

大河口区淤涨型自然保护区功能区划研究 ——以崇明东滩鸟类国家级自然保护区为例*

李 行¹, 周云轩¹, 况润元¹, 田 波²

(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 环境科学与工程系, 上海 200433)

摘 要: 为了对动态场景下自然保护区的功能区划进行研究, 集成多年的遥感、海图及野外调查数据, 构建生境地理空间数据库, 在遥感和 GIS 技术的支持下, 建立了大河口区淤涨型自然保护区的功能区划框架, 并给出了区划方法的一个基于离散数学的表述。在此基础上, 利用 eCognition 面向对象的遥感影像处理技术和空间模糊评价模型, 研究了崇明东滩鸟类国家级自然保护区的功能区划。结果表明: ①核心区、缓冲区 1、缓冲区 2 和过渡区 4 个功能区分别占东滩保护区总面积的 18.0%、13.2%、18.4%、50.4%。在空间布局和生态学意义上, 都比原有功能区划更为合理; ②遥感及其派生数据的介入, 在宏观尺度和长时间尺度上拓展了人们对保护区生态环境的理解, 不仅降低了传统数据采集工作的强度, 也增强了区划结果的时效性和科学性; ③现代 GIS 技术与传统数学方法的融合可以更好地服务于保护区规划。区划结果可以为动态场景下的保护区规划管理提供科学依据。

关键词: 大河口; 淤涨型; 自然保护区; 功能区划

中图分类号: Q143 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2009)02-0106-07

Function Zoning of Accreting Nature Reserve of Large Estuary District: A Case Study in the Shanghai Chongming Dongtan National Nature Reserve

LI Xing¹, ZHOU Yunxuan¹, KUANG Runyuan¹, TIAN Bo²

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai

200062, China; 2. Department of Environmental Sciences and Engineering, Fudan University,

Shanghai 200433, China)

Abstract: Due to inapplicability of traditionally static function zoning for the nature reserve in dynamic scenarios, a systematic function zoning framework was constructed for the dynamic scenarios of large estuary district. The multisource data, including remote sensing images, nautical charts and field surveys performed in recent years, were integrated into a habitat geospatial database. Then the framework was built by incorporating remote sensing and GIS techniques. On that basis, the function zoning of the Chongming Dongtan National Natural Reserve was studied by utilizing the eCognition object-oriented image segmentation method and spatial fuzzy assessment model, and obtained the following results: (1) Core zone, buffer zone 1, buffer zone 2, and transition zone accounted for 18.0%, 13.2%, 18.4%, and 50.4% of the total area of the nature reserve, respectively, which is better than previous function zoning both in spatial distribution and ecological sense; (2) The remote sensing images and its derived data make that the ecological environment of the reserve understandable on the macroscale and long-term scale, promote the time-effectiveness and reliability, but decrease the fieldwork intensity to a great ex-

* 收稿日期: 2008-05-06

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项经费资助项目(200705020); 上海市绿化管理局科学技术基金资助项目(G060123); 中荷科学战略联盟计划基金资助项目(2008DFB90240)

作者简介: 李行(1981年生), 男, 博士生; 通讯作者: 周云轩; E-mail: zhoyx@sklec.ecnu.edu.cn

tent; (3) The fusion of modern GIS techniques and traditional mathematical models has a good prospect in reserve planning. The results can be employed to provide scientific proofs for the function zoning of the nature reserve in dynamic scenarios.

Key words: large estuary; silting; nature reserve; function zoning

自然保护区的功能区划是保护区规划管理中的一个重要环节,合理的功能区划是发挥保护区多重功能、实施有效管理的关键因素和保障手段。受人与生物圈(MAB)的生物圈保护区区划模式^[1]的影响,我国自然保护区的功能区划多采用三区划分的静态区划思想。就大河口区淤涨型自然保护区而言,由于其地理位置的特殊性,更容易受到全球变化尤其是气候变化的影响,生态环境的变化较为频繁。有证据表明气候变化的时间尺度已大大缩短,从过去的千年计变为现在的十年计^[2]。这意味着,传统的静态功能区划思想不再适合大河口区动态场景的功能区划。同时,大河口区自然保护区多为全球候鸟迁徙的中转站,为鸟类提供越冬、觅食和繁殖的场所,对于保护全球生物多样性和完整性起到至关重要的作用。因此,大河口区动态场景自然保护区功能区划的研究就显得尤为重要。本文在分析了大河口区淤涨型自然保护区基本区划因子和区划原则的前提下,借助遥感和GIS技术,从系统的角度构建了一个适合于大河口区动态场景的功能区划框架,给出了区划方法的一个基于离散数学的表达。在此基础上,进行了基于遥感和GIS的崇明东滩鸟类国家级自然保护区功能区划的实证研究。

