

# 青岛崂山近岸海域浮游植物群落结构及其与环境因子的关系

孙雪梅 夏斌 过锋 陈碧鹃\* 石潇

(农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘要** 2012年5月和8月对崂山近岸和流清河湾网箱增养殖区的浮游植物进行调查。结果显示,5月共检出浮游植物23属36种,细胞丰度变动范围为 $85.26 \times 10^3 \sim 720.16 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ,夜光藻为优势种,数量占浮游植物总量的80%以上,受其影响,群落多样性较差,细胞丰度低。8月共检出浮游植物30属54种,细胞丰度变动范围为 $43.00 \times 10^3 \sim 1116.27 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ,群落多样性较好,细胞丰度较低。对浮游植物群落进行聚类分析,5月相似性在60%以上,8月在50%以上。崂山近岸的浮游植物细胞丰度平均值均大于流清河湾网箱增养殖区,而多样性均值前者均小于后者;相关性分析显示,细胞丰度平均值与N/P均值呈显著负相关( $r = -0.81, P < 0.05$ ),而多样性均值与其呈显著正相关( $r = 0.98, P < 0.05$ ),认为影响浮游植物细胞丰度和多样性的最关键限制因子是无机氮。

**关键词** 浮游植物 群落特征 崂山近岸 营养盐

**中图分类号** S917.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)03-0046-08

## Structure characteristics of phytoplankton community and the relationship with environmental factors in offshore area of Laoshan, Qingdao

SUN Xue-mei XIA Bin GUO Feng CHEN Bi-juan\* SHI Xiao

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**ABSTRACT** Phytoplankton at inshore area of Laoshan and Liuqing River Bay of Qingdao were investigated in May and August, 2012. There were 36 species belonging to 23 genera of phytoplankton collected during the survey in May, and the total number of phytoplankton was  $85.26 \times 10^3 \sim 720.16 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ . An outbreak of *Noctiluca scintillans* was observed in May, when its cell number was more than 80% of the total cell count. The diversity index was influenced by *N. scintillans*, and the cell abundance was also low. In August, Fifty-four species belonging to 30 genera of phytoplankton were collected during the survey; the total number of phytoplankton was  $43.00 \times 10^3 \sim 1116.27 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ . In August, phytoplankton was more

国家自然科学基金青年基金(41206100)、山东省自然科学基金(ZR2010CQ023)、中国水产科学研究院基本科研业务费(2012A0202)、国家海洋局项目[DOMEF (MEA)-01-01]和国家海洋局项目[DOMEF (MEA)-02]共同资助

\* 通讯作者。E-mail: chenbj@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836341

收稿日期:2012-12-25;接受日期:2013-02-25

作者简介:孙雪梅(1983-),女,硕士,主要从事海洋生态环境与生态毒理学研究。E-mail: rose3260503@yahoo.com.cn, Tel:(0532)85836341

diverse in survey areas, and the cell abundance was lower. Clustering analysis showed that the similarity of the phytoplankton community was more than 60% in May, and more than 50% in August. The cell abundance of phytoplankton at inshore area of Laoshan was more than that in Liuqing River Bay, while the diversity of the former was lower than the latter. Average cell abundance showed a negative correlation with N/P ( $r = -0.81$ ,  $P < 0.05$ ), while the mean diversity showed a positive correlation with N/P ( $r = 0.98$ ,  $P < 0.05$ ). It is concluded that the key limiting factor affecting the cell abundance and diversity of phytoplankton was the inorganic nitrogen.

**KEY WORDS** Phytoplankton Community structure Offshore area of Laoshan  
Nutrients

崂山近岸海域位于山东省青岛市的东部,其外海是黄海,整个海岸线长达 103.7 km<sup>2</sup>,是青岛市最重要的海岸线之一,其上分布着多个海滩,有 20 余条河流入海。其中,靠近沙子口湾的近海区域(杨建威 2008)是国家二级保护水野生动物文昌鱼的栖息地之一;流清河湾是重要的网箱养殖区,主要养殖品种为许氏平鲈和栉孔扇贝等。近岸海域是海洋与陆地的交汇地带,同时也是人类活动与海洋生物圈相互作用最频繁、最活跃的区域,这些特性赋予了它多种环境特征,群落结构常因各种干扰而发生时间和空间上的变化(程济生等 2004),因此,及时监测近岸海域的各项理化环境指标和生物种群动态,对近岸生物资源的合理利用、管理及保护具有重要意义。

浮游植物是海洋生态系统中的初级生产者,是海洋生态系统能量流动和物质循环的重要环节;简单的细胞构造、随波逐流的生活方式,使其对栖息生境中的各种环境因子有着较强的依赖性。因此,浮游植物的群落结构是海域水体理化状态和生态环境中其他物种相互作用的结果,其群落结构的时空变化,可以反映海域环境的变化,成为识别海域环境状况、评价海洋生态系统健康的重要指标。

