

长江口区初级生产力的研究*

郭玉洁 潘友联

(中国科学院海洋研究所)

许多研究表明,河口海区具有其独特的生态特征。径流携带大量陆源物质入海,丰富了海域中的营养盐类资源,促进了海洋生物的生长繁殖。长江年径流量约为 $9.25 \times 10^{11} \text{ m}^3$,其径流量随季节而变化,造成了长江口水环境的复杂性,从而对生物的组成、现存量和生产力等都产生明显影响。浮游植物是食物链中的初级生产者,其生产力直接或间接地影响水域中其他生物的生产力。关于长江口的初级生产力迄今尚未见报道。为此,于1985年8月至1986年10月对长江口海域进行了逐月调查,根据各月的叶绿素含量和在各特征海区中实测的光合作用碳同化数估算出初级生产力,并结合同时调查所取得的各项环境因子的动态,进行综合分析,旨在了解本海域的生物生产潜力,为合理利用长江口及其附近海域的海洋生物资源提供依据。

一、材料与方 法

全调查区共设37个初级生产力观测站(图1),与水文、水化学及各类生物同时进行调查。另在各特征区设代表站,在调查船甲板上对样品进行自然光水浴模拟培养¹⁾,用黑白瓶测氧法测得浮游植物光合作用碳同化数。然后按 Cadée 和 Hegemen (1974) 及 Jeffrey 和 Humphrey (1975) 的公式估算各站的初级生产力。

二、结 果

调查区初级生产量的平面分布趋势是从长江口向调查区中部逐渐升高,到 $123^{\circ}30'E$ 又开始降低(图1)。全区年初级生产量平均为 $359.38 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 最高值出现于 G_5 站 ($31^{\circ}00'N, 123^{\circ}00'E$), 为 $911.63 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 中南部海域年生产量大于 $500 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 最低值出现在长江口的浅水区[如 $31^{\circ}05'N, 122^{\circ}00'E$ 附近只有 $40 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] 和调查区的西北角,即长江口北水道以北水域 ($32^{\circ}00'N, 122^{\circ}10'E$), 为 $92.53 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

调查区的全年日平均初级生产力为 $1062 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 季节变化很明显(图2)。1985年8月最高,平均达 $3670.2 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 1986年1月最低,平均只有 $24.7 \text{ mgC}/$

