

庐山西海夏秋季浮游动物群落结构与水质评价

周游¹, 周彦锋^{1,2}, 丁娜¹, 尤洋^{1,2}

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 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)

摘要: 为了解庐山西海浮游动物群落结构和水体现状, 于2012年8月(夏季)和10月(秋季)对庐山西海进行了调查。结果表明, 夏季浮游动物共计4类32种, 平均密度为113.48个/L, 平均生物量为5.52 mg/L, 优势种共有9种; 秋季浮游动物共4类24种, 平均密度为61.45个/L, 平均生物量为4.29 mg/L, 优势种减少为4种。依据多样性指数、均匀度指数和丰富度指数对庐山西海浮游动物进行评价, 综合判断庐山西海处于中度污染状态。与近似纬度的千岛湖、洞庭湖和鄱阳湖的历史数据相比较, 庐山西海浮游动物种类数和密度少于千岛湖和鄱阳湖, 而多于洞庭湖; 浮游动物生物量高于千岛湖和洞庭湖。

关键词: 庐山西海; 浮游动物; 群落结构

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2014)03-0026-08

浮游动物作为水域生态系统食物链中的一个重要环节, 在物质转化、能量流动以及信息传递等生态过程中发挥着至关重要的作用(郭沛涌等, 2003)。浮游动物不仅可以通过摄食控制浮游植物和微生物的数量及分布, 从而调节水体生态平衡(陶雪梅等, 2013), 而且还能被鲢、鳙等滤食性鱼类消化利用, 是许多经济鱼类及幼鱼的主要饵料, 可直接影响渔业资源状况(刘建康, 1990); 此外, 浮游动物与水体质量关系密切, 不同类群的浮游动物对环境的适应能力存在明显的种间差异, 其种群结构、数量变化以及优势种和污染指示种的变化可间接地反映水质状况和健康状态(刘歆璞等, 2013), 相关指数可作为水质监测的重要指标。因此, 利用浮游动物对水体进行生物学评价已经成为水质研究的重要内容。

庐山西海风景区原为云居山-柘林湖风景区, 是国家级重点风景名胜区, 位于江西省北部, 跨永修与武宁两县, 是拦截江西五大水系之一修河所成的人工湖, 水域面积超过460 km², 东西长超过60 km, 南北宽1~20 km, 整体呈东宽西窄, 平均水深约24 m, 蓄水量约8.0 × 10⁸ m³; 其入湖河流上游位于

我国最大的林区县修水境内, 植被覆盖良好, 为庐山西海的良好水质状况提供了有效保障。然而, 随着景区发展定位和知名度的提高, 年接待游客数量不断增加, 餐饮等服务行业所产生的大量生活污水对景区生态环境的影响日益显现, 而有关庐山西海浮游动物的现状以及对水体健康状况的生态评价尚未见报道。本课题组通过对庐山西海水域浮游动物调查, 旨在了解其群落结构的时空变化, 为跟踪和评价庐山西海水体变化、保护生态环境以及合理制定渔业生产规划提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

依据庐山西海的地理形态、水文条件以及浮游动物的采样要求, 并结合样点设置规范(陈伟民等, 2005), 选取18个采样点(29°12'38.46"~29°19'13.86"N, 114°51'55.59"~115°24'54.50"E), 采样点编号如图1所示。

1.2 样品采集与处理

根据水深情况, 分表层、中层和底层对水样进行采集。

定量采集时, 轮虫和原生动物用1 L有机玻璃采水器每层采1次水样, 混合后取样1 L, 现场加10~15 mL鲁哥氏液固定, 带回实验室静置沉淀24 h, 浓缩至25 mL镜检。桡足类与枝角类采集水样20 L浓缩为50 mL, 浮游动物用5%的福尔马林溶液固定后镜检(章宗涉等, 1991)。

收稿日期: 2014-01-21

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2011183); 公益性行业(农业)科研专项长江下游湖泊养殖容量及生态增殖技术研究与示范(201303056-2)。

