

doi: 10.7541/2018.048

## 沙颍河流域浮游动物群落结构空间变化特征与水质评价

刘盼盼<sup>1,2</sup> 王 龙<sup>1,2</sup> 王 培<sup>1</sup> 王 琦<sup>3</sup> 张 霞<sup>3</sup> 周巧红<sup>1</sup> 吴振斌<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 武汉 430070)

**摘要:** 为了解沙颍河流域浮游动物的群落结构及水质状况, 于2016年秋季对该流域设置了20个采样点, 进行浮游动物群落结构调查, 并利用生物多样性指数对水质进行评价。结果显示: 沙颍河流域共检测出浮游动物36属78种, 其中轮虫20属60种、枝角类10属12种、桡足类6属6种; 浮游动物优势种主要为长肢多肢轮虫(*Polyarthra dolichoptera*)、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)、角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)和象鼻溞(*Bosmina* sp.); 浮游动物密度和生物量最大值出现在沙颍河流域上游, 且从上游至下游, 生物量和密度的空间变化趋势相一致, 大致呈现逐渐降低的趋势; 检测位点Shannon-Wiener 多样性指数的范围为1.03—3.51, Pielou均匀度指数的变化范围为0.26—0.70。综合分析各采样点的种群和多样性指数反映出沙颍河流域上游水体污染较为严重, 中下游水体为中度污染。水质总体呈现出中度-重度污染。

**关键词:** 沙颍河流域; 浮游动物; 群落结构; 多样性; 水质评价

**中图分类号:** Q145<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2018)02-0373-09

浮游动物作为次级生产者, 是水域食物网中的重要一环, 其种类和数量的变动会直接或间接的影响着水体中其他水生生物的分布<sup>[1]</sup>。由于浮游动物对水环境变化的敏感性和适应性差异, 利用浮游动物群落结构的变化来检测和评价水环境具有重要的应用价值, 弥补水体理化指标在水质评价上的不足<sup>[2]</sup>。近年来相关研究显示, 利用浮游动物多样性指数可以反映水体的富营养化状况和水质受污染程度<sup>[3-6]</sup>。同时, 由于我国水体污染状况严峻, 各大湖泊、流域、水库等也均积极开展相关的生态学调查, 利用浮游动物群落结构变化及多样性指数对水质进行评价<sup>[7, 8]</sup>。

沙颍河是淮河流域最大的一条支流, 西起河南省伏牛山, 跨豫、皖两省, 流经郑州、平顶山、漯河、周口、阜阳等市, 东至安徽省颍上县沫河口入淮。全长约620 km, 流域面积39880 km<sup>2</sup>, 接近淮河流域总面积的1/7, 其中周口以上为沙颍河的上游部分, 长324 km, 流域面积为25880 km<sup>2</sup>; 周口到阜

阳市是沙颍河的中游部分, 河长172 km; 阜阳市以下为下游部分, 河长124 km<sup>[9]</sup>。自1989年以来, 淮河干流共发生5次较大污染, 都与沙颍河有关<sup>[10]</sup>。尤其, 沙颍河流域中的贾鲁河中牟段主要承担着郑州市工业废水和城市生活污水排泄, 排放量逐年增长, 河道及地下水均受到不同程度的污染, 河流断面水质超过V类水标准, 由于水体严重污染、生态环境水量不足, 造成生态环境恶化, 水生植物、鱼类、底栖生物、微生物、湿地等大多消亡, 既丧失了水体的自净能力, 也破坏了河道滨水景观环境<sup>[11]</sup>。

目前, 关于沙颍河流域的调查研究包括沙颍河河南段水质理化指标的时空变化<sup>[12, 13]</sup>、浮游甲壳动物时空变化<sup>[14]</sup>、沙颍河流域着生藻和大型底栖无脊椎动物<sup>[15]</sup>等的研究, 缺乏对整个沙颍河流域浮游动物的系统调查研究。本次研究以沙颍河流域主要支流贾鲁河和其干流沙颍河为研究主体, 调查沙颍河流域浮游动物群落结构的时空变化, 并利用浮游动物评价水质污染状况。本研究可为沙颍河

收稿日期: 2017-03-16; 修订日期: 2017-06-28

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07602-002)资助 [Supported by Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment (2017ZX07602-002)]

作者简介: 刘盼盼(1991—), 女, 山东菏泽人; 硕士研究生; 主要从事浮游动物生态学研究。E-mail: liupanpan9119@163.com

通信作者: 周巧红, E-mail: qhzhou@ihb.ac.cn

流域水环境治理、水体生态环境持续健康发展和淮河流域水环境治理等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样点设置

