

天鹅洲长江段底栖动物的群落结构与季节变化

龚成¹, 池仕运², 夏纬³, 汪红军², 胡俊², 陈威², 胡菊香²

(1. 湖北长江天鹅洲白鱓豚国家级自然保护区管理处, 湖北石首 434400;

2. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北武汉 430079;

3. 长江航道局, 湖北武汉 430060)

摘要:探究长江天鹅洲白鱓豚国家级自然保护区长江段底栖动物的群落结构及季节变化, 可为该区域水生生物的保育和管理工作提供基础资料和科学依据。2014-2015 年, 按季节在干流江段设置 16 个采样站位, 进行底栖动物调查和水质理化指标测定, 并同步收集当月水位信息。结果表明, 4 次调查共检出底栖动物 53 种, 其中水生昆虫 28 种, 软体动物 9 种, 寡毛类 9 种, 甲壳动物 4 种, 其他类群 3 种, 常见种为日本沼虾、钩虾、栉水虱、米虾、河蚬、淡水壳菜、多足摇蚊、环足摇蚊和齿斑摇蚊。底栖动物存在较为明显的季节演替, 且种类组成较为简单, 以小个体的物种和活动能力较强的甲壳类为主。低水位时, 生境异质性的升高有利于底栖动物多样性的增加; 而高水位时生境异质性的降低, 则对底栖动物的多样性不利。水位的升高以及流量的增大, 有利于活动能力较强的甲壳动物生存和扩散。底栖动物的密度、生物量以及多样性处于较低水平, 与该河段地处下荆江、河道演变剧烈、生境不稳有关, 密度水平与长江中游的沙市、黄石断面接近, 表明目前底栖动物密度处于较低水平是一种常态现象。

关键词:底栖动物; 群落结构; 季节变化; 生物多样性; 天鹅洲

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)01-0066-09

目前, 长江宜昌以上江段由于水电开发基本水库化, 而宜昌以下江段还基本保持自然原貌, 为水运黄金航道。宜昌以下江段较为险峻的江段集中在荆江段, 该段水深大、流速快、船只往来频繁(陈秀粉等, 2017)。针对宜昌以下江段的底栖动物研究多集中在江苏段(吴天惠和陈其羽, 1986; 彭增辉等, 2013)和河口等(刘勇等, 2008; 陶世如等, 2009; 罗民波等, 2010; 刘录三, 2012); 而针对中游江段的研究相对较少, 且不局限于某个具体江段。段学花等(2009)研究了长江中游干流清江口、石首、嘉鱼、牌洲湾、黄冈等多个断面底栖动物的群落结构; 陈秀粉等(2017)探究了长江中游宜昌、沙市、螺山和武汉等多个断面的底栖动物动物群落结构特征; 李莎等(2015)对干流枝江、沙市和黄石等断面底栖动物进行了调查。长江天鹅洲保护区石首段被划为白鱓豚国家级自然保护区, 出于保护水生生物多样性的需要, 针对该江段的浮游生物调查较多(张征等,

1995; 高立方等, 1998; 黄丹等, 2014; 2016; 胡俊等, 2018)。由于河流极为弯曲且水深流急, 底栖动物采集较为困难, 导致该区段底栖动物的公开发表资料极为稀少, 已有的底栖动物调查也只局限于附近的故道(潘保柱等, 2008; 马秀娟等, 2014)。

底栖动物位于食物链的关键环节, 是鱼类和江豚等水生生物的重要食物来源。底栖动物具有类群繁多、生活周期长、分布广泛等特点, 且对不同污染物的敏感性差异较大, 能较好地反映水质变化, 常作为重要的指示生物而加以监测(陈秀粉等, 2017)。本文选择长江石首急弯形河段, 研究该河段底栖动物的群落结构及季节变化; 此外, 该河段也位于长江天鹅洲白鱓豚国家级自然保护区内, 其生态环境的好坏直接关系到生活其中保护物种的栖息生境质量; 为此, 本研究结果也可为该区域水生生物的保育和管理工作提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

荆江河段位于长江中游, 属于典型的蜿蜒型冲积平原河流, 河床演变剧烈, 河流景观类型多样(胡俊等, 2018); 尤其是下荆江河段, 河道的横向位移达到 20 km(西部)至 30 km(东部), 具有典型的蜿蜒性河道特点(殷瑞兰, 2006)。该河段自由河曲极

收稿日期: 2019-04-30

基金项目: 国家自然科学基金(51279112, 51409178, 51779158, 51679152); 生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)。

作者简介: 龚成, 1971 年生, 男, 高级工程师, 主要从事环境管理研究。E-mail: tianezhou@sohu.com

通信作者: 胡菊香, 1965 年生, 女, 研究员, 主要从事水生生态监测和生态评价研究。E-mail: hujuxiang2005@163.com

为发育,生态意义突出(王越等,2011)。长江天鹅洲白鱓豚国家级自然保护区处长江中游,位于下荆江河段,全长89 km。河床组成为中细沙,卵石层埋藏较深。河段的右岸大多为丘陵阶地,左岸为冲积平原(龚维祥,2016)。

