

文章编号: 1674-5566(2015)05-0694-08

嬉子湖国家级水产种质资源保护区冬季浮游动物群落特征及影响因素

刘凯¹, 蒋书伦², 周彦锋¹, 段金荣¹, 丁娜², 徐跑^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081; 2. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

摘要: 2014年冬季在嬉子湖国家级水产种质资源保护区进行现场调查, 通过对物种组成、优势种结构、密度和生物量、群落多样性等指标进行统计分析, 对保护区浮游动物群落特征进行了研究, 并针对优势物种与主要水环境因子间的关系进行了RDA分析。在保护区所处的嬉子湖设置6个调查断面, 共18个采样点。结果显示, 在保护区共采集到浮游动物4门36属64种, 原生动物、轮虫类、桡足类和枝角类物种数占浮游动物物种总数的比例分别为51.56%、29.69%、10.94%和7.81%。优势种类群为2门5属7种, 其中原生动物4种, 轮虫类3种。保护区浮游动物密度变幅为1 755.25~7 023.38 ind/L, 平均为3 483.44 ind/L; 生物量变幅为0.36~5.34 mg/L, 平均为1.67 mg/L; 群落丰富度指数(*R*)变幅为1.02~1.96, 平均为1.37; 香农指数(*H'*)变幅为2.02~3.47, 平均为2.72; 均匀度指数(*E*)变幅为0.59~0.85, 平均为0.72。在被摄食压力下降及饵料生物资源下降的共同影响下, 冬季保护区外界环境对个体较小的原生动物和轮虫有利, 群落生态优势度也集中于上述浮游动物类群。受到水文特征的影响, 南部湖区的浮游动物物种数、密度和生物量以及多样性指数总体高于中部和北部湖区。

研究亮点: 关于嬉子湖国家级水产种质资源保护区的相关研究未见报道。本文对嬉子湖冬季浮游动物群落现状及空间格局进行了研究, 并针对浮游动物群落与水环境因子的关系进行了RDA分析。相关研究为保护区开展生境修复和资源养护提供了基础资料。

关键词: 嬉子湖; 国家级水产种质资源保护区; 浮游动物; 群落结构; 多样性指数

中图分类号: Q 958

文献标志码: A

嬉子湖国家级水产种质资源保护区位于安徽省桐城市境内, 其所处的嬉子湖是菜子湖水系中最大的湖泊^[1], 属于长江中下游富营养过水型浅水湖泊。湖床呈南北走向, 北高南低, 南北长15 km, 东西最宽处为4 km, 南部通过长河与长江相连。嬉子湖属亚热带湿润气候区, 气候温和, 四季分明, 雨水充沛, 无霜期长, 光照充足。湖区水源主要来自于沿湖地区天然降雨的汇集, 周边无污染性工厂和排污通道, 无常耕农田。保护区周边水系发达, 水流畅通, 水域生态环境良好, 为渔业生物提供了理想的栖息地。保护区总面积为3 460 hm², 其中核心区面积1 200 hm², 实验区

面积2 260 hm²。主要保护对象为中华鳖、日本沼虾和子陵吻鲈。

浮游动物作为次级生产力在水生态系统中起着重要的作用, 同时部分浮游动物对环境污染极为敏感, 因而浮游动物的生态学研究备受关注^[2-3]。浮游动物的群落结构、数量变化以及优势种和污染指示种的变化可以反映水体的水质状况^[4], 其种类组成和现存量的变化能及时准确地反映水域生态环境质量的优劣^[5]。本文通过对嬉子湖国家级水产种质资源保护区浮游动物群落的调查研究, 以期掌握保护区浮游动物群落特征, 为今后在保护区开展相关资源保护工作积

收稿日期: 2015-03-10 修回日期: 2015-05-11

基金项目: 国家科技基础条件平台项目(2015DKA30470)

作者简介: 刘凯(1980—), 男, 副研究员, 研究方向为渔业生态学。E-mail: liuk@ffrc.cn

通信作者: 徐跑, E-mail: xup@ffrc.cn

累本底资料,同时也为今后湖区涉水工程环境影响评价提供素材。

1 材料与方法

1.1 断面设置

2014年12月在嬉子湖国家级水产种质资源保护区水域开展现场调查,根据保护区功能分区并参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[6]设置调查断面和采样站点,在保护区内设置6个水环境调查断面,其中核心区和实验区各设置3个断面,每个断面设置3个采样站点,共设置18个水环境采样站点(图1)。

