

长江口青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征

胡忠军¹, 吴昊¹, 陈立侨², 刘其根^{1*}

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 华东师范大学生命学院, 上海 200062)

摘要: 为研究上海青草沙水库的鱼类物种组成、多样性及其空间变化, 2010 年 7—10 月在该水库共捕获鱼类 993 尾, 隶属 5 目, 18 种, 其中淡水鲤形目鱼类最多, 占总物种数的 72.2%。群落优势种为贝氏鲮、刀鲚、鲫、光泽黄颡鱼。聚类分析表明, 鱼类群落类型存在较显著的空间差异, 刺网网目大小对渔获物物种组成有较显著的影响。物种多样性与丰富度和均匀度均显著正相关, 但更多地受丰富度的影响。单因素方差分析表明, 鱼类物种多样性在空间上无显著差异。4 种摄食功能群中, 无脊椎动物食性(44.4%)和杂食性(33.3%)鱼类物种数比例较高; 4 种生态类群中, 定居性鱼类占绝对优势(77.8%)。青草沙水库鱼类群落表现出淡水或长江口低盐淡水区鱼类区系的主要特征, 与以近海鲈形目鱼类为优势的长江口邻近水域的鱼类群落差异巨大, 推测水库建设导致的隔离与盐度下降是形成该水库鱼类群落趋于淡水区系的主要原因。

关键词: 鱼类多样性; 摄食功能群; 生态类群; 水源地水库; 长江口

中图分类号: Q 154⁺.1; S 917.4

文献标志码: A

鱼类是水生生态系统的关键组成部分, 是生态系统物质循环与能量流动的重要环节, 同时鱼类可以作为生态系统健康的指示类群^[1], 亦能反应水体营养水平的长期变化^[2]。在湖库富营养化治理中, 鱼类还是重要的生物操纵对象^[3-4]。因此, 了解鱼类群落结构特征是进行湖库渔业和环境管理的重要基础^[5]。

青草沙是长江口的一个冲击沙洲, 位于长兴岛的西北部, 拥有大量的优质淡水, 因此, 上海市政府决定将青草沙建设成为上海的水源地, 以改变上海市 80% 以上的自来水水源取自黄浦江的格局。青草沙水库建设工程 2007 年 6 月正式开工, 2011 年 6 月全面投入运行。水库建成后, 青草沙水域与长江口隔离开来, 盐度和流速日趋下降, 形成静水水体。有学者研究认为, 水利工程的兴建及江

湖阻隔破坏了河湖洄游性、半洄游性鱼类的洄游通道, 是鱼类多样性下降的一个重要原因^[6-7]。张宏伟等^[8]曾预测, 青草沙水库建成后, 近海低盐种将相继减少, 淡水物种将增加。目前, 对青草沙水库的研究主要集中在水质和水文等方面, 对生物生态学的研究甚少^[8-12], 对鱼类的研究更为鲜见。2005—2006 年青草沙水库规划取水口的氮磷浓度已达到发生富营养化的营养盐水平^[8], 水库富营养化及水华暴发的潜在风险不容忽视。鱼类处在水生态系统的较高营养级, 可通过下行效应对浮游植物群落产生影响, 鱼类群落结构配置合理则可用来控制蓝藻水华和富营养化。

2010 年 7—10 月在青草沙水库正式供水及进行鱼类生物操纵前对该水库的鱼类开展了 4 个月的调查, 研究了该水库鱼类群落结构、多样性现状

收稿日期: 2012-01-11

修回日期: 2012-04-28

资助项目: 上海市科委 2009 重大专项(09dz1200100); 上海市重点学科建设项目(Y1101)

通讯作者: 刘其根, E-mail: qgliu@shou.edu.cn

及其空间变化格局, 同时与长江口鱼类历史调查数据相比较, 探讨了水库建设所引起的鱼类群落演替, 以期为该水源地水质管理及正式供水与生物操纵后鱼类群落的后续演替研究提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 青草沙水库概况

青草沙水库 (31°24'N—31°29'N, 121°29'E—121°43'E) 总面积约 67.2 km², 年均径流总量为 4.896×10¹¹ m³, 年均气温约 10℃, 年降雨量约 600 mm。青草沙水源地位于长江口江心部位, 不受陆域排污的干扰, 水质优良, 水量丰富, 使青草沙水库成为上海市难得的优良水源地和城市供水的战略储备。

