

原油和燃油对南海重要海水增殖生物的急性毒性试验

贾晓平 林 钦 蔡文贵 甘居利
(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘 要 测定了南海原油、0 号柴油和 20 号柴油对 3 种仔虾、4 种仔鱼和 4 种贝类的急性毒性。油类对仔鱼和仔虾的毒性大小顺序为: 0 号柴油 > 20 号柴油 > 南海原油; 对 3 种贝类(文蛤除外)的毒性大小顺序为 0 号柴油 > 南海原油。油类分散液的毒性大于其水溶性组分。在曝油的 3 种仔虾中, 刀额新对虾对 0 号柴油和 20 号柴油的耐受力最弱, 而日本对虾对南海原油最为敏感。曝油仔鱼对 3 种油类的耐受力顺序为: 黄鳍鲷 > 前鳞鲷 > 黑鲷, 而七星鲈对 0 号柴油最为敏感。贝类对 2 种油类的耐受力顺序为: 文蛤 > 波纹巴菲蛤 > 毛蚶 > 翡翠贻贝。在三类受试生物中, 对油类的耐受力顺序为: 贝类 > 鱼类 > 虾类。

关键词 仔虾, 仔鱼, 贝类, 石油类, 急性毒性

Toxicity of crude oil and fuel oils to important mariculture and multiplication organisms of South China Sea

Jia Xiaoping, Lin Qin, Cai Wengui, Gan Juli
(South China Sea Fishery Research Institute, CAFS, Guangzhou 510300)

ABSTRACT Lethal toxicity of Nanhai crude oil, No. 0 fuel oil and No. 20 fuel oil to 3 species of larval shrimps, 4 species of larval fishes and 4 species of shellfishes was measured by controlled oil exposure experiments. The results show that the toxicity of the oils is in the order of No. 0 fuel oil > No. 20 fuel oil > Nanhai crude oil for both larval fishes and larval shrimps, while toxicity order for the 3 species of shellfishes except *Meretrix meretrix* is No. 0 fuel oil > Nanhai crude oil. The dispersed Nanhai crude oil and No. 0 fuel oil are more toxic than their water soluble fractions. Among the 3 species of larval shrimps, *Metapenaeus ensis* is the most sensitive species to both No. 0 fuel oil and No. 20 fuel oil, while *Penaeus japonicus* is the most sensitive species to Nanhai crude oil. Tolerance order of the larval fishes to the 3 kinds of oils is *Sparus latus* > *Mugil phuyseini* > *Sparus macrocephalus*, while the most sensitive species to No. 0 fuel oil is *Lateolabrax japonicus*. Tolerance order of the shellfishes to No. 0 fuel oil and Nanhai crude oil is *Meretrix meretrix* > *Paphia undulata* > *Scapharca subcrenata* > *Mytilus smaragdinus*. In general, tolerance order of the exposed organisms to the oils is shellfishes > fishes > shrimps.

KEYWORDS larval shrimp, larval fish, shellfish, oils, lethal toxicity

石油污染是南海北部水域最严重的污染问题之一。70 年代后期以来, 已对南海北部水域的海水、

农业部“八五”重点科研资助项目(石油对南海北部重要水产经济品种影响的研究), 85-91-11-08 号

第一作者简介: 贾晓平, 男, 1949 年 11 月生, 研究员。Tel: 020-84451083, E-mail: scsfwq@public.guangzhou.gd.cn

收稿日期: 1998-12-08

沉积物和海洋生物体中的石油烃含量和污染状况进行了一系列调查、监测和研究。然而,石油污染对南海北部水域的海洋生物,尤其是对重要的水产增养殖种类的毒性效应的研究一直是个薄弱环节。因此,本研究选择了南海北部水域中有代表性的污染油种或具有潜在威胁的油种,研究其对一些重要海水增养殖种类的急性毒性,为保护海洋生态环境和渔业增养殖资源提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验生物

试验用的仔虾和仔鱼有斑节对虾(*Penaeus monodon*)、日本对虾(*Penaeus japonicus*)、刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*);黄鳍鲷(*Sparus latus*)、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、前鳞鲷(*Mugil qphuysemi*)和七星鲈(*Lateolabrax japonicus*)。除前鳞鲷仔鱼采自广东大鹏湾盐田水域外,其余试验用仔虾和仔鱼均由中国水产科学研究院南海水产研究所盐田试验基地提供。试验前选择健康的个体经室内短期驯养,试验时个体体长范围分别为:斑节对虾 15~20mm,日本对虾 14~19mm,刀额新对虾 12~16mm,黄鳍鲷 17~21mm,黑鲷 18~22mm,前鳞鲷 17~20mm,七星鲈 20~22mm。试验用的贝类为波纹巴菲蛤(*Paphia undulata*)、毛蚶(*Scapharca subrenata*)、翡翠贻贝(*Mytilus smaragdinus*)和文蛤(*Meretrix meretrix*)。波纹巴菲蛤、毛蚶和文蛤购自广州水产品市场,翡翠贻贝采自广东大鹏湾盐田水域。4种贝类试验前在室内驯养一周,选择健壮、活力好的个体供试验用。试验时壳长范围分别为:波纹巴菲蛤 35~45mm,毛蚶 21~30mm,翡翠贻贝 60~70mm,文蛤 41~56mm。