2016年秋季对沙颍河流域浮游动物进行调查研究,共设置20个采样点。其中,9月中旬采样点为

14个,10月初又补充采样点6个。在每个采样点均有重复样。具体采样位置如图 1,详细信息见表 1。所有采样点均经GPS定位。

1.2 浮游动物样品的采集与鉴定

浮游动物定性样品:以25号筛绢制成的浮游生物网(孔径64 μm)在表层水面以下呈“∞”字形捞取3—5min,并将滤取的样本放入标本瓶中,加4%的

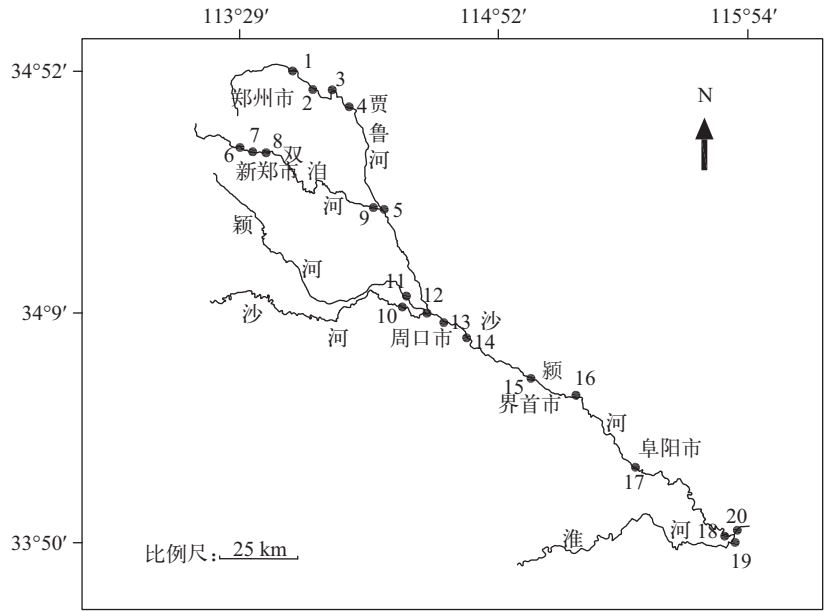


图 1 沙颍河流域浮游动物采样点分布  
Fig. 1 Sampling sites of zooplankton in the Shaying River Basin

表 1 沙颍河流域各采样位点详细情况  
Tab. 1 Distributions of sampling sites in the Shaying River Basin

| 样品编号<br>Sample number | 采样地点<br>Sampling site | 位置(经度, 纬度)<br>Location (longitude and latitude) | 样点类型<br>Sites type | 河流名称<br>River name |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1                     | 郑州市惠济区祥云寺             | E113°43'45.71", N34°52'6.74"                    | 河道                 | 贾鲁河                |
| 2                     | 郑州市中牟县白沙镇             | E113°52'37.28", N34°46'31.49"                   | 河道                 | 贾鲁河                |
| 3                     | 郑州市中牟县明山庙村            | E114°0'12.92", N34°45'41.91"                    | 河道                 | 贾鲁河                |
| 4                     | 郑州市中牟县陈桥村             | E114°06'32.26", N34°40'54.28"                   | 河道                 | 贾鲁河                |
| 5                     | 扶沟县摆渡口村               | E114°20'11.85", N34°9'21.44"                    | 河道                 | 贾鲁河                |
| 6                     | 新密市大槐镇铁匠沟村            | E113°29'23.62", N34°26'16.06"                   | 河道                 | 双泊河                |
| 7                     | 新密市大槐镇桃园村             | E113°31'29.48", N34°26'8.57"                    | 河道                 | 双泊河                |
| 8                     | 新密市新寨遗址               | E113°32'54.25", N34°26'12.45"                   | 河道                 | 双泊河                |
| 9                     | 扶沟县双泊河桥头              | E114°18'49.24", N34°9'39.26"                    | 河道                 | 双泊河                |
| 10                    | 周口市商水县邓城镇             | E114°36'28.49", N33°37'52.36"                   | 河道                 | 沙河                 |
| 11                    | 西华县徐桥村徐桥              | E114°29'51.65", N33°42'12.21"                   | 河道                 | 颍河                 |
| 12                    | 周口市西沙河大桥              | E114°18'48.81", N34°9'40.18"                    | 河道                 | 沙颍河汇合              |
| 13                    | 周口市李埠乡村牛滩村            | E114°43'45.88", N33°35'12.93"                   | 河道                 | 沙颍河                |
| 14                    | 周口项城市郑埠航运枢纽           | E114°52'12.72", N33°30'35.32"                   | 河道                 | 沙颍河                |
| 15                    | 周口市沈丘县纸店镇沙河大桥         | E114°52'0.91", N33°30'37.00"                    | 河道                 | 沙颍河                |
| 16                    | 阜阳市沙颍河国家湿地公园          | E115°16'35.19", N33°18'9.00"                    | 河道                 | 沙颍河                |
| 17                    | 阜阳市袁集镇沙颍河特大桥          | E115°54'52.60", N33°50'25.57"                   | 河道                 | 沙颍河                |
| 18                    | 阜阳市颍上县老沫口子            | E115°54'53.14", N33°50'27.10"                   | 河道                 | 沙颍河                |
| 19                    | 阜阳市颍上县老沫口子            | E115°54'54.10", N33°50'27.10"                   | 河道                 | 淮河(干流)             |
| 20                    | 阜阳市颍上县老沫口子            | E115°54'54.42", N33°50'27.64"                   | 河道                 | 淮河(干流)             |



尾轮虫、萼花臂尾轮虫、微型裸腹蚤、象鼻蚤、圆形盘肠蚤; 双泊河优势种为长肢多肢轮虫、罗氏异尾轮虫、角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、狭甲轮虫、微型裸腹蚤、象鼻蚤、圆形盘长蚤, 上游浮游动物优势种多为喜富营养化条件下的浮游动物。沙颍河流域中下游浮游动物优势种为长肢多肢轮虫、裂痕龟纹轮虫、角突臂尾轮虫、曲腿龟甲轮虫、无柄轮虫、奇异六腕轮虫、微型裸腹蚤、象鼻蚤。

