

# 2009 年夏季胶州湾同步调查浮游植物群落结构特征\*

杨世民<sup>1</sup> 王丽莎<sup>2</sup> 石晓勇<sup>2,3</sup>

(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)

**摘要** 根据 2009 年 8 月 17 日 14:00 胶州湾 21 个大面站的同步调查资料, 研究了夏季胶州湾浮游植物群落结构特征。共检出浮游植物 3 门 35 属 65 种, 平均细胞丰度为 77.2cell/mL, 硅藻在物种数量和细胞丰度上占绝对优势。主要优势种为中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* 和大洋角管藻 *Cerataulina pelagica*。夏季胶州湾浮游植物表层细胞丰度的平面分布趋势为北部高于南部, 垂直分布趋势为从表层至底层细胞丰度明显降低。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西北部和南部浮游植物群落结构更加稳定。与环境因子的相关分析表明浮游植物细胞丰度与盐度呈负相关, 与硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐呈正相关。

**关键词** 浮游植物; 胶州湾; 夏季; 群落结构; 同步调查

中图分类号 Q178.53 doi: 10.11693/hyhz20140700210

浮游植物利用光能合成有机物质, 是海洋生态系统中最重要的初级生产者, 研究某一海域浮游植物的种类组成和细胞丰度的分布有助于研究这一海域的生态系统特征, 对于监测海洋环境和赤潮生物种群的变化具有重要意义。国内许多学者曾多次研究过胶州湾的浮游植物 (钱树本等, 1983; 陈碧鹃等, 2000; 刘东艳等, 2002b, 2003; 齐雨藻等, 2004; 吴玉霖等, 2004; 张利永等, 2004; 韩笑天等, 2004; Li *et al.*, 2005; 李艳等, 2005), 但大面站的同步调查至今尚未有报道。相比于通常的走航调查, 定点同步调查能避免潮汐带来的变化, 具有更加客观精确的优点, 尤其在相对封闭的海湾内, 潮汐的来临形成水体交换, 引起湾内各站点浮游植物细胞丰度的变化, 而潮流对海底的冲击, 也会引起底栖性浮游植物的细胞再悬浮作用, 从而使一些底栖性物种进入水体, 改变浮游植物的群落结构 (Baillie *et al.*, 1980; Cloern *et al.*, 1985; Cloern, 1991)。因此, 我们于 2009 年夏季在胶州湾进行了大面站的同步

调查, 并通过采集的水样对浮游植物群落结构进行了分析研究, 为胶州湾海洋环境的评价提供科学依据。

## 1 材料与方 法

胶州湾夏季调查共设立 21 个大面站(包括 20 个编号站和 C1 站), 其分布见图 1。调查方法为 21 艘调查船定点于 21 个大面站, 同时于 2009 年 8 月 17 日 14:00 采集该站位各水层(0m, 5m, 10m, 20m, 水深浅于 5m 的站位只取表层水)浮游植物水样。采样方式依照《海洋调查规范》(国家技术监督局, 1992)进行, 于每站位各水层采集约 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 Utermöhl 方法(Utermöhl, 1958)。取 25mL 水样置于 Hydro-Bios 计数框内, 静置 24h 后在 Nikon TS100 倒置显微镜下进行浮游植物物种鉴定(金德祥等, 1965; Tomas, 1997; 郭玉洁, 2003; 杨世民等, 2006)和细胞计数。

\* 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: 2014-01-23, 收修改稿日期: 2014-03-12

