

长江中游宜昌至武汉段底栖动物群落结构特征研究

陈秀粉¹ 夏炜² 潘保柱³ 许旭明¹ 倪晋仁^{4,†}

1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518055; 2. 长江航道局荆江整治工程指挥部, 荆州 434000;
3. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048; 4. 水沙科学教育部重点实验室, 北京大学环境工程系, 北京 100871;
† 通信作者, E-mail: nijinren@iee.pku.edu.cn

摘要 为了解长江中游宜昌至武汉段底栖动物的群落结构特征以及主要影响因素, 分别于2014年春季(4月)和秋季(10月)在该江段布设4个断面(共29个采样点)和5个断面(共40个采样点), 进行底栖动物群落监测。春季采集到底栖动物34种, 秋季采集到32种, 均是节肢动物丰度最高, 分别为56%和35%。春季物种丰度、密度和生物量均大于秋季, 且春、秋季生物量自上而下逐渐减小。功能摄食类群研究结果表明, 该江段底栖动物以牧食者占绝对优势, 春、秋季牧食者个体数占总个体数的比例分别为40.25%和59.3%。生物耐污能力统计结果表明, 该江段以中等敏感类群和耐污类群为主, 武汉断面在两个季节中均以耐污类群为主。5种功能摄食类群以及三大门类生物现存量与7个环境因子的相关性分析结果表明, 春、秋季生物受环境因子的影响差异较大, 总磷、总氮和粒径是影响春季底栖动物群落结构特征的主要环境因子, 而秋季底栖动物主要受pH、溶解氧和透明度的影响。该研究从多个方面较全面地分析长江中游江段底栖动物群落特征, 为开展长江大河深层次研究提供基础性资料。

关键词 长江中游; 底栖动物; 群落结构; 功能摄食类群; 环境因素

中图分类号 X835

Community Structure Characteristics of Macroinvertebrate from Yichang to Wuhan in the Middle Reaches of the Yangtze River

CHEN Xiufen¹, XIA Wei², PAN Baozhu³, XU Xuming¹, NI Jinren^{4,†}

1. School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. Jingjiang Headquarters of Changjiang Waterway Bureau, Jingzhou 434000; 3. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048; 4. The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences (MOE), College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; † Corresponding author, E-mail: nijinren@iee.pku.edu.cn

Abstract To explore the status of macroinvertebrate communities and the main influencing factors, an investigation was carried out at 29 sampling points (4 sections) and 40 sampling points (5 sections) in the middle reach of the Yangtze River, respectively in April and October in 2014. 34 species were identified in April (spring) and 32 species in October (autumn). Arthropods is the dominant class of macroinvertebrate in both seasons, up to 56% and 35% respectively. Spring's species abundance, the average density as well as the biomass are the highest in two quarters, and from top to bottom in the middle reach of Yangtze River biomass reduced gradually. The results of functional feeding groups show that collector-gatherers are the main components in the middle reach of Yangtze River in spring (40.25%) and autumn (59.3%). The results of tolerance value show that semi-tolerant to pollution and pollution tolerant organisms are the main components in the middle reach of Yangtze River and Wuhan section has more pollution tolerant organism in the two quarters. The correlation analysis on 5 kinds of functional feeding groups and three kinds of biological standing crop with the 7 environmental factors show that the influence of environmental factors on macroinvertebrate is different in the spring and autumn, TP and TN as

well as particle size are the main environmental factors in spring, while in autumn, the benthic animals are mainly affected by pH, dissolved oxygen and transparency. This study has a comprehensive understanding of the benthic fauna from several aspects and can provide basic information for intensive research of the Yangtze River.

Key words middle reach of the Yangtze River; macroinvertebrate; community structure; functional feeding groups; environmental factors

底栖动物处于食物链的关键环节,是鱼类重要的食物来源。由于其将底泥中的有机质和细菌作为营养物质来源,可加速水体的自净过程,对于水生生态环境具有重要作用^[1]。底栖动物长期生活在水体底部,具有种类繁多、分布广泛、生活周期长、场所固定、易于采集和辨认等特点,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^[2],因此可以通过对底栖动物的监测以及生物的外在表现与体内某些物质含量的变化来判断水体污染程度^[3]。刘玉等^[4]指出,在现有的 100 多种生物评价方法中,基于底栖动物的评价方法占 2/3,表明底栖动物是目前研究的热点。

