

遥感与 GIS 支持下的崇明东滩迁徙鸟类生境适宜性分析

田 波¹, 周云轩^{1,*}, 张利权¹, 马志军², 杨 波³, 汤臣栋⁴

(1. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 2. 复旦大学 生物多样性和生态工程教育部重点实验室, 上海 200433;
3. 美国大自然保护协会昆明办公室, 昆明 650034; 4. 上海市林业局, 上海 200023)

摘要:崇明东滩鸟类自然保护区位于长江入海口, 是国际迁徙鸟类重要的栖息地。受自然和社会因素影响, 该地区鸟类栖息环境正处于快速变化。研究采用面向对象的图像分割方法提取鸟类生境适宜性多边形评价单元, 根据近年来野外调查数据分析了影响迁徙鸟类生存的地类、植被、潮沟、底栖生物等关键环境因素, 建立了鸟类与关键环境影响因素的定性定量关系。在此基础上利用 GIS 空间分析方法和技术, 进行了崇明东滩鸟类保护区内主要四大鸟类种群雁鸭类、鸬鹚类、鹭类以及鸥类的生境适宜性分析。结果表明: (1) 崇明东滩迁徙鸟类生境较适宜的面积占保护区总面积 40% 左右; (2) 光滩区域、与光滩邻近的海三棱藨草带以及潮沟地带是鸟类生境适宜性较好的地理区域; (3) 基于面向对象的遥感分析技术和 GIS 空间分析技术, 能有效且简便地对生态环境处于快速动态变化中的物种生境适宜性进行快速、客观准确的分析评价, 其结果可为崇明东滩鸟类种群及其生存环境规划、保护和管理提供基础科学依据。

关键词:生境适宜性; 崇明东滩鸟类保护区; 面向对象; 遥感; GIS

文章编号: 1000-0933(2008)07-3049-11 中图分类号: Q143 文献标识码: A

A GIS and remote sensing-based analysis of migratory bird habitat suitability for Chongming Dongtan Nature Reserve, Shanghai

TIAN Bo¹, ZHOU Yun-Xuan^{1,*}, ZHANG Li-Quan¹, MA Zhi-Jun², YANG Bo³, TANG Chen-Dong⁴

1 State Key Laboratory of Estuarine & Coastal, East-China Normal University, Shanghai 200062, China

2 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China

3 The Nature Conservancy Kunming Office, Kunming 650031, China

4 Shanghai Forestry Bureau, Shanghai 200023, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3049 ~ 3059.

Abstract: Chongming Dongtan National Nature Reserve is located in the mouth of the Yangtze Estuary and is an important habitat for international migratory birds. The bird habitats in this region are undergoing rapid changes as a result of natural factors and human activities. In this study, current field surveys on land use, vegetation, creek and benthos presence, etc. for the nature reserve, allowed the key factors for the bird habitats to be recognized, and the qualitative and quantitative relationships between bird populations and these key environmental factors to be established. Based on a polygon assessment unit extracted by an object-oriented image method, the habitat suitability for 4 main types of birds: *Anatidae*,

基金项目: 上海市科委重大科研资助项目(06DZ12302); 国家重点基础研究发展规划资助项目(2004CB720505)

收稿日期: 2007-12-04; 修订日期: 2008-04-01

作者简介: 田波(1972~), 男, 湖北松滋人, 博士生, 主要从事分布式 GIS 软件开发、定量化遥感研究. E-mail: tianbo99@263.net

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoubx@sklec.ecnu.edu.cn

致谢: 感谢美国通用汽车公司(GM)和美国大自然保护协会(TNC)中国湿地项目(AP/Kunming/ECNU 102806)资助, 感谢美国大自然保护协会杨宇明教授、田昆教授和中国水产科学研究院东海水产研究所陈亚瞿先生的帮助和支持。

Foundation item: The project was financially supported by Key Project of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (No. 06DZ12302) and National Key Fundamental Research and Development Program, China (No. 2004CB720505)

Received date: 2007-12-04; **Accepted date:** 2008-04-01

Biography: TIAN Bo, Ph. D. candidate, mainly engaged in GIS software development and quantitative remote sensing. E-mail: tianbo99@263.net

Charadriidae, *Ardeidae*, *Laridae* was analyzed and assessed, in conjunction with Remote Sensing and Geographical Information Systems. The results showed that (1) the total area of suitable habitats for birds in the nature reserve was about 40 percent; (2) the *Scirpus mariqueter* zone, mudflat zone and creek zone were the most suitable habitats for the birds; and (3) this study indicated the potential for this simple approach to evaluate objectively and effectively the species habitat suitability in a rapidly changing environment. The results from this study could provide valuable insights into biodiversity conservation and environmental planning, and wetland conservation and management for Chongming Dongtan National Nature Reserve.

Key Words: habitat suitability; Chongming Dongtan Nature Reserve; object-oriented; remote sensing; GIS

崇明东滩地处长江入海口,位于上海市崇明岛最东端,是国际重要河口滩涂型湿地,崇明东滩鸟类国家级自然保护区位于其中。作为全球重要的生态敏感区域,崇明东滩也是亚太鸟类迁徙路线的重要组成部分,涉及东北亚鹤类迁徙路线、东亚雁鸭类迁徙路线、东亚—澳大利西亚鸨类迁徙路线,每年有将近百万只次的迁徙和越冬鸟类停经该区域,是候鸟重要的迁徙停歇地和越冬地^[1]。在中国大陆所回收的澳大利亚环志的鸨形目鸟类中,约有 80% 来自于崇明东滩,因此崇明东滩在鸟类的研究与保护上具有重要的国际意义。

崇明东滩特殊的地理位置和生态环境为各种植被和生物提供了适宜的生长环境,形成了丰富的动植物资源,也为鸟类栖息和觅食提供了优良场所。近年来,长江上游来水来沙减少,东海潮流冲蚀导致崇明东滩地形淤涨变化呈现新的趋势、政府对土地后备资源的需求导致滩涂频繁围垦利用、外来入侵植物的快速扩散、人类放牧、捕鱼等活动的强烈干扰等一系列因素已经影响到鸟类的生境,如何保护和改善崇明东滩鸟类生存环境,实现东滩鸟类保护和生态环境的可持续发展已经迫在眉睫。在这一重大问题中,基于遥感和 GIS 的技术方法和手段来快速客观简便定量地分析评价目前鸟类在东滩的生境适宜性程度显得尤为重要^[2~4]。

在遥感和 GIS 的支持下,本文根据近年来野外调查数据分析了影响东滩鸟类生存的地类、植被、潮沟、底栖生物等关键环境因素,应用基于面向对象的遥感分割方法提取出鸟类生境适宜性分析评价单元,建立了鸟类与关键环境影响因素的定性定量关系,对影响因子进行地理空间量化,建立起鸟类栖息与关键环境影响因素的定量数学模型,最后计算分析得出东滩鸟类从最适宜到不适宜不同等级的生存环境,依此进行鸟类保护功能分区的重新区划和定位,为鸟类保护的各項管理措施、对策和政策提供基础性的科学依据,具有重大的现实意义和科学意义。

