

辽河三角洲湿地以丹顶鹤生境保护为核心的退耕预案研究

王 凌^{1,2}, 李秀珍^{1*}, 郭笃发^{3,4}, 王绪高¹, 舒 莹^{1,3}, 胡远满¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271000;
3. 山东师范大学人口资源与环境学院, 济南 250014; 4. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘要:在遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的支持下,结合野外实地调查,运用预案研究方法和景观生态决策与评价支持系统(LEDESS)的决策与规划评价思想,针对辽河三角洲大洼小三角洲部分的过度农业开发对野生动物生境的严重影响后果,对本区土地利用规划进行了以丹顶鹤生境保护为核心的退耕预案设计,并对其生态后果进行了空间模拟和评价。根据不同的经济和生态发展要求设计了 4 个预案,分别为 1988 年原状(预案 1)、1998 年原状(预案 2)、苇带设计(预案 3)和生境恢复(预案 4),通过对各预案进行生境适宜性、生态承载力及经济效益评价,可以得到以下结论:预案 1 尽管生态效益很高,但经济效益很低,在区域发展需求下由现状年恢复到预案 1 具有不现实性;而预案 2 为强烈经济需求下的典型发展模式,生态效益偏低,与经济效益的比例失调;预案 3 和预案 4 为生态与经济的协调发展模式及丹顶鹤生境恢复提供了有效参考,可将其视为近期和远期规划目标分步实施。这说明合理的土地开发利用方式和生境恢复措施不仅可以获得经济的高效发展,而且还可稳定的生态环境提供有力保障,从而为区域经济与环境的协调发展提供参考性依据,具有一定的典型性。

关键词:辽河三角洲;土地利用规划;退耕还苇;预案研究;丹顶鹤生境保护

Scenarios study on returning farmland to wetlands for protecting red-crowned cranes in the Liaohe Delta

WANG Ling^{1,2}, LI Xiu-Zhen^{1*}, GUO Du-Fa^{3,4}, WANG Xu-Gao¹, SHU Ying^{1,3}, HU Yuan-Man (1. *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*; 2. *College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271000, China*; 3. *College of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China*; 4. *College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1708~1717.

Abstract: The Liaohe Delta is one of the most important wetlands for wild animals, especially for water birds, to inhabit and breed. It is the southern most site for the breeding of red-crowned cranes (*Grus japonensis*), and an important stopover site on their migration route. Therefore this delta plays an important role in the international conservation of cranes. But the area of suitable habitat had reduced and the quality of habitat was degraded in the last decades, mainly due to oil and agricultural exploitation. The objective of this research was to find an appropriate land use model to keep economic development and habitat conservation of the region.

Based on the study of land use change between 1988 and 1998 in the Liaohe Delta, and supported by intensive field investigation, four land use planning scenarios of the Dawa sub-delta were designed with the scenarios approach and the evaluation idea of LEDESS Model (Landscape Ecological Decision and Evaluation Support System). The four scenarios, Year 1988 (No. 1), Year 1998 (No. 2), Reed belt (No. 3) and Habitat restoration (No. 4), were different in the aims of ecological

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40001002, 40171037)

收稿日期:2003-04-18; **修订日期:**2004-04-12

作者简介:王凌(1975~),女,山东日照人,硕士,讲师。主要从事环境学、生态学及地理信息系统研究。E-mail: WangL1974@163.com.

* **通讯作者:** Author for correspondence. E-mail: lndscp@iae.ac.cn.

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 40001002 and No. 40171037).

Received date: 2003-04-18; **Accepted date:** 2004-04-12

Biography: WANG Ling, Master, mainly engaged landscape ecology, GIS and remote sensing.

and economic benefit. The main measures were returning paddy fields to reed fields and prawn-crab-ponds to restore the habitat of wild animals. The habitat suitability, the breeding carrying capacity and the economic benefit of different scenarios on the red-crowned crane's habitat were simulated and evaluated with different methods, in which spatial diversity index was adopted to analyze the habitat suitability. The result was that the habitat suitability, the breeding carrying capacity and the economic index were 0.575, 33 pairs and 10.56 respectively in Scenario No. 1, 0.357, 22 pairs and 16.68 in Scenario No. 2, 0.435, 32 pairs and 17.42 in Scenario No. 3, and 0.535, 41 pairs and 17.74 in Scenario No. 4. It was concluded that Scenario No. 1 was unpractical because of the lowest economic benefit in the four scenarios; Scenario No. 2 had high economic benefit but the least ecological benefit, which endangered the suitable habitats of the wild animals; and Scenarios No. 3 and No. 4 were effective to keep harmonious development between economy and environment, which could be actualized in steps as the short-term and long term planning goals. It was indicated that appropriate land use models and habitat restoration measures could not only keep economic development but also offer a steady habitat for wild animals. This study can serve as a reference to the coordination between economic development and ecological conservation in the Liaohe Delta, as well as other similar area.

Key words: Liaohe Delta; land use planning; farmland returning to wetlands; scenarios study; red-crowned crane protection

文章编号:1000-0933(2004)08-1708-10 中图分类号: Q149,P901 文献标识码: A

丹顶鹤(*Grus japonensis*)为世界濒危鸟类之一,是国家一级保护动物,有湿地中最敏感的“指示物种”之称^[1]。经济开发活动的加强使原生湿地不断丧失,丹顶鹤的生境受到威胁,引起了许多学者的关注^[2~5],并提出了相应的保护措施^[6~8]。但这些保护措施多从宏观角度考虑,对于具体的区域实施方案则很少涉及。辽河三角洲是我国野生丹顶鹤繁殖的最南限,也是丹顶鹤迁徙路线上的重要停歇地,在国际鹤类保护中占有重要地位。本区又是重要的经济开发区,生境保护与经济矛盾的矛盾极为突出。

