

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

骆巧琦^{1,2}, 张跃平^{1,2*}, 陈 岚^{1,2}, 周治东^{1,2}, 李海平^{1,3}, 洪一川^{1,2}

(1. 福建海洋研究所, 福建 厦门 361013; 2. 福建省海陆界面生态环境联合重点实验室, 福建 厦门 361005;

3. 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室, 福建 厦门 361013)

摘要:根据2018年春、秋两季在石狮东部近岸海域进行调查所获得的数据,研究了该海域浮游植物的群落结构,并对浮游植物群落与环境因子的关系进行了相关性分析。通过春、秋两季的调查,经初步鉴定,共145种浮游植物,隶属于3门51属,种类以硅藻为主,其中硅藻122种,甲藻21种,蓝藻2种。在春季的调查中,优势种有奇异棍形藻(*Bacillaria paradoxa*)、密连角毛藻(*Chaetoceros densus*)等7种,秋季的优势种有中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)等5种。浮游植物细胞密度在 $1.81 \times 10^4 \sim 410.65 \times 10^4$ cells/ m^3 之间,春季明显高于秋季。春季多样性指数(H')平均值为3.24,秋季为3.31。相关性分析结果表明,影响石狮东部近岸海域浮游植物群落的主要环境因子有水温、盐度、无机氮含量和活性磷酸盐含量。

关键词:海洋生物学;浮游植物;群落结构;环境因子;泉州湾

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2021.02.006

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2021)02-0231-08

浮游植物是海洋生态系统中初级生产力的主要贡献者^[1],可以直接或间接作为经济鱼类、虾类、蟹类和贝类等经济动物的饵料,是海洋生态系统的基石。浮游植物群落结构和数量对渔业资源的种群结构、数量和质量有着极大的影响。浮游植物还可以作为海流、赤潮或水质污染的指示种,其群落结构和种群数量会受到各种环境因子的影响,同时又会反作用于环境,直接影响生态系统的结构与功能,对维持海洋生态系统平衡起至关重要的作用^[2-3]。利用浮游植物群落结构来评价水质在国内外已经得到广泛的应用^[4]。因此,浮游植物群落结构与环境之间相互关系的研究,无论对于了解海洋生态系统的动力学机制,还是对渔业资源动态变化的研究都具有重要意义^[5]。

本研究区为福建省泉州地区石狮东部近岸海域,位于泉州湾口以南($24^{\circ}39'20.28''\text{N}$ — $24^{\circ}46'14.52''\text{N}$, $118^{\circ}42'52.38''\text{E}$ — $118^{\circ}48'7.65''\text{E}$)。对于泉州湾沿岸的浮游植物结构组成及数量分布的调查始于上世

纪60年代,特别是80年代以后进行了海岸带、海岛资源等多项调查^[6-11],但是这些调查并未涉及湾口以南的石狮东部近岸海域。石狮东部近岸海域比较宽敞,其中锦尚湾渔港是沿海渔船的避风处,周边海域特别是泉州湾的渔业和海水养殖业发达^[7]。随着海域开发利用的进一步发展,在其后方也建立了海洋捕捞、水产品加工基地等设施,这些工业设施对该海域海洋生态环境带来一定的影响。

根据相邻海域(泉州湾)浮游植物已有的调查资料,本研究对石狮东部近岸海域的浮游植物进行春、秋两季调查,采用Pearson相关性分析研究环境因子对该海域浮游植物群落的影响,分析总结了该海域不同季节的浮游植物群落结构特征及其环境影响因子,为进一步了解石狮市东部沿岸海域浮游植物群落特征变化及其对整个调查海域生态系统的影响提供基础数据,为该海域环境影响评价、海域使用论证和生物资源的可持续利用提供参考依据。

收稿日期:2019-12-04

基金项目:福建省属公益类科研院所专项资助项目(2020R1006002)

