

陈红雕, 赵丹丹, 杨浩, 等. 咸淡水集约化草鱼池塘饲料投喂量与水质及浮游生物的关系[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(2): 178-187.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.02.019

咸淡水集约化草鱼池塘饲料投喂量与水质及浮游生物的关系

陈红雕¹, 赵丹丹², 杨浩¹, 顾泽茂¹

1. 华中农业大学水产学院/湖北省水生动物病害防控工程技术研究中心, 武汉 430070;

2. 广州市诚一水产养殖有限公司, 广州 511400

摘要 对广州市诚一水产养殖有限公司3个咸淡水草鱼池塘的浮游生物、水质和饲料投喂量进行了为期1 a的调查, 并利用SPSS和Canoco 5.0对数据进行相关性、排序和多元回归分析。结果显示: 池塘饲料投喂量与水体总氮浓度呈显著正相关关系, $r=0.614(P<0.05)$; 与水温、pH、透明度、溶氧、亚硝酸盐、氨氮、总磷和盐度等水质指标无显著相关性。饲料投喂量与浮游植物生物量呈显著正相关, $r=0.354(P<0.05)$; 与浮游动物生物量呈极显著正相关关系, $r=0.447(P<0.01)$ 。将饲料投喂量和水质指标与浮游生物量进行RDA和多元逐步回归分析, 结果显示饲料投喂量和总磷分别是影响浮游动物和浮游植物生物量的关键因子; 且多元回归数据模型拟合较好, 预测模型对浮游植物和浮游动物生物量解释率分别为65.4%和44.8%, 模型分别为 $Y_1=16.07X_4+13.60X_3+11.10X_2+2.22X_6-2.20X_5-2.06X_1-51.57$ 、 $Y_2=2243.92x_4+5.54x_3+0.90x_2+0.006x_1-57.48$ (其中 Y_1 是浮游植物生物量, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 和 X_6 分别是透明度、亚硝态氮、pH、总磷、氨氮和溶氧; Y_2 是浮游动物生物量, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别是饲料投喂量、透明度、pH、盐度)。咸淡水集约化池塘饲料投喂量对池塘总氮浓度和浮游生物量均有显著影响, 浮游植物对池塘氨氮的吸收能力间接影响池塘饲料投喂量, 且浮游动物生物量可在一定程度上反映饲料投喂是否过量。以上结果提示, 在养殖生产中, 饲料投喂量需结合池塘水质及浮游生物量的情况进行调节, 预测模型 Y_1 和 Y_2 可供参考; 笔者认为该类池塘浮游植物生物量在40~70 mg/L为宜, 池塘水环境相对较好且稳定。

关键词 草鱼池塘; 咸淡水; 集约化养殖; 水质; 浮游生物; 饲料投喂量; 预测模型; 水环境; 水产病害; 生物群落

中图分类号 S 965.112; Q 178.1 文献标识码 A 文章编号 1000-2421(2021)02-0178-10

集约化养殖是在传统的粗放型养殖基础上逐步发展起来的一种高投入、高产出、高效益的养殖模式^[1]。然而, 随着集约化养殖程度的提高, 投饵量也随之增加, 引发的水产病害问题也因养殖环境恶化而日趋严重^[2]。而保持良好、稳定的水环境可减少养殖鱼类应激和病害^[3], 降低养殖经济损失。池塘生态系统的动态平衡是维持池塘水环境稳定的重要条件, 饲料是池塘生态系统主要的能量输入, 在高密度养殖模式中, 饲料对池塘生态的影响加大, 且与池塘水质和浮游生物群落紧密相关^[4]。养殖鱼类对饲料蛋白质的利用率只有20%~25%, 其余的以残饵、粪便的形式排放到水体中, 易造成水体富营养化^[4], 饲料的投喂量对水体中营养盐浓度也具有显著的影响^[5]。而集约化养殖池塘饲料投喂量更高, 对池塘影响也更大, 因此了解集约化池塘生态特点

及其与饲料投喂量的关系对集约化池塘科学投饵和病害防控具有重要意义。

广州市南沙区处于珠江水系虎门、蕉门、洪奇门、横门等水道的入海口, 是西江、北江、东江三江汇集之处, 是广州唯一的出海通道, 处于淡水与海水的交汇区。南沙区池塘养殖品种主要以鱼、虾和蟹等经济水产动物为主, 水源来自海水与淡水交汇区的伶仃洋, 盐度在1‰~8.6‰, 属于咸淡水水体^[6-7]。伶仃洋咸淡水的混合, 不仅与淡水径流及进潮量有关, 也与风、浪等因素有关, 同时伶仃洋特有的地理形势也明显地影响混合的发生和发展^[6]。相比于内陆淡水池塘, 广州沿海咸淡水集约化池塘水环境和养殖模式具有特殊性, 目前鲜见关于其池塘水环境特点及季节变化的相关研究报道。因此, 本研究通过对广州沿海咸淡水集约化养殖池塘定期采样调

收稿日期: 2020-09-28

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46); 湖北省农业科技创新中心(2019-620-000-001-33); 校企技术开发项目(3177225)

陈红雕, E-mail: chenhongdiao@qq.com

通信作者: 顾泽茂, E-mail: guzema@mail.hzau.edu.cn

查,了解沿海咸淡水集约化池塘水环境特点,分析饲料投喂量与池塘水质和浮游生物的关系,旨在为广州沿海咸淡水集约化养殖池塘水质调控、科学投饵及绿色健康养殖提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验选址及池塘信息

试验选址在广州市诚一水产养殖有限公司南沙养殖基地(N22°36'37.96", E113°37'16.25"),养殖模式分为三级养殖,分别是鱼苗、鱼种和成鱼养殖。试验选择3个主养草鱼鱼种的池塘为研究对象,池塘面积均为11 339 m²,水深2 m,盐度1‰~5‰,每个池塘配备1台自动投料机和6台1.5 kW叶轮增氧机,每个池塘每年可养殖3批草鱼鱼种。试验塘主养草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*),并搭配鲫(*Carassius auratus auratus*)、鲮(*Cirrhinus molitor*)和鳊(*Hypophthalmichthys nobilis*);每批各鱼类放养密度(规格)分别为3 700(100~200 g/尾)、1 000(50~100 g/尾)、1 200(10~20 g/尾)、150(250~300 g/尾)尾/667 m²。

1.2 池塘投喂计划

池塘饲料投喂率(投喂率=饲料投喂量/池塘草鱼总量×100%)主要根据水温和草鱼规格制定,相同规格的草鱼在不同水温下投喂率不同,相同的水温但不同规格的草鱼饲料投喂率也不同。3—11月投喂率数据见表1,其中8—10月是池塘投喂率最高的时期。

