

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **2012**

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 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王 强,袁兴中,刘 红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张 霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856)
专论与综述	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864)
全球 CO_2 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892)
研究简报	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任 珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-11



封面图说: 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

彩图提供: 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI:10.5846/stxb201109191373

朱卫红,郭艳丽,孙鹏,苗承玉,曹光兰.图们江下游湿地生态系统健康评价.生态学报,2012,32(21):6609-6618.

Zhu W H, Guo Y L, Sun P, Miao C Y, Cao G L. Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6609-6618.

图们江下游湿地生态系统健康评价

朱卫红^{1,2,*}, 郭艳丽², 孙 鹏², 苗承玉², 曹光兰²

(1. 长白山生物资源与功能分子教育部重点实验室, 延吉 133002; 2. 延边大学 理学院地理系, 延吉 133002)

摘要:湿地是世界上具有独特结构与功能的生态系统,图们江流域湿地生态系统的健康对该区乃至东北亚地区综合生态系统网络的建设具有重要意义。选择图们江流域下游为研究区,基于压力-状态-响应(PSR)模型,在压力系统、状态系统、响应系统三个层面选取 30 个指标构建了图们江下游湿地生态系统健康评价指标体系,运用层次分析法和多级模糊综合评判法对研究区湿地生态健康状况进行综合评价,其结果为 0.5878,处于亚健康状态。其中,压力系统的健康指数为 0.5292,响应系统的健康指数为 0.6866,状态系统的健康指数为 0.5116,各等级隶属度 $S=(16.83\%, 25.37\%, 16.76\%, 16.97\%, 24.07\%)$ 。主要表现在研究区域湿地的补水水质差,导致湿地水质污染加重,富营养化现象严重;并且由于人为因素,湿地大面积退化,景观破碎化加剧,功能逐渐丧失,生产力水平下降;急需对本区域湿地进行保护与管理。

关键词:湿地;健康评价;生态系统;图们江下游

Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream

ZHU Weihong^{1,2,*}, GUO Yanli², SUN Peng², MIAO Chengyu², CAO Guanglan²

1 Key Laboratory of Natural Resources of Changbai Mountain & Functional Molecules, Yanji Jilin 133002, China

2 Geography Department College of Sciences, Yanbian University, Yanji 133002, China

Abstract: Wetlands, forests and oceans form the three global ecosystems. Wetlands are the natural integration of aquatic and semi-aquatic organisms in a wet environment, and they have a unique structure and function. Wetlands are an important natural resource and one of the most important environments for humans. They not only offer the resources necessary for human survival but also play an important role in ameliorating weather conditions, flood storage, and the control and reduction of environmental pollution. Wetlands have thus been called the "kidney of the earth". However, due to increased human activities and lack of understanding of the functions and values of wetlands, most wetlands have been unsustainably exploited and/or destroyed in the last few decades. From the start of human civilization, wetlands have been targets of land development. Reclaiming land from lakes and large-scale agricultural development in wetlands causes tremendous change in wetland landscapes and results in serious environmental problems. Such problems have finally drawn our attention to the value of these ecosystems. Increasingly, research has investigated the relationships between human activities and changes in wetland landscape patterns and the climate. The health of the Tumen River region wetland ecosystem is locally and regionally important in Northeast Asia.

In this paper, we summarize the current health conditions of national and international wetland eco-systems, and establish an evaluation system for ecological health, suitable for the wetland ecosystem of the lower reaches of the Tumen River. In this system, a health assessment index for wetland ecosystems is constructed based on five health stage criteria: primary health; health; secondary health; general sickness and disease, and by combining wetland characteristics using

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40961011);吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(2011-437)

收稿日期:2011-09-19; **修订日期:**2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: whzhu@ybu.edu.cn

pressure-status-response models. The system is divided into three item layers and eight factor layers, with 30 indicators in total, and provides quantitative standard values for each indicator. The index system includes several major indicators including those reflecting physics, chemistry, biology, landscape features, ecology, socio-economy, and human health. The weight of each index is calculated using an analytic hierarchy process and then the final index value calculated using a three-step, fuzzy, comprehensive evaluation method. An index value of 0.5878 was obtained as the overall health index of the wetland ecosystem in the lower reaches of Tumen River, which can be categorized as a sub-healthy state. The health index for the pressure system was 0.5292, the response system was 0.6866, and the state system was 0.5116. The membership at each level was 16.83%, 25.37%, 16.76%, 16.97%, and 24.07%.

The factors lowering the ecological health of the wetlands in the lower reaches of Tumen River are: the poor quality of water replenishing the wetlands resulting in serious water pollution, severe eutrophication; the degradation of the wetland area influenced by human factors; the fragmentation of the landscape and the decline in productivity levels. These factors have ultimately reduced the resistance of this wetland ecosystem, and thus increased the vulnerability of the wetland to certain threats. Based on analyses of the underlying causes of these threats, strategies for health protection, recovery and sustainable development of the wetland ecosystem of the lower reaches of the Tumen River are proposed. Wetlands in this region need science-based conservation and management.

