

DOI: 10.3969/j.issn.2096-8248.2026.01.002

引用格式: 秦皓, 徐加涛, 李莹, 等. 江苏盐城近海春季浮游植物群落结构特征及其影响因素[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2026, 35(1): 13-21.

江苏盐城近海春季浮游植物群落结构特征及其影响因素

秦皓^{1,2}, 徐加涛², 李莹¹, 周泽龙¹, 杨斌^{2,3}

(1. 江苏中信优佳检测技术有限公司, 江苏南京 211106;

2. 江苏海洋大学江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏连云港 222005;

3. 北部湾大学广西海洋环境灾害过程与生态保护技术重点实验室, 广西钦州 535011)

摘要: 基于 2022 年 4 月江苏盐城近岸海域浮游植物和水环境参数调查数据, 探究该海区浮游植物群落结构特征及其影响因素。结果表明, 春季江苏盐城近岸海域共鉴定浮游植物 4 门 28 属 53 种, 包括硅藻 42 种, 甲藻 7 种, 蓝藻 3 种, 金藻 1 种。浮游植物密度均值为 $(8\ 286 \pm 3\ 465)$ 个/ m^3 , 多样性指数、丰富度指数及均匀度指数分别为 2.88 ± 0.35 , 2.00 ± 0.39 和 0.95 ± 0.02 , 主要优势种为长菱形藻(*Nitzschia longissima*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*) 和圆海链藻(*Thalassiosira rotula*)。聚类分析显示, 浮游植物群落可分为两个组群, 呈现明显的地理分异特征。群落参数与环境因子相关性分析结果显示, 浮游植物密度与盐度呈显著负相关 ($P < 0.05$, $r = -0.457$), 与溶解无机氮呈显著正相关 ($P < 0.05$, $r = 0.449$); 浮游植物种类数、丰富度指数和多样性指数均与海水温度呈显著负相关 ($P < 0.05$, r 分别为 -0.494 , -0.460 和 -0.441), 表明影响江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落分布的主要环境因子依次为温度、盐度及溶解无机氮。

关键词: 浮游植物; 群落组成; 影响因素; 盐城近岸海域

中图分类号: P735

文献标志码: A

文章编号: 2096-8248(2026)01-0013-09

Characteristics of phytoplankton community structure and its influencing factors in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province in spring

QIN Hao^{1,2}, XU Jiatao², LI Ying¹, ZHOU Zelong¹, YANG Bin^{2,3}

(1. Jiangsu Zhong Xin You Well Testing Tecchnology Co., Ltd, Nanjing 211106, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

3. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Disaster Processes and Ecological Protection Technology, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China)

Abstract: Based on the survey data of phytoplankton and water environmental parameters collected from the coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province in April 2022, the community structure characteristics of phytoplankton and its influencing factors were investigated within the research area. The findings indicated that in total 53 phytoplankton species belonging to 28 genera and 4 phyla were identified in

收稿日期: 2025-12-08; 修订日期: 2026-01-08

基金项目: 江苏省海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202304); 国家自然科学基金资助项目(42166002); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20241962)

作者简介: 秦皓, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态学, (E-mail) 249711553@qq.com。

通信作者: 杨斌, 教授, 博士, 研究方向为海洋生物地球化学, (E-mail) binyang@jou.edu.cn。

the coastal waters of Yancheng, including 42 species of Bacillariophyta, 7 species of Dinophyta, 3 species of Cyanophyta, and 1 species of Chrysophyta. The average phytoplankton density was $(8\ 286 \pm 3\ 465)$ cells/m³, and the diversity index, richness index, and evenness index were 2.88 ± 0.35 , 2.00 ± 0.39 and 0.95 ± 0.02 , respectively. The main dominant species were *Nitzschia longissima*, *Coscinodiscus jonesianus*, and *Thalassiosira rotula*. Cluster analysis indicated that the phytoplankton community could be divided into two groups, with a distinct geographical boundary in their distributions. Correlation analysis between community parameters and environmental factors suggested that phytoplankton density was significantly negatively correlated with salinity ($P < 0.05$, $r = -0.457$) and significantly positively correlated with dissolved inorganic nitrogen ($P < 0.05$, $r = 0.449$). Additionally, species number, richness index, and diversity index exhibited significant negative correlations with water temperature ($P < 0.05$, $r = -0.494$, -0.460 , and -0.441 , respectively). These results suggest that the distribution pattern of phytoplankton community in the coastal waters of Yancheng during spring is mainly influenced by water temperature, salinity and nutrient levels.