保护区属于亚热带季风气候。全年日照总时数自南向北为1 821~1 911 h,月均日照时数达215 h的有7个月(4-10月);年均气温16.3~16.5℃,最热7月的平均气温28.5℃,极端最高气温38.6℃;最冷1月的平均气温3.5℃左右。无霜期258 d。年降水量1 099~1 230 mm,历年3-8月均雨量都大于100 mm,4-10月总雨量高达859.7 mm,占全年总雨量的74.5%(崔鸿等,1999)。



图1 长江天鹅洲江段采样站位分布

Fig.1 Map of study area and sampling site locations

1.2 数据收集与处理

在长江天鹅洲保护区江段设置16个站位,雇用渔船按照季节进行了4次采样,分别为2014年10月(秋季)、2015年1月(冬季)、2015年5月(春季)和2015年7月(夏季)。在流速较缓的江段,底栖动物样品采用彼得孙挖泥器采集4个平行样,然后合并为一个大样;在流速较快的江段,采用矩形标准踢网进行采集,时间限定为5 min,兼顾各种微小生境,并按照生境类型适当分配采样努力量。由于河流中间水深流急,且多为粉沙,采集困难且底栖动物稀少,故采集区域多集中于近岸带。样品经60目筛绢布筛洗干净后,将底栖动物和杂质全部装入1 L的广口塑料瓶中,加入5%的甲醛液进行保存,并转运到实验室中分拣。分拣完毕后通过生物显微镜和解剖镜进行镜鉴,水生昆虫大部分鉴定到科,摇蚊类鉴定到属,寡毛类鉴定到属或种,软体动物鉴定到种,其他类群鉴定到科或至少区分到科(刘月英,1979;Morse et al, 1994;王洪铸,2002)。底栖动物密度通过统计样品中的个数除以采样面积进行推算;生物量则是将单个样品的物种用电子天平称取湿重后,再根据采样面积进行推算。水温、pH、电导

率、盐度、总溶解性固体、溶解氧等指标使用便携式多参数水质分析仪(YSI Plus)现场检测。透明度现场采用赛氏透明度盘进行测定。采集水质样品带回实验室测定水环境指标,包括氨氮、亚硝氮、硝氮、总氮、磷酸盐、总磷、叶绿素a和高锰酸盐指数等,各指标的测定方法参照《水和废水监测分析方法》进行(国家环境保护总局,2002)。研究河段水位信息收集于靠近保护区河段的监利水文站,水位数据分析采用采样当月31 d的数据。

1.3 数据分析

1.3.1 优势度 底栖动物优势种根据单个物种的优势度值(Y)进行确定:

$$Y = (n_i / N) \times f_i \quad (1)$$

式中: n_i 为研究区域中所有样品中第*i*种的个体数量; N 为研究区域样品中所有种的总个体总数; f_i 为出现频率。以 Y 值大于0.01的物种确定为优势种。

1.3.2 多样性 底栖动物 α -多样性采用Shannon-Wiener指数(王晶等,2015), β -多样性采用Whittaker指数(Tuomisto, 2010),计算公式如下:

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

$$\beta_w = \gamma / \bar{a} - 1 \quad (3)$$

式中: H' 为Shannon-Wiener指数; S 为样品中的物种数; P_i 为第*i*种在样品中的数量百分比; β_w 为Whittaker指数; γ 为研究区段底栖动物总物种数; \bar{a} 为所有样品的平均物种数。

1.3.3 结果统计 采用多元统计分析软件PC-ORD V6.22对底栖动物群落进行多响应置换过程分析(Multi Response Permutation Procedure, MRPP),以检验不同季节的底栖动物群落结构差异的显著性。MRPP检验给出检验统计量 T 值(Test Statistic)和一致性统计量 A 值(Agreement Statistic),其中 T 用来描述组间的分离程度, T 值为负,且绝对值越大,则组间分离越强; A 用来描述组内同质性程度,当 $A=0$,组内异质性等等于偶然预测值,当 $A>0$,组内同质性大于偶然预测值,在群落生态学中一般 A 值在0.1以下变动。采用指示种分析(Indicator Species Analysis, ISA)河段不同季节的指示种,给出相应物种的指示值(Indicator Value, IV),并采用蒙特卡罗(Monte Carlo)检验来决定IV值的统计显著性。在进行多元统计分析前,将底栖动物数据矩阵按照站位进行百分比转换,以消除采样努力量的差异对分析结果的影响。

2 结果与分析

2.1 水体理化特性与河段水位情况

就一般理化指标而言(表1),夏季水温最高,春秋季节较为接近,冬季最低;pH则是夏冬季相当,而春秋季节相当;水体透明度:冬季>春季>秋季>夏季;电导率:春季>冬季>夏季>秋季;盐度:春季>冬季>夏季>秋季;总溶解固体:春季>冬季>夏季>秋季;溶解氧:冬季>春季>秋季>夏季。

