

长江天鹅洲故道浮游植物群落结构及水质评价

黄丹^{1,2}, 李霄², 望志方¹, 熊晶¹, 沈建忠²

(1. 湖北省环境监测中心站, 湖北 武汉 430072; 2. 华中农业大学, 湖北 武汉 430070)

摘要:基于浮游植物群落结构对水质的进行评价,为长江天鹅洲故道江豚保护提供科学依据,在故道上下游共布设10个采样点,于2011年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)、2012年1月(冬季)和2012年8月(夏季)各采样1次。结果表明,长江天鹅洲故道共发现浮游植物7门、77属、143种,其中蓝藻门(Cyanophyta)14属、28种,占浮游植物总种类数的19.6%;硅藻门(Bacillariophyta)14属、22种,占15.4%;绿藻门(Chlorophyta)32属、64种,占44.8%;甲藻门(Pyrrophyta)3属、4种,占2.8%;裸藻门(Euglenophyta)3属、12种,占8.4%;隐藻门(Cryptophyta)3属、4种,占2.8%;金藻门(Chrysophyta)8属、9种,占6.3%,以喜好富营养型水体的蓝藻和绿藻为主。天鹅洲故道浮游植物的年平均密度为 5.6×10^7 个/L,其中以蓝藻为主,占总密度的88.8%;其次为绿藻,占总密度的7.7%。浮游植物年均生物量为7.2 mg/L,以硅藻、蓝藻和绿藻为主,分别占总生物量的61.5%、17.9%和12.8%;其中12种优势种中的富营养型指示种粘液胶鞘藻(*Phormidium mucicola*)、铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)、细小平裂藻(*Merismopedia minima*)和四角十字藻(*Crucigenia quadrata*)以群体形式存在。现存量法、优势种群法以及多样性指数评价结果显示,天鹅洲故道水体属于富营养型,与Shannon-Weaver多样性指数和Pielou均匀度指数评价水质为中污染水平的结果一致。

关键词:天鹅洲故道;浮游植物;群落结构;水质评价

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2016)05-0008-07

天鹅洲故道位于湖北省石首市长江北部,自1972年形成以来,每年汛期(5-10月)与长江相通,枯水期(11月至次年4月)则上口与长江隔断。1998年洪水过后,在下口修筑了沙滩子拦河大堤,故道水位受到人为控制,由流水环境完全转变为静水环境。20世纪90年代早期,在湖北石首成立长江天鹅洲白鳍豚国家级自然保护区,到21世纪初已繁殖至30头左右的江豚群体,标志着长江江豚迁地保护措施取得了初步成功(Wang, 2009)。该自然保护区生物资源丰富,包括国家一级保护动物麋鹿和二级保护动物江豚,也是“四大家鱼”的天然种质资源库。天鹅洲故道自然资源和环境的好坏直接关系到江豚和其它生物的生存与繁衍,因此水质监测和管理已成为江豚和其它生物保护的重要任务。

浮游植物是水生生态系统的重要组成部分,作

为初级生产者,为水体中的浮游动物以及滤食性鱼类提供饵料;此外,浮游植物作为指示物种对水体环境中污染物极为敏感,是反映水环境特点和质量的重要指标,广泛应用于水环境监测和评价等方面研究(杨宇峰和黄祥飞, 1999)。张先锋等(1995)和张征等(1995)曾经对天鹅洲故道浮游生物群落结构进行了报道,由于年代久远且并未提供全面的浮游植物群落组成分析和水环境质量评价,因此开展调查分析十分有必要。

2011-2012年按季度对浮游植物进行监测,分析天鹅洲故道藻类群落结构,并基于浮游植物对故道水质进行评价,以期对天鹅洲故道江豚保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和地点

设置采样点时,结合天鹅洲故道的环境特征,按照常规方法,参照《淡水浮游生物研究方法》(章宗涉和黄祥飞, 1991)及《湖泊生态调查观测与分析》(黄祥飞, 1999),在故道的上下游沿岸区共布设10个采样点(图1)。本次调查于2011年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)、2012年1月(冬季)和2012年8月(夏季)各采样1次。

