

长江口区浮游植物的数量变动及生态分析*

郭玉洁 杨则禹

(中国科学院海洋研究所)

长江口一带水系交汇复杂,海水理化环境多变,导致海洋生物资源量产生很大波动。预计在三峡水利枢纽工程建成调节入海径流量后,河口生态环境必将出现新的格局,对河口生态系、生物资源量和社会经济将产生很大影响。故在工程兴建前必须从多方面进行预测和研究,以便对工程作出科学评价。以往虽在河口附近进行过多次调查,但迄今仍缺长江口门水域及河道内的资料,难以全面说明径流对河口环境的影响。为此,在 1985—1986 年逐月进行了长江口区生态环境及生物资源的本底调查。本文旨在根据调查结果探讨工程建成后,对作为生态系基础环节的浮游植物可能产生的影响,并为河口区生物资源的开发利用提供科学依据。

一、材料与方 法

1985 年 8 月至 1986 年 10 月在 $121^{\circ}10'—124^{\circ}00'E$, $30^{\circ}20'—32^{\circ}00'N$ 的长江口海域布设 37 个观测站(图 1a),逐月进行海水理化环境及各类生物调查。浮游植物现存量以上层海水中叶绿素 a 含量表示:在各观测站分别采 0.5m 层海水 1 000mL,以平均孔径为 $0.45\mu m$ 的滤膜过滤,用 90% 丙酮液萃取样品中的叶绿素,用 751G 型分光光度计测量在波长为 664, 647, 630 和 750nm 时的消光值,按 Jeffrey 和 Humphrey(1975)的公式计算样品中叶绿素 a, b, c 的数量。浮游植物个体数量是用小型浮游生物网(头锥部上口径 37cm,下口径 50cm,网长 270cm,国际标准 20 号筛绢制)自海底至海面垂直拖网取样,样品保存于 5% 福尔马林液中,以个体计数法定量。

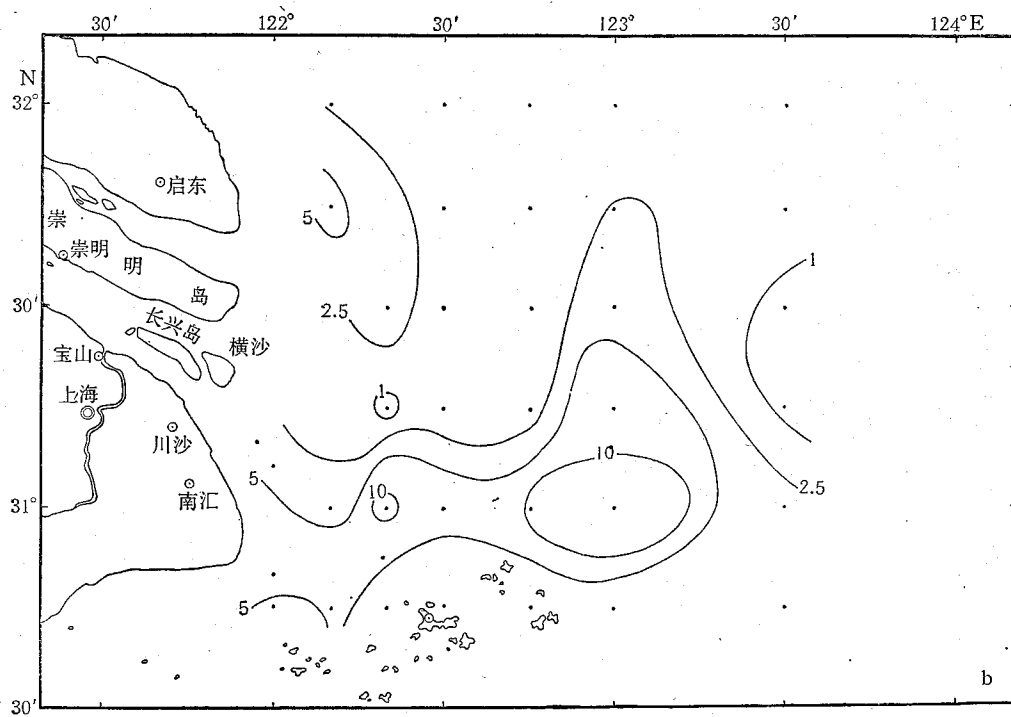
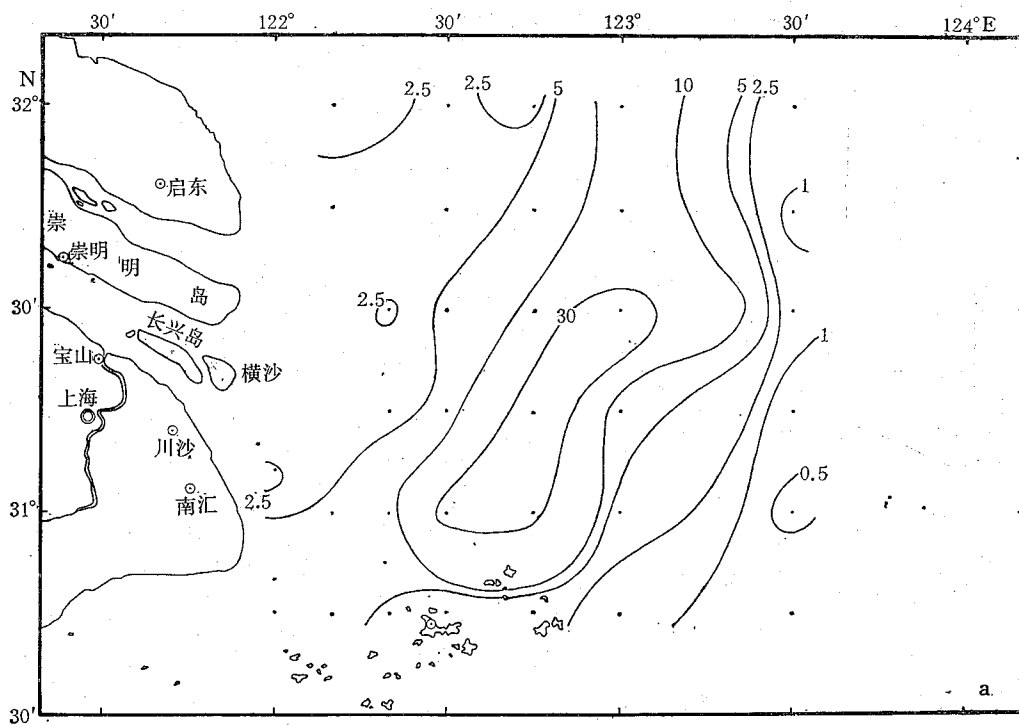
二、浮游植物的数量变动

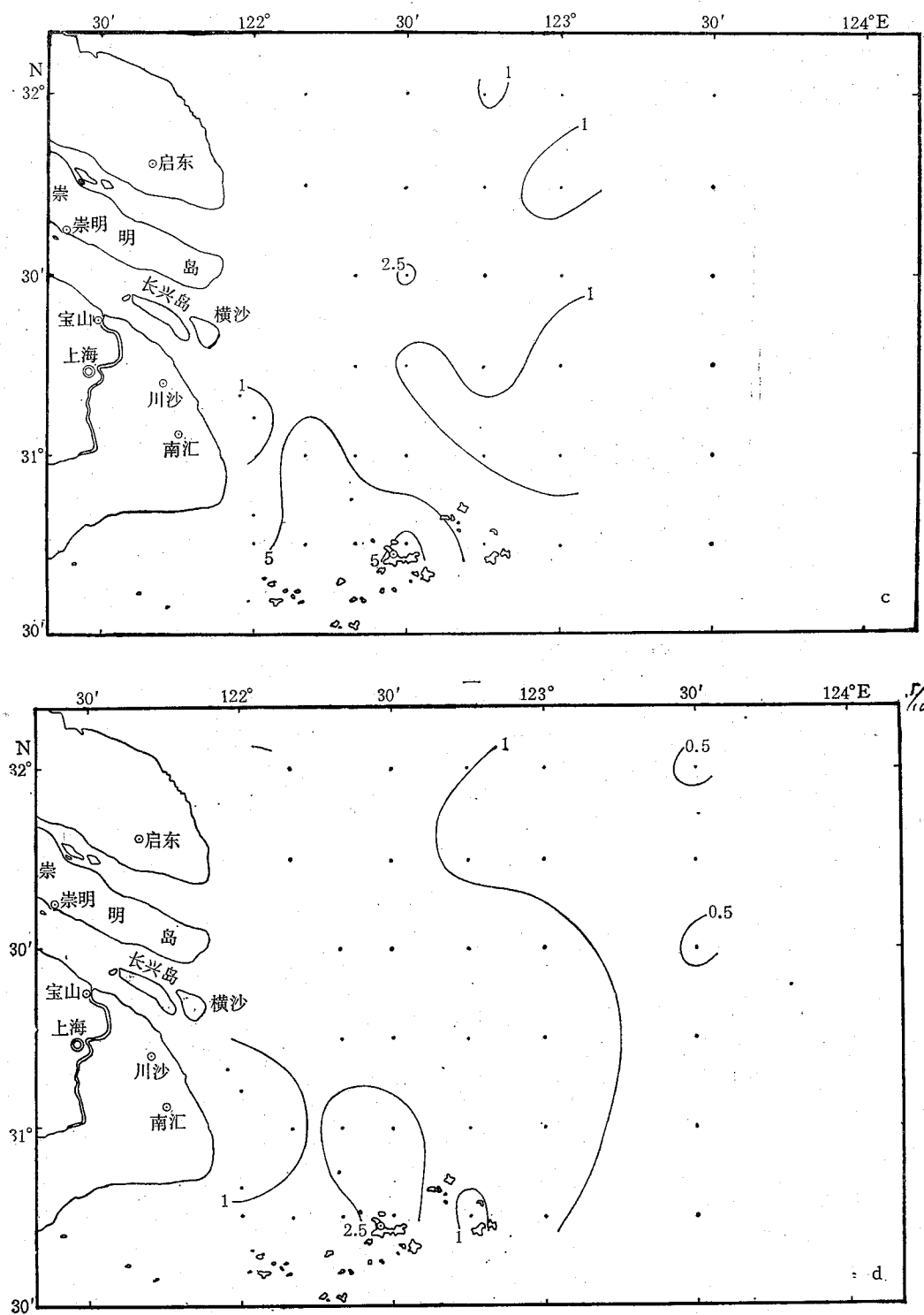
1. 浮游植物现存量——海水中叶绿素 a 含量 全调查区上层海水中叶绿素 a 年平均含量为 $3.3 \pm 2.6 mg/m^3$ 。调查区中部和南部表层海水盐度为 15—23 (以下皆指表层海水的理化状况)海域的叶绿素 a 年平均含量最高 ($7.5 mg/m^3$);海水盐度大于 23 的调查区东部和北部以及盐度小于 15 的西部江口叶绿素 a 的含量都较低。