表1 研究区域水质理化和营养盐参数

Tab.1 Physicochemical parameters of Tian-e-zhou Oxbow

测定指标	春季	夏季	秋季	冬季
水温/℃	20.15±0.53	26.01±0.42	21.79±0.51	14.21±0.16
pH	8.04±0.12	8.22±0.12	8.04±0.27	8.22±0.26
透明度/cm	99±7	45±0	93±8	131±8
电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	409.83±12.42	356.8±2.17	327.96±2.96	393.09±4.29
盐度	0.20	0.17	0.16	0.19
总溶解固体/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	269.10±2.12	232.19±1.71	213.19±1.86	252.21±11.85
溶解氧/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	7.14±0.38	4.69±1.05	6.88±0.44	8.43±0.31
氨氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.133±0.076	0.170±0.065	0.132±0.092	0.326±0.128
亚硝氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.014±0.001	0.017±0.008	0.005±0.001	0.011±0.002
硝氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.781±0.017	1.781±0.037	0.758±0.025	1.076±0.052
总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.031±0.095	2.134±0.210	1.543±0.054	1.798±0.292
磷酸盐/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.099±0.007	0.081±0.004	0.078±0.016	0.108±0.006
总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.153±0.012	0.142±0.017	0.129±0.022	0.161±0.017
叶绿素/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	2.949±1.149	1.984±0.566	2.087±0.916	4.935±0.795
高锰酸盐指数/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.222±0.482	1.058±0.104	1.777±0.081	1.389±0.437

春季研究河段平均水位为29.0 m,变幅在28.2~29.9 m;夏季平均水位32.5 m,变幅在31.0~34.0 m;秋季平均水位为29.4 m,变幅在27.1~32.5 m;冬季平均水位为25.0 m,变幅在22.4~25.5 m。就平均水位而言,夏秋季的水位要高于春冬季,就采样当月水位日变幅而言,夏秋季的水位日变幅要高于春冬季,特别是秋季,变幅最大(图2-a和图2-b)。

2.2 群落结构特征

4次调查共检出底栖动物53种,其中水生昆虫28种,软体动物9种,寡毛类9种,甲壳动物4种,

就水体营养盐指标而言,水体氨氮水平冬季最高,夏季次之,春秋季节较为接近,低于地表水II类限值;亚硝氮含量夏季最高,春季次之,秋季最低;硝氮含量春夏季相当,处于较高水平,冬季次之,秋季最低;总氮夏季最高,春季次之,秋季最低,超过地表水IV类限值;磷酸盐和总磷冬季最高,春季次之,秋季最低;叶绿素冬季最高,春季次之,夏季最低;高锰酸盐指数秋季最高,冬季次之,夏季最低,低于地表水I类限值。

其他类群3种(表2)。从年度分布来看,出现频次超过10%的常见物种有日本沼虾(52.11%)、钩虾(39.44%)、多足摇蚊(29.58%)、环足摇蚊(18.31%)、栉水虱(16.90%)、齿斑摇蚊(16.90%)、河蚬(12.68%)、淡水壳菜(12.68%)和米虾(11.27%)。

春季检出24种,夏季检出20种,秋季检出21种,冬季检出34种。从类群来看(表3),春季水生昆虫占据绝对优势地位,数量比达86.67%;夏季和秋季甲壳动物占据优势地位,分别为88.81%和75.80%;冬季软体动物占据优势地位,为66.23%。

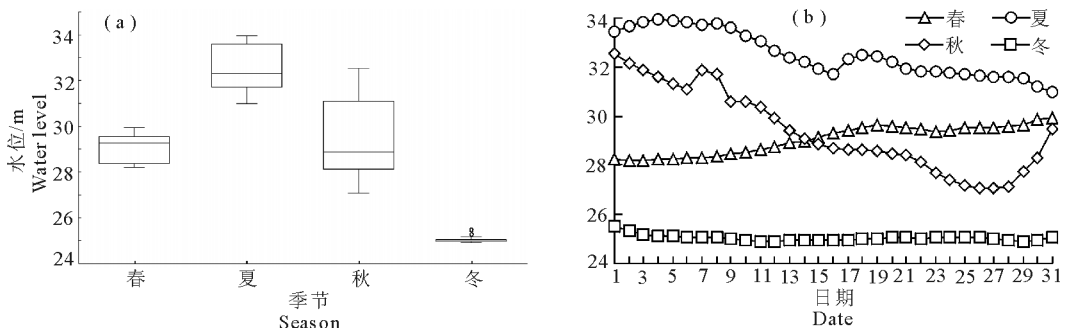


图2 研究江段采样时段的水位变化

Fig.2 Seasonal variation and daily variation of water level during the sampling period