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2064号。

参加本项工作的还有杨则禹和张永山同志。

收稿日期:1989年11月4日。

1) 在重点月,曾多次对在海水直接进行培养和自然光模拟培养作比较,结果一致,表明本研究所采用的自然光水浴模拟培养的结果是可靠的。

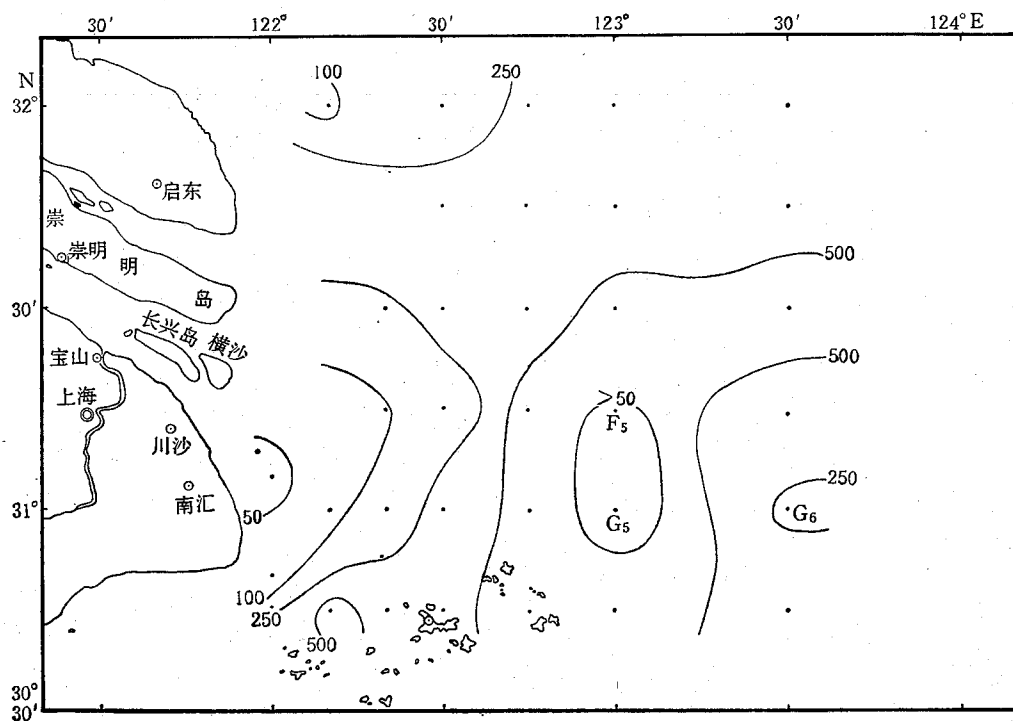


图1 长江口区年初级生产量估算值 [$\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] 的平面分布

● 调查站位

($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)。1986年初级生产力的峰值出现于6月,平均为 $2723.8 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。调查区

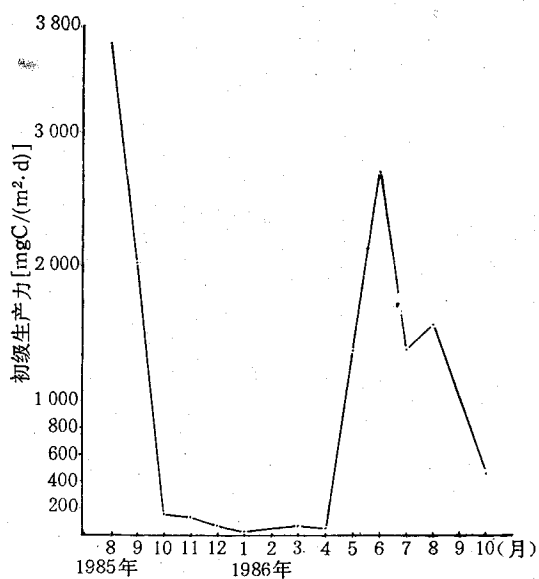


图2 长江口区初级生产力的季节变化
(1985年8月—1986年10月)

中部海域,如 F_5 站($31^\circ 15' \text{N}$, $123^\circ 00' \text{E}$)和 G_5 站($31^\circ 00' \text{N}$, $123^\circ 00' \text{E}$)初级生产力的季节变化幅度较大,年较差(年变幅)分别为 $16948.7 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $18743.4 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。河口浅水区初级生产力的变幅较小,远离江口的外海站,如 G_6 站($31^\circ 00' \text{N}$, $123^\circ 30' \text{E}$)的变幅也较小,其年较差为 $5128.7 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

1985年8月,调查区中部的日初级生产力大于 $10^4 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, G_5 站最高达 $18774 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,其余绝大部分海区也都在 $1000 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上;西部浅水混浊区的初级生产力较低,长江口北水道以北海域不足 $100 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (图3a)。全调查区初级生产力的平面分布有从南向北递减的趋势。9

月,大部分测站的初级生产力高于 $1000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,中部海域仍然较高,但 $1000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上的高值区略向北移,长江口北水道口以东 ($31^\circ 45' \text{N}$, $122^\circ 10' \text{E}$) 为全区最高,达 $13807\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;南部海域包括杭州湾口的初级生产力下降,明显低于北部海域(图 3b)。10月,全区初级生产力普遍降至 $1000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下,自西向东逐步上升,长江口和杭州湾口西南部较低 [$50\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下],东北隅较高 [$500\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上]。11月至翌年1月,全区平均初级生产力继续下降,调查区东部略高于西部。11月仅在东南部出现高于 $500\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的测站;12月在东北部较高 [$250\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上]。

