

# 养水机工作时长对参池氮磷营养盐及初级生产力的影响

李乐洲<sup>1</sup>, 孙广伟<sup>2</sup>, 张东升<sup>1</sup>, 王玉龙<sup>1</sup>, 杨耿介<sup>1</sup>, 芦宇婷<sup>3</sup>, 卢宏博<sup>1</sup>, 周 玮<sup>1</sup>

(1. 大连海洋大学 水产与生命学院, 辽宁 大连 116023; 2. 全国水产技术推广总站 中国水产学会, 北京 100125; 3. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 采集以 6 h、12 h、18 h 养水机工作时长下的刺参(*Stichopus japonicus*)养殖池塘水样, 测定无机氮、磷酸盐浓度和初级生产力毛、净产量, 并对无机氮组成占比、氧化参数和 *P/R* 系数(初级生产力毛产量与自养呼吸量之比)进行了测算, 以探究养水机工作时长对池塘氮、磷营养盐和初级生产力的影响。结果显示, 延长养水机工作时长一方面能够促进高温期后营养盐的底-水迁移进而有效改善水、底质, 另一方面还促进无机氮中的有毒氨氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )硝化为硝酸盐氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ ); 同时, 延长养水机工作时长能够一定程度上增加池塘初级生产力, 但受夜晚光照和温度限制, 养水机工作时长由 12 h 增至 18 h 反而会消耗生产力。池塘养殖生产过程中配装养水机, 最佳工作时长为 12 h, 在节省成本的同时利于生产。

**关键词:** 养水机; 不同工时; 营养盐; 初级生产力

中图分类号: S967.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2022)02-0105-08

DOI: 10.11759/hyxx20210320001

海参养殖池塘中氮(N)、磷(P)营养盐是池塘初级生产力和食物链的基础, 但同时也是引起池塘富营养化的根源<sup>[1-3]</sup>。养殖户为调水增产常常盲目投药, 虽可暂时缓解问题, 但药物残留在池中又为生产和食品安全埋下了隐患。近年来随着增氧机、耕水机在实际生产中的普及, 养殖户可不依靠传统投药而通过辅助养殖设备对 N、P 营养盐进行调控, 保障有足够的生产力供刺参摄食的同时, 防治池塘水质恶化, 保障食品安全<sup>[4-6]</sup>。

养水机(ZL200610077526.5)是针对池塘水分层及缺氧问题研发的一种新型池塘养殖设备。前期研究显示, 养水机每日工作 12 h 较未配装养水机的池塘全年平均降低氨氮含量 28.6%, 提高活性无机磷含量 13.3%, 提高初级生产力 24.6%, 证明养水机对池塘 N、P 营养盐以及初级生产力有明显的调控作用<sup>[7]</sup>。同时本团队实时监测池塘常规水质指标时发现, 养水机工作 12 h 的过程中温度、盐度、pH、溶解氧会随着工作时长增加而不断变化, 且其他相关池塘养殖设备工作时长与水质指标也表现出一定相关性。李立森等<sup>[8]</sup>发现叶轮增氧机工作 180 min 后才可使池塘 1.5 m 深处溶氧与表层一致; 李彬等<sup>[9]</sup>研究表明, 微孔曝气增氧机工作 2 h 对参池增氧缓慢, 工作 8 h 后可显著增氧, 连续增氧 7 d 可使亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、

化学需氧量(COD)分别降低 0.011 mg/L、4.31 mg/L; Boyd<sup>[10]</sup>证实池塘底层溶氧含量会随着曝气系统工作时间的增加而提高直至与表层溶氧一致; Lawson 等<sup>[11]</sup>报道池塘水体循环能力与增氧机工作时间正相关。综上, 故推论养水机以每日不同的工时运行, 长期以往会对池中营养盐及生产力产生不同影响。

本团队依据养殖生产实际需求和养水机每日工作时间占比将养水机工时设为每日 6、12、18 h 三组, 各组均按设定工时运行 1 a, 对周年内每组池塘中 N、P 营养盐浓度, 无机氮组成以及初级生产力等相关指标按季节进行观测, 比较分析三组实验组结果差异, 在探究养水机在不同工时下对上述指标影响的同时, 为后期养水机在生产中的使用提供理论指导。

收稿日期: 2021-03-20; 修回日期: 2021-05-23

基金项目: 辽宁省科学计划项目(2018104009); 辽宁省“兴辽英才”项目(XLYC1808029); 大连市 2020 年度科技特派团项目; 大连市重点领域创新团队支持计划项目(2019RT11); 大连市第二批领军人才项目 [Foundation: Liaoning Province Science Plan Project, No.2018104009; Liaoning Province “Xing Liao Talents” Project, No.XLYC1808029; Dalian City 2020 Science and Technology Mission Project; Dalian City Key Field Innovation Team Support Program Project, No. 2019RT11; Dalian City Second Approval of Leading Talent Project]

作者简介: 李乐洲(1997—), 男, 山东省安丘人, 在读研究生, 主要研究方向为智慧渔业, E-mail: 2460287924@qq.com; 周玮(1963—), 通信作者, 男, 辽宁省大连人, 教授, 主要研究方向为智慧渔业, E-mail: zhouwei@dlo.edu.cn

