文章编号:1006-5601(2013)04-0258-06

闽江口海域浮游植物群落结构特征

肖 莹

(福州市海洋与渔业技术中心,福建 福州 350026)

摘要:2009年5月、11月分别对闽江口海域进行春季和秋季航次的调查,共检出浮游植物5门54属129种,其中硅藻门46属118种,占总种数的91%,甲藻门5属8种,占总种数的6%,蓝藻门1属1种,占总种数的1%,绿藻门1属1种,占总种数的1%,隐藻门1属1种,占总种数的1%。浮游植物春季航次优势种有3种,分别为中肋骨条藻、旋链角毛藻和柔弱角毛藻;秋季航次优势种也是3种,分别为中肋骨条藻、细弱圆筛藻和琼氏圆筛藻。浮游植物细胞密度范围为1.56×10^3~7.43×10^5cell/L,春季高于秋季。春季浮游植物细胞密度与水温呈显著正相关关系,与叶绿素a浓度呈极显著正相关关系;秋季浮游植物细胞密度与盐度呈极显著负相关关系,与溶解无机氮浓度呈极显著正相关关系。

关键词:浮游植物;群落结构;季节变化;多样性;环境因子

中图分类号:Q948 **文献标识码**:A

浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者,是海洋生态系统的物质基础,其群落结构和时空分布与海洋环境因素和生物因素密切相关,能够直接体现出该海域初级生产力的水平[1-2]。浮游植物的研究是生态系统研究的重要内容和生态系统容纳量研究的重要指标,也是资源评估的重要依据[3]。闽江位于福建省东部,全长2 872 km(干流长度577 km),流经福建省36个县、市,流域面积6.0992×10^4 km^2,是福建第一大河。闽江口呈扇形,是有名的大潮区之一[4]。近年来,对福建海域开展的几次浮游植物调查[5-6]也包含了闽江口海域,但由于是对整个福建海域的调查,因此在闽江口布设的站位相对较少。为了了解闽江口海域初级生产者的基本状况,本文根据2009年春季和秋季对闽江口海域的生态调查结果,分析了浮游植物群落的种群结构和数量分布及其环境因素的影响,从而为保护海洋生态环境,维持海洋生物资源的可持续利用提供基础性资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2009年5月、11月分别对闽江口海域进行春季和秋季航次的调查,根据闽江口海域的地形地貌共布设了11个站位(图1)。浮游植物和叶绿素a的分析方法和过程均按GB 17378.7-2007《海洋监测规范 第7部分:近海污染生态调查和生物监测》[7]进行。水温、盐度、溶解无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐的分析方法和过程均按GB 17378.4-2007《海洋监测规范 第4部分:海水分析》[8]进行。

1.2 统计方法[5-9]

(1) Jaccard(1908)相似系数$J_c=c/(a+b-c)$,a、b为两不同季节浮游植物种类数,c为两不同季节的共有种类数。

(2)浮游植物优势种根据每个种的优势度确定,计算式为:优势度$Y=(ni/N)\times fi$,以$Y>0.02$作为优势种。

收稿日期:2013-05-03

作者简介:肖 莹(1981-),福建福州,工程师,本科,主要从事海洋与渔业生态环境监测,E-mail:may_xiaoying@hotmail.com

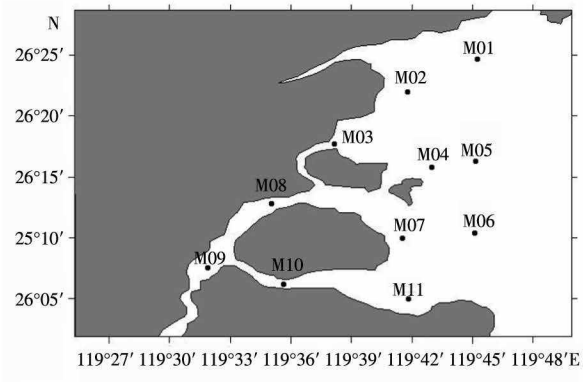


图 1　闽江口海域站位图

Fig.1　Stations for phytoplankton sampling in Minjiang Estuary

（3）种类多样性指数（Shannon – Wiener information index）：

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}(ni/N)\log_2(ni/N)$$

（4）丰富度指数（Margalef's species richness）：

$$d = (S-1)/\log_2 N$$

（5）均匀度指数（Pielou's evenness）：

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

（6）辛普森优势度（Simpson's dominance）：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{s}\frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}$$

