

端足类河螺赢蜚对原油的敏感性

王睿睿^{1,2}, 刘星¹, 顾炎斌^{1,2}, 柳圭泽^{1,2}, 周雨潇³,
梁淼¹, 廖国祥¹, 闫启仑¹

(1.国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023; 2.国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室, 辽宁 大连 116023; 3.中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 溢油发生后, 端足类生物迅速消失并显示出非常高的初始死亡率。为定量评估原油对端足类生物的毒性影响, 本文开展了原油水溶性组分 (WAF) 和原油与分散剂混合的水溶性组分 (CEWAF) 对端足类生物河螺赢蜚 (*Corophium acherusicum*) 的急性毒性实验, 并结合收集的原油对海洋生物的急性毒性数据, 利用物种敏感性分布曲线 (species sensitivity distribution, SSD) 评价河螺赢蜚对原油的敏感性。结果表明: WAF 和 CEWAF 的 96 h 半致死浓度 (LC_{50}) 分别为 4.11 mg/L, 0.85 mg/L; 在 WAF 和 CEWAF 的 SSD 曲线中, 河螺赢蜚的物种累积概率均低于 30%。综上所述, 端足类河螺赢蜚对原油敏感性较高。

关键词: 河螺赢蜚; 原油; 急性毒性; 物种敏感性分布

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2023)02-0246-08

Species sensitivity of *Corophium acherusicum* (Crustacean, Amphipod) to crude oil

WANG Rui-rui^{1,2}, LIU Xing¹, GU Yan-bin^{1,2}, LIU Gui-ze^{1,2}, ZHOU Yu-xiao³,
LIANG Miao¹, LIAO Guo-xiang¹, YAN Qi-lun¹

(1.National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Coastal Ecosystem, Dalian 116023, China; 3.College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: After the oil spill, amphipods disappeared rapidly and showed very high initial mortalities. The study was investigated the acute toxic effects of crude oil on the *Corophium acherusicum* (Crustacean, Amphipod) by 96 h acute toxicity test. The data of acute toxicity of WAF and CEWAF to marine organisms of different trophic levels were screened and collected. The species sensitivity distribution (SSD) method was used to evaluate the sensitivity of *C.acherusicum* to crude oil. The results showed that WAF and CEWAF 96 h LC_{50} were 4.11 mg/L, 0.85 mg/L respectively. The calculated results of the cumulative probability showed that the *C.acherusicum* to WAF and CEWAF were lower than 30%. In summary, *C.acherusicum* was relatively sensitive to crude oil.

Key words: *Corophium acherusicum*; crude oil; acute toxicity; species sensitivity distribution

收稿日期: 2021-12-21, 修订日期: 2022-04-14

基金项目: 国家重大专项资金项目 (2018YFC140707603); 国家自然科学基金项目 (41106078); 国家环境保护海洋生态环境整治修复重点实验室资助 (20220204)

作者简介: 王睿睿 (1978-), 女, 辽宁抚顺人, 副研究员, 主要研究方向为海洋生态毒理学, E-mail: rrwang@nmemc.org.cn

通讯作者: 闫启仑 (1966-), 男, 研究员, 主要研究方向为海洋生物学和生态学, E-mail: qlyan@nmemc.org.cn

端足类生物是底栖生物的重要组成部分,是鱼类和鸟类的食物来源,在海洋生态系统中具有重要作用,是海洋生物链的重要环节,其种类繁多、数量大、分布广泛,具有生活周期短、生长快、易培养、对有毒污染物敏感等特点,被认为是污染物毒性检验的优选受试生物^[1]。端足类螺赢蜚属的 *Corophium valutator*、*Corophium orientale*、*Corophium colo* 和 *Corophium insidiosum* 等生物已经被应用到生物毒性检测中^[2-4],其中, *Corophium valutator* 是加拿大环境部推荐的标准受试生物^[5],然而,上述端足类生物在我国海域未被发现。河螺赢蜚(*Corophium acherusicum*)隶属于端足目螺赢蜚科螺赢蜚属,栖息于潮间带软泥和泥沙底质中,在我国海域均有分布。镉对河螺赢蜚 96 h 半致死浓度(LC_{50})为 1.46 mg/L,与镉对 *Leptocheirus plumulosus*、*Rhepoxynius abronius*、*Eohaustorius estuarius*、*Ampelisca abdita* 和 *Grandidierella japonica* 等美国材料与测试学会推荐的端足类受试生物的 96 h LC_{50} 具有可比性^[6]。