长江是中国第一大河,干流中间区域水深大,流速快,船只往来频繁,不利于底栖动物的采集。目前对底栖动物的研究多集中在干流的某一段,并且采样点分布在岸边,如长江源^[5]、江苏段^[6]、河口^[7]等,或是易于采集的支流^[8-9]、水库^[10-11]和湖泊^[12-13]等,对长江中游干流的研究并不多。段学花等^[14]研究了长江中游干流清江口、石首、嘉鱼断面底栖动物的群落结构,潘保柱等^[15]、刘绍平等^[16]和李学军等^[17]分析了位于中游的天鹅洲和老江河底栖动物群落的结构等,但受水深限制,调查多集中于岸边。为突出水动力条件对底栖动物的影响并获得较为丰富的生境类型,我们在每个断面设置 8 个采样点,左右两岸各 4 个,且深度均不同。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为长江宜昌至武汉段,属于长江中游河段。长江中游上起湖北宜昌市,下至江西湖口,由宜昌、宜都、上荆江、下荆江等 18 个河段组成,全长约 955 km,流域面积为 68 万 km²。受海陆热力性质差异的影响,气候类型为亚热带季风气候。夏季高温多雨,冬季温和少雨,雨热同期,降水充沛,有利于农业生产。夏季为东南风,冬季为西北风。最冷月平均气温介于 0~15℃之间。以长江中游为主轴和以武汉、长沙、南昌为支点形成的长江

中游城市群是实施促进中部地区崛起战略、全方位深化改革开放和推进新型城镇化的重点区域,在我国区域发展格局中占有重要地位^[18]。

1.2 采样断面及样点布设

根据长江中游宜昌至武汉河段的生境特征和国家水文站点的分布概况,同时考虑采样的随机性、重要性、代表性及水文水质同步监测等原则,设置采样断面和采样点。2014 年春季(4 月)布设宜昌、沙市、螺山和武汉 4 个断面,共 29 个采样点;秋季(10 月)新增城陵矶(莲)断面,共 40 个采样点。各采样断面分布如图 1 所示。每个断面以深度作为基准,在左右两岸分别平均分布 4 个采样点。河流中间位置水流流速较大,不设采样点。

1.3 采集方法

在水文断面附近,选取有代表性的区域开展底栖动物的采集,详细记录各采样点的经纬度、水深及河道状况(底质组成、植被覆盖情况等),同时用 YSI 6600 V2 多参数水质监测仪,现场测定 pH、电导率和溶解氧,透明度用赛氏盘测定。采集各断面水样及沉积物样品,并低温(0~4℃)保存,运回实验室,测定水体总氮(TN)、总磷(TP)以及沉积物粒径等指标。

底栖动物采集工具主要为改良加重的 1/16 m² 皮德逊(Peterson)采泥器。在长江横断面左右两岸分别采集 4 个不同深度的样点,采集的底质经 420 μm 铜筛筛洗后,置于白色解剖盘中分拣动物标



图 1 长江中游采集断面分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling sites of the middle reach of the Yangtze River

本。分拣出的底栖动物样本用福尔马林溶液固定，带回实验室进行镜检分类、计数和称重。

1.4 数据处理与分析

底栖动物鉴定方法参照文献[19–25]，寡毛类和软体动物一般鉴定到种，水生昆虫一般鉴定到属或科。

依据摄食对象和方法，参照文献[26–28]，将采集的大型底栖动物分为 5 种不同的功能摄食类群 (functional feeding groups, FFG)，分别为牧食收集者、滤食收集者、刮食收集者、捕食收集者及撕食收集者。对少数未能在文献中查阅到的物种，则通过分析其口器构造来确定^[29]。对每种生物的摄食类型赋值，若只有一种摄食类型赋值为 1；若有多种摄食类型，则将 1 均分为相应份数，将属于每种摄食类型的数值相加，得到该种摄食类型所占的比例，依次求取相应摄食类型生物的现存量。底栖动物的耐污值从文献[30–32]获得。

环境参数总氮、总磷以及粒径数据均由实测数据给出。

2 结果与分析

2.1 采样点理化性质

表 1 给出春、秋季采样点的理化特征。春秋两季水温差异明显；春季采样点水深范围为 0.20~8 m，秋季为 0.13~14.93 m；春、秋季的 pH 和粒径差别不大，电导率略有差别；溶解氧、总氮、总磷和透明度各个断面春、秋季差别较大。

2.2 物种组成与现存量

春季共采集并鉴定出大型底栖动物 34 种，其中环节动物 8 种，占 23%；软体动物 5 种，占 15%；节肢动物 19 种，数量最多，占 56%。秋季共鉴定出底栖动物 32 种，其中环节动物 10 种，占 31%；软体动物 10 种，占 10%；节肢动物 11 种，数量最多，占 35%。与其他断面相比，沙市断面在两季中物种数均最大。

