

辽河三角洲湿地生态系统健康评价

蒋卫国¹, 李 京^{1*}, 李加洪², 谢志仁³, 王文杰⁴

(1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 2. 中国科学技术部国家遥感中心, 北京 100862;
3. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097; 4. 国家环境保护总局环境卫星中心筹备办公室, 北京 100029)

摘要:以生态系统健康及压力-状态-响应(PSR)模型作为研究方法,根据湿地生态系统的特点,建立一套湿地生态系统健康评价指标体系。以遥感数据及统计监测数据为基础,以小流域为评价单元,采用RS和GIS技术,对每个小流域湿地进行单因子和综合评价,揭示盘锦市湿地生态系统健康状况的空间分布规律。研究结果表明:(1)辽河三角洲盘锦市湿地生态系统健康相对较好的区域面积占22%,相对一般的占52%,相对较差的占26%。(2)双台河口国家级自然保护区湿地生态系统健康相对较好,但其中局部地区湿地生态系统健康已经受到威胁,健康状况转为一般。(3)辽河三角洲湿地资源破坏的主要原因是水稻田开发与油田开发。

关键词:辽河三角洲;湿地生态系统健康;压力-状态-响应模型

Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe River Delta

JIANG Wei-Guo¹, LI Jing¹, LI Jia-Hong², XIE Zhi-Ren³, WANG Wen-Jie⁴ (1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. National Remote Sensing Center of China, Chinese Ministry of Science and Technology, Beijing 100862, China; 3. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 4. Environmental Satellite Center, SEPA, Beijing 100029, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 408~414.

Abstract: The study builds the diagnostic indicators of wetland ecosystem health, based on the characters of wetland ecosystem, according to the theories and approaches of the ecosystem health and the press-state-response model. The data used for the study include remote sensor data and statistic data. Many advanced technologies were adopted in this study, such as Remote Sensor (RS) and Geography Information System (GIS). Meanwhile, according to the assessment cell of small watershed, the study evaluates individual index and comprehensive index. By exploring the spatial distributing rules of wetland ecosystem health, following results were obtained:

(1) In the structure of wetland ecosystem health of the Liaohe River Delta, better area accounts for 22%, generic area 52%, worse area 26%;

(2) The health of Shuangtai National Nature Reserve is better, among this area in part of regions the situation of health is under threatening;

(3) The main reasons, cause the damage to wetland ecosystem, are attributed to the reclamation of paddy field and the exploitation of oil.

Key words: liaohe river delta; wetland ecosystem health; press-state-response model

文章编号:1000-0933(2005)03-0408-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

基金项目:国家环境保护总局科技发展资助项目

收稿日期:2004-07-24;修订日期:2004-12-16

作者简介:蒋卫国(1976~),男,湖南衡阳人,博士生,主要从事遥感与GIS在资源环境、自然灾害等领域的应用研究。E-mail:jwg-2008@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail:lijing@ires.cn

Foundation item: The research project of SEPA "Remote Sensing Investigation on Eco-environment in Middle and East China"

Received date: 2004-07-24; Accepted date: 2004-12-16

Biography: JIANG Wei-Guo, Ph. D. candidate, mainly engaged in application of remote sensing and GIS on environment and disaster. E-mail: jwg-2008@sohu.com

湿地是自然界重要的自然资源和生态系统,在调节气候、涵养水源、分散洪水、净化环境、保护生物多样性等方面起着重要的作用^[1,2]。但是湿地也是易受人类干扰的脆弱生态系统,随着人类活动影响的加强,湿地资源面积大量减少,湿地功能严重削弱,湿地生物多样性降低、水质改变、富营养化等日益严重,这些将影响一个区域或流域的生态安全,甚至将威胁人类自身的健康与发展^[3~6]。

目前,湿地生态系统健康研究是湿地研究领域的新概念、新领域,也是生态系统健康研究领域的新方向。过去对湿地生态系统健康评价主要集中在化学和生物指标上,近些年,主要从生态系统、流域、景观生态的角度建立湿地生态系统健康评价指标^[7~10]。这些评价对象主要是河流、湖泊、水库,但对沼泽地、整个湿地生态系统健康研究的较少。而且评价指标定性描述较多,定量比较少,没有给出健康的综合评价模式。

