

涡河中下游浮游动物群落结构及水生态评价

杜昶¹ 罗晓² 林冬庆¹ 刘云琦¹

1 河北科技大学建筑工程学院，河北石家庄，050018；

2 河北科技大学环境科学与工程学院，河北石家庄，050018；

摘要：本研究主要聚焦在涡河中下游，全面解析浮游动物群落结构的特性，进而实施全面的水生态评价，依靠系统地开展采样、鉴定和分析工作，搞清楚浮游动物种类组成及数量分布状态，采用多种评价方式对水生态健康状况进行评定，目的是为涡河生态保护及管理提供科学佐证。

关键词：涡河中下游；浮游动物；群落结构；水生态评价

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.066

引言

涡河身为淮河流域的关键支流，其生态状况对区域生态平衡以及经济社会的可持续发展起着关键作用，安徽省的亳州市、涡阳县、蒙城县、蚌埠市等区域构成了涡河中下游地区，工农业各项活动频繁上演，伴随城镇化进程加速与产业的发展，工业废水排放、农业面源污染及生活污水直排等问题突出显现，使涡河的水生态环境面对诸多棘手难题。身为水生态系统关键生物类群的浮游动物，对物质循环、能量流动以及生态系统稳定性维持意义重大，群落结构的变化可灵敏展现水生态环境的细微改动，全面探究涡河中下游浮游动物群落的结构特征，且精准评价该区域的水生态情形，对及时找出生态问题、制定科学精准的保护策略具有关键现实意义。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

从河南省鹿邑县起，涡河中下游流入安徽，流过亳州市谯城区、涡阳县与蒙城县，于蚌埠市怀远县投入淮河的怀抱，全长差不多225公里，该地域坐落于黄淮平原的南部地段，地表平整又开阔，是暖温带半湿润季风气候范畴，年平均气温达14.7摄氏度，年均降水大概800毫米，夏季为降水集中时段，占据全年降水量的六成到七成。河流两侧农田密集排布，主要栽种小麦、玉米、大豆这类作物，农业生产之际大量施用农药化肥，导致农业面源污染呈现较严重局面，身为全国重要的中药材加工及白酒生产要地的亳州市，部分工业企业的废水和城市生活污水，未经过有效处理就直接排入河道，造成涡河水质出现负面状况。

1.2 样品采集

涡河中下游共选定12个具代表性采样点，位于亳州市谯城区（城市河段）的是采样点S1-S3，涡阳县的农业灌溉区河段分布着采样点S4-S6，蒙城县的过

渡河段处设置了采样点S7-S9，蚌埠市怀远县接近入淮口的自然河段上，分布着采样点S10-S12。采样时间定在2022年的春（3月）、夏（6月）、秋（9月）、冬（12月）四季，于每个季节采样1次，借助5L有机玻璃采水器，在每个采样点的表层（水面下0.5m）、中层（水深中间位置）、底层（距河底0.5m）采集水样，将各层水样等剂量混合，作为该采样点的水样，凭借25号浮游生物网（孔径64μm）于水体中从底层至表层进行“∞”字形缓慢捞取操作，采集到浮游动物样品。

1.3 样品处理与分析

浮游动物样品采集动作结束后，即刻采用4%的甲醛溶液固定，带回实验室做分类鉴定及计数处理，借助光学显微镜，依照《中国淡水生物图谱》《中国淡水浮游动物》等分类学典籍，判定浮游动物的种类归属，接着采用1ml计数框在显微镜下做全片计数之举，对各类浮游动物数量做统计工作。针对所采集的水质样品，现场采用便携式多参数水质检测仪（HACH sensION+）测定如水温、pH值、溶解氧（DO）等指标，将样品带回实验室，分别采用重铬酸钾法、纳氏试剂分光光度法、钼酸铵分光光度法、碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定化学需氧量，各测定方法均按国家对应相关标准落实^[1]。

