

巢湖及其支流浮游动物群落结构特征 及水质评价

吴利^① 周明辉^① 沈章军^① 耿明^① 冯伟松^{②*}

① 合肥师范学院生命科学学院 合肥 230061; ② 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072

摘要: 2013年9月至2014年6月对巢湖及柘皋河、杭埠河、南淝河3条支流的浮游动物进行了调查,共检出浮游动物297种,其中,原生动物124种,轮虫135种,枝角类29种,桡足类9种。南淝河浮游动物物种数最多,为203种,巢湖最少,为130种;巢湖及3条支流均以原生动物和轮虫物种数最多。浮游动物总密度为644 223 ind/L,柘皋河浮游动物密度最高,巢湖浮游动物密度最低,巢湖及3条支流原生动物密度占浮游动物总密度的比例均为最高;四个季节柘皋河浮游动物密度均为最高。浮游动物总生物量为253.14 mg/L,南淝河浮游动物生物量最高,杭埠河和巢湖浮游动物生物量较低;春季和冬季柘皋河浮游动物生物量最高,夏季和秋季南淝河浮游动物生物量最高。相较3条支流,巢湖浮游动物优势种数最少。依据理化指标,巢湖及3条支流为富营养或超富营养水平,营养水平为:南淝河 > 巢湖 > 柘皋河 > 杭埠河。浮游动物群落结构和环境因子的冗余分析(RDA)表明,巢湖及3条支流浮游动物群落结构在四个季节均未能明显区分开,浮游动物群落和环境理化因子的相关性较小。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 水质; 巢湖; 支流

中图分类号: Q178.1, Q958.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 05-792-20

Characteristics of Zooplankton Community and Water Quality Assessment in Chaohu Lake and Its Tributaries

WU Li^① ZHOU Ming-Hui^① SHEN Zhang-Jun^① GENG Ming^① FENG Wei-Song^{②*}

① *School of Life Sciences, Hefei Normal University, Hefei 230061;* ② *Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China*

Abstract: Zooplanktonic investigation was carried out from September 2013 to June 2014 in Chaohu Lake and its three tributaries (Zhegao River, Hangbu River, and Nanfei River). Totally, 297 species of zooplankton including 124 species of protozoa, 135 species of rotifer, 29 species of cladocera, and 9 species of copepoda

基金项目 2017年度高校优秀青年骨干人才国内外访学研修项目(No. gxfx2017082), 合肥师范学院科技成果转化项目(No. 2015CGZH03);

* 通讯作者, E-mail: fengweisong@ihb.ac.cn;

第一作者介绍 吴利, 女, 副教授; 研究方向: 浮游动物生态学; E-mail: wuli090121@126.com。

收稿日期: 2016-06-20, 修回日期: 2016-10-20 DOI: 10.13859/j.cjz.201705009

were found. The species number of zooplankton was the highest in Nanfei River (203), and lowest in Chaohu Lake (130). Protozoa and rotifer had the highest species number in Chaohu Lake and three tributaries (Table 2, Appendix). The total abundance of zooplankton was 644 223 ind/L, Zhegao River had the highest abundance, Chaohu Lake had the lowest abundance, and the abundance of protozoa was on predominance. Zhegao River had the highest abundance of zooplankton in four seasons (Fig. 2a). The total biomass of zooplankton was 253.14 mg/L, Nanfei River had the highest biomass, Hangbu River and Chaohu Lake had the lowest biomass (Table 2). Zhegao River had the highest biomass of zooplankton in spring and winter, Nanfei River had the highest biomass of zooplankton in summer and autumn (Fig. 2b). Compared with three tributaries, Chaohu Lake had the lowest species number of dominant species (Table 3). Based on physiochemical parameters, it was found that Chaohu Lake and three rivers were in eutrophic or hypereutrophic status, the degree was as follows: Nanfei River > Chaohu Lake > Zhegao River > Hangbu River (Table 1). Zooplankton community structure was analyzed in relation to physiochemical parameters by redundancy analysis (RDA), the results showed that these was no obvious spatial heterogeneity of zooplankton community structure in Chaohu Lake and its three tributaries in four seasons, and physiochemical parameters were weekly correlated with the zooplankton community structure (Fig. 3).

Key words: Zooplankton; Community structure; Water quality; Chaohu Lake; Tributary

浮游动物 (Zooplankton) 是水域生态系统中重要的生物组成部分, 并在水域生态系统物质转化、能量流动等生态过程中起重要的作用 (杨宇峰等 2000)。浮游动物群落结构变化与其所处水环境水质密切相关, 被广泛用于淡水生态系统水质监测 (吴利等 2007, Sousa et al. 2008, 陈磊等 2016)。

巢湖位于长江中下游的安徽省中部, 是我国五大淡水湖泊之一。巢湖流域河流水系密度较大, 纵横交错, 流域内由地貌特征形成的 33 条河流呈放射状排列在巢湖周围 (王书航等 2011)。近年来, 随着巢湖流域工业化及城市化的迅猛发展, 巢湖水体呈现严重的富营养化状况, 湖中蓝藻爆发所引发的水质恶化、湖体生态系统衰退等一系列生态环境问题已相当严重。部分学者于 2004 年至 2007 年对巢湖浮游动物进行了研究 (邓道贵 2004, Geng et al. 2005, Xu et al. 2005a, b, 王凤娟等 2006, 胡菊香等 2007), 然而近几年来, 关于巢湖底栖动物和浮游植物群落结构特征研究较多 (高峰等 2010, 路娜等 2010, 宁怡等 2012), 而对巢湖浮游动物的研究相对较少, 仅见 Li 等

(2013) 对巢湖原生动物中的浮游纤毛虫进行了研究, 对巢湖周边河流浮游动物进行全面系统的生态学调查研究几近空白。本文调查研究了巢湖及其支流浮游动物的物种多样性和现存量的四个季节动态变化, 并探究了巢湖及其支流浮游动物群落结构特征与水质的关系, 以期对巢湖及其支流污染治理和生态环境保护提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间

