

日照近岸海域浒苔暴发区浮游植物调查研究

于洋^{1,2}, 刘迎迎^{1,2}, 王建勇^{1,2}, 侯继灵^{1,2}, 孟娜^{1,2}, 牟秀菊², 王珍珍², 陈德春²

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室 青岛 266061; 2. 国家海洋局北海预报中心 青岛 266061)

摘要:2016 年 5 月和 8 月浒苔暴发前后, 分别对日照近岸海域浒苔暴发区进行了两个航次的浮游植物断面调查。两个航次中, 硅藻都占据了调查海域浮游植物组成的主导地位, 在种类数上和细胞丰度值上都占了较大的比例。8 月航次细胞丰度明显高于 5 月航次, 这与调查海域的历次调查结果相一致。应用 PRIMER 软件中的单变量分析得到群落种数(S)、丰富度(d)、香农-威纳指数(Shannon-Weaner index)(H')和均匀度(J), 从多样性指数分析可以看出, 5 月航次的生物多样性优于 8 月航次, 5 月航次调查海域浮游植物种类数量和空间分布都较均匀。两个航次中出现的优势种存在较大差别。

关键词:绿潮; 浮游植物; 丰度; 多样性; 优势种

中图分类号: P71 文献标志码: A 文章编号: 1005-9857(2017)11-0074-05

Variability of Phytoplankton Distribution for Green Tide of *Enteromorpha prolifera* Occurrence Areas in Rizhao Coastal Region

YU Yang^{1,2}, LIU Yingying^{1,2}, WANG Jianyong^{1,2}, HOU Jiling^{1,2}, MENG Na^{1,2}, MOU Xiuju², WANG Zhenzhen², CHEN Dechun²

(1. Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation in Shangdong Provine, Qingdao 266061, China; 2. North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Abstract: To analyze the phytoplankton species composition and biodiversity for green tide of *Enteromorpha prolifera* occurrence areas in Rizhao coastal region, two investigations were carried out during May and August in 2016. The species (S), abundance (d), Shannon-Wiener diversity index (H') and evenness index (J) of phytoplankton were also studied by using PRIMER. The results were consistent with the historical findings. It showed that Bacillariophyta dominated the phytoplankton community, with larger proportion in specie and density. The phytoplankton density was higher in August, while biodiversity was higher in May. The species and spatial distribution of phytoplankton are relatively uniform in May. But the dominant species in the two survey

were quite different.

Key words: Green tide, Phytoplankton, Abundance, Biodiversity, Dominant species

浮游植物是一类具有色素或色素体,能进行光合作用,并能制造有机物的自养性浮游生物^[1]。浮游植物在水域中分布广泛,数量巨大,过着漂浮生活,一般只生活在真光层,能通过光合作用固定无机碳,转化为碳水化合物,是水域的初级生产者^[2]。海洋浮游植物在海洋表面产生有机物质和碳酸盐矿物质并向海洋深处运输,它们在生物碳泵中扮演着重要角色,有研究表明,海洋中 3/4 的溶解无机碳(DIC)垂直梯度变化是由生物碳泵引起的^[3],对全球碳循环有着重要的调节作用。

绿潮(green tide)是在特定的环境条件下,海水中某些大型绿藻暴发性增殖或高度聚集而引起水体变色的一种有害生态现象,被视作和赤潮一样的海洋灾害。浒苔的暴发会与其他海洋植物竞争营养,从而影响海洋中的其他生物;浒苔消亡过程中会释放出大量的化学物质,从而改变水体的理化环境,进而直接影响其他的海洋生物。

通过美国宇航局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)图像可以看出,渤海以及东海海域在 2000—2006 年没有绿潮藻分布的迹象发生^[4]。2007 年 6 月在我国黄海北部和中部的海域首次发现了由大量漂浮的绿藻引起的绿潮^[5]。2008 年夏季,大面积浒苔再次在黄海的中南部海域内暴发。截至 2016 年 8 月,浒苔在黄海海域连续暴发 9 年,每年 6 月和 7 月黄海浒苔绿潮在山东日照至青岛沿海登陆。

