



长江干流浮游动物群落结构及时空分布格局

吴湘香¹, 王银平², 张燕¹, 吴凡¹, 魏念¹, 杨海乐¹, 沈丽¹,
朱挺兵¹, 茹辉军¹, 刘凯², 段辛斌¹, 倪朝辉¹, 李云峰^{1*}

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北武汉 430223;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081)

摘要: 浮游动物是河流食物网的重要组成部分, 在河流生态系统的能量流动和物质循环中具有重要作用, 然而截至目前, 尚缺乏对长江干流宏观尺度浮游动物的全面调查。本研究于2018—2019年, 在长江干流约5 000 km江段设置51个调查站位, 并于每年鱼类繁殖期(3—6月)、育肥期(8—10月)和越冬期(11—1月)各开展1次调查, 系统调查分析了长江干流浮游动物群落结构特征及时空分布格局。结果显示, ①种类: 长江干流浮游动物共187种, 其中原生动物56种、轮虫59种、枝角类34种、桡足类38种; 三峡库区是浮游动物种类数最丰富的水域(87种), 其余分别为金沙江(59种)、长江上游(68种)、长江中游(54种)、长江下游(56种)。鱼类繁殖期是浮游动物种类最丰富的季节, 分别为金沙江(45种)、长江上游(56种)、三峡库区(47种)、长江中游(41种)、长江下游(32种)。②密度: 长江干流浮游动物密度范围为1.12~644.40个/L, 中游、下游密度显著高于上游; 密度高值一般出现在繁殖期, 低值一般出现在鱼类育肥期。③生物量: 长江干流浮游动物生物量范围为 $231.78 \times 10^{-5} \sim 45638.57 \times 10^{-5}$ mg/L, 中游、下游和金沙江明显高于长江上游和三峡库区。④优势种: 主要包括原生动物恩茨筒壳虫、淡水麻铃虫、普通表壳虫, 轮虫类萼花臂尾轮虫、针簇多肢轮虫, 桡足类广布中剑水蚤、特异荡镖水蚤, 无节幼体等。研究表明, 长江干流浮游动物群落结构和时空分布呈现典型河流特征, 种类和数量较贫乏, 群落以轮虫和原生动物等小型个体为主, 河流中、下游丰度高于上游, 呈现明显的季节动态规律。研究成果可为长江水生生态管理提供重要基础数据。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 时空格局; 长江干流; 金沙江; 三峡库区

中图分类号: S 931

文献标志码: A

浮游动物作为河流食物网的重要组成部分, 在结构和功能上具有重要的调控作用, 在河流生态系统的能量流动和物质循环中发挥着重要作用^[1]。浮游动物作为浮游植物的消费者, 影响着浮游植物的种类、数量和群落结构; 其次, 浮游动物作为鱼类等高级消费者的饵料, 种类和丰度变化直

接影响鱼类的资源量^[2]; 浮游动物的种类和丰度随环境因子改变呈动态变化, 间接反映水环境要素的改变^[3], 浮游动物群落结构特征被广泛用于水质评价和生物多样性评估^[4-7]。河流水体一般流速较快, 水体滞留时间短, 水力物理破坏导致河流浮游动物种类和数量较少^[8-9], 另外, 河流食物

收稿日期: 2022-09-19 修回日期: 2023-01-09

资助项目: 农业农村部财政专项“长江渔业资源与环境调查(2017—2021)”

第一作者: 吴湘香(照片), 从事水生生物多样性保护与利用研究, E-mail: wuxiangxiang2007@163.com

通信作者: 李云峰, 从事渔业生态环境监测与研究, E-mail: lyf086@yfi.ac.cn



丰度低也限制了浮游动物生存和增殖^[2, 10-12], 所以相对湖泊和池塘, 河流浮游动物关注度不高, 尤其缺乏对大型河流浮游动物群落结构特征全面系统的研究。

长江流域地形复杂, 干流全长 6 300 余 km, 附属湖泊众多, 是世界上水生生物多样性最丰富的河流之一^[13]。然而, 随着经济社会的不断发展, 长江流域开发与生物多样性保护的矛盾日益突出, 已成为亟待解决的关键问题。当前, 在各种人类活动的影响下, 长江流域水生生物多样性保护面临巨大压力。水生生物群落是长江水生态系统的重要组成部分, 而浮游动物则又是长江水生生物群落的重要类群之一, 在长江水生态系统的能量流动和物质循环中发挥至关重要的作用。早在 20 世纪 80 年代, 围绕葛洲坝的建设, 在长江上游和中游部分水域就曾开展过浮游动物的调查研究^[14-15], 近年来在长江干流的部分水域, 因各种目的也陆续开展了一些相关调查^[16-23], 但总体而言, 目前尚缺乏对干流长距离江段范围内浮游动物全面系统的评估。

针对长江水生生物多样性保护及可持续发展等基础问题, 农业农村部于 2017—2021 年组织开展了“长江渔业资源与环境调查”工作, 以摸清长江流域渔业资源与环境“家底”, 为长江经济带发展和生态保护决策提供支撑。本研究以 2018—2019 年长江渔业环境调查获取的浮游动物数据为基础, 系统分析了长江干流浮游动物的群落结构特征和时空格局, 有望为长江水生态保护的科学决策提供重要基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

于 2018—2019 年长江渔业资源与环境调查工作期间, 在长江干流从上游到下游, 根据河流中生境尺度的形态特征、支流汇入以及交通条件等综合因素, 共布设 51 个浮游动物采样点 (图 1), 覆盖干流约 5 000 km 江段。其中金沙江 16 个、长江上游 9 个、三峡库区 12 个、长江中游 7 个、长江下游 7 个。