目前,对近岸海域浮游植物群落结构特征的研究很多(赖廷和等 2005;冯志权等 2005),山东半岛地区主要是莱州湾近岸海域(宁璇璇等 2009)、胶州湾(陈碧鹃等 2000)北部沿岸等区域,而关于崂山近岸海域的浮游植物群落特征的研究尚未见报道。因此,本研究于 2012 年 5 月(春季)和 8 月(夏季)分别对崂山近岸海域的浮游植物分布情况及其理化环境进行调查,采用浮游植物细胞丰度、种类数以及物种多样性指数、群落均匀度、单纯度、丰富度和群落相似性等群落结构指标分析调查海域浮游植物的群落结构特征,并初步分析关键理化因子与细胞丰度以及多样性的相关性,从而为进一步掌握崂山近岸海域的生态环境质量状况及其动态变化提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查区域

2012 年 5 月和 8 月分别对崂山近岸海域和流清河湾网箱增养殖区进行两个航次的调查,共设 22 个站位;其中,崂山近岸海域 15 个站位,流清河湾设 7 个监测站点,z1~z6 号位于养殖区内,对照点 z0 号位于养殖区外,监测区域和站位分布见图 1。

### 1.2 采集方法

样品的采集采用国际标准号 20 的筛绢缝制的浅水 III 型浮游生物网,在每个站位自底至表垂直拖网取样,将样品固定在 5% 的甲醛溶液中,于实验室显微镜下进行种类鉴定和计数。水温、盐度、溶解氧(DO)、pH、生化需氧量(COD)等指标用美国 YSI 556 型多参数水质监测仪进行现场测定,同步采集水样带回实验室进行营养盐浓度(无机氮 DIN、活性磷酸盐 DIP)的测定,具体操作方法均按中华人民共和国国家标准《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)和《海洋监测规范》(GB/T17378-2007)中规定的方法执行。

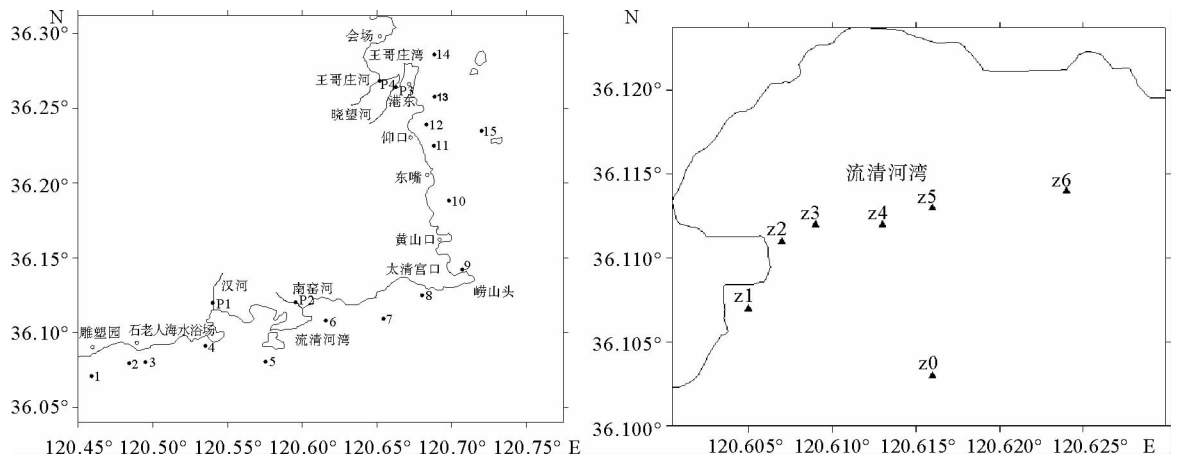


图1 青岛崂山近岸和流清河湾浮游植物调查站位

Fig. 1 Phytoplankton sampling stations at inshore area of Laoshan and Liuqing River Bay, Qingdao

### 1.3 数据处理

浮游植物多样性( $H$ )、丰富度( $D$ )、均匀度( $J$ )、单纯度( $C$ )和优势度( $Y$ )的分析方法参照 Shannon 等(1963)、Margalef (1968)、Pielou (1969)、孙军等(2004)和孙儒泳(1992),其中以优势度  $Y > 0.02$  的标准来确定优势种(徐兆礼等 1998)。

群落相似性通过多元统计分析软件 PRIMER V5(Clarke *et al.*, 2001;周红等 2003)以浮游植物种类和细胞数量以及监测站位组成原始数据矩阵,矩阵的样本为所监测的站点,矩阵的变量为每个站点中的浮游植物种类和数量,采用 Bray-Curtis 方法建立每个站点的等级相似矩阵,在不同相似矩阵的基础上建立聚类分析图谱。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物的种类组成与生态类型

