in all, moderate sensitivity zone was about 16.2%,

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2006CB403305); 国家自然科学基金资助项目 (40671072)

收稿日期: 2008-10-06; 修订日期: 2009-02-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixw@ignrr.ac.cn.

sensitivity zone and no sensitivity zone accounted for 22.81% and 5.19%, respectively. In addition, compared with existing function zones of reserve and combined with the research results, related suggestions for adjusting function zones were proposed aiming at enhancing the conservation efficacy of critical habitats.

Key Words: Yellow River Delta NNR; habitat suitability assessment; human interference analysis; ecological sensitivity evaluation

作为大量珍稀水禽和其他众多物种赖以生存的典型滨海河口湿地,以黄河三角洲自然保护区为主的黄河三角洲湿地是国际重要的鸟类栖息地、繁殖地、中转站,同时也是世界上面积增长最快以及我国暖温带保存最完整、最广阔、最年轻的滨海湿地生态系统,具有重要的生物保护价值。同时也是我国重要的农业与油气开发基地,具有巨大的经济开发价值,承受着农业开发、石油开采、道路建设以及水产养殖等人类活动的影响,湿地保护和区域人类活动的矛盾日益突出。所以自 20 世纪 90 年代以来,该区域便成为国内国际备受关注的地区^[1],1994 年被中国生物多样性保护行动计划列为湿地、水域生态系统中 16 处具有国际意义的重要保护区之一,1996 年被湿地国际亚太组织批准为“东亚-澳洲涉禽保护网络”成员。

为综合评价区域生态环境状况,确定优先或重点开展生态环境建设和保护的区域,进行生态敏感性评价是一种有效的方法。生态敏感性是指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的敏感程度,区域发生生态环境问题的类型、难易程度和可能性大小^[2]。生态敏感性强弱通常以不损失或不降低环境质量的情况下,生态因子对外界压力或变化的适应能力及其遭受破坏后的恢复能力的强弱和快慢来衡量^[3]。目前生态敏感性分析是国内外的研究热点,已有不少学者在这方面做出了一些有益探索^[4-13]。但针对湿地保护区的敏感性研究则较少,且多偏向于定性描述^[11];而且评价方法正处于探索与发展阶段,评价指标选取以及指标权重的确定等尚无统一标准,存在较大的人为主观性,导致研究结果难以准确反映研究区的生态环境现状。因此本研究的主要目的是构建评价模型,试图将生境适宜性评价及人为干扰分析结合起来进行敏感性分析,以期为区域生态敏感性评价提供新的研究方法思路。本文以黄河三角洲自然保护区为研究对象,首先选取物种保护指数、破碎度指数和连接度指数 3 个评价指标构建生境适宜性综合评价模型,然后根据研究区的具体情况选取道路和油井 2 个评价因子进行人为干扰分析,最后建立生境适宜性、人为干扰强度与生态敏感性之间的联系,并基于 200m × 200m 的网格,采用 GIS 空间叠加分析生成评价结果图,评价结果也为今后区域生态环境问题预防、发展规划以及合理布局提供了科学依据。

1 区域概况

黄河三角洲国家级自然保护区位于山东省东营市的黄河入海口处,北临渤海湾,东靠莱州湾。(图 1)保护区位于东经 118°33′~119°20′,北纬 37°35′~38°12′,总面积 15.3 万 hm²,其中核心区 7.9 万 hm²,缓冲区 1.1 万 hm²,实验区 6.3 万 hm²。下设一千二、黄河口、大汶流 3 个管理站,本研究区位于黄河口管理站和大汶流管理站辖区内,属暖温带季风气候,年均气温 11.9℃,年均降水量 590.6 mm,蒸发量 1928.2 mm。黄河三角洲自然保护区 1990 年经东营市人民政府批准建立,1991 年升为省级自然保护区,1992 年晋升为国家级自然保护区。区内生物资源丰富,现有高等植物 393 种,野生动物 1528 种。鸟类 283 种,其中被列为世界自然保护联盟(IUCN)极危(Cr)等级的有白鹤(*Grus leucogeranus*)、黑嘴端凤头燕鸥(*Sterna bernsteini*)2 种;濒危(En)等级的有东方白鹳(*Ciconia boyciana*)、鸿雁(*Ansercy goides*)、中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、丹顶鹤(*Grus japonensis*)、小青脚鹬(*Tringa guttifer*)5 种;易危(Vu)等级的有小白额雁(*Anser erythropus*)、花脸鸭(*Anas formosa*)、青头潜鸭(*Aythya baeri*)、白头鹤(*Grus monacha*)、白枕鹤(*Grus vipio*)、大鸨(*Otis tarda*)、黑嘴鸥(*Larus saundersi*)7 种等。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

鸟类名录数据来源于黄河三角洲自然保护区管理站。空间数据来源于 Landsat5 TM(2007 年 5 月 14 日)

