

黄河口演变对河口水化学环境的影响*

沈志良 乐肯堂
(中国科学院海洋研究所)

1855年以来黄河河口已经历了10余次大型改道,1950年以后改道3次。由于黄河口多次改道,尾闾往复摆动,黄河泥沙在河口大面积淤积(占总来沙量的20%),形成了现代黄河三角洲。黄河口的演变对河口海区的理化和生物环境均产生了一定影响。本文主要根据1959年农业部黄海水产研究所等单位¹⁾和1984年中国科学院海洋研究所的调查资料(沈志良等,1989;李全生等,1986;任广法,1987),对黄河口1964年和1976年两次改道给河口海区水化学环境及生物生产力造成的影响作初步讨论。

一、改道前的黄河口海区水化学要素的分布

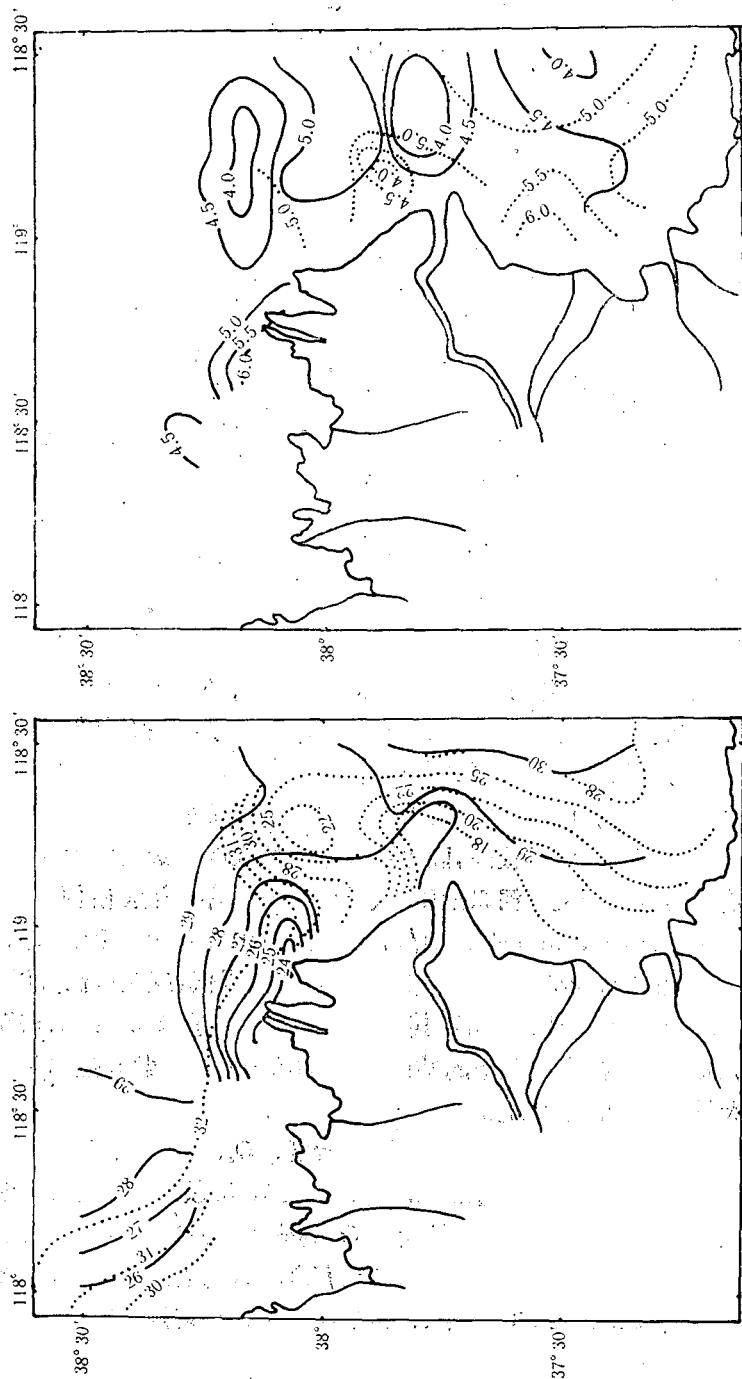
黄河口改道前的丰水期以1959年8月为例,盐度、 O_2 、 PO_4-P 、 SiO_3-Si 、 NO_3-N 、 NO_2-N 和 NH_4-N 的表层平面分布见图1a—g。图1a中,“●”为原黄河口的位置(本文利用现有的黄河口底图,与原黄河口海岸线有一定距离)。盐度分布表明,低盐水舌以河口为中心,向东北方向递增,其影响范围,西可达套尔河口以西水域,南可进入莱州湾。 O_2 的分布除了与水温有关外,与浮游植物的光合作用也有很大关系,8、9月份正是浮游植物大量繁殖的季节,河口两侧 O_2 含量较高,以西边近岸水域最高,最高值为6.34ml/L。营养盐的含量分布趋势与盐度相反,河口近岸高、远岸低,最高含量在河口, PO_4-P 和 SiO_3-Si 分别高达3.1 $\mu\text{mol/L}$ 和139 $\mu\text{mol/L}$ 。 NO_3-N 和 NO_2-N 含量除河口较高(最高分别为16 $\mu\text{mol/L}$ 和1.8 $\mu\text{mol/L}$)外,大部分水域含量很低,或在检出限以下。 NH_4-N 含量最高区不在河口,而是在莱州湾中部,其他水域一般都小于1 $\mu\text{mol/L}$,表明其分布与有机物分解有关,未发现有检出限以下的站位。除 NH_4-N 外,营养盐的分布趋势主要是由黄河输入的大量营养盐所决定的。

