

# 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类群落及水质特征<sup>\*</sup>

赵斌<sup>1</sup>, 胡炜<sup>1</sup>, 李成林<sup>1\*\*</sup>, 周红学<sup>2</sup>, 赵洪友<sup>3\*\*</sup>, 孙永军<sup>4</sup>, 鞠文明<sup>4</sup>, 韩莎<sup>1</sup>

(1. 山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266104; 2. 山东省农业农村厅, 山东济南 250013; 3. 莱阳市海洋渔业有限公司, 山东烟台 265200; 4. 好当家集团有限公司, 山东荣成 264300)

**摘要:**为研究刺参(*Apostichopus japonicus*)养殖池塘微藻和水质特征,对山东威海市荣成刺参养殖池塘的浮游和底栖藻类群落结构、生物量及池塘水质进行周年调查与相关性分析。结果表明:(1)刺参养殖池塘共发现浮游藻类7门38属53种,底栖藻类4门25属42种,硅藻门种类最多;(2)池塘盐度、pH值、磷酸盐的变化范围较小,水温、溶氧变化呈显著的季节性特征;(3)池塘藻类生物量均呈春、夏季较高,秋、冬季较低的变化规律,并随水温升高而增大;浮游藻类生物量最低值和最高值分别出现在1月和7月,分别为2.9和23.7 mg/L;底栖藻类生物量最低值和最高值分别出现在12月和4月,分别为2.5和16.5 mg/L;(4)池塘浮游藻类多样性指数最低值和最高值分别出现在12月和7月,分别为1.94和2.98;底栖藻类多样性指数最低值和最高值分别出现在11月和4月,分别为1.66和2.35;(5)不同季节藻类群落中的优势种存在演替现象。在刺参池塘养殖过程中,应保持池塘水环境和营养盐结构稳定,为刺参健康养殖营造有利的环境条件。

**关键词:**刺参 养殖池塘 浮游藻类 底栖藻类 水质

中图分类号:Q143 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2020)04-0399-07

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyb.20210115.003

## 0 引言

刺参(*Apostichopus japonicus*)是经济价值极高的海洋性温带种。自20世纪90年代中期以来,随着人们经济收入的增长和保健意识的增强,刺参消费需求日益扩大,其养殖产业发展速度和生产规模也达到

了前所未有的水平<sup>[1]</sup>,已成为我国海水养殖的主导产业之一,并成功引领了我国第五次海水养殖产业浪潮<sup>[2]</sup>。池塘养殖是刺参产业的主要生产模式<sup>[3]</sup>,在我国刺参主产区山东、辽宁等省均占主导地位,目前国内刺参池塘养殖面积已超过 $1.0 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>。

浮游与底栖藻类的变化特征与环境因子密切相关,其群落结构特征在一定程度上反映养殖水体健康

<sup>\*</sup> 山东省泰山产业领军人才工程项目(LJNY201613),国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2018YFD0901602)和山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队建设工程项目(SDAIT-22)资助。

### 【作者简介】

赵斌(1980—),男,副研究员,主要从事海洋生物生理生态学研究,E-mail:jm.zb@163.com。

### 【\*\*通信作者】

李成林(1964—),男,研究员,主要从事海洋生物遗传育种与健康增养殖技术研究,E-mail:lcl\_xh@hotmail.com;赵洪友(1964—),男,高级工程师,主要从事水产养殖技术与管理研究,E-mail:768691941@qq.com。

### 【引用本文】

赵斌,胡炜,李成林,等.刺参养殖池塘浮游和底栖藻类群落及水质特征[J].广西科学院学报,2020,36(4):399-405.

ZHAO B, HU W, LI C L, et al. Community Structure of Phytoplankton and Benthophyte in *Apostichopus japonicus* Aquaculture Ponds and Water Quality Characteristics [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(4): 399-405.

