

文章编号: 1004-8227(2010) 07-0776-06

基于神经网络模型的崇明东滩湿地 生态系统健康评估

王莹¹, 郑丽波², 俞立中¹, 何灵敏³, 周夏杰³

(1. 华东师范大学地理系, 上海 200062; 2. 浙江省地质环境监测总站, 浙江 杭州 310007;

3. 中国计量学院计算机系, 浙江 杭州 310018)

摘要: 崇明东滩湿地位于崇明岛的东端, 是全球重要的生态敏感区域, 由于受到人类活动的干扰, 生态系统健康遭受威胁, 因此有必要对其健康进行定量的评价研究。以崇明东滩湿地为研究区域, 以生态系统健康理论为基础, 选取地形地貌、环境、生物、人类干扰等指标, 并将研究区的健康分为五级, 建立东滩湿地健康评价指标体系。结合 GIS 的技术, 以网格为评价单元, 并在神经网络模型理论和技术的支持下, 提出了一个分布式神经网络湿地生态系统健康评价模型, 定量的分析崇明东滩湿地的健康状况, 为湿地的合理利用与保护提供决策支持和科学依据。研究结果从空间上显示了崇明东滩湿地不同区域的健康状况, 总体来说处于一个比较健康的状态, 但健康状态较好的区域面积只占 30%, 相对一般区占 70%, 且生态系统健康将呈下降趋势。因此, 需要对湿地加强管理, 使湿地生态系统可持续发展。

关键词: 神经网络模型; 崇明东滩; GIS; 健康评价

文献标识码: A

湿地是生物多样性的发源地和最具有生产力的生态系统之一, 同时也是易受人类扰动影响的脆弱生态系统, 是评价局域、区域、全球尺度环境变化的关键组分。河口湿地是河流与海洋在河流入海处相互作用而形成的一种湿地类型, 具有咸淡水交汇、陆海邻接的特点。由于其特殊的地理位置和优越的三角洲区位, 河口湿地是世界上生物量最高的生物群落区之一^[1], 具备丰富的水资源、油气资源、港口资源以及多样的湿地资源, 具有非常重要的经济地位^[2]。但是, 河口地区极易受到人类活动的干扰和破坏, 陆源污染物的排放、生物和非生物资源的过渡开发利用、不合理的管理和外来物种入侵等自然变化和人类活动干扰, 河口生态系统的结构和功能不断遭到破坏和丧失, 河口生态系统健康研究由此应运而生^[3]。

湿地生态健康评价目的是, 诊断由自然因素和人类活动引起的湿地系统的破坏或退化程度, 据此发出预警, 为管理者、决策者提供目标依据, 以便更好地利用、保护和管理湿地。然而, 湿地生态系统是

一个复杂的非线性动态过程系统, 总是发展和变化, 影响因素众多, 且其内部各组成要素之间以及各要素与外部环境之间存在相互制约、相互作用的复杂关系^[4]。因此, 湿地生态系统健康要根据其空间性和相关性定量的评价, 而传统的分析方法和评价模型更趋向于定性和经验分析, 无法从空间角度来评价健康。近年来, 随着人工智能技术的不断成熟, 神经网络(尤其是人工神经网络)算法逐渐被用于定量模型研究^[5-9]。人工神经网络是以模拟人脑神经系统的结构和功能为基础, 由大量处理单元组成非线性自适应动态系统^[10-13], 具有实现复杂非线性映射的功能。因此, 充分利用 GIS 技术和神经网络技术进行湿地信息获取、空间分析、健康评价、成果输出, 将有助于湿地生态系统健康评价^[14]。

1 研究区域概况

崇明岛位于西太平洋沿岸中国海岸线的中点地区, 地处中国最大河流长江入海口, 是全世界最大的

收稿日期: 2009-07-02; 修回日期: 2009-11-24

基金项目: 上海市科委重大课题资助项目(06DZ12302, 07DZ12037)

作者简介: 王莹(1985~), 女, 上海人, 硕士研究生, 主要研究方向为生态环境规划, E-mail: yingyingchong@163.com

河口冲积岛, 迄今已有 1 300 多 a 的历史。崇明东滩湿地位于崇明岛的东端, 在东经 $121^{\circ}25' \sim 122^{\circ}05'$, 北纬 $31^{\circ}25' \sim 31^{\circ}38'$ 之间, 东北部外侧呈三角弧形展布, 地势平坦, 高程在 4.2 m 以下。是由长江携带的泥沙沉积而成的滩涂, 是长江口规模最大、发育最完善的河口潮汐型滩涂湿地。崇明东滩自然保护区从西南部的奚家港开始, 西以 1968 年海堤为界, 北至北八澳港为止, 东至吴淞标高 0 m 线, 面积约 181 km², 目前随着泥沙的不断淤积继续向东淤涨。