夏季丰水期的 8 月,叶绿素 a 含量大于 $30 mg/m^3$ 的高值区出现于调查区中部

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2063 号。
参加本工作的还有本所潘友联、周汉秋和张永山同志。
收稿日期:1989 年 11 月 4 日。

($122^{\circ}30' - 123^{\circ}00'E$, $31^{\circ}00' - 31^{\circ}30'N$), 其东、西两侧的含量骤减; 调查区东南部 ($123^{\circ}30'E$, $31^{\circ}00'N$ 附近) 最低, 仅为 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ (图 1a)。其后随着径流量的减小, 叶绿



图1 长江口区浮游植物现存量(叶绿素 a, mg/m^3) 的平面分布

●调查站位

a. 1985年8月; b. 1985年10月; c. 1986年1月; d. 1986年4月。

素 a 含量也逐步下降,高值区随海水锋区位置的改变而出现于西部河口(9 月和 12 月)或嵎泗岛以北(10, 11 月和次年 1 月),且因长江进入枯水期,叶绿素 a 含量的平面分布也渐趋均匀(图 1b, c, d)。直到翌年 5 月,叶绿素 a 量渐升,大于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 的高值区出现于崇明岛正东($122^{\circ}30'\text{E}$, $31^{\circ}30'\text{N}$ 附近)。随着径流量的加大,叶绿素 a 量渐升,其高值区始终出现于冲淡水舌的前锋。

一年中叶绿素 a 含量的季节变化是从 3 月起缓慢上升,6—8 月都较高,平均为 $7.5\text{mg}/\text{m}^3$ 左右;1985 年 8 月最高达 $8.8\text{mg}/\text{m}^3$, 10 月即骤降为 $3.8\text{mg}/\text{m}^3$, 11—12 月为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 左右;1 月稍升,为 $1.8\text{mg}/\text{m}^3$, 形成一个小次峰(图 2)。叶绿素 a 平均含量的升降基本与长江径流量的增减趋势一致,但在径流量最大(超过 $45\,000\text{m}^3/\text{s}$)的月份,由于海水透明度太低,叶绿素 a 含量明显下降,如 1986 年 6 月及 8 月的径流量在 $30\,000$ — $40\,000\text{m}^3/\text{s}$ 之间,叶绿素 a 含量均为 $7.5\text{mg}/\text{m}^3$ 左右,7 月径流量上升为 $48\,760\text{m}^3/\text{s}$,叶绿素 a 却仅为 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ (图 2)。

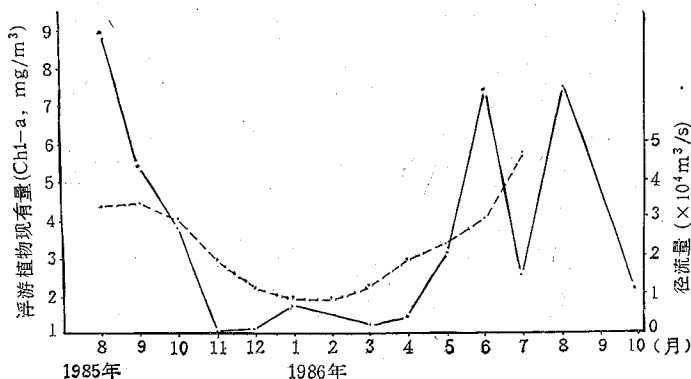


图 2 长江口区浮游植物现存量(叶绿素 a 含量)的季节变化及其与长江径流量的关系
—— 浮游植物现存量; - - - - 长江径流量

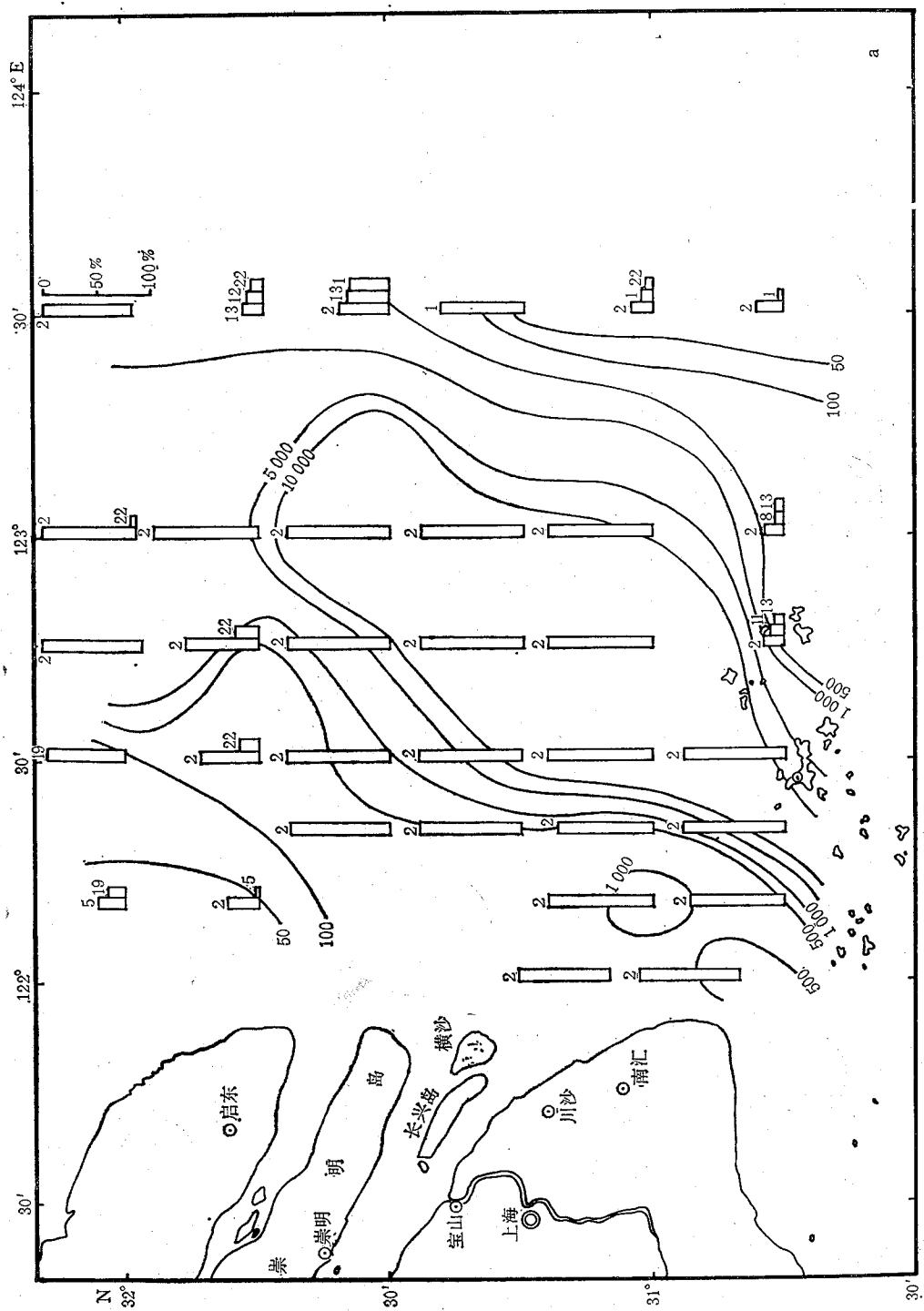
2. 网采浮游植物个体数量的分布及优势种组成

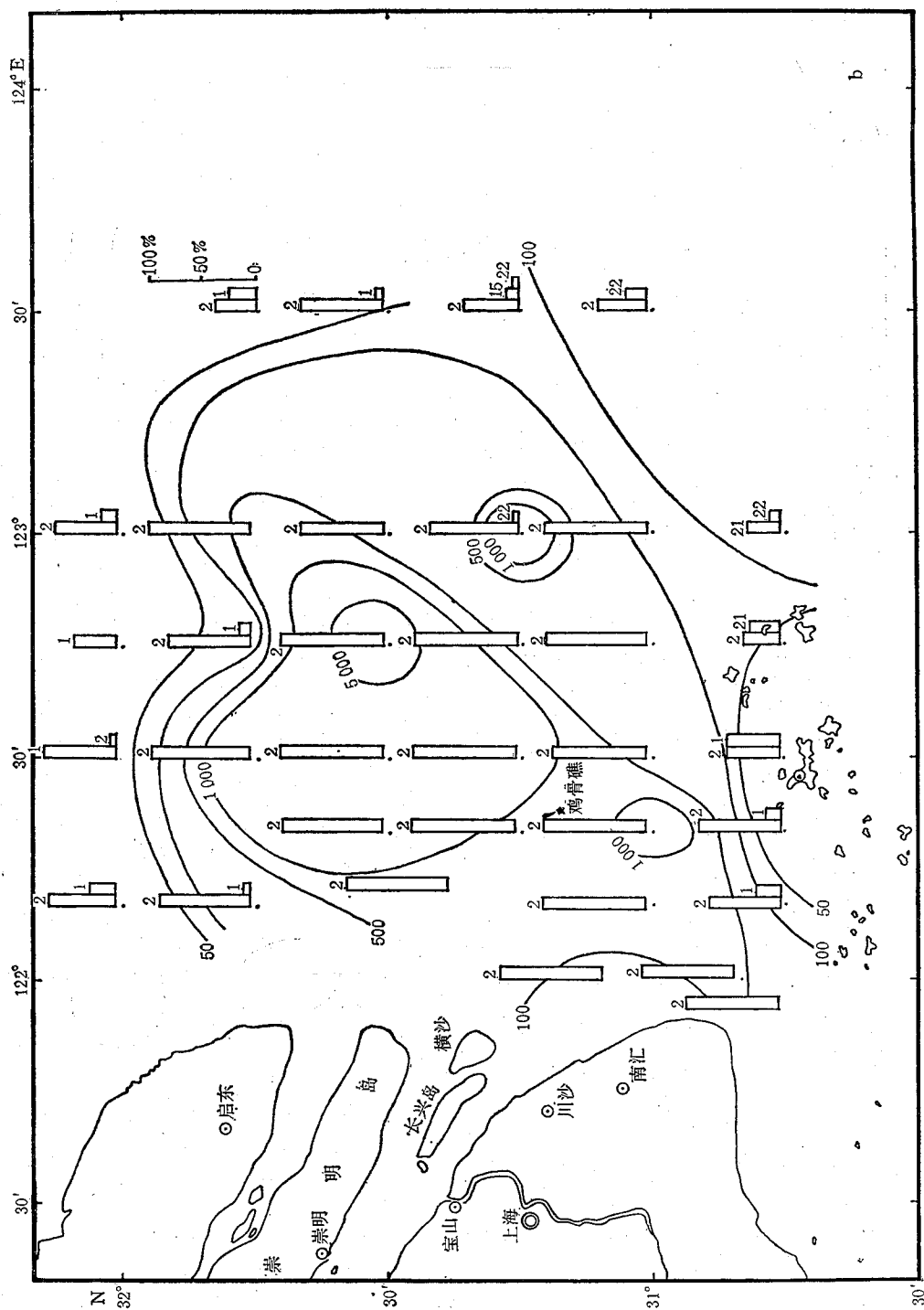
(1) 平面分布 一年中只有夏季在长江口冲淡水前锋 ($30^{\circ}40'$ — $31^{\circ}40'\text{N}$, $122^{\circ}20'$ — $123^{\circ}00'\text{E}$) 出现网采浮游植物(以下简称浮游植物)密集区,其分布趋势或自河口西南伸向东北,或自河口向东扩大,始终与长江冲淡水舌的分布范围一致。骨条藻 *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve 的数量占调查区浮游植物总个体数的 95% 以上。调查区西北部(江苏近海)和东南部外海都是浮游植物稀疏区,骨条藻也较少。其余季节浮游植物数量少,分布较均匀,以温带近岸性种占优势,还杂有热带近岸性种和少量淡水种;在调查区东北和东南隅曾采到热带外海种,它们的分布范围随水系的推移而变动。