本研究在巢湖 (Chaohu Lake) 设置 6 个站点, 其中东巢湖 3 个站点 (I、V、VI), 西巢湖 3 个站点 (II、III、IV); 在柘皋河 (Zhegao River)、杭埠河 (Hangbu River) 和南淝河 (Nanfei River) 上游、中游、下游和巢湖入口分别设置 1 个站点 (图 1), 并于 2013 年 9 月 (秋季)、2013 年 12 月 (冬季)、2014 年 3 月 (春季) 和 2014 年 6 月 (夏季) 进行标本采集。

1.2 标本采集与观察

定性标本的采集及种类鉴定方法参照吴利等 (2015) 的描述。原生动物和轮虫定量样品

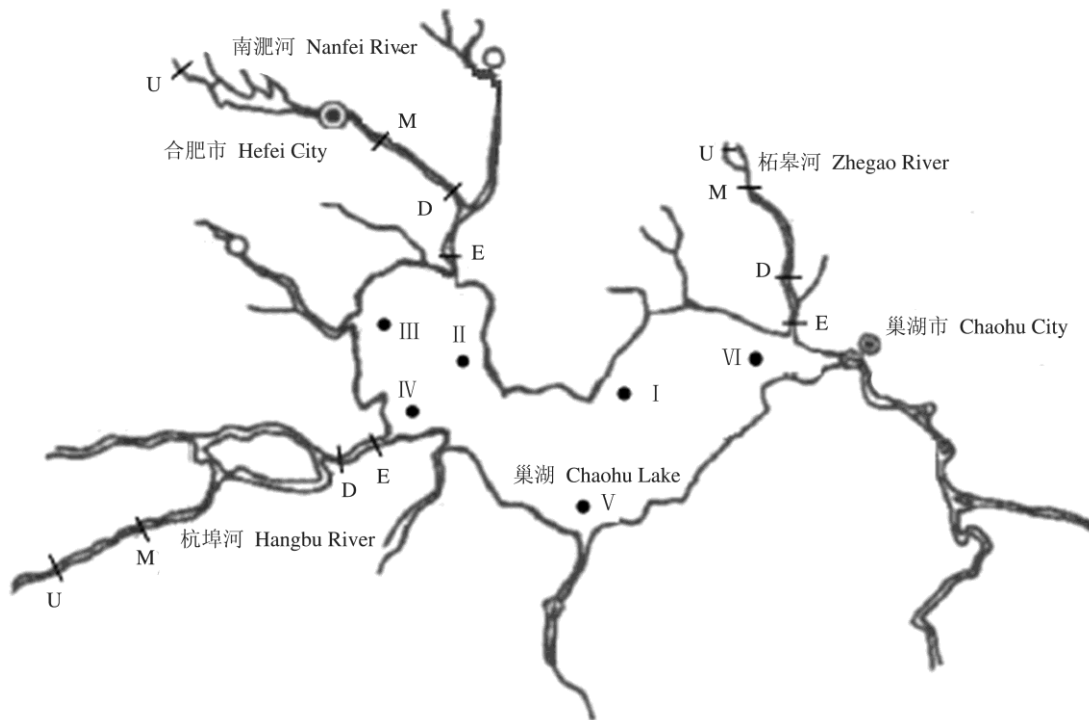


图 1 巢湖及 3 条支流浮游动物采样点分布图

Fig. 1 Sampling stations of zooplankton in Chaohu Lake and three tributaries

U. 上游; M. 中游; D. 下游; E. 巢湖入口. U. Upstream; M. Midstream; D. Downstream; E. Entrance of Chaohu Lake.

用 2.5 L 采水器采集混合水样 1 L, 并当场用终浓度为 4% 的鲁哥液固定。样品带回实验室沉淀 48 h 后浓缩定容至 30 ml, 原生动物和轮虫计数方法及单位体积个体数量换算见吴利等 (2015) 的描述。枝角类和桡足类样品用 2.5 L 采水器采集混合水样 20 L。水样经 25 号浮游生物网过滤收集样品, 用 4% 的甲醛溶液固定, 滤液用于全部计数。

1.3 理化参数的测定及数据处理

总磷 (total phosphorus, TP)、总氮 (total nitrogen, TN)、pH、铵氮 (ammonium, NH_4)、硝氮 (nitrate, NO_3)、水温 (water temperature, WT) 的测定方法参照水和废水监测分析方法 (国家环境保护总局 2002)。理化数据进行对数转换以使数据呈正态分布, 运用除趋势对应分析 (detrended correspondence analysis, DCA) 和冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 探讨巢湖及其支流浮游动物群落物种密度与环境

因子的关系。DCA 和 RDA 在 CANOCO 4.5 软件中实现。

2 结果与分析

2.1 理化参数分析

巢湖及 3 条支流各季节理化指标见表 1。巢湖及 3 条支流各季节温度差异明显; 巢湖和南淝河总氮、硝氮含量在冬季最高; 柘皋河总氮、铵氮含量在秋季最高; 杭埠河硝氮含量在春季最高。总体而言, 巢湖、南淝河、杭埠河冬季营养水平最高, 柘皋河秋季营养水平最高。依据 OECD 单营养总磷指标的评判标准 (OECD 1982), 柘皋河夏季和冬季、杭埠河春季和夏季为富营养水平; 柘皋河春季和秋季、杭埠河秋季和冬季、巢湖和南淝河四季均为超富营养水平, 巢湖及 3 条支流营养水平为: 南淝河 > 巢湖 > 柘皋河 > 杭埠河。

2.2 浮游动物的种类组成

表 1 巢湖及 3 条支流各季节理化参数 (平均值 ± 标准差)

Table 1 Physicochemical parameters within each season of Chaohu Lake and three tributaries (Mean ± SD)