Key Words: wetland; health assessment; ecology; Tumen River

湿地是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统,是自然界最富生物多样性的生态景观之一,在抵御洪水、调节径流、改善气候、控制污染、美化环境和维护区域生态平衡等方面有着其它生态系统所不能替代的作用,被誉为“地球之肾”^[1]。然而,由于人类活动的加剧以及人们对湿地功能与价值认识的不足,不合理的开发与利用时有发生,湿地资源正受到严重破坏。据统计,16 世纪以来,美国有 50% 的湿地已经消失,即使现在,湿地仍以每年 80000—160000hm² 的速度消失^[2]。据 1994 年第一次全国湿地资源调查资料,我国有 95.2% 的重点湿地受到威胁,其中 30% 的重点湿地受到开垦和改造的威胁,26.1% 的重点湿地受到污染威胁,24.2% 的重点湿地受到生物资源孤独利用的威胁,8% 的重点湿地受到水土流失和泥沙淤积的威胁,6.6% 的重点湿地受到水资源不合理利用的威胁^[3]。图们江流域在近 50a 间,天然湿地面积减少了 50% 以上^[4]。在这种背景之下,湿地的损失以及由此造成的环境问题使人们认识到了湿地保护的重要性。湿地生态系统健康评价,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^[5]。

本文在选取图们江流域下游敬信湿地为研究区,在压力、状态、响应 3 个层面选取了 30 个评价指标,建立了适合该地区的评价指标体系,经层次分析法确定权重之后,采用多级模糊综合评价模型对其进行了健康评价,其结果可为该区乃至整个图们江流域湿地的保护与管理提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

图们江下游湿地主要位于珲春市敬信镇,是中、俄、朝三国交界地区。地理位置为 42°27′—42°40′N,130°25′—130°39′E。海拔高度 5—15m。由于距日本海较近,受海洋的影响较大,年平均气温 5.6℃,年均降雨量 823.7mm,属中温带近海性季风气候区。与同纬度地区相比,其特点是冬暖夏凉,春秋季风大,多阴寡照,降水充沛。土壤共分 8 个土类,以白浆土、草甸土为主。该地区江河纵横、湖泊棋布,动植物资源丰富,其中湿地高等野生植物 51 科 305 种,主要植物群落有 10 种。野生动物分类计 31 目 62 科 190 种,其中鱼类 7 目 10 科 42 种,两栖爬行类,3 目 7 科 8 种,鸟类 15 目 32 科 126 种,兽类 6 目 13 科 24 种。图们江及江中沙洲、孤岛、沿岸沙滩的芦苇沼泽是本区丹顶鹤、白尾海雕、虎头海雕、白额雁等世界濒危水禽及珍稀野生动物的繁殖和栖息地;是吉林省珍稀鲑科 3 种麻哈鱼的唯一产地;是林蛙、鳖、草虾等生物以及芦苇、菱角、莲藕等水生经济作物

的产地之一(珲春东北虎保护区科考报告)。

图们江下游湿地总面积为 4805.5hm²,据本研究组对图们江下游敬信湿地动态变化及驱动机制的研究,近 50a 间,有 22.48% 的沼泽和 52.48% 的天然湿地因缺水而退化,50.76% 的水田转化为旱地、建筑用地等其他土地利用类型^[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process 简称 AHP)是美国运筹学家 A. L. saaty 于 20 世纪 70 年代提出的对方案的多指标系统进行分析的一种层次化、结构化决策方法,它将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化。应用这种方法,决策者按支配关系将复杂问题分解为若干层次和若干因素,通过两两比较的方式确定诸要素的相对重要性,然后综合人的判断来确定诸要素相对重要性的顺序。根据徐建华 AHP 决策分析方法介绍,步骤如下^[7]。

首先,构建层次模型,在 PSR 概念模型的指导下,借鉴相关文献研究,将各要素划分为 3 个层次:目标层(A)、准则层(B)、指标层(C)。其次,构造判断矩阵,形式如下:

A	B_1	B_2	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
...	...	...	...	...
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

其中, b_{ij} 表示对于 A 而言, B_i 相对于 B_j 的重要程度,一般采用 1、3、5、7、9 为标度(表 1)。

表 1 相对重要性标度

Table 1 Relative importance scale

标度(b_{ij}) Scale	定义 Define	标度(b_{ij}) Scale	定义 Define
1	B_i 因素与 B_j 因素同等重要	3	B_i 因素比 B_j 因素稍微重要
5	B_i 因素比 B_j 因素比较重要	7	B_i 因素比 B_j 因素十分重要
9	B_i 因素比 B_j 因素绝对重要	2、4、6、8	分别处于以上标度值的中间状态
$B_{ji} = 1/b_{ij}$	依照以上的标度, B_i 因素比 B_j 因素的不重要程度		