溢油发生后,对碳氢化合物较敏感的物种,尤其是端足类生物,迅速消失,并显示出非常高的初始死亡率。Gesteira 等分析卡迪兹(Amoco Cadiz)和爱琴海(Aegean)两个海区溢油发生后端足类种群变动规律,认为典型端足类种群变动能够指示溢油污染的影响程度,端足类生物的种类组成及分布特征等多项指标能有效指示生境的健康状况^[7-8]。为定量评估原油对端足类生物的毒性影响,本研究开展了原油水溶性组分(WAF)和原油与分散剂混合液的水溶性组分(CEWAF)对端足类生物河螺赢蜚的急性毒性实验,并结合收集的原油对海洋生物的急性毒性数据,利用物种敏感性分布曲线(species sensitivity distribution, SSD)评价河螺赢蜚对原油的敏感性。

1 材料与方法

1.1 实验用海水

实验海水为天然海水,经沉淀、过滤后,贮存在蓄水池中,保持温度为 20 ℃,用曝气自来水稀释到盐度为 25,备用。实验用海水均使用此海水。经测定所用海水中重金属与有机物含量低

于一类海水水质标准^[9]。

1.2 受试生物

河螺赢蜚采集于大连龙王塘潮间带,实验前将其逐渐驯养至在温度 20 ℃(每天升/降温度不超过 3 ℃)和盐度 25(每天升/降盐度不超过 3)条件下生存。暂养条件:自然光照,连续充气,投喂新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)和青岛大扁藻(*Platymonas helgolandica*) 1:1 混合饵料,辅以人工复合饵料。

1.3 WAF 和 CEWAF 储备液的制备

WAF 和 CEWAF 储备液的制备参照《溢油对海洋生物影响评估技术指南》(HY/T 256—2018)^[10]。WAF 储备液采用重量法配制,每 1 L 过滤海水中加入原油 25 g,液面与瓶口间的空间应为总溶液体积的 20%~30%。混合溶液采用顶置搅拌器连续搅拌 96 h,之后静置 6 h,水溶性组分从下口取出,置于棕色瓶中密封冷藏保存。CEWAF 储备液的制备,按照分散剂与原油质量比 1:10 配制,其余按照 WAF 的制备方法进行。

1.4 急性毒性实验方法

急性毒性实验方法参照《海洋监测技术规程》(HY/T 147.5—2013)等,略有改动^[11-12]。将 WAF、CEWAF 储备液用海水稀释成不同的实验浓度,开展预实验。根据预实验结果,WAF 储备液按照 80%、40%、20%、10%、5% 稀释,共 5 个浓度组,设置海水作为空白组;CEWAF 储备液稀释成 5%(CEWAF I 储备液),然后再将 CEWAF I 储备液按照 80%、40%、20%、10%、5% 稀释,共 5 个浓度组,设置海水作为空白组,分散剂作为对照组。每个浓度组设 3 个平行,每个平行设 10 个 100 mL 烧杯,每个烧杯添加 70 mL 溶液,放入 1 只河螺赢蜚个体。实验时间为 96 h,实验期间,自然光照,充气,不投饵。每天监测温度、盐度、溶解氧、pH,记录河螺赢蜚死亡数量。以探针刺激河螺赢蜚无反应为死亡的判断标准,如果有运动的迹象,视为存活。

1.5 分析方法

急性毒性实验采用实测的总石油烃浓度计算 LC_{50} 。暴露溶液中的总石油烃浓度采用《海洋监测规范》(GB17378.4—2007)^[13]中的紫外分光光度法测定。

1.6 急性毒性数据来源及筛选原则

收集的毒性数据主要来自美国环保署 US EPA ECOTOX (<http://cfpub.epa.gov/ecotox>) 毒性数据库、中国知网 CNKI (<http://www.cnki.net>) 和公开发表的文献。

用于构建物种敏感性分布(SSD)曲线的毒性数据的筛选原则参照《海洋生物水质基准推导技术指南(试行)》(HJ1260—2022),略有改动^[14],筛选原则如下:(1)实验设计应依据国家或国际标准毒性测试方法;(2)剔除未设置空白和溶剂对照组的毒理数据;(3)静态、半静态和流水式三种暴露方式均可选择,优先采用流水式实验的毒理数据;(4)受试生物在我国海域有分布或为国际通用物种,有明确获取来源(实验室、养殖基地、野外);(5)选用与生物存活、生长等具有生态相关性的毒性效应终点相关的实验数据(LC_{50} 或半效应浓度 EC_{50}),剔除以组织、细胞或分子水平等个体以下水平的毒性效应终点相关的实验数据;(6)当相同油品的同一物种的同一毒性终点实验数据相差10倍以上时,剔除离群值;(7)WAF和CEWAF采用标准制备方法;(8)采用气相色谱或光谱法(荧光分光光度法、紫外分光光度法)测定总石油烃浓度;(9)以总石油

