

doi:10.3969/j.issn.1001-1994.2013.03.002

丰水季北京汉石桥湿地 浮游生物群落特征多样性分析

刘盼 张清靖 贾成霞 曲疆奇

(北京市水产科学研究所,北京 100068)

摘要:为了解近几年对北京市顺义区汉石桥湿地水质调控和管理工作的效果,于2011年6月对湿地浮游植物、浮游动物的种类及种群密度进行了调查和分析,并采用指示生物法和生物多样性指数法对湿地的水质进行了生态评价。结果表明:汉石桥湿地的浮游植物以绿藻门数量最多,占浮游植物总数的57.4%;硅藻门和蓝藻门次之,分别占19.1%和12.82%。其中绿藻门的小球藻(*Chlorella* sp.),硅藻门的尺骨针杆藻(*Synedra ulna*)、尖针杆藻(*Synedra scus*)、舟形藻(*Navicula* sp.)和小环藻(*Cyclotella* sp.),蓝藻门的铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)在5个位点中为优势种。浮游动物以轮虫为主,其中18种轮虫为优势种。从调查情况来看,汉石桥湿地水质总体属中度偏轻污染,说明对湿地的水质调控和管理初步取得成效。

关键词:汉石桥湿地;浮游植物;浮游动物;指示生物法;多样性指数法

北京市顺义区汉石桥湿地自然保护区位于顺义区杨镇和李遂镇交界处,距城区约35 km,总面积约1900 hm²,其中核心区面积约200 hm²。汉石桥湿地地处京东平原地带,属内陆湿地生态系统类型,是北京市平原地区唯一现存的大型芦苇沼泽湿地。

浮游生物分为浮游植物和浮游动物^[1]。浮游植物是水生态系统中重要的水生生物类群,它们含有叶绿素,能够进行光合作用,将无机物转化为有机物,供其它消费者利用,是水生生态系统中主要的初级生产者^[2]。浮游植物群落结构与水生态环境因子之间有着十分密切的关系^[3]。水体的生态状况会影响浮游植物的种类构成、群落变化等,而浮游植物对水质状况也反应灵敏,能够对水体营养状态的变化迅速做出响应,其群落结构能够真实地反映水质状况,因而成为评价水

体健康状况的重要指示生物,在维持生态平衡中起着重要的调节作用^[4-6]。浮游动物是小型漂浮生活的生物,在水生食物链中占有重要的位置。淡水浮游动物主要包括原生动物、轮虫、枝角类和桡足类4大类。它们多数个体小,对环境变化敏感,尤其是轮虫。轮虫在大多数自然水体中以高密度大量存在,数量远高于其它浮游动物^[7]。浮游动物的群落及数量变化、优势种和生物指数等均可反映水体富营养化的程度^[8-9]。浮游生物既可以是鱼类的饵料,调节水体环境,又可以成为恶化水质、危害水生动物的根源。因此,以浮游生物作为生物监测,评价水体水质状况和污染水平,在国内外已被广泛应用^[10-13]。笔者于2011年6月对北京市顺义区汉石桥湿地浮游植物、浮游动物的种类及种群密度进行调查和分析,以期为更好地开展湿地环境保护工作提供重要参数和指标。

收稿日期:2013-02-06

作者简介:刘盼(1984—),女,工程师,研究方向:渔业生态与环保。

1 材料和方法

1.1 采样点的设置

采样点设 5 个,分别在入湿地前(1#,北纬 40°8'4.8",东经 116°48'29.6")、贾家河对面鸟岛东侧(2#,北纬 40°8'2.1",东经 116°48'26.7")、16 支(3#,北纬 40°7'27.1",东经 116°48'24.5")、南侧水面中心点(4#,北纬 40°7'19.3",东经 116°48'14.8")和橡胶坝(5#,北纬 40°6'57.6",东经 116°47'11.9")。具体位置分布见图 1。



图 1 汉石桥湿地采样点分布图

1.2 样品的采集和处理

用 20 μm 的筛绢网进行垂直拖网,采集浮游植物定性样品,加甲醛固定。浮游植物定量样品用 1 L 采水器多点采集水样,混合后装瓶,用鲁哥氏液和甲醛固定后带回实验室,静置沉淀 24 h,再根据浮游植物的量浓缩到体积不等的水样,在 10 × 40 倍显微镜下进行种类鉴定及计数。

