

1976年夏季东海陆架区 浮游植物生态的研究*

郭玉洁 杨则禹

(中国科学院海洋研究所)

关于东海浮游植物,虽然国内、外都有人进行过一些调查研究,取得一些成果,但因调查时间较短或调查范围较小,所获资料不全,都未能代表东海浮游植物的全貌。中国科学院海洋研究所继全国海洋综合调查之后,自1976年夏季又在东海陆架区进行了综合调查。这次调查,分析了东海浮游植物的个体数量和种数的分布状况,讨论了其主要种类的生态性质、群落组成和它们与水文环境的关系,对东海浮游植物的生态状况有了进一步的了解。

1976年夏季在东海陆架区进行了两次(6月25日至7月23日和8月27日至9月21日)调查,调查范围南到北纬 $26^{\circ}30'$,东到东经 127° ,在沿纬度安排的6个断面共44个测站上(第一航次还在黄海南部增加一斜断面),分别进行了水文观测,并用网目为64平方微米的小型浮游生物网(Juday phytoplankton net),从水底到表面垂直拖网进行浮游植物采样,以个体计数法计数分析。

一、浮游植物个体总数量和种数的平面分布

浮游植物个体总数量的密集区始终出现于东经 124° 以西,长江口到台州列岛一带的近岸区。在东经 124° 以东的广大海域中,浮游植物的数量普遍较低,一般约为西部的 $\frac{1}{100} - \frac{1}{500}$ 。东南部稍多,为西部的 $\frac{1}{50} - \frac{1}{100}$,东北部数量最少,仅为西部的 $\frac{1}{1000}$ 左右(图1)。

6—7月间,长江口以东(北纬 $31^{\circ}30'$,东经 $122^{\circ}30'$ 附近)浮游植物的密集度最高(10^7 个/米³),优势种为角刺藻属单色体亚属 *Chaetoceros* (*Monochromatophorus* spp.) 和二色体亚属 *Chaetoceros* (*Dichromatophorus* spp.) 的种类^[1]和甲藻门的短角藻 (*Ceratium breve*),其分布与来自长江口的高温低盐水舌(24°C , 28‰,除注明者外,文中温、盐度皆指表层而言)的分布区一致。台州列岛近岸浮游植物的数量次之(2×10^6 个/米³),其种类组成较长江口复杂,以暖温带近岸性的窄隙角刺藻及其绕链变种 (*Chaetoceros affinis* var. *circinalis*)、双突角刺藻 (*Ch. didymus*) 和热带近岸性的拟弯角刺藻 (*Ch. pseudocurvisetus*)、

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第545号。

本文承刘瑞玉和郑执中两位先生审阅,并提出宝贵意见,特此致谢。

收稿日期:1980年2月7日。

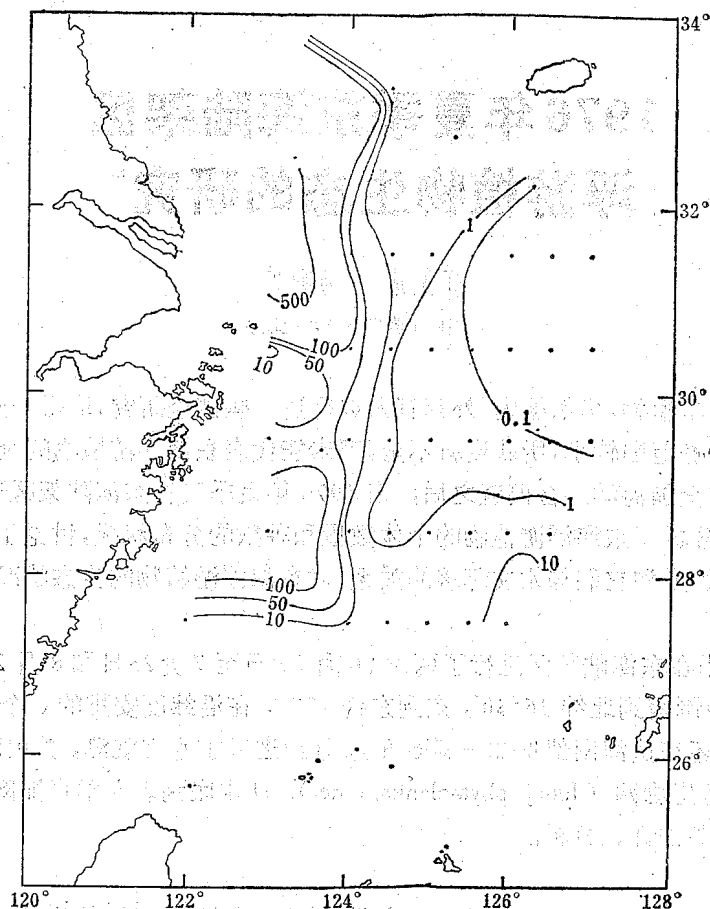


图1 浮游植物总个体数量分布图(1976年6月25日—7月23日)

单位: 10^4 个/米³

●表示观测站

齿角刺藻 (*Ch. denticulatum*)^[4]、密连海链藻 (*Thalassiosira condensata*)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrium hyalinum*) 等为主,同时还出现少数热带外洋性种如金色角刺藻 (*Ch. aurivillei*) 等。这些暖水种都出现在高温次高盐(底层温度大于 19°C , 盐度大于 34‰) 的台湾暖流前锋。值得提出的是在杭州湾口以东嵊泗列岛以南的个别测站上,由于夜光藻 (*Noctiluca scintillans*¹⁾) 密集(3×10^4 个/米³),影响了其他浮游植物的分布,形成一个以杭州湾口为中心的小范围的浮游植物稀疏区,把江、浙近岸的浮游植物密集区分隔为南(以台州列岛以东为中心)、北(以长江口以东为中心)两部分。台州列岛以南的浙江近海水域,浮游植物的数量很低。

东经 124° 以东海域中,浮游植物数量较少,尤以调查区东北部(北纬 30° — 32° , 东经 125° — 127°) 最少(10^3 个/米³ 左右),除在个别测站上采到少量窄隙角刺藻外,一般测站上甚至无硅藻记录,只出现少数甲藻。产生此现象的原因在很大程度上可能是由于这一水域

1) 有些文献,把 *Noctiluca scintillans* 译为夜光虫,列入原生动物中。

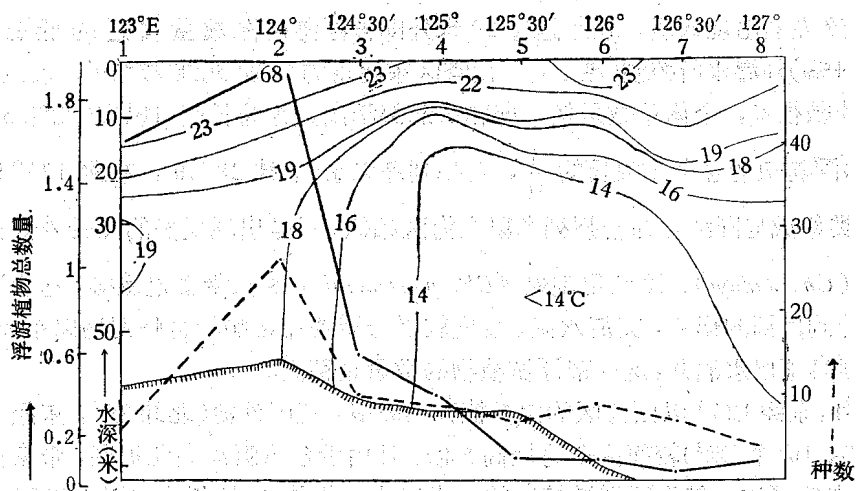


图2 1976年6月25—26日沿30°30'N断面海水温度的垂直分布与浮游植物总量和种数的分布
实线表示浮游植物总量(单位: 10^4 个/米³);虚线表示浮游植物种数;
细线表示水温(°C)等值线

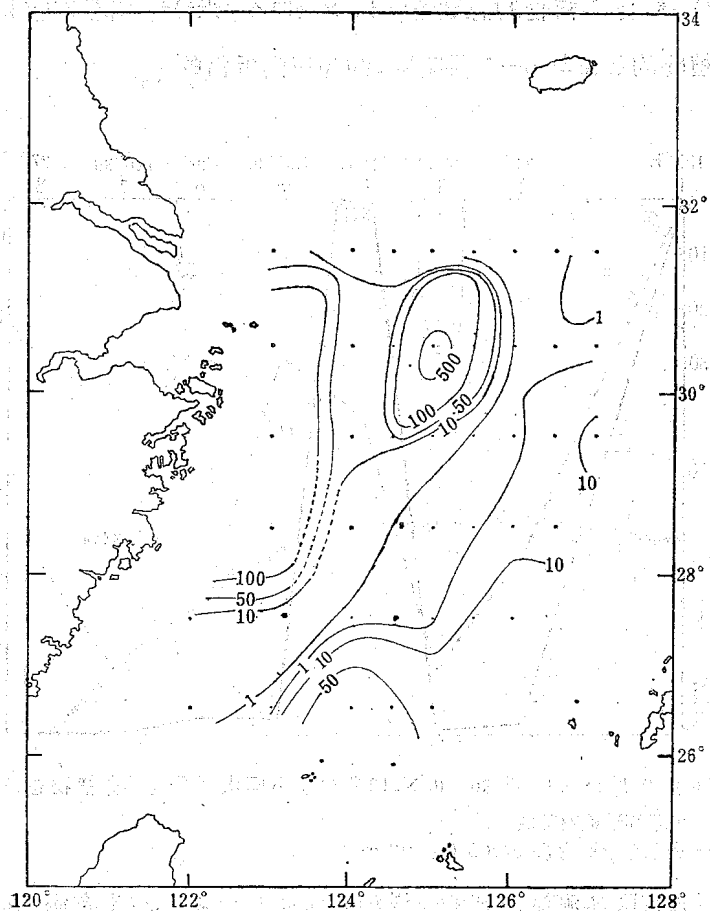


图3 浮游植物总个体数量分布图(1976年8月27日—9月21日)
单位: 10^4 个/米³

在水下 10 米左右出现跃层, 水深超过 20 米处即被浮游植物数量贫乏的低温高盐($< 14^{\circ}\text{C}$, $> 34\text{‰}$)外海水所控制(图 2)。调查区东南角的测站(北纬 $27^{\circ}30'$, 东经 126°)浮游植物的种数很多, 个体总数量较中部和东北部稍高, 约为长江口以东(北纬 32° 、东经 123° 附近)浮游植物总个体数量的 $\frac{1}{40}$, 台州列岛以东(北纬 $28^{\circ}30'$, 东经 123° 附近)的 $\frac{1}{10}$ 。其种类组成与同纬度的台州列岛以东海区相似, 只是出现更多的热带外洋性种如达蒂角刺藻 (*Ch. dadayi*)、短刺角刺藻 (*Ch. messanensis*) 和热带棘冠藻等, 这说明调查区东南角已受到黑潮的影响, 其海水温、盐度较受台湾暖流影响的台州列岛以东海域更高。在黑潮左侧有下层水涌升, 这一带浮游植物的数量也稍高。

