

2010—2012 年青岛海滨浴场 67 周次 浮游植物的群集特征*

林 虢, 尤 凯*, 毛 霞, 张秀梅

(中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛, 266100)

摘 要:2010—2012 年对青岛汇泉湾海滨浴场 2 站点的浮游植物及环境因子进行 67 周次连续监测, 共检出浮游植物 53 属 94 种, 细胞总丰度的变化范围为 7.19~272.35 个/mL, 均值为 46.74 个/mL, 硅藻在细胞总丰度中的比例平均达 70.34%, 主要优势种有骨条藻、角毛藻、菱形藻、新月筒柱藻和舟形藻。调查期内, 共检出 3 次硅藻的赤潮, 未检测到营养盐发生限制的现象。周年的统计分析显示, 调查区浮游植物群落中的羽纹硅藻类与营养盐呈显著的相关关系($P < 0.05$)。在浴场开放期, Chl-*a* 质量浓度均值达 7.26 mg/L, 为全年最高, 浮游植物群落以羽纹硅藻类最占优势, 并且 Chl-*a* 与羽纹硅藻丰度呈现极显著的正相关($P < 0.01$)。特别对羽纹硅藻在开放期占优势可能引发的不利影响作了探讨, 并建议在今后监测和评价该类休闲水域时, 应对此给予重视。

关键词: 海滨浴场; 浮游植物; 富营养; 水质

中图分类号: Q948.8

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2015)01-0071-10

浮游植物能对海洋环境的变化作出快速响应^[1-2], 其连续监测资料对指导沿岸环境管理具有重要意义。近年来, 许多国家对沿岸水域的环境管理已细化到区分水域类型的水平, 如欧洲学者在欧盟 2000 年以来实施的 WFD(The Water Framework Directive) 计划框架下, 将沿岸水域区依其地质地形、水流潮差等因素细分为多种类型以实施分水域类型的环境评价和管理, 这当中分水域类型的浮游植物监测资料为其提供了有力的数据支持^[3-5]。

目前, 国内学者越来越重视沿岸水域浮游植物的研究, 但在沿岸分水域类型的浮游植物监测资料的积累方面与先进国家和地区仍有很大差距。以青岛近岸海域为例, 从 20 世纪 50 年代至今, 浮游植物分区研究基本以湾口为界, 多集中在胶州湾内^[6-10], 湾外则仅有零星报道^[10-12]。因此, 从沿岸分水体类型角度开展浮游植物监测以积累基础资料, 对我国今后实施沿岸海域类型细化的环境评价和管理十分必要。

青岛汇泉湾系青岛第一海水浴场所在地, 属半开放性内湾。选取该海域作为海滨浴场典型监测地点, 于 2010—2012 年对该水域的浮游植物和主要环境因子进行逐周监测, 试图揭示该水域浮游植物的群集特征及其对环境因子的响应特点。这是目前国内首次对该类休闲水域进行的浮游植物连续监测报道, 以期为国内类似水域的环境评价及管理研究提供基础资料和经验。

1 材料与方 法

1.1 样品采集和分析

在山东青岛汇泉湾第一海水浴场的东西两侧各设 1 个监测点, 自 2010-09—2012-01 连续 67 周次监测和

* 收稿日期: 2013-12-12

资助项目: 国家海洋公益性行业科研专项——基于生态系统的典型海域生物资源综合修复与调控技术研究及示范(200905019); 公益性行业(农业)科研专项经费项目——黄渤海生物资源调查与养护技术研究(200903005)

作者简介: 林 虢(1988-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事浮游植物生态学方面研究。

* 通讯作者: 尤 凯(1969-), 男, 山东青岛人, 副教授, 博士研究生, 主要从事浮游植物分类学及生态学方面研究。E-mail: youkai@ouc.edu.cn

(高 峻 编辑)

采集现场水样及浮游植物样品。

浮游植物依照《海洋调查规范》^[13]进行采集,利用采水器采集表层水样,用 Lugol's 试剂固定后浓缩保存,浮游植物的鉴定和定量在光学显微镜下进行。

环境因子监测方面,水温和盐度分别用温度计和盐度计现场测定,DIN,DIP,DSi 依照《海洋监测规范》^[14]进行监测。

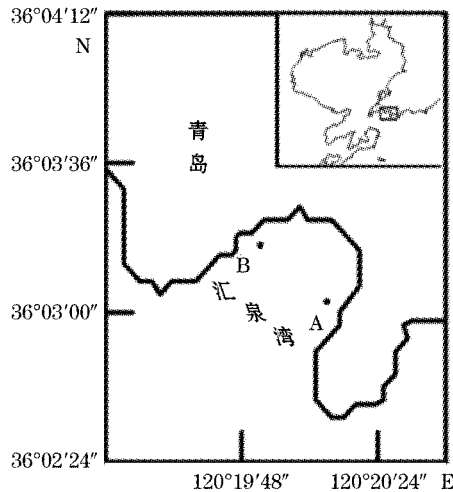


图 1 青岛汇泉湾采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in the Huiquan Bay, Qingdao

1.2 群落指数及数据处理

物种多样性指数采用香依—威纳指数(H' , Shannon-Wiener's diversity index)的计算公式:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

物种均匀度指数(J)使用 Pielou 的计算公式:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (2)$$

物种优势度指数的计算公式:

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i \quad (3)$$

式中, S 为样品的种类总数; N 为样品中的生物个体数; P_i 为第*i*种个体数(n_i)与总个体数(N)的比值; f_i 为第*i*种个体在各样品中的出现频率。

