

北黄海浮游植物群落季节变化

刘述锡, 樊景凤, 王真良

国家海洋环境监测中心/国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室, 辽宁 大连 116023

摘要: 根据 2009 年 5 月 21 日—12 月 7 日北黄海浮游植物 4 个航次调查资料, 对该海域浮游植物的种类组成、优势种、细胞丰度及其分布、生物多样性等基本状况进行了分析, 并采用站位聚类分析手段对北黄海浮游植物做区域划分。结果表明, 4 个航次调查共鉴定浮游植物 3 门 22 属 56 种, 主要以温带近岸广温广盐性种为主。硅藻门种类数最多 45 种, 圆筛藻属的种类最多为 12 种, 其次为角毛藻属 9 种; 甲藻门 10 种, 种类数最多的是角藻属 4 种; 金藻门 1 种。4 个航次浮游植物细胞丰度介于 $0.3 \sim 18\ 103.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均为 $542.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。浮游植物丰度显示明显的季节变化, 表现为冬季($2105.1 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 秋季($29.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 夏季($25.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季($9.7 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$)。4 个航次浮游甲藻细胞丰度介于未检出 $\sim 80.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均为 $6.9 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$, 浮游甲藻细胞丰度按季节变化规律为夏季($13.9 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 秋季($8.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 冬季($2.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季($2.3 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$)。北黄海重要优势种是具槽帕拉藻(*Paralia sulcata*), 较为重要优势种有密联角毛藻(*Chaetoceros densus*)、辐射圆筛藻(*Coscinodiscus radiatus*)、大角角藻(*Ceratium macroceros*)、梭角藻(*Ceratium fusus*)、三角角藻(*Ceratium tripos*), 季节优势种是圆筛藻 spp.(*Coscinodiscus* spp.)、聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*) 和威氏圆筛藻(*Coscinodiscus wailesii*)。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分别是 2.024 和 0.636, 二者分布共同特征是北黄海南部海域和丹东鸭绿江口外部海域较低。站位聚类分析表明北黄海浮游植物种类地区划分主要分为 3 个区域: 鸭绿江口区、中部区和西部区。

关键词: 浮游植物; 甲藻; 细胞丰度; 多样性指数; 北黄海

中图分类号: Q178.53; P735

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 07-1173-09

引用格式: 刘述锡, 樊景凤, 王真良. 北黄海浮游植物群落季节变化[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1173-1181.

LIU Shuxi, FAN Jingfeng, WANG Zhenliang. The seasonal changes of phytoplankton community in North Yellow Sea, China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1173-1181.

北黄海是指山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的半封闭海域。北界为辽东半岛南端与山东半岛经老铁山咀至蓬莱岛之连线, 南界为山东半岛成山角至朝鲜长山串连线^[1]。北黄海作为一个半封闭陆架浅海, 海水更新周期较长, 既有北上的黄海暖流, 又有季节性黄海冷水团, 再加上鸭绿江等几条河流冲淡水作用, 生态系统复杂多样, 陆海相互作用强烈。海洋浮游植物是海洋生态系统中的最重要的初级生产者, 其群落特征是研究海区其他生态和环境问题的基础^[2]。海洋环境变化时, 浮游植物群落的种类和丰度能迅速发生改变^[3], 其种类组成结构被认为是复杂海洋生态系统的自然生物指示剂, 能迅速反应环境条件的改变^[4]。浮游植物种类和丰度的改变是评估海洋生物地球化学循环的必要环节, 反应了人类活动对海岸带生态系统的长期影响^[5-6]。

有关北黄海浮游植物调查最早始于 1953 年烟台威海海域及其附近海域的角毛藻资源调查^[7]和 1958-1960 年全国海洋综合调查^[8]。这以后又有很多学者对北黄海开展了一系列的研究工作^[9-17], 研

究内容主要包括叶绿素 a、浮游植物细胞丰度、季节变化、种类组成及生态特性等。对北黄海最近的一次全面调查是 2006 年依次开展了夏、冬、春、秋四个季节的海上综合调查^[18]。本文针对 2009 年在北黄海进行周年 4 个航次的网采浮游植物的现场调查资料, 比较分析浮游植物种类组成、空间分布及季节变化, 为深入研究北黄海浮游生态系统提供基础资料。

1 材料和方法

2009 年在北黄海布设 14 个调查站位 (图 1), 分别于 5 月 (春季)、7 月 (夏季)、10 月 (秋季)、12 月 (冬季) 进行了 4 个航次浮游植物现场调查, 调查内容包括浮游植物细胞丰度、优势种和群落结构变化。按照《海洋调查规范》^[19], 采样工具为小型浮游生物网(网口内径 37 cm, 网长 280 cm, 筛绢 JP80, 网目孔径 0.077 mm)。采样方式为在每个调查站位自底至表垂直拖网 1 次, 样品用终体积分数为 5% 的甲醛固定和保存。实验室内浮游植物样品经浓缩, 取 0.1 cm^3 样品在本实验室的浮游植物计

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项项目 (200805080)

作者简介: 刘述锡 (1971 年生), 男, 副研究员, 主要从事海洋生态、海洋监测与评价技术研究; E-mail: sxliu@nmemc.gov.cn

收稿日期: 2013-03-07

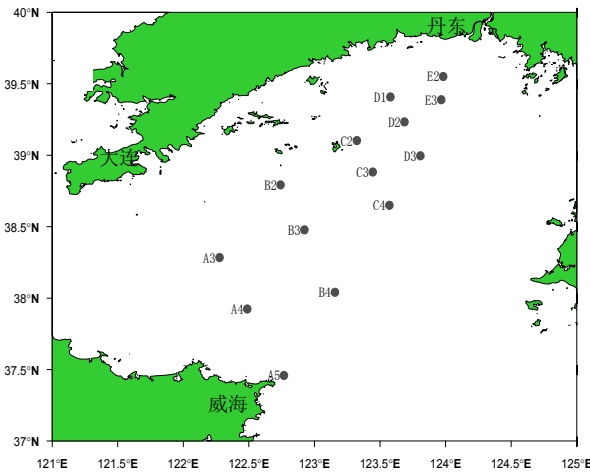


图1 浮游植物调查站位

Fig.1 Localization of sampling stations in the northern Yellow Sea

数框中于 Nikon-E200 显微镜下进行浮游植物种类鉴定和细胞计数。

物种多样性指数采用Shannon-Weaver多样性指数 (H')^[20], 其计算公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i / N) \log_2 (n_i / N)$$

