



## 2006 年夏季渤海湾赤潮重点监控区的网采浮游植物群落

张秋丰, 尹翠玲, 徐玉山, 石海明  
(国家海洋局天津海洋环境监测中心站, 天津 300450)

**摘要:** 研究了 2006 年夏季渤海湾赤潮重点监控区 6 个测站大面积调查的网采浮游植物物种及其群落特征, 共发现浮游植物 5 门 32 属 60 种, 物种主要以硅藻为主, 但甲藻在群落中的比重也很明显, 在个别站位上成为优势类群. 优势物种主要为格氏圆筛藻 (*C. granii* Gough)、星脐圆筛藻 (*C. asteromphalus*)、琼氏圆筛藻 (*C. jonesianus*) 和中华盒形藻 (*Biddulphia sinensis*). 细胞丰度的站位分布主要由浮游硅藻的分布所决定, 其高值区分布在 4 号站位.

**关键词:** 浮游植物; 渤海; 群落结构; 赤潮

中图分类号: S944.3\*49

文献标识码: A

文章编号: 1672-6510 (2007) 03-0019-05

### The Phytoplankton Community Sampled by Nets in the Dominant Area Monitoring Red Tide in Bohai Bay in Summer, 2006

ZHANG Qiu-feng, YIN Cui-ling, XU Yu-shan, SHI Hai-ming  
(Tianjin Marine Environmental Monitoring Central Station, SOA, Tianjin 300450, China)

**Abstract:** Features of phytoplankton community sampled by nets in the dominant area monitoring red tide in Bohai Bay were studied at 6 grid stations in summer, 2006. The phytoplankton samples were analyzed and the data indicated that five classes, including 32 genera and 60 species were commonly found in the survey stations. The main phytoplankton was diatoms, but the dinoflagellates were also important in the phytoplankton community, becoming the dominant group at some study stations. The dominant species were *C. granii* Gough, *C. asteromphalus*, *C. jonesianus* and *Biddulphia sinensis*. Phytoplankton cell abundances in the 4 stations were determined by the cell abundance of diatoms, which reached the maximum at the fourth station.

**Keywords:** phytoplankton; Bohai Bay; community; red tide

浮游植物是海洋有机质的主要生产者, 它不但是浮游动物的基础饵料, 也是海洋食物网结构的基础环节, 在海洋生态系统的物质循环与能量转换过程中起着重要作用. 浮游植物数量的研究是海洋生态系统容纳量的重要指标. 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, 继而影响到整个海洋生态系统. 近年来的研究还表明, 海洋浮游植物群落的改变可以反映环境的变化<sup>[1]</sup>.

从 20 世纪 30 年代以来, 我国学者就曾多次组织对渤海浮游植物群落进行阶段性综合调查和研究<sup>[2-11]</sup>, 前期的研究工作以分类和研究物种的生态分布习性为主<sup>[2]</sup>, 1957—1959 年对渤海整个广大海区浮游植物进行了调查, 经鉴定的浮游植物有 81 种, 其中, 1959 年的研究表明, 浮游植物群落中以角毛

硅藻为主, 但在辽东湾发现圆筛藻属硅藻是该区毛虾的主要饵料<sup>[3,4]</sup>. 1992 年秋—1993 年春季对渤海浮游植物种群动态的研究结果表明<sup>[5]</sup>, 硅藻门中以角毛藻的种类最多, 其次是圆筛藻, 甲藻门以角藻的种类数量较多; 与 1959 年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; 1992—1993 年的浮游植物年平均量低于 1959 年同期, 可能与 1992—1993 年渤海无机磷的降低有一定关系. 1998—2002 年春、夏、秋和冬季对渤海中部和渤海海峡及其邻近海域大面调查的网采浮游植物物种及其群落特征分析表明<sup>[6-11]</sup>, 硅藻在渤海的浮游植物群落中占据主要地位, 最主要的为圆筛藻属 (*Coscinodiscus*) 和角毛藻属 (*Chaetoceros*) 的浮游植物. 由于以前的研究工作只是短时间的甚至是不连续

收稿日期: 2006-12-27; 修回日期: 2007-05-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2005AA635200)

作者简介: 张秋丰 (1965—) 男, 河北秦皇岛人, 高级工程师; 通讯作者: 尹翠玲 (1980—), 女, 助理工程师.