1 研究区概况

崇明东滩位于崇明岛的东端,地理位置在 31°25' ~ 31°38'N, 121°50' ~ 122°05'E 之间。其范围西至临海人工围堤,东以浅海区域 -6 m 水深线为界,北至北八淤,南至奚家港,南北长约 31 km,东西宽约 52 km,崇明东滩鸟类国家级自然保护区位于其中。本次研究主要在崇明东滩鸟类国家级保护区内,保护区总面积约 241.55 km²。由于崇明东滩位于长江口北港与北支涨潮分流和落潮合流的岛影缓流区,因此滩面宽阔,滩坡平缓,平面外形呈向东伸展的舌状型。根据滩面不同高程所受潮水淹没时间、潮流和风浪作用强度差异出现的不同地貌特征,东滩湿地大致可以划分为潮上带、潮间带(高、中、低潮滩)和潮下带三大部分。区域范围内潮沟密布,高、中、低潮滩分带十分明显。受长江上游来水来沙和东海潮流的影响,崇明东滩范围内陆地部分和水下部分变化频繁,陆地部分平面方向表现为不断向东海推进,垂直方向表现为滩面高程逐渐淤高,水下部分吴淞零米线不断向东海推进变化,水下地形则由平缓趋向于陡深。

滩涂东滩拥有丰富的滩涂植被资源,生物多样性较高,主要植被群落有芦苇(*Phragmites australis*)群落、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落、互花米草(*Spartina alterniflora*)群落。东滩属于淤涨型潮滩,平均每年向外淤涨 100m 以上,植被同时以相应的速度向海推进,植被分布最宽处达 2450m。东滩滩涂的高程关联着水淹程度、风浪大小、土壤条件和地形冲淤程度,这些因子直接影响着各种滩涂湿地植被的生存条件,滩涂植物群落和生长状况在空间分布上存在明显的梯度分布规律,这些特征在崇明东滩的表现明显^[5]。

崇明东滩淡水鱼类和滨海鱼类均占据一定的比例,主要种类有鲢(*Mugil cephalus*)、梭鲈(*Liza carinatus*)、红狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)、斑尾刺虾虎鱼(*Synechogobius ommaturus*)和大弹涂鱼(*Boleophthalmus pectinirostris*)等,在潮沟和浅水区域常见分布。崇明东滩的底栖动物主要有甲壳类、腹足类、双壳类、多毛类等,其优势种主要是隶属于甲壳类和软体动物中的双壳类及腹足类中的动物,如谭氏泥蟹(*Ilyoplax desham psin*)、河蚬(*Corbicula fluminea*)、泥螺(*Bullacta exarata*)等^[6~9],它们多分布在滩涂潮间带,是生态系统食物链的重要环节。

2 方法

2.1 适宜性分析方法流程

根据崇明东滩鸟类国家级保护区处于大河口区滩涂地带并具有地形快速动态变化的特点,结合遥感和地理信息系统技术,本文提出了东滩鸟类适宜性分析的方法和流程。东滩鸟类适宜性分析的方法和过程涉及到两个方面,一是理论分析和评价模型构建方面,主要进行评价目标-鸟类类群的确定,根据专家知识和经验识别出影响鸟类栖息的主要环境因子,确定鸟类类群和关键环境因子的关系模型,给出不同关键影响因子对鸟类适宜性影响的权重,建立起鸟类与环境影响因子之间的评价矩阵^[10~12]。另一方面是空间数据库构建、模型数学量化以及生境适宜性指数计算过程,主要涉及空间地理数据、遥感数据和调查数据的选取,基于共同的地理坐标系统进行环境影响因子的遥感提取和地理空间量化,适宜性分析生境地理空间数据库构建,基于遥感数据源为主的生境分析评价单元的面向对象划分,在 GIS 支持下进行空间运算得到各个分析评价单元的影响因子地理空间数量值,与适宜性分析评价矩阵进行组合运算得到分析物种的生境适宜性指数。东滩鸟类生境适宜性分析主要流程见图 1。

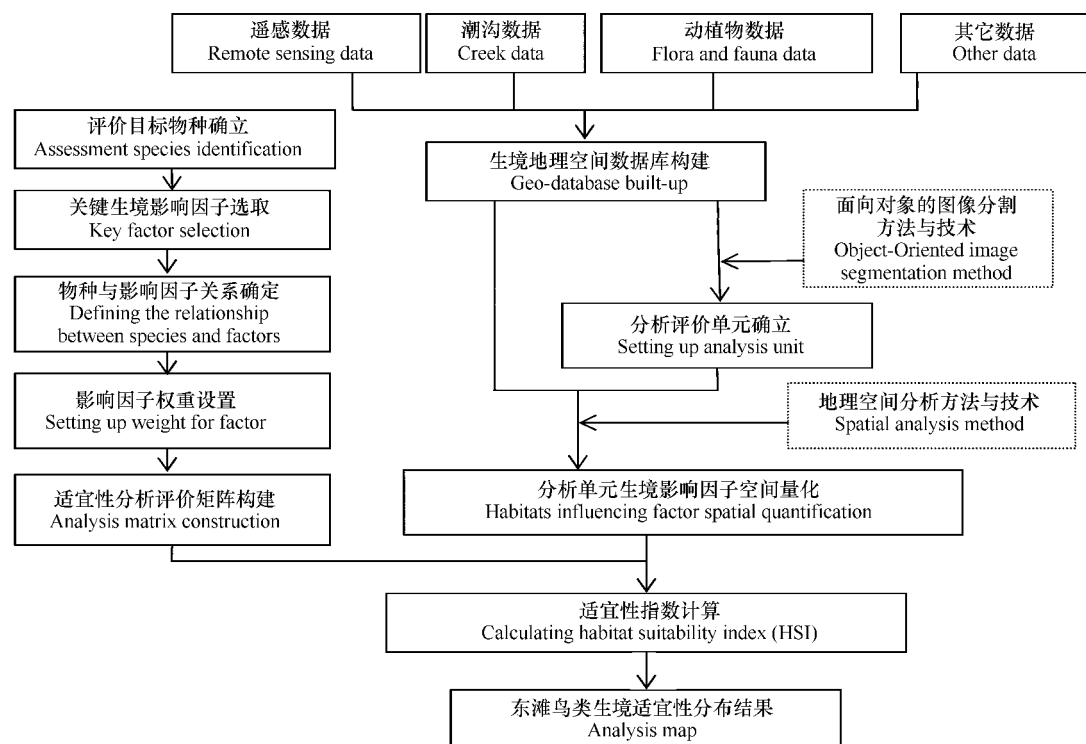


图1 崇明东滩鸟类生境适宜性分析流程

Fig. 1 The work flowchart for bird habitat suitability analysis in Chongming Dongtan Nature Reserve

2.2 分析目标的确定

根据文献资料和近年来的调查^[9,13],崇明东滩的鸟类有 298 种,其中国家一级重点保护野生鸟类有 4 种,东方白鹳(*Ciconia boyciana*)、白头鹤(*Grus monacha*)、黑鹳(*Ciconia nigra*)和白尾海雕(*Haliaeetus albicilla*),国