1.2 油类母液制备和试验液配制

过滤海水 在南海水产研究所盐田试验基地取近岸海水,经沉淀池沉淀 48h 和砂滤后备用。盐度为 28~32, pH 为 8.02~8.10。

油类分散液母液 将 0 号柴油、20 号柴油、南海原油分别与过滤海水按 1:10(V:V) 配比,置于超声清洁器中连续振荡 3h,静置 3h 后将水相分离注入母液贮瓶中。

油类水溶性组分(WSF)母液 将 0 号柴油、南海原油分别与过滤海水按 1:10(V:V) 配比,在电磁搅拌器上连续搅拌 24h,静置 3h 后将水相分离注入母液瓶中。

试验液配制 曝油前,根据不同试验要求按一定浓度间距配制试验液系列,设 1 个对照组和 7~9 个浓度组,并设 1 个平行组,用 UV-210 型紫外分光光度计分别测定母液和试验液的油浓度。

1.3 曝油试验

石油类对仔虾和仔鱼的急性毒性试验采用 96h 静水法。仔虾的曝油容器为 1L 容量的烧杯,每个烧杯注入试验液 0.8L,投放试验仔虾 10 尾,虾片(饵料)少许,盐度 28~30。仔鱼曝油容器为 10L 容量的玻璃水槽,每个水槽注入试验液 3L,投放仔鱼 10 尾,轮虫(饵料) 30~50 个/mL,盐度 31~32(七星鲈试验液盐度为 12~15)。试验期间每隔 24h 更换试验液 1 次。为使试验条件接近实际情况,各曝油试验均在自然光照和常温下进行,试验液温度变化范围为 24.0~28.6℃。石油类对贝类的急性毒性采用 96h 半静水法,曝油容器为 60L 水槽,每个水槽注入试验液 50L,投放试验贝类 20 个,盐度为 30~32。试验期间每 8h 更换试验液一次,用气泵少量充气。各曝油试验均在自然光照下进行,试验液温度变化范围为 15.0~18.5℃。

2 结果和讨论

2.1 曝油生物的行为特点与中毒的表现症状

曝油仔虾中毒初期症状表现为体色改变,曝油 5~12h 后,消化道逐渐呈棕红色。镜检表明,这种现

象是细微油粒在仔虾消化道内蓄积所致,并随曝油浓度递增和曝油时间延长而颜色愈加明显。曝油 24h 后,仔虾腹部和尾部不同程度地出现絮状物或棕色粘附物,仔虾的活动能力和摄食能力明显下降。此后,曝油仔虾身体逐渐失去平衡,不停地翻转打旋,逐渐昏迷而死亡。

曝油仔鱼主要中毒症状表现为三个方面:一是缺氧窒息,各种油类不同浓度组中的曝油仔鱼均出现因缺氧而浮头的现象,并随试验液中的油浓度的升高表现更加明显,这不但是因为随试验液中油浓度增高而造成试验液中溶解氧降低,而且通过镜检发现,不同浓度组曝油仔鱼的鳃部不同程度地分布着分散性油滴,阻碍了曝油仔鱼的正常呼吸;二是曝油仔鱼体表粘膜受破坏,鳍部和尾部损伤糜烂,在几种曝油仔鱼中,尤以前鳞鲢的这种现象最为明显,曝油过程中,仔鱼体表粘膜受损一般出现在曝油 24h 后,先是体表某些部位出现分散性絮状物,然后逐渐扩大以致脱落,曝油 48h 后,曝油仔鱼鳍部和尾部损伤以致糜烂;三是曝油后仔鱼急躁不安,并有狂游、冲撞现象,尤以高浓度曝油仔鱼的症状最为明显,经一段时间后,曝油仔鱼游动趋于缓慢,身体失去平衡,翻转打旋,抽搐痉挛,逐渐麻痹昏迷致死。取样镜检表明,曝油仔鱼的消化道中均观察到细微油粒,油粒的数量大体呈现随曝油浓度加大而递增的趋势。