物种均匀度指数采用Pielou指数 (J)^[21], 其计算公式为

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

优势度 (Y)^[22]计算公式为:

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

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数, S 为样品中的物种总数, 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。

聚类分析采用分层聚类的类间平均链锁法 (between-groups linkage), 距离为相关距离(Pearson correlation)。

2 结果与讨论

2.1 种类组成和生态类型

2.1.1 种类组成

4个航次现场调查共检出浮游植物3门22属56种 (不包括未定命种), 其中硅藻门15属45种 (不包括未定命种), 甲藻门6属10种 (不包括未定命种), 金藻门1属1种 (表1)。硅藻门圆筛藻属种类数最多, 有12种; 其次是角毛藻属, 有9种。甲藻门角藻属种类数最多, 有4种。

5月, 整个调查区域检出浮游植物种类31种, 站位优势种类为具槽帕拉藻(*Paralia sulcata*)、梭角藻 (*Ceratium fusus*)、大角角藻 (*Ceratium*

macroceros)、辐射圆筛藻(*Coscinodiscus radiatus*)、密联角毛藻(*Chaetoceros densus*); 7月, 整个调查区域共检出浮游植物种类数31种, 站位优势种为大角角藻、具槽帕拉藻、梭角藻、三角角藻(*Ceratium tripos*), 斯氏根管藻(*Rhizosolenia stolterfothii*); 10月, 整个调查区域共检出浮游植物种类数43种, 站位优势种为密联角毛藻、微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*)、三角角藻、菱软几内亚藻(*Guinardia flaccida*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、具槽帕拉藻、佛氏海毛藻(*Thalassiothrix franuenfeldii*)、扁面角毛藻(*Chaetoceros compressus*)、星脐圆筛藻(*Coscinodiscus asteromphalus*)、斯氏根管藻; 12月, 整个调查区域共检出浮游植物种类数35种, 站位优势种为聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*)、威氏圆筛藻(*Coscinodiscus wailesii*)、密联角毛藻、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、具槽帕拉藻、中肋骨条藻、星脐圆筛藻。

在调查的4个航次中, 4个季节都检出的浮游植物14种, 其中硅藻9种, 包括圆筛藻 spp.(*Coscinodiscus* spp.)、星脐圆筛藻、威氏圆筛藻、偏心圆筛藻(*Coscinodiscus excentricus*)、刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)、印度翼根管藻(*Rhizosolenia alata* f. *Indica*)、尖刺菱形藻、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、具槽帕拉藻; 甲藻5种, 包括多甲藻 spp.(*Peridinium* spp.)、大角角藻、梭角藻、三角角藻、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)。

2.1.2 生态类型

(1) 广温广盐类型

这一类群适温、适盐范围比较大, 在调查海域出现的范围相对广泛。硅藻门主要有具槽帕拉藻、中肋骨条藻、刚毛根管藻、斯氏根管藻、浮动弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)、布氏双尾藻等, 甲藻门主要有梭角藻、大角角藻等。

(2) 低盐近岸性类型

该类群主要分布于河口近岸区域, 主要分布于辽南海域, 代表种主要有尖刺菱形藻、丹麦细柱藻、柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)、聚生角毛藻等。

(3) 高温外海类型

该类群主要是受外海水影响、在高温季节出现, 包括夜光藻、叉角藻(*Ceratium furca*)、三角角藻、菱软几内亚藻等。

(4) 暖水性类群

该类群的种类和数量比例相对较低, 代表种是长角盒形藻(*Biddulphia longicuris*)、微小原甲藻, 反映出黄海暖流与北黄海沿岸流相互推移作用的特点。