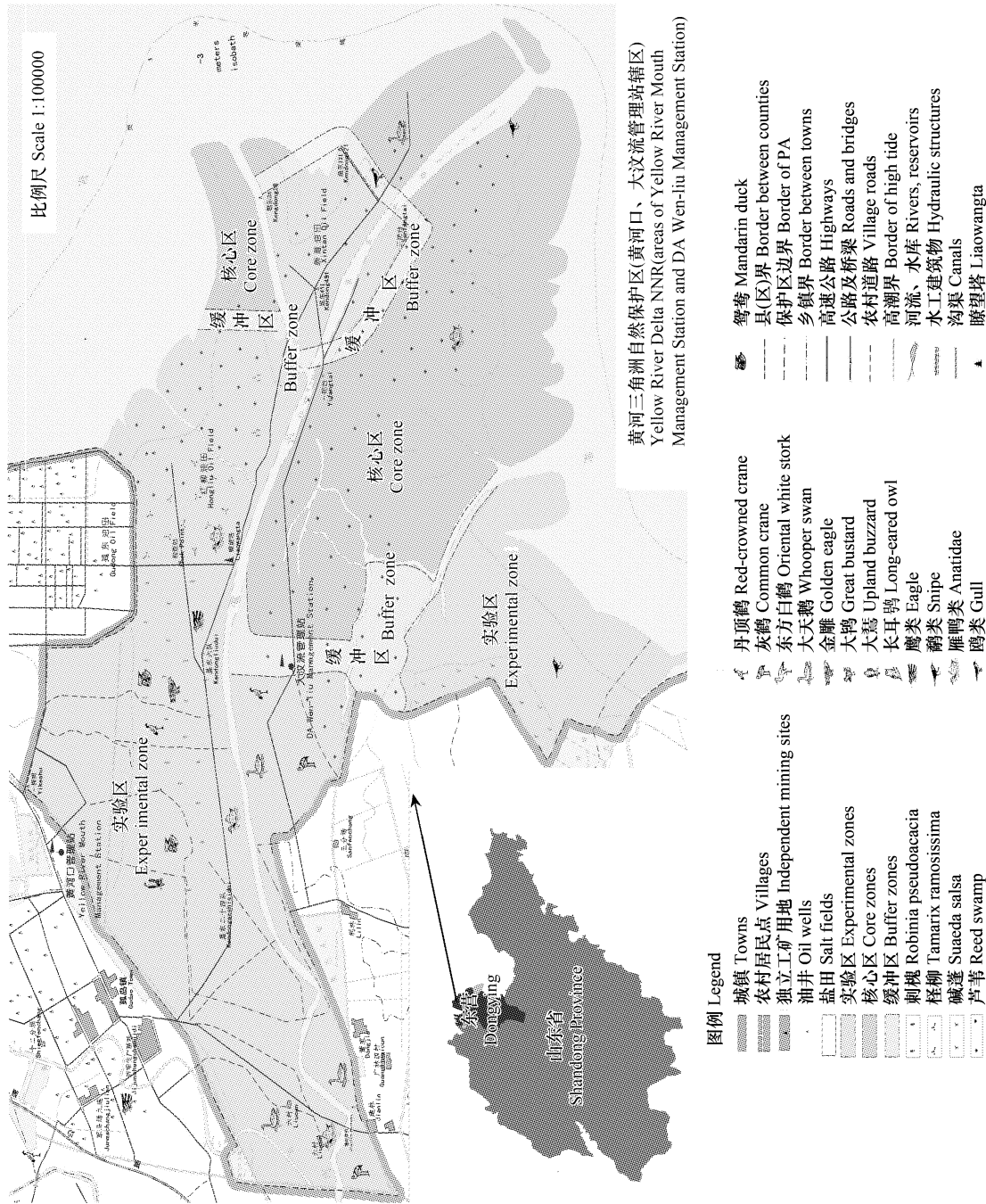


图1 黄河三角洲自然保护区位置图及功能分区图 (主要包括黄河口管理站和大汶流管理站)
Fig.1 Location and function zones of Yellow River Delta NNR (mainly including Yellow River Mouth Management Station and DA Wen-liu Management Station)

遥感数据,遥感影像经几何校正、配准后采用光谱直接分类法,在 Envi4.3 支持下通过目视解译对遥感影像进行监督分类,再在 GIS 工作平台下进行后期修改处理。参照土地利用现状分类系统,结合实地调查,将保护区分为 9 种生境类型:水域、水产养殖、盐田、芦苇沼泽、柽柳+芦苇+碱蓬、滩地(包括潮滩、河滩和撂荒地)、碱蓬、农田和林地(图 2)。考虑到研究区的面积大小,为减少分析误差,并使得到的结果更能准确地反映该区域的实际情况,建立网格系统时,选取 $200\text{m} \times 200\text{m}$ 大小的网格。具体研究方法和技术流程如图 3。

2.2 确定指示物种

通常由于难以获得研究区内所有物种或类群的资料,所以在进行人为干扰分析时,选取了典型物种鹤类作为湿地水禽的指示种(Indicator species)以评价人为干扰造成的生境损失。指示种的选取必须遵循如下标准:①能代表某一类群生境需求;②与同类群其他物种相比,对环境变化敏感,种群生存力脆弱^[14,15]。虽然本研究中鹤类不能代表所有水禽,但它是黄河三角洲保护区鸟类的典型的代表,且其主要生境是大面积发育良好的芦苇沼泽,而芦苇沼泽又构成保护区生境的主体;另一方面来说,与其他同类群物种相比,鹤类对环境的要求比较高,对环境变化比较敏感,也就是说能满足鹤类生存需求的区域一般能满足其他鸟类的需求,但是满足其他鸟类需求的生境却不一定能满足鹤类的要求。

