

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **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 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征

庞科^{1,5}, 姚锦仙^{1,2,*}, 王昊^{1,2}, 刘松涛³, 李翀⁴, 吕植^{1,2}

(1. 北京大学生命科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学自然保护与社会发展研究中心, 北京 100871;

3. 达赉湖国家级自然保护区管理局, 海拉尔 021008; 4. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

5. 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

摘要:2008年8—9月对额尔古纳河流域5个重要水体呼伦湖、乌兰泡、二卡湿地、伊敏河和哈乌尔河进行浮游植物调查,结果显示:(1)共鉴定浮游植物8门82属177种(含变种),以绿藻和硅藻种类最多,绿藻有36属77种,占43.5%,硅藻21属54种,占30.5%;其次是蓝藻,13属26种,占14.7%;裸藻4属11种,占6.2%;其他藻类仅占5.1%;(2)在呼伦湖共有64属121种,乌兰泡47属88种,二卡湿地62属116种,伊敏河41属59种,哈乌尔河32属54种;优势度分析显示:呼伦湖与乌兰泡优势种为蓝藻和绿藻,二卡湿地为硅藻与隐藻,伊敏河与哈乌尔河为硅藻;蓝藻个体密度在乌兰泡与呼伦湖最大,分别为 5.17×10^6 个体/L和 4.01×10^6 个体/L,而硅藻密度则在二卡湿地、伊敏河与哈乌尔河占优势,分别为 1.40×10^6 个体/L、 1.84×10^5 个体/L与 4.89×10^5 个体/L;此外,聚类分析显示5个水体的浮游植物群落按结构特征可分为两大类;(3)与历史记录相比,呼伦湖的优势种转变为细胞较小的坚实微囊藻(*M. firma*)与不定微囊藻(*M. incerta*),这种小型化的趋势表明呼伦湖水体富营养化程度加剧;(4)综合多种指标对水质状况进行评估:呼伦湖、乌兰泡为中-富营养水体,二卡湿地为中营养水体,伊敏河与哈乌尔河属于贫-中营养水体。

关键词:浮游植物;多样性;群落结构;水质;富营养化

Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn

PANG Ke^{1,5}, YAO Jinxian^{1,2,*}, WANG Hao^{1,2}, LIU Songtao³, LI Chong⁴, LU Zhi^{1,2}

1 School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2 Peking University Center for Nature and Society, Beijing 100871, China

3 Dalai Lake National Nature Reserve, Hailar 021008, China

4 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

5 Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: Argun River drainage area locates on the northeast of Inner Mongolia, adjacent to Mongolia and Russia. It has very limited biodiversity information. In recent years, with the rapid regional economic development and climate change, its aquatic ecosystem faces many serious challenges, such as water quality degradation, eutrophication and decrease of wetland size. Phytoplankton is a major contributor to primary productivity in aquatic ecosystem. Species, density and biomass of phytoplankton have been widely used to evaluate and monitor ecosystem health. In August-September 2008, the phytoplankton samples were collected from 26 locations in Argun River drainage area, which includes Hulun Lake, Wulan Lake, Erka Wetland, Yimin River and Hawuer River. A total of 177 species belonging to 82 genera in 8 phyla were identified, Chlorophyta (77 species of 36 genera), Bacillariophyta (54 species of 21 genera), and Cyanophyta (26 species of 13 genera) dominated the phytoplankton communities, and 20 other species were also identified from Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Chrysophyta and Xanthophyta. 121 species of 64 genera were found in Hulun Lake, 88 species of

基金项目:国家自然科学基金(40602001);科技部资助项目(2007FY210100)

收稿日期:2010-05-31; 修订日期:2011-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jxyao@pku.edu.cn