浮游动物中轮虫的定性样品用 25 号浮游生物网(64 μm)拖取,定量样品采水 1 L,加入 5 % 福尔马林固定,带回实验室静置沉淀,浓缩至 20 mL 计数。大型浮游动物的定性样品用 13 号浮游生物网(113 μm)拖取,定量样品用 5 L 采水器采表层水 25 ~ 50 L,用 25 号网过滤浓缩,加入 5 % 福尔马林固定,在实验室用解剖镜进行种类鉴定及计数。

1.3 数据处理与分析

选取 Shannon - Wiener 多样性指数 H' 、Margalef 物种丰富度指数 D 、Pielou 物种均匀度指数 J 和 Mcnaughton 优势度指数 Y ^[14-17],对浮游生物群落结构进行分析。

Shannon - Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum (Pi) \times \log_2(Pi) \quad (1)$$

Margalef 物种丰富度指数(D):

$$D = (S - 1)/\ln S \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H'/\ln S \quad (3)$$

优势度指数(Y):

$$Y = (Ni/N)fi \quad (4)$$

式中, N 为样品中所有种类的总个体数, S 为采集样品种的种类总数, Pi 为第 i 种的个体数与样品中总个体数的比值, fi 为第 i 种在各采样位点出现的频率。

H' 与水质的关系为: $H' > 3.0$ 为轻度污染, $H' = 1.0 \sim 3.0$ 为中度污染(其中 1 ~ 2 为 α - 中度污染,2 ~ 3 为 β - 中度污染), $H' < 1.0$ 为重度污染。Margalef 物种丰富度指数的评价标准分为 5 个等级:0 ~ 1 为多污型,1 ~ 2 为 α - 中污型,2 ~ 3 为 β - 中污型,3 ~ 4 为寡污型, > 4 为清洁水体。均匀度 J 值在 0 ~ 0.3 为重污染,0.3 ~ 0.5 为重污染,0.5 ~ 0.8 为清污染。 Y 值大于 0.02 的种类为优势种^[18-22]。

2 结果与分析

2.1 浮游植物

2.1.1 种类组成及数量分布

共采集到浮游植物 6 门 47 种(仅鉴定到属的按 1 个种计算,下同),分别为绿藻门 27 种,硅藻门 9 种,蓝藻门 6 种,裸藻门 3 种,隐藻门和甲藻门各 1 种(见表 1)。其中绿藻门种类最多,占总数的 57.4 %;硅藻门和蓝藻门次之,分别占 19.1 % 和 12.82 %。从汉石桥湿地浮游植物的数量构成上看,不同位点的浮游植物间差异较大。橡胶坝 5#位点浮游植物的数量最少,其细胞平均密度为 $6.76 \times 10^7 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$;3#位点浮游植物的数量最大,细胞平均密度达 $1.81 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$;1#、4#位点差异不大,浮游植物的平均细胞密度分别为 $1.63 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.47 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$;2#位点浮游植物的平均细胞密度为 $8.7 \times 10^7 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 1 汉石桥湿地浮游植物种类组成