1986年1月全区的初级生产力都降至 $100\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下。3月,东部 $123^\circ 30' \text{E}$ 附近海域的初级生产力首先开始上升;河口一带仍处于冬季的水平,初级生产力平面分布较均匀。4月,中部海域初级生产力上升(图 3c);5月,全区普遍上升, $1000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上的站约占全部测站的 $2/3$ 以上,东北部上升为 $2500\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。6月,全区平均初级生产力达1986年的高峰, $2/3$ 以上的海域达 $1000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上,约有 $1/3$ 海域达 $3000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上,杭州湾口更高,达 $5000\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上(图 3d)。7月,初级生产力平面分布趋势接近6月;8—10月的分布趋势接近1985年相应月份,但较之略低。

三、讨 论

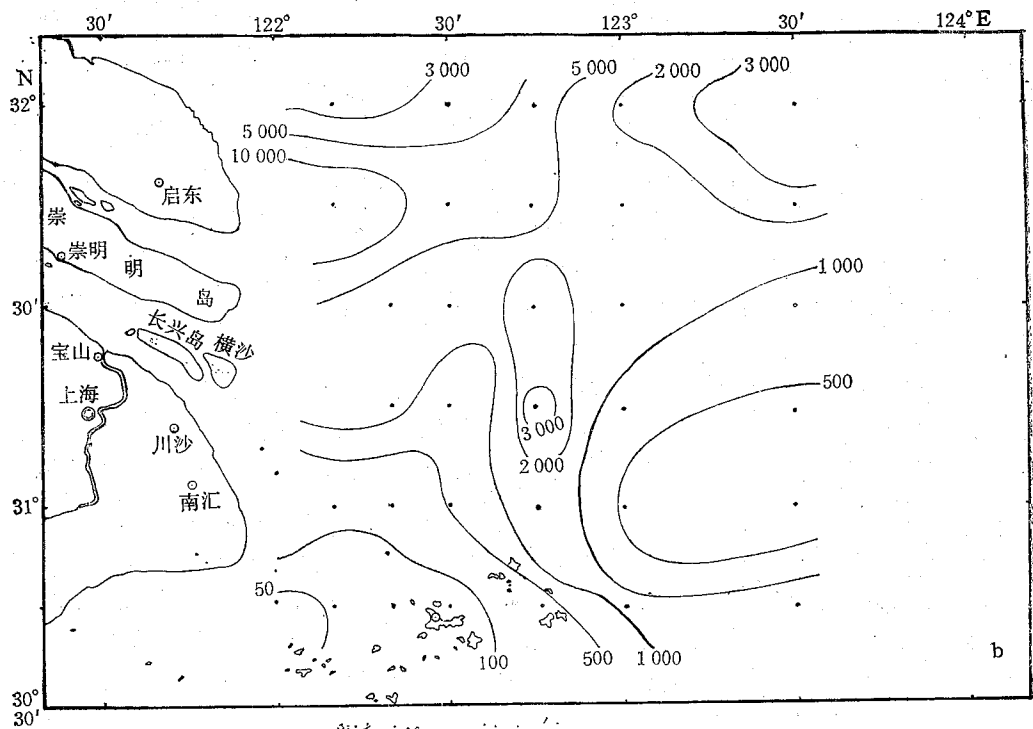
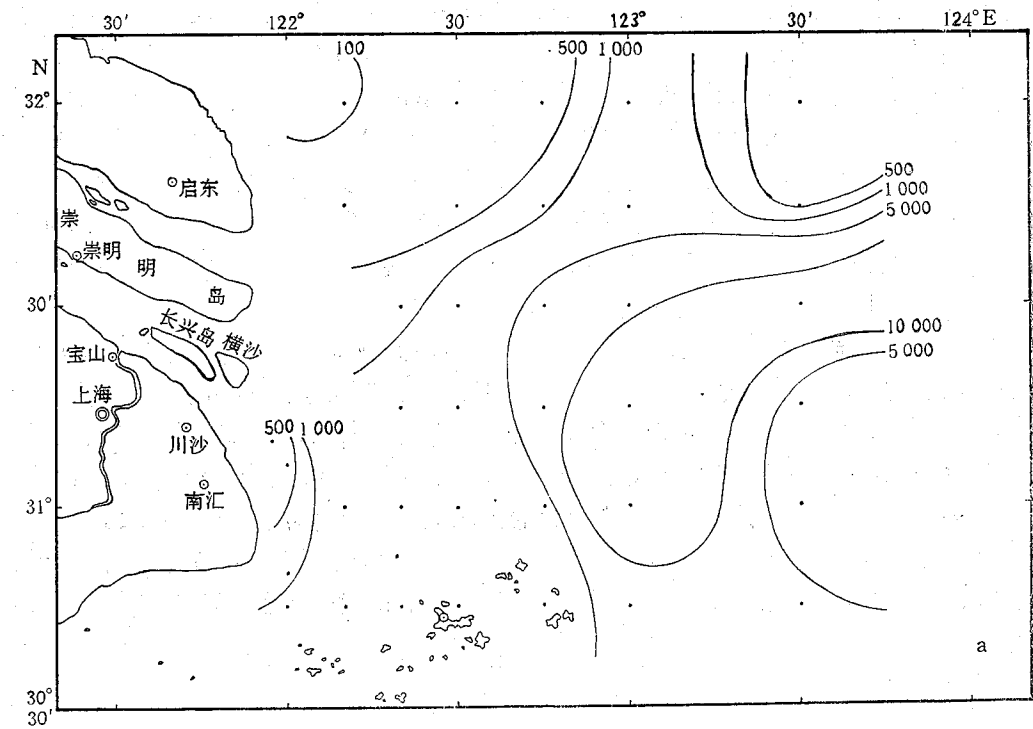
长江口是一个开放海域,受海流、水团(主要有长江径流、杭州湾口的钱塘江径流、东海沿岸流和台湾暖流等)的影响十分显著。此外,在调查区中部和北部还受黄海表层水影响,其影响程度自北向南逐渐减弱,从而构成了本海区独特的生态特征和初级生产力特点。

