

莱州湾浮游植物的生态特征

李广楼^{1,2}, 陈碧鹃², 崔毅², 马绍赛², 唐学玺¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:于2002~2003年对莱州湾浮游植物进行了4个航次的调查,对浮游植物的种类组成、数量分布、生物多样性及其与环境因子的相关性进行分析,结果表明,调查海域共检出浮游植物22属45种。其中硅藻20属40种,占88.9%;甲藻2属5种,占11.1%。浮游植物数量的变动范围为 $0.16 \times 10^4 \sim 20\,642.83 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$,浮游植物数量均值的最高值出现在2003年8月,最低值出现在2003年5月。经多样性指数、丰富度指数、均匀度指数和单纯度指数分析,调查海域浮游植物的群落结构特征、多样性和丰富度均较好,可以认为该海域浮游植物群落结构比较稳定。从总体变化趋势看,调查期间浮游植物数量变动与温度呈显著的正相关,与盐度呈显著的负相关,但与单一营养盐之间的相关关系并不显著。由无机磷含量变化范围看($0.18 \sim 0.41 \mu\text{mol/L}$),该水域无机磷为影响浮游植物繁殖生长的限制因子之一。[中国水产科学, 2006, 13(2): 292-299]

关键词:莱州湾;浮游植物;生态特征;环境因子

中图分类号: X145; S931.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2006)02-0292-08

浮游植物作为初级生产者吸收营养盐,又作为饵料生物被浮游动物和大型滤食性动物摄食,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。浮游植物的群落相似性与多样性的变化直接影响到海洋生态系统的结构与功能,N、P作为海洋中浮游植物赖以生存的基础物质,其含量与分布在很大程度上影响着浮游植物的数量变化,而浮游植物对N、P的吸收和利用也在一定程度上影响着营养盐含量的变动。因此了解水体中N、P等营养盐与浮游植物之间的相互制约关系,是研究浮游植物生态特征的重要内容之一。

莱州湾位于山东半岛西北、渤海南部,总面积 $6\,966.93 \text{ km}^2$ ^[1],是中国北方重要的渔业资源基地,也是黄、渤海经济生物的主要繁育场。莱州湾有黄河、小清河等多条河流入海,沿岸河流径流携带大量无机营养盐入海,营养盐含量较高,沿岸水质肥沃,有利于浮游植物的繁殖与生长。近些年来,随着入海河流带入莱州湾的污染物不断增加,加之养殖业的迅速发展,莱州湾海水富营养化问题日趋严重,生态环境受损已成为该海域所面临的重要问题^[2-3]。有关莱州湾浮游植物生态特征、氮磷营养盐分布研

究等时有报道^[4-11],以中国的黄、渤海沿岸水域为例,由于人类活动的影响和污染的加剧,局部区域生态环境退化^[12],渤海海域浮游植物多样性下降,其初级生产力在10年间下降了30%~40%^[13]。本研究根据2002~2003年间4个航次对莱州湾浮游植物的调查资料,对浮游植物的种类组成、数量分布、生物多样性及其与环境因子的相关性进行分析,并结合环境因子对各采样点浮游植物的群落相似性进行研究,以期对莱州湾生态环境、养殖环境容量的评估以及合理的开发提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

于2002年5月至2003年8月,对莱州湾进行了4个航次调查,调查范围及20个调查站位的分布见图1。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 浮游植物 采用国际标准号20(孔径 0.076 mm)的筛绢缝制的浅水Ⅲ型浮游生物网(网口直径为 37 cm ,网全长 1.5 m),自海底到水面垂直拖取样品。样品的处理、分析鉴定和资料整理均按