家二级重点保护野生鸟类有 37 种,如黄嘴白鹭(*Egretta eulophotes*)、黑脸琵鹭(*Platalea leucorodia*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、小天鹅(*Cygnus columbianus*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)、灰鹤(*Grus grus*)、白枕鹤(*Grus vipio*)等,有 22 种鸟类被列入中国濒危动物红皮书。在崇明东滩鸟类自然保护区中雁鸭类(*Anatidae*)、鸻鹬类(*Charadriidae*)、鹭类(*Ardeidae*)和鸥类(*Laridae*)是主要水鸟类群,这 4 种类群共计 113 种。同时这四种类群水鸟的数量巨大,据估计,每年在崇明东滩停留的数量在 30 万只以上。本次研究主要针对崇明东滩雁鸭类、鸻鹬类、鹭类和鸥类进行生境适宜性分析。

2.3 鸟类类群与生境关系简要分析

鸟类类群与生境的关系分析主要分析鸟类类群的数量和种类与生境的时空关系,只有充分调查清楚这种关系才能有效选择关键生境影响因子,建立起适宜性分析评价模型矩阵。

2.3.1 鸟类类群与地表类型的关系

崇明东滩丰富的植被和滩涂湿地资源为鸟类的觅食、栖息及繁育提供了优良条件。根据对水鸟群落在不同栖息地类型的分布调查,光滩和海三棱藨草群落是水鸟最重要的栖息地,无论从水鸟的种类还是数量上看,都远远高于芦苇和互花米草群落。崇明东滩湿地生态系统食物链基础是海三棱藨草,越冬栖息的湿地鸟类中,鹤类和小天鹅是以海三棱藨草的地下球茎为主食,而雁鸭类主要以海三棱藨草的种子为主食。近年来,互花米草通过人为引入和自然扩散在崇明东滩的滩涂湿地迅速扩散,排挤当地土著种芦苇和海三棱藨草,改变了植物群落结构,对鸟类群落结构产生很大的影响。

2.3.2 鸟类类群与底栖动物、鱼类的关系

崇明东滩是多种重要经济鱼类和甲壳动物的栖息地^[14],东滩鱼类主要以鲈形目鱼类为主。底栖动物主要有甲壳类、腹足类、双壳类、多毛类等,它们多生活于潮间带,是生物链的重要环节。研究表明^[6,14],崇明东滩所拥有的底栖动物物种较少但单位面积的河口底质中的生物量却非常高。四季中秋季生物量最高,夏季最低,而春季与冬季的生物量相当,介于秋季与夏季之间,其丰富的底栖动物和鱼类资源是吸引大量鸟类停歇此地的一个重要原因。经观察分析,东滩鸻鹬类主要以腹足类、双壳类、甲壳类、环节动物性食物为主;雁鸭类为杂食性,植物性食物所占的比例较大;鸥类和鹭类的食物完全为动物性食物,位于东滩潮沟和浅水区域内的鱼类、底栖动物是其主要食物来源。

2.3.3 鸟类类群与潮汐、潮沟的关系

根据潮汐潮位的变化,崇明东滩潮间带分为高潮滩、中潮滩和低潮滩。高潮滩高程大致在 2.7~3.4m 之间,植被类型以芦苇为主,底栖动物以蟹虾为主;中潮滩滩面高程在 2.0~2.7m 之间,自然植被以藨草、海三棱藨草为主,底栖动物以贝壳类软体动物为主;低潮滩高程大致在 2.0m 以下,以光泥滩为特征,植物主要是盐渍藻类,底栖动物以双壳类、环节动物为主,它是动物食性鸟类觅食的重要区域。

潮汐作用引发的涨、落潮冲蚀,当其作用在坡度和缓而宽广的滩涂上,会产生出潮水和泥沙输入与输出通道,也就是滩涂上最活跃的微地貌单元-潮沟。崇明东滩富含潮沟,潮沟的存在增加了河口潮滩湿地的生境异质性,对底栖动物及植被群落有明显的影响。在带来大量鱼虾贝类等底栖生物资源同时,由于潮汐的冲刷作用,潮沟附近海三棱藨草球茎暴露于滩涂表面或仅浅埋于地表,为食植物种子或草球茎鸟类如雁鸭、白头鹤等觅食的天然场所。加上潮沟附近丰富的滩涂植被资源,为鸟类提供了优越的觅食和栖息环境。

2.4 适宜性分析影响因子指标体系

影响因子选取是鸟类生境适宜性评价的关键步骤之一。针对不同鸟类类群觅食、休憩活动范围与生境的分布关系,在东滩鸟类适宜性分析生境影响指标选取中注重几点:

(1) 主要考虑中等尺度的地表环境特征以及下垫面的环境影响,对于空间大范围的背景情况不加详细考虑,如气候因素只是在大的背景下影响鸟类分布,局部范围的气候变化不大;

(2) 选取指标对鸟类有直接的影响,如东滩高程、水深变化范围只有几米,其生态效用已在植被分带演替和多边形生态分割单元中表现出来,因此高程水深在适宜性分析过程中不参与计算分析,仅只在同质多边形

评价单元分割时作为地理数据层引入;

(3)不仅仅考虑到自然人文因素,也考虑到基于遥感派生和分析的数据因子对鸟类的影响,如遥感植被指数(NDVI),它是植被冠层绿度的一种反映,可用于指示多边形分析单元内陆地地表植被或水生植物成分比例^[15,16],NDVI 值的大小对植食性鸟类和鸟类休憩有重要作用;

(4)不同的鸟类类群尽量采用相同的指标体系进行适宜性分析,便于最后区域综合分析评价。

基于上述原则,综合分析崇明东滩鸟类生境的情况,适宜性分析主要选取地表类型、植被指数、底栖生物/鱼类、潮沟、人类活动干扰五大类,结合已有的关于崇明东滩环境因素的研究成果,对各指标再进行细分,建立起崇明东滩鸟类生境主要影响因子的指标体系(表 1)。

表 1 崇明东滩鸟类生境主要影响因子体系表

Table 1 The category system of the bird habitat suitability index (HSI) in Chongming Dongtan Nature Reserve

指标级别 Factor Level	1 级指标 Level I	2 级指标 Level II	3 级指标 Level III
崇明东滩鸟类生境适宜性 分析指标 Chongming Dongtan bird HSI Category system	地表类型 Land-use type	水域 Water	大潮沟 Channel
			浅水区 Shallow water
			深水区 Deep water
		光滩(浅水盐渍) Bare tide flat	—
		植被 Vegetation	海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>
			芦苇 <i>Phragmites australis</i>
			互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>
	植被指数 NDVI	—	—
	潮沟 Creek	潮沟密度 Destiny	—
		潮沟分形指数 Fractal index	—
	底栖生物/鱼类 Benthos /fishes	生物量 Biomass	—
		多样性 Diversity	—
	人类活动干扰 Disturbance of human activity	建堤围垦 Seawall	—
		放牧捕捞 Herding and fishing	—

在东滩鸟类适宜性分析计算中,考虑到数学建模和空间地理量化实际情况,根据专家经验知识综合各指标因子,主要选取对鸟类类群有关键影响的空间地理生境指标,即地表类型(芦苇、海三棱藨草、互花米草、光滩、浅水区、深水区)、植被指数(NDVI)、底栖生物量、潮沟密度等。

