



2011年秋季北黄海浮游植物群落

郭术津¹, 孙军¹, 张辉¹, 翟惟东²

(1. 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457;

2. 国家海洋环境监测中心, 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室, 大连 116023)

摘要: 2011年11月21—25日在北黄海海域对32个站位进行了生物采样, 应用 Utermöhl 方法对调查海域的浮游植物群落进行了研究. 经 115 个样品的分析, 共发现浮游植物 3 门 31 属 64 种. 调查区浮游植物群落主要由硅藻和甲藻组成, 还有少量的金藻, 物种以暖温性和广布性物种为主, 主要优势种为: 具槽帕拉藻、虹彩圆筛藻、三角角藻、斯氏几内亚藻、梭形角藻和旋链角毛藻等. 本次调查浮游植物细胞丰度平均值为 4.2×10^3 个/L; 硅藻占浮游植物细胞丰度的比例最大, 平均值为 3.6×10^3 个/L; 其次为甲藻, 平均值为 0.95×10^3 个/L. 调查海域浮游植物细胞丰度分布不均匀, 辽宁南岸海域最高, 山东近岸海域其次, 北黄海中部海域最低. 细胞丰度在水体中的垂直分布趋势为先降低后升高, 其中底层的细胞丰度主要由具槽帕拉藻和虹彩圆筛藻贡献. 从断面分布上看, 细胞丰度高值多集中在受陆源输入影响明显的近岸海域. 调查区浮游植物群落多样性指数和均匀度指数均在北黄海北部海域较高, 在近岸海域较低. 与历史资料的对比发现, 近 30 年来北黄海浮游植物群落结构比较稳定.

关键词: 浮游植物; 北黄海; 秋季; 具槽帕拉藻

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2013)01-0022-08

Phytoplankton Communities in the Northern Yellow Sea in Autumn 2011

GUO Shujin¹, SUN Jun¹, ZHANG Hui¹, ZHAI Weidong²

(1. College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Key Laboratory for Ecological Environment in Coastal Areas (State Oceanic Administration),

National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: Totally 115 phytoplankton water samples were collected from 32 stations in northern Yellow Sea from November 21 to 25 in 2011. The composition and abundance of the phytoplankton species were studied with Utermöhl method. A total of 64 taxa which belong to 31 genera of 3 phyla were identified. The phytoplankton community was mainly composed of Bacillariophyta and Pyrrophyta, and there were also a few species belonging to Chrysophyta. Most of the ecotype of the phytoplankton species was neritic or cosmopolitan. The dominant species were *Paralia sulcata* Cleve, *Coscinodiscus oculus-iridis* Ehrenberg, *Ceratium tripos* Nitzsch, *Guinardia striata* Hasle, *Ceratium fusus* Dujardin and *Chaetoceros curvisetus* Cleve, etc. The average of phytoplankton cell abundance was 4.2×10^3 cells/L, with cell abundance of Bacillariophyta averaging at 3.6×10^3 cells/L and Pyrrophyta averaging at 0.95×10^3 cells/L. Horizontally, cell abundance distributed unevenly in the surveyed area, with Liaoning coastal water ranking first, followed by Shandong coastal water, and the central part of northern YS ranking last. Vertically, phytoplankton cell abundance first decreased in the upper water, and then increased with the increase of depth. Near the bottom water, *Par. sulcata* and *Cos. iridis* were the dominant species. Sectionally, phytoplankton mainly concentrated in the coastal area under anthropogenic influences. Both Shannon-Wiener diversity index and Pielou's evenness index appeared higher in the northern part of northern YS. Compared with historical data, phytoplankton communities in northern YS didn't show significant alteration during the past 30 years.

Key words: phytoplankton; northern Yellow Sea; autumn; *Paralia sulcata*

收稿日期: 2012-09-16; 修回日期: 2012-10-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41176136); 国家公益性行业科研专项项目(201105021-03)

作者简介: 郭术津(1986—), 男, 山东潍坊人, 博士研究生; 通信作者: 孙军, 教授, phytoplankton@163.com.

浮游植物是海洋生态系统中的初级生产者^[1],一方面为浮游动物和鱼虾等提供饵料^[2];另一方面,浮游植物细胞在生长和死亡过程中释放的溶解有机物也是细菌等的营养来源^[3].因此,浮游植物的盛衰关系到海洋生态系统能否持续正常的运转,浮游植物群落的调查也是了解海区生态系统稳定性的重要手段.

北黄海是中国重要的陆架浅海,受大陆气候、陆源淡水和黄海暖流等影响^[4],浮游植物呈现不同的区系分布特征.国内该海域浮游植物调查始于20世纪60年代,迄今为止积累了丰富的资料^[5-9].早期调查以网采方法为主,该方法由于网目孔径的限制会遗漏小粒径的浮游植物细胞,并且不能获得不同水层中的浮游植物信息.相对于网采方法,Utermöhl方法既可以进行精确的定量分析,也可以理清不同水层的浮游植物状况,被越来越多的海洋生态学者使用^[10-15].

本文采用Utermöhl方法系统地研究了2011年秋季北黄海海域的浮游植物群落,分析了调查区浮游植物的物种组成、优势物种组成、细胞丰度的分布和群落多样性等特征,并与历史资料进行了对比,以期相关的生态研究提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 调查站位

此次调查于2011年11月21—25日在中国北黄海(36°00'N~40°00'N, 121°00'E~125°00'E)共32个站位进行了浮游植物采样(见图1).

