

长江口附近海域春季浮游硅藻的种类组成和生态分布*

高亚辉^{1**} 虞秋波¹ 齐雨藻² 邹景忠³ 陆斗定⁴ 李扬¹ 陈长平¹

(¹ 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005; ² 暨南大学, 广州 510632; ³ 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071;

⁴ 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

【摘要】 2002年春季,在长江口附近海域典型赤潮高发区28个大面站采集了53个样品,从中共鉴定出隶属于31个硅藻属的80个种和变种;其中种类多样性较高的属为圆筛藻属(*Coscinodiscus*),有17个种,斜纹藻属(*Pleurosigma*),有8个种和变种;数量上较优势的种为柔弱拟菱形藻(*Pseudonitzschia delicatissima*),为 3.48×10^3 cells L^{-1} ,占28.54%;具槽直链藻(*Melosira sulcata*),为 1.43×10^3 cells L^{-1} ,占16.98%;尖刺拟菱形藻(*Pseudonitzschia pungens*),为 0.71×10^3 cells L^{-1} ,占9.85%。它们在大部分站位中都有出现;柔弱拟菱形藻和尖刺拟菱形藻的高细胞密度区主要出现在1230E断面的站位,而具槽直链藻则主要出现在长江口的31~32N断面的站位。浮游硅藻总细胞丰度变化于 $0.43 \times 10^3 \sim 23.3 \times 10^3$ cells L^{-1} ,平均 4.61×10^3 cells L^{-1} ;在123E,30.5N的DD15站位,无论表层还是中层,浮游硅藻总细胞丰度均最高(表层, 1.85×10^4 cells L^{-1} ;中层, 2.33×10^4 cells L^{-1})。从水平分布看,浮游硅藻呈不均匀分布态势,从垂直分布看,大部分站位的表层浮游硅藻丰度高于中层。

关键词 硅藻 种类组成 生态分布 长江口

文章编号 1001-9332(2003)07-1044-05 **中图分类号** Q178.53 **文献标识码** A

Species composition and ecological distribution of planktonic diatoms in the Changjiang River estuary during Spring. GAO Yahui¹, YU Qiubo¹, QI Yuzao², ZHOU Jingzhong³, LU Douding⁴, LI Yang¹, CHENG Changping¹ (¹ School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; ² Jinan University, Guangzhou 510632, China; ³ Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; ⁴ Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(7):1044~1048.

53 water samples were collected from 28 stations in typical regions where red tide frequently occurred in the Changjiang River estuary during Spring, 2002. In total, 80 diatom species and varieties belonging to 31 genera were identified, among which, genera with high species biodiversity included *Coscinodiscus* which contained 17 species and *Pleurosigma* which contained 8 species and varieties. Quantitative analysis of diatom cell density showed that *Pseudonitzschia delicatissima* (3.48×10^3 cells L^{-1} , 28.54%), *Melosira sulcata* (1.43×10^3 cells L^{-1} , 16.98%) and *Pseudonitzschia pungens* (0.71×10^3 cells L^{-1} , 9.85%) were dominant species, which occurred at almost all stations. Higher cell density of *Pseudonitzschia delicatissima* and *Pseudonitzschia pungens* occurred at stations along 123°E, while that of *Melosira sulcata* occurred at stations around Changjiang River at 31~32°N. The total diatom cell density ranged from $0.43 \times 10^3 \sim 23.3 \times 10^3$ cells L^{-1} , with average of 4.61×10^3 cells L^{-1} . At station DD15 located at 123°E and 30.5°N, the highest diatom cell density was found, which was 1.85×10^4 cells L^{-1} at surface water layer, and 2.33×10^4 cells L^{-1} at middle water layer (30m) respectively. Horizontally, the diatom cell density showed scattered distribution, while vertically, it was commonly higher at surface water layer than that at middle water layer.

Key words Diatom, Species composition, Ecological distribution, Changjiang River estuary.