东滩的自然湿地主要分布在 1998 年建筑的大堤外侧, 属于典型的发育过程中的潮滩湿地, 芦苇带、蔗草带、光滩分界明显, 潮沟发达, 在滩面上呈树枝状分布^[15]。崇明岛东滩湿地主要生物类群包括高等植物、浮游生物(浮游植物和浮游动物)、底栖生物(底栖藻类和底栖动物)、游泳动物(鱼类和甲壳类等)和鸟类, 东滩是我国候鸟南北迁徙路线的东线中段驿站, 又是水禽的越冬地, 栖息的候鸟类达 108 种, 总量达 200~300 万只, 约占我国鸟类种数的 1/10, 占上海地区的 1/4, 1998 年被批准为上海市崇明东滩鸟类自然保护区。同时, 崇明岛湿地区域有国际或国家濒危保护鸟类物种, 如白鹤、白头鹤、小天鹅等, 也是许多重要水产动物的育肥、繁殖区, 又是中华鲟、刀鲚、凤鲚、鳗鲡、中华绒螯蟹等的索饵、肥育和洄游通道。东滩湿地于 1992 年列入《中国保护湿地名录》^[16], 2001 年正式列入“拉萨尔国际湿地保护公约”的国际重要湿地名录^[17], 中国政府在 2005 年批准崇明东滩鸟类自然保护区为国家级自然保护区。

然而, 自 20 世纪 50 年代以来, 基于崇明及上海社会、经济的发展需求, 人类对滩涂湿地的干扰相当剧烈。其主要环境因子变化为: (1) 长江流域大型水利工程的建设引起进入长江口淡水流量的减少, 导致滩涂湿地盐度的变化; (2) 上海市土地资源需求引起频繁围垦, 导致滩涂湿地高程的变化, 从而导致滩涂湿地潮沟地貌特征的变化; (3) 引进外来植物加快滩涂淤涨, 导致滩涂湿地土壤理化环境的变化; (4) 经济快速发展引起污染物快速增加, 导致滩涂污染物的变化; (5) 滩涂渔业捕捞缺乏监控, 导致渔业资源衰退。在滩涂湿地受自然和人工干扰, 动态发展的背景下, 关注湿地生态系统健康, 以及湿地生态系统发展过程和相应的风险问题具有现实的理论和实践意义, 成果的应用也能为东滩湿地的管理提供决策依据。

2 研究方法

2.1 崇明东滩湿地生态系统健康评价指标体系的构建

湿地生态系统健康的标准有活力、恢复力、组织、生态系统服务功能的维持、管理选择、外部输入减少、对邻近系统的影响及人类健康影响等 8 个方面^[18]。指标评价法的关键是如何选择和建立适宜的指标体系。国内外文献对湿地生态系统健康评价应包含的指标并没有达成共识^[19]。本研究在全面考虑指标选取原则的基础上, 先对目前提出的有关湿地生态系统健康评价研究或相关研究的指标体系进行频度统计, 选取那些使用频率较高的指标, 得到初步的评价指标。在初步提出评价指标的基础上, 征询有关专家的意见, 对指标进行调整。在指标的选取中, 更加关注人类干扰和未来开发方式, 全球气候变化等不确定因素, 最终, 本研究选取地形地貌、环境因子、生物因子和人类干扰四大类一级指标, 潮沟密度、水环境质量指数、沉积物环境质量指数等 10 个二级指标组成了崇明东滩湿地健康评价指标体系(见表 1), 所有指标均采用 10 分制。