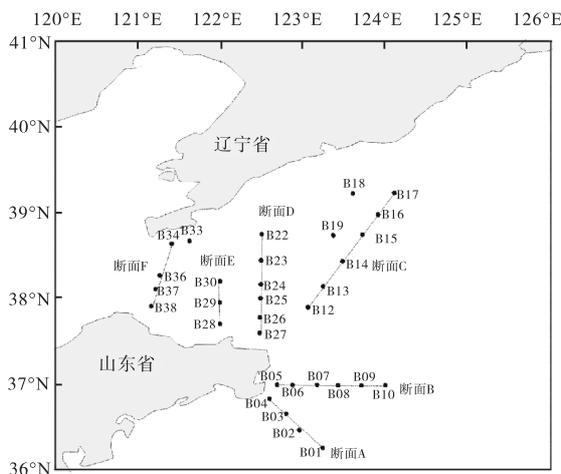


图1 2011年秋季北黄海调查海域和站位

Fig. 1 Sampling stations in the surveyed area in autumn 2011

1.2 样品采集与分析

现场使用携带 Seabird 917 Plus CTD 的 Rosette

采水器,于各站位不同水层采集水样.水层设置为:水深小于60m的站位,取表层、中层和底层3层;水深大于60m的站位,取表层、次表层、中层和底层4层.取1L水样置于大口PE样品瓶中,加10mL中性甲醛溶液固定,于遮光处保存.样品带回实验室按Utermöhl方法^[11]进行分析.物种的鉴定主要参考金德祥等^[16]和山路勇^[17]的数据.

1.3 数据处理

采用香农-威纳多样性指数(H')^[17]、Pielou均匀度指数(J)^[18]和优势度指数(Y)^[19]对浮游植物群落结构进行分析.另外,进行了浮游植物细胞丰度水柱积分的换算:

$$A = \sum_n^{n+1} \frac{(a_i + a_{i+1})}{2} \times (D_{i+1} - D_i) \quad (1)$$

$$A' = \frac{A}{Z_{\max}} \quad (2)$$

式中: A 为水柱积分浮游植物细胞丰度; A' 为水柱平均浮游植物细胞丰度; a_i 为第*i*层浮游植物细胞丰度; n 为采样层数; D_i 为第*i*层采样深度, $1 \leq i \leq n-1$; Z_{\max} 为各站位最大采样深度.

2 结果与分析

2.1 浮游植物物种组成

本次调查通过对115个浮游植物样品的分析,共发现浮游植物3门31属64种,其中硅藻门22属46种,占有物种数的71.9%;甲藻门7属13种,占有物种数的20.3%;金藻门2属4种,占有物种数的6.2%.硅藻门中以角毛藻属(*Chaetoceros*)和根管藻属(*Rhizosolenia*)的物种数最多,分别占硅藻总物种数的25.6%和11.6%;甲藻门中以角藻属(*Ceratium*)和原多甲藻属(*Protoperidinium*)的物种数最多,分别占甲藻总物种数的38.5%和15.4%,这与前人的调查结果是相似的.黄文祥等^[7]1982年的调查结果显示,角毛藻属、根管藻属、帕拉藻属(*Paralia*)和角藻属是北黄海分布广且数量多的物种.可见,近30年来北黄海的浮游植物物种组成并没有发生明显的改变,这与渤海、东海浮游植物群落发生一定改变的情况^[21-22]形成对照.

生态特征方面,北黄海是典型的温带半封闭海域,物种以温带性物种和广布性物种为主;近岸海域受辽南沿岸流和鲁北沿岸流影响,分布有一些半咸水物种如中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)等;另外,

秋季黄海暖流的影响逐渐增强,导致调查区分布有相当数量的暖水性物种,如太阳漂流藻(*Planktoniella sol*)和双突角毛藻(*Chaetoceros didymus*)。总体来看,浮游植物在北黄海由于不同区域间主导水团的不同,

具有一定的区系差异,但仍以暖温带物种和广布性物种数量居多。

2.2 浮游植物优势物种组成

调查区浮游植物优势物种见表 1。

表 1 2011 年秋季北黄海浮游植物优势物种

Tab. 1 Dominant species of phytoplankton in northern Yellow Sea in autumn 2011

物种	丰度比值/%	频率 f_i	优势度指数 Y
具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve*	50.27	0.71	0.356 3
虹彩圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenberg	6.68	0.55	0.036 7
三角角藻 <i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch	4.72	0.43	0.020 2
斯氏几内亚藻 <i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle*	6.08	0.15	0.008 9
梭形角藻 <i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	3.22	0.25	0.008 1
旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	6.78	0.08	0.005 3
海洋斜纹藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i> (Peragallo) Cleve*	0.77	0.39	0.003 0
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	0.63	0.38	0.002 4
柔弱角毛藻 <i>Chaetoceros debilis</i> Cleve	2.55	0.07	0.001 7
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg*	3.20	0.05	0.001 6

注:* 种名更改参见文献[23].

