

青草沙水库大型底栖动物群落结构及水质生物学评价

汤 勇¹, 王绍祥², 陈立婧¹

(1. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海城投原水有限公司青草沙水库管理分公司, 上海 201913)

摘 要: 2014 年 1 - 12 月在青草沙水库设置 11 个站点对大型底栖动物进行逐月调查, 结果表明: 调查期间共采集到 22 种底栖动物, 隶属于 4 门 14 科 19 属, 其中多毛类 7 种、寡毛类 4 种、节肢动物 3 种、软体动物 6 种、线形动物 1 种; 主要优势种类为圆锯齿吻沙蚕 (*Detinephtys glabra*)、日本角吻沙蚕 (*Goniada japonica*) 和日本旋卷螺赢蛭 (*Corophium volutator*)。底栖动物年均丰度为 (155.99 ± 92.61) ind/m², 年均生物量为 (0.52 ± 0.35) g/m², 丰度和生物量在采样站点、季节间不存在显著差异 ($P > 0.05$)。底栖动物生物多样性指数、生物学污染指数 (*BPI*) 和 Hilsenhoff 生物指数 (*BI*) 时空差异不显著。运用丰度-生物量比较曲线 (*ABC* 曲线)、群落相似性聚类和 *MDS* 排序分析群落结构得出: 青草沙水库大型底栖动物群落未受到干扰或干扰较轻, 群落结构相对稳定。

关键词: 大型底栖动物; 生物多样性; 群落特征; *ABC* 曲线; *MDS*

中图分类号: Q 958.1 **文献标志码:** A

底栖动物是海洋、河流以及水库等水生态系统的重要组成部分, 对促进水域生态系统的物质传递和能量交换起到枢纽作用^[1]。与其他水生动物群相比, 底栖动物的生活周期长、迁移能力弱、便于收集和鉴定, 对所生活的水域环境的时空变化能够较为直接地反映, 因而常作为环境监测的生物指标^[2]。此外, 它们还是鱼、虾、蟹等水生动物的饵料提供者, 具有重要的渔业利用价值^[3-4]。近年来, 底栖动物的研究工作主要集中在河流、湖泊等水体^[5-6], 然而, 对饮用水源地水库底栖动物群落的研究相对较少。

青草沙水库地处长江入海口处, 位于长兴岛的西北侧, 依托青草沙冲积洲而建, 蕴含丰富的优质淡水资源。水库于 2011 年 6 月全面建成供水, 最大有效库容达 5.53 亿 m³, 日均供水量约 719 m³, 占上海市原水供应量一半以上, 直接受益人口超过 1 千万。该水库已被规划为上海市的战略水源地, 维系其水质清洁与安全成为首要任

务。目前, 关于青草沙水库水生生物群落的研究主要集中于浮游藻类、后生浮游动物、鱼类等^[7-10], 而对大型底栖动物群落的研究未见报道。为此, 本调查于 2014 年对青草沙水库大型底栖动物种类组成及分布特点、生物多样性及群落结构稳定性等方面开展研究分析, 以期对青草沙水库的水质监测及保护提供基础资料和生物学依据。

1 材料与方法

1.1 采样站点设置

2014 年 1 - 12 月对青草沙水库底栖动物进行逐月采集分析 (2 月 S1 站点由于咸潮导致水位过低未能采集样本)。根据水库的地理状况、水文条件等共设置 11 个采样站点 (图 1), 其中, S1、S10 和 S11 为水库上游; S2、S3、S4、S8 和 S9 为水库中游; S5、S6 和 S7 为水库下游。

收稿日期: 2016-02-18 修回日期: 2016-07-12

基金项目: 上海市教委水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目 (ZF1206); 上海城投原水有限公司项目 (D-8006-14-0055)

作者简介: 汤 勇 (1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水域生态学。E-mail: tangyong90@yeah.net

通信作者: 陈立婧, E-mail: ljchen@shou.edu.cn

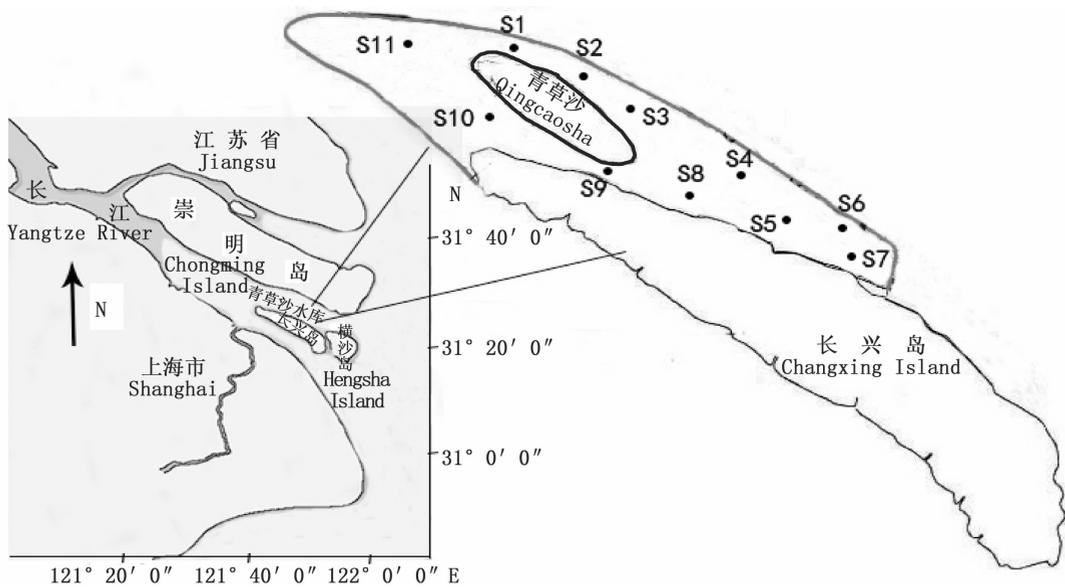


图 1 青草沙水库大型底栖动物采样站点

Fig. 1 Sampling sites of macrozoobenthos in Qingcaosha Reservoir

1.2 样本采集与鉴定

采用有效面积为 1/16 m² 的改良彼得森采泥器进行定量采集。原始样品装入塑封袋内带回实验室,经 80 目尼龙筛网洗净后置于白磁盘内,将底栖动物样本依次挑出,存放在 75% 乙醇溶液中,使用 Olympus CX21 显微镜和 WeiTu CX30 解剖镜进行样品种类鉴定、计数并称量湿重(精确到 0.000 1 g)^[11-14]。

