

# 2006 年 6 月长江口低氧区及邻近水域浮游植物\*

王丹<sup>1</sup> 孙军<sup>1①</sup> 周锋<sup>2</sup> 吴莹<sup>3</sup>

- (1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071;
2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012;
3. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

**提要** 根据 2006 年 6 月 2—11 日在长江口低氧区及邻近水域(26°—34°N, 121°—126°E)27 个站位的调查,对长江口低氧区及邻近水域的浮游植物群落结构特征进行了相关研究。经 Utermöhl 方法初步分析,共发现浮游植物 130 种,隶属 4 门 57 属。甲藻和硅藻是 2006 年 6 月长江口低氧区及邻近水域的主要浮游植物门类,其优势物种是:具齿原甲藻 *Prorocentrum dentatum* (= *Prorocentrum donghaiense*)、米氏凯伦藻 *Karenia mikimotoi*、尖刺伪菱形藻 *Pseudo-nitzschia pungens*、柔弱伪菱形藻 *Pseudo-nitzschia delicatissima*、锥状施克里普藻 *Scrippsiella trochoidea* 和具槽帕拉藻 *Paralia sulcata*。调查区浮游植物物种以广温、广布型为主。本次调查海域浮游植物的细胞丰度介于  $0.0026 \times 10^5$ — $37.37 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>, 平均值为  $1.47 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>; 甲藻占浮游植物细胞丰度的比例最大,细胞丰度介于  $0.0002 \times 10^5$ — $32.01 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>, 平均值为  $1.39 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>; 其次为硅藻,细胞丰度介于  $0.0001 \times 10^5$ — $18.72 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>, 平均值为  $0.52 \times 10^5$  个/dm<sup>3</sup>。具齿原甲藻和米氏凯伦藻所占丰度比例分别达到 45.81%和 26.44%, 优势度分别为 0.30 和 0.18。具齿原甲藻细胞丰度最高值出现在调查海域北部 3 号站-20m 水层,为  $3.19 \times 10^6$  个/dm<sup>3</sup>; 米氏凯伦藻细胞丰度最高值出现在调查海域西南部 29 号站表层,为  $1.71 \times 10^6$  个/dm<sup>3</sup>。浮游植物细胞丰度在水体中的垂直分布为表层最大,随着水深增加而逐渐降低。根据浮游植物的表层分布和断面分布可以发现,细胞丰度高值主要集中在调查区的西南部和北部,东南部浮游植物细胞丰度较低。同时调查海域东南部浮游植物多样性指数和均匀度指数较高,近岸低氧区和中部区域则较低。调查区水体层化现象明显,表层水和底层水之间氧的交换变弱,有机碎屑和浮游植物大量繁殖后沉降分解可能导致了底层低氧区的形成。

**关键词** 浮游植物, 物种组成, 低氧区, 断面分布, 长江口

**中图分类号** X55

海水中的溶解氧与海洋浮游植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(李道季等, 2002)。若水中溶解氧浓度低于 2mg/L, 成年鱼会死亡, 孵卵生境遭到破坏, 渔业资源将会衰退。近年来全球近岸海域缺氧区已增加到 146 处, 面积已经增加到 70000 km<sup>2</sup>, 是 1994 年数量的 1 倍(国家环境保护总局国际合作司, 2007)。这些缺氧现象的

存在, 对其海区的生态系统变化有着重要影响 (Turner *et al.*, 1994; Rabalais *et al.*, 1999; Diaz *et al.*, 1995)。

诸多研究表明, 东海长江口外存在着低溶氧区(顾宏堪, 1980; Limeburner *et al.*, 1983; Beardsley *et al.*, 1985; 张竹琦, 1990; 蒲新明等, 2001; 杨庆雷等, 2001; 李道季等, 2002; 石晓勇, 2005)。1999 年夏季、2002 年春季都在长江口外发现了较大面积的溶解氧

\* 国家重点基础研究发展规划(973)项目, 2006CB400605 号; 中国科学院知识创新工程重点方向项目, KZCX2-YW-213 号; 国家自然科学基金项目, 40676089 号。王丹, E-mail: phytoplankton@163.com

通讯作者: 孙军, 博士, 研究员, E-mail: phytoplankton@163.com

收稿日期: 2007-12-06, 收修改稿日期: 2008-05-09

低值区(李道季等, 2002; 石晓勇, 2005)。长江径流和大气污染的干湿沉降所携带的大量营养盐促进了这一海域的初级生产, 可能加剧了长江口及邻近海域底层氧的亏损(李道季等, 2002; Turner *et al.*, 1994)。另外, 研究还发现夏季长江口外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。由于夏季水温高, 底层悬浮有机物质的氧化分解消耗了大量的溶解氧, 同时夏季水体比较稳定, 底层溶解氧难以得到补充, 使得长江口外底层成为低氧区(石晓勇等, 2005)。

本文中作者通过对 2006 年 6 月长江口低氧区及邻近水域浮游植物分布的调查, 采用国际通行的 Utermöhl 方法(孙军等, 2002a), 分析该海域浮游植物群落物种组成、细胞丰度和浮游植物群落分布特征, 以期研究浮游植物群落结构对长江口低氧区生态系统的影响提供基础资料。