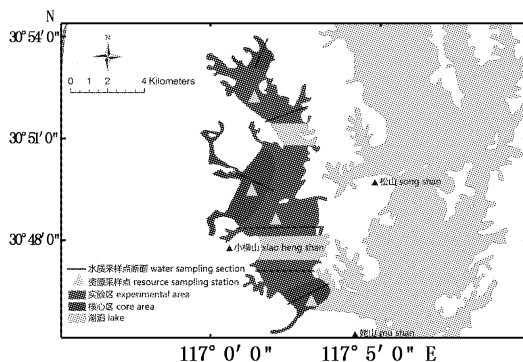


图1 保护区采样断面示意图
Fig.1 Sketch of investigating stations in national aquatic reserve

1.2 样品采集

浮游动物定性样品采集:使用25号浮游生物网在水体表层以约0.5 m/s的速度呈“∞”字状拖曳5 min,用4%的甲醛溶液现场固定后带回实验室;轮虫和原生动物定量采集:使用5 L有机玻璃采水器采集水体表层(0.5 m)和底层(离底0.5 m)均匀混合水样,从中取水样1 L,加入1%鲁哥氏液固定后带回实验室;桡足类与枝角类定量采集:使用5 L有机玻璃采水器采集水体表层(0.5 m)和底层(离底0.5 m)均匀混合水样20 L,用25号浮游生物网过滤浓缩,用4%的甲醛溶液现场固定后带回实验室。浮游动物鉴定均依照《淡水浮游生物研究方法》^[7]和《中国淡水生物图谱》^[8]。小型浮游动物生物量按体积法计算,浮游甲壳动物生物量按体长-体质量回归方程计算。水环境因子的测定方法参照《水和废水监测分析方法》^[9]。

1.3 多样性指数分析

利用 Margalef 丰富度指数(R)^[10]、Shannon-

Wiener 多样性指数(H')^[11]、优势度指数(Y)^[12]和 Pielou 均匀度指数(E)^[13]对嬉子湖国家级水产种质资源保护区浮游动物群落结构特征进行分析评价,计算公式如下:

$$R = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

$$H' = -\sum (N_i / N) \ln (N_i / N) \quad (2)$$

$$Y = (N_i / N) \times f_i \quad (3)$$

$$E = H / \ln S \quad (4)$$

式中: S 为物种总数; N 为所有种类的总个体数; N_i 为第*i*种的个体数; f_i 为各采样点第*i*种的出现频率。

2 结果与分析

2.1 保护区浮游动物组成

现场调查共鉴定出浮游动物4门36属64种,其中原生动物14属33种,占浮游动物种类总数的51.56%;轮虫类11属19种,占29.69%;桡足类6属7种,占10.94%;枝角类5属5种,占7.81%(表1)。

实验区共鉴定出浮游动物4门43种,其中原生动物22种,占实验区浮游动物种类总数的51.16%;轮虫类10种,占23.26%;桡足类7种,占16.28%;枝角类4种,占9.30%。核心区共鉴定出浮游动物4门41种,其中原生动物20种,占核心区浮游动物种类总数的48.78%;轮虫类14种,占34.15%;桡足类5种,占12.20%;枝角类2种,占4.88%。

以优势度指数 $Y > 0.02$ 定为优势种,保护区内共发现浮游动物优势类群为2门5属7种,其中轮虫类3属3种,原生动物2属4种。实验区与核心区优势种组成有所差异(表2)。

2.2 保护区浮游动物密度和生物量

保护区浮游动物密度变幅为1 755.25 ~ 7 023.38 ind/L,平均为3 483.44 ind/L,最大值出现在南部湖区的2号断面,最小值出现在中部湖区的4号断面;生物量变幅为0.36 ~ 5.34 mg/L,平均为1.67 mg/L,最大值同样出现在2号断面,最小值则出现在北部湖区的6号断面。核心区浮游动物密度变幅为1 798.88 ~ 7 023.38 ind/L,平均为3 388.07 ind/L;生物量变幅为0.67 ~ 5.34 mg/L,平均为1.98 mg/L。实验区浮游动物密度变幅为1 755.25 ~ 6 459.75 ind/L,平均为3 578.82 ind/L;生物量变幅为0.35 ~ 3.12 mg/L