2.5 生境适宜性评价矩阵模型构建

鸟类生境适宜性评价矩阵构建,主要是确立生境影响因子与适宜性指数的对应关系以及各个影响因子对目标物种总适宜性指数的贡献值。在东滩鸟类适宜性分析中,涉及到定性数据如地类等和定量数据如生物量、潮沟密度等,考虑到定性数据和定量数据的标准化统一计算,对适宜性指数采用百分制形式(0~100)进行量化分级,同时将适宜性指数分为 4 个等级,即适宜性最好(100~75)、适宜性良好(75~50)、适宜性一般(50~25)、适宜性差(25~0)等 4 个等级。

对于定性生境影响因子,如地物类型,根据东滩鸟类的实际调查情况和已有的研究成果,经过专家分析得出各种地类对鸟类的适宜性等级,其数量标准化时取值采用适宜性分级区间段的中值。如海三棱藨草地类对雁鸭类最适宜,则海三棱藨草地类对于雁鸭类生境适宜性得分为 87。在定性因子的适宜性矩阵模型构建中,需根据各种鸟类的习性差异和季节变化,对各种鸟类的评定等级分别对待。本次研究中采用的遥感数据时相为 11 月份,因此鸟类适宜性分析研究以秋季为主。东滩地类对鸟类的适宜性评价矩阵模型见表 2。对于定量生境影响因子,采用分段线性模型进行适宜性指数计算,在现地样地调查、经验分析综合和数值分析的基础上,得到与 4 种适宜性分级区间段对应的各个定量影响因子的分界值。东滩鸟类生境适宜性分析各个定量因子适宜性评价见表 3。

表2 东滩鸟类适宜性分析各种地类适宜度评价表

Table 2 Value for bird habitat suitability at different land-use type in Chongming Dongtan Nature Reserve

鸟类类群 Bird Category	海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	光滩 Bare tide flat	浅水区 Shallow water	深水区 Deep water
鸻鹬类 Charadriidae	最好 Best	差 Poor	差 Poor	最好 Best	一般 Fair	差 Poor
鹭类 Ardeidae	最好 Best	一般 Fair	差 Poor	良好 Good	最好 Best	差 Poor
鸥类 Laridae	一般 Fair	差 Poor	差 Poor	最好 Best	最好 Best	良好 Good
雁鸭类 Anatidae	最好 Best	一般 Fair	差 Poor	差 Poor	良好 Good	差 Poor

表3 东滩鸟类适宜性分析定量因子适宜性评价表

Table 3 Assessment criteria for bird habitat suitability analysis in Chongming Dongtan Nature Reserve

评价指标 Indicator	适宜性最好 (100 ~ 75) Best	适宜性良好 (75 ~ 50) Good	适宜性一般 (50 ~ 25) Fair	适宜性差 (25 ~ 0) Poor
NDVI	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1	0 ~ 0.2	< 0
底栖生物量 Biomass of benthos (g/m^2)	> 100	> 40	> 10	> 0
潮沟密度 Density of creeks (m/km^2)	> 5000	2500 ~ 5000	1000 ~ 2500	0 ~ 1000

各个影响因子对鸟类生境适宜性的影响程度是不一样的,反映影响程度重要性的尺度就是各个影响因子对生境适宜性指数的贡献值或权重。根据专家经验知识综合分析,确立各项生境影响因子在适宜性分析中所具有的不同的的重要性程度,分别赋予各项影响因子不同的权重值。权重确定与分配是东滩鸟类适宜性分析中非常关键的一个步骤,其科学性、客观性、真实性对鸟类的生境适宜性评价起着至关重要的作用。在崇明东滩鸟类生境适宜性分析中,权重确定采用因子相对重要性法^[17]。以雁鸭类为例,它以植物性食物为主,其底栖生物量指标权重值则较以动物性食物为主鹭类相比要低。而基本以动物性食物为主的鸥类,其底栖生物量权重则为主要值,反映植被成分的植被指数则占较低权重值。最后确立的崇明东滩鸟类类群的各个生境影响因子权重见表4。

表4 崇明东滩鸟类类群的各个生境影响因子权重表

Table 4 The factor weight for bird habitat suitability analysis in Chongming Dongtan Nature Reserve

鸟类类群 Bird category	地表类型 (F1) Land-use type	NDVI (F2)	底栖生物量 (F3) Biomass of benthos	潮沟密度 (F4) Density of creeks
鸻鹬类 Charadriidae	0.4	0.3	0.2	0.1
鹭类 Ardeidae	0.55	0.05	0.3	0.1
鸥类 Laridae	0.6	0.05	0.3	0.05
雁鸭类 Anatidae	0.4	0.37	0.15	0.08

3 结果

3.1 生境分析评价多边形地理单元的提取

鸟类生境适宜性分析评价实现过程实际上是一种地理空间叠加分析运算,常用的方法是对研究区域内各个影响因素的栅格图层根据不同权重进行空间叠加计算。影响鸟类类群分布的因素如潮滩地形、植被类型、潮沟分布、底栖生物分布都具有空间地理特征,将各个影响因素在同一地理坐标体系下进行数字化和栅格化,得到各个影响因子栅格图层,栅格图层由一个个标准的矩形或正方形栅格单元构成,栅格单元的行列值代表地理位置,栅格单元值代表影响因子的定量值。通过生境影响因子模型可以得到影响因素的各个数量化值对鸟类类群分布的影响度,再根据各种影响因素对鸟类生境的重要性即权重,综合计算得出各个栅格单元的鸟类生境适宜性指数或得分。

依照影响因素选择-栅格化-基于权重的空间叠加运算这种常规的适宜性指数计算分析过程,其不足之处有几点,一是运算量非常大而且灵活方便性不足,二是将研究区域分割成一个个标准形状如矩形或正方形、六

边形分析单元^[18],没有考虑到区域生态地理的空间分布性特征,分析评价单元不具备生态环境语义。本次评估模型的建立,则是在研究区域内根据地形、植被等生态环境梯度变化划分出一个个同质的多边形的生态评价斑块,再进行空间叠加分析得出各个评价图斑内各个影响因子量化值,最后根据影响因子适宜度数学评价模型和权重进行各个图斑的适宜性指数计算。其特点是计算单元为多边形图斑,计算过程为多边形属性字段值计算,计算量小且速度快;同质多边形生态图斑单元内各个影响因素属性量化值确立后,各个影响因子对鸟类适宜度的模型调整以及权重调整后的再次计算方便迅速灵活;计算分析单元充分考虑到环境生态特征,具有空间生态关联性,分析单元具有明确的生态语义特征。具体实现方法是在 E-Cognition 的支持下,以 2005 年 11 月 27 日 Landsat5 TM 遥感影像图、东滩鸟类保护区边界、东滩高程和水深等多个地理数据图层为基础,根据面向对象的遥感分割方法,以图像色调、亮度、饱和度、纹理、大小、高程、空间分布为主要分割依据,在中等尺度和较大紧凑度下进行同质生态单元的多边形计算机自动分割^[19]。东滩保护区同质多边形生境评价单元分割的效果示意图见图 2。

