

蓬莱 19-3 溢油后莱州湾浮游植物群落结构*

程 玲 王月霞 马元庆^① 何健龙 刘爱英 宋秀凯 由丽萍

(山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

摘要 2012–2014 年, 对莱州湾浮游植物进行了 9 个航次调查, 并同步监测其他环境因子。共鉴定浮游植物 125 种, 隶属 5 大门类, 以硅藻和甲藻为主, 优势种主要为硅藻; 浮游植物丰度和种类数均在 8 月达到最高值, 多样性指数和丰富度指数年际变化趋势基本一致。春季(5月)浮游植物种类数与透明度呈显著负相关($P<0.01$), 与 COD 呈显著正相关($P<0.01$); 夏季(8月)与表层水温和无机氮呈显著负相关($P<0.01$); 秋季(11月)浮游植物丰度与水深、盐度、溶解氧呈显著负相关($P<0.01$), 与石油类呈显著正相关($P<0.01$)。

关键词 莱州湾; 浮游植物; 环境因子; 相关性分析; 溢油

中图分类号 S932.7 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)04-0067-07

莱州湾位于山东半岛西北、渤海南部, 总面积 6966.93 km²(夏东兴等, 1993), 海底平坦, 水浅滩阔, 有黄河、小清河、潍河和胶莱河等众多河流汇入湾内, 是黄渤海渔业生物的主要产卵场、栖息地和传统渔场(邓景耀等, 2000)。曾是渤海初级生产力最高的区域, 也是我国初级生产力最高的海域之一, 渔业资源十分丰富。2011 年蓬莱 19-3 油田溢油事故发生后, 莱州湾内 3400 km² 海域水质由第一类下降为第三、四类。其中, 870 km² 海水受到严重污染(超第四类海水水质标准)(刘慧敏等, 2012)。

浮游植物是海洋食物链的基础环节, 对栖息生境中的各种环境因子有着较强的依赖性, 其种类组成和数量分布等生态特征在一定程度上反映了海域生态环境的基本特征(Lalli *et al*, 1993), 同时环境条件的改变也直接或间接地影响到浮游植物的群落结构。石油在水中不易分解, 会较长时间存在于海水中, 持续改变海洋环境质量, 影响海洋生物食物链和群落结构, 损害海洋生态系统。作者通过 2012–2014 年连续 3 年共 9 个航次的浮游植物调查, 分析了溢油事故发生后莱州湾内浮游植物群落变化及其与环境因子关系, 以期为莱州湾生态环境保护 and 渔业资源修复等提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 采样时间与地点

2012–2014 年, 每年的 5 月、8 月和 11 月, 在莱州湾海域(118.3°–120.6°E, 37.1°–38.3°N)进行 9 个航次监测, 共设 35 个监测站位(图 1)。

按《海洋调查规范》(GB12763.6–2007)规定, 用浅水 III 型浮游生物网自底层至表层垂直拖网采集浮

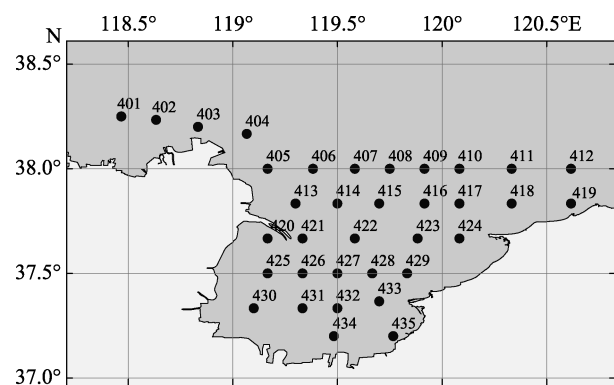


图 1 调查海域和站位分布

Fig.1 The studied area and sampling stations

*山东省科技发展计划(2014GSF117030)和山东省渤海海洋生态修复及能力建设项目(20140601)共同资助。程 玲, E-mail: linger19891028@126.com

