

马会娟,李茹梦,唐晟凯,等.高邮湖轮虫群落结构分析及水质生态学评价[J].江苏农业科学,2021,49(1):192-197.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.01.035

高邮湖轮虫群落结构分析及水质生态学评价

马会娟¹,李茹梦¹,唐晟凯²,李大命²,闵元棋¹,杨家新¹

(1. 南京师范大学海洋科学与工程学院,江苏南京 210023; 2. 江苏省淡水水产研究所,江苏南京 210017)

摘要:研究高邮湖轮虫群落结构与环境因子的关系,并对水质进行生态学评价,2017 年 1—12 月对高邮湖轮虫的群落结构以及水体理化因子进行了 1 年的调查研究,共鉴定出轮虫 18 属 31 种,优势种 13 种。不同季节轮虫群落结构差异明显,轮虫密度在秋季最高,冬季最低;生物量在夏季最高,春季最低。典型相关分析(CCA)结果表明,水温、溶解氧含量、叶绿素 a 含量、总氮含量、总磷含量等因子是影响轮虫群落结构的主要环境因子。运用综合营养状态指数、多样性指数以及轮虫污染指示种对高邮湖进行水质污染水平和富营养化评价。结果表明,2017 年高邮湖水质处于中污染水平,营养状态为中度富营养。

关键词:高邮湖;轮虫;群落结构;多样性指数;环境因子;水质评价

中图分类号: S963.21⁺4;X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)01-0192-05

轮虫是淡水生态系统中主要的浮游动物类群之一,个体较小,但其生长周期短,分布广泛,在生态系统初级生产力向次级生产力传递过程中占有特殊生态位角色,是鱼类和其他水生经济动物的重要饵料资源。此外,轮虫对许多外来污染物具有很强的敏感性,某些种类还可作为污染指示物,用于水体水质污染水平和富营养化评价,在物质对生态系统的生态毒理影响和生态系统演替、稳定性等研究方面具有重要的地位^[1-4]。

高邮湖地处江苏省中部(119°06′~119°25′E, 32°42′~33°41′N),湖长 48 km,最大宽度 28 km,总面积 760.67 km²。高邮湖是淮河入江主要通道,既是湖又是河,在湿地生态系统中扮演着极其重要的角色。长期以来,经济发展需要以及对湖泊不合理的开发利用,导致高邮湖湿地遭到破坏,同时对水域生态系统也造成了不良影响。本研究对高邮湖轮虫群落结构进行了 1 年的系统调查,通过分析轮虫种类、生物量、密度、多样性指数的季节变化与环境因子的关系,并结合综合营养指数、水体理化因子、多样性指数以及轮虫污染指示种对高邮湖水质

进行综合评价,以期高邮湖的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

本次调查在高邮湖从南向北设置了 12 个采样点(图 1)。根据高邮湖地理位置和各个采样点的不同设置,将距离高邮湖大闸蟹养殖区域和人类活动频繁区远近不同的 12 个采样点分为 4 个区域。样点 1、样点 2、样点 3 为区域 1,样点 4、样点 5、样点 6 为区域 2,样点 7、样点 8、样点 9 为区域 3,样点 10、样点 11、样点 12 为区域 4。

1.2 样品采集、物种鉴定

在 2017 年 1—12 月期间,对高邮湖轮虫每月采样 1 次。利用 YSI 水质分析仪在每个采样点现场测定水温(WT)、溶解氧(DO)含量、pH 值等指标。总氮(TN)含量和总磷(TP)含量通过碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和钼酸铵分光光度法测定;叶绿素 a 含量用 90% 丙酮萃取法测定;高锰酸钾指数(COD_{Mn})、氨态氮(NH₃-N)含量参照文献[5-7]。为避免微型轮虫数据丢失,采用 25 号浮游生物网(网格 0.064 mm)采集轮虫标本。将标本储存在 100 mL 聚乙烯塑料瓶中,定性样本用 4% 福尔马林溶液现场固定,带回实验室分类鉴定。轮虫鉴定和计数参照《中国淡水轮虫志》《淡水浮游生物研究方法》^[8-9]。