收稿日期:2015-06-09

基金项目:湖北长江天鹅洲白鳍豚国家级自然保护区管理处委托项目“天鹅洲故道水生生物资源调查”;世界自然基金会项目“长江天鹅洲故道小型鱼类资源评估”(2985)。

作者简介:黄丹,1986年生,女,助理工程师,主要从事生态学研究。E-mail: greendesert@126.com

通信作者:沈建忠,1964年生,男,博士生导师,主要从事鱼类生态学和水域生态学研究。E-mail: jzhsh@mail.hzau.edu.cn

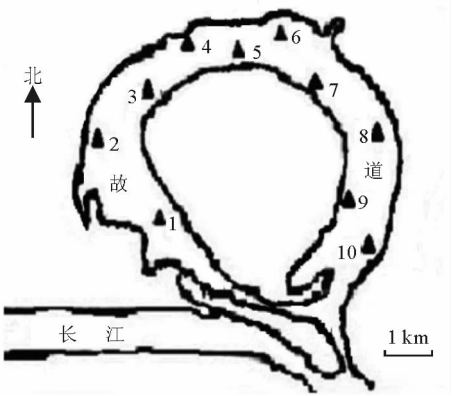


图 1 长江天鹅洲故道采样点分布
Fig. 1 Location of sampling sites in Tian-e-zhou Oxbow

1.2 样品采集与分析

浮游植物定性样品用 25 号(网目 64 μm)浮游生物网在水面拖取“∞”字 1~3 min,收集后用 5% 福尔马林固定。浮游植物定量样品用 5 L 有机玻璃采水器分上、中、下 3 层采水,然后取其混合水样 1 L,加入 1% 鲁哥试液固定,需长期保存样品加入 5% 福尔马林,带回实验室备用。

定性样品在实验室用显微镜和解剖镜进行种类鉴定(胡鸿钧和魏印心,2006);浮游植物定量样品用 0.1 mL 计数框,在显微镜(10×40)下计数。将上述结果换算成每升细胞个数,然后按照测量体积换算(赵文,2005),得到各种浮游植物的生物量。

1.3 优势种确定

浮游植物优势种的优势度(Y)计算公式如下:

$$Y = (n_i / N) \times f_i$$

式中: n_i 为第 i 种的个体数, f_i 为该种的出现频率, N 为所有种类总个体数; $Y \geq 0.02$ 的种类定为优势种(徐兆礼和陈亚瞿,1989)。

1.4 水质评价

根据浮游植物的现存量评价水体营养状态(金相灿和屠清瑛,1990;沈韞芬等,1990;黄玉瑶,2001);同时通过 Simpson 多样性指数、Shannon-Weaver 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 多样性指数(Simpson, 1949; Shannon & Weaver, 1949; Margalef, 1958; Pielou, 1969)对天鹅洲故道水质进行评价。

1.5 聚类分析

利用 SPSS18.0 软件,采用 Ward's 法(Ward's method)和欧氏距离(Euclidean distance)的方法,对长江天鹅洲故道 10 个采样点浮游植物的数量和生物量进行系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

经鉴定,长江天鹅洲故道共发现浮游植物 143 种,隶属 7 门、77 属,蓝藻门(Cyanophyta) 14 属、28 种,占总种类数的 19.6%;硅藻门(Bacillariophyta) 14 属、22 种,占 15.4%;绿藻门(Chlorophyta) 32 属、64 种,占 44.8%;甲藻门(Pyrrophyta) 3 属、4 种,占 2.8%;裸藻门(Euglenophyta) 3 属、12 种,占 8.4%;隐藻门(Cryptophyta) 3 属、4 种,占 2.8%;金藻门(Chrysophyta) 8 属、9 种,占 6.3%。