通讯作者: 尤洋, 1968年生, 男, 研究员, 硕士研究生导师。E-mail: youy@ffrc.cn

作者简介: 周游, 1989年生, 男, 在读研究生, 主要从事渔业资源养护与环境保护研究。E-mail: zhouyouox@sina.cn

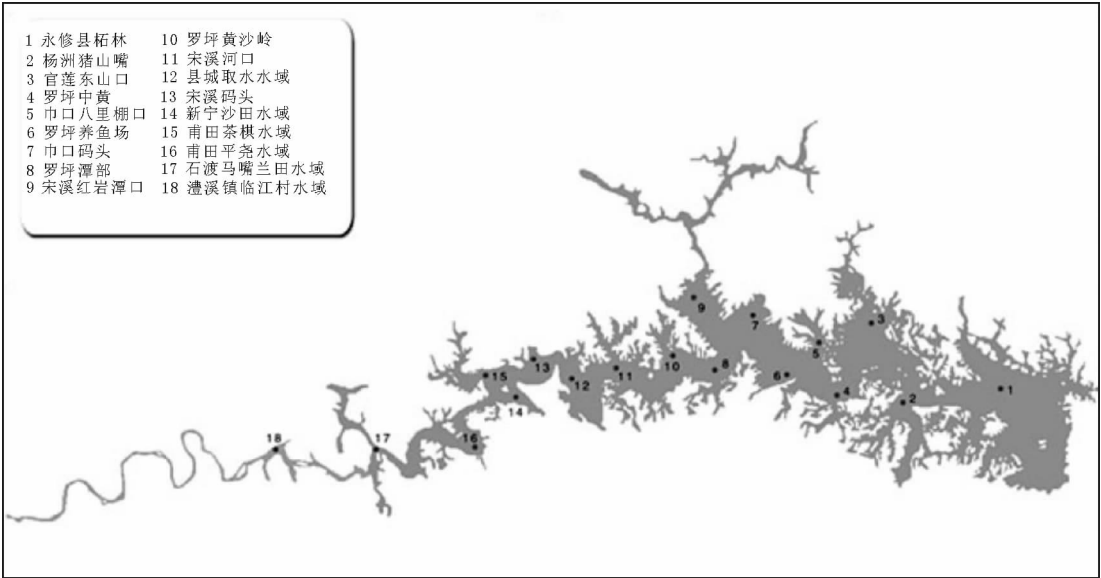


图1 庐山西海采样点示意

Fig.1 Map showing the sampling sites

定性样品用浮游动物浅水Ⅱ型网(200目)在水下0.5 m处以约0.5 m/s的速度画∞字状拖曳5 min;带回实验室后,在10×40倍光学显微镜下进行种类鉴定和计数。浮游动物的鉴定参考相关文献(沈嘉瑞,1979;蒋燮治等,1979;韩茂森等,1995;梁象秋等,1996;赵文等,2005)。水体理化指标采用WTW Multi 350i 手提式多参数水质分析仪测定,透明度用赛氏盘测定。

1.3 数据处理

1.3.1 浮游动物密度与生物量计算 浮游动物密度参照章宗涉等(1991)的方法进行计算:

$$N = (V_s \times n) / (V \times V_a)$$

式中: N 表示1 L水中浮游动物的个数, V_s 为浓缩后体积(mL), n 为镜检计数获得的个体数, V 为采样体积, V_a 为计数体积。

轮虫据体积法得其生物体积,即把生物体看作近似几何图形,按体积公式求得其生物体积,且假定比重为1,得其体质量;其余浮游动物吸干体表水分,然后用天平称重,最后换算出单位水体内浮游动物的湿重。

1.3.2 多样性指数 Shannon-Weiner 生物多样性指数(H)参考徐兆礼等(1995)计算:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中: P_i 为第*i*种的个体数与总个体数的比值。评价标准为: $H > 3$,水体为轻度或无污染;1~3,为中度污染;0~1,为重度污染。

1.3.3 均匀度指数 均匀度指数(J)按照 Pielou

(1975)计算:

$$J = H / H_{max}$$

式中: H_{max} 为 $\log_2 S$, S 为样品中总种类数。评价标准为: $J = 0.5 \sim 0.8$,水体为轻度或无污染;0.3~0.5,为中度污染;0~0.3,为重度污染。

1.3.4 物种丰富度指数 物种丰度指数(d)按照 Margalef 公式(Ulanowicz,2001)计算:

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

式中: N 为采集样品中所有物种的总体个数, S 为样品中的物种个数。评价标准为: $d > 3$,水体为轻度或无污染;1~3,为中度污染;0~1,为重度污染。

1.3.5 优势度 优势度(Y)参考杨关铭等(1998)计算:

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

式中: n_i 为第*i*个种的丰度, N 为样品的总丰度, f_i 为该种的站位出现频率。优势度指数 $Y > 0.02$ 确定为优势种(冯德祥等,2011)

所有的统计分析在 SPSS 19.0 平台上进行。

2 结果与分析

2.1 水体理化指标

在浮游动物的采样过程中,对各采样点的水温、pH、溶解氧、透明度和水深等理化指标进行同步测定。结果表明,夏季水温变化范围为24.9~27.2℃,秋季为22.5~24.8℃,夏秋季水温均值分别为26.2℃和23.8℃;pH值夏季为7.20~7.50,秋季为7.28~7.73,夏秋季均值分别为7.35和7.48;夏季溶解氧变化区间6.56~8.56 mg/L,秋季为