		水温 (°C) Water temperature	pH	总氮 (mg/L) Total nitrogen	铵氮 (mg/L) Ammonium NH ₄	硝氮 (mg/L) Nitrate NO ₃	总磷 (mg/L) Total phosphorus
巢湖 Chaohu Lake	春季 Spring	15.35 ± 0.55	8.18 ± 0.12	1.80 ± 1.57	0.28 ± 0.48	1.13 ± 0.80	0.11 ± 0.05
	夏季 Summer	26.22 ± 1.24	8.18 ± 0.25	2.71 ± 0.65	1.27 ± 0.95	0.88 ± 0.75	0.14 ± 0.05
	秋季 Autumn	23.02 ± 0.50	8.15 ± 0.43	1.14 ± 0.73	0.40 ± 0.20	0.49 ± 0.13	0.19 ± 0.05
	冬季 Winter	4.68 ± 0.57	8.18 ± 0.40	8.20 ± 10.51	1.67 ± 3.49	3.09 ± 3.23	0.12 ± 0.07
	<i>P</i>	0.00	N.S.	0.00	N.S.	0.007	N.S.
柘皋河 Zhegao River	春季 Spring	20.95 ± 4.34	8.27 ± 0.24	2.20 ± 1.24	0.12 ± 0.12	1.29 ± 1.16	0.12 ± 0.04
	夏季 Summer	26.25 ± 0.65	8.15 ± 0.07	1.83 ± 0.40	0.22 ± 0.09	0.44 ± 0.30	0.09 ± 0.07
	秋季 Autumn	26.20 ± 2.17	7.88 ± 0.21	5.04 ± 7.68	1.09 ± 1.93	2.41 ± 4.40	0.34 ± 0.33
	冬季 Winter	4.80 ± 0.14	7.88 ± 0.31	1.66 ± 0.58	0.14 ± 0.09	0.80 ± 0.36	0.10 ± 0.05
	<i>P</i>	0.00	0.007	0.00	0.00	N.S.	N.S.
杭埠河 Hangbu River	春季 Spring	18.28 ± 2.10	7.92 ± 0.24	1.84 ± 0.87	0.07 ± 0.05	1.58 ± 0.92	0.10 ± 0.03
	夏季 Summer	27.53 ± 1.30	7.83 ± 0.11	1.22 ± 0.23	0.24 ± 0.18	0.46 ± 0.18	0.09 ± 0.03
	秋季 Autumn	25.1 ± 2.54	7.54 ± 0.47	0.82 ± 0.34	0.06 ± 0.03	0.30 ± 0.38	0.13 ± 0.04
	冬季 Winter	4.35 ± 0.60	7.76 ± 0.23	1.88 ± 1.54	0.41 ± 0.59	0.78 ± 0.54	0.12 ± 0.07
	<i>P</i>	0.00	N.S.	N.S.	N.S.	0.04	N.S.
南淝河 Nanfei River	春季 Spring	17.08 ± 1.80	7.70 ± 0.32	8.92 ± 6.19	3.20 ± 3.11	2.03 ± 1.21	0.55 ± 0.58
	夏季 Summer	27.83 ± 2.53	8.02 ± 0.11	8.58 ± 6.90	0.23 ± 0.11	0.55 ± 0.23	0.58 ± 0.56
	秋季 Autumn	24.30 ± 2.22	7.43 ± 0.34	7.45 ± 7.75	3.64 ± 4.19	2.29 ± 1.95	0.72 ± 0.61
	冬季 Winter	6.13 ± 3.45	7.73 ± 0.22	16.80 ± 4.14	5.77 ± 2.12	6.61 ± 2.62	0.74 ± 0.49
	<i>P</i>	0.00	N.S.	0.00	N.S.	0.00	N.S.

P 表示显著性水平 (ANOVA, $P < 0.05$); N.S. 表示不显著。

P indicated the level of significance (ANOVA, $P < 0.05$); N.S. indicated not significant.

本次调查共鉴定出浮游动物 297 种, 其中, 原生动物 124 种, 轮虫 135 种, 枝角类 29 种, 桡足类 9 种。南淝河浮游动物物种数最多, 为 203 种, 巢湖最少, 为 130 种, 柘皋河和杭埠河分别为 150 种和 137 种。巢湖及 3 条支流均以原生动物和轮虫物种数最多 (表 2, 附录)。就每个季节而言, 春季南淝河和杭埠河浮游动物物种数较多, 为 106 种和 90 种; 夏季柘皋河最多, 为 82 种; 秋季南淝河和巢湖较多, 分别为 106 种和 87 种; 冬季南淝河最多, 为 57 种 (附录)。

2.3 浮游动物现存量

浮游动物总密度为 644 223 ind/L, 其中原生动物为 523 500 ind/L, 轮虫 115 250 ind/L,

枝角类 4 944 ind/L, 桡足类 529 ind/L (表 2)。柘皋河浮游动物密度最高, 为 344 801 ind/L, 其次是南淝河和杭埠河, 巢湖浮游动物密度最低 (图 2a)。就季节而言, 四个季节柘皋河浮游动物密度均为最高 (图 2a)。就类群而言, 原生动物密度是巢湖和 3 条支流浮游动物密度的主体 (表 2)。浮游动物总生物量为 253.14 mg/L, 其中, 原生动物为 23.75 mg/L, 轮虫 124.48 mg/L, 枝角类 90.14 mg/L, 桡足类 14.77 mg/L。南淝河浮游动物生物量最高, 为 125.47 mg/L, 其次是柘皋河, 杭埠河和巢湖浮游动物生物量较低 (表 2)。就季节而言, 春季和冬季柘皋河浮游动物生物量最高, 夏季和秋季南淝河浮游动物生物量最高 (图 2b)。就类群而言, 柘皋河、