收稿日期:2020-04-14

基金项目:江苏省水生生物资源重大专项(编号:ZYHB16-3)。

作者简介:马会娟(1995—),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事水域生态学与生态毒理学研究。E-mail:mhj199501@163.com。

通信作者:杨家新,教授,博士生导师,主要从事海洋生物与生态学、生态毒理学、水域生态学、水产生物学和水产生物饵料科学研究。

E-mail:yangjx@njnu.edu.cn。

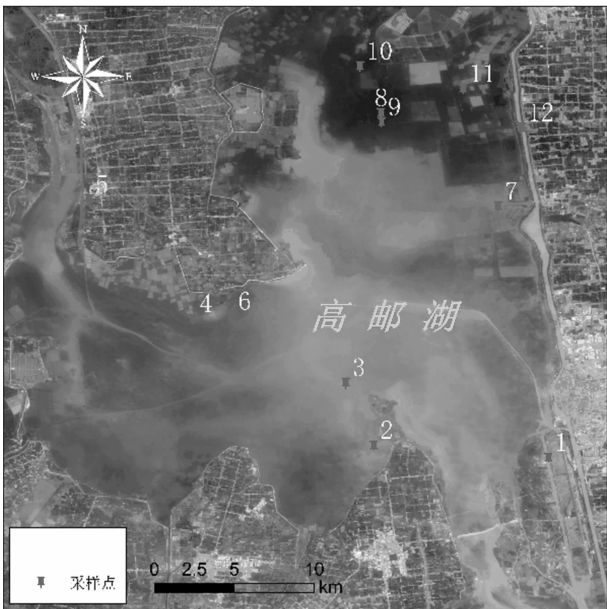


图1 高邮湖采样点位置分布

1.3 数据计算与分析

高邮湖轮虫群落结构的香农维纳多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J')、Margatef 丰富度指数 (D')、优势度 (Y') 计算方法参见文献[10-11], 将优势度 $Y' \geq 0.02$ 定义为优势种。轮虫生物量运用体积法进行计算。

富营养状态评价根据“湖泊(水库)富营养化评价方法和分级技术规范”(中国环境监测站)(表1), 采用综合营养状态指数法评价高邮湖水质。

综合营养状态指数计算公式:

$$TLI_{\Sigma} = \sum W_j \times TLI_j$$

式中: W_j 表示相关权重; TLI_j 表示第 j 个参数的营养

表 1 湖泊(水库)营养状态分级

营养状态分级	评分值 TLI_{Σ}	定性评价
贫营养	$0 < TLI_{\Sigma} < 30$	优
中营养	$30 < TLI_{\Sigma} < 50$	良好
轻度富营养	$50 < TLI_{\Sigma} < 60$	轻度污染
中度富营养	$60 < TLI_{\Sigma} < 70$	中度污染
重度富营养	$70 < TLI_{\Sigma} < 100$	重度污染

状态指数。

数据统计分析采用 Excel、SPSS 24.0 等软件。采用 Canoco 5.0 软件对轮虫群落和环境因子进行典型相关分析, 在分析之前, 将数据进行 $\lg(x+1)$ 转化。

2 结果与分析

2.1 环境因子

从表 2 可以看出, 高邮湖各样点水温全年变化范围为 6.6 ~ 32.8 ℃。pH 值全年变化范围为 8.27 ~ 8.99, 水体偏碱性。溶解氧含量全年变化范围为 8.43 ~ 13.84 mg/L, 最大值出现在 3 月, 可能与水生植物光合作用的增强有关。高邮湖叶绿素 a 含量全年变化范围为 8.81 ~ 32.11 μg/L, 南部区域(样点 12)叶绿素 a 含量相对较高, 湖心区域(样点 3)相对较低。透明度(SD)全年变化范围为 0.16 ~ 0.34 m, 其中透明度最高值出现在 8 月, 最低值出现在 4 月。从整个湖泊的角度来看, 样点 4 和靠近人类活动区的样点 5 透明度较低, 但是湖心区域(样点 3)透明度较高。总氮含量变化范围为 0.35 ~ 1.38 mg/L, 最大值出现在 3 月。总磷含量变化范围

