

## 淮河中游国家级水产种质资源保护区冬季浮游动物群落特征的研究

刘 凯<sup>1</sup>, 周彦锋<sup>1</sup>, 段金荣<sup>1</sup>, 周 游<sup>1</sup>, 蒋书伦<sup>2</sup>, 宋江腾<sup>2</sup>, 丁 娜<sup>2</sup>, 徐东坡<sup>1</sup>

(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 年冬季分别对淮河淮南段长吻鮠国家级水产种质资源保护区和淮河荆涂峡鲤、长吻鮠国家级水产种质资源保护区进行采样调查, 研究了浮游动物群落结构特征以及关键影响因素。结果表明, 两个保护区共发现浮游动物 57 种, 均以原生动物为主体。其中淮南段保护区共 38 种, 包括原生动物 22 种, 轮虫 7 种, 桡足类 6 种, 枝角类 3 种; 荆涂峡保护区共 39 种, 包括原生动物 23 种, 轮虫 6 种, 桡足类 7 种, 枝角类 3 种。淮南段保护区和荆涂峡保护区浮游动物密度均值分别为  $(1\ 313.17 \pm 500.53)$  个/L 和  $(1\ 601.46 \pm 669.02)$  个/L, 生物量均值分别为  $(0.23 \pm 0.12)$  mg/L 和  $(0.41 \pm 0.50)$  mg/L。浮游动物多样性指数评价结果显示, 两处保护区均为中度污染, 荆涂峡保护区水质优于淮南段保护区。RDA 分析结果表明, 水深、浊度、pH、透明度是影响淮南段保护区浮游动物群落结构的主要因素, 而荆涂峡保护区的主要影响因子则为水温、总磷、磷酸盐、叶绿素 a 和高锰酸盐指数。

**关键词:** 淮河; 国家级水产种质资源保护区; 浮游动物; 水环境因子; 冗余分析

**中图分类号:** S 932.8      **文献标志码:** A

淮河流经河南、安徽、江苏三省, 全长约 1 000 km, 洪河口至洪泽湖中渡出口为淮河干流中游, 全长约 490 km。淮河淮南段长吻鮠国家级水产种质资源保护区(下文简称淮南段保护区)和淮河荆涂峡鲤、长吻鮠国家级水产种质资源保护区(下文简称荆涂峡保护区)均位于蚌埠闸上淮河中游干流, 其中淮南段保护区位于安徽省淮南市李冲回族乡至平圩淮河大桥之间淮河水域, 保护区总面积为 1 000  $\text{hm}^2$ ; 荆涂峡保护区位于安徽省怀远县淮河荆涂峡山口上下游, 北至涡河入淮河口处, 西至荆山, 东至涂山, 南至茨淮新河入淮河口处, 保护区总面积为 1 671  $\text{hm}^2$ 。

浮游动物作为水域生态系统的重要组成部分, 在物质转化、能量流动、信息传递等生态过程中发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>。浮游动物既可调节控制细菌和藻类的数量<sup>[3]</sup>, 又是众多渔业生物的基础饵料<sup>[4]</sup>, 同时浮游动物群落多样性还是水域生态系统服务功能的重要评价指标之一<sup>[5]</sup>, 其物种组

成和现存量的变化可以准确反映水域生态环境质量的优劣<sup>[6]</sup>。目前, 淮河干流中游浮游动物研究已有报道, 如夏军等<sup>[7]</sup>研究了蚌埠闸对其下游河段浮游动物群落的影响; 孙璞等<sup>[8]</sup>报道了近 20 年来淮河中游河段浮游动物的变动情况; 邓道贵等<sup>[9-10]</sup>调查了淮河中游干流浮游甲壳动物群落结构特征。然而, 针对淮河干流中游淮南段保护区和荆涂峡保护区浮游动物研究未见报道。本研究对上述两处国家级水产种质资源保护区冬季浮游动物群落进行调查, 掌握两处保护区冬季浮游动物群落结构特征及关键影响因素, 以期为两处保护区及淮河流域生态环境保护和渔业资源管理提供理论基础。

### 1 材料与方法

#### 1.1 断面及样点设置

2014 年 12 月在淮南段保护区和荆涂峡保护区开展现场调查, 其中淮南段保护区位于荆涂峡

收稿日期: 2015-11-04      修回日期: 2016-06-13

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: 徐东坡, E-mail: xudp@ffrc.cn

保护区上游约 30 km 处,根据各保护区的功能区划并参照《水生生物监测手册》<sup>[11]</sup> 设置调查断面和采样点,在上述两个保护区各设置 8 个调查断面,其中核心区均设置 3 个调查断面(淮南段保护区为断面 1、2、3,荆涂峡保护区为断面 6、7、

8),实验区均设置 5 个断面,其中淮南段保护区各断面均位于淮河干流;荆涂峡保护区断面 3 位于支流茨淮新河,断面 4 位于支流涡河,其余均位于淮河干流,每个断面均设置 3 个采样站点,两个保护区共设置 48 个采样点(图 1)。