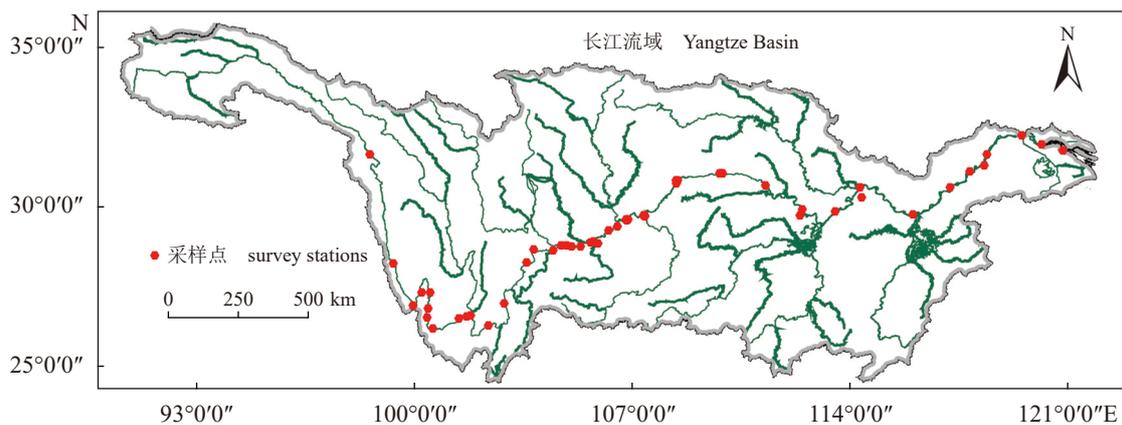


图 1 长江干流浮游动物调查采样点

Fig. 1 Stations for zooplankton survey in the main stream of the Yangtze River

1.2 样品获得与处理

浮游动物样品采集主要集中在 2018—2019 年, 每年采集 3 次, 分别为鱼类繁殖期 (3—6 月)、育肥期 (8—10 月) 和越冬期 (11—1 月)。

浮游动物定性样品采集方法 采用 25#浮游生物网 (网孔直径 0.064 mm) 在水中∞字形拖动数次, 但流速较快的河段则直接将浮游生物网浸入水中, 让水流自行流过, 滤去水后在获得的样品中加入 4% 甲醛溶液固定, 再带回实验室进行分类鉴定。

浮游动物定量样品采集方法 甲壳纲 (Crustacea) 浮游动物样品采用 5 L 有机玻璃采水器, 于水面下 0.5 m 处采集 50 L 水样, 通过 25#浮游生物网过滤浓缩定容至 50 mL, 加 4% 甲醛溶液固定。原生动物、轮虫类及无节幼体 (小型浮游动物) 采用 5 L 有机玻璃采水器分别于水体上、中、下层采水, 然后取其混合水样 1 L, 加鲁哥氏液和 4% 甲醛溶液固定, 再带回实验室进行分类鉴定。

甲壳纲浮游动物定性样品带回实验室后直接镜检; 小型浮游动物样品在实验室静置 48 h 后,

定容至 30 mL 再镜检计数。原生动物定量样品用 0.1 mL 计数框, 在显微镜 10×40 的放大倍数下计数。轮虫、甲壳类定量样品用 1 mL 计数框在 10×10 的放大倍数下计数。样品分类鉴定参照《淡水浮游生物研究方法》^[24] 和《中国淡水生物图谱》^[25] 等资料进行。

1.3 数据分析

数据处理和作图均在 Microsoft Excel 2016 软件中完成。采用优势度计算公式:

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

式中, n_i 为第 i 种浮游动物的个体数; N 为区域内

所有浮游动物的个体数; f_i 为第 i 种浮游动物在区域各采样点的出现频率。

2 结果

2.1 种类组成

经汇总统计, 长江干流共有浮游动物 187 种, 其中原生动物 56 种、轮虫 59 种、枝角类 34 种、桡足类 38 种。从种类数的区域分布来看 (图 2), 相对丰富的是三峡库区 (87 种) 和长江上游 (68 种), 而金沙江 (59 种)、长江中游 (54 种) 和长江下游 (56 种) 的浮游动物种类数则相差不多。