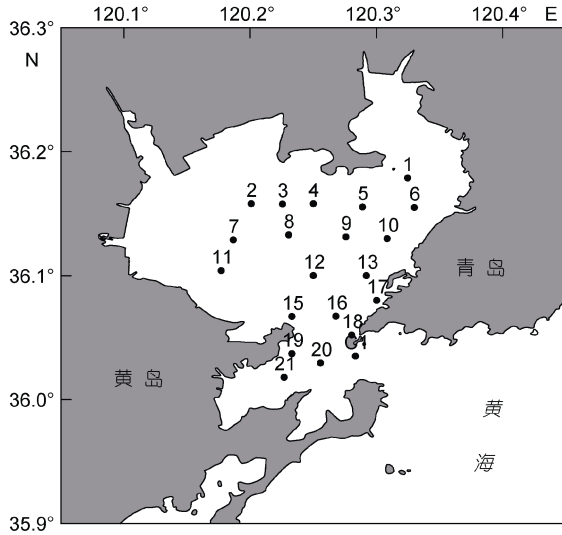


图 1 胶州湾夏季取样站位

Fig.1 The sampling station in the Jiaozhou Bay in summer

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

胶州湾夏季同步调查浮游植物样品经初步鉴定, 共检出浮游植物 65 种, 分别隶属于 3 门 35 属。其中硅藻门 23 属 45 种(包括 1 变种); 甲藻门 11 属 19 种; 金藻门 1 属 1 种。种名录见表 1。在各站位各水层硅藻在物种数量和细胞丰度上都占绝对优势。硅藻占细胞丰度的 80.94%—100%, 平均 96.19%; 甲藻占细胞丰度的 0—19.06%, 平均 3.80%; 金藻只是在个别站位的个别水层偶尔出现。胶州湾夏季出现的浮游植物的生态类型多为广布性种和温带近岸性物种, 也有一些暖水性物种。

表 1 胶州湾夏季浮游植物的物种组成

Tab.1 Species composition of phytoplankton assemblage in the Jiaozhou Bay in summer

中文名	拉丁种名	中文名	拉丁种名
<b>硅藻门</b>	<b>Bacillariophyta</b>	柔弱伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden <i>et al.</i>
波状辐柄藻	<i>Actinopterychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle
双角角管藻	<i>Cerataulina bicornis</i> (Ehrenberg) Hasle <i>et al.</i>	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve
大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	热带骨条藻	<i>Skeletonema tropicum</i> Cleve
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	双菱藻	<i>Surirella</i> sp.
垂缘角毛藻	<i>Chaetoceros laciniosus</i> Schütt	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.
罗氏角毛藻	<i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs	密集海链藻	<i>Thalassiosira condensata</i> (Cleve) Lebour
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow	离心列海链藻	<i>Thalassiosira excentrica</i> (Ehr.) Cleve
拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i> Mangin	鼓胀海链藻	<i>Thalassiosira gravida</i> Cleve
扭链角毛藻	<i>Chaetoceros tortissimus</i> Gran	诺氏海链藻	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve
星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier
减小圆筛藻	<i>Coscinodiscus decrescens</i> Grunow	海链藻	<i>Thalassiosira</i> spp.
格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i> Grouh	<b>甲藻门</b>	<b>Dinophyta</b>
琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld	血红阿卡藻	<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) Hansen & Moestrup
辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	亚历山大藻	<i>Alexandrium</i> spp.
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i> Ehrenberg	梭角藻	<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin
威利圆筛藻	<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran & Angst	粗刺角藻	<i>Ceratium horridum</i> (Cleve) Gran
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i> (Kuetz.) Grunow	线纹角藻	<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve
新月柱鞘藻	<i>Cylindrotheca closterium</i> Reimann <i>et al.</i> Levin	大角角藻	<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Cleve
矮小短棘藻	<i>Detonula pumila</i> (Castracane) Gran	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch
短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	小翼甲藻	<i>Diplopsalis minor</i> (Pausen) Pavillard
柔弱并字藻	<i>Eunotogramma debile</i> Grunow	裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> spp.
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle <i>et al.</i>	螺旋环沟藻	<i>Gyrodinium spirale</i> (Bergh) Kofoid & Swezy
薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo	三角异帽藻	<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehrenberg) Stein
斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle <i>et al.</i>	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Ehrenberg
泰晤士旋鞘藻	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) Ricard	扁形原多甲藻	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	光甲原多甲藻	<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld) Balech
波状石丝藻	<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg	灰甲原多甲藻	<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh
膜状缪氏藻	<i>Meuniera membranacea</i> (Cleve) Silva	五脚原多甲藻	<i>Protoperidinium quinquecorne</i> Abé
长菱形藻中国变种	<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>chinensis</i> Grunow	原多甲藻	<i>Protoperidinium</i> spp.
洛氏菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow	斯氏扁甲藻	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale
高齿状藻	<i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen	锥状斯克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich
羽纹藻	<i>Pinnularia</i> spp.	<b>金藻门</b>	<b>Chrysophyta</b>
曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> spp.	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg