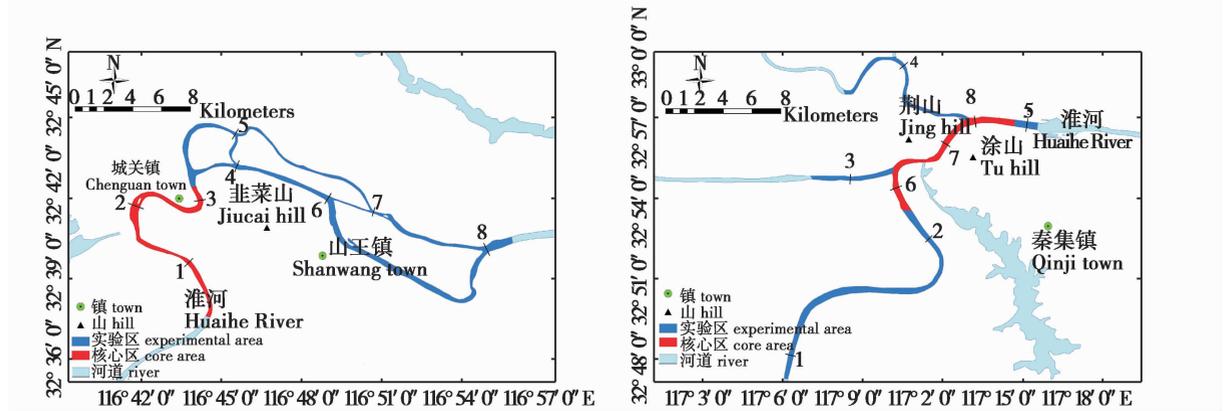


图 1 两处保护区采样断面示意图

Fig. 1 Sampling stations of two national aquatic reserves in Huaihe River

### 1.2 样品采集与检测

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)的均匀混合水样,取 1 L 水样,加入 10 mL 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)的均匀混合水样 20 L,经 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。浮游动物鉴定参照《淡水浮游生物图谱》<sup>[12]</sup>、《中国淡水轮虫志》<sup>[13]</sup>、《淡水生物学》<sup>[14]</sup> 和《原生动物学》<sup>[15]</sup>。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。总磷(TP)、总氮(TN)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、叶绿素 a (Chl. a)、磷酸盐(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)等水质参数测定参照《水和废水监测分析方法》<sup>[16]</sup> 进行,溶解氧(DO)、酸碱度(pH)、水温(T)、浊度(Tur)、水深(H)和透明度(SD)等参数分别使用 HACH HQ 30D 型溶氧仪、HACH HQ 11D 型 pH 计、HANHA HI 98703 型浊度计、HONDEX PS-7 型潜水手持声呐和塞氏盘等测

定。

### 1.3 评价方法

利用 Margalef 丰富度指数(R)<sup>[17]</sup>、Shannon-Wiener 多样性指数(H')<sup>[18]</sup> 和 Pielou 均匀度指数(E)<sup>[19]</sup> 对保护区浮游动物群落结构特征进行描述,计算公式如下:

$$R = (S - 1) / \log_2 N \tag{1}$$

$$H' = -\sum (N_i / N) \cdot \log_2 (N_i / N) \tag{2}$$

$$E = H' / \log_2 S \tag{3}$$

式中:S 为物种总数;N 为所有种类的总个体数;N<sub>i</sub> 为第 i 种的个体数。以优势度指数 Y > 0.02 定为优势种<sup>[20]</sup>。多样性指数(H')评价标准<sup>[21]</sup> 为:H' > 3,轻或无污染;1 < H' < 3,中污染;0 < H' < 1,重污染。

参照国家环境保护部颁发的《地表水环境质量标准》(GB3838—2002),并选用综合营养状态指数 TLI(Σ)对两处保护区的水体健康状态进行评价,计算方法参照王明翠等<sup>[22]</sup> 的研究进行,公式为:

$$TLI(\Sigma) = \sum W_j TLI(j) \tag{4}$$

式中:W<sub>j</sub> 为第 j 种参数的相关权重;TLI(j) 代表第 j 种参数的营养状态指数。评价参考《湖泊富营养化调查规范》<sup>[23]</sup> 和《中国湖泊志》<sup>[24]</sup>,采用 0 ~ 100 的一系列数字对水体的营养状态进行分级

(表 1)。

表 1 水体营养水平评分值对应表  
Tab. 1 Categories and assessment value of water quality

营养状态分级 class of eutrophication	综合营养状态指数 TLI( $\Sigma$ )	定性评价 qualitative evaluation
贫营养/oligotropher	$0 < TLI(\Sigma) \leq 30$	优
中营养/mesotropher	$30 < TLI(\Sigma) \leq 50$	良好
(轻度)富营养/light eutropher	$50 < TLI(\Sigma) \leq 60$	轻度污染
(中度)富营养/middle eutropher	$60 < TLI(\Sigma) \leq 70$	中度污染
(重度)富营养/hyper eutropher	$70 < TLI(\Sigma) \leq 100$	重度污染

#### 1.4 数据处理与统计

使用 CANOCO 4.5 软件分析浮游动物群落与环境因子的关系,以物种在各采样点频度  $\geq 25\%$  并至少在一个采样点相对密度  $\geq 0.5\%$  为条件进行筛选,环境数据除 pH 以外均进行  $\lg(x+1)$  转换<sup>[25]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 保护区水环境因子

淮南段保护区各采样点 TP 含量变幅为 0.05 ~ 0.17 mg/L, 平均为  $(0.103 \pm 0.012)$  mg/L; TN 变幅为 2.57 ~ 3.19 mg/L, 平均为  $(2.85 \pm 0.10)$  mg/L; COD<sub>Mn</sub> 变幅为 0.56 ~ 0.63 mg/L, 平均为  $(0.59 \pm 0.07)$  mg/L; 水体综合营养状态指数变幅为 50.01 ~ 56.15, 平均为  $52.77 \pm 1.25$ 。荆涂峡保护区各采样点 TP 含量变幅为 0.07 ~ 0.10 mg/L, 平均为  $(0.084 \pm 0.004)$  mg/L; TN 变幅为 1.14 ~ 3.20 mg/L, 平均为  $(2.42 \pm 0.75)$  mg/L; COD<sub>Mn</sub> 变幅为 0.52 ~ 1.36 mg/L, 平均为  $(0.65 \pm 0.26)$  mg/L; 水体综合营养状态指数变幅为 47.42 ~ 51.30, 平均为  $49.02 \pm 0.86$ 。结果表明,荆涂峡保护区的主要水化学指标优于淮南段保护区,但两处保护区内采样断面间主要指标的差异不明显 ( $P > 0.05$ ), 见表 2。