1. 径流的影响 如上所述,长江年径流量很大,其季节变化直接影响着本海区的初级生产力。5—10月为长江丰水期,初级生产力较高,其初级生产量约占全年产量的97%。初级生产力的分布还与海区真光层的厚度直接有关,高生产力区往往出现于调查区中部表层海水盐度为15—30的长江冲淡水前沿,这一带的海水透明度(4m左右)与长江口门(不足0.5m)相比较,真光层较厚,并富含长江径流带来的营养物质。长江口门海水中营养盐含量虽很高,但透明度太低,限制了初级生产力的发展。

初级生产量的分布也反映出长江冲淡水的影响(图1)。丰水期长江冲淡水自河口直向东南方下泄,至离岸稍远后又转向东北(管秉贤,1985;乐肯堂,1984¹⁾;张启龙等,1985);主要由夏季浮游植物贡献的年平均高生产量区也出现于直冲长江口的调查区中部和偏东北方海域,而长江口北水道以北海域的初级生产量则较低。1985年8—10月,高生产力区的分布也有向东偏东北方移动的趋势;尤其在9月,由于钱塘江径流和浙江沿岸上升流减弱,初级生产力高值区的分布几乎与长江入海径流的流向完全一致(图3b)。

此外,夏半年在调查区出现上升水,东海沿岸流自南向北和台湾暖流的流向一致,同

1) 乐肯堂,1984,长江冲淡水洪水期盐度分布和海流结构的初步分析,渤、黄、东海调查研究报告(中国科学院海洋研究所编),151—163。(内部资料)



