

# 渤海湾海河口区浮游植物动态及其 与有机污染的关系\*

邹景忠 董丽萍

(中国科学院海洋研究所)

近二十年来,随着海洋环境科学的发展,河口污染和生态问题日益受到重视。关于污水排放对河口内湾浮游植物生态的影响,近年 Ketchum, B. H. (1967); McCormick, J. M. 等 (1975); Rice, T. R. (1975); Jenkins, S. H. (1978); Thompson, G. B. 等 (1981); Meyers, V. B. 等 (1983) 和 Joint, I. R. (1984) 都做过调查研究和评论。但迄今国内有关这方面的研究报道甚少。

海河口是一个有污染源的生态环境特殊的感潮河口,受自然因素和人类活动的影响很大。由于其地理位置得天独厚,水质肥沃,饵料丰富,历来是许多经济鱼虾类优良的天产卵、索饵和肥育的场所,在渤海渔业上占有重要位置。但近十多年,由于入海径流量

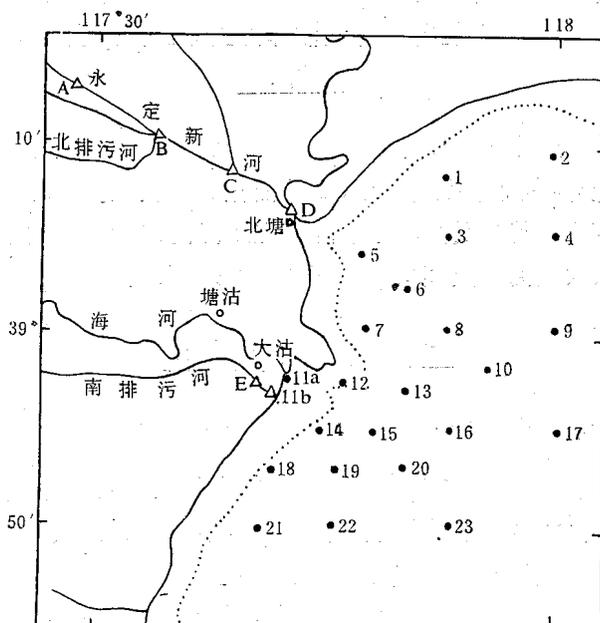


图 1 调查采样站位

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1388 号。本所周显铜、平仲良、田秀萍同志曾参加部分工作,特此志谢。

收稿日期: 1986 年 9 月 8 日。

锐减和城市污水排海总量的增加<sup>1)</sup>,其水质逐渐恶化,环境正由半咸水向海洋化方向演变,对河口渔业构成严重威胁。对此,我所曾于1978—1981年对渤海湾的污染状况及影响进行过多学科的综合调查,在渤海湾污染的浮游植物生态效应、海湾富营养化及其与赤潮的关系等方面,也做过初步研究(邹景忠等,1983;1984;1985)。当时由于受调查范围和项目的限制,对河口有机污染及生态效应的研究还很不够,所获得的一些资料尚不足以作出定量的科学论断。

本文着重探讨海河口区浮游植物的生态变化及其与有机污染的关系,旨在为综合分析和评价海河口区目前的生态质量及演变趋势,为河口环境的综合整治提供科学依据。

## 一、调查及分析方法

本次调查范围及测站布设见图1。调查时间为1984年5月(枯水期)、8月(丰水期)和10月(平水期)三个代表月份。浮游植物样品系用浅水III型浮游生物网(网口面积37cm,75 $\mu\text{m}$ 孔径尼龙筛绢)自底层至表层拖获,按个体计数法定量,并采用Margalef(1958)提出的计算式: $d = S - 1/\ln N$ ,计算多样性指数值。式中 $d$ 为多样性指数, $S$ 为种类数, $N$ 为细胞总个数。

叶绿素的测定,系用普通塑料桶在各测站采表层水1L,经0.60 $\mu\text{m}$ 微孔滤膜抽滤,90%丙酮萃取,离心后,用国产751型分光光度计测定其吸光值,并用Jeffrey-Humphrey方程式计算其叶绿素a,b,c的含量(Jeffrey et al., 1975)。初级生产力系以叶绿素a含量使用Cadee和Hegeman简化的计算式估算得出(吕培顶等,1984):

$$P = \frac{P_s ED}{2}$$

式中 $P$ 为每日的现场初级生产力; $P_s$ 为表层水中浮游植物的潜在生产力( $\text{mg-C}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ); $E$ 为真光层深度,取赛克圆盘读数的3倍; $D$ 为白昼时间长短。同化系数取5.1。

为便于分析和讨论,特将受潮汐影响的永定新河河口段和大沽排污口的各测站统称为内河口,北塘河口、大沽河口及其口外水域统称为外河口。

## 二、结果与讨论

### 1. 浮游植物种类组成和多样性

调查期间,共检出浮游植物26属60余种,其中绝大多数为海产广温广盐近岸种,少数为淡水和半咸水种,种数最多的是硅藻,其次是甲藻、绿藻、蓝藻,金藻最少。各月各测站浮游植物种类组成及优势种所占比例示于图2。

从图2并结合温、盐度分布可以看出,海河口区的浮游植物种类组成具有种类季节更替明显,种类空间分布不均匀和区域差别大的特点。春末5月为枯水期,各入海主要河流和排污河的闸门均未开启放水,入海径流量很少,整个调查区受33%以上的外海高盐水

1) 据天津市水文站统计,1980—1983年年平均径流量只有5.34亿立方米,是50年代152.8亿立方米的1/30,60年代100.5亿立方米的1/20,70年代52.2亿立方米的1/10;1980—1983年平均入海污水量为3.9亿立方米,约占入海径流量的72.3%。

