

渤海湾污染的生态影响*

邹景忠 张景镛

(中国科学院海洋研究所)

渤海湾水质肥沃,生物资源丰富。但近些年来每年注入海湾的污水殊为可观,对近岸水域造成很大威胁。为此,1978—1982年由中国科学院海洋研究所和天津市环境保护监测站、南开大学等单位组成的协作组,对渤海湾进行了多学科、综合性的环境污染调查和研究,本文是其部分成果的综述。

一、渤海湾污染状况

1. 渤海湾污染的主要来源及其特征

渤海湾是以滦河口至黄河口的连线为其东界,面积为 15914km^2 ,约占渤海总面积的20%。平均水深为12.5m。流入渤海湾的主要河流除黄河、滦河外,还有海河、永定新河和蓟运河等。河流的径流量随季节变化明显,汛期(7—8月)入海水量约占全年径流量的80%。

沿岸人口集中,工业发达,有京津唐工业区和大港油田,大量工业和生活污水通过直接入海口、混合入海口和河流系统排入海湾。据不完全统计,每年排入海湾的工业污水为5.28亿吨,生活污水为1.4亿吨。北京市排放的污水经北京排污河,天津市北部污水经北排污河,都汇入永定新河从北塘口入海;天津市南部污水经南排污河从大沽口直接入海(图1)。从这三条排污河入海的污水量约占全部入海污水的95%以上,构成了渤海湾的主要污染源¹⁾。

由于污水主要是经排污河或河流排入海湾,所以其排放量受季节的影响很大,主要集中在汛期,这是渤海湾沿岸污水排放的主要特点。

根据监测结果,可以得到结论:由排污河入海而造成渤海湾污染的物质主要是耗氧有机物(以COD计)、氨态氮、磷酸盐、石油,其次是酚、六六六,重金属不占重要位置¹⁾。

2. 渤海湾主要污染物的分布与迁移特征

在1978—1982年五年间,先后进行了40个航次10万余公里航程的调查(图1),取得2千余份样品,分别对海水、悬浮物、生物体、底质及其间隙水进行了多项目测定,共取

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1405号

收稿日期:1986年12月23日。

1) 天津市环境保护监测站徐伯麟等提供资料。

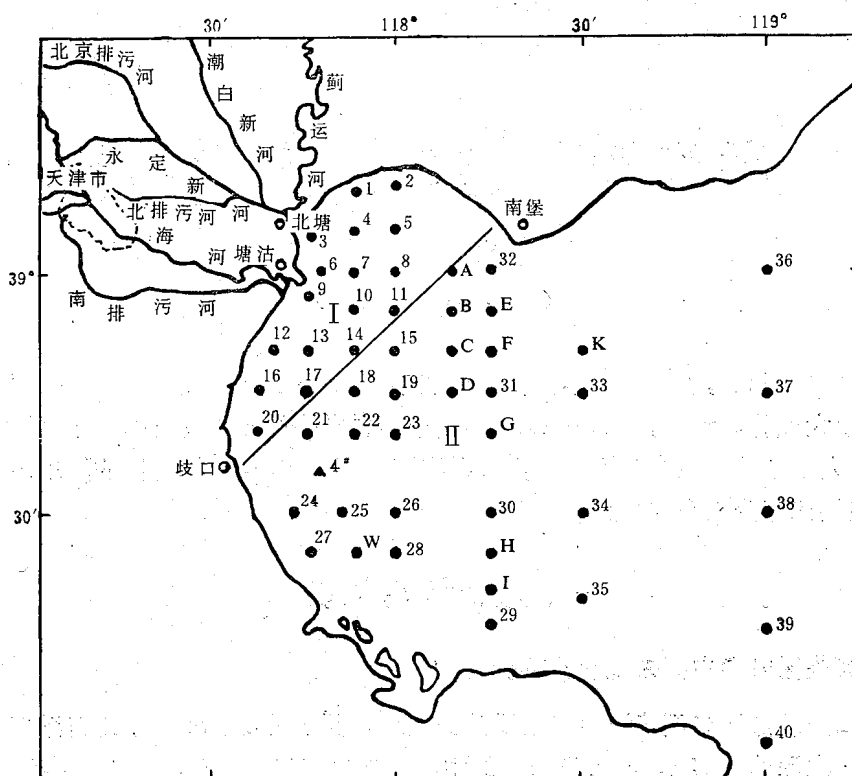


图1 渤海湾西北部入海污水排放系统及调查站位分布图

得2万余个数据。主要结果是:

(1) 海水中 COD 通常在 $1-3\text{mg/L}$ 之间波动, 无机氮大多在 $0.08-0.5\text{mg/L}$ 之间, 无机磷 (PO_4) 在 $0.005-0.2\text{mg/L}$ 之间(表1)。三项都有明显的年、月变化, 与入海径流量相关。从空间变化看, 三项分布趋势基本一致, 调查区北部高于南部, 沿岸大于湾中部, 高值区集中在北塘口、大沽口及其邻近测站, 表明河口区富营养程度最高(邹景忠、董丽萍等, 1983)。

表1 1978—1980年渤海湾耗氧有机物、营养盐实测平均值 (mg/L)

项 目 \ 时 间	1978 年		1979 年			1980 年		
	5 月	9 月	6 月	8 月	10 月	5 月	8 月	10 月
COD	3.43	1.83	2.15	1.64	1.22	1.78	2.04	1.38
无机氮	0.076	0.499	0.24	0.259	0.133	0.362	0.203	0.332
无机磷	0.06	0.084	0.005	0.231	0.005	0.006	0.005	0.005

(2) 海水中石油含量从“未检出”到 0.57mg/L , 年平均值为 $0.055-0.086\text{mg/L}$ (表2), 均超过渔业水质标准¹⁾。高值区在河口沿岸区, 与陆源排污、油田及海上船舶的排污明

1) 天津环境保护监测站徐伯麟等提供资料。

表 2 渤海湾海水中石油的含量 (mg/L)

