

溴氰菊酯对南美白对虾的急性毒性及安全评价

韩现芹¹, 付志茹¹, 陈永平¹, 李彤¹, 张连英², 高丽娜¹, 陈建¹, 姜巨峰^{2*}

(1. 天津市农业生态环境监测与农产品质量检测中心, 天津 300221; 2. 天津市水产研究所, 天津 300221)

摘要 [目的] 采用静水法生物测试研究溴氰菊酯对南美白对虾的急性毒性及安全浓度, 评价水环境中溴氰菊酯对水生生物的影响。[方法] 选取平均体重(15.6±2.2)g、平均体长(13.00±0.62)cm的南美白对虾, 在pH(8.5±0.2)、水温(19.2±1.0)℃、溶解氧浓度大于5.0 mg/L的养殖水体中进行溴氰菊酯的急性毒性测定。[结果] 溴氰菊酯对南美白对虾的24、48、72和96 h LC₅₀分别为0.61、0.38、0.22和0.15 μg/L, 安全浓度为0.04 μg/L。[结论] 该研究结果为渔业部门制订水质标准提供了理论参考数据。

关键词 南美白对虾; 溴氰菊酯; 急性毒性

中图分类号 S948 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)24-0122-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.24.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Acute Toxicity and Safety Assessment of Deltamethrin to *Penaeus vannamei*

HAN Xian-qin, FU Zhi-ru, CHEN Yong-ping et al (Tianjin Agriculture Eco-Environmental Monitoring and Agro-product Quality Testing Center, Tianjin 300221)

Abstract [Objective] The acute toxicity and safe concentration of deltamethrin to *P. vannamei* were studied by using hydrostatic biological test. The effects of deltamethrin on aquatic organisms in the water environment were evaluated. [Method] *P. vannamei* with the average body weight of (15.6±2.2)g, the average body length of (13.00±0.62)cm, were selected to determine the acute toxicity of deltamethrin in the aquaculture waters with pH (8.5±0.2), water temperature (19.2±1.0) °C, and dissolved oxygen concentration of more than 5.0 mg/L. [Result] 24, 48, 72 and 96 h medial lethal concentrations (LC₅₀) of deltamethrin to *P. vannamei* were 0.61, 0.38, 0.22 and 0.15 μg/L respectively, and the safe concentration was 0.04 μg/L. [Conclusion] The research results provided theoretical reference data for formulating water quality standards by fishery sectors.

Key words *Penaeus vannamei*; Deltamethrin; Acute toxicity

南美白对虾(*Penaeus vannamei* Boone)又名凡纳滨对虾, 俗称白对虾, 为广温广盐性热带海水虾类。因其养殖简单、产量高、生长快、适应性强、肉质鲜美等优点, 南美白对虾是高产养殖的优良品种, 是当今世界养殖规模最大的虾类。

溴氰菊酯(deltamethrin, DM)又名敌杀死、扑虫净, 是继有机磷、有机氯农药以来的第三代农药, 是一种Ⅱ型仿生合成杀虫剂, 高效、低毒、光稳定性好, 被广泛应用于农作物等靶生物防虫除害和水产养殖生物寄生虫防治方面, 但对非靶生物(如水生生物)有着极大的危害, 若使用不当就会造成水生动物急性中毒死亡。目前, 养殖户为避免拉网破坏生态平衡、养殖池水质恶化等, 一般使用菊酯类药物刺激南美白对虾钻入地笼, 正是利用甲壳动物对其毒性的敏感作用, 分批捕捞南美白对虾。为此, 笔者开展了溴氰菊酯对南美白对虾的急性毒性试验, 确定其在养殖生产中的安全用量, 并评价其对南美白对虾的生态毒性和安全性, 旨在为合理使用拟除虫菊酯类农药提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 南美白对虾购自天津长久发达养殖场, 要求健康无病、规格整齐、附肢健全且无外伤、活力强, 平均体长为(12.96±0.62)cm, 平均体重为(15.61±2.17)g, 试验虾在试验室整理箱暂养, 并在箱面遮盖1块纱网, 避免对虾惊扰、跳

出。暂养7 d后进行试验, 试验前1 d停止喂食。

1.2 试剂与药品 溴氰菊酯标准品(纯度>98%)、溴氰菊酯(总有效成分含量为25 g/L, 为乳油剂型), 由南京红太阳股份有限公司生产。计算溴氰菊酯浓度时, 先换算成实际有效含量, 再乘以密度, 根据有效成分用纯净水配制成储备液, 使用当天再稀释成使用液。

