

# 双层覆膜护坡蟹塘水环境变化规律探讨

徐峻杰<sup>1</sup>, 张来荣<sup>1</sup>, 冯南京<sup>1</sup>, 董小敬<sup>1</sup>, 吴志强<sup>2</sup>, 孙龙生<sup>1</sup>

<sup>1</sup>扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州

<sup>2</sup>高邮市农业农村局, 江苏 高邮

Email: 1256965556@qq.com

收稿日期: 2021年7月28日; 录用日期: 2021年8月12日; 发布日期: 2021年8月30日

## 摘要

自5月~9月每隔10天对高邮湖畔水产专业合作社的3个双层覆膜护坡河蟹养殖池塘进行水质和浮游藻类监测。结果显示: 水体透明度基本保持见底的状态, 溶解氧变化范围在(5.4~13.87) mg/L, pH变化范围在7.48~10.05之间; 氨态氮的监测范围在(0.1~3.6) mg/L; 亚硝酸盐监测数值总体上呈现先增后减最后维持较低的水平; 池塘高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)和总磷的变化范围分别在(5.9~15.1) mg/L和(0~0.497) mg/L; 总氮含量在(0.2~2.77) mg/L间波动; 浮游藻类以蓝藻和绿藻为常见藻; 监测结果表明, 河蟹养殖池塘中总氮、总磷、COD<sub>Mn</sub>等富营养化相关指标总体符合淡水池塘水排放要求(SC/T 9101-2007)。

## 关键词

河蟹, 水质, 浮游藻类, 监测

# Change Rules of Water Environment in Farming Pond of Mitten Crab with Double Layer Film Enhanced Slope

Junjie Xu<sup>1</sup>, Lairong Zhang<sup>1</sup>, Nanjing Feng<sup>1</sup>, Xiaojing Dong<sup>1</sup>, Zhiqiang Wu<sup>2</sup>, Longsheng Sun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

<sup>2</sup>Gaoyou Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Gaoyou Jiangsu

Email: 1256965556@qq.com

Received: Jul. 28<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 12<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 30<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Water quality and planktic algae were monitored every 10 days from May to September in three double-layer film-covered river crab ponds in Gouyou Lake Aquatic Cooperatives. The results

showed that the transparency of water basically remained at bottom, the dissolved oxygen varied within the scope of (5.4~13.87) mg/L, and the pH ranges from 7.48 to 10.05. The monitoring range of ammonia nitrogen was (0.1~3.6) mg/L. On the whole, the monitoring value of nitrite increased first, then decreased, and finally maintained a low level. The range of permanganate index ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) and total phosphorus was respectively (5.9~15.1) mg/L and (0~0.497) mg/L. The total nitrogen content fluctuated between (0.2~2.77) mg/L. The common planktonic algae were cyanobacteria and chlorophyta. The monitoring results indicated that the eutrophication related indexes such as total nitrogen, total phosphorus and  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  in the crab pond generally met the water discharge requirements of fresh water pond (SC/T 9101-2007).

## Keywords

Mitten Crab, Water Environment, Planktonic Algae, Monitoring

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

河蟹是我国特色水产养殖品种, 养殖规模稳中有升, 养殖模式遵循生态学法则, 养殖效益相对稳定, 已经形成完整的河蟹产业链, 成为名副其实的富民产业。目前, 国内采用双层 PE 膜进行护坡改造已有报道, 双层覆膜护坡不仅可以减少淤泥的沉积, 延长池塘使用年限, 也可以杜绝杂草的生长以及除草剂对水质的破坏, 提高了养殖水环境的质量。高邮市湖畔水产专业合作社是以河蟹、小龙虾生态养殖为主的生态农业示范基地, 近年来采用双层覆膜护坡技术对河蟹池塘进行生态化改造, 探索新型绿色生态养殖模式, 河蟹养殖产量和效益有了明显提升。为进一步了解河蟹池塘水质变化规律, 完善双层覆膜护坡蟹塘主养期水环境相关研究, 科学评估其养殖水环境质量, 自 2018 年 5 月至 9 月, 我们对其 3 个河蟹养殖池塘的常规水质指标和浮游藻类进行了跟踪监测。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 塘口选择