经初步鉴定 5 月和 8 月共采集浮游植物 36 属 66 种(表 1),主要由 55 种硅藻和 11 种甲藻组成。其中 5 月共采集到 23 属 36 种,以甲藻门的数量最多,占浮游植物的 90.4%,其中夜光藻占 80.63%,甲藻门种类远远低于硅藻门,共有 7 属 9 种。5 月调查正值夜光藻赤潮爆发期,浮游植物主要是甲藻门的夜光藻,为表层沿岸种。其余浮游植物的生态类型主要为温带或广温近岸性种和广布浮游性种为主,还有少量的暖水性、外洋性、潮间带和半咸水种等。

8 月浮游植物共 30 属 54 种(表 1),硅藻门 25 属 46 种,占 92.46%;甲藻门 5 属 8 种,占 7.54%。硅藻门以角毛藻属种类最多,共 11 种,主要种类为洛氏角毛藻、窄隙角毛藻和旋链角毛藻;其次是圆筛藻属有 7 种,主要种类为偏心圆筛藻、星脐圆筛藻和威利圆筛藻。甲藻门以角藻属的种类最多,共 4 种,分别是三角角藻、长角角藻、纺锤角藻和分叉角甲藻。

8 月采集的浮游植物的生态类型主要也是以温带或广温近岸性种和广布浮游性种为主,按其生态类型主要分为 6 类:1)温带沿岸性种:丹麦细柱藻、洛氏角毛藻、泰晤士旋鞘藻和柔弱伪菱形藻等;2)沿岸广温性种:透明辐杆藻、旋链角毛藻、短角弯角藻和冰河拟星杆藻等;3)浮游性种:圆海链藻、翼根管藻印度变型和中华齿状藻等;4)潮间带种:蜂窝三角藻、长菱形藻、新月菱形藻和洛氏菱形藻等;4)海水、半咸水种:爱氏辐环藻、波罗的海布纹藻和派洛棍形藻等;5)外洋性种:偏心圆筛藻、虹彩圆筛藻、密联角毛藻和佛氏海线藻等;6)广温广盐的广布性种:星脐圆筛藻和中肋骨条藻等。

表 1 调查海域浮游植物种类名录  
Table 1 List of phytoplankton in the survey area

种类 Species	5 月 May	8 月 August	种类 Species	5 月 May	8 月 August
具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i>	+		蜂窝三角藻 <i>Triceratium favus</i>	+	
中心圆筛藻 <i>Coscinodiscus centralis</i>	+	+	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>		+
偏心圆筛藻 <i>Cos. Excentricus</i>	+	+	短角弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>		+
虹彩圆筛藻 <i>Cos. oculus-iridis</i>	+	+	泰晤士旋鞘藻 <i>Helicotheca tamesis</i>		+
格式圆筛藻 <i>Cos. Granii</i>	+		针杆藻 <i>Synedra</i> spp.		+
威利圆筛藻 <i>Cos. Weilesii</i>	+	+	佛氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i>		+
星脐圆筛藻 <i>Cos. asteromphalus</i>	+	+	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>		+
琼氏圆筛藻 <i>Cos. Coscinodiscus jonesianus</i>	+		近缘曲舟藻 <i>Pleurosigma affine</i>	+	+
辐射圆筛藻 <i>Cos. radiatus</i>		+	波罗的海布纹藻 <i>Gyrosigma balticum</i>		+
蛇目圆筛藻 <i>Cos. argus</i>		+	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	+	+
圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.		+
爱氏辐环藻 <i>Actinocyclus octonarius</i>	+		双壁藻 <i>Diploneis</i> sp.		+
条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i> var. <i>Striata</i>	+		唐氏藻 <i>Donkinia</i> sp.		+
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.		+	羽纹藻 <i>Pinnularia</i> spp.	+	+
海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.		+	羽纹藻 <i>Pinnularia</i> sp.		+
海链藻 <i>Thalassiosira</i> spp.		+	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	+	+
圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>		+	新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	+	
太平洋海链藻 <i>Thalassiosira pacifica</i>		+	菱形藻 <i>N.</i> spp.		+
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	+	+	洛氏菱形藻 <i>N. lorenzina</i>		+
丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	+	+	菱形藻 <i>N.</i> sp.	+	+
地中海细柱藻 <i>Leptocylindrus mediterraneus</i>		+	尖刺菱形藻 <i>N. pungens</i>	+	+
翼根管藻印度变型 <i>Rhizosolenia acuminata</i>	+	+	柔弱菱形藻 <i>N. delicatissima</i>	+	+
刚毛根管藻 <i>Rhi. setigera</i>	+		派洛棍形藻 <i>Bacillaria paxilli fera</i>	+	+
粗根管藻 <i>Rhi. robusta</i>	+		冰河拟星杆藻 <i>Asterionellopsis glacialis</i>	+	
中华根管藻 <i>Rhi. sinensis</i>	+		脆杆藻 <i>Fragilaria</i> spp.	+	
根管藻 <i>Rhi.</i> sp.	+		三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>	+	+
透明辐杆藻 <i>Bacteriastrum hyalinum</i>	+	+	长角角藻 <i>C. macroceros</i>	+	+
辐杆藻 <i>Bacteriastrum</i> sp.		+	纺锤角藻 <i>C. fusus</i> var. <i>schuttii</i> Lenm	+	+
密联角毛藻 <i>Chaetoceros densus</i>	+	+	分叉角甲藻 <i>C. furca</i>		+
圆柱角毛藻 <i>Ch. teres</i>		+	夜光藻 <i>Noctiluca scientillans</i>	+	+
窄隙角毛藻 <i>Ch. affinis</i> var. <i>affinis</i>		+	强壮前沟藻 <i>Amphidinium carterae</i>	+	
洛氏角毛藻 <i>Ch. lorenzianus</i>		+	渐尖鳍藻 <i>Dinophysis acuminata</i>	+	
并基角毛藻单胞变型 <i>Ch. decipiens</i> f. <i>singularis</i>		+	倒卵形鳍藻 <i>Dinophysis fortii</i>	+	+
拟旋链角毛藻 <i>Ch. pseudocurvisetus</i>		+	锥形原多甲藻孢囊 <i>Protoperdinium conicum</i>	+	
旋链角毛藻 <i>Ch. curvisetus</i>		+	里昂原多甲藻 <i>Protoperdinium leonis</i>	+	
柔弱角毛藻 <i>Ch. debilis</i>		+	厚甲多甲藻 <i>Peridinium crassies</i>		+
扭链角毛藻 <i>Ch. tortissimus</i>		+	原多甲藻 <i>Protoperdinium</i> sp.	+	
窄面角毛藻 <i>Ch. paradoxus</i>		+	原甲藻 <i>Prorocentrum</i> sp.	+	
扭角毛藻 <i>Ch. hirundinellus</i>		+	具刺多甲藻 <i>Gonyaulax spinifera</i>		+
角毛藻 <i>Chaetoceros</i> sp.	+	+	膝沟藻 <i>Gonyaulax</i> sp.		+
中华齿状藻 <i>Odontella sinensis</i>		+			

