

长江莲花洲港不同水期底栖动物群落结构变化

于琪^{1,2}, 王珂², 韦金明², 孙晓梅^{1,2}, 刘绍平², 段辛斌², 陈大庆²

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223)

摘要:探讨长江莲花洲港不同水期大型底栖动物群落结构及其影响因素, 可为长江干流水生态保护提供基础资料。在莲花洲港共设置15个采样点, 于2019年8-9月(丰水期)、2019年10-11月(平水期)、2019年12月至2020年1月(枯水期)开展底栖动物与水体理化因子的调查监测, 分析其种类组成、现存量、优势种及时空分布, 并探究底栖动物群落结构与环境因子的关系。结果显示, 莲花洲港采集到大型底栖动物40属(种), 其中节肢动物21属(种), 占总种类数的52.5%, 软体动物10属(种), 占25.0%, 寡毛类6属(种), 占15.0%, 多毛类3属(种), 占7.5%。底栖动物平均密度为66.35个/m², 平均生物量为0.60 g/m²。不同水期底栖动物的优势种组成差异较为明显, 尖叶大狐钩虾(*Grandifoxus culpis*)、齿吻沙蚕(*Nephtys* sp.)、围沙蚕(*Perinereis* sp.)分别为丰水期、平水期和枯水期优势度(0.15、0.13、0.30)最大的优势种。基于底栖动物时空分布差异的双因素方差分析表明, 底栖动物密度各水期无差异, 改良区1和改良区2底栖动物密度显著高于非工程区。典范对应分析显示, 影响莲花洲港底栖动物分布的关键环境因子为流速、透明度、总氮和pH。

关键词:莲花洲港; 底栖动物; 群落结构; 环境因子

中图分类号: Q142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2022)02-0062-08

长江是我国第一大河, 素有“黄金水道”之称, 长江干线航运对于推动整个长江流域协调发展、提高长江流域经济水平具有十分重要的意义。为缓解通航压力, 近年来开始武汉至安庆段6 m水深航道整治工程。在建设黄金水道的同时, 为加强对长江水生态保护, 该工程在东流水道莲花洲港建立生态涵养试验区(长江航道规划设计研究院, 2018)。该区域禁航, 并设置了两处局部生境改良工程区, 投放了鱼巢排和透水框架等生态友好型构筑物, 以增加水生生物栖息环境。

大型底栖动物是水生态系统的重要生态类群, 在物质流动和能量循环及维持河流生物多样性等方面都起到重要作用(Vanni, 2002)。大型底栖动物活动范围相对固定, 生命周期长, 对环境变化敏感, 其群落结构变化可以反映水体特征变化。物理因子、

化学因子、生物因子是影响河流底栖动物群落结构的重要因素(马宝珊等, 2019)。进行大型底栖动物群落生态学研究, 对河流保护和管理以及安澜长江、绿色长江、和谐长江、美丽长江建设均有重要意义(殷旭旺等, 2013)。

长江流域底栖动物种类丰富, 以往的研究共记录1 033种属(和雅静等, 2019); 干流底栖动物的存在保证了长江水生食物链的完整性(段学花等, 2009)。有关大型底栖动物的研究多集中在中下游湖泊及河口(蔡永久等, 2013; 陈强等, 2015; 2016; 王思凯等, 2020); 干流大型底栖动物的研究也多为大尺度调查(陈秀粉等, 2017; 和雅静等, 2019; 马雅雪等, 2019)。有关长江水下工程对底栖动物影响的报道更为少见, 仅有长江口航道治理工程和围堤工程对底栖动物的影响(叶属峰等, 2004; 王思凯等, 2020)以及长江中游透水框架护岸工程和航道整治工程对底栖动物的影响(李莎等, 2015; 游立新等, 2017), 这些研究发现围堤等生态修复工程对底栖动物密度、生物量和多样性有积极作用, 航道整治工程则反之。本文对长江下游东流水道莲花洲港大型底栖动物开展了调查, 对生境改良工程区与非工程区大型底栖动物的群落结构进行对比, 并探讨环境因子对大型底栖动物群落结构的影响, 以为长江干流水生态保护提供基础资料。

收稿日期: 2020-06-21 **修回日期:** 2021-11-08

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0900901); 长江干线武汉至安庆段6 m水深航道整治工程探索生态涵养试验区建设理念及设计方法研究; 中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD09)。

作者简介: 于琪, 1994年生, 男, 硕士研究生, 专业方向为鱼类生态学。E-mail: 476211563@qq.com

通信作者: 王珂, 1982年生, 女, 副研究员, 主要从事鱼类生态研究。E-mail: wangkelily@126.com

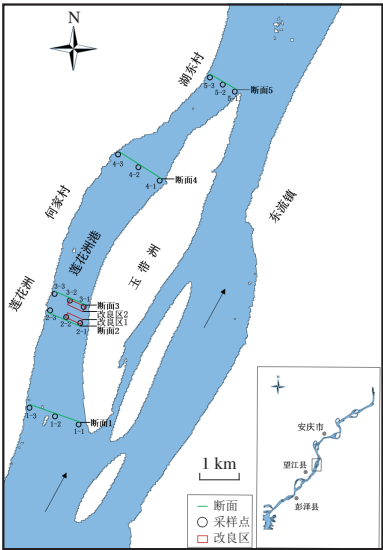
1 材料和方法

1.1 区域概况

莲花洲港是东流水道的最左侧支汊,位于长江下游九江市至安庆市,属亚热带湿润季风气候区,全年以东北风为主,年降雨量 958~1 317 mm。该港上深槽头部左侧两处微冲区域设置了 2 处局部生境改良区。改良区 1 投放透空格栅鱼巢排,长 240 m、宽 75 m;改良区 2 投放透水框架,垂直水流方向纵长 240 m、宽 75 m(长江航道规划设计研究院,2018)。