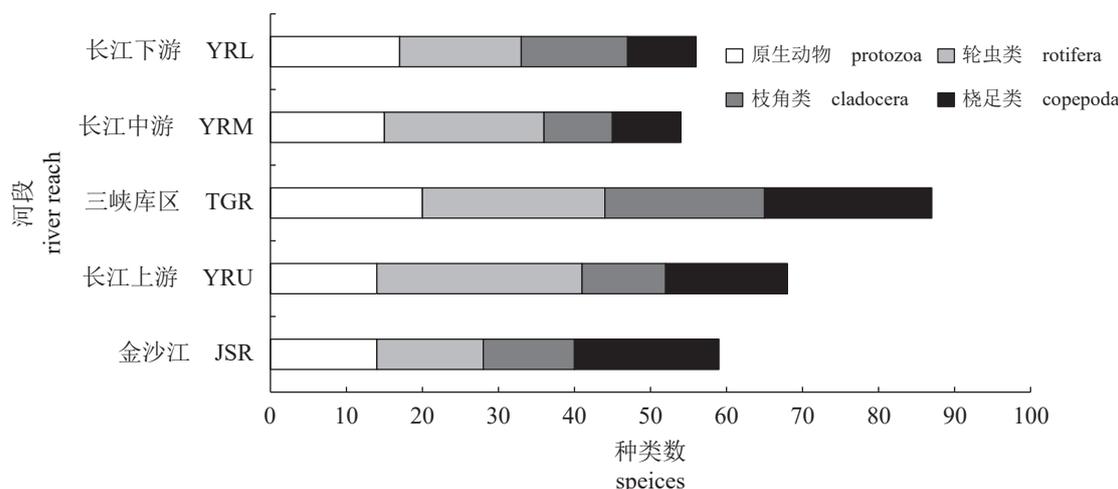


图 2 长江干流浮游动物种类组成水平分布

Fig. 2 Distribution of zooplankton composition in the main stream of the Yangtze River

JSR. Jinsha River, YRU. the upper reaches of Yangtze River, TGR. Three Gorge Reservoir, YRM. the middle reaches of Yangtze River, YRL. the lower reaches of Yangtze River, the same below

从种类组成来看, 轮虫类在长江干流各段占比相对较高, 枝角类占比均较低, 原生动物和桡足类处于中间位置。具体而言, 金沙江浮游动物占比最高的为桡足类 (32.20%), 原生动物、轮虫类、枝角类占比均在 20% 以上, 枝角类最低 (20.34%)。长江上游浮游动物占比最高的为轮虫类 (39.71%), 其次为桡足类 (23.53%), 枝角类最低 (16.18%)。三峡库区浮游动物占比最高的为轮虫类 (27.59%), 原生动物、桡足类、枝角类占比均在 20% 以上。长江中游浮游动物占比最高的为轮虫类 (38.89%), 占比最低的为枝角类 (16.67%) 和桡足类 (16.67%)。长江下游浮游动物占比最高的为原生动物 (30.36%), 桡足类最低 (16.07%)。

从季节动态规律来看, 整体而言, 干流各河段浮游动物在鱼类繁殖期种类数相对较丰富, 越冬期和育肥期种类数则相对较少 (图 3), 但各江段

又略有差异。具体而言, 金沙江浮游动物种类数最多时出现在鱼类繁殖期 (45 种), 种类数最少时出现在鱼类育肥期 (30 种)。长江上游浮游动物种类数最多时出现在长江上游鱼类繁殖期 (56 种), 最少时出现在长江上游鱼类越冬期 (15 种)。三峡库区最多时出现在鱼类繁殖期 (47 种), 最少时出现在鱼类越冬期 (32 种)。长江中游浮游动物三期各种类数相差较小, 最多时为繁殖期 (41 种), 最少时为育肥期 (38 种)。长江下游浮游动物最多时为繁殖期 (32 种), 最少时为越冬期 (20 种)。

2.2 密度

从水平分布来看, 长江干流中游和下游浮游动物密度显著高于上游水域 (图 4)。其中, 金沙江浮游动物密度范围为 1.12~4.96 个/L, 长江上游为 3.71~60.36 个/L, 三峡库区为 10.56~23.00 个/L,

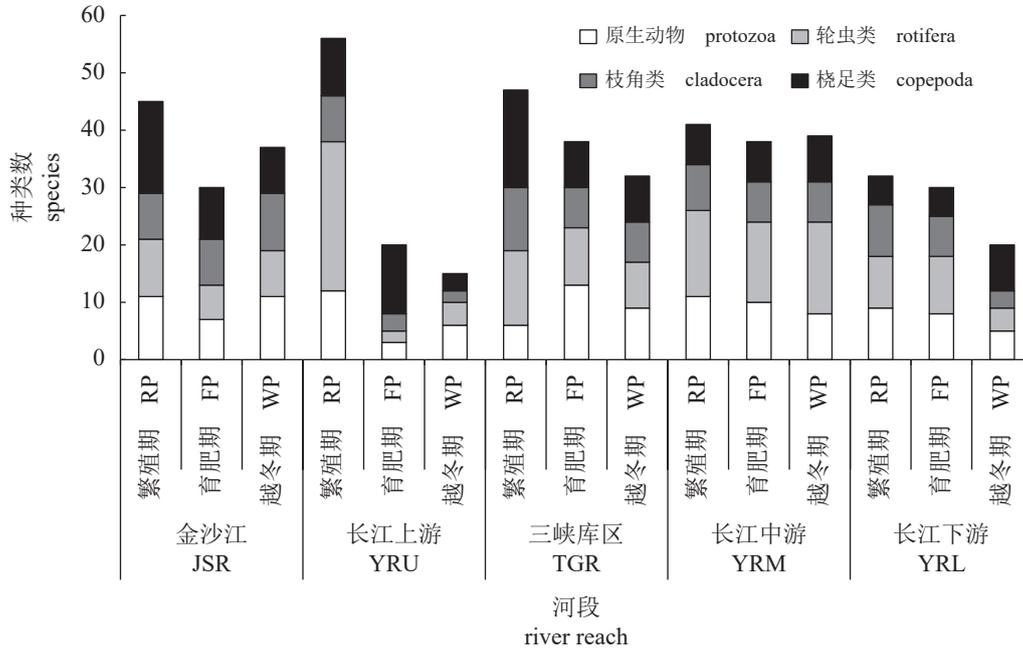


图3 长江干流浮游动物种类数量季节动态

Fig. 3 Seasonal dynamics of zooplankton in the main stream of the Yangtze River

RP. reproductive period, FP. feeding period, WP. wintering period, the same below

