

# 浮床空心菜种植比率对养殖池塘的水质和青虾生长的影响

王钰<sup>1\*</sup>, 谢钦铭<sup>1,2#</sup>, 苏世杰<sup>1</sup>, 辜光磊<sup>1</sup>, 杨贵妃<sup>1</sup>, 岳紫薇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>集美大学水产学院, 福建 厦门

<sup>2</sup>农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门

收稿日期: 2023年11月17日; 录用日期: 2024年3月11日; 发布日期: 2024年3月20日

## 摘要

本文探讨了占不同水面比率的浮床空心菜对养殖池塘水质净化和青虾生长的影响。试验是在青虾放养密度均为40 ind./m<sup>2</sup>的8口面积相等的土池进行, 共设3个处理组, 处理1组(TR1)为浮床空心菜种植占池塘面积的6.7%, 处理2组(TR2)为浮床空心菜种植占池塘面积的13.5%, 处理3组(TR3)为浮床空心菜种植占池塘面积的27%, 对照组为无空心菜浮床的2口池塘。经3个半月(105 d)的养殖试验结果表明, 通过种植空心菜浮床的3个处理组的青虾增重率和特定生长率均高于对照组; 种植空心菜浮床的3个处理组青虾成活率、亩产量和体重规格均显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 3个处理组的青虾饲料系数显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 但处理组之间的成活率、亩产量、体重规格和饲料系数差异不显著( $P > 0.05$ )。水质检测分析数据结果表明, 在相同的环境条件和管理方式下, 种植空心菜的3个处理组青虾养殖的池塘中硝氮、亚硝氮、氨氮和活性磷酸盐的平均含量均明显低于对照组( $P < 0.05$ )。与对照组相比, 浮床空心菜处理组对氨氮、硝氮和亚硝氮的平均清除率分别为30%以上、20%以上和19%以上。浮床空心菜处理组对活性磷酸盐( $PO_4^{3-}-P$ )的吸收清除率达40%以上, 因此, 浮床空心菜主要吸收磷酸盐和氨氮( $NH_4^+-N$ ), 而对硝氮( $NO_3^- -N$ )和亚硝氮( $NO_2^- -N$ )的吸收较少。综合空心菜浮床对水质净化和青虾生长性能的改善指标, 以TR2组为最优, 在青虾养殖池塘中适度比例(13.5%)的种植空心菜生态浮床可以改善水质条件和提高青虾的生长性能和成活率。

## 关键词

生态浮床, 空心菜, 青虾, 水质, 营养盐吸收

\*第一作者。

#通讯作者。

# Effect of Floating Bed Planting Ratio of Water Spinach *Ipomoea aquatica* on Aquaculture Pond Water Quality and Growth of Oriental River Prawn *Macrobrachium nipponense*

Yu Wang<sup>1\*</sup>, Qinming Xie<sup>1,2#</sup>, Shijie Su<sup>1</sup>, Guanglei Gu<sup>1</sup>, Guifei Yang<sup>1</sup>, Ziwei Yue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fisheries College of Jimei University, Xiamen Fujian

<sup>2</sup>Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen Fujian

Received: Nov. 17<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. 20<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The effects of floating bed planting ratio of water spinach *Ipomoea aquatica* Forssk on water purification and growth performance of oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* were studied in this paper. The tests were conducted in 8 earth ponds of same area which the density of oriental river prawn was 40 ind./m<sup>2</sup>, three treatment groups were installed, the floating planting ratio of water spinach was 6.7% in treatment group 1 (TR1), the floating planting ratio of water spinach was 13.5% in treatment group 2 (TR2), and the floating planting ratio of water spinach was 27% in treatment group 3 (TR3), there was 2 earth ponds of no floating bed of water spinach as check group (CK). The results of three and half months (105 days) aquaculture test indicated that, the weight gain rate (WGR) and special growth rate (SGR) of oriental river prawn were increased by planting floating bed of water spinach. The survival rate (SR), yield and weight specifications of oriental river prawn in three treatment groups were significantly higher than in check group ( $P < 0.05$ ); Feed Conversion Ratio (FCR) of oriental river prawn in three treatment groups were significantly lower than in check group ( $P < 0.05$ ); but there was no significantly difference between three treatment groups for SR, Yield, weight specification and FCR of oriental river prawn ( $P > 0.05$ ). Under the same environmental conditions and management methods, the results of the water quality analysis data showed that, the concentrations of ammonium, nitrate, nitrite and phosphate in all three treatment groups were significantly lower than in check group ( $P < 0.05$ ). Compared to check group, the mean clearance rate (CR) of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and nitrite nitrogen in three treatment groups were respectively above 30%, 20% and 19%, the mean clearance rate (CR) of active phosphate in three treatment groups was above 40%, so floating bed of water spinach can strongly absorbed and removed to phosphate and ammonium nitrogen, but for nitrate nitrogen and nitrite nitrogen bed absorbed weakly by floating bed of water spinach. Integrated evaluated of water purification and oriental river prawn growth performance index, the TR2 were the best. So, approximately 13.5% of floating planting ratio of water spinach can improve water quality, and increase yield and SR of oriental river prawn, enhanced growth performance of *Macrobrachium nipponense*.