1.2 调查方法

2010年8—10月, 在青草沙水库设置5个站点(S2、S4、S6、S8、S10, 图1), 对鱼类进行了3次月份调查。调查工具为多网目刺网, 包括网目大小为2、4、6、8、10、12 cm的单层刺网及网目大小为8 cm的三层刺网, 于傍晚将一套多网目刺网放置至各站点, 放置时长为6 h, 按网目大小分别收集渔获物。此外, 在2010年10月对S2和S4进行了一次电捕调查, 2010年7月对部分站点进行了预调查, 这部分数据仅用于鱼类群落的定性分析。2010年10月后, 青草沙水库正式为上海市供水, 禁止渔船到该水库进行捕捞活动, 为了禁令的顺利实施, 也同时禁止了以科研为目的的捕捞活动, 直到翌年5月才允许基于科研目的的捕捞。采集的鱼类样本冷藏带回实验室后, 根据《上海鱼类志》^[13]和《中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)》^[14]进

行鉴定, 同时测量鱼类样本的体长(±0.1 cm)、体质量(±0.1 g)等数据。

1.3 统计分析

鱼类生物多样性分析采用了 Shannon-Weiner 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)、Margalef 丰富度指数(R)、Simpson 优势度指数(λ); 优势种根据重要值(importance value, IV)加以确定, 4种多样性指数及重要值计算公式如下:

(1) Shannon-Weiner 多样性指数(H'): $H' = \sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$

(2) Pielou 均匀度指数(J): $J = H'/\ln(S)$

(3) Margalef 丰富度指数(R): $R = (S-1)/\ln N$

(4) Simpson 优势度指数(λ): $\lambda = \sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$

(5) 重要值: $IV = (n_i/N + w_i/W + f_i/F) / 3 \times 100\%$

式中, f_i 为第 i 种鱼的出现频次, F 为所有物种出现频次的和, n_i 和 w_i 分别表示第 i 种鱼的个体数和重量, N 和 W 分别表示所有物种总个体数和总重量, S 为总物种数, P_i 为第 i 种鱼的个体数占所有物种总个体数的百分比, 即 $P_i = n_i/N$ 。

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)探讨多样性指数的空间变化。摄食功能群与生态类群参考文献[15-17]的方法进行划分。基于重要值数据, 采用组平均聚类法对不同站点的鱼类群落进行聚类分析, 此法聚类共分5步, 其中第2步以 $d=1-r$ (r 为皮尔逊相关系数)作为相异性指标, 将 $d=0.3$ 作为划分群落空间类型的依据^[18]。对不同网目大小刺网捕获的鱼类物种多度数据进行聚类分析, 以探讨刺网网目大小对渔获物物种组成的影响。

2 结果

2.1 物种组成

在青草沙水库共调查到鱼类18种, 隶属5目、5科、14属(表1)。其中, 鲤科鱼类种数最多, 有13种, 占总物种数的72.2%; 鳊科2种, 占总物种数的11.1%; 鳊科、鱮科、鳗鲡科均为1种, 均占总物种数的5.6%。本调查共捕获鱼类993尾, 其中贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)尾数最多, 358尾, 占总捕获尾数的36.1%; 刀鲚(*Coilia nasus*)次之, 280尾, 占总捕获尾数的28.2%; 鲫(*Carassius auratus*)居于第3位, 84尾, 占总捕获尾数的8.5%; 棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)均捕获到1尾, 分别仅占

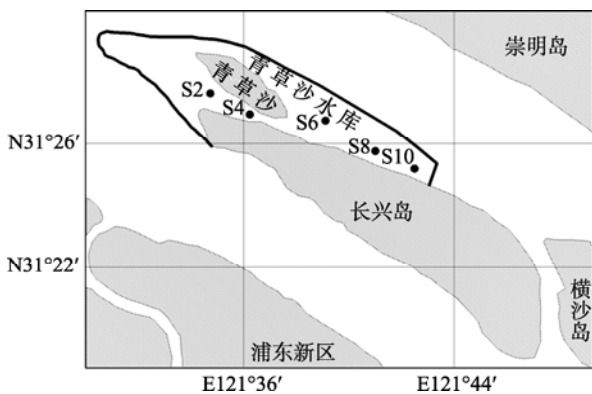


图1 青草沙水库鱼类调查采样点分布
Fig. 1 The fish sampling stations in Qingcaosha Reservoir

表 1 青草沙水库鱼类物种名录、捕获量及其生态特征

Tab. 1 Fish composition, sampling amount and its ecological characteristics in Qingcaosha Reservoir

