

# 三种底质改良方式对罗非鱼池塘水质和底质营养物质含量的影响

武利军, 徐紫娟, 张宇航, 杨卓, 陈祯东, 徐鹏, 温晴宇

广西大学动物科学技术学院, 广西高校水生生物健康养殖与营养调控重点实验室, 广西 南宁  
Email: 473120178@qq.com

收稿日期: 2021年6月1日; 录用日期: 2021年6月14日; 发布日期: 2021年6月30日

## 摘要

本实验利用室内模拟法, 探究了种植绿狐尾藻(H组)、抛洒底改型微生物制剂(D组)和施用生石灰(S组)对罗非鱼养殖池塘水质和底质营养物质含量变化的影响。结果发现: H组对底质中总氮、总磷的去除率最高, 分别为32.91%、28.05%。实验期间H组水中的 $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N和TN浓度整体小于其它实验组; S组的 $\text{NO}_2^-$ -N和TP浓度显著大于对照组( $P < 0.05$ ),  $\text{NH}_4^+$ -N和TN浓度前中期显著大于对照组( $P < 0.05$ ); D组的营养盐浓度介于H组与S组之间。研究结果表明, 三种底泥改良方式均可降低养殖池塘底泥中的总氮总磷含量, 其中种植绿狐尾藻H组对底泥氮磷去除效果最佳, 且对水中营养盐浓度几乎无影响, 综合修复效果最佳。

## 关键词

绿狐尾藻, 种植, 罗非鱼养殖池塘, 底质, 水质

# Effects of Three Sediment Improvement Methods on Water Quality and Sediment Nutrient Content of Tilapia Pond

Lijun Wu, Zijuan Xu, Yuhang Zhang, Zhuo Yang, Zhendong Chen, Peng Xu, Qingyu Wen

College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Guangxi Colleges and University Key Laboratory of Aquatic Healthy Breeding and Nutrition Regulation, Nanning Guangxi  
Email: 473120178@qq.com

Received: Jun. 1<sup>st</sup>, 2021; accepted: Jun. 14<sup>th</sup>, 2021; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2021

文章引用: 武利军, 徐紫娟, 张宇航, 杨卓, 陈祯东, 徐鹏, 温晴宇. 三种底质改良方式对罗非鱼池塘水质和底质营养物质含量的影响[J]. 水产研究, 2021, 8(2): 84-94. DOI: 10.12677/ojfr.2021.82010

## Abstract

In this experiment, the effects of *Myriophyllum elatinoides* Gaudich (Group H), modified microecological agent (Group D) and quicklime (Group S) on nutrient content in water and sediment of tilapia culture pond were studied by indoor simulation. The results showed that: Group H had the highest removal rate of total nitrogen and total phosphorus in the sediment, which were 32.91% and 28.05%, respectively. During the experiment, the concentrations of  $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N and TN in the water of group H were generally lower than those of other experimental groups. The concentrations of  $\text{NO}_2^-$ -N and TP in group S were significantly higher than those in the control group ( $P < 0.05$ ), and the concentrations of  $\text{NH}_4^+$ -N and TN in the early and middle stages were significantly higher than those in the control group ( $P < 0.05$ ). The nutrient concentration of group D was between group H and group S. The results of the study show that the three methods of improving sediment can reduce the total nitrogen and phosphorus content in the aquaculture pond. Among them, the H group planted with *Myriophyllum elatinoides* Gaudich had the best effect on removing nitrogen and phosphorus from the sediment, and had almost no effect on the concentration of nutrients in the water, and the comprehensive restoration effect was the best.

## Keywords

*Myriophyllum elatinoides* Gaudich, Plant, Tilapia Culture Pond, Sediment, Water Quality

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

池塘底质中的氮、磷等因为扰动等原因释放至水体中，加重水体负荷导致富营养化[1]，生产上常采用生物法、化学法和物理法原位改良养殖池塘底质。种植小白菜、添加生石灰、暴晒均可以降低池塘底泥中营养物质的含量，且小白菜可有效降低水中 TP 含量，修复效果最佳[2]。水生植物在原位改良养殖池塘环境中具有重要作用。研究发现：沉水植物矮慈姑可阻止底泥向水中释放氮磷，使水中氮磷维持在较低浓度[3]；种植莲藕可提高微生物对底质有机污染物的降解能力，能吸收底泥里一定量的 TN、TP [4]；投放漂浮植物或放置植物浮床可有效降低加州鲈塘底泥中 TOC、TN、TP 含量，以及水体中  $\text{NH}_4^+$ -N 和 TN 含量[5] [6] [7]；覆盖面积 30%的菹草和螺蛳组合能大幅降低养殖池塘水中 TN、TP、 $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_2^-$ -N 浓度[8]；空心菜生态浮床对富营养化池塘水体的净化效果较好[9]。湿地植物绿狐尾藻(*Myriophyllum elatinoides* Gaudich)，环境适应力较强，具有强耐污性和耐寒性，水下部分可过冬，同时与水葫芦等外来植物相比生态竞争力不强，生物入侵能力较低，被广泛应用于人工湿地处理畜禽污水中并取得良好效果，但目前在淡水养殖池塘环境改良中的应用及其效果如何尚不清楚。