程度<sup>[4]</sup>。浮游和底栖藻类在池塘养殖生态系统的物质循环和能量传递中发挥着重要作用,其现存量、种类组成和多样性能很好地反映水体的营养水平<sup>[5-7]</sup>。因此,了解刺参养殖池塘中浮游和底栖藻类群落的变化规律,可更方便掌握池塘藻类结构与刺参养殖的关系,为改善养殖池塘生态环境提供参考。本研究对位于山东威海市荣成刺参养殖池塘中的浮游和底栖藻类群落结构及其水质特征进行系统调查研究,旨在为刺参池塘生态健康养殖提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验池塘

实验时间为2017年3月—2018年3月,地点是位于山东威海靖海湾海域的好当家集团有限公司刺参养殖池塘。池塘面积约2 hm<sup>2</sup> (100 m×200 m),平均水深2.0 m,以相邻的2个同面积池塘作为对照组。刺参饲养在池塘架设的4 m×2 m×1 m网箱中,规格为2.5—50.0 g/ind.。养殖池塘通过进排水道与外海连通,通过潮汐定期换水,每潮换水20%—30%。

### 1.2 池塘藻类采样

浮游藻类:每个池塘的东西两端各选取1个采样点,放养前1 d进行第一次水样采集,之后每隔30 d采集水样1次,每次采集水样1 L,用1.5%鲁哥氏液固定。

底栖藻类:每个池塘东西两端各选取1个采样点的附着基质,使用过滤海水洗刷附着基(每个样品采样面积为10 cm×10 cm)上的附着物,然后将样品全量移入1 L塑料广口瓶中,用5%中性甲醛溶液固定。

将采集水样静置沉降24 h,去上清后浓缩,摇匀后立即取0.1 mL样品到0.1 mL计数框中,在生物显微镜下,计数2片,每片计数50个视野,依据《藻类学》<sup>[8]</sup>、《藻类名词及名称》<sup>[9]</sup>分类鉴定到属或种。用细胞体积法推算生物量。

### 1.3 多样性分析

藻类种类多样性分析用香农威纳(Shannon-

Wiener)多样性指数( $H'$ )计算,计算方式为

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i,$$

式中, $S$ 为样品中的种类总数, $P_i$ 为第*i*种的个体数与全部种类总个体数的比值。

### 1.4 水质测定

温度( $T$ )、盐度(Sal)、pH值等指标在池塘采样现场测定;溶氧(DO)、总氮(TN)和总磷(TD)分别采用碘量滴定法、萘乙二胺分光光度法、磷钼蓝分光光度法进行测定。各项水质指标每10 d测定一次,并取月均值作图分析。

### 1.5 数据分析

使用Excel和Canoco 5软件处理数据及统计。采用Canoco 5软件对刺参池塘浮游、底栖藻类优势种类和水质指标的周年变动数据进行典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA),根据结果分析优势种类的主要驱动因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类的种类组成

实验期间周年观测分析结果中,共发现浮游藻类7门38属53种,底栖藻类4门25属42种(表1,实验观测中仅鉴定到属的按1个种算)。浮游藻类中硅藻门种类最多(28种),其次是绿藻门和甲藻门,裸藻门、隐藻门、金藻门、蓝藻门种类较少。底栖藻类中种类最多的也是硅藻门,共有37种,在种类组成中占88.1%,甲藻门、裸藻门、蓝藻门各占少量。

### 2.2 刺参养殖池塘周年水质特征

如图1所示,自3月份开始,实验刺参养殖池塘水温随气温上升而逐月升高。养殖池塘平均水温在周年变化中,8月水温最高,为28.6℃;之后随着气温下降,池塘平均水温显著下降,至1月下降至最低,为1.0℃。开春后随气温回暖,池塘平均水温逐渐升高。实验刺参养殖池塘周年盐度为28.6—30.8(图2)。平均盐度最低值出现在1月,为28.6;最高值出现在5月,为30.8。

表 1 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类的种类

Table 1 The species list of phytoplankton and benthophyte in *A. japonicus* aquaculture ponds