### 2.2 保护区浮游动物组成

淮南段保护区共鉴定出浮游动物 28 属 38 种,包括原生动物 16 属 22 种,占浮游动物物种总数的 57.89%; 轮虫类 5 属 7 种,占 18.42%; 桡足类 5 属 6 种,占 15.79%; 枝角类 3 属 3 种,占 7.89%。荆涂峡保护区共鉴定出浮游动物 23 属

39 种,包括原生动物 10 属 23 种,占浮游动物物种总数的 58.97%; 轮虫类 4 属 6 种,占 15.38%; 桡足类 6 属 7 种,占 17.95%; 枝角类 3 属 3 种,占 7.69% (表 3)。两处保护区浮游动物物种组成均以原生动物占优,优势种各有 5 种 (表 4)。

### 2.3 保护区浮游动物现存量

淮南段保护区各采样点浮游动物密度变幅为 434 ~ 2 281 个/L, 均值为  $(1 313.17 \pm 500.53)$  个/L; 生物量变幅为 0.06 ~ 0.45 mg/L, 平均为  $(0.23 \pm 0.12)$  mg/L。荆涂峡保护区密度变幅为 672 ~ 3 073 个/L, 平均为  $(1 601.46 \pm 669.02)$  个/L; 生物量变幅为 0.05 ~ 1.78 mg/L, 平均为  $(0.41 \pm 0.50)$  mg/L。分析结果显示,淮南段保护区各断面浮游动物密度和生物量差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 荆涂峡保护区表现为支流大于干流, 两个保护区相较则表现为荆涂峡保护区高于淮南段保护区 (图 2)。

### 2.4 保护区浮游动物群落多样性指数

淮南段保护区各采样点浮游动物丰富度指数变幅为 0.50 ~ 1.40, 平均为  $0.99 \pm 0.21$ ; 香农指数变幅为 1.06 ~ 2.74, 平均为  $2.14 \pm 0.43$ ; 均匀度指数变幅为 0.41 ~ 0.84, 平均为  $0.63 \pm 0.11$ 。荆涂峡保护区丰富度指数变幅为 0.57 ~ 1.40, 平均为  $1.01 \pm 0.26$ ; 香农指数变幅为 1.46 ~ 2.96, 平均为  $2.35 \pm 0.46$ ; 均匀度指数变幅为 0.49 ~ 0.79, 平均为  $0.65 \pm 0.09$ 。荆涂峡保护区各指数均值均优于淮南保护区,但两处保护区内采样断面间多样性指数的差异不明显 ( $P > 0.05$ ), 见图 3。

表 2 保护区水环境因子  
Tab.2 Factors of water environment in national aquatic reserves

采样断面 sampling sections	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> / (mg/L)	Chl. a/ (μg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/ (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg/L)	水温/℃	DO/ (mg/L)	pH	SD/cm	水深/m	浊度 (NTU)	
淮南段保护区 Huainan reserve	1	0.106	2.94	3.62	3.8	0.056	0.49	8.0	10.99	7.88	27	7.33	49.2
	2	0.128	2.83	3.63	4.2	0.061	0.46	8.1	10.99	7.91	27	7.62	49.5
	3	0.103	2.74	3.52	4.2	0.061	0.42	8.5	10.81	7.77	33	11.19	37.7
	4	0.104	2.76	3.51	4.4	0.057	0.59	8.5	10.76	7.92	35	8.97	37.5
	5	0.098	2.92	3.52	4.1	0.063	0.44	8.1	10.74	8.07	34	5.44	29.5
	6	0.093	2.79	3.46	4.0	0.063	0.40	8.4	10.79	7.91	36	7.88	38.7
	7	0.089	3.01	3.64	4.2	0.060	0.40	8.2	10.85	7.95	39	3.66	33.1
	8	0.094	2.81	3.51	3.1	0.061	0.35	7.9	10.66	7.96	53	7.07	28.3
均值 average	0.103	2.85	3.55	4.0	0.060	0.45	8.2	10.84	7.91	35	7.54	38.8	
荆涂峡保护区 Jintuxia reserve	1	0.087	3.11	3.44	2.2	0.061	0.41	9.0	10.32	7.91	54	9.20	24.1
	2	0.085	2.10	3.63	4.0	0.076	0.43	9.0	10.53	7.90	53	5.48	18.6
	3	0.079	1.23	3.75	5.8	0.010	0.06	9.2	11.59	8.65	81	5.41	12.2
	4	0.090	2.58	3.36	5.8	0.056	0.34	7.9	11.41	8.40	74	5.42	15.4
	5	0.082	3.06	3.12	3.4	0.057	0.38	9.0	10.38	8.03	67	7.24	18.4
	6	0.082	1.45	3.62	6.1	0.056	0.36	9.1	10.63	8.57	58	10.51	19.6
	7	0.085	3.04	3.14	1.6	0.057	0.40	9.3	10.11	8.47	58	12.41	20.9
	8	0.081	2.81	3.08	2.9	0.054	0.38	9.2	10.18	8.67	58	10.99	20.3
均值 average	0.084	2.42	3.40	4.0	0.053	0.34	8.9	10.67	8.31	63	8.13	18.6	

表 3 保护区浮游动物组成  
Tab.3 Species composition of zooplankton in national aquatic reserve