1.2 样点设置

于 2019 年 8-9 月(丰水期)、2019 年 10-11 月(平水期)、2019 年 12 月至 2020 年 1 月(枯水期)对莲花洲港大型底栖动物及环境参数进行调查。依据东流水道莲花洲港特征及生境改良区的布设情况,共设置 5 个断面。莲花洲港首、尾、改良区 1 和改良区 2 各设 1 个断面,改良区 2 与莲花洲港尾部之间设 1 个断面。每个断面设左、中、右 3 个采样点(图 1)。



断面 1:莲花洲港首;断面 2:改良区 1;断面 3:改良区 2;
断面 4:改良区 2 与莲花洲港尾中部;断面 5:莲花洲港尾

图 1 莲花洲港采样点分布

Transect 1: Upstream of Lianhuazhou Port; Transect 2: Habitat-improved zone 1; Transect 3: Habitat-improved zone 2; Transect 4: Downstream of habitat improvement zones; Transect 5: Downstream of Lianhuazhou Port

Fig.1 Sampling sites for macrozoobenthos in Lianhuazhou Port

1.3 调查方法

底栖动物使用彼得森采泥器(1/16 m²)进行采集,每个站点重复采集 2~3 次,底泥混合后用 40 目网进行筛洗,将剩余物倒入白瓷盘中进行挑拣,拣出后的底栖动物装入样品管内,加入 75%酒精进行保存。利用

显微镜和解剖镜进行底栖动物的鉴定,水生昆虫鉴定到科或属,寡毛类鉴定到属或种,软体动物鉴定到种。将各分类单元进行计数和称重(精度 0.001 g)。参考资料进行底栖动物种类鉴定(刘月英等,1979; Morse et al,1994)。

为了解调查河段底栖动物生境状况,环境因子测定包括水深(WD)、流速(FV)、透明度(SD)、水温(WT)、溶解氧(DO)、pH、总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、硝态氮(NO₃-N)、总磷(TP)和化学需氧量(COD_{Cr})。通过旋转杯式流速仪现场测定流速,水深使用采泥器绳长测定。透明度用塞氏盘测量,水温、pH、溶解氧等用水质分析仪(YSI Pro 2000,U.S)现场测定。在各个采样点采集 2 L 水样置于低温保温箱中,48 h 内运送回实验室,通过 Hach DR1900 可见分光光度计测定 TN、NH₃-N、NO₃-N、TP 和 COD_{Cr} 等化学指标。

1.4 数据分析

底栖动物群落特征采用 Margalef 丰富度指数(D)(Margalef, 1968)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')(Shannon, 1948)、Pielou 均匀性指数(J)(Pielou, 1966)、优势度(Y)评价,计算公式如下:

$$D = (S - 1) / \ln N$$
 ①

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$
 ②

$$J = H' / \ln S$$
 ③

$$Y = P_i \times f_i$$
 ④

式中:S 为群落中的物种数目,N 为总个数;P_i=n_i/N, P_i为第 i 种的个数百分比;n_i为第 i 种的个体数,f_i为第 i 种在采样点的出现频率,若 Y>0.02,表明该底栖动物为优势种(Lampitt et al, 1993)。

各水期环境因子的显著性运用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行,用最小显著差异法(LSD)进行后续两两比较。运用双因素方差分析对底栖动物密度时空分布差异进行显著性检验。在分析前对数据进行 Levene 方差齐性检验;若方差不齐,对数据转换至方差齐。上述分析在 SPSS 中进行。

利用 CANOCO5.0 软件进行去趋势对应分析(DCA)和典范对应分析(CCA)。底栖动物群落数据使用物种密度,并进行 lg(x+1)转换,对转换后的数据矩阵进行 DCA 分析,若 DCA 分析结果中最大的梯度长度(Length of gradient)大于 4.0,使用单峰模型(CCA)分析,小于 3.0 则使用冗余线性模型(RDA)分析,介于 3.0~4.0 两者均可。分析时对数据进行 499 次蒙特卡罗置换检验(Monte Carlo Test, P<0.05),以判定显著影响底栖动物群落结构的环境因子。

2 结果

2.1 不同水期的环境参数

东流水道莲花洲港各月的环境参数见表 1。莲花洲港底质以细砂为主,兼有一定量的淤泥。分析表明,东流水道莲花洲港的水温、溶氧、pH 和硝态氮在不同水期间差异显著($P<0.05$),TN、TP 和 COD_{Cr} 则在所有水期差异都不显著。其他环境参数的差异情况均不相同。