表 1 北黄海调查区域浮游植物物种组成

Table 1 Phytoplankton species identified in the four cruises

中文名	拉丁种名	5月	7月	10月	12月
硅藻门	Bacillariophyta				
圆筛藻 spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.	+	+	+	+
星脐圆筛藻	<i>C. asteromphalus</i> Ehrenberg	+	+	++	++
辐射圆筛藻	<i>C. radiatus</i> Ehrenberg	++	+		+
中心圆筛藻	<i>C. centralis</i> Ehrenberg	+	+		
格氏圆筛藻	<i>C. granii</i> Grouh	+		+	
威氏圆筛藻	<i>C. wailesii</i> Gran & Angst	+	+	+	+++
蛇目圆筛藻	<i>C. argus</i> Ehrenberg	+			
孔圆筛藻	<i>C. perforatus</i> Ehrenberg	+			
偏心圆筛藻	<i>C. excentricus</i> Ehrenberg	+	+	+	+
虹彩圆筛藻	<i>C. oculusiridis</i> Ehrenberg	+		+	
苏氏圆筛藻	<i>C. thorii</i> Pavillard,			+	
琼氏圆筛藻	<i>C. jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld			+	+
线形圆筛藻	<i>C. lineatus</i> Ehrenberg				+
半棘钝根管藻	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>Semispina</i> (Hansen) Gran	+			
刚毛根管藻	<i>R. setigera</i> Brightwell	+	+	+	+
印度翼根管藻	<i>R. alata</i> f. <i>Indica</i> (Peragallo) Otenfeld	+	+	+	+
笔尖根管藻	<i>R. styliformis</i> Brightwell	+	+		
柔弱根管藻	<i>R. delicatula</i> Cleve		+	+	
斯氏根管藻	<i>R. stouterfothii</i> Peragallo		++	++	++
脆根管藻	<i>R. Fragilissima</i> Bergon				+
角毛藻 spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.		+	++	+
冕袍角毛藻	<i>C. subsecundus</i> Hustedt		+	+	+
窄隙角毛藻	<i>C. affinis</i> Lauder		+	+	+
洛氏角毛藻	<i>C. lorenzianus</i> Grunow		+	+	+
柔弱角毛藻	<i>C. debilis</i> Cleve		+	++	+
密联角毛藻	<i>C. densus</i> Cleve	++		+++	+++
聚生角毛藻	<i>C. socialis</i> Lauder				+++
扁面角毛藻	<i>C. compressus</i> Lauder			++	
圆柱角毛藻	<i>C. teres</i> Cleve			+	
卡氏角毛藻	<i>C. castracanei</i> Karsten			+	
盒形藻 sp.	<i>Biddulphia</i> sp.	+			
中华盒形藻	<i>B. sinensis</i> (Greville) Grunow	+	+		+
长角盒形藻	<i>B. longicuris</i> (Greville) Hoban	+		+	
高盒形藻	<i>B. regia</i> (Schultze) Simonsen				+
菱形藻 sp.	<i>Nitzschia</i> sp.				+
尖刺菱形藻	<i>N. pungens</i> Grunow	+	+	+	+++
长菱形藻	<i>N. longissima</i> (Breb.) Ralfs	+			+
奇异菱形藻	<i>N. paradoxa</i> Grunow in Cleve & Grunow		+		
柔弱菱形藻	<i>N. delicatissima</i> Cleve			+	
海链藻 spp.	<i>Thalassiosira</i> sp.			+	
佛氏海毛藻	<i>Thalassiothrix franuenfeldii</i> Cleve & Grunow		+	++	
浮动弯角藻	<i>Eucampia zoodiacus</i> Ehrenberg		+	+	+
六幅辐桐藻	<i>Actinocyclus senarius</i> Ehrenberg		+		
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow	+	+	+	+
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	+++	+++	++	++
豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i> Hensen			+	+
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve			++	++
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve			++	+
掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Cleve			+	
萎软几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo			++	
曲舟藻 sp.	<i>Pleurosigma</i> sp.	+			
甲藻门	Dinophyta				
多甲藻 spp.	<i>Peridinium</i> spp.	+	+	+	+
海洋多甲藻	<i>P. oceanicum</i> Vanhöffen	+	+	+	
光甲多甲藻	<i>P. pellucidum</i> (Bergh) Schütt	+			
大角角藻	<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Vanhöffen	++	+++	+	+
梭角藻	<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	++	++	+	+
三角角藻	<i>C. tripos</i> (O.F.Muller) Nitzsch	+	++	++	+
叉角藻	<i>C. furca</i> (Ehrenberg) Dujardin			+	
微小原甲藻	<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller			++	
夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Ehrenberg	+	+	+	+
渐尖鳍藻	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann	+			
倒卵形鳍藻	<i>D. fortii</i> Pavillard		+		
金藻门	Chrysophyta				
小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg				+
合计	-	31	31	43	35

+检出, ++有一定数量, +++数量较多

综上所述,由于北黄海半封闭海域独特的地理位置,同时又受温、盐度相对较高的黄海暖流余脉及低温、低盐的辽南和鲁北沿岸流的影响,使调查区浮游植物群落结构以温带近岸和广布性种为主,也有少数高盐外海性种和暖水性种。

2.2 浮游植物细胞丰度的平面分布

2.2.1 浮游植物细胞丰度平面分布

调查海域4个航次浮游植物细胞丰度介于 $0.3 \sim 18 \ 103.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $542.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

春季(5月),调查海域浮游植物细胞密度介于 $0.3 \sim 30.7 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $9.7 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞密度最低的站点是D1号站点,最高的站点是C4号站点。从浮游植物细胞丰度平面分布图(图2)来看,浮游植物细胞丰度介于 $5 \sim 20 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域占整个调查区域的70%,靠近丹东、庄河一带海域浮游植物细胞密度最低,由此向南向西细胞密度逐渐增加,调查区域中部偏东部是浮游植物密

度最高值区。

夏季(7月),调查海域浮游植物细胞密度介于 $0.7 \sim 113.3 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $25.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞密度最低的站点是B4号站点,最高的站点是E2号站点。浮游植物细胞丰度介于 $5 \sim 20 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域占整个调查区域的80%,靠近丹东、庄河一带海域浮游植物细胞密度最高,由此向南向西细胞密度逐渐减少,调查区域中部偏南部是浮游植物密度最低值区。7月,丹东庄河一带浮游植物细胞丰度较多的原因,可能是鸭绿江和庄河等入海河流携带充足养分,有利于浮游植物生长。

秋季(10月),调查海域浮游植物细胞密度介于 $1.4 \sim 183.0 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $29.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞密度最低的站点是C4号站点,最高的站点是A5号站点。浮游植物细胞丰度介于 $5 \sim 20 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域占整个调查区域的60%,低值区散布在调查海域中部,高值区分布在 38°N 以南海域。