4 种受试贝类曝油后表现出不同的行为特点。以水管滤食、营埋栖生活的文蛤,对曝油具有较强的自我保护能力和耐受力。在南海原油和 0 号柴油 9 个浓度组的曝油过程中,受试文蛤始终紧闭贝壳,水管极少外伸,过滤活动基本停止。曝油持续 96h,各浓度组均无文蛤死亡,直至曝油持续 168h,高浓度组的文蛤才开始出现死亡。同样以水管滤食、营埋栖生活的波纹巴菲蛤,其曝于各浓度的个体均水管外伸滤水,腹足蠕动,同时,可以观察到曝于低浓度组的个体其滤水活动明显比曝于高浓度组的活跃。曝油 48h 以后,波纹巴菲蛤个体开始死亡,死亡率随曝油浓度增高而增高。营埋栖生活、以鳃滤水的毛蚶在曝油后一段时间内紧闭双壳,但其耐受力远低于文蛤,24h 后高浓度组个体开始死亡,48h 后低浓度组陆续出现死亡。营足丝附着和以鳃滤水方式生活的翡翠贻贝,对曝油的自我保护能力最弱,曝于不同浓度组的贻贝个体很少紧闭双壳,而是被动摄入石油烃,很快出现急性中毒死亡。曝油 24h 后,除最低浓度组之外,其余浓度组贻贝个体均出现死亡,死亡率随曝油浓度加大而递增。

2.2 石油类的急性毒性

0 号柴油、20 号柴油和南海原油对 3 种仔虾、4 种仔鱼和 4 种贝类的急性毒性试验结果见表 1 和表 2。由表 1 数据可知,除文蛤外,其余受试生物的曝油剂量与其急性毒性的反应概率单位均呈显著正相关关系,所获数据有效。而由于文蛤对 0 号柴油和南海原油两种试验油类的耐受力较强,在本次曝油浓度范围未获得其曝油剂量与急性毒性反应概率单位的相关曲线。

在 0 号柴油、20 号柴油和南海原油中,以 0 号柴油的毒性最大,其分散液对 3 种仔虾、4 种仔鱼和 3 种贝类(文蛤除外)的 96hLC₅₀值范围分别为 0.17~ 0.95mg/L、0.28~ 3.47mg/L 和 1.41~ 6.46mg/L; 20 号柴油次之,其分散液对仔虾和仔鱼的 96hLC₅₀值范围为 1.71~ 3.02mg/L 和 3.16~ 8.51mg/L; 南海原油则最低,其分散液的 96hLC₅₀值范围分别为 2.40~ 4.09mg/L、5.89~ 9.12mg/L 和 4.17~ 10.23mg/L。不同油类的毒性差异是由其所含组分差异所造成的,尤其与低分子量烷烃和芳香烃的组成及其绝对含量有密切关系^[1]。0 号柴油的饱和烷烃和芳香烃分别约占总组分的 65%~ 75% 和 20%~ 30%; 20 号柴油的饱和烷烃在总组分中所占比例低于 0 号柴油,而其芳香烃所占比率则与 0 号柴油的差别不大,然而,在饱和烷烃和芳香烃两大组分中,20 号柴油中大分子量化合物所占的比率相对较高;而南海原油的饱和烷烃和芳香烃分别约占总组分的 58%~ 73% 和 18%~ 26%,并含有胶质、沥青和石蜡等杂质。本文报道的 3 种油类毒性大小顺序与文献中报道的油类毒性试验结果一致。Rice 等^[2]试验了 Cook Inlet 原油和 2 号燃料油(类似于我国 0 号柴油)对 39 种海洋生物的毒性,发现 2 号燃料油对海洋鱼类、甲壳类、贝类和棘皮类的毒性均大于原油。Anderson 等^[3]和 Tatem 等^[4]将仔虾曝于 3 种油类溶液中,发现这些油类的毒性大小顺序为:2 号燃料油> 4 号燃料油> 原油,即:轻质燃料油> 重质燃料油> 原油。吴彰宽等^[5,6]的试验结果表明,油类对中国对虾仔虾的毒性大小顺序为:汽油和煤油> 轻柴油> 原油。

表 1 石油类对 3 种仔虾、4 种仔鱼和 3 种贝类的急性毒性的剂量-反应相关关系

Tab. 1 Dose- reaction correlation of toxicity of oils to 3 species of larval shrimps, 4 species of larval fishes and 3 species of shellfishes