表 1 莲花洲港各水期环境参数
Tab.1 Environmental factors of
Lianhuazhou Port by season

环境因子	丰水期	平水期	枯水期
WT/℃	28.89±0.20 ^a	20.22±0.34 ^b	12.12±0.36 ^c
DO/mg·L ⁻¹	6.75±0.18 ^c	8.40±0.13 ^b	10.29±0.16 ^a
pH	7.43±0.23 ^c	8.14±0.04 ^b	8.32±0.03 ^a
FV/m·s ⁻¹	0.36±0.17 ^a	0.10±0.13 ^b	0.26±0.19 ^{ab}
SD/cm	35.63±2.76 ^b	44.85±1.40 ^a	46.00±2.76 ^a
WD/m	4.76±3.40 ^a	4.56±3.62 ^a	2.00±1.81 ^b
NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.02±0.01 ^b	0.03±0.02 ^b	0.09±0.01 ^a
NO ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.52±0.19 ^c	1.03±0.08 ^a	0.69±0.14 ^b
TN/mg·L ⁻¹	3.29±2.22	1.93±0.71	2.56±0.85
TP/mg·L ⁻¹	0.69±0.23	0.68±0.12	0.58±0.34
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	3.19±1.86	4.07±0.99	3.81±2.00

注:同行不同上标字母表示不同水期有显著差异($P<0.05$)。
Note: Superscripts in each row indicate significant differences ($P<0.05$)

2.2 种类组成、物种多样性及优势种

调查期间共采集到大型底栖动物 40 种,隶属于 3 门、6 纲、33 属(表 2)。节肢动物 21 种(占总种类数的 52.5%),其中昆虫纲(Insecta)15 种,甲壳纲(Crustacea)6 种。软体动物 10 种(25.0%),其中腹足纲(Gastrpoda)6 种,双壳纲(Bivalvia)4 种。各站位种类见图 2。

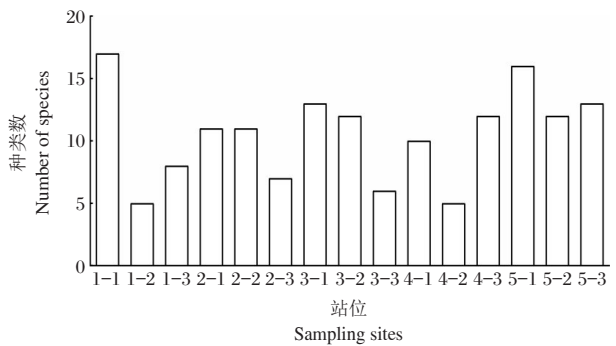


图 2 莲花洲港各站位大型底栖动物种类数
Fig.2 Macrozoobenthos species richness at
each site in Lianhuazhou Port

莲花洲港各站位大型底栖动物组成比例见图 3。环节动物门 9 种(22.5%),其中寡毛纲(Oligochaeta)6 种、多毛纲(Polychaeta)3 种。各点位底栖动物群落结构差异明显,站位 1-1 种类数最多(17 种),站位 1-2 和 4-2 种类数最少,仅有 5 种。

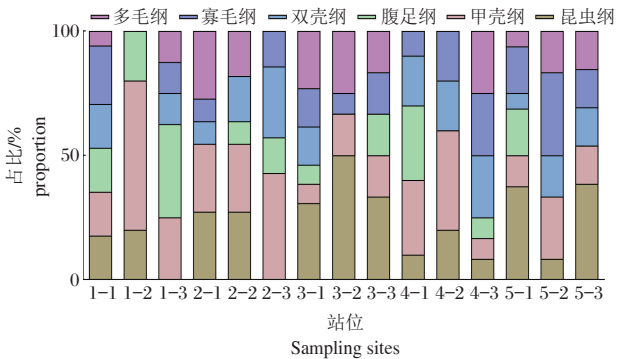


图 3 莲花洲港各站位大型底栖动物组成
Fig.3 Percentage composition of macrozoobenthos
taxa at each site in Lianhuazhou Port

所有采样点中, H' 值为 0~1.635, J 值为 0~1.617, D 值为 0~1.285。丰水期多样性指数和均匀度指数均最高,平水期丰富度指数最高(图 4)。不同水期底栖动物优势种组成差异较为明显,其中昆虫纲和多毛纲种数较多。尖叶大狐钩虾、齿吻沙蚕和围沙蚕分别为丰水期、平水期和枯水期优势度最大的物种(表 3)。

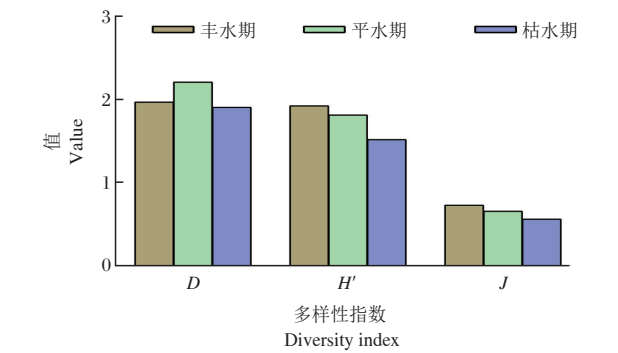


图 4 莲花洲港大型底栖动物的物种多样性
Fig.4 Seasonal variation of macrozoobenthos
diversity in Lianhuazhou Port