所选塘口为位于高邮市湖畔水产专业合作社的 3 个河蟹养殖池塘, 均采用双层覆膜护坡, 分别编号 1~3。

### 2.2. 水样的采集

用采水器分点采集河蟹池塘中层水, 每个池塘采集 2 个综合水样, 其中 1 个水样用于常规水质指标的检测, 另 1 个水样加入终浓度为 4% 的甲醛溶液, 用于浮游藻类的分析。采样时间从 2018 年 5 月 11 日开始, 每间隔 10 天采 1 次样, 共 11 次。采集的水样除浮游藻类的观察外均在当日完成。

### 2.3. 测定指标与方法

测定指标包括: 温度、溶氧、pH、透明度、氨态氮、亚硝酸盐氮、总氮、总磷、高锰酸盐指数( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )及浮游藻类。

温度、溶氧: 采用便携式溶氧仪现场测定;

pH 值：采用 HANNAHI8424 pH 计现场测定；

氨态氮：纳氏试剂分光光度法，纳氏试剂(碘化汞钾)与氨氮反应生成橙黄色胶状难溶络合物，在 420 nm 波长下进行紫外分光光度比色；

亚硝酸盐氮：重氮 - 偶氮光度法，氨与苯酚和次氯酸盐生成靛酚蓝，在 543 nm 波长下进行紫外分光光度比色；

COD<sub>Mn</sub>：采用酸性高锰酸钾法；

总氮、总磷：采用过硫酸钾加压联合消化法[1]；

浮游藻类：水样经摇匀后取 1 L 倒入沉淀器内沉淀 24 h，取出一半上清液，摇匀剩余水样继续沉淀 24 h，吸去上清液至剩(30~50) ml 浓缩样，摇匀后取 0.1 ml 试样置于计数板上，在显微镜下进行计数，每个样品重复观察 3 次，取其平均值。

计算公式：浮游藻类(万个/L) = 浮游植物镜检数(个) × 10<sup>3</sup>/浓缩倍数

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 水温、pH、透明度

对 3 个塘口的水温、pH、透明度进行现场测定，其变化趋势及测定数据见图 1、图 2。

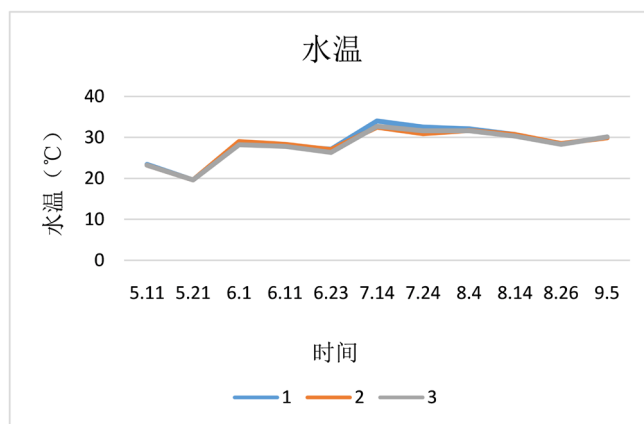


Figure 1. Summary of water temperature measurement results of Crab ponds (°C)

图 1. 河蟹池塘水温测定结果汇总(°C)

