

1998 年秋季渤海中部及其邻近 海域的网采浮游植物群落

孙 军¹, 刘东艳², 王 威², 陈凯彪², 秦玉涛²

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

摘要:研究了 1998 年秋季覆盖渤海中部和渤海海峡及其邻近海域 30 个测站两遍大面调查的网采浮游植物物种及其群落特征。经初步分析, 共发现浮游植物 3 门类 38 属 84 种(不包括未定名物种), 物种主要以硅藻为主, 但甲藻在群落中的比重也很明显, 在个别站位上会成为优势类群。优势物种主要为偏心圆筛藻(*Coscinodiscus excentricus*)、梭状角藻(*Ceratium fusus*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)、佛氏海线藻(*Thalassionema frauenfeldii*)、中华半管藻(*Hemiaulus sinensis*)、尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、粗刺角藻(*Ceratium horridum*)、掌状冠盖藻(*Stephanopyxis palmeriana*)和菱软几内亚藻(*Guinardia flaccida*)。细胞丰度的平面分布由主要浮游硅藻的分布所决定, 其高值区分布在渤海湾、渤海中部、莱州湾北部和渤海海峡南部。浮游甲藻在渤海湾北部和莱州湾北部等局部区域形成高值区, 并影响浮游植物的平面分布。两遍大面站调查期间渤海浮游植物群落的结构是相对保守的, 渤海浮游植物群落季节和周年的变化主要是物种演替过程。调查期处于浮游植物群落的负增长时期, 其主要原因是物理水文作用的结果。与 1982 年的历史同期浮游植物群落相比, 角毛藻属衰退, 浮游甲藻、圆筛藻属和浮动弯角藻兴起。但与 1992 年的历史同期浮游植物群落相比, 群落优势种组成相近。同 1982 年和 1992 年同期资料相比, 浮游植物细胞丰度和平面分布大致相等。渤海秋季浮游植物群落结构在近 20a 是相对保守的, 影响秋季浮游植物群落发展的主要因素是物理水文作用。

关键词:浮游植物; 渤海; 群落结构; 赤潮

The netz-phytoplankton community of the central Bohai Sea and its adjacent waters in autumn, 1998

SUN Jun¹, LIU Dong-Yan², WANG Wei², CHEN Kai-Biao², QIN Yu-Tao² (1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China; 2. Marine Life Science College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1643~1655.

Abstract: Features of phytoplankton community were studied based on the netz-phytoplankton data from the Sino-Germany Cooperative Project "Analysis and Modelling of the Bohai Sea Ecosystem". Station-grid-surveys were carried out twice between 24th September and 6th October 1998, at 30 grid stations in the Bohai Sea, to understand the ecosystem structure and functions.

Phytoplankton was sampled by the standing net type III (mesh size 76μm, the standard sampling tool in Chinese marine phytoplankton studies) with a vertical haul at each grid station. The phytoplankton samples were preserved in neutral formalin (2% final concentration of formaldehyde) and analysed in the laboratory using a microscope. Three classes, including 38

基金项目:中德合作项目(BMBF:O3F0189A 和 O3F0189B);国家自然科学基金资助项目(40306025 和 40206020);国家自然科学基金重点资助项目(90211021)

收稿日期:2003-06-17; **修订日期:**2004-05-15

作者简介:孙军(1972~), 男, 回族, 甘肃华亭人, 博士, 副研究员, 主要从事海洋浮游植物分类学和浮游生物生态学研究。E-mail: sunjun@ms.qdio. ac. cn

致谢:感谢此次中德合作的相关课题组提供的环境参数, 以及相关调查人员和东方红 II 的全体船员的辛勤外业工作

Foundation item: the Federal Ministry of Education and Science (BMBF), Germany (No. O3F0189A and O3F0189B); the National Science Foundation of China (No. 40306025, 40206020) and the Key Project of National Science Foundation of China (No. 90211021)

Received date: 2003-06-17; **Accepted date:** 2004-05-15

Biography: SUN Jun, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in marine phytoplankton taxonomy and ecology. E-mail: sunjun@ms. qdio. ac. cn

genera and 84 species (not including unidentified taxa) were commonly found in the survey area. The main phytoplankton group was diatoms, but the dinoflagellates were also important in the phytoplankton community, becoming the dominant group at some study stations. The dominant species were *Coscinodiscus excentricus*, *Ceratium fusus*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Eucampia zodiacus*, *Ceratium furca*, *Thalassionema frauenfeldii*, *Hemiaulus sinensis*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Ditylum brightwellii*, *Ceratium horridum*, *Stephaopyxis palmeriana* and *Guinardia flaccida*, etc. Most are neritic species of temperate coastal seas, along with a few oceanic warm water species. The dominant species in the two station-grid-surveys were similar, so it can be deduced that phytoplankton community in the Bohai Sea in autumn was relatively uniform. Most of dominant phytoplankton species mentioned above are autochthonous species, which occur mainly locally. *Hemiaulus sinensis*, *Stephaopyxis palmeriana* and *Guinardia flaccida* are allochthonous species, imported via the Huanghai Sea Warm Current through the North Bohai Strait. These dominant species mentioned above are big-celled with high-carbon-content, most of them are key stone species in autumn in the Bohai Sea. A study of species population dynamics was necessary to understand the processes in the Bohai Sea ecosystem. Except for *Coscinodiscus excentricus* and *Ceratium horridum*, the species mentioned above are red tide organisms, with *Ceratium fusus* and *Ceratium furca* forming red tides in the Bohai Bay during the cruise.

Phytoplankton cell abundance in the first station-grid-survey ranged from 4.14×10^4 ind./ m^3 to 535.45×10^4 ind./ m^3 , the average value was 160.86×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the North Bohai Bay, the Central Bohai Sea, the North Laizhou Bay and the South Bohai Strait. Phytoplankton cell abundance in the second station-grid-survey ranged from 1.75×10^4 ind./ m^3 to 226.10×10^4 ind./ m^3 , the average value was 77.84×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the Bohai Bay, the Central Bohai Sea, the North Laizhou Bay and the South Bohai Strait. Diatom cell abundance in the first station-grid-survey ranged from 3.30×10^4 ind./ m^3 to 393.28×10^4 ind./ m^3 , the average value was 124.16×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the North Bohai Bay, the Central Bohai Sea, the North Laizhou Bay and the South Bohai Strait. Diatom cell abundance in the second station-grid-survey ranged from 1.63×10^4 ind./ m^3 to 215.96×10^4 ind./ m^3 , the average value was 60.39×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the North Bohai Bay, the Central Bohai Sea and the South Bohai Strait. Dinoflagellate cell abundance in the first station-grid-survey ranged from 0.34×10^4 ind./ m^3 to 234.23×10^4 ind./ m^3 , the average value was 36.69×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the North Bohai Bay. Dinoflagellate cell abundance in the second station-grid-survey ranged from 0.12×10^4 ind./ m^3 to 144.20×10^4 ind./ m^3 , the average value was 17.45×10^4 ind./ m^3 ; it was high in the Bohai Bay and the North Laizhou Bay. The horizontal distribution was quite similar between the two station-grid-surveys. The horizontal distribution of phytoplankton was determined by the diatom distribution pattern, dinoflagellates formed high abundance areas in the North Bohai Bay and the North Laizhou Bay and affected the phytoplankton distribution pattern in these regions to some extent. Phytoplankton abundance decreased significantly between the two station-grid-surveys. Comparison of results showed that a decrease of temperature and salinity was the main reason for the decrease in phytoplankton abundance.

During the cruise, a big scale red tide event occurred in the Bohai Bay, in which *Ceratium fusus* and *Ceratium furca* coexisted and dominated the phytoplankton community. Based on the abundance change in the two station-grid-surveys, the apparent mortality rates of *Ceratium fusus* and *Ceratium furca* were 4.19 and 3.65×10^4 ind./($d \cdot m^3$) respectively.