前人研究发现：罗非鱼精养池塘沉积物中有机质、总氮和总磷产污系数值高于草鱼主养池塘，其变化范围分别为 11.068~17.680  $\text{kg}/\text{m}^2$ 、0.084~0.151  $\text{kg}/\text{m}^2$  和 0.025~0.053  $\text{kg}/\text{m}^2$ ，高于草鱼主养池塘[10] [11]；广西罗非鱼养殖排污系数为 76.69  $\text{g}/\text{kg}$ ，高于福建省的 66.33  $\text{g}/\text{kg}$  [12]。调查发现，广西罗非鱼主养区南宁市的池塘底泥中氮磷污染较为严重，可能是导致池塘水体富营养化的主因[13]。为探究湿地植物绿狐尾

藻在淡水养殖池塘环境改良中的作用,本研究以广西大学水产基地冬闲期罗非鱼养殖池塘水和底泥为材料,在室内模拟构建淡水池塘养殖环境,开展种植绿狐尾藻、抛洒改底型微生态制剂与施用生石灰三种方式对水质和底质营养物质影响的试验。通过测定、比较实验期内水体中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TP、TN、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  等和底泥中 TCs、TNs、TPs 营养物质含量变化,找出改良效果较好,适宜的改底方法,为消减罗非鱼池塘养殖环境污染提供科学参考。

## 2. 材料与设计

### 2.1. 实验设计

实验于 2019 年 1 月 27 日至 2019 年 4 月 2 日在广西大学水产养殖教学基地大棚内进行。利用 12 个  $45\text{ cm} \times 32\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  的塑料箱,每箱内铺置约 4 cm 经充分搅拌混匀的池塘底泥,水深约 25 cm。实验用绿狐尾藻、底泥和水样采自广西大学水产教学基地罗非鱼养殖池塘,试验用水和底泥营养物质情况详见表 1。实验分为 4 组,每组设 3 个平行,分组情况见表 2。实验期间改底型微生态制剂和生石灰仅在起始时抛洒一次,改底型微生态制剂购自江西调水人生态环境工程有限公司,按产品说明取  $5\text{ g/m}^2$  使用,每个平行洒入 0.72 g;生石灰组每平行抛洒 28 g [14];绿狐尾藻 2~3 株一起种于箱内四周底泥中,保持种植点的行距相等。采样间隔中向试验箱内添加蒸馏水补充蒸发流失的水分[15]。

**Table 1.** Nutrient content of water and mud samples in simulation experiment

**表 1.** 模拟实验供试水样和泥样的营养物质含量

项目	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/L)	TP/TPs (mg/L)	TN/TNs (mg/L)	$\text{COD}_{\text{Mn}}$ /TCs (mg/L)
供试用水	0.71	0.007	0.13	1.46	15.91
地表水环境质量标准			III 类	IV 类	V 类
供试用泥			1.79 (mg/g)	39.35 (mg/g)	3.95 (mg/g)

**Table 2.** Experiment grouping and processing

**表 2.** 试验分组及处理情况

组别	处理方式
对照组 CK	4 cm 池塘底泥
绿狐尾藻组 H	4 cm 池塘底泥, 种植 15 株绿狐尾藻, 每株均重 5.5 g, 株高约 27 cm
改底型微生态制剂 D	4 cm 池塘底泥, 底泥改良剂 $5\text{ g/m}^2$
生石灰组 S	4 cm 池塘底泥, 生石灰 $195\text{ g/m}^2$

### 2.2. 样品采集与分析

实验期间分别于第 22 d、44 d、66 d 采集水样和泥样,水样采集、运输、保存和管理参照《国家环境保护标准》(HJ493-2009)执行;用管状竹筒分别于实验箱四周采集底质沉积物样品,剔除植物、石头等杂质后,风干研磨过筛[16];实验结束时,每箱随机选取 5 株绿狐尾藻,用粗滤纸吸干水分测量鲜重,用直尺测量株长[17],随后风干研磨过筛,分装待测。水样、沉积物和植株样品测定项目和方法见表 3。分别用温度计(杭新 TP600)、溶氧仪(雷磁 JPB-607A)和 pH 计(力辰科技 pH-100A)于现场测定水体温度、DO 和 pH。

### 2.3. 数据处理和统计分析

实验数据用 Office Excel 2018 进行处理分析。用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析法(One-Way

ANOVA), 比较各组间的差异显著性,  $P < 0.05$  表示差异水平显著; 利用 Office Excel 2018 做图。

**Table 3.** Determination indexes and methods of water, mud and plant samples

**表 3.** 水样、泥样和植株样测定指标和方法

	测定项目	分析方法	方法来源
水质指标	总氮(TN)	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636-2012
	总磷(TP)	钼酸铵分光光度法	GB11893-1989
	氨态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)	纳氏试剂分光光度法	HJ 535-2009
	亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^-$ -N)	分光光度法	GB 7493-87
	高锰酸盐指数(COD <sub>Mn</sub> )	酸性高锰酸钾法	GB11892-89
沉积物指标	总碳(TCs)	Vario EL cube 元素分析仪	
	总氮(TNs)	Vario EL cube 元素分析仪	
	总磷(TPs)	钼锑抗分光光度法	HJ632-2011
植株指标	全氮(TN)	凯氏定氮法	NY/T 2017-2011
	全磷(TP)	钼锑抗分光光度法	NY/T 2017-2011