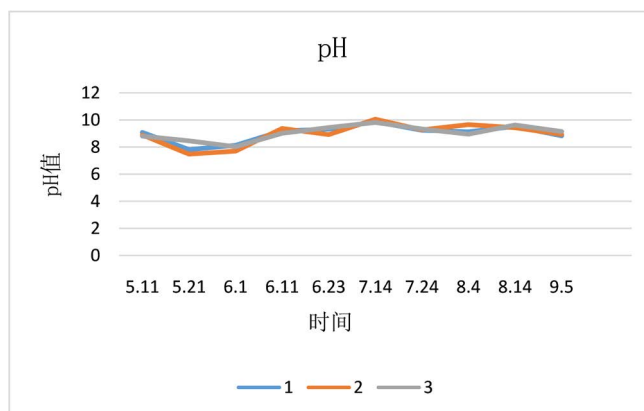


Figure 2. Summary of pH measurement results of crab ponds

图 2. 河蟹池塘 pH 测定结果汇总

由图 1 可知：蟹塘水温范围为(19.6~34)℃，5月下旬出现了最低值，7月份水温最高。由图 2 可知：水体的 pH 范围在 7.48~10.05 (其中 8.24 因仪器问题数据未显示)，较为稳定，在 7、8 月份 pH 都超过 9，7 月上旬达到最高值。水体透明度大部分时间保持见底状态。

### 3.2. 溶解氧、COD<sub>Mn</sub>

3 个塘口 5 月至 9 月溶解氧和 COD<sub>Mn</sub> 的变化范围见图 3、图 4。

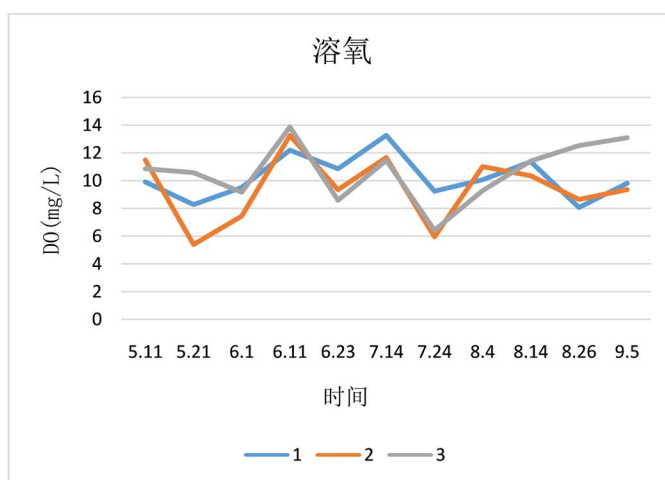


Figure 3. Trend of dissolved oxygen in crab ponds

图 3. 河蟹池塘溶解氧变化趋势图

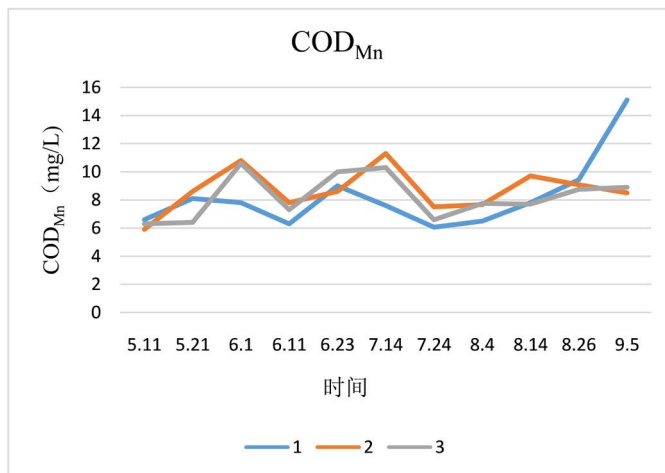


Figure 4. The variation trend of COD<sub>Mn</sub> in crab ponds

图 4. 河蟹池塘 COD<sub>Mn</sub> 变化趋势图

由图 3 可知：3 个蟹塘溶解氧变化趋势基本相近，均呈波浪型变化，其变化范围在(5.4~13.87) mg/L，其中 1 号塘口溶解氧在整个监测期都保持在 8 mg/L 以上，2 号塘口分别在 5 月中旬和 7 月下旬出现溶氧低于 6 mg/L，3 号塘口溶解氧在 7 月下旬出现最低谷，此后保持一直上升并超过 1、2 号池塘。由图 4 可知：COD<sub>Mn</sub> 的可变范围在(5.9~15.1) mg/L，最高值出现在 9 月份的 1 号塘，最低值出现在 5 月份的 2 号塘，3 个塘口的变化趋势在监测期间总体相似，其中 3 号塘在 5 月份相较于 1、2 号塘 COD<sub>Mn</sub> 含量保持平稳，而 1 号塘在 8 月下旬开始急剧上升直至 COD<sub>Mn</sub> 含量达到最高。