7.33 ~ 10.09 mg/L, 均值分别为 7.45 mg/L 和 8.66 mg/L;夏秋季透明度变化范围 1.90 ~ 4.75 m 和1.58 ~3.95 m,均值分别为 3.55 m 和 3.05 m;各

样点水深范围 2.99 ~46.63 m,详见表 1。从均值来看,水温和透明度表现为夏季 > 秋季,pH 和溶解氧表现为夏季 < 秋季。

表 1 庐山西海夏秋季水体理化指标

Tab.1 Physic-chemical parameters of water body in Lushanxihai in summer and autumn

样点	水温/℃		pH		溶氧量/mg · L ⁻¹		透明度/m		水深/ m
	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	
1	26.8	23.8	7.21	7.35	6.87	7.64	3.10	2.50	28.65
2	26.5	23.8	7.30	7.47	7.04	7.96	3.00	2.40	28.35
3	26.8	23.8	7.35	7.47	8.20	9.19	4.17	3.37	29.87
4	27.1	24.2	7.50	7.51	7.23	7.96	4.35	3.90	16.46
5	27.0	24.8	7.41	7.57	7.34	9.25	4.55	3.85	34.44
6	27.2	24.7	7.45	7.57	8.56	9.39	4.00	3.80	32.31
7	26.9	24.5	7.20	7.42	7.62	8.42	4.75	3.95	46.63
8	26.4	24.4	7.26	7.62	6.89	8.02	4.50	3.90	38.40
9	26.8	24.1	7.40	7.50	6.90	7.84	4.25	3.95	35.66
10	26.2	24.2	7.46	7.61	7.67	10.09	3.60	3.95	25.91
11	25.9	23.9	7.50	7.73	7.90	9.17	4.50	3.80	16.06
12	26.0	23.9	7.43	7.52	6.98	9.81	4.45	3.90	21.03
13	25.8	23.7	7.46	7.43	6.56	7.33	2.85	2.30	12.01
14	25.7	22.5	7.30	7.28	7.36	8.96	2.95	2.62	2.99
15	25.2	23.3	7.21	7.36	7.80	8.72	2.35	1.98	13.66
16	25.3	22.8	7.22	7.32	8.35	9.43	2.00	1.78	13.11
17	24.9	23.2	7.30	7.45	7.28	8.14	2.60	2.20	16.58
18	25.5	23.8	7.38	7.47	7.63	9.12	1.90	1.58	15.12
均值	26.2	23.8	7.35	7.48	7.45	8.66	3.55	3.05	23.36

2.2 群落结构与优势种

西海水域 18 个采样点夏秋季共鉴定出浮游动物分属 4 类 34 种,其中夏季 32 种,秋季 24 种,秋季比夏季少 8 种,浮游动物的季节更替率为 0.35。

时间上,夏季共鉴浮游动物 4 类 32 种,其中轮虫最多,共 16 种,占种类组成的 50.00%;其次为原生动物和枝角类,各 6 种,各占 18.75%;桡足类最少,共 4 种,占 12.50%。秋季共鉴浮游动物 4 类 24 种,轮虫 13 种,占总种数的 54.16%;桡足类和枝角类各 4 种,分占 16.67%;原生动物 3 种,占 12.50%。

空间上,夏季浮游动物种类数最大值出现在 16 号点,共 15 种,其次为 3 号和 15 号,共 14 种,种类数最少的为 2 号点,仅 5 种。出现频率最大的是无节幼体,在所有样点均有出现;其次为盘状匣壳虫和筒弧象鼻溞,在 17 个采样点中有出现;出现频率最低的为放射太阳虫、巢居法帽虫、蒲达臂尾轮虫、长肢异尾轮虫、长刺异尾轮虫、前节晶囊轮虫、剪形臂尾轮虫、小多肢轮虫和长三肢轮虫,在所有采样点中仅出现 1 次。秋季种类数的最大值出现在 9 号,为 14 种;其次为 8 号,共 12 种,种类数的最小值出现在 4 号,为 6 种。出现频率最高的为湖泊美丽猛水蚤、汤匙华哲水蚤和僧帽溞,在所有样点均有出现;

出现频率最低的为长额象鼻溞和多刺秀体溞,仅出现在 2 个采样点。

结果表明,夏季优势种共 9 种,分别为盘状匣壳虫、长额象鼻溞、筒弧象鼻溞、长枝秀体溞、湖泊美丽猛水蚤、汤匙华哲水蚤、无节幼体、刺盖异尾轮虫和舞跃无柄轮虫;秋季优势种共 4 种,分别为僧帽溞、长枝秀体溞、湖泊美丽猛水蚤和汤匙华哲水蚤。夏季优势种数较秋季多 5 种,优势种的季节更替率为 0.7;其中湖泊美丽猛水蚤、汤匙华哲水蚤和长枝秀体溞为夏秋季共有优势种,且均属于桡足类,其余 7 种均为单季优势种。夏秋季浮游动物种类及优势种见表 2。