1.4 水生态评价方法

生物多样性指数计算：运用Shannon-Wiener多样性指数（H'）、Pielou均匀度指数（J）以及Margalef丰富度指数（D）对浮游动物群落多样性展开分析，对应的计算公式分别为：计算（H'）采用公式（-sum_{i=1}^SP_ilnP_i），而（J）为（H'）与（lnS）的商，其中（S）指浮游动物具有的种类数，（P_i）是第（i）种浮游动物个体数于总个体数中的占比数值，（N）代表浮游动物个体的总数。

水质综合污染指数法：依照各项水质指标的实际量测值，求取水质综合污染指数，计算采用的权重（D

O: COD: 以 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 形式存在的氨氮; TP: TN 的污染指数, 其值为实测值除以评价标准值, 评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002) III类标准质综合评价的指标个数。利用小对水质污染程度作出评言, 若且小于等处于中污染状态, 若 (P) 数值大于 (2.5), 标记为重污染。

对浮游动物群落结构与环境因子相关性的分析: 采用 Pearson 相关性分析手段, 对浮游动物群落结构指标

(诸如种类数、数量、生物多样性指数等) 和水质指标的相关性进行探究, 找出对浮游动物群落结构起主要作用的环境因子, 采用显著性水平。

2 结果与分析

2.1 浮游动物种类组成

共鉴别出浮游动物 78 种, 其中 23 种为原生动物种类, 占全部种类数的 29.49%; 已识别出 32 种轮虫, 占整个种类数的 41.03%; 鉴定出 13 种枝角类, 占总体的 16.67%; 鉴定到 10 种桡足类, 占据 12.82% 的比例, 主要优势种有广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*)、萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*)、壶状臂尾轮虫 (*Brachionus urceolus*) 以及褶皱臂尾轮虫 (*B. plicatilis*)。春季轮虫及原生动物是主要组成, 占据优势地位的物种是萼花臂尾轮虫与片状漫游虫; 枝角类及桡足类的种类和数量呈现增加态势, 优势种换成了广布中剑水蚤及大型溞; 于秋季和冬季, 轮虫和原生动物成为优势类别, 优势种换成了壶状臂尾轮虫和尾草履虫。

2.2 浮游动物数量和生物量

浮游动物数量在 215 到 3280 个/L 间呈现变化, 生物量变动范围是 0.32~2.87mg/L, 就季节更替而言, 浮游动物的数量与生物量在夏季为最高, 平均数量竟达 2850 个/L, 平均所得生物量为 2.56mg/L; 每升平均所含数量为 350 个, 平均生物量测得为 0.45mg/L。就空间分布情况而言, 城市河段 (S1-S3) 里, 浮游动物平均数量有 520 个/L, 平均生物量计 0.68mg/L; 农业灌溉区河段 (S4-S6) 浮游动物平均个数为 1280 个/L, 其平均生物量为 1.25mg/L; 过渡河段 (S7-S9) 每升里平均数量为 1860 个, 平均所得生物量为 1.82mg/L; 自然河段 (S10-S12) 平均有 2130 个/L 的数量, 平均生物量达 2.13 mg/L^[2]。

2.3 浮游动物群落多样性指数

Shannon - Wiener 多样性指数 (H') 的变化范围介于 1.23 - 2.85, Pielou 均匀度指数 (J) 在 0.42 至 0.87 间呈现变化, Margalef 丰富度指数 (D) 变动范围介乎 1.56 到 3.21, 夏季的多样性指数呈现相对较高的水

平, H' 平均 2.68、 J 平均 0.78、 D 平均 2.95, 反映出夏季浮游动物群落结构稳定且物种丰富度高; 冬季多样性指数低, H' 平均到 1.45, J 平均所得数值为 0.52, D 平均所得数值为 1.87, 如 S1 等部分污染严重的城市河段, 多样性指数与其他采样点相比明显更低, H' 仅有 1.23 这个值, J 呈现为 0.42, D 呈现为 1.56, 呈现出该区域浮游动物群落受干扰程度颇高, 生态系统的稳定性欠佳。