作者简介:骆巧琦(1982—),女,博士,助理研究员;E-mail: cuiti2@sina.com

* 通讯作者:张跃平(1971—),男,研究员;E-mail: 529244377@qq.com

1 材料与方法

1.1 调查时间和调查站位

根据石狮东部近岸海域的地理形态、水文特征及海区情况,一共布设 12 个调查站位(图 1),调查时间为 2018 年 4 月(春季)和 10 月(秋季)。

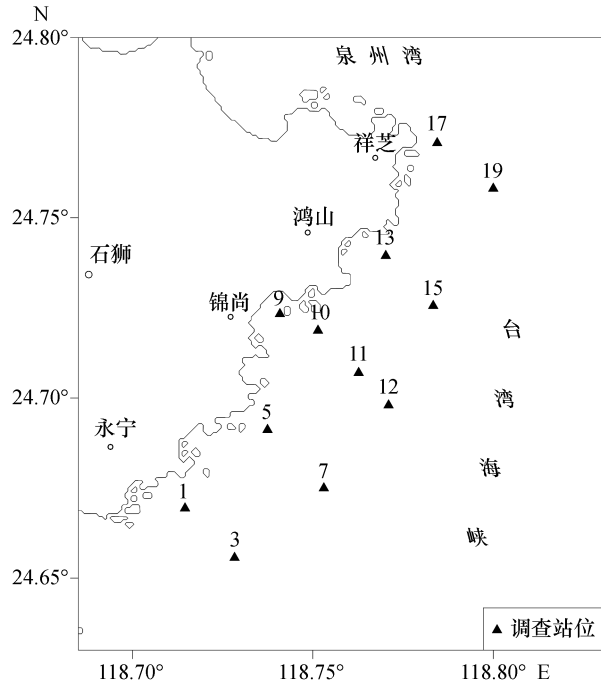


图 1 石狮东部近岸海域浮游植物调查站位
Fig. 1 Phytoplankton investigation sites in the coastal water of eastern Shishi

1.2 样品的采集与处理

浮游植物样品的采集、固定和分析按照《海洋调查规范》^[12] 执行。浮游植物采用浅水 III 型浮游生物网进行由底至表垂直拖网,采集样品,并用浓度为 5% 的甲醛溶液固定保存,带回实验室,经静置、浓缩后,在光学显微镜下鉴定种类。同步进行水质样品的采集,并测定海水的温度、盐度、pH 值、化学需氧量含量 (C_{COD})、溶解氧含量 (C_{DO})、溶解无机氮含量 (C_{DIN}) 及活性磷酸盐含量 ($C_{\text{PO}_4\text{-P}}$)。水质样品的采集与分析按照《海洋调查规范》^[13] 和《海洋监测规范》^[14] 执行。

1.3 数据处理

采用 4 个指数进行群落结构分析。Shannon 多样性指数 (H') 公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \log_2 P_i \tag{1}$$

Pielou 均匀度指数 (J') 公式如下:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S} \tag{2}$$

Margalef 丰富度指数 (d) 公式如下:

$$d = \frac{(S - 1)}{\log_2 N} \tag{3}$$

优势度 (Y) 公式如下:

$$Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) f_i \tag{4}$$

公式(1)至(4)中: S 为样品中的种类数, $P_i = n_i/N$ 为第 i 个种的个体数量与样品总个体数的比值, n_i 为第 i 个种的个体数量, N 为样品的总个体数, f_i 为第 i 个种的出现率,优势种采用 $Y \geq 0.02$ 的物种^[15]。

浮游植物细胞密度与环境因子的关系采用 Pearson 相关性分析;浮游植物细胞密度和环境参数(除 pH 外)经过 $\lg(x + 1)$ 转换后,采用 MATLAB R2017b 软件计算其相关系数以及显著性水平。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2018 年春、秋季两次调查共鉴定浮游植物 3 门 51 属 145 种,其中硅藻门 42 属 122 种,占 84.14%;甲藻门 7 属 21 种,占 14.48%;蓝藻门 2 属 2 种,占 1.38%。春季共鉴定 102 种浮游植物,包括 91 种硅藻、10 种甲藻和 1 种蓝藻;秋季共鉴定浮游植物 99 种,包括 80 种硅藻、17 种甲藻和 2 种蓝藻。

春季各站位浮游植物种类数在 30~49 种之间,在调查海域的平面分布特征大致呈南部多于北部的趋势;秋季各站位浮游植物种类数在 24~50 种之间,在调查海域中部的数量较多(图 2)。

2.2 细胞密度

2018 年调查海域春、秋两季浮游植物的细胞密度均值均为 $99.52 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$,其中春季为 $155.17 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$,秋季为 $43.86 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$,浮游植物细胞密度春季明显高于秋季。

调查海域春季各站位浮游植物细胞密度在 $12.41 \times 10^4 \sim 410.65 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ 之间,高密度区位于调查海域北部近岸水域的 17 号站位和 13 号站位,细胞密度明显高于其他站位;最少的位于调查海域西南部的 7 号站位。总体上,细胞密度呈现调查海域北高南低的趋势(图 3)。秋季各站位浮游植物细胞密度在 $1.81 \times 10^4 \sim 227.92 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ 之间,高密度区位于调查海域中部近岸水域的 9 号站位,细胞总数量明显高于其他站位;最低值的位于调查海域西南部近岸水域的 5 号站位,最高值约是最低值的 126 倍。总体上,细胞密度呈现调查海域中部高、两