2.3 密度与生物量

2.3.1 密度的时空分布 时间上,夏季浮游动物密度范围为 21.00 ~ 372.00 个/L,平均值为 113.48 个/L;秋季密度区间 30.80 ~ 136.00 个/L,平均值为 61.45 个/L;密度均值的降幅达到 45.85%,可能是由于水温和 pH 变化导致浮游动物种类或某些种类密度的减少(陈丽萍等,2012)。如夏季盘状匣壳虫在各样点的平均密度为 27.76 个/L,而其在秋季却未出现;夏秋两季均为优势种的汤匙华哲水蚤,其平均密度由夏季的 12.5 个/L下降为秋季的 7.49 个/L;而 2 号采样点

的密度不降反升,由夏季最低值 21.00 个/L 上升为秋季最高值 136.00 个/L,原因是 2 号点夏秋季浮游动物种类组成发生了剧烈变化,由夏季的盘状匣壳虫、长肢秀体蚤、筒弧象鼻蚤、汤匙华哲水蚤、无节幼体演替为秋季的湖泊美丽猛水蚤、汤匙华哲水蚤、英

勇剑水蚤、僧帽蚤、长肢秀体蚤、裂足臂尾轮虫、舞跃无柄轮虫,并且秋季才出现的僧帽蚤在 2 号采样点统计密度达到94.00 个/L,占总密度的 69.12%。运用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析显示,夏秋两季差异显著 ($F=5.924,P=0.02<0.05$)。

表 2 庐山西海夏秋季浮游动物群落构成

Tab.2 Community composition of zooplankton of Lushanxihai in summer and autumn

类群	种 类	夏季	秋季	类群	种 类	夏季	秋季
桡足类	湖泊美丽猛水蚤 * <i>Nitocra lacustris</i>	+	+	轮虫	细长肢轮虫 <i>Monommata longiseta</i>	+	+
	汤匙华哲水蚤 * <i>Sinocalanus dorrii</i>	+	+		囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>	+	-
	无节幼体 * <i>Nauplius</i>	+	+		蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestlensis</i>	+	+
	英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	+	+		刺盖异尾轮虫 * <i>Trichocerca capucina</i>	+	+
原生动物	盘状匣壳虫 * <i>Centropyxis discoides</i>	+	+		萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	+	+
	放射太阳虫 <i>Actinophrys sol</i>	+	+		裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	+	+
	半球法帽虫 <i>Phryganella hemisphaerica</i>	+	+		长肢异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>	+	-
	拟铃壳虫 <i>Tintinnopsis</i> sp.	+	-		舞跃无柄轮虫 * <i>Ascomorpha saltans</i>	+	+
	表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i>	+	-		长刺异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>	+	+
	巢居法帽虫 <i>Phryganella nidulus</i>	+	-		前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	+	-
	长额象鼻蚤 * <i>Bosmina longirostris</i>	+	-	虫	剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	+	+
枝角类	脆弱象鼻蚤 <i>Bosmina fatalis</i>	+	+		二突异尾轮虫 <i>Trichocerca bicristata</i>	+	+
	筒弧象鼻蚤 * <i>Bosmina coregoni</i>	+	+		等刺异尾轮虫 <i>Trichocerca similis</i>	-	+
	长枝秀体蚤 * <i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i>	+	+		独角聚花轮虫 <i>Conochilus unicornis</i>	+	-
	颈沟基合蚤 <i>Bosminopsis deitersi</i>	+	-		小多肢轮虫 <i>Polyarthra minor</i>	+	+
	短尾秀体蚤 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+	-		镰状臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatus</i>	+	+
	僧帽蚤 * <i>Daphnia cucullata</i>	-	+		长三肢轮虫 <i>Filinia longisela</i>	+	+

注：“+”表示存在，“*”表示为夏季优势种，“※”表示秋季优势种。
Note: “+” means appeared species, “*” means dominant species in summer, “※” means dominant species in autumn.

