

3种抗寄生虫药对方斑东风螺稚螺的急性毒性试验

叶乐, 赵旺, 吴开畅

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东广州510300)

摘要: 采用半静水试验法, 研究了敌百虫、氯氰菊酯和阿维菌素等3种抗寄生虫药物对方斑东风螺 (*Babylonia areolata*) 稚螺的急性毒性。结果表明, 敌百虫、氯氰菊酯和阿维菌素对方斑东风螺稚螺 24 h 半致死质量浓度 (LC_{50}) 分别为 $210.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $32.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $8.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 48h LC_{50} 分别为 $93.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $16.90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $3.96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 毒性大小依次为敌百虫 > 氯氰菊酯 > 阿维菌素, 安全质量浓度 (SC) 分别为 $5.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在上述安全质量浓度范围内, 这些药物均可杀灭桡足类或其他寄生虫, 但考虑药物残留和对水环境的污染, 在生产中尽量采用生态防治办法, 避免使用药物。

关键词: 方斑东风螺; 稚螺; 急性毒性; 抗寄生虫药

中图分类号: S 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)04-0022-05

Acute toxicity tests of three antiparasitic drugs to juvenile snail of *Babylonia areolata*

YE Le, ZHAO Wang, WU Kaichang

(Key Lab. of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The acute toxicities of trichlorfon, cypermethrin and avermectins to juvenile snail of *Babylonia areolata* were studied with method of semistatic water. The results show that the 24 h LC_{50} 's of trichlorfon, cypermethrin and avermectins were $210.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $32.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $8.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, while 48 h LC_{50} 's were $93.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $16.90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $3.96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The order of lethality was trichlorfon > cypermethrin > avermectins, and their safe concentrations (SC) to juvenile snails of *B. areolata* were $5.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $1.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. It is concluded that they all can be used in breeding of *B. areolata*, but considering environmental impact and drug residues, they should not be abused in practical application.

Key words: *Babylonia areolata*; juvenile snail; acute toxicity; antiparasitic drugs

方斑东风螺 (*Babylonia areolata*) 属腹足纲, 腹足目, 蛾螺科, 东风螺属, 其肉质鲜美、营养丰富, 具有较高的经济价值。近年来, 东风螺工厂化养殖在中国南方沿海迅速发展。然而, 养殖过程中各种暴发性疾病时有发生, 病害已成为制约东风螺养殖产业发展的最主要因素。目前, 脱壳病是东风螺规模化养殖危害严重的主要疾病之一, 但其致病

菌和发病机理目前仍不清楚, 有学者认为脱壳病的主要诱因是由于混入养殖池内的捕食性桡足类对稚、幼螺的攻击, 导致稚、稚螺受伤部位发生溃疡性病变^[1-2]。因此, 为预防和治疗方斑东风螺脱壳病和其他寄生虫疾病, 在养殖生产中通常使用抗寄生虫药物以杀灭桡足类和其他寄生虫。生产上常由于对药物的毒性、使用浓度、安全浓度等不甚了

收稿日期: 2014-01-27; 修回日期: 2014-03-04

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-48); 三亚市院地科技合作项目 (2013YD79)

作者简介: 叶乐 (1974-), 男, 博士, 副研究员, 从事水产养殖及生物学研究。E-mail: yele2008@163.com

通信作者: 吴开畅 (1959-), 男, 研究员, 从事贝类育苗与养殖研究。E-mail: wukaichang@163.com

解, 导致盲目投药, 效果甚差, 有时甚至造成重大损失。目前关于水产药物对东风螺毒性和毒理相关研究较少, 仅见黄英等^[3]研究了甲醛、高锰酸钾和孔雀石绿对波部东风螺 (*B. formosae habei*) 早期发育的影响; 李雷彬和刘志刚^[4]研究了高锰酸钾、新洁尔灭、硫酸锌、制霉素和甲醛等药物对方斑东风螺面盘幼虫的急性毒性; 岑小勇等^[5]进行了甲醛、硫酸铜、硫酸铜硫酸亚铁合剂、敌百虫和高锰酸钾等药物对方斑东风螺稚螺的毒性试验。许多水产常用药物对方斑东风螺稚螺的毒性效应研究还未见报道。文章通过开展敌百虫、氯氰菊酯和阿维菌素等常用抗寄生虫药物对方斑东风螺的急性毒性试验, 以确定这些药物对方斑东风螺稚螺的毒性及其安全剂量, 以期对方斑东风螺养殖过程中合理使用该药物提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料 方斑东风螺取自国家贝类产业技术体系海南综合试验站万宁东风螺养殖示范基地, 为同批次繁殖、同池饲养的稚螺, 壳长 (13.6 ± 0.5) mm。

