

用空间多样性指数分析辽河三角洲野生动物生境的格局变化^{*}

王 凌^{1,2} 李秀珍^{1**} 胡远满¹ 郭笃发^{3,4}

(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】 在利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)对辽河三角洲土地覆被变化进行研究的基础上, 引用空间多样性指数(S_d)对本区野生动物的生境格局进行了定量描述, 并分析了其1988~1998年间的生境格局变化。结果表明, 研究区野生动物生境格局受人为和自然干扰的双重影响而发生了较明显的变化, 整体趋势是生境适宜性逐渐降低, 适宜生境和较适宜生境($S_d \geq 0.35$)的面积10年间减少7 637 hm², 且破碎化程度加深, 在空间上呈现由北向南推进、由东向西压缩之势, 生境质量呈下降趋势。同时, 空间多样性指数能够定量地反映野生动物生境的适宜程度, 并能直观地描述生境的空间格局, 为进一步揭示生境格局的变化规律及原因提供了有效措施和依据, 对于协调区域经济发展与生物多样性保护具有重要意义。

关键词 空间多样性指数 野生动物 生境格局 辽河三角洲

文章编号 1001-9332(2003)12-2176-05 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

Spatial diversity index analysis on wildlife habitat pattern change in the Liaohe Delta. WANG Ling^{1,2}, LI Xiuzhen¹, HU Yuanman¹, GUO Dufa^{3,4} (¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271000, China; ³College of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; ⁴College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2176~2180.

Based on the study of land cover change in the Liaohe Delta with GIS and RS, the wildlife habitat pattern was described quantitatively, and the pattern change between 1988 and 1998 was analyzed with spatial diversity index. The results showed that the wildlife habitat pattern had an obvious change during the ten years caused by natural and human disturbance. The area of suitable habitat ($S_d \geq 0.35$) was becoming smaller and more fragmented, with a deteriorated quality. It was proved that spatial diversity index could reflect the habitat suitability of wildlife, and describe the habitat spatial pattern explicitly. This study would provide a scientific basis for protecting wild animals and their habitats.

Key words Spatial diversity index, Wildlife, Habitat pattern, Liaohe Delta.

1 引言

景观要素的空间格局是生态系统或系统属性空间变异程度的具体表现^[14], 可以反映不同的景观生态功能和生态过程^[1]. 生态学家往往从研究景观格局的变化来探讨生态系统受干扰程度、生态承载力的大小及生境适宜性的变化. 这对于评价野生动物生境质量、采取有效的保护策略具有非常重要的指导意义. 许多国内外专家利用不同的指标体系和模型开展了不同区域、不同尺度的空间格局方面的研究工作^[2, 4~6, 9, 11~13, 16]. 但目前国内对空间格局的研究多局限于自然或人为景观方面, 涉及生境格局的研究^[3, 8, 17]则很少见, 且采用的指标也主要为将复杂格局抽象成简单数值的景观格局指标, 缺乏直观性. Heinen 和 Cross^[7]采用简便快捷的网格法测

度了生境类型的空间多样性, 可以直观地表达出景观不同部分之间各要素的混合程度、邻接度及其质量高低. 本文运用此方法, 以关键土地覆被类型图为基础, 对辽河三角洲野生动物生境的空间多样性进行了定量描述, 探讨适宜生境格局的变化, 为寻求合理的野生动物保护策略提供依据.

2 研究地区和研究方法

2.1 研究区概况

辽河三角洲是由辽河、大辽河、大凌河等冲积而成的冲积海积平原, 总面积约 4 000 km², 为中国第四大三角洲. 这里拥有全国第三大油田辽河油田, 也是国家重要的商品粮基

* 国家自然科学基金项目(40001002, 40171037)、教育部留学回国科研启动基金项目以及中国科学院引进国外杰出人才资助项目.

** 通讯联系人. E-mail: Lndscp@iae.ac.cn

2002-09-10 收稿, 2003-03-14 接受.

