

对氯苯胺、1,2-二氯乙烷、邻苯二甲酸丁苄酯和1-苯乙醇 对两种海洋贝类急性毒性及其物种敏感度分布的研究

李禹含¹, 苗晶晶¹, 魏守祥¹, 潘鲁青¹,
林雨霏², 武江越²

(1.海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003; 2.国家海洋局海洋减灾中心, 北京 100194)

摘要: 本文研究了对氯苯胺、1,2-二氯乙烷、邻苯二甲酸丁苄酯和 1-苯乙醇 4 种危险化学品对栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 和菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 的急性毒性及其物种敏感度分布 (SSD)。结果表明, 对氯苯胺、1,2-二氯乙烷、邻苯二甲酸丁苄酯、1-苯乙醇对栉孔扇贝的 96 h 半致死浓度 (LC_{50}) 值分别为 36.18、>2070.00、123.16 和 180.89 mg/L, 对菲律宾蛤仔的 96 h- LC_{50} 值分别为 122.61、>2070.00、>2010.00 和 639.31 mg/L, 说明栉孔扇贝比菲律宾蛤仔对 4 种危险化学品更为敏感; 利用物种敏感度分布模型分析邻苯二甲酸丁苄酯、对氯苯胺和 1,2-二氯乙烷的短期毒性阈值分别为 0.64、2.04 和 37.20 mg/L。研究结果可为海洋环境中 4 种危险化学品的生态风险评估与污染控制提供理论依据。

关键词: 海洋危险化学品; 双壳贝类; 毒性效应; 物种敏感度分布

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2020)05-0732-06

Acute toxicity and species sensitivity distribution of p-chloroaniline, 1,2-dichloroethane, butyl benzyl phthalate and 1-phenylethyl alcohol on two marine bivalves

LI Yu-han¹, MIAO Jing-jing¹, WEI Shou-xiang¹, PAN Lu-qing¹,
LIN Yu-fei², WU Jiang-yue²

(1. The Key Laboratory of Mariculture of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. National Marine Hazard Mitigation Service, State Ocean Administration of People's Republic of China, Beijing 100194, China)

Abstract: The acute toxicities and species sensitivity distributions (SSD) of four hazardous chemicals, p-chloroaniline, 1,2-dichloroethane, butyl benzyl phthalate and 1-phenylethyl alcohol, on *Chlamys farreri* and *Ruditapes philippinarum* were investigated in the present study. The results showed that the 96 h lethal concentration 50% (LC_{50}) values of p-chloroaniline, 1,2-dichloroethane, butylbenzyl phthalate and 1-phenylethanol to *C. farreri* were 36.18, >2070.00, 123.16 and 180.89 mg/L, meanwhile, 96 h- LC_{50} values to *R. philippinarum* were 122.61, >2070.00, >2010.00 and 639.31 mg/L, respectively, *C. farreri* were more sensitive to four dangerous chemicals than *R. philippinarum*. Based on the SSD models, the short-term toxicity thresholds of butyl phthalate, p-chloroaniline and 1,2-dichloroethane were 0.64, 2.04 and 37.20 mg/L. The research would provide a theoretical basis for ecological risk assessment and pollution control of four hazardous chemicals in the marine environment.

Key words: marine hazardous chemicals; bivalve molluscs; toxicity effects; species sensitivity distribution

收稿日期: 2019-06-25, 修订日期: 2019-09-18

基金项目: 国家海洋局海洋减灾中心科技项目 (2016AA061)