## 1 调查与方法

### 1.1 调查站位和水文学参数的测定

2006 年 6 月 2 日—6 月 11 日在长江口低氧区及邻近海域(26°—34°N, 121°—126°E)设置了 27 个浮游植物调查站位, 共划分为 6 个垂直海岸线观测断面(图 1, 从北到南依次为 A、B、C、D、E、F 断面)。于每个站位不同标准层取水样固定。水深、透明度、水色现场根据《海洋调查规范》(国家技术监督局, 1992)进行测定。温度、盐度等参数由 SeaBird 25 CTD 现场测得。营养盐(硝酸盐、硅酸盐、磷酸盐)样品参考比色法(Zhang *et al.*, 1997, 1999)进行测定。

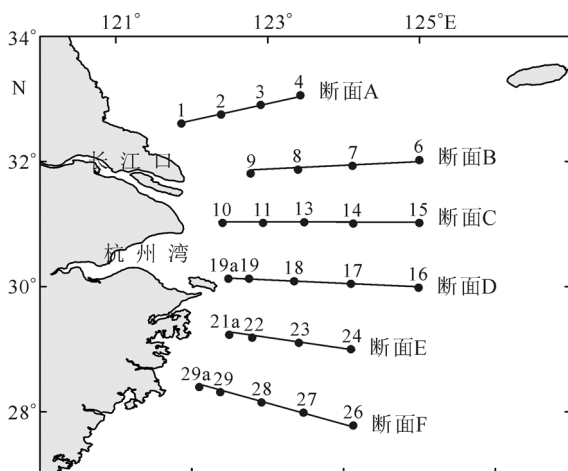


图 1 调查站位

Fig.1 Sampling stations

### 1.2 取样与样品分析及处理

于每站位不同标准层(0m、10m、20m、30m、40m、50m、70m 以下, 海底以上 2m 水层作为底层)各取 250ml 水样, 样品立即用中性福尔马林(1%最终浓度)固定。实验室内样品分析按 Utermöhl 方法分析(孙军等, 2002a)取 25ml 或 100ml 浮游植物亚样品于 Hydro-bios 的 Utermöhl 计数框静置沉降 24h, 用 AO 倒置显微镜, 在 200 和 400 倍下进行物种鉴定和细胞计数。细胞丰度的统计和误差处理参考孙军等(2002a)。

### 1.3 浮游植物群落结构指数的计算方法

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )计算公式如下(Shannon *et al.*, 1949):

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

式中  $P_i = n_i/N$  为第  $i$  种在样品中的细胞丰度概率;  $S$  为总种数

Pielou 均匀度指数( $J$ )计算公式如下(Pielou, 1969):

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

优势度( $Y$ )计算公式如下(孙军等, 2004):

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中  $n_i$  为第  $i$  种的总个体数;  $f_i$  为该种在各样品中出现的频率;  $N$  为全部样品中的总个体数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 海区环境特征

调查区的温度、盐度和溶解氧断面分布如图 2。可以看出随着水深由浅至深, 温度和溶解氧基本呈降低趋势, 同时夏季受台湾暖流的影响, 在调查区的东南部有一个表层高温区; 而盐度则随着水深由深至浅呈下降趋势, 可以看出调查区受长江冲淡水和台湾暖流等外海水的影响, 水体的层化现象明显, 表层水和底层水之间氧的交换受到限制(Beardsley *et al.*, 1985)。调查区表层硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐浓度的平均值分别为  $7.2\mu\text{mol/L}$ 、 $0.16\mu\text{mol/L}$  和  $9.45\mu\text{mol/L}$ , 同时受长江径流和沿岸陆源输入的影响, 调查区近岸的营养盐浓度高于外海。

