

杨智景, 冯亚明, 顾海龙, 等. 青虾对河蟹养殖水体中浮游动物及水环境因子的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 1026-1033.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.020

青虾对河蟹养殖水体中浮游动物及水环境因子的影响

杨智景¹, 冯亚明¹, 顾海龙¹, 钱 巍¹, 王 显¹, 杨大柳¹, 张 浩²

(1.江苏省农业科学院泰州农业科学研究所, 江苏 泰州 225300; 2.宁波大学浙江省海洋生物工程重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为探讨青虾对河蟹养殖水体中浮游动物群落结构及其对水环境因子的影响, 于 2021 年 3 月至 6 月采集了试验区河蟹养殖池塘和套养青虾的河蟹池塘水体样本, 分析了水环境因子、浮游动物的种类构成、生物密度、生物多样性。结果表明: 养殖水体中共鉴定出 25 种浮游动物, 其中 12 种为轮虫类, 7 种为枝角类, 6 种为桡足类, 群落结构以轮虫为主, 青虾对蟹池塘内轮虫平均密度无显著影响($P>0.05$), 青虾对枝角类浮游动物和桡足类浮游动物的平均密度有显著影响($P<0.05$); 对照组和试验组浮游动物 Shannon-Wiener 指数变化范围分别为 2.43~3.37、2.46~3.46, 对照组 Shannon-Wiener 指数总体低于试验组, 冗余分析结果显示总氮(TN)含量、总磷(TP)含量、叶绿素 a(Chl-a)含量、化学需氧量(COD)是影响水体中浮游动物的主要水环境因子; 青虾通过摄食食物碎屑、摄食浮游动物影响河蟹养殖水体中浮游动物及水环境因子, 综合生物和水质指标判别对照组水体处于中污染状态, 试验组水体处于轻污染状态。

关键词: 河蟹; 青虾; 浮游动物; 水环境因子; 冗余分析

中图分类号: S966.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)04-1026-08

Effects of prawn on zooplankton and water environmental factors in crab culture water

YANG Zhi-jing¹, FENG Ya-ming¹, GU Hai-long¹, QIAN Wei¹, WANG Xian¹, YANG Da-liu¹, ZHANG Hao²

(1. Taizhou Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Taizhou 225300, China; 2. Key Laboratory of Marine Biotechnology of Zhejiang Province, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to study the effects of prawn on zooplankton community structure and water environmental factor in crab culture water, the water samples of the crab pond and prawn-crab mixed culture pond were collected from March to June 2021. The water environmental factors, zooplankton species composition, biological density and biodiversity were analyzed. A total of 25 species of zooplankton were identified, including 12 species of rotifers, seven species of cladocera, and six species of copepods. The community structure was dominated by rotifers, there was no significant difference in the effects of shrimp on the average density of rotifers in crab pond ($P>0.05$), but there was a significant difference in the effects of shrimp on the average density of cladocera and copepods ($P<0.05$). The Shannon-Wiener diversity index was 2.43–3.37 in the control

group and 2.46–3.46 in the experimental group. The Shannon-wiener diversity index in the control group was lower than that in the experimental group. The results of redundancy analysis showed that total nitrogen (TN) content, total phosphorus (TP) content, chlorophyll a (Chl-a) content and chemical oxygen demand (COD) were the main factors affecting the zooplankton community structure. Shrimp affected zooplankton and water environmental factors in crab pond by eating food debris and preying on zooplank-

收稿日期: 2021-10-13

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项资金项目[JATS (2021) 302, JATS(2021) 307]; 国家农业可持续发展试验示范区建设专项资金项目(TNY202105); 泰州市“凤城引才计划”青年科技人才托举工程资助培养项目

作者简介: 杨智景(1991-), 男, 江苏姜堰人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水产养殖及生态环境研究。(E-mail) yangzhijing@aliyun.com

通讯作者: 张 浩, (E-mail) zhanghao@nbu.edu.cn

ton. According to the biological and water quality indices, the control pond was in a state of moderate pollution, and the experimental pond was in a state of light pollution.

Key words: *Eriocheir sinensis*; *Macrobrachium nipponense*; zooplankton; water environmental factor; redundancy analysis

河蟹(*Eriocheir sinensis*)经济价值较高,近年来河蟹的养殖面积急速扩张,产量逐年提升^[1]。每年的养殖池塘施肥是整个养殖过程中的重要一环,施肥促进池塘内浮游生物生长,为河蟹提供部分食物来源^[2-3]。然而由于养殖成蟹的过程中,河蟹对浮游动物的摄食速度低于浮游动物繁殖速度^[4-5],特别是4-5月蟹池塘内浮游动物泛滥使耗氧量增大,导致水体“白浊”,甚至需要使用药物杀灭浮游动物^[6]。