### 2.3 浮游动物的密度与生物量

各采样点浮游动物密度为125—13701 ind./L

(图3)。轮虫在4号采样点的密度最高为13650 ind./L, 以长肢多肢轮虫、角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、三肢轮虫等为主要组成部分, 其他采样点轮虫的密度为125—7889 ind./L, 以长肢多肢轮虫和裂痕龟纹轮虫为主要组成; 枝角类在12号采样点的密度最高为380 ind./L, 以微型裸腹蚤和短尾秀体蚤为主要组成部分; 桡足类在12号采样点的密度最高为817 ind./L, 主要以桡足类幼体为主要组成部分; 无节幼体在9号采样点密度最高, 为1550 ind./L。

从生物量(图4)上而言, 浮游动物的总生物量范围为0.15—9.32 mg/L。轮虫在4号采样点的生物

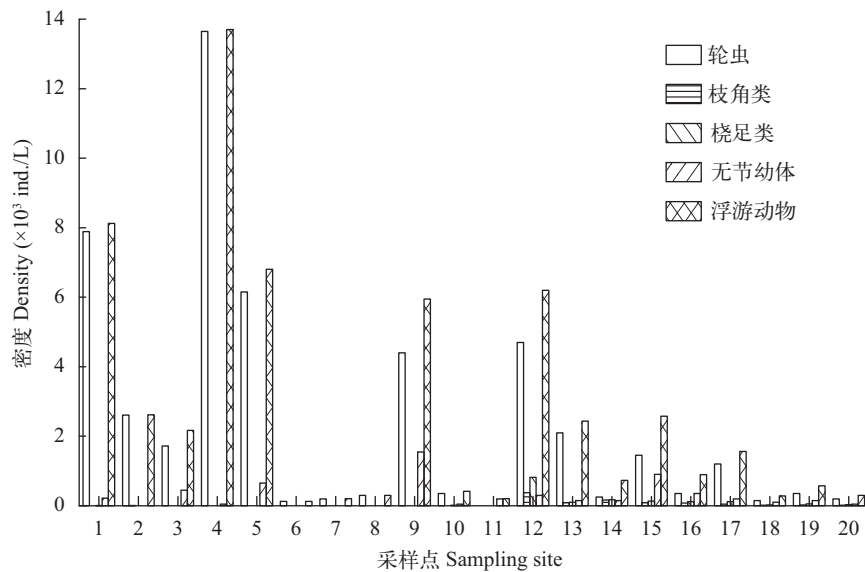


图3 沙颍河流域浮游动物的密度

Fig. 3 Density of zooplankton in the Shaying River Basin

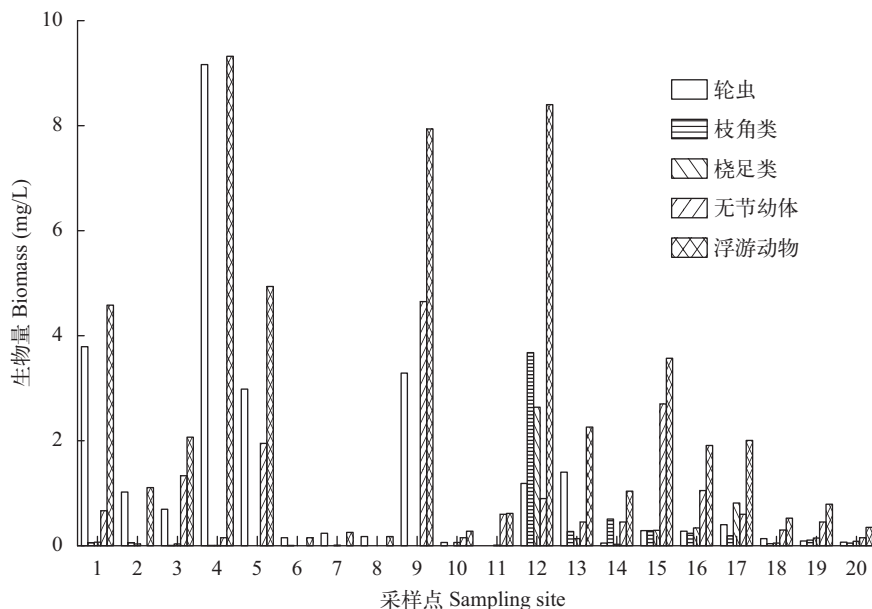


图4 沙颍河流域浮游动物的生物量

Fig. 4 Biomass of zooplankton in the Shaying River Basin

量最高为9.16 mg/L; 枝角类和桡足类在12号采样点的生物量最高, 分别为3.68和2.64 mg/L; 无节幼体在9号采样点的生物量最高, 为4.65 mg/L。

## 2.4 浮游动物多样性指数和均匀度指数

检测位点中的Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 为1.03—3.51, Pielou指数 $J'$ 的变化范围为0.26—0.70(图5)。当 $H'$ 大于3.0时表示水体轻污染或无污染,  $1.0 < H' < 3.0$ 时表示水体中污染,  $H' < 1.0$ 表示水体重污染。同时, 当 $0.5 < J' < 0.8$ 表示水质轻污染或无污染,  $0.3 < J' < 0.5$ 表示水质中污染,  $J' < 0.3$ 表示水质重污染。参照评价标准<sup>[25]</sup>对检测位点的水质进行评价: 沙颍河流域各采样位点的水质, 除了4号、5号、15号、17号表现出轻污染或无污染, 其他采样位点水质均为中污染或重污染。