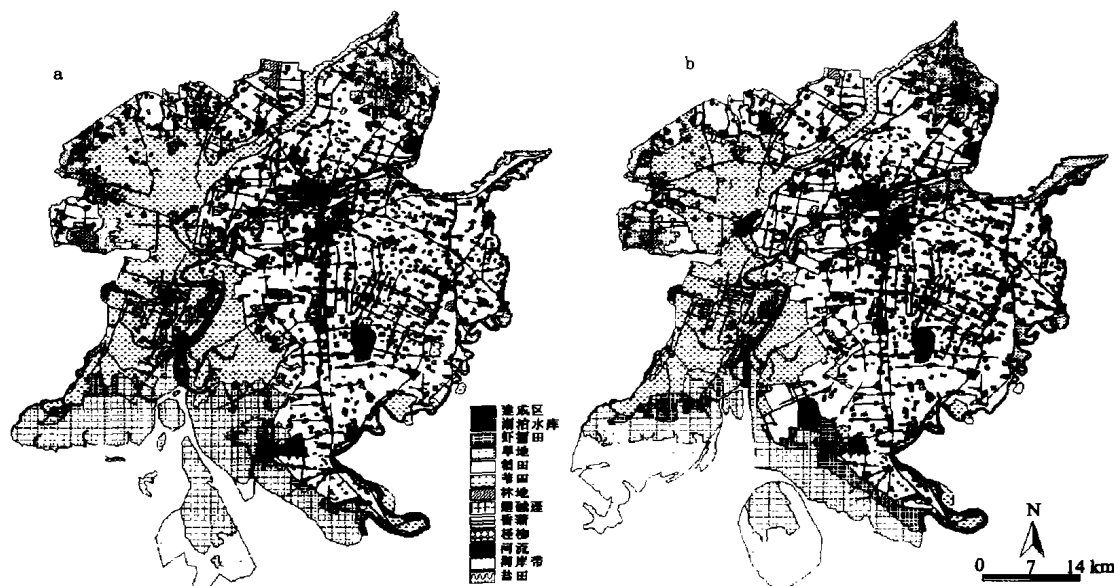


图1 1988年(a)和1998年(b)土地植被类型

Fig.1 Land cover map of the Liaohe Delta in 1988(a) and 1998(b).

地,还有面积达1 000 km²的世界最大苇田^[15]。区域资源开发以油田、稻田、苇田和虾蟹田为核心,属于农业、油气、港口全方位综合开发型的三角洲。区内有双台河口国家级自然保护区,面积1 280 km²,其中410 km²的芦苇(*Phragmites communis*)沼泽和146 km²的翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)滩涂组成了广阔的湿地景观,为野生动物提供了理想的栖息地。保护区内共有涉禽、游禽为主的鸟类256种,兽类、两栖、爬行动物15种,其中国家一级保护动物有丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白鹤(*G. leucogeranus*)、白鹤(*Ciconia boyciana*)、黑鹤(*C. nigra*)、金雕(*Aquila chrysaetos*)5种,国家二级保护动物29种,如灰鹤(*Grus grus*)、蓑羽鹤(*Anthropoides virgo*)、大天鹅(*Cygnus cygnus*)、白额雁(*Anser albifrons*)等,是重要的天然物种基因库。

2.2 数据的获取

根据1988年9月和1998年5月的TM卫星影像数据,以计算机自动解译和人工目视解译相结合,获得本区两个不同时期的土地利用类型图。根据当地实际情况,将辽河三角洲的土地利用类型分为13大类: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。需要说明的是,苇田部分包含了一些河滩杂草甸;苇田内部因立地条件不同,芦苇的产量质量也有所分异,但本项研究没有进一步细分;温室菜地多与居民点相伴,因此将其归为旱地类。同时,根据本区的综合生境现状和野生动物对人工建成物的敏感程度,将区内的线状道路和点状油井分别以30 m和50 m做缓冲区,将各自时期的土地利用类型图与缓冲区相叠加,得到土地植被类型图(图1),图中将缓冲区归为建成区,该图能够反映食物、隐蔽物、栖息地等重要的生境要素,具有一定的生态学意义,因此将其作为本研究的基础图。