构建的矩阵要进一步检验矩阵的一致性, RI 为随机一致性比例, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征根,当一致性检验结果 $CR \leq 0.1$ 时,表明计算结果对原矩阵具有满意的一致性。其中:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

1.2.2 模糊综合评判法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评标方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。图们江下游湿地生态涉及的指标众多且大多具有模糊性,优劣程度难以确定,故本文运用模糊综合评价法来进行评价。

(1) 评价模型及隶属度函数的构造

本文采用 3 级模糊综合评判。

构建的指标体系要素层的二类指标为压力指标、状态指标、人类响应指标即模糊综合评判模型的 3 个亚类指标。 W_{ij} 为二级指标下三级指标的权重向量; W_i 为一级指标下二级指标的权重向量; W 为一级指标之间的权重向量; R_{ij} 为二级指标相对于评语的单因素模糊隶属度评判矩阵; R_i 为三级指标相对于评语的单因素模糊隶属度评判矩阵; R 是一级指标之间的评判矩阵; B_i 是二级指标的评判结果; B 是一级指标之间的最终诊

断结果; S 为综合评判分值; C 为评语等级评分行向量:

$$B = W \cdot R = W \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = W \cdot \begin{bmatrix} W_1 \cdot R_1 \\ W_2 \cdot R_2 \\ W_3 \cdot R_3 \end{bmatrix} = W \cdot \begin{bmatrix} W_1 \cdot \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{12} \end{bmatrix} \\ W_2 \cdot \begin{bmatrix} B_{21} \\ B_{22} \\ B_{23} \\ B_{24} \end{bmatrix} \\ W_3 \cdot B_3 \end{bmatrix} = W \cdot \begin{bmatrix} W_1 \cdot \begin{bmatrix} W_{11} \cdot R_{11} \\ W_{12} \cdot R_{12} \end{bmatrix} \\ W_2 \cdot \begin{bmatrix} W_{21} \cdot R_{21} \\ W_{22} \cdot R_{22} \\ W_{23} \cdot R_{23} \\ W_{24} \cdot R_{24} \end{bmatrix} \\ W_3 \cdot [W_3 \cdot B_{33}] \end{bmatrix} \quad S = B \cdot C^T$$

(2) 隶属度函数的构造

为了消除各等级间数值相差不大或状况区别不明显,而评语等级可能相差一级的跳跃现象的存在,使隶属函数在各级之间能够平滑过渡,可将其进行模糊化处理。按照从很健康到疾病的顺序,等级划分临界值依次为 k_1 、 k_3 、 k_5 、 k_7 , 等级区间中点依次为 k_2 、 k_4 、 k_6 。

$$R_{i1} = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{\mu_i - k_1}{\mu_i - k_2}) & \mu_i \geq k_1 \\ 0.5(1 - \frac{\mu_i - k_1}{k_1 - k_2}) & k_2 < \mu_i \leq k_1 \\ 0 & \mu_i \leq k_2 \end{cases} \quad R_{i2} = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{\mu_i - k_1}{\mu_i - k_2}) & \mu_i \geq k_1 \\ 0.5(1 + \frac{\mu_i - k_1}{k_1 - k_2}) & k_2 < \mu_i \leq k_1 \\ 0.5(1 + \frac{\mu_i - k_3}{k_2 - k_3}) & k_3 < \mu_i \leq k_2 \\ 0.5(1 - \frac{k_3 - \mu_i}{k_3 - k_4}) & k_4 < \mu_i \leq k_3 \\ 0 & \mu_i \leq k_4 \end{cases}$$

$$R_{i3} = \begin{cases} 0 \\ 0.5(1 - \frac{\mu_i - k_3}{k_2 - k_3}) \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - \mu_i}{k_3 - k_4}) \\ 0.5(1 + \frac{\mu_i - k_5}{k_4 - k_5}) \\ 0.5(1 - \frac{k_5 - \mu_i}{k_5 - k_6}) \\ 0 \end{cases} \quad R_{i4} = \begin{cases} 0 \\ 0.5(1 - \frac{\mu_i - k_5}{k_4 - k_5}) \\ 0.5(1 + \frac{k_5 - \mu_i}{k_5 - k_6}) \\ 0.5(1 + \frac{k_7 - \mu_i}{k_6 - k_7}) \\ 0.5(1 - \frac{k_7 - \mu_i}{k_6 - \mu_i}) \end{cases}$$

$$R_{i5} = \begin{cases} 0 & \mu_i > k_6 \\ 0.5(1 - \frac{\mu_i - k_7}{k_6 - k_7}) & k_7 < \mu_i \leq k_6 \\ 0.5(1 + \frac{k_7 - \mu_i}{k_6 - \mu_i}) & \mu_i \leq k_7 \end{cases}$$

对于定量指标中越大越优型指标,其隶属度可以直接采取以上公式计算;对于越小越优型指标,各指标隶属度计算时需要将条件中的“<”和“>”、“≤”和“≥”分别互换即可;对于定性指标用专家打分法来确定其隶属度。