L, 平均为 1.35 mg/L。

表 1 保护区浮游动物组成

Tab. 1 Species composition of zooplankton in national aquatic reserve

物种 species	物种 species
原生动物 Protozoa	轮虫类 Rotifera
1 匣壳虫 <i>Centropyxis</i> sp.	34 裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>
2 尖顶砂壳虫 <i>Diffugia acuminata</i>	35 前节晶囊轮虫 <i>Asplachna priodonta</i>
3 小澳砂壳虫 <i>Diffugia australis minor</i>	36 晶囊轮虫 <i>Asplachna</i> sp.
4 琵琶砂壳虫 <i>Diffugia biwae</i>	37 角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>
5 烦恼砂壳虫 <i>Diffugia difficilis</i>	38 蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>
6 橡子砂壳虫 <i>Diffugia glans</i>	39 萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>
7 球形砂壳虫 <i>Diffugia globulosa</i>	40 猪吻轮虫 <i>Dicranophorus</i> sp.
8 叉口砂壳虫 <i>Diffugia gramen</i>	41 大肚须足轮虫 <i>Euchlanis dilatata</i>
9 长圆利氏砂壳虫 <i>Diffugia lismorensis elongata</i>	42 螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>
10 木兰砂壳虫 <i>Diffugia mulanensis</i> nov. spec.	43 曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valaa</i>
11 砂瑞砂壳虫 <i>Diffugia sarissa</i>	44 矩形龟甲轮虫 <i>Kerateua quadrata</i>
12 砂壳虫 <i>Diffugia</i> sp.	45 巨环旋轮虫 <i>Philodina megalotrocha</i>
13 肾形虫 <i>Colpoda</i> sp.	46 长肢多肢轮虫 <i>Polyarthra dolichoptera</i>
14 膜袋虫 <i>Cyclidium</i> sp.	47 针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>
15 单环栉毛虫 <i>Didinium balbianii</i>	48 轮虫 <i>Rotifera</i>
16 双环栉毛虫 <i>Didinium nasutum</i>	49 长足轮虫 <i>Rotaria neptunia</i>
17 长颈虫 <i>Dileptus</i> sp.	50 梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectindta</i>
18 瞬目虫 <i>Glaucoma</i> sp.	51 冠饰异尾轮虫 <i>Trichocerca lophoessa</i>
19 大弹跳虫 <i>Halteria gradinella</i>	52 等刺异尾轮虫 <i>Trichocerca similis</i>
20 粘液瓶口虫 <i>Lagynophrya mucicola</i>	枝角类 Cladocera
21 狭盗虫 <i>Strobilidium</i> sp.	53 圆形盘肠溇 <i>Chydorus sphaericus</i>
22 梨形四膜虫 <i>Tetrahymena pyriformis</i>	54 长额象鼻溇 <i>Bosmina longirostris</i>
23 淡水筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i>	55 长肢秀体溇 <i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i>
24 恩茨筒壳虫 <i>Tintinnidium entzii</i>	56 角突网纹蚤 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>
25 小筒壳虫 <i>Tintinnidium pusillum</i>	桡足类 Copepoda
26 锥形似铃壳虫 <i>Tintinnopsis conus</i> sp. nov.	57 矩形尖额溇 <i>Alona rectangulara</i>
27 江苏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis kiangsuensis</i>	58 剑水蚤 <i>Cyclops</i>
28 长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsis longus</i> sp. nov.	59 台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>
29 钵形似铃壳虫 <i>Tintinnopsis potiformis</i> sp. nov.	60 汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>
30 钵体似铃壳虫 <i>Tintinnopsis subpistillum</i>	61 无节幼体 <i>Nauplius</i>
31 管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsis tutiformis</i>	62 西南荡镖水蚤 <i>Neutrodiaptomus mariadvigae</i>
32 王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis wangi</i>	63 指状许水蚤 <i>Schmackeria inopinus</i>
33 钟虫 <i>Vorticella</i> sp.	64 中华窄腹剑水蚤 <i>Limnoidhona sinensis</i>