“预案(scenarios)”研究方法作为协助决策的工具,20 世纪 80 年代以后逐渐被用于协调保护与开发的矛盾、以可持续发展为目标的区域与环境管理及规划的实践中^[9~12]。国内的预案研究起步较晚,肖笃宁等提出运用“预案”研究进行景观生态建设规划^[13],李晓文等第 1 次将 LEDESS 模型引入国内,对辽河三角洲湿地进行了景观规划预案研究^[14]。

本文借鉴景观生态决策与评价支持系统(Landscape ecological decision and evaluation support system,即 LEDESS 模型)的决策与评价思想^[15],以丹顶鹤生境保护为核心,对辽河三角洲大洼小三角洲部分的土地利用规划进行了退耕预案设计,并对预案后果进行综合评价和比较,试图为本区区域开发与生境保护的协调发展提供合理的参考方案。

1 预案区域的选择

辽河三角洲总面积约 4000 km²,盘锦市是其主体和核心。这里有全国第三大油田辽河油田,也是国家重要的商品粮基地,还有面积约 1000 km² 的世界最大苇(*Phragmites communis*)田,区域开发以油田、稻田、苇田和虾蟹田为主。区内有双台河口国家级自然保护区,面积 1280 km²,是为保护滨海湿地生态系统和珍稀物种而建立的重要湿地类型保护区,共有涉禽、游禽为主的鸟类 256 种,兽类、两栖、爬行动物 15 种,列入国家一、二级保护的动物 35 种*。丹顶鹤为本区的代表物种,据多年观察,每年迁来的丹顶鹤为 400 只左右,于此繁殖的丹顶鹤为 50 余只。每年 2 月末至 3 月初迁来,栖息于苇田、滩涂,以鱼、虾、蟹及谷物、草籽为食,觅食环境包括苇田、滩涂、虾蟹田、稻田、水库、河流等,营巢环境为芦苇沼泽,11 月末迁离本区至南方越冬^[16]。

研究发现,1988 年至 1998 年丹顶鹤生境适宜性的变化^[17]主要集中于大洼小三角洲。本区包括了双台河口国家级自然保护区双台子河以东的部分(图 1),原为丹顶鹤、黑嘴鸥(*Larus saundersi*)、雁鸭类等水禽的重要栖息地和繁殖生境,始于 20 世纪 80 年代末的大洼小三角洲开发直接占用苇田和翅碱蓬(*Suaeda hetroptera*)滩地,严重破坏了野生动物生境。而且由于



图 1 预案研究区位置图

Fig. 1 The geographical position of study area

* 辽宁双台河口国家级自然保护区总体规划. 沈阳:辽宁省林业勘测设计研究院,2000

土壤和地下水的盐分较高,土壤质量差,粮食生产的经济效益不高,而芦苇和养鱼的经济效益却比种稻高,当地群众已自发出现了“退耕”倾向。在国家“退耕还林、还湖”的大环境下,结合本区实际情况,当地有关部门提出了“退耕还苇”的设想。

基于上述背景,本文为研究方便和体现代表性,将大洼小三角洲作为土地退耕预案的研究区,面积 376 km²。

2 研究方法

根据 1988 年 9 月和 1998 年 5 月的 TM 卫星影像数据,结合野外实地调查,在 GIS 支持下,获得本区两个时段的土地利用类型图,以此作为基础数据。文中将辽河三角洲的土地利用类型分为 13 类:建成区、水库湖泊、虾蟹田、旱地、稻田、苇田、林地、翅碱蓬、香蒲、柽柳、河流、海岸带及盐田^[18],苇田包含了一些河滩杂草甸。

2.1 预案研究方法

从决策论角度,预案可定义为“对未来存在的可能性,决策者对未来所期待的状态的描述,以及相关的系列事件,经由这些事件可将现存状态导向未来的目标”^[14,19]。与传统的预测不同,预案研究不是用来回答“将要发生什么”,而是着重“如果...也许将会发生什么”。预案研究侧重于对未来各种可能性的探索并寻求实现的途径。预案研究是一个交替循环的过程,评价的结果往往需要在输入新一轮规划方案过程中用以调整预案并重新评价,最终完成更为综合的规划与设计。设计预案时,首先必须把握现实真实的状况,同时还必须找到实现的路径^[14]。

2.2 LEDESS 模型的规划与评价思想

LEDESS 模型是一个基于栅格地理信息系统的典型空间明晰化模型,能系统地运用相关空间信息和生态学知识对预案导致的生态后果进行空间模拟和定量分析^[20],并将结果予以空间直观表达,使决策者能形象地看到各种可能的土地利用和生境管理方式造成的生态后果,从而提高决策的科学性。同时 LEDESS 模型还是一个基于知识库的专家模型,其整合了生境过程与景观管理的专家知识,对解决复杂的区域资源与景观生态管理方面的问题是一个非常有效的途径^[16]。

在确定预案实施措施和进行生态后果评价时,文中借鉴了 LEDESS 模型的决策与评价思想,采用专家知识库,将预案措施和生态评价结果以空间直观的形式表现出来。

2.3 空间多样性指数计算方法

在对丹顶鹤生境适宜性进行评价时,采用了以栅格数据为基础的空间多样性指数^[21]。利用 Arc/Info Grid 模块的分析和计算功能得到任一栅格的空间多样性指数值。栅格大小(即分辨率)应根据野生动物生境特点和研究需要来确定,文中以最小生境斑块面积 1 hm²(100 m×100 m)为分辨率。

2.3.1 混合度(Interspersion) 混合度是指不同生境类型单元间的混合程度。对于多生境物种而言,不同类型的适宜生境分布愈趋于集中,食物和隐蔽条件愈多样化,愈利于动物的生存。其求算原理如下:

A	B	B
C	A	D
A	D	D

以任一栅格(cell)为中心,其周围有八个相邻栅格,每一栅格皆代表着特定的土地覆被类型(图 2)。混合度的计算公式即为:

$$I_s = n/8$$

式中, n 为相邻 8 个栅格中土地覆被类型不同于中心栅格土地覆被类型的栅格个数。因而,混合度的值域介于 0~1 之间。据此,图 2 中心栅格的 $I_s=6/8=0.75$ 。