种类 species	拉丁名 Latin name	淮南段 保护区 Huainan reserve	荆涂峡 保护区 Jintuxia reserve	种类 species	拉丁名 Latin name	淮南段 保护区 Huainan reserve	荆涂峡 保护区 Jintuxia reserve
原生动物 <b>Protozoa</b>				尾毛虫	<i>Urotricha</i> sp.	+	
半圆表壳虫	<i>Arcellahemii sphaerica</i>	+		钟虫.1	<i>Vorticella</i> sp.1	+	
团脾蛭虫	<i>Askenasia volvox</i>	+		钟虫.2	<i>Vorticella</i> sp.2		+
纤毛虫	<i>Ciliate</i> sp.	+	+	钟虫.3	<i>Vorticella</i> sp.3		+
豆形虫	<i>Colpidium</i> sp.	+		钟虫.4	<i>Vorticella</i> sp.4		+
小发袋虫	<i>Cristigera minuta</i>	+		钟虫.5	<i>Vorticella</i> sp.5		+
荆棘匣壳虫	<i>Centropyxis culeata</i>		+	轮虫类 <b>Rotifera</b>			
小澳砂壳虫	<i>Diffugiaaustralis minor</i>		+	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionusca lyciflorus</i>		+
弯角长圆沙壳虫	<i>Diffugiaoblunga curvicaulis</i>		+	叉角聚花轮虫	<i>Conochilus dossnarius</i>	+	
橡子砂壳虫	<i>Diffugia glans</i>		+	长三肢轮虫	<i>Filinalongiseta</i>	+	
单环栉毛虫	<i>Didiniumbalbiani</i>	+		螺形龟甲轮虫	<i>Keratellaacohlearis</i>	+	+
游仆虫	<i>Euplotes</i> sp.	+		矩形龟甲轮虫	<i>Keratellaquadrata</i>	+	+
大弹跳虫	<i>Halteriagrandinella</i>	+		曲腿龟甲轮虫	<i>Keratellavalga</i>		+
半眉虫	<i>Hemiophrys</i> sp.		+	针簇多肢轮虫	<i>Polyarthratrigla</i>	+	+
淡水麻铃虫	<i>Leptotinnus fluviatile</i>	+	+	轮虫	<i>Rotifera</i> sp.	+	
漫游虫	<i>Litonotus</i> sp.	+		梳状疣毛轮虫	<i>Synchaetapectinata</i>	+	+
旋回侠盗虫	<i>Strobilidiumgyrans</i>	+	+	桡足类 <b>Copepoda</b>			
梨形四膜虫	<i>Tetrahymanapyriformis</i>	+		剑水蚤	<i>Cyclops</i> sp.	+	+
淡水筒壳虫	<i>Tintinnidium fluviatile</i>	+	+	近邻剑水蚤	<i>Cyclops vicinus</i>	+	+
恩茨筒壳虫	<i>Tintinnidiumtzei</i>	+	+	中华窄腹剑水蚤	<i>Limnoithonasinensis</i>	+	+
小筒壳虫	<i>Tintinnidiumpusillum</i>	+	+	广布中剑水蚤	<i>Mesocyclopsleuckarti</i>		+
筒壳虫	<i>Tintinnidium</i> sp.	+		无节幼体	<i>Nauplii</i>	+	+
长筒似铃壳虫	<i>Tintinnopsislongus</i>	+	+	汤匙华哲水蚤	<i>Sinocalanusdorrii</i>	+	+
罇形似铃壳虫	<i>Tintinnopsispotiformis</i>	+		指状许水蚤	<i>Schmackeriaianopinus</i>	+	+
管形似铃壳虫	<i>Tintinnopsisstutiformis</i>	+	+	枝角类 <b>Cladocera</b>			
王氏似铃壳虫	<i>Tintinnopsiswangi</i>	+	+	长额象鼻溞	<i>Bosminalongirostris</i>	+	
中华似铃壳虫	<i>Tintinnopsisniensis</i>		+	脆弱象鼻溞	<i>Bosminafatalis</i>		+
锥形似铃壳虫	<i>Tintinnopsisconicus</i>		+	角突网纹溞	<i>Ceriodaphniacornuta</i>		+
江苏似铃壳虫	<i>Tintinnopsiskiangsuensis</i>		+	盔形溞	<i>Daphnia galeat</i>	+	+
钵体似铃壳虫	<i>Tintinnopsissubpistillum</i>		+	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	+	
旋尾纓虫	<i>Urocentrumterbo</i>	+					

表 4 保护区浮游动物优势种及优势度

Tab. 4 Dominant species and dominance of zooplankton in national aquatic reserves

类群 groups	物种 species	淮南段保护区 Huainan reserve	荆涂峡保护区 Jintuxia reserve
原生动 Protozoa	恩茨筒壳虫 <i>Tintinnidiumentzii</i>	0.38	0.02
	长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsislongus</i>	—	0.12
	管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsisistutiformis</i>	—	0.24
	小筒壳虫 <i>Tintinnidiumpusillum</i>	0.28	—
	王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsiswangi</i>	0.05	0.10
轮虫类 Rotifera	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthratrigla</i>	0.03	—
	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaetapectinata</i>	0.03	0.02

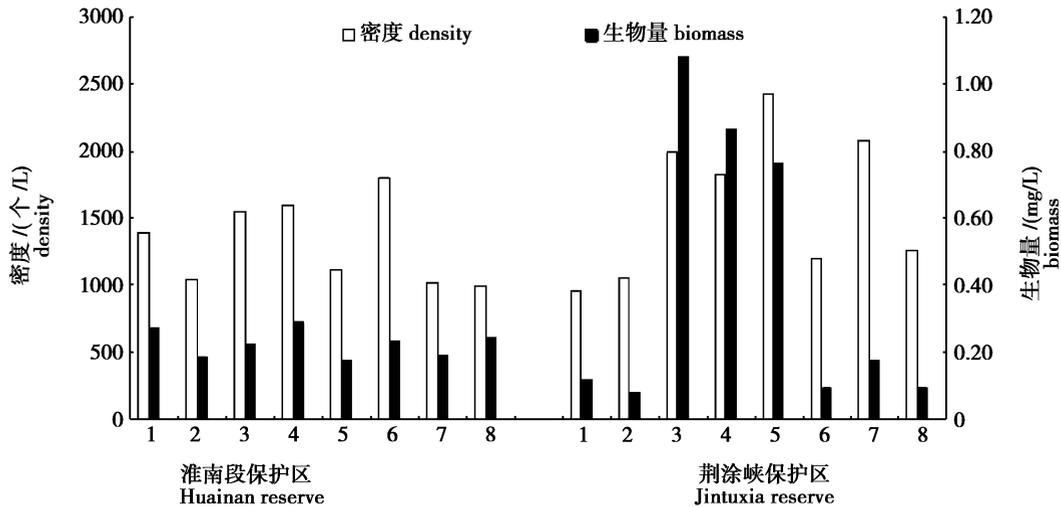


图 2 保护区浮游动物现存量空间特征

Fig. 2 Spatial characteristics of standing crop of zooplankton in national aquatic reserves

