

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

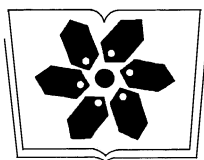
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201109131341

陈展, 林波, 尚鹤, 李勇. 适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法. 生态学报, 2012, 32(21): 6619-6627.

Chen Z, Lin B, Shang H, Li Y. An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6619-6627.

适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法

陈 展¹, 林 波¹, 尚 鹤^{1,*}, 李 勇²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 天津自然博物馆, 天津 300074)

摘要: IBI 指数法是美国湿地生态系统健康评价的常用方法之一, 在国内应用较少, 目前为止只有少数学者尝试了底栖动物完整性指数(B-IBI)和鱼类完整性指数进行河流生态系统健康评价。试图建立适合白洋淀地区的生物完整性指数湿地健康状况评价的方法。在白洋淀的 23 个淀区进行土壤、水体、植物的实地调查与采样分析。根据已有研究所选择的植物属性, 选择了 30 个植物属性作为备选参数。通过考察备选参数与人类干扰的相关性, 最后确定了 9 个对人类干扰敏感的 IBI 参数。通过分析, 建立了适合白洋淀湿地健康评价的标准: IBI, 35—45, 好; 27—34, 一般; 19—26, 差; <18, 极差。评价结果表明, 白洋淀 23 个淀区中, 6 个健康状况好, 5 个一般, 7 个差, 5 个很差。

关键词: 白洋淀; 湿地健康评价; IBI

An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland

CHEN Zhan¹, LIN Bo¹, SHANG He^{1,*}, LI Yong²

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Tianjin Natural History Museum, Tianjin 300074, China

Abstract: Wetlands are valuable resources for sustaining biological diversity, but unfortunately they have historically diminished in both quantity and quality. However, little is known about the degree to which the biology of wetlands changes in response to human disturbances. Recently, wetland condition has been assessed using functional assessment methods. Although functional assessment methods include a function for support of wildlife habitat, they usually do not directly measure the biological communities in wetlands and therefore cannot substitute for a biological assessment method.

Indexes of biological integrity (IBIs) are one of the most commonly used methods by federal and state agencies in the United States to assess the health condition of wetlands. The IBI approach provides a direct measure of aquatic life that is represented by diverse natural flora and faunal communities. Many groups of organisms have been used as indicators to estimate environmental quality. IBIs have rarely been applied in China; they have been reported only in a small number of studies that evaluated the health of stream ecosystems by means of Benthic-IBI and Fish-IBI. Vascular plants are quickly emerging as one of the best indicators of human-mediated disturbances in the environment, and yet no plant-IBI approach has been used to assess wetland health in China.

In this study, we developed a plant-based IBI (P-IBI) to evaluate the condition of the Baiyangdian wetland in

基金项目: 国家林业局 948 项目(2008-4-37); 科技部国家重点基础研究发展计划项目专题(2006CB403307)资助

收稿日期: 2011-09-13; **修订日期:** 2012-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shanghechina@126.com

response to anthropogenic disturbances. Soil, water, and plant samples were collected from 23 sites in the Baiyangdian wetland during field surveys in 2009 and 2010. Thirty vegetation community composition metrics were evaluated, and nine were eventually selected based on the strength of their correlation with the human disturbance gradient. These metrics included: Percentage of native species; Percentage of perennial species; Number of genera of native perennial plant species; Percentage of monocotyledon species; Number of aquatic guild species; Number of sensitive species; Percentage of tolerant species; and Percentage of annual, biennial and introduced species, and so on. The composite scores summed in the IBI score should also show a strong response to the degree of disturbance of the wetland. We delineated plant data into metrics of the data set and analyzed these metrics using principal components (PCs) and cluster analyses. Each of nine metrics that constituted the P-IBI was scored and included in the total IBI score. After analysis, four quality classes (Good, Fair, Poor, and Very Poor) were determined based on the calculated IBI value: 35—45, Good; 27—34, Fair; 19—26, Poor and <18, Very poor. Six of the 23 sites in the Baiyangdian wetland were characterized as Good, five as Fair, seven as Poor, and five as Very Poor. Pearson's correlation analysis between P-IBI and water chemical-physical variables showed that P-IBI corresponded strongly with conductivity (-0.571 , $P < 0.01$), Fe (-0.64 , $P < 0.01$), Cu (-0.59 , $P < 0.01$) and Zn (-0.52 , $P < 0.01$). The results suggested that the P-IBI approach was feasible for assessing the health of the Baiyangdian wetland. Insufficient water supply and deteriorating water quality that could be attributed to human disturbances primarily contributed to the degradation of the Baiyangdian wetland.