47 genera in Wulan Lake, 116 species of 62 genera in Erka Wetland, 59 species of 41 genera in Yimin River and 54 species of 32 genera in Hawuer River. The dominant species in Hulun Lake and Wulan Lake belonged to Cyanophyta and Chlorophyta, while Bacillariophyta had an apparent dominance in Erka Wetland, Yimin River and Hawuer River. Cryptophyta also had an important role in Erka Wetland. It had high cyanobacterial density in Wulan Lake (5.17×10^6 ind./L) and Hulun Lake (4.01×10^6 ind./L), while high density diatoms in Erka Wetland (1.40×10^6 ind./L), Yimin River (1.84×10^5 ind./L) and Hawuer River (4.89×10^5 ind./L). Result from hierarchical cluster analysis showed that community structures of phytoplankton in lakes and wetland, rivers were different. Moreover, compared to a former study in the corresponding season in 1988, Hulun Lake had fewer species and less biomass than 1988, and higher density, and higher percentage of diatoms in biomass. Dominant species belonging to *Microcystis* in Hulun Lake had changed from *M. aeruginosa* and *M. flos-aquae* to *M. firma* and *M. incerta* which two have a smaller cell size. The average individuals' size also tended to diminish in Hulun Lake, those phenomena suggested eutrophication increased. Based on the species composition, density, and biomass, it suggested that Hulun Lake and Wulan Lake were in meso-eutrophic status, Erka Wetland in mesotrophic status, Yimin River and Hawuer River in oligo-mesotrophic status.

Key Words: phytoplankton; diversity; community structure; water quality; eutrophication

浮游植物是水体中主要的初级生产力,其种类、数量和生物量被广泛应用于评价和监测水质,尤其在研究与治理水体富营养化时^[1-2]。在经济发展和人口增长的双重压力下,我国的众多湖泊渐趋富营养化,藻类水华频繁发生,对我国的一些重要水体进行浮游植物调查和监测有着重要意义。

额尔古纳河流域属中温带半干旱大陆性季风气候,位于靠近中蒙、中俄边界的内蒙古境内,地处东经 $115^{\circ}32' - 121^{\circ}28'$, 北纬 $47^{\circ}26' - 53^{\circ}20'$, 主要包括额尔古纳河、呼伦湖(达赉湖)、乌兰泡、新开河、哈乌尔河、海拉尔河、根河、乌尔逊河、克鲁伦河和新达赉湖(已干涸)等,国内流域总面积 $37,214 \text{ km}^2$, 其中呼伦湖是中国五大淡水湖之一^[3-4]。额尔古纳河水系地表径流含沙量少,水质清澈,透明度高,但多数湖泊由于水深较浅,风力搅动作用比较强烈,因而水体混浊,透明度低。位于额尔古纳河干流的黑山头水文站 2004—2008 年逐周监测数据显示:该区域干流 pH 变动范围为 6.1—8.4,且年平均值呈逐年增长趋势;DO(溶解氧)值处在 6.36—9.53 mg/L 之间;COD(化学需氧量)值处在 5.4—8.9 mg/L 之间;氨氮值处于 0.29—0.46 mg/L 之间。

近年来,额尔古纳河流域的区域经济发展迅猛,在气候变化和人为干扰的共同影响下,该流域内湿地面积大幅萎缩,湖泊水环境恶化,富营养化渐趋严重。但迄今为止,关于该流域浮游生物多样性的本底资料稀少。已报道的仅见于王玉亭、李宝林等人在 1981 年和 1988 年对呼伦湖进行的调查^[5-6],对流域内其他重要水体的研究则未见报道。

因此,本课题组于 2008 年 8—9 月对额尔古纳河流域的呼伦湖、二卡湿地、乌兰泡、伊敏河(海拉尔河重要上游支流)和哈乌尔河等 5 个重要水体中的浮游植物进行了种类组成与分布特征的调查,研究结果将为额尔古纳河流域水生生态系统的健康状况、水环境评价以及水资源合理开发利用提供重要基础资料和理论依据。

1 材料和方法

1.1 采样点设置

2008 年 8—9 月在额尔古纳河流域的重要水体呼伦湖、二卡湿地、乌兰泡、伊敏河和哈乌尔河设置 26 个采样点。在水体的中心区、沿岸区、主要出入水口、河流上下游等处均设置代表性的采样点^[1,7],具体分布如下:在呼伦湖设置 10 个采样点(包括嘎拉达白辛 2 个、拴马桩 2 个和小河口 6 个);乌兰泡 4 个采样点;二卡湿地 4 个;伊敏河 5 个;哈乌尔河 3 个。