表1 月计划投喂率
Table 1 Monthly planned feeding rate %

月份 Month	草鱼规格/g Grass carp specifications		
	100~200	200~300	300~400
3月 March	3.0	2.5	2.0
4月 April	3.0	2.5	2.0
5月 May	3.0	2.5	2.2
6月 June	3.2	2.7	2.4
7月 July	3.4	2.9	2.5
8月 August	3.5	3.0	2.6
9月 September	3.5	3.0	2.6
10月 October	3.5	3.0	2.6
11月 November	3.4	2.9	2.5

1.3 池塘水样采集

采样时间从2017年9月至2018年9月,每个月连续采样(除2017年12月和2018年1—2月外),采样频次为1周2次,于07:00~08:30进行。采样点为池塘四角与对角线交叉点,四角点离岸边3 m左右,采样深度为水面下0.5 m,3个池塘采样

方法一致,方法参照文献[8]。

1.4 浮游生物水样沉淀和浓缩

将本文材料与方法“1.3”采集到的1 L混合水样放在实验室静置48 h后,用虹吸管吸出上清液,把水样浓缩至30~50 mL加入样品瓶中,称量并记录水样体积,用于浮游生物定量分析。

1.5 池塘理化指标测定方法

水温(water temperature, WT)和溶氧(dissolved oxygen, DO)使用丹麦欧仕卡便携式溶氧仪测定;透明度(secchi disk, SD)使用萨氏黑白盘测定;盐度(salinity, SAL)使用盐度计测定;pH值使用爱德克斯便携式pH计测定;总氮(total nitrogen, TN)使用国家环境保护标准碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定(HJ 636—2012);总磷(total phosphorus, TP)使用国家环境保护标准钼酸铵分光光度法测定(GB 11893—1989);氨氮(NH₄⁺-N)使用国家环境保护标准纳氏试剂分光光度法测定(HJ 535—2009);亚硝态氮(NO₂⁻-N)使用国家环境保护标准亚硝酸盐氮分光光度法测定(GB 7493—1987)。饲料投喂量(feed quantity, FQ)表示2次采样期间饲料的累计投喂量,饲料投喂量数据从诚一公司智能化养殖管理系统中导出。

1.6 池塘浮游生物鉴定和计数方法

1)浮游生物鉴定。浮游生物采样、浓缩和鉴定参照文献[8-10]等资料。

2)计数方法。密度和优势度计算公式分别参照文献[8]和[11]进行。

1.7 数据处理与分析

因数据量大,因此取1周2次3个试验塘采样数据的“平均值±标准差”做图,使用SPSS 22.0进行斯皮尔曼(Spearman)相关和多元回归分析,Canoco 5.0进行冗余排序(redundancy analysis, RDA)分析,用Excel 2013和GraphPad 8做图。

2 结果与分析

2.1 饲料投喂量与池塘水质指标的关系

2017年9月至2018年9月,养殖了3批鱼种,转塘时间分别为12月4日、6月28日、8月29日,由图1A可知,FQ呈先上升后下降的变化趋势,有3个投喂高峰期,分别是9—11月、4—5月和7—8月;池塘TN浓度随着FQ的增加而增大,其中9—11月尤其明显,TN的变化范围为2.472~12.698 mg/L,均值为(7.079±2.004) mg/L,峰值出现在

2017 年 11 月 21 日(12.698 mg/L)。

池塘 WT 变化范围在 17.59~31.42 °C, 平均值为(26.76±4.05) °C, 在 9—10 月和 5—9 月 WT 比较稳定, 10 月中旬和 11 月底有 2 次连续降温, 3—4 月 WT 波动较大; DO 含量在 6—9 月较低, 10 月至次年 5 月波动较大, 且不稳定, DO 的变化范围为 1.46~5.54 mg/L(图 1 B)。

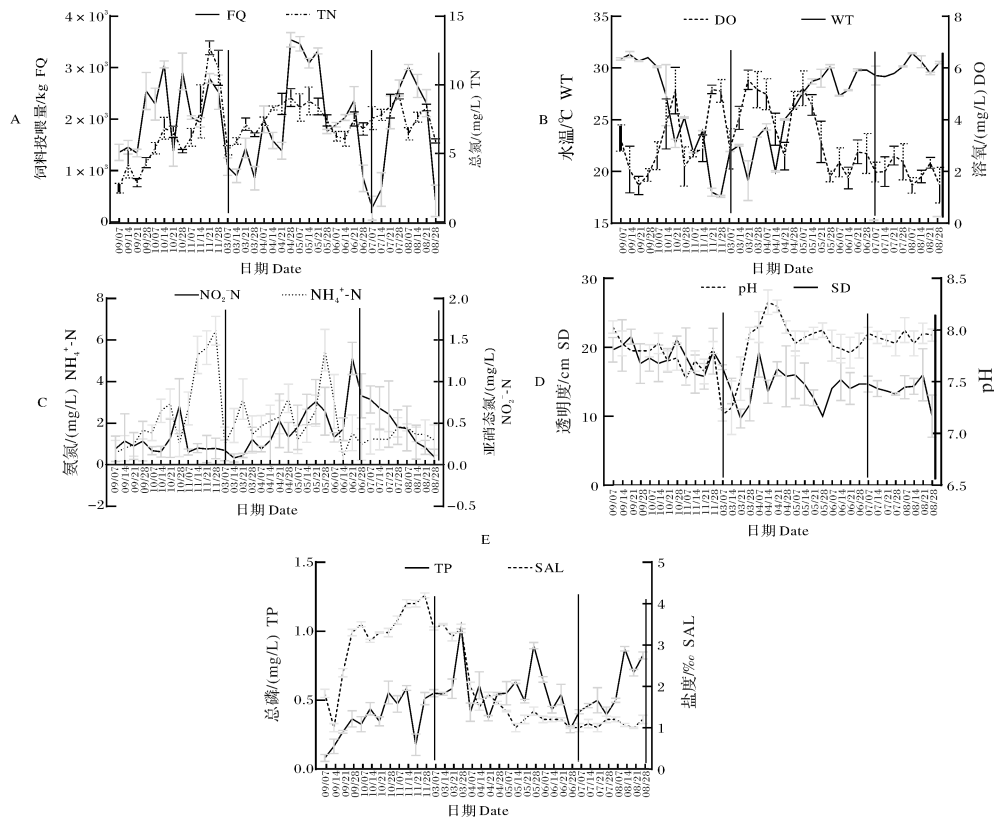
池塘 TP 浓度有 3 个较大峰值, 分别是 3 月、5 月和 8 月, TP 变化范围为 0.081~1.034 mg/L, 均值为(0.503±0.199) mg/L; 池塘 TP 浓度前期随 FQ 的升高而增大, 后期这种关系减弱(图 1 A 和图 1 E); SAL 季节变化明显, 10 月至次年 3 月盐度在 2‰ 以上, 其中 11 月最高, 4—9 月盐度在 2‰ 以下, 其中 7—8 月盐度最低(图 1 E)。