浮游植物与环境因子的相关分析采用统计软件 SPSS 11.0 计算。

2 结果与分析

2.1 物种组成及丰度

浮游植物经初步鉴定,共检出 3 门 53 属,其中硅藻 43 属 79 种,甲藻 9 属 13 种,金藻 1 属 2 种。调查期内,硅藻占浮游植物总丰度的比例以秋、冬季较高,多在 80% 以上,最高达 98.60%,春、夏季多在 50% 以下,最低仅为 10.05%,这与鞭毛藻类大量出现有关。

调查期内,浮游植物细胞丰度出现 2 个高峰期,第 1 次在 1—4 月,并于 4 月上旬达到周年最高值 272.35

个/mL(该高峰期发生主要是因为中肋骨条藻的细胞丰度大量增加),其后细胞丰度迅速下降,最低值曾降至 10 个/mL(5 月中下旬),第 2 次高峰期在 8—9 月,并于 9 月中旬达到次峰值 245.26 个/mL,之后细胞丰度再次下降到较低水平。与青岛周边海区的历史资料相比,2 次高峰期的出现时间基本一致。

调查期内监测到的浮游植物优势种类:骨条藻(*Skeletonema* spp.)、角毛藻(*Chaetoceros* spp.)、新月筒柱藻(*Cylindrotheca closterium*)、菱形藻(*Nitzschia* spp.)、舟形藻(*Navicula* spp.)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、柔弱几内亚藻(*Guinardia delicatula*)、加拉星平藻(*Asteroplanus karianus*)和海链藻(*Thalassiosira* spp.)。以上优势种类多与以往青岛周边海域的调查资料类似^[11],但本调查与以往调查显著不同的是,羽纹硅藻均出现在全年各季度的优势类群中,特别在夏季,羽纹硅藻成为第一优势类群。

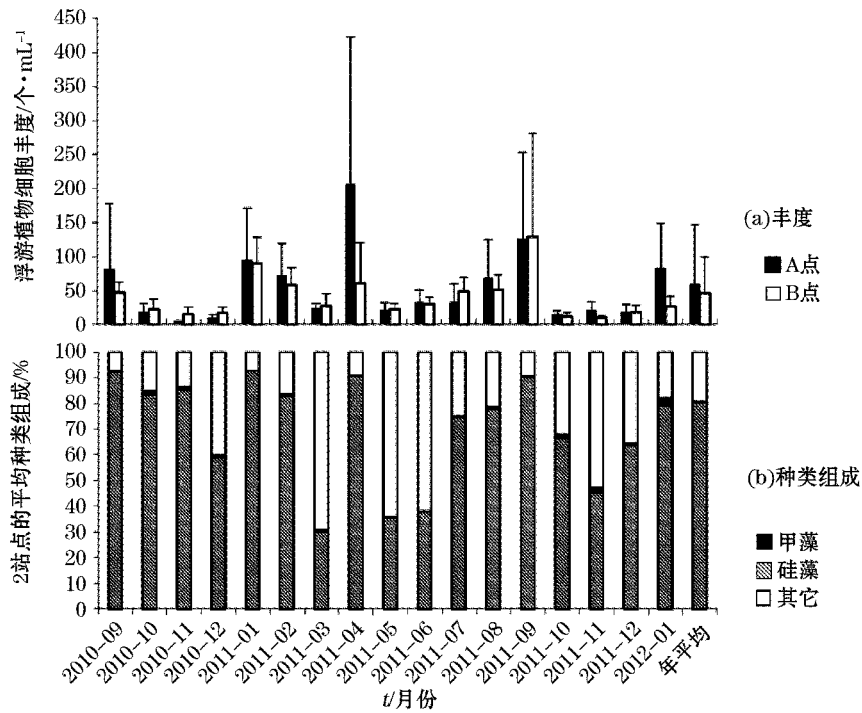


图 2 青岛汇泉湾浮游植物丰度及种类组成的逐月变化

Fig. 2 Monthly total phytoplankton abundances and contributions of different groups in the Huiquan Bay, Qingdao

表 1 浮游植物的优势种类及优势度

Table 1 Dominant species of phytoplankton and their dominance ranges

季 节	优势度		
	>0.1	0.05~0.1	0.02~0.05
2010 年秋季	6,7,8,9	3	5
2010 年冬季	9	2,5	3,6,7,8,10
2011 年春季	9	4	3,7,8
2011 年夏季	6,7,8	9	2
2011 年秋季	9,3	6,7,8	—
2011 年冬季	6,7,9	8	1,10

注:优势种编号 1 为 *Asteroplanus karianus*, 2 为 *Chaetoceros curvisetus*, 3 为 *Chaetoceros* spp., 4 为 *Guinardia delicatula*, 5 为 *Leptocylindrus danicus*, 6 为 *Navicula* spp., 7 为 *Cylindrotheca closterium*, 8 为 *Nitzschia* spp., 9 为 *Skeletonema* spp., 10 为 *Thalassiosira* spp.; “—”表示没有出现