2.2 浮游植物密度和生物量的变化

2.2.1 浮游植物密度的周年变化 在各个季度,浮游植物密度变化明显,主要表现为 2011 年夏季密度最大,同年的冬季最小(表 1)。浮游植物密度为 $0.3 \times 10^7 \sim 8.9 \times 10^7$ 个/L 平均值为 5.0×10^7 个/L。

2011 年春季,蓝藻门藻密度最多占到总数的 91.1%,其次是硅藻门和绿藻门;春季浮游植物总密度达到 5.9×10^7 个/L;2011 年夏季依旧蓝藻门密度最多,占总数的 95.3%,绿藻门的密度次之,随后为硅藻门,夏季浮游生物密度达到 8.9×10^7 个/L,成为到全年密度最高值;2011 年秋季,浮游植物总密度为 7.3×10^7 个/L,蓝藻门的密度最高,占总密度的 81.9%,其次为绿藻门、硅藻门;2011 年冬季,浮游植物密度大大降低,绿藻门密度最大,占总密度的 54.6%。天鹅洲故道水体中,蓝藻门藻类密度最大,其次为绿藻门和硅藻门。

表 1 长江天鹅洲故道浮游植物细胞密度的季节变化

Tab. 1 Seasonal variation of phytoplankton cell density in Tian-e-zhou Oxbow

门类	不同采样季节的浮游植物密度/ $\times 10^7$ 个·L ⁻¹					平均 值
	2011 年 春	2011 年 夏	2011 年 秋	2011 年 冬	2012 年 夏	
蓝藻门	5.375	8.482	5.979	0.044	2.380	4.452
硅藻门	0.342	0.125	0.051	0.058	0.025	0.120
甲藻门	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001
裸藻门	0.000	0.018	0.015	0.003	0.003	0.008
隐藻门	0.000	0.018	0.037	0.011	0.034	0.020
金藻门	0.077	0.000	0.007	0.020	0.006	0.022
绿藻门	0.106	0.258	1.212	0.164	0.347	0.417
合 计	5.900	8.901	7.301	0.300	2.801	5.040

2.2.2 浮游植物生物量的周年变化 由表 2 可见,2011 年春季的藻类生物量最高,其次为 2011 年秋季、2011 年夏季和 2012 年夏季,2011 年冬季藻类密度值最低。

表2 长江天鹅洲故道浮游植物生物量变化
Tab.2 Seasonal variation of phytoplankton biomass
in Tian-e-zhou Oxbow

门类	不同采样季节的浮游植物生物量/mg·L ⁻¹					平均 值
	2011年 春	2011年 夏	2011年 秋	2011年 冬	2012年 夏	
蓝藻门	1.216	1.851	2.092	0.016	0.125	1.060
硅藻门	13.376	2.361	1.538	0.551	0.246	3.614
甲藻门	0.000	0.016	0.026	0.002	0.238	0.056
裸藻门	0.000	0.166	0.370	0.059	0.158	0.151
隐藻门	0.016	0.010	0.726	0.223	0.662	0.328
金藻门	0.512	0.000	0.033	0.109	0.042	0.139
绿藻门	0.864	0.801	1.808	0.240	0.728	0.888
合计	15.984	5.205	6.593	1.200	2.200	6.237

2011年春季和夏季:生物量大小排列为硅藻>蓝藻>绿藻;2011年秋季:蓝藻>绿藻>硅藻;2011年冬季:硅藻>绿藻>隐藻。从变化可以看出,硅藻和绿藻生物量一直占较大比例,在2011年冬季蓝藻生物量明显少于隐藻,隐藻密度占比少于蓝藻,应该是蓝藻优势种类体积较小,而隐藻体积较大的结果。

浮游植物密度为:2011年夏季>2011年秋季>2011年春季>2012年夏季>2011年冬季;生物量为:2011年春季>2011年秋季>2011年夏季>2012年夏季>2011年冬季(图2)。