1.2 样品采集与藻类鉴定计数

采样方法依照《湖泊富营养化调查规范》^[1]进行,定量样本用有机玻璃采水器采集 1L 水样,且对水深大于 2m 的水体进行分层采集;定性样本用 25 号浮游生物网(孔径 $64 \mu\text{m}$)放入水中作“ ∞ ”形缓慢拖动 4—5 分

钟,取过滤浓缩的样本。采样后立即加入水样量 1.5% 体积的鲁哥氏液固定。采样同时测定并记录采集点的水温、气温、水深、透明度、pH 值、海拔、经纬度等值(表 1),定性描述和记录采样点小生境。

定量水样在室内静置沉淀 24h 后,虹吸至剩余约 30mL 水样,密封后带回实验室,参考相关文献^[8-9]进行种类鉴定,并采用 0.1mL 计数框计数。浮游植物生物量按照细胞体积来换算:先用形态相似的几何体积公式计算细胞体积,再按 1g/mL 的比重换算成生物量^[7]。

表 1 各采样水体环境因子分布

Table 1 Distribution of environmental factors from sampled water body

水体 Water body	样点数 Sample number	水温/℃ Temperature	透明度/cm Transparency	pH	海拔/m Altitude
呼伦湖	10	21.0±1.8	30±19	8.0±1.2	537±3
乌兰泡	4	19.4±3.2	10±3	8.5±0.1	554±1
二卡湿地	4	20.1±2.4	50±16	7.4±1.1	541±4
伊敏河	5	16.0±1.9	60±32	6.5±0.5	744±39
哈乌尔河	3	11.0±0.1	90±12	5.5±0.1	654±4

1.3 数据分析

应用 SPSS 16.0 软件包对数据进行下列分析。

1.3.1 优势度

优势种根据浮游植物物种的出现频率和相对数量来确定,以优势度来表示,当优势度大于 0.02 时,定为优势种。优势度计算公式为 $y=f_i \times P_i$, 其中 f_i 为第 i 种出现的频率, P_i 为第 i 种个体数量在总个体数量中的比例^[10]。

1.3.2 多样性指数计算

为避免使用单一多样性指数造成的多样性评价分析偏差,同时运用以下 3 种多样性指数对浮游植物群落特征进行分析。

Margalef 物种丰富度指数^[11]: $D = (S - 1) / \ln N$

Shannon-Wiener 物种多样性指数^[12]: $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$

Pielou 均匀度指数^[13]: $J = H' / \log_2 S$

式中, S 为群落中的种类数, P_i 为第 i 种个体数量在总个体数量中的比例, N 为所有种个体总数。

1.3.3 聚类分析

应用聚类分析对浮游植物群落进行分析。以 Bray-Curtis^[14] 相似性系数 S_B 为基础进行计算。以各样点浮游植物物种和各物种的个体密度作为原始数据,为平衡优势种和稀有种对整个群落相似性影响的权重,首先将原始数据进行 4 次开方^[15], 然后进行相似性系数 S_B 的计算:

$$S_B = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^S |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^S |x_{ij} + x_{ik}|} \right\}$$

式中, x_{ij} 是第 i 物种在第 j 样方的密度经变换后的数值, x_{ik} 是第 i 物种在第 k 个样方中的密度经变换后得到的数值。

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落组成特征

2.1.1 总体种类组成

此次调查共鉴定出浮游植物 8 门 82 属 177 种(含变种)。

总体来说,以绿藻(Chlorophyta)和硅藻(Bacillariophyta)种类数最多,其中绿藻门共有 36 属 77 种,占种类数的 43.5%,硅藻共 21 属 54 种,占 30.5%;其次是蓝藻(Cyanophyta),共 13 属 26 种,占 14.7%;裸藻(Euglenophyta)4 属 11 种,占 6.2%;其他藻类门类仅占 5.1%。

2.1.2 各水体浮游植物种类组成

各水体浮游植物种类组成见表 2。呼伦湖共检出浮游植物 6 门 64 属 121 种,乌兰泡检出 6 门 47 属 88 种,二卡湿地检出藻类 7 门 62 属 116 种,伊敏河鉴定出 6 门 41 属 59 种,哈乌尔河鉴定出 5 门 32 属 54 种。伊敏河与哈乌尔河以硅藻种类数最多;呼伦湖与乌兰泡以绿藻的种类数最多。