^①通讯作者: 马元庆, 高级工程师, E-mail: erma0402@163.com

收稿日期: 2015-05-25, 收修改稿日期: 2015-07-27

游植物,样品用鲁格氏溶液固定,实验室内进行分类、鉴定、计数和统计。同步调查水温(Water Temperature, WT)、盐度(Salinity)、透明度(Trans Parency)、溶解氧(Dissolved Oxygen, DO)、化学耗氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)、pH、石油类(Oil)、总氮(Total Nitrogen, TN)及总磷(Total Phosphorus, TP)等环境参数,所有操作均按照《海洋监测规范》(GB17378.4-2007)进行。

1.2 数据分析

浮游植物丰度以每立方米出现的个体数表示(cells/m³)。

优势种的优势度: $Y = (n_i / N') \times f_i$

式中, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 为该种在各站位中出现的频率, N' 为总丰度。根据种类优势度公式计算各种生物的优势度, 将 $Y > 0.02$ 的生物定为优势种(钱迎情等, 1994)。

物种多样性指数 H' 的计算采用 Shannon-Winner 指数(Shannon et al, 1949):

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

物种丰度指数 d_{Ma} 采用 Margalef 指数计算公式(Margalef et al, 1968): $d_{Ma} = (S - 1) / \log_2 N$

均匀度指数 J 采用 Pielou 指数计算公式(Pielou et al, 1969):

$$J = H' / \log_2 S$$

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数, S 为样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个体数的比值。

数据用 PRIMER6.0 软件统计分析, 浮游植物丰度平面分布图用 Surfer11.0 软件绘制, 浮游植物密度及种类数与环境因子相关关系用 SPSS19.0 软件分析。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成及优势种

9 个航次共鉴定浮游植物 125 种(包含 1 个变种, 2 个变型), 隶属于硅藻(Bacillariophyceae)、甲藻(Pyrrophyta)、金藻(Chrysophyta)、蓝藻(Cyanophyta)、绿藻(Chlorophyta)5 大门类, 以硅藻(101 种)和甲藻(21 种)居多, 优势种大多为硅藻, 主要包括圆筛藻属(*Coscinodiscus* sp.)、角毛藻属(*Chaetoceros* sp.)、尖刺拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、斯氏几内亚藻(*Guinardia striata*)等(表1)。按其生态特征可分为五类。

2.1.1 广温、广盐的广布种 如尖刺拟菱形藻、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、派格棍形藻

(*Bacillaria paxillifera*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)、冕孢角毛藻(*Chaetoceros diadema*)、中心圆筛藻(*Coscinodiscus centralis*)、星脐圆筛藻(*Coscinodiscus asteromphalus* var. *asteromphalus*)、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)、斯氏几内亚藻和扁多甲藻(*Protoperidinium depressum*)等。

2.1.2 温带内湾种和沿岸种 如中华半管藻(*Hemiaulus sinensis*)、中华齿状藻(*Odontella sinensis*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、丹麦角毛藻(*Chaetoceros danicus*)、卡氏角毛藻(*Chaetoceros castracanei*)、短角弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、绕孢角毛藻(*Chaetoceros coarctatus*)、柔弱几内亚藻(*Guinardia delicatula*)和翼根管藻印度变型(*Proboscia indica*)等。

2.1.3 热带近岸种 如拟旋链角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、劳氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)和窄面角毛藻(*Chaetoceros paradoxus*)等。

2.1.4 远洋性种 如密连角毛藻(*Chaetoceros densus*)、虹彩圆筛藻(*Coscinodiscus oculus-iridis*)和伏氏海线藻(*Thalassionema frauenfeldii*)等。

2.1.5 半咸水种 如波罗的海布纹藻(*Gyrosigma balticum*)。

浮游植物种类组成呈现较为明显的单峰型季节变化规律(图2), 8月种类数最多, 11月次之, 5月最少。2012-2014年年际间变化不大, 种类数相对稳定, 种类组成上硅藻均占绝对优势, 其次为甲藻, 偶尔出现金藻、蓝藻等。

