

2009 年春季胶州湾浮游植物群落结构特征*

杨世民¹ 王丽莎² 石晓勇^{2,3}

(1. 中国海洋大学船舶中心实验室 青岛 266003; 2. 中国海洋大学化学化工学院 青岛 266100;

3. 国家海洋局海洋减灾中心 北京 100194)

提要 本文研究了 2009 年春季胶州湾 23 个大面站浮游植物的群落结构特征。共检出浮游植物 3 门 47 属 74 种, 平均细胞丰度为 827.77 cell/mL, 其中硅藻在物种数量和细胞丰度上占绝对优势。主要优势种为丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus* 和中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*。调查期内浮游植物表层细胞丰度的平面分布趋势为北部高于南部, 湾内高于湾口, 浮游植物的垂直分布则为各水层之间细胞丰度相差不大, 没有明显的差异。表层浮游植物的 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的分布显示胶州湾东北部浮游植物群落较西南部更加均匀稳定。与环境因子的相关分析表明浮游植物细胞丰度与温度呈正相关。

关键词 浮游植物; 胶州湾; 春季; 群落结构

中图分类号 Q178.53 **doi:** 10.11693/hyhz20140700209

胶州湾位于山东半岛南部, 为半封闭型海湾, 海湾面积 397 km², 其中约 64% 的海域水深不超过 5 m (中国海湾志编纂委员会, 1993)。湾内与外海水体交换情况良好, 半交换周期为 5 天(齐雨藻等, 2004), 入湾河流较多。关于胶州湾的浮游植物, 国内许多学者作过多次研究(钱树本等, 1983; 中国海湾志编纂委员会, 1993; 陈碧鹃等, 2000; 刘东艳等, 2002b; 齐雨藻等, 2004; 张利永等, 2004; 韩笑天等, 2004; Liu *et al.*, 2004; 吴玉霖等, 2004, 2005; 李艳等, 2005; Li *et al.*, 2005), 但其中绝大多数是对网采样品的研究, 因为目前我国网采样品中使用的网具多为 76 μm, 在拖网过程中细胞个体较小的物种容易漏掉。因此, 我们在 2009 年春季胶州湾大面站调查中, 选择了通过水样分析研究浮游植物群落结构特征的方法, 为胶州湾生态系统动力学的研究提供基础资料。

1 材料与方法

胶州湾春季调查共设立 23 个大面站, 其分布见图 1。调查时间为 2009 年 5 月 30 日至 31 日。采样

方式依照《海洋调查规范》(国家技术监督局, 1992) 进行, 于每站位各水层(0m, 5m, 10m, 20m, 30m, 水

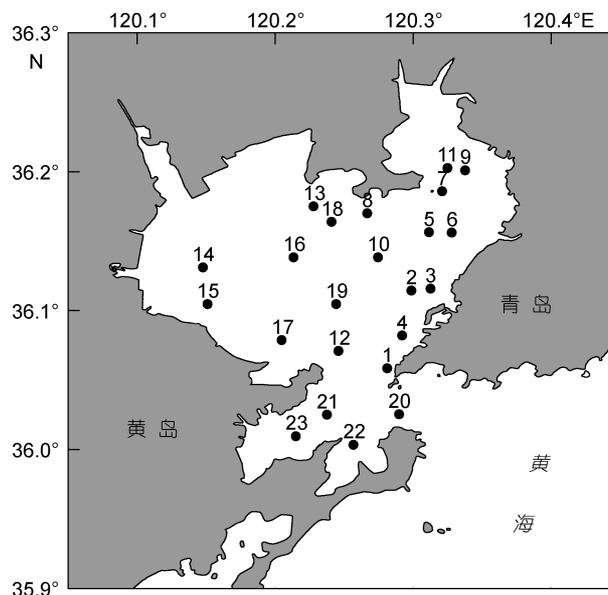


图 1 胶州湾春季取样站位

Fig.1 The sampling stations in the Jiaozhou Bay in spring

*国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2010CB428701 号, 2005CB422305 号。杨世民, 硕士, 副教授, E-mail: yangplankton@163.com

