

# 南麂列岛海域春秋季节网采浮游植物群落结构特征\* Community Structure of Phytoplankton Sampled by Nets in Nanji Islands Sea Area in Spring and Autumn

王 瑜,刘录三\*\*,林岿璇,蔡文倩,朱延忠,夏 阳

WANG Yu, LIU Lusan, LIN Kuixuan, CAI Wenqian, ZHU Yanzhong, XIA Yang

(中国环境科学研究院,国家环境保护河口与海岸带环境重点实验室,北京 100012)

(State Environmental Protection Key Laboratory of Estuary and Coastal Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China)

**摘要:**【目的】研究浙江南麂列岛海洋自然保护区浮游植物群落结构特征及其与环境的关系,为评价该海域生态环境质量的现状及其变化趋势提供科学依据。【方法】以2013年11月和2014年5月对该保护区28个站位的调查数据为基础,分析浮游植物的种类组成,以及细胞丰度、优势度指数、多样性指数、综合富营养化指数等。【结果】南麂列岛多数水体处于富营养状态。春季调查共发现浮游植物2门24种(属),秋季调查共发现浮游植物2门22种(属);物种组成以广温性近岸种为主,主要优势种为甲藻和硅藻。春季调查中夜光藻(*Noctiluca cintillans*)、圆筛藻属(*Coscinodiscus* sp.)和海链藻属(*Thalassiosira* sp.)成为优势类群;秋季调查中槽帕拉藻(*Paralia sulcata*)成为优势类群。【结论】南麂列岛浮游植物群落在近二十年来物种数及丰度均发生了一定程度的变化:物种数大幅减少,春秋季节平均丰度上升。

**关键词:**浮游植物 南麂列岛 群落结构 环境因子

**中图分类号:**Q948.15 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2016)04-0317-08

**Abstract:**【Objective】This article studied the current status of phytoplankton community structures in Nanji Islands, Zhejiang Province and its relationships with environmental factors, to provide scientific support for assessment on the situation and development trend of the ecological environment quality of this marine area. 【Methods】The species composition, density, dominance indices, the Shannon-Weiner diversity and the index of nutritional status assessment were analyzed based on the survey data of 28 stations in Nanji Islands in November, 2013 and May, 2014, respectively. 【Results】The index of nutritional status assessment revealed that the majority of the Nanji Islands sea area was in the condition of eutrophication. 24 phytoplankton species were identified in the spring and 22 species in the autumn with diatom and dinoflagellate dominated in both seasons. In the spring, *Noctiluca cintillans*, *Coscinodiscus* sp. and *Thalassiosira* sp. were the dominant species, while *Paralia sulcata* dominated in the autumn. 【Conclusion】The species composition of the phytoplankton in Nanji Islands sea area has decreased significantly and the average abundance has increased, in comparison with the previous reports.