8—9 月, 东经 124° 以西海区的浮游植物仍较多, 三门外海(北纬 29° , 东经 $121^{\circ}30'$)的数量 (4×10^6 个/米³)较前两个月增高 5 倍, 且由于台湾暖流向北扩展, 带来更多的暖水种, 从而丰富了这一带海区浮游植物的种类组成。此外, 在杭州湾口以东下层水涌升区(北纬 $30^{\circ}30'$, 东经 $124^{\circ}30'$)的东侧出现大量的骨条藻 (*Skeletonema costatum*, 116×10^4 个/米³)、尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*, 139×10^4 个/米³) 和根状角刺藻 (*Ch. radicans*, 168×10^4 个/米³) 等, 浮游植物的总数量 (652×10^4 个/米³)为本区之冠(图 3, 4)。调查区东南海域浮游植物的数量与 6—7 月略同, 约为三门近海的 $\frac{1}{20}$ 。

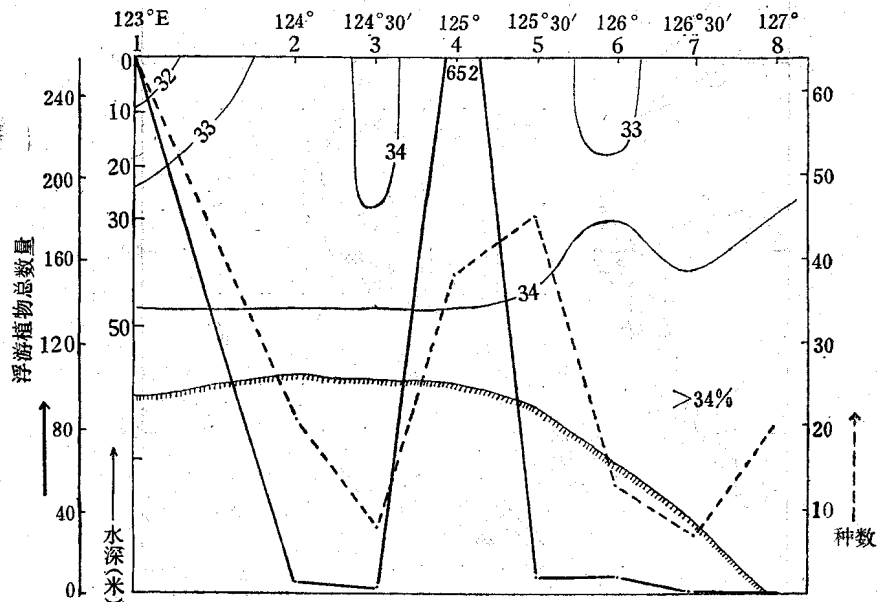


图 4 1976 年 9 月 18—19 日 $30^{\circ}30'N$, $124^{\circ}30'E$ 下层水涌升与浮游植物总量的联系

——表示浮游植物种数
——表示浮游植物总数量(单位: 10^4 个/米³)

另一方面, 在调查区各测站出现的浮游植物种数与水系分布也有密切联系。6—7 月, 调查区东南部海域出现的种数最多(66 种), 其次是浙江台州列岛以东水域(北纬 $28^{\circ}30'$, 东经 123° 附近, 63 种), 它们分别受黑潮和台湾暖流的影响(表层 $> 26^{\circ}\text{C}$, $> 33-34\text{‰}$; 底

层 $>18-19^{\circ}\text{C}$, $>34\text{‰}$),表现出热带生物区系种类丰富的特点。相反,调查区中部偏东北方(北纬 30° 以北,东经 124° 以东)广大海域每个测站出现的浮游植物都在 10 种以下,10 种浮游植物的等值线与底层 15°C 等温线趋势一致,而且浮游植物的种数也随着水温的向北变低而递减,说明这一带受到黄海冷水的影响。东北角则因受黄海暖流影响而增加一些暖水性种类(共 16 种)。通过对各测站浮游植物种类生态性质的分析,也证实了在调查区偏低温种的种数少,偏高温者较多,与所在水系的分布相关(图 5)^[7]。8—9 月调查时,浮游植物种类的分布与 6—7 月的情况基本一致,所不同的是:

(1) 调查区西部和东南部出现 40 种以上浮游植物的分布区均较前两个月向北扩展了 1—2 个纬度—西部由北纬 $29^{\circ}30'$ 向北扩展到北纬 $30^{\circ}30'$,杭州湾口以东台湾暖流前锋增加的种数最多(由 6—7 月的 6 种增加到 63 种);东南部由北纬 27° 扩展到北纬 29° ,

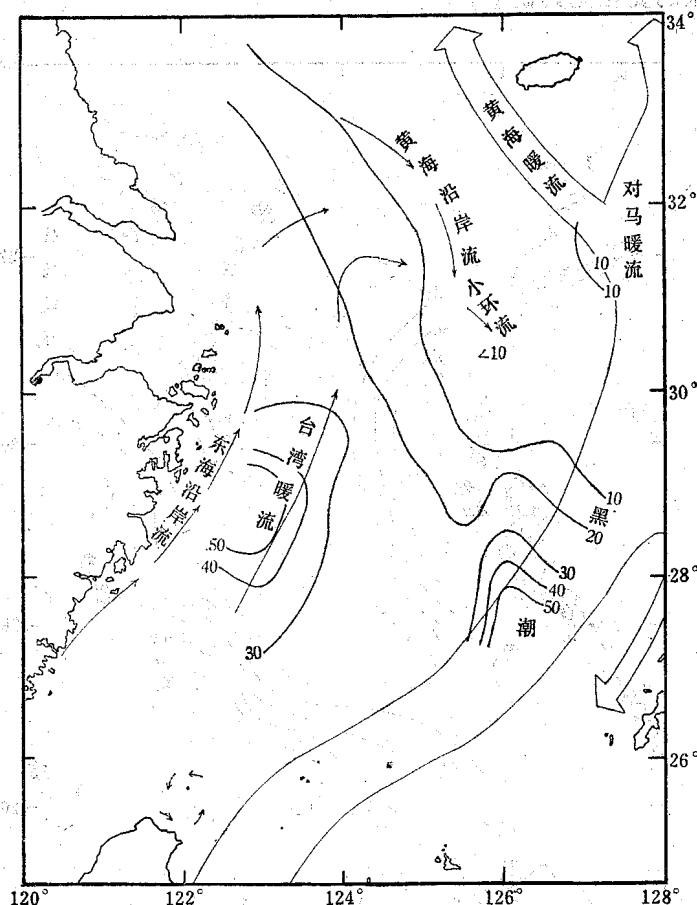


图 5 浮游植物出现种数与水系的联系(1976 年 6 月 25 日—7 月 23 日)
等值线表示浮游植物种数

并由东经 125° 以东向西扩展到东经 123° ,出现种数最多达 75 种(在北纬 $27^{\circ}30'$ 、东经 126° 的测站上,较 6—7 月增加 9 种);东北角测站也由 6—7 月的 16 种增加到 31 种(图 6)。从种类组成来看,在杭州湾口以东(北纬 $30^{\circ}30'$ 、东经 $122^{\circ}30'$)增加了一些热带近岸

性种如拟弯角刺藻、异角角刺藻 (*Ch. diversus*)、齿角刺藻、日本角刺藻 (*Ch. nipponica*) 和热带外洋性种如太阳漂流藻、密聚角刺藻 (*Ch. coarctatus*)、秘鲁角刺藻 (*Ch. peruvianus*) 等, 尤其是偏暖水性的根管藻属的种数由 6—7 月间的 1 种增加到 12 种。调查区东南部则较 6—7 月减少了一些热带近岸性种如范氏角刺藻 (*Ch. vanheurckii*)、嘴状角刺藻 (*Ch. rostratus*)、印度角刺藻 (*Ch. indicum*) 等, 而增加了一些热带外洋性的甲藻如兀鹰角藻苏门答腊变种 (*Ceratium vulturnum* var. *sumatranum*)、马西里亚角藻 (*C. massiliense*)、马西里亚角藻粗角变型 (*C. massiliense* f. *armatum*)、多刺角甲藻 (*Ceratorys horrida*)、大鸟尾藻 (*Ornithocercus magnificus*) 和粗梨甲藻 (*Pyrocystis robusta*) 等。东北角测站也增加了许多热带近岸性种和广泛热带性外洋种。这些事实说明 8—9 月调查区受黑潮、台湾暖流和黄海暖流影响的程度较 6—7 月时增大, 而台湾暖流给杭州湾以东测站(北纬 $30^{\circ}30'$ 、东经 123°) 带来的变化尤其显著。