的调查,未能全面地反映该海域整个季节的浮游植物群落特征.渤海湾属于半封闭式海域,水体交换能力差,又加上夏季阳光充足,水体富营养化,非常适于浮游植物的生长,所以近二十多年来赤潮频发,其赤潮发生的时间越来越早,频率越来越高,受灾面积越来越大,持续时间越来越长,使我国的海洋经济受到严重损失.本文研究了2006年夏季渤海湾赤潮重点监控区网采浮游植物物种及其群落特征,通过连续长时间的采样和分析,全面反映了该海域夏季浮游植物种类和群落特征的变化情况,为更好地了解渤海湾浮游植物以及预防赤潮提供基础资料.

### 1 材料与方法

于2006年5月22日至8月28日在渤海湾赤潮重点监控区进行水文、气象、化学和生物的综合调查,考察船为冀海渔1018号,所采样品的站位图见图1,其监测站位坐标见表1,其中1号,2号和4

号站位为连续监测站位,3号,5号和6号站位每三天进行一次监测,同时在1号和2号站位布设了2个浮标进行数据的监测.按照海洋调查规范,采样工具为III型浮游生物网(网口直径37cm,网口面积0.1m<sup>2</sup>,网目孔径77μm),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5%甲醛固定和保存.实验室内浮游植物样品经浓缩,取0.5mL亚样品在本实验室的计数框中于Olympus BX51研究显微镜下,进行浮游植物物种鉴定和细胞计数.

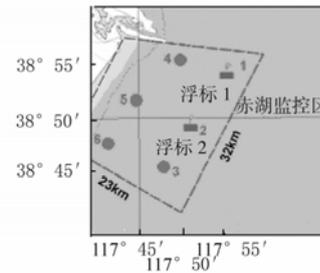


图1 渤海湾浮游植物调查站位

Fig. 1 Phytoplankton sampling stations in the Bohai Bay

表1 渤海湾监测站位坐标

Tab.1 Coordinate of monitoring stations in the Bohai Bay

站号	纬度	经度	备注
1	38° 54' 34"	117° 55' 48"	(1) 异常期, 站位布设适当增加 2—4 个, 如赤潮发生在监控区外, 可临时增加站点. (2) 浮标设在监测站位, 便于比测验证; 如赤潮发生在监控区外, 可临时将浮标布设在赤潮发生区.
2	38° 52' 20"	117° 51' 11"	
3	38° 45' 32"	117° 47' 55"	
4	38° 55' 47"	117° 50' 11"	
5	38° 51' 54"	117° 44' 42"	
6	38° 47' 43"	117° 41' 15"	
浮标 1	38° 54' 34"	117° 55' 48"	
浮标 2	38° 49' 20"	117° 51' 21"	

根据国家海洋监测技术规程,本文采用优势度  $Y$  和物种多样性指数  $H'$  (香农—威纳指数) 来研究浮游植物群落的多样性特征.多样性指数都是以每站的浮游植物样品为一样方来进行计算的.

$$Y = \frac{n_i}{N_i} \times f_i$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \times \log_2 P_i$$

式中:  $N_i$  为样品中所有物种的总个体数,  $n_i$  为第  $i$  种的总个体数,  $f_i$  为该种在各样品中出现的频率;  $s$  为样品中的物种总数,  $P_i$  为样方中的  $i$  种所占的比例.

### 2 结果

#### 2.1 种类组成

自从王家楫 1936 年<sup>[2]</sup>对渤海浮游植物的研究

开始,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 5 门 32 属 60 种(见表 2),其中硅藻 16 属 39 种,甲藻 10 属 18 种,金藻 1 属 1 种,黄藻门 1 属 1 种,其他的还有红色中蛭虫 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.在物种数量上,硅藻占 65%,甲藻占 30%,其他的总共占 5%.在调查过程中发现,金藻中的小等刺硅鞭藻在某些站位中出现,黄藻门主要是海洋卡盾藻.各站位优势物种的分布可见表 3.在各个站位中格氏圆筛藻均为优势种.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.