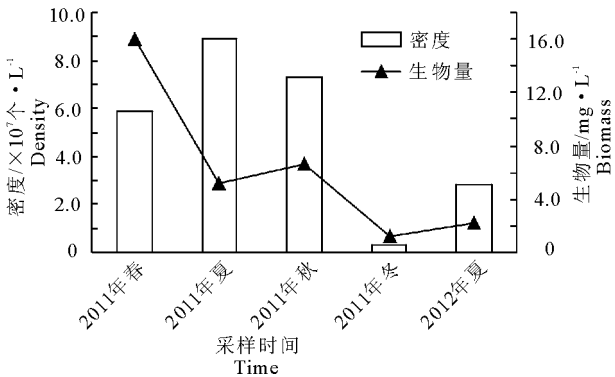


图2 天鹅洲故道浮游植物密度和生物量变化
Fig.2 Seasonal variations of phytoplankton density
and biomass in Tian-e-zhou Oxbow

调查结果显示,2011年夏季藻类密度和生物量明显高于2012年夏季,原因可能是2012年夏季,天鹅洲故道处于丰水期,气温较2011年夏季低,水位较高;而2011年夏季天鹅洲故道处于枯水期,恰逢干旱严重,水深较浅,温度较高,水体富营养水平有利于蓝藻的大量繁殖。两者的差异使得2012年夏季天鹅洲故道藻类密度低于2011年夏季。

2.3 浮游植物密度和生物量的水平分布

天鹅洲故道各采样点周边环境、水深等条件的差异性,致使浮游植物现存量也有明显的区别,密度

为 $4.7 \times 10^7 \sim 6.9 \times 10^7$ 个/L,生物量为 6.1 ~ 9.3 mg/L(图3)。从天鹅洲故道浮游植物密度和生物量分布情况看,1号采样点浮游植物的生物量最大,而密度并不是最大值,可能是大型浮游植物贡献的结果。7号采样点同时具有较大的藻类密度和生物量。浮游植物密度在6~10号采样点平均值高于1~5号采样点。

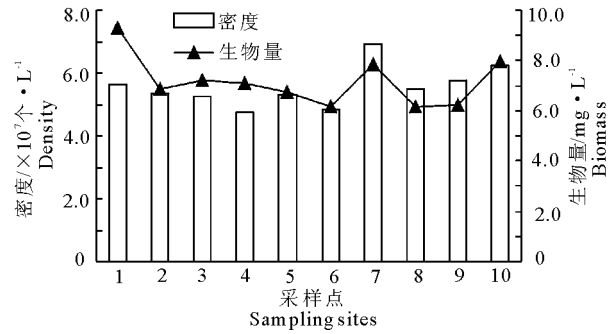


图3 天鹅洲故道浮游植物密度和生物量的水平分布
Fig.3 Horizontal distribution of phytoplankton density
and biomass in Tian-e-zhou Oxbow

2.4 浮游植物数量和生物量的聚类分析

聚类分析结果显示(图4),浮游植物密度和生物量最大的7号采样点单独聚为一类;位于最上游的1号采样点和最下游的10号采样点聚为第二类;故道中部连续7个采样点浮游植物的密度和生物量较为相近,相似性较大,水体流动使得水质状态较为稳定。

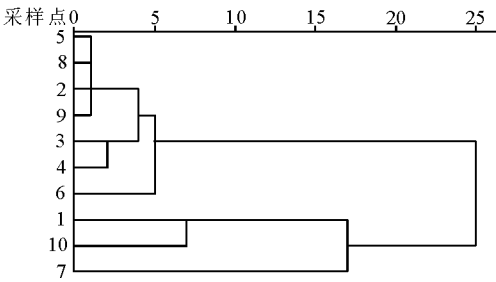


图4 天鹅洲故道各采样点浮游植物聚类分析
Fig.4 Cluster dendrogram of the phytoplankton
community for all sampling sites in Tian-e-zhou Oxbow

