

文章编号: 0427-7104(2013)01-0119-10

上海青草沙水库后生浮游动物群落结构

孙陆宇, 温晓蔓, 禹 娜, 陈立侨, 李二超, 冯德祥

(华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062)

摘 要: 于 2010 年 7 月~2011 年 6 月对上海市青草沙水库浮游动物的种类组成、生物量进行了周年的调查和分析, 共鉴定浮游动物 38 种, 其中轮虫 16 种, 枝角类 9 种, 桡足类 13 种, 优势种为矩形龟甲轮虫 *Keratella quadrata*、长额象鼻溞 *Bosmina longirostris*、广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti* 和中华哲水蚤 *Sinocalanus sinensis*. 浮游动物各样点平均密度变化范围为 8.46~97.71 ind./L, 平均生物量为 0.284~19.470 mg/L. 结合分层聚类(Cluster analysis)和多维尺度分析(MDS)的结果, 青草沙各样点被分为 4 组; 通过主要环境因子相关性分析可知, pH 值、总氮与青草沙水库浮游动物的密度呈显著相关, 其他环境因子对浮游动物密度影响不显著. 生物多样性指数评价表明, 库区水质属于中度污染, 结合浮游动物种类组成和群落结构进行综合评价, 提示库区浮游动物群落结构趋于简单, 水体环境稳定性有所下降, 相关部门需要加强预控和防范管理.

关键词: 上海青草沙; 浮游动物; 群落结构; 多样性指数

中图分类号: Q 179.1

文献标志码: A

上海青草沙水库是目前世界上最大的边滩水库, 也是国内最大的蓄淡避咸江心水库, 总面积近 70 平方公里, 有效库容为 4.35 亿立方米. 青草沙水源地具有淡水资源丰沛、水质优良稳定、可供水量大、水源易保护、有利河势稳定、抗风险能力强和规模效应显著等综合优势, 目前是上海市水质最好的一个饮用水水源地^[1]. 按照《上海市饮用水水源保护条例》规划, 到 2020 年青草沙水源地的供水规模为 $7.19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, 占全市供水规模的 50%, 供水范围覆盖上海 19 个区县中的 15 个, 受益人口超过 1 000 万人. 青草沙水源地的建成, 形成了上海“两江并举、三足鼎立”的水源地战略格局^[2]. 为了有效地对该水源地进行管理和水质控制, 有必要对库区水体理化性质、生物群落和生产力等进行调查和跟踪研究.

浮游动物是水生生态系统的初级消费者, 是水体生态系统食物链中一个重要的环节, 在水域生态系统中起着重要的作用, 其种类和数量的变化直接或间接地影响着其他水生生物的分布和丰度^[3]. 淡水浮游动物对环境变化很敏感, 水环境的变化会直接影响该群落的结构和功能^[4]. 因此, 利用浮游动物的优势种和群落结构的多样性, 来监测评价水体生态环境是一种有效的手段, 目前国内外已有不少相关的研究^[5-7]. 水污染的生态效应归根到底为生物效应, 水生生物群落结构特征的变化与水体质量关系密切, 因此, 浮游动物群落的结构能在一定程度上客观地反映水体的质量. 本课题组于 2010 年 7 月~2011 年 6 月对建成后的青草沙水库, 首次进行了浮游动物的本底调查和分析, 研究结果可为跟踪、评价青草沙水库的水体变化和生态环境的保护提供参考.

1 材料与方 法

1.1 采样点的设置和采样时间

以上海市青草沙水库为研究对象, 根据水库自然形态, 结合样点设置规范^[8], 共选定了 11 个采样样点, 其中样点 11 为上游泵闸外对照点(图 1, 表 1, 见第 120 页). 于 2010 年 7 月到 2011 年 6 月间逐月采集

收稿日期: 2012-05-02

基金项目: 上海市科委重大项目专项(09DZ120010A, 08DZ1203101, 08DZ1203102), 公益性行业科研专项(201203065), 浙江省重大科研专项农业资助项目(2008C12009)

作者简介: 孙陆宇(1988—), 男, 硕士研究生, E-mail: looyosun@163.com; 通讯联系人, 陈立侨, 男, 教授, E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn; 禹 娜, 女, 副教授, E-mail: nyu@bio.ecnu.edu.cn.

浮游动物并带回实验室鉴定分析.