表 2 高邮湖主要水质指标

月份	水温(℃)	pH 值	叶绿素 a 含量(μg/L)	DO 含量(mg/L)	TN 含量(mg/L)	TP 含量(mg/L)	SD (m)	COD _{Mn} 含量(mg/L)	NH ₃ -N 含量(mg/L)
1	6.6	8.60	8.81	13.41	0.63	0.06	0.20	4.60	0.13
2	7.5	8.53	15.34	12.86	0.48	0.05	0.25	3.20	0.23
3	9.9	8.99	21.45	13.84	1.38	1.20	0.22	2.80	1.37
4	12.4	8.38	24.23	8.43	0.59	0.12	0.16	4.20	0.06
5	16.8	8.37	27.29	12.88	0.70	0.07	0.24	2.40	0.18
6	20.8	8.49	13.68	13.32	0.48	0.07	0.28	2.50	0.11
7	30.5	8.27	28.64	11.48	1.10	1.10	0.25	3.50	0.15
8	32.8	8.41	32.11	9.30	0.53	0.05	0.34	2.90	0.06
9	28.2	8.41	10.39	11.45	0.68	0.07	0.17	3.80	0.06
10	19.7	8.42	31.66	11.53	0.68	0.07	0.21	4.30	0.13
11	12.0	8.36	25.67	12.07	0.35	0.04	0.22	4.50	0.12
12	7.0	8.48	12.74	11.95	0.45	0.05	0.21	2.20	0.14
均值	17.0	8.48	21.00	11.88	0.67	0.25	0.23	3.40	0.23

为 0.04 ~ 1.20 mg/L,与总氮含量一致,总磷含量最大值也出现在 3 月。

2.2 轮虫种类组成和群落结构

2.2.1 种类组成及优势种季节变化 从表 3、表 4 可以看出通过全年采样,高邮湖 12 个样点共鉴定出轮虫 18 属 31 种,优势种 13 种。1 月的主要优势种为暗小异尾轮虫(*Trichocerca pusilla*)和前节晶囊轮虫(*Asplachna priodonta*);5 月的主要优势种为针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、独角聚花轮虫(*Conochilus unicornis*);8 月的主要优势种为针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*);10 月的主要优势种为前节晶囊轮虫(*Asplachna priodonta*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)。各季节轮虫主要优势种交替变化明显,并有部分种类如螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、晶囊轮虫(*Asplanchna*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)等作为常见种长期存在。

表 3 优势种年均优势度

序号	优势种	缩写	优势度
1	萼花臂尾轮虫(<i>B. calyciflorus</i>)	<i>B. caly</i>	0.255
2	曲腿龟甲轮虫(<i>K. valga</i>)	<i>K. valg</i>	0.079
3	螺形龟甲轮虫(<i>K. cochlearis</i>)	<i>K. coch</i>	0.136
4	角突臂尾轮虫(<i>B. angularis</i>)	<i>B. angu</i>	0.075
5	矩形龟甲轮虫(<i>K. quadrala</i>)	<i>K. quad</i>	0.022
6	裂足臂尾轮虫(<i>B. diversicornis</i>)	<i>B. dive</i>	0.081
7	壶状臂尾轮虫(<i>B. urceus</i>)	<i>B. urce</i>	0.074
8	前节晶囊轮虫(<i>A. priodonta</i>)	<i>A. prio</i>	0.094
9	等刺异尾轮虫(<i>T. similis</i>)	<i>T. simi</i>	0.065
10	针簇多肢轮虫(<i>P. trigla</i>)	<i>P. trig</i>	0.067
11	独角聚花轮虫(<i>C. unicornis</i>)	<i>C. unic</i>	0.031
12	暗小异尾轮虫(<i>T. pusilla</i>)	<i>T. pusi</i>	0.053
13	尖趾腔轮虫(<i>Lecane closteroerca</i>)	<i>L. clos</i>	0.027