由图 2 可知，底栖动物组成和丰度存在季节性差异，每个断面的物种组成差异明显。与春季相比，秋季 5 个断面的软体动物数量增加，螺山断面环节

表 1 采样点理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of selected samples

季节	断面	天气	水温/℃	水深/m							
				样点 1	样点 2	样点 3	样点 4	样点 5	样点 6	样点 7	样点 8
春季	宜昌	晴	11.80	0.20	2.00	4.50	6.00	8.00	5.00	2.00	—
	沙市	晴	11.00	0.30	1.80	3.00	4.00	5.00	2.50	1.80	0.50
	螺山	阴	10.90	0.50	1.68	2.60	0.40	1.50	3.20	1.30	—
	武汉	晴	10.80	1.00	3.00	1.10	1.50	1.00	5.00	5.00	—
秋季	宜昌	晴	19.60	1.50	2.00	3.30	1.80	0.22	0.20	0.20	0.30
	沙市	晴	20.20	5.50	5.80	5.50	3.00	3.50	3.80	5.50	1.60
	城陵矶	阴	18.80	0.14	0.13	0.70	1.80	12.00	14.93	8.00	2.40
	螺山	阴	18.40	0.50	2.80	8.70	0.50	1.80	2.10	3.90	3.56
	武汉	晴	17.70	1.30	2.00	2.00	3.50	0.20	0.15	0.13	0.15
季节	断面	pH	电导率/(μs·cm ⁻¹)	溶解氧/(mg·L ⁻¹)	总氮/(mg·L ⁻¹)	总磷/(mg·L ⁻¹)	粒径/cm	透明度/mm			
春季	宜昌	7.75	402.00	9.50	1.84	0.20	2.93	120.00			
	沙市	8.30	388.10	10.00	1.96	0.27	0.25	150.00			
	螺山	7.93	290.00	10.06	0.36	0.16	0.22	60.00			
	武汉	7.97	262.11	10.41	0.19	0.15	0.21	28.00			
秋季	宜昌	7.98	360.00	7.54	1.67	0.09	3.11	116.00			
	沙市	8.10	311.00	7.22	2.02	0.10	0.25	85.00			
	城陵矶	7.60	301.00	7.55	1.71	0.09	0.22	50.00			
	螺山	7.73	290.00	7.52	1.81	0.10	0.21	42.00			
	武汉	7.76	275.01	7.56	0.03	0.10	0.20	23.00			

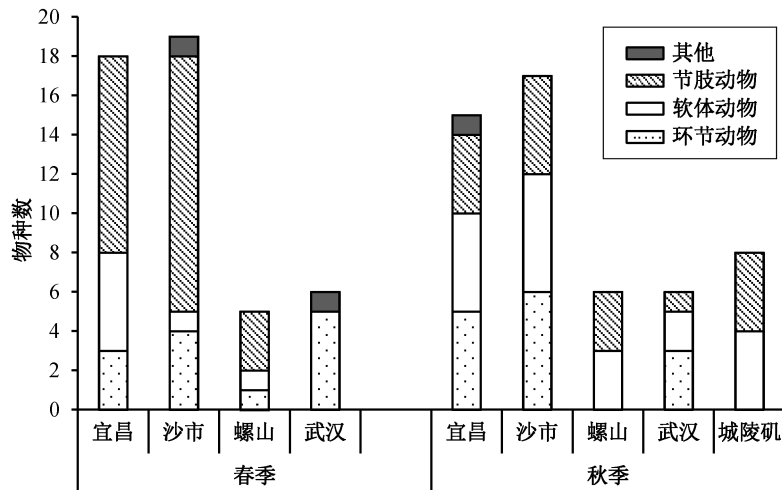


图 2 底栖动物组成季节分布
Fig. 2 Seasonal distribution of macroinvertebrate community

动物消失, 武汉断面出现软体动物和节肢动物。宜昌和沙市断面的节肢动物数量明显下降, 环节动物数量增加。春季节肢动物和其他种类的丰度均大于秋季, 而环节动物和软体动物的丰度均小于秋季。节肢动物在春秋季均具优势, 分别占 56% 和 35%。两季中霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、淡水壳菜(*Limnoperna lacustris*)、多足摇蚊(*Polypedilum* sp.1)及直突摇蚊(*Orthocladius* sp.)在全部样点中的出现频率均在 20% 以上, 故为长江流域中游宜昌至武汉段的优势种。

春季该江段底栖动物密度平均为 367.05 ind./m² (每平方米个体的数量), 波动范围为 0~3104 ind./m², 以节肢动物占绝对优势, 平均密度为 239.72 ind./m²; 其次为环节动物, 平均 112.76 ind./m²; 软体动物平均密度为 32.62 ind./m², 其他动物的平均密度为 3.31 ind./m²。秋季该江段底栖动物平均密度为 160.83 ind./m², 波动范围为 0~4208 ind./m², 以节肢动物占优势, 平均密度为 132.5 ind./m²; 其次为环节动物, 平均 26.73 ind./m²; 软体动物平均密度为 1.2 ind./m², 其他动物的平均密度为 0.4 ind./m²。春秋两季沙市断面平均密度最大, 可能与沙洲处的泥质底质以及岸边沙质底质形成不同的生境相关。