2.2 浮游植物群落参数变化

图3为2012-2014年浮游植物群落结构参数(细胞丰度、多样性指数、丰富度指数和均匀度指数)变化情况。浮游植物丰度年际变化与种类数的变化趋势基本一致, 均呈现单峰型。5月细胞丰度均值较低, 8月有大幅升高, 11月又有所回落, 但依然远高于同年5月浮游植物丰度; 2013年8月细胞丰度是其他年份的近20倍, 主要源自大量出现的拟旋链角毛藻和旋链角毛藻, 平均细胞丰度分别达到 2.30×10^7 、 1.75×10^7 cells/m³, 接近赤潮阈值。

多样性指数与丰富度指数年际变化趋势相似。2012年呈单峰型, 8月多样性指数和丰富度指数均为最高, 分别为2.51和0.82; 2013年和2014年指数均呈上升趋势, 5月最低, 11月最高。2012年与2013年均均匀度指数呈现下降趋势, 5月均为同年最高值, 分别为0.69和0.75; 2014年均均匀度指数与同年的多样

表 1 2012–2014 年莱州湾浮游植物主要优势种
Tab.1 Dominant species of phytoplankton collected in the Laizhou Bay from 2012 to 2014

航次(年-月) Time (Y-M)	优势种 Dominant species	拉丁名 Latin name	优势度 Dominance
2012-05	短柄曲壳藻	<i>Achnanthes brevipes</i>	0.313
	舟形藻属	<i>Navicula</i> sp.	0.068
	具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i>	0.022
2012-08	旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i>	0.213
	小环藻属	<i>Cyclotella</i> sp.	0.069
	舟形藻属	<i>Navicula</i> sp.	0.048
2012-11	圆筛藻属	<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.209
	丹麦细柱藻	<i>L. danicus</i>	0.154
	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>	0.102
2013-05	舟形藻属	<i>Navicula</i> sp.	0.050
	辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0.034
	圆筛藻属	<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.032
2013-08	拟旋链角毛藻	<i>C. pseudocurvisetus</i>	0.190
	旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i>	0.107
2013-11	丹麦细柱藻	<i>L. danicus</i>	0.264
	尖刺拟菱形藻	<i>P. pungens</i>	0.213
	旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i>	0.021
	斯氏几内亚藻	<i>G. striata</i>	0.748
2014-05	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.046
	伏氏海线藻	<i>T. frauenfeldii</i>	0.280
2014-08	角毛藻属	<i>Chaetoceros</i> sp.	0.081
	卡氏角毛藻	<i>C. castracanei</i>	0.045
	尖刺拟菱形藻	<i>P. pungens</i>	0.218
2014-11	短角弯角藻	<i>E. zodiacus</i>	0.147
	旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i>	0.040

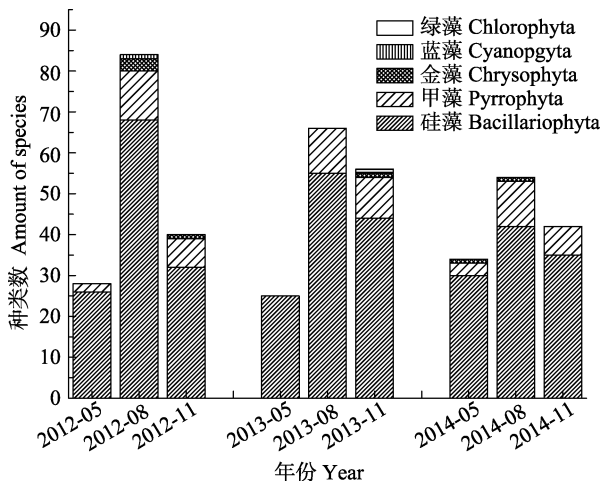


图 2 浮游植物种类变化

Fig.2 Variation of phytoplankton species from 2012 to 2014

性指数及丰富度指数趋势一致, 随季节呈上升趋势。

综合浮游植物各群落参数, 2014 年 8 月及 11 月

莱州湾浮游植物多样性指数、丰富度指数及均匀度指数均相对较高, 浮游植物群落结构稳定。

2.3 浮游植物平面分布

莱州湾浮游植物的平面分布极不均匀。河口及近岸海域浮游植物丰度远大于远海。黄河口近岸海域各季节浮游植物细胞丰度均较高, 其次为广利河、老弥河和小清河口附近海域, 莱州湾北部海域相对较低(图 4)。