烃浓度计算 LC_{50} 或 EC_{50} 。

1.7 统计分析

急性毒性实验数据使用SPSS软件统计分析,采用概率单位法计算 LC_{50} 。

对于收集的急性毒性数据,分不同的物种将其毒性数据(LC_{50} 或 EC_{50} 等)作为急性毒性值(ATV),利用公式(1)计算获得各物种的同效应急性值(AVE),将 $\lg AVE$ 从小到大进行排序。SSD模型拟合使用“国家生态环境基准计算软件物种敏感度分布法”。

$$AVE_{i,k} = \sqrt[m]{ATV_{i,k,1} \times ATV_{i,k,2} \times \cdots \times ATV_{i,k,m}} \quad (1)$$

式中: AVE为同效应急性值(mg/L); ATV为急性毒性值(mg/L); i 为某一物种,无量纲; k 为急性毒性效应种类,无量纲; m 为ATV数量(个)。

2 结果与讨论

2.1 急性毒性实验结果

WAF、CEWAF对河螺赢蜚急性毒性的剂量效应曲线见图1。在WAF、CEWAF急性毒性实验开始24h时,所有浓度组中河螺赢蜚均未死亡,在96h时,河螺赢蜚的死亡率随总石油烃浓度增高而升高,最高死亡率均为最高浓度组。

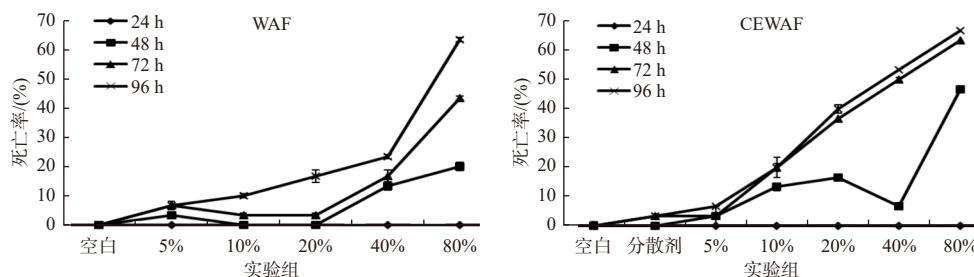


图1 原油对河螺赢蜚的急性毒性

Fig. 1 The acute toxicity test of crude oil on *Corophium acherusicum*

通过概率单位法计算,WAF的96h LC_{50} 为4.11 mg/L,95%置信区间为2.52~7.95 mg/L,CEWAF的96h LC_{50} 为0.85 mg/L,95%置信区间为0.65~1.06 mg/L。WAF的96h LC_{50} 大于CEWAF的96h LC_{50} ,添加分散剂后原油对河螺赢蜚的毒性增强。

2.2 急性毒性数据收集筛选

通过美国环保署 US EPA ECOTOX毒性数

据库、中国知网 CNKI 和公开发表的文献进行急性毒性数据的收集,经物种筛选原则最后确定可用于构建 SSD 的有效数据。

WAF 急性毒性有效数据(表1),覆盖3个营养级,包括绿藻门、硅藻门、节肢动物门、轮虫门、软体动物门、环节动物门、棘皮动物门、脊索动物门等8个门类,共计49种海洋生物,其中节肢动物门甲壳类、鱼类、软体动物的种类数占

表 1 WAF 的急性毒性数据 (mg/L)