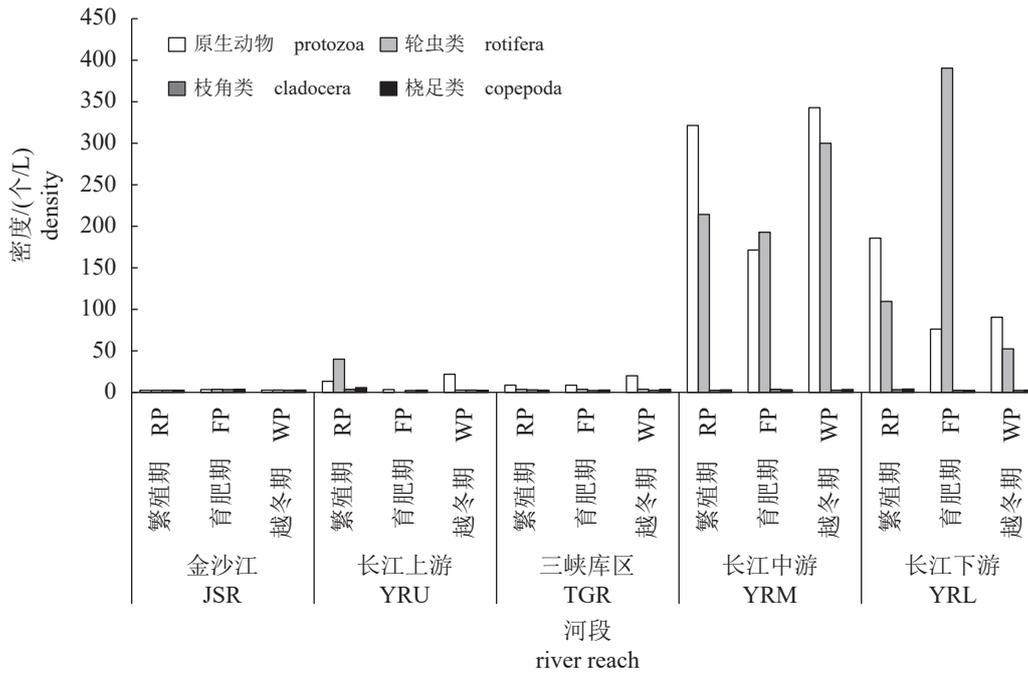


图4 长江干流浮游动物密度

Fig. 4 Density of zooplankton in the main stream of the Yangtze River

长江中游为368.82~644.40个/L, 长江下游为143.39~466.97个/L。

从季节动态来看, 密度最低值多出现在育肥期, 密度最高值出现在繁殖期或越冬期, 各江段表现各异。金沙江浮游动物密度最高值出现在育肥期, 最低值出现在繁殖期。长江上游密度最高

值出现在繁殖期, 最低值出现在育肥期。三峡库区和长江中游浮游动物密度最高值均出现在越冬期, 密度最低值均出现在育肥期。长江下游密度最高值出现在育肥期, 最低值出现在越冬期。

从浮游动物密度构成来看, 各江段情况不一。金沙江各门浮游动物对密度贡献较均衡, 长江上

游轮虫类是密度主要贡献者, 三峡库区原生动动物是密度主要贡献者, 长江中游和长江下游原生动动物和轮虫是密度主要贡献者。

2.3 生物量

从水平分布来看, 长江中游、下游和金沙江浮游动物生物量明显高于长江上游和三峡库区

(图 5)。金沙江浮游动物生物量为 $7\,420.17 \times 10^{-5} \sim 36\,773.29 \times 10^{-5}$ mg/L, 长江上游为 $231.78 \times 10^{-5} \sim 9\,924.44 \times 10^{-5}$ mg/L, 三峡库区为 $437.24 \times 10^{-5} \sim 2\,177.5 \times 10^{-5}$ mg/L, 长江中游为 $28\,143.43 \times 10^{-5} \sim 45\,638.57 \times 10^{-5}$ mg/L, 长江下游为 $7\,170 \times 10^{-5} \sim 47\,740.22 \times 10^{-5}$ mg/L。