### 3.3. 氨态氮、亚硝酸盐氮

3个塘口5月至9月氨态氮和亚硝酸盐氮的测定结果和变化范围见图5、图6。

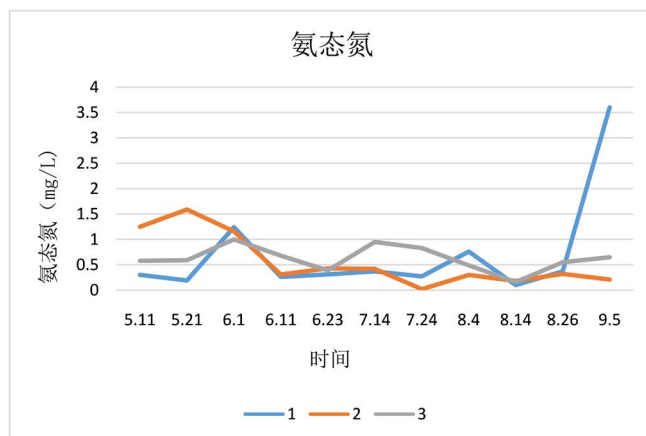


Figure 5. Variation trend of ammonia nitrogen in crab ponds

图5. 河蟹池塘氨态氮变化趋势

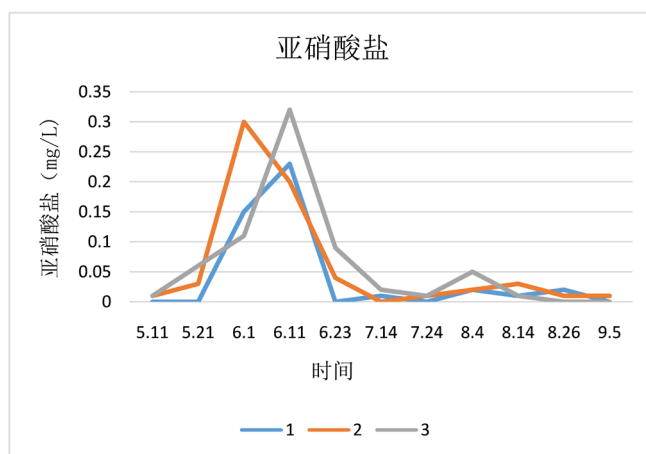


Figure 6. Trends of nitrite nitrogen in crab ponds

图6. 河蟹池塘亚硝酸盐氮变化趋势

如图5所示：氨态氮的测定范围在(0.1~3.6) mg/L，最低值出现在7月中旬的2号塘，最高值出现在9月上旬的1号塘，2号塘的氨态氮含量在5月高于1、2号塘且变化趋势相反，1、2号塘口在6月份至7月上旬较平稳，7月以后各个池塘氨氮水平呈现不稳定态势，其中1号池塘在8月下旬开始急剧上升。由图6可知：3个池塘亚硝酸盐的变动范围在(0~0.32) mg/L，均在6月份达到峰值，6月份后下降，之后维持在较低范围内。三个蟹塘的亚硝酸盐变化趋势相似，总体上体现为先上升再下降，最后保持基本稳定。

### 3.4. 总氮、总磷

3个塘口5月至9月总氮和总磷的测定结果及变化范围见图7、图8。

由图7可见：总氮的变化范围在(0.2~2.77) mg/L，最低值出现在8月份的1号塘，最高值出现7月份的3号塘，3号塘在5月有下降趋势，而1、2号池塘总氮从5月份开始上升，至6月达到第一次峰值，