2 图们江下游湿地生态系统健康评价指标体系的建立

2.1 概念模型的选取

PSR 模型最初由 Tony Friend 和 David Rapport 提出,用于分析环境压力、现状与响应之间的关系。20 世纪 70 年代,国际经济合作与发展组织(OECD)对其进行了修改并用于环境报告;80 年代末 90 年代初,OECD 在进行环境指标研究时对模型进行了适用性和有效性评价^[8];目前许多政府和组织都认为 PSR 模型仍然是

用于环境指标组织和环境现状汇报最有效的框架^[9]。PSR 模型以因果关系为基础,即人类活动对环境施加一定的压力,因为这些压力,环境改变了其原有的性质或自然资源的数量(状态);人类又通过环境、经济和管理策略等对这些变化作出反应,以恢复环境质量或防止环境退化^[10]。一般意义的 PSR 模型如图 1。

根据图们江下游湿地的实际情况和现有考察调查资料,结合 PSR 模型,建立研究区湿地 PSR 框架模型如图 2。

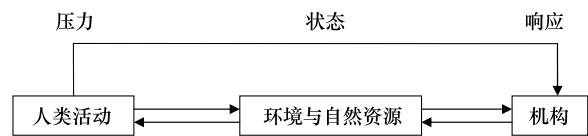


图 1 压力-状态-响应模型

Fig. 1 pressure-state-response (PSR) model

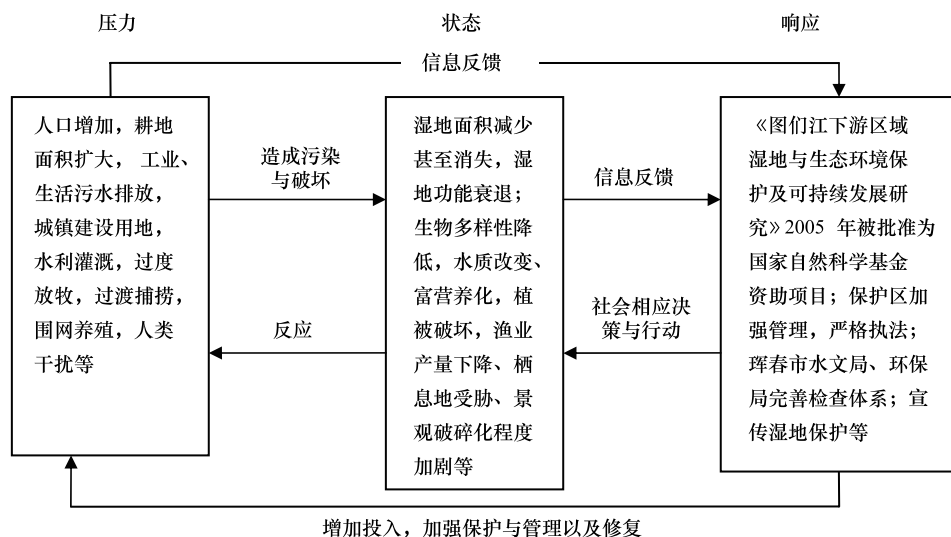


图 2 图们江下游湿地 PSR 模型

Fig. 2 PSR model of wetlands in the tumen river downstream

2.2 评价指标体系的确定

湿地生态系统健康评价指标的选取不仅要考虑生态、经济、社会三要素相整合,而且还需要考虑不同管理条件下所导致的湿地生态过程、经济结构、社会组成的动态变化,以利于维持湿地系统的持续性^[11]。

图们江下游湿地生态系统相对比较复杂,通过对该区湿地资源的实际调查,以及对保护局、环保局调查资料数据的分析,并借鉴相关研究,根据评价指标选取应遵循的整体性、敏感性、生态脆弱性、科学性和可操作性原则^[12],运用 PSR 模型,确定了从压力、状态、响应 3 个方面筛选出的 30 项指标,构建了图们江下游湿地生态系统的健康评价体系(表 2)。其中,湿地受胁迫状况选取人类对湿地的各种扰动因素,包括过度渔猎、割草、养殖等胁迫因子,定性定量相结合进行描述,因这几种扰动因素皆是生物因子,所以归入到生物指标里面;湿地面积变化选取优势物种芦苇的长势替代,所以也归入到生物指标。

2.3 湿地健康评价及评价标准的确定

按照一般通用的评价方法,用连续的实数区间 $[0,1]$ 表示各等级的标准值。生态系统健康状况处于最佳状态时,其值为 1;处于最差状态时,其值为 0。将健康状态评价等级分为 5 级:很健康(0.8—1.0)、健康(0.6—0.8)、亚健康(0.4—0.6)、一般病态(0.2—0.4)、疾病(0—0.2)(表 3)。同时在参考大量文献^[13-16]的

表2 图们江下游湿地生态系统健康评价指标体系

Table 2 The wetland ecological health assessment index system of the Tumen River downstream