2.3 空间多样性指数的计算方法

2.3.1 混合度(Interspersion) 根据本区野生动物生境的特

点和研究需要,将基础图的最小斑块面积作为网格面积,即1 hm²(100 m×100 m),将图1转化为栅格图像,以栅格为计算单位,利用Arc/Info Grid模块的统计分析功能进行辽河三角洲野生动物生境的空间多样性指数研究。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。混合度的求算原理如下^[7]:

A	B	B
C	A	D
A	D	C

图2 求算空间多样性指数的栅格布局示例

Fig.2 An example of cell distribution for spatial diversity index calculation. A, B, C, D 均代表不同的土地植被类型 A, B, C and D represent different land cover types.

以任一栅格(cell)为中心,其周围有8个相邻栅格,每一栅格皆代表着特定的土地植被类型,以图2为例,混合度的计算公式为:

$$I_s = n/8$$

式中, n 为相邻8个栅格中土地植被类型不同于中心栅格土地植被类型的栅格个数。

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) 表征物种的生境需要与物种所地之间的相邻或接近程度,邻接度必须有专家知识库支持,其求算过程如下^[7]:1)首先确认围绕中心栅格的所有边界类型组合情况,如中心栅格土地植被类型为A,则需确定边界组合类型为AA, AB, AC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,垂直或横向相邻为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),代表相邻的不同覆被类型间的生境质量或重要性。本文据辽河三

表 1 不同边界土地覆被组合类型的相对权重值
Table 1 Relative weight value of all combinations of edge cover types

中心栅格覆被类型 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水库湖泊	0	0.60	0.50	0.20	0.30	0.65	0.20	0.80	0.70	0.50	0.75	0.90	0
虾蟹田	0	0.55	0.50	0.20	0.35	0.60	0.10	0.80	0.70	0.50	0.70	0.80	0
旱地	0	0.30	0.25	0.10	0.10	0.40	0.10	0.30	0.30	0.20	0.50	0.60	0
稻田	0	0.40	0.40	0.15	0.30	0.50	0.15	0.50	0.55	0.30	0.40	0.40	0
苇田	0	0.60	0.55	0.20	0.40	0.70	0.80	0.75	0.60	0.60	0.80	0.90	0
林地	0	0.30	0.20	0.10	0.10	0.40	0.10	0.50	0.45	0.20	0.50	0.55	0
翅碱蓬	0	0.70	0.60	0.10	0.30	0.75	0.10	0.90	0.80	0.50	0.90	0.95	0
香蒲	0	0.60	0.50	0.10	0.30	0.70	0.10	0.85	0.80	0.50	0.85	0.90	0
柽柳	0	0.55	0.50	0.10	0.30	0.60	0.20	0.70	0.65	0.50	0.70	0.75	0
河流	0	0.70	0.60	0.20	0.40	0.75	0.20	0.90	0.85	0.60	0.90	0.95	0
海岸带	0	0.70	0.60	0.20	0.30	0.80	0.20	0.90	0.85	0.60	0.90	1	0
盐田	0	0.10	0.10	0	0	0.10	0	0.20	0.10	0	0.10	0.05	0

1) Built-up, 2) Reservoir-lake, 3) Prawn-crab-ponds, 4) Dryland, 5) Paddy field, 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 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	0.30	0.60
A/B	3	0.40	1.20
A/C	3	0.50	1.50
A/D	4	0.50	2.00
总计 Total	12		5.30

角洲栖息生物特性及生境需求, 借鉴专家意见, 赋予边界组合类型的相对权重值如表 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, 所有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, 假若图中 A、B、C、D 分别代表稻田、虾蟹田、苇田和翅碱蓬, 则边界数量值和由表 1 查得的相对权重值见表 2.