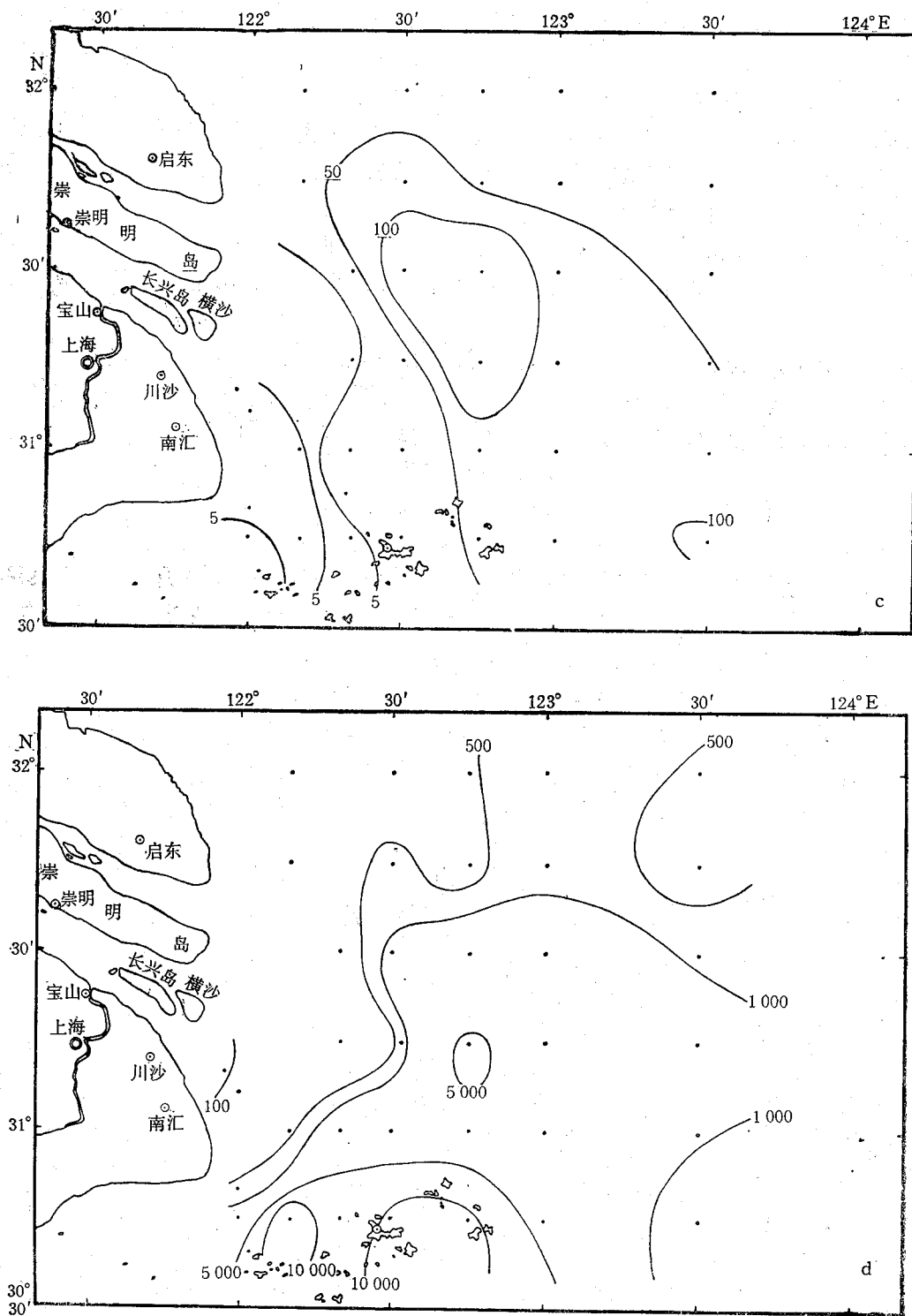


图3 长江口区初级生产力 [$\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 的平面分布

a. 1985年8月; b. 1985年9月; c. 1986年4月; d. 1986年6月

时由浙江近岸上升流带至表层的营养物质也可随东海沿岸的北向流进入调查区(曹欣中, 1986)。自5月起, 长江和钱塘江径流、浙江近岸上升流都逐渐增强, 径流和海流的共同作用使调查区的营养物质格外丰富, 从而全区初级生产力普遍上升, 调查区南部上升幅度尤大, 导致夏半年的初级生产量平均占全年的97%。9、10月钱塘江径流和上升流的强度都逐渐减弱, 东海沿岸的北向流转为南向流, 因此长江径流对本区的影响作用也就更明显地反映在初级生产力的分布上。

位于123°30'E和124°00'E两个经度断面上的测站的初级生产力相对较低, 变幅也较小, 这与高温、高盐和低营养的外海水的影响有关, 长江冲淡水即使能波及这一海区, 也已成为强弩之末, 作用很小了。

综上所述, 影响本海区初级生产力的主要因素是长江径流, 同时从杭州湾入海的钱塘江径流和浙江沿岸上升流也是不可忽视的因素。以逐月平均初级生产力 $P[\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ 与长江径流 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 作一元线性回归, 也发现两者相关显著:

$$P = 0.07Q - 683.5$$

$$r = 0.632, n = 11, p < 5\%$$

2. 水温的作用 各种生物都有其一定的适温范围, 一般生物的数量和种类的季节变化都与温度密切相关, 植物的光合作用与温度的关系也十分密切。8月水温最高, 初级生产力也很高, 其后水温下降, 初级生产力也随之下降。1月的水温最低, 初级生产力也降至最低值。相关分析也表明两者之间具有明显的正相关:

$$P = 122.48t - 1209.55$$

$$r = 0.774, n = 11, p < 1\%$$

式中 t 为水温($^{\circ}\text{C}$)。

3. 太阳辐射时间(昼长)的影响 初级生产力是反映浮游植物利用光能, 把 CO_2 和 H_2O 同化为有机物的能力。因此, 初级生产力除与日辐射强度有关外, 还与日辐射时间密切相关。一年中日辐射时间以6月份最长, 12月份最短, 调查海区初级生产力的季节变化规律也基本如此。1986年初级生产力的峰值出现于6月 [$2723.8 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]。1985年8月的初级生产力也相当高 [$3670.2 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], 该月的营养盐含量也很高(沈志良等, 本集), 但也可能1985年初级生产力的峰值并不在8月, 而在尚未开始调查的6月。

4. 营养盐的作用 由于径流携带大量的营养物质, 所以一年中绝大多数月份, 河口区的营养盐含量都高于河口外海区, 营养盐的浓度自河口向东逐渐降低。河口区海水中的无机氮含量尤为丰富(最高达 $191.9 \mu\text{mol/L}$, 1986年3月), 一般都不会成为初级生产力的限制因素; 而无机磷的含量较低(最高为 $0.68 \mu\text{mol/L}$, 1985年8月), 对初级生产力的影响较为明显。此外, 河口区海水透明度太低, 不利于浮游植物的光合作用, 也对初级生产力产生抑制作用。自河口向外海, 海水透明度渐增大, 初级生产力也随之升高, 同时由于浮游植物的消耗作用增大, 营养盐含量也有所下降。冬季初级生产力普遍较低, 则是径流量减少和外海水稀释作用加强所导致的结果。

5. 与溶解氧含量的关系 海水中的溶解氧含量主要受海水温度和盐度的控制, 冬季溶解氧含量较高, 夏季较低; 低盐水中较高, 高盐水中较低。此外, 浮游植物的光合作用