笔者对日照近岸海域浒苔暴发区采集的浮游植物样品进行分析,研究该海区浮游植物的种类数量、丰度、优势种以及群落结构,为深入探讨浒苔暴发区浮游植物的长期变化和该海区生态环境影响评价等提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查海区与站位布设

从历年调查海域浒苔暴发情况看,浒苔暴发对

日照近岸海域的影响都是自每年 5 月底或者 6 月初开始,直至 7 月底或者 8 月初结束。因此,分别于 2016 年 5 月和 8 月在浒苔暴发之前和之后,对日照近岸海域浒苔暴发区进行了两个航次的浮游植物断面调查。两个航次设置调查站位 9 个,两个航次调查海区及站位见图 1(标志■所示)。

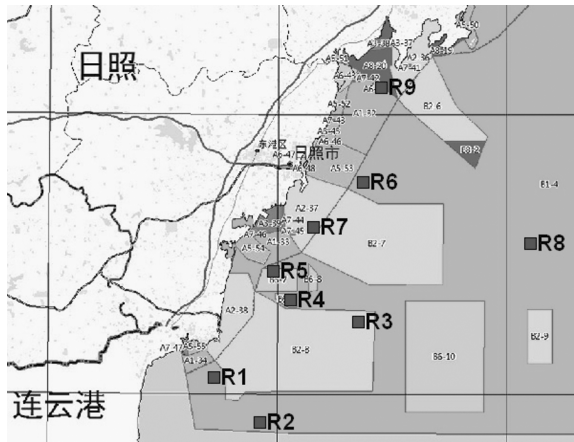


图 1 调查海区站位

1.2 样品采集、处理方法及数据收集

本次样品的采集、保存以及分析均按照《海洋监测规范 第 7 部分:近海污染生态调查和生物监测》(GB 17378.7—2007)进行。样品用浅水Ⅲ型浮游生物网在每个调查站位自底至表垂直拖网采集,所采样品立即用碘液固定保存(终浓度为 5%)。样品带回实验室,在显微镜下进行种类鉴定和计数。

1.3 分析方法

1.3.1 丰度

网采浮游植物各种类的丰度(abundance),以每立方米海水水体中的个体数量(cells/m³)表示。

$$C = \frac{n \cdot V_1}{V_2 \cdot V_n}$$

式中:C 为某种类的丰度(cells/m³);n 为取样计数个数(cells);V₁ 为水样浓缩后体积(mL);V₂ 为滤水量(m³);V_n 为计数的取样体积(mL)。

1.3.2 优势种

浮游植物的优势种由每个种的优势度(Y)来确

定^[6]: $Y = n_i / N \cdot f_i$

式中: Y 为优势度; n_i 为第 i 种的丰度; N 为所有种类的总丰度; f_i 为第 i 种出现的频率。

在计算结果中, 取 Y 值大于 0.02 的种类确定为优势种^[7]。

1.3.3 物种多样性

用 PRIMER 软件分析得到浮游植物的种数 (S)、丰富度 (d)、均匀度 (J) 和香农-威纳指数 (Shannon-Weaner index) (H')。

种数即种类数量, 指调查海域所获得的浮游植物种类的总数目。

丰富度指数采用 Margalef's index 指数^[8], 计算方法为: $d = (S - 1) / \log_2 N$

式中: N 为浮游植物的丰度。

均匀度采用 Pielou 指数^[9], 计算方法为:

$$J = H' / \log_2 S$$

香农-威纳指数^[10]的计算方法为:

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

式中: P_i 为第 i 种个体在样品中的比例。

浮游植物生物多样性分级评价按照陈清潮等^[11]提出的生物多样性阈值评价标准进行, 见表 1。

表 1 生物多样性阈值评价标准

评价等级	阈值 (D_v)	分级描述
I	<0.6	差
II	0.6~1.5	一般
III	1.6~2.5	较好
IV	2.6~3.5	丰富
V	>3.5	非常丰富

