

文章编号: 1004-8227(2009)03-0229-05

崇明东滩鸟类生境适宜性空间模糊评价

况润元, 周云轩, 李行, 田波

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 利用模糊数学方法、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)技术, 采用定性和定量相结合的方法构建了鸟类生境适宜性空间模糊评价模型, 解决了隶属函数的空间化问题, 扩展了模糊数学方法在自然保护区空间地理事物评价中的应用。通过评价几种鸟类的生境适宜性, 结果表明: 大多数鸟类在海三棱藨草外带和光滩适宜性最好, 由此向内陆或水域方向适宜性降低, 这一显著变化与崇明东滩环境演化趋势有着密切的关系; 由于鸟类生活习性的差异, 不同鸟类的空间适宜性范围存在一定的差异性; 已有的保护区功能区划未能充分考虑当前鸟类生境适宜性情况, 生境适宜性的评价结果可以为崇明东滩保护区的功能区划提供技术性指导。

关键词: 崇明东滩; 生境适宜性; 空间模糊评价; 地理信息系统

文献标识码: A

崇明东滩地处上海市崇明岛的东端, 位于亚太地区候鸟迁徙路线东线中段, 是亚太地区候鸟沿海岸线迁徙路线上的一个重要停歇地和越冬地, 是全球重要的生态敏感区域之一。鸟类能在崇明东滩栖息是自然界长期选择的结果, 然而, 近年由于崇明东滩滩地淤涨的变化、滩涂围垦的利用、植物外来物种的入侵、鸟类食物链的破坏等^[1-3]一系列因素已经影响到鸟类的生存, 鸟类数量存在下降的趋势。保护和改善崇明东滩鸟类的栖息环境, 实现东滩鸟类自然保护区可持续发展显得尤为重要。对崇明东滩自然保护区主要保护物种的生境进行适宜性评价, 有助于分析生物在各种生境中的适宜程度, 为制定合理的保护对策提供依据。以往, 自然保护区生境评价大多采用定性方法, 或者常局限在对研究区的整体环境状况作全面评估, 而对研究区任意具体空间位置的生境状况却没有给出可视的评价结果^[4-10]。为解决自然保护区生境适宜性评价中遇到的空间表达问题, 了解当前崇明东滩鸟类的生存环境状况, 本文拟引入模糊数学方法、遥感与地理信息系统技术, 采用定性和定量相结合的方法构建鸟类生境空间模糊评价模型, 评估不同环境背景下鸟类的适宜性程度, 为崇明东滩自然保护区的功能区划

提供技术性指导。

1 生境适宜性空间模糊评价的基本思路

传统的模糊评价方法是一种运用模糊变换原理分析和评价模糊系统的方法, 是以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评判方法^[11]。这种方法用于评价非空间对象非常有效, 而对于具有空间特征的地理事物或地理现象, 要了解任意空间位置的评价结果具有一定的局限性。空间模糊评价是为解决上述问题而提出的一种评价方法, 是传统模糊评价方法在二维空间上的扩展。其基本思想是利用地理信息系统强大的数据管理平台, 按照地理信息系统中要素类数据格式进行存储数据, 依据研究区的背景特征将各种地理要素数据划分为多边形网格, 以单个多边形网格为基本研究对象, 确定空间中各点(即单个多边形网格)单因素评价指标的分级类别和隶属函数, 将隶属函数概念扩展到二维平面的点上, 并逐点进行模糊评价, 从微观的角度对宏观的生境适宜性进行衡量, 最终获得整个研究区空间上的模糊评价结果。评价过程如图1所示。

收稿日期: 2008-02-29; 修回日期: 2008-05-17

基金项目: 上海市科委重大科研项目(06DZ12302); 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); 上海市科委重点项目(08321200700, 08231200702); 海岸公益性行业科研专项经费项目(200705020)