门 Phylum	种类 Species	
	浮游藻类 Phytoplankton	底栖藻类 Benthophyte
硅藻门 Bacillariophyta	曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp., 双船形藻 <i>Amphiprora alata</i> , 双眉藻 <i>Amphora</i> sp., 中华盒形藻 <i>Biddulphia sinensis</i> , 窄隙角毛藻 <i>Chaetoceros affinis</i> , 中肋角毛藻 <i>C. costatus</i> , 垂缘角毛藻 <i>C. lacinosus</i> , 洛氏角毛藻 <i>C. lorenzianus</i> , 牟氏角毛藻 <i>C. muelleri</i> , 假弯角毛藻 <i>C. pseudocrinitus</i> , 卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp., 星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> , 中心圆筛藻 <i>C. centralis</i> , 琼氏圆筛藻 <i>C. jonesianus</i> , 辐射圆筛藻 <i>C. radiatus</i> , 双壁藻 <i>Diploneis</i> sp., 海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i> , 布纹藻 <i>Gyrosigma</i> sp., 楔形藻 <i>Licmophora</i> sp., 帕维舟形藻 <i>Navicula pavillardii</i> , 新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i> , 边缘菱形藻 <i>N. marginulata</i> , 长菱形藻 <i>N. longissima</i> , 弯菱形藻 <i>N. sigma</i> , 斜纹藻 <i>Pleurosigma</i> sp., 中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 冠盖藻 <i>Stephanopyxis</i> sp., 针杆藻 <i>Synedra</i> sp.	双凸双眉藻 <i>Amphora bigibba</i> , 变异双眉藻 <i>A. commutate</i> , 美壁藻 <i>Caloneis</i> sp., 窄隙角毛藻 <i>Chaetoceros affinis</i> , 中肋角毛藻 <i>C. costatus</i> , 洛氏角毛藻 <i>C. lorenzianus</i> , 牟氏角毛藻 <i>C. muelleri</i> , 卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp., 星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> , 中心圆筛藻 <i>C. centralis</i> , 琼氏圆筛藻 <i>C. jonesianus</i> , 辐射圆筛藻 <i>C. radiatus</i> , 双壁藻 <i>Diploneis</i> sp., 唐氏藻 <i>Donkinia</i> sp., 脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp., 布纹藻 <i>Gyrosigma</i> sp., 短楔形藻 <i>Licmophora abbreviate</i> , 纤细楔形藻 <i>L. gracilis</i> , 小形舟形藻 <i>Navicula parva</i> , 多枝舟形藻 <i>N. ramosissima</i> , 小伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia sicula</i> , 有棱菱形藻 <i>Nitzschia angularia</i> , 新月菱形藻 <i>N. closterium</i> , 碎片菱形藻 <i>N. frustulum</i> , 长菱形藻 <i>N. longissimi</i> , 洛伦菱形藻 <i>N. lorenziana</i> , 边缘菱形藻 <i>N. marginulata</i> , 琴氏菱形藻 <i>N. panduriformis</i> , 弯菱形藻 <i>N. sigma</i> , 羽纹藻 <i>Pinnularia</i> sp., 曲舟藻 <i>Pleurosigma</i> sp., 双菱藻 <i>Surirella</i> sp., 针杆藻 <i>Synedra</i> sp., 簇生平板藻 <i>Tabellaria fasciculata</i> , 海线藻 <i>Thalassionema</i> sp., 海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp., 海毛藻 <i>Thalassiothrix</i> sp.
绿藻门 Chlorophyta	针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i> , 狭形纤维藻 <i>A. angustus</i> , 镰形纤维藻 <i>A. falcatus</i> , 十字卡德藻 <i>Carteria crucifera</i> , 衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp., 普通小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> , 粘四集藻 <i>Palmella mucosa</i> , 实球藻 <i>Pandorina</i> sp., 亚心形扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i> , 青岛大扁藻 <i>P. helgolandica</i> , 四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	
甲藻门 Pyrrophyta	亚历山大藻 <i>Alexandrium</i> sp., 裸甲藻 <i>Cymnodinium</i> sp., 薄甲藻 <i>Glenodinium</i> sp., 卵甲藻 <i>Exuviella</i> sp., 多甲藻 <i>Peridinium</i> sp., 利马原甲藻 <i>Prorocentrum lima</i> , 反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>	扁形原甲藻 <i>P. compressum</i>
裸藻门 Euglenophyta	裸藻 <i>Euglena</i> sp., 双鞭藻 <i>Eutreptia</i> sp.	裸藻 <i>Euglena</i> sp.
金藻门 Chrysophyta	单鞭金藻 <i>Chromulina</i> sp., 等鞭金藻 <i>Isochrysis</i> sp.	
隐藻门 Cryptophyta	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.	
蓝藻门 Cyanophyta	鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp., 螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp., 席藻 <i>Phormidium</i> sp., 螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.