采样日期 (年·月)	含量范围	平均值	年平均值
1978.6.	未检出—0.573	0.048	0.055
1978.9.	未检出—0.293	0.062	
1979.5.	0.01—0.39	0.115	0.082
1979.8.	未检出—0.568	0.095	
1979.10.	未检出—0.095	0.035	
1980.5.	0.018—0.207	0.103	0.086
1980.8.	0.016—0.233	0.078	
1980.10.	0.035—0.261	0.078	

显有关。海水中多环芳烃的空间分布也有类似情况(戴敏英、周陈年, 1983, 1984)。

(3) 海水中 DDT 和六六六含量从河口沿岸区向湾中递减; 而沉积物中的分布则成马鞍形分布。这种分布特征除与陆源排污有关外, 还与这类脂溶性物质的迁移、沉降有关(见本集古堂秀等文)。

(4) 不同介质中的重金属含量在河口区小范围内略高, 并随离岸距离的增加而迅速递减, 除底质中汞、锌、铜、镉在北塘口和大沽口潮间带显示出不同程度的富集外, 调查区其他大部分海域仍保持自然本底的状况(张湘君、廖先贵, 1985; 本集黄华瑞文)。

3. 渤海湾污染现状

根据 1978—1980 年三年九航次调查监测的部分资料, 综合评价渤海湾的污染状况, 按主要污染物超标的程度和扩散面积的大小, 依次是有机污染>石油污染>重金属污染(表 3)。污染的主要区域是河口沿岸区¹⁾。

表 3 渤海湾污染状况

污染类型	污染等级	占全海湾面积(%)	污染物含量情况及超标情况
有机污染	重污染	9.4	N 平均值 1.7ppm, 超标 1.7 倍; P 平均值 0.25ppm, 超标 2.7 倍
	中等污染	1.4	
	轻度污染	5.4	
	未污染	83.8	
石油污染	重污染	5	石油平均值 0.96ppm, 超标 1.92 倍
	中等污染	8	
	轻度污染	7	
	未污染	80	
重金属污染	轻度污染	5	除 Hg 在河口区超标外, 其余元素在全海湾内均未超标
	未污染	95	

1) 廖先贵提供有关资料。

二、污染对渤海湾生物种群数量和群落结构的影响

生物群落结构的稳定性取决于生物群落组成及它们之间的相对数量关系,环境污染最明显的影响后果首先是某些种群的减少或消失,或伴随某些种群数量的增多,从而导致群落结构的改变。

根据调查,海域内生物群落的主要成分和数量变化特点如下。

1. 微生物

调查区内的海洋异养细菌和石油降解菌的数量,与一般近海、内海的情况大体相近。它们在表层海水中的平均丰度分别为 5100 个/mL 和 72 个/mL;底质中分别为 5×10^6 个/g 和 13×10^4 个/g,比海水中高 2—3 个数量级;高值多在河口沿岸区(张景镛、李士荣等,1984)。石油降解菌的分布与环境中石油、营养盐含量的多寡似有一定的依赖关系。

通常,在未被污染的清洁海水中,石油降解菌只占全部异养菌的 0.01—1.0%,而在近岸油污污染的海水中,则可达 5—50%。在渤海湾 53 份样品中,石油降解菌占异养菌数量的百分比是在 < 0.01 —24.3% 的范围内;其中将近一半的样品小于 1%,只有采自河口沿岸区的不到五分之一的样品才超过 5%(张景镛、李士荣等,1984)。表明河口沿岸区局部范围的污染对微生物的数量分布和群落结构有一些影响。

2. 浮游植物

调查区内浮游植物的数量与 1959 年全国海洋综合调查结果相比,仍保持相当高的水平。例如,1979 年入海径流量虽只有 1959 年的 1/3,但浮游植物数量反而增加了数倍,平均细胞总个数(在调查月份)达 125 万个/ m^3 。全年高峰期在 8 月份,密集区位于冲淡水 and 外海水的锋面上(邹景忠、董丽萍等,1983)。

浮游植物叶绿素 a 含量也很高,1980 年的月平均为 3mg/L。由叶绿素 a 含量估算渤海湾该年生产的有机碳约 130 万吨,同 1959 年 171 万吨水平接近。表明尽管入海径流明显减少,但海区富营养水平升高,浮游植物生产能力仍维持相当高的水平,污染的危害尚不明显(邹景忠、董丽萍等,1985)。

渤海湾浮游植物仍属温带近岸低盐群落,已鉴定的有 31 属 60 余种,以硅藻为主,甲藻其次。枯水期种类较多,北部河口沿岸区有 20 种,以沟直链藻、圆筛藻、中肋骨条藻、尖菱形藻等耐污种为优势种;南部沿岸区种类较少,优势种是尖菱形藻、圆筛藻和刚毛根管藻。丰水期种类较少,在河口沿岸区以颤藻、螺旋藻、板星藻(以上为淡水种)、异常角毛藻(半咸水种)和中肋骨条藻为主。在河口近岸区则以中肋骨条藻、叉角藻、细长角藻、多甲藻和网硅鞭藻占优势。同 1959 年全国海洋综合调查结果相比,可以发现:(1)就整个渤海湾而言,两次调查结果大体一致,基本符合内湾浮游植物种类组成的特点,表明渤海湾浮游植物群落组成和结构相对稳定,污染的影响不甚明显;(2)1959 年在河口沿岸区占优势的角毛藻,如今在种类和数量上都出现明显的减少,而为一些耐污种所取代,浮游植物种类多样性指数下降,表明河口沿岸区浮游植物群落组成趋向简化,污染的影响明

显¹⁾

3. 浮游动物 (本集肖贻昌文)

已鉴定 50 余种,以桡足类最多,如强壮箭虫、真刺唇角水蚤、腹针胸刺水蚤、太平洋纺锤水蚤、双刺纺锤水蚤、中国毛虾等,种类组成仍以温暖带近岸低盐种为主。在河口沿岸区出现半咸水种类,如火腿许水蚤、细巧华哲水蚤;湾口则分布一定数量的外海高盐种,如中华哲水蚤等。