Key words: phytoplankton; community composition; influencing factors; Yancheng coastal waters

0 引言

浮游植物通过光合作用合成有机物,是海洋中最重要的初级生产者^[1],可为地球提供近50%的初级生产量^[2],对海洋生态系统的物质循环和能量转换有着重要贡献^[3]。浮游植物的生长与多种因素紧密相关,其群落结构不仅受气候变化和人类活动等的影响^[4-5],还会对水体环境产生反作用,因此常被视作水环境变化的指示生物^[6-7]。江苏省作为我国沿海重要省区,其所辖海域虽是集自然保护区、滩涂湿地、珍稀鱼类、经济鱼类等于一体的多功能区,但江苏近海却也是易受外部环境干扰的生态脆弱区^[8]。近年来,在沿海资源大开发战略背景下,沿岸滩涂围垦及港口基础设施建设等活动日益加剧,江苏近岸海域生态环境面临前所未有的压力,水体富营养化、赤潮暴发等一系列生态环境问题日益突出,导致浮游植物群落结构特征也发生明显的改变^[9-10],江苏近岸海域生态系统受此影响长期处于亚健康状态^[11]。因此,开展江苏近岸海域浮游植物群落结构特征及其影响因素研究具有重要的理论和现实意义。

近年来,尽管江苏近岸海域浮游植物种类组成及群落结构特征已有相关研究^[12-13],但多聚焦于整体海域浮游植物群落结构状况的描述,缺乏对关键区域的精细化研究。盐城近岸海域作为江苏沿海生态保护的核心理念,其浮游植物群落结构特征及其影响因素的研究却鲜有报道。基于此,本研究于2022年春季对江苏盐城近海开展浮游植物种类组

成、密度分布及多样性调查,旨在为该海域的生态环境保护与可持续发展提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 调查区域及站位布设

于2022年4月(春季)在江苏盐城近岸海域开展了浮游植物生态环境的综合调查,共布设24个站位,其中1~8号站位位于盐城射阳海区,9~24号站位位于盐城大丰海区,具体站位布设见图1。

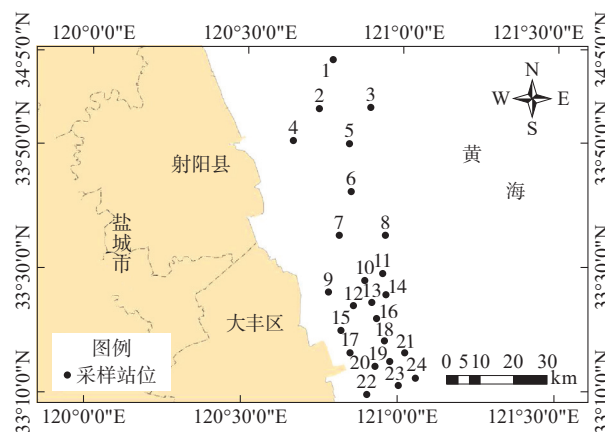


图1 研究区域及采样站位

Fig. 1 Study area and sample stations

1.2 采样及样品测定

按照 GB 17378—2007《海洋监测规范》^[14-15]对海水样品进行采集并测定理化参数。使用有机玻璃采水器对表层海水样品进行采集,并对各表

层采样站位的若干指标展开测定,包括透明度、温度、pH、溶解氧(DO)、盐度、化学需氧量(COD)、活性磷酸盐(DIP)、溶解无机氮(DIN,即硝酸盐(NO₃⁻)、亚硝酸盐(NO₂⁻)、铵盐(NH₄⁺)浓度之和)。现场使用多参数水质分析仪测定水温、盐度、pH和DO;用塞氏盘测定透明度;采用碱性高锰酸钾法测定COD;营养盐样品采集后,经0.45 μm孔径的滤膜过滤处理,随后使用双光束紫外可见分光光度计对DIP,NO₃⁻,NO₂⁻和NH₄⁺进行测定。其中,DIP通过磷钼蓝分光光度法测得,NO₃⁻采用锌镉还原法测定,NO₂⁻使用萘乙二胺分光光度法分析,NH₄⁺则利用次溴酸盐氧化法完成定量分析。

浮游植物采样按照GB/T 12763—2007《海洋调查规范》^[16]的要求,使用孔径为0.077 mm的浅水Ⅲ型浮游生物网,自底至表实施垂直拖网操作。网中样品收集后,按照每升水样加6~8 mL碘液固定保存,经实验室静置24 h后,通过虹吸缓慢移除上清液,保留底部50 mL浓缩液,移至烧杯中并充分摇匀。用取样管快速吸取0.1 mL至计数框内,盖上盖玻片使之不留气泡,移至OLYMPUS-CX31光学显微镜(10×20倍)下,参照《海洋浮游生物学》^[17]以及《海洋浮游生物生态学文集》^[18]对浮游植物种类进行鉴定和计数,并按照门类整理成种类名录。

1.3 数据处理与统计分析

1.3.1 浮游植物群落结构分析

对浮游植物物种多样性指数(H')、丰富度指数

(D)、均匀度指数(J)、优势度(Y)等进行评价,公式^[19-20]为

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i, \quad (1)$$

$$D = (S-1) / \log_2 N, \quad (2)$$

$$J = H' / \log_2 S, \quad (3)$$

$$Y = n_i / N \times f_i. \quad (4)$$

式中: S 为种类数; P_i 为第*i*种的个体数占总个体数的比值; N 为所有种的个体数总和; $Y \geq 0.02$ 为优势种; n_i 为第*i*种的个体数量; f_i 为第*i*种在各样方中出现的频率。