1 功能区划总体框架的建立

1.1 区划原则

大河口区是一个高度变化的动态环境,各种环境因子对保护区的生态完整性起着重要作用。就淤涨型自然保护区而言,所涉及到的主要环境因子包括,滩涂的淤涨与围垦、植被的演替与外来物种入侵、底栖动物及保护对象的时空变化。在充分认识

不同因子对保护区影响机制的前提下,本文参考前人的研究成果,给出了大河口区淤涨型自然保护区功能区划的三个原则:①考虑到人类活动的参与;②保证功能区的生态完整性;③考虑保护区生境的动态变化。

1.2 功能区划总体框架

动态场景中的保护区功能区划是一个迭代的过程(见图1),当动态场景发生变化之后,要通过具体实施中的反馈信息,来评价原有功能区划方案是否仍然适应新形势下的需求。根据评价结果确定是否有必要确立新的保护目标;是否需要更新区划方案。保护区功能区划方案(见图2)涉及到,集成各种数据建立生境地理空间数据库、定义区划单元、生物多样性表达、变化分析与预测、区划方法等若干环节。下面对其中的关键环节分别描述。

1.2.1 保护目标 明确的目标是保护区功能区划成功的前提。保存物种的代表性和持久性是保护区的两个主要目标^[3]。在动态的场景中,规划者要面对的不仅是现有的保护区域,还有未来可能出现的潜在保护地。由于物种的生态进程与其环境影响因子之间的作用机制的复杂性,制订具体量化的保护目标常常是困难的。除了生态学理论的支持外,还需要其它技术方法(见1.2.3),以深入了解物种的时空分布模式和变化趋势,并在此基础上确定合理的保护目标。

1.2.2 区划单元 区划单元的定义是后续处理和基础。通常根据具体的生境,以及规划的实际需要来确定区划单元的形状和尺度。其形状可以是规则的三角形、四边形和六边形等网格(如将公里网作为区划单元^[4-5];Gap分析中采用的六边形网格单元^[6]等),以及根据植被类型、土地利

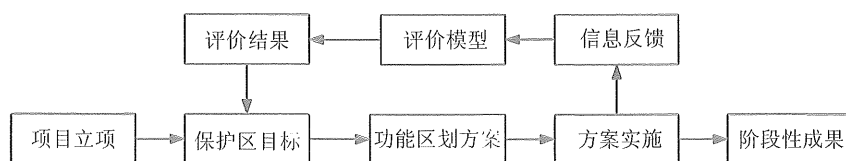


图1 功能区划总体框架

Fig. 1 The general framework of function zoning

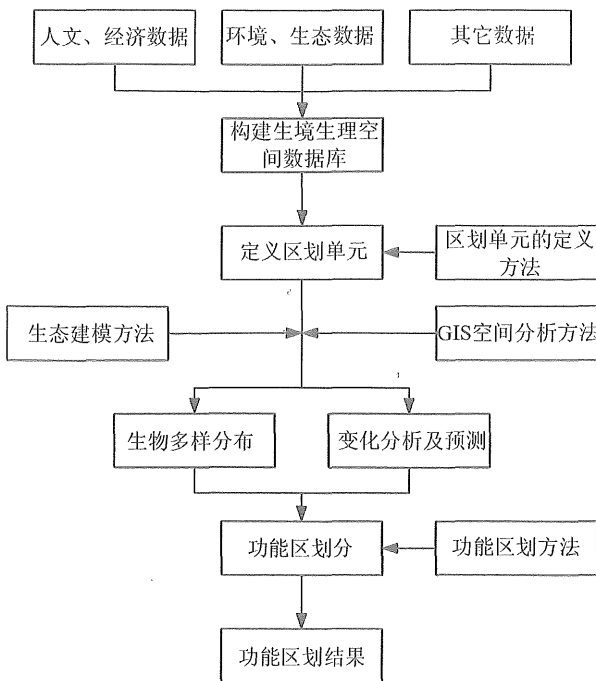


图 2 功能区划方案

Fig. 2 The flowchart of function zoning

用、地形地貌等划分的不规则多边形网格（如按照自然景观格局划分的区划单元^[7]）。在确定区划单元的时候，应当考虑到生物多样性与所在区域的形状、尺度的非线性关系^[8]。