表 2 渤海湾调查站位浮游植物的物种

Tab. 2 Phytoplankton species in survey situations in the Bohai Bay

种类	种类
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp. Ehrenberg, 1839
格氏圆筛藻	<i>C. granii</i> Gough, 1905
星脐圆筛藻	<i>C. asteromphalus</i> Ehrenberg, 1844
琼氏圆筛藻	<i>C. jonesianus</i> Ostefeld, 1915
威氏圆筛藻	<i>C. walesii</i> Gran & Angst, 1931
巨圆筛藻	<i>C. gigas</i> Ehrenberg, 1841
虹彩圆筛藻	<i>C. oculusiridis</i> Ehrenberg, 1839
中心圆筛藻	<i>C. centralis</i> Ehrenberg, 1844
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp. Ehrenberg, 1844
洛氏角毛藻	<i>C. lorenzianus</i> Grunow, 1863
密联角毛藻	<i>C. densus</i> Cleve, 1901
北方角毛藻	<i>C. borealis</i> Bailey, 1854
旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i> Cleve, 1889
窄隙角毛藻	<i>C. affinis</i> Lauder, 1864
克尼角毛藻	<i>C. knipowitschii</i> Henckel, 1909
根管藻	<i>Rhizosolenia</i> spp.(Ehrenberg)Brightwell, 1858
刚毛根管藻	<i>R. setigera</i> Brightwell, 1858
斯托根管藻	<i>R. stolterfothii</i> Peragallo, 1888
柔弱根管藻	<i>R. delicatula</i> Cleve, 1900
印度翼根管藻	<i>R. alata f. Indica</i> (Peragallo) Ostefeld
浮动弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg, 1839
海线藻	<i>Thalassionema</i> spp. Grunow, 1885
菱形海线藻	<i>T. nitzschiodes</i> Grunow, 1885
佛氏海毛藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> Grunow, 1880
日本星杆藻	<i>Asterionella japonica</i> Cleve, 1878
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier, 1910
诺氏海链藻	<i>T. nordenskioldi</i>
具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve, 1873
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow, 1881
尖刺菱形藻	<i>Nitzschia pungens</i> Grunow, 1933
长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>
相似曲舟藻	<i>Pleurosigma affine</i>
扭鞘藻	<i>Streptothecca thamesis</i>
中华盒形藻	<i>Bidduphia sinensis</i> Greville, 1866
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1878
豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i> Hensen
小环藻	<i>Cyclotella</i> spp. Kutzing, 1833
条纹小环藻	<i>C. striata</i> (Kutzing) Grunow, 1880
萎软几内亚藻	<i>Guianardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo, 1892
透明辐杆藻	<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder, 1860
裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> spp. Stein, 1878
红色裸甲藻	<i>Gymnodinium sanguineum</i> Hirasaka, 1922
膝沟藻	<i>Gonyaulax</i> spp. Diesing, 1866
春膝沟藻	<i>G. verior</i> Sournia, 1973
具刺膝沟藻	<i>G. spinifera</i> (Claparede & Lachmann) Diesing, 1866
多纹膝沟藻	<i>G. polygramma</i> Stein, 1883
塔玛亚历山大藻	<i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech, 1992
多甲藻	<i>Peridinium</i> spp. Ehrenberg, 1832
五角多甲藻	<i>P. pentagonum</i> (Grow) Balech, 1974
叉状角藻	<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparede & Lachmann, 1859
三角角藻	<i>C. tripos</i> (O.F.Muller) Nitzsch, 1817
闪光原甲藻	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg
微小原甲藻	<i>P. minimum</i> (Pavillard) Schiller, 1933
斯科里普藻	<i>Scrippsiella</i> spp. Balech ex Loeblich III, 1965
锥状斯科里普藻	<i>S. trochoidea</i> (Stein) Loeblich III, 1976
夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921
渐尖鳍藻	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparede & Lachmann, 1859
海洋卡盾藻	<i>Chattonella marina</i> (Subrahmanyan) Hara & Chihara, 1954
小等棘硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg, 1839
红色中缢虫	<i>Mesodinium rubrum</i> (Lohmann) Hamburger et Buddenbrock, 1911

