

DOI: 10.12264/JFSC2024-0143

黄河河南段浮游生物群落结构特征

王兆平, 惠筠, 马超, 周晓林, 杨慧, 贺海战, 张清清

河南省水产科学研究院, 河南 郑州 450044

摘要: 为了揭示黄河河南段浮游生物的群落结构特征, 于 2023 年 5 月、2023 年 10 月和 2024 年 2 月对黄河河南段 15 个点位进行了 3 次浮游生物采样, 并对样品中的浮游生物进行了定性、定量检测。从浮游生物的种类组成、密度、生物量、优势种及生物多样性 5 个方面进行了分析。结果表明, 该 15 个点位共检出浮游植物 8 门 134 种(属), 以绿藻门和硅藻门为主, 蓝藻门次之; 浮游动物共检出 4 大类 66 种(属), 其中轮虫种类最多, 原生动物次之。浮游植物的丰度值变化范围为 $6.02 \times 10^4 \sim 11.71 \times 10^6$ cells/L, 均值为 10.92×10^5 cells/L, 生物量为 0.06~5.83 mg/L, 均值为 0.66 mg/L; 浮游动物丰度变化范围为 3~2180 ind/L, 均值为 164.03 ind/L, 生物量为 0.001~3.363 mg/L, 均值为 0.33 mg/L。单因素方差分析显示浮游植物密度 5 月与 10 月有显著差异($P < 0.05$), 与 2 月差异不显著($P > 0.05$), 浮游动物密度 5 月与 10 月、2 月有显著差异($P < 0.05$)。浮游植物和浮游动物生物量 5 月与 10 月、2 月有显著差异($P < 0.05$)。小球藻属(*Chlorella*)、绿球藻属(*Chlorococcum*)、纤维藻属(*Ankistrodesmus*)、衣藻属(*Chlamydomonas*)、卵囊藻属(*Oocystis*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、小环藻属(*Cyclotella*)、脆杆藻属(*Fragilaria*) 为浮游植物不同时期的共同优势种; 萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、盖氏晶囊轮虫(*Asplanchna girodi*)、象鼻溞属(*Bosmina*)、秀体溞属(*Diaphanosoma*)、溞属(*Daphnia*)、猛水蚤属(*Harpacticoida*)、桡足类无节幼体为浮游动物不同时期的共同优势种。浮游植物 Shannon-Wiener 指数变化范围为 0.66~4.38, 均值为 2.70; Margalef 物种丰富度指数为 1.32~4.68, 均值为 2.70; Pielou 物种均匀度指数为 0.16~0.97, 均值为 0.63。浮游动物 Shannon-Wiener 指数变化范围为 0.50~3.02, 均值为 1.70; Margalef 物种丰富度指数为 0.32~2.33, 均值为 1.14; Pielou 物种均匀度指数为 0.39~1, 均值为 0.84。根据生物多样性指数评价标准, 黄河河南段近期水质级别为轻度污染。

关键词: 黄河河南段; 浮游生物; 丰度; 生物量; 群落特征

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)09-1027-15

黄河是我国第二长河, 被誉为中国的“母亲河”^[1]。黄河河南段西起灵宝市, 东至台前县, 横跨 8 市 28 个县(市、区), 河道总长 711 km, 流域面积 3.62 万 km², 主要位于河南省北部, 地处山区向平原过渡河段, 地理位置特殊, 水系错综复杂, 遍布广, 水系包括干流、支流及水库^[2]。

浮游生物在水生态系统中扮演着重要角色, 是水生态系统中初级生产力的主要提供者, 构成整个水生态系统基础的能量和物质循环^[3]。浮游植物作为初级生产者, 为其他水生生物提供食物, 是物质循

环的重要载体及溶解氧的主要来源, 对水体渔业产量产生影响, 同时也是反映水质状况好坏的指标参照物^[4]。浮游动物作为消费者以浮游植物为主要食物来源, 其种类和数量的变化影响食物的供应, 在水生食物链中起着承上启下的作用^[5]。已有多位学者对黄河入海口及附近水域浮游生物^[6-10]以及黄河干流上、中、下游浮游生物群落结构^[11-15]进行了研究。近几十年以来, 随着黄河改道、小浪底调水调沙工程、引黄工程的陆续实施, 致使黄河干流水域的泥沙含量、水化指标、鱼类、浮游生物和底栖生

收稿日期: 2024-06-14; **修订日期:** 2024-08-12.

基金项目: 农业农村部财政专项“黄河渔业资源与环境调查”。

作者简介: 王兆平(1978-), 女, 助理研究员, 研究方向为水生生物. E-mail: 18339262288@163.com

通信作者: 惠筠, 副研究员, 渔业资源与生态环境. E-mail: 1209366082@qq.com

物等水生生物发生了较大变化^[10],由此导致的浮游生物群落结构特征变化及作用机理尚不清楚。鉴于此,本研究于 2023 年 5 月到 2024 年 2 月对黄河河南段 15 个点位浮游生物的定性、定量和生物多样性进行了调查分析,旨在今后黄河生态环境资源保护和合理利用提供科学依据,为制定合理的渔业资源管理政策和规划提供理论支撑,以确保黄河生态环境资源可持续发展。

1 材料与方法

1.1 点位设置与采样时间

本次调查点位设置根据黄河河南段河道特点、浮游生物生活习性和采样断面分布具有代表性和可行性原则,参照《内陆水域渔业资源调查手册》^[16],在黄河河南段内自上而下设置 15 个点位,分别为三门峡水库的枣乡河口(34.581389°N, 110.537500°E)(A1)、西

阎(34.600833°N, 110.703889°E)(A2)、弘农涧河口(34.707778°N, 110.901111°E)(A3)、青龙涧河口(34.787222°N, 111.137222°E)(A4)、大安(34.830556°N, 111.335278°E)(A5);小浪底水库的南村(35.071523°N, 111.851429°E)(B1)、峪里(35.061847°N, 112.022654°E)(B2)、拴马村(34.966770°N, 112.197700°E)(B3)、鹰嘴山(34.946677°N, 112.250768°E)(B4)、桐树岭(34.936773°N, 112.346418°E)(B5)以及伊洛河口(34.845669°N, 113.067537°E)(C1)、柳园口(34.905869°N, 114.273685°E)(C2)、恼里(35.105050°N, 114.888591°E)(C3)、天然文岩渠口(35.385678°N, 115.054268°E)(C4)、金堤河口(36.121881°N, 116.108698°E)(C5),本次采样点覆盖了干流和水库,符合所有监测生物种类的采样要求,于 2023 年 5 月、10 月和 2024 年 2 月对黄河河南段进行了浮游生物采样工作。具体点位分布见图 1。

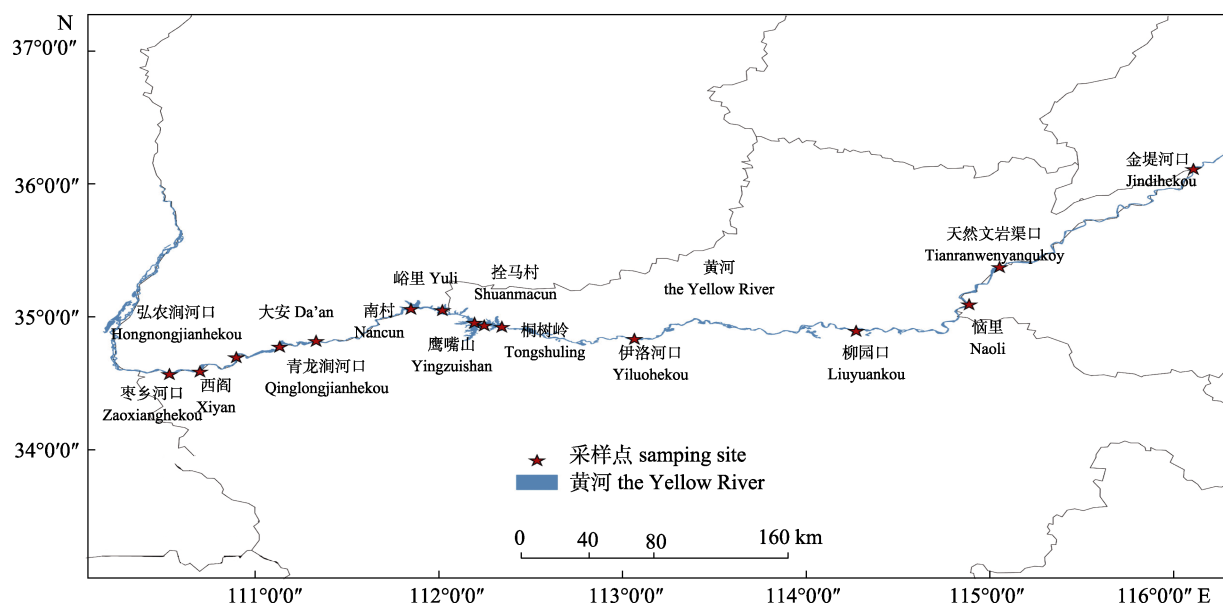


图 1 黄河河南段采样位置及采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling locations and sites in Henan section of the Yellow River

1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 浮游植物样品的采集 浮游生物样品采集、固定和浓缩以及浮游生物密度的计算方法参照《水和废水监测分析方法》^[17]。生物量的计算方法参照《水生生物学》^[18]。浮游生物种类鉴定参照《淡水微型生物与底栖动物图谱》^[19]。浮游植物定性样品采集用 25 号生物网,在水面表层作横“∞”字型来回缓慢拖动 3 min 左右,将网内浓缩的水样放置在容