（2）～（6）式中 ni 为样品中第 i 个物种的个体数，N 为样品的总个体数，S 为种类数，fi 为第 i 种在各测站出现的频率。

（7）统计分析采用 SPSS11.5 软件对环境因子进行 Pearson 相关性分析和双侧显著性检验。

2　结果

2.1　浮游植物种类组成与分布

本年度闽江口海域春、秋两个航次共检出浮游植物 5 门 54 属 129 种（表 1），其中硅藻门 46 属 118 种，占总种数的 91%，甲藻门 5 属 8 种，占总种数的 6%，蓝藻门 1 属 1 种，占总种数的 1%，绿藻门 1 属 1 种，占总种数的 1%，隐藻门 1 属 1 种，占总种数的 1%。其中，硅藻门角毛藻属种类最多，达 24 种；其次为硅藻门圆筛藻属，达 17 种。

闽江口海域浮游植物种类数春季大于秋季，春季以角毛藻属种类最多，达 14 种，秋季以圆筛藻属种类最多，达 11 种。春、秋季共有种类数 49 种，Jaccard 种类相似性指数为 0.38，相似性指数较低，说明该海区浮游植物的季节更替较明显。

表 1　闽江口海域浮游植物种类组成与分布

Tab. 1　Species composition and distribution of phytoplankton in Minjiang Estuary

季节 Season	硅藻 Bacillariophyta		甲藻 Pyrrophyta		蓝藻 Cyanophyta		绿藻 Chlorophyta		隐藻 Cryptophyta		合计 Total	
	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species
春季 Spring	42	104	5	8	1	1	1	1	1	1	50	115
秋季 Autumn	34	60	2	3	0	0	0	0	0	0	36	63
总计 Total	45	118	5	8	1	1	1	1	1	1	53	129

2.2　浮游植物生态类型

根据本年度春季和秋季的调查结果，可以将闽江口海域浮游植物主要分为以下三种生态类型：

（1）沿岸种：由于调查海区为近岸海区，因此低盐的沿岸种仍为该海区的主要类群，其中主要为沿岸广温性种类，如旋链角毛藻（*Chaetoceros curvisetus*）、丹麦细柱藻（*Leptocylindrus danicus*）、窄隙角毛藻（*Chaetoceros affinis*）、奇异棍形藻（*Bacillaria paradoxa*）等；另外，还有一些沿岸偏暖性种类，如柔弱角毛藻（*Chaetoceros debilis*）、琼氏圆筛藻（*Coscinodiscus jonesianus*）、洛氏角毛藻（*Chaetoceros lorenzianus*）、中华盒形藻（*Bidduiphia sinensis*）等。

（2）广温广盐种：由于该类群适应的盐度和温度较广，其也为该海区的常见种，主要种类有：中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*）、冕孢角毛藻（*Chaetoceros subsecundus*）、辐射圆筛藻（*Coscinodiscus radiatus*）、中心圆筛藻（*Coscinodiscus centralis*）、布氏双尾藻（*Ditylum brightwellii*）、刚毛根管藻（*Rhizosolenia setigera*）等，其中，中肋骨条藻为该海区最主要优势种。