蟹池塘中混养青虾(*Macrobrachium nipponense*)可增收千余元,青虾主要以蟹池塘内浮游动物为食^[7-8]。近年来,浮游动物在青虾苗种繁育、河蟹养殖等方面的应用研究已有报道。郭丽芸等^[9]研究揭示青虾苗种产量与浮游动物物种数量呈显著正相关关系。郝俊等^[5]等研究结果表明在河蟹池塘内浮游动物数量在4-5月份会出现高峰期,河蟹在幼蟹阶段会大量摄食枝角类浮游动物,但在成蟹阶段更趋向于捕食螺蛳和人工饲料。兴化市水资源丰富,“兴化大闸蟹”和“兴化大青虾”是2个代表性的名贵水产养殖品种,经济效益较高。在兴化地区有在蟹池塘内套养青虾的养殖模式,不仅可以减缓4-5月蟹池塘内浮游动物泛滥的问题,还能增加池塘产出和效益^[10]。目前,关于河蟹池塘套养青虾后水体中浮游动物种类及水环境因子变化的分析尚未见报道。为了研究青虾对蟹池塘浮游动物的影响及其与水环境因子之间的相互关系,于2021年3月-6月对泰州市姜堰区溱潼镇双明水产养殖场内的3口河蟹池塘和3口套养青虾的河蟹池塘进行采样,对池内浮游动物进行种类鉴定、密度计算、多样性分析及水环境因子测定,科学评估青虾对蟹池塘内浮游动物的影响及其与水环境因子的关系,阐述蟹池塘套养青虾模式控制浮游动物的生态效应机理,为该模式的推广提供理论依据。

1 研究区域与方法

1.1 样点设置

试验在泰州市姜堰区溱潼镇双明水产养殖场进行,养殖地点在江苏省泰州市姜堰区溱潼镇南寺村

(120°8'48.1668"E, 32°38'44.8584"N)。为了降低因池塘淤泥中含有的浮游动物虫卵差异造成试验结果误差,每口河蟹养殖池塘已在养殖前进行充分干塘消毒工作,6口标准养殖池塘的面积均为3.34 hm²,同一水源进水,均配备独立的排水口。6口池塘在1月20日放养扣蟹(90 kg/hm²,数量为1 hm² 12 000只),此时,水位仅淹没池塘四周环沟。逐步提高6口池塘水位,至3月15日左右将水位提高40 cm,其中试验组3月20日放养青虾苗(150 kg/hm², 1 hm² 375 000尾),对照组不投放青虾苗。根据养殖需要定期投入饲料、微生物制剂、肥水肥料及藻种。

1.2 研究方法

于2021年3月至6月对6口池塘浮游动物和水环境因子进行调查测定,共采样6次,每次采样间隔15 d。池塘采样采用五点采样法,采集的水样经25号浮游生物网过滤后装入有4%甲醛的固定瓶中固定,用于镜检^[11]。浮游动物的鉴定分析参照文献^[12]。水体的溶解氧(DO)、酸碱度(pH)使用便携式水质分析仪测定。另用采水器采集混合水样装入1 L采样瓶内带回实验室,按照参考文献^[13]的方法检测水体中的总氮(TN)含量、铵态氮(NH₄⁺-N)含量、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)含量、叶绿素a(Chl-a)含量、化学需氧量(COD)及总磷(TP)含量。

1.3 数据统计与分析

物种优势度(Y)计算公式: $Y = (n_i / N) f_i$,式中,某物种*i*的个体数量用 n_i 表示,物种总数量用 N 表示, i 物种出现频率用 f_i 表示,当计算得到的 $Y \geq 0.02$ 时,即可确定该物种为优势种^[14]。在冗余(RDA)分析之前,选择 $Y \geq 0.02$ 的浮游动物种类构建矩阵,应用去除趋势对应分析方法(Detrended correspondence analysis, DCA),确定使用RDA分析方法^[15]。通过RDA分析研究浮游动物和水环境因子之间的关系。单因素方差分析通过Excel完成。