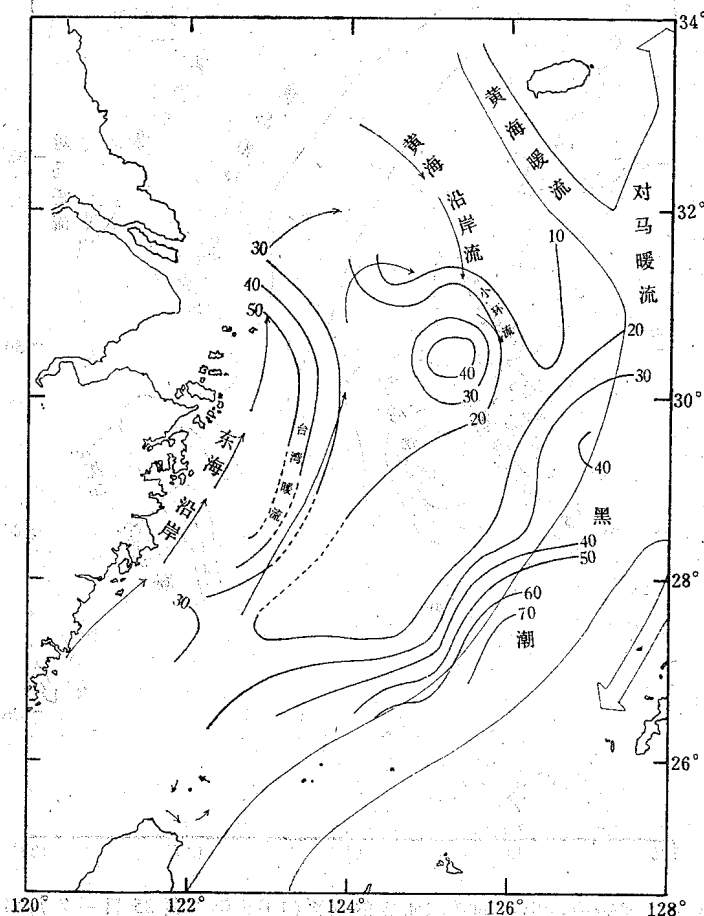


图 6 浮游植物出现种数与水系的联系(1976 年 8 月 27 日—9 月 21 日)

(2) 在调查区北部, 浮游植物出现不足 10 种的分布区已向北退到北纬 $30^{\circ}30'$ 以北(其中主要是偏低温种和广温性种), 说明 8—9 月黄海低温水对调查区的影响程度较 6—7 月时减弱。

二、浮游植物主要种类生态性质的分析

本年夏季两航次采得的浮游植物共 49 属、155 种、15 变种和 12 变型,其组成如下表(表 1)。其中以硅藻门的角刺藻属(采到 33 种、5 变种)和甲藻门的角藻属(采到 25 种、6 变种、6 变型)的种数最多(详见种名录)。

表 1 在调查区采到的浮游植物组成

类 别	属	种	变 种	变 型
蓝 藻 门	2	5		
甲 藻 门	10	43	7	8
金 藻 门	1	1		
黄 藻 门	1	1		
硅 藻 门	35	105	8	4
合 计	49	155	15	12

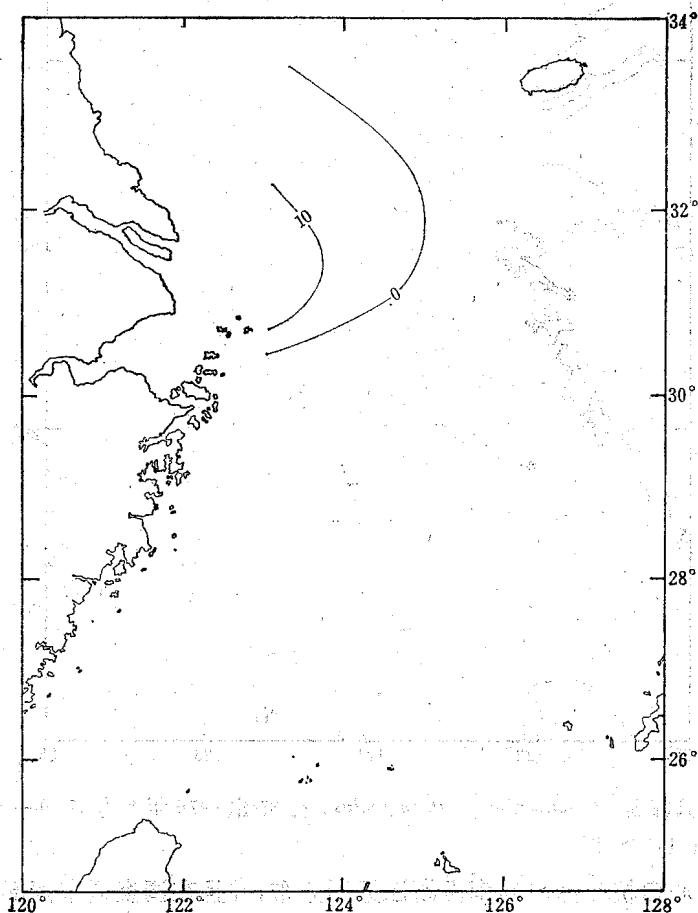


图 7 星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus astromphalus*) 分布图(1976 年 6 月 25 日—7 月 23 日)

单位: 10^3 个/米³

根据浮游植物主要种类在调查区的分布和生态特点可归纳为：近岸性、外海性和广布性三种类型，现分述如下：

1. 近岸性类型

根据其对温、盐度的适应状况，又可分为：

偏高温低盐近岸型

以星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus astromphalus*)、骨条藻、窄隙角刺藻、伏氏海发藻、短角藻、夜光藻等为代表。它们自调查区西北部向南沿浙江近岸分布，根据适盐情况，其密集中心又有以下不同：

(1) 密集中心自长江口沿北纬 30—31° 向东分布到东经 125° 附近者，以星脐圆筛藻、骨条藻和短角藻为代表，其分布与表层 24℃, 28‰ 的偏高温低盐水舌一致，标志着长江冲淡水泻往外海的途径(图 7, 8)。

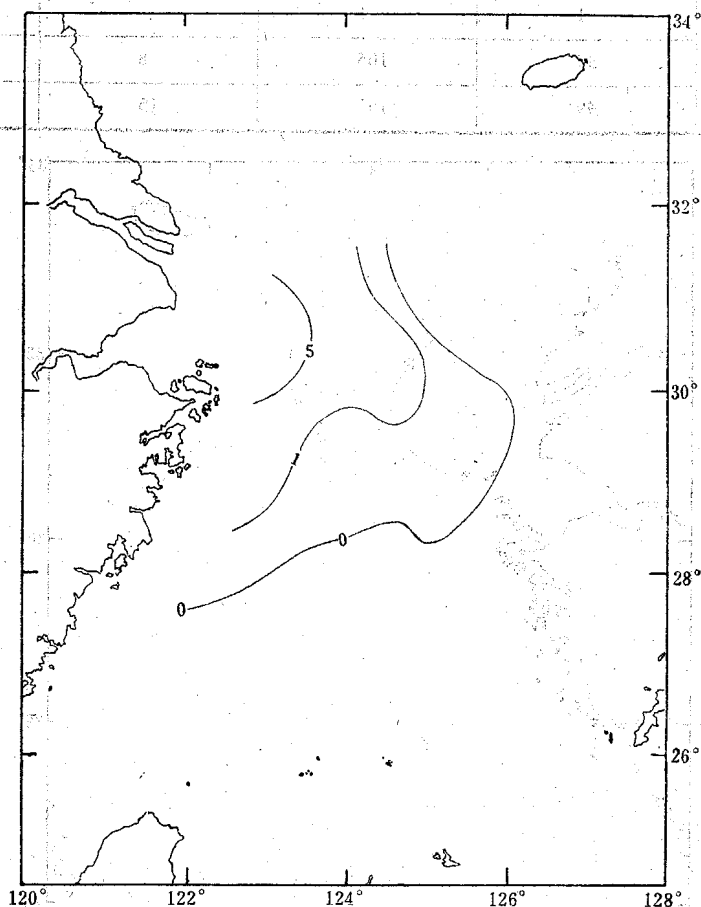


图 8 星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus astromphalus*) 分布图(1976 年 8 月 27 日—9 月 21 日)

单位: 10^3 个/米³

(2) 密集中心自杭州湾口向南沿浙江近岸分布，并且在调查区东南部也少量出现者，有窄隙角刺藻和伏氏海发藻等(图 9, 10)。6—7 月，它们主要出现于调查区西部，窄隙角刺藻的数量较大，伏氏海发藻仅在个别测站上采到少量。8—9 月窄隙角刺藻自北纬

30°30' 向南分布, 在杭州湾口以东的下层水涌升区大量密集, 看来这一带的温、盐度条件 (23°C, 30‰ 左右) 是适于本种生存的(图 9, 10); 伏氏海发藻的数量亦较 6—7 月间大增, 顺浙江近岸分布, 密集中心出现在三门外海。