绿狐尾藻氮、磷含量采用以下公式计算:

$$A_N = Q_d \times C_N \times 10^{-2}$$

$$A_P = Q_d \times C_P \times 10^{-2}$$

式中,  $A_N$  和  $A_P$  分别为单位面积内的植株氮磷含量( $\text{kg}/\text{m}^2$ );  $Q_d$  为植株干质量,  $\text{g}/\text{m}^2$ ;  $C_N$  为植株干物质中全氮含量(%);  $C_P$  为植株干物质中全磷含量(%)。

### 3. 结果

#### 3.1. 绿狐尾藻植株生物量及氮磷含量

至实验结束, 每箱平均收获约 301.5 g 绿狐尾藻, 增重 219 g, 增重率约为 265.5%。实验期间绿狐尾生长状况良好, 未发现植物死亡情况。

实验前后绿狐尾藻植株氮磷含量见表 4。实验期间, 绿狐尾藻氮移除量约为  $1.05 \times 10^{-3}$  kg, 磷移除量约为  $0.51 \times 10^{-3}$  kg。

**Table 4.** Nitrogen and phosphorus contents of *Myriophyllum elatinoides* Gaudich

**表 4.** 绿狐尾藻植株实验前后氮磷含量

时间 (d)	生物量 (kg)	植株干质量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	干物质氮含量 (%)	植株氮含量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	干物质磷含量 (%)	植株磷含量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
0	0.083	0.073	1.21	$0.883 \times 10^{-3}$	1.00	$0.73 \times 10^{-3}$
66	0.302	0.268	3.04	$8.147 \times 10^{-3}$	1.60	$4.29 \times 10^{-3}$

#### 3.2. 各组底质中总碳、总氮和总磷的含量变化

##### 3.2.1. 各组底质中总碳含量变化

如图 1 所示: 实验期间 D、S 两组和 CK 组底质中总碳含量均呈先升高后降低的趋势, D、S 两组和

CK 组在实验期间均无显著性差异( $P > 0.05$ )且它们两组间无显著性差异( $P > 0.05$ );H 组底质中的总碳含量呈先缓慢降低后升高再缓慢降低趋势,第 22 d 显著低于 CK、D 和 S 组( $P < 0.05$ ),第 44 d 和其余三组间无显著性差异( $P > 0.05$ ),实验结束时显著大于其余三组( $P < 0.05$ )。最终 H 组总碳含量增加了 9.91%,CK 组去除率为 5.60%,D 组去除率为 10.93%,S 组去除率为 2.41%。

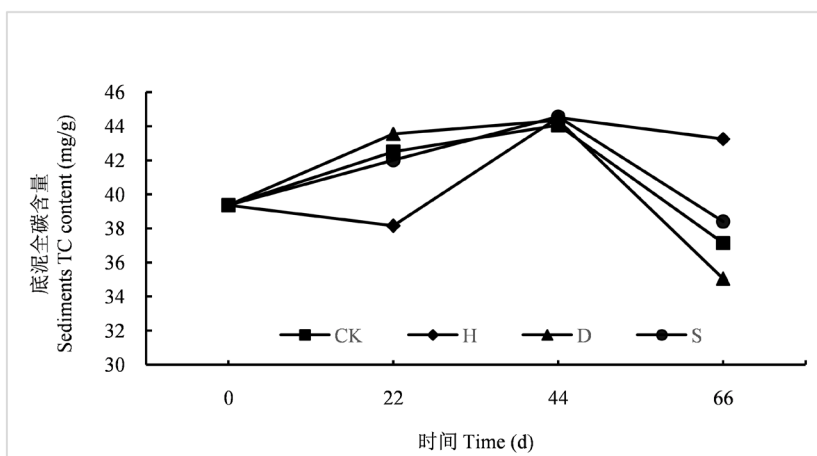


Figure 1. Changes of total carbon content in sediments of each group  
图 1. 各组底质总碳含量变化

### 3.2.2. 各组底质中总氮含量变化

如图 2 所示:实验期间,各组底质中总氮含量均呈先升高后降低的趋势,各组之间无显著性差异( $P > 0.05$ ),H 组的总氮浓度一直低于 D 和 S 组。最终各组总氮含量均有所下降,H、D 和 S 组的去除率分别为 32.91%、27.85%和 20.25%,CK 组去除率为 21.52%。H 组对底质中总氮的净化效果最佳。