1.1.2 试验药物 试验用的3种抗寄生虫药分别是质量敌百虫(南宁泰达丰化工有限公司出品, 有效浓度30%, 生产批号20121020)、氯氰菊酯(广州精博生物技术有限公司出品, 有效质量分数4.5%, 生产批号11122406)和阿维菌素(山西康洁药业有限公司出品, 有效质量分数为0.5%, 生产批号20131103)。上述3种药物用纯净水将其配制成有效质量浓度为 $2\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的母液装于褐色磨口瓶中, 避光保存, 试验时再用砂滤海水按需稀释, 现配现用。

1.1.3 试验条件 试验选用室内体积为10 L的聚乙烯桶为试验容器, 试验用水为经沙滤后充分曝气的海水, 试验过程中溶解氧维持在 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上, 水温 (27 ± 1) °C, 盐度32~33, pH为 8.0 ± 0.1 。

1.2 方法

1.2.1 预试验 首先进行预备试验, 在试验桶中加入2 L沙滤海水, 每个试验桶中放入10粒东风螺, 分别加入一定体积的试验药物母液。试验期间保持微充气, 试验前48 h及试验时停止喂食, 每24 h更换一次试验药液, 每3 h观察和记录死亡

情况, 确定各药物处理48 h后方斑东风螺无死亡的药物质量浓度(最大耐受浓度, LC_0)和24 h 100%死亡的药物质量浓度(绝对致死浓度, LC_{100})^[6]。

1.2.2 正式试验 根据预试验结果得出2个药物质量浓度, 按等对数间距在这2个药物质量浓度范围内设置5个质量浓度梯度组, 同时设1个空白药液对照组, 每个试验组设3个平行组, 每组放入20粒东风螺, 分别加入相应体积的试验药物母液。试验期间保持微充气, 试验前48 h及试验时停止喂食, 每24 h更换一次试验药液, 48 h内连续观察记录方斑东风螺的成活情况, 及时清理死亡个体。以多次用解剖针触碰方斑东风螺的腹足无反应且肌肉僵硬作为死亡判断标准。

1.3 数据处理

通过记录各试验组的死亡情况, 取3个平行试验组的平均值作为最后结果, 计算出24 h和48 h的死亡率, 死亡率(%) = $100 \times \text{死亡螺数} / \text{试验螺的总数}$; 再以药物质量浓度的常用对数值为 x 轴, 以死亡率的机率单位为 y 轴, 绘制曲线, 得出死亡率机率单位与药物质量浓度对数值的回归方程, 用机率单位法求出各药物的24 h和48 h半致死质量浓度(LC_{50})及各自的95%可信限, 再根据下列公式求出安全质量浓度(SC), $\text{SC} = 48\text{ h } \text{LC}_{50} \times 0.3 / (24\text{ h } \text{LC}_{50} / 48\text{ h } \text{LC}_{50})^2$, 其中24 h LC_{50} 为用药后24 h的 LC_{50} , 48 h LC_{50} 为用药后48 h的 LC_{50} ^[6]。

2 结果

根据预试验结果, 药物处理48 h方斑东风螺 LC_0 和24 h LC_{100} 2个质量浓度等差间距确定了敌百虫、氯氰菊酯和阿维菌素等3种抗寄生虫药物各自的5个试验质量浓度, 从各药物试验浓度设置的范围来看, 方斑东风螺稚螺对3种抗寄生虫药物的敏感性均存在很大差别。稚螺对阿维菌素最敏感, 测试的药物质量浓度为 $1.97 \sim 13.55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其次为氯氰菊酯, 药物质量浓度为 $7.88 \sim 54.23\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 对敌百虫最不敏感, 药物质量浓度为 $30.00 \sim 375.00\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