# 1 材料方法

## 1.1 实验池塘介绍

实验池塘取自大连青堆子养殖海域(39.78°N,

123.32°E)的9口池底质地、池塘规模、水深、换水管理、投苗情况相同且实验期间均不投饵、不投药的刺参(*Stichopus japonicus*)单养池塘,每相邻的3口池塘为一组实验组,各池塘实验期间基本情况如表1所示。

表1 实验池塘基本情况

Tab. 1 Basic situation of the ponds

池塘组别	6 h	12 h	18 h
池底质地	泥沙		
池塘规模(长×宽×高)	600 m×100 m×3 m		
水深/m	1.2~2.0		
换水管理投苗密度/(个·亩 <sup>-1</sup> )	北进南排;春、夏、秋三季每月大潮后换水 3~5 d; 冬季无换水 10 751.236		
水温/°C	2.15~31.93	2.19~32.10	2.19~32.40
盐度	24.60~35.48	24.54~35.33	24.52~35.25
pH	7.81~8.75	7.76~8.71	7.83~8.79
溶解氧质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	4.85~9.63	5.21~9.71	5.50~10.05

## 1.2 养水机介绍

养水机及其组件模拟图如图1所示。养水机均置于各池塘排水口底部,工作时由动力装置将表层水从进水口吸入,经进水管进入净化装置,后由专用喷头在池底射出,喷头功率为750 W,出水量12 m<sup>3</sup>/h。设置养水机每日分别于04:00—10:00、04:00—16:00、04:00—22:00定时启闭工作。

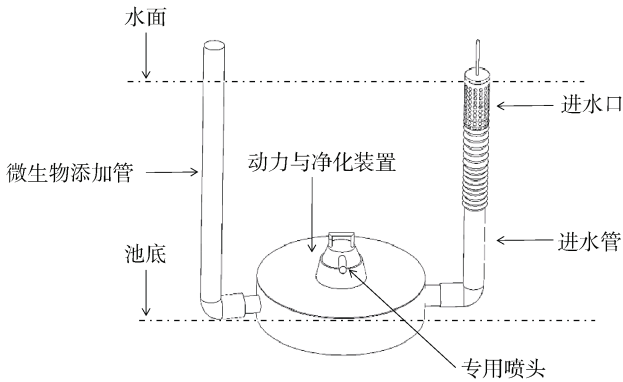


图1 养水机及其组件模拟图

Fig. 1 Simulation diagram of water quality regulator and its components

## 1.3 样品采集及测定处理

分别将2018年3月5日、6月30日、9月30日和12月30日作为春、夏、秋、冬四季采样时间,并在海参高温死亡期(8月7日)也进行了采样。每次采样在池塘换水前3 d进行,采集以池塘中轴线为基准的不同养水机工作时长下的池塘进水口、中部、排水

口的表、中、底三层混合水样1 L(每份样品均取3个作为重复)。水样定量后参照GB/T 12763.4—2007<sup>[12]</sup>测定水体氮、磷浓度,其中硝酸盐氮(NO<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub>-N)、氨氮(NH<sub>4</sub>-N)浓度分别采用锌-铬还原法、重氮-偶氮法、水杨酸钠法测定,磷酸盐(PO<sub>4</sub>-P)浓度采用磷钼蓝法测定;无机氮(DIN)浓度计算公式为:  $c(\text{DIN})=c(\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N})$ ,同时对三种形式的氮在DIN中的占比进行计算,并引入氧化参数K以说明氧化反应程度。

$$K = \frac{c_{\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}}}{c_{\text{NH}_4\text{-N}}}$$

初级生产力的测定参照SL 354-2006<sup>[13]</sup>黑白瓶法。即按照表层水透明度的1、0.5、0.25、0.1倍将各池塘分为0~30 cm、30~50 cm、50~100 cm、100~150 cm四个水层,分别采集各池塘4层水并注入对应水层250 mL的黑、白瓶以及初始瓶中,记录初始瓶中溶解氧(DO),并将各黑、白瓶挂瓶24 h(每层均挂置3个黑、白瓶作为重复),后用温克勒(Winkler)法<sup>[12]</sup>测定溶解氧各瓶DO含量。各水层初级生产力毛产量(GPP) = DO<sub>白瓶</sub> - DO<sub>黑瓶</sub>,呼吸量(Ra) = DO<sub>初始</sub> - DO<sub>黑瓶</sub>,净产量(NPP) = GPP - Ra,本研究中采用池塘水柱生产力反映池塘日生产力,即各水层GPP之和、Ra之和、NPP之和;P/R系数为GPP与Ra的比值。

通过采用SPSS 25.0的One-way ANOVA和LSD多重比较,分析各季节养水机不同工作时长对营养盐浓度和日生产力的影响,以P<0.05为差异显著,P<0.01为差异极显著,各数据条上不同的小写字母(a, b, c)和大写字母(X, Y)分别表示组内差异和组间差异。

## 2 结果

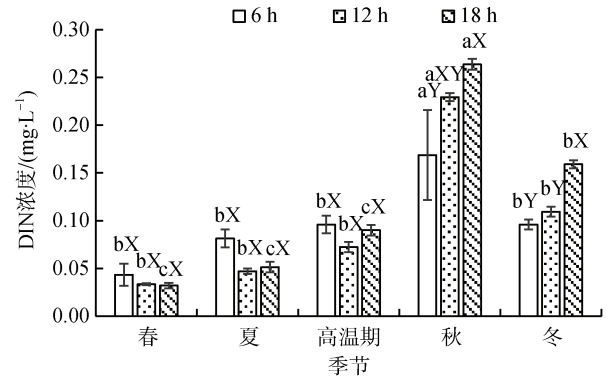
### 2.1 养水机不同工作时长下 DIN、K、PO<sub>4</sub>-P 的季节变化