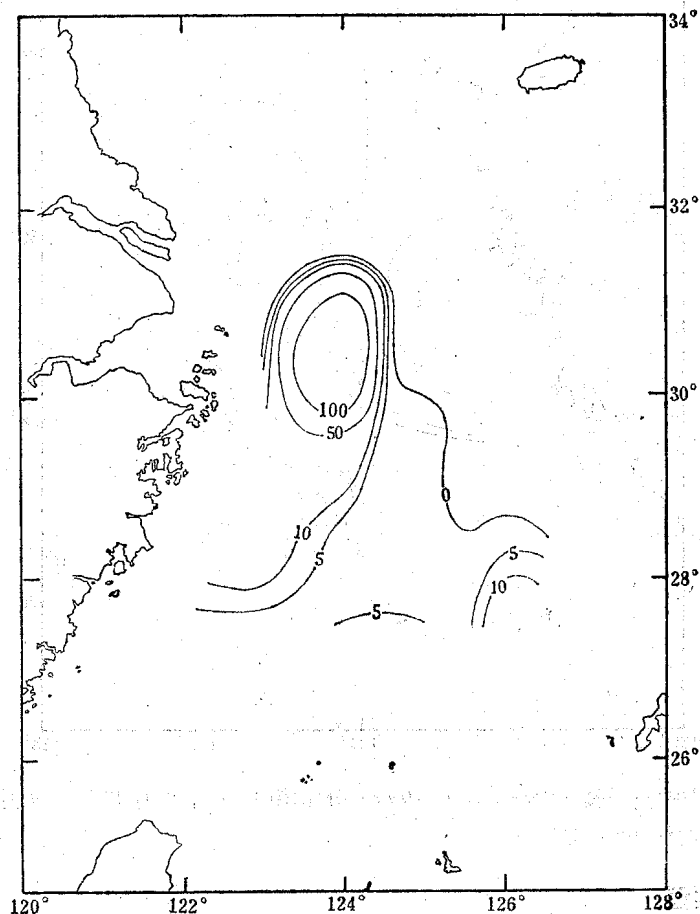


图 9 窄隙角刺藻 (*Chaetoceros affinis*) 分布图(1976年 6 月25日—7 月23日)

单位: 10^3 个/米³

高温次高盐近岸型

以双凹梯形藻 (*Climacodium biconcavum*)、掌状冠盖藻 (*Stephanopyxis palmeriana*)、日本角刺藻和劳氏角刺藻等为代表。它们主要分布在调查区西南部(26°C, 32—33‰)的浙江外海, 在调查区东南角和东北角的测站上也曾采到, 属热带近岸性种。6—7 月, 双凹梯形藻分布于调查区南部和西南部。在浙江外海, 本种向北分布到北纬 31°。8—9 月, 在西部, 本种数量稍增, 在东部和东北角也曾采到少量, 标志着暖流对调查区的影响加大(图 11, 12)。掌状冠盖藻、日本角刺藻、劳氏角刺藻的分布与双凹梯形藻略同, 不过日本角刺藻和劳氏角刺藻都能耐较低的温、盐度, 出现范围较宽, 甚至在黄海夏季也曾采到^[1,4]。此次调查中, 在杭州湾口以东的下层水涌升区也出现许多劳氏角刺藻。

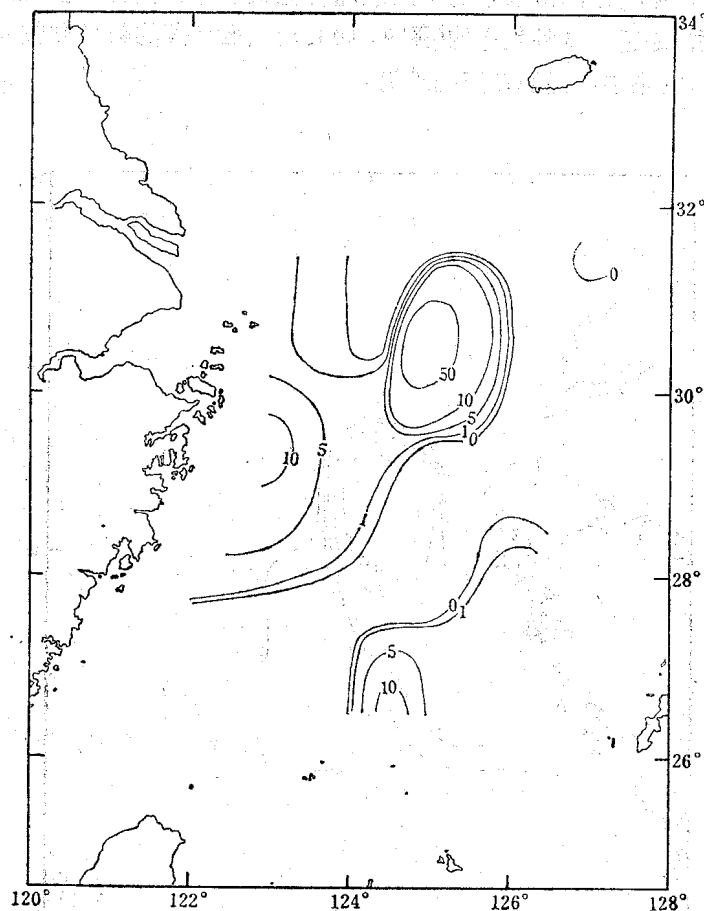


图 10 窄隙角刺藻 (*Chaetoceros affinis*) 分布图(1976 年 8 月 27 日—9 月 21 日)

单位: 10^3 个/米³

2. 外海性类型

偏低温高盐外海型

它们主要分布在调查区中部北纬 $29^{\circ}30'$ 以北水域,其代表种为辐射列圆筛藻 (*Cosc. radiatus*)、中华盒形藻 (*Biddulphia sinensis*) 的低温生态型¹⁾。6—7 月,辐射列圆筛藻出现在北纬 $29^{\circ}30'—32^{\circ}$ 的东海中部外海区,密集中心在北纬 $31^{\circ}30'$,东经 124° 附近 (7100 个/米³; 底层水温 $< 13—16^{\circ}\text{C}$, 盐度 $32—34\text{‰}$), 8—9 月其数量大减,已无明显的分布中心(图 13, 14)。中华盒形藻的低温生态型 6—7 月分布在北纬 30° 以北,东经 $124—126^{\circ}$ 范围内(图 13, 14),与表层和底层低温高盐水的分布区一致; 8—9 月仍主要分布在北纬 31° 以北水域(底层水温 $19—21^{\circ}\text{C}$, 盐度 $32—34\text{‰}$)。

1) 中华盒形藻原产于印度-太平洋,系暖海性种,后被航船带到易北河口,得到良好繁殖条件,逐渐扩大分布^[8]。据 Hustedt 报告本种标本瘦长,两角也较长^[10]; Gran 报告者则甚宽胖,两角短小^[9]。在我国各海区调查中也见到上述两种形态,与水团分布有明显联系,前者分布于渤、黄海和东北北部,暂称为本种的低温生态型;后者分布于东南南部和南海,暂称为本种的高温生态型。Lucas and Stubbings (1948) 亦曾报告生存于北海不同水域中的中华盒形藻的体形大小显然不同,并用以追迹海水的流动经过(参考 Raymont, 1963)^[11]。

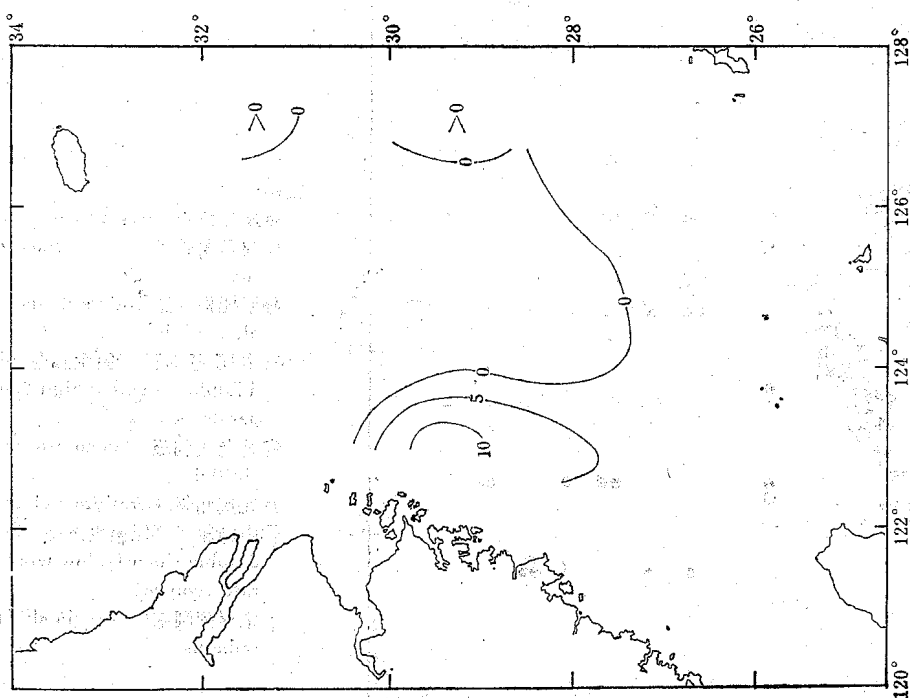


图 12 双凹梯形藻 (*Climacodium biconcavum*)
分布图(1976年8月27日—9月21日)