空间上,夏季浮游动物密度的最大值出现在 16 号采样点,为 372.00 个/L;最小值出现在 2 号,为 21.00 个/L。秋季密度的最大值出现在 2 号,为 136.00 个/L;最小值出现在 18 号,为 30.80 个/L (图 2)。夏秋季各采样点浮游动物密度大小分布不规律,单样本 *T* 检验显示,夏秋季各点位密度差异均不显著 ($P=1.00>0.05$)。

和 0.66 mg/L,贡献率分别达到 70.65% 和 11.96%。秋季生物量为 1.24 ~ 8.75 mg/L,平均值为 4.29 mg/L,与夏季相比,降幅为 22.28%;种属中生物量较大的也是汤匙华哲水蚤和湖泊美丽猛水蚤,均值分别为 2.34 mg/L 和 0.98 mg/L,贡献率分别为 54.55% 和 22.84%;此外,在夏季未曾出现的僧帽蚤,其生物量均值达到 0.70 mg/L,贡献率为 16.32%。单因素方差分析显示,夏秋两季生物量差异不显著 ($F=1.411,P=0.243>0.05$)。从空间上看,夏季生物量的最大值出现在 3 号采样点,为 12.59 mg/L;最小值出现在 11 号,为 0.95 mg/L。秋季最大值出现在 9 号采样点,生物量为 8.75 mg/L;最小值出现在 18 号,为 1.24 mg/L (图 3)。总体而言,夏秋季各采样点浮游动物生物量大小分布呈现无规律的变化特征 *T* 检验显示,夏秋季各样点生物量差异并不显著 ($P=0.998,P=0.999$)。

2.3.3 浮游动物密度和生物量与环境因子的相关性分析 运用 SPSS 19.0 软件分别对夏秋季密度、生物量与对应的水质理化指标进行 Pearson 相关性分析,相关系数见表 3。

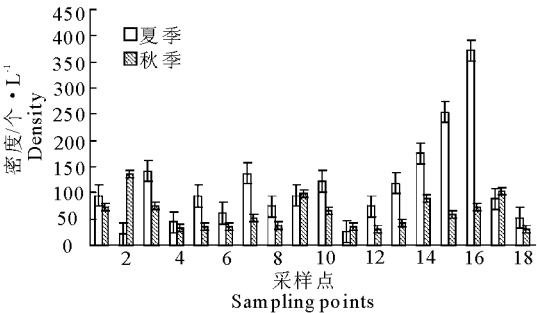


图 2 夏秋季浮游动物密度

Fig.2 Zooplankton density in summer and autumn

2.3.2 生物量的时空变化 从时间上看,夏季浮游动物生物量为 0.95 ~ 12.59 mg/L,平均值为 5.52 mg/L,对平均生物量贡献最大的是汤匙华哲水蚤,其次为湖泊美丽猛水蚤,平均值为 3.90 mg/L

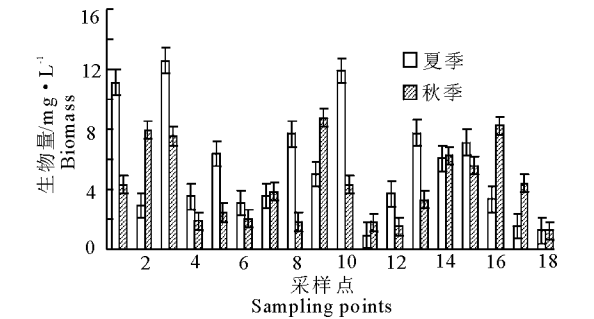


图3 夏秋季浮游动物生物量

Fig.3 Zooplankton biomass in summer and autumn

表3 浮游动物密度和生物量与环境因子的相关性						
Tab.3 Correlation between zooplankton density, biomass and environmental factors						
项目	季节	温度	pH	溶解氧	透明度	水深
密度	夏	-0.437	-0.540 *	0.385	-0.466	-0.290
	秋	-0.459	-0.406	-0.285	-0.331	-0.206
生物量	夏	0.255	-0.133	-0.113	0.095	0.189
	秋	-0.490 *	-0.523 *	-0.138	-0.296	-0.022

注：“*”表示0.05水平（双侧）显著相关。
Note: “*” means significant correlation at level of 0.05 (bilateral).

结果表明,夏季浮游动物密度与 pH 呈显著负相关,秋季生物量与温度、pH 呈显著负相关,其他情况下的相关性不显著;可见温度和 pH 是浮游动物密度和生物量的主要限制性因子。夏季浮游动物密度、生物量与温度相关性不显著,可能是由于夏季各点水温本身差异不显著 ($P>0.05$) 有关,具体原因有待进一步探究;此外,2、4、6、8、12、14 号采样点与 3、5、7、9、13、15 号是在西海宽阔水域设置的南北岸对照组。结果显示,浮游动物平均密度夏季南岸为 74.88 个/L、北岸为 139.68 个/L,而秋季南北岸相当(60.58 个/L 和 60.05 个/L);平均生物量夏季南岸为 4.49 mg/L、北岸为 7.06 mg/L,秋季南岸为 3.57 mg/L、北岸为 5.25 mg/L。总的来看,北岸的密度和生物量均大于南岸,这可能与北岸湖中岛更多、生境复杂程度更高有关。