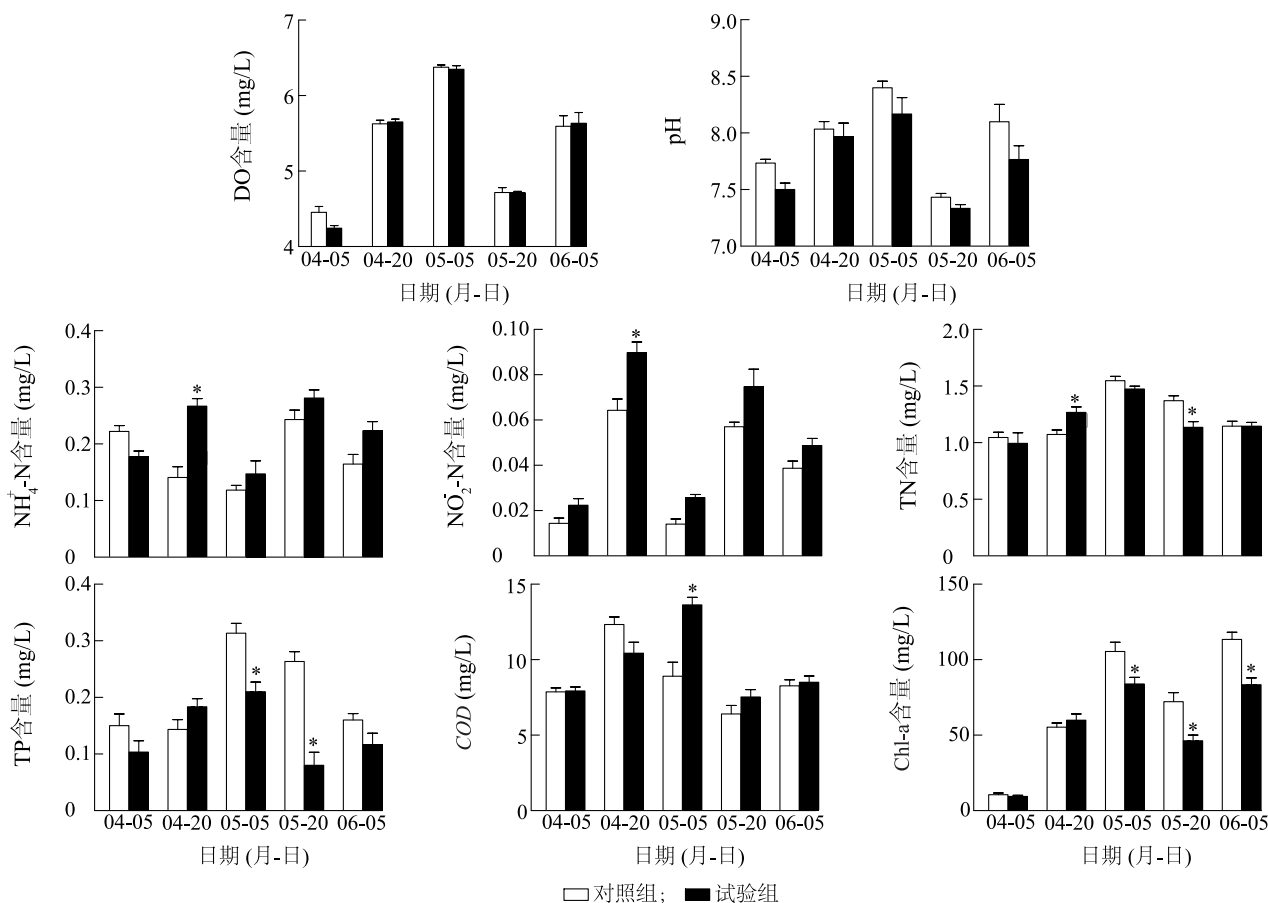
为评价池塘内浮游动物多样性,以Shannon多样性指数(H')作为评价指标,其计算公式为 $H' = -\sum (\frac{n_i}{N}) \ln(\frac{n_i}{N})$ 。

2 结果与分析

2.1 套养青虾蟹池塘水质指标变化

对照组和试验组池塘水环境因子变化见图 1。3-6 月整个养殖周期对照组的 DO 含量、pH 与试验组差异不明显($P>0.05$)。且整个养殖阶段,这 2 个指标受人工干预一直处于养殖动物适宜范围,本试验不对这 2 个指标作详细分析。试验组 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量总体高于对照组,4 月 20 日检测结果显示差异显著($P<0.05$)。对照组和试验组 TN、TP 含量有 2 个检测时间差异显著($P<0.05$),TN 含量先上升后下降,5 月 5 日之前试验组 TN 含量总体大于

对照组,且在 4 月 20 日差异显著($P<0.05$);5 月 5 日后对照组 TN 含量总体大于试验组,且在 5 月 20 日差异显著($P<0.05$)。TP 含量变化趋势也是先上升后下降,对照组 TP 含量总体大于试验组,其中 5 月 5 日和 5 月 20 日对照组 TP 含量显著高于试验组($P<0.05$)。对照组和试验组 COD 和 Chl-a 含量均表现先上升后下降再上升,其中试验组 COD 在 5 月 5 日显著高于对照组($P<0.05$),对照组 Chl-a 含量总体大于试验组,且 5 月 5 日-6 月 5 日差异显著($P<0.05$)。根据对照组和试验组的 TN 含量、COD、TP 含量、DO 含量指标,试验组水质评价比对照组好。



*表示相同时间与对照组比较有显著差异($P<0.05$)。试验组放养青虾苗,对照组不投放青虾苗。

图1 青虾-河蟹混养对养殖池水环境因子变化的影响

Fig.1 Effects of prawn-crab on changes of water environmental factors in aquaculture ponds

2.2 养殖池塘浮游动物的群落组成及优势种

河蟹池塘和青虾-河蟹养殖池塘浮游动物的种类组成如表 1 所示。在对照池塘水样中共鉴定出 25 种浮游动物,包括 12 种轮虫类、7 种枝角类和 6 种桡足类。根据计算结果可知,轮虫类壶状臂尾轮

虫和萼花臂尾轮虫是水体中的优势种,枝角类直额裸腹蚤、蚤状蚤和方形网纹蚤是水体中的优势种,桡足类无节幼体、锯缘真剑水蚤、桡足幼体和近邻剑水蚤是水体中的优势种。

在试验池塘水样中同样鉴定出 25 种浮游动物,

其中 12 种轮虫类、7 种枝角类和 6 种桡足类。根据计算结果可知,轮虫类萼花臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫是水体中的优势种,枝角类蚤状蚤、隆线蚤、直额