而后经过下降至7月份达到第二次峰值且3号塘超过2.5 mg/L, 然后开始下降。8月至9月, 1、2号塘变化趋势基本保持一致且1号塘达到总氮最低值, 至8月下旬开始上升。由图8可知: 总磷的测定范围在(0~0.497) mg/L, 1号塘的总磷含量变化较剧烈, 在6月上旬达到最高值, 在7月中旬至8月下旬基本保持在0 mg/L左右, 而2号和3号塘在7月上旬前变化趋势基本保持一致, 基本波动维持在0.15 mg/L以下, 但8月上旬后, 总磷含量往上飙升至9月上旬开始下降。

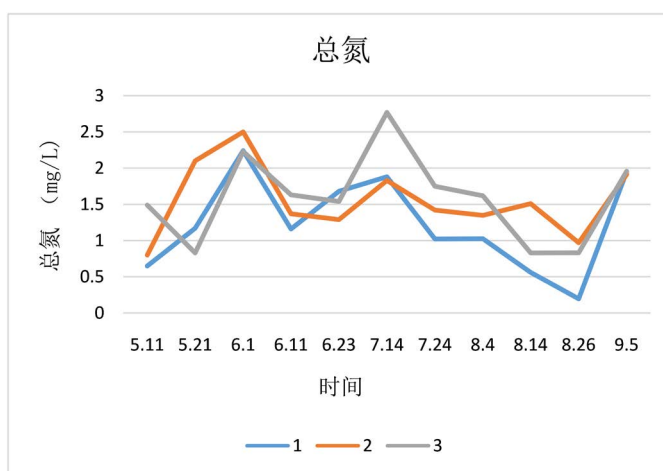


Figure 7. Trend of total nitrogen in crab ponds

图7. 河蟹池塘总氮变化趋势

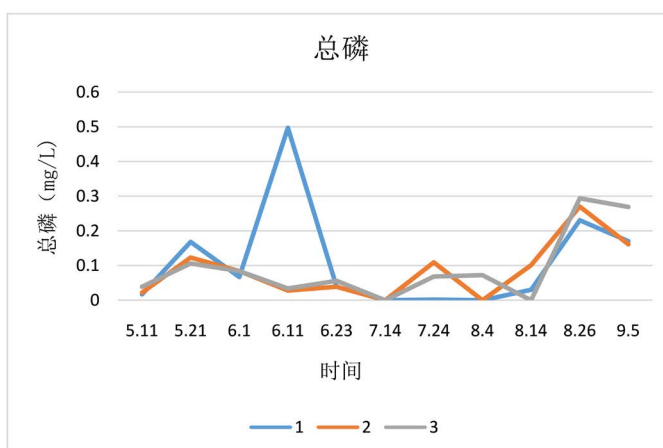


Figure 8. Variation trend of total phosphorus in crab ponds

图8. 河蟹池塘总磷变化趋势

### 3.5. 藻类

3个塘口浮游藻类以蓝藻和绿藻为常见藻。7月至9月蓝藻和绿藻的观察结果见表1~3。

由表1~3可知, 蓝藻和绿藻为河蟹池塘中的常见藻, 不同月份各个池塘间藻类数量差距较大, 3个蟹塘水体里的藻类数量较少, 蓝藻绿藻含量在监测期内大部分保持在100万/L以内, 7月份藻类密度极低。8月末至9月中旬的1号塘可以观察到少量的蓝藻和绿藻, 蓝藻以颤藻和席藻为主。8~9月中旬藻类数量较7月有所增长, 包括微囊藻、螺旋藻、颤藻、鱼腥藻、小球藻、十字藻、硅藻和裸藻, 其中8~9月份的3号塘微囊藻、小球藻和裸藻为优势藻。

**Table 1.** Monitoring results of cyanobacteria in Crab ponds (10,000/L)**表 1.** 河蟹池塘蓝藻监测结果汇总(万/L)

塘口 \ 日期	7.14	7.24	8.4	8.14	8.26	9.5	9.15
1	-	-	-	-	50	-	-
2	-	-	-	25	50	-	100
3	-	-	175	-	-	26	-

注：“-”为未监测到(下同)。

**Table 2.** Summary of green algae test results in Crab ponds (10,000/L)**表 2.** 河蟹池塘绿藻检测结果汇总(万/L)

塘口 \ 日期	7.14	7.24	8.4	8.14	8.26	9.5	9.15
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	25	-	-	75
3	-	-	125	-	25	13	-