头低的趋势(图3)。

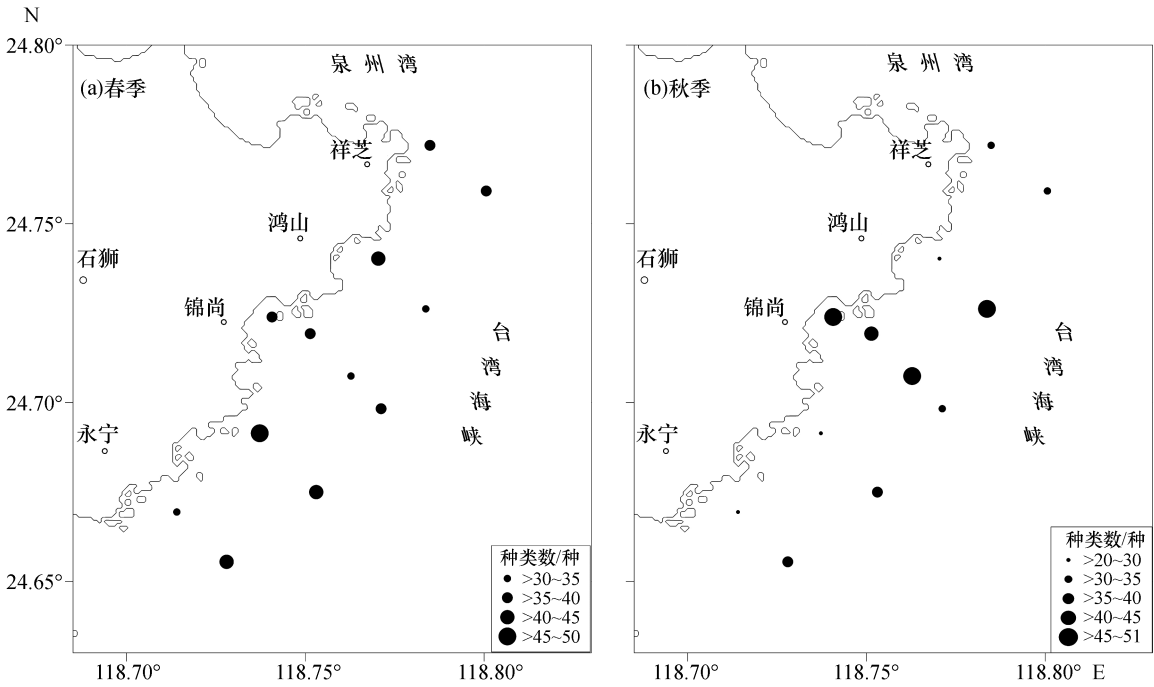


图2 调查海域春、秋两季浮游植物种类数的平面分布
Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton species number in survey area in spring and autumn

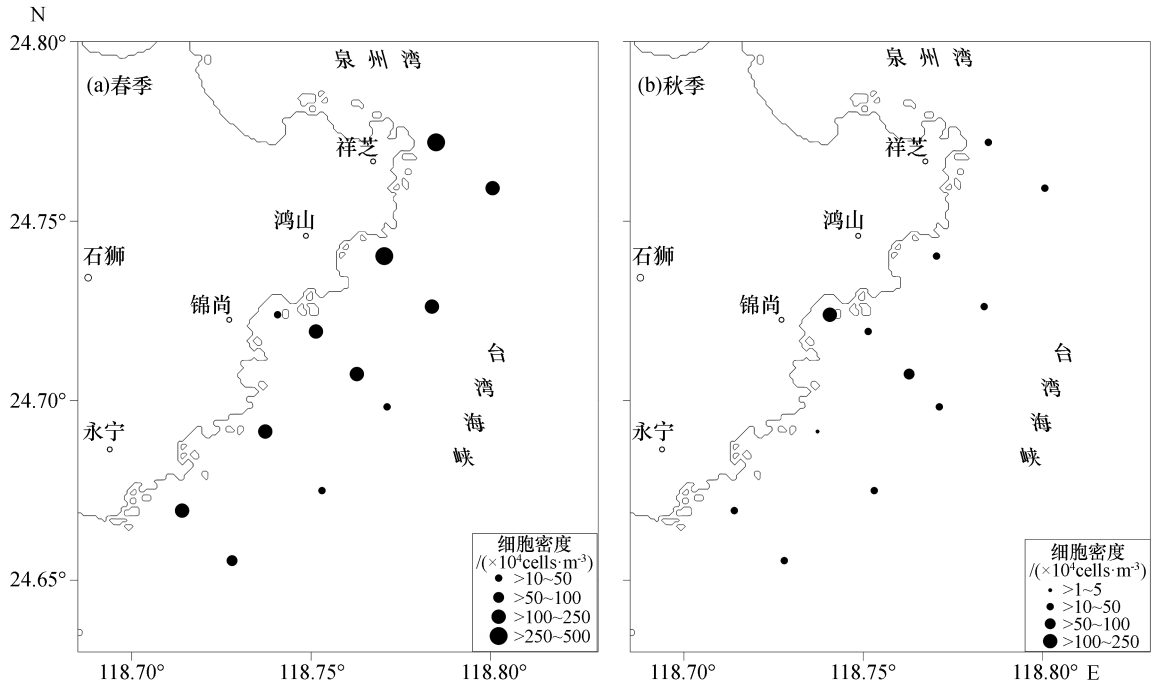


图3 调查海域春、秋两季浮游植物细胞密度的平面分布
Fig. 3 Horizontal distribution of phytoplankton cell density in survey area in spring and autumn