### 2.2 浮游植物物种组成

2006 年 6 月对调查海域 27 个站位所获得的 122 个浮游植物样品的初步分析结果为: 共发现浮游植物

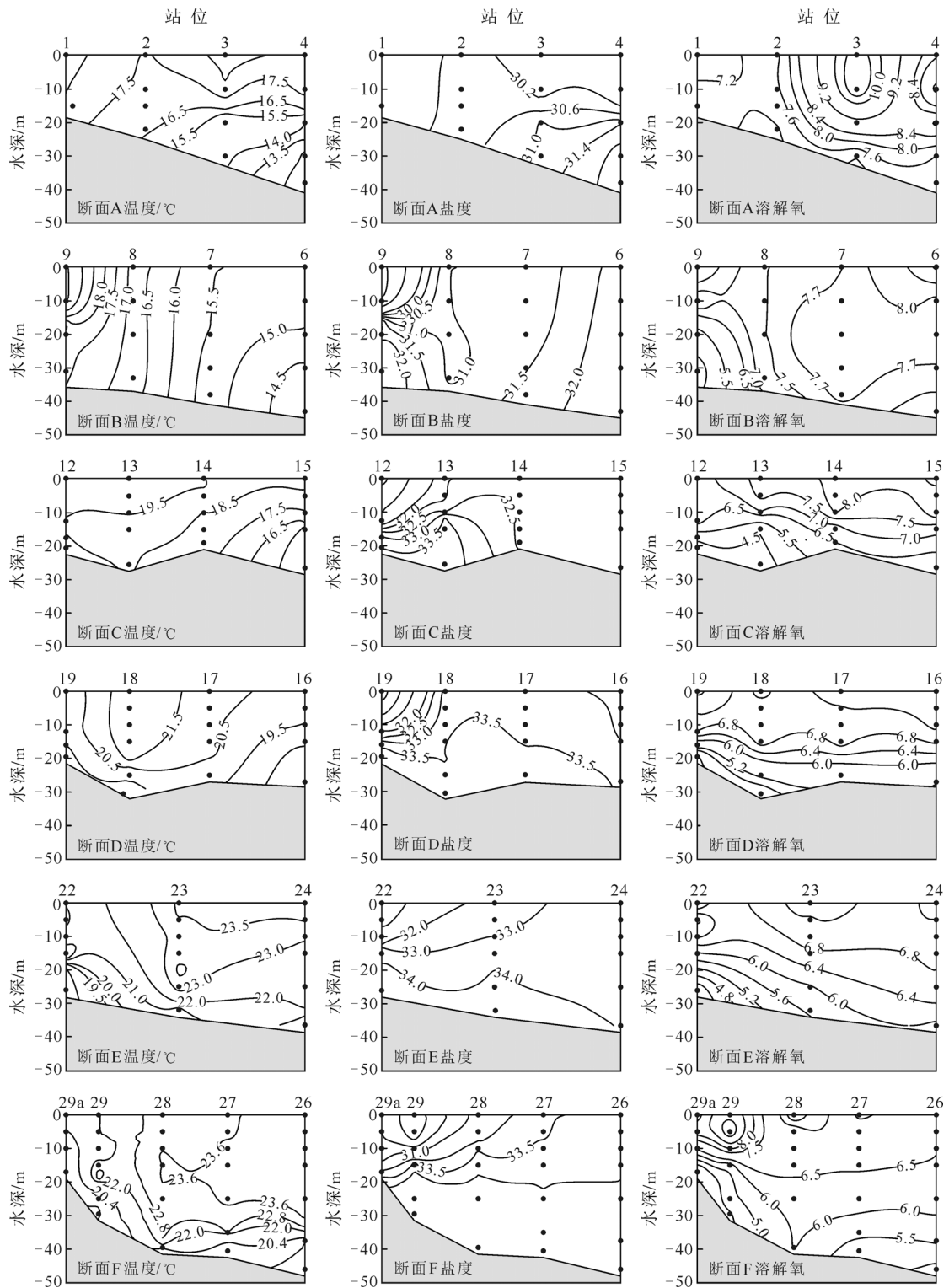


图 2 调查区各断面温度、盐度和溶解氧(mg/m<sup>3</sup>)的垂直分布  
 Fig.2 Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen(mg/m<sup>3</sup>)in survey area

130 种, 隶属 4 门 57 属, 其中硅藻门 39 属 81 种, 占有所有发现物种的 62.31%, 甲藻门 15 属 46 种, 占有所有发现物种的 35.38%, 金藻门 2 属 2 种, 蓝藻门 1 属 1

种。甲藻和硅藻是长江口低氧区及邻近水域的主要浮游植物功能群(functional group), 其浮游植物的优势物种是: 具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*=东海原

甲藻 *Prorocentrum donghaiense*)、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)、尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、柔弱伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、锥状施克里普藻(*Scrippsiella trochoidea*)和具槽帕拉藻(*Paralia sulcata*)。调查区浮游植物的物种以广温、广布型为主,其次是暖水性种和少数大洋性物种,如豪猪棘冠藻(*Corethron hystrix*)和伏氏海线藻(*Thalassionema frauenfeldii*)等,适应半咸水生活的物种如:派格棍形藻(*Bacillaria paxillifera*)等也有出现,优势度排名前20位的物种列于表1。其中赤潮原因种占有相当大的比例,例如:具齿原甲藻(*P. dentatum*)、米氏凯伦藻(*K. mikimotoi*)所占的丰度比例分别达到45.81%和26.44%,优势度分别为0.30和0.18。在调查区北部3号站-20m水层具齿原甲藻细胞丰度高达 $3.19 \times 10^6$ 个/dm<sup>3</sup>,在西南部29号站表层,米氏凯伦藻的细胞丰度高达 $1.71 \times 10^6$ 个/dm<sup>3</sup>,同时海链藻的

细胞丰度也达到了 $1.67 \times 10^6$ 个/dm<sup>3</sup>。6月份该调查海域的浮游植物优势物种以甲藻为主,调查期间该海域北部发生了具齿原甲藻水华,西南部附近发生了米氏凯伦藻和海链藻水华。

### 2.3 浮游植物的分布特征

本次调查海域浮游植物的细胞丰度介于 $0.0026 \times 10^5$ — $37.37 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>,平均值为 $1.47 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>。甲藻占浮游植物细胞丰度的比例最大,细胞丰度介于 $0.0002 \times 10^5$ — $32.01 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>,平均值为 $1.39 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>;其次为硅藻,细胞丰度介于 $0.0001 \times 10^5$ — $18.72 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>,平均值为 $0.52 \times 10^5$ 个/dm<sup>3</sup>。与同期历史资料比较的结果见表2。总体比较发现,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某些站位发生了甲藻和硅藻水华,丰度变化较高所致。另外 Utermöhl 方法也避免了网采浓缩时的损失,细胞丰度也会有所增加。