## Keywords

Eco-Floating Bed, *Ipomoea aquatica* Forssk, *Macrobrachium nipponense*, Water Quality, Nutrient Uptake

Copyright © 2024 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

青虾(*Macrobrachium nipponense* Forssk)是一种营养价值较高、肉嫩味美,深受广大群众喜爱的水产品,青虾已成为我国淡水养殖的主要虾类品种之一[1] [2]。随着人们对高品质青虾的需求量不断增加,高密度集约化的青虾养殖池塘水域常呈现富营养状态[3] [4],需要采取生态修复方式进行水质改善。目前,国内外学者普遍认为种植水生植物是吸收、利用营养物质、延缓养殖水域富营养化的有效措施之一[5] [6] [7]。自20世纪70年代以来,在水体污水治理中应用生态浮床技术在国内外得到广泛关注和开展了大量的研究[8]-[15],由于水生蔬菜植物制作的生态浮床具有吸收利用水体营养盐和增加溶解氧(DO)、生长快、易管理等特性,适合作为环境调控者在渔业养殖中进行生态调控及水产养殖的清洁生产,既可有效去除水体中的氮、磷等无机营养盐元素净化水质,还可收获农产品、美化水域景观[16] [17] [18]。空心菜(*Ipomoea aquatica* Forssk)是蕹菜的俗称,是一种原产东亚地区的水生蔬菜[19],因其适宜生长温度为20℃~35℃,不耐寒,遇霜冻茎、叶枯死,适合于高温,现在我国各地已广泛栽培。空心菜主要是作为食用蔬菜,也是一种比较好的饲料,还可药用。空心菜苗种也容易解决;而且在水体相对稳定的养虾池或养鱼池内也能快速生长,且易操作,成本低,对于营养盐的吸收利用效果也十分明显,因此,空心菜的生态浮床应用于水产养殖成功的报道较多[20] [21],但对于在池塘养殖中既可有较高水质净化效果、又能对养殖动物的生长性能有较好促进作用的种植空心菜浮床占养殖水面的最适比例的研究方面,目前尚未见相关报道。

本试验利用自制毛竹生态浮床,旨在探讨青虾养殖池塘中吊养不同占水面比例的空心菜浮床在养殖水环境中的净化作用效果,以及不同占水面比例的空心菜浮床对青虾的生长、成活率和产量等方面影响,为在青虾养殖池塘套种水生蔬菜的生产模式提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料

1) **试验养殖动物:** 青虾苗种为杂交青虾“太湖1号”,放养时个体平均体长( $1.526 \pm 0.313$ ) cm,平均体重( $0.062 \pm 0.013$ ) g。

2) **试验种植物水生蔬菜:** 空心菜种苗来源于本地大棚。

3) **试验用生态浮床:** 用直径约10 cm竹子制成宽1.5 m×长3.0 m的浮床基架,即1个浮床4.50平方米,相邻的两个浮床之间的距离为1.0~1.5 m。

### 2.2. 试验设计

本实验于2019年5~9月在江南渔业有限公司养殖基地设置了8个养殖池塘(池塘平均面积1.1亩,平均水深约1.20 m)。池塘底质类型为泥砂型。

实验共设3个处理组,即处理1组(TR1),处理2组(TR2),处理组(TR3),另设对照组(CK),每个试验组设2个平行池塘。各试验组的青虾放养密度约为3.2万尾/亩(即40 ind./m<sup>2</sup>),放养时间为5月26日,至9月20日结束,即青虾养殖试验持续115 d。

处理 1 组(TR1)是每个池塘放 10 个空心菜生态浮床, 即约空心菜的种植面积分别为 45 m<sup>2</sup> (即生态浮床的面积约占池塘养殖面积的 6.7%); 处理 2 组(TR2)则是在 20 个生态浮床, 即约空心菜的种植面积分别为 90 m<sup>2</sup> (即生态浮床的面积约占池塘养殖面积的 13.5%); 处理 3 组(TR3)则是在 40 个生态浮床, 即约空心菜的种植面积分别为 180 m<sup>2</sup> (即生态浮床的面积约占池塘养殖面积的 27.0%)。空心菜浮床吊养时间为 5 月 30 日, 至 9 月 18 日结束, 水生蔬菜种植试验持续 108 d。