裸腹蚤和方形网纹蚤属于水体中的优势种,桡足类近邻剑水蚤、无节幼体、锯缘真剑水蚤、桡足幼体和短尾温剑水蚤是水体中优势种。

表 1 河蟹池塘和青虾-河蟹池塘浮游动物的种类组成

Table 1 Composition of zooplankton in crab pond and prawn-crab pond

	种类	对照组池塘	试验组池塘
轮虫 (<i>Rotifera</i>)	壶状臂尾轮虫 (<i>Brachionus urceus</i>)	*	*
	方形臂尾轮虫 (<i>Brachionus quadridentatus</i>)	+	+
	萼花臂尾轮虫 (<i>Brachionus calyciflorus</i>)	*	*
	偏斜勾状狭甲轮虫 (<i>Colurella deflexa</i>)	+	+
	剪形臂尾轮虫 (<i>Brachionus forficula</i>)	+	+
	矩形臂尾轮虫 (<i>Brachionus leydigi</i>)	+	+
	腹棘管轮虫 (<i>Mytilina ventralis</i>)	+	+
	大肚须足轮虫 (<i>Euchlanis dilatata</i>)	+	+
	小巨头轮虫 (<i>Cephalodella exigna</i>)	+	+
	长三肢轮虫 (<i>Filinia longisela</i>)	+	+
	晶囊轮虫 (<i>Asplanchna</i> sp.)	+	+
	耳叉椎轮虫 (<i>Notommata aurita</i>)	+	+
枝角类 (<i>Cldocern</i>)	蚤状蚤 (<i>Daphnia pulex</i>)	*	*
	隆线蚤 (<i>Daphnia carinata</i>)	+	*
	直额裸腹蚤 (<i>Moina rectirostris</i>)	*	+
	僧帽蚤 (<i>Daphnia cucullata</i>)	+	*
	方形网纹蚤 (<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>)	*	*
	宽尾网纹蚤 (<i>Ceriodaphnia laticaudata</i>)	+	+
	长额象鼻蚤 (<i>Bosmina longirostris</i>)	+	+
桡足类 (<i>Copepoda</i>)	锯缘真剑水蚤 (<i>Eucylops serrulatus</i>)	*	*
	广布中剑水蚤 (<i>Mesocyclops leuckarti</i>)	+	+
	近邻剑水蚤 (<i>Cyclops vicinus</i>)	*	*
	短尾温剑水蚤 (<i>Thermocyclops brevifurcatus</i>)	+	*
	无节幼体 (<i>Nauplii</i>)	*	*
	桡足幼体 (<i>Copepodid</i>)	*	*

“+”代表有此物种,“*”代表此物种为优势种。

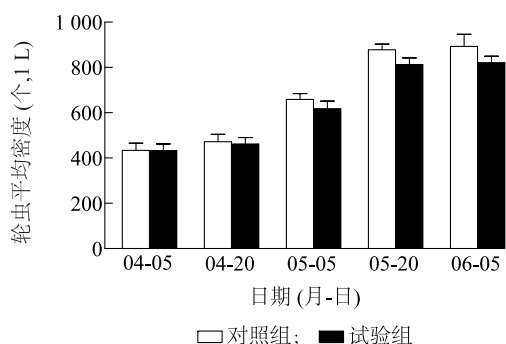
2.3 套养青虾蟹池塘浮游动物密度变化

对照组水体中轮虫平均密度为 1 L 438~886 个,整体呈现先上升后平稳的趋势,4 月 20 日-5 月 20 日轮虫平均密度显著上升,6 月 5 日达到最大值。试验组水体中轮虫平均密度为 1 L 435~815 个,变化趋势与对照组类似。由图 2 可知,4 月 20 日-6 月 5 日对照组轮虫平均密度总体高于试验组,但两者之间差异不显著 ($P>0.05$)。

对照组水体中枝角类浮游动物平均密度为 1 L

60~254 个,整体呈现先上升后下降的趋势。5 月 5 日-5 月 20 日密度迅速升高,5 月 20 日达到最高值,6 月 5 日密度明显下降。试验组枝角类浮游动物平均密度为 1 L 64~165 个,4 月 20 日-5 月 5 日上升趋势明显,5 月 5 日后变化趋于平缓。5 月 20 日-6 月 5 日试验组水体中枝角类浮游动物平均密度显著低于对照组 ($P<0.05$) (图 3)。

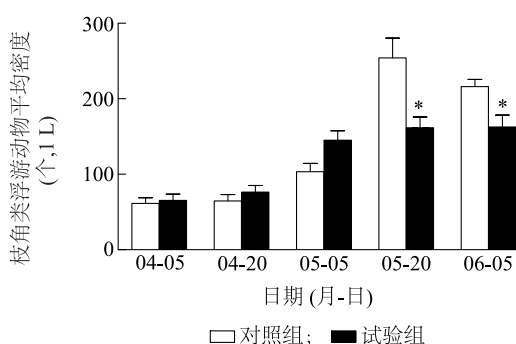
对照组水体中桡足类浮游动物平均密度为 1 L 72~291 个,4 月 5 日-5 月 5 日变化不明显,趋于平