## 2.2 浮游植物的细胞丰度和群落结构特征

由图 2 和图 3 可以看出,5 月调查显示,崂山近岸和流清河湾浮游植物细胞丰度最高的站位为 5 号和 z1 号站位,最低的为 10 号和 z5 号站位,平均值为  $408.81 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$  和  $336.88 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ;8 月调查数据显示,崂山近岸和流清河湾浮游植物细胞丰度最高的站位为 7 号和 z6 号站位,最低的为 4 号和 z0 号站位,平均值为  $264.51 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$  和  $194.27 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ 。另外,从图 3 等值线图可以看出,5 月流清河湾以 5 号站位为中心呈现由内向外细胞丰度逐渐增加的趋势;而 8 月细胞丰度以 z0 站位为中心向湾内不同水平地逐渐增加。由于 5 月夜光藻占到了 80% 以上,因此除夜光藻外的浮游植物细胞丰度远远低于 8 月;从调查结果中还可以看出,5

月和8月崂山近岸海域浮游植物细胞丰度平均值均高于流清河湾,各站位之间的浮游植物丰度波动性较大,反映出崂山近岸浮游植物平面分布的不均匀性。

从表2的数据中可以看出,5月浮游植物的种类数( $S$ )、多样性( $H$ )、均匀度( $J$ )和丰富度( $D$ )平均值,均低于8月。另外,还发现两个季节的崂山近岸浮游植物的种类数、多样性、均匀度和丰富度平均值均低于流清河湾,而单纯度( $C$ )平均值前者大于后者,说明崂山近岸的浮游植物群落的多样性低于流清河湾。

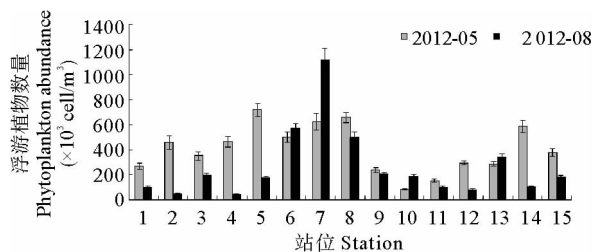


图2 崂山近岸海域浮游植物细胞丰度

Fig. 2 Distribution for phytoplankton abundance at inshore area of Laoshan in May and August