夏季胶州湾浮游植物的主要优势种均为硅藻：中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和大洋角管藻 (*Cerataulina pelagica*)。这两个物种出现的频度都很高，分别为 1 和 0.943，而且其优势度也分别高达 0.538 和 0.186。

## 2.2 浮游植物的细胞丰度

夏季胶州湾浮游植物的细胞丰度介于 2.1—336.9 cell/mL，平均 77.2 cell/mL，最高值位于湾东北部区域 1 号站表层。硅藻细胞丰度介于 2.0—336.2 cell/mL，平均 75.5 cell/mL，最高值亦位于 1 号站表层；甲藻细胞丰度介于 0—10.1 cell/mL，平均 1.7 cell/mL，最高值位于湾西北部区域 2 号站表层。

**2.2.1 表层平面分布特征** 夏季胶州湾表层水体浮游植物细胞丰度介于 2.1—336.9 cell/mL，平均 107.3 cell/mL，高于各水层浮游植物平均细胞丰度。最高值位于湾东北部区域 1 号站，并在胶州湾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(图 2)。

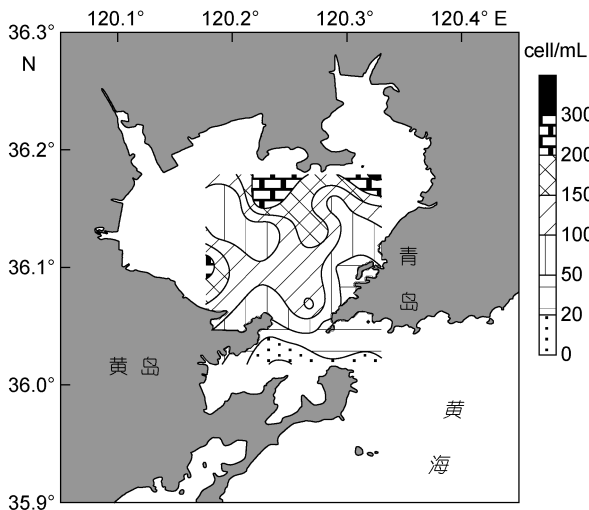


图 2 表层水体浮游植物细胞丰度的平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance

表层水体硅藻细胞丰度介于 2.0—336.2 cell/mL，平均 105.1 cell/mL。最高值亦位于湾东北部区域 1 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(图 3a)。

表层水体甲藻细胞丰度介于 0.1—10.1 cells/mL，平均 2.1 cell/mL，细胞丰度较低。最高值位于湾西北部区域 2 号站，分布趋势为胶州湾北部和中部较高，东部和西南部较低(图 3b)。

与 1977 年 8 月(钱树本等, 1983)和 2001 年 8 月(刘

东艳等, 2003)的网采历史调查资料相比，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。但是仔细对比本次调查与两次历史调查资料的细胞丰度平面分布图会发现，本次调查细胞丰度高值区主要有三处：胶州湾东北角海域、中北部海域和中西部海域。而 1977 年 8 月细胞丰度高值区主要在湾中北部海域，2001 年 8 月细胞丰度高值区位于湾东北角海域和中西部海域。可以看出，本次调查细胞丰度高值区范围更广，这与本次为同步调查密切相关。因为胶州湾水体交换状况为涨潮速度大于落潮速度(刘东艳等, 2002b)，涨潮时湾南部低细胞丰度水体进入湾北，冲击湾北部高细胞丰度水体向更靠近岸的区域移动，而落潮时近岸高细胞丰度水体则不易向周围扩散，因此，当进行走航调查时由于调查时间较长，受潮汐影响细胞丰度高值区范围会缩小，而本次同步调查则能避免潮汐的影响，更精确的抓住细胞丰度的分布状况。