Comparison with the same season data for 1982 showed that the phytoplankton community structure has changed; *Chaetoceros* had decreased, while planktonic dinoflagellates and *Coscinodiscus* increased. Compared with 1992 data, however, the phytoplankton community has not changed so much. The cell abundances were quite similar in 1982, 1992 and in this study.

The analysis above indicates that the phytoplankton community in the Bohai Sea in autumn was relatively uniform, and physical factors or hydrodynamic processes were the main controlling factors on phytoplankton community development in this season in the Bohai Sea.

Key words: phytoplankton; the Bohai Sea; community structure; red tide

文章编号:1000-0933(2004)08-1643-13 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

当前由于人为活动的影响造成陆地和海洋环境的改变,导致了包括气候转变在内的全球变化,对于人类的生存带来了新的挑战。其中,海洋浮游植物群落结构的转变,将改变浮游植物的生物量及生产力,继而在全球变化的过程中扮演了极其重要的角色。近年来的研究表明,海洋浮游植物群落在环境改变时可以灵敏而迅速地反映环境的变化,同时浮游植物群落结构、生物量及

生产力的改变会在碳通量^[1],云反照率(cloud albedo)^[2]和海水光通量与热通量^[3]上改变着全球气候。所以研究其变化^[4~6]与全球变化是当今海洋生态研究的热点。

渤海浮游植物群落结构的研究可以追述到 20 世纪 30 年代^[7],以后研究高峰期是伴随着建国后的多次渤海阶段性综合调查展开的^[8~14]。早期的研究工作以分类和研究物种的生态分布习性为主^[7~10],其结果发现渤海的浮游植物以硅藻为主,最主要的为圆筛藻属(*Coscinodiscus*)和角毛藻属(*Chaetoceros*)。其后的工作以渤海浮游植物种群动力学研究为主^[11~14],为渔业资源的利用提供依据,发现渤海浮游植物的季节分布以春季和秋季两次数量高峰为特征。由于近 20 多年来的赤潮频发,渤海浮游植物研究逐渐转移到了对赤潮的研究^[15],发现渤海的赤潮与渤海富营养化程度有密切关系。最近的生态动力学研究中,初步发现渤海的浮游植物群落较 40 多年前发生了较大的改变^[13, 14],是渤海生态系统对人为活动影响和全球气候变化的响应。本研究基于 1998 年秋季中德渤海生态系统动力学项目中所获网采浮游植物资料,对浮游植物群落进行了分析,为更好地了解渤海浮游植物群落的变化及其对生态系统的影响提供基础资料。

1 材料与方法

于 1998 年 9 月 24 日到 10 月 6 日在渤海进行水文、气象、化学和生物的综合嵌套式外业调查,考察船为东方红 II 号,共 30 个采样站位如图 1。采样进程为两遍大面站调查中间嵌套 5 个连续站和 1 个追踪站调查^[16]。本文讨论的数据来自两遍大面站调查的结果。

按照海洋调查规范^[17],采样工具为小型浮游生物网(网口直径 37cm,网口面积 0.1m²,网身长 270cm,网目 76μm),采样方式为在每个调查站位自底至表垂直拖网 1 次。样品用 2% 甲醛固定和保存。实验室内浮游植物样品经浓缩,取 0.25ml 亚样品在本实验室的 Palmer-Maloney 型计数框中于 Olympus BH-2 研究显微镜下,进行浮游植物物种鉴定和细胞计数。

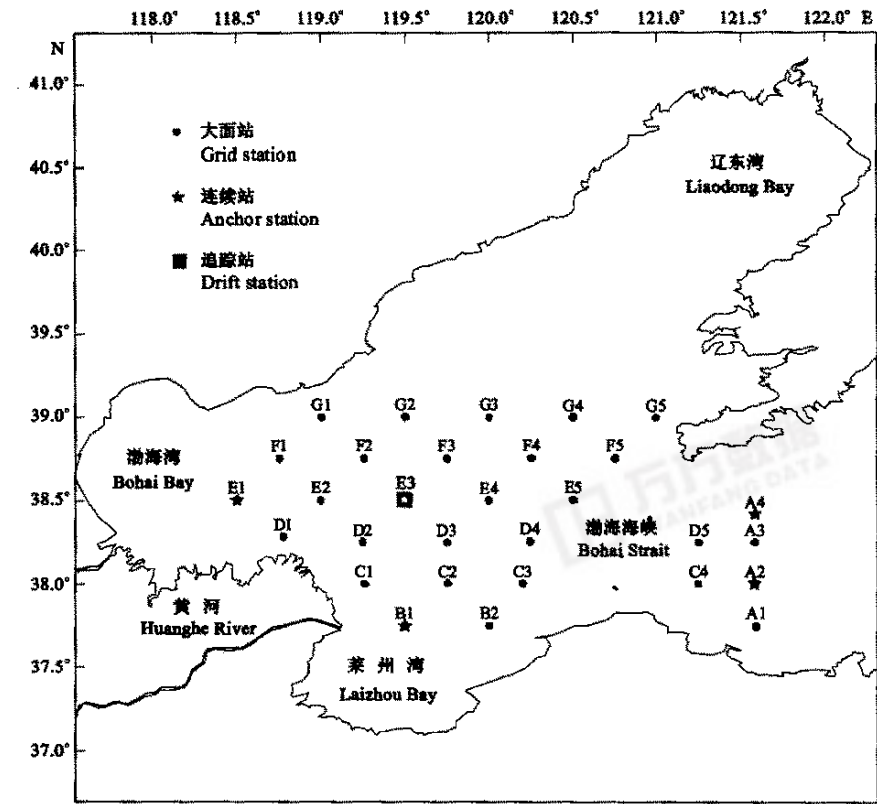


图 1 浮游植物调查站位
Fig. 1 Phytoplankton sampling stations in the Bohai Sea

浮游植物优势度(Y)计算公式为:

万方数据

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的总个体数; N 为采集样品种所有物种的总个体数; f_i 为该种在各样品中出现的频率。

2 结果与讨论

2.1 物种组成

自从王家楫 1936 年对渤海浮游植物的研究开始^[4], 经过历次的调查和研究共发现渤海有近 432 个浮游植物物种, 其中主要是近海硅藻类(约占 400 种)。

根据本次调查的初步结果共发现浮游植物 3 门 38 属 84 种(不包括未定名物种), 其中硅藻 29 属 66 种(不包括未定名物种), 甲藻 8 属 17 种, 金藻 1 属 1 种。硅藻在物种和数量上都占有优势, 但甲藻在个别站位的群落中占优势。在第 1 遍大面调查中, 硅藻占物种数量的 50%~92%, 平均为 78%, 占细胞丰度的 22%~99.7%, 平均为 79.2%; 甲藻占物种数量的 8%~50%, 平均为 22%, 占细胞丰度的 0.3%~78%, 平均为 20.8%。在第 2 遍大面调查中, 硅藻占物种数量的 55.6%~89.5%, 平均为 74.6%, 占细胞丰度的 5.7%~98.7%, 平均为 80.9%; 甲藻占物种数量的 10.5%~44.4%, 平均为 25.4%, 占细胞丰度的 1.3%~94.3%, 平均为 19.1%。两次调查的物种组成变化不大。小等刺硅鞭藻(*Dictyocha fibula*)(金藻)在个别站位也有出现。调查区浮游植物的生态类型多为温带近岸性物种, 少数为暖海性物种或大洋性物种。

两遍大面站调查区的优势种列于表 2 和表 3。可以看出两次大面调查过程中浮游植物群落结构有所变化, 但变化不大。优势种多为硅藻, 它们是: 偏心圆筛藻(*Coscinodiscus excentricus*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、佛氏海线藻(*Thalassionema frauenfeldii*)、中华半管藻(*Hemiaulus sinensis*)、尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、掌状冠盖藻(*Stephaopyxis palmeriana*)和菱软几内亚藻(*Guinardia flaccida*)。但少数甲藻也形成优势, 主要为梭状角藻(*Ceratium fusus*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)和粗刺角藻(*Ceratium horridum*)。

