

崇明东滩海岸带生态系统退化诊断体系的构建*

朱燕玲¹ 过仲阳¹ 叶属峰^{2,3**} 栗小东¹ 王 丹^{2,3}

(¹ 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062; ² 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室, 上海 200090; ³ 国家海洋局东海标准计量中心, 上海 200080)

摘 要 基于“压力-状态-响应(PSR)”概念模型, 构建了崇明东滩海岸带农田、湿地和近海生态系统退化评价的指标体系, 采用层次分析法和熵权法相结合的乘法合成法得到各评价指标的权重, 并通过指标值的地理空间量化和空间聚类分析了各生态系统的退化程度. 结果表明: 2005年, 东滩海岸带生态系统的退化程度在空间上可分为4个级区, 1级区、2级区、3级区和4级区的退化程度依次加重; 重金属含量的权重在近海、湿地和农田生态系统中均最大, 分别为0.65、0.20和0.26; 对湿地生态系统影响较大的指标还有鸟类多样性指数、土地利用强度和外来物种互花米草的盖度, 其权重分别为0.26、0.16和0.10; 影响农田生态系统较大的因素还有土地利用强度, 权重为0.22.

关键词 生态系统退化 指标体系 空间聚类 崇明东滩

文章编号 1001-9332(2011)02-0513-06 **中图分类号** X171.1 **文献标识码** A

Construction of degradation diagnosis system for the ecosystems in Dongtan coastal zone of Chongming, Shanghai. ZHU Yan-ling¹, GUO Zhong-yang¹, YE Shu-feng^{2,3}, LI Xiao-dong¹, WANG Dan^{2,3} (¹Ministry of Education Key Laboratory of Geographic Information Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; ²State Oceanic Administration Key Laboratory of Marine Integrated Monitoring and Applied Technologies of Harmful Algal Blooms, Shanghai 200090, China; ³East China Sea Center of Standard and Metrology, State Oceanic Administration, Shanghai 200080, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(2): 513-518.

Abstract: Based on the “pressure-state-response (PSR)” concept model, a degradation evaluation index system was constructed for the cropland, wetland, and inshore ecosystems in Dongtan coastal zone of Chongming. By using multiplication synthesis, a combination of analytic hierarchy process and entropy weight method, the weights of each evaluation index were obtained, and, through geographical space index quantification and spatial clustering, the degradation degree of each ecological system was analyzed. The results showed that the degradation degree of Dongtan coastal ecosystems in 2005 could be spatially classified into four classes, *i. e.*, class I, class II, class III and class IV, with the degradation degree aggravated increasingly. For the cropland, wetland, and inshore ecosystems, the weight of heavy metals was the largest, being 0.65, 0.20, and 0.26, respectively. Bird diversity index, land use degree, and *Spartina alterniflora* coverage also had greater effects on wetland ecosystem, and their weights were 0.26, 0.16, and 0.10, respectively. For cropland ecosystem, land use degree was also an important affecting factor, with the weight of 0.22.

Key words: ecosystem degradation; index system; spatial clustering; Chongming Dongtan Wetland.

海岸带生态系统是典型的生态环境脆弱带, 它是一个多功能、多界面、多过程的生态系统. 海岸带生态系统初级生产力丰富、生物多样性高, 但其受到

来自海洋和陆地的扰动频率较高, 稳定性较差^[1]. 随着人口的增加与经济的持续发展, 特别是近50年来, 由于人类对海岸湿地的干扰活动越来越大以及对海岸湿地资源的不合理开发和利用, 使海岸湿地资源遭受到极大破坏, 导致海岸带生态系统成为全球性的高脆弱生态系统^[2]. 因此, 对湿地资源的生

* 海洋公益性行业重点项目(200805080)资助.

** 通讯作者. E-mail: ysf6@vip.sina.com

2010-06-19 收稿, 2010-11-23 接受.

态退化程度进行科学地诊断和评价,可为进一步实现湿地资源的可持续利用、保持湿地功能的持久性提供有利的科学依据^[3].