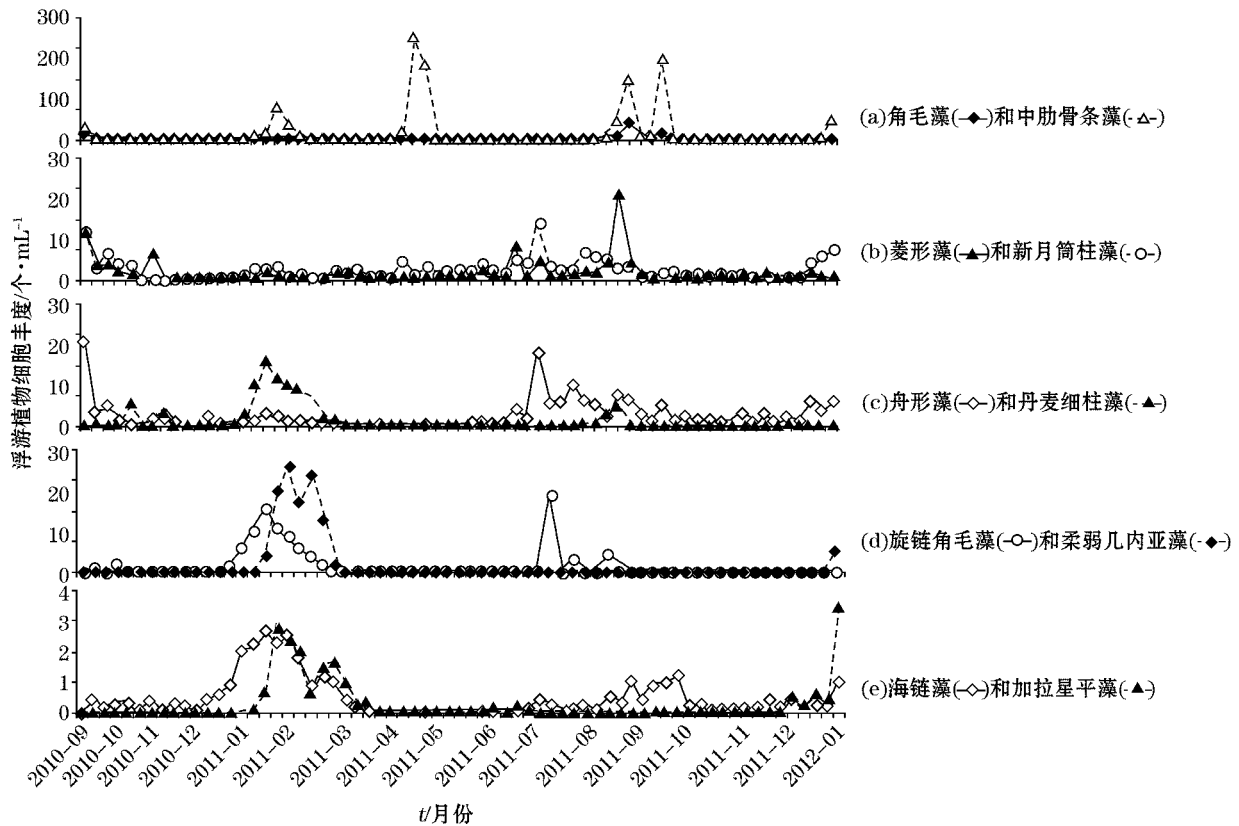


图3 青岛汇泉湾优势种细胞丰度的逐周变化

Fig. 3 Weekly abundance variations of dominant species in the Huiquan Bay, Qingdao

主要优势种类的更替及细胞丰度变化见图3。其中,1—2月以中肋骨条藻和柔弱几内亚藻最占优势,细胞丰度较高,3月两者数量迅速下降,此时浮游植物总丰度接近周年最低水平,4月中肋骨条藻再次迅速增长,成为占绝对优势的种,5—6月鞭毛藻类逐渐增多并替代硅藻的优势地位,7—8月硅藻重新占据优势,并以羽纹硅藻占优势,至9月中肋骨条藻和角毛藻数量增加并占据优势,10月细胞丰度迅速下降,并在其后月份维持较低水平。

2.2 浮游植物群落结构特征

浮游植物物种多样性指数和物种均匀度指数的逐周变化见图4。调查期内,物种多样性指数的变化范围为0.35~4.40,均值为2.59,高值期在2—3月,在4和9月处于低值期。物种均匀度指数的变化范围为0.10~0.95,均值为0.68,其高值期和低值期与多样性指数同步。

与胶州湾(物种多样性指数分别为1.09和0.71)^[2,15]及青岛前海的调查资料(物种多样性为3.23)^[11]相比较,本调查结果介于两者之间,考虑到胶州湾为典型富营养化水域,而青岛前海海域属较清洁水域,并结合本调查浮游植物数量和营养盐的动态状况(见后)后认为,该水域已呈现出一定的富营养化迹象。

2.3 浮游植物对环境因子的响应

调查海域的温度、盐度、Chl-a及营养盐的逐周变化见图5。其中,温度的变化范围为2.6~29.0℃,均值为14.6℃;盐度的变化范围为28.0~33.6,均值为31.2;Chl-a的变化范围为0.41~18.25 mg/m³,均值为4.33 mg/m³;DIN,DIP,DSi的变化范围分别为4.07~52.59,0.12~0.93,0.92~13.56 μmol/L,均值分别为15.92,0.39,5.02 μmol/L。