1.2.3 生物多样性分布 生物多样性的复杂性为直接获取保护区生物多样性较为完备的数据带来了困难。通常采用生物替代物和环境替代物的方法间接获取。前者试图寻找对一个地区的全部生物物种的分布具有较好指示性的物种，后者利用相关环境因子对物种的空间分布模式进行估计^[3]。近几十年来，遥感和 GIS 技术越来越多地被用于鸟类种群空间分布模式的分析与建模^[9]。在 GIS 环境中，将不同的数据按照区划单元空间化，进行诸如植被、地形、潮沟、滩涂、人类活动等影响因子的制图和可视化表达，分析物种与物种、物种与环境因子之间的地理相关性，进而发现生物多样性空间分布模式及其演替规律，为功能区划目标的确定和实现提供数据和技术支持。

1.2.4 变化分析及预测 在多学科理论和技术手段的支持下，充分了解生境的动态变化模式，并能够预测其未来的变化趋势，才能够满足动态场景的功能区划要求。变化分析及预测的对象不仅包括景观的演替规律，也包括物种的生态过程，尤其是进化过程；其含义不仅包含滩涂的自然淤涨和植被的自然演替，也包括景观和物种对全球变化的响应。

1.2.5 区划方法 一个基于离散数学的表述区划方法就是，根据保护区目标为已确定的保护区划分优先等级的方法。其目的是便于日常管理和生物多样性的保护。常用的方法有：打分法、迭代法^[10]、最优化方法、Zonation 算法^[11]、层次分析法^[12-13]、聚类法^[4]、基于 GIS 的方法^[14-15]等等。我们将保护区划分为若干个区划单元，所有区划单元构成一个非空集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ，那么，区划方法就是求集合 A 满足一定条件（可以是生态的、经济的或社会的）的划分 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ ，即，

$$A = \bigcup_{i=1}^m P_i \quad (1)$$

其中， $P_i \subseteq A, P_i \neq \phi (i = 1, 2, \dots, m)$ ， m 为要划分的等级数，且 $P_i \cap P_j \neq \phi (i \neq j)$ 。 $A_k = (x_k, y_k, C_k) (k = 1, 2, \dots, n)$ ，其中 n 为区划单元的数目， (x_k, y_k) 是第 k 个区划单元内部点的坐标； $C_k = (a_k^1, a_k^2, \dots, a_k^l)$ 为区划单元的指标集，包括 $l (l \geq 1)$ 个指标，可以是单一指标也可能是综合指标。当 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 满足一定条件时，即可求得 A 的一个划分 P 。

1.2.6 区划结果的评价 正如 Margules & Pressey^[3]所指出的那样，系统的区划不是一个单向的过程，应当周期性地评价和更新。对于大河口区自然保护区的功能区划，周期性的评价和更新是保证功能区划方案持久有效性的重要步骤。评价是在具体的保护区管理实践当中考察区划方案对动态场景的适用性：① 设定的保护目标是否与当地的社会经济发展情况相适应；② 区划单元的形状和大小是否能够真实反映保护地环境因子和物种的空间分布模式；对区划结果产生了哪些影响；③ 获取的环境和生物多样性数据（包括数据质量、分辨率等）是否能够满足保护区功能区划的要求；④ 选用的区划方法是否适合保护区的实际情况；⑤ 原有保护区边界是否需要变动；⑥ 在原区划中有哪些未预期到的情况。

生境的动态性是实施动态区划的重要因素，它体现在两个方面：滩涂的淤涨、植被的更替等环境的动态变化；以及受保护物种的迁徙和种群规模的动态变化。评价、更新的周期和规模应充分考虑这两方面的时间和空间尺度，同时还要考虑区划结果的稳定性，过于频繁的更新不利于保护区的管理。有必要建立一套适合于保护区实际情况的评价方案，以便于周期性的评价和更新，使功能区划结果逐渐趋于合理性和科学性。