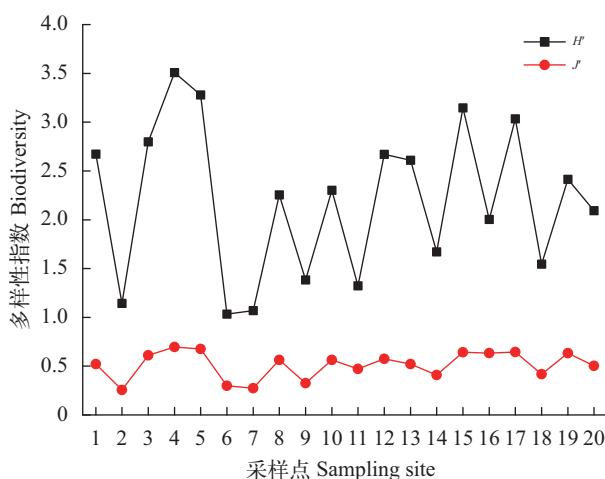


图5 沙颍河流域各采样点浮游动物的生物多样性指数和物种均匀度指数

Fig. 5 Shannon-Wiener index and Pielou evenness index of zooplankton in different sites in the Shaying River

## 3 讨论

### 3.1 沙颍河流域浮游动物群落结构变化特征

近年来国内外越来越多的学者关注于利用浮游动物评价水体生态系统是否健康<sup>[26, 27]</sup>, 这是由于浮游动物个体小, 具有较短的世代交替周期, 对环境变化反应迅速。随着水体富营养化程度提高, 浮游动物群落结构趋于简单, 种类变少, 丰度增加, 多样性指数下降, 群落的稳定性降低<sup>[28]</sup>。因此, 浮游动物群落结构变化也成为了水生态系统中调查的热点。例如甬江干流<sup>[29]</sup>调查报道了轮虫24属72种, 枝角类5属20种, 桡足类11属13种, 湘江干流<sup>[30]</sup>报道了轮虫23属45种, 枝角类9属17种, 桡足类3属5种, 并利用浮游动物对水质进行了评价, 这些均说明浮游动物研究在水生态系统监测方面具有重要意义。

通过对比分析淮河流域浮游动物的历年调查研究发现(表3), 淮河流域浮游动物研究主要集中在蚌埠、信阳、阜阳、淮河中上游沙颍河流域及干流, 浮游动物的种类数以小型浮游动物为主。此次, 沙颍河流域的20个采样点调查检测到浮游动物36属78种(不包括原生动物), 其中轮虫20属60种, 枝角类10属12种, 桡足类6属6种, 表明沙颍河流域浮游动物主要以轮虫为主。国内关于河流流域浮游动物调查结果也均显示浮游动物以小型浮游动物为主<sup>[8, 33, 39]</sup>。吴利等<sup>[8]</sup>2011年对淮河干流调查发现轮虫194种, 枝角类27种, 桡足类6种。左其亭等<sup>[28]</sup>2012年对淮河中上游轮虫群落结构的调查发现轮虫有46种。Zhao等<sup>[37]</sup>2013年对沙颍河流域调查发现轮虫85种, 枝角类9种, 桡足类7种。这与此次2016年沙颍河调查结果相比, 轮虫种类数有所下降, 枝角类种类数有所增加, 桡足类种类数没有太大变化。

### 3.2 沙颍河流域浮游动物密度和生物量空间变化特征

2011年淮河干流<sup>[8]</sup>轮虫密度高达 $1.7 \times 10^6$  ind./L, 生物量为2048 mg/L, 枝角类密度为3410 ind./L, 生物量为68 mg/L, 桡足类密度为 $7.7 \times 10^4$  ind./L, 生物量为249 mg/L; 同年, 沙颍河流域下游的阜阳城区<sup>[34]</sup>轮虫密度为1061—3356 ind./L, 生物量为1.26—3.87 mg/L, 枝角类密度为56—136 ind./L, 生物量为0.90—1.70 mg/L, 桡足类密度为12—84 ind./L, 生物量为1.56—10.92 mg/L。本研究各采样点浮游动物密度为125—13701 ind./L, 浮游动物的总生物量范围为0.15—9.32 mg/L。与2011年淮河干流浮游动物的调查结果相比较, 沙颍河流域浮游动物的密度和生物量相对偏低, 但与国内其他河流流域<sup>[29, 30]</sup>相比较而言, 此次沙颍河流域浮游动物的密度和生物量相对较高。有研究表明<sup>[40]</sup>轮虫喜欢富营养环境, 水体营养状态的提升有利于轮虫种类密度的提高, 枝角类喜还原性的中营养或贫营养的清洁水体, 枝角类对环境的响应能力更为敏感, 而桡足类受环境因子的影响较少。沙颍河流域结果显示浮游动物密度主要是由轮虫占大多数比例, 浮游甲壳类密度所占比例较低。同时, 通过表3可明显发现该流域水体富营养污染严重, 这可能就是导致浮游动物密度较高的原因。此外, 浮游动物密度和生物量峰值出现在贾鲁河和双泊河流域, 地理位置处于沙颍河流域的上游, 从整体上而言, 随着水流汇入淮河过程中浮游动物的密度和生物量空间变化趋势相一致, 呈大致下降趋势。

