

# 柴油在底泥中的行为及其对 底栖生物群落的影响\*

庄栋法 蔡子平 陈孝麟 吴省三 唐森铭

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

**摘 要** 论述0号柴油在底泥中浓度和组分的变化及其对底栖生物群落中细菌、双壳类动物和底泥表层叶绿素a的影响. 实验结果表明: 添加柴油后, 进入底泥中柴油组分主要是高于C<sub>15</sub>的直链烷烃; 细菌数量随污染油浓度增大而升高; 实验开始底泥表层叶绿素a有所减少, 而后明显增加; 菲律宾蛤仔的重量:壳宽与污染油平均浓度成负的相关性.

**关键词** 柴油 底栖生物群落 底泥 污染效应

## 前 言

海洋环境受油污染能对海洋底栖生物群落产生影响, 给水产养殖业造成经济损失. 海洋生态系围隔实验被广泛用于海洋生态学的基础和应用研究<sup>[1~3]</sup>. 笔者在和加拿大合作开展浮游生态系围隔实验的基础上<sup>[4,5]</sup>, 又进行底栖生态系围隔模拟实验, 探讨0号柴油在底泥中的变化及其对底栖生物群落的影响. 另一文章详细报道多毛类环节动物对0号柴油污染效应的模拟研究<sup>[6]</sup>.

## 1 材料和方法

### 1.1 实验装置

围隔实验装置建于厦门市国家海洋局第三海洋研究所濒海, 由5个长宽高各为2、1、0.5m的水泥池和排水系统组成. 池侧的排水沟道与通入海区的涵管相连, 装置位于高潮线以下, 海水通过管道直接进入水泥池, 即有与海区同步的潮汐周期. 1991年7~8月进行实验, 水温变化范围27.5~30℃.

本文于1992-08-05收到, 修改稿于1994-08-20收到.

\* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 38970177).

## 1.2 实验底泥

实验底泥取自厦门杏林湾马銮养殖菲律宾蛤仔的埕地, 该埕地位于中潮带, 底质为中粗泥沙. 现场取底泥样用铁锹切取高16cm的泥块尽量保持原底质结构, 按原样装入直径55cm、高19cm的塑料盆中, 运回放入围隔池内, 每池放4盆, 每池底泥总表面积为0.88m<sup>2</sup>. 塑料盆底钻数个0.3cm孔洞, 以便排水时盆内积水能全部渗出. 底泥放入围隔池后, 在正常潮汐作用下驯化45d.

## 1.3 实验方法

按表1所列系列浓度添加0号柴油于各实验池水体中, 搅拌均匀. 添加柴油后16h, 将污水排出, 重新纳入新鲜海水. 添加污染物后实验池改自然潮汐为每日纳排水1次, 即逢低潮时将池内海水排干, 然后用水泵抽入新鲜海水 (泵入新鲜海水的目的是排水管道第1次排水后已

被柴油污染, 为避免各实验池多次油污染). 实

验开始后每隔1~4d取底泥样1次, 每次取样均在排干海水后1h进行. 取表层3cm底泥样供底泥油浓度和细菌生物量检测之用: 将欲测底泥样碱解, 用正己烷分两次萃取, 经无水硫酸钠

**表1 各池添加0号柴油的浓度 (mg/dm<sup>3</sup>)**

池号	A	B	C	D	E
浓度	0	5	25	125	625

脱水后, 用荧光分光光度法和气相色谱法分别测定底泥油浓度和组分. 将另一部分底泥样, 采用吖啶橙染色, 荧光显微镜计数法测量细菌生物量; 取表层0.3cm底泥样用以检测底泥表层叶绿素a; 用90%丙酮萃取后, 在Turner荧光计上测定底泥表层叶绿素a; 检出菲律宾蛤仔的活贝和新近死亡的个体, 用40%酒精固定, 用滤纸吸干体表和软体表面的水分, 称取肉重(湿), 测量壳宽.

