

# 2010 年冬季胶州湾浮游植物群落结构特征\*

石晓勇<sup>1,3</sup> 王丽莎<sup>1</sup> 杨世民<sup>2①</sup>

(1. 中国海洋大学化学化工学院 青岛 266100; 2. 中国海洋大学船舶中心实验室 青岛 266003;  
3. 国家海洋局海洋减灾中心 北京 100194)

**摘要** 研究了 2010 年冬季胶州湾 23 个大面站浮游植物的群落结构特征。共检出浮游植物 5 门 44 属 69 种, 平均细胞丰度为 222.8cell/mL, 其中硅藻在物种数量和细胞丰度上占绝对优势。主要优势种为柔弱几内亚藻 *Guinardia delicatula*、扭链角毛藻 *Chaetoceros tortissimus*、诺氏海链藻 *Thalassiosira nordenskiöldii* 和尖刺伪菱形藻 *Pseudo-nitzschia pungens*。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低, 而垂直分布则为上各水层之间细胞丰度相差别不大。表层浮游植物的 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数变化较大, 分布显示胶州湾深水区东南至湾口海域浮游植物群落更加均匀稳定, 而近岸区可能受海冰影响情况较复杂。与环境因子的相关分析表明浮游植物细胞丰度与铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、硅酸盐呈显著的正相关。

**关键词** 浮游植物; 胶州湾; 冬季; 群落结构; 海冰

中图分类号 Q178.53 doi: 10.11693/hyhz20140700211

2010 年冬季, 受北方寒潮的影响胶州湾潮间带及浅海大面积结冰, 养殖业损失严重, 这一时期胶州湾的环境状况深受各界关注。至 2 月初, 除胶州湾北部还有少量海冰外, 其余海域海冰已基本消融, 因此我们及时对胶州湾进行了环境调查。低温的海水环境不利于浮游植物的生长, 海冰的覆盖会造成光照不足, 更加剧了对浮游植物生长的抑制作用(Hegseth *et al*, 2002; Fonda *et al*, 2005; 李宏亮等, 2007; 张芳等, 2012)。此时的大面站调查, 有助于我们了解低温自然灾害情况下浮游植物群落结构的特点, 本文即是通过本次调查采集的水样对浮游植物群落结构进行了分析研究, 并参阅了以往国内学者的历史资料(钱树本等, 1983; 王文海, 1993; 齐雨藻, 2004; 吴玉霖等, 2004, 2005; Li *et al*, 2005; 李艳等, 2005; 杨世民等, 2009), 为胶州湾生态系统动力学的研究提供基础资料, 也为胶州湾这一时期海洋环境的评价提供科学依据。

## 1 材料与方法

胶州湾冬季调查共设立 23 个大面站, 其分布见

图 1。调查时间为 2010 年 2 月 4 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 Nikon TS100 倒置显微镜下进行浮游植物物种鉴定(金德祥等, 1965; 郭玉洁, 2003; 杨世民等, 2006; Tomas, 1997)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

胶州湾冬季浮游植物样品经初步鉴定, 调查期内共检出浮游植物 69 种, 分别隶属于 5 门 44 属。其

\* 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2010CB428701 号, 2005CB422305 号。石晓勇, 博士, 教授, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