目标层 Object layer	项目层 Item layer	要素层 Factor layer	指标层 Indicators layer
图们江下游湿地生态系统 健康评价指标	压力系统(A1)	自然压力(B1)	自然灾害(C1)
		人类压力(B2)	土地利用强度(C2)
			人口密度(C3)
			农药施用强度(C4)
			化肥施用强度(C5)
			工业、生活污水处理指数(C6)
	状态系统(A2)	物理化学指标(B3)	水质等级(C7)
			富营养化程度(C8)
			土壤有机质含量(C9)
			植被覆盖率(C10)
			湿地受威胁状况(C11)
			生物多样性(C12)
		生物指标(B4)	物种濒危状况(C13)
			优势性植物覆盖率(C14)
			初级生产力水平(C15)
			湿地面积变化(C16)
		景观指标(B5)	景观多样性指数(C17)
			景观破碎度指数(C18)
			平均斑块面积(C19)
		功能指标(B6)	物质生产功能(C20)
			洪水调控功能(C21)
			文化教育功能(C22)
			观光旅游功能(C23)
			侵蚀控制(C24)
			栖息地状况(C25)
	响应系统(A3)	人类响应(B7)	周边人口素质(C26)
			环保投资指数(C27)
			湿地管理水平(C28)
			物质生活指数(C29)
			政策法规贯彻力度(C30)

表3 湿地健康等级划分标准

Table 3 Wetland health rating standard

综合指数 Composite index	等级 Level	系统特征 System characteristics
0.8—1.0	很健康(Ⅰ)	湿地生态系统保持良好的自然状态,活力极强,组织结构十分合理,生态功能极其完善,人类活动干扰等外界压力很小,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
0.6—0.8	健康(Ⅱ)	湿地生态系统自然状态保存较好,活力比较强,组织结构较合理,生态功能较完善,湿地格局尚完美,弹性度比较强,人类活动干扰等外界压力小,湿地变化很小,无生态异常,系统尚稳定,处于可持续状态
0.4—0.6	亚健康(Ⅲ)	湿地生态系统自然状态受到一定的影响,结构发生一定程度的变化,受人类活动影响较大,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
0.2—0.4	一般病态(Ⅳ)	湿地生态系统自然状态受到相当程度的破坏,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,人类活动影响较大,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
< 0.2	疾病(Ⅴ)	湿地生态系统自然状态受到严重程度的破坏,地生态系统活力极低,组织结构极不合理,人类活动影响很大,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

基础上,结合图们江湿地的实际情况,确定了图们江下游地区湿地健康评价分级标准。在量化过程中,每一个评价因子按照相应的参照标准,依据相应的强度指数分级标准划分为 5 个等级。同样,所求出的湿地生态系统健康状况的综合指数的值域也在 $[0, 1]$ 中,并以综合指数的计算值将湿地的健康状况划分为五个等级标准。

2.4 指标现状计算与归纳结果

根据计算得出图们江下游各指标的现状结果(表 4)。

表 4 图们江下游湿地各指标现状结果

Table 4 indicator status results of the wetlands in the tumen river downstream

评价指标 Evaluation indicator	量化标准 Quantitative standard	评价数据 Evaluation data	数据来源 Data source	对应等级 Corresponding level
C1	旱涝灾害发生频次及湿地病虫害的发生频度、破坏力度来说明	平均每 4 年一次洪灾	统计数据	Ⅱ级
C2	建设、围垦养殖面积统计	干扰强度为 15.5%	统计数据	Ⅱ级
C3	单位面积人口数量,单位:人/ hm^2	43 人/ hm^2	统计数据	I 级
C4	以每年每公顷施用化肥量统计,单位为 kg/hm^2	328 kg/hm^2	统计数据	Ⅲ级
C5	以每年每公顷施用农药量统计,单位为 kg/hm^2	3.1 kg/hm^2	统计数据	Ⅲ级
C6	以污水、废水处理率表示	2007 年珲春市生活、工业废水 处理率为 38.46%	统计数据	V 级
C7	国家标准	2007 年图们江劣 V 类, 珲春河Ⅲ类	统计数据	V 级
C8	水体中含氮磷的程度	中营养	实际监测	Ⅳ级
C9	土壤中有机质含量	平均为 3.16%	统计数据	I 级
C10	森林覆盖面积占全市总面积比	95.3%	统计数据	I 级
C11	以湿地内人类各种扰动为基础,包括过度渔猎、割草、养殖等胁迫因子,定性定量相结合	较严重	实地考察	Ⅳ级
C12	迁徙期平均每天单位面积栖息鸟类数量	平均每天有 57 只/ hm^2	统计数据	Ⅳ级
C13	湿地区高等植物物种占整个图们江流域高等植物物种的百分比	14.59%	统计数据	V 级
C14	物种的珍惜程度、状况来确定	珍惜物种多样	统计数据	I 级
C15	以优势物种苔草、芦苇的面积统计	5.4%	实地监测	Ⅳ级
C16	以优势物种芦苇的长势替代	平均 1.3m	实地监测	Ⅱ级
C17	以现有湿地内退化湿地面积的百分比表示	变化率 2.68%	Alos 解译数据	Ⅳ级
C18	2009 年 Alos 影像解译数据	0.4795	Alos 解译数据	Ⅲ级
C19	2009 年 Alos 影像解译数据	0.0533	Alos 解译数据	Ⅲ级
C20	2009 年 Alos 影像解译数据	18.77 hm^2 ,退化率为 56.7%	Alos 解译数据	Ⅳ级
C21	以图们江下游年捕捞收获量增加或减少率表示	年均减少 8.09%	统计数据	V 级
C22	以人工附加工程的弥补,如筑堤、水库、滞洪区建设等来定性分析	较完善	考察调查结合统计	Ⅱ级
C23	科研价值和教育意义	科研价值高	考察调查	Ⅱ级
C24	以景观美学价值的高低、湿地旅游活动和娱乐日的增减情况来衡量	较高	考察调查	Ⅲ级
C25	用水土流失率来表示	15%	统计数据	Ⅳ级
C26	文盲人数占周边人口的百分比来表示	4.51%	统计数据	Ⅱ级
C27	环保投资占 GDP 比重来表示	0.46%	统计数据	V 级
C28	采用定性方法,以湿地管理队伍的整体水平来衡量	管理队伍水平较高	考察调查	I 级
C29	人均 GDP	5070 元	统计数据	I 级
C30	定性分析	积极贯彻	调查	Ⅱ级