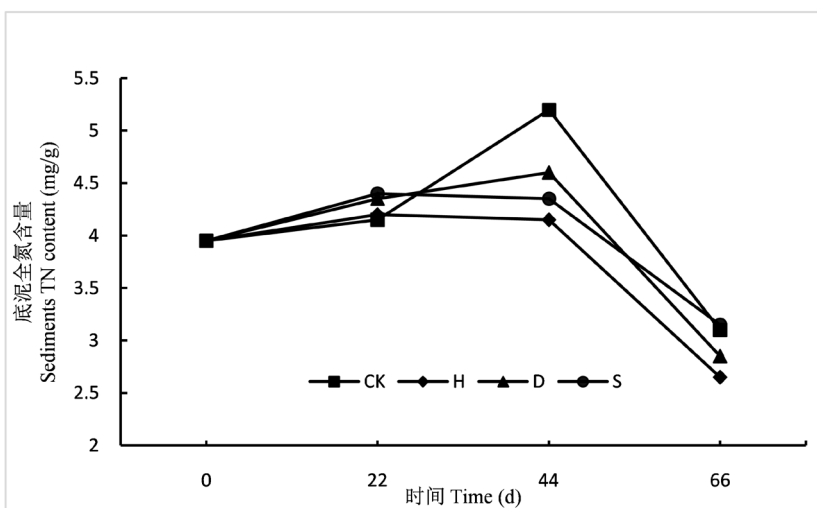
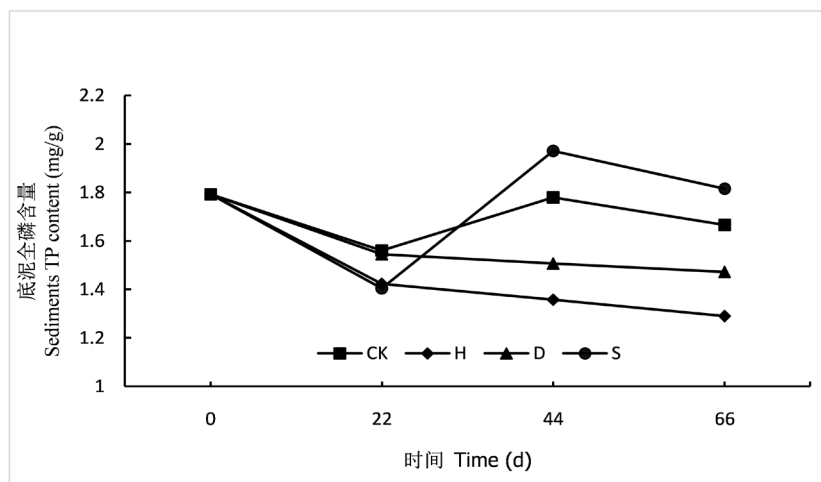


Figure 2. Changes of total nitrogen content in the sediments of each group  
图 2. 各组底质总氮含量变化

### 3.2.3. 各组底质中总磷含量变化

如图 3 所示:实验期间,H 和 D 组底质中总磷含量一直呈降低趋势,CK 和 S 组呈先降低后升高再

降低趋势, H 和 D 组含量试验期间均小于 CK 组, S 组在约 30 d 后大于 CK 组。第 22 d, 四组之间均无显著性差异( $P > 0.05$ ); 第 44 d, H 组显著小于其余三组( $P < 0.05$ ), D 组显著小于 CK 组( $P < 0.05$ ), S 组显著大于 CK 组( $P < 0.05$ ); 第 66 d, H 组显著小于其余三组( $P < 0.05$ ), D 组显著小于 CK 组( $P < 0.05$ ), S 组大于 CK 组但无差异( $P > 0.05$ )。最终 H 组底质中总磷含量去除率为 28.05%, D 组为 17.90%, S 组增加了 1.23%, CK 组去除率为 7.08%。



**Figure 3.** Changes of total phosphorus content in sediment of each group  
**图 3.** 各组底质总磷含量变化

### 3.2.4. 小结

综上, 实验期间 H 组底质中总氮、总磷含量降低且去除效果优于 D 和 S 组, 总碳含量前期降低但后期增加; D 组底质中总碳、总氮和总磷含量均有所降低, 其中总氮和总磷的去除效果优于 S 组但劣于 H 组; S 组底质中总碳、总氮含量降低, 总磷含量上升。

## 3.3. 各组水质指标的变化

### 3.3.1. 各组水温、pH 和 DO 变化

如表 5 所示: 实验期间, 水温范围为 13.7℃~19.6℃。pH 变化范围介于 7.43~8.70 之间, 各组 pH 有不同程度上升, 水质呈弱碱性; 其中 H 组、D 组和 CK 组的 pH 变化介于 7.43 至 7.97 之间, 两两间均无显著性差异( $P > 0.05$ ); S 组的 pH 值变化介于 7.43 至 8.70 之间, 显著大于 CK 组( $P < 0.05$ )。各组 DO 在 1.0 mg/L~9.6 mg/L 之间波动, 先上升后下降, 其中前 44 d, DO 均高于 3.0 mg/L, 第 44 d 四组都达到最大值; 66 d 时 DO 下降至 3.7 mg/L 以下, S 组和 H 组的 DO 均高于 3.0 mg/L, 但 D 组和 CK 组低于 2.0 mg/L。