**Key words:** phytoplankton, Nanji Islands, community structure, environmental variables

收稿日期:2016-06-02

修回日期:2016-06-12

作者简介:王 瑜(1985—),男,工程师,硕士,主要从事水生态学  
研究。

\* 国家环保公益性行业科研专项项目(201309007)和国家自然科  
学基金项目(41406160)资助。

\*\* 通讯作者:刘录三(1975—),男,研究员,博士,主要从事水生  
生态及生物监测研究,E-mail:liuls@craes.org.cn。

## 0 引言

**【研究意义】**南麂列岛国家级海洋自然保护区位于浙江平阳县东南海域,总面积为 201.06 km<sup>2</sup>,其中陆域面积为 11.13 km<sup>2</sup>,海域面积为 189.93 km<sup>2</sup>。是我国首批五个国家级海洋类型自然保护区之一,也是我国第一个纳入联合国教科文组织世界生物圈保护区网络的海洋类型自然保护区。近年来,由于快速发展的旅游业、水产养殖业以及频繁的人类活动,造成南麂列岛海域的营养盐结构发生了一定程度的改变,春季赤潮频发,对该保护区海域的渔业生产和资源造成重大破坏和经济损失,严重影响该海域海洋生态环境<sup>[1-4]</sup>。全面而深入地研究该海域浮游植物的群落及其与环境的关系,对实现典型海洋保护区生态系统服务功能的价值评估、保持渔业资源充足稳定、制订环境管理策略等具有重要的应用前景和学术价值<sup>[5]</sup>。**【前人研究进展】**作为海洋生态系统的初级生产者,浮游植物通过物质循环和能量流动,共同维持着海洋生态系统的机构功能,并且对海洋生态环境的变化具有指示作用<sup>[6-8]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来,我国学者对南麂列岛海域的底栖生物、潮间带生物、细菌分布及污染生态等进行过大量的研究和调查工作<sup>[9-13]</sup>,但对浮游植物群落结构的研究起步较晚,关于南麂列岛浮游植物和环境因子关系的研究也很少。生物群落多样性是指生物群落在组成、功能、结构和动态方面所表现出的差异。生物多样性的研究在于认识生物群落的结构与功能,多样性指数和物种多度分布格局的研究对于水域环境监测与评价生态环境状况方面都具有较大的价值<sup>[14]</sup>。**【本研究切入点】**系统了解南麂列岛海洋自然保护区海域浮游植物的群落结构状况,并深入探讨其与环境因子的相互作用,为评价该海域生态环境质量的现状及其变化趋势以及海洋经济可持续发展提供科学依据。**【拟解决的关键问题】**于 2013 年 11 月和 2014 年 5 月在南麂列岛海域进行 28 个站位的浮游植物调查。同时结合相关历史资料,分析浮游植物的种类组成,以及细胞丰度、优势度、多样性指数等,探讨南麂列岛海域浮游植物的变化原因。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查站位及采样方法

于 2013 年秋季(11 月)和 2014 年春季(5 月)在南麂列岛国家级海洋自然保护区海域进行水文、化学和生物的综合调查,本次调查共设 28 个采样站点,调查区域及站位设置见图 1。

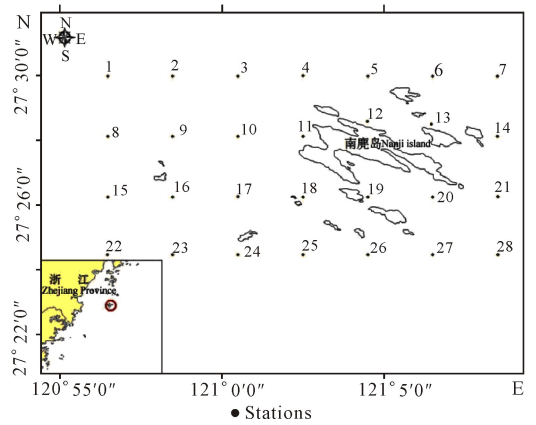


图 1 南麂列岛海域生态调查站位

Fig. 1 Sampling stations of phytoplankton in the Nanji Islands sea area

浮游植物采样利用浅Ⅲ型浮游生物网(网口直径 37 cm,网口面积 0.1 m<sup>2</sup>,网目孔径 77 μm)自底至表垂直拖网采集,样品用 5% 甲醛固定和保存,浮游植物样品经沉淀、浓缩,实验室内镜检计数。样品的采集、处理以及数据处理均严格按照《海洋调查规范-第六部分海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)执行。

环境参数样品采集方法:水质参数水深、温度(T)、盐度(Sal)、氧化还原电位、浊度、pH 值的测定由车载 YSI 6600 设备完成;每站取 1.5 L 水样 1 瓶以测定叶绿素 a、硝酸盐及铵盐,取 500 mL 水样 3 瓶,其中一瓶加 2~3 滴硝酸(2%)冷冻保存以测定水体中的重金属含量,一瓶用玻璃瓶封装并加 2~3 滴硫酸用以测定石油类,一瓶用以测定磷酸盐、化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)等营养盐含量。具体采集及测定方法详见 GB/T 12763.4—2007。

### 1.2 数据处理和分析

#### 1.2.1 水体营养状态计算

采用综合指数评价法进行评价,该方法是根据水体化学需氧量、无机氮(DIN)、无机磷浓度间的相互关系,指数≥1 为富营养化,指数值越高,水体的富营养化程度越严重。具体计算方法<sup>[15-16]</sup>如下:

$$E = (C_{\text{COD}} \times C_{\text{DIN}} \times C_{\text{PO}_4\text{-P}}) \times 10^6 / 4500.$$

式中: $E$  为富营养化判断值, $E \geq 1$  时表明水域已经呈现富营养化的特征; $C_{\text{COD}}$  为化学需氧量的测定浓度,mg/L; $C_{\text{DIN}}$  为无机氮的测定浓度,mg/L; $C_{\text{PO}_4\text{-P}}$  为活性磷酸盐的测定浓度,mg/L。

#### 1.2.2 多样性指数及优势度分析

选用 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $J$ )、Margalef 丰富度指数( $d$ )、优势度指数( $Y$ )来研究浮游植物群落的结构特征。计算公式如下:

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

$$J = \frac{H'}{\log_2 S},$$

$$d = \frac{S-1}{\log_2 S},$$

$$Y = (n_i/N) * f_i.$$

式中,  $S$  为样方中的种数;  $P_i$  为样方中第  $i$  种所占的比例。  $Y$  为浮游植物优势度指数, %;  $n_i$  为第  $i$  种的总个体数, 个;  $N$  为样方中的个体总数, 个;  $f_i$  为该物种在各调查站位中的出现频率, %。当物种的优势度  $Y > 0.02$  时, 该种即为优势种。

数据统计和分析均在 PRIMER V6 软件<sup>[17]</sup> 中完成。

### 1.2.3 浮游植物与环境因子相关分析

对调查区域 28 个站位的水温、盐度、pH 值、溶解氧 (DO)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、石油类等 10 个环境参数进行 Pearson 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物种类组成及分布

两次调查共发现浮游植物 2 门 35 种(属)。其中春季调查共发现浮游植物 2 门 24 种(属), 硅藻门占绝对优势, 为 20 种(属), 占种类组成的 83.33%; 甲藻门 4 种(属), 占种类组成的 16.67%。秋季调查共发现浮游植物 2 门 22 种(属), 其中硅藻门占绝对优势, 为 19 种(属), 占种类组成的 86.36%; 甲藻门 3 种(属), 占种类组成的 13.64%(图 2)。硅藻和甲藻是调查区海域浮游植物的主要组成物种, 这与以往历史调查资料一致<sup>[18]</sup>。

在春季调查发现的 24 种浮游植物中, 有 4 种出现频率大于 60%, 分别为短角角藻 (*Ceratium breve*, 出现频率 71.43%)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp., 出现频率 82.14%)、夜光藻 (*Noctiluca scintillans*, 出现频率 100.00%)、圆筛藻属 (*Coscinodiscus* sp., 出现频率 100.00%)。在秋季调查发现的 22 种浮游植物中, 有 3 种的出现频率大于 60%, 分别为梭状角藻 (*Ceratium fusus*, 出现频率 60.71%)、星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromphalus*, 出现频率 75.00%)、具槽帕拉藻 (*Paralia sulcata*, 出现频率 100.00%)。从南麂列岛春秋季浮游植物优势度指数(表 1)可以看出, 春秋季调查区内浮游植物的优势现象较明显。其中春季优势度指数大于 2% 的物种仅有 3 种, 分别为夜光藻 (81.82%)、圆筛藻属 (7.71%)、海链藻属 (3.44%)。硅藻在整个浮游植物群落中占有相当优势, 但甲藻在整个浮游植物群落中也占有较大比例, 尤其是赤潮种

夜光藻的优势度指数最大, 为 81.82%, 该物种在 28 个站位中都有出现, 成为第一优势种。秋季优势度指数大于 2% 的物种仅有 1 种, 为具槽帕拉藻 (98.72%), 该物种在 28 个站位中都有出现, 成为秋季唯一优势种。该次调查所得优势种与 2004 年调查结果<sup>[4]</sup> 相比发生了一定变化, 海链藻属取代三角角藻成为春季优势种, 具槽帕拉藻取代中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、布氏双尾藻 (*Ditylum brightwellii*)、假弯角毛藻 (*Chaetoceros pseudocrinitus*)、角毛藻属 (*Chaetoceros* sp.) 成为秋季绝对优势种。

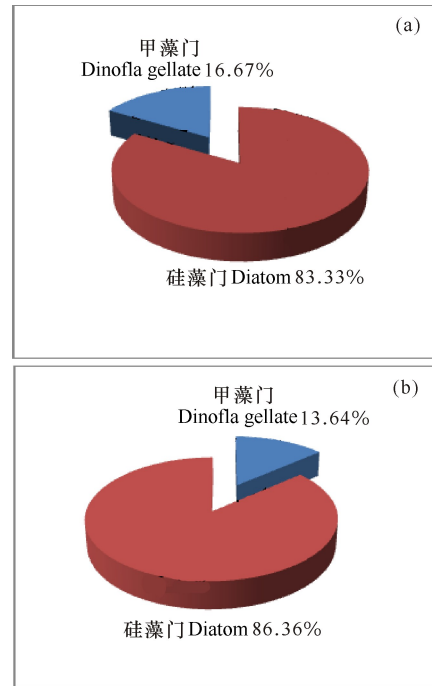


图 2 南麂列岛海域春季(a)和秋季(b)浮游植物主要类群组成百分比

Fig. 2 Percentage composition of taxonomy of phytoplankton in the Nanji Islands sea area in spring (a) and autumn(b)