## 2.5 浮游动物群落与环境因子的关系

淮南段保护区和荆涂峡保护区浮游动物群落 DCA 分析结果显示,排序轴梯度长度(LGA)分别为 1.868 和 1.855,均小于 3,因此适用基于线性的 RDA 分析。根据各物种出现的频度和密度对两个保护区的浮游动物进行筛选,其中淮南段保护区和荆涂峡保护区分别筛选出 13 种和 9 种浮游动物(表 5)。RDA 分析结果表明,上述两个保护区第一排序轴和第二排序轴相关系数分别为  $-0.0396$  和  $-0.0907$ ,两个环境排序轴的相关系数均为 0;淮南段保护区环境因子轴和物种排序轴之间的相关系数分别为 0.8884 和 0.9015,荆涂峡保护区分别为 0.9813 和 0.8699,上述参数表明排序结果可靠,数据拟合程度较好。

RDA 分析结果显示,淮南段保护区排序轴 1

与水深正相关性最大,其次为浊度和水温,相关系数依次为 0.6727、0.3231 和 0.3197;与 pH 的负相关性最大,其次为透明度,相关系数依次为  $-0.5796$  和  $-0.3803$ 。排序轴 2 与透明度的正相关性最大(0.4933),与总磷的负相关性最大( $-0.5126$ )。荆涂峡保护区排序轴 1 与总磷正相关性最大,其次为磷酸盐和叶绿素 a,相关系数依次为 0.5474、0.4212 和 0.3417;与水温的负相关性最大,其次为高锰酸盐指数,相关系数依次为  $-0.7715$  和  $-0.3582$ 。排序轴 2 与总磷的正相关性最大(0.2633),与水温的负相关性最大( $-0.2522$ )。淮南段保护区主要影响因子是水深、浊度、pH、透明度,荆涂峡保护区则是水温、总磷、磷酸盐、叶绿素 a 和高锰酸盐指数(图 4)。

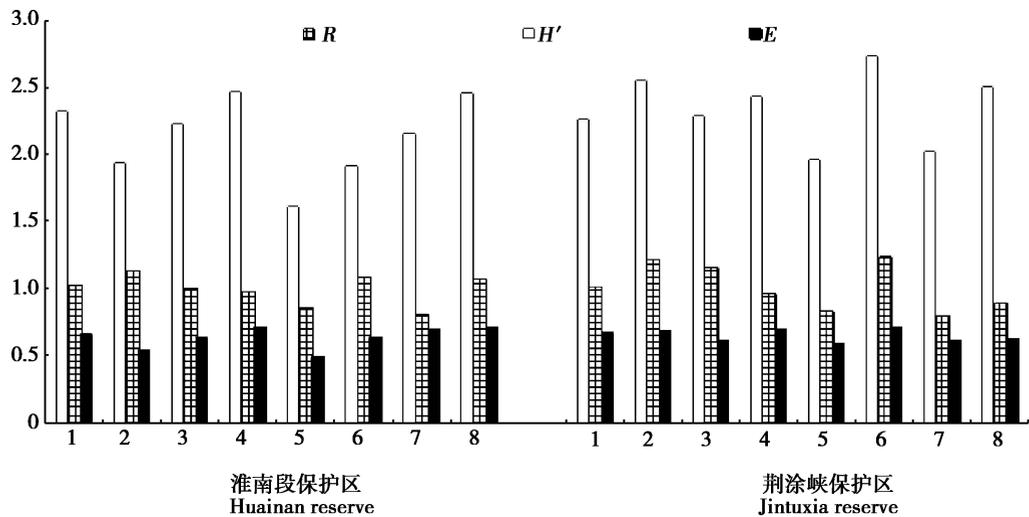


图 3 保护区浮游动物多样性空间特征

Fig. 3 Spatial characteristics of biodiversity of zooplankton in national aquatic reserves

表 5 RDA 分析代表物种

Tab. 5 Representative species of zooplankton for RDA in national aquatic reserves

淮南段保护区 Huainan reserve	物种 species	荆涂峡保护区 Jintuxia reserve	物种 species
S1	纤毛虫 <i>Ciliate</i> sp.	S1	淡水麻铃虫 <i>Leprotintinnusfluviatile</i>
S2	大弹跳虫 <i>Halteriagrandinella</i>	S2	旋回侠盗虫 <i>Strobilidiumgyrans</i>
S3	淡水麻铃虫 <i>Leprotintinnusfluviatile</i>	S3	恩茨筒壳虫 <i>Tintinnidiummentzii</i>
S4	淡水筒壳虫 <i>Tintinnidiumfluviatile</i>	S4	长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsislongus</i>
S5	恩茨筒壳虫 <i>Tintinnidiummentzii</i>	S5	管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsisistutuformis</i>
S6	小筒壳虫 <i>Tintinnidiumpusillum</i>	S6	王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsiswangi</i>
S7	长筒似铃壳虫 <i>Tintinnopsislongus</i>	S7	钟虫 <i>Vorticella</i> sp1.
S8	管形似铃壳虫 <i>Tintinnopsisistutuformis</i>	S8	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthratrigla</i>
S9	王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsiswangi</i>	S9	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaetapectinata</i>
S10	钟虫 <i>Vorticella</i> sp1.	-	-
S11	螺形龟甲轮虫 <i>Keratellacochelearis</i>	-	-
S12	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthratrigla</i>	-	-
S13	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaetapectinata</i>	-	-