（3）大洋种：虽然有些浮游植物是大洋种，但在海流等水文动力作用下沿岸海域也能采集到。该海区的大洋种主要是由大洋广温性种组成，如佛氏海毛藻（*Thalassionthrix frauenfeldii*）、笔尖根管藻（*Rhizosolenia styliformis*）、密联角毛藻（*Chaetoceros densus*）、星脐圆筛藻（*Coscinodiscus asteromphalus*）、虹彩圆筛藻（*Coscinodiscus oculus – iridis*）等。

2.3 浮游植物数量与分布

本年度春、秋季调查闽江口海域浮游植物细胞密度范围为 1.56×10^3 ~ 7.43×10^5 cell/L（图2），平均值为 9.42×10^4 cell/L，最高值出现在春季的 M11 站位，最低值出现在秋季的 M01 站位。春季浮游植物细胞密度范围为 4.28×10^3 ~ 7.43×10^5 cell/L，平均值为 1.69×10^5 cell/L，春季各站位平面分布相差悬殊。秋季浮游植物细胞密度范围为 1.56×10^3 ~ 4.66×10^4 cell/L，平均值为 1.96×10^4 cell/L，秋季各站位平面分布相差相对较小。从各站位春、秋季浮游植物平均值来看，最高值在 M11，最低值在 M02，浮游植物数量总体呈现从近岸到远岸逐渐减少的趋势。

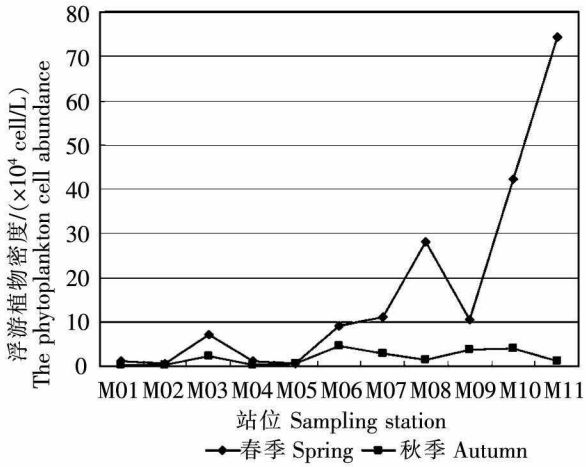


图2 闽江口海域浮游植物细胞密度的平面分布与季节变化

Fig.2 Horizontal distribution and seasonal variation of the phytoplankton cell abundance in Minjiang Estuary

2.4 浮游植物优势种数量分布

本年度闽江口海域浮游植物的优势种春季航次有3种，分别为中肋骨条藻、旋链角毛藻和柔弱角毛藻；秋季航次也有3种，分别为中肋骨条藻、细弱圆筛藻（*Coscinodiscus subtilis*）和琼氏圆筛藻（表2）。中肋骨条藻为广温广盐广布种，为春、秋季的共有优势种，在春季和秋季航次各站位的检出率都高达0.909，春季平均密度为 1.11×10^5 cell/L，秋季平均密度为 9.54×10^3 cell/L，可以看出中肋骨条藻是该海区最主要的优势种。

表2 闽江口海域浮游植物的优势种与季节变化

Tab.2 The dominant species and seasonal variation of phytoplankton in Minjiang Estuary

季节 Season	物种 Species	出现频率/% Frequency	占细胞总量百分比/% Percentage	优势度 Dominance
春季 Spring	中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)	0.909	0.660	0.600
	旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)	0.636	0.096	0.061
	柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)	0.364	0.144	0.052
秋季 Autumn	中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)	0.909	0.487	0.443
	细弱圆筛藻(*Coscinodiscus subtilis*)	0.909	0.342	0.311
	琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)	0.818	0.036	0.029

2.5　叶绿素 a 的分布

本年度春、秋季调查闽江口海域叶绿素 a 浓度的范围为 0.26 ~ 4.39 μg/L（图 3），平均值为 1.58 μg/L，最高值出现在春季的 M11 站位，最低值出现在秋季的 M05 站位，春季叶绿素 a 浓度平均值高于秋季。叶绿素 a 浓度的平面分布大致呈现近岸高于远岸的特点，与浮游植物数量分布特征基本一致。

