

陈烁<sup>1,3</sup>, 俞锦辰<sup>3</sup>, 孙涛<sup>3</sup>, 杨杰青<sup>3</sup>, 王悦恺<sup>2,3</sup>, 陈朗<sup>3</sup>, 周进<sup>3</sup>

1. 上海海洋大学, 水产与生命学院, 上海 201306;

2. 安徽师范大学, 生态与环境学院, 芜湖 241003;

3. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090

## 引入

浮游植物作为海洋生态系统中的光合自养生物, 贡献了全球50%~90%的初级生产力<sup>[1]</sup>, 是海洋食物网的基础。随着近海养殖规模的扩大, 营养盐负荷增加和水动力变化等环境压力显著影响了浮游植物的生长及群落组成。大型海藻养殖对浮游植物群落的影响随季节、温度及养殖规模而表现出时空异质性, 研究其变化有助于评估海洋生态系统的健康状况<sup>[2]</sup>。

海州湾位于黄海北部, 受黄海暖流和苏北沿岸流影响, 陆源营养盐通过入海河流注入海洋, 提供丰富的养殖资源, 使其成为我国重要的紫菜养殖区<sup>[3]</sup>。随着养殖规模扩大, 海州湾水质恶化、紫菜病害频发, 甚至出现绝收, 对紫菜产业造成冲击<sup>[4]</sup>。

## 目的与意义

为深入探讨紫菜养殖对海州湾浮游植物群落的影响, 本研究于2023年在紫菜养殖区及邻近海域开展四季调查, 揭示浮游植物群落结构现状, 分析养殖区与非养殖区环境因子和群落结构的时空变化, 探讨紫菜养殖对浮游植物细胞密度及群落结构的影响。研究为海州湾紫菜养殖的生态评估及未来养殖规模调整提供了科学依据。

## 研究区域



图1 海州湾紫菜养殖海域及邻近海域调查站位图

本研究围绕紫菜养殖周期, 于2023年2月(冬季养殖期)、4月(春季养殖结束后)、8月(夏季非养殖期)和10月(秋季养殖期开始)进行了四季采样, 在紫菜养殖海域及其附近海域(34.547°~34.991° N, 119.220°~119.730° E)开展采样调查, 共布设15个调查站位。紫菜养殖区(S1-1~S1-6, S2-1~S2-3); 近岸对照区(D1-1、D2-1、D3-1); 远岸对照区(D1-2、D2-2、D3-2)。

## 结果

### 海州湾紫菜养殖海域浮游植物群落结构

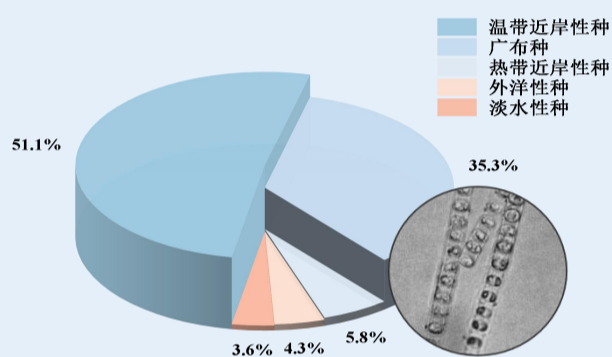


图2 浮游植物种类组成

海州湾紫菜养殖海域的浮游植物群落结构具有典型的温带海湾特征, 主要以温带近岸性种为主, 而淡水性种、热带近岸性种和外洋性种所占比例较小, 表明水团运动及淡水径流对群落结构的影响较小。

优势种如中肋骨条藻等链状硅藻依靠其形态特征在资源竞争中占据优势, 易引发赤潮, 特别是中肋骨条藻在冬季调查中细胞密度( $3.2 \times 10^8$  ind./m<sup>3</sup>)接近赤潮基准<sup>[5]</sup>, 威胁养殖环境。虽然中肋骨条藻赤潮无毒, 但会消耗溶解氧(DO)并与紫菜争夺养分, 影响养殖和生态系统的稳定<sup>[6]</sup>。

### 紫菜养殖对浮游植物群落的影响

紫菜养殖区与对照区在不同季节的浮游植物细胞密度和群落特征存在显著差异, 但区域间差异不显著。这可能与研究区域较小、水动力强及营养盐含量相近有关。尽管统计上区域差异不显著, 但这些变化趋势指示出重要的生态学意义<sup>[7]</sup>。紫菜养殖期间, 养殖区的群落多样性和稳定性提高, 赤潮风险降低, 优势种多样且优势度较平均。表明紫菜养殖对浮游植物群落结构有一定积极影响。