相比历史资料，本次调查细胞丰度值相差不大(钱树本等, 1983; 陈碧鹃等, 2000; 刘东艳等, 2003)，但是由于本次调查的采样和分析方法与以往不同，胶州湾夏季浮游植物的细胞丰度是否常年维持稳定还有待进一步研究证实。

**2.2.2 垂直分布特征** 夏季胶州湾浮游植物的垂直分布如图 4a，扣除浅水样品数量大大多于深水样品数量的因素，浮游植物细胞丰度随着水深的增加逐渐降低的趋势仍十分明显。这主要是因为最优势物种——中肋骨条藻主要分布在表层水域，随着水深的增加，其细胞丰度迅速降低的缘故(图 4d)。

夏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极为相似。甲藻的垂直分布如图 4c，扣除浅水样品数量多于深水样品数量的因素，各水层之间甲藻的细胞丰度差别并不明显。

**2.2.3 表层优势种平面分布特征** 夏季胶州湾优势种的表层平面分布如图 5 所示，中肋骨条藻为广温广盐性种。细胞丰度介于 0.3—192.6 cell/mL，平均 41.5 cell/mL，最高值位于湾西北部区域 3 号站表层。中肋骨条藻在各个站位均有出现，并在胶州湾北部形成高值区。在表层水体分布的高值区亦位于胶州湾北部，细胞丰度由北向南逐渐降低，中肋骨条藻也是形成胶州湾北部浮游植物细胞丰度密集区的主要力量之一。

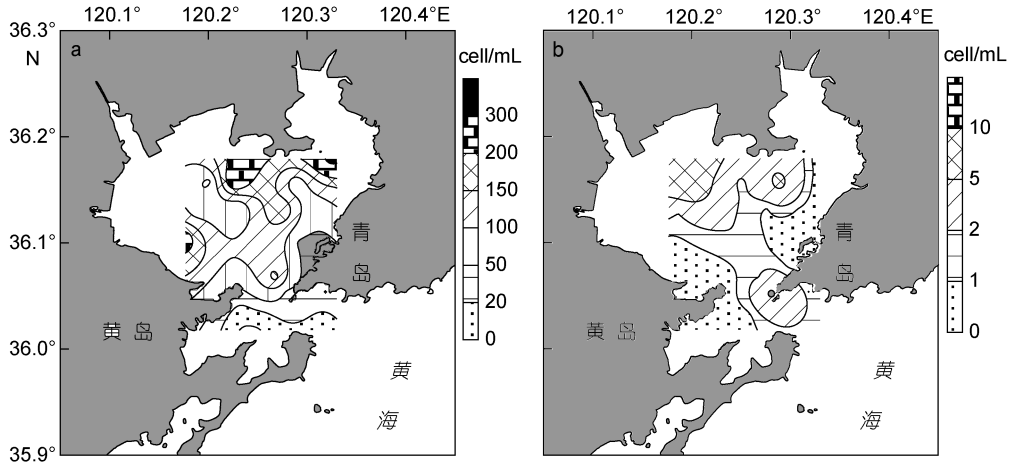


图 3 表层水体浮游硅藻细胞丰度和浮游甲藻细胞丰度的平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of planktonic diatom cell abundance, horizontal distribution of planktonic dinoflagellate cell abundance in surface water