1985 年 8, 9 月,在调查区中部 ($31^{\circ}00'$ — $31^{\circ}40'\text{N}$, $122^{\circ}30'$ — $123^{\circ}10'\text{E}$) 海水盐度为 15—21, 水温 25°C 左右的长江冲淡水前锋水域出现几乎全由骨条藻组成的浮游植物密集斑块。8 月,以嵎泗岛、花鸟山北约 30 海里一带的浮游植物密集度最高 (7×10^8 个/ m^3) (图 3a); 9 月,此斑块分布范围略扩大,最高密集区在鸡骨礁(概位 $31^{\circ}10'\text{N}$, $122^{\circ}22'\text{E}$) 附近,为 10^9 个/ m^3 (骨条藻占 99%)。斑块四周浮游植物密集度和骨条藻所

占比例都明显下降,例如8月,在调查区东南部,浮游植物仅有 10^5 个/ m^3 ,骨条藻占20%左右;调查区西北部启东外海浮游植物为 5×10^5 个/ m^3 ,骨条藻约占30%(图3a)。10月长江径流减弱,浮游植物密集区明显缩小,密集中心位于 $122^\circ 45'E$, $31^\circ 30'N$ 附近(盐度20—27,温度22—23 $^\circ C$,最高密度为 10^8 个/ m^3),骨条藻仍占99%(图3b)。11月至翌年3月,浮游植物分布较均匀,近河口海域(盐度为15—25)的密集度较大,为 10^6 个/ m^3 左右,除河口个别测站外,骨条藻所占比例都降至10%以下(图3c),4月近河口海域骨条藻又开始上升到50%左右。1986年5月,河口和调查区东北部浮游植物较多(最大密集度为 2×10^6 个/ m^3)。河口海域中骨条藻占50—97%;东北部的优势种为柔弱角刺藻(*Chaetoceros debilis* Cleve)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens* Grun.)等温带近岸性浮游植物,其中骨条藻约占11%,此外还有暖水性的粗根管藻(*Rhizosolenia robusta* Norman)等。其后进入丰水期,长江入海径流量增大,外海暖水也向岸增强,分别形成明显的水平锋区和垂直分层,浮游植物分布的斑块化突出,优势种组成也相应改变。6月,浮游植物密集在受径流影响较大的嵎洒岛以北(盐度13—16,温度26 $^\circ C$,最高密集度为 10^9 个/ m^3)和受黄海水影响显著的调查区东北部(盐度31,温度21 $^\circ C$,最高密集度为 3×10^7 个/ m^3),前者的优势种为骨条藻(占99%以上),后者为窄隙角刺藻(*Ch. affinis* Lauder)、拟弯角刺藻(*Ch. pseudocurvisetus* Margin)和梭角藻[*Ceratium fusus* (Ehr.) Dujardin]等。7月,在崇明岛以东和南汇以东海域都出现由骨条藻(均占98%左右)组成的浮游植物密集斑块,最高密集度分别为 8×10^7 个/ m^3 和 4×10^9 个/ m^3 。同时由于外海暖水潜居冲淡水下层,也出现少量热带性种,如距端根管藻(*Rhizosolenia calcar-avis* Schultz)、卡氏根管藻(*Rh. castracanei* Perag.)、齿角刺藻(*Ch. denticulatum* Lauder)、几内亚藻[*Guinardia flaccida* (Cast.) Per.],以及夏季习见于渤海和黄河的甲藻类如梭角藻和三角角藻[*Ceratium tripos* (O. F. Mueller) Nitz.]等。1986年8—10月,浮游植物密集在崇明岛外海和长江南水道口一带,最高密集度约为 5×10^8 个/ m^3 ,与上年同期一样,几乎全由骨条藻组成。但1986年8月的水文状况与1985年8月不同,浮游植物的密集中心也略有变化,前者河口表层盐度低于15的低盐水舌和调查区东南隅盐度高于30的外海水向调查区中部分布的范围都较后者为小(1986年8月调查区东南部表层26等盐线约与1985年8月的30等盐线分布位置相当),故前者在调查区中部形成的盐度梯度远小于后者,从而导致了1986年8月在调查区中部浮游植物的密集区范围远远小于1985年8月(图3a, d)。1986年8月调查区东南隅的浮游植物密集度不足 10^6 个/ m^3 ,以暖水性浮游植物为主,与7月的优势种略同。

(2) 季节变化 浮游植物个体数量全年平均为 3×10^7 个/ m^3 ,其数量高峰与海水中叶绿素a含量的高峰期一致,也出现于夏季丰水期(6—9月),平均为 9×10^7 个/ m^3 左右;冬季1月浮游植物虽略增多,但其平均数量仅为夏季的5%;11—12月和2—5月都是低谷期,仅为 4×10^5 个/ m^3 。一年中浮游植物个体总量的升降,完全取决于骨条藻的生长状况(图4)。7月浮游植物数量比6月和8月略低,这可能是由于巨大的径流量使海水透明度下降所致。1月,长江南水道口浮游植物数量较多,最高密度为 2×10^7 个/ m^3 ,使全区浮游植物的平均数量稍升,除个别测站多骨条藻外,绝大部分测站均以温带性硅藻占优势(图3c)。





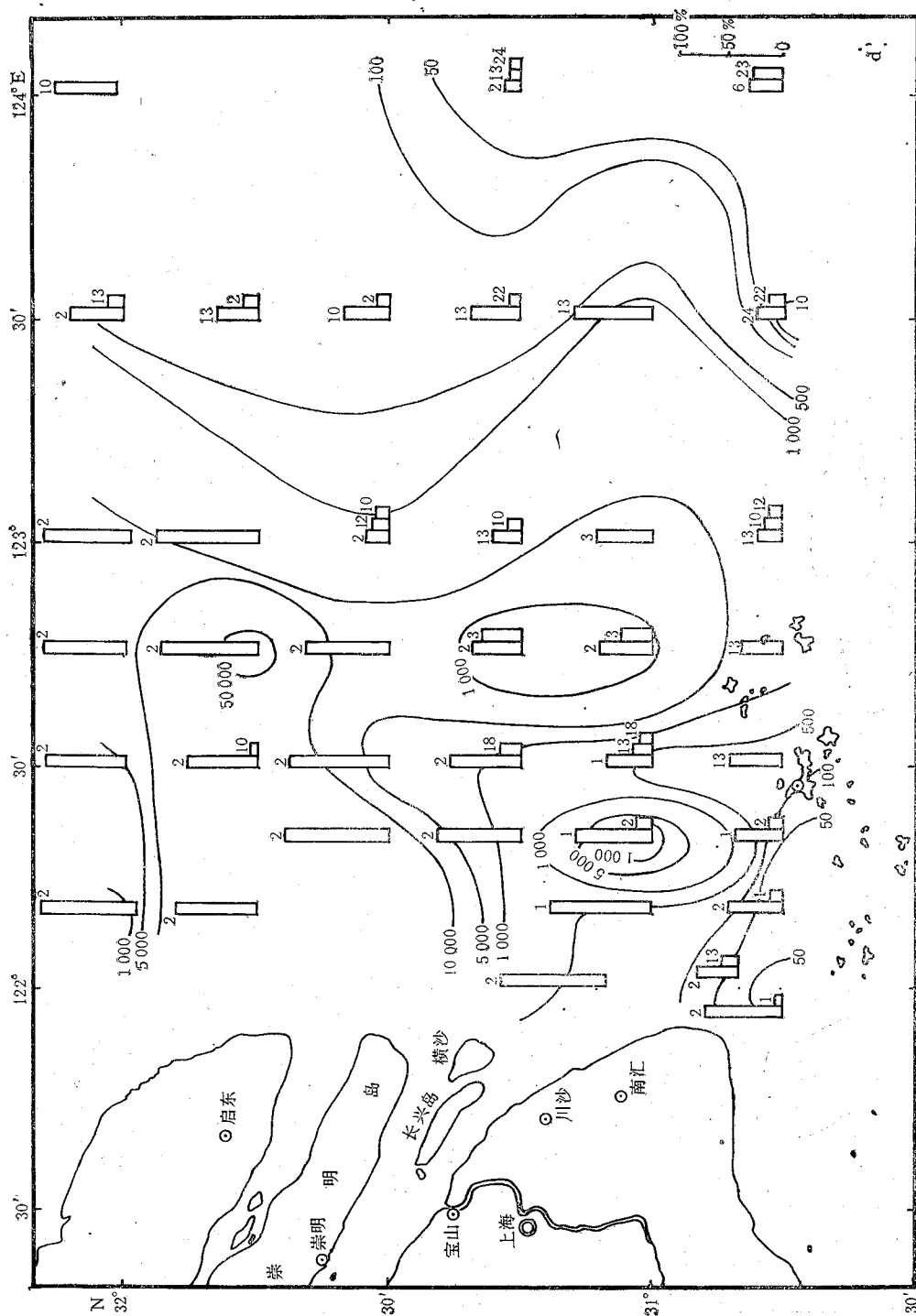


图3 长江口区浮游植物总量的平面分布及优势种组成

a. 1985年8月; b. 1985年10月; c. 1986年1月; d. 1986年8月

等值线为浮游植物个体总量 ($\times 10^4$ 个/m³); 直方图表示优势种在浮游植物总量中所占百分比; 直方图上方的数字为优势种的代号, 所代表种名如下:
 1. 圆筛藻; 2. 骨条藻; 3. 地中海指管藻; 4. 小环毛藻; 5. 粗根管藻; 6. 翼根管藻纤维型; 7. 胆端根管藻; 8. 长柱根管藻; 9. 窄隙角刺藻;
 10. 短胞角刺藻; 11. 弯角刺藻; 12. 拟弯角刺藻; 13. 洛氏角刺藻; 14. 卡氏角刺藻; 15. 齿角刺藻; 16. 中华盒形藻; 17. 蜂窠三角藻; 18. 布氏双尾藻; 19. 短角真弯藻; 20. 日本星杆藻; 21. 伏恩海毛藻; 22. 尖刺菱形藻; 23. 几内亚藻; 24. 梭角藻