收稿日期:2005-08-31; 修订日期:2005-11-03。

基金项目:国家自然科学基金项目(40376037);科技部工作平台专项(2003DEB3J052);山东省科技攻关计划项目(012110116)。

作者简介:李广楼(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为海洋环境生态学。

通讯作者:陈碧鹃, E-mail: chenbj@ysfri.ac.cn

《海洋调查规范》^[14]的要求进行。

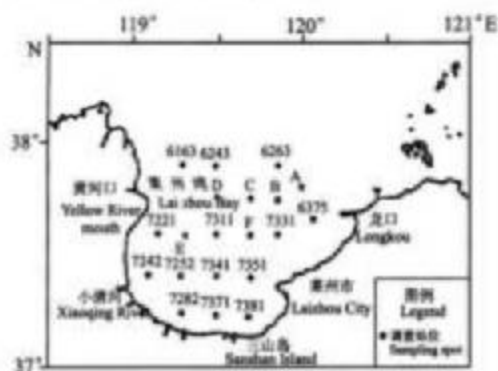


图1 莱州湾浮游植物调查站位图

Fig.1 Phytoplankton investigation stations in the Laizhou Bay

1.2.2 水样 采用 YSI55 多参数测定仪现场测定 pH、盐度(S)、温度(T)、溶解氧(DO)等指标。采集的水样经处理后带回实验室进行营养盐分析测定,水样的采集、现场处理和分析测定均按中华人民共

和国家标准《海洋调查规范》^[14]和《海洋监测规范》^[15]中规定的方法进行。

1.3 数据处理

浮游植物多样性分析方法参见文献[16-17]。浮游植物群落相似性的分析是将莱州湾各调查站浮游植物细胞密度进行四次方根转换和组平均转换后,采用多元统计分析软件 PRIMER V4^[18]进行等级聚类分析(CLUSTER),其中 Bray and Curtis 相似性指数 $I_s = [2c/(a+b)] \times 100\%$ 。式中,a、b 分别为 A、B 样品的种类数,c 为 A、B 样品的共有种类数。

2 结果

2.1 浮游植物的种类组成与生态类型

经初步鉴定浮游植物共有 22 属 45 种(表1),其中硅藻门的种类和数量最多,为 20 属 40 种,占 88.9%;甲藻门次之,为 2 属 5 种,占 11.1%。硅藻门以角毛藻属的种类数最多,达10种,主要种类为

表1 2002年5月至2003年8月莱州湾浮游植物种类名录

Tab.1 List of phytoplankton in the Laizhou Bay from May 2002 to August 2003

种类	Species	种类	Species
密聚角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i> Cleve	中华盒形藻	<i>Biddulphia sinensis</i> Greville
洛氏角毛藻	<i>C. lorenzianus</i> Grunow	活动盒形藻	<i>Bidd. mobiliensis</i> Bailey
扁面角毛藻	<i>C. compressus</i> Lauder	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow
假弯角毛藻	<i>C. pseudocurvisetus</i> Margin	伏恩海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve and Grunow
柔弱角毛藻	<i>C. debilis</i> Cleve	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow
窄隙角毛藻	<i>C. affinis</i> Lauder	近缘曲舟藻	<i>Pleurosigma affine</i> Grunow
双尖角毛藻	<i>C. didymus</i> Cleve Ehrenb.	中华半管藻	<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville
尾孢角毛藻	<i>C. subsecundus</i> (Grunow) Hustedt	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve
卡氏角毛藻	<i>C. castracanei</i> Karsten	扭鞘藻	<i>Streptotheca thamesis</i> Schrubsole
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve
偏心圆筛藻	<i>Coccinadiscus. eccentricus</i> Ehrenb.	塔形冠盖藻	<i>Stephanopyxis turris</i> (Greville et Arnot)
虹彩圆筛藻	<i>C. oculus-iridis</i> Ehrenb.	日本星杆藻	<i>Asterionella japonica</i> Cleve
线形圆筛藻	<i>C. lineatus</i> Ehrenb.	透明辐杆藻	<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder
圆筛藻	<i>Coccinadiscus</i> sp.	豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i> Hensen
尖刺菱形藻	<i>Nitzschia pungens</i> Grunow	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> Cleve
奇异菱形藻	<i>N. paradoxa</i> (Gmelin) Grunow	地中海指管藻	<i>Dactyliosolen mediterraneus</i> Peragallo
洛伦菱形藻	<i>N. lorenziana</i> Grunow	膜状舟形藻	<i>Navicula membranacea</i> Cleve
菱形藻	<i>Nitzschina</i> sp.	四角网硅藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg
翼根管藻	<i>Rhizosolenia. alata</i> Brightwell	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (O. F. Muller) Nitzschia
翼根管藻印度变型	<i>R. alata</i> f. <i>indica</i> Ostenfeld	长角角藻	<i>C. macroceros</i> (Ehrenb.) Vanhoffen
笔尖根管藻	<i>R. styliformis</i> Brightwell	纺锤角藻	<i>C. fusus</i> (Ehrenb.) Dujardin
刚毛根管藻	<i>R. setigera</i> Brightwell	分叉角甲藻	<i>C. furca</i> Dujardin
斯托根管藻	<i>R. stouterfothii</i> Peragallo		