池塘 NH_4^+ -N 质量浓度波动较大, 变化范围为 0.347~6.457 mg/L, 均值为(2.159±1.456) mg/L, 其中出现 2 次峰值, 分别是 2017 年 11 月 28 日(6.457 mg/L)和 2018 年 5 月 28 日(5.519 mg/L)。池塘 NH_4^+ -N 浓度随 FQ 上升而上升, 但变化较 FQ 滞后几天, NH_4^+ -N 高峰一般在 FQ 高峰后几天出

现; NO_2^- -N 质量浓度也有 2 个峰值, 分别出现在 10 月和 6 月, 在 9—11 月是先上升后下降, 在 3—8 月期间, NO_2^- -N 质量浓度是逐渐上升, 至最大值后逐渐下降(图 1 C)。变化范围为 0.082~1.280 mg/L, 均值为(0.391±0.262) mg/L。池塘 NO_2^- -N 质量浓度在一定范围内随 FQ 的增加而上升, 但不呈线性关系, 在 6—8 月变化趋势与池塘 NH_4^+ -N 相似(图 1 A 和图 1 C)。

池塘 pH 值全年整体较稳定, 有随着养殖时间的增长而下降的趋势, 年平均值为 7.84±0.36, 分别在 2018 年 3 月 7 日和 4 月 24 日出现最小值(7.18)和最大值(8.27); 池塘 SD 值较低, 基本在 20 cm 以下, SD 值全年整体呈下降趋势, 均值为(16.00±2.99) cm(图 1 D)。

将 FQ 与水质指标做 Spearman 相关分析, 结果显示: FQ 与 TN 呈显著正相关($P < 0.05$), $r = 0.614$; 与 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N、TP、pH、WT、DO、SD 和 SAL 无显著相关性, r 值分别为 0.321、0.294、0.266、0.254、0.01、-0.123、-0.172、-0.01。



图中竖线表示为转塘和放苗时间。The blue vertical line in the picture represents the time of pond transfer and seedling release.

图 1 FQ 及各理化指标的动态变化

Fig.1 Dynamic changes of FQ and various physical and chemical indicators

2.2 饲料投喂量与池塘浮游生物的关系

1) 咸淡水池塘浮游植物群落结构。咸淡水池塘浮游植物监测结果见表 2, 试验池塘中浮游植物共发现 8 门 71 属 149 种, 其中绿藻门 37 属 78 种, 蓝藻门 16 属 34 种, 硅藻门 5 属 9 种, 隐藻门 2 属 4 种, 裸藻门 4 属 11 种, 甲藻门 4 属 9 种, 金藻门 2 属

2 种, 黄藻门 1 属 2 种, 种类以绿藻门和蓝藻门种类为主。池塘浮游植物优势种变化明显(表 3), 其中细浮鞘丝藻全年都有发现, 且优势度较高, 是绝对优势种; 常见优势种有细小微囊藻、近旋颤藻、球衣藻、四尾栅藻、蛋白核小球藻、梅尼小环藻和绿色裸藻等。

表 2 试验期间检出的浮游植物种类

Table 2 Phytoplankton species during the experimental period

门 Phylum	属 Genus
蓝藻门 Cyanophyta	浮鞘丝藻、微囊藻、小尖头藻、伪鱼腥藻、鱼腥藻、拟鱼腥、颤藻、平裂藻、隐球藻、隐杆藻、色球藻、蓝纤维藻、螺旋藻、节旋藻、腔球藻、小雪藻 <i>Planktolyngbya</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Raphidiopsis</i> , <i>Pseudanadaena</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Aphanothece</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Dactylococcopsis</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Coelosphaerium</i> , <i>Snowella</i>
绿藻门 Chlorophyta	绿梭藻、衣藻、拟衣藻、鼓藻、角星鼓藻、凹顶鼓藻、小球藻、十字藻、网球藻、空球藻、新月藻、卵囊藻、栅藻、空星藻、韦氏藻、四星藻、四角藻、实球藻、纺锤藻、月牙藻、盘星藻、肾形藻、弓形藻、蹄形藻、集星藻、鞘藻、塔胞藻、小柱藻、四鞭藻、并联藻、顶棘藻属、盘藻、多芒藻、团藻、游丝藻、桑葚藻、翼膜藻 <i>Chlorogonium</i> , <i>Chlamydomonas</i> , <i>Chloromonas</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Staurastrum</i> , <i>Euastrum</i> , <i>Chlorella</i> , <i>Crucigenia</i> , <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Eudorina</i> , <i>Closterium</i> , <i>Oocystis</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Westella</i> , <i>Tetrastrum</i> , <i>Tetraedron</i> , <i>Pandorina</i> , <i>Elakatothrix</i> , <i>Selenastrum</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Nephrocytium</i> , <i>Scheroederia</i> , <i>Kirchneriella</i> , <i>Actinastrum</i> , <i>Oedogonium</i> , <i>Pyramimonas</i> , <i>Characium</i> , <i>Carteria</i> , <i>Quadrigula</i> , <i>Chodatella</i> , <i>Goium</i> , <i>Golenkinia</i> , <i>Volvox</i> , <i>Planctonema</i> , <i>Pyrobotrys</i> , <i>Pteromonas</i>
硅藻门 Bacillariophyta	舟形藻、直链藻、小环藻、针杆藻、角毛藻 <i>Navicula</i> , <i>Melosira</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Synedra</i> , <i>Chaetoceros</i>
隐藻门 Cryptophyta	蓝隐藻、隐藻 <i>Chroomonas</i> , <i>Cryptomonas</i>
裸藻门 Euglenophyta	陀螺藻、裸藻、囊裸藻、扁裸藻 <i>Strombomonas</i> , <i>Euglena</i> , <i>Trachelomonas</i> , <i>Phacus</i>
甲藻门 Dinophyta	多甲藻、薄甲藻、角甲藻、裸甲藻 <i>Peridinium</i> , <i>Glenodinium</i> , <i>Ceratium</i> , <i>Gymnodinium</i>
金藻门 Chrysophyta	三毛金藻、色金藻 <i>Prymnesium</i> , <i>Chromulina</i>
黄藻门 Xanthophyta	膝口藻 <i>Gonyostomum</i>

表 3 试验塘浮游植物月度主要优势种统计

Table 3 Monthly statistics of main dominant species of phytoplankton in experimental ponds