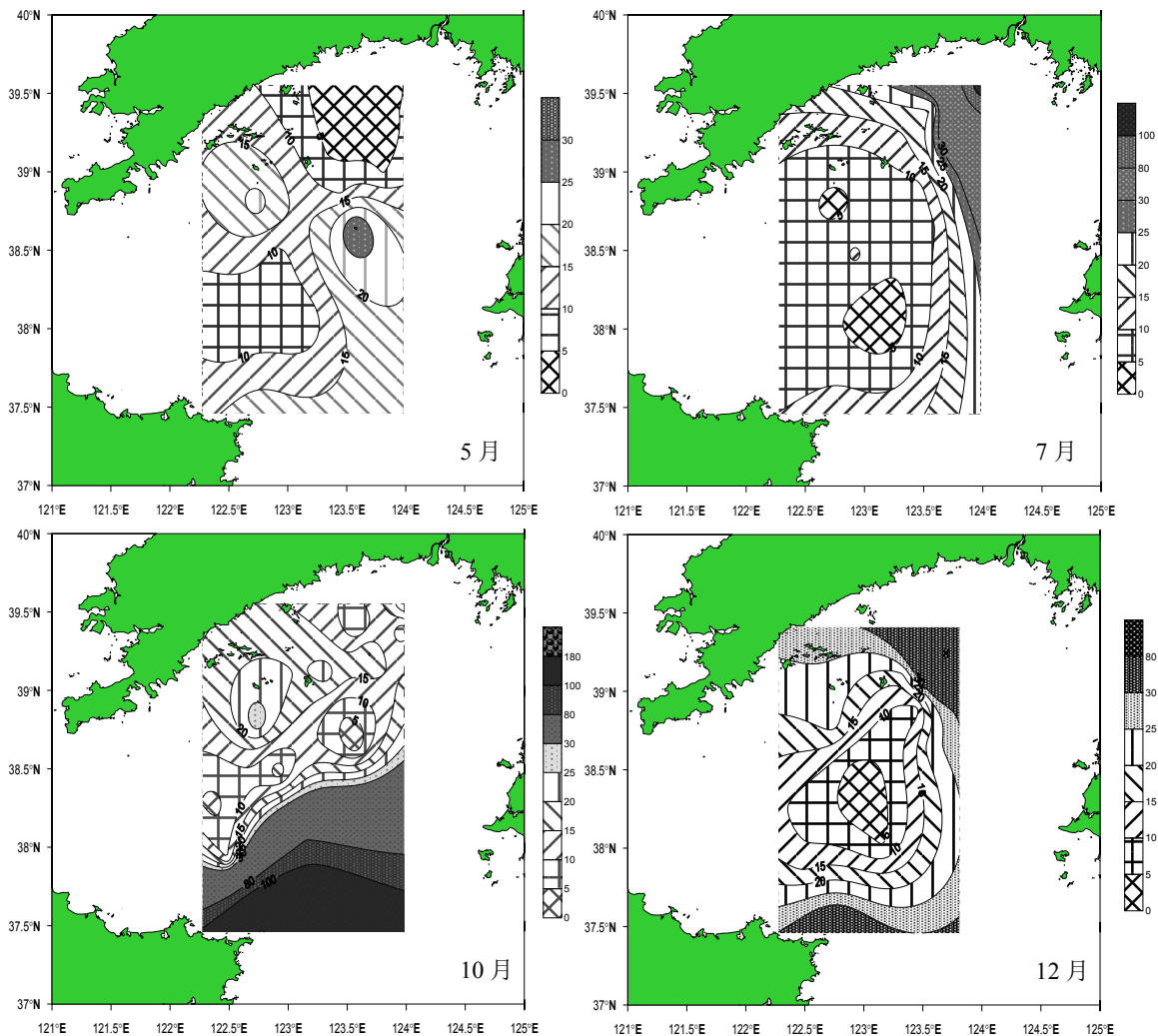


图2 北黄海浮游植物细胞丰度($10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$)平面分布

Fig.2 Distribution of phytoplankton abundance during the four cruises. Unit: $\times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$

冬季(12月),调查海域浮游植物细胞密度介于 $2.0 \sim 18\ 103.5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $2\ 105.1 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞密度最低的站点是B3号站点,最高的站点是E2号站点。调查结果显示,E2、E3站点出现大量的聚生角毛藻,直接影响浮游植物的平面分布。在绘制浮游植物细胞丰度平面分布图(图2-12月)时,舍弃这两个站点,可以较好体现大部分调查海域浮游植物分布。北黄海中部浮游植物细胞丰度最低,由此向四周逐步升高,浮游植物细胞丰度高值区主要集中在调查海域东北部和南部。

黄海北部与渤海相连,既有低盐、高营养的渤海沿岸水,又有高盐、低营养的黄海水存在,形成浮游植物密度高且分布不均匀的特点^[13]。北黄海浮游植物细胞密度季节变化明显,呈现冬季>秋季>夏季>春季的规律。从细胞丰度来看,调查的4个季节中,除了冬季在调查区域东北部的E2、E3站点出现的极高的聚生角毛藻外,每个季节细胞密度都较为正常。研究表明,水温最低的冬季浮游植物细胞密度相对最高,水温最高的夏季浮游植物细胞密度相对较低,在一定程度上反映全球气候变暖导致浮游植物冬季细胞密度的增量效应。

2.2.2 浮游甲藻细胞丰度平面分布

调查海域4个航次浮游甲藻细胞丰度介于未检出 $\sim 80.5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $6.9 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

春季(5月),调查海域浮游甲藻细胞丰度介于 $0.08 \sim 13.9 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $2.3 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞丰度最低的站点是D1号站点,最高的站点是A5号站点。 38°N 以北的调查海域浮游甲藻细胞丰度低于 $5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,占整个调查区域的75%,只在威海成山头附近有小于 $10 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的高值区(表2)。

夏季(7月),调查海域浮游甲藻细胞丰度介于 $0.5 \sim 60.1 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $13.9 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞丰度最低的站点是B4号站点,最高的站点是E2号站点。浮游甲藻细胞丰度低于 $10 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域占据绝大部分调查海域,仅在丹东附近狭小海域细胞丰度高于 $30 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ (表2)。

秋季(10月),调查海域浮游甲藻细胞丰度介于 $0.2 \sim 80.5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $8.5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞丰度最低的站点是C4号站点,最高的站点是

B4号站点。浮游甲藻细胞丰度低于 $5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域分布最广,主要分布在西部和北部大片区域;细胞丰度高于 $15 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域主要分布在东南部,分布面积次之(表2)。

冬季(12月),调查海域浮游甲藻细胞丰度介于未检出 $\sim 20.8 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$,平均为 $2.8 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 。细胞丰度最低的站点是C4号站点,没有检出浮游甲藻,最高的站点是E3号站点。调查海域浮游甲藻细胞丰度低于 $5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域分布最广,基本覆盖整个调查海域;细胞丰度高于 $5 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域主要分布在东北角狭小地带(表2)。

调查结果表明,北黄海浮游甲藻细胞丰度按季节变化明显,呈现夏季>秋季>冬季>春季的规律,也就是说水温较高的季节浮游甲藻细胞丰度较高。从甲藻分布来看,细胞丰度小于 $10 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域占绝对优势,夏季和秋季主要分布于北部和西部大片海域;冬季和春季调查区域基本被细胞丰度小于 $10 \times 10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域覆盖,近河口和南黄海附近细胞丰度略高。与历史上黄海浮游甲藻细胞丰度比较来看(表3),北黄海浮游甲藻呈上升趋势,夏、秋季表现更为明显。浮游甲藻在营养盐相对贫乏的水域(尤其是磷缺乏)的生长、繁殖比硅藻更有优势^[16],但是北黄海的浮游甲藻近年来细胞丰度呈明显上升趋势不能简单归结为贫营养水域,笔者认为这种变化应该与全球气候变化联系起来研究和讨论。