量为 100 mL 的塑料瓶中,现场用 4% 的甲醛进行固定保存带回实验室镜检。定量用 2.5 L 采水器在每个采样点水下 0.5 m 处采集水样,因黄河泥沙比较多,经过短暂沉淀后,取 1 L 水用 15 mL 的鲁哥氏液进行固定保存,带回实验室沉淀 48 h 浓缩定容到 30 mL,摇晃均匀后用 100 μ L 的进样器吸取 0.1 mL 滴入 0.1 mL 的计数框内,盖上盖玻片且不能有气泡,在 10 $\times$ 40 倍的显微镜下进行藻类计数,如果一个视

野内藻类数量 ≥ 10 , 看 50 个视野即可, 如果一个视野藻类数量 < 10 , 则需要看 200 个以上视野或全片计数, 两片计数结果相差不超过 15% 取其平均值。其中原生动物和藻类是一起镜检, 原生动物是全片计数。

1.2.2 浮游动物样品的采集 浮游动物样品采集和浮游植物一样, 在采样点水下 0.5 m 处采集水样, 浮游动物定性样品采集用孔径为 0.064 mm 的 13 号生物网, 在水面表层作横“∞”字型来回缓慢拖动 3 min 左右, 将浓缩的水样放置于 100 mL 的塑料瓶中, 现场用 4% 的甲醛进行固定保存带回实验室镜检。定量用 2.5 L 采水器采集 6 次共 15 L, 用 25 号生物网过滤浓缩加入 2 mL 4% 的甲醛现场固定, 带回实验室定容到 50 mL, 将样品充分摇匀后用 1 mL 的进样器吸取 1 mL 滴入 1 mL 的计数框内盖上盖玻片且不能有气泡, 在 10 $\times$ 10 倍的显微镜下观察, 由于黄河浮游动物量少, 一般全片计数, 计数两片结果个数相差不超过 15% 取其平均值。

1.3 数据处理

1.3.1 生物多样性指数 Shannon-Wiener 多样性指数(H'), Pielou 物种均匀度指数(J), Margalef 物种丰富度指数(D)^[19], 优势种指数(Y)计算公式如下:

$$H' = -\sum (N_i / N) \log_2 (N_i / N)$$

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

$$J = H' / \log_2 S$$

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

式中, N_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, S 为物种数, f_i 为第 i 种生物的出现频率。Y 值大于 0.02 为优势种^[20]。

1.3.2 数据统计分析 所有数据的统计与分析及图表绘制均用软件 Excel 完成, 方差分析及制图用 SPSS19.0 和 Graphpad 完成。

2 结果与分析

2.1 浮游生物种类组成与分布

本次黄河河南段调查共检出绿藻门、硅藻门、蓝藻门、甲藻门、裸藻门、隐藻门、黄藻门和金藻门共 8 门 134 种(属)。以绿藻门和硅藻门为主, 其中绿藻门 57 种(属), 占总种类的 42.54%, 硅藻门 38 种(属), 占总种类数的 28.36%, 蓝藻门 18 种(属), 占总种类数的 13.43%; 甲藻占 2.24%, 裸藻占 7.46%, 隐藻占 2.99%, 黄藻占 2.24%, 金藻占 0.75%。黄河河南段 15 个点位检出浮游动物 4 大类共 66 种(属), 其中轮虫 45 种(属), 占总种类的 68.18%; 枝角类 6 种(属), 占总数的 9.09%; 桡足类 6 种(属), 占总数的 9.09%; 原生动物 9 种(属), 占总数的 13.64%(图 2)。

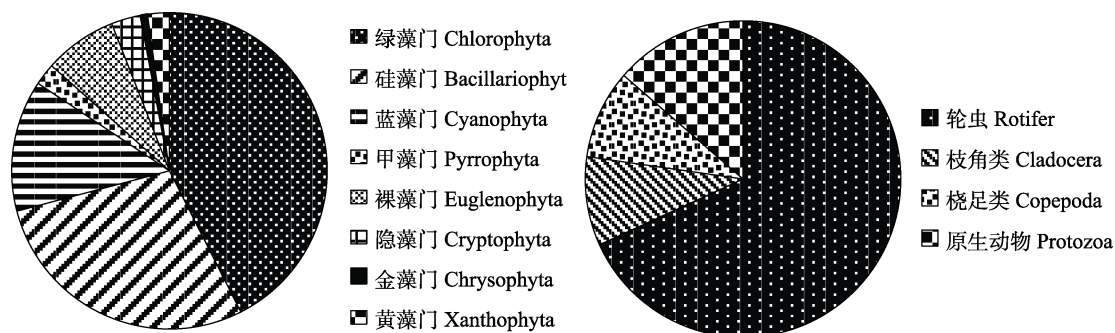


图 2 黄河河南段浮游植物和浮游动物种类组成

Fig. 2 The species composition of phytoplankton and zooplankton in Henan section of the Yellow River.

2.2 不同时期浮游生物种类组成变化

2023—2024 年黄河河南段 3 次采样, 浮游生物的种类组成有一定的差异。2023 年 5 月浮游植物种类最多, 检出绿藻、硅藻、蓝藻、甲藻、裸藻、隐藻、黄藻和金藻 8 个门共 101 种(属), 其中绿藻 45 种, 硅藻 28 种, 蓝藻 13 种, 甲藻 3 种, 裸藻 8 种, 隐藻 2 种, 金藻 1 种, 黄藻 1 种。10 月检出绿藻、硅

藻、蓝藻、裸藻、隐藻、金藻、甲藻和黄藻 8 门共 81 种(属), 其中绿藻 27 种, 硅藻 30 种, 蓝藻 12 种, 裸藻 4 种, 隐藻 4 种, 金藻 1 种, 黄藻 2 种, 甲藻 1 种。2024 年 2 月检出的种类数最少, 共 7 门 47 种(属), 其中绿藻门 12 种, 硅藻 22 种, 蓝藻 6 种, 甲藻 2 种, 裸藻 2 种, 隐藻 1 种, 黄藻 2 种, 金藻未检出。从图 3 可以看出: 绿藻在 5 月种类数最多, 随着季节变化

呈下降趋势, 2 月最少; 硅藻在 10 月的种类数最多, 5 月次之, 2 月最少, 且 5 月、10 月的种类数多于 2 月。

浮游动物 5 月种类数最多, 共检出 55 种(属), 其中轮虫 39 种, 枝角类 5 种, 桡足类 4 种, 原生动物 6 种, 桡足类无节幼体 1 种。其次, 2 月浮游动物

共检出 38 种(属), 其中轮虫 22 种, 枝角类 4 种, 桡足类 5 种, 原生动物 6 种, 桡足类无节幼体 1 种。10 月的浮游动物种类数最少, 共检出 25 种(属), 其中轮虫 13 种, 枝角类 5 种, 桡足类 4 种, 原生动物 2 种, 桡足类无节幼体 1 种(图 3)。

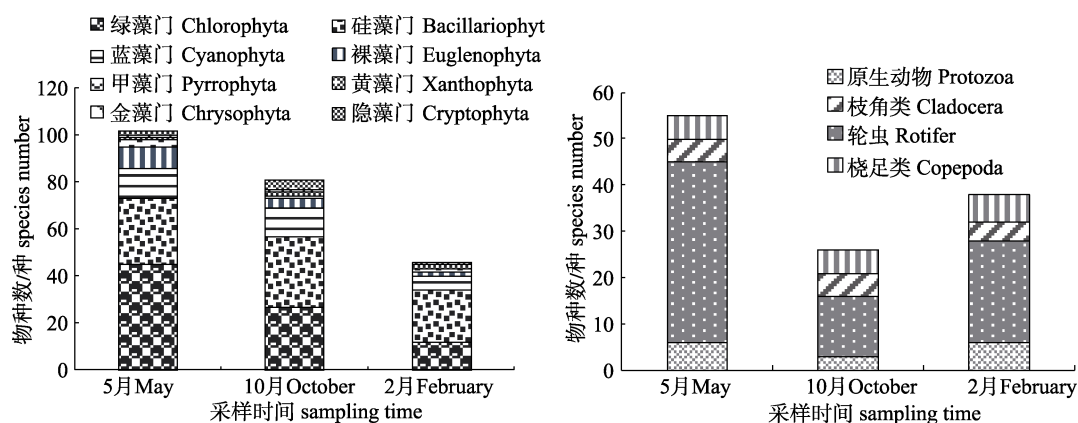


图 3 黄河河南段不同时期浮游植物和浮游动物种类组成

Fig. 3 The species composition of phytoplankton and zooplankton in Henan section of the Yellow River in different periods

2.3 黄河河南段浮游生物密度和生物量时空变化

2.3.1 时间变化 黄河河南段 3 次采样浮游植物密度值为 $6.02 \times 10^4 \sim 11.71 \times 10^6$ cells/L, 均值 10.92×10^5 cells/L, 其中 5 月为 $9.09 \times 10^4 \sim 11.71 \times 10^6$ cells/L, 均值 1.98×10^6 cells/L, 10 月为 $6.02 \times 10^4 \sim 7.64 \times 10^5$ cells/L, 均值 1.4×10^5 cells/L, 2 月为 $6.39 \times 10^4 \sim 3.74 \times 10^6$ cells/L, 均值 9.73×10^5 cells/L。浮游植物生物量范围为 0.06~5.83 mg/L, 平均为 0.66 mg/L。其中 5 月为 0.10~5.83 mg/L, 平均值为 1.26 mg/L, 10 月为 0.06~0.45 mg/L, 平均为 0.22 mg/L, 2 月为 0.07~

