溢油分散剂处理平湖原油对海洋生物的急性毒性效应

沈新强，蒋　玫，李　磊

（中国水产科学研究院东海水产研究所，上海 200090）

摘　要：为了解溢油分散剂处理原油的海洋生物毒性效应，分别进行了溢油分散剂、平湖原油的水溶性组分（WAF）和溢油分散剂处理的平湖原油水溶性组分（DWAF）对黑鲷（*Acanthopagrus schlegelii*）仔鱼和幼鱼、脊尾白虾（*Palaemon carincauda*）幼体以及缢蛏（*Sinonovacula constrzcta*）幼体的急性毒性效应实验。结果表明，溢油分散剂、WAF 和 DWAF 与黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体均存在极显著的剂量-效应关系。以 96 h LC_{50} 值为判别标准，溢油分散剂对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体的毒性效应大小依次为脊尾白虾幼体（57.55 mg·L^{-1}）>黑鲷仔鱼（136 mg·L^{-1}）>黑鲷幼鱼（261 mg·L^{-1}）>缢蛏幼体（397 mg·L^{-1}）；WAF 的毒性大小依次为黑鲷仔鱼（1.51 mg·L^{-1}）>脊尾白虾幼体（2.62 mg·L^{-1}）>黑鲷幼鱼（3.37 mg·L^{-1}）>缢蛏幼体（11.62 mg·L^{-1}）；DWAF 的毒性大小依次为黑鲷仔鱼（0.66 mg·L^{-1}）>脊尾白虾幼体（1.20 mg·L^{-1}）>黑鲷幼鱼（1.75 mg·L^{-1}）>缢蛏幼体（3.09 mg·L^{-1}）。DWAF 对海洋生物毒性大小的次序与 WAF 相同，但毒性效应显著增加。分析认为 DWAF 会增加溶入海水中的芳香族化合物的种类和含量，导致对海洋生物的毒性效应增加。

关键词：溢油分散剂；平湖原油；海洋生物；毒性效应

中图分类号：X52　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1672-2043(2015)12-2272-08　　doi:10.11654/jaes.2015.12.004

Acute Toxic Effects of Oil Dispersant-treated Pinghu Crude Oil on Marine Organisms

SHEN Xin-qiang, JIANG Mei, LI Lei

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Crude oil has been proven to be toxic to marine organisms. However, oil dispersants may have the secondary pollution. In this study, the acute toxic effects of oil dispersant, water accommodated fraction of Pinghu crude oil (WAF) and oil dispersant-treated WAF (DWAF) on larvae and juveniles of *Acanthopagrus schlegelii*, juveniles of *Palaemon carincauda* and juveniles of *Sinonovacula constrzcta* were examined. Oil dispersant, WAF, and DWAF all had very significant dose-effect relationship on all the tested organisms. The 96 h LC_{50} values of oil dispersant for juvenile *Palaemon C.*, larval *Acanthopagrus S.*, juvenile *Acanthopagrus S.* and juvenile *Sinonovacula C.* were 57.55 mg·L^{-1}, 136 mg·L^{-1}, 261 mg·L^{-1}, and 397 mg·L^{-1}, respectively. The oil dispersant was the most toxic to juvenile *Palaemon C.* The 96 h LC_{50} values of WAF for larvae of *Acanthopagrus S.*, juvenile *Palaemon C.*, juvenile *Acanthopagrus S.* and juvenile *Sinonovacula C.* were 1.51 mg·L^{-1}, 2.62 mg·L^{-1}, 3.37 mg·L^{-1}, and 11.62 mg·L^{-1}, respectively. The 96 h LC_{50} values of DWAF for larvae of *Acanthopagrus S.*, juvenile *Palaemon C.*, juvenile *Acanthopagrus S.* and juvenile *Sinonovacula C.* were 0.66 mg·L^{-1}, 1.20 mg·L^{-1}, 1.75 mg·L^{-1}, and 3.09 mg·L^{-1}, respectively. The order of the 96 h LC_{50} for four test organisms did not change between WAF and DWAF, but DWAF was more toxic than WAF. It suggests that crude oil treated by oil dispersant would increase its toxic effects on marine organisms by increasing the type and content of aromatic contaminants dissolved in seawater.

Keywords: oil dispersant; Pinghu crude oil; marine organism; toxic effect

油污染对海洋生物的毒性效应研究已有大量的报道，国际上 Rice 等[1]和 Wells 等[2]系统阐述埃克森瓦尔笛兹号油轮事故所产生的生态影响，给出该漏油事故对海洋动物的致死效应，得出长期毒性影响主要由高分子量的 PAHs 引起，在鱼类的产卵期、幼年期等生长敏感期发生油污染事故会造成更严重的影响。国内针对胜利原油、南海原油等开展了对不同海洋生物急性毒性效应研究[3-5]，已有的研究结果表明油污染对