以上这些浮游植物优势物种大多数是渤海秋季的本地种(autochthonous species), 在近几次调查中均有发现^[11~13], 这其中的偏心圆筛藻为假性浮游物种(tychopelagic species), 主要由水团运动而暂时漂浮于水中。这些物种个体较大、生物量较高^[20], 对整个浮游植物的碳库影响较大, 在渤海生态系统中起到关键性的作用, 所以它们可以列为渤海今后应该重点研究的浮游植物关键物种(keystone species)。另外, 外源性物种(allochthonous species), 主要是受黄海暖流余脉的影响从渤海海峡的北部输入渤海, 对秋季渤海的浮游植物群落的影响也不容忽视。本研究中的中华半管藻、掌状冠盖藻和菱软几内亚藻是暖海性的外源性物种, 在黄海暖流中出现并影响渤海浮游植物群落结构, 它的出现频度和优势度都很高, 甚至超过了其它的本地种。上述 3 种对研究渤海秋季浮游植物群落的物种接替(species sequence)过程有重要意义。以上这些物种中梭状角藻、叉状角藻、浮动弯角藻、布氏双尾藻、洛氏角毛藻、佛氏海线藻、中华半管藻、掌状冠盖藻和菱软几内亚藻都是赤潮物种^[21], 而且梭状角藻和叉状角藻此次在渤海湾形成了赤潮^[13], 所以对它们的监测是十分有必要的。

同 1982 年^[11]和 1992 年^[12]历史同期浮游植物优势物种资料相比(表 4), 渤海秋季浮游植物的群落结构相对保守。本研究 2 遍调查之间和 1992 年历史同期资料变化不大。但与 1982 年的差异较大, 主要表现在角毛藻属(*Chaetoceros*)的衰退, 圆筛藻属(*coscinodiscus*)和浮游甲藻角藻属(*Ceratium*)的兴起。

2.2 细胞丰度的平面分布

第 1 遍大面站调查区浮游植物细胞丰度介于 $4.14\sim535.45\times10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 160.86×10^4 个/ m^3 , 其平面分布如图 2A, 在渤海湾北部、渤海中部、莱州湾北部和渤海海峡南部存在几个浮游植物细胞丰度的高值区。第 2 遍大面站调查区浮游植物细胞丰度介于 $1.75\sim226.10\times10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 77.84×10^4 个/ m^3 , 其平面分布如图 2B, 在渤海湾、渤海中部、莱州湾北部和渤海海峡南部存在几个浮游植物细胞丰度的高值区。2 遍调查浮游植物细胞丰度明显降低, 但平面分布模式没有太多变化。调查区浮游植物细胞丰度这种分布模式是各种环境因素综合作用的结果。调查区沿岸营养盐浓度较高^[22], 有利于浮游植物的生长, 故会出现密集区。渤海中部则是由于水体稳定性相对较好, 浮游植物群落发育良好, 也会出现密集区。

同 1982 年历史同期网采浮游植物细胞丰度(康元德^[11]图 1~图 10)资料相比较, 细胞丰度略低(1982 年 9 月为 188×10^4 个/ m^3), 分布趋势相似。同 1992 年历史同期浮游植物细胞丰度(王俊等^[12]图 4)资料相比较, 细胞丰度大致相等(1992 年 10 月为 78×10^4 个/ m^3), 除渤海中部以外, 其它区域的分布趋势相似。可知渤海浮游植物群落在近 20a 相对保守, 其季节和周年的变化主要决定于本地物种演替过程^[13,14]。对调查期氮盐转变和传输的研究也认为渤海浮游植物群落相对保守, 是营养盐的主要“生物反应器(bioreactor)”, 对渤海以致相连黄海海域的生物地球化学过程有重要的影响^[23]。

第 1 遍大面站调查区浮游硅藻细胞丰度介于 $3.30\sim393.28\times10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 124.16×10^4 个/ m^3 , 其平面分布如图 3A, 在渤海湾北部、渤海中部、莱州湾北部和渤海海峡南部存在浮游硅藻细胞丰度的高值区。第 2 遍大面站调查区浮游硅藻细胞丰度介于 $1.63\sim215.96\times10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 60.39×10^4 个/ m^3 , 其平面分布如图 3B, 在渤海中部存在浮游硅藻细胞丰度的高值区, 渤海湾北部和渤海海峡南部的浮游硅藻细胞丰度也较高。由于调查期间硅藻在整个浮游植物群落中的比重较大, 所以硅藻细胞丰度的平面分布布在大多数站位上就决定了整个浮游植物细胞丰度的分布。

表 1 调查区浮游植物的物种组成*

Table 1 Phytoplankton species composition in survey area

种类 Species		种类 Species	
硅藻门	Bacillariophyta	膜质半管藻	<i>Hemiaulus membranaceus</i> Cleve
六辐幅裯藻	<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberge	中华半管藻	<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville
冰河拟星杆藻	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve
南方星纹藻	<i>Asterolampra marylandica</i> Ehrenberg	膜状缪氏藻	<i>Meuniera membranacea</i> (Cleve) Silva
派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i> (Müller) Hendey	舟形藻	<i>Navicula</i> spp.
叉状幅杆藻	<i>Bacteriastrum furcatum</i> Shadbolt	菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.
双角角管藻	<i>Cerataulina bicornis</i> (Ehrenberg) Hasle	活动齿状藻	<i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow
海洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	高齿状藻	<i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	中华齿状藻	<i>Odontella sinensis</i> (Greville) Grunow
那不勒斯大西洋	<i>Chaetoceros atlanticus</i> var. <i>neapolitana</i> (Schröder)	相似曲舟藻	<i>Pleurosigma affine</i> Grunow
角毛藻	Hustedt		
卡氏角毛藻	<i>Chaetoceros castracanei</i> Karsten	翼鼻状藻	<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström
扁平角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	距端假管藻	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundström
柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve	细长翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) Grounow
密联角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i> Cleve	复瓦根管藻	<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell
细齿角毛藻	<i>Chaetoceros denticulatus</i> Lauder	印度根管藻	<i>Rhizosolenia indica</i> (Pérageallo) Ostenfeld
皇冠角毛藻	<i>Chaetoceros diadema</i> (Ehrenberg) Gran	粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i> Norman
双突角毛藻	<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell
异角角毛藻	<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve	笔尖形根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell
爱氏角毛藻	<i>Chaetoceros eibenii</i> Grunow	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve
平滑角毛藻	<i>Chaetoceros laevis</i> Leuduger-Fortmorel	掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs	佛氏海线藻	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff
洛氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow
秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell	诺氏海链藻	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i> Mangin	圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier
相似角毛藻	<i>Chaetoceros similis</i> Cleve	甲藻门	Dinophyta
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp.	联营亚历山大藻	<i>Alexandrium catenella</i> (Whedon & Kofoid) Balech
双凹梯形藻	<i>Climacodium biconcavum</i> Cleve	叉状角藻	<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Dujardin
豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i> Hensen	梭状角藻	<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin
中心圆筛藻	<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg	粗刺角藻	<i>Ceratium horridum</i> (Cleve) Gran
弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatus</i> Grunow	科氏角藻	<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen
偏心圆筛藻	<i>Coscinodiscus excentricus</i> Ehrenberg	大角角藻	<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Vanhöffen
巨圆筛藻	<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg	三叉角藻	<i>Ceratium trichoceros</i> (Ehrenberg) Kofoid
格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i> Gough	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch
小眼圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculatus</i> (Fauv.) Petit	渐尖鳍藻	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann
虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenberg	具尾鳍藻	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow	灰甲多甲藻	<i>Peridinium pellucidum</i> Bergh
太阳双尾藻	<i>Ditylum sol</i> Grunow	锥形原多甲藻	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech
角状弯角藻	<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow	扁平原多甲藻	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech
浮动弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	五角原多甲藻	<i>Protoperidinium pentagonum</i> Gran
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	纺锤梨甲藻	<i>Pyrocystis fusiformis</i> Murray
萎软几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo	斯氏扁甲藻	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale
斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle	金藻门	Chrysophyta
泰晤士旋鞘藻	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) Ricard	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg
霍氏半管藻	<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow		