本文选择辽河三角洲盘锦市作为研究区,以生态系统健康、景观生态学等理论为基础,以小流域为评价单元,选取活力、组织、弹性度、服务功能等一系列指标,建立湿地生态系统健康评价模型,通过分析湿地生态系统之间的压力-状态-响应关系,探讨小流域湿地生态系统健康的空间分布规律,为湿地生态健康动态监测、湿地保护利用及科学管理提供依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

辽河三角洲是我国七大江河三角洲之一,位于辽宁省西南部辽河平原南端,由辽河、大辽河、大凌河等冲积而成。行政区划上包括盘锦市和营口市区的全部,锦州的少部分,盘锦市是其主体和核心。辽河三角洲绝大部分天然湿地分布在盘锦市,双台河口国家级保护区也位于盘锦市。基于行政区划的完整性以及统计资料的一致性的考虑,本文选择盘锦市为典型研究区,进行湿地生态系统健康评价。

盘锦市地处东经 121°25′~122°31′,北纬 40°39′~41°27′,属于暖温带大陆性半湿润季风气候,降水丰富,多年平均降水量为 611.6~640.0mm。该地区地势平坦,地面高程小于 7m,海岸地带地势低洼。区内共有大小河流 21 条,其中较大的是辽河、大辽河、绕阳河和大凌河,平原河曲发育,自然和人工湿地广布。本区海岸线长 118km,有泥质滩涂 604km²,浅海水域分布着蛤蜊岗、黄沙岗等众多水下沙洲。该地区在大辽河、双台子河、大凌河等河流和海洋的交互作用下形成了面积巨大的湿地生态系统。

盘锦市土地总面积 3660km²(注:此处为 GIS 数据库数据,因为文献及文档无统一和一致的数据,本文中统一采用此数据)。全市辖双台子区、兴隆台区、盘山县、大洼县。全市 2000 年末总人口 122 万人,农业人口占 50.30%,平均人口密度 300 人/km²。盘锦市是我国重要的石油基地和粮食、芦苇生产基地。辽河油田是我国第三大油田,在地区经济中也起着支柱作用。

盘锦市在湿地生态建设与保护方面取得一些成绩,1996 年 2 月盘山县被国家环境保护局批准为首批国家级生态示范区建设试点,2000 年 3 月被国家环境保护总局被命名为首批国家级生态示范区。大洼县被列为国家级生态农业试点县。但是随着大规模的农业和油田气资源的开发,使得该地区的经济发展与湿地资源保护的矛盾日益突出。

1.2 数据来源

遥感影像数据有美国 Landsat 5 TM 和 Landsat 7 ETM 影像数据 6 景,成像时间分别为 1986 年 9 月 21 日、11 月 10 日,1996 年 5 月 24 日和 2000 年 6 月 12 日,轨道号为 120/31 和 120/32。

其它数据包括 3 个时期土地利用数据(比例尺为 1:10 万,格式 ARC/INFO 的 COVERAGE),这数据是根据 TM/ETM 遥感影像采用人工交互解译得到,土地类型分类 6 大类 25 小类;3 个时期湿地类型数据(比例尺为 1:10 万,格式 ARC/INFO 的 COVERAGE),湿地类型分为八大类:河流、沼泽、滩涂、滩地,水稻田、水库、坑塘、虾蟹池;数字高程模型 DEM 数据(比例尺为 1:5 万,网格大小为 100m×100m,格式为 GRID),地形图数据 14 幅(比例尺 1:5 万,格式为 TIF)。

统计数据:2001 年盘锦市统计年鉴,2002 年中国中东部生态环境调查汇总数据库。

2 研究方法

2.1 研究理论

生态系统健康是生态系统的综合特性,它具有活力、稳定和自调节的能力,它是由其复杂系统内的结构(组织)、功能(活力)、适应性(弹性)3 项测量标准的综合反映^[11,12]。生态系统健康指数(Health Index, *HI*)的初步形式:

$$HI = V \times O \times R$$

式中,*HI* 为生态系统健康指标,*V* 为系统活力,是系统活力、新陈代谢和初级生产力主要标准;*O* 为系统组织指数,是系统组织的相对程度 0~1 间的指数,它包括结构和多样性;*R* 为系统弹性指数,是系统弹性的相对程度 0~1 间的指数。