Key Words: Baiyangdian wetland; health assessment; IBI (Indexes of biological integrity)

湿地与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统。被誉为“地球之肾”,在各类型生态系统中的效益价值最高^[1]。但随着人口的增长,城市化进程的加快,环境污染加剧,湿地正面临着严峻的考验。湿地面积大量减少,湿地生态系统的结构被破坏,功能衰退;表现为湿地生物多样性降低、水质改变、富营养化等日益严重,湿地健康严重受损。并因此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^[2]。因此,对湿地生态系统进行健康诊断和评价显得格外重要和迫切。

国外对生态系统健康评价方面的研究起步比我国早,美国环保署在开展全国性的湿地生态系统健康状况评价时,根据评价方法的强度和尺度,提出了 3 个层次的湿地健康评价方法,通常称为 Level I, II, III^[3]。Level I,是利用地理信息系统和遥感技术的一种景观尺度的评价方法。其对单个湿地的基本状况的评价精度相对较低,而此方法的一个优点就是可以用较少的资源来评价大面积或大量的湿地。Level II 评价方法是用单个湿地简单的观测数据来快速定性评价局地或区域尺度的状况,对单个湿地的评价精度适中,其优点是可以利用中等资源花费对区域尺度的湿地进行快速评价,是最普遍使用的方法。Level III 评价方法是一种野外采样的定量进行现地评价的强度较大的方法,该方法是精度最高的一种方法,可以评价湿地的健康或生态完整性,但耗费大量的人力、物力和财力。美国环保署建议用 Level III 方法来验证 Level I 和 Level II 评价技术。

生物完整性指数法,即 IBI(Indexes of biological integrity),是一种生物评价方法,是属于 Level III 的湿地健康评价方法。IBI 方法强度较大、要求的人力物力较多,但它能提供一种直接计量水生植物和动物的方法;能有效地用来确定胁迫反应的阈值以及提高管理决策的信心^[4-5];且 IBI 的结果直观,能引起参与的公众以及其他缺乏专业的环境知识而又想参与湿地保护者的共鸣^[6]。由于具有这些优点,IBI 得到了广泛的应用,在美国,应用生物评价方法对湿地进行健康评价的 10 个州中,有 9 个州采用的是 IBI 方法^[7]。

目前我国在湿地健康评价方面的研究工作还比较少,尤其利用 IBI 指数法进行湿地健康评价的研究就更少。2005 年,王备新等^[8]在安徽祁门县开展了利用底栖动物完整性(B-IBI)指数评价大北河和阊江河健康的尝试性研究;2007 年,李强等^[9]对西苕溪溪流健康进行评价,首次尝试采用变异系数法和熵值法计算 B-IBI 各构成指数的权重来提高其健康标准的准确性;2009 年,孙希宁等^[10]同样应用 B-IBI 指数法对庵里水库湿地的生态健康进行了生物学评价;2009 年,Zhu 和 Chang 利用鱼类建立了长江上游的 IBI^[11]。这些研究主要是从

生态特征、功能整合性以及社会政治环境 3 个方面构建指标,运用模糊综合评价法来进行湿地系统健康评价^[12],在利用生物完整性指数 (IBI) 法进行湿地生态系统健康评价方面进行了有意的探索。其他学者基本都是在这个基础上围绕生物、化学、物理和社会几个方面建立一系列指标进行评价,都是定性的评价^[13-14]。因此,本文旨在:(1)借鉴美国环保署的 IBI 湿地健康评价方法;(2)建立适于白洋淀湿地的 IBI 健康评价指标体系;(3)为国内湿地健康评价提供一种新的定量评价方法。

1 研究区概况

白洋淀古称白羊淀,又名西淀,素有“华北明珠”之称。位于河北省中部,保定市以东 45 km ($38^{\circ}43'—39^{\circ}02'N$, $115^{\circ}38'—116^{\circ}07'E$, 海拔 7—8 m), 属安新、任丘、高阳、雄县、容城 5 县所辖,淀区总面积 366 km², 其中沼泽面积 32 960 hm²。淀内纵横沟壑 3 700 多条,共有大小淀泊 143 个,千亩以上的 32 个,百亩以上的 44 个,其中比较著名的大淀泊有白洋淀、烧车淀、捞王淀、藻苣淀、马棚淀等,因白洋淀面积居首,故以此名概称诸淀。水域内有苇田、园田台地、洼地和村庄,其中苇田占白洋淀总面积的 26.6%,园田台地占 7.4%,洼地占 11.5%,淀泊沟壑占 52.3%。