3种抗寄生虫药物对方斑东风螺稚螺急性毒性的检测结果见表1。整个试验期间对照组中方斑东风螺稚螺均无死亡情况发生。试验组中的稚螺在一定时间内出现活动加剧、焦躁不安的现象, 高浓度组出现此症状的时间早于低浓度组, 过一段时间

后, 活动减弱, 反应迟钝, 腹足收缩, 直至全身僵硬死亡。

3 种抗寄生虫药物对方斑东风螺稚螺的 LC_{50} 和 SC 结果见表 2。从表中可以看出, 3 种抗寄生虫药物的 24 h LC_{50} 均高于 48 h LC_{50} , 说明随着处理时间的延长, 试验药物对方斑东风螺稚螺的毒性效应

逐渐增强, 死亡率逐渐升高。从表 2 还可以看出, 3 种抗寄生虫药物中阿维菌素对方斑东风螺稚螺的 24 h LC_{50} 和 48 h LC_{50} 均为最小, 说明其毒性最大, 其次为氯氰菊酯, 敌百虫毒性最小; 3 种药物对方斑东风螺稚螺 SC 大小依次为敌百虫 > 氯氰菊酯 > 阿维菌素。

表 1 3 种抗寄生虫药对方斑东风螺稚螺的急性毒性试验结果

Tab. 1 Result of acute toxicity test of three antiparasitic drugs to juvenile snail of *B. areolata*

药物 drug	药物浓度 /mg·L ⁻¹ drug concentration	药物质量 浓度对数 logarithm of drug concentration	受试生物 数/粒 number of tested juvenile snails	死亡率/% mortality	机率单位 probability unit of mortality	死亡率/% mortality	机率单位 probability unit of mortality
				24 h		48 h	
敌百虫 trichlorfon	对照组 control	—	20	0	—	0	—
	30. 00	1. 477	20	0	1. 91	2. 22	2. 99
	56. 40	1. 751	20	0	1. 91	28. 89	4. 44
	106. 05	2. 026	20	6. 67	3. 50	44. 44	4. 86
	199. 41	2. 300	20	37. 78	4. 69	77. 78	5. 76
	375. 00	2. 574	20	93. 33	6. 50	100	8. 09
氯氰菊酯 cypermethrin	对照组 control	—	20	0	—	0	—
	7. 88	0. 897	20	0	1. 91	6. 67	3. 50
	12. 75	1. 106	20	0	1. 91	30	4. 48
	20. 68	1. 316	20	20	4. 16	53. 33	5. 08
	33. 50	1. 525	20	33. 33	4. 57	86. 67	6. 11
	54. 23	1. 734	20	95. 56	6. 70	100	8. 09
阿维菌素 Avermectins	对照组 control	—	20	0	—	0	—
	1. 97	0. 294	20	0	1. 91	4. 44	3. 30
	3. 19	0. 504	20	0	1. 91	33. 33	4. 57
	5. 16	0. 713	20	20	4. 16	71. 11	5. 56
	8. 37	0. 923	20	33. 33	4. 57	95. 56	6. 70
	13. 55	1. 132	20	95. 56	6. 70	100	8. 09

表 2 3 种抗寄生虫药物对方斑东风螺稚螺的半致死质量浓度和安全质量浓度

Tab. 2 LC_{50} and safe concentration of three antiparasitic drugs to juvenile snail of *B. areolata*

药物 drug	时间/h time	回归方程 regression equation	相关系数 R	半致死质量浓度/mg·L ⁻¹ LC_{50}	LC_{50} 95% 置信区间/mg·L ⁻¹ 95% confidence limit	安全质量浓度/mg·L ⁻¹ safe concentration
敌百虫 trichlorfon	24	$y = -5. 13 + 4. 36x$	0. 97	210. 54	151. 34 ~ 292. 89	5. 54
	48	$y = -3. 28 + 4. 20x$	0. 97	93. 52	75. 93 ~ 115. 18	
氯氰菊酯 cypermethrin	24	$y = -3. 84 + 5. 84x$	0. 96	32. 52	25. 78 ~ 41. 02	1. 37
	48	$y = -1. 34 + 5. 16x$	0. 98	16. 90	14. 16 ~ 20. 16	
阿维菌素 Avermectins	24	$y = -0. 32 + 5. 85x$	0. 96	8. 13	6. 44 ~ 10. 25	0. 28
	48	$y = 1. 65 + 5. 59x$	1. 00	3. 96	3. 29 ~ 4. 78	