黄河口改道前的枯水期以1959年11月为例,盐度、 O_2 、 PO_4-P 、 SiO_3-Si 、 NO_3-N 、 NO_2-N 和 NH_4-N 表层的平面分布见图2a—g。从图2a可以看出,黄河冲淡水遍及整个调查水域,对莱州湾的影响11月比8月大。 O_2 的分布除河口左右两侧各有一小块水域稍高外,最高区在套尔河口外(最高值为6.92ml/L), O_2 的含量11月高于8月,这主要与降温有关。 PO_4-P 、 SiO_3-Si 和 NO_3-N 的浓度在河口及其附近较高,向远岸方向递

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2141号。

收稿日期:1991年8月7日。

1) 国家海洋局海洋科技情报研究所,1975,海洋调查资料。(内部资料)

图 1b 8 月 O_2 (ml/L) 表层分布图 1a. 8 月盐度表层分布
——1959 年; 1984 年(图 1b—g 同)

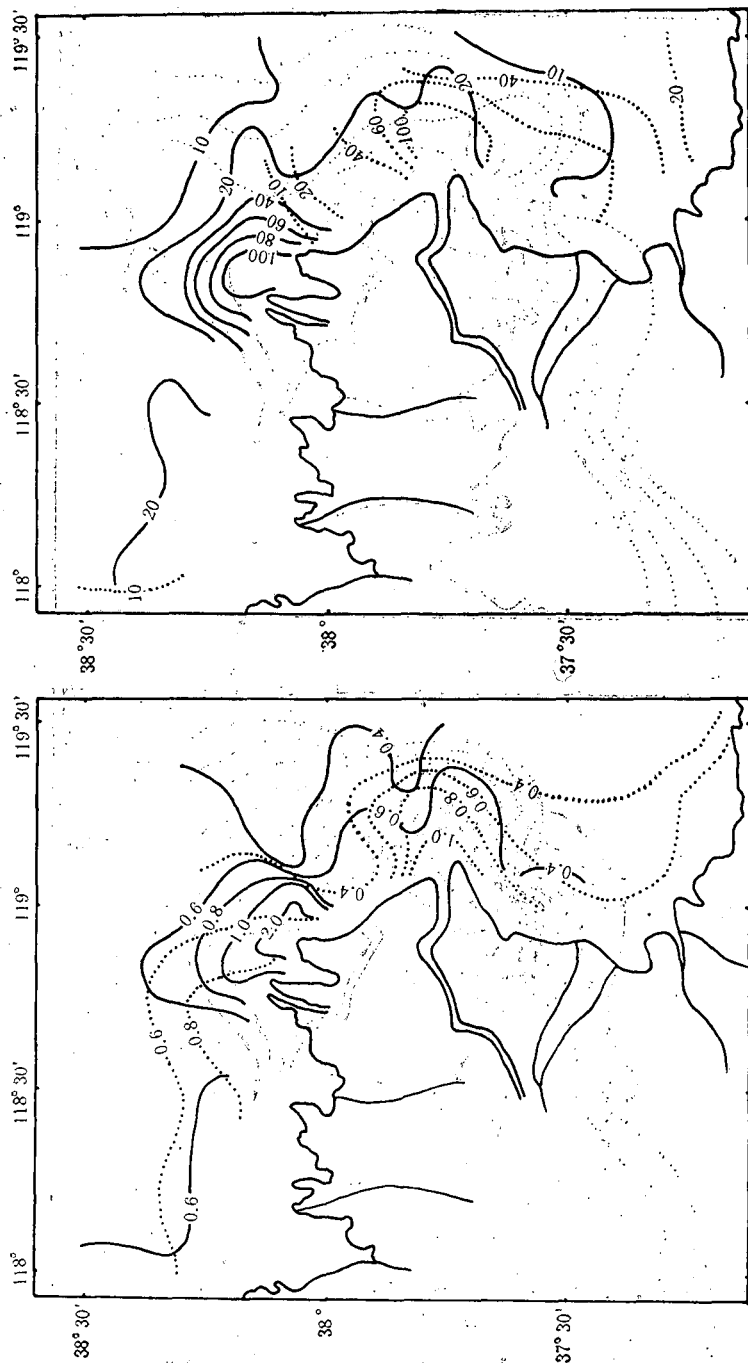
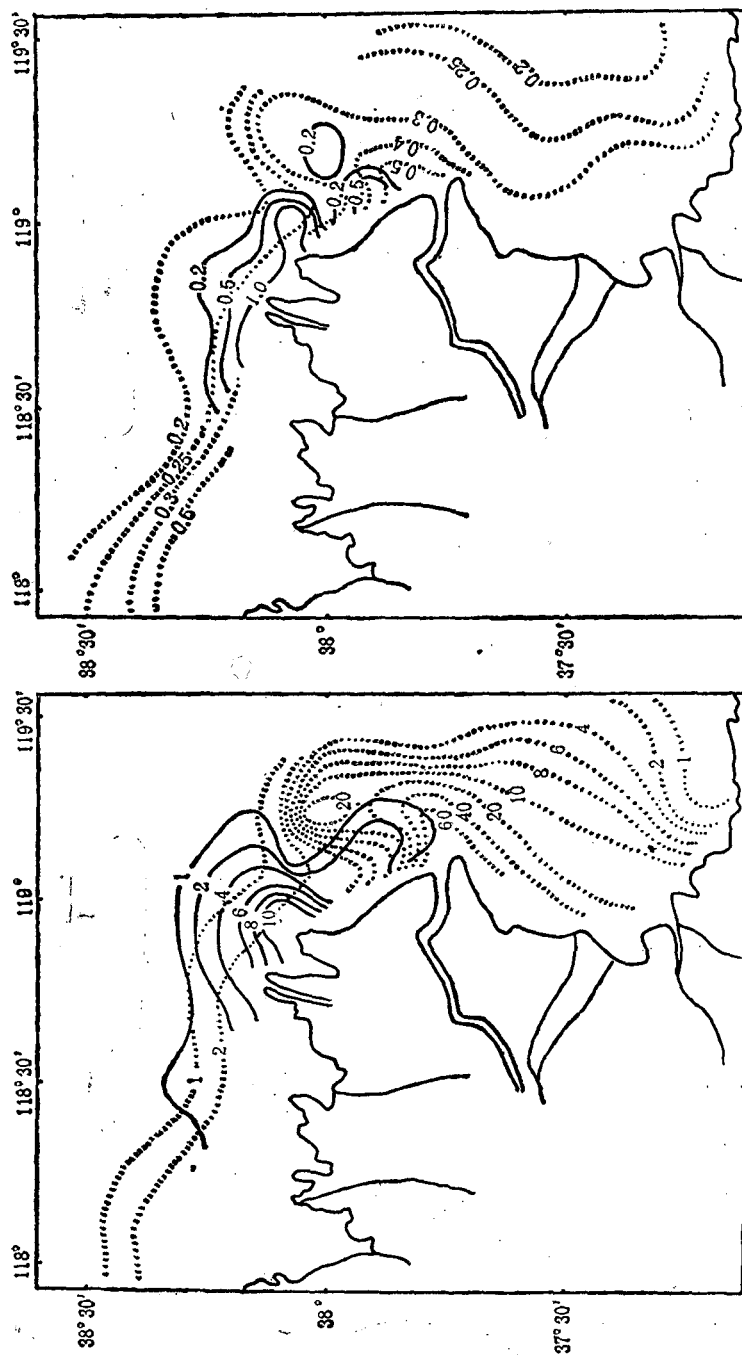
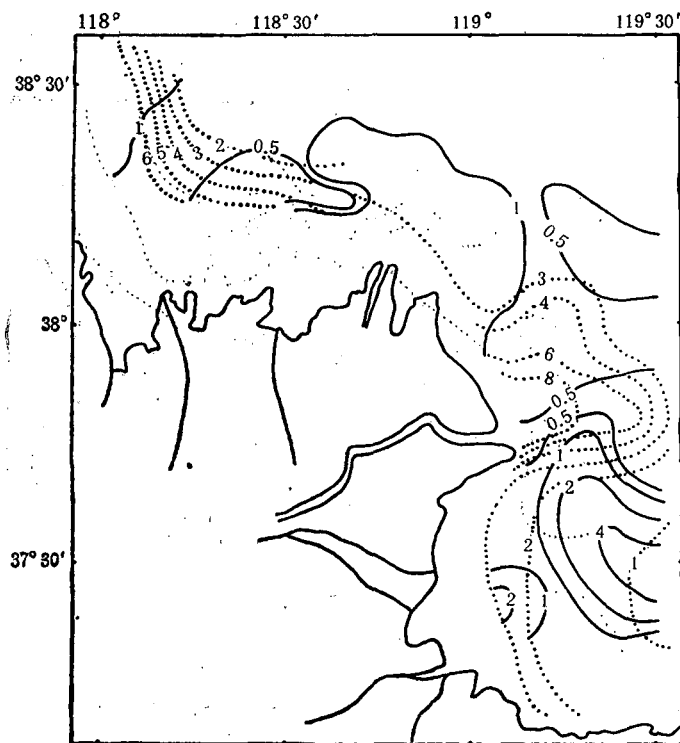


图 1c 8 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 1d 8 月 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 1f 8 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布图 1c 8 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 1g 8 月 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