a. 表层硅藻细胞丰度; b. 表层甲藻细胞丰度

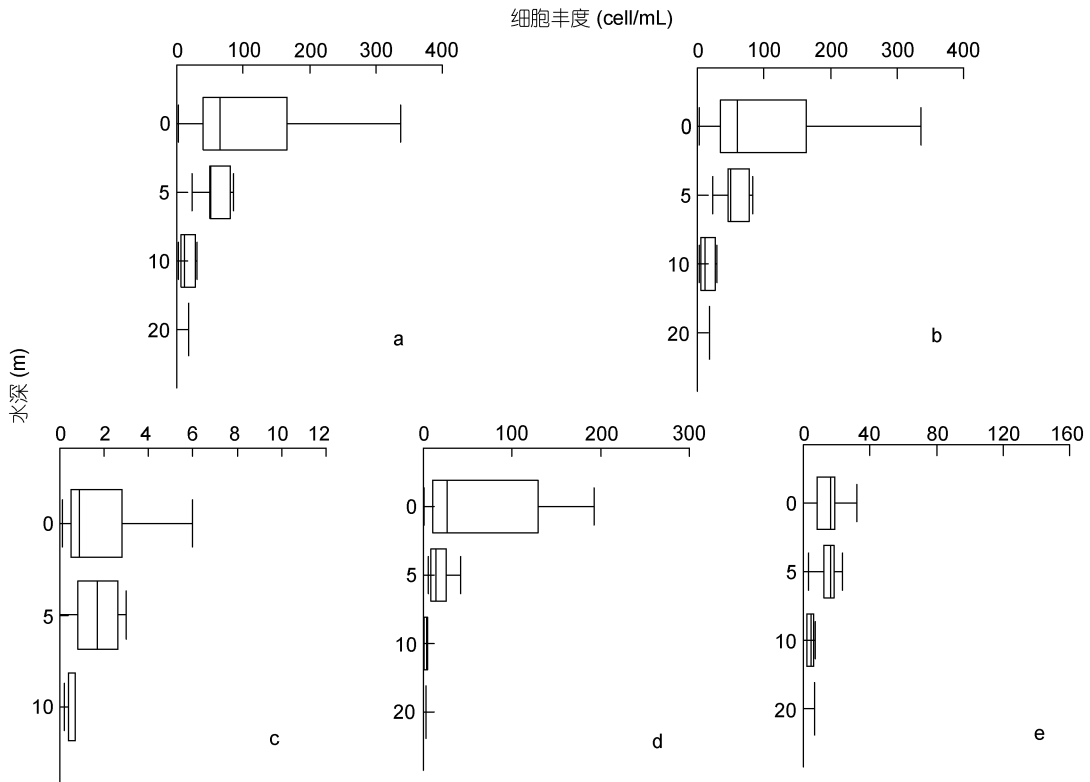


图 4 夏季胶州湾浮游植物、硅藻、甲藻及优势种细胞丰度的垂直分布

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 summer

a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 中肋骨条藻; e. 大洋角管藻

大洋角管藻是近几年青岛附近海域出现的优势种(杨世民等, 2006, 2009), 细胞丰度介于 0—144.4cell/mL, 平均 15.2cell/mL, 最高值位于湾东北部区域 1 号站表层。除 1 号站外, 大洋角管藻在胶州湾中部海域细胞丰度较高, 由此向南至湾口处细胞

丰度逐渐降低。

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)中肋骨条藻的优势种地位并没有发生改变, 而大洋角管藻也在近年来频频以优势种的状态出现,

因此这两个物种在今后的胶州湾调查研究中都应予以重点关注。

2.2.4 优势种垂直分布特征 除了中肋骨条藻主要分布在表层水域外(图 4d), 另一优势种大洋角管藻的垂直分布如图 4e, 其在表层和 5m 层之间细胞丰度差别不明显, 但在 10m 和 20m 层细胞丰度则逐渐降低。

2.3 浮游植物群落的多样性

夏季胶州湾浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数值介于 1.225—3.341, 平均 2.152, 其值总体较高。多样性指数在表层水体的平面分布见图