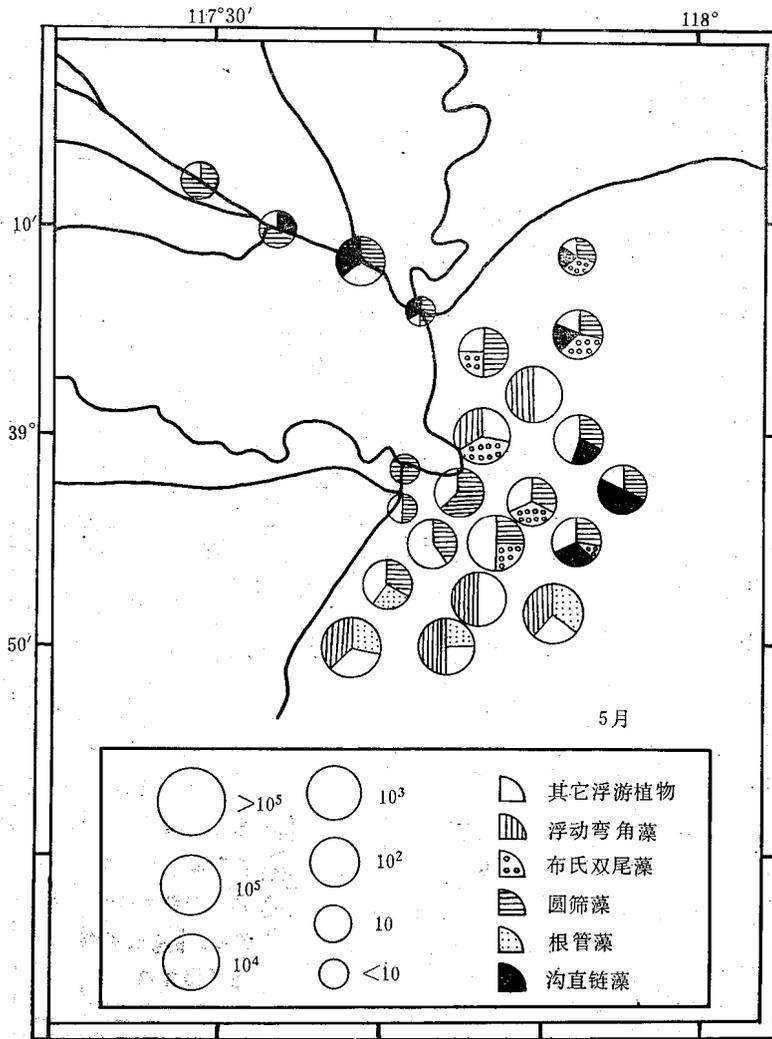


图 2 A

控制，盐度水平梯度很小，平均水温也只有 17.7℃，外河口的优势种主要是海产圆筛藻 (*Coscinodiscus* spp.)，布氏双尾藻 (*Ditylum brightwellii*)，沟直链藻 (*Melosira sulcata*) 和浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)；在大沽口外，斯托根管藻 (*Rhizosolenia stolterfothii*)，刚毛根管藻 (*R. setigera*)，尖菱形藻 (*Nitzschia pungens*) 和竹排菱形藻 (*N. paradoxa*) 也占很大比重。而内河口特别是永定新河河口段，由于径流量小，加以海水倒灌，平均盐度也很高 (28.02‰)，一些海产硅藻随潮流而入，使其组成与外河口相似，优势种也是圆筛藻和沟直链藻，淡水和半咸水种很少。到了丰水期 8 月，随着水文季节的转换和入海淡污水量的剧增，全区水温急骤上升，盐度大幅度下降至 23‰，致使其种类组成发生了明显改变；在外河口除圆筛藻仍为优势种外，中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)，聂氏海棒藻 (*Thalassionema Nitzschoides*) 和窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 等上升为优势种，并出现一定数量的半咸水种如异常角毛藻 (*C. abnormis*)、锤状缘毛藻 (*Bellerophonema ma-*

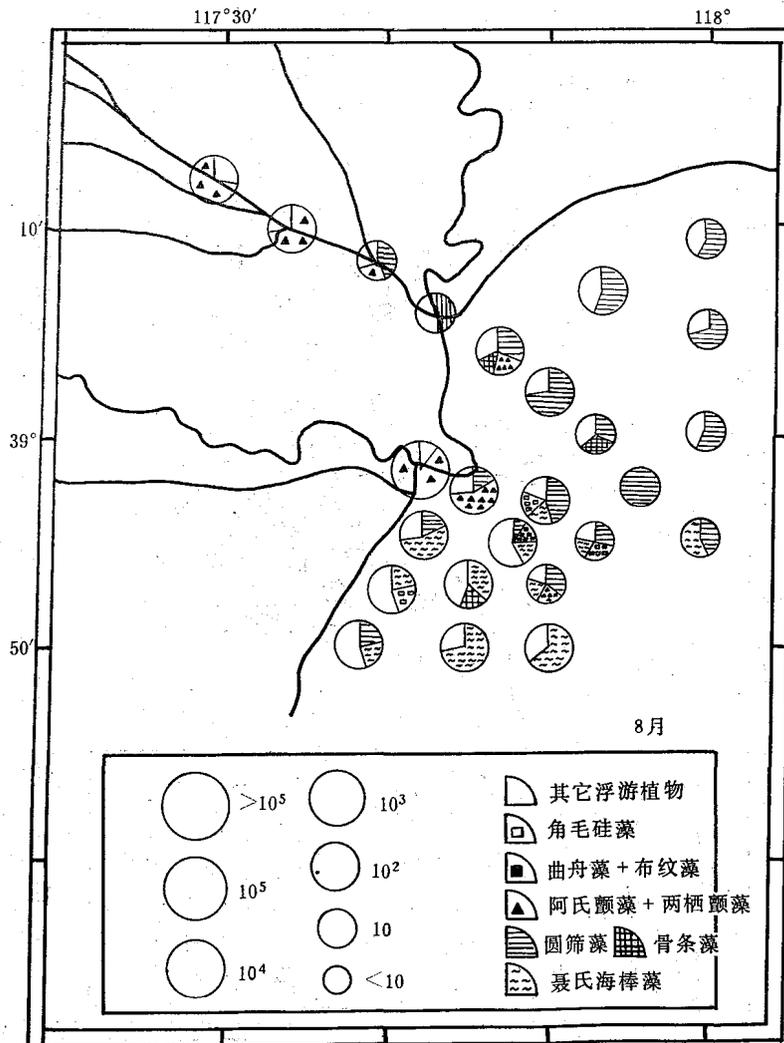


图 2 B

*lleus*), 在离岸较远的测站还出现适盐下限较高的角藻 (*Ceralium* spp.)。而在内河口, 平均盐度很低 (10‰), 几乎全是淡水和半咸水种, 以耐污种阿氏颤藻 (*Oscillatoria agarhii*) 和两栖颤藻 (*O. amphibia*) 最占优势, 其数量分布明显地呈现出自内河口向外河口递减的趋势, 与淡污水自口门呈舌状向外河口伸展的方向和范围颇为吻合, 说明夏末 8 月浮游植物的种类组成及分布主要受淡污水的影响。10 月为平水期, 水温虽明显下降 (18°C), 但盐度却有升高 (26‰), 内外河口的种类组成与 8 月大体相仿; 唯在大沽口由于中肋骨条藻和微型原甲藻 (*Prorocentrum minimum*) 大量增殖, 抑制了其他浮游植物的生长, 使优势种之间的数量比例关系发生了很大变化, 这与 1978—1981 年调查的结果迥然不同。由此可见, 在环境复杂多变的河口区, 浮游植物种类组成和分布的变化是相当剧烈而复杂的, 它除了受季节影响外, 还直接受淡污水和外海高盐水势力的消长和相互推移的影响, 其中污水排放量及其所含高浓度的有机污染物, 对浮游植物种类的存在和更替也起限制作用。