由养水机相同工作时长下在不同季节的统计学差异可知。图 2a 显示 3 组实验组 DIN 浓度均在秋季达到峰值且 3 组 DIN 浓度在秋季均显著高于其他季节 ( $P < 0.05$ ); 18 h 组 DIN 浓度在冬季显著高于春季、夏季和高温期 ( $P < 0.05$ )。对于 K, 6 h 组 K 值在各季节均无统计学差异 ( $P > 0.05$ ); 12 h 组 K 值在高温期显著低于其他季节 ( $P < 0.05$ ); 18 h 组 K 值在高温期显著低于其他季节 ( $P < 0.05$ ), 在夏季显著低于春季和秋季 ( $P < 0.05$ ) 且与冬季无统计学差异 ( $P > 0.05$ ) (图 2b)。对于 PO<sub>4</sub>-P, 3 组实验组 PO<sub>4</sub>-P 浓度均在高温期达到峰值且 6 h 和 12 h 组高温期浓度均显著高于其他季节 ( $P < 0.05$ ); 18 h 组 PO<sub>4</sub>-P 浓度在高温期和秋季无统计学差异 ( $P > 0.05$ ) 但均显著高于春季、夏季和冬季 ( $P < 0.05$ ); 12 h 组 PO<sub>4</sub>-P 浓度在秋季显著高于春季、夏季和冬季 ( $P < 0.05$ ) (图 2c)。

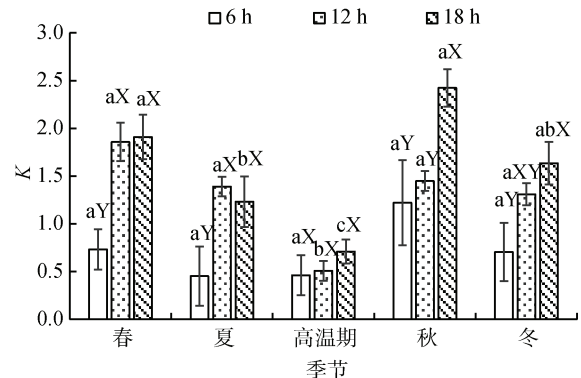
由养水机在相同季节不同工作时长下的统计学差异可知。3 组实验组 DIN 浓度在春季、夏季、高温期均无统计学差异 ( $P > 0.05$ ); 6 h 组 DIN 浓度在秋季显著低于 18 h 组 ( $P < 0.05$ ); 12 h 组 DIN 浓度在秋季与 6 h 组和 18 h 组均无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。对于 K, 6 h 组 K 值在春季、夏季显著低于 12 h 和 18 h 组 ( $P < 0.05$ ), 在秋季、冬季显著低于 18 h 组 ( $P < 0.05$ ) 而与 12 h 组无统计学差异 ( $P > 0.05$ ); 12 h 组 K 值在秋季显著低于 18 h 组 ( $P < 0.05$ ), 其余季节均与 18 h 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 3 组 K 值在高温期均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。对于 PO<sub>4</sub>-P, 3 组实验组 PO<sub>4</sub>-P 浓度在各季节均无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 养水机不同工作时长下 DIN 中 NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 占比的季节变化

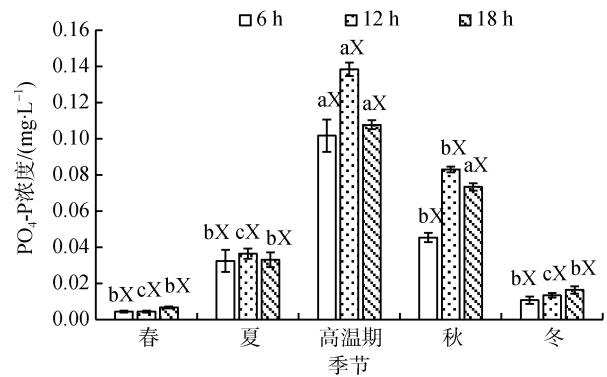
3 组池塘各时期的 DIN 组成如图 3 所示。3 组池塘 DIN 中的 NO<sub>2</sub>-N 在各季节占比均为最少, 6 h、12 h、18 h 组 NO<sub>2</sub>-N 占比分别在 3.69~13.08%、5.81~20.00%、5.66~26.04% 之间波动; 6 h 组池塘 DIN 组成中 NH<sub>4</sub>-N 浓度总体上占比最高, 周年内在 45.03~68.85% 之间波动; 12 h 组池塘 DIN 组成中 NO<sub>3</sub>-N 浓度占比最高, 周年内在 23.96~53.34% 之间波动; 18 h 组池塘 DIN 组成中夏季和高温期 NH<sub>4</sub>-N 浓度占比最高分别为 44.81%、58.52%, 而在春、秋、冬三季 NO<sub>3</sub>-N 所占比例最高分别为 39.58%、64.73%、56.39%。