通讯作者: 杨世民, 硕士, 副教授, E-mail: yangplankton@163.com

收稿日期: 2014-07-31, 收修改稿日期: 2014-09-03

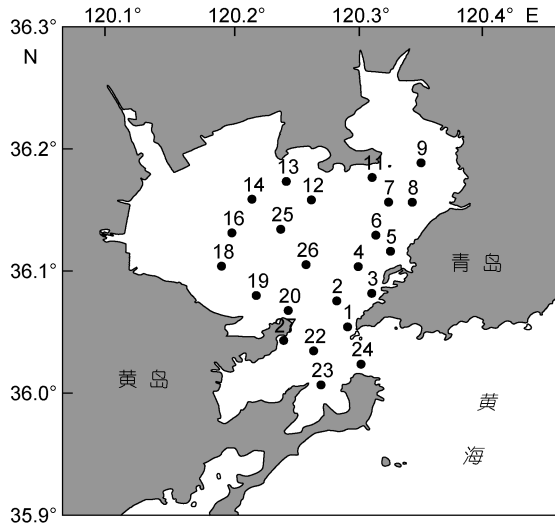


图 1 胶州湾冬季取样站位

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

中硅藻门 32 属 54 种(包括 2 变型); 甲藻门 9 属 12 种; 金藻门 1 属 1 种; 蓝藻门 1 属 1 种; 隐藻门 1 属 1 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。硅藻占细胞丰度的 80%—100%, 平均 98.81%; 甲藻占细胞丰度的 0—20%, 平均 1.18%; 金藻、蓝藻、隐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物种, 也有少量冷水性物种。

冬季胶州湾浮游植物的主要优势种均为硅藻: 柔弱几内亚藻(*Guinardia delicatula*)、扭链角毛藻(*Chaetoceros tortissimus*)、诺氏海链藻(*Thalassiosira nordenskiöldii*) 和尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)。其中柔弱几内亚藻的优势度最高, 为 0.213; 尖刺伪菱形藻的出现频度最高, 为 0.952。

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

中文名	拉丁种名	中文名	拉丁种名
<b>硅藻门</b>	<b>Bacillariophyta</b>	菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.
波状辐裯藻	<i>Actinopterychus senarius</i> (Ehr.)Ehrenberg	具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve
翼茧形藻	<i>Amphiprora alata</i> (Ehr.) Kützing	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> spp.
双眉藻	<i>Amphora</i> sp.	曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> spp.
派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i> (Müller)Hendey	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve)Hasle
马鞍藻	<i>Campylodiscus</i> sp.	翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i> (Peragallo)Ostenfeld
大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve)Hendey	覆瓦根管藻	<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell
卡氏角毛藻	<i>Chaetoceros castracanei</i> Karsten	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell
扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</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.
冕孢角毛藻	<i>Chaetoceros diadema</i> (Ehrenberg 1854)Gran	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.
窄面角毛藻	<i>Chaetoceros paradoxus</i> Cleve	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow
扭链角毛藻	<i>Chaetoceros tortissimus</i> Gran	鼓胀海链藻	<i>Thalassiosira gravida</i> Cleve
棘冠藻	<i>Corethron criophilum</i> Castracane	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> Grough	<b>甲藻门</b>	<b>Dinophyta</b>
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	叉状角藻	<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparide et Lachmann
威利圆筛藻	<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran & Angst	线纹角藻	<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	小翼甲藻	<i>Diplopsalis minor</i> (Pausen)Pavillard
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i> (Kuetz.)Grunow	多纹膝沟藻	<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein
新月柱鞘藻	<i>Cylindrotheca closterium</i> Reimann et Levin	无纹环沟藻	<i>Gyrodinium instriatum</i> Freudenthal & Lee
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West)Grunow	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Ehrenberg
浮动弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	圆壳甲藻	<i>Phalacroma rotundatum</i> Kofoid & Michener

续表

中文名	拉丁种名	中文名	拉丁种名
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> spp.	锥形原多甲藻	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve)Hasle et al	灰甲原多甲藻	<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh
薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane)Peragallo	实脚原多甲藻	<i>Protoperidinium solidicorne</i> (Mangin) Balech
斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth)Hasle et al	锥状斯克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	<b>金藻门</b>	<b>Chrysophyta</b>
短楔形藻	<i>Licmophora abbreviata</i> Agardh	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg
膜状缪氏藻	<i>Meuniera membranacea</i> (Cleve)Silva	<b>蓝藻门</b>	<b>Cyanophyta</b>
舟形藻	<i>Navicula</i> spp.	念珠藻	<i>Nostoc</i> sp.
洛氏菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow	<b>隐藻门</b>	<b>Cryptophyta</b>
琴式菱形藻	<i>Nitzschia panduriformis</i> Gregory	隐藻	<i>Cryptomonas</i> sp.