注: $D_v = H' \times J$ 。

2 浮游植物种类组成和丰度分布

2.1 日照近岸海域浮游植物种类组成

2016 年 5 月航次, 共鉴定浮游植物 16 属 27 种 (包括 6 个未定种), 分别隶属于硅藻门和甲藻门。其中, 硅藻门的种数最多, 共 15 属 26 种 (包括 6 个未定种), 占总种数的 96.3%; 甲藻门 1 属 1 种, 占总种数的 3.7%。出现频率大于 80% 的种有: 圆筛藻 (*Coscinodiscus* sp.)。

2016 年 8 月航次, 共鉴定浮游植物 20 属 41 种 (包括 7 个未定种), 分别隶属于硅藻门和甲藻门。

其中, 硅藻门的种数最多, 共 15 属 32 种 (包括 6 个未定种), 占总种数的 78.0%; 甲藻门 5 属 9 种 (包括 1 个未定种), 占总种数的 22.0%。出现频率 >80% 的种有: 圆筛藻 (*Coscinodiscus* sp.)、角毛藻 (*Chaetoceros* sp.) 和夜光藻 (*Noctiluca scintillans*) 等。

2.2 日照近岸海域浮游植物丰度分布

2016 年 5 月航次, 调查海域浮游植物的细胞丰度为 $1.00 \times 10^4 \sim 12.44 \times 10^4$ cells/ m^3 , 平均丰度为 5.42×10^4 cells/ m^3 , 最小值在 R3 站, 最大值在 R4 站 (图 2)。2016 年 8 月航次, 调查海域浮游植物的细胞丰度为 $7.45 \times 10^4 \sim 561.76 \times 10^4$ cells/ m^3 , 平均丰度为 104.02×10^4 cells/ m^3 , 最小值在 R2 站, 最大值在 R9 站 (图 3)。

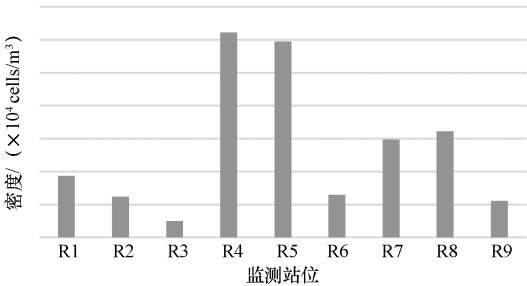


图 2 5 月航次浮游植物的细胞丰度示意图

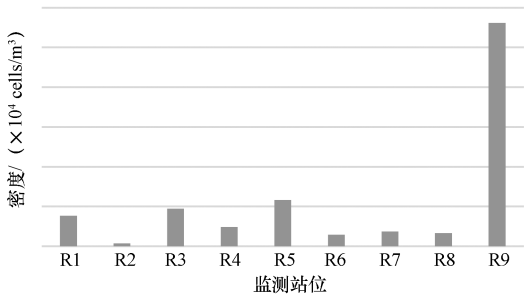


图 3 8 月航次浮游植物的细胞丰度示意图

从图 2 和图 3 可以看出, 8 月航次调查海域浮游植物的细胞丰度明显高于 5 月航次, 这符合该海域浮游植物的季节性变化规律。8 月航次站之间细胞丰度差异很大, 主要与各站所处海域的营养水平有关。8 月在该地区属于雨季, 与 5 月相比, 陆源污染物入海对附近海域水质环境影响较大, 造成了各站所在海域间海水营养水平的差异, 各站海水营养水平的不平衡造成了站间浮游植物的