目/科 order/family	物种 species	尾数 number	体质量/g weight	摄食功能群 FFG	生态类群 EG
鲱形目/鳊科 Clupeiformes/ Engraulidae	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	280	3448.8	PI	RS
	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	1	10.8	IN	SE
	鲫 <i>Carassius auratus</i>	84	5848.8	OM	SE
	红鳍原鲌 <i>Culter erythropterus</i>	11	943.7	PI	SE
	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	5	1700.4	OM	SE
	贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	358	7311.7	OM	SE
	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	1	14.1	OM	SE
鲤形目/鲤科 Cypriniformes /Cyprinidae	似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	31	868.5	OM	RL
	寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	11	254.8	OM	SE
	蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	1	50.8	IN	SE
	长蛇鮈 <i>Saurogobio dumerili</i>	6	434.4	IN	SE
	光唇蛇鮈 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	2	22.2	IN	SE
	银鮈 <i>Squalidus argentatus</i>	2	53.4	IN	SE
	似鲚 <i>Toxabramis swinhonis</i>	52	346.1	PL	SE
	间下鱊 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	61	307.9	PL	ES
颌针鱼目/鱊科 Beloniformes/Hemiramphidae	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	8	220.8	IN	SE
鲇形目/鲇科 Siluriformes/Bagridae	光泽黄颡鱼 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	75	1378.4	IN	SE
鲈形目/鰕虎鱼科 Perciformes/Gobiidae	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	4	62.8	IN	ES

注: 摄食功能群: OM 为杂食性鱼类, PL 为浮游生物食性鱼类, IN 为无脊椎动物食性鱼类, PI 为肉食性鱼类; 生态类群: SE 为定居性鱼类, ES 为河口性鱼类, RS 为江海洄游性鱼类, RL 为河湖洄游性鱼类。

Notes: FFG. feeding functional group (OM. omnivores, PL. planktivores, IN. invertivores, PI. piscivores), EG. ecological group (SE. sedentary, ES. estuarine, RS. river-sea migratory, RL. river-lake migratory).

总捕获尾数的 0.1%; 其他鱼类所占比例在 0.2%~7.6%。

2.2 优势类群与优势种分析

青草沙水库鱼类以鲤形目鱼类占绝对优势, 其重要值占总重要值的 61.48%; 鲱形目次之, 占 23.19%; 鲇形目处于第 3 位, 其重要值为 14.10%。

青草沙水库优势种鱼类按重要值从大到小依次为贝氏鲮(23.84%)、刀鲚(23.19%)、鲫(14.53%)、光泽黄颡鱼(*Pseudobagrus nitidus*, 12.25%); 此外, 似鳊(*Pseudobrama simoni*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、红鳍原鲌(*Culter erythropterus*)、寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulis*)、长蛇鮈(*Saurogobio dumerili*)等 5 种鱼类为常见种, 它们的重要值在 2.72~5.50%; 而黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*)、似鲚(*Toxabramis swinhonis*)、光唇蛇鮈(*Saurogobio gymnocheilus*)、银鮈(*Squalidus argentatus*)、蛇鮈等 6

种鱼类的重要值均小于 2%, 为群落中的偶见种(表 2)。

2.3 物种多样性

2010 年 8—10 月, 青草沙水库鱼类群落 4 种多样性指数(mean±SE)分别为 Shannon-Weiner 多样性指数(H') 1.132±0.080($n=15$); Pielou 均匀度指数(J) 0.689±0.034($n=15$); Margalef 丰富度指数(R) 1.260±0.132($n=15$); Simpson 优势度指数(λ) 0.414±0.036($n=15$)。单因素方差分析结果表明, 各多样性指数在空间上均无显著差异 (H' : $F_{14}=1.489$, $P=0.277$; J : $F_{14}=0.994$, $P=0.454$; R : $F_{14}=2.906$, $P=0.078$; λ : $F_{14}=1.063$, $P=0.424$)。

物种多样性 H' 与丰富度 R 显著相关($r=0.812$, $df=14$, $P<0.001$) (图 2-a), 与均匀度 J 亦显著相关($r=0.626$, $df=14$, $P<0.05$) (图 2-b), 但前者的相关系数明显大于后者, 说明物种多样性 H' 值的变化更多地依赖于丰富度 R 的变化。

表 2 青草沙水库鱼类重要值的空间格局

Tab. 2 Spatial pattern of importance value (IV) for fish assemblages in Qingcaosha Reservoir