减。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度除河口右侧稍高外,最高区也在套尔河口外(最高达 $2.2\mu\text{mol/L}$); $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 浓度在河口右侧最高,套尔河口外也较高。从图 2c 和图 2d 可以看出,渤海湾南部 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的浓度高于莱州湾西部,其分布还可能受渤海湾其他陆源水排放的影响。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度未出现检出限以下的情况,主要是由于浮游植物的消耗少。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的分布较复杂,可能是由于其分布受黄河水的影响较小,而与有机物不断分解有很大关系所致,有 $\frac{1}{4}$ 的测站 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度在检出限以下,从整个调查区营养盐的分布看, $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度很低,而 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度较高,这表明有机 N 分解尚处于初级阶段。

二、改道后的黄河口海区水化学要素的分布

1984 年 8 月(丰水期)水化学要素表层的平面分布见图 1a—g。盐度的分布表明,黄河冲淡水水舌自河口向东北方向沿伸,影响区主要在现黄河口东北部海域和莱州湾,渤海湾南部基本未受影响。 O_2 含量高值区主要在莱州湾西部近岸水域(可超过 6.0ml/L),此水域是浮游植物密集区(任广法,1987)。营养盐水舌也是从河口向东北延伸,其量值与盐度相反,逐渐减少,反映了黄河水输入的影响。在渤海湾南部原黄河口附近水域, $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度较高, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度均较低,但未出现检出限以下的情况。

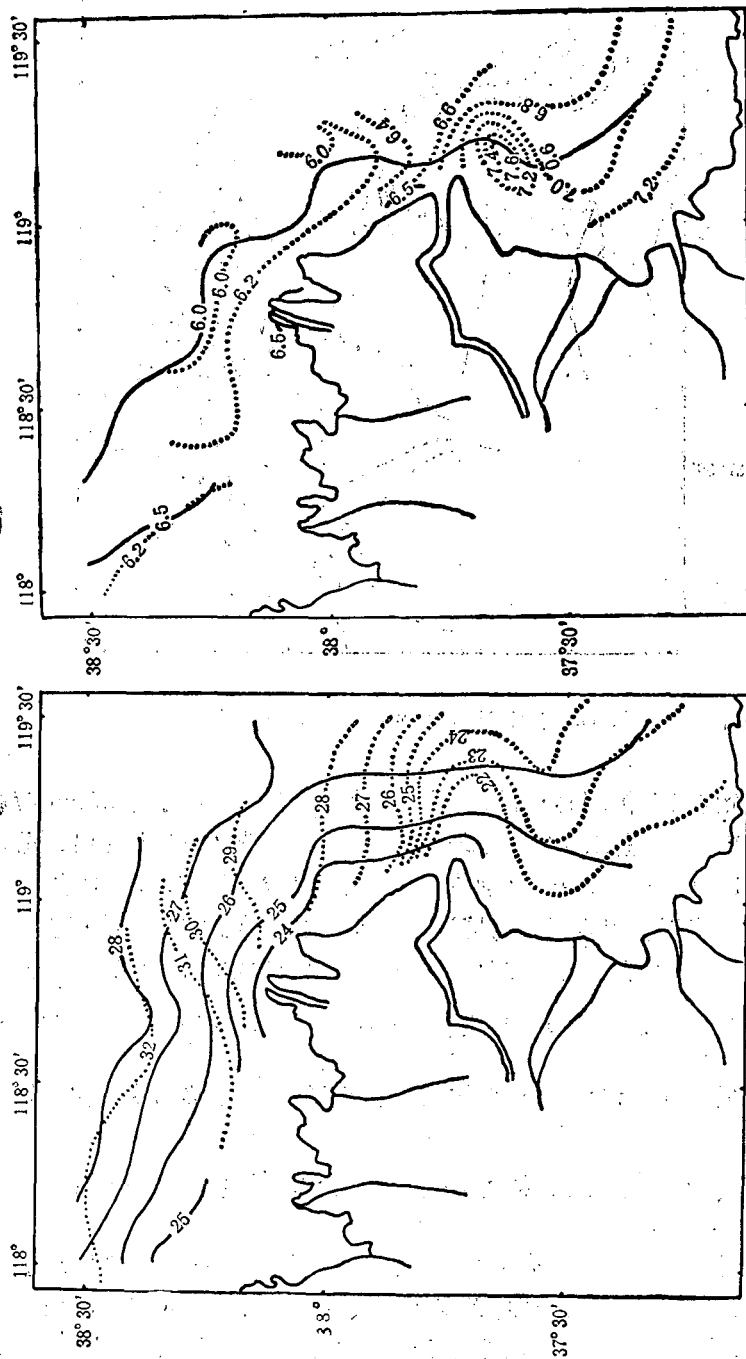


图 2a 11 月盐度表层分布

——1959 年; 1984 年(图 2a—g 同)