2.3 不同样点的密度和生物量

大型底栖动物平均密度为 66.35 个/m²(图 5-a)。多毛纲和甲壳纲(日本大螯蜚和钩虾为主)占有较大优势,分别占总密度的 42.7%和 28.7%;其次为昆虫纲,占 11.1%;其余各纲较少,占比均在 10%以下。从各采样点来看,站位 2-2 底栖动物密度最高,平均值为 280.53 个/m²;其次为站位 3-2,平均密度为 251.73 个/m²;站位 1-2 最小,仅为 6.67 个/m²。从各水期看,枯水期密度最大(77.76 个/m²),平水期最小(48.49 个/m²)。

表 2 莲花洲港出现的大型底栖动物的物种

Tab.2 Species list of macrozoobenthos in Lianhuazhou Port

中文名	拉丁名	丰水期	平水期	枯水期
节肢动物门	Arthropoda			
昆虫纲	Insecta			
蜉蝣属一种	Ephemera sp.		+	+
四节蜉属一种	Baetis sp.	+		
蝇科一种	Muscidae sp.	+		
黑足弯缺摇蚊	Cryptotendipes nigronitens		+	+
裸瓣间摇蚊	Paratendipes nudisquama			+
马速达多足摇蚊	Polypedilum masudai	+	+	+
缺损拟隐摇蚊	Demicypto chironomus vulneratus		+	
蚊型前突摇蚊	Procladius culiciformis			+
斯帝齿斑摇蚊	Stictochironomus sticticus		+	+
皮可齿斑摇蚊	Stictochironomus pictulus			+
台湾长跗摇蚊	Tanytarsus formosanus		+	
凹缺隐摇蚊	Cryptochironomus defectus		+	
隐摇蚊	Cryptochironmus sp.	+		
环足摇蚊属一种	Cricotopus sp.	+		
长足摇蚊一种	Tanypus sp.	+	+	
甲壳纲	Crustacea			
日本大螯蜚	Grandidierella japonica		+	+
尖叶大狐钩虾	Grandifoxus culpis	+	+	+
硬爪始根钩虾	Eohaustorius cheliferus		+	+
中华齿米虾	Caridina denticuulata sinensis	+	+	
新米虾	Neocaridina sp.	+		
安氏类闭尾水虱	Cleantioides annandalei	+	+	+
软体动物门	Mollusca			
腹足纲	Gastropoda			
钉螺指名亚种	Oncomelania hupensis	+		+
盘螺属一种	Valvata sp.	+		
大脐圆扁螺	Hippeutis umbilicalis	+		
长角涵螺	Alocinma longicornis	+		+
方格短沟蜷	Semisulcospira cancellata		+	+
椭圆萝卜螺	Radix swinhoei	+		
双壳纲	Bivalvia			
淡水壳菜	Limnoperna fortunei	+	+	+
河蚬	Corbicula fluminea	+	+	+
闪蚬	Corbicula nitens		+	+
具角无齿蚌	Anodonta angula		+	
环节动物门	Annelida			
寡毛纲	Oligochaeta			
水丝蚓属一种	limnodrilus sp.	+		
苏氏尾鳃蚓	Branchiura sowerbyi	+	+	
霍甫水丝蚓	Limnodrilus hoffmeisteri		+	+
中华颤蚓	Tubifex sinicas	+	+	+
正颤蚓	Tubifex tubifex		+	
淡水单孔蚓	Monopylephorus limosus	+		+
多毛纲	Polychaeta			
多鳃齿吻沙蚕	Nephtys polybranchia	+		+
齿吻沙蚕属一种	Nephtys sp.		+	
围沙蚕属一种	Perinereis sp.		+	+

注:“+”表示有分布。
Note:“+”indicates there is a distribution.

大型底栖动物平均生物量为 0.60 g/m^2 (图 5-b)。其中, 软体动物占总量的 53.0% , 寡毛纲占 36.6% , 昆虫纲最少, 仅占 2.1% 。从各采样点看, 站位 4-3 生物量最高, 平均值为 2.19 g/m^2 ; 站位 4-2 最低, 仅 0.03 g/m^2 。各水期生物量以平水期最高(0.75 g/m^2), 丰水期次之(0.56 g/m^2), 枯水期最低(0.41 g/m^2)。

表 3 莲花洲港大型底栖动物主要优势种及优势度
Tab.3 Dominant macrozoobenthos species and their dominance in Lianhuazhou Port

优势种	丰水期	平水期	枯水期
马速达多足摇蚊 <i>Polypedilu mmasudai</i>		0.05	
日本大螯蜚 <i>Grandidierella japonica</i>		0.03	0.08
尖叶大狐钩虾 <i>Grandifoxus culpis</i>	0.15		0.02
淡水壳菜 <i>Limnoperna fortunei</i>	0.07		
多鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>	0.06		
齿吻沙蚕一种 <i>Nephtys</i> sp.		0.13	
围沙蚕一种 <i>Perinereis</i> sp.		0.03	0.30