2.5 优势种组成

浮游植物优势种为12种,以蓝藻和绿藻为主(表3);其中11种是富营养水体指示种类(沈韞芬等,1990)。从种类组成上来看,粘液胶鞘藻(*Phormidium mucicola*)、肘状针杆藻(*Synedra ulna*)、中华小尖头藻(*Raphidiopsis sinensia*)、普通小球藻(*Chlor-ellaceae vulgaris*)、针晶蓝纤维藻(*Dactylococcopsis raphidioides*)、双对栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)在四季均有出现,但数量呈现季节性差异。

2.6 水质评价

2.6.1 水体营养类型 长江天鹅洲故道 2011 – 2012 年 5 次监测结果显示,浮游植物密度均值为 5.0×10^7 个/L,生物量均值为 6.2 mg/L;2011 年浮游植物密度均值为 5.6×10^7 个/L,生物量年均值为 7.2 mg/L。对 2 次营养类型进行划分(黄玉瑶,1990;沈韞芬,1990),结果显示水体均属于富营养类型。

2.6.2 多样性指数评价 根据环境质量评价分级

标准(沈锡芬等,1990;黄玉瑶,2001),得到 10 个采样点多样性指数值及其污染划分等级(表 4)。Pielou 均匀度指数与 Shannon-Weaver 多样性指数评价结果一致,天鹅洲故道水质属于中污染;Margalef 多样性指数评价表明,10 个采样点水质均为寡污型;利用 Simpson 多样性指数对故道水质进行评价,其中 4 和 6 号采样点水质属于寡污染型,7 号采样点水质属于重污型,其他 7 个采样点水质都属于中污型。故道水质总体处于中污染水平。

表 3 长江天鹅洲故道浮游植物优势种组成
Tab.3 Dominant phytoplankton species in Tian-e-zhou Oxbow

指 示 种 类	季 节				水体营 养类型
	春	夏	秋	冬	
粘液胶鞘藻(<i>Phormidium mucicola</i>)	+	+	+	+	富营养
细小平裂藻(<i>Merismopedia minima</i>)	+		+	+	富营养
铜绿微囊藻(<i>Microcystis aeruginosa</i>)		+	+		富营养
四角十字藻(<i>Crucigenia quadrata</i>)		+	+	+	富营养
肘状针杆藻(<i>Synedra ulna</i>)	+	+	+	+	富营养
中华小尖头藻(<i>Raphidiopsis sinensia</i>)	+	+	+	+	富营养
微小平裂藻(<i>Merismopedia tenuissima</i>)		+		+	富营养
普通小球藻(<i>Chlorellaceae vulgaris</i>)	+	+	+	+	富营养
针晶蓝纤维藻(<i>Dactylococcopsis raphidioides</i>)	+	+	+	+	富营养
四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)			+	+	富营养
双对栅藻(<i>Scenedesmus bijuga</i>)	+	+	+	+	富营养
针状纤维藻(<i>Ankistrodesmus acicularis</i>)	+		+	+	

注:“+”表示出现。
Note: “+” observed species.

表 4 天鹅洲故道各采样点水质生物学评价
Tab.4 Biological evaluation of water quality at each sampling site in Tian-e-zhou Oxbow

多样性 指 数	采 样 点										均 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Simpson	m	m	m	s	m	s	h	m	m	m	m
Shannon-Weaver	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Pielou	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Margalef	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s

注:s – 表示轻污染;m – 表示中污染;h – 表示重污染。
Note: s – slight pollution; m – moderate pollution; h – heavy pollution.