春季该江段的平均生物量为 2.8 g/m², 波动范围为 0~6.52 g/m², 以软体动物占绝对优势, 达到 2.14 g/m², 环节动物和节肢动物生物量分别为 0.01 和 0.61 g/m²。从变化趋势可以看出, 中游自上而下生物量依次降低, 宜昌断面采集到软体动物, 故其生物量最高。秋季中游的平均生物量为 0.11 g/m²,

波动范围为 0~1.5 g/m², 以节肢动物占绝对优势, 达到 0.08 g/m², 环节动物和软体生物量分别为 0.02 和 0.01 g/m²。沙市断面的生物量最大, 达到 0.22 g/m², 与存在生物量较大的软体动物有关。

2.3 功能摄食类群特征

长江中游宜昌至武汉河段底栖动物功能摄食类群分析结果(图 3)表明, 春季优势功能摄食类群为牧食者, 其个体数占总数的 40.25%; 其次是捕食者、滤食者和刮食者, 个体数分别占总数的 24.5%, 11.5% 和 16%; 撕食者占比最小(7.75%)。秋季优势功能摄食类群也为牧食者, 个体数占总数的 59.3%; 其次是刮食者和滤食者, 个体数分别占总数的 18.28% 和 11.38%; 捕食者和撕食者个体数分别占总数的 7.24% 和 3.79%。

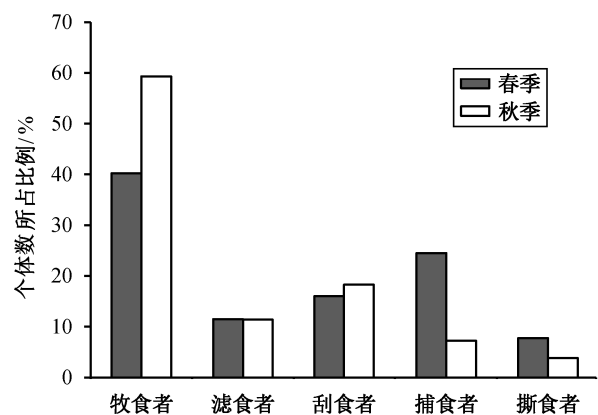


图 3 春秋两季 5 种功能摄食类群生物比例分布
Fig. 3 Functional feeding groups of the macroinvertebrate community in two seasons

2.4 生物耐污能力分析

耐污值是运用水生生物检测评价水质方法中的关键数据,范围为0~10,一般将不大于3的物种称为敏感类群;3~7的为中等耐污种群,大于等于7的为耐污种群。对采集到的物种进行耐污值赋值,统计每个断面生物所属耐污范围的物种数,结果如表2所示。由表2可知,春季宜昌、沙市和螺山断面以中等敏感类群为主,武汉断面以耐污类群为主;秋季宜昌和武汉以耐污类群为主,沙市、螺山和城陵矶以中等敏感类群为主。武汉断面两个季节均以耐污类群占优势;宜昌和沙市断面春季出现敏感类群,而秋季5个断面均没有出现清洁物种。

表2 春秋季生物耐污能力划分表
Table 2 Statistical table of tolerance value in two seasons

季节	断面	种群数		
		敏感类群 (耐污值≤3)	中等敏感类群 (耐污值为3~7)	耐污类群 (耐污值≥7)
春季	宜昌	2	12	3
	沙市	1	13	4
	螺山	0	4	1
	武汉	0	1	5
秋季	宜昌	0	3	4
	沙市	0	7	5
	螺山	0	3	0
	城陵矶	0	4	0
	武汉	0	1	3

2.5 功能摄食类群影响因素分析

通过1.4节方法,用采集到的数据计算长江中游宜昌至武汉段对应于5个功能类群生物的密度、生物量及pH值、电导率、溶解氧、总氮、总磷、河床粒径和透明度。最后计算5个功能类群生物的现存量与环境因素的相关系数(表3和4)。

由表3可知,春秋两季功能摄食类群生物密度与环境因子的相关性差异较大。春季五大功能类群生物密度与总磷具有较强的相关性,除刮食者外,其他4类功能类群生物密度与总磷均显著相关($p<0.01$),刮食者密度与电导率、总氮和透明度呈显著相关($p<0.01$)。秋季5种功能摄食类群生物密度与溶解氧有较好的相关性($p<0.01$),与其他环境因子之间的相关性较弱。