2.2.2 轮虫密度与生物量 从每个样点的月平均变化量(图 2)来看,轮虫密度变化范围为 110 ~ 1 853 ind/L,最大值出现在 9 月,最小值出现在 1 月。生物量变化范围为 0.089 ~ 1.030 mg/L,最大值出现在 7 月,最小值出现在 4 月。

2.3 种群群落结构与环境因子的关系

将高邮湖优势种的年变化与水温、溶解氧含量、pH 值、叶绿素 a 含量、透明度、总氮含量、总磷含量、氨态氮含量、高锰酸钾指数等环境因子进行 CCA 分析,结果显示,第 1 排序轴的特征值为 0.24,

表 4 轮虫种类组成及污染等级

种类	污染等级	春季	夏季	秋季	冬季
细异尾轮虫	o	-	-	+	-
长刺异尾轮虫	o	+	+	-	+
圆筒异尾轮虫	o	+	-	-	+
颤动疣毛轮虫	o	-	+	-	-
长刺异尾轮虫	o	-	-	+	+
脾状四肢轮虫	o	-	-	+	-
长三肢轮虫	β	-	+	+	+
迈氏三肢轮虫	β	-	+	+	-
针簇多肢轮虫	β-α	+	+	+	-
真翅多肢轮虫	β-α	-	-	-	-
囊形腔轮虫	β-α	-	+	-	+
尖趾腔轮虫	o-β	+	-	-	-
萼花臂尾轮虫	β-α	+	+	+	+
尾突臂尾轮虫	β	-	-	+	+
剪形臂尾轮虫	β	+	-	-	-
镰状臂尾轮虫	β	-	-	+	-
曲腿龟甲轮虫	o-β	+	+	+	+
前节晶囊轮虫	β	+	+	+	+
盖氏晶囊轮虫	o-β	+	+	+	+
卜氏晶囊轮虫	o-β	-	+	+	-
螺形龟甲轮虫	β-α	+	-	+	+
角突臂尾轮虫	β-α	+	+	+	+
裂足臂尾轮虫	β	-	+	+	-
壶状臂尾轮虫	β-α	+	-	-	+
裂痕龟纹轮虫	β	+	-	-	-
刺盖异尾轮虫	o	-	-	+	-
等刺异尾轮虫	o	-	-	-	+
月形单趾轮虫	β-α	+	-	-	-
独角聚花轮虫	β	+	-	-	-
盘状鞍甲轮虫		+	-	+	-
狭甲轮虫	o	+	-	-	-

注:o 为轻污染,o-β 为轻污染到 β 中污染,β-α 为 β-α 中污染型,β 为 β 中污染。“+”表示有,“-”表示无。

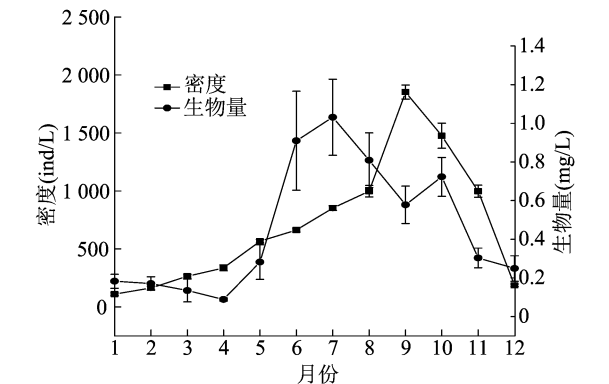


图2 轮虫密度与生物量的月变化

第 2 排序轴的特征值为 0.15。WT、DO 含量与第 1 轴的相关性较高,因此第 1 轴可以表示水体的物理性质变化。总氮含量、氨态氮含量、高锰酸钾指数与第 2 轴相关性较高,因此第 2 轴可以表示水体的营养水平。叶绿素 a 含量对轮虫优势种的变化影响很大,说明浮游植物生物量在轮虫的生长发育以及群落结构变化过程中发挥了重要作用。另外,透明度也是影响轮虫群落结构的重要生态因子(图 3)。