试验池塘在常温(水温 21.0℃~31.0℃)和自然光照条件下进行。

### 2.3. 种养日常管理

1) 试验水质管理: 试验期间不换水, 保持水深 100 ± 20 cm。注意水质变化, 适时加注新水, 排放老水, 保持池水的透明度。

2) 青虾投喂: 一般日投喂 2 次, 即上午、下午各一次, 时间为上午的 6:30~8:30, 下午为 15:30~18:00, 摄食旺盛时, 傍晚可再投喂一次。每天早晚巡池, 细心观察青虾摄食和活动情况。

3) 空心菜管理: 观察空心菜长势, 发现疯长问题及时收割茎叶处理, 并清除食台上的饲料残渣。

### 2.4. 测定项目及方法

本试验主要监测水体中的氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、硝氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、亚硝氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、磷酸盐, 水质测定方法: 水杨酸分光光度法(GB7481-87)测定氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), 硝酸盐氮的测定法为紫外分光光度法(HJ/T 346-2007), 重氮偶合比色法测定亚硝态氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N), 磷酸盐测定通用方法(GB/T 9727-2007)。

从 6 月 20 日开始, 每隔 10~20 d 在水深 15~20 cm 处采水样进行水质测定, 每 10~20 d 采样 1 次。

### 2.5. 测定与计算方法

2019 年 09 月 20 日收获青虾, 各组抽取 60 尾测体重规格, 并计算其成活率产量、饲料系数等指标。一些指标的计算方法为:

1) 对营养盐的清除率(Clearing Rate, CR)按下式[3]计算:

$$CR = (V_0 - V_i) / V_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中, CR 为营养盐清除率, V<sub>0</sub> 为对照组的营养盐质量浓度(mg/L), V<sub>i</sub> 为试验组的营养盐质量浓度(mg/L)。

2) 青虾的成活率(Survival Rate, SR)按下式计算:

$$SR = \text{终末个体数} / \text{初始个体数} \times 100\% \quad (2)$$

3) 青虾的增重率(Weight Gain Rate, WGR)、体质量特定生长率(Special Growth Rate, SGR)、饲料系数(Feed Coefficient, FC)按下式计算:

$$WGR = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100\% \quad (3)$$

$$SGR = [(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100\% \quad (4)$$

$$FC = \text{投入的饲料量(g)} / \text{虾增加的体质量(g)} \quad (5)$$

式中, W<sub>0</sub> 为初始平均体质量(g), W<sub>t</sub> 为终末平均体质量(g), t 为饲养天数(d)。

### 2.6. 数据统计与分析

根据测定数据, 采用 Excel 2003 计算平均值 ± 标准差(mean ± SD), 采用 SPSS 软件(21.0 版本)对各实验结果进行单因素方差(One-way ANOVA)分析, 用 Duncan 法多重比较, 统计显著水平为 P < 0.05。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 水体中氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )和亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )含量的变化情况

试验池塘的水体营养氮盐的测定结果整理成表 1~3, 其中氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )的变化见表 1, 硝酸氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )的变化见表 2, 亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )的变化见表 3。

##### 1) 水体中氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )和亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )含量的变化情况:

从表 1 可以看出, 在整个养殖期间对照组的氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )含量在 6 月中旬开始升高, 逐渐升高, 到 9 月 8 日的氨氮值为 0.452 mg/L。而种植吊养空心菜生态浮床的 3 个处理组养殖池塘水体中氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )含量在整个养殖期间均低于对照组, 7 月 28 日后 3 个处理组比 CK 组的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量有显著降低( $P < 0.05$ ), 但在同一时期的 3 个处理组之间的氨氮浓度差异不显著( $P > 0.05$ )。

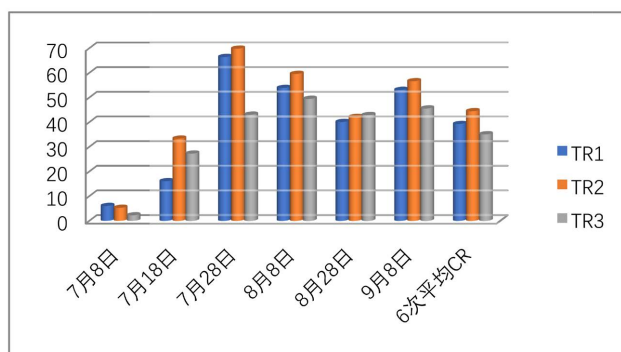
**Table 1.** The variations of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) concentrations in aquaculture pond of oriental river prawn (Unit: mg/L)