表 1 南麂列岛春秋季浮游植物优势度指数

Table 1 Dominance indices of Phytoplankton in the Nanji Islands sea area in spring and autumn

季节 Season	种名 Species	优势度指数 Dominance indices(%)
春季 Spring	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	81.82
	圆筛藻属 <i>Coscinodiscus</i> sp.	7.71
	海链藻属 <i>Thalassiosira</i> sp.	3.44
秋季 Autumn	具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i>	98.72
	星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	0.16
	梭状角藻 <i>Ceratium fusus</i>	0.13

## 2.2 浮游植物细胞丰度及多样性

由图3可知,南麂列岛浮游植物数量在春秋两季差异明显。春季浮游植物的细胞丰度为 $0.07 \times 10^3 \sim 0.64 \times 10^3$ 个/L,平均丰度为 $0.27 \times 10^3$ 个/L,不同站位间丰度变化较大。其中4,9,10,24号站浮游植物细胞丰度较大,主要是上述4个站位出现了大量的夜光藻,平均丰度达到 $0.52 \times 10^3$ 个/L,接近赤潮爆发标准。秋季浮游植物的细胞丰度为 $0.11 \times 10^3 \sim 1.40 \times 10^3$ 个/L,平均丰度为 $0.63 \times 10^3$ 个/L,不同站

位间丰度变化较大。其中2,26号站浮游植物细胞丰度较大,7,22号站浮游植物细胞丰度较小。

南麂列岛春季浮游植物多样性指数  $H'$  平均值为1.07,各站位在0.35~1.99波动,最大值出现在3号站,最小值出现在4号站;均匀度指数  $J$  平均值为0.45,各站位在0.12~0.76波动,最大值出现在26号站,最小值出现在4号站。南麂列岛秋季浮游植物多样性指数  $H'$  平均值为0.13,各站位在0.00~0.54波动,最大值出现在4号站,最小值出现在11,16号站;均匀度指数  $J$  平均值为0.06,各站位在0.02~0.22波动,最大值出现在10号站,最小值出现在27号站。南麂列岛春秋两季浮游植物多样性指数与物种丰富度指数的空间分布趋势较为一致,离岸区多样性指数普遍高于岛礁区。

## 2.3 环境状况分析

南麂列岛春秋两季2个航次水体环境因子的取值范围、均值见表2。南麂列岛海域春秋两季pH值及盐度(Sal)变化不大,春季平均水温( $T$ )为 $18.92^\circ\text{C}$ ,秋季平均水温为 $20.62^\circ\text{C}$ ,春季溶解氧(DO)含量、石油类含量及 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 含量均符合国家二类海水水质的标准,秋季石油类含量和 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 含量均符合国家三类海水水质的标准,秋季DO含量符合国家一类海水水质的标准,春季 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量符合国家四类海水水质的标准,秋季 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量符合国家一类海水水质的标准;春季DIN含量为 $0.096 \sim 0.789 \text{ mg/L}$ ,秋季DIN含量为 $0.184 \sim 0.541 \text{ mg/L}$ ,均超出国家四类海水水质的标准。

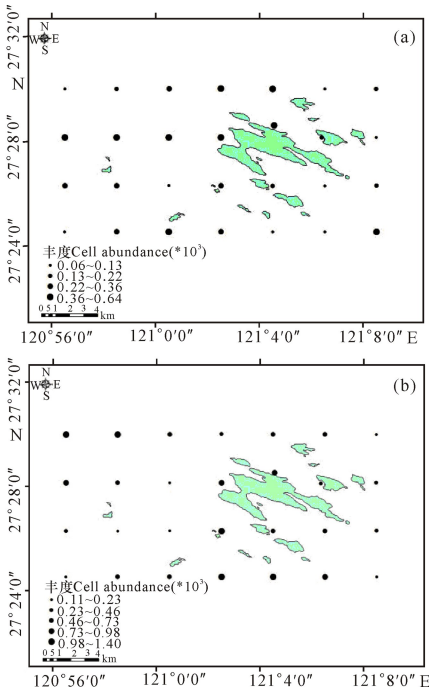


图3 南麂列岛春季(a)和秋季(b)浮游植物丰度分布

Fig. 3 Cell abundance distributions of phytoplankton in

the Nanji Islands sea area in spring (a) and autumn (b)