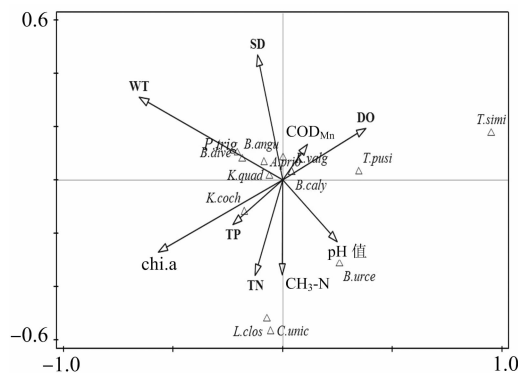


图3 轮虫群落典型相关分析(CCA)

2.4 高邮湖水质分析

2.4.1 综合营养状态指数(TSIM)评价法

高邮湖综合营养状态指数季节变化见图4。TSIM 季节变化范围在 56.57 ~ 68.32 之间,平均值为 61.41,总体处于中度富营养状态。但不同季节营养状态有所不同,夏冬 2 季 TSIM 指数在 60 以下,属于轻度富营养,春秋 2 季 TSIM 指数在 60 以上,水质较差,为中度富营养。

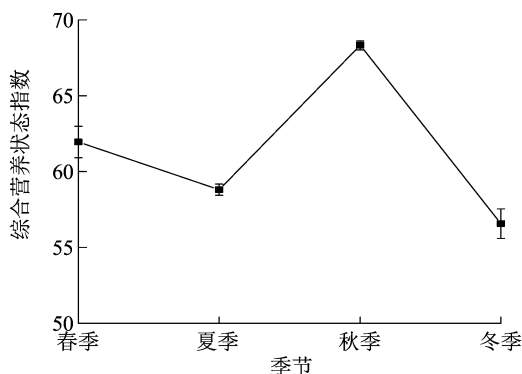


图4 高邮湖综合营养状态指数季节变化

2.4.2 多样性指数评价法

香农维纳多样性指数和 Margalef 丰富度指数数值在 0 ~ 1 之间,为重污染,1 ~ 2 为 α 中污染,2 ~ 3 为 β 中污染,3 ~ 4 为轻污染,>4 为清洁水体^[12]。调查结果表明,高邮湖

香农维纳指数变化范围为 1.03 ~ 2.13,平均值为 1.44。最大值出现在夏季,最小值出现在冬季,高邮湖冬季属于 α 中污染水平,夏季为 β 中污染水平,全年属于 α 中污染。丰富度指数变化范围为 0.96 ~ 1.56,平均值为 1.29,全年属于 α 中污染水平。Pielou 均匀度指数在 0 ~ 0.3 之间为重污染,0.3 ~ 0.4 为 α 中污染,0.3 ~ 0.5 为 β 中污染,0.5 ~ 0.8 为轻污染,0.8 ~ 1.0 为清洁型^[13]。本次调查显示,高邮湖 Pielou 均匀度指数变化范围为 0.62 ~ 0.79,平均值为 0.69,全年属于轻污染(图 5)。