湿地作为生态系统的一种,其健康同样可用上述 3 项指标来衡量。但由于湿地具有强大的服务功能,可以单独作为一项指标。这样湿地生态系统健康指标(Wetland Ecosystem Health Index, *WESHI*)的表现形式为:

$$WESHI = V \times O \times R \times F$$

式中,*WESHI* 为生态系统健康指标,*V* 为系统活力;*O* 为系统组织指数,是系统组织的相对程度 0~1 间的指数,它包括结

构和多样性; R 为系统弹性指数,是系统弹性的相对程度 0~1 间的指数; F 为湿地生态系统的服务功能,是服务功能的相对程度 0~1 间的指数。

在评价湿地生态系统健康的同时,采用 OECD(联合国经济合作开发署)建立的压力-状态-响应^[13,14](Press-State-Response, PSR)框架模型,同时结合湿地生态系统健康评估的需要,设计一个简单的压力-状态-响应模型(图 1),对湿地生态系统健康进行分析。该模型分析人类活动对湿地施加了一定的压力;因为这个原因,湿地健康状态发生了一定的变化;而人类社会应当对湿地的变化做出响应,以恢复湿地质量或防止湿地退化。

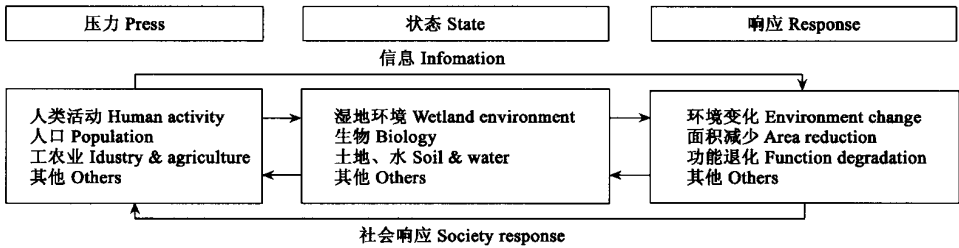


图 1 压力-状态-响应模型
Fig. 1 Model of Press-State-Response

2.2 指标体系的构建

构建指标体系的基本原则:

- (1)切实反映湿地生态系统的本质特性,以服务功能评价为核心。
- (2)尽可能采用遥感技术、地理信息系统技术,努力实现区域湿地的实时和动态监测。
- (3)把人类作为湿地生态系统的组成来看待,充分体现出人类在湿地生态系统中的作用。
- (4)评价指标应具有系统性、完备性、可比性和可操作性。

根据上述湿地生态系统健康指数、湿地生态系统压力-状态-响应模型以及上述指标的选取原则,并考虑到目前国内外有关健康评价的各种方法,构建了 3 个层次的湿地生态系统健康评价指标体系。第 1 层次是项目层(Item),即压力、状态、响应 3 个项目;第 2 层次是评价因素层(Factor),即每一个评价准则具体有哪些因素决定;第 3 层次是指标层(Index),即每个评价因素有哪些具体指标来表达,同时给出每个指标层的数据来源(Origin),结果见表 1。

表 1 湿地生态系统健康评价指标体系

Table 1 Index system of wetland ecosystem health assessment			
项目层 Item	因素层 Factor	指标层 Index	数据来源 Origin
压力 Press	压力 Press	人口密度 Human density, 人类干扰率 Ratio of human interference	统计数据 and 土地利用 Statistic data and landuse
健康状态 State	活力 Vigor	平均归一化植被指数 NDVI per area	遥感数据 Remoting images
	组织 Organization	景观多样性指数 Landscape diversity index, 斑块丰富度 Patch richness, 平均斑块面积 Average patch area *	湿地数据和土地利用 wetland and landuse
	弹性 Resilience	平均弹性度 Average resilience	湿地数据 wetland
	功能 Function	蓄水量 Water storage, 平均总氮浓度 Total-N	实地监测和湿地数据 monitoring data and wetland
响应 Response	变化 Change	湿地面积变化比例 Ratio of wetland change	2 个时段湿地数据和土地利用 two-phase wetland and landuse