2 实例研究——以崇明东滩鸟类国家级自然保护区为例

2.1 研究区概述

崇明东滩鸟类国家级自然保护区位于崇明岛最东端的崇明东滩,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-澳大利西亚鸬鹚类迁徙路线,每年有近百万只次的迁徙和越冬鸟类在此停歇^[16],因此崇明东滩鸟类自然保护区的合理规划布局具有非常重要的意义。1998年建立崇明东滩鸟类自然保护区以来,由于上海市政府和当地政府在保护区的过度开发,2003年对保护区的区域范围、功能区划和外围缓冲区功能区划进行了一次调整。目前的保护区的功能区划采用三区划分(核心区、缓冲区、实验区)模式。

近年来,长江上游来水来沙减少,东海潮流冲刷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。鉴于崇明东滩鸟类自然保护区内和周边区域环境条件的快速变化,原有的保护区功能区划分已趋向不合理。为了实施保护区的科学管理、实现滩涂湿地资源的可持续利用,迫切需要开展保护区功能区划布局调整的研究工作。

2.2 数据与方法

在遥感和GIS技术的支持下,本文集成多年的遥感、海图以及野外调查数据,构建生境地理空间数据库。利用eCognition面向对象的遥感影像分割技术划分区划单元,采用空间模糊评价理论对四种优势水鸟的生境适宜性分布进行评价,然后利用GIS空间分析方法进行保护区的功能区划。所涉及到的具体数据包括,Landsat TM遥感数据、地形、水深、潮沟、植被、鸟类空间分布、底栖动物、水生生物、浮游动物、浮游植物、以及人类活动等数据(见图3)。

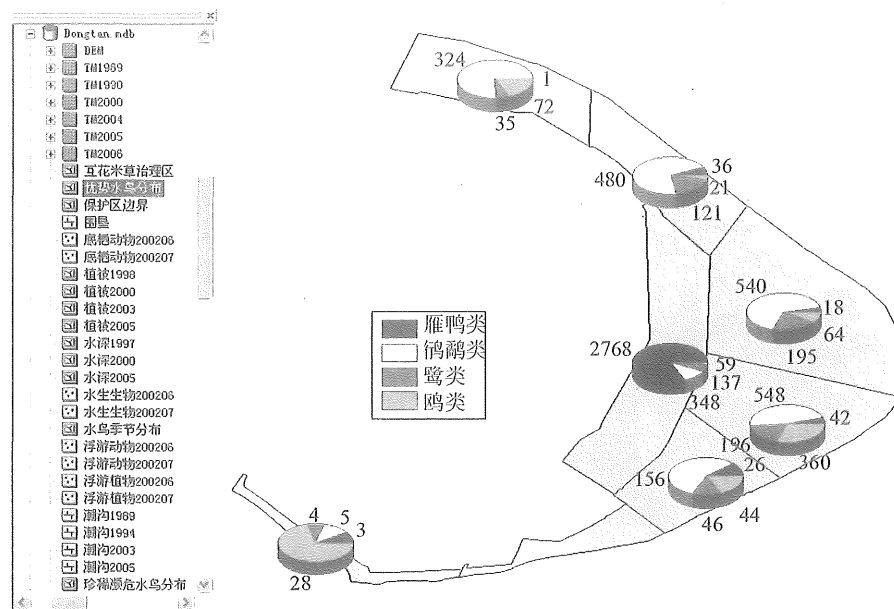


图3 生境地理空间数据库及优势水鸟分区分布图

Fig. 3 The habitat Geodatabase and the spatial distribution of dominant waterbirds in Dongtan

2.3 结果

根据前文所述功能区划框架和技术方法,崇明东滩鸟类国家级自然保护区功能区划主要包括划分区划单元、建立生境适宜性空间模糊评价模型、利用GIS空间分析方法进行功能区划等几个步骤,具体计算过程及计算结果如下。

(1) 利用面向对象的影像分析软件eCognition,考虑到景观要素的空间关联性,在中等尺度和较大紧凑度下进行同质生态单元的分割^[17],以此为依据划分区划单元(见图4)。共划分685个不规则网格,平均网格大小约为35.3 hm²。