通讯作者: 石晓勇, 教授, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

收稿日期: 2013-12-10, 收修改稿日期: 2014-02-16

深浅于 5m 的站位只取表层水)采集 500mL 水样, 样品用 1%中性福尔马林固定保存, 水样采集工具为 HQM-2 球盖式有机玻璃采水器。采水样品的分析和计数采用国际通用的 Utermöhl 方法(Utermöhl, 1958)。取 25mL 水样置于 Hydro-Bios 计数框内, 静置 24h 后在 NikonTS100 倒置显微镜下进行浮游植物物种鉴定(金德祥等, 1965; 钱树本, 1981; Tomas, 1997; 郭玉洁等, 2003; 杨世民等, 2006)和细胞计数。

物种多样性指数的计算采用香农-威纳指数(H' , Shannon-Wiener index) (Shannon *et al*, 1949), 物种均

匀度指数(J)采用 Pielou 的计算公式(Pielou, 1969)。

2 结果与讨论

2.1 物种组成

胶州湾春季浮游植物样品经初步鉴定, 调查期内共检出浮游植物 74 种, 分别隶属于 3 门 47 属。其中硅藻门 33 属 55 种(包括 2 变型); 甲藻门 13 属 17 种; 金藻门 2 属 2 种。种名录见表 1。在各站位各水层硅藻在物种和数量上都占绝对优势, 占细胞丰度的 98.97%—100%, 平

表 1 胶州湾春季浮游植物的物种组成
Tab.1 Species composition of phytoplankton assemblage in the Jiaozhou Bay in spring

中文名	拉丁种名	中文名	拉丁种名
硅藻门	Bacillariophyta	菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.
波状辐衲藻	<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg	高齿状藻	<i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen
派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i> (Müller) Hendey	具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve
优美辐杆藻	<i>Bacteriastrium delicatulum</i> Cleve	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> spp.
大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> spp.
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle
卡氏角毛藻	<i>Chaetoceros castracanei</i> Karsten	翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i> (Peragallo) Ostenfeld
扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	中华根管藻	<i>Rhizosolenia sinensis</i> Qian
丹麦角毛藻	<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve	优美旭氏藻矮小变型	<i>Schröderella delicatula</i> f. <i>schröderi</i> (Bergon) Sournia
柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve
密连角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i> Cleve	双菱藻	<i>Surirella</i> sp.
窄面角毛藻	<i>Chaetoceros paradoxus</i> Cleve	佛氏海线藻	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff
根状角毛藻	<i>Chaetoceros radicans</i> Schütt	离心列海链藻	<i>Thalassiosira excentrica</i> (Ehr.) Cleve
聚生角毛藻	<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder	诺氏海链藻	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve
圆柱角毛藻	<i>Chaetoceros teres</i> Cleve	圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp.	海链藻	<i>Thalassiosira</i> spp.
环毛藻	<i>Corethron criophilum</i> Castracane	甲藻门	Dinophyta
辐射列圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	血红阿卡藻	<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) Hansen & Moestrup
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i> Ehrenberg	粗刺角藻	<i>Ceratium horridum</i> (Cleve) Gran
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	多环旋沟藻	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> Margelef
新月柱鞘藻	<i>Cylindrotheca closterium</i> Reimann et Levin	渐尖鳍藻	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparede et Lechmann
矮小短棘藻	<i>Detonula pumila</i> (Castracane) Gran	透镜翼甲藻	<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh
蜂腰双壁藻	<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg	多纹膝沟藻	<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein
长角弯角藻	<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow	三角异帽藻	<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehrenberg) Stein
短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Ehrenberg
柔弱井字藻	<i>Eunotogramma debile</i> Grunow	圆秃甲藻	<i>Phalacroma rotundatum</i> Kofoid & Michener
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	闪光原甲藻	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg
薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo	微小原甲藻	<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller
斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle	锥形原多甲藻	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech
波罗的海布纹藻	<i>Gyrodinium aureolum</i> (Ehrenberg) Cleve	扁形原多甲藻	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech
中华半管藻	<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville	光原多甲藻	<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld) Balech
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	灰原多甲藻	<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh
短楔形藻	<i>Licmophora abbreviata</i> Agardh	斯氏扁甲藻	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale
波状石丝藻	<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg	锥状斯克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich
膜状缪氏藻	<i>Meuniera membranacea</i> (Cleve) Silva	金藻门	Chrysophyta
舟形藻	<i>Navicula</i> spp.	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg
弯端长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i> W. Smith	六异刺硅鞭藻	<i>Distephanus speculum</i> Haeckel
洛氏菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow		