表 6 RDA 统计参数

Tab. 6 Parameters of RDA in national aquatic reserves

地点 sections	轴 axis	I	II	III	IV
淮南段保护区 Huainan reserve	特征值	0.205	0.118	0.087	0.065
	浮游动物种属与环境因子相关关系	0.888	0.902	0.872	0.081
	浮游动物种属的累计百分比/%	20.5	32.2	40.9	47.4
	浮游动物与环境因子相关性的累计百分比/%	34.4	54.3	68.8	79.8
	典型特征值总和	0.594			
荆涂峡保护区 Jintuxia reserve	特征值	0.373	0.195	0.125	0.067
	浮游动物种属与环境因子相关关系	0.981	0.870	0.995	0.987
	浮游动物种属的累计百分比/%	37.3	56.8	69.2	76.0
	浮游动物与环境因子相关性的累计百分比/%	42.6	64.9	79.1	86.8
	典型特征值总和	0.875			

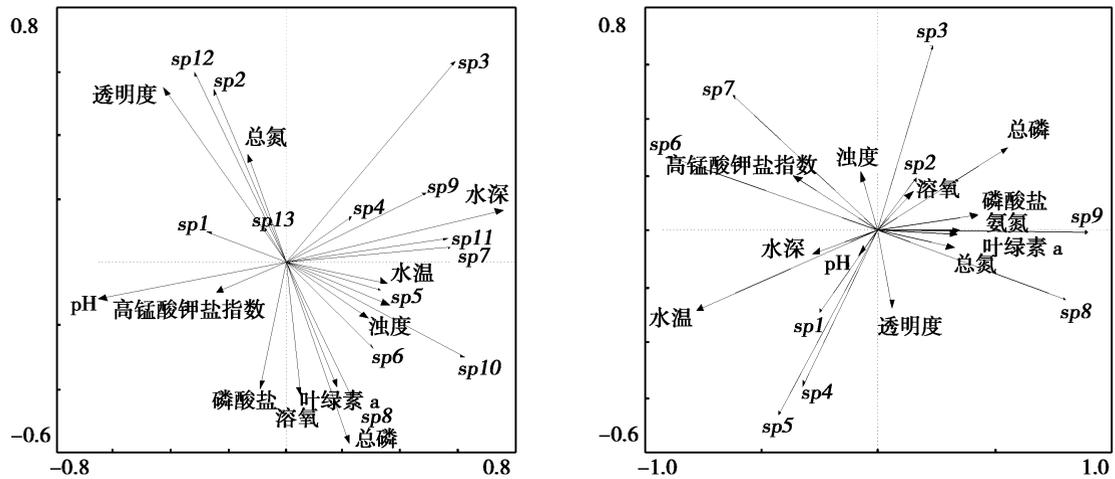


图4 保护区浮游动物群落与环境因子 RDA 排序图

Fig.4 RDA diagram of representative species of zooplankton and environment factors in national aquatic reserves

### 3 讨论

#### 3.1 保护区浮游动物群落特征

淮南段保护区和荆涂峡保护区冬季浮游动物的物种数分别为 38 种和 39 种,并且均以原生动物占优,轮虫、枝角类和桡足类物种数较少,这与下游洪泽湖水域群落结构以轮虫为主有所不同,且在物种总数上均少于洪泽湖<sup>[26]</sup>。其原因可能包括以下两点:一方面,本次调查显示,两个保护区水域浮游植物多以蓝绿藻为主,不利于枝角类等大型浮游动物摄食;另一方面,两个保护区鲢、鳙等捕食浮游动物的鱼类资源丰富<sup>[27]</sup>,由于鱼类的捕食对个体大小有明显的选择性,通常在同等能耗下优先选择个体较大的浮游动物,由此导致个体较大的枝角类种数占总种数比例较小<sup>[28]</sup>。两处保护区原生动物种类中主要以有壳肉足虫、沙壳纤毛虫为主,这与淮河干流中游两处保护区含沙量较高相关<sup>[29]</sup>。从现存量上看,淮南保护区冬季浮游动物密度和生物量低于荆涂峡保护区,这与 COLE 等<sup>[30]</sup>所提出的水流动态使下游段湖泊浮游植物的群落结构特征呈现出上游人类活动影响的结果的观点基本一致。浮游动物多样性指数统计结果显示,淮南段保护区和荆涂峡保护区水生态环境均显示为中污染,但荆涂峡保护区相对较好。

#### 3.2 浮游动物群落与环境因子的关系

环境因子不仅体现了浮游动物可摄食的食物数量及质量,而且其诸多理化因子均与浮游动

物群落结构变化密切相关<sup>[31]</sup>。本研究中,水深、浊度、pH、透明度是影响淮南段保护区浮游动物群落结构的重要因素;水温、总磷、磷酸盐、叶绿素 a 和高锰酸盐指数是影响荆涂峡保护区浮游动物群落结构的重要因素。上述两个保护区浮游动物群落组成结构及影响因子存在较大差异,这应是保护区之间生境特征存在显著差异所致,两保护区水体理化指标如 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、pH 和 SD 等均存在较大差异,它们导致的生境异化应是影响浮游动物群落结构差异的重要原因之一。此外,从水文条件看,淮南段保护区河道为干流—河汉型,核心区水深流急,出峡山口向东以后河道分汊,水流趋缓,水生维管束植物主要分布于水流较缓的实验区;荆涂峡保护区河道为干流—支流型,包括了淮河段、涡河段和茨淮新河段,位于荆山和涂山之间的核心区为峡谷河段,水流湍急,而实验区则分布于淮河干流及涡河和茨淮新河的缓流区,各功能区之间生态类型多样,水生植物在保护区分布较为广泛。总体而言,温度是决定浮游动物群落演替最主要的非生物因子,温度不仅直接影响了浮游动物的生殖率,还与竞争和捕食相互作用间接对浮游动物群落结构产生影响<sup>[32-33]</sup>。由于浮游动物中多数物种为藻食性种类,以浮游植物、细菌和有机碎屑等为食,因此叶绿素 a 含量也是影响浮游动物群落结构的重要因素<sup>[34]</sup>。蔡庆华<sup>[35]</sup>研究认为武汉东湖浮游动物密度和生物量由叶绿素 a 含量决定。水体中氮、磷含量是影响浮游动物丰度的重要因素,营养盐含