3.2 影响因子的地理空间量化及生境适宜性指数计算

东滩鸟类生境适宜性分析技术将数学模型与遥感、GIS 技术有效地结合,其生境影响因子数据空间地理量化以面向对象图像分割技术提取的同质多边形生态评价单元为基础,通过现地建标人机交互解译出各个单元的地类类型。潮沟密度的计算则是利用高分辨率航空影像解译出的潮沟数据与多边形评价单元进行空间叠加运算,得出各个评价单元内的潮沟长度和面积,与评价多边形单元面积相比得到潮沟密度。对于植被成分的计算,由于采用植被指数(NDVI)进行替代,每一多边形评价单元内由多个遥感像元组成,对多边形评价单元内的遥感像元进行植被指数计算并平均,得到该评价单元的植被指数值。对于底栖生物量计算则是利用东滩生物量分布地理图与分析单元进行多边形地理叠加运算得到。

鸟类适宜性反映了鸟类在崇明东滩湿地生存和繁衍环境的舒适程度。各要素对鸟类在东滩分布的影响不是孤立存在的,它们在不同的组合状态下,影响强弱不同,但却相互制约、相互补充。在东滩鸟类适宜性指数计算中,采用线性的生境适宜性与影响因子组合关系函数,其公式为:

$$HSI_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} f_{ij} \quad J = 1, 2, \dots, n$$

式中, HSI_j 为第 j 种鸟类类群的生境适宜性指数值, $W_{ij}(i=1, 2, \dots, m)$ 为第 i 因素对第 j 种鸟类类群的贡献率或权重的大小, $f_{ij}(i=1, 2, \dots, m)$ 为第 i 因素对第 j 种鸟类类群的适宜性数值, m 为参与分析的影响因素个数。 n 为参与分析的鸟类类群个数。

3.3 崇明东滩鸟类生境适宜性评价

将东滩划分成合适的多边形生境评价单元,依据东滩适宜性分析模型和生境地理空间量化值,计算各个评价单元鸟类适宜性数值。分析单元内高值结果对应于好的鸟类生存环境,低值对应于生境适宜性差的鸟类生存环境。将计算结果同样按照评价等级指标划分为四级,即将鸟类栖息地评价分为适宜性最好(100 ~ 75)、适宜性良好(75 ~ 50)、适宜性一般(50 ~ 25)、适宜性差(25 ~ 0)4 个等级。在 GIS 的支持下,得到东滩主要四大鸟类类群的适宜性分析结果图(图 3)。对保护区内各适宜性等级单元进行计算,分别得到四大鸟类类群各个适宜性等级的分布面积(表 5)。

4 讨论

结果分析表明,崇明东滩四大鸟类类群的生境适宜性地理空间分布差异是很大的。从地理分布来看,光滩区域、与光滩区域邻近的海三棱藨草带和潮沟地带是东滩鸟类适宜性较好的区域,互花米草分布区域对东滩水鸟类适宜度都不高。与保护区堤坝边界邻近的植被区虽密度大,植被指数高,但鸟类的生境适宜性一般,而保护区外海区域的深水区总体上对鸟类生境适宜性都较差。从面积统计计算来看,崇明东滩保护区内鸬鹚类较适宜的生境面积为 6561 hm^2 ,占保护区总面积的 27%;鹭类较适宜的生境面积为 9187 hm^2 ,占保护区总面积的 38%;鸥类较适宜的生境面积为 20531 hm^2 ,占保护区总面积的 80%;雁鸭类较适宜的生境面积为

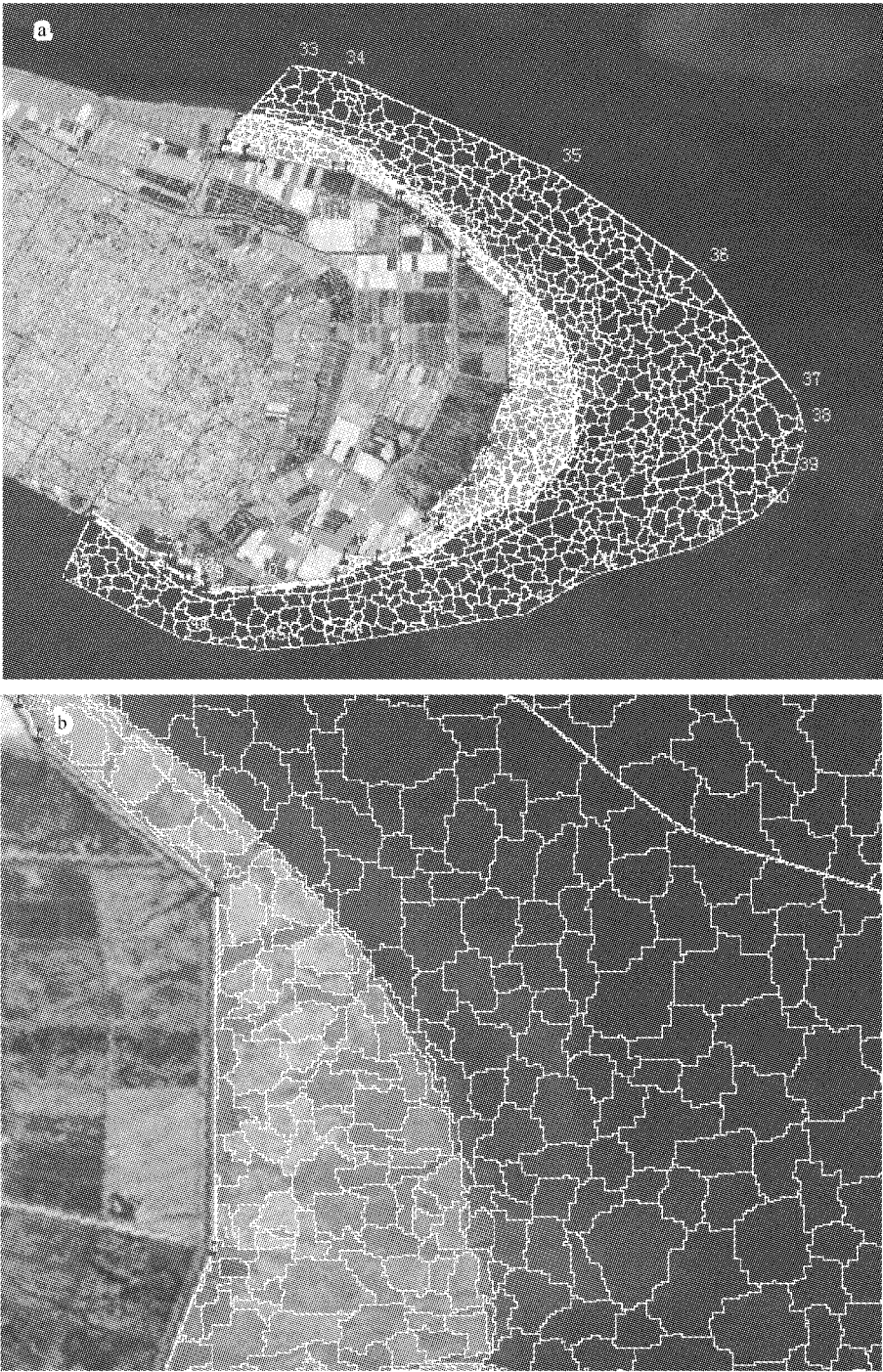


图2 崇明东滩鸟类多边形生境评价单元分割图

Fig.2 The analysis polygon segmentation for bird habitat suitability in Chongming Dongtan Nature Reserve

a: 东滩保护区整体分割图; b: 东滩保护区局部放大分割图; E-Cognition 分割参数: scale:10, color:0.85, shape:0.15 a: overall view; b: zoom-in view