1.3 数据处理方法

1.3.1 水质分析

Shannon-Wiener 指数(H')^[15]: $H' = - \sum (N_i/N) \ln(N_i/N)$ (1)

Pielou 均匀度指数(J)^[16]: $J = H'/\ln S$ (2)

Margalef 物种丰富度指数(D)^[17]: $D = (S -$

$1)/\ln N$ (3)

Hilsenhoff 生物指数(BI)^[18] $BI = \sum_{i=1}^S t_i N_i / N$ (4)

BPI 生物学污染指数^[19] $BPI = \log(N_1 + 2) / [\log(N_2 + 2) + \log(N_3 + 3)]$ (5)

式中: N 为样本个体总数, N_i 为第 i 个物种的个体数, S 为样本的总物种数, N_{oil} 为样本中寡毛类个体总数, N_1 为寡毛类、蛭类和摇蚊幼虫个体数; N_2 为除摇蚊幼虫以外其他的水生昆虫个体数; N_3 为软体动物个体数, t_i 为第 i 个分类单元(科或属)的耐污值。各生物指数的水质评价标准参见表 1^[15-19]。

表 1 底栖动物生物指数与水质评价标准

Tab. 1 Evaluation criteria of biological index and bio-pollution index of macrozoobenthos

生物指数 biological index	评价标准 evaluation criteria				
	清洁 clean	轻度污染 oligotrophic	中度污染 mesotrophic	重度污染 eutrophic	严重污染 hypertrophic
Hilsenhoff 生物指数(BI) Hilsenhoff biological index	<5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	7.5 ~ 8.5	>8.5
生物学污染指数(BPI) Bio-pollution index	<0.1	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0	>5.0

1.3.2 优势种计算

采用相对重要性指数(IRI)^[20]来分析底栖动

物的优势种分布情况,计算公式如下:

$IRI = (RW + RN) \times F$ (6)

式中: RW 表示某一物种的生物量占底栖动物总生物量的百分比; RN 表示该物种的细胞丰度占底栖动物总丰度的百分比; F 表示该物种出现的频率,将 $IRI > 100$ 的种类定为底栖动物的相对优势种类。

1.3.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 对底栖动物群落结构进行双因素方差分析 (two-way ANOVA), 探讨不同采样季节和站点对其细胞丰度、生物量和生物指数的影响程度 ($\alpha = 0.05$), 并采用 Bonferroni 检验各采样时间和各站点之间的两两差异性; 判断出影响底栖动物种类分布的环境要素; 利用 Primer V 6.0 软件解析大型底栖动物进行群落聚类、非度量多维标度 (MDS) 和丰度-生物量比较曲线 (ABC 曲线), 数据要求: 将物种原始丰度数据 $\log(X + 1)$ 对数转换后再进行群落聚类和 MDS 分析, ABC 曲线使用原始丰度与生物量数据进行分析, 进而

研究底栖动物群落结构特征的稳定状况及受干扰程度^[21]。

2 结果与分析

2.1 物种组成及优势种类

青草沙水库共采集到大型底栖动物 22 种, 由寡毛类、多毛类、软体动物、节肢动物和线形动物组成, 其中寡毛类 4 种, 占总量的 18.2%; 多毛类 8 种, 占 36.4%; 软体动物为 6 种, 占 27.3%; 节肢动物 (3 种) 主要是水生昆虫和日本旋卷螺赢蜚, 占 13.6%; 线形动物 1 种, 占 4.5%。物种在季节间差异不明显: 春季 (17 种) > 秋季 (16 种) > 夏季 (15 种) > 冬季 (13 种)。通过计算 IRI 值来确定青草沙水库的优势种类 (表 2), 结果表明: 圆锯齿吻沙蚕、日本角吻沙蚕和日本旋卷螺赢蜚为调查阶段的重要物种 ($IRI > 100$)。

表 2 青草沙水库底栖动物的种类组成及其相对重要性分析 (IRI)

Tab. 2 Species composition and the index of relative importance (IRI) of macrozoobenthos in Qingcaosha Reservoir

物种 species	拉丁名 latin name	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbyi</i>	0.02	1.79	12.33	0.00
霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.11	0.00	0.00	0.00
奥特开水丝蚓	<i>Limnodrilus udekemianus</i>	0.00	0.00	0.01	0.00
仙女虫科一种	<i>Naididae sp.</i>	1.13	0.29	0.04	0.00
疣吻沙蚕	<i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>	5.30	0.00	0.09	0.29
角沙蚕	<i>Ceratonereis mirabilis</i>	13.52	0.01	0.00	61.42
圆锯齿吻沙蚕	<i>Dentinephtys glabra</i>	1 090.65	1 480.34	1 015.30	544.90
异足索沙蚕	<i>Lumbricomereis heeropoda</i>	37.84	0.16	0.40	2.45
日本角吻沙蚕	<i>Goniada japonica</i>	261.98	206.60	272.08	111.15
沙蚕科一种	<i>Nereididae sp.</i>	118.59	69.30	38.92	62.10
背蚓虫	<i>Notomastus latericeus</i>	37.22	2.82	1.63	7.14
等边浅蛤	<i>Gomphina veneriformis</i>	9.22	3.44	11.70	8.28
彩虹明樱蛤	<i>Moerella iridescens</i>	0.05	0.00	0.00	0.00
缢蛭	<i>Sinonovacula constrzcta</i>	0.00	0.04	0.00	0.00
小茨蛭	<i>Siliqua milimai</i>	6.06	1.74	4.01	12.03
河蚬	<i>Corbicula fluminea</i>	0.00	0.91	0.00	0.00
湖沼股蛤	<i>Limnoperna lacustris</i>	0.00	0.00	2.22	0.00
墨黑摇蚊	<i>Chironomus anthracinus</i>	5.09	0.29	1.50	2.90
黄色羽摇蚊	<i>Chironomus flaviplumus</i>	0.03	0.52	0.48	0.74
日本旋卷螺赢蜚	<i>Corophium volutator</i>	10.29	874.06	1071.89	400.86
线虫	Nematoda	0.01	0.01	0.00	1.17

2.2 底栖动物丰度与生物量

2.2.1 丰度与生物量的季节差异

由表 3 可知, 青草沙水库大型底栖动物群落的年均丰度为 (155.99 ± 92.61) ind/m², 其中多毛类优势较大, 占总丰度 62.35%; 节肢动物和寡