2.05 mg/L, 平均为 0.51 mg/L。从图 4 可以看出浮游植物平均密度 5 月>2 月>10 月。经过方差分析 5 月和 10 月有显著差异($P<0.05$), 和 2 月差异不显著($P>0.05$)。浮游植物平均生物量 5 月>2 月>10 月, 5 月和 10 月、2 月有显著差异($P<0.05$)。

浮游动物密度变化范围为 4~2180 ind/L, 均值为 198.58 ind/L。其中 5 月为 8~2180 ind/L, 均值为 495.87 ind/L, 10 月为 4~270 ind/L, 均值为 62.93 ind/L, 2 月为 4~110 ind/L, 均值为 36.93 ind/L。浮游动物生物量变化范围为 0.004~3.360 mg/L, 平均为 0.350 mg/L。其中 5

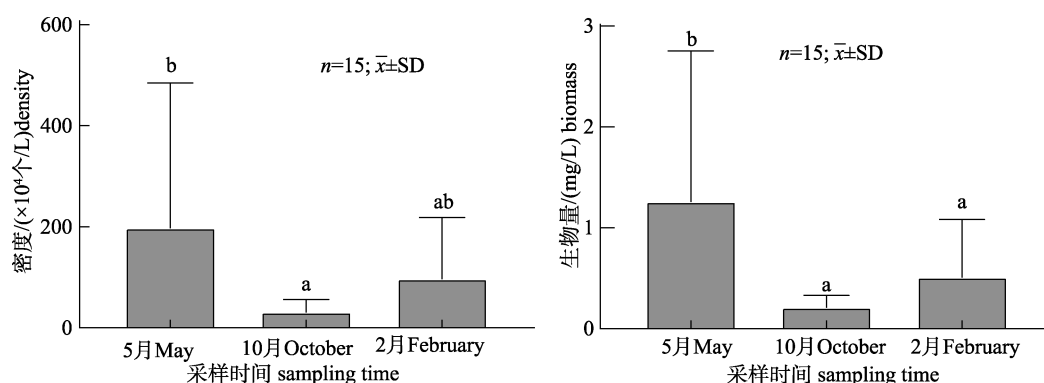


图 4 黄河河南段不同时期浮游植物平均密度和生物量

字母不同表示不同时期存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 4 The average density and biomass of phytoplankton in Henan section of the Yellow River in different periods
Different letters indicate significant differences between different periods ($P<0.05$).

月为 0.005~3.360 mg/L, 平均为 0.780 mg/L, 10 月为 0.004~0.960 mg/L, 平均为 0.190 mg/L, 2 月为 0.006~0.310 mg/L, 平均为 0.070 mg/L。从图 5 可以看出浮游动物平均密度为 5 月>10 月>2 月, 经过方差分析, 5 月和 10 月、2 月有显著差异($P<0.05$)。浮游动物平均生物量 5 月>10 月>2 月, 5 月和 10 月及 2 月有显著差异($P<0.05$)。

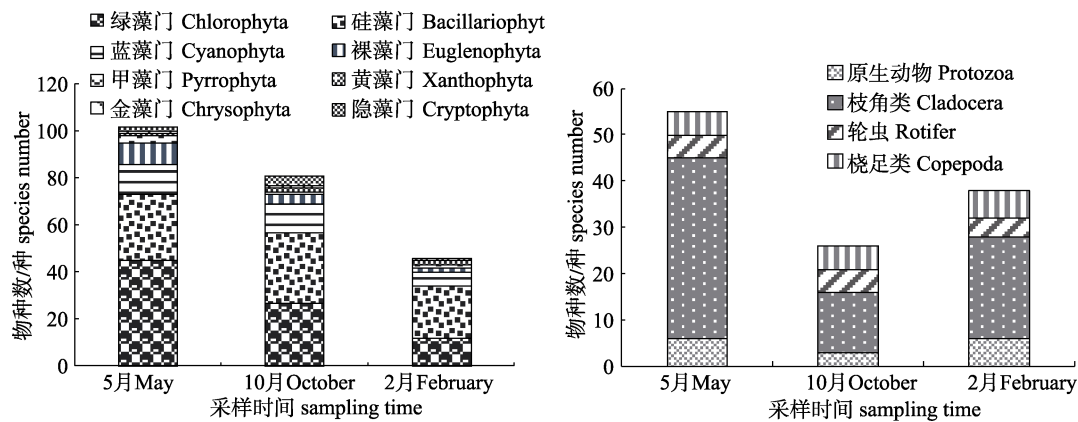


图 5 黄河河南段不同时期浮游动物平均密度和生物量
字母不同表示不同时期存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 5 The average density and biomass of zooplankton in Henan section of the Yellow River in different periods
Different letters indicate significant differences between different periods ($P<0.05$).

2.3.2 空间变化 黄河河南段各采样点 3 次采样的浮游植物密度、生物量和生物量占比如图 6、图 7 所示。如图 6 所示, 在 5 月各采样点浮游植物个体密度和生物量变化比较明显, 枣香河口、西阎、大安、裕里、恼里、天然文岩渠口和金堤河口的个体密度明显高于其他点位。10 月的峪里、拴马村、鹰嘴山、桐树岭和 2 月的青龙涧河口、大安、南村及裕里浮游植物个体密度高于其他点位。浮游植物生物量在 5 月的枣香河口、西阎、青龙涧河口、恼里、天然文岩渠口和金堤河口明显高于其他点位。10 月各采样点生物量无明显变化, 2 月除了青龙涧河口、大安、南村、裕里外, 其他点位无明显变化。3 次采样浮游植物个体密度和生物量最高值出现在 5 月的

枣香河口, 浮游植物个体密度和生物量最低值分别出现在 10 月的弘农涧河口和金堤河口。从图 7 可以看出硅藻除了 5 月的拴马村、岭桐树生物量占比较小和鹰嘴山未检出外, 在 3 次采样中生物量占比均最高。绿藻生物量占比在 5 月的鹰嘴山和桐树岭分别达到 93.4%和 79.5%, 其他点位的生物量占比均较低。蓝藻生物量在 10 月的鹰嘴山、金堤河口和天然文岩渠口占比均值达到 32.4%。裸藻在 5 月的拴马村生物量占比高达 80.7%, 在 5 月的恼里、10 月的西阎、裕里, 2 月的南村、裕里、鹰嘴山、岭桐树占比均值为 35.4%。隐藻在 5 月的恼里、天然文岩渠口和金堤河口生物量占比均值为 22.4%。总体而言, 沿河流方向浮游植物密度和生物量呈无规律分布。

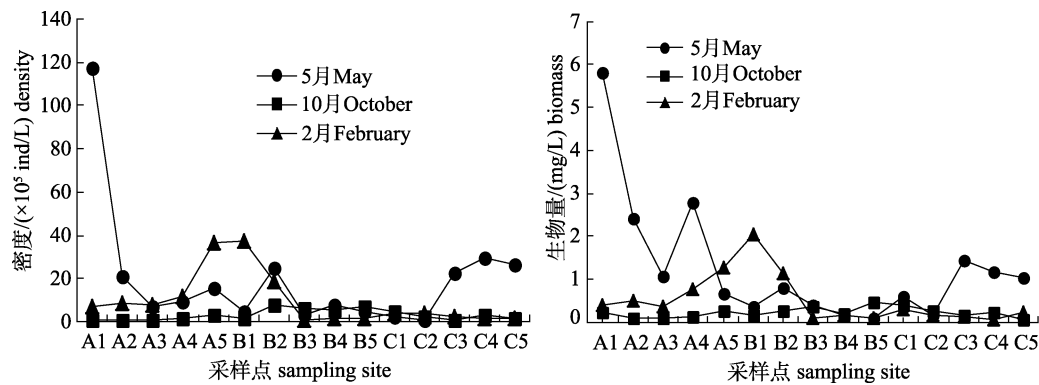


图 6 黄河河南段不同采样点浮游植物密度和生物量

Fig. 6 The density and biomass of phytoplankton at different sampling sites in the Henan section of the Yellow River

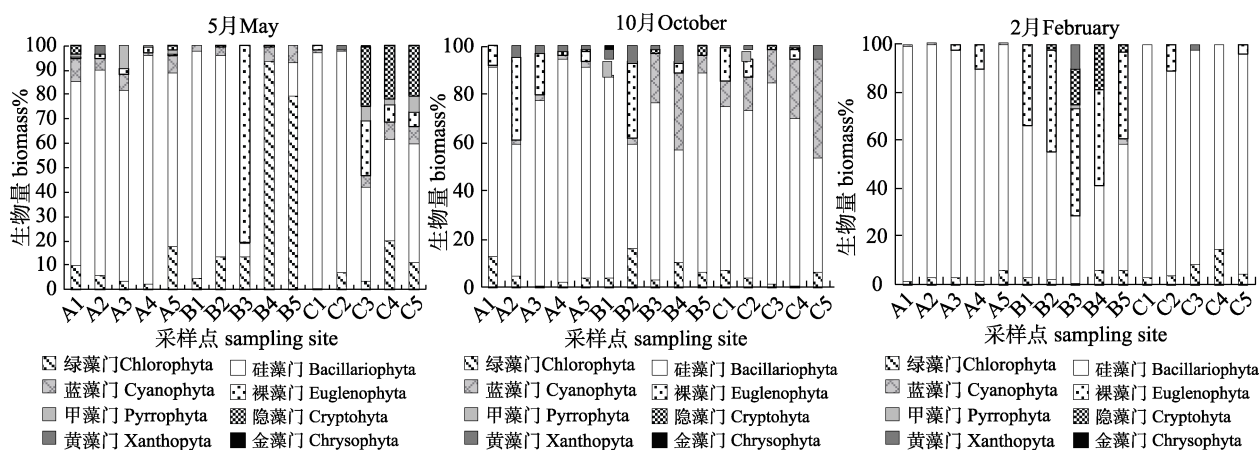


图 7 黄河河南段不同采样点各种浮游植物生物量占比

Fig. 7 The biomass proportion of various phytoplankton at different sampling sites in the Henan section of the Yellow River