2.4 多样性指数与水质评价

夏季浮游动物多样性指数 (H) 值为 2.05 ~ 3.20,平均值为 2.79;秋季 (H) 为 1.93 ~ 2.98,平均值为 2.61,显示庐山西海处于中污染水平。夏季均匀度指数 (J) 为 0.61 ~ 0.93,均值为 0.84;秋季 (J) 为 0.55 ~ 0.84,平均值为 0.75,按水质评价标准,庐山西海处于轻度或无污染状态。夏季各样点的丰富度指数 (d) 为 0.91 ~ 1.70,平均值为 1.45;秋季 (d) 值 0.88 ~ 1.65,平均值为 1.41,表明庐山西海为中

污染水平,夏秋两季的丰富度指数差异不大,前 6 号采样点夏秋季指数大小几乎一致,后 12 号采样点则交错变化,详见表 4 和图 4。统计分析显示,多样性指数 (H) 夏秋季差异不显著 ($F=3.489, P=0.70>0.05$),均匀度指数 (J) 两季差异极显著 ($F=11.743, P=0.002<0.01$);丰富度指数 (d) 两季差异不显著 ($F=0.344, P=0.561>0.05$)。

表4 夏秋季庐山西海浮游动物多样性指数及均匀度指数
Tab.4 Diversity index and evenness index of zooplankton in Lushanxihai in summer and autumn

采样点	多样性指数(H)		均匀度指数(J)	
	夏季	秋季	夏季	秋季
1	2.92	2.75	0.81	0.73
2	2.05	2.28	0.88	0.82
3	3.03	2.85	0.84	0.75
4	2.43	1.93	0.94	0.79
5	2.98	2.80	0.83	0.74
6	2.65	2.49	0.88	0.79
7	2.82	2.64	0.82	0.74
8	2.54	2.37	0.77	0.69
9	2.95	2.75	0.85	0.76
10	3.13	2.92	0.87	0.78
11	2.89	2.91	0.91	0.84
12	3.12	2.69	0.94	0.82
13	3.03	2.82	0.91	0.82
14	3.20	2.24	0.86	0.55
15	2.82	2.63	0.74	0.67
16	2.40	2.98	0.61	0.78
17	2.65	2.47	0.76	0.68
18	2.62	2.44	0.83	0.75
平均值	2.79	2.61	0.84	0.75

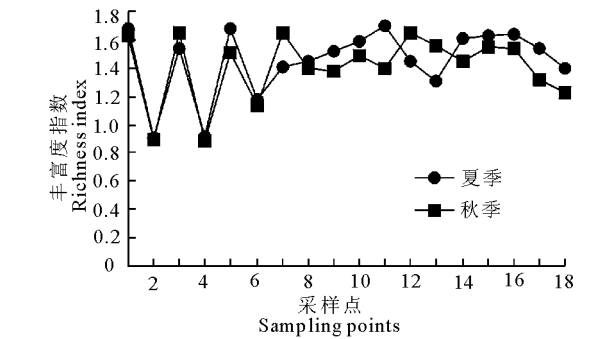


图4 夏秋季浮游动物丰富度指数

Fig.4 Zooplankton abundance index in summer and autumn
综合 3 个评价指标来看,庐山西海水体状况处于中度污染状态,但这与庐山西海未受污染(范春林等,2010)的事实不符,说明从生物多样性的角度来评价水体状况并不能完全反映真实状况。

3 讨论

3.1 夏秋季浮游动物群优势种变化

本次调查庐山西海浮游动物共鉴定出4类34种,其中轮虫17种、原生动物7种、枝角类6种、桡足类4种;夏季各种类数分别为16、6、6、4种,秋季各种类数分别为13、3、4、4种,秋季较夏季而言种类数降幅为25%,主要原因是夏秋季节更替造成的浮游动物群落结构演替和种类变化。从种类组成看,轮虫占绝对优势,枝角类次之。夏季优势种为盘状匣壳虫等9种,秋季优势种为僧帽溞等4种。等刺异尾轮虫和僧帽溞在夏季未曾出现,且僧帽溞在秋季跃居为优势种,对于秋季浮游动物密度和生物量均有不小的贡献。夏秋季浮游动物密度平均值分别为113.48个/L和61.45个/L,生物量均值分别为5.52 mg/L和4.29 mg/L,均有不同程度的下降。

