

福宁湾浮游植物的群落结构特征*

全汉锋^{1,3} 单秀娟^{2,3①} 戴芳群²

(1. 福建省闽东水产研究所 宁德 352100; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 3. 福建省宁德市鼎鑫水产科技有限公司 宁德 352100)

摘要 基于2011年12月(冬季)、2012年5月(春季)和8月(夏季)福宁湾浮游植物及环境因子的调查数据,对福宁湾浮游植物的种类组成、优势种、多样性的季节变化及其影响因素进行了分析。结果显示,鉴定到种的浮游植物共7门61属149种,硅藻门种类最多,其次是甲藻门。浮游植物种类数以冬季最多,其次是春季,夏季最少。优势种季节更替明显,冬季优势种为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、柏氏角管藻(*Cerataulina bergonii*)、近缘黄丝藻(*Tribonema affine*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)和刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)。春季优势种为夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、波状角藻(*Ceratium trichoceros*)、洛氏菱形藻(*Nitzschia lorenziana*)和艾希斜纹藻(*Pleurosigma aestuarii*)。夏季优势种为条纹小环藻(*Cyclotella striata*)和中肋骨条藻。浮游植物丰度为 0.51×10^4 – 1298.73×10^4 个/ m^3 ,平均丰度为 137.90×10^4 个/ m^3 。各季节浮游植物多样性指数(*H'*)平均值为1.988,均匀度指数(*J'*)平均值为0.473,其中春季多样性和均匀度较高,其次是夏季,冬季最低。冬季和夏季,浮游植物生物量与活性磷酸盐呈显著正相关($P < 0.05$),春季,与活性磷酸盐呈显著负相关($P < 0.05$),夏季丰度与化学耗氧量呈极显著正相关($P < 0.01$),活性磷酸盐是福宁湾浮游植物生物量的限制因子。

关键词 福宁湾; 浮游植物; 群落结构; 环境因子

中图分类号 S932.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2015)03-0001-07

福宁湾位于闽东三沙渔场以南,潮流畅通,地势平坦,大多为泥沙底质,水温、盐度、pH、透明度、降水量等理化因子稳定,沿岸有罗汉溪等数条溪流入海,带来丰富的营养盐和有机质,形成较高的初级生产力,曾经是福建省特色渔业之一尖刀蛸(*Cultellum scalprum* Gould)的盛产地。近年来,由于福宁湾围垦工程和经济开发区在福宁湾沙塘海域落地,导致福宁湾沙塘外海域自然条件不断变化,特别是2011年11月福宁湾围垦工程海堤堵口的成功合龙,进一步影响了福宁湾的生态环境。浮游植物与海洋生态环境关系密切,浮游植物种类分布的变化对环境变化具有指示作用,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(孙军, 2013; 孙雪梅等, 2013)。浮游植物作为海洋有机物(有机碳)的初级生产者和能量的主要转换者,是海洋食物链中的基础环节,其群落结构的变化将会影响整个食物链的物质循环和能量转换,直接或间接影响到浮游动物和经济海洋生物幼体的成活和生长,进而引起海洋生态系统结构和功能的变化(康元德, 1991)。福宁湾浮游植物的研究仅见于陈国斌等(2004)和戴红等(2006 a、b)关于围垦前浮游植物生态特征的分析。本研究基于福宁湾围垦工程海堤堵口合龙后3个航次的浮游植物调查,对浮游植物的群落结构及其影响因素进行了初步分析,以期福宁湾生态环境保护及生物资源评估提供基础数据。

* 福建省杰出青年基金项目(多重压力下福宁湾尖刀蛸资源与适应策略的研究)(2012J06022)和国家国际科技合作专项(近海衰退渔业种群重建关键技术合作研究)(2013DFA31410)共同资助。全汉锋, E-mail: hanfeng6@sina.com

① 通讯作者: 单秀娟, 副研究员, E-mail: shanxj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-05-09, 收修改稿日期: 2014-07-03