综合现存量法、优势种群法以及多样性指数评价结果,长江天鹅洲故道水体属于富营养型,与 Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数评价结果一致。

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构变化原因

2011 – 2012 年对天鹅洲故道浮游植物群落调查较 1993 – 1994 年(李思发,2001)有明显的变化,总体表现为天鹅洲故道浮游植物种类数减少,蓝藻和绿藻种类百分比和密度百分比均有明显增加,喜好清洁型贫营养、水温较低的金藻(蒙仁宪和刘贞

秋,1988)密度百分比有所降低,黄藻没有出现,表明天鹅洲故道浮游植物类群向喜好富营养化水体的蓝藻转变,水质存在恶化的趋势。根据 2011 年四季浮游植物密度的表现特征,只在夏季出现了最大值。这符合富营养型的蓝藻 – 绿藻型水体,浮游植物四季的密度变化呈现只有夏季 1 个高峰说法(饶钦止和章宗涉,1980;胡春英,1999;谭香等,2011)。通过对比李思发(2001)天鹅洲故道的调查结果,本次调查显示,浮游植物的种类数减少,密度和生物量都增大,浮游植物生物多样性降低,这与故道水体的富营养化有关。12 种浮游植物优势种中有 6 种,即粘液胶鞘藻、细小平裂藻、铜绿微囊藻、四角十字藻、微小

平裂藻、中华小尖头藻、针晶蓝纤维藻都属于蓝藻,蓝藻大量繁殖可能对环境水生生物具有直接的胁迫作用,包括对光和营养盐的竞争,而会直接制约水生生物的生长(陈开宁等,2003),降低水生生物的多样性,进而会直接改变整个水体生物群落组成。

3.2 浮游植物优势种变化原因

1992-1993年调查结果显示,故道浮游植物优势种有单细胞个体寡营养型指示种飞燕角甲藻和锥囊藻,也有富营养型指示种水溪绿球藻、微囊藻和颗粒直链藻(张征等,1995);本次调查结果表明,优势种是以群体较小的铜绿微囊藻、粘液胶鞘藻、细小平裂藻和四角十字藻等富营养型指示种为主,浮游植物存在由单细胞个体向多细胞群体转变的趋势,同时带有胶被的蓝藻在种类和密度上占有绝对优势。考虑到一方面故道中大量放养鲢鳙对大型浮游动物的滤食作用,使得水体中的一些小型浮游动物占优势,其结果是这些小型浮游动物不能摄食个体体积较大的藻类(陆开宏等,2002;史文等,2009;武丹等,2013),从而会使得藻类向群体化方向发展趋势更加明显(Sommer et al, 1986; 秦伯强等, 2007; 张钰等, 2008);另一方面,可能是藻类被其他消费者(如鱼类等)捕食所产生的适应性,相比于有胶被的藻类,如铜绿微囊藻、粘液胶鞘藻等,浮游植物食性鱼类如鲢鳙更容易消化没有胶被的藻类(蒲新明和孙松, 2002; 刘健康和谢平, 2003; 孟顺龙等, 2009);另外,由于水体富营养化进程加快,使得水体营养等级不适合一些寡营养型或者是中营养型藻类的生长,使得水体中浮游植物群落结构单一化(温明章, 2003; 余博识等, 2008; 孙军和宋书群, 2009; 王英才等, 2013)。

3.3 多样性指数评价结果的差异性

Margalef 指数显示,故道水质处于寡营养水平,而 Simpson 指数、Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数表明,天鹅洲故道水体属于富营养型,这是由于不同多样性指数的分辨能力、对样本大小的敏感性以及对多样性测度的着重点不同所致(孙军, 2004)。

已有的天鹅洲故道研究资料表明,张征等(1992)根据现存量法和优势种群法得出故道基本属寡污性水体,但已开始向乙型中污带过渡;吴利桥等(1993)通过对天鹅洲水域理化、生物因子的监测,认为故道基本上属寡污性水体,但已开始向 β -中污带过渡;郝玉江等(2010)综合天鹅洲故道以往资料和调研结果,指出故道水体当时处于富营养状

态。本次调查根据 Simpson 指数、Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数以及现存量法和优势种群法分析表明,天鹅洲故道水体属于富营养型,同时根据已有的浮游植物调查评价结果,得出天鹅洲故道水质属于富营养型,这符合故道水体营养类型演变趋势,因此认为评价结果是符合客观实际的。