作者简介: 李禹含 (1994-), 女, 山东烟台人, 硕士, 主要从事水生生物毒理学研究, E-mail: 1051355734@qq.com

通讯作者: 苗晶晶, 副教授, 硕士生导师, E-mail: jmiao@ouc.edu.cn

危险化学品的海上运输是贸易全球化的重要表现形式之一,大量的海上运输活动导致危险化学品海运泄漏事故频发,对海洋环境、社会、经济与健康造成不利影响^[1],开展危险化学品毒性效应的研究势在必行。对氯苯胺、1,2-二氯乙烷、邻苯二甲酸丁苄酯和1-苯乙醇为我国沿海使用量、运输量较大的4种危险化学品(简称“危化品”)。对氯苯胺为一种常用的工业原料,有致癌、致畸、致突变效应,可导致肝脏肿瘤和胚胎发育畸形^[2]。1,2-二氯乙烷主要用于溶剂和粘合剂的生产,进入食物链会给生态环境和人类健康造成较大影响^[3]。邻苯二甲酸丁苄酯属于邻苯二甲酸酯(phthalates, PAEs),脂-水分配系数较高,难以在环境中被降解^[4]。1-苯乙醇是香料用芳香化合物中应用广泛的一种食用香料,属高毒类。4种危化品在沿海地区分布广且数量大,根据泄露后的主要特性和入水后的短期行为,对氯苯胺和邻苯二甲酸丁苄酯属于沉降型化学品;1,2-二氯乙烷属于沉降溶解型化学品;1-苯乙醇属于漂浮溶解型化学品,对海洋生态环境和人类健康造成潜在威胁。

水生态风险阈值指污染物对水生系统产生影响的临界值,HC₅即保护95%的物种不受影响时所允许的最大剂量浓度^[5],其值的确定主要基于物种敏感度分布(species sensitivity distributions, SSD),就是生态系统中不同物种对某一胁迫因素的敏感程度服从一定的(累积)概率分布,可以通过概率或者经验分布函数来描述不同物种样本对胁迫因素的敏感度差异,也可以评估污染物的生态风险,近年来被广泛应用于国际生态风险评估领域^[6-7]。

中国是世界贝类养殖大国,在世界水产品生产和贸易中占有重要地位^[8]。近海贝类分布广泛,且具有重要的生态学意义,因而已被广泛用作海洋和河口污染的指示生物^[9]。栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)是中国北方沿海浮筏养殖贝类,菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)在近海滩涂底播养殖,两种贝类均具有重要经济价值。本文关注的4种危险化学品泄露入海后可能会对贝类产生毒性,进而影响近海的生态环境,因此本实验开展了4种海洋危险化学品对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的急性毒性效应研究,并拟合物

种敏感度分布曲线,旨在为养殖环境监测评价和有关污染泄露风险评估提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 急性毒性试验

1.1.1 受试生物

栉孔扇贝购于青岛市水产品批发市场,壳长(5.86±1.09) cm;菲律宾蛤仔购于青岛市台东水产品市场,壳长(2.25±0.17) cm。暂养期间及时挑出死亡个体,两种实验生物死亡率均低于5%。挑选壳长接近,壳体完整且反应灵敏的个体用于毒性实验。

1.1.2 实验条件

试验用海水取自青岛市附近海域,48 h沉淀后,盐度29.8~31.2, pH 7.9~8.1,水温24.6℃~26.3℃,溶氧量5.3~7.4 mg/L。

1.1.3 实验药剂

1-苯乙醇(98%)、1,2-二氯乙烷(≥99%)、对氯苯胺(98%)、邻苯二甲酸丁苄酯(98%)和二甲亚砜(DMSO, ≥99.5%)均购自Sigma公司。使用时先将4种危化品分别用DMSO溶解,然后加蒸馏水配成一定浓度的母液,再用移液器定量移取相应母液加入测试的海水中,稀释至实验浓度。

1.1.4 实验方法

通过预试验初步确定4种危化品对两种生物的96 h致死浓度范围后,按一定几何级数设置5个试验组,一个自然海水对照组(表1)。助溶剂DMSO的最终体积为试验海水总体积的0.01%(预试验结果显示,0.01%的DMSO对贝类的死亡率无明显影响)。每个浓度组均设置3个平行,每个实验水箱放6 L水,每个平行各投放8只栉孔扇贝或10只菲律宾蛤仔。采用半静水法进行试验,每24 h换水一次,整个试验过程中连续充气不投饵,于24 h、48 h、72 h和96 h记录实验动物的死亡数。贝类死亡判断标准:贝壳张开,闭壳肌松弛,多次刺激后闭壳肌无反应或反应十分微弱。

1.1.5 数据处理

实验结果取3个平行的平均值,利用SPSS 17.0软件中的浓度对数-概率回归方程计算96 h的LC₅₀及其95%置信区间。

表1 4种海洋危险化学品对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的毒性试验结果

Tab.1 Toxicity test results of four marine hazardous chemicals on *Chlamys farreri* and *Ruditapes philippinarum*