6a, 高值区位于胶州湾西北部和东南湾口海域, 而低值区位于胶州湾东北部海域。这是因为在胶州湾西北部和东南部海域除中肋骨条藻和大洋角管藻外, 柔弱伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、拟旋链角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、斯氏几内亚藻(*Guinardia striata*)、亚历山大藻(*Alexandrium* spp.) 等物种也有相当数量, 浮游植物形成了较为复杂的群落结构, 而在东北部海域, 中肋骨条藻和大洋角管藻的细胞丰度远远高于其它物种, 浮游植物形成了以此两物种为优势种的较为简单的群落结构。

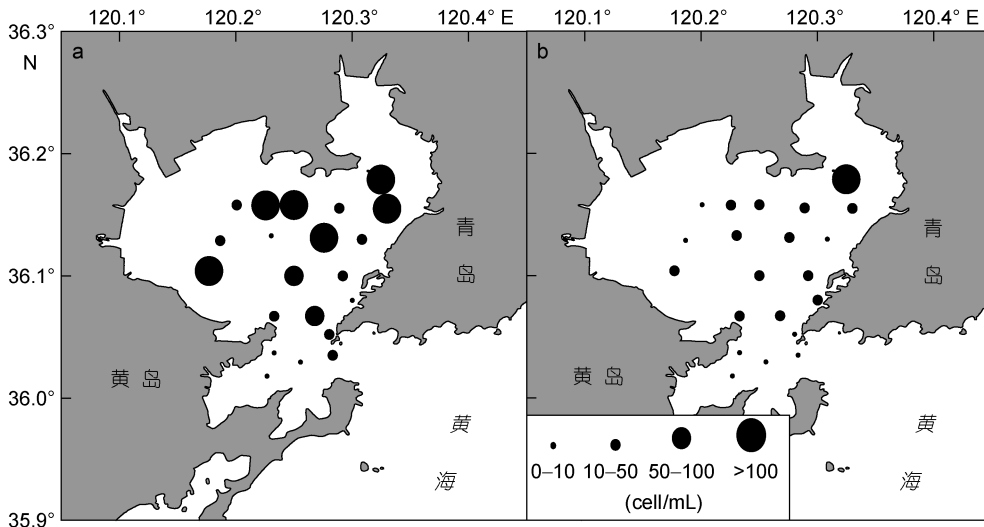


图 5 表层水体浮游植物优势种细胞丰度的平面分布  
Fig.5 Horizontal distribution of phytoplankton dominant species cell abundance  
a. 中肋骨条藻丰度; b. 大洋角管藻丰度

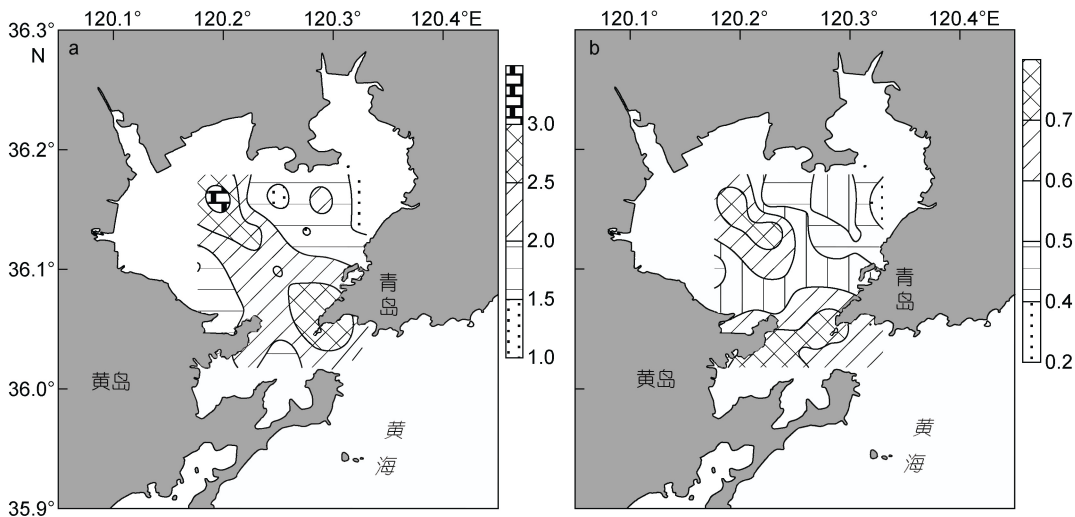


图 6 表层水体 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的平面分布  
Fig.6 Horizontal distribution of Shannon-Wiener diversity index and evenness index in surface water  
a. Shannon-Wiener 指数; b. 均匀度指数