2.4 水生态评价结果

水质综合污染指数评价: 由水质综合污染指数 ((P)) 计算结果显示, 部分涡河中下游河段水质呈现较严重污染态势, 城市河段 (S1-S3), 其 (P) 值波动于 2.8-3.5, 处于重度污染水平, 主要污染物质是 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 以及 TN; 就农业灌溉区河段 (S4-S6) 而言, (P) 值范围是 1.2-2.0, 归为轻至中度的污染类别; 过渡河段 (S7-S9) 的 (P) 值界定在 0.9-1.6 范围, 处在轻污染的范畴; 自然河段 (S10-S12) (P) 值的范围在 0.7 到 1.3 之间, 部分地段水质清澄, 有部分区域为轻度污染情形。

环境因子与浮游动物群落结构的相关特性: Pearson 相关性分析说明, 显著正相关体现在浮游动物种类数与溶解氧, P 出现小于 0.01 的情形, 具有小于 0.01 的显著意义; 得出的 r 为 -0.58, P 呈现小于 0.05 状态; 有显著正相关表现于浮游动物数量与总磷, P 呈现小于 0.05 态势, 表现出 P 值低于 0.05 的显著性), P 小于 0.01 之情形, P 小于 0.01 这一显著状况。

3 讨论

3.1 浮游动物群落结构特征及其影响因素

涡河中下游浮游动物群落结构体现出明显的时空变化情况, 季节变化大多由水温、光照这类自然因素左右, 夏季平均水温 28°C, 浮游植物生长极为繁茂, 为浮游动物提供了多样的食物资料, 有利于浮游动物的繁衍生长, 种类与数量相对偏多; 水温相对较低, 平均 4°C, 浮游动物新陈代谢的节奏放慢, 其生长繁殖被抑制, 某些难以抵御寒冷的种类灭绝, 引起种类跟数量下降。空间分布的差异主要是由人类活动引起的水质污染造成的, 城市河段受工业与生活污水排放的双重影响, 平均溶解氧含量降低至 4.2mg/L, 诸如氨氮(平均 3.5mg/L)、化学需氧量(平均 35mg/L) 等污染物浓度不断升高, 导致浮游动物生存环境变差, 诸如脆弱象鼻溞 (*Bosmina fatalis*) 和长额象鼻溞 (*Bosmina longirostris*) 等对污染敏感的种类, 数量减少乃至消亡, 诸如褶皱臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫等耐污种类成为优势种, 群落结构走向简单化。

除上述已说明的因素, 土地利用变化同样对浮游动

物群落的结构产生效应，伴随城市化脚步的加速，大量开发波及涡河周边自然土地，引起了河流生态廊道的破碎局面，波及到浮游动物的栖息地以及食物来源，生物入侵同样是一个潜在的影响因子，一些外来物种也许会就食资源与本地浮游动物展开竞争，或者直接把本地浮游动物当作捕食对象，于是引起浮游动物群落结构的改变，外来克氏原螯虾现身涡河部分区域，说不定会对浮游动物的生存构成威胁^[3]。

3.2 水生态评价结果的合理性与局限性

本研究采用多种水生态评价途径，从不同方面体现出涡河中下游水生态情况，浮游动物群落稳定性及物种丰富度，能由生物多样性指数直观反映，利用水质综合污染指数可定量估算水质污染程度，二者结合使用，可较为全面地衡量水生态系统的健康水平。处于城市的河段，较低的生物多样性指数与水质重度污染的评价结果相符，反映出该区域生态系统受严重破坏，水生态系统乃是一个复杂的综合体，本研究仅挑选了浮游动物与部分水质指标展开分析，或许不能全面体现水生态系统的实际情形，评价结果也受采样时间、采样点分布情况以及评价方法固有局限性等因素的左右，以浮游动物群落结构为例，其还可能受到水生植物、底栖动物及鱼类捕食等生物因素左右，在后续研究中应进一步去完善。