1.3.2 统计分析和图件绘制

应用R 4.5.1软件的Vegan程序包和Dendextend程序包进行聚类分析,为避免个别种类在密度上权重过高或过低引起的偶然性误差,对原始密度数据进行 $\log(x+1)$ 转换,后建立Bray-Curtis相似性矩阵,基于此矩阵进行聚类分析。采用SPSS 27.0软件对浮游植物群落参数与环境因子进行Pearson相关性分析, $P < 0.05$ 表明显著相关, $P < 0.01$ 表明极显著相关。采样站位图和相关热图分别采用ArcGIS 10.2软件和Origin 2025软件绘制。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成及优势种

江苏盐城近岸海域春季浮游植物种类以硅藻为主,甲藻次之,具体名录见表1。

表 1 江苏盐城近岸海域浮游植物种类名录

Table 1 Species list of phytoplankton in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

序号	门	种	拉丁文学名
1	硅藻门	尖布纹藻	<i>Gyrosigma acuminatum</i>
2	硅藻门	扭布纹藻	<i>Gyrosigma distortum</i>
3	硅藻门	海洋环毛藻	<i>Corethron pelagicum</i>
4	硅藻门	豪猪环毛藻	<i>Corethron henseni</i>
5	硅藻门	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
6	硅藻门	蜂窝三角藻	<i>Triceratium favus</i>
7	硅藻门	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>
8	硅藻门	活动盒形藻	<i>Biddulphia mobiliensis</i>
9	硅藻门	卡氏角毛藻	<i>Chaetoceros castracanei</i>
10	硅藻门	小型舟形藻	<i>Navicula parva</i>
11	硅藻门	细弱褶盘藻	<i>Tryblioptychus subtilis</i>
12	硅藻门	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>
13	硅藻门	海链藻	<i>Thalassiosira sp.</i>
14	硅藻门	圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i>
15	硅藻门	舟形斜纹藻	<i>Pleurosigma naviculaceum</i>
16	硅藻门	优美斜纹藻	<i>Pleurosigma decorum</i>
17	硅藻门	太阳双尾藻	<i>Ditylum sol</i>
18	硅藻门	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>
19	硅藻门	具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i>
20	硅藻门	洛伦菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i>

续表

序号	门	种	拉丁文学名
21	硅藻门	奇异菱形藻	<i>Nitzschia paradoxa</i>
22	硅藻门	具点菱形藻	<i>Nitzschia punctata</i>
23	硅藻门	弯菱形藻	<i>Nitzschia sigma</i>
24	硅藻门	碎片菱形藻	<i>Nitzschia frustulum</i>
25	硅藻门	针状菱形藻	<i>Nitzschia acicularis</i>
26	硅藻门	长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>
27	硅藻门	扭曲小环藻	<i>Cyclotella comta</i>
28	硅藻门	条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>
29	硅藻门	格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>
30	硅藻门	虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>
31	硅藻门	具边线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus marginato-lineatus</i>
32	硅藻门	巨圆筛藻	<i>Coscinodiscus gigas</i>
33	硅藻门	辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>
34	硅藻门	孔圆筛藻窄隙变种	<i>Coscinodiscus perforatus var. pavillardi</i>
35	硅藻门	细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i>
36	硅藻门	线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus lineatus</i>
37	硅藻门	中心圆筛藻	<i>Coscinodiscus centralis</i>
38	硅藻门	偏心圆筛藻	<i>Coscinodiscus excentricus</i>
39	硅藻门	弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatus</i>
40	硅藻门	琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>
41	硅藻门	簇生针杆藻	<i>Synedra fasciculata</i>
42	硅藻门	针杆藻	<i>Synedra</i> sp.
43	甲藻门	微小亚历山大藻	<i>Alexandrium minutum</i>
44	甲藻门	膝沟藻	<i>Gonyaulax</i> sp.
45	甲藻门	长角角藻	<i>Ceratium longissimum</i>
46	甲藻门	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>
47	甲藻门	锥状斯克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
48	甲藻门	米氏裸甲藻	<i>Gymnodinium mikimotoi</i>
49	甲藻门	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>
50	金藻门	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i>
51	蓝藻门	两栖颤藻	<i>Oscillatoria amphibia</i>
52	蓝藻门	鞘丝藻	<i>Lyngbya</i> sp.
53	蓝藻门	针状蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis acicularis</i>

本次调查共发现浮游植物 4 门 28 属 53 种。其中,硅藻门 18 属 42 种, 占总属数的 64.29%, 占总种类数的 79.24%; 甲藻门 6 属 7 种, 占总属数的 21.43%,

占总种类数的 13.21%; 蓝藻门 3 属 3 种, 占总属数的 10.71%, 占总种类数的 5.66%; 金藻门 1 属 1 种, 占总属数的 3.57%, 占总种类数的 1.89% (见图 2)。