月份 Month	优势种(优势度) Dominant species (Dominant degree)
3 月 March	细浮鞘丝藻(0.39)、伪鱼腥藻(0.14)、球衣藻(0.12)、四尾栅藻(0.06)、斜生栅藻(0.05)、梅尼小环藻(0.04)、嗜蚀隐藻(0.03) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Pseudoanabaena</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Cryptomonas erosa</i>
4 月 April	细浮鞘丝藻(0.42)、为首螺旋藻(0.14)、斜生栅藻(0.10)、梅尼小环藻(0.05)、棱形裸藻(0.02) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Spirulina princeps</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Euglena acus</i>
5 月 May	细浮鞘丝藻(0.49)、细小平裂藻(0.11)、四尾栅藻(0.10)、梅尼小环藻(0.03)、绿色裸藻(0.03) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Merismopedia tenuissima</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Euglena viridis</i>
6 月 June	细浮鞘丝藻(0.43)、伪鱼腥藻(0.11)、蛋白核小球藻(0.08)、具星小环藻(0.03) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Pseudoanabaena</i> , <i>Chlorella pyrenoidesa</i> , <i>Cyclotella stelligera</i>
7 月 July	细浮鞘丝藻(0.28)、球衣藻(0.10)、三叶衣藻(0.03)、蛋白核小球藻(0.13)、具星小环藻(0.02)、真蓝裸甲藻(0.04) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i> , <i>Chlamydomonas isabeliensis</i> , <i>Chlorella pyrenoidesa</i> , <i>Cyclotella stelligera</i> , <i>Gymnodinium eucyaneum</i>
8 月 August	细浮鞘丝藻(0.36)、球衣藻(0.12)、三叶衣藻(0.02)、蛋白核小球藻(0.08)、四尾栅藻(0.04)、真蓝裸甲藻(0.03) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i> , <i>Chlamydomonas isabeliensis</i> , <i>Chlorella pyrenoidesa</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Gymnodinium eucyaneum</i>
9 月 September	细浮鞘丝藻(0.37)、不定微囊藻(0.28)、球衣藻(0.08)、蛋白核小球藻(0.04)、绿色裸藻(0.03) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Microcystis incerta</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i> , <i>Chlorella pyrenoidesa</i> , <i>Euglena viridis</i>
10 月 October	细浮鞘丝藻(0.24)、不定微囊藻(0.34)、为首螺旋藻(0.26)、球衣藻(0.12)、四尾栅藻(0.02)、具星小环藻(0.02) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Microcystis incerta</i> , <i>Spirulina princeps</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Cyclotella stelligera</i>
11 月 November	细浮鞘丝藻(0.14)、不定微囊藻(0.16)、微小微囊藻(0.11)、螺旋鱼腥藻(0.20)、近旋颤藻(0.30)、球衣藻(0.04) <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Microcystis incerta</i> , <i>Microcystis minutissima</i> , <i>Anabaena spiroides</i> , <i>Oscillatoria subcontorta</i> , <i>Chlamydomonas globosa</i>

注: 括号中数值为物种优势度。Note: Values in parentheses are species dominance.

2)咸淡水池塘浮游动物群落结构。采样结果显示(表 4),试验池塘中浮游动物共发现 34 属 62 种,其中原生动物 18 属 36 种,轮虫 7 属 16 种,枝角类 5 属 5 种,桡足类 4 属 5 种。由表 5 可知,原生动物主要优势种有绿急游虫、卵形嗜腐虫、褐砂壳虫、中华

拟铃虫等种类,轮虫主要优势种有广布多肢轮虫、小多肢轮虫等种类,枝角类优势种以短型裸腹溞为主,桡足类优势种以台湾温剑水蚤为主;浮游动物种类主要以原生动物和轮虫为主,枝角类和桡足类种类占比较低。

表 4 试验期间检出的浮游动物种类

Table 4 Zooplankton species detected during the experimental period

种类 Types	属 Genus
原生动物 Protozoa	砂壳虫属、嗜腐虫属、膜袋虫属、前口虫属、刺胞虫属、隆口虫属、板壳虫属、焰毛虫属、肾形虫属、草履虫属、钟虫属、弹跳虫属、游仆虫属、急游虫属、侠盗虫属、拟铃壳虫属、棘尾虫属、瘦尾虫属 <i>Difflugia, Sathrophilus, Cyclidium, Frontonia, Acanthocystis, Rhagadostoma, Coleps, Aslemasia, Colpoda, Paramecium, Vorticella, Hlateria, Euplotes, Strombidium, Strobilidium, Stylohychia, Uroleptus</i>
轮虫 Rotifer	臂尾轮属、龟甲轮属、晶囊轮属、多肢轮属、三肢轮属、异尾轮属、疣毛轮属 <i>Brachionus, Keratella, Asplanchnidae, Polyarthra, Filinia, Trichocerca, Synchocerca</i>
枝角类 Cladocera	裸腹溞属、基合溞属、象鼻溞属、秀体溞属、仙达溞属 <i>Moina, Bosminopsis, Bosmina baird, Diaphanosoma fischer, Sida</i>
桡足类 Copeoda	无节幼体、华哲水蚤属、真剑水蚤属、温剑水蚤属、锚头蚤属 <i>Nauplii, Sinocalanus, Eucyclops, Thermocyclops, Lernaea</i>

表 5 试验塘浮游动物月度主要优势种统计

Table 5 Monthly statistics of main dominant species of zooplankton in experimental ponds