1 引 言

海洋硅藻是近海海洋浮游植物的主要类群,数量和种类均占90%以上,因此,它们是近海初级生产力的主要贡献者,是浮游动物的主要食物来源,它们的丰歉决定着近海初级生产力的大小,并通过食物链最终影响着渔业产量,因此,硅藻在近海生态系统中具有非常重要的地位^[1]。在我国已发现的4000

多种海洋浮游植物中有260多种能产生赤潮,其中有70多种能产生毒素^[7]。浮游硅藻不仅是近海海洋浮游植物的重要组成部分,也是近海赤潮浮游生物中的重要类群^[12],不仅可以直接引发赤潮,而且与其它赤潮生物之间的竞争和群落演替关系与赤潮发

*国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB409701)。

** 通讯联系人。

2003-01-03收稿,2003-04-22接受

生关系密切。因此,对硅藻的研究在赤潮的成因、监测、防治等方面有重要的意义。

东海长江口、舟山附近海域是重要的渔业和养殖基地,同时也是赤潮高发区,由于其重要的地理位置和独特的环境特征,成为诸多研究的焦点。自1958年开始,国内外学者对长江口海区的浮游植物生态进行过多次调查研究^[2~6,8~10]。近年来,随着环境的变化,东海长江口、舟山附近海域的生物群落也在不断地发生变化,尤其是近年来不断发生较大面积的赤潮^[6]。为了系统地研究东海赤潮的爆发机理,为赤潮防治提供科学依据,2002年开始对长江口、舟山附近海域进行了物理、化学、生物等综合调查研究。本文通过对春季在东海28个大面站位采集的浮游硅藻样品的分析,报道了东海长江口、舟山附近海域硅藻的种类组成、种群结构特征、细胞丰度及其平面分布和垂直分布规律,并阐明了优势种的生态分布特点等。为该调查海区的浮游植物和赤潮生物的组成和分布,以及东海赤潮高发区赤潮的成因和动态分析研究等提供基础数据和理论依据。

2 材料与方法

2002年春季通过MC-2002-1航次海监47号船,在东海区的122°~123.5°E,29°~32°N海域共设28个大面站(图1)。每个站位分别采表层和中层水样各2L(在某些近岸站位,水深较浅,只采表层水,中层采集真光层水样)。水样用孔径20 μ m的筛绢过滤,加5%甲醛固定。在实验室根据硅藻细胞密度大小做进一步浓缩,从中取0.1ml,用浮游植物计数框在光学显微镜下进行种类鉴定和定量计数。

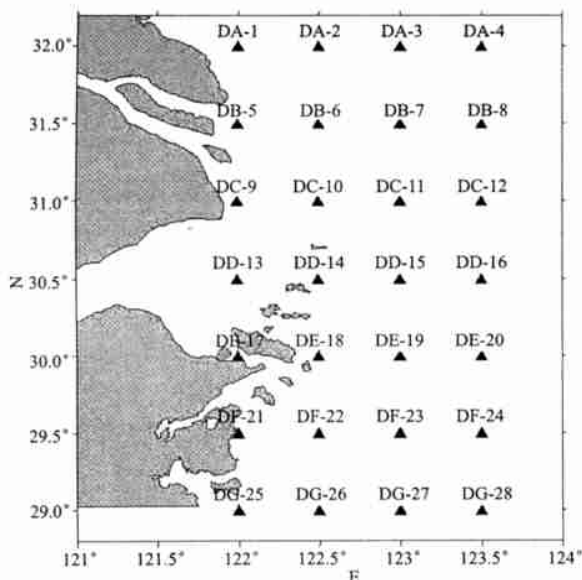


图1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in East China Sea.

3 结果与分析

3.1 种类组成

从53个大面站样品中共鉴定出浮游硅藻80个种和变种,隶属于31个属(表1)。圆筛藻属和斜纹藻属是出现较多种的属,其中圆筛藻属(*Coscinodiscus* Ehrenberg)出现了17个种,斜纹藻属(*Pleurosigma* W. Smith)出现了8个种和变种。柔弱拟菱形藻(*Pseudonitzschia delicatissima* Cleve)、具槽直链藻(*Melosira sulcata* (Ehr.) Cleve)、尖刺拟菱形藻(*Pseudonitzschia pungens* Grunow)是优势种。其细胞丰度与所占比例如表2所示。