由表4可知,春季5种功能摄食类群生物量与河床粒径有显著相关性($p<0.05$),与pH、电导率、溶解氧、总氮、总磷和透明度相关性较弱;秋季牧食者生物量与透明度显著相关($p<0.05$),滤食者、捕食者和撕食者生物量与溶解氧有显著相关性($p<0.05$),刮食者与pH显著相关($p<0.05$)。

2.6 三大门类生物类群影响因素分析

将采集到的底栖动物分为环节动物、软体动物和节肢动物三大门类,分别计算其生物密度和生物量及其与环境因素之间的相关系数(如表5和6所示)。

由表5可知,当生物被分成三大门类时,在春季,只有总密度和节肢动物密度与总磷显著相关

表3 摄食功能类群密度与环境因素的相关系数
Table 3 Correlation coefficient of the density of functional feeding groups with environmental factors

季节	类别	pH	电导率	溶解氧	总氮	总磷	粒径	透明度
春季	牧食者	0.834	0.623	-0.122	0.732	0.965*	-0.169	0.812
	滤食者	0.786	0.687	-0.227	0.778	0.983*	-0.107	0.870
	刮食者	0.364	0.957*	-0.650	0.991**	0.933	0.426	0.981*
	捕食者	0.785	0.690	-0.211	0.787	0.985*	-0.089	0.862
	撕食者	0.794	0.679	-0.212	0.772	0.982*	-0.116	0.863
秋季	牧食者	0.767	0.078	-0.995**	0.389	0.432	-0.210	0.344
	滤食者	0.662	-0.036	-0.971**	0.493	0.556	-0.329	0.232
	刮食者	0.729	0.033	-0.998**	0.439	0.479	-0.264	0.303
	捕食者	0.726	0.041	-0.999**	0.423	0.445	-0.260	0.310
	撕食者	0.683	-0.016	-0.985**	0.478	0.528	-0.313	0.254

注: *表示在0.05水平(双侧)上显著相关, **表示在0.01水平(双侧)上显著相关,下同。

表 4 摄食功能类群生物量与环境因素的相关系数

Table 4 Correlation coefficient of the biomass of functional feeding groups with environmental factors

季节	类别	pH	电导率	溶解氧	总氮	总磷	粒径	透明度
春季	牧食者	-0.488	0.808	-0.93	0.728	0.312	0.970*	0.587
	滤食者	-0.520	0.788	-0.931	0.703	0.278	0.978*	0.560
	刮食者	-0.636	0.690	-0.898	0.593	0.135	0.998**	0.433
	捕食者	-0.526	0.781	-0.925	0.697	0.269	0.980*	0.550
	撕食者	-0.505	0.798	-0.932	0.715	0.294	0.975*	0.573
秋季	牧食者	0.850	0.833	-0.331	0.172	-0.252	0.804	0.880*
	滤食者	0.720	0.029	-0.999**	0.435	0.463	-0.271	0.300
	刮食者	0.972**	0.565	-0.808	0.376	0.086	0.361	0.755
	捕食者	0.734	0.061	-0.995**	0.400	0.408	-0.240	0.327
	撕食者	0.728	0.057	-0.995**	0.407	0.408	-0.246	0.323

表 5 三大门类生物密度与环境因素的相关系数

Table 5 Correlation coefficient of the density of the three major categories with environmental factors

季节	类别	pH	电导率	溶解氧	总氮	总磷	粒径	透明度
春季	总密度	0.758	0.720	-0.251	0.812	0.991**	-0.048	0.882
	环节动物	0.949	0.403	0.125	0.531	0.869	-0.418	0.645
	软体动物	-0.718	0.624	-0.923	0.502	0.036	0.979*	0.371
	节肢动物	0.738	0.741	-0.279	0.830	0.995**	-0.017	0.895
秋季	总密度	0.739	0.043	-0.999**	0.426	0.468	-0.251	0.313
	环节动物	0.833	0.136	-0.954*	0.249	0.400	-0.103	0.389
	软体动物	0.736	0.062	-0.995**	0.398	0.408	-0.237	0.329
	节肢动物	0.716	0.024	-0.997**	0.450	0.478	-0.276	0.295

表 6 三大门类生物量与环境因素的相关系数

Table 6 Correlation coefficient of the biomass of the three major categories with environmental factors

季节	类别	pH	电导率	溶解氧	总氮	总磷	粒径	透明度
春季	总生物量	-0.551	0.763	-0.921	0.675	0.240	0.986*	0.526
	环节动物	0.935	0.439	0.085	0.565	0.888	-0.382	0.676
	软体动物	-0.649	0.680	-0.898	0.580	0.120	0.999**	0.422
	节肢动物	0.172	0.985*	-0.759	0.995**	0.840	0.601	0.944
秋季	总生物量	0.978**	0.691	-0.668	0.337	-0.008	0.546	0.837
	环节动物	0.801	0.160	-0.600	-0.269	0.358	0.147	0.322
	软体动物	0.736	0.062	-0.995**	0.398	0.408	-0.237	0.329
	节肢动物	0.930*	0.819	-0.544	0.415	-0.154	0.689	0.923*