**表 1.** 青虾养殖池塘水体中氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )的变化(氨氮单位: mg/L)

日期	6.20	7.08	7.18	7.28	8.08	8.28	9.08
CK	0.092 ± 0.015a	0.132 ± 0.022a	0.168 ± 0.025a	0.325 ± 0.045a	0.386 ± 0.078a	0.394 ± 0.084a	0.452 ± 0.088a
TR1	0.072 ± 0.017a	0.124 ± 0.014a	0.141 ± 0.018a	0.109 ± 0.032b	0.178 ± 0.059b	0.236 ± 0.056b	0.212 ± 0.073b
TR2	0.068 ± 0.016a	0.125 ± 0.018a	0.126 ± 0.019a	0.098 ± 0.026b	0.156 ± 0.062b	0.228 ± 0.062b	0.196 ± 0.065b
TR3	0.076 ± 0.019a	0.129 ± 0.021a	0.132 ± 0.024a	0.185 ± 0.041b	0.195 ± 0.075b	0.225 ± 0.072b	0.246 ± 0.068b

注: 同列中标有相同字母的数据表示相互差异不显著( $P > 0.05$ )。

以同期对照组营养盐氨氮为参照, 按公式(1)计算出 3 个处理组从 7 月 8 日以后的 6 次营养盐氨氮的清除率, 见图 1。



**Figure 1.** The CR of ammonium nitrogen in different treatment groups (%)

**图 1.** 不同处理组对氨氮的清除率(CR, %)

从图 1 可见, 与对照组的氨氮数据相比, 三个处理组的氨氮 6 次平均清除率为 35% 以上, 其中以中等种植比例(空心菜占水面 13.5%)的 TR2 组的清除率最高(6 次检测中对氨氮的平均清除率达 44% 以上), 其次是低种植比例(空心菜占水面 6.7%)的 TR1 组(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率达 39% 以上), 高种植比例(空心菜占水面 27.0%)的 TR3 组(6 次检测中对氨氮的平均清除率也达 35% 以上)。即随着空心菜种植比例不是越高越好, 而是中等种植比例(13.5%) TR2 组的氨氮吸收清除率最优。

## 2) 水体中硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)含量的变化情况:

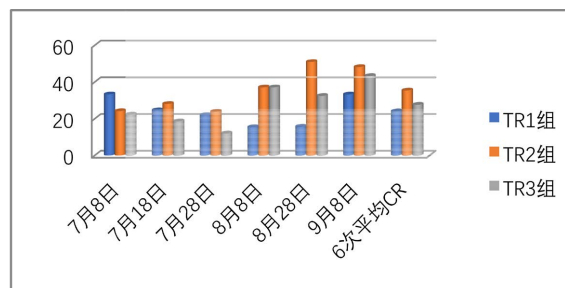
**Table 2.** The variations of nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) concentrations in aquaculture pond of oriental river prawn (Unit: ug/L)  
**表 2.** 水体中硝酸氮(NO<sub>3</sub>-N)的变化(硝酸盐单位: ug/L)

日期	6.20	7.08	7.18	7.28	8.08	8.28	9.08
CK 组	12.15 ± 1.84a	12.18 ± 2.32a	11.16 ± 3.12a	9.35 ± 2.36a	10.86 ± 2.28a	13.36 ± 1.24a	12.32 ± 2.33a
TR1 组	10.72 ± 2.02a	8.12 ± 2.66a	8.41 ± 2.52a	7.29 ± 2.48a	9.18 ± 2.04a	11.26 ± 2.18ab	8.22 ± 1.98ab
TR2 组	11.32 ± 2.15a	9.23 ± 2.96a	8.02 ± 2.16a	7.12 ± 2.86a	6.83 ± 1.86a	6.55 ± 1.76b	6.38 ± 1.85b
TR3 组	11.80 ± 2.26a	9.46 ± 3.24a	9.08 ± 3.15a	8.22 ± 3.02a	6.83 ± 1.86a	9.02 ± 1.32b	6.98 ± 2.36b

注: 同列中标有相同字母的数据表示相互差异不显著(P > 0.05)。

从表 2 可以看出, 试验期间的对照组硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)的含量均高于各处理组, 尤其是从 8 月 28 日后种植有空心菜生态浮床 TR2 组和 TR3 组的养殖池塘亚硝酸盐含量显著低于 CK 组(P < 0.05), 但 TR1 组与 CK 组没有显著差异(P > 0.05), 3 个处理组(TR1、TR2 组和 TR3 组)之间硝酸盐含量也没有差异(P > 0.05)。

以对照组同期营养盐硝酸氮为参照, 按上式公式(1)计算出三个处理组 7 月 8 日以后的 6 次营养盐硝酸氮的清除率, 见图 2。



**Figure 2.** The CR of nitrate nitrogen in different treatment groups (%)

**图 2.** 不同处理组对硝酸盐的清除率(CR, %)

从图 2 可见, 与对照组的硝酸盐数据相比, 三个处理组的硝酸盐清除率(CR)最低为 24%以上, 其中中等种植比例(空心菜占水面 13.5%)的 TR2 组的清除率最高(6 次检测中对硝酸盐的平均清除率达 35%以上), 其次是高种植比例(空心菜占水面 27.0%)的处理 3 组(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率达 27%以上), 种植低比例(空心菜占水面 6.7%)的处理 1 组(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率也达 24%以上)。即随着空心菜种植比例不是越大越好, 而是中等种植比例(13.5%) TR2 组的硝酸盐吸收清除率最优。