2.3 浮游植物优势种及其细胞丰度

2.3.1 优势种

调查海域浮游植物优势种及优势度见表4。主要优势种5月为具槽帕拉藻、大角角藻、梭角藻和

表3 历史上北黄海浮游甲藻细胞丰度

Table 3 Dinoflagellate abundance investigated in history

年份	$10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$			参考文献
	5-6月	9-11月	12-1月	
1959年	-	-	1.25	[18]
1998年	1.33*	0.77*	-	[15]
2007年	-	-	2.28	[18]
2009年	2.3	8.5	2.8	本文
2011年	-	95	-	[17]

*代表北黄海近岸海域

表2 北黄海浮游甲藻站点细胞丰度

Table 2 Dinoflagellate abundance at 14 stations in the four cruises

时间	$10^4\ \text{cells} \cdot \text{m}^{-3}$														平均
	A3	A4	A5	B2	B3	B4	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E2	E3	
5月	1.8	3.6	13.9	2.0	2.9	5.0	0.6	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	1.6	0.2	2.3
7月	8.4	2.5	13.1	0.7	3.1	0.5	6.6	2.0	2.6	15.9	29.2	15.0	60.1	35.0	13.9
10月	0.6	1.0	5.6	3.4	0.4	80.5	3.2	0.9	0.2	3.1	1.8	1.3	15.0	1.8	8.5
12月	0.3	0.8	2.9	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.0	6.2	0.9	0.8	4.5	20.8	2.8

表4 2009年北黄海浮游植物优势种
Table 4 Phytoplankton dominant species in the four cruises

时间	优势种	出现频度/%	丰度比例/%	优势度
5月	具槽帕拉藻	92.86	59.39	0.5514
	大角角藻	100.00	8.25	0.0825
	梭角藻	57.14	11.48	0.0656
	辐射圆筛藻	85.71	4.99	0.0428
7月	大角角藻	100.00	31.54	0.3154
	具槽帕拉藻	78.57	21.00	0.1650
	梭角藻	78.57	13.08	0.1028
	三角角藻	92.86	8.24	0.0765
10月	角毛藻属	71.43	7.71	0.0551
	密联角毛藻	57.14	6.67	0.0381
	辐射圆筛藻	64.29	5.32	0.0342
	三角角藻	71.43	4.64	0.0331
12月	聚生角毛藻	14.29	96.72	0.1382
	威氏圆筛藻	100.00	0.44	0.0044
	密联角毛藻	92.86	0.20	0.0019
	具槽帕拉藻	57.14	0.21	0.0012

辐射圆筛藻;7月为大角角藻、具槽帕拉藻、梭角藻和三角角藻;10月为角毛藻 spp.、密联角毛藻、辐射圆筛藻和三角角藻;12月为聚生角毛藻、威氏圆筛藻、密联角毛藻和具槽帕拉藻。由此可见,北黄海优势种主要是具槽帕拉藻、密联角毛藻、聚生角毛藻、角毛藻 spp.、辐射圆筛藻和威氏圆筛藻等硅藻,甲藻中角藻属中的大角角藻、三角角藻和梭角藻也是海区中的季节优势种。由表4可知,具槽帕拉藻在4个航次调查中有3个航次作为优势种出现,因此是北黄海最重要的优势种之一。密联角毛藻、辐射圆筛藻、大角角藻、梭角藻、三角角藻在4个航次调查中有2个航次作为优势种出现,是北

黄海较重要的优势种。角毛藻 spp.、聚生角毛藻和威氏圆筛藻只在一个航次作为优势种出现,是北黄海重要的季节优势种。

2.3.2 优势种细胞丰度

各优势种细胞丰度见表5。具槽帕拉藻,5月平均细胞丰度为 $5.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区主要位于北黄海中部的C4站位,丰度最少的站位是A5站位;7月平均丰度为 $5.2 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区位于鸭绿江口外的E2、E3和D3站位,丰度最少的站位是A5站;12月平均丰度为 $4.3 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区逐渐南移,C4、B2、A5站位是丰度较高站位,C2站是丰度较低的站位。

大角角藻,5月平均细胞丰度为 $0.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区主要位于北黄海中部的B3、B4站位;7月平均丰度为 $8.0 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区位于鸭绿江口外部海域,丰度较少的站位中部B2、B4站;10月平均丰度为 $1.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区位于鸭绿江口外的E2站,中部B3站是丰度最低的站位。

梭角藻,5月平均细胞丰度为 $1.1 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,除威海海域的A5站丰度较高外,其余站位丰度相对较低,分布较均匀;7月平均丰度为 $3.3 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,丰度密集区位于鸭绿江口外部海域,中部和西部海域丰度较低。

辐射圆筛藻,5月平均细胞丰度为 $0.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,10月平均丰度为 $1.6 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$,除威海海域的A5站丰度较高外,其余站位丰度相对较低,分布较均匀。

三角角藻,7月平均细胞丰度为 2.1×10^4

表5 北黄海浮游植物优势种细胞丰度
Table 5 Abundance of principle dominant species at 14 stations in the four cruises