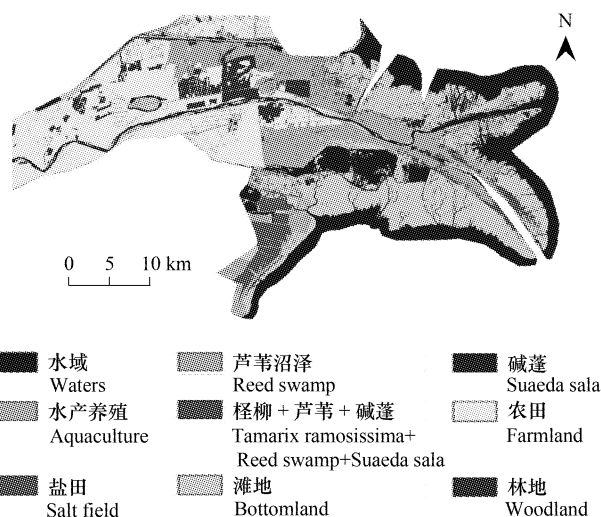


图 2 研究区生境类型图

Fig. 2 Habitat types map of study area

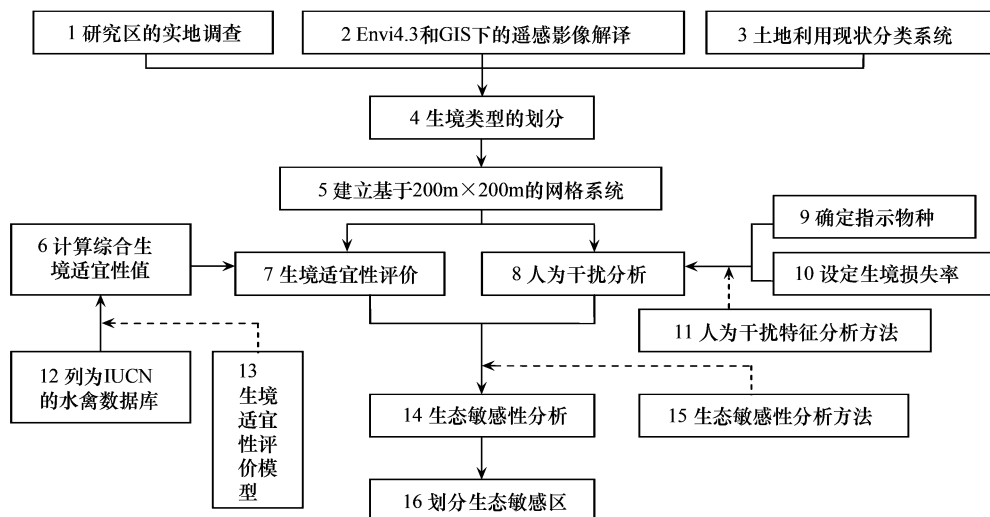


图 3 黄河三角洲自然保护区生态敏感性分析技术路线图

Fig. 3 Sketch map of ecological sensitivity analysis in Yellow River Delta NNR

1 investigation of study area; 2 interpretation of remote sensing image by Envi4.3 and GIS; 3 Land Use Classification System; 4 classification of habitat types; 5 establish $200\text{m} \times 200\text{m}$ girding system; 6 calculate Comprehensive Habitat Suitability Index; 7 Habitat suitability assessment; 8 Human interference analysis; 9 identify indicator species; 10 set habitat loss rate; 11 Human interference analysis methods; 12 database of water-birds prioritized as IUCN; 13 Habitat suitability assessment model; 14 Ecological sensitivity evaluation; 15 Ecological sensitivity evaluation methods; 16 classification of ecological sensitivity

2.3 设定干扰因子造成的指示种的生境损失率

依据保护区的实际情况,本区域人为干扰因子主要包括以道路为主的线状生境破碎化因子和以油井为主

的点状生境破碎化因子。对道路和油井导致的指示物种生境损失率进行赋值^[16,17]。同时考虑到 9 种生境类型都受人类不同程度的开发利用,而从另一角度看,人类的开发利用程度也可作为人类干扰造成的生境损失率。依据长期从事该区域研究的专家对各生境的开发程度进行打分,再经过数据筛选和处理得到表 1。有关数据除了参考相关文献及专家打分外,还基于野外调查和现有的工作基础。

表 1 各生境的人类开发利用程度
Table 1 Degree of human utilization of each habitat

生境类型 Habitat types	水域 Waters	水产养殖 Aquaculture	盐田 Salt field	芦苇沼泽 Reed swamp	怪柳 + 芦苇 + 碱蓬 Tamarix ramosissima + Reed swamp + Suaeda sala	滩地 Bottomland (包括滩涂、河漫滩 和撂荒地)	碱蓬 Suaeda sala	农田 Farmland	林地 Woodland
开发利用 程度	0.25	0.50	0.50	0.15	0.15	0.15	0.15	0.75	0.35