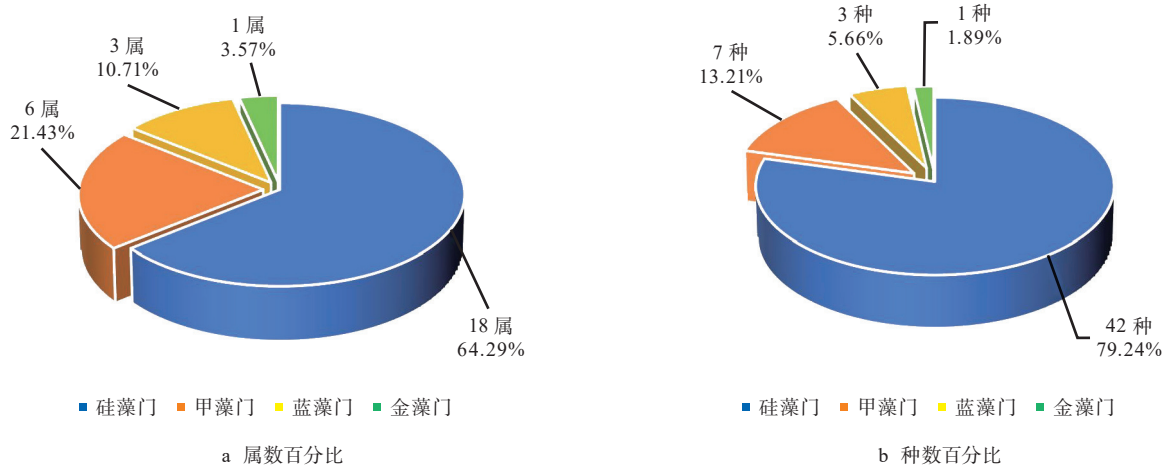


图 2 江苏盐城近岸海域浮游植物门类属数百分比及种数百分比组成

Fig. 2 Percentage composition of phytoplankton genera by phylum and species in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

由表 2 可知, 春季江苏盐城近岸海域浮游植物优势种类共有 6 种, 均为硅藻门类, 且优势度排行前 3 位的优势种均为已知赤潮种。

表 2 江苏盐城近岸海域浮游植物优势种分布
Table 2 Distribution of dominant species of phytoplankton in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

序号	优势种	优势度 (Y)	赤潮物种
1	长菱形藻 (<i>Nitzschia longissima</i>)	0.103	是
2	琼氏圆筛藻 (<i>Coscinodiscus jonesianus</i>)	0.064	是
3	圆海链藻 (<i>Thalassiosira rotula</i>)	0.044	是
4	具槽直链藻 (<i>Melosira sulcata</i>)	0.042	否
5	太阳双尾藻 (<i>Ditylum sol</i>)	0.031	否
6	具边线形圆筛藻 (<i>Coscinodiscus marginato-lineatus</i>)	0.027	否

2.2 浮游植物密度及分布

调查期间, 江苏盐城近岸海域浮游植物密度变化范围为 4 398~16 592 个/m³, 平均值为 (8 286±3 465) 个/m³。其中, 10 号站位密度最小, 15 号站位密度最大 (见图 3)。

由浮游植物门类水平可见, 硅藻密度变化范围为 3 554~15 500 个/m³, 平均值为 (7 656±3 270) 个/m³, 占总密度的 92.32%; 甲藻密度均值为 (461±927) 个/m³, 占总密度的 5.44%; 蓝藻和金藻密度均值分别为 (135±248) 个/m³ 和 (34±171) 个/m³, 共占总密度的 2.24%。由此可见, 江苏盐城近岸海域春季浮游植物硅藻密度显著高于其他藻类, 为主要优势类群 (见图 4)。

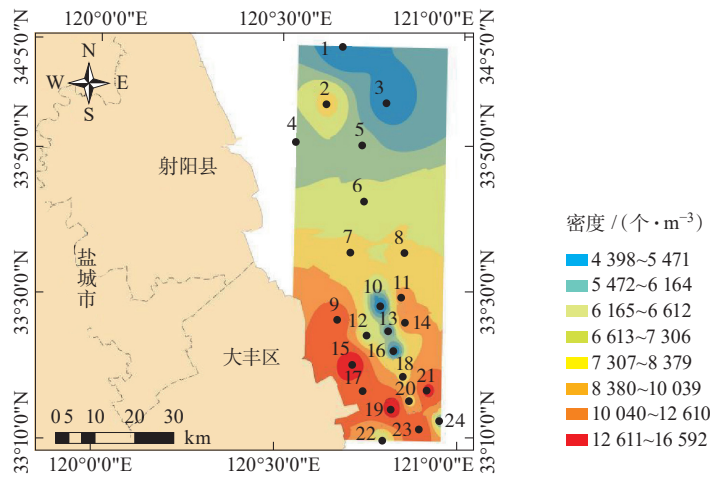


图 3 江苏盐城近岸海域浮游植物密度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of phytoplankton density in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