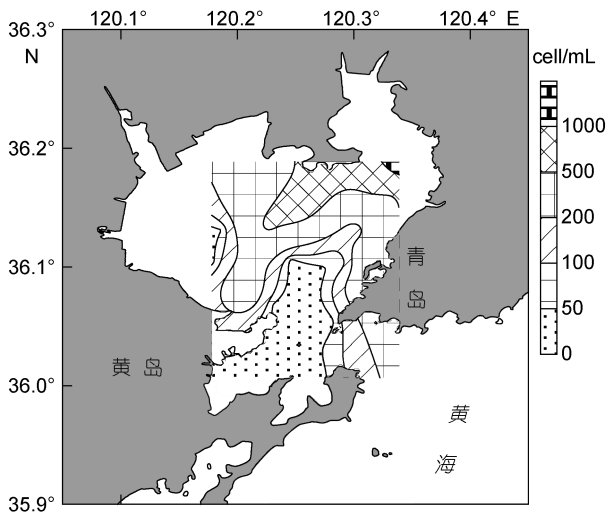


图2 表层水体浮游植物细胞丰度的平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance

## 2.2 浮游植物的细胞丰度

冬季胶州湾浮游植物的细胞丰度介于 0.5—1270.6cell/mL, 平均 222.8cell/mL, 最高值位于湾东北部区域 9 号站表层。硅藻细胞丰度介于 0.4—1270.6cell/mL, 平均 222.4cell/mL, 最高值亦位于 9 号站表层; 甲藻细胞丰度介于 0—2.5cell/mL, 平均 0.3cell/mL, 最高值位于湾口区域 24 号站表层。

**2.2.1 表层平面分布特征** 冬季胶州湾表层水体浮游植物细胞丰度介于 2.5—1270.6cell/mL, 平均 275.0cell/mL, 略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 9 号站, 并在胶州湾东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)。

表层水体硅藻细胞丰度介于 2.5—1270.6cell/mL, 平均 274.7cell/mL。最高值亦位于湾东北部区域 9 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—2.5cell/mL, 平均 0.3cell/mL, 总体细胞丰度较低。最高值位于湾口区域 24 号站, 分布趋势为胶州湾东北部和南部湾口海域较高, 中西部海域较低(图 3b)。

与 1977 年网采历史调查资料相比(钱树本等, 1983), 浮游植物细胞丰度的分布趋势有所不同, 1977 年冬季胶州湾浮游植物在湾东南部形成细胞丰度密集区, 但本次调查细胞丰度密集区在湾东北部, 而且本次调查的细胞丰度也低于 1977 年同期细胞丰度。出现这种情况的原因主要是 1977 年 2 月浮游植物群落的优势种中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和角毛藻属(*Chaetoceros* spp.)的物种在本次调查中细胞丰度值较低。尤其是角毛藻属的物种, 1977 年冬季在胶州湾东南部形成细胞丰度高值区, 而本次调查中无此情况, 这也是本次调查与 1977 年同期细胞丰度分布趋势不同的主要原因。另外, 相对于中肋骨条藻和角毛藻属的物种, 本次调查的最优势物种柔弱几内亚藻更适应低温的环境(杨世民等, 2009), 这也从反面证明了本次调查期间海冰、低温对浮游植物群落结构变化的影响。

**2.2.2 垂直分布特征** 冬季胶州湾浮游植物的垂直分布如图 4a, 由于胶州湾浅水样品的数量大大多于深水样品的数量, 因此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, 但浮游植物真正的垂直分布是趋向于均匀, 除个别站位外各水层之间细胞丰度相差不大。

冬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。甲藻的垂直分布如图 4c, 其主要分布在表层、5m 和 10m 层。如果扣除表层样品较多的因素外, 总体趋势应为由表至底细胞丰度逐渐升高。