图 2b 11 月 O_2 (ml/L) 表层分布

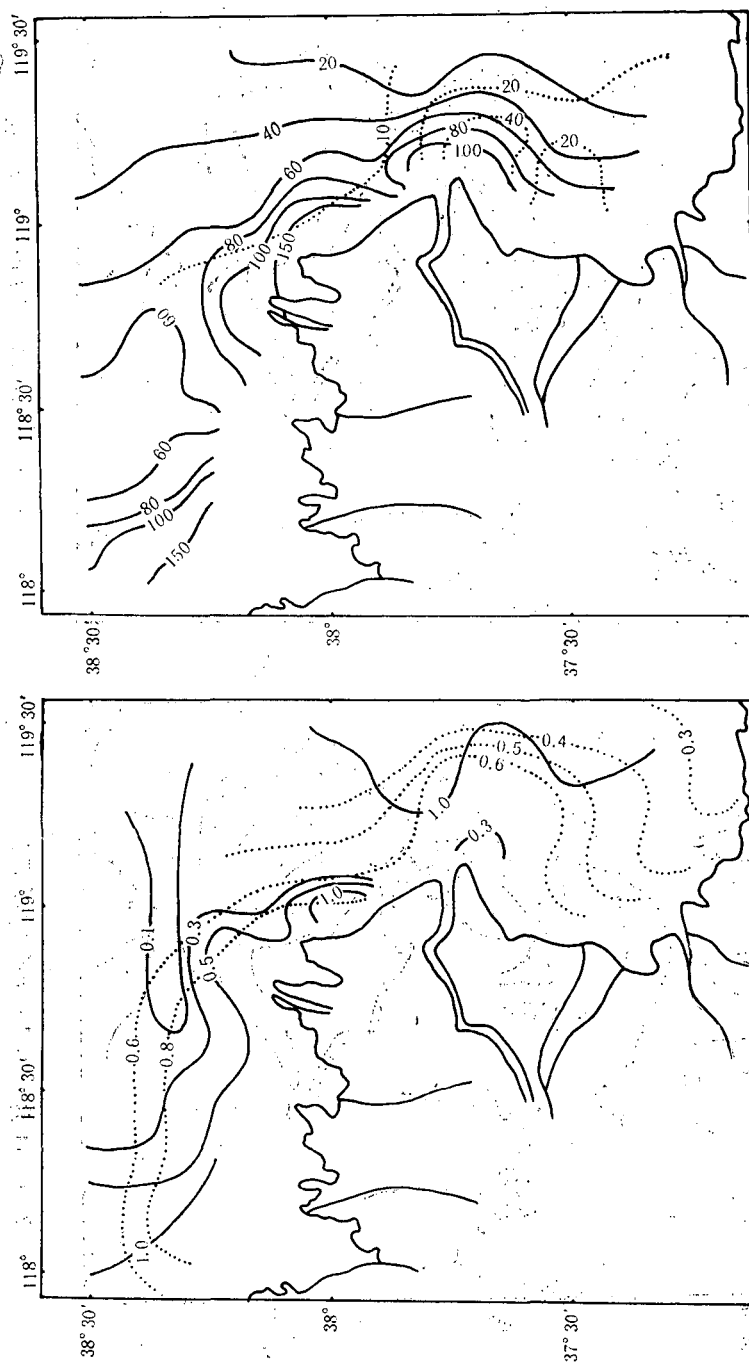
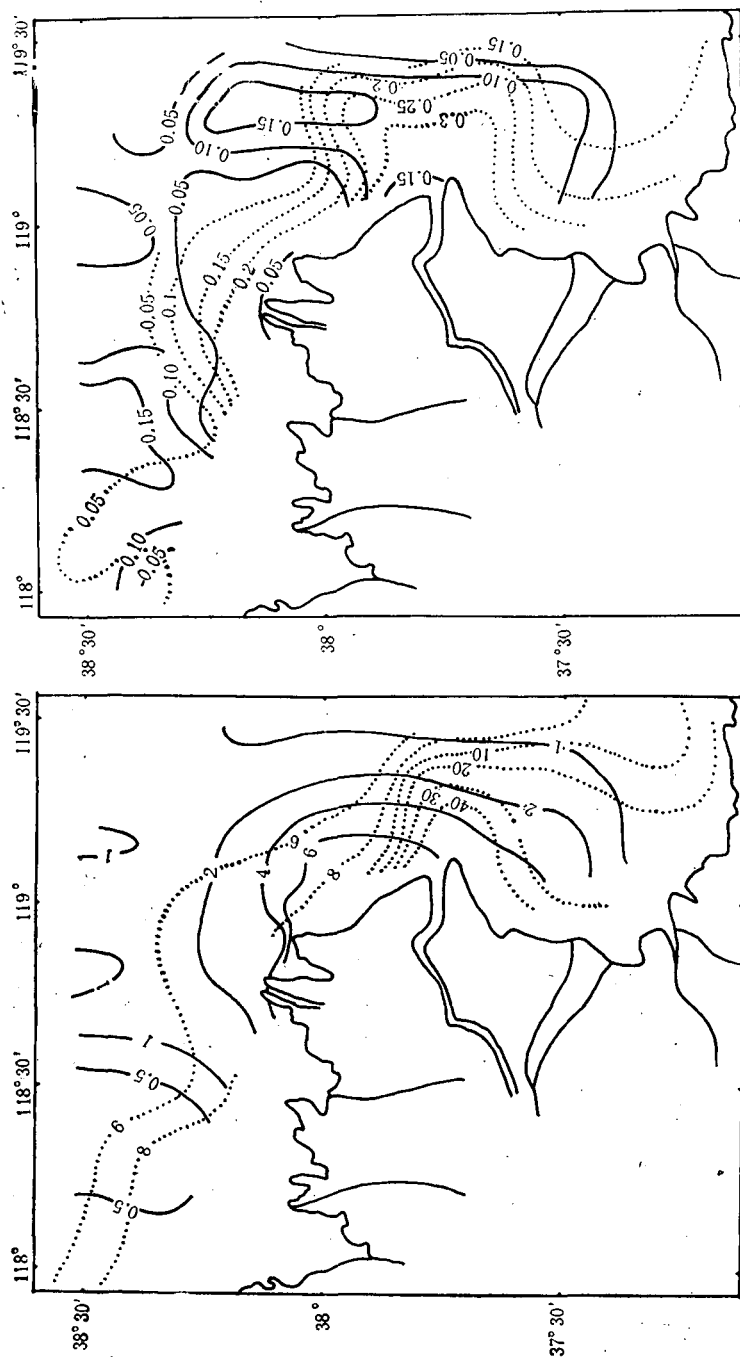
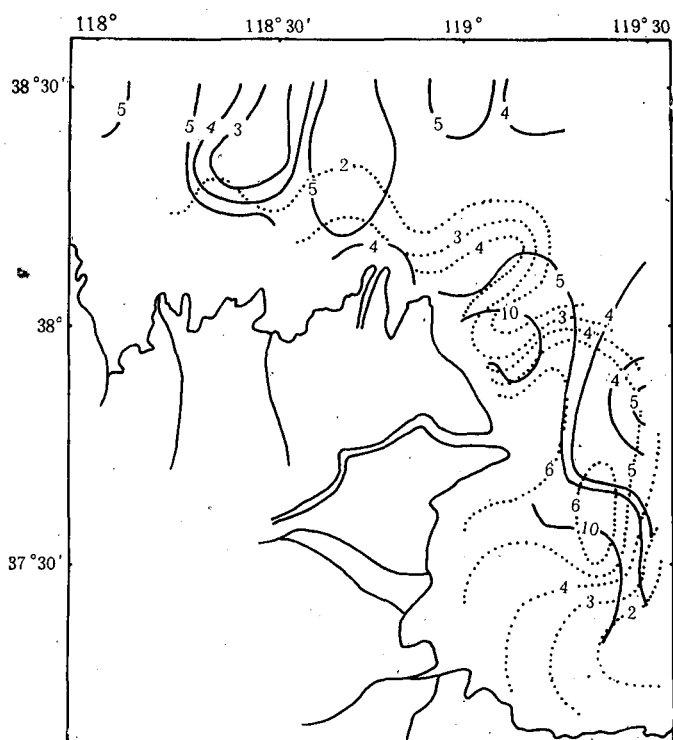