表2 研究区域底栖动物名录

Tab.2 List of macroinvertebrates collected in the study area

底栖动物种类			春	夏	秋	冬	
水生昆虫 Aquatic insects							
蜉蝣目 Ephemeroptera	扁蜉科 Heptageniidae	扁蜉 Heptageniidae sp.				+	
	四节蜉科 Baetidae	四节蜉 Baetidae sp.	+	+			
毛翅目 Trichoptera	纹石蛾科 Hydropsychidae	纹石蛾 Hydropsychidae sp.			+		
	小石蛾科 Hydroptilidae	小石蛾 Hydroptilidae sp.	+	+			
	多距石蛾科 Polycentropodidae	多距石蛾 Polycentropodidae sp.				+	
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	螟蛾 <i>Potamomusa</i> sp.	+				
蜻蜓目 Odonata	大蜓科 Cordulegastridae	大蜓 Cordulegastridae sp.			+		
半翅目 Hemiptera	划蝽科 Corixidae	划蝽 Corixidae sp.	+				
鞘翅目 Coleoptera	水龟甲虫科 Hydrophilidae	水龟甲虫 Hydrophilidae sp.	+				
	长角泥虫科 Elmidae	长角泥虫 Elmidae sp.	+				
双翅目 Diptera	蝇科 Muscidae	蝇 Muscidae sp.	+				
	大蚊科 Tipulidae	大蚊 Tipulidae sp.	+				
	长足虻科 Dolichopodidae	长足虻 Dolichopodidae sp.	+				
	蠓科 Ceratopogonidae	蠓 Ceratopogonidae sp.				+	
	摇蚊科 Chironomidae	多足摇蚊 <i>Polypedilum</i> sp.	+	+	+	+	
		间摇蚊 <i>Paratendipes</i> sp.			+	+	
		开叉摇蚊 <i>Dicrotendipes</i> sp.		+	+	+	
		拟开氏摇蚊 <i>Parakiefferiella</i> sp.				+	
		水摇蚊 <i>Hydrobaenus</i> sp.				+	
		隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> sp.		+	+	+	
		齿斑摇蚊 <i>Stictochironomus</i> sp.	+	+	+	+	
		长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> sp.	+	+		+	
		摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.	+	+		+	
	长足摇蚊 <i>Tanytus</i> sp.	+					
	环足摇蚊 <i>Cricotopus</i> sp.	+	+		+		
	直突摇蚊 <i>Orthocladus</i> sp.	+	+				
	摇蚊蛹 Chironomidae pupa	+	+	+	+		
软体动物 Mollusks							
贻贝目 Mytiloida	贻贝科 Mytilidae	淡水壳菜 <i>Limnoperna fortunei</i>			+	+	
蚌目 Unionoida	蚌科 Unionidae	无齿蚌 <i>Anodonta</i> sp.			+		
	蜆科 Corbiculidae	河蜆 <i>Corbicula fluminea</i>		+	+	+	
中腹足目 Mesogastropoda	肋螭科 Pleuroceridae	方格短沟螭 <i>Semisulcospira cancellata</i>		+		+	
	狭口螺科 Stenothyridae	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>		+	+		
	觶螺科 Hydrobiidae	卵圆仿雕石螺 <i>Lithoglyphopsis ovatus</i>				+	
	田螺科 Viviparidae	铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>			+		
基眼目 Basommatophora	膀胱螺科 Physidae	尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>	+				
	椎实螺科 Lymnaeidae	椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoi</i>	+	+	+		
寡毛类 Oligochaetes							
颤蚓目 Tubificida	仙女虫科 Naididae	简明仙女虫 <i>Nais pardalis</i>				+	
		仙女虫 <i>Nais</i> sp.				+	
		肥满仙女虫 <i>Nais inflata</i>				+	
	颤蚓科 Tubificidae	颤蚓 Tubificidae sp.	+				
		正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>				+	
		多毛管水蚓 <i>Aulodrilus plurisetus</i>				+	
		厚唇嫩丝蚓 <i>Teneridrilus mastix</i>				+	
		霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+		+	+	
		拟钝毛水丝蚓 <i>Limnodrilus paramblysetus</i>			+		
		苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>		+	+	+	
甲壳动物 Crustaceans							
端足目 Amphipoda	钩虾科 Gammaridae	钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	+	+	+	+	
十足目 Decapoda	匙指虾科 Atyidae	米虾 <i>Caridina</i> sp.	+	+	+	+	
	长臂虾科 Palaemonidae	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	+	+	+	+	
等足目 Isopoda	栉水虱科 Asellidae	栉水虱 <i>Asellidae</i> sp.		+	+	+	
其他类群 Others							
吻蛭目 Rhynchobdellida	舌蛭科 Glossiphoniidae	舌蛭 Glossiphoniidae sp.				+	
涡虫纲 Turbellaria		涡虫 Turbellaria sp.				+	
线虫动物 Nematoda		线虫 Nematoda sp.				+	

从优势度来看(表4),春季优势种为环足摇蚊、四节蜉、日本沼虾、划蝽、摇蚊属摇蚊、齿斑摇蚊和多足摇蚊;夏季和秋季优势种均为日本沼虾、钩虾和多足摇蚊;冬季优势种为淡水壳菜、钩虾和多足摇蚊。

表3 不同季节底栖动物类群组成

Tab.3 Percentage composition of different benthic fauna by season

类群	不同季节的数量占比/%			
	春	夏	秋	冬
水生昆虫	86.67	10.08	12.35	13.62
软体动物	1.78	0.93	7.90	66.23
寡毛类	1.78	0.19	3.95	3.04
甲壳动物	9.78	88.81	75.80	16.16
其他类群	0	0	0	0.94

表4 研究区域底栖动物优势种与优势度

Tab.4 Dominant species and their corresponding dominance by season

优势种	不同季节的优势度			
	春	夏	秋	冬
钩虾		0.032	0.041	0.081
日本沼虾	0.051	0.630	0.431	
淡水壳菜				0.296
齿斑摇蚊	0.015			
多足摇蚊	0.015	0.024	0.035	0.019
划蝽	0.048			
环足摇蚊	0.080			
四节蜉	0.077			
摇蚊属摇蚊	0.018			