## 2 结果与讨论

### 2.1 底泥中柴油浓度及其组分变化

由表2可看出D、E两实验池水体中分别添加较高浓度柴油2~3d, 底泥中油浓度分别达到最高值; 而在B、C两实验池水体中分别添加较低浓度柴油6d, 底泥中油浓度才达到最高值, 随后底泥中油浓度逐渐降低, 实验14d各池底泥中油浓度均接近对照池(A)油浓度的水平. 下面着重分析C实验池沉降到底泥中油组分浓度的变化. 由图1 0号柴油中直链烷烃组分及实验第3和第14d C池底泥中直链

**表2 各实验池底泥中油的浓度 ( $\times 10^{-8}$ )**

池号	A	B	C	D	E
2d	3.7	5.2	6.4	95.7	94.3
3d	3.1	9.8	16.1	76.2	436.0
6d	4.9	10.5	18.1	69.5	148.0
10d	7.0	10.9	10.0	23.5	200.0
14d	4.9	6.2	7.7	7.1	7.7

烷烃各组分的变化可清楚看出由有机物、碎屑和粘土等悬浮颗粒物吸附颗粒态和溶解态柴油沉降到底泥柴油中直链烷烃主要是高于C<sub>15</sub>的组分; 实验14d各组分明显低于第3d. 这一实验结果与我们在浮游生态系围隔实验中的化学分散原油的结果是一致的<sup>[7]</sup>. 化学分散原油在

浮游生态系围隔实验中沉积物的油主要组分同样是较高碳数的直链烷烃. 这是由于柴油中低于  $C_{15}$  的直链烷烃组分在水体中一部分由光氧化成二氧化碳和经海气交换逸失掉以及直接挥发到大气中; 一部分被细菌降解掉<sup>[8,9]</sup>; 沉降到底泥中的组分均是较高碳数 ( $C_{17} \sim C_{25}$ ) 的直链烷烃. 由此可见碳数低的直链烷烃在水体中较容易被细菌降解, 这与某些研究结果指出随着烷烃碳数的减少, 细菌对其降解能力则有明显提高的倾向<sup>[10]</sup>是吻合的, 而碳数高的直链烷烃则沉降到底泥中逐渐被底泥中的细菌降解掉.