开发利用程度 Degree of human utilization

2.4 生境适宜性评价模型

2.4.1 评价指标的选取及生态学意义

影响生境适宜性的因素有很多,种群的生境需求及各自然因子的空间组合状况决定了生境的适宜性。为综合考虑众多物种的生境适宜性以及确保评价结果能从景观层次全面反映研究区的现实情况,本研究设定了物种保护指数、破碎度指数和连接度指数 3 个指标进行生境适宜性评价。

(1)物种保护指数 是指某种生境类型对物种保护的重要性,它是从物种保护的角度来评价生境的适宜性,通常某生境类型的物种保护指数越大,说明该生境内种群的类型和数量越多,越适宜物种生存,因而适宜性越高;

(2)破碎度指数 是指某生境类型在特定时间里和特定性质上的破碎化程度,生境破碎化引起适宜生境空间格局的变化,进而影响物种的生存和繁衍。所以破碎度指数在一定程度上反映了生境的适宜程度,一般破碎化程度越高,生境适宜性越低;

(3)连接度指数 用来描述同类生境斑块间的联系程度,也能从一定程度上反映出生境的适宜性,一般连接度指数越大,生境的适宜性越大。

2.4.2 评价模型的建立

首先建立被列为世界自然保护联盟(IUCN)红色名录濒危等级的水禽数据库,主要包括水禽的种群规模、居留情况、保护等级和生境分布等;然后将解译出的生境类型图做基于 200m × 200m 的网格,这样每个网格就具备了相应的属性数据,包括生境类型、栖息于生境中的鸟类信息等。

该模型主要基于种群数据库,依据已设定的 3 个评价指标进行生境适宜性评价,通过编程,并借助 GIS 技术工具,首先计算每个网格内各生境类型的物种保护指数、破碎度指数和连接度指数,然后由这些指数得出每个网格内各生境类型的生境适宜性指数,再由各生境类型的生境适宜性指数得出每个网格的综合生境适宜性指数,最后根据综合生境适宜性指数进行生境适宜性等级评价。

(1)计算物种保护指数

$$C_i = \sum_{j=1}^d l_j \frac{u_{ij}}{u_j}, \text{ 而 } l_j = \text{IUCN 濒危等级} \times \sum_{k=1}^K \frac{\text{种群规模} + \text{居留情况}}{2}$$

式中, C_i 表示某网格内 i 类生境的物种保护指数, d 表示保护等级级别, l_j 表示 j 级保护物种在本区的生态权重, u_{ij} 表示某网格内 i 类生境中 j 级保护物种种数, u_j 表示研究区内 j 级保护物种种数, K 表示 j 级保护物种数。

(2)计算破碎度指数

$$PD_i = \frac{N_i}{A}$$

式中, PD_i 表示某网格内 i 类生境的破碎度指数, N_i 为 i 类生境的斑块个数, A 为网格面积。

(3) 计算连接度指数

$$PX_i = \sum_{x=1}^N \left(\frac{A_{ix}/NND_x}{\sum_{x=1}^N A_{ix}/NND_x} \right)^2$$

式中, PX_i 表示某网格内 i 类生境的连接度指数, A_{ix} 是网格内 i 类生境的 x 斑块的面积, NND_x 是斑块 x 到其相邻同类斑块的最小距离, N 为网格内 i 类生境的斑块个数。

(4) 计算综合生境适宜性指数

$$H = \sum_{i=1}^T \frac{A_i}{A} h_i, \text{ 而 } h_i = u_1 Cb_i + u_2 \frac{PDb_i + PXb_i}{2},$$

$$Cb_i = \frac{C_i - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}, PDb_i = 1 - \frac{PD_i - PD_{\min}}{PD_{\max} - PD_{\min}}, PXb_i = \frac{PX_i - PX_{\min}}{PX_{\max} - PX_{\min}}$$

式中, H 为某网格的综合生境适宜性指数, T 表示某网格内生境类型数, A_i 表示某网格内 i 类生境的面积, A 为网格面积, h_i 为某网格内 i 类生境的生境适宜性指数, u_1 、 u_2 为权重, 结合专家评判并利用层次分析法 (AHP) 来确定其大小, 分别为 0.7 和 0.3, Cb_i 、 PDb_i 和 PXb_i 分别为标准化后的物种保护指数、破碎度指数和连接度指数。

2.5 生境的人为干扰特征分析

借助 GIS 软件分别生成道路和油井的缓冲区, 然后将二者在 GIS 下进行叠加运算, 将得到的结果与各生境开发利用程度再次叠加。然后以 200m × 200m 网格为研究对象, 计算每个格网内的生境损失率, 根据各网格内的生境损失率对受到的人为干扰强度进行评价。

2.6 生境的生态敏感性分析与评价

在生境适宜性评价和人为干扰特征分析的基础上进行生态敏感性分析。生境适宜性等级在一定程度上体现了不同生境对受保护物种的生态服务价值差异, 也体现了众多受保护物种及其生境对人为干扰的敏感程度, 对于某一区域来说, 适宜性等级越高, 保护价值越大, 对外界变化越敏感; 人为干扰对生态敏感性的影响比较大, 一般干扰越频繁的区域, 其生态敏感性越高。