**Table 3.** Monitoring results of major algae in crab ponds (10,000/L)**表 3.** 河蟹池塘主要藻类监测结果汇总(万/L)

塘口	藻类(万/L)	7月	8月	9月
1	颤藻	-	25	-
	席藻	-	25	-
	裸藻	-	-	25
2	微囊藻	-	25	-
	螺旋藻	-	25	-
	颤藻	-	25	50
	鱼腥藻	-	-	50
	小球藻	-	25	-
	十字藻	-	-	25
	盘星藻	-	-	50
	舟形藻	-	-	100
	根管藻	-	-	25
	针杆藻	-	-	25
裸藻	-	-	25	
3	微囊藻	-	175	26
	小球藻	-	150	13
	裸藻	-	-	200

#### 4. 讨论

江苏河蟹养殖面积占全国面积 45%左右, 目前大多以池塘养殖为主, 经过多年的探索, 已经打造出“高邮湖大闸蟹”等著名品牌。近年来, 蟹塘双层覆膜护坡技术得到广泛应用, 该技术具有延长蟹塘使

用年限、提升水草光合作用、促进河蟹蜕壳、防逃逸、防止杂草生长、防敌害生物等多项功能[2]。有关双层覆膜护坡蟹塘水质变化规律尚未完全掌握。

河蟹对水体溶氧的需求水平较高,一般要求 5 mg/L 以上,且天气状况和季节气候对水体溶氧有着一定程度的影响。研究表明,河蟹养殖水体溶氧量低于 4.0 mg/L 的时段比重为:雨天大于晴天[3]。在本次整个监测过程中,溶氧水平都维持在 5 mg/L 以上,这是有利于河蟹生长需求的。河蟹的摄食规律、脱壳次数、生长过程均与水温有关。河蟹生长最佳水温为(15~25)°C时,对河蟹的生长发育过程是有促进作用的。但当水温超过 28°C时,河蟹正常的脱壳行为会受到影响。本次监测中,水温呈现出明显的季节性规律,除 8 月下旬外,7、8 月份一直维持在 30°C 以上,这对于蟹的生长和蜕壳是不利的,故水草的栽种在高温季节给河蟹营造阴凉的环境有利于河蟹生长。pH 是反映水体酸碱度的指标,河蟹养殖水体最适宜的 pH 呈弱碱性,水体 pH 值的不稳定会直接造成养殖河蟹的死亡。在本次监测中,5~9 月河蟹养殖池塘水体的 pH 值范围为 7.48~10.05,整体呈现弱碱性。水温的变化对 pH 有一定的影响,高水温会增加水体中 CO<sub>2</sub> 的逸散,加之高温天气会促进塘中水草大量消耗 CO<sub>2</sub>,导致了 pH 的上升。石小平[4] (2010)报道,在高温时期,有水草区的河蟹养殖水体 pH 值显著高于无水草区,所以栽种水草可有效地改善河蟹养殖水体养殖过程中因水质败坏导致 pH 下降的现象,故栽种水草是河蟹养殖过程中一个重要的环节。透明度是反映水质的肥瘦程度的指标,肥水中的有机物与浮游生物含量较多,导致水体透明度较低,且极易造成水体的缺氧,对河蟹的生存产生威胁。此次监测结果可知,蟹塘水体透明度较高,河蟹生长条件良好。