假弯角毛藻、密联角毛藻、窄隙角毛藻、洛氏角毛藻和柔弱角毛藻;其次是根管藻属,有5种,主要种类为翼根管藻、刚毛根管藻和斯托根管藻;圆筛藻属和菱形藻属各4种。甲藻门以角藻属的种类最多,分别是三角角藻、长角角藻、纺锤角藻和分叉角甲藻等4个种类。

莱州湾海域浮游植物种类主要是以温带近岸种和浮游广布种为主。根据其生态特征大致可分为:广温广盐的广布种,如柔弱角毛藻、鳃胞角毛藻、丹麦细柱藻、尖刺菱形藻、布氏双尾藻、星脐圆筛藻、刚毛根管藻、中心圆筛藻、斯托根管藻等;温带内湾种和沿岸种,如窄隙角毛藻、地中海指管藻、中华半管藻、翼根管藻印度变型等;热带近岸种,如假弯角毛藻、洛氏角毛藻等;远洋性种类,如密联角毛藻、偏心圆筛藻、虹彩圆筛藻等。

2.2 浮游植物个体总数量的水平分布

表2列出了莱州湾浮游植物数量均值和数量变动范围。从浮游植物的数量均值看,夏季浮游植物的数量远高于春季,这种变化反映了本海区浮游植物数量季节变动规律。还可以看出,在同时期内浮游植物细胞总量在最高站位比最低站位至少高出69倍,最高可达12 171.5倍,充分反映出莱州湾海区浮游植物平面分布的不均匀性。

由平面分布看,春季不同年份浮游植物数量平面分布不尽相同。2002年5月浮游植物总量呈由湾顶西南部至湾口方向逐渐降低的趋势,浮游植物数量在湾顶西南部形成一高密度区,其数量为 $108.9 \times 10^4 \sim 160.9 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ (图2-a);2003年5月,浮游植物总量均值低于2002年同期的数量,湾近岸水域数量较高,湾中部水域数量较为稀疏,特别是黄河口附近水域等值线较为密集,水平梯度较大(图2-c)。

8月份莱州湾浮游植物总量均值远高于5月份,2002年8月浮游植物数量分布呈东岸高、西岸低的趋势,湾东部近岸水域数量较大,水平分布较为明显,而湾西部水域水平分布不明显,其数量分布相对均匀(图2-b);2003年8月,浮游植物总量呈湾顶区域和湾东北部数量较高,均呈向湾中部降低趋势(图2-d)。

2.3 浮游植物的多样性特征

表3列出的数据显示了调查海域浮游植物多样性(H')、丰富度(d)、单纯度(c)和均匀度(e)的变化特点。2002~2003年调查数据显示,8月浮游植物的种类数较多,5月的种类数量较少;浮游植物多样性指数均值最低值出现在2003年8月(1.24),最高值出现在2002年8月(1.61);丰富度均值的最低值出现在2003年8月(2.64),最高值出现在2003年5月(4.38);而单纯度均值的最低值出现在2002年8月(0.31),最高值出现在2003年8月(0.47);均匀度均值的最低值出现在2003年8月(0.50),最低值出现在2002年5月(0.73)。

2.4 浮游植物的群落相似性

2002年5月莱州湾各调查站位浮游植物聚类结果如图3-a所示,在相似性30%的水平上将调查海域划分为3个区:I区(7311站);II区包括A、6263、B、C和F 5个站,位于莱州湾的东北部,是以圆筛藻为优势种的区域;III区包括由湾顶至莱州湾西北部的大范围内海域的13个站,分别为7331、6375、D、6243、6163、E、7221、7252、7282、7371、7242、7341和7351站,该区域主要以角毛藻、圆筛藻和中华盒形藻为主。I区仅有7311一个站,和其他站位仅有20%的相似性,该站仅采集到圆筛藻和布氏双尾藻,而且数量较少。

表2 莱州湾浮游植物总数量均值和站间数量变动范围

Tab.2 Mean values of phytoplankton and variation ranges among the stations in the Laizhou Bay