本次调查期间具槽帕拉藻(*Paralia sulcata*)优势度明显高于其他物种,这是一种链状硅藻,广泛分布于世界范围陆架海域的底层水体^[24-25],在我国东海大陆架海域秋、冬季的优势度也非常明显^[26-27]。该物种为底栖性物种,喜好低的光照度和高营养盐的水域,因此多集中于近岸受人类活动影响明显的海域底层。夏季水体层化明显,该物种多分布在下层水体^[22];秋、冬季受季风强烈影响,水体垂直混合均匀,该物种被输送至上层水体。值得注意的是,本次调查三角角藻(*Ceratium tripos*)和梭形角藻(*Ceratium fusus*)的优势度与历史资料比较有所增高。黄文祥等^[7]1982年的调查结果显示,甲藻细胞丰度在黄海的高峰时期为夏末秋初,随后细胞丰度骤减,本次调查 11 月份下旬两种甲藻物种仍然占有较明显优势,值得引起重视。由于两种物种均是赤潮原因种,可以作为今后在该海域赤潮监测的重点关注物种。

将调查区物种丰富度和优势物种组成与黄文祥等^[7]的调查结果进行了比较。具槽帕拉藻、浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)和梭形角藻这些物种在历次调查中都作为优势物种出现,属于该海域的常见优势物种,但各物种优势度有所变动,比如具槽帕拉藻,在 1982 年的调查中为第四优势种,本次调查则成为首要优势种;浮动弯角藻,1982 年调查为第五优势种,本次调查优势度并不明显。另外,密联角毛藻(*Chaetoceros densus*)在本次调查没有作为优势种出现,取而代之的是旋链

角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)。浮游植物在海洋中具有斑块状分布的特点,单次观测的偶然性比较显著,并且,水温的微小差异、水流的转向和降水等因素都有可能造成浮游植物群集的变化,优势种和非优势种间的转变可能仅需几天的时间,因此需要长期的观测资料的累积才能帮助我们对该海域的优势物种状况有一清晰的认识。

2.3 浮游植物细胞丰度特征

2.3.1 细胞丰度的总体特征

调查海域浮游植物的细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 30.3 \times 10^3$ 个/L,平均值为 4.2×10^3 个/L;硅藻占浮游植物细胞丰度的比例最大,介于 $0.04 \times 10^3 \sim 30.3 \times 10^3$ 个/L,平均值为 3.6×10^3 个/L;其次为甲藻,细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 22.1 \times 10^3$ 个/L,平均值为 0.95×10^3 个/L。最优势种具槽帕拉藻的细胞丰度介于 $0.07 \times 10^3 \sim 13.3 \times 10^3$ 个/L,平均值为 2.8×10^3 个/L。与 1959 年全国综合调查的同期数据(1.5×10^3 个/L)^[6]和 1982 年调查的同期数据(2.43×10^3 个/L)^[7]相比,浮游植物平均丰度较高。浮游植物生物量的增加与调查区环境的改变关系密切。近几年鸭绿江入海营养盐通量增加^[28],丰富的营养盐有利于邻近海域浮游植物的繁殖;同时,渤海富营养化程度加重^[29],由黄海沿岸流等水系的水交换将多余营养盐成分带入黄海,一定程度上也促进了浮游植物的繁殖;另外,传统的网采研究方法容易遗漏一些小粒径的浮游植物细胞,这也会造成一定程度的低估。

2.3.2 细胞丰度的平面分布

调查海域浮游植物细胞丰度表层分布见图 2。本次调查表层浮游植物细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 21.8 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 3.6×10^3 个/L; 硅藻所占比例较大, 介于 $0.04 \times 10^3 \sim 21.8 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 2.9×10^3 个/L; 甲藻次之, 介于 $0.04 \times 10^3 \sim 3.6 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 0.8×10^3 个/L。表层浮游植物细胞丰度的平面分布由硅藻刻画, 高值区出现于辽宁南岸和山东半岛近岸海域, 如在辽宁南岸的B15和 B16 站位细胞丰度分别为 21.8×10^3 个/L 和 10.5×10^3 个/L, 优势

物种为旋链角毛藻、斯氏几内亚藻 (*Guinardia striata*)、浮动弯角藻和具槽帕拉藻等; 山东半岛北岸的站位如 B28、B38 和 B37 站位细胞丰度较高, 邻近海域丰度平均值为 8.4×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻。在调查区南侧近岸站位 B03、B04 和 B06 站位也发现了细胞丰度高值, 优势物种为具槽帕拉藻和三角角藻。甲藻细胞丰度高值区聚集于辽宁南岸海域, 优势物种为三角角藻、梭形角藻和扁压原多甲藻 (*Protoperdinium depressum*) 等, 这与董婧等^[30]1998年在邻近海域的调查结果相似。

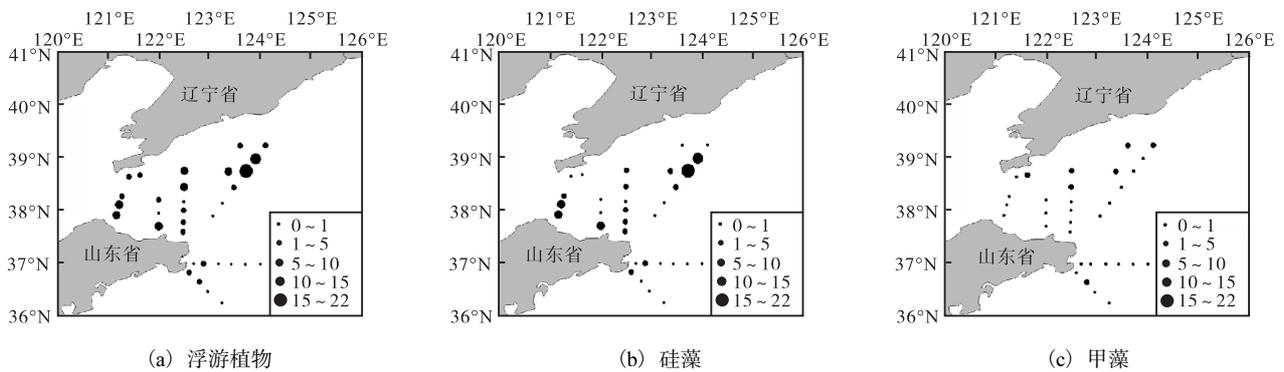


图 2 调查海域表层浮游植物细胞丰度 (10^3 个/L) 分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance (10^3 cells/L) in surface water in the surveyed area