试验组放养青虾苗,对照组不投放青虾苗。

图2 青虾-河蟹养殖池塘轮虫平均密度变化

Fig.2 Variation of the average density of rotifer in prawn-crab pond



* 表示相同时间与对照组比较有显著差异 ($P < 0.05$)。试验组放养青虾苗,对照组不投放青虾苗。

图3 青虾-河蟹养殖池塘枝角类浮游动物平均密度变化

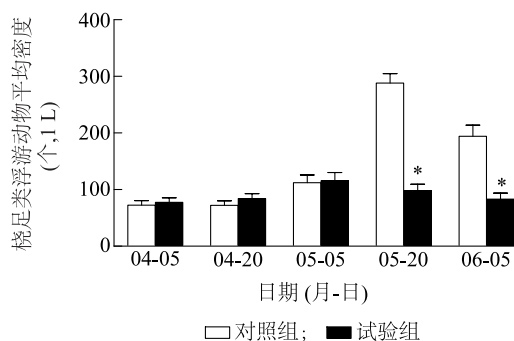
Fig.3 Variation of the average density of cladocera in prawn-crab pond

缓,5月5日-5月20日桡足类浮游动物平均密度迅速上升,5月20日后又下降。试验组桡足类浮游动物平均密度为1 L 77~119个,4月5日-6月5日平均密度变化幅度较小。5月20日和6月5日试验组桡足类浮游动物平均密度显著低于对照组 ($P < 0.05$) (图4)。

2.4 套养青虾蟹池塘浮游动物生物多样性指数变化

对照组池塘浮游动物 Shannon-Wiener 指数平均波动范围为2.43~3.37,变化较为明显,前期呈上升趋势,5月20日达到峰值,5月20日后有较大幅度下降。试验组池塘浮游动物 Shannon-Wiener 指数平均波动范围为2.46~3.46,除5月20日外,其余检测节点 Shannon-Wiener 指数均高于对照组,且6月5日与对照组有显著差异 ($P < 0.05$) (图5)。按照 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 评价等级标准^[16],对照组和试验组池塘浮游动物多样性均处于2.43~

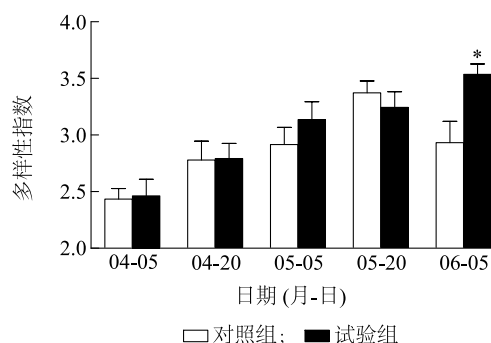
3.46,此养殖水体水质处于 β -中污型和寡污型之间。其中试验组 Shannon-Wiener 指数 (H') 值高于对照组,群落结构更稳定。



* 表示相同时间与对照组比较有显著差异 ($P < 0.05$)。试验组放养青虾苗,对照组不投放青虾苗。

图4 青虾-河蟹养殖池塘桡足类浮游动物平均密度变化

Fig.4 Variation of the average density of copepods in prawn-crab pond



* 表示相同时间与对照组比较有显著差异 ($P < 0.05$)。试验组放养青虾苗,对照组不投放青虾苗。

图5 青虾-河蟹养殖池塘浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数变化

Fig.5 Variation of the Shannon-Wiener diversity index of zooplankton in prawn-crab pond

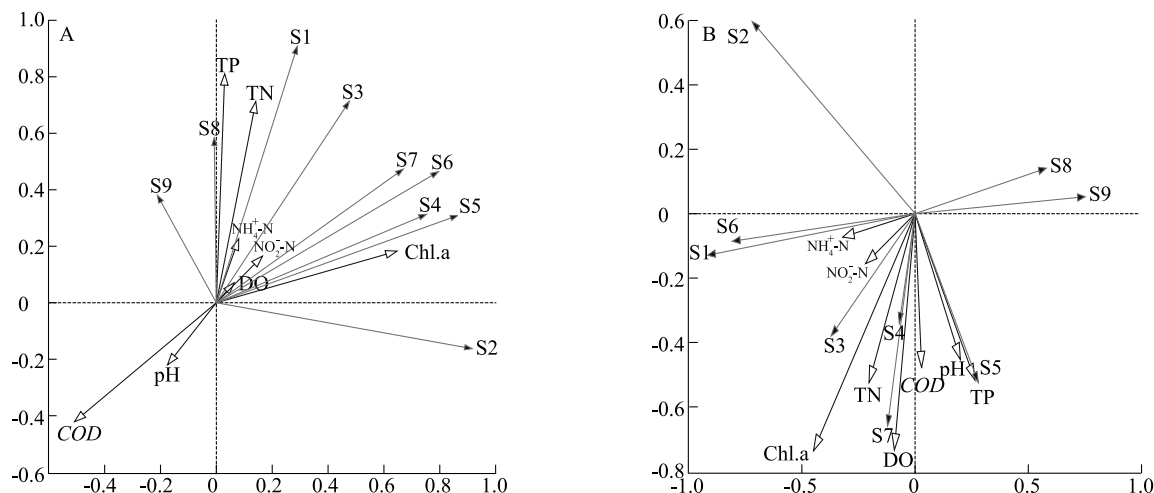
2.5 养殖池塘浮游动物优势种与水环境因子的冗余分析

选择 $Y \geq 0.02$ 的浮游动物平均密度进行去趋势分析(DCA),根据结果采用冗余分析方法分析优势种与水环境因子的关系(图6)。对照组 RDA 排序结果显示,第一、二排序轴与水环境因子的相关系数分别为0.940、0.969,反映水环境因子和浮游动物之间的相关性较好(Monte Carlo 检验, $P < 0.05$)。影响浮游动物优势种变化的主要水质指标是 pH、TP 含量、TN 含量、Chl-a 含量和 COD。