物种 species	站点 station					整体 total
	S2	S4	S6	S8	S10	
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	22.56	44.75	19.02	22.60	10.29	23.84
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	20.20	16.75	25.68	17.29	36.03	23.19
鲫 <i>Carassius auratus</i>	2.93	14.88	12.91	16.03	25.89	14.53
光泽黄颡鱼 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	21.84	2.60	18.58	4.80	13.42	12.25
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	5.76	8.13	5.36	4.20	4.05	5.50
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	6.82	0	8.49	6.63	5.19	5.43
红鳍原鲌 <i>Culter erythropterus</i>	5.45	5.30	0	8.98	0	3.95
寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	5.04	5.32	0	4.08	0	2.89
长蛇鮈 <i>Saurogobio dumerili</i>	0	0	3.51	4.95	5.13	2.72
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	3.74	0	0	5.51	0	1.85
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	3.11	0	3.03	0	0	1.23
似鲃 <i>Toxabramis swinhonis</i>	0	2.27	0	2.34	0	0.92
光唇蛇鮈 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	0	0	3.43	0	0	0.69
银鮈 <i>Squalidus argentatus</i>	0	0	0	2.60	0	0.52
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	2.55	0	0	0	0	0.51

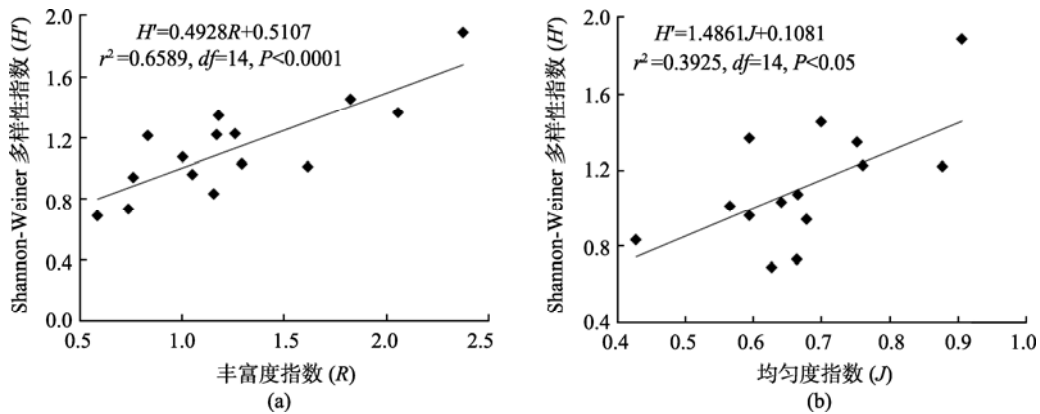


图 2 Shannon-Weiner 多样性指数与丰度指数(a)及均匀度指数(b)之间的关系

Fig. 2 The relationship between species richness R and diversity H' (a) and between evenness J and species diversity H' (b) of fish assemblages in Qingcaosha Reservoir

2.4 鱼类群落类型的空间变化

根据聚类分析结果(图 3), 可将青草沙水库鱼类群落划分为 2 类, 即 S4 和 S8 的鱼类群落聚为一类, S2、S6 和 S10 的鱼类群落聚为另一类。根据重要值计算结果可知, 光泽黄颡鱼重要值在 S4(2.60%) 和 S8(4.80%) 群落中明显低于 S10(13.42%)、S6(18.58%)和 S2(21.84%)群落(表 2)。

2.5 刺网网目大小对渔获物物种组成的影响

各网目刺网的渔获物物种组成聚为 2 类, 其中 NS2(网目大小为 2 cm 的单层刺网)的渔获物单独聚为 1 类, 其余网目的渔获物聚为 1 类(图 4)。

NS2 的渔获物以贝氏鲮(相对多度占 52.1%)和刀鲚(28.1%)为主, 其余各网目的渔获物均以刀鲚为主, NS4(网目大小为 4 cm 的单层刺网)、NS6(网目大小为 6 cm 的单层刺网)、NS8(网目大小为 8 cm 的单层刺网)、NSM(内网网目大小为 8 cm 的三层刺网)、NS10(网目大小为 10 cm 的单层刺网)、NS12(网目大小为 12 cm 的单层刺网)渔获物中刀鲚的相对多度分别为 41.7%、61.6%、55.0%、38.7%、60.0%和 100%; NS4、NS6、NS8 和 NSM 中相对多度处于第 2 位的均为鲫(18.4% ~ 35.5%), NS10 中则为鲤(20.0%)。