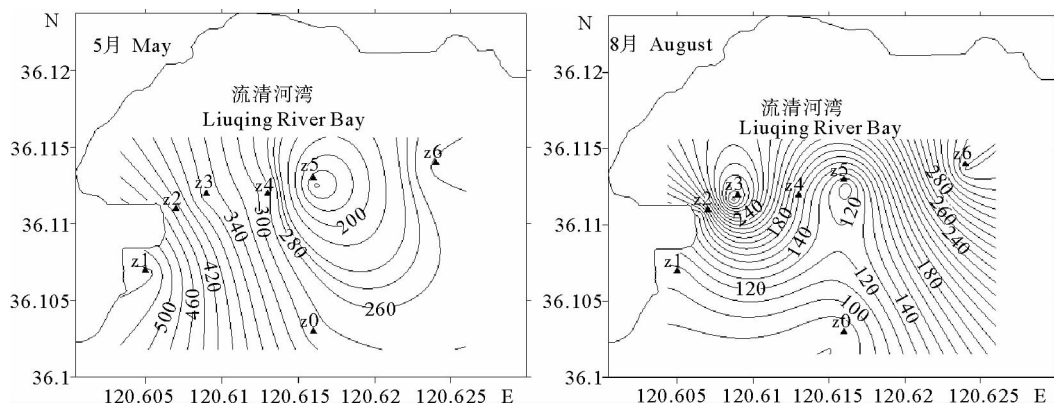


图3 流清河湾海域浮游植物细胞丰度平面分布( $\times 10^3 \text{ cell/m}^3$ )

Fig. 3 Horizontal distribution of phytoplankton abundance ( $\times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ) in Liuqing River Bay in May and August

表2 不同区域浮游植物的群落结构特征

Table 2 Community structure of phytoplankton at inshore area of Laoshan and Liuqing River Bay, Qingdao

调查时间 Time	不同调查区域 Survey area	均值 Mean				
		种类数 $S$	多样性 $H$	均匀度 $J$	丰富度 $D$	单纯度 $C$
5月 May	崂山近岸 Offshore area of Laoshan	16	0.77	0.28	2.55	0.72
	流清河湾 Liuqing River Bay	18	0.83	0.29	2.92	0.69
8月 August	崂山近岸 Offshore area of Laoshan	24	2.44	0.78	4.51	0.16
	流清河湾 Liuqing River Bay	26	2.87	0.88	4.83	0.08

从表3的数据可以看出,5月崂山近岸和流清河湾的优势种都是夜光藻,优势度均大于0.8;8月崂山近岸的优势种为星脐圆筛藻、中肋骨条藻、透明辐杆藻、窄隙角毛藻、洛氏角毛藻、长菱形藻、柔弱伪菱形藻和纺锤角藻,共8种;而8月流清河湾的优势种包括星脐圆筛藻、爱氏辐环藻、中肋骨条藻、透明辐杆藻、窄隙角毛藻、洛氏角毛藻、旋链角毛藻、近缘曲舟藻、长菱形藻、柔弱伪菱形藻、三角角藻、长角角藻、纺锤角藻和夜光藻,共14种。优势度 $Y$ 分别见表3。由表3可以看出,8月崂山近岸浮游植物的优势种类少于流清河湾。

### 2.3 浮游植物群落相似性

5月,崂山近岸15个站位的浮游植物聚类结果显示,在相似性60%的水平上调查海域可划分为3个区(图3),一区为1~9号和14号站;二区为12、13、15号站;三区为10、11号站。流清河湾7个站位的浮游植物相似性60%水平上划分为两个区:一区为z1~z5号站,二区为z0号和z6号站,其中二区两个站位的相似性达

到 80%以上,结果显示相邻站位间的聚类效果较好。

表 3 崂山近岸和流清河湾浮游植物优势种的季节组成

Table 3 The dominant species of phytoplankton at inshore area of Laoshan and Liuqing River Bay, Qingdao

调查时间 Sampling time	崂山近岸 Inshore area of Laoshan		流清河湾 Liuqing River Bay	
	优势种 Dominant species	优势度 Y Dominance degree	优势种 Dominant species	优势度 Y Dominance degree
5 月 May	夜光藻 <i>Noctiluca scientillans</i>	0.886	夜光藻 <i>Noctiluca scientillans</i>	0.840
	星脐圆筛藻 <i>C. asteromphalus</i>	0.059	星脐圆筛藻 <i>C. asteromphalus</i>	0.073
	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	0.059	爱氏辐环藻 <i>A. octonarius</i>	0.041
8 月 August	透明辐杆藻 <i>B. hyalinum</i>	0.021	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	0.045
	窄隙角毛藻 <i>C. affinis var. affinis</i>	0.030	透明辐杆藻 <i>B. hyalinum</i>	0.068
	洛氏角毛藻 <i>Ch. lorenzianus</i>	0.032	窄隙角毛藻 <i>C. affinis var. affinis</i>	0.037
	长菱形藻 <i>N. longissima</i>	0.034	洛氏角毛藻 <i>Ch. lorenzianus</i>	0.049
	柔弱伪菱形藻 <i>N. Delicatissima</i>	0.174	旋链角毛藻 <i>Ch. curvisetus</i>	0.039
	纺锤角藻 <i>C. fusus var. schuttii</i> Lenm	0.039	近缘曲舟藻 <i>P. affine</i>	0.030
			长菱形藻 <i>N. longissima</i>	0.029
			柔弱伪菱形藻 <i>B. paxillifera</i>	0.137
			三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>	0.043
			长角角藻 <i>C. macroceros</i>	0.026
		纺锤角藻 <i>C. fusus var. schuttii</i> Lenm	0.092	
		夜光藻 <i>N. scientillans</i>	0.037	