毛类次之, 分别占 14.29% 和 9.82%; 软体动物和线形动物贡献较少, 仅占 2.62% 和 0.53%。年均生物量为 (0.52 ± 0.35) g/m², 生物量最高的是多毛类 (50.64%); 软体动物 (26.85%) 和节肢动物 (21.62%) 次之; 寡毛类 (0.25%) 和线形动物

(0.02%)所占比例较少。各种群年均丰度和生物量的季节动态为:多毛类丰度为春季最高,冬季最低;寡毛类、软体动物和节肢动物丰度都为秋季最高,春季最低;线形动物丰度冬季最高,秋

季未采集到;寡毛类和节肢动物生物量为秋季最高,春季最低;多毛类生物量冬季最高、春季最低;软体动物生物量夏季最高、春季最低;线形动物生物量冬季最高。

表 3 青草沙水库大型底栖动物丰度和生物量的季节分布

Tab 3 Temporal variation of density and biomass of macrozoobenthos in Qingcaosha Reservoir

季节 season	现存量 standing crop	寡毛类 oligochaeta	多毛类 polychaeta	软体动物 mollusca	节肢动物 arthropoda	线形动物 nematoda	总计 total
春季 Spring	丰度/(ind/m ²)	3.15	147.39	3.15	8.24	0.24	162.18
	生物量/(g/m ²)	0.00	0.18	0.08	0.02	0.00	0.28
夏季 Summer	丰度/(ind/m ²)	4.12	112.24	4.85	47.52	0.24	168.97
	生物量/(g/m ²)	0.00	0.28	0.19	0.16	0.00	0.63
秋季 Autumn	丰度/(ind/m ²)	8.48	109.33	6.06	55.52	0.00	179.39
	生物量/(g/m ²)	0.00	0.24	0.18	0.22	0.00	0.64
冬季 Winter	丰度/(ind/m ²)	0.00	83.55	5.58	28.70	2.86	120.68
	生物量/(g/m ²)	0.00	0.49	0.10	0.18	0.00	0.78

2.2.2 丰度与生物量的水平分布

大型底栖动物现存量的时空动态如图 2 所示,S3 站点年均丰度和生物量最高,分别为:358.40 ind/m² 和 1.38 g/m²。S11 站点的年均丰度(34.00 ind/m²)和年均生物量最低(0.21 g/m²)。其中,多毛类的年均丰度在 S6 站点最高(220.00 ind/m²),S8 站点最低(43.33 ind/m²),而生物量则 S1 最高(0.67 g/m²),S8 站点最低(0.02 g/m²);寡毛类年均丰度 S5 站点最高(12.00 ind/m²),年均生物量 S9 最高(0.01 g/

m²),S8 和 S11 站点未采集到寡毛类;软体动物的年均丰度 S4 站点最高(12.03 ind/m²),年均生物量则是 S8 站点最高(0.52 g/m²),年均丰度和生物量的最低点都为 S2 站点(0.67 ind/m²,0.41 × 10⁻² g/m²);节肢动物的年均丰度和生物量都在 S3 站点最高(239.07 ind/m²,1.14 g/m²),S10 站点最低(1.33 ind/m²,0.13 × 10⁻⁴ g/m²);线形动物年均丰度为 S3 站点最高(3.47 ind/m²),年均生物量则是 S5 最高(0.07 × 10⁻² g/m²),S1、S2、S4、S7、和 S11 站点都未采集到线虫。

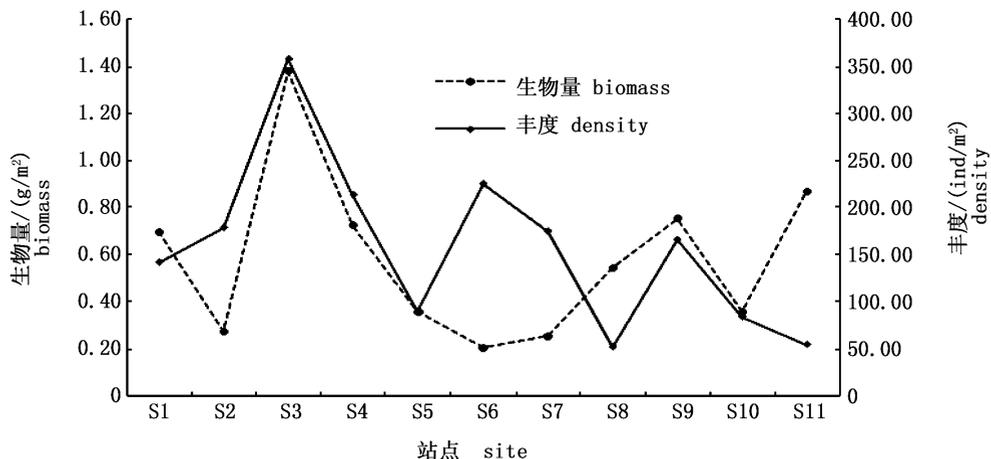


图 2 青草沙水库大型底栖动物丰度和生物量的空间分布

Fig. 2 Spatial variation of density and biomass of macrobenthos in Qingcaosha Reservoir

双因素方差分析结果显示,青草沙水库底栖动物总丰度在 3 个采样区域和 4 个采样季节间未

表现出显著差异($P > 0.05$),但多毛类丰度在采样区和采样季节都表现出显著差异($P < 0.05$),

软体动物和节肢动物在采样区均表现显著差异 ($P < 0.05$), 线形动物在采样季节间表现出显著差异(表 4)。双因素方差分析结果显示, 青草沙水库底栖动物总生物量在 3 个采样区和 4 个采样

季节间未呈现出显著差异, 不存在交互作用($P > 0.05$, 表 5), 仅节肢动物生物量在采样区表现出显著差异($P < 0.05$)。

表 4 青草沙水库底栖动物丰度时空变化双因素方差分析
Tab. 4 Summary of two-way ANOVA for the effects of temporal and spatial variation on macrozoobenthos density in Qingcaosha Reservoir

目标 goal	寡毛类 oligochaeta	多毛类 polychaeta	软体动物 mollusca	节肢动物 arthropoda	线形动物 nematoda	总计 total
样区 Quadrat $df = 2$	0.659	0.007	0.008	0.001	0.331	1.006
季节 Season $df = 3$	0.014	0.028	0.578	0.520	0.007	1.147
样区 × 季节 $df = 6$	0.683	0.743	0.204	0.557	0.235	2.422

