

陈丹青,马旭洲,张文博,等.泰兴高沙土地区幼蟹养殖对水环境的影响[J].江西农业大学学报,2020,42(5): 970-978.



泰兴高沙土地区幼蟹养殖对水环境的影响

陈丹青^{1,2,3,4},马旭洲^{1,2,3,4*},张文博^{1,2,3,4*},
戴丹超^{1,2,3,4},张勇^{1,2,3,4},李建⁵

(1.上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306;2.上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室,上海 201306;3.上海市水产养殖工程技术研究中心,上海 201306;4.上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种协同创新中心,上海 201306;5.泰兴市水产技术推广站,江苏 泰兴 225400)

摘要:【目的】为了研究泰兴姚王高沙土地区幼蟹养殖对周围水环境的影响。【方法】2018年6—10月对江苏省泰兴市江源农牧有限公司3个幼蟹养殖池塘和水源进行监测。试验设置水源组和幼蟹塘组,对这两组的pH、溶解氧(DO)、水温(T)、化学需氧量(COD_{Mn})、硝酸盐(NO₃⁻-N)、亚硝酸盐(NO₂⁻-N)、铵态氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)、总磷(TP)进行监测,并采用单样本 t 检验法对水质进行评价。【结果】整个养殖试验期间,幼蟹塘组的T、DO和pH与水源组差异不显著($P>0.05$),幼蟹塘组的NO₂⁻-N与水源组差异显著($P<0.05$),幼蟹塘组的NH₄⁺-N、NO₃⁻-N和TN总体低于水源组,COD_{Mn}、PO₄³⁻-P和TP总体高于水源组。【结论】幼蟹塘的COD_{Mn}、TN和TP指标劣于GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅲ级标准,但符合SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》的一级标准。将养殖尾水直接排放,最终流入如泰运河,不会对其水体造成污染。高沙土生态养殖模式对养殖水体净化效果不足,此模式还需进一步优化。高温时期去除多余的喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)和引入对氮磷吸收能力强的漂浮植物,是优化泰兴姚王地区河蟹高沙土生态养殖模式、提高生态效益的两个方向。

关键词:高沙土;幼蟹养殖;水质;水环境

中图分类号:S966.16 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)05-0970-09

Impact of *Eriocheir sinensis* Culture on Water Environment in Sandy Areas of Taixing City

CHEN Dan-qing^{1,2,3,4}, MA Xu-zhou^{1,2,3,4*}, ZHANG Wen-bo^{1,2,3,4*},
DAI Dan-chao^{1,2,3,4}, ZHANG Yong^{1,2,3,4}, LI Jian⁵

(1.National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2.Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3.Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 4.Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 5.Taixing Aquatic Technology Promotion Station, Taixing, Jiangsu 225400, China)

收稿日期:2020-04-10 修回日期:2020-06-10

基金项目:上海市现代农业产业技术体系(沪农科产字(2020)第4号)和水产动物遗传育种上海市协同创新中心(ZF1206) Project supported by Shanghai Modern Agricultural Industry Technology System (No. 4 of Shanghai Agricultural Industry Word(2020))and Shanghai Synergistic Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding(ZF1206)

作者简介:陈丹青, orcid.org/0000-0002-2459-1904, 1123059215@qq.com; *通信作者:马旭洲,副教授,博士,主要从事集约化水产养殖研究, orcid.org/0000-0002-9077-4856, xzma@shou.edu.cn; 张文博,讲师,博士,主要从事水产养殖可持续发展研究, orcid.org/0000-0003-3765-3980, wb-zhang@shou.edu.cn。

Abstract: [Objective] This study aims to explore the impact of *Eriocheir sinensis* farming on the surrounding water environment in the high sandy area of Yaowang, Taixing. [Method] Water quality monitoring was conducted in three ponds and water source from June to October in 2018 at Jiangsu Taixing Jiangyuan Agriculture and Animal Husbandry co. LTD. Two groups were set in this experiment, which were water source group and juvenile crab pond group. Water quality monitoring was conducted in the water source group and the juvenile crab pond group, which included pH, DO, T, COD_{Mn}, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, NH₄⁺-N, TN, PO₄³⁻-P, TP. The water quality was evaluated using the method of single sample *t* test. [Result] During the farming experiment cycle, the differences in T, DO and pH between the crab ponds and the water source group were not significant ($P > 0.05$). The difference in NO₂⁻-N between the crab ponds and the water source group was significant ($P < 0.05$). The levels of NH₄⁺-N, NO₃⁻-N and TN of the crab ponds were generally lower than those in the water source group, and the levels of COD_{Mn}, PO₄³⁻-P and TP of the crab ponds were generally higher than those in the water source group. The COD_{Mn}, TN and TP indexes of the crab ponds were higher than the Grade III standard of GB 3838—2002 Environmental quality standards for surface water, but better than the Grade I standard of SC/T 9101—2007 Requirement for water discharge from freshwater aquaculture pond. The high-sand soil micro-flow aquaculture model has insufficient effect on water purification. This model needs further optimization. The pond water was discharged directly into the water source, eventually ran into the Rutai Canal, which would not pollute the water body of Rutai Canal. [Conclusion] The high-sand soil aquaculture model has insufficient effect on water purification, which needs further optimization. Removing excess *Alternanthera philoxeroides* during the high-temperature season and introducing floating plants with strong absorption capacity for nitrogen and phosphorus are two management options to optimize the farming mode of *Eriocheir sinensis* in the high sandy area of Yaowang, Taixing and improve its ecological performance.