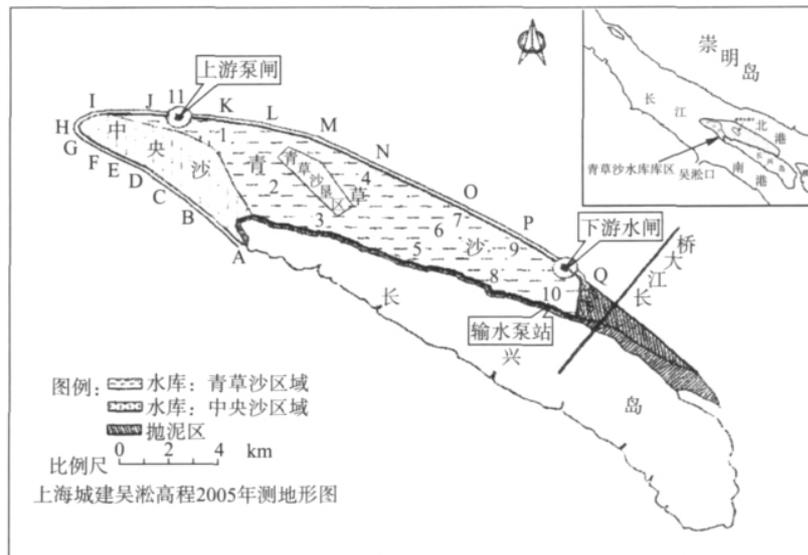


图 1 样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2 采样方法

根据水深情况,分上、中、下 3 层进行采集和取水样. 定量采集时,用 5 L 有机玻璃采水器,每层采 40 L 水样,采得的水样用 25 号浮游生物网(网孔 $64 \mu\text{m}$)过滤取样,于现场加 4% 福尔马林固定,带回实验室静置沉淀,混合浓缩至 30 mL,在显微镜下鉴定、计数. 定性采集时,轮虫、浮游甲壳动物分别用 25 号(网孔 $64 \mu\text{m}$)和 13 号(网孔 $112 \mu\text{m}$)浮游生物网拖取,经固定后带回实验室鉴定,浮游动物的鉴定参考相关文献^[9-12].

1.3 数据计算与分析

1.3.1 浮游动物密度、生物量和优势种生物量分析

浮游动物密度、生物量和优势种的计算公式参照章宗涉等^[9]的研究方法.

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

式中: N 为 1 L 水中浮游动物个体数 ($\text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$), V 为采样体积 (L), V_s 为沉淀体积 (mL), V_a 为计数体积 (mL), n 为计数所获得的个体数.

浮游动物生物量的计算: 轮虫根据体积法获得生物体积,即把生物体当作一个近似几何图形,按体积公式求得生物体积,并假定比重为 1,这就得到体质量. 甲壳动物根据体长与体质量回归方程,由体长求得体质量^[9]. 生物量皆为湿重.

优势种计算公式: $Y = (n/N) \times F_i$, 式中, N 为样品中的个体总数, n 为第 i 种的个体数, F_i 为样品中第 i 种个体出现频率, 优势度 $Y \geq 0.02$ 时, 该种即为优势种.

1.3.2 浮游动物多样性分析

本文主要运用根据信息论原理建立的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)^[13]、根据概率论理论提出的 Simpson 多样性指数 (D)^[14] 以及 Margalef (M) 多样性指数^[15] 来计算浮游动物群落的多样性. 公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}, \quad D = \frac{N(N-1)}{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}, \quad M = \frac{S-1}{\ln N},$$

表 1 样点位置

Tab. 1 Distribution of sampling sites

样点	纬度(°)	经度(°)	采样层数
1	N31.4838	E121.5704	表层
2	N31.4675	E121.5798	表层
3	N31.4540	E121.6019	表层
4	N31.4729	E121.6130	表、底两层
5	N31.4391	E121.6493	表层
6	N31.4472	E121.6525	表、中、底三层
7	N31.4553	E121.6557	表层
8	N31.4296	E121.6840	表、底两层
9	N31.4372	E121.6888	表、中、底三层
10	N31.4201	E121.7093	表、底两层
11	N31.4915	E121.5429	表层(高平、低平)

式中: N 为某样点浮游动物总个体数, n_i 为第 i 种的个体数, S 为物种总数目^[13-15].

1.3.3 数据分析

将浮游动物的密度作为变量, 进行分层聚类分析, 指标间距采用欧式距离平方, 聚类方法采用组间连接法, 以开四次方根法对数据进行标准化^[16]. 聚类分析所得的相似水平用 PSI (Percent Similarity Indices)^[17] 来衡量, 同时, 结合多维尺度分析 (MDS), 以便真实地了解组群间的相似性程度^[18].

应用多维尺度分析把样本间的生物相似性转变为二维坐标平面表示. 坐标图上各点距离越近, 表示两样本的相似程度越高. 为避免转变过程丢失一些信息, 采用 Stress 值衡量分析结果的可信度^[19].

本文采用 SPSS13.0 软件进行聚类分析、多维尺度分析和相关性分析.

2 结果与分析

2.1 浮游动物的种类组成及分布

通过对青草沙水库浮游动物水样的鉴定, 得出浮游动物共 37 种, 库区外入水闸处鉴定得 18 种, 共计 38 种. 其中轮虫 16 种, 枝角类 9 种, 桡足类 13 种. 种类比较丰富的是轮虫, 占总种类数 42%, 其中优势种为矩形龟甲轮虫 *Keratella quadrata*; 枝角类占总种类数 24%, 优势种为长额象鼻溞 *Bosmina longirostris*; 桡足类占总种类数的比例为 34%, 优势种为广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti* 和中华哲水蚤 *Sinocalanus sinensis*.

2.2 密度及生物量的时空分布

从调查的总体情况来看, 库区内平均密度为 66.0 ind./L, 各样点平均密度变动范围在 19.3~97.7 ind./L 间, 入水闸外 11 号点处的平均密度仅为 8.5 ind./L. 所调查的 11 个样点中, 5 号点的平均密度和生物量均明显高于其他样点, 而对照点明显低于库区内各点. 全部 11 个样点中, 浮游动物类群的数量差异均十分明显 (见图 2(a)), 其中枝角类在密度上占优势, 变动在 10.4~957.8 ind./L 之间, 桡足类的密度变动范围为 6.6~54.7 ind./L, 轮虫类变动在 0.7~19.3 ind./L.

青草沙水库库区内浮游动物的平均生物量为 4.085 mg/L, 变化范围在 1.471~19.470 mg/L 间, 对照点平均生物量仅为 0.280 mg/L. 各样点中枝角类生物量最大, 变动为 0.215~18.929 mg/L, 桡足类和轮虫类的生物量分别为 0.068~0.972 mg/L 和 0.001~0.031 mg/L (见图 2(b)).