表 5 青草沙水库底栖动物生物量时空变化双因素方差分析
Tab. 5 Summary of two-way ANOVA for the effects of temporal and spatial variation on macrozoobenthos biomass in Qingcaosha Reservoir

目标 goal	寡毛类 oligochaeta	多毛类 polychaeta	软体动物 mollusca	节肢动物 arthropoda	线形动物 nematoda	总计 total
样区 Quadrat $df = 2$	0.561	0.248	0.185	0.008	0.269	1.271
季节 Season $df = 3$	0.209	0.602	0.750	0.683	0.109	2.353
样区 × 季节 $df = 6$	0.607	0.210	0.748	0.807	0.239	2.611

2.3 群落结构和稳定性分析

基于青草沙水库大型底栖动物丰度的对数数据, 利用 Bray-Curtis 相似性系数构建群落矩阵, 进而使用群落相似性聚类和非度量多维标度 (MDS) 排序分析, 得到结果(图 3), 其中 MDS 分析中的 2D Stress 值小于 0.1 (0.05), 说明图形重合性较高, 结果可信。根据群落相似性聚类结果, 在相似性 75% 时, 可将青草沙水库各采样点大型底栖动物划分为 6 个群落, 即 S3 - S4、S8、S10、S6 - S9、S5、S1 - S2 - S7 - S11 这 6 大类, 群落相似性聚类分析与 MDS 排序分析结果一致, 即

聚类分析中采用 75% 相似性时, 各采样站点同样划分为 6 类, 结果表明空间变化对水库大型底栖动物种类组成存在一定影响。在 MDS 排序分析的基础上, 进行优势种类在各采样站点的聚类分析(图 4), 其中: 圆锯齿吻沙蚕主要集中在 S2、S6、S7 和 S9 站点; 日本角吻沙蚕与圆锯齿吻沙蚕的分布情况相似, 也是多集中于水库中下游区域; 日本旋卷螺赢蜚虽是优势种类, 但大部分采集自 S3 和 S4 站点, 空间分布存在较大差异; 优势种类的分布现状与生物多样性指数分析相吻合。

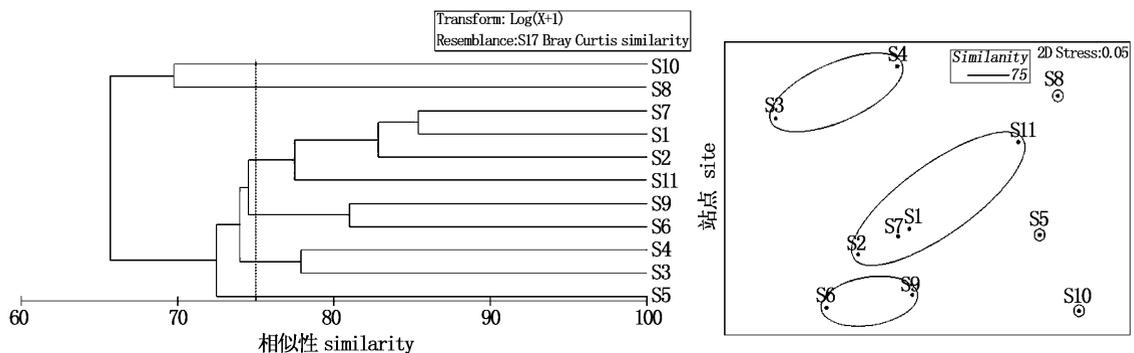


图 3 青草沙水库大型底栖动物的群落聚类及 MDS 排序分析
Fig. 3 The dendrogram and MDS of macrozoobenthos in Qingcaosha Reservoir