将研究区域湿地生态系统健康等级分为 5 级: 自然生态区(一级: 4.0~5.0), 湿地生态系统活力强, 组织结构、生态功能极其完善, 外界压力很小, 湿地变化很小, 无生态异常出现, 系统稳定接近自然; 近自然区(二级: 3.0~3.99), 湿地生态系统活力较强, 组织结构比较合理、生态功能比较完善, 外界压力比较小, 湿地变化比较小, 湿地生态系统轻微变化尚稳定; 变化区(三级: 2.0~2.99), 湿地生态系统具有一定的活力, 组织结构完整, 外界压力较大, 接近湿地生态阈值, 系统尚稳定, 但敏感性强, 有少量的生态异常出现, 湿地生态系统变化但可维持; 退化区(四级: 1.0~1.99), 湿地生态系统活力较低, 组织结构出现缺陷, 外界压力大, 湿地变化比较大, 生态异常较多, 湿地生态功能已不能满足维持湿地生态系统的需要, 湿地生态系统开始退化; 破坏区(五级: 0~0.99), 湿地生态系统活力低, 组织结构不合理, 生态功能极弱, 外界压力很大, 湿地变化很大, 湿地斑块破碎化严重, 湿地生态异常大面积出现, 湿地生态系统严重恶化。

2.2 分布式神经网络模型和评价单元的选取

人工神经网络由输入层、隐含层(也称中间层)和输出层组成, 样本从输入层传入, 经各隐含层处理

表 1 东滩湿地生态系统健康指标体系

Tab. 1 Health Assessment Indicators of Dongtan Wetland

评价指标	> 8分	6~ 8分	4~ 6分	2~ 4分	< 2分
潮沟密度	潮沟分布密集	潮沟分布较密集	潮沟分布稀疏	潮沟分布零星	无潮沟分布
水环境质量	I、II、III、IV、V级				
沉积物环境质量	好于I、I、II、III、差于III级				
湿地植被类型比例	> 40%	30%~ 40%	20%~ 30%	10%~ 20%	< 10%
植被盖度	> 80%	60%~ 80%	40%~ 60%	20%~ 60%	< 20%
底栖生物生物量	> 80 g/m ²	60~ 80 g/m ²	40~ 60 g/m ²	20~ 40 g/m ²	< 20 g/m ²
鸟类种类	> 160种	120~ 160种	80~ 120种	40~ 80种	< 40种
鸟类栖息地适宜性分析	资源丰富,吸引力强	有一定资源和吸引力	资源和吸引力一般	资源量少质量差	栖息地被破坏或退化
人类活动强度	无人类活动	无农田,轻度人类干扰	无旅游、少量农田	实验区,中度人类干扰	旅游、垦殖及人口居住
管理水平	自然保护区,严格管理	较认真管理	部分贯彻管理	简单管理	无相关部门管理

注:水环境质量等级是根据国家地面水环境质量标准 GB3838-2002;沉积物环境质量是根据国家土壤环境质量标准 GB15618-1995。

后,传向输出层,若输出层的实际输出与期望的输出不符合要求^[19],则将误差信号返回,修改各层神经元的权重和阈值来减少误差,反复过程,直到网络输出的误差减少到可接受的程度或进行到预先设定的学习次数为止。

河口潮滩湿地在自然和人类干扰因子的作用下,潮滩湿地在淤涨的条件下向陆地演替,相应的地貌类型、植被覆盖和其他的各类物理、化学、生物等因子在空间上存在一个动态的演替。随着滩涂的地貌演变和植被演替,湿地生态系统的功能也发生相应的变化。GIS技术的支撑已经成为地理系统建模研究的必要条件^[20],然而GIS缺乏时间概念,动态功能较弱,在时空模拟能力方面较差。而神经网络是非线性动力学中的网络动力学模型之一,是一种具有高度非线性的超大规模连续时间动力学系统。因此,结合GIS和神经网络可以更好的为地理过程进行时空动态模拟,结合GIS的神经网络也将是分布式人工智能的一个研究方向。因此,我们设计提出了一个分布式神经网络模型,是以网格框架组成的改进的BP模型(如图1)。神经网络被赋予地理坐标概念,把每一个网格单元作为一个离散的个体,即一个空间单元,而不是把系统作为一个整体去描述,通过对空间单元的局部的相互作用来模拟系统的整体行为。因为其网格单元的提取是利用GIS软件辅助完成,因此在数据采集上与遥感、地理信息系统的栅格数据结构具有一致性,在结果显示方面,也可以充分利用GIS的空间表达能力。每个网格个体地理坐标是固定的、内部的参数是均匀和统一的,即认为每个单元是同步演变的。