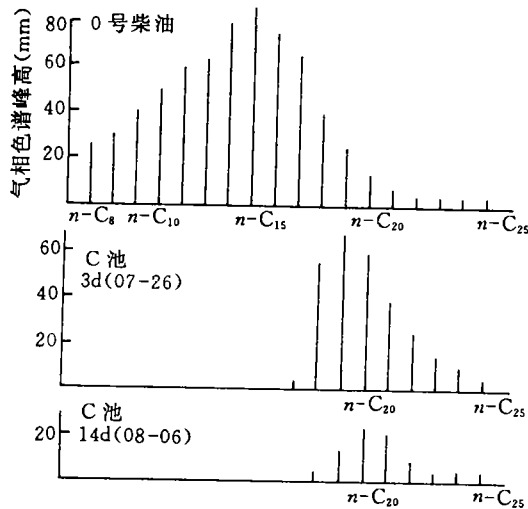


图1 柴油和C池底泥中直链烷烃组分比较

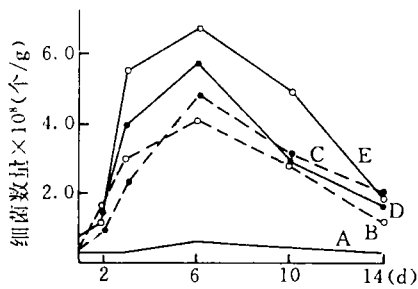


图2 柴油对底栖细菌数量的影响

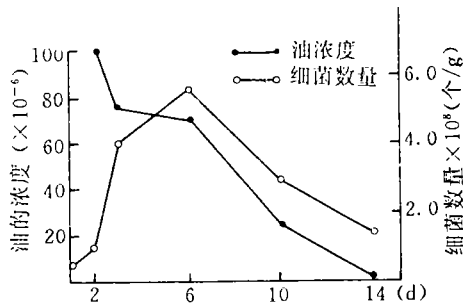


图3 D池底泥油的浓度与细菌数量的关系

## 2.2 柴油污染对底泥中细菌的影响

图2、图3分别为各实验池细菌数量变化情况和D池底泥油浓度与细菌数量的关系. 由图3可见, 底泥中细菌数量与油浓度关系密切, 随着底泥中油的不断沉积, 油刺激细菌的生长, 实验池细菌数量急剧增加, 至实验第6d达到最高值, 分别为  $4.2 \times 10^8$ 、 $4.9 \times 10^8$ 、 $5.7 \times 10^8$  和  $6.9 \times 10^8$  个/g, 而后随柴油浓度不断降低, 细菌数量也逐渐减少. 这是细菌具有明显的趋化性,

油为细菌的生长提供了充分的能源, 曾用扫描电镜观察细菌 *Acmetobacter* sp. 在含有十六碳烷培养基上生长, 发现有许多细菌覆盖在油滴的周围<sup>[11]</sup>, 油浓度愈高, 油滴周围被细菌覆盖的数量愈多, 反之油浓度愈低, 油滴周围被细菌覆盖的数量愈少. 同时由图2中可以看出细菌数量随各实验池油污染程度而变化. 油污染最严重的 E 池, 细菌数量最高, 实验第6d 达到  $6.9 \times 10^8$  个/g; 油污染最轻的 B 池, 细菌数量最少, 实验第6d 为  $4.2 \times 10^8$  个/g; 对照池 (A) 未被油污染, 实验期间细菌数量保持在  $2.5 \times 10^7 \sim 8.0 \times 10^7$  个/g 的水平. 上述实验结果表明在本实验油污染的浓度范围内, 油为底泥中的细菌提供了充足的基质, 促进细菌的生长繁殖, 而细菌数量的急剧增加又加速油的降解作用.

### 2.3 柴油与底泥表层叶绿素 a 的关系

叶绿素 a 含量与底栖藻类细胞个数的变化存在着较好的正相关关系<sup>[12]</sup>. 测定底泥表层中叶绿素 a 的含量变化可反映底泥表层中具有光合作用能力的生物生长和繁殖的情况. 图4显示出各实验池底泥表层中叶绿素 a 的含量变化. 对照池 (A) 及低浓度油的 B 池底泥表层中叶绿素 a 保持在  $8\text{mg}/\text{m}^2$  左右的含量水平; 而 C、D、E 池在实验的第3d, 底泥表层中叶绿素 a 的含量均明显下降, 随后逐渐升高, 至实验第10d 达最高值, D、E 池分别为  $16$  和  $18\text{mg}/\text{m}^2$ . 实验初期由于水体形成油膜, 光照减弱, 同时排水后油膜附着在底泥表面, 底栖植物的光合作用受到影响, 生长受到抑制, 底泥表层中叶绿素 a 处于最低值. 随后油浓度高的 D、E 池底泥表层中叶绿素 a 含量增高, 这也许是污染油浓度高的这两个池纵带滩栖螺 (*Batillariazonalis*) 数量明显减少的缘故. 实验后期油逐渐减少, 底泥表层中叶绿素 a 含量也随之降低.