3 图们江下游湿地生态系统健康评价

3.1 权重的确定

根据 AHP 分析方法要求,本研究设计图们江下游湿地生态系统健康评价指标权重系数问卷表,邀请中国科学院东北地理与农业生态研究所、北京师范大学、东北师范大学、南开大学、延边大学等湿地专家以及生态环境相关专家,通过两两比较对每一层相对于上一层相对重要性以及各层因素之间的相对重要性给出判断值。依此构建判断矩阵,经过计算机数据处理进行层次单排序和层次总排序,得到各因素权重值(取整数)。结果经一致性检验, $CR < 0.1$, 判断矩阵具有满意的一致性。发放专家问卷 30 份,收回 30 份,对其中有效的 29 份问卷进行量化分析见表 5。

3.2 评价方法

图们江下游湿地生态涉及的指标众多且大多具有模糊性,优劣程度难以确定,故本文运用模糊综合评价法来进行评价。将图们江下游湿地压力各指标现状值代入隶属度公式,可得湿地压力系统隶属度为:

$$R_{11} = [0.300 \quad 0.500 \quad 0.200 \quad 0.000 \quad 0.000]$$

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.950 & 0.050 & 0.000 & 0.000 \\ 0.716 & 0.284 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.720 & 0.280 & 0.000 \\ 0.000 & 0.450 & 0.550 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.151 & 0.849 \end{bmatrix}$$

$$R_{21} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.300 & 0.700 \\ 0.000 & 0.000 & 0.200 & 0.500 & 0.300 \\ 0.972 & 0.018 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{22} = \begin{bmatrix} 0.982 & 0.018 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.200 & 0.500 & 0.300 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.570 & 0.430 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.041 & 0.959 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.260 & 0.740 \\ 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.750 & 0.000 \\ 0.000 & 0.964 & 0.036 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{23} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.897 & 0.103 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.146 & 0.854 \\ 0.798 & 0.202 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

表 5 图们江下游湿地生态系统健康评价指标权重

Table 5 health evaluation index weights of wetland ecosystem in the tunmen river downstream

项目层(权重) Object layer (weight)	要素层(权重) Factor layer (weight)	指标层(权重) Indicators layer (weight)	归一化权重 Normalized weight
A1(0.2367)	B1(0.3100)	C1(1)	0.0734
		C2(0.1775)	0.0290
		C3(0.1190)	0.0194
		C4(0.2070)	0.0338
		C5(0.2096)	0.0342
		C6(0.2869)	0.0468
A2(0.5267)	B3(0.2953)	C7(0.4631)	0.0720
		C8(0.3547)	0.0552
		C9(0.1822)	0.0283
		C10(0.0967)	0.0166
		C11(0.1123)	0.0193
		C12(0.1718)	0.0295
	B4(0.3263)	C13(0.0897)	0.0154
		C14(0.1042)	0.0179
		C15(0.1406)	0.0242
		C16(0.1042)	0.0179
		C17(0.1806)	0.0310
		C18(0.3745)	0.0336
A3(0.2367)	B5(0.1704)	C19(0.2510)	0.0225
		C20(0.3745)	0.0336
	B6(0.2081)	C21(0.1500)	0.0164
		C22(0.3081)	0.0338
		C23(0.1278)	0.0140
		C24(0.1180)	0.0129
	B7(1)	C25(0.2961)	0.0324
		C26(0.1359)	0.0322
		C27(0.2791)	0.0661
		C28(0.1947)	0.0461
		C29(0.1112)	0.0263
		C30(0.2791)	0.0661

$$R_{24} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.118 & 0.882 \\ 0.300 & 0.500 & 0.200 & 0.000 & 0.000 \\ 0.300 & 0.500 & 0.200 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.200 & 0.600 & 0.200 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.200 & 0.500 & 0.300 \end{bmatrix}$$

$$R_{31} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.000 \\ 0.700 \\ 0.561 \\ 0.300 \end{bmatrix} \quad C = (1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)$$