表 3 2006年夏季渤海湾赤潮重点监控区优势物种

Tab. 3 Phytoplankton dominant species in the Bohai Bay in summer 2006

站位	物种	细胞密度/ (个/m <sup>3</sup> )	出现次数	占总次数 比例/%	占总细胞丰度 的比例/%	出现频度/%	优势度
4	格氏圆筛藻	13.2 × 10 <sup>6</sup>	17	22.3	26.9	89.5	0.225
	星脐圆筛藻	12.6 × 10 <sup>6</sup>	12	15.7	25.7	38.2	0.098
	琼氏圆筛藻	2.36 × 10 <sup>5</sup>	11	14.4	0.48	71.1	0.003 4
1	格氏圆筛藻	9.52 × 10 <sup>6</sup>	26	34.2	28.3	93.4	0.264
	星脐圆筛藻	6.27 × 10 <sup>6</sup>	8	10.5	18.7	32.9	0.062
2	格氏圆筛藻	5.99 × 10 <sup>6</sup>	24	31.6	25.1	89.5	0.225
	星脐圆筛藻	2.79 × 10 <sup>6</sup>	10	13.2	11.7	39.5	0.046
3	格氏圆筛藻	8.59 × 10 <sup>5</sup>	6	24	22.5	84	0.189
	中华盒形藻	5.91 × 10 <sup>5</sup>	6	24	15.5	76	0.118
5	格氏圆筛藻	6.69 × 10 <sup>5</sup>	6	24	5.97	95.8	0.057
6	格氏圆筛藻	1.47 × 10 <sup>6</sup>	9	36	19.6	95.8	0.188

### 3.2 浮游植物细胞丰度的站位分布

2006年渤海湾赤潮重点监控区夏季浮游植物细胞丰度的站位分布情况见表4。由表4可以看出,4号站位和1号站位细胞丰度变化幅度较大。另外,从各站位浮游植物的平均密度分布可知,4号站位的浮游植物平均细胞密度最高,3号站位的最低。

表4 渤海湾赤潮重点监控区浮游植物细胞丰度的站位分布

Tab. 4 Cell distribution among stations of phytoplankton in the dominant area of red tide in the Bohai Bay

站位	细胞密度/ $10^5$ 个· $m^{-3}$		
	最高密度	最低密度	平均密度
1	38.8	0.041 2	4.42
2	36.7	0.118	3.14
3	5.38	0.137	1.52
4	91.4	0.082 5	6.44
5	30.8	0.324	4.47
6	12.0	0.451	3.00

### 3.3 浮游植物多样性变化

2006年夏季渤海湾赤潮重点监控区各站位浮游植物多样性指数随时间的变化其变化较大,其中4号站位浮游植物的多样性指数从0.03到3.40,其中2006年6月18日和8月9日多样性指数最低,分别为0.86和0.03,主要是由于在此时赤潮重点监控区分别由于海洋卡盾藻和夜光藻的数量增多而发生赤潮的缘故。1号站位浮游植物的多样性指数从0.04到3.87,其中2006年8月8日和8月9日的多样性指数较低,分别为0.61和0.04,主要是由于夜光藻大量繁殖引发赤潮的缘故。2号站位浮游植物的多样性指数从0.09到5.30,其中2006年8月9日的多样性指数最低。3号站位浮游植物的多样性指数从0.39到3.75,其中2006年8月7日的多样性指数最低,也是由于赤潮的原因。5号站位浮游植物的多样性指数从0.34到3.24,其中2006年6月30日的多样性指数最低,主要是由于海洋卡盾藻的数量过大所致。6号站位浮游植物的多样性指数从0.32到3.65,其中2006年8月7日的多样性指数最低,主要是由于发生夜光藻赤潮的原因。