注:粗体为实验观测中仅鉴定到属的物种

Note: Bold types were the species only identified at genus level in experimental observations

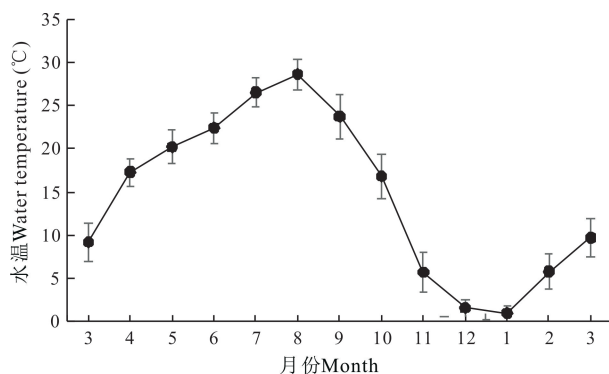


图 1 刺参养殖池塘水温周年变化

Fig. 1 Annual variations in water temperature in *A.*

*japonicus* aquaculture ponds

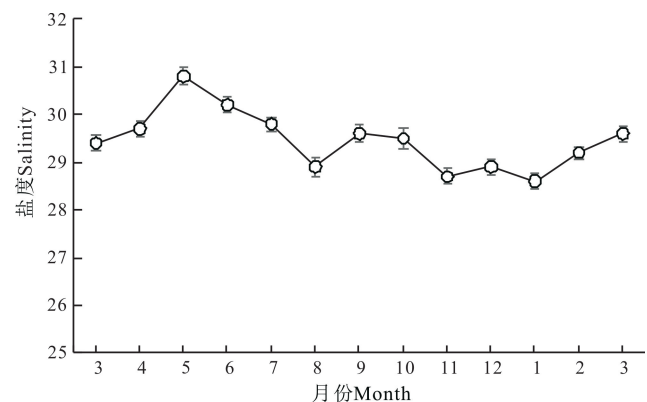


图 2 刺参养殖池塘盐度周年变化

Fig. 2 Annual variations in salinity in *A. japonicus* aquaculture ponds

实验刺参养殖池塘 pH 值周年变化范围不大,最低值出现在 3 月,为 7.9,最高值出现在 11 月,为 8.6;溶氧周年变化为 5.3 至 9.2,溶氧较低月份为 5 月和 8 月,5 月为 5.3,8 月为 5.4;进入 12 月后溶氧迅速升高,至 1 月达最高均值 9.2,之后随冰雪融化和水温上升,溶氧逐渐降低(图 3)。

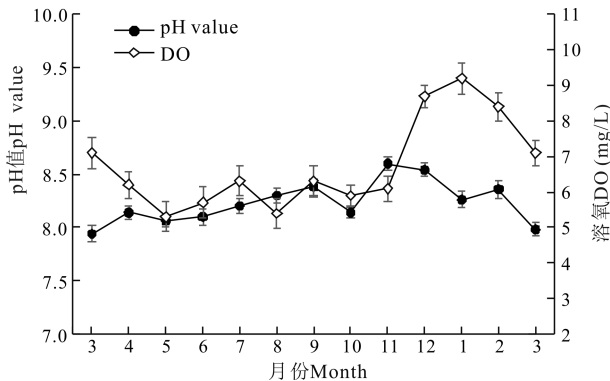


图 3 刺参养殖池塘 pH 值和溶氧周年变化

Fig. 3 Annual variations in pH value and DO in *A. japonicus* aquaculture ponds

实验刺参养殖池塘氨氮月平均最高值出现在 9 月,为 212  $\mu\text{g/L}$ ,最低值出现在 11 月,为 54  $\mu\text{g/L}$ ;自 4 月至 11 月期间,养殖水体氨氮呈先上升后下降趋势。磷酸盐周年变化范围稳定,为 85—174  $\mu\text{g/L}$ ,无较大起伏(图 4)。

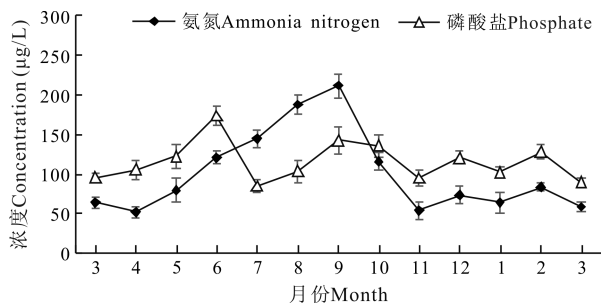


图 4 刺参养殖池塘氨氮和磷酸盐周年变化

Fig. 4 Annual variations in ammonia nitrogen and phosphate in *A. japonicus* aquaculture ponds

综上,刺参养殖池塘盐度、pH 值、磷酸盐的变化范围较小,其他水质因子指标的变化呈显著的季节性特征。

### 2.3 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类群落多样性

刺参养殖池塘浮游和底栖藻类种类生物量如图 5 所示。浮游藻类和底栖藻类生物量的季节变化规律相似,春季和夏季较高,秋季逐渐下降,冬季较低。浮游藻类生物量最低值出现在 1 月,为 2.9 mg/L,最高值出现在 7 月,达到 23.7 mg/L。底栖藻类生物量