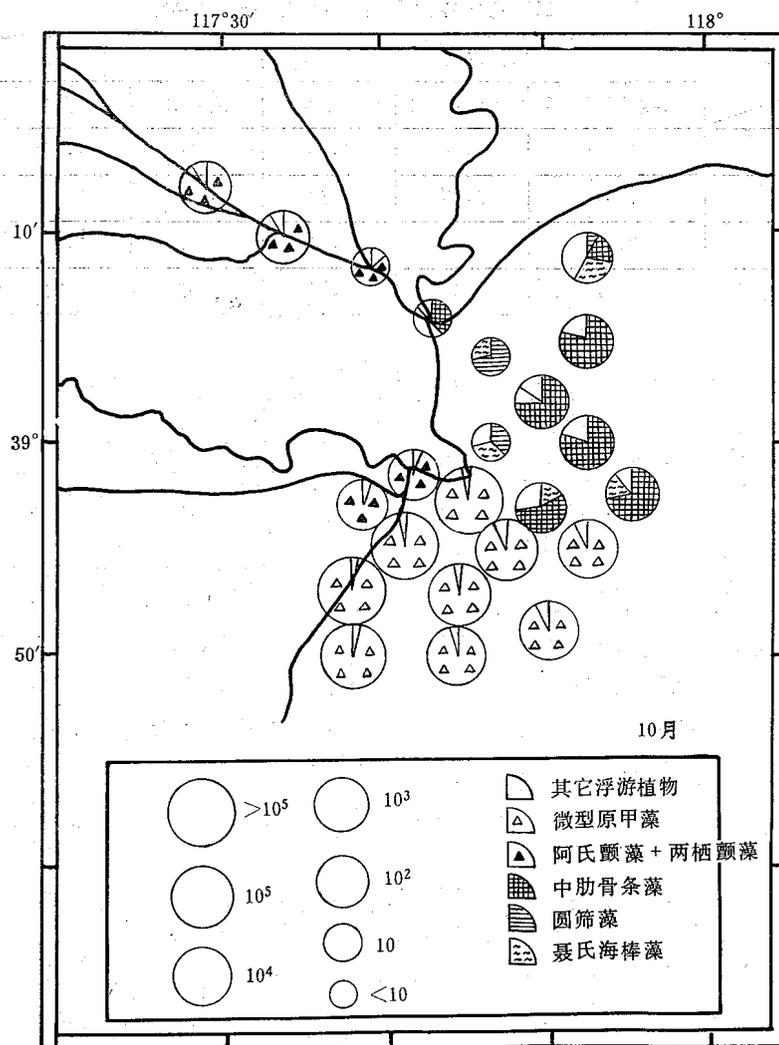


图 2 C

图 2 海河口区浮游植物种类组成 (%) 及细胞总个数 (万个/m<sup>3</sup>) 的分布

通过海河口区各水域各月浮游植物种类多样性指数值 (表 1) 和耗氧有机物 (COD) 含量的比较, 可以清楚地看到: 内河口由于直接受南、北排污河污水的影响, 水质有机污染严重, 5, 8, 10 月 COD 平均含量分别高达 20.4, 15.3 和 69.9 mg/L, 超过海水水质标准 (3mg/L) 的 5—23 倍, 加上受悬浮体含量高而浊度加大的影响, 各月指数值都在 1.42 以下, 比外河口低得多, 且明显呈现出自内河口向外河口逐站递增的趋势, 与 COD 自内河口向外河口逐站递减的趋势恰成明显对照。比较内河口两个区段, 大沽排污口承受的南排污河污水量及其所含的 COD 浓度均比永定新河河口段承受的北排污河污水量和 COD 浓度为高, 故大沽排污口的多样性指数值明显低于永定新河河口段。例如 5 月和 10 月大沽排污口 COD 含量分别高达 28.9 和 130 mg/L, 比永定新河河口段的实测值高 1 倍, 而多样性指数值则比永定新河河口段低 30—40%, 成为全调查区的最低值 (0.68 和

表 1 海河口区各水域浮游植物种类多样性指数值

区域 月份	内河口区			外河口区		
	永定新河河口段	大沽排污口	全区平均值	北塘口	大沽口	全区平均值
5	1.20	0.68	1.03	1.54	1.96	1.79
8	1.42	1.15	1.33	1.43	2.0	1.76
10	0.81	0.57	0.73	1.97	1.74	1.84
三个月平均值	1.14	0.8	1.03	1.65	1.90	1.80

0.57)。可见, COD 浓度过高,对大多数海产浮游植物确有明显的影响。

另外,许多研究表明,氮、磷既是生命元素同时也是污染因素,水中含量过低或过高都对浮游植物有不利的影响。据 Topping (1976) 用微宇宙进行现场实验并结合现场调查的研究结果指出,当近岸海水中氮、磷浓度达到 0.17mg/L 和 0.031mg/L 时,对浮游植物生长仅起促进作用而不改变种群结构;而当浓度增加 2 倍,即氮 0.5mg/L、磷 0.093mg/L 时,既能促进浮游植物生长增加 8 倍,同时也改变了种群结构。Johnston 称之为“改变的生态学”(转引 Thompson, 1981)。若按这一标准来衡量,似可认为,目前外河口水域中氮、磷含量水平对浮游植物种群结构的影响不大;而内河口,除永定新河河口段 10 月的无机氮(TIN)和大沽排污口 8 月的无机磷(TIP)含量分别低于 0.5mg/L 和 0.093 mg/L 外,其余各月的含量均已达到改变浮游植物种群结构的水平,以致种类多样性指数值也相应较低。可见,内河口水域中过量的氮、磷,特别是 TIP,无疑也是促进某些耐污淡水藻(如颤藻)增殖,抑制一些半咸水和海产藻类生长的重要因子。

从以上分析结果足以说明:(1)除了丰水期 8 月以外,海河口区浮游植物群落的性质正由河口低盐特性向以海产种类为优势组成的外海高盐群落演变;(2)浮游植物种类多样性指数值的高低,不仅可以反映海河口区有机污染对浮游植物的影响状况,同时也可作为评价其有机污染程度的一个有意义指标;(3)与有机污染有关的优势种类,主要是淡水种阿氏颤藻、两栖颤藻,半咸水种异常角毛藻和海产中肋骨条藻、沟直链藻;这些种类大都分布在内河口或淡污水与海水汇合处,对高浓度的 COD 和氮、磷都具有较高的耐受能力,它们的数量分布在一定程度上可以指示有机污水的扩展范围。