量通过限制浮游植物的生长进而影响到浮游动物的群落分布<sup>[36]</sup>。此外,也有研究表明水体酸碱度和透明度与浮游动物种类关系比较密切<sup>[37]</sup>。

### 3.3 保护区生境现状

淮南段保护区和荆涂峡保护区冬季水体 DO 和 pH 均符合《地表水环境质量标准》Ⅱ类水质标准,TP 和 COD<sub>Mn</sub>均符合Ⅲ类水质标准,主要指标能达到Ⅲ类水质标准,TN 为制约因素。据评价标准,结果表明淮南段保护区水体综合营养状态为轻度富营养化,水质为轻度污染;荆涂峡保护区水体综合营养状态为中营养,水质定性评价为良好。两保护区各采样点浮游动物群落香农指数均  $1 < H' < 3$ ,据评价标准,淮南段保护区和荆涂峡保护区水域为中污染。因此,在加强淮河流域水环境治理的前提下,通过控制保护区水域氮、磷等外源营养物质和有机污染物的输入,加强保护区生态环境保护、提高水体自净能力,从而使两处国家级水产种质资源保护区水域生态环境得以维持并进一步改善,进而更好地发挥保护区的生态功能。

### 参考文献:

- [1] 吴利,冯伟松,张堂林,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.
- [2] 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): 892-900.  
GUO P Y, SHEN H T, LIU A C, et al. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892-900.
- [3] 姜作发,唐富江,董崇智,等. 黑龙江水系主要江河浮游动物种群结构特征[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 64-66.  
JIANG Z F, TANG F J, DONG C Z, et al. Population structure of zooplankton in Heilongjiang River System [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2006, 34(4): 64-66.
- [4] 纪焕红,叶属峰,刘星,等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游动物的物种组成及其多样性[J]. 生物多样性, 2006, 14(3): 206-215.  
JI H H, YE S F, LIU X, et al. The species composition and diversity of zooplankton in Nanji Islands National nature reserve [J]. Biodiversity Science, 2006, 14(3): 206-215.
- [5] 吴利,余育和,张堂林,等. 牛山湖浮游生物群落 DNA 指纹结构与理化因子的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(2): 235-241.  
WU L, YU Y H, ZHANG T L, et al. Relationship between DNA fingerprinting structure of plankton community and physicochemical factors in Lake Niushan [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(2): 235-241.
- [6] 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]. Journal of Ecology, 2014, 33(6): 1559-1564.
- [7] 夏军,赵长森,刘敏,等. 淮河闸坝对河流生态影响评价研究-以蚌埠闸为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 48-60.  
XIA J, ZHAO C S, LIU M, et al. Impact assessment of dams & flood gates projects of Huaihe River on river ecosystem: a case study of the Bengbu site [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(1): 48-60.
- [8] 孙璞,韩小勇. 淮河干流蚌埠闸水生生态系统二十年的变化分析[J]. 治淮, 2011, (12): 30-31.  
SUN P, HAN X Y. Analyzing the changes of aquatic ecosystems of Bengbu Gate in mainstream of Huaihe River in last twenty years [J]. Zhi Huai, 2011, (12): 30-31.
- [9] 邓道贵,许忠浩. 淮河蚌埠段水域浮游甲壳动物的初步研究[J]. 淮北煤炭师范学院学报, 2006, 27(1): 40-43.  
DENG D G, XU Z H. The preliminary study of crustacean zooplankton of Bengbu region in Huaihe River [J]. Journal of Huaibei Coal Industry Teachers College, 2006, 27(1): 40-43.
- [10] 邓道贵,杨威,孟小丽,等. 淮河中游浮游甲壳动物群落结构的季节动态[J]. 水生生物学报, 2013, 37(5): 869-875.  
DENG D G, YANG W, MENG X L, et al. Seasonal variations of crustacean zooplankton community structure in the middle reaches of the Huaihe River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(5): 869-875.
- [11] 国家环保局《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册[M]. 南京:东南大学出版社, 1993.  
The aquatic Biological Monitoring Manual editorial Board of National Environmental Protection Agency. Aquatic biological monitoring manual [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1993.
- [12] 韩茂森,束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京:海洋出版社, 1995: 2-196.  
HAN M S, SHU Y F. The freshwater biology map of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 1995: 2-296.
- [13] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社,