* 采用主成分分析法,从景观结构分析软件 FRAGSTATS2.0 中 18 个湿地景观结构指数,选取每个主成分中具有最大的相关性的 3 个景观结构指数:景观多样性指数、斑块丰富度,平均斑块面积,用这 3 个指标表示湿地景观结构组织 Eighteen indexes of wetland landscape are calculated by using the software of FRAGSTATS 2.0; Three indexes are selected from eighteen indexes based on the method of principal components analysis, that are landscape diversity index, patch richness and average patch area; The factor of organization is reckoned using three indexes

2.3 评价指标的标准化处理

由于指标体系中的各项评价指标的类型复杂,单位也有很大差异。平均归一化植被指数、景观多样性、丰富度、平均斑块面积、蓄水量、平均弹性度 5 个指标值与湿地生态系统健康成正相关,而人口密度、人类干扰度、平均总氮浓度、湿地面积变化比 5 个指标值与湿地生态系统健康成反相关。这些指标优劣往往是一个笼统或模糊的概念,故很难对它们的实际数值进行直接比较,为了简便、明确和易于计算,首先对它们的实际数值进行五级划分,然后根据它们对湿地生态系统健康影响的大小及相关关系,对每级给定标准化分值,取值设定在 0~1 之间,见表 2。

按照综合评价的得分高低,从高到低排序,以反映湿地生态健康从优到劣的变化,最终分析将盘锦市湿地生态系统健康分为五级^[15]。一级为湿地生态系统健康相对良好区:湿地生态系统活力极强,组织结构十分合理、生态功能极其完善,湿地弹性度很强,外界压力很小,湿地变化很小,无生态异常出现,系统极稳定,处于可持续状态;二级湿地生态系统健康相对较好区: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,弹性度比较强,外界压力比较小,湿地变化比较小,无生态异常,系统尚稳定,湿地生态系统可持续;三级为湿地生态系统健康相对一般区:湿地生态系统具有一定的活力,组织结构完整、生态功能及弹性度一般,外界压力较大,接近湿地生态阈值,系统尚稳定,但敏感性强,已有少量的生态异常出现,可发挥基本的湿地生态功能,湿地生态系统可维持;四级为湿地生态系统健康相对较差区:湿地生态系统活力较低,组织结构出现缺陷,生态功能及弹性度比较弱,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,湿地生态系统已开始退化;五级为湿地生态系统健康相对极差区:湿地生态系统活力极低,组织结构极不合理,生态功能及弹性度极弱,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,湿地生态系统已经严重恶化。

表 2 湿地生态系统健康评价指标量化标准
Table 2 Criterion of wetland ecosystem health assessment

标准化分值 Value of criterion	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
批判标准 Criterion of evaluation	良好 Excellent	较好 Better	一般 Ordinary	较差 Worse	极差 Worst
标准分级 Grade of criterion	一级 first	二级 second	三级 third	四级 fourth	五级 fifth
人口密度 Human density(人/km)	<100	100~250	250~400	400~600	>600
人类干扰率 Ratio of human interference	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
平均归一化植被指数 NDVI per area	>4	3~4	2~3	1~2	<1
景观多样性指数 Landscape diversity index	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
斑块丰富度 Patch richness	>8	6~8	4~6	2~4	<2
平均斑块面积 Average patch area(hm ²)	>600	500~600	350~500	200~350	<200
平均弹性度 Average resilience	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
蓄水量 Water storage(×10 ⁸ T)	>1	0.6~1	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
总氮平均浓度 Total-N(mg/l)	<1.0	1.0~1.2	1.2~1.6	1.6~2.0	>2.0
湿地面积变化比例 Ratio of wetland change(%)	<2	2~4	4~6	6~8	>8

2.4 评价单元

根据辽河流域的水系及人工沟渠特征,参考以往的湿地评价分区,利用盘锦市 1:50000 数字高程数据(DEM)并结合 1:5 万数字地形图,建立 30 个小流域评价单元(图 2)。