目前,对于生态系统状况进行诊断评价的研究方法主要有指示物种法和指标体系法.如陆庆轩等^[4]以光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)为指示物种,对沈阳市森林生态系统的健康状况进行评价,结果表明该生态系统的总体健康水平处于亚健康状态;李晓文等^[5]探讨了几种景观规划预案对指示物种丹顶鹤和黑嘴鸥繁殖生境生态承载力的影响,得出了较适宜的景观规划预案.指示物种法虽然简便易行,但仍存在着一些问题,如需选择组织水平不同的物种进行研究、要考虑到不同的尺度等.因此,必须建立指标体系对复杂的指标进行筛选分类^[6].本研究基于“压力-状态-响应(PSR)”概念模型^[7-8]建立了评价指标体系,利用空间聚类法定量实现了崇明东滩海岸带生态系统退化的综合诊断,旨在探讨适于海岸带生态系统退化诊断的评价方法,以期实现基于生态系统尺度的崇明东滩海岸带生态系统退化诊断评价.

1 研究区概况

上海崇明东滩位于长江口中崇明岛的东端(31°25′—31°38′ N,121°50′—122°05′ E),东临东海,西至临海人工围堤,东以浅海区域-6 m 水深线为界,北至北八潞,南至奚家港,南北长约 31 km,东西宽约 52 km,总面积约 842 km²,是长江口泥沙的主要沉降区域之一,也是全岛最具生长性的部分,地理位置独特,是亚太地区多种徙禽迁飞途中的落脚点和越冬地,已于 1992 年被列入《中国保护湿地名录》,2001 年被列入“拉姆萨尔(Ramsar)国际湿地保护公约”国际重要湿地名录,是重要的海岸带湿地生态系统.近年来,由于过度围垦和对滩涂生物资源的盲目开发,东滩处于“亚健康”状态^[9].此外,崇明东滩尚存在一系列生态问题,如外来物种的入侵以及当地人的生产生活方式对于生物资源的破坏等^[10].

2 崇明东滩海岸带生态系统退化评价体系的构建

为全面、客观地揭示崇明东滩海岸带生态系统退化状况,本文构建评价方法的步骤如图 1 所示.空间聚类是空间数据挖掘研究的重点内容之一,由于它能根据空间对象的属性对空间对象进行分类划分,所以被广泛应用于空间数据分析^[11].本文采用模糊 C-均值(FCM)聚类算法进行空间聚类研究,由

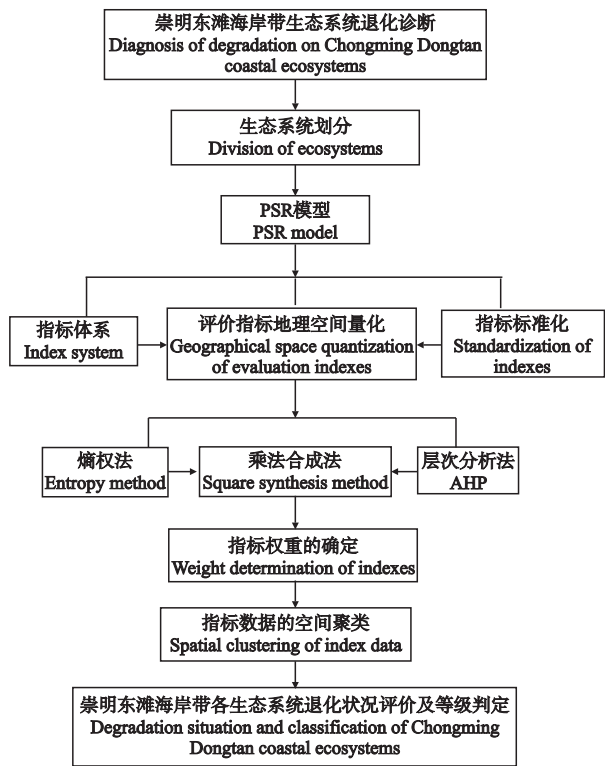


图 1 评价方法示意图
Fig. 1 Sketch map of evaluation method.

于 FCM 算法受聚类中心的影响较大,易陷入局部最优,因此,在具体实现方法上,首先采用减法聚类得到聚类中心,然后再进行 FCM 聚类,以保证 FCM 得到的聚类结果为全局最优解.

