

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栢群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

王一涵,周德民,孙永华. RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价. 生态学报, 2011, 31(13): 3590-3602.

Wang Y H, Zhou D M, Sun Y H. Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3590-3602.

RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价

王一涵^{1,2}, 周德民^{1,2,3,*}, 孙永华^{1,2}

(1. 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 首都师范大学, 北京 100048; 2. 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 3. 中国科学院东北地理与农业科学研究所, 长春 130012)

摘要:洪泛平原淡水自然湿地对于生态多样性保护具有重要意义。当前自然湿地普遍面临气候变化与人类活动干扰和影响, 其生态健康的状况令人担忧, 结合新的地学信息技术探索自然湿地生态健康评价分析方法具有重要意义。选择位于三江平原东北部的洪河国家级自然保护区湿地及其周边农场湿地为研究区, 依据遥感和地理信息系统技术支持, 结合野外生态调查与水文气象监测数据, 从水文地貌特征、景观特征和人类扰动 3 方面选取一系列评价指标因子, 利用层次分析法和综合指数方法, 对研究区湿地进行了定量生态健康分析评价。研究结果表明: (1) 洪河自然保护区的湿地生态健康状况是最好的, 其周边农场从鸭绿河农场、前锋农场到洪河农场的湿地生态健康状况依次递减。(2) 洪河自然保护区功能分区生态健康状况由好到差的顺序为: 核心区>缓冲区>实验区, 与实际野外调查情况一致。(3) 建立的评价指标体系和相应分析方法能够科学的评价湿地生态健康。评价分析结果显示水文地貌要素是影响湿地生态健康的关键性因素。利用 RS 和 GIS 技术与传统生态学评价分析方法结合, 以栅格为单位基于区域生境特征进行湿地生态健康综合评价具有一定的方法先进性。

关键词:遥感; 地理信息系统; 湿地; 生态健康评价

Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques

WANG Yihan^{1,2}, ZHOU Demin^{1,2,3,*}, SUN Yonghua^{1,2}

1 Base of the State Laboratory of Urban Environmental Processes and Digital Modeling, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2 Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

3 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: Wetland, which is described as a “Gene Pool of Natural Wildlife”, plays a key role in natural resource management. And it is a vital component in the natural ecosystems with the title of the “kidney of the Earth”. Fresh water wetlands in flooding plain are of great significance in protecting biodiversity. But natural wetland faces the threat of decrease and degradation due to the global climatic change and human disturbances all over the world. The area of wetlands decreased significantly after 1970 because of the regionally extensive agriculture development in Sanjiang Plain, Northeast China. Wetland ecological health assessment, as a key issue of the wetland research, is an important tool for wetland management. The ecological Assessment of the wetland health deals with multiple subjects, various methods and the scale exchange. It also helps us a better understanding of the ecological system structure and functional status of wetland. Due to the disturbances from both global climate change and human activities, wetland ecological health condition gets worse continuously. Hence, the health condition of these remained natural wetlands needs to be assessed urgently with the support of the updated geoinformatic technology.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40871241); 国家 863 课题(2007AA12Z176); 中国科学院方向性项目(KZCX2-YW-Q06-03)

收稿日期:2010-12-07; **修订日期:**2011-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoudemin@neigae.ac.cn

Due to the rapid decrease of the natural wetlands in Sanjiang Plain, authors selected the Honghe region in the northeast of Sanjiang Plain as the study area, which is the typical inland marsh and consists of the Honghe natural reserve, Honghe farm, Qianfeng farm and Yaluhe farm. A quantitative analysis method was proposed for assessment of the wetland ecological health in this paper based on integration of remote sensing images, digital elevation model, regional statistical data, meteorological monitoring data filed survey data and various indices of wetland ecological health condition. The Hierarchical indices consist of ten indicators mostly concerning three aspects of hydrogeomorphics, landscape characteristics and human disturbances. Hydrogeomorphic characteristic aspect includes the indicators of average annual rainfall, soil water content, spatial distance to a water body, geomorphological type; Landscape characteristic aspect includes four indicators of surrounding patch type, landscape type, marsh patch density, leaf area index; Human disturbance aspect includes two indicators of the distance to a road, distance to a farmland. The research area was divided into cell based assessing units according to the resolution of remote sensing images and GIS data. Based on which, wetland ecological health assessment was carried out using spatial overlaying methods. Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used for getting the calculation weight of each indicator. Then a comprehensive and quantitative index was defined and calculated at spatial grid level. Finally, the authors analyzed the spatial variations in the research area. The research results show: (1) Hydrogeomorphic characteristic is the key element that affects wetland ecological health conditions. (2) The health condition in Honghe National Nature Reserve takes the best ecological status. It decreased sequentially from good to bad within Yaluhe farm, Qianfeng farm and Honghe farm. (3) For the functional zones in Honghe National Nature Reserve, the ecological health condition in core zone is the best while the experimental zone is the worst. That is coincided with the actual condition tested by our field work. The paper shows that integration of geographical information system (GIS), remote sensing (RS) and traditional ecology methods is valuable of assessing wetland ecological health condition efficiently.

Key Words: remote sensing; geographic information system; wetland; ecological health assessment

湿地是世界上具有独特结构与功能的生态系统。世界范围内普遍存在着自然湿地生态退化问题,湿地的生态恢复、保护、评价与可持续利用已成为当今国际社会关注的热点。由于现实利益的各种纠结,当前的湿地开发利用中普遍注重短期效益,而忽视生态保护和人类的长远利益,造成了人与自然冲突不断^[1]。目前,湿地生态系统面临着严重退化的威胁,特别是人类聚居的内陆平原淡水湿地破坏尤为严重^[2]。科学、全面地进行湿地生态健康评价工作,不仅可以提高湿地系统及其资源的监测和研究科学水平,也能够为其规划和开发提供可靠的科学依据,从而确保湿地及其资源的可持续利用。

国外在湿地生态健康评价方面的研究比较早,美国环境保护局于 1990 年从响应指标、暴露指标、栖息环境指标、干扰因子等方面开展了河口湿地生态健康方面评价工作^[3]。Brinson^[4]和 Smith^[5]等在湿地水文地貌分类体系的基础上,逐步开发、完善了以功能评价为基础的湿地生态健康评价方法,即水文地貌评价 (Hydrogeomorphic Assessment, HGM) 方法,它可以对一个大尺度地理区域内的诸多湿地功能进行一致的评价。自 HGM 模型出现后,国际上湿地功能评价的方法学研究几乎都是在它的基础上进行的,其里程碑式的贡献在于确立了湿地功能评价的执行程序与步骤,及其对应的较为规范的评价标准。但 HGM 模型的开发费用高,不适用于对人类高度干扰下的湿地进行评价。与之相比,我国湿地生态健康评价研究起步较晚,定性评价居多。近年来,部分学者开展了湿地生态健康评价指标体系的理论、方法与案例研究^[6-7],同时模糊数学理论及压力-状态-响应模型也被广泛的应用到湿地生态健康评价研究中^[8-10]。