站位	5月				7月				10月				12月			
	具槽帕拉藻	大角角藻	梭角藻	辐射圆筛藻	大角角藻	具槽帕拉藻	梭角藻	三角角藻	角毛藻 spp.	密联角毛藻	辐射圆筛藻	三角角藻	聚生角毛藻	威氏圆筛藻	密联角毛藻	具槽帕拉藻
A3	2.1	0.1	1.7	0.3	4.9	未检出	未检出	3.0	1.3	1.3	0.1	0.6	未检出	0.1	4.9	2.5
A4	2.0	0.7	2.4	0.5	2.0	2.5	未检出	0.5	0.3	1.9	0.5	未检出	未检出	0.3	1.3	未检出
A5	0.9	3.6	7.7	3.7	10.0	未检出	2.6	0.3	16.9	未检出	18.2	未检出	未检出	15.5	1.4	12.9
B2	15.7	1.3	0.4	0.3	0.4	2.6	0.1	0.2	未检出	未检出	未检出	1.9	未检出	1.2	3.5	13.9
B3	5.2	1.6	1.1	0.2	2.9	7.7	未检出	0.1	未检出	0.9	未检出	0.1	未检出	0.2	0.3	未检出
B4	1.4	2.1	2.1	0.1	0.4	未检出	未检出	0.1	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	0.1	2.8	未检出
C2	4.5	0.4	0.1	未检出	4.4	5.3	0.5	1.4	1.1	12.1	0.2	1.5	未检出	10.8	0.8	1.3
C3	7.4	0.2	未检出	0.4	1.2	4.8	0.4	0.4	0.8	未检出	未检出	0.5	未检出	0.2	0.5	4.4
C4	29.1	0.1	0.2	0.3	2.2	5.9	0.4	未检出	0.5	未检出	0.1	未检出	未检出	0.1	0.7	18.6
D1	未检出	0.1	未检出	0.1	10.8	未检出	2.8	2.1	0.7	未检出	0.4	1.3	未检出	7.3	20.3	未检出
D2	2.0	0.3	未检出	0.3	13.4	6.0	9.9	5.3	7.2	3.3	0.3	1.0	未检出	71.7	未检出	3.5
D3	4.0	0.1	未检出	未检出	10.1	14.8	2.6	1.7	0.5	4.3	0.3	0.3	未检出	14.2	1.8	3.5
E2	1.6	0.5	未检出	0.5	32.9	11.3	17.0	9.4	未检出	2.4	1.8	11.1	18000.0	6.3	10.8	未检出
E3	4.9	0.2	未检出	0.2	16.9	11.9	9.9	4.8	未检出	1.4	0.9	0.9	10504.6	1.5	10.8	未检出
平均值	5.8	0.8	1.1	0.5	8.0	5.2	3.3	2.1	2.1	2.0	1.6	1.4	2036.0	9.3	4.3	4.3

cells·m⁻³, 10月平均丰度为 1.4×10^4 cells·m⁻³, 丰度密集区位于鸭绿江口外部海域, 中部和西部海域丰度较低。

密联角毛藻, 10月平均细胞丰度为 2.0×10^4 cells·m⁻³, 除中部海域的 C2 站丰度较高外, 其余站位丰度相对较低, 分布较均匀; 12月平均丰度为 4.3×10^4 cells·m⁻³, 丰度密集区位于鸭绿江口外部海域的 D1、E2、E3 站位, 中部和西部海域丰度较低。

角毛藻 spp., 10月平均丰度为 2.1×10^4 cells·m⁻³, 除威海海域的 A5 站丰度较高外, 丰度相对较低, 分布较均匀。

聚生角毛藻, 主要出现在 12 月份鸭绿江口外, 由于细胞丰度极高, 形成海区的季节最大优势种。

威氏圆筛藻, 12月平均丰度为 9.3×10^4 cells·m⁻³, 丰度较高的站位分布在中部的 D2 站, 沿着调查海域南部一侧的 A5、B4、D3 丰度相对较高, 其余站位丰度较低。

根据优势种丰度及其分布特征, 将北黄海划分为 3 个丰度密集分布区: 一是鸭绿江口外海域, 主要密集具槽帕拉藻、大角角藻、梭角藻、三角角藻、密联角毛藻、聚生角毛藻; 二是北黄海中部海域, 主要密集具槽帕拉藻、大角角藻、密联角毛藻、威氏圆筛藻; 三是威海海域, 主要密集具槽帕拉藻、角毛藻 spp.、威氏圆筛藻。

杜秀宁等^[18]将具槽帕拉藻和密连角毛藻定为北黄海浮游植物群落组成的基本成员, 具槽帕拉藻在秋季 11 月也是北黄海第一优势种^[17], 本次调查也显示具槽帕拉藻和密联角毛藻是海区的优势种, 而且除了传统的角毛藻和圆筛藻外, 大角角藻、三角角藻和梭角藻已经逐渐成为北黄海浮游植物群落的重要成员。

2.4 群落多样性与聚类分析

2.4.1 群落多样性

群落物种多样性是衡量群落稳定性的重要尺度, 单纯使用一种指数来解释浮游植物群落的多样性容易造成较大偏差^[23]。因此本文采用两种 α 多样性指数 (Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数) 进行分析。

调查海域浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数如表 4 所示, 全年其值为 0.069 ~ 3.675, 平均值为 2.024。5 月均值为 1.693, 多样性指数低于 1 的站位有 C2、C3、C4 和 E3 站位, 究其原因这是 4 个站位检出绝对优势种具槽帕拉藻并且种类数较少, 导致多样性指数极低; 7 月均值为 1.902, 没有出现多样性指数低于 1 的站位, 而多样性指数大于 3 的站位是 E2、E3 站位, 这两个站位由于检出浮游植物种类数较多 (E2 站 21 种, E3 站 17 种), 并且没有出现绝对

或者单一的优势种; 10 月均值为 2.586, 多样性指数低于 1 的站位是 B4 站, 该站位检出绝对优势种微小原甲藻, 多样性指数大于 3 的站位是 B2 站, 该站位多样性指数高的原因同样是浮游植物种类数多并且没有绝对的优势种出现; 12 月均值为 1.915, 多样性指数低于 1 的站位是 D2、E2、E3 站, 多样性指数大于 3 的站位是 A4 站, 站位多样性指数高低差异原因与 10 月份基本相同。由此可见, 站位种类数、优势种数目和丰度对北黄海浮游植物群落结构的多样性指数影响非常明显。综合 4 个季度站位多样性指数平均值来看, 高值区主要分布在 A3、A4、A5 和 D1 站位, 表明渤海海峡外部和庄河外海区域浮游植物多样性较高; 低值区主要分布在 B4、C4 和 E3 站位, 表明在北黄海南部海域和丹东鸭绿江口外部海域多样性指数低。