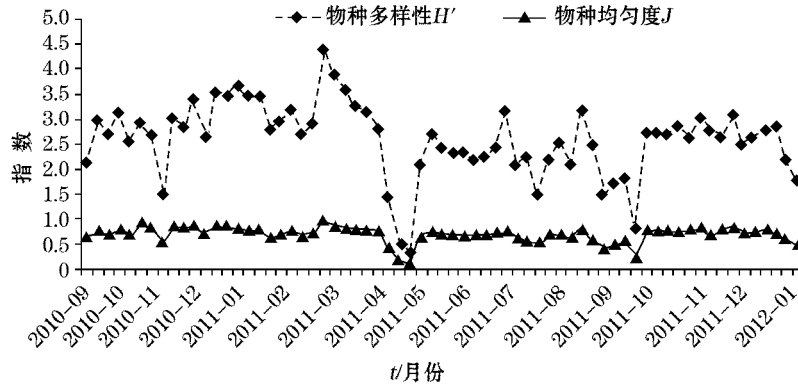


图 4 浮游植物物种多样性指数(H')和物种均匀度指数(J)的逐周变化

Fig. 4 Weekly variations of species diversity (H') and evenness (J) of phytoplankton community

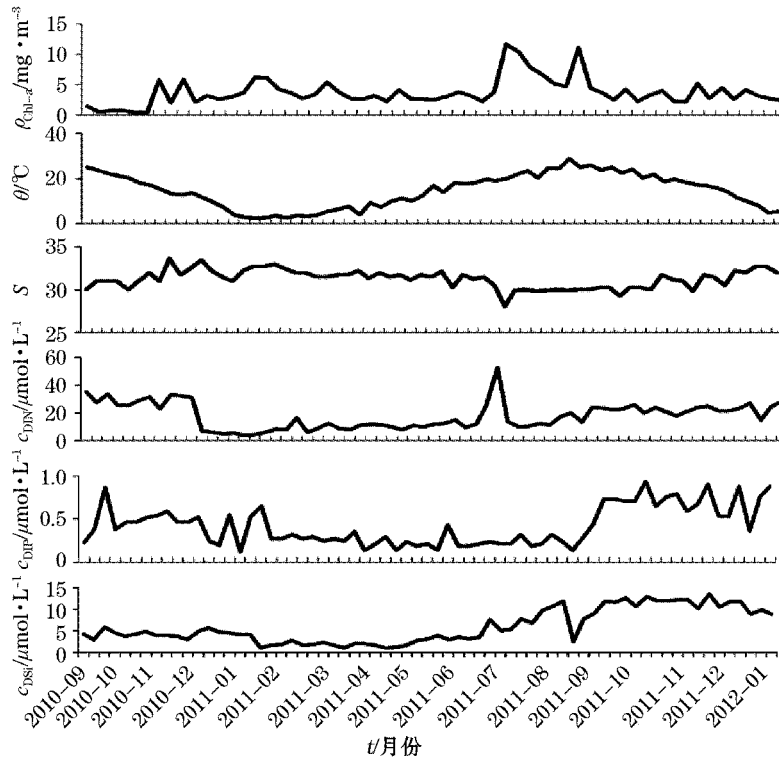


图 5 青岛汇泉湾 Chl-a、水温、盐度及营养盐的逐周变化

Fig. 5 Weekly variations of Chl-a, water temperature, salinity and nutrient contents in the Huiquan Bay, Qingdao

调查期内,营养盐的高值期出现在秋季,考虑到该季陆源径流以及浴场的游泳活动等导致营养盐增加的因素与夏季相比较已有明显减弱,该季营养盐的升高更主要的应与秋季浮游植物数量急剧减少,导致营养盐向环境中释放有关。类似地,考虑到春季陆源径流一般强度较弱且浴场的游泳活动极少,DIP,DSi的低值期在该季出现,其原因也更主要的应与春季浮游植物数量大量增加,对营养盐吸收强度增加有关。

浮游植物与环境因子的相关分析显示,秋季硅藻丰度与DIN:DIP呈显著正相关,这应与该季节鞭毛藻类数量下降,释放出更多DIP,导致DIN:DIP下降有关。2010年冬季浮游植物数量与DSi有显著负相关,而2011年未出现此现象,这应与2011年DSi(10.32 $\mu\text{mol/L}$)较2010年(3.17 $\mu\text{mol/L}$)充足有关。春季浮游植物群落中仅角毛藻与DSi呈显著负相关($P < 0.05$),这与角毛藻生长较其他硅藻需更多DSi,而环境中DSi相对不足有关。

周年水平上,浮游植物群落中仅羽纹硅藻与盐度、DIN : DIP 和 DSi : DIP 呈显著的相关性,这应与陆源淡水注入所引起的盐度降低以及营养盐增加和比例的变化有关。

表 2 浮游植物与主要环境因子的 Pearson 相关分析

Table 2 Pearson correlation coefficients between phytoplankton and main environmental parameters