均 99.77%；甲藻占细胞丰度的 0—1.03%，平均 0.22%；金藻只是在个别站位的个别水层偶尔出现。调查区浮游植物的生态类型多为广布性和温带性种。

春季胶州湾浮游植物的主要优势种均为硅藻：丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。其中丹麦细柱藻在各站位各水层都有出现，优势度高达 0.717，是调查期内胶州湾浮游植物的最优势物种。

2.2 浮游植物的细胞丰度

春季胶州湾浮游植物的细胞丰度介于 131.13—2341.94cell/mL，平均 827.77cell/mL，最高值位于湾东北部区域 7 号站底层(4.3m)。硅藻细胞丰度介于 130.27—2338.71cell/mL，平均 826.35cell/mL，最高值亦位于 7 号站底层；甲藻细胞丰度介于 0—7.74cell/mL，平均 1.40cell/mL，最高值位于近湾顶区域的 16 号站表层。

2.2.1 表层平面分布特征 春季胶州湾表层水体浮游植物细胞丰度介于 199.48—1675.41cell/mL，平均 844.20cell/mL，略高于各水层浮游植物平均细胞丰度。最高值位于湾东部区域 2 号站，并在胶州湾东北、西北部形成浮游植物细胞丰度密集区，总体分布趋势为北部高于南部，湾内高于湾口(图 2)。

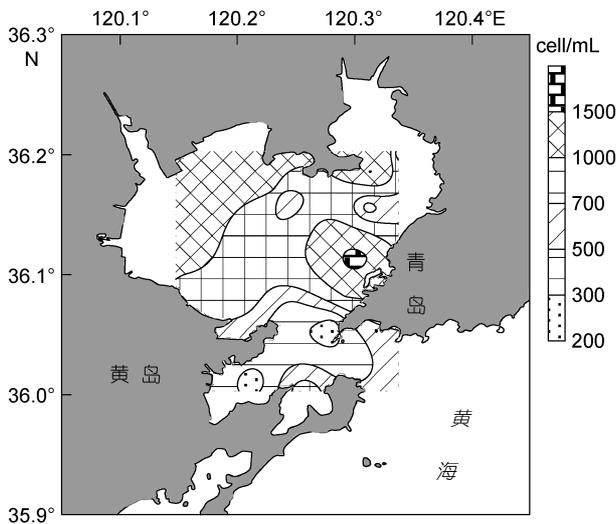


图 2 表层水体浮游植物细胞丰度的平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance

表层水体硅藻细胞丰度介于 197.76—1674.22cell/mL，平均 842.46cell/mL。最高值亦位于湾东部区域的 2 号站，其分布趋势与表层水体浮游植物细胞丰度的分布趋势极为相似，可以说春季胶州湾硅藻的分布决定了浮游植物总的分布趋势(图 3a)。

表层水体甲藻细胞丰度介于 0—7.74cell/mL，平均 1.72cell/mL，总体细胞丰度较低。最高值位于近湾顶区域的 16 号站，分布趋势为胶州湾西北部和中部较高，东北部和南部湾口处较低(图 3b)。

历史资料中对胶州湾浮游植物的研究绝大多数是网采样品，与 1977 年 5 月(钱树本等, 1983)的调查资料相比，浮游植物细胞丰度的分布趋势相似，大体都是北部高于南部，但本次调查细胞丰度高于 1977 年 5 月，这主要是因为本次调查的优势种丹麦细柱藻和中肋骨条藻的细胞丰度明显高于 1977 年 5 月的优势种角毛藻(*Chaetoceros* spp.)和中肋骨条藻的细胞丰度。

相比 1998 年 5 月(陈碧鹃等, 2000)、1995 年 5 月(刘东艳等, 2002b)和 1998 年 5 月(张利永等, 2004)胶州湾北部的历史资料，本次调查的细胞丰度也较高，这主要是因为这几次历史调查采样海域集中在胶州湾北部，采样海域相对狭小，物种的组成相对简单的缘故。

