

文章编号: 1674-5566(2013)06-0903-09

长江口低氧区及邻近海域浮游植物群落初步研究

马永存^{1,2}, 徐 韧^{2,3}, 何培民¹, 刘材材^{2,3}, 秦玉涛^{2,3}, 季 晓^{1,2}, 董 鹏^{1,2}

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137; 3. 国家海洋局 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用重点实验室, 上海 200090)

摘要: 2011年8月对长江口低氧区及邻近海域16个站位进行了综合调查, 低氧区主要位于底层, 溶解氧最低值为1.85 mg/L, 核心低氧区面积约为1 028 km²。对采集的82个浮游植物样品采用Utermöhl方法分析, 鉴定出4门37属82种, 硅藻占优势, 优势种是中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*), 生态类型以温带近岸性和广盐性为主, 细胞丰度介于 $6.31 \times 10^3 \sim 7.80 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 7.59×10^5 cells/L, 分布特征是从近岸到外海、表层到底层呈降低的趋势。发现核心低氧区、非核心低氧区和非低氧区内浮游植物种类无明显差异, 但细胞丰度、多样性指数和均匀度指数均依次为核心低氧区 > 非核心低氧区 > 非低氧区, 溶解氧的多寡对浮游植物细胞丰度没有显著影响。同时还发现浮游植物细胞丰度与温度、化学需氧量、叶绿素 a 和硝酸盐浓度呈显著正相关, 与盐度呈显著负相关, 而与溶解氧、磷酸盐、悬浮物、氨氮有相关性但不显著。

研究亮点: 本文研究低氧区及邻近海域浮游植物种类组成, 群落分布特征, 比较低氧区内、外浮游植物种类差异, 分析低氧区内、外细胞丰度、多样性指数和均匀度指数变化趋势, 探讨浮游植物细胞丰度与环境因子间的关系, 为长江口外低氧区及邻近海域生态系统的浮游植物群落研究提供基础资料。

关键词: 长江口; 低氧区; 浮游植物; 群落

中图分类号: Q 178.53; X 55

文献标志码: A

长江是我国第一大河流, 年均径流量高达 $9.32 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ^[1], 长江口是我国重要河口之一, 周围地区经济发达, 工业繁荣, 同时也有重要的渔场和养殖区, 该水域受长江冲淡水、沿岸流、台湾暖流和黑潮等水团的影响, 生态环境复杂多变。海洋浮游植物作为海洋初级生产力的主要贡献者, 在物质循环和能量转化过程中起着非常重要的作用, 在碳循环和全球气候变化中的关键作用也日益受到重视^[2]。20世纪70年代以来, 有关长江口浮游植物研究大量开展^[3-10]。

海水中的溶解氧与海洋浮游生物的生长繁殖有着密切关系, 沿海海域中生物活动、海水运动、温度、径流和降雨都能对海水中溶解氧的变化分布产生影响^[11]。20世纪50年代以来, 海洋学者发现长江口水域存在低氧区, 近年来, 对长

江口及邻近海域低氧区的研究日益增加, 从低氧区的成因、低氧区范围到低氧区内海洋生物状况等方面均有涉及, 许多学者研究表明低氧区是非自然形成的, 与人类活动密切相关; 发现夏季长江口底层溶解氧最小值区域, 正好与长江冲淡水携带大量的悬浮有机物质沉积最大区域相对应, 底层悬浮有机物质的氧化分解消耗了大量的溶解氧; 夏季水体层化比较稳定, 上下水层交换不充分, 底层溶解氧难以得到补充, 使得长江口海域底层易形成低氧区; 低氧区的区域位置随着季节的不同而变动^[6,11-19]

本文中通过对2011年8月长江口低氧区及邻近海域浮游植物分布、温度、盐度、溶解氧、硝酸盐、磷酸盐等因素的调查, 采用国际通行的Utermöhl方法鉴定浮游植物^[20], 分析该海域浮游

收稿日期: 2013-01-22 修回日期: 2013-03-23

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2007AA092004); 国家科技支撑计划课题(2012BAC07B03); 海洋公益性行业科研专项经费项目(201205015)

作者简介: 马永存(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋浮游植物与生态学。E-mail: mayongcun66@163.com

通信作者: 徐 韧, E-mail: xrhpy@163.com

植物种类组成、细胞丰度及其分布,比较低氧区内、外浮游植物群落分布特征,探讨浮游植物与环境因子关系,以期长江口外低氧区及邻近海域生态系统浮游植物群落进一步研究提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 调查区域和站 位设置

2011 年 8 月调查区域为 30°24'N ~ 31°15'N, 122°45'E ~ 123°33'E,共设置了 16 个调查站 位(图 1),划分为 4 个断面,从北到南分别为 A、B、 C、D 断面。