**Table 5.** Changes of water temperature, pH and DO in each group  
**表 5.** 各组水温、pH 和 DO 的变化

处理时间(d)	组别	pH	水温(℃)	DO (mg/L)
0	供试水样	7.43	19.6	4.7
22	CK	7.97	13.7	3.5
	H	7.90	13.7	5.1
	D	7.88	13.7	4.1
	S	8.70	13.7	3.7

Continued

44	CK	7.80	15.0	7.8
	H	7.73	15.2	8.5
	D	7.69	15.0	7.6
	S	8.35	15.0	9.6
66	CK	7.86	17.6	1.0
	H	7.67	18.3	3.1
	D	7.75	17.9	1.8
	S	8.29	17.6	3.7

### 3.3.2. 各组水质 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度变化

如图 4 所示：实验期间 CK、H 和 D 组水体中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度均呈先降低后升高趋势，S 组呈先升高后降低趋势。试验过程中 H 和 D 组的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度一直低于 CK 组且 H 组低于 D 组，三组之间无显著性差异(P > 0.05)；S 组约 60 d 前显著大于其余三组(P < 0.05)，第 66 d 和其余三组之间无显著性差异(P > 0.05)。

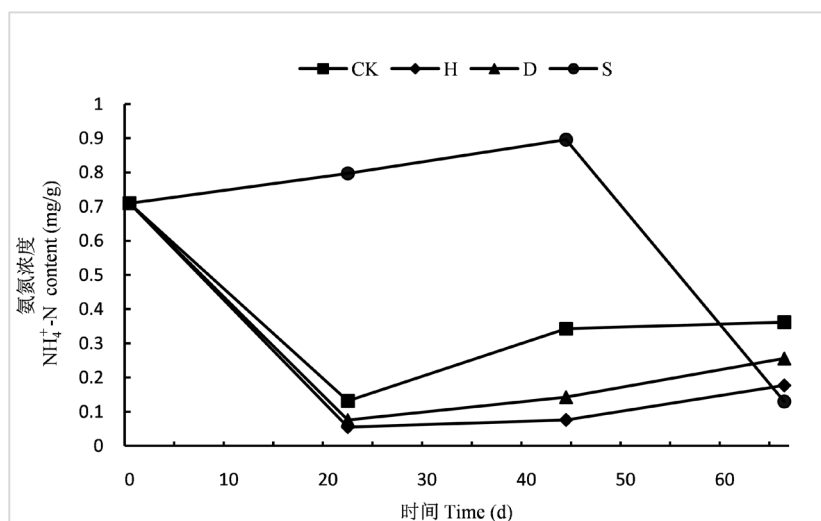


Figure 4. Changes of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N content in water of each group

图 4. 各组水质 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量变化

### 3.3.3. 各组水质 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度变化

如图 5 所示：实验期间 CK 组水中的 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度呈先大幅上升后大幅下降的趋势，H 组呈缓慢上升趋势，D 组呈先上升后缓慢下降趋势，S 组呈先下降后大幅上升趋势。22 d 前，H、D 和 S 组均显著低于 CK 组(P < 0.05)，三组间无显著差异(P > 0.05)；第 44 d，H 组与 D 组都和 CK 组无显著差异(P > 0.05)，S 组显著高于 CK 组(P < 0.05)；66 d 后，S 组显著大于其余三组(P < 0.05)。试验期间，H 组的 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度要小于 D 和 S 组，变化最为平稳，S 组使水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 含量增加。

### 3.3.4. 各组水质 TP 浓度变化

如图 6 所示：实验期间 CK、H 和 D 组水中的 TP 浓度呈先降低后缓慢升高的趋势，S 组水中的 TP 浓度呈先缓慢降低后大幅升高趋势。H、D 两组变化趋势相似，总体上略低于 CK 组但两两间无显著差异且与 CK 组无显著差异(P > 0.05)，S 组试验间显著高于 CK 组(P < 0.05)。H 和 D 组对水中 TP 影响不大，