2.3 群落结构的季节变化

底栖动物存在较为明显的季节演替(表5),经MRPP分析可见,除秋季和夏季组差异不显著外($P>0.05$),其余各组差异显著($P<0.05$)。

ISA分析结果表明(表6),春季指示种为环足摇蚊、划蝽和四节蜉,夏季为日本沼虾、钩虾和栉水虱,秋季无指示种,冬季为淡水壳菜和直突摇蚊。

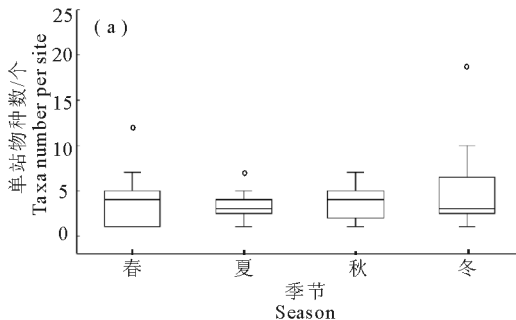


表5 MRPP分析结果

Tab.5 Results of the Multiple Response Permutation Procedure (MRPP)

群组	T	A	P
秋季 vs. 春季	-2.701	0.036	0.023
秋季 vs. 夏季	-0.549	0.008	0.218
秋季 vs. 冬季	-5.319	0.058	<0.001
春季 vs. 夏季	-5.096	0.072	0.002
春季 vs. 冬季	-7.513	0.073	<0.001
夏季 vs. 冬季	-9.758	0.116	<0.001

就单站出现的物种数而言,春季为4种/站,变动在1~12种/站;夏季为3种/站,变动在1~7种/站;秋季为4种/站,变动在1~7种/站;冬季为5种/站,变动在1~19种/站(图3-a)。就 α -多样性指数而言,Shannon-wiener指数春季为0.79,变动范围0~1.73;夏季为0.74,变动范围0~1.56,秋季为0.80,变动范围0~1.54,冬季为0.86,变动范围0~1.95(图3-b)。就 β -多样性而言,Whittaker指数春季为5.21,夏季为4.57,秋季为4.83,冬季为5.72。总之,单物种数和Shannon-wiener指数均是冬季最高,夏季最低;而Whittaker指数夏秋季小于春冬季,且冬季>春季>秋季>夏季。

表6 指示种分析(ISA)结果

Tab.6 Results of indicator species analysis (ISA)

物种	最大隶属群组	IV值	P
环足摇蚊	1	52.2	0.0002
划蝽	1	37.5	0.0004
四节蜉科	1	22.5	0.0070
日本沼虾	2	32.5	0.0290
钩虾	2	30.0	0.0386
栉水虱	2	33.1	0.0048
淡水壳菜	4	43.1	0.0002
直突摇蚊	4	29.3	0.0032

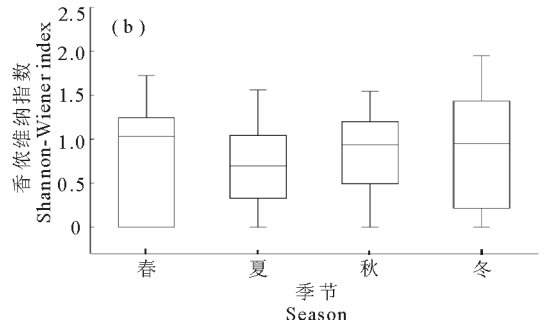


图3 不同季节的底栖动物物种数(a)和多样性指数(b)

Fig.3 Seasonal variation of macroinvertebrate diversity: taxa number per site (a) and the Shannon-Wiener index (b)

就现存量而言,春季密度为5.0个/m²,变动在0.33~16.33个/m²;夏季为21.20个/m²,变动在1.33~223个/m²;秋季为9.0个/m²,变动在0.33~

58.67个/m²;冬季为27.06个/m²,变动在0.33~147.67个/m²(图4-a)。春季生物量为0.16 g/m²,变动在0.0005~0.7935 g/m²;夏季为0.49 g/m²,变

动在 $0.001 \sim 3.5753 \text{ g/m}^2$, 秋季为 1.05 g/m^2 , 变动在 $0.00007 \sim 6.0623 \text{ g/m}^2$, 冬季为 1.09 g/m^2 , 变动

在 $0.0005 \sim 0.7935 \text{ g/m}^2$ (图 4-b)。总之, 密度和生物量上均是冬季最高、春季最低。

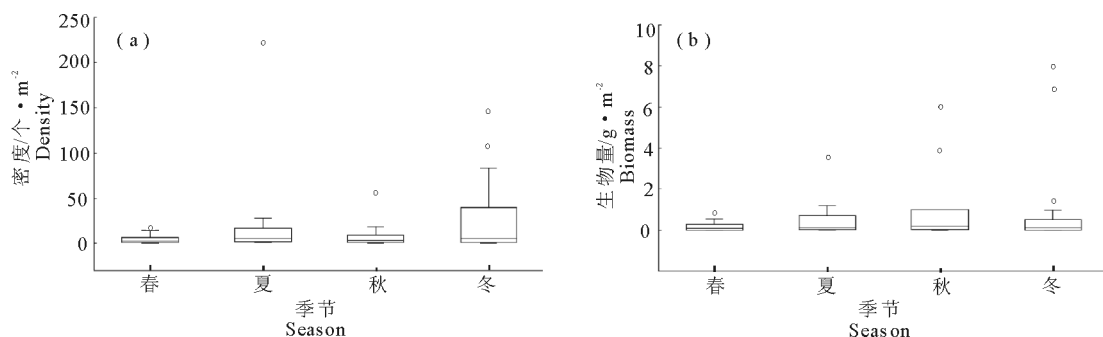


图 4 不同季节的底栖动物密度(a)和生物量(b)