表2 南麂列岛采样站位环境因子

Table 2 Environmental factors of sampling stations in the Nanji Islands Sea area

环境因子 Environmental factors	春季 Spring		秋季 Autumn	
	取值范围 Range of values	均值 Mean	取值范围 Range of values	均值 Mean
T( $^\circ\text{C}$ )	18.28~19.86	18.92	20.25~20.93	20.62
Sal	25.99~31.55	29.72	28.39~29.10	28.76
pH value	7.96~8.57	8.22	7.84~8.32	8.21
DO(mg/L)	5.31~14.63	9.32	6.84~7.54	7.28
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	0.084~0.748	0.262	0.167~0.398	0.299
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	0.005~0.018	0.010	0.009~0.052	0.017
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	0.007~0.023	0.014	0.008~0.091	0.039
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	0.010~0.045	0.020	0.007~0.013	0.009
$\text{COD}_{\text{Mn}}$ (mg/L)	1.26~2.11	1.61	2.47~3.06	2.64
石油类 Petroleum(mg/L)	0.013~0.026	0.020	0.028~0.065	0.053

综合指数评价法计算结果表明,南麂列岛春季富营养化指数平均值为 1.87,各站位在 0.44~6.87 波动,其中 24 个站位的富营养化指数大于 1;秋季富营养化指数平均值为 1.95,各站位在 1.08~3.12 波动,所有站位的富营养化指数大于 1;春季富营养化指数平均值低于秋季。根据南麂列岛各站位无机氮、活性磷酸盐含量和 N/P 比值可知,春季 9 个站位存

在氮限制(N/P 比值小于 8),6 个站位存在磷限制(N/P 比值大于 30),其他 13 个站位 N/P 为 8~30;秋季绝大多数站位存在磷限制,只有 12,16,17,27 号站位 N/P 为 8~30。

#### 2.4 浮游植物与环境因子相关分析

根据表 3 和表 4 的相关分析结果可知,春秋季节浮游植物细胞丰度与环境因子的相关性不明显。

表 3 南麂列岛春季浮游植物丰度和环境因子的相关分析

Table 3 Correlation analysis between the density of phytoplankton and environmental variables of the Nanji Islands sea area in spring

	T	Sal	DO	pH value	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	COD <sub>Mn</sub>	石油类 Petroleum	丰度 Cell densities
T	1										
Sal	-0.374	1									
DO	0.551	0.030	1								
pH value	0.629	0.003	0.789	1							
NO <sub>3</sub> -N	-0.388	0.068	-0.414	-0.334	1						
NO <sub>2</sub> -N	-0.240	0.320	-0.335	-0.056	0.427	1					
NH <sub>4</sub> -N	-0.226	0.101	-0.279	-0.025	0.660	0.609	1				
PO <sub>4</sub> -P	0.437	-0.314	0.305	0.233	-0.294	-0.303	-0.347	1			
COD <sub>Mn</sub>	-0.047	-0.208	-0.070	-0.200	-0.179	-0.375	-0.302	0.006	1		
石油类 Petroleum	-0.107	0.043	-0.124	-0.035	-0.137	0.054	0.151	0.128	-0.224	1	
丰度 Cell densities	0.145	0.014	0.120	0.358	-0.307	-0.040	-0.011	-0.064	0.088	0.216	1

表 4 南麂列岛秋季浮游植物丰度和环境因子的相关分析

Table 4 Correlation analysis between the density of phytoplankton and environmental variables of the Nanji Islands sea area in autumn

	T	Sal	DO	pH value	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	COD <sub>Mn</sub>	石油类 Petroleum	丰度 Cell densities
T	1										
Sal	0.198	1									
DO	0.036	-0.166	1								
pH value	0.651	0.155	0.186	1							
NO <sub>3</sub> -N	0.139	-0.061	0.156	0.180	1						
NO <sub>2</sub> -N	0.114	-0.074	-0.059	-0.089	0.341	1					
NH <sub>4</sub> -N	-0.005	-0.252	0.105	-0.237	0.138	0.810	1				
PO <sub>4</sub> -P	-0.086	-0.023	0.192	0.267	-0.129	-0.117	-0.191	1			
COD <sub>Mn</sub>	-0.175	0.216	0.095	-0.072	0.132	0.017	-0.085	0.048	1		
石油类 Petroleum	-0.207	-0.461	-0.321	-0.214	-0.406	0.015	0.158	0.219	-0.069	1	
丰度 Cell densities	0.271	0.128	0.192	0.294	-0.017	-0.068	-0.023	0.007	0.255	-0.030	1