本研究采用加权求和法来计算生态敏感性指数, 计算公式为: $S = aH + bL$, 式中 a 、 b 分别为生境适宜性和人为干扰对生态敏感性的相对重要性, H 为网格的生境适宜性指数, L 为网格的生境损失率。

将生境适宜性和人为干扰看成两个因子, 采用专家打分的方法来确定 a 、 b 的值, 大小各为 0.55 和 0.45。

$$\text{计算公式为: } G_y = \frac{p_y}{\sum_{y=1}^m p_y}, p_y = \sum_{z=1}^n \frac{p_{yz}}{n},$$

式中, G_y 为第 y 个因子的权重, p_y 为专家对第 y 个因子给的平均数, p_{yz} 为第 z 个专家对第 y 个因子给的分, n 为专家人数, m 为因子个数。

3 结果与分析

3.1 湿地生境适宜性评价

依据计算结果, 结合本区域生境特点, 并参考类似研究^[16~21], 整个研究区可分成最适宜生境、适宜生境、次适宜生境和不适宜生境 4 个等级 (表 2 和图 4)。其中最适宜生境和适宜生境面积最多, 且二者面积几乎相等, 分别为 253.56 km² 和 253.28 km², 各占整个研究区的 32.45% 和 32.42%; 次适宜生境次之, 面积为 182.68

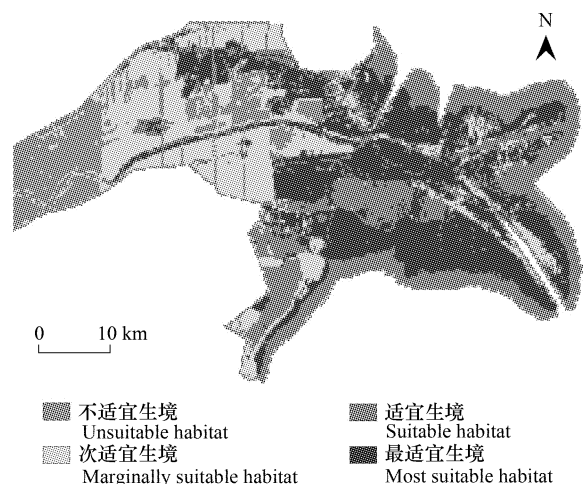


图 4 生境适宜性等级划分

Fig. 4 Classification of habitat suitability

km², 约占 23.38%; 不适宜生境最少, 面积为 91.84 km², 约占 11.75%。总体上, 整个研究区生境适宜性较高, 前三者比重之和约为 88.25%。

表 2 生境适宜性等级划分
Table 2 Classification of habitat suitability

生境等级 Habitat class	生境适宜性指数 CHSI	面积 Area (km ²)	占总面积的百分比 Percentage of total area(%)	生境状况描述 Description of habitat status
最适宜生境 Most suitable habitat	大于 0.932	253.56	32.45	主要的繁殖、觅食地, 如大部分芦苇沼泽、部分碱蓬滩涂等 Main breeding and feeding sites, e. g. most reed swamp, some salsa beach etc
适宜生境 Suitable habitat	0.767 ~ 0.932	253.28	32.42	重要的觅食地、迁徙停歇地, 如开敞水域、部分裸滩涂和盐田等 Important feeding and resting sites, e. g. waters, some bare beach and salt field etc
次适宜生境 Marginally suitable habitat	0.518 ~ 0.767	182.68	23.38	迁徙季节偶尔使用的觅食地及迁徙停歇地, 如虾蟹池、水库、部分农田以及滩涂等 Feeding and resting sites used occasionally during migration season, e. g. shrimp pond, reservoir, some farmland and beach etc
不适宜生境 Unsuitable habitat	小于 0.518	91.84	11.75	人为干扰强烈或者个体从不出现的生境类型, 如部分农田、林地、靠近道路、油井等人为干扰严重的地区 Habitats with strongly human interference or individuals never occur in, e. g. some farmland, woodland, areas close to roads and oil wells etc. affected strongly by human

(1) 最适宜生境主要是大面积发育良好的芦苇沼泽以及部分碱蓬滩涂等生境, 是大多水禽主要的繁殖、觅食地。由于黄河三角洲湿地为新生湿地, 并且总面积以平均 23 km²/a 的速度增加, 所以芦苇沼泽和滩地的面积广阔, 该生境最符合大多水禽的生长需求, 且物种的种类、数量也最多, 主要包括典型物种鹤类, 以及鸥类、雁鸭类和鹬类等水禽;

(2) 适宜生境主要为开敞水域、部分裸滩涂和盐田等生境, 是大多鸟类重要的觅食地、迁徙停歇地, 许多鸟类如鸬鹚、鸬鹚、雁鸭类、鸥类以及鹬类等常来此捕食, 该等级生境与核心生境成为整个生境的主体;

(3) 次适宜生境大多是鸟类迁徙季节偶尔使用的觅食地及迁徙停歇地或者少量鸟类出现的生境类型, 如虾蟹池、水库、部分农田以及滩涂等, 其中农田面积较多;