黄河河南段各采样点 3 次浮游动物密度、生物量和生物量占比见图 8 和图 9。如图 8 所示, 浮游动物个体密度和生物量在 5 月变化明显, 西阎、弘农涧河口、青龙涧河口、大安、峪里、拴马村的浮游动物个体密度明显高于其他点位。在 10 月鹰嘴山、桐树岭密度明显高于其他点位。2 月除了鹰嘴山和伊洛河口, 其他点位无明显变化。浮游动物生物量 5 月西阎、青龙涧河口、大安明显高于其他点位, 10 月和 2 月各个点位变化较小。3 次采样浮游动物密度最高值为 5 月的青龙涧河口, 最低为 10 月的伊洛河口和 2 月的柳园口, 浮游动物生物量最高出现在 5 月的青龙涧河口, 最低为 2 月的柳园口。从图 9 可以看出轮虫生物量占比在 5 月的金堤河口、10 月的枣香河口、西阎、弘农涧河口、恼里, 2 月的大安、柳园口高达 100%, 其他种类未检出, 说明这几个点位种类结构组成单一。在 5 月的枣香河口、西阎、弘农涧河口、青龙涧河口、大安, 10 月的南村、裕里、天然文岩渠口, 2 月的枣香河口、西阎、南村、

伊洛河口轮虫生物量占比均值达 84%。枝角类在 5 月的南村、桐树岭、伊洛河口、恼里生物量占比均值为 67.5%; 10 月除了鹰嘴山、桐树岭、柳园口、天然文岩渠口、金堤河口枝角类生物量占比很小外, 其余均未检出; 2 月的拴马村、天然文岩渠口枝角类生物量占比分别为 94.9% 和 88.9%, 青龙涧河口、恼里均值为 37.4%, 西阎为 6.2%, 其余点位均未检出。桡足类在 5 月的峪里、拴马村、鹰嘴山、柳园口、天然文岩渠口生物量占比均值为 66.6%; 在 10 月的伊洛河口只检出桡足类, 其他种类未检出, 拴马村、鹰嘴山、桐树岭均值为 79.7%, 大安和柳园口占比分别为 45.8% 和 27.6%, 裕里占比 9.8%, 其他采样点均未检出桡足类; 在 2 月桡足类生物量占比除了鹰嘴山 68.3%、桐树岭 92.2%, 其他采样点均未检出。桡足类无节幼体生物量占比在 10 月的青龙涧河口为 60.7%, 2 月的弘农涧河口和恼里分别为 71.9% 和 69.1%。原生动物在 5 月部分采样点生物量占比很少; 在 10 月除金堤河口 58.7% 和拴马村 4.5% 外, 其他均

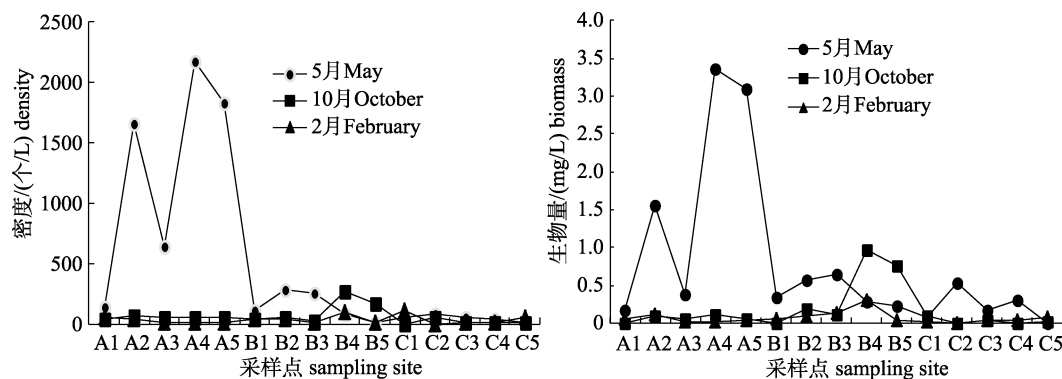


图 8 黄河河南段不同采样点浮游动物密度和生物量

Fig. 8 The density and biomass of zooplankton at different sampling sites in Henan section of the Yellow River

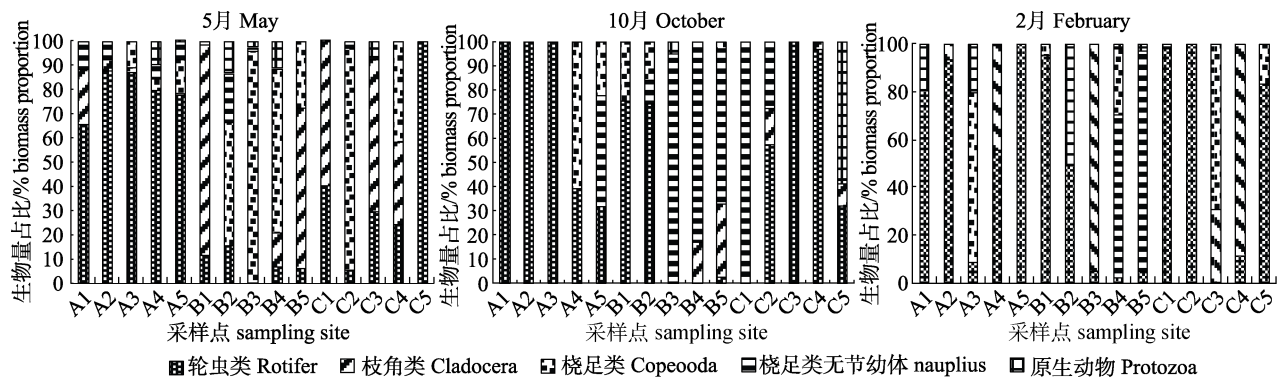


图 9 黄河河南段不同采样点浮游动物生物量占比

Fig. 9 The biomass proportion of various zooplankton at different sampling sites in Henan section of the Yellow River

未检出; 2 月的裕里原生动物占比高达 50.7%, 枣香河口和西阎占比均值为 19.5%, 鹰嘴山、桐树岭和伊洛河口占比很少, 其他点位均未检出原生动物。由此可见黄河河南段浮游动物群落结构较为简单。

2.4 不同时期浮游生物优势种的变化 优势种指数 $Y \geq 0.02$ 的种类定为优势种^[20], 黄河河南段共发现 65 种(属)优势种, 优势度范围为 0.02~13.07。绿藻门小球藻、绿球藻、纤维藻、衣藻、卵囊藻, 硅藻门的颗粒直链藻、尖针杆藻、小环藻和脆杆藻为黄河河南段

的共同优势种。其中, 5 月的优势种为绿藻门 18 种(属), 硅藻门 12 种(属), 蓝藻门 6 种(属), 甲藻门 2 种(属), 黄藻门、裸藻门和隐藻门各 1 种(属); 10 月为绿藻门 11 种(属), 硅藻门 13 种(属), 蓝藻门 7 种(属), 黄藻门和裸藻门各 2 种(属), 隐藻门 1 种(属); 2 月为绿藻门 5 种(属), 硅藻门 8 种(属), 裸藻门和隐藻门各 1 种(属)(见表 1)。从表 1 可以看出浮游植物优势种污染带种类有 4 种, 分别为菱形藻、舟形藻、颤藻、鱼腥藻, 其中菱形藻、颤藻和鱼腥藻在 5 月和 10 月均有出现, 舟形藻在 10 月和 2 月均出现过。

表 1 黄河河南段浮游植物优势种

Tab. 1 Dominant phytoplankton species in Henan segment of the Yellow River

门类 category	优势种 dominant species							
	物种 species	拉丁文 Latin name	5 月 May	优势度 dominance	10 月 October	优势度 dominance	2 月 February	优势度 dominance
绿藻门 Chlorophyta	小球藻	<i>Chlorella</i> sp.	+	2.54	+	1.19	+	0.17
	绿球藻	<i>Chlorococcum</i> sp.	+	0.07	+	0.08	+	0.31
	实球藻	<i>Pandorina</i> sp.	+	0.08				
	空星藻	<i>Coelastrum</i> sp.	+	0.02	+	0.09		
	小空星藻	<i>Coelastrum microporum</i>	+	0.02				
	被甲栅藻	<i>Scenedesmus armatus</i>	+	0.05				
	斜生栅藻	<i>Scenedesmus obliquus</i>	+	0.09				
	二形栅藻	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	+	0.07	+	0.05		
	尖细栅藻	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	+	0.02	+	0.03		
	纤维藻	<i>Ankistrodesmus</i> sp.	+	0.14	+	0.04	+	0.09
	蹄形藻	<i>Kirchneriella</i> sp.	+	0.04				
	集星藻	<i>Actinastrum</i> sp.	+	0.05	+	0.05		
	十字藻	<i>Crucigenia apiculata</i>	+	0.07				
	衣藻	<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	0.06	+	0.08	+	0.27
	球衣藻	<i>Chlamydomonas globosa</i>	+	0.02				
	卵囊藻	<i>Oocystis</i> sp.	+	4.44	+	0.2	+	0.03
	湖生卵囊藻	<i>Oocystis lacustris</i>	+	1.18				