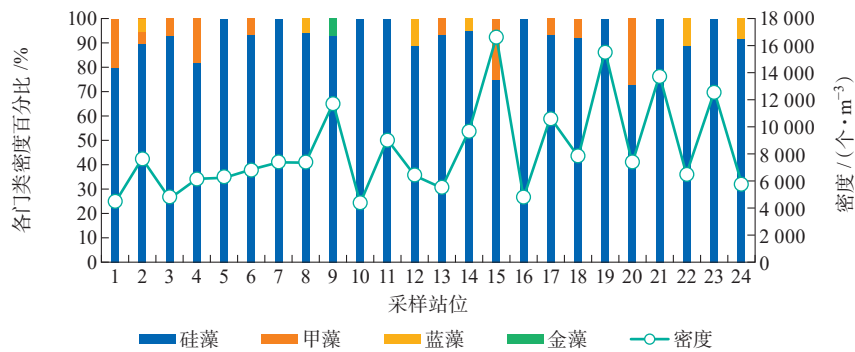


图 4 江苏盐城近岸海域浮游植物门类密度及占比

Fig. 4 Density and percentages of phytoplankton phyla in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

2.3 浮游植物生物多样性分析

由图 5 可知, 调查海域浮游植物多样性指数 (H') 范围为 2.38~3.47, 均值为 2.88 ± 0.35 , 最高值位于 2 号站位, 最低值位于 7 号站位。丰富度指数

(D) 范围为 1.31~2.69, 均值为 2.00 ± 0.39 , 最高值位于 5 号站位, 最低值同样位于 7 号站位。均匀度指数 (J) 范围为 0.90~0.98, 均值为 0.95 ± 0.02 , 最高值位于 3 号站位, 最低值位于 21 号站位。

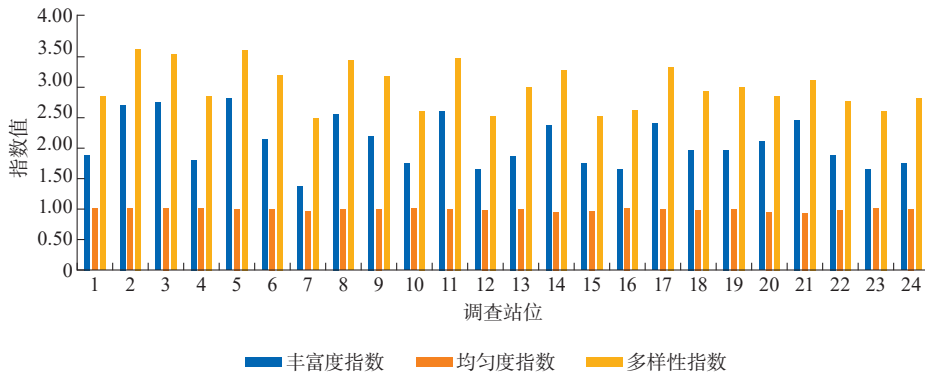


图5 江苏盐城近岸海域浮游植物丰富度、均匀度及多样性指数特征

Fig. 5 Characteristics of richness, evenness and diversity indices of phytoplankton in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

2.4 浮游植物群落聚类分析

聚类分析结果显示,在15%的相似度水平下,江苏盐城近岸海域浮游植物群落可分为两个组群,其中2,3,5,6,7,8,9,10,11,14站位构成群落I,其余站位构成群落II(见图6)。群落I集中于江苏盐城射阳海区,群落II则集中于江苏盐城大丰海区,呈现明显的地理分异特征。具槽直链藻和琼氏圆

筛藻是群落I中主要的优势种,密度分别占据该组群的11.89%和13.85%;群落II中,最主要优势种是长菱形藻,其密度占比达25.4%(见图6)。SIMPER分析显示,浮游植物群落I和群落II的非相似性为73.5%,造成差异的原因主要是长菱形藻、具槽直链藻和琼氏圆筛藻的空间异质性。