## 2. 浮游植物现存量和初级生产力

和浮游植物的种类组成与分布一样,海河口区浮游植物的现存量和初级生产力也具有季节变化明显和区域差别大的特点。即使在同一月份同一区域的不同测站,由于水文条件和受污水影响程度的不同,或组成各测站的优势种及其生理状态的差别,浮游植物细胞总个数、叶绿素 a 含量和初级生产力的变化也不尽相同,它们之间并非都是线性关系。各个区域不同月份的数量变化示于表 2。

(1) 浮游植物现存量 现存量一般都以细胞总个数或叶绿素 a 含量表示。其数量变化也是反映水质污染对其影响和指示水质污染状况的一个重要指标。

从图 2 和表 2 可以看出,海河口浮游植物细胞总个数的分布趋势是外河口的数量高

表2 海河口区各水域浮游植物细胞总个数、叶绿素 a 含量和初级生产力的比较

项目	区域 月份	内河口区				外河口区			
		5	8	10	三个月平均值	5	8	10	三个月平均值
细胞总个数 (万个/m <sup>3</sup> )		3.05	58.92	82.10	48.02	503.59	24.14	46.040	15.522
叶绿素 a (mg/m <sup>3</sup> )		7.65	8.28	6.50	7.48	4.34	6.32	1.30	3.99
初级生产力 (mg-C/m <sup>2</sup> ·d)		27.70	28.30	26.90	27.63	168.70	371.70	79.37	206.60

于内河口,大沽口高于北塘口,内河口的大沽排污口又高于永定新河河口段。一般都是10月的数量最高,5月次之,8月较少。5月份内河口的数量较少,主要是因为受高盐水和污水的双重影响。各月数量的高值区主要分布在淡污水和海水的汇合处,靠近排污口和离岸较远的测站数量反而较低。密集中心常在北塘口的6,8号站和大沽口的15,20,21,22号站。和网获浮游植物细胞总个数的分布相反,叶绿素 a 含量是内河口高于外河口。在外河口一般是8月的含量最高,5月次之,10月最低;而在内河口各月含量的差别很小。从平面分布看,外河口叶绿素 a 的高值区也大多分布在淡污水和海水的交汇处,其中6,8,20,22号站含量尤高,8月份3,4号站的含量也高达10 mg/m<sup>3</sup>以上(图3)。

另外,为了解叶绿素 a 的日变化及其受太阳辐射、污水及潮流的影响,我们于1984年8月在8,20和17号站进行了周日连续观测。结果如图4所示,叶绿素 a 含量白天较高,晚间较低,且受潮流影响显著。落潮时,污水向外河口扩展,波及8号和20号站,导致该两站叶绿素 a 和 COD 的含量都较高,两者变化曲线基本一致,而盐度的变化则与之相反。涨潮时,海水涌向内河口,在该两测站出现盐度高,叶绿素 a 和 COD 的含量都低的分布趋势。在远离河口的17号站,受淡污水的影响较弱,盐度很高(32‰以上),但叶绿素 a 和 COD 的含量普遍较低,且日变幅也很小。这些结果说明,富含有机物的污水排入河口后,经过水动力的稀释扩散作用,浓度明显降低,当其浓度尚未达到危害程度(3mg/L)而又有足够的太阳辐射时,对河口浮游植物的生长和光合成是有利的。潮流在调节 COD 浓度、影响叶绿素分布与变化的过程中起着重要作用。

须要着重提出的是,网获浮游植物细胞总个数与叶绿素 a 在分布上的不一致,它们之间相关不显著或出现负相关关系,有方法上的原因,也与水域生理特性的差别有密切关系。在污染严重的内河口,出现网获浮游植物数量少而叶绿素 a 含量异常高的现象,可能有以下几种原因。首先是种类组成的差别。用网拖获的浮游植物大多是个体超过70 μm的小型种类,不包括个体微小而密度很高的微型浮游植物,而提供测定叶绿素含量用的采水样品,却包括了所有大小不同的种类。再则,组成内河口的优势种主要是比较耐污的淡水或半咸水性的蓝藻和绿藻等,这些藻的色素体比较丰满,而外河口则是以海产硅藻为主,其色素体多呈小颗粒状,且数量较少,这或许是内河口叶绿素 a 含量高于外河口,以及细胞数与叶绿素 a 含量之间有差别的原因所在。其次是有机碎屑的干扰影响。据测定,5月份内河口各测站水中悬浮体含量均在1000mg/L以上,到了外河口的5号站及其以远的测站,其含量则下降到200mg/L以下。这些悬浮体中有相当一部分是有机碎屑,其中含有