2.5 综合评价模型

压力、健康状况、组织、服务功能 4 个指标是综合性指标,是由多个指标来反映的。因此有必要对其属下的几个指标进行权重分配,权重分配主要依据专家经验法,同时参考了指标的重要性。压力属下两个指标权重为:人口密度(0.5)、人类干扰率(0.5);状态属下 4 个指标权重为:活力(0.2)、组织(0.3)、弹性(0.1)、功能(0.4);组织属下 3 个指标权重为:景观多样性指数(0.4)、斑块丰富度(0.3)、平均斑块面积(0.3);服务功能属下两个指标权重为:蓄水量(0.4)、平均总氮浓度(0.6)。

4 个综合性指标值计算形式为:

$$X = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i$$

式中,X 为被评价对象得到的综合评价值,W_i 为第 i 评价指标的权重,X_i 为第 i 指标标准化后的值,n 为评价指标个数。

3 结果分析

3.1 湿地生态系统健康评价制图

以小流域为单元,将量化评价结果数据集成到小流域的属性表里,利用地理信息系统软件 ArcMap 8.3,根据不同评价指标分为五级制成专题空间分布图(图 3~图 9)。

3.2 湿地生态系统健康状态的空间结构特征

湿地生态系统健康是活力、组织、弹性、功能 4 个方面的综合体现,它不仅仅是湿地生态系统内各种生物、非生物因素长期

作用的结果,也是湿地生态系统特性及各种服务功能最基本的体现。

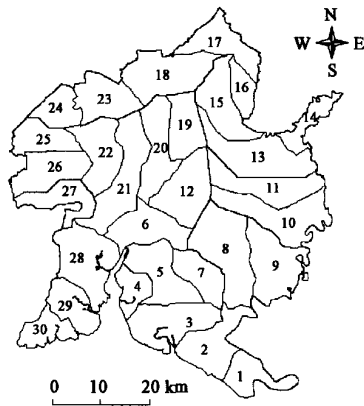


图2 评价单元
Fig. 2 Assessment units

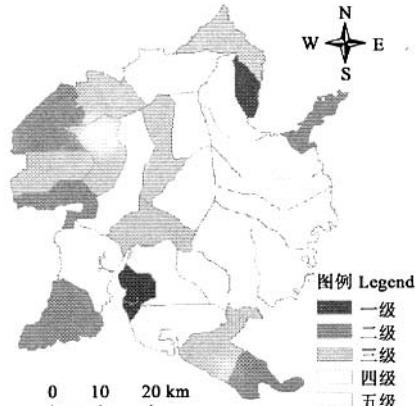


图3 湿地活力指数分布图
Fig. 3 Vigor index of wetland

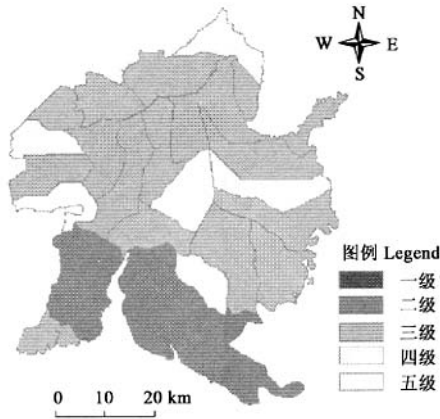


图4 湿地组织指标分布图
Fig. 4 Organization index of wetland

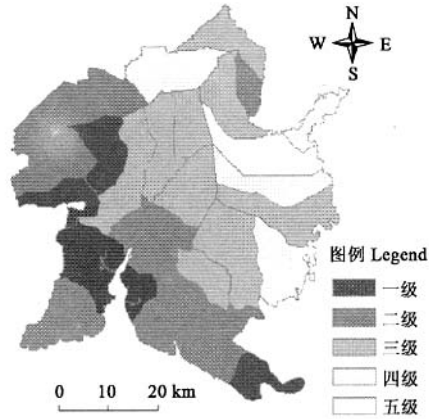


图5 湿地服务功能指标分布图
Fig. 5 Function index of wetland