门类	种类
蓝藻门 Cyanophyta	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> 、水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> 、微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i> 、窝形席藻 <i>Phormidium foveolarum</i> 、平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.、色球藻 <i>Chroococcus</i> sp.
硅藻门 Bacillariophyta	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.、等片藻 <i>Diatoma</i> sp.、绿羽纹藻 <i>Pinnulariaviridis viridis</i> 、尖针杆藻 <i>Synedra scus</i> 、舟形藻 <i>Navicula</i> sp.、线性圆筛藻 <i>Cyclotella lineatus</i> 、桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.、星形冠盘藻 <i>Synedra astraea</i> 、尺骨针杆藻 <i>Synedra ulna</i>
绿藻门 Chlorophyta	小球藻 <i>Chlorella</i> sp.、四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i> 、二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i> 、双列栅藻 <i>Scenedesmus bijugatus</i> 、爪哇栅藻 <i>Scenedesmus javaensis</i> Chodat、单角盘星藻具孔变种 <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duodemarium</i> 、短棘盘星藻长角变种 <i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i> 、二角盘星藻纤细变种 <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracilimum</i> 、栅藻 <i>Scenedesmus ellipsoideus</i> 、四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i> 、四足十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i> 、小型月牙藻 <i>Selenastrum minurum</i> 、微茫藻 <i>Micractinium</i> 、端尖月牙藻 <i>Selenastrum westii</i> 、绿球藻 <i>Chlorococcum</i> sp.、肥壮蹄形藻 <i>Kirchneriella obesa</i> 、双星藻 <i>Zygnema</i> sp.、转板藻 <i>Mougeotia</i> sp.、卷曲纤维藻 <i>Ankistrodesmus convolutes</i> 、狭形纤维藻 <i>Ankistrodesmus angustus</i> 、角星鼓藻 <i>Staurastrum</i> sp.、硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i> Korsch、衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.、空星藻 <i>Coelastrum</i> sp.、新月藻 <i>Closterium</i> sp.、纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp.、集星藻 <i>Ankistrodesmus hantzschii</i>
裸藻门 Euglenophyta	梭形裸藻 <i>Euglena acus</i> 、裸藻 <i>Euglena</i> sp.、囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.
隐藻门 Cryptophyta	倒卵形隐藻 <i>Cryptophyceae obovata</i>
甲藻门 Pyrrophyta	角甲藻 <i>Ceratium</i> sp.

2.1.2 浮游植物的生物多样性指数

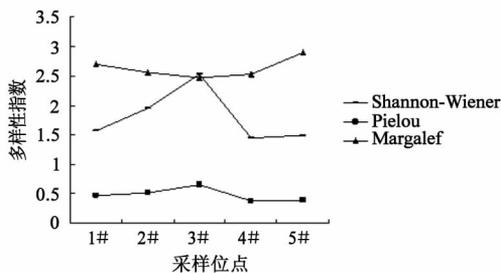


图 2 汉石桥湿地浮游植物的多样性指数

Shannon - Wiener 多样性指数 (H)、Margalef 丰富度指数 (D) 以及 Pielou 均匀度指数 (J) 在 5 个采样位点的数值均不相同 (见图 2)。Shannon - Wiener 多样性指数变化范围为 1.45 ~ 2.52, 这说明汉石桥湿地水体为中度污染。Pielou 均匀度指数的变化范围则在 0.38 ~ 0.65, 其中 1#、4# 和 5# 采样点的 D 值范围为 0.3 ~ 0.5, 为中度污染; 2#、3# 采样点的 D 值在 0.5 ~ 0.8, 为轻度污染。Margalef 丰富度指数的变化范围为 2.47 ~ 2.89, 说明该水体为 β -中度污染。由图 2 可知, 5 个采样点中 3# 位点的 H 值和 J 值最大, 说明在 3# 采样点浮游植物的种类较多, 分布也较为均匀。

2.1.3 浮游植物的优势种类

汉石桥湿地 5 个采样位点浮游植物的优势种不尽相同。铜绿微囊藻 (*Microcystis Aeruginosa*)、水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*) 和小球藻 (*Chlorella* sp.) 在 5 个位点均为优势种, 且其密度相对较大。硅藻门的尖针杆藻 (*Synedra scus*)、尺骨针杆藻 (*Synedra ulna*)、舟形藻 (*Navicula* sp.) 和小环藻 (*Cyclotella* sp.) 在个别位点也是优势种 (见表 2)。

2.2 浮游动物

2.2.1 种类组成及数量分布

在汉石桥湿地采集到的水样中共鉴定出浮游动物 25 个种 (属) (见表 3), 其中原生动物 2 种, 轮虫 21 种, 枝角类 1 种, 桡足类 1 种。枝角类只发生在 2# 采样点, 而且只有一个种类, 即微型裸腹蚤 (*Moina micrura*)。原生动物也仅发生在 2#、3# 和 4# 采样点, 分别是 2# 和 3# 采样点的太阳虫 (*Actinaphrys* sp.), 以及 4# 采样点的太阳虫 (*Actinaphrys* sp.) 和变形虫 (*Trichamoeba* sp.)。5 个采样点都有一定种群数量的轮虫, 其中 3# 采样点的轮虫种类最多, 达到 11 种, 种群密度高达 1503.3 个 $\cdot L^{-1}$; 1# 和 4# 采样点的轮虫种类数次之, 均为 7