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

门类 category	优势种 dominant species							
	物种 species	拉丁文 Latin name	5 月 May	优势度 dominance	10 月 October	优势度 dominance	2 月 February	优势度 dominance
蓝藻门 Cyanophyta	孤生卵囊藻	<i>Oocystis solitaria</i>	+	0.05				
	丝藻	<i>Ulothrix</i> sp.			+	0.11		
	鼓藻	<i>Cosmarium</i> sp.			+	0.03		
	颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	+	0.22	+	0.06	+	0.09
	意大利直链藻	<i>Melosira italica</i>	+	0.06				
	颗粒直链藻最窄变种	<i>Melosira granulata</i> <i>var. angustissima</i>	+	0.02				
	有脊远距直链藻	<i>Melosira listans</i> var. <i>lirata</i>	+	0.02				
	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>	+	2.61	+	0.59	+	0.14
	小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	+	0.48	+	0.29	+	13.07
	近缘针杆藻	<i>Synedra affinis</i>			+	0.03		
	肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>			+	0.03		
	星芒小环藻	<i>Cyclotella stelligera</i>	+	0.03				
	库氏小环藻	<i>Cyclotella kutzingiana</i>	+	0.02				
	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.	+	0.04	+	1.45		
	新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium</i>			+	0.11		
	针状菱形藻	<i>Nitzschia acicularis</i>			+	0.16		
	舟形藻	<i>Navicula</i> sp.			+	0.72	+	0.04
	脆杆藻	<i>Fragilaria</i> sp.	+	0.03	+	0.04	+	0.03
	曲壳藻	<i>Achnanthes</i> sp.	+	0.05				
	卵形藻	<i>Cocconeis</i> sp.	+	0.12				
	双菱藻	<i>Surirella</i> sp.			+	0.08		
	桥弯藻	<i>Cymbella</i> sp.			+	0.03	+	0.02
	等片藻	<i>Diatoma</i> sp.			+	0.04		
	布纹藻	<i>Gyrosigma</i> sp.					+	0.04
	星杆藻	<i>Asterionella</i> sp.					+	0.08
	颤藻	<i>Oscillaatoria</i> sp.	+	0.21	+	0.42		
	微囊藻	<i>Microcystis</i> sp.	+	0.48				
	席藻	<i>Phormidium</i> sp.	+	0.26	+	5.29		
	色球藻	<i>Chroococcales</i> sp.	+	0.82	+	0.09		
	尖头藻	<i>Raphidiopsis</i> sp.	+	0.07	+	0.04		
	鱼腥藻	<i>Anabaena</i> sp.			+	0.09		
	伪鱼腥藻	<i>Pseudoanabaena</i> sp.	+	0.27				
	鞘丝藻	<i>Lyngbya</i> sp.			+			
	蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis</i> sp.			+	0.04		
	平裂藻	<i>Merismopedia</i> sp.			+	0.15		
甲藻门 Pyrrophyta	多甲藻	<i>Peridinium</i> sp.	+	0.02				
	角甲藻	<i>Ceratium</i> sp.	+	0.08				
裸藻门 Euglenophyta	裸藻	<i>Euglena</i> sp.	+	0.06				
	囊裸藻	<i>Trachelomonas</i> sp.			+	0.02		
	扁裸藻	<i>Phacus</i> sp.			+	0.05	+	0.5
隐藻门 Cryptophyta	蓝隐藻	<i>Chroomonas</i> sp.	+	0.04				
	隐藻	<i>Cryptomonas</i> sp.			+	0.04	+	0.08
黄藻门 Xanthophyta	黄丝藻	<i>Tribonema</i> sp.	+	0.07	+	0.07		
	黄管藻	<i>Ophiocytium</i> sp.			+	0.04		

注: +代表优势种.

Note: + represents the dominant species.

浮游动物以优势种指数 $Y \geq 0.02$ 的种类定为优势种, 黄河河南段共发现 41 种(属)优势种, 优势度范围为 0.02~1.25。黄河河南段浮游动物共同优势种为萼花臂尾轮虫、浦达臂尾轮虫、剪形臂尾轮虫、盖氏晶囊轮虫、象鼻溞、秀体溞、溞、桡足类无节幼体。其中 5 月优势种为轮虫 15 种, 原生动物 3 种, 枝角类 4 种, 桡足类 4 种; 10 月优势种为轮虫 9 种, 原生动物 2 种, 枝角类 3 种, 桡足类 4 种; 2 月优势种为轮虫 13 种; 原生动物 3 种, 枝角类 3 种, 桡足类 2 种。从表 2 可以看出, 浮游动物优势种中污染带种类生物有 5 种, 分别为螺形龟甲轮虫、曲腿龟甲轮虫、萼花臂尾轮虫、盖氏晶囊轮虫和表壳虫。其中, 萼花臂尾轮虫和盖氏晶囊轮虫出现频率最高, 不同时期均有出现。

表 2 黄河河南段浮游动物优势种
Tab. 2 Dominant zooplankton species in Henan section of the Yellow River

门类 category	优势种 dominant species							
	物种 species	拉丁名 Latin name	5 月 May	优势度 dominance	10 月 October	优势度 dominance	2 月 February	优势度 dominance
轮虫 Rotifer	螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	+	0.09				
	曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella valga</i>	+	0.05				
	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	+	0.09	+	0.02	+	1.00
	浦达臂尾轮虫	<i>Brachionus budapestiensis</i>	+	0.07	+	0.02	+	0.14
	剪形臂尾轮虫	<i>Brachionus forficula</i>	+	0.04	+	0.02	+	0.50
	壶状臂尾轮虫	<i>Brachionus urceus</i>	+	0.04			+	0.13
	裂足臂尾轮虫	<i>Brachionus diversicornis</i>	+	0.07			+	0.33
	矩形臂尾轮虫	<i>Brachionus leydigi</i>					+	0.20
	无柄轮虫	<i>Ascomorpha</i> sp.	+	0.20				
	腹尾轮虫	<i>Gastropus</i> sp.					+	0.20
	泡轮虫	<i>Pompholyx</i> sp.	+	0.05			+	0.17
	沟痕泡轮虫	<i>Pompholyx sulcata</i>	+	0.10				
	盖氏晶囊轮虫	<i>Asplanchna girodi</i>	+	0.02	+	0.15	+	0.40
	裂足轮虫	<i>Schizocerca</i> sp.	+	0.18			+	0.14
	异尾轮虫	<i>Trichocerca</i> sp.			+	0.15	+	0.33
	长刺异尾轮虫	<i>Trichocerca longiseta</i>	+	0.07	+	0.03		
	罗氏异尾轮虫	<i>Trichocerca rousseleti</i>	+	0.05	+	0.50		
	等刺异尾轮虫	<i>Trichocerca similis</i>	+	0.11	+	0.60		
	水轮虫	<i>Epiphanes</i> sp.					+	0.17
	多肢轮虫	<i>Polyarthra</i> sp.					+	0.25
	叶轮虫	<i>Notholca</i> sp.			+	0.08		
	象鼻溞	<i>Bosmina</i> sp.	+	0.30	+	1.25	+	1.00
枝角类 Cladocera	尖额溞	<i>Alona</i> sp.	+	0.50				
	秀体溞	<i>Diaphanosoma</i> sp.	+	0.50	+	0.12	+	0.25
	溞	<i>Daphnia</i> sp.	+	0.11	+	0.02	+	0.33
	哲水蚤	<i>Calanoida</i> sp.	+	0.07	+	0.40		
桡足类 Copepoda	剑水蚤	<i>Cyclopoidea</i> sp.	+	0.64	+	0.31		
	猛水蚤	<i>Harpacticoida</i> sp.	+	0.04	+	1.00		
	沟渠异足猛水蚤	<i>Canthocamptus staphylinus</i>					+	0.04
	无节幼体	nauplius	+	2.41	+	1.08	+	1.67
原生动物 Protozoa	累枝虫	<i>Epistylis</i> sp.					+	0.22
	砂壳虫	<i>Diffflugia</i> sp.	+	0.10	+	0.25		
	表壳虫	<i>Arcella</i> sp.	+	0.16	+	0.13		
	刺胞虫	<i>Acanthocystis</i> sp.	+	0.09				
	钟虫	<i>Vorticella</i> sp.					+	0.67
	草履虫	<i>Paramecium</i> sp.					+	0.17

注: +代表优势种。
Note: + represents the dominant species.

2.5 黄河河南段浮游生物多样性分析

黄河河南段不同采样点和不同时期浮游植物和浮游动物多样性指数见图 10、图 11 和图 12。本次各采样点 3 次采样浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')范围在 0.66~4.38 之间, 均值为 2.70, 各采样点 3 次采样均值最大值为弘农涧河口, 最小值为裕里。5 月为 2.09~4.38, 平均为 3.17, 10 月为 2.29~4.08, 平均为 3.19, 2 月为 0.66~2.96, 平均为 1.73。Margalef 丰富度指数(D)变化范围为 1.32~4.68, 均值

为 2.70, 各采样点 3 次均值最大为青龙涧河口, 最小为鹰嘴山。5 月为 1.41~4.68, 平均为 3.04, 10 月为 1.47~4.60, 平均为 3.22, 2 月为 1.32~2.32, 平均为 1.84。Pielou 物种均匀度指数(J)的季节变化范围为 0.16~0.97, 均值为 0.63, 最大值为恼里, 最小值为裕里。5 月为 0.46~0.89, 平均为 0.69, 10 月为 0.47~0.97, 平均为 0.74, 2 月为 0.16~0.89, 平均为 0.47(图 10)。从图 11 可以看出: H' 值和 J 值均为 10 月>5 月>2 月, 而 D 值 5 月和 10 月差异不大, 2 月最低。