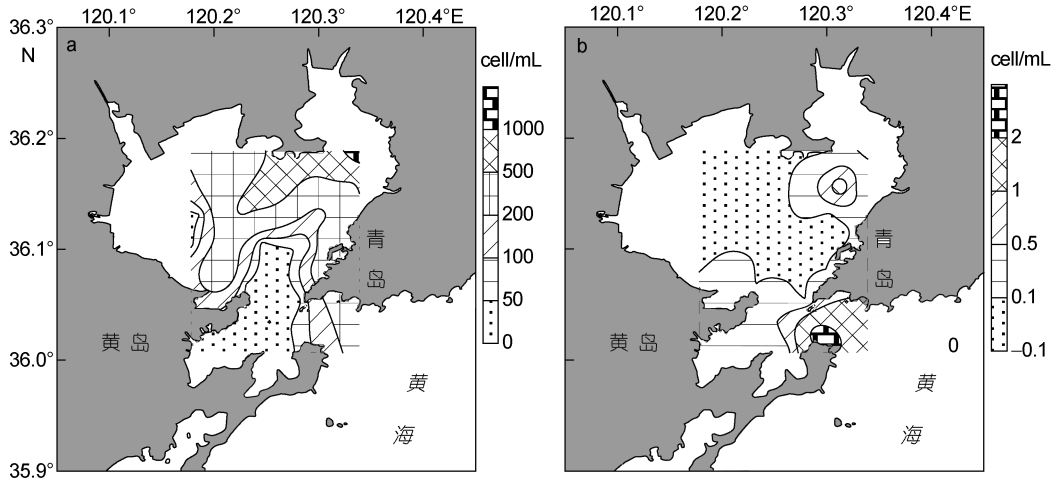


图 3 表层水体浮游硅藻细胞丰度和浮游甲藻细胞丰度的平面分布

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

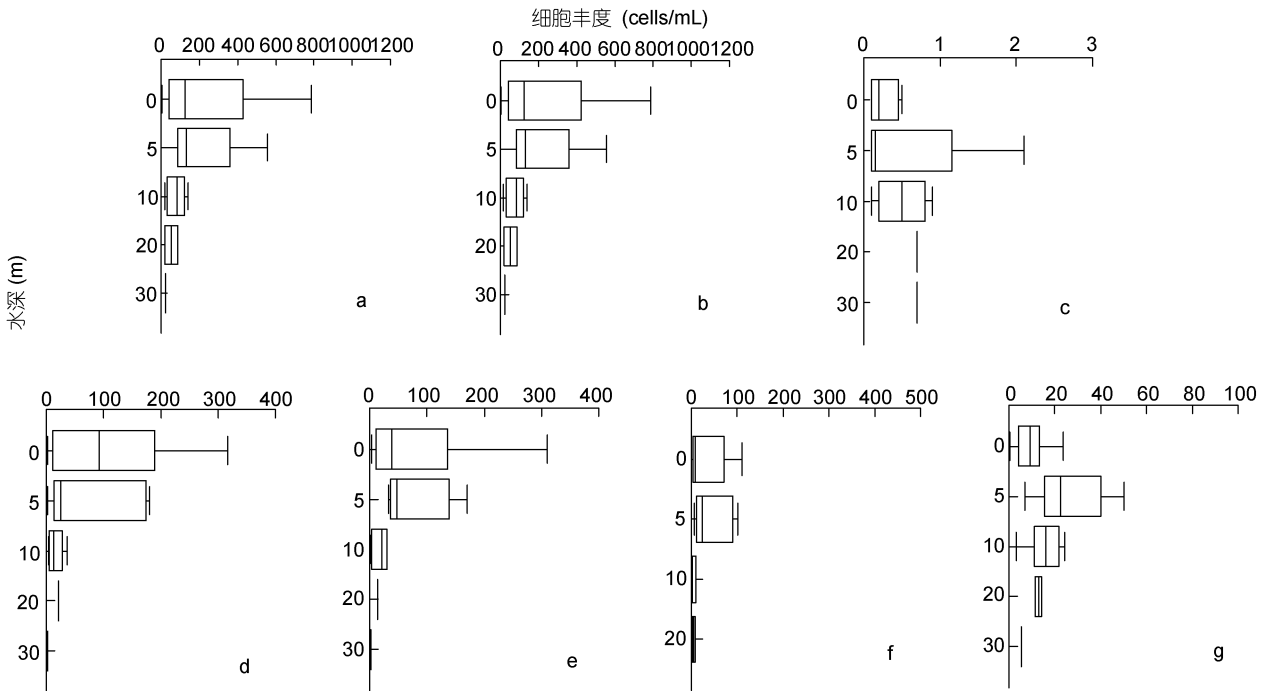


图 4 冬季胶州湾浮游植物、硅藻、甲藻及优势种细胞丰度的垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of phytoplankton cell abundance, planktonic diatom cell abundance, planktonic dinoflagellate cell abundance and dominant species cell abundance in Jiaozhou Bay in winter  
a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 柔弱几内亚藻; e. 扭链角毛藻; f. 诺氏海链藻; g. 尖刺伪菱形藻

2.2.3 表层优势种平面分布特征 胶州湾冬季浮游植物呈现优势种较多、优势种之间优势度差别不明显的特点, 优势种的表层平面分布如图 5 所示。柔弱几内亚藻为温带近岸性种, 是调查期内胶州湾的最优势物种。细胞丰度介于 0—317.2cell/mL, 平均

62.5cell/mL, 最高值位于湾西北部区域 14 号站表层。柔弱几内亚藻的出现频度并不高, 在优势种中是最低的, 但其出现的细胞丰度较高的站位最多。在表层水体分布的高值区位于胶州湾北部水域, 呈现北高南低的分布趋势。