2012 年 5 月, 浮游植物丰度最高值出现在黄河口附近海域的 413 站位, 丰度为 23.25×10^5 cells/m³; 8 月最高值出现在湾底近岸海域的 435 站位, 丰度为 89.53×10^5 cells/m³; 黄河口附近海域次之, 丰度为 44.41×10^5 cells/m³; 11 月最高值同样出现在 435 站位(丰度为 14.83×10^6 cells/m³)。黄河口附近海域浮游植物丰度依然较高, 丰度为 1.65×10^6 cells/m³。

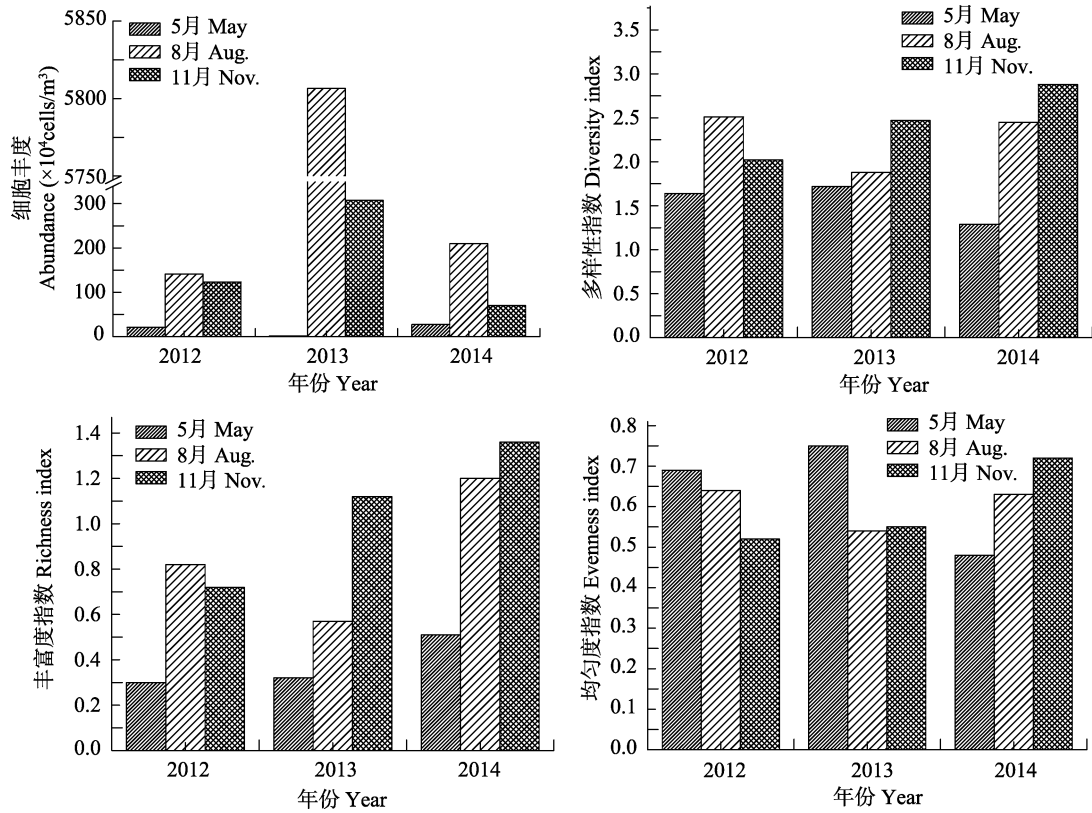


图3 浮游植物群落参数年际变化(细胞丰度、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数)

Fig.3 Annual variation of the phytoplankton community (cell abundance, richness index, diversity index and evenness index)