2.1 评价指标体系的构建及权重的计算

在对东滩海岸带进行生态系统划分的基础上,以 PSR 概念模型和生态承载力理论为基础,分别建立适用于近海、湿地和农田生态系统的 3 层评价指标体系.该指标体系的第 1 层次为目标层,用以诊断和评价崇明东滩海岸带生态系统退化状况及其空间结构特征;第 2 层次为项目层,包括压力(P)、状态(S)、响应(R) 3 个项目;第 3 层次为指标层,包含可直接测量或收集计算得到的指标.生态系统评价所用的指标见表 1,各评价指标的量化方法见表 2.

由于评价指标体系中各指标的类型复杂,且不同指标的量纲不同,加之各指标之间缺乏可比性,如环境污染、土地利用程度、外来物种入侵、景观多样性指数与海岸带生态系统退化呈负相关,植被覆盖、珍稀物种数量、底栖生物量与海岸带生态系统退化呈正相关,因此,需对各评价指标的原始数据进行标准化处理.依据原始数据的特点,本文对数据进行标准化处理,按照正指标和负指标将原始数据变换为 [0,1]^[12-13].

表 1 崇明东滩海岸带生态系统评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of Chongming Dongtan coastal zone ecosystems

目标层 Objection level	项目层 Project level	权重 Weight	指标层 Indicator level	单位 Unit	权重 Weight
湿地生态系统 Wetland ecosystem	压力 Pressure	0. 46	环境污染 Environmental pollution	mg · kg ⁻¹	0. 20
			土地利用强度 Land use degree	—	0. 16
			外来物种入侵 Invasive alien species	%	0. 10
	状态 State	0. 38	底栖生物量 Benthos biomass	g · m ⁻²	0. 11
			景观多样性指数 Landscape diversity index	—	0. 11
			植被覆盖度 Vegetation coverage	%	0. 16
农田生态系统 Cropland ecosystem	响应 Response	0. 16	珍稀鸟类多样性指数 Rare bird diversity index	—	0. 10
			经济产出 Economic output	×10 ⁴ yuan	0. 06
			环境污染 Environmental pollution	mg · kg ⁻¹	0. 26
	压力 Pressure	0. 48	土地利用强度 Land use degree	—	0. 22
			景观多样性指数 Landscape diversity index	—	0. 16
			植被覆盖度 Vegetation coverage	%	0. 19
近海生态系统 Inshore ecosystem	响应 Response	0. 17	珍稀鸟类多样性指数 Rare bird diversity index	—	0. 08
			经济产出 Economic output	×10 ⁴ yuan	0. 09
			环境污染 Environmental pollution	mg · kg ⁻¹	0. 65
	压力 Pressure	0. 65	底栖生物量 Benthos biomass	g · m ⁻²	0. 09
			景观多样性指数 Landscape diversity index	—	0. 26
			珍稀鸟类多样性指数 Rare bird diversity index	—	0. 26

表 2 崇明东滩海岸带生态系统评价指标的量化方法
Table 2 Quantization method of evaluation indexes of Chongming Dongtan coastal zone ecosystems