当水体中有机污染物氮以分子氨态或者亚硝酸盐氮存在时,会对水产动物产生很严重的神经伤害,当氨氮  $\geq 0.5$  mg/L 或亚硝酸盐  $\geq 0.1$  mg/L 时,会出现河蟹蜕壳不遂、上岸、易发病、易死亡等情况,需及时采取池塘换水、泼洒有益菌种等措施[5],所以控制水体中氨态氮和亚硝酸盐氮浓度对河蟹养殖很重要。在本次监测中,氨态氮和亚硝酸盐的测定范围基本维持在一个较低的水平,这可能与养殖过程中水草的良好生长情况有关。1 号塘养殖后期水体氨态氮呈现急剧上升的趋势,与 COD<sub>Mn</sub> 变化趋势相同,这可能与部分水草腐烂及施肥有关。王高龙[6]研究表明,夏季水温 25°C~30°C,河蟹新陈代谢快,排出的粪便多,成为氨氮升高的主要来源。与此相反的是水体中亚硝酸盐在养殖后期下降并维持在较低水平。李定国等[7]研究表明,水草的生长过程能吸收水中的氨氮,大量氧气在光合作用下能释放,增加的水体溶氧能减少水中亚硝酸盐的含量。

评估水体富营养化以 COD、总氮、总磷为主要指标。COD<sub>Mn</sub> 含量的高低可以反映养殖水体的富营养化和耗氧有机物污染程度。河蟹养殖水体中大部分的可生物降解有机物构成了水体耗氧有机物,包括内源性有机物和外源性有机物,一方面主要来自于水生植物、藻类的光合作用,另一方面不仅仅来自于水源的输入,更关键来自于河蟹的代谢产物、饲料残饵以及动物残的分解产物。根据宋红桥等[8]报道,自然水体 COD<sub>Mn</sub> 的变化与温度密切相关,温度越高,水体中的生物代谢活跃,水体有机物越多,导致水体 COD<sub>Mn</sub> 含量上升。本次监测结果显示 1 号塘在 8 月下旬开始急剧上升,分析原因可能与 1 号塘在 8 月下旬氨氮含量的急剧上升有关。整个监测过程 COD<sub>Mn</sub> 含量保持在安全值之内,可能是由于河蟹养殖池塘水体自净能力较强,水体中 COD<sub>Mn</sub> 含量相对于水源水增加值较小[9],故河蟹池塘水体 COD<sub>Mn</sub> 含量未大规模超标。

总氮是衡量水体富营养化水平及污染水平的指标。大量研究表明,养殖水体总氮污染源主要来自投饵及其养殖对象排泄物[10]。目前,大多数养殖户青睐于用冰鲜鱼进行投喂,且据崔燕燕等[11]报道,发酵豆粕、豆粕、棉粕和菜粕替代饲料中 50% 的鱼粉影响了河蟹的蛋白质沉积率,其中菜粕组最低,与对照组相比差别不大,大都保持在 16% 左右,可见河蟹对饲料蛋白的利用率并不是很高,大部分含氮物质都溶失到了水体中,加之高温天气加速了冰鲜鱼等饵料的腐败,最终形成水体中总氮污染。在本次监测中,3 个蟹塘 TN 含量在(0.2~2.77) mg/L 之间波动程度较大。与刘海春等[12]的河蟹养殖池塘水质变化研



究的结果有一定的出入,分析原因可能与水草的净化作用有关。宋福等[13]利用苦草等7种沉水植物对受污染的水体(含底泥)总氮、总磷去除效果进行了试验研究,结果表明:苦草等7种沉水植物能显著去除水体总氮、总磷,27 d内对TN、TP的去除率分别为80.31%和89.82%。总体而言,控制合理的水草密度,结合正确的养殖管理模式就可有效地控制水体中总氮的含量。