3.3 图们江下游湿地生态系统健康状况

图们江下游湿地健康评价过程中所运用的指标及其标准不同,对各个指标的处理方法也就不同,最终反映在评价结果也会有所差别,由于每个评价因子都是湿地生态系统的一部分,都对评价结果有一定的贡献。所以本研究考虑到各个因素对健康评价的结果都有其影响性,本论文采用了改进的加权求和模型 $B = W \times R$,即:

$$b_j = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot r_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

结果如下:

$$\text{压力系统健康指数为 } P_1 = B_1 \cdot C^T = W_1 \cdot (B_{11}, B_{12}, \dots)^T \cdot C^T = 0.5292$$

$$\text{状态系统的健康指数为 } P_2 = B_2 \cdot C^T = W_2 \cdot (B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24})^T \cdot C^T = 0.5116$$

$$\text{响应系统的健康指数为 } P_3 = B_3 \cdot C^T = W_3 \cdot (B_{31})^T \cdot C^T = 0.6866$$

则综合评价指数为:

$$B = W \cdot R = W \cdot (B_1, B_2, B_3)^T = (0.1683, 0.2537, 0.1676, 0.1697, 0.2407)$$

$$P = B \cdot C^T = 0.5878$$

3.4 结果分析

综上所述可以得出,图们江下游湿地生态系统综合健康指数为 0.5878。根据图们江下游湿地生态系统健康评价等级标准可知,目前图们江下游湿地生态系统健康属于第Ⅲ等级(亚健康)。从分级上来讲,根据隶属度可知(图 3),整个图们江下游地区的生态系统在 16.83% 处于很健康状态,25.37% 属于健康状态,16.76% 属于亚健康状态,16.97% 属于一般病态,24.07% 属于疾病状态。

如图 4 所示,从子系统层面来看,压力系统的健康指数为 0.5292,属于亚健康,说明图们江下游湿地生态系统存在一定的压力,对整个系统存在一定的威胁,从隶属度来看,化肥施用以及工业、生活污水排放不容忽视。状态系统的健康指数为 0.5116,也属于亚健康状态,说明湿地生态系统健康状态受到了破坏或者威胁,已经出现不健康的征兆。从隶属度矩阵可以知道制约湿地生态健康的主要因素是水质等级,水体富营养化,生物多样性,水禽栖息指数,优势性植物覆盖率,平均斑块面积指数,物质生产功能;响应系统的健康指数为 0.6866,属于健康状态,可知相关管理人员对保护图们江下游湿地做了一定工作,体现了一定的作用,但还需进一步加强保护管理水平,其限制性因素是环保投资指数。

根据图们江下游湿地生态系统健康综合评价结果,整个湿地生态系统为健康与亚健康过渡状态,即湿地生态系统自然状态受到一定的影响,结构发生一定程度的变化,受人类活动影响较大,接近湿地生态阈值,系统尚稳定,但敏感性强,湿地生态系统可维持,但已有少量的生态异常出现,主要表现为:污水处理率低,水质差、富营养化程度严重,自然湿地面积退化,生物多样性下降,水禽栖息地破坏,景观多样性差,板块面积小,系统的外部胁迫力较大,功能有所下降,湿地开发中过多施用化肥、农药,湿地受保护水平较低。由此可见影响湿地生态健康的因子既有湿地自身生态过程,也有人类活动作用。图们江下游湿地生态系统目前健康状况存在隐患,存在一定的压力,并且随着流域内人为干扰的日益加剧,有趋于恶化的趋势,健康受到了一定的威胁,并且已经进入到亚健康状态。因此,需要控制图们江下游湿地生态系统健康的压力和生态威胁,并采取相应的调整和恢复对策使其朝良性方向发展。未来图们江下游湿地生态系统的健康状态的好坏有待于继续加强保护和管理方面的工作,更好的发展,取决于管理人员对威胁图们江下游湿地的压力影响因素的控制,以及对

湿地实施更好的保护及管理对策。

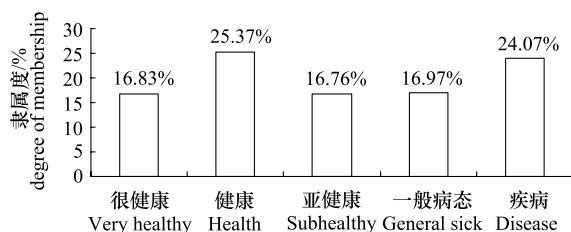


图3 图们江下游湿地生态系统综合评价结果

Fig.3 Comprehensive evaluation results of wetland ecosystem in the tumen river downstream