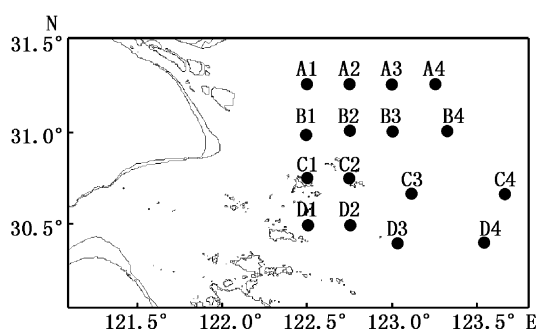


图 1 调查站 位示意图

Fig. 1 Sampling stations

1.2 样品采集和分 析

每个站 位按照 0.5、10、20、30 m……和底 层(海底以上 2 m 水层作为底 层)进行水 文、化学和 生物的综合 外业调查, 采集浮游植 物水样 1 000 mL 轻倒入聚 乙烯样品瓶 中,立即用 中性鲁哥试 液固定,然 后带回实验 室进行浮游 植物种类鉴 定和细胞丰 度统计。硝 酸盐、磷酸 盐、亚硝酸 盐、氨、水 深、悬浮物、pH 根据《海洋 监测规范》^[21], 温度、盐 度、溶解氧 等参数由 CTD(SBE25)现场 测得。

浮游植 物样品采用 Utermöhl 方法,取 25 mL, 沉降 24 h,用倒置显 微镜(LEICA DMIL)在 200 倍 下对其进 行鉴定与 计数。

1.3 数据处 理

浮游植 物群落分 析采用香 农-威纳(Shannon-Wiener, H')物 种多样性 指数、Pielou 物种均 匀度指数(Pielous index, J)和 优势度指 数(Y)^[22]:香

农-威纳物 种多样性 指数计算 公式如下:

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

式中: P_i 是第 i 种的 个数与该 样方总个 数之比值; S 为样方总 数。

物种均 匀度指数 计算公式 如下:

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

式中: S 为样方 总数。

优势度 计算公式 如下:

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

式中: n_i 为第 i 个种 的个体数; N 为调查 站位的总 个体数; f_i 为频度, 即该种在 各站位出 现的频率。

浮游植 物群落与 环境因子 的关系垂 直分布图 分别应用 SPSS 11.5 和 Grapher 5.0 软件,低 氧区面积 计算采用 ArcGIS 9.0 软件。

2 结果与 讨论

2.1 调查区域 环境特征

温度、盐 度、溶解 氧均有层 化现象(图 2),总 体来说, 温度范围 是 19.49 ~ 29.02 °C,表 层水温高, 随着水深 增加,水温 呈降低趋 势,断面 D 有一个 次表层高 温区;盐度 范围是 7.96 ~ 34.97,盐 度是底 层较高, 从近岸到 外海,盐 度呈升高 趋势,受 长江径流 影响,靠 近长江口 水域盐度 低于外海 盐度,A1 站 位出现盐 度最小值 为 7.96;溶 解氧范围 是 1.85 ~ 8.58 mg/L,表 层溶解氧 较高,随 着水深增 加,呈降 低趋势, 这可能与 表层浮游 植物光合 作用旺盛 有关。

当水体 溶解氧含 量低于 2 mg/L,定义 为低氧 水体^[23]。 有些海洋 学家把海 域溶解氧 小于 3.0 mg/L 时视 为低氧阈 值,视周 围海域为 低氧区^[24-25], 本次研 究把溶解 氧小于 2 mg/L 的区 域作为核 心低氧区, 把溶解氧 大于 2 mg/L 小 于 3 mg/L 的区 域作为非 核心低氧 区,把溶 解氧大于 3 mg/L 的区 域作为非 低氧区。 本次调查 站 位 B3, B4, C3 底 层溶解氧 分别为 1.92 mg/L, 1.96 mg/L, 1.85 mg/L,核 心低氧区 范围是 30.6° N ~ 31.1° N, 123° E ~ 123.2° E (图 3), 面积约 为 1 028 km²。