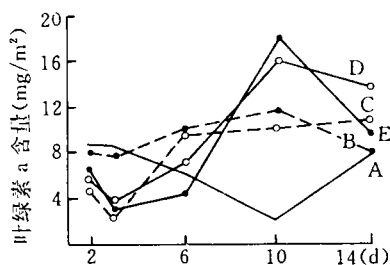


图1 柴油与底泥表层中叶绿素 a 含量的关系

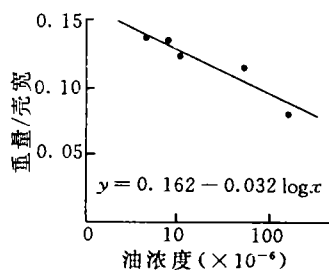


图5 底泥中油浓度与菲律宾蛤仔重量:壳宽的关系

### 2.4 柴油对菲律宾蛤仔的影响

菲律宾蛤仔是实验底泥采挖地养殖埕的主要养殖生物, 数量占绝对优势, 最高检出值为  $436$  个/ $\text{m}^2$ . 考虑到菲律宾蛤仔在实验底泥中的数量分布的不均匀性及个体大小的不一致, 它的差异可能掩盖来自油污染的效应. 同时蛤仔在死亡前后其体重变化较明显. 为了讨论问题方便起见, 笔者使用菲律宾蛤仔的平均状态指数体重:壳宽 ( $\text{g}/\text{mm}$ , 即单位壳重、宽) 来表达油污染对蛤仔种群失重的影响. 蛤仔种群失重从生物学上来看, 一般是较大个体蛤仔的死亡和蛤仔种群的个体逐渐消瘦或小型化. 体重:壳宽与个体数无关, 排除了各实验池 (盆) 之间蛤仔分布密度的差别, 便可以对菲律宾蛤仔的油污染效应进行分析、比较. 利用各实验池

菲律宾蛤仔的体重:壳宽比与底泥平均油浓度进行相关分析,其结果指出,它们之间呈现出显著负相关关系(图5)。这说明在油污压力状况下,菲律宾蛤仔种群的平均状态指数重:壳宽能够很好的反映油污污染的程度。

综上所述,我们实验结果表明:(1)添加0号柴油后,低于 $C_{15}$ 的直链烷烃在水体中较容易被细菌降解,而降到底泥中柴油的主要组分是高于 $C_{15}$ 的直链烷烃;(2)底泥受到柴油污染时,细菌数量急剧增加,底泥表层中叶绿素a在实验初期有所减少,随后油污严重的实验池明显增高,菲律宾蛤仔种群生长受到一定程度的影响,出现种群失重和个体小型化。

林昱、林荣澄两位同志参加本研究工作,菌数由周宗澄同志协助测定,谨此致谢。

## 参考文献

- 1 吴晋平等. 海洋生态系围隔实验进展. 生态学进展, 1988, 5 (1): 43~50
- 2 Menzel D W and J Case. Concept and design: Controlled ecosystem pollution experiment. Bull. Mar. Sci., 1977, 27 (1): 1~7
- 3 Wong C S, F A Whitney and W K Johnson. Application of different types of marine experimental enclosures to study the pathways and fate of chemical pollutants, marine ecosystem enclosed experiments: Proceedings of a symposium. IDRC, Beijing, 1992, 174~185
- 4 Wu Jinping *et al.* Introduction to the Xiamen marine ecosystem enclosed experiments, marine ecosystem enclosed experiments: Proceedings of a symposium. IDRC, Beijing, 1992. 158~173
- 5 蔡子平, 吴晋平. 海洋围隔生态系中化学分散原油的微生物降解. 海洋学报, 1992, 14 (5): 112~116
- 6 唐森铭等. 多毛类环节动物对柴油污染效应的模拟生态研究. 海洋学报, 1993, 15 (4): 85~90
- 7 Wu Shengsan *et al.* Fate of low-volatility alkanes from chemically dispersed crude oil in a marine ecosystem enclosure, marine ecosystem enclosure, marine ecosystem enclosed experiments: Proceedings of a symposium. IDRC, Beijing, 1992, 378~387
- 8 Wong C S *et al.* An experimental marine ecosystem response to crude oil and corexit 9527: part I. Fate of chemically dispersed crude oil. Mar. Environ. Res., 1984, 13, 247~263
- 9 Gretney W J *et al.* Biodegradation of a chemically dispersed crude oil. Proc. Oil Spill Conf. American Petroleum Industry Publication No. 4334, Washington, 1981, DC, 37~43
- 10 Ni Chunzhi *et al.* A study on microbial degradation for oil pollutants in marine environment (III): Degradation of petroleum hydrocarbon by marine microbes. Acta Oceano. Sinica, 1985, 4 (4) 615~622
- 11 李永祺, 丁美丽. 海洋污染生物学. 北京: 海洋出版社, 1991, 173~176
- 12 蔡子平, 陈孝麟. 海洋围隔生态系中叶绿素a的变化及其影响因素. 台湾海峡, 1991, 10 (3): 229~233