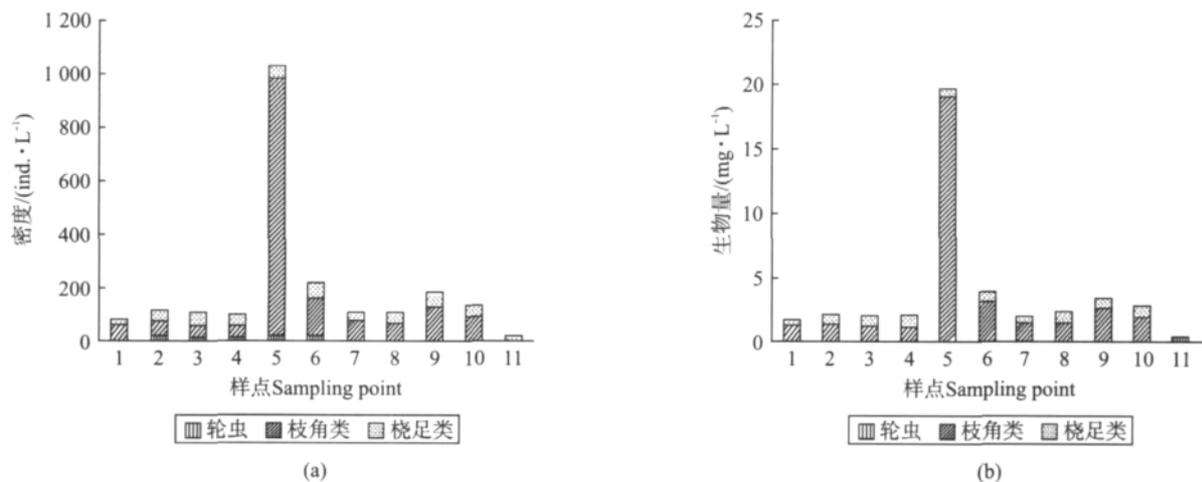


图 2 浮游动物密度及生物量的水平分布

Fig. 2 Spatial distribution of zooplankton abundance and biomass

从逐月变化情况来看 (图 3, 见第 122 页), 青草沙水库内浮游动物的月平均密度在 10.7~1803.9 ind./L 之间, 平均值为 218.7 ind./L, 最高值出现在 2011 年 5 月, 为 1803.9 ind./L, 最低值出现在 2011 年 2 月, 为 10.7 ind./L; 对照点 11 号点变动范围在 0.1~42.0 ind./L 之间, 与库区内一致, 最高值出现在 2011 年 5 月, 最低值出现在 2011 年 2 月. 库区内浮游动物的月平均生物量在 0.042~

34.671 mg/L 之间变动,平均值为 4.085 mg/L,对照点 11 号点变动范围在 0.007~2.137 mg/L,库区内
外生物量两极值出现时间与密度一致.

库区内外浮游动物的月变化规律基本一致:浮游动物总体的密度从 2010 年 7 月份开始增长,至 10
月份后一直呈下降趋势,到 2011 年 2 月份达到最低值,而后缓慢增长至 4 月份后,5 月份浮游动物密度骤
然上升,6 月份又回落至较低水平;生物量的变化趋势与密度大体相似,仅 2010 年 8 月和 10 月与密度情
况不一致;轮虫类的密度和生物量逐月变化程度不明显,仅在 11 月份出现峰值;而枝角类的密度和生物量
从 11 月份开始下降,直至次年 1 月份最低,然后 5 月份骤升到达峰值;桡足类在 2011 年 5 月份达到峰值,
2010 年 11 月次之.

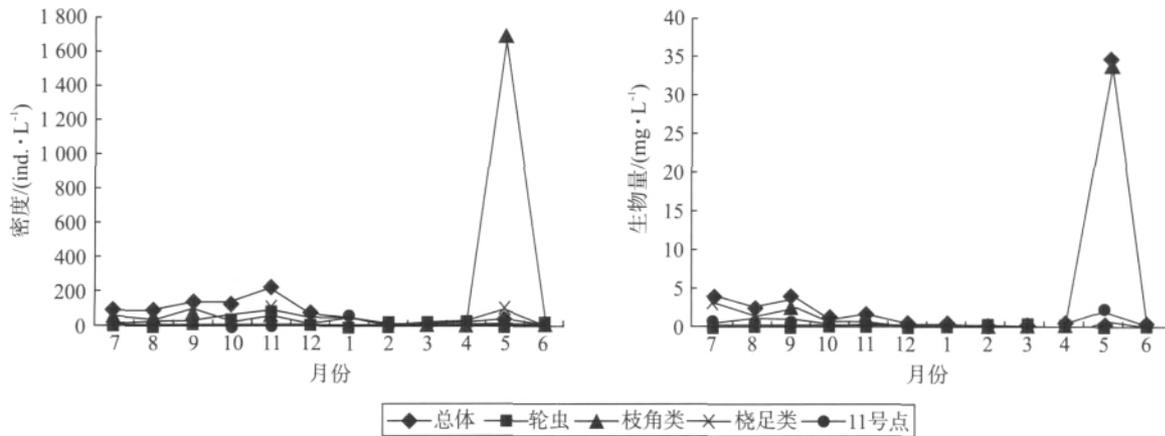
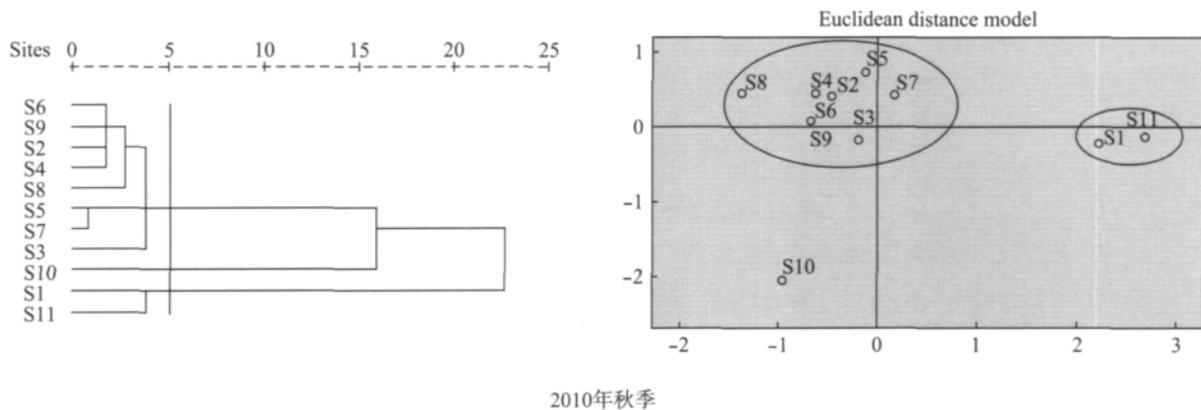