3.3 沙颍河流域浮游动物对水质的总体评价

在本研究中,沙颍河流域各采样点浮游动物优势种为1—7种,常见优势种为长肢多肢轮虫、裂痕龟纹轮虫、角突臂尾轮虫、象鼻溞和微型裸腹溞,沙颍河上游浮游动物优势种还分布有萼花臂尾轮虫和圆形盘肠溞等富营养化指示种,中下游分布出现曲腿龟甲轮虫等喜清洁环境的指示种<sup>[22, 41]</sup>。沙颍河流域大多数优势种为喜富营养化水体的种类。综合分析各采样点的种群反映出沙颍河流域上游水体富营养化较为严重,中下游水体富营养化有所缓解。

Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )是用来反映生物群落结构的复杂性和稳定性,表示群落物种内部及物种间分配均匀性的整体性指标,在一定程度上可以指示水体环境。同时,Pielou指数( $J'$ )描述群落中各种间个体分布均匀程度。沙颍河流域采样位点Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 为1.03—3.51,Pielou指数 $J'$ 的变化范围为0.26—0.70。参照水生生

物评价水质的标准沙颍河流域水质总体呈现出中污染-重污染。

自1982年以来,淮河流域浮游动物变化详见表3,淮河蚌埠段浮游动物变化明显,耐污性浮游动物种类数降低,水体质量变差<sup>[31, 32]</sup>;淮南段<sup>[38]</sup>和信阳段<sup>[35]</sup>水体为轻污染-中污染;淮河上游流域水体处于轻污染状态,中下游水体为中-重污染状态<sup>[8, 33, 36]</sup>。此外,有研究表明整个沙颍河流域属颍河周口段及其支流贾鲁河的重金属污染问题突出<sup>[42]</sup>,这说明水体污染状况很严重。此次调查结果显示贾鲁河上游(即1至3号采样点)水体为中-重污染,贾鲁河下游(即4至5号采样点)水体为轻污染或无污染,周口段水体为中污染,表明周口段及贾鲁河水体污染问题依然需要严峻对待和治理。2011年沙颍河流域阜阳段<sup>[14]</sup>调查研究浮游甲壳动物发现水体为轻度-中度污染,但阜阳城区<sup>[34]</sup>水体均处于富营养状态,城区部分位点为重污染。历经5年之后,本研究利用浮游动物评价水体状况,发现阜阳段水体为中污染

表3 淮河流域浮游动物群落结构的时间变化

Tab. 3 Temporal variations of zooplankton community structure in the Huaihe River Basin

| 时间<br>Date           | 地点<br>Station               | 原生动物<br>Protozoa                             | 轮虫<br>Rotifera                                     | 枝角类<br>Cladocera                        | 桡足类<br>Copepoda                                | 备注<br>Remarks                                                                                     |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1982年5月              | 淮河干流<br>蚌埠闸 <sup>[31]</sup> | 765 ind./L<br>0.02 mg/L                      | 30 ind./L<br>0.06 mg/L                             | 57 ind./L<br>1.14 mg/L                  | 35 ind./L<br>1.05 mg/L                         | 1982年蚌埠闸上水体中耐污能力弱的桡足和枝角类的数量分别为35 ind./L和57 ind./L浮游甲壳动物密度为1.75—67.51 ind./L,水体为重污染,水质很差           |
| 2005年3月—<br>2005年5月  | 淮河蚌<br>埠段 <sup>[32]</sup>   | N                                            | N                                                  | 2属3种                                    | 5属5种                                           | 2006年耐污能力弱的桡足和枝角类的这两类种群数量分别为0.10 ind./L和0.02 ind./L浮游甲壳动物密度季节变动范围为7.9—58.0 ind./L,年均值为13.2 ind./L |
| 2006年5月              | 淮河干流<br>蚌埠闸 <sup>[31]</sup> | 10 ind./L<br>0.0005 mg/L                     | 9 ind./L<br>0.001 mg/L                             | 0.10 ind./L<br>0.001 mg/L               | 0.02 ind./L<br>0.004 mg/L                      | 淮河干流上游水质为轻污染,中下游为中污染或重污染                                                                          |
| 2007年1月—<br>2007年12月 | 淮河中<br>游 <sup>[33]</sup>    | N                                            | N                                                  | 8属13种                                   | 9属11种                                          | 阜阳城区各水体均处于富营养状态,部分位点为重污染                                                                          |
| 2011年3月—<br>2011年12月 | 淮河干<br>流 <sup>[8]</sup>     | 27属69种1.7×<br>10 <sup>6</sup> ind./L 87 mg/L | 35属104种1.7×<br>10 <sup>6</sup> ind./L<br>2048 mg/L | 12属27种<br>3410 ind./L<br>68 mg/L        | 5属6种7.7×<br>10 <sup>4</sup> ind./L<br>249 mg/L | 浮游甲壳动物密度春季最高为51.8 ind./L,冬季最低为4.5 ind./L,水体为轻度-中度污染                                               |
| 2011年3月—<br>2012年2月  | 阜阳城<br>区 <sup>[34]</sup>    | 23属30种<br>4138—7856 ind./L<br>0.15—0.35 mg/L | 23属58种<br>1061—3356 ind./L<br>1.26—3.87 mg/L       | 15属34种<br>56—136 ind./L<br>0.9—1.7 mg/L | 6属12种12—<br>84 ind./L<br>1.56—<br>10.92 mg/L   | 水质从冬季到夏季有恶化趋势,营养化程度有增加的趋势水体为轻度-中度富营养                                                              |
| 2011年4月—<br>2012年1月  | 沙颍河阜<br>阳段 <sup>[14]</sup>  | N                                            | N                                                  | 7属11种                                   | 8属9种                                           | 轮虫、枝角类和桡足类种类和数量较多,并且枝角类和桡足类生物量也较大                                                                 |
| 2012年6月—<br>2013年8月  | 淮河流域<br>信阳段 <sup>[35]</sup> | 4属5种                                         | 8属17种                                              | 6属9种                                    | 3属5种                                           | 浮游甲壳动物密度为1313.17 ind./L,生物量为0.23 mg/L,水体为中度污染                                                     |
| 2012年12月—<br>2013年7月 | 淮河中<br>上游 <sup>[36]</sup>   | N                                            | 19属46种<br>3.3—391.2 ind./L                         | N                                       | N                                              |                                                                                                   |
| 2013年8月—<br>2014年1月  | 沙颍河<br>流域 <sup>[37]</sup>   | N                                            | 85种                                                | 9种                                      | 7种                                             |                                                                                                   |
| 2014年冬季              | 淮河淮<br>南段 <sup>[38]</sup>   | 22种                                          | 6种                                                 | 3种                                      | 7种                                             |                                                                                                   |