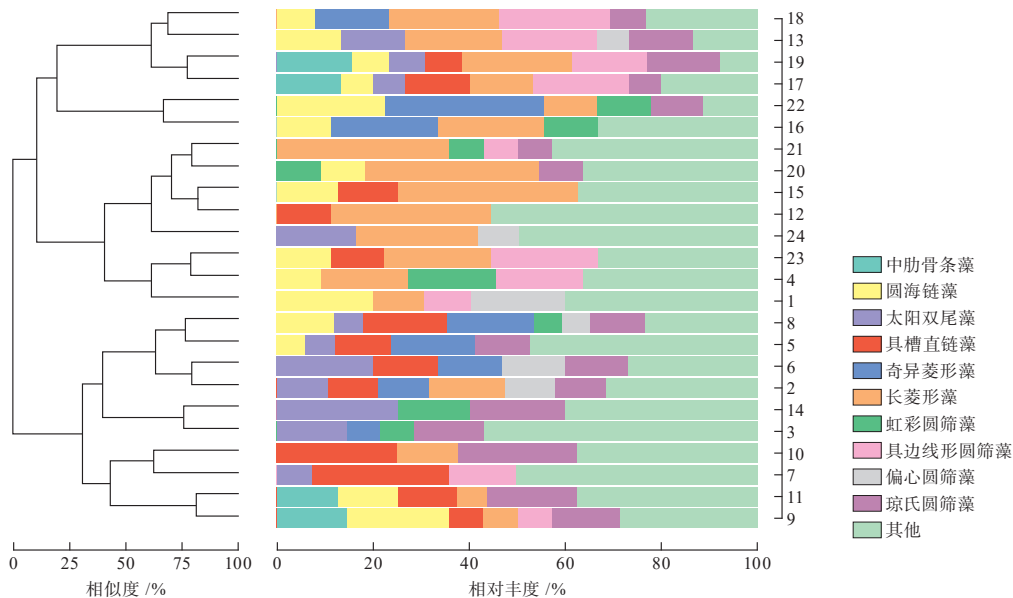


图6 江苏盐城近岸海域浮游植物群落聚类分布

Fig. 6 Clustering distribution of phytoplankton community in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

2.5 浮游植物群落结构与环境因子相关性分析

本研究将浮游植物群落参数与透明度、温度、pH、DO、盐度、COD、DIP、DIN以及N/P环境因子进行相关性分析。结果显示,浮游植物总密度和硅藻密度均与盐度呈显著负相关($P < 0.05, r = -0.457$),与DIN浓度呈显著正相关($P < 0.05, r = 0.449$)。

浮游植物种类数、丰富度指数和多样性指数与海水温度均呈显著负相关($P < 0.05, r$ 分别为 $-0.494, -0.460$ 和 -0.441)(见图7)。由此可见,影响江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落分布的环境因子依次为温度、盐度和DIN,其余环境因子与浮游植物群落参数均无显著相关性。

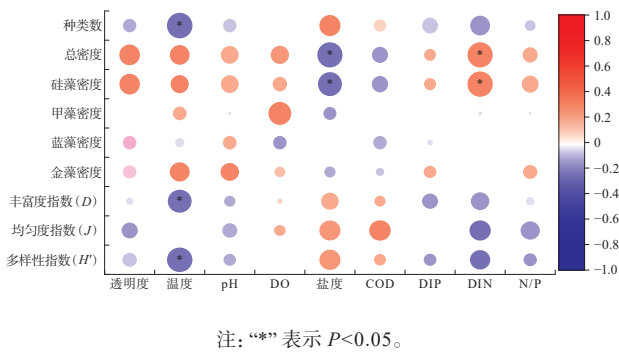


图 7 江苏盐城近岸海域浮游植物群落结构与环境因子相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis between phytoplankton community structure and environmental factors in coastal waters of Yancheng, Jiangsu Province

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构及空间分布稳定性

本研究区域浮游植物种类主要以硅藻为主, 其次为甲藻, 这与历年在江苏近岸海域调查的结果一致^[21-22]。浮游植物优势种共有 6 种, 以长菱形藻、琼氏圆筛藻和圆海链藻为主, 分布相对均衡。需要注意的是, 长菱形藻、琼氏圆筛藻与圆海链藻均为赤潮种^[23], 其密度分布在一定程度上可以指示当前海域的生态环境健康状态和赤潮发生风险^[24]。根据 HY/T 069—2005《赤潮监测技术规程》^[25]可知, 长菱形藻形成赤潮时的基准浓度为 10×10^7 个/ m^3 , 琼氏圆筛藻的基准浓度为 10×10^7 个/ m^3 , 圆海链藻的基准浓度为 20×10^7 个/ m^3 。本次调查中这 3 种藻类在群落中虽然处于优势赤潮种, 但其密度显著低于各自形成赤潮的基准浓度水平, 且也不属于高发性及频发性赤潮生物^[26]。因此, 在当前密度水平、生物特性及环境条件下, 短期内形成赤潮的几率较小, 但后期需重点关注其密度分布动态变化, 以防赤潮发生。此外, 生物多样性指数可进一步反映优势种的组成结构和群落的稳定性^[27-28]。本次研究浮游植物多样性指数为 2.88 ± 0.35 , 根据生物指数评价标准可知, $H' \geq 3.0$ 时生境指数为优良; $2 \leq H' < 3.0$ 为一般; $1 \leq H' < 2.0$ 为差; $H' < 1.0$ 为极差^[29]。由此可见, 江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落多样性指数均处于“一般”水平, 接近“优良”等级下限, 表明该季节所调查海区浮游植物群落结构较为均衡。

聚类分析结果显示, 浮游植物群落在 15% 的相似度上可划分为两个组群, 且群落 I 和群落 II 分别集中在江苏盐城射阳海区和和大丰海区, 其之间的非

相似性为 73.5%。射阳海区主要由琼氏圆筛藻和具槽直链藻主导, 大丰海区则由长菱形藻占据绝对优势地位, 物种分布的不同导致群落之间的差异性显著, 且该分布格局与地理分区高度吻合, 表明江苏盐城近岸海域春季浮游植物空间分布格局呈现一定的区域一致性^[30]。本研究基于春季单个航次调查, 在时间尺度上还存在一定的局限性, 无法反映年际变化或春季内的动态过程, 今后应结合不同季节不同月份在该海域的跟踪调查数据, 以全面反映该海区浮游植物群落结构时空变化格局, 为江苏盐城近海生态环境保护与科学管理提供更全面的基础数据。