(a) DIN浓度的季节变化



(b) K的季节变化



(c) PO<sub>4</sub>-P浓度的季节变化

图 2 各组池塘 DIN 浓度、氧化参数 K、PO<sub>4</sub>-P 浓度的季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of DIN, K, PO<sub>4</sub>-P in each group of ponds

### 2.3 养水机不同工作时长下 GPP、Ra、NPP、P/R 系数的季节变化

由养水机相同工作时长下在不同季节的统计学差异可知。图 4a 和图 4c 显示 3 组实验组 GPP、NPP 均在高温期达到峰值且均显著大于其他各季节 ( $P < 0.05$ ); 3 组实验组 GPP、NPP 在夏季与秋季均显著大于春季与冬季 ( $P < 0.05$ ); 3 组实验组 Ra 在夏季、高温期和秋季

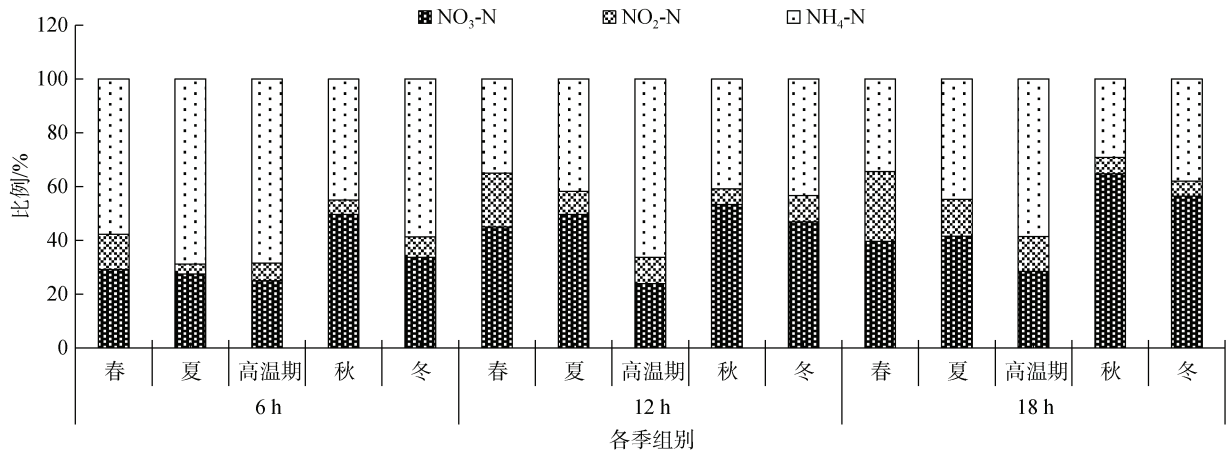


图3 各组池塘 DIN 中  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  占比的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the proportions of  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  and  $\text{NH}_4\text{-N}$  in DIN in each group of ponds