浮游植物优势物种细胞丰度在表层水体的分布

情况见图 3。

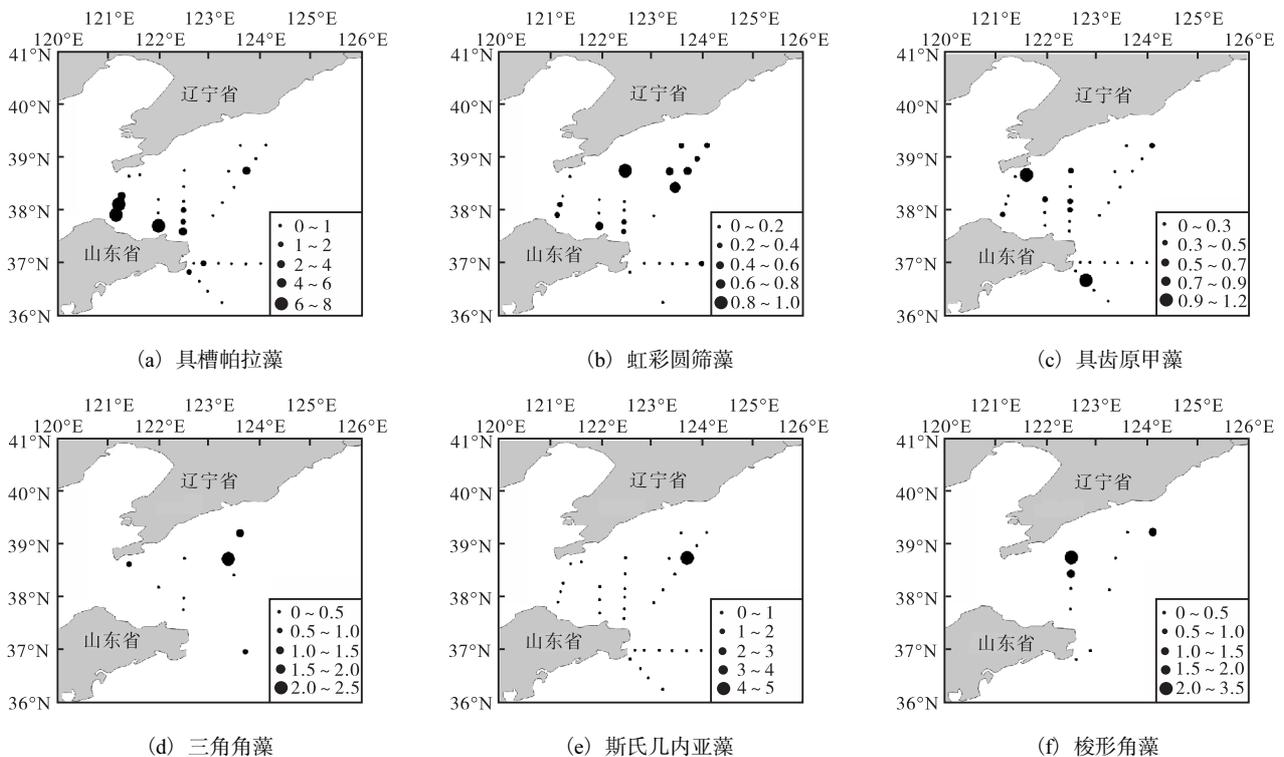


图 3 调查海域表层浮游植物优势物种细胞丰度 (10^3 个/L) 分布

Fig. 3 Horizontal distribution of dominant species' cell abundance (10^3 cells/L) in surface water in the surveyed area

具槽帕拉藻丰度高值区集中在山东半岛沿岸海域,邻近海域平均细胞丰度为 4.5×10^3 个/L,最大值为 B28 站位的底层,为 13.3×10^3 个/L;虹彩圆筛藻 (*Coscinodiscus oculus-iridis*) 丰度高值区集中在辽宁南岸海域,平均细胞丰度为 0.45×10^3 个/L,最大值为 B22 站位的底层,为 1.1×10^3 个/L;三角角藻丰度高值区也集中在辽宁南岸海域,平均细胞丰度为 0.5×10^3 个/L,最大值为 1.9×10^3 个/L;具齿原甲藻 (*Prorocentrum dentatum*) 在调查区部分站位出现,丰度最大值出现于 B13 站位的 15 m 层,为 2.04×10^4 个/L;斯氏几内亚藻在调查区的丰度平均值为 1.6×10^3 个/L,最大值为 B15 站位的 25 m 层,为 8.9×10^3 个/L;梭形角藻在调查区北部海域丰度较高,平均值为 0.4×10^3 个/L,最大值为 B33 站位的 25 m 层,为 1.9×10^3 个/L. 不同的浮游植物物种具有不同的生理生态特性,决定了其对生境选择的不同,形成不同的分布趋势,而浮游植物各物种间生态位的分化也正是其多样性的基础.