总生物量,除冬季外,一般在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以上,夏季常在 $250\text{mg}/\text{m}^3$ 以上,明显高于 1959 年全国海洋综合调查时的数量。但在北塘口和大沽口,浮游动物量和总个体数,除 1979 年 8 月外,常年偏低,尤以大沽口更为明显。以 4—6 月为繁殖盛期且多在河口沿岸产卵、发育的桡足类,幼体数量和种数都较少;而典型的河口近岸低盐种——太平洋纺锤水蚤的数量却很多,可达 $1000\text{个}/\text{m}^3$ 以上,且密集在北塘口和大沽口。这表明河口沿岸区的浮游动物已受到污染的影响。

4. 鱼卵仔鱼²⁾

1979—1981 年共采到 24 科, 35 属, 35 种鱼类的卵子近 79 万个,仔鱼近 28 万尾,数量很高。其中鱼卵以河口近岸区数量为多,夏季和秋季分别占总卵数的 77.68% 和 72.9%;仔鱼夏季多在河口近岸区(占 67.35%),秋季则多在湾中(占 64.3%)。这表明,尽管河口近岸区污染相对突出,但鱼卵仔鱼的数量分布并未受其影响。

季节性进入淡水作生殖回游的鱼类,如鲚鱼,调查期间未采到其仔稚鱼,大银鱼和尖头银鱼的仔稚鱼数量甚少,这与河口建闸,回游路线受阻直接有关,但不排斥污染的影响;常年栖息在江河两岸、河口滩涂或浅海的小型底层鱼类,如鳎鱼、虾虎类,往往容易受污染威胁,但调查期间其鱼卵仔鱼数量仍保持一定的高数量;常年栖息河口半咸水的鱼类,如斑鲈、梭、鲈、鲢、青鳞等,是近岸渔业的捕捞对象,目前数量仍较高。从采得的上述各类鱼卵仔鱼外部形态观察,发育都属正常。

5. 潮间带生物³⁾

1979 年北塘口高潮带优势种是三齿厚蟹、谭氏泥蟹、日本刺沙蚕和蓝蛤(*Corbula*);低潮带是螺赢蜚和蓝蛤,并有中华绒螯蟹和半污染区指示生物——光滑狭口螺出现。1980 年调查时,高潮带无生物出现,中潮带优势种数量明显减少,5 月、8 月低潮带未见中华绒螯蟹,这可能与当年年初突发性排污有关。大沽口潮间带群落组成与北塘口相似,优势种无明显差别,但种数较少,仅有 11 种;1980 年中潮带也无生物出现。在大沽口南不远的驹驴河口潮间带,生物种类较多达 21 种,各潮间带优势种均以四角蛤蜊、彩虾樱蛤和蓝蛤为主;但 1980 年各潮间带的生物种类和数量均明显减少。

与其他生态类群生物相比,栖于河口区潮间带的生物更直接受到陆源污染的威胁。在

1) 邹景忠、董丽萍,陆源排污对渤海湾浮游植物生态影响的评价。

2) 本所孙继仁、吴光宗、杨东莱提供有关资料。

3) 本所范振刚提供有关资料。

北塘口、大沽口有机污染与重金属污染比较重的局部地区,潮间带沉积物中的硫化氢和某些重金属含量都比较高,潮间带生物出现了种类数量的明显下降,而一些耐污种,如日本刺沙蚕、光滑狭口螺在群落中所占比重加大,这清楚表明渤海湾河口沿岸区潮间带生物种群数量和群落结构都已受到陆源污染的一定影响。

6. 底栖动物

共鉴定样品 90 余种,根据不同站位间底栖动物相似系数计算的结果,调查区仍可分为河口近岸软泥底群落和远岸沙质底群落,与 1959 年全国海洋综合调查时所划分的两群落界限和种类组成大体一致。远岸沙质底群落大体在东经 118° 以东,其种类简单,优势种仍是哈氏刻肋海胆、日本棘刺蛇尾、凸镜蛤等黄海、渤海沙质底区广泛分布的种类。近岸软泥底群落则在东经 118° 以西沿岸区,仍以我国各海区的河口软泥底区广泛分布的毛蚶、小荚蛭、金星蝶铰蛤、几种织纹螺、麂眼螺、绒毛细足蟹、一种索沙蚕和棘刺锚参等为优势种,表现了河口软泥底群落的一般特点。该群落种类较多,而又以北塘口附近各站的种类、数量为最多。但紧靠河口的取样站上,底栖生物的种类贫乏,数量很少,种类数和栖息密度明显地由口外向口内递减,表明污染影响明显。由于调查中毛蚶的出现率和捕获量都较低,所以使近岸软泥底群落的生物量比 1959 年全国海洋综合调查时低。从毛蚶及其栖息环境的汞含量来看,污染的影响不能排除(崔玉珩、孙道元, 1983)。

综上所述,就整个海湾而言,到目前为止,渤海湾生态系统各组分的种群数量和群落结构基本属于正常变化范围,污染影响并不明显。但在河口沿岸区,特别是大沽口和北塘口,生物种群数量和群落结构出现了一些变化,陆源污染的影响比较明显。

三、污染对生物生长、发育、繁殖及生理功能的影响

1. 对生物生长、发育、繁殖的影响

对现场调查所获大量样品进行分析的结果表明,浮游动物主要种类如真刺唇角水蚤、太平洋纺锤水蚤和中国毛虾等生长繁殖未见异常,样品中可见到不少上述种类各期幼体,以及蟹、蛤、螺和多毛类的幼虫。所有浮游动物成体、幼体的外部形态均未见到异常(本集肖贻昌文)。在调查海区也没有发现任何鱼类的坏卵或畸形仔稚鱼。