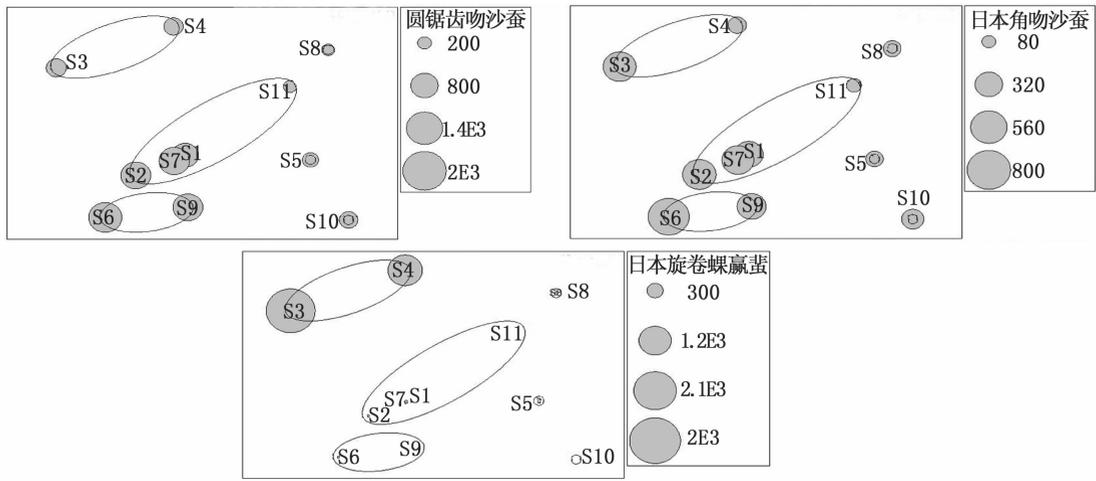


图 4 青草沙水库大型底栖动物优势种类 MDS 排序分析

Fig. 4 The MDS of dominant species of macrozoobenthos in Qingcaosha Reservoir

青草沙水库各采样季节和采样区的丰度-生物量曲线表明(图 5 和 6),夏季、冬季及上游采样区生物量曲线始终在丰度曲线的上方,群落结构

稳定,但春季和秋季出现明显的交叉和重叠现象,说明群落结构相对不稳定,同样的情况也出现在水库的中下游采样区域。

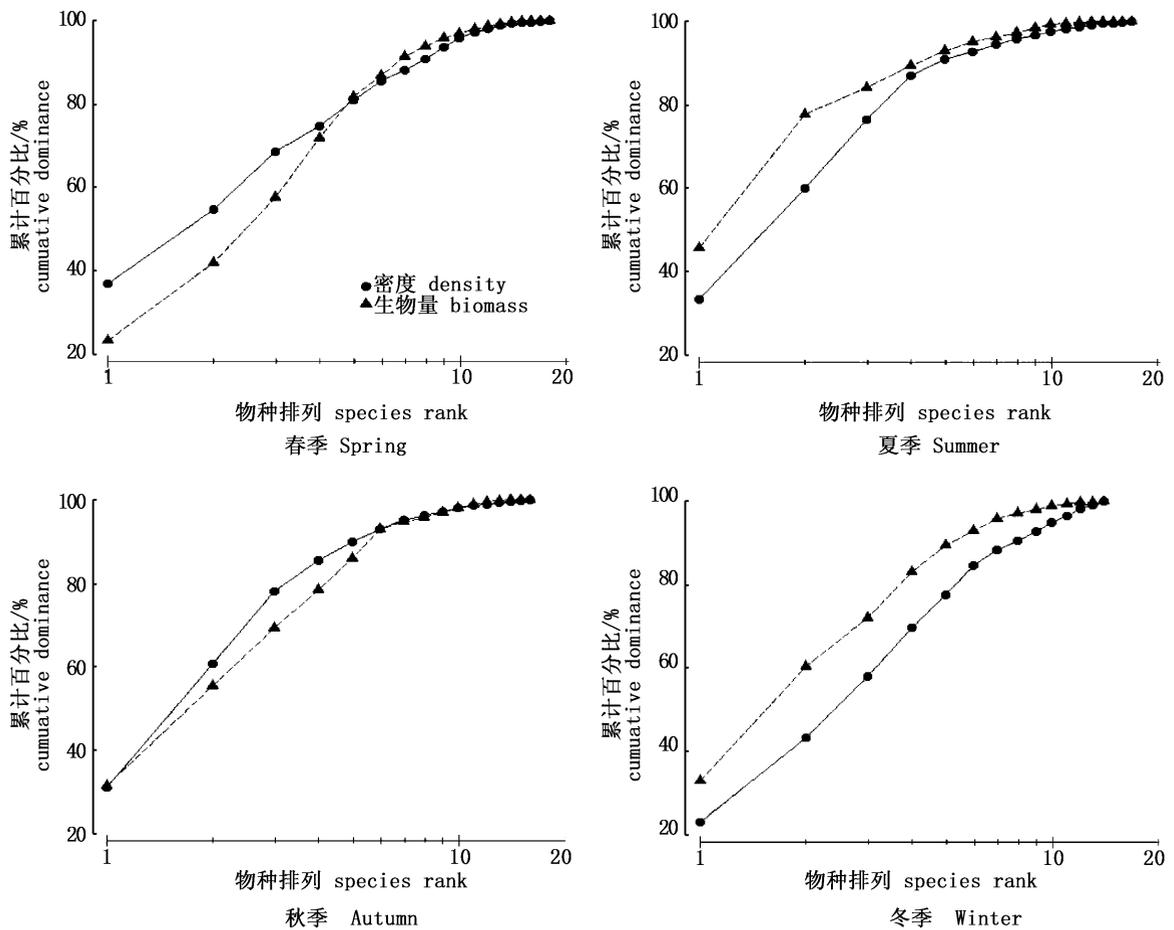


图 5 青草沙水库底栖动物群落各季节丰度-生物量比较曲线(ABC 曲线)

Fig. 5 ABC curves of macrozoobenthos communities in different seasons in Qingcaosha Reservoir

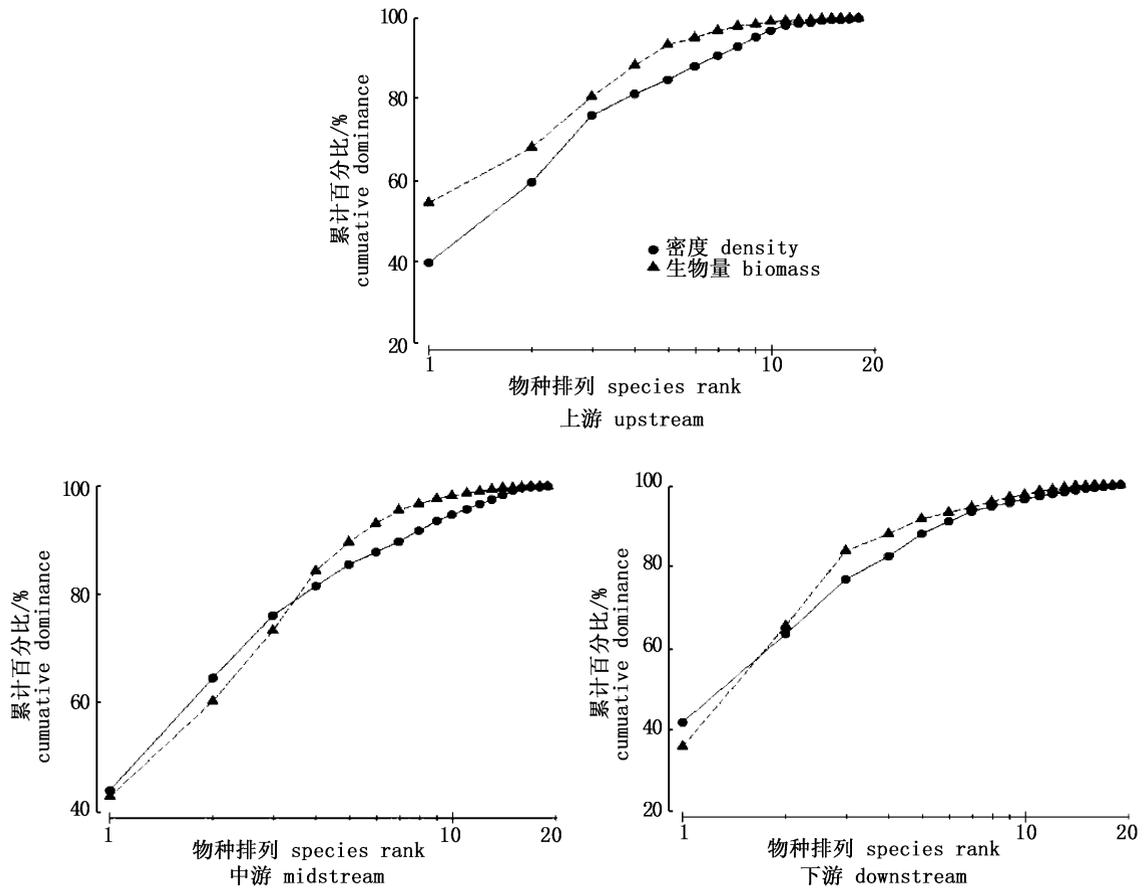


图 6 青草沙水库底栖动物群落各采样区间丰度-生物量比较曲线(ABC 曲线)
 Fig. 6 ABC curves of macrozoobenthos communities at different regions in Qingcaosha Reservoir