6623 hm^2 , 占保护区总面积的 28%。四大鸟类种群较适宜面积比例计算平均约为 40%。崇明东滩鸟类国家级自然保护区规划总面积为 24155 hm^2 , 其中核心区规划面积为 16592 hm^2 , 核心区约占保护区总面积的 69%。从面积比例来看, 四大鸟类种群中除鸥类外, 其它鸻鹬类、雁鸭类、鹭类较适宜面积比例远低于核心区所占保护区面积的比例。从平均较适宜生境面积比例水平来看, 保护区内较适宜于四大鸟类种群的地理空间

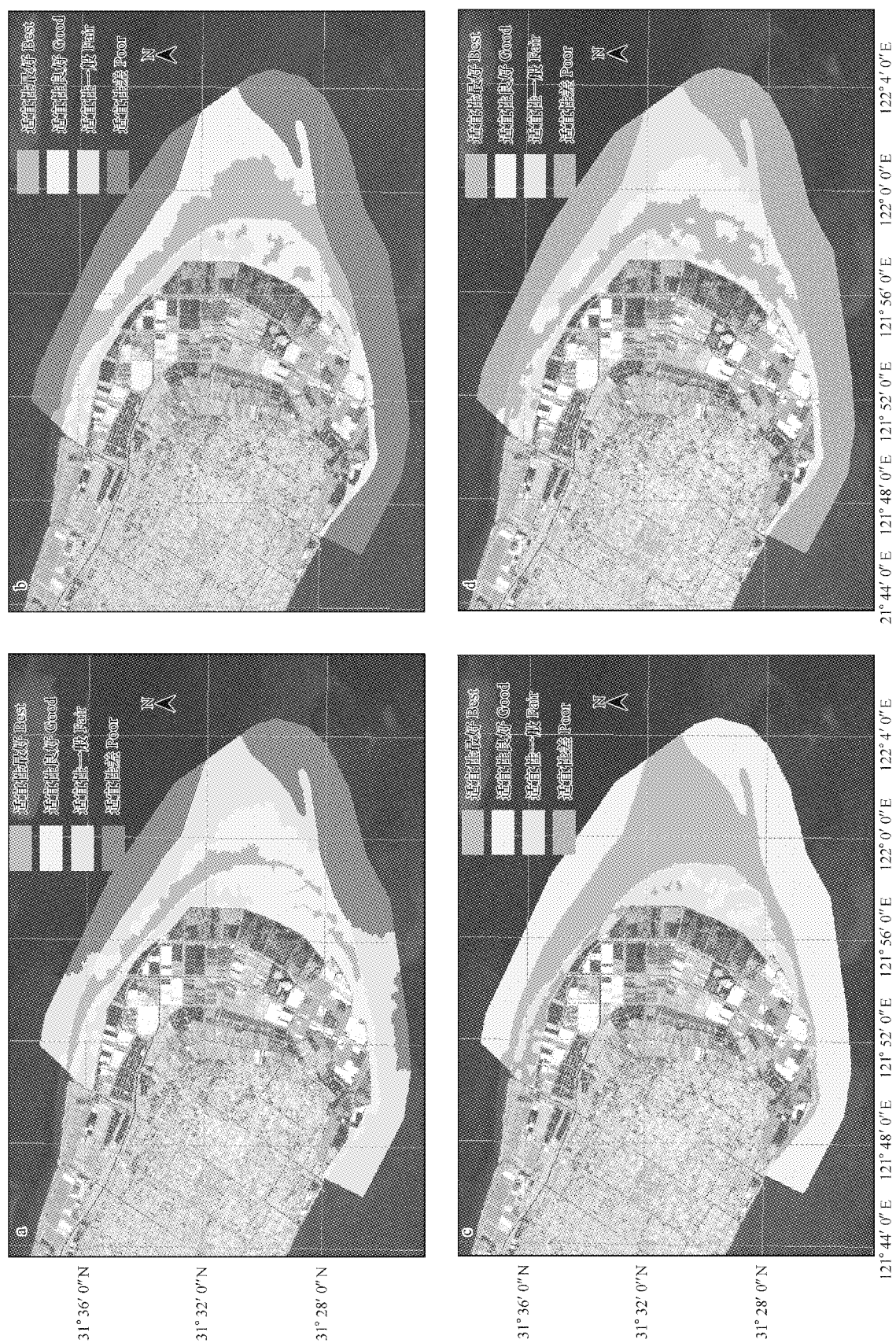


图3 崇明东滩鸟类生境适宜性分析结果图
 Fig.3 The bird habitat suitability analysis result map for Chongming Dongtan Nature Reserve
 a: 鸕鹚类 Charadriidae, b: 鹭类 Ardeidae, c: 鸻类 Laridae, d: 雁鸭类 Anatidae

面积比例偏低,因此有必要结合遥感和 GIS 技术,根据东滩鸟类适宜性分析方法和流程以及专家经验知识,对保护区内及周边区域进行鸟类的适宜性分析评价,为保护区功能区划调整提供本底依据。

表 5 崇明东滩鸟类生境适宜性分析面积统计表(hm²)

Table 5 The area for bird habitat suitability in Chongming Dongtan Nature Reserve (hm²)

等级 Class	鸻鹬类 Charadriidae	鹭类 Ardeidae	鸥类 Laridae	雁鸭类 Anatidae
适宜性最好(100~75) Best	1549.4	3765.8	6882.3	2934
适宜性良好(75~50) Good	5011.9	5421.7	13649.2	3689.2
适宜性一般(50~25) Fair	13011.9	1726.7	2679.2	4319.2
适宜性差(25~0) Poor	4581.5	13240.6	943.9	13212.2

通过对遥感与 GIS 技术在崇明东滩鸟类生境适宜性分析研究的应用方法、过程和结果分析表明,对处于生态环境快速动态变化的大河口区域,利用遥感数据的及时、客观、综合以及多源多分辨率的特点,在 GIS 技术的支持下可以快速、客观、准确、简便的对鸟类生境适宜度进行评价,其结果能为保护区的鸟类区划保护管理提供科学基础依据。

在崇明鸟类生境适宜性分析中,基于面向对象的图像分割方法融合了遥感栅格和矢量生境地理数据,所分割出的多边形评价单元具备生境生态同质性和空间语义特征,其适宜性分析结果具有空间生态意义。在生境适宜性分析模型的构建过程中,基于遥感派生数据的影响因子引入丰富和拓展的常规自然人文影响要素,使得遥感在物种生境适宜性评价中的应用范围和程度加大加深。