调查时间 Date	数量均值 Mean value	变动范围 Variable range
2002年5月 May, 2002	23.05	0.16~160.89
2002年8月 Aug., 2002	1 527.59	3.16~20 642.83
2003年5月 May, 2003	6.04	0.40~27.62
2003年8月 Aug., 2003	2 863.36	1.50~18 257.30

$\times 10^4 \text{ ind/m}^3$

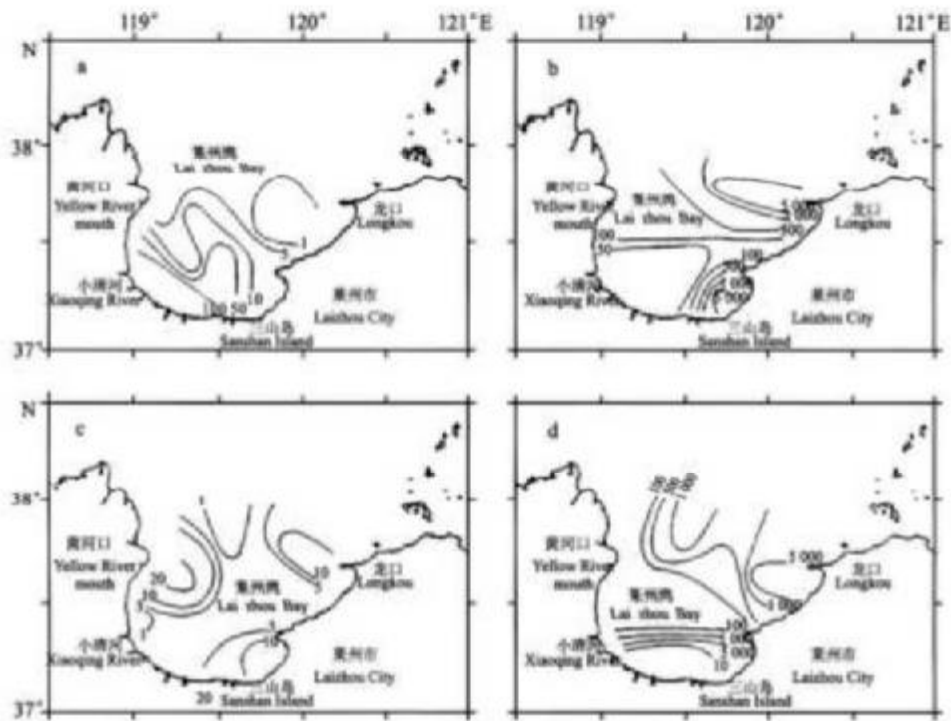


图 2 莱州湾调查海域浮游植物数量平面分布 ($\times 10^6 \text{ ind/m}^3$)
a-2002 年 5 月; b-2002 年 8 月; c-2003 年 5 月; d-2003 年 8 月
Fig.2 Horizontal distribution of phytoplankton biomass in the Laizhou Bay ($\times 10^6 \text{ ind/m}^3$)
a-May,2002; b-Aug., 2002; c-May,2003; d-Aug., 2003

表 3 莱州湾调查海域浮游植物群落结构特征
Tab.3 Indices of community structure of phytoplankton in the Laizhou Bay

多样性指数 Diversity index	项目 Item	2002 年 5 月 May,2002	2002 年 8 月 Aug.,2002	2003 年 5 月 May,2003	2003 年 8 月 Aug., 2003
多样性 H'	范围 Range	0.20-1.78	0.21-2.38	0.97-1.88	0.56-2.07
	平均 Mean	1.36	1.61	1.26	1.24
丰富度 d	范围 Range	1.38-5.57	1.30-4.96	1.81-5.35	0.92-5.40
	平均 Mean	3.91	2.87	4.38	2.64
单纯度 c	范围 Range	0.21-0.94	0.11-0.79	0.21-0.55	0.17-0.80
	平均 Mean	0.4	0.31	0.38	0.47
均匀度 e	范围 Range	0.10-0.92	0.07-0.86	0.50-0.92	0.18-0.98
	平均 Mean	0.73	0.64	0.71	0.5