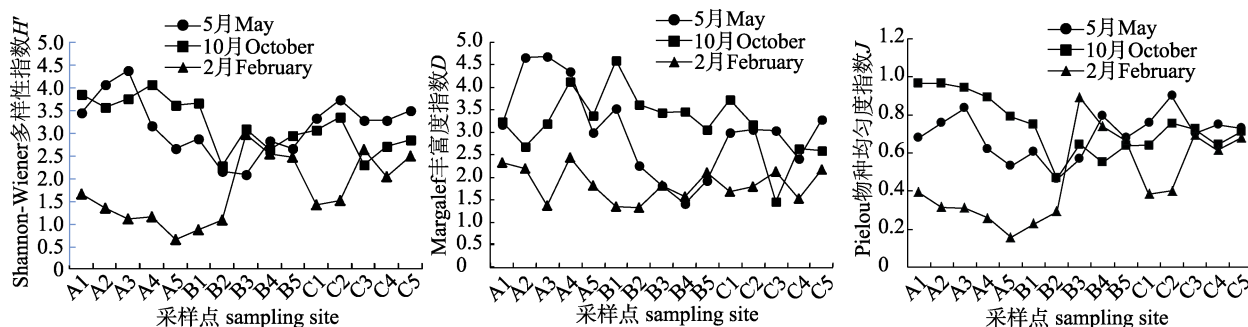


图 10 黄河河南段不同采样点浮游植物多样性指数

Fig. 10 Diversity indices of phytoplankton at different sampling sites in Henan section of the Yellow River

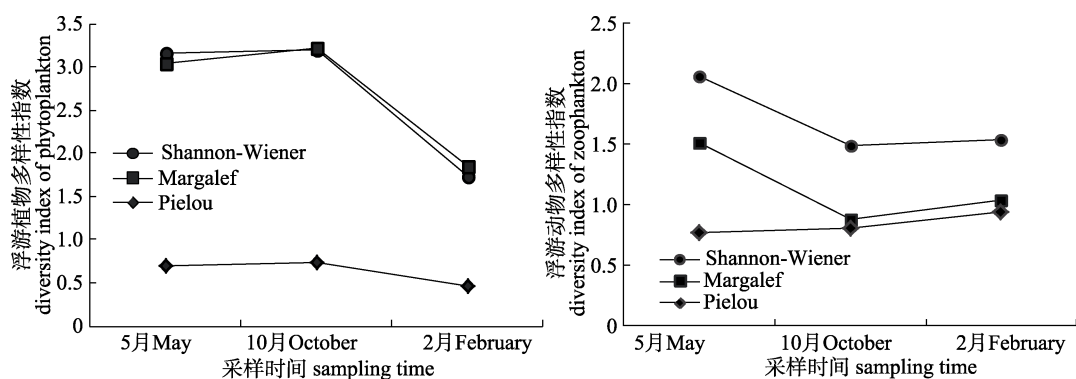


图 11 黄河河南段不同时期浮游植物和浮游动物多样性指数

Fig. 11 Diversity indices of phytoplankton and zooplankton in different periods in Henan section of the Yellow River

浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')范围为 0.50~3.02, 均值为 1.70。各采样点均值最高出现在鹰嘴山, 最低为恼里。5 月为 0.92~2.82, 平均为 2.06, 10 月为 0.50~3.02, 平均为 1.49, 2 月为 0.92~2.25, 平均为 1.54。Margalef 丰富度指数(D)变化范围为 0.32~2.33, 均值为 1.14。最高值为裕里, 最低为枣香河口。5 月为 0.63~2.19, 平均为 1.51, 10 月为 0.32~2.05, 平均为 0.88, 2 月为 0.63~1.55, 平均为

1.04。Pielou 物种均匀度指数(J)变化范围为 0.39~1, 均值为 0.84。最高出现在伊洛河口, 最低为西阎。5 月为 0.39~1, 平均为 0.77, 10 月为 0.50~1, 平均为 0.80, 2 月为 0.79~1, 平均为 0.94(图 12)。从图 11 可以看出: 浮游动物生物多样性 3 种指数曲线比较平缓, 均匀度指数随着时间变化不大, 说明该段群落物种总体来说分布均匀。Shannon-Wiener 多样性指数 5 月最大, 10 月和 2 月无差异。

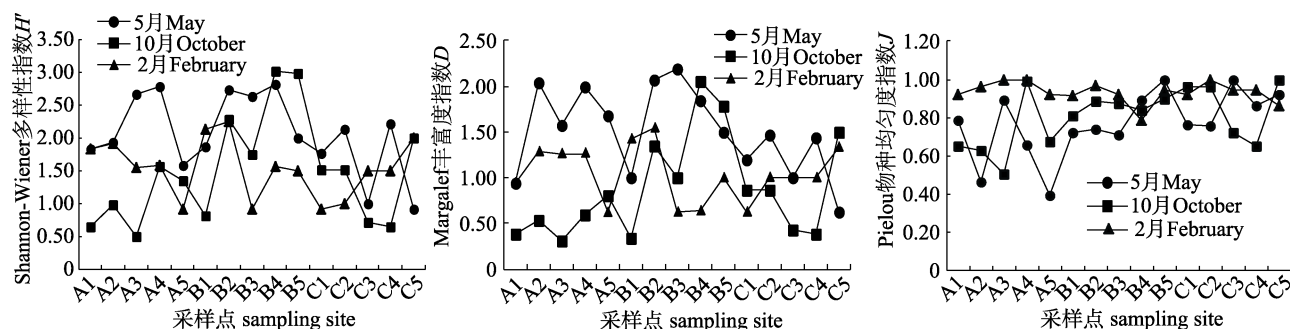


图 12 黄河河南段不同采样点浮游动物多样性指数

Fig. 12 Diversity indices of zooplankton at different sampling sites in Henan section of the Yellow River

3 讨论

3.1 黄河河南段浮游生物种类组成、密度和生物量

在河流型浮游生物组成中,浮游植物主要由硅藻和绿藻组成,其次为蓝藻^[21]。本次黄河渔业资源河南段调查共检出浮游植物 8 门 134 种(属),浮游植物种类组成全年以绿藻门和硅藻门为主,蓝藻门次之。这与黄河上游玛曲段^[12]、黄河山东段^[14]以及黄河河南段^[3,15]等黄河浮游生物群落结构研究中表述的浮游植物种类组成结果一致。浮游动物共检出 4 大类共 66 种(属),浮游动物种类组成数量上全年以轮虫为主,原生动物次之,枝角类和桡足类在种类数量上占比较少,这与李瑞娇等^[13]、冷春梅等^[14]和惠筠等^[3]对黄河浮游动物种类组成研究结果一致。也与国内许多流水性河流中浮游动物群落组成相似^[5,22]。与惠筠等^[3]在 2013—2014 年黄河河南段调查中相比,浮游动物种类数大幅下降,这可能与环境变化、采样时间、采样地点以及黄河高流速、高泥沙含量水体有关。张军燕等^[4]也认为流速较快、含沙量大的河流,不是浮游动物理想栖息地,个体比较大的浮游动物进入高泥沙含量的水体,密度快速减少甚至消失。

浮游生物密度及生物量是评估水生态系统健康状况和生态环境质量的重要指标。何志辉^[23]认为藻类的密度和群落结构由水环境中的污染物质和营养盐的含量决定。王婕好等^[24]认为浮游动物的密度与水温、盐度、水系、浮游植物等因子有关。本次调查发现各采样点浮游植物平均密度趋势为枣香河口>大安>裕里>南村>天然文岩渠口>西阎>金堤河口>恼里>青龙涧河口>弘农涧河口>鹰嘴山>桐树岭>伊洛河口>拴马村>柳园口,平均生物量为枣香河口>青龙涧河口>西阎>南村>大安>裕里>恼里>弘农涧

河口>天然文岩渠口>金堤河口>伊洛河口>拴马村>桐树岭>鹰嘴山>柳园口,各采样点浮游动物平均密度趋势为青龙涧河口>大安>西阎>弘农涧河口>鹰嘴山>裕里>拴马村>枣香河口>桐树岭>南村>伊洛河口>柳园口>恼里>金堤河口>天然文岩渠口。平均生物量为青龙涧河口>大安>西阎>鹰嘴山>桐树岭>拴马村>裕里>柳园口>南村>弘农涧河口>天然文岩渠口>枣香河口>恼里>伊洛河口>金堤河口。结果表明黄河河南段浮游植物和浮游动物密度和生物量在时间上变化趋势基本一致,但在空间上浮游植物和浮游动物密度和生物量存在差异。这可能与水流、光照、水温、pH、营养盐等水域环境以及各采样点所处的地理位置不同有关^[5]。有研究认为适量的泥沙有利于硅藻的生长^[25]。此次调查发现 3 次采样绿藻生物量占比平均为 9.7%,硅藻生物量平均占比 70.0%,蓝藻占比为 7.1%,结果表明黄河河南段浮游植物绿藻种类数虽然大于硅藻种类数,但是均以硅藻的生物量占比最高,这是因为绿藻的个体平均湿重小,而硅藻个体平均湿重大的缘故。轮虫为孤雌生殖方式,对环境变化能快速做出响应,能够在短时间内完成生活史达到较高的密度,在浮游动物种类组成中始终占有重要比重^[26]。此次调查发现轮虫生物量占比 54.7%,枝角类 39.1%,桡足类 46.9%,原生动物占比 17.3%,结果表明原生动物种类数大于枝角类和桡足类,而生物量占比要比枝角类和桡足类小,这是由于原生动物个体小,相对平均湿重要低于个体比较大的枝角类和桡足类,从而导致了原生动物种类数与生物量占比出现不一致。