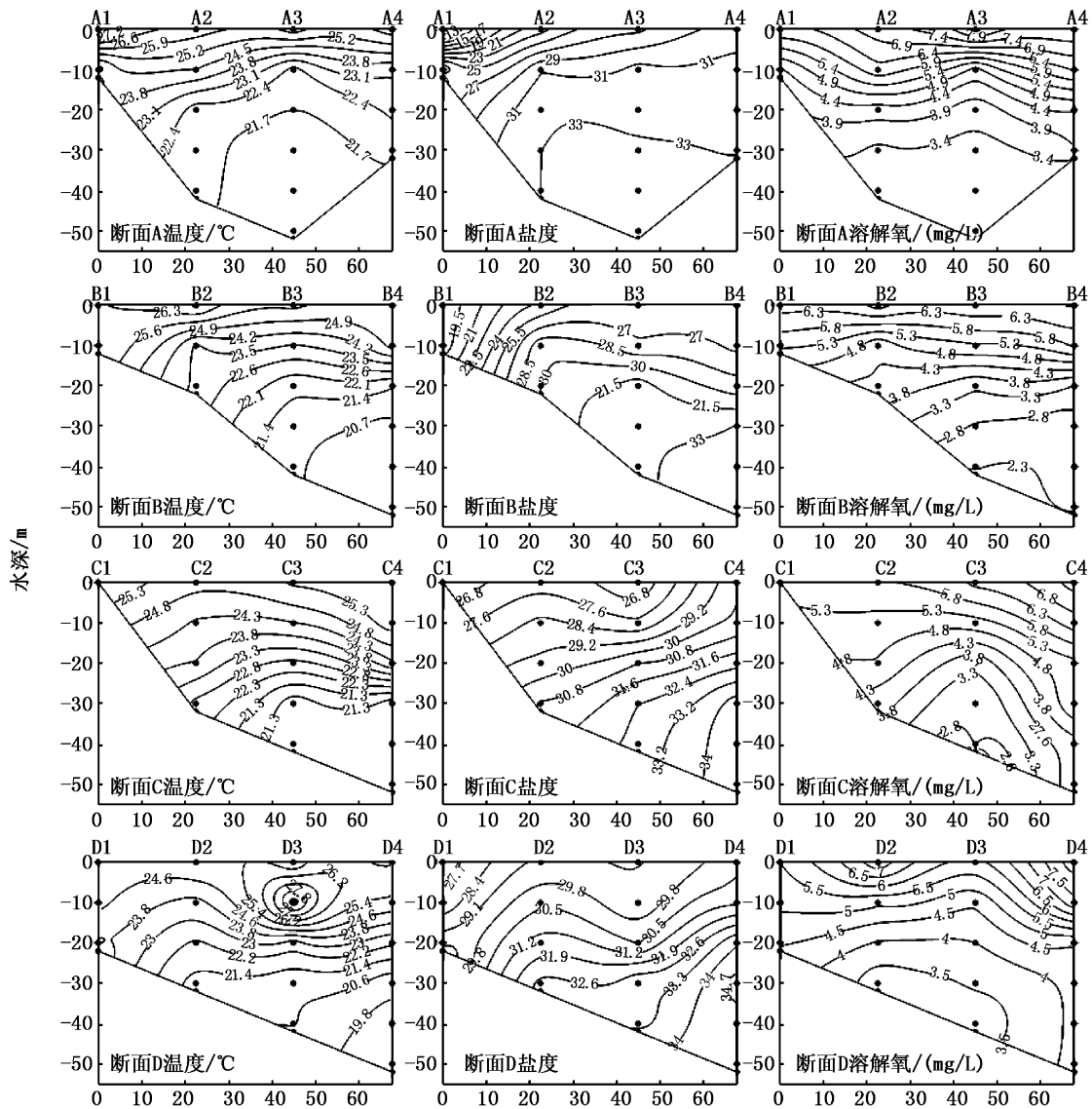


图 2 调查区断面温度、盐度和溶解氧垂直分布图

Fig. 2 Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen in survey area

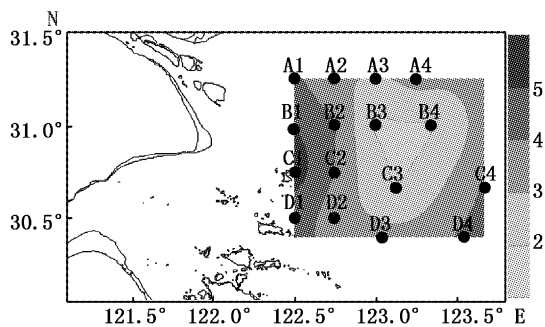


图 3 低氧区溶解氧示意图

Fig. 3 Schematic diagram of dissolved oxygen

2.2 浮游植物种类组成

共鉴定出浮游植物 4 门 37 属 82 种,其中硅藻门 21 属 49 种,甲藻门 14 属 30 种,浮游植物组成以硅藻为主,甲藻也占有一定的比例,其它门类较少,主要种类包括中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*),梭角藻 (*Ceratium fusus*),洛氏菱形藻 (*Nitzschia pungens*),具槽直链藻 (*Melosira sulcata*),刚毛根管藻 (*Rhizosolenia setigera*) 等,生态类型以温带近岸型和海洋广盐性为主,也有少数暖水性种和大洋性物种,如菱软管管藻等。

表 1 调查区表、底层环境因子测量结果

Tab. 1 The data of environmental factors in the surface and bottom areas of the study area mg/L

站位	层次	PO ₄ -P	悬浮物	NO ₃ -N	COD _{Mn}	Chl. <i>a</i>	NO ₂ -N	NH ₃ -N	pH
A1	表层	0.025 6	22	1.000	1.54	2.35	0.005 5	0.009 5	7.96
	底层	0.024 2	39	0.222	0.38	0.02	0.002 6	0.004 4	7.77
A2	表层	0.018 9	160	0.373	0.82	0.09	0.017 4	0.047 0	7.93
	底层	0.025 4	52	0.185	0.32	0.03	0.005	0.013 0	7.73
A3	表层	0.003 3	28	0.196	1.01	0.93	0.014 5	0.035 0	8.09
	底层	0.029 3	40	0.241	0.32	0.00	0.004	0.011 0	7.77
A4	表层	0.002 7	32	0.093	0.85	0.22	0.007 4	0.030 0	8.11
	底层	0.022 5	40	0.181	0.43	0.01	0.004 4	0.012 0	7.76
B1	表层	0.043 5	34	0.644	1.63	0.30	0.005 5	0.008 5	7.76
	底层	0.035 6	183	0.448	0.68	0.12	0.002 0	0.008 0	7.72
B2	表层	0.024 5	114	0.378	0.69	0.16	0.012 5	0.009 5	8.12
	底层	0.029 9	112	0.290	0.50	0.06	0.005 2	0.007 8	7.98
B3	表层	0.027 1	31	0.499	0.70	0.08	0.010 8	0.012 2	7.98
	底层	0.031 0	82	0.267	0.17	0.03	0.002 6	0.013 4	7.91
B4	表层	0.024 8	26	0.275	0.79	0.06	0.015 1	0.019 9	8.08
	底层	0.033 9	48	0.426	0.32	0.03	0.003 8	0.006 2	7.91
C1	表层	0.038 8	55	0.466	1.00	0.07	0.004 1	0.016 9	7.83
C2	表层	0.034 7	41	0.504	0.82	0.02	0.006 1	0.014 4	7.74
	底层	0.030 2	265	0.515	0.61	0.05	0.005 4	0.008 6	7.76
C3	表层	0.026 5	27	0.438	0.75	0.12	0.012 4	0.010 6	7.95
	底层	0.028 8	39	0.272	0.37	0.05	0.003 1	0.007 9	7.94
C4	表层	0.005 3	28	0.108	0.66	0.03	0.006 5	0.039 5	8.25
	底层	0.024 2	44	0.148	0.11	0.01	0.002 8	0.006 2	8.04
D1	表层	0.036 0	43	0.486	0.66	0.03	0.004 0	0.017 0	7.85
	底层	0.030 2	92	0.367	0.53	0.03	0.002 9	0.008 1	7.84
D2	表层	0.014 9	14	0.300	0.70	0.67	0.010 1	0.010 4	7.99
	底层	0.030 5	146	0.268	0.45	0.05	0.001 7	0.006 3	7.82
D3	表层	0.026 5	20	0.316	0.60	0.12	0.009 0	0.015 0	7.93
	底层	0.031 6	103	0.167	0.23	0.03	0.002 8	0.006 2	7.88
D4	表层	0.003 0	36	0.205	0.96	0.25	0.010 0	0.023 0	8.30
	底层	0.028 2	45	0.166	0.16	0.01	0.004 2	0.006 8	7.99