1 材料与方法

1.1 材料来源和处理

材料取自 2011 年 12 月(冬季)、2012 年 5 月(春季)和 8 月(夏季)对福宁湾进行的浮游植物调查,具体站位见图 1。浮游植物样品采集用浅水Ⅲ型浮游生物网(网口直径 37 cm,网口面积 0.1 m²,网身长 150 cm,网目 76 μm)自水底至水面垂直拖网,样品用 5%甲醛固定保存。样品处理、分析鉴定及数据处理按照《海洋监测规范》(GB17378.7-2007)执行。理化环境调查内容包括:温度、盐度、pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、无机氮、活性磷酸盐等因子。温度和盐度使用 CTD 测定;pH 和溶解氧使用酸度计和溶氧仪现场测定;其他要素使用卡盖式采水器采集表层水样测定。水质样品的采集、保存、运输和分析按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763-2007)中的相关规定执行。

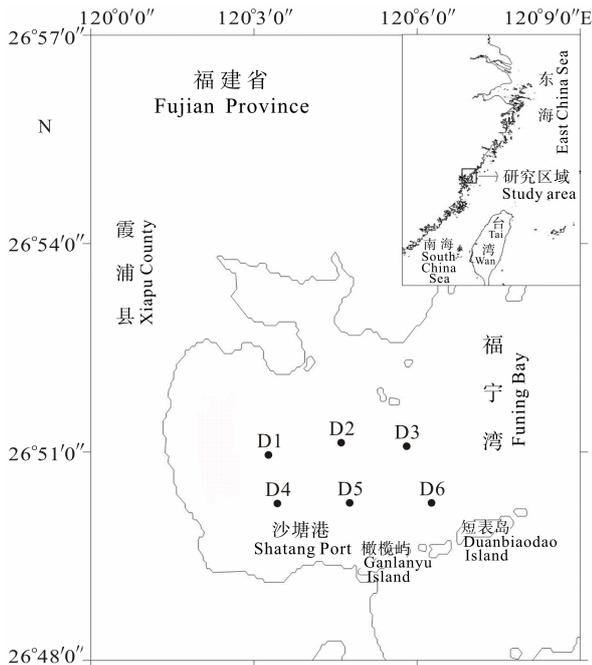


图 1 福宁湾调查站位

Fig.1 Sampling stations in the Funing Bay

1.2 群落多样性

本研究采用如下公式对浮游植物多样性进行分析研究。

Shannon-Weaver 多样性指标(Shannon *et al*, 1949):

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

Pielou 均匀度指标(Pielou, 1975):

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

浮游植物优势度 Mcnaughton 指数:

$$Y = P_i f_i$$

式中, S 为种类数, P_i 为第 i 种浮游植物的个体数占总个体数的比例, f_i 为该种在各样品中出现的频率。

2 结果

2.1 福宁湾水域基础环境

2.1.1 温度 春季,福宁湾海域表层温度平均值为 22.93℃,夏季达到全年最高值 31.50℃,冬季表层水温由于闽浙沿岸流南下而明显下降,平均值仅为 12.65℃(表 1)。

2.1.2 盐度 春季,调查海域由于外海高盐水入侵,盐度较高,平均盐度为 27.06,夏季由于江河淡水流入,各站盐度变化较大,平均值为 27.17,冬季盐度变化幅度较小,平均值为 25.56(表 1)。

2.1.3 酸碱度 春季,调查海域平均 pH 为 8.28,夏季的平均 pH 为 8.17,但是分布略有差异,冬季 pH 有所降低,平均值为 8.05(表 1)。

2.1.4 溶解氧 春季,调查海域的溶解氧平均值为 7.82 mg/L,夏季有所降低,平均值为 6.96 mg/L,冬季溶解氧最高,平均值为 13.23 mg/L(表 1)。

2.1.5 化学耗氧量 春季,调查海域的化学耗氧量平均值为 1.42 mg/L,夏季迅速降低,平均值为 0.94 mg/L,冬季又迅速增加,为 1.80 mg/L(表 1)。

2.1.6 无机氮 春季和冬季调查海域的无机氮含量变化不大,春季,无机氮平均值为 0.301 mg/L,冬季,平均值为 0.314 mg/L,夏季最低,仅为 0.238 mg/L(表 1)。