指标 Index	量化方法 Quantization method
环境污染 Environmental pollution (mg · kg ⁻¹)	用重金属含量(<i>P</i>)表示,计算公式为 $P = (Pb + Cr + Cu + Zn) / 4$. 式中, Pb、Cr、Cu 和 Zn 分别为铅、铬、铜和锌 4 种重金属含量. 首先,通过实地采样得到 2005 年采样点的重金属值,然后在 ArcGIS 下的 Geostatistical Analyst 模块所提供的直方图工具和 QQPlot 工具对数据进行检验,数据分布为非正态分布,但从数据的均值与中值看,非常接近正态分布,因此可以运用克立格法进行插值(下面用到的克里格插值与该处理相同).
土地利用程度 Land use degree	用土地利用综合指数(<i>Ld</i>)表示,计算公式为 $Ld = 100 \times \sum_i A_i \times C_i$. 式中: <i>A_i</i> 为第 <i>i</i> 类土地利用程度的分级指数,根据土地利用类型,该指数分别取 1、2、3、4; <i>C_i</i> 为第 <i>i</i> 类土地利用程度分级面积百分比; <i>n</i> 为区域土地利用程度分级指数. 首先,解译 2005 年 11 月的崇明东滩 Landsat TM 遥感影像,得到土地利用类型图,然后在 ArcGIS 软件下分别得到 <i>A_i</i> 和 <i>C_i</i> ,最后得到整个研究区的 <i>Ld</i> .
外来物种入侵 Invasive alien species (%)	用互花米草 (<i>Spartina alterniflora</i>) 盖度表示. 首先,解译 2005 年 11 月的崇明东滩 Landsat TM 遥感影像,然后进行图像分割得到每个斑块内互花米草占该斑块总面积的比例.
植被覆盖 Vegetation coverage (%)	用植被覆盖率表示. 在 ENVI 遥感处理软件下计算 2005 年 11 月的崇明东滩 Landsat TM 遥感影像的 NDVI 值,然后根据公式 $f = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI)$,得到研究区植被覆盖率.
底栖生物量 Benthos biomass (g · m ⁻²)	用底栖动物生物量表示. 采用烘干法得到 2005 年各测定样点的各类底栖动物生物量,然后运用克立格插值法得到每个斑块上的底栖生物量值
景观多样性指数 Landscape diversity index	$H = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$. 式中, <i>H</i> 为 Shannon 多样性指数; <i>P_i</i> 为第 <i>i</i> 类景观占景观总面积的比例; <i>m</i> 为景观类型数目;计算每个评价单元上的 Shannon 指数,再将数值赋予每一评价斑块
鸟类多样性指数 Rare bird diversity index	用珍稀鸟类的多样性表示. 对 2005 年实测样点上得到的鸟类多样性值运用克立格法得到整个研究区的值
经济产出 Economic output (×10 ⁴ yuan)	用芦苇以及蟹、河蚬、螺、缢蛭等底栖动物的经济产出表示,即计算实测样点上上述各物种的经济产出,再运用克立格法对实测样点数据进行插值

采用极差法计算评价指标的无量纲值(*p_i*).

当评价指标为正指标时:

$$p_i = \frac{c_j - c_{\min}}{c_{\max} - c_{\min}} \tag{1}$$

当评价指标为负指标时:

$$p_i = \frac{c_{\max} - c_j}{c_{\max} - c_{\min}} \tag{2}$$

式中:*p_i* 为各指标标准赋值结果;*c_j* 为评价指标的

值; c_{\max} 为某指标的最大值; c_{\min} 为某指标的最小值.

为了保证指标权值的客观有效,本文采用客观赋权的熵权法与主观赋权的层次分析法(AHP)相结合的方法确定指标权重.首先,基于已构建的海岸带生态系统诊断指标体系,应用 AHP 法求权重 α_i ;其次,用熵权法求得权重 β_i ;最后,采用乘法合成法对评价指标进行组合赋权,即先对上述主、客观赋权法所确定的权重系数对应相乘,最后将乘法进行归一化处理.归一化公式如下:

$$\omega_i = \frac{\alpha_i \times \beta_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \times \beta_i} \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

式中: α_i 和 β_i 分别为利用 AHP 法和熵权法确定的第 i 个评价指标的权重; ω_i 为第 i 个评价指标的组合权重.

2.2 数据处理

2.2.1 生态退化评价单元的提取 本文使用数据为 2005 年 11 月的崇明东滩 Landsat TM 遥感影像(空间分辨率 30 m).首先,对遥感影像进行几何精校正和投影变换,并运用最邻近法将反射率图像重采样至 30 m 空间分辨率;其次,对研究区域进行监督分类,得到研究区域的土地利用类型;然后,对研究区进行遥感图像分割.常用的图像分割算法有阈值化算法、基于区域的分割算法、基于边缘的分割算法等,但这些算法均基于像元,不能反映像元与像元之间的相关性,从而不能有效地分割各种生态系统的边界范围^[14],因此,本文采用面向对象的图像分割方法.相对于单个像素,均质的影像对象不仅可提供色调(光谱)特征,还包括形状、纹理、拓扑、上下文和尺度相关特征等语义信息.利用这些信息,可使地物目标分类识别更详细、准确.