表 2 保护区浮游动物优势种组成

Tab. 2 Composition of dominant Species of zooplankton in national aquatic reserve

物种 species	保护区 reserve	核心区 core area	实验区 experimental area
轮虫类 Rotifera			
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.22	0.19	0.29
梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectindta</i>	0.06	0.06	0.12
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	0.04	0.04	0.06
晶囊轮虫 <i>Asplachna</i> sp.	-	0.04	-
原生动物 Protozoa			
管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsis tutiformis</i>	0.20	0.26	0.16
淡水筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i>	0.10	0.08	0.11
王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis wangi</i>	0.09	0.06	0.11
长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsis longus</i> sp. nov.	0.06	-	0.04
瞬目虫 <i>Glaucoma</i> sp.	-	0.05	-

注：“-”表示未出现。

Note:“-”mean not appeared.

利用 6 个断面共 18 个采样点浮游动物密度和生物量数据,基于 ARCGIS 10.3 软件,使用克里金插值法研究湖区浮游动物密度和生物量的空间特征。保护区浮游动物密度和生物量空间特征相对接近,主要表现为中部湖区低于南部和北部湖区。就密度指标而言,位于北部湖区的 6 号断面采集的浮游动物密度较高,但其组成主要为原生动物,其中管形似铃壳虫 (*Tintinnopsis tutuformis*)、长筒似铃壳虫 (*Tintinnopsis longus* sp. nov.) 和瞬目虫 (*Glaucoma* sp.) 占该断面浮游动物密度组成的比例合计为 82.83%,枝角类和桡足类个体很少,生物量也相应较低。因此,保护区浮游动物密度和生物量空间特征呈现出中部湖区密度低、南北湖区密度高以及中北部湖区生物量低、南部湖区生物量高的分布格局(图 2,图 3)。

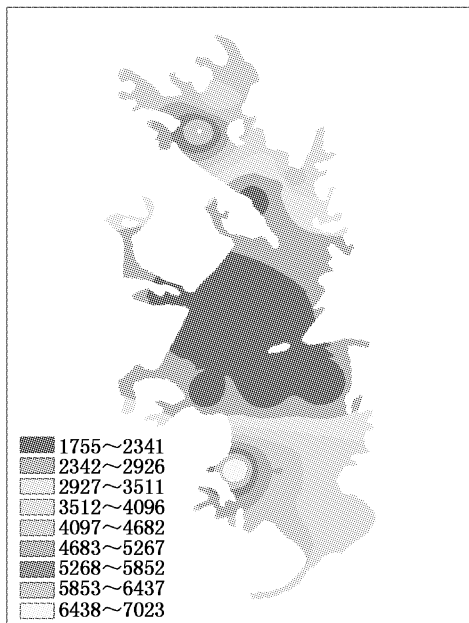


图 2 保护区浮游动物密度空间特征 (ind/L)
Fig. 2 Spatial characteristics of zooplankton density in national aquatic reserve

2.3 保护区浮游动物群落多样性

保护区各采样点浮游动物群落丰富度指数 (R) 变幅为 1.02 ~ 1.96, 平均为 1.37, 最大值出现于南部湖区的 2 号断面, 最小值出现于北部湖区的 5 号断面; 香农指数 (H') 变幅为 2.02 ~ 3.47, 平均为 2.72, 最大值出现于南部湖区的 1 号断面, 最小值出现于北部湖区的 6 号断面; 均匀度指数 (E) 变幅为 0.59 ~ 0.85, 平均为 0.72,

最大值出现于中部湖区的 3 号断面, 最小值出现于北部湖区的 6 号断面。同样基于 ARCGIS 空间插值法研究保护区浮游动物香农指数的空间特征, 结果类似于密度和生物量空间格局, 湖区从南向北总体呈递减趋势(图 4)。