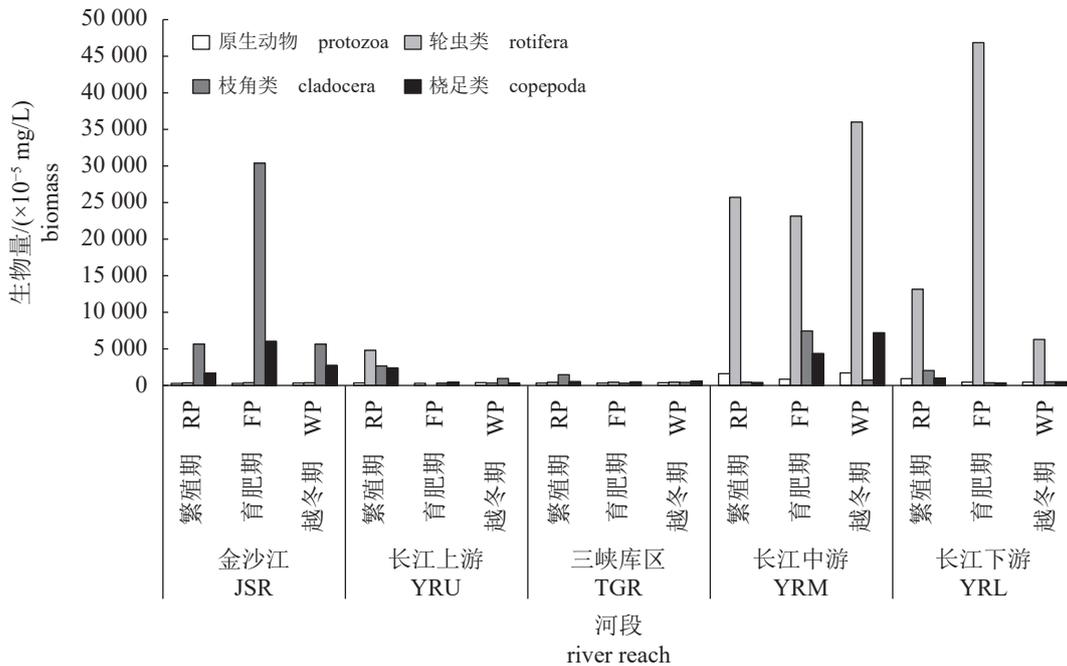


图 5 长江干流浮游动物生物量

Fig. 5 Zooplankton biomass in the main stream of the Yangtze River

从季节动态来看, 各江段表现不同。金沙江最高值出现在鱼类育肥期, 最低值出现在鱼类繁殖期。长江上游和三峡库区的最高值出现在繁殖期, 最低值出现在育肥期。长江中游最高值出现在越冬期, 最低值出现在繁殖期。长江下游最高值出现在育肥期, 最低值出现在越冬期。

从浮游动物生物量的构成来看, 各江段略有差异。金沙江浮游动物生物量的主要贡献者为枝角类和桡足类, 长江上游浮游动物生物量的主要贡献者为轮虫、枝角类和桡足类, 三峡库区枝角类是浮游动物生物量的主要贡献者, 长江中游和长江下游的轮虫类是浮游动物生物量的主要贡献者。

2.4 优势种

以优势度指数 $Y > 0.02$ 为标准, 长江干流各江段优势种类有一定差异 (表 1)。金沙江、长江上游、三峡库区和长江中游的优势种主要为轮虫类

和桡足类, 长江下游则主要以原生动物为主。

3 讨论

3.1 本研究的独特性

本研究针对浮游动物进行调查, 调查持续时间长 (2018—2019 年), 覆盖范围广 (金沙江至长江下游), 是新中国成立以来第 2 次对长江干流浮游动物最系统深入的全江调查。由于调查范围涵盖长江干流约 5 000 km 江段, 地理环境复杂, 尽管项目在实施期间投入大量人力和物力, 但由于项目系多单位合作, 采样时间难以协调一致, 各江段的样品镜检人员也难以做到统一。但从调查时间的连续性和调查范围的全面性上, 本研究调查结果仍能初步解析长江干流浮游动物群落结构特征和时空格局形成及背后机制, 为长江大保护相关决策制订和实施提供科学依据。

表 1 长江干流各江段浮游动物优势种

Tab. 1 Dominant species of zooplankton in the main stream of the Yangtze River		优势度				
种类 species	金沙江 JSR	长江上游 YRU	三峡库区 TGR	长江中游 YRM	长江下游 YRL	
普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i>	—	—	0.02	—	—	
恩茨筒壳虫 <i>Tintinnidium entzii</i>	—	—	—	—	0.23	
淡水麻铃虫 <i>Leprotintinnus fluviatile</i>	—	—	—	—	0.05	
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	—	—	—	—	0.12	
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.04	0.04	—	0.03	—	
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.04	0.02	—	—	—	
特异荡漂水蚤 <i>Neurodiaptomus incongruens</i>	0.06	—	—	—	—	
无节幼体 nauplius	0.05	0.03	0.03	—	—	

注: — 无数值
Notes: —. no value

3.2 与历史调查结果的比较分析

将浮游动物种类数与历史文献(表 2)进行对比, 发现金沙江、长江上游和长江中游与本次调查数据差异不大, 但三峡库区和长江下游则相差较大。分析其主要原因, 由于各单位出于不同调

查目的, 在调查范围、时间、频次、样品采集方法等方面均存在较大差异, 而本研究因为有统一的调查目的, 在调查规范性上做了一致性要求, 所获得的数据更能从空间上反映河流中浮游动物种类数的分布趋势。

表 2 长江干流各江段浮游动物的历史数据对比

Tab. 2 Comparison of species number, density and biomass of zooplankton with previous investigations					
江段 river reach	时间 time	种类数 species	密度或生物量 density or biomass	文献 reference	
金沙江 JSR	下游 downstream	2019年6月	共 61 种, 原生动物 15 种, 轮虫 28 种, 枝角类 7 种, 桡足类 11 种	平均密度 193.65 个/L	[26]
长江上游 YRU	宜宾-江津 Yibin-Jiangjin	2013 年 11 月, 2014 年 1 月、4 月、6 月	共 31 种, 轮虫 20 种, 枝角类 6 种, 原生动物 3 种, 桡足类 2 种	平均密度 7.4 个/L, 平均生物量 0.0159 mg/L	[27]
三峡库区 TGR	万州段 Wanzhou	2017 年 11 月	共 39 种, 原生动物 15 种, 轮虫类 20 种, 枝角类 2 种, 桡足类 2 种	平均密度 8.36 个/L, 平均生物量 0.008 63 mg/L	[20]
长江中游 YRM	宜昌-湖口 Yichang-Hukou	2019 年 7 月、10 月, 2020 年 1 月、5 月	共 74 种, 轮虫 36 种, 原生动物 15 种, 桡足类 14 种, 枝角类 9 种	平均密度 69.61 个/L, 平均生物量 0.61 mg/L	[21]
长江下游 YRL	湖口-上海 Hukou-Shanghai	2016 年 11 月, 2017 年 2 月、5 月、8 月	共 129 种, 轮虫 104 种, 枝角类 19 种, 桡足类 6 种	平均密度 76 个/L	[19]