总之,湿地生态健康评价经历了从传统的基于实地野外调查获取统计数据的定性描述到定性与定量评价想结合的发展历程,但其评价指标多集中于物理、化学和生物指标,这些指标需要长期实验和监测才可获得;在评价的尺度方面则多倾向于景观或流域水平^[1]。由于湿地破碎化严重,评价方法中对于湿地生态系统结构功能变化的评价表达分析往往不足,缺少不同尺度的评价结果比较。遥感和地理信息系统等空间信息技术

的发展和运用,为湿地生态健康评价提供了多种数据源和有利的分析手段,使得基于空间数据湿地景观整体区域与内部功能分区健康评价能够结合起来,生态健康评价分析可以在多尺度评价对象和湿地生境多维要素定量表达集成的基础上进行,代表了湿地生态健康评价和分析的一个新方向。

本文选择我国东北三江平原洪河地区作为研究区,基于湿地生态健康和景观生态学原理,利用遥感和地理信息系统技术手段,运用层次分析法和综合指数评价方法,选取水文地貌特征、景观特征和人类扰动等湿地基础评价要素,基于多尺度评价单元,以多层次评价分析方法,对研究区湿地生态健康状况与差异进行研究探索。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

本文选取洪河国家级自然保护区及其周边的3个农场(鸭绿河农场、洪河农场和前锋农场)作为研究区,该地区位于三江平原东北部的同江市和抚远县境内,面积2491.4 km²,地理坐标:133°18′—134°5′E, 47°25′—48°1′N(图1)。研究区属中温带大陆性季风气候,地貌单一,地势低洼平坦,平均坡降极小,从而造成区内蝶形洼地广布,各种类型湿地十分发育,形成丰富多样的北方水生、陆生、湿地生态系统^[11]。

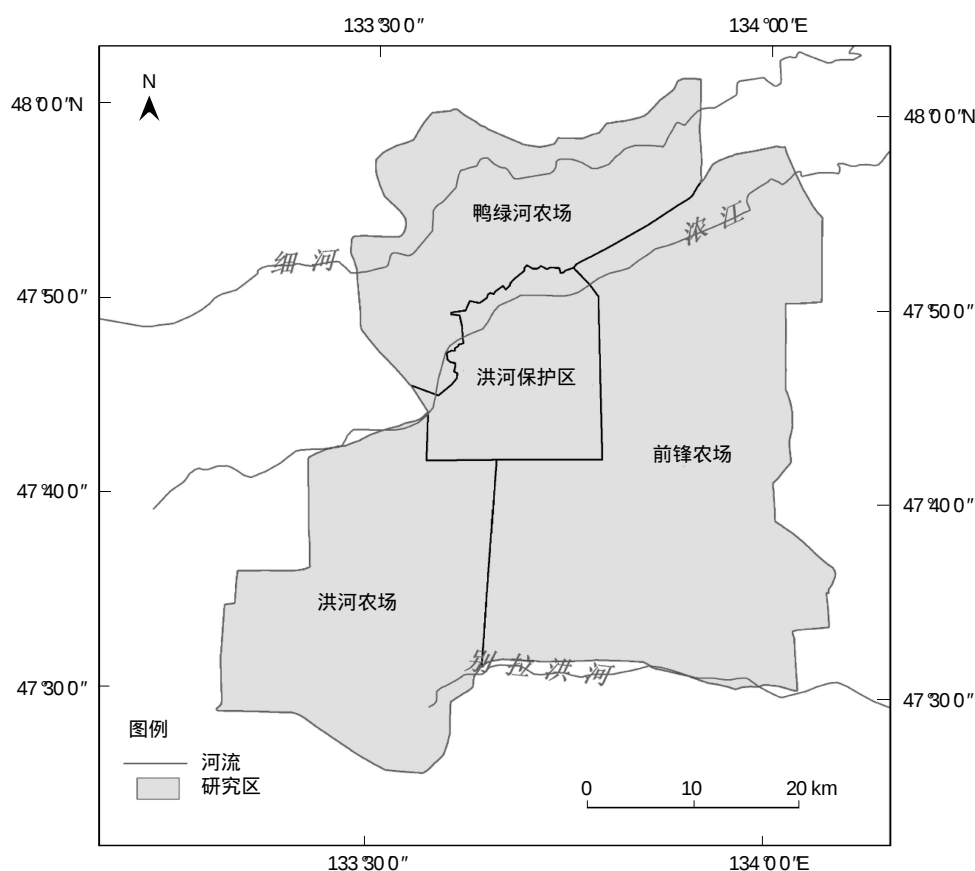


图1 研究区地理位置示意图

Fig. 1 Location map of the study area

自20世纪中叶以来,整个三江平原都经历了从“北大荒”到“北大仓”的剧烈区域景观变化过程,对原生自然湿地的破坏十分严重。洪河地区也同样经历了这一历史变迁过程。洪河地区湿地是三江平原原始淡水沼泽湿地自然景观的“缩影”,因此选取洪河地区湿地开展生态健康评价对于了解整个东北平原、乃至全国的湿地生态健康状况都具有现实意义。研究区包括4个不同的评价单元,其中,洪河国家级自然保护区总面积250.9 km²,于2000年列入拉姆萨湿地公约,其内部功能区划分为“核心区、缓冲区、实验区”。位于洪河自然

保护区周边 3 个农场内的大部分地区都经历了原生自然沼泽湿地到农田的演变过程,自然湿地的生态退化问题十分严重,所剩的少数自然湿地生态健康状况堪忧^[2,12],但由于 3 个农场建立的时间不一致,它们在不同的历史时期受到国家土地政策、人口增长、经济发展等各方面因素的影响也存在差异,因此分别具有不同的发展历程。从生态健康评价分析的角度,与不受或较少受干扰的自然保护区相比,3 个农场代表了不同的生态干扰强度和干扰方式。研究区的选取有利于对比高度人为扰动的湿地自然生态系统与受到保护的湿地自然生态系统健康状况的差异特征,以及自然保护区内部因保护等级差异而存在的湿地生态健康状况差异,从而对比分析不同干扰强度和方式的生态健康结果。

1.2 数据来源

研究采用的遥感数据为美国陆地卫星 Landsat 提供的 2006 年 8 月 30 日 TM 遥感影像(轨道号为 114/027)。该影像数据用于研究区的遥感图像分类、土壤含水量和叶面积指数的反演。其它数据包括:ASTER G-DEM 30 m 分辨率数字高程原始数据、1:100000 研究区地形图、1:10000 洪河保护区地形图、1:200000 洪河农场区划图、1:250000 建三江农垦公路现状图、鸭绿河农场志、洪河农场志和前锋农场志。