最低值出现在 12 月,为 2.5 mg/L,最高值出现在 4 月,达到 16.5 mg/L。

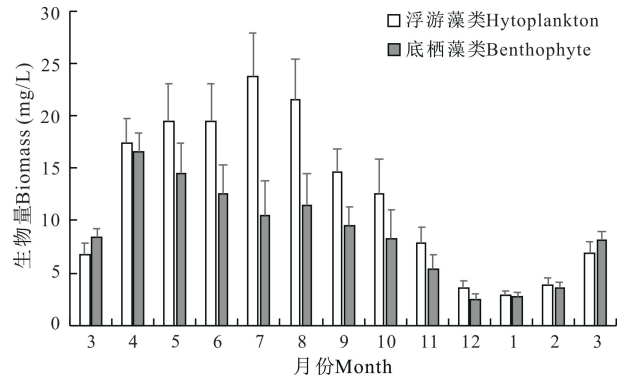


图 5 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类生物量周年变化

Fig. 5 Annual variations in biomass of phytoplankton and benthophyte in *A. japonicus* aquaculture ponds

刺参养殖池塘浮游和底栖藻类种类生物多样性指数周年变化如图 6 所示。浮游藻类多样性指数最高值出现在 7 月,为 2.98,最低值出现在 12 月,为 1.94。底栖藻类多样性指数最高值出现在 4 月,为 2.35,最低值出现在 11 月,为 1.66。浮游、底栖藻类生物量和多样性指数存在一定相关关系,尤其在 1—4 月期间的变化趋势较为接近。

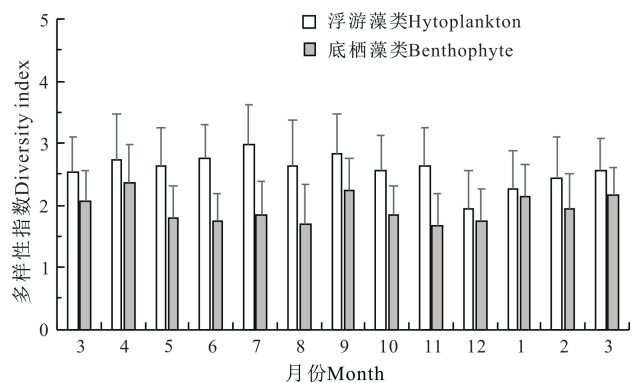


图 6 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类多样性指数周年变化

Fig. 6 Annual variations in diversity index of phytoplankton and benthophyte in *A. japonicus* aquaculture ponds

刺参养殖池塘浮游和底栖藻类优势种类与水环境指标的 CCA 分析分别如图 7,8 所示,其中 A、B、C、D、E、F、G 分别代表硅藻门、绿藻门、甲藻门、裸藻门、隐藻门、金藻门和蓝藻门。CCA 分析结果显示,影响浮游藻类优势种类的主要驱动因子为温度 ( $T$ )、溶氧 (DO) 和 pH 值,其中硅藻门种类数与温度呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。影响底栖藻类优势种类的主要驱动因子为温度 ( $T$ )、溶氧 (DO),其中硅藻门与温度 ( $T$ )、总氮 (TN) 呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。



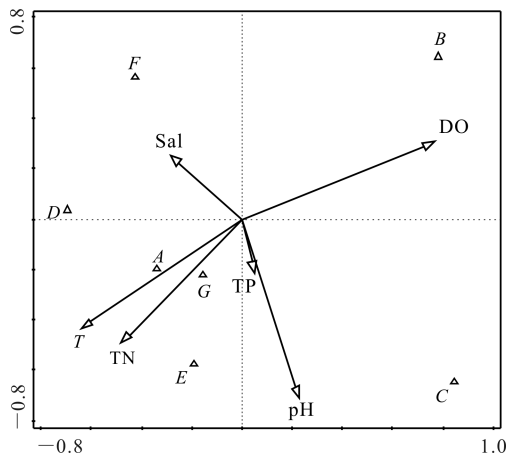


图7 刺参养殖池塘浮游藻类与水环境因子相关性分析

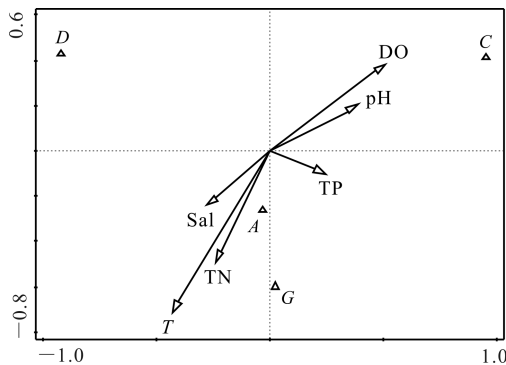
Fig. 7 Correlation analysis of phytoplankton and water environmental factors in *A. japonicus* aquaculture ponds