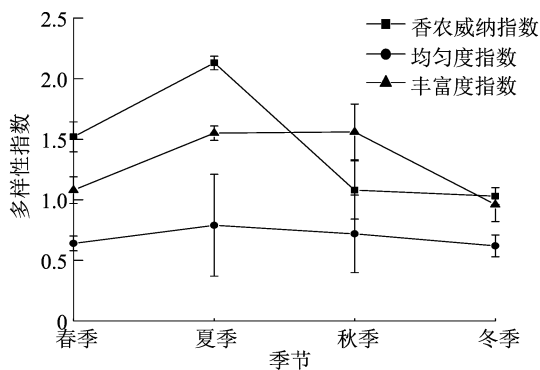


图5 轮虫多样性指数季节变化

2.4.3 污染指示种评价法

轮虫世代周期短,个体发育快,且某些种类的轮虫对外来污染物非常敏感,因此可根据湖泊中轮虫种类季节演替进行水体水质污染水平和富营养化评价。调查期间,高邮湖出现了 10 种富营养化水体的指示种且为优势种的轮虫:轻污染 - β 中污染的曲腿龟甲轮虫、尖趾腔轮虫; β - 中污染的前节晶囊轮虫、螺形龟甲轮虫、裂足臂尾轮虫; β - α 中污染的壶状臂尾轮虫、针簇多肢轮虫、萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫等。耐污的臂尾轮虫属优势种比重的增加,表明高邮湖的富营养化程度正在加剧。在污染指示种中,属于中污染型的轮虫比重大。综合以上可知,2017 年高邮湖水质属于中污染。

3 讨论与结论

3.1 轮虫群落结构与环境因子的关系

CCA 分析结果表明,叶绿素 a 含量、WT、DO 含量、NH₃ - N 含量、TN 含量、SD 等环境因子对轮虫群落动态产生较大影响,叶绿素 a 在轮虫群落动态变化过程中具有重要作用。众多学者研究发现,食物是影响轮虫群落动态变化的主要因素之一,通常情况下,轮虫的密度与叶绿素 a 含量呈正相

关^[14-16]。这与本研究结果一致,春季随着叶绿素 a 含量的增加,轮虫密度也逐渐增加,在秋季达到最大值。CCA 分析结果表明,水温是影响轮虫优势种季节交替的主要环境因子,多数轮虫优势种与水温呈正相关,如针簇多肢轮虫、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)等,而尖趾腔轮虫(*Lecane closterocerca*)、独角聚花轮虫(*Conochilus unicornis*)、等刺异尾轮虫(*Trichocerca similis*)等与水温相关性较低。此外,水温也与轮虫密度季节变化有关,冬季轮虫密度一般低于其他 3 个季节。章宗涉等对武汉东湖调查发现,在食物充足条件下,轮虫密度高峰期一般出现水温在 20 ℃ 以上的月份,主要的原因是温度升高,轮虫休眠卵孵化速度加快,轮虫种群周期周转加快,种群密度迅速增加^[9]。本研究 CCA 结果表明,DO 含量也是影响轮虫群落结构的主要物理因素。当夏季水体温度达到最高时,往往会导致蓝藻水华的暴发,随着水体藻类的过度繁殖,溶解氧含量也会降低,继而影响轮虫的群落结构^[17]。TN、TP、NH₃-N 等化学元素也是影响轮虫群落结构的主要因素,一般认为,水体氮磷元素的增加与水体富营养化有关。Ortega-Mayagoitia 等认为,水体富营养化的增强尤其是氮磷等营养元素的增加可能会增加轮虫的丰度,改变轮虫的群落结构^[18]。另外,SD 和 pH 值也是影响轮虫群落结构重要的环境因子。

3.2 轮虫种类组成的动态变化

本次调查共发现鉴定出轮虫 18 属 31 种,比郭刘超 2016 年的调查结果多 3 种,但是郭刘超等的调查只选取了 4 个代表性月份而非周年调查^[19]。轮虫种类季节变化明显,春季各采样点种类数大于其他季节,出现这种情况的主要原因是春季温度升高,湖底轮虫休眠卵随着春季全同温导致的水层交换而被带到表层孵化,在 5 月,轮虫种类数达到高峰,共有 14 种。冬季气温较低,轮虫受遗传节律和低温导致的藻类等食物补充不足的影响,出现种类演替,生物量和密度也较低,12 月的 8、9、10 采样点和 1 月的 10、11、12 采样点的轮虫种类只有 1 种。

3.3 高邮湖富营养状态评价

从综合营养状态指数来看,高邮湖全年处于中度富营养状态。从生物多样性指数、香农维纳多样性指数、Margalef 丰富度指数来看,高邮湖全年属于 α-中污染水平。从污染指示种评价方法来看,高邮湖出现了多种富营养化水体的指示种,表明高邮