### 3 讨论

#### 3.1 南麂列岛浮游植物群落结构特征

通过对南麂列岛春秋季节浮游植物的调查得出,该海域内浮游植物种群分布存在一定时空差异。不同站位间浮游植物细胞丰度变化较大,且秋季细胞丰度较春季上升 1.33 倍,这主要是因为水温变化导致浮游植物细胞新陈代谢的速率发生变化,对酶的活性、营养盐吸收效率及细胞分裂周期等造成不同程度的影响<sup>[19]</sup>,本研究两个月份中,5 月南麂列岛表层水温为 18.28~19.86℃,平均水温为 18.92℃,最低水温出现在 6 号站,最高水温出现在 8 号站;11 月表层水温为 20.25~20.93℃,平均水温为 20.62℃,最低水温出现在 14 号站,最高水温出现在 28 号站。秋季平均水温相比春季偏高 1.7℃,有利于浮游植物的大量繁殖,因此浮游植物细胞丰度秋季高于春季。

通过与朱根海等<sup>[20]</sup>关于 1990—1992 年南麂列岛海域浮游植物的调查资料进行比较可知,近二十年来,南麂列岛浮游植物种类数及丰度发生了较大变化,优势类群依然为硅藻类不变。其中,浮游植物种类数由 97 种减少为 35 种,硅藻种类大幅减少;春季浮游植物丰度变化不大,由  $0.30 \times 10^3$  个/L 下降到  $0.27 \times 10^3$  个/L,One-Sample Test 分析表明差异不明显 ( $P = 0.44$ ),秋季由  $0.33 \times 10^3$  个/L 上升到  $0.63 \times 10^3$  个/L,One-Sample Test 分析表明差异明显 ( $P = 0.00$ ),春秋季平均丰度由  $0.31 \times 10^3$  个/L 上升到  $0.45 \times 10^3$  个/L。该研究结果与其他数据间的可比性较差,表明南麂列岛海域浮游植物物种数无规律大幅变化,除了由于采样站位、采样时水温以及调查时海域赤潮发生状况不同所引起的差别外,其他原因尚待进一步研究。

本次调查所得优质种与 2004 年调查结果<sup>[4]</sup>相比发生了一定变化,海链藻属取代三角角藻成为春季优质种,具槽帕拉藻取代中肋骨条藻、布氏双尾藻、假弯角毛藻、角毛藻属成为秋季绝对优势种,这也在一定程度上说明南麂列岛海域浮游植物群落结构发生了一定变化。这可能是因为南麂列岛海域受到台湾暖流、江浙沿岸流和外海深层上升流的季节影响,加之岛上旅游经济的快速发展,大量污染物通过陆源排入海,全区营养盐负荷发生改变,比较适合圆筛藻属及赤潮藻的生长。

#### 3.2 南麂列岛浮游植物与环境因子相关分析

环境因子对不同海域、不同时期浮游植物群落结构和种类数量的影响存在差别;纪焕红等<sup>[4]</sup>对南麂列岛海域浮游植物生态特征研究证实,温度与盐度是影

响该海域甲藻细胞丰度的主要环境因子;张震等<sup>[21]</sup>对珠江口及近海区浮游植物时空分布特征研究发现,夏季浮游植物丰度与磷酸盐成显著正相关;袁超等<sup>[22]</sup>通过研究 2010—2011 年深圳湾浮游植物群落结构发现,秋季浮游植物丰度与 pH 值、盐度、DO 呈显著负相关,与营养盐呈显著正相关,春季浮游植物丰度与 pH 值、盐度、DO 呈负相关,与悬浮物、无机氮、活性硅、活性磷呈现显著正相关。由于浮游植物生长繁殖与外界环境因素密切相关,其群落结构与数量的变化受到水温、水深、盐度、DO、海流及营养盐的影响,其它未知的理化、生物因子也可能通过一定方式直接或间接影响到浮游植物数量,因此很难对浮游植物与上述因素之间的作用方式进行“量-效”关系分析。建议在今后的研究中,加大对东海海域及南麂列岛的浮游生物、水文气象特征及生态环境状况的调查,结合室内模拟试验,探索浮游植物数量变化的影响因素。