夏季胶州湾浮游植物的均匀度指数值介于 0.288—0.807, 平均 0.611, 其值亦总体较高。均匀度指数在表层水体的平面分布见图 6b, 其分布趋势为胶州湾西北和南部湾口海域较高, 东北部较低。因此胶州湾夏季西北和南部浮游植物群落更加均匀稳定。

#### 2.4 浮游植物与环境因子的关系

胶州湾夏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与盐度呈密切的负相关, 与硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐呈正相关, 中肋骨条藻与硝酸盐呈密切的正相关, 大洋角管藻与铵盐、硝酸盐均呈密切的正相关。在近岸海域, 较低盐度的海水更适合浮游植物的

生长繁殖(乐凤凤等, 2006), 因此二者呈负相关。在调查期间, 受当年夏季青岛干燥少雨的影响, 胶州湾入海径流量减少, 而氮、磷主要是依靠陆源输入和海底沉积物提供, 再加上近些年青岛近海夏季浒苔繁殖会消耗部分营养盐(李瑞香等, 2009), 因此调查期间硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐的浓度均较低, 而限制浮游植物生长的元素是那种在量上最接近维持其生长所需的最小量的物质(彭欣等, 2006), 所以此三种营养盐浓度的降低会抑制浮游植物的生长, 从而形成密切的正相关关系。中肋骨条藻为嗜氮型硅藻(刘东艳等, 2002a), 氮对大洋角管藻的生长也起到促进作用(Yan *et al.*, 2002), 反之, 当氮浓度较低时也会抑制二者的生长, 体现为正相关。

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	0.111	-0.714**	0.268	0.720**	0.603**	0.442*	-0.053
硅藻丰度	0.106	-0.703**	0.274	0.723**	0.602**	0.445*	-0.049
甲藻丰度	-0.156	-0.225	-0.222	-0.075	0.201	0.187	-0.199
中肋骨条藻丰度	0.180	0.127	0.259	0.661**	-0.070	-0.103	0.015
大洋角管藻丰度	0.163	0.110	0.470**	0.842**	-0.046	-0.081	0.099

\*相关的显著性水平是 0.05; \*\*相关的显著性水平是 0.01

#### 2.5 浮游植物的季节变化

本次调查与同年 5 月春季(杨世民等, 2014)、2010 年 2 月冬季(石晓勇等, 待刊)的调查结果相比较, 浮游植物物种数量、细胞丰度均为最低, 呈现低谷期, 这与 1978 年夏季网采调查资料呈高峰期大相径庭(钱树本等, 1983)。出现这种情况主要是由于调查期间营养盐浓度总体较低限制了浮游植物的生长, 这也是调查期优势种中肋骨条藻和大洋角管藻细胞丰度不高的主要原因。

### 3 结论

(1) 2009 年夏季胶州湾共发现浮游植物 3 门 35 属 65 种, 其中硅藻在物种数量和细胞丰度上都占有绝对优势。浮游植物的生态类型多为广布性种和温带近岸性物种, 也有一些暖水性物种。

(2) 胶州湾夏季平均细胞丰度 77.2cell/mL, 平面分布趋势为北部高于南部, 垂直分布则呈现明显的由表至底细胞丰度降低的趋势。

(3) 胶州湾夏季浮游植物优势种为中肋骨条藻和大洋角管藻。中肋骨条藻平均细胞丰度 41.5cell/mL, 平面分布的高值区位于胶州湾北部, 垂直分布则主

要分布在表层水域; 大洋角管藻平均细胞丰度 15.2cell/mL, 平面分布的高值区在胶州湾中部海域, 垂直分布则主要分布在表层和 5m 层。

(4) 夏季胶州湾浮游植物 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的值总体较高, 其分布显示胶州湾西北和南部海域浮游植物群落更加均匀稳定。