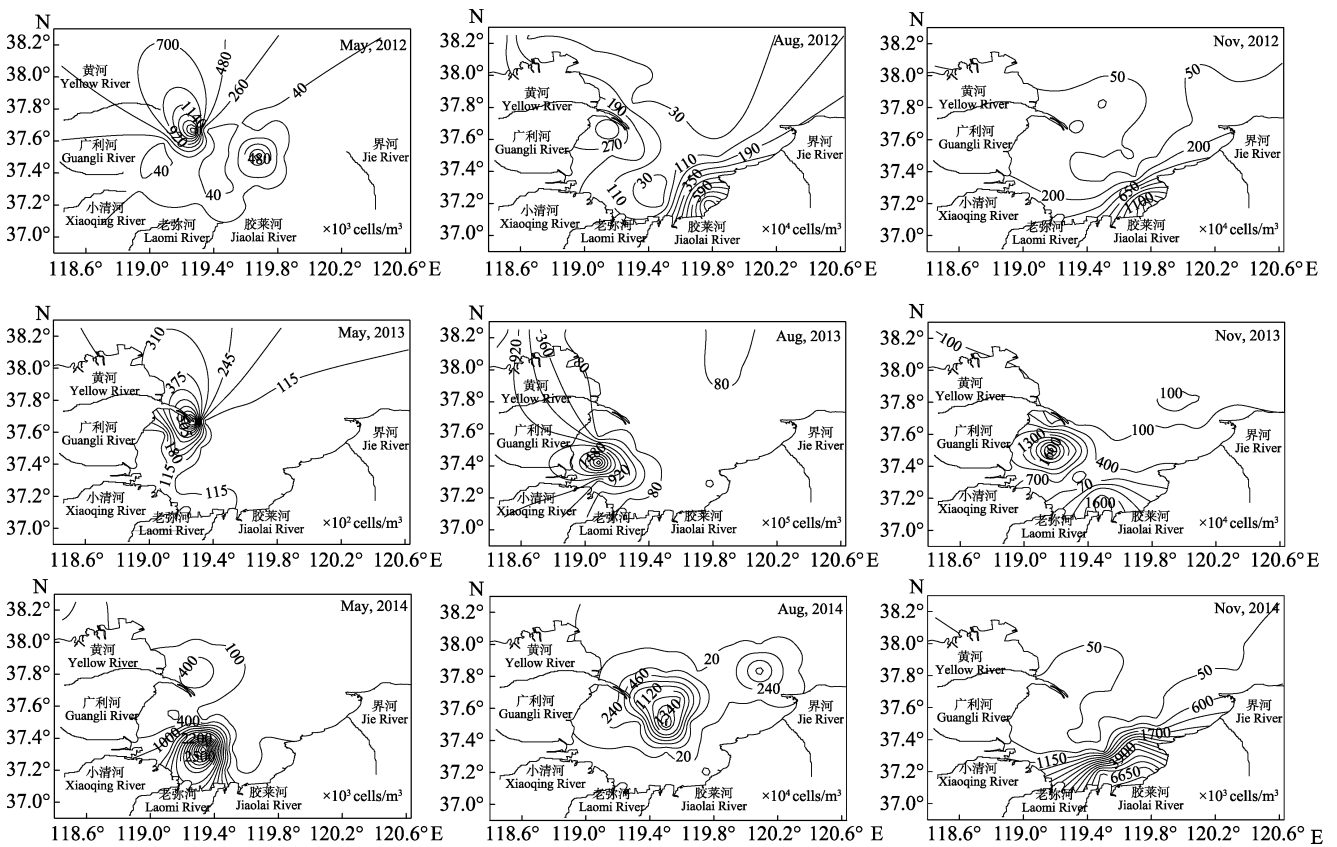


图4 莱州湾浮游植物平面分布

Fig.4 Horizontal distribution of phytoplankton in the Laizhou Bay

2013 年依然是黄河口和广利河口附近海域浮游植物丰度较高,5 月、8 月、11 月丰度分别为 3.36×10^4 、 10.37×10^7 、 3.93×10^5 cells/m³, 8 月浮游植物丰度最高。

2014 年 5 月和 8 月丰度最高值均出现在莱州湾中部远岸海域,分别为 54.87×10^5 和 21.57×10^6 cells/m³。11 月最高值出现在湾底东南部近岸海域,丰度为 70.70×10^5 cells/m³, 远高于黄河口附近海域(丰度为 8.42×10^4 cells/m³), 最低值出现在湾中部海域,丰度为 1.69×10^4 cells/m³。