表2 汉石桥湿地浮游植物的优势种

优势种	优势度				
	1#	2#	3#	4#	5#
蓝藻门 铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> 水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i>	0.21	0.32	0.11	0.18	0.21
	0.17	0.24	0.14	0.19	0.24
绿藻门 小球藻 <i>Chlorella</i> sp.	0.48	0.11	0.47	0.55	0.28
硅藻门 尖针杆藻 <i>Synedra scus</i> 尺骨针杆藻 <i>Synedra ulna</i> 舟形藻 <i>Navicula</i> sp. 小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	-	0.02	-	-	-
	-	0.02	-	-	-
	0.05	-	-	-	0.17
	-	0.08	-	-	-

注：“-”代表此种浮游植物在该位点优势度小于0.02,不是优势种。

表3 汉石桥湿地浮游动物的种类组成

门类	名称
轮虫	角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i> 、曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i> 、沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i> 、缘板龟甲轮虫 <i>Keratella ticinensis</i> 、月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i> 、方形臂尾轮虫 <i>Brachionus quadridentatus</i> 、长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i> 、裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i> 、卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i> 、异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.、小多肢轮虫 <i>Polyarthra minor</i> 、小多肢轮虫 <i>Polyarthra minor</i> 、椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i> 、蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i> 、壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i> 、萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i> 、水轮虫 <i>Epiphanes</i> sp.、龟形龟甲轮虫 <i>Keratella tesudo</i> 、裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i> 、前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i> 、剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus farficula</i> 、无甲腔轮虫 <i>Lecane inermis</i>
枝角类	微型裸腹蚤 <i>Moina micrura</i>
桡足类	温剑水蚤 <i>Thermocyclops</i> sp.
原生动	太阳虫 <i>Actinophrys</i> sp.、变形虫 <i>Trichamoeba</i> sp.

种,且种群数量都不大,种群密度分别为 60 个·L⁻¹和 78.3 个·L⁻¹;2#和5#采样点的轮虫种类数最少,均为6种,但种群数量差异很大,2#采样点的轮虫种群密度为 550 个·L⁻¹,而5#采样点的轮虫种群密度仅 103.3 个·L⁻¹。5个采样点均检测到桡足类的存在,且均为温剑水蚤 (*Thermocyclops* sp.)及其幼体,但不同采样点温剑水蚤的种群数量差异较大,其中种群密度最高的3#采样点(336.7 个·L⁻¹)比种群密度最低的4#采样点(25 个·L⁻¹)高13倍以上。

2.2.2 浮游动物的生物多样性指数

由图2可以看出,5个采样位点 Shannon - Wiener 多样性指数(H)的变化范围为 2.39 ~ 2.73,属于中度污染;而5个采样位点的 Pielou 均

匀度指数(J)都大于0.5,故5个位点均属于轻度污染;2#、3#位点的 Margalef 丰富度指数(D)分别为 3.96 和 3.42,属于寡污类水体,而1#、4#和5#位点的D值均大于4,说明该位点水体较为清洁。从浮游动物多样性指数分析,汉石桥湿地水体浮游动物种类较为丰富,均匀度也较好。

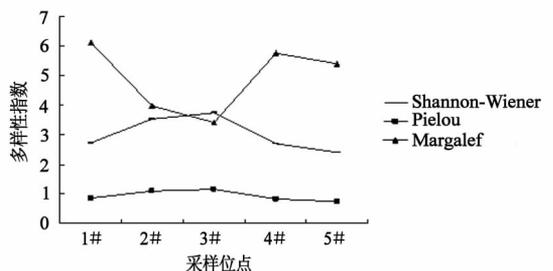


图3 汉石桥湿地浮游动物的多样性指数

2.2.3 浮游动物的优势种类

汉石桥湿地浮游动物的优势种类见表4。由表4可见,曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)和壶状臂尾轮虫(*Brachionus urceus*)在4个采样位点的优势度均大于0.02,属于该湿地浮游动物中的主要优势种;其次是角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、蒲达臂尾轮虫(*Brachionus budapestiensis*)和前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*),在3个位点中作为优势种出现。