也使海水中的氧含量上升。在这样复杂的关系中,很难直接说明初级生产力与溶解氧含量的关系,只能从海水中溶解氧的相对含量——氧饱和度(O_{st})来分析说明。一般初级生产力较高的海区或月份,溶解氧饱和度也较高。对4个季度月(1985年8,11月和1986年1,5月)的溶解氧饱和度与初级生产力进行比较分析的结果表明,8月的初级生产力最高[平均为 $3\,670.2\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$],溶解氧饱和度也最高(平均为116.82%);11月和1月的初级生产力较低,溶解氧饱和度也较低,绝大部分测站都处于未饱和状态,此两月的平均饱和度分别为93.21%和97.54%;5月,初级生产力开始上升,各测站平均饱和度达104.63%。以上述溶解氧饱和度和初级生产力平均值作线性回归,其相关性十分显著:

$$P = 160.45O_{st} - 15\,233.8$$

$$r = 0.977, n = 4, p < 1\%$$

光合作用使海水中溶解氧含量增高,也促进了海洋动物的生理活性,有利于经济鱼、虾、蟹、贝等的生长繁殖。

6. 与浮游植物现存量的关系 海水中叶绿素含量和浮游植物的个体密度都是海域中初级生产者现存量的指标,这些初级生产者数量的多寡与该海区初级生产力的大小密切相关。但因浮游植物光合作用能力随环境条件而改变,所以初级生产者——叶绿素含量或浮游植物个体密度的数量并不能完全代替初级生产力,尤其在水文条件复杂多变的长江口区,各月的初级生产者与初级生产力的数量分布格局并不完全一致。根据本次调查结果,全区平均叶绿素含量、浮游植物个体密度和初级生产力的季节变化趋势基本一致,其平面分布则不尽相同(郭玉洁、杨则禹,本集)。

7. 与渔业生产的关系 研究海洋初级生产力的最终目的是了解水域的生产能力及生物资源量,从而对海洋资源进行合理开发和管理。本次调查结果表明,长江口区的初级生产力水平基本符合 Ryther (1969) 提出的浅海近岸型。表1中列出了各月的初级生产量以及可以转化为1—3级消费者的量(二级消费者相当于虾和小鱼等,三级消费者相当于摄食虾和小鱼的大鱼)。大多数海产经济动物都在春季产卵、繁殖,5月份初级生产力的明显上升(月产量达 $42.53\text{gC}/\text{m}^2$)为卵子的孵化准备了大量饵料。5,6,7月的初级生产力都很高,总产量达 $167.40\text{gC}/\text{m}^2$,为孵化后的幼鱼和仔鱼的生长创造了良好的条件。这3个月的初级生产力全部转化后可生产仔鱼和幼鱼151.2万吨(鲜重)。全调查区全年的初级生产量为721.2万吨有机碳,全部转化为大形鱼类(三级消费者)可达48.7万吨(鲜重),故全调查区的鱼类可捕量约为15—25万吨(表1)。

8. 三峡工程建成后对初级生产力影响的预测 长江口复杂的水文因子,尤其在夏季对河口区的综合影响作用非常显著,各水系的推移动态控制着河口区海洋生物的变化。三峡工程建成后对长江进行调水,对河口区理化环境的影响主要表现在海水中的营养盐含量、透明度和盐度三个方面的变化。调水后,由径流带入海中的陆源营养物质必然减少,但由于岸边排污的作用,海水仍能保持一定的肥沃度,尚不至于限制初级生产力的发展;反而由于入海泥沙悬浮物减少,使海水透明度提高,真光层增厚,更有利于光合作用的进行。但调水后使河口海水盐度上升,势必影响一些适低盐性浮游植物的生长,尤其在光合作用碳同化数较高的夏季,海水盐度的改变将成为影响初级生产力的主要因子。