(4) 而不适宜生境主要是受人为干扰强烈或者个体从不出现的生境类型, 如部分农田、林地、靠近道路、油井等人为干扰严重的地区。

表 3 人为干扰强度等级划分
Table 3 Classification of anthropogenic interference

人为干扰影响强度 Degree of anthropogenic interference	人为干扰影响值 Anthropogenic interference value	面积 Area (km ²)	占总面积的百分比 Percentage of total area(%)
极强烈 Extreme strong	大于 0.25	5.28	0.676
强烈 Strong	0.1 ~ 0.25	46.40	5.938
弱强烈 Less strong	0.05 ~ 0.1	60.44	7.735
不强烈 No strong	小于 0.05	669.24	85.651

3.2 湿地生境人为干扰特征分析

这主要与当地的人类历史开发活动密切相关, 黄河三角洲地区石油资源丰富, 全国第二大油田-胜利油田就坐落在此, 且部分油气资源区与黄河三角洲自然保护区在地域上严重交叉。因而保护区内也分布着许多油井和道路, 比如“新滩油田”和“红柳油田”以及已修建和正修建的道路等。油田占地广, 勘探、打井等作业势

必破坏地表自然生态,而恢复也需要一个过程。保护区内油井、道路附近的芦苇沼泽和滩涂等生境破坏严重,被分割成许多大小不等且不连续的斑块,严重影响鸟类等其他物种的生存。

根据结果并结合实际,将研究区人为干扰强度分为极强烈(大于 0.25)、强烈(位于 0.1 和 0.25 之间)、弱强烈(位于 0.05 和 0.1 之间)和不强烈(小于 0.05) 4 个等级。由图 5 可看出道路和油井对湿地生境影响强烈的地区主要分布在油井密集的地区和油井与道路交叉重叠的地区及其周围附近地区,大片面积的生境受到的影响比较小。道路和油井对研究区湿地生境影响极强烈的面积为 5.28 km²,仅占 0.676%;受影响强烈和弱强烈的生境面积也不是很多,分别为 46.40 km²和 60.44 km²,分别占 5.938% 和 7.735%;几乎没有受影响的区域面积为 669.24 km²,占总面积的 85.651%,占了绝大部分。而前三者之和面积才为 112.12 km²,占 14.349%。这也与现实比较相符,因为油井和道路,分别为点状和线状地物,其对生境的影响只是其周围附近一定范围内,而且随着距离的增加,这种影响逐渐降低。

3.3 湿地生态敏感性评价

依据计算结果,考虑到研究区的实际生境现状,并参考相关的研究成果^[2~6,8~10,12,13],最终将整个研究区划分 5 个敏感程度不同的区域,图 6 和表 4。极敏感区($S > 0.495$)、敏感区($0.45 \leq S < 0.4955$)、较敏感区($0.35 \leq S < 0.45$)、一般敏感区($0.25 \leq S < 0.35$)和不敏感区($S < 0.25$)。

图 6 较直观地反映了研究区内生态敏感性分布的现状特征。研究区的生态敏感性整体上较高,总的分布规律是靠近沿海的区域敏感性较高,内陆区域的敏感性较低。极敏感区、敏感区与较敏感区三者面积之和为 562.58 km²,约占整个研究区的 72%,其中仅敏感区就大约占 43.59%,主要位于保护区内靠近沿海且分布有大面积芦苇沼泽以及碱蓬滩涂和开场水域的区域,还有受人为干扰比较强烈的油井、道路附近及盐田等的区域。而一般敏感区和不敏感区主要分布在研究区的中西部,二者面积为 218.78 km²,约占 28.00%,相对较少。这也与当地现实情况相符,由于研究区内分布着大面积原生性较好的芦苇沼泽和碱蓬滩涂,生态环境脆弱,对人类干扰敏感,且主要是位于靠近东部沿海地区,而中西部多为一些农田和林地,对人类干扰的敏感度较低。

(1)极敏感区 主要分布在在核心区内和分布有大片芦苇沼泽的试验区内,生境类型主要是芦苇沼泽和碱蓬滩涂,面积 94.93 km²,约占全区面积的 12.15%。该区域环境资源质量非常高、原生性很好,生态系统服务功能价值很大;但很多区域受到人为干扰影响,生态环境很脆弱,极易受到人为破坏,而且一旦破坏很难在短时期内恢复。所以该区应做好充分的外围缓冲,区内注意原生性植被的保护与恢复,以提高生态系统的多样性和稳定性;同时还要实行严格的保护,应禁止一切开