2.4 浮游植物群落结构与环境因子关系

浮游植物丰度和种类数与水深、表层水温、盐度、

营养盐等环境因子相关关系见表 2。春季,浮游植物丰度与水深呈负相关($P < 0.05$), 种类数与水深、表层水温呈负相关($P < 0.05$), 与透明度呈显著负相关($P < 0.01$), 与化学需氧量(COD)呈显著正相关($P < 0.01$); 夏季,浮游植物丰度与 pH 呈负相关($P < 0.05$), 与无机氮、石油类含量呈正相关($P < 0.05$), 种类数与溶解氧呈正相关($P < 0.05$), 与表层水温、无机氮含量呈显著负相关($P < 0.01$); 秋季,浮游植物丰度与 COD 呈正相关($P < 0.05$), 与石油类含量呈显著正相关($P < 0.01$), 与水深、盐度、溶解氧呈显著负相关($P < 0.01$), 浮游植物种类数与石油类呈正相关($P < 0.05$), 与 COD 呈负相关($P < 0.05$), 与 pH 呈显著负相关($P < 0.01$)。

表 2 莱州湾浮游植物群落结构与环境因子的相关关系

Tab.2 Pearson correlation between the phytoplankton community and environmental factors in the Laizhou Bay

理化指标 Environment factors	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn	
	丰度 Abundance	种类数 Species	丰度 Abundance	种类数 Species	丰度 Abundance	种类数 Species
水深 Water depth	-0.246*	-0.262*	-0.174	0.098	-0.481**	0.138
表层水温 Surface temperature	-0.066	-0.339*	0.125	-0.439**	-0.179	0.088
透明度 Transparency	-0.221	-0.440**	-0.118	-0.141	0.105	0.042
盐度 Salinity	-0.186	-0.352	-0.054	0.189	-0.422**	-0.032
酸碱度 pH	0.126	0.030	-0.244*	0.092	-0.015	-0.335**
溶解氧 DO	-0.035	0.196	-0.013	0.229*	-0.277**	-0.155
化学需氧量 COD	0.132	0.327**	-0.102	-0.009	0.234*	-0.220*
磷酸盐 Phosphate	0.114	0.133	0.097	0.006	-0.129	-0.374
无机氮 DIN	0.085	0.019	0.240*	-0.298**	0.078	0.070
石油类 Oil	0.147	0.149	0.270*	0.108	0.576**	0.251*

**表示相关置信度水平 < 0.01 , * 表示相关置信度水平 < 0.05

** denoted confidence level < 0.01 , * denoted confidence level < 0.05

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构及其参数变化

本次调查共鉴定浮游植物 125 种(包含变型和变种), 分属 5 大门类。其中, 硅藻门无论是种类还是丰度均占绝对优势, 这与刘慧等(2003)、王俊(2003)关于莱州湾浮游植物的调查结果一致。由于硅藻形成的硅质化外壳对其自身生存具有保护作用, 同时在不良情况下, 硅藻可产生休眠孢子度过不良环境, 对环境适应能力较强, 使其在整个浮游植物种类组成中占绝对优势。2012 年共鉴定浮游植物 90 种, 2013 年共鉴定浮游植物 88 种, 2014 年共鉴定浮游植物 69 种。由此可见, 浮游植物种类数在溢油后呈现逐年下降趋势, 但总种类数仍高于 2009 年的 58 种(宁璇璇等, 2011)。

莱州湾海域浮游植物种类主要以温带近岸种和浮游广布种为主, 溢油发生后浮游植物的种类组成未

发生明显变化(李广楼等, 2006; 宁璇璇等, 2011)。

浮游植物的种类和丰度均呈明显的季节变化特征, 2012–2014 年最高值均在夏季(8 月), 最低值在秋季(11 月)。历史资料显示, 1998 年莱州湾浮游植物数量高峰出现在春季(5 月), 最低值出现在夏季(8 月)(王俊, 2000); 2003 年莱州湾浮游植物数量均值最高值出现在 8 月, 最低值出现在 5 月(李广楼等, 2006); 说明 15 年间莱州湾浮游植物群落结构的季节演替发生了变化。