Tab.1 Acute toxicity data of WAF

物种名称	拉丁名	所属门类	LC ₅₀ /EC ₅₀	参考文献
中国对虾	<i>Fenneropenaeus chinensis</i>	节肢动物门	0.31	[15]
三疣梭子蟹	<i>Portunustritiverculatus</i>	节肢动物门	0.81	[15]
刀额新对虾	<i>Metapenaeus ensis</i>	节肢动物门	0.17,1.71,4.09	[16]
斑节对虾	<i>Penaeus monodon</i>	节肢动物门	0.28,3.02,3.55	[16]
青岛大扁藻	<i>Platymonas subcordiformis</i>	绿藻门	0.23,9.4963	[15,17]
日本对虾	<i>Penaeus japonicus</i>	节肢动物门	0.95,2.4	[16]
海水青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	脊索动物门	2.29	[18]
凡纳滨对虾	<i>Litopenaeus vannamei</i>	节肢动物门	2.39	[19]
栉孔扇贝	<i>Chlamys farreri</i>	软体动物门	1.80,2.68,3.40	[20-21]
糠虾	<i>Mysidopsis bahia</i>	节肢动物门	0.56,0.62,0.81,2.7,25.45,14.23	[22-26]
脊尾白虾	<i>Palaemon carincauda</i>	节肢动物门	2.62	[27]
杂色鳉	<i>Cyprinodon variegatus</i>	脊索动物门	3.9,4.1	[22,26]
褶皱臂尾轮虫	<i>Brachionus plicatilis</i>	轮虫门	2.37,2.47,11.02	[15]
河螺赢蜚	<i>Corophium acherusicum</i>	节肢动物门	4.11	本研究
黑鲷	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	脊索动物门	1.51,2.19,3.37,6.03,7.08,10.7	[15,27-28]
毛蚶	<i>Scapharca subcrenata</i>	软体动物门	1.914,2.965,5.129,6.31,6.76,6.863	[15,29]
前鳞骨鲻	<i>Osteomugil ophuyseni</i>	脊索动物门	2.19,6.03, 7.08	[15]
刺参	<i>Apostichopus japonicus</i>	棘皮动物门	3.99,4.10,6.44	[21]、本实验室数据
太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>	节肢动物门	4.88	[15]
皱纹盘鲍	<i>Haliotis discus hannai</i>	软体动物门	5.12	本实验室数据
拟银汉鱼	<i>Atherinops affinis</i>	脊索动物门	1.45,16.34,9.35	[24-25]
真鲷	<i>Pagrasomus major</i>	脊索动物门	6.4	[28]
美洲原银汉鱼	<i>Menidia veryllina</i>	脊索动物门	2.9,4.9,5.2,7.2,11.2,11.83	[22-23,25-26,30]
褐虾	<i>Penaeus aztecus</i>	节肢动物门	6.78	[30]
小新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium f.minutissima</i>	硅藻门	6.7856	[14]
蒙古裸腹蚤	<i>Moina mongolica Daday</i>	节肢动物门	3.48,3.52, 4.55, 6.55, 7.17, 9.89, 12.94, 14.69	[31]
马粪海胆	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	棘皮动物门	1.87,2.71,3.39,4.57,11.4, 11.63,17.5,29.15	[32-34]
牙鲆	<i>Paralichthys olivaceus</i>	脊索动物门	1.6,13.7,19.02	[15,28]
大西洋鲱	<i>Clupea harengus</i>	脊索动物门	7.1,7.9	[30]
白虾	<i>Penaeus setiferus</i>	节肢动物门	5.7,11	[30]
波纹巴非蛤	<i>Paphia undulata</i>	软体动物门	6.46,10.23	[16]
黄鳍鲷	<i>Sparus latus</i>	脊索动物门	3.47,8.51,8.91,9.12,18.62	[16]
半滑舌鳎	<i>Cynoglossus semilaevis</i>	脊索动物门	9.1	[15]
中华绒螯蟹	<i>Eriocheie Sinensis</i>	节肢动物门	6.249,7.193,8.022,9.889,9.902, 10.542,11.596,12.948,13.441,15.684	[35]
卤虫	<i>Brine Shrimp</i>	节肢动物门	10.28	[15]
海胆	<i>Paracentrotus lividus</i>	棘皮动物门	9.5,11.25	[36]
缢蛏	<i>Sinonovacula constricta</i>	软体动物门	11.62	[26]
黄尾平口石首鱼	<i>Leiostomus xanthurus</i>	脊索动物门	13.3	[30]

续表

物种名称	拉丁名	所属门类	LC ₅₀ /EC ₅₀	参考文献
蓝蟹	<i>Callinectes saidus</i>	节肢动物门	13.3	[30]
贻贝	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	软体动物门	9.25,20.5	[36]
红石首鱼	<i>Sciaenops ocellatus</i>	脊索动物门	14.1	[30]
三角褐指藻	<i>Phaeodacty tricomuium</i>	硅藻门	4.43,50	[37]
小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i>	绿藻门	10.46,10.74,11,11.07,12.11,12.22, 13.2,13.77,14.39,15.51,16.55,18.11, 18.73,20.37,23.53,29.24,33.72,40.28	[38]、本实验室数据
轮虫	<i>Brachionus sp</i>	轮虫门	19.33	[39]
虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	脊索动物门	30	[40]
红鲍鱼	<i>Haliotis rufescens</i>	软体动物门	33.58	[24]
双齿围沙蚕	<i>Perinereis aibuhitensis</i>	环节动物门	30.2,62.1	[41]
彩虹明樱蛤	<i>Moerella iridescens</i>	软体动物门	65.88	[15]
华贵栉孔扇贝	<i>Chlamys nobilis</i>	软体动物门	75.16,81.67,147.30,233.08	[42]