另外，由于丹麦细柱藻和中肋骨条藻通常是细胞之间相互连接，以细直链状的形式存在，且细胞链长度虽然可以达到上百微米，但直径却只有十几至二、三十微米，如果采用拖网的方式取样，优势种极易造成损失，因此，采样和分析方法的不同也应是本次调查浮游植物细胞丰度高于历史同期细胞丰度的原因之一。而这种水采样品细胞丰度高于历史网采样品细胞丰度的现象在我国其他海域的调查中也出现过(朱根海等, 2003; 乐凤凤等, 2006)。

2.2.2 垂直分布特征 春季胶州湾浮游植物的垂直分布如图 4a，虽然表面上看浮游植物细胞丰度随着水深的增加逐渐降低，但这主要是因为胶州湾大多数站位水深较浅，浅水样品数量大大多于深水样品数量的缘故。浮游植物真正的垂直分布还是除个别站位外各水层之间细胞丰度相差不大，没有明显的差异。这是由于胶州湾水体交换情况良好，各水层之间混合较充分的缘故。

春季胶州湾硅藻垂直分布如图 4b，其垂直分布趋势与浮游植物的垂直分布趋势也是极为相似，这从另一角度说明了春季胶州湾硅藻的分布决定了浮游植物总的分布趋势。甲藻的垂直分布如图 4c，分布趋势亦为各水层细胞丰度没有明显的差异。

2.2.3 表层优势种平面分布特征 胶州湾调查期间优势种的表层平面分布如图 5 所示，丹麦细柱藻为广温广布性种，是调查期内胶州湾的最优势物种。细胞丰度介于 22.79—2104.70cell/mL，平均 607.63cell/mL，

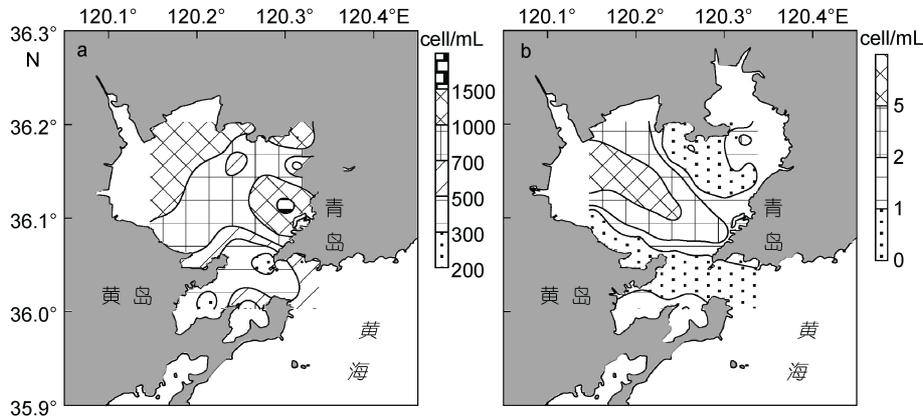


图 3 表层水体浮游硅藻细胞丰度(a)和浮游甲藻细胞丰度(b)的平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of planktonic diatom cell abundance (a) and planktonic dinoflagellate cell abundance (b) in surface water