调查区按水团结构可划分为 3 个区域^[31](见图 4),分别是受辽南沿岸流影响的辽宁南岸海域(A)、受鲁北沿岸流影响的山东近岸海域(C)和受黄海暖流影响的北黄海中部海域(B). 对 3 个区域站位的细胞丰度进行了水柱积分平均换算,结果见表 2. 可以看出,辽宁南岸海域浮游植物细胞丰度最高,山东近岸海域其次,北黄海中部海域最少,这与康元德^[8]的调查结果一致. 硅藻丰度与浮游植物总丰度趋势一

致,甲藻在辽宁南岸海域丰度最高,山东近岸和北黄海中部海域丰度相差不大.

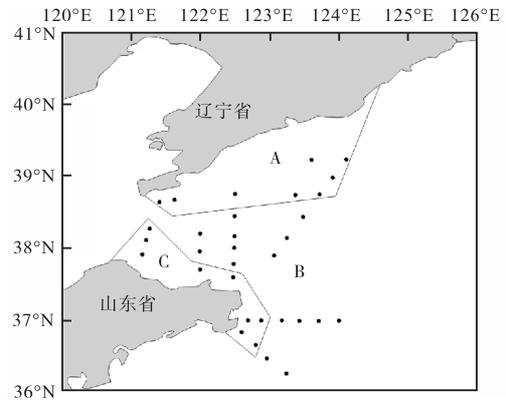


图 4 北黄海区域划分
Fig. 4 Division of the surveyed area

表 2 2011 年秋季北黄海各区域浮游植物细胞丰度水柱积分平均值

Tab. 2 Column average of integrated phytoplankton cell abundance in different regions in northern YS in autumn 2011 (10^3 个·L⁻¹)

区域	浮游植物	硅藻	甲藻
辽宁南岸	6.83	5.85	1.17
山东近岸	4.95	4.74	0.34
北黄海中部	2.60	1.88	0.44

2.3.3 细胞丰度的垂直分布

调查海域浮游植物细胞丰度的垂直分布见图 5(细胞丰度的对数以 10 为底).

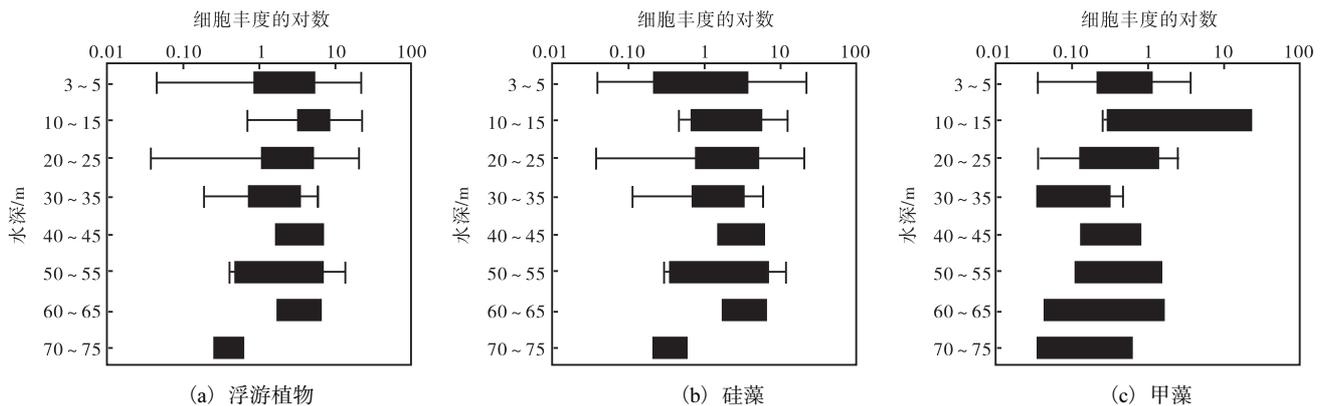


图 5 调查海域浮游植物细胞丰度在水层中的垂直分布
Fig. 5 Vertical distribution of phytoplankton cell abundance in the surveyed area

不同生态习性的物种又可能具有不同的分布特征,如某些甲藻物种的垂直迁移行为,一些底栖性物种由于水体扰动而形成的暂时性浮游行为,但总体来说,大多数浮游植物细胞偏向聚集于海水中光照度和营养盐含量吻合最佳的水层,这样可以保证光合效率

的最大化^[32]. 本次调查,浮游植物细胞丰度在水体中随水深增加具有明显的变化趋势. 从表层到 25 m 层,浮游植物细胞丰度相对较高;25 m 层到 45 m 层,浮游植物细胞丰度降低;45 m 层到 55 m 层,浮游植物细胞丰度又有增高的趋势,最后降低. 伴随着

细胞丰度的变化, 是浮游植物物种组成的相应改变. 上层水体物种组成比较多样化, 不同生态特征的物种均有出现, 是生产力最高的水体; 而下层水体以底栖性物种如具槽帕拉藻和圆筛藻物种为主, 这些物种在底层水体仍然可以保持较高的细胞丰度. 从各优势物种细胞丰度与水深的散点分布图来看(图 6),

不同优势物种在水层中的分布的确存在差异. 具槽帕拉藻和虹彩圆筛藻的细胞丰度的高值在水体不同水层中都有出现, 而三角角藻、具齿原甲藻、斯氏几内亚藻和梭形角藻的细胞丰度高值多集中于 40 m 层以上水体.