2.3.2 邻接度(Juxtaposition) 邻接度表征物种的生境需要与物种所在地之间的相邻或接近程度,即不同生境单元边界类型的空间配置的优劣,其权重值需要专家赋予,求算过程如下:

① 首先确认围绕中心栅格的所有边界类型组合情况,如中心栅格土地覆被类型为 A,则需确定边界组合类型为 AA、AB 或其他,最多可有 8 种组合类型。

② 赋予每一个相邻边界类型一个数量值,垂向或横向相邻为 2,斜向相邻为 1,这样即可得出任一栅格的相邻边界类型的数量值总和为 12。

③ 根据野生生物对不同生境的需求,赋予每一种边界组合类型一个相对权重值(介于 0~1),代表相邻的覆被类型间的生境质量或重要性。本文据丹顶鹤栖息特性及生境需求,采用多位专家赋分的形式,经过综合和筛选,最终赋值如表 1。

④ 中心栅格与任一相邻栅格间相邻边界的数量值与相对权重值之积,即为此边界类型的重要性指标值,8 个相邻边界类型指标值之和除以 12,即得到中心栅格的邻接度指标 J_s ,其值域亦为 0~1。

仍以图 2 为例,假设 A、B、C、D 代表的覆被类型分别为稻田、苇田、翅碱蓬、建成区,其边界数量值和相对权重值由表 1、表 2 查得。由此得出图 2 中心栅格的邻接度 $J_s=2.80/12=0.23$ 。

图 2 求算空间多样性指数的栅格布局示例

Fig. 2 An example of grid distribution

A、B、C、D 代表不同的土地覆被类型 Represent different land cover types

表 1 不同边界土地覆被组合类型的相对权重值

Table 1 The relative weight value of all combinations of edge cover types													
中心栅格的 覆被类型 Land cover type of the center cell	相邻栅格的土地覆被类型 Land cover type of the cell around the center cell												
	建成区 ^①	水库 湖泊 ^②	虾蟹田 ^③	旱地 ^④	稻田 ^⑤	苇田 ^⑥	林地 ^⑦	翅碱蓬 ^⑧	香蒲 ^⑨	柽柳 ^⑩	河流 ^⑪	海岸带 ^⑫	盐田 ^⑬
建成区 ^①	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水库湖泊 ^②	0	0.10	0.20	0	0.20	0.70	0	0.50	0.70	0.30	0.10	0.30	0
虾蟹田 ^③	0	0	0.25	0	0.30	0.60	0	0.30	0.50	0.10	0.10	0.10	0
旱地 ^④	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
稻田 ^⑤	0	0	0.15	0	0.10	0.60	0	0.40	0.50	0	0.20	0.30	0
苇田 ^⑥	0	0.70	0.60	0	0.30	1	0	0.60	0.60	0.40	0.60	0.50	0
林地 ^⑦	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
翅碱蓬 ^⑧	0	0.40	0.40	0	0.20	0.95	0	0.90	0.90	0.50	0.60	0.50	0
香蒲 ^⑨	0	0.30	0.40	0	0.20	0.90	0	0.80	0.90	0.50	0.55	0.30	0
柽柳 ^⑩	0	0	0	0	0	0.50	0	0.30	0.50	0.20	0.30	0.40	0
河流 ^⑪	0	0.10	0.20	0	0.10	0.70	0	0.50	0.70	0.10	0.20	0.20	0
海岸带 ^⑫	0	0.10	0.15	0	0	0.70	0	0.60	0.50	0	0.30	0.40	0
盐田 ^⑬	0	0	0	0	0	0.1	0	0.05	0	0	0	0	0

① Built-up, ② Reservoir-lake, ③ Prawn-crab-ponds, ④ dryland, ⑤ Paddyfield, ⑥ Reed, ⑦ Woodland, ⑧ *Suaeda*, ⑨ *Typha*, ⑩ *Tamarix*, ⑪ River, ⑫ Beach, ⑬ Salt field

表 2 邻接度的计算赋值

Table 2 The calculation of Juxtaposition			
边界类型 Combination of edge cover types	边界数量值 Sum of the numerical rating of each edge type combination	相对权重值 Relative weight value	两者之积 Accumulation
A/A	2	0.10	0.20
A/B	3	0.60	1.80
A/C	2	0.40	0.80
A/D	5	0	0
总计 total	12		2.80

需要指出的是,尽管同类土地覆被类型的栅格相邻并不构成边界,但也要为其赋一个相对重要性值,来体现某些大型斑块对物种的重要性;AB 与 BA 边界组合类型的相对权重赋值也是不一样的,表明物种在不同生境间的迁移阻力不同,这要根据目标物种对不同生境的喜好程度而定。

2.3.3 空间多样性(Spatial diversity) 以混合度和邻接度为基础得出的空间多样性指标,既能体现生境的多样性,又能体现生境的连通性,其简化公式为:

$$Sd_A = \alpha_A I_S + \beta_A J_S$$

式中,A 为某特定物种, α_A 为混合度的权重值, β_A 为邻接度的权重值; α_A 、 β_A 分别表示混合度和邻接度对特定物种生境的相对重要性,值域均介于 0~1 之间,且两者之和为 1。

丹顶鹤对生境的要求较高,喜欢大面积的芦苇田和有高等植物生长的滩涂,且具有领域性^①,由此认为丹顶鹤生境的空间多样性指标构成中邻接度的重要性高于混合度,经反复的调整与比较,最后赋予 α_A 、 β_A 为 0.3 和 0.7。空间多样性指标可以反映生境对某些野生动物的适宜程度及其空间布局,既可以是针对单一物种的,也可以是针对许多物种的。

3 预案研究过程

3.1 预案规划目标

本区的预案规划目标包括生态目标和经济目标。
生态目标旨在通过改变土地利用方式和采取生境补偿措施改善生境质量。本区的苇田既是丹顶鹤及鹭类、雁鸭类等水禽的优良生境,又是优质的造纸原料,具有良好的生态和经济效益,因此将其作为主要规划目标。苇田的恢复主要利用退耕的稻田。