月份 Month	优势种(优势度) Dominant species (Dominant degree)
3 月 March	褐砂壳虫(0.18)、绿急游虫(0.17)、黏游仆虫(0.12)、沟钟虫(0.10)、卵形嗜腐虫(0.07)、大弹跳虫(0.06)、中华拟铃虫(0.05)、差异瘦尾虫(0.02)、小多肢轮虫(0.03) <i>Difflugia avellana, Strombidium viride, Euplotes muscicola, Vorticella convallaria, Sathrophilus oviformis, Halteria grandinella, Tintinnopsis sinensis, Uroleptus dispar, Polyarthra sp.</i>
4 月 April	卵形嗜腐虫(0.12)、绿急游虫(0.12)、褐砂壳虫(0.10)、居中膜袋虫(0.04)、团焰毛虫(0.04)、双核草履虫(0.03)、尾瘦尾虫(0.03)、小多肢轮虫(0.05)、萼花臂尾轮虫(0.02) <i>Sathrophilus oviformis, Strombidium viride, Difflugia avellana, Cyclidium centrale, Askenasia volvox, Paramecium aurelia, Uroleptus caudatus, Polyarthra sp., Brachionus calyciflorus</i>
5 月 May	绿急游虫(0.33)、居中膜袋虫(0.13)、卵形嗜腐虫(0.12)、团焰毛虫(0.06)、毛板壳虫(0.04)、弯棘尾虫(0.04)、中华拟铃虫(0.04)、小多肢轮虫(0.03)、暗小异尾轮虫(0.02) <i>Strombidium viride, Cyclidium centrale, Sathrophilus oviformis, Askenasia volvox, Coleps hirtus, Stylohychia curvata, Tintinnopsis sinensis, Polyarthra sp., Trichocerca pusilla</i>
6 月 June	绿急游虫(0.30)、根状拟铃虫(0.14)、褐砂壳虫(0.12)、中华拟铃虫(0.10)、卵形嗜腐虫(0.05)、暗小异尾轮虫(0.03)、长三肢轮虫(0.03)、角突臂尾轮虫(0.02) <i>Strombidium viride, Tintinnopsis radix, Difflugia avellana, Tintinnopsis sinensis, Sathrophilus oviformis, Sathrophilus oviformis, Filinia longisela, Brachionus angularis</i>
7 月 July	绿急游虫(0.20)、旋回侠盗虫(0.12)、卵形嗜腐虫(0.09)、中华拟铃虫(0.05)、针棘刺胞虫(0.03)、角突臂尾轮虫(0.02)、广布多肢轮虫(0.02)、长三肢轮虫(0.02) <i>Strombidium viride, Strobilidium gyrans, Sathrophilus oviformis, Tintinnopsis sinensis, Acanthocystis aculeata, Brachionus angularis, Polyarthra vulgaris, Filinia longisela</i>
8 月 August	绿急游虫(0.14)、卵形嗜腐虫(0.12)、沟钟虫(0.11)、中华拟铃虫(0.07)、黏游仆虫(0.07)、团焰毛虫(0.04)、针棘刺胞虫(0.02)、广布多肢轮虫(0.04)、弯棘尾虫(0.02) <i>Strombidium viride, Sathrophilus oviformis, Vorticella convallaria, Tintinnopsis sinensis, Euplotes muscicola, Askenasia volvox, Acanthocystis aculeata, Polyarthra vulgaris, Stylohychia curvata</i>
9 月 September	绿急游虫(0.15)、卵形嗜腐虫(0.11)、沟钟虫(0.08)、尾瘦尾虫(0.06)、广布多肢轮虫(0.04)、萼花臂尾轮虫(0.02) <i>Strombidium viride, Sathrophilus oviformis, Vorticella convallaria, Uroleptus caudatus, Polyarthra vulgaris, Brachionus calyciflorus</i>
10 月 October	绿急游虫(0.38)、团焰毛虫(0.12)、黏游仆虫(0.12)、根状拟铃虫(0.11)、中华拟铃虫(0.10)、角突臂尾轮虫(0.02)、广布多肢轮虫(0.04) <i>Strombidium viride, Askenasia volvox, Euplotes muscicola, Tintinnopsis radix, Tintinnopsis sinensis, Brachionus angularis, Polyarthra vulgaris</i>
11 月 November	绿急游虫(0.34)、中华拟铃虫(0.12)、黏游仆虫(0.12)、团焰毛虫(0.10)、大弹跳虫(0.07)、根状拟铃虫(0.04)、广布多肢轮虫(0.04)、角突臂尾轮虫(0.02) <i>Strombidium viride, Tintinnopsis sinensis, Euplotes muscicola, Askenasia volvox, Halteria grandinella, Tintinnopsis radix, Polyarthra vulgaris, Brachionus angularis</i>

注:括号中数值为物种优势度。Note: Values in parentheses are species dominance.

3) 饲料投喂量与浮游植物生物量的季节变化关系。池塘浮游植物生物量在 2017 年 9—11 月保持稳定, 从 2018 年 3 月份开始上升, 在 5 月初达到极值, 且波动较大, 在 5—8 月较高(图 2)。浮游植物生物量变化范围为 14.68~62.12 mg/L, 均值为 (35.15±12.66) mg/L。浮游植物生物量有随 FQ 增加而增加的趋势, 但对浮游植物生物量影响有限。

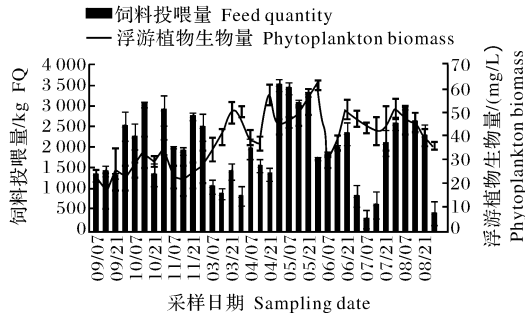


图 2 饲料投喂量与浮游植物生物量的季节变化
Fig.2 Seasonal changes in feed quantity and phytoplankton biomass

4) 饲料投喂量与浮游动物生物量的季节变化关系。浮游动物生物量变化范围为 0.81~20.84 mg/L, 平均值为 (10.78±5.18) mg/L。浮游动物分别在秋季和春季有 1 个小高峰, 生物量最大值在 11 月 7 日 (20.84 mg/L), 浮游动物生物量整体波动较大。浮游动物生物量随 FQ 增加而增加, 在 9—11 月最为明显(图 3)。

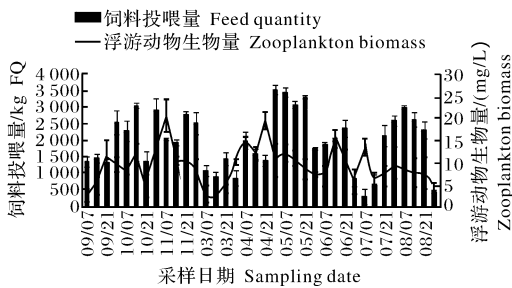


图 3 饲料投喂量与浮游动物生物量的季节变化
Fig.3 Seasonal changes in feed quantity and zooplankton biomass

FQ 与浮游植物、浮游动物、甲壳动物、轮虫和原生动生物量相关分析显示, FQ 与浮游动物、浮游植物和原生动生物量呈显著 ($P < 0.05$) 正相关关系, 其 r 值分别为 0.447 ($P < 0.01$)、0.354 ($P < 0.05$) 和 0.525 ($P < 0.01$); FQ 与甲壳动物和轮虫生物量与 FQ 无显著相关性。