($p<0.01$), 软体动物密度与河床粒径显著相关($p<0.05$); 在秋季, 生物总密度和三大门类密度与溶解氧显著相关($p<0.05$), 与其他环境因素不相关。

由表 6 可知, 春季软体动物生物量与河床粒径显著相关($p<0.01$), 总的生物量与粒径显著相关($p<$

0.05); 节肢动物生物量与电导率显著相关($p<0.05$), 与总氮显著相关($p<0.01$)。秋季总生物量与 pH 显著相关($p<0.01$), 软体动物生物量与溶解氧显著相关($p<0.01$), 节肢动物生物量与 pH 和透明度显著相关($p<0.05$)。

3 讨论

春季(4月)和秋季(10月)是长江流域的枯水期和平水期,受洪水期的影响,两个季节的河道参数和水文水质有较大差异,底栖动物的组成和丰度也具有明显差异。就物种组成来看,与春季相比,宜昌和沙市断面节肢动物的种类数明显下降,环节动物种类数增加;4个断面的软体动物种类数增加,螺山断面环节动物消失,武汉断面出现软体动物和节肢动物。从物种丰度上来看,与春季相比,秋季环节动物和软体动物的丰度增大,节肢动物丰度降低。从宜昌至武汉,生物种类数整体上呈减小的趋势。由于受生境的影响较大,生物密度没有明显的规律,沙市断面在春秋两季最高。生物量与是否存在软体动物有很大的关系,基本上呈减小的趋势;春季物种丰度、密度和生物量均大于秋季。

底栖动物的食物来源主要包括微型生物、小型生物以及有机质等,食物的丰度和分布对功能摄食类群的分布有较大影响,而食物丰度和分布受水深、流速等因素的影响,其中流速是主要的影响因素^[33]。牧食者多以有机碎屑为食,因此适于在易沉积有机碎屑的缓流区和低速流区生存^[34],而在深水区,生物多以有机颗粒为主,因此也以牧食者为主。撕食者以沿岸带或河底植被为主^[35],流速过大会降低撕食者的捕食能力。滤食者以细有机颗粒物为食,多适于流速小的湖泊内,大部分捕食者也适合流速较小的区域。长江中游宜昌至武汉段以牧食者为主,一是因流速较大,底质多以泥沙或淤泥为主。可为牧食者提供丰富的食物来源;二是水深较大,春季采样深度范围为0.20~8 m,秋季为0.3~14.93 m,因此底泥以有机颗粒为主;三是颤蚓科和毛翅目幼虫大多数为牧食收集者,其所属的环节动物和节肢动物在春季(79%)和秋季(66%)占绝大部分。

长江中游地处中国“中三角”区域,经济总量位居全国第四,并且是贯通中国中西部航运及船舶旅游的重要通道,经济社会的发展在一定程度上引起长江水质的下降。长江中游宜昌至武汉段以中等敏感类群和耐污类群为主,尤其是武汉,春、秋季均以耐污类群为主。

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。底栖动物对环境十分敏感,动荡的环境必将引起其密度和生物量的变化。本文从多个方面探讨了底栖动物现存量

与河流环境因素的关系,分析了五大功能摄食类群和三大门类现存量各自受环境因素的影响程度。

河床底质是底栖动物成长、繁殖的载体,是影响底栖动物最重要的因素。段学花等^[36]指出,底栖动物的多样性随粒径增大呈先减小、后增大、再减少的趋势,即从淤泥河床变为沙质河床时,底栖动物多样性从较高骤减为零。王皓冉等^[37]等指出,与淤泥、细沙河床相比,以砾石为主的河床稳定性更好,其适中的颗粒间隙也更适宜物种栖息。本次调查结果显示,春季五大摄食功能类群的生物量与河床底质粒径显著相关($p<0.05$),软体动物的密度和生物量也与粒径显著相关($p<0.05$)。

N和P可促使水体的富营养化,影响底栖动物的生存,大量的研究已证明N和P是影响底栖动物生存的重要环境因子。汪星等^[38]的研究表明,指突隐摇蚊与TP和TN正相关,扁蛭与TP及TN呈现较强的正相关关系。沈洪艳等^[39]指出,总氮、硝态氮、亚硝态氮与牧食者相关性较大,总氮、亚硝态氮与捕食者、刮食者和撕食者相关性较大。李中宇等^[40]指出,在8项水质理化指标中,只有氨氮、总磷与生物评价指数之间存在显著的相关性($r\geq 0.70$, $p<0.01$)。李艳利等^[41]指出,总氮和氨氮是影响浑太河流域底栖动物群落结构的主要环境因子。本研究表明,五大摄食类群生物的密度与总磷显著相关($p<0.05$),刮食者密度与总氮显著相关($p<0.01$),节肢动物密度也与总磷显著相关($p<0.01$),生物量与总氮显著相关($p<0.01$),与上述研究结果相似。刮食者多以附石藻类等附着植物、附石物质和沉水物体为食,故电导率、总氮以及透明度对其影响较大。