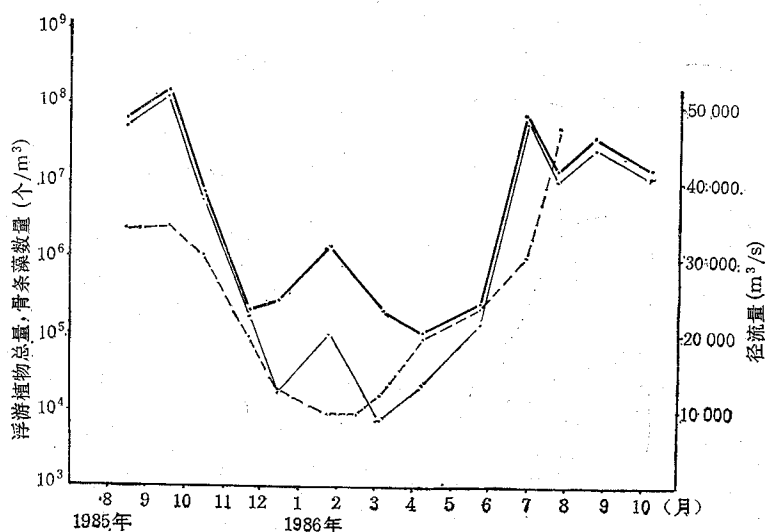


图4 长江口区浮游植物总量及骨条藻数量的季节变化
粗线为浮游植物总量；细线为骨条藻数量；虚线为径流量

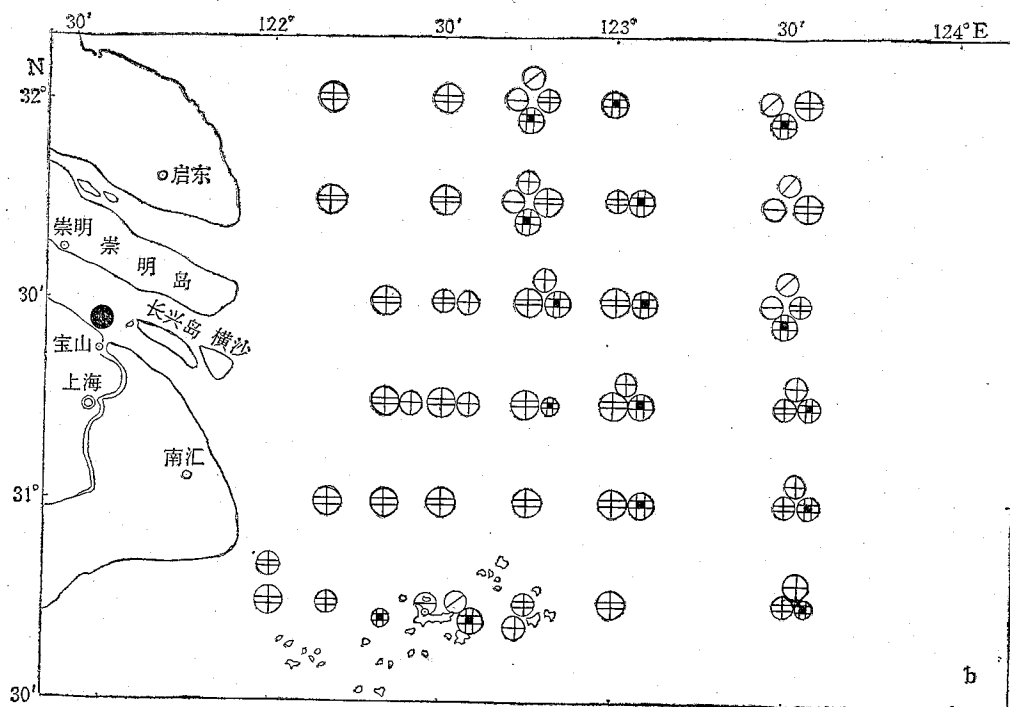
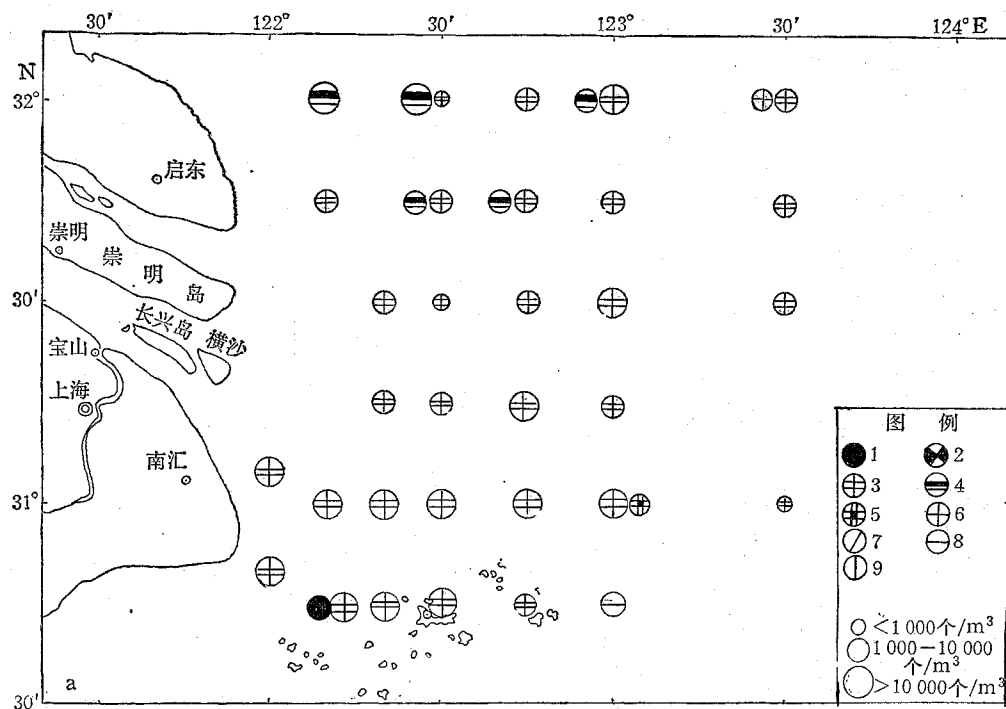
三、浮游植物主要类群的分布及生态特点

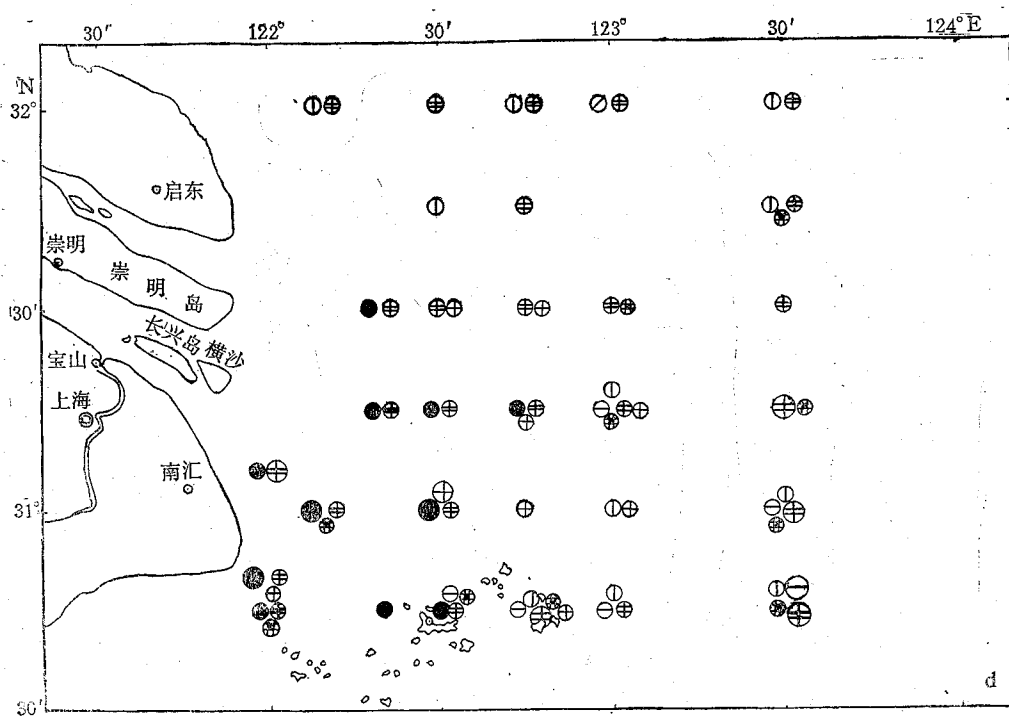
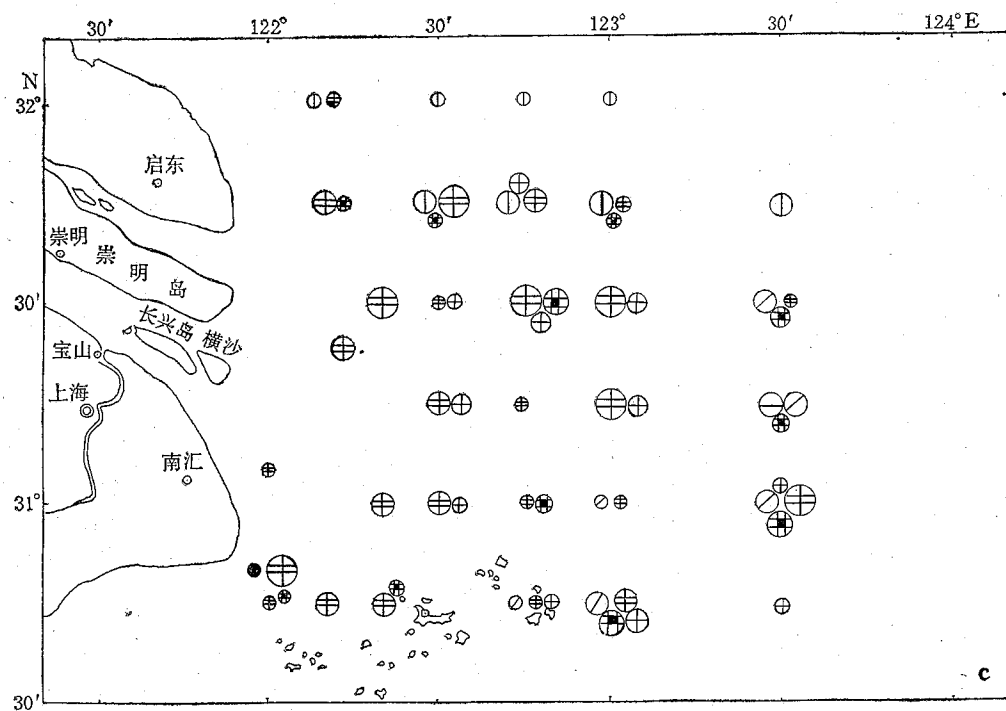
本次调查所获浮游植物种类与全国普查的记录近似，共鉴定160种，其中硅藻占80%，此外为甲藻及少数海产金藻和蓝藻。还有几种淡水浮游绿藻和金藻尚未鉴定到种。以上种类按其分布可分为以下四个生态类群。