Keywords: sandy soil area; crab culture; water quality; water environment

【研究意义】河蟹,学名中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),是我国特有的水产养殖品种^[1-2]。河蟹作为一种优质的水产资源,因其独特的风味和经济价值而越来越受到广大水产业者的青睐。泰兴市位于江苏省中部,属长江三角洲冲积平原。其土壤为高沙土,含沙量较多,土质较为疏松,透气透水性较好,但有机质含量较少,土质贫瘠、保水保肥能力较差^[3]。传统河蟹养殖密度较大,产量较高,个体规格较小,氮磷排放量较多,经济效益较低,易造成水体富营养化^[4-5]。而高沙土养殖采用“种草、殖螺、稀放、轮养”仿生态模式,给河蟹提供立体栖息空间,养殖水体生态环境较好,使其同样具备长江流域河蟹“黄毛、金爪、白脐、青背”的外表特征,不仅具有较好的经济效应,而且养殖生产对水体负面影响较小,具有一定的生态效应^[6-7]。【前人研究进展】近年来,河蟹生态养殖在养殖水域^[8-9],养殖模式^[10],水草^[11]等因素上已有报道。骆仁军等^[12]研究表明,河蟹、池塘底泥不同水域元素差异明显;刘峰等^[13]研究认为,草鱼低密度与河蟹高密度混养时其经济效益和生态效益最佳;周威等^[14]研究发现,伊乐藻(*Elodea nuttallii*)与轮叶黑藻搭配混合种植时对促进河蟹生长及水质净化效果最佳;温旭等^[15]认为,50%水草种植面积对幼蟹塘水质净化效果较好,刘宇等^[16]研究表明,河蟹精养池中伊乐藻精细管理对抑制藻类生长有促进作用。【本研究切入点】目前,河蟹生态养殖对水体的净化作用研究多集中在泥土底质方面,但对高沙土底质方面的研究未见报道。【拟解决的关键问题】本试验通过对泰兴江源农牧有限公司3个高沙土底质幼蟹池塘和水源进行全面监测,并采用单样本*t*检验法对水质进行评价,以期为该地区“高沙土”模式可持续发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

试验选在江苏泰兴江源农牧有限公司进行,养殖地点在江苏省泰兴市姚王镇王家堡村(东经120°05′,北纬32°13′),池塘水源为如泰运河支流。

1.2 试验材料

试验对象为中华绒螯蟹“江海 21”幼蟹,其苗种由上海市河蟹产业技术体系基地提供。每口幼蟹养殖塘已经进行清淤、消毒、晒塘、注水和种草等前期准备工作,3口标准化的幼蟹养殖池塘,每口塘面积为 5 333 m²,同一水源河道进水,防逃设施齐全,均具有独立的排水口,为高沙土养殖模式。

1.3 水草种植和苗种投放

3口标准化幼蟹养殖池塘并排排列,均从同一水源河道进水,将外河水源作为试验 A 组,3口标准化幼蟹养殖池塘为试验 B 组。2018 年 1 月 7 日,干池清理幼蟹池塘,挖除多余淤泥,同时使用生石灰水全塘泼洒杀菌消毒(1 100 kg/hm²),然后冻晒塘底 2 个月。2018 年 3 月 20 日注水至水深 0.2 m 左右,喜旱莲子草(1 200 kg/hm²)种植在距离幼蟹池塘边 3.0 m 处,种植宽度为 3.0 m,四周用毛桩打桩框住,约占幼蟹塘面积的 45%。4 月 10 日,为了进一步净化水质,全池投放优质螺蛳(7 000 kg/hm²)。5 月 3 日,幼蟹养殖塘放养大眼幼体(22.5 kg/hm²,数量为 270~315 万只)。池塘放养种类、规格、数量及时间见表 1。

表 1 池塘放养情况

Tab.1 Pond stocking status

种类 Type	规格 Size	放养量 Density	投放时间 Time
螺蛳 <i>Margaryamelanioides</i>	约 7 g/只	7 000 kg/hm ²	04-10
大眼幼体 <i>Megalopa</i>	约 12~14 万只/kg	270~315 万只/hm ²	05-03

1.4 综合管理

试验前期幼蟹塘的水位控制在 0.6 m 左右,随气温的升高,为了维持水温的稳定和保证喜旱莲子草的生长,不断注水提高水位。气温最高的中期(7—8 月),水位控制在 1.1 m 左右。养殖期间不排水,但由于幼蟹塘底质为高沙土,持续渗漏,易造成水位降低。所以密切关注水位,适时注水。7—8 月份,喜旱莲子草生长速度快,覆盖范围广,易造成幼蟹塘水体缺氧,定期清除多余的喜旱莲子草,控制其覆盖率为 50% 左右。在幼蟹养殖塘四周田埂旁用铁皮建立防逃隔板,隔板高度为 0.3~0.5 m,以防幼蟹逃跑。前期(5—6 月),幼蟹塘水温适宜,以动物性饵料为主,配合使用 40% 的粗蛋白饲料,日投喂量为 1.5~2.5 kg/hm²;中期(7—8 月),正值高温季节,以植物性饵料为主,配合使用 34% 的粗蛋白饲料,日投喂量为 2.5 kg/hm²;后期(9—10 月),幼蟹塘水温下降,强化幼蟹的质量水平,动物性饵料和植物性饵料并重使用,投喂 42% 的粗蛋白饲料,日投喂量为 3 kg/hm²。饲料投喂时间为 18:00,河蟹每次蜕壳后抓捕部分测定其平均体重,并调整投喂量。