3.3 与其他类似河流的比较与启示

和淮河中游另外的支流（如颍河、西淝河）研究结果相比较，涡河中下游浮游动物群落结构及水生态状况有相似之处，也表现出差异，都存在的相似点是，都因人类活动的缘故受影响，因水质污染，浮游动物群落中的耐污种类变多，生物多样性走向下降。不同之处主要反映在浮游动物种类组成及数量分布上，因颍河接纳了较多工业废水，重金属污染的突出性相对明显，让浮游动物种类的数量偏少；农业面源污染对西淝河影响甚为明显，总磷含量呈现较高值，枝角类与桡足类数量相对显得较多，经由与别的河流对比，可为涡河的生态保护、管理提供借鉴依据，可借鉴颍河对工业污染源管控的经验，采用西淝河农业面源污染治理的措施，构建更具针对性的保护手段。

3.4 生态修复建议

结合研究呈现的结果，为提升涡河中下游水生态环境质量，应当提升工业污染源监管水平，严格约束工业废水的排放，保证废水达标排出，就农业面源污染治理而言，实施生态农业模式推广工作，减少农药、化肥的投放量，大力开展农村污水处理设施建设，降低农业退水对涡河水质的污染，可凭借人工投放有益微生物、种

植水生植物等方式达成目的，提高水体的自净本领，提升浮游动物的生存环境质量，逐步推动浮游动物群落结构多样性的恢复，由此增进水生态系统的稳定性。

处于生态修复的措施范畴内，搭建人工湿地是有效的途径，能够在涡河中下游恰当区域兴建人工湿地，凭借湿地植物所起的吸附降解效果，祛除水体里的污染成分，为浮游动物打造更清透的生存境地，生态补水还是改善水生态环境的关键手段，采用合理调配水资源的办法，提升涡河的水量规模，促进水体的流动活力，有利于水质的改良，促进浮游动物群落重归正常，可从附近的水库、其他清洁水源引入适量的水，增添涡河的生态蓬勃生机^[4]。

4 结语

水生态环境与涡河中下游浮游动物群落结构紧密相连，本研究的成果在该区域生态保护方面意义重大，借助剖析浮游动物群落结构与水生态评价工作，清楚呈现出人类活动干预下涡河生态系统面对的难题，因城市河段重度污染，浮游动物群落结构失衡，自然河段里，相对良好的水质维系着稳定的群落结构，该对比突出表明污染防控及生态修复的紧迫性。从宏观生态角度去看，作为水生态系统关键要素的浮游动物，其群落的改变会引发一环扣一环的反应，影响到整个生态系统物质与能量的循环流动，本研究不光揭示出涡河生态当下情况，更为区域生态治理在数据与理论方面给予了支撑，后续研究可围绕污染物对浮游动物生理生化指标造成的影响去展开，探求其在污染胁迫状态下的应激机理；也能深入考察不同生态修复途径对浮游动物群落结构的动态影响，为精确治理奉上更精细的科学指南，凭借持续的研究与实践探索，有机会实现涡河中下游水生态系统良性运转，守护区域生态安全，实现可持续发展。

参考文献

- [1] 徐菁, 梁婷, 王念瑶等. 湖南大通湖浮游动物群落结构特征与水质评价[J]. 生态科学, 2023, 42(01): 105-113.
- [2] 潘梦圆, 徐锦前, 胡恺源等. 洪泽湖湖滨带浮游动物群落结构及驱动因子[J/OL]. 湖泊科学: 1-17 [2023-02-26].
- [3] 向浩, 林枫, 伍遇普等. 长江中游宜昌段浮游动物群落结构特征与环境因子相关性分析[J]. 黑龙江水产, 2022, 41(05): 3-12.
- [4] 王秀霞, 高彦洁, 左明等. 2011—2020年调水调沙前后黄河口海域浮游动物年间变化及影响因子[J]. 海洋科学, 2022, 46(12): 115-127.