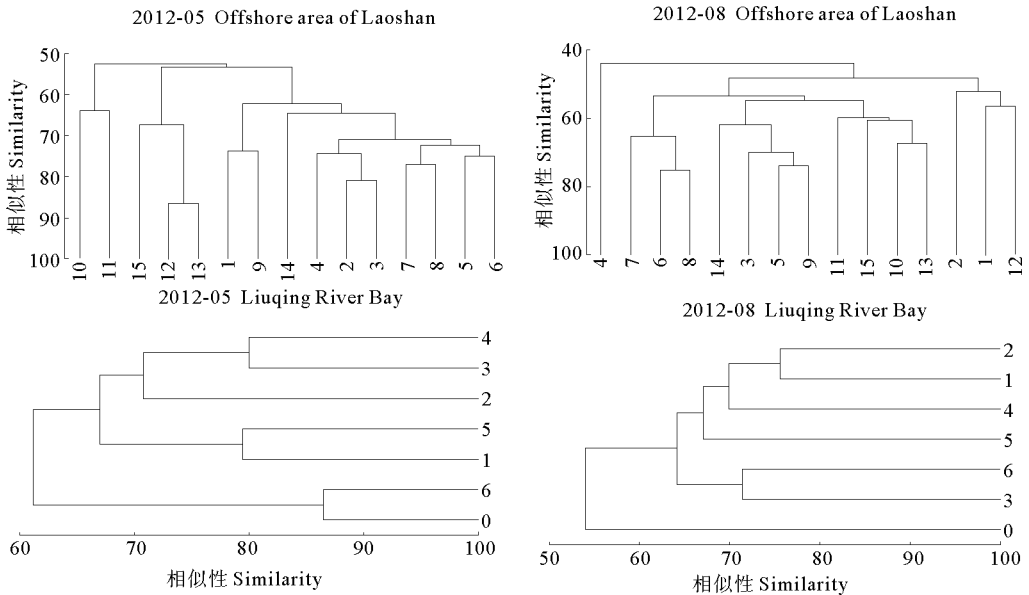


图 4 崂山近岸和流清河湾浮游植物群落的聚类

Fig. 4 Cluster of phytoplankton community at inshore area of Laoshan and Liuqing River Bay, Qingdao

8 月,崂山近岸浮游植物相似性在 50%水平上主要分为 3 个大区(图 4),一区为 1 号、2 号和 12 号站;4 号站单独一个区;其余站位聚为一个区。流清河湾 7 个站位的相似性在 60%以上,主要为两个区:对照组 z0 号站位一个区,其余站位为一个区,相似性在 60%以上。总体来看,8 月的相似性低于 5 月,相邻站位间的聚类效果比 5 月的差。

## 2.4 调查区域理化环境

崂山近岸和流清河湾在同一调查航次的水温、盐度、pH、DO 和 COD 等相差不大,2012 年 5 月崂山近岸和流清河湾无机氮(DIN)平均含量分别为 60.74、64.33  $\mu\text{g/L}$ ,活性磷酸盐(DIP)平均含量分别为 22.47、25.60  $\mu\text{g/L}$ ;2012 年 8 月崂山近岸和流清河湾 DIN 分别为 71.88、80.01  $\mu\text{g/L}$ ,DIP 平均含量分别为 15.08 和 16.13  $\mu\text{g/L}$ ;数据显示,崂山近岸的 DIN 和 DIP 平均含量均低于流清河湾,5 月 N/P 分别为 2.70 和 2.58,8 月 N/P 分别为 4.77 和 4.96。

由图 5 可以看出,细胞丰度均值与 N/P 呈显著负相关, $r$  值为  $-0.81(P < 0.05)$ ,浮游植物多样性均值与 N/P 含量呈显著正相关, $r$  值为  $0.98(P < 0.05)$ 。