## 3) 水体中亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)含量的变化情况:

**Table 3.** The variations of nitrite nitrogen (NO<sub>2</sub>-N) concentrations in aquaculture pond of oriental river prawn (Unit: ug/L)  
**表 3.** 青虾池塘养殖水体中亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)的变化(亚硝酸盐单位: ug/L)

日期	6.20	7.08	7.18	7.28	8.08	8.28	9.08
CK 组	4.56 ± 0.75a	7.58 ± 1.63a	6.16 ± 0.81a	5.35 ± 0.54a	7.86 ± 0.86a	4.36 ± 0.32a	5.32 ± 0.12a
TR1 组	4.12 ± 0.84a	5.14 ± 0.88ab	5.46 ± 0.74ab	5.09 ± 0.62ab	5.18 ± 0.42b	3.53 ± 0.13b	4.22 ± 0.32b



续表

TR2 组	4.15 ± 0.82a	4.18 ± 0.66b	4.23 ± 0.85b	4.02 ± 0.64b	4.05 ± 0.75b	3.13 ± 0.32b	3.32 ± 0.14b
TR3 组	4.24 ± 0.96a	5.26 ± 0.86ab	5.34 ± 0.76ab	5.14 ± 0.48ab	4.05 ± 0.65b	3.64 ± 0.42b	5.02 ± 0.06b

注：同列中标有相同字母的数据表示相互差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 3 可以看出, 对照组亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )的含量变化在养殖期间有波动, 其中以的亚硝酸盐含量最高, 对照组硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )的含量均高于各处理组, 8 月初后种植空心菜浮床的 3 个处理组亚硝酸盐含量均显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 但种植空心菜浮床的 3 处理组之间没有显著差异( $P > 0.05$ )。

以对照组同期营养盐亚硝酸氮为参照, 按上式公式(1)计算出三个处理组 7 月 8 日以后的 6 次营养盐亚硝酸氮的清除率, 见图 3。

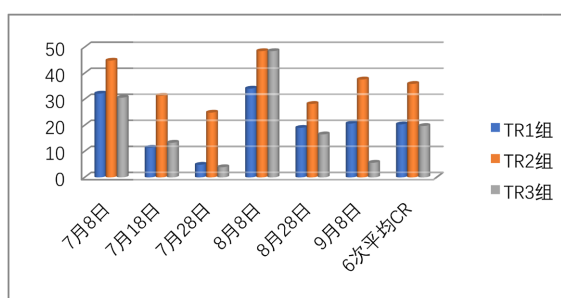


Figure 3. The CR of nitrite nitrogen in different treatment groups (%)

图 3. 不同处理组对亚硝酸盐的清除率(CR, %)

从图 3 可见, 与对照组的亚硝酸盐数据相比, 种植空心菜浮床的三个处理组的亚硝酸盐平均清除率为 19%以上, 其中以中等种植比例(空心菜占水面 13.5%)的 TR2 组的清除率最高(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率达 35%以上), 其次是低种植比例(空心菜占水面 6.7%)的 TR1 组(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率达 20%以上), 种植高比例(空心菜占水面 27.0%)的 TR3 组(6 次检测中对亚硝酸盐的平均清除率也达 19%以上)。即随着空心菜种植比例不是越大越好, 而是中等种植比例(13.5%)的 TR2 组亚硝酸盐吸收清除率最优。

### 3.2. 水体中磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )的变化情况:

试验池塘的水体在养殖期间磷酸盐变化的测定结果见表 4。

Table 4. The variations of phosphate ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) concentrations in aquaculture pond of oriental river prawn (Unit:  $\mu\text{g/L}$ )

表 4. 青虾池塘养殖水体中磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )的变化(磷酸盐单位:  $\mu\text{g/L}$ )

日期	6.20	7.08	7.18	7.28	8.08	8.28	9.08
CK 组	19.65 ± 2.38a	19.16 ± 2.25a	23.17 ± 4.26a	35.33 ± 5.63a	33.39 ± 7.63a	26.96 ± 6.06a	31.32 ± 8.32a
TR1 组	19.22 ± 1.56a	15.13 ± 1.86ab	12.14 ± 3.32b	23.09 ± 5.72b	16.18 ± 4.88b	14.24 ± 4.45b	15.23 ± 6.31b
TR2 组	18.56 ± 2.12a	14.32 ± 1.23b	12.54 ± 3.41b	19.32 ± 5.32b	17.32 ± 4.63b	13.82 ± 3.23b	13.63 ± 6.23b
TR3 组	19.12 ± 1.22a	13.02 ± 1.76b	11.48 ± 4.02b	16.48 ± 6.22b	15.68 ± 5.36b	13.88 ± 4.62b	14.08 ± 7.42b