已有调查研究表明, 长江各江段浮游动物种类组成中, 轮虫都属于占比最高的种类, 而桡足类和枝角类则是占比较低的种类(表 2)。因为河流流速较快, 不利于浮游动物的生存和繁殖, 所以河流浮游动物群落构成中多以轮虫类和小型甲壳类为主^[9-10]。本研究结果显示, 轮虫类在长江干流各江段种类组成中占比相对较高, 其中在长江上游、三峡库区和长江中游, 轮虫类占比都最高, 与已有研究结果一致。

本研究结果显示, 长江干流浮游动物密度和生物量, 总体趋势为长江中、下游江段高于上游, 这与已有调查结果一致。因为河流上游水体一般流速较大, 不利于浮游动物的生存, 另外, 中、

下游江段湖泊水的补给, 使得水体中有机碎屑和浮游藻类丰度增加, 也为浮游动物的繁殖和生长提供了有利条件。

3.3 时空动态及主要影响因素分析

河流浮游动物群落结构在水温、食物丰度等环境因素影响下呈现季节变化^[28], 且在不同水域、不同时间, 浮游动物群落结构的主导因素、影响方式、影响程度存在差异^[1]。

本研究结果显示, 长江干流浮游动物种类在各江段季节动态表现基本一致, 高值出现在繁殖期, 低值出现在越冬期, 表明水温是河流浮游动物种类数的主要影响因素。繁殖期水温上升, 是

许多小型浮游动物的爆发期, 因此这一时期的浮游动物种类数往往较丰富^[29]; 越冬期水温较低, 不利于生物体的生长繁殖, 因此种类数较少。

长江干流浮游动物密度和生物量季节动态在各江段表现各异, 表明在不同江段、不同时间, 浮游动物群落结构的主导因素存在差异。金沙江干流浮游动物密度和生物量最高值出现在育肥期, 最低值出现在繁殖期, 推测水温是主导因素, 因为育肥期水温最高, 密度和生物量也较高; 另外, 金沙江浮游动物桡足类所占比例较高, 导致越冬期密度和生物量高于繁殖期。长江干流上游浮游动物密度和生物量最高值出现在繁殖期, 最低值出现在育肥期, 因为育肥期一般是河流的丰水期, 而上游河流流速一般较大, 不利于浮游动物的繁殖。洛东江和俄亥俄河夏季晚期, 河流浮游动物种类和数量都极低^[11-12]。同时育肥期鱼类捕食压力也增加, 进一步促使密度和生物量下降。三峡库区浮游动物密度和生物量最高值出现在越冬期, 最低值出现在繁殖期, 与一般湖泊水库的季节动态规律不一致^[28], 相关影响因素有待进一步研究。长江干流中游浮游动物密度和生物量最高值出现在越冬期, 密度最低值出现在育肥期, 生物量最低值出现在繁殖期, 推测繁殖期原生动物所占比例较高, 所以生物量不高, 育肥期捕食压力大, 同时夏季河流流量、流速均较大, 促使密度值下降。长江下游干流浮游动物密度和生物量最高值出现在育肥期, 最低值出现在越冬期, 推测水温是其主导因素。

3.4 结论与建议

本研究发现, 长江干流浮游动物共 187 种, 三峡库区是浮游动物种类数最丰富的水域, 鱼类繁殖期是浮游动物种类数最丰富的季节。长江干流浮游动物密度为 1.12~644.40 个/L, 中游、下游显著高于上游水域, 密度最高值一般出现在鱼类繁殖期。长江干流浮游动物生物量为 $231.78 \times 10^{-5} \sim 45\ 638.57 \times 10^{-5}$ mg/L, 长江中游、下游和金沙江浮游动物生物量明显高于长江上游和三峡库区, 各江段浮游动物生物量的季节变化表现各异。长江干流浮游动物优势种主要包括原生动物的恩茨筒壳虫、淡水麻铃虫、普通表壳虫, 轮虫类的萼花臂尾轮虫、针簇多肢轮虫, 桡足类的广布中剑水蚤、特异荡漂水蚤, 桡足类无节幼体。