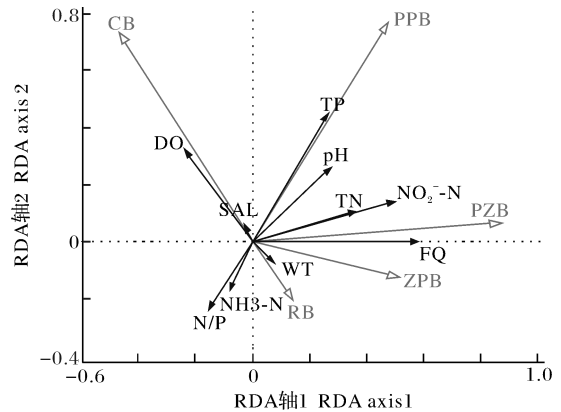
2.3 池塘饲料投喂量、水质指标及浮游生物量三者间的相关关系

从表 6 可以看出, 4 个排序轴与 FQ 和水质指标的相关系数分别为 0.878、0.833、0.698 和 0.583, 由此可以反映出排序轴与 FQ 和水质指标的相关性强, RDA 三维排序图(图 4)结果显示, 影响浮游生物量的主要因子有 FQ、TP、 NO_2^- -N、DO、pH、TN 和 N/P, 其中 TP 是影响浮游植物生物量的关键因子, FQ 是影响浮游动物生物量的关键因子, 除了甲壳动物外, 其他浮游生物均与 FQ 呈正相关。

表 6 饲料投喂量和水质指标与浮游生物量的 RDA 排序轴参数值

Table 6 RDA sorting axis parameter value table of feed quantity and water quality index and plankton biomass

参数 Parameter	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	轴 3 Axis 3	轴 4 Axis 4
特征值 Eigenvalues	0.322 5	0.290 1	0.061 2	0.006 1
解释的变化(累计) Explained variation (cumulative)	32.25	61.25	67.37	67.98
物种与环境因子相关性 Pseudo-canonical correlation	0.878 0	0.833 2	0.698 8	0.583 5
解释的拟合变化(累积) Explained fitted variation (cumulative)	47.23	89.72	98.68	99.58



ZPB: 浮游动物生物量 Zooplankton biomass; PPB: 浮游植物生物量 Phytoplankton biomass; PZB: 原生动生物量 Protozoon biomass; CB: 浮游甲壳动物生物量 Crustacean biomass; RB: 轮虫生物量 Rotifer biomass.

图 4 饲料投喂量、水质指标和浮游生物量的 RDA 三维排序图

Fig.4 RDA three-dimensional sorting chart of feed quantity, water quality indicators and plankton biomass

2.4 浮游生物量预测数据模型

将 WT、SAL、FQ、TP、SD、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N、

DO、pH 和 TN,与浮游植物和浮游动物生物量做多元逐步回归分析。浮游植物生物量预测模型 $R^2 = 0.686$,调整后 $R^2 = 0.654 (P < 0.01)$, Durbin-Watson = 1.532;浮游动物生物量预测模型 $R^2 = 0.482$,

调整后 $R^2 = 0.448 (P < 0.01)$, Durbin-Watson = 1.017。剔除影响不显著或重复作用的因子,筛选出主要影响因子,建立数据预测模型,模型主要参数见表 7。

表 7 浮游生物量预测模型回归系数

Table 7 Regression coefficient of plankton forecast model

预测模型 Predictive model	变量 Variable	回归系数 Regression coefficients	显著性 Significance	模型自动剔除因子 Rejection factor
浮游植物生物量 Y_1 Phytoplankton biomass Y_1	常数 Constant	-51.565	0.182	WT, FQ, SAL, TN
	SD(X_1)	-2.064	0.000	
	NO_2^- -N(X_2)	11.101	0.001	
	pH(X_3)	13.592	0.005	
	TP(X_4)	16.072	0.011	
	NH_4^+ -N(X_5)	-2.201	0.003	
浮游动物生物量 Y_2 Zooplankton biomass Y_2	DO(X_6)	2.216	0.010	WT, TN, NH_4^+ -N, TP, NO_2^- -N, DO
	常数 Constant	-57.486	0.007	
	FQ(x_1)	0.006	0.000	
	SD(x_2)	0.893	0.000	
	pH(x_3)	5.537	0.033	
SAL(x_4)	2 243.919	0.000		

从表 7 可知,预测模型 Y_1 对浮游植物生物量的解释率为 65.4%,且自变量影响显著,预测模型 Y_1 (浮游植物生物量) = $16.07X_4 + 13.60X_3 + 11.10X_2 + 2.22X_6 - 2.20X_5 - 2.06X_1 - 51.57$ 。预测模型 Y_2 对浮游动物生物量的解释率为 44.8%,自变量影响显著,预测模型 Y_2 (浮游动物生物量) = $2243.92x_4 + 5.54x_3 + 0.90x_2 + 0.006x_1 - 57.48$ 。

1 500 kg/667 m²,密度越高,投喂也越多,饲料残饵和鱼类产生的含氮排泄物就越多,从而 NH_3 -N 也就越高。本试验塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 在养殖后期很高,随养殖时间的增长,池塘饲料残饵和鱼类粪便累积量在养殖后期达到最大,同时草鱼规格也随时间的增长而增大,池塘单位面积草鱼载量增大,耗氧量加大,所以在养殖后期池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 往往较高。

3 讨论

3.1 咸淡水集约化养殖池塘生态特点

本试验塘盐度在 1‰~5‰,季节变化明显,在枯水期(10月—次年3月)较高,丰水期(6—8月)较低,池塘盐度变化主要受伶仃洋盐度和降雨量影响。年平均水温为(26.76±4.05)℃,相比于其他内陆养殖区域较高^[12-13],因为纬度较内陆低,全年积温较高。透明度均值为(16.00±2.99)cm,低于大多数草鱼养殖池塘^[12-13],广东全年有效养殖时间较长,饲料累积投喂量高,池塘有机质丰富,加上处于河口地带,水体泥沙含量较高,导致池塘透明度较低。本试验塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 均值高于其他大多数养殖池塘^[12-13]。养殖鱼类长时间处于高 NH_4^+ -N (>6 mg/L)高 NO_2^- -N (>2 mg/L)的水环境^[14],会引起水体慢性中毒,免疫力下降,容易被病原感染。本试验塘放养密度较高,季英杰^[13]试验塘草鱼放养密度约 200 kg/667 m²,本试验塘草鱼放养密度约