收稿日期：2015-06-08

基金项目：农业部应对溢油关键技术专项（2012-2014），中央级公益性科研院所基本业务费专项（2014T06）

作者简介：沈新强（1951—），男，上海青浦人，研究员，主要从事海洋渔业生态与环境研究。E-mail：esrms@sh163.net

海洋生物具有显著的毒性效应。溢油分散剂具有将海面油膜乳化、消除海面油膜和降低局部水体中油浓度的作用,被广泛使用于海洋溢油事故的处理[6-7]。溢油分散剂仅是将溢油分散,而分散的油滴被生物降解需要一定的时间,而且溢油分散剂本身对生物具有一定的毒性,可能会带来二次污染的问题。因此,一批低毒高效的溢油分散剂产品被成功开发和批准使用[8-9],我国颁布了《溢油分散剂技术条件》[10]和《溢油分散剂使用准则》[11]等相关标准。关于溢油分散剂的毒性效应已有许多研究报道,但现有的研究主要针对溢油分散剂产品的毒性效应[12-14]。有关溢油分散剂与石油的联合毒性已引起人们的关注,大多研究表明溢油分散剂处理后原油对生物的毒性增加[15-19],也有少量研究报道溢油分散剂处理原油后对生物毒性降低[20]。总体上这方面研究报道相对较少,且主要针对鱼类[17]、虾类[15,25]、刺参[21]等类群中的某单一种类。除文献[22]和[23]研究了平湖原油对黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)和缢蛏(*Sinonovacula constrzcta*)的富集特性和基于综合生物标志物响应指数评价平湖原油对缢蛏的毒性效应[24]外,本研究涉及的平湖原油和溢油分散剂处理的平湖原油对受试生物的毒性效应尚未见报道。本研究通过分别开展溢油分散剂、平湖原油的水溶性组分(WAF)和溢油分散剂处理的平湖原油的水溶性组分(DWAF)对不同海洋生物(鱼、虾、贝幼体)的急性毒性效应实验,比较毒性效应的差异,为溢油分散剂的使用、影响评价提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用海水样品从自然海区抽取,盐度为 21,pH 为 8.1,进行沉淀和砂滤,充分曝气(24 h 以上)后备用。实验用黑鲷仔鱼由育苗场内直接培养孵化,为未开口刚孵化 3 d 的仔鱼,幼鱼体长(4.74±1.35)cm,体重(2.98±1.88)g;实验用脊尾白虾(*Palaemon carincauda*)幼体为江苏启东近海捕捞的抱卵亲体经土塘孵化后的糠虾幼体(M2),平均体重(0.002 9±0.000 3)g;实验用缢蛏幼体为江苏启东近海采捕的缢蛏稚贝,平均体重(1.962±0.231)g。实验用溢油分散剂为上海新络滤材有限公司生产的捷菲特 001,属常规型,主要技术指标包括:燃点 85 ℃,密度 0.88 g·cm^{-3},粘度(30 ℃)46.7 mm·s^{-1},可生物降解性 BOD_5/COD 为 34%,鱼类急性毒性(3000 mg·L^{-1} 半致死时间)40 h。实验用原油取自东海平湖油气田开采的原油,为棕黑色,粘稠状液体,不透明,密度 0.97 kg·L^{-1}。

WAF 中主要成分的测定采用气相色谱质谱组分分析法,由同济大学理学院化学系实验室分析。具体处理方法:取 2000 mL 的东海平湖原油,用 60 mL 正己烷(色谱淋洗级)分 4 次萃取,每次用康氏振荡器振荡 2 min 后静置分层,共获得约 60 mL 正己烷萃取液。用氮吹仪(3 L·min^{-1})浓缩至 1 mL 后吸取上层正己烷(底部有少量水),上机进样进行 GC-MS 分析。分析条件:自动进样、不分流;载气为氦气(1.0 mL·min^{-1});进样量 0.2 μL;进样口温度 290 ℃;传输线温度 280 ℃;柱温程序为初始 50 ℃,恒温 1 min 后以 6 ℃·min^{-1} 的速率升温至 280 ℃,恒温保持 10 min;离子源为 EI 源,电离能量 70 eV,离子化电流 300 Pa,离子源温度 200 ℃;扫描范围 50~550 amu 自动调谐;质谱检索采用 NIST98 谱库[25]。

1.2 实验母液的制备

参照文献[4],将东海平湖原油分别与沙滤海水按 1:10(V:V)配比,置于磁力搅拌机上,连续高速搅拌 24 h 后静置 30 min 分离出水相,作为 WAF 母液贮存瓶中,使用紫外分光光度计法测定石油烃的含量,置于冰箱 4 ℃保存。

参照文献[20],溢油分散剂处理平湖原油的制备:将溢油分散剂与已制备好的 WAF 母液按体积比 1:5 混合,置于磁力搅拌机上连续高速搅拌 1 h 后静置 1 h,此乳状混合液即为毒性实验的 DWAF 母液。使用紫外分光光度计法测定石油烃的含量。

1.3 实验方法

实验浓度设置:溢油分散剂以及溢油分散剂处理前和处理后的平湖原油浓度分别在预试验基础上获得最高浓度,然后按等对数间距设置 5 个浓度组,同时以自然海水为对照组,每个浓度组设 3 个平行样,进行 96 h 急性毒性实验,每天换水 1 次,不投喂。

仔鱼实验:在每个 1000 mL 烧杯中放入 30 尾仔鱼;幼鱼实验,在每个 5000 mL 搪瓷缸中放入 15 尾幼鱼;脊尾白虾幼体实验,在每个 1000 mL 的烧杯中投放糠虾幼体 30 尾;缢蛏幼体实验,在每个 1000 mL 的烧杯中投放稚贝 15 只,每天换水 1 次。实验期间,每 2 h 观测 1 次,记录死亡个数。当仔鱼出现尾部弯曲、躯体发白,幼鱼漂浮于水面鱼肚朝上或完全下沉至水面底部、碰触鱼体不动,脊尾白虾体色发白、沉降至容器底部,缢蛏外壳张开且无法闭合时,判定为死亡。

1.4 数据处理

采用概率单位算法,应用 SPSS 17.0 软件对各实

验数据进行处理和统计分析，求得回归方程，计算半致死浓度 LC_{50} 及 95%置信区间，$P<0.05$ 为相关性显著，$P<0.01$ 为相关性极显著。

2 结果与分析

2.1 WAF 主要成分分析结果

采用气相色谱质谱组分分析法，测定了 WAF 主要成分。图 1 为 WAF 总离子流色谱图。分析结果显示 WAF 中苯、萘、茚等芳烃及其取代物含量约占总成分的 28.5%，烷烃约占 48%，其余为苯甲酸、酚、烯烃、杂环化合物等。