* 种名的更改参见孙军等^[18, 19] Phytoplankton species nomenclature changes refer to Sun *et al*^[18, 19]

表 2 第 1 遍大面站调查区浮游植物优势物种

Table 2 The dominant species in the first station-grid-survey			
物种 Taxa	占总细胞丰度的比例(%) Percentage in cell abundance	出现频度(%) Frequency in samples	优势度 Dominance
偏心圆筛藻 <i>Coscinodiscus excentricus</i>	18.9	100.0	0.1891
梭状角藻 * <i>Ceratium fusus</i>	11.6	92.9	0.1078
洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	11.7	89.3	0.1045
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>	10.9	67.9	0.0737
叉状角藻 * <i>Ceratium furca</i>	6.7	78.6	0.0528
佛氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i>	4.1	78.6	0.0325
粗刺角藻 * <i>Ceratium horridum</i>	2.8	46.4	0.0130
中华半管藻 <i>Hemiaulus sinensis</i>	3.9	32.1	0.0127
尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	1.8	67.9	0.0124
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	1.4	85.7	0.0122

* 甲藻 means dinoflagellates

表 3 第 2 遍大面站调查区浮游植物优势物种

Table 3 The dominant species in the second station-grid-survey			
物种 Taxa	占总细胞丰度的比例(%) Percentage in cell abundance	出现频度(%) Frequency in samples	优势度 Dominance
偏心圆筛藻 <i>Coscinodiscus excentricus</i>	26.7	100.0	0.2673
梭状角藻 * <i>Ceratium fusus</i>	11.6	92.9	0.1081
叉状角藻 * <i>Ceratium furca</i>	7.3	67.9	0.0497
尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	6.6	57.1	0.0379
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>	7.6	50.0	0.0379
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	4.2	85.7	0.0364
洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	3.4	78.6	0.0268
粗刺角藻 * <i>Ceratium horridum</i>	2.1	75.0	0.0161
掌状冠盖藻 <i>Stephaopyxis palmeriana</i>	2.5	57.1	0.0141
萎软几内亚藻 <i>Guinardia flaccida</i>	1.4	89.3	0.0123

* 甲藻 means dinoflagellates

表 4 历史同期浮游植物优势物种比较

Table 4 Comparison of phytoplankton dominant species among the same season of historical data sets								
物种 Taxa	1982-09-01~12		1992-10		1998-09-24~27		1998-10-03~06	
	A	%	A	%	A	%	A	%
角毛藻属 <i>Chaetoceros</i> spp.	76.80	40.80	11.0	14.1	31.36	20.89	11.05	15.21
圆筛藻属 <i>Coscinodiscus</i> spp.	13.20	7.00	18.1	23.2	28.47	18.96	19.50	26.84
冰河拟星杆藻 <i>Asterionellopsis glacialis</i>	5.20	2.80	0.1	0.1	2.67	1.78	0.01	0.01
具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i>	1.10	0.60	0.5	0.7	/	/	/	/
尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	0.90	0.50	0.7	0.9	2.75	1.83	4.82	6.63
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.50	0.30	0.8	1.0	0.12	0.08	0.02	0.03
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>	—	—	5.2	6.7	16.90	11.26	5.50	7.57
角藻属 <i>Ceratium</i> spp.	—	—	—	—	32.33	21.53	15.58	21.44

— 表示缺乏资料 means no data;/ 表示不存在 means no present;A 浮游植物细胞丰度 Phytoplankton abundance($\times 10^4$ ind./ m^3);% 占总细胞丰度的比例 Percentage to the total abundance

第 1 遍大面站调查区浮游甲藻细胞丰度介于 $0.34\sim 234.23\times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 36.69×10^4 个/ m^3 其平面分布如图 4A,在渤海湾北部及其邻近海域存在浮游甲藻细胞丰度的高值区,渤海海峡南部的浮游甲藻细胞丰度也较高。第 2 遍大面站调查区浮游甲藻细胞丰度介于 $0.12\sim 144.20\times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 17.45×10^4 个/ m^3 其平面分布如图 4B,在莱州湾北部邻近海域存在浮游甲藻细胞丰度的高值区,渤海湾的浮游甲藻细胞丰度也较高。甲藻在局部区域影响浮游植物的平面分布模式。

浮游植物群落结构中甲藻和硅藻所占的比率是一个重要的结构指数。一般来说,高的甲藻比率预示着甲藻可以大量生长而导致赤潮的爆发。调查区浮游植物群落中甲藻:硅藻比率如图 5 所示,第 1 遍大面站调查,其值介于 $0.003\sim 3.53$,平均值为

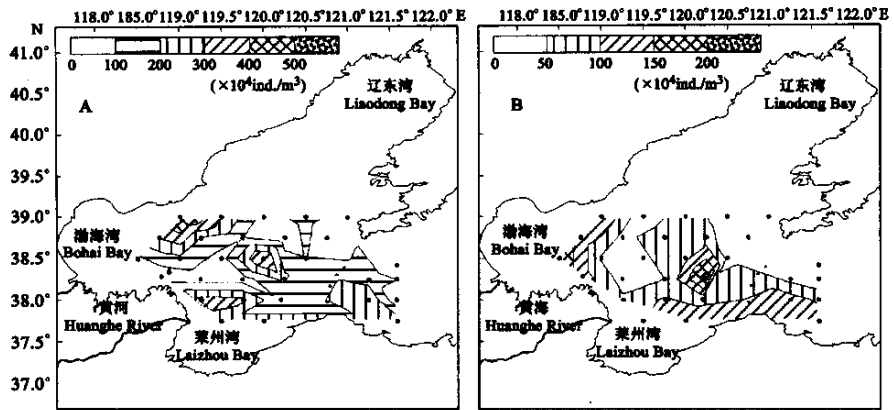


图 2 调查区浮游植物平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton in the survey area

A. 第 1 遍大面站调查 First station-grid-survey; B. 第 2 遍大面站调查; 以下相同 Second station-grid-survey; the same below

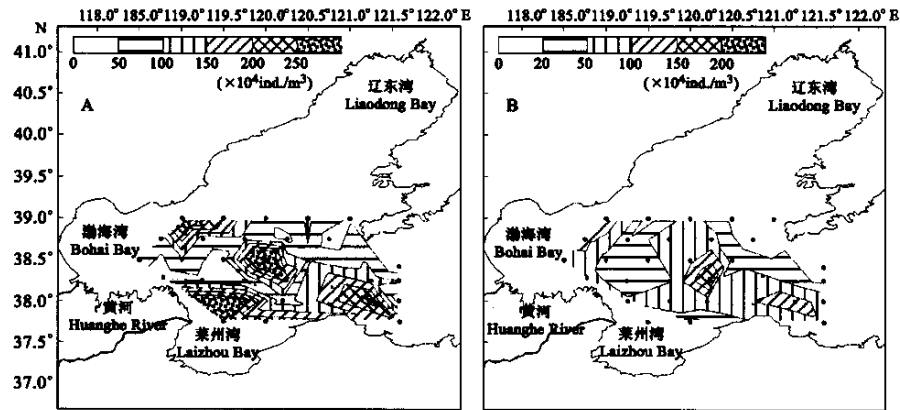


图 3 调查区浮游硅藻的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of diatom in the survey area