表 2 各水体浮游植物种类组成

Table 2 Species composition of phytoplankton in each water body

水体 Water body	蓝藻 Cyano.	绿藻 Chloro.	硅藻 Bacillario.	裸藻 Eugleno.	甲藻 Dino.	隐藻 Crypto.	黄藻 Xantho.	金藻 Chryso.	总计 Total
呼伦湖	21	54	33	8	0	2	3	0	121
乌兰泡	16	37	25	7	1	0	2	0	88
二卡湿地	16	45	44	4	0	3	2	2	116
伊敏河	8	22	25	2	1	1	0	0	59
哈乌尔河	5	13	33	2	0	0	1	0	54

2.1.3 各水体浮游植物优势种

根据优势度分析所得各水体优势种见表 3。从中可看出:湖泊类型水体呼伦湖与乌兰泡均以蓝藻和绿藻为优势种,可见这两个水体属于蓝-绿藻型湖泊;二卡湿地的优势种主要为硅藻与隐藻;伊敏河与哈乌尔河则完全以硅藻为优势种。

表 3 各水体浮游植物优势种

Table 3 Dominant species of phytoplankton in each water body

优势种 Dominant species	呼伦湖	乌兰泡	二卡湿地	伊敏河	哈乌尔河
坚实微囊藻 <i>Microcystis firma</i>	+	+			
不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	+				
类颤鱼腥藻小型变种 <i>Anabaena oscillarioides</i> var. <i>minor</i>	+				
银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i>		+			
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	+	+			
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	+	+			
四足十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i>	+				
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	+				
小形月牙藻 <i>Selenastrum minutum</i>	+	+			
狭形纤维藻 <i>Ankistrodesmus angustus</i>	+				
纺锤藻 <i>Elakatothrix gelatinosa</i>		+			
微小四角藻 <i>Tetraëdron minimum</i>		+			
短线脆杆藻 <i>Fragilaria brevistriata</i>			+		
双头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>			+	+	+
偏凸针杆藻 <i>Synedra vaucheriae</i>			+		+
肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>				+	
线形舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>			+	+	+
瞳孔舟形藻矩形变种 <i>Navicula pupula</i> var. <i>rectangularis</i>			+		+
扁圆卵形藻多孔变种 <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>			+		+
近小头羽纹藻 <i>Pinnularia subcapitata</i>				+	
尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>			+		
卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>			+		

2.2 各水体浮游植物密度与生物量

各水体虽然均属于额尔古纳河流域,但浮游植物密度与生物量都有明显差异(表4)。

乌兰泡和呼伦湖的浮游植物密度与生物量最大,其次为二卡湿地,最低为哈乌尔河与伊敏河。

在乌兰泡与呼伦湖中,蓝藻的密度最大,分别为 5.17×10^6 个/L 和 4.01×10^6 个/L,其次是绿藻,分别为 4.22×10^6 个/L 和 2.78×10^6 个/L,蓝藻和绿藻占据了这两个水体总个体数的 84% 以上。而在二卡湿地、伊敏河与哈乌尔河,以硅藻占绝对优势,硅藻的密度分别为 1.40×10^6 个/L、 1.84×10^5 个/L 与 4.89×10^5 个/L。

从密度与生物量两者来说,湖泊型水体(呼伦湖、乌兰泡)均要大于湿地型水体(二卡湿地),而河流型水体(伊敏河、哈乌尔河)则处于最低水平。

表 4 各水体的浮游植物生物量、个体密度与细胞密度

Table 4 Biomass, individual density and cell density of phytoplankton in each water body

项目 Item	呼伦湖	乌兰泡	二卡湿地	伊敏河	哈乌尔河
生物量 Biomass/(mg/L)	8.13	10.47	5.92	2.74	3.33
个体密度 Individual density/(个/L)	79.49×10^5	110.63×10^5	28.45×10^5	2.57×10^5	5.90×10^5
细胞密度 Cell density/(个/L)	373.74×10^6	499.13×10^6	19.90×10^6	3.92×10^6	3.31×10^6