作者简介: 况润元(1976~), 男, 江西省上高人, 博士研究生, 主要从事环境遥感和地理信息系统研究, E-mail: rykuang@163.com

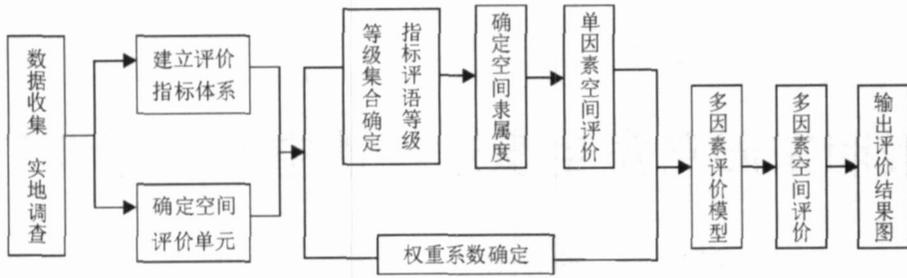


图 1 生境适宜性评价流程图

Fig. 1 Work Flow chart for Birds Habitat Suitability

2 生境适宜性空间模糊评价建模

2.1 评价指标体系的构建

鸟类生境适宜性因素主要包括物理环境因素和生物环境因素两种。前者主要指气候、地形、地貌等；后者主要指植被、各种底栖和鱼类等。结合已有的关于崇明东滩环境因素的研究成果，同时考虑鸟类的生态习性，本文按照层次分析法对各影响因素进行层层细分，建立了如图 2 所示的指标体系系统。在评价指标体系中，有较长时间内保持相对稳定的因素；也有短时间易变的因素。为使问题更好解决，评价的结果更符合实际情况，从指标体系中筛选部分因子参与分析，筛选过程遵循以下原则：(1) 鸟类生境适宜性主要考虑地表的环境特征和下垫面的环境影响，对于本研究中

崇明东滩的大尺度背景因子，只是在大区域下影响鸟类分布，局部范围的气候变化不大，所以不列入分析过程。(2) 区域性的影响因子，在东滩保护区空间范围内变化不大的因子也不参与计算，但作为背景因子对待，如东滩高程的变化甚小，只有几米。(3) 尽管鸟类有不同的生活习性，但评估时采用相同的指标体系进行生境适宜性评价。基于上述原则，综合分析崇明东滩鸟类生境的情况，从指标体系系统中选取地貌、植被、底栖、鱼类等进行评估，将影响鸟类生境适宜性的主要指标重新构建一个因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ (u 为评价指标体系中生境影响因子)。

2.2 评价等级集合的建立

评价体系中各指标因子的量纲大多不相同，为使所有的数据评价时都具有相同的尺度空间，便于空间生境适宜性分析，必须建立一个合适的评价等

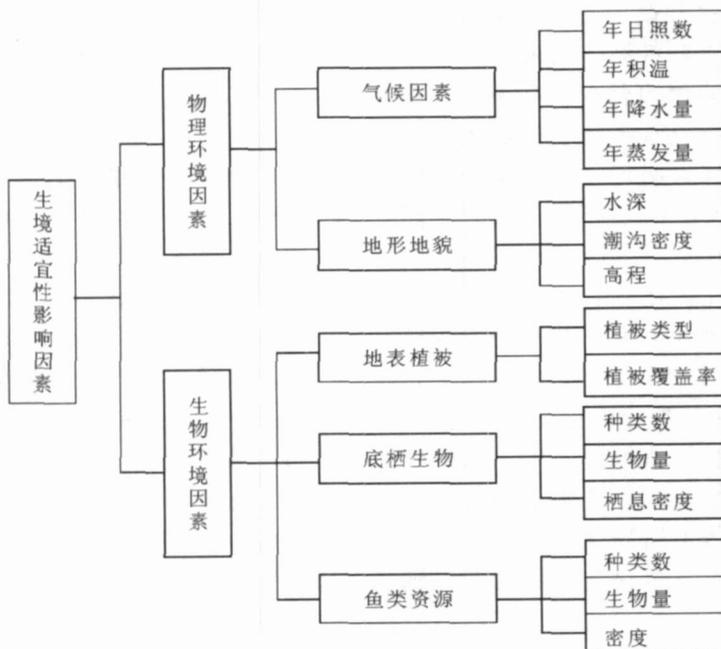


图 2 崇明东滩鸟类生境适宜性评价指标体系图

Fig. 2 Main Factors of Birds Habitat Suitability in Chongming Dongtan

级集合。本文将崇明东滩鸟类生境评价等级标准分为适宜最好、适宜良好、适宜一般、适宜性差 4 个级别, 即对应评语等级集合 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$, 然后对不同的指标数据采取不同的分级方案归入相应的等级。

在对每个评价指标确定评价分级方案时, 由于指标类型、数据空间分布对鸟类生境所起的正负作用不同, 所采用的分级方法也应有所不同。考虑指标对鸟类生境适宜性所起的相对正向或负向贡献度, 这里将指标分为正指标和逆指标, 正指标的等级划分是正向的, 逆指标的等级划分是逆向的。利用 ESRI 公司的 ArcGIS 软件, 在 ArcMap 中使用 GIS 的数据空间分析和处理功能, 对空间化的指标数据采用自然间断点法、分位数法、等间距法等方案进行分级, 充分提取指标所包含的有用信息, 将不同量纲、不同类型的空间数据纳入同一个更为准确、合理的评价空间。