0.42, 高值区分布在渤海湾北部(图 5A), 而第 2 遍大面站调查, 其值介于 0.01~16.58, 平均值为 0.85, 高值区则分布在莱州湾北部(图 5B)。第 1 遍大面站调查中甲藻: 硅藻比率高值区出现了梭状角藻和叉状角藻的复合型赤潮^[13]。第 2 遍大面站调查中甲藻: 硅藻比率高值区并没有出现甲藻赤潮, 就其原因主要是整个浮游植物群落的细胞丰度还未达到赤潮爆发的浓度, 但这种群落结构预示: 一旦条件成熟, 此区域就有可能发生赤潮。第一次大面站调查的甲藻: 硅藻比率平均值较低, 但发生了赤潮, 而第二次大面站调查的甲藻: 硅藻比率平均值较高, 由于浮游植物的丰度绝对值较低, 所以没有发生赤潮。这说明在应用甲藻: 硅藻比率进行赤潮的预测和解释时, 需要综合的考虑。

在渤海湾及其邻近海域, 大量存在两种赤潮物种——梭状角藻和叉状角藻, 2 遍调查刚好跨越了这两种甲藻混合型赤潮的爆发和消亡阶段(赤潮发生的时间是 1998 年 9 月 18 日到 29 日)。对这两种藻的细胞丰度在 D1、E1、E2、F1、F2、G1 和 G2 站点上两遍大面调查中的变化量和消亡率列于表 5。从几乎相等的细胞丰度变化量和消亡率可知这次赤潮的消亡过程主要受物理过程影响, 其中平流的扩散作用起到了主要作用。

2.3 优势种细胞丰度的平面分布

当今生海洋生态系统动力学的研究如果总是停留在浮游植物生物量打包水平的研究是很难深入的^[24, 25], 因此的重大国际海洋研究计划 OCEANS(Ocean Biogeochemistry and Ecosystems Analysis)中将海洋生态系统中关键种和食物网的研究作为重要的内容研究。此次调查中渤海浮游植物秋季优势种的分布如图 6 和图 7, 这为今后此海域浮游植物关键种研究提供基础资料。第 1 遍大面站调查发现, 偏心圆筛藻细胞丰度介于 $1.13 \sim 264.24 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 30.41×10^4 个/ m^3 , 在整个调查区

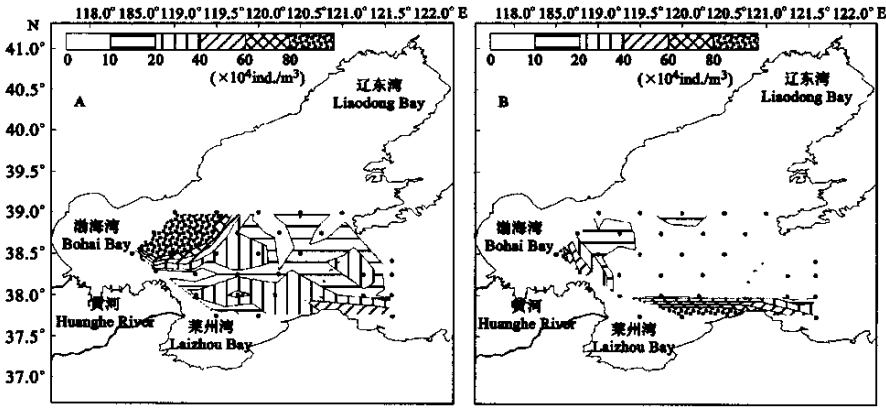


图 4 调查区浮游甲藻的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of dinoflagellate in the survey area

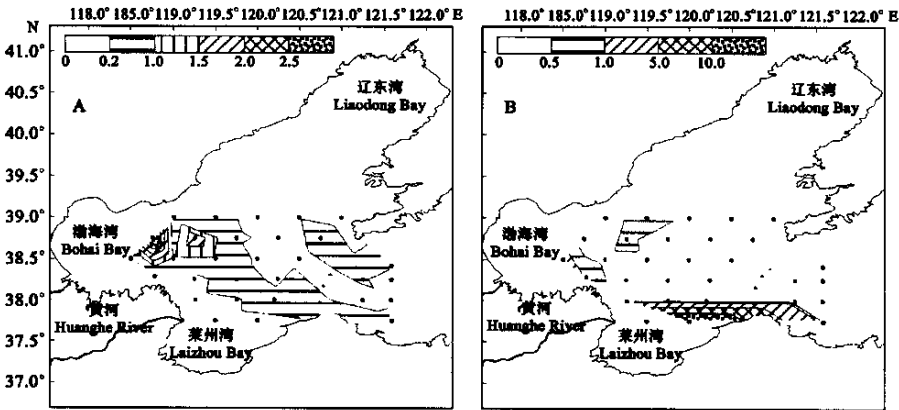


图 5 调查区硅藻:甲藻比率的平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of dinoflagellate: diatom ratio

表 5 2 遍大面站调查赤潮物种梭状角藻和叉状角藻的细胞细胞丰度和消亡率

Table 5 The abundance and mortality rate of *Ceratium fusus* and *Ceratium furca* during the two station-grid-survey

	A($\times 10^4$ ind $\cdot$ m 3)	B($\times 10^4$ ind $\cdot$ m 3)	C($\times 10^4$ ind $\cdot$ m 3)	消亡率($\times 10^4$ 个/(d $\cdot$ m 3)) Mortality rate ($\times 10^4$ ind. / (d $\cdot$ m 3))
梭状角藻 <i>Ceratium fusus</i>	64.41 $\pm$ 66.24 (n=7)	28.83 $\pm$ 39.88 (n=7)	35.58	4.19
叉状角藻 <i>Ceratium furca</i>	32.81 $\pm$ 41.15 (n=7)	1.80 $\pm$ 1.46 (n=7)	31.01	3.65

A. 第 1 遍大面站调查细胞丰度平均值 The mean value of phytoplankton abundance during the first station-grid-survey; B. 第 2 遍大面站调查细胞丰度平均值 The mean value of phytoplankton abundance during the second station-grid-survey; C. 2 遍大面站调查细胞丰度的变化量 The changes of abundance between the two station-grid-survey

都有分布,高值区位于莱州湾黄河口附近;梭状角藻细胞丰度介于 $0.08 \sim 182.25 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 20.11×10^4 个/ m^3 ,在整个调查区都有分布,高值区位于渤海湾北部,渤海海峡南部也有较高值;洛氏角毛藻细胞丰度介于 $0.32 \sim 114.48 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 21.08×10^4 个/ m^3 ,几乎在整个调查区都有分布,高值区位于渤海湾和渤海海峡南部;浮动弯角藻细胞丰度介于 $0.21 \sim 187.75 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 25.76×10^4 个/ m^3 ,几乎在整个调查区都有分布,在渤海湾北部、渤海中部和莱州湾北部具有高的细胞丰度;叉状角藻细胞丰度介于 $0.04 \sim 101.99 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 13.76×10^4 个/ m^3 ,在整个调查区都有分布,高值区位于渤海湾北部和莱州湾北部;粗刺角藻细胞丰度介于 $0.72 \sim 24.78 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 9.72×10^4 个/ m^3 ,只在调查区北部有分布;亮角藻位于渤海中北部和渤海湾北部。第 2 遍大面站调查发现:偏心圆筛藻细胞丰度介于 $0.98 \sim 82.69 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 20.80×10^4 个/ m^3 ,在整个调查区都有分布,高值区位于渤海湾和渤海中部;梭状角藻细胞丰度介于 $0.12 \sim$