季 节	项 目	θ	S	DIN	DIP	DSi	DIN : DIP	DSi : DIP	DSi : DIN
2010 年秋季	浮游植物	0.758*	-0.255	0.478	-0.352	0.163	0.821**	0.785**	-0.200
	硅 藻	0.698*	-0.294	0.415	-0.503	0.063	0.896**	0.868**	-0.235
	Chl- <i>a</i>	-0.576	0.646*	0.374	0.162	0.094	-0.093	-0.151	-0.168
	中心硅藻	0.681*	-0.357	0.277	-0.623	-0.145	0.910**	0.849**	-0.333
	羽纹硅藻	0.688*	-0.239	0.499	-0.400	0.210	0.856**	0.853**	-0.157
2010 年冬季	浮游植物	-0.652*	0.369	-0.265	0.315	-0.585*	-0.313	-0.342	-0.297
	硅 藻	-0.643*	0.362	-0.251	0.298	-0.582*	-0.290	-0.317	-0.292
	Chl- <i>a</i>	-0.392	0.380	-0.319	0.456	-0.386	-0.502	-0.395	-0.115
	中心硅藻	-0.625*	0.370	-0.232	0.287	0.579*	-0.267	-0.308	-0.301
	羽纹硅藻	-0.669*	0.132	-0.411	0.347	0.421	-0.505	-0.327	-0.075
2011 年春季	浮游植物	0.077	-0.128	-0.433	0.029	-0.515	-0.203	-0.327	-0.498
	硅 藻	0.076	-0.122	-0.402	0.037	-0.499	-0.193	-0.323	-0.486
	Chl- <i>a</i>	-0.468	0.340	0.059	0.439	0.080	-0.235	-0.006	0.044
	中心硅藻	0.078	-0.132	-0.402	0.039	0.503	-0.193	-0.326	-0.491
	羽纹硅藻	-0.107	0.465	-0.045	-0.105	0.171	-0.011	0.100	0.236
2011 年夏季	浮游植物	0.355	-0.236	-0.139	-0.362	-0.226	0.063	-0.115	-0.204
	硅 藻	0.466	-0.355	-0.144	-0.469	-0.178	0.097	0.003	-0.152
	Chl- <i>a</i>	0.191	-0.828**	-0.329	-0.193	-0.056	-0.237	0.013	0.210
	中心硅藻	0.474	-0.119	-0.134	-0.427	-0.152	0.086	0.008	-0.130
	羽纹硅藻	0.281	-0.625*	-0.108	-0.368	-0.156	0.080	-0.006	-0.135
2011 年秋季	浮游植物	0.476	-0.565*	0.164	-0.424	-0.443	0.525	0.454	-0.423
	硅 藻	0.498	-0.559*	0.164	-0.455	-0.468	0.558*	0.490	-0.440
	Chl- <i>a</i>	0.737**	-0.463	-0.187	-0.380	-0.451	0.350	0.319	-0.216
	中心硅藻	0.498	-0.557*	0.162	-0.446	-0.466	0.547	0.474	-0.438
	羽纹硅藻	0.392	-0.500	0.178	-0.545	-0.411	0.673*	0.703**	-0.407
2011 年冬季	浮游植物	-0.639	0.179	0.335	0.369	-0.689	-0.324	-0.494	-0.621
	硅 藻	-0.636	0.148	0.412	0.439	-0.645	-0.376	-0.559	-0.685
	Chl- <i>a</i>	-0.067	0.467	-0.072	-0.276	0.169	0.526	0.394	0.218
	中心硅藻	-0.518	-0.003	0.532	0.518	-0.526	-0.392	-0.617	-0.760
	羽纹硅藻	-0.836*	0.569	-0.054	0.093	-0.040*	-0.235	-0.248	-0.291
年平均	浮游植物	-0.059	-0.039	-0.122	-0.086	-0.206	-0.017	-0.154	-0.207
	硅 藻	-0.058	-0.034	-0.109	-0.045	-0.172	-0.037	-0.146	-0.170
	Chl- <i>a</i>	0.256	-0.470**	-0.123	-0.208	-0.028	0.092	0.310*	0.161
	中心硅藻	-0.104	0.028	-0.118	-0.029	-0.184	-0.074	-0.191	-0.181
	羽纹硅藻	0.357*	-0.352**	0.036	-0.227	0.012	0.312*	0.334*	-0.009

注:“*”表示显著性水平为 0.05,“**”表示显著性水平为 0.01

2.4 浴场开放期浮游植物的动态特征

青岛汇泉湾第一海水浴场开放期在每年 7—9 月,该时期浮游植物丰度的变化范围在 21.67~245.26 个/mL,均值为 73.71 个/mL。其中 7—8 月丰度多在 50 个/mL 以下,而 8 月下旬之后,浮游植物的数量有短期显著增加出现,最高值高达 245.26 个/mL。

开放期内硅藻占浮游植物丰度的平均比例达 76.24%。其中,7—8 月羽纹硅藻在硅藻群落中所占比例平均达 55.39%,最高达 91.86%,自 9 月开始,羽纹硅藻数量逐渐下降,中肋骨条藻和角毛藻逐渐占据优势。

浴场开放期该海域的营养盐和 Chl-*a* 总体上较春季有明显增高,其中,DIN 和 DSi 的均值分别达 19.67 $\mu\text{mol/L}$ 和 8.25 $\mu\text{mol/L}$,较春季分别增加 84.69%和 312.50%。Chl-*a* 的均值为 7.26 mg/m^3 ,较春季增长 141.20%,为全年最高。考虑到 Chl-*a* 增高对营养盐产生的吸收效应,该水域营养盐增高应与陆源营养补充较充分有关。

表 3 浴场开放期调查海域的 Chl-*a*、浮游植物细胞丰度和主要环境因子

Table 3 Chl-*a*, phytoplankton abundance and main environmental parameters during the opening period of bathing beach

月份	$\rho_{\text{Chl-a}}$ / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	细胞丰度 / $\text{个} \cdot \text{mL}^{-1}$	$\theta/^\circ\text{C}$	<i>S</i>	c_{DIN} / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	c_{DIP} / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	c_{DSi} / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	DIN : DIP	DSi : DIP	DSi : DIN
7 月	10.33±5.41	41.24±18.34	21.01±1.71	29.65±0.96	19.98±18.30	0.24±0.05	6.47±1.24	85.91±74.88	27.83±5.48	0.46±0.22
8 月	6.93±2.88	60.01±37.47	25.90±2.08	29.97±0.06	15.66±3.78	0.23±0.08	8.66±4.22	72.99±23.22	36.31±13.64	0.55±0.27
9 月	3.75±0.88	128.00±115.70	24.49±1.54	29.94±0.47	23.30±0.68	0.55±0.22	10.07±1.97	48.86±23.65	19.56±4.83	0.43±0.10