2.3 浮游植物群落细胞丰度分布特征

2.3.1 平面分布特征

调查站位浮游植物的总细胞丰度为 $6.3 \times 10^3 \sim 8.0 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 7.59×10^5 cells/L; 硅藻丰度为 $7.2 \times 10^2 \sim 7.99 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 7.54×10^5 cells/L, 占浮游植物细胞丰度的比例为 99.32%, 硅藻细胞丰度占绝对优势; 其次为甲藻, 细胞丰度为 $80 \sim 2.71 \times 10^4$ cells/L, 平均值为 4.9×10^3 cells/L; 着色鞭毛藻和蓝藻细胞丰度较低, 只在个别站位出现。与同期历史资料比较^[26-29], 浮游植物细胞丰度高于以往年份, 这可能是由于本次调查期间在 A1 站位中肋骨条藻

细胞丰度较高所致。另外 Utermöhl 方法也避免了网采浓缩时的损失, 更能真实地反映出调查区浮游植物情况。

平面分布特征为: 浮游植物丰度从调查区西北部到东南部呈降低趋势, 外海细胞丰度较低; 在调查区西北方向出现浮游植物细胞丰度密集现象, 这与中肋骨条藻细胞丰度较高有关, A1 站表层细胞丰度值为 7.99×10^6 cells/L, 中肋骨条藻细胞丰度高达 7.97×10^6 cells/L, A1 站位靠近长江口, 夏季长江径流量大, 输入大量营养盐, 有利于其生长, 中肋骨条藻分布特征决定浮游植物平面分布特征(图 4)。

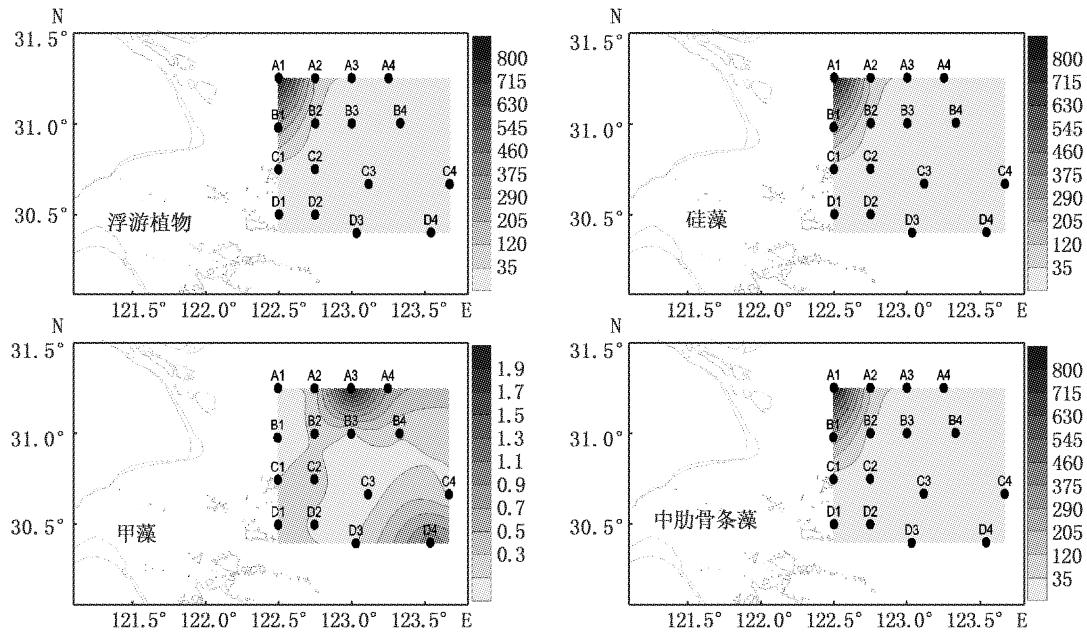


图4 调查区浮游植物丰度表层平面分布 ($\times 10^4$ cells/L)