单位: 10^3 个/米³

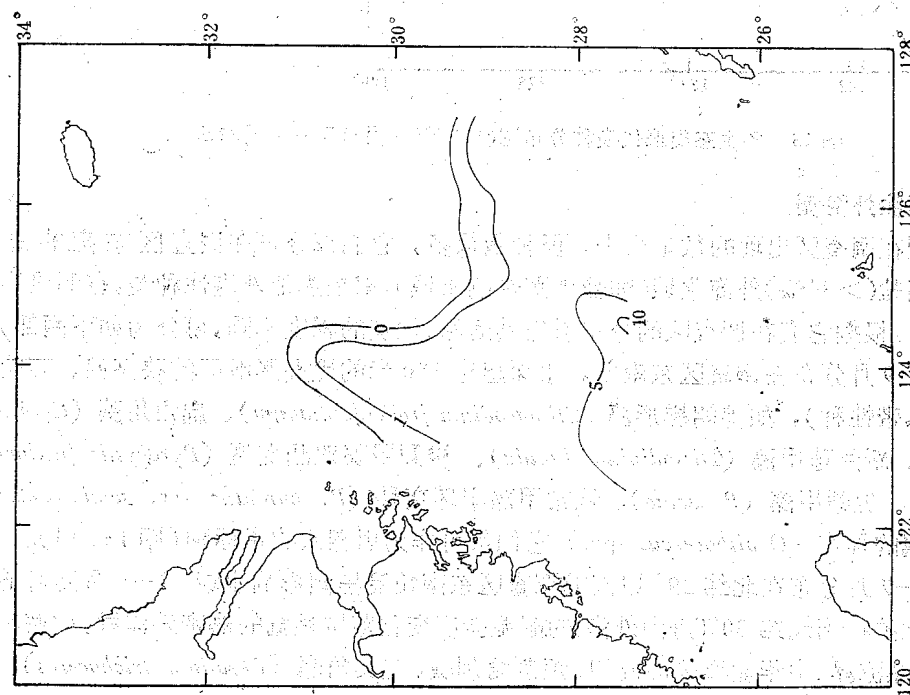


图 11 双凹梯形藻 (*Climacodium biconcavum*)
分布图(1976年6月25日—7月23日)

单位: 10^3 个/米³

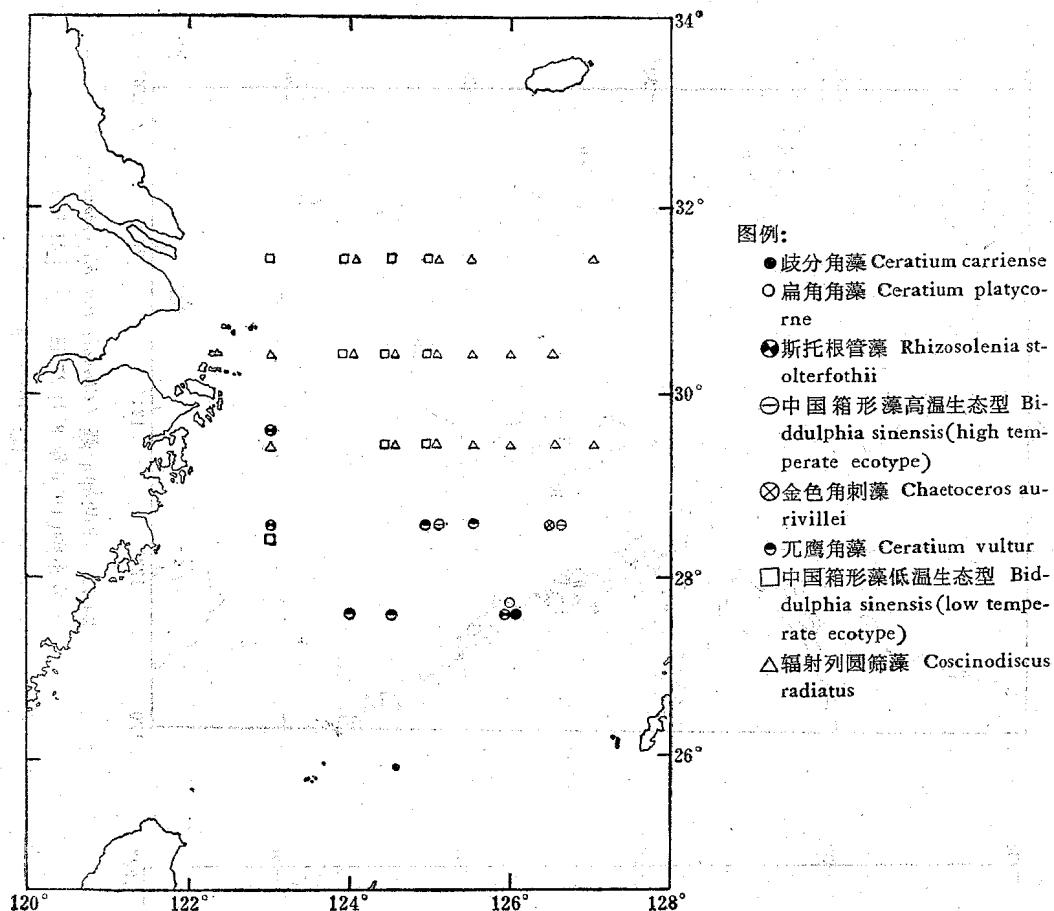


图 13 各生态类群代表种分布图(1976年 6 月25日—7 月23日)

高温高盐外海型

本类型在调查区出现的数量虽少,但种数很多,它们都分布在调查区东南的高温($>26^{\circ}\text{C}$)高盐($>34\text{‰}$)外海水域(即受黑潮影响水域),都是热带外海性种类,有明显的暖流指标意义。根据它们在调查区的分布看出其耐温、盐度的程度不同,可分为如下两部分:

(1) 6—9月分布在调查区东南角,水深超过 150 米的黑潮影响区的狭高温、高盐性种类(狭热带性种),如佛朗梯形藻(*Climacodium frauenfeldianum*)、扁角角藻(*Ceratium platycorne*)、新月球甲藻(*Dissodinium lunula*)、梭梨甲藻双凸变型(*Pyrocystis fusiformis* f. *biconica*)、尖梨甲藻(*P. acuta*)、钩梨甲藻半环变种(*P. hamulus* var. *semicircularis*)和鸟尾藻属的种类(*Ornithocercus* spp.)它们都可作为黑潮水的指标种(图 13, 14)。

(2) 6—7月分布在北纬 29° 以南或调查区东南角受黑潮影响水域,8—9月还可随台湾暖流向北扩布到北纬 30° (舟山外海)的耐温盐度变化范围稍宽的热带外洋种,如密聚角刺藻、太阳漂流藻、中华盒形藻高温型、短刺角刺藻、三叉角藻(*Ceratium trichoceros*)、马西里亚角藻粗角变型、夜光梨甲藻(*P. pseudonociluca*)、梭梨甲藻(*P. fusiformis*)等。短刺角刺藻和梭梨甲藻在 8—9月甚至在受黄海暖流影响的调查区东北角(25°C , 33‰ 左右)

也少量出现。根据它们的分布情况可分别说明台湾暖流和黄海暖流对调查区的影响程度。

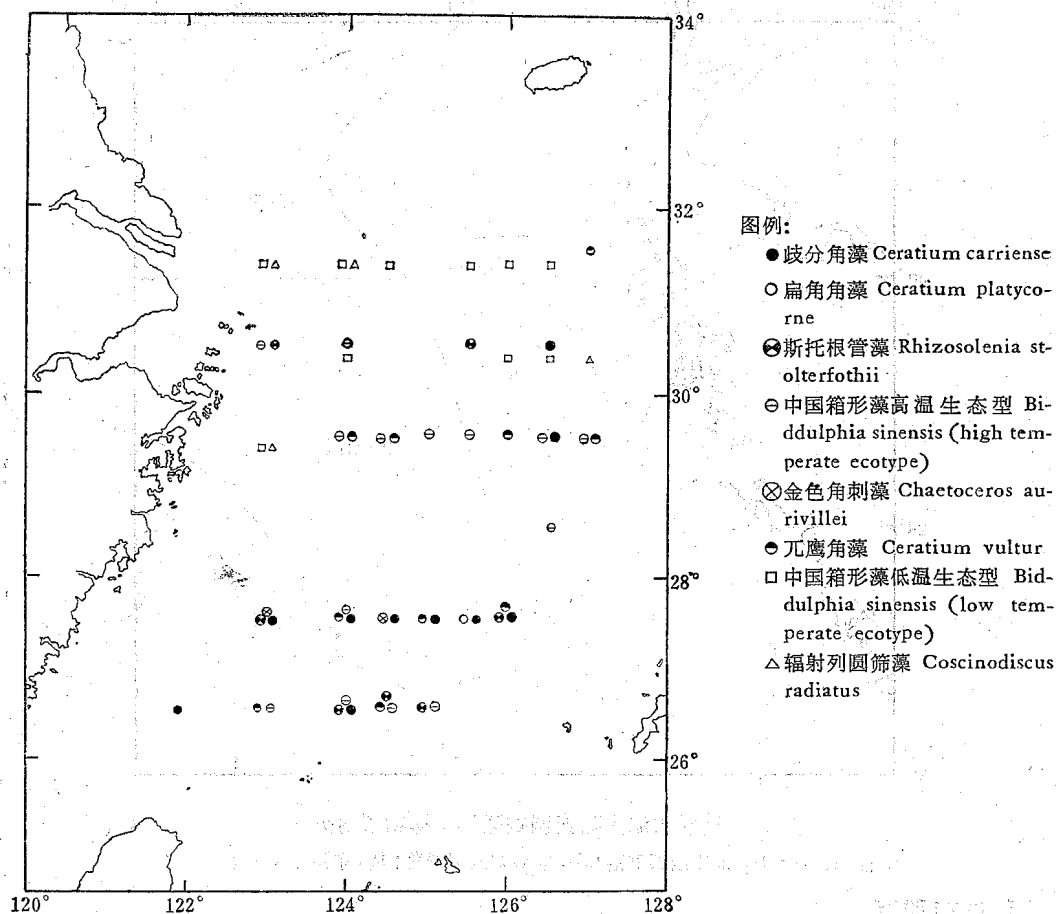


图14 各生态类群代表种分布图(1976年8月27日—9月21日)

3. 广温广盐性类型

这一生态类型在调查区出现的数量较大,但种类却很少,有明显代表性者为广泛分布于世界各海洋的聂氏海棒藻^[3,8,10]。6—7月,在调查区除中部外海水域未采到外,从长江口到东南部黑潮影响区都有;8—9月,本种在调查区全面出现,长江口和杭州湾口的数量较大(27×10^3 个/米³),杭州湾以东的下层水涌升区数量最多(235×10^3 个/米³),其数量分布与浮游植物总个体数量的分布趋势一致。