白洋淀的水源补给主要为地表径流和地下水,在枯水季节以地下水补给占主导,洪水期,以地表水补给为主。白洋淀湿地水量损失以蒸发和渗漏为主,年平均蒸发和渗漏量近 3 亿 m³,这对减轻气候干燥程度、调节降水、补充地下水、维护华北地区的生态平衡有着不可替代的作用。白洋淀入淀水量年际变化较大。自 20 世纪 50 年代以来先后出现多次干淀,最为严重的是 20 世纪 80 年代出现连续 5a 彻底干淀,使淀区的生态平衡遭到严重破坏。为了缓解这种情况,从 20 世纪 80 年代以来多次实施了从上游水库向白洋淀补水。

白洋淀有丰富的水生动植物资源,水生植物共有 15 科 30 种,鸟类 19 科 26 种,鱼类资源丰富。随着白洋淀几度干淀,禽类聚居的环境和食物链的破坏,目前白洋淀鱼类和鸟类数量大量减少。人们还开始大量的进行围栏、围堤、池塘和网箱养殖。随着水生植物收获、养殖业以及旅游业的发展,白洋淀受到越来越多的人为干扰,工业废水、淀区养殖业和旅游业等对淀的污染日趋严重,给本区生态环境和生存环境带来严重威胁。据本研究组 2009 和 2010 年两年的调查结果,白洋淀湿地水体的总氮 ((3.25 ± 1.18) mg/L) 和总磷 ((0.42 ± 0.64) mg/L) 水平均已超过国标 (GB 3838—2002) V 类水水质标准,水体富营养化现象已经非常严重。

2 研究方法

2.1 IBI 简介

IBI,即生物完整性指数法由 Karr^[15]首次提出,当时是用鱼类来划分河流系统的质量等级的。随后,美国的研究者们尝试将 IBI 评价方法的生物类群扩大并应用于湿地系统,包括有脊椎动物、藻类、植物和鸟类等^[16]。IBI 是利用一系列与人类干扰密切相关的生物属性来构建一个多参数的指标,一般采用 8—12 个对人类干扰敏感的生物属性来构建多参数指标。

IBI 方法的关键就是要确定组成多参数指标的各生物属性,即与人类干扰密切相关的生物属性,而自然变化对其影响很小,且其测定是经济有效的,这些生物属性被称之为“参数”,并将这些参数合并成一个区域适合的参数^[17]。多参数指标将几个生物属性整合在一起来指示湿地的健康状况,它们对胁迫生物系统的许多因子(物理的,化学的,生物的)都很敏感,且这些指标易于测定和解释^[17-18]。

IBI 方法是一种强度较大的小尺度的湿地健康评价方法,需要进行实地调查和取样测定,劳动强度相对较大,其具体步骤见图 1。

2.2 实地调查与采样分析

分别于 2009 年和 2010 年两次入淀区进行实地调查和采样工作。调查内容包括:(1)收集土地利用和栖息地信息;(2)记录人类干扰信息;(3)采集土壤及水样;(4)记录植物样方内的植物种类及相关信息;(5)利用便携式水质分析仪 (YSI Professional plus) 现场测定水体电导率、溶解氧、pH 值以及温度等水质信息。

共在白洋淀范围内的 23 个淀区进行实地调查,入淀前事先设置调查路线,以轮船作为交通工具,对每个淀区逐一进行全面考察。选取每个淀区内具有代表性的样点至少 3 个,设置 3 m×3 m 的样方,现场记录样方

内的植物种类和相关群落信息。在做群落调查的同时,详细记录每个淀区内的土地利用、栖息地概况和人类干扰信息。西北角的藻荇淀、西南角的羊角淀和马棚淀均已干淀,目前已经种植水稻、玉米等农作物,故只在羊角淀所属的唐河大桥和韩村选取了两个点作为干淀的代表(点 22、23)。所选淀区和采样点详见图 2。

在调查样地内采集土壤和水样,土壤样品使用塑料自封袋保存,水样使用塑料小方瓶加酸保存。样品带回实验室后立即进行各项理化指标测定,重点分析了样品的营养元素和重金属含量,其中土壤测定的指标包括:含水率、pH 值、全氮、全磷、全钾、土壤有机质及重金属;水样测定指标包括:总氮、总磷、钾及重金属。分析测试工作在国家林业局森林生态环境重点实验室完成,其中土壤中全氮采用凯氏定氮仪测定,全磷、全钾及重金属采用 ICP 仪测定;水样总氮测定采用紫外分光光度法,总磷、钾及重金属采用 ICP 仪测定。