(2) 按照1.2.5区划方法的表述,设划分的元

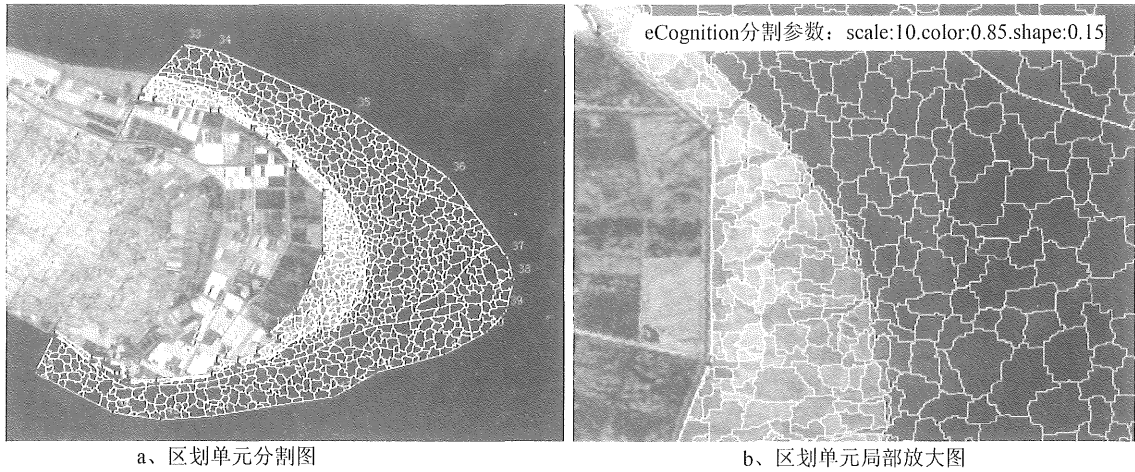


图 4 东滩鸟类保护区区划单元^[17]

Fig. 4 The zoning cell for the Dongtan Natural Reserve

素数为 m , 评价指标个数为 l 。根据模糊评价理论, 建立东滩鸟类生境适宜性空间评价模型,

$$B = W \circ R = (w_1, w_2, \dots, w_l) \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{l1} & \dots & r_{lj} & \dots & r_{lm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, B 为空间任一区划单元的鸟类生境适宜性程度, 数值区间为 $[0, 100]$ 。 W 为权重向量, R 为单因子模糊评价矩阵。本例中, 我们取 $m = 4$,

将地形、水深、潮沟、植被、鸟类空间分布、底栖动物、水生生物、浮游动物、浮游植物、以及人类活动数据作为评价指标, 取 $l = 10$ 。将该模型的结果分为适宜性最好 (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, 作为区划单元指标集 C 的条件, 利用 GIS 工具求得区划单元集合 A 的一个划分。

(3) 根据步骤 (2), 分别求出东滩四种优势水鸟雁鸭类、鸕鹚类、鹭类、鸥类 (占东滩全部水鸟种类的 83%) 各自的适宜性划分结果 (见图 5)。

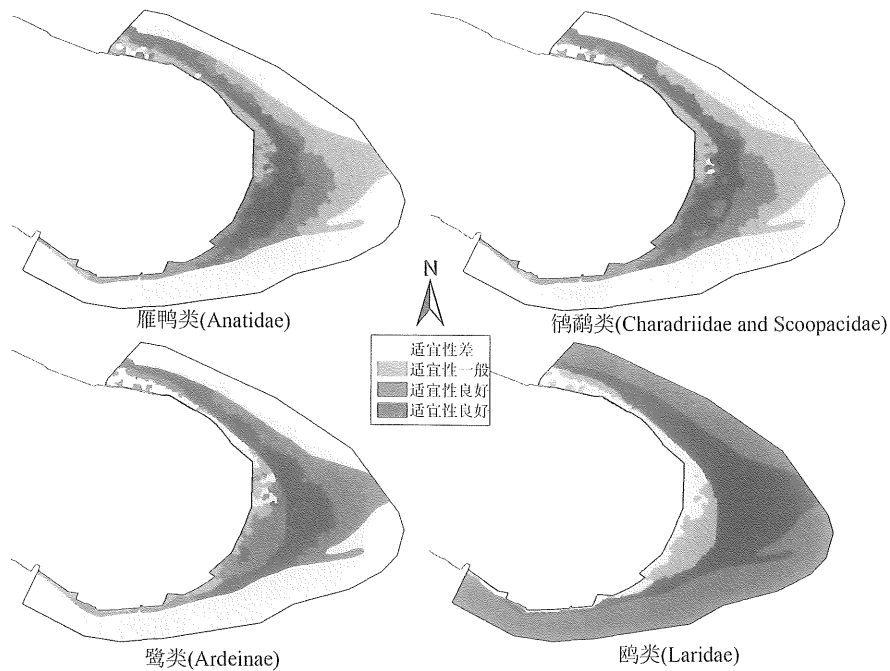


图 5 东滩鸟类保护区四种优势水鸟适宜性划分结果

Fig. 5 Habit suitability partition of four dominant waterbirds in the Dongtan Natural Reserve