总物种数的 85.7%, LC₅₀ 最低为 0.17 mg/L, 最高为 233.08 mg/L。

CEWAF 急性毒性有效数据(表 2), 覆盖 3 个营养级, 包括绿藻门、硅藻门、节肢动物门、轮虫

门、软体动物门、棘皮动物门、脊索动物门等 7 个门类, 共计 33 种海洋生物, 其中节肢动物门甲壳类、鱼类、软体动物的种类数占总物种数的 84.8%, LC₅₀ 最低为 0.16 mg/L, 最高为 835.71 mg/L。

表 2 CEWAF 的急性毒性数据(mg/L)

Tab.2 Acute toxicity data of CEWAF

物种名称	拉丁名	所属门类	LC ₅₀ /EC ₅₀	参考文献
河螺赢蚱	<i>Corophium acherusicum</i>	节肢动物门	0.85	本研究
底鳃	<i>Fundulus heteroclitus</i>	脊索动物门	0.87	[43]
黑鲷	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	脊索动物门	0.66,1.75	[26]
脊尾白虾	<i>Palaemon carincauda</i>	节肢动物门	1.2	[26]
栉孔扇贝	<i>Chlamys farreri</i>	软体动物门	1.39,1.74,1.14	[20-21]
太平洋鲱	<i>Clupea pallasii</i>	脊索动物门	1.75,1.94	[44]
皱纹盘鲍	<i>Haliotis discus hannai</i>	软体动物门	2.07	本实验室数据
海水青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	脊索动物门	2.77	[18]
糠虾	<i>Mysidopsis bahia</i>	节肢动物门	0.39,0.64,0.65,1.4,1.4, 2.1,2.9,5.4, 7.4, 9.7, 9.46, 10.54, 13	[22-25,27]
缢蛏	<i>Sinonovacula constricta</i>	软体动物门	3.09	[26]
凡纳滨对虾	<i>Litopenaeus vannamei</i>	节肢动物门	3.17,3.25	[19]
小新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium f.minutissima</i>	硅藻门	1.0283,3.9091,4.5301,9.0848	[17]
东方牡蛎	<i>Crassostiea virinica</i>	软体动物门	2.56,5.4	[24]
虎斑猛水蚤	<i>Tigriopus japonicus</i>	节肢动物门	1.5,5.7,6.7	[45]
卤虫	<i>Artemia parthenogenetica</i>	节肢动物门	4.78	本实验室数据
美洲原银汉鱼	<i>Menidia veyllina</i>	脊索动物门	0.64,0.96,1.6,2,2.5,3.4,4.6, 7.6,9.6,13.1,20.28,28.9,32.47	[22-23,25,27,30]
许氏平鲉	<i>Sebastes schlegelii</i>	脊索动物门	6.26	本实验室数据
大西洋鲱	<i>Clupea harengus</i>	脊索动物门	2.03,4.33, 10.8,41.3	[44]

续表

物种名称	拉丁名	所属门类	LC ₅₀ /EC ₅₀	参考文献
马粪海胆	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	棘皮动物门	5.32,12.03	[34]、本实验室数据
虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	脊索动物门	8	[40]
白虾	<i>Penaeus setiferus</i>	节肢动物门	8.8,8.9	[30]
杂色鲮	<i>Cyprinodon variegatus</i>	脊索动物门	10.8,11	[22,27]
拟银汉鱼	<i>Atherinops affinis</i>	脊索动物门	7.27,28.6,16.86	[24-25]
菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	软体动物门	8.74,28.91	[19]
红鲍鱼	<i>Haliotis rufescens</i>	软体动物门	17.81	[24]
三角褐指藻	<i>Phaeodacty tricomuium</i>	硅藻门	2.57,190	[37]
刺参	<i>Apostichopus japonicus</i>	棘皮动物门	0.16,0.74,1.55,246.09, 373.4,399.15,422.75	[21,46]
蓝蟹	<i>Callinectes saidus</i>	节肢动物门	12.4,44.2	[30]
青岛大扁藻	<i>Platymonas subcordiformis</i>	绿藻门	4.617,26.2128,34.0626,76.8304	[17]
褐虾	<i>Penaeus aztecus</i>	节肢动物门	25.4	[30]
翡翠贻贝	<i>Perna viridis</i>	软体动物门	28.91	[19]
黄尾平口石首鱼	<i>Leiostomus xanthurus</i>	脊索动物门	32.2,33.2	[30]
褶皱臂尾轮虫	<i>Brachionus plicatilis</i>	轮虫门	21.16,27.29,70.92,77.6,214.83, 274.81,818.07,835.71	[47]