2.3 数据分析

在所选的参数中,有一些参数的值是随人类干扰增加而降低的,称之为正参数,而随人类干扰增加而增加的则是负参数,每一个参数都要相应的打分。首先,确定出每个参数值的范围(最小和最大),然后均分成三等分,落入高范围的打 5 分,中间的 3 分,最低的 1 分,如果是负参数则分值刚好相反^[4]。将每个淀区内各个参数的分值加起来即可得到 IBI 总值。对湿地植物群落 9 个参数进行主成分分析,以提取影响白洋淀湿地健康状态的主要影响因素。对所得到的 IBI 值进行聚类分析,将所调查的淀区按质量高低分成几个不同的级别。同时,我们还将各淀区的 IBI 得分值与水体的理化指标进行相关性分析,以期明确水体退化原因,并检验 IBI 方法在白洋淀地区的适用性。数据分析应用统计软件 SPSS16.0 进行。

3 结果

白洋淀地区的实地调查中共发现植物种类 30 科 45 属 58 种,其中挺水植物以芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、香蒲(*Typha orientalis* Presl)、莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)为优势种,浮水植物以水鳖(*Hydrocharis dubia* (Bl.) Backer)、浮萍(*Lemna minor* L.)、紫萍(*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid)、槐叶萍(*Salvinia natans* (L.) All.)居多,沉水植物以篳齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus* L.)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)、菹草(*Potamogeton crispus* L.)为主。

根据已有研究所选择的植物属性^[16,19-20],选择了 30 个植物属性作为备选参数。通过考察备选参数与人类干扰的相关性,最后选择了 9 个对人类干扰敏感的参数(表 1)。9 个参数中,有两个为负参数,即随着人类干扰强度增加这两个指标值随之增加,包括耐受物种百分比,1 年生、2 年生及入侵种百分比。根据 DeKeyser 等^[16]的方法,将各个参数按打分标准分别赋分 1,3,5(表 1),各淀区内这 9 个参数的得分值之和即为其 IBI 总值(表 2)。

白洋淀湿地植物群落 9 个参数的 PCA 分析表明,两个主成了解释了 96.0% 的变异(表 3)。聚类分析将白洋淀湿地植物群落数据分为 4 个类群(图 3),即白洋淀湿地被分成 4 个人类干扰类别或 4 个质量类别。类别 1(差)包括 7 个淀区,类别 2(很差)包括 5 个淀区,类别 3(一般)包括 5 个淀区,类别 4(好)包括 6 个淀区。

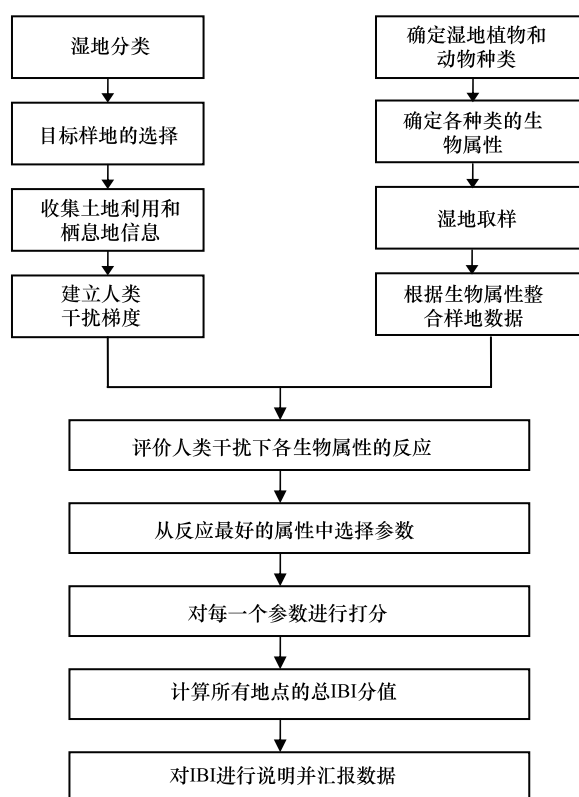


图 1 构建属性参数及 IBI 的步骤,引自 Karr et al., 1986

Fig. 1 Sequence of activities in developing metrics and IBI, quoted from Karr et al., 1986