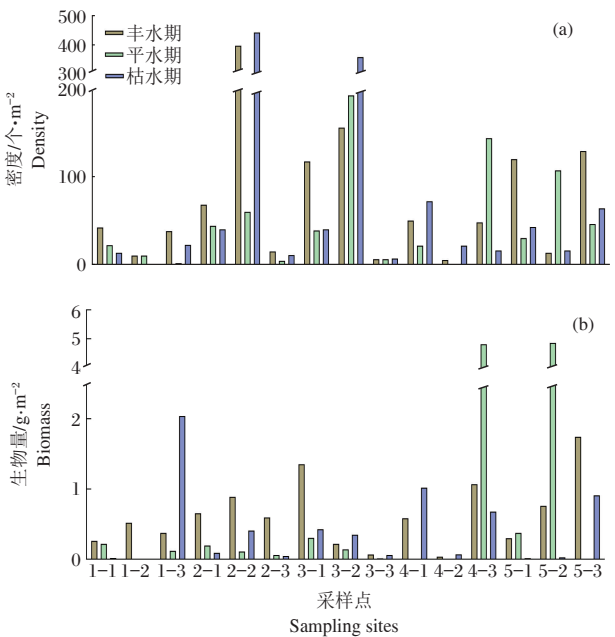


图 5 莲花洲港大型底栖动物密度(a)和生物量(b)时空分布
Fig.5 Temporal and spatial distributions of macrozoobenthos density(a) and biomass(b) in Lianhuazhou Port

2.4 不同水期的密度和生物量

丰水期、平水期、枯水期改良区 1 底栖动物密度分别为 $133, 52, 241\text{ 个/m}^2$, 改良区 2 为 $98, 116, 199\text{ 个/m}^2$, 非工程区为 $46, 33, 25\text{ 个/m}^2$, 可见改良区 1 和改良区 2 底栖动物密度均大于非工程区(图 6)。同期改良区 1 底栖动物生物量分别为 $0.55, 0.15, 0.25\text{ g/m}^2$, 改良区 2 为 $0.73, 0.22$ 和 0.39 g/m^2 , 非工程区为 $0.55, 0.55, 0.44\text{ g/m}^2$ 。

将密度数据进行对数转换后, 针对区域和水期两个因素进行 Two-way ANOVA 分析。主体间效应检验显

示, 水期无统计学意义($P=0.627$)。成对比较结果显示, 改良区 1 和改良区 2 均与非工程区有显著差异($P<0.05$); 而改良区 1 与改良区 2 之间无显著差异($P=0.918$)。生物量针对区域和水期两个因素进行的 Two-way ANOVA 分析显示, 各水期和各区区间均无显著差异($P>0.05$)。

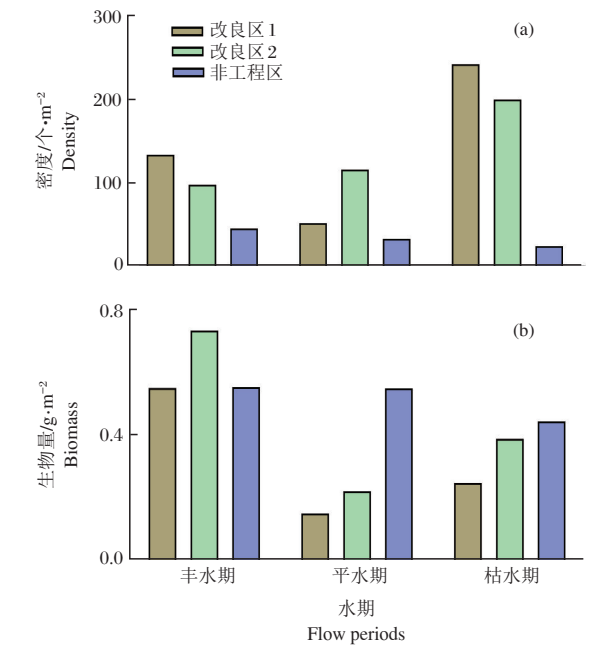


图 6 生境改良区与非工程区底栖动物密度(a)和生物量(b)比较
Fig.6 Comparison of macrozoobenthos density(a) and biomass (b) between habitat-improved and unimproved areas

2.5 底栖动物与环境因子的关系

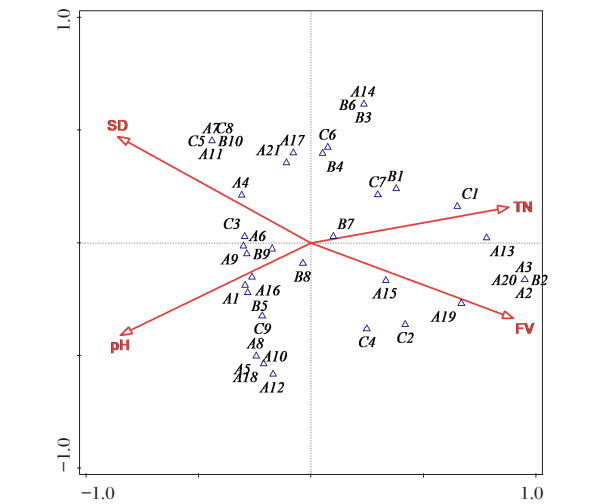
DCA 排序结果显示, 排序轴最大梯度长度为 3.63 。采用线性模型和单峰模型分析均可, 本研究采用后者。CCA 分析结果表明, 流速(FV)、透明度(SD)、总氮(TN)和 pH 是影响长江下游莲花洲港底栖动物群落结构的关键因子($P<0.05$)。前两轴共解释了 68.25% 的群落变异。中华齿米虾、新米虾等类群与 FV 呈正相关, 水丝蚓、隐摇蚊与 TN 呈正相关, 缺损似隐摇蚊、台湾长跗摇蚊等与 SD 呈正相关, 裸瓣间摇蚊和围沙蚕等与 pH 呈正相关(表 4、表 5、图 7)。