图8 刺参养殖池塘底栖藻类与水环境因子相关性分析

Fig. 8 Correlation analysis of benthophyte and water environmental factors in *A. japonicus* aquaculture ponds

### 3 讨论

#### 3.1 刺参养殖池塘浮游和底栖藻类群落特点

浮游和底栖藻类是养殖池塘生态系统的重要初级生产者,对维持池塘生态系统的稳定具有关键作用<sup>[10-11]</sup>。浮游植物给水环境中各类动物提供基础食物,参与生态系统中的能量供应和物质循环,在平衡生态系统中占据着重要位置<sup>[12]</sup>,而底栖藻类是自然环境中刺参的主要饵料,其种类和密度可对刺参幼体生长发育产生影响<sup>[13]</sup>。本研究地点位于山东威海南部的靖海湾,沿岸分布着沙窝、沙嘴、长会口等渔港,是威海市乃至山东省的重要刺参养殖区域。本研究对刺参养殖池塘藻类的统计结果显示,浮游藻类种类和数量均以硅藻门最多,这与桑沟湾、胶州湾及黄海中南部海区浮游植物群落结构的调查结果基本一致<sup>[14-16]</sup>;在底栖藻类的组成中,硅藻门同样占有绝对优势,与胶州湾红岛潮间带、山东省莱州刺参养殖区类似<sup>[17,18]</sup>。作为刺参的理想天然饵料,硅藻在池塘

藻类组成中的优势地位,为刺参养殖提供了良好的营养条件。此外,本研究结果中其他浮游植物和底栖藻类在组成种类和数量上与上述前人研究存在差异,可能主要是水体所处地理环境不同所致。

生物多样性是描述生物群落结构特征的重要参数,关系生态系统的稳定<sup>[19]</sup>,浮游植物群落多样性指数变化可在一定程度上反映水产养殖池塘环境的变化<sup>[20]</sup>,为环境质量评估提供参考<sup>[21]</sup>。本研究结果显示,底栖藻类的群落组成和季节变化相对浮游藻类更稳定,这可能是由于池塘底部较上方水体受外界环境影响相对较小,底栖藻类没有浮游藻类反应敏感,所以更不易随外界环境变化而改变。池塘附着基上的底栖藻类对养殖刺参影响作用的主要因子是其细胞数量和生物量大小,而非其种类组成的差异<sup>[7]</sup>,本研究中的刺参池塘均是当地养殖效益较好的池塘,推测其养殖效益与相对稳定的池塘底栖藻类生物量有关。

#### 3.2 池塘藻类季节变化与水质理化因子的关系

池塘藻类优势种群的动态变化和养殖水环境中的各种理化因子具有相关性。温度是控制池塘藻类生长、繁殖和演替的重要因子,水温会直接影响浮游植物的酶促反应,特别是对暗反应的酶促反应过程,大多数藻类比较适应的温度为18—25℃<sup>[22]</sup>。本研究刺参养殖池塘位于山东威海市荣成南部海域,实验中周年水温为1.0—28.6℃,是影响池塘浮游和底栖藻类优势种的最主要影响因子,其他重要影响因子还有溶氧和pH值。不同藻类的适应水温也不尽相同,其中浮游藻类在5月和7月出现等值高峰,底栖藻类在4月至8月繁殖较多。此外,水温会对藻类群落结构产生重要影响<sup>[23]</sup>,狭冷性藻类如硅藻一般在春、秋季水温较低时出现<sup>[24]</sup>。本研究中观察到春季底栖藻类中新月菱形藻、针杆藻等藻类繁殖速度超过其他藻类,而7—9月舟形藻、新月菱形藻成为优势种,各种藻类在不同水温下呈现演替现象,符合上述变化规律。CCA分析显示,在浮游和底栖藻类中,水温均与其优势种类呈显著正相关关系。