3.2 浮游植物群落结构组成与环境因子的关系

浮游植物群落的组成与分布通常会受多种环境因子的综合调控^[31-32]。研究表明, 江苏盐城北部海区浮游植物群落组成与海水温度、透明度、pH、盐度、COD、悬浮物和营养盐有关^[33]。根据 Pearson 相关性分析可知, 温度、盐度和 DIN 是控制江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落结构组成的关键因素, 这与前人在江苏连云港邻近海域研究结果一致^[34]。浮游植物总密度和硅藻密度均与盐度呈显著负相关 ($P < 0.05$), 表明盐城近岸陆源输入和苏北沿岸流是影响该海区春季浮游植物总密度和硅藻密度分布的重要因素。氮和磷是浮游植物生长繁殖的必要营养元素, 其中 DIN 是浮游植物吸收利用的主要氮源^[35-36], 营养盐浓度增加会导致硅藻大量生长繁殖^[37-38]。浮游植物总密度和硅藻密度均与 DIN 浓度呈显著正相关 ($P < 0.05$), 表明 DIN 为浮游植物的大量繁殖提供了丰富的营养物质, 导致该海区春季浮游植物总密度和硅藻密度显著增加。此外, 调查期间浮游植物优势种均为硅藻, 硅藻喜低温, 最适宜温度通常在 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下^[39], 而盐城近岸海域表层海水温度均值为 $14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 处于硅藻生长的理想温度区间。适宜的水温条件提高了硅藻的生长繁殖速率, 使其在种间竞争中占据绝对优势, 进而形成以硅藻为主的浮游植物群落结构。浮游植物种类数、丰富度指数和多样性指数与海水温度均呈显著负相关 ($P < 0.05$), 表明温度也是控制江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落结构组成的重要因素。

4 结论

(1) 江苏盐城近岸海域春季共发现浮游植物 4 门 28 属 53 种, 硅藻是最主要的种类, 其次为甲藻。浮游植物群落多样性指数处于“一般”水平, 群落

结构较为均衡。

(2) 长菱形藻、琼氏圆筛藻和圆海链藻为江苏盐城近岸海域春季浮游植物优势赤潮种, 尽管在当前密度水平、生物特性及环境条件下, 短期内发生赤潮的几率较小, 但仍需重点关注其密度分布动态变化, 以防赤潮发生。

(3) 聚类分析表明, 江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落空间分布格局与地理分区高度吻合, 呈现一定的区域一致性。

(4) 相关性分析表明, 海水温度、盐度和营养盐是影响江苏盐城近岸海域春季浮游植物群落结构组成的重要因素。

参考文献:

- [1] 李立群, 王艳, 王彪, 等. 2009—2021年夏季长江口海域浮游生物群落结构时空分布特征及其影响因素研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(2): 233-245.
- [2] 孙军. 海洋浮游植物与生物碳汇[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5372-5378.
- [3] 乐凤凤, 孙军, 宁修仁, 等. 2004年夏季中国南海北部的浮游植物[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(3): 238-248.
- [4] CATHARINA A D S, GONZALEZ M T, IRIARTE J L. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile[J]. Journal of Plankton Research, 2008, 30(11): 1233-1243.
- [5] BEARDALL J, STOJKOVIC S, LARSEN S. Living in a high CO₂ world: impacts of global climate change on marine phytoplankton[J]. Plant Ecology & Diversity, 2009, 2(2): 191-205.
- [6] 骆巧琦, 张跃平, 陈岚, 等. 石狮东部近岸海域浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(2): 231-238.
- [7] 侯迪遥, 黎傲雪, 吕少梁, 等. 雷州半岛东部近岸海域春秋季节浮游植物群落结构特征及环境影响因子分析[J]. 南方水产科学, 2025, 21(1): 55-65.
- [8] 丁言者. 江苏近岸海域水质变化特征研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2014.
- [9] 池源, 石洪华, 王媛媛, 等. 海岛生态系统承载力空间分异性评估——以庙岛群岛南部岛群为例[J]. 中国环境科学, 2017, 37(3): 1188-1200.
- [10] 邢建伟, 宋金明, 袁华茂, 等. 我国近海生态环境灾害发生的生源要素驱动机制及健康调控[J]. 应用生态学报, 2024, 35(2): 564.
- [11] 唐得昊. 江苏近岸海域生态系统健康整体性评估研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.
- [12] 杨洋, 孙晓霞, 郑珊, 等. 南黄海夏初网采浮游植物分布与长期变化[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(4): 755-763.
- [13] 梅肖乐. 江苏近岸海域浮游植物多样性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [14] 全国海洋标准化技术委员会. 海洋监测规范(第3部分): 样品采集、贮存与运输: GB 17378.3—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] 全国海洋标准化技术委员会. 海洋监测规范(第4部分): 海水分析: GB 17378.4—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 国家海洋标准计量中心. 海洋调查规范(第6部分): 海洋生物调查: GB/T 12763.6—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [17] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [18] 郑重. 海洋浮游生物生态学文集[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1986.
- [19] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [20] HILL M O, PIEOU E G. An introduction to mathematical ecology[J]. Journal of Ecology, 1970, 58(3): 896.
- [21] 王紫玄, 白桦, 韩雪, 等. 2022和2023年江苏近岸海域夏季浮游植物群落结构特征及其影响因素研究[J]. 环境监控与预警, 2025, 17(4): 8-16.
- [22] 朱旭宇, 许海华, 丁言者, 等. 2015年春、夏季江苏近岸海域网采浮游植物群落变化[J]. 海洋湖沼通报, 2020(5): 121-130.
- [23] 陈楠生, 张梦佳, 刘淑雅, 等. 中国海域赤潮物种多样性[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(3): 599-624.
- [24] 毛成责, 花卫华, 矫新明, 等. 江苏海涂夏季浮游植物种类组成及数量分布[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(5): 753-759.
- [25] 国家海洋标准计量中心. 赤潮监测技术规程: HY/T 069—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [26] 郭皓, 林凤翱, 刘永健, 等. 近年来我国海域多发性赤潮生物种类以及赤潮风险指数分级预警方法[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(1): 94-98.
- [27] XABIER I, JEF H, ROGER P H. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton[J]. Nature, 2004, 429(6994): 863-867.
- [28] 张占飞, 刘定莹, 张英豪. 东平湖秋季浮游生物群落