1.5 水质采样与分析

采样时间为 2018 年 6—10 月,共采样 9 次,每次采样间隔 15 d。采样时间为 08:30—09:30。池塘采样方法为“五点采样法”。采集水样的地点在幼蟹塘 4 个转角位置且靠岸边约 0.5 m,0.4 m 水深处

表 2 水质评价标准

Tab.2 Quality criteria for water

水质标准 Water quality	酸碱度 pH	质量浓度/(mg·L ⁻¹) Concentration				
		溶解氧 DO	总氮 TN	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	总磷 TP	高锰酸钾指数 COD _{Mn}
GB 11607—89《渔业水质标准》 GB 1167—89 Water quality standard for fisheries(S)	6.5~8.5	>5	—	—	—	—
GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅲ级标准 Grade III standard of GB 3838—2002 Environmental quality standards for surface water(S)	6.0~9.0	>5	—	<1.0	<0.2	<6.0
SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》的一级标准 Grade I standard of SC/T 9101—2007 requirement for Waterdischarge from freshwater aquaculture pond	6.0~9.0	—	≤3.0	—	≤0.5	≤15

及幼蟹塘中心处各采集中层水 1.0 L, 然后混合幼蟹塘 5 个点的水样后取其中的 1.0 L 作为水样。水源水采集在河道进水泵处设置 1 个采样点进行采集, 采集水样所用仪器为有机玻璃采水器。水温 (T) 和溶解氧 (DO) 用 YSISSOA 便携式溶氧仪现场测定 (已校正), 现场记录数据。pH 采用 PHSJ-3F 型实验室 pH 酸度计测定 (已校正), 其他水质指标的测定在实验室完成, 检测方法均参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[17]。水质评价参照 GB 11607—1989《渔业水质标准》^[18] 和 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的 III 级标准^[19], 养殖尾水排放参照 SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》的一级标准^[20]。(表 2)

1.6 数据统计与分析

用 SPSS25.0 对幼蟹塘区和水源区水质数据进行单样本 t 检验分析, 用 Excel 处理水质数据。

2 结果与分析

2.1 养殖产量

江苏省泰兴市江源农牧有限公司幼蟹养殖密度为 270~315 万只/hm², 收获时幼蟹的平均规格为 10.0 g, 成活率约为 10%, 产量约为 292.5 kg/hm²。养殖前期池塘的水草覆盖率为 45% 左右, 中期为 65% 左右, 后期少于 25%, 为幼蟹生长提供了良好环境, 提高了幼蟹的质量。

2.2 2018 年幼蟹塘水环境调查及总体评价

依据表 2 水质评价标准, 2018 年 6—10 月幼蟹塘和水源的 TN、TP 和 COD_{Mn} 3 个指标高于此标准, 另外水源 DO 低于水质评价标准。除幼蟹塘和水源的 TP、TN 和 COD_{Mn} 超标外, 幼蟹塘和水源其他水质指标基本达到渔业水质标准^[18]或地表水环境质量 III 级标准^[19]。

2.3 幼蟹塘和水源水体理化数据变化分析

水温 T 变化主要受气温的影响, 养殖期间内幼蟹塘 T 与水源差异不显著 ($P>0.05$)。幼蟹塘 T 变化范围为 18.7~31.0 °C, 整个养殖期间呈先上升后下降的趋势, 8 月 5 日达峰值, 10 月 2 日达谷值。水源 T 变化范围为 18.9~30.9 °C, 变化趋势同幼蟹塘 (图 1)。

幼蟹塘 DO 的变化范围为 2.47~7.77 mg/L, 整体上呈先下降后上升的趋势。水源 DO 的变化范围为 2.47~9.23 mg/L, 变化趋势同幼蟹塘 (图 2)。幼蟹塘与水源 DO 在 8 月 4 日至 9 月 18 日均劣于地表水环境 III 类水标准。

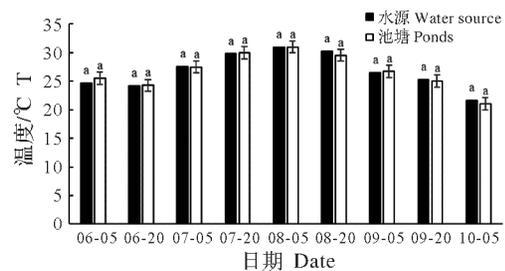
幼蟹塘 pH 值变化范围为 7.85~8.21, 8 月 5 日达峰值, 养殖期间 pH 值较为稳定, 适合河蟹生长。水源 pH 值变化范围为 7.83~8.54, 8 月 5 日达峰值。除 9 月 5 日外, 幼蟹塘与水源 pH 差异不显著 ($P>0.05$) (图 3)。

2.4 幼蟹塘和水源水体 COD_{Mn} 变化分析

6—10 月水源水的 COD_{Mn} 变化范围为 8.20~9.95 mg/L, 呈上升趋势, 7 月 5 日为峰值; 幼蟹塘的 COD_{Mn} 变化范围为 8.90~13.09 mg/L, 总体呈上升趋势, 10 月 3 日为峰值 (图 4)。除 6 月 5 日外, 幼蟹塘 COD_{Mn} 和 水源水 COD_{Mn} 差异不显著 ($P>0.05$)。

2.5 幼蟹塘和水源水体 TN、无机氮盐变化分析

幼蟹塘 TN 的变化范围为 1.10~2.52 mg/L, 幼蟹塘 TN 前期呈上升趋势, 7 月 5 日达峰值; 中后期呈下



相同日期字母不同表示该指标在池塘和水源差异显著 ($P<0.05$), 反之则不显著 ($P>0.05$), 图 2~10 中字母含义同图 1。Different letters of the same date indicate that the index had significant difference in ponds and water source ($P<0.05$), otherwise, there is no difference ($P>0.05$). Fig. 2~10 shows the same meaning of the letter as in Fig. 1