注：同列中标有相同字母的数据表示相互差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 4 可知, 青虾养殖池塘在 7 月以后的磷酸盐检测值, 对照组水体中磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )的含量显著高于各处理组( $P < 0.05$ ), 但同一时期中种植空心菜生态浮床的 3 个处理组间的磷酸盐浓度差异不显著( $P > 0.05$ )。

以对照组同期磷酸盐为参照, 按上式公式(1)计算出三个处理组 7 月后的 6 次磷酸盐的清除率, 见图 4。

从图 4 可见, 与对照组的磷酸盐数据相比, 三个处理组的磷酸盐平均清除率为 40%以上, 其中以高种植比例的 TR3 组的清除率最高(6 次检测中对磷酸盐的平均清除率达 48%以上), 其次是中种植比例的 TR2 组(6 次检测中对磷酸盐的平均清除率达 44%以上), 低种植比例的 TR1 组(6 次检测中对磷酸盐的平均清除率也达 42%以上)。即随着空心菜种植比例增大, 磷酸盐吸收清除率(CR)增加。

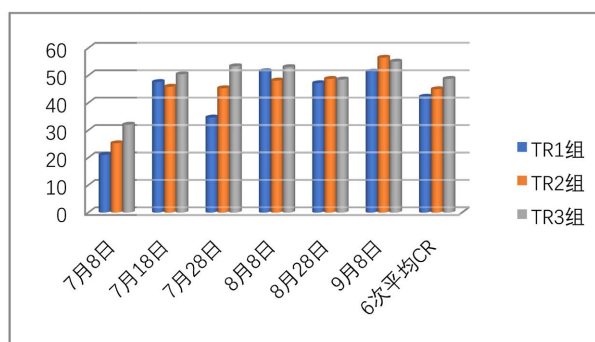


Figure 4. The CR of phosphate in different treatment groups (%)

图 4. 不同处理组对磷酸盐的清除率(CR, %)

### 3.3. 青虾的生长及产量测量结果

根据试验各组收获青虾的测量数据得到各试验组青虾的生长性能及其产量的, 青虾的成活率、增重率、特定生长率和饲料系数分别通过公式(2)、(3)、(4)和(5)计算的结果见表 5。

Table 5. Shrimp growth performance at harvest in test ponds

表 5. 收获时青虾的生长情况

组别 Groups	成活率(SR) Survival rate/%	亩产量 Yield (kg/667m <sup>2</sup> )	体重 Body weight/g	增重率 (WGR%)	特定生长率 (SGR%)	饲料系数(FC)
CK 组	59.37 ± 1.96b	45.66 ± 3.18b	8.75 ± 0.31b	14012.9	4.714	2.18 ± 0.19a
TR1 组	69.67 ± 8.58a	52.22 ± 2.14a	9.66 ± 0.26a	15480.6	4.808	1.78 ± 0.22b
TR2 组	82.04 ± 6.48a	63.14 ± 6.64a	10.52 ± 0.54a	16867.7	4.889	1.46 ± 0.21b
TR3 组	74.17 ± 2.84a	59.24 ± 7.36a	10.16 ± 0.32a	16287.1	4.856	1.40 ± 0.29b

注: 同列中标有相同字母的数据表示相互差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 5 可以看出, 在种植空心菜浮床的 3 个处理组的青虾成活率(SR)均显著大于对照组( $P < 0.05$ ), 但 3 个处理组之间青虾成活率差异不显著( $P > 0.05$ ), 而以 TR2 组的成活率最高(82.04%), TR1 组、TR2 组和 TR3 组的青虾成活率(SR)分别比 CK 组提高了 17.35%、38.18%和 24.93%。

从表 5 还可以看出, 在种植空心菜浮床的 3 个处理组的青虾亩产量均显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 但 3 个处理组之间的青虾的产量差异不显著( $P > 0.05$ ), 而以 TR2 组青虾产量最高(63.14 kg/667m<sup>2</sup>), TR1 组、



TR2 组和 TR3 组的青虾亩产量分别比 CK 组提高了 14.37%、38.28%和 29.74%。

从表 5 可以看出, 在种植空心菜浮床的处理组的青虾平均体重均显著大于对照组( $P < 0.05$ ), 但 3 个处理组之间青虾体重规格差异不显著( $P > 0.05$ ), 而以 TR2 组的青虾规格(10.52 g/尾)最大, TR1 组、TR2 组和 TR3 组的青虾体重规格分别比 CK 组提高了 10.40%、20.23%和 16.11%。