由于水域初级生产量的主要贡献者为微型浮游植物,它们的世代周期很短,一般不过

表1 长江口区水域生产量的估算

月 份	月初级生产量 (gC/m^2)	全区月初级 生产量* ($\times 10^3 \text{tC}$)	可转化为初级 消费者的产量 ($\times 10^3 \text{t}$, 鲜重)	可转化为二级 消费者的产量 ($\times 10^3 \text{t}$, 鲜重)	可转化为三级 消费者的产量 ($\times 10^3 \text{t}$, 鲜重)
(1985年)					
8	113.78	2283.22	6849.66	1027.45	154.12
9	60.59	1215.86	3647.58	547.14	82.07
10	4.87	97.79	293.37	44.01	6.60
11	4.08	81.87	245.61	36.84	5.53
12	2.34	46.97	140.91	21.14	3.17
(1986年)					
1	0.74	14.85	44.55	6.68	1.00
2	1.76	35.32	105.96	15.89	2.38
3	2.33	46.76	140.28	21.04	3.16
4	1.49	29.90	89.70	13.46	2.02
5	42.53	853.37	2560.11	384.02	57.60
6	82.08	1647.11	4941.33	741.20	111.18
7	42.79	858.59	2575.77	386.37	57.95
8	48.69	977.11	2931.33	439.70	65.95
10	14.36	288.16	864.48	129.67	19.45
年产量 (1985年8月— 1986年7月)	359.38	7211.61	21634.83	3245.24	486.78

* 本调查区面积按 20 067 km^2 计算。

数小时或一二日,而且分布密度很大。因此估计在调水后,虽限制了那些在丰水期占优势的低盐性微型浮游植物的生长,甚至使初级生产力下降,但经过一段时间的适应后,广盐性或适盐较高的微型浮游植物将会起而代之,在上述理化条件适宜的河口水域,初级生产力仍会得到发展。但不容讳言,其他一些在丰水期盛生于河口区的个体较大的低盐性浮游植物如骨条藻(郭玉洁、杨则禹,1982;郭玉洁、杨则禹,本集),因海水盐度升高,分裂率可能下降,如一时又无其他优势种起而代之,势必对河口区初级生产力的提高产生不利影响。

由于研究技术的限制,对微型浮游植物的了解目前还很有限,尚有待于对长江口区微型浮游植物的种类组成及其对海水透明度和盐度的适应能力等生态学问题进行深入研究后,才能对三峡工程调水后所引起的初级生产力的变动做更具体的分析。

参 考 文 献

- 张启龙、翁学传,1985,应用对应分析法划分夏季东海水团的初步研究,海洋科学,9(2): 14—18。
曹欣中,1986,浙江近海上升流季节过程的初步研究,水产学报,10(1): 51—69。
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,9: 11—32。
管秉贤,1985,黄、东海浅海水文学的主要特征,黄渤海海洋,3(4): 1—9。
Codee, G. C. and J. Hegemen, 1974, Primary production of phytoplankton in the Dutch Wadden Sea, *Neth. J. Sea Res.*, 8(2—3): 240—259。
Jeffrey, S. W. and G.F. Humphrey, 1975, New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c_1 and c_2 in high plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol.*

Pflanzen, 167: 191—194.

Ryther, J. H., 1969, Phytosynthesis and fish production in the sea, *Science*, 166:72—76.

PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY*

Guo Yujie and Pan Youlian

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In the estuarine area of the Changjiang River, the primary productivity is rather high, being $1,062\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ in average, and has a very large seasonal fluctuation range. It reaches maximum, $3,670.2\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, from June to September and decreases to $150\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ from April to May and October to November, $24.7\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ in January. The annual average of the primary production is about $359.34\text{gC}/\text{m}^2$. It increases gradually eastwards from the Changjiang Estuary to $123^\circ30'\text{E}$ (the middle part of the investigated area), then decreases to the east boundary of the investigated area ($124^\circ00'\text{E}$). Obviously, the runoff of the Changjiang River is the main factor for the dynamics of the primary productivity, and the upwelling of the Zhejiang Coast and the runoff of the Qiantang River cannot be neglected.

* Contribution No. 2064 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.