三、浮游植物群落组成及其与水文环境的联系

相同生态性质的各种浮游植物,由于对环境条件的要求一致,它们共同生活在一起,构成具有一定生态特点的浮游植物群落。了解了调查区各浮游植物群落的生态特性和它们在时间、空间上的动态变化,就可以看出调查区水文条件的基本面貌。

根据此次调查资料,调查区的夏季浮游植物可初步划分为4个群落:江口群落、东海

西部(浙江东海)群落、东海东南部群落和东海中部群落(图 15)。

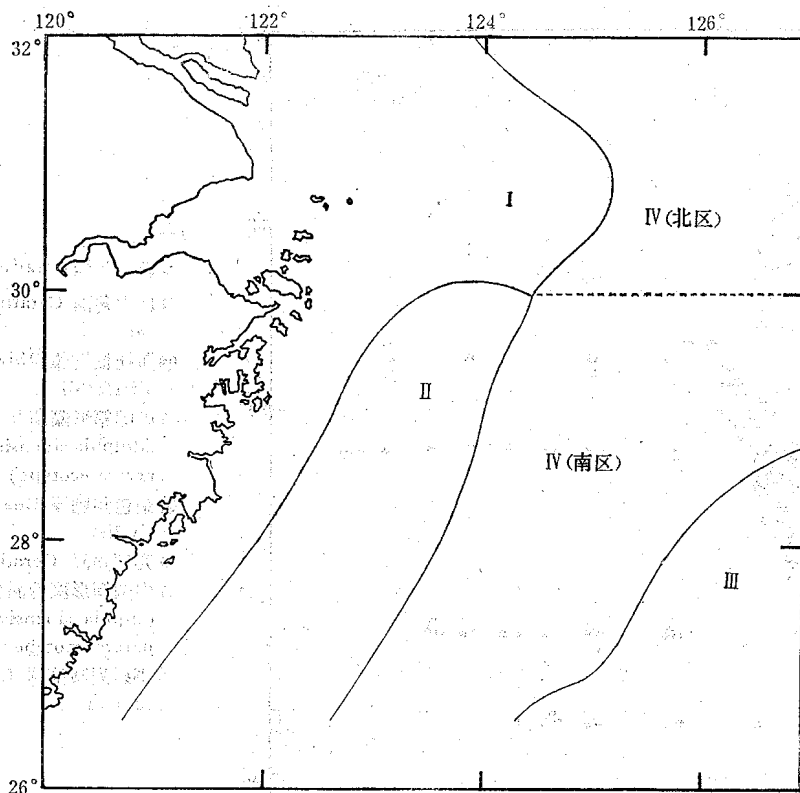


图 15 夏季东海大陆架调查区浮游植物群落分布图

I. 江口群落; II. 东海西部群落; III. 东海东南部群落; IV. 东海中部群落

1. 江口群落

此群落分布在江口水深 60 米以内水域, 夏季这一带由于长江冲淡水自表层向东扩展, 使这个群落向东可分布到东经 125° 左右¹⁾。6—7 月, 此群落分布在水温约 24°C , 盐度 $< 29\text{‰}$ 的水域, 主要由旋链角刺藻 (*Ch. curvisetus*)、垂缘角刺藻 (*Ch. lacinosus*)、窄隙角刺藻及其绕链变种、扁面角刺藻 (*Ch. compressus*)、短角藻、夜光藻等组成。此外还采到少量中华盒形藻的低温型、辐射列圆筛藻和能生活在半咸水中的锤状中鼓藻 (*Bellerochea malleus*)。此群落基本上以偏高温、低盐的暖温带近岸性种为主, 由于受到台湾暖流的扩散影响也出现一些高温、次高盐的热带近岸性种类, 还出现少量黄海中部冷水的代表种和极少量的半咸水代表种。

8—9 月, 此群落中的偏低温、高盐种减少, 半咸水种消失, 表示黄海冷水和径流的影响减弱。除偏高温、低盐性的伏氏海发藻数量增大外, 又增加了许多高温, 次高盐近岸种 (如透明辐杆藻、掌状冠盖藻、拟弯角刺藻、薄壁几内亚藻等) 和耐温、盐度变化范围较宽的热带外洋性种如密聚角刺藻、齿角刺藻、太阳漂流藻、三叉角藻等。同时偏暖水性的根管

1) 根据以往资料, 此群落的种类主要都是自江口向东分布, 还有小部分沿浙江近岸南下。此次在浙江沿岸水深不足 50 米的海域未设调查站, 故本文主要讨论在水深 50—60 米的水域中本群落的分布状况。

藻属也由 6—7 月的 2 种增加到 11 种。浮游植物出现种数平均由 6—7 月的 18 种增加到 30 种左右,以舟山群岛东南测站(北纬 $30^{\circ} 30'$, 东经 123°)出现的种数最多(63 种,仅次于调查区东南部的种数),较 6—7 月增加 10.5 倍,表明台湾暖流对本群落的影响加大。参考这一带水文条件的改变(表层温度稍升,盐度上升到 32‰;底层为 $22-24^{\circ}\text{C}$, 34‰左右),也证实了本群落中不同生态性质种类的增减与环境条件改变的一致性。

2. 东海西部(浙江外海)群落

本群落从杭州湾口南岸(北纬 30° 以南)向南顺岸方向分布在水深 60—80 米的水域(即东经 123° 附近水域),与台湾暖流的分布区一致。这一带的温、盐度(底层 $> 19^{\circ}\text{C}$, 34‰左右)仅次于调查区东南部的黑潮影响区,是调查区中的次高温、高盐水域。

6—7 月,本群落以高温、次高盐种和耐温、盐度变化范围较宽的热带外洋性种为主,如齿角刺藻和拟弯角刺藻分别占有关测站浮游植物总个体数的 90% 以上;其它如双突角刺藻英国变种(*Ch. didymus* var. *anglica*)、日本角刺藻、密聚角刺藻、笔尖形根管藻粗径变种(*Rh. styliiformis* var. *latissima*)、透明辐杆藻、粗根管藻(*Rh. robusta*)、圆柱根管藻(*Rh. cylindrus*)和双凹梯形藻等也经常出现。在近湾口的测站还曾采到少量骨条藻和夜光藻,说明低盐近岸水对本群落仍有一定影响。8—9 月在本群落分布区的北部,除最北面的测站(北纬 $30^{\circ} 30'$, 东经 123°E)仍出现较多的伏氏海发藻外,偏高温、低盐性种大减,窄隙角刺藻并表现出为适应较高的温、盐度而产生的形态变异——细胞间隙增大。在本群落分布区的南部(北纬 28° 以南),浮游植物的总数量很少,高温、高盐的热带外洋性种数较多,如中华盒形藻的高温生态型、金色角刺藻、细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)、卡斯根管藻(*Rh. castracanei*)、印度半管藻(*Hemiaulus indicus*)、大鸟尾藻(*Ornithocercus magnificus*)、臼齿角藻(*Ceratium dens*)、瘤壁角藻异角变种(*C. gibberum* var. *dispar*)、偏转角藻(*C. deflexum*)、网纹角藻弯角变种(*C. hexanthus* var. *contortum*)、铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)等,而偏高温、低盐种消失,表现出本群落的热带性特点,说明台湾暖流对调查区的影响较 6—7 月调查时更大。

3. 东海东南部群落

此群落分布在调查区东南部、水深超过 150 米的受黑潮影响水域。构成本群落的浮游植物为本调查区种数最多者(在北纬 27° , 东经 126° 测站上出现的种数最多,6—7 月有 66 种,8—9 月有 75 种),其生态性质都是典型的热带性。此群落以金色角刺藻、热带刺冠藻、佛朗梯形藻、霍克半管藻(*Hemiaulus hauckii*)、丛毛辐杆藻(*Bacteriastrum cosmosum*)、尖梨甲藻、偏转角藻、铁氏束毛藻、红海束毛藻(*Trichodesmium erythraeum*)等狭热带性种为主,它们主要分布在北纬 28° 以南,东经 125° 以东的调查区东南部。此外还有密聚角刺藻、细弱海链藻、短刺角刺藻、具尾鳍藻(*Dinophysis caudata*)等耐温、盐度变化范围较宽的热带外洋性种。同时,习见于黑潮水中的根管藻属种类也明显增加^[5,6]。6—7 月还夹杂着一些高温、次高盐近岸性种和极少数广温广盐性种。8—9 月这些狭热带性种的分布与 6—7 月相仿,说明此群落的分布中心不变。铁氏束毛藻和红海束毛藻等浮游蓝藻在 8—9 月甚至随表层流出现于调查区北部,但其密集中心仍在东南部不变。此外,在本群落中还出现春季于渤、黄海经常采到的斯托根管藻(*Rhizosolenia stolterfothii*)和短角弯角藻(*Eucampia zoodiacus*),它在调查区的分布却与上述热带性种一致(图 13, 14),这

两种硅藻在不同海区中的形态变异与耐温、盐范围是值得今后进一步研究的问题。

4. 东海中部群落

此群落位于上述调查区西部两个群落(江口群落和东海西部群落)与东南部群落之间的东海中部,实际上是一个混合群落,具偏低温、高盐的生态特点。6—7月这个群落分布区中各测站的浮游植物都在10种以下,8—9月增加到15种左右,以习见于大洋的辐射列圆筛藻和中华盒形藻的低温生态型为代表。由于这些代表种在这一水域的南部和北部的数量不同,相邻群落向本群落渗透的程度也不同,因此,这一群落的分布区又可分为南、北两区。