细胞丰度明显差异。

3 日照近岸海域浮游植物多样性和优势种分析

3.1 日照近岸海域浮游植物多样性分析

两个航次各站位的种数 S 、丰富度 d 、香农—威纳指数 H' 和均匀度 J 详见表 2 和表 3。

表 2 2016 年 5 月浮游植物多样性指数

站位	种数 S	丰富度 d	香农—威纳指数 H'	均匀度 J	多样性 阈值 D_v
R1	8	1.65	2.39	0.80	1.91
R2	6	1.09	1.93	0.75	1.44
R3	5	1.26	1.88	0.81	1.52
R4	14	2.05	2.72	0.71	1.94
R5	17	2.73	3.37	0.82	2.78
R6	5	1.05	1.63	0.70	1.14
R7	9	1.41	1.64	0.52	0.85
R8	11	1.58	1.95	0.56	1.10
R9	6	1.14	2.40	0.93	2.23
平均值	—	1.55	2.21	0.73	1.66

表 3 2016 年 8 月浮游植物多样性指数

站位	种数 S	丰富度 d	香农—威纳指数 H'	均匀度 J	多样性 阈值 D_v
R1	7	0.72	0.63	0.22	0.14
R2	16	2.34	3.19	0.80	2.54
R3	17	1.56	2.40	0.59	1.41
R4	12	1.26	1.66	0.46	0.77
R5	13	1.27	1.83	0.50	0.91
R6	11	1.31	2.16	0.62	1.35
R7	12	1.39	2.34	0.65	1.53
R8	23	2.56	2.78	0.61	1.71
R9	13	1.07	0.36	0.10	0.04
平均值	—	1.50	1.93	0.51	1.16

2016 年 5 月航次,调查区域浮游植物群落 d 的变动范围为 1.05~2.73,平均值为 1.55; H' 的变动范围为 1.63~3.37,平均值为 2.21; J 的变动范围为 0.52~0.93,平均值为 0.73; D_v 介于 0.85~2.78 之间,平均值为 1.66。2016 年 8 月航次,调查区域浮游植物群落 d 的变动范围为 1.07~2.56,平均值为 1.50; H' 的变动范围为 0.36~3.19,平均值为 1.93; J 的变动范围为 0.10~0.80,平均值为

0.51; D_v 介于 0.04~2.54 之间,平均值为 1.16。

从浮游植物生物多样性阈值 D_v 来判断,2016 年 5 月航次的所有站位均未出现多样性评价等级为 I 级的情况,所有站位的多样性评价等级在 II 级~IV 级之间。2016 年 8 月航次的个别站位出现了多样性评价等级为 I 级情况,如 R9 站和 R1 站等。这些站位多样性评价等级较差均是由某种浮游植物占绝对优势造成的,例如,在 2016 年 8 月航次的 R9 站,笔尖根管藻占总细胞丰度的比例高达 96.0%; 2016 年 8 月航次的 R1 站,笔尖根管藻占总细胞丰度的比例高达 89.9%。造成这种情况的原因是 R1 站和 R9 站所处海域刚好处于两条入海河流入海口的外围,日照 8 月正值雨季,陆源污染物入海量增大,造成入海口附近海域海水营养水平增高,某些种类的浮游植物大量繁殖,进而影响到附近海域生态环境。这也验证了 Telesh^[12] 指出的物种多样性与水域的营养水平存在密切的关系。因此,浮游生物群落的结构和功能指数(如 Shannon-Wiener 指数)的变化能够作为生态系统在环境压力下发生改变的指示。

3.2 日照近岸海域浮游植物优势种分析

调查海域各航次浮游植物优势种详见表 4。

表 4 2016 年各航次浮游植物优势种及优势度

优势种		5 月优势度	8 月优势度
密联角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i>	0.031	
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.		0.265
笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>		0.146
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.254	
辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0.039	
三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>		0.022
夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.196	0.054

由表 4 可知,圆筛藻在 5 月航次成为优势度最大的优势种,优势度为 0.254,其总丰度值达到 14.01×10^4 cells/ m^3 ,各站平均丰度为 1.56×10^4 cells/ m^3 ,占浮游植物总丰度的 28.7%;角毛藻在 8 月航次中成为优势度最大的优势种,其总丰度值 199.18×10^4 cells/ m^3 ,各站平均丰度为 22.13×10^4 cells/ m^3 ,占浮游植物总丰度的 19.8%。在 5 月