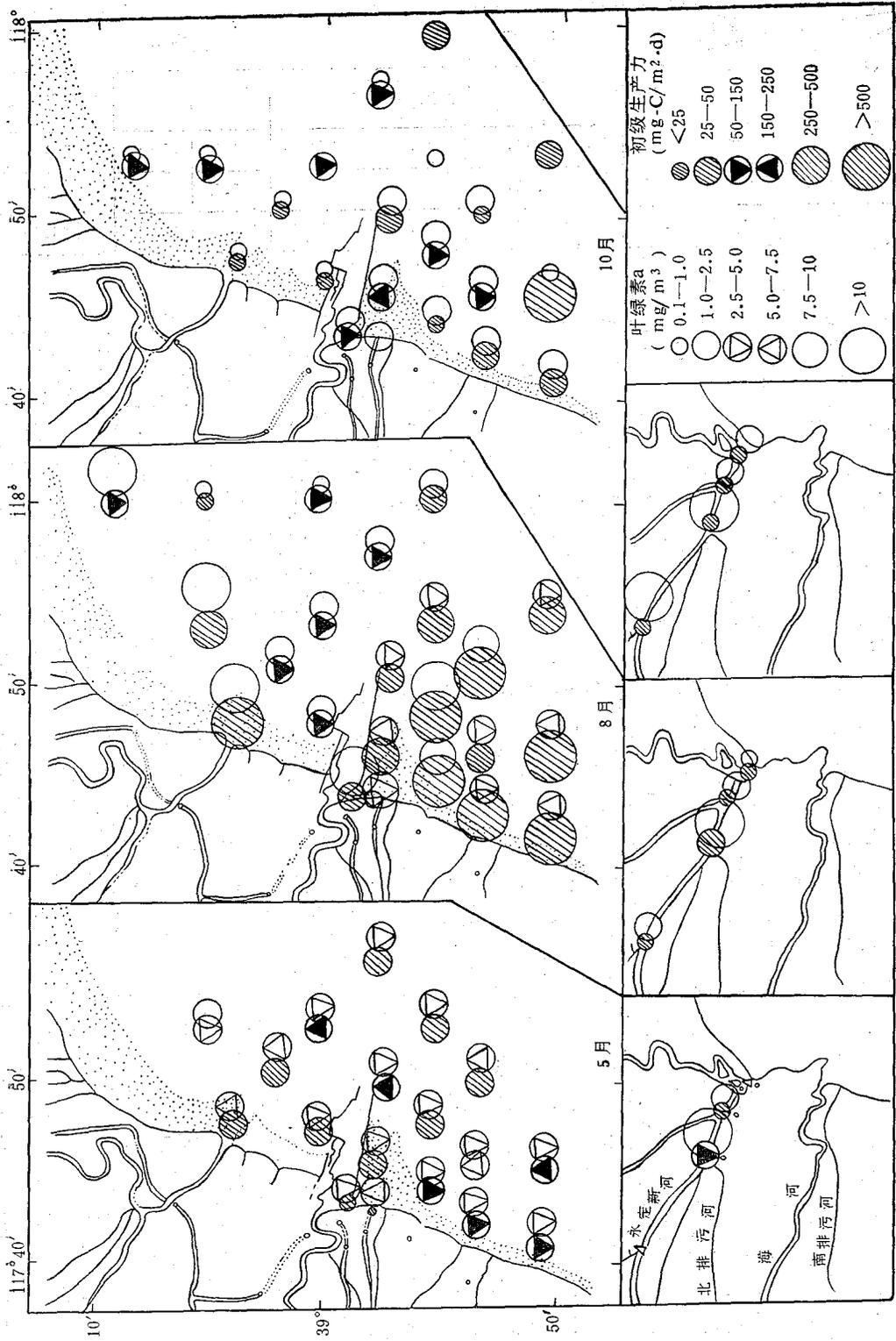


图3 海河口区叶绿素a和初级生产力的分布

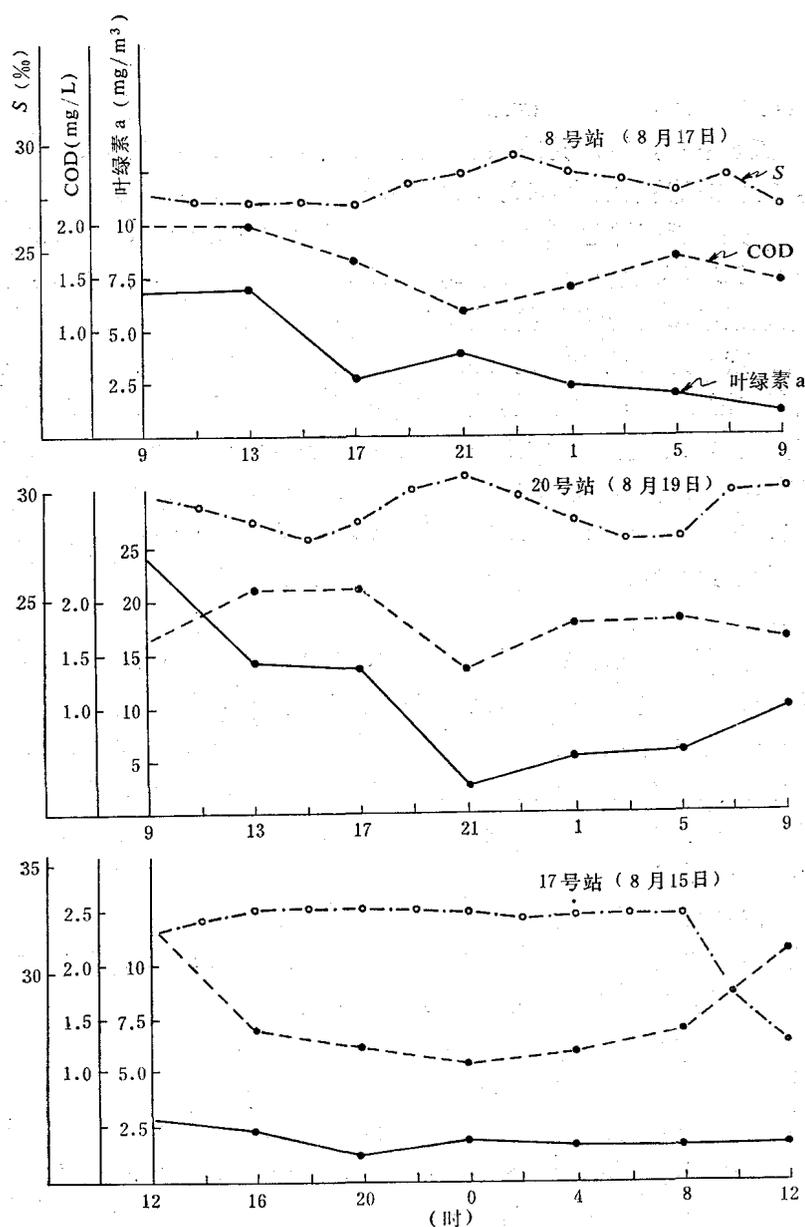


图4 海河口区叶绿素 a, COD 和盐度的日变化

脱镁叶绿素 a, 在我们用分光法测定的叶绿素 a 含量中实际上也包括这一部分色素, 因而使测定值偏高。这正如 Havey (1950), Gillbrich (1952), Key (1957) 所指出的那样, 海水中占很大比重的有机碎屑组成的颗粒中, 包含叶绿素及其衍生物, 估计垂直方向混合良好的河口沿岸水域的叶绿素含量时, 必须考虑这一点 (邹景忠等, 1985)。由此得到启示, 在富含有机碎屑的河口水域, 采用荧光法或许可以免除这种影响。第三是污水颜色的干扰影响而使叶绿素 a 测定值偏高。现场采样时目睹内河口各测站的水大多呈黑色, 以北排污河口的 B 站和南排污河口的 11b 站尤为严重, 这些测站叶绿素 a 的测定值高达 13

mg/m<sup>3</sup>以上,居调查区之首,但网获浮游植物细胞个数、种类多样性指数值和初级生产力都很低,显然是受黑色污水的影响。据有关资料<sup>1)</sup>,废水颜色对光的吸收波段在400—500 μm处与叶绿素的一个吸收高峰相近。

从整个调查区来看,除10月外,网获浮游植物细胞数与叶绿素a含量之间基本上是正相关关系,5月的相关系数为0.68,8月为0.48,相关不显著。10月的负相关关系(相关系数-0.24)是由于南排污河输入的COD和氮、磷含量比较大,导致大沽口区水体富营养化加重(COD平均含量130mg/L, TIN0.54mg/L, TIP0.14mg/L),赤潮生物中肋骨条藻和微型原甲藻大量增殖,抑制了其他种类的繁殖,从而降低了生态效率,出现了细胞数高而叶绿素a含量低的局面。外河口8月份出现叶绿素a含量高而细胞数低的现象,可能是由于淡污水和季节的影响,淡水藻和一些微型藻在该区浮游植物组成中的比例增加,加上营养盐比较丰富,海面太阳辐射强度大和辐射时间长,提高了生态效率,使叶绿素a含量普遍得到增加。这种现象或许是污染水域或富营养化水体浮游植物生理生态变化的一个特点,与McCormik(1975)和Fanuko(1984)的研究结果:“在一般富营养化或污染的沼泽中,叶绿素a与细胞数之间没有相关关系,只有在干净水域两者才有显著的正相关”,基本是一致的。