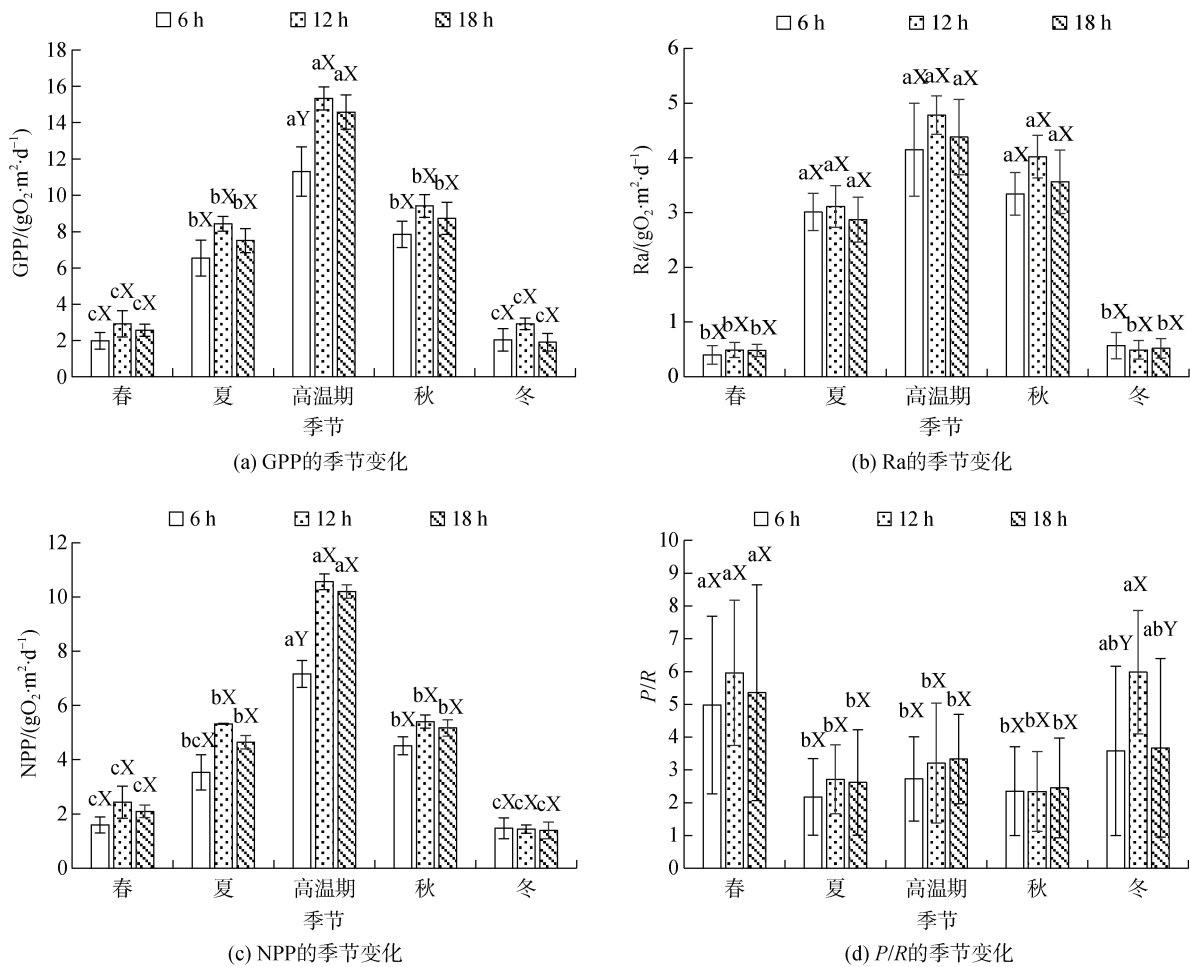


图4 各组池塘 GPP、Ra、NPP、P/R 的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of GPP, Ra, NPP, P/R in each group of ponds

显著大于春季和冬季( $P < 0.05$ ) (图 4b); 3 组实验组 P/R 在春季均显著大于夏季、高温期和秋季( $P < 0.05$ ); 12h 组 P/R 在冬季显著大于夏季、高温期和秋季( $P < 0.05$ )

(图 4d); 3 组实验组 GPP、NPP 在夏季与秋季之间, Ra、P/R 在夏季、高温期和秋季之间, GPP、NPP、Ra、P/R 在春季与冬季之间均无统计学差异( $P > 0.05$ )。

由养水机在相同季节不同工作时长下的统计学差异可知。3组实验组 GPP、NPP 在春季、夏季、秋季均无统计学差异( $P>0.05$ ); 6 h 组 GPP、NPP 在高温期时均显著小于 12 h 和 18 h 组( $P<0.05$ ); 12 h 和 18 h 组 GPP、NPP 在高温期时无统计学差异( $P>0.05$ ); 3组实验组 Ra 在各季均无统计学差异( $P>0.05$ ); 3组实验组 P/R 在春季、夏季、高温期和秋季均无统计学差异( $P>0.05$ ); 12 h 组 P/R 在冬季显著大于 6 h、18 h 组( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 养水机不同工作时长对氮、磷营养盐的影响

本实验中各组池塘 DIN、 $PO_4$ -P 均以高温期为界呈春夏低、秋冬高的季节特征, 虽与杨晓龙等<sup>[14]</sup>调查发现青堆子养殖海域营养盐呈夏秋低、春冬高的季节特征不一致, 但比较各季节数据也较为接近。这种季节特征差异的形成原因主要受 2018 年大连罕见连续高温天气影响, 藻类固氮作用、生物残体分解矿化作用增强所致<sup>[15-16]</sup>。另外,  $NH_4$ -N、 $NO_2$ -N、 $NO_3$ -N 浓度随着池塘氧化还原条件的变化在不断发生着循环转化, 相关研究普遍表明<sup>[2, 17-19]</sup>, DIN 中  $NH_4$ -N 和  $NO_3$ -N 占绝大多数比例, 而  $NO_2$ -N 作为硝化过程的中间产物, 性质极不稳定占比较少, 与本实验图 3 的结果规律一致。

根据本实验图 2 结果, 3 组池塘的 DIN 在秋季和冬季存在显著差异且  $PO_4$ -P 在各季均无显著差异, 表明养水机工作时长仅在秋、冬两季对 DIN 浓度有影响。分析其原因在于高温期后各池底积累了较多的生物残体, 雷衍之<sup>[20]</sup>曾证实底层搅动以及垂直对流能够促进水生生物残体中的营养盐由池底向水体迁移, 养水机工作正具备以上两种水流作用, 养水机工作时间的延长便提高了高温期后底-水营养盐的迁移作用, 故表现出秋、冬两季 18 h 组 DIN 浓度显著高于 6 h 组的结果。同时, 分析 3 组池塘的  $PO_4$ -P 在秋、冬未表现出显著差异的原因在于天然水体中  $PO_4$ -P 自身浓度较少且较易被水生植物利用<sup>[1-2, 20]</sup>。本实验结果中 DIN、 $PO_4$ -P 浓度均符合二类海水水质标准(GB 3097—1997)<sup>[21]</sup>要求适用于海水池塘养殖, 因此, 延长养水机工时促进池底营养盐向水体迁移不但不会造成水体富营养化, 还减轻了池底环境压力。