航次和 8 月航次中夜光藻都是优势种,而且 5 月航次的优势度(0.196)明显高于 8 月航次的优势度(0.054)。这样的监测结果与所调查海域的赤潮暴发情况相吻合,调查海域近年来发生的赤潮多发生于每年的 4 月和 5 月,均为夜光藻暴发增殖引起,而且具有明显的近岸区域性和规模较小的特点。

4 结论

本次调查中,5 月航次共鉴定浮游植物 16 属 27 种(包括 6 个未定种),8 月航次共鉴定浮游植物 20 属 41 种(包括 7 个未定种)。两个航次中,硅藻都占据了调查海域浮游植物组成的主导地位,在种类数上和细胞丰度值上都占了较大的比例,这与郭玉洁^[13] 1980—1981 年和刘东艳等^[14] 2002 年在胶州湾的调查结论相一致。在调查海域浮游植物的细胞丰度方面,8 月航次细胞丰度明显高于 5 月航次,这与调查海域的历次调查结果相一致,与该海域浮游植物细胞丰度的季节变化规律吻合,绿潮暴发过后,对该海域的浮游植物细胞丰度变化影响不大。

从浮游植物生物多样性阈值 D_v 来判断,5 月航次的生物多样性优于 8 月航次。5 月航次各调查站位间 D_v 变化不大,说明 5 月航次调查海域浮游植物种类数量和空间分布都较均匀;8 月航次调查海域的浮游植物种类数量和空间分布不均匀,8 月航次的个别站位出现了多样性评价等级为 I 级情况,这是由某种浮游植物占绝对优势造成的。

本次调查中,5 月航次出现的优势种主要有圆筛藻、夜光藻、辐射圆筛藻和密联角毛藻;8 月航次出现的优势种主要有角毛藻、笔尖根管藻、夜光藻和三角角藻。两个航次中出现的优势种存在较大差别。

参考文献

- [1] 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[M].北京:海洋出版社,1984.
- [2] 黄宗国.海洋生物学辞典[M].北京:海洋出版社,2002.
- [3] VOLK T, HOFFERT M I. Ocean carbon pumps: analysis of relative strengths and efficiencies in ocean-driven atmospheric CO_2 changes[C].//Sundquist ET and Broecker WS. (Eds) The carbon cycle and atmospheric CO_2 : Natural variations archaic to present. Geophysical Monographs Series, American Geophysical Union. Washington DC, 1985: 32, 99—110.
- [4] 唐启升,张晓雯,叶乃好,等.绿潮研究现状与问题[J].中国科学基金,2010(1): 5—9.
- [5] 李大秋,贺双颜,杨倩,等.青岛海域浒苔来源与外海分布特征研究[J].环境保护,2008,402: 45—46.
- [6] 孙儒泳.动物生态学原理[M].2 版.北京:北京师范大学出版社,1992: 356—357.
- [7] 徐兆礼,陈亚瞿.东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系[J].生态学杂志,1989,8(4): 13—15.
- [8] MARGALEF R. Information theory in ecology [J]. International Journal of General Systems, 1958, 3(1): 36—71.
- [9] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology [M]. New York: Wiley Interscience, 1969: 1—286.
- [10] SHANNON C E, WIENER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana, Illinois: The University of Illinois Press, 1949: 125.
- [11] 陈清潮,黄良民,尹健强.南沙群岛海区浮游动物多样性研究 [M]. 北京:海洋出版社,1994: 42—50.
- [12] TELES I V. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49: 206—219.
- [13] 郭玉洁.胶州湾浮游植物.胶州湾生态学和生物资源[M].北京:科学出版社,1992: 136—169.
- [14] 刘东艳,孙军,钱树本.胶州湾北部水域浮游植物研究 I: 种类组成和数量变化[J].青岛海洋大学学报,2002,32(1): 67—72.