2.3 优势种组成

调查海域春、秋两季优势种如表1所示,春季的

优势种有奇异棍形藻(*Bacillaria paradoxa*)、密连角毛藻(*Chaetoceros densus*)、齿角毛藻(*Chaetoceros*

denticulatus)、短角弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)、菱软几内亚藻(*Guinardia flaccida*)、细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)、劳氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*),其中,奇异棍形藻在所有站位均有出现,且优势度($Y=0.48$)明显高于其他种类,占有绝对优势。秋季的优势种有中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、红海束毛藻(*Trichodesmium erythraeum*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)、菱形海线藻

(*Thalassionema nitzschioides*)、佛氏海毛藻(*Thalassiothrix frauenfeldii*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*),其中,中肋骨条藻($Y=0.32$)占有绝对优势,红海束毛藻($Y=0.14$)和琼氏圆筛藻($Y=0.13$)次之,其余各优势种较为接近。春季和秋季的优势种数量分别占浮游植物总细胞密度的 79.48%和 60.03%,主导浮游植物数量的分布趋势,硅藻在浮游植物群落中的优势地位明显。

表 1 调查海域春秋两季浮游植物优势种组成

Tab. 1 Dominant species of phytoplankton in survey area in spring and autumn

季节	优势种	占总细胞密度的比例/%	出现频率/%	优势度
春季	奇异棍形藻(<i>Bacillaria paradoxa</i>)	47.72	100.00	0.48
	密连角毛藻(<i>Chaetoceros densus</i>)	8.75	100.00	0.09
	齿角毛藻(<i>Chaetoceros denticulatus</i>)	3.99	100.00	0.04
	短角弯角藻(<i>Eucampia zoodiacus</i>)	4.47	83.33	0.04
	菱软几内亚藻(<i>Guinardia flaccida</i>)	2.30	100.00	0.02
	细弱海链藻(<i>Thalassiosira subtilis</i>)	3.60	58.33	0.02
	劳氏角毛藻(<i>Chaetoceros lorenzianus</i>)	2.07	100.00	0.02
秋季	中肋骨条藻(<i>Skeletonema costatum</i>)	34.53	91.67	0.32
	红海束毛藻(<i>Trichodesmium erythraeum</i>)	14.10	100.00	0.14
	琼氏圆筛藻(<i>Coscinodiscus jonesianus</i>)	13.19	100.00	0.13
	菱形海线藻(<i>Thalassionema nitzschioides</i>)	4.65	91.67	0.04
	佛氏海毛藻(<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>)	3.05	100.00	0.03
	旋链角毛藻(<i>Chaetoceros curvisetus</i>)	4.60	58.33	0.03

2.4 多样性特征

群落多样性是反映群落稳定性的重要参数,单纯使用一种指数来解释浮游植物多样性易造成较大偏差,因此本研究采用种类多样性指数(H')、均匀度指数(J')、丰富度指数(d)来进行综合分析,可以在一定程度上反映调查海域生态环境状况。一般认为在正常环境下,多样性指数高、均匀度大、丰富度高。

由表 2 中数据可见,调查海域春季的种类多样性指数、均匀度指数和丰富度指数均低于秋季,这是因为春季各站位的平均细胞密度达到 $155.17\times 10^4\text{ cells/m}^3$,远高于秋季,而且主要优势种较多,物种间个体数量差异较大。春、秋两季的种类多样性指数、均匀度指数和丰富度指数都在正常范围内波动。

表 2 调查海域春、秋两季游植物群落多样性指数

Tab. 2 Phytoplankton diversity indexes in survey area in spring and autumn

项目		H'	J'	d
春季	变化范围	1.93~4.24	0.37~0.78	1.41~2.48
	平均值	3.24	0.62	1.86
秋季	变化范围	2.39~3.93	0.43~0.75	1.23~2.71
	平均值	3.31	0.65	1.93

2.5 调查海域环境状况

调查海域春秋两季的水环境概况见表 3。春季调查海域环境因子的盐度、pH 和溶解氧含量高于秋季,而水温、COD 含量、无机氮含量和活性磷酸盐含量则低于秋季。

表 3 调查海域环境因子状况

Tab. 3 Variations of environmental factors in survey area

项目		水温/℃	盐度	pH	C_{COD} /(mg·L ⁻¹)	C_{DO} /(mg·L ⁻¹)	C_{DIN} /(mg·L ⁻¹)	$C_{\text{PO}_4^{3-}\text{-P}}$ /(mg·L ⁻¹)
春季	变化范围	20.75~23.66	33.37~33.50	8.06~8.11	0.42~0.92	6.42~7.08	0.008~0.115	0.001~0.014
	平均值	21.31	33.44	8.09	0.59	6.93	0.035	0.006
秋季	变化范围	22.03~23.94	30.48~31.43	8.03~8.07	0.39~0.93	6.60~7.06	0.125~0.274	0.015~0.025
	平均值	22.95	31.20	8.06	0.61	6.87	0.189	0.021

2.6 浮游植物与环境因子的关系

调查海域春秋两季浮游植物群落数据与环境因子的 Pearson 相关性分析结果见表 4。可以看出,浮游植物细胞密度与水温、无机氮含量和活性磷酸盐含量呈显著负相关,与盐度呈显著正相关,但与 COD 含量和溶解氧含量相关性均不明显。硅藻细