扭链角毛藻为北温带近岸性种。细胞丰度介于 0—310.0cell/mL, 平均 55.8cell/mL, 最高值位于湾东北部区域 9 号站表层。扭链角毛藻主要出现在胶州湾东部和北部海域, 出现频度为 0.833。在表层水体分布的高值区亦位于胶州湾东部和北部, 呈现东北高、西南低的分布趋势。

诺氏海链藻为北方或北极近海性种。细胞丰度介于 0—474.6cell/mL, 平均 37.8cell/mL, 最高值亦位于湾东北部区域 9 号站表层。诺氏海链藻主要出现在胶州湾北部海域, 出现频度同样为 0.833。在表层水体的分布趋势为北高南低。

尖刺伪菱形藻为广温性近岸种。细胞丰度介于 0—87.0cell/mL, 平均 16.6cell/mL, 最高值位于湾中部区域 26 号站 10m 层。尖刺伪菱形藻在胶州湾分布很广, 出现频度在优势种中最高。在表层水

体的分布趋势为湾中部较高, 由此向北、向南逐渐降低。

与历史资料相比(钱树本等, 1983; 齐雨藻, 2004; 杨世民等, 2009)这些物种的优势种地位并没有发生改变, 尤其是柔弱几内亚藻在青岛前海细胞丰度曾达到近  $10^3$ cell/mL(杨世民等, 2006, 2009), 因此其在今后的调查研究中应予以重点关注。

2.2.4 优势种垂直分布特征 冬季胶州湾浮游植物优势种柔弱几内亚藻和扭链角毛藻的垂直分布如图 4d、4e, 其垂直分布趋势与浮游植物总的分布趋势相似, 扣除表层样品较多的因素, 垂直分布是趋向于均匀, 各水层之间细胞丰度相差不大。