### 3.4 引发赤潮的生物种

2006年夏季渤海湾赤潮重点监控区共发生3次较大的赤潮,其中引发赤潮的生物种主要为海洋卡盾藻和夜光藻。在赤潮发生期间两种生物的细胞密度变化可见表5。渤海湾浮游植物群落结构变化趋势见表6。2006年6月26日天津驴驹河附近海域部分海水颜色呈现棕红色,且呈条带状分布。通过采样调查发现,个别站位有海洋卡盾藻的存在。6月30日在天津驴驹河附近海域( $N38^{\circ}47'04'' \sim N38^{\circ}54'07''$ ,  $E117^{\circ}41'15'' \sim E117^{\circ}51'11''$ )继续调查发现,海水表层海洋卡盾藻密度较大,表层达到 $1.36 \times 10^6$ 个/L,超过赤潮爆发密度标准( $1 \times 10^6$ 个/L),海洋卡盾藻赤潮形成。7月1日继续调查发现水表层海洋卡盾藻密度达到 $2.72 \times 10^5$ 个/L,低于赤潮爆发密度标准,此次赤潮逐渐消亡。2006年8月7日至8月11日,天津驴驹河附近海域部分海水颜色异常,爆发夜光藻赤潮,8月7日,海水中夜光藻密度达到 $1.15 \times 10^6$ 个/ $m^3$ ,接近赤潮爆发标准。8月8日夜光藻密度达到 $6 \times 10^3$ 个/L,超出赤潮爆发的密度标准,形成夜光藻赤潮。8月9日网样采集发现,夜光藻的密度仍然很高,样品颜色呈现粉红色,发生赤潮的面积达到 $300 \text{ km}^2$ 。8月10日夜光藻密度达到 $1.0 \times 10^6$ 个/ $m^3$ ,发生赤潮的面积约为 $100 \text{ km}^2$ ,处于赤潮的消亡阶段。8月11日仅在个别区域发现夜光藻,认为夜光藻赤潮已经消亡。

表5 海洋卡盾藻和夜光藻赤潮发生期间生物种密度的变化情况

Tab. 5 The change of cell densities of *Chattonella marina* and *Noctiluca scintillans* during the red tides

赤潮发生日期	赤潮生物	细胞密度
2006-06-26	海洋卡盾藻	654 个/L
2006-06-27	海洋卡盾藻	$8.7 \times 10^5$ 个/L
2006-06-30	海洋卡盾藻	$1.36 \times 10^6$ 个/L
2006-07-01	海洋卡盾藻	$2.72 \times 10^5$ 个/L
2006-08-07	夜光藻	$1.15 \times 10^6$ 个/ $m^3$ *
2006-08-08	夜光藻	$6 \times 10^3$ 个/L
2006-08-09	夜光藻	$2.6 \times 10^6$ 个/ $m^3$ *
2006-08-10	夜光藻	$1.0 \times 10^6$ 个/ $m^3$ *
2006-08-11	夜光藻	967 个/ $m^3$

注: ★ 因为条件所限,所采水样为网样。细胞密度指表层水中最高细胞密度。

表6 渤海湾浮游植物群落结构变化趋势

Tab. 6 The changes of community of phytoplankton in the Bohai Bay

群落	1959年		1992—1993年		1998年		2006年	
	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例
角毛藻属硅藻	12	95.06	$0.2 \times 10^4$	6.25	$21.20 \times 10^4$	46.92	$9.46 \times 10^9$	2.7
圆筛藻属硅藻	231	4.94	$3 \times 10^4$	93.75	$23.98 \times 10^4$	53.08	$3.41 \times 10^{11}$	97.3

注: 数量——细胞密度(个/ $m^3$ ); 比例——占两大种群的比例(%)。

## 4 讨论

通过对2006年渤海湾赤潮重点监控区夏季浮游植物群落特征的分析发现,渤海湾赤潮重点监控区所调查站位共发现浮游植物5门32属60种,群落以硅藻为主,浮游植物物种的生态类型多为温带近岸型的渤海本地种.通过比较1959年、1992年、1998年和2006年渤海浮游植物群落结构的变化可以看出,1959年的调查结果显示,浮游植物以角毛硅藻属为主,但在1951年辽东湾海区的调查过程中发现,星脐圆筛藻和琼氏圆筛藻是辽东湾海区中毛虾的主要饵料.1992—1993年同1959年历史同期相比,表现为角毛藻属衰退,浮游甲藻、圆筛藻属和浮动弯角藻兴起.1998年同1992年同期相比,浮游植物群落优势种群组成相似,但是甲藻在群落中的比重增大,在个别站位上成为优势类群,2006年渤海湾赤潮重点监控区的监测结果显示,在浮游植物群落中,圆筛藻属硅藻占据主要地位,角毛藻属硅藻中洛氏角毛藻和北方角毛藻只在个别站位中成为优势种,而甲藻门中叉状角藻在个别站位也成为优势种.总之,随着时间的推移,浮游植物群落中角毛硅藻逐渐衰退,圆筛硅藻和甲藻逐渐兴起.