种 类	油 类	剂量- 反应相关曲线	相关系数(r)
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	0 号柴油	$Y = 6.7313 + 3.16861X$	0.8875
	20 号柴油	$Y = 4.2790 + 1.5088X$	0.9595
	南海原油	$Y = 3.9926 + 1.8329X$	0.9640
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>	0 号柴油	$Y = 5.0543 + 3.3134X$	0.8946
	南海原油	$Y = 3.8542 + 3.0111X$	0.8778
刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>	0 号柴油	$Y = 6.1280 + 1.4879X$	0.9671
	20 号柴油	$Y = 4.1507 + 3.6324X$	0.9590
	南海原油	$Y = 3.9310 + 1.7467X$	0.9524
黄鳍鲷 <i>Sparus latus</i>	0 号柴油(WSF)	$Y = 4.4957 + 3.9216X$	0.9478
	0 号柴油	$Y = 3.1890 + 3.3835X$	0.9644
	20 号柴油	$Y = 0.5780 + 4.7494X$	0.9107
	南海原油	$Y = 2.0558 + 2.3104X$	0.9416
	0 号柴油(WSF)	$Y = 1.9459 + 3.2273X$	0.9135
黑鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	南海原油(WSF)	$Y = 5.3784 + 10.791X$	0.9953
	0 号柴油	$Y = 5.5291 + 3.5037X$	0.9361
	20 号柴油	$Y = 3.6470 + 2.7309X$	0.9166
前鳞鲷 <i>Mugil ophuyeni</i>	南海原油	$Y = 2.8985 + 2.7255X$	0.9435
	0 号柴油	$Y = 3.8689 + 3.3622X$	0.8971
	20 号柴油	$Y = 0.5942 + 5.6361X$	0.9859
七星鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	南海原油	$Y = 3.5780 + 1.6799X$	0.7884
	0 号柴油	$Y = 6.4370 + 2.6246X$	0.9442
	波纹巴菲蛤 <i>Paphia undulata</i>	$Y = 2.0943 + 2.8802X$	0.9336
毛蚶 <i>Scapharca subcrenata</i>	南海原油	$Y = 2.8093 + 2.7179X$	0.9871
	0 号柴油	$Y = 2.3097 + 3.2427X$	0.9553
翡翠贻贝 <i>Mytilus smaragdinus</i>	南海原油	$Y = 3.8531 + 1.4301X$	0.9430
	0 号柴油	$Y = 4.0737 + 2.7718X$	0.9419
	南海原油	$Y = 4.3702 + 4.317X$	0.9752

注: Y 为曝油动物的死亡概率单位, X 为曝油浓度的对数值。

油类水溶性组分的急性毒性仅做了 0 号柴油和南海原油对刀额新对虾仔虾和黄鳍鲷仔鱼的试验。表 2 数据表明, 0 号柴油水溶性组分的毒性高于南海原油水溶性组分, 其原因与前述所分析的 3 种油类分散液毒性大小的道理相同, 并且, 这一试验结果也与文献^[2~7]报道的不同油类水溶性组分毒性的大小排列顺序相同。结果还表明, 0 号柴油和南海原油的水溶性组分的毒性均明显低于这两种油类分散液的毒性。例如, 0 号柴油和南海原油分散液对黄鳍鲷仔鱼的 96hLC₅₀值分别为 3.47mg/L 和 9.12mg/L, 而其水溶性组分的 96hLC₅₀值分别为 8.91mg/L 和 18.62mg/L, 这表明油类经分散乳化后其毒性相对较强, 这与国内外有关的研究结果相吻合^[8~10]。

表 2 石油类对 3 种仔虾、4 种仔鱼和 4 种贝类的急性毒性(96hLC₅₀, mg/L)

Tab. 2 Lethal toxicity of oils to 3 species of larval shrimps, 4 species of larval fishes and 4 species of shellfishes