根据评价模型要求,本研究利用GIS的空间分析功能,根据历年崇明东滩科学研究成果和调查监测资料建立了崇明东滩空间数据及湿地生态系统评

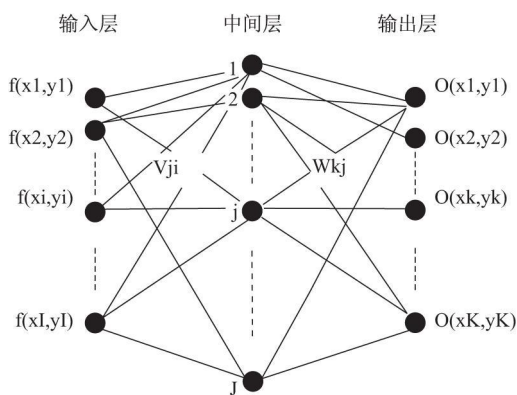


图 1 分布式神经网络模型结构

Fig. 1 Distributed Neural Network Model Structure

价指标属性数据。并根据数据的可得性和可操作性,将研究区域矢量地图划分为等大的Grid单元(图2),提取了东滩湿地范围内87个网格的健康指标属性数据。网格数值的提取采用主要类型法(Predominant type method)^[21],即某一特征值占据了该网格的大部分,则把该值赋给这个网格。这种方法很适合于分离或不连续的数据,如植被、土壤等。

针对每个指标,根据已有的属性数据,对每一个网格进行打分。

2.3 湿地生态系统健康评估神经网络模型的构建和模拟

本研究建立了东滩湿地生态系统分布式健康评估神经网络模型。将网格单元的地理坐标(x,y),东滩湿地生态系统健康评价指标体系中的10个指标作为网络的输入向量,将网格单元的地理坐标和评价指数作为期望输出向量。建立如图神经网络模型。因此输入层的节点数为12,输出层的节点数为

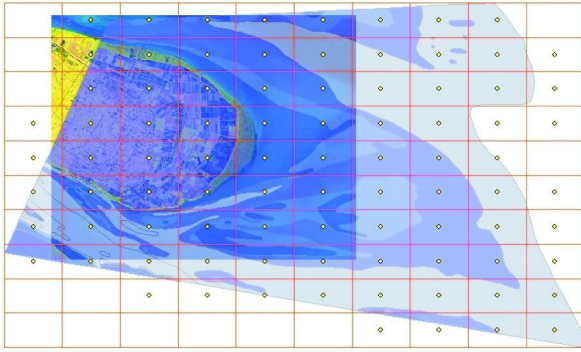


图 2 研究区域网格概况图

Fig. 2 General Grid Graph of Research Area

3, 类别个数为 5。根据网络训练情况和精度要求, 比较得出隐含层神经元数为 11。

2.4 湿地生态系统健康评估 BP 神经网络模型的学习和验证

为了获得适宜的权重和阈值, 首先要对该模型进行有效的学习训练。我们选取 106 组样本数据进行分类学习训练, 由于健康评估分类网络模型只要求识别一定的定量趋势, 识别健康评估的 5 个类型, 因此经过 10 000 次学习训练后, 网络的总均方误差小于误差系数, 模型拟和收敛(见图 3), 得到调整后的权重和阈值。

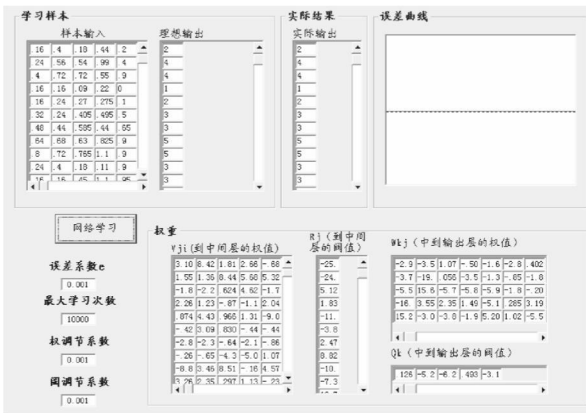


图 3 评估指数训练过程

Fig. 3 Training Process of Assessment Indicators

3 崇明东滩湿地生态系统健康评估分析

利用该神经网络模型, 对 2005 年崇明东滩湿地进行了生态系统健康评估, 计算出每个评价单元的健康指数, 并借助于 GIS 技术的空间表达, 对模拟的结果进行空间插值, 其结果显示如图(图 4)。