2.4 生物多样性及水质评价

青草沙水库底栖动物 Shannon 指数 (H')、Margalef 物种丰富度指数 (D) 及 Pielou 均匀度指数 (J) 在采样区和季节间未表现出显著差异 ($P > 0.05$), 各生物多样性指数的时空变化如图 7 所示: 多样性指数 H' 和 D 均在春季最高, 秋季最低; 各季节 J 值基本一致; 各采样站点生物多样性指数相差不大, H' 均值为 (0.83 ± 0.14) , J 均值为 (0.83 ± 0.07) , D 均值为 (0.72 ± 0.08) 。

2.5 水质生物学评价

青草沙水库底栖动物生物学污染指数 (BPI) 和 Hilsenhoff 生物指数 (BI) 在采样区和季节间未表现出显著差异 ($P > 0.05$), 其时空动态如图 8 所示: BPI 和 BI 值夏秋季较高, 冬春季较低。水质生物学评价标准参照表 1, 各站点 BPI 值介于 0.39 ~ 1.08 之间, 且数值相差不大, 根据 BPI 值判断水质较清洁; 各采样点 BI 值在 0 ~ 2.39 之间变化, 各点平均 $BI < 5.5$, 根据 BI 值判断水质处于清洁水平。

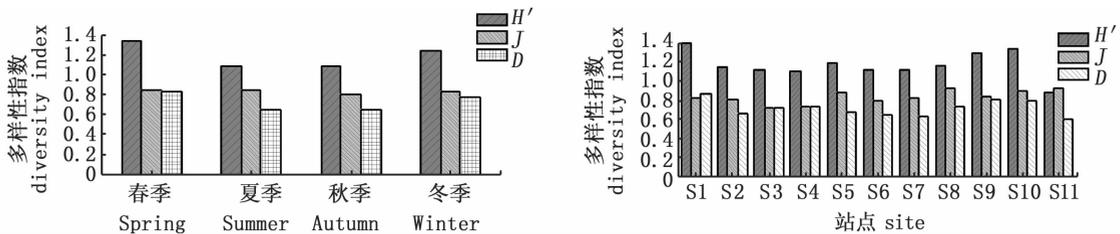


图 7 青草沙水库底栖动物生物多样性指数时空变化

Fig. 7 Temporal and spatial variation of biodiversity index of macrobenthos in Qingcaosha Reservoir

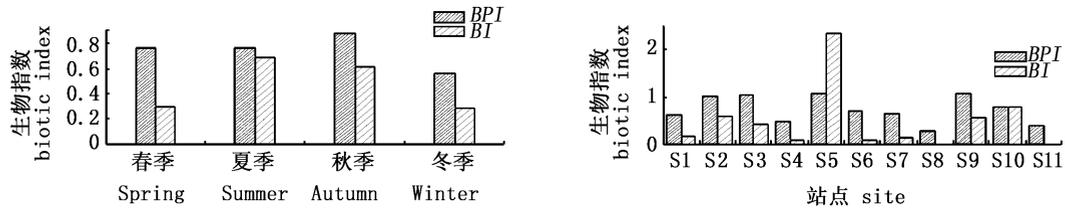


图8 青草沙水库底栖动物 BPI 污染指数和 BI 生物指数时空变化

Fig. 8 Temporal and spatial variation of BPI and BI index of macrobenthos in Qingcaosha Reservoir

3 讨论

3.1 青草沙水库底栖动物群落演替分析

底栖动物丰度和生物量的季节演替不仅与群落结构组成及各种群的生活习性关系密切,还受到水温、水深、底泥环境、水域理化因子等环境要素的影响^[22-23]。圆锯齿吻沙蚕、日本角吻沙蚕和日本旋卷螺赢蛭为青草沙水库现阶段的优势种类。多毛类在底栖动物密度方面贡献较大,节肢动物和寡毛类次之,软体动物和线形动物贡献较少。多毛类大多数栖息于沿岸低盐水域,青草沙水库处于长江口地区,属半咸水适合多毛类的生长。青草沙水库底栖动物生物量主要由多毛类决定,特别是圆锯齿吻沙蚕和日本角吻沙蚕,此外,在采集样品时常有较大的成体出现,因而在生物量方面占有优势。对比其他水库^[24-25],由于青草沙水库投入使用时间短且主要功能是城市供水,地处长江入海口,定期蓄水会带来大量泥沙一定程度上也限制了底栖动物的繁殖和生长。

青草沙水库虽地处华东地区,但与我国中华和华东地区一些水库及湖泊相比,种类数明显偏少,其中安徽菜子湖共采集到 39 种^[26]、浮桥河水库 47 种^[27]、丹江口水库 61 种^[28]、富春江水库 20 种^[29]、分水江水库 37 种^[30]、太湖 40 种^[31];同时与长江口沿岸对比^[32-34],青草沙水库底栖动物密度总体水平偏低,不同物种的分布差异、水文条件、理化因子及水功能特点与这种差异性关系密切^[35]。

双因素方差分析表明,青草沙水库底栖动物总丰度和总生物量在各采样站点没有显著差异,仅有节肢动物在不同水域差异显著,尤其是日本旋卷螺赢蛭,主要集中于水库中游地区,该水域水草较多且入水口带来的泥沙逐渐沉积下来,适宜螺赢蛭科的繁殖。青草沙水库地处亚热带海

洋季风气候,冬季气温普遍在 0℃ 以上,季节温差小对底栖动物生长和繁殖影响较少,其密度和生物量未表现出显著的季节差异性。总的来看,青草沙水库大型底栖动物的种类较少,群落组成单一,主要是以广温性、广盐性种类为主,这与水库所处的水域环境息息相关。

3.2 生物多样性及水质评价

通过分析大型底栖动物的 H' 、 D 、 J 、 BPI 等多样性指数以及 BI 生物指数,可以反映大型底栖动物群落物种组成、结构特征和功能等情况,还可用作水质监测和评价的生物学依据^[36]。本研究中大型底栖动物的 H' 和 D 没有显著的样区差异和季节变化。根据生物学污染指数和 Hilsenhoff 生物指数判定的水质清洁程度存在一定的差异,其中 BI 指示水体清洁无污染, BPI 指示水体处于较清洁水平。依据一些学者对青草沙浮游生物的研究表明水库水体属于贫-中营养型^[9-10],此外,常栖息于中度营养水体的墨黑摇蚊和黄色羽摇蚊虽然在水库中采集到,但是丰度较低(两者合计 33.6 ind/m²),这同样证实了水库水体属于贫-中营养型,由此说明仅依据生物多样性指数来评价水库水质状况存在局限性。因此,被广泛应用于湖泊、河流等浅水水体水质评价的生物多样性指数也许并不适合贫-中营养型的深水水库。