1.3 试验条件 南美白对虾养殖试验在35 cm×45 cm×60 cm的整理箱中进行, 分别加入10 L过滤海水。试验期间持续充气, 不投喂饵料。使用多参数水质监测仪(YSI)每天测定水温、盐度、pH、溶解氧(DO)浓度等理化因子, 水温为17.3~19.3 °C, 盐度为16.8~17.3, pH为7.50~8.04, 溶解氧浓度为5.10~6.12 mg/L。采用半静水式换水补药方法, 每24 h更换1次试液, 重新投药。

1.4 试验方法 先通过预试验确定药液浓度的大致范围, 参考其他虾类相关文献, 估算出溴氰菊酯的5个浓度梯度, 在每个浓度的整理箱内先放入10尾南美白对虾, 观察24 h后, 计算其对溴氰菊酯的最大耐受浓度和100%致死浓度^[1]。根据试验结果, 按等比级数设置5个浓度组(0.10、0.18、0.32、0.56、1.00 μg/L)和1个对照组(CK), 每组各设3个平行组, 每组放入南美白对虾10尾。试验期间, 观察南美白对虾的行为、中毒症状及死亡情况。中毒后, 经反复刺激后如无反应, 则判定为死亡, 可从水中捞出。记录各组南美白对虾24、48、72、96 h的死亡数。

1.5 半致死浓度与安全浓度的计算 计算南美白对虾的死亡率, 再转换成概率单位。半致死浓度(LC₅₀)采用Bliss法计算, 安全浓度(SC)用特伦堡(Turubell)公式计算:

基金项目 天津市水产局科研推广项目(J2017-09); 天津市科委农业科技成果转化项目(17YFNZNC00110)。

作者简介 韩现芹(1981—), 女, 河北保定人, 工程师, 硕士, 从事水产品质量与安全研究。*通信作者, 高级工程师, 硕士, 从事水产健康养殖研究。

收稿日期 2021-03-11; **修回日期** 2021-05-10

$$SC = 48 \text{ h LC}_{50} \times 0.3 / (24 \text{ h LC}_{50} / 48 \text{ h LC}_{50})^2$$

2 结果与分析

2.1 溴氰菊酯对南美白对虾的毒性 从表 1 可以看出,在 0.10 $\mu\text{g/L}$ 溴氰菊酯试验组中,最初 24 h 内南美白对虾无死亡,48、72、96 h 死亡率分别为 5%、15% 和 25%,死亡率随着时间的延长而增加,其他 4 个试验组均表现出相同的变化趋势。当溴氰菊酯浓度为 0.10~1.00 $\mu\text{g/L}$ 时,南美白对虾的死亡率均随着溴氰菊酯浓度的增加,南美白对虾死亡率呈现递增趋势,呈明显的剂量-效应关系。

在低浓度(0.10 $\mu\text{g/L}$)溴氰菊酯试验组中,试验开始前 4 h,南美白对虾在水底游动、活动正常;4 h 后,供试南美白对虾表现躁动,但未造成死亡;16 h 后,南美白对虾活动恢复正常;24 h 后,部分个体活力减弱,对外界刺激反应缓慢,弧形侧卧,步足抽搐、微微颤抖,开始有少量死亡。

表 1 不同浓度溴氰菊酯作用下南美白对虾的死亡率

Table 1 The death rate of *P.vannamei* at different concentrations of deltamethrin

组别 Group	溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin $\mu\text{g/L}$	不同时间死亡率 Death rate at different time//%			
		24 h	48 h	72 h	96 h
试验组 Experimental groups	0.10	—	5	15	25
	0.18	5	25	45	60
	0.32	15	40	60	80
	0.56	40	60	80	100
	1.00	80	90	100	
对照组 Control group	0	0	0	0	0

在高浓度(1.00 $\mu\text{g/L}$)溴氰菊酯试验组中,南美白对虾表现出烦躁不安,间歇性地快速游动,偶尔撞墙跳跃,随后活力逐渐减弱,体色发红,全身肌肉僵硬,附肢抽搐张开,短时间(24 h)内死亡率达到 80%。