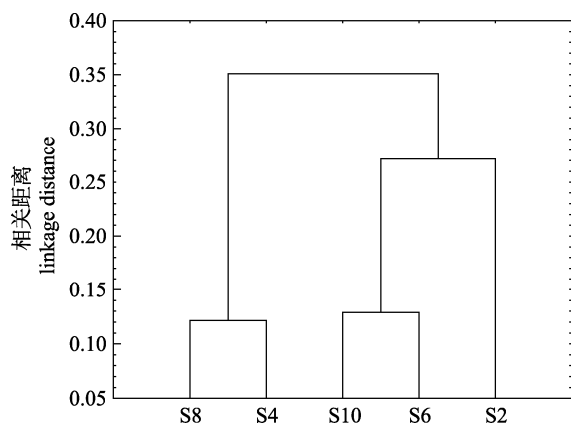


图3 青草沙水库鱼类群落空间聚类分析
Fig. 3 Spatial dendrogram of fish communities in Qingcaosha Reservoir

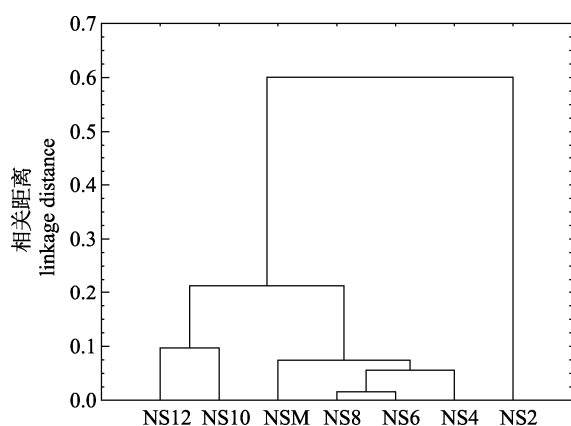


图4 刺网网目大小对渔获物物种组成的影响
NS2、NS4、NS6、NS8、NS10、NS12: 网目大小为2、4、6、8、10、12 cm 的单层刺网; NSM: 内网网目大小为8 cm 的多层刺网。

Fig. 4 Effect of net size on species composition of fish catch in Qingcaosha Reservoir

NS2, NS4, NS6, NS8, NS10, NS12: single-layer gillnets with net size of 2, 4, 6, 8, 10, and 12 cm, respectively; NSM: multi-layer gillnet with inner net size of 8 cm.

2.6 摄食功能群与生态类群

按鱼类食性, 可将青草沙水库鱼类分为4个摄食功能群(图 5-a)。其中, 鱼食性鱼类(PI) 2种(刀鲚和红鳍原鲃), 占 11.1%; 无脊椎动物食性鱼类(IN) 8种(黄颡鱼、光泽黄颡鱼、蛇鮈等), 占 44.4%; 杂食性鱼类(OM) 6种(鲤、鲫、鲮等), 占 33.3%; 浮游生物食性鱼类(PL) 2种(似鲚、间下鱊), 占 11.1%(表 1)。

按生态类型, 可将青草沙鱼类分为4个生态类群(图 5-b)。其中, 江海洄游性鱼类(RS) 1种(刀鲚), 占 5.6%; 河口性鱼类(ES) 2种(间下鱊、拉氏狼牙虾虎鱼), 占 11.1%; 定居性鱼类(SE) 14种(鲤、鲫、

鲮、贝氏鲮等), 占 77.8%; 河湖洄游性鱼类(RL) 1种(似鳊), 占 5.6%。

3 讨论

将全部数据合并计算, 青草沙水库鱼类 Shannon-Weiner 多样性指数(H')为 1.83。略低于淀山湖($H'=1.90$)、崇明东滩($H'=1.95$)和九段沙湿地潮沟($H'=1.85$), 高于崇明北滩($H'=1.05$) (表 3)。

青草沙水库鱼类, 以淡水鲤科鱼类为主, 本调查在该水库共捕获鱼类 993 尾, 其中淡水鲤科鱼类个体数占总捕获量的 56.9%, 物种数占总物种数的 72.2%。因此, 从鱼类区系的角度看, 青草沙水库鱼类群落特征与长江河口区第一分叉口附近水域较为相似, 均表现出长江口低盐淡水区鱼类区系的主要特征^[23], 并且它们的第一优势种同为贝氏鲮。青草沙水库与上海市最大的淡水湖泊——淀山湖的鱼类群落特征也有一定的相似性。孙菁煜等^[19]2006 年 5—12 月对淀山湖进行的鱼类调查结果显示, 淀山湖以鲤科鱼类为主, 淡水物种比例接近 80%, 刀鲚为淀山湖第一优势种, 该物种为青草沙水库第二优势种, 但其优势度(重要值)与第一优势种的差异极为细微。