在采样期间共发现浮游植物 71 属 149 种,浮鞘丝藻属是绝对优势种,浮鞘丝藻在其他河口水域也有相关报道^[15]。常见优势种有微囊藻属、衣藻属和小环藻属。另外,9—11月在池塘中发现少量海洋藻类角毛藻(*Chaetoceros*),说明咸淡水池塘浮游生物群落受海水和淡水交汇的影响,且角毛藻在咸淡水环境中也可正常生活。季英杰^[13]对草鱼养殖池塘浮游植物群落结构研究结果显示浮游植物主要优势种为衣藻属,李瑞娇^[12]对崇湖草鱼养殖池塘浮游植物群落结构研究,也得出类似的结果,淡水池塘优势种以绿藻门为主。蔡志龙等^[16]对海水混养池塘浮游植物群落结构研究结果显示,优势种以硅藻门种类为主,其他海水养殖池塘也得出类似的结果^[17]。海水养殖池塘中硅藻占优势,淡水养殖池塘中绿藻占优势,本研究中咸淡水养殖池塘与海水池塘和淡水养殖池塘有联系但又有些不同,处于两者之间,兼有淡水和海水的特性,水质的特殊性也决定

了浮游植物的群落特点,优势种以绿藻门、蓝藻门和硅藻门种类为主。

浮游动物共发现 34 属 62 种,种类以原生动物和轮虫为主,枝角类和桡足类占比较少,田恬^[7]和张念等^[18]对池塘浮游动物群落结构调查也得出相同的结果。因为养殖池塘饲料投喂量多,池塘有机碎屑丰富,而小型浮游动物摄食效率更高,相对生长繁殖更快,因此,浮游动物以原生动物和轮虫为主。

3.2 咸淡水集约化池塘饲料投喂量与水质指标的关系

FQ 与池塘营养盐因子之间联系紧密,相互作用明显。其中 FQ 与池塘 TN 浓度呈显著正相关关系, TN 又与池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 呈正相关,所以 FQ 对池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 浓度存在间接影响,但相关分析结果显示 TN 对池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 浓度无显著影响,可能是因为池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 浓度变化较 FQ 滞后。饲料中约有 50%~80% 的氮排入水环境,是池塘氮素的主要来源^[19],所以在投喂量高峰后 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 也会出现相应的峰值,尤其在投喂高峰后阴雨天气中最明显。阴雨天气池塘浮游植物光合作用弱且溶氧低,所以池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 易升高。饲料投入后,草鱼需要消化分解,然后再以 NH_4^+ -N 等形式排放,一般摄食后 5~8 h 草鱼氮排泄达到高峰^[20]。本试验塘在 2017 年 10 月 14 日和 11 月 21 日, FQ 没有及时根据 WT 调整,所以 FQ 过量,导致试验塘 2017 年 10—11 月 TN 和 NH_4^+ -N 持续较高。在高 NH_4^+ -N 低 DO 的情况下,池塘 NO_2^- -N 也会迅速升高。FQ 与池塘 TP 浓度有一定相关性,但不显著。

3.3 咸淡水集约化池塘饲料投喂量和水质指标与浮游生物量的关系

本试验池塘平均每 667 m^2 年饲料投喂量约 4~5 t,是养殖池塘水环境主要营养来源。浮游动物大多数以池塘有机碎屑、藻类为食,浮游植物大多数不能直接利用有机物,需要其他生物(微生物、养殖鱼类和浮游动物等)分解成营养盐才能吸收利用。所以 FQ 对浮游生物量都有一定的影响,相对而言,对浮游动物生物量影响更大。RDA 结果显示,影响浮游植物群落的主要因子有 TP、 NO_2^- -N、FQ 和 TN,其中 TP 影响最大。王旭娜等^[21]在对虾养殖池塘

中也得出类似结果。在监测期间试验塘 TP 平均值为 0.47 mg/L, TN 为 6.95 mg/L, TP 含量相较 TN 在池塘更低,相对更易成为限制浮游植物生长繁殖的环境因子。影响浮游动物群落的主要环境因子有 FQ、 NO_2^- -N、TN 和 DO,其中 FQ 影响最大。因为大部分浮游动物可以直接摄食池塘中的有机碎屑,而饲料是池塘有机碎屑的主要来源,因此浮游动物生物量可在一定程度反映其投喂是否过量,其之间的关系可通过模型 Y_2 体现。

另外,试验塘 4 月与 8 月分别暴发过甲藻水华和蓝藻水华,分别与 4—5 月和 7—8 月 2 个投喂高峰相对应,说明高饲料投喂量是引起池塘水华的原因之一。但 4—5 月和 7—8 月 2 个投喂高峰并没有引起池塘 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 持续升高。虽然在 5 月 28 日池塘 NH_4^+ -N 有 1 个峰值,但没有持续。这与 4—8 月光照强度高、池塘浮游植物光合作用强有关,浮游植物光合作用可以有效吸收池塘 NH_4^+ -N。由此可知,在养殖过程中,水华不一定都有害,只要在可控范围内是有利于养殖的,根据本试验塘浮游生物和水质数据分析,笔者认为该类池塘浮游植物生物量在 40~70 mg/L 为宜,池塘水环境相对较好且稳定。

参考文献 References

- [1] 宋硕.草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)池塘集约化养殖生态系统结构优化和能量收支的研究[D].青岛:中国海洋大学,2011.SONG Q. Studies on the optimization and energy balance of ecological system of intensive *Ctenopharyngodon idellus* ponds[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [2] 郝玉江,张国红,贾艳菊,等.种群密度对鱼类影响的研究概述[J].河北师范大学学报(自然科学版),2003,27(4):397-401. HAO Y J, ZHANG G H, JIA Y J, et al. A review of studies on the impact of population density on fish [J]. Journal of Hebei Normal University (natural science edition), 2003, 27(4): 397-401 (in Chinese with English abstract).
- [3] 申屠青春,董双林,赵文,等.盐度、碱度对浮游生物和水化因子的影响[J].应用生态学报,2000,11(3):449-454. SHENTU Q C, DONG S L, ZHAO W, et al. Effects of salinity and alkalinity on plankton and water chemical factors [J]. Chinese journal of applied ecology, 2000, 11(3): 449-454 (in Chinese with English abstract).
- [4] 周根根.两种不同投喂营养源对主养草鱼池塘营养循环与能量