图 2d 11 月 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 2c 11 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 2c 11 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布图 2f 11 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

图 2g 11 月 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) 表层分布

$\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的浓度,除了在河口较高外,在套尔河口以北水域也较高。

1984 年 11 月(枯水期)水化学要素表层的平面分布见图 2a—g。低盐水舌和高营养盐水舌从河口东南向移至东向,这与秋季黄河径流急剧减少和冲淡水影响减弱有关。与 8 月相比,渤海湾南部 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度仍较高, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度增加很大, $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的浓度则明显下降,表明有机氮的氧化分解比较完全。 O_2 的最高含量区在河口东南方向、莱州湾的西北部水域,其含量大小主要决定于水温,浮游植物的影响已大大减弱(任广法, 1987)。

三、黄河口改道对河口海区水化学要素的影响

将 1959 年和 1984 年丰、枯水期水化学要素的分布进行比较,可看出如下变化。

1. 等值线分布位置发生变化

随着河口位置的变迁,低盐等值线区已从原黄河口附近移至现黄河口附近,原黄河口外和渤海湾南部水域盐度值已接近渤海海水的盐度值。 O_2 高值区从原黄河口附近移至莱州湾西部和西北部水域。诸营养盐高浓度区也从原黄河口附近移至现黄河口附近,河口等值线分布更为密集, $\text{NH}_4\text{-N}$ 在河口的分布表明,黄河水输出对它的影响比改道前明显得多。

2. 黄河冲淡水影响范围发生变化

1959年8月黄河冲淡水对渤海湾南部和渤海中部均有较大影响(图1a),至11月,则对莱州湾西部也产生一定影响。根据1959年同期全国普查资料,8月黄河水入海后主要向西、向北运行,对莱州湾影响较小,至11月,对莱州湾西部和渤海中部的影响逐渐加大。经过两次改道后,黄河冲淡水的主要影响区已移至莱州湾,而渤海湾南部和渤海中部水域已基本不受影响。营养盐的表层分布表明,改道前由黄河水输出的营养盐对莱州湾的影响较弱,改道后其影响变得极为明显。