① 胡远满. 为城市数据区的生境研究及其景观生态设计——以辽宁双台河口自然保护区为例. 沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所博士学位论文. 1997

通过营造芦苇带,尽可能扩大自然和半自然湿地;同时通过开挖引潮沟恢复被大堤隔断的苇田与海水的联系,适量的海水可有效去除杂草,防止芦苇退化,提高苇田生境的质量。

考虑到本区为淤长型三角洲,堤外翅碱蓬会在自然演替下随滩涂向海延伸而扩展,且堤内不再受潮汐的影响,翅碱蓬生境的重建有悖于自然演替规律。作者认为只要加强堤外的生态保护,翅碱蓬生境应该会有大的改善,因而预案中未涉及翅碱蓬生境的恢复。

经济目标主要包括苇田和虾蟹田的开发。由于本区特殊的近海位置和水盐条件,苇田和水产养殖,如虾蟹田、鱼塘的经济效益比稻田高,因而将苇田和虾蟹田的开发作为主要土地利用方式,文中将鱼塘归于虾蟹田。

3.2 预案设计

基于区域经济效益与生态效益相协调的原则,以 1998 年为现状年,提出 4 个预案,各预案的规划目标如表 3,其空间分布如图 3。其中预案 1(1988 年原状)和预案 2(1998 年原状)作为对照预案。预案 3(苇带设计)和预案 4(生境恢复)通过不同的土地利用调整策略和生境恢复措施来还原部分自然和半自然湿地,以增加适宜生境面积,优化生境质量。不同的是前者涉及范围较小,而后者较大。

预案 1 是假定维持 1988 年土地利用原状不变只考虑自然演替因素而得到的 10 年后的土地利用状态,受人类活动的影响较小,只在东部有小部分稻田和建成区,且区内油井较少,仅有道路 40 km,亦没有大型挡潮堤,91%的区域基本上维持自然覆被。

预案 2 维持 1998 年的土地利用原状,可以看出明显的人类干扰痕迹,土地开发强度大,有稻田 11297 hm²,占总面积的 30%,虾蟹田 2570 hm²,道路 70 km,防潮大堤 17.8 km。

预案 3 在现状年的基础上退耕稻田 4500 hm²,恢复苇田 4000 hm²,沿北部的赵圈河苇场南侧边界、大堤内侧直至平原水库东侧形成一条长约 30 km,宽 1~2 km 的芦苇带,将保护区的 7000 亩芦苇试验地与赵圈河苇场和虾蟹田、水库等水面相连,开发虾蟹田 500 hm²,维持翅碱蓬滩涂的自然演替。

预案 4 在现状年的基础上退耕稻田 11000 hm²,其中 10000 hm² 用以恢复苇田,1000 hm² 开发为虾蟹田,通过恢复与海水联系,引潮沟沿岸小部分地区可还原为翅碱蓬,估算为 300 hm²,使区内的苇田面积达到总面积的 56%,且与大片水面相连,形成“近自然”生境。从一定程度上来说,预案 4 是预案 3 的继承与发展。

需要说明的是,区域内合理的堤坝、道路设置是必要的,但基于生境保护原则也不赞成继续扩大规模,因而预案 3 和预案 4 中未涉及到,意在限制其维持 1998 年水平。

3.3 预案实施措施及范围

寻求由现状导向未来目标的实现途径是预案研究最为关键的一步,经反复调查与比较,最终确定由现状年土地利用类型到规划目标所必须采取的土地利用方式和相应管理措施^[14]如表 4 所示,如由稻田转变为芦苇,则需灌水提高地下水位并采取人工植苇(M14)。

需要指出的是,表中的部分土地利用类型的转变显然不切实际,且所需措施极其复杂,如建成区与翅碱蓬及苇田之间的转换,但涉及到对照预案 1 为 1988 年土地利用原状,为了便于比较和研究的统一性,仍将由现状年还原为 1988 年土地覆被类型所应采取的措施简化列于表中。

以 GIS 为技术依托,将各预案实施措施在空间上的分布以直观的形式表现出来,并对每一预案各措施的实施面积(预案 1 中面积小于 100 hm² 的未列出)及其所占总面积的百分比进行统计,结果如图 4。

预案 1 所涉及的规划范围最广,面积达 151 km²,占本区总面积的 40%,实施措施种类也最多,可达 18 种;预案 3 苇带设计的规划面积 10.2%,实施措施仅有 3 种;预案 4 生境恢复所涉及的范围介于预案 1 与预案 3 之间,占总面积的 30%,实施措施有 6 种。

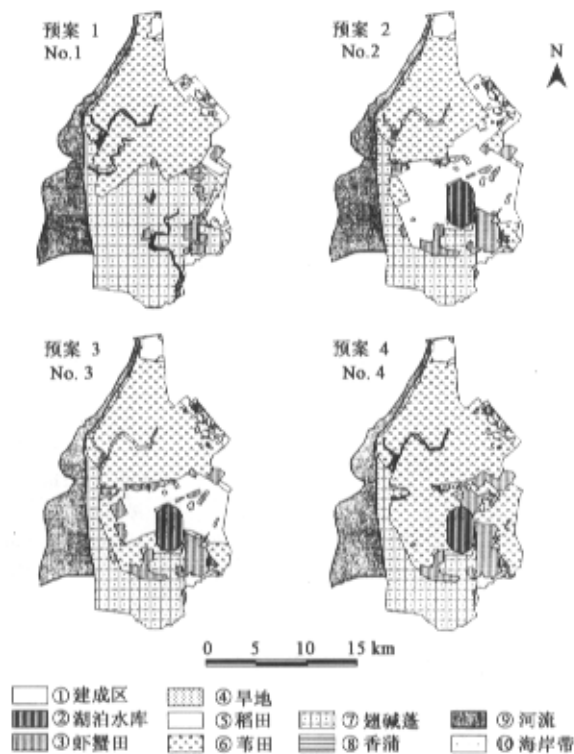


图 3 各预案的规划目标图

Fig. 3 Land use targets map of the scenarios

①Built-up; ②Reservoir; ③Crab-shrimp ponds; ④Dryland; ⑤Rice paddy; ⑥Reed; ⑦Suaeda; ⑧Typha; ⑨River; ⑩Beach