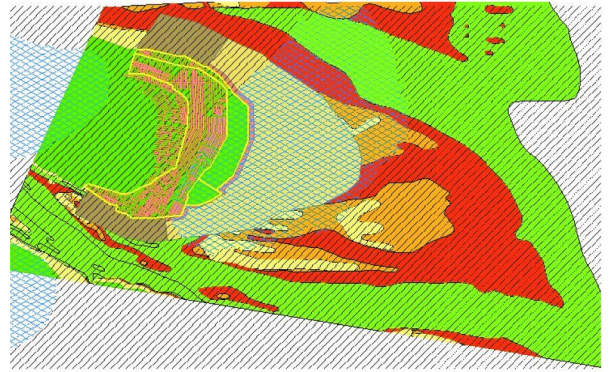


图 4 生态系统健康评估空间分布

图例:

- 围堤
- 小田埂shp
- 实验区
- 核心区
- 缓冲区
- 潮上带
- 潮下带
- 高潮滩
- 中潮滩
- 低潮滩
- 健康评价: 2.000 000~3.000 000
- 3.000 000~4.000 000
- 4.000 000~5.000 000

图 4 Space Distribution of Ecosystem Health Assessment

通过对东滩湿地生态系统健康的现状进行评估, 可以看到东滩湿地生态系统总体的健康处于一般至相对较好的情况, 指数范围在 2.0~ 4.0, 健康等级属于二级近自然区与三级变化区之间, 湿地生态系统有少量变化, 但未出现生态系统退化及被破坏区域。健康状态相对较好的区域面积约占 30%, 相对一般区占 70%。

健康等级为三级(健康指数 2.0~ 2.99)的区域主要集中在实验区、潮下带、部分中低潮滩和种植有小田埂的部分潮上带。一般造成这些区域生态系统健康状况的原因有: 一是受到人类活动的干扰。这些区域人口密度较大, 人类活动干扰的压力大, 污染负荷相对较重, 已有少量的生态异常出现, 湿地的健康状态有所下降, 但总体可发挥基本的湿地生态功能、湿地生态系统可维持。二是潮下带的生物量比较低, 滩涂在潮水退却后, 便露出原生裸地(光滩), 没有高等植物生长, 只有盐渍藻类等低等植物生长, 主要为鱼类提供栖息地。三是潮下带和部分中低潮滩靠近长江河口水域, 受到排入长江口的污染影响, 水环境质量较差。同时, 由于长江中上游水土保持力度加大, 长江三峡水利工程和南水北调工程建设, 长江泥沙来量逐渐减少, 使长江口的径流、输沙量和泥沙结构发生变化。径流来沙大量减少和粗化, 会使长江口的湿地大大减少, 影响污染物的吸附, 转移、降低滩涂湿地的净化能力^[22], 从而导致湿地生态系统趋于不健康。四是受到海水入侵、风暴潮等自然灾害的影响, 使滩涂湿地的生物多样性降低^①。

从而影响其健康状态。

健康等级处于二级近自然区(健康指数 3.0~3.99)的区域主要是受人类活动干扰较小,管理水平较高的保护区和核心区,以及潮间带和部分潮上带。潮间带的生物量较高,生物多样性丰富,因此具有很强的大气调节功能和污染物净化能力^[23],同时由于潮间带的植被以海三棱藨草和芦苇为主,是水鸟等珍贵动物和底栖生物理想的栖息地。潮上带生态功能受到长江来沙、水环境污染以及风暴潮等因素影响较小,湿地生态系统活力比较强,组织结构比较合理、生态功能比较完善,健康状态稳定,因此湿地生态系统可持续。

4 结论

湿地生态系统健康是一个新概念、新领域^[23],目前还没有统一的湿地生态系统健康评价指标体系和模型^[41]。本文以湿地生态系统健康理论为基础,根据河口湿地生态系统的特点,以湿地生态系统可持续发展为目标,建立了湿地生态系统健康评价指标体系。同时结合 GIS 的空间表达技术和神经网络技术,设计了一个依赖分类算法的分布式 BP 模型,用于生态系统健康评估,将神经网络赋予地理坐标概念,把每一个网格单元作为一个离散的个体,即一个空间单元,而不是把系统作为一个整体去描述,能够更好的掌握东滩湿地生态系统健康的时空分布规律,为动态管理湿地提供科学依据。

崇明东滩湿地生态系统总体来说处于一个比较健康的状态,但健康状态较好的区域面积只占 30%,相对一般区占 70%。受到人类活动、长江来沙、水环境污染、海水入侵、围垦、风暴潮等因素的影响,东滩湿地生态系统健康将呈下降趋势。因此,需要对湿地加强管理,科学促淤,控制外来物种入侵,改善环境质量,使湿地生态系统可持续发展。