2 研究方法

2.1 评价指标体系建立

湿地生态系统健康是指系统内的物质循环和能量流动未受到损害,关键生态组分和有机组织被保存完整且缺乏疾病,对长期或突发的自然或人为扰动能保持弹性和稳定性,整体功能表现出多样性、复杂性和活力^[10,13]。按照科学性、系统性、相关性、独立性、可行性原则,结合研究区特点和资料获取情况,本研究从湿地水文地貌特征要素、景观特征要素和人类扰动要素三个方面建立评价指标体系(图 2)。

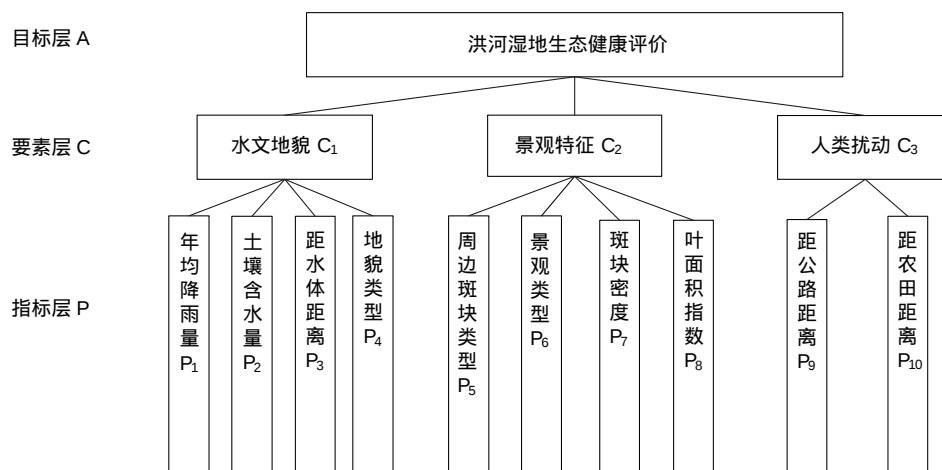


图 2 湿地生态健康评价指标体系

Fig. 2 The system of the indices for assessing the health of the wetlands ecosystems

湿地作为水陆交替的特殊生态系统,水是其重要组成部分和显著特征。湿地遭受破坏的深层次原因很大程度上与水资源的缺失有关^[11]。水文过程是湿地中最重要的过程,决定水文的关键要素有地貌、洪水、降雨和蒸发^[14]。地貌在某一特定气候区域内对湿地生态系统结构产生重要影响,包括湿地生态系统形状、面积大小、分布位置以及湿地内的动植物结构等。在地形梯度和水分梯度的相互作用下,湿地景观类型发生分异,各类型湿地景观分布的范围和大小受控于地貌类型的大小和人类活动的影响^[12]。考虑评价的资料获取和实际情况,本文从年均降雨量、土壤含水量、距水体的距离和地貌类型等方面表征湿地水文地貌特征。

景观特征,景观格局对生态系统健康的指示作用^[15],湿地景观类型既是自然环境与人类活动交互作用产生的结果,也直接指示了特定生态系统的健康状况与水平。景观的结构变化可以直接影响湿地生态系统健康状况与功能水平的发挥。基于空间邻接关系的景观格局指数是区域生态系统健康评价的适宜指标^[16],综合考虑景观指数的生态学意义^[17]和研究区的实际情况,选择了最基本的湿地生态健康指标,包括斑块密度

(patch density, *PD*)、景观类型和景观的周边斑块类型 3 个评价指标,用以指示湿地的生态退化程度、景观稳定性和生态能量交换关系。植被生理特征是生态系统变化的显著特征之一,本研究选取与植被生理特征高度相关的叶面积指数作为评价湿地植被景观格局优劣指标,并进而评价湿地生态健康特征。

Ferguson 曾指出,在进行生态系统健康评价中要充分考虑人类干扰和选择的整合性原理,例如维持景观水平的人类活动对生态系统健康的影响^[18-19]。人类扰动反映的是人类自身活动对生态系统的影响与干扰,人类可以通过各种方式,直接或间接的影响湿地健康,因此,开展湿地健康评价工作需要分析人类活动对湿地影响的方式、强度等影响因素。相对其它类型的湿地生态系统(如滨海湿地、湖泊湿地、河流湿地等),近年来本研究区内的人类活动集中表现在开采地下水、兴建农场和修建公路等,从而使得洪河自然保护区内部生态系统受到了一定程度的干扰,本研究选取距公路及农田等人工景观的距离来间接衡量人类活动对研究区内湿地生态系统的干扰程度。

2.2 指标信息提取方法与量化表征

选取 4、3、2 波段对原始 TM 影像进行合成,合成后的影像对照 1:10000 地形图进行几何纠正,进行各种增强处理,消除噪音、云层等影响,依据研究区土地覆被类型影像的颜色、纹理、位置等特征,建立解译标志。在 RS 和 GIS 技术支持下,结合景观格局数量分析方法,采用监督分类和人工目视解译相结合的方法,将研究区景观分为 7 种类型,即沼泽、水体、草甸、灌丛、岛状林、农田和人工建筑,生成景观分类图。通过野外验证数据对解译结果进行检验,结合计算出的误差矩阵得出遥感影像解译的总体分类精度为 90.41%,Kappa 系数为 86.93%。

洪河保护区、鸭绿河农场、洪河农场和前锋农场的年均降雨量分别用这 4 个子区域 1979—2006 年 27a 间的年降雨量平均值来表示。研究区内各景观类型的斑块密度(*PD*) 在 FRAGSTATS 景观指数软件中选取斑块层次计算得到。

通过遥感反演方法获取土壤含水量和叶面积指数(leaf area index, *LAI*)。使用目前较常用的温度/植被指数斜率法($TS/NDVI$),结合实测数据来计算土壤含水量。其中,温度(*TS*)利用 Landsat5—TM 遥感影像的热红外波段,通过单窗算法^[20]在 ERDAS 软件中建模反演获得;叶面积指数是利用 Landsat5—TM 遥感影像的红色波段和近红外波段构成的归一化植被指数进行反演。采用全样本方法对土壤含水量和 *LAI* 回归模型进行验证,其相关系数分别为 0.625 和 0.865(图 3)。

运用 ARCGIS 空间分析功能计算距水体距离、距公路距离和距农田距离 3 个指标。基于 DEM 数据,参考湿地微地貌自动提取方法^[21],鉴于研究区内部地势高程差较小,将地貌分为洼地、河漫滩、岗地 3 类,并将这 3 种类型对湿地生态健康的贡献分别赋值为 5、3、1,生成研究区地貌类型图。研究区湿地景观类型分为沼泽、水体、草甸、灌丛、岛状林、农田、人工建筑 7 类,根据它们对湿地的贡献度分级赋值依次如下:7、6、5、4、3、2、1。通过地理信息数据显示的类型,进行湿地景观特征指标的赋值。根据此标准,在 ARCGIS 邻域统计函数中统计每一栅格 8 邻域的周边斑块类型值,得到景观的周边斑块类型数值图(图 3)。