均匀度指数全年其值为 0.018 ~ 0.980, 平均值为 0.636, 其中 5 月均值为 0.567, 7 月均值为 0.658, 10 月均值为 0.762, 12 月均值为 0.557。与 Shannon-Wiener 多样性指数比较来看, 多样性指数高的站位对应的均匀度指数也较高, 多样性指数低的站位对应的均匀度指数也较低, 这说明在北黄海多样性指数和均匀度指数还是有一定的相关性的, 可以采用单一的多样性指数进行分析。综合 4 个季度站位均匀度指数平均值来看, 高值区位于 A3、A4、B3 和 D1 站位, 表明调查海域近渤海海峡中部区域和庄河外海区浮游植物均匀度较高, 低值区主要分布在 B4、C4 和 E3 站位, 表明在北黄海南部海域和丹东鸭绿江口外部海域均匀度指数低。

两种 α 多样性指数分析表明, 浮游植物群落多样性和均匀性在调查海域不同区域是有一定相关性的。北黄海南部海域和丹东鸭绿江口外部海域多样性较低, 均匀度也较低, 可能是鸭绿江冲淡水带来大量营养盐, 导致个别物种的丰度占绝对优势, 打破群落结构的平衡。本研究结果与杜秀宁等^[12]分析 2006 年冬季北黄海网采浮游植物多样性指数和均匀性指数结果较为吻合。

2.4.2 站位聚类分析

根据 4 个航次每个站位的浮游植物种类, 对 14 个站位进行聚类分析, 聚类方法采用类间平均链锁法 (between-groups linkage), 距离为 person 相关距离。聚类结果表明 14 个调查站位可以分为 4 类。辽南沿岸 B2 站是单独 1 类, 可能该站位浮游植物种类较为稳定; C4 和 D3 归为一类, 该类主要代表北黄海中部海域浮游植物特征; E2、E3 和 C2、D1 站归为一类, E2 和 E3 这两个站位主要代表鸭绿江口浮游植物类别, C2、D1、站归为这一类主要原因可能该站位浮游植物种类与河口区浮游植物相似

表6 调查海域浮游植物群落多样性指数
Table 6 Species diversity at 14 stations in the four cruises

站位	Shannon-Wiener 多样性指数					Pielou 均匀度指数				
	5月	7月	10月	12月	平均	5月	7月	10月	12月	平均
A3	2.952	1.221	2.537	2.293	2.251	0.798	0.770	0.846	0.640	0.764
A4	2.684	1.572	3.113	3.234	2.651	0.776	0.786	0.818	0.850	0.808
A5	2.344	1.421	2.973	2.759	2.374	0.739	0.448	0.713	0.675	0.644
B2	1.593	1.272	3.675	1.684	2.056	0.408	0.548	0.865	0.561	0.596
B3	1.865	1.111	2.463	2.774	2.053	0.561	0.479	0.821	0.925	0.697
B4	2.331	1.371	0.143	2.037	1.471	0.674	0.865	0.048	0.613	0.550
C2	0.768	2.241	2.583	2.227	1.955	0.331	0.675	0.698	0.644	0.587
C3	0.946	1.733	2.468	2.237	1.846	0.337	0.617	0.779	0.706	0.610
C4	0.452	1.359	2.522	1.167	1.375	0.136	0.585	0.898	0.389	0.502
D1	2.000	2.202	2.879	2.639	2.430	0.980	0.637	0.908	0.660	0.796
D2	1.932	2.433	2.982	0.963	2.078	0.688	0.623	0.763	0.343	0.604
D3	1.058	2.035	2.993	2.376	2.116	0.334	0.613	0.835	0.687	0.617
E2	2.372	3.407	2.405	0.069	2.063	0.918	0.776	0.802	0.018	0.629
E3	0.410	3.248	2.463	0.347	1.617	0.258	0.795	0.877	0.085	0.504
月平均	1.693	1.902	2.586	1.915	2.024	0.567	0.658	0.762	0.557	0.636

比较大; A3、A4、B4、A5、B3、D2 和 C3 这 7 个站归为一类, 占北黄海绝大部分海域, 表明北黄海大部分海域浮游植物种类组成是较为一致的。由此可以看出北黄海浮游植物种类地区划分主要分为 3 个地区: 鸭绿江口区、中部区和西部区。

3 结论

1) 4 个航次现场调查共检出浮游植物 3 门 22 属 56 种, 其中硅藻门 15 属 45 种, 甲藻门 6 属 10 种, 金藻门 1 属 1 种。

2) 硅藻门种类数最多的是圆筛藻属, 有 12 种; 其次是角毛藻属, 有 9 种。甲藻门种类数最多的是角藻属, 有四种。

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

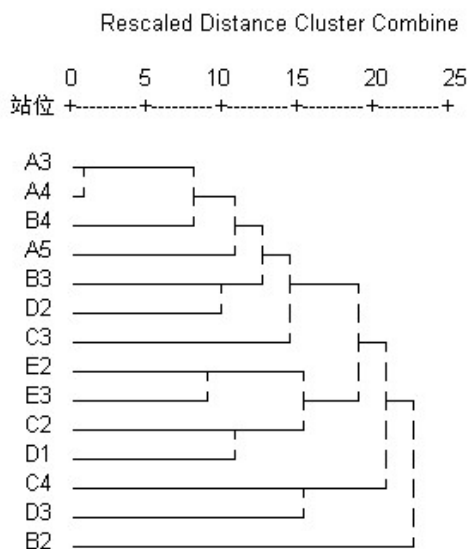


图3 站位聚类分析聚类树图

Fig.3 Cluster dendrogram of phytoplankton at fourteen sampling stations

3) 浮游植物有 4 个生态类群, 即广温广盐类群, 近岸低盐类群, 高盐外海类群及暖水性类群。

4) 调查海域浮游植物细胞丰度季节变化明显, 呈现冬季>秋季>夏季>春季的规律, 浮游甲藻细胞丰度按季节变化规律为夏季>秋季>冬季>春季。

5) 调查区浮游植物群落物种 Shannon-Weiner 多样性指数和 Peilou 均匀度指数均表现为北黄海南部海域和丹东鸭绿江口外部海域较低。

6) 站位聚类分析结果表明北黄海浮游植物种类地区划分主要分为三个地区: 鸭绿江口区、中部区和西部区。

7) 北黄海优势种主要是具槽帕拉藻、密联角毛藻、聚生角毛藻、角毛藻 spp.、辐射圆筛藻和威氏圆筛藻等硅藻, 甲藻中角藻属的大角角藻、三角角藻和梭角藻也是海区中的季节优势种。具槽帕拉藻是北黄海最重要的优势种之一, 密联角毛藻、辐射圆筛藻、大角角藻、梭角藻、三角角藻是北黄海较重要的优势种。角毛藻 spp.、聚生角毛藻和威氏圆筛藻是北黄海重要的季节优势种。