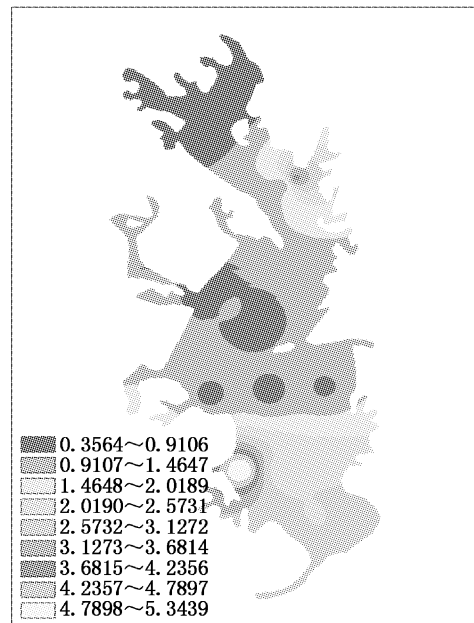


图 3 保护区浮游动物生物量空间特征 (mg/L)
Fig. 3 Spatial characteristics of zooplankton biomass in national aquatic reserve

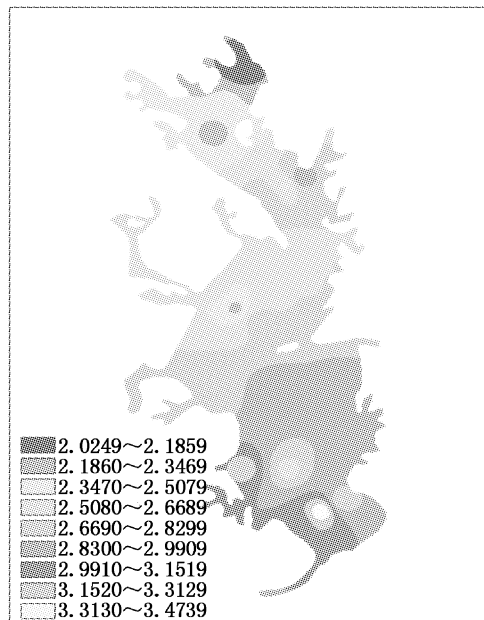


图 4 保护区浮游动物香农指数空间特征
Fig. 4 Spatial characteristics of Shannon index of zooplankton in national aquatic reserve

2.4 保护区水环境因子

保护区各采样点 TP 单项污染指数变幅为 0.15 ~ 0.93 mg/L, 平均为 0.49 mg/L; TN 变幅为 0.40 ~ 1.57 mg/L, 平均为 0.83 mg/L; COD_{Mn} 变幅为 0.52 ~ 1.36 mg/L, 平均为 0.65 mg/L。结果表明, 保护区 DO 和 pH 均符合《地表水环境质量标准》Ⅱ类水质标准; TP 和 COD_{Mn} 均符合Ⅲ类水质标准。保护区主要指标能达到Ⅲ类水质标准, TN 为制约因素。保护区各采样点水质综合营养状态指数变幅为 48.76 ~ 62.71 mg/L, 平均为 54.04

mg/L。其中最大值出现于 6 号断面, 最小值出现于 2 号断面。评价结果表明嬉子湖国家级水产种质资源保护区水域水质综合营养状态为轻度富营养化, 水质定性评价为轻度污染。

现场调查结果表明, 保护区的核心区水质指标总体劣于实验区(表 3), 其原因应与保护区功能区划有关(图 1)。由于保护区的 3 处核心区均位于湖区的近岸水域, 因此核心区水域更易受到周边汇入径流以及人类活动的影响, 且污染物不易于扩散。

表 3 保护区水环境因子
Tab. 3 Factors of water environment in national aquatic reserve

采样断面 sampling sections	TP /(mg/L)	TN /(mg/L)	COD _{Mn} /(mg/L)	Chl. a /(μg/L)	NH ₄ ⁺ -N /(mg/L)	水温 T /°C	DO /(mg/L)	pH	SD/cm	水深 depth /m	浊度 (NTU)
1	0.089	2.03	3.87	7.7	0.11	8.9	11.16	7.62	22	3.0	58.8
2	0.090	1.23	3.69	9.5	0.10	8.4	11.27	7.68	37	4.3	40.6
3	0.101	1.29	3.55	11.2	0.13	8.5	10.98	7.65	34	2.8	29.6
4	0.107	1.45	3.27	11.5	0.13	8.4	10.16	7.51	34	3.2	34.8
5	0.133	1.59	3.49	11.9	0.21	8.2	9.96	7.40	33	2.8	40.0
6	0.067	2.33	5.66	34.2	0.15	8.2	11.13	7.59	22	3.0	63.6
核心区均值 average in core area	0.088	1.94	4.27	17.8	0.13	8.5	10.82	7.57	26	3.1	52.4
实验区均值 average in experimental area	0.108	1.37	3.58	10.9	0.15	8.4	10.74	7.58	35	3.3	36.7
保护区均值 average in reserve	0.098	1.65	3.92	14.3	0.14	8.4	10.78	7.58	30	3.2	44.57