由此得出图 2 中心栅格的邻接度 $J_S = 5.30/12 = 0.44$. 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; 同时需注意, AB 与 BA 边界组合类型的相对权重赋值是不一样的, 表明物种在不同生境间的迁移阻力不同.

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数, 既能体现生境的多样性, 又能体现生境的连通性, 公式为^[7]:

$$Sd_A = (\alpha_{AIS} + \beta_{AIS})(1_A)(2_A)(3_A)$$

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. 本文选择研究区整体野生动物生境为研究目标, 综合各野生动物生境的特点, 经反复的调整与比较, 赋予 α_A 、 β_A 为 0.4 和 0.6. 式中的 1_A 、 2_A 、 3_A 分别表示特殊因子的影响权重, 在此我们不予考虑, 因此将公式简化为:

$$Sd_A = \alpha_{AIS} + \beta_{AIS}$$

利用 Arc/Info 软件的分析功能可以得出任一栅格的上述 3 个指标值, 因指标值复杂多样, 不利于统计分析, 为此按研究需要将其分为 5 类, 取值范围分别为低值区(0~0.2)、中低值区(0.2~0.35)、中值区(0.35~0.5)、中高值区(0.5~0.65)、高值区(0.65~1), 分别用 1、2、3、4、5 表示, 来表征生境的质量和适宜程度, 值越高, 生境质量愈高, 适宜程度亦愈高. 以土地覆被类型为基础数据, 利用 Arc/Info Grid 模块的运算功能, 得到辽河三角洲两个时段的野生动物生境混合度、邻接度和空间多样性指标值的空间分布图. 分析表明, 空间多样性指标值(图 3)最能体现生境的适宜程度及其空间分布, 因而本文采用空间多样性指标对本区野生动物生境的格局及其变化进行描述.

3 结果与分析

3.1 土地覆被类型变化特点

将土地覆被类型图(图 1)经信息提取、统计和处理, 得到研究区土地覆被特征结果如表 3 所示.

由表 3 可知, 辽河三角洲的土地覆被中以海岸带的面积比重增加最多, 与本区为淤长型三角洲有关; 始于 20 世纪 80 年代末期的农业大开发和油田开发, 导致了自然覆被类型如翅碱蓬、苇田、河流的面积不断减少, 其中翅碱蓬减少最甚, 由 13.15% 降为 8.66%, 斑块数量却增加, 说明翅碱蓬被占用和切割严重; 其次为苇田, 比重由 22.95% 下降为 19.48%, 面积减少 100 km²; 受人类活动的影响, 人工覆被类型稻田、旱地、虾蟹田和建成区则呈增加趋势, 面积比分别增加 1.37、0.94、1.24 和 0.39%.

3.2 野生动物生境格局的基本特点

由图 3 可以看出, 空间多样性中值区主要分布于西部的苇田及水库区; 中高值区分布于河流、南部的海岸带和翅碱蓬滩涂; 高值区所占比例很小, 只位于河流、潮沟与翅碱蓬、海岸带的狭长交接带, 此处