表 3 各预案的土地规划和生境恢复目标

Table 3 Land use planning and habitat restoring targets of the scenarios				
规划目标 Planning targets	预案 1 (恢复 1988 年原状) No. 1 (year 1988)	预案 2 (维持 1998 年现状) No. 2 (year 1998)	预案 3 (苇带设计) No. 3 (reed belt)	预案 4 (生境恢复) No. 4 (habitat restoration)
虾蟹田 Prawn-crab-ponds	维持 1988 年原状 Keep status of year 1988	维持 1998 年原状 Keep status of year 1998	开发 500 hm ² Increase 500 hm ²	开发 1000 hm ² Increase 1000 hm ²
稻田 Paddyfield	维持 1988 年原状 Keep status of year 1988	维持 1998 年原状 Keep status of year 1998	退耕 4500 hm ² Return 4500 hm ²	退耕 11000 hm ² Return 11000 hm ²
苇田 Reed	自然演替,增加 1900 hm ² Natural increase by 1900 hm ²	维持 1998 年原状 Keep status of year 1998	建引潮沟,恢复 4000 hm ² , 建立苇带将苇田连接成片 Increase 4000 hm ²	采取生境恢复措施,恢复 10000 hm ² ,形成近自然生境 Increase 10000 hm ²
翅碱蓬 Suaeda	自然演替,增加 1200 hm ² Natural increase by 1200 hm ²	维持 1998 年原状 Keep status of year 1998	自然演替 Natural succession	通过生境管理和补偿,恢复 300 hm ² Habitat rehabilitation, Increase 300 hm ²

表 4 土地利用类型改变所需措施

Table 4 The measures of changing land use								
规划目标 Planning targets	土地覆被类型现状 The present type of land cover							
	建成区 Build-up	湖泊水库 Reservoir-lake	虾蟹田 Prawn-crab-ponds	旱地 Dryland	稻田 Paddyfield	苇田 Reed	翅碱蓬 Suaeda	海岸带 Beach
建成区 Built-up	S	M4	M4	S	M15	S	S	S
湖泊水库 Reservoir-lake	S	S	S	S	M16	S	S	S
虾蟹田 Prawn-crab-ponds	M1	M5	S	S	M5	M5	S	S
稻田 Paddyfield	M2	M6	M10	M13	S	M6	S	S
苇田 Reed	M3	M7	M7	M14	M14	S	M18	M18
翅碱蓬 Suaeda	M3	M8	M11	S	M17	M17	S	S
河流 River	S	M9	M12	S	S	M9	M9	M9

* M1 废弃建成区,建虾蟹田并恢复与海水的联系;M2 废弃建成区,淡水灌溉并耕作;M3 废弃建成区,维持与海水联系;M4 排水,基建;M5 建虾蟹田,沟通与海水联系;M6 排水耕作;M7 排水降低水位,人工植苇;M8 排水恢复与海水联系;M9 恢复与海水联系,还原为引潮沟;M10 废弃虾蟹田,淡水灌溉耕作;M11 废弃虾蟹田,排水并维持与海水联系;M12 废弃虾蟹田,疏通与潮沟通道;M13 淡水灌溉,提高地下水位;M14 灌水并提高地下水位,人工植苇;M15 基建;M16 人工开挖水库坑塘;M17 排水并恢复与海水联系;M18 淡水灌溉;S 维持原状

还可看出,措施 M14 的实施面积在预案 1、预案 3、预案 4 中所占比重均较大,分别为 4200 hm²、3943 hm² 和 9089 hm²,这与本预案研究的重心在于苇田生境的恢复相一致。

3.4 预案评价

选择苇田生境中的代表性物种丹顶鹤为指示物种,对各预案的生境适宜性和生态承载力进行评价。同时为说明预案实施后经济效益的差别,建立了简单的经济效益评价指数。

3.4.1 生境适宜性评价 以各预案的目标规划图(图 3)为基础图,将相应预案中道路、堤坝、油井的缓冲区与之叠加,生成各预案目标覆被图。缓冲距离为丹顶鹤生境丧失的单边影响距离:道路和堤坝为 410 m、油井为 500 m^①。缓冲区人为干扰强烈,将其归为建成区。以 1 hm²(100 m×100 m)为分辨率,将各预案目标覆被图转化为栅格图。按照 2.3 所述空间多样性指数的计算步骤,得到每一栅格的空间多样性指标值(Sd),数值越高,生境适宜性越高^[17],据此将其分为 4 类:核心生境(0.65,1],次级生境(0.5~0.65],边缘生境(0.25~0.5],不适宜生境[0~0.25]。图 5 表明了不同等级生境的空间分布,将各预案的生境适宜性面积进行统计得到图 6。可以看出,采取措施后核心生境向南延伸,但受人类活动影响(道路、油井等)的限制仍较显著。预案 4 的核心生境面积最大,比现状年预案 2 增加了 6310 hm²,其次为预案 1,增加 4063 hm²,预案 3 增加 2770 hm²;次级生境的面积以预案 1 最大,为 14893 hm²,这与 1988 年自然演替状态下的大面积翅碱蓬有关,可作为丹顶鹤迁徙时的停歇地和觅食地;不适

① 胡远满. 为城市数据区的生境研究及其景观生态设计——以辽宁双台河口自然保护区为例. 沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所博士学位论文. 1997

宜生境在 4 个预案中均占有相当大的比重,以现状年为最大,超过 51%,预案 1 最小,为 19%。

为综合评价各预案丹顶鹤生境的整体适宜性,赋予不同等级的生境以不同的适宜性指数,假定核心生境的适宜性指数为 1,次级生境则赋予 0.5^[20],边缘生境为 0.2,不适宜生境为 0,将某一区域各等级生境面积比重与适宜性指数的乘积之和作为本区生境的整体适宜性,其值域在 0~1 之间,即:

$$H = \sum_{i=1}^n s_i q_i$$

式中, H 为整体生境适宜性, s_i 为某一等级生境的面积比重, q_i 为适宜性指数, n 为生境等级数。据此得出各预案的整体生境适宜性分别为 0.575,0.357,0.435,0.535。