优势种诺氏海链藻和尖刺伪菱形藻的垂直分布如图 4f、g, 其分布趋势与甲藻相似, 总体趋势为由表至底细胞丰度逐渐升高。

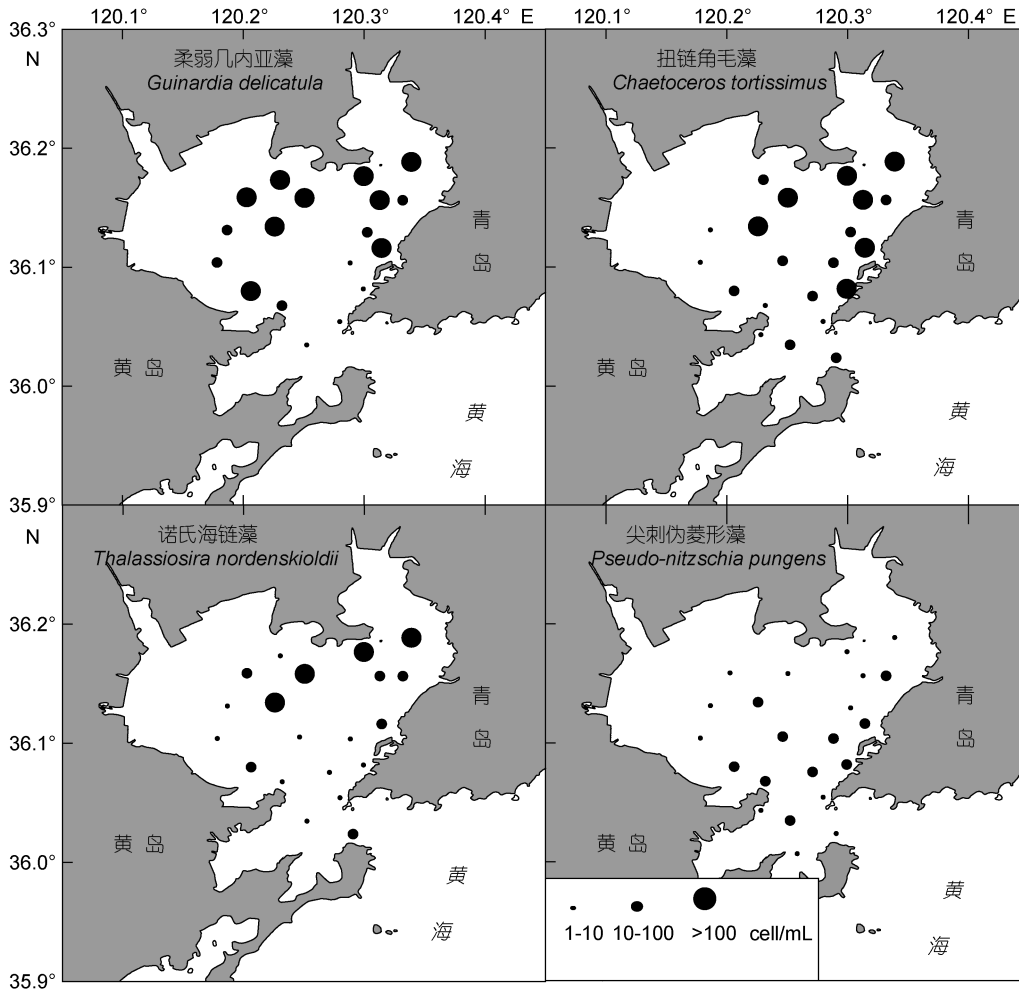


图 5 表层水体浮游植物优势种细胞丰度的平面分布  
Fig.5 Horizontal distribution in cell abundance of dominant phytoplankton species

### 2.3 浮游植物群落的多样性

冬季胶州湾浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数值介于 0.497—3.404, 平均值 2.335, 其值总体较高。多样性指数在表层水体的平面分布见图 6a, 高值区位于胶州湾口, 而低值区位于胶州湾西北部海域。胶州湾冬季浮游植物优势种较多, 在某一站位某一水层往往有多个优势种出现, 从而形成了较为复杂的群落结构, 而在湾西北部海域, 可能受到海冰等自

然条件的影响, 浮游植物形成了以柔弱几内亚藻为单一优势种的较为简单的群落结构。

冬季胶州湾浮游植物的均匀度指数值介于 0.150—0.831, 平均值 0.600, 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, 其分布趋势为东南至胶州湾口为高值区, 由此向西北逐渐降低, 因此胶州湾冬季东南至胶州湾口海域浮游植物群落更加稳定。