浮游植物的群落参数显示, 以多样性指数小于 1、均匀度小于 0.3 为多样性较差的标准(李广楼等, 2006), 莱州湾浮游植物的多样性指数均大于 1, 均匀度指数均大于 0.3。因此可以认为, 莱州湾的生物多样性和丰富度均较好, 浮游植物群落结构比较稳定, 种类和数量分布比较均匀。

3.2 环境因子对浮游植物群落结构的影响

海洋环境是海洋生物赖以生存的基础, 海洋生物

的活动分布、繁殖和生长都与海洋环境密不可分。浮游植物丰度的平面分布显示莱州湾河口区及近岸海域浮游植物丰度远大于远海。其中黄河口近岸海域各季节浮游植物细胞丰度均较高,河流汇入湾内海水的盐度一般较低,营养盐类比较丰富,有利于浮游植物的繁殖生长(王俊等,1998;康元德,1981;朱树屏等,1966)。

浮游植物的数量丰度变化与表层水温、透明度、溶解氧、营养盐、石油类等环境因子密切相关。冬季水温低,浮游植物繁殖能力弱、丰度低,营养消耗少,使得春季海水中营养盐积累较多,所以春季营养盐一般不会成为浮游植物生长繁殖的限制因子,而水深、透明度和水温是影响浮游植物丰度和种类数的环境因子。随着气温逐渐升高以及沿岸河流输送营养盐的增加,浮游植物生长繁殖速度加快,夏季浮游植物丰度大幅升高,此时浮游植物丰度与无机氮等营养盐呈正相关,与郝彦菊等(2005)关于莱州湾营养盐与浮游植物多样性的调查研究结果一致;浮游植物丰度大幅度增加时,为了争夺有限的营养物质和生存空间,种间竞争加剧,浮游植物种类数下降,因而8月浮游植物种类数与无机氮呈现显著负相关。而随着水温的下降以及营养盐的消耗,秋季浮游植物丰度又再次下降,此时影响浮游植物丰度的环境因子为水深、盐度和溶解氧。Parab等(2008)、王修林等(2004)研究显示,低浓度石油烃对旋链角毛藻的生长表现为促进作用。本调查中春、秋季莱州湾浮游植物优势种均有旋链角毛藻,所以夏、秋季莱州湾浮游植物丰度与石油类含量呈正相关。在一定条件下,低浓度的石油烃污染物可能导致大量赤潮类浮游植物在短时间内大量繁殖,这可能是诱发赤潮的因素之一(黄逸君等,2011)。2013年8月,莱州湾调查海域拟旋链角毛藻和旋链角毛藻的大量繁殖可能与此时海水中低浓度石油烃有关。到目前,关于低浓度的石油烃能促进浮游植物生长的原因尚未确定,可能与石油烃中含有与浮游植物生长所需营养相同的成分有关(王君丽等,2011)。

本调查结果显示,溢油发生后莱州湾浮游植物群落结构比较稳定,种类和丰度分布相对较均匀,溢油未明显改变浮游植物的自然习性。但石油烃与海洋环境及浮游植物群落的相互作用是一个长期复杂的过程。目前,有关石油烃对海洋浮游植物的致毒机理和生物学效应研究仍不够深入,需要获取更多资料进行