3.3 群落结构及稳定性分析

在稳定的水域环境中,底栖动物群落结构处于稳定状态,群落的生物量由一个或几个大型的种占优势,若将每个种的生物量和丰度对应作图在 ABC 曲线上,表现为生物量曲线始终高于丰度曲线;当群落受到轻度污染影响时,原本生物量占优的物种减少,取而代之的是随机较小种类数量增多,导致底栖动物丰度和生物量优势度不易辨别,常表现为生物量和丰度曲线出现交叉或重叠现象;当种群所生活的环境遭受严重污染时,群落结构严重不稳定,个体较小的污染指示种类

(常为寡毛类)在数量上占优势,呈现为群落丰度曲线始终处于生物量曲线上方^[37]。本调查中,水库上游地区底栖动物群落结构稳定,在中下游地区丰度-生物量比较曲线出现明显的交叉和重叠现象,青草沙水库位于长江入海口,长江中上游地区带来的大量泥沙及生活污水等进入水库后随着水流减缓,在库区中下游逐渐沉淀下来,影响了底栖动物的生活环境,结合优势种类的 MDS 排序分析,3 大优势种类多集中于水库中下游区域,生境条件发生改变直接影响其生长与繁衍,进而干扰其群落稳定性;夏季和冬季大型底栖动物群落稳定,未受到干扰,但春秋两季节丰度与生物量曲线出现交叉现象,通过生物多样性指数发现春、秋季物种数增多,寡毛类和水生昆虫大量繁殖与生长,生物量原本占优势的多毛类和软体动物受到冲击,导致群落结构不稳定。

青草沙水库作为上海市重要的水源地,水质常年维持在良好程度,所以,水环境污染对大型底栖动物群落结构稳定性的影响不大,但丰度-生物量比较曲线已经反映出大型底栖动物群落结构开始出现不稳定性,需要增加防范措施,降低人为干扰对水库大型底栖动物群落稳定性及水质清洁的影响。

衷心感谢上海城投原水有限公司青草沙水库管理分公司的顾静、朱骅和黄佳菁等同事以及本校生命学院水产养殖专业同学对本课题研究工作的大力支持和帮助。

参考文献:

- [1] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
ZHAO W. Hydrobiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [2] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
LIU J K. Advanced hydrobiology [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [3] KEVREKIDIS T. Seasonal Variation of the macrozoobenthic community structure at low salinities in a Mediterranean lagoon (Monolimni Lagoon, Northern Aegean) [J]. International Review of Hydrobiology, 2004, 89(4): 407 - 425.
- [4] SVENSSON J M, BERGMAN E, ANDERSSON G. Impact of cyprinid reduction on the benthic macroinvertebrate community and implications for increased nitrogen retention [J]. Hydrobiologia, 1999, 404: 99 - 112.
- [5] 刘茂奇, 于洪贤. 安邦河湿地自然保护区秋季底栖动物群落结构研究及生物学评价[J]. 水产学杂志, 2009, 22(2): 34 - 39.
- LIU M Q, YU H X. The community structure of zoobenthos in Anbang river wetland reserves [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2009, 22(2): 34 - 39.
- [6] 周晓, 葛振鸣, 施文彧, 等. 长江口新生湿地大型底栖动物群落时空变化格局[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 372 - 377.
ZHOU X, GE Z M, SHI W Y, et al. Temporal and spatial fluctuation of macrobenthos community in a newly established wetland in Yangtze River Estuary [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(3): 372 - 377.
- [7] 胡忠军, 吴昊, 陈立侨, 等. 长江口青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1234 - 1241.
HU Z J, WU H, CHEN L Q, et al. Structure of fish assemblages before drinking-water supplies in Qingcaosha Reservoir of Yangtze River Estuary [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1234 - 1241.
- [8] 田思泉, 高春霞, 王绍祥, 等. 青草沙水库刀鲚生物学特性初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(6): 835 - 840.
TIAN S Q, GAO C X, WANG S X, et al. Biological characteristics of *Coilia ectenes* in Qingcaosha reservoir [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(6): 835 - 840.
- [9] 蒋增辉. 青草沙水库浮游藻类的调查及控制[J]. 净水技术, 2012, 31(5): 9 - 14, 54.
JIANG Z H. Investigation and control of phytoplankton in Qingcaosha Reservoir [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(5): 9 - 14, 54.
- [10] 刘歆璞, 王丽卿, 张宁, 等. 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, 2013, 32(5): 1238 - 1248.
LIU X P, WANG L Q, ZHANG N, et al. Community structure of metazoan zooplankton and its relationships with environmental factors in Qingcaosha Reservoir of Shanghai, East China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(5): 1238 - 1248.
- [11] 刘文亮, 何文珊. 长江河口大型底栖无脊椎动物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007.
LIU W L, HE W S. Yangtze Estuary benthic macroinvertebrates [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press.
- [12] 史会云, 史玉强, 王俊才, 等. 大伙房水库水生动物图鉴[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2012.
SHI H W, SHI Y Q, WANG J C, et al. Dahuofang Reservoir aquatic plants and animals illustrations. Liaoning: Liaoning Science and Technology Press, 2012.
- [13] 王俊才, 王新华. 中国北方摇蚊幼虫[M]. 北京: 中国言实出版社, 2011.
WANG J C, WANG X H. North China chironomid larvae