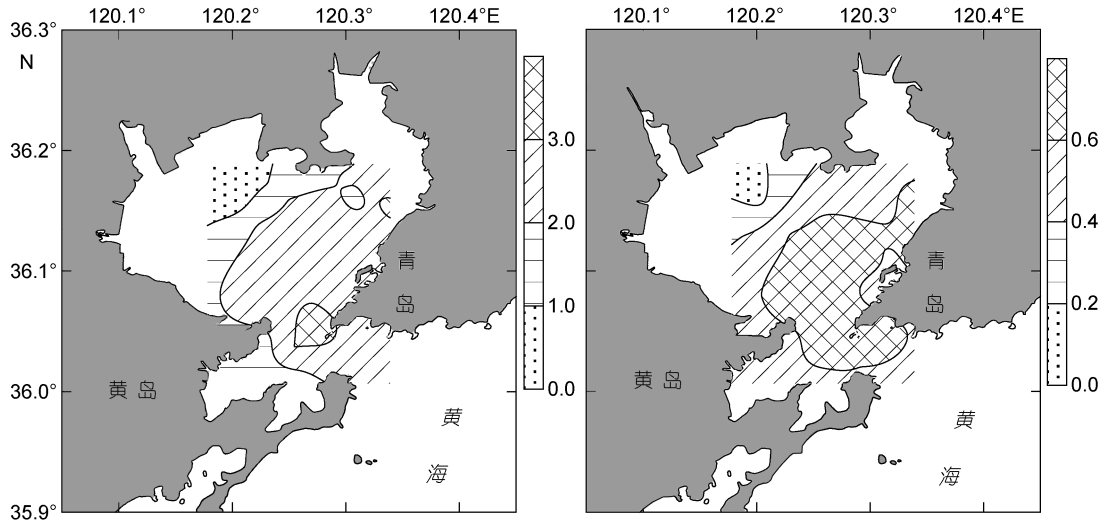


图 6 表层水体 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的平面分布

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

### 2.4 浮游植物与环境因子的关系

胶州湾冬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铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、硅酸盐均呈密切的正相关, 优势种中柔弱几内亚藻、扭链角毛藻、诺氏海链藻亦与此四种营养盐呈密切的正相关。本次调查期间浮游植物和多数优势种与氮、硅的相关

关系非常显著, 说明氮、硅是这一时期促进浮游植物生长的主要因素。而调查期间硅酸盐浓度总体较低, 这是由于硅藻生长繁殖需要硅酸盐组成硅质细胞壁和进行生物合成的调节(De La Rocha *et al*, 1998; 杨小龙等, 1990; 彭欣等, 2006), 从而消耗了大量的硅, 这也从另一方面证明了硅酸盐对浮游植物生长的促进作用。

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

	铵盐	硝酸盐	亚硝酸盐	磷酸盐	硅酸盐
细胞丰度	0.604**	0.748**	0.650**	0.295	0.682**
硅藻丰度	0.604**	0.748**	0.650**	0.295	0.683**
甲藻丰度	-0.189	-0.183	-0.210	-0.187	-0.184
柔弱几内亚藻丰度	0.467**	0.743**	0.657**	0.227	0.590**
扭链角毛藻丰度	0.538**	0.605**	0.508**	0.203	0.537**
诺氏海链藻丰度	0.662**	0.705**	0.673**	0.341*	0.768**
尖刺伪菱形藻丰度	-0.153	-0.158	-0.227	0.337*	-0.205

\*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 2009 年 5 月春季(杨世民等, 2014)、2009 年 8 月夏季(杨世民等, 2015)的调查结果相比较, 虽然细胞丰度低于 2009 年春季, 但从与环境因子显著的相关关系可以看出浮游植物的生长非常旺盛, 说明随着胶州湾水温的升高、海冰的消融, 浮游植物开始利用营养盐等有利因素大量繁殖, 这一时期浮游植物的生长状态是三次调查中最好的。

## 3 结论

(1) 2010 年冬季胶州湾共发现浮游植物 5 门 44 属 69 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物种, 也有少量冷水性物种。