2.1.7 活性无机磷 春季和夏季调查海域的活性磷酸盐含量差别不大,春季,平均值为 0.005 mg/L,夏季,平均值为 0.007 mg/L,冬季活性磷酸盐含量最高,为 0.015 mg/L(表 1)。

2.2 浮游植物的种类组成及优势种

2.2.1 浮游植物种类组成 调查共鉴定浮游植物 7 门 61 属 149 种(包括变种和变型等,以下均同),其中,硅藻门种类最多,为 44 属 120 种,占浮游植物种类总数的 80.54%;甲藻门 10 属 22 种,占 14.77%;绿藻门 2 属 2 种,裸藻门 2 属 2 种,黄藻门、金藻门、蓝藻门各 1 属 1 种。

春季调查共鉴定浮游植物 4 门 37 属 79 种,硅藻门 27 属 60 种,甲藻门 8 属 17 种,蓝藻门和裸藻门各 1 属 1 种。夏季调查共鉴定浮游植物 4 门 32 属 53

表 1 福宁湾水域基础环境
Tab.1 Environmental factors in the Funing Bay

因子 Factors								
季节 Season	站位 Station	表层温度 Temperature (°C)	盐度 Salinity	酸碱度 pH	溶解氧 DO (mg/L)	化学耗氧量 COD (mg/L)	无机氮 Inorganic nitrogen (mg/L)	活性磷酸盐 Active phosphate (mg/L)
春季 Spring	D1	23.04	21.71	8.33	7.80	1.37	0.288	0.002
	D2	23.13	29.62	8.26	7.97	1.09	0.336	0.004
	D3	22.93	30.12	8.29	8.41	1.76	0.113	0.003
	D4	22.61	21.71	8.35	7.47	1.19	0.269	0.002
	D5	22.92	29.53	8.29	7.96	2.36	0.273	0.003
	D6	22.97	29.68	8.17	7.29	0.76	0.528	0.013
夏季 Summer	D1	31.50	20.40	8.49	8.19	2.86	0.363	0.000
	D2	30.30	29.80	8.05	6.62	0.46	0.289	0.014
	D3	29.70	31.90	8.10	6.52	0.43	0.080	0.007
	D4	30.40	18.10	8.33	7.63	1.16	0.408	0.001
	D5	30.90	30.70	8.05	6.57	0.21	0.238	0.017
	D6	30.40	32.10	7.99	6.24	0.53	0.052	0.005
冬季 Winter	D1	12.39	24.39	8.77	13.60	3.62	0.018	0.006
	D2	12.94	25.87	7.82	12.89	0.77	0.501	0.034
	D3	13.30	26.35	7.80	12.48	1.12	0.469	0.029
	D4	11.98	25.03	8.20	14.00	2.16	0.118	0.005
	D5	12.69	25.57	7.98	13.18	1.73	0.354	0.009
	D6	12.61	26.16	7.73	13.22	1.37	0.424	0.006

种, 硅藻门 24 属 44 种、甲藻门 5 属 6 种, 绿藻门 2 属 2 种和, 蓝藻门 1 属 1 种。冬季调查共鉴定浮游植物 6 门 44 属 103 种, 硅藻门 33 属 87 种, 甲藻门 7 属 11 种, 裸藻门 1 属 2 种, 黄藻门、金藻门、蓝藻门各 1 属 1 种。

硅藻主要包括中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、条纹小环藻(*Cyclotella striata*)、柏氏角管藻(*Cerataulina bergonii*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)、刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)、艾希斜纹藻(*Pleurosigma aestuarii*)、洛氏菱形藻(*Nitzschia lorenziana*)等; 甲藻有夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)、波状角藻(*Ceratium trichoceros*)、闪光原甲藻(*Prorocentrum micans*)等; 绿藻有十二单突盘星藻(*Pediastrum simplex* var. *duodenarium*)和四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*); 裸藻有具尾裸藻(*Euglena caudata*)和裸藻(*Euglena* sp.); 黄藻有近缘黄丝藻(*Tribonema affine*); 金藻有小等刺硅鞭藻(*Dictyocha fibula*); 蓝藻有颤藻(*Oscillatoria* sp.)。