种类	危化品名称	浓度/ mg·L ⁻¹	死亡个数(n=24或30)			
			24 h	48 h	72 h	96 h
栉孔扇贝	对氯苯胺	10	0	0	0	1
		25	0	1	3	5
		40	6	8	12	15
		55	11	14	18	21
		70	13	19	22	24
	1-苯乙醇	100	0	0	0	1
		150	0	2	2	3
		200	4	10	12	18
		250	8	11	17	23
		300	9	20	22	24
		350	8	11	17	23
	邻苯二甲酸丁苄酯	60	0	3	5	8
		108	1	4	6	11
		194	3	7	10	17
		350	4	11	15	20
		630	5	13	21	23
		630	5	13	21	23
	1,2-二氯乙烷	1000	0	0	1	1
1200		0	0	1	2	
1440		0	0	2	3	
1730		0	1	3	3	
2070		1	2	3	4	
2070		1	2	3	4	
菲律宾蛤仔	对氯苯胺	20	0	0	1	2
		40	0	1	2	5
		80	0	5	9	16
		160	0	8	13	20
		320	0	13	21	28
	1-苯乙醇	500	0	0	3	11
		600	0	0	10	12
		720	0	1	14	17
		860	0	2	15	23
		1040	1	2	25	30
		1040	1	2	25	30
	邻苯二甲酸丁苄酯	200	0	0	0	0
		360	0	0	0	0
		648	0	0	0	1
		1166	0	0	2	3
		2010	0	1	3	4
		2010	0	1	3	4
	1,2-二氯乙烷	1000	0	0	0	0
		1200	0	0	0	0
		1440	0	0	0	0
		1730	0	0	0	1
2070		0	0	1	2	
2070		0	0	1	2	

1.2 物种敏感度分布曲线

1.2.1 毒理数据来源及筛选原则

毒理数据主要来自美国 EPA 的 ECOTOX (<https://cfpub.epa.gov/ecotox/>) 数据库、中国知网 (<http://www.cnki.net/>) 以及公开发表的文献和本研究中获得的结果^[10-11]。选取急性毒性试验的半数致死浓度(LC₅₀)或半数效应浓度(EC₅₀)作为评估终点,暴露时间为24~96 h^[12]。全部水生生物种分为藻类、多毛类、鱼类、溞类、虾蟹类、贝类和其他无脊椎动物(以轮虫科为主),轮虫的急性毒性试验暴露时间选择24 h,溞类和贝类胚胎选择48 h,其他物种选择96 h。对于同一物种相同终点存在多个可用数据的情况,采用浓度的几何平均值作为该物种的毒性数据^[13]。

1.2.2 SSD 曲线拟合

采用 hSSD 软件(hierarchical SSD tool, v. 1.2.1)以浓度和累积概率分别为横轴和纵轴建立坐标系,应用蒙特卡罗算法构建 SSD 曲线并计算 HC₅ 值。

2 结果与讨论

2.1 对氯苯胺对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔急性毒性效应及物种敏感度分布

急性毒性实验过程中,4种海洋危险化学品的自然海水对照组中贝类的死亡率均为0。24 h内对氯苯胺最高浓度组中栉孔扇贝死亡率达到54.17%,而96 h时对氯苯胺最低浓度组中栉孔扇贝刚开始出现死亡。24 h内菲律宾蛤仔在各浓度组均不出现死亡;48 h后菲律宾蛤仔死亡率随对氯苯胺质量浓度的升高基本呈直线增加趋势。本研究中对氯苯胺对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的96 h-LC₅₀值分别为36.18 mg/L和122.61 mg/L(表2)。

由表3和图1可知:对氯苯胺对水生生物的急性毒性测定值范围为2.40~146.56 mg/L, HC₅值为2.04 mg/L。对对氯苯胺最敏感的水生生物是栅藻(*Scenedesmus abundans*)和蓝鳃太阳鱼(*Lepomis macrochirus*),其次是小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*),栉孔扇贝和4种鱼类对对氯苯胺存在相似的敏感性,低于虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*),菲律宾蛤仔敏感性最低。总体而言,对氯苯胺对淡水物种的毒性要强于海洋物种,考虑