- [M]. Beijing: China Yanshi Press, 2011.
- [14] JOHN C M, YANG L F, TIAN L X. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1994.
- [15] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949.
- [16] PIELOU E C. Ecological diversity [M]. New York: John Wiley and Sons, 1975.
- [17] MARGALEF R. Perspectives in ecological theory [M]. Chicago, IL: University of Chicago Press. 1968.
- [18] HILSENHOFF W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index [J]. Journal of the North American Benthological Society, 1988, 7(1): 65 – 68.
- [19] 李中宇, 胡显安, 王岚. 从底栖动物群落看江水污染情况 [J]. 黑龙江环境通报, 2001, 25(2): 67 – 68.
LI Z Y, HU X A, WANG L. Watching the river water pollution from Macroinvertebrate communities [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2001, 25(2): 67 – 68.
- [20] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构 [J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531 – 537.
HAN J, ZHANG Z N, YU Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(3): 531 – 537.
- [21] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557 – 562.
- [22] 蒋万祥, 贾兴焕, 周淑婵, 等. 香溪河大型底栖动物群落结构季节动态 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 923 – 928.
JIANG W X, JIA X H, ZHOU S C, et al. Seasonal dynamics of macrozoobenthos community structure in Xiangxi River [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 923 – 928.
- [23] 丁建华, 杨威, 金显文, 等. 赣江下游流域大型底栖动物群落结构及水质生物学评价 [J]. 湖泊科学, 2012, 24(4): 593 – 599.
DING J H, YANG W, JIN X W, et al. Community structure of macrozoobenthos and biological evaluation of water quality in lower reaches of Ganjiang River [J]. Journal of Lake Sciences, 2012, 24(4): 593 – 599.
- [24] JIANG J F, FU Z R, LI W W, et al. Macrobenthos community structure and its relations with environmental factors in three reservoirs in Tianjin [J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(6): 947 – 953, 969.
- [25] 吕光俊, 熊邦喜, 刘敏, 等. 不同营养类型水库大型底栖动物的群落结构特征及其水质评价 [J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5339 – 5349.
LV G J, XIONG B X, LIU M, et al. The community structure of macrozoobenthos and water quality assessment on different trophic types of reservoirs [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5339 – 5349.
- [26] 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.
- [27] 彭建华, 刘家寿, 熊邦喜, 等. 湖北浮桥水库底栖动物的群落结构及生物多样性 [J]. 湖泊科学, 2002, 14(1): 90 – 96.
PENG J H, LIU J S, XIONG B X, et al. Preliminary studies on community structure and biodiversity of zoobenthos in Fuqiaohe Reservoir, Hubei Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2002, 14(1): 90 – 96.
- [28] 张敏, 邵美玲, 蔡庆华, 等. 丹江口水库大型底栖动物群落结构及其水质生物学评价 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 281 – 290.
ZHANG M, SHAO M L, CAI Q H, et al. Macroinvertebrate community structure and the biological assessment to the water quality of the Danjiangkou reservoir [J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(2): 281 – 290.
- [29] 韩轶才, 盛海燕, 吴洁, 等. 富春江水库大型底栖动物群落的初步研究 [J]. 环境污染与防治, 2011, 33(12): 23 – 26, 32.
HAN Y C, SHENG H Y, WU J, et al. Preliminary study on macrobenthos community of a large riverine reservoir, Fuchunjiang reservoir in subtropical China [J]. Environmental Pollution and Control, 2011, 33(12): 23 – 26, 32.
- [30] 刘其根, 查玉婷, 陈立侨, 等. 浙江分水江水库大型底栖动物群落结构及水质评价 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1377 – 1384.
LIU Q G, ZHA Y Z, CHEN L Q, et al. Macrozoobenthos community structure and its indicative significance in water quality bio-assessment of Fenshuijiang Reservoir [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1377 – 1384.
- [31] 蔡永久, 龚志军, 秦伯强. 太湖大型底栖动物群落结构及多样性 [J]. 生物多样性, 2010, 18(1): 50 – 59.
CAI Y J, GONG Z J, QIN B Q. Community structure and diversity of macrozoobenthos in Lake Taihu, a large shallow eutrophic lake in China [J]. Biodiversity Science, 2010, 18(1): 50 – 59.
- [32] 陶世如, 姜丽芬, 吴纪华, 等. 长江口横沙岛、长兴岛潮间带大型底栖动物群落特征及其季节变化 [J]. 生态学报, 2009, 28(7): 1345 – 1350.
TAO S R, JIANG L F, WU J H, et al. Community characteristics and seasonal changes of macrozoobenthos in intertidal zones of Hengsha and Changxing islands at Yangtze River estuary [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(7): 1345 – 1350.
- [33] 安传光, 赵云龙, 林凌, 等. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究 [J]. 水产学报, 2007,

- 31(s1): 52–58.
- AN C G, ZHAO Y L, LIN L, et al. Primary investigation of seasonal characters of macrobenthic communities distribution in tidal flats of Jiuduansha wetland of Yangtze River estuary [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(s1): 52–58.
- [34] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 等. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 5865–5874.
- WANG B Q, XUE J Z, ZHUANG H, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5865–5874.
- [35] 孙伟胜, 顾钱洪, 董静, 等. 淮河流域板桥水库大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(9): 2843–2851.
- SUN W S, GU Q H, DONG J, et al. Macrobenthic community structure and bioassessment for water quality of Banqiao Reservoir in Huaihe River basin [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(9): 2843–2851.
- [36] 陆强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等. 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2013, 33(9): 2803–2815.
- LU Q, CHEN H L, SHAO X Y, et al. Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(9): 2803–2815.
- [37] YEMANE D, FIELD J G, LESLIE R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 374–379.

Macrozoobenthic community structure and bioassessment for water quality of Qingcaosha Reservoir

TANG Yong¹, WANG Shaoxiang², CHEN Lijing¹

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Smi Raw Water Co. Ltd Qingcaosha Reservoir Management Branch, Shanghai 201913, China)

Abstract: In order to demonstrate macrozoobenthic community structure dynamics and conduct a biological evaluation of water quality in Qingcaosha Reservoir, seasonal samples were collected from January to December 2014 at 11 sampling sites. A total of 22 species belonging to 4 phyla, 14 families, and 19 genera were identified, including 7 polychaeta, 4 oligochaeta, 3 arthropod, 5 molluscs and 1 nematomorpha. *Dentinephtys glabra*, *Goniada japonica* and *Corophium volutator* were the dominant species in Qingcaosha Reservoir. The mean annual density and biomass of macrozoobenthos were (160.30 ± 90.15) ind/m² and (0.52 ± 0.35) g/m², respectively. There were no significant differences in the macrobenthic density and biomass among the sampling sites and seasons ($P > 0.05$). Based on the macrozoobenthic biodiversity index, biological pollution index (BPI) and Hilsenhoff biotic index (BI), there were no significant differences between stations and seasons. ABC curves, hierarchical clustering and MDS were used to analyze the data of community structure. The results showed that Qingcaosha Reservoir, suffering less disturbance, keeps a stable community structure.

Key words: macrozoobenthos; biodiversity; community characteristics; ABC curves; MDS