2.3 河螺赢蜚的物种敏感性

物种敏感度分布(SSD)已被广泛用于污染物的风险评估以及环境基准研究,SSD也可用于分析物种对污染物的耐受程度并筛选出较敏感物种作为环境基准推导的潜在受试生物。在淡水水质基准的研究中,SSD用于鱼类^[48]、甲壳类^[49]、两栖类^[50]、软体动物^[51]、环节动物^[52]、轮虫^[53]等受试生物的筛选。对于物种敏感数值的分级,一般将物种敏感度与累积概率的关系设定为:累积概率<5%为非常敏感;5%~15%为较敏感;15%~30%为敏感;30%~50%为较不敏感;≥50%为不敏感^[54]。

拟合出的 WAF 和 CEWAF 的物种敏感性曲线如图 2 所示,曲线的相关性系数分别为 0.9912、0.9757(表 3),越接近 1,说明曲线的拟合度越高。由 WAF 的全部物种的敏感性排序可知,甲壳类生物的敏感性排序比较靠前,例如,中国对虾、三疣梭子蟹、刀额新对虾、斑节对虾、日本对虾等的敏感性排序在前 10 名以内,累积概率均小于 15%,小型鱼类如海水青鲮的敏感性排序也比较靠前(第 7 位),贝类等敏感性排序大部分靠后,累积概率大于 50%。河螺赢蜚对 WAF 的敏感性排序为第 14 位,累积概率为 27.5%,分级属于敏感。

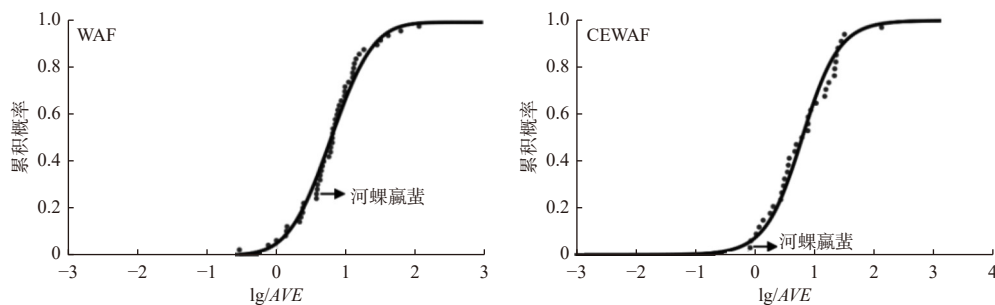


图 2 WAF 和 CEWAF 的物种敏感性曲线

Fig. 2 Species sensitivity distribution of WAF and CEWAF

表 3 河螺赢蜚对原油敏感性排序

Tab.3 The species sensitivity order of *Corophium acherusicum* against crude oil

污染物	拟合曲线相关性系数	排序总物种数	物种敏感性排序	河螺赢蜚	
				敏感性次序	累积概率/(%)
WAF	0.9912	49	中国对虾, 三疣梭子蟹, 刀额新对虾, 斑节对虾, 青岛大扁藻, 日本对虾, 海水青鳉, 凡纳滨对虾, 栉孔扇贝, 糠虾, 脊尾白虾, 杂色鳉, 褶皱臂尾轮虫, 河螺赢蜚 , 黑鲷, 毛蚶, 前鳞骨鲷, 刺参, 太平洋纺锤水蚤, 皱纹盘鲍, 拟银汉鱼, 真鲷, 美洲原银汉鱼, 褐虾, 小新月菱形藻, 蒙古裸腹蚤, 马粪海胆, 牙鲆, 大西洋鲱, 白虾, 波纹巴非蛤, 黄鳍鲷, 半滑舌鳎, 中华绒螯蟹, 卤虫, 海胆, 缢蛭, 黄尾平口石首鱼, 蓝蟹, 贻贝, 红石首鱼, 三角褐指藻, 小球藻, 轮虫, 虹鳟, 红鲍鱼, 双齿围沙蚕, 彩虹明樱蛤, 华贵栉孔扇贝	14	27.5
CEWAF	0.9757	33	河螺赢蜚 , 底鳉, 黑鲷, 脊尾白虾, 栉孔扇贝, 太平洋鲱, 皱纹盘鲍, 海水青鳉, 糠虾, 缢蛭, 凡纳滨对虾, 小新月菱形藻, 东方牡蛎, 虎斑猛水蚤, 卤虫, 美洲原银汉鱼, 许氏平鲉, 大西洋鲱, 马粪海胆, 虹鳟, 白虾, 杂色鳉, 拟银汉鱼, 菲律宾蛤仔, 红鲍鱼, 三角褐指藻, 刺参, 蓝蟹, 青岛大扁藻, 褐虾, 翡翠贻贝, 黄尾平口石首鱼, 褶皱臂尾轮虫	1	2.94