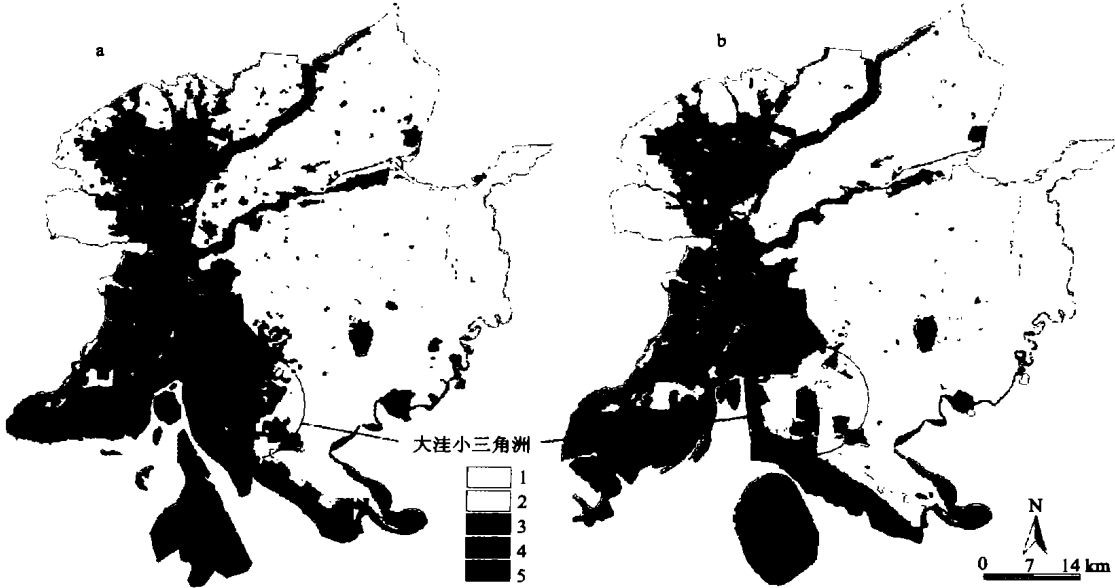


图 3 1988 年(a) 和 1998(b)生境空间多样性分布图
Fig.3 Distribution of habitat spatial diversity in 1988(a) and 1998(b).

表 3 辽河三角洲土地覆被类型参数统计结果
Table 3 Statistical results of the land cover indices in the Liaohe Delta

植被类型 Land cover type	1988 年		1998 年	
	斑块数量 Number of patches	面积百分比 Percentage of area(%)	斑块数量 Number of patches	面积百分比 Percentage of area(%)
建成区 Build-up	412	11.46	415	11.75
水库湖泊 Reservoir-lake	105	1.38	64	1.32
虾蟹田 Prawn-crab-ponds	49	1.40	79	2.64
旱地 Dryland	90	4.63	125	5.57
稻田 Paddy field	315	38.89	316	40.26
苇田 Reed	284	22.95	192	19.48
林地 Forest	29	0.85	34	0.67
翅碱蓬 Suaeda	44	13.15	34	8.66
香蒲 Typha	8	0.08	24	0.19
怪柳 Tamarix	1	0.01	1	0.04
河流 River	49	2.76	40	2.26
海岸带 Beach	2	2.39	7	7.00
盐田 Salt field	5	0.06	3	0.17

食物、水分类型多样,是野生动物良好的觅食与栖息地;而低值区和中低值区则分布于人类活动强烈的地区,如大面积稻田、居民区及油田道路.中值区、中高值区和高值区为本区野生动物的较适宜生境,低值区和中低值区为不适宜生境,这与本区生境的实际分布格局相一致.需指出的是,东部稻田和旱地中存在的中低值区多位于稻田与建成区的边界,因其混合度的值较高,得到的空间多样性值亦比纯稻田区高,但这并不意味着此处的生境质量比稻田高.

3.3 野生动物生境格局的变化

3.3.1 生境适宜性的变化 表 4 给出了辽河三角洲混合度、邻接度和空间多样性指标类别 1988~1998 年的变化,从中可以看出, $S_d < 0.35$ 的较低值区的栅格数量明显增多,所占比重由 56.44% 增至

60.33%,面积增加 27 364 hm^2 ;而 $S_d > 0.35$ 的中、高值区的比重却呈减少趋势,以中值区减少最甚,比重减少 2.91%,面积减少 7 368 hm^2 .混合度和邻接度的变化趋势与空间多样性的变化基本类似,也是低值区比重增加,中高值和高值区比重减少.此趋势表明本区野生动物生境的适宜性逐渐降低,适宜生境的面积不断减少,生境质量呈下降趋势.