浴场开放期内浮游植物与环境因子的相关分析显示,1)Chl-*a* 的质量浓度与盐度呈现显著的负相关($P < 0.01$)(图 6a),表明盐度降低对浮游植物的增加有一定的促进作用。2)Chl-*a* 质量浓度与 DSi 呈现极显著的负相关($P < 0.01$)(图 6b),表明浮游植物对 DSi 的吸收强度相对于其环境本底值来讲,较其他营养盐为高。3)Chl-*a* 的质量浓度与羽纹硅藻数量呈显著的正相关($P < 0.01$)(图 6c),表明羽纹硅藻在浮游植物群落中占有重要的优势地位,这与前述浮游植物的监测结果一致,也与该时期浮游植物对 DSi 的吸收强度较高一致。

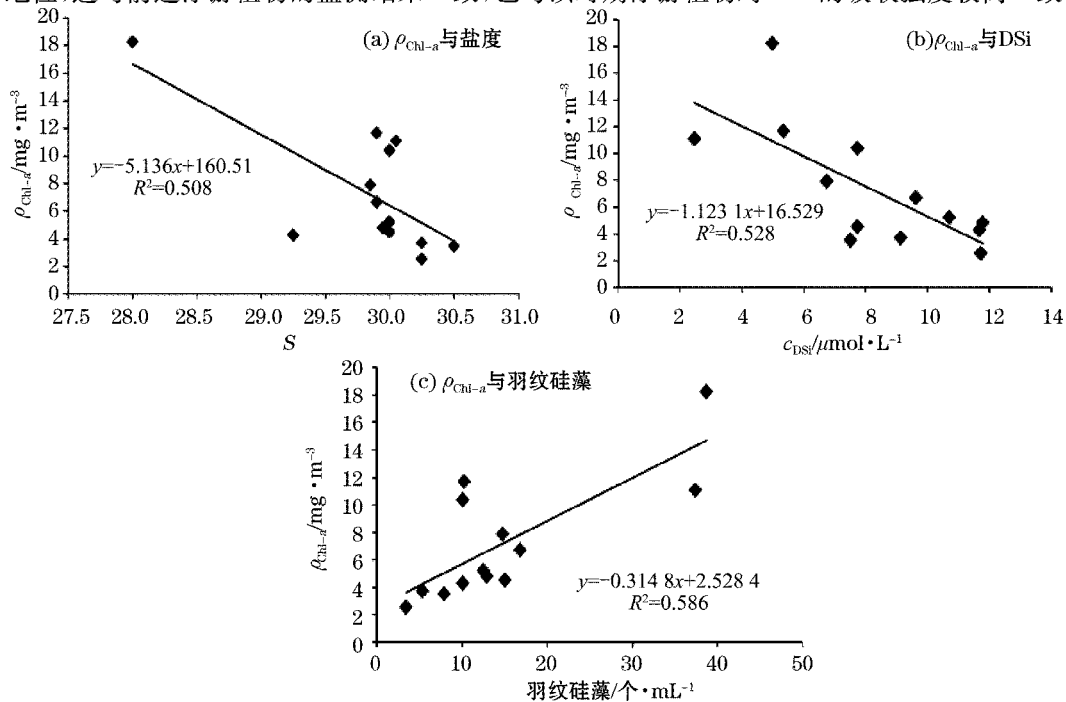


图 6 浴场开放期 Chl-*a* 与环境因子和羽纹硅藻丰度的关系

Fig. 6 The relationships among Chl-*a*, pennate diatom abundance and environmental parameters during the opening period of bathing beach

3 讨论

3.1 浮游植物群落特征

调查海域浮游植物丰度呈现 2 个高峰期,分别在 1—4 月和 8—9 月份,与青岛周边海域的调查结果^[10-12]基本一致。浮游植物丰度年均值为 46.74 个/mL,略低于杨世民等对青岛前海海域的调查结果^[12],但明显低于胶州湾内^[2,15]及我们对青岛湾(栈桥海域)的调查结果(2011—2012 年,均值为 366.74 个/L,待发表)。调查海域浮游植物的年均数量虽相对较低,但依据日本学者安达六郎^[16]的推荐标准,调查期内仍监测到 3 次硅藻赤潮的发生。

调查海域的浮游植物群落以硅藻为主(其在浮游植物中所占比例年均为 70.34%),与青岛周边海域调查结果^[6,12]类似,但与以往调查显著不同的是,羽纹硅藻在全年各季度的优势类群中均有出现,特别在夏季更成为第一优势类群,这样的结果在我们对另一个类似的半开放性内湾—青岛湾的监测中也有出现(待发表),羽纹硅藻是否在此类沿岸半开放性内湾中经常成为重要的优势类群还有待于进一步研究证实。

调查中浮游植物物种多样性指数明显高于富营养程度较高的胶州湾^[2,15],但又低于较为清洁的青岛前海海域^[12],结合之前监测到的 3 次赤潮,以及该海域营养盐明显高于清洁的青岛奥帆赛海域^[17],并且未检测到营养盐限制的发生(据 Justic^[18]和杨东方等^[19]推荐的营养盐限制的判定标准),加上该海域周边一直有市政污水的直接排放等实际环境状况,表明该水域已呈现一定的富营养化迹象。