1979 年 6 月在北塘口低潮带采到大量中华绒螯蟹的孵化变态幼体,栖息密度为 44 个/ m^2 ,生物量为 $1.32\text{g}/\text{m}^2$;至 8 月,个体明显长大,生物量达 $16.6\text{g}/\text{m}^2$ 。在不同季节都可采到彩虹明樱蛤各发育阶段的小个体¹⁾。栖息于潮下带的金星蝶铰蛤,数量很多,密度可达到 2800 个/ m^2 ,7 月份个体可达 8mm,8—9 月可采到定生不久的小个体(崔玉珩、孙道元, 1983)。

以上结果表明,海湾主要生物生长、发育、繁殖基本正常。

2. 对生物的毒性效应

为探求各种生物对污染物反应的敏感性和适应性,判断当前渤海湾污染对生物的影响

1) 本所范振刚提供有关资料。

响程度,先后进行了石油、重金属、有机氯农药对不同生物的毒性影响的实验。

(1) 石油和重金属对浮游植物的毒性效应¹⁾: 石油对浮游植物的毒性因不同油品和不同种藻类而异。原油比 0 号柴油毒性小; 硅藻比绿藻对石油更敏感, 其敏感程度依次为: 三角褐指藻>小型新月菱形藻>盐藻>扁藻。1% 的石油浓度为影响下限。这些结果与国外学者的有关实验结果一致。

不同的重金属对浮游植物自然种群的影响不同。 1×10^{-4} ppm 氯化汞有抑制生长繁殖的作用, 大于 1×10^{-3} ppm 似为最低致死浓度; 而大于 5×10^{-3} ppm 的镉才见到生长繁殖受阻, 显然镉对浮游植物的毒性影响要比汞小。

(2) 重金属对鱼卵仔鱼的毒性效应(崔可铎、刘玉梅等, 1983): 重金属对牙鲆卵的毒性依次为汞>铜>锌>镉>铬>铅; 对仔鱼的毒性顺序为汞>铜>镉>锌>铅>铬。仔鱼对重金属的毒性反应显然比鱼卵更敏感, 这可能与卵子外有卵膜保护有关。

实验还表明, 同一种重金属在不同水质中的毒性不同, 其大小顺序为: 无离子水>淡水>半咸水>海水。

(3) 有毒物质对毛蚶和梭鱼的毒性效应: 测定了石油、重金属和有机氯农药对毛蚶和梭鱼的 96 h TLm 值, 结果(表 4)表明, 有毒物质对梭鱼的毒性依次为 DDT>汞>六六六>镉>铅>石油, 而对毛蚶是镉>汞>铅>DDT>六六六>石油; 梭鱼对毒物的反应比毛蚶敏感得多。

表 4 有毒物质对毛蚶、梭鱼的 96 h TLm 值(ppm)

生 物	石 油	六六六	DDT	Hg	Cd	Pb
毛蚶	1800	67.7	51.5	33.8	10.5	40.0
梭鱼	76	0.36	0.025	0.091	7.7	19.4

注: 据天津市水产研究所资料。

3. 对生物生理功能的影响

(1) 汞对对虾幼体耗氧率的影响(郝斌、孙海宝等, 1985): 实验结果表明, 汞浓度为 0.05mg/L 时, 对虾幼体(体重 0.01g 左右)的耗氧率达到最高值; 加大浓度时, 耗氧率下降, 说明汞对对虾的毒害作用明显, 影响程度随浓度而异。

(2) 汞、镉对对虾肌肉伸拉感受器的影响(郝斌、孙海宝等, 1986): 当 1000ppm 浓度的汞处理时, 对虾肌肉伸拉感受器的放电活动立即消失; 而 100ppm 作用 5—15 min, 50 ppm 作用 20min, 10ppm 作用更长时间, 感受器的放电活动才消失; 当用 1ppm 的汞作用时, 与对照组(干净海水)几乎没有差别。所有有效实验浓度的汞, 都能使感受器放电频率先升高, 然后降低或消失; 用干净海水冲洗也不能使其恢复放电活动。

镉也具有同样的致毒作用, 但它所引起的肌肉感受器中毒却是可逆的, 即用干净海水冲洗后, 可恢复放电活动。

从汞、镉对对虾肌肉伸拉感受器致毒的现象看, 虽然中毒机制不同, 但这两种重金属

1) 邹景忠、董丽萍, 陆源排污对渤海湾浮游植物生态影响的评价。

均能引起对虾的神经中毒,使其不能感受体态的变化,从而使虾体失去平衡,无法正常活动,以致引起死亡。

4. 对生物行为的影响

为了解生物对污染物的行为反应,进行了污染物的生物回避实验。实验表明,梭鱼对有机氯农药的回避反应最强烈,重金属次之,对石油最迟钝(表5)。

表5 梭鱼对六种毒物的50%回避率浓度(ppm)

有毒物质	石 油	六六六	DDT	Hg	Cd	Pb
50%回避率浓度	300	0.12	0.095	0.34	4.1	39.0

注:据天津市水产研究所资料。

综合以上实验可以看出,石油、有机氯农药、重金属对试验生物均有致毒影响,但其影响浓度,在目前渤海湾的天然环境中尚未检测到。由此可以推测,目前渤海湾上述污染物的浓度水平,对生物的生长、发育和繁殖还未构成明显的威胁,这与现场生态观察结果相一致。不过低浓度有毒物质的亚致死远期效应,应该引起重视。

四、污染物在不同营养级生物中积累和排出 以及沿食物链的传递

1. 渤海湾各种生物体内有毒物质含量水平

1978年至1981年间,先后从调查海域采集到30余种代表不同营养级和不同生态习性的生物进行了体内10余种有毒物质的测定,结果表明:

(1) 以国家食品卫生标准中六六六、DDT和汞的允许值为准,除了栖息在河口近岸区的个别梭鱼体内的六六六和刀鲚体内的DDT超标外,在所有测定的生物体内,这三种有毒物质的含量均未超标(陈叙龙、张毓琪等,1983;张毓琪、陈叙龙,1984)。