表1 调查区浮游植物优势物种<sup>1)</sup>  
Tab. 1 Phytoplankton dominant species in the survey area

门	中文名	拉丁文名	丰度比例 (%)	频数 <i>f<sub>i</sub></i>	优势度 <i>Y</i>
甲藻门	具齿原甲藻	<i>Prorocentrum dentatum</i> Stein	45.81	0.66	0.30041
甲藻门	米氏凯伦藻*	<i>Karenia mikimotoi</i> (Miyake et Kominami ex Oda) Hansen et Moestrup	26.44	0.67	0.17772
硅藻门	尖刺伪菱形藻*	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle	5.62	0.76	0.04285
硅藻门	柔弱伪菱形藻*	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden	6.24	0.59	0.03684
甲藻门	锥状施克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich	0.98	0.57	0.00552
硅藻门	具槽帕拉藻*	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	0.54	0.25	0.00138
硅藻门	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow	0.23	0.40	0.00092
硅藻门	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Clev	0.67	0.11	0.00077
硅藻门	柔弱几内亚藻*	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	0.49	0.15	0.00072
甲藻门	纤细原甲藻	<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt	0.10	0.43	0.00042
硅藻门	太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran et Angst	0.13	0.25	0.00034
硅藻门	旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	0.29	0.11	0.00034

1) 种名更改参见孙军等(2002b)

表2 调查区浮游植物丰度和以前资料(网样或水样)比较  
Tab. 2 Comparison historical data of phytoplankton cell abundance in Changjiang (Yangtze) River estuary

采样时间	分析方法	层次 (m)	鉴定物种数	平均丰度 ( $\times 10^3$ 个/dm <sup>3</sup> )	采样位置	参考文献
2006年6月	Utermöhl方法	0—100	130	147	26°00'—34°00'N 121°00'—126°00'E	本研究
2004年8—9月	Utermöhl方法	0—100	137	88	30°30'—32°30'N 121°00'—123°30'E	Luan et al, 2006
2002年4月	拖网和水样浓缩	0—100	110	1.6—75.2	30°50'—31°50'N 121°50'—123°00'E	朱根海等, 2003
2001年5月	拖网	0—100	63	1.53	30°00'—33°00'N 121°00'—123°00'E	吴玉霖等, 2004
2000—2003年5月	拖网	0—100	—	82.62	30°00'—31°30'N 121°00'—123°00'E	王云龙等, 2005

**2.3.1 浮游植物的平面分布特征** 2006 年 6 月长江口低氧区及邻近水域浮游植物主要分布在表层(图 3), 其平面分布特征为: 浮游植物在调查区西南部 29 号站表层出现丰度最大值为  $37.37 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 优势种为米氏凯伦藻和海链藻; 在调查区北部 3 号站表层浮游植物细胞丰度也有高值为  $9.31 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 主要优势种为具齿原甲藻, 其次浮游植物丰度较高的区域为调查区的近岸区域, 例如近岸的 19 号和 19a 号站, 细胞丰度分别为  $3.79 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$  和  $3.90 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 优势种主要为米氏凯伦藻。从分布上看, 甲藻在浮游植物丰度分布上占有绝对优势, 且主要位于调查区西南部、北部和近岸区域, 而硅藻只是在调查区西南部和中部外海区域有较高的丰度, 例如在 18 号, 细胞丰度也达到了  $3.67 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 其优势种为尖刺

伪菱形藻, 这是由于长江径流和沿岸营养盐的输入, 近岸硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐营养盐浓度都较高, 甲藻取代硅藻成为优势种。另外从营养盐表层分布可以看出, 浮游植物丰度的分布与营养盐浓度的分布有一致性。

**2.3.2 浮游植物的垂直分布特征** 应用 box-whisker 作图表征了浮游植物各类群在调查海域水体中的垂直分布特征(图 4): 浮游植物及硅藻和甲藻的细胞丰度都是在表层出现最大值, 随着水深增加, 细胞丰度逐渐减小。优势物种具齿原甲藻随着海水深度的增加, 细胞丰度逐渐减少, 米氏凯伦藻在 -10m 层细胞丰度高于表层细胞丰度, 这可能是由于甲藻具有垂直迁移的能力, 使得其在次表层出现丰度最大值, 但总体上浮游植物还是随着水深的增加, 细胞丰