3.2 生态类群

已有研究表明,长江口及邻近海域存在3个不同的生态系统,与以盐度划分的水团(长江河口水、长江冲淡水、外海水)基本一致,每个生态系统包含一个浮游植物群落^[10]。由于环境因子中以盐度对长江口水域浮游植物种类组成和分布的影响最大,本文根据硅藻栖息水域的盐度不同,将其分为3个群落:河口群落、近岸低盐群落、外海高盐群落。1)河口群落:位于122°E以西的长江口内水域,一般为长江来源的淡水或咸淡水所盘踞,水体浑浊,含沙量和营养盐含量很高,大部分水体为磷限制潜在性富营养。本次调查所采集的硅藻样品中仅有海氏窗纹藻、针杆藻是河口性种类。2)近岸低盐群落:位于122°E~123°E范围内,水体的纵向和垂向温盐梯度较大,水体浑浊,呈磷限制或磷中等潜在性富营养,氮、磷含量略低于河口群落所在水域。本次调查所采集的硅藻样品中90%以上的种类属于近岸低盐种,其中中肋骨条藻是长江冲淡水的指示种,也是群落特征种。3)外海高盐群落:位于123°E以东,水体透明度大,悬沙和营养盐含量很低,基本为贫营养水体。本次调查所采集的硅藻样品中仅有偏心圆筛藻、星脐圆筛藻和笔尖形根管藻是外海高盐性种类。

3.3 生态分布

3.3.1 细胞丰度的平面分布 图2为浮游硅藻丰度平面分布图,可以看出,东海长江口、舟山附近海域的浮游硅藻丰度变化于 $0.43 \times 10^3 \sim 23.3 \times 10^3 \text{ cells } \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $4.61 \times 10^3 \text{ cells } \cdot \text{L}^{-1}$ 。表层浮游硅藻最高丰度出现在DD15,为 $1.85 \times 10^4 \text{ cells } \cdot \text{L}^{-1}$;中层浮游硅藻最高丰度也是出现在DD15,为 $2.33 \times 10^4 \text{ cells } \cdot \text{L}^{-1}$ 。表层和中层高值区的分布是一致的,均在123°E、30.5°N附近,其他站位的细胞丰度以此为中心逐渐下降。表层浮游硅藻丰度在122°~

表 1 长江口附近海域春季浮游硅藻名录

Table 1 List of diatom species during Spring in Changjiang River estuary

种名 Species	种名 Species
爪哇曲壳藻 <i>Achnanthes javanica</i>	海氏窗纹藻 <i>Epithemia hyndmanii</i>
长柄曲壳藻 <i>Achnanthes longipes</i>	海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i>
厚辐环藻 <i>Actinocyclus crassus</i>	扭布纹藻 <i>Gyrosigma distortum</i>
爱氏辐环藻 <i>Actinocyclus ehrenbergi</i>	柔弱布纹藻 <i>Gyrosigma tenuissimum</i>
椭圆辐环藻 <i>Actinocyclus ellipticus</i>	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>
华美辐环藻 <i>Actinoptychus splendens</i>	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.
波状辐环藻 <i>Actinoptychus undulatus</i>	直舟形藻疏远变种 <i>Navicula directa</i> var. <i>remota</i>
翼革形藻 <i>Amphiprora alata</i>	新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>
易变双眉藻 <i>Amphora proteus</i>	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>
奇异棍形藻 <i>Bacillaria paradoxa</i>	洛氏菱形藻 <i>Nitzschia lorenziana</i>
长角盒形藻 <i>Bacillaria longicurris</i>	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.
活动盒形藻 <i>Biddulphia mobilis</i>	纤细菱形藻 <i>Nitzschia subtilis</i>
中华盒形藻 <i>Biddulphia sinensis</i>	艾希斜纹藻 <i>Pleurosigma aestuarii</i>
柏氏角管藻 <i>Cerataulina pelagica</i>	宽角斜纹藻镰刀变种 <i>Pleurosigma angulatum</i> var. <i>falcatum</i>
角毛藻 <i>Chaetoceros</i> spp.	宽角斜纹藻 <i>Pleurosigma angulatum</i>
蛇目圆筛藻 <i>Coscinodiscus argus</i>	镰刀斜纹藻 <i>Pleurosigma falx</i>
星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	舟形斜纹藻 <i>Pleurosigma naviculaceum</i>
有翼圆筛藻 <i>Coscinodiscus bipartitus</i>	诺马斜纹藻化石变种 <i>Pleurosigma normanii</i> var. <i>fossilis</i>
中心圆筛藻 <i>Coscinodiscus centralis</i>	海洋斜纹藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i>
整齐圆筛藻 <i>Coscinodiscus concinnus</i>	菱形斜纹藻 <i>Pleurosigma rhombeum</i>
弓束圆筛藻 <i>Coscinodiscus curvatus</i>	斜纹藻 <i>Pleurosigma</i> spp.
多束圆筛藻 <i>Coscinodiscus divisus</i>	柔弱拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia delicatissima</i>
偏心圆筛藻 <i>Coscinodiscus excentricus</i>	尖刺拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i>
琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i>	双角缝舟藻 <i>Rhaphoneis amphicerus</i>
线形圆筛藻 <i>Coscinodiscus lineatus</i>	缝舟藻 <i>Rhaphoneis</i> spp.
具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus marginatus</i>	刚毛根管藻 <i>Rhizolenia setigera</i>
虹彩圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	笔尖形根管藻 <i>Rhizolenia styliformis</i>
小眼圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculatus</i>	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>
辐射圆筛藻 <i>Coscinodiscus radiatus</i>	针杆藻 <i>Synedra</i> spp.
圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> spp.	华壮双菱藻 <i>Suriella fastuosa</i>
细弱圆筛藻 <i>Coscinodiscus subtilis</i>	华壮双菱藻楔形变种 <i>Suriella fastuosa</i> var. <i>cuneata</i>
膨大圆筛藻 <i>Coscinodiscus turidus</i>	双菱藻 <i>Suriella</i> sp.
维廷圆筛藻 <i>Coscinodiscus wittianus</i>	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>
条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	太平洋海链藻 <i>Thalassiosira pacifica</i>
柱状小环藻 <i>Cyclotella stylonum</i>	圆海链 <i>Thalassiosira rotula</i>
蜂腰双壁藻 <i>Diploneis bombus</i>	海链藻 <i>Thalassiosira</i> spp.
黄蜂双壁藻 <i>Diploneis crabro</i>	粗纹藻 <i>Trachyneis</i> sp.
格雷氏双壁藻 <i>Diploneis grundleri</i>	蜂窝三角藻 <i>Triceratium favus</i>
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	三角藻 <i>Triceratium</i> sp.
太阳双尾藻 <i>Ditylum sol</i>	卵形褶盘藻 <i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>