参考文献:

- [1] 金翔龙, 喻普之. 北黄海构造轮廓. 黄东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 23-29.
- [2] 孙军, 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 247-282.
- [3] BROGUEIRA M J, OLIVEIRA MDO R, CABECADAS G. Phytoplankton community structure defined by key environmental variables in Tagus estuary, Portugal[J]. Marine Environmental Research, 2007, 64: 616-628.
- [4] TROCCOLI G L, HERRERA-SILVEIRA J A, COMÍN F A. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico[J].

- Hydrobiologia, 2004, 519: 85-102.
- [5] HARDING L W. Long-term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: roles of light, nutrients and stream flow[J]. Marine Ecology Progress Series, 1994, 104: 267-291.
- [6] LONGHURST A, SATHYENDRANATH S, PLATT T, et al. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data[J]. Journal of Plankton Research, 1995, 17: 1245-1271.
- [7] 朱树屏, 郭玉洁. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛藻属的研究: I. 分类的研究[J]. 海洋与湖沼, 1957, 1(1): 27-94.
- [8] 国家科委海洋调查办公室. 全国海洋综合调查报告(第八册)[R]. 1964.
- [9] 刘述锡, 孙钦帮, 陈素梅, 等. 北黄海近岸海域叶绿素a浓度季节分布特征[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(4): 528-532.
- [10] 康元德. 黄海浮游植物的生态特点及其与渔业的关系[J]. 海洋水产研究, 1986, 7: 103-107.
- [11] 黄文祥, 沈亮夫, 朱琳. 黄海的浮游植物[J]. 海洋环境科学, 1984, 3(3): 19-28.
- [12] 俞建奎, 李瑞香. 渤海、黄海浮游植物生态的研究[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 52-59.
- [13] 王俊. 黄海春季浮游植物的调查研究[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(1): 56-61.
- [14] 王莹, 李桂珍, 王秀艳. 长海县水域浮游植物数量分布和季节变化[J]. 水产科学, 1995, 14(2): 23-27.
- [15] 董婧, 李培军, 刘悦, 等. 黄海北部近岸浮游植物生态特征分析[J]. 水产科学, 1999, 18(5): 12-15.
- [16] 董婧, 刘海映, 毕远溥, 等. 黄海北部近岸的浮游甲藻生态[J]. 海洋水产研究, 2002, 23(4): 46-50.
- [17] 郭术津, 孙军, 张辉, 等. 2011年秋季北黄海浮游植物群落[J]. 天津科技大学学报, 2013, 28(1): 22-29.
- [18] 杜秀宁, 刘光兴. 2006年冬季北黄海网采浮游植物群落结构[J]. 海洋学报, 2009, 31(5): 132-147.
- [19] GB12763.6-2007, 海洋调查规范, 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 30-34.
- [20] SHANNON C E, WIENER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 125.
- [21] PIELOU E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10: 370-383.
- [22] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 等. 大亚湾浮游植物群落特征[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [23] OLEG A Y, JACOB C, SNEJANA M, et al. Nutrient and phytoplankton trends on the western Black Sea shelf in response to cultural eutrophication and climate changes[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 74: 63-76.

The seasonal changes of phytoplankton community in North Yellow Sea, China

LIU Shuxi, FAN Jingfeng, WANG Zhenliang

National Marine Environmental Monitoring Center//Key Laboratory for Ecological Environment in Coastal Areas (SOA), Dalian 116023, China

Abstract: Based on the data collected at 14 stations in the north Yellow Sea (NYS) during the four cruises, this study examined species composition, dominant species, abundance distribution and species diversity of phytoplankton in May, July, October and December 2009. The cluster analysis of phytoplankton was carried out based on species composition at sampled stations. The results showed that a total of 56 species in 22 genera of 3 phyla, including 45 species of diatoms with 12 species in *Coscinodiscus* and 9 species in *Chaetoceros*, 10 species of dinoflagellate with 4 species in *Ceratium* and 1 species of chrysophyta, were identified. Most of them belonged to eurythermal and euryhaline species. Average abundance of phytoplankton in the four cruises was 542.4×10^4 cells·m⁻³, with a range of 0.3~18 103.5×10^4 cells·m⁻³. Phytoplankton abundance exhibited distinct seasonal variations: winter (2105.1×10^4 cells·m⁻³) > autumn (29.4×10^4 cells·m⁻³) > summer (25.5×10^4 cells·m⁻³) > spring (9.7×10^4 cells·m⁻³). Total dinoflagellate abundance ranged from not detected to 80.5×10^4 cells·m⁻³ in the four cruises, with an average value of 6.9×10^4 cells·m⁻³. Dinoflagellate abundance varied with seasons in the following order: summer (13.9×10^4 cells·m⁻³) > autumn (8.5×10^4 cells·m⁻³) > winter (2.8×10^4 cells·m⁻³) > spring (2.3×10^4 cells·m⁻³). *Paralia sulcata* dominated three cruises while *Chaetoceros densus*, *Coscinodiscus radiatus*, *Ceratium macroceros*, *Ceratium fusus* and *Ceratium tripos* were preponderant in two cruises. *Chaetoceros* spp., *Chaetoceros socialis* and *Coscinodiscus wailesii* belonged to seasonal species and dominated only one cruise. Average Shannon-Wiener index (H') and evenness (J) were 2.024 and 0.636, respectively. Low evenness corresponded with low Shannon-Wiener diversity indices, appeared in the south of NYS and adjacent sea area of Yalu River estuary. Using the hierarchical cluster analysis, fourteen sampling stations were classified into 3 parts: Yalu River estuary, central sea area and west sea area.

Key words: phytoplankton; dinoflagellates; abundance; species diversity; North Yellow Sea