- 特征及其与环境因子的关系[J]. 环境化学, 2024, 43 (1): 264-274.
- [29] 马建新, 郑振虎, 李云平, 等. 莱州湾浮游植物分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2002 (4): 63-67.
- [30] 纪璐璐, 赵璐, 欧阳添, 等. 环境异质性对三峡库区支流香溪河附石硅藻群落的影响及驱动作用[J]. 环境科学, 2023, 44 (4): 2083-2092.
- [31] APRIADI T, MELANI W R, ZULFIKAR A, et al. Phytoplankton community dynamics in Sei Gesek reservoir, Bintan Island [C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, 1260 (1): 012010.
- [32] FIRSOVA A, GALACHYANTS Y, BESSUDOVA A, et al. Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 [J]. Diversity, 2023, 15 (10): 1070.
- [33] 王一鹏. 盐城北部近岸海域浮游植物时空变化及环境响应研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [34] 朱旭宇, 许海华, 许娴, 等. 连云港邻近海域网采浮游植物分布特征及其影响因素[J]. 应用海洋学学报, 2017, 36 (3): 385-394.
- [35] SIPLER R E, BRONK D A. Dynamics of dissolved organic nitrogen [M]// HANSELL DA. Biogeochemistry of marine dissolved organic matter. Amsterdam: Academic Press, 2015.
- [36] 骆巧琦, 陈岚, 张跃平, 等. 2022 年夏季厦门西南部海域网采浮游植物群落特征与环境因子分析[J]. 应用海洋学学报, 2024, 43 (4): 616-629.
- [37] LV Hong, YANG Jun, LIU Lemian, et al. Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2014, 21 (9): 5917-5928.
- [38] 盖建军, 李琴, 黄春贵, 等. 南黄海辐射沙洲夏季浮游植物的群落特征[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2022, 31 (4): 35-41.
- [39] WASMUND N, TUIMALA J, SUIKKANEN S, et al. Long-term trends in phytoplankton composition in the western and central Baltic Sea [J]. Journal of Marine Systems, 2011, 87 (2): 145-159.

(责任编辑: 李琴)

郑 重 声 明

为了适应我国信息化建设发展的需要, 有力地促进科研学术信息交流和信息资源开发利用的有效性, 严肃科学研究成果发布的科学化和规范化, 从根本上杜绝和防范学术不端行为发生, 打击学术成果造假和学术剽窃, 本刊根据已先后加入《中国核心期刊(遴选)数据库》《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》《中国学术期刊综合评价数据库》“万方数据网”和“万方数据——数字化期刊群”, 以及《中文科技期刊数据库》《教育阅读网》全文收录期刊序列的实际情况, 从 2011 年 6 月 30 日起, 正式签约并执行“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”(简称《暂行办法》)。同时在此郑重声明, 本刊根据《暂行办法》的规定, 要求投稿本刊的所有作者应自觉查阅和遵守相关规定要求, 并按照文责自负的原则对所投稿件承担相应学术责任, 一经“学术不端文献检测系统”(简称 AMLC)检测发现有严重抄袭、一稿多投, 或不当署名、伪造、篡改等学术不端行为者, 均在本刊所加入的文献收录数据库和文献资料信息存储单位中自动删除该文献, 并在此基础上由作者承担因学术不端行为所造成的其他后果。

特此声明, 望所有投稿本刊的作者充分理解和自觉遵守, 同时知会其他同行和好友悉知。

《江苏海洋大学学报(自然科学版)》编辑部