表 2 浮游硅藻优势种类的丰度与所占比例

Table 2 Cell density and proportion of dominant diatom species

种类 Species	平均细胞丰度 Average cell density ($\times 10^3$ cells L^{-1})	比例 Proportion (%)
柔弱拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia delicatissima</i> Cleve	1.315	28.54
具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i> (Ehr.) Cleve	0.782	16.98
尖刺拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i> Grunow	0.454	9.85

122.5°E、30°N 还有一个丰度稍高的区域。在 30°N 以南的海域浮游硅藻丰度均比较低。中层浮游硅藻丰度在 29°N 这一断面还有一个丰度较高的区域。

3.3.2 硅藻细胞丰度的平面分布与纬度的关系表、中层的硅藻平均丰度随纬度的变化见图 3。从图 3A 可以看出,各纬度的表、中层硅藻平均丰度均是

在 30.5°N 处最高,在 30°N 处最低,表层和中层浮游硅藻平均丰度呈相同的变化趋势。从图 3B 可以看出,122°E、123.5°E 这两断面的细胞丰度随着纬度降低下降趋势。122.5°E、123°E 这两断面各站位表层的细胞丰度呈不规则分布,其中在 123°E 这一断面上的两个站位(DC11,31°N;DD15,30.5°N),表层细胞丰度较高,其余站位表层细胞丰度较低。

3.3.3 硅藻细胞丰度的平面分布与经度的关系表、中层的硅藻平均丰度随经度的变化见图 4。从图 4A 可以看出,各经度的表、中层硅藻平均丰度均是在 123°E 处最高,表层和中层硅藻平均丰度呈相同的变化趋势。从图 4B 可以看出,在 122°E、123.5°E 不同纬度的表层细胞丰度较低且相差不大,但 31.5°N 断面的表层细胞丰度在 122°E、123.5°E 明显高于