Fig. 4 Cell abundance distribution of phytoplankton in the surface water

硅藻的平面分布特征与浮游植物分布相似,硅藻在浮游植物的平面分布中占主导地位,硅藻细胞丰度远远大于甲藻细胞丰度。从甲藻表层平面分布图可以看出(图4),甲藻细胞丰度较高的区域在本次调查区域的北部和东南部,站点A3和D4比较突出,站点A3甲藻细胞丰度达到 1.95×10^4 cells/L,其主要优势种为梭角藻。

2.3.2 垂直分布特征

在调查海域表层浮游植物细胞丰度较大,随着水深增加,浮游植物细胞丰度呈现减小趋势,在水深20 m以后,浮游植物细胞丰度基本呈均匀分布状况(图5)。

硅藻与甲藻细胞丰度的最大值均出现在表层,但硅藻细胞丰度分布与浮游植物细胞丰度分布相似,硅藻浮游植物细胞丰度垂直分布决定了浮游植物细胞丰度垂直分布特征。甲藻在表层和10 m的细胞丰度数值相差不大,但在20 m以后,甲藻细胞丰度很小。优势种中肋骨条藻的分布图表明,中肋骨条藻在浮游植物中细胞丰度占有绝对优势,中肋骨条藻细胞丰度垂直分布决定了整个浮游植物群落的垂直分布特征(图5)。

断面A浮游植物总细胞丰度和硅藻细胞丰度断面分布特征相似,均是从表层到底层细胞丰度逐渐变小,表层细胞丰度密集,硅藻细胞丰度

的分布决定浮游植物细胞丰度分布;甲藻细胞丰度则是从近岸到外海逐渐升高,在A3站点和A4站点次表层到达高值,这两个站点优势种均是梭角藻(图6)。

断面B浮游植物细胞丰度在表层较高,在10 m层以下细胞丰度分布较为均匀。硅藻细胞丰度和浮游植物细胞丰度分布相似,说明在此断面浮游植物细胞丰度分布受硅藻细胞丰度决定。甲藻细胞丰度断面分布表现为从表层到底层也呈减小趋势,站点B2和B4表层甲藻细胞丰度较为密集,它们的次表层甲藻细胞丰度和B1和B3的表层甲藻细胞丰度相当(图6)。

断面C浮游植物细胞分布特征是表层细胞丰度较高,表层细胞丰度分布较为均匀,没有浮游植物大规模爆发,C2站点20 m层刚毛根管藻细胞丰度和表层浮游植物细胞丰度相当,C3站点底层细胞丰度高于邻近水域细胞丰度,从表层到底层没有一定的规律性。硅藻细胞丰度断面分布特征和总的浮游植物细胞丰度分布特征相似,表明硅藻细胞丰度对总的浮游植物细胞丰度有深刻影响。甲藻细胞丰度断面分布表明从近岸到外海呈现高-低-高趋势,C2站点表层甲藻细胞丰度较密,在C3底层甲藻细胞丰度高于邻近海域(图6)。