另外由图 2(b)可知, 12 h 组除高温期和秋季外、

18 h 组除高温期外的其他季节氧化参数  $K$  均显著大于 6 h 组。 $K$  值反映了各组池塘水体的氧化反应程度, 该值越高说明池塘水体中 N 的硝化作用越强, 即  $NH_4$ -N 有向  $NO_3$ -N 转化的趋势<sup>[20]</sup>, 这与图 3 中 6 h 组 DIN 以  $NH_4$ -N 为主, 而 12 h、18 h 组 DIN 以  $NO_3$ -N 为主的结果一致。分析产生上述差异原因在于池塘氧化环境与池塘水体溶解氧含量及水体交换能力呈正相关关系, 而养水机工作时长从 6 h 组提升至 12 h、18 h 持续表底水交换增多的同时必然会提高池塘溶氧含量, 且孙广伟等<sup>[22]</sup>在的前期研究中也指出 6 h、12 h、18 h 组池塘年平均溶解氧含量分别为 8.13 mg/L、7.78 mg/L、6.64 mg/L。12 h、18 h 组池塘较 6 h 组池塘拥有较好的氧化环境, 可避免有毒氨氮、硫化物等物质的滋生, 对于海水池塘养殖是极有利的。

综上, 养殖过程中养水机工作时长由 6 h 增至 12 h、18 h, 一方面可显著通过促进高温期后底-水营养盐迁移提高营养盐浓度, 另一方面可通过促进池塘良好氧化环境的形成提高氮硝化。在此基础上, 比较 12 h 组和 18 h 组对于营养盐的调控效果, 18 h 组冬季的 DIN、秋季的  $K$  值要显著大于 12 h 组, 因此对于营养盐的调控效果养水机工作时长排序为 18 h  $\geq$  12 h  $>$  6 h。

#### 3.2 养水机不同工作时长对池塘水体初级生产力的影响

池塘初级生产力反映了池塘水体生物生产力和渔业生产力, 来源包括纳潮换水所带入的外源部分和池中自主产生的内源部分<sup>[23]</sup>。由于各实验组纳潮来源于同一潮沟且换水时间、换水量均一致, 因此, 科学合理的提高池塘内源初级生产力利于增产增收。

自养生物依靠无机营养生活和繁殖, 而本研究中 3 组池塘内无机营养盐基本无显著差异(图 2), 故各实验组池塘自养生物的生物量全年均较为接近, Ra 全年均无显著差异, 该结果与本实验结果图 4(b)相吻合。尽管自养生物的生物量是决定初级产量的主要因素, 但相关研究也指出光照、水温、水体流动性也会影响自养生物固定能量或有机合成的能力进而影响初级产量<sup>[24-26]</sup>。

首先, 由于各实验组池塘相邻且处于同一养殖海域, 光照(除高温期外)、水温均一致, 而 12 h、18 h 组的养水机的每日运行时间较长, 池塘水体流动性优于 6 h 组, 尽管图 4 中 3 组池塘 GPP、NPP 除高温期外无显著差异( $P>0.05$ ), 但 6 h 组池塘水体流动性

偏差引起了 GPP、NPP 全年处于最低的结果。其次, 高温期时大型藻类滋生阻碍光线照入, 浮游藻类生长困难, 据林青等<sup>[27]</sup>报道养水机运行可显著提高水体透明度, 延长养水机每日工作时长能够增强浮游藻类的光合强度, 故表现出 12 h、18 h 组的 GPP、NPP 在高温期显著高于 6 h 组的结果。另外, 有研究表明底泥再悬浮也会提高初级生产力<sup>[28]</sup>, 作者也在前期发表论文中论述了养水机扰动底泥形成再悬浮的能力<sup>[29]</sup>, 延长养水机工作时长会增强底泥扰动强度, 进而促进池底有机质矿化加速养分循环提高生产力, 这也是 12 h、18 h 组 GPP、NPP 全年稍高的原因之一。最后, 尽管 12 h 组 GPP、NPP 全年与 18 h 组无显著差异, 但 12 h 组 GPP、NPP 在各季节均稍大于 18 h 组, 分析其原因在于 18 h 池塘的养水机较 12 h 池塘的养水机多工作的 6 h 为夜间(16: 00—22: 00), 此时已无阳光射入水体, 养水机运行无法加快自养生物产出反而加速生产量的消耗, 但这种消耗也是极低的, 因此呈现 18 h 组池塘的 GPP、NPP 略低于 12 h 组池塘的结果。

研究表明池塘 NPP/GPP 周年均值均在 50% 左右<sup>[23]</sup>, 而 3 组池塘 NPP/GPP 周年均值均在 60% 以上(6 h、12 h、18 h 组池塘 NPP/GPP 周年均值分别为 61.34%、66.10%、66.57%), 分析原因在于, 养水机运行遏制了大型藻类的增长、增强了水体流动性进而保障了水体光照充足。 $P/R$  系数通常用来反映初级生产力利用率, 本实验 3 组池塘与传统刺参养殖池塘一致,  $P/R$  系数均大于 1, 即初级生产量利用率较低, 池内存有较多的残饵、残体、粪便等<sup>[23, 26]</sup>。 $P/R$  系数较高造成的刺参死亡灾害虽暂未见报道, 但长期积累必然会对水质产生危害。因此, 作者认为养殖期间配备养水机不断增加初级产量保证刺参摄食的同时, 可改传统刺参单养模式为参虾、参贝混养模式, 以保证初级产量充分利用并为养殖户增产, 还可适当增加换水频率强制排除初级生产力冗余。

综上, 养殖过程中养水机工作时长由 6 h 增至 12 h、18 h, 一方面可以提高池塘内源性初级生产力, 另一方面还可改善池塘初级生产力结构, 对于初级生产力的调控效果养水机工作时长排序为 12 h>18 h>6 h。