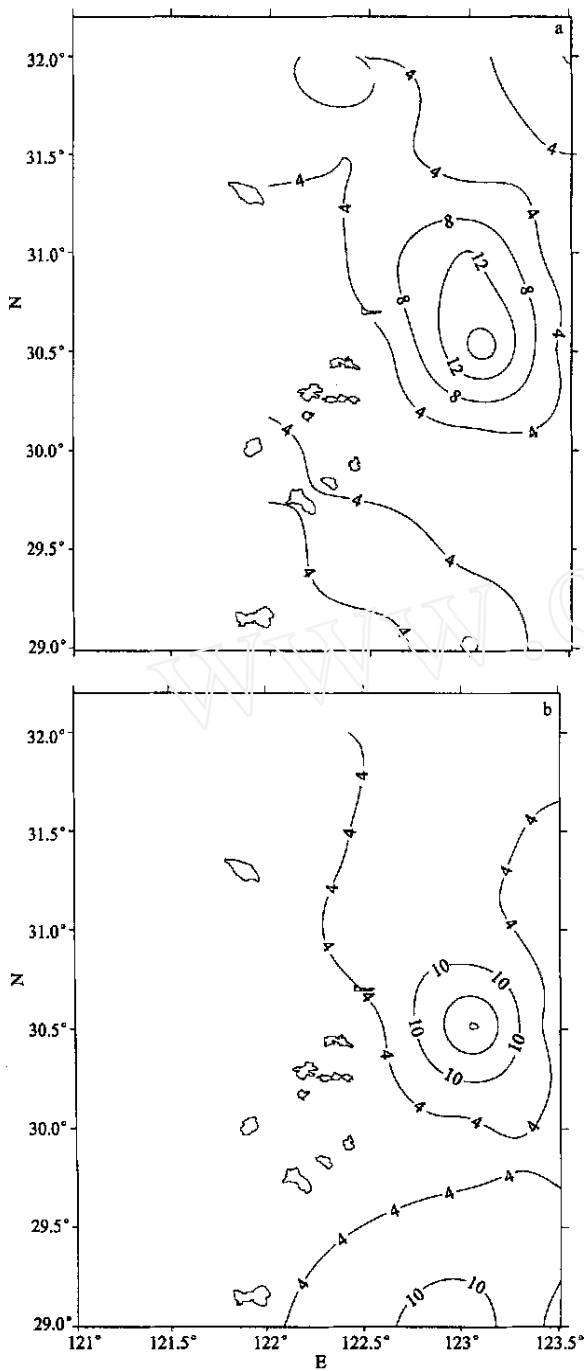


图2 浮游硅藻丰度 ($\times 10^3 \text{ cells } \text{L}^{-1}$) 平面分布图
 Fig.2 Horizontal distribution of diatom cell density ($\times 10^3 \text{ cells } \text{L}^{-1}$)
 a) 表层 Surface layer, b) 中层 Middle layer. 下同 The same below.

其他纬度表层细胞丰度. 在 123 E 处, 不同纬度的表层细胞丰度差异较大, 30.5 N、31 N、29 N 站位的表层细胞丰度较高.

3.3.4 垂直分布 从图 5 可以看出, 有 9 个站位的表层浮游硅藻丰度是低于中层的, 有 13 个站位的表层浮游硅藻丰度高于中层, 说明大部分站点表层浮游硅藻丰度高于中层. 其中 DD15 站点无论表层还是中层的浮游硅藻丰度均最高.

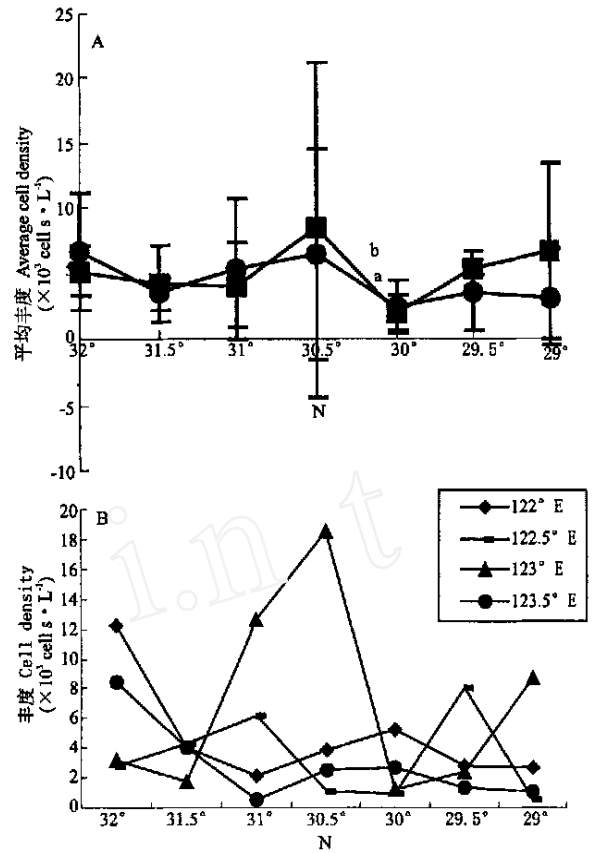


图3 不同纬度硅藻细胞丰度变化
 Fig.3 Variation of diatom cell density at different latitudes.
 A: 表、中层的平均细胞丰度 Average diatom cell density of surface and middle layers, B: 各站位表层的细胞丰度 Diatom cell density at surface layer of all stations. 下同 The same below.