从表 5 还可以看出, 3 个处理组的青虾的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)均高于对照组, 以 TR2 组的增重率和特定生长率最高。

从表 5 还可以看出, 3 个处理组的饲料系数(FC)显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 但处理组之间的差异不显著( $P > 0.05$ ), 而以 TR3 组的饲料系数(1.40)最低, TR1 组、TR2 组和 TR3 组的青虾饲料系数分别比 CK 组降低了 18.35%、33.03%和 35.78%。

## 4. 讨论

### 4.1. 空心菜在对虾养殖生态系的净化作用

本试验结果表明, 就养殖水体中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量来说, 空心菜浮床处理组能显著降低氨氮, 并且与对照组相比差异显著, 而  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NO}_2\text{-N}$  在整个养殖过程中差异不显著。因此针对氮盐方面, 空心菜主要吸收氨氮较多, 而对  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NO}_2\text{-N}$  的吸收较少。空心菜对  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的吸收也较为显著, 与对照组相对比, 空心菜浮床处理组能吸收清除磷酸盐 40%以上。

空心菜浮床的处理组的种养系统中的养殖对象青虾的生长、成活率和产量也有提高。因此空心菜吸收利用水中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  等营养元素, 降低 N, P 的含量, 使水质状况得以改善而起到了虾池养殖环境的净化生产作用[19], 在封闭水产养殖系统中的应用, 也具有净水、增效和收获饵料的综合效果。未来的生态养殖, 建立动植物复合养殖系统, 优化已种养殖结构, 实现立体综合式生态农业生产。

### 4.2. 虾蟹类和空心菜的适宜比例

本试验结果表明, TR2 组的养殖效果最佳, 即在对虾放养密度为 40 ind./ $\text{m}^2$  的情况下, 空心菜的种植面积约为 13.5%时, 空心菜浮床对氨氮、硝氮、亚硝氮和磷酸盐的净化率(CR)最高, 以及空心菜浮床对青虾生长性能(增重率、特定生长率、成活率、和亩产量)最高, 且由于空心菜根系可为青虾提供部分营养物, 或者空心菜根系能促进微生物群落作为青虾生长所需, 故套种空心菜浮床的处理组的青虾饲料系数都得到明显降低, 尤其是 TR2 和 TR3 组的饲料系数比 CK 组降低了 30%以上。

利用空心菜的根系吸收池水中的富营养物质[20], 养殖池塘中不施肥就能促进空心菜旺盛生长, 可适时采收空心菜, 以增加种养系统的经济效益。在养殖青虾池塘中利用浮床种菜的养殖技术, 充分利用了空心菜与青虾能够共生的特性。青虾的排泄物和剩余饲料为空心菜提供了肥料; 空心菜吸收水体中的氮、磷, 净化水体, 实现青虾高产, 保护了水体环境; 合理利用空心菜和青虾两者相利共生, 以适宜的种养比例就是要形成一个结构优化、功能高效的养殖生态系统[21], 使所投入的物质得到充分利用, 以提高空间和饵料的利用率, 避免物质的浪费和对环境的污染。水体养殖对象和种植蔬菜在不危害环境, 保持生态系统相对稳定、保证经济效益最大。

在虾蟹类养殖池塘中种植空心菜外, 还可根据气候环境特点选择其他种类的水生蔬菜如龙须菜 (*Gracilaria parvispora*) [22]、浮萍[23]、海马齿[24]、马齿苋和盐角草[25]等品种, 这也需要进一步在不同环境条件下, 探索不同水生蔬菜品种浮床种植面积与养殖面积的比例, 也可与微生态制剂一起使用调节养殖水质[26], 从而提高水生蔬菜浮床和虾蟹类在池塘养殖的产出效益。

## 5. 结论

- 1) 与对照组相比, 种植空心菜浮床的处理组的三氮(氨氮、硝氮和亚硝氮)和磷酸盐含量均有显著降

低( $P < 0.05$ ), 但处理组之间的差异不显著( $P > 0.05$ ), 以种植水面 15%的空心菜处理 2 组对青虾养殖池有良好的环境净化作用。

2) 种植水面 15%的空心菜处理 2 组池塘青虾在体重规格, 成活率、特定生长率和产量方面均略高于其他处理组, 但处理组间的差异不显著( $P > 0.05$ ), 但在种植空心菜浮床的处理组均与对照组有显著差异( $P < 0.05$ )。

## 基金项目

本文受到以下项目资助: 福建省星火计划《新型对虾生态饲料的研发及其推广应用》(编号: 2019S0026); 福建省星火计划《纳米微生物制剂调节青虾水体技术应用示范与推广》(编号: 2019S0039)。