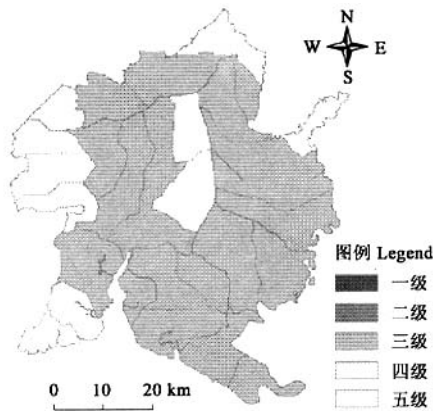


图6 湿地弹性指标分布图
Fig. 6 Resilience index of wetland

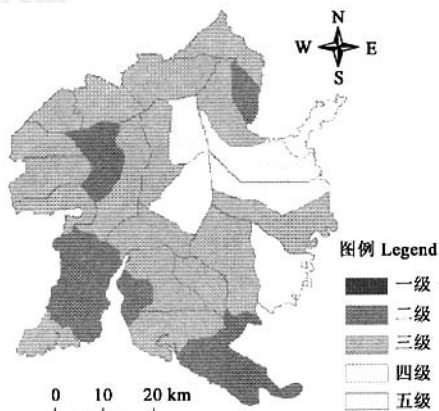


图7 湿地健康状态指标分布图
Fig. 7 State index of wetland health

盘锦市湿地生态系统健康整体状况一般,健康状态相对较好的区域面积占22%,健康状态相对一般占52%,健康状态相对较差占26%。其中小流域9、11、12、13、14、19健康状态较差,这是由于人口密度大,人类干扰活动显著,组织结构不太合理,系统活力较低,污染负荷严重,服务功能弱等原因造成的,湿地服务功能已经不能满足维持湿地生态系统的需要,湿地生态系统已经开始退化。小流域1、2、4、22、28、29健康状态较好,这绝大部分属于双台河口国家级保护区,由于外界压力较小,人类影响较

小,天然湿地广泛分布,斑块结构合理、格局尚完美,系统活力较强,无生态异常,污染负荷较小,水文调节,水质净化等服务功能较完善,系统尚稳定,湿地生态系统可持续。随着人类干扰活动加强,湿地生态系统健康状态逐渐下降,湿地生态系统生产能力下降,组织结构混乱,水文调节、水质净化等功能日益减弱。

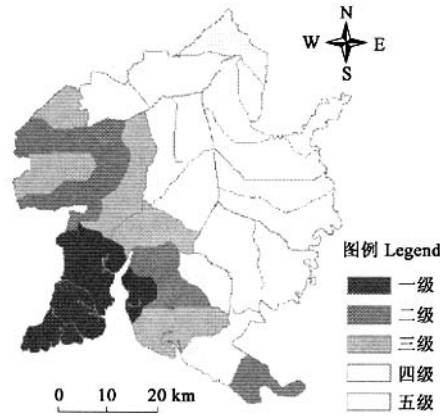


图 8 湿地压力指标分布图
Fig. 8 Press index of wetland

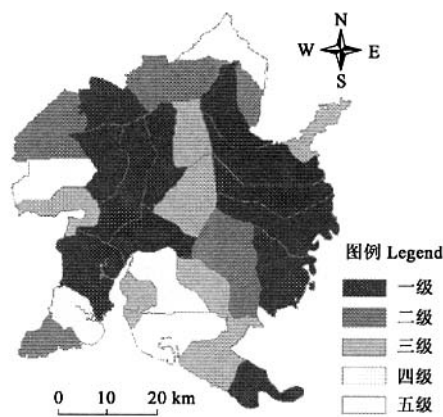


图 9 湿地响应指标分布图
Fig. 9 Response index of wetland

3.3 湿地生态系统压力-状态-响应机理分析

当外界施加的压力超过湿地生态系统的自身调节能力或代谢功能时,会造成结构和功能的破坏,使湿地生态系统退化甚至严重退化。湿地生态系统健康状态是对其过去所承受的各种干扰的反映,这种反映往往在时间上有一定的滞后期,选择压力指标可以对湿地生态系统的退化起到一定的预警作用。目前湿地生态系统退化已经成为全球性的问题,它是湿地生态系统承受的压力过大,承载力明显不足的一种反映,同时也反映湿地生态系统抵抗侵蚀能力下降的状态。