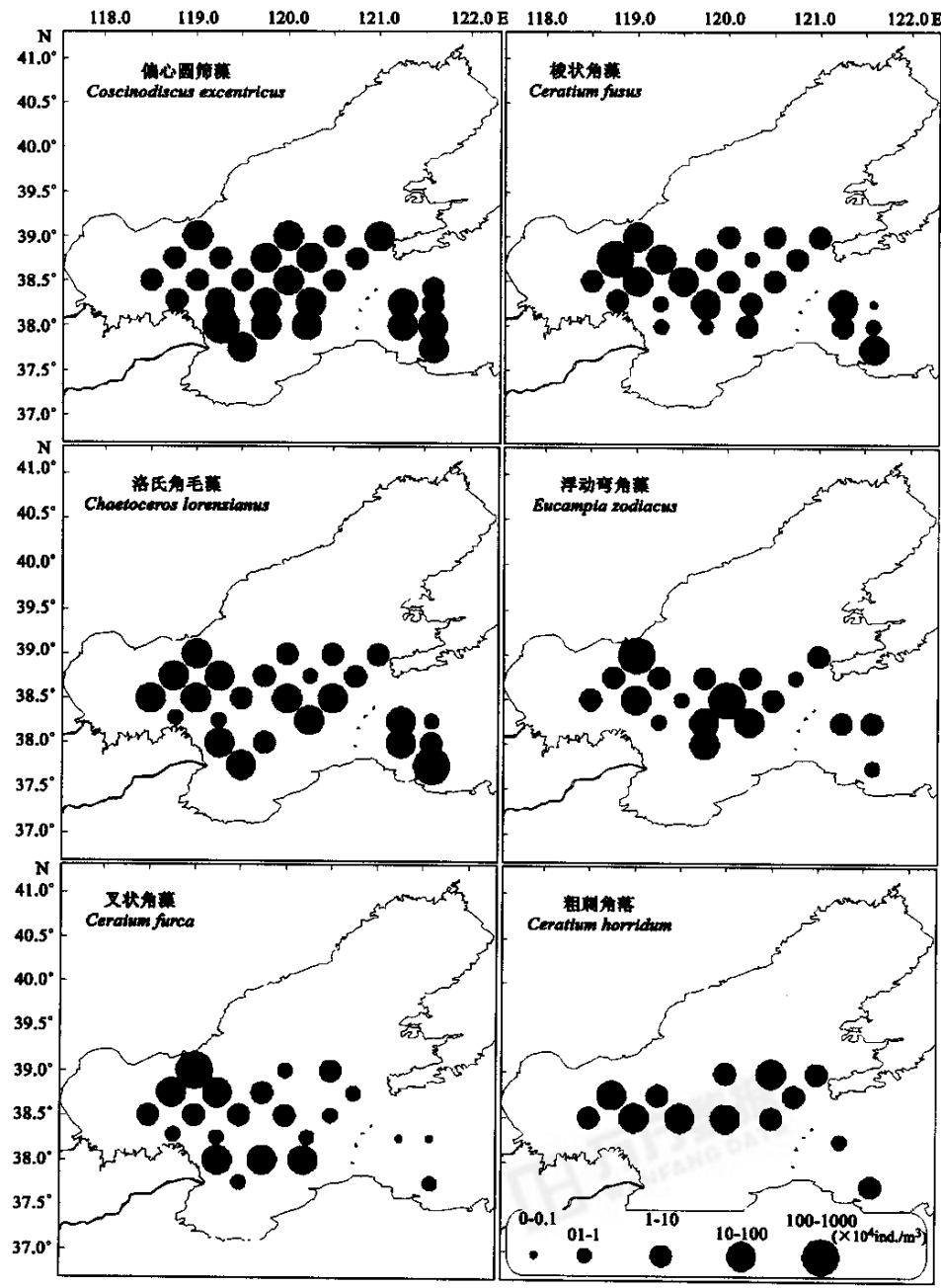


图 6 第 1 遍大面站调查区浮游植物优势种的平面分布

Fig. 6 Horizontal distribution of dominant phytoplankton species during the first station-grid-survey

107.64×10^4 个/ m^3 , 平均值为 9.76×10^4 个/ m^3 , 在整个调查区都有分布, 高值区位于渤海湾南部; 叉状角藻细胞丰度介于 $0.08 \sim 140.72 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 8.40×10^4 个/ m^3 , 几乎在整个调查区都有分布, 高值区位于莱州湾北部; 尖刺伪菱形藻细胞丰度介于 $0.26 \sim 64.67 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 9.03×10^4 个/ m^3 , 几乎在整个调查区都有分布, 高值区位于渤海湾北部; 浮动弯角藻细胞丰度介于 $0.46 \sim 65.11 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 11.79×10^4 个/ m^3 , 只在渤海湾、渤海中部和莱州湾出现, 并在莱州湾北部具有高的细胞丰度; 布氏双尾藻细胞丰度介于 $0.05 \sim 23.74 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均值为 3.85×10^4 个/ m^3 , 在整个调查区都有分布, 高值区位于渤海湾和莱州湾北部。上述这些物种中, 浮动弯角藻和叉状角藻细胞多在渤海海峡以内调查区域分布。