2.2 溢油分散剂对海洋生物的急性毒性效应

试验测定了不同溢油分散剂浓度下黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体死亡率随时间的变化情况（图 2）。通过统计软件处理，得出了溢油分散剂对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体的剂量效应关系式、相关系数和 96 h LC_{50} 值（表 1）。由表 1 可看出，溢油分散剂对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和

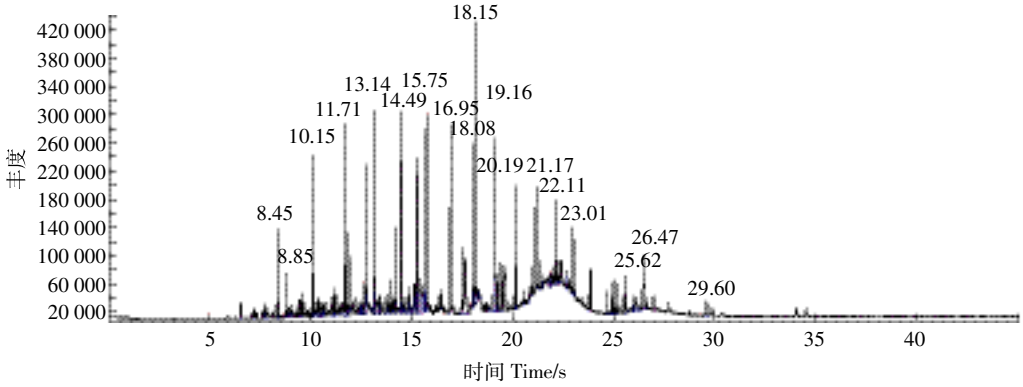


图 1 WAF 总离子流色谱图

Figure 1 Total ion chromatogram of WAF

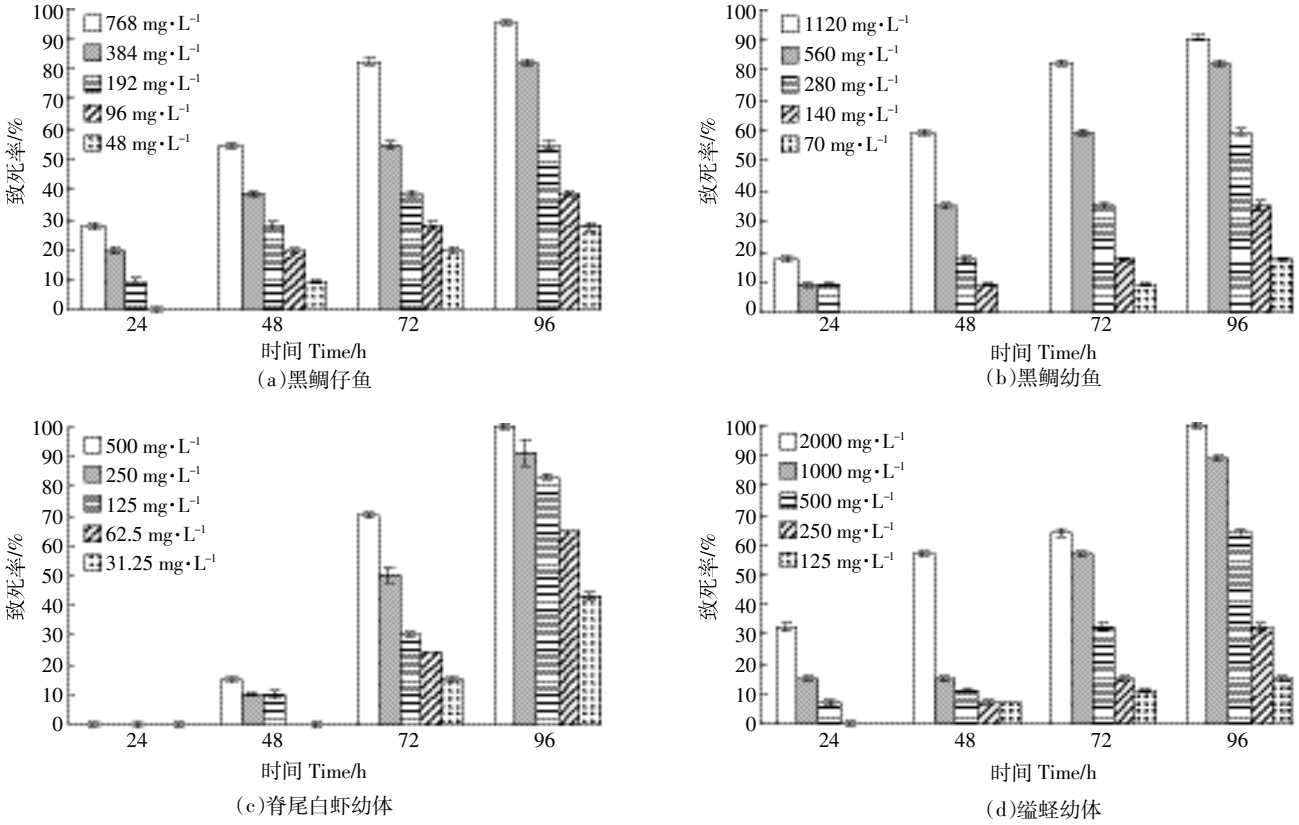


图 2 溢油分散剂各浓度组中 4 种海洋生物随时间的死亡率

Figure 2 Mortality of four organisms in different oil dispersant concentrations over time

表 1 溢油分散剂对黑鲷仔鱼、幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体的急性毒性

Table 1 Acute toxic effects of oil dispersant on larvae and juveniles of *Acanthopagrus schlegelii*, and juveniles of *Palaemon carincauda* and *Sinonovacula constrzcta*