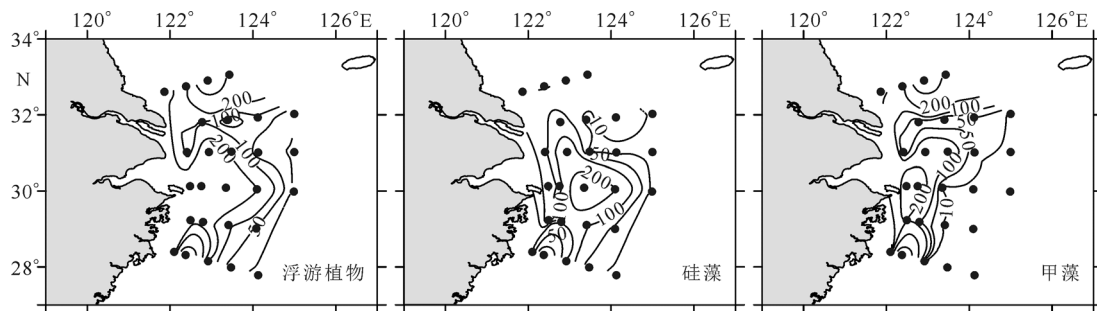


图 3 调查区表层浮游植物细胞丰度平面分布

Fig.3 Cell abundance distribution of phytoplankton in the surface water

度逐渐减小。

**2.3.3 浮游植物在长江口低氧区及邻近水域的断面分布特征** 从调查区断面分布(图 5)可以看出, 在断面 A 的 3 号站 -20m 水层出现浮游植物密集区, 其优势种为具齿原甲藻, 丰度高达  $31.9 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ 。具齿原甲藻在 5、6 月份较为常见, 适温适盐范围分别为 14—22 和 14—32, 最适温、盐度分别为 18—21 和 21—31, 其生长与盐度呈负相关性。由于在 6 月长江径流带来冲淡水, 使得北部盐度降低, 适宜其生长繁殖, 具齿原甲藻还具有昼夜垂直迁移的特性, 使得它们在获得光能, 营养盐方面更具优势, 因此可以在 -20m 的水层中聚集(王金辉, 2003a、b)。另外, 从溶解氧的断面分布(图 2)可以看出, 在调查海域东北部出现溶解氧高值区, 3 号站表层溶解氧含量为 12.26mg/L, 中层溶解氧含量高达 12.63mg/L, 而 3 号站中层浮游植物丰度也达到最高, 这说明大量浮

游植物的繁殖和光合作用促进了该区域氧含量的增高。此外, 在断面 F 的 29 号站 0 m 层也出现浮游植物密集区, 优势种为米氏凯伦藻和海链藻, 细胞丰度分别为  $17.10 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$  和  $16.75 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 米氏凯伦藻的适温适盐范围分别为 20—24 和 27.9—30.5, 对盐度变化敏感, 由于其没有细胞壁, 剧烈的盐度变化导致渗透压改变, 很容易导致细胞破裂死亡(龙华等, 2005)。合适的温度(12.90—24.05)、盐度(17.44—34.46)条件和营养盐浓度可能是造成此次局部区域甲藻水华发生的原因之一(王金辉, 2003a; 龙华等, 2005)。在断面 C 和断面 D, 浮游植物细胞丰度较高, 而断面 E 和断面 B 细胞丰度则较低; 在底层溶解氧较低的站位(18、19、21a 和 29a), 表层浮游植物丰度较高, 分别达到  $3.67 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ 、 $3.90 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ 、 $1.98 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$  和  $2.0 \times 10^5$  个/ $\text{dm}^3$ , 浮游植物的大量繁殖沉降后分解消耗了较多的溶解

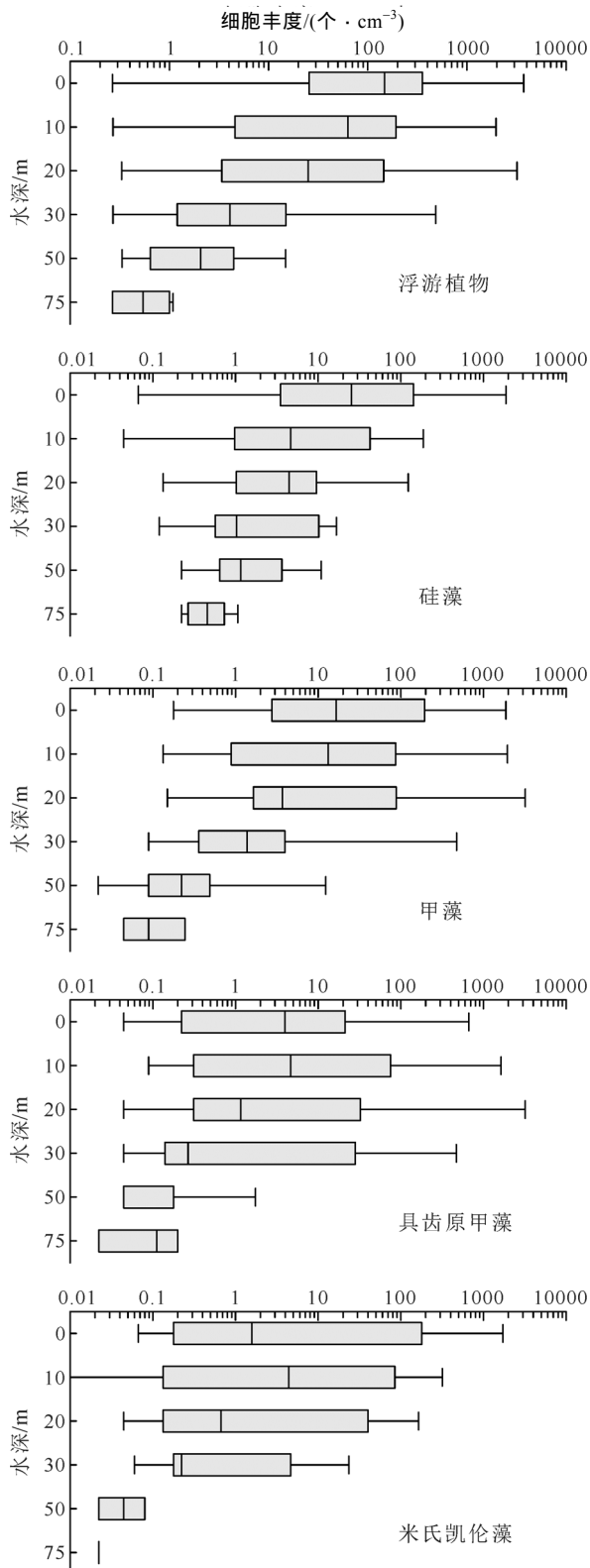


图4 调查区浮游植物在水层中的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of phytoplankton in the survey area