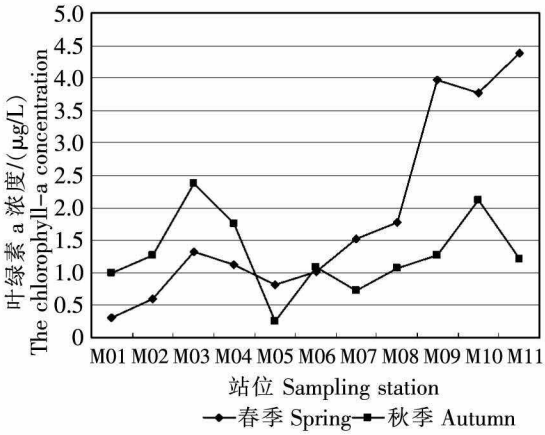


图 3　闽江口海域叶绿素 a 浓度的平面分布与季节变化

Fig.3　Horizontal distribution and seasonal variation of chlorophyll-a concentration in Minjiang Estuary

2.6　赤潮生物分布

福建沿海赤潮生物种类繁多，据不完全统计，福建沿岸海域有赤潮生物 117 种，是赤潮频繁发生的重要原因[6]。本年度闽江口海域春、秋两个航次浮游植物共检出赤潮生物 46 种，其中硅藻 38 种，主要有中肋骨条藻、琼氏圆筛藻、中心圆筛藻、旋链角毛藻、柔弱角毛藻、窄隙角毛藻、柔弱拟菱形藻（*Pseudonitzschia delicatissima*）、尖刺拟菱形藻（*Pseudonitzschia pungens*）、菱形海线藻（*Thalassionema nitzschioides*）、佛氏海毛藻等；甲藻 8 种，主要有夜光藻（*Noctiluca scintillans*）、叉状角藻（*Ceratium furca*）、梭角藻（*Ceratium fusus*）、具尾鳍藻（*Dinophysis caudata*）等。赤潮生物如中肋骨条藻、旋链角毛藻、柔弱角毛藻、琼氏圆筛藻在该海区多个调查站位已成为优势类群。赤潮生物是赤潮发生的内在因素，它们是赤潮暴发的生物基础，一旦水域条件适宜，就可能会引起相应的赤潮。因此，应加强对赤潮生物和海洋环境的监视监测，做好预警工作，促使赤潮危害降低到最小程度，以达到防治赤潮的目的。

2.7　多样性指数

群落多样性指数是表征群落稳定性的重要参数，浮游植物个体密度低，种类多且比例均匀，多样性指数就高。表 3 为本年度闽江口海域春、秋季浮游植物的多样性指数，种类多样性指数范围为 0.48 ~ 2.88，丰富度指数范围为 0.29 ~ 1.23，均匀度指数范围为 0.14 ~ 0.90，辛普森优势度指数范围为 0.11 ~ 0.82。在该海区平面分布上，多样性指数的分布没有明显的规律性，季节变化趋势也不明显。群落结构较不稳定，局部海区由于单一优势种的优势度大，对其他种类的生存造成极大压力，引起生物群落的多样性降低，并导致整个群落结构稳定性降低。

表 3　闽江口海域浮游植物多样性指数

Tab. 3　Biodiversity index of phytoplankton in Minjiang Estuary

季节 Season	种类多样性指数 H'	丰富度指数 d	均匀度指数 J'	辛普森优势度指数 D
春季 Spring	0.48 ~ 2.88	0.52 ~ 1.23	0.14 ~ 0.85	0.11 ~ 0.82
秋季 Autumn	1.03 ~ 2.64	0.29 ~ 0.67	0.31 ~ 0.90	0.45 ~ 0.76