项目	黑鲷仔鱼	黑鲷幼鱼	脊尾白虾幼体	缢蛏幼体
浓度设置/mg·L^{-1}	768、384、192、96、48	1120、560、280、140、70	500、250、125、62.5、31.25	2000、1000、500、250、125
剂量效应关系式	y=1.7407lg$x$+1.285 5	y=1.830 4lg$x$+0.692 8	y=2.209 1lg$x$+1.319 8	y=2.989 7lg$x$−2.551 2
相关性(R^2)	0.971 2	0.991 9	0.923	0.963 2
显著性水平(P)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
96 h LC_{50}	136	261	57.55	397
95%置信区间/mg·L^{-1}	107~355	117~397	21~79	155~476

注:y 为死亡概率单位;x 为溢油分散剂含量。

缢蛏幼体存在极显著的剂量效应关系(P<0.01)。以 96 h LC_{50} 值为判别标准,溢油分散剂对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体的毒性效应大小依次为脊尾白虾幼体(57.55 mg·L^{-1})>黑鲷仔鱼(136 mg·L^{-1})>黑鲷幼鱼(261 mg·L^{-1})>缢蛏幼体(397 mg·L^{-1})。

2.3 WAF 和 DWAF 对海洋生物的急性毒性效应

试验测定了不同浓度组的 WAF 和 DWAF 对黑鲷仔鱼、幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体死亡率随时间的变化情况(图 3 和图 4)。通过统计软件处理,得出了 WAF 和 DWAF 对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体的剂量效应关系式、相关系数和 96 h LC_{50} 值(表 2)。由表 2 可看出,WAF 和 DWAF 对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体均存在极显著的剂量-效应关系(P<0.01)。以 96 h LC_{50} 值为判别标准,WAF 未经溢油分散剂处理,其毒性大小依次为黑鲷仔鱼(1.51 mg·L^{-1})>脊尾白虾幼体(2.62 mg·L^{-1})>黑鲷幼鱼(3.37 mg·L^{-1})>缢蛏幼体(11.62 mg·L^{-1})。DWAF 经溢油分散剂处理,其毒性大小依次为黑鲷仔

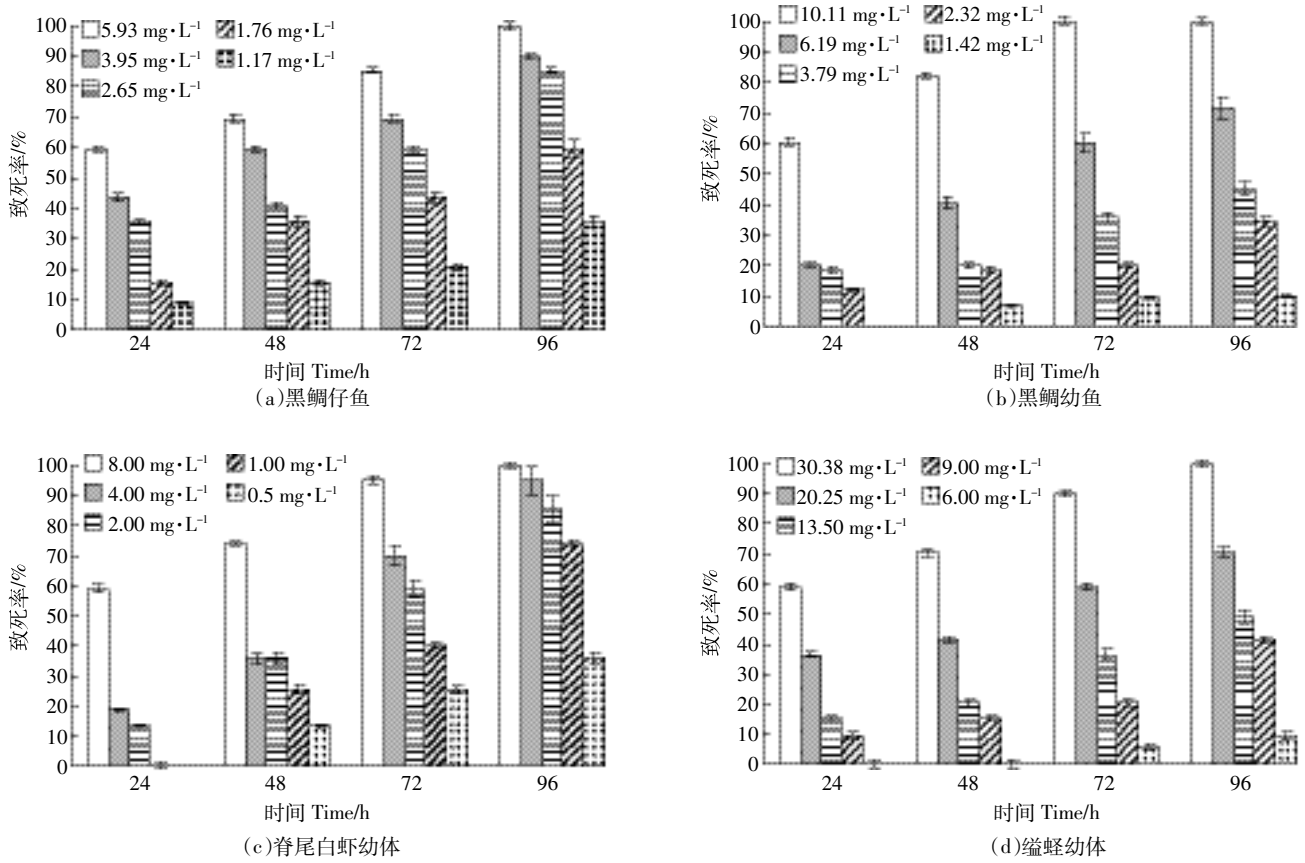


图 3 WAF 各浓度组 4 种海洋生物随时间的死亡率

Figure 3 Mortality of four organisms in different concentrations of WAF over time