2.4 调查期浮游植物群落细胞丰度的变化

两遍调查的结果发现: 调查期浮游植物群落的发展处于下降趋势(表 6, 相关环境参数由此次中德合作的相关课题组提

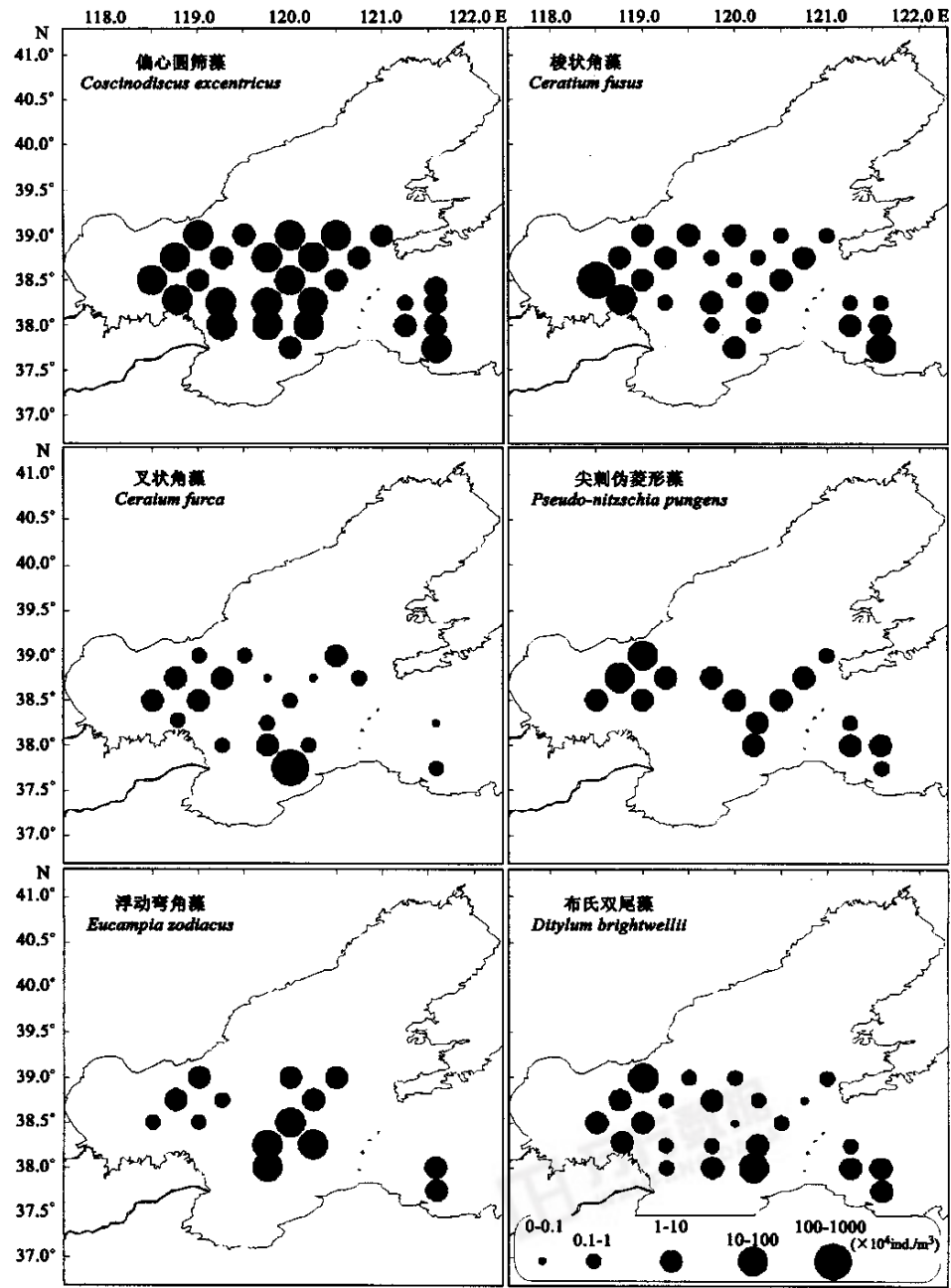


图 7 第 2 遍大面站调查区浮游植物优势种的平面分布

Fig. 7 Horizontal distribution of dominant phytoplankton species during the second station-grid-survey

供)。渤海生态动力学模型^[26]和浮游植物群落长周期规律分析^[18]的研究结果也证实了调查期浮游植物生长处于下降趋势这个现象。可以看出,硅藻和甲藻丰度的下降份额基本相似,硅酸盐和铵盐的浓度差异可以在一定程度上解释浮游植物细胞丰度的降低,但由于两类浮游植物营养盐吸收动力学机制有差异,所以物理场的作用——调查期温度和盐度的降低可能是导致浮游植物群落生长下降的主要原因。

进一步对浮游植物细胞丰度和相关环境因子(为配合网采浮游植物细胞丰度资料,进行了水柱积分的平均值处理)进行相关分析(表 7)发现,除了硅藻与氮盐有较强的相关性之外,调查期浮游植物细胞丰度与温度有较强的相关性进一步证实调查期温度的降低是导致浮游植物群落发展下降的主要原因。但要清醒地认识到由于海洋学的复杂性和生物学机制的复杂性,以上的

分析是否就是浮游植物群落发展的主要原因还有待于今后大量海洋学数据积累后,进一步从生物学机理和物理学机制上进行印证。

表 6 两遍大面站调查中浮游植物群落细胞丰度及相关环境参数的变化

	第 1 遍大面站调查	第 2 遍大面站调查	2 遍调查的变化量	变动百分比(%)
	First grid survey	Second grid survey	Changes between two surveys	Percentage of changes
浮游植物细胞丰度 Phytoplankton abundance($\times 10^4$ ind./ m^3)	160.86	77.84	-83.02	-51.6
硅藻细胞丰度 Diatom abundance($\times 10^4$ ind./ m^3)	124.16	60.39	-63.77	-51.4
甲藻细胞丰度 Dinoflagellate abundance($\times 10^4$ ind./ m^3)	36.69	17.45	-19.24	-52.4
磷酸盐 Phosphate(μ mol/L)	0.209	0.213	0.004	1.9
硅酸盐 Silicate(μ mol/L)	8.548	6.277	-2.271	-26.6
硝酸盐 Nitrate(μ mol/L)	1.242	1.252	0.01	0.8
铵盐 Ammonia(μ mol/L)	0.775	0.578	-0.197	-25.4
温度 Temperature($^{\circ}$ C)	21.656	21.633	-0.023	-0.1
盐度 Salinity(psu)	30.959	30.604	-0.355	-1.1
浊度 Turbidity(NTU)	2.24	2.15	-0.09	-4.0

表 7 两遍大面站调查中浮游植物群落细胞丰度及相关环境参数的积矩 Pearson 相关系数 1~2

	细胞丰度		硅藻细胞丰度		甲藻细胞丰度	
	Cell abundance		Diatom abundance		Dinoflagellate abundance	
	Pearson	<i>t</i>	Pearson	<i>t</i>	Pearson	<i>t</i>
细胞丰度 Cell abundance	1					
硅藻细胞丰度 Diatom abundance	0.910* *	0.000	1			
甲藻细胞丰度 Dinoflagellate abundance	0.597* *	0.000	0.211	0.119	1	
温度 Temperature	0.338*	0.011	0.342* *	0.01	0.135	0.321
盐度 Salinity	0.197	0.145	0.181	0.181	0.114	0.402
pH 值 pH value	0.220	0.104	0.128	0.346	0.27	0.044
浊度 Turbidity	0.058	0.669	0.060	0.659	0.021	0.876
溶解氧 Dissolved oxygen	0.053	0.702	0.118	0.389	-0.105	0.448
磷酸盐 Phosphate	-0.057	0.674	-0.008	0.956	-0.121	0.375
硅酸盐 Silicate	-0.017	0.902	-0.072	0.599	0.099	0.467
亚硝酸盐 Nitrite	0.138	0.311	0.255	0.058	-0.168	0.215
硝酸盐 Nitrate	0.145	0.285	0.251	0.062	-0.143	0.294
铵盐 Ammonia	0.184	0.174	0.193	0.154	0.060	0.66
溶解无机氮 Dissolved inorganic nitrogen	0.165	0.225	0.275*	0.041	-0.143	0.293
N/P 比率 DIN/DIP ration	0.182	0.184	0.270*	0.046	-0.095	0.491
总溶解氮 Total dissolved nitrogen	0.225	0.096	0.287*	0.032	-0.027	0.846
总溶解磷 Total dissolved phosphorus	0.148	0.276	0.224	0.097	-0.085	0.533
溶解有机碳 Dissolved organic carbon	0.464*	0.015	0.322	0.102	0.479*	0.012
溶解有机氮 Dissolved organic nitrogen	0.117	0.391	0.050	0.717	0.180	0.184
溶解有机磷 Dissolved organic phosphorus	0.208	0.125	0.247	0.067	0.012	0.931
颗粒碳 Particular carbon	0.487* *	0.000	0.428* *	0.001	0.321*	0.016
颗粒氮 Particular nitrogen	0.519* *	0.000	0.475* *	0.000	0.304*	0.023
颗粒磷 Particular phosphorus	0.370* *	0.005	0.272*	0.043	0.346* *	0.009
悬浮物 Suspended particulate matter	-0.004	0.977	-0.004	0.976	-0.001	0.992
叶绿素 a Chlorophyll a	0.373* *	0.005	0.264	0.052	0.368* *	0.006
活体荧光值 in vivo fluorescence	0.006	0.965	-0.007	0.957	0.029	0.834
初级生产力 Primary productivity	0.106	0.439	0.121	0.375	0.015	0.911

Pearson 为 Pearson 相关系数 Pearson is the Pearson's correlation coefficient;*t* 为双尾 *t* 检验;*n* 为 60 *t* is paired-samples *T* test; Number of the cases for analysis is 60; * * 表示相关置信度水平小于 0.01 Correlation is significant at the 0.01 level; * 表示相关置信度水平小于 0.05,其它为不相关 Correlation is not significant at the 0.01 level, the others is no obvious correlated

3 结论

通过对渤海 1998 年秋季浮游植物群落特征的分析发现:

(1)秋季渤海的浮游植物主要以硅藻为主,但甲藻在群落中的比重也很明显,在个别站位上会成为优势类群。浮游植物物种的生态类型多为温带近岸性种。

(2)秋季渤海浮游植物优势物种为偏心圆筛藻、梭状角藻、叉状角藻、洛氏角毛藻、浮动弯角藻、佛氏海线藻、中华半管藻、尖刺伪菱形藻、粗刺角藻、布氏双尾藻、掌状冠盖藻和菱软几内亚藻。