3 结论

生物的个体、种群或群落的变化可以客观地反映出水体质量的变化规律^[23]。通过对顺义汉石桥湿地浮游生物群落特征及多样性的分析可以看出,在浮游植物方面,以绿藻门数量最大,其次为硅藻门和蓝藻门;16支采样位点浮游植物数量最大,橡胶坝数量最小。浮游动物方面的情况与浮游植物相似,16支采样位点浮游动物数量最大,入湿地前的1#和南侧水面中心4#采样位点次之,橡胶坝采样位点浮游动物数量最小。全部采样位点均以轮虫为主。由于本次采集到的浮游动

物样品均为现场固定后带回实验室镜检,导致大部分原生动植物变形收缩,因而所得数据原生动植物数量较少,但这并不影响对其他浮游动物群落进行分析。在用多样性指数法分析后发现,结合浮游植物和浮游动物的Margalef丰富度指数数值显示,2#、3#采样位点为轻度污染;Pielou均匀度指数则显示出,3#采样点浮游植物种类较多,分布也最为均匀。优势种的种类及其数量对群落结构的稳定性有重要影响,优势种的种类越多且优势度越小,则群落结构越稳定^[24]。通过对优势种的计算分析,汉石桥湿地2#采样位点浮游植物优势种的种类最多,其次为1#和5#,3#和4#,但差异并不明显;3#采样位点浮游动物优势种种类最多,其次为2#位点。综上分析,在汉石桥湿地的5个采样位点中,2#和3#位点浮游生物数量较多,并且比较均匀,群落结构较为稳定,所反映出的水体质量也较好,这是因为这两个采样点均位于湿地中心,水体循环较好。通过以上分析,汉石桥湿地浮游生物的群落结构特征反映出该水体水质较好,群落结构较为稳定。这一结果较2007年的数据有很大的改善^[25],说明近几年对湿地的保护和修复工作取得了一定成效。

表4 汉石桥湿地浮游植物的优势种

优势种	优势度				
	1#	2#	3#	4#	5#
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	0.35	0.065	0.067	-	-
曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>	0.10	0.062	0.287	-	0.036
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	0.027	-	-	-	-
月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>	0.06	-	-	-	-
卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i>	0.07	0.045	-	-	-
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>	0.133	-	0.061	0.077	0.095
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.117	-	0.070	0.051	-
方形臂尾轮虫 <i>Brachionus quadridentatus</i>	-	0.03	-	-	-
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	-	-	0.046	0.061	0.065
龟形龟甲轮虫 <i>Keratella tesudo</i>	-	0.023	0.021	-	-
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>	-	0.039	-	-	-
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	-	0.061	0.028	-	0.216
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	-	-	0.022	-	-
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	-	-	0.051	0.328	-
小多肢轮虫 <i>Polyarthra minor</i>	-	-	0.030	-	-
水轮虫 <i>Epiphanes</i> sp.	-	-	0.028	-	-
缘板龟甲轮虫 <i>Keratella tichinesis</i>	-	-	-	0.026	-
椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>	-	0.023	-	-	-