3　讨论

通过对本年度春季和秋季闽江口海域各站位浮游植物细胞密度与叶绿素 a 浓度、水温、盐度以及营养盐浓度进行 Pearson 相关性分析，结果如表 4 显示，春季浮游植物细胞密度与水温呈显著正相关关系，与叶绿素 a 浓度呈极显著正相关关系；秋季浮游植物细胞密度与盐度呈极显著负相关关系，与溶解无机氮浓度呈极显著正相关关系（表 4）。

春季浮游植物细胞密度与水温呈显著正相关，虽然与盐度的相关性不显著，但总体表现为

表4 春秋季闽江口海域浮游植物密度与环境因子之间的相关性分析

Tab.4 Correlations among the phytoplankton abundance and the environmental factors

季节 Season	水温 Water temperature	盐度 Salinity	溶解无机氮 DIN	活性磷酸盐 Phosphate	活性硅酸盐 Silicate	叶绿素a Chlorophyll-a
春季 Spring	0.641*	-0.607	0.432	-0.560	0.474	0.793**
秋季 Autumn	0.282	-0.767**	0.735**	-0.254	0.398	0.219

注：*表示在0.05水平（双侧）上显著相关，**表示在0.01水平（双侧）上极显著相关。

Notes: * indicates significant correlation on the 0.05 level (double side); ** indicates significant correlation on 0.01 level (double side).

负相关；秋季浮游植物细胞密度与盐度呈极显著负相关，虽然与温度相关性不显著，但总体表现为正相关。浮游植物与水温、盐度的相关性特点，说明该海区浮游植物细胞数量高值区出现在高温低盐的近岸水域。

除了秋季浮游植物细胞密度与溶解无机氮浓度呈极显著正相关外，浮游植物细胞密度与营养盐浓度相关性不显著。受闽江冲淡水影响，闽江口海域营养盐含量常年居高不下，高值区主要分布在闽江口河海交界带，营养盐平面分布呈现近岸高，向外逐渐降低的趋势。从浮游植物细胞密度与溶解无机氮、活性硅酸盐浓度总体表现为正相关的现象表明，该海区海水中溶解无机氮和活性硅酸盐浓度高的水域浮游植物细胞密度也高，与此相对应的是，该海域浮游植物细胞数量总体呈现近岸到远岸逐渐减少的趋势。浮游植物细胞密度与磷酸盐浓度之间的负相关性说明，该海域浮游植物生长对活性磷酸盐的需求明显，正大量消耗活性磷酸盐，理论上来讲该海域海水中磷酸盐浓度可能成为浮游植物生长的限制因子之一。Justic[10]等在总结前人对浮游植物营养盐吸收动力学的基础上，提出了营养盐限制的起始浓度分别为$C_{DIN}=1\ \mu mol/dm^3$，$C_P=0.1\ \mu mol/dm^3$，$C_{si}=2\ \mu mol/dm^3$。而本年度春季调查中，溶解无机氮平均浓度为0.604 mg/dm^3，活性磷酸盐平均浓度为0.017 mg/dm^3，活性硅酸盐平均浓度为0.572 mg/dm^3；秋季调查中，溶解无机氮平均浓度为0.603 mg/dm^3，活性磷酸盐平均浓度为0.031 mg/dm^3，活性硅酸盐平均浓度为1.58 mg/dm^3。相比之下，闽江口海域的营养盐浓度远高于浮游植物的营养盐限制浓度，完全满足浮游植物的生长需要，可以认为在闽江口海域营养盐并不成为浮游植物生长的限制因子，因此在该海域磷酸盐浓度不是浮游植物生长的限制因子。

春季浮游植物细胞密度与叶绿素a浓度呈显著正相关，秋季正相关不显著。通常来说，叶绿素a浓度是表征浮游植物生物量的重要指标，其与浮游植物细胞密度呈正相关关系。但也非绝对，叶绿素a浓度与浮游植物细胞密度的变化都符合微生物生长的S型曲线，二者在浮游植物细胞密度高时线性关联才尤为明显[11-12]。本年度调查中，春季浮游植物细胞密度平均值远高于秋季，并且春季浮游植物优势种的优势度高于秋季，因此出现春季浮游植物细胞密度与叶绿素a呈显著正相关，秋季正相关不显著。

参考文献：

[1] 杨清良，林更铭，林 茂，等. 东北太平洋中国开辟区浮游植物的种类组成和分布[J]. 海洋通报，2002，21（4）：15-27.