青草沙水库与其临近长江口水域相比, 鱼类物种数明显偏低, 而淡水鱼类比例颇高, 优势种组成也显示出极大的差异。崇明东滩有鱼类 39 种, 14 目, 淡水种类占 33.3%, 长蛇鮈、中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)、窄体舌鳎(*Cynoglossus gracilis*)、刀鲚、鲃(*Liza haematocheila*)和鲻(*Mugil cephalus*)为优势种^[21]; 崇明北滩有鱼类 33 种, 10 目, 无纯淡水种类, 凤鲚(*Coilia mystus*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)为优势种^[20]; 九段沙湿地的上沙、中沙和下沙潮沟, 有鱼类 42 种, 11 目, 淡水种类占 23.8%, 斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)、鲃、四指马鲈(*Eleutheronema tetradactylum*)为优势种^[22]。本文研究结果显示, 青草沙水库有鱼类 18 种, 隶属 5 目, 淡水鱼类占总物种数的 83.3%, 以贝氏鲮、刀鲚、鲫和光泽黄颡鱼为主要优势种。在以上 3 个水域中, 优势种多为河口或近海鱼类, 鲈形目鱼类物种数最多, 这些鲈形目鱼类又多属近海鱼类, 而在青草沙水库仅调查到 1 种鲈形目鱼类——拉氏狼牙虾

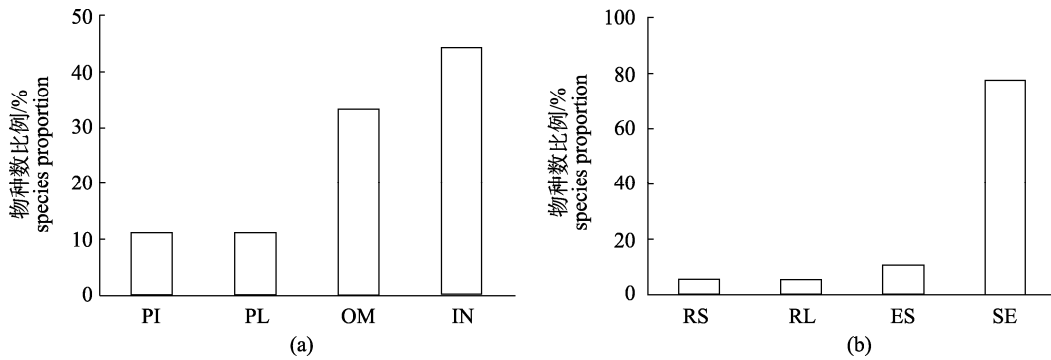


图5 青草沙水库鱼类各摄食功能类群(a)和生态类群(b)物种数所占比例 (图中字母缩写见表1)

Fig. 5 The proportions of each feeding functional group and ecological group of fishes in Qingcaosha Reservoir (The abbreviations in figure are shown in Tab. 1)

表 3 青草沙水库鱼类群落多样性与其临近水域的比较

Tab. 3 Fish diversity comparison of fish assemblages in Qingcaosha Reservoir with its adjacent estuarine zone

水域名称 study area	物种数 species number	目数 order number	H' Shannon-Weiner index	资料来源 sources
青草沙水库 Qingcaosha Reservoir	18	5	1.83	本研究 this study
淀山湖 Dianshan Lake	23	7	1.90	[19]
崇明北滩 North beach of Chongming Island	33	10	1.05	[20]
崇明东滩 East beach of Chongming Island	39	14	1.95	[21]
九段沙湿地潮沟 Intertidal creek of Jiuduansha wetland	42	11	1.85	[22]

虎鱼, 属河口性鱼类。王铭玮等^[24]对青草沙水库规划区及周边水域的水文水质调查显示, 2005—2006年平水期青草沙水源地河段未发生盐水入侵, 仅在枯水期部分站点出现盐水入侵特征^[24]。2003年枯水、洪水季节, 孔亚珍等^[25]对长江口进行的水文监测结果显示, 青草沙水库附近水域枯季最大盐度仅有 1.15。因此, 盐度可能是限制青草沙水库鲈形目半咸水鱼类和近海鱼类分布的最主要原因之一。

从食性角度考虑, 无脊椎动物食性鱼类为青草沙水库鱼类第一大摄食功能类群, 包括 8 种鱼类。青草沙水库底栖动物资源丰富, 以多毛类为主, 它们能为这些鱼类提供充足的饵料。肉食性鱼类仅 2 种, 即刀鲚和红鳍原鲈, 可能是库内沉水植物匮乏, 水体含沙量高及风力扰动的影响, 透明度偏低所致。因为肉食性鱼类依靠视觉定位捕食且鲈形目鱼类在个体发育的早期阶段需要水草作为庇护, 以防止被其它鱼类所捕食^[26]。