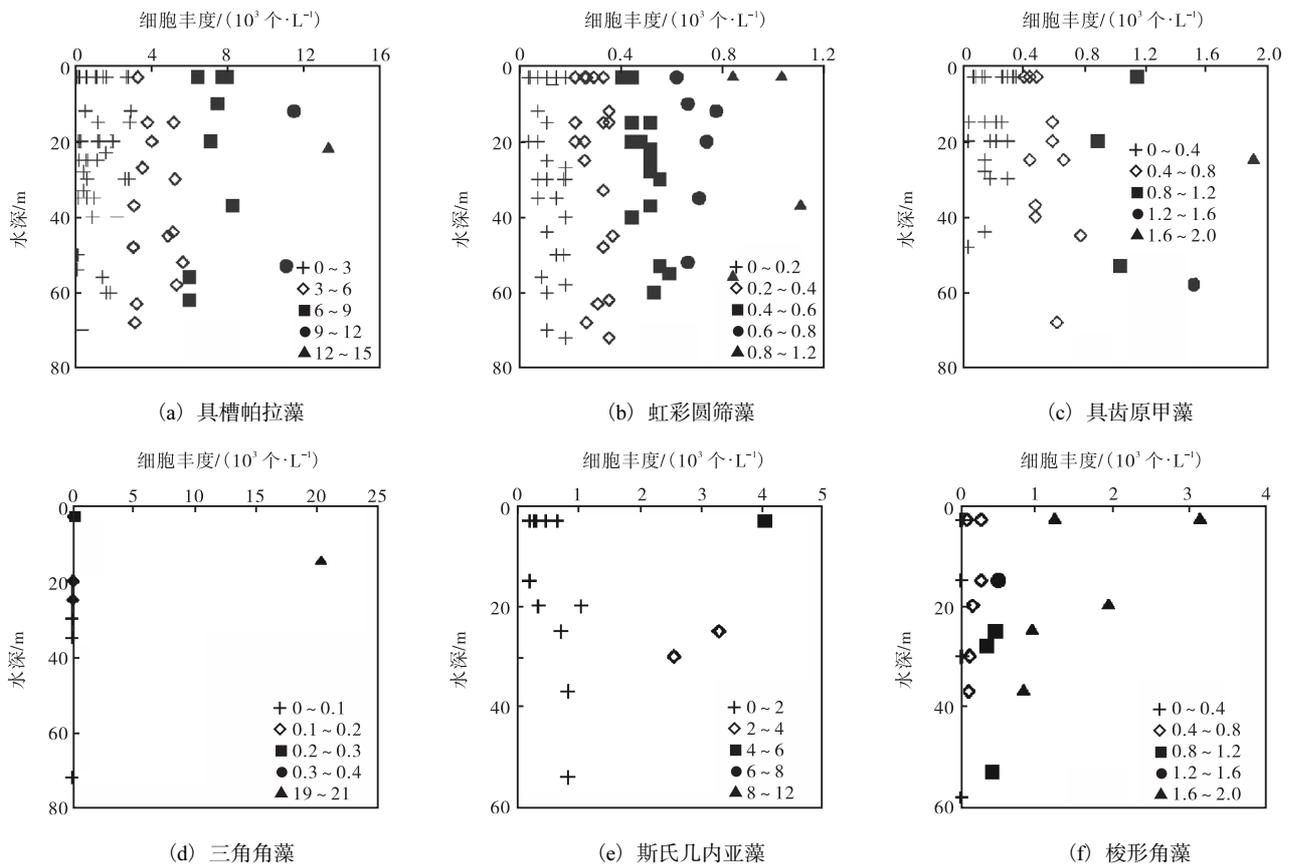


图 6 调查海域浮游植物优势物种细胞丰度与水深散点图

Fig. 6 Scatter plot of dominant species' cell abundance and water depths in the surveyed area

2.3.4 细胞丰度的断面分布

调查海域浮游植物细胞丰度的断面分布见图 7. 各断面浮游植物细胞丰度具有不同的分布趋势. A 断面细胞丰度高值位于 B04 站位的上层水体, 最大值为 1.8×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻; 在 B03 站位表层细胞丰度也较高, 为 1.3×10^3 个/L, 优势物种为三角角藻. B 断面细胞丰度高值位于近岸站位, 最大值为 3.9×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻; 在外侧的 B09 站位的表层出现丰度次高值, 为 0.9×10^3 个/L, 优势物种为具齿原甲藻. C 断面细胞丰度出现于断面中部的 B15 站位, 最大值为 30.3×10^3 个/L, 优势物种为斯氏几内亚藻、具槽帕拉藻和角毛藻等; 在 B13 站位的 15 m 层也出现了丰度高值, 为 22.6×10^3 个/L, 优势物种为具齿原甲藻. D 断面细胞丰度

高值集中于近岸站位, 最大值为 10.1×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻. E 断面细胞丰度高值分布在各站位的底层, 最大值为 B28 站位底层的 13.9×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻. F 断面细胞丰度高值集中于近岸站位, 最大值为 B38 站位表层的 8.9×10^3 个/L, 优势物种为具槽帕拉藻.