磷元素是生命组织发育过程所必需元素,且水生植物及浮游藻类的生长需要一定的磷营养盐,磷肥和饲料磷是养殖水体中磷元素的主要来源。目前研究表明,水体中藻类的繁殖速率由氮、磷水平直接决定,且影响水体富营养化程度,是水体富营养化主要控制因子[14]。徐宪根等[15]报道,除磷元素外,氮磷比也可能是湖泊藻类生长和水华发生的限制因子,氮磷比 $\leq (29:1)$ 时水华发生的优势藻类为蓝藻。本次监测结果显示,除1号塘水体总磷含量在6月上旬飙升至0.497 mg/L以外,1号塘口其余时间与2、3号塘总磷含量均未超过0.3 mg/L,符合淡水池塘养殖水一级排放标准(SC/T9101-2007)。分析原因可能与养殖户勤于换水和水草的吸收作用有关。据李晶等[16]研究表明,轮叶黑藻具有良好的总磷去除效果。马凯等[17]研究发现若只以水环境中的TP水平为衡量标准,苦草相较于穗状狐尾藻、金鱼藻和微齿眼子菜,对水中磷的吸收效果为最佳。这些研究表明,河蟹养殖过程中通过利用水草的吸收能力可以有效降低池塘养殖水体的总磷水平。据边归国等[18]报道,沉水植物通过分泌抑藻物质和营养竞争机制对浮游藻类生长产生抑制作用,使得藻类不能正常生长,降低藻类的生物量,从而达到改良水质的目的。从本次监测可以看出,蟹塘水体里的藻体种类和数量都较少,以蓝藻和绿藻为主,包括微囊藻,颤藻,席藻,螺旋藻,小球藻,十字藻和裸藻等种类,除了水草的抑制因素外,还可能与使用微生态制剂调水有关。

## 5. 结论

双层覆膜护坡河蟹养殖池塘水环境总体较好,水温、pH、溶氧、氨氮、亚硝酸盐等指标总体上适宜河蟹的生长,TN、TP、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 等指标符合淡水池塘养殖水一级排放要求(SC/T9101-2007)。通过池塘生态化改造结合移栽水草以及科学的水质调控措施可以有效控制池塘水质。

## 参考文献

- [1] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [2] 潘建林, 林海, 付龙龙. 高品质河蟹绿色健康养殖关键技术[J]. 农家致富, 2020(24): 39-40.
- [3] 盖建军, 郭闯, 陈焕根, 王明宝. 不同天气对河蟹养殖水体的影响[J]. 水产养殖, 2013, 34(7): 19-22.
- [4] 石小平. 河蟹生态养殖中pH值与养殖效果的关系[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(5): 149-151.
- [5] 马行空, 葛家春, 王志红. 河蟹养殖中水体氨氮和亚硝酸盐的变化及调控研究[J]. 2020, 41(11): 43-45.
- [6] 王高龙. 河蟹生态养殖水质变化规律初步研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [7] 李定国, 王煜恒, 王会聪, 陈军, 骆桂兰, 陈克龙. 水草密度对河蟹池塘水质和养殖效益的影响[J]. 2015, 36(12): 11-15.
- [8] 宋红桥, 管崇武, 李月, 单建军, 刘晔. 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.
- [9] 陆健, 王绍绵, 肖飞, 王佩佩. 高淳地区河蟹养殖对水环境主要污染指标的影响[J]. 水产养殖, 2018, 39(6): 7-9.
- [10] 孙龙生, 魏凯, 安振华, 王秀英. 水产动物理想蛋白质模式研究进展[J]. 动物营养学报, 2011, 23(9): 1453-1458.
- [11] 崔燕燕, 张南南, 马倩倩, 陈晴, 沈振华, 杜震宇, 等. 四种植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(1): 146-154.
- [12] 刘海春, 刘志国, 董学洪. 河蟹养殖池塘水质变化规律研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 397-399.
- [13] 宋福, 陈艳卿, 乔建荣, 任久长. 常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮去除率的研究[J]. 环境科学研究, 1997, 10(4): 47-50.
- [14] 韦立峰. 浅谈水体富营养化的成因及其防治[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(8): 25-27.

- 
- [15] 徐宪根, 周游, 黄骏, 陈晶. 蓝藻水华发生机理及预警研究进展[J]. 污染防治技术, 2017, 30(5): 22-24, 54.
- [16] 李晶, 马云, 周浩, 潘保原. 轮叶黑藻去除水体中氮磷能力研究[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(8): 13-18.
- [17] 马凯, 蔡庆华, 谢志才, 黎道丰, 刘瑞秋. 沉水植物分布格局对湖泊水环境 N、P 因子影响[J]. 水生生物学报, 2003, 27(3): 232-237.
- [18] 边归国, 赵卫东, 达来. 沉水植物化感作用抑制藻类生长的研究与应用[J]. 北方环境, 2012, 24(1): 59-64.