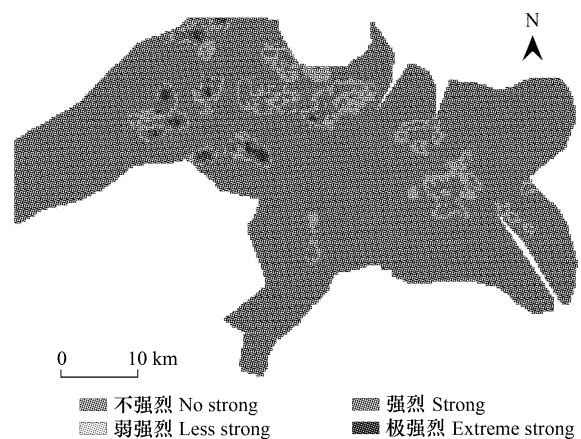


图 5 人为干扰等级划分

Fig. 5 Classification of anthropogenic interference

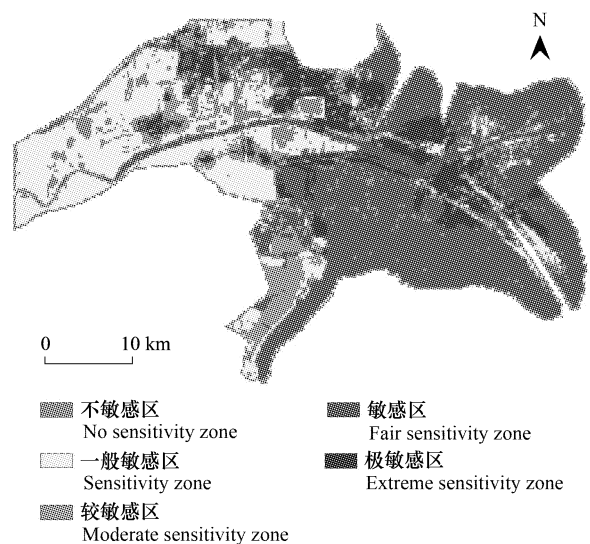


图 6 生态敏感性等级分布图

Fig. 6 Classification of ecological sensitivity

发活动,对于已经建设的,应当按照相关规定要求,逐步迁出。

(2)敏感区 同极敏感区一样,敏感区也是主要分布在核心区和靠近浅海的试验区内,面积最多,约为 340.63 km²,占 43.59%。生境类型主要是大片的芦苇沼泽和碱蓬滩涂以及开敞水域,该区域一方面环境资源质量高、原生性好,生态系统服务功能大;另一方面受到的人为干扰也较大,因而生态环境敏感性强,易受到人为破坏,破坏后难以恢复。其外围应有较好的缓冲条件,区内应注意原生性植被的保护与恢复,对该区应以保护为主,尽量避免开发活动。

(3)较敏感区 主要位于试验区内,分布较散,但在莱州湾西侧的实验区内有一面积较大的集中区域,其余的在人工河西侧、“新滩油田”、“红柳油田”、“垦东六”及“垦东二十四”等地区或附近也有零星分布,面积大约为 127.02 km²,约占全区总面积的 16.26%。生境类型主要是盐田和少量的芦苇沼泽及碱蓬滩涂,该区域生态敏感度中等,要进行适当的保护,重点以对现有环境资源进行恢复、培育、抚育、涵养等为主。建议控制各种开发建设活动,强调相对集中的发展模式。

(4)一般敏感区 也主要分布在试验区内,此外新、老河口周围也有零星分布,分布面积较大,约为 178.24 km²,占 22.81%。生境类型以农田为主,还有一些虾蟹池,该区域生态敏感度不高,生态敏感性总体上处于良好状态,在一定程度上可适当开展一些活动,但要给予合理的指导。该区内要适当调整农业的生产结构,发展生态农业建设。

(5)不敏感区 主要分布在保护区中西部的试验区内,面积大约为 40.54 km²,仅占全区总面积的 5.19%。该区域生境类型主要为林地和农田,生态敏感度低,生态系统服务功能较为稳定,生态敏感性处于相对平衡的状态。可承受一定强度的开发建设,除了耕种和植树,在一定程度上也可做其他用途,但目前该类地区要加强农田管理,改变耕作方式。

表 4 研究区生态敏感性等级划分

Table 4 Classification of ecological sensitivity

生态敏感性类别 Ecological sensitivity class	生态敏感性值 Ecological sensitivity value	面积 Area (km ²)	占研究区比重 Percentage of total area(%)
极敏感区 Extreme sensitivity zone	大于 0.495	94.93	12.15
敏感区 Fair sensitivity zone	0.45 ~ 0.495	340.63	43.59
较敏感区 Moderate sensitivity zone	0.35 ~ 0.45	127.02	16.26
一般敏感区 Sensitivity zone	0.25 ~ 0.35	178.24	22.81
不敏感区 No sensitivity zone	小于 0.25	40.54	5.19

4 结论与讨论

(1)不同于以往生态敏感性评价采用的方法,本文试图将生境适宜性评价及人为干扰分析结合起来建立评价模型,以期为区域生态敏感性评价提供新的研究方法思路;同时为确保评价结果的精确性,建立了 200m × 200m 的网格系统,并借助 GIS 的空间叠加分析功能计算出每个网格内的各种指数来进行评价。由于黄河三角洲自然保护区是国际上重要的鸟类栖息地、繁殖地、中转站,所以在建立水禽数据库时,我们选取物种的标准是被列为世界自然保护联盟(IUCN)红色名录濒危等级,而不是国家一、二级保护等级,这就使得本研究结果具有一定的国际参考价值。此外生境适宜性评价考虑的是众多物种的适宜性(物种保护指数),而且还结合景观格局指标(连接度指数和破碎度指数)建立起景观格局信息与区域生态环境之间的联系,最后得到综合生境适宜性指数,确保评价结果能从景观视角科学、全面地综合反映研究区的现实情况。然后又从已建水禽数据库中选取了研究区内乃至国际上都非常典型的物种鹤类作为指示种以分析人为干扰造成的生境损失,最后基于以上结果进行生态敏感性分析。分析结果虽不宜视为对研究区现状的精确描述,但总体上能较好地反映当地的情况,这也说明基于 GIS 技术和综合生境适宜性概念以及人为干扰分析进行湿地保护区的生态敏感性评价是可行的,该方法具有一定的应用价值。