氧可能造成底层溶解氧的亏损,同时由于长江冲淡水  
和台湾暖流的交互作用,水层化现象明显,表层水

和底层水之间氧的交换变弱,也导致了底层氧的亏  
损。另外该水域处于长江三角洲前沿的低凹处,是有  
机碎屑沉降汇集区,随着夏季温度的升高,有机碎屑  
沉降量增加,有机碎屑的分解耗氧也导致了低氧区  
的形成(石晓勇等,2005)。

**2.3.4 浮游植物群落多样性在长江口低氧区及邻近  
水域的平面分布特征** 调查区表层浮游植物群落  
Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数如  
图6所示。多样性指数也是反映群落特征的重要参数  
之一,低的多样性指数往往指示了群落的生长比较  
旺盛(孙军等,2004)。调查区浮游植物群落  
Shannon-Wiener 多样性指数的平均值为1.33,在调查  
区的东南部多样性指数值较高,而近岸低氧区(站  
位18、19、19a、21a)和中部(站位17、13)区域  
多样性值则较低,这也与这两个区浮游植物丰度较  
高相对应。同样在浮游植物细胞丰度高值区(29号  
站和3号站),Shannon-Wiener 多样性指数水平也  
较低,这是因为此处形成了浮游植物优势种。调查  
区浮游植物 Pielou 均匀度指数的平均值为0.35。  
从图6可以看出,调查区均匀度平面分布特点与多  
样性指数相一致。均匀度代表群落内物种分布的  
均匀程度,是群落是否成熟和稳定的特征之一,调  
查区的东南部均匀度值高于其他区域,近岸低氧  
区和中部区域均匀度指数较低,这也与这两个区  
浮游植物丰度较高相对应(图5),同样两个浮游  
植物丰度高值区(29号站和3号站)的均匀度指  
数也不高。综合上述浮游植物的 Shannon- Wiener  
多样性指数和均匀度指数,应用浮游植物多样性  
模糊评判集合(孙军等,2001)进行分析,发现与  
世界其他海区相比,6月份长江口低氧区及邻近水  
域浮游植物群落的多样性水平较低。以上的浮游  
植物群落多样性分析表明,调查期间此海域的浮  
游植物生长状态良好,表层浮游植物的旺发,对  
底层的低氧现象有一定的贡献。

### 3 结语

通过对2006年6月长江口低氧区及邻近水域  
浮游植物群落特征的研究表明:合适的温、盐和  
营养盐浓度是具齿原甲藻和米氏凯伦藻水华发  
生的原因之一,浮游植物大量繁殖后死亡的浮游  
植物和有机碎屑经沉降,在水体底层分解可进  
一步导致该调查区底层低氧区的形成,与此同  
时调查期间此海区水体