图 3 浮游动物密度和生物量的时间分布

Fig. 3 Temporal distribution of zooplankton density and biomass of different sampling times

2.3 群落结构分析

为了揭示不同采样点各浮游动物群落的差异,以每个季度各样点的浮游动物密度进行分层聚类分
析,分析结果如图 4(左). 2010 年秋季各样点可根据其全年浮游动物密度情况分成 3 组,第 1 组样点最
多,包括 S2-S9,说明这些样点浮游生物群落结构比较类似;第 2 组包括 S1 和 S11,二者分别位于入水
闸内外,浮游动物群落结构的相似度高;第 3 组只有 10 号样点,与其他两组的差异较大. 2010 年冬季与
秋季时的聚类结果较为一致,S2-S9 仍为一组,仅 S1, S10 和 S11 各自分为一组. 2011 年春夏各样点间
的分组情况较 2010 年秋冬季发生了较大变化,其中 2011 年春季可分为 5 组:第 1 组包括 S3, S4, S6,
S8,第 2 组包括 S5, S9, S10,第 3 组包括 S1, S2,第 4、5 组分别只有 S11、S7 样点;同年夏季青草沙水库
各样点可分为 3 组, S1, S7, S9, S10 分为一组, S2, S3, S4, S6, S8, S11 为一组, S5 被单独分为一组. 采样
期间四个季度各样点间的差异不一,各样点的浮游动物群落结构随季度的变化而发生改变,样点间的
相似度差异较大.