表 4 基于底栖动物丰度的 CCA 分析结果
Tab.4 Results of CCA based on macrozoobenthos abundance

排序轴	轴 1	轴 2	轴 3	轴 4
特征值	0.5973	0.4104	0.3313	0.1375
物种与环境因子的相关系数	0.996	0.984	0.985	0.999
物种变量累积分数/%	35.8	60.4	80.3	88.5
物种与环境变量累积分数/%	40.46	68.25	90.69	100

表5 底栖动物分布与环境因子的CCA分析统计
Tab.5 Statistical information on environmental factors that influenced the distribution of macrozoobenthos in CCA

因子	F值	P值	与前排序轴的相关系数	
			轴1	轴2
pH	1.8	0.036	-0.846	-0.404
FV	1.9	0.026	0.899	-0.331
SD	1.9	0.022	-0.857	0.465
TN	1.9	0.044	0.878	0.155



A1:蜉蝣属一种; A2:四节蜉属一种; A3:蝇科一种; A4:黑足弯钩摇蚊; A5:裸瓣间摇蚊; A6:马速达多足摇蚊; A7:缺损拟隐摇蚊; A8:蚊型前突摇蚊; A9:斯帝齿斑摇蚊; A10:皮可齿斑摇蚊; A11:台湾长附摇蚊; A12:凹缺隐摇蚊; A13:隐摇蚊; A14:环足摇蚊属一种; A15:长足摇蚊一种; A16:日本大螯蜚; A17:尖叶大狐钩虾; A18:硬爪始根钩虾; A19:中华齿米虾; A20:新米虾; A21:安氏类闭尾水虱。B1:钉螺指名亚种; B2:盘螺属一种; B3:大脐圆扁螺; B4:长角涵螺; B5:方格短沟蜷; B6:椭圆萝卜螺; B7:淡水壳菜; B8:河蚬; B9:内蚬; B10:具角无齿蚌。C1:水丝蚓属一种; C2:苏氏尾鳃蚓; C3:霍甫水丝蚓; C4:中华颤蚓; C5:正颤蚓; C6:淡水单孔蚓; C7:多鳃齿吻沙蚕; C8:齿吻沙蚕属一种; C9:围沙蚕属一种。

图7 基于底栖动物丰度的CCA排序

A1: *Ephemera* sp.; A2: *Baetis* sp.; A3: *Muscidae* sp.; A4: *Cryptotendipes nigronitens*; A5: *Paratendipes nudisquama*; A6: *Polypedilum masudai*; A7: *Demicryptochironomus vulneratus*; A8: *Procladius culiciformis*; A9: *Stictochironomus sticticus*; A10: *Stictochironomus pictulus*; A11: *Tanytarsus formosanus*; A12: *Cryptochironomus defectus*; A13: *Cryptochironomus* sp.; A14: *Cricotopus* sp.; A15: *Tanytarsus* sp.; A16: *Grandidierella japonica*; A17: *Grandifoxus culpis*; A18: *Eohaustorius chelifores*; A19: *Caridina denticulata sinensis*; A20: *Neocaridina* sp.; A21: *Cleantoides annandalei*. B1: *Oncomelania hupensis*; B2: *Valvata* sp.; B3: *Hippaetis umbilicalis*; B4: *Alocinma longicornis*; B5: *Semisulcospira cancellate*; B6: *Radix swinhoei*; B7: *Limnoperna fortunei*; B8: *Corbicula fluminea*; B9: *Corbicula nitens*; B10: *Anodonta angula*. C1: *Limnodrilus* sp.; C2: *Branchiura sowerbyi*; C3: *Limnodrilus hoffmeisteri*; C4: *Tubifex sinicas*; C5: *Tubifex tubifex*; C6: *Monopylephorus limosus*; C7: *Nephtys polybranchia*; C8: *Nephtys* sp.; C9: *Perinereis* sp..