2.2.2 浮游植物的优势种 将优势度指数 ≥ 0.006 的浮游植物定为优势种(柳丽华等, 2007), 春季浮游植物优势种为夜光藻、叉状角藻、洛氏菱形藻和艾希斜纹藻, 其中夜光藻和叉状角藻占总个数比例较大,

分别为 39.2%和 26.3%, 夜光藻优势度明显大于其他藻类, 为 0.692。夏季浮游植物优势种为条纹小环藻和中肋骨条藻, 占总个数的比例分别为 67.6%和 12.3%, 条纹小环藻优势度较大, 为 0.756。冬季浮游植物优势种为中肋骨条藻、柏氏角管藻、近缘黄丝藻、琼氏圆筛藻和刚毛根管藻, 其中中肋骨条藻、柏氏角管藻和近缘黄丝藻占总丰度比例较高, 分别为 46.5%、23.2%和 15.1%, 优势度分别为 0.308、0.232 和 0.151(表 2)。

2.3 浮游植物的分布特征

2.3.1 浮游植物种类数的分布 各季节浮游植物种类在 17–45 种之间, 平均值为 31.5 种。冬季 D6 站种类最多, 43 种; 夏季 D4 站种类最少, 17 种(图 2)。春季浮游植物种类数在 28–32 种之间, 平均值为 30.3 种, 各站分布相对均匀; 夏季浮游植物种类数在 17–42 种之间, 平均值为 28.5 种, D6 站种类最多, 42 种, D4 站种类最少, 17 种; 冬季浮游植物种类数在 29–45 种之间, 平均值为 35.7 种, D6 站种类最多, 45 种, D3 站种类最少, 29 种。

2.3.2 浮游植物丰度分布的季节变化 浮游植物丰度为 0.51×10^4 – 1298.73×10^4 个/ m^3 , 平均值为 $137.90 \times$

表2 福宁湾浮游植物优势种
Tab.2 Dominant species of phytoplankton in the Funing Bay

	种类 Species	占总丰度的比例 Percentage(%)	优势度 Dominance
春季 Spring	夜光藻 <i>N. scintillans</i>	39.2	0.692
	叉状角藻 <i>C. furca</i>	26.3	0.082
	洛氏菱形藻 <i>N. lorenziana</i>	5.7	0.047
	艾希斜纹藻 <i>P. aestuarii</i>	5.6	0.018
夏季 Summer	条纹小环藻 <i>C. striata</i>	67.6	0.756
	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	12.3	0.082
冬季 Winter	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	46.5	0.308
	柏氏角管藻 <i>C. bergonii</i>	23.2	0.232
	近缘黄丝藻 <i>T. affine</i>	15.1	0.151
	琼氏圆筛藻 <i>C. jonesianus</i>	6.2	0.042
	刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>	5.9	0.049

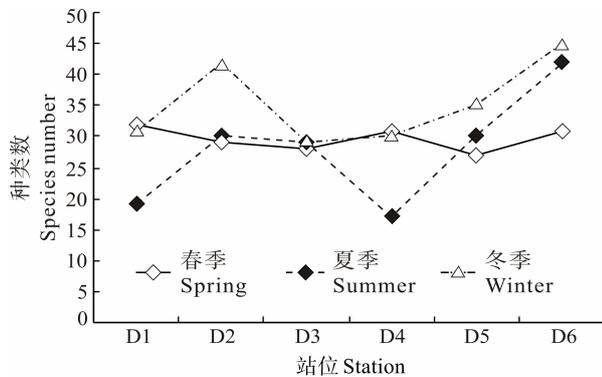


图2 福宁湾浮游植物种类分布的季节变化
Fig.2 Seasonal variations in phytoplankton species distribution in the Funing Bay