2010年秋季

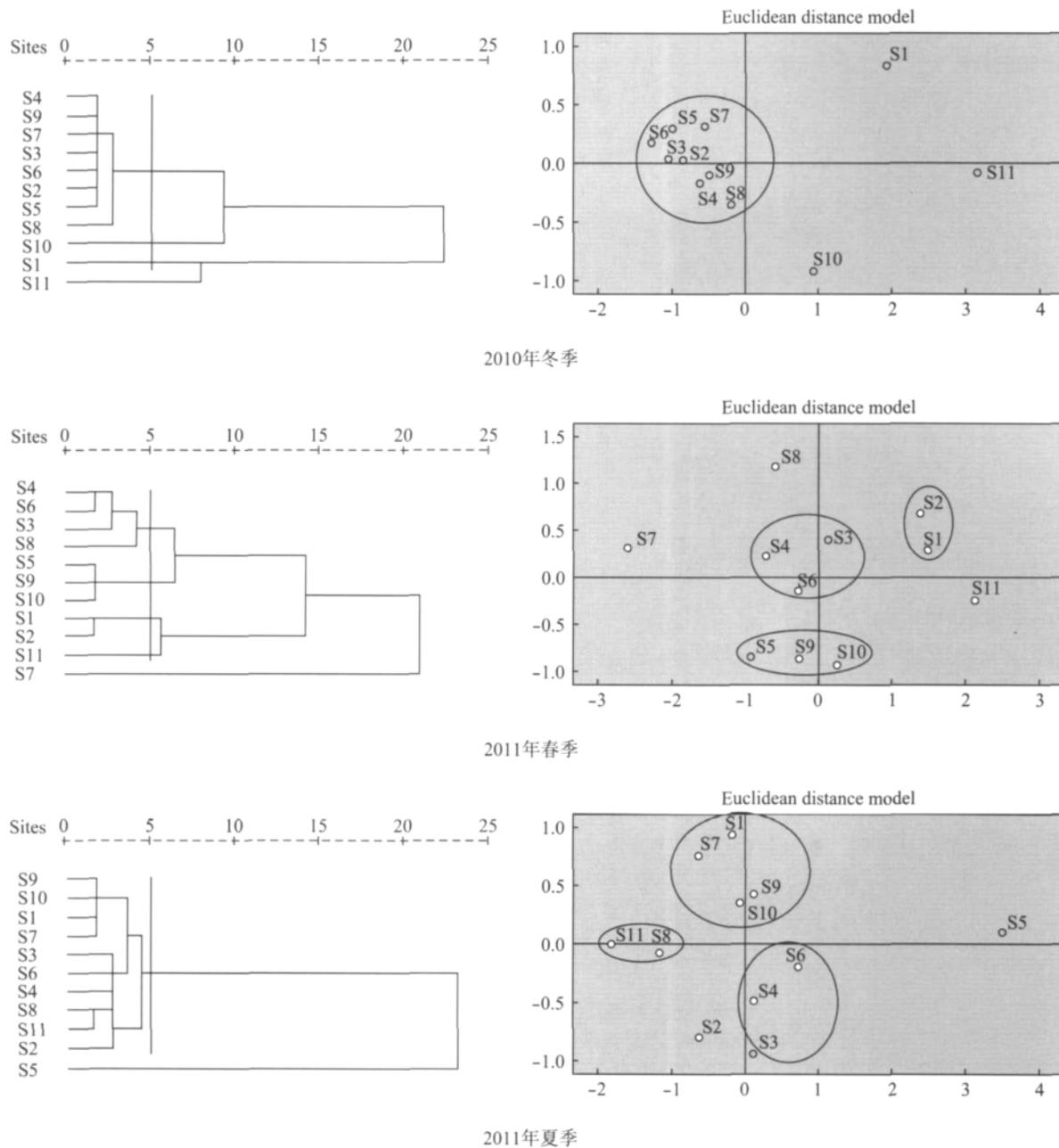


图 4 青草沙水库每个季度各样点浮游动物群落聚类分析(左)和多维尺度分析(右)
 Fig. 4 Cluster dendrogram(Left) and MDS ordination(Right) for zooplankton community of each sampling sites during each season in Qingcaosha Reservoir

图 4(右)为每个季度各个样点浮游动物群落多维尺度的分析结果. 2010 年秋季和冬季, 及 2011 年春季和夏季分析得到的 Stress 值分别为 0.052, 0.025, 0.056 和 0.056, 说明这些图可以正确解释样点间的相似性关系^[19]. 与聚类分析相比, 虽然二者的原理不同, 但各季度的分组情况类似, 采用两种方法分析的结果可以相互印证.

2.4 浮游动物与主要环境因子的相关性分析

青草沙水库主要环境因子各季度均值由上海市环境监测中心提供. 如表 2(见第 124 页)所示, 除盐度外各环境因子季节性变化较大, 总氮总磷浓度随着时间推移而逐步升高. 全年中库区浮游动物密度与各环境因子的相关性分析见表 3(见第 124 页), 表 3 中只取了浮游动物密度与各因子间的相关系数, 盐度在整个取样过程中没有发生变化, 所以没有参与相关性分析. 可以看出, 浮游动物的密度与 pH 值呈显著正相关, 与总氮浓度呈显著负相关, 与其他各环境因子的相关性不显著.

表 2 库区各样点主要环境因子各季度均值

Tab. 2 Mean value of major environmental factors of each sites of each season in reservoir

采样时间	水温(°C)	透明度(m)	水深(m)	pH	溶解氧 (mg · L ⁻¹)	总氮 (mg · L ⁻¹)	总磷 (mg · L ⁻¹)	叶绿素 a (mg · L ⁻¹)	盐度 (‰)	
2010	夏季	29.69	1.54	5.51	8.65	7.64	0.49	0.02	1.4	0.3
	秋季	14.92	0.84	5.99	8.63	9.14	0.51	0.03	2.28	0.3
2011	冬季	6.45	0.93	6.13	8.34	12.14	1.05	0.04	2.52	0.3
	春季	19.33	0.73	5.82	8.2	8.52	1.66	0.09	3.17	0.3

表 3 库区浮游动物密度与环境因子的相关性系数

Tab. 3 The correlation between zooplankton density and environmental factors in reservoir

参数	相关性系数							
	水温	透明度	溶解氧	pH	水深	总氮	总磷	叶绿素 a
密度	0.378	0.259	-0.378	0.755**	-0.392	-0.832**	-0.455	-0.382

注：“*”表示 $P < 0.05$, 显著相关; “**”表示 $P < 0.01$, 极显著相关。

2.5 生物多样性指数评价

运用 Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)、Margalef 指数(M)来分析浮游动物群落结构与水质的关系。调查结果显示,青草沙水库库区内 10 个样点浮游动物 3 种生物多样性指数中 H 值在 0.951~1.450 间变动, D 值在 3.709~4.490 间变动, M 值在 1.345~1.704 间变动(表 4)。库区外 11 号点三指数分别为 0.460、2.399 和 0.879,均低于库区内各样点。

从三种多样性指数的水质生物学评价结果来看(表 4),水库内外不同样点的评价结果不完全一致。 H 值评价显示水流在入闸前后(1 和 11 号点)为严重污染,进入库区后,水体在其余各点都显示为 α -中污型。 D 值评价结果显示水流入闸前(11 号点)为中度污染,其余各点均为轻度污染。 H 值评价显示水流入闸前(11 号点)为多污型,其余各点为 α -中污型。综合 3 种多样性指数评价 11 个样点的水质,入闸前库外(11 号点)为 α -中污型,其余样点为 β -中污型。

表 4 3 种多样性指数对水质的综合评价

Tab. 4 Assessment of three biodiversity indexes on water quality

样点	评价等级						
	H		D		M		指数综合评价
1	0.951	严重污染	4.490	轻度污染	1.345	α -中污型	β -中污型
2	1.411	α -中污型	3.709	轻度污染	1.541	α -中污型	β -中污型
3	1.450	α -中污型	3.766	轻度污染	1.613	α -中污型	β -中污型
4	1.404	α -中污型	4.074	轻度污染	1.644	α -中污型	β -中污型
5	1.410	α -中污型	4.279	轻度污染	1.607	α -中污型	β -中污型
6	1.405	α -中污型	3.932	轻度污染	1.528	α -中污型	β -中污型
7	1.375	α -中污型	3.885	轻度污染	1.560	α -中污型	β -中污型
8	1.450	α -中污型	4.116	轻度污染	1.641	α -中污型	β -中污型
9	1.441	α -中污型	4.184	轻度污染	1.704	α -中污型	β -中污型
10	1.350	α -中污型	4.190	轻度污染	1.533	α -中污型	β -中污型
11	0.460	严重污染	2.399	中度污染	0.879	多污型	α -中污型