盘锦中部、东部地区人口密度大,人类干扰活动显著,以水田为主的人工湿地环境差,湿地健康状态较差,例如流域 12、19 是盘锦市、盘山县城镇所在地,人口密度相当大,湿地受到人类影响强烈,流域湿地的健康状态很差,湿地变化明显。盘锦西部地区人口承载力小,湿地受到人类干扰相对较小,湿地环境处于自然与半自然状态,湿地结构和功能相对较好,如流域 21、22、28、29、30。盘锦东南部沿海由于大力发展水产养殖产业,海滩湿地内部组织结构混乱,污染严重,如流域 2、3、5、7。

3.4 湿地开发对湿地生态系统健康的影响

盘锦市主要的湿地开发是水稻田开发、水产养殖、油田开发,这对湿地资源破坏特别严重。通过利用 1986 年、2000 TM/ETM,采用人机交互解译方法,得到盘锦市两个时期土地利用与湿地类型数据,通过分析得到:1986 年水稻种植面积 106 268 hm²,2000 年水稻种植面积达到 176 268hm²,15 年来水稻种植面积增加 70 000hm²,增加 65.87%;1986 年虾池、蟹池面积 3 656hm²,2000 年虾池、蟹池面积达到 8 706hm²,15a 来虾池、蟹池面积增加 5 050hm²,增加 138.19%;1986 年沼泽地面积 88 349hm²,2000 年沼泽地面积减少到 82 144hm²,15a 来沼泽地面积减少 6 205hm²,减少 7.02%。水稻田、虾池、蟹池增加,沼泽地面积减少,反映人类活动干扰湿地增强。20 世纪 90 年代以前湿地开发是粗放型开发模式,实行单一的水田种植,而单一的农业结构,生态系统脆弱,抗逆能力差,再加上农业施用的化肥、农药以及工农业废水排放,造成土壤、水体污染,动植物资源种类减少、数量下降,珍稀动物灭绝,最终导致生态环境破坏,环境恶化。近 15a 来,盘锦市大力发展海水养殖业,对湿地生态系统影响很大。像小流域 1、2、3、4,这些地方原来是黑嘴鸥筑巢、繁殖的地方,但由于农民大量开发滩涂,引进海水养虾、养蟹,破坏黑嘴鸥的巢,造成许多幼鸟死亡。随着大洼三角洲农业开发以及围海大堤的修筑,原先适宜黑嘴鸥栖息繁殖的碱蓬滩涂现在已经长满了芦苇,对黑嘴鸥的繁殖产生极大的影响。1998 年,大洼三角洲平原水库的建成、蓄水使黑嘴鸥被迫向辽河西岸迁移,现在水库地区一个黑嘴鸥的巢找不到了。现在只有辽河西岸(流域 28、29、30)是黑嘴鸥的家园,如果该地区再受到破坏,黑嘴鸥将会逐渐消失。

石油开发过程中每一个生产环节,每一处生产设施都不同程度地破坏生态环境。截止到 1990 年,盘锦地区有油井 3795 口,其中在保护区范围内分布有油井 600 余口,主要分布于欢喜岭和赵圈河(如流域 28、4),在欢喜岭就有油井 400 余口,修筑地下管道 1000 多公里,筑路 200 多公里,占用保护区土地 60 多平方公里,使湿地生态环境进一步破碎化。流域 4、20、21、28 等地方是丹顶鹤、黑鹳、黑嘴鸥等国家重点保护或濒危鸟类生存环境,现在由于油田开发,鸟类生存环境受到严重破坏,表现为:被石油污染的芦苇,苇叶枯萎和死亡,鸟类缺乏必需的隐蔽物,影响鸟类的休息及繁殖;石油污染使虾、蟹、鱼等动物数量锐减,使芦苇产量下降,影响鸟类的食物来源及质量;采油和输运设施广泛分布,影响鸟类的飞行活动。辽河口原来是国家保护动物斑海豹良

好的栖息繁殖场地,由于人为捕杀以及油田开发影响河口海水水质,使得斑海豹数量明显减少。例如,1982年在小道子河口曾发现100余头斑海豹上岸休息,1986年调查只有80~90头,1990年不足30头。湿地土壤受到石油污染不但使生物资源受到损失,而且很可能引起地下水和地表水二次污染。

4 结论

(1)湿地生态系统健康评价是湿地研究中的一个新领域,目前对湿地生态系统健康进行评价较少。本文以生态系统健康理论为基础,以压力-状态-响应模型为主线,根据湿地生态系统的特点,设计了湿地生态系统健康评价指标体系和评价模型,探讨辽河三角洲湿地生态系统健康的时空分布规律,为湿地资源保护与利用提供一定的科学依据。