## 3 讨论

### 3.1 崂山近岸浮游植物群落特征分析及评价

2012 年 5 月和 8 月对崂山近岸的浮游植物调查结果显示,浮游植物种类组成随时空变化不大,主要是温带或广温近岸性种和广布浮游性种。对其群落结构状况主要从细胞丰度和多样性方面进行分析评价,依据贾晓平等(2003)提出的浮游植物密度评价标准,5 月浮游植物细胞丰度均值(夜光藻除外)少于  $200 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ,为低水平;8 月浮游植物细胞丰度均值在  $200 \times 10^3 \sim 500 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$  之间,为较低水平。孙晓霞等(2011)曾在文章中指出 2001~2008 年胶州湾浮游植物平均数量为  $2900 \times 10^4 \text{ cell/m}^3$ ,2009 年莱州湾近岸(宁璇璇等 2011)浮游植物的平均数量为  $6623.22 \times 10^4 \text{ cell/m}^3$ ,与之相比较,崂山近岸的浮游植物细胞丰度远远低于胶州湾和莱州湾近岸区域。依据陈清潮等(1994)提出的生物多样性阈值评价标准,5 月浮游植物的多样性处于差至一般水平,8 月浮游植物的多样性为较好至丰富水平。

随着生态领域统计学软件的广泛发展与应用,越来越多的研究者开始应用大型软件进行浮游生物种群的聚类分析。PRIMER 软件最初是由英国普利茅斯实验室开发,周红等(2003)在文献中详细描述了该软件的方法原理及其在底栖动物群落结构中的应用,之后李广楼等(2006)、吴荣军等(2006)、林强等(2011)等分别将 PRIMER 软件陆续应用到了浮游植物群落结构的多元统计分析中。本研究通过该软件分析显示,崂山近岸 5 月和 8 月浮游植物在相似性 60% 和 50% 的水平上可以划分 3 个区域,而流清河湾的群落结构分区相似性指数均在 60% 以上;从各站位的群聚效果看,5 月相近站位间的群聚效果比 8 月好,说明 5 月的夜光藻赤潮并未对种群分布造成扰动,而 8 月浮游植物相邻站位之间的相似性不高,分析其原因,可能是采样时潮水涌动较大,扰动了不同区域的浮游植物群落结构。

### 3.2 网箱养殖对崂山近岸浮游植物生态特征的影响

关于各种环境因子对浮游植物群落结构影响的研究有很多(陈宝红等 2012;Jurgensone *et al.* 2012;Huete-Ortega *et al.* 2011),调查海域的水文地理状况、入海河流污染程度、近海养殖种类与规模等、均对浮游植物的种类组成和群落结构产生一定的影响。浮游植物的生长繁殖需要从环境中吸取无机营养元素,生存海域水体中营养盐浓度的高低成为决定浮游植物生长繁殖的关键因子,而 N、P 元素是营养盐中的关键元素,大约以 16:1(Redfield 比值)的原子数比例被浮游植物吸收(Redfield 1958)。有研究表明,N/P 比值偏离 Redfield 比值越远,硅藻的数量和种类就会减少(曲克明等 2000)。调查数据显示本研究海区,同一时间下各站位之间的温度、盐度等差异不大,这些特性使营养盐与浮游植物细胞丰度、多样性之间呈现很好的相关性。

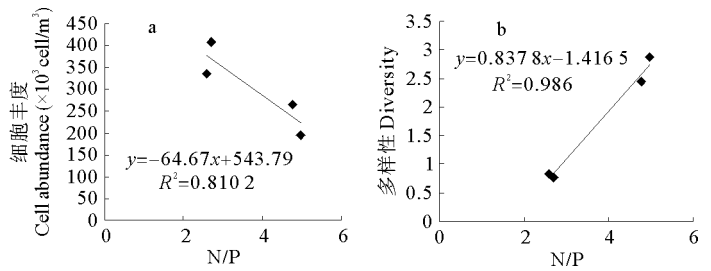


图5 细胞丰度均值和多样性均值与 N/P 的相关性

Fig. 5 Relationship between average cell abundance and diversity of phytoplankton and N/P ratio

2012年5月和8月对崂山近岸海区调查结果显示综合水质状况较好,各项指标都符合国家二类海水水质标准(GB3097-1997)。两个调查区域 DIN 和 DIP 的平均含量存在明显差异,相关性分析结果显示细胞丰度均值和多样性均值与 N/P 的相关系数( $r$ )分别为-0.81 和 0.98( $P < 0.05$ ),说明了浮游植物的群落细胞丰度和多样性受营养盐的影响较大。根据郭卫东等(1998)提出的潜在性富营养化评价模式,调查区域 DIN 含量均 $< 200 \mu\text{g/L}$ 、DIP 含量均 $< 30 \mu\text{g/L}$ ,属于贫营养状态;5月两个调查区域 N/P 均值分别为 2.70 和 2.58,8月 N/P 均值分别为 4.77 和 4.96,远低于 8~30 的范围,因此该海区潜在性富营养化风险较小,无机氮是影响浮游植物细胞丰度和多样性的最关键因素。