在湿地管理工作中,对湿地评定要求精确的评估,因而要求制定一套评价赋分标准^[22]。本研究所选取的水文地貌特征、景观特征和人类扰动这 3 方面的 10 个指标可以较直接的反映湿地生态健康状况,但由于这些指标代表的含义不同,因此需要将各类指标换算成 0—1 标准化(采用极值归一化法)的无量纲值以实现指标间的加权处理。各指标的取值与湿地生态健康状况的对应关系为:0 代表生态健康状况最差,1 则代表生态健康状况最好。距水体距离的取值虽亦为 0—1 之间,但其物理意义恰与前者相反,因此将其进行逆转换,得到与水体关系图层。

2.3 评价方法

2.3.1 指标权重确定

将评价指标体系划分成目标层、要素层、指标层 3 个层次,采用专家打分法^[7-9]构建判断矩阵、层次分析法确定权重^[23]。指标权重及排序见表 1。

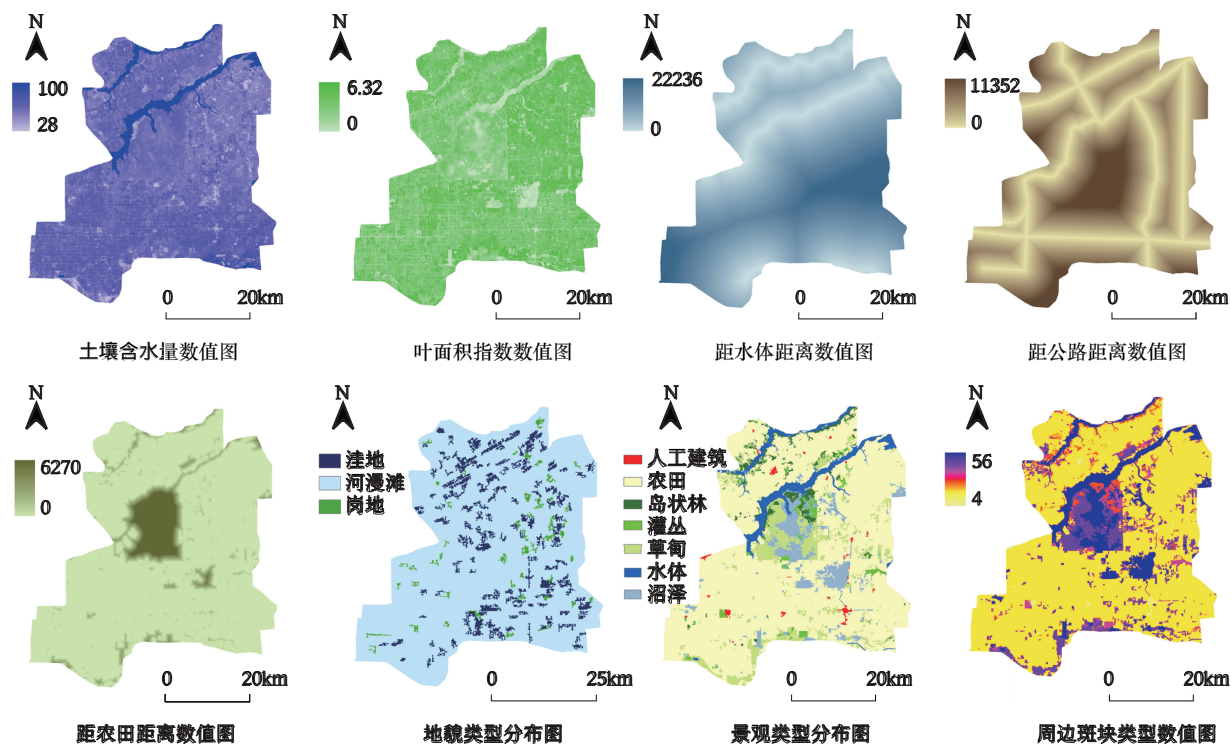


图 3 评价因子栅格图层
Fig.3 Raster layers as assessment factors

表 1 湿地生态健康评价指标因子权重值
Table 1 Weight values of the indexes for assessment of wetland ecosystems

评价因子 Index	代码 Code	水文地貌 C1 Hydrogeomorphic 0.558	景观特征 C2 Landscape pattern 0.320	人类扰动 C3 Human disturbance 0.122	指标组合权重 Weight values	排序 Order
年均降雨量	P1	0.1601	0.0000	0.0000	0.08940	4
土壤含水量	P2	0.2772	0.0000	0.0000	0.15478	2
距水体距离	P3	0.0954	0.0000	0.0000	0.05329	7
地貌类型	P4	0.4673	0.0000	0.0000	0.26095	1
景观类型	P5	0.0000	0.4673	0.0000	0.14936	3
周边斑块类型	P6	0.0000	0.2772	0.0000	0.08859	5
斑块密度	P7	0.0000	0.1601	0.0000	0.05117	8
叶面积指数	P8	0.0000	0.0954	0.0000	0.03050	10
距公路距离	P9	0.0000	0.0000	0.6667	0.08130	6
距农田距离	P10	0.0000	0.0000	0.3333	0.04065	9
CI=0.00907		RI=0.79		CR=0.01148 <0.10		

2.3.2 生态健康评价综合指数构建

为进一步获得研究区生态健康评价结果,需要选择合适的评估方法对其进行综合评价计算。目前生态系统健康评价采用的具体模型方法包括综合指标法和模糊综合评价法两类^[24]。本研究采取通过加权求和的方法构建湿地生态健康评价综合指数(*I*)。

$$I = \sum_{i=1}^n Ei \times Wi$$

(1)

式(1)中,*I*为生态健康评价综合指数,取值范围为0—1,*n*为评价指标个数,*Wi*为第*i*评价指标的权重,

且 $\sum_{i=1}^n W_i = 1, i=1-10, E_i$ 为第 i 指标的标准化值。健康是一种相对概念,绝对健康的生态系统是不存在的,绝对的健康标准也是不存在的,区域生态系统健康评价,更多的应着力于探讨区域生态系统健康的时间动态与空间差异,而非人为判定某时某地生态系统的健康与否,从而保障研究的客观性^[24]。因此,为便于更直观的表现研究区湿地生态健康状况,根据研究区综合指数的统计特征,采用自然分类方法将生态健康评价综合指数分为 4 级,即使得类内差异最小、类间差异最大,从而明确湿地生态健康现状和更好的体现评价价值。指数数值从高到低依次分为:生态健康状况好、生态健康状况较好、生态健康状况一般和生态健康状况差。这可作为判断湿地生态健康现状的依据。