## 参考文献

- [1] 张磊磊, 宋学宏, 孟祥雨, 等. 杂交青虾“太湖 1 号”苗种在池塘养殖中的适宜放养密度[J]. 淡水渔业, 2013, 43(1): 69-73.
- [2] 冯亚明, 李丽, 史晓芹, 等. 鳊池混养青虾试验[J]. 水产养殖, 2021, 42(12): 50-52.
- [3] 谢钦铭, 苏世杰, 辜光磊, 杨贵妃, 岳紫薇. 复合硅藻基质微生态制剂在青虾养殖的应用[J]. 水产研究, 2022, 9(3): 105-113.
- [4] 邱梦, 谢钦铭, 王钰. 新型底质改良剂对土池水质调控和青虾养殖效果的试验[J]. 水产研究, 2023, 10(2): 83-90.
- [5] Srivastava, J., Gupta, A. and Chandra, H. (2008) Managing Water Quality with Aquatic Macrophytes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, 255-266. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9135-x>
- [6] Palm, H.W., Knaus, U., Appelbaum, S., et al. (2018) Towards Commercial Aquaponics: A Review of Systems, Designs, Scales and Nomenclature. *Aquaculture International*, 26, 813-842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- [7] 董贯仓, 孙鲁峰, 杜兴华, 等. 3 种植物对池塘养殖水体的净化效果研究[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2020, 35(2): 236-241.
- [8] Reeta, D. and Wilkie, A.C. (2004) Nutrient Removal by Floating Aquatic Macrophytes Cultured in Anaerobically Digested Flushed Dairy Manure Wastewater. *Ecological Engineering*, 14, 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.01.004>
- [9] 李大成. 立体式生态浮床对水源地水质改善效果的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2006.
- [10] 张志勇, 冯明雷, 杨林章. 浮床植物净化生活污水中 N、P 的效果及  $N_2O$  的排放[J]. 生态学报, 2007, 27(10): 4333-4341.
- [11] 李先宁, 宋海亮, 朱光灿, 等. 组合型生态浮床的动态水质净化特性[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2448-2452.
- [12] 李伟, 李先宁, 曹大伟, 等. 组合生态浮床技术对富营养化水源水质的改善效果[J]. 中国给水排水, 2008, 24(3): 34-38.
- [13] 刘雪梅, 杜卫刚, 许晨红, 等. 组合式三效生态浮床的构建及应用研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(34): 21256-21258, 21261.
- [14] 刘海洪, 汪祥静, 吴磊, 李先宁. 生物组合对浮床污染物净化效能的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2011, 41(4): 784-787.
- [15] 张亚娟, 刘存歧, 王军霞, 等. 植物-生物绳组合生态浮床对富营养化水体的净化效果[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(3): 31-36, 122-128.
- [16] 贾秋红, 袁永锋, 白海锋, 等. 生态浮床对养鱼池塘水质净化效果的影响[J]. 科学养鱼, 2015(8): 84-85.
- [17] 贾立平, 高志, 白海锋, 等. 生态浮床对淡水池塘浮游动物多样性的影响[J]. 黑龙江水产, 2019(5): 31-34.
- [18] 向太吉, 郝霆, 张平录, 等. 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.
- [19] 汪松美, 周晓红, 储金宇, 拾亚男. 空心菜浮床 + 仿生植物系统对污染物去除效果[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(3): 78-82.
- [20] 牛天新, 郑洁敏, 查燕. 空心菜生态浮岛对外塘甲鱼养殖水体的修复作用[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 2096-2099.
- [21] 范立民, 王庆, 陈曦, 等. 浮床空心菜对罗非鱼养殖池塘水体微生态环境影响方式分析[J]. 中国农学通报, 2023,

- 39(2): 142-151.
- [22] Nelson, S.G., Glenn, E.P., Conn, J., *et al.* (2001) Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in Shrimp-Farm Effluent Ditches and Floating Cages in Hawaii: A Two-Phase Polyculture System. *Aquaculture*, **193**, 239-248. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00491-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00491-9)
- [23] Sengupta, S., Medda, C. and Dewanji, A. (2010) The Impact of Duckweed Growth on Water Quality in Sub-Tropical Ponds. *Environmentalist*, **30**, 353-360. <https://doi.org/10.1007/s10669-010-9293-6>
- [24] 王进进. 海马齿生态浮床对高位池养殖效果的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 中山大学, 2017.
- [25] Mohammadzadeh, P. and Hajiboland, R. (2022) Phytoremediation of Nitrate Contamination Using Two Halophytic Species, *Portulaca oleracea* and *Salicornia europaea*. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 46127-46144. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19139-5>
- [26] 曹经晔, 白遗胜, 刘寒文, 叶雄平. 池塘养殖水体改良与调控技术的新进展[J]. 淡水渔业, 2007, 37(5): 76-78.