在图像分割的过程中,对象均质度由颜色(color)参数和形状(shape)参数决定,颜色参数定义了对对象的光谱值相对形状标准在整个均质度中所占的百分比,其中,当颜色值为 1 时,可导致完全使用光谱的均质性;形状参数用来优化对象的均质度,它由光滑度(smoothness)和紧致度(compactness)决定^[15].本文采用不同的尺度来提取评价单元,由于潮间带的地物类型变化较复杂,宜采用较小的单元;在离岸滩较远的海域,选择较大的评价单元(图 2).

2.2.2 生态系统的划分及指标的计算 根据崇明东滩自然地理现状与生态环境特点,将该区分为农田、近海、湿地 3 类典型生态系统.其中,农田生态系统位于 1998 年围垦大坝内侧除陈家镇以外的农垦区;

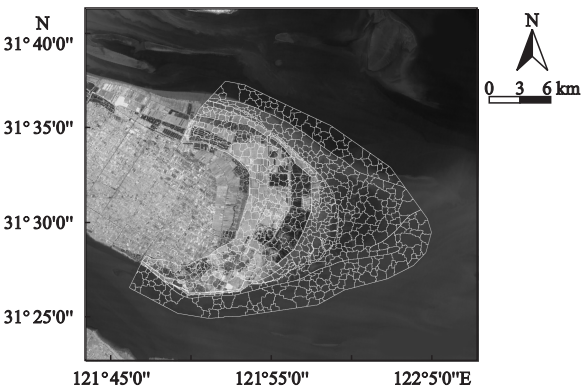


图 2 2005 年研究区评价单元图
Fig. 2 Evaluation units of the study area in 2005.

近海生态系统是东滩海岸带的海域部分,包括浅水区和部分深水区;湿地生态系统位于 1998 年围垦大坝与光滩和浅水区的交界处以及光滩部分,地物类型主要有芦苇(*Phragmites australis*)、海三棱藨草(*Spartina alterniflora*)和互花米草(*Scirpus mariqueter*)(图 3).

基于 ArcGIS 软件对各指标进行赋值.对于数据点较少的指标,进行插值可得到整个面上的数据,使每个评价单元都有指标值的分布.利用极差标准化对指标数据进行标准化处理,并且结合权重计算得到新的标准化数据.本研究选用 Kriging 法进行插值,该方法是一种距离加权插值法,Kriging 法引进以距离为自变量的变差函数计算权值,变差函数既可以反映变量的空间结构特征,又能反映变量的随机分布特征,通过设计变差函数,可以克服一般距离加权插值法插值不稳定的缺点^[16].

2.2.3 生态评价指标的空间聚类 本文在划分生态系统的基础上,按生态系统分别进行模糊 C-均值空间(FCM)聚类算法的研究.FCM 聚类算法是模糊理论集对 C-均值算法的改进,它有如下 2 个特点:1)初始中心个数需要预先给出,而且没有准则可遵守;2)容易陷入局部最优.因此,首先对空间数据进行

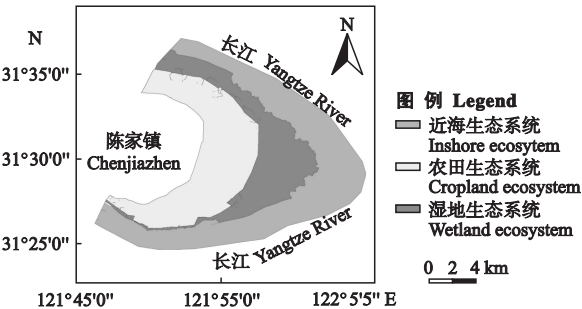


图 3 2005 年研究区生态系统划分结果
Fig. 3 Division results of ecosystems of the study area in 2005.

减法聚类得到空间聚类中心点,该聚类算法的核心是将每个数据点作为可能的聚类中心,并根据各数据点周围的数据点密度来计算该点作为聚类中心的可能性,被选为聚类中心的数据点周围具有最高的数据点密度,同时该数据点附近的数据点被排除作为聚类中心的可能性;在选出第一个聚类中心后,从剩余的可能作为聚类中心的数据点中,继续采用类似方法选择下一个聚类中心.该过程一直持续到所有剩余的数据点作为聚类中心的可能性低于某一阈值.实际的计算表明,与随机初始化方法相比,采用基于减法聚类的 FCM 算法具有迭代次数少、收敛速度快,易得到全局最优,具有良好的聚类效果.