湖的富营养化程度正在加剧,高邮湖全年水质属于中污染型。以上 3 种富营养化评价方法均表明高邮湖 2017 年处于中污染水平。姜磊娜等在 2009—2014 年对高邮湖各年的综合营养状态指数进行计算,结果表明,除 2011 年高邮湖为中营养外,其他年份均为轻度富营养^[20]。郭刘超等 2016 年调查发现,高邮湖综合营养状态指数为 50.1 ~ 54.2,表明高邮湖水体处于轻度富营养^[19]。魏文志等在 2010 年对高邮湖水质、浮游植物和营养状况的调查显示,高邮湖综合营养状态指数为 51.14 ~ 60.53,处于轻度污染水平,但有污染化加重的趋势^[21]。与前人调查结果比较,本研究结果高邮湖的水体富营养化程度正在逐年加重。

参考文献:

- [1] 郭 凯,赵 文,殷守仁,等. 北京官厅水库轮虫群落结构与水体富营养化状况[J]. 湖泊科学,2010,22(2):256-264.
- [2] 王 超. 升金湖轮虫群落的时空变化及其与环境因子的相关性研究[D]. 合肥:安徽大学,2015:2-3.
- [3] 赵 坤. 淮河流域轮虫分布格局及其与环境因子相关性的研究[D]. 上海:上海师范大学,2014:1-2.
- [4] Yoshida T, Urabe J, Elser J J. Assessment of 'top - down' and 'bottom - up' forces as determinants of rotifer distribution among lakes in Ontario, Canada[J]. Ecological Research, 2003, 18(6): 639-650.
- [5] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] Seaman M T, Gophen M, Cavari B Z, et al. *Brachionus calyciflorus* Pallas as agent for the removal of *E. coli* in sewage ponds[J]. Hydrobiologia, 1986, 135(1):55-60.
- [7] Gulati R D. Zooplankton structure in the Loosdrecht lakes in relation to trophic status and recent restoration measures[J]. Hydrobiologia, 1990, 191(1):173-188.
- [8] 王家楫. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社,1961.
- [9] 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.
- [10] Nogrady T. Succession of planktonic rotifer populations in some lakes of the Eastern Rift Valley, Kenya[J]. Hydrobiologia, 1983, 98(1):45-54.
- [11] 刘 一. 淀山湖浮游动物群落结构研究[D]. 上海:华东师范大学,2010:15-16.
- [12] Duggan I, Green J, Shiel R. Distribution of rotifer assemblages in North Island, New Zealand, lakes: relationships to environmental and historical factors[J]. Freshwater Biology, 2010, 47(2):195-206.
- [13] 林 青,由文辉. 滴水湖后生浮游动物群落结构研究及水质评价[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(S1):23-29.
- [14] 杨桂军,潘宏凯,刘正文,等. 太湖不同富营养水平湖区轮虫季节变化的比较[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6):652-657.

赵文婧,贾晓楠,王 繁. 浮床模式下沉水植物净化富营养化水体效果[J]. 江苏农业科学,2021,49(1):197-201.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.01.036

浮床模式下沉水植物净化富营养化水体效果

赵文婧¹, 贾晓楠¹, 王 繁^{1,2}

(1. 杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江杭州 311121; 2. 杭州师范大学生态系统保护与恢复杭州市重点实验室, 浙江杭州 311121)

摘要:采用 3 种常见沉水植物(金鱼藻、穗花狐尾藻、苦草)为试验对象,利用自然池塘自然水体和模拟氮磷水体,通过测定水体中总氮、总磷、氨氮的含量以及藻类含量变化,比较沉水植物种植浮床对自然水体(总氮含量为 0.8 mg/L,总磷含量为 0.05 mg/L)和模拟水体(总氮含量为 5.0 mg/L,总磷含量为 2.0 mg/L)2 种富营养化水体的净化效果。结果表明,在人工浮床种植模式下,苦草、穗花狐尾藻和金鱼藻对自然水体中总氮的去除率分别为 49.4%、55.9% 和 53.8%,总磷的去除率分别为 15.0%、39.6% 和 47.8%;对模拟水体中总磷和氨氮去除率均达到了 80% 以上;对自然水体中蓝藻、硅藻的抑制效果相对较好,绿藻则不太明显。综合分析,沉水植物种植浮床生长模式可以有效净化处理不同程度的富营养化水体,表现出良好的适应性。