胞密度与环境因子的相关性与浮游植物细胞密度相似,而蓝藻细胞密度则正好相反,而且相关性更高。同时,蓝藻细胞密度还与 pH 呈显著负相关。甲藻细胞密度与盐度、pH 呈显著正相关,与水温、无机氮含量和磷酸盐含量呈显著负相关。

表 4 调查海域环境因子与浮游植物类群密度 Pearson 相关性分析

Tab. 4 Pearson correlation between environmental factors and densities of phytoplankton groups in survey area

项目	浮游植物 细胞密度	硅藻 细胞密度	甲藻 细胞密度	蓝藻 细胞密度	硅藻密度 占比/%	甲藻密度 占比/%	蓝藻密度 占比/%	H'	J'
水温/℃	-0.426 *	-0.459 *	-0.513 *	0.730 **	-0.443 *	-0.223	0.495 *	0.172	0.146
盐度	0.513 *	0.564 **	0.612 **	-0.944 **	0.607 **	0.146	-0.653 **	-0.026	-0.086
pH	0.282	0.332	0.413 *	-0.735 **	0.473 *	0.109	-0.507 *	0.028	0.000
C_{COD} /(mg·L ⁻¹)	-0.182	-0.166	-0.100	-0.002	-0.001	0.012	-0.006	0.215	0.153
C_{DO} /(mg·L ⁻¹)	0.156	0.177	0.073	-0.233	0.237	-0.091	-0.227	-0.274	-0.230
C_{DIN} /(mg·L ⁻¹)	-0.528 **	-0.571 **	-0.645 **	0.854 **	-0.556 **	-0.124	0.598 **	0.015	0.106
$C_{\text{PO}_4^{3-}\text{-P}}$ /(mg·L ⁻¹)	-0.502 *	-0.541 **	-0.621 **	0.833 **	-0.519 **	-0.155	0.566 **	0.057	0.170

注:“*”指相关性显著($p<0.05$),“**”指相关性极显著($p<0.01$),表中细胞密度单位为 $\times 10^4$ cells/ m^3 。

2.7 讨论

2.7.1 群落结构及空间分布特征 石狮东部近岸海域的浮游植物主要为广布种和暖水种,温带种少量出现,温带种在我国北部较多,它们的出现是沿岸流南下时带来的。春季主要以广温广盐性种类的奇异棍形藻为主,在所有站位均有分布且占绝对优势,其次为广温高盐性种类的密连角毛藻;秋季主要以广温广盐种的中肋骨条藻和暖水种的红海束毛藻为主。

调查海域的浮游植物种类数春季略高于秋季,在两季浮游植物种类组成中,硅藻占绝对优势。浮游植物细胞密度春季明显高于秋季,而多样性指数、均匀度指数和丰富度指数则是秋季高于春季。浮游植物群落在空间分布上也存在明显的差异:春季,浮游植物种类数平面分布南部多于北部,由于调查海域北部站位的奇异棍形藻大量密集,优势度较大导致浮游植物细胞密度北部高于南部;秋季,浮游植物

种类数中部较高,由于调查海域中部站位主要优势种中肋骨条藻的细胞密度明显高于其他站位且优势度极大,占本站位浮游植物比例均超过 50%,因此浮游植物细胞密度呈现出中部高、两头低的趋势。总体来说,调查海域浮游植物群落具有较为明显的季节性变化,而且在浮游植物的变化幅度上,秋季明显大于春季。

2.7.2 与历史资料对比 目前为止,针对石狮东部近岸海域海域浮游植物的研究未见记载,因此,本研究选取其邻近海域泉州湾的浮游植物研究进行对比。根据历史资料,1984 年春季(5 月)泉州湾浮游植物数量平均为 305.63×10^4 cells/ m^3 ,种类数为 36 种,主要优势种为日本星杆藻(*Asterionella japonica*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、并基角毛藻(*Chaetoceros decipiens*)等;同年秋季(11 月),浮游植物数量平均

为 58.87×10^4 cells/ m^3 , 种类数为 31 种, 主要优势种为佛氏海毛藻、菱形海线藻、洛氏角毛藻^[1,7]。2001 年春季 5 月泉州湾浮游植物数量平均为 $2\,150.65 \times 10^4$ cells/ m^3 , 主要优势种为日本星杆藻、窄隙角毛藻、洛氏角毛藻、并基角毛藻等^[9]。