从 3 种多样性指数的月变化来看(图 5), H 值变化在 0.838~1.943 之间,平均值为 1.282 ± 0.374 ,其中 10 月份最高,为 1.943,而且从 2010 年 10 月份至 2011 年 6 月份一直呈缓慢下降趋势,3~4 月份有所升高,但到 6 月份降至最低值 0.838; D 值变化幅度较大,最高值出现在 2010 年 8 月份,为 7.081(水体清

洁), 而 10 月份开始至次年 6 月份呈下降趋势, 与 H 值类似, 3~4 月份回升但 2011 年 5 月份大幅下降并出现最低值 1.787(中度污染), 平均值为 3.911 ± 1.447 ; M 值平均值为 1.509 ± 0.616 , 最高值出现在 2010 年 9 月份为 2.504(β -中污型), 最低值为次年 6 月份 0.787(α -中污型), 该多样性指数同样在 2010 年 10 月份到次年 6 月份之间呈下降趋势. 综合三者看, 青草沙水库水质在 2010 年 8 月份时最好, 而从 10 月份开始水体质量变差, 直至 2011 年 5 月份达到最低值. 由于库区内外 3 种多样性指数的月变化规律基本一致, 本文未对其重复叙述.

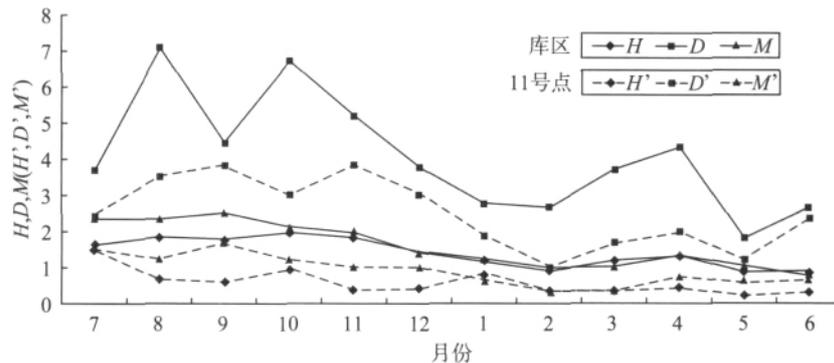


图 5 青草沙浮游动物多样性指数月变化

Fig. 5 Monthly variation of biodiversity index in Qingcaosha

3 讨 论

3.1 库区内浮游动物组成分布和群落结构

从本次调查的情况来看, 青草沙水库各样点间浮游动物群落结构存在一定的差异, 三大类群浮游动物中, 枝角类的种类略多于桡足类和轮虫类. 该类群种类数量相对稳定, 优势种多以喜食微型藻类的种类为主, 如喜好富营养化环境的长额象鼻溞和筒弧象鼻溞, 偶见滤食性较强的大型溞类. 而桡足类则以广布性兼性种类如广布中剑水蚤、跨立小剑水蚤等为主. 轮虫类的优势种矩形龟甲轮虫、臂尾轮虫也在各样点中发现, 这些轮虫均为水质富营养化的典型指示种^[20]. 浮游动物是对水质变化敏感的水生生物类群, 其数量和群落结构特征能够反映水体的营养状况. 与库区外相比, 虽然浮游动物种类和数量均有所增加, 但水库内浮游动物群体中枝角类均为小型溞, 大多为滤食效率较差的种类, 缺乏能较高效滤食绿藻等水华藻类的大型枝角类. 尤其进入 11 月份后, 浮游动物群落以喜富营养化的轮虫和桡足类为主, 枝角类密度和生物量水平很低, 而 5 月份中小型溞又占据了绝对优势, 其他类群所占比例很小.

通过逐月比较发现, 7~10 月份, 由于水体温度较高, 以浮游植物为主的饵料丰富, 浮游动物的密度和生物量均处于较高水平. 进入 11 月份后, 天气转冷, 水温降低, 三大类群的浮游动物的密度和生物量均相应明显下降, 尤其是对生物量贡献最大的枝角类, 其数量的锐减导致了生物量的较大幅度下降. 而桡足类则以中剑水蚤类等广温性种类为主, 所以在冬季水温较低时仍能保持一定的数量. 所调查的样点中轮虫类的密度、生物量季节变化不明显, 优势种始终为广温性的龟甲轮虫. 进入 5 月份后, 随着天气转暖, 水温升高, 浮游动物迅速繁殖; 加之采样日期前后降水量少, 水库内水体长时间停留, 叶绿素水平骤然升高, 由此导致浮游动物量的骤然升高, 尤其是枝角类数量变化显著. 而进入 6 月份后上海地区进入“梅雨”季节, 浮游动物受到光照强度和降水的限制, 而且在采样日期前水库经过一次换水, 导致浮游动物的密度和生物量下降. 造成 2010 年 8、10 月份浮游动物密度与生物量不一致的原因主要是桡足类所占比例较低, 其他种类虽然数量多但个体湿重较小, 从而生物量较相邻月份下降幅度较大.