(1) 北区 指北纬 30° 以北的东海中部低温高盐水域(底层,6—7月为 $<17^{\circ}\text{C}$, $<34\text{‰}$;8—9月为 $18\text{--}21^{\circ}\text{C}$, $<34\text{‰}$)。因受黄海中部冷水影响,浮游植物的种类组成和数量都非常贫乏,上述本群落代表种的分布中心即出现在此区。此外本群落分布区的西部受黄海沿岸水的影响,渗入了一些低盐沿岸性种(如骨条藻、星脐圆筛藻、琼氏圆筛藻和三角角藻等);8—9月其东北部受黄海暖流影响又增加一些热带近岸性种和少量耐温、盐度变化范围较宽的热带外洋性种,出现种数也由6—7月的10种增加到30种,说明黄海暖流北上势力增大。看来今后随着调查时间的延长和调查范围的扩大,在这个群落的西北部和东北部有可能再分出受黄海沿岸冷水影响的群落和受黄海暖流影响的群落。

(2) 南区 指北纬 30° 以南的东海中部水域。由于台湾暖流向东扩展,这一带的温、盐度较北区稍高(底层,6—7月为 $17\text{--}18^{\circ}\text{C}$, $>34\text{‰}$;8—9月为 20°C 左右, $34\text{--}34.5\text{‰}$),浮游植物的种数也较北区稍多。虽然仍出现极少量辐射列圆筛藻和中华盒形藻的低温生态型,但在夏季由于西部群落的偏高温低盐种、高温次高盐种、耐温、盐度范围较宽的热带外洋性种和东南部群落的狭热带外洋性种分别向本区渗透(越向南渗透的程度越大),甚至模糊了本群落的原貌。不过随着黄海冷水和暖流的季节变化(根据历史资料,冬季黄海中部冷水向南曾扩展到北纬 28° ,东经 127° 附近^[2]),上述不同生态性质的种类向本区渗透的程度也出现相应的季节性变化。

由上述不同生态性质的浮游植物群落的组成与分布范围,可以概括地看出夏季调查区各水系分布的复杂面貌:西北部上层为长江冲淡水所控制,台湾暖流侵入西部,北部有来自黄海的冷水,东南角和东北角则分别受黑潮和黄海暖流的影响。同时这些水系又各自从四周向中部渗透,使东海中部水变性,形成了复杂的混合群落。从另一角度看,了解到东海中部群落中各种不同生态性质浮游植物的分布和动态的同时,亦可推测到其四周各水系的消长趋势(不足处是浮游植物样品是由水底到表面垂直拖网所采得,因此,无法更进一步地用来说明东海水系的垂直层理结构)。虽然生物对环境有一定的适应能力,尤其是浮游植物的生命周期很短,在适宜的自然条件下一、二天或更短的时间里即可分裂一次,产生一新世代,增加了更进一步适应环境条件的能力,具有一定程度的生态可塑性。但是在水文条件如此复杂的东海陆架区,不同水系的交汇锋面十分明显,不同生态性质的浮游植物的分布中心相当清楚,即使在此次调查中缺乏有关的水化学资料,只以现有资料也能初步阐明一些浮游植物与环境的生态联系。

附录: 1976 年东海大陆架区浮游植物名录

甲藻门 PYRROPHYTA

- 深绿裸甲藻 *Gymnodinium coeruleum* Dogiel
 裸甲藻 *G. aeruginosum* Stein
 夜光藻 *Noctiluca scintillans* (Mar.) Kofoid et Swezy
 具尾鳍藻 *Dinophysis caudata* Sarille-Kent
 勇士鳍藻 *D. miles* Cleve
 二齿双管藻 *Amphisolenia bidentata* Schroeder
 美丽鸟尾藻 *Ornithocercus splendidus* Schuett
 大鸟尾藻 *O. magnificus* Stein
 扁甲藻多甲变种 *Pyrophacus horologicum* var. *steinii* Schiller
 多甲藻 *Peridinium* spp.
 蜡角藻扁型 *Ceratium candebrum* f. *depressum* Pouchet
 叉角藻柏氏变种 *C. furca* var. *berghii* (Joereg.) Schiller
 五角形角藻 *C. pentagonum* Gourret
 短小角藻 *C. minutum* Joergensen
 宽角藻 *C. inflatum* (Kof.) Joergensen
 长嘴角藻 *C. longirostrum* Gourret
 梭角藻针状变种 *C. fusus* var. *seta* (Ehr.) Joergensen
 细长角藻直型 *C. extensum* f. *strictum* (Okam. et Nish.) Steemann Nielsen
 白齿角藻 *C. dens* Ostenfeld et Schmidt
 三角角藻 *C. tripos* (O. F. Mueller) Nitzsch
 三角角藻大西洋变种 *C. tripos* var. *atlanticum* (Ost.) Paulsen
 三角角藻美丽变种 *C. tripos* f. *pulchellum* (Schroeder) Paulsen
 美丽角藻亚美变型 *C. pulchellum* f. *semipulchellum* Joergensen
 粗顶角角藻 *C. porrectum* Karsten
 短角藻 *C. breve* (Ostf. et Schmidt) Schroeder
 皮氏角藻 *C. petersii* Steemann Nielsen
 扭角藻粗状变种 *C. contortum* var. *robustum* (Karsten) Sournia
 卡氏角藻 *C. karstenii* Pavillard
 瘤壁角藻 *C. gibberum* Gourret
 瘤壁角藻异角变种 *C. gibberum* var. *dispar* (Pouchet) Joergensen
 新月角藻 *C. lunula* Schimper
 扁角角藻 *C. platycorne* v. Daday
 兀鹰角藻 *C. vultur* Cleve
 兀鹰角藻苏门答腊变种 *C. vultur* var. *sumatranum* (Karst.) Steemann Nielsen
 网纹角藻 *C. hexacanthum* Gourret
 马西里亚角藻 *C. massiliense* (Gourret) Joergensen
 马西里亚角藻粗角变种 *C. massiliense* f. *armatum* (Karst.) Joergensen
 歧分角藻 *C. carriense* Gourret
 歧分角藻舞姿变型 *C. carriense* f. *volans* (Cleve) Joergensen
 偏转角藻 *C. deflexum* (Kof.) Joergensen
 长角角藻 *C. macroceros* (Ehr.) Cleve
 三叉角藻 *C. trichoceros* (Ehr.) Kofoid
 多刺角甲藻 *Ceratocorys horrida* Stein
 夜光梨甲藻 *Pyrocystis pseudonociluca* W. Thomson
 梭梨甲藻 *P. fusiformis* (W. Thomson) Murray
 梭梨甲藻双凸变型 *P. fusiformis* f. *biconica* Kofoid
 尖梨甲藻 *P. acuta* Kofoid
 钩梨甲藻 *P. hamulus* Cleve
 钩梨甲藻半环变种 *P. hamulus* var. *semicircularis* Schroeder
 粗梨甲藻 *P. robusta* Kofoid
 新月球甲藻 *Dissodinium lunula* (Schuett) Klebs

硅藻门 BACILLARIOPHYTA

- 具槽直链藻 *Melosira sulcata* (Ehr.) Kuetzing
 明盘藻 *Hyalodiscus* sp.
 偏心圆筛藻 *Coscinodiscus excentricus* Ehrenberg
 线形圆筛藻 *Cosc. lineatus* Ehrenberg
 线形具边圆筛藻 *Cosc. marginatus-lineatus* Schmidt
 辐射列圆筛藻 *Cosc. radiatus* Ehrenberg
 格氏圆筛藻 *Cosc. granii* Grouh
 琼氏圆筛藻 *Cosc. jonesianus* (Grev.) Ostenfeld
 孔圆筛藻窄隙变种 *Cosc. perforatus* var. *pavillardi* (Forti) Hustedt
 整齐圆筛藻 *Cosc. concinnus* W. Smith
 强氏圆筛藻 *Cosc. janischii* Schmidt
 威利圆筛藻 *Cosc. wailesii* Gran et Angst
 星脐圆筛藻 *Cosc. astromphalus* Ehrenberg
 太阳漂流藻 *Planktoniella sol* (Wall.) Schuett
 辐刺藻 *Actinoptychus* sp.
 扇形星脐藻 *Asteromphalus flabellatus* (Breb.) Greville
 热带戈斯藻 *Gosseriella tropica* Schuett
 海链藻 *Thalassiosira decipiens* (Grun.) Joergensen
 细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis* (Ostenf.) Gran
 密连海链藻 *Thalassiosira condensata* Cleve
 厚壁筛链藻 *Coscinosira oestrupii* Ostenfeld
 北方劳德藻 *Lauderia borealis* Gran
 施罗藻 *Schroederella schroederi* (Berg.) Lebour
 骨条藻 *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve
 掌状冠盖藻 *Stephanopyxis palmeriana* (Grev.) Grunow
 日本冠盖藻 *S. nipponica* Gran et Yendo
 地中海指管藻 *Dactyliosolen mediterraneus* Peragallo
 丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus* Cleve
 几内亚藻 *Guinardia flaccida* (Castr.) Peragallo
 小环毛藻 *Corethron hystrix* Hensen
 圆柱根管藻 *Rhizosolenia cylindrus* Cleve
 伯戈根管藻 *R. bergonii* Peragallo
 柔弱根管藻 *R. delicatula* Cleve
 脆根管藻 *R. fragilissima* Bergon
 斯托根管藻 *R. stolterfothii* Peragallo
 粗根管藻 *R. robusta* Norman
 翼根管藻 *R. alata* Brightw.
 翼根管藻纤细变型 *R. alata* f. *gracillima* (Cleve) Grunow
 翼根管藻印度变型 *R. alata* f. *indica* (Perag.) Ostenfeld
 覆瓦根管藻 *R. imbricata* Brightwell
 覆瓦根管藻斯鲁变种 *R. imbricata* var. *schrubsolei* (Cleve) Schroeder
 刚毛根管藻 *R. setigera* Brightwell
 笔尖形根管藻 *R. styliiformis* Brightwell
 笔尖形根管藻粗径变种 *R. styliiformis* var. *latissima* Brightwell
 钝棘根管藻半刺变型 *R. hebetata* f. *semispina* (Hensen) Gran
 距端根管藻 *R. calcar-avis* M. Schultze
 透明根管藻 *R. hyalina* Ostenfeld et Schmidt
 尖根管藻 *R. acuminata* (Perag.) Gran
 卡斯根管藻 *R. castracanei* Peragallo
 克莱根管藻 *R. clevei* Ostenfeld
 变异辐杆藻 *Bacteriastrum varians* Lauder
 透明辐杆藻 *B. hyalinum* Lauder
 优美辐杆藻 *B. delicatulum* Cleve
 长辐杆藻 *B. elongatum* Cleve