## 4 总结

海参池塘养殖过程中辅助配备养水机设备可有效调控营养盐及初级生产力, 且养水机的工作时长能够显著影响调控效果。3 组工作时长中 6 h 组的各

项指标调控效果最差, 而 18 h 组对于营养盐的调控效果略微优于 12 h 组, 12 h 组对于初级生产力的调控效果最优, 同时考虑到成本及设备使用寿命问题, 养殖过程中养水机工作时长以 12 h 最佳、18 h 次之、6 h 最差。

### 参考文献:

- [1] 王彦波, 岳斌, 许梓荣. 池塘养殖系统氮、磷收支研究进展[J]. 饲料工业, 2005, 26(18): 49-51.  
WANG Yanbo, YUE Bin, XU Zirong. Research progress on nitrogen and phosphorus budget of pond aquaculture system[J]. Feed Industry, 2005, 26(18): 49-51.
- [2] 张丽霞, 蔡勋, 刘双凤, 等. 刺参养殖池塘营养盐周年变化的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(1): 37-43.  
ZHANG Lixia, CAI Xun, LIU Shuangfeng, et al. Preliminary study on the annual variation of nutrients in *Stichopus japonicus* aquaculture pond[J]. Journal of Hydroecology, 2013, 34(1): 37-43.
- [3] 赵亮, 魏皓, 冯士箴. 渤海氮磷营养盐的循环和收支[J]. 环境科学, 2002, 23(1): 78-81.  
ZHAO Liang, WEI Hao, FENG Shizuo. Annual cycle and budgets of nutrients in the Bohai Sea[J]. Environmental Science, 2002, 23(1): 78-81.
- [4] 顾海涛, 刘兴国, 何雅萍, 等. 微孔曝气式增氧机的性能及应用效果[J]. 渔业现代化, 2017, 44(3): 25-28.  
GU Haitao, LIU Xingguo, HE Yaping et al. Performance and application effects of microporous aerators[J]. Fishery Modernization, 2017, 44(3): 25-28.
- [5] 顾海涛, 何康宁, 何雅萍. 耕水机的性能及应用效果研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(4): 40-44.  
GU Haitao, HE Kangning, HE Yaping. Research on function and application of biofan[J]. Fishery Modernization, 2010, 37(4): 40-44.
- [6] 李荣福, 杨显祥, 孙龙生, 等. 耕水机在罗氏沼虾池塘养殖中的使用效果[J]. 渔业现代化, 2012, 39(5): 32-37.  
LI Rongfu, YANG Xianxiang, SUN Shenglong, et al. The applying effect of biofan to cultivate *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Fishery Modernization, 2012, 39(5): 32-37.
- [7] 刘丹. 三种水质控制技术下参池底质变化及参礁表面生态学特征初步研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.  
LIU Dan. Preliminary study of ecological characteristics on three kinds of water quality control technology changes in the bottom of the pool and the surface of the reef[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018.
- [8] 李立森, 周亚, 杨淞, 等. 池塘中叶轮式增氧机增氧效果的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2014,

- 29(3): 415-419.
- LI Lisen, ZHOU Ya, YANG Song, et al. Study on the aerobic performance of impeller aerator in pond[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2014, 29(3): 415-419.
- [9] 李彬, 王印庚, 廖梅杰, 等. 底部微孔增氧管布设距离和增氧时间对刺参养殖池塘溶氧的影响[J]. 渔业现代化, 2017, 44(6): 13-18.
- LI Bin, WANG Yingeng, LIAO Meijie, et al. The influence of spacing and aerobic time on the dissolved oxygen levels by micropore tube aerator on the bottom of *Apostichopus japonicus* ponds[J]. Fishery Modernization, 2017, 44(6): 13-18.
- [10] BOYD C E. Water quality in ponds for aquaculture[M]. Auburn: Auburn University Press, 1990.
- [11] LAWSON T B. Fundamentals of aquacultural Engineering[M]. New York: Chapman and Hall, 1995.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查 GB/T12763.4-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey Part 4: Survey of chemical parameters in sea water GB/T12763.4-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [13] 中华人民共和国水利部. 水质 初级生产力测定——“黑白瓶”测定法 SL 354-2006[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Water quality determination of primary productivity—“black and white bottle” dissolved oxygen method SL 354-2006[S]. Beijing: China Water & Power Press, 2007.
- [14] 杨晓龙, 齐爱民, 王丽丽, 等. 青堆子湾池塘养殖区及邻近海域无机营养盐时空变化与富营养化风险[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(25): 83-86.
- YANG Xiaolong, QI Aimin, WANG Lili, et al. T Temporal and spatial variation of the inorganic nutrients and the risk assessment of eutrophication in pond aquaculture area and its adjacent sea area of Qing Dui Zi bay[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(25): 83-86.
- [15] 周成, 杨国录, 陆晶, 等. 河湖底泥污染物释放影响因素及底泥处理的研究进展[J]. 环境工程, 2016, 34(5): 113-117, 94.
- ZHOU Cheng, YANG Guolu, LU Jing, et al. Research progress about sediment disposal and factors influencing release of sediment pollutants in rivers and lakes[J]. Environmental Engineering, 2016, 34(5): 113-117, 94.
- [16] MIYAJIMA T. Abiotic versus biotic immobilization of inorganic nitrogen in sediment as a potential pathway of nitrogen sequestration from coastal marine ecosystems[J]. Geochemical Journal, 2015, 49(5): 453-468.
- [17] KUBILAY N, YEMENICIOGLU S, SAYDAM A C. Airborne material collections and their chemical composition over the Black Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, 30(7): 475-483.
- [18] 史华明, 王丽莎, 石晓勇. 北黄海溶解无机氮组成、分布及季节变化特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(S1): 207-211.
- SHI Huaming, WANG Lisha, SHI Xiaoyong. The seasonal composition and distribution characteristics of dissolved inorganic nitrogen of North Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(S1): 207-211.
- [19] XU J, YIN K, LIU H, et al. A comparison of eutrophication impacts in two harbours in Hong Kong with different hydrodynamics[J]. Journal of Marine Systems, 2010, 83(3/4): 276-286.
- [20] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- LEI Yanzhi. Aquaculture water environmental chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [21] 中华人民共和国生态环境部, 海水水质标准 GB 3097-1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Sea water quality standard GB 3097-1997[S]. Beijing: Standards Press of China, 1997.
- [22] 孙广伟, 张东升, 王祖峰, 等. 养水机三种配置方式对仿刺参池塘部分水质指标时空变化的影响[J]. 科学养鱼, 2020(4): 73-75.
- SUN Guangwei, ZHANG Dongsheng, WANG Zufeng, et al. Effects of three configurations of water culture machines on the temporal and spatial changes of some water quality indicators in sea cucumber ponds[J]. Scientific Fish Farming, 2020(4): 73-75.
- [23] 姜森颖, 周一兵, 唐伯平等. 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1698-1706.
- JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping et al. Annual variations of the primary productivity and its size-fractionated structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1698-1706.
- [24] BROWN J M A. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems[J]. 1984, 20(3): 362-364.
- [25] 刘乃壮. 水体初级生产力与影响因子[J]. 水产养殖, 1992(4): 22-25.
- LIU Naizhuang. Primary productivity and influencing factors of water bodies[J]. Aquaculture, 1992(4): 22-25.
- [26] 赵文, 董双林, 李德尚, 等. 盐碱池塘浮游植物初级