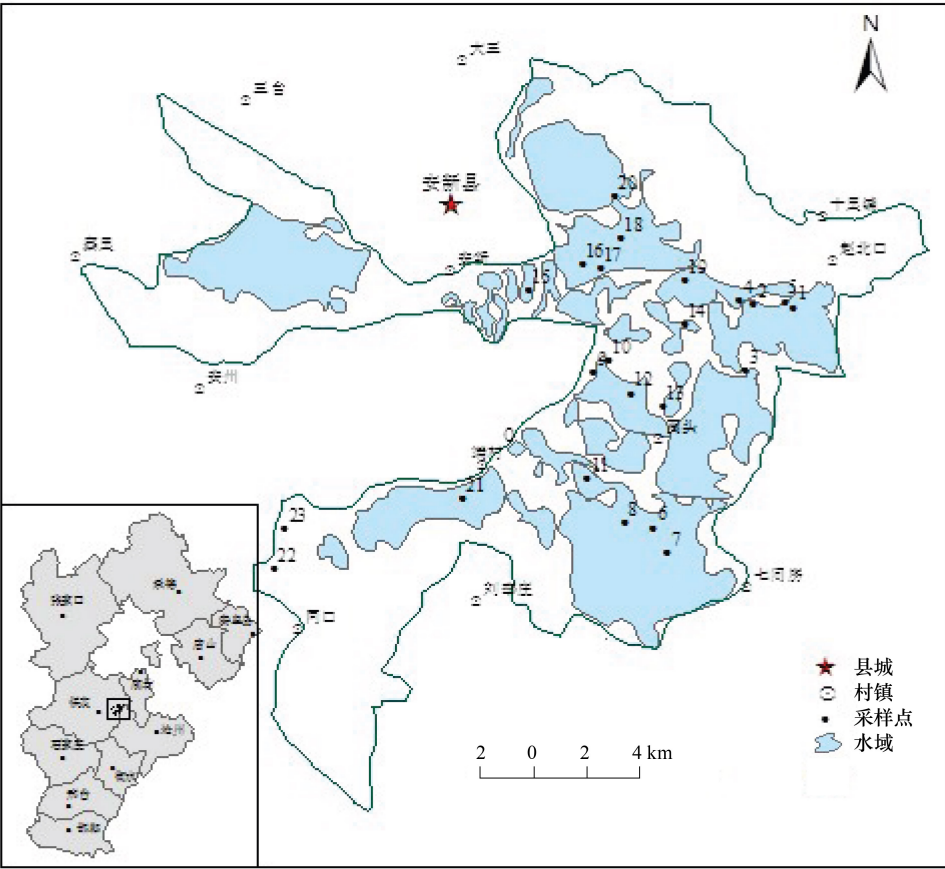


图 2 白洋淀湿地健康评价所选淀区及采样点
Fig.2 Wetland study site locations in Baiyangdian

表 4 给出了 4 个质量等级类别的参数总值即 IBI 得分。

表 1 白洋淀地区 IBI 参数、打分标准及对人类干扰的响应

Table 1 Metrics, scoring criteria and response to human disturbance in the IBI for Baiyangdian Wetland				
参数 Metric	对人类干扰的响应 Response to human disturbance	IBI 得分 IBI score		
		5	3	1
本地种百分比 Percentage of native species/%	减少	>94	90—94	<90
多年生物种百分比 Percentage of perennial species/%	减少	>56	50—56	<50
本地多年生物种属数 Number of genera of native perennial plant species	减少	>13	7—13	<13
单子叶植物百分比 Percentage of monocotyledonous plants/%	减少	>58	54—58	<54
典型水生植物种类 Number of aquatic guild species	减少	>9	5—9	<5
敏感物种数 Number of sensitive species	减少	≥2	1	0
兼性繁殖种百分比 Percentage of species with both sexual and vegetative propagation /%	减少	>33	31—33	<31
耐受物种百分比 Percentage of tolerant species/%	增加	<18	18—33	>33
1 年生、2 年生以及入侵种的百分比 Percentage of annual, biennial, and introduced species/%	增加	<44	44—50	>50

表 2 白洋淀淀区编号、名称、IBI 得分以及人类干扰

Table 2 Wetland number, site identification, and a definition of disturbance type			
淀区编号 Site ID	淀区名称 Site name	IBI 得分 IBI score	人类干扰 Human disturbance
8	后塘	45	静水蓄积区,远离村落,受人类影响较少
1	枣林庄	42	淀区出水口,离污染源较远,水质较好
12	捞王淀	42	少量围网养殖
6	泛鱼淀	41	开阔水面,水质较好
5	赵北口	39	淀区出水口,离污染源较远,水质较好
2	王港淀	37	淀区出水口,离污染源较远,水质较好
10	月淀	33	静水蓄积区,围堤养殖厉害
7	采蒲台	32	静水蓄积区,围堤养殖厉害
19	下张庄	31	静水蓄积区,围堤养殖厉害
20	烧车淀	31	水面大,水草漫布,养殖业和种植业较发达
16	下王家淀	30	静水蓄积区,围堤养殖厉害
11	大田庄	27	离村落近,人类活动影响大
3	池鱼淀	25	水面开阔,很少围网围堤,但有正在施工的围堤作业
9	西淀头	25	淀边,离村落近,人类活动影响大
18	十里荷香	22	旅游、餐饮
4	何庄子	21	离村落近,人类活动影响大
14	光淀	20	半养鱼区,水产养殖较发达
21	白洋淀	20	围网养殖,有村庄,生活垃圾
23	韩村	17	基本干淀,养殖业,种植业
22	唐河大桥	16	干淀,种植玉米
13	唐家淀	15	养殖业,生活垃圾
17	荷花大观园	14	旅游、餐饮
15	鸳鸯岛	11	种植业、旅游、餐饮