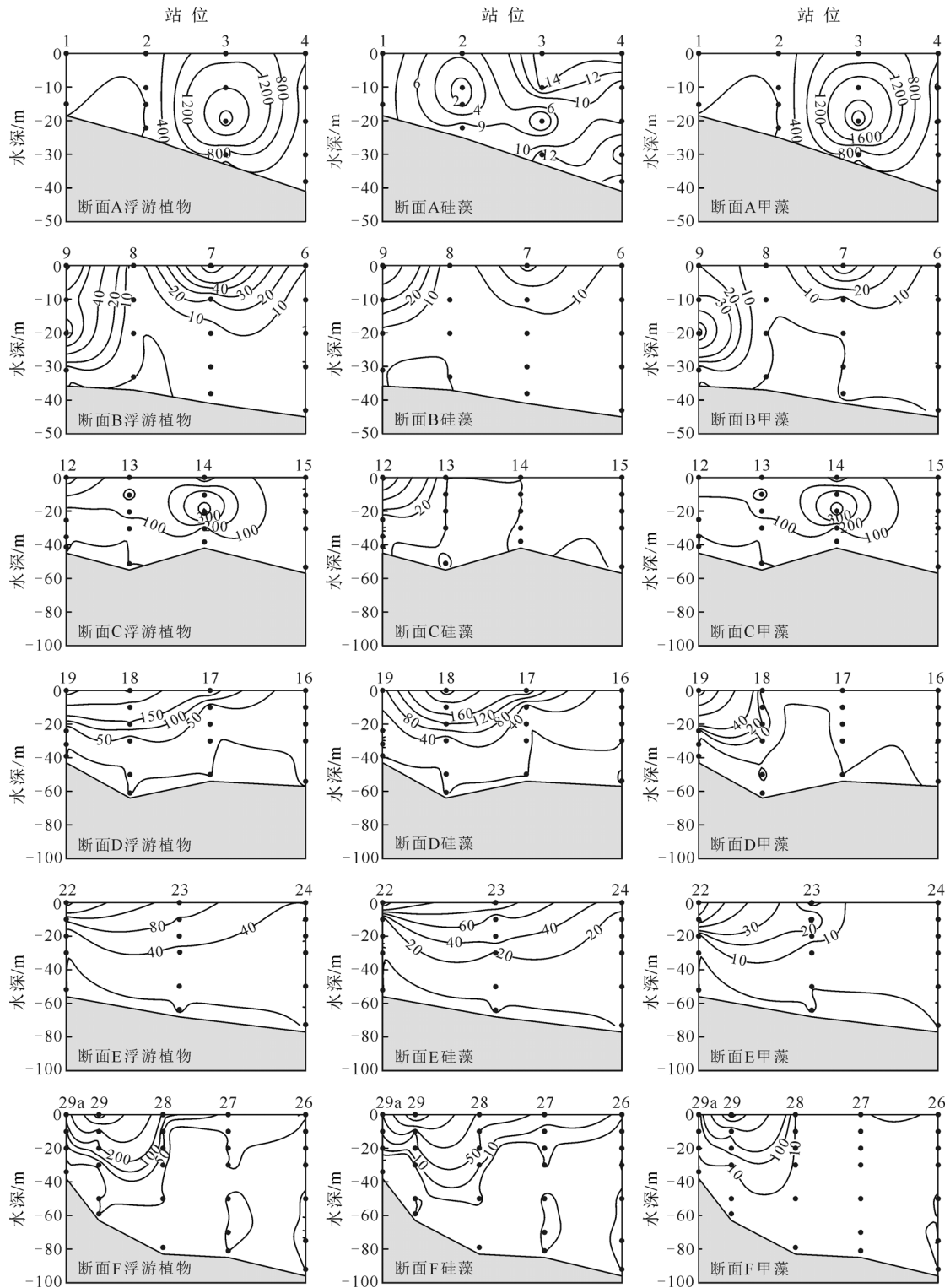


图 5 调查区浮游植物细胞丰度(个/cm<sup>3</sup>)的断面分布

Fig. 5 Cell abundance (ind/cm<sup>3</sup>) section distribution of phytoplankton in the survey area

层化现象明显, 表层水和底层水之间氧的交换变弱, 进一步加强了缺氧现象。以上分析还很初步和简单, 今后还需要进一步累积相关的资料 and 进行相关生物

过程研究, 才能真正理解低氧区形成特征和过程, 为防治长江口低氧区形成以及对生态系统潜在破坏提供科学依据。

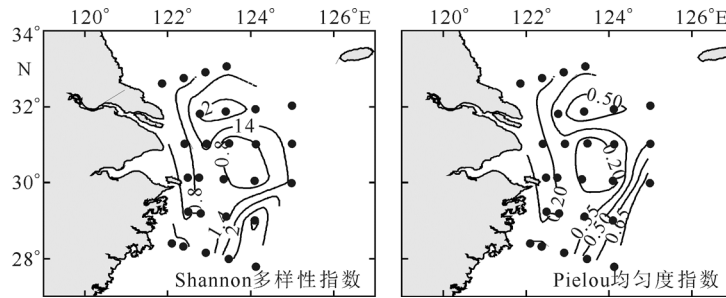


图6 调查区表层浮游植物群落 Shannon 多样性指数和 Peilou 均匀度指数平面分布

Fig. 6 Shannon diversity indices and Peilou's Evenness distribution of phytoplankton community in the surface water