(4) 由四种优势水鸟的适宜性划分, 根据公式(3), 同时考虑管理上的便利性以及未来滩涂的淤涨趋势和植被的向海演替, 借助 GIS 的叠加分析工具, 可求得最终区划结果 P_T 。参照联合国教科文组织的功能区命名规则, 将所得的 4 个功能区分别称为核心区、缓冲区 1、缓冲区 2 和过渡区 (见图 6), 其统计面积分别为 4 352.5、3 184.9、4 458.6、12 181.0 hm^2 , 总计 24 177.0 hm^2 。

$$P_T = \sum_{i=1}^4 P_i Q_i \quad (3)$$

式中, $i = 1, 2, 3, 4$ 分别对应 4 种优势水鸟雁鸭类、鹤鹑类、鹭类、鸥类; P_i 为步骤 (3) 求得的 4 种优势水鸟的适宜性划分; 根据调查, 4 种水鸟类群在东滩鸟类保护区的估计最大分布数量分别为约 50 000, >250 000, >3 000, >3 000 只¹⁾, 由此确定对应的 Q_i 为 0.16、0.82、0.01、0.01。

结果表明, 核心区、缓冲区 1、缓冲区 2 和过渡区四个功能区分别占东滩保护区总面积的 18.0%、13.2%、18.4%、50.4%。其中, 核心区主要位于光滩、海三棱藨草带以及浅水区, 随着水深的增加依次为缓冲区 1、缓冲区 2 和过渡区, 部分缓冲区位于保护区边界的大堤附近。区划结果总体上与调查得到的水鸟类群分布一致, 而且也可以满足由于滩涂淤涨、植被演替等因子所导致的未来几年内保护区的变化形势, 在空间布局和生态学意义上都比原有的功能区划更为合理。

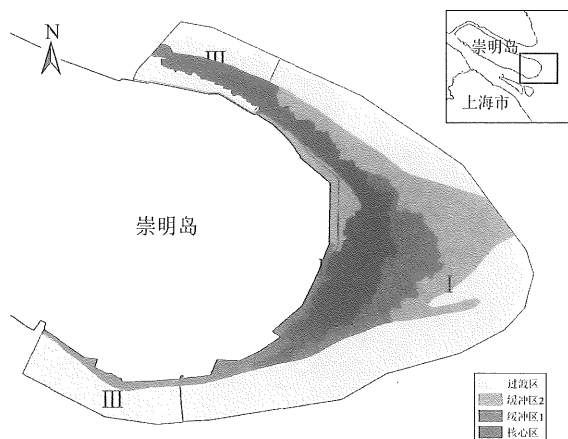


图 6 东滩鸟类保护区总体功能区划结果
I 核心区、II 缓冲区、III 实验区为原有的功能区划分
Fig. 6 The integrated function zoning for the Dongtan Natural Reserve

3 结 论

从实例验证可以看出, 本文所给出的大河口区淤涨型自然保护区功能区划框架, 集成多源数据和理论方法, 利用遥感和 GIS 分析技术工具, 可以得到合理的区划结果。对于大河口区淤涨型自然保护区的规划管理与可持续发展具有指导意义。其优点主要表现在两个方面:

(1) 遥感数据及其派生数据的引入, 使得人们能够从宏观上对不同时相下的保护区生态环境进行比较研究, 从而认识其发展规律, 不仅大大降低了传统数据采集工作的强度, 而且也增强了区划结果的时效性和科学性。

(2) 现代 GIS 技术时空数据的分析与可视化、多源数据的融合与管理、跨学科建模等方面的能力, 为动态场景下的保护区规划与管理提供了有效的工具。

此外, 保护区规划管理是一个系统工程, 它涉及到数据采集、因子分析、功能区划和管理等各个环节。功能区划只是其中的一个环节, 科学家和管理者广泛深入的协作才能保证功能区划不断趋于合理并发挥其应有的效力。