(2) 胶州湾冬季平均细胞丰度 222.8cell/mL, 平面分布趋势为北部高于南部, 垂直分布则是趋向于均匀, 各水层之间细胞丰度相差不大。

(3) 调查期内胶州湾浮游植物优势种为柔弱几内亚藻、扭链角毛藻、诺氏海链藻和尖刺伪菱形藻。平面分布除尖刺伪菱形藻高值区位于胶州湾中部海域外, 其余优势种均呈现细胞丰度北高南低的分布趋势; 垂直分布趋势柔弱几内亚藻和扭链角毛藻为各水层之间细胞丰度相差不大, 而诺氏海链藻和尖刺伪菱形藻为由表至底细胞丰度逐渐升高。

(4) 冬季胶州湾浮游植物 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的值均较高, 其分布显示胶州湾东南至胶州湾口海域浮游植物群落更加稳定, 而湾西北部海域浮游植物群落较为单一, 这种分布趋势可能与胶州湾西北部海域海冰的存在有关。

(5) 胶州湾冬季浮游植物和硅藻细胞丰度以及优势种中的柔弱几内亚藻、扭链角毛藻、诺氏海链藻与铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、硅酸盐均呈显著的正相关关系。

## 参 考 文 献

王文海, 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  
 齐雨藻, 2004. 中国沿海赤潮. 北京: 科学出版社, 1—348  
 李宏亮, 陈建芳, 刘子琳等, 2007. 北极楚科奇海和加拿大海盆南部颗粒生物硅的粒级结构. 自然科学进展, 17(1): 72—78  
 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  
 杨小龙, 朱明远, 1990. 浮游植物营养代谢研究新进展. 黄渤

海海洋, 8(3): 65—74  
 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): 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  
 杨世民, 王丽莎, 石晓勇, 2015. 2009 年夏季胶州湾同步调查浮游植物群落结构特征. 海洋与湖沼, 46(1): 102—108  
 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  
 吴玉霖, 孙 松, 张永山, 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 芳, 何剑锋, 郭超颖等, 2012. 夏季北冰洋楚科奇海微型、微型浮游植物和细菌的丰度分布特征及其与水团的关系. 极地研究, 24(3): 238—246  
 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, 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, 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  
 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  
 De La Rocha C L, Brzezinski M A, DeNiro M J *et al*, 1998. Silicon-isotope composition of diatoms as an indicator of past oceanic change. *Nature*, 395(6703): 680—683  
 Fonda U S, Monti M, Bergamasco A *et al*, 2005. Plankton community structure and dynamics versus physical structure from Terra Nova Bay to Ross Ice Shelf (Antarctica). *Journal of Marine Systems*, 55(1—2): 31—46  
 Hegseth E N, Von Quillfeldt C H, 2002. Low phytoplankton biomass and ice algal blooms in the Weddell Sea during the ice-filled summer of 1997. *Antarctic Science*, 14(3): 231—243  
 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. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1—38

## PHYTOPLANKTON COMMUNITY OF JIAOZHOU BAY IN WINTER 2010

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

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

**Abstract** We studied the characteristics of phytoplankton community based on phytoplankton data from 23 grid stations in the Jiaozhou Bay in winter 2010. Five classes including 44 genera and 69 species were identified. The average cell abundance was 222.8 ind./mL. The abundance and distribution of diatoms reflected the overall variation of phytoplankton. The dominant species were *Guinardia delicatula*, *Chaetoceros tortissimus*, *Thalassiosira nordenskiöldii*, and *Pseudo-nitzschia pungens*. The phytoplankton cell abundance was higher in the northern section and lower in the southern in horizontal distribution, and no significant difference from surface layer to the bottom in vertical distribution. The horizontal distribution of phytoplankton Shannon-Wiener index varied greatly from 0.497 to 3.404 in average of 2.335, high in the mouth area and low in the northwestern section due probably to the impact of sea ice. The Pielou index ranged 0.150—0.831 in average of 0.600, which is quite high in overall, high in the southeastern section and the mouth and low in the northwestern. Therefore, the phytoplanktonic community structure was comparatively even and stable in the deep area but near-coast shallow area. In addition, the phytoplankton cell abundance correlated positively to the ammonia, nitrate, nitrite, and silicate.

**Key words** phytoplankton; Jiaozhou Bay; winter; community structure; sea ice