崂山近岸海域属于开放性海域,海水交换面积大,其盐度、营养盐等环境因子容易受外海环境的影响,本次调查区域各站位之间的距离较小,因而在分析数据时,作者采用调查区域的均值来更好地反映浮游植物的生态特征与营养盐的相关性。通过对比崂山近岸和流清河湾的浮游植物生态特征,发现流清河湾的浮游植物细胞丰度均值低于崂山近岸海区,而多样性均值则高于崂山近岸海区;分析还发现细胞丰度均值与 N/P 呈显著反相关,而多样性均值与其呈显著正相关。这一现象可能是由于流清河湾海区主要养殖品种为栉孔扇贝等,养殖产生的代谢物和残饵等有机和无机废物给浮游植物提供了繁殖所必需的营养成分,使其种类多样化,细胞丰度增加;但同时养殖贝类摄食大量浮游植物,又导致浮游植物丰度降低,因而才会出现细胞丰度均值与 N/P 呈显著反相关的现象。

## 参 考 文 献

- 冯志权,郭皓,马明辉,冯金祥,卞正和. 2005. 滦河口近岸海域浮游植物群落结构. 海洋环境科学, 24(1): 41-43
- 宁璇璇,纪灵,王刚,夏炳训. 2011. 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, (3): 97-104
- 孙军,刘东艳. 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62-75
- 孙晓霞,孙松,吴玉霖,张永山,郑珊. 2011. 胶州湾网采浮游植物群落结构的长期变化. 海洋与湖沼, 42(5): 639-646
- 孙儒泳. 1992. 动物生态学原理, 第2版. 北京: 北京师范大学出版社, 356-357
- 曲克明,陈碧鹃,袁有宪,幸福言. 2000. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究. 应用生态学报, 11(3): 445-448
- 吴荣军,李瑞香,朱明远,郑家声,郑有飞. 2006. 应用 PRIMER 软件进行浮游植物群落结构的多元统计分析. 海洋与湖沼, 37(4): 316-320
- 李广楼,陈碧鹃,崔毅,马绍赛,唐学玺. 2006. 莱州湾浮游植物的生态特征. 中国水产科学, 13(2): 292-299
- 杨建威. 2008. 青岛文昌鱼自然保护区生物资源与文昌鱼资源调查研究. 见: 中国海洋大学硕士学位论文
- 陈宝红,陈长平,陈金民,高宇,林辉,黄海宁,暨卫东,高亚辉. 2012. 厦门海域营养盐含量和比率变化及其对浮游植物群落的影响. 台湾海峡, 31(2): 246-253
- 陈清潮,黄良民,尹健强. 1994. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究. 北京: 海洋出版社, 42-50
- 陈碧鹃,陈聚法,袁有宪,崔毅,曲克明. 2000. 胶州湾北部沿岸浮游植物生态特征的研究. 海洋水产研究, 21(2): 34-40
- 周红,张志南. 2003. 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. 青岛海洋大学学报, 33(1): 58-64
- 林强,尹健强,黄良民,李开枝,熊兰兰. 2011. 2007年春季南海西北部陆架区海域浮游植物的群落结构. 台湾海峡, 30(4): 559-569
- 徐兆礼,陈亚瞿. 1998. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系. 生态学杂志, 8(4): 13-15
- 贾晓平,杜飞雁,林钦,李纯厚,蔡文贵. 2003. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨. 中国水产科学, 10(2): 160-164
- 郭卫东,章小明,杨逸萍,胡明辉. 1998. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. 台湾海峡, 17(1): 64-70
- 程济生,邱盛尧,李培军,崔毅. 2004. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落. 青岛: 中国海洋大学出版社
- 赖廷和,邱绍芳. 2005. 北海近岸水域浮游植物群落结构及数量周年变化特征. 海洋通报, 24(5): 27-32
- Clarke KR, Warwick RM. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition, PRIMER-E: Plymouth 2-15
- Jurgensone I, Aigars J. 2012. Bioavailability of riverine dissolved organic matter to phytoplankton in the marine coastal waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science 107: 97-104
- Margalef DR. 1968. Perspectives in ecological theory. Chicago: University of Chicago Press 1-111
- Huete-Ortega M, Calvo-Diaz A, Graña R and 2 others. 2011. Effect of environmental forcing on the biomass, production and growth rate of size-fractionated phytoplankton in the central Atlantic Ocean. Journal of Marine Systems 88: 203-213
- Pielou EC. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. New York: Wiley-Inter-Science
- Redfield AC. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. Am Sci 46: 205-221
- Shannon CE, Weaver W. 1963. The Mathematical theory of Communication. Urbana, IL: University of Illinois Press 125