3.4.2 生态承载力评价 生态承载力由野生动物对生境的内在需求因子(包括食物、隐蔽物及领域等)的质量和数量决定^[16]。

丹顶鹤的营巢环境为人烟稀少、周围无较大障碍物的大面积芦苇沼泽,巢筑于地势较高处,周围或附近有较深的水渠或深沟,芦苇长势良好,前一年不收割或少收割。地势高,水不易浸入巢中,枯芦苇是很好的筑巢材料,周围有深水,可使鱼、虾等安全过冬,从而为幼鹤提供丰富的食物^[16]。由此分析,丹顶鹤的繁殖生境只能是核心生境($S_d > 0.65$)。而且,丹顶鹤在繁殖期具有典型的领域行为,不同繁殖期领域面积也是变化的,其中以产卵前期最大,可达 355 hm²/对^[22],以此为标准进行生态承载力计算。文中提取各预案核心生境中面积大于领域面积的斑块,将各斑块面积与领域面积之商取整,然后相加即得丹顶鹤的生态承载力,产卵前期各预案的生态承载力分别为 33 对、22 对、32 对和 41 对。其中预案 4 的生态承载力最大,较现状年预案 2 提高近一倍,预案 1 略好于预案 3,预案 2 最低。

3.4.3 经济效益评价 提取预案中土地利用类型面积变化最大且经济效益最高的 3 种类型苇田、稻田和虾蟹田,将 3 者的净物质生产价值作为经济效益评价的标准,盘锦地区苇田、稻田、虾蟹田的单位面积净物质生产价值分别为 1901,2404 和 13456 元/hm²①,为简化计算过程,假定虾蟹田的单位面积相对净生产价值为 1,则苇田的相对价值为 0.14,稻田为 0.18。建立经济效益评价指数如下:

$$E = \sum_{i=1}^n s_i v_i$$

式中, E 为经济效益评价指数, s_i 为某一类型面积占区域总面积的百分数, v_i 为单位面积相对净生产价值, n 为土地利用类型种类。

据此可得各预案的经济效益评价指数如表 5 所示,预案 1 最低,为 10.56,预案 2、预案 3 和预案 4 的经济效益相当,其中预案 4 最高,为 17.74。

4 结果讨论

4.1 预案的总体评价

—— 万方数据 ——

① 辛垠. 生态系统服务功能价值估算. 沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所. 2001.

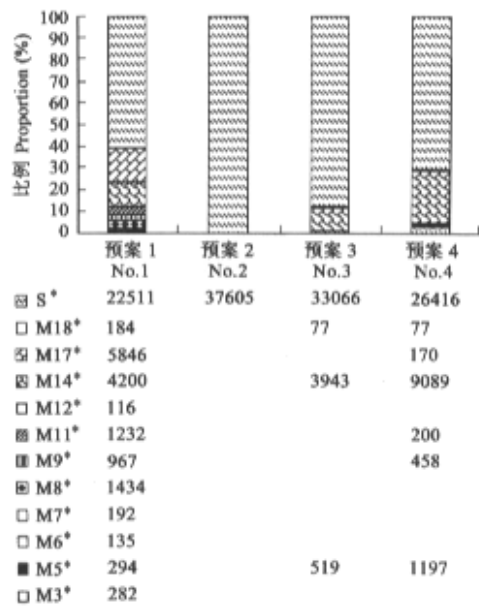


图 4 预案措施实施面积(hm²)及比例

Fig. 4 The area and proportion of different measures for each scenario

* 同表 4 the same as table 4

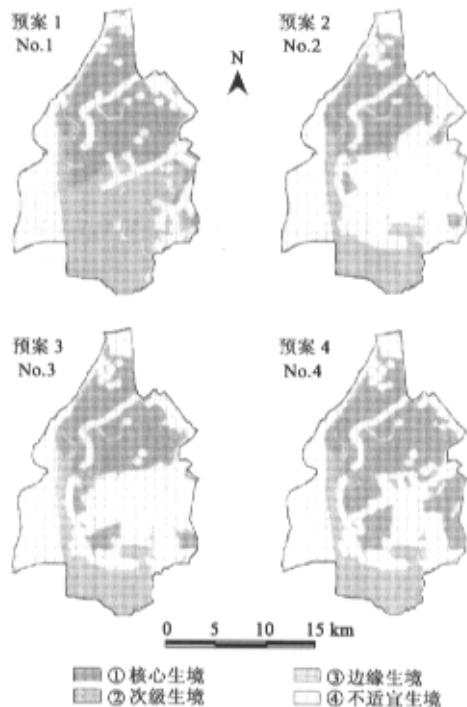


图 5 各预案的生境适宜性空间分布

Fig. 5 The spatial layout of habitat suitability of the scenarios

①Core habitat; ②General habitat; ③Edge habitat; ④Non-habitat

通过对各预案的设计过程及结果的评价(表 6),可以清晰地表明各预案的土地利用规划范围和生境恢复效果。

预案 1 为恢复 1988 年原状,所涉及到的实施措施有 18 种之多,涉及土地面积 151 km²,而且还需拆除 30 km 的拦海防潮大堤和 20 km 的道路,所投入的人力、物力均是 4 个预案中最多的。预案后的生态效益较高,其中生境适宜性最高,丹顶鹤的生态承载力为 33 对,但由于土地利用程度较低,相对经济效益却是最低的。

预案 2 维持 1998 年原状,无需采取任何措施,在经济投入方面是最少的,经济效益相对较高,但其生境质量是最差的,生境适宜性只有 0.357,生态承载力也仅有 22 对,长此下去,必将物种及生境保护产生不利影响。