3 崇明东滩海岸带生态系统退化的评估

由于研究区各生态系统所用到的指标不同(表 1),分别对每个生态系统做退化诊断.首先,在 ArcGIS 平台下,按照表 1 中的权重对各生态系统的指标数据进行加权计算;其次,在 MATLAB 平台下,将加权后的结果数据做模糊 C-均值法聚类分析,得到聚类结果,该聚类结果是文本文件;最后,将聚类的文本文件导入到 ArcGIS 软件下,对空间聚类结果做叠置分析,按照文本文件中退化等级字段进行显示,则得到各生态系统的退化等级分布图(图 4).

由图 4 可以看出,东滩海岸带农田、湿地和近海生态系统的生态退化程度均可分为 4 个等级,即 1 级区、2 级区、3 级区和 4 级区,其退化程度依次加深.通过对各生态系统的评价指标体系分析可知:

1)在近海生态系统中,评价指标有环境污染、底栖生物量和珍稀鸟类多样性 3 个指标,根据权重的大小可知,环境污染,即重金属含量对近海生态系统的影响最大,对珍稀鸟类多样性的影响也较大.重

金属含量越多,生态系统的退化越严重;鸟类多样性指标越小,生态系统退化越严重.在东滩鸟类自然保护区及其周围,珍稀鸟类较多,由于远离岸滩,重金属含量较少,所以该处的生态系统退化程度较小;在远离鸟类保护区且靠近岸滩的区域,生态系统退化程度较严重.因此,建议有关部门可以从保护鸟类栖息地环境以及治理近海区域的重金属污染等方面入手制定措施使该区域内生态状况向更好的方向发展.

2)影响湿地生态系统生态状况的指标较多.从评价指标的权重可知,虽然环境污染是影响湿地生态系统的最严重指标.但是,外来物种入侵的影响也不容忽视,从退化等级可以看出,在被互花米草入侵的区域,生态退化程度最大,生态状况较恶劣,因此,必须加强对该区域内互花米草的治理措施,如通过引进互花米草的天敌以及人工铲除等.

3)影响农田生态系统退化状况的因素中,影响最大的为环境污染因素,土地利用程度其次.由于农田系统受人为影响较大,化肥农药的大量施用导致重金属含量升高,另外,农田系统中的土地利用类型复杂,通过土地利用综合指数计算土地利用程度时,会出现很大差异,对退化程度的评价会产生很大影响.因此,要改善该生态系统的生态状况,需控制农药、化肥的使用,可采取宣传推广生物肥料的使用、减少化肥的使用等措施来减少土壤中的重金属含量.

4 结 语

本文以崇明东滩海岸带生态系统为例,从生态系统的角度对海岸带生态系统的退化程度进行评价.该评价方法不仅能掌握生态系统的退化程度,分析出各生态系统的退化状况,而且还能结合各生态系统的指标要素,分析得出影响生态系统退化的主要因素,辅助政府管理部门针对相应行政区的生态环境问题制定对策措施,做到有的放矢.该评价方法中的指标体系权重会随着社会经济、自然环境的变化而改变,但生态系统退化程度的诊断结果能与现实相符,因此本方法在短期内(尤其近几年)使用稳定不变的权重还是能够掌握崇明东滩生态系统退化状况的变化和发展趋势,可为政府管理提供一定帮助.

参考文献

[1] Fan ZJ. Marine pollution legislation in China: Retrospect and prospect. *Marine Pollution Bulletin*, 1989, 20: 333-335

[2] Gu D-Q (谷东起), Zhao X-T (赵晓涛), Xia D-X

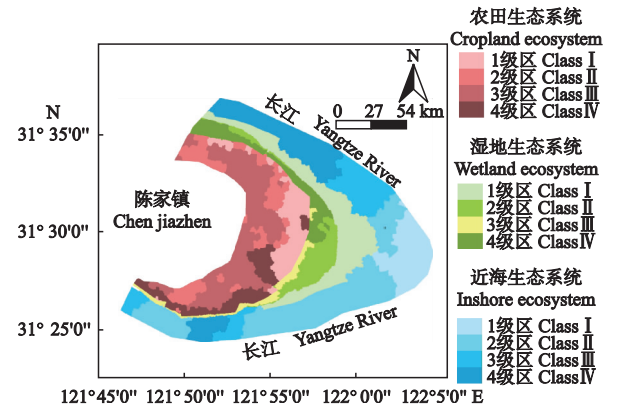


图 4 2005 年研究区生态退化状况的等级分布

Fig.4 Grade distribution of ecological degradation situation in the study area in 2005.