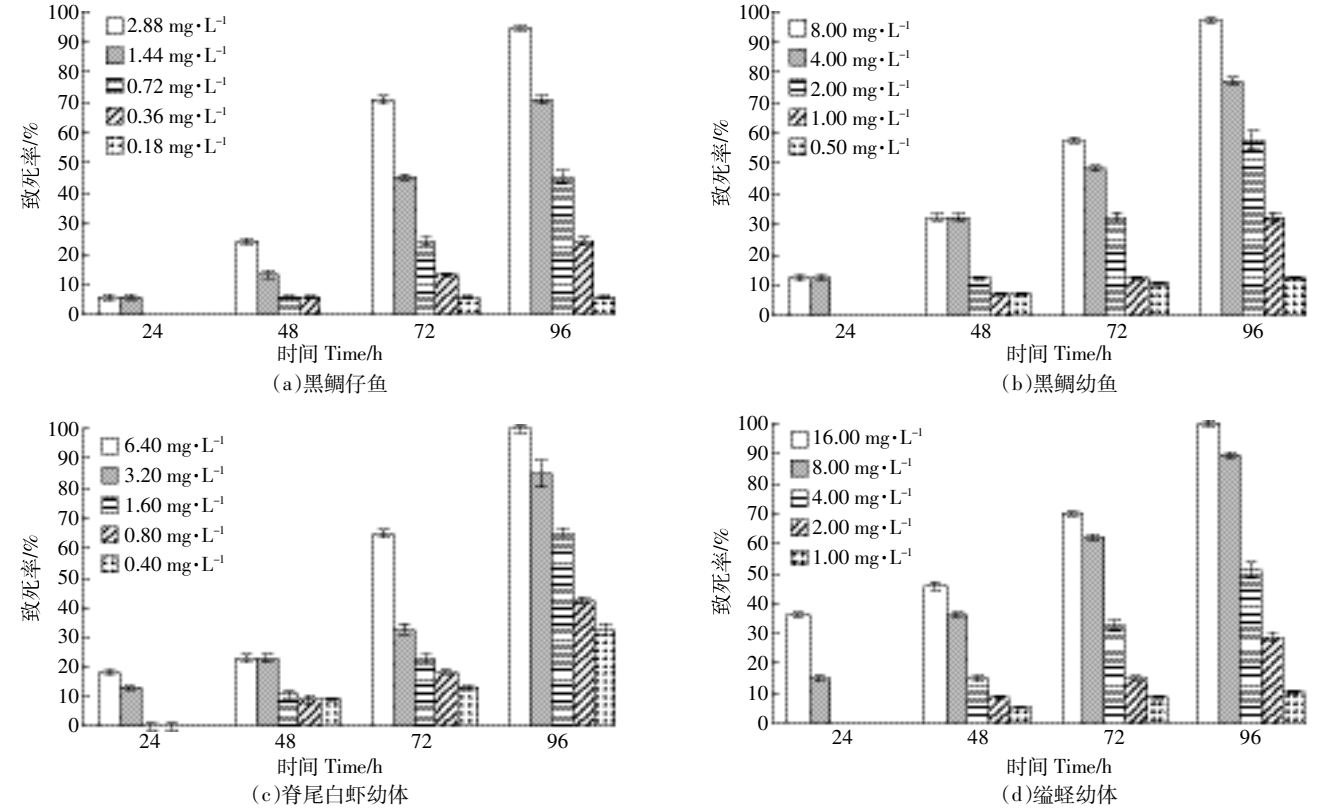


图 4 溢油分散剂处理的 DWAF 各浓度组中 4 种海洋生物随时间的死亡率

Figure 4 Mortality of four organisms in different concentrations of WAF over time

表 2 WAF 和 DWAF 对黑鲷仔鱼、幼体、脊尾白虾幼体和缢蛏幼体急性毒性

Table 2 Acute toxic effects of WAF and DWAF on larval and young *Acanthopagrus schlegelii*, young *Palaemon carincauda* and *Sinonovacula constrzcta*

类别	黑鲷仔鱼		黑鲷幼体	
	WAF	DWAF	WAF	DWAF
浓度组/mg·L^{-1}	5.93、3.95、2.65、1.76、1.17	2.88、1.44、0.72、0.36、0.18	10.11、6.19、3.79、2.32、1.42	8.00、4.00、2.00、1.00、0.50
剂量效应关系式	y=3.687 1lg$x$+4.344 6	y=3.072 8lgx'+5.554 4	y=3.838 2lg$x$+2.991 3	y=2.235 7 lgx'+4.455
相关性(R^2)	0.893	0.9596	0.9128	0.994 4
显著性水平(P)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
96 h LC_{50}	1.51	0.66	3.37	1.75
95%置信区间/mg·L^{-1}	1.09~3.88	0.24~2.86	2.09~5.76	1.06~4.19
类别	脊尾白虾幼体		缢蛏幼体	
	WAF	DWAF	WAF	DWAF
浓度组/mg·L^{-1}	8.00、4.00、2.00、1.00、0.50	6.40、3.20、1.60、0.80、0.40	30.38、20.25、13.50、9.0、6.0	16.00、8.00、4.00、2.00、1.00
剂量效应关系式	y=1.239 3lg$x$+4.481	y=1.504 8 lgx'+4.879	y=16.123lg$x$−47.312	y=3.185 7lgx'+3.468
相关性(R^2)	0.960 4	0.978 9	0.117	0.959 8
显著性水平(P)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
96 h LC_{50}	2.62	1.20	11.62	3.09
95%置信区间/mg·L^{-1}	0.74~3.25	0.45~3.9	8.74~15.17	1.01~5.75