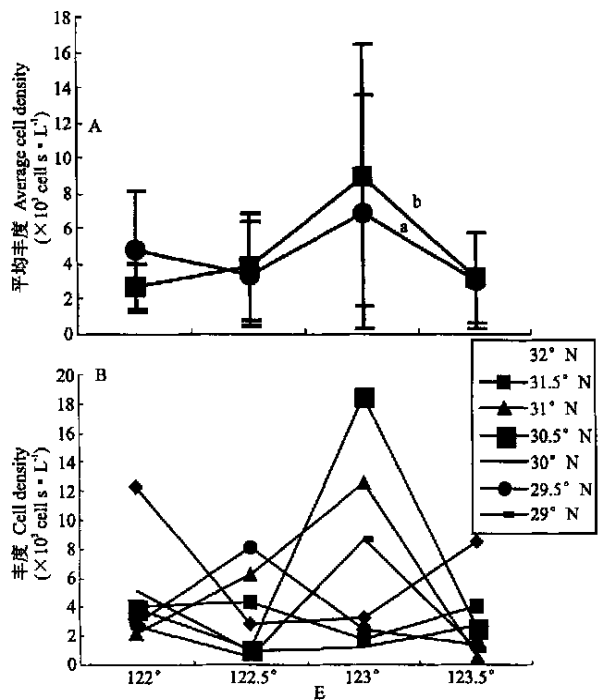


图4 不同经度硅藻细胞丰度变化
 Fig.4 Variation of diatom cell density at different longitudes.

3.3.5 优势种分布 优势种在大部分站位中都有出现;柔弱拟菱形藻和尖刺拟菱形藻的高细胞密度区主要出现在 123 °E 断面的站位,而具槽直链藻则主要出现在长江口的 31 ~ 32 °N 断面的站位。

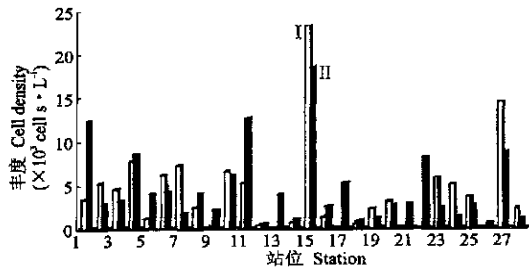


图5 各站位表、中层浮游硅藻的细胞丰度(1~28代表DA1~DA28,共28个站位)

Fig. 5 Average diatom cell density at surface and middle layers (1 to 28 represent sampling stations of DA1 to DA28).

· 表层 Surface layer, · 中层 Middle layer.

4 讨论

东海长江口、舟山附近海域是具多种水系相混合的水体,既有长江冲淡水、钱塘江水入海带来的淡水种类,又有近岸广温低盐种类、半咸水种类,并且还有随台湾暖流所携带的暖水性种类,所以浮游硅藻种类组成比较复杂^[5]。可以根据硅藻栖息水体的盐度不同,将其分为3个群落:河口群落、近岸低盐群落、外海高盐群落。由于调查海区位于东海长江口、舟山附近,主要受长江、钱塘江冲淡水的影响,属近岸河口水域,因此,90%以上硅藻是近岸低盐性种类。柔弱拟菱形藻和尖刺拟菱形藻是重要的赤潮浮游生物,其明显优势出现预示调查海区可能存在赤潮。根据同一航次的浮游植物和甲藻的分析结果,发现在调查期间出现了东海原甲藻和亚历山大藻赤潮^[6]。在甲藻赤潮期间,硅藻密度相对较低,种类多样性也下降,优势种明显。