图 1 不同时期 T 的动态变化

Fig.1 Dynamic change of T in different periods

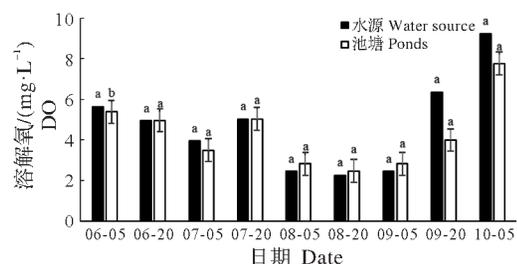


图 2 不同时期 DO 的动态变化

Fig.2 Dynamic change of DO in different periods

降趋势,10月5日后有所上升。水源TN的变化范围为1.11~2.60 mg/L,变化趋势与幼蟹塘类似(图5)。整个养殖期间,幼蟹塘和水源TN均超过Ⅲ类水标准。

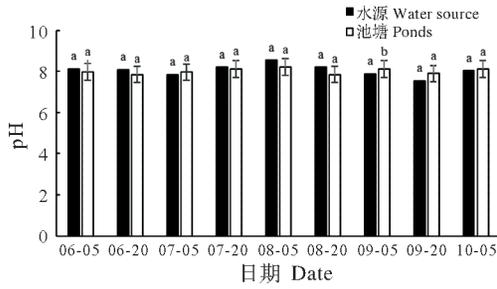


图3 不同时期pH的动态变化
Fig.3 Dynamic change of pH in different periods

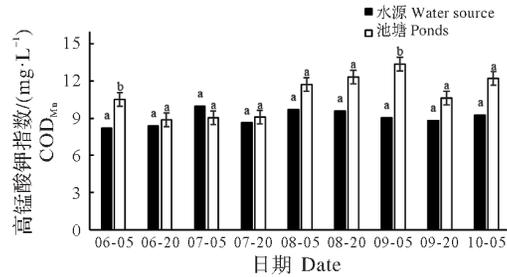


图4 不同时期COD_{Mn}的动态变化
Fig.4 Dynamic changes of inorganic nitrogen COD_{Mn} in different periods

幼蟹塘NH₄⁺-N变化范围为0.55~1.78 mg/L,幼蟹塘NH₄⁺-N前期呈上升趋势,7月5日达峰值;中后期总体呈下降趋势,10月5日后又有所上升。水源NH₄⁺-N变化范围为0.56~1.76 mg/L,变化趋势与幼蟹塘相似(图6)。

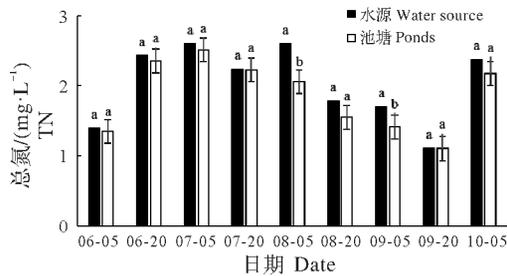


图5 不同时期TN的动态变化
Fig.5 Dynamic change of TN in different periods

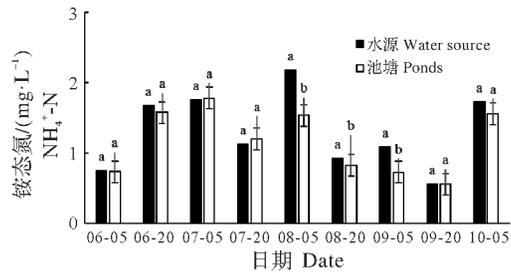


图6 不同时期NH₄⁺-N的动态变化
Fig.6 Dynamic changes of inorganic nitrogen NH₄⁺-N in different periods

幼蟹塘NO₂⁻-N变化范围为0.02~0.06 mg/L,波动较大,无明显变化趋势。水源水NO₂⁻-N变化范围为0.01~0.14 mg/L,在7月5日出现一次小高峰,在8月20日达峰值,总体趋势类似于幼蟹塘(图7)。

幼蟹塘NO₃⁻-N变化范围为0.19~0.74 mg/L,整个养殖期间波动较大,无明显变化趋势;水源NO₃⁻-N变化范围为0.24~0.83 mg/L,变化趋势与幼蟹塘相似(图8)。

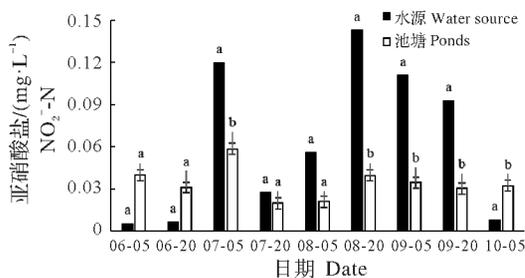


图7 不同时期NO₂⁻-N的动态变化
Fig.7 Dynamic changes of inorganic nitrogen NO₂⁻-N in different periods

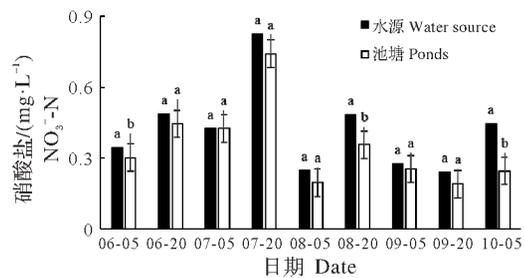


图8 不同时期NO₃⁻-N的动态变化
Fig.8 Dynamic changes of inorganic nitrogen NO₃⁻-N in different periods