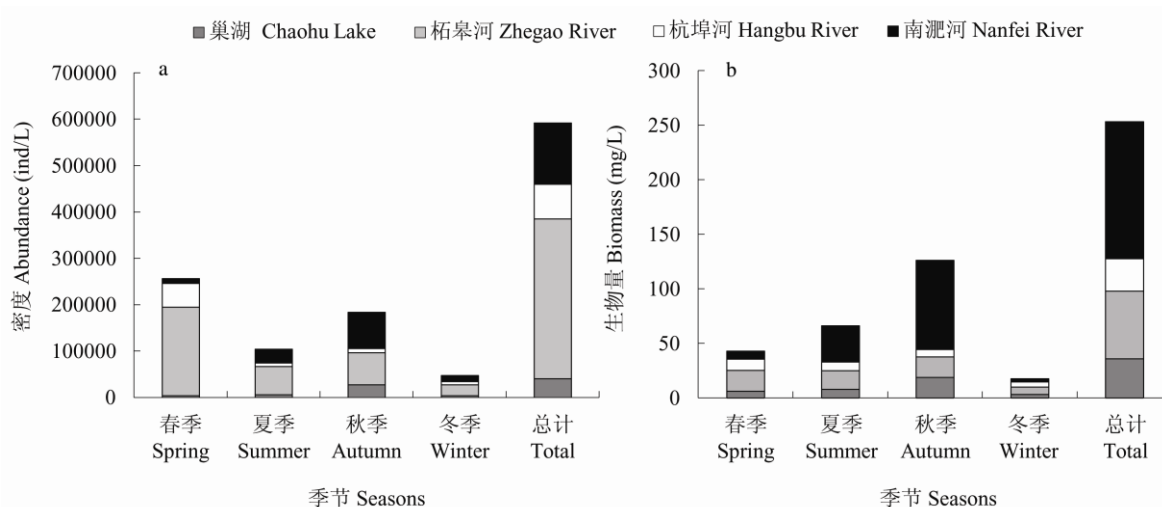


图2 浮游动物密度 (a) 和生物量 (b) 季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of zooplankton abundance (a) and biomass (b)

杭埠河轮虫生物量最高；南淝河桡足类生物量最高，其次是轮虫；巢湖轮虫、枝角类、桡足类生物量占浮游动物生物量均为浮游动物生物量的 1/3 (表 2)。

2.4 浮游动物优势种

以优势度大于 0.02 为标准 (陈磊等 2016)，巢湖及 3 条支流浮游动物优势种共 43 种 (表 3)，巢湖、柘皋河、杭埠河、南淝河浮游动物优势种分别为 11 种、16 种、21 种和 20 种，其中柘皋河、杭埠河、南淝河原生动物优势种分别为 13 种、14 种、13 种。

2.5 浮游动物群落结构与环境因子的关系

利用 CANOCO 4.5 进行去趋势对应分析 (DCA) 以检验其第 1 轴的梯度长，四个季节结果均小于 3，因此选择冗余分析 (RDA) 进行约束性排序，发现影响巢湖及 3 条支流各季节浮游动物群落结构的环境因子存在差异 ($P < 0.05$)，水温、总磷、总氮、硝氮、pH 与春季浮游动物群落结构相关；水温、总磷、总氮、硝氮与夏季浮游动物群落结构相关；水温、总磷、氨氮、pH 与秋季浮游动物群落结构相关；水温、总磷、pH 与冬季浮游动物群落结构相关。但总体而言，巢湖及 3 条支流浮游动物群落结构在四个季节均未能明显区分开，并且各环境

因子与浮游动物群落结构的相关性较小 (图 3)。

3 讨论

巢湖及 3 条支流均以原生动物和轮虫种类数最多，并均以原生动物密度最高。单细胞的原生动物体积较小，发育时间快，生命周期短，更能密切地与它们所生存的环境直接接触，因而对环境变化 (如水体污染) 具有更短、更迅速的响应时间 (Finlay et al. 1998, 许木启等 2004)。相较 3 条支流，巢湖浮游动物种类数、密度及生物量均较低。一般而言，浮游动物适宜生长在静止的水体，湖泊浮游动物物种数和密度高于河流 (吴利 2008)，本研究中，巢湖浮游动物物种数、密度及生物量均低于其 3 条支流，并且本次调查巢湖浮游动物物种数均低于其他研究的结果 (邓道贵 2004, Geng et al. 2005, Xu et al. 2005a, b)，主要因为原生动物和桡足类物种数减少，特别是原生动物纤毛虫物种数由 54 种降低到 14 种，轮虫和枝角类物种数变化较小，并呈现物种数增加和个体小型化趋势 (附录)。整体而言，巢湖浮游动物群落结构呈现简单化，并且浮游动物 4 个类群密度和生物量均增加，表明巢湖水质进一步恶化，

表 2 浮游动物及各类群物种数、密度、生物量
Table 2 Species number, abundance, biomass of zooplankton and its taxis

	原生动物 Protozoa		轮虫 Rotifer		枝角类 Cladocera		桡足类 Copepoda		浮游动物 Zooplankton	
	数量 Number	比例 (%) Percentage	数量 Number	比例 (%) Percentage	数量 Number	比例 (%) Percentage	数量 Number	比例 (%) Percentage	数量 Number	比例 (%) Percentage
种类数 Species number	124	41.75	135	45.45	29	9.77	9	3.03	297	100
密度 Abundance (ind/L)	523 500	81.26	115 250	17.89	4 944	0.77	529	0.08	644 223	100
生物量 Biomass (mg/L)	23.75	9.38	124.48	49.17	90.14	35.61	14.77	5.84	253.14	100
种类数 Species number	39	30.00	65	50.00	20	15.38	6	4.62	130	100
密度 Abundance (ind/L)	26 460	65.21	10 200	25.14	534	1.32	3 382	8.33	40 576	100
生物量 Biomass (mg/L)	1.32	3.67	12.24	34.00	10.64	29.57	11.79	32.76	35.99	100
种类数 Species number	70	46.67	61	40.67	13	8.67	6	3.99	150	100
密度 Abundance (ind/L)	312 601	90.66	31 620	9.17	403	0.12	177	0.05	344 801	100
生物量 Biomass (mg/L)	15.51	24.98	37.98	61.16	7.46	12.01	1.15	1.85	62.10	100
种类数 Species number	53	38.69	67	48.90	11	8.03	6	4.38	137	100
密度 Abundance (ind/L)	57 065	76.53	17 130	22.97	317	0.43	49	0.07	74 561	100
生物量 Biomass (mg/L)	2.81	9.50	20.59	69.58	5.74	19.40	0.45	1.52	29.59	100
种类数 Species number	88	43.35	87	42.86	20	9.85	8	3.94	203	100
密度 Abundance (ind/L)	83 780	63.54	44 720	33.92	3 315	2.51	41	0.03	131 856	100
生物量 Biomass (mg/L)	4.11	3.28	53.66	42.77	66.30	52.84	1.40	1.11	125.47	100

比例指浮游动物各类群占浮游动物总量的比例。

Percentage indicated the ratio of zooplankton taxis to zooplankton.