青草沙水库未建设前, 未有学者对该水域鱼类群落及其多样性进行过专门调查和系统研究, 因此历史资料相当匮乏。长江口南支水域(包括青草沙水域), 是凤鲚的主要产卵场^[27], 春季该物种

占绝对优势, 其数量占长江口河口内(南支河道)鱼类浮游生物总数量的 99.3%^[28]。本研究的调查时间虽不是在凤鲚的上溯产卵高峰期进行, 但在后续的调查中也未发现凤鲚, 因此, 水库建造对凤鲚及其习性相似鱼类的影响可见一斑。目前青草沙水库鱼类群落以定居性鱼类为主(14种), 河口性鱼类(2种)和江海洄游性鱼类(1种)所占比例很低。张宏伟等^[8]研究认为, 青草沙水库建成后, 趋淡水、近海低盐种将相继减少以致消失, 淡水物种增加, 而出现新的以淡水为主的水生生物群落。本研究的结果显示, 青草沙水库中的淡水鱼类物种数比例高达 83.3%, 这可能在一定程度上支持张宏伟等^[8]的预测。

最后, 值得指出的是, 青草沙水库是一个新生的水库生态系统, 鱼类组成尚不稳定。今后鱼类组成的变化将主要取决于以下因素。首先, 水库开闸引水会对鱼类组成和多样性产生一定的影响, 开闸引水给长江口鱼类补充进入水库提供了机遇, 其影响程度取决于开闸引水的具体时间和引水量的大小。因为长江口是我国很多重要经济水产动物包括鱼类的繁育场所, 如果繁殖季节的引水, 有可能使一些鱼虾蟹类的幼苗随水流进入水库。其次, 水库

鱼类组成还将受水库管理的影响。如是否向渔业部门开放。我国很多湖泊、水库, 由于渔业利用的大量人工引种放养, 其鱼类群落结构受到了严重的影响, 甚至完全由人工放养种类控制, 如武汉东湖, 人工放养的种类占到 90%以上^[29]。如果青草沙水库的环境管理中引入生物操纵, 那么一些大型的滤食性鱼类如鲢鳙也可能会被人为地投放到水库中, 其在水库中的优势度取决于人为操纵的强度。总之, 青草沙水库中的鱼类群落演变将取决于各种人为因素和环境因素的共同作用, 以及鱼类对这些外来因素的响应。

感谢上海海洋大学伍汉霖、杨德康教授在鱼类样本鉴定方面给予的帮助。上海海洋大学水产与生命学院博士生贾佩娇、硕士生崔志辉、赵良杰及本科生周义国等同学在野外采样与室内解剖测量中给予了大量的无私帮助。

参考文献:

- [1] Ibarra A A, Gevrey M, Park Y S, *et al.* Modelling the factors that influence fish guilds composition using a back-propagation network: assessment of metrics for indices of biotic integrity[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 160(3): 281–290.
- [2] Jeppesen E, Peder Jensen J, S Ndergaard M, *et al.* Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient[J]. *Freshwater Biology*, 2000, 45(2): 201–218.
- [3] Shapiro J, Lamarra V, Lynch M. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration[M]// Brezonik P L, Edited. *Water quality management through biological control*. Rep. No. ENV-07-75-1. University of Florida, Gainesville, 1975:85–96.
- [4] 刘建康, 谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. *生态科学*, 2003, 22(3): 193–198.
- [5] Olin M, Malinen T. Comparison of gillnet and trawl in diurnal fish community sampling[J]. *Hydrobiologia*, 2003, 506(1): 443–449.
- [6] 王利民, 胡慧建, 王丁. 江湖阻隔对涨渡湖区鱼类资源的生态影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(3): 287–292.
- [7] 茹辉军, 刘学勤, 黄向荣, 等. 大型通江湖泊洞庭湖的鱼类物种多样性及其时空变化[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(1): 93–99.
- [8] 张宏伟, 吴健, 车越, 等. 长江口青草沙水源地开发的生态环境影响[J]. *华东师范大学学报:自然科学版*, 2009 (3): 38–47.
- [9] 林卫青, 顾玉亮, 卢士强, 等. 防止藻类过度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): 3.
- [10] 忻丁豪, 曹恋. 上海市青草沙水源地表层水体的生态遗传毒性初探[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(S1): 75–78.
- [11] 刘贵春. 长江口战略水源地持久性有机污染物的赋存特征及生物毒性[D].上海: 同济大学, 2008.
- [12] 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]. *生态学杂志*, 2009, 28(7): 1345–1350.
- [13] 中国水产科学研究院东海水产研究所. 上海鱼类志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [14] 陈宜瑜. 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目 (中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 夏建宏, 陆剑锋, 周保春, 等. 上海苏州河鱼类群落的初步研究[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 538–546.
- [16] 岳峰, 罗祖奎, 吴迪, 等. 上海大莲湖鱼类群落组成及生物多样性[J]. *动物学研究*, 2010, 31(6): 657–662.
- [17] 张堂林. 扁担塘鱼类生活史策略、营养特征及群落结构研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2005.
- [18] 胡忠军, 刘其根, 陈立婧, 等. 上海崇明明珠湖摇蚊幼虫群落结构特征及其对水质的指示作用[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 929–936.
- [19] 孙菁煜, 戴小杰, 朱江峰, 等. 淀山湖鱼类多样性分析[J]. *上海水产大学学报*, 2007, 16(5): 454–459.
- [20] 刘凯, 徐东坡, 张敏莹, 等. 崇明北滩鱼类群落生物多样性初探[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(4): 418–421.
- [21] 张涛, 庄平, 刘健, 等. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(10): 2056–2062.
- [22] 龚小玲, 张晓懿, 朱敏, 等. 长江口九段沙湿地潮沟鱼类组成及其多样性[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 22(4): 517–524.
- [23] 张衡, 何文珊, 童春富, 等. 长江口低盐淡水区潮间带鱼类群落结构季节及半月相变化[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(5): 1110–1116.
- [24] 王铭玮, 张宏伟, 王晓鹏, 等. 青草沙水域水质变化特征及对上海供水安全的影响[J]. *中国给水排水*, 2011, 27(13): 55–59.
- [25] 孔亚珍, 贺松林, 丁平兴, 等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义[J]. *海洋学报(中文版)*, 2004, 26(4): 9–18.
- [26] Persson L, Diehl S, Johansson L, *et al.* Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes—patterns and the importance of size-structured interactions[J]. *Journal of Fish Biology*, 1991, 38(2): 281–293.
- [27] 王金辉, 孙亚伟, 刘材材, 等. 长江口鱼卵仔鱼资源现状的调查与分析[J]. *海洋学研究*, 2007, 25(4): 40–50.
- [28] 刘淑德, 线薇薇, 刘栋. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2284–2292.
- [29] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学初探[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 585–590.

Structure of fish assemblages before drinking-water supplies in Qingcaosha Reservoir of Yangtze River Estuary

HU Zhong-jun¹, WU Hao¹, CHEN Li-qiao², LIU Qi-gen^{1*}

- (1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries Genetic Resources Certificated by Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. School of Life Science, East Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: In order to provide basic data for the oncoming bio-manipulation based on fish and reference system for hereafter investigating its subsequent effect on fish composition in a newly established water supply reservoir (Qingcaosha Reservoir in Shanghai of China), fish assemblages in this reservoir were sampled by multimesh gillnets from Jul. to Oct. in 2010. A total of 993 individuals, belonging to 18 species, representatives of 5 orders, were caught, of which Cypriniformes accounted for 72.2% of the total species number. Based on importance value, *Hemiculter bleekeri*, *Coilia nasus*, *Carassius auratus* and *Pseudobagrus nitidus* were the dominant species. Clustering analysis (CA) showed that fish assemblages significantly differed spatially, and there were marked effects of net size on species composition of fish catch. One-way ANOVA indicated that there were no significant spatial differences in fish diversities. Although Shannon's species diversity (H') was conspicuously positively correlated with Margalef's species richness (R) and evenness (J), respectively, H' was governed more by R . Invertivorous (44.4%) and omnivorous (33.3%) fishes prevailed in species number among the 4 feeding functional groups, and sedentary fishes (77.8%) predominated among the 4 ecological groups. Contrasting to the adjacent estuarine zone with more species of Perciformes and dominated by estuarine and/or inshore fishes, Qingcaosha Reservoir was characterized by dominance of freshwater or low salinity water fishes. It is presumed that isolation and decreased salinity that resulted from reservoir construction would be responsible for the fish characteristics of Qingcaosha Reservoir.

Key words: fish diversity; feeding functional group; ecological group; water source reservoir; Yangtze River Estuary

Corresponding author: LIU Qi-gen. E-mail: qgliu@shou.edu.cn