- 转化效率的影响[D].武汉:华中农业大学,2016.ZHOU G G. Effects of two different nutrient sources on nutrient cycling and energy exchange efficiency in grass carp poly-culture ponds [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [5] CRAB R, AVNIMELECH Y, DEFOIRDT T, et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production [J]. *Aquaculture*, 2007, 270(1/2/3/4): 1-14.
- [6] 应秩甫, 陈世光. 珠江口伶仃洋咸淡水混合特征[J]. 海洋学报, 1983, 5(1): 1-10. YING Z F, CHEN S G. Saltwater freshwater mixed characteristics of the Lingjiang Ocean in the Pearl River Estuary [J]. *Acta oceanologica sinica*, 1983, 5(1): 1-10 (in Chinese).
- [7] 田恬. 广州市典型水域浮游动物群落结构及其休眠卵生态学研究[D]. 广州: 暨南大学, 2016. TIAN T. Ecological studies on zooplankton community structure and the resting eggs in Guangzhou typical waters [D]. Guangzhou: Ji'nan University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [8] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 5-6. ZHANG Z S, HUANG X F. Freshwater plankton research methods [M]. Beijing: Science Press, 1995: 5-6 (in Chinese).
- [9] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类-系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 23-700. HU H J, WEI Y X. The freshwater algae of china-systematics taxonomy and ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006: 23-70 (in Chinese).
- [10] 沈韞芬, 顾曼如, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 223-424. SHEN Y F, GU M R, GONG X J, et al. Modern biomonitoring techniques using freshwater microbiota [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1990: 223-424 (in Chinese).
- [11] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 88-91. SHEN G Y, SHI B Z. Marine ecology [M]. Beijing: Science Press, 2002: 88-91 (in Chinese).
- [12] 李瑞娇. 草鱼池塘浮游植物群落结构及初级生产力、能量转换的初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. LI R J. Studies on phytoplankton community structure and its primary productivity, energy conversion efficiency in the ponds stocked mainly of *Ctenopharyngodon idellus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [13] 季英杰. 发酵有机肥对草鱼池塘水环境及草鱼肠道菌群的影响评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. JI Y J. The impact assessment of fermented organic fertilizer on pond water environment and the intestinal flora in grass carp [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [14] 叶俊. 亚硝酸盐急性胁迫对草鱼血液生理生化指标和非特异性免疫性能的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. YE J. The acute effect of nitrite on blood physiological and biochemical parameters and non-specific immunity in grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [15] 上官欣欣, 薛俊增, 吴惠仙. 长江口浮游植物群落结构的特征[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(5): 689-698. SHANGGUAN X X, XUE J Z, WU H X. Ecological features of phytoplankton community in the Yangtze River Estuary [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(5): 689-698 (in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡志龙, 秦美川, 赵文, 等. 两种混养模式海水池塘浮游生物的群落结构及其粒径特征[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(6): 663-672. CAI Z L, QIN M C, ZHAO W, et al. Community structure and particle sizes of plankton in marine ponds with two polyculture models [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(6): 663-672 (in Chinese with English abstract).
- [17] 叶海军. 军曹鱼高位育苗池浮游生物及能量利用的初步分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010. YE H J. A preliminary study of changes in plankton community and energy utilization in cobia high-level breeding ponds [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张念, 谢从新, 赵峰, 等. 主养草鱼池塘浮游动物群落结构特征及与池塘环境关系的研究[J]. 淡水渔业, 2014, 44(2): 89-93. ZHANG L, XIE C X, ZHAO F, et al. Community structure characteristics of zooplankton in the *Ctenopharyngodon idellus* aquaculture ponds and correlations between zooplankton and environmental factors [J]. *Freshwater fisheries*, 2014, 44(2): 89-93 (in Chinese with English abstract).
- [19] JACKSON C, PRESTON N, THOMPSON P J, et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm [J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1/2/3/4): 397-411.
- [20] 周洪琪, 潘兆龙. 摄食和温度对草鱼氮排泄影响的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(4): 293-297. ZHOU H Q, PAN Z L. Effect of feeding and temperature on nitrogenous excretion of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries of China*, 1999, 8(4): 293-297 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王旭娜, 江敏, 钟锐, 等. 凡纳滨对虾养殖池塘中浮游植物群落结构与水质因子的关系[J]. 水产学报, 2018, 42(11): 117-133. WANG X N, JIANG M, ZHONG R, et al. The relationship between phytoplankton community structure and water quality factors in the pond of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Journal of fisheries of China*, 2018, 42(11): 117-133 (in Chinese with English abstract).

Relationship between feed quantity, water quality and plankton in intensive grass carp aquaculture pond with salt-fresh water

CHEN Hongdiao¹, ZHAO Dandan², YANG Hao¹, GU Zemao¹

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University/

Engineering Technology Research Center for Aquatic Animal Diseases Control and Prevention, Wuhan 430070, China; 2. Guangzhou Chengyi Aquaculture Co., Ltd., Guangzhou 511400, China

Abstract In order to explore the relationship between feeding quantity, water quality, and plankton in intensive grass carp farming ponds with salt-freshwater, the water quality, amount of feed, and plankton of three brackish water ponds in Guangzhou Chengyi Aquaculture Co., Ltd. were sampled and investigated from September 2017 to September 2018. Spearman and Canoco 5.0 were then used to correlate and rank the data. The results showed that the feeding quantity was significantly positively correlated with the total nitrogen concentration of the water, with correlation coefficient of 0.614 ($P < 0.05$), and was not correlated with the other water quality indicators including water temperature, pH, transparency, dissolved oxygen, nitrite, ammonia nitrogen, total phosphorus and salinity. The feed amount and phytoplankton biomass were significantly positively correlated, with the correlation coefficient of 0.354 ($P < 0.05$), and the zooplankton biomass was extremely significantly positively correlated, with the correlation coefficient of 0.447 ($P < 0.01$). The RDA ranking analysis was performed on the feed quantity, water quality index and plankton biomass. The sorting results showed that the feed quantity and total phosphorus were the key factors affecting zooplankton and phytoplankton biomass, respectively. The multiple regression data model fitted well, with the interpretation rate of the prediction model for phytoplankton and zooplankton biomass were 65.4% and 44.8%, respectively, and the models were $Y_1 = 16.07X_4 + 13.60X_3 + 11.10X_2 + 2.22X_6 - 2.20X_5 - 2.06X_1 - 51.57$; $Y_2 = 2243.92x_4 + 5.54x_3 + 0.90x_2 + 0.006x_1 - 57.48$ (Y_1 is phytoplankton biomass, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 and X_6 are transparency, nitrite nitrogen, pH, total phosphorus, ammonia nitrogen, and dissolved oxygen, respectively; Y_2 is zooplankton biomass, x_1, x_2, x_3 and x_4 are feed amount, transparency, pH, salinity respectively). In conclusion, in intensive grass carp ponds with brackish water, the feeding quantity has a significant effect on the total nitrogen concentration and phytoplankton in the pond. At the same time, the purification ability of phytoplankton to the pond nitrogen also limits the amount of pond feed. Therefore, the regulation of the feeding quantity in the pond should take the water quality and plankton into consideration. It is suggested that when the phytoplankton biomass of this type of pond is 40-70 mg/L, the pond water environment is relatively good and stable.

Keywords grass carp pond; salt-fresh water; intensive farming; water quality; plankton; feed quantity; predictive model; water environment; aquatic diseases; biocommunity

(责任编辑:边书京)