S 组使水中 TP 浓度增加。

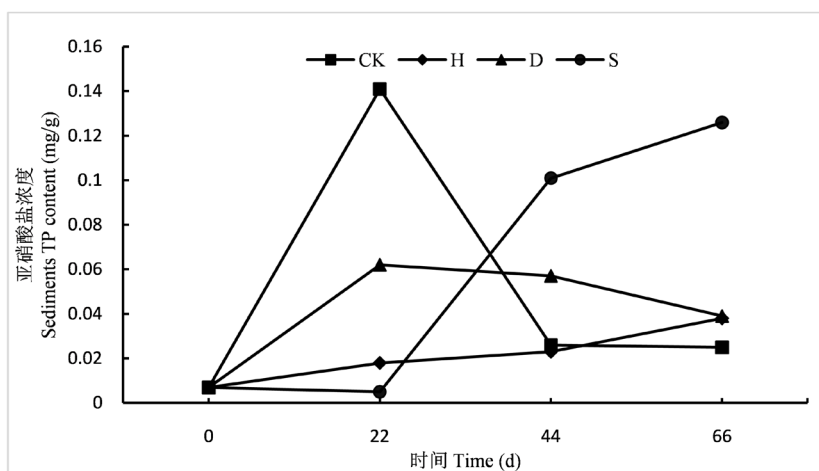


Figure 5. Changes of  $\text{NO}_2^-$ -N content in water of each group

图 5. 各组水质  $\text{NO}_2^-$ -N 浓度变化

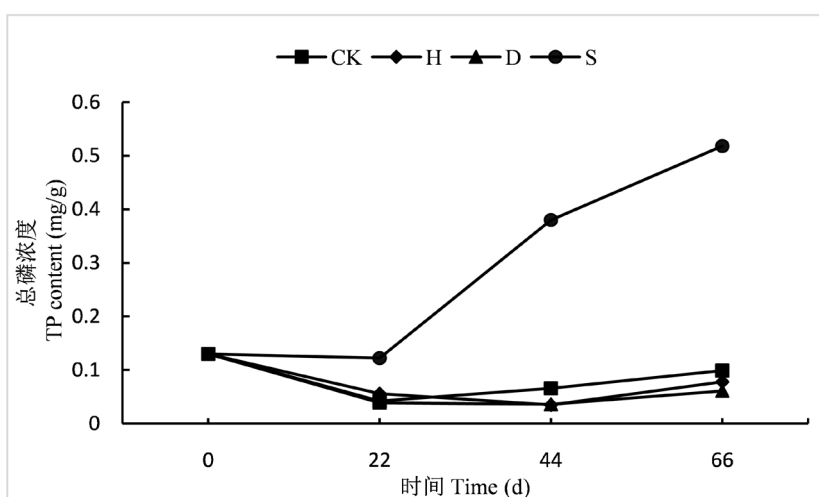


Figure 6. Changes of TP content in water of each group

图 6. 各组水质 TP 含量变化

### 3.3.5. 各组水质 TN 浓度变化

图 7 所示：实验期间 CK 和 D 组水中的 TN 浓度呈先升高后降低又升高的趋势，H 组呈先持续降低后升高趋势，S 组呈先升高后降低趋势。试验 22 d 前，H 组的 TN 浓度显著小于其余三组( $P < 0.05$ )，第 44 d 时，S 组显著大于其余三组( $P < 0.05$ )，实验结束时 CK 与 S 组显著大于 H 与 D 组。实验期间，H 组浓度整体小于其余各组，D 组浓度变化介于 H 和 S 组之间。

### 3.3.6. 各组水质 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 浓度变化

如图 8 所示：实验期间各组水中的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度均呈先降低后升高的趋势，H 组在试验中期前小于其余三组，在约 60 d 前小于 CK 组，D 组试验期间一直小于 CK 组，S 组在 43 d 后一直小于其余三组。试验期间，三个处理组的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度均无显著性差异( $P > 0.05$ )，且与 CK 组也无较大差异( $P > 0.05$ )。