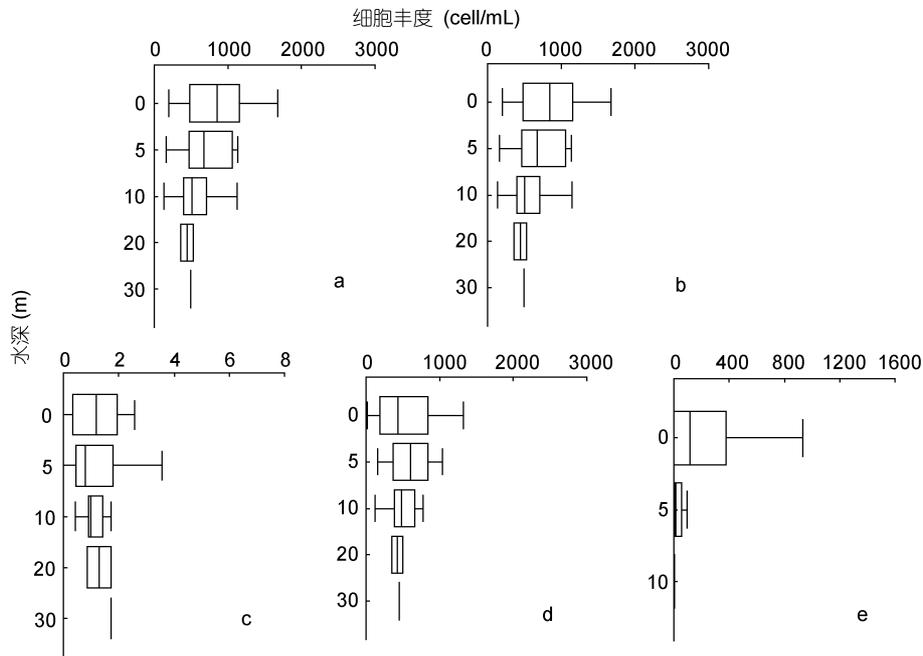


图 4 春季胶州湾浮游植物、硅藻、甲藻及优势种细胞丰度的垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of phytoplankton cell abundance, planktonic diatom cell abundance, planktonic dinoflagellate cell abundance and dominant species cell abundance in the Jiaozhou Bay in spring

a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 丹麦细柱藻; e. 中肋骨条藻

最高值位于近湾顶区域 16 号站底层(5.1m)。丹麦细柱藻在各站位各水层均有出现, 出现频度为 1。在表层水体分布的高值区位于胶州湾东北和西北部水域, 可以说丹麦细柱藻是形成胶州湾春季浮游植物细胞丰度东北、西北密集区的主要力量。

中肋骨条藻为广温广盐性种。细胞丰度介于 0—1290.32cell/mL, 平均 123.82cell/mL, 最高值位于湾东北部区域 7 号站底层(4.3m)。中肋骨条藻主要出现在胶州湾东北部海域, 并在此形成高值区, 出现频度为 0.488。在表层水体分布的高值区亦位于胶州湾

东北部, 细胞丰度由此向西、南迅速降低直至消失, 中肋骨条藻也是形成胶州湾东北浮游植物细胞丰度密集区的主要力量之一。

与历史资料相比(钱树本等, 1983; 陈碧鹃等, 2000; 刘东艳等, 2002b; 齐雨藻等, 2004; 张利永等, 2004; 杨世民等, 2006), 中肋骨条藻的优势种地位并没有发生改变, 而丹麦细柱藻在 2005 年冬季(2—3 月)、夏季(7—8 月)曾在青岛前海成为优势种(杨世民等, 2009), 本次调查其出现的时间与历史资料相比有差异, 这是否与胶州湾环境变化有关尚待进一步研究。

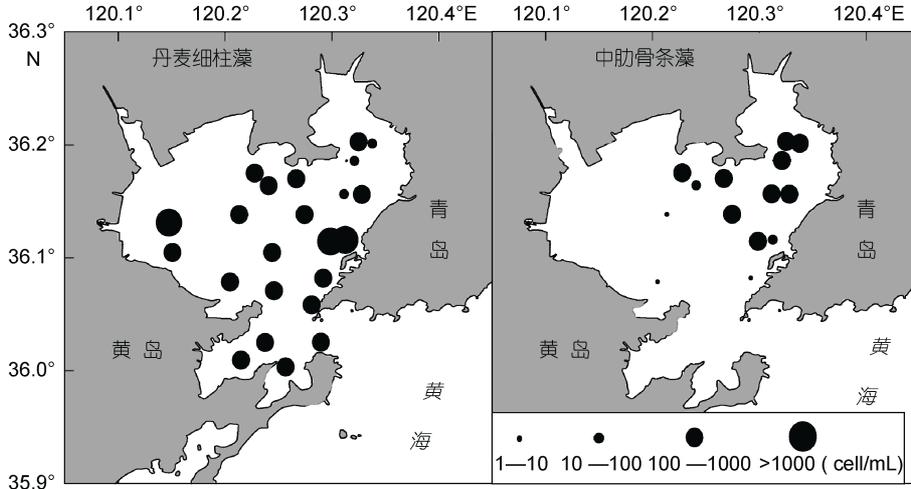


图 5 表层水体浮游植物优势种细胞丰度的平面分布

Fig.5 Horizontal distribution of phytoplankton dominant species cell abundance

2.2.4 优势种垂直分布特征

春季胶州湾优势种丹麦细柱藻的垂直分布如图 4d, 分布趋势也是各水层细胞丰度没有明显的差异。但优势种中肋骨条藻则主要分布在表层水体, 随着水深的增加细胞丰度逐渐降低(图 4e)。