(2) 初级生产力 如表2和图3所示,由叶绿素a估算的初级生产力,与浮游植物细胞总个数的分布一样,也是外河口高于内河口,与叶绿素a含量的分布则相反。造成内河口初级生产力与叶绿素a含量分布不一致的原因,主要是内河口有机污染严重,能够进行光合作用的浮游植物数量较少,而叶绿素a,如前所述因受有机碎屑和污水颜色的干扰影响而使测定值偏高。另外,内河口悬浮体含量很高而使透明度变小(仅有10—20cm),水中光线不足,直接影响了数量有限的浮游植物的光合作用,使合成的有机碳量变少。可见,污水和悬浮体也是直接影响初级生产力的重要因子。

从初级生产力的季节分布看,其变化规律与叶绿素a一样:在外河口也是8月最高,5月次之,10月最低,在内河口的变幅很小。

### 3. 浮游植物与有机污染的关系

前述分析表明,影响海河口区浮游植物种群动态变化的环境因子是多种多样的,既有自然因素中的光照、营养盐等限制因子和温度、盐度、悬浮体、水动力等控制因子,也有人因素,特别是陆源排污的不利影响。

海河口区是一个有污染源的感潮河口。据天津市塘沽环境保护监测站统计分析,1984年由天津市南、北排污河进入河口的3.49亿立方米污水中,含有COD、氮、磷、石油、重金属、DDT、666、五氯酚钠、表面活性剂等20余种有害物质,其中COD13.5万吨,氨氮(NH<sub>4</sub>-N)0.35万吨, TIP0.040万吨,是酿成海河口区有机污染及水体富营养化最重要的成分。从这次调查结果看,进入河口区的这些污水,既有提高水域肥沃度,促进浮游植物生长的作用,又会因为污水排放量过大或污染物浓度过高而对浮游植物种类组成和数量变化带来有害的影响。

1) 中国科学院水生生物研究所,1980。图们江污染的水生生物学影响及其评价。

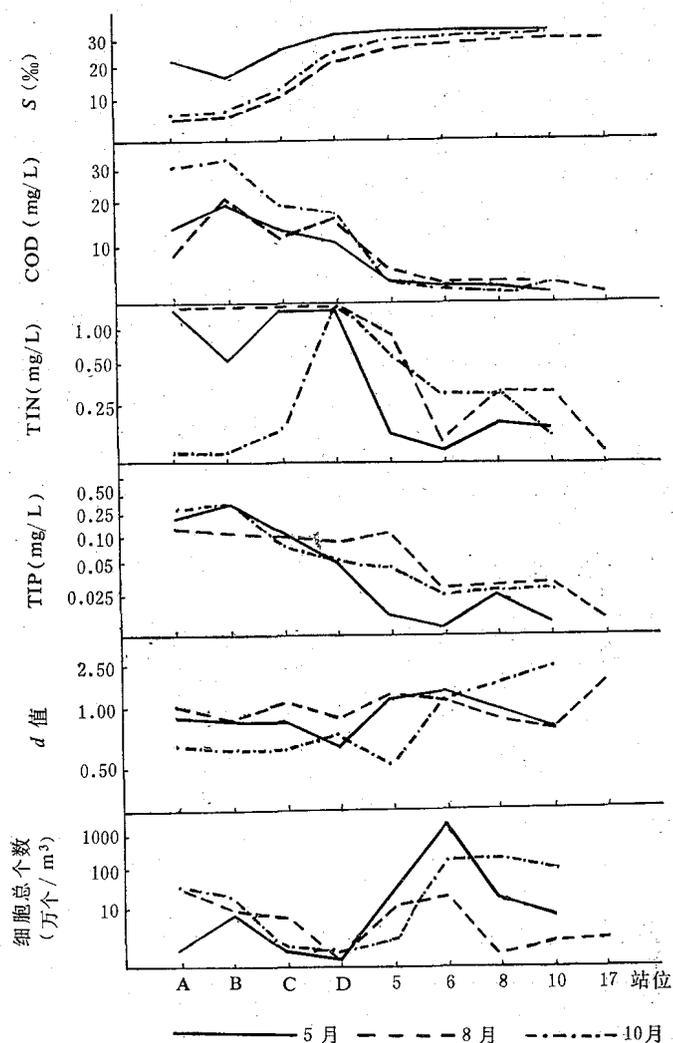


图5 北塘河口浮游植物多样性指数值( $d$ )、细胞总个数与水质参数的变化

图5表示浮游植物种类多样性指数值、现存量(细胞总个数)与水质主要参数的关系。从图中可见,浮游植物种类多样性指数值和细胞总个数明显地呈现出自内河口向外河口逐站递增趋势,其变化曲线与盐度、溶解氧基本一致,而与COD, TIN, TIP, 阴离子表面活性剂和悬浮体的变化曲线恰恰相反。凡COD含量高于5mg/L的内河口及口门的测站,浮游植物多样性指数值和现存量都很低;反之,自5号站以外的外河口各测站,COD含量大多在3mg/L以下,浮游植物多样性指数值和现存量则相对较高,它们之间存在着负相关关系。这与Okaich(1975)根据实验得出的COD 2—5 mg/L为藻类生长的最适浓度范围,超过10mg/L则对藻类生长产生不利影响的结果基本是一致的。

不过,浮游植物与氮、磷的关系比较复杂,这有几种情况:一是在有机污染严重的内河口,基本上是氮、磷含量越高,浮游植物多样性指数值和现存量就越低,两者呈负相关;二是在受有机污染影响的口门区如5, 12号站,氮、磷由于自河流上游而下,经物理、化学

和生物的稀释降解作用,浓度有所降低,分别在 $0.56-0.68\text{mg/L}$ 和 $0.03-0.06\text{mg/L}$ ,低于内河口但高于外河口,以致浮游植物现存量 and 指数值呈现上升趋势,两者呈正相关;但到了6和15号站,浮游植物种数和数量达到高峰,由于其吸收消耗,使氮、磷含量降低了33—66%,两者又呈负相关;三是在受有机污染轻微影响的离岸较远的8和20号站及自此以外水域,虽然TIN和TIP含量有时也高,但浮游植物现存量和指数值已恢复到内湾的正常水平。由此启示我们,在受污染的河口区,氮、磷含量多寡对浮游植物动态变化确是一个重要的限制因子,但其关系比较复杂,其中有河口区浮游植物各个优势种生长繁殖的氮、磷最适浓度及其体内积累量的多少,以及氮、磷的可利用率和其他环境因子的影响等问题,与一般不受污染的近海内湾或上升流区两者呈现简单的正相关关系大不相同。