试验组 RDA 排序结果显示,第一、二排序轴与水环境因子的相关系数分别为0.925和0.938,反映

水环境因子和浮游动物之间存在较好的相关性 (Monte Carlo 检验, $P < 0.05$)。影响水体中优势种平

均密度变化的主要水环境因子是 pH、DO 含量、COD、Chl-a 含量、TN 含量和 TP 含量。



A: 对照组 (不投放青虾苗); B: 试验组 (放养青虾苗)。S1: 壶状臂尾轮虫 (*Brachionus urceus*); S2: 萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*); S3: 蚤状蚤 (*Daphnia pulex*); S4: 直额裸腹蚤 (*Moina rectirostris*); S5: 方形网纹蚤 (*Ceriodaphnia quadrangula*); S6: 锯缘真剑水蚤 (*Eucyclops serrulatus*); S7: 近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*); S8: 无节幼体 (*Nauplii*); S9: 桡足幼体 (*Copepodid*)。

图6 池塘浮游动物优势种与水环境因子的冗余分析

Fig.6 Redundancy analysis of dominant species of zooplankton and water environmental factors in ponds

3 讨论

3.1 蟹池塘养殖青虾对水环境因子的影响

蟹池塘中混养青虾,青虾通过摄食河蟹的残饵、有机物提高水质,同时青虾还会摄食浮游动物间接影响水质指标^[8,10]。养殖池塘受人为干预和投入品(增氧机、石灰水)影响,溶氧和 pH 一直在适合河蟹和青虾生长的区间变化^[17],组间差异不显著。4-6 月是河蟹及青虾的生长旺季,饲料、肥水肥料等投入品逐日增加,水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量、TN 含量、TP 含量、Chl-a 含量和 COD 均呈上升趋势。养殖池塘中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TN、TP 主要来源于饲料、肥料及动物排泄,通过微生物分解进入到养殖水体^[18-19]。试验组水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量高于对照组可能与混养的青虾排出的含氮代谢产物有关。此外,青虾通过摄食食物残渣有效转化和存储了一部分能量,减缓了水体中 TN、TP 含量的迅速增加,降低了水体富营养化程度,因此试验组水体中 TN、TP 含量低于对照组。唐金玉等^[20]研究结果显示青虾池塘水体水环境因子具有 DO 和 pH 较高但 N、P 及有机质含量较低的特点,与本研究结果相似。同时水体中 COD 是衡量水体中有机和无机可氧化物污染的指标^[21],养殖池塘中 COD 增加主要是有机

可氧化物的增加^[22],本研究中饲料、虾蟹排泄物等有机物增加是水体 COD 升高的主要因素。4 月 5 日-20 日试验组水体 COD 升高速度高于对照组,可能由于气温上升较快,虾蟹生物代谢活动旺盛而且虾摄食河蟹残饵的能力有限,导致水体中有机物增加,升高了水体 COD。5 月 5 日后试验组水体 COD 下降,可能是由于生长旺盛的青虾清除了河蟹残饵,降低了水体中有机物的含量。叶绿素 a 含量与藻类含量呈线性相关,是反映水体富营养的指标^[23]。浮游动物主要以水体中浮游藻类为食,青虾通过摄食过多的浮游动物降低了藻类早期的被摄食量,藻类得以快速大量繁殖。同时青虾、河蟹又可以藻类为食,可有效控制藻类的数量。各水质指标在 5 月 20 日均出现显著下降,这可能与 5 月 20 日前大暴雨后池塘排换水有关,养殖池塘排换水是影响水质指标的重要因素之一。

3.2 蟹池塘浮游动物的群落变化

对照组轮虫平均密度与试验组无显著差异。5 月 20 日枝角类和桡足类浮游动物平均密度达到峰值,且对照组和试验组差异显著。每年 4-5 月常会因为枝角类浮游动物和桡足类浮游动物爆发导致池塘水浑,一旦爆发难以处理,甚至需要使用农药杀枝角类浮游动物和桡足类浮游动物,易对螃蟹造成损

伤。本试验中,为了降低不同池塘淤泥中虫卵数量差异导致试验数据误差,在开始试验前对池塘淤泥进行了清理,并消毒。同时,在放养青虾苗种之前,河蟹池塘水位仅淹没四周环沟。这些措施推迟了浮游动物大量繁殖的时间,枝角类浮游动物和桡足类浮游动物密度在 5 月 20 日达到峰值,轮虫密度在 6 月 5 日达到峰值,但 5 月 20 日-6 月 5 日轮虫增长率显著下降。