关键词:沉水植物;种植浮床;氮;磷;富营养化水体;金鱼藻;穗花狐尾藻;苦草

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)01-0197-05

氮、磷等营养物质的累积是造成水体富营养化的主要原因^[1]。近年来,植物修复技术与物理、化学等修复方法相比,具有投资少、处理效果好、操作简便等优点,被广泛应用于富营养化水体的修复^[2-3]。目前,用于水体修复的水生植物包括挺水植物、浮水植物和沉水植物^[4-5],其中沉水植物生态修复技术已经在国内外的水体治理工程中取得了很好的修复效果^[6-7]。沉水植物可以通过自身生长吸收降低水体的氮、磷含量,并且能增加水体溶解氧含量,抑制底泥再悬浮和污染物质释放等功能。已经开展水体修复研究的沉水植物主要包括苦草^[8]、狐尾藻^[9]、眼子菜^[10]、金鱼藻^[11]、黑藻^[12]等。

曹欠欠等开展了苦草、轮叶黑藻、狐尾藻和金鱼藻在自然光和避光条件下的复氧试验,结果表明,沉水植物对水体氨氮具有较好的去除率,在自然光照条件下苦草、轮叶黑藻、金鱼藻和狐尾藻对污染物的去除率分别为 95.05%、92.74%、89.45% 和 88.29%^[13]。雷泽湘等研究了太湖梅梁湾流域大型水生植物对湖水富营养化的净化效果,结果表明苦草、眼子菜、轮叶黑藻等植物能有效去除水中的氮和磷,去除率达 60% 以上^[14]。林春风等的研究结果也证明了不同沉水植物对富营养化水体均有较好的净化效果^[15-18]。

目前,沉水植物多以水底固定种植模式为主,但当水体底部缺少固定介质时,便会限制沉水植物的生产。另外,当水位太深或水体浊度较高时,水下光线较弱,植物的光合作用受到抑制,沉水植物生长过程以及富营养化水体的净化效果也会受到显著影响^[19-20]。沉水植物的种植浮床模式可以破解水体底部条件以及水体透光度限制,根据自然水

收稿日期:2019-12-09

基金项目:浙江省杭州市科委主动设计项目(编号:20162013A07)。

作者简介:赵文婧(1994—),女,河南济源人,硕士,主要从事湿地生态修复技术研究。E-mail:zzzhaowenjing@126.com。

通信作者:王 繁,博士,副研究员,主要从事环境污染控制与生态修复技术研究。E-mail:wangfan@hznu.edu.cn。

[15] 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.

[16] Dumont H J. Biogeography of rotifers[J]. Hydrobiologia,1983,104(1):19-30.

[17] 胡菊香,吴生桂,陈金生,等. 巢湖富营养化对轮虫的影响研究[J]. 环境科学与技术,2007,30(12):16-18,68.

[18] Ortega-Mayagoitia E, Armengol X, Rojo C. Structure and dynamics of zooplankton in a semi-arid wetland, the National Park

Las Tablas de Daimiel (Spain)[J]. Wetlands,2000,20(4):629-638.

[19] 郭刘超,吴苏舒,樊 旭,等. 高邮湖各生态功能区后生浮游动物群落特征及水质评价[J]. 水生生态学杂志,2019,40(6):30-36.

[20] 姜磊娜,吴俊锋,任晓鸣. 高邮湖近年水质及富营养化分析[J]. 污染防治技术,2017,30(2):23-25.

[21] 魏文志,付立霞,陈日明,等. 高邮湖水质与浮游植物调查及营养状况评价[J]. 长江流域资源与环境,2010(增刊1):106-110.