3 结果分析与讨论

根据研究区湿地生态系统健康综合评价结果,利用地理信息系统软件制作湿地生态健康现状图。并统计子区域的生态健康评价综合指数的最大值、最小值和平均值以及湿地生态健康 4 个等级分布面积百分比(图 4)。

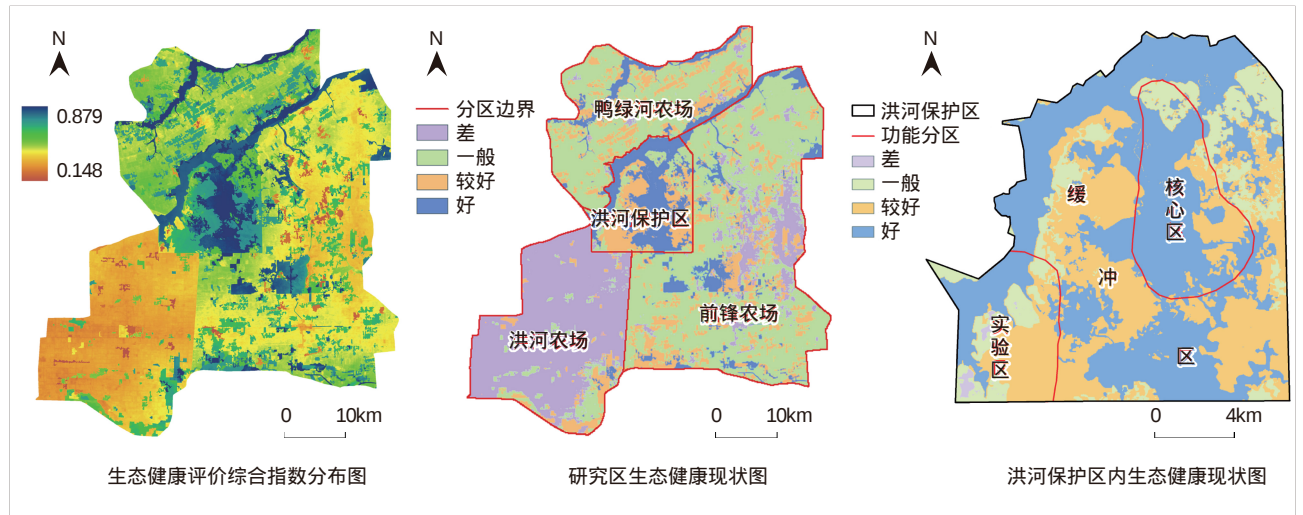


图 4 评价结果图

Fig. 4 The assessment results of the wetland ecosystems

3.1 研究区各子单元间生态健康差异分析

从表 2 可以看出,在鸭绿河农场、洪河农场、前锋农场和洪河自然保护区 4 个子区域中,3 个农场的生态健康评价综合指数尽管有差别,但整体与洪河自然保护区存在较大差异,表明他们的生态健康水平都相对较低。但该 4 个子单元生态健康评价综合指数的最大和最小值都存在相近的波动幅度,说明不同区域的湿地生态健康水平差异都是客观存在的。

表 2 生态健康评价综合指数统计表

Table 2 Statistical values based on the integrated indices for assessing wetland ecosystems

统计项 Statistical items	研究区子单元 Units of study areas				洪河保护区内部 Interior of Honghe National Nature Reserve		
	鸭绿河农场 Yaluhe farm	洪河农场 Honghe farm	前锋农场 Qianfeng farm	洪河保护区 Honghe Nature Reserve	核心区 Core zone	缓冲区 Buffer zone	实验区 Experimental zone
平均值 Average	0.4814	0.3443	0.4345	0.5847	0.6402	0.5928	0.5211
最大值 Maximum	0.8792	0.7526	0.8644	0.8773	0.8773	0.8396	0.7412
最小值 Minimum	0.2189	0.1477	0.1522	0.2250	0.4398	0.3638	0.2250

评价区内生态健康评价综合指数以区域内河流为中心向四周逐渐减小,其指示的湿地生态健康评价意义是浓江、细河和别拉洪河等区域湿地生态健康最好。指数分级清楚表明浓江对研究区生态健康的贡献最大(图4)。图5数据显示,洪河自然保护区湿地生态健康状况集中在“好”的比例最多,达到一半以上,而“差”的情况则最少,可以忽略不计,这与该区域所受的人类干扰较少、湿地健康程度较高的客观情况吻合;鸭绿河农场和前锋农场生态健康状况“一般”的占其总面积最多,但整体来看鸭绿河农场比前锋农场健康;洪河农场生态健康状况以“差”为主导,而“好”的情况微乎其微,表明该地区湿地生态健康最差,湿地生态系统退化最严重。

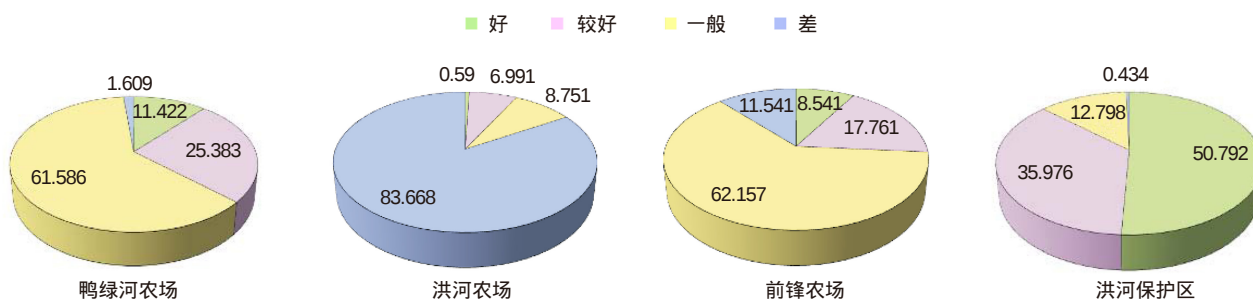


图5 研究区生态健康状况面积百分比

Fig. 5 Area percentage at different healthy level based on assessment of the study area/%

通过评价综合指数和生态健康状况分级比较,表明洪河自然保护区的生态健康状况是最好的,鸭绿河农场、前锋农场、洪河农场依次递减。形成这种差异的原因是由于鸭绿河农场属三江平原一阶地,地势中间高,呈鱼脊形向南向北缓降,中部台地多蝶形洼地,泡沼广泛分布,北有鸭绿河、南有浓江河贯穿东西,水文地貌因素都有利于湿地发育,且不利于农田开发;前锋农场开发较早。虽有别拉洪河和浓江河过境,但平坦的河漫滩生境容易受到人类活动干扰;洪河农场区内地势平坦、坡向很小,利于现代化农场开发,作为现代化程度最高的农场,洪河农场过去30a的开发强度最大,因此其湿地生态健康状况是最差的。相反,洪河自然保护区虽然受到人为的轻微侵扰和破坏,但生态系统内部没有明显的结构变化,自然生境基本完好,虽然周边的农业生产也对洪河自然保护区湿地造成一定威胁,但基本是间接影响^[21]。