注:y 为死亡概率单位;x 和 x' 分别为平湖原油的水溶性组分(WAF)含量和溢油分散剂处理的平湖原油的水溶性组分(DWAF)含量。

鱼(0.66 mg·L^{-1})>脊尾白虾幼体(1.20 mg·L^{-1})>黑鲷幼鱼(1.75 mg·L^{-1})>缢蛏幼体(3.09 mg·L^{-1}),毒性大小的次序不变,但毒性效应显著增加。

3 讨论

本研究结果表明,捷菲特 001 溢油分散剂对黑鲷

仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体存在极显著的剂量-效应关系，不同海洋生物幼体对溢油分散剂的忍受浓度存在较大差异，缢蛏幼体的 96 h LC_{50} 值分别是脊尾白虾幼体、黑鲷仔鱼和黑鲷幼鱼的 6.90、2.92 倍和 1.52 倍。文献[13]报道英国消油剂产品 Nalneet 9-010 和美国消油剂产品 Correxit 9527 对阿葡鳜虎鱼(*Abomalactipes*)的 96 h LC_{50} 值分别是 114、64 mg·L^{-1}，对菲律宾蛤仔(*Venerupisphilppinarium*)的 96 h LC_{50} 值分别是 331、600 mg·L^{-1},与本研究获得的溢油分散剂对鱼类的毒性大于贝类的结论一致,96 h LC_{50} 值表明,虽处于相同量级,但捷菲特 001 溢油分散剂的毒性更低。国家标准规定常规型的溢油分散剂对模式生物斑马鱼的试验浓度为 3000 mg·L^{-1} 时，半致死时间(TL_{50})>24 h[10-11]。本实验所用溢油分散剂为上海新络滤材有限公司生产,获批准使用的捷菲特 001 溢油分散剂,各项技术指标符合国家标准,属于低毒类。但其对海洋生物幼体仍具有明显的致死效应,只是其毒性效应值远低于模式生物斑马鱼。因此,对溢油分散剂的毒性影响应重点关注其对海洋生物幼体的伤害。

美国环保署针对墨西哥湾漏油事故给出的 8 种消油剂产品处理的原油混合物对 2 种水生生物的急性毒性试验报告中，报道有 4 种消油剂-原油混合物对 *Americamysis bahiade* 的毒性高于原油毒性，有 3 种消油剂-原油混合物对 *Menidia beryllina* 的毒性高于原油毒性[26]。黄逸君等认为消油剂处理的原油对海洋桡足类的急性毒性小于原油的毒性[21];陈皓鋆等[20]、徐会等[27]、杨柏林等[28]分别认为经消油剂处理的原油对刺参幼参、海洋微藻和海胆胚胎发育的毒性效应大于未经消油剂处理的原油。这说明消油剂和受试生物种类的不同会引起毒性效应的差异。本研究结果显示 DWAF 对黑鲷仔鱼(3 d)、黑鲷幼鱼、脊尾白虾幼体和缢蛏幼体的 96 h LC_{50} 值分别为 0.66、1.75、1.20、3.09 mg·L^{-1}，分别是未处理的 WAF 毒性效应值的 2.29、1.93、2.18 倍和 3.76 倍，表明溢油分散剂处理后的平湖原油明显增强了对海洋生物的毒性效应。

已有研究表明,石油烃中芳香烃类化合物的毒性较强,如萘、菲、蒽、芘等,其中中小分子量的多环芳烃是石油组分中危害海洋生物的主要成分[29]。溢油分散剂由表面活性剂、溶剂和少量助剂组成,其主要成分表面活性剂的分子一端具有亲油性,另一端具有亲水性,具有降低溢油粘度和表面张力的特性,可将溢油从聚集态拉散到较小的分子态的油水乳化物,使水面溢油均匀分散到水体中，从而消除水面的溢油污染[7,10-12]。从本实验结果看,溢油分散剂处理平湖原油的同时,本身也会增加对受试生物的影响,但从 1:5 的量和溢油分散剂的毒性效应值分析,其对受试生物毒性增强的贡献相当小。溢油分散剂的使用通常会增加油成分的生物可利用性,改变了油、溢油分散剂、生物膜之间的相互作用。已有研究表明使用溢油分散剂后,一般会增加溶入海水中的芳香族化合物的种类和含量,特别是增加碳氢化合物的含量,尤其是较大分子的、不溶性的多环芳烃的含量，引起毒性增强[16]。Couillard 等[17]的研究表明,加入溢油分散剂后,乳化液中多环芳烃的浓度增加，使仔鱼体内的 EROD 活性加强，从而对仔鱼毒性增强。本实验所用的 WAF 的主要成分分析结果表明,苯、萘、茚等芳烃及其取代物含量约占总成分的 28.5%,烷烃约占 48%,其余为苯甲酸、酚、烯烃、杂环化合物等。虽然本研究没有测定 DWAF 成分,但根据已有的研究成果,可以推论:这些有害物质经溢油分散剂处理后，加快了溶解速率,增加溶入海水中的含量,导致水中石油溶解和生物可利用部分的增加,致使对海洋生物的毒性效应增强,同时小油滴浓度的增加可导致生物通过吸附和过滤增大对石油溶解部分的吸收,最终对水生生物产生更大的毒性。

4 结论

溢油分散剂、WAF 和 DWAF 对黑鲷仔鱼、黑鲷幼鱼、脊尾白虾和缢蛏幼体均存在极显著的剂量效应关系。其毒性效应大小表现为 DWAF>WAF>溢油分散剂,毒性效应表现为黑鲷仔鱼>脊尾白虾幼体>黑鲷幼鱼>缢蛏幼体。

使用溢油分散剂后,平湖原油对海洋生物的毒性效应增加。对溢油分散剂使用后的毒性效应,应重点关注其对海洋生物幼体的伤害。

致谢:感谢中国水产科学研究院东海水产研究所晁敏博士对英文摘要的修改。

参考文献:

[1] Rice S D, Spies R B, Wolfe D A, et al. Proceedings of the Exxon valdez oil spill symposium[M]. Anchorage:American Fisheries Society,1996.