3.2 影响浮游动物分布的理化因子

普遍认为,温度、pH、溶氧量、营养盐以及浮游植物是浮游动物的重要影响因子,其中水温又是影响浮游动物生长、发育、群落组成和数量变化最重要的因子。本研究中,温度在季节内水平空间上的差异不大,而在季节间的差异较大,这就合理地解释了浮游动物群落结构在季节间的更替现象。浮游植物也是影响浮游动物的重要因素,因为多数浮游动物为藻食性种类,也摄食一些有机碎屑和细菌,因此影响浮游植物的透明度、光照、营养盐类等因素也成为影响浮游动物时空分布的因素。由于水文条件的不同,各采样点的水深为2.99~46.63 m,其中大部分在25 m左右,具有深水型湖泊的特征,存在温跃层,同样影响到浮游动物在研究区域的空间分布。总体来看,庐山西海各采样点的水文和理化因子的综合作用是造成浮游动物和水质差异的原因。

统计显示,密度的季节变化差异显著,分析显示与温度和pH的季节变化密切相关,生物量的时空差异均不显著,表明环境因子的变化对庐山西海水域浮游动物生物量的影响不显著;此外,由于庐山西海岛屿众多,在低水位时表现得尤为明显,水-土界面的增加一方面使浮游动物生境多样性复杂化,另一方面也会导致水陆营养物质循环的加速,这可能是造成西海人工湖南北岸浮游动物密度和生物量差异的原因之一。夏季优势种中的长额象鼻溞为水体富营养化指示种之一(武丹等,2013),它的出现表明庐山西海水体具有富营养化的趋势,但其占比较小,平均密度仅为0.44个/L,平均生物量为

0.013 mg/L,这有可能是由于夏季水温较高,各类生命体的代谢活动活跃,物质循环也更加迅速,水体状况较秋季而言具有富营养化的趋势。

3.3 评价指标与水体状态

浮游动物 Shannon-Weiner 多样性指数(H)的夏秋季平均值分别为2.79和2.61,按照相关评价标准,水体处于中污染水平。Pielou 均匀度指数(J)夏秋季均值分别为0.84和0.75,表明水体处于轻污或无污染状态。Margalef 丰富度指数(d)夏秋季平均值大小为1.45和1.41,显示水体处于中污染水平。统计显示,三者中均匀度指数(J)在夏秋季差异极显著($P < 0.01$),其余两指数的季节差异不显著,表明夏季浮游动物多样性状况要优于秋季。综合3种指数的评价指标来看,庐山西海水体处于中度污染水平,但这与庐山西海未受污染的事实不符,表明单纯地采用浮游动物相关指数对水体污染状况进行生物学评价的方法,并不能反映水体真实状况。一方面是由于浮游动物的获得具有瞬时性,是某一特定时间、特定位置的多样性特征;另一方面生物评价只是一个方面,需要结合对应的总磷、总氮等理化指标才能更全面地反映所调查水域的水质真实状况(张昊等,2013)。

3.4 生态保护与资源利用

与近似纬度的千岛湖、洞庭湖、鄱阳湖历史数据(王金秋等,2003;曾春芳等,2007;杨丽丽等,2013)相较发现,庐山西海浮游动物为34种,明显少于千岛湖和鄱阳湖的115种和150种,但多于洞庭湖的20种。从密度上看,千岛湖和鄱阳湖均高于庐山西海;而从生物量方面可见,千岛湖和洞庭湖均小于庐山西海。一方面,不同湖泊的营养水平和生境不同,浮游动物群落结构必然存在差异;另一方面,调查周期的长短不一致,由于群落的季节演替,浮游动物的种属差异会直接导致其密度和生物量的不同。与实施“保水渔业”而大量投放鲢鳙的千岛湖浮游动物优势种比较发现,千岛湖中大型甲壳动物如透明溞、球状许水蚤、特异荡镖水蚤都没有退出优势种地位,表明鲢鳙并没有使千岛湖的浮游动物出现小型化特征;也有研究认为这与水体生态系统中鱼类生物量有重要的关系,尤其是当滤食性鱼类生物量过大时,无疑会给浮游动物带来巨大的摄食压力(陈光荣等,2010);这为庐山西海渔业资源的合理利用与保护提供了宝贵经验。笔者认为,庐山西海水域广阔、水质状态良好,有丰富的渔业资源;作为国家级旅游风景区,庐山西海背靠名山大湖,处于昌九经济走廊

的结合部,且位于武汉、南昌、长沙三大省会城市的中心地带,周边经济活跃,因此庐山西海的旅游开发潜力巨大;合理开发渔业资源,在实施“保水渔业”的同时,发展休闲渔业,不仅可以消耗水体中部分富余的氮、磷等营养盐类,保护水体生态环境,而且可以使景区增收、群众增加就业,达到生态保护与经济效益双赢的效果。