从硅藻细胞丰度的总体分布看,123 °E 这一断面表、中层平均浮游硅藻丰度都是最高,而离岸近的122 °E、122.5 °E 断面平均丰度不高,主要原因在于长江口泥沙较多,海水浑浊,光照不足,而且盐度过低,影响了浮游硅藻的生长,其中122 °E 中层的丰度最低就更好地说明了这一点。而123.5 °E 断面平均丰度不高的主要原因可能在于受低营养盐的外海水影响。这与郭玉洁等^[4]的研究结果一致,她指出长江口门区,因海水透明度太低(不足1m),而盐度大于30的东部和北部海域,因受低营养盐的外海水影

响,叶绿素a和浮游植物个体数量均明显减少。浮游植物常在沿岸水团边界、交汇区很好地繁殖。

DD15 站位(123 °E、31.5 °N)的表、中层浮游硅藻丰度都是最高的,这与它所处的特殊地理位置有关,既不受长江口门区海水透明度太低的影响,又不受低营养盐的外海水的影响,同时刚好处于长江口近岸水与外海水的交汇区的南面,存在明显的海水垂直交换和上升流,为浮游植物的繁殖带来了丰富的营养盐。一般而言,浮游植物高值区的分布位置与上升流区基本一致,两者比较浮游植物高值区略向东南方向偏移约15~20km,原因可能是与上升流中心区水温偏低有关^[11]。

参考文献

- 1 Cao Y-H(高亚辉). 2001. Studies on taxonomy, ecology and bioactive products of marine microalgae. *J Xiamen Univ (Nat Sci)* (厦门大学学报自然科学版), **40**(2): 566~573 (in Chinese)
- 2 Gu X-G(顾新根), Yuan Q(袁 骐), Yang J-W(杨蕉文), Hua D(华 棣). 1995. Study on vertical distribution of phytoplankton in the water of Changjiang Estuary. *J Fish Sci China* (中国水产科学), **2**(1): 28~38 (in Chinese)
- 3 Gu X-G(顾新根), Yuan Q(袁 骐), Yang J-W(杨蕉文), Hua D(华 棣). 1995. An ecological study on phytoplankton in frontal region of Changjiang Estuarine Area. *J Fish Sci China* (中国水产科学), **2**(1): 1~14 (in Chinese)
- 4 Guo Y-J(郭玉洁), Yang Z-Y(杨则禹). 1992. Quantitative variation and ecological analysis of phytoplankton in the estuarine area of the Changjiang River. *Studia Mar Sci* (海洋科学集刊), **33**: 167~188 (in Chinese)
- 5 Liu Z-L(刘子琳), Ning X-R(宁修仁). 1994. Phytoplankton standing stock and primary production in the front of Hangzhou Bay. *Donghai Mar Sci* (东海海洋), **12**(4): 58~66 (in Chinese)
- 6 Lu D-D, Goebel J, Qi Y-Z, Zou J-Z and Gao Y-H. 2002. *Prorocentrum donghaiense*—a high biomass bloom-forming species in the East China Sea. *Harmful Algae News*, **23**: 4~5
- 7 Qi Y-Z(齐雨藻), et al. 1999. Red Tides. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 1~65 (in Chinese)
- 8 Pu X-M(蒲新明), Wu Y-L(吴玉霖), Zhang Y-S(张永山). 2000. Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary. Condition of nutrient limitation in autumn. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), **22**(4): 64~66 (in Chinese)
- 9 Pu X-M(蒲新明), Wu Y-L(吴玉霖), Zhang Y-S(张永山). 2000. Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary. Condition of nutrient limitation in spring. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), **23**(3): 57~65 (in Chinese)
- 10 Wang J-H(王金辉). 2002. Phytoplankton communities in three distinct ecotypes of the Changjiang Estuary. *J Ocean Univ Qingdao* (青岛海洋大学学报), **32**(3): 422~428 (in Chinese)
- 11 Zhao B-R(赵保仁), Ren G-F(任广法), Cao D-M(曹德明), et al. 2001. Characteristics of the ecological environment in upwelling area adjacent to the Changjiang River Estuary. *Oceanol Limnol Sin* (海洋与湖沼), **32**(3): 331~334 (in Chinese)
- 12 Zhou M-J(周名江), Zhu M-Y(朱明远) and Zhang J(张 经). 2001. State of harmful algal blooms and related research activities in China. *Chin Bull Life Sci* (生命科学), **13**(2): 53~59 (in Chinese)

作者简介 高亚辉,男,1963年生,博士,教授,主要从事海洋浮游植物研究,已发表相关论文40余篇, E-mail: gaoyh@jingxian.xmu.edu.cn