目前我国近岸海域富营养化评价方法尚停留在以营养盐为基础的第一代评价体系<sup>[23]</sup>,包括单因子评价法与综合指数评价法,本研究采用综合指数评价法对南麂列岛的营养状态进行评价。结果表明,春季富营养化指数平均值低于秋季,这与近年来的研究结果相符<sup>[24-25]</sup>,目前国内许多近岸海域水体富营养化程度秋季显著高于春季;秋季各站位普遍存在磷限制现象,从而限制了浮游植物对氮磷营养盐的有效利用,因此春季由水体富营养化而诱发赤潮爆发的可能性大于秋季。

### 4 结论

本研究采用综合指数评价法对南麂列岛的营养状态进行评价,结果显示:南麂列岛海域水体处于富营养化水平,且秋季富营养化程度显著高于春季。对南麂列岛海域 28 个站位的浮游植物进行两次调查,共发现浮游植物 2 门 35 种(属),硅藻和甲藻是调查区海域的主要物种,其中硅藻的种类和数量占有绝对优势。在生态类型上以温带近岸性物种为主,也有少数暖海性物种或大洋性物种。夜光藻、圆筛藻属、海链藻属成为春季优势种,其中夜光藻成为春季第一优势种,优势度指数达到 0.82;具槽帕拉藻成为秋季优势种,优势度指数达到 0.99。浮游植物群落多样性指数和均匀度指数较低,夜光藻、具槽帕拉藻等个别赤潮种成为优势种,容易导致赤潮发生。

#### 参考文献:

[1] 张志道,陆斗定.南麂列岛附近海域的浮游植物和赤潮

- 生物[J]. 东海海洋, 1996, 14(3): 13-20.
- ZHANG Z D, LU D D. Phytoplankton and red tide plankton in the waters near Nanji Archipelago[J]. Donghai Marine Science, 1996, 14(3): 13-20.
- [2] 陈舜, 李扬, 李欢, 等. 南麂列岛海域浮游植物的群落结构研究[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(2): 170-175.
- CHEN S, LI Y, LI H, et al. Study on community structure of phytoplankton in Nanji Island Sea Area[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(2): 170-175.
- [3] 高爱根, 曾江宁, 陈全震, 等. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带贝类资源时空分布[J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 105-111.
- GAO A G, ZENG J N, CHEN Q Z, et al. Time and space distribution of Molluscas of intertidal zone in Nanji Archipelago Marine Nature Reserve[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(2): 105-111.
- [4] 纪焕红, 叶属峰, 刘星, 等. 南麂列岛海域浮游植物生态特征及甲藻赤潮频发原因[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(2): 234-242.
- JI H H, YE S F, LIU X, et al. Ecological characteristics of phytoplankton and causes for frequent occurrence of dinoflagellate red tide in the Nanji Islands Sea Area[J]. Advances In Marine Science, 2008, 26(2): 234-242.
- [5] 王俊. 渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(4): 44-50.
- WANG J. Species composition and quantity variation of phytoplankton in inshore waters of the Bohai Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2003, 24(4): 44-50.
- [6] 孙军, 刘东艳, 王威, 等. 1998年秋季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1644-1656.
- SUN J, LIU D Y, WANG W, et al. The netz-phytoplankton community of the central Bohai Sea and its adjacent waters in autumn, 1998[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1644-1656.
- [7] 林峰竹, 吴玉霖, 于海成, 等. 2004年长江口浮游植物群落结构特征分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 401-410.
- LIN F Z, WU Y L, YU H C, et al. Phytoplankton community structure in the Changjiang Estuary and its adjacent waters in 2004[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(4): 401-410.
- [8] 冯志权, 郭皓, 马明辉, 等. 滦河口近岸海域浮游植物群落结构[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(1): 41-43.
- FENG Z Q, GUO H, MA M H, et al. Community of phytoplankton in Luanhe Estuary[J]. Marine Environmental Science, 2005, 24(1): 41-43.
- [9] 陈赛英, 王一婷, 孙建章, 等. 浙江南麂列岛贝类区系的研究[J]. 动物学报, 1980, 26(2): 171-177.
- CHEN S Y, WANG Y T, SUN J Z, et al. Studies on molluscan fauna of Nanji Islands, Bast China Sea[J]. Acta Zoologica Sinica, 1980, 26(2): 171-177.
- [10] 陈国通, 杨晓兰, 杨俊毅, 等. 南麂列岛环境质量调查与潮间带生态研究[J]. 东海海洋, 1994, 12(2): 1-15.
- CHEN G T, YANG X L, YANG J Y, et al. Ecological and environment qualitative study in the intertidal zone and land area of Nanji Archipelago[J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(2): 1-15.
- [11] 史君贤, 陈忠元, 胡锡钢. 南麂列岛附近海域表层水及沉积物中细菌的丰度及其在环境中的作用[J]. 东海海洋, 1994, 12(3): 58-61.
- SHI J X, CHEN Z Y, HU X G. Abundance of bacteria and its activity in the waters nearby the Nanji Island[J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(3): 58-61.
- [12] 王永泓, 陈国通. 南麂岛邻近海域底栖生物群落结构分析[J]. 东海海洋, 1994, 12(2): 62-69.
- WANG Y H, CHEN G T. Analysis of macrobenthic community structure in sublittoral area of Nanji Island[J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(2): 62-69.
- [13] 林岩璇, 张志南, 韩洁. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带小型生物初步研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(2): 219-225.
- LIN K X, ZHANG Z N, HAN J. A preliminary study on the meiofauna in the Intertidal Zone in Nanji Islands Marine Reserve[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(2): 219-225.
- [14] 尹翠玲, 张秋丰, 石海明, 等. 2011年渤海湾近岸海域网采浮游植物群落[J]. 海洋湖沼通报, 2013(3): 152-160.
- YIN C L, ZHANG Q F, SHI H M, et al. Net-phytoplankton community in the nearshore waters of Bohai in 2011[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(3): 152-160.
- [15] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-54.
- ZOU J Z, DONG L P, QIN B P. Explore the eutrophication and red tides problem of the Bohai Bay[J]. Marine Environmental Science, 1983, 2(2): 41-54.
- [16] 张超, 马启敏. 罗源湾水质评价与富营养化研究[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(S1): 398-402.
- ZHANG C, MA Q M. Study on water quality assessment and eutrophication in the Luoyuan Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(S1): 398-402.
- [17] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, 1994: 24-36.
- [18] 李扬, 李欢, 吕颂辉, 等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游