3.2 洪河自然保护区内部生态健康差异分析

在洪河自然保护区内部,以核心区、缓冲区和实验区为3个基本单元进行生态健康状况的对比。结果显示(表2和图6),生态健康评价综合指数的最大值、最小值和平均值由大到小的顺序依次均是:核心区、缓冲区、实验区。

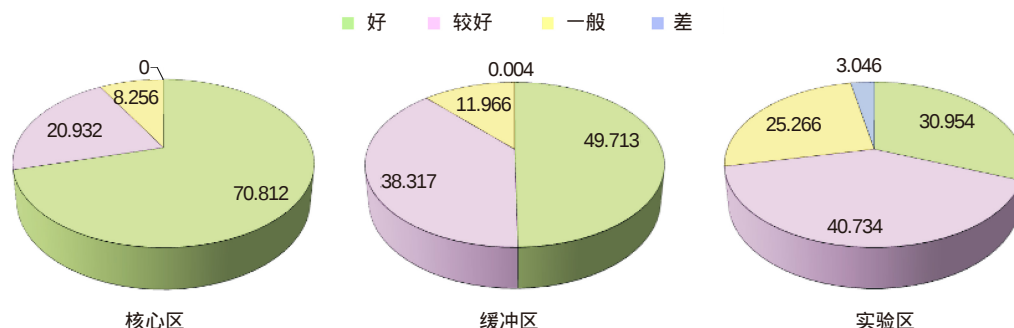


图6 洪河保护区生态健康状况面积百分比

Fig. 6 Area percentage at different healthy level based on assessment of the NNNR/%

图6显示在洪河自然保护区内部的3个功能分区中,核心区的生态健康状况是最好的、缓冲区其次、实验区则最差。与周边3个农场相比,洪河保护区核心区内生态健康状况“好”的区域在70%以上,不存在评分

“差”的区域。缓冲区生态健康状况“好”的区域比例近一半,“较好”、“一般”均有分布,而“差”的区域极小。实验区内以“较好”为主,“差”的比例较核心区和缓冲区的所有增加,但与 3 个农场相比,其比例还是很小的。这表明洪河自然保护区内部的生态健康状况整体较好,个别生态健康状况差的区域出现在实验区。从核心区到实验区,“好”的比例减少,“差”的比例明显增大。自然保护区内部存在的干扰程度和强度差别,可以从生态健康状况的差异中反映出来。

3.3 研究区干扰特征与湿地生态健康评价结果分析

自 20 世纪 50 年代由于对湿地开发强度不断扩大,研究区内湿地景观和结构发生了巨大变化,已经从当年的“北大荒”变成了现在的“北大仓”。多位学者^[2,25-26]的研究表明:近 50 a 来,浓江河流域土地利用/覆被的巨大变化直接改变了流域湿地景观多样性,对流域内洪河自然保护区的景观多样性产生重要影响,洪河自然保护区已成为以农田为基质的“湿地孤岛”。虽然近 20a 来,国家出台了湿地保护政策,对湿地的直接开垦已经明显减少,但是该地区不断完善农田水利建设,以及实施“旱改水”等各种农田结构调整工程,对区域水资源调控的强度越来越大,挤占自然生态用水的现象越来越明显。周德民等^[2,27]对农田驱动力的定量研究表明,农业活动对湿地生境的破坏和影响越来越明显。因此,洪河自然保护区与 3 个农场湿地生态健康评价结果都共同指示了区域发展与人类扰动类型程度差异而形成的不同健康特征。例如,洪河农场虽然开发历史最短,但因其农业机械化程度最高、土地开发强度最大,所以生态健康评价结果反而比其他两个农场差。洪河自然保护区内部的生态健康差异,则说明了轻度的人类干扰也可对湿地生态系统产生一定影响,保护等级最高的核心区与其它地区健康水平差距很大。

4 结论

湿地生态健康评价是湿地保护与管理工作的基础。本研究基于多种信息提取技术和空间统计分析方法,从水文地貌特征、景观特征和人类扰动这 3 方面,结合研究区实际情况建立湿地生态健康评价指标体系,应用层次分析法和综合指数方法,对三江平原洪河地区湿地进行了生态健康评价与分析,得出以下研究结论:

(1)生态健康评价综合指数的计算与分析结果表明:与周边农场相比,洪河自然保护区的生态健康状况是最好的,3 个农场湿地生态健康状况由好到差依次是鸭绿河农场、前锋农场、洪河农场。其中,洪河农场的自然湿地生态状况严重恶化,评分“差”的比例已经超过 80%。

(2)洪河自然保护区内的整体生态健康状况较好。与缓冲区和实验区相比,核心区生态健康状况是最好的,由核心区到实验区,生态健康状况“好”的比例大幅下降。该评价结果与保护区功能分区情况以及实际调查结果一致。

(3)本研究建立的评价指标体系和相应分析方法能够科学的评价自然湿地生态健康。评价分析结果显示水文地貌要素是影响湿地生态健康的关键性因素。

本研究利用 RS 和 GIS 技术与传统生态学评价分析方法结合,提出的评价方法能够快速有效的获取较大区域湿地水文地貌、景观特征和人类扰动等评价要素信息,以栅格为单位基于区域生境特征进行湿地生态健康综合评价具有一定的方法先进性。然而,在今后指标体系建立和生态健康评价的过程中,评价因子遥感反演的尺度问题(时间和空间分辨率)、研究区边界的边缘效应问题、评价结果的定量表达是否更科学的反映客观实际等,这些都将在今后研究中进一步完善。

致谢:本文得到中国科学院东北地理与农业生态研究所栾兆擎副研究员、北京师范大学蒋卫国老师在数据分析和论文撰写中的指导,中国科学院遥感应用研究所张海英博士为本文提供相关数据,三江沼泽湿地生态系统国家野外观测研究站及洪河自然保护区为野外实验提供便利条件,特此致谢。

References:

- [1] Cui B S, Yang Z F. Research review on wetland ecosystem health. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(3): 31-36.
- [2] Zhou D M, Gong H L, Hu J M, Zhao K Y. Probe into the landscape pattern of freshwater wetland communities — a case study in the Honghe National Nature Reserve in Sanjiang Plain, China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 86-96.