2.6 幼蟹塘和水源水体TP、PO₄³⁻-P变化分析

TP是水体以各种形态存在的含磷物质的总和,也是反映水体富营养化程度的指标。幼蟹塘TP的变化范围为0.43~0.50 mg/L,养殖期间总体呈先上升后下降趋势,8月5日达峰值。水源TP的变化范围为0.43~0.50 mg/L,变化趋势同幼蟹塘(图9)。整个养殖期间,幼蟹塘和水源TP均劣于Ⅲ类水标准。

可溶性磷酸盐不仅是水生植物的必须营养元素,也通常是其生长的限制元素。养殖水体P输入的

主要来源是饲料和肥料,其输入比例可达90%。幼蟹塘 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 变化范围为0.33~0.39 mg/L,养殖期间总体呈先上升后下降趋势,8月20日达峰值。水源 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 变化范围为0.32~0.39 mg/L(图10)。

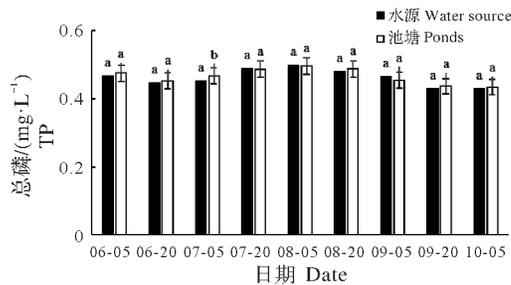


图9 不同时期TP的动态变化

Fig.9 Dynamic changes of inorganic nitrogen TP in different periods

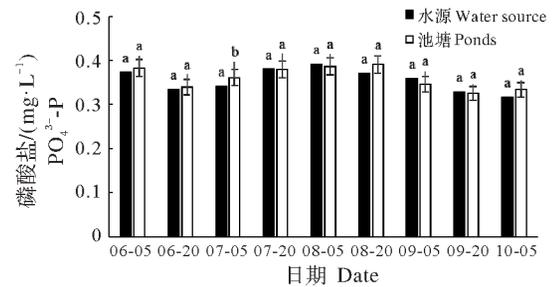


图10 不同时期 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的动态变化

Fig.10 Dynamic changes of inorganic nitrogen $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in different periods

3 讨论

3.1 幼蟹养殖对水体理化性质的影响

溶解氧(DO)在养殖生产中除了直接影响养殖生物外,还对饵料生物的生长和水体中的化学物质存在形态有重要影响,从而又间接影响养殖生产。宋世民^[21]认为,水体DO低于2 mg/L会对幼蟹生长起负面作用。此外DO也是评价水质状况重要指标之一^[22]。伴随着DO升高,水体各类污染物的降解加快,从而加速水体的自我净化;另一方面当DO浓度大于5 mg/L,能够有效阻止塘泥向水体中释放N、P及有机物,大幅度防止水体富营养化产生,从而起到改善水质的作用^[23-24]。6月5日至7月20日,幼蟹塘DO比较稳定,高于3.00 mg/L,适合幼蟹的生长;7月20日至8月19日,DO值开始下降,8月19日达谷值(2.48 mg/L);8月19日起逐渐上升,至10月3日达7.77 mg/L。8月4日至9月3日,幼蟹塘DO处于较低水平,主要因为该时间段T较高,氧气的水体溶解度较小;水生生物生长代谢速率增大,消耗大量DO也是该时间段DO较低的重要原因。

3.2 幼蟹养殖对水体 COD_{Mn} 的影响

COD_{Mn} 是反映水体有机及无机可氧化物质污染的重要指标, COD 值越高,水体污染越严重^[25-26]。幼蟹塘 COD_{Mn} 不断升高与幼蟹规格不断增大,投饵量逐渐增加,幼蟹排泄到水体的有机物不断增加有关;吴伟等^[8]和戴恒鑫等^[9]认为,伴随着T的升高,水体 COD_{Mn} 增大,其原因是T升高时,其他生物活动加强,增加了水体 COD_{Mn} 来源。前期栽种的喜旱莲子草在高温时疯狂生长,导致水中溶氧下降,使得 COD_{Mn} 进一步升高。除6月5日外,幼蟹塘 COD_{Mn} 和水源水 COD_{Mn} 差异不显著($P>0.05$),这与戴丹超等^[27]研究相异,其主要原因是幼蟹塘土质为高沙土,保水保肥能力差,幼蟹塘池水每天渗漏量较大,幼蟹塘进水频率高。

3.3 幼蟹养殖对水体TN和无机氮盐的影响

TN是水体各种形态氮的总量,是反映水体富营养化程度的重要指标之一,对水体富营养化的评估和治理具有十分重要的意义^[28-29]。幼蟹塘TN前期呈上升趋势,主要原因与幼蟹规格不断增大,饲料投喂量不断增加,而幼蟹对饵料利用转化效率低,大部分通过排泄进入水体^[30]和水源所属河道养殖三角帆蚌大量施放有机肥有关。后期TN下降,可能是因为饲料投喂量下降,减少了氮元素的来源。幼蟹塘TN总体略低于水源,且在大部分日期无明显差异($P>0.05$),表明高沙土养殖模式对氮元素的净化能力不足,该模式还需进一步完善。