Fig. 4 Seasonal variation of density (a) and biomass (b) of the macroinvertebrate community

3 讨论

3.1 季节及水位变化对底栖动物群落结构的影响

长江天鹅洲保护区段出现的底栖动物以水生昆虫为主, 其物种数占比达 52.83%, 其他类群出现的物种数相对较少。甲壳类如日本沼虾、钩虾、栉水虱和米虾, 软体动物类如河蚬和淡水壳菜, 摇蚊类如多足摇蚊、环足摇蚊和齿斑摇蚊等物种在该江段较为常见。夏秋季水位相对较高, 检出的物种数在 20 种左右, 甲壳动物占据数量优势, 冬季水位较低, 检出的物种数较多, 达 34 种, 软体动物在数量上占据优势地位; 春季水位也处于相对较高水平, 河流岸边带草本植物的淹没形成了小生境, 为环足摇蚊、划蝽和四节蜉等水生昆虫提供了隐蔽场所。从优势种的分析可以看出, 甲壳类日本沼虾在水位相对较高的春夏秋季均成为优势种, 表明水位的升高以及流量的增大有利于活动能力较强的甲壳动物生存和扩散。

有研究显示, 钩虾为喜冷水物种, 其所处的环境中常有一定量的腐殖质且温度较低, 为杂食性动物, 生活在砂砾层、枯叶、草和其它种类残留物的下面(林玉成, 2005)。该物种在四季的采样中均有检出, 表明下荆江段已受三峡水库低温下泄水的影响(杨启红等, 2016); 水温处于较低水平, 即使是气温较高的夏季水温也不超过 27°C , 有利于钩虾的生长繁殖。根据已有调查资料, 该物种也分布于长江清江口、沙市和黄石等断面(段学花等, 2009, 李莎等, 2015)。日本沼虾为广布种, 本研究中四季调查均有检出; 资料也显示, 该物种广泛分布于长江下游安庆和大通段(段学花等, 2009)。多足摇蚊在研究河段极为常见, 为四季优势种, 这在长江枝江、沙市、黄石和镇江段也有检出(彭增辉等, 2013, 李莎等, 2015)。淡水壳菜在水位最低的冬季大量出现, 并成

为冬季优势种和指示种, 这与冬季水位低导致大量的岸堤防护材料如大块的岩石裸露出来为其提供附着介质有较大关系(李莎等, 2015); 此外, 该物种在南京至江阴段也有出现(吴天惠和陈其羽, 1986)。以上调查结果表明, 淡水壳菜广布于长江中下游江段。

底栖动物表现出较为明显的季节演替, 这在亚热带河流中较为普遍(Chi et al, 2017)。夏秋季, 由于水位和流量处于较高水平, 利于活动能力较强的甲壳类生存, 导致这两季的底栖动物群落组成差异不显著。研究区域底栖动物的 α -多样性指数如 Shannon-Wiener 指数和单站出现的物种数均是冬季最高, 夏季最低; 而 β -多样性指数如 Whittaker 指数则是冬季最高, 夏季最低, 这表明低水位时, 生境异质性的升高有利于底栖动物多样性的增加; 而高水位时生境异质性的降低, 则对底栖动物的多样性不利。

3.2 河势生境对底栖动物群落结构的影响

有研究认为, 长江干流水深流急, 底质多为沙质, 河床上缺乏底栖动物隐蔽和附着场所, 导致江中的底栖动物易被水流冲走, 能留下来的只是一些小型种类, 因此底栖动物的生物量相当低且种类组成较简单。就个体而言, 大部分小型底栖动物能适应急流环境, 多数大个体软体动物在流速超过 1 m/s 的时候无法生存; 此外, 泥沙频繁淤积对底栖动物生存不利, 因为无机悬浮物堆积在水底会堵塞水生生物的鳃和呼吸孔, 阻碍其新陈代谢, 破坏其栖息场所, 使其不能繁殖和生长; 与此同时, 江水极度浑浊也会堵塞双壳类的鳃孔, 造成其贝壳长时间紧闭, 导致其饥饿甚至死亡(吴天惠和陈其羽, 1986)。