- 1961: 1-282.  
WANG J J. Memoirs of freshwater rotifers in China [M]. Beijing: Science Press, 1961: 1-282.
- [14] 何志辉. 淡水生物学(上册)[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 124-273.  
HE Z H. Freshwaterbiology (volume one) [M]. Beijing: Agriculture Press, 1982: 124-273.
- [15] 沈韞芬. 原生动物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 129-482.  
SHEN Y F. Protozoology [M]. Beijing: Science Press, 1999: 129-482.
- [16] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.  
The Water and Wastewater Monitoring Methodeditorial Board of National Environmental Protectionagency. Water and wastewater monitoring method [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [17] 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.
- [18] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [19] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [20] 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 C, HUANG L M, YIN J Q. Studiesonmarine biodiversity of the Nansha Islands and adjacent sea area[M]. Beijing: China Ocean Press, 1994: 42-50.
- [21] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 72-79.  
HUANG X F. Investigation and analysis of the lake ecosystem observation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000: 72-79.
- [22] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.  
WANG M C, LIU X Q, ZHANG J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication [J]. Environmental Monitoring in China, 2002, 18(5): 47-49.
- [23] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 317.  
JIN X C, TU Q Y. The standard methods in lake eutrophication[M]. 2nd ed. Beijing: China Environmental Press, 1990: 317.
- [24] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.  
WANG S M, DOU H S. Memoirs of lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [25] 石晓丹, 阮晓红, 邢雅囡, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊冬夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 环境科学, 2008, 29(11): 2999-3008.  
SHI X D, RUAN X H, XING Y N, et al. Canonical correspondence analysis between phytoplankton and environmental factors in winter and summer in shallow lakes of plain river network areas, Suzhou [J]. Environmental Science, 2008, 29(11): 2999-3008.
- [26] 李强. 江苏泗洪洪泽湖湿地自然保护区生态环境监测体系的构建[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.  
LI Q. Design the system of ecological environmental monitoring for Jiangsu Sihong Hongzehu Lake wetland nature reserve [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005.
- [27] 刘凯, 段金荣, 许萌霆, 等. 淮河荆涂峡鲤、长吻鮠国家级水产种质资源保护区冬季渔业群落多样性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(3): 424-428.  
LIU K, DUAN J J, XU M T, et al. Winter biodiversity of the fishery community in Huaihe *Cyprinus carpio* and *Leiocassis longirostris* national aquatic germplasm resources conservation area[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2015, 42(3): 424-428.
- [28] HALL D J, THRELKELD S T, BURNS C W, et al. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1976, 7(1): 177-208.
- [29] 吴利, 李源玲, 陈延松. 淮河干流浮游动物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 2015, 27(5): 932-940.  
WU L, LI Y L, CHEN Y S. Characteristics of community structures of zooplankton in the mainstream of Huaihe River [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(5): 932-940.
- [30] COLE J J, CARACO N F, PEIERLS B L. Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary? [J]. Limnology and Oceanography, 1992, 37(8): 1608-1617.
- [31] 刘缠民, 冯照军. 徐州万寨港夏季浮游动物群落结构及水质评价[J]. 环境科技, 2008, 21(S2): 49-51.  
LIU C M, FENG Z J. Zooplankton community characteristics and water pollution evaluation in the Wanzhai Harbor in Summer[J]. Environmental Science and Technology, 2008, 21(S2): 49-51.
- [32] GILLOOLY J F, DODSON S I. Latitudinal patterns in the size distribution and seasonal dynamics of new world, freshwater cladocerans [J]. Limnology and Oceanography, 2000, 45(1): 22-30.
- [33] SARMA S S S, NANDINI S, GULATI R D. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa[J]. Hydrobiologia, 2005, 542(1): 315-333.
- [34] 林青, 由文辉, 徐凤洁, 等. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 6918-6929.  
LIN Q, YOU W H, XU F J, et al. Zooplankton community

- structure and its relationship with environmental factors in Dishui Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (23): 6918 – 6929.
- [35] 蔡庆华. 武汉东湖浮游生物间相互关系的多元分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 1995, 12(1): 97 – 102.  
CAI Q H. Multivariate analysis for the relationship between zooplankton and Phytoplankton of Lake Donghu, Wuhan[J]. *Journal of Graduate School, Academia Sinica*, 1995, 12 (1): 97 – 102.
- [36] 靳萍, 代克岩, 杨程, 等. 牧野湖浮游动物群落结构及其与环境因子的相关性研究[J]. *水生态学杂志*, 2013, 34 (2): 53 – 61.
- JIN P, DAI K Y, YANG C, et al. Community structure characteristics of zooplankton in Muye Lake and correlations between zooplankton and environmental factors[J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, 34(2): 53 – 61.
- [37] 夏品华, 马健荣, 李存雄, 等. 红枫湖水库冬春季浮游生物群落与环境因子的典范对应分析[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(4): 378 – 386.  
XIA P H, MA J R, LI C X, et al. Canonical correspondence analysis between the plankton community and environmental factors in Hongfeng Lake reservoir in Winter and Spring[J]. *Research of Environmental Science*, 2013, 24 (4): 378 – 386.

## Study on characteristics of zooplankton community structure of two national aquatic germplasm reserves in the middle reaches of Huaihe River in winter

LIU Kai<sup>1</sup>, ZHOU Yanfeng<sup>1</sup>, DUAN Jinrong<sup>1</sup>, ZHOU You<sup>1</sup>, JIANG Shulun<sup>2</sup>, SONG Jiangteng<sup>2</sup>, DING Na<sup>2</sup>, XU Dongpo<sup>1</sup>

(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 characteristics and key factors of zooplankton community of two national aquatic germplasm reserves in the middle reaches of Huaihe River, samples were collected in winter of 2014. Results indicated a total of 57 zooplankton species were identified in the two germplasm reserves. Among them, 38 species of zooplankton including 22 species of Protozoan (57.89%), 7 species of Rotifers (18.42%), 6 species of Copepods (15.79%) and 3 species of Cladocera (7.89%) were found in the Huainan germplasm reserve; as well as 39 species of zooplankton including 23 species of Protozoan (58.97%), 6 species of Rotifers (15.38%), 7 species of Copepods (17.95%) and 3 species of Cladocera (7.69%) were found in the Jingtuxia germplasm reserve. Protozoa were on predominance in the two germplasm reserves (22 and 23 species respectively) and the dominant groups are ciliates with shell of Protozoa. The average density of zooplankton in Huainan germplasm reserve was (1313.17 ± 500.53) ind./L, and (1601.46 ± 669.02) ind./L in Jingtuxia germplasm reserve, while the average biomass was (0.23 ± 0.12) mg/L and (0.41 ± 0.50) mg/L respectively. According to the standard of diversity index evaluation, the two germplasm reserves were moderately polluted and the water quality in Jingtuxia germplasm reserve was better than that in Huainan germplasm reserve. The result of Redundancy Analysis (RDA) shows that Depth, Tur, pH and SD were the main factors which affected the zooplankton community structure of Huainan germplasm reserve. Simultaneously, T, TP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, *Chl. a*, and COD<sub>Mn</sub> were proved to be the main driving factors which influenced the zooplankton community structure of Jingtuxia germplasm reserve.

**Key words:** Huaihe River; national aquatic germplasm reserve; zooplankton; water environmental factors; RDA