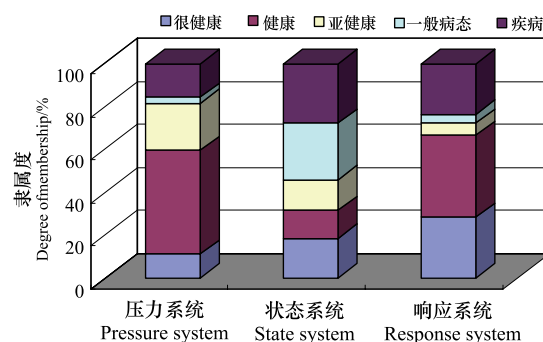


图4 图们江下游湿地项目层各因素隶属度

Fig.4 The project factors of fuzzy membership function value of the tumen river downstream wetland

References:

- [1] Zhao K Y. The kidney of the earth-Wetland [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:8.
- [2] Mitsch W J, Mitsch R H, Turner R E. Wetland of the old and new world: ecology and management // Mitsch W J, ed. Global Wetlands: Old World and New. Netherlands: Elsevier, 1994.
- [3] Liu L Y. The Study on the Wetlands Evolution and Its Driving Force in the Yellow River Delta [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2007.
- [4] Sun P. Research of Wetland Changes and Driving Force in Tumen River Basin for the past 50 years [D]. Yanji: Yanbian University, 2011.
- [5] 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.
- [6] Sun P, Zhu W H, Mao C Y, Zhang D, Fu J. Dynamic changes and driving force in Jingxin wetlands at the lower reaches of Tumen River Area. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2011, 33(1):15-21.
- [7] Xu J H. Quantity Geography. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [8] Hamdaoui O, Naffrechoux E. Sonochemical and photochemical degradation of 4-chlorophenol in aqueous media. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(6):981-987.
- [9] Zhang Z, Zhang J W, Li Y N, Wang X, Liu H, Zhang J G. Study on ecological evaluation index system for wetland. Agro-Environmental Protection, 1999, 18(6):283-285.
- [10] Jiang W G. Evaluation of wetland ecological system health based on the RS and GIS: take Panjin city in Liaohu delta as an sample [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2003:42-43.
- [11] Simpson R D. Economic analysis and ecosystems: Some concepts and issues. Ecological Applications, 1998, 8(2):342-349.
- [12] Yang S, Li Y W, Lü Y Z. The assessment index system of Zhalong wetland eco-security. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(5):127-132.
- [13] Gao G Q. The Study on Health Evaluation of Dongping Lake Wetland Ecosystem [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2006.
- [14] Wang W. Comprehensive Appraisal of Wetland Ecosystem Health in the Yellow River Delta [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2007.
- [15] Mao Y W. Health Assessment on Coastline Wetland Ecosystem Around the Yangtze River Delta [D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [16] Zheng Y H. Coastal Mangrove Wetland Ecosystem Health Assessment: A Case Study of Mangrove in Qi'ao Island, Pearl River Estuary [D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University. 2009.

参考文献:

- [1] 赵魁义. 地球之肾-湿地. 北京: 化学工业出版社, 2002:8.
- [3] 刘丽云. 黄河三角洲湿地演化及其驱动力研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2007.
- [4] 孙鹏. 近 50 年图们江流域湿地景观动态变化及驱动机制研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2011.
- [5] 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.
- [6] 孙鹏, 朱卫红, 苗承玉, 张达, 付婧. 图们江下游微湿地动态变化及驱动机制研究. 延边大学学报, 2011, 33(1):15-21.
- [7] 徐建华. 计量地理学. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [9] 张峥, 张建平, 李寅年等. 湿地生态评价指标体系. 农业环境保护, 1999, 18(6):283-285.
- [10] 蒋卫国. 基于 RS 和 GIS 的湿地生态系统健康评价——以辽河三角洲盘锦市为例 [D]. 南京: 南京师范大学, 2003:42-43.
- [12] 杨时, 李玉文, 吕玉哲. 扎龙湿地生态安全评价指标体系研究. 林业科学, 2006, 42(5):127-132.
- [13] 高桂芹. 东平湖湿地生态系统健康评价研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2006.
- [14] 王薇. 黄河三角洲湿地生态系统健康综合评价研究——以垦利县为例 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [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, 2008.
- [16] 郑耀辉. 滨海红树林湿地生态系统健康评价——以珠江口淇澳岛红树林为例 [D]. 广州: 中山大学, 2009.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch) ...	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i>	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
Review and Monograph	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO ₂ level on the physiology and ecology of phytoplankton	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
Scientific Note	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 2012)

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:1000717	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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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