表1 黄河口水化学要素浓度对比

时 间	对比项目	S	O ₂ (ml/L)	PO ₄ -P (μmol/L)	SiO ₃ -Si (μmol/L)
1959.8.	变化范围	23.40—30.12	2.82—6.34	0.31—3.10	2.6—139.0
	平均浓度	27.84	4.71	0.64	26.0
1959.11.	变化范围	21.22—27.97	5.66—6.92	0.02—2.20	9.4—227.0
	平均浓度	25.33	6.13	0.36	78.0
1984.8.	变化范围	2.56—32.47	3.97—6.27	0.22—1.30	19.0—156.0
	平均浓度	27.00	4.99	0.53	30.0
1984.11.	变化范围	13.60—32.88	5.89—7.66	0.24—1.30	6.6—60.0
	平均浓度	26.86	6.51	0.60	17.0
时 间	对比项目	NO ₃ -N (μmol/L)	NO ₂ -N (μmol/L)	NH ₄ -N (μmol/L)	TIN (μmol/L)
1959.8.	变化范围	0—16.0	0—1.80	0.23—5.90	0.2—19.0
	平均浓度	1.7	0.20	0.97	2.9
1959.11.	变化范围	0.1—7.9	0—0.21	1.40—17.00	1.9—20.0
	平均浓度	2.8	0.07	7.30	10.0
1984.8.	变化范围	0.5—55.0	0.12—1.20	0—12.00	1.6—64.0
	平均浓度	8.0	0.32	3.30	12.0
1984.11.	变化范围	4.0—51.0	0.02—0.93	0.16—8.10	5.4—56.0
	平均浓度	13.0	0.16	3.20	17.0

3. 各水化学要素浓度发生较大变化

在黄河口水域两次调查所得各要素浓度的变化范围和月平均值列于表1。从表1可以看出,1984年8月的平均盐度比1959年8月略有减少,这与黄河径流有关。1984年8月黄河入海的径流量为 $98.8 \times 10^8 \text{m}^3$, 高于1959年8月 ($79.7 \times 10^8 \text{m}^3$); 1959年11月黄河径流量仅为 $19.5 \times 10^8 \text{m}^3$, 小于1984年11月 ($25.0 \times 10^8 \text{m}^3$), 但盐度值却低于1984年同期, 这种异常现象主要与统计范围有关, 1984年11月渤海湾南部未受黄河水的影响, 因而该区盐度较高。1984年8月 SiO₃-Si 浓度高于1959年8月, 但在黄河径流

量很小的1959年11月, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的浓度却很高 ($78\mu\text{mol/L}$), 这除了与统计范围有关外, 可能还与该月浮游植物少 (8×10^4 个/ m^3 , 仅是1984年11月的7%) 及秋季硅藻分解积累等有关。无机N, 除11月的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 外, 1984年8月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度分别比1959年同期增加了3.7和2.4倍, $\text{NO}_2\text{-N}$ 略有增加, 总无机氮(TIN)增加了3倍; 11月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度分别增加了3.7和1.3倍, TIN增加了0.7倍。无机N浓度增加的主要原因有三个:

(1) 1984年黄河入海径流 ($468 \times 10^8 \text{m}^3$) 是1959年 ($298 \times 10^8 \text{m}^3$) 的1.6倍, 调查月径流量也均高于1959年同期, 研究表明, 黄河 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的输出量与黄河径流量成正比(沈志良等, 1989), 1984年黄河无机氮的输出量为84500t, 是1959年的2.3倍¹⁾;

(2) 1959—1984年, 我国化肥工业(主要是氮肥)发展很快, 据1984年和1980年的《中国农业年鉴》报道, 1983年全国氮肥总产量为 $1109.4 \times 10^4 \text{t}$, 是1965年的2.25倍, 其中黄河流域占了近30%, 黄土高原氮肥施用量的急剧上升和农田水土流失是黄河口海区氮含量增加的主要原因之一;

(3) 25年来, 我国工业生产的迅速发展, 工业和生活污水大量排放入海, 也是该海区氮含量增加的重要原因。1959年8月, 河口海区许多观测站 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度都在检出限以下, 分别占统计范围内总站位数的32%和66%, 至1984年, 检出限以下的站位已不复存在, 河口 $\text{NO}_3\text{-N}$ 最高浓度达 $55\mu\text{mol/L}$ 。从表1可见, 1984年8月 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度略低于1959年同期, 1984年11月则高于1959年同期。海区 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度的变化与黄河 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的输出量有关, 1984年黄河 $\text{PO}_4\text{-P}$ 年输出量为1450t; 而1959年仅为555t¹⁾。Redfield曾指出, 海水中营养盐的含量是海域总营养盐量维持生物需要和消耗之后的剩余量, 因而 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度变化还与海区浮游植物的大量增加有关。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 在河口的变化表明, 其浓度大小还可能受某种缓冲机制所控制(沈志良等, 1989), 黄河每年向渤海输送大量泥沙(年输沙量平均为 $11\text{--}12 \times 10^8 \text{t}$), 淤积在黄河口附近水域, 富含 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的淤泥再悬浮, 不断释放 $\text{PO}_4\text{-P}$, 成为该海域 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的重要来源, 黄河改道后原黄河口附近 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度并未减少就是一个很好的佐证(见图1c和图2c), 这表明河口沉积环境的变化是影响河口区 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分布的一个重要因素。