2.3 浮游植物群落的多样性

春季胶州湾浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数值介于 0.101—2.555, 平均 0.801, 其值总体较低。多样性指数在表层水体的平面分布见图 6a, 高值区位于胶州湾东北部, 而低值区位于胶州湾西南部海域。这是因为在胶州湾东北部中肋骨条藻大量出现, 浮游植物形成了以丹麦细柱藻和中肋骨条藻为优势种的较为复杂的群落结构, 而在西南部海域, 中肋骨条藻极少出现, 浮游植物形成了以丹麦细柱藻为单一优势种的较为简单的群落结构。

春季胶州湾浮游植物的均匀度指数值介于 0.035—0.626, 平均 0.210, 其值亦总体较低。均匀度指数在表层水体的平面分布见图 6b, 其分布趋势同样为东北高西南低。均匀度代表群落内物种分布的均匀程度, 是群落是否成熟和稳定的特征之一。因此胶州湾春季东北部浮游植物群落较西南部更加均匀稳定。

2.4 浮游植物与环境因子的关系

胶州湾春季浮游植物细胞丰度与环境因子的相关性分析(表 2)表明, 浮游植物细胞丰度和硅藻细胞丰度均与温度呈密切的正相关, 丹麦细柱藻细胞丰度与磷酸盐呈负相关, 而中肋骨条藻与温度、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐均呈密切的正相关, 与盐度呈密切的负相关。浮游植物的生长需要进行光合作用, 在水温没有超过浮游植物生长的适合温度下, 当

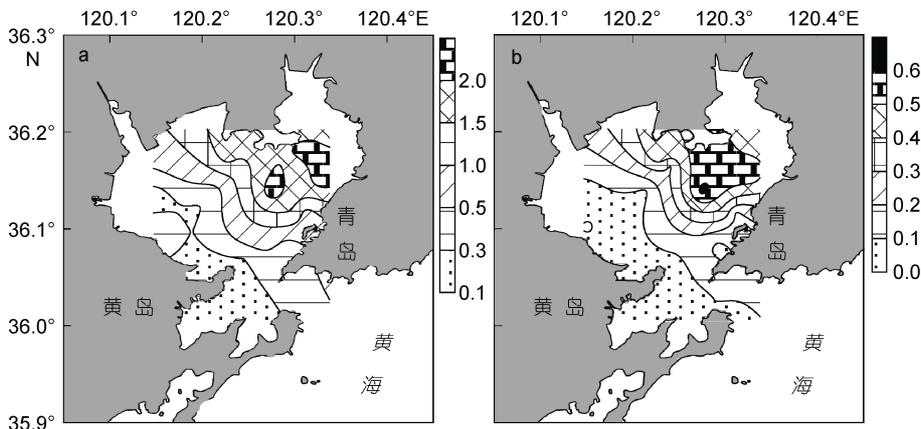


图 6 表层水体 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的平面分布

Fig.6 Horizontal distribution of Shannon-Wiener diversity index and evenness index in surface water

a. Shannon-Wiener 指数; b. 均匀度指数

表 2 浮游植物细胞丰度与环境因子的 Pearson 相关分析
Tab.2 Pearson correlation analysis between phytoplankton cell abundance and environmental factors

	温度	盐度	铵盐	硝酸盐	亚硝酸盐	磷酸盐	硅酸盐
细胞丰度	0.396**	-0.293	0.199	0.282	0.278	0.225	-0.192
硅藻丰度	0.396**	-0.293	0.199	0.282	0.278	0.225	-0.193
甲藻丰度	0.271	-0.053	-0.070	-0.055	-0.011	-0.002	0.078
丹麦细柱藻丰度	-0.093	0.278	-0.259	-0.189	-0.199	-0.316*	-0.237
中肋骨条藻丰度	0.629**	-0.721**	0.580**	0.597**	0.612**	0.696**	0.037