2.4 调查海域浮游植物群落多样性的分布特征

香农-威纳多样性指数和 Pielou 均匀度指数是两种表征群落稳定性的指标, 一般来说, 一个群落的多样性指数和均匀度指数越高, 则预示着该群落所属的生态系统越稳定和成熟^[20]. 调查海域表层浮游植物群落香农-威纳多样性指数和 Pielou 均匀度指数分布见图 8. 表层浮游植物群落的香农-威纳指数介于 0.25 ~ 2.95, 平均值为 1.65; 高值集中在调查区的北

部海域,如在 B30、B19、B23 和 B22 站位,邻近海域的细胞丰度并不高,但物种组成多样化,物种丰富度一般在 15 种以上,且各物种间优势度均一,因此该海域多样性指数较高. 调查区近岸站位多样性指数较低,这些站位的特点是物种数目较少,单一优势种明显,如在 B26 站位表层,仅检测到 9 种物种,而具槽帕拉藻的细胞丰度占到该站位总细胞丰度的 60%

以上,其他多样性低的站位呈现类似的情形. 调查区 Pielou 均匀度指数介于 0.21 ~ 0.93, 平均值为 0.61. 与香农-威纳多样性指数相似, Pielou 均匀度指数呈现在调查区北部海域高、近岸海域低的趋势. 山东半岛近岸海域受人类陆源输入影响,浮游植物物种组成相对单一,是形成这种分布格局的主要原因.

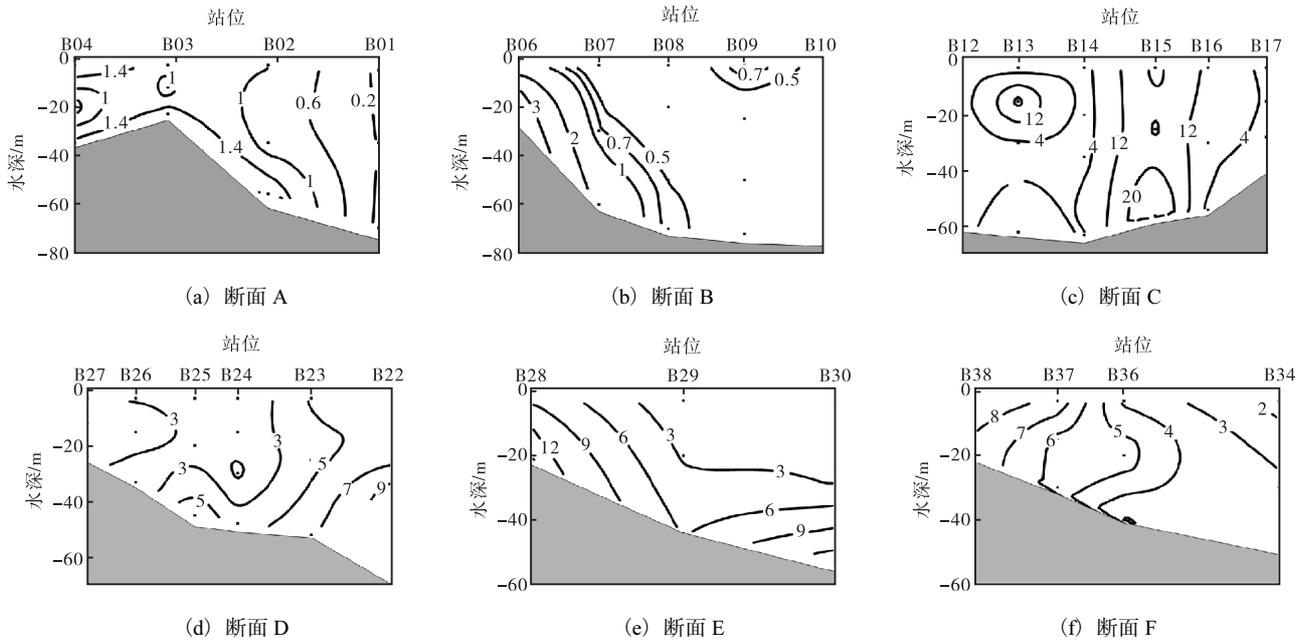


图 7 调查海域浮游植物细胞丰度(10³个/L)断面分布

Fig. 7 Sectional distribution of cell abundance(10³ cells/L) of phytoplankton in the surveyed area

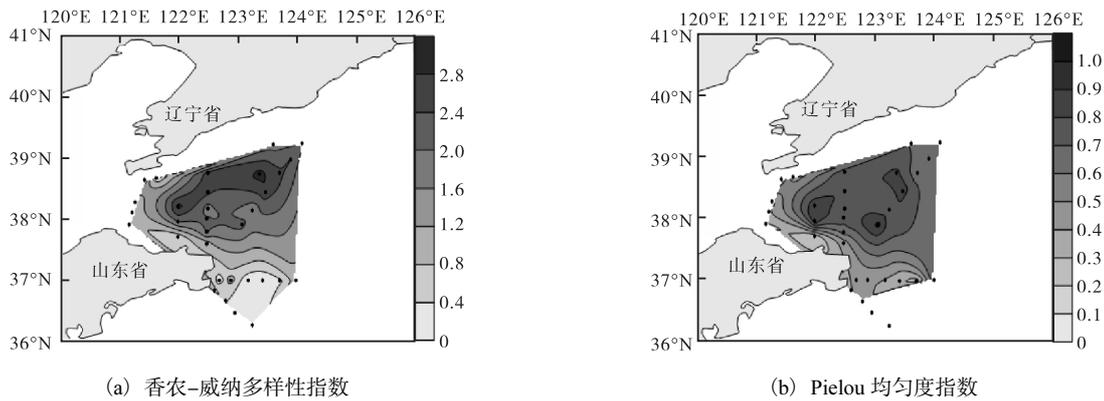


图 8 调查海域表层浮游植物群落香农-威纳多样性指数和 Pielou 均匀度指数分布

Fig. 8 The distribution of Shannon-wiener diversity index and Pielou's evenness index in surface water in the surveyed area

3 结论

(1) 调查区浮游植物群落主要由硅藻和甲藻组成,其中角毛藻属、根管藻属和角藻属物种数量最多,主要优势种为具槽帕拉藻、虹彩圆筛藻、三角角

藻、斯氏几内亚藻和梭形角藻等.