表 3 各参数主成分分析的结果及主成分解释变异百分比

Table 3 Metric correlations with principal components (PCs) and the percent variation explained by PCs for the Baiyangdian wetland data set		
参数 Metrics	PC1	PC2
本地种百分比	0.245	-0.503
多年生物种百分比	-0.084	-0.480
单子叶植物百分比	-0.136	-0.474
典型水生植物种类	-1.159	2.260
本地多年生物种属数	2.420	0.992
敏感物种数	-0.721	0.061
兼性繁殖百分比	-0.421	-0.438
耐受种百分比	-0.133	-0.676
1 年生、2 年生以及入侵种的百分比	-0.010	-0.742
解释百分比 Percentage of explanation	88.0	96.0

对 IBI 与水体理化性质(电导率、溶解氧、pH 值、重金属等)的相关性分析表明,IBI 与电导率显著负相关 ($-0.571, P<0.01$),与重金属 Fe ($-0.64, P<0.01$)、Cu ($-0.59, P<0.01$) Zn ($-0.52, P<0.01$) 含量均呈显著负相关。IBI 与土壤理化指标的相关性不显著。

4 讨论

在我国,利用 IBI 指数法进行湿地健康评价的研究还很少,迄今还未见利用大型维管植物完整性进行湿地健康评价的研究工作。大型维管植物是湿地生态系统明显而重要的组成部分。就植物在湿地生态

表 4 白洋淀湿地不同质量类别的 IBI 得分范围

Table 4 Quality classes and scaling for each class for the total metric scores of Baiyangdian wetland	
质量类别 Quality class	IBI 得分范围 Score range
好 Good	35—45
一般 Fair	27—34
差 Poor	19—26
很差 Very poor	<18

系统过程中的作用而言,植物除了是活的生物体外,它也可以看成是如土壤和水体的物理特征^[21]。由于植物能够衡量湿地的生物完整性,植物成了湿地 IBI 的首选选择,如同鱼类是构成河流 IBI 的首选生物一样。植物尤其是维管植物有几个优点:它们是湿地生态系统大型、明显而重要的组成部分;它们的分类系统相对比较好理解;湿地植物种类繁多且具有建立植物 IBI 的许多特性;已经建立了许多植物的采样方法,而且在野外比较容易实施,所获得的数据除了建立 IBI 之外,还可以为恢复湿地建立标准以及为湿地决策提供依据^[22]。

植物是反应环境干扰的一个很好的指示标志^[19]。美国的许多研究^[6,23-26]和本研究都表明,植物群落与人类干扰有着一致而强烈的反应,而且能利用这些反应来评估整个湿地健康状况。为建立白洋淀湿地 IBI,共测试了 30 个植物属性,其中有 9 个属性对应的参数与人类干扰密切相关,呈现出一致且可预计的反应,而且都具有一定的生态学意义。

IBI 方法的建立,很重要的一个步骤就是人类干扰梯度的建立。Karr 和 Chu^[17]强调,在一个区域有效的建立完整的人类干扰梯度就需要研究区内包含不同类型的干扰类型以及不同程度的干扰强度。本研究中,我们尽量包含影响白洋淀的人类干扰类型以及不同的干扰强度,主要通过实地调查、遥感影像的土地利用类型解译分析,以及水体和底泥的化学指标等来综合确定不同程度的人类干扰梯度。IBI 的 PCA 和聚类分析很好地将湿地植物群落和相似的干扰及干扰强度进行了分组。湿地植物群落健康状况较好的区域,一般都离村落比较远,没有旅游业,离污染源较远,水质较好,如后塘、枣林庄等;健康状况一般的区域主要是养殖业发达;而健康状况差的区域则主要是养殖业、种植业以及旅游业发达的人类活动高发区,如唐家淀和鸳鸯岛。