注:“-”代表此种浮游动物在该位点优势度小于0.02,不是优势种。

参考文献

- [1] 刘健康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社.
- [2] WATSON S, MCCAULEY E, DOWNING J. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different nutrient status[J]. *Limnol Oceanogr*, 1997, 42: 487-495.
- [3] 路娜, 尹洪斌, 邓建材, 等. 巢湖流域春季浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 950-956.
- [4] SANNA S, MARIA L, MAIJA H. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2006, 71(3-4): 580-592.
- [5] STEVENSON R J, PETERSON C P, KIRSCHTEL A B, et al. Density dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams[J]. *Journal of Phycology*, 1991, 27: 59-69.
- [6] CAMPOS V, CANTARERO S, URRUTIA H, et al. Microcystin in cyanobacterial blooms in a Chilean lake[J]. *Systematic and Applied Microbiology*, 1999, 22(2): 169-173.
- [7] RODRIGUEZ PM, MATSUMURA TUNDISI T. Variations of density, species composition and dominance of rotifers at a shallow tropical reservoir (Broa Reservoir, SP, Brazil) in a short scale time[J]. *Revista Brasileira de Biologia*, 2000, 80(1): 1-9.
- [8] 潘双叶, 陈元, 翁燕波, 等. 东钱湖浮游生物调查以及水质生态学评价[J]. *中国环境监测*, 2008, 24(6): 96-101.
- [9] 高思佳, 陈卫. 白河堡水库浮游动物调查与水质评价[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 29(3): 37-40.
- [10] 于红贤, 张丽娜, 马成学, 等. 海浪河5月份浮游植物群落结构特征和水质营养状态评价[J]. *东北林业大学学报*, 2011, 39(1): 65-68.
- [11] 郭沛涌, 林育真, 李玉仙. 东平湖浮游植物与水质评价[J]. *海洋湖沼通报*, 1997(4): 37-42.
- [12] 邓建明, 蔡永久, 陈宇炜, 等. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(1): 70-78.
- [13] 雷欢, 梁银铨, 朱爱民, 等. 三峡水库童庄河浮游植物及其与水质的关系[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(2): 195-200.
- [14] SHANNON C E, WEAVER W. *The Mathematical Theory of Communication*[M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949.
- [15] MARGALEF D R. *Information theory in ecology*[J]. *General Systems*, 1958(3): 36-71.
- [16] PIELOU E C. *An Introduction to Mathematical Ecology*[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969.
- [17] MCNAUGHTON S J. Relationship among functional prosperities of California grassland[J]. *Nature*, 1967, 216: 168-168.
- [18] 彭刚, 边文冀, 陈校辉. 长江江苏段浮游动物群落结构调查报告[J]. *水利渔业*, 2008, 28(4): 109-120.
- [19] 刘智峰, 郑立柱, 李鹏. 汉江中段浮游植物群落结构与水质评价[J]. *广东农业科学*, 2011(3): 51-153.
- [20] 孙晓雪, 邱小琼, 赵红雪. 宝湖浮游生物群落结构特征研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(4): 2219-2221, 2224.
- [21] 薛俊增, 方伟, 蔡桢. 乌伦古河流域克孜赛水库浮游植物群落组成[J]. *生物学杂志*, 2011, 28(1): 62-65.
- [22] 周谐, 郑坚, 黄书铭, 等. 三峡库区重庆段浮游藻类调查及水质评价[J]. *中国环境监测*, 2006, 22(4): 70-73.
- [23] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 892-899.
- [24] REYNOLD C S. *The ecology of freshwater phytoplankton*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [25] 黄小波, 洪剑明, 杜贵森, 等. 北京市汉石桥湿地浮游植物调查与水质分析[J]. *湖南农业科学*, 2009(4): 133-135.
- 中国水产科学, 2007, 6(14): 1048-1054.
- [18] CHAO N H, LIAO I C. Cryopreservation of finfish and shellfish gametes and embryos[J]. *Aquaculture*, 2001, 197(1-4): 161-189.
- [19] SUQUET M, DRANNO C, PETTON B, et al. Long-term effects of the cryopreservation of turbot (*Psetta maxima*) spermatozoa[J]. *Aquatic Living Resources*, 1998, 11(1): 45-48.
- [20] MUNKITTRICK K R, MOCCIA R D. Advances in the cryopreservation of salmonid semen and suitability for a production-scale artificial fertilization program[J]. *Theriogenology*, 1984, 21(4): 645-659.
- [21] DING S, GE J, HAO C, et al. Long-term cryopreservation of sperm from Mandarin fish *Siniperca chuatsi*[J]. *Anim Reprod Sci*, 2009, 113(1-4): 229-235.
- [22] CHEN Y K, LIU Q H, LI J, et al. Effect of long-term cryopreservation on physiological characteristics, antioxidant activities and lipid peroxidation of red seabream (*Pagrus major*) sperm[J]. *Cryobiology*, 2010, 61(2): 189-193.
- [23] KERBY J H. Cryogenic preservation of sperm from striped bass[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1983, 112: 86-94.
- [24] 陈亚坤, 刘清华, 赵春彦, 等. 长期超低温保存后真鲷精子的质量变化[J]. *海洋科学*, 2010, 34(6): 50-54.

(上接第 115 页)