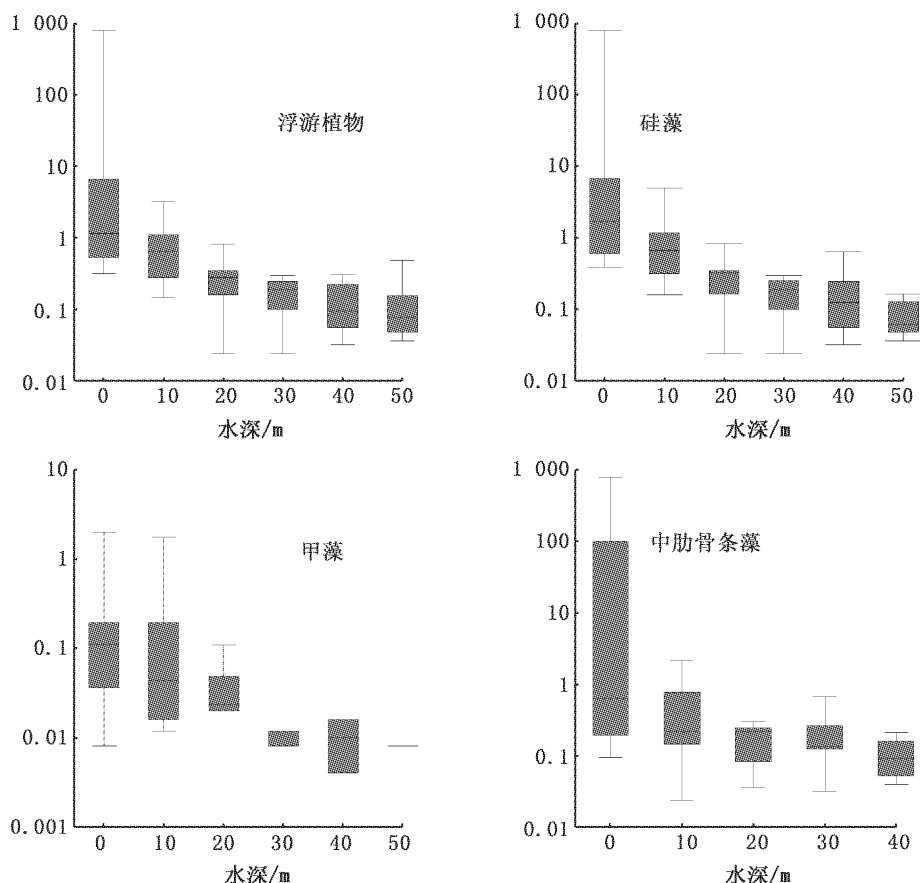


图 5 调查区浮游植物细胞丰度 Box-Whisker 图

Fig. 5 Phytoplankton abundance Box-Whisker plot in survey area

断面 D 浮游植物细胞丰度断面分布特征是从近岸到外海呈现低-高趋势, D3 浮游植物细胞丰度较高, 从表层到底层呈减小趋势, 在 10 m 层以下浮游植物细胞丰度分布较为均匀。硅藻细胞丰度断面分布特征与总的浮游植物相似, 甲藻细胞丰度断面分布特征为从近岸到外海呈现升高趋势, 在 D4 站位甲藻细胞丰度较密, 从表层到底层呈现降低趋势, 在 10 m 层以下甲藻细胞丰度分布较为均匀(图 6)。

2.4 低氧区及邻近海域浮游植物群落比较

核心低氧区、非核心低氧区和非低氧区浮游植物种类主要以硅藻为主, 甲藻较少, 这也与本次调查的浮游植物垂直分布和断面分布相吻合。细胞丰度, 多样性指数和均匀度指数比较结果分别为核心低氧区 > 非核心低氧区 > 非低氧区(表 2)。核心低氧区、非核心低氧区和非低氧区浮游植物细胞丰度、多样度和均匀度呈现出减小规律, 可能是以下几个因素造成的, 一是低氧区内一般营养物质比较丰富, 有利于浮游植物的生

长和繁殖^[17]。二是以浮游植物为食的海洋动物, 不能忍受低氧环境, 在低氧环境活动较少, 间接促进了浮游植物的繁盛。

2.5 浮游植物与环境因子关系

表层浮游植物丰度与温度、叶绿素 a、化学需氧量和硝酸盐呈显著正相关, 与盐度呈显著负相关, 与 pH、溶解氧、悬浮物、亚硝酸盐和氨有一定的相关性, 但不显著。底层浮游植物丰度与环境因子有一定的相关性, 但均不显著, 这说明底层浮游植物的生长不受环境因子限制, 而是可能受水深影响较大。硅藻丰度和甲藻丰度与环境因子相关性表明, 它们可能对环境因子的反应不同, 硅藻细胞丰度与溶解氧、盐度、亚硝酸盐、氨和 pH 呈现负相关, 而甲藻细胞丰度与它们呈现正相关, 硅藻细胞丰度与磷酸盐、硝酸盐、化学需氧量和叶绿素 a 表现为正相关, 而甲藻细胞丰度则与它们呈现负相关, 这可能说明硅藻和甲藻生长和繁殖受不同因素的制约, 它们对环境因子的响应不同(表 3)。