2.3 浮游植物群落聚类分析

对各采样点浮游植物的密度进行 4 次开方后构建 Bray-Curtis 相似矩阵,在此基础上采用组间平均聚类法进行分层聚类分析,结果见图 1。

聚类分析表明,各采样点浮游植物群落按结构特征分为两大类:一类为呼伦湖和乌兰泡;另一大类为二卡湿地、伊敏河与哈乌尔河。同时二卡湿地的 4 个采样点的浮游植物群落聚集成了一小类,与伊敏河、哈乌尔河区分开来。这表明湖泊、湿地、河流这 3 种不同类型的水体藻类群落结构存在差异,从多元统计分析的角度验证了上文中分别按照 3 类水体进行分析的可行性。

2.4 浮游植物多样性指数

各水体的多样性指数如图 2 所示。Margalef 丰富度指数大小顺序为:二卡湿地(3.66) > 呼伦湖(3.51) > 乌兰泡(2.74) > 哈乌尔河(2.05) > 伊敏河(1.50)。Shannon-Wiener 多样性指数的顺序为:呼伦湖(4.45) > 二卡湿地(4.01) > 哈乌尔河(3.94) > 伊敏河(3.78) > 乌兰泡(3.75)。各水体的均匀度指数为:伊敏河(0.91) > 哈乌尔河(0.84) > 呼伦湖(0.78) > 二卡湿地(0.71) > 乌兰泡(0.69)。3 种指数在各水体的变化趋势较一致,但大小顺序不尽相同。

3 结论与讨论

3.1 所调查水体之间浮游植物群落结构特征存在差异

根据水体特征,本研究所调查的 5 个水体可分为 3 种类型:河流(伊敏河、哈乌尔河),湿地(二卡),湖泊(呼伦湖、乌兰泡),研究表明其浮游植物群落结构特征存在显著差异。

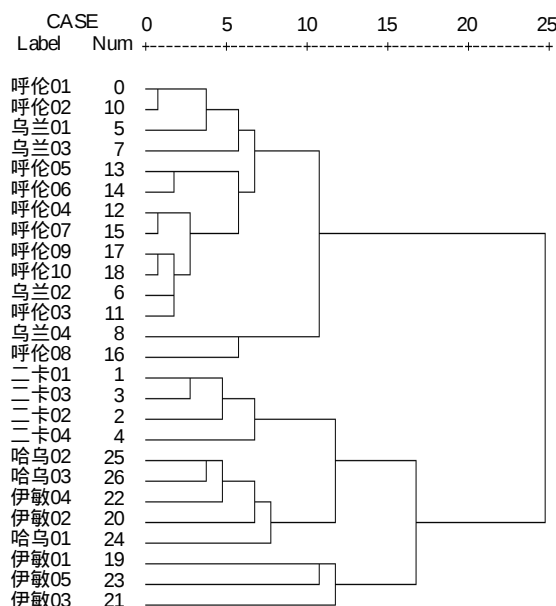


图 1 各水体浮游植物群落聚类图

Fig. 1 The hierarchical cluster dendrogram of phytoplankton communities in each water body

3.1.1 密度、生物量、优势种及种类数的差异

呼伦湖、乌兰泡相对于伊敏河、哈乌尔河而言,容易富集由河流、动物粪便等携入的外源性营养物质。同时因其湖水较浅,湖面开阔,风力搅动作用较大,使沉积物再悬浮率较高,给藻类生长繁盛提供了营养。因此从密度和生物量来说,呼伦湖、乌兰泡均大于伊敏河与哈乌尔河。二卡湿地由于兼具河流与静止水体功能,故处于中间类型。伊敏河与哈乌尔河均以硅藻为优势种,硅藻的密度与生物量占绝对优势。二卡湿地由于处于海拉尔河与新开河交汇处,水体多为流动状态,故也以硅藻为优势种。

呼伦湖、乌兰泡除了以绿藻为优势种外,还以蓝藻为优势种,这与其湖水 pH 升高、外源性营养较多密切相关。微小平裂藻作为优势种时,在不同营养状态的湖泊中可能存在不同形态:贫营养型湖泊中为 4—32 个细胞,富营养型湖泊中为 64—几百个细胞的群体^[16-17]。在呼伦湖与乌兰泡中,该种的主要存在形态亦为 64—几百个细胞的群体。