四、黄河口改道对河口区生物生产力的影响

黄河口改道引起的水化学环境的变化必将对生物生产力产生一定影响。从图1, 2和表1可以看出, 1959年黄河口海区的无机氮主要是 $\text{NO}_3\text{-N}$, 浓度很低, 其平均值8月为 $1.7\mu\text{mol/L}$, 11月为 $2.8\mu\text{mol/L}$, TIN在8月和11月分别为2.9和 $10\mu\text{mol/L}$ 。8月, 除河口外, 许多水域 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的浓度都在检出限以下, 即这些水域的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 全部被浮游植物耗尽, 总无机氮和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的原子比值平均仅为4.5, 远低于海水的正常比值(16)。以上结果表明, 在改道前黄河口附近海域的无机N是浮游植物繁殖的主要限制因素, 因此无机氮浓度的大小直接影响到该水域的生物生产力。据

1) 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 1960, 黄海水产研究丛刊, 4。(内部资料)

全国海洋普查资料(黄河口海区 10 个站的统计结果),该水域 1959 年 4—11 月浮游植物个体总量平均值为 76×10^4 个/ m^3 。1984 年的调查表明,8 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 平均浓度为 $8.0 \mu\text{mol/L}$; TIN 为 $12 \mu\text{mol/L}$; 11 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 $13 \mu\text{mol/L}$, TIN 为 $17 \mu\text{mol/L}$, 两个月份的无机氮均已大大超过浮游植物需要量的最适下限 $5.7 \mu\text{mol/L}$ (Chu, 1949)。除 8 月渤海湾南部(包括原黄河口附近水域) N 和 P 的原子比仍表现为缺 N 外(平均为 9.2),在黄河水影响的水域(38°N 以南), N 和 P 的比值平均高达 36,无机氮不仅不是浮游植物繁殖生长的限制因素,而且出现过剩现象。1984 年 4—11 月郭玉洁等同步进行的调查统计结果表明,浮游植物个体总量平均值为 222×10^4 个/ m^3 ,大大超过 1959 年,叶绿素 a 含量平均为 $3.56 \text{mg}/\text{m}^3$,初级生产力为 $358 \text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。高生产力水域主要分布在莱州湾,那里营养盐丰富,海水透明度高,有利于绿色植物的光合作用,叶绿素 a 和初级生产力分别为 $4.40 \text{mg}/\text{m}^3$ 和 $498 \text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,是调查区其他水域的 1.5 和 1.9 倍。浮游植物大量增加和生物生产力的提高除了与无机氮大量增加密切相关外,与黄河口改道也有直接关系。黄河口改道前,入海口对着渤海中部,外海水可以直接进入,黄河水入海后一部分富含营养盐的淡水直接与渤海海水交换,并被稀释扩散。黄河口改道后,入海口位于莱州湾北部,从图 1a 和图 2a 中可以看出,黄河冲淡水的主要部分进入莱州湾,使黄河淡水和营养盐被充分利用,从而对提高生物生产力极为有利。

参 考 文 献

- 任广法, 1987, 黄河口区及其附近海域溶解氧的分布变化, 海洋科学, 3: 33—38。
李全生、马锡年、沈万仁, 1986, 黄河口及其近岸海域的溶解硅研究, 海洋科学, 10(4): 11—15。
沈志良、陆家平、刘兴俊, 1989, 黄河口及其附近海域的无机氮和磷酸盐, 海洋科学集刊, 30: 51—79。
Chu, S.P., 1949, Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton, *Const. Fish. Res. Inst. Dept. Fish. Nat.*, 1: 37—52.

EFFECTS OF THE YELLOW RIVER ESTUARY LOCATION CHANGES ON ITS HYDROCHEMICAL ENVIRONMENT*

Shen Zhiliang and Le Kentang

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Based on the surface distributions of the hydrochemical elements (S, O₂, PO₄-P, SiO₂-Si, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N) in the flood and dry seasons in 1959 and 1984, this research on the effects of location changes of the Yellow River estuary in 1964 and 1976 on its hydrochemical environment and biological productivity showed that after the changes, the water tongues of the low salinity and high concentration nutrients moved from their positions near the original Yellow River estuary to the vicinity of the present Yellow River estuary; that the main influential area of the Yellow River brackish water moved to Laizhou Bay; and that the concentrations of all the elements changed. Before the change of river mouth position, NO₃-N and NO₂-N were exhausted by phytoplankton in many waters, the average of the atomic ratio between total inorganic N and PO₄-P was only 4.5, and NO₃-N was the main limiting factor for phytoplankton growth in the estuary area. After the change NO₃-N concentration increased by 3.7 times, the atomic ratio between total inorganic N and PO₄-P had reached 36 in the water affected by the Yellow River water. The large increase of inorganic N in the relocated (present) estuary is the main reason for the increase of phytoplankton in that area. Where the Yellow River freshwater and nutrients are now used to full advantage to enhance the biological productivity there.

* Contribution No. 2141 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.