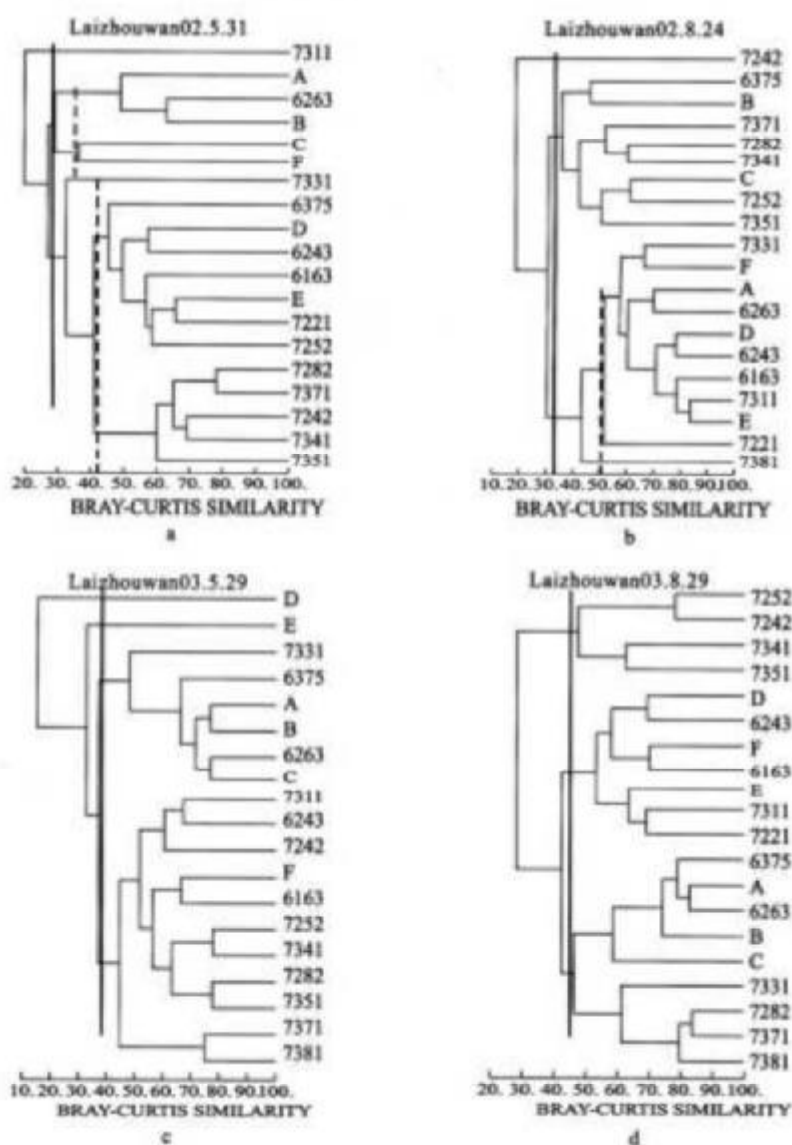
2002 年 8 月各站位的群落相似性在 35% 的水平上可以分为 3 个区(图 3-b): I 区(7242); II 区从湾顶至莱州湾东北部共 8 个站,分别是 6375、B、7371、7282、7341、C、7252 和 7351 站,该区以假弯角毛藻、窄隙角毛藻和圆筛藻为主体; III 区包括莱州湾西南部和湾口处的 7331、F、A、6263、D、6243、6163、7311、E、7221 站和莱州湾东南部的 7381 站。该区

浮游植物种类丰富,其中以假弯角毛藻、圆筛藻、近缘舟形藻、扭鞘藻、布氏双尾藻为主。
在相似性 45% 的水平上,2003 年 5 月各站位的群落相似性同样可以被划为 3 个区(图 3-c): I 区位于湾中部,包括 D、E 两个站位; II 区包括 7331、6375、A、B、6263、C 共 6 个站,位于东北部的湾口处,该区以圆筛藻、中华盒形藻、近缘曲舟藻、具槽直

链藻最多;Ⅲ区贯穿湾顶至湾西部,包括7311、6243、7242、F、6163、7252、7341、7282、7351、7371和7381站共11个站,该区的群落组成以圆筛藻、中华盒形藻为主。其中Ⅰ区的D站位的群落相似性与其他站位的不同显得尤为突出(不足15%)。