据此,我们根据海河口区浮游植物的数量变动及其与有机污染关系的特点,采用5,8,10月浮游植物数量的平均值,以8月份数量的平均值作为衡量基数作图(图6),以区别各水域浮游植物生长状况。

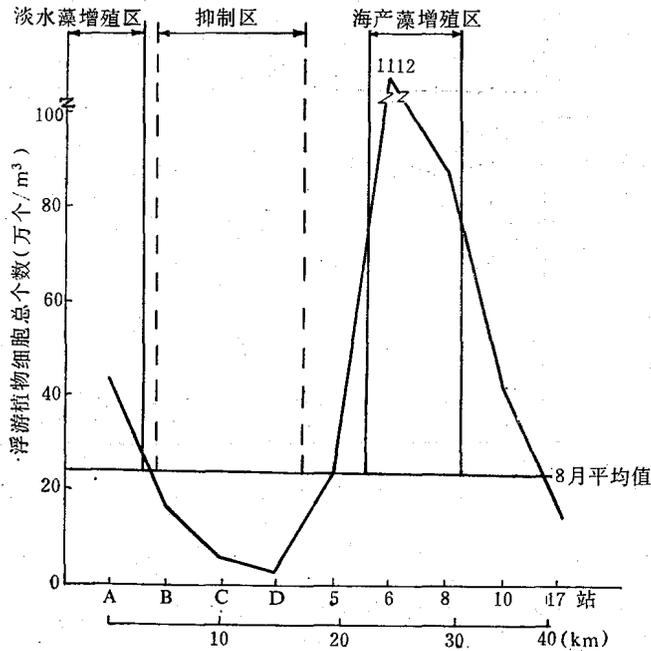


图6 海河口区污染水域浮游植物生长状况模式图

从图6可见,北排污河口B站以上的上游水域为淡水藻增殖区;B站以下至D站与5号站之间约12km水域为浮游植物生长抑制区,在大沽口该区约从大沽排污口至口外5km的12号与13号站之间;从5号与6号站之间至8号与10号站之间约10km的带状区为海产藻增殖区,在大沽口该区约在15号至20号站之间;增殖区以外水域为浮游植物正常生长区。不过,各区界线可随入海淡污水量之多少而变迁,如8月的界线可向东南移出5km。我们可以根据各个区浮游植物的种群密度和多样性指数值并结合水质主要参数值,来评价调查区不同水域的有机污染状况。

由于各种有机污染物在河口环境迁移过程中发生的浓度削减、形态转化以及其他环

境因子的差异，它们与浮游植物的关系又可因月份或区域之不同而有所差别，有的起限制、控制作用，有的起促进作用，有的则相关不明显。我们对调查区浮游植物的种类多样性指数值、细胞总个数、叶绿素 a 与水质主要参数之间的相关性进行了计算，结果列于表 3。

表 3 海河口区浮游植物种类多样性指数值、细胞总个数和叶绿素 a 同水质各参数之间的相关系数

浮游植物	月份	盐度	COD	BOD <sub>5</sub>	TON	TIN	TOP	TIP	AS
种类多样性指数值	5	0.17	-0.51	-0.62	-0.44	-0.21	-0.25	-0.52	—
	8	0.06	-0.57	-0.45	-0.06	-0.12	-0.24	-0.21	-0.48
	10	0.70	-0.57	-0.61	-0.06	-0.33	-0.66	-0.42	-0.44
细胞总个数	5	0.24	-0.58	-0.65	-0.51	-0.38	-0.35	-0.72	—
	8	-0.26	0.21	0.65	-0.01	0.02	-0.31	-0.21	-0.01
	10	0.46	-0.24	-0.23	-0.31	-0.40	-0.35	-0.42	-0.30
叶绿素 a	5	-0.01	-0.27	-0.41	-0.33	-0.17	-0.10	-0.41	—
	8	-0.46	0.42	0.34	0.40	0.23	0.23	0.15	0.27
	10	-0.83	0.30	0.41	0.75	-0.05	0.60	0.97	0.97

从表 3 可以看出：(1) 浮游植物种类多样性指数值、细胞总个数与 COD、五日生化耗氧量 (BOD<sub>5</sub>)、有机氮 (TON)、无机氮 (TIN)、有机磷 (TOP)、无机磷 (TIP)、阴离子表面活性剂 (AS) 之间存在着负相关关系，说明过量的有机污染物会抑制部分浮游植物种类的生长繁殖。多样性指数值与各种形态氮、磷之间存在的非显著负相关，显然与海河口区水体富营养化程度较高和氮、磷的可利用率直接有关。我们对浮游植物细胞总个数与无机三态氮进行相关分析表明，细胞总个数与亚硝酸氮 (NO<sub>2</sub>-N)、硝酸氮 (NO<sub>3</sub>-N) 都呈现负相关，而与氨氮 (NH<sub>4</sub>-N) 则呈现非线性的正相关关系，5 月的相关系数为 0.38，8 月为 0.15，10 月为 0.43，说明在自然条件下，浮游植物首先吸收 NH<sub>4</sub>-N；10 月份中肋骨条藻和微型原甲藻大量增殖，其数量也与 NH<sub>4</sub>-N 呈正相关（相关系数分别为 0.40，0.33），也说明这一点。另外，盐度也是影响因素，在受淡水水控制的水域内，多样性指数值就比较低，反之，在淡水影响较弱的水域就比较高，这与我们计算的多样性指数与盐度之间存在正相关的分析结果一致。(2) 除 5 月外，叶绿素 a 与水质各参数之间存在着正的非线性关系，其中以 10 月相关较显著，反映了某些浮游植物种类（如沟直链藻、中肋骨条藻、微型原甲藻和颤藻）对有机污染具有较高的耐污能力和对氮、磷有更高的需求量，它们在适宜的温、盐度和充足的太阳光照条件下显示出具有更高的生态效率和生理活性。同时也说明，有机污染物尚未达到危害浓度时，对提高水域初级生产力也起一定的促进作用。

至于各种有机污染物产生毒性或危害浮游植物生长的最低浓度值，目前国际上尚没有统一的认识和标准。例如有些学者根据实验室进行的浮游植物营养盐加富实验结果，提出 TIN 浓度达 5—120mg/L，TIP 达 0.5—4mg/L 时，对浮游植物生长有限制甚至危害作用(陈立人等, 1983)；有人认为，1.1mg/L TIN 即能产生毒性，危害浮游植物 (Rice, 1975)。实际上如此高的浓度，在自然环境中是少有的。在海河口区也只有排污口才检