轮虫、枝角类浮游动物、桡足类浮游动物之间存在竞争关系,5 月 20 日枝角类浮游动物和桡足类浮游动物密度达到峰值,而轮虫密度则在 6 月 5 日达到峰值,但由于水体中轮虫密度大于枝角类浮游动物和桡足类浮游动物密度总和,轮虫群体基数大,而且生存条件适宜,枝角类浮游动物和桡足类浮游动物尚不能对轮虫形成压制使其密度显著下降,但是轮虫增长率明显已经下降。轮虫平均密度没有显著下降可能与轮虫生长速度快、繁殖周期短及青虾摄食偏好有关。在富含 N、P 水体中小型浮游动物如轮虫繁殖能力强、生长速度快,在水中迅速占据优势^[24-25],使浮游动物往往表现出小型化趋势^[11]。青虾主要以浮游动物、有机碎屑为食,且偏动物性饵料。试验组中青虾的放养增加了对池塘内枝角类浮游动物和桡足类浮游动物的摄食,显著降低了水体中枝角类浮游动物和桡足类浮游动物的平均密度,试验组水体中枝角类浮游动物和桡足类浮游动物密度显著低于对照组。养殖青虾的蟹池塘中不会大量爆发枝角类浮游动物和桡足类浮游动物,与青虾对枝角类浮游动物和桡足类浮游动物的摄食能力有关。

Shannon-Wiener 指数可用来评价群落中生物种类的多少,值越大代表群落的复杂程度越大,生态系统越稳定。随着养殖时间的推进,水体中饲料等投入品的增多,水体营养成分增多,蟹池塘内浮游动物 Shannon-Wiener 指数逐步增大,其中试验组 Shannon-Wiener 指数在较多时间段均高于对照组,可能原因是试验组中青虾通过摄食繁殖过多的浮游动物影响了浮游动物物种之间的平均密度,增加了生物多样性。

3.3 水环境因子对不同蟹池塘条件下浮游动物群落结构的影响

池塘浮游动物群落受到群落内部演替及外部水环境及物种间竞争关系的影响,其中外部水环境因子主要是 pH、N、P 等^[26]。本试验中两组蟹池塘浮

游动物的群落结构存在显著差异。通过对两组蟹池塘浮游动物和水环境因子进行冗余分析(RDA)发现,影响对照组和试验组浮游动物多样性的主要是 TP 含量、TN 含量、Chl-a 含量和 COD。本试验结果与张勇等研究结果相似^[2]。

对照组和试验组 RDA 分析结果显示,TP、TN、Chl-a 含量是影响养殖水体中优势种密度变化的重要因素。N、P 含量是浮游植物的限定因子,投入的饲料和动物排泄物中的 N、P 会促使水体中 N、P 含量升高,为浮游植物提供营养,影响水体中浮游植物的变化。李佳俊等研究结果表明 N、P 与浮游植物生长呈显著相关关系^[27]。Chl-a 含量可反映水体中藻类丰度变化,但又受多种环境因子影响^[28],间接印证池塘水体初级生产力的能力,为浮游动物提供食物。Chl-a 含量对浮游动物密度有直接正向作用,同时总氮含量、总磷含量、COD 等还通过 Chl-a 含量对浮游动物产生间接影响^[29-32]。这与本试验 RDA 分析结果一致。6 月 5 日轮虫平均密度达到峰值,Chl-a 含量也处于高峰期,主要还是由于持续投入的饲料增加了水体中有机物的积累,此时外部环境比较适宜浮游植物及动物的繁殖和生长,不足以形成捕食与被捕食的种间竞争。

对照组 RDA 分析结果显示 COD 与浮游动物优势种变化呈负相关关系,而试验组 RDA 分析结果相反。COD 主要表示水体中有机物对水体中氧气的消耗量^[5],COD 过高会导致 DO 含量降低。大量有机物被微生物分解还会导致铵态氮等水环境因子升高,影响水生动物和浮游动物的数量,对照组中 COD 与浮游动物密度呈负相关关系。同时,青虾和浮游动物均可摄食饲料残饵、有机碎屑等有机物,COD 升高也表明水体中有机物含量的增多,提供的食物也增多了。试验组中 COD 与浮游动物密度呈正相关关系,可能是由于青虾对有机碎屑、残饵的摄食,降低了 COD,使水体环境更适合浮游动物生存,同时青虾获得足够食物也减少了对浮游动物的捕食,使 COD 与浮游动物优势种变化呈正相关关系。

3.4 河蟹养殖水体水质综合评价

代培等^[33]研究认为,营养水平低的水体中,食物资源匮乏,浮游动物因食物限制使群落结构趋于简单化,多样性随之降低,反之则多样性高。以水体浮游动物 Shannon-Wiener 指数作为水体富营养化评价标准,将水质分为 4 个标准,即多污型(0~1)、 α -

中污型(1~2)、 β -中污型(2~3)、寡污型(3~4)^[34]。整个试验期间,对照组 Shannon-Wiener 多样性指数在 2 至 3 之间,仅 5 月 20 日短暂达到 3.37,属于 β -中污型;试验组 Shannon-Wiener 多样性指数在 5 月 5 日后处于 3 至 4 之间,属于寡污型。因此,可将对照组水质归于中污染,试验组水质归于轻污染。

参考文献:

- [1] 戴红君,孙艺伟,任 妮,等. 我国中华绒螯蟹产业现状调查及发展对策分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(18): 248-252.
- [2] 张 勇. 施肥对中华绒螯蟹幼蟹池塘水质及浮游生物的影响[D]. 上海:上海海洋大学, 2019.
- [3] 白国福,张广英,窦亚秋,等. 施肥后河蟹育苗试验围隔中浮游生物状况及其变动[J]. 水产科学, 2006, 25(12): 644-648.
- [4] 陶 程,杨永超,马旭洲,等. 河蟹幼蟹培育池浮游动物群落结构及动态[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(5): 957-965.
- [5] 郝 俊,马旭洲,王友成,等. 河蟹生态养殖池后生浮游动物的群落结构及动态[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(4): 523-531.
- [6] 曹福余,胡 泉,王 平. 兴化地区河蟹养殖早期病害防治技术[J]. 科学养鱼, 2016(9): 56-57.
- [7] 盖建军,王苗苗,邹宏海,等. 青虾养殖池塘浮游植物的群落结构研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(24): 107-110, 114.
- [8] 盖建军,王苗苗,邹宏海,等. 江苏溧阳青虾养殖池塘浮游动物群落结构初探[J]. 水产养殖, 2020, 41(11): 11-17.
- [9] 郭丽芸,王 庆,俞日根,等. “太湖 2 号”青虾苗种产量与水体浮游生物的响应关系[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(10): 76-78.
- [10] 杨智景,顾 明,顾海龙,等. 河蟹、青虾混养的两种养殖方式比较[J]. 科学养鱼, 2021(8): 36-37.
- [11] 陈丹青,马旭洲,张文博,等. 泰兴高沙土地地区幼蟹塘浮游动物群落结构及水质评价[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(3): 649-659.
- [12] 韩茂森. 淡水浮游生物图谱[M]. 北京: 农业出版社, 1978: 108-170.
- [13] 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法编委会. 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: 236-257.
- [14] 李志斐,谢 骏,张晓可,等. 珠三角高产养殖池塘浮游动物群落结构及水质评价[J]. 水生生物学报, 2017, 41(5): 1071-1079.
- [15] VON WEHRDEN H, HANSPACH J, BRUELHEIDE H, et al. Pluralism and diversity: trends in the use and application of ordination methods 1990–2007 [J]. Journal of Vegetation Science, 2009(20): 695-705.
- [16] 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[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 6918-6929.
- [17] 刘金生. 中华绒螯蟹的生长动态、基因表达与水质环境(水温、溶氧、pH 及氨氮)的相关性[D]. 上海:上海海洋大学, 2016.
- [18] 刘华丽,曹秀云,宋春雷,等. 水产养殖池塘沉积物有机质富集的环境效应与修复策略[J]. 水生生态学杂志, 2011, 32(6): 130-134.
- [19] 戴杨鑫,唐金玉,王 岩,等. 不同施肥方法对鱼蚌综合养殖水体水化学的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 407-416.
- [20] 唐金玉,覃宝利,叶建勇,等. 江苏泗阳青虾养殖中期水体的理化环境和浮游植物[J]. 渔业现代化, 2019, 46(3): 41-51.
- [21] 贾 延,马旭洲,张文博,等. 中华绒螯蟹幼蟹蜕壳期间池塘水环境的变化特征[J]. 环境化学, 2020, 39(6): 1544-1554.
- [22] YAN W, WEI L W, JIAN G Q, et al. Effects of integrated combination and quicklime supplementation on growth and pearl yield of freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* (Lea, 1852) [J]. Aquaculture Research, 2010, 40(14): 1634-1641.
- [23] DHAMMIKA M A, RASIKA W, MADHUSHANKHA L. Molecular characterization of cyanobacterial diversity in Lake Gregory, Sri Lanka [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(4): 898-904.
- [24] 蔡国俊,周 晨,林艳红,等. 贵州草海高原湿地浮游动物群落结构与水质评价[J]. 生态环境学报, 2016, 25(2): 279-285.
- [25] 钱方平,席贻龙,温新利,等. 湖泊富营养化对轮虫群落结构及物种多样性的影响[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 344-355.
- [26] GUELZOW N, MUIJSERS F, PTACNIK R, et al. Functional and structural stability are linked in phytoplankton metacommunities of different connectivity[J]. Ecography, 2017, 87(2): 996-1007.
- [27] 李佳俊,沈萍萍,谭焯辉,等. 南海东北部浮游植物对氮、磷加富的响应及与不同水团的关系[J]. 海洋学报, 2015, 37(10): 88-99.
- [28] LIU X J, LU Q F, ZHOU Y, et al. Community characteristics of phytoplankton and management implications in Poyang Lake Basin [J]. Limnology, 2020, 21(2): 207-218.
- [29] 邱小琼,赵红雪,孙晓雪. 沙湖浮游动物与水环境因子关系的多元分析[J]. 生态学杂志, 2012, 31(4): 896-902.
- [30] 吕 乾,胡旭仁,聂 雪,等. 鄱阳湖丰水期水位波动对浮游动物群落演替的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1486-1495.
- [31] SCHINDLER E U, SHAFII B, ANDERS P J, et al. Characterizing the phytoplankton and zooplankton communities in Kootenay Lake: A time series analysis of 24 years of nutrient addition[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2020, 77(5): 904-916.
- [32] 吴 利,冯伟松,张堂林,等. 湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 619-625.
- [33] 代 培,刘 凯,周彦锋,等. 太湖五里湖湖滨带浮游动物群落结构特征[J]. 水生生态学杂志, 2019, 40(1): 55-63.
- [34] 刘振中,赵文倩,郭文莉,等. 芡实分区刈割试验对陈瑶湖后生浮游动物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(1): 1-10.

(责任编辑:张震林)