表 4 辽河三角洲野生动物生境空间多样性指标变化表
Table 4 Changing of spatial diversity index of wildlife habitat in the Liaohe Delta

指标分类 Index categories		指标值等级 Value grade					
		1(0~0.2)	2(0.2~0.35)	3(0.35~0.5)	4(0.5~0.65)	5(0.65~1)	合计 Total
混合度 Interspersion	1988 面积 Area(hm^2)	304 275	27 316	49 902	6 707	10 089	398 289
	百分比 Percentage	76.40	6.86	12.53	1.68	2.53	100
	1998 面积 Area(hm^2)	324 423	27 069	49 624	6 488	10 412	418 016
	百分比 Percentage	77.61	6.48	11.87	1.55	2.49	100
邻接度 Juxtaposition	1988 面积 Area(hm^2)	73 469	149 634	13 176	18 175	143 835	398 289
	百分比 Percentage	18.45	37.57	3.31	4.56	36.11	100
	1998 面积 Area(hm^2)	82 222	164 008	16 955	16 525	138 306	418 016
	百分比 Percentage	19.67	39.23	4.06	3.95	33.09	100
空间多样性 Spatial diversity	1988 面积 Area(hm^2)	159 851	64 968	96 411	72 874	4 185	398 289
	百分比 Percentage	40.13	16.31	24.21	18.30	1.05	100
	1998 面积 Area(hm^2)	179 610	72 573	89 043	73 040	3 750	418 016
	百分比 Percentage	42.97	17.36	21.30	17.47	0.90	100

3.3.2 适宜生境空间布局的改变 辽河三角洲为典型的淤长型三角洲,大约以每年 27.5 km^2 的速度迅速增长^[15],1988~1998 年新增滩涂 257 km^2 ,仅双台子河口西侧就增加新淤滩涂 157.3 km^2 .随滩涂的淤长,野生动物的适宜生境亦随之向海推进(图 3).据粗略统计,中高值区的界限平均向海推移了 1 900 m,而与之相邻的中值区和低值区边界亦相应推移.中值区和中高值区还呈现由东向西的压缩趋

势,产生此趋势的原因在于强烈的人类干扰活动,东部大面积的农田开发及水利设施建设导致土地覆被类型产生重大改变,进而引起部分适宜生境的丧失。由图 3 可以看出,大洼小三角洲农业开发和平原水库的修建很大部分是直接占用翅碱蓬地,且过于靠近滩涂,致使生境适宜性大为降低,空间多样性指标由中高值区变为低值区,使 8 500 hm² 的区域基本上失去了作为野生动物生境的利用价值。由图 3 还可以看出,中值区和中高值区内的低值区分布在不断扩大,这与区内道路、堤坝及油井的建设关系密切,1988~1998 年间共增加道路 78 km,堤坝 72 km,新开发油井 347 处。道路、堤坝和油井作为线状和点状地物虽所占面积不大,但对生境造成的分割和干扰作用^[10],以及所产生的生境污染效应,对生物有着深刻的影响,是促使野生动物生境行为性破碎化的重要因素,导致适宜生境不断减少。赵圈河南部平原水库周围的翅碱蓬草地和白茨(*Nitraria sibirica*)翅碱蓬草地在 1992 年前是黑嘴鸥的繁殖地,之后,由于 265 km 长的防潮堤的修建,堤内生境逐渐脱盐化,“白茨堆”退化,翅碱蓬长高增密,使黑嘴鸥失去了这片繁殖地^[15]。

总之,辽河三角洲 10 年间整体生境格局形式虽未发生重大改变,但局部变化却很明显。

4 结 论

4.1 研究区野生动物生境格局的基本特点是空间多样性指数 $S_d > 0.5$ 的较高值区分布于海岸带、翅碱蓬、河流及其交接带,中值区分布于苇田及水库, $S_d < 0.35$ 的较低值区主要分布于稻田及建成区。

4.2 过去 10 年,研究区野生动物生境格局发生了较为明显的变化,适宜生境的面积不断减少,生境质量呈下降趋势。适宜生境空间上呈现由北向南海向推进、由东向西压缩之势,且较适宜生境范围内不适宜生境的面积逐步扩大。