续表 3

优势物种 Dominant species	巢湖 Chaohu Lake			柘皋河 Zhegao River			杭埠河 Hangbu River			南淝河 Nanfei River						
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬				
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>		2.9					9.8		5.6			2.3				
曲腿龟甲轮虫 <i>K. valata</i>								7.3								
矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>		3.4		19.3												
爪趾单趾轮虫 <i>Monostyla unguitata</i>											3.0					
奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>										5.0						
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>		30.4		6.7		6.2	5.6	10.8	28.4	24.5	17.3	3.1				
梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectindta</i>											7.8					
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>									10.4							
发头裸腹溇 <i>Moira irrasa</i>												3.0				
总计物种数 Total of species number	2	6	2	6	3	8	5	8	4	8	6	8	6	5	7	7

春. 春季; 夏. 夏季; 秋. 秋季; 冬. 冬季。

春. Spring; 夏. Summer; 秋. Autumn; 冬. Winter.

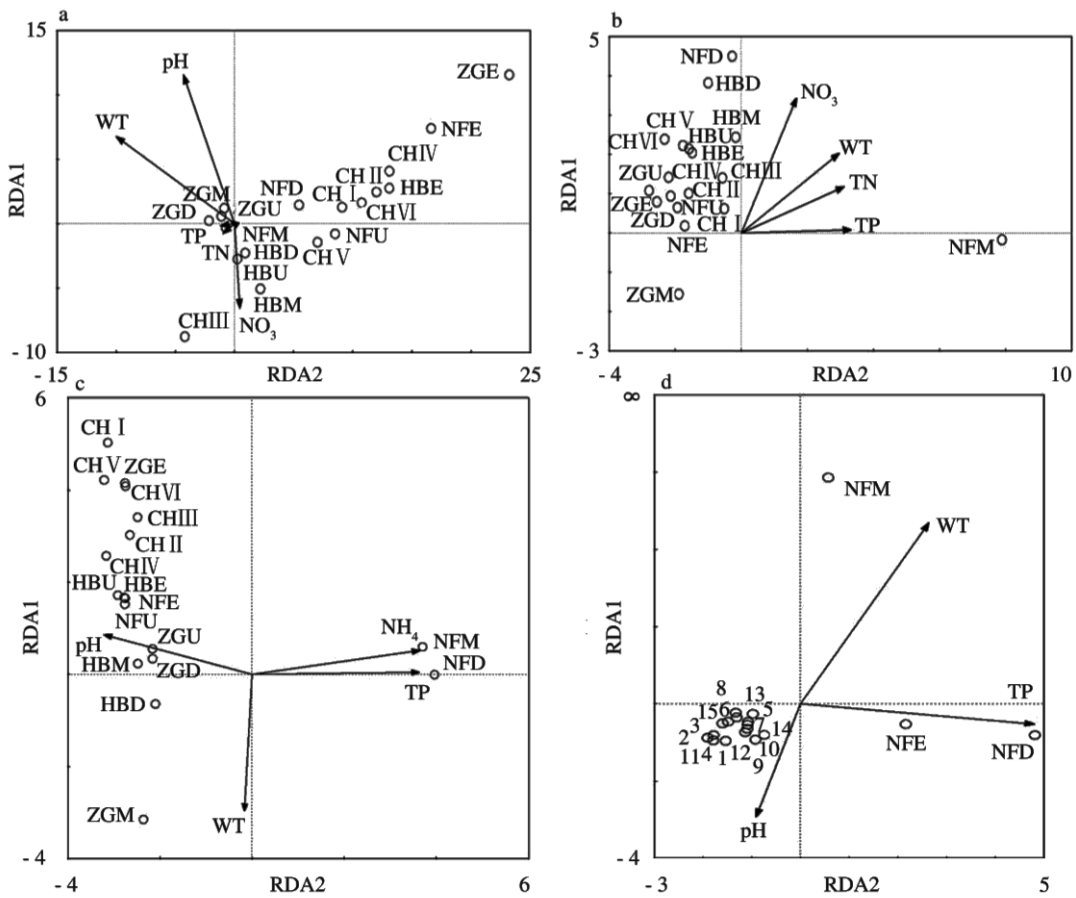


图3 物种-环境相互关系冗余分析 (RDA) 排序图

Fig. 3 Redundancy analysis (RDA) of the species-environment relationships

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季。a. Spring; b. Summer; c. Autumn; d. Winter.

TP. 总磷; TN. 总氮; NH₄. 铵氮; NO₃. 硝氮; WT. 水温; CH I. 巢湖 I; C II. 巢湖 II; CH III. 巢湖 III; CH IV. 巢湖 IV; CH V. 巢湖 V; CH VI. 巢湖 VI; ZGU. 柘皋河上游; ZGM. 柘皋河中游; ZGD. 柘皋河下游; ZGE. 柘皋河入口; HBU. 杭埠河上游; HBM. 杭埠河中游; HBD. 杭埠河下游; HBE. 杭埠河入口; NFU. 南淝河上游; NFM. 南淝河中游; NFD. 南淝河下游; NFE. 南淝河入口。

TP. Total phosphorus; TN. Total nitrogen; NH₄. Ammonium; NO₃. Nitrate; WT. Water temperature; CH I. Chaohu Lake I; CH II. Chaohu Lake II; CH III. Chaohu Lake III; CH IV. Chaohu Lake IV; CH V. Chaohu Lake V; CH VI. Chaohu Lake VI; ZGU. Upstream of Zhegao River; ZGM. Midstream of Zhegao River; ZGD. Downstream of Zhegao River; ZGE. Entrance of Zhegao River; HBU. Upstream of Hangbu River; HBM. Midstream of Hangbu River; HBD. Downstream of Hangbu River; HBE. Entrance of Hangbu River; NFU. Upstream of Nanfei River; NFM. Midstream of Nanfei River; NFD. Downstream of Nanfei River; NFE. Entrance of Nanfei River.