10^4 个/ m^3 (图 3), 在各季节硅藻丰度占绝对优势。春季浮游植物丰度为 0.51×10^4 – 56.32×10^4 个/ m^3 , 平均值为 24.32×10^4 个/ m^3 , D6 站丰度最低, D3 站丰度最高; 夏季浮游植物丰度为 44.86×10^4 – 1298.73×10^4 个/ m^3 , 平均值为 275.78×10^4 个/ m^3 。D5 站丰度最低, D1 站丰度最高; 冬季浮游植物丰度为 10.01×10^4 – 320.04×10^4 个/ m^3 , 平均值为 113.60×10^4 个/ m^3 , D1 站丰度最低, D2 站丰度最高。

2.3.3 浮游植物各季节主要优势种的丰度分布 夜光藻是春季主要优势种, 为赤潮多发种, 平均丰度为 9.02×10^4 个/ m^3 , 占浮游植物总丰度的 37.09%, 丰度范围为 0.05×10^4 个/ m^3 – 32.71×10^4 个/ m^3 。

条纹小环藻是夏季主要优势种, 平均丰度为 211.23×10^4 个/ m^3 , 占浮游植物总丰度的 76.60%, 丰度范围为 0.52×10^4 个/ m^3 – 1232.78×10^4 个/ m^3 。

中肋骨条藻是冬季主要优势种, 为赤潮多发种, 平均丰度为 8.65×10^4 个/ m^3 , 占浮游植物总丰度的 76.20%, 丰度为 23.04×10^4 个/ m^3 – 288.96×10^4 个/ m^3 ,

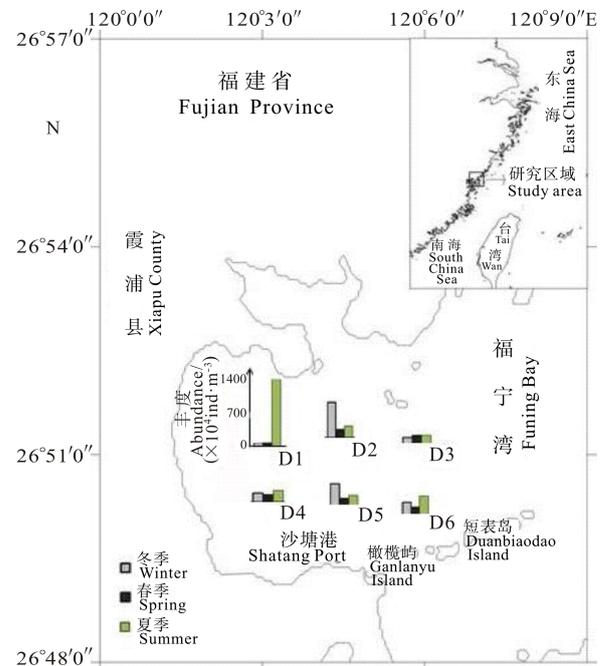


图3 福宁湾浮游植物丰度分布的季节变化
Fig.3 Seasonal variations in phytoplankton abundance in the Funing Bay

D1、D4 站位没有监测到中肋骨条藻。

2.4 多样性指数

各季节浮游植物多样性指数(H')平均值为 1.988, 均匀度指数(J')平均值为 0.473。春季浮游植物 H' 为 1.416–3.599, 平均值为 2.608, J' 为 0.326–0.847, 平均值为 0.642; 夏季浮游植物 H' 为 0.472–1.857, 平均值为 1.253, J' 为 0.124–0.418, 平均值为 0.292; 冬季浮游植物 H' 为 1.636–2.355, 平均值为 2.104, J' 为 0.388–0.551, 平均值为 0.486(图 4 和图 5)。各季节 H' 和 J' 的平均值呈春季>冬季>夏季, 并且远离岸边各站的多样

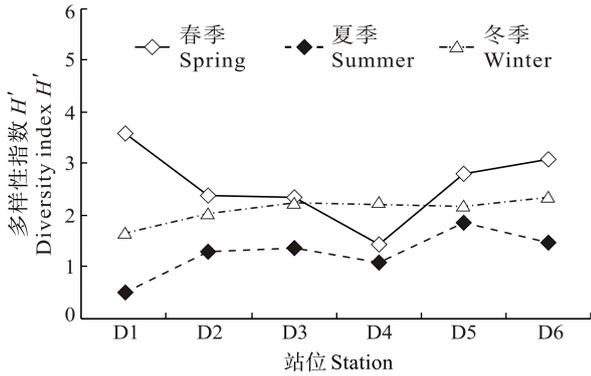


图 4 福宁湾浮游植物多样性的季节变化
Fig.4 Seasonal variations in phytoplankton diversity in the Funing Bay