与上述历史资料对比, 本次调查浮游植物春、秋两季种类数高于临近海域的历史数据; 细胞密度则低于历史数据。由于泉州湾内湾富营养化严重^[16], 浮游植物细胞密度形成湾内高、湾外低的分布格局^[17], 同时, 富营养化也会使某些种类的浮游植物细胞密度急剧上升, 出现优势度较大的优势种, 使得整个浮游植物群落的种类数下降。和内湾海域不同的是, 本次调查海域位于泉州湾湾口以南开放海域, 与外海海水交换频繁, 海水富营养化程度相对较低, 因而调查海域浮游植物细胞密度低于历史数据, 种类数明显高于历史数据。优势种方面, 其生态类群和泉州湾相似, 以广布性和暖水性种类为主, 但是在具体种类上略有不同。本次调查显示, 春季, 奇异棍形藻虽然依然为两者的优势种, 但是调查海域优势种中暖水性种类比泉州湾略多; 秋季, 调查海域优势种除了硅藻的广布性种类外, 还出现了蓝藻门的红海束毛藻, 该藻属于暖水性种类。

2.7.3 浮游植物群落特征和环境因子的关系 石狮东部近岸海域的两季调查表明, 秋季水温较春季有所升高, 无机氮含量和磷酸盐含量明显高于春季, 盐度和 pH 则低于春季。COD 和溶解氧含量两季变化很小。春季, 由东北季风带来的浙闽沿岸水对调查海域的影响还未褪去, 而西南季风所引起的南部沿岸水影响还十分微弱, 使得春季水温较低, 由于两个水流交汇混合, 调查海域温盐的平面分布较为均匀^[18]。秋季, 随着西南季风和东北季风交替, 浙闽沿岸水影响范围逐渐扩大, 但是高盐南部沿岸水的影响还在持续, 因此, 调查海域盐度平面分布南部高于北部, 而且经过夏季大量降水带来地表径流和丰富营养盐的注入, 使得秋季的盐度较低, 无机氮含量和磷酸盐含量浓度明显高于春季。

本研究将不同门类的浮游植物细胞密度设为物种变量, 分析了浮游植物与环境因子之间的相关性。结果表明, 影响调查海域春秋两季浮游植物细胞密度的主要环境因子有水温、盐度、无机氮含量和活性磷酸盐含量。水温变化不仅会对细胞分裂周期和生物体内酶活性造成不同程度的影响, 也会影响浮游植物细胞的新陈代谢速率, 因此水温与浮游植物细胞密度有一定的相关性^[19]。调查海域蓝藻细胞密度与水温呈极显著正相关, 而硅藻细胞密度与温度

呈显著负相关, 这与上官欣欣等 (2019) 对浮游植物与温度相关性研究的结果^[20]相一致。盐度作为浮游植物细胞渗透压的关键影响因素之一, 能够制约浮游植物的季节性分布^[21], 是另一个控制浮游植物生长的重要环境因子^[22]。调查海域盐度的季节性差异较为明显, 春季高于秋季。春季的高盐性种类多于秋季, 如密连角毛藻仅在春季出现且成为优势种, 而细弱海链藻、笔尖型根管藻在两季均有出现, 但无论是出现频率还是细胞密度方面, 春季均高于秋季。氮盐和磷酸盐是浮游植物赖以生存的物质基础, 各种浮游植物所需营养盐的浓度范围不同, 营养盐缺乏或过量都会影响其生长繁殖^[23]。营养盐浓度也影响生物的相关吸收量, 当海水中无机氮含量较多时, 浮游植物对无机磷的吸收量也大, 并且这两种盐类含量变化方式相同^[24-25]。调查海域春季浮游植物的细胞密度较高, 消耗了水中较多营养盐类, 且消耗量大于补充量; 而秋季细胞密度较低, 营养盐消耗量小, 又加上陆源营养物质的补充, 使得浮游植物与无机氮含量和磷酸盐含量均呈显著负相关关系, 这与崔毅等 (2000) 的浮游植物与营养盐关系的结果^[26]一致。一般浮游植物从海水中摄取的均衡 N/P 约为 16 : 1^[27-28], 而调查海域春、秋两季的 N/P 比值远低于 16 : 1, 说明该海域无机氮含量相对紧缺, 并成为影响该海域浮游植物繁殖的限制因子之一。此外, 有研究表明, 相较于其他藻类, 硅藻在 N/P 值高的环境中生存竞争能力会下降^[29]。调查海域秋季的 N/P 值高于春季, 可能会导致秋季浮游植物中硅藻细胞密度比例降低, 而蓝藻大量繁殖, 细胞密度比例升高明显 (春季: 0.004%, 秋季: 14.100%)。

因此, 浮游植物群落与其所处环境关系紧密, 即使在相同的环境下, 不同浮游植物种类的反应也不同, 不同环境因子的组合也会影响浮游植物的生长。

3 结论

(1) 本研究于 2018 年春、秋两季对石狮东部近岸海域 12 个站位进行调查, 鉴定了该海域浮游植物的种类组成。春季的优势种主要有奇异棍形藻、密连角毛藻、齿角毛藻、短角弯角藻、菱软几内亚藻、细弱海链藻、劳氏角毛藻; 秋季的优势种主要有中肋骨条藻、琼氏圆筛藻、菱形海线藻、佛氏海毛藻、旋链角毛藻。

(2) 春季浮游植物细胞密度明显高于秋季。春季, 细胞密度呈现调查海域北高南低的趋势; 秋季, 细胞密度呈现调查海域中部高、两头低的趋势。春季多样性指数 (H') 平均值为 3.24, 秋季多样性指数