2.5 保护区浮游动物群落 RDA 分析

根据保护区各采样点浮游动物密度、生物量及出现频率对进行 DCA 分析的物种进行筛选, 利用筛选获得的 21 个物种(表 4) 及 8 个环境因子进行 DCA 分析。结果表明 Lengths of gradient 第一轴小于 3.0, 适合进行 RDA(单峰模型)分析。轴 I 和轴 II 的特征值均为 0.227, 筛选的 8 种环境因子共能反映 92.9% 的物种信息量, 两个物种排序轴夹角近似直角, 相关系数为 0.000 2, 两个环境排序轴的相关系数为 0。

RDA 分析结果显示, COD_{Mn}、Chl. a、浊度和 TP 主要在轴 I 影响浮游动物分布, 其中 Chl. a 和 COD_{Mn} 与轴 I 相关性最大, 相关系数分别为 0.882 0 和 0.688 5。原生动物主要与 DO 和 pH 呈正相关, 与 TN 呈负相关; 轮虫类则主要与 TP 和水深呈正相关, 与 COD_{Mn} 和 Chl. a 呈负相关。保护区冬季浮游动物群落中原生动物比较适应 pH 和溶氧较高、总氮含量较低的水域环境, 轮虫类则更倾向于营养程度和 COD_{Mn} 较低、水深较大

的栖息环境(图 5)。

3 结论

3.1 保护区浮游动物群落现状

冬季保护区现场调查共采集到浮游动物 64 种, 与同类研究相比处于较高水平^[14-15]。群落组成以原生动物和轮虫为主, 枝角类和桡足类的物种数、密度和生物量均较少。其原因应与大型浮游动物具有较高的水温需求有关^[16], 同时, 冬季低温条件下浮游植物的留存量较低也是影响其密度和生物量的重要因素^[17]。受此影响, 冬季保护区浮游动物群落优势类群由原生动物和轮虫组成, 第一优势种为针簇多肢轮虫, 这与徐敏^[18]在升金湖冬季调查结果相同。与同类研究相比, 较高的密度和生物量代表着保护区冬季浮游动物具有较高的资源密度, 而群落多样性各项指数较优则表明保护区浮游动物群落结构更为稳定^[15, 18]。就群落结构而言, 冬季鱼类及其他捕食者的摄食压力显著减轻, 综合浮游植物的上行

效应以及捕食者的下行效应影响^[19],冬季保护区水域的外界环境条件总体上有利于个体较小的原生动物和轮虫,因而群落生态优势度也集中于

上述小型浮游动物类群,这也与徐敏^[18]和吴利等^[20]的研究结果相近。

表 4 DCA 分析筛选物种编号
Tab. 4 Numbers of selecting species in DCA analysis

编号 number	物种 species	编号 number	物种 species
sp1	烦恼砂壳虫 <i>Diffugia difficilis</i>	sp12	管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsis tutuformis</i>
sp2	楔子砂壳虫 <i>Diffugia glans</i>	sp13	王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis wangi</i>
sp3	球形砂壳虫 <i>Diffugia globulosa</i>	sp14	钟虫 <i>Vorticella</i> sp.
sp4	叉口砂壳虫 <i>Diffugia gramen</i>	sp15	晶囊轮虫 <i>Asplanchna</i> sp.
sp5	单环带毛虫 <i>Didinium balbianii</i>	sp16	角突臂尾轮虫 <i>B. racionus angularis</i>
sp6	长颈虫 <i>Dileptus</i> sp.	sp17	萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>
sp7	瞬目虫 <i>Glaucoma</i> sp.	sp18	螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>
sp8	淡水筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i>	sp19	曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valaa</i>
sp9	江苏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis kiangsuensis</i>	sp20	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>
sp10	长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsis longus</i> sp. nov.	sp21	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectindta</i>
sp11	钵体似铃壳虫 <i>Tintinnopsis subpistillum</i>		