致谢 栾青杉博士协助采样, 谨致谢忱。

### 参 考 文 献

- 顾宏堪, 1980. 黄海溶解氧垂直分布中的最大值. 海洋学报, 2: 70—79
- 国家技术监督局, 1992. 海洋生物调查, 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 17—22
- 李道季, 张 经, 黄大吉等, 2002. 长江口外氧的亏损. 中国科学(D 辑), 32(8): 686—694
- 国家环境保护总局国际合作司, 2007. 全球环境展望年鉴. 北京: 中国环境科学出版社, 1—86
- 龙 华, 杜 琦, 2005. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮的初步研究. 福建水产, 4: 22—26
- 蒲新明, 吴玉霖, 张永山, 2001. 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, 23(3): 57—66
- 石晓勇, 王修林, 陆茸等, 2005. 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. 海洋与湖沼, 36(5): 404—412
- 孙 军, 刘东艳, 钱树本, 2002a. 一种海洋浮游植物定量研究方法——Utermöhl 方法的介绍及其改进. 黄渤海海洋, 20(2): 105—112
- 孙 军, 刘东艳, 2002b. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. 海洋与湖沼, 33(3): 271—286
- 孙 军, 刘东艳, 钱树本, 2000. 1997 年夏琉球群岛及邻近水域浮游硅藻与水团的相互关系. 中国海洋学文集 II, 12: 158—169
- 孙 军, 刘东艳, 魏 皓等, 2001. 琉球群岛邻近海域浮游植物多样性的模糊综合评判. 海洋与湖沼, 32(4): 445—453
- 孙 军, 刘东艳, 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62—75
- 王金辉, 黄秀清, 2003a. 具齿原甲藻的生态特征及赤潮成因浅析. 应用生态学报, 14(7): 1065—1069
- 王金辉, 2003b. 东海赤潮生物具齿原甲藻及其特征. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 22(2): 128—131
- 王云龙, 袁 骥, 沈新强, 2005. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征. 中国水产科学, 12(3): 300—306
- 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 2004. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系. 海洋与湖沼, 35(3): 246—251
- 杨庆霄, 董娅婕, 蒋岳文等, 2001. 黄海和东海海域溶解氧的分布特征. 海洋环境科学, 20(3): 9—13
- 张竹琦, 1990. 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. 海洋通报, 9(4): 22—26
- 朱根海, 许卫忆, 朱德第等, 2003. 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. 应用生态学报, 14(7): 1135—1139
- Beardsley R C, Limeburner R, Yu H *et al*, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Continental Shelf Research, 4(1/2): 57—76
- Diaz R J, Rosenberg R, 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 33: 245—303
- Limeburner R, Beardsley R C, Zhao J, 1983. 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, April 12—16, Hangzhou, China, Vol.1. Beijing: China Ocean Press, 285—294
- Luan Q S, Sun J, Shen Z L *et al*, 2006. phytoplankton Assemblage of Yangtze River Estuary and the Adjacent East China Sea in Summer, 2004. Journal of Ocean University of China, 5(2): 123—131
- Pielou E C, 1969. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 1—294
- Rabalais N N, Turner R E, Justic D *et al*, 1999. Characterization of Hypoxia, Topic I Report for the Intergrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Coastal Ocean Program. Decision Analysis Series, Silver Spring, 15: 3—4
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathermatical Theory of Communication. Urbana IL: University of Illinois Press, 1—117
- Turner R E, Rabalais N N, 1994. Coastal eutrophication near the Mississippi river delta. Nature, 168: 619—621
- Zhang J, Xu J, Liu S M *et al*, 1999. Nutrient element distribution in the meso-tidal Shuangtaizihe Estuary from North China. Journal of Coast Research, 15: 526—536



Zhang J, Yu Z G, Liu S M *et al*, 1997. Dynamics of nutrient elements in three estuaries of North China: the Luanhe,

Shuangtaizihe, and the Yalujiang. *Estuaries*, 20(1) : 110—123

## PHYTOPLANKTON OF CHANGJIANG (YANGTZE RIVER) ESTUARY HYPOXIA AREA AND THE ADJACENT EAST CHINA SEA IN JUNE 2006

WANG Dan<sup>1</sup>, SUN Jun<sup>1</sup>, ZHOU Feng<sup>2</sup>, WU Ying<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Hangzhou, 310012; 3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

**Abstract** Phytoplankton community and cell abundance were investigated during 2<sup>nd</sup> to 11<sup>th</sup> June 2006 at 27 stations of Changjiang (Yangtze River) hypoxia area and the adjacent East China Sea (26°—34°N, 121°—126°E). Water samples were analyzed by Utermöhl method, recognizing 130 taxa phytoplankton that belong to 57 genera of 4 classes. Pyrrophyta and Bacillariophyta were the dominant functional phytoplankton in the study areas. The dominant species included, in descendent order, *Prorocentrum dentatum*(=*Prorocentrum donghaiense*), *Karenia mikimotoi*, *Pseudonitzschia pungens*, *Pseudonitzschia delicatissima*, *Thalassiosira* sp., *Gymnodinium* sp., *Scrippsiella trochoidea*, and *Paralia sulcata*, all being eurythermal species. Cell abundance of phytoplankton ranged from 0.0026 to 37.37×10<sup>5</sup> in average of 37.37×10<sup>5</sup> ind/dm<sup>3</sup>, of which Pyrrophyta ranked the first ranging 0.0002×10<sup>5</sup>—32.01×10<sup>5</sup> averaged at 1.39×10<sup>5</sup> ind/dm<sup>3</sup>, followed by Bacillariophyta, 0.0001×10<sup>5</sup>—18.72×10<sup>5</sup> in average of 0.52×10<sup>5</sup> ind/dm<sup>3</sup>. *Prorocentrum dentatum* and *Karenia mikimotoi* took 45.81% and 26.44% respectively, in dominancy of 0.30 and 0.18. The largest cell abundance of 3.19×10<sup>6</sup> ind/dm<sup>3</sup> for *P. dentatum* occurred at -20m layer at the 3rd station in the north of the survey areas, while that of *K. mikimotoi* was in hypoxia area at the 29th station in the southwest of survey areas, at 1.71×10<sup>6</sup> ind/dm<sup>3</sup>. Phytoplankton cell abundance were concentrated in surface water and reduced rapidly downwards. Results show that cell abundance was concentrated in the southwest and north of the survey areas, and low in the southeast. Meanwhile, the Shannon-Wiener diversity indices and Pielou's evenness of phytoplankton community were high in the southeast and low in the center, and in low dissolved oxygen area nearshore. The water stratification was strong, causing weak oxygen change in vertical direction. Therefore, decomposition and sedimentation of organic particles and phytoplankton could result in the formation of low-oxygen zone in the bottom zone.

**Key words** Phytoplankton, Species composition, Hypoxia area, Section distribution, Changjiang (Yangtze River) estuary