长江水生态系统的保护和修复是一项长期、

艰巨而复杂的任务, 随着社会经济的不断发展, 长江流域资源与环境所面临的压力将持续增加。长江水生态系统的健康离不开生态系统各要素的完善, 浮游动物是水生态系统食物链中的重要环节, 持续开展浮游动物调查和研究工作, 分析其群落结构特征、变化规律及其驱动因素, 对于有效开展长江大保护具有重要现实意义。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 杨宇峰, 黄祥飞. 浮游动物生态学研究进展[J]. 湖泊科学, 2000, 12(1): 81-89.
Yang Y F, Huang X F. Advances in ecological studies on zooplankton[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2000, 12(1): 81-89 (in Chinese).
- [2] 郑重. 浮游生物学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1964.
Zheng Z. *Phytoplankton essential*[M]. Beijing: Science Press, 1964 (in Chinese).
- [3] 赵坤. 淮河流域浮游动物分布格局及群落形成机制[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
Zhao K. Species diversity of zooplankton in Huaihe River basin: spatial pattern and formation mechanism[D]. Shanghai: East China Normal University, 2018 (in Chinese).
- [4] 白海峰, 王怡睿, 宋进喜, 等. 渭河浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2022, 31(1): 117-130.
Bai H F, Wang Y R, Song J X, *et al.* Characteristics of plankton community structure and its relation to environmental factors in Weihe River, China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 31(1): 117-130 (in Chinese).
- [5] 程成, 申艳萍, 袁伟琳, 等. 滦河干流浮游生物群落结构特征及水质环境评价[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(2): 401-412.
Cheng C, Shen Y P, Yuan W L, *et al.* Plankton community structure and water quality evaluation in the main stream of the Luanhe River[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2022, 28(2): 401-412 (in Chinese).
- [6] 王腾, 刘永, 全秋梅, 等. 广东江门市主要淡水河流浮游动物群落结构特征[J]. 南方水产科学, 2021, 17(4): 9-17.
Wang T, Liu Y, Quan Q M, *et al.* Community structure

- characteristics of zooplankton in main freshwater rivers of Jiangmen City, Guangdong Province[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(4): 9-17 (in Chinese).
- [7] 杜红春. 汉江干流浮游生物群落结构和功能群特征及水质评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- Du H C. Community structure and functional groups of plankton and water quality evaluation in Hanjiang River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese).
- [8] Chang K H, Doi H, Imai H, *et al.* Longitudinal changes in zooplankton distribution below a reservoir outfall with reference to river planktivory[J]. *Limnology*, 2008, 9(2): 125-133.
- [9] Czerniawski R, Domagała J. Similarities in zooplankton community between River Drawa and its two tributaries (Polish part of River Odra)[J]. *Hydrobiologia*, 2010, 638(1): 137-149.
- [10] Akopian M, Garnier J, Pourriot R, *et al.* Zooplankton in an aquatic continuum: from the Marne River and its reservoir to the Seine Estuary[J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2002, 325(7): 807-818.
- [11] Jack J D, Thorp J H. Impacts of fish predation on an Ohio River zooplankton community[J]. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(2): 119-127.
- [12] Kim H W, Joo G J. The longitudinal distribution and community dynamics of zooplankton in a regulated large river: a case study of the Nakdong River (Korea)[J]. *Hydrobiologia*, 2000, 438(1): 171-184.
- [13] 王海英, 姚畋, 王传胜, 等. 长江中游水生生物多样性保护面临的威胁和压力[J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(5): 429-433.
- Wang H Y, Yao T, Wang C S, *et al.* Threat and pressure for the bio-diversity conservation in the area along the middle reaches of Changjiang River with suggestions on the countermeasure[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(5): 429-433 (in Chinese).
- [14] 陈受忠. 葛洲坝截流前后长江浮游动物的研究[J]. *生态学杂志*, 1985(3): 1-4, 26.
- Chen S Z. Study on the ecology of zooplanktons before and after damming up Changjiang River[J]. *Journal of Ecology*, 1985(3): 1-4, 26 (in Chinese).
- [15] 林锡芝, 胡美琴. 葛洲坝截流前长江干流的浮游动物[J]. *淡水渔业*, 1985(1): 22-26.
- Lin X Z, Hu M Q. Zooplankton in the Yangtze River before the closure of Gezhou Dam[J]. *Freshwater Fisheries*, 1985(1): 22-26 (in Chinese).
- [16] 余海英. 长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区浮游植物和浮游动物种类分布和数量研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- Yu H Y. Study on species distribution and quantity of phytoplankton and zooplankton in the Rare and Unique fish National Nature Reserve on Yangtze upriver[D]. Chongqing: Southwest University, 2008 (in Chinese).
- [17] 罗丹, 李星浩, 余育和, 等. 长江中游干流浮游动物空间分布[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(S1): 3-8.
- Luo D, Li X H, Yu Y H, *et al.* Spatial distribution of zooplankton in the main stem of the middle Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(S1): 3-8 (in Chinese).
- [18] 郭杰, 王珂, 段辛斌, 等. 长江荆江段浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(9): 1954-1964.
- Guo J, Wang K, Duan X B, *et al.* Characteristics of plankton community and its relationships with environmental factors in the Jingjiang reach of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(9): 1954-1964 (in Chinese).
- [19] 郭欧阳. 长江下游干流浮游动物群落结构及其与环境因子相关性的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2018.
- Guo O Y. Zooplankton community structure and its relation to environmental factors in the lower reaches of the Yangtze River[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2018 (in Chinese).
- [20] 兰波, 朱迟, 黄玉静, 等. 三峡水库蓄水期长江万州段干支流浮游动物群落特征研究[J]. *四川动物*, 2020, 39(5): 517-530.
- Lan B, Zhu C, Huang Y J, *et al.* Research on zooplankton community in the Mainstream of Yangtze River and its Tributaries of Wanzhou Section during impounding[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2020, 39(5): 517-530 (in Chinese).
- [21] 孙晓梅, 刘绍平, 段辛斌, 等. 长江中游江段浮游生物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *淡水渔业*, 2021, 51(3): 3-12.
- Sun X M, Liu S P, Duan X B, *et al.* Plankton community structure and its relationship with environmental factors in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(3): 3-12 (in Chinese).