在崇明东滩鸟类适宜性分析中,本研究主要侧重于自然的生境分析,生境影响因子、生境评价单元以及适宜性计算充分运用了遥感和 GIS 技术,但评价模型主要以线性数学模型为主。鸟类生存环境依存于地理空间并密切相关,今后的研究将在多边形评价单元的基础上,基于面向对象的方法建立鸟类生境适宜性空间分析评价模型。

对东滩鸟类生境适宜性分析结果表明,保护区内较适宜于鸟类生存的地理空间范围总体上不大,自然因素如东滩冲蚀和人为因素如围堤等将对鸟类的生存环境产生极大影响,因此需加强长江上游来水来沙减少对东滩冲淤演变影响分析的研究以及控制东滩人为活动的范围和强度。

References:

- [1] Ma Z J, Jing K, Tang S M, Chen J K. Shorebirds in the eastern intertidal areas of Chongming Island during the 2001 northern migration. *Stilt*, 2002, 41: 6—10.
- [2] Tonu O, Kartrin A, Parnamets H. Modeling bird habitat suitability based on landscape parameters at different scales. *Ecological Indicators*, 2005, 5, 314—321.
- [3] Osborne P E, Alonso J C, Bryant R G. Modeling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38: 458—471.
- [4] Cushman S A, McGarigal K. Hierarchical analysis of forest bird species-environment relationships in the Oregon Coast Range. *Ecological Applications*, 2004, 14(4): 1090—1105.
- [5] Huang H M, Zhang L Q, Gao Z G. The vegetation resource at the intertidal zone in Shanghai using remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2686—2693.
- [6] Fang T, Li D J, Li M T, *et al.* Distribution and seasonal changes of benthos in different sediment types in Chongming tidal flat. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(1): 24—26.
- [7] Liu K, Xu D P, Zhang M Y, Duan J R, Shi W G. Preliminary studies on biodiversity of fish community on north beach of Chongming Island. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(4): 418—421.
- [8] Feng G P, Zhuang P, Liu J, *et al.* Community diversity and growth characteristic of fish in Tuanjiesha along the eastern beach of Chongming Island. *Marine Fisheries*, 2007, 29(1), 38—43.
- [9] Xu H F, Zhao Y L. Scientific Survey on Chongming Dongtan Migratory Birds Nature Reserve of Shanghai. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.

- [10] Wang X L, LI D Q, WU B, Yang H X. Habitat suitability assessment of Przewalski's gazelle in the Hudong-Ketu area, Qinghai, China. *Biodiversity Science*, 2005, 13(3): 213—220.
- [11] Lin T, Xue X Z, Lu C Y, Hong H S. Ecological safety assessment of egrets in Xiamen National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3998—4006.
- [12] Tamis W L M, Vant Z M. An expert habitat suitability model for the disaggregation of Bird survey data-bird counts in the Netherlands downscaled from atlas block to kilometer cell. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 40: 269—282.
- [13] Huang Z Y, Sun Z H, Yu K, *et al.* Bird Resources and Habitats in Shanghai. Shanghai: Fudan University Press, 1993.
- [14] Yuan X Z, Lu J J. Ecological characteristics of macrozoobenthic community of tidal flat wetland in the Changjiang estuary. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 414—420.
- [15] Leyequien E, Verrelst J, Slot M, *et al.* Capturing the fugitive: Applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2007, 9(1): 1—20.
- [16] Box E O, Holben B N, Kalb V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux. *Vegetation*, 1989, 80, 71—89.
- [17] Saaty T L. The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill International Book Company, 1980.
- [18] Possingham H P, Ball I R, Andelman S. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: Ferson S., Burgman M. *Quantitative methods for conservation biology*. New York: Springer-Verlag, 2000. 291—305.
- [19] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G, Lingenfelder I, *et al.* Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58: 239—258.

参考文献:

- [5] 黄华梅, 张利权, 高占国. 上海滩涂植被资源遥感分析. *生态学报*, 2005, 25(10): 2686~2693.
- [6] 方涛, 李道季, 李茂田, 等. 长江口崇明东滩底栖动物在不同类型沉积物的分布及季节性变化. *海洋环境科学*, 2006, 25(1): 24~26.
- [7] 刘凯, 徐东坡, 张敏莹, 等. 崇明北滩鱼类群落生物多样性初探. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(4): 418~421.
- [8] 冯广朋, 庄平, 刘健, 等. 崇明东滩团结沙鱼类群落多样性与生长特性. *海洋渔业*, 2007, 29(1), 38~43.
- [9] 徐宏发, 赵云龙主编. 上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [10] 王秀磊, 李迪强, 吴波, 等. 青海湖东-克图地区普氏原羚生境适宜性评价. *生物多样性*, 2005, 13(3): 213~220.
- [11] 吝涛, 薛雄志, 卢昌义, 等. 厦门国家级自然保护区白鹭生态安全评价. *生态学报*, 2006, 26(12): 3998~4006.
- [13] 黄正一, 孙振华, 虞快, 等. 上海鸟类资源及其生境. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [14] 袁兴中, 陆健健. 长江口潮滩湿地大型底栖动物群落的生态学特征. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(5): 414~420.