种 类	0 号柴油	20 号柴油	南海原油	0 号柴油(W SF)	南海原油(W SF)
刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>	0.17 (0.12~ 0.27) ¹	1.71 (1.30~ 2.24)	4.09 (3.24~ 5.13)	1.35 (1.07~ 1.70)	—
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	0.28 (0.23~ 0.350)	3.02 (1.95~ 4.47)	3.55 (2.51~ 3.98)	—	—
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>	0.95 (0.79~ 1.15)	—	2.40 (1.78~ 3.24)	—	—
黄鳍鲷 <i>Sparus latus</i>	3.47 (2.67~ 4.47)	8.51 (7.08~ 10.23)	9.12 (8.71~ 10.00)	8.91 (6.46~ 12.30)	18.62 (12.59~ 27.54)
前鳞鲷 <i>Mugil phyluseni</i>	2.19 (1.66~ 2.88)	6.03 (5.01~ 7.24)	7.08 (4.77~ 10.47)	—	—
黑鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	0.71 (0.54~ 1.07)	3.16 (2.19~ 4.57)	5.89 (4.07~ 8.51)	—	—
七星鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	0.28 (0.19~ 0.43)	—	—	—	—
波纹巴菲蛤 <i>Paphia undulata</i>	6.46 (5.37~ 7.76)	—	10.23 (18.91~ 11.74)	—	—
毛蚶 <i>Scapharca subrenata</i>	6.31 (4.68~ 8.51)	—	6.76 (5.89~ 7.72)	—	—
翡翠贻贝 <i>Mytilus smaragdinus</i>	1.41 (1.10~ 1.86)	—	4.17 (2.57~ 6.76)	—	—
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i>	> 32	—	> 32	—	—

注:表中括号内数据为 95% 置信限浓度。— 表示未进行该项试验。

在 3 种曝油仔虾中,刀额新对虾对 0 号柴油和 20 号柴油最敏感,其 96hLC₅₀值分别为 0.17mg/L 和 1.71mg/L; 而日本对虾对南海原油的耐受力最弱,其 96hLC₅₀值为 2.40mg/L; 斑节对虾对 0 号柴油和南海原油的耐受力介于日本对虾和刀额新对虾之间。在 4 种曝油仔鱼中,七星鲈对 0 号柴油最为敏感,其 96hLC₅₀值仅为 0.28mg/L; 黑鲷次之,96hLC₅₀值为 0.71mg/L; 而前鳞鲷和黄鳍鲷对 0 号柴油的耐受力相对较强。对 20 号柴油和南海原油而言,曝油的 3 种仔鱼中均以黄鳍鲷的耐受力最强,前鳞鲷次之,黑鲷最低。4 种受试的贝类对南海原油和 0 号柴油的耐受力顺序均为文蛤 > 波纹巴菲蛤 > 毛蚶 > 翡翠贻贝,其中,尤以文蛤对两种油类的耐受力大大超过后 3 种贝类,其 96hLC₅₀值均大于 32mg/L。翡翠贻贝对 0 号柴油最为敏感,其 96hLC₅₀值仅为 1.41mg/L,波纹巴菲蛤和毛蚶对 0 号柴油的耐受力相似,96hLC₅₀值分别为 6.46mg/L 和 6.31mg/L。除文蛤外,波纹巴菲蛤对南海原油的耐受力也明显高于毛蚶和翡翠贻贝。在受试的三类生物中,贝类对 0 号柴油和南海原油的耐受力最高,鱼类次之,而虾类最低。

参 考 文 献

- 1 NRC. Oil in the sea: Inputs, fates and effects. Washington D. C.: National Academy Press, 1985. 372~ 373
- 2 Rice S D, Moles A, Taylor T T, et al. Sensitivity of 39 alaskan marine species to Cook Inlet crude oil and No. 2 fuel oil. Proceedings of Oil Spill Conference. Washington D. C.: National Academy Press, 1979. 161~ 168
- 3 Anderson J W, Neff J M, Cox B A, et al. Characteristics of dispersions and water soluble extracts of crude oil and refined oil and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. Mar Biol, 1974. 27(1): 75~ 88
- 4 Tatem H E, Cox B A, Anderson J N, et al. The toxicity of oils and petroleum hydrocarbons to estuarine crustaceans. Estuarine Coastal Mar Sci, 1978, 6 (3): 365~ 373
- 5 吴彰宽,陈国江. 二十三种有害物质对对虾的急性致毒试验. 海洋科学, 1998. (4): 36~ 40
- 6 Connell D W, Miller G J. Chemistry and ecotoxicology of pollution. New York: John Wiley & Sons Inc., 1984. 178~ 184
- 7 Rice S D, Short J N, Karinen J F, et al. Comparative oil toxicity and comparative animal sensitivity. In: Fate and effects of petroleum hydrocarbons in marine organisms and ecosystem. New York: Pergamon Press, 1974. 79~ 94
- 8 陈民山,范贵旗. 胜利原油对海洋鱼类胚胎及仔鱼的毒性效应. 海洋环境科学, 1991. 10 (2): 1~ 5
- 9 Beynon L R, Cowell E B. Ecological aspects of toxicity testing of oils and dispersants. New York: John Wiley & Sons Inc., 1974. 242~ 248
- 10 Wells P G. The toxicity of oil spill dispersants to marine organisms: a current perspective. In: Oil spill chemical dispersants: research, experience and recommendations. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1984. 79~ 85