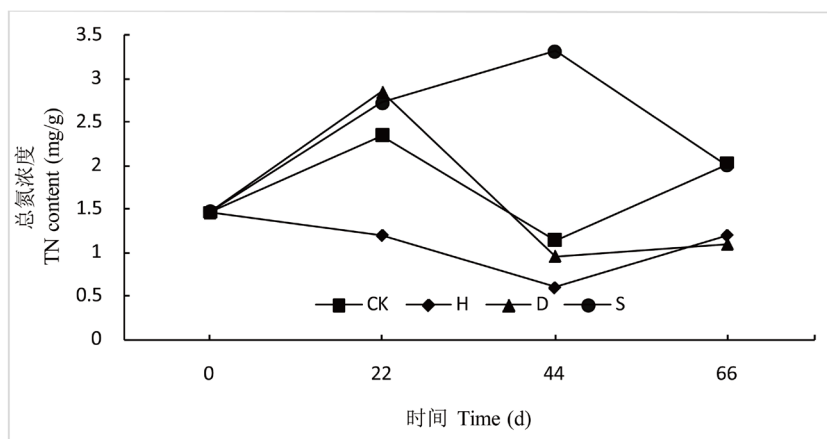


Figure 7. Changes of TN content in water of each group

图 7. 各组水质 TN 含量变化

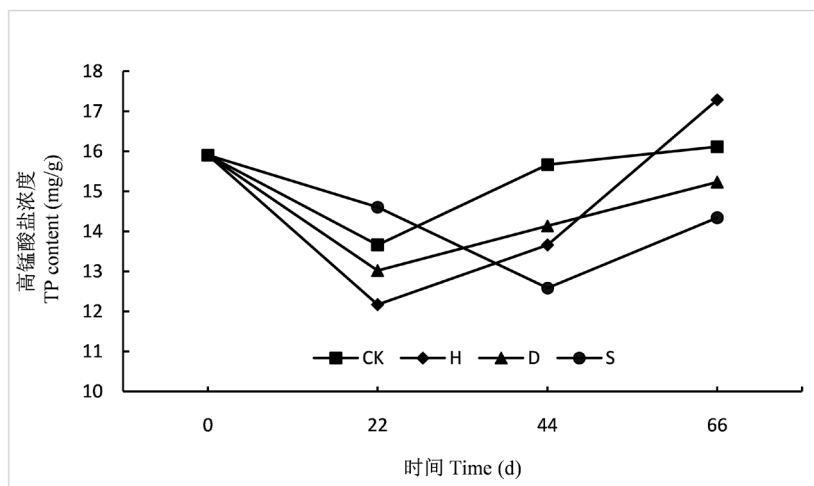


Figure 8. Changes of COD<sub>Mn</sub> content in water of each group

图 8. 各组水质 COD<sub>Mn</sub> 含量变化

### 3.3.7. 小结

综上，实验期间 H 组的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$  和 TN 浓度整体小于其它实验组，TP 和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的变化不明显，H 组水中的营养物质变化相对平稳，对水质影响最小；S 组前中期的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TN 浓度显著大于其它组，S 组使水中  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  和 TP 浓度上升，对水质影响最差；D 组的营养物质浓度整体介于 H 组与 S 组之间。

## 4. 讨论

### 4.1. 不同底质改良方式对池塘底质营养物质的影响

池塘底质为化学物质储存地、多种生物栖息地和营养盐循环中心[18]，池塘环境变化时，底泥中的营养盐会经各种扰动释放造成污染。实验期间，种植绿狐尾藻后，H 组底质中 TN 和 TP 含量均为最低，TP 显著低于 CK 组( $P < 0.05$ )；植物的吸收为重要的除磷途径[19]，绿狐尾藻种植后可以改变底质吸附磷的能力，减少底泥中颗粒形态磷的悬浮[20]，绿狐尾藻在生长过程中也会改变磷的形态[21]，这些都促进了底泥中磷的去除。同时，绿狐尾藻生长过程中还可以改变底泥中脱氮微生物的群落结构，使此类微生物间

的互作能力加强,达到较好的除氮效果[22]。实验后期 H 组底质中 TCs 含量显著高于 CK 组,这与小白菜修复养殖池塘底质营养物的结果相似[2],或是因为根系的生长致分泌物逐渐增加,使底泥中有机碳含量增加。抛洒微生物制剂后, D 组的 TN 和 TP 实验期间持续低于 CK 组,可能是富含的菌群和分解因子提高了底泥微生物群落的代谢能力,对底质中的 TN、TP 有一定去除能力,但 TC 含量与 CK 组无显著差异。抛洒生石灰后, S 组底泥中 TP 在实验期间高于 CK 组,可能与其遇水生成碳酸钙改变了底泥底泥 pH 值和通气条件,加速了有机质分解有关[23]。生石灰会杀灭水中一些细菌和水生生物,导致微生物活性变弱,水生生物死亡后也会释放出体内的氮磷[24] [25],这可能是 S 组去除底质营养物质能力较差的原因。

#### 4.2. 不同底质改良方式对水体营养物质的影响

实验期间,绿狐尾藻组(H 组)水体的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$  和 TN 浓度整体小于其它实验组;生石灰组(S 组)的  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  和 TP 浓度都有显著增加,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TN 浓度在前中期都要高于其它实验组;微生物制剂组(D 组)的营养盐浓度整体介于 H 组与 S 组之间,各组的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度变化趋势一致, H 组水中营养盐物质几乎无增加,原因可能是绿狐尾藻通过根系、茎叶吸收水中的营养物质,其复杂的根系也会调节水体微环境,利于微生物的硝化和反硝化作用,有效减少营养物的浓度[26]。实验中 H 组对底质营养物也有较好的去除效果,绿狐尾藻综合修复效果最佳。D 组中的底改型微生物制剂中含有专门的修复用特殊菌群,可提高水体细菌优势群落多样性,在微生物转化底泥营养物的同时,也能改善水体环境[27]。S 组对水质营养物质影响最大,生石灰改善底泥 pH 值和通气条件后,底泥持续释放出 N、P 元素,造成水中营养盐浓度增加。生石灰还可杀灭水体的有益菌如硝化细菌,使水体的硝化作用受到抑制[24],影响氨氮的去除,同时被杀灭的水生生物经分解矿化后[25],释放的营养盐也会对水体造成影响。