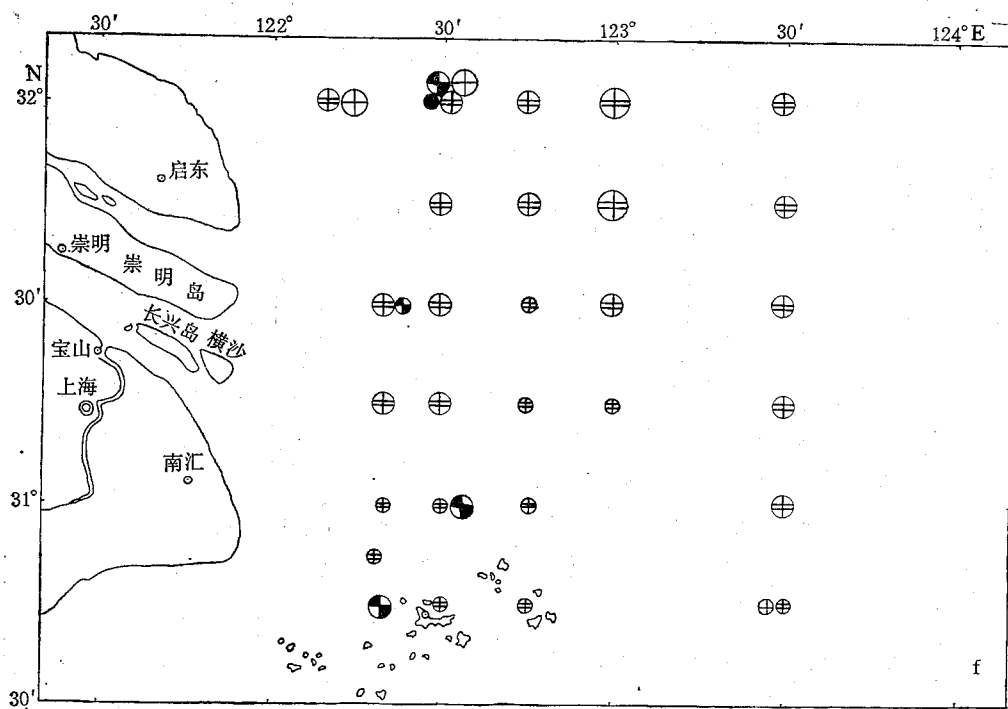
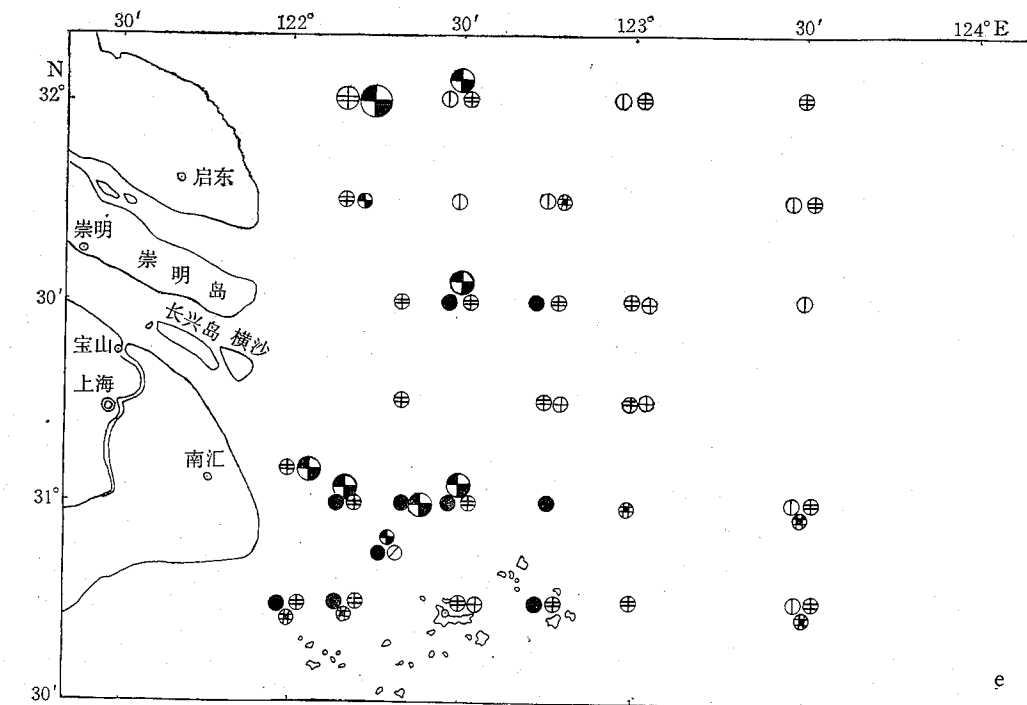
1. 淡水类群 盘星藻 (*Pediastrum* spp.)、栅藻 (*Scenedesmus* spp.) 和冰岛直链藻 (*Melosira islandica* O. Muell.) 等是本类群的代表。它们原分布于长江河道中，随径流进入江口海区，主要出现于5月至12月的河口东南海域，向东一般可分布到 $122^{\circ}30'E$ ，其分布范围指示着江水入海的流路方向和扩散范围。随着长江径流量的季节变化，这些淡水种在江口区相应地呈现不同的分布。以盘星藻为例，在6—9月丰水期，长江径流大量急剧倾泄入海，在口门一带尚来不及扩散，本种的分布范围较小(图5a, b, h)。及至11—12月，入海径流量减小，流速也趋于缓慢，在口门一带，冲淡水分布面加宽，本种的分布面也随之加宽，出现率加大，但在各测站采到的本种数量则不及丰水期(图5d, e)。同时根据1985年7月丰水期资料，本种的分布面和出现率均小于1986年同期，从而可以推断1985年丰水期的径流量大于1986年同期，这一推论与实测结果相符。1—4月，可能因水温较低，淡水浮游植物尚未大量繁殖，径流量又太小，在江口调查区未采到本种或其他淡水浮游植物(图5f)。

2. 河口半咸水及近岸低盐性类群

(1) 河口半咸水类群 以骨条藻、异常角刺藻 (*Chaetoceros abnormis* Pr.-Lavr.) 和锤状中鼓藻 [*Bellerochea malleus* (Brightw.) V. H.] 为主，它们常密集于河口半咸水域(如黄河口、珠江口)或近岸低盐水域(如渤海、黄海和黑海、亚速海等)。







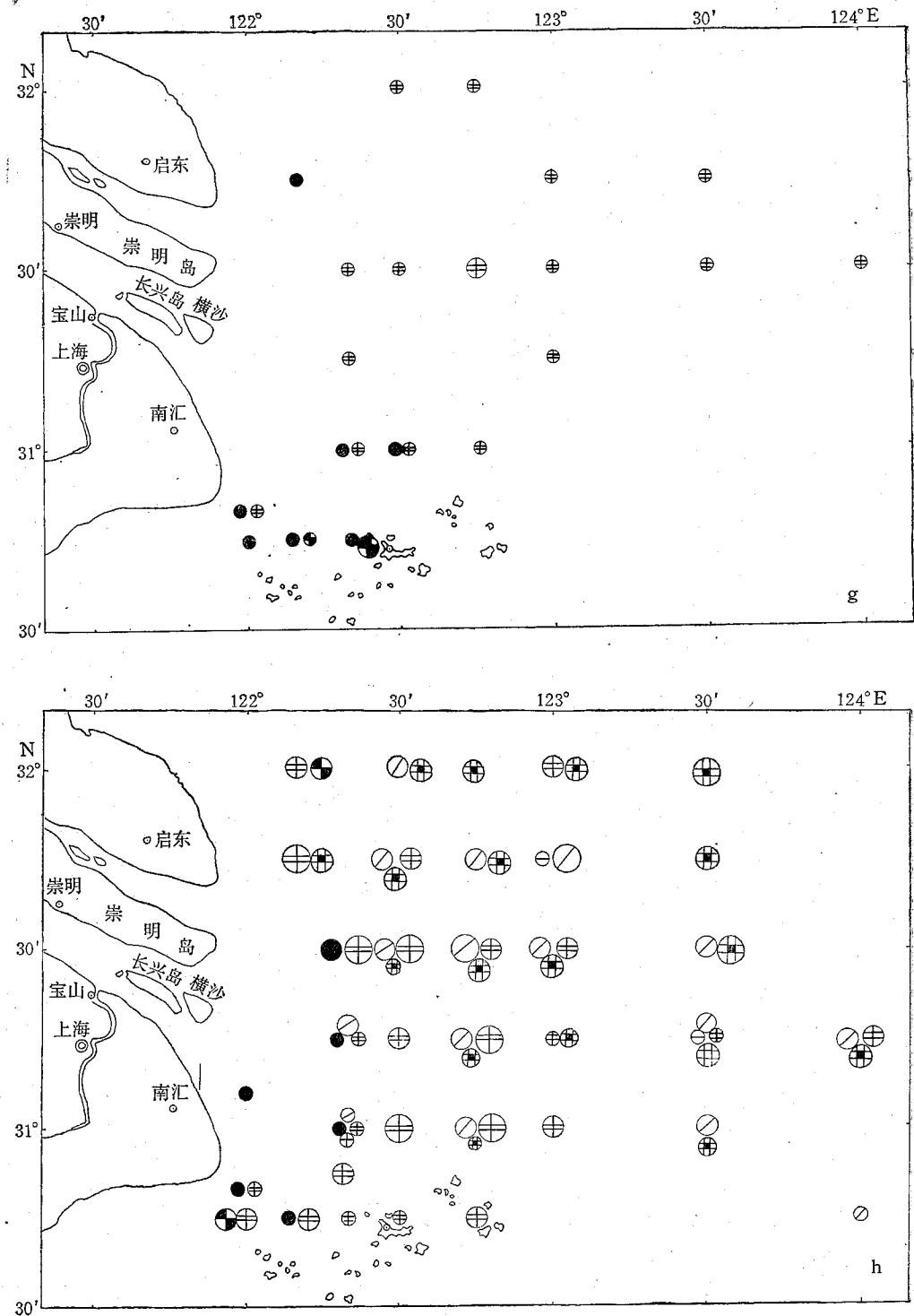


图5 长江口区浮游植物各生态类群代表种的分布

a. 1985年8月; b. 1985年9月; c. 1985年10月; d. 1985年11月; e. 1985年12月;
f. 1986年4月; g. 1986年5月; h. 1986年7月。