由于本次调查数据仅监测了庐山西海夏秋两季,不能精确地反映浮游动物的变化;下一步将增加监测频次,开展季节性监测和逐月监测,形成连续的监测序列,进一步探讨浮游动物对环境因子变化的响应关系,力求更系统地反映庐山西海浮游动物的演变趋势和水体真实状况。

参考文献

- 陈光荣,雷泽湘,谭镇,等. 2010. 环境因子对广东城市湖泊后生浮游动物的影响[J]. 水生态学杂志,3(4):28-32.
- 陈丽萍,周彦锋,尤洋. 2012. 棉花滩水库浮游生物群落结构特征研究[J]. 水生态学杂志,33(6):62-68.
- 陈伟民,黄祥飞,周万平,等. 2005. 湖泊生态系统观测方法[M]. 北京:中国环境科学出版社.
- 范春林,吴苏敏. 2010. 关于庐山西海发展“保水渔业”的探讨[J]. 江西水产科技,(4):10-11.
- 冯德祥,刘一,禹娜,等. 2011. 淀山湖后生浮游动物群落结构特征分析[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,(6):122-131.
- 郭沛涌,沈焕庭,刘阿成,等. 2003. 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,23(5):892-900.
- 韩茂森,束蕴芳. 1995. 中国淡水生物图谱[M]. 北京:海洋出版社.
- 蒋燮治,堵南山. 1979. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类[M]. 北京:科学出版社:153-155.
- 梁象秋,方纪祖,杨和荃. 1996. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社.
- 刘建康. 1990. 东湖生态学研究[M]. 北京:科学出版社:104-128.
- 刘歆璞,王丽卿,张宁,等. 2013. 青草沙水库后生浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,32(5):1238-1248.
- 沈嘉瑞. 1979. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类[M]. 北京:科学出版社.
- 陶雪梅,王先云,王丽卿,等. 2013. 隔湖后生浮游动物群落结构研究[J]. 生态与农村环境学报,29(1):81-86.
- 王金秋,吴建平,於燕斌,等. 2003. 春秋两季鄱阳湖浮游动物的编目、数量分布与变动[J]. 湖泊科学,15(4):345-352.
- 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.
- 徐兆礼,王云龙,陈亚瞿,等. 1995. 长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究[J]. 中国水产科学,2(1):39-48.
- 杨关铭,何德华,王春生. 1998. 浙江省海岛海域环境生态特征 I. 浮游动物种类优势度与水体生态性质[J]. 海洋环境科学,17(4):48-53.
- 杨丽丽,何光喜,胡忠军,等. 2013. 鲢鳙占优势的千岛湖浮游动物群落结构特征及其与环境因子的相关性[J]. 水产学报,37(6):894-903.
- 曾春芳,黄向荣,李小玲. 2007. 南洞庭湖浮游生物资源调查[J]. 内陆水产,(1):24-26.
- 张昊,于洪贤,马成学,等. 2013. 嫩江下游春、秋两季浮游动物数量特征与群落结构分析[J]. 东北林业大学学报,41(5):130-134.
- 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,王丽卿,王高学,等. 2005. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社.
- Pielou E C. 1975. Ecological Diversity[M]. New York: John Wiley.
- Ulanowicz R E. 2001. Information theory in ecology[J]. Comput Chem, 25(4):393-399.

(责任编辑 万月华)

**Zooplankton Community Structure and Water Quality Assessment
of Lushanxihai in Summer and Autumn**

ZHOU You¹, ZHOU Yan-feng^{1,2}, DING Na¹, YOU Yang^{1,2}

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, P. R. China;

2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches
of the Changjiang River, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, P. R. China)

Abstract: In order to understand the zooplankton community structure and status of water body in Lushanxihai, surveys were conducted in August and October 2012. The results showed that a total of 32 species of zooplankton from 4 categories were recorded in summer, mainly dominated by 9 species, with the average density of 113.48 ind./L and the average biomass of 5.52 mg/L. In autumn, 24 species of zooplanktons from 4 categories were identified with the average density of 61.45 ind./L and the average biomass of 4.29 mg/L, however, the dominant species has reduced to 4 species. The water body of Lushanxihai was at the level of moderate pollution according to the evaluation results of the diversity index, evenness index and richness index of zooplankton. Compared with the lakes in the approximate latitude, like Qiandao Lake, Dongting Lake and Poyang Lake, the species of zooplankton in Lushanxihai was less than that of Qiandao Lake and Poyang Lake, but more than Dongting Lake, and the density was also lower than that of Qiandao Lake and Poyang Lake, but higher than Dongting Lake, and the biomass of zooplankton was larger than that of Qiandao Lake and Dongting Lake.

Key words: Lushanxihai; zooplankton; community structure