*相关的显著性水平是 0.05; **相关的显著性水平是 0.01

光照充足、水温较高时浮游植物光合作用增强, 生长趋于旺盛(杨东方等, 2006), 因此与温度正相关。丹麦细柱藻与磷酸盐呈负相关主要是因为虽然调查期间胶州湾磷酸盐浓度总体较低, 平均仅为 $0.24\mu\text{mol/L}$, 但在湾东北部区域却形成了一个浓度在 $1\mu\text{mol/L}$ 以上的高值区, 而相对地, 丹麦细柱藻细胞丰度在这一区域的值却低于湾内其他区域, 说明较高的磷酸盐浓度会抑制丹麦细柱藻的生长。中肋骨条藻为嗜氮型硅藻(刘东艳等, 2002a), 且其对磷酸盐的半饱和常数较高, 为 0.722 (Jørgensen *et al.*, 1991), 因此较高的氮和磷浓度能促进其生长, 而中肋骨条藻与盐度负相关说明沿岸盐度较低的区域更适合其生长繁殖。

2.5 浮游植物的季节变化

本次调查与同年 8 月夏季(杨世民等, 待刊)、2010 年 2 月冬季(石晓勇等, 待刊)的调查结果相比较, 浮游植物细胞丰度最高, 高值区的范围最广, 检出物种数量也最多, 呈现明显的高峰期, 这与 1978 年和 1995 年同期网采调查资料呈低谷期恰好相反(钱树本等, 1983; 刘东艳等, 2002b)。出现这种情况的原因主要是在以往胶州湾调查中并不常出现的优势种丹麦细柱藻在本次调查期间大量出现的结果, 这也说明了胶州湾高峰期、低谷期的出现并不是一成不变的, 而是随环境变化而不断变化的。

3 结论

(1) 2009 年春季胶州湾共发现浮游植物 3 门 47 属 74 种, 其中硅藻在物种数量和细胞丰度上都占有绝对优势。浮游植物物种的生态类型多为广布性和温带性种。

(2) 胶州湾春季平均细胞丰度 827.77cell/mL , 平面分布趋势为北部高于南部, 湾内高于湾口, 垂直分布特征则为各水层之间细胞丰度没有明显的差异。

(3) 调查期内胶州湾浮游植物优势种为丹麦细柱藻和中肋骨条藻。丹麦细柱藻平均细胞丰度 607.63cell/mL ,

平面分布高值区位于胶州湾东北和西北部水域, 垂直分布各水层之间细胞丰度亦相差不大; 中肋骨条藻平均细胞丰度 123.82cell/mL , 平面分布的高值区在胶州湾东北部, 垂直分布则主要分布在表层水体。

(4) 春季胶州湾浮游植物 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的值总体较低, 其分布显示胶州湾东北部浮游植物群落较西南部更加均匀稳定。

(5) 胶州湾春季浮游植物和硅藻细胞丰度与温度呈正相关关系, 丹麦细柱藻与磷酸盐呈负相关, 中肋骨条藻与温度、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐正相关, 与盐度负相关。

参 考 文 献

- 中国海湾志编纂委员会, 1993. 中国海湾志, 第四分册(山东半岛南部和江苏省海湾). 北京: 海洋出版社, 157—260
- 乐凤凤, 孙 军, 宁修仁等, 2006. 2004 年夏季中国南海北部的浮游植物. 海洋与湖沼, 37(3): 238—248
- 朱根海, 宁修仁, 蔡昱明等, 2003. 南海浮游植物物种组成和丰度分布的研究. 海洋学报, 25(增刊 2): 8—23
- 刘东艳, 孙 军, 陈宗涛等, 2002a. 不同氮磷比对中肋骨条藻生长特性的影响. 海洋与湖沼通报, (2): 39—44
- 刘东艳, 孙 军, 唐优才等, 2002b. 胶州湾北部水域浮游植物研究 —— 种类组成和数量变化. 青岛海洋大学学报, 32(1): 67—72
- 齐雨藻, 邹景忠, 梁 松等, 2004. 中国沿海赤潮. 北京: 科学出版社, 1—348
- 李 艳, 李瑞香, 王宗灵等, 2005. 胶州湾浮游植物群落结构及其变化的初步研究. 海洋科学进展, 23(3): 328—334
- 杨世民, 董树刚, 2006. 中国海域常见浮游硅藻图谱. 青岛: 中国海洋大学出版社, 1—267
- 杨世民, 董树刚, 窦明武等, 2009. 2004—2005 年青岛前海定 54 周次浮游植物群落结构特征. 海洋科学进展, 27(4): 521—536
- 杨东方, 高振会, 王培刚等, 2006. 营养盐 Si 和水温影响浮游植物的机制. 海洋环境科学, 25(1): 1—6
- 吴玉霖, 孙 松, 张永山等, 2004. 胶州湾浮游植物数量长期动态变化研究. 海洋与湖沼, 35(6): 518—523