- 长辐杆藻异端变种 *B. elongatum* var. *diversum* Ikari
 丛毛辐杆藻 *B. cosmosum* Pavillard
 华美辐杆藻 *B. elegans* Pavillard
 远距角刺藻 *Chaetoceros distans* Cleve
 须状角刺藻 *Ch. crinitus* Schuett
 根状角刺藻 *Ch. radicans* Schuett
 窄隙角刺藻 *Ch. affinis* Lauder
 窄隙角刺藻绕链变种 *Ch. affinis* var. *circinalis* (Meun.) Hustedt
 柔弱角刺藻 *Ch. debilis* Cleve
 拟弯角刺藻 *Ch. pseudocurvisetus* Mangin
 异角刺藻 *Ch. diversus* Cleve
 平滑角刺藻 *Ch. laevis* Leuduger-Fortmorel
 短刺角刺藻 *Ch. messanensis* Castracane
 桥联角刺藻 *Ch. anastomosans* Grunow
 双突角刺藻 *Ch. didymus* Ehrenberg
 双突角刺藻英国变种 *Ch. didymus* var. *anglica* (Grunow) Gran
 双突角刺藻隆起变种 *Ch. didymus* var. *protuberans* (Land.) Gran et Yendo
 垂缘角刺藻 *Ch. laciniosus* Schuett
 奇异角刺藻 *Ch. paradoxus* Cleve
 范氏角刺藻 *Ch. vanheurckii* Gran
 暹罗角刺藻 *Ch. siamense* Ostenfeld
 二核样体角刺藻 *Ch. dipyrenops* Meunier
 洛氏角刺藻 *Ch. lorenzianus* Grunow
 日本角刺藻 *Ch. nipponica* Ikari
 扁面角刺藻 *Ch. compressus* Lauder
 瘤面角刺藻 *Ch. bacteriastroides* Karsten
 罗氏角刺藻 *Ch. lauderi* Ralfs
 爱氏角刺藻 *Ch. eibenii* Grunow
 密连角刺藻 *Ch. densus* Cleve
 大西洋角刺藻那不勒斯变种 *Ch. atlanticus* var. *neapolitana* Hustedt
 大西洋角刺藻骨条变种 *Ch. atlanticus* var. *skeleton* (Schütt) Hustedt
 印度角刺藻 *Ch. indicum* Karsten
 秘鲁角刺藻 *Ch. peruvianus* Brightwell
 齿角刺藻 *Ch. denticulata* Lauder
 金色角刺藻 *Ch. aurivillei* Cleve
 均等角刺藻 *Ch. aequatoriale* Karst.
 喙状角刺藻 *Ch. rostratus* Lauder
 长刺角刺藻 *Ch. tetrastichon* Cleve
 达蒂角刺藻 *Ch. dadayi* Pavillard
 密聚角刺藻 *Ch. coarctatus* Lauder
 中华盒形藻 *Biddulphia sinensis* Greville
 高盒形藻 *B. regia* (Schultze) Ostenfeld
 活动盒形藻 *B. mobiliensis* (Bailey) Grun.
 锤状中鼓藻 *Bellerophora malleus* (Brightw.) Van Heurck
 霍克半管藻 *Hemiaulus hauckii* Grunow
 薄壁半管藻 *H. membranaceus* Cleve
 哈德半盘藻 *Hemidiscus hardmannianus* (Grev.) Mann
 楔形半盘藻 *H. cuneiformis* Wallich
 角管藻 *Cerataulina* sp.
 布氏双尾藻 *Ditylum brightwelli* (West) Grunow
 太阳双尾藻 *D. sol* Grunow
 短角弯角藻 *Eucampia zodiacus* Ehrenberg
 长角弯角藻 *E. cornuta* (Cleve) Grunow
 佛朗梯形藻 *Climacodium frauenfeldianum* Grunow
 双凹梯形藻 *C. biconcavum* Cleve
 扭鞘藻 *Streptotheca thamesis* Shrubsole

菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides* Grunow

柔弱海毛藻 *Thalassiothrix delicatula* Cupp

伏恩海毛藻 *T. frauenfeldii* Grunow

长海毛藻 *T. longissima* Cleve et Grunow

短纹楔形藻 *Licmophora abbreviata* Agardh

膜状舟形藻 *Navicula membranacea* Cleve

双壁藻 *Diploneis* sp.

斜纹藻 *Pleurosigma* sp.

尖刺菱形藻 *Nitzschia pungens* Grunow

新月菱形藻 *N. closterium* (Ehr.) W. Smith

金藻门 CHRYSOPHYTA

等刺硅鞭藻 *Dictyocha fibula* Ehrenberg

黄藻门 XANTHOPHYTA

海球藻 *Halosphaera viridis* Schmitz

蓝藻门 CYANOPHYTA

铁氏束毛藻 *Trichodesmium thiebautii* Gomont

红海发束毛藻 *T. erythraeum* Ehrenberg

汉氏束毛藻 *T. hildebrandtii* Gomont

扭束毛藻 *T. contortum* Wille

附硅蓝藻 *Reichia intracellulus* Schmidt

参 考 文 献

- [1] 朱树屏、郭玉洁, 1957. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛硅藻属的研究. I. 分类的研究, II. 生态的研究. 海洋与湖沼 1(1): 27—94, 1(2): 167—184.
- [2] 孙湘平, 1977. 东海水文略谈. 海洋战线 1977 年第 5 期.
- [3] 金德祥、陈金环、黄凯歌, 1965. 中国海洋浮游硅藻类. 上海科技出版社 1—230 页.
- [4] 郭玉洁, 1963. 黄海角毛藻属区系的性质. 海洋与湖沼, 5(4): 322—332.
- [5] 相川廣秋, 1932. 海洋浮游生物学. 東京水産社 1—273 頁.
- [6] 朝岡治, 1975. 東シナ海の植物プランクトン分布と海況. 海洋科学 7(1): 38—45.
- [7] 井上尚文, 1975. 東シナ海大陸棚上の海底流動. 海洋科学 7(1): 12—18.
- [8] 小久保清治, 1965. 浮游硅藻類. 第 2 版, 恒星社厚生閣. 1—330 頁.
- [9] Gran, H. H., 1905. Diatomeen. in Brandt und Apstein, Nordisches plankton, Botanischer, Teil 19: 1—146, Kiel und Leipzig.
- [10] Hustedt, F., 1927. Die Kieselalgen. in Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz. Bd. 7: 1—920. Leipzig.
- [11] Raymont, J. E. G., 1963. Plankton and productivity in the ocean. pp. 1—352, Pergamon Press, London.
- [12] Schiller, J., 1937. Dinoflagellatae. in Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz. Bd. 10, Abt. 3, T. 1: 1—615; T. 2: 1—589.

THE ECOLOGICAL STUDIES ON THE PHYTOPLANKTON OVER THE CONTINENTAL SHELF OF THE EAST CHINA SEA IN THE SUMMER OF 1976*

Guo Yujie and Yang Zeyu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

The distribution of phytoplankton over the continental shelf of the East China Sea bears close relationship with the distribution and movement of water masses. Based on the quantitative distribution and number of species appeared from observed stations of the investigated area, the phytoplankton may be grouped into four communities as follows:

(1) Community I. The outer boundary of biotope of this community is approximately limited by the bathymetric contour of 60 m. Its dominate species is characterized by warm-temperate nature, it expresses that the biotope of this community is mainly affected by coastal water from the Yellow Sea and run-offs from rivers.

(2) Community II is bounded between the bathymetric contours of 60 and 80 m (along 123° E). Compared to the above community, there are some tropic species which are carried out by the Taiwan Warm Current to this community.

(3) Community III occupies the area (where the bathymetric contour exceeds 150 m) affected by the Kuroshio. Although this community contains a great deal of phytoplankton species (66 species and 75 species appeared at the station located 27°N, 126°E, in June-July and August-September respectively), but the ecological nature of these species is very simple, the main members of them are tropic oceanic species. In August-September, with the increasing of the influence of Kuroshio in this area, the biotope of this community extends northward and westward, but the distribution centre of these tropic oceanic species has no changes from its location in June-July.

(4) Community IV occupies the middle of the East China Sea, in fact, it is a mixed body of neighbour communities. In the north part of this biotope, where is affected by the cold water mass from the middle of Yellow Sea, the quantity of phytoplankton is very small, and the number of species is fewer than ten. The *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg and *Biddulphia sinensis* Greville (its lower temperate ecological form) are the main members of this community. Besides, there are some *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve, *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg and *Cos. jonesianus* (Grev.) Ostenfeld etc., which are mixed into this community from the community I. While at the north-east part of this biotope we have found a few of tropic species, which are carried out by the Yellow Sea Warm Current. To compare with the north part, there are more tropic species mixed into the south part of this biotope. It is

* Contribution No. 545 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

caused by the enlargement of the Taiwan Warm Current and Kuroshio toward the middle portion of the East China Sea.

Thus we have gotten a result that when we have understood the distribution and movement of different phytoplankton species mixed into the community IV, the summer tendency of movement of the water masses around this biotope is known simultaneously.