(H') 平均值为 3.31,说明调查海域浮游植物群落结构相对稳定,生态环境处于正常水平。

(3)与相邻海域(泉州湾)历史调查资料对比,本次调查春秋两季浮游植物的种类数呈明显上升趋势;细胞密度则低于历史数据。其原因可能是调查海域所处地理位置位于泉州湾口以南海域,与外海

海水交换频繁,海水富营养化程度相对较低,从而导致整体细胞密度下降,种类数明显上升。

(4)调查海域环境因子季节性的变化导致浮游植物群落特征的不同,Pearson 相关性分析结果表明,水温、盐度、无机氮含量和活性磷酸盐含量是影响调查海域浮游植物群落的主要环境因子。

参考文献:

- [1] SOMMER U, ADRIAN R, DE L, et al. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) model: mechanisms driving plankton succession[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2012, 43: 429-448.
- [2] 吉红,肖芬芬,邢君霞,等.微藻资源在水产饲料中应用的研究进展[J].饲料工业,2020,41(16):1-12.
JI H, XIAO F F, XING J X, et al. Research progress on the application of microalgae resources in aquatic feed[J]. Feed Industry, 2020, 41(16):1-12.
- [3] 王俊. 黄海春季浮游植物的调查研究[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(1): 56-61.
WANG J. Study on phytoplankton in the Yellow Sea in spring[J]. Progress in Fishery Sciences, 2001, 22(1): 56-61.
- [4] BECKER V, HUSZAR V L M, et al. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir[J]. Hydrobiologia, 2009, 628(1): 137-151.
- [5] 赖俊翔,许铭本,庄军莲,等.广西北部湾近岸海域春季浮游植物群落结构特征及与环境因子的关系[J].海洋技术学报,2017,36(6):65-70.
LAI J X, XU M B, ZHUANG J L, et al. Study on the community structure of phytoplankton in the Beibu Gulf coast and its relationships with environmental factors in spring in Guangxi, China[J]. Journal of Ocean Technology, 2017, 36(6): 65-70.
- [6] 中国海岸带与海涂资源综合调查成果编辑委员会. 中国海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京:海洋出版社,1991.
Editorial board of the coastal zone and coastal resources integrated survey report. Comprehensive investigation report of coastal zone and coastal resources of China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991.
- [7] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志·第八分册·福建省南部海湾[M]. 北京:海洋出版社,1994: 510.
Editorial Board of China Bay Survey. Survey of China Bays (Vol. 8) Southern Bays of Fujian[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 510.
- [8] 陈其焕,陈兴群,张明. 福建沿岸叶绿素 a 及初级生产力的分布特征[J]. 海洋学报, 1996, 18(8): 99-105.
CHEN Q H, CHEN X Q, ZHANG M. Distribution characteristics of chlorophyll a and primary productivity in Fujian costal waters[J]. Haiyang Xuebao (in Chinese), 1996, 18(8): 99-105.
- [9] 许翠娅. 泉州湾春、夏季浮游植物的生态特征[J]. 福建水产, 2001(4): 64-69.
XU C Y. Ecological characteristics of phytoplankton in Quanzhou Bay in spring and summer[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2001(4): 64-69.
- [10] 唐森铭,陈兴群. 泉州湾水域浮游植物群落的昼夜变化[J]. 海洋学报, 2006, 28(4): 129-137.
TANG S M, CHEN X Q. Phytoplankton diel rhythm in the waters of Quanzhou Bay in Fujian, China[J]. Haiyang Xuebao (in Chinese), 2006, 28(4): 129-137.
- [11] 江兴龙,宋立荣. 泉州湾赤潮藻类优势种演替影响因子探讨[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 761-767.
JIANG X L, SONG L R. The influence factors on dominant red-tide algal species succession in Quanzhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(6): 761-767.
- [12] 国家海洋局. 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.
State Oceanic Administration. Specifications for oceanographic survey—part 6: marine biological survey GB/T12763. 6—2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [13] 国家海洋局. 海洋调查规范 第4部分:海水化学要素调查 GB/T 12763.4—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
State Oceanic Administration. Specifications for oceanographic survey—part 4: seawater chemical elements survey GB/T 12763. 4—2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [14] 国家海洋局. 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.
State Oceanic Administration. The specification for marine monitoring—part 4: seawater analysis GB 17378.4—2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [15] 陈清潮,黄良民,尹健强. 南沙群岛及其邻近海域海洋生物多样性研究[M]. 北京:海洋出版社,1994.
CHEN Q C, HUANG L M, YIN J Q. Study on marine biodiversity in Nansha Islands and its adjacent waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 1994.
- [16] 洪小琴. 泉州湾水质富营养化趋势分析及防治对策[J]. 福建环境, 2001(4): 13-15.
HONG X Q. The analysis of eutrophication trend at Quanzhou Bay and its control measures[J]. Fujian Environment, 2001(4): 13-15.
- [17] 国家海洋局第三海洋研究所. 福建泉州湾河口湿地自然保护区科学考察报告[R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2001: 131.
Third Institute of Oceanography. Scientific investigation report of Quanzhou Bay Estuary wetland nature reserve in Fujian[R]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, 2001: 131.
- [18] 赵徐懿. 台湾海峡中、北部海洋综合调查研究报告[M]. 北京:科学出版社,1988.
ZHAO X Y. Report on comprehensive marine survey in the central and northern Taiwan Strait[M]. Beijing: Science Press, 1988.