图例中的数码代表种名如下:

近岸性类群

淡水及半咸水代表种: 1. 盘星藻; 2. 锤状中鼓藻。温带近岸性代表种: 3. 布氏双尾藻; 4. 短角真弯藻。热带近岸性代表种: 5. 距端根管藻。

外海性类群

温带外海性代表种: 6. 长柱根管藻。热带外海性代表种: 7. 卡氏根管藻; 8. 克莱根管藻; 9. 囊甲藻

在本类群中,骨条藻在长江口调查区出现数量最大,其高数量区主要在夏季出现于江口盐度为 14—23,温度为 25℃ 左右的水域,其分布趋势与长江冲淡水舌一致。在海水盐度不足 23 的海域,本种在浮游植物总量中常占 95% 以上,最高曾达 99% 以上(图 3, 6)。8—9 月,本种最高密集度超过 10^8 个/ m^3 ,左右着夏季浮游植物总量的分布格局(详见浮游植物总量平面分布),其数量的季节变化也与浮游植物总量的升降一致(图 4)。本种广泛分布于世界温带海域,在我国近海温度在 0—28℃,盐度在 14—32 的海域都曾出现 10^7 个· m^3 以上的本种密集区(郭玉洁、杨则禹,1982,1992;郭玉洁,1990¹⁾),而且从不同海域分离出的本种适温、盐度范围不同(Werner, 1977),由此推测本种可能包括多个生理宗或生态型。

异端角刺藻和中鼓藻也都是调查区习见种,但其数量都远不及骨条藻。前者在夏季分布于长江口冲淡水区;后者主要在枯水期出现于长江口门附近,在长江南水道口的出现率及数量都高于北水道口,说明中鼓藻较异端角刺藻适盐更高,适温更低(图 5)。

(2) 近岸低盐性类群

a. 温带近岸性类群: 窄隙角刺藻主要密集在温度 20—25℃, 盐度 23—31 一带水域,在暖季的出现率和数量都较高,数量高峰出现于 6 月,冬季几乎匿迹。夏季近岸盐度小于 23 的水域范围很小,而远岸又高于 32,都不适于本种密集,本种始终密集于冲淡水

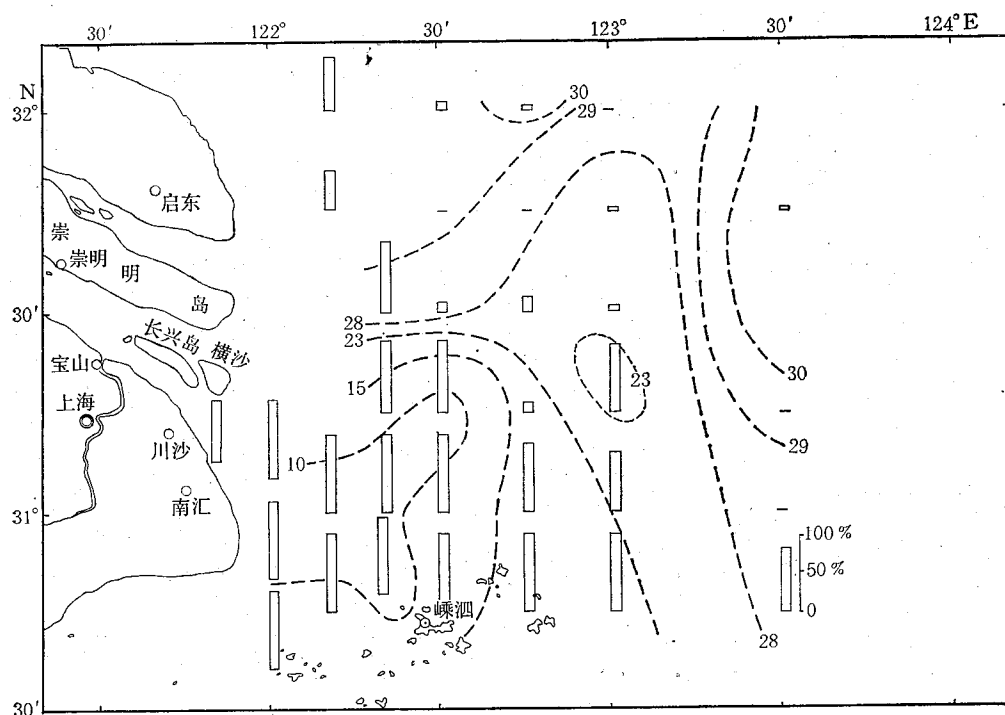


图 6 长江口区骨条藻在浮游植物总量中所占比例及其与长江冲淡水的联系 (1986 年 6 月)

直方图表示骨条藻所占比例;虚线为表层海水等盐线

1) 郭玉洁,1990,山东省海岸带和海涂资源综合调查报告,292—316,中国科学技术出版社。(内部资料)

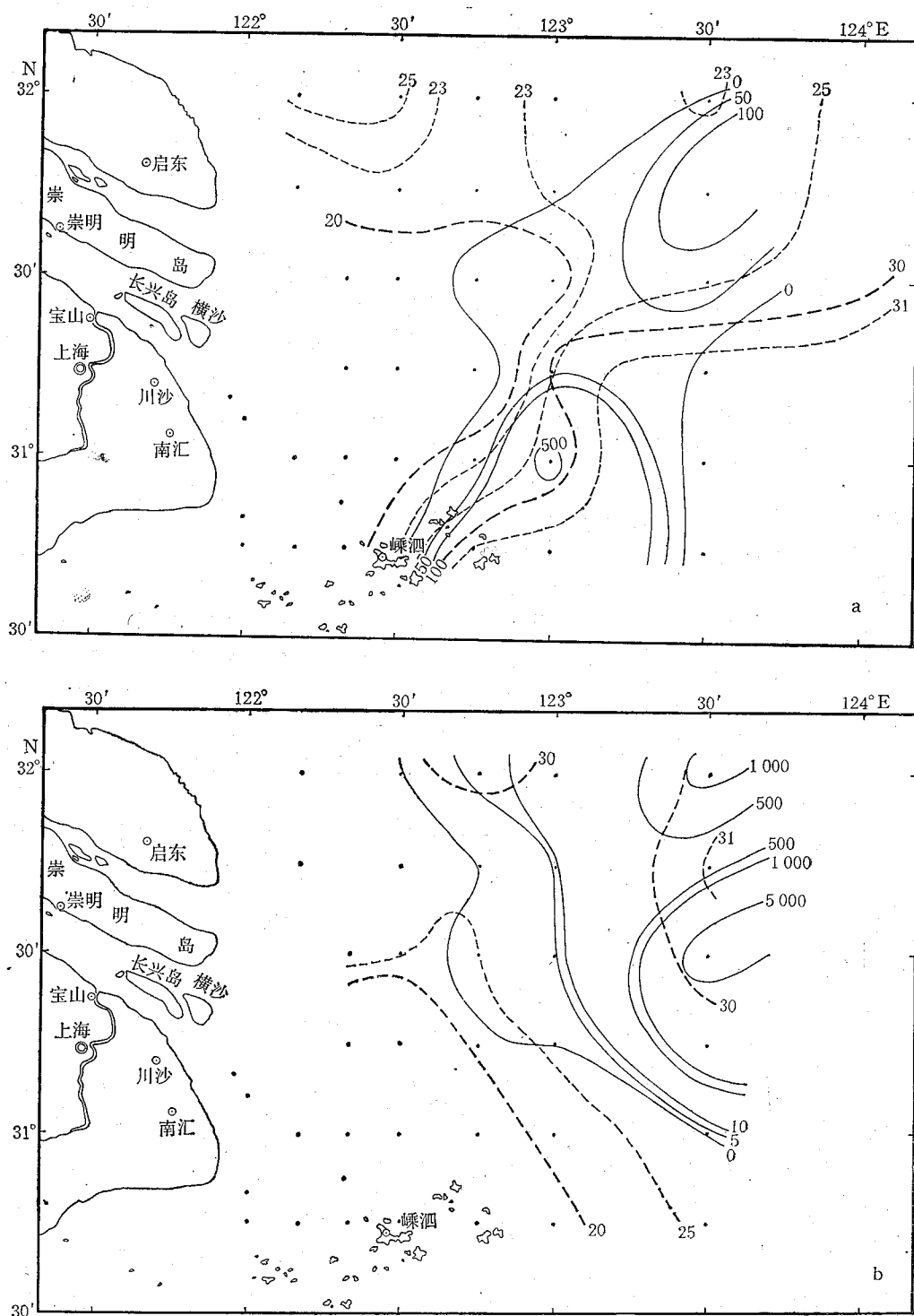


图7 长江口区窄隙角刺藻的数量分布及其与海水盐度的关系

a. 1985年8月; b. 1986年6月

—— 窄隙角刺藻数量等值线 (10^3 个/ m^3); ---- 表层海水等盐度线; ● 调查站位

前锋(近岸水与远岸水交汇水域)。冬季江口海水盐度虽上升,但水温低,亦不适于本种生长,其分布区主要出现于调查区东部水域(图 7a, b)。

1985 年 8 月, 本种密集区从南部嵎泗附近向东北方呈带状分布于长江冲淡水前锋(盐度在 23—30), 最高密集度达 6×10^5 个/ m^3 (图 7a)。9 月, 调查区海水盐度略升, 本种密集在调查区北部盐度在 28 左右的水域和嵎泗一带(盐度在 25 左右), 最多达 2×10^5 个/ m^3 ; 调查区中部水温不足 20°C , 本种很少。10—12 月, 近岸水温已降至 15°C 以下, 仅东南部 20°C 左右海域中出现 10^3 个/ m^3 。1986 年 1—3 月, 本种在调查区几乎绝迹; 至 6 月又明显增多, 主要分布在调查东部盐度为 30 左右的海域, 最高密度达 5×10^6 个/ m^3 ($31^\circ30'\text{N}$, $123^\circ30'\text{E}$) (图 7b)。7 月, 全调查区本种都普遍减少, 唯中部 25°C 左右水域中较多(4×10^6 个/ m^3)。8—10 月, 本种数量都少于 1985 年的相应月份。