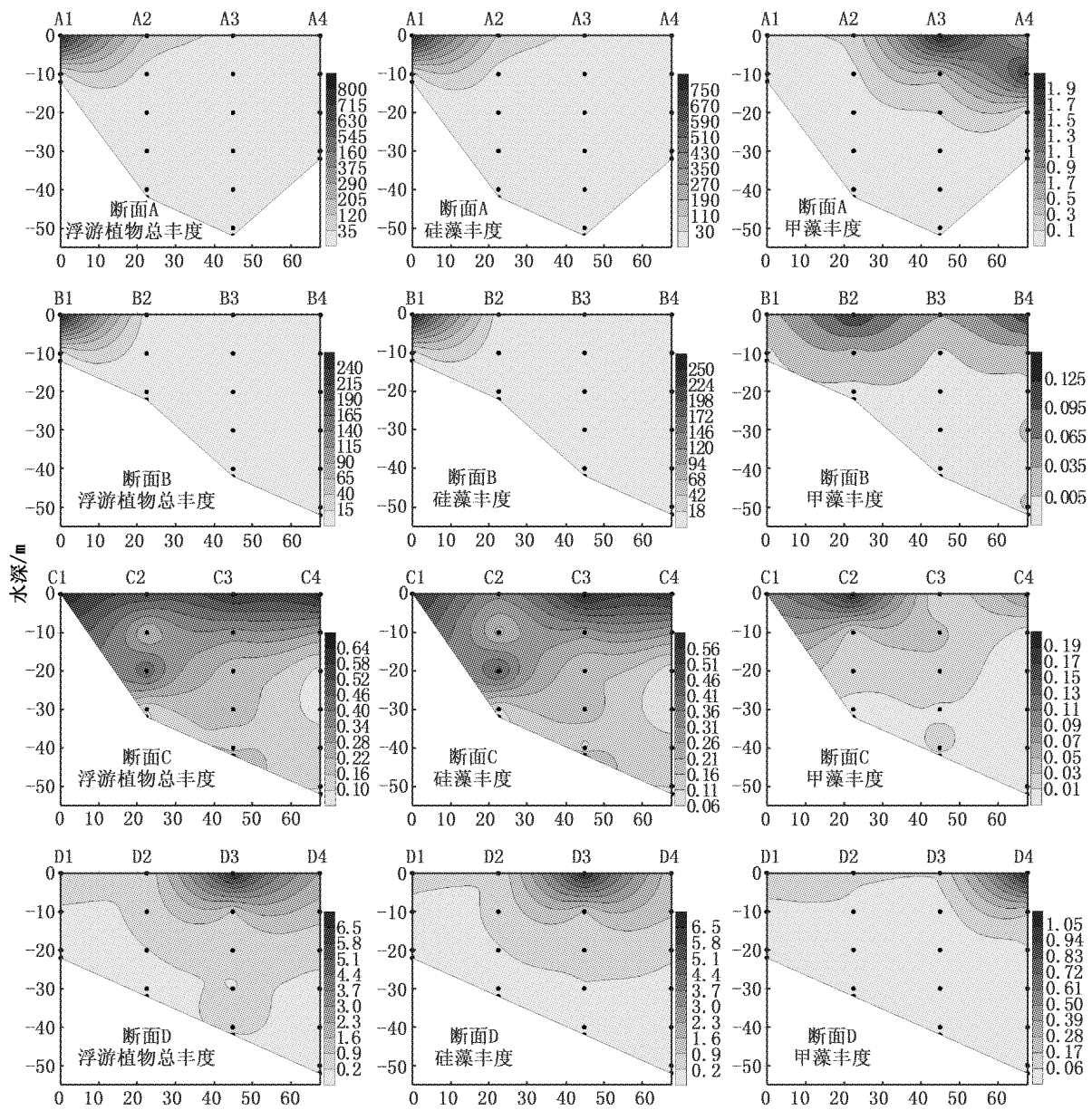


图 6 调查区浮游植物细胞丰度断面分布 ($\times 10^4$ cells/L)

Fig. 6 Vertical distribution of phytoplankton in the survey area

表 2 低氧区、内外浮游植物群落结构比较

Tab. 2 The comparison of phytoplankton cells abundance and species number around bottom area of low oxygen

区域	种类数	硅藻种类	甲藻种类	总丰度	硅藻丰度	甲藻丰度	多样性指数	均匀度指数
核心低氧区	16	14	2	20 080	19 640	440	2.67	0.71
非核心低氧区	11	10	1	16 480	16 320	160	2.08	0.65
非低氧区	9	8	1	8 560	8 480	80	1.89	0.61

表3 浮游植物细胞丰度与环境因子的 Pearson 相关性分析

Tab. 2 Pearson correlation analysis between phytoplankton cell abundance and environmental factors

环境因子	表层细胞丰度	底层细胞丰度	表层硅藻丰度	表层甲藻丰度
pH	-0.158	-0.057	-0.184	0.428
温度	0.742(**)	0.184	0.724(**)	0.139
溶解氧	-0.092	-0.277	-0.165	0.708(**)
盐度	-0.943(**)	-0.217	-0.935(**)	0.251
悬浮物	-0.082	-0.240	-0.076	-0.099
叶绿素 a	0.863(**)	-0.125	0.863(**)	0.158
化学需氧量	0.780(**)	-0.027	0.768(**)	0.076
磷酸盐	0.165	-0.274	0.189	-0.628(**)
硝酸盐	0.800(**)	-0.015	0.798(**)	-0.442
亚硝酸盐	-0.261	-0.015	-0.264	0.288
氨	-0.229	-0.114	-0.235	0.437

注: * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$ 。

3 结论

(1) 浮游植物群落主要以硅藻为主, 中肋骨条藻占绝对优势; 生态类型多为温带近岸型和海洋广盐型, 在外海也出现少量暖水性种; 细胞丰度近岸和表层高, 向外海和随水深增加呈降低趋势。

(2) 低氧区主要位于调查海域底层, 溶解氧最低值为 1.85 mg/L, 核心低氧区面积约为 1 028 km², 核心低氧区、非核心低氧区和非低氧区浮游植物种类没有明显差别, 细胞丰度, 多样性指数和均匀度呈现减小趋势, 溶解氧的多寡对浮游植物没有明显的影响。

(3) 浮游植物细胞丰度与温度, 化学需氧量, 叶绿素 a 和硝酸盐呈显著正相关, 与盐度呈显著负相关, 与 pH、溶解氧、悬浮物、亚硝酸盐和氨氮有一定的相关性, 但不显著。

东海环境监测中心生态监测室邓邦平工程师、刘志国工程师、刘守海助工给予方法点拨, 物理信息室李亿红高工给予低氧区面积算法的辅导, 上海海洋大学霍元子教授、何青博士给予作图的帮助, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 陈昱, 施曼丽, 映冈, 等. 长江三峡生态与环境地图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 157.
- [2] CHARLSON R J, LOVELOCK J E, ANDREA E M O, et al. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate [J]. Nature, 1987, 326: 655 - 661.
- [3] 郭玉洁, 杨则禹. 长江口浮游植物的数量变动及生态分析 [J]. 海洋科学集刊, 1982(33): 167 - 189.
- [4] 顾新根, 袁骥, 沈焕庭, 等. 长江口最大浑浊带浮游植物的

生态学研究 [J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 1 - 15.