本研究中, 常见的底栖动物大部分为小个体物种, 大个体的软体动物如河蚬和淡水壳菜的出现频

次不超过 13%。四季的优势种多为小个体的种类以及活动能力较强的甲壳类,水体透明度较低的夏季,底栖动物的优势种为活动能力较强的日本沼虾、钩虾以及个体极小的多足摇蚊;水体透明度较高的冬季,优势种中的软体动物为附着能力很强的淡水壳菜。三峡大坝建成后,长江中游从原来的沉积河段变为冲刷河段,河床处于不稳定状态(许全喜等, 2013)。本次研究河段位于下荆江河段,为典型的蜿蜒性河流,处于十分活跃的冲淤变化之中,河道极不稳定,上游来沙量的减少影响该段的普遍冲刷(殷瑞兰和陈力, 2003);该段河岸由下部沙层与上部粘性土层组成,特别是下部沙层抗冲能力较差,水流一旦冲到沙层,河岸即发生崩塌(殷瑞兰, 2006);导致河床变化剧烈,从而影响航运,故近年来的航道整治工程要对洲滩、岸坡等进行守护(李莎等, 2015)。荆江河段频繁的冲刷现象导致河道不稳,底栖动物种类组成较为简单,以小个体的物种和活动能力较强的甲壳类为主。密度、生物量以及多样性处于较低水平,应是底栖动物对这种频繁扰动环境和生境不稳的一种适应。研究表明,底栖动物中的一些种类,如寡毛类中的霍甫水丝蚓等倾向栖息于静水水体,随着水体流速的增加,其分布呈下降趋势(王宗兴, 2007)。研究江段水湍流急,尤其是水位较高的夏季,其寡毛类占比很低,4次调查其数量百分比均不超过 4%,其中夏季数量占比更是不足 0.2%,这似乎表明夏季的高水位以及湍急的流速对寡毛类生存极为不利。

在河流生态系统中,水流减缓有助于形成相对稳定的生境,从而有利于底栖动物的生存并提高其生物多样性(李莎等, 2015)。稳定的河床条件有利于底栖动物密度以及多样性的升高,而侵蚀下切和淤积抬升对底栖动物密度、物种数和多样性的增加不利,在河势散乱且河床运动剧烈的条件下,底栖动物物种丰度和密度均很低(段学花等, 2009)。已有调查结果显示,长江新螺段底栖动物的种类和数量极为稀少,与水底为新淤泥或硬的流沙底质有很大关系(崔鸿等, 2000);长江干流中下游底栖动物多样性偏低,与底质条件不稳的沙质河床有关(段学花等, 2009)。本研究结果显示,长江天鹅洲保护区石首段底栖动物的现存量 and 多样性均处于较低水平,如底栖动物的季平均密度均不超过 30 个/m²,季平均生物量不超过 1.20 g/m²;Shannon-Wiener 指数和单站物种数年均值分别为 0.80 和 4 种/站,这表明河势失稳不利于底栖动物现存量和多样性的增

加,也与已有调查得出的结论较为吻合。镇江段底栖动物年均栖息密度和生物量分别为 74 个/m² 和 0.20 g/m²(彭增辉等, 2013);长江下游南京至江阴段为 85.43 个/m² 和 0.32 g/m²(吴天惠和陈其羽, 1986)。本研究结果显示,研究江段底栖动物的年均密度和生物量分别为 15.56 个/m² 和 0.70 g/m²,其密度水平低于长江下游,而生物量水平则高于长江下游。但就密度水平而言,接近于长江中游的几个调查断面,如沙市(27.5 个/m²)、黄石(33 个/m²) (李莎等, 2015);也在段学花等(2009)报道长江中游干流的底栖动物 6~53 个/m² 的变动范围之内。表明长江中游段特别是荆江段由于河势不稳,目前底栖动物密度处于较低水平是一种常态现象。

参考文献

- 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.
- 崔鸿, 杨其仁, 张汉华, 等, 1999. 长江新螺段和长江天鹅洲白暨豚国家级自然保护区自然环境状况的比较研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 33(4): 584-587.
- 崔鸿, 刘胜祥, 杨其仁, 等, 2000. 长江新螺段和天鹅洲白暨豚自然保护区的水生生物比较[J]. 河南大学学报(自然科学版), 30(1): 74-75.
- 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.
- 高立方, 易幕蓉, 罗远忠, 1998. 长江天鹅洲白暨豚国家级自然保护区浮游生物与底栖生物的调查研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), (专刊): 36-44.
- 龚维祥, 2016. 长江天鹅洲白暨豚保护区的现状问题及解决对策[J]. 江西水产科技, (5): 62-64.
- 国家环境保护总局, 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社.
- 胡俊, 龚成, 夏炜, 等, 2018. 天鹅洲长江段浮游植物群落季节演替及环境因子研究[J]. 海洋与湖沼, 49(1): 70-77.
- 黄丹, 沈建忠, 胡少迪, 等, 2014. 长江天鹅洲故道浮游动物群落结构及水质评价[J]. 长江流域资源与环境, 23(3): 328-334.
- 黄丹, 李霄, 望志方, 等, 2016. 长江天鹅洲故道浮游植物群落结构及水质评价[J]. 水生态学杂志, 37(5): 8-14.
- 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.