在自然水体中氨氮含量相对较硝酸盐低,但在养殖水体中,由于养殖动物排出大量粪便,粪便中氮主要存在形式为氨氮,这使得氨氮在许多养殖水体中超标^[7]。非离子氨态氮具有脂溶性,能穿透细胞膜,对水生动物具有很强的毒性^[31]。宋红桥等^[32]研究表明,水生植物能够大量吸收养殖水体中氮磷,有助于净化养殖水体水质。夏季幼蟹塘水温高,幼蟹新陈代谢速率加快,粪便排出量增多,而粪便中N主要存在形式为氨氮,这成为幼蟹塘 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 升高的主要来源之一。此外,投喂饲料过量 and 外界水源河道被大量施放有机肥,亦是导致幼蟹塘 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 升高的原因。幼蟹塘 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 中后期下降,主要原因是水体T升高,喜旱莲子草生长加快,对水体中氮元素净化吸收加快。

亚硝化细菌是一类将游离态氮转化为亚硝态氮的化能自养细菌,完成水体中氨氮与亚硝态氮之间的转化,水体中此类细菌的生存受T和DO的影响。因此,幼蟹塘与水源区 NO_2^- -N的变化与水体T和DO有关。硝酸反应是在有氧条件下,由 NH_4^+ -N和 NO_2^- -N转化成 NO_3^- -N的过程。硝酸反应可以降低养殖水体 NO_2^- -N和 NH_4^+ -N的含量,减小其对幼蟹的毒害和水体污染,净化养殖水体水质,为幼蟹的健康和品质提供了保障^[33]。 NO_2^- -N是 NH_4^+ -N转化成 NO_3^- -N过程的中间产物,一旦硝化过程受阻, NO_2^- -N在水体内积累,成为水产动物的致病根源^[34]。7—8月是 NO_2^- -N含量最高的时期,此时天然水体下层易缺氧,给亚硝化细菌提供了良好条件;亚硝化菌作用在夏季较其他季节显著增强,这是导致夏季天然水体中 NO_2^- -N升高的原因。针对这种情况,在实际生产中采用定期泼洒光合细菌及各种有益菌对幼蟹塘 NO_2^- -N降低有一定的作用。整个养殖期间,幼蟹塘 NO_2^- -N总体低于水源,且在部分日期达到显著水平($P<0.05$),这也验证了定期泼洒光合细菌能降低水体 NO_2^- -N。

3.4 幼蟹养殖对水体TP和 PO_4^{3-} -P的影响

幼蟹塘TP呈先上升后下降趋势,类似于TN前期上升的原因,主要原因是饲料投喂量不断增加,幼蟹对饲料磷的转化率低^[30];水源所属河道施放大量有机肥和幼蟹塘中喜旱莲子草对水体磷元素吸收能力差,后期TP小幅度下降则是由于水源所属河道养殖三角帆蚌施放有机肥减少所致。

幼蟹塘 PO_4^{3-} -P值总体上略高于水源,这与幼蟹规格不断在增加,饲料投喂量不断增多和喜旱莲子草对P吸收能力较差有关。无论是水源还是幼蟹塘,夏季水体 PO_4^{3-} -P高于秋季,这与幼蟹的生长有关。夏季是幼蟹增长较快的时期,此时高蛋白饲料投喂量比较大,相应地带入了大量的磷元素。然而,由于幼蟹对P的利用率不高,高达80%没有被利用的P被幼蟹排泄到水体中,对水体和幼蟹塘周围的生态环境造成巨大压力。因此,采用合理的饲料搭配和科学的投饵技术显得尤为重要。

3.5 泰兴姚王高沙土地区幼蟹生态养殖模式优化探究

泰兴姚王地区幼蟹养殖池塘种草模式过于单一,只种植喜旱莲子草1种挺水植物,进入高温季节(7—8月),喜旱莲子草生长速度快,覆盖范围广,易造成幼蟹塘缺氧。同时,喜旱莲子草对氮的吸收能力有所不足,不能有效地降低幼蟹塘TN含量。徐寸发等^[35]研究发现,可在高温时期引入氮磷吸收能力强的漂浮植物,缓解喜旱莲子草对氮、磷的吸收能力不足这一情况。有研究发现,河蟹生态养殖池塘氮、磷输出与水生植物有关,86%的氮和88%的磷以水生植物收割的方式输出^[36]。若高温时期能及时去除多余的喜旱莲子草,不仅能降低幼蟹塘氮磷含量,而且能防止喜旱莲子草过多造成幼蟹塘缺氧的情况发生。

4 结论

幼蟹塘的 NH_4^+ -N、 COD_{Mn} 、TN和TP指标劣于GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅲ级标准,但符合SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》的一级标准。将养殖尾水直接排放,最终流入如泰运河,不会对其水体造成污染。高沙土生态养殖模式对养殖水体净化效果不足,此模式还需进一步优化。高温时期去除多余的喜旱莲子草和引入对氮磷吸收能力强的漂浮植物,是优化泰兴姚王地区河蟹高沙土生态养殖模式、提高生态效益的两个方向。

参考文献:

- [1] Cui W, Ning B. Development and application of crab culture in the development of Chinese mitten crab industry of Shanghai [J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(2): 367-375.
- [2] Yuan Q, Wang Q, Zhang T, et al. Effects of water temperature on growth, feeding and molting of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheirsinensis* [J]. *Aquaculture*, 2017, 468(part_P1): 169-174.
- [3] 张剑华, 丁文岭, 方丽君, 等. 高沙土地区稻虾综合种养技术试验[J]. *科学养鱼*, 2019(9): 32-33.
Zhang J H, Ding W L, Fang L J, et al. Experiment on comprehensive breeding technology of rice and shrimp in high sandy soil area [J]. *Scientific Fish Farming*, 2019(9): 32-33.
- [4] 齐姗姗, 杨雄. 水库网箱养鱼富营养化生态修复模式研究: 以青狮潭水库为例[J]. *环境科学与管理*, 2012, 37(11): 151-154.
Qi S S, Yang X. Study on ecological restoration mode of reservoir eutrophication by fish cage culture: a case study of Qingshitan Reservoir [J]. *Environmental Science and Management*, 2012, 37(11): 151-154.