注: N表示无数据  
Note: N means no data

状态, 阜阳的水体污染状况依旧需要认真对待。据统计<sup>[43]</sup>, 在我国的大多数河流中, 上游生物多样性指数较高, 下游多样性降低, 但是沙颍河流域却是上游个别采样点多样性指数低, 下游多样性指数相对较高。这可能是因为沙颍河上游城市人口聚集及生活污水排放导致水质污染严重, 多样性指数低; 下游人口稀少, 人为影响较少, 故水体状况相对良好。

### 参考文献:

- [1] Yang Y F, Huang X F. Advances in ecological studies on zooplankton [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2000, **12**(1): 81—89 [杨宇峰, 黄祥飞. 浮游动物生态学研究进展. 湖泊科学, 2000, **12**(1): 81—89]
- [2] Lin Q, You W H, Xu F J, *et al.* Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in Dishui Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(23): 6918—6929 [林青, 由文辉, 徐凤洁, 等. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系. 生态学报, 2014, **34**(23): 6918—6929]
- [3] Zhang T J, Wang M, Peng Y X, *et al.* Survey of zooplankton communities and evaluation of water quality in the upstream urban inland river of Baiyangdian Lake [J]. *Environmental Engineering*, 2016, **34**(3): 166—169 [张铁坚, 王滕, 彭艳侠, 等. 白洋淀上游城市内河浮游动物群落调查与水质评价. 环境工程, 2016, **34**(3): 166—169]
- [4] Yang L J, Lü G H, Zhu J Q, *et al.* Characteristics of zooplankton community in Hengshan Reservoir and water quality assessment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(4): 720—728 [杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价. 水生生物学报, 2014, **38**(4): 720—728]
- [5] Wang B, Liao J Y, Liu Q R, *et al.* Community structure of zooplankton and its relation with water quality in Dongjiang River [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2013, (6): 608—612 [王博, 廖剑宇, 刘全儒, 等. 东江干流浮游动物群落结构特征及与水质的关系. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2013, (6): 608—612]
- [6] Schallenberg M, Burns C W. A temperate, tidal lake-wetland complex 2. Water quality and implications for zooplankton community structure [J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2003, **37**(2): 429—447
- [7] Feng S M, Wu M S, Xiong L, *et al.* The research of dynamic succession of zooplankton and its correlation with environmental factors in Taiping Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(3): 700—711 [冯世敏, 吴明姝, 熊莲, 等. 太平湖浮游动物动态演替与环境因子的相关性研究. 水生生物学报, 2017, **41**(3): 700—711]
- [8] Wu L, Li Y L, Chen Y S. Characteristics of community structure of zooplankton in the mainstream of Huaihe River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, **27**(5): 932—940 [吴利, 李源玲, 陈延松. 淮河干流浮游动物群落结构特征. 湖泊科学, 2015, **27**(5): 932—940]
- [9] Hao S N, Peng W Q, Wu W Q, *et al.* Research on spatial distribution of non-point source pollution load in Shaying River Basin [J]. *Yangtze River*, 2014, **45**(17): 6—9 [郝守宁, 彭文启, 吴文强, 等. 沙颍河流域面源污染负荷空间分布特征研究. 人民长江, 2014, **45**(17): 6—9]
- [10] Chu J T. Influence of flow rate and water quality of Shayinghe River on water quality in Huaihe River [J]. *Water Resources Protection*, 2001, (3): 4—7 [褚金庭. 沙颍河流量和水质对淮河污染的影响. 水资源保护, 2001, (3): 4—7]
- [11] Tan Z Y, Liu J. Ecological management countermeasures of Zhengzhou Jialuhe Zhongmou Section [J]. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2011, (9): 40—41 [谭周洋, 刘江. 郑州市贾鲁河中牟段生态治理对策研究. 河南水利与南水北调, 2011, (9): 40—41]
- [12] Gao H L, Li H T, Zhao F L. Spatial and temporal distribution of water pollution of Shaying River (Henan section) [J]. *Water Resources Protection*, 2010, **26**(3): 23—26 [高红莉, 李洪涛, 赵凤兰. 沙颍河(河南段)水污染的时空分布规律. 水资源保护, 2010, **26**(3): 23—26]
- [13] Wang Y X, Zuo Q T. Analysis of water quality change and its reasons in Henan reach of Shayinghe River [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2012, **23**(2): 47—50 [王园欣, 左其亭. 沙颍河河南段水质变化及成因分析. 水资源与水工程学报, 2012, **23**(2): 47—50]
- [14] Wang W G, Zhang S S. Community structure and seasonal variations of crustacean zooplankton (cladocera, copepoda) in Fuyang section of the Shaying River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2014, **35**(1): 34—38 [王魏根, 张双双. 沙颍河阜阳段浮游甲壳动物的群落结构与季节变化. 水生态学杂志, 2014, **35**(1): 34—38]
- [15] Hu J, Wan Y, Hong T, *et al.* Aquatic ecological health assessment of Shaying River Basin Based on indices of physico-chemistry and aquatic organisms [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2015, **21**(5): 783—790 [胡金, 万云, 洪涛, 等. 基于河流物理化学和生物指数的沙颍河流域水生态健康评价. 应用与环境生物学报, 2015, **21**(5): 783—790]
- [16] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X J, *et al.* New Monitoring Technology of Microorganism [M]. Beijing: China Con-