聚类分析和 MDS 分析结果表明, 青草沙水库各样点的分组情况每个季度都存在一定差异, 其中 2010 年秋、冬季较为一致, 2~9 号样点聚类一组, 10 号样点独立为一组, 主要是因为环境因子、径流等方面比较相似, 浮游动物种类和密度相差不大, 因此被归为一类, 这与武汉柴泊湖的相关研究结果类似^[21]; 而 10 号样点位于出水闸敞水区, 浮游动物在该区域可以获得丰富的饵料和增殖空间^[22], 浮游动物的种类和密度

与其他各点均有差异;但初秋季时库区开闸放水,致使入水闸内外(S1 和 S11)的水环境及生物组成相似,聚为一组.进入 2011 年,由于青草沙水库外圈水域历经冬季及初春枯水期,库区水闸早在咸潮入侵前关闭,库区内水体相当于一个封闭人工湖泊,因此其环境除受工程建设影响外,主要受水温、风向、植物分布等环境因子发生改变,各样点的浮游动物群落也会相应发生改变,相似度存在一定的差异.

3.2 库区内外浮游动物群落差异

比较库区内外浮游动物群落结构,无论是密度、种类和生物量均存在明显差异,库区外浮游动物多样性明显低于库区内平均水平,但库区内外浮游动物群落的逐月变化规律基本一致.聚类分析和 MDS 分析结果也显示 11 号点始终游离于主要分组之外.

究其原因,主要因为上游来水进入库区后,水力停留期延长,水温上升,透明度增加,这些水文条件均有利于浮游动物的增殖;同时局部水体中营养盐浓度升高,导致浮游植物种类增多和生物量增加,也为浮游动物提供了丰富的饵料^[23],因此库区内浮游动物的密度、生物量以及多样性较库区外对照样点均明显升高,库区内外浮游动物组成分布存在较大差异.

3.3 浮游动物与主要环境因子相关性分析

pH 值与浮游动物的代谢、生殖与发育等生命活动都有密切的关系,水体的 pH 值是影响浮游动物分布的一个重要因素^[24].相关性分析得知,库区内 pH 值很大程度上影响了库区内的浮游动物密度,pH 值的升高能够显著促进库区内浮游动物的繁殖,进而提高浮游动物密度水平,这与李莉娜关于密云水库浮游动物的相关研究结果类似^[24].而青草沙库区水体中总氮浓度与浮游动物密度呈显著负相关,纪焕红和叶属峰对长江口浮游动物的相关研究结果支持本结果^[25],但本研究发现浮游动物密度与叶绿素 a 和总磷水平无显著相关关系,说明浮游动物密度与水体营养水平和浮游植物并无直接联系,具体原因需要进一步探讨.

由于青草沙库区浮游动物种类大多以广温性种类为主,并且库区全年溶氧值都保持在一个较高的水平对温度变化的适应性较强,所以浮游动物的生长和繁殖不受温度和溶氧的限制,这两种环境因子与各样点的浮游动物密度相关性不显著.

3.4 生物多样性指数的评价

生物多样性是将一个群落中种类的丰度信息计算缩并后,以数值的形式反映该群落的种类丰富程度以及各种中个体数分配均匀程度^[26],一般生物群落受到环境胁迫时,种类数、个体数都会减少^[27],多数浮游动物类群的生物多样性随着水体营养水平的上升而下降^[28].总体来看,青草沙库区浮游动物群落结构较为简单,水体总体呈现 β -中污型;浮游动物群落的生物多样性指数随季节变化明显,逐月比较发现,库区水体中浮游动物生物多样性呈下降的趋势.但水体质量始终维持在中度污染水平,浮游动物群落结构日趋简单,物种组成较为单一,且优势种大多为控藻效率较低的种类,这些现象提示相关部门需要加强预控防范和管理.

3.5 相关措施

与库区外浮游动物群落结构相比,青草沙库区浮游动物种类丰富,生物量水平有所升高,群落结构更为复杂,生态群落抗干扰能力增强,但是库区内浮游动物群落以小型溞类为主,缺乏大型的滤食性蚤类,对绿藻、蓝藻等有害藻类的摄食能力有限.库区部分地区水体停留时间长,营养盐水平易富集,由于浮游动物下行控制能力有限,容易局部暴发蓝藻水华.而且库区内浮游动物多样性指数逐月降低,群落结构趋于简单,水体质量有所下降,浮游动物与浮游植物等的平衡易遭到破坏.

以上提示应加强实时监测,做好营养盐富集以及藻类大幅增殖的预警措施,防止大规模水华的爆发.同时在水华易暴发的高温季节缩短水力停留时间,人为加强部分区域的水力流动,防止营养盐过度富集^[29].恢复和重建部分区域的生物多样性,尤其是水生高等植物的群落,提高大型植物的种植密度和种类,以提高浮游动物等的种群和多样性水平,使其群落结构趋于合理和丰富.

参考文献:

- [1] 顾玉亮,乐 勤,金迪惠.青草沙——上海百年战略水源地[J].上海建设科技,2008(1): 66-69.