表 2 4 种海洋危险化学品对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的 96 h-LC₅₀

Tab.2 96 h-LC₅₀ values of four marine hazardous chemicals on *Chlamys farreri* and *Ruditapes philippinarum*

种类	危化品	回归方程	R ²	96 h-LC ₅₀ /mg·L ⁻¹	95%置信区间/mg·L ⁻¹
栉孔扇贝	对氯苯胺	y=0.069x-2.483	0.968	36.18	31.51 ~ 40.79
	1-苯乙醇	y=0.026x-4.788	0.895	180.89	167.21 ~ 194.59
	邻苯二甲酸丁苄酯	y=0.004x-0.491	0.840	123.16	27.26 ~ 187.14
	1,2-二氯乙烷	/	/	>2070.00	/
菲律宾蛤仔	对氯苯胺	y=0.009x-1.143	0.867	122.61	33.02 ~ 305.09
	1-苯乙醇	y=0.004x-2.609	0.983	639.31	570.18 ~ 694.58
	邻苯二甲酸丁苄酯	/	/	>2010.00	/
	1,2-二氯乙烷	/	/	>2070.00	/

注: /代表危化品对受试生物无显著急性毒性, 未获得相应结果

表 3 对氯苯胺对水生生物体的急性毒性数据

Tab.3 Acute toxicity data of p-chloroaniline to aquatic organisms

中文名	物种拉丁名	所属门类	介质类型	暴露时间/h	毒性效应	测定值/mg·L ⁻¹
小球藻	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	藻类	FW	96	EC ₅₀	4.10
栅藻	<i>Scenedesmus abundans</i>	藻类	FW	96	LC ₅₀	2.40
大型溞	<i>Daphnia magna</i>	溞类	FW	48	LC ₅₀	3.13
红臂尾轮虫	<i>Brachionus rubens</i>	轮虫类	FW	24	LC ₅₀	100.00
蓝腮太阳鱼	<i>Lepomis macrochirus</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	2.40
黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	32.50
日本青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	37.70
虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	11.00
斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	35.50
稀有鮈鲫	<i>Gobiocypris rarus</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	35.50
美洲牡蛎	<i>Crassostrea virginica</i>	双壳贝类	SW	48	EC ₅₀	74.50
栉孔扇贝	<i>Chlamys farreri</i>	双壳贝类	SW	96	LC ₅₀	36.18
菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	双壳贝类	SW	96	LC ₅₀	122.61

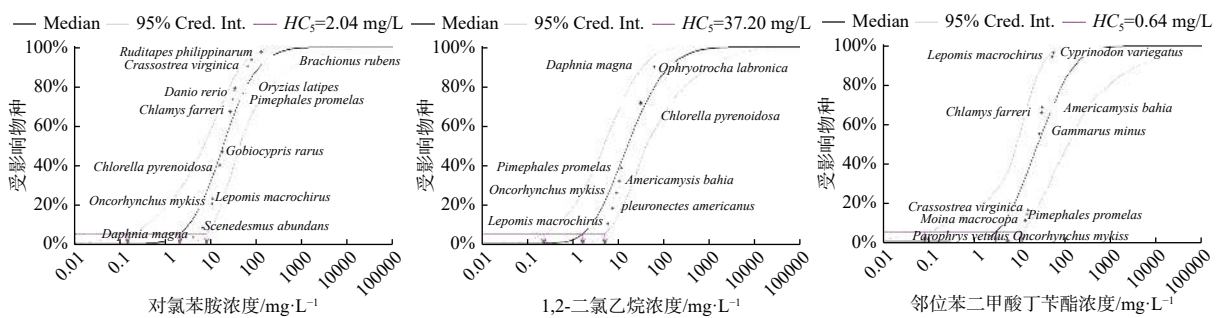


图 1 3 种海洋危险化学品的水生生物物种敏感度分布曲线

Fig. 1 Sensitivity distribution curve of aquatic species for three marine hazardous chemicals