4 建议

天鹅洲故道水体的富营养化程度在进一步加剧,长此以往必将影响受迁地保护江豚和其它生物栖息环境,同时给周边人民群众的生活用水造成影响;控制故道水体的进一步污染,延缓或彻底解决故道水体富营养化问题成为这一地区可持续发展的关键。建议采取以下措施:

(1) 根据故道周边耕地面积大的特点(张征, 1995),推广科学施肥,实施有机肥资源化利用、减量化处置,减少周围由农药等导致的农业面源污染;

(2) 加强故道水质管理,控制入水口水质,周围村镇生活和生产活动污水经处理后才可流入故道;

(3) 科学合理捕捞,减小人为活动对水体环境的影响和破坏。

参考文献

- 陈开宁,李文朝,吴庆龙,等,2003. 滇池蓝藻对沉水植物生长的影响[J]. 湖泊科学,15(4):364-368.
- 郝玉江,王丁,魏卓,等,2010. 天鹅洲长江故道湿地保护存在的问题和对策[C]. 第六届全国生物多样性保护与持续利用研讨会.
- 胡春英,1999. 不同湖泊演替过程中浮游动物数量及多样性的研究[J]. 水生生物学报,23(3):217-226.
- 胡鸿钧,魏印心,2006. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社.
- 黄祥飞,1999. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社.
- 黄玉瑶,2001. 内陆水域污染生态学:原理与应用[M]. 北京:科学出版社:135-156.
- 金相灿,屠清瑛,1990. 湖泊富营养化调查规范(2版)[M]. 北京:中国环境出版社.
- 李思发,2001. 长江重要鱼类生物多样性和保护研究[M]. 上海:上海科学技术出版社.
- 刘建康,谢平,2003. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学,22(3):193-196.
- 陆开宏,晏维金,苏尚安,2002. 富营养化水体治理与修复的环境生态工程[J]. 环境科学学报,22(6):732-737.
- 蒙仁宪,刘贞秋,1988. 以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化[J]. 水生生物学报,12(1):13-26.

- 孟顺龙,陈家长,范立民,等,2009. 2007 年太湖五里湖浮游植物生态学特征[J]. 湖泊科学,21(6):845-854.
- 蒲新明,孙松,2002. 海洋中赤潮藻类与浮游动物的相互作用[J]. 海洋科学,26(11):14-17.
- 秦伯强,王小冬,汤祥明,等,2007. 太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机-原因与对策[J]. 地球科学进展,22(9):896-906.
- 饶钦止,章宗涉,1980. 武汉东湖浮游植物的演变(1956-1975 年)和富营养化问题[J]. 水生生物学报,7(1):1-17.
- 沈韞芬,章宗涉,龚循矩,1990. 微型生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社.
- 史文,刘其根,吴晶,等,2009. 不同藻类对大型溠存活和生殖的影响[J]. 生态学杂志,28(6):1128-1133.
- 孙军,刘东艳,2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报,26(1):62-75.
- 孙军,宋书群,2009. 东海春季水华期浮游植物生长与微型浮游动物摄食[J]. 生态学报,29(12):6429-6438.
- 谭香,夏小玲,程晓莉,等,2011. 丹江口水库浮游植物群落时空动态及其多样性指数[J]. 环境科学,32(10):2875-2882.
- 王英才,汪志聪,吴卫菊,等,2013. 星云湖浮游植物及沉水植被的调查与分析[A]//健康湖泊与美丽中国-第三届中国湖泊论坛暨第七届湖北科技论坛论文集[C]. 武汉:473-482.
- 温明章,2003. 饮用水水源地生物资源及其在水质保护中的作用[D]. 武汉:武汉大学.
- 吴利桥,何绪刚,1996. 天鹅洲鱼类种质资源库环境质量评价[J]. 中国水产科学,3(2):94-102.
- 武丹,王海英,张震,2013. 天津于桥水库夏季浮游生物调查及群落结构变化[J]. 湖泊科学,25(5):735-742.
- 杨宇峰,黄祥飞,1999. 浮游动物生态学研究进展[J]. 湖泊科学,12(1):82-94.
- 余博识,吴忠兴,朱梦灵,等,2008. 水果湖湾蓝藻水华的形成及其对东湖影响的评价[J]. 水生生物学报,32(2):286-289.
- 张先锋,魏卓,王小强,等,1995. 建立长江天鹅洲白鳍豚保护区的可行性研究[J]. 水生生物学报,19(2):101-123.
- 张钰,谷孝鸿,朱光敏,等,2008. 太湖隆线溠对微囊藻和栅藻竞争的影响[J]. 环境科学学报,28(6):1068-1073.
- 张征,翟良安,李谷,等,1995. 长江天鹅洲故道浮游生物调查及鱼产力的估算[J]. 淡水渔业,25(5):16-18.
- 章宗涉,黄祥飞,1991. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社.
- 赵文,2005. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社.
- Margalef D R, 1958. Information theory in ecology[J]. Gen Syst, 3: 36-71.
- Pielou E C, 1969. An introduction to mathematical ecology [M]. Wiley-Interscience, New York.
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathematical Theory of Communication [J]. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Simpson E H, 1997. Measurement of diversity[J]. Journal of Cardiothoracic & Vascular Anesthesia, 11(6): 812.
- Sommer U, Gliwicz Z M, Lampert W, et al, 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters[J]. Archiv fuer Hydrobiologie, 106(4): 433-471.
- Wang D, 2013. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise[J]. Chinese Science Bulletin, 54(1):3473-3484.