(2)在评价生境适宜性时,选取的物种主要是一些与湿地密切相关的水禽,对于林地,尽管人类的干扰不是很大,但由于它不是水禽的生境,所以生境适宜性非常低。另外本研究选取的水禽主要是被列为世界自然保护联盟(IUCN)濒危等级的物种,这些鸟类中大多是一些以芦苇沼泽、开敞水域等为主要生境的鹤类、鸕类、雁鸭类等,比如丹顶鹤、白头鹤、白鹤、灰鹤、白枕鹤、蓑羽鹤、白鹳、东方白鹳、小天鹅、大天鹅、罗纹鸭、鸳鸯等,而许多以碱蓬滩涂为主要生境的鸕类、鸥类等很少有被列为IUCN的,只有少量种类如小杓鸕、半蹼鸕、黑嘴鸥、小青脚鸕等,所以最后得出的结果是部分碱蓬滩涂的生境适宜性不高。

(3)由以上分析可知,通常某区域的生态敏感值越大,该区域的保护价值越高,同时受到人为活动冲击也越严重,越应受到保护。依据生态敏感性分析结果(图6),对照保护区现有功能分区(图1),发现尽管大多敏感区和极敏感区已被列为核心区(如保护区南部靠近沿海的大片滩涂,老河口两侧以及新河口附近),但仍有大量重要生境游离于核心区外,承受农业开发、道路建设及油田开采等人为活动的冲击,这也说明目前黄河三角洲保护区的功能区划难以做到对物种生境的全面有效保护,尚需进一步完善和优化。为此,可以考虑将目前“新滩油田”外围的缓冲区向内扩展,适当增加该缓冲区的面积;自“红柳油田”至黄河北岸的区域内,将靠近油田的地区划为缓冲区,并与“新滩油田”外围的缓冲区相接,自新的缓冲区至黄河北岸间的区域划为核心区。需要说明的是:对于试验区内其他生态敏感性较高的区域,并未建议将其列入缓冲区-核心区,主要是因为这些区域的生境适宜性并不高,其较高的敏感度是由人类活动引起。

(4)虽然本研究对生境适宜性、人为干扰强度和生态敏感性的等级划分以及影响因子的权重赋值具有一定的主观性。但由于经过实地调查、参考了大量相关的文献,并结合诸多常年从事该区域研究的专家打分及采用了层次分析法(AHP)等,在一定程度上减少了主观性带来的偏差。评价结果总体上能客观反映当地生态环境的现状,同时也为今后保护区的区域发展规划、合理布局提供了科学依据。

References:

- [1] Zhang X L, Li P Y, Li P, *et al.* Present conditions and prospects of study on coastal wetlands in China. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(1): 87—95.
- [2] OuYang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 9—12.
- [3] Yang Z F, Xu Q, He M C, *et al.* Analysis of city eco-sensitivity. *China Environmental Science*, 2002, 22(4): 360—364.
- [4] Liu K, Ouyang Z Y, Wang X K, *et al.* Eco-environmental sensitivity and its spatial distribution in Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2711—2718.
- [5] He Q H, Zhang D, Chen C M, *et al.* Eco-environmental sensitivity evaluation of central Guizhou Province based on GIS technique. *Chinese Journal Ecology*, 2007, 26(3): 413—417.
- [6] Liu K, Xue W H, Ouyang Z Y. GIS-based assessment on sensitivity to land desertification in Gansu Province. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 22(5): 29—32.
- [7] Muzik I. Sensitivity of hydrologic systems to climate change. *Canadian Water Resources Journal*, 2001, 26(2): 233—252.
- [8] Ariane Verdy, Hal Caswell. Sensitivity analysis of reactive ecological dynamics. *Bulletin of Mathematical Biology*, 2008, 70(6): 1634—1659.
- [9] Rossi P, Pecci A, Amadio V, *et al.* Coupling indicators of ecological value and ecological sensitivity with indicators of demographic pressure in the demarcation of new areas to be protected: the case of the Oltrepo Pavese and the Ligurian-Emilian Apennine area (Italy). *Landscape and Urban Planning*, 2008, 85(1): 12—26.
- [10] Naujokaitis L R I, Curtis J M R, Arcese P, *et al.* Sensitivity analyses of spatial population viability analysis models for species at risk and habitat conservation planning. *Conservation Biology*, 2009, 23(1): 225—229.
- [11] Zhang Y H, Zhang S W. Susceptible analysis on ecological environments and management measures of wetlands in middle and low Reaches of Nen-jiang River. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(4): 82—85.
- [12] Qiu P H, Xu S J, Xie G Z. Analysis on the ecological vulnerability of the western Hainan Island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1257—1264.
- [13] Han G F, Zhao K, Yuan X Z, *et al.* Evaluation of ecological sensitivity in mountain area based on spatial analysis—a case study of Wanyuan City in Sichuan Province. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(5): 531—537.