(3)2 遍大面站调查期间渤海浮游植物群落的结构是相对保守的,渤海浮游植物群落季节和周年的变化主要是物种演替过程。但与 1982 年的群落相比,角毛藻属衰退,圆筛藻属和浮游甲藻兴起。

(4)秋季渤海浮游植物细胞丰度的平面分布由浮游硅藻的分布所决定,其高值区分布在在渤海湾、渤海中部、莱州湾北部和渤海海峡南部。浮游甲藻的分布变化较大,在局部地区影响浮游植物的平面分布。同 1982 年和 1992 年同期资料相比,浮游植物细胞丰度和平面分布大致相等。

(5)调查期间浮游植物细胞丰度呈负增长趋势,调查期间在渤海湾存在一次梭状角藻和叉状角藻的混合型赤潮的爆发和消亡过程。

(6)初步分析表明,温度和流场变化等物理水文的作用是导致调查期渤海浮游植物负增长的主要原因。

渤海浮游植物群落的短时相变化研究对我们理解渤海生态系统的过程有重要意义,是今后需要加强的方面。展开浮游植物关键种的研究对我们深入了解生态系统中食物网和各功能群的生态行为有重要意义,对理解人类活动改变渤海生态系统的过程大有裨益,应该是今后需要进一步研究的方向。

References:

- [1] Sarmiento J L, Toggweiler J R and Najjar R. Ocean carbon-cycle dynamics and atmospheric $p\text{CO}_2$. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 1988, 325:3~21.
- [2] Charlson R J, Lovelock J E, Andreae M O, *et al.* Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud abedo and climate. *Nature*, 1987, **326**:655~661.
- [3] Sathyendranath S, Gouveia A D, Shetya S R, *et al.* Biological control of surface temperature in the Arabian Sea. *Nature*, 1991, **349**:54~56.
- [4] Wang X and Li W Q. Study on the carbon assimilation rate of phytoplankton in the upwelling region in Minnan-Taiwan bank of fishing ground. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, **12**(3):219~224.
- [5] Jiao X Y, Zhu M Y, Wu B L. Studies on the quantum yield of some marine phytoplankton. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, **13**(1):17~24.
- [6] Sun J, Liu D Y, Cai X Y, *et al.* The chlorophyll a concentration and estimating of primary productivity in the Bohai Sea in 1998~1999. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(3):517~526.
- [7] Wang C C. Dinoflagellata of the Gulf of Pè-Hai. *Sinensia*, 1936, **7**(2):128~171.
- [8] Zhu S P, Guo Y J. The decade phytoplankton study in China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, **2**(4):223~232.
- [9] The Marine Comprehensive Division of Science and Technology Committee of People's Republic of China, ed. The Comprehensive Investigation Report of China Seas, *Plankton in the Coastal China Sea Waters*, vol. 8, chapter 10, 1977. 1~159.
- [10] State Oceanic Administration of China. *The Comprehensive Investigation Report of Chinese Coastal Seas and Beach, Marine Biology Investigation Report*. Beijing: China Ocean Press, 1992.
- [11] Kang Y D. Distribution and seasonal variation of phytoplankton in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research*, 1991, **12**:31~44.
- [12] Wang J, Kang Y D. Study on population dynamics of phytoplankton in the Bohai Sea. *Marine fisheries research*, 1998, **19**(1):51~59.
- [13] Sun J, Liu D Y, Yang S M, *et al.* The Preliminary study on phytoplankton community structure in the central Bohai Sea and the Bohai Strait and its adjacent area. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**(5):461~471.
- [14] Sun J, Liu D Y, Qian S B. Preliminary study on the seasonal succession and development pathway of phytoplankton community in the Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, **20**(2):251~260.
- [15] Zou J, Dong L, Qin B. Preliminary studies on eutrophication and red tide problems in Bohai Bay. *Hydrobiologia*, 1985, **127**: 27~30.
- [16] Sun J, Liu D Y, Wei H. The phytoplankton sampling and analysis strategies in the study of the Bohai Sea ecosystem dynamics. *Oceanologica Sinica*, 2003, **25**(supp. 2):41~50.
- [17] National Technology Administration of China. Marine Biology Investigation. *Criterion of Marine Investigation*. Beijing: China Standard Press, 1990.
- [18] Sun J, Liu D Y. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China Seas Waters. *Oceanologia et Limnologia*

Sinica, 2002, **33**(3):271~286.

[19] Sun J, Liu D Y. Notes on the nomenclature of the red tide organism *Eucampia zodiacus* Ehrenberg. *Marine Science*, 2003, **27**(6):45~46.

[20] Sun J, Liu D Y, Qian S B. Study on phytoplankton biomass I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume and plasma volume. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, **21**(2):75~85.

[21] Fukuyo Y, Takano H, Chihara M, *et al.* eds. *Red Tide Organisms in Japan—An Illustrated Taxonomic Guide*. Tokyo: Uchida Rokakuho, 1990. 1~430.

[22] Yu Z G, Mi T Z, Yao Q Z, *et al.* Nutrients concentration and changes in decade-scale in the central Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, **20**:65~75.

[23] Raabe T, Yu Z G, Zhang J, *et al.* Phase-transfer of nitrogen species within the water column of the Bohai Sea. *Journal of Marine Systems*, 2004, **44**:213~232.

[24] Sun J, Liu D Y, Qian S B. Study on phytoplankton biomass III. Estimated bulk measurement biomass of phytoplankton in the Jiaozhou Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, **22**(suppl.):293~299.

[25] Ocean Studies Board National Research Council. *50 years of ocean discovery*. Washington D C: National Academy Press, 2000. 1~269.

[26] Wei H, Sun J, Moll A, *et al.* Phytoplankton dynamics in the Bohai Sea-observations and modelling. *Journal of Marine Systems*, 2004, **44**:233~251.

参考文献:

[4] 王宪, 李文权. 闽南-台湾浅滩近岸上升流区浮游植物碳同化速率的研究. *生态学报*, 1992, **12**(3):219~224

[5] 矫晓阳, 朱明远, 吴宝铃. 一些海洋浮游植物量子产值的研究. *生态学报*, 1993, **13**:17~24.

[6] 孙军, 刘东艳, 柴金玉, 等. 1998~1999 年春秋季节渤海中部及其邻近海域叶绿素 a 浓度及初级生产力估算. *生态学报*, 2003, **23**(3):517~526.

[8] 朱树屏, 郭玉洁. 我国十年的海洋浮游植物研究. *海洋与湖沼*, 1959, **2**(4):223~232.

[9] 中华人民共和国国家科学技术委员会海洋综合办公室编. 全国海洋综合调查报告. 中国近海浮游生物的研究. 第 8 册第 10 章, 1977. 1~159.

[10] 国家海洋局等. 全国海岸带和海涂资源综合调查, 海洋生物专业调查报告. 北京: 海洋出版社, 1992.

[11] 康元德. 渤海浮游植物的数量分布和季节变化. *海洋水产研究*, 1991, **12**: 31~44.

[12] 王俊, 康元德. 渤海浮游植物种群动态的研究. *海洋水产研究*, 1998, 19(1):51~59.

[13] 孙军, 刘东艳, 杨世民, 等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究. *海洋与湖沼*, 2002, **33**(5):461~471.

[16] 孙军, 刘东艳, 魏皓. 渤海生态系统动力学中的浮游植物采样及分析的策略. *海洋学报*, 2003, **25**(增刊 2):41~50.

[17] 国家技术监督局. 海洋生物调查, 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 1992. 17~20.

[18] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. *海洋与湖沼*, 2002, **33**(3):271~286.

[19] 孙军, 刘东艳. 赤潮生物浮动弯角藻名称小记. *海洋科学*, 2003, **27**(6):45~46.

[20] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 I. *海洋学报*, 1999, **21**:75~85.

[24] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 III. *海洋学报*, 2000, 22(增刊):293~299.