(2) 不同生物对同一种有毒物质或同一种生物对不同有毒物质的积累能力差别很大(陈叙龙、张毓琪等,1982;崔可铎、吴玉霖等,1982;吴玉霖、崔可铎,1983;吴玉霖、赵鸿儒等,1983)。

(3) 生物体内有毒物质含量与其栖息环境中的有毒物质含量呈线性关系(谭燕翔、苏华青等,1982)。

(4) 应用统计方法得出,毛蚶体内汞含量与体重呈幂函数关系,大个体比小个体含量高(谭燕翔、苏华青等,1982)。

(5) 不同季节生物体内有毒物质含量也不同,如毛蚶汞含量5月和10月比8月和2月偏高(郑舜琴、张淑美,1981);镉是夏季较高,铅是春季较高,而铜正相反(刘明星、包万友等,1981)。

2. 有毒物质的生物积累、排出及其分布

室内实验结果表明:

(1) 各类生物对有毒物质都具有一定的积累能力,不同生物直接从海水中积累不同重金属的浓缩系数各不相同;按浓缩系数的大小为序,浮游藻类>贝类>鱼类。这表明低营养级生物直接从海水中积累重金属的能力要比高营养级生物强(崔可铎、吴玉霖等,1982;吴玉霖、崔可铎,1983)。

(2) 尽管不同生物对不同重金属的积累速度不同,但都随时间的延长而增加,开始较慢,随后加快,最后达到动态平衡。

(3) 不同生物对不同重金属都有一定的排出能力,其能力大小随生物种类和不同重金属而异。但同种生物对某种重金属积累能力弱,其排出就快;积累能力强的,排出就慢(刘发义、王仁美等,1981;李世效、王仁美等,1981;王仁美、李世效等,1984)。

(4) 通过重金属同位素在紫贻贝体细胞内分布和结合的实验证实,重金属元素主要是与细胞内大分子蛋白质相结合;凡是与蛋白质大分子结合强的金属,其在生物体内积累的程度就高,而排出的速度也就越慢(李世效、王仁美等,1981;王仁美、李世效等,1984)。

(5) 在实验条件下,生物对金属的积累量和排出速度同生物的密度成反比。如水体中硅藻的细胞密度小时,它对 ^{65}Zn 的积累量就高,排出速度就快;细胞密度大时,则积累量低,排出速度就慢(肖余生、滕文法等,1982)。

(6) 环境因子对生物积累重金属的能力会产生影响。如不同光照、温度、盐度等复合因子对小球藻吸收 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 的实验结果表明,在诸因子中,光照的影响最明显,温度次之(中国科学院海洋研究所,1984)。这显然与它们对生物新陈代谢强度的影响程度有关。

(7) 不同重金属在不同种鱼体组织内的分布情况各不相同,但大体上都是内脏>鳞片>骨骼>肌肉,重金属在鱼的肌肉中的含量普遍较低(崔可铎、吴玉霖等,1982;李世效、王仁美等,1984)。

3. 有毒物质沿食物链的积累和传递

对现场调查所采到的不同营养级生物体内汞(总汞和甲基汞)、六六六和 DDT 含量进行了测定,并计算了它们对应于海水的浓缩系数(陈叙龙、张毓琪等,1983;张毓琪、陈叙龙,1984),结果表明:

(1) 所有这三种有毒物质均呈现随食物链等级升高而积累量增高的趋势。这表明营养级高的生物,除了能直接从海水中吸收、积累有毒物质外,还可通过摄食低一级生物而得到。

(2) 不同营养级生物体内的甲基汞约占总汞的 55—90%,而且前者的浓缩系数往往比后者高一个量级。这显然是由于生物体本身能将无机汞转化为甲基汞,并以甲基汞的形式积累起来,而甲基汞又比无机汞更难排出。

(3) 不同营养级生物对 DDT 的浓缩系数要比六六六高一个量级,表明生物对 DDT 积累的能力比六六六高得多。至于渤海湾各营养级生物体内 DDT 含量比六六六低些,可能是因为海水中六六六浓度比 DDT 高许多倍的缘故。

有毒物质沿食物链传递的直接证据,可以从室内同位素示踪实验取得。用 ^{65}Zn 标记过的褐指藻喂养紫贻贝,到第 5 天时,就有 6.18% 的 ^{65}Zn 传递给紫贻贝。紫贻贝通过摄

食褐指藻吸收 ^{65}Zn 的浓缩系数比它直接从海水中吸收 ^{65}Zn 的浓缩系数高出许多,实验的第1,3和5天,分别高71.0、41.5和50.4倍(李世效、王仁美,1982)。由此可见,营养级高的紫贻贝体内所积累的 ^{65}Zn 主要是通过摄食低一级生物而得到的。

由此可见,有毒物质在生物体内的浓度,是随生物营养级的提高而逐步增大。毒物不仅在不同营养级生物体内可以积累,而且可以沿食物链传递和放大。尽管目前在渤海湾海水中这些有毒物质的含量并不太高,但通过生物积累,不仅会使处于高营养级的生物致毒受害,而且会对人体健康产生潜在的威胁,必须引起足够重视。

五、渤海湾富营养化及其与赤潮的关系

海域富营养化和赤潮的发生与发展,对海洋生态平衡和水产资源的变动影响很大。渤海湾有机污染突出,过去曾有赤潮发生历史。

1. 渤海湾富营养状况的评价(邹景忠、董丽萍等,1983)

我们采用单项指标,同时结合多项指标的营养状态指数法,选择COD、无机氮、无机磷和浮游植物生态变化等参数,以我国渔业水质标准为基础,对渤海湾海水进行了评价,主要结果如下:

(1) COD、无机氮、无机磷在调查海域的含量均已达到富营养水平;营养状态指数在大多数测站超过1;浮游植物现存量、叶绿素a、初级生产力、多样性指数等指标亦达到富营养水平,与日本东京湾、三河湾接近。各项指标高值主要出现在大沽口、北塘口及其沿岸。丰水期(8月)的营养程度明显高于枯水期(5月)。

(2) 根据营养状态指数和各指标浓度分布及超标率,以歧口和南堡间的连线为界,可把调查海域分为两个区:其西为I区,属富营养区;其东为II区,属中度营养区(见图1)。两区界线可因外海水和冲淡水的强弱消长而推移;枯水期,界线向河口退缩,丰水期向湾口推进。

根据以上结果,可认为,渤海湾应属富营养类型的内湾,河口沿岸区正逐渐向高度富营养化过渡。尽管目前富营养水平较高,但尚未导致渤海湾生态平衡的失调。

根据近年来渤海湾沿岸工业废水和生活污水的排放量,以及COD、无机氮、无机磷入海量及其在湾内储存量的估算,可以认为,人为的陆源排污是造成渤海湾富营养化的主要原因,底质溶出和生物尸体氧化分解对湾内营养盐的补充,也是不可忽视的因素。

2. 赤潮生物及其生态特点(邹景忠、董丽萍等,1983)

经对现场调查所采得的样品进行鉴定,发现分布于渤海湾的赤潮生物共有31种,其中硅藻18种,甲藻11种,金藻1种,原生动物1种。除夜光藻、微型原甲藻曾先后于1952年和1977年在渤海湾发生过赤潮外,其余一些种类,如硅藻中的中肋骨条藻、窄隙角毛藻、柔弱角毛藻、日本星杆藻、尖菱形藻和圆筛藻,甲藻中的渐尖鳍藻、膝沟藻、锥形多甲藻、叉角藻等优势种,它们分布广、数量大,有时也大量繁殖,形成密集区,因此,存在着发生赤潮的危险。

根据渤海湾赤潮生物对温度、盐度变化的忍耐力和分布特点,可以把它们分成三个类群:

(1) 广温广盐类群,如中肋骨条藻、尖菱形藻等,适温范围为 8—32℃(最适 20—26℃),适盐范围为 4—50‰(最适 25—30‰)。这类藻在 8 月份的数量出现高峰,主要分布在河口区,可达 1000 个/L 以上。

(2) 偏低温低盐类群,如窄隙角毛藻、柔弱角毛藻等,以春秋为繁殖盛期,水温升高时数量急剧减少。

(3) 偏高温高盐类群,如夜光藻、微型原甲藻、叉角藻等,以夏季为繁殖盛期,7 月为高峰期,在冲淡水控制的河口区数量甚少。

根据渤海湾各环境因子和目前污染的实际情况,夜光藻、中肋骨条藻和微型原甲藻可能是渤海湾的主要赤潮生物,它们可能引起赤潮发生的季节是 7—9 月,此间正是化学径流量强盛,水域富营养化最重的时期;最适于赤潮发生的环境是在大沽口和北塘口附近。

3. 富营养化与赤潮的关系

海域富营养化同赤潮是两个不同的概念,前者是后者发生的重要物质条件。目前,渤海湾,尤其是 7—9 月河口沿岸区富营养水平较高,基本上具备了发生赤潮的条件。然而,在 1978 年以后,该海湾尚未发生过赤潮。这就说明,引起赤潮发生的条件,除营养盐外,一些微量元素(Fe, Mn 等)和维生素 B₁、B₁₂ 等或许是赤潮形成的关键因子,当然还要有适宜的水文、气象条件。在目前情况下,暴雨后,地面径流特别是农田沥水大量集中入海,可能最易引起赤潮的发生,尤应引起注意。

六、污染对渤海湾水产资源的影响

引起海洋水产资源种群、数量变动的原因十分复杂。既要考虑资源本身的特点,又要对可能影响、改变、甚至破坏水产资源的各种自然的和人为的因素进行全面分析。

1. 污染对近海水产资源的影响

(1) 渤海水产资源中的主要经济鱼类,如小黄鱼、带鱼的资源,早在 60 年代就已开始明显衰退,并一直持续到现在。就时间来看,这种资源衰退出现在渤海沿岸现代工业兴起之前。因此,将小黄鱼、带鱼等渤海主要经济鱼类资源的衰退归咎于现代工业的陆源排污,是缺乏根据的。然而现有资料表明,这类资源的衰退,主要是在超过资源再生的过量捕捞强度的压力下出现的,并在资源已明显衰退后仍继续增加捕捞能力,甚至大量捕捞、损害经济幼鱼,以致资源衰退日趋严重,数十年来未能恢复。当然,我们不能排除,含有高浓度有毒物质的工业废水不加控制地排入海湾,会对已经衰退的水产资源起叠加破坏作用。虽然目前还缺少这方面的直接证据,但从长远考虑,环境污染的潜在效应,应引起足够的重视。

(2) 作为渤海近海渔业主要支柱的对虾资源,在 60, 70 年代一直比较稳定,且趋上升,1979 年产量达到创纪录水平(4.4 万吨)。但在 1980 年以后产量大幅度下降,对其原

因目前有多种见解,尚无定论。石油对对虾致毒效应的实验结果表明,溞状幼体是对虾生命周期中最易受环境诸因素影响的一个薄弱环节,其 50% 变态率的原油浓度为 0.12mg/L (吴彰宽、陈民山,1985)。现场实测,渤海湾某些测站的表层海水中石油含量达 0.1—0.3mg/L 以上,这些水域的油污已达到或超过对虾溞状幼体的忍受程度,有可能使其成活与变态受到影响和危害。因此,目前渤海湾的石油污染可能会对对虾资源产生不良影响。

2. 污染对近岸水产资源的影响

渤海湾近岸渔业捕捞的主要对象有毛虾、毛蚶以及梭、鲈、青鳞、斑鲈鱼等,它们大都栖息在河口近岸水域。由于近岸水域水浅,水交换能力较差,受陆源排污的压力也大,尤其在大沽口、北塘口更为突出。因此,陆源排污对这类水产资源的影响就相对要大些。