- [3] Office of Offshore Monitoring, US Environmental Protection Agency Monitoring. Estuarine Environment Monitoring Index. Beijing: Ocean Press, 1997: 112-143.
- [4] Brinson M M. A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands. Vicksburg: US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1993.
- [5] Smith R D, Ammann A, Bartoldus C, Brinson M M. An Approach for Assessing Wetland Functions Using Hydrogeomorphic Classification, Reference Wetlands and Functional Indices. Vicksburg: US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1995.
- [6] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands I. A theoretical framework. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1005-1011.
- [7] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands II. An application. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1231-1239.
- [8] Yuan J, Lu X G. Development and application of a dual-grade fuzzy pattern recognition model on functional assessment of wetlands. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4): 1-6.
- [9] Jiang W G, Li J, Li J H, Xie Z R, Wang W J. Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 408-414.
- [10] Jiang W G, Pan Y Z, Hou P, Li X, Ji W, Zheng J R. Assessment and analysis of wetland ecosystem health in Dongting Lake. Geographical Research, 2009, 28(6): 1665-1672.
- [11] Zhou D M, Gong H L. Hydro-ecological Modeling of the Honghe National Nature Reserve. Beijing: China Environmental Science Press, 2007: 27-29.
- [12] Liu H Y, Zhang S K, Lu 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.
- [13] Cui B S, Yang Z F. Wetlands. Beijing: Beijing Normal University Press, 2006: 362-362.
- [14] Liu H Y, Lu X G. Study on classification system of middle scale landscape ecology mapping in the Sanjiang Plain. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(5): 432-436.
- [15] O'Laughlin J, Livingston R L, Thier R, Thornton J, Towell D E, Morelan L. Defining and measuring forest health // Sampson R N, Adams D L eds. Assessing Forest Ecosystem Health in the Inland West. New York: Haworth Press, 1994: 65-86.
- [16] Ma K M, Kong H M, Guan W B, Fu B J. Ecosystem health assessment: methods and directions. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [17] Wu J G. Landscape Ecology — Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2007: 106-121.
- [18] Ferguson B K. The concept of landscape health. Journal of Environmental Management, 1994, 40(2): 129-137.
- [19] Ferguson B K. The maintenance of landscape health in the midst of land use change. Journal of Environmental Management, 1996, 48(4): 387-395.
- [20] Qin Z H, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from landsat TM 6 data. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-466.
- [21] Ma L, Zhou D M, Yin L W. Automatic Delineation of Wetland Micro-topographies from a Grid DEM. Proceedings of Geoinformatics 2010, Beijing, 2010: 1-5.
- [22] He C Q, Cui B S, Zhao Z C. Ecological evaluation on typical wetlands in Jilin Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 754-756.
- [23] Xu J H. Mathematical Methods in Contemporary Geography. Beijing: Higher Education Press, 2002: 224-224.
- [24] Peng J, Wang Y L, Wu J S, Zhang Y Q. Evaluation for regional ecosystem health: methodology and research progress. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4877-4885.
- [25] Liu H Y, Li Z F. Effects of land use/cover change on wetland landscape of Honghe Nature Reserve. Geographica Sinica, 2007, 62(11): 391-400.
- [26] Zhang H Y, Zhou D M, Wang Y H. The changing process of wetland landscape in Honghe National Nature Reserve and surrounding farms in Sanjiang Plain. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(1): 57-62.
- [27] Zhou D M, Gong H L, Wang Y Y, Khan S, Zhao K Y. Driving forces for the marsh wetland degradation in the Honghe National Nature Reserve in Sanjiang Plain, northeast China. Environmental Modeling and Assessment, 2009, 14(1): 101-111.

参考文献:

- [1] 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.

- [2] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 赵魁义. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究——以洪河湿地自然保护区为例. 自然资源学报, 2007, 22(1): 86-96.
- [3] 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.
- [6] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论. 生态学报, 2002, 22(7): 1005-1011.
- [7] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例. 生态学报, 2002, 22(8): 1231-1239.
- [8] 袁军, 吕宪国. 湿地功能评价两级模糊模式识别模型的建立及应用. 林业科学, 2005, 41(4): 1-6.
- [9] 蒋卫国, 李京, 李加洪, 谢志仁, 王文杰. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. 生态学报, 2005, 25(3): 408-414.
- [10] 蒋卫国, 潘英姿, 侯鹏, 李雪, 季维, 郑建蕊. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价. 地理研究, 2009, 28(6): 1665-1672.
- [11] 周德民, 宫辉力. 洪河保护区湿地水文生态模型研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 27-29.
- [12] 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.
- [13] 崔保山, 杨志峰. 湿地学. 北京: 北京师范大学出版社, 2006: 362-362.
- [14] 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地景观生态制图分类系统研究. 地理科学, 1999, 19(5): 432-436.
- [16] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 傅伯杰. 生态系统健康评价: 方法与方向. 生态学报, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [17] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-121.
- [20] 覃志豪, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [22] 何池全, 崔保山, 赵志春. 吉林省典型湿地生态评价. 应用生态学报, 2001, 12(5): 754-756.
- [23] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(第二版). 北京: 高等教育出版社. 2002: 224-224.
- [24] 彭建, 王仰麟, 吴健生, 张玉清. 区域生态系统健康评价——研究方法与进展. 生态学报, 2007, 27(11): 4877-4885.
- [25] 刘红玉, 李兆富. 流域土地利用/覆被变化对洪河保护区湿地景观的影响. 地理学报, 2007, 62(11): 391-400.
- [26] 张海英, 周德民, 王一涵. 三江平原洪河自然保护区及周边地区湿地景观变化过程研究. 遥感技术与应用, 2009, 24(1): 57-62.

蓝文陆, 王晓辉, 黎明民. 应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构. 生态学报, 2011, 31(13): 3601-3608.

Lan W L, Wang X H, Li M M. Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3601-3608.

应用光合色素研究广西钦州湾丰水期 浮游植物群落结构

蓝文陆*, 王晓辉, 黎明民

(广西壮族自治区北海海洋环境监测中心站, 广西 北海 536000)

摘要: 通过 2010 年 6 月现场航次 19 个站点的调查, 应用反相高效液相色谱(RP-HPLC)并结合二极管阵列检测器分析技术, 分析了丰水期广西钦州湾浮游植物光合色素组成, 进而由 CHEMTAX 软件估算全粒级浮游植物的群落结构。结果表明, 钦州湾浮游植物光合色素含量以叶绿素 a 最高, 其次为岩藻黄素; 浮游植物的优势类群为硅藻, 其次为蓝藻和青绿藻, 它们分别平均占据了浮游植物生物量的 70.2%、12.6% 和 9.4%, 而其它藻类除了绿藻茅岭江河口占据较高的比例(40.2%)之外在其它站点所占比例很低。钦州湾浮游植物群落结构形成了茅岭江口、内湾、外湾和湾外近海共四种类型, 茅岭江口以绿藻为优势类群, 内湾以硅藻、蓝藻和青绿藻为主要优势类群, 外湾以硅藻为单一优势类群, 湾外相对于外湾硅藻比重略为下降。主要光合色素含量及浮游植物类群生物量的分布特征与盐度、营养盐关系密切, 浮游植物群落结构的分布变化主要受径流及其输入导致的营养盐变化的影响, 而这种影响导致了内湾和外湾之间浮游植物主要类群的生物量多寡及浮游植物群落结构的差异。