[2] Wells P G, Butler J N, Hughes J S. Exxon valdez oil spill:Fate and effects in Alaskan waters[M]. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1995.

[3] 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[J]. 海洋环境科学, 1991, 19(2):1-5.

CHEN Min-shan, FAN Gui-qi. Totoxic effects of Shengli crude on the embryos and larvae of marine fish larvae[J]. *Marine Evironmental Science*, 1991, 19(2):1-5

[4] 贾晓平, 林 钦, 蔡文贵, 等. 原油和燃油对南海重要海水增养殖生物的急性毒性试验[J]. 水产学报, 2004, 24(1):32-36.
JIA Xiao-ping, LIN Qin, CAI Wen-gui, et al. Toxicity of crude oil and fuel oils to important mariculture and multiplication organisms of South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 24(1):32-36.

[5] 王振, 郑森林, 刘文华, 等. 原油水溶性成分对斜带髭鲷受精卵及仔鱼的急性毒性效应[J]. 台湾海峡, 2010, 29(3):367-372.
WANG Zhen, ZHENG Sen-lin, LIU Wen-hua, et al. Acute toxic effects of the water accommodated fraction of crude oil on *Hapologenys nitens* zygotes and larvae[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2010, 29(3):367-372.

[6] 张秀芝. 国标《溢油分散剂技术条件》《溢油分散剂使用准则》简介[J]. 交通标准化, 2001(6):16-19.
ZHANG Xiu-zhi. A brief introduction for standards of P R C《Oil spill dispersant: Technical regulations》《Oil spill dispersant: Application criteria》[J]. *Traffic Standardization*, 2001(6):16-19.

[7] 王巧敏, 严志宇, 孙 冰, 等. 溢油分散剂效果研究的最新进展[J]. 环境科学技术, 2014, 37(6):224-229.
WANG Qiao-min, YAN Zhi-yu, SUN Bing, et al. Thelatest advancement in the efficiency study of oil spill dispersant[J]. *Environmental Science and Technology*, 2014, 37(6):224-229.

[8] 邵 扬. 溢油分散剂及其在溢油事故处理中的使用建议[J]. 中国水运, 2010, 10(10):39-40.
SHAO Yang. The advice on oil dispersant and its use in the treatment of oil spill accident[J]. *China Water Transport*, 2010, 10(10):39-40.

[9] 易世泽. 溢油分散剂使用效果评定及机理研究中存在的问题[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(5):791-794.
YI Shi-ze. Problems of study on performance assessment and mechanism of action of oil spill dispersant[J]. *Marine Evironmental Science*, 2013, 32(5):791-794.

[10] 中华人民共和国交通部. GB 18188.1—2000 溢油分散剂: 技术条件[S]. 北京:中国标准出版社 , 2000.
Ministry of Transport of PRC.GB 18188.1—2000 Oil spill dispersant: Technical regulations[S]. Beijing: China Standards Press, 2000.

[11] 中华人民共和国交通部.GB 18188.2—2000 溢油分散剂: 使用准则[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.
Ministry of Transport of PRC.GB 18188.2—2000 Oil spill dispersant: Application criteria[S]. Beijing: China Standards Press, 2000.

[12] 韩方园, 杨开亮, 邢小丽, 等. 几种溢油分散剂对斑马鱼的急性毒性效应[J]. 上海海事大学学报, 2010, 31(3):86-89.
HAN Fang-yuan, YANG Kai-liang, XING Xiao-li, et al. Acute toxicity of oil dispersants on *Brachydanioretio*[J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2010, 31(3):86-89.

[13] 杨 波, 关 敏, 徐汉光, 等. 几种常用消油剂对海洋生物的毒性影响[J]. 海洋环境科学, 1991, 10(4):14-20.
YANG Bo, GUAN Min, XU Han-guang, et al. Toxicity effects of dispersants on marine organisms[J]. *Marine Environmental Science*, 1991, 10(4):14-20.

[14] Cohen A M, Geooda N P. Toxicity of three oil spill remediation techniques to the Australian bass *Macquaria novemaculeata*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2000, 47(2):178-185.

[15] Fisher W S, Foss S S. A simple test for toxic of number 2 fuel oil and dispersants to embryos of grass shrimp *Palaemonetes pugio*[J]. *Marine pollutant Bull*, 1993, 26(7):385-391.

[16] Long S M, Hold D A. Acute toxicity of crude and dispersed oil to *Octopus pallidas*(Hoyle, 1885) hatchlings[J]. *Water Research*, 2002, 36(11):2769-2776.

[17] Couillard C M, Lee K, Légaré B, et al. Effect of dispersant on the composition of the water accommodated fraction of crude oil and its toxicity to larval marine fish[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2005, 24(6):1496-1504.

[18] Duarte R M, Honda R T, Val A L. Acute effects of chemically dispersant crude oil on gill ion regulation pasma ion levels and haematological parameters in tambaqui(*Collsoma macropomum*)[J]. *Aquatic Toxicology*, 2010, 97(2):134-141.

[19] Pollino C A, Holdway D A. Toxicity testing of crude oil and related compounds using early life stages of the crimson-spotted rainbouwish (*Melanotaenia fluvatilis*)[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2002, 52(3):180-189.