翼根管藻印度变型 [*Rhizosolenia alata* f. *indica* (Per.) Ost.] 的分布格局与窄隙角刺藻相似, 但本种数量较少, 亦主要出现于暖季, 冬季极少。根据其密集中心的温、盐度条件分析, 本种的适温、盐度分别为 25°C 和 30 左右, 可能比窄隙角刺藻稍高。

布氏双尾藻 [*Ditylum brightwelli* (West) Grun.] 和尖刺菱形藻也都是本调查区的习见种。它们的耐盐范围很宽, 在盐度为 31.5 的远岸水域也曾采到, 其数量高峰都出现在 9 月(图 5b), 次峰在 5 月。尖刺菱形藻的数量尤多 (3×10^6 个· m^3 , 1985 年 9 月)。

伏恩海毛藻 (*Thalassiothrix frauenfeldii* Grun.) 也属于这一类群, 不过其耐温、盐度上限较上述两种稍高, 在本调查区其数量高峰也出现在 9 月。

三角角藻和梭角藻都是在渤海和黄海夏季习见的甲藻, 在东海暖季也普遍出现; 除长江南水道口外, 在全调查区几乎都曾采到, 但数量不多。其数量高峰都出现于 6 月, 前者的最高密集度为 6×10^5 个/ m^3 (密集中心在 $31^\circ30'\text{N}$, $123^\circ00'\text{E}$), 后者为 10^6 个/ m^3 ($31^\circ45'\text{N}$, $122^\circ45'\text{E}$)。

短角真弯藻 (*Eucampia zoodiacus* Ehr.) 在本调查区仅出现于 8, 9 月, 其分布区局限于长江口以北海域(密集中心在 $32^\circ00'\text{N}$, $122^\circ30'\text{E}$, 6×10^5 个/ m^3 , 1985 年 8 月)。1986 年 8, 9 月本种的数量较 1985 年同期为少。它的分布明显地指示着夏、秋季黄海沿岸水南下时因受强大的长江冲淡水阻挡, 自江口以北转向东分布的形势, 但其出现率及数量在本区远逊于渤海和黄海(图 5a, b)。

b. 热带近岸性类群: 这一类群在本调查区出现的种数较多, 如齿角刺藻、平滑角刺藻 (*Ch. laevis* Leud.-Fortm.)、拟弯角刺藻、洛氏角刺藻和距端根管藻等。它们的出现代表着高温高盐外海暖水对调查区的影响。1986 年 6 月, 它们出现于调查区东部沿 124°E 断面的测站上。7 月, 随着外海暖水向岸扩大分布, 它们一般向西分布到 $122^\circ30'\text{E}$, 个别种可分布到 $122^\circ10'\text{E}$ 。在调查区东北角, 它们的出现率较东南角更高, 各种的最高密集度都在 10^4 个/ m^3 以上(图 5h)。1985 年 8, 9 月, 在调查区南部也陆续出现这些热带近岸性种, 入冬后绝迹。

3. 外海高盐类群

(1) 温带外海性类群 在调查区还采到辐射列圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus* Ehr.)、直纹圆筛藻 (*Cosc. lineatus* Ehr.)、离心列圆筛藻 (*Cosc. excentricus* Ehr.)、中华盒形藻 (*Biddulphia sinensis* Grev.) 等温带外海性种。它们较均匀地分布于盐度

大于 30 的调查区外海水域,一般在春末至初夏和秋季的数量较多。圆筛藻属的种类因其壳上花纹甚细,定量时无法辨认到种,只能合并计算,故一年中几乎每月都有一定数量的圆筛藻出现,最高密集度达 2×10^5 个/ m^3 (1986 年 8 月)。

(2) 热带外海性类群 在调查区还出现少量热带外海性种,如哈氏半盘藻 [*Hemidiscus hardmannianus* (Grev.) Mann]、粗根管藻、梭形囊甲藻双凸变型 (*Pyrocystis fusiformis* f. *biconica* Kof.) 和二齿双管藻 (*Amphisolenia bidentata* Schr.) 等。它们仅在夏、秋季出现于调查区东部和东南部水域,7—10 月出现数量较多,指示着热带外海水对本调查区的影响(图 5a, b, c, h)。但绝大部分记录于东海黑潮区的热带外洋性种(郭玉洁、杨则禹,1983)在本次调查中都未见到,说明此次在本调查区中所采到的还是热带外海性类群中耐温、盐度下限较低的种。

4. 海洋广布性类群 菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides* Grun.) 是广泛出现于世界各海区的广布性种,在近岸水域数量尤多(郭玉洁等,1978)。

在本调查区,本种的分布格局与一般温带近岸性种近似,但其分布范围较广,除冬季和海水盐度不足 15 的长江南水道口附近海域外,在各测站都曾采到本种标本,说明其耐温、盐度的范围较一般近岸种更宽。

本次调查中,本种在 7—9 月的数量较高。9 月,本种主要密集在江口以北水域,其最高密集度为 4×10^6 个/ m^3 ,嵎洒近岸更高,达 10^7 个/ m^3 。10 月,其出现率下降,主要密集在调查区中部,最高密集度为 3×10^5 个/ m^3 。其他月份,本种零星出现,无明显密集中心。

四、小结及讨论

1. 浮游植物的分布与水文环境的关系 长江口一带海域兼受苏北沿岸流、长江和钱塘江径流、东海外海水、台湾暖流和黄海冷水的影响,水文状况复杂多变,尤以分布在上层的苏北沿岸水及长江、钱塘江径流对浮游植物种类和数量分布的影响更为直接。

(1) 长江丰水期(6—9 月),海水中叶绿素 a 含量与浮游植物个体数量的高量区都出现于调查区中部的长江冲淡水区($122^{\circ}20'$ — $123^{\circ}00'E$, $31^{\circ}00'$ — $31^{\circ}30'N$ 一带,海水盐度为 15—23)。在此水域以西的长江口门区(海水盐度为 10)因海水透明度太低(不足 1 m)、而其以东海域(盐度大于 30)又因受低营养盐含量的外海水影响,叶绿素 a 含量和浮游植物都渐减少。冬季长江枯水期(11 月—次年 4 月),海水中叶绿素 a 含量和浮游植物密集度由近岸向外海递减(符合一般近岸海区浮游植物的分布规律),但递减梯度很小,分布比较均匀。同时根据丰水期在浮游植物密集区中,低盐性的骨条藻占浮游植物总个体数的 95% 以上的分布特点,充分说明长江径流对河口区浮游植物的密集起着很大的促进作用。因此,根据骨条藻的密集度也可说明长江冲淡水的动态。例如 1986 年 6 月,以骨条藻占优势的浮游植物密集中心分布在 $122^{\circ}45'E$ 以西盐度小于 18 的海域;但在 $123^{\circ}E$, $31^{\circ}15'N$ 又出现一个骨条藻所占比例很大(平均占 86%,为其以东和以西测站骨条藻所占比例的 1.5 倍)的浮游植物密集区,其位置正与盐度为 23 的孤立低盐点一致,由此可估计,这里可能是被外海水从河口低盐水中挤出而遗留下的一个低盐水团(图 6)。

6月在H₆站(30°45'N, 123°30'E)和C₅站(32°N, 123°E)出现暖水近岸性的距端根管藻、翼根管藻纤细变型 [*Rhizosolenia alata* f. *gracillima* (Gleve) Grun.]、克氏根管藻 (*Rh. clevei* Ostf.) 和卡氏根管藻等暖水性种,说明调查区东南和东北角已受到外海暖水影响。7月,这些暖水种一直向西分布到122°30'E(图5h);8月,它们更向西进。11月,它们又退到122°30'E以东,其后更向东退去。此外在丰水期还有淡水浮游绿藻(如盘星藻、栅藻等)和淡水硅藻(如岛直链藻和孟氏小环藻等)从江中向江口及其东南分布,指示着长江径流入海后的扩散范围。

所以,夏季调查区的浮游植物群落实际上是由冲淡水低盐种和暖水高盐种上、下叠置组成;只是由于未进行分层取样调查,尚不能说明这些生态类群的垂直分布界限。

此外,在调查区西南部嵎泗列岛及其以东也出现异常角刺藻、布氏双尾藻等近岸低盐种,而在同一纬度上、122°30'E以东的马鞍列岛(概位30°40'—30°50'N, 122°35'—122°50'E)则很少见到这些低盐种,说明钱塘江径流对嵎泗列岛一带也有一定程度的影响。

(2) 在长江枯水期(12月至翌年3月),口门断面(沿31°30'N设置)浮游植物总量从近岸向外海递减,骨条藻的数量也大减。同时淡水种和暖水种的出现率皆下降,甚至从调查区消失。除长江南水道口个别测站外,浮游植物密集区由日本星杆藻 (*Asterionella japonica* Cleve)、小环毛藻 (*Corethron hystris* Hensen)、布氏双尾藻等温带近岸性种组成,浮游植物的分布也较丰水期均匀,表明冬季的海况环境趋于相对稳定。其后随着径流的增大,骨条藻再度大量繁生,又逐渐形成丰水期浮游植物的数量分布格局。

2. 入海径流量与浮游植物数量变动的关系 综合分析在本调查区历年来(1958—1959年,1960—1961年,1985—1986年)周年浮游植物数量和径流量变动的资料,获以下结果。

(1) 径流量与浮游植物季节变化的关系 一般温带海区,随着水温的季节性变动规律,浮游植物的种类组成也相应改变。浮游植物的数量常呈双周期型的季节变化,即在春、秋季各有一个浮游植物数量高峰,夏季和初冬是浮游植物数量的低谷期。在近岸浅海区往往因受陆地小气候和径流的影响,上述两个浮游植物数量高峰的出现月份略有先后。但在大河口区则不同,长江口区受强大径流影响,尤其在夏季江水汛期,低盐近岸种和半咸水种大量增生,形成一年中浮游植物的数量高峰,而且在黄河口也以汛期的浮游植物数量最高¹⁾。另外根据多年调查资料,在胶州湾中虽也常出现上述低盐种和半咸水种,但入湾径流量很小,故从未出现过这样的夏季浮游植物数量高峰(郭玉洁、杨则禹,1992)。可见巨大的人海径流量是决定温带近岸浅海形成夏季浮游植物数量高峰的主要因素。

(2) 径流对浮游植物数量及优势种组成的影响 长江丰水期和枯水期浮游植物的数量和其中骨条藻所占比例明显不同。1959年丰水期,浮游植物数量为该年枯水期的2000倍,径流量约为枯水期的5倍;1960年丰水期浮游植物总量为枯水期的40倍,径流量为4倍。虽然各年丰、枯水期浮游植物数量与径流量间的比值不同,但平均看来,丰水期的径流量(在30000—40000m³/s范围内)约为枯水期的4—5倍,丰水期的浮游植物可