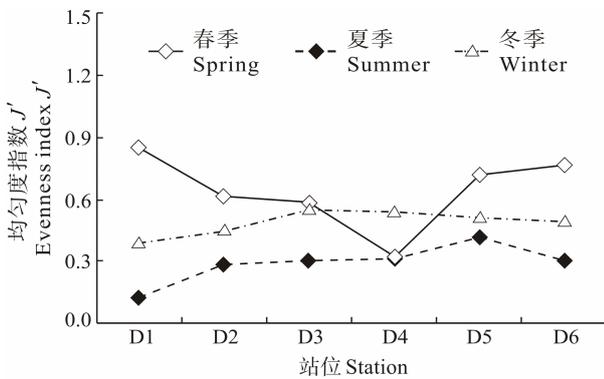


图 5 福宁湾浮游植物均匀度的季节变化
Fig.5 Seasonal variations in phytoplankton evenness in the Funing Bay

性和均匀度较高, 近岸各站的多样性和均匀度偏低。

2.5 浮游植物群落结构与环境因子的关系

春季和冬季浮游植物丰度和多样性不存在显著

相关关系($P>0.05$)。夏季, 浮游植物丰度与化学耗氧量呈极显著正相关($P<0.01$), 多样性与化学耗氧量呈显著负相关($P<0.01$), 与 pH、溶解氧、浮游植物丰度呈显著负相关($P<0.05$), pH 和溶解氧及化学耗氧量均呈极显著正相关($P<0.01$)(表 3)。

3 讨论

福宁湾浮游植物群落主要由硅藻、甲藻组成, 还包括少数绿藻、裸藻、黄藻、金藻、蓝藻等。其中, 硅藻的种类和丰度均占绝对优势。福宁湾围垦前浮游植物包括 5 门 54 属 156 种(陈国斌等, 2004), 围垦后共鉴定到种 7 门 61 属 149 种(包括变种和变型等), 其硅藻由 122 种减少为 120 种, 甲藻由 32 种减少为 22 种, 围垦工程海堤堵口合龙后与围垦前浮游植物种类数相比有所减少, 但围垦后出现绿藻和裸藻种类。浮游植物种类数围垦后以冬季最多, 其次是春季, 夏季最少, 与围垦前浮游植物种类数季节分布相反。围垦前后浮游植物优势种变化较大, 除中肋骨条藻和夜光藻外, 其他优势种类均发生了演替, 围垦前主要以中肋骨条藻、尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*)、夜光藻、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*) 为主, 并且优势种夏秋和春冬之间演替明显; 围垦后主要以中肋骨条藻、柏氏角管藻、近缘黄丝藻、琼氏圆筛藻、刚毛根管藻、夜光藻、叉状角藻、洛氏菱形藻、艾希斜纹藻、条纹小环藻为主, 各个季节存在绝对优势种, 各季节间优势种演替明显。另外, 调查中有大量赤潮藻类出现, 而福宁湾作为三都湾赤潮监控区和高发区, 应注意加强赤潮防范。

表 3 福宁湾浮游植物群落结构与环境因子的相关关系
Tab.3 Correlations among phytoplankton community and environmental factors in the Funing Bay