测到总氮 (TN) 12.5mg/L、TIN 1.61mg/L, 总磷 (TP) 1.30mg/L、TIP 0.38mg/L。这样高的浓度。根据调查区的实际情况,我们原则上同意 Topping (1976) 提出的将 0.50mg/L TIN、0.093mg/L TIP 浓度值,以及 Okaich (1975) 提出的将 8mg/L COD 浓度值,作为对浮游植物生长有危害的阈值。我们暂确定将 0.5mg/L TIN、0.1mg/L TIP 和 5mg/L COD 浓度值作为海河口区评价阈值,其实用性如何,有待进一步研究修正。

### 三、小 结

海河口区的浮游植物种类组成、多样性指数值、细胞总个数、叶绿素 a 含量和初级生产力都具有季节变化明显、空间分布不均匀和区域差别大的特点。除叶绿素 a 外,一般都是外河口高于内河口;细胞总个数以 10 月的数量最高,5 月次之,8 月最少,而叶绿素 a 和初级生产力则是 8 月最高,5 月次之,10 月最低。影响浮游植物种类组成、数量变动的因素比较多而复杂,除了水温、盐度、浊度和潮流外,陆源排污及污水中高含量的 COD、氮、磷和表面活性剂也是重要限制因素。它们的浓度过高(COD > 5mg/L, TIN > 0.5mg/L, TIP > 0.1mg/L) 对浮游植物生长有抑制作用,浓度适量(小于上述浓度)有促进作用,能提高初级生产力。因此,合理调整控制污水入海量及其有机污染物的浓度,是减轻有机污染,避免对河口浮游植物种群和群落结构造成危害的最根本途径。

### 参 考 文 献

- 吕培顶等, 1984. 渤海水域叶绿素 a 的分布及初级生产力的估算. 海洋学报 6(1): 90—98.
- 陈立人等, 1983. 氮、磷、铁对盐藻生长影响的初步研究. 第一届中国藻类学术讨论会论文集. 科学出版社, 第 57—62 页.
- 邹景忠等, 1983. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨. 海洋环境科学 2(2): 41—55.
- 邹景忠等, 1984. 污水排放对渤海湾浮游植物生态影响的评价. 渤海湾污染防治研究论文选集. 中国环境科学出版社.
- 邹景忠等, 1985. 渤海湾遥感试验区海水叶绿素含量的分布及其影响因素. 天津-渤海湾地区环境遥感论文集. 科学出版社, 第 173—179 页.
- Zou Jingzhong (邹景忠) et al., 1985. Preliminary studies on eutrophication and red tide problems in Bohai Bay. *Hydrobiologia* 127: 27—30.
- Fanuko, N., 1984. The influence of experimental sewage pollution on Lagoon phytoplankton. *Mar. Poll. Bull.* 15 (5): 195—198.
- Jeffrey, S. W. & G. F. Humphrey, 1975. New spectro-photometric equations for determining chlorophylls a, b, c<sub>1</sub> and c<sub>2</sub> in higher plants, algae and naturel phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen* (Bpp), BD. 167: 191—194.
- Jenkins, S. H., 1984. Effects of domestic sewage on marine Phytoplankton. *Mar. Poll. Bull.* 15 (5): 147—148.
- Joint, I. R., 1984. The microbial ecology of the Bristol Channel and Severn Estuary. *Mar. Poll. Bull.*, 15(2): 62—65.
- Ketchum, B. H., 1967. Phytoplankton nutrients in estuaries. In: *Estuaries* (G. H. Lauff, ed.), pp. 329—335. American Association for the Advancement of Science, Washington, D. C.
- Margalef, R., 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: *Perspectives in Marine Biology* (Buzzati-Traverso, A. A., ed.), pp. 323—350, Univ. of California Press.
- McCormick, J. M. & P. T. Quinn, 1975. Phytoplankton diversity and chlorophyll-a in a polluted estuary. *Mar. Poll. Bull.* 6(7): 105—106.
- Meyers, V. B. et al., 1984. Phosphorus and nitrogen limited phytoplankton productivity in Northeastern Gulf of Mexico coastal estuaries. In: *Estuaries and Nutrients* (B. J. Neilson, et al., eds.), Humana Press, pp. 569—582.
- Okaichi, T. 1975. Organic pollution and the outbreaks of red tides in Seto Inland sea. In: *Proc. Intern. Congr.*

- Human Environment (HESC). HESC Organizing Committee, pp. 455—460.
- Rice, T. R. & R. L. Ferguson, 1975. Response of estuarine phytoplankton to environmental conditions. In: Physiological Ecology of Estuarine Organisms (Vernberg, F. J., ed.), pp. 1—45. Univ. of South Carolina Press.
- Thompson, G. B. & J. Ho, 1981. Some effects of sewage discharger upon phytoplankton in Hong Kong. *Mar. Poll. Bull.* 12(5): 168—173.
- Topping, G. 1976. Sewage and the sea. In Marine pollution (R. Johnston, ed.), pp. 303—351, Academic Press, London.

## PHYTOPLANKTON KINETICS OF THE HAIHE ESTUARINE AREA AND ITS INTERRELATION WITH ORGANIC POLLUTION\*

Zou Jingzhong and Dong Liping  
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

A study was carried out in 1983—1985 on the relationship between phytoplankton (species diversity index, standing crop and primary production) ecological changes and organic pollution in the Haihe estuarine area. The materials for this study were collected in May, August and October, (presenting the periods of minimum, maximum and average river runoff, respectively) from a total of 29 stations, 6 of which were located in Yongdingxin River influenced by tide and in the mouth of wastewater river.

A total of 60 species of phytoplankton were found in the investigated area. The ecotype were essentially eurytopic species and neritic. The distribution of phytoplankton exhibits marked regional and seasonal variations. The species diversity values, the standing crop of phytoplankton and primary production were much higher in the outer estuary than in the inner estuary, and showed marked increase from inner estuary towards the outer estuary. The highest values often occur in the area where fresh-sewage water and seawater mix with each other. The total number of phytoplankton cell were greater in October and smaller in August. And chlorophyll-a contents were greater in August and smaller in October.

Environmental factors which affect phytoplankton ecological changes of the Haihe estuarine area are referred to as light intensity, nutrients concentration, temperature, salinity, turbidity and other factors. Although it is difficult to determine the relative importance of individual factors, sewage-related pollution appears to have played a major role in bringing about the ecological changes of the Haihe estuarine phytoplankton. In the polluted inner estuary and near senage outfall sites, net phytoplankton diversity values were significantly reduced, and the cell density and primary production were significantly lower, too. A negative correlation exists between the diversity values, cell density and COD, BOD<sub>5</sub>, TON, TOP and TOC concentration. Chlorophyll-a has no significant positivity correlated with these pollutants. Obviously, the decrease in the diversity values and the number of phytoplankton cell in inner estuary are due to the influences of organic pollution. However, this effect is rather small in the outer estuary, occurring only in August.

\* Contribution No. 1388 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.