- [5] 左婷,姬永杰,陈福艳,等.不同类型养殖大水域主要理化因子动态变化分析[J].南方农业学报,2012,43(12):2092-2098.
Zuo T, Ji Y J, Chen F Y, et al. Main physicochemical factors and dynamic changes in different types of breeding waters [J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(12): 2092-2098.
- [6] 王武,王成辉,马旭洲.河蟹生态养殖[M].2版.北京:中国农业出版社,2013:1-36.
Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological breeding of *Eriocheir sinensis* [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2013: 1-36.
- [7] 王高龙,马旭洲,王武,等.上海松江泖港地区成蟹养殖对水质的影响[J].安全与环境学报,2016,16(3):299-304
Wang G L, Ma X Z, Wang W, et al. Effect of *Eriocheir sinensis* growing on the water quality in Maogang Town, Songjiang District, Shanghai [J]. Journal of Safety & Environment, 2016, 16(3): 299-304.
- [8] 吴伟,范立民,瞿建宏,等.池塘河蟹生态养殖对水体环境的影响[J].安全与环境学报,2006(4):50-54.
Wu W, Fan L M, Qu J H, et al. Effect of *Eriocheir sinensis* eco-culture in ponds on water environment [J]. Journal of Safety & Environment, 2006(4): 50-54.
- [9] 戴恒鑫,马旭洲,李应森,等.湖南大通湖河蟹池塘生态养殖模式对水质净化的试验研究[J].安全与环境学报,2012,12(5):89-94.
Dai H X, Ma X Z, Li Y S, et al. Purification effect of the ecological culture pattern of *Eriocheir sinensis* on the water quality in Datong Lake, Hunan [J]. Journal of Safety & Environment, 2012, 12(5): 89-94.
- [10] 周世明,周雄.中华绒螯蟹两种养殖模式调查对比分析[J].科学养鱼,2019,32(6):32-33.
Zhou S M, Zhou X. Comparative analysis on two culture models of river crab [J]. Scientific Fish Farming, 2019, 32(6): 32-33.
- [11] 袁泉,任艳,周文宗,等.水菠菜浮床对盐碱地池塘水质与中华绒螯蟹生长的影响[J].淡水渔业,2019,49(6):94-99.
Yuan Q, Ren Y, Zhou W Z, et al. Effects of water spinach floating beds on water quality and growth of *Eriocheir sinensis* cultured in the ponds of saline-alkali soil [J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(6): 94-99.
- [12] 骆仁军,姜涛,陈修报,等.不同产地中华绒螯蟹养殖生境中水和底泥元素分析[J].江苏农业科学,2020,48(7):182-188.
Luo R J, Jiang T, Chen X B, et al. Analysis of elemental composition in water and sediment from different habitats of *Eriocheir sinensis* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(7): 182-188.
- [13] 刘峰,董俊,李娴,等.东平湖草鱼-中华绒螯蟹复合生态养殖模式的初步研究[J].海洋湖沼通报,2020(2):131-136.
Liu F, Dong J, Li X, et al. A preliminary study on the ecological polyculture models of *Ctenopharyngodon idellus* and *Eriocheir sinensis* in Dongping Lake [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2020(2): 131-136.
- [14] 周威,周文全,张金彪,等.不同水草种植模式对河蟹生长及池塘环境的影响[J].水产养殖,2019,40(6):20-22.
Zhou W, Zhou W Q, Zhang J B, et al. Effects of different aquatic planting models on river crab growth and pond environment [J]. Journal of Aquaculture, 2019, 40(6): 20-22.
- [15] 温旭,马旭洲,范伟,等.不同面积芦苇稻对幼蟹塘水质净化效果的初步探究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2017,43(3):350-358.
Wen X, Ma X Z, Fan W, et al. Preliminary study on effects of different areas of reed type rice on water purification in young crab pond [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences Edition), 2017, 43(3): 350-358.
- [16] 刘宇,马旭洲,戴丹超.伊乐藻管理对河蟹精养池藻类水华的防控作用[J].水生态学杂志,2019,40(6):73-80.
Liu Y, Ma X Z, Dai D C. Algal bloom prevention and control in intensive culture ponds of *Eriocheir sinensis* by management of *Elodea nuttallii* planting [J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(6): 73-80.
- [17] 国家环境保护总局.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.
Environmental Protection Agency of China. Methods for the monitoring and analysis of water and wastewater [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [18] 国家环境保护局.渔业水质标准:GB 11607—1989[S].北京:中国标准出版社,1989.
State Environmental Protection Administration of China. Water quality standard for fisheries: GB 1167—1989 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1989.
- [19] 国家环境保护局.地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environmental Protection Administration of China. Environmental quality standards for surface water: GB 3838—2002 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [20] 中华人民共和国农业部.SC/T 9101—2007淡水池塘养殖水排放要求[S].北京:出版者不祥,2007.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. SC/T 9101-2007 Requirement for water discharge from freshwater aquaculture pond [S]. Beijing: [s.n.], 2007.
- [21] 宋世民.河蟹养殖的环境因素要求[J].渔业致富指南,2013(21):38-39.
Song S M. Environmental factor requirements for crab culture [J]. Fishery Guide to be Rich, 2013(21): 38-39.