到海洋物种的毒性数据不足淡水物种的一半, 不确定性较大, 在今后的研究中需开展针对海洋生物不同营养级的毒性实验, 增强 SSD 曲线的可靠性。对氯苯胺属于沉降型危险化学品, 当泄漏量相同时, 与其他类型有机化学品相比更易在海水、沉积物中积存, 使海洋生物处于较高的污染

暴露风险中。Sihtmäe 等^[14]研究了苯胺, 2-氯苯胺, 3-氯苯胺, 4-氯苯胺和 3,5-二氯苯胺对甲壳类动物、原生动物和细菌的毒性, 发现细菌和原生动物对芳香胺的敏感性低于甲壳动物, 毒性和苯胺的化学结构(氯取代的程度和氯取代基的位置)没有关联。本研究得到的对氯苯胺对两种贝类的急

性毒性结果可以为亚慢性、慢性及其他毒理试验接触剂量和观察指标的选择提供参考依据。

2.2 1,2-二氯乙烷对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的急性毒性效应及物种敏感度分布

急性毒性实验过程中, 24 h 内仅最高质量浓度组的扇贝出现死亡, 72 h 时较低质量浓度的 3 个组中栉孔扇贝刚出现死亡, 96 h 死亡率最高, 但最高浓度组的死亡率仅为 16.67%; 3 个较低质量浓度组的菲律宾蛤仔在 96 h 内均未出现死亡, 最高质量浓度组在 72 h 才出现死亡, 最终死亡率仅为 6.67%。本研究中 1,2-二氯乙烷对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的 96 h- LC_{50} 值均大于 2070 mg/L (表 2)。由表 4 和图 1 可知: 1,2-二氯乙烷对水生生物的急性毒性测定值范围为 32.00 ~ 900.00 mg/L, HC_5 值为 37.20 mg/L。对 1,2-二氯乙烷最敏感的水生生物是蓝鳃太阳鱼, 糠虾 (*Americamysis bahia*)、黑头软口鲦 (*Pimephales*

promelas) 和比目鱼 (*pleuronectes americanus*) 的敏感性相近, 高于虹鳟, 沙蚕 (*Ophryotrocha labronica*) 最不敏感。栉孔扇贝和菲律宾蛤仔对 1,2-二氯乙烷的敏感性均低于已报道的受试水生生物。此外, 1,2-二氯乙烷对海洋物种的毒性要强于淡水物种, 但由于数据较少, 无法准确比较, 构建的 SSD 曲线也可能存在误差。1,2-二氯乙烷属于沉降溶解型危险化学品, 泄漏后部分沉入海底部分溶于水, 易经呼吸道、消化道和皮肤吸收并快速分布于脂质与类脂质丰富的组织与器官, 在体内可被代谢形成自由基引起脂质过氧化, 并对组织器官造成损害。Kerster 等^[15] 研究发现 0.25 ~ 25.00 mg/L 的 1,2-二氯乙烷对丰年虾具有致畸性。本研究中 1,2-二氯乙烷对两种双壳贝类无显著急性毒性, 考虑到该污染物在组织中的迅速蓄积性, 开展亚慢性及慢性试验对 1,2-二氯乙烷的毒性研究和安全评价尤为重要。

表 4 1,2-二氯乙烷对水生生物的急性毒性数据

Tab.4 Acute toxicity data of 1,2-dichloroethane to aquatic organisms

中文名	物种拉丁名	所属门类	介质类型	暴露时间/h	毒性效应	测定值/mg·L ⁻¹
小球藻	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	藻类	FW	96	EC_{50}	276.00
沙蚕	<i>Ophryotrocha labronica</i>	多毛类	SW	96	LC_{50}	650.00
大型溞	<i>Daphnia magna</i>	溞类	FW	48	LC_{50}	446.00
糠虾	<i>Americamysis bahia</i>	虾蟹类	SW	96	LC_{50}	113.00
蓝鳃太阳鱼	<i>Lepomis macrochirus</i>	鱼类	FW	96	LC_{50}	43.00
黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	鱼类	FW	96	LC_{50}	126.00
虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	鱼类	FW	96	LC_{50}	225.00
比目鱼	<i>pleuronectes americanus</i>	鱼类	SW	96	LC_{50}	115.00