4.3 本区生境格局变化受自然因素(泥沙淤积)与人类活动的双重影响,与关键土地覆被类型的变化趋势相一致。

4.4 本研究表明,如能准确把握边界类型的相对重要性及混合度与邻接度的权重值,则可以利用该指数直观地反映野生动物生境的格局,为进一步揭示其变化规律及原因提供措施及依据,对于生物多样

性保护具有重要意义。

参考文献

- 1 Chen L-D(陈利顶), Fu B-J(傅伯杰). 1996. The ecological significance and application of landscape connectivity. *Chin J Ecol* (生态学报), 15(4): 37~42 (in Chinese)
- 2 Chen L-D(陈利顶), Fu B-J(傅伯杰). 1996. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta—A case study of Dongying region. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 16(8): 337~344 (in Chinese)
- 3 Chen L-D(陈利顶), Liu X-H(刘雪华), Fu B-J(傅伯杰). 1999. Evaluation on giant panda habitat fragmentation in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(3): 291~297 (in Chinese)
- 4 Fu B-J(傅伯杰). 1995. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 15(2): 113~120 (in Chinese)
- 5 Griffiths GH and Lee J. 2000. Landscape pattern and species richness: Regional scale analysis from remote sensing. *Int J Remote Sensing*, 21(13~14): 2685~2704
- 6 Hazen BC and Berry MW. 1997. Simulation of land-cover change using a distributed computing environment. *Sim Prac Theory*, 5(6): 489~541
- 7 Heinen J and Cross GH. 1983. An approach to measure interspersed, juxtaposition, and spatial diversity from cover-type maps. *Wildl Soc Bull*, 11(3): 232~237
- 8 Hu Y-M(胡远满). 1997. Study on habitat of waterfowl nature and its landscape ecological design—With case of Shuangtaihekou National Nature Reserve. Dr Dis. Shenyang: Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- 9 Jones KB, Neale AC, Nash MS, et al. 2000. Landscape correlates of breeding bird richness across the United States Mid-Atlantic region. *Environ Mon Assess*, 63(1): 159~174
- 10 Li X-W(李晓文), Xiao D-N(肖笃宁), Hu Y-M(胡远满). 2001. The landscape planning scenarios designing and the measures identification in the Liaohe Delta wetland. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 21(3): 353~364 (in Chinese)
- 11 Olsson EGA. 2000. Landscape change pattern in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960~1993. *Landscape Ecol*, 15(2): 155~170
- 12 Robinove CJ. 1986. Spatial diversity index mapping of classes in grid cell maps. *Photogra Eng Remote Sensing*, 52(8): 1171~1173
- 13 Wang X-L(王宪礼), Xiao D-N(肖笃宁), Bu R-C(布仁仓), et al. 1997. Analysis on landscape pattern of Liaohe Delta wetland. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 17(3): 317~323 (in Chinese)
- 14 Xiao D-N(肖笃宁), Bu R-C(布仁仓), Li X-Z(李秀珍). 1997. Spatial ecology and landscape heterogeneity. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 17(5): 453~461 (in Chinese)
- 15 Xiao D-N(肖笃宁), Hu Y-M(胡远满), Li X-Z(李秀珍), et al. 2001. Landscape Ecology Studies on the Deltaic Wetlands Around Bohai Sea. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 16 Zeng H(曾辉), Guo Q-H(郭庆华), Yu H(喻红). 1999. Spatial analysis of artificial landscape transform in Fenggang Town, Dongguan City. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(3): 298~303 (in Chinese)
- 17 Zhang H-L(张洪亮), Wang R-C(王人潮), Li Z-X(李芝喜). 1999. GIS-based ecotope types and their relationship with survival of *Bos gaurus readei*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(5): 619~622 (in Chinese)

作者简介 王 凌,女,1975 年生,硕士,主要从事环境生态、环境评价与规划方面的研究工作。E-mail: wangl1974@sina.com