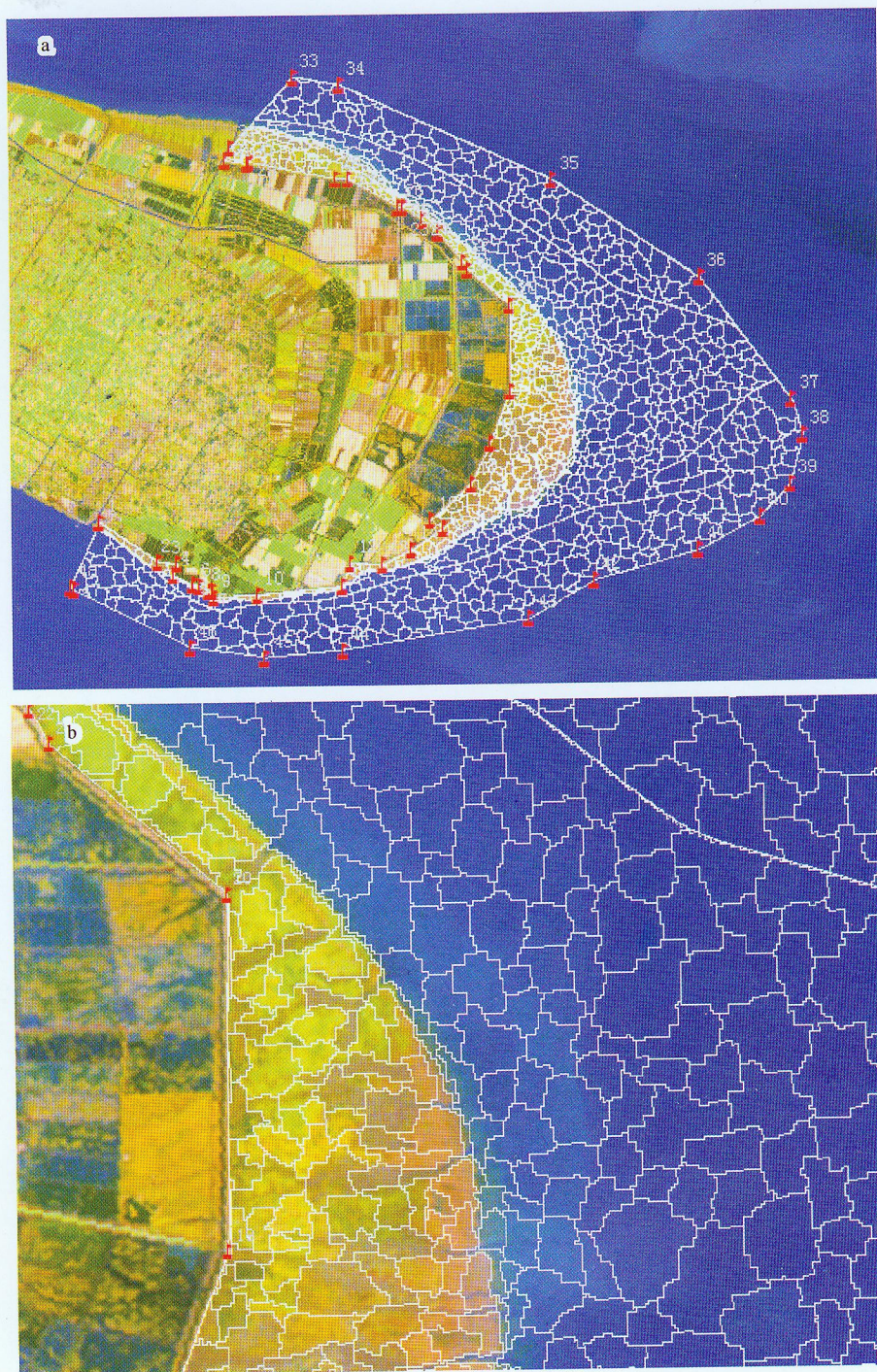


图2 崇明东滩鸟类多边形生境评价单元分割图

Fig. 2 The analysis polygon segmentation for bird habitat suitability in Chongming Dongtan Nature Reserve

a: 东滩保护区整体分割图; b: 东滩保护区局部放大分割图; E-Cognition 分割参数: scale: 10, color: 0.85, shape: 0.15 a: overall view; b: zoom-in view

6623 hm^2 , 占保护区总面积的 28%。四大鸟类种群较适宜面积比例计算平均约为 40%。崇明东滩鸟类国家级自然保护区规划总面积为 24155 hm^2 , 其中核心区规划面积为 16592 hm^2 , 核心区约占保护区总面积的 69%。从面积比例来看, 四大鸟类种群中除鸥类外, 其它鸕鹚类、雁鸭类、鹭类较适宜面积比例远低于核心区所占保护区面积的比例。从平均较适宜生境面积比例水平来看, 保护区内较适宜于四大鸟类种群的地理空间

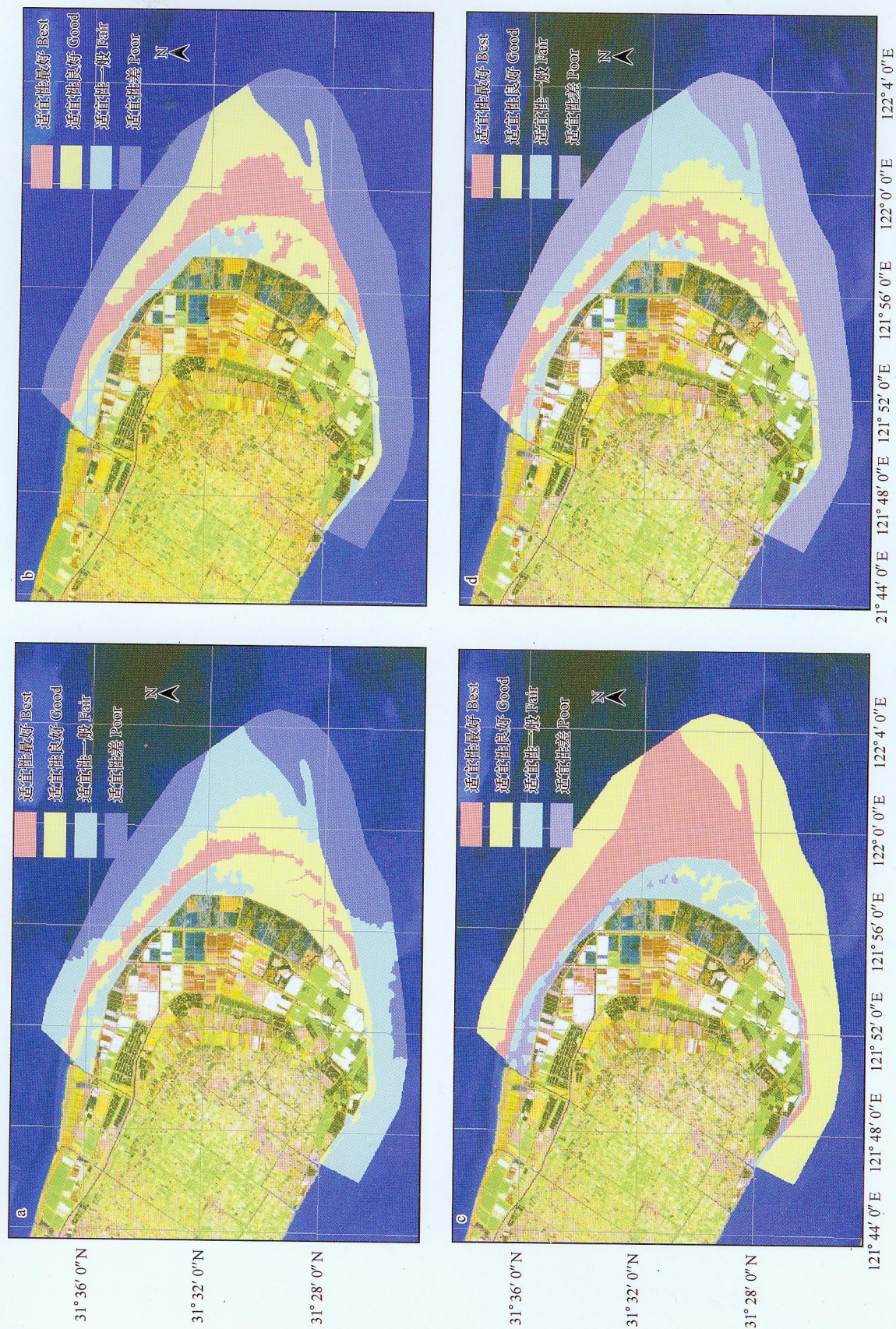


图3 崇明东滩鸟类生境适宜性分析结果图

Fig. 3 The bird habitat suitability analysis result map for Chongming Dongtan Nature Reserve
a. 鸻鹬类Charadriidae, b. 鹭类Ardeidae, c. 鸥类Laridae, d. 雁鸭类Anatidae