统计分析显示浮游植物对环境因子的响应方面:在季节尺度,浮游植物主要在秋季与某些营养盐的比例之间,以及冬季与 DSi 的浓度之间有显著的相关性;而其他季节浮游植物与营养盐之间的相关性不明显。在周年尺度,主要是浮游植物中的羽纹硅藻与某些营养盐的比例之间有显著的相关性。总体上,该海域浮游植物与营养盐浓度之间的相关性不明显,这与该海域营养盐浓度较高,相对于浮游植物的营养吸收较为充足有关,也与监测期末检测到营养盐发生限制的情形相一致,也符合富营养水域浮游植物群落对营养盐环境的响应特征^[20]。

3.2 羽纹硅藻与浴场水域的环境评价

调查期间羽纹硅藻均为各季的优势类群,特别在浴场开放期,更成为第一优势类群。羽纹硅藻一般具有纵沟结构,并通过纵沟分泌黏液(Mucilage),而有利于其滑行(Gliding),因此,相对于中心硅藻,羽纹硅藻有很强的分泌黏液的能力^[21-23],从而产生更多的胞外物质,而且这些胞外物能迅速地被浮游细菌利用并大量繁殖^[24-25]。实际情形也表明,浴场开放期有游客抱怨浴场海水会引起皮肤发粘、过敏或瘙痒等不适感,这很可能与该时期羽纹硅藻的大量出现有关。

海滨浴场的环境质量历来受到关注和重视,但以往的监测和评价标准,以肠道寄生菌等微生物指标^[26]和水域富营养化评价^[20,27]为主,未考虑羽纹硅藻大量出现可能对浴场休闲舒适度下降的影响。我国北方许多海滨浴场位于沿岸半开放性内湾,羽纹硅藻在浴场开放期大量出现并占据优势地位,应不是偶然现象。例如,2011—2012 年我们对青岛第六海水浴场的调查也得到了类似的结果(待发表)。

羽纹硅藻的大量出现对开放期浴场水质以及休闲舒适度的影响还需进一步研究,但本调查结果表明,羽纹硅藻的数量监测对半开放性内湾区浴场水域的环境监测具有重要意义,今后应作为一个重要考察因素。

参考文献(References):

- [1] WU Y L, SUN S, ZHANG Y S, et al. Quantitative study on long-term variation of phytoplankton in Jiaozhou bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(6): 518-523. 吴玉霖,孙松,张永山,等. 胶州湾浮游植物数量长期动态变化研究[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35