溶解氧可维持底栖动物的生长,对底栖动物影响较大,常成为限制因子。王皓冉等^[37]指出,溶解氧是牡丹江中游影响底栖动物分布的关键栖息地环境因子。陈小华等^[42]的研究表明,寡毛纲物种的栖息密度与溶解氧质量浓度显著负相关。本次研究结果表明,溶解氧是影响底栖动物的一个重要环境因子,与五大功能摄食类群生物的现存量、三大门类生物的密度显著相关($p<0.01$)。

pH反应水体的酸碱度,水体酸化会严重影响甲壳类、贝类和水生昆虫的现存量,当 $pH<5$ 时,底栖动物的生物量明显减少。汪星等^[38]的研究表明,pH是影响洞庭湖典型断面底栖动物种类分布格局的主要因素。本文研究结果也表明,pH对秋季生

物的影响较为明显。

通过分析长江中游宜昌至武汉段春秋季节底栖动物与环境因子的相关性,可以发现,总磷、粒径和总氮对春季生物的影响较大,而 pH、溶解氧和透明度与秋季底栖动物的现存量显著相关。

4 结论

1) 2014 年春季共采集到底栖动物 34 种,秋季采集到 32 种,节肢动物在春秋两季都占优势,分别为 56% 和 35%。底栖动物的物种组成和丰度存在季节性差异,宜昌和沙市断面的节肢动物数量明显下降,环节动物数量增加。4 个断面的软体动物数量增加,螺山断面环节动物消失。春季节肢动物和其他类丰度均大于秋季,而环节动物和软体动物丰度均小于秋季,但春季物种丰度大于秋季,与春季采样时处于枯水期相关。春秋两季生物量呈现自上而下降低的趋势,沙市断面的物种丰度和密度最高。

2) 春季和秋季均以牧食者为主。清洁物种只在春季的宜昌和沙市断面出现,且其数量远小于中等耐污和耐污类群。武汉在两个季节均以耐污类群为主,秋季宜昌断面也以耐污类群为主,其他断面在两季均以中等耐污类群为主。因此,长江中游以中等敏感类群和耐污类群为主,可判断其水质处于中等清洁状态。

3) 春季五大功能摄食类群生物密度与总磷显著相关($p < 0.05$),生物量与河床粒径显著相关($p < 0.05$)。秋季五大功能摄食类群生物的现存量与溶解氧显著相关($p < 0.05$)。

4) 当生物被分成环节动物、软体动物和节肢动物三大门类时,春季总密度和节肢动物密度与总磷显著相关($p < 0.01$),软体动物现存量和总生物量与粒径显著相关($p < 0.05$),节肢动物生物量与电导率、总氮显著相关($p < 0.05$)。秋季生物密度与溶解氧显著相关($p < 0.05$),总生物量、节肢动物生物量与 pH 显著相关($p < 0.05$),软体动物生物量与溶解氧显著相关($p < 0.05$)。综合分析表明,春秋两季生物受环境因子的影响差异较大,春季生物主要受总磷、总氮和粒径的影响,秋季生物主要受 pH、溶解氧和透明度的影响。