图3-d显示了2003年8月的聚类结果,可以看出在相似性45%的水平上各站位的群落相似性可以分为3个区:Ⅰ区包括4个站位(7252、7242、

7341和7351站),其群落组成以圆筛藻、三角角藻、中华盒形藻为主;Ⅱ区包括7个站(D、6243、F、6163、E、7311和7221站),其群落组成以菱形海线藻、圆筛藻、中华盒形藻为主;Ⅲ区包括9个站(6375、A、6263、B、C、7331、7282、7371和7381站),其群落组成以角毛藻、奇异菱形藻、圆筛藻和透明辐杆藻为主。



a-2002.5; b-2002.8; c-2003.5; d-2003.8

图3 莱州湾浮游植物群落的聚类图

Fig.3 CLUSTER of phytoplankton community in the Laizhou Bay

3 讨论

3.1 浮游植物生态特征的分析及评价

有关莱州湾浮游植物种类组成的研究曾有过记载^[4-10],分析 1959~2000 年莱州湾浮游植物的种类组成可知,虽然几次调查的结果不尽相同,但莱州湾海域浮游植物种类组成主要是温带近岸种和浮游广布种,和本次调查基本结果一致。

浮游植物多样性指数是表示其群落多样性的指标值,一般认为大于 1 时为正常,小于 1 时可能受到了其他环境因素的扰动。均匀度则是实际多样性指数与理论上最大多样性指数的比值,是一个相对值,其数值范围在 0~1,用它来评价浮游植物的多样性更为直观、清晰。实际应用中,当均匀度大于 0.3 时,表示海区内浮游植物的多样性较好,可以此做为评价其多样性优劣的标准。现常以多样性指数小于 1,均匀度小于 0.3 为多样性较差的标准进行综合评价^[19]。本次调查中,莱州湾浮游植物的多样性指数的范围在 1.26~2.38,均大于 1;均匀度指数的变化在 0.50~0.73,远大于 0.3。因此可以认为整个莱州湾的生物多样性和丰富度均较好,莱州湾海域浮游植物群落结构比较稳定,组成种类多,种类个体数量分布比较均匀。

相似性指数主要用于多个群落的相似性比较,常引入聚类分析的方法对比较的结果进行分析,并判别群落受污染或扰动的状态^[20]。本研究中,2002 年 5 月 I 区中的 7311 站与其他站位的相似性仅为 20%,分析该月环境因子和浮游植物总量数据可以看出,7311 站的无机氮(210.25 $\mu\text{g/L}$)、磷酸盐(37.25 $\mu\text{g/L}$)含量较其他区域丰富,浮游植物数量却是最低的($0.16 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$),这说明营养盐浓度不是浮游植物的唯一限制因素。比较各站水温发现,该站水温仅为 13.95 $^{\circ}\text{C}$,明显低于各站位平均水温(19.28 $^{\circ}\text{C}$),说明低温可能是造成该站位与其他站位群落相似性较低的主要原因,同样情况也出现在 2003 年 5 月中 I 区的 D 站位(图 3-c)。另外 2002 年 8 月的 7242 站位于小清河河口附近,由于夏季大量的淡水随小清河注入,很大程度上改变了该区域的盐度(30.16),使得盐度明显低于全湾的平均值(32.15)。环境因子的改变使浮游植物的群落结构受到扰动,进而造成群落相似性的改变。

3.2 浮游植物与环境因子的关系

浮游植物的迅速繁殖与理化因子温度、盐度、氮

磷比等有着内在的关联,并带动其下行生物链—浮游动物生物量的变动^[21]。经回归统计分析表明,莱州湾浮游植物总量与温度存在显著的正相关关系($r=0.8512, P<0.05, n=4$),与盐度存在显著的负相关关系($r=-0.8671, P<0.05, n=4$),但浮游植物数量与单一营养盐之间的相关关系并不显著($r_{\text{PTP/DIN}}=0.4446, P>0.05, n=4$; $r_{\text{PTP/DIP}}=0.2215, P>0.05, n=4$)。从图 4 中可以看出,无机氮、磷酸盐含量最高值均出现在 2002 年 5 月,平均含量分别为 131.56 $\mu\text{g/L}$ 、12.80 $\mu\text{g/L}$;最低值都出现在 2003 年 5 月,平均含量分别为 28.49 $\mu\text{g/L}$ 和 5.80 $\mu\text{g/L}$ 。但浮游植物总量并不与之对应,浮游植物总量高峰分别出现在 2002 年 8 月和 2003 年的 8 月,尤其值得注意的是 2002 年 5 月浮游植物总量仅为 $23.05 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$,这可能与温度变化有关。春季(2002 年 5 月)低数量的浮游植物相应减少了对营养盐类的消耗,营养盐的积累致使夏季(2002 年 8 月)浮游植物数量的突增(为春季的 66 倍)。2003 年 5 月浮游植物数量和营养盐类含量均降到最低值,2003 年 8 月营养盐类特别是无机氮含量又出现了较大幅度的上升,浮游植物数量达最高值。这一方面是与季节交替有关;另一方面可能与沿岸径流补充营养盐有关。对莱州湾影响最大的黄河入海径流量,枯水期(1~6 月)入海总径流量为 78.8 亿 m^3 ,丰水期(7~10 月)入海总径流量为 339.3 亿 m^3 ,丰水期入海径流量是枯水期的 4.30 倍^[22],入海径流的增加补充营养盐的同时也降低了莱州湾沿岸的海水盐度,低盐水含有较丰富的营养盐加速了浮游植物的生长与繁殖。