- (6):518-523.
- [2] WU Y L, SUN S, ZHANG Y S, et al. Long-term change of environment and its influence on phytoplankton community structure in Jiaozhou bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(6):487-498. 吴玉霖,孙松,张永山,等. 环境长期变化对胶州湾浮游植物群落结构的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(6):487-498.
- [3] BORJA A, FRANCO J, VALENCIA, et al. Implementation of the European water framework directive from the Basque country(north-ern Spain): a methodological approach[J], *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48(3):209-218.
- [4] BORJA A, GALPARSORO I, SOLAUN O, et al. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 66(1):84-96.
- [5] REVILLA M, FRANCO J, BALD J, et al. Assessment of the phytoplankton ecological status in the Basque coast (northern Spain) according to the European Water Framework Directive[J]. *Journal of Sea Research*, 2009, 61(1):60-67.
- [6] QIAN S B, WANG X Q, CHEN G W. The phytoplankton of the Jiaozhou bay[J]. *Journal of Shandong College of Oceanology*, 1983, 13(1):39-56. 钱树本,王筱庆,陈国蔚. 胶州湾的浮游藻类[J]. *山东海洋学院学报*, 1983, 13(1):39-56.
- [7] DIAO H X. A relative study on the relation between phytoplankton and inorganic environment in Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 1984, 8(4):16-19. 刁焕祥. 胶州湾浮游植物与无机环境的相关研究[J]. *海洋科学*, 1984, 8(4):16-19.
- [8] LIU D Y, SUN J, TANG Y C, et al. Study on the phytoplankton in the Jiaozhou bay I: Species composition and abundance[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(1):67-72. 刘东艳,孙军,唐优才,等. 胶州湾北部水域浮游植物研究 I—种类组成和数量变化[J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(1):67-72.
- [9] CHEN B J, CHEN J F, YUAN Y X, et al. Study on the ecological characteristics of phytoplankton in the northern coast of Jiaozhou Bay [J]. *Marine Fisheries Research*, 2000, 21(2):34-39. 陈碧鹃,陈聚法,袁有宪,等. 胶州湾北部沿岸浮游植物生态特征的研究[J]. *海洋水产研究*, 2000, 21(2):34-39.
- [10] WEN L X, SUN J, HE Q, et al. Winter phytoplankton assemblages of coastal yellow sea connected to Jiaozhou Bay, China[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2007, 6(1):40-46.
- [11] LI G G, HUANG S M. Seasonal variation of plankton diatoms at Tsingtao[J]. *Journal of University of Shandong*, 1956, 2(4):119-143. 李冠国,黄世政,青岛近海浮游硅藻季节变化研究的初步报告[J]. *山东大学学报*, 1956, 2(4):119-143.
- [12] YANG S M, DONG S G, DOU M W, et al. Features of phytoplankton community weekly observed at a station south of Qingdao from 2004 to 2005[J]. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(4):523-536. 杨世民,董树刚,窦明武,等. 2004—2005 年青岛前海定点 54 周次浮游植物群落结构特征[J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(4):523-536.
- [13] GB 12763. 6—2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008. GB 12763. 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,2008.
- [14] GB 17378. 4—2007 Specification for marine monitoring—Part 4: Seawater analysis[S]. Beijing: China Standard Press, 2008. GB 17378. 4—2007 海洋监测规范:第 4 部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [15] GUO Y J, YANG Z Y. Phytoplankton[C]//Ecology and Biological Resources of the Jiaozhou Bay. Beijing: Science Press, 1992, 136-170. 郭玉洁,杨则禹. 浮游植物[C]//胶州湾生态学和生物资源. 北京:科学出版社,1992:136-170.
- [16] MA Y, LIN H, JI H, et al. A scattering coefficient model for airborne lidar detection of Red Tide[J]. *Acta Photonic Sinica*, 2007, 36(2):344-347. 马泳,林宏,冀航,等. 基于机载激光雷达监测海洋赤潮模型研究[J]. *光子学报*, 2007, 36(2):344-347.
- [17] YU Z J, CUI W L, YANG J Q. Analysis and assessment on sea water of Qingdao olympic yachting competition area and nearby area [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2004, 17(3):25-26. 于子江,崔文林,杨建强. 青岛奥运帆船赛区及邻近海域海水环境质量分析与评价[J]. *城市环境与城市生态*, 2004, 17(3):25-26.
- [18] JJSTIC D, RABALAIS N N, TURNER R E, et al. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal water-stoichiometric nutrient balance and its consequences[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1995, 40(3):339-356.
- [19] YANG D F, ZHANG J, CHEN Y, et al. The Uniqueness of Nutrient Limitation[J]. *Marine Science*, 2001, 25(12):49-51. 杨东方,张经,陈豫,等. 营养盐限制的唯一性因子探究[J]. *海洋科学*, 2001, 25(12):49-51.
- [20] LI Y, LI R X, WANG Z L, et al. A preliminary study on phytoplankton community structure and its changes in the Jiaozhou bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(3):328-334. 李艳,李瑞香,王宗灵,等. 胶州湾浮游植物群落结构及其变化的初步研究[J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(3):328-334.
- [21] DE BROUWER J F C, STAL L J. Daily fluctuation of exopolymers in cultures of the benthic diatoms *Cylindrotheca closterium* and *Nitzschia* sp. (Bacillariophyceae)[J]. *Journal of Phycology*, 2002, 38(3):464-472.
- [22] ALCOVERRO T, CONTE E, MAZZELLA L. Production of mucilage by the Adriatic epipellic diatom *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) under nutrient limitation[J]. *Journal of Phycology*, 2000, 36(6):1087-1095.
- [23] HIGGINS M J, MOLINO P, MULVANEY P, et al. The structure and nanomechanical properties of the adhesive mucilage that medi-

- ates diatomsubstratum adhesion and motility[J]. *Journal of Phycology*, 2003, 39(6): 1181-1193.
- [24] SVERRE M M. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides[J]. *Science of the Total Environment*, 1995, 165(2): 155-164.
- [25] BJORNSEN P K. Phytoplankton exudation of organic matter: Why do healthy cells do it[J]? *Limnology and Oceanography*, 1988, 33(1), 1988, 151-154.
- [26] KAMIZOULIS G, SALIBA L. Development of coastal recreational water quality standards in the Mediterranean[J]. *Environment International*, 2004, 30(6): 841-854.
- [27] LI Q X, TAO J H. Application of phytoplankton community indexes in coastal eutrophication assessment[J]. *China Environmental Science*, 1999, 11(6): 548-551. 李清雪, 陶建华. 应用浮游植物群落结构指数评价海域富营养化[J]. *中国环境科学*, 1999, 11(6): 548-551.

Phytoplankton Assemblage and Its Dynamics in 67 Weeks From 2010 to 2012 in the Qingdao Bathing Beach

LIN Xiao, YOU Kai, MAO Xia, ZHANG Xiu-mei
(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: For a better understanding of the phytoplankton assemblage and its dynamics in the No. 1 bathing beach of Qingdao in the Huiquan Bay, monitoring survey in two stations was carried out continuously to observe the phytoplankton community and *in situ* environmental parameters in 67 weeks from September 2010 to January 2012. A total of 94 taxa from 53 genres, was determined with a phytoplankton abundance range of 7.19~272.35 cell/mL, in average 46.74 cell/mL. The percentage of Bacillariophyta was 70.34% of total cell abundance. The dominant species included *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., *Nitzschia closterium* and *Navicula* spp. During this survey, three algal blooms of *Skeletonema costatum* were recorded and no nutrient limitation was observed. Annual statistical analysis displayed that the abundance of pennate diatom had significant correlation with nutrient proportion ($P < 0.05$). During the opening season, the average concentration of chlorophyll a reached to 7.26 mg/m³, obviously higher than those in other periods, and pennate diatoms became the most dominant group among the phytoplankton community, meantime, a vary significant positive correlation between chlorophyll a and pennate diatoms was observed ($P < 0.01$). At last, we discussed the negative impact of dominant pennate diatoms on the environmental amenity in the bathing beach area, and suggested pennate diatoms as a potential biological factor for environmental health assessment in such coastal recreational waters.

Key words: bathing beach; phytoplankton; eutrophication; water quality

Received: December 12, 2013