参考文献

[1] 段学花,王兆印,徐梦珍.底栖动物与河流生态评

价.北京:清华大学出版社,2010:47-91

- [2] 单云芝,潘文斌,蔡如钰.底栖动物在水质评价中应用的中文文献统计和分析研究.环境科学与管理,2015,40(3):183-186
- [3] 吴东浩,王备新,张咏,等.底栖动物生物指数水质评价进展及在中国的应用前景.南京农业大学学报,2011,34(2):129-134
- [4] 刘玉,Vermaat J E, Ruyter E D. ISO-BMWP 底栖动物监测法在中国河流有机污染评价中的修正及应用.中山大学学报(自然科学版),2004,43(4):102-105
- [5] 潘保柱,王兆印,余国安.长江源和黄河源的大型底栖动物群落特征研究.长江流域资源与环境,2012,21(3):369-373
- [6] 李娣,牛志春,王霞,等.长江江苏段底栖动物群落结构与多样性分析.应用与环境生物学报,2015,21(1):96-99
- [7] 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.生态学杂志,2009,28(7):1345-1348
- [8] 李斌,申恒伦,张敏,等.香溪河流域梯级水库大型底栖动物群落变化及其与环境的关系.生态学报,2013,32(8):2070-2076
- [9] 池仕运,胡菊香,陈胜,等.三峡库区支流底栖动物群落结构研究.水生态学杂志,2011,32(4):24-30
- [10] 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.湖泊科学,2010,22(2):281-290
- [11] 宋明江,邓华堂,朱峰跃,等.三峡水库 175 m 蓄水后大宁河底栖动物群落结构季节动态.水生生物学报,2015,39(5):1046-1048
- [12] 谢志才,张君倩,陈静,等.东洞庭湖保护区大型底栖动物空间分布格局及水质评价.湖泊科学,2007,19(3):289-298
- [13] 蔡永久,姜加虎,张路,等.长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素.生态学报,2013,33(16):4985-4997
- [14] 段学花,王兆印,余国安,等.以底栖动物为指示物种对长江流域水生生态进行评价.长江流域资源与环境,2009,18(3):241-247
- [15] 潘保柱,王海军,梁小民,等.长江故道底栖动物群落特征及资源衰退原因分析.湖泊科学,2008,20(6):806-813
- [16] 刘绍平,陈大庆,黄木桂,等.老江河底栖动物变化动态及渔业利用.湖北农学院学报,1996,19(1):31-34

- [17] 李学军, 李思发, 杨和荃, 等. 长江天鹅洲故道和老河故道水生生物多样性的比较研究. 生物多样性, 1996, 4(4): 211–216
- [18] 张建清, 王艳慧. 长江中游城市群基本公共服务均等化现状评价与对策研究. 当代经济管理, 2016, 38(1): 69–74
- [19] Brinkhurst R O, Jamieson B G M. Aquatic Oligochaeta of the world. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1971
- [20] Sperber C. A taxonomic study of the Naididae. Zoologiska bidrag fram Uppsala, 1948, 28: 270–296
- [21] 王洪铸. 中国小蚓类研究——附中国南极长城站附近地区两新种. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [22] Morse J C, Yang L F, Tian L X. Aquatic insects of China useful monitoring water quality. Nanjing: Hohai University Press, 1994
- [23] Epler J H. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. Febs Letters, 2001, 81(2): 427–430
- [24] 刘月英, 张文珍, 王耀先. 中国经济动物志(淡水软体动物). 北京: 科学出版社, 1979
- [25] 刘月英, 张文珍, 王耀先. 医学贝类学. 北京: 科学出版社, 1993
- [26] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2nd ed. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999
- [27] 刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999: 241–259
- [28] Merritt R W, Cummins K W. An introduction to the aquatic insects of North American. 4th ed. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company Press, 2008
- [29] Hilsenhoff W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society, 1988, 7 (1): 65–68
- [30] Plafkin J L, Barbour M T, Porter K D, et al. Rapid Bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water, 1989
- [31] Bode R W, Novak M A, Abele L E. Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. Albany: NYS Department of Environmental Conservation. 1996: 89
- [32] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值. 生态学报, 2004, 24(12): 2768–2775
- [33] Biggs B J F, Nikora V I, Snelder T H. Linking scales of flow variability to lotic ecosystem structure and function. River Research and Applications, 2005, 21: 283–298
- [34] Merigoux S, Doledec S. Hydraulic requirements of stream communities: a case study on invertebrates. Freshwater Biology, 2004, 49(5): 600–613
- [35] Haapala A, Muotka T, Laasonen P. Distribution of benthic macroinvertebrates and leaf litter in relation to stream bed retentivity implications for head water stream restoration. Boreal Environmental Research, 2003, 8(1): 19–30
- [36] 段学花, 王兆印, 程东升, 等. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性. 生态学报, 2007, 27(4): 1664–1672
- [37] 王皓冉, 陈永灿, 刘昭伟, 等. 牡丹江中游底栖动物分布及其与栖境因子的关系. 中国环境科学, 2015, 35(4): 1197–1204
- [38] 汪星, 郑丙辉, 刘录三, 等. 洞庭湖典型断面底栖动物组成及其与环境因子的相关分析. 中国环境科学, 2012, 32(12): 2237–2244
- [39] 沈洪艳, 曹志会, 刘军伟, 等. 太子河流域大型底栖动物功能摄食类群与环境要素的关系. 中国环境科学, 2015, 35(2): 579–590
- [40] 李中宇, 胡显安, 刘录三. 松花江下游底栖动物组成及其环境指示作用. 中国环境监测, 2014, 30(1): 86–92
- [41] 李艳利, 李艳粉, 徐宗学. 影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析. 环境科学, 2015, 36(1): 94–106
- [42] 陈小华, 高伟, 刘文亮, 等. 平原河网地区大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1310–1316