在 CEWAF 的全部物种的敏感性排序中, 累积概率小于 15% 的物种为河螺赢蜚、底鳉、黑鲷、脊尾白虾, 累积概率 15% ~ 30% 的物种为栉孔扇贝、太平洋鲱、皱纹盘鲍、海水青鳉、糠虾、缢蛭。河螺赢蜚对 CEWAF 的敏感性排序为第 1 位, 累积概率为 2.94%, 低于 5%, 分级属于非常敏感。

3 结论

(1) 在 WAF 和 CEWAF 的全部物种敏感性排序中, 河螺赢蜚的排序处于拟合曲线的前端位置, 累积概率均低于 30%, 说明河螺赢蜚对原油的敏感性较高。

(2) WAF 和 CEWAF 对河螺赢蜚的 96 h LC_{50} 分别为 4.11 mg/L、0.85 mg/L, 在 CEWAF 的全部物种敏感性排序中, 河螺赢蜚排序为第 1 位, 且累积概率低于 5%, 河螺赢蜚对于添加分散剂的原油更加敏感。

参考文献:

[1] 任先秋. 中国海螺赢蜚属 *Corophium* (甲壳动物端足目) 的研

究[C]//中国动物学会甲壳动物学会分会成立20周年暨刘瑞玉院士从事海洋科教工作55周年学术研讨会. 青岛: 中国动物学会, 2002.

- [2] KING C K, GALE S A, HYNE R V, et al. Sensitivities of Australian and New Zealand amphipods to copper and zinc in waters and metal-spiked sediments[J]. *Chemosphere*, 2006, 63(9): 1466-1476.
- [3] ONORATI F, BIGONGIARI N, PELLEGRIN D, et al. The suitability of *Corophium orientale* (Crustacea, Amphipoda) in harbour sediment toxicity bioassessment[J]. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1999, 2(4): 465-473.
- [4] HYNE R V, EVERETT D A. Application of a benthic euryhaline amphipod, *Corophium* sp., as a sediment toxicity testing organism for both freshwater and estuarine systems[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1998, 34(1): 26-33.
- [5] EPS 1/RM/26, Biological test method: acute test for sediment toxicity using marine or estuarine amphipods[S].
- [6] 王睿睿, 闫启仑, 韩明辅, 等. 河螺赢蜚对铜的急性毒性响应[J]. *生态毒理学报*, 2010, 5(1): 87-90.
- [7] GESTEIRA J L G, DAUVIN J C. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(11): 1017-1027.