3.2 黄河河南段浮游生物优势种与生物多样性

优势种的种类和数量对浮游生物群落结构稳定性起着重要的作用。沈韞芬等^[27]认为绿藻适宜在中等水温中生长,硅藻和金藻适宜生长在较冷的水温

中,蓝藻适宜生长在温暖的水体中。调查发现优势种卵囊藻和小球藻分别以 4.44 和 2.54 的优势度在 5 月占主要优势;席藻以优势度 5.29 在 10 月占主要优势,小环藻以 13.07 的优势度在 2 月占绝对优势。优势种的种类越多,各个种优势度越小,群落结构越复杂,越稳定^[28]。优势种中的小空星藻、被甲栅藻、斜生栅藻、球衣藻、十字藻、蹄形藻、湖生卵囊藻、孤生卵囊藻、意大利直链藻、颗粒直链藻最窄变种、有脊远距直链藻、星芒小环藻、库氏小环藻、曲壳藻、卵形藻、微囊藻、伪鱼腥藻、多甲藻、角甲藻、裸藻、蓝隐藻仅出现在 5 月,丝藻、鼓藻、新月菱形藻、针状菱形藻、近缘针杆藻、肘状针杆藻、双菱藻、蓝纤维藻、平裂藻、黄管藻和囊裸藻只出现在 10 月,优势种布纹藻和星杆藻只出现在 2 月,此次调查发现,黄河河南段浮游植物优势种类比较多,除了卵囊藻、小球藻、席藻、小环藻占绝对优势外,其余优势种的优势度均较低,结果表明该段浮游植物群落结构比较复杂,浮游植物优势种在不同时期既相互交叉又有演替,而且演替明显。不同时期的优势种类和数量存在差异,这可能与水域环境变化和季节推移有关。

轮虫为孤雌生殖,生长发育快,适应环境能力强,通常能很快占领水体生态位成为优势种,同时易受到外界因素的影响发生种群演变^[28]。研究调查发现黄河河南段浮游动物优势种群以轮虫为主,其中萼花臂尾轮虫、浦达臂尾轮虫、剪形臂尾轮虫和盖氏晶囊轮虫出现频率最高,在 3 次采样中均有出现。综上可以看出浮游植物和浮游动物的优势种多为生活在污染水体的种类,表明黄河河南段出现一定程度的污染。

生物多样性指数、物种丰富度指数和均匀度指数常被用来描述群落的演替方向、速度和稳定程度。是评价群落种类组成的稳定程度、数量分布均匀程度和群落组织结构特征的重要指标。陈家长等^[29]和孟顺龙等^[30]将生物多样性指数化分为 5 个等级,Ⅰ级的多样性指数 <0.6 ,表示多样性差;Ⅱ级指数为 0.6~1.5,表示多样性一般;Ⅲ级指数为 1.6~2.5,表示多样性较好;Ⅳ级的指数为 2.6~3.5,表示多样性丰富;Ⅴ级指数 >3.5 ,表示多样性非常丰富。此次调查多样性指数分析显示,Shannon-Wiener 多样性指数(H')各个采样点 3 次采样均值介于 1.6~2.5 的有 3 个点位,

占总调查点位的 20.0%,介于 2.6~3.5 的有 12 个点位,占 80.0%,3 个时间段均值为 2.70,结果表明黄河河南段的浮游植物多样性在 Ⅲ~Ⅳ 之间,多样性较好或丰富,而且偏向于多样性丰富。浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')各个采样点 3 次的均值介于 0.6~1.5 的点位有 5 个,占总调查点位的 33.3%,介于 1.6~2.5 的有 10 个,占 66.7%,3 个时间段均值为 1.70,结果表明浮游动物多样性在 Ⅱ~Ⅲ 之间,多样性偏于较好。由此认为黄河河南段浮游植物多样性指数丰富,浮游动物多样性较好。通常比较稳定的群落具有较高的多样性和均匀度,一般将均匀度指数大于 0.3 作为浮游生物多样性较好的标准^[30]。此次调查发现浮游植物 Pielou 物种均匀度指数(J)均值为 0.63,浮游动物 J 均值为 0.83,浮游植物和浮游动物 J 均大于 0.3,说明黄河河南段浮游生物均匀度较好。研究结果表明黄河河南段浮游植物种群较丰富,均匀度较好,多样性高。浮游动物多样性和均匀度较好。

生物多样性也是判断水质好坏的重要指标。杨潇等^[20]认为多样性指数 0~1 时为重度污染;多样性指数介于 1~2 时为中度污染;多样性指数介于 2~3 时为轻度污染;多样性指数 >3 时为清洁。此次调查发现黄河河南段浮游植物和浮游动物生物多样性存在差异,浮游动物的多样性指数和丰富度指数均低于浮游植物,这可能与黄河干流泥沙含量较大、流速过快引起的浮游动物生长繁殖受到限制有关^[22],调查发现浮游植物生物多样性各个采样点 3 次的 H' 均值介于 1~2 的点位占 6.7%,介于 2~3 的点位占 86.6%, >3 的点位占 6.7%。 D 值介于 2~3 的点位占 73.3%, >3 的点位占 26.7%,各采样点 3 次 H' 和 D 值均值为 2.70,因此认为黄河河南段浮游植物生物多样性对应的水质类型为轻度污染。浮游动物生物多样性各个采样点 3 次采样的 H' 均值介于 1~2 的点位占 80.0%,2~3 的点位占 20.0%。 D 值介于 0~1 的点位占 33.3%,介于 1~2 的点位占 66.7%,各采样点 3 次 H' 和 D 均值为分别为 1.70 和 1.14。因此认为浮游动物生物多样性对应的水质类型为中度污染。本研究认为,浮游动物多样性指数不适合此次黄河河南段的水质污染状况的评价,更多的是用来评价该段浮游动物群落的稳定性、均匀性及丰富性。这是因为该河段浮游动物种类组成结构简单,主要为轮虫占绝

对优势, 原生动物次之, 枝角类, 桡足类占比很少。

一般认为生物多样性指数越大, 表明水质越好^[31]。张军燕等^[4]认为黄河玛曲段浮游植物 H' 介于 2~3, 水体为轻度污染, 结合本研究定性、定量及生物多样性指数分析结果, 表明近期黄河河南段水质为轻度污染。与本团队同批次水化指标黄河河南段水质为中度污染监测结果存在差异, 这可能是因为采样的频次不同, 生物多样性采用 3 个不同时期(2023 年 5 月、10 月、2024 年 2 月)对水质进行评价, 而水化指标评价采用 4 个不同时期(2022 年 6 月、2023 年 5 月、10 月、2024 年 2 月)对水质进行评价, 导致结果存在差异。也可能这两种评价方法的侧重点不同导致结果存在差异。水化指标监测是在固定的采样点进行定期取样, 取得的结果只能代表取样时的瞬时状态, 不能全面反映取样前后的水质状况, 生物多样性指数评价反映了浮游生物整个生活时期的环境情况, 更能反映长期的水质状况^[30]。有研究认为生物多样性监测更多的是一种定性描述, 不够准确^[31]。因此, 应深入开展研究浮游生物群落结构组成与理化因子的关联性, 掌握生物群落组成与理化因子的相关规律, 在实际应用中把两者结合起来, 通过浮游生物群落结构特征变化来预测水质的变化趋势。

参考文献:

- [1] Wang W S, Zhuo W H, Yin S J. The Current status and strategies for the wetland in Hennan[J]. Journal of Hennan Forestry Science and Technology, 2001, 21(2): 1-3. [汪万森, 卓卫华, 阴三军. 河南黄河湿地现状与保护对策[J]. 河南林业科技, 2001, 21(2): 1-3.]
- [2] Liu L N, Wei J, Ma Y X, et al. Research on ecological environment evaluation in the Henan section of the Yellow River Basin based on spatio-temporal changes[J]. Environmental Science and Management, 2021, 46(2): 169-173. [刘丽娜, 魏杰, 马云霞, 等. 基于时空变化的黄河流域河南段生态环境评价研究[J]. 环境科学与管理 2021, 46(2): 169-173]
- [3] Hui J, Jie Z L, He H Z, et al. Ecological characteristics and spatio-temporal distribution of plankton in the Henan section of the Yellow River[J]. Hebei Fisheries, 2018 (5): 38-42. [惠筠, 介子林, 贺海战, 等. 黄河河南段浮游生物生态特性与时空分布[J]. 河北渔业, 2018(5): 38-42]
- [4] Zhang J Y. Research on the community structure characteristics of plankton in the main stream of the Yellow River from Maqu to Hukou section[D]. Xi'an Northwest University, 2009, 76: 11-12. [张军燕. 玛曲至湖口段黄河干流浮游生物群落结构特征研究[D]. 西安: 西北大学 2009, 76: 11-12]
- [5] Sun X M, Liu S P, Duan X X B, et al. Structure of plankton community and its relationship with environmental factors in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2021, 5(3): 3-11. [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环境因子的关系[J]. 淡水渔业, 2021, 5(3): 3-11]
- [6] Ma J, Chen H J, Liu G X. Community characteristics of zooplankton in the estuary of the Yellow River and its adjacent waters in summer 2007[J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2012, 42(5): 74-80. [马静, 陈洪举, 刘光兴. 2007 年夏季黄河口及其邻近水域浮游动物的群落特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(5): 74-80]
- [7] Zhang J M, Liu S, Zhang Q, et al. Changes in the phytoplankton community in the sea area near the estuary of the Yellow River[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(6): 834-837. [张继民, 刘霜, 张琦, 等. 黄河口附近海域浮游植物群落变化[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(6): 834-837]
- [8] Gong J X, Yang X L, Duan D X, et al. Study on the characteristics of the zooplankton community in the waters of the estuary of the Yellow River in spring[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2010, 30(6): 1-6. [巩俊霞, 杨秀兰, 段登选, 等. 黄河入海口水域春季浮游动物群落特征研究[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(6): 1-6]
- [9] Liu X T, Liu G X. Community structure of net-collected phytoplankton in the estuary of the Yellow River and its adjacent waters in summer 2009[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(1): 153-162. [刘晓彤, 刘光兴. 2009 年夏季黄河口及其邻近水域网采浮游植物的群落结构[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 153-162]
- [10] Liu X H, Xu B D, Zhang C L, et al. Community structure characteristics and seasonal variation of zooplankton in the Yellow River Estuary and adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(5): 922-930. [刘晓慧, 徐宾铎, 张崇良, 等. 黄河口及邻近水域浮游动物群落结构特征及其季节变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(5): 922-930]
- [11] Ma Z X, Song Y Z, Hu C X, et al. Investigation on algae in the Lanzhou section of the Yellow River[J]. Journal of Northwest Normal University. 1994, 30(2): 93-96. [马正学, 宋玉珍, 胡春香, 等. 黄河兰州段的藻类调查[J]. 西北师范大学学报. 1994, 30(2): 93-96]
- [12] Zhang J Y, Zhang J J, Yang X Z, et al. Characteristics of the spring plankton community structure in the Maqu section of