- [2] 顾金山,陆晓如,顾玉亮.上海青草沙水源地原水工程规划[J].给水排水,2009,35(1):50-54.
- [3] 陈亮,刘一,禹娜,等.分水江水库浮游动物群落结构的初步研究及水质评价[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):72-82.
- [4] 王新华,吕昀,秦保平,等.引滦入津输水工程流域浮游动物和水质评价[J].南开大学学报:自然科学版,2002,35(1):16-22.
- [5] Maria-Heleni Z, Michaloudi E, Bobri D C, *et al.* Zooplankton abundance in the Aliakmon River, Greece [J]. *Belgian Journal of Zoology*, 2000,130(suppl 1):29-33.
- [6] Wang S B, Xie P, Wu S K, *et al.* Crustacean zooplankton distribution patterns and their biomass as related to trophic indicators of 29 shallow subtropical lakes[J]. *Limnologica*, 2007,37(3):242-249.
- [7] 刘冬燕.苏州河浮游生物群落特征及动态变化.可持续发展:经济与环境(下册)[M].上海:同济大学出版社,2005:125-130.
- [8] 陈伟民,黄祥飞,周万平,等.湖泊生态系统观测方法[M].北京:中国环境科学出版社,2005.
- [9] 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.
- [10] 王家楫.中国淡水轮虫志[M].北京:科学出版社,1961.
- [11] 蒋燮治,堵南山.中国动物志-淡水枝角类[M].北京:科学出版社,1979.
- [12] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组.中国动物志-淡水桡足类[M].北京:科学出版社,1979.
- [13] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [14] Simpson E H. Measurement of Diversity [J]. *Nature*, 1949,163:688.
- [15] Margalef R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Buzzati-Traverso A A. (ed). *Perspectives in Marine Biology*[M]. Berkeley: University of California Press, 1958:323-347.
- [16] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure [J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993,18(1):117-143.
- [17] Whittaker R H, Fairbanks C W. A study of plankton copepod communities in the Columbia Basin, southeastern Washington [J]. *Ecology*, 1958,54(1):46-65.
- [18] 左涛,王克,王荣,等.春季南黄海浮游动物群落的多元统计分析[J].水产学报,2003,27(增刊):108-114.
- [19] Field J G, Clarke K R, Warwick R M. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1982,8(2):37-52.
- [20] 郑重.海洋浮游生物学[M].北京:科学出版社,1964.
- [21] 龚珞军,张仕萍,熊邦喜,等.不同类型湖泊夏季浮游动物多元聚类分析[J].水生生物学报,2010,34(1):43-50.
- [22] 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.
- [23] 王铭伟.上海城市水源地蓝藻暴发的影响因素及控制管理体系研究[D].上海:华东师范大学博士学位论文,2011.
- [24] 李莉娜.北京市密云水库浮游动物群落生态研究[D].北京:首都师范大学硕士学位论文,2009.
- [25] 纪焕红,叶属峰.长江口浮游动物生态分布特征及其与环境的关系[J].海洋科学,2006,30(6):23-30.
- [26] 张明凤,陈寅山,许友勤.福州市内河水质评价[J].福建师范大学学报:自然科学版,2003,19(4):56-61.
- [27] 马徐发,熊邦喜,王卫民,等.道观河水库浮游动物的群落结构与物种多样性[J].华中农业大学学报,2005,24(1):63-67.
- [28] 谢平,诸葛燕,戴莽.水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响[J].水生生物学报,1996,20(增刊):30-37.
- [29] 林卫青,顾玉亮,卢士强,等.防治藻类过渡繁殖的青草沙水库合理水力停留时间初探[J].给水排水,2009,35(9):60-62.

Community Structure of Metazoan Zooplankton in Qingcaosha Reservoir, Shanghai

SUN Lu-yu, WEN Xiao-man, YU Na, CHEN Li-qiao, LI Er-chao, FENG De-xiang

(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Zooplankton community structure of Qingcaosha reservoir in Shanghai was investigated monthly from July, 2010 to June, 2011. Totally, 38 species were identified, including 16 species of rotifers, 9 species of cladocerans, and 13 species of copepods. *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops leuckarti*, and *Sinocalanus sinensis* were the dominate species. Zooplankton abundance changed from 8.46 to 97.71 ind./L, and biomass ranged from 0.284 to 19.470 mg/L. Sample sites of Qingcaosha reservoir were classified into four groups by using cluster and MDS analysis. The pH value and TN concentration were significantly correlated with the density of zooplankton. The results suggest that water in Qingcaosha reservoir is polluted at moderate level. The community structure of zooplankton is too vulnerable to be stable. More efforts for protecting the ecological environment of Qingcaosha reservoir should be carried on.

Keywords: Qingcaosha; zooplankton; community structure; biodiversity index

(上接第 111 页)

The Tri-tandem and the Intra-mice Immunogenicity of HCV Multi-epitope Antigen Gene *pcxz*

ZHOU Ping, YANG Gui-mei, YU Long, REN Da-ming

(State Key Laboratory of Genetic Engineering, School of Life Sciences,

Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Based on the multi-epitope antigen gene *pcxz* which is against the hepatitis C virus synthesized before, this research triplicate *pcxz* into *3pcxz*. The antigenic specificity of *3pcxz* was determined by recognizing antibodies in serum samples from hepatitis C virus patients, but not from healthy subjects or subjects who had the hepatitis B virus. The characteristics of 3PCXZ immunogenicity were evaluated in BALB/c mice. Strong antibody responses were generated in mice immunized with either naked 3PCXZ or 3PCXZ in Freund's adjuvant. Analysis of antibody subtype shows this response is mainly through the Th2 pathway. It can also stimulate the CTL effects of specific CD4⁺ T help cell, the lytic activity of cytotoxic T lymphocytes can reach 40.54%, 3PCXZ can also significantly increased interferon- γ secretion from CD4⁺ T cell, and 698 ± 229 interferon- γ -secreting CD4⁺ can be produced in 1×10^6 spleen lymphocytes.

Keywords: HCV; 3PCXZ; immunological responses; CTL effect