可见,在额尔古纳河流域中,就浮游植物种类数而言,湖泊和湿地类型的水体均远高于河流;就优势种而言,湖泊以蓝藻、绿藻为优势种,湿地的优势种为硅藻和隐藻,而河流的优势种为硅藻;就浮游藻类生物量和密度而言,湖泊要高于湿地,而湿地又要高于河流。

3.1.2 各多样性指数所显示的差异

Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数越大,则群落结构越复杂,生物多样性越高,对环境变化与和群落内种群变动的缓冲功能越强;Pielou 均匀度指数则反映各种群内个体分布的均匀度,各物种的个体数越接近,则均匀度越高^[18]。

在本文所研究的 5 各个水体中,湖泊与湿地的浮游植物多样性高于河流(这与湖泊、湿地的浮游植物物种数、密度远大于河流密切相关);而浮游植物个体分布的均匀程度则显示为河流型水体高于湖泊与湿地类型水体。但值得注意的是,乌兰泡的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均为 5 个水体中的最低值,这可能与其藻类少数优势种数量特别丰富有关。

浮游植物群落聚类分析也验证了这 5 个水体所属的 3 种类型水体存在差异。

3.2 呼伦湖水体的富营养化程度加剧

近 20a 来,呼伦湖的水面持续萎缩,湖体水量减少,湖水矿化度、碱度、含盐量均不断增高,有机物污染亦加剧,主要表现在氨氮、化学需氧量和酚均超标^[19]。水体理化条件的变化导致呼伦湖藻类群落结构发生变化。

1988 年呼伦湖共检出浮游植物 181 种,秋季优势门类依次为蓝藻、绿藻^[5-6],秋季的生物量为全年最高,为 11.23 mg/L(蓝藻、绿藻、硅藻生物量分别占 56%、23% 和 3%),个体与细胞密度分别为 2.16×10^6 个/L、 7.73×10^7 个/L^[5-6]。本次调查则分别变为 121 种,8.13 mg/L(蓝藻、绿藻、硅藻:37%、27% 和 23%), 7.95×10^6 个/L 和 3.73×10^8 个/L,呈现出种类与生物量减少而密度增加的特点。生物量减少而密度增加,表示藻类个体的平均体积变小。此外,也可见在呼伦湖硅藻生物量明显增加,种类数所占比例也由 1988 年的 17.7%^[6],上升为本次调查的 27.3%。究其原因,可能与湖水的含盐量升高有关:呼伦湖是一个由淡水湖、微咸水湖和咸水湖不断相互转化的湖泊,近 20a 来其含盐量不断增加^[19]。但对此还需进一步研究,排除其他诸如水温等因素的影响。

1988 年呼伦湖以蓝藻、绿藻为优势标志着湖水的富营养水平^[5-6],本次调查与之相符,但在优势种组成上

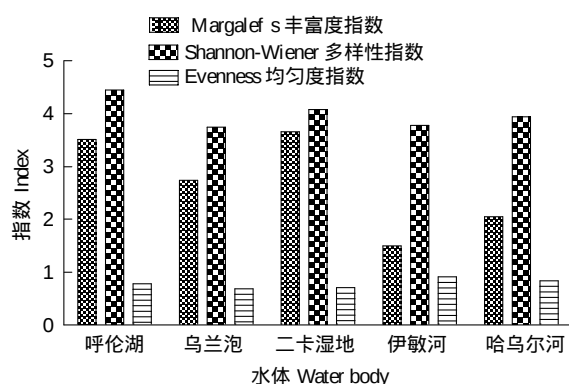


图 2 浮游植物物种丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数

Fig. 2 Margalef's index, Shannon-Wiener index and evenness index of phytoplankton

有所变化。1988 年秋季呼伦湖在蓝藻中以铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)、水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*)、螺旋鱼腥藻 (*Anabaena spiroides*) 为优势种^[5-6],本次调查中微囊藻优势种则为细胞明显变小的坚实微囊藻与不定微囊藻,非常小的细小平裂藻、微小平裂藻亦成为优势种。

总体而言,前后两次调查相比,呼伦湖浮游植物群落向着种类数减少、密度增加、藻类细胞平均体积变小的方向变化,这种小型化的趋势反映了群落的逆行演替过程^[20],也表明呼伦湖的水体富营养化程度在加剧。