(2)以遥感数据及监测统计数据相结合,利用GIS技术将所有信息集中到小流域里,进行定量评价各个小流域的湿地健康状况,便于小流域湿地生态治理与保护,具有较强的操作性和客观性。

(3)辽河三角洲由于人口密度大,人类活动影响强烈,湿地资源破坏比较严重,主要原因是水稻田开发与油田开发。目前辽河三角洲盘锦市只有一半的湿地生态系统健康处于一般状态,如不加强治理与保护,湿地内部结构混乱,湿地生态功能将下降,湿地健康状态将会越差。

(4)国家级双台子河湿地保护区生态系统健康相对较好,但其中局部地区湿地生态系统健康已经受到威胁,健康状况转为一般。

References:

- [1] Paul A Keddy. *Wetland Ecology Principles and Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 124~238.
- [2] Holland M M. Wetlands and Environment Gradients. In: Mulamootil G, Warner B G, McBean E A. *Wetland Environment Gradients, Boundaries and Buffers*. CRC Press Inc., 1996. 112~131.
- [3] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. *Trend in Ecology & Evolution*, 1998, **13**: 397~402.
- [4] Liu H Y, Zhang S K, Lv X G. Wetland Landscape Structure and the Spatial-temporal Changes in 50 Years in the Sanjiang Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2004, **59**(3): 391~400.
- [5] Cui B S, Yang Z F. Research Reviewon Wetland Ecosystem Health. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, **20**(3): 31~36.
- [6] Li W H, Ouyang Z Y, Zhao J Z. *Research Ecosystem Function*. Beijing: Meteorological Press, 2002. 133~139.
- [7] Administrative offices of the inshore monitoring (USEPA). *Environmental Monitoring characteristic of estuary*. Beijing: Ocean Press, 1997. 112~143.
- [8] Zhang X P, Yang Q K, Li R. Diagnostic Indicators of Catchment Health—A New Method of Evaluation of Ecological Environment. *Bulletin of Soiland Water Conservation*. 1998, **18**(4): 57~62.
- [9] Rapport D J. *et al.* Evaluating landscape health: integrating societal goals and biophysical process. *Journal of Environmental Management*, 1998, **53**: 1~15.
- [10] Rapport D J. Evolution of indicators Ecosystem Health. In: Daniel, H. eds. *Ecological Indicators*. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 121~134.
- [11] Cai X M. *Ecosystem Ecology*. Beijing: Science Press, 2000. 304~310.
- [12] Costanza R, Norton B G, Haskel B D. *Ecosystem Health: new goals for environmental management*. California: Island Press, 1992.
- [13] FAO Proceedings. Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development, Proceedings of the Workshop organized by the Land and Water Development Division FAO Agriculture Department, 1997. 2: 5.
- [14] Rainer WALZ, Development of Environmental Indicator Systems; Experiences from Germany. *Environmental Management*, 2000, **25**(6): 613~623.
- [15] State Environmental Protection Administration, State Bureau of Surveying and Mapping. *Atlas of Remote Sensing Investigation on Environment in Western China*. Beijing: Science Press, 2002. 164.

参考文献:

- [4] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 三江平原湿地景观结构的时空变化. *地理学报*, 2004, **59**(3): 391~400.
- [5] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. *生态学杂志*, 2001, **20**(3): 31~36.
- [6] 李文华, 欧阳志云, 赵景柱 主编. 生态系统服务功能研究. 北京: 气象出版社, 2002. 133~139.
- [7] 美国环境保护局近海监测处. 河口环境监测指标. 北京: 海洋出版社, 1997. 112~143.
- [8] 张晓萍, 杨勤科, 李锐. 流域健康诊断指标——一种生态环境评价的新方法. *水土保持通报*, 1998, **18**(4): 57~62.
- [11] 蔡晓明. 生态系统生态学. 北京: 科学出版社, 2000. 304~310.
- [15] 国家环境保护总局, 国家测绘局. 中国西部地区生态环境现状遥感调查图集. 北京: 科学出版社, 2002. 164.