- 植物的种类多样性及其生态分布[J]. 水生生物学报, 2010, 34(3):618-628.
- LI Y, LI H, LV S H, et al. Species diversity and distribution of phytoplankton in Nanji Islands National Nature Reserve[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(3):618-628.
- [19] 李俊龙, 郑丙辉, 刘录三, 等. 长江口浮游植物群落特征及其与环境的响应关系[J]. 环境科学研究, 2013, 26(4):403-409.
- LI J L, ZHENG B H, LIU L S, et al. Phytoplankton community structure in the Yangtze River Estuary and its relation to environmental factors [J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(4):403-409.
- [20] 朱根海, 王旭, 王春生, 等. 南麂列岛国家海洋自然保护区微、小型藻类生态研究 II 数量分布[J]. 东海海洋, 1998, 16(2):22-28.
- ZHU G H, WANG X, WANG C S, et al. Ecological studies on nanoalgae and microalgae in Nanji Islands National Marine Natural Conservation Area II. Quantitative distribution[J]. Donghai Marine Science, 1998, 16(2):22-28.
- [21] 张霞, 黄小平, 施震, 等. 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(7):2200-2211.
- ZHANG X, HUANG X P, SHI Z, et al. Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7):2200-2211.
- [22] 袁超, 徐宗军, 张学雷. 2010-2011 年深圳湾浮游植物季节变化及其与环境因子关系 [J]. 海洋湖沼通报, 2015(1):112-120.
- YUAN C, XU Z J, ZHANG X L, et al. Seasonal change of phytoplankton and its relations to environmental factors in Shenzhen Bay from November 2010 to July 2011[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(1):112-120.
- [23] 胡序朋, 邵君波, 唐静亮, 等. 近岸海域富营养化评价方法的研究进展和比较[J]. 中国环境监测, 2016, 32(1):35-43.
- HU X P, SHAO J B, TANG J L, et al. Research progress and comparison of eutrophication assessment methods for coastal waters[J]. Environmental Monitoring in China, 2016, 32(1):35-43.
- [24] 王继纲, 邝伟明, 霍云龙, 等. 2012 年春秋罗源湾表层海水水质状况及富营养化评价[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(2):247-253.
- WANG J G, KUANG W M, HUO Y L, et al. Seawater quality and eutrophication assessment in surface water of Luoyuan Bay in spring and autumn of 2012 [J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(2):247-253.
- [25] 杨志. 天津近岸海域水体富营养化评价[D]. 天津:天津师范大学, 2006.
- YANG Z. Assessment on Eutrophication of Tianjin Alongshore Seawaters[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2006.

(责任编辑:陆 雁)