- 生产力的研究[J]. 水生生物学报, 2003, 27(1): 47-54.  
ZHAO Wen, DONG Shuanglin, LI Deshang, et al. The Primary productivity of phytoplankton in saline-alkaline ponds[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(1): 47-54.
- [27] 林青, 张东升, 魏亚南, 等. 3种水质调控方式对刺参池塘浮游植物种群结构的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 566-572.  
LIN Qing, ZHANG Dongsheng, WEI Yanan, et al. Effects of three water quality regulation methods on phytoplankton population structure in a sea cucumber culture pond[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(4): 566-572.
- [28] 黄宇波, 罗浩, 陈隽, 等. 底泥再悬浮对东湖水体初级生产力的影响[J]. 水生生物学报, 2016, 40(3): 574-579.  
HUANG Yubo, LUO Hao, CHEN Jun, et al. Effects of re-suspended sediment on the primary productivity in the DongHu Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(3): 574-579.
- [29] 李乐洲, 王祖峰, 张东升, 等. 不同管理方式对参池颗粒物沉降作用及沉积物的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 29-38.  
LI Lezhou, WANG Zufeng, ZHANG Dongsheng, et al. Influence of different management methods on the sedimentation of particulate matter and sediment in sea cucumber ponds[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 29-38.

## Influence of operating time of the water quality regulator on nitrogen and phosphorus content as well as primary productivity of the sea cucumber-reared ponds

LI Le-zhou<sup>1</sup>, SUN Guang-wei<sup>2</sup>, ZHANG Dong-sheng<sup>1</sup>, WANG Yu-long<sup>1</sup>, YANG Geng-jie<sup>1</sup>, LU Yu-ting<sup>3</sup>, LU Hong-bo<sup>1</sup>, ZHOU Wei<sup>1</sup>

(1. School of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. National Fisheries Technology Promotion Station, Chinese Fisheries Society, Beijing 100125, China; 3. College of Ocean Technology and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Received:** Mar. 20, 2021

**Key words:** water quality regulator; different working hours; nutrient salt; primary productivity

**Abstract:** This research was conducted with an objective to study the influence of operating hours of water quality regulators on the characteristics of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) reared pond water. Samples were collected periodically during the operating time of 6 h, 12 h, and 18 h to measure the oxidation parameters as well as the inorganic nitrogen and phosphorus content of cultured water. In addition, the *P/R* coefficient (the ratio of gross primary productivity to autotrophic respiration) along with gross and net yields was calculated to analyze the primary productivity of the pond. The results exhibit that prolonging the working time of the water quality regulator can promote the bottom-water migration of nutrients after the high temperature period and effectively improve the water and bottom quality of the pond water. In addition, it can effectively promote the nitrification of the toxic  $\text{NH}_4\text{-N}$  in dissolved inorganic nitrogen to  $\text{NO}_3\text{-N}$  at the same time. Extending the working time of the water farm can increase the primary productivity of the pond to a certain extent; however, due to a few limitations such as night light and temperature, increasing the working time of the water quality regulator from 12 h to 18 h will consume productivity. In order to achieve productive and profitable pond management, aquaculture equipped with a water quality regulator working optimally for a 12 h period is recommended.

(本文编辑: 赵卫红)