更深入的研究。

参 考 文 献

- 王君丽,刘春光,冯剑丰,等.石油烃对海洋浮游植物生长的影响研究进展.环境污染与防治,2011,33(4):81-86
- 王修林,杨茹君,祝陈坚.石油烃污染物存在下旋链角毛藻生长的粒度效应初步研究.中国海洋大学学报(自然科学版),2004,34(5):849-853
- 王俊,康元德.渤海浮游植物种群动态的研究.海洋水产研究,1998,19(1):43-52
- 王俊.莱州湾浮游植物种群动态研究.海洋水产研究,2000,21(3):33-38
- 王俊.渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究.海洋水产研究,2003,24(4):44-50
- 邓景耀,金显仕.莱州湾及黄口水域渔业生物多样性及其保护研究.动物学研究,2000,21(1):76-82
- 宁璇璇,纪灵,王刚,等.2009年莱州湾近岸海域浮游植物群落的结构特征.海洋湖沼通报,2011(3):97-104
- 朱树屏.黄河口附近海区浮游植物的季节变异.太平洋西部渔业研究委员会第九次全体会议论文集.北京:科学出版社,1966,1-10
- 刘慧,方建光,董双林,等.莱州湾和桑沟湾养殖海区浮游植物的研究II.海洋水产研究,2003,24(2):9-17
- 刘慧敏,刘广为.浅析蓬莱19-3溢油事故的环境及政治经济影响.学理论,2012(35):81-82
- 李广楼,陈碧鹃,崔毅,等.莱州湾浮游植物的生态特征.中国水产科学,2006,13(2):293-299
- 郝彦菊,王宗灵,朱明远,等.莱州湾营养盐与浮游植物多样性调查与评价研究.海洋科学进展,2005,23(2):197-204
- 夏东兴,王文海,刘传信,等.中国海湾志(第八分册).北京:海洋出版社,1993,69
- 钱迎倩,马克平.生物多样性研究的原理和方法.北京:中国科学技术出版社,1994,141-165
- 黄逸君,陈全震,曾江宁,等.石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响.生态学报,2011,31(2):513-521
- 康元德.渤海浮游植物的数量分布和季节变化.海洋水产研究,1991(12):31-54
- Lalli CM, Parsons TR. Biological oceanography: An Introduction. New York: Pergamon Press, 1993, 45-79
- Margalef DR. Perspectives in ecological theory. Chicago: University of Chicago press, 1968, 1-111
- Pielou EC. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 1969
- Parab SR, Pandit RA, Kadam AN, et al. Effect of Bombay high crude oil and its water-soluble fraction on growth and metabolism of diatom *Thalassiosira* sp.. Indian J Mar Sci, 2008, 37(3): 251-255
- Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949, 144

The Structure of the Phytoplankton Community in the Laizhou Bay After the Oil Spills in Penglai 19-3 Oilfield

CHENG Ling, WANG Yuexia, MA Yuanqing^①, HE Jianlong,
LIU Aiyong, SONG Xiukai, YOU Liping

(Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Key Laboratory of
Marine Ecological Restoration, Yantai 264006)

Abstract Ecosystems in the coastal water display high complexity and have been of great human and ecological interest. Interaction of physical, chemical and ecological factors determines the abundance and specific structures of biological communities, particularly the phytoplankton community, which comprise the lower levels of the oceanic food chain. To better understand the structure of the coastal phytoplankton community as well as its relationship with various environmental factors, a phytoplankton survey was carried out in the Laizhou Bay after the oil spills in Penglai 19-3 oilfield. At thirty-five selected sampling sites the water temperature, salinity, transparency, COD, pH, total nitrogen, and total phosphorus were investigated in May, August, and December from 2012 to 2014. Our sampling and testing methods followed the Specifications for Oceanographic Surveys and Specifications for Marine Monitoring. Correlation analysis (SPSS) was applied in determining the relationships between zooplankton communities and various environmental factors. Phytoplankton was collected using the standing net type III (mesh size 76 μm , the standard sampling tool in Chinese marine phytoplankton studies) with a vertical haul at each grid station. Five classes including 125 species were commonly found in the surveyed area. Diatoms were the dominant species and dinoflagellates also shared importance in the phytoplankton community. Both the abundance and the diversity of phytoplankton reached the maximum in August, and the annual variation of diversity index and richness index tended to be consistent. The diversity of phytoplankton was positively correlated to the chemical oxygen consumption (COD, $P < 0.01$) and negatively correlated to the transparency ($P < 0.01$) in spring. There were negative correlations between the phytoplankton diversity and the surface temperature of seawater and inorganic nitrogen ($P < 0.01$) in summer. As for the abundance of phytoplankton, it was negatively correlated to the depth of water, salinity, and dissolved oxygen ($P < 0.01$) in autumn, and positively correlated to the petroleum content. These results showed that after the oil spilled, no obvious changes in the abundance and the community structure of the phytoplankton were present in the Laizhou Bay.

Key words Laizhou Bay; Phytoplankton; Environmental factors; Correlation analysis; Oil spill

① Corresponding author: MA Yuanqing, E-mail: erma0402@163.com