2.3 确定隶属函数和单因素模糊评价

每一个等级的模糊子集内的元素隶属于该级标准值的程度(即隶属度)由隶属函数计算, 隶属函数的求法有多种^[12]。本文结合实际情况, 为使隶属函数能够在各级之间平稳过渡, 采用分段线性隶属函数的方法来确定隶属度。

假设生境适宜性指标因子 u_i 的 m 级($m = 4$)标准值为 P_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4$), 某空间位置 k 上的指标因子 u_i 的实际值为 C_{ki} , r_{ij} 为第 i 个因素对第 j 个等级的隶属度, 则正向贡献的评价指标对各等级的隶属函数的公式如下, 负向贡献的指标依次类推。

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & C_{ki} \geq P_{ij} \\ \frac{C_{ki} - P_{i2}}{P_{i1} - P_{i2}} & P_{i2} < C_{ki} < P_{ij} \quad j = 1 \\ 0 & C_{ki} \leq P_{i+1} \end{cases} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & \\ \frac{C_{kj} - P_{ij}}{P_{ij-1} - P_{ij}} & C_{kj} \geq P_{ij-1} \\ 1 & P_{ij} < C_{kj} < P_{ij-1} \quad j = 2, 3 \\ \frac{P_{ij} - C_{kj}}{P_{ij} - P_{i+1}} & C_{kj} = P_{ij} \\ \frac{P_{ij} - C_{kj}}{P_{ij} - P_{i+1}} & P_{i+1} < C_{kj} < P_{ij} \\ 0 & C_{kj} \leq P_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

$$r_{ji} = \begin{cases} 1 & C_{kj} \leq P_{ij} \\ \frac{C_{ki} - P_{ij}}{P_{ij-1} - P_{ij}} & P_{ij} < C_{kj} < P_{ij-1} \quad j = 4 \\ 0 & C_{ki} \geq P_{ij-1} \end{cases} \quad (3)$$

当已知空间某一点 C_{ki} 的值时, 代入上述公式可求得空间位置 k 的评价因子 u_i 的空间隶属度, 由此可确定空间位置 k 处的单因素模糊评价矩阵 R_k 。

$$R_k = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

将等级划分标准的间断点作为适宜最好、良好、一般、差的 4 个等级模糊子集的标准值, 根据上述通式, 在 ArcGIS 中用多边形(多边形的分割方法见下文讨论部分)要素的属性值(即单因素指标值)求得分别隶属于适宜最好、良好、一般、差的程度, 然后给生境适宜最好、良好、一般、差各等级的标准值分别按照百分制赋予分值 100、75、50、25, 依据属性字段值计算单因素的空间模糊评价价值。根据需要选择相应的主题(即属性字段), 在 ArcGIS 软件中按 Categories 方式动态显示单因素评价结果图。

2.4 评价指标权向量的确定

评价指标对鸟类生境适宜性的影响程度不一样, 为了明确各项指标在评价体系中的相对重要程度, 需要分别赋予各项指标不同的权重数。权重确定与分配是鸟类生境适宜性分析中非常关键的一个步骤, 对于能否客观、真实地反映鸟类的生境评价起着至关重要的作用。常用的定量权重确定方法有经验权数法、专家咨询法、层次分析法、主成分分析法等。本研究中采用层次分析法来确定评价因子的权重, 层次分析法是系统工程中对非定量事物作定量分析的一种决策分析方法, 它一方面能充分考虑人的主观判断, 对研究对象进行定性定量的分析, 另一方面把研究对象看成一个系统, 从系统内部与外部的相互联系出发, 将各种复杂因素用递阶层次结构形式表达出来, 以此逐层进行分析, 使决策者对复杂问题的决策思维系统化、数字化、模型化^[13]。依此方法确定了生境适宜性评价因子的权向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。具体过程如下:

首先, 根据数据资料、专家意见, 采用评价因子两两比较确定其相对重要性, 构建判断矩阵;

其次,进行层次单排序,确定层次内与之有联系
的各元素重要性次序的权重值;

最后,依据公式 $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, $CR = \frac{CI}{RI}$ (λ_{max} 是