	春季 Spring		夏季 Summer		冬季 Winter	
	丰度 Abundance	多样性 Diversity	丰度 Abundance	多样性 Diversity	丰度 Abundance	多样性 Diversity
海表温度 Temperature	0.126	0.702	0.784	-0.454	0.126	0.702
盐度 Salinity	0.266	0.095	-0.524	0.736	0.266	0.095
酸碱度 pH	-0.149	-0.347	0.786	-0.877*	-0.149	-0.347
溶解氧 DO	0.478	-0.007	0.771	-0.859*	0.478	-0.007
化学耗氧量 COD	0.014	0.045	0.947**	-0.933**	0.014	0.045
无机氮 Inorganic nitrogen	-0.392	0.335	0.396	-0.54	-0.392	0.335
活性磷酸盐 Active phosphate	0.118	0.298	-0.564	0.772	0.118	0.298
丰度 Abundance	1	0.143	1	-0.829*	1	0.36
多样性 Diversity		1		1		1

*, $P<0.05$, 显著相关 Significant correlation; **, $P<0.01$, 极显著相关 Highly significant correlation

围垦后浮游植物丰度为 0.51×10^4 – 1298.73×10^4 个/ m^3 , 平均丰度为 137.90×10^4 个/ m^3 , 各季节硅藻数量占绝对优势, 浮游植物丰度夏季最高, 冬季次之, 春季最少。浮游植物丰度与生物量在春季和冬季的分布不一致, 可能与冬季主要是个体较小的中肋骨条藻占优势、春季主要是个体较大的夜光藻占优势有关。围垦后浮游植物丰度与围垦前相比, 最高丰度有所增加, 但平均丰度减少(陈国斌等, 2004)。根据浮游植物饵料评价标准(唐启升, 2006), 冬季 D2 站为 II 级、夏季 D1 站为 V 级, 其他各站均为 I 级, 饵料生物水平一般。浮游植物的丰度分布和季节变化与水域中被其直接利用的营养盐(如无机氮、活性磷酸盐)的含量分布和变化有密切关系(戴红等, 2006 a、b)。浮游植物通过不断摄取海水中的各种营养物质促进自身生物量增长, 当某种营养元素能够得到充足补充时, 二者呈正相关, 当某营养元素紧缺时, 呈负相关, 通常营养盐的增加促进了浮游植物的繁殖, 经常成为浮游植物的密集区(康元德, 1991)。营养盐中无机氮和活性磷酸盐的含量是表征水体富营养化的重要指标, 也是浮游植物生长繁衍的必需元素。科研工作者早期就对浮游植物必需的无机氮和活性磷酸盐的最低浓度及 N/P 进行了研究(Chu, 1949; Reynolds *et al*, 1997; 邹景忠等, 1983; 胡明辉等, 1989; 王保栋, 2003; 蒲新明等, 2001; 林更铭等, 1993), 指出无机氮和无机磷对于浮游植物生长下限的浓度分别为 $5.71 \mu\text{mol/L}$ 和 $0.50 \mu\text{mol/L}$ 。根据此标准, 在围垦前后活性磷酸盐都是福宁湾浮游植物的限制因子, 戴红等(2006b)报道 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为围垦前福宁湾海域浮游植物生长限制因子。另外, 其他研究也表明, 活性磷酸盐也是该水域赤潮发生的限制因子之一(陈国斌等, 2004; 戴红等, 2006a), 因此, 活性磷酸盐在福宁湾初级生产力及海洋生物资源变动中起了很重要的作用。本研究中福宁湾水域基础环境相比 2002–2004 年, 化学耗氧量春季有所增加, 夏季减少, 无机氮春季保持相对恒定, 夏季大幅度增加, 活性磷酸盐变化不大(刘炜等, 2008)。由此可见, 近年来, 福宁湾水域基础环境保持相对稳定, 但是, 关于围垦工程对福宁湾水域环境的影响及其相关的生物效应是一个长期过程, 需要获取更多的资料进一步研究。