关键词: 光合色素; 浮游植物; 群落结构; 钦州湾

Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures

LAN Wenlu*, WANG Xiaohui, LI Mingmin

Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi Province, Beihai 536000, China

Abstract: Based on a cruise in June, 2010 in Qinzhou Bay, structural characteristics of the phytoplankton community were studied during flood season. Phytoplankton samples from 19 stations were analyzed by RP-HPLC combined with DAD (diode array detector) to determine photosynthetic pigment composition in the study bay. Pigment data were converted into phytoplankton composition by software of CHEMTAX based on least squares method and the steepest descent algorithm. Our results showed that chlorophyll-a (Chl-a), fucoxanthin, chlorophyll-b (Chl-b) and zeaxanthin were the major pigments in Qinzhou Bay. Chl-a concentration ranged from 732 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 9684 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (with a mean of 3574 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and the concentration of fucoxanthin ranged from 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 2714 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (with a mean of 917 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mean concentrations of Chl-b and zeaxanthin were 161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Other pigments generally contributed a minor proportion of the total pigments, with average concentrations of less than 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Diatoms dominated in the phytoplankton community, contributing to 70.2% (mean value) of the phytoplankton biomass in Qinzhou Bay, while the average percentage for cyanobacteria and prymnesiophyta was only 12.6% and 9.4%, respectively. Chlorophyceae was only abundant at the station in Maolingjiang estuary, which accounted for 40% of the phytoplankton biomass. The rest of the other phytoplankton were rare, and constituted <10% of all phytoplankton biomass. Diatom biomass ranged from 0.21 $\mu\text{g}/\text{L}$ to 8.71 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Chl-a biomass), and the distribution of diatom biomass was low in the inner bay and high in the outer bay.

基金项目: 广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013003); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1140002-2-1)

收稿日期: 2010-12-10; **修订日期:** 2011-04-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenlu.lan@gmail.com

However, the biomass of cyanobacteria and prymnesiophyta in the inner bay was slightly higher than that in the outer bay. Phytoplankton communities in Qinzhou Bay were clustered into four types from the estuary to the outer bay, and were primarily influenced by floods on the Maolingjiang and Qinjiang rivers. Phytoplankton communities in the estuary were dominated by Chlorophyceae. Diatoms, cyanobacteria and prymnesiophyta were the major groups in the inner bay, while diatoms were dominant in the outer bay. Diatoms also dominated at the offshore stations; however, the proportion of diatoms decreased slightly with increasing distance from the coast. Additionally analysis also was carried out to illuminate the relationship between phytoplankton community structure and environmental factors in the study area. Results indicate that the distribution of major phytoplankton pigments and communities were coupled with environmental parameters in Qinzhou Bay. River flow, salinity and nutrients were the major controlling factors accounting for the spatial distribution and composition of phytoplankton in the bay.

Key Words: photosynthetic pigment; phytoplankton; community structure; Qinzhou Bay

浮游植物群落结构与初级生产力沿食物链向上传递转化为渔业资源产量的效率密切相关^[1-3],在海洋生物地球化学循环、能量流动以及海洋渔业中具有重要的意义。但是,许多微型种类缺少明显的形态特征,很难在显微镜下鉴定和计数,而且固定保存过程中使一些脆弱种类破裂或变形,增加了分类难度^[4-5]。近年来通过高效液相色谱法(HPLC)分析特征光合色素来研究浮游植物群落结构已被成熟应用^[5-6]。与传统镜检相比,光合色素法分析浮游植物结构具有较大的优越性,其能够检测出多种光学显微镜无法检测出的小个体类群和一些难以保存的脆弱类群^[4-6],对指示全粒级浮游植物类群结构十分有利。

钦州湾是广西的重要海湾之一,近 20 a 来随着海湾周边经济开发建设的迅猛发展及养殖业的兴起,钦州湾水体环境的变化对海湾的生态环境影响较大^[1-2]。尤其是北部湾经济区发展规划获批后,钦州湾掀起了开发热潮,海湾环境将面临更大的压力。浮游植物对环境变化敏感,而对海湾浮游植物的群落结构特征及其分布变化的报道很少。

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位

2010 年 6 月 8 日,通过现场调查,从钦州湾湾顶到钦州港湾湾外进行了 3 个方向的同步调查。共布设 Q1 至 Q19 共 19 个站位(图 1)。其中,Q1—Q7 站点位于内湾;Q8—Q16 及 Q17 位于钦州港湾,Q18—Q19 位于钦州湾湾外。

1.2 现场采样与样品分析

各测站采集表层海水样品(水面下 0.5 m),样品用 5 L 的采水器采集。

水温和盐度现场采用直读式盐度计数据,无机氮、活性磷酸盐等环境因子的采集与测定方法依据国家《海洋监测规范》^[7]进行。

光合色素样品在采集后放置于低温避光处并迅速带回实验室立即过滤。2—3 L 水样经 0.7 μm GF/F 滤膜收集,过滤负压 <0.6 atm。滤膜对折后放置入铝铂袋中,于液氮中保存。将滤膜夹于滤纸中解冻,吸去多余水分;以 2 mL N,N-二甲基甲酰胺(DMF)为提取剂。在 -20 $^{\circ}\text{C}$ 暗处放置 2 h 以充分提取色素;充分混合后离心(5 min,4 kg, -4 $^{\circ}\text{C}$),取上清,用 13 mm 针筒过滤器(millipore)滤过 GF/F 滤膜,收集滤液于棕色色谱小瓶(2 mL)。整个过程均在弱光、低温条件下进行,以减少光合色素的降解。

高效液相色谱分离光合色素以及色谱柱和流动相的使用参照文献^[6,8-9]。各浮游植物类群对叶绿素 a 贡献通过 CHEMTAX 程序因子分析方法对 13 种特征光合色素数据转化而来^[6,8-9],表示为叶绿素 a 生物量($\mu\text{g}/\text{m}^3$ Chl a)。浮游植物类群分为硅藻(Bacillariophyta)、绿藻(Chlorophyta)、甲藻(Dinoflagellates)、定鞭金藻(Prymnesiphyceae)、Pelagophytes、隐藻(Cryptophyta)、蓝藻(Cyanobacteria)和原绿球藻(Prochlorophyta)八类。其中绿藻包括绿藻纲(Chlorophyceae)和青绿藻纲(Prasinophyceae)。特征光合色素与叶绿素比值初始值参用

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元