2.3 邻位苯二甲酸丁苄酯对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的急性毒性效应及物种敏感度分布

急性毒性实验过程中, 24 h 内除邻位苯二甲酸丁苄酯最低浓度组栉孔扇贝未出现死亡, 其余浓度组均出现个别死亡个体, 各个时间段内栉孔扇贝死亡率随邻位苯二甲酸丁苄酯浓度的升高呈直线增加趋势, 而 96 h 内菲律宾蛤仔在最高质量浓度组死亡率仅为 13.33%。本研究中邻位苯二甲酸丁苄酯对栉孔扇贝的 96 h- LC_{50} 值为 123.16 mg/L, 对菲律宾蛤仔的 96 h- LC_{50} 值大于 2010 mg/L (表 2)。由表 5 和图 1 可知: 邻位苯二甲酸丁苄酯对水生生物的急性毒性测定值范围为 0.66 ~ 440 mg/L, HC_5 值为 0.64 mg/L。对邻位苯二甲酸丁苄酯最为敏感的水生生物为英国鲷鱼 (*Parophrys vetulus*), 其次是虹鳟, 钩虾 (*Gammarus*

minus) 和糠虾较为接近, 杂色鳉 (*Cyprinodon variegatus*) 最不敏感。菲律宾蛤仔对邻位苯二甲酸丁苄酯的敏感性低于已报道的受试水生生物。另外, 淡水物种之间敏感性差异不大, 海洋物种差异较显著, 这可能与总体数据量较少有关, 也可能与生物自身对邻位苯二甲酸丁苄酯的富集能力有关。邻位苯二甲酸丁苄酯也属于沉降型危险化学品, 易形成独立的非水相而吸附到底泥固相中。Sun^[16] 研究表明 0.6 mg/L 的邻位苯二甲酸丁苄酯引起斑马鱼胚胎形态异常, 并对心脏发育产生不利影响。比较发现邻位苯二甲酸丁苄酯对菲律宾蛤仔、栉孔扇贝和美洲牡蛎这三种贝类的急性毒性结果差异明显, 推测可能是由于早期生命阶段通常比成体更敏感, 后续将补充贝类幼体阶段的毒性效应研究, 以验证这一推测。

表5 邻苯二甲酸丁苄酯对水生生物的急性毒性数据

Tab.5 Acute toxicity data of butyl benzyl phthalate on aquatic organism

中文名	物种拉丁名	所属门类	介质类型	暴露时间/h	毒性效应	测定值/mg·L ⁻¹
钩虾	<i>Gammarus minus</i>	虾蟹类	FW	96	LC ₅₀	8.68
糠虾	<i>Americamysis bahia</i>	虾蟹类	SW	96	LC ₅₀	9.63
多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	蚤类	FW	48	LC ₅₀	3.69
杂色鲮	<i>Cyprinodon variegatus</i>	鱼类	SW	96	LC ₅₀	440.00
蓝腮太阳鱼	<i>Lepomis macrochirus</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	43.00
黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	2.32
英国鲷鱼	<i>Parophrys vetulus</i>	鱼类	SW	96	LC ₅₀	0.66
虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	鱼类	FW	96	LC ₅₀	0.82
美洲牡蛎	<i>Crassostrea virginica</i>	双壳贝类	SW	48	EC ₅₀	3.59
栉孔扇贝	<i>Chlamys farreri</i>	双壳贝类	SW	96	LC ₅₀	123.16

2.4 1-苯乙醇对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔急性毒性效应及物种敏感度分布

急性毒性实验过程中, 栉孔扇贝在1-苯乙醇最低浓度组中, 仅在96 h时出现个别死亡, 而在1-苯乙醇最高浓度组中, 96 h全部死亡。24 h内, 菲律宾蛤仔仅在1-苯乙醇最高浓度组出现个别死亡, 其余各组均未出现死亡个体; 48 h内的死亡率仍较低, 不足10%; 72 h后各浓度组菲律宾蛤仔死亡率开始增加, 较高质量浓度组增速较快, 96 h死亡率达到100%。本研究中1-苯乙醇对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的96 h-LC₅₀值分别为180.89 mg/L和639.31 mg/L(表2)。1-苯乙醇属于漂浮溶解型危险化学品, 泄漏后会随海水运动不断扩展其污染范围, 并对周围的海洋生物以及生态环境造成危害。目前对1-苯乙醇急性毒性的研究极少且集中在哺乳动物, 缺少水生生物毒性数据, 故未构建1-苯乙醇的SSD曲线, 1-苯乙醇的水生生物毒性有待于进一步研究。