从 IBI 与水质的关系可知,当水体电导率越高、重金属含量越高即水质越差时,IBI 指数则越低。王备新等^[8]应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价了安徽黄山地区的溪流健康,发现 B-IBI 与水体的电导率和 pH 值负相关,与生境评价结果正相关,水体健康程度高的,生境质量较好,因此 B-IBI 指数也较高。IBI 与土壤理化指标的相关性不强,可能原因在于构建白洋淀湿地 IBI 指数的植物主要为水生植物,在土壤营养元素充足并且重金属含量未超标的情况下,土壤对白洋淀湿地植物的影响要弱于水体。研究结果说明,引起白洋淀生态系统健康退化的主要原因是补水不足以及水体的退化,而这种退化主要是由于人类干扰引起的。一方面养殖业发达,排入淀区的养殖废水增多;发达的旅游业加大了白洋淀水体的承载压力;白洋淀区很大面积的种植玉米和水稻等农业耕作也给白洋淀带来了严重的面源污染;另一方面,从上游府河、漕河等排入的污水也加重了白洋淀水体的污染水平。因此,白洋淀湿地的恢复和管理需要从外部和内部两个方面进行。从外部讲,需要根据淀区生态需水量进行合理补水,这方面的工作目前已经在开展;同时从源头采取措施控制上游城市和工

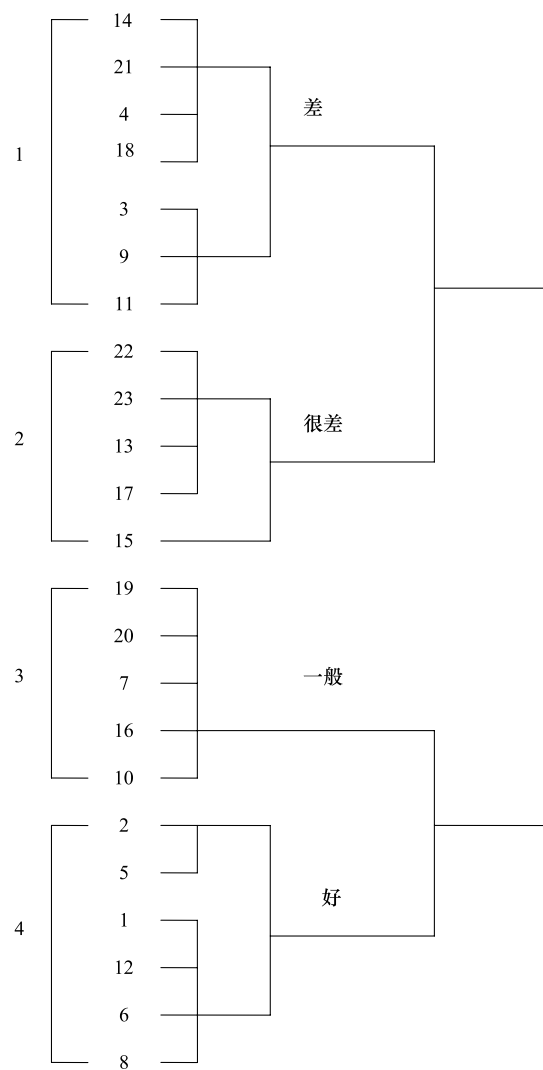


图3 白洋淀 23 个淀区聚类分析树状图以及相应的质量类别(各编号所对应的淀区名称同表 3)

Fig. 3 Dendrogram of the cluster analysis of 46 seasonal wetlands with the final disturbance categories (quality classes) 1—5 listed to the left

业废水排入白洋淀。从内部讲,应制定白洋淀长期发展规划,协调各方利益,平衡白洋淀及周边经济发展与生态保护的关系;尤其是必须以可持续发展的理念发展淀区养殖业和旅游业,调整土地(水体)利用方式,减少进入淀区的农业面源污染、养殖废水和生活污水等,这是保护和恢复当前受损淀区的最佳措施。

References:

- [1] Lu X G. A review and prospect for wetland science. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2002, 3:170-172.
- [2] 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.
- [3] U. S. Environmental Protection Agency. Application of elements of a state water monitoring and assessment program for wetlands. Wetlands Division, USEPA, Washington, D. C. Washington State Department of Ecology. 1993. Washington State Wetlands Rating System; Western Washington. Second Edition. Publication #93-74. Washington State Department of Ecology, Olympia, WA, 2006.
- [4] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, Yant P R, Schlosser I J. Assessing biological integrity in running waters. A method and its rationale. Illinois Natural History Survey Special Publication, 1986, 5:1-28.
- [5] Simon T P, Davis W S. Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- [6] Gernes M C, Helgen J C. Indexes of biological integrity (IBI) for large depressional wetlands in Minnesota. Minnesota Pollution Control Agency, St. Paul, MN. Final Report to US EPA, Federal Assistance #CD995525-01. 1999.
- [7] Teels B, Adamus P. Methods for Evaluating Wetland Condition: Developing Metrics and Indexes of Biological Integrity. Office of Water, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-016. 2002.
- [8] Wang B X, Yang L F, Hu B J, Shan L N. A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using benthic-index of biotic integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1481-1490.
- [9] Li Q, Yang L F, Wu J, Wang B X. Stream health assessment using a benthic-index of biotic integrity in Xitaoxi stream, Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(9):2141-2147.
- [10] Sun X N, Wu M M, Ma Y F, Sang S H, Luo X Z. Bioassessment of ecological health based on benthic macroinvertebrate in Anli reservoir wetland. *Environmental Science and Technology*, 2009, 32(6):165-168.
- [11] Zhu D, Chang J B. Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI). *Ecological Indicators*, 2008, 8(5):564-572.
- [12] 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.
- [13] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. Assessment of ecosystem health-concept framework and indicator selection. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4):628-629.
- [14] Wang C H, Wang K L, Xu L F. The assessment indicators of wetland ecosystem health. *Territory and Natural Resources Study*, 2003, (4): 63-64.
- [15] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 6(6):21-27.
- [16] DeKeyser E S, Kirby D R, Ell M J. An index of plant community integrity: development of the methodology for assessing prairie wetland plant communities. *Ecological Indicators*, 2003, 3(2):119-133.
- [17] Karr J R, Chu E W. Restoring Life in Running Waters; Better Biological Monitoring. Washington, DC: Island Press, 1999.
- [18] Chen Z, Shang H, Yao B. Methods of wetlands health assessment in USA. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9):5015-5022.
- [19] U. S. EPA. Methods for evaluating wetland condition; using vegetation to assess environmental conditions in wetlands. Office of water, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2002. EPA-822-R-02-020.
- [20] Gernes M C, Helgen J C. Indexes of biological integrity (IBI) for large depressional wetlands in Minnesota. Minnesota Pollution Control Agency, St. Paul, MN. Final Report to US EPA, Federal Assistance #CD995525-01. 2002.
- [21] Cronk J K, Fennessy M S. Wetland Plants: Biology and Ecology. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- [22] Fennessy S, Gernes M, Mack J, Wardrop D H. Methods for evaluating wetland condition; using vegetation to assess environmental conditions in wetlands. EPA-822-R-02-020. U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, DC. 2002.
- [23] Carlisle B K, Hicks A L, Smith J P, Garcia S R, Largay B G. Plants and aquatic invertebrates as indicators of wetland biological integrity in Waquoit Bay Watershed, Cape Cod. *Environment Cape Cod*, 1999, 2(2):30-60.
- [24] Mack J J. Integrated Wetland Assessment Program. Part 4: vegetation index of biotic integrity (VIBI) and tiered aquatic life uses (TALUs) for

Ohio wetlands. Ohio EPA Technical Report WET/2004-4. Ohio Environmental Protection Agency, Wetland Ecology Group, Division of Surface Water, Columbus, OH, 2004:91-91.

- [25] Miller S J, Wardrop D H, Mahanery W M, Brooks R P. A plant-based index of biological integrity (IBI) for headwater wetlands in central Pennsylvania. *Ecological Indicators*, 2006, 6(2):290-312.
- [26] Hargiss C L M, DeKeyser E S, Kirby D R, Ell M J. Regional assessment of wetland plant communities using the index of plant community integrity. *Ecological Indicators*, 2008, 8(3):303-307.

参考文献:

- [1] 吕宪国. 湿地科学研究进展及研究方向. *中国科学院院刊*, 2002, 3:170-172.
- [2] 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.
- [8] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 单林娜. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康. *生态学报*, 2005, 25(6):1481-1490.
- [9] 李强, 杨莲芳, 吴璟, 王备新. 底栖动物完整性指数评价西苕溪溪流健康. *环境科学*, 2007, 28(9):2141-2147.
- [10] 孙希宁, 武满满, 马艳芳, 桑圣欢, 罗新正. 庵里水库湿地生态健康的生物学评价. *环境科学与技术*, 2009, 32(6):165-168.
- [12] 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.
- [13] 袁兴中, 刘红, 陆健健. 生态系统健康评价——概念构架与指标选择. *应用生态学报*, 2001, 12(4):628-629.
- [14] 汪朝辉, 王克林, 许联芳. 湿地生态系统健康评估指标体系研究. *国土与自然资源研究*, 2003, (4):63-64.
- [18] 陈展, 尚鹤, 姚斌. 美国湿地健康评价方法. *生态学报*, 2009, 29(9):5015-5022.

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