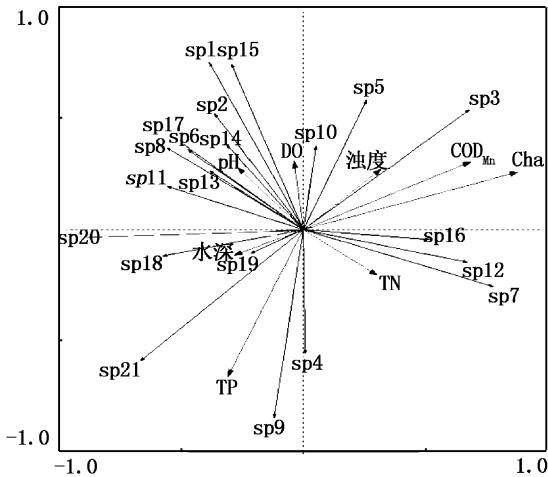


图 5 保护区冬季浮游动物群落物种-环境关系的 RDA 二维排序图

Fig. 5 RDA biplot of zooplankton species and environmental variables in national aquatic reserve

3.2 保护区浮游动物群落空间特征

嬉子湖国家级水产种质资源保护区南部通过长 1 km、宽 200 m 的河道与菜子湖相连,因此南部湖区水体流动性和交换率均好于中部和北部湖区,水体中的污染物稀释和扩散能力也相对较强。调查结果表明,位于南部湖区的采样断面浮游动物物种数、密度和生物量均相对较高,同时相对均匀的优势度分布使得南部湖区的浮游动物群落多样性水平也高于中部和北部湖区,利用 ARCGIS 空间插值获取的保护区浮游动物密度、生物量及多样性指数空间格局也清晰地反映

了这一特征,可能与保护区内各湖区水域生态环境质量差异直接相关。另外,根据保护区功能分区,核心区均设于近岸浅水区,近岸水域更易受到周边汇入径流以及人类活动的影响,水深较浅则不利于水体污染物的扩散,因此核心区水域环境质量总体上劣于实验区。

参考文献:

- [1] 徐小雨,周立志,朱文中,等. 安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征[J]. 生态学报, 2011, 31(4): 943-953.
XU X Y, ZHOU L Z, ZHU W Z, et al. Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 943-953.
- [2] 陈光荣,钟萍,张修峰,等. 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351-356.
CHEN G R, ZHONG P, ZHANG X F, et al. Zooplankton and its relationship with water quality in Huizhou West Lake [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(3): 351-356.
- [3] 陈永进,周彦锋,徐东坡,等. 中华绒螯蟹、鳊鱼保护区浮游动物群落特征与水质生态学评价[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(4): 833-840.
CHEN Y J, ZHOU Y F, XU D P, et al. Zooplankton community characteristics and ecological assessment of water quality in *Eriocheir sinensis*, *Siniperca chuatsi* national aquatic germ plasm resources protected areas [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(4): 833-840.
- [4] 王凤娟,胡子全,汤洁,等. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型[J]. 生态科学, 2006, 25(6): 550-553.