判断矩阵最大特征值, n 是评价因子数, CI 是一致性指标, RI 是平均随机一致性指标, CR 是随机一致性比例),进行一致性检验,当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵具有令人满意的一致性;否则当 $CR \geq 0.1$ 时,需要调整判断矩阵,直到满意为止。通过一致性检验后所得值即为最终权重数。

2.5 多因素空间模糊评价

依据模糊评价理论,由权重系数向量和单因素模糊评价矩阵经合成运算即可建立崇明东滩鸟类生境适宜性空间评价模型:

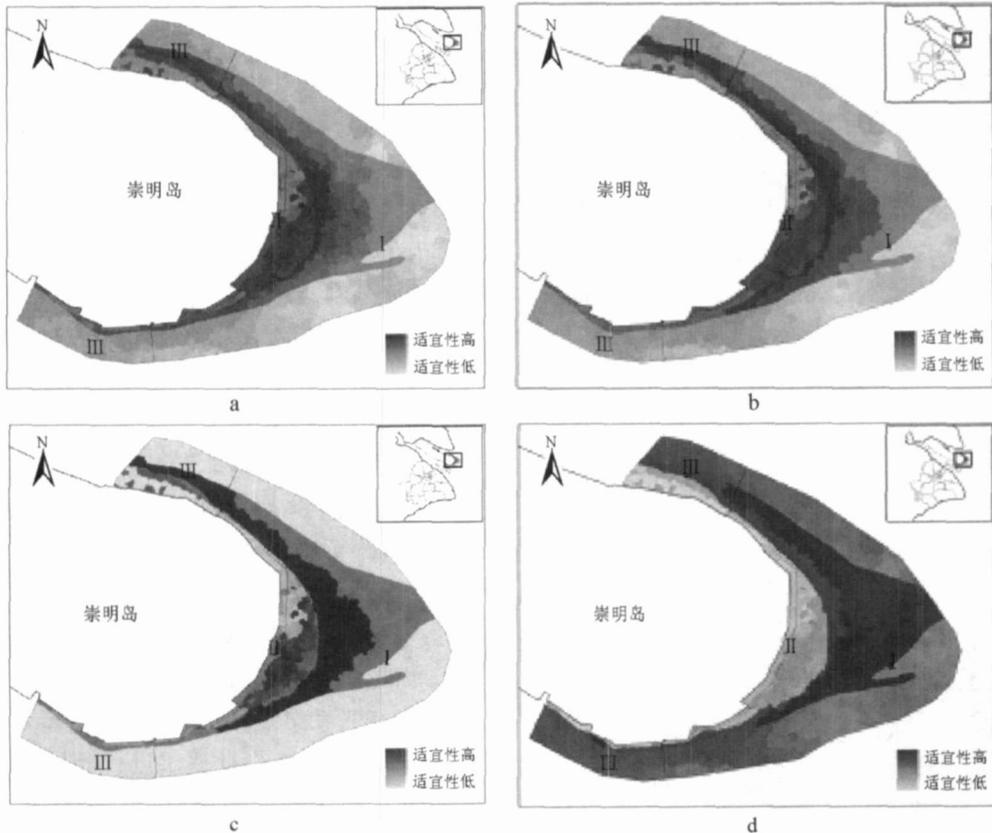
$$B = A \cdot R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{cases} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ \dots & & \dots & & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{im} \\ \dots & & \dots & & \dots \\ r_{n1} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{nm} \end{cases} \quad (5)$$

式中 B 为空间任一个评价单元的鸟类生境适

宜性程度,数值位于 0~ 100。与单因素评价结果对应,多因素评价的结果分为四级,即将鸟类生境适宜性评价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。

3 评价结果与讨论

以崇明东滩自然保护区范围为研究区域,以 2006 年的 TM 遥感影像图、等深线层为基础,根据面向对象的遥感分割方法,以图像色调、亮度、饱和度和、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分割,以分割后的多边形格网为基本单元,在每个多边形网格区块内计算每个指标的数值,依据前述的公式,计算因子的隶属度,依次得到模糊评价结果,即鸟类生境适宜性数值。网格高值对应于较适宜鸟类生存的环境,网格低值对应于适宜性差的鸟类生存环境。本文选取东滩主要几种鸟类作为研究分析,最终结果见图 3。



a. 雁鸭类; b. 鸻鹬类; c. 鹭类; d. 鸥类 I .核心区; II .缓冲区; III. 实验区

a. Anatidae; b. Charadriidae; c. Ardeidae d. Laridae I . Core zones; II . buffer zones; III. experimental zones