3 讨论

敌百虫, 又名马佐藤, 其化学名称是 0,0-二甲基-2,2,2-三氯-1-羟基乙基磷酸酯, 化学式为 $C_4H_8O_4Cl_3P$, 是一种广谱的有机磷酸酯类杀虫剂, 具有很强的胃杀作用, 兼有触杀作用。在中性和弱酸性溶液中比较稳定, 在碱性溶液中能水解生成敌敌畏, 使毒性大增。其作用机理是溶于水后产生胆碱酯酶抑制剂, 抑制胆碱酯酶的活性, 从而使昆虫、甲壳类、蠕虫等动物的神经中毒而死亡, 在水产业中广泛用于毒杀水产动物体外的寄生虫病及浮游动物如枝角类和桡足类等, 其常用剂量为 $0.2 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [7]。在鲍 (*Haliotis* sp.) 和东风螺的养殖过程中, 常用敌百虫来灭杀桡足类。不同贝类对敌百虫的耐受能力差别较大, 如敌百虫对西施舌 (*Coelomactra antiquata*) 稚贝的 24 h LC_{50} 为 $26.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [8]; 对九孔鲍 (*H. diversicolor supertexta*) 稚鲍的 24 h LC_{50} 为 $12.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $1.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (水温 $26 \sim 27^\circ\text{C}$) [9]; 对泥螺 (*Bullacta exarta*) 苗种的 24 h LC_{50} 为 $26.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $7.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [10]。该试验得出敌百虫对方斑东风螺的 24 h LC_{50} 为 $210.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $5.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 24 h LC_{50} 远大于上述贝类, 而 SC 仍和上述贝类同个数量级, 造成这一现象的原因是该试验中 24 h LC_{50} 和 48 h LC_{50} 数值相差较大, 说明敌百虫对方斑东风螺的毒性作用较上述其他贝类要缓慢。该试验结果与岑小勇等[5]对东风螺的试验结果 (24 h LC_{50} 为 $478.19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $89.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 差别很大, 造成这一结果的原因除了个体差异外, 可能还与试验条件有关: 1) 该试验水温 $26 \sim 28^\circ\text{C}$ 高于岑小勇等[5]的 $22 \sim 25^\circ\text{C}$, 已有试验证实, 敌百虫对水生动物的毒性随着水温升高而加剧, 如敌百虫对九孔鲍稚鲍的 SC 水温 $21 \sim 22^\circ\text{C}$ 时为 $4.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 水温 $26 \sim 27^\circ\text{C}$ 时降为 $1.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 敌百虫对真猛水蚤 (*Euterpia* sp.) 的毒性也是随着水温升高而增强[9]; 2) 敌百虫在碱性溶液中可变成毒性较大的敌敌畏, 所以 pH 对其毒性影响较大, 该试验 pH 为 $7.9 \sim 8.1$, 而岑小勇等[5]试验 pH 为 $7.5 \sim 8.5$, 波动范围较大。因此, 使用药物时一定要考虑水温、pH 等因子对其毒性的影响, 做到安全用药。对于东风螺养殖生产上使用敌百虫杀灭桡足类, 可借鉴陈昌生等[9]推荐的质量浓度控制在 $2 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 作用时间 6 h, 该质量浓度对方斑东风螺稚螺安全。