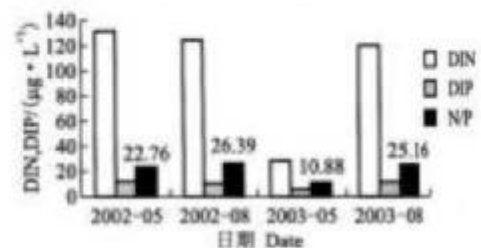


图4 不同时间段莱州湾海域的主要营养盐
Fig.4 Main nutrients in the Laizhou Bay during different periods

海区营养盐的比例失衡或营养盐限制是造成其浮游植物贫乏或浮游植物种类组成改变的重要原因^[23]。N/P 比值(原子比)是衡量 N 和 P 两元素对

水体富营养化重要性指标。一般海水中正常 N/P 比值约为 16:1^[24], 浮游植物从海水中摄取的 N/P 比值也约为 16:1^[25], 偏离过高或过低都可能引起浮游植物受到某一相对低含量元素的限制^[26]。由图 4 可见, 4 个航次调查的 N/P 比值除 2003 年 5 月低于 16:1 外, 其他 3 个航次均高于正常比, 无机磷显得相对紧缺。朱树屏^[27]研究结果认为, 海洋浮游植物对溶解无机氮和无机磷的最适浓度要求的下限分别为 5.71 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.58 $\mu\text{mol/L}$; 邹景忠等^[28]认为, 0.48 $\mu\text{mol/L}$ 以上的无机磷是浮游植物繁殖生长的最低浓度; Harvey^[29]认为, 磷酸盐浓度小于 0.55 $\mu\text{mol/L}$, 会降低某种硅藻的生长速度。由本调查结果看, 4 次调查无机氮的含量范围为 2.04 ~ 9.40 $\mu\text{mol/L}$, 平均 7.22 $\mu\text{mol/L}$; 无机磷含量范围为 0.18 ~ 0.41 $\mu\text{mol/L}$, 平均 0.32 $\mu\text{mol/L}$ 。显然无机磷低于上述所研究结果的限值, 由此可推论, 该水域无机磷为影响浮游植物繁殖生长的限制因子之一。

参考文献:

- [1] 中国海洋志编纂委员会. 中国海洋志(第三分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 69.
- [2] 葛仁英, 纪 灵. 莱州湾海水营养盐含量及有机污染状况分析[J]. 齐鲁渔业, 1995, 12(6): 45-46.
- [3] 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究[J]. 动物学研究, 2000, 21(1): 76-82.
- [4] 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): 43-52.
- [5] 王 俊. 莱州湾浮游植物种群动态研究[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 33-38.
- [6] 陈秀娟, 陈秉法, 崔 毅, 等. 莱州湾东部养殖区浮游植物的生态特征[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(3): 64-70.
- [7] 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 I [J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 9-17.
- [8] 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 [J]. 海洋水产研究, 2003, 24(3): 20-28.
- [9] 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): 1 643-1 656.
- [10] 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[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 197-204.
- [11] 卢敬让, 李德尚, 杨红生, 等. 莱州湾虾池养殖罗非鱼的静水围隔生态系浮游植物的初步研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 56-63.
- [12] 王安利, 王维娜, 胡俊荣, 等. 中国海洋生物多样性的研究[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2000, 20(2): 204-208.
- [13] 吕瑞华, 夏 滨, 李宝华, 等. 渤海水域初级生产力 10 年间的变化[J]. 黄渤海海洋, 1999, 17(3): 80-86.
- [14] 国家技术监督局编. 海洋调查规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 1992. 17-22.
- [15] GB17378.4-1998, 海洋监测规范(第 4 部分: 海水分析)[S].
- [16] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性的原理和方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141-165.
- [17] 王献博, 刘玉凯. 生物多样性的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 38-45.
- [18] 周 红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 58-64.
- [19] 马建新, 郑振虎, 李云平, 等. 莱州湾浮游植物分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2002, 4: 64-67.
- [20] 薛雄志, 杨喜爱. 近岸海域污染的生态效应评价[J]. 海洋科学, 2004, 28(10): 75-81.
- [21] 王云龙, 袁 帆, 沈新强. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 300-306.
- [22] 霍世青, 王庆海, 刘龙庆, 等. 2003 年黄河流域城市水质特点分析[J]. 人民黄河, 2004, 26(1): 14-16.
- [23] 刘 慧, 方建光, 董双林, 等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的周年变动及限制因子[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 227-234.
- [24] Pilon MEQ. Annual cycles of nutrients and chlorophyll in Narragansett Bay[J]. Rhode Island Mar Res, 1985, 43(4): 849-873.
- [25] Reynolds R A, Strimski D, Kiefer D A. The effect of nitrogen limitation on the absorption and scattering properties of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* [J]. Limnol Oceanogr, 1997, 42(5): 881-892.
- [26] Thompson P A. Nutrient limitation of phytoplankton in the upper Swan River estuary, Western Australia[J]. Mar Freshwater Res, 1996, 47(4): 659-667.
- [27] Chu S P. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton[J]. Sci Technol China, 1949, 2: 37-52.
- [28] 邹景忠. 渤海湾富营养化和赤潮问题探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 45-54.
- [29] Harvey H W. The chemistry and fertility of seawater[M]. London: Wambridge University Press, 1957.

Ecological characteristics of phytoplankton in the Laizhou Bay

LI Guang-lou^{1,2}, CHEN Bi-juan², CUI Yi², MA Shao-sai², TANG Xue-xi³

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Phytoplankton is the primary producer of marine organisms, which not only acts as the first producer absorbing nutrients, but also as the food organisms ingested by the zooplankton and large filter-feeding animals. It plays an important role in the material circulation and energy of the ocean ecosystem exchange. In addition, phytoplankton as the primary producer of ocean ecosystem, its community similarity and diversity's changes will affect the makeup and function of ocean ecosystem directly. N and P are the foundation which phytoplankton lives on, and its content and distribution affect the number of phytoplankton deeply. Otherwise, the number of N and P absorbed by the phytoplankton also affect the content of the nutrients in some way, so it is high time for us to deeply research the correlation between the phytoplankton and the nutrients. This paper reported the results of the biological characteristics, biomass, species composition, and community structure of phytoplankton in the Laizhou Bay, analyzed the community similarity, the relation between phytoplankton's distribution and the nutrients. The results showed that there were 22 genus 45 species phytoplankton in the investigational area. Among them 20 genus 45 species were Bacillariophyta, accounted for 88.9%, and 2 genus 5 species were Pyrophyta, accounted for 11.1%. The mean value of the total number of phytoplankton was $0.16 \times 10^4 - 20\,642.83 \times 10^4$ cell/m³. The maximum appeared in August 2003 and its minimum appeared in May 2003. Compared with the information of history, there was a declining tendency for the phytoplankton species of the Laizhou Bay in number. Four indexes which were diversity index, abundance index, simplicity index and evenness index were used to analyze the characteristics of community structure of phytoplankton in the investigational area. The results showed that the diversity and abundance indexes were better in Laizhou Bay; the characteristics of community structure of phytoplankton were steady. On the whole, there was a positive correlation between phytoplankton and temperature, and there was a negative correlation between phytoplankton and salinity. But the correlation between phytoplankton and a certain nutrients wasn't obvious. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 292 - 299]

Key words: Laizhou Bay; phytoplankton; ecology characteristics; environment factors

Corresponding author: CHEN Bi-juan. E-mail: chenbj@ysfri.ac.cn