预案 3 的苇带设计所需措施仅有 3 种,涉及空间范围 45 km²,苇带的设计使得生境质量大为改善,生境适宜性提高至 0.435,可承载 32 对繁殖丹顶鹤,而且经济效益也较现状年略有提高,这说明在维持区域经济效益的同时改善生境质量具有现实的可能性。

表 5 各预案土地类型面积比重及经济效益指数

类型 Types	预案 1(1988 年原状) Year 1988		预案 2(1998 年原状) Year 1998		预案 3(苇带设计) Reed belt		预案 4(生境恢复) Habitat restoration	
	面积比重	经济效益	面积比重	经济效益	面积比重	经济效益	面积比重	经济效益
	Area	评价指数	Area	评价指数	Area	评价指数	Area	评价指数
	percentage (%)	Economical index	percentage (%)	Economical index	percentage (%)	Economical index	percentage (%)	Economical index
苇田 Reed	41.73	5.84	31.68	4.44	42.37	5.93	56.02	7.84
稻田 Paddy	5.73	1.03	30.04	5.41	18.18	3.27	2.27	0.41
蟹田 Shrimp-crab	3.69	3.69	6.83	6.83	8.22	8.22	9.49	9.49
合计 Total	51.15	10.56	68.56	16.68	68.76	17.42	67.77	17.74

表 6 预案的总体评价

评价项目 Evaluation items	预案 1 No. 1	预案 2 No. 2	预案 3 No. 3	预案 4 No. 4
预案措施种类 No. of measure types to be taken	18	0	3	6
预案涉及范围(km ²)Area to be changed	151	0	45	110
生境适宜性 Habitat suitability	0.575	0.357	0.435	0.535
生态承载力(对)(领域面积 355 hm ²) Carrying capacity (at 355 hm ² of territory)	33	22	32	41
经济效益评价指数 Economical index	10.56	16.68	17.42	17.74

预案 4 的大面积生境恢复需要 5 种实施措施,涉及范围很广,可达 110 km²,预案后的整体生境适宜性达到 0.535,接近于预案 1 近自然状态下的生境适宜性,生态承载力最高,达到 41 对,远高于预案 1,对于野生丹顶鹤而言,预案 4 的生境较之于预案 1 更适于繁殖与栖息。虽然其投入比预案 3 多,回收年限也长,但其综合生态效益和经济效益是 4 个预案中最好的。

4.2 预案结果讨论

规划是多样的、可替代的和可选择的,即规划应是可辩护的^[23]。区域发展在某种阈值因子的制约下,存在着阈限范围内的最佳发展模式,预案设计的目的在于帮助决策者寻求规划的多选择方案,以利于在不同的经济、社会和政策导向下作出相应的最佳决策。

各预案设计尽管侧重点有所不同,但均在不同程度上兼顾了经济效益与生态效益的共同发展。通过对预案生态效益和经济效益二维组合的空间模拟(图 7)可以看出,预案 1 尽管生态效益很高,但经济效益很低,在区域发展需求下由现状年恢复到预案 1 具有不现实性;而预案 2 为强烈经济需求下,尤其是以粮食生产为主要目的的典型发展模式,生态效益偏低,与经济效益的

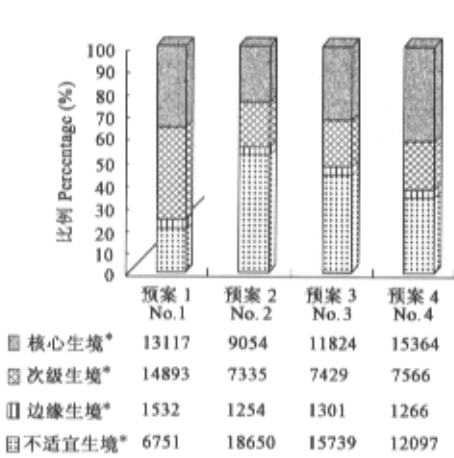


图 6 各预案适宜生境面积(hm²)

Fig. 6 The suitable habitat area of the scenarios

* 同图 5 the same as fig. 5

比例失调;预案 3 和预案 4 为区域生态与经济的协调发展模式及丹顶鹤的生境恢复提供了有效参考,短期内预案 3 的效果应该更好,但从长期来看,预案 4 应是更佳选择,可将其视为近期和远期规划目标分步实施。预案 3 和预案 4 说明合理的土地开发利用方式和生境恢复措施不仅可以获得经济的高效发展,而且为生境保护提供了有力保障。

苇田的恢复形成大面积近自然湿地,使得丹顶鹤的生境质量得到有效改善,核心生境面积扩大,且破碎化程度有所降低,生境适宜性和生态承载力均有较大提高,接近甚至可超过自然演替状态的生境质量。本区具有得天独厚的水禽生境优势,区域开发应与保护区的规划目标相一致,土地利用过程中需首选人类干扰较轻的湿地类型,如苇田、虾蟹田,并注意维持自然与半自然湿地的整体性与连续性,避免破碎化生境出现。预案评价结果表明维持区域生态效益与经济效益的协调发展具有现实的可能性。

本文的预案设计将辽河三角洲大洼小三角洲的区域经济与生境保护的协调发展作为目标,提出了参考性的预案设计,具有一定典型性,这种规划思想也可供其它人与自然矛盾较突出的地方借鉴。当然预案过程中包含有相当的假定因素和主观因素,而且人类对自然干预所导致的后果本身就是极其复杂的,因而对各预案后果的评价也存在一定的限制性和不确定性。决策者可以依据具体的规划目标,基于更详尽的数据资料,充分考虑现实的限制因素,设计出更为可行和合理的规划方案。

References:

[1] Sheng L X, He C G, Zhao J, *et al.* Analysis of effect of wetland ecological environment change in Xianghai nature reserve on number and distribution of Red-crowned Crane. *Journal of Northeast Normal University*, 2001, **33**(3): 91~95.

[2] Ma Z J. Habitat Change and Protection of the Red-crowned Crane (*Grus japonensis*) in Yancheng Biosphere Reserve, China. *Ambio*, 1998, **27**(6): 461~464.