参考文献:

- [1] 张 彤. 崇明东滩景观格局与变化研究[D]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2004.
- [2] 黄桂林, 何 平, 侯 盟. 中国河口湿地研究现状及展望[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1 751~ 1 756.
- [3] 陆健健. 河口生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 297~ 300.
- [4] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 31~ 36.
- [5] 陈丁江, 吕 军, 沈晔娜, 等. 非点源污染河流水质的人工神经网络模拟[J]. 水利学报, 2007, 38(12): 1 519~ 1 525.
- [6] 王明新, 吴文良, 刘文娜. 基于 GIS 和 BP 神经网络的农区地下水硝态氮含量分布特征分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 39~ 43.
- [7] 阮晓红. 非点源污染负荷的水环境影响及其定量化方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2002.
- [8] 苑韶峰. 曹娥江水质变异分析及人工神经网络模拟[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [9] 王晓萍, 孙继洋. 金鑫基于 BP 神经网络的钱塘江水质指标的预测[J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(2): 361~ 364.
- [10] 张宝光. 神经网络在遥感数字图像分类处理中的应用[J]. 国土资源遥感, 1998(1): 21~ 27.
- [11] 沈 倩, 胡德文, 时 春. 神经网络应用技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993.
- [12] 孟治国. BP 神经网络在土地利用分类中的应用分析[D]. 吉林: 吉林大学, 2003.
- [13] 李静锐. 基于人工神经网络模型的森林生态系统健康评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [14] 陈述彭, 鲁学军. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 毛义伟. 长江口沿海湿地生态系统健康评价[D]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2008.
- [16] 毛义伟, 李 胤, 曹 丹, 等. 崇明东滩沿海湿地生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(Z2): 101~ 106.
- [17] 陆健健, 何文珊, 童春富, 等. 崇明东滩生态化建设高层论坛文集[C]// 崇明东滩 EDD 的规划理念和建设模式. 上海: 同济大学出版社, 2005: 128~ 134.
- [18] 赵广琦. 崇明东滩湿地生态系统健康评价和芦苇与互花米草入侵的光合生理比较研究[D]. 上海: 华东师范大学博士后出站报告, 2005.
- [19] 曾 勇, 沈根祥, 黄沈发, 等. 上海城市生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 208~ 212.
- [20] 吴昌友. 神经网络的研究及应用[D]. 吉林: 东北农业大学, 2007.
- [21] 王少平. GIS 支持下的苏州河上游非点源污染研究[D]. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2001.
- [22] 国 峰, 韦鹤平. 国内外湿地研究进展及长江口湿地资源发展对策[C]// 上海湿地利用和保护研讨会论文集. 上海: 科学技术出版社, 2002: 41~ 42.
- [23] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111~ 120.

① 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室. 上海市滩涂湿地可持续发展研究报告. 上海: 华东师范大学河口所, 2006: 123~

ASSESSMENT OF WETLAND ECOSYSTEM HEALTH IN DONGTAN, CHONGMING ISLAND BASED ON NEURAL NETWORK

WANG Ying¹, ZHENG Li-bo², YU Li-zhong¹, HE Ling-min³, ZHOU Xia-jie³

(1. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Zhejiang Geological Environmental Monitoring Station, Hangzhou 310007, China;

3. Department of Computer Science, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Located at the east of Chongming Island, Dongtan wetland is an ecological sensitive region of global importance. Interfered with human activities, its ecosystem health is faced with threat. Thus, it is necessary to make quantitative research on its health assessment. This study took Dongtan wetland of Chongming Island as a research area, selected indicators like topography and geomorphology, environment, biology and human interference. Based on theory of ecosystem health, this study divided the health condition of research area into five levels and built an index system of wetland health assessment in Dongtan, Chongming Island. Combined with GIS and neural network model technologies, the study took grid as evaluation unit, and then established a neural network model of wetland ecosystem health assessment to quantitatively analyze the health conditions of Dongtan wetland. This model could provide decision-making support and scientific basis for rational utilization and protection of wetland sources. The result displayed the health conditions of Dongtan wetland in different areas from space. Generally, Dongtan wetland is comparatively healthy, but areas with healthier condition occupied only 30% and others are in a general condition. Furthermore, the wetland ecosystem health has a descending trend. Therefore, it is necessary to strengthen management of wetland and make a sustainable development of wetland ecosystem.

Key words: neural network model; Chongming Dongtan; GIS; health assessment