3.3 综合评价各水体营养类型

3.3.1 以浮游植物生物量和细胞密度评价水质

参考况琪军等^[2]利用浮游植物生物量和细胞密度进行水质评价。当生物量 ≤ 0.1 mg/L 或细胞密度 $\leq 0.5 \times 10^6$ 个/L 时,水质为极贫营养型;当生物量 ≤ 1.0 mg/L 或细胞密度 $\leq 1.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为贫营养型;当生物量 ≤ 3.0 mg/L 或细胞密度 $\leq 10.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为贫中营养型;当生物量 ≤ 5.0 mg/L 或细胞密度 $\leq 40.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为中营养型;当生物量 ≤ 7.0 mg/L 或细胞密度 $\leq 80.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为中富营养型;当生物量 ≤ 10.0 mg/L 或细胞密度 $\leq 100.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为富营养型;生物量 > 10.0 mg/L 或细胞密度 $> 100.0 \times 10^6$ 个/L 时,水质为极富营养型。以生物量评价时,呼伦湖和乌兰泡处于富营养型,二卡湿地属于中-富营养型,伊敏河和哈乌尔河属于贫-中营养型。而以细胞密度评价时,呼伦湖和乌兰泡处于极富营养型,二卡湿地属于中营养型,伊敏河与哈乌尔河属于贫-中营养型。两者结果比较一致。

3.3.2 指示群落

水生生态的变化与浮游植物的群落特征密切相关,前者的变动往往导致后者群落组成与结构的变化,利用指示性浮游植物群落可以划分水体的污染等级^[21]。呼伦湖、乌兰泡、二卡湿地、伊敏河 4 个水体中均以硅藻与绿藻的种类数约各占 30%,而在哈乌尔河硅藻种类数占 60%。在呼伦湖和乌兰泡有不少优势种为绿藻,而在二卡湿地、伊敏河与哈乌尔河以硅藻占优势。所以综合来讲前 4 个水体属于 β -中污带,而哈乌尔河则属于寡污带。

3.3.3 浮游植物与浮游动物调查结果的比较

本次对 5 个水体浮游植物调查结果与本项目组的浮游动物^[22]调查结果基本一致。

利用浮游动物种类数、密度和生物量对这 5 个水体的水质状况评价的结果是:二卡湿地、呼伦湖和乌兰泡为中营养水体,伊敏河和哈乌尔河为贫营养水体^[22],这与利用浮游植物进行水质评价的结果相似。但前者把二卡湿地、呼伦湖、乌兰泡划为水质相近的一类水体,把伊敏河、哈乌尔河划为另一类水质相近的水体,而未能将二卡湿地区分出来。

此外,呼伦湖的浮游动物亦存在由桡足类向微型浮游动物转变的群落演替趋势^[22],与浮游植物类似,这进一步印证了呼伦湖水体富营养化程度在加剧。

本调查的时间仅是在 8—9 月,因此,只能得到关于额尔古纳河流域这几个重要水体秋季的浮游植物群落结构特征,而对于全年的群落结构特征变化,还有待进一步的调查。

致谢:感谢达赉湖国家级自然保护区管理局工作人员在野外采样过程中给予的大力协助。

References:

- [1] Jin X C, Tu Q Y. The Standard Methods in Lake Eutrophication Investigation. 2nd ed. Beijing: China Environment Science Press, 1990: 239-244.
- [2] Kuang Q J, Ma P M, Hu Z Y, Zhou G J. Study on the evaluation and treatment of lake eutrophication by means of algae biology. Journal of Safety and Environment, 2005, 5(2): 87-91.
- [3] Xu Z J, Jiang F Y, Zhao H W, Zhang Z B, Sun L. The General Situation of Hulun Lake. Changchun: Jilin Literature and History Press, 1989.
- [4] Zhang Z B, Jiang F Y, Wang S W, Yu S H, Jiang M. The General Situation of Hulun Lake. 2nd ed. Hailar: Inner Mongolia Culture Press, 1998.
- [5] Li B L, Wang Y T, Zhang L Z. An evaluation of water pollution and eutrophication in the Dalaihu Lake using phytoplakton communities. Acta