- (夏东兴). A systemic analysis of the environmental pressure factors to the degradation of coastal wetlands in China. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 2003, **25**(1): 78–85 (in Chinese)
- [3] Chen M (陈 铭), Zhang S-Q (张树清), Wang Z-Q (王志强), *et al.* The assessment of ecosystem health of wetland of Jiaoliu River based on GIS. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science) (山东农业大学学报·自然科学版), 2007, **38**(1): 91–96 (in Chinese)
- [4] Lu Q-X (陆庆轩), He X-Y (何兴元), Wei Y-L (魏玉良), *et al.* Health evaluation with bio-indicator of Shenyang urban forest ecosystem. *Forest Pest and Disease* (中国森林病虫), 2006, **25**(1): 13–15 (in Chinese)
- [5] Li X-W (李晓文), Xiao D-N (肖笃宁), Hu Y-M (胡远满). The effects of different land-use scenarios on habitat carrying of indicator species in the Liaohe River Delta wetlands. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(5): 709–715 (in Chinese)
- [6] Ma K-M (马克明), Kong H-M (孔红梅), Guan W-B (关文彬), *et al.* Ecosystem health assessment: Methods and directions. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(12): 2106–2116 (in Chinese)
- [7] Rainer WALZ. Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany. *Environmental Management*, 2000, **25**: 613–623
- [8] Jiang W-G (蒋卫国). Evaluation of Wetland Ecological System Health Based on the RS and GIS: Take Panjin City in Liaohe Delta as an Example. PhD Thesis. Nanjing: Nanjing Normal University, 2003 (in Chinese)
- [9] Lin Z-K (林中康). The Dongtan wetland in Shanghai Chongming Island is sub-healthy. *Coastal Environment* (沿海环境), 2002(5): 26–27 (in Chinese)
- [10] Mao Y-W (毛义伟). Health Assessment on Coastline Wetland Ecosystem around the Yangtze River Delta. PhD Thesis. Shanghai: East China Normal University, 2008 (in Chinese)
- [11] Xi J-K (席景科), Tan H-Q (谭海樵). Spatial clustering analysis and its evaluation. *Computer Engineering and Design* (计算机工程与设计), 2009, **30**(7): 1712–1715 (in Chinese)
- [12] Cheng S-L (程淑兰), Liu Y-L (柳易林), Ouyang H (欧阳华). A preliminary research on development sustainability of ecological demonstration area—A case study on Yuexi County, Anhui Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2004, **13**(3): 203–207 (in Chinese)
- [13] Xiong Y (熊 鹰), Zeng G-M (曾光明), Dong L-S (董力三), *et al.* Quantitative evaluation of the uncertainties in the coordinated development of urban human settlement environment and economy: Taking Changsha City as an example. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2007, **62**(4): 397–406 (in Chinese)
- [14] Liu Z-F (刘召峰). The Research of Coastal Ecosystem Degradation Diagnostic System—Take ChongMing Dongtan as Example. PhD Thesis. Shanghai: East China Normal University, 2009 (in Chinese)
- [15] Beijing Space Eye Innovation Technology Co. Ltd (北京天目创新科技有限公司). The Training Materials of eCognition in 2009 [EB/OL]. (2009-04-15) [2010-11-07]. <http://www.docin.com/p-14016048.html>
- [16] Wang J-B (王靖波), Pan M (潘 懋), Zhang X-D (张绪定). The Kriging interpolation method for scattered data points. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics* (计算机辅助设计与图形学学报), 1999, **11**(6): 525–529 (in Chinese)

作者简介 朱燕玲,女,1984年生,硕士研究生.主要从事空间数据挖掘与遥感图像处理研究,发表论文5篇. E-mail: zyz5034@126.com

责任编辑 杨 弘