致谢: 感谢美国通用公司 (GM) 和美国大自然保护协会 (TNC) 中国湿地项目 (AP/Kunming/ECNU 102806) 的资助。项目组其他成员的工作对本文也做出了贡献, 在此一并感谢。

参考文献:

- [1] SHAFER C L. US national park buffer zones: historical, scientific, social, and legal aspects [J]. Environmental Management, 1999, 23(1): 49-73.
- [2] HEWITT G. The genetic legacy of the quaternary ice ages [J]. Nature, 2000, 405(6789): 907-913.
- [3] MARGULES C R, PRESSEY R L. Systematic conservation planning [J]. Nature, 2000, 405(6783): 243-253.
- [4] 陈宗洵, 郑道钦, 陈朝怡. 梅花山自然保护区核心区划分方法研究 [J]. 地理研究, 1993, 12(4): 74-80. CHEN Zongxun, ZHENG Daoqin, CHEN Chaoyi. A study on the method of dividing kernel area of Meihua-mountain natural sanctuary [J]. Geographical Research, 1993, 12(4): 74-80.
- [5] 史军义, 马丽莎, 杨克络, 等. 卧龙自然保护区功能区的模糊划分 [J]. 四川林业科技, 1998, 19(1): 6-16.

1) 马志军. 崇明东滩鸟类自然保护区水鸟及其优势类群的时空分布, TNC 项目报告, 2006.

- SHI Junyi, MA Lisha, YANG Keluo, et al. Fuzzy division of functional areas in Wolong nature reserve[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 1998, 19(1):6-16.
- [6] JENNINGS M D. Gap analysis: concepts, methods, and recent results[J]. Landscape Ecology, 2000, 15(1):5-20.
- [7] 周世强. 自然保护区功能区划分的理论、方法及应用[J]. 四川林勘设计, 1997, (3):37-40.
ZHOU Shiqiang. Theory, method and application of natural reserve functional area division[J]. Sichuan Forestry Exploration and Design, 1997, (3):37-40.
- [8] 翟惟东, 马乃喜. 生物多样性自然保护区功能区划方法[J]. 西北大学学报:自然科学版, 1999, 29(5):429-432.
ZHAI Weidong, MA Naixi. A management zoning method of biodiversity reserve[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 1999, 29(5):429-432.
- [9] GOTTSCHALK T K, HUETTMANN F, EHLERS M. Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationships using satellite imagery data; a review[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(12):2631-2656.
- [10] KIRKPATRICK J B. An iterative method for establishing priorities for the selection of nature reserves-An example from tasmania [J]. Biological Conservation, 1983, 25(2):127-134.
- [11] MOILANEN A. Landscape zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies[J]. Biological Conservation, 2007, 134(4):571-579.
- [12] HUANG W, LUUKKANEN O, JOHANSON S, et al. Agroforestry for biodiversity conservation of nature reserves: functional group identification and analysis[J]. Agroforestry Systems, 2002, 55(1):65-72.
- [13] LI W J, WANG Z J, TANG H X. Designing the buffer zone of a nature reserve: a case study in Yancheng Biosphere Reserve, China [J]. Biological Conservation, 1999, 90(3):159-165.
- [14] STOMS D M. Linking GIS and reserve selection algorithms: Towards a geospatial data model[R]. Biogeography Lab, Bren School of Environmental Science and Management, University of California Santa Barbara, 2003:37.
- [15] XU H G, ZHU G Q, WANG L L, et al. Design of nature reserve system for Red-Crowned Crane in China [J]. Biodiversity and Conservation, 2005, 14(10):2275-2289.
- [16] MA Z J, JING K, TANG S M, et al. Shorebirds in the eastern intertidal areas of Chongming Island during the 2001 northward migration[J]. Stilt, 2002, 41:6-10.
- [17] 田波,周云轩,张利权,等. 遥感与GIS支持下的崇明东滩迁徙鸟类生境适宜性分析[J]. 生态学报, 2008, 28(7):3049-3059
TIAN Z, ZHOU Y X, ZHANG L Q, et al. A GIS and remote sensing-based analysis of migratory bird habitat suitability for Chongming dongtan Nature Reserve, Shanghai[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7):3049-3059