Fig.7 Biplots of CCA ordination based on macrozoobenthos abundance

3 讨论

3.1 不同水期影响底栖动物功能摄食类群优势种

本次调查期间,在长江下游莲花洲港共采集到大型底栖动物3门、6纲、40种。整体来看,节肢动物种

类最多,多毛类密度最高,双壳类和寡毛类在生物量方面占有较大优势。研究区域底栖动物的种类数多于段学花等(2009)在莲花洲港下游邻近的安庆江段的调查结果,约为马雅雪等(2019)在安庆江段调查发现种类数的2倍。种类数在邻近江段较其他研究多,可能与本次调查较高的采样频次和所在地理条件有关。不同水期莲花洲港底栖动物优势种组成不同,日本大螯蜚和围沙蚕优势度从丰水期到枯水期逐渐增大。从功能摄食类群看,日本大螯蜚和围沙蚕分别属于撕食者和捕食者,丰水期流速过大会对捕食能力有不利影响,随着平水期和枯水期流速的下降,两者的优势也逐渐增大;此外,3个水期优势种中均未有刮食者出现。研究区域水面开阔,底质以细砂为主,不适宜沉水植物生长,故不利于刮食者生存。

3.2 生境改良区与非工程区的生物量及密度差异

本研究显示,生境改良区底栖动物的平均密度高于非工程区(图6)。与李莎等(2015)在长江中游对四面六边透水框架护岸工程区大型底栖动物群落的调查结果相似,但生物量方面没有表现出与密度相似的结果。生境改良区与非工程区采集到的优势种不同,生境改良区优势种以多毛类为主,其生物量较小,非工程区采集到的软体动物等其他底栖动物的生物量(湿重)较大,对整体结果产生的影响较大,所以生境改良区生物量并非在所有时间高于非工程区。生境改良区底栖动物丰度较高,可能与鱼巢排和透水框架能降低水流速度、减小水流对底质的冲击有关。研究区域以砂质河床为主,受季节性洪水冲刷影响较大。透空格栅鱼巢排结构能够保持水体与河床之间的联通,在空腔内形成局部缓流,促进局部微生境改善(长江航道规划设计研究院,2018);而透水框架对水流起到减速消能作用,促淤效果较好,利于有机质沉积(刘倩颖等,2009;郑英等,2012)。底质中食物的质或量对底栖动物生长有直接影响。底栖动物的丰度随着底质的稳定性和有机碎屑的增加而增加,淤泥底质的有机质含量丰富,颗粒较小,底栖动物生物量高。生境改良区的底质中淤泥占比很大,且植物碎屑明显多于非工程区,这可能是造成鱼巢排区和透水框架区多毛类成为优势种群且生物量及密度高于非工程区的主要原因。

3.3 底栖动物群落结构与环境因子的相关性各异

水体中的营养盐含量与底栖动物种类和生物量关系密切。王备新等(2007)研究指出,影响太湖流域上游水系底栖动物分布的主要环境因子为总氮和总磷。本研究中,水丝蚓和隐摇蚊与总氮呈显著正

相关,与孟云飞等(2019)发现直接收集者总氮最适宜值最高的研究结果一致。流速对底栖动物群落的现存量 and 种类组成影响较大(段学花等,2010)。莲花洲港丰水期与平水期流速有显著差异,流速的降低可在一定程度上加快有机碎屑沉积量的增加,有利于部分底栖动物获取食物,但水流扰动对滤食收集者非常不利,会降低滤食者的多度,本研究发 现具角无齿蚌与流速呈明显负相关。 pH 会影响底栖动物的出生率和成活率,使多样性发生变化。本研究区域水体整体呈弱碱性, pH 在各水期差异显著,呈逐渐升高趋势。裸瓣间摇蚊和围沙蚕等与 pH 呈正相关,这与赵风斌等(2016)在上海市河道发现 pH 呈弱碱性的水体以红裸须摇蚊、疣吻沙蚕为优势种的研究结果相似;此外,透明度也是影响莲花洲港底栖动物群落结构重要因子,透明度越高,有机物分解就越多,到达底层的有机物就越少(高欣等,2011),所以依赖上层有机物的苏氏尾鳃蚓与透明度呈负相关性。