营养盐是微藻生长繁殖所需的基础物质<sup>[25-27]</sup>,多数水体生态系统中的氮或磷是限制浮游植物繁殖的主要营养元素<sup>[28]</sup>,不同藻类对营养的需求不同,在相同低浓度磷的水环境中,硅藻对磷的吸收和利用不如甲藻<sup>[29,30]</sup>。本研究对池塘氨氮和磷酸盐的监测分析结果显示,藻类群落结构与其并无显著相关性,可能是氨氮、磷酸盐在自然养殖水环境中含量一直较稳定,池塘外海海域水质良好,进排水通畅,从而使氮

氮、磷酸盐没有成为促进池塘藻类生长的主要驱动因子。在水温条件适宜、营养盐含量均衡情况下,硅藻的生长、繁殖比甲藻更有优势,因此在本研究中无论是浮游还是底栖藻类种类构成中,均是硅藻占据优势地位。本研究中在池塘浮游和底栖藻类中均观察到蓝藻门、甲藻门种类,在水质良好、没有富营养化的情况下,这些藻类无法占据优势地位,不会对刺参养殖产生显著影响。

#### 4 结论

在山东威海靖海湾海区的刺参养殖池塘中,池塘藻类的构成以硅藻门种类最多,硅藻门和绿藻门作为池塘主要优势种全年均有分布。藻类生物量均呈春、夏季较高,秋、冬季较低的变化规律。影响刺参周年养殖池塘藻类优势种类的主要水环境驱动因子为水温,不同季节藻类群落中的优势种存在演替现象。在刺参池塘养殖过程中,应保持池塘水环境和营养盐结构稳定,以控制甲藻等可能大量耗氧、产生毒素的藻类过度繁殖,维系池塘环境中底栖硅藻等稳定的生物量,为刺参健康养殖营造有利的环境条件。

#### 参考文献

- [1] 姜森颢,任贻超,唐伯平,等. 我国刺参养殖产业发展现状与对策研究[J]. 中国农业科技导报,2017,19(9):15-23.
- [2] 李成林,宋爱环,胡炜,等. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策[J]. 渔业科学进展,2010,31(4):126-133.
- [3] 蒋涛,田传远,李琪,等. 刺参池塘养殖经济效益分析[J]. 中国渔业经济,2014,32(3):93-98.
- [4] 刘清河,刘晓收,许嫚,等. 夏季南黄海冷水团及其周边海域小型底栖动物类群组成与分布[J]. 生态学报,2015,35(24):8062-8074.
- [5] 高欣,景泓杰,赵文,等. 凡纳滨对虾高位养殖池塘浮游生物群落结构及水质特征[J]. 大连海洋大学学报,2017,32(1):44-50.
- [6] 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.
- [7] 许翠娅. 不同类型附着基及其底栖微藻对池塘养殖仿刺参生长和存活的影响[J]. 渔业研究,2019,41(4):284-292.
- [8] B. 福迪. 藻类学[M]. 罗迪安,译. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [9] 曾呈奎,毕列爵. 藻类名词及名称[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [10] 陈家长,孟顺龙,尤洋,等. 太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析[J]. 生态环境学报,2009,18(4):1358-1367.
- [11] 张旭峰,徐康,姜森颢,等. 大连地区仿刺参养殖池塘浮游植物种类组成季节演替和生物量的周年变化[J]. 广东海洋大学学报,2013,33(1):56-63.
- [12] 周一兵,刘亚军. 虾池生态系能量收支和流动的初步分析[J]. 生态学报,2000,20(3):474-481.
- [13] 王吉桥,丛文虎,姜玉声,等. 底栖硅藻种类和密度对仿刺参幼体和稚参生长与成活的影响[J]. 大连海洋大学学报,2010,25(3):203-209.
- [14] 王俊,黄海秋. 冬季浮游植物的调查研究[J]. 海洋水产科学,2003,24(1):15-23.
- [15] 李艳,李瑞香,王宗灵,等. 胶州湾浮游植物群落结构及其变化的初步研究[J]. 海洋科学进展,2005,23(3):328-334.
- [16] 宋洪军,李瑞香,王宗灵,等. 桑沟湾浮游植物多样性年际变化[J]. 海洋科学进展,2007,25(3):332-339.
- [17] 姜祖辉,陈瑞盛,王俊. 胶州湾红岛潮间带底栖微藻种类组成及其生物量变化[J]. 海洋水产研究,2007,28(5):74-81.
- [18] 刘冉,迟爽,程敬伟,等. 仿刺参养殖池塘中浮游和底栖藻类群落的变化[J]. 水产科学,2013,32(10):579-584.
- [19] MACARTHUR R. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability [J]. Ecology, 1955,36(3):533-536.
- [20] 裴国风,刘国祥,胡征宇. 东湖沿岸带底栖藻类群落的时空变化[J]. 水生生物学报,2007,31(6):836-842.
- [21] 陈碧鹃,陈聚法,崔毅,等. 莱州湾东部养殖区浮游植物的生态特征[J]. 海洋水产研究,2001,22(3):64-70.
- [22] 沈韞芬,章宗涉,龚循矩,等. 微生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1990:72-88.
- [23] WHITHORD L A, SCHUMACHER G J. Effect of current on mineral up take and respiration by fresh water alga [J]. Limnology and Oceanography, 1961, 6(4):423-425.
- [24] LANDINGHAM S L V. Some physical and generic aspects of fluctuations in non-marine plankton diatom populations [J]. Botanical Review, 1964, 30(3):437-478.
- [25] 梁英,刘春强,田传远,等. 营养盐形态及输入方式对6种海洋微藻群落演替的影响[J]. 海洋湖沼通报,2014(2):23-30.
- [26] 吴斌,廖思明. 广西北海凡纳滨对虾养殖池塘中微型藻类组成调查[J]. 广西科学,2008,15(4):452-455.
- [27] 廖思明,陈剑锋,阎冰,等. 广西北海凡纳滨对虾养殖池