- struction Press. 1990, 1—524 [沈蕴芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社. 1990, 1—524]
- [17] Wang J J. Freshwater Rotifers of China [M]. Beijing: Science Press. 1961, 1—288 [王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社. 1961, 1—288]
- [18] Jiang X Z, Du N S. Fauna of China (Freshwater Cladocera) [M]. Beijing: Science Press. 1979, 79—273 [蒋燮治, 堵南山. 中国动物志(淡水枝角类). 北京: 科学出版社. 1979, 79—273]
- [19] Crustacean Research Group, Institute of Zoology, Chinese Academy of Science. Fauna of China (Freshwater Copepoda) [M]. Beijing: Science Press. 1979, 53—420 [中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志(淡水桡足类). 北京: 科学出版社. 1979, 53—420]
- [20] Huang X F. Ecological Research and Analysis of Lakes [M]. Beijing: Standard Press. 1999, 1—247 [黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社. 1999, 1—247]
- [21] Zhang Z S, Huang X F. Limnoplankton Research Method [M]. Beijing: Science Press. 1991, 1—414 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社. 1991, 1—414]
- [22] Zhang J M, He Z H. The Survey Book on Fishery Natural Resources in Inland Waters [M]. Beijing: Agriculture Press. 1991, 1—461 [张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 农业出版社. 1991, 1—461]
- [23] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana I L: University of Illinois Press. 1949, 623—656
- [24] Pielou E. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **10**: 370—383
- [25] Dumont H, Negrea S. Introduction to the Class Branchiopoda, Guides to the Identification of Microinvertebrates of the Continental Waters of the World [M]. Backhuys Publishers, Leiden. 2002, 1—397
- [26] Zhang S Y, Zhou Q H, Xu D, *et al.* Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, **22**(2): 218—224
- [27] Bertani I, Del L M, Pecora S, *et al.* Longitudinal Variability in Hydrochemistry and Zooplankton Community of a Large River: A Lagrangian-Based Approach [J]. *River Research and Applications*, 2016, **32**(8): 1740—1754
- [28] Zhang S Y. Response mechanism of zooplankton to ecological remediations in Lake Yuehu, Wuhan [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, CAS. 2010 [张世羊. 武汉月湖生态修复过程中浮游动物的响应机制(学位论文). 武汉: 中国科学院, 水生生物研究所. 2010]
- [29] Li G G, Bao W H, Xu S L, *et al.* Seasonal change of zooplankton communities and its relationship with aquatic environments in the Yongjiang River, Ningbo [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(1): 1—12 [李共国, 包薇红, 徐石林, 等. 甬江干流浮游动物群落结构季节动态与水环境的关系. 水生生物学报, 2015, **39**(1): 1—12]
- [30] Wang X Q, Zeng Y Y, Wu H H, *et al.* Investigation on plankton community composition and water quality state in the mainstream of Xiangjiang River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(3): 488—494 [王晓清, 曾亚英, 吴含含, 等. 湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析. 水生生物学报, 2013, **37**(3): 488—494]
- [31] Sun P, Han X Y. Analysis of twenty years' change of aquatic ecosystem in Bengbu sluice of Huaihe River mainstream [J]. *Zhihuai*, 2011, (12): 30—31 [孙璞, 韩小勇. 淮河干流蚌埠闸水生生态系统二十年的变化分析. 治淮, 2011, (12): 30—31]
- [32] Deng D G, Xu Z H. The preliminary study crustacean zooplankton of Bengbu region in Huaihe River [J]. *Journal of Huaihe Coal Industry Teachers College*, 2006, **27**(1): 40—43 [邓道贵, 许忠浩. 淮河蚌埠段水域浮游甲壳动物的初步研究. 淮北煤炭师范学院学报(自然科学版), 2006, **27**(1): 40—43]
- [33] Deng D G, Yang W, Meng X L, *et al.* Seasonal variations of crustacean zooplankton community structure in the middle reaches of the Huaihe River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(5): 869—875 [邓道贵, 杨威, 孟小丽, 等. 淮河流域浮游甲壳动物群落结构的季节动态. 水生生物学报, 2013, **37**(5): 869—875]
- [34] Fan K Z, Yang J X, Wang R, *et al.* Annual structure characteristics of zooplankton community of rivers in Fuyang city and their relationship with water quality indexes [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2012, **25**(5): 16—21 [范可章, 杨家新, 王荣, 等. 阜阳城区水体浮游动物群落周年结构特征及其与水质的关系. 城市环境与城市生态, 2012, **25**(5): 16—21]
- [35] Huang R J, Yang D H, Tian H J, *et al.* Investigation about zooplankton in the Xinyang area of Huaihe [J]. *Journal of Xinyang College of Agriculture and Forestry*, 2015, **25**(4): 109—114 [黄荣静, 杨东辉, 田海军, 等. 淮河流域信阳段浮游动物资源调查. 信阳农林学院学报, 2015, **25**(4): 109—114]
- [36] Zuo Q T, Chen H, Zhang Y Y, *et al.* Rotifers community structure analysis and water quality evaluation of upper and middle Huaihe River Basin [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2017, **11**(1): 165—173 [左其亭, 陈豪, 张永勇, 等. 淮河中上游轮虫群落结构分析