渤海湾赤潮重点监控区浮游植物中硅藻占主要地位,其中圆筛藻属的比例明显增大,其优势种为格氏圆筛藻、星脐圆筛藻、琼氏圆筛藻和中华盒形藻,其中格氏圆筛藻为2006年夏季渤海湾赤潮重点监控区浮游植物的关键种.本种为硅藻门中心纲盘状硅藻目圆筛藻科圆筛藻属,该种为世界广布性种,分布范围比较广泛,远洋及近岸均有,春秋季黄海、渤海、东海常出现,以黄海、渤海较多.从浮游植物群落上考虑,圆筛藻属硅藻占据优势地位,可能是夏季渤海湾营养盐较丰富,比较适合硅藻生长的缘故,而且格氏圆筛藻个体较大,根据浮游植物体积和生物量关系的研究表明,大体积细胞的碳含量较高,在海洋生态系统中可以起到关键性的作用<sup>[12]</sup>,因此可将它们列为渤海湾浮游植物的关键种.这也从另一方面证实了“渤海湾浮游植物群落季节和周年的变化主要是物种演替过程”<sup>[10]</sup>的结论.

渤海湾赤潮重点监控区引发赤潮的生物种主要为海洋卡盾藻和夜光藻.海洋卡盾藻最适生长的温度为25℃,最适生长的盐度为25~30,而在此次渤海湾

海洋卡盾藻赤潮生消过程中,水温在26.10~28.13℃之间,平均为26.8℃,盐度在30.314~33.087之间,平均为32.02,海洋卡盾藻达到密度峰值时的温度为26.7℃,盐度为32.545,均接近于海洋卡盾藻的最适生长温度和盐度,可能适合的温度和盐度是形成海洋卡盾藻赤潮的主要原因.在夜光藻赤潮的整个生消过程中,三个站位的pH、叶绿素a含量、溶解氧、化学耗氧量和营养盐的变化均与夜光藻快速增殖前浮游植物的迅速生长有关,而浮游植物进行生长时需要大量吸收水体中的营养盐,所以水体的富营养化是造成此次夜光藻赤潮的主要原因.赤潮的发生总是伴随着水质理化因子的变化,表现为水体中浮游植物数量的异常,通过对网采浮游植物群落的分析,掌握渤海湾赤潮重点监控区的浮游植物组成和变化,为今后及时准确的预报赤潮奠定理论基础.

## 参 考 文 献:

- [1] Sathyendranath S, Gouveia A D, Shetya S R, et al. Biological control of surface temperature in the Arabian Sea[J]. *Nature*, 1991, 349: 54—56.
- [2] Wang C C. Dinoflagellata of the Gulf of pe-Hei[J]. *Sinensia*, 1936, 7 (2): 128—171.
- [3] 朱树屏, 郭玉洁. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛硅藻属的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1957, 1 (1): 27—94.
- [4] 朱树屏, 郭玉洁. 我国十年的海洋浮游植物研究[J]. *海洋与湖沼*, 1959, 2 (4): 223—232.
- [5] 王 俊, 康元德. 渤海浮游植物种群动态的研究[J]. *海洋水产研究*, 1998, 19 (1): 51—59.
- [6] 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): 1644—1656.
- [7] 孙 军, 刘东艳, 徐 俊, 等. 1999年春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 (9): 2003—2016.
- [8] 孙 军, 刘东艳. 2000年秋季渤海的浮游植物群落[J]. *海洋学报*, 2005, 27 (3): 124—132.
- [9] 孙 军, 刘东艳, 白 洁, 等. 2001年冬季渤海的浮游植物群落结构特征[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34 (3): 413—422.
- [10] 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[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33 (5): 461—471.
- [11] 曹春辉, 孙之南, 王学魁, 等. 渤海天津海域的网采浮游植物群落结构与赤潮植物的初步研究[J]. *天津科技大学学报*, 2006, 21 (3): 34—37.
- [12] 孙 军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 I [J]. *海洋学报*, 1999, 21: 75—85.