图 3 主要鸟类生境适宜性评价图

根据崇明东滩保护区主要鸟类生境适宜性的空间模糊评价图, 从中可以获得几点认识:

(1) 总体趋势上, 不同鸟类在东滩海三棱和光滩地带生境适宜性最好, 由此越向内陆由于植被更替以及人类活动影响等因素影响, 适宜性降低; 越向河口外水逐渐变深, 适宜性也相对降低, 这与鸟类在东滩的实际分布情况相吻合。鸟类生境适宜性的总体特征和东滩滩地环境的演化趋势有很大的关系^[14]。

(2) 由于不同鸟类生活习性的差异, 不同鸟类生境适宜性程度的范围不一样。

(3) 从图中可以发现东滩自然保护区西北靠陆地部分由于受到外来物种互花米草的入侵^[15], 鸟类的生境适宜性总体偏差。

(4) 通过叠加已有的保护区功能分区图, 保护区功能分区未能充分考虑当前鸟类的生境适宜情况, 有必要重新进行规划。

致谢 感谢崇明东滩 TNC 项目组成员为本研究提供的帮助。

参考文献:

- [1] 李九发, 万新宁, 陈小华, 等. 上海滩涂后备土地资源及其可持续发展途径[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 17~ 22.
- [2] 茅志昌, 李九发, 吴华林. 上海市滩涂促淤圈围研究[J]. 泥沙研

究, 2003(2): 77~ 81.

- [3] 杨世伦, 朱 骏, 李 鹏. 长江口前沿滩涂对来沙锐减和海面上升的响应[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 152~ 158.
- [4] 陈凯华, 张孝远. 周至国家级自然保护区综合评价体系研究[J]. 资源开发与市场, 2006, 22(2): 118~ 120.
- [5] 徐 慧, 钱 谊, 彭补拙, 等. 鹤落坪国家级自然保护区生态评价研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 360~ 364.
- [6] 阎传海. 徐州泉山自然保护区评价[J]. 生态科学, 1998, 17(1): 70~ 75.
- [7] 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[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3 998~ 4 006.
- [8] 石金莲, 李俊清, 李绍泉, 等. 辽宁老秃顶子国家级自然保护区评价[J]. 林业科学研究, 2003, 16(6): 720~ 725.
- [9] 秦中云, 赵天忠, 田书荣. 壶瓶山国家级自然保护区综合评价[J]. 林业调查规划, 2006, 31(3): 55~ 58.
- [10] 常 禹, 徐吉安, 苏文贵, 等. 华南虎栖息地适宜性评价及其保护规划[J]. 人与生物圈, 1998(1): 27~ 30.
- [11] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [12] 徐福留, 卢小燕, 周家贵, 等. 大型水利工程环境影响评价指标体系及模糊综合评价——以巢湖“两河两站”工程为例[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 10~ 14.
- [13] 镇常青. 多目标决策中的权重调查确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 1987, 2: 16~ 24.
- [14] 王 亮, 张 彤. 崇明东滩 15 年动态发展变化研究[J]. 上海地质, 2005, 94(2): 8~ 15.
- [15] 黄华梅, 张利权, 袁 琳. 崇明东滩自然保护区盐沼植被的时空动态[J]. 生态学报, 2007, 27(10): 4 166~ 4 172.

SPATIAL FUZZY COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF BIRD HABITAT SUITABILITY IN CHONGMING DONGTAN

KUANG Run-yuan, ZHOU Yun-xuan, LI Xing, TIAN Bo

(State Key Laboratory of Estuarine & Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on the GIS and RS technologies, the paper developed a method of spatial fuzzy comprehensive assessment about bird habitat suitability in the nature reserve, and researched the spatial expression of the subordinative degree and the confirmation of weight vectors, and extended the field of fuzzy mathematics at assessment of environment. By assessing habitat suitability of several birds in Dongtan, the results show that the bird habitat suitability is good at outer of *Scirpus mariqueter* zone and bare tidal flat, and the spatial distribution displays that the bird habitat suitability reduces from them to the land or water in the study area, which is consistent with the characteristic of Chongming Dongtan environment change; and the range of the different bird habitat suitability is different because of different of bird habitat; the former function zoning of Dongtan nature reserve didnt consider the status of the bird habitat suitability, and so, it is important that the assessing results of bird habitat suitability provide a direction for the function zoning of Dongtan nature reserve.

Key words: Chongming Dongtan; habitat suitability; spatial fuzzy comprehensive assessment; GIS