(5) 胶州湾夏季浮游植物和硅藻细胞丰度与盐度呈负相关关系, 与硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐呈正相关关系, 优势种中肋骨条藻与硝酸盐正相关, 大洋角管藻与铵盐、硝酸盐正相关。

#### 参 考 文 献

- 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
- 刘东艳, 孙 军, 陈洪涛等, 2003. 2001 年夏季胶州湾浮游植物群落结构的特征. 青岛海洋大学学报, 33(3): 366—374
- 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
- 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
- 李瑞香, 吴晓文, 韦钦胜等, 2009. 不同营养盐条件下浒苔的生长. 海洋科学进展, 27(2): 211—216
- 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
- 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
- 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的研究. 海洋与湖沼, 35(6): 518—523
- 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—40
- 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 年青岛前海定点 54 周次浮游植物群落结构特征. 海洋科学进展, 27(4): 523—536
- 杨世民, 王丽莎, 石晓勇, 2014. 2009 年春季胶州湾浮游植物群落结构特征. 海洋与湖沼, 45(6): 1234—1240
- 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
- 郭玉洁, 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
- 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
- 彭 欣, 宁修仁, 蔡昱明等, 2006. 浮游植物生长上行效应的研究进展. 海洋学研究, 24(3): 64—75
- 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—54
- Baillie P W, Welsh B L, 1980. The effect of tidal resuspension on the distribution of intertidal epipelagic algae in an estuary. Estuarine and Coastal Marine Science, 10(2): 165—180
- Cloern J E, Cole B E, Wong R L J *et al*, 1985. Temporal dynamics of estuarine phytoplankton: A case study of San Francisco Bay. Hydrobiologia, 129(1): 153—176
- Cloern J E, 1991. Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. Journal of Marine Research, 49(1): 203—221
- 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
- Pielou E C, 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. New York: Wiley-Interscience, 1—286
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana IL: University of Illinois Press, 1—125
- Tomas C R, 1997. Identifying Marine Phytoplankton. San Diego: Academic Press, 1—858
- Utermöhl H, 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilung Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie, 9: 1—38
- Yan T, Zhou M J, Qian P Y, 2002. Effects of four nitrogen substrates on growth of several red tide species. Acta Oceanologica Sinica, 21(3): 461—467

## SYNCHRONOUS INVESTIGATION ON PHYTOPLANKTON COMMUNITY OF THE JIAOZHOU BAY IN SUMMER 2009

YANG Shi-Min<sup>1</sup> WANG Li-Sha<sup>2</sup> SHI Xiao-Yong<sup>2,3</sup>

(1. Vessel Center Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, SOA, Beijing 100194, China)

**Abstract** A synchronous investigation was conducted at 14:00 on 17, August 2009 in the Jiaozhou Bay in 21 grid stations on phytoplankton data. Three classes including 35 genera and 65 species were identified. The average cell abundance was 77.2cell/mL. The abundance and distribution of diatoms determined the total variation of the phytoplankton abundance. The dominant species were *Skeletonema costatum* and *Cerataulina pelagica*. The horizontal distribution of phytoplankton cell abundance was higher in the north, lower in the south. The vertical distribution of phytoplankton cell abundance was significantly lower at the surface layer than at the bottom. The horizontal distribution of phytoplankton Shannon-Wiener index and Pielou index demonstrated that phytoplanktonic community structure was even and stable in the northwestern and southern parts of the bay. The phytoplankton cell abundance correlated negatively to the salinity, and positively to the nitrate, nitrite, and phosphate.

**Key words** phytoplankton; Jiaozhou Bay; summer; community structure; synchronous investigation