1) 郭玉洁, 1990, 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告, 292—316, 中国科学技术出版社。(内部资料)

为枯水期的 40—2 000 倍,一年中浮游植物数量与径流量有呈正相关的趋势(表 1)。

(3) 在年际之间,丰水期浮游植物总量与径流量也呈正相关趋势。夏季径流量为 34 000—40 000 m³/s 左右时,浮游植物总量常在 10⁸ 个/m³ 以上(表 1)。丰水期,长江口骨条藻个体数平均占现场浮游植物总个体数的 83% 以上,最高达 99% 以上;枯水期骨条藻平均占 7%,最高为 18%,除长江南水道口个别站外,大部分测站都未采到骨条藻(表 1)。

表 1 长江口区浮游植物总量、优势种组成与长江径流量

调查日期	枯 水 期			调查日期	丰 水 期		
	浮游植物 (个/m ³)	骨条藻所占 比例(%)	长江径流量 (10 ² m ³ /s)		浮游植物 (个/m ³)	骨条藻所占 比例(%)	长江径流量 (10 ² m ³ /s)
1959 年 1 月	10 ⁵	1	76	1959 年 7 月	5×10 ⁸	41	457
				8 月	3×10 ⁷	57	326
				9 月	10 ⁸	85	237
				平 均	2×10 ⁸	61	340
1961 年 1 月	8×10 ⁶	1	82	1960 年 7 月	7×10 ⁷	99	422
				8 月	10 ⁹	99	368
				9 月	10 ⁸	99	412
				平 均	4×10 ⁸	99	401
				1985 年 8 月	10 ⁸	99	338
				9 月	10 ⁹	99	342
				平 均	6×10 ⁸	99	340
1986 年 1 月	10 ⁵	18	96	1986 年 6 月	10 ⁸	98	305
				7 月	2×10 ⁷	83	475
				8 月	10 ⁸	71	338
				平 均	10 ⁸	84	372
1 月平均	3×10 ⁶	7	85	7,8,9 月平均	3×10 ⁸	83	372

根据上述本海区三次周年调查资料,夏季浮游植物高峰期中,7 月的浮游植物数量往往略低于 6 月和 8,9 月。1986 年 7 月长江径流量最大 (47 500 m³/s), 浮游动物生物量也最高 (702 mg/m³), 这些都是引起浮游植物数量下降的因素; 但浮游植物数量与浮游动物生物量呈正相关 ($r = 0.568$, $n = 12$, $P < 0.001$), 说明调查区内有足够浮游动物捕食的浮游植物。根据 1960 年的调查资料,7 月浮游动物生物量虽在高峰期, 浮游植物数量亦无下降迹象。1958—1959 年浮游动物高峰期在 6 月; 7 月浮游动物的生物量较 6 月下降 29%, 而 7 月浮游植物数量却较 6 月上升 1 000 倍, 浮游动物与浮游植物的数量变动并不按比例呈反方向进行, 可见本调查区浮游动物的捕食强度尚非导致浮游植物数量变动的主要原因。

根据本次调查,浮游植物年平均数量与长江径流量呈正相关, 相关系数 $r = 0.498$ ($n = 12$, $P < 0.001$); 但当径流量在 45 000 m³/s 以下时 (即不包括径流量最大的 7 月份), 相关系数更大 ($r = 0.714$, $n = 11$, $P < 0.001$)。因此可以推断, 过大的径流量使

江口海水透明度下降,反而不利于浮游植物生长,这一点与江口海水盐度小于5的水域浮游植物数量较少的调查结果一致。

此外,根据调查区浮游植物密集在长江冲淡水与外海水相汇所形成的海洋锋区和下层水涌升区的特点,外海水的强弱、跃层的深度和位置等也都是影响浮游植物数量变动的原因。不过与强大的长江径流相比,外海水对浮游植物数量动态的影响相对较小,但外海水带来许多暖水性种,对浮游植物的种类组成、种的多样化等有明显作用。

3. 海水营养盐含量与浮游植物生长的关系 根据实验生态研究结果,海洋浮游植物对溶解态无机磷和氮需求的最适浓度下限分别为 18 mg-P/m^3 及 80 mg-N/m^3 (朱树屏,1942),在渤海和黄海观测的结果是,浮游植物数量高峰期的前月或当月海水中磷酸盐常达 15 mg-P/m^3 以上¹⁾。在本调查区除沿 124°E 的各测站营养盐含量一般低于上述界限外,近岸各测站的营养盐含量都很充足,不致成为浮游植物生长的限制因子。

4. 关于骨条藻的生态性质 骨条藻是在我国近海普遍出现的近岸性硅藻,关于其生长的最适温、盐度却报告不一。作者在青岛进行的实验生态记录,本种在 $8-15^\circ \text{C}$ (盐度为30左右)时大量生长,超过 20°C 则不能生存;这与胶州湾春季观测的结果一致,但在胶州湾夏季本种数量还出现一次小高峰。在厦门实验室培养结果,本种最适生长环境为 $20-25^\circ \text{C}$,盐度25—30 (金德祥等,1965);而在黄河口及长江口本种则密集在 25°C 左右、盐度为14—20的夏季²⁾。由此估计,它们可能是同一种的不同生理宗,在没有更详细的实验生态资料之前,对骨条藻的生态性质应按其不同生长区分别考虑,不能一概而论。

5. 三峡工程建成后对浮游植物影响的估计

(1) 对数量的影响 长江口调查区,10月海水中叶绿素a含量和浮游植物数量都明显低于夏季,其主要原因是10月的人海径流量减少,虽然海水透明度加大,沿岸污水排放使江口海水营养盐含量仍可得到补充,但海水盐度上升,冲淡水面积较夏季明显缩小,影响了低盐性优势种骨条藻的繁殖。根据历史资料,长江口冲淡水团(海水盐度小于22)的东界,丰水年(1980年)10月在 $122^\circ 30' \text{E}$,而枯水年(1978年)10月却在 $122^\circ 15' \text{E}$ 以西,冲淡水面积缩小约800平方公里,从而缩小了骨条藻的适宜生长范围。三峡工程建成后,在10月截流,冲淡水范围将进一步缩小,骨条藻的数量也将相应下降,对浮游植物总量势必产生不利影响。因此海水盐度上升对近岸浮游植物生长的不利影响将掩盖营养盐含量和海水透明度等因素的有利作用,而成为限制浮游植物数量增长的主要矛盾。

此外,根据调查区浮游植物密集区的种类组成中以骨条藻占压倒优势和枯水期浮游植物的均匀分布状况,估计三峡工程在枯水期(1—4月)放水调节水量后,虽可降低河口区的海水盐度,但仍达不到骨条藻生长的最适条件(盐度14—20,温度 $25-28^\circ \text{C}$),因此也难以使骨条藻的数量有大幅度的增长,对浮游植物的密集度无明显影响。

(2) 对种类组成的影响 三峡工程截流后,苏北沿岸水和杭州湾近岸水对长江口区的影响相对加大,更重要的是外海高温高盐水更向岸逼近,并且带来更多的暖水种,使现有的江口低盐浮游植物群落的结构和生态性质发生变化。

1) 国家科委海洋组海洋综合调查办公室编,1977,中国近海浮游生物的研究,全国海洋综合调查报告,第8册,1—159。(内部资料)

2) 郭玉洁,1990,山东省海岸带和海涂资源综合调查报告,292—316,中国科学技术出版社。(内部资料)

工程建成后,如能从临近海区移植一些能在新环境中迅速分裂生长的浮游植物,改变长江口区原有的浮游植物区系,藉助于河口区丰富的营养盐含量和提高了的海水透明度,或可弥补因骨条藻生长不利而带来的损失。不过外海高温高盐水对本海区的影响很大,新移入的浮游植物需要经过较长的时间才能适应新环境,非短期内所能奏效。

参 考 文 献

- 全德祥等,1965,温度和盐度对三种海洋浮游硅藻生长繁殖的影响,海洋与湖泊,7(4): 373—384。
- 郭玉洁、叶嘉松、周汉秋,1978,西沙、中沙群岛附近海域浮游硅藻类分类的研究,中国西沙、中沙群岛海域海洋生物调查研究报告集,科学出版社,11—54。
- 郭玉洁、杨则禹,1982,1976年夏季东海陆架区浮游植物生态的研究,海洋科学集刊,19: 11—32。
- 郭玉洁、杨则禹,1992,胶州湾的浮游植物,胶州湾生态学,科学出版社。
- Chu, S. P., 1942, The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae, Part I Method and culture media, *J. Ecology*, 30: 284—352.
- Guo Yujie and Yang Zeyu, 1983, Ecological studies on the phytoplankton of the Kuroshio in the East China Sea during the summer 1978, In: Proceedings of the joint China-U. S. Phycology Symposium, 275—290.
- Jeffrey, S. W. and Humphrey, G. F., 1975, New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 107: 191—194.
- Werner, D., 1977, The biology of diatoms, In: Botanical Monographs Vol. 13, Blackwell Sci. Publ., 1—498.

QUANTITATIVE VARIATION AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF PHYTOPLANKTON IN THE ESTUARINE AREA OF THE CHANGJIANG RIVER*

Guo Yujie and Yang Zeyu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

During the period of 1985—1986, the annual average of chlorophyll-a contents of sea water and phytoplankton cells in the estuarine area of the Changjiang River were 3.3mg/m³ and 3×10⁷ cells/m³, respectively. The tendencies of the horizontal distribution and seasonal variation of the chlorophyll-a were very similar to those of the phytoplankton. In the flood season (from June to September) the phytoplankton patch of the largest range and the greatest density of cells occurred in the middle part of the investigated area and only a small patch whose cell density was one fifth of that of the flood season occurred near the estuary in the other months.

In summer, the composition of the phytoplankton was very complex, the fresh-water species, *Scenedesmus* spp. and *Pediastrum* spp., appeared in the estuary, the eurythermal and low saline species such as *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve occupied the middle part and

* Contribution No. 2063 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

some tropical species, *Hemidiscus hardmannianus* (Grev.) Mann and *Amphisolenia bidentata* Schroeder, etc., appeared in the southeastern and northeastern parts of the investigated area. The distribution patterns of the above phytoplankton species of different ecological natures showed the dynamic state of the different water masses in the investigated area.

The main factor on the variation of phytoplankton cell numbers is the flow capacity of the Changjiang River. The phytoplankton peak (10^8 cells/m³) often occurred in the months with flow capacity of 34,000 to 40,000m³/s. When the flow capacity is more than 45,000m³/s, the transparency of the sea water falls to less than 0.5m, and becomes the limiting factor to the phytoplankton growth, although a great deal of nutrients were carried into the estuarine area by flood, yet those rich nutrients were not beneficial to the phytoplankton growth.