- WANG F J, HU Z Q, TANG J, et al. Evaluation of water quality and the type of nourishment in the Eastern Zone of Lake Chaohu by means of zooplankton [J]. *Ecologic Science*, 2006, 25(6): 550-553.
- [5] 李学军, 鲍战猛, 高彩凤, 等. 北运河浮游动物调查及水质评价[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(6): 1559-1564.
- LI X J, BAO Z M, GAO C F, et al. Zooplankton investigation and water quality evaluation in Beiyun River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(6): 1559-1564.
- [6] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- ZHANG J M, HE Z H. Inland fisheries natural resources survey handbook[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991.
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 2-414.
- ZHANG Z S, HUANG X F. Research Methods of Freshwater Plankton[M]. Beijing: Science Press, 1991: 2-414.
- [8] 韩茂森. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 2-196.
- HAN M S. The freshwater biology map of China [M]. Beijing: Ocean Press, 1995: 2-296.
- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- The Water and Wastewater Monitoring Method Editorial Board of National Environmental Protection Agency. Water and wastewater monitoring method[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [10] SOBALLE D M, KIMMEL B L. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes, and impoundments [J]. *Ecology*, 1987, 68(6): 1943-1954.
- [11] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 11-13.
- [12] 陈清潮, 黄良民, 尹健强. 南沙群岛及其邻近海域海洋生物多样性研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1994: 42-50.
- CHEN Q Y, HUANG L M, YIN J Q. Marine biodiversity research of Spratly Islands and its adjacent waters [M]. Beijing: Ocean Press, 1994: 42-50.
- [13] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13: 131-144.
- [14] 侯来利. 淮南市高塘湖水域浮游动物群落特征研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2007: 38-40.
- HOU L L. Study on the community characteristics of zooplankton of Gaotang Lake in Huainan [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2007: 38-40.
- [15] 李红, 祁峰, 谢春刚, 等. 博斯腾湖浮游动物群落结构特征与分布的季节性变化[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(4): 832-842.
- LI H, QI F, XIE C G, et al. Zooplankton in Bosten Lake: community characteristics and seasonal changes in distribution [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(4): 832-842.
- [16] 金琼贝, 盛连喜, 张然. 温度对浮游动物群落的影响[J]. *东北师大学报: 自然科学版*, 1991(4): 103-111.
- JIN Q B, SHENG L X, ZHANG R. Impact of temperature on zooplankton community [J]. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science*, 1991(4): 103-111.
- [17] 张洁, 潜小兰, 白承荣, 等. 信江干流浮游动物分布特征及水质评价[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(6): 1353-1358.
- ZHANG J, QIAN X L, BAI C R, et al. Space-time distribution characteristics of zooplankton Xinjiang River and its water quality assessment [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(6): 1353-1358.
- [18] 徐敏. 安徽升金湖浮游动物群落结构研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2011: 12-34.
- XU M. Zooplankton community structure in Shengjinhu Lake [D]. Hefei: Anhui University, 2011: 12-34.
- [19] 王博, 廖剑宇, 刘全儒, 等. 东江干流浮游动物群落结构特征及与水质的关系[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(6): 608-612.
- WANG B, LIAO J Y, LIU Q R, et al. Community structure of zooplankton and its relation with water quality in Dongjiang River [J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2013, 49(6): 608-612.
- [20] 吴利, 冯伟松, 张莹林, 等. 湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(4): 619-625.
- WU L, FENG W S, ZHANG T L, et al. The annual fluctuation of zooplankton community and its relation with environmental factors in Lake Xiliang, Hubei Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(4): 619-625.

The characteristics of zooplankton community and impact factors in national aquatic germplasm reserve of Xizi Lake in winter

LIU Kai¹, JIANG Shulun², ZHOU Yanfeng¹, DUAN Jinrong¹, DING Na², XU Pao^{1,2}

(1. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of Yangtze River, Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: In order to explore the community structure of zooplankton in Xizi Lake and its relationship with environmental factors, the species structure, dominant groups and distribution of zooplankton in Xizi Lake were investigated in December 2014 while RDA analysis was conducted to grope for the nexus between dominant species and main water environmental factors. Totally 6 investigation sections which contained 18 sampling points were set in the national aquatic germplasm reserve of Xizi Lake. The results indicated that 33 species of protozoa (51.56%), 19 species of rotifer (29.69%), 7 species of copepoda (10.94%) and 5 species of cladocera (7.81%) were comprised. The dominant species of both core area and experimentation area were protozoa and rotifers. The range of zooplankton density was 1 755.25 – 7 023.38 ind/L and the average was 3 483.44 ind/L. The range of zooplankton biomass was 0.36 – 5.34 mg/L and the average was 1.67 mg/L. Community richness index (R) ranged from 1.02 – 1.96 while the average was 1.37; Shannon index (H') ranged from 2.02 – 3.47 and the average was 2.72; Evenness index (E) ranged from 0.59 – 0.85 and the average was 0.72. Under the common influence of both the degressive pressure of predators and the decrease of food resources, small individuals like protozoa and rotifers could benefit from the external winter circumstances of the reserve, and as a result, ecological dominance of zooplankton community were inclined to aforementioned groups. Besides, impacted by hydrological characteristics, the number and biomass of zooplankton species and diversity index of the southern part excelled those of the northern and central parts as a whole.

Key words: Xizi Lake; national aquatic germplasm reserve; zooplankton; community structure; biodiversity index