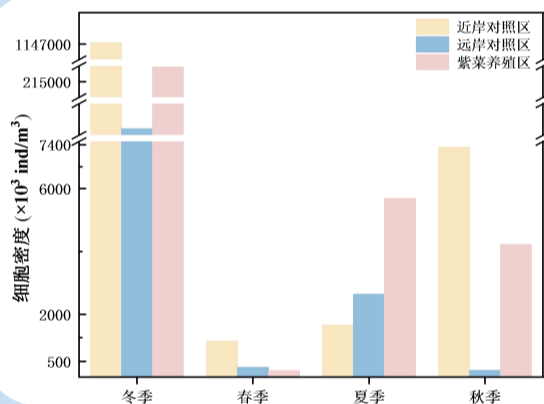


图3 四季各调查海区浮游植物细胞密度

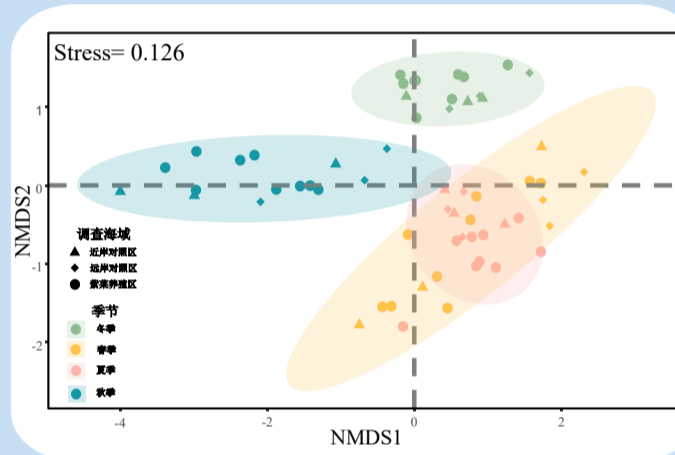


图4 各站位浮游植物样品的多维尺度分析

表1 不同海区 and 不同季节对浮游植物的细胞密度及群落特征指数影响的方差分析结果(P)

| 分组项 | 细胞密度<br>(ind./m <sup>3</sup> ) | 单纯度指数<br>C | 多样性指数<br>H' | 均匀度指数<br>J' | 丰富度指数<br>d |
|-----|--------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 海区  | 0.784                          | 0.374      | 0.347       | 0.555       | 0.519      |
| 季节  | ≤0.001**                       | ≤0.001**   | ≤0.001**    | ≤0.001**    | ≤0.001**   |

### 紫菜养殖区浮游植物群落对环境因子的响应

海州湾紫菜养殖海域的浮游植物群落主要受水温、盐度、DO及营养盐(如NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Si)等因素的影响。水温对浮游植物细胞密度的影响尤为显著, 冬季细胞密度最高, 群落以硅藻为主, 这与其偏好低温的特性一致<sup>[8]</sup>。根据CCA分析, 中肋骨条藻与水温呈负相关, 与其在冬季的高丰度现象对应。此外, 夜光藻在春季适温时占主导地位, 而角毛藻属则在夏秋季高温下占优势。盐度与浮游植物细胞密度也呈正相关, 尤其是在高盐环境下, 斯氏几内亚藻、尖刺拟菱形藻等硅藻, 以及夜光藻表现出较强的渗透压调节能力<sup>[6]</sup>。溶解氧与浮游植物总细胞密度显著正相关, 冬季溶解氧含量最高, 这与高细胞密度及光合作用密切相关。