- [19] 李照. 长江口邻近海域浮游植物群落特征及其碳沉降研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2018.
LI Z. Study on phytoplankton community characteristics and carbon deposition in the adjacent sea area of Changjiang Estuary[D]. Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences), 2018.
- [20] 上官欣欣, 薛俊增, 吴惠仙. 长江口浮游植物群落结构的特征[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(5): 689-698.
SHANGGUAN X X, XUE J Z, WU H X. Ecological features of phytoplankton community in the Yangtze River Estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(5): 689-698.
- [21] 何振平, 王秀云, 樊晓旭, 等. 温度和光照对塔胞藻生长的影响[J]. 水产科学, 2007, 26(4): 218-221.
HE Z P, WANG X Y, FAN X X, et al. Effects of temperature and illumination on growth in microalga *Pyramimonas* sp.[J]. Fisheries Science, 2007, 26(4): 218-221.
- [22] 唐娅菲, 王金辉, 程宏, 等. 三沙湾春季浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(4): 522-530.
TANG Y F, WANG J H, CHENG H, et al. Community structure of phytoplankton and its relationship with environmental factors of Sansha Bay [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(4): 522-530.
- [23] BELL D W. Marine phosphorus biogeochemistry ecological insights from analytical chemistry[DB/OL][2019-12-04] <https://scholarcommons.sc.edu/etd/4525/>.
- [24] HARVEY H W. Nitrogen and phosphorus required for the growth of phytoplankton[J]. Journal of the Marine Biological Association of the UK (New Series), 1940, 24: 115-123.
- [25] HOLTVOETH J, WHITESIDE J H, ENGELS S, et al. The paleolimnologist's guide to compound-specific stable isotope analysis: an introduction to principles and applications of CSIA for Quaternary lake sediments[J]. Quaternary Science Reviews, 2019, 207: 101-133.
- [26] 崔毅, 陈碧鹃, 马绍赛. 舟山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 935-938.
CUI Y, CHEN B J, MA S S. Correlation of phytoplankton and its environmental factors in Zhoushan bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(6): 935-938.
- [27] RICK A R, DARIUSZ S, DALE A K. The effect of nitrogen limitation on the absorption and scattering properties of marine diatom *Thalassiosira pseudonana*[J]. Limnology & Oceanography, 1997, 42(5): 881-892.
- [28] THOMPSON P A, HOSJA W. Nutrient limitation of phytoplankton in the upper Swan River estuary, Western Australia[J]. Marine & Freshwater Research, 1996, 47(4): 659-667.
- [29] SKJOLDAL H R. Eutrophication and algal growth in the North Sea[C]// DELLA CROCE N F R. Istuto Scienze Ambientale Marine Santa Margherita Ligure Genova. Symposium Mediterranean Seas 2000. Genova: Istuto Scienze Ambientale Marine Santa Margherita Ligure Genova, 1991: 445-478.

Phytoplankton community structure in the coastal waters of eastern Shishi and its relationships with environmental factors

LUO Qiao-qi^{1,2}, ZHANG Yue-ping^{1,2*}, CHEN Lan^{1,2}, ZHOU Zhi-dong^{1,2}, LI Hai-ping^{1,3}, HONG Yi-chuan^{1,2}

(1. Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361013, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen 361005, China;

3. Fujian Provincial Key Laboratory of Coast and Island Management Technology, Xiamen 361013, China)

Abstract: Based on the data collected in two surveys in the coastal water of eastern Shishi in spring and autumn 2018, community structure of the net phytoplankton was studied and its relationships with environmental factors were performed by correlation analysis. A total of 145 phytoplankton species belonging to 3 phyla and 51 genera was collected and identified as 122 species of Bacillariophyta, 21 species of Pyrrophyta, 2 species of Cyanophyta. Dominant species in spring included *Bacillaria paradoxa*, *Chaetoceros densus*, etc., while the dominated in autumn included *Skeletonema costatum*, *Trichodesmium erythraeum*, etc. The phytoplankton cell abundance ranged from 1.81×10^4 cells/m³ to 410.65×10^4 cells/m³, and the cell density was higher in spring than in autumn. The average Shannon index was 3.24 in spring and 3.31 in autumn, respectively. According to correlation analysis, temperature, salinity, dissolved inorganic nitrogen and active phosphate were main factors affecting the phytoplankton community.

Key words: marine biology; phytoplankton; community structure; environmental factor; Quanzhou Bay

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2021.02.006

(责任编辑:肖 静)