氯氰菊酯, 化学名称为氰基-(3-苯氧基苯基)甲

基-3-(2,2-二氯乙烯基)-2,2-二甲基环丙烷羧酸酯, 化学式 $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$, 是人工合成的拟除虫菊酯类杀虫剂, 作用机理是通过对钠泵的干扰使神经膜动作电位的去极化[11]。这类杀虫剂绝大多数具有高亲脂性, 在水中能直接通过水生动物的鳃进入到血液和组织中, 对机体器官的结构和功能造成影响[12], 目前已证实, 无论在细胞离体还是活体条件下菊酯类农药都能对水生动物的 Na^+K^+-ATP 酶产生抑制作用[13-14]。氯氰菊酯对贝类毒性鲜有报道, 对于其他水产动物毒性研究多见于对鱼、虾的报道, 如据报道其对蓝点笛鲷 (*Lutjanus rivulatus*) 幼鱼的 SC 仅为 $0.0028 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [15], 对白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 幼鱼的 SC 为 $0.008 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [16]; 对龙虾 (*Homarus americanus*) 和虾 (*Crangon septemspinosa*) 的 96 h LC_{50} 仅为 $0.04 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.01 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ [17]。该试验表明, 氯氰菊酯对方斑东风螺稚螺 24 h LC_{50} 为 $32.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $1.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 方斑东风螺对氯氰菊酯毒性耐受能力远高于上述鱼虾。氯氰菊酯对淡水大型蚤 (*Daphnia magna*) 的 24 h LC_{50} 为 $4.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [18], 而对海水桡足类中华哲水蚤 (*Calanidae sinicus*) 毒性却很强, 只需 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 质量就可使其 24 h 内全部死亡[19], 远低于其对方斑东风螺的 SC, 所以在养殖过程中使用氯氰菊酯用于杀灭类似桡足类应该是可行。

阿维菌素属一种大环丙酯双糖类化合物, 其作用机制是通过在无脊椎动物的抑制性突触提升神经元对氯离子的通透性, 干扰其正常的神经生理活动, 从而导致麻痹和死亡[20-21]。它能有效控制许多宿主物种体内和体外的寄生虫, 已广泛应用于鱼类等水产动物体内外寄生虫病的防治[22], 在贝类围塘养殖中使用阿维菌素类药物, 用于驱杀栖息于围塘底泥中的线虫类动物, 药性作用也明显[23]。该试验得出阿维菌素对方斑东风螺稚螺的 24 h LC_{50} 为 $8.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 高于阿维菌素对淡水尖膀胱螺 (*Physa acuta*) 的 24 h LC_{50} ($0.110 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) [24]; 也高于一些鱼类如异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 24 h LC_{50} 为 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $0.019 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [25], 日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*) 幼鱼 24 h LC_{50} 为 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SC 为 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [26]; 也高于阿维菌素在生产中的常用质量浓度 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [25]。阿维菌素对桡足类长伪哲水蚤 (*Pseudocalanus elongates*) 无节幼虫的半数有效质量浓度 (EC_{50}) 为 $0.12 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 对拟长腹剑水蚤 (*Oi-*

thona similis)成体的 EC_{50} 为 $232 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ [27]。因此,在方斑东风螺养殖中使用阿维菌素杀灭桡足类和防治寄生虫病也是可行。

许多国家对杀虫剂在水产上使用都有管制,阿维菌素是唯一被普遍认可在水产上使用的杀虫剂,其次为氯氰菊酯,敌百虫只有少数国家允许使用[22]。这些药物在方斑东风螺稚螺的安全质量浓度范围内,均可杀灭桡足类或其他寄生虫,但药物会在生物体内富集,经过食物链传递而影响人类安全,即使是世界上普遍认可在水产上使用的高效低毒的杀虫剂阿维菌素,以 $4 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的质量浓度药浴鲈(*Lateolabrax japonicus*) 72 h 后换水,肌肉中的阿维菌素含量在停止药浴 22 d 后才低于检测限[28];另外,这些杀虫剂在使用后通常进入水域环境,可能对其他水生生物和环境造成影响,关于水产药物对环境毒性方面的问题已经引起人们重视[22,29]。因此,考虑药物残留和对水环境的污染,生产中尽量采用生态防治办法,避免使用药物,如单纯杀灭桡足类,可利用对虾可捕食桡足类的特性,采用混养对虾的方法去除桡足类,而不必依赖药物进行防病与治疗。

参考文献:

- [1] 王建钢,乔振国. 方斑东风螺肉壳分离病因的初步研究[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(10): 16-18.
- [2] 王建钢,乔振国. 方斑东风螺脱壳病防治方法探讨[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(11): 27-29.
- [3] 黄英,柯才煊,周时强. 几种药物对波部东风螺早期发育的影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 821-826.
- [4] 李雷斌,刘志刚. 5种药物对方斑东风螺面盘幼虫的急性毒性[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(3): 34-38.
- [5] 岑小勇,姜芳燕,谢珍玉,等. 5种常用杀虫剂对方斑东风螺稚螺的急性毒性试验[J]. 热带生物学报, 2011, 2(1): 21-25.
- [6] 周宗欣,张宗涉. 水生生物毒性试验方法[M]. 北京: 农业出版社, 1989: 9-122.
- [7] 黄志斌,胡红. 水产药物应用表解[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2001: 63-64.
- [8] 黄振彬,高如承,刘文彪,等. 三种药物对西施舌稚贝的急性毒性研究[J]. 福建畜牧兽医, 2007, 29(3): 3-5.
- [9] 陈昌生,纪德华,钟幼平,等. 敌百虫对九孔鲍稚鲍和真猛水蚤的毒性作用[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2000, 5(2): 22-28.
- [10] 王国良,钱云霞,金珊,等. 泥螺苗种消毒药物筛选及消毒效果[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2002, 15(1): 23-26.
- [11] NARAHASHI T. Mode of action of pyrethroids[J]. Bull World Health Org, 1971, 44(1/2/3): 337.
- [12] 尹伊伟,王朝晖,林小涛,等. 拟除虫菊酯农药对水生生态系统的生态毒理学研究综述[J]. 暨南大学学报: 自然科学版, 2000, 21(3): 123-127.
- [13] KAKKO I, TOIMELA T, TAHTI H. The synaptosomal membrane bound ATPase as target for the neurotoxic effects pyrethroids, permethrin and cypermethrin[J]. Chemosphere, 2003, 51(6): 425-480.
- [14] 张婷,罗宇良. 甲氧菊酯对鲤鳃 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性及组织损伤的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(6): 41-46.
- [15] 施钢,陈刚,张健东,等. 4种水产药物对蓝点笛鲷幼鱼急性毒性试验[J]. 南方水产科学, 2011, 7(3): 50-55.
- [16] 杜劲松,刘立志,高攀,等. 五种常用水产药物对白斑狗鱼幼鱼的急性毒性研究[J]. 水产学杂志, 2009, 22(4): 16-19.
- [17] MCLEESC D W, METCALFE C D, ZITKO V. Lethality of permethrin, cypermethrin and fenvalerate to salmon, lobster and shrimp[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1980, 25(1): 950-955.
- [18] 熊丽,吴振斌,赵文玉,等. 氯氰菊酯对大型蚤的毒性研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2002, 36(2): 210-212, 214.
- [19] 孙成波,陈荣胜,范玉阳,等. 五种水产消毒剂对中华哲水蚤的毒性试验[J]. 渔业现代化, 2008, 35(2): 43-45, 35.
- [20] VASSILATIS D K, ELLISTON K O, PARESS P S, et al. Evolutionary relationship of the ligand-gated ion channels and the avermectin-sensitive, glutamate-gated chloride channels[J]. J Mol Evol, 1997, 44(5): 501-508.
- [21] WOLSTENHOLME A J, ROGERS A T. Glutamate-gated chloride channels and the mode of action of the avermectin/milbemycin antihelmintics[J]. Parasitology, 2005, 131(S1): 85-95.
- [22] BURRIDGE L, WEIS J S, CABELLO F, et al. Chemical use in salmon aquaculture: a review of current practices and possible environmental effects[J]. Aquaculture, 2010, 306(1): 7-23.
- [23] 吴秀云. 阿维菌素在贝类养殖中杀灭线虫效果的初步观察[J]. 中国水产, 2009(7): 58-59.
- [24] 马军国,李效宇. 3种常用杀虫剂对尖膀胱螺的急性毒性试验[J]. 水产学杂志, 2011, 32(6): 16-19.
- [25] 王锡珍,陆宏达. 关于阿维菌素对异育银鲫的急性毒性和组织病理研究[J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(1): 66-70.
- [26] 查智辉,许文军,谢建军,等. 几种常见水产药品对日本黄姑鱼幼鱼的急性毒性试验[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(5): 66-71.
- [27] WILLIS K J, LING N. The toxicity of emamectin benzoate, an aquaculture pesticide, to planktonic marine copepods[J]. Aquaculture, 2003, 221(1/2/3/4): 289-297.
- [28] 钱卓真,吴成业,刘智禹,等. 阿维菌素在鲈鱼肌肉组织中的残留与消除规律[J]. 南方水产科学, 2013, 9(6): 52-57.
- [29] DOUET D G, Le BRIS H, GIRAUD E. Environmental aspects of drug and chemical use in aquaculture: an overview[J]. Options Méditerran, 2009, 86: 105-126.