- Hydrobiologica Sinica, 1993, 17(1): 27-34.
- [6] Wang Y T, Li B L, Zhang L Z. Phytoplankton in brackish water lake in alpine area. Fisheries Science, 1993, 12(3): 13-16.
- [7] Zhang Z S, Huang X F. Methods for Study on Freshwater Plankton. Beijing: Science Press, 1991.
- [8] Hu H J, Li Y Y, Wei Y X, Zhu H Z, Chen J Y, Shi Z X. Freshwater algae in China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980.
- [9] Zhou F X, Chen J H. Pictures of Microbiota in Freshwater. Beijing: Chemistry and Industry Press, 2008: 35-360.
- [10] Lampitt R S, Wishner K F, Turley C M, Angel M V. Marine snow studies in the Northeast Atlantic Ocean: distribution, composition and roles as a food source for migrating plankton. Marine Biology, 1993, 116(4): 680-702.
- [11] Margalef D R. Information Theory in Ecology. General Systems Yearbook, 1958, 3: 36-71.
- [12] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [13] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology. New York: Wiley-Interscience, 1969.
- [14] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 325-349.
- [15] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology, 1993, 18(3): 117-143.
- [16] Tang H J, Xie P, Liu L, Zhao H H, Yang H R. Temporal and spatial variation of phytoplankton structure and its relationship with environmental factors in Lake Donghu. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2008, 47(3): 100-104.
- [17] František H. Several interesting planktic cyanophytes. Algological Studies, 1992, 66: 1-15.
- [18] Li D Y, Sun J, Zhang L Y. Structural characteristics of phytoplankton community during harmful algae bloom in Jiaozhou Bay. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 1963-1966.
- [19] China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Department of Environmental Sciences and Engineering of Northeast Normal University. A Report on the Assessment of Ecological Impact Caused by Water Resources Allocation and Water Environment Treatment in Hulun Lake. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005.
- [20] García de Emiliani M O. Seasonal succession of phytoplankton in a lake of the Paraná river floodplain, Argentina. Hydrobiologia, 1993, 264(2): 101-114.
- [21] Lu Y T, Yang C S, Fan Z H. Study on interrelation between distribution of phytoplankton and water pollution in Fuqi River. China Environmental Science, 1991, 11(1): 29-33.
- [22] Jiang Y, Yao J X, Pang K, Wang H, Liu S T, Lu Z. Community structure characteristics of zooplankton in Argun Drainage Area in autumn. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(6): 870-876.

参考文献:

- [1] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 239-244.
- [2] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 周广杰. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87-90.
- [3] 徐占江, 姜凤元, 赵好文, 张志波, 孙丽. 呼伦湖志. 长春: 吉林文史出版社, 1989.
- [4] 张志波, 姜凤元, 王树文, 于淑华, 蒋明. 呼伦湖志——续志一. 海拉尔: 内蒙古文化出版社, 1998.
- [5] 李宝林, 王玉亭, 张路增. 以浮游植物评价达赉湖水质污染及营养水平. 水生生物学报, 1993, 17(1): 27-34.
- [6] 王玉亭, 李宝林, 张路增. 高寒地区半咸水湖的浮游植物. 水产科学, 1993, 12(3): 13-16.
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 朱惠忠, 陈嘉佑, 施之新. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [9] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物图谱. 北京: 化学工业出版社, 2008: 35-360.
- [16] 唐汇娟, 谢平, 刘丽, 赵会宏, 杨慧荣. 武汉东湖浮游植物群落结构的时空变化与环境因子的关系. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(3): 100-104.
- [18] 李东艳, 孙军, 张利勇. 胶州湾浮游植物水华期群落结构特征. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1963-1966.
- [19] 中国水利水电科学研究院, 东北师范大学环境科学研究所. 呼伦湖水资源配置及水环境治理工程生态环境影响评价专题报告. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [21] 詹玉涛, 杨昌述, 范正华. 釜溪河浮游植物分布及其与水质污染的相关性研究. 中国环境科学, 1991, 11(1): 29-33.
- [22] 姜英, 姚锦仙, 庞科, 王昊, 刘松涛, 吕植. 额尔古纳河流域秋季浮游动物群落结构特征. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(6): 870-876.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 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@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