图3d中数字代表如下The number in the Fig. 3d indicated that: 1. CH I; 2. CH II; 3. CH III; 4. CH IV; 5. CH V; 6. CH VI; 7. ZGU; 8. ZGM; 9. ZGD; 10. ZGE; 11. HBU; 12. HBM; 13. HBD; 14. HBE; 15. NFU.

富营养化程度加剧。相较中度富营养化水平的洪泽湖 (都雪等 2014), 巢湖具有较高的轮虫种类数、密度及生物量, 分析原因可能为, 巢湖爆发蓝藻水华引起小型枝角类及轮虫增加

(Fulton et al. 1987, 邓道贵 2004), 从而增加了对原生动物的捕食 (Arndt 1993), 降低了巢湖原生动物种类数。

南淝河水质主要受合肥市城市污染影响,

污染最严重；柘皋河从柘皋镇穿过，其水质主要受周边农田农药和居民生活污水排放污染；杭埠河周边农田和居住居民较少，水质较好(王书航等 2011)。本研究中 3 条支流理化参数表明，南淝河污染最严重，柘皋河次之，杭埠河污染较轻。相较污染较轻的杭埠河，南淝河和柘皋河具有较高的浮游动物种类数、密度及生物量。南淝河富营养水平最高，其浮游动物种类数最多，而巢湖富营养水平低于南淝河，种类数却最少，主要因为南淝河原生动物和轮虫种类数明显高于巢湖，特别是原生动物中耐污性很强的裸藻、扁裸藻及纤毛虫种类数高于巢湖(附录)。

巢湖浮游动物优势种种类数低于 3 条支流，特别是春季和秋季只有 2 种优势种，且优势度均很高，说明巢湖浮游动物群落结构单一，群落稳定性差，巢湖水体生态系统较脆弱。3 条支流浮游动物优势种种类较多，但大部分种类均为单细胞的原生动物，说明 3 条支流水体流动性较差，利于小型浮游动物的生长和繁殖，并且河流水体自净能力较差，特别是柘皋河和南淝河分别流经人口密集的城区，大量的生活污水和工业废水未经处理直接排放入河流中(储茵等 2011, 刘姝等 2012)，水体营养水平高于杭埠河。

一般而言，水体营养状况可以显著影响浮游动物群落的变化(Xu et al. 2005a, b, Kagalou et al. 2010, 吴利等 2015)。而在本研究中，四个季节巢湖及 3 条支流浮游动物群落结构均未能很好地区分开，且浮游动物群落和环境理化因子的相关性较小，并且作者同步研究了巢湖及其支流浮游细菌和环境因子的关系，发现浮游细菌群落结构与环境因子也无较强的相关性(另文发表)。冯胜等(2006, 2007)指出，在富营养化水体里，水体中的营养盐已处于较高的水平，不再是浮游细菌生长的限制因素，浮游细菌数量与水体营养盐无关。本研究中，巢湖及 3 条支流各季节营养水平均为富营养或超富营养，相似的营养水平是否导致巢湖及 3 条

支流具有较相似的浮游动物群落结构，并且巢湖及 3 条支流水体的营养盐是否已满足浮游动物的生长，其原因有待于进一步研究。

致谢 感谢中国科学院水生生物研究所的崔永德老师和宋春雷老师对本研究野外采集工作的大力协助!

参 考 文 献

- Arndt H. 1993. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) - a review. *Hydrobiologia*, 255(1): 231-246.
- Finlay B J, Esteban G F. 1998. Freshwater Protozoa: biodiversity and ecological function. *Biodiversity and Conservation*, 7(9): 1163-1186.
- Fulton, R S, Paerl H W. 1987. Effects of colonial morphology on zooplankton utilization of algal resources during blue-green algal (*Microcystis aeruginosa*) blooms. *Limnology and Oceanography*, 32(3): 634-644.
- Geng H, Xie P, Deng D G, et al. 2005. The rotifer assemblage in a shallow, eutrophic chinese lake and its relationships with cyanobacterial blooms and crustacean zooplankton. *Journal of Freshwater Ecology*, 20(1): 93-100.
- Kagalou I I, Kosiori A, Leonardos I D. 2010. Assessing the zooplankton community and environmental factors in a Mediterranean wetland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1): 445-455.
- Li J, Chen F Z, Liu Z W, et al. 2013. Compositional differences among planktonic ciliate communities in four subtropical eutrophic lakes in China. *Limnology*, 14(1): 105-116.
- OECD. 1982. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. Paris, France: Organisation for Economic and Cooperative Development.
- Sousa W, Attayde J L, Rocha E da S, et al. 2008. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Plankton Research*, 30(6): 699-708.
- Xu M Q, Cao H, Xie P, et al. 2005a. The temporal and spatial distribution, composition and abundance of planktonic protozoa, with special relation to eutrophication in the Chaohu Lake,