- 塘叶绿素 a 和微藻的变化研究[J]. 广西科学, 2012, 19(2):160-164.
- [28] 王海霞, 刘瑀, 关春江, 等. 营养条件对微藻碳、氮稳定同位素组成的影响[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 727-733.
- [29] JACOBSEN A, EGGE J K, HEIMDAL B R. Effects of increased concentration of nitrate and phosphate during a springbloom experiment in mesocosm [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1995, 187(2):239-251.
- [30] RIEGMAN R. Nutrient-related selection mechanisms in marine phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic food web [J]. Water Science & Technology, 1995, 32(4):63-75.

## Community Structure of Phytoplankton and Benthophyte in *Apostichopus japonicus* Aquaculture Ponds and Water Quality Characteristics

ZHAO Bin<sup>1</sup>, HU Wei<sup>1</sup>, LI Chenglin<sup>1</sup>, ZHOU Hongxue<sup>2</sup>, ZHAO Hongyou<sup>3</sup>, SUN Yongjun<sup>4</sup>, JU Wenming<sup>4</sup>, HAN Sha<sup>1</sup>

(1. Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China; 2. Shandong Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, Jinan, Shandong, 250013, China; 3. Laiyang Marine Fishery Co., Ltd., Yantai, Shandong, 265200, China; 4. Homey Group Co., Ltd., Rongcheng, Shandong, 264300, China)

**Abstract:** In order to study the microalgae and water quality characteristics of the *Apostichopus japonicus* culture ponds, an annual survey and correlation analysis were carried out on the plankton and benthic algae community structure, biomass and pond water quality of Rongcheng *A. japonicus* culture ponds in Weihai City, Shandong Province. The results showed that: (1) A total of 53 species of planktonic algae in 7 Phyla, 38 Genera, and 42 species of benthic algae in 4 Phyla, 25 Genera were found in the culture pond of *A. japonicus*, among which the most species were Bacillariophyta. (2) The change range of salinity, pH value and phosphate was small, and the change of water temperature and dissolved oxygen presents significant seasonal characteristics. (3) The biomass of algae in the pond was higher in spring and summer, and lower in autumn and winter, and was significantly related to the water temperature of the pond, and increased with the rising of water temperature. The lowest and highest values of phytoplankton biomass appeared in January and July, respectively, were 2.9 and 23.7 mg/L. The lowest and highest values of benthic algae biomass appeared in December and April, respectively, were 2.5 and 16.5 mg/L. (4) The lowest and highest values of phytoplankton diversity index appeared in December and July, respectively, were 1.94 and 2.98. The lowest and highest values of benthic algae diversity index appeared in November and April, respectively, were 1.66 and 2.35. (5) The dominant species of algae community in different seasons had the phenomenon of succession. In the process of *A. japonicus* culture in ponds, the pond water environment and nutrient salt structure should be kept stable to create favorable environmental conditions for the healthy culture of *A. japonicus*.

**Key words:** *Apostichopus japonicus*, aquaculture ponds, phytoplankton, benthophyte, water quality