3 结论

(1) 对氯苯胺对栉孔扇贝和菲律宾蛤仔的毒性最强, 1,2-二氯乙烷毒性最弱, 4种海洋危险化学品对栉孔扇贝的毒性均高于菲律宾蛤仔。

(2) 邻苯二甲酸丁酯、对氯苯胺和1,2-二氯乙烷对水生生物的短期生态毒性依次降低; 与其他水生生物相比, 贝类对3种危化品的敏感性较低。

参考文献:

[1] 刘 瓏, 王菲菲, 林立清. 危险化学品海上泄漏案例的应急监测现状研究[J]. *江西化工*, 2018, (5): 173-175.
 [2] BURKHARDT-HOLM P, OULMI Y, SCHROEDER A, et al.

Toxicity of 4-chloroaniline in early life stages of zebrafish (*Danio rerio*): II. Cytopathology and regeneration of liver and gills after prolonged exposure to waterborne 4-chloroaniline[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 37(1): 85-102.
 [3] ASHLEY D L, BONIN M A, CARDINALI F L, et al. Blood concentrations of volatile organic compounds in a nonoccupationally exposed US population and in groups with suspected exposure[J]. *Clinical Chemistry*, 1994, 40(7): 1401-1404.
 [4] 李文兰, 季宇彬, 杨玉楠, 等. 邻苯二甲酸丁苄酯的生殖毒性及其作用机制[J]. *环境科学*, 2004, 25(1): 1-6.
 [5] 孙 聪, 陈世宝, 马义兵, 等. 基于物种敏感性分布(Burr-III)模型预测Cd对水稻毒害的生态风险阈值HC5[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(12): 2316-2322.
 [6] 陈波宇, 郑斯瑞, 牛希成, 等. 物种敏感度分布及其在生态毒理学中的应用[J]. *生态毒理学报*, 2010, 5(4): 491-497.
 [7] 徐瑞祥, 陈亚华. 应用物种敏感性分布评估有机磷农药对淡水生物的急性生态风险[J]. *湖泊科学*, 2012, 24(6): 811-821.
 [8] 王增焕, 王许诺. 华南沿海贝类产品重金属含量及其膳食暴露评估[J]. *中国渔业质量与标准*, 2014, 4(1): 14-20.
 [9] GOLDBERG E D. The mussel watch concept[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1986, 7(1): 91-103.
 [10] 曹 岩. 镉、对氯苯胺及四种渔药对稀有鮰鲫的毒性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
 [11] 吴石金, 俞 翔, 吴尔苗, 等. 二氯甲烷和二氯乙烷对蛋白核小球藻的毒性影响研究[J]. *环境科学*, 2010, 31(6): 1655-1661.
 [12] 赵羊渊, 侯 俊, 王 超, 等. 应用概率物种敏感度分布法研究太湖重金属水生生物水质基准[J]. *生态毒理学报*, 2015, 10(6): 121-128.
 [13] RAIMONDO S, VIVIAN D N, DELOS C, et al. Protectiveness of species sensitivity distribution hazard concentrations for acute toxicity used in endangered species risk assessment[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, 27(12): 2599-2607.
 [14] SIHTMÄE M, MORTIMER M, KAHRU A, et al. Toxicity of five anilines to crustaceans, protozoa and bacteria[J]. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2010, 75(9): 1291-1302.
 [15] KERSTER H W, SCHAEFFER D J. Brine shrimp (*Artemia salina*) nauplii as a teratogen test system[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1983, 7(3): 342-349.
 [16] SUN G J, LIU K C. Developmental toxicity and cardiac effects of butyl benzyl phthalate in zebrafish embryos[J]. *Aquatic Toxicology*, 2017, 192: 165-170.