- 吴玉霖, 孙松, 张永山等, 2005. 环境长期变化对胶州湾浮游植物群落结构的影响. 海洋与湖沼, 36(6): 487—498
- 张利永, 刘东艳, 孙军等, 2004. 胶州湾女姑山水域夏季赤潮高发期浮游植物群落结构特征. 中国海洋大学学报, 34(6): 997—1002
- 陈碧鹃, 陈聚法, 袁有宪等, 2000. 胶州湾北部沿岸浮游植物生态特征的研究. 海洋水产研究, 21(2): 34—39
- 国家技术监督局, 1992. 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 17—22
- 金德祥, 陈金环, 黄凯歌, 1965. 中国海洋浮游硅藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1—230
- 钱树本, 1981. 根管藻属(*Genus Rhizosolenia*)的一个新种——中华根管藻(*Rhizosolenia sinensis* sp. nov.). 山东海洋学院学报, 11(4): 53—57
- 钱树本, 王筱庆, 陈国蔚, 1983. 胶州湾的浮游藻类. 山东海洋学院学报, 13(1): 39—56
- 郭玉洁, 钱树本, 2003. 中国海藻志(第五卷, 硅藻门, 第一册中心纲). 北京: 科学出版社, 1—493
- 韩笑天, 邹景忠, 张永山, 2004. 胶州湾赤潮生物种类及其生态分布特征. 海洋科学, 28(2): 49—53
- Jørgensen S E, Nielsen S N, Jørgensen L A, 1991. Handbook of ecological parameters and ecotoxicology. Elsevier, Amsterdam: 1—1263
- Li G Y, Lu J, He Y J, 2005. Relation between diversity of phytoplankton and environmental factors in the Jiaozhou Bay. Marine Geology Letters, 21(4): 10—13
- Liu D Y, Sun J, Liu Z *et al*, 2004. The effects of spring-neap tide on the phytoplankton community development in the Jiaozhou Bay, China. Acta Oceanologica Sinica, 23(4): 687—697
- Pielou E C, 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience, New York: 1—286
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana IL: 1—125
- Tomas C R, 1997. Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press, San Diego: 1—858
- Utermöhl H, 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt Int Verein Theor Angew Limnol, 9: 1—38

PHYTOPLANKTON COMMUNITY OF THE JIAOZHOU BAY IN SPRING 2009

YANG Shi-Min¹, WANG Li-Sha², SHI Xiao-Yong^{2,3}

(1. Vessel Center Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, SOA, Beijing 100194, China)

Abstract We studied the phytoplankton community in spring 2009 in the Jiaozhou Bay based on phytoplankton data from 23 grid stations. Three classes including 47 genera and 74 species were determined. The average cell abundance was 827.77cell/mL. The diatoms abundance and the distribution controlled the total variation of phytoplankton abundance. The dominant species were *Leptocylindrus danicus* and *Skeletonema costatum*. The horizontal distribution of phytoplankton cell abundance was higher in the northern part of the bay, and lower in the southern part. The vertical distribution of phytoplankton cell abundance had no significant difference between the surface and the bottom. The horizontal distribution of phytoplankton Shannon-Wiener index and Pielou index demonstrated that the phytoplanktonic community structure was relatively even and more stable in the northeastern part of the bay than those of the southwestern. The phytoplankton cell abundance correlated positively to the temperature.

Key words phytoplankton; Jiaozhou Bay; spring; community structure