- [8] GESTEIRA J L, DAI VON J C. Impact of the Aegean sea oil spill on the subtidal fine sand macrobenthic community of the Ares-Betanzos Ria (Northwest Spain)[J]. *Marine Environmental Research*, 2005, 60(3): 289-316.
- [9] GB 3097—1997, 海水水质标准[S].
- [10] HY/T 256—2018, 溢油对海洋生物影响评估技术指南[S].
- [11] HY/T 147.5—2013, 海洋监测技术规程 第5部分: 海洋生态[S].
- [12] E1367—03 2014, Standard test method for measuring the toxicity of sediment-associated contaminants with estuarine and marine invertebrates[S].
- [13] GB 17378.4—2007, 海洋监测规范 第4部分: 海水分析[S].
- [14] HJ 1260—2022, 海洋生物水质基准推导技术指南(试行)[S].
- [15] 张继伟, 王伟莉, 蔡 靳, 等. 北部湾涠洲岛原油污染物的海水环境质量基准研究[J]. *中国环境科学*, 2014, 34(5): 1310-1315.
- [16] 贾晓平, 林 钦, 蔡文贵, 等. 原油和燃油对南海重要海水增殖生物的急性毒性试验[J]. *水产学报*, 2000, 24(1): 32-36.
- [17] 马 帅. 原油和4种溢油分散剂对青岛大扁藻和小新月菱形藻毒性效应的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [18] 高 翔. 消油剂对燃料油的增溶作用及对海水青鳉胚胎发育的影响[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [19] 黄南建. 南海流花原油和0[#]柴油对3种水产经济种类的毒性效应研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [20] 景玉婷, 李志林, 张传松, 等. 0[#]柴油分散液和乳化液对栉孔扇贝的急性毒性效应及富集差异性分析[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(6): 898-904.
- [21] 周媛媛, 林雨霏, 石晓勇, 等. 四种石油分散液对栉孔扇贝和刺参的急性毒性研究[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(3): 353-360.
- [22] FULLER C, BONNER J S. Comparative toxicity of oil, dispersant, and dispersed oil to Texas marine species[C]//2001 International Oil Spill Conference: Global Strategies for Prevention, Preparedness, Response, and Restoration: Tampa Convention Center, Tampa, Florida. Washington: American Petroleum Institute, 2001: 1243-1248.
- [23] HEMMER M J, BARRON M G, GREENE R M. Comparative toxicity of eight oil dispersants, Louisiana sweet crude oil (LSC), and chemically dispersed LSC to two aquatic test species[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2011, 30(10): 2244-2252.
- [24] LEE K, KING T L, ROBINSON B, et al. Toxicity effects of chemically-dispersed crude oil on fish[C]// Proceedings of 2011 International Oil Spill Conference, Portland, American Petroleum Institute, 2011: 163-170.
- [25] SINGER M M, GEORGE S, LEE I, et al. Effects of dispersant treatment on the acute aquatic toxicity of petroleum hydrocarbons[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1998, 34(2): 177-187.
- [26] FULLER C, BONNER J, PAGE C, et al. Comparative toxicity of oil, dispersant, and oil plus dispersant to several marine species[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2004, 23(12): 2941-2949.
- [27] 沈新强, 蒋 玫, 李 磊. 溢油分散剂处理平湖原油对海洋生物的急性毒性效应[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(12): 2272-2279.
- [28] 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, 10(2): 1-5.
- [29] 陈建华, 阎斌伦, 李盈蕾, 等. 石油烃和镉对毛蚶的急性毒性与联合毒性效应研究[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(3): 85-89.
- [30] SHUBA P J, HEIKAMP A J JR. Toxicity tests on biological species indigenous to the Gulf of Mexico[J]. *International Oil Spill Conference Proceedings*, 1989 (1): 309-316.
- [31] 路鸿燕, 何志辉. 大庆原油及成品油对蒙古裸腹蚤的毒性[J]. *大连水产学院学报*, 2000, 15(3): 169-174.
- [32] 吕福荣, 熊德琪, 丁士强, 等. 石油烃分散液对马粪海胆浮游幼虫的急性毒性效应[J]. *大连海事大学学报*, 2008, 34(2): 24-27, 32.
- [33] 张金亮, 熊德琪, 吕福荣, 等. 0[#]船用轻质柴油和船用重质燃料油对幼海胆的急性毒性[J]. *大连海事大学学报*, 2007, 33(S1): 5-7.
- [34] 杨柏林, 高亚丽, 姜玲玲, 等. 消油剂和120[#]燃料油对海胆DNA损伤及甲基化影响[J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(3): 387-395.
- [35] 孙 娜, 侯 鑫, 万红芳, 等. 0[#]柴油中的水溶性石油烃对中华绒螯蟹溞状幼体的急性毒性[J]. *中国渔业质量与标准*, 2019, 9(5): 41-47.
- [36] BELLAS J, SACO-ÁLVAREZ L, NIETO Ó, et al. Evaluation of artificially-weathered standard fuel oil toxicity by marine invertebrate embryogenesis bioassays[J]. *Chemosphere*, 2013, 90(3): 1103-1108.
- [37] HOOK S E, OSBORN H L. Comparison of toxicity and transcriptomic profiles in a diatom exposed to oil, dispersants, dispersed oil[J]. *Aquatic Toxicology*, 2012, 124/125: 139-151.
- [38] 刘 娜, 熊德琪, 高 会, 等. 柴油和燃料油对小球藻的急性毒性试验研究[J]. *海洋环境科学*, 2006, 25(S1): 29-32.
- [39] RICO-MARTÍNEZ R, SNELL T W, SHEARER T L. Synergistic toxicity of Macondo crude oil and dispersant Corexit 9500A[®] to the *Brachionus plicatilis* species complex (Rotifera)[J]. *Environmental Pollution*, 2013, 173: 5-10.
- [40] SCHEIN A, SCOTT J A, MOS L, et al. Oil dispersion increases the apparent bioavailability and toxicity of diesel to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2009, 28(3): 595-602.
- [41] 王 晶. 沙蚕暴露于镉、铜和石油烃单一与复合污染的生态毒理学研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.