(责任编辑 万月华)

Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in the Tian-e-zhou Oxbow of the Yangtze River

HUANG Dan^{1,2}, LI Xiao², WANG Zhi-fang¹, XIONG Jing¹, SHEN Jian-zhong²

(1. Hubei Environmental Monitoring Centre, Wuhan 430072, P. R. China;

2. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: Tian-e-zhou Oxbow, located in Shishou City of Hubei Province, is an important natural reserve for the Yangtze finless porpoise. Water quality monitoring and management in Tian-e-zhou Oxbow will support conservation of finless porpoises and other aquatic life. In April, July and October of 2011 and January and August of 2012, seasonal investigation of the phytoplankton community was carried out at ten sampling sites in the oxbow. The phytoplankton community structure was analyzed and water quality was evaluated based on the results. The study will provide basic data to support the conservation effort in Tian-e-zhou Oxbow. A total of 143 phytoplankton species were detected, belonging to 7 phyla and 77 genera. Chlorophyta (32 genera, 64 species) and Cyanophyta (14 genera, 28 species), associated with nutrient rich water, dominated the phytoplankton community, accounting for 44.8% and 19.6% of the total species. Bacillariophyta (14 genera, 22 species), Euglenophyta (3 genera, 12 species), Chrysophyta (8 genera, 9 species), Cryptophyta (3 genera, 4 species) and Pyrrophyta (3 genera, 4 species) accounted, respectively, for 15.4%, 8.4%, 6.3%, 2.8% and 2.8% of the total species. The average annual density of phytoplankton was 5.6×10^7 cells/L, with Cyanophyta accounting for 88.8% of the total density, followed by chlorophyta, accounting for 7.7%. The average annual value of phytoplankton biomass was 7.2 mg/L, dominated by Bacillariophyta (61.5%), Cyanophyta (17.9%) and Chlorophyta (12.8%). Twelve species dominated during the investigation. Among them, 11 species were identified as indicators of eutrophication, and *Phormidium mucicola*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia minima* and *Crucigenia quadrata* formed a group. Evaluated according to the biomass and species dominating the phytoplankton community, the water quality of Tian-e-zhou Oxbow is eutrophic, consistent with the Shannon-wiener diversity index and Pielou evenness index.

Key words: Tian-e-zhou Oxbow; phytoplankton; community structure; water quality