- the upper reaches of the Yellow River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(5): 983-987. [张军燕, 张建军, 杨兴中, 等. 黄河上游玛曲段春季浮游生物群落结构特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 983-987]
- [13] Li R J, Qi X R, Wang Y C, et al. Spatio-temporal dynamics of zooplankton community structure and its relationships with environmental factors in the Shaanxi section of the Yellow River[J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(6): 54-60. [李瑞娇, 齐喜荣, 王益昌, 等. 黄河陕西段浮游动物群落结构时空动态及与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(6): 54-60]
- [14] Leng C M, Dong G C, Liu C, et al. Investigation and analysis of the characteristics of the plankton community in the Shandong section of the Yellow River[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 47(5): 668-673. [冷春梅, 董贯仓, 刘超, 等. 黄河山东段浮游生物群落特征调查分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(5): 668-673]
- [15] Wang F H, Yang Y, Zhang Y, et al. Distribution characteristics of phytoplankton functional groups and influencing factors in the Henan section of the Yellow River basin[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2024, 48(3): 518-520. [王飞虎, 杨越, 张洋, 等. 黄河流域河南段浮游藻类功能群分布特征及影响因子[J]. 水生生物学报, 2024, 48(3): 513-523]
- [16] Zhang J M, He Z H. Handbook for Investigation of Fishery Natural Resources in Inland Waters[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1973. [张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1973.]
- [17] Wei F S, Qi W Q. Monitoring and Analysis Methods of Water and Wastewater[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. [魏复盛, 齐文启. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002]
- [18] Zhao W, Wang L Q, Wang G X, et al. Hydrobiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. [赵文, 王丽卿, 王高学, 等. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005]
- [19] Zhou F X, Chen J H. Atlas of Freshwater Microorganisms and Benthic Organisms[M]. 2nd Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 1995. [周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1995]
- [20] Yang X, Ma J S, Zhang H, et al. Characteristics and influencing factors of plankton community structure and water quality evaluation in different hydrological periods in Poyang Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(5): 1094-1095. [杨潇, 马吉顺, 张欢, 等. 鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征和影响因素及水质评价[J]. 水生生物学报, 2021, 45(5): 1094-1095]
- [21] Hong S, Chen J S. Discussion on the structural characteristics of aquatic biological communities in Chinese rivers[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[J]. 水生生物学报, 2002, 26(3): 295-305]
- [22] Bai H F, Zhao N X, Yin X W, et al. Community structure of zooplankton and its relationship with environmental factors in the Weihe River Basin[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(3): 260-266. [白海峰, 赵乃锡, 殷旭旺, 等. 渭河流域浮游动物的群落结构及其与环境因子的关系[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(3): 260-266]
- [23] He Z H. The biomass of freshwater plankton - the top priority for improving the quantitative work of plankton[J]. Chinese Journal of Zoology, 1979, 4: 53-56. [何志辉. 淡水浮游生物的生物量-改进浮游生物定量工作的当务之急[J]. 动物学杂志, 1979, 4: 53-56]
- [24] Wang J Y, Huang B, Jia H B, et al. The community structure and diversity status of zooplankton in the Zhoushan sea area of Zhejiang in spring and autumn of 2014 and 2011[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science Edition, 33(4): 311-316. [王婕妤, 黄备, 贾海波, 等. 2014, 2011 年春、秋季浙江舟山海域浮游动物群落结构和多样性现状[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 33(4): 311-316]
- [25] Zhang Z, Zhang X Z. Analysis on the removal effect of organic pollutants in Shuanglong Lake water by plant purification beds[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(4): 708-713. [张智, 张显忠. 植物净化床对双龙湖水体有机污染物的去除效果分析[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 708-713]
- [26] Bai H F, Kong F H, Wang Y R, et al. Spatiotemporal characteristics of zooplankton community structure and its correlation with environmental factors in the Beiluo River Basin[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(5): 785-795. [白海峰, 孔飞鹤, 王怡睿, 等. 北洛河流域浮游动物群落结构时空特征及其与环境因子相关性[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(5): 785-795]
- [27] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X G, et al. New Technologies For Monitoring Micro-organisms[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990. [沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1990]
- [28] Xue J Z, Yuan L, Tang J C, et al. Distribution and seasonal variation of rotifers in the main tributary bays of the Three Gorges Reservoir[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(2): 161-170. [薛俊增, 袁林, 唐近蝉, 等. 三峡水库主要支流库湾轮虫分布和季节变化[J]. 海洋湖沼通报, 2013(2): 161-170]

- [29] Chen J C, Meng S L, Yong Y, et al. Analysis of the community structure characteristics of phytoplankton in Wuli Lake of Taihu Lake[J]. Journal of Eco-Environment, 2009, 18(4): 1358-1367. [陈家长, 孟顺龙, 尤洋, 等. 太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1358-1367]
- [30] Meng S L, Xiao D, Chen X L, et al. Community structure of zooplankton and water quality assessment of typical water bodies in the hinterland of the lower reaches of the Yangtze River during wet and dry seasons[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 27(6): 76-83. [孟顺龙, 肖带, 陈小丽, 等. 丰、枯水期里下河腹地典型水体浮游动物群落结构与水质评价[J]. 水生态学杂志, 2016, 27(6): 76-83]
- [31] Li X J, Bao Z M, Gao C F, et al. Investigation of zooplankton and water quality assessment in the Beiyun River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(6): 1559-1564. [李学军, 鲍站猛, 高彩凤, 等. 北运河浮游动物调查及水质评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1559-1564]

Analysis of the community structure characteristics of plankton in Henan section of the Yellow River

WANG Zhaoping, HUI Yun, MA Chao, ZHOU Xiaolin, YANG Hui, HE Haizhan, ZHANG Qingqing

Henan Fisheries Science Research Institute, Zhengzhou 450044, China

Abstract: To reveal the community structure characteristics of plankton in the Henan section of the Yellow River, three samplings were conducted at 15 sites in May 2023, October 2023, and February 2024. Qualitative and quantitative analyses of plankton in the samples were carried out. The analysis was conducted from five aspects: the species composition, density, biomass, dominant species, and biodiversity of plankton. A total of 134 species (genera) of phytoplankton belonging to 8 phyla, mainly Chlorophyta and Bacillariophyta, followed by Cyanophyta, were detected at the 15 sites. A total of 66 species (genera) of zooplankton belonging to four major groups were detected, among which Rotifera had the largest number of species, followed by Protozoa. The abundance of phytoplankton ranged from 6.02×10^4 to 11.71×10^6 cells/L, with an average of 10.92×10^5 cells/L, and the biomass was 0.06–5.83 mg/L, with an average of 0.66 mg/L. The abundance of zooplankton ranged from 3 to 2180 ind/L, with an average of 164.03 ind/L, and the biomass was 0.001–3.363 mg/L, with an average of 0.330 mg/L. One-way analysis of variance showed that there was a significant difference in the density of phytoplankton between May and October ($P < 0.05$), but no significant difference between May and February ($P > 0.05$). There were significant differences in the density of zooplankton between May and October and February ($P < 0.05$). There were significant differences in the biomass of zooplankton and phytoplankton between May and October and between May and February ($P < 0.05$). *Chlorella* sp., *Ankistrodesmus* spp., *Chlamydomonas* spp., *Oocystis* spp., *Melosira granulata*, *Synedra acus*, *Cyclotella* spp., and *Fragilaria* spp. were the dominant species of phytoplankton in different periods. *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna girodi*, *Bosmina* spp., *Diaphanosoma* spp., *Daphnia* spp., *Harpacticoida* spp., and *Nauplius* spp. were the dominant species of zooplankton in different periods. The Shannon-Wiener index value of phytoplankton ranged from 0.66 to 4.38, with an average of 2.70. The Margalef species richness index value was 1.32–4.68, with an average of 2.70. The Pielou species evenness index value was 0.16–0.97, with an average of 0.63. The Shannon-Wiener index value of zooplankton ranged from 0.50 to 3.02, with an average of 1.70. The Margalef species richness index value was 0.32–2.33, with an average of 1.14. The Pielou species evenness index value was 0.39–1.00, with an average of 0.84. According to the biodiversity index evaluation criteria, the recent water quality level of the Henan section of the Yellow River was slightly polluted.

Key words: Henan section of the Yellow River; plankton; abundance; biomass; community characteristics

Corresponding author: HUI Yun. E-mail: 18339262288@163.com