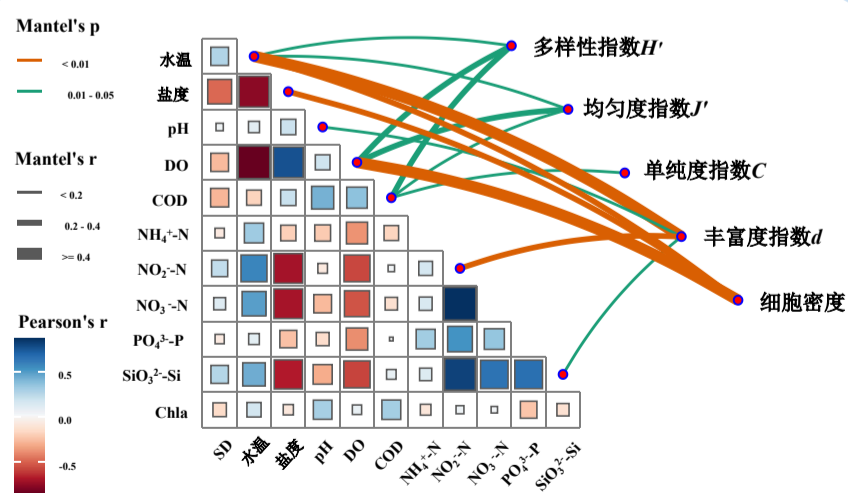


图5 紫菜养殖海域浮游植物群落特征指数与环境因子的相关性分析

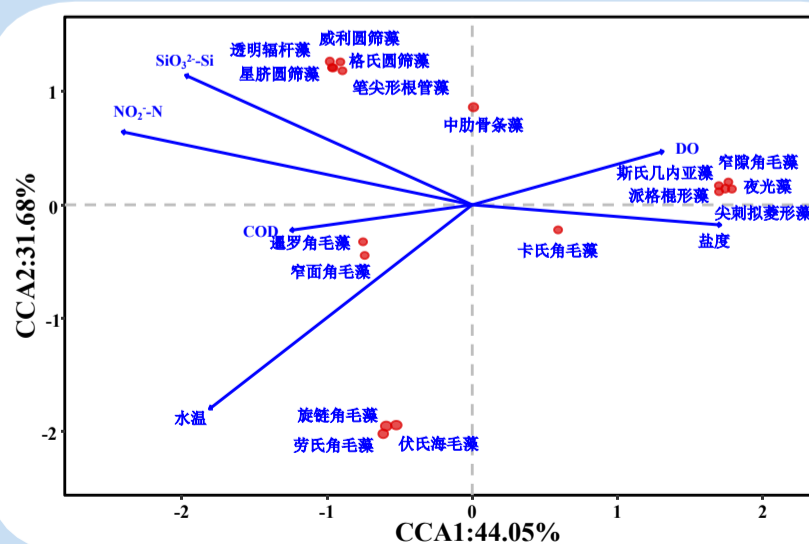


图6 浮游植物优势种与环境因子的典范对应分析(CCA)

## 结论

- 1) 海州湾紫菜养殖海域的浮游植物群落结构有典型的温带海湾特征;
- 2) 浮游植物群落参数和环境因子均存在显著的季节性差异; 而紫菜养殖区与对照区的群落结构参数无显著性差异, 但养殖区优势种的多样性和稳定性的增加, 说明紫菜养殖在一定程度上改善了浮游植物群落结构;
- 3) 影响紫菜养殖区浮游植物群落的主要环境因子有水温、DO、盐度和营养盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Si)。

## 参考文献

1. 王庆轩, 曲克明, 王庆奎, 魏玉秋, 孙军. 海洋浮游植物初级生产力及碳生物量的检测技术研究进展[J]. 海洋科学, 2023, 47(8): 131-140.
2. Sun K, Zhang J, Lin F, et al. Evaluating the influences of integrated culture on pelagic ecosystem by a numerical approach: A case study of Sungo Bay, China[J]. Ecological Modelling, 2020, 415: 108860-108860.
3. 苏敬丽. 海州湾紫菜养殖空间变化及其驱动因子影响分析的研究[D]. 2021.
4. 紫菜养殖对海州湾水质影响分析[J]. 环境科技, 2020, 33(05): 54-58+64.
5. 2008—2017年夏季闽东沿海海域网采浮游植物群落年际变化特征研究[J]. 渔业研究, 2020, 42(04): 314-323.
6. 陈楠生, 陈阳. 中国海洋浮游植物和赤潮物种的生物多样性研究进展(二): 东海[J]. 海洋与湖泊, 2021, 52(02): 363-418.
7. 大亚湾杨梅坑海域投礁前后浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 南方水产科学, 2013, (第5期): 109-119.
8. Xiao W, Li Y, Chen Q, et al. Tributyltin impaired reproductive success in female zebrafish through disrupting oogenesis, reproductive behaviors and serotonin synthesis[J]. Aquatic Toxicology, 2018, 200: 206-216.
9. 郭夏青. 天津近岸海域浮游植物时空变化特征及影响因素研究[D]. 天津科技大学, 2020.