- China. *European Journal of Protistology*, 41(3): 183–192.
- Xu M Q, Cao H, Xie P, et al. 2005b. Use of PFU protozoan community structural and functional characteristics in assessment of water quality in Chaohu Lake, China. *Journal of Environmental Monitoring*, 7(7): 670–674.
- 陈磊, 高东泉, 舒凤月, 等. 2016. 南四湖浮游动物群落结构特征及其与环境因子的关系. *动物学杂志*, 51(1): 113–120.
- 储茵, 朱江, 夏守先, 等. 2011. 巢湖典型支流柘皋河水质污染时空变化特征. *水土保持学报*, 25(4): 243–248.
- 邓道贵. 2004. 大型浅水湖泊——巢湖的富营养化对浮游生物影响的生态学研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文, 59–79.
- 都雪, 王齐东, 张超文, 等. 2014. 洪泽湖轮虫群落结构及其与环境因子的关系. *湖泊科学*, 26(2): 269–276.
- 冯胜, 高光, 秦伯强, 等. 2006. 太湖北部湖区水体中浮游细菌的动态变化. *湖泊科学*, 18(6): 636–642.
- 冯胜, 秦伯强, 高光. 2007. 细菌群落结构对水体富营养化的响应. *环境科学学报*, 27(11): 1823–1829.
- 高峰, 尹洪斌, 胡维平, 等. 2010. 巢湖流域春季大型底栖动物群落生态特征及与环境因子关系. *应用生态学报*, 21(8): 2132–2139.
- 国家环境保护总局. 2002. 水和废水监测分析方法. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 200–285.
- 胡菊香, 吴生桂, 唐会元, 等. 2007. 巢湖原生动物及其对富营养化的响应. *水利渔业*, 27(1): 77–82.
- 刘姝, 孔繁翔, 蔡元锋, 等. 2012. 巢湖四条入湖河流硝态氮污染来源的氮稳定同位素解析. *湖泊科学*, 24(6): 952–956.
- 路娜, 尹洪斌, 邓建才, 等. 2010. 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. *湖泊科学*, 22(6): 950–956.
- 宁怡, 高峰, 邓建才, 等. 2012. 巢湖流域水质生物学评价——以大型底栖动物为例. *生态学杂志*, 31(4): 916–922.
- 王凤娟, 胡子全, 杨洁, 等. 2006. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型. *生态科学*, 25(6): 550–553.
- 王书航, 姜霞, 金相灿. 2011. 巢湖入湖河流分类及污染特征分析. *环境科学*, 32(10): 2834–2839.
- 吴利, 冯伟松, 陈小娟, 等. 2007. 中山市淡水浮游动物区系调查. *动物学杂志*, 42(4): 135–143.
- 吴利, 冯伟松, 陈小娟, 等. 2008. 新疆伊犁地区夏季浮游动物群落结构特征. *应用生态学报*, 19(1): 163–172.
- 吴利, 李源玲, 陈延松. 2015. 淮河干流浮游动物群落结构特征. *湖泊科学*, 27(5): 932–940.
- 许木启, 曹宏. 2004. PFU 原生动物群落生物监测的生态学原理与应用. *生态学报*, 24(7): 1540–1547.
- 杨宇峰, 黄祥飞. 2000. 浮游动物生态学研究进展. *湖泊科学*, 12(1): 81–89.

附录 巢湖及 3 条支流浮游动物种类分布

Appendix Distribution of zooplankton species in Chaohu Lake and three tributaries

	巢湖 Chaohu Lake				柘皋河 Zhegao River				杭埠河 Hangbu River				南淝河 Nanfei River			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
具角甲藻 <i>Ceratium cornutum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
角甲藻 <i>C. hirundinella</i>		+	+			+	+			+						
隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.					+				+				+			
群集锥囊藻 <i>Dinobryon sociale</i>					+				+				+			
空球藻 <i>Eudorina elegans</i>			+		+				+				+			
梭形裸藻 <i>Euglena acus</i>						+	+									+
附生裸藻 <i>E. adhaerens</i>						+										
尾裸藻 <i>E. caudata</i>									+				+			
棒形裸藻 <i>E. clavata</i>			+													+
楔形裸藻 <i>E. cuneata</i>						+										
静裸藻 <i>E. deses</i>																+
带形裸藻 <i>E. ehrenbergil</i>			+													+
刺鱼状裸藻 <i>E. gasterosteus</i>			+			+		+			+		+			+
膝曲裸藻 <i>E. geniculata</i>									+				+			+
多型裸藻 <i>E. multiformis</i>																+
易变裸藻 <i>E. mutabilis</i>																+
尖尾裸藻 <i>E. oxyuris</i>		+	+		+	+	+	+	+		+		+	+	+	+
近轴裸藻 <i>E. proxima</i>						+		+								
血红裸藻 <i>E. sanguinea</i>									+				+			
鱼形裸藻 <i>E. pisciformis</i>					+				+				+			
裸藻 <i>Euglena</i> sp.1													+			
裸藻 <i>Euglena</i> sp.2								+								
裸藻 <i>Euglena</i> sp.3													+			
裸藻 <i>Euglena</i> sp.4																+
裸藻 <i>Euglena</i> sp.5						+										
裸藻 <i>Euglena</i> sp.6			+													
近狭形裸藻 <i>E. subangustata</i>						+										
三星裸藻 <i>E. tristella</i>													+			
绿色裸藻 <i>E. viridis</i>						+										
椭圆鳞孔藻 <i>Lepocinclis steinii</i>										+			+			
鳞孔藻 <i>Lepocinclis</i> sp.						+	+		+				+			
实球藻 <i>Pandorina morum</i>						+										
弯曲袋鞭藻 <i>Peranema deflexum</i>						+										
袋鞭藻 <i>Peranema</i> sp.								+								
多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.									+				+			
三棱瓣胞藻 <i>Petalomonas steinii</i>								+								
旋形扁裸藻 <i>Phacus helicoides</i>						+										
长尾扁裸藻 <i>P. longicauda</i>						+	+						+			+