参考文献

- 蔡永久,姜加虎,张路,等. 2013. 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素[J]. 生态学报, 33(16): 4985–4999.
- 陈强,郭行磐,周轩,等. 2015. 长江口潮下带大型底栖动物群落特征[J]. 水产学报, 39(8): 1122–1133.
- 陈强,郭行磐,周轩,等. 2016. 长江口及其邻近水域滩涂底栖动物多样性的研究[J]. 大连海洋大学学报, 31(1): 103–108.
- 陈秀粉,夏炜,潘保柱,等. 2017. 长江中游宜昌至武汉段底栖动物群落结构特征研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 53(5): 973–981.
- 段学花,王兆印,徐梦真. 2010. 底栖动物与河流生态评价[M]. 北京:清华大学出版社.
- 段学花,王兆印,余国安. 2009. 以底栖动物为指示物种对长江流域水生生态进行评价[J]. 长江流域资源与环境, 18(3): 241–247.
- 高欣,牛翠娟,胡忠军. 2011. 太湖流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 22(12): 3329–3336.
- 和雅静,王洪铸,舒凤月,等. 2019. 长江流域底栖动物资源的宏观格局[J]. 水生生物学报, 43(S1): 9–17.
- 李莎,熊飞,王珂,等. 2015. 长江中游透水框架护岸工程对底栖动物群落结构的影响[J]. 水生态学杂志, 36(6): 72–79.
- 刘倩颖,王平义,喻涛,等. 2009. 四面六边透水框架群的护滩效果研究[J]. 环境科学学报, 34(12): 44–48.
- 刘月英,张文珍,王耀先. 1979. 中国经济动物志:淡水软体动物[M]. 北京:科学出版社.
- 马宝珊,徐滨,魏开金,等. 2019. 安宁河中游底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 水生生物学报, 43(3): 643–653.
- 马雅雪,姚维林,袁赛波,等. 2019. 长江干流宜昌–安庆段大型底栖动物群落结构及环境分析[J]. 水生生物学报, 43(3): 634–642.
- 孟云飞,崔恩惠,鲁甲,等. 2019. 辽河流域太子河大型底栖动物群落与水环境因子关联性的量化分析[J]. 湖泊科学, 31(6): 1637–1650.
- 王备新,徐东炯,杨连芳,等. 2007. 常州地区太湖流域上游水系大型底栖无脊椎动物群落结构特征及其与环境的关系[J]. 生态与农村环境学报, 23(2): 47–51.
- 王思凯,苗中博,盛强,等. 2020. 长江口崇明东滩盐沼湿地围堤工程对底栖动物群落的影响[J]. 生态学报, 40(3): 1021–1030.
- 叶属峰,纪焕红,曹恋,等. 2004. 河口大型工程对长江河口底栖动物种类组成及生物量的影响研究[J]. 海洋通报, 23(4): 32–37.
- 殷旭旺,徐宗学,高欣,等. 2013. 渭河流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 24(1): 218–226.
- 游立新,王珂,祝坐满,等. 2017. 长江中游江段水生生物资源调查及航道整治工程影响预测分析[J]. 环境影响评价, 39(6): 43–46, 51.
- 长江航道规划设计研究院. 2018. 长江干线武汉至安庆段 6 m 水深航道整治工程施工图设计(第一批)东流水道[R]. 武汉.
- 赵风斌,陈萍萍,徐后涛,等. 2016. 上海市河道底栖动物群落结构与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 25(8): 1361–1368.
- 郑英,吴伶,赵德玉,等. 2012. 四面六边透水框架护滩结构效果水槽试验研究[J]. 水运工程, 37(11): 127–132.
- Lampitt R S, Wishner K F, Turley C M, et al. 1993. Marine snow studies in the Northeast Atlantic Ocean: Distribution, composition and role as a food source for migrating plankton[J]. Marine Biology, 116(4): 689–702.
- Margalef D R. 1968. Perspectives in Ecological Theory[M]. Chicago: Univ Chicago Press.
- Morse J C, Yang L F, Tian L X. 1994. Aquatic Insects of China Useful for Monitoring Water Quality[M]. Nanjing: Hohai University Press.
- Pielou E C J. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 13: 131–144.
- Shannon C E. 1948. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 27: 379–423.
- Vanni M J. 2002. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 33: 341–370.

Seasonal Variation of Macrozoobenthos Community Structure
at Lianhuazhou Port on the Lower Yangtze River

YU Qi^{1,2}, WANG Ke², WEI Jin-ming², SUN Xiao-mei^{1,2}, LIU Shao-ping², DUAN Xin-bin², CHEN Da-qing²

- (1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P.R. China;
2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,
Wuhan 430223, P.R. China)

Abstract: To mitigate the negative impacts of water control structures and strengthen protection of aquatic ecology in the Yangtze River, two habitat improvement zones were located at Lianhuazhou Port on the lower Yangtze River. In this study, we compared macrozoobenthos community structure in the habitat improvement zone with the unimproved areas in different seasons, focusing on stock, species composition, dominant species and spatiotemporal distribution. The relationship between macrozoobenthos community structure and environmental factors was also analyzed. The aim was to provide basic data for protecting the aquatic ecology of the Yangtze River. During August–September (flood season), October–November of 2019 (normal season), December 2019 and January 2020 (dry season), the macrozoobenthos and water environmental factors were investigated at 15 sampling sites across 5 transects in the study area. A total of 40 macrozoobenthos genera (species) were collected, including 21 genera (species) of arthropods (52.5%), 10 genera (species) of mollusks (25.0%), 6 genera (species) of oligochaetes (15.0%) and 3 genera (species) of polychaetes (7.5%). The mean density and biomass of macrozoobenthos in Lianhuazhou Port were 66.35 ind/m² and 0.60 g/m². The highest macrozoobenthos density (77.76 ind/m²) occurred in dry season and the lowest (48.49 ind/m²) in normal season, while the highest biomass (0.75 g/m²) occurred in normal season and the lowest (0.41 g/m²) in dry season. The dominant species macrozoobenthos varied with season, but much higher numbers of insects and oligochaetes. The most dominant species was *Grandifoxus culpis* in flood season, *Nephtys* sp. in normal season and *Perinereis* sp. in dry season, with the dominance of 0.15, 0.13 and 0.30, respectively. Two-way ANOVA of the spatial and temporal distribution of macrozoobenthos showed no significant differences in macrozoobenthos density with season, but the macrozoobenthos densities in habitat-improved zones 1 and 2 were significantly higher than those in the unimproved areas. Canonical correspondence analysis (CCA) indicated that the key environmental factors affecting the macrozoobenthos community in Lianhuazhou Port were water velocity, transparency, total nitrogen and pH.

Key words: Lianhuazhou Port; macrozoobenthos; community structure; environmental factors