- 林玉成, 2005. 贵州钩虾属(*Gammarus*)分类学及其相关环境因子的分析[D]. 贵阳: 贵州师范大学.
- 刘录三, 2012. 长江口大型底栖动物群落的演变过程及原因探讨[J]. 海洋学报, 34(3): 134-145.
- 刘勇, 钱薇薇, 孙世春, 等, 2008. 长江口及其邻近海域大型底栖动物生物量、丰度和次级生产力的初步研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 38(5): 749-756.
- 刘月英, 1979. 中国经济动物志(淡水软体动物) [M]. 北京: 科学出版社.
- 罗民波, 庄平, 沈新强, 等, 2010. 长江口中华鲟保护区及临近水域大型底栖动物群落变迁及其与环境因子的相关性研究[J]. 农业环境科学学报, 29(z1): 230-235.
- 马秀娟, 沈建忠, 王腾, 等, 2014. 天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价[J]. 环境科学, 35(10): 3952-3958.
- 潘保柱, 王海军, 梁小民, 等, 2008. 长江故道底栖动物群落特征及资源衰退原因分析[J]. 湖泊科学, 20(6): 806-813.
- 彭增辉, 何雪宝, 冯伟松, 等, 2013. 长江镇江段不同生境类型底栖动物群落结构研究[J]. 长江流域资源与环境, 22(4): 433-438.
- 陶世如, 姜丽芬, 吴纪华, 等, 2009. 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, 28(7): 1345-1350.
- 王洪铸, 2002. 中国小蚓类研究—附中国南极长城站附近地区两新种[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 王晶, 焦燕, 任一平, 等, 2015. Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究[J]. 水产学报, 39(8): 1257-1263.
- 王越, 丁艳荣, 范北林, 2011. 三峡工程蓄水后荆江河段河势变化及生态护岸研究[J]. 长江流域资源与环境, 20(S1): 117-122.
- 王宗兴, 2007. 中山水栖寡毛类区系调查及底栖动物对湖泊环境定量指示初探[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所.
- 吴天惠, 陈其羽, 1986. 长江下游南京至江阴江段底栖动物的种群密度与分布状况[J]. 水生生物学报, 10(1): 73-85.
- 许全喜, 朱玲玲, 袁晶, 2013. 长江中下游水沙与河床冲淤变化特性研究[J]. 人民长江, 44(23): 16-21.
- 杨启红, 张琳, 王家生, 等, 2016. 三峡水库蓄水前后水温变化及其水生态影响[C]//中国水利学会 2016 学术年会论文集. 成都: 343-349.
- 殷瑞兰, 陈力, 2003. 三峡坝下游冲刷荆江河段演变趋势研究[J]. 泥沙研究, (6): 1-6.
- 殷瑞兰, 2006. 下荆江河道演变对天鹅洲自然保护区的影响及对策研究[J]. 长江科学院院报, 23(2): 4-12.
- 张征, 翟良安, 李谷, 等, 1995. 长江天鹅洲故道浮游生物调查及鱼产力的估算[J]. 淡水渔业, 25(5): 16-18.
- Chi S, Li S, Chen S, et al, 2017. Temporal variations in macroinvertebrate communities from the tributaries in the Three Gorges Reservoir Catchment, China[J]. Revista Chilena de Historia Natural, 90(1): 1-11.
- Morse J C, Yang L, Tian L, 1994. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality[M]. Hohai University Press.
- Tuomisto H, 2010. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 2. Quantifying beta diversity and related phenomena[J]. Ecography, 33(1): 23-45.

(责任编辑 万月华)

Community Structure and Seasonal Variation of Macroinvertebrates in the Tian-e-zhou Oxbow, Yangtze River

GONG Cheng¹, CHI Shi-yun², XIA Wei³, WANG Hong-jun², HU Jun², CHEN Wei², HU Ju-xiang²

1.Lipotes National Natural Reserve of the Tian-e-zhou Oxbow in
Yangtze River, Shishou 434400, P.R.China;

2.Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem
of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources
and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China;

3.Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430060, P.R. China)

Abstract: The Lipotes National Natural Reserve of Tian-e-zhou Oxbow is located in the middle Yangtze River, with a length of 89 km. In this paper, community structure and seasonal variation of macroinvertebrates in the Tian-e-zhou Oxbow were investigated, aiming to provide data and a scientific basis for conserving and managing aquatic organisms. In October (autumn) of 2014, January (winter), May (spring) and July (summer) of 2015, a seasonal investigation of macroinvertebrates was carried out at 16 sampling sites, and physicochemical water quality parameters were monitored synchronously. Water levels were obtained from the hydrologic station near the reserve and included full data for the months when samples were collected. During the four surveys, a total of 53 macroinvertebrate species were collected; 28 aquatic insects, 9 mollusks, 9 oligochaetes, 4 crustaceans and 3 species from other groups. The common taxa were *Macrobrachium nipponense*, *Gammarus* sp., *Asellidae* sp., *Caridina* sp., *Corbicula fluminea*, *Limnoperna lacustris*, *Polypedilum* sp., *Cricotopus* sp. and *Stictochironomus* sp.. The macroinvertebrate community presented obvious seasonal succession and was primarily composed of active, small bodied taxa and crustaceans. Taxa composition was simple in each season, with absolute dominance by aquatic insects (86.67% of total species) in spring, crustaceans in summer (88.81%) and autumn (75.80%), and mollusks 66.23% in winter. Low water levels increased habitat heterogeneity and increased community biodiversity, while high water levels had the opposite effect. A higher water level and discharge rate was beneficial to the survival and dispersion of strongly mobile crustaceans. The density, biomass and biodiversity of the macroinvertebrate community in the study area were low and closely related to severe channel alterations and unstable habitat in the lower Jingjiang section. However, the macroinvertebrate density was close to densities in the Shashi and Huangshi sections, and within the density range reported for the middle reaches of Yangtze River, indicating that low macroinvertebrate density is typical of the area.

Key words: macroinvertebrate; community structure; seasonal variation; biodiversity; Tian-e-zhou Oxbow