(2) 调查区浮游植物细胞丰度的平面分布不均匀,辽宁南岸海域最高,山东近岸海域其次,北黄海中部海域最低.

(3) 浮游植物细胞丰度在水体垂直方向上呈先降低后升高的趋势,其中下层水体的丰度主要由具槽帕

拉藻和虹彩圆筛藻等底栖性物种贡献。

(4) 调查区浮游植物群落多样性指数和均匀度指数在调查区北部海域较高,近岸海域较低。

(5) 近30年来,北黄海的浮游植物群落结构并没有发生大的变动,物种组成相对稳定,这表明,相对于渤海、东海海域,北黄海的生态系统受影响较小,今后还需要进行长期的调查工作以获得更多的基础资料。

致谢: 国家自然科学基金委2011年渤海海洋学综合科学考察(批准号:41049901)和“东方红2号”科学考察船提供采样平台,中国海洋大学王厚杰老师在采样期间提供大力支持,样品采集工作由实验室成员谨华龙完成,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 钱树本,刘东艳,孙军. 海藻学[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2005:53-461.
- [2] 金德祥. 微型浮游生物介绍[J]. 福建水产,1965(1):1-8.
- [3] Azam F, Malfatti F. Microbial structuring of marine ecosystems[J]. Nature Reviews Microbiology, 2007, 12(5):782-791.
- [4] 孙湘平. 中国近海区域海域[M]. 北京:海洋出版社,2005:254-256.
- [5] 郭玉洁. 黄海角毛藻属(Genus *Chaetoceros* Ehrenberg) 区系的性质[J]. 海洋与湖沼,1963,5(4):322-332.
- [6] 中国科学院海洋研究所浮游生物组. 中国近海浮游生物的研究[M]. 北京:海洋出版社,1965:34-46.
- [7] 黄文祥,沈亮夫,朱琳. 黄海的浮游植物[J]. 海洋环境科学,1984,3(3):19-28.
- [8] 康元德. 黄海浮游植物的生态特点及其与渔业的关系[J]. 海洋水产研究,1986,7:103-107.
- [9] 俞建奎,李瑞香. 渤海、黄海浮游植物生态的研究[J]. 黄渤海海洋,1993,11(3):52-59.
- [10] 何青,孙军,栾青杉,等. 长江口及其邻近水域冬季浮游植物群集[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2560-2566.
- [11] 赵冉,孙军,白洁. 2006年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群集[J]. 海洋科学,2010,34(4):32-39.
- [12] 郭术津,孙军,汪岷. 夏季东海 PN 断面浮游植物群集[J]. 海洋科学,2011,35(11):101-107.
- [13] 田伟,孙军. 2009年晚春黄海南部浮游植物群落[J]. 海洋科学,2011,35(6):19-24.
- [14] Utermöhl H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik[J]. Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie, 1958,9(2):1-38.
- [15] 孙军,刘东艳,钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究方法:Utermöhl 方法的介绍及其改进[J]. 黄渤海海洋,2002,20(2):105-112.
- [16] 金德祥,陈金环,黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海:科学技术出版社,1965:1-230.
- [17] 山路勇. 日本プランクトン図鑑[M]. 增补修订版. 东京:保育社,1979:1-158.
- [18] Shannon C E. A mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1951,27:379-423.
- [19] Pielou E C. The interpretation of ecological data[M]. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [20] 孙军,刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报,2004,26(1):62-75.
- [21] 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):1643-1655.
- [22] 郭术津,田伟,戴民汉,等. 2009年夏季东海浮游植物群集[J]. 海洋科学进展,2011,29(4):474-486.
- [23] 孙军,刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见[J]. 海洋与湖沼,2002,33(3):271-286.
- [24] McQuoid M R, Nordberg K. The diatom *Paralia sulcata* as an environmental indicator species in coastal sediments [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 56(2):339-354.
- [25] Cahoon L B, Laws R A. Benthic diatoms from the North Carolina continental shelf; Inner and mid shelf [J]. Journal of Phycology, 1993,29(3):257-263.
- [26] 郭术津,孙军,戴民汉,等. 2009年冬季东海浮游植物群集[J]. 生态学报,2012,32(10):3266-3278.
- [27] Furuya K, Kurita K, Odate T. Distribution of phytoplankton in the East China Sea in the winter of 1993 [J]. Journal of Oceanography, 1996,52(3):323-333.
- [28] 张经. 中国主要河口的生物地球化学研究[M]. 北京:海洋出版社,1996:205-207.
- [29] 孙培艳. 渤海富营养化变化特征及生态效应分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2007.
- [30] 董婧,刘海映,毕远溥,等. 黄海北部近岸的浮游甲藻生态[J]. 海洋水产研究,2002,23(4):46-50.
- [31] 黄江婵,臧璐,石晓勇,等. 北黄海四季水团划分及化学特性比较[J]. 渔业科学进展,2012,33(1):17-27.
- [32] Smetacek V S. Role of sinking in diatom life-history cycles: Ecological, evolutionary and geological significance [J]. Marine Biology, 1985,84(3):239-251.

责任编辑:周建军