[20] 陈皓鋆, 房建孟,印春生, 等.经消油剂处理的石油水溶分组分对刺参幼参的急性毒性研究[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(3): 414-417.
CHEN Hao-yun, FANG Jian-meng, YIN Chun-sheng, et al. Acute toxicity of chemical enhanced water accommodated fraction of dispersed oil to *Apostichopus japonicas* juveniles[J]. *Marine Environmental Science*, 2012, 31(3): 414-417.

[21] 黄逸君, 陈全震, 曾江宁, 等. 原油和消油剂对海洋桡足类的急性毒性效应[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(4):566-571.
HUANG Yi-jun, CHEN Quan-zhen, ZENG Jiang-ning, et al. Acute toxicity of crude oil and dispersant to marine copepods[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2010, 16(4):566-571.

[22] 李 磊, 蒋 玫, 王云龙, 等. 0# 柴油和平湖原油水溶性成分在黑鲷(*Sparus macrocephlus*)体内的富集动力学[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(2):286-290.
LI Lei, JIANG Mei, WANG Yun-long, et al. Accumulation kinetics of water accommodated fraction in No. 0 fuel oil and Pinghu crude oil in-*Sparus macrocephlus*[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2014, 20(2):286-290.

[23] 李 磊, 蒋 玫, 王云龙, 等. 燃料油和原油乳化液在缢蛏(*Sinonovacula constricta*)体内的富集动力学[J]. 环境科学学报, 2014, 34(4):1061-1067.
LI Lei, JIANG Mei, WANG Yun-long, et al. A kinetic study of accumulation of No. 0 fuel oil and Pinghu crude oil in the bivalve *Sinonovacula constricta tissue*[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(4):1061-1067.

[24] 蒋 玫, 李 磊, 沈新强, 等. 基于综合生物标志物响应指数评价 0# 柴油和平湖原油胁迫下的缢蛏(*Sinonovacula constricta*)毒性效应[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4):1174-1182.
JIANG Mei, LI Lei, SHEN Xin-qiang, et al. Using integrated biomarker responses to study toxic effects of *Sinonovacula constricta*[J]. *Acta*

Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(4):1174-1182.

[25] 陈皓鋆, 消油剂处理前后石油水溶组分对刺参幼参的毒理效应研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2012.
CHEN Hao-yun. Study on toxic effect of water accommodated fraction of oil and dispersed oil to *Apostichopus Japonicas* juveniles[D]. Shanghai:Shanghai fisheries Universcity, 2012.

[26] Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency. Comparative toxicity of Louisiana Sweet crude oil(LSC) and chemically dispersed LSC to two Gulf of Mexico aquatic test spesies [EB/OL].(2010-8-31). http://www. epa. gov/emergency/bpspill//reports/updated-phase2dispersant-toxtest. pdf.

[27] 徐 会, 宋丹丹, 周爱华, 等. 溢油分散剂及其乳化原油对海洋微藻的急性毒性效应评价[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(1):87-91.
XU Hui, SONG Dan-dan, ZHOU Ai-hua, et al. Assessment on acute toxicity of oil spill desperant and crude oil dispersed on marine microalgae[J]. *Marine Environmental Science*, 2013, 32(1):87-91.

[28] 杨柏林, 吕昕璐, 高天翔, 等. 消油剂和 120# 船舶燃料油对海胆胚胎发育的复合毒性影响[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(6):814-817.
YANG Bai-lin, LÜ Xin-lu, GAO Tian-xiang, et al. The influence of dispersants and 120# fuel oil on sea urchin embryos developments[J]. *Marine Environmental Science*, 2013, 32(6):814-817.

[29] 蒋闰兰, 肖佰财, 禹 娜, 等. 多环芳烃对水生生物毒性效应的研究进展[J]. 海洋渔业, 2014, 36(4):372-383.
JIANG Run-lan, XIAO Bai-cai, YU Na, et al. Research advance in toxic effects of PAHs on aquatic animals[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(4):372-383.

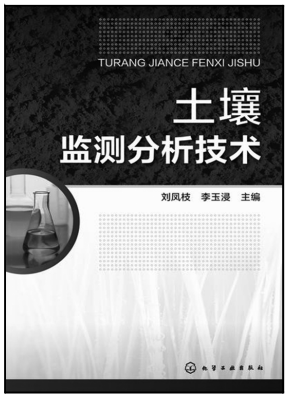
新书推介

生物质废物资源综合利用技术

陈冠益、马文超、颜蓓蓓 等 编著

主要内容包括生物质废物资源的现状及特点、生物质废物资源的利用技术(烯气化利用技术、燃油化利用技术、发电供热利用技术、燃料化利用技术、肥料化利用技术、建材化利用技术、高值化利用技术)、综合利用中主要的二次污染物控制、技术的发展趋势与应用挑战,旨在为广大读者系统介绍生物质废物资源化综合利用技术的发展现状、技术进展和推广应用等。

※书号:9787122217899 ※定 价:198.0 元
※开本:16 ※出版日期:2015 年 9 月



土壤监测分析技术

刘凤枝、李玉浸 主编

本书包括基础篇、无机篇、有机篇三篇。主要介绍了规范的环境监测实验室的建制和布局、仪器设备的配置和实验室的基本管理要求;土壤污染现状监测任务及监测分析技术的概述;元素监测的主要手段及在监测中的应用;样品的采集与制备。土壤样品的各种消解方法;18 项微量元素、常量元素、稀土元素和化合物等项目的测定;有机物分析常规监测手段,色谱、质谱和色质联用技术的原理和应用,收集、整理了针对土壤中可能存在的有机污染物的检测方法等。

※书号:9787122226976 ※定 价:298.0 元
※开本:16 ※出版日期:2015 年 7 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn 服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)
网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:http://hxgycbs.tmall.com
邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社 如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。