续附录

	巢湖 Chaohu Lake				柘皋河 Zhegao River				杭埠河 Hangbu River				南淝河 Nanfei River			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
管形似铃壳虫 <i>T. tutiformis</i>				+		+		+	+			+	+			+
王氏似铃壳虫 <i>T. wangi</i>		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+
钵体似铃壳虫 <i>T. subpistillum</i>				+												
浸渍锤吸管虫 <i>Tokphrya infusiomum</i>													+			
瘦尾虫 <i>Uroleptus</i> sp.					+				+				+			
钟形钟虫 <i>Vorticella campanula</i>	+		+	+				+	+			+	+			+
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.1											+					
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.2															+	
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.3					+				+				+			
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.4						+										
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>						+										
<i>A. navicula</i>						+	+					+				
无柄轮虫 <i>Ascimorpha</i> sp.															+	
卵形无柄轮虫 <i>A. ovalis</i>						+			+			+	+			
盖氏晶囊轮虫 <i>Asplachna girodi</i>								+	+				+			
前节晶囊轮虫 <i>A. priodontia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
卜氏晶囊轮虫 <i>A. brightwelli</i>				+	+				+				+			
晶囊轮虫 <i>Asplachna</i> sp.1					+				+				+			
晶囊轮虫 <i>Asplachna</i> sp.2				+	+											
晶囊轮虫 <i>Asplachna</i> sp.3				+												
多突囊足轮虫 <i>Asplanchnopus multiceps</i>						+						+				+
囊足轮虫 <i>Asplanchnopus</i> sp.															+	
蛭态类轮虫 <i>Bdelloidea</i>																+
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
蒲达臂尾轮虫 <i>B. budapestiensis</i>						+										+
萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
花筐臂尾轮虫 <i>B. capsuliflorus</i>			+	+		+	+	+							+	
尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i>			+								+				+	
裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>						+	+				+					
镰形臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>			+												+	
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i>			+	+		+	+		+		+		+		+	+
方形臂尾轮虫 <i>B. quadridentatus</i>				+												
臂尾轮虫 <i>Brachionus</i> sp.1															+	
臂尾轮虫 <i>Brachionus</i> sp.2				+												
矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigi</i>				+	+				+				+			
壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>		+		+	+		+	+	+				+	+	+	+
凸背巨头轮虫 <i>Cephalodella gibba</i>															+	
小巨头轮虫 <i>C. exigna</i>												+			+	+
巨头轮虫 <i>Cephalodella</i> sp.													+			

续附录

	巢湖 Chaohu Lake				柘皋河 Zhegao River				杭埠河 Hangbu River				南淝河 Nanfei River			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
轮虫 <i>Rotifera</i>									+				+			
轮虫 <i>Rotifera</i>													+			
轮虫 <i>Rotifera</i>													+			
轮虫 <i>Rotifera</i>						+										
半圆巨冠轮虫 <i>Sinanotherina semibullata</i>				+												
高躑轮虫 <i>Scaridum longicaudum</i>																+
长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta oblonga</i>									+				+	+		
梳状疣毛轮虫 <i>S. pectindia</i>	+				+		+	+	+				+	+		+
长足疣毛轮虫 <i>S. longipes</i>									+				+			
疣毛轮虫 <i>Synchaeta</i> sp.1					+				+				+			
疣毛轮虫 <i>Synchaeta</i> sp.2									+				+			
尖尾疣毛轮虫 <i>S. stylata</i>													+			
盘镜轮虫 <i>Testudinella patina</i>				+				+					+			
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>				+				+								+
圆筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i>				+												+
纵长异尾轮虫 <i>T. elongata</i>				+												
冠饰异尾轮虫 <i>T. lophoessa</i>								+					+			
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>				+				+	+							
罗氏异尾轮虫 <i>T. rousseleti</i>		+	+		+					+				+		
等刺异尾轮虫 <i>T. similis</i>			+		+	+		+	+			+	+	+		+
异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.1			+													
异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.2			+													
异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.3													+			
异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.4																+
异尾轮虫 <i>Trichocerca</i> sp.5																+
韦氏异尾轮虫 <i>T. weberi</i>					+				+				+			
方块鬼轮虫 <i>Trichotria tetractis</i>					+				+				+			
群栖巨冠轮虫 <i>Sinanotherina socialis</i>									+				+			
近亲尖额溞 <i>Alona affinis</i>			+		+				+				+	+	+	
秀体尖额溞 <i>A. diaphana</i>			+						+				+			
方形尖额溞 <i>A. quadrangularis</i>			+													
尖额溞 <i>Alona</i> sp.																+
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>						+										
枝角类一种 <i>Cladocera</i>									+				+			
直额弯尾溞 <i>Camptocercus rectirostris</i>																+
棘体网纹溞 <i>Ceriodaphnia setosa</i>		+	+													
卵形盘肠溞 <i>Chydorus ovalis</i>	+	+														
圆形盘肠溞 <i>C. sphaericus</i>	+			+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+

续附录

	巢湖 Chaohu Lake				柘皋河 Zhegao River				杭埠河 Hangbu River				南淝河 Nanfei River			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
大型溞 <i>Daphnia magna</i>	+	+			+				+	+	+		+	+	+	+
蚤状溞 <i>D. pulex</i>	+	+			+				+				+	+	+	+
溞属 <i>Daphnia</i> sp.	+															
小栉溞 <i>D. cristata</i>	+															
僧帽溞 <i>D. cucullata</i>	+	+		+	+				+	+			+	+		+
西藏拟溞 <i>Daphniopsis tibetana</i>	+	+	+				+				+		+	+	+	
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+		+												+	
长肢秀体溞 <i>D. leuchtenbergianum</i>	+	+	+			+	+							+	+	
大尾溞 <i>Leydigia</i> sp.	+															
近亲裸腹溞 <i>Moina affinis</i>				+											+	+
发头裸腹溞 <i>M. irrasa</i>															+	
裸腹溞 <i>Moina</i> sp.				+									+		+	+
三角平直溞 <i>Pleuroxus trigonellus</i>		+													+	
晶莹仙达溞 <i>Sida crystallina</i>	+	+	+			+	+			+	+			+	+	
低额溞 <i>Simocephalus</i> sp.1							+									
低额溞 <i>Simocephalus</i> sp.2							+									
低额溞 <i>Simocephalus</i> sp.3															+	
低额溞 <i>Simocephalus</i> sp.4						+			+				+			
桡足幼体 Copepodid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
剑水蚤 Cyclopoidea					+				+				+			
剑水蚤 Cyclopoidea			+													
真剑水蚤 <i>Eucyclops</i> sp.																+
无节幼体 Nauplius	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbest</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+	+	+	
近剑水蚤 <i>Tropocyclops</i> sp.																+
总计 Total taxa	31	39	87	45	58	82	67	41	90	20	50	48	106	23	106	57

+ 代表检测到该物种；春. 春季；夏. 夏季；秋. 秋季；冬. 冬季。

+ Indicated the identified species; 春. Spring; 夏. Summer; 秋. Autumn; 冬. Winter.