(1) 毛虾: 回顾 30 年来渤海西部毛虾资源的盛衰历史,在 1958 年和 1979 年开始出现两次产量锐减过程之前的四年间(1954—1957 年和 1975—1978 年),都有一个持续高产时期,年产量平均分别达 6.5 万吨和 6.8 万吨(冯志青、孙介华等,1982)。我们不排除这种马鞍型波动可能是毛虾资源本身自然演变的一种特点。据推算,渤海西部毛虾每年最大补充量为 7.62 万吨,而最大持续产量为 5.69 万吨(冯志青、孙介华等,1982)。可是 1954—1957 年和 1975—1978 年这两个时期的捕获量,均超过了允许的最大持续产量。这就意味着该海域毛虾种群的补充受到了影响,因而引起以后若干年的持续歉产。看来,1958 年和 1979 年起渤海西部毛虾资源的两次衰退,可能是捕捞过度所引起的。至于陆源污染对毛虾资源的影响,目前还缺少直接的证据。我们从 1978—1981 年现场生态调查的结果看,在受陆源排污影响明显的河口沿岸各测站,毛虾各期幼体的数量都相当高,发育亦正常,毛虾体内各种毒物的残留量也都较低,这表明目前渤海湾的陆源排污对毛虾资源的影响尚不明显。

(2) 毛蚶: 近年来渤海湾的毛蚶资源明显衰退。毛蚶是一种在河口近岸低盐、泥沙底质定着生活的底栖动物,由于其回避污染物的能力很低,因而容易受陆源排污的影响。从调查现场所采到的样品体内各毒物的残留量看,虽尚未超过国家规定的食品标准,但一般比其他生物要高些。另一方面,从室内毒性实验结果看,毛蚶的 96 h TL₅₀ 值均在 10ppm 以上(表 4)。这表明,它对污染物的忍受能力是比较强的。

我们不能忽视的一个事实是,大沽口南面的刘家河渔场正处于目前渤海湾污染程度最突出的区域,而 1979 年的毛蚶资源不仅没有衰退,反在资源密度和分布面积上都比 1986 年大¹⁾。这一事实显然是对把渤海湾毛蚶资源衰退归咎于污染的一个否定。尽管如此,我们认为,突然性的高浓度排污会引起河口沿岸局部区域的毛蚶及其他生物的中毒死亡,从而使这一局部区域的毛蚶资源受到破坏。

引起渤海湾毛蚶资源衰退的主要原因,显然是违反科学的滥捕乱采。自 60 年代以来,由于渤海湾主要经济鱼类资源不断衰退,各地为保持渔业的高产量,逐年提高毛蚶的采捕能力,1975 年仅天津市和河北省毛蚶的产量就达 27 万吨,创历史最高纪录。加上违反水产资源繁殖保护规定进行伏季生产,不仅造成毛蚶的死亡,而且进一步危害资源的再生。

1) 天津市水产研究所提供有关资料。

(3) 其他河口近岸水产资源：从大沽口、北塘口河口区的生态观察,陆源排污对常年栖息在江河两岸滩涂或浅海的小型底层鱼类(如鲈鱼、鰕虎类)和贝类(如四角蛤蜊、蛏等)的影响还是明显的。而常年生活在河口半咸水的梭鱼、鲈鱼等,也在不同程度上受到陆源排污的某些影响。这些鱼体内毒物的残留量通常要高于回游性近海鱼类。

七、渤海湾生态系统稳定性的初步评价

生态系统是生物群落与周围环境相互作用的功能系统。不同营养级的生物与环境间呈现互相制约、不断演变、但又互相稳定的关系,并不停的进行着物质交换、能量流动和信息传递。生态系统的结构是实现其功能的框架,而其功能又是保持框架活性的动力。生态系统结构与功能的协调关系,是衡量系统稳定性的主要标志。

渤海湾环境因素复杂多变,受人为干预和自然因素影响很大,特别是陆源排污对环境条件变化的速率起着叠加的作用,当环境条件变化的速率和强度超过生物所能忍受的范围时就会产生不利的影响。这种不利影响,可以是轻微的或潜在的,在调查时可能无法或未能观察到;也可以是严重的,从而导致某个生物群落结构和功能受到干扰甚至破坏。

通过近四年来多学科现场综合调查,并结合生态毒理实验的研究,结果表明,目前就整个渤海湾而论,组成该海湾生态系统各组分的生产者(饵料浮游植物)、消费者(食植性浮游动物、鱼、虾、贝等)以及分解者(微生物)的种群数量、群落结构的变化,基本上属于正常的生态变化范围。代表初、次级生产力的浮游植物和浮游动物的现存量仍维持较高的水平;作为它们生长、繁殖的物质基础——营养盐相当丰富。一些较高营养级生物的生长、发育、繁殖基本正常。各营养级生物体内有毒物质的残留量大都在食品卫生标准和生物允许值以下,尚未见到明显的毒性效应。生物群落结构基本稳定,功能尚属健全,结构与功能相互适应,环境污染的影响尚不明显。

但是,在长期承受较大污染压力的河口沿岸区,特别是大沽口和北塘口局部区域,由于其水质、底质中有害物质含量及富营养水平较高,某些低营养级生物群落组成趋向简化,耐污种生物增多,种类多样性指数降低,各生态类群生物的种群数量下降,生物体内有毒物质含量增高,甚至在大沽口及其附近潮间带出现无生物区,从而动摇和破坏了河口局部地区生态系统的稳定性。可见,陆源污染对河口生物和潮间带生物的危害是明显的。

由于陆源污染物在河口区海域迅速沉降(如重金属类)或扩散、稀释良好(如有机污染物),再加上海湾内水文动力的净化作用,陆源污染的压力在渤海湾广大海域内大大减弱,从而保持了渤海湾生态系统的相对稳定。