- [5] 徐兆礼, 白雪梅, 袁骥, 等. 长江口浮游植物生态研究 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 52 - 54.
- [6] 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 [J]. 海洋学报, 2001, 23(3): 57 - 66.
- [7] 王金辉. 长江口水域三个不同生态系的浮游植物群落 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(3): 422 - 428.
- [8] 高亚辉, 虞秋波, 齐玉藻, 等. 长江口附近海域春季浮游硅藻的种类组成和生态分布 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1044 - 1048.
- [9] 栾青杉, 孙军, 宋书群, 等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析 [J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 445 - 450.
- [10] 何青, 孙军, 栾青杉, 等. 长江口及其邻近水域冬季浮游植物群落 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2559 - 2566.
- [11] 李道季, 张经, 黄大吉, 等. 长江口外氧的亏损 [J]. 中国科学 (D 辑), 2002, 32(8): 686 - 694.
- [12] 顾宏堪. 黄海溶解氧垂直分布中的最大值 [J]. 海洋学报, 1980(2): 70 - 79.
- [13] LIMEBURNER R, BEARDSLEY R C, ZHAO J. Water Masses and Circulation in the East China Sea. Proceedings of International symposium on sedimentation on the continental shelf, with special reference to the East China Sea [R]. Beijing: China Ocean Press, 1983: 285 - 294.
- [14] BEARDSLEY R C, LIMEBURNER R, YU H, et al. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea [J]. Continental Shelf Research, 1985, 4(1/2): 57 - 76.
- [15] 张竹琦. 黄海和东海北部夏季底层溶解氧最大值和最小值特征分析 [J]. 海洋通报, 1990, 9(4): 22 - 26.
- [16] 杨庆霄, 董娅婕, 蒋岳文, 等. 黄海和东海海域溶解氧的分布特征 [J]. 海洋环境科学, 2001, 20(3): 9 - 13.
- [17] 石晓勇, 王修林, 陆茸, 等. 东海赤潮高发区春季溶解氧和 pH 分布特征及影响因素探讨 [J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(5): 404 - 412.
- [18] 刘海霞. 长江口夏季低氧区形成及加剧原因 [D]. 上海: 华东师范大学, 2011.

- [19] 韦钦胜,于志刚,夏长水,等. 夏季长江口外低氧区的动态特征分析[J]. 海洋学报,2011,33(6):100-109.
- [20] 孙军,刘东艳,钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究分析方法-Utermöhl方法的介绍及其改进[J]. 黄渤海海洋,2002,20(2):105-112.
- [21] 国家技术监督局. GB/T 12763.6-2007 海洋生物调查,海洋调查规范[S]. 北京:中国标准出版社,2007:17-22.
- [22] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969:1-294.
- [23] DIAZ R J, ROSENBERG R. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanography and Marine Biology[J]. An Annual Review, 1995, 33:245-303.
- [24] ANDERSON T H, TAYLOR G T. Nutrient Pulses Plankton Blooms and seasonal Hypoxia in Western Long island Sound [J]. Estuaries, 2001, 24(2):228-24.
- [25] DAI M H, GUO X H, ZHAI W D, et al. Oxygen depletion in the upper reach of the Pearl River estuary during a winter drought[J]. Marine Chemistry, 2006, 102:159-169.
- [26] 朱根海,许卫忆,朱德第,等. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7):1135-1139.
- [27] 吴玉霖,傅月娜,张永山. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3):246-251.
- [28] 王云龙,袁骥,沈新强. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3):300-306.
- [29] 王丹,孙军,周峰,等. 2006年6月长江口低氧区及邻近海域浮游植物[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6):619-627.

Preliminary study on phytoplankton community of Yangtze River estuary hypoxia area and the adjacent East China Sea

MA Yong-cun^{1,2}, XU Ren^{2,3}, HE Pei-min¹, LIU Cai-cai^{2,3}, QIN Yu-tao^{2,3}, JI Xiao^{1,2}, DONG Peng^{1,2}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Shanghai 200137, China; 3. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms, SOA, Shanghai 200090, China)

Abstract: A comprehensive investigation was carried out at 16 stations in the Yangtze River hypoxia area and the adjacent East China Sea in August, 2011. The hypoxia area located in the bottom with an area of about 1 028 km² and the lowest dissolved oxygen concentration was measured to be 1.85 mg/L. Total 82 water samples of phytoplankton were collected in this sea area and were analyzed by Utermöhl method. 82 phytoplankton species was indentified and belonged to 37 genera of 4 classes. Diatoms were the dominant population in the area, and *Skeletonema costatum* was the dominant species. The phytoplankton ecological type belonged to temperate zone nearshore algae and euryhaline algae. Cell abundance of phytoplankton ranged from 6.31×10^3 cells/L to 7.80×10^6 cells/L, and the average cell abundance was about 7.59×10^5 cells/L. The phytoplankton cell abundance reduced rapidly from water surface layer to bottom. It was found that the cell abundance, diversity index, evenness index was the core low oxygen area > not-core low oxygen area > the non low oxygen area in turn, but there were no significant difference for phytoplankton species. And the phytoplankton cell abundance had the positive relation with temperature, COD, chlorophyll a, and nitrate concentration, but the negative relation with salinity. And there was no significant effect between the phytoplankton cell abundance and the dissolved oxygen content, suspended matter content, phosphate and ammonia nitrogen concentration.

Key words: Yangtze River estuary; hypoxia area; phytoplankton; community