- [22] 张耀武. 池塘养殖水体有机污染的评价和降低对策[J]. 科学养鱼, 2005(8): 56-57.
Zhang Y W. Evaluation and reduction of organic pollution in pond aquaculture water[J]. Scientific Fish Farming, 2005(8): 56-57.
- [23] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 不同溶解氧水平对控制底泥向上覆水体释放污染物的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 170-173.
Li W H, Chen Y X, Sun J P. Influence of different dissolved oxygen (DO) amounts on released pollutants from sediment to overlying water[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(2): 170-173.
- [24] 郭贇, 赵秀红, 黄晓峰, 等. 原位活性覆盖抑制河道底泥营养盐释放的效果研究及工程化应用[J]. 环境工程, 2018, 36(6): 6-11.
Guo Y, Zhao X H, Huang X F, et al. Study on in-situ active capping for eutrophic sediment nutrients control in river and its engineering application[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(6): 6-11.
- [25] 齐蒙蒙, 韩严和, 孙齐. 高级氧化法测定化学需氧量的原理及应用[J]. 环境化学, 2019, 38(11): 2481-2497.
Qi M M, Han Y H, Sun Q. Application of advanced oxidation technologies in the determination of chemical oxygen demand [J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(11): 2481-2497.
- [26] 关博文, 王英伟, 郑国臣. 基于因子分析的嫩江重要省界缓冲区水质评价研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(10): 172-175.
Guan B W, Wang Y W, Zheng G C. Quality assessment of boundary buffer of Nenjiang River based on factor analysis method [J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(10): 172-175.
- [27] 戴丹超, 马旭洲, 张勇, 等. 宜兴太湖地区河蟹生态养殖池塘对水环境的影响[J]. 环境化学, 2019, 38(11): 2573-2582.
Dai D C, Ma X Z, Zhang Y, et al. Impact of *Eriocheirsinensis* ecological culture ponds on water environment in Gehu Lake area of Yixing City [J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(11): 2573-2582.
- [28] 马进. 富营养水体生态修复过程中氮、磷营养盐迁移转化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
Ma J. Study on the transfer and transformation of nitrogen and phosphorus nutrients during ecological restoration of eutrophic water [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [29] 王晓晓, 王会芳, 徐奇恩, 等. 小型人工湿地对富营养化河水的去污研究[J]. 绍兴文理学院学报(自然科学版), 2015, 35(3): 41-44.
Wang X X, Wang H F, Xu Q E, et al. Effects of small constructed wetland on the removal of pollution in eutrophication water [J]. Journal of Shaoxing University (Natural Science Edition), 2015, 35(3): 41-44.
- [30] 罗西玲, 邢磊, 徐宾铎, 等. 辽河口芦苇湿地河蟹养殖区水体N、P营养盐和COD的变化[J]. 海洋湖沼通报, 2016(3): 20-27.
Luo X L, Xing L, Xu B D, et al. Variations in nitrogen and phosphorous nutrients and COD in the river crab aquaculture areas in reed wetland of Liaohu Estuary [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2016(3): 20-27.
- [31] 陈亨, 陈琛, 於俊琦, 等. 不同环境胁迫因子耦合对凡纳滨对虾生长与摄食的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 168-174.
Chen H, Chen C, Yu J Q, et al. Growth and feed intake of *Litopenaeousvannemei* under stress-environment interaction [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(2): 168-174.
- [32] 宋红桥, 管崇武, 李月, 等. 水培植物对循环水养鱼系统的水质净化研究[J]. 渔业现代化, 2013, 40(4): 18-22.
Song H Q, Guan C W, Li Y, et al. Effect of hydroponic plants on water quality purification in a recirculating aquaculture system [J]. Fishery Modernization, 2013, 40(4): 18-22.
- [33] 阳雯娜. 水产养殖与食品加工密集地区海域硝化微生物的丰度、群落结构研究[D]. 广州: 广东海洋大学, 2019.
Yang W N. Abundance, community structure and environmental factors of nitrifying microorganisms in the offshore near the crowded district with aquaculture plants and food manufacturing factories [D]. Guangzhou: Guangdong Ocean University, 2019.
- [34] 王丹薇. 水产养殖中硝化细菌的应用[J]. 山西农经, 2018, 224(8): 61.
Wang D W. Application of nitrifying bacteria in aquaculture [J]. Shanxi Agricultural Economy, 2018, 224(8): 61.
- [35] 徐寸发, 闻学政, 张迎颖, 等. 漂浮植物组合生态处理污水处理厂尾水的效果及植物生理响应[J]. 环境污染与防治, 2019, 41(11): 1335-1340.
Xu C F, Wen X Z, Zhang Y Y, et al. The ecological treatment effect of tail water from sewage treatment plant by combination with floating macrophytes and their physiological response [J]. Environmental Pollution & Control, 2019, 41(11): 1335-1340.
- [36] 周露洪, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 江苏省固城湖围垦区池塘河蟹生态养殖效益及污染输出分析[J]. 湖泊科学, 2013, 25(3): 406-413.
Zhou L H, Gu X H, Zeng Q F, et al. Ecological culture effects of *Eriocheir sinensis* and the pollutant export in reclamation areas of Lake Gucheng, Jiangsu Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(3): 406-413.