- 及水质评价. 环境工程学报, 2017, **11**(1): 165—173]
- [37] Zhao K, Song K, Pan Y D, *et al.* Metacommunity structure of zooplankton in river networks: Roles of environmental and spatial factors [J]. *Ecological Indicators*, 2017, **73**: 96—104
- [38] Liu K, Zhou Y F, Duan J R, *et al.* Study on characteristics of zooplankton community structure of two national aquatic germplasm reserves in the middle reaches of Huaihe River in winter [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, **25**(6): 908—917 [刘凯, 周彦锋, 段金荣, 等. 淮河流域国家级水产种质资源保护区冬季浮游动物群落特征的研究. 上海海洋大学学报, 2016, **25**(6): 908—917]
- [39] Du X, Wang Q D, Zhang C W, *et al.* Community structure of rotifers in relation to environmental factors in Lake Hongze [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, **26**(2): 269—276 [都雪, 王齐东, 张超文, 等. 洪泽湖轮虫群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科学, 2014, **26**(2): 269—276]
- [40] Zhang S Y, Zhou Q H, Cheng S P, *et al.* Zooplankton species richness and impact factors in a compound aquaculture system [J]. *China Environmental Science*, 2009, **29**(7): 745—750 [张世羊, 周巧红, 成水平, 等. 复合养殖系统中浮游动物种类丰度及其影响因素. 中国环境科学, 2009, **29**(7): 745—750]
- [41] Jiang Z X, Deng S J. Environmental Biology [M]. Beijing: China Environmental Science Press. 1989, 1—200 [蒋志学, 邓士谨. 环境生物学. 北京: 中国环境科学出版社. 1989, 1—200]
- [42] Zhong M, Wan Y, Wan A, *et al.* Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments of Shaying River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, **35**(7): 1857—1864 [钟明, 万云, 万安, 等. 沙颍河流域沉积物重金属污染特征及生态风险评价. 生态学杂志, 2016, **35**(7): 1857—1864]
- [43] Hong S, Chen J S. Structure characteristics of aquatic community from the main rivers in China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(3): 295—305 [洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. 水生生物学报, 2002, **26**(3): 295—305]

## THE CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON COMMUNITY AND WATER QUALITY IN THE SHAYING RIVER BASIN

LIU Pan-Pan<sup>1,2</sup>, WANG Long<sup>1,2</sup>, WANG Pei<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>3</sup>, ZHANG Xia<sup>3</sup>, ZHOU Qiao-Hong<sup>1</sup> and WU Zhen-Bin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Zooplankton, an important component of aquatic ecosystem, has great value to evaluate water quality. In order to understand the zooplankton community structure and the water quality in the Shaying River Basin, 20 sampling sites were chosen to investigate the zooplankton community structure and the water quality by means of biodiversity index in the autumn of 2016. The results showed that 36 genera and 78 species of zooplankton were monitored, including 20 genera and 60 species of rotifera, 10 genera and 12 species of cladocera, 6 genera and 6 species of copepoda. The main dominant species were *Polyarthra dolichoptera*, *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*, *Keratella valga* and *Bosmina* sp. The highest density and biomass of zooplankton were in the upstream. The spatial variation trend of biomass and density of zooplankton were consistent from upstream to downstream with a decreasing trend. The Shannon-Wiener index ranged from 1.03 to 3.51, and the Pielou evenness index ranged from 0.26 to 0.70. A comprehensive analysis of the population and diversity index of all sampling sites showed that the pollution was more serious in the upstream, and the middle-downstream was moderate pollution. The results indicated that the water quality of the Shaying River Basin was moderate to heavy pollution.

**Key words:** Shaying River Basin; Zooplankton; Community structure; Diversity; Water evaluation