致谢: 中国水产科学研究院黄海水产研究所栾青杉

博士对浮游植物部分名录进行了修订和文稿修改, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王保栋. 黄海和东海营养盐分布及其对浮游植物的限制. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1122–1126
- 刘炜, 李奶姜, 李婕. 福宁湾水质状况及其水体富营养化的初步探讨. 海洋通报, 2008, 27(1): 111–115
- 孙军. 海洋浮游植物与渔业碳汇计量. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 90–96
- 孙雪梅, 夏斌, 过锋, 等. 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. 渔业科学进展, 2013, 34(3): 46–53
- 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题探讨. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 45–50
- 陈国斌, 戴红, 李伏庆. 福建省三都湾赤潮监控区福宁湾浮游植物的生态. 台湾海峡, 2004, 23(4): 469–480
- 林更铭, 杨清良, 林金美. 厦门岛周围海域浮游植物与环境因子的关系. 海洋通报, 1993, 12(6): 40–45
- 胡明辉, 杨逸萍, 徐春林, 等. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制. 海洋学报, 1989, 11(4): 439–443
- 柳丽华, 左涛, 陈瑞盛, 等. 2004 年秋季长江口海域浮游植物的群落结构和多样性. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 112–119
- 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 2006, 440–444
- 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
- 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究 II. 春季的营养限制情况. 海洋学报, 2001, 23(3): 57–65
- 戴红, 张文斌, 陈国斌. 福宁湾活性磷酸盐和无机氮的时空变化特征. 海洋环境科学, 2006a, 25(1): 71–75, 93
- 戴红, 陈国斌, 李伏庆. 福建福宁湾无机氮含量的变化特征及其对浮游植物的影响. 台湾海峡, 2006b, 25(1): 59–67
- Chu SP. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton. Sci Technol China, 1949, 2: 37–52
- Pielou EC. Ecological Diversity. New York: Wiley-Inter Science, 1975, 1–165
- Reynolds RA, Stramski D, Kiefer DA. The effect of nitrogen limitation on the absorption and scattering properties of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. Limnol Oceanogr, 1997, 42(5): 881–892
- Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949, 1–144

(编辑 江润林)

The Community Structure of the Phytoplankton in the Funing Bay

QUAN Hanfeng^{1,3}, SHAN Xiujuan^{2,3}^①, DAI Fangqun²

(1. Fisheries Institute of Mindong, Ningde 352100; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Ningde Dingxin Co. Ltd in Fujian Province, Ningde 352100)

Abstract The growth of the phytoplankton greatly depends on the productivity of the water, and the changes in the water environment can directly determine the community structure of the phytoplankton. Therefore the community structure can serve as an indicator of the productivity and the environment of the water. The recent seawall closing the Funing Bay reclamation project (Fujian Province, China) may have caused lots of changes in the environment and the productivity of the water, however, the reports are lacking. In this study, we collected data about the phytoplankton in the Funing Bay in December of 2011 and in May and August of 2012, and analyzed the seasonal variations in the species composition, the dominant species, the biodiversity and the related factors. There were 149 species identified which belonged to 7 Phylum and 61 Genus. The Phylum including most species was Bacillariophyta followed by Pyrrophyta. The number of observed phytoplankton species was the largest in winter, and the second largest was in spring and followed by summer. There was an obvious seasonal variation in the dominant species. *Skeletonema costatum*, *Cerataulina bergonii*, *Tribonema affine*, *Coscinodiscus jonesianus*, and *Rhizosolenia setigera* were the dominant species in winter. In spring, *Noctiluca scintillans*, *Ceratium trichoceros*, *Nitzschia lorenziana* and *Pleurosigma aestuarii* were the dominant species. *Cyclotella striata* and *Skeletonema costatum* were the dominant species in summer. The abundance of the phytoplankton was 0.51×10^4 – 1298.73×10^4 ind/m³, and the average abundance was 137.90×10^4 ind/m³. The average diversity index was 1.988. The average evenness index was 0.473. The highest diversity index and evenness index were both observed in spring, followed by summer and winter. There was a positive correlation ($P < 0.05$) between active phosphate and the biomass of phytoplankton in winter and summer, but the correlation was negative ($P < 0.05$) in spring. There was also a highly positive correlation between the abundance of the phytoplankton and the chemical oxygen demand ($P < 0.01$). These results suggested that after the seawall was closed, there had been obvious changes in the biomass and the community structure of the phytoplankton in the Funing Bay, and active phosphate was the limiting factor.

Key words Funing Bay; Phytoplankton; Community structure; Environmental factors

① Corresponding author: SHAN Xiujuan, E-mail: shanxj@ysfri.ac.cn