- [22] 舒俭民, 宋福, 傅德黔, 等. 长江源区浮游生物调查初报[J]. *中国环境监测*, 1998, 14(5): 7-9.
Shu J M, Song F, Fu D Q, *et al.* Initial report about plankton investigation in the Fountainhead area of Yangtze River[J]. *Environmental Monitoring in China*, 1998, 14(5): 7-9 (in Chinese).
- [23] 韩谔. 长江源区浮游生物沿海拔梯度的群落分布格局及驱动力分析 [D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
Han X. Distribution patterns and driving forces of plankton communities along elevational gradients in the Yangtze River source region[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021 (in Chinese).
- [24] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 53-251.
Zhang Z S, Huang X F. Research methods of freshwater plankton[M]. Beijing: Science Press, 1991: 53-251 (in Chinese).
- [25] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 2-352.
Han M S, Shu Y F. Atlas of freshwater biota in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1995: 2-352 (in Chinese).
- [26] 王宁. 乌东德水电站建设对金沙江下游浮游生物群落特征影响分析 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
Wang N. Analysis of the impact of the construction of Wudongde hydropower station on the characteristics of plankton community in the lower reaches of the Jinsha River[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021 (in Chinese).
- [27] 马芊芊. 以浮游生物完整性指数评价长江上游干流宜宾至江津段河流健康度 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.
Ma Q Q. Assessment of ecosystem health of Upper Yangtze River in Yibin to Jiangjin using plankton-index of biotic integrity[D]. Chongqing: Southwest University, 2015 (in Chinese).
- [28] 林秋奇. 流溪河水库后生浮游动物多样性与群落结构的时空异质性 [D]. 广州: 暨南大学, 2007.
Lin Q Q. Species diversity and spatial and temporal variations of pelagic metazooplankton in Liuxihe reservoir[D]. Guangzhou: Jinan University, 2007 (in Chinese).
- [29] Friedrich G, Pohlmann M. Long-term plankton studies at the lower Rhine/Germany[J]. *Limnologia*, 2009, 39(1): 14-39.

Zooplankton community structure and spatio-temporal dynamics in the main stream of the Yangtze River

WU Xiangxiang¹, WANG Yinping², ZHANG Yan¹, WU Fan¹, WEI Nian¹, YANG Haile¹, SHEN Li¹, ZHU Tingbin¹, RU Huijun¹, LIU Kai², DUAN Xinbin¹, NI Zhaohui¹, LI Yunfeng^{1*}

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: Zooplankton is an important part of the river food web and plays an important role in the energy flow and nutrient cycling of the river ecosystem. However, there is a lack of systematic survey of zooplankton in the main stream of the Yangtze River. During 2018–2019, fifty-one survey stations were set up in about 5 000 km of the main stream of the Yangtze River. And the surveys were carried out during the fish reproductive (March to June), feeding (August to October) and wintering (November to January) seasons every year. And the zooplankton community structure and distribution in the main stream of the Yangtze River were systematically studied. The results showed: ① There were 187 species of zooplankton in the main stream of the Yangtze River, including 56 species of protozoa, 59 species of rotifers, 34 species of cladocerans and 38 species of copepods. The species of zooplankton was most abundant in the Three Gorges Reservoir. And the species of zooplankton in each river reach were as follows: 59 species in Jinsha River, 68 species in the upper reaches of the Yangtze River, 87 species in the Three Gorges Reservoir, 54 species in the middle reaches of the Yangtze River, and 56 species in the lower reaches of the Yangtze River. The species of zooplankton was the most abundant in the fish reproductive season. And the zooplankton species in the breeding season of each river reach were as follows: 45 species in Jinsha River, 56 species in the upper reaches of the Yangtze River, 47 species in the Three Gorges Reservoir, 41 species in the middle reaches of the Yangtze River, and 32 species in the lower reaches of the Yangtze River. ② The density of zooplankton in the main stream of the Yangtze River ranged from 1.12 to 644.40 ind./L. In the middle and lower reaches of the main stream of the Yangtze River, the zooplankton densities were significantly higher than that in the upper reaches. The high value of zooplankton density generally occurred during the fish reproductive season, and the low value generally occurred during the fish feeding season. ③ The zooplankton biomass: in the main stream of the Yangtze River, the zooplankton biomass ranged from 231.78 to $45\,638.57 \times 10^{-5}$ mg/L. And the zooplankton biomass in Jinsha River, the middle and lower reaches of the Yangtze River were significantly higher than that in the upper reaches and the Three Gorges Reservoir. ④ The dominant species of zooplankton in the main stream of the Yangtze River mainly included *Tintinnidium entzii*, *Leprotintinnus fluviatile*, *Arcella vulgaris*, *Brachionus calyciflorus*, *Polyarthra trigla*, *Mesocyclops leuckarti*, *Neurodiaptomus incongruens* and Nauplius. The community structure and distribution of zooplankton in the main stream of the Yangtze River showed typical lotic freshwater zooplankton characteristics. The species and numbers were poor in the river. Small animals such as rotifers and protozoa played an important role in the community. The abundance of zooplankton varied from upstream to downstream and changed with season. The research results can provide important basic data for the aquatic ecology management of the Yangtze River.

Key words: zooplankton; community structure; spatio-temporal dynamics; the main stream of the Yangtze River; Jinsha River; Three Gorges Reservoir

Corresponding author: LI Yunfeng. E-mail: lyf086@yfi.ac.cn

Funding projects: Specific Financial Fund of Ministry of Agriculture, “Investigation of Fishery Resources and Environment in the Yangtze River (2017–2021)”