[2] 张才学，龚玉艳，孙省利. 湛江港湾浮游植物的群落结构特征[J]. 海洋通报，2012，31（5）：530-538.

[3] 金海卫，徐汉祥，姚海富，等. 浙江沿岸夏季浮游植物分布特征[J]. 浙江海洋学院学报，2005，24（3）：231-235.

[4] 李荣冠. 福建海岸带与台湾海峡西部海域：大型底栖生物[M]. 北京：海洋出版社，2010：95.

[5] 张壮丽，叶孙忠，叶泉土. 福建海区浮游植物种类组成及数量分布特点[J]. 南方水产，2006，2（5）：45-50.

[6] 王 雨，林 茂，林更铭. 福建沿岸不同海区夏季浮游植物的组成与分布[J]. 台湾海峡，2009，28（4）：496-503.

[7] 国家质量技术监督局. GB17378.7-2007 海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测[S]. 北京：中国标准出版社，2007.

[8] 国家质量技术监督局. GB17378.4-2007 海洋监

测规范　第 4 部分：海水分析［S］. 北京：中国标准出版社，2007.
［9］沈国英，施并章. 海洋生态学［M］.（第二版）. 北京：科学出版社，2002：159－162.
［10］Justic D，Rabalais N N，Tumer R E，et a1. Changes in nutrient structure of river－dominated coastal-waters：stoichiometric nutrient balance and its consequences［J］. Estuarine Coastal Shelf Science，1995，40：339－356.
［11］于海燕，周　斌，胡尊英，等. 生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度的关联性研究［J］. 中国环境监测，2009，25（6）：40－44.
［12］Rakocevic－Nedovic J，Hollert H. Use of chlorophyll－Secchi，disk relationships，phytoplankton community and chlorophyll－a as trophic state indices of Lake Skadar（Montenegro，Balkan）［J］. Environment Science and Pollution Research，2005，12（3）：146－l52.

Study on the ecological characteristics of phytoplankton community in Minjiang Estuary

XIAO Ying
（Fuzhou Ocean and Fishery Technology Center，Fuzhou 350026，China）

Abstract：Investigations on phytoplankton community and environmental factors were carried out in Minjiang Estuary of Fujian，in May（spring）and November（autumn）of 2009. There were in total 129 species in 54 genera found out in this sea area，of which 118 species in 46 genera were Bacillariophyta，accounting for 91% of all species；8 species in 5 genera were Pyrrophyta，accounting for 6%；1 species in 1 genus was Cyanophyta，accounting for 1%；1 species in 1 genus was Chlorophyta，accounting for 1%；1 species in 1 genus was Cryptophyta，accounting for 1%. The dominant species in spring were *Skeletonema costatum*，*Chaetoceros curvisetus* and *Chaetoceros debilis*；and the dominant species in autumn were *Skeletonema costatum*，*Coscinodiscus subtilis* and *Coscinodiscus jonesianus*. The cell abundance of phytoplankton ranged from 1.56×10^3 to 7.43×10^5 cell/L. The abundance of phytoplankton was significantly correlative to the water temperature and chlorophyll－a concentration in spring. However，there were significant negative correlation of phytoplankton abundance to salinity，and positive correlations of phytoplankton abundance to DIN concentration in autumn.
Key words：phytoplankton；community structure；seasonal variation；diversity；environmental factor