[3] Hu Y M, Xiao D N. Behavioral fragmentation of water fowl habitat and its landscape ecological design in Shuangtai-hekou Reserve, Liaoning, China. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, **11**(2): 231~235.

[4] Yu J B, Liu J S, Wang J D. Analysis of the environment feature of breeding area and endangered factors of red-crowned crane in China. *Chinese Geographical Science*, 2001, **11**(2): 186~191.

[5] Wan D M, Gao W, Wang Q Y, *et al.* Effects of habitat fragmentation on nesting site selection of red-crowned crane. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(5): 581~584.

[6] Su H L, Lin Y H, Li D Q, *et al.* Status of Chinese cranes and their conservation strategies. *Chinese Biodiversity*, 2000, **8**(2): 180~191.

[7] Zhang P Y, Li G Z. Study of red-crowned crane about its winter quarters and measures of protecting. *Journal of Biology*, 2001, **18**(2): 9~10.

[8] Li X M. The present status and conservation of red-crowned crane in Halahai wetland, Longjiang, China. *Chinese Journal of Zoology*, 2002, **37**(1): 64~66.

[9] Foppen R P B, Reijnen R. *Ecological network in riparian systems: examples for Dutch sustainable management of river basins*. Backhuys Publishers, Leiden, 1998. 85~93.

[10] Harms W B. Landscape fragmentation by urbanization in the Netherlands: options and ecological consequences. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, **11**(2): 141~148.

[11] Mankin K R. An integrated approach for modeling and managing golf course water quality and ecosystem diversity. *Ecological Modelling*, 2000, **133**(3): 259~267.

[12] Martin J F, White M L, Reyes E, *et al.* Evaluation of coastal management plans with a spatial model: Mississippi Delta, Louisiana, USA. *Environmental Management*, 2000, **26**(2): 117~129.

[13] Xiao D N, Li X Z. Suggestion on the planning of ecological construction for western China exploitation. *Advance in Earth Sciences*, 2000, **15**(4): 376~380.

[14] Li X W, Xiao D N, Hu Y M. The landscape planning scenarios designing and the measures identification in the Liaohe Delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(3): 353~364.

[15] Bakker J, Harms W B, Knol W C, *et al.* *Landscape Ecological Decision & Evaluation Support System*. The Winand Staring Centre,

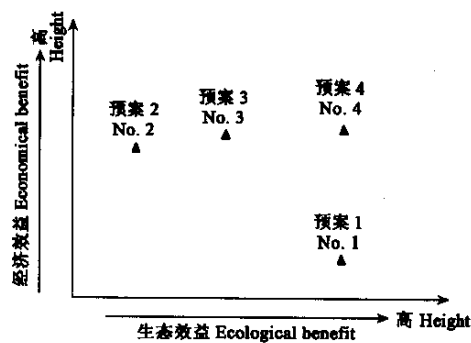


图 7 各预案生态效益与经济效益的二维组合状态
Fig. 7 The two dimension state of ecological benefit and economic benefit of the scenarios

1996.

[16] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z, *et al.* *Landscape Ecology Studies on the Deltaic Wetlands around Bohai Sea*. Beijing: Science Press, 2001.

[17] Wang L, Li X Z, Hu Y M, *et al.* Analysis of habitat pattern change of red-crowned cranes in the Liaohe Delta using spatial diversity index. *Chinese Geographical Science*, 2003, **13**(2):164~170.

[18] Li X Z. *Purification Function of Wetlands: Spatial Modelling and Pattern Analysis of Nutrient Reduction in the Liaohe Delta*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University Press, 2000.

[19] Veeneklaas F R, Berg L M. Scenario building: art, craft or just a fashionable whim? In: Edited by Schoute J F, Finke P A, Veeneklaas F R, *et al.* *Scenario studies for the rural environment*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, 1995.

[20] Li X W, Xiao D N, Hu Y M. The effects of different land-use scenarios on habitat suitability of indicator species in the Liaohe River Delta wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(4):550~560.

[21] Heinen J, Cross G H. An approach to measure interspersion, juxtaposition, and spatial diversity from cover-type maps. *Wildl. Soc. Bull.*, 1983, **11**(3): 232~237.

[22] Zhou D S, Su L Y. Study on the territory behavior of *Grus Japonensis*. in: Forestry Department of Heilongjiang Province ed. *Protection and research on cranes in the world*. Beijing: Forestry Press of China, 1990. 54~58.

[23] Yu K J. The effectiveness of approaches towards sustainable environmental and development planning. *Journal of Natural Resources*, 1998, **13**(1):8~15.

参考文献:

[1] 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. 东北师范大学学报(自然科学版),2001, **33**(3):91~95.

[5] 万冬梅,高玮,王秋雨,等. 生境破碎化对丹顶鹤巢位选择的影响. 应用生态学报,2002, **13**(5):581~584.

[6] 苏化龙,林英华,李迪强,等. 中国鹤类现状及其保护对策. 生物多样性,2000, **8**(2):180~191.

[7] 张培玉,李桂芝. 丹顶鹤的越冬地特点与保护研究. 生物学杂志,2000, **18**(2):9~10.

[8] 李晓民. 哈拉海湿地丹顶鹤现状、受胁原因及保护. 动物学杂志,2002, **37**(1):64~66.

[13] 肖笃宁,李秀珍. 西部开发,规划先行:关于开展景观建设规划的建议. 地球科学进展,2000, **15**(4):376~380.

[14] 李晓文,肖笃宁,胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划预案设计及其实施措施的确定. 生态学报,2001, **21**(3):353~364.

[16] 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.

[20] 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. 生态学报,2001, **21**(4):550~560.

[22] 周德胜,苏立英. 丹顶鹤领域行为初步研究. 见:黑龙江林业厅主编. 国际鹤类保护与研究. 北京:中国林业出版社,1990. 54~58.

[23] 俞孔坚. 可持续环境与发展规划的途径及其有效性. 自然资源学报,1998, **13**(1):8~15.