目前在渤海湾,河川带来的有机营养物质日益增多,外海回游性鱼类的减少又相对地降低了对水域内饵料的摄食强度,因而使海湾浮游生物的现存量比历史上更高些。为此,从保护和利用渤海湾生物资源出发,一方面要适当控制陆源污染物的排放,一方面又应合理利用污水,以提高海域生产力,使海洋的环境和生物朝着有利于人类的方向发展,这就是我们研究渤海湾污染生态学的目的。

参 考 文 献

- 中国科学院海洋研究所, 1984。两类不同营养级生物在不同条件下对海水中 ^{65}Zn , ^{60}Co 和 ^{137}Cs 的吸收和排出及代谢机制的研究。海洋湖沼环境污染学术讨论会论文集。科学出版社, 23—29 页。
- 王仁美、刘发义等, 1984。紫贻贝对 ^{125}Sb 累积、排出和结合的实验研究。海洋科学 1: 31—32。
- 冯志青、孙介华等, 1982。渤海西部海区毛虾资源现状及合理利用的探讨。海洋湖沼通报 4: 62—68。
- 刘发义、王仁美等, 1981。 $^{203}\text{Hg Cl}_2$ 在紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 体内的累积和结合以及锌对其影响的实验研究。环境科学学报 1(1): 51—58。
- 刘明星、包万友等, 1981。渤海湾毛蚶等海洋动物的痕量金属含量。中国环境科学 3: 29—36。
- 李世效、王仁美, 1982。紫贻贝对 ^{65}Zn 累积和排泄机制的研究。海洋科学 3: 26—28。
- 李世效、王仁美等, 1981。 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 在紫贻贝体内分布的初步研究。环境科学学报 1(2): 193—196。
- 李世效、王仁美等, 1984。汞在罗非鱼体内的代谢。海洋学报 6(4): 512—519。
- 肖余生、滕文法等, 1982。三角褐指藻细胞密度对累积和排出 ^{65}Zn 的影响。海洋科学 3: 22—25。
- 吴玉霖、崔可铎等, 1983。毛蚶对汞累积和排出的室内试验。海洋与湖沼 14(1): 30—34。
- 吴玉霖、赵鸿儒等, 1983。重金属镉、铅、铜和镍在非洲鲫鱼体内的积累、分布和排出。海洋与湖沼 14(5): 473—481。
- 吴彰宽、陈民山, 1985。胜利原油对对虾受精卵及幼体发育的影响。海洋科学 9(2): 35—39。
- 邹景忠、董丽萍等, 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—54。
- 邹景忠、董丽萍等, 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, 173—179 页。
- 陈叙龙、张毓琪等, 1982。汞在渤海湾鱼体内的化学形态积累和各器官组织内的分布。海洋环境科学 1(1): 66—74。
- 陈叙龙、张毓琪等, 1983。六六六、DDT 在渤海湾鱼体内的蓄积分布及在生态系统中的迁移。海洋环境科学 2(3): 14—19。
- 张毓琪、陈叙龙, 1984。渤海湾生态系统中汞的富集与迁移。环境科学 5(1): 27—30。
- 张景镛、李士荣等, 1984。渤海湾表层海水和沉积物中石油利用菌的数量分布。全国水生态及环境微生物学学术会议论文集。科学出版社, 37—45 页。
- 张湘君、廖先贵, 1985。渤海湾沉积物中总汞的分布及本底值。海洋科学 9(1): 32—37。
- 郝斌、孙海宝等, 1985。对虾 (*Penaeus orientalis*) 呼吸生理的研究。海洋湖沼通报 3: 51—61。
- 郝斌、孙海宝等, 1986。汞、镉对中国对虾 (*Penaeus orientalis*) 行为和肌肉牵张感受器的影响。甲壳动物学论文集, 第一辑。科学出版社, 71—76 页。
- 郑舜琴、张淑美, 1981。渤海湾毛蚶体内的汞含量。海洋湖沼通报 4: 29—33。
- 崔玉珩、孙道元, 1983。渤海湾排污区底栖动物调查初步报告。海洋科学 3: 29—35。
- 崔可铎、吴玉霖等, 1982。非洲鲫鱼 *Tilapia mossambica* (Peters) 对汞累积的实验研究。环境科学学报 2(1): 80—84。
- 崔可铎、刘玉梅等, 1983。汞等六种重金属对鱼卵孵化和仔鱼成活的影响。海洋科学 2: 41—43。
- 谭燕翔、苏华青等, 1982。利用毛蚶作为海湾汞污染的指示生物。环境科学 3(1): 21—24。
- 戴敏英、周陈年, 1983。渤海湾水中多环芳烃含量的分布。海洋科学 4: 26—27。
- 戴敏英、周陈年, 1984。渤海湾沉积物中的多环芳烃。海洋科学 3: 34—36。

ECOLOGICAL EFFECTS OF POLLUTION IN THE BOHAI BAY*

Zou Jingzhong and Zhang Jingyong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

This paper summarizes the results of four years of investigation on the ecological effects of sewage discharge and its pollutants such as organic loading, petroleum hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons and toxic metals on marine organisms and fishery resources in Bohai Bay.

The results showed that the structure and function of organism communities in the bay were essentially stable. No great difference in the species composition and the average quantities of various population (Microbe, Phytoplankton, Zooplankton, Fish eggs and Juneniles, Benthos) from that in 1958—1959 were found. However, ecological modification has appeared in some areas contaminated by the municipal and industrial sewage from the Tianjin city and towns near the seacoast.

The changes including the increase of concentrations of metals, DDT and 666 in organisms and the decrease in diversity values and abundance of some populations seem mainly limited to the estuarine area, where rather high mortality appeared occasionally of mollusca, shellfish as well as fish. Catch statistics of commercially valuable species in estuarine waters reveal that changes in abundance are directly attributable to pollution. Results show that the estuary was affected by pollution.

* Contribution No. 1405 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.