本实验中,绿狐尾藻对养殖池塘底泥中的氮磷有很好的去除效果,水质的影响最小。可在养殖池塘闲置期种植绿狐尾藻来改良池塘环境。

#### 基金项目

国家现代农业产业技术体系广西创新团队建设项目(nycytxgxcxtd-08-03);广西科技创新驱动专项(桂科 AA17204095-2)。

#### 参考文献

- [1] 刘国锋,徐跑,吴霆,徐增洪,徐刚春.中国水产养殖环境氮磷污染现状及未来发展思路[J].江苏农业学报,2018,34(1):225-233.
- [2] 李保民,张敏,蔡清武,苏溪阳.不同修复方式下养殖池塘底质营养物质的迁移特征[J].水产科学,2017,36(1):72-77.
- [3] 高帅强,陈志远,李锋民,种云霄,李慧珊,李梅,林月锦,胡洪营.沉水植物矮慈姑对重污染底泥的耐受及其主要污染物的去除[J].环境科学学报,2019,39(7):2182-2189.
- [4] 张春雪,陶玲,张世羊,李晓莉,宋景华,李谷.鱼藕轮作对池塘底泥微生物群落代谢功能的影响[J].淡水渔业,2013,43(5):62-67.
- [5] 李姣,梁旭方,方刘,孙龙芳,程小燕,余德光,谢骏,白俊杰.水葫芦对加州鲈池塘水质及底泥净化作用研究[J].广东农业科学,2018,45(3):128-133.
- [6] 郑尧,赵志祥,邴旭文,陈家长.鱼腥草种植对吉富罗非鱼养殖池塘污染物的影响[J].中国农学通报,2017,33(32):140-144.
- [7] 郑尧,陈家长,胡庚东,赵志祥,孟顺龙,范立民,宋超,邴旭文.“空心菜-水芹”轮作对养殖池塘水质和底质环境的影响[J].上海海洋大学学报,2018,27(1):98-105.
- [8] 刘飞,段登选,李敏,许国晶,杜兴华,张明磊.菹草和螺蛳对养殖池塘水体及底泥氮、磷等净化效果研究[J].海洋湖沼通报,2016(06):107-112.

- [9] 向太吉, 郝霆, 张平录, 白海锋. 3种生态浮床植物去除鲤鱼塘氮、磷效果比较[J]. 水产养殖, 2020, 41(11): 23-27.
- [10] 李志波, 季丽, 李丹丹, 宋超, 陈家长. 罗非鱼精养池塘水质变化规律和沉积物产污系数研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(5): 168-174.
- [11] 孟顺龙, 胡庚东, 瞿建宏, 吴伟, 范立民, 陈家长. 单养模式下罗非鱼亲本培育塘的沉积物产污系数初探[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(9): 1795-1800.
- [12] 陈秋会, 席运官, 刘明庆, 杨育文, 金淑, 田伟, 王磊. 中国淡水水产养殖业排污分区初步研究[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(11): 149-155.
- [13] 陈祯东, 陈日钊, 张紫英, 庞洋洋, 李文红, 徐紫娟. 南宁市罗非鱼池塘表层沉积物铜、锌、氮、磷含量及其生态风险分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(9): 1865-1872.
- [14] 肖建普. 生石灰在池塘养鱼中的作用及应用[J]. 云南农业, 2012(12): 16-17.
- [15] 张芳, 易能, 张振华, 刘新红, 严少华, 高岩, 唐婉莹. 不同类型水生植物对富营养化水体氮转化及环境因素的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5): 1045-1052.
- [16] 李红芳, 刘锋, 肖润林, 何洋, 王迪, 吴金水. 水生植物对生态沟渠底泥磷吸附特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 157-163.
- [17] 左杰, 季军, 汪鹏合, 张惠, 张文娟, 赵德华, 安树青. 沙基和浮床培养方式种植水芹对人工湿地冬季水质净化能力的对比[J]. 湖泊科学, 2017, 29(6): 1342-1349.
- [18] 王广军, 李志斐, 余德光, 郁二蒙, 龚望宝, 王海英. 水产养殖对底泥的影响及处理技术综述[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 212-214.
- [19] 刘锋, 罗沛, 刘新亮, 李宝珍, 李勇, 肖润林, 李裕元, 吴金水. 绿狐尾藻生态湿地处理污染水体的研究评述[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(6): 1020-1029.
- [20] 蔡景波, 丁学锋, 彭红云, 常会庆, 杨肖娥, 濮培民. 环境因子及沉水植物对底泥磷释放的影响研究[J]. 水土保持学报, 2007(2): 151-154.
- [21] 刘晶晶, 李敏, 曲博, 其美. 湿地挺水植物根系土壤中的磷形态变化与分析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(11): 2040-2046.
- [22] 陈亮, 刘锋, 肖润林, 吴金水. 人工湿地氮去除关键功能微生物生态学研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 6265-6274.
- [23] 郭键. 生石灰清塘的关键技术[J]. 黑龙江水产, 2014(2): 9-10.
- [24] 朱永久, 白遗胜, 陈万光. 生石灰对池塘水质影响的初步研究[J]. 淡水渔业, 1998, 28(1): 27-28.
- [25] 李永函, 雷衍之, 沈成钢. 生石灰清塘后水质变化规律的研究[J]. 大连水产学院学报, 1983(1): 21-42.
- [26] Liu, F., Zhang, S., Wang, Y., Li, Y., Xiao, R.L., Li, H.F., He, Y., Zhang, M.M., Wang, D., Li, X. and Wu, J.S. (2016) Nitrogen Removal and Mass Balance in Newly-Formed *Myriophyllum aquaticum* Mesocosm during a Single 28-Day Incubation with Swine Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Management*, **166**, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.020>
- [27] 何岩, 姚丽平, 李文超, 黄民生, 张一璠. 黑臭河道底泥细菌群落结构对人工曝气响应的 DGGE 分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2015(2): 84-90.