2.2 溴氰菊酯对南美白对虾的半致死浓度和安全浓度 溴氰菊酯对南美白对虾的半致死浓度及安全浓度见表 2。毒性物质对水生生物的毒性按急性中毒试验的 96 h LC_{50} 分为 4 级:96 h LC_{50} 小于 0.1 mg/L,为剧毒;96 h LC_{50} 为 0.1~1.0 mg/L,为高毒;96 h LC_{50} 为 >1.0~10.0 mg/L,为中毒;96 h LC_{50} 大于 10.0 mg/L,为低毒^[1]。

从表 2 可以看出,溴氰菊酯对南美白对虾 24、48、72、96 h 的半致死浓度(LC_{50})分别为 0.61、0.38、0.22 和 0.15 $\mu\text{g/L}$ 。经计算,溴氰菊酯对南美白对虾的安全浓度(SC)为 0.04 $\mu\text{g/L}$ 。

表 2 溴氰菊酯对南美白对虾毒性试验数据的线性回归分析

Table 2 Linear regression analysis of the deltamethrin data on *P.vannamei*

时间 Time h	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	半致死浓度 Half lethal concentration (LC_{50})// $\mu\text{g/L}$	95%置信区间 95% confidence interval $\mu\text{g/L}$
24	$y = 3.328 3x + 5.717 7$	0.983 2	0.61	0.50~0.81
48	$y = 2.721 9x + 6.148 7$	0.976 4	0.38	0.30~0.51
72	$y = 2.413 3x + 6.486 3$	0.973 6	0.22	0.17~0.28
96	$y = 3.003 6x + 7.382 4$	0.985 1	0.15	0.12~0.18

3 讨论

3.1 溴氰菊酯对南美白对虾的中毒症状及其毒性机理 南美白对虾暴露于高浓度溴氰菊酯水体中,表现出焦躁急游,直至精力耗尽,僵硬张开等。这与日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)、日本对虾(*Penaeus japonicus*)、克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)等虾类暴露在一定浓度的菊酯类农药水体中表现出游动急促,偶有撞壁现象,侧卧且步足抽搐甚至死亡等症状相一致。这与甲壳类远海梭子蟹(*Portunus pelagicus*)^[2]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)等暴露在高浓度溴氰菊酯水体中表现出行为异常急躁不安、间歇性上游、呼吸困难,附肢间歇性抽搐等神经性中毒症状也极为相似。拟除虫菊酯对南美白对虾的作用是通过表皮和鳃干扰南美白对虾的中枢神经系统^[3],即对神经元产生大范围的重复放电现象,令其表现出高度兴奋、抽搐和共济失调,最终导致其麻痹和死亡。

由于拟除虫菊酯类农药属于神经毒剂,大多数学者认为其作用机制主要是通过干扰受试生物体内电压门控压通道(voltage-gated sodium channels, VGSCs)来延长神经膜动作电位的去极化时间,周围神经重复电位引起肌肉持续收缩,脑突触体膜上 ATPase 被抑制,产生大量的乙酰胆碱酯酶(AhE),导致受试生物神经传导和代谢功能紊乱,自由基爆发甚至蛋白质失活等一系列的机体损伤,因此南美白对虾表现出狂游、撞壁、抽搐等症状。

溴氰菊酯对受试生物的毒性除了表现出神经病理症状外,还可能造成虾肌细胞超微结构损伤,即激活细胞的厌氧呼吸,在组织中大量乳酸的产生和蓄积,造成细胞酸化,从而导致虾的死亡。吴楠等^[4]研究表明,溴氰菊酯对克氏原螯虾肌肉超微结构的损伤主要表现为肌细胞明显损伤,肌原纤维断裂,大量肌浆网溶解,线粒体结构和双层膜结构被破坏,内嵴溶解,因此推断肌肉的损伤导致虾体处于弓背、抽搐的应激状态,继而僵硬死亡。魏华等^[5]研究表明溴氰菊酯对克氏原螯虾肌肉中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活力的影响都呈现抑制-诱导-抑制的变化规律,丙二醛(MDA)含量则一直高于对照组,使机体处于氧化应激状态。

3.2 溴氰菊酯对其他水生生物的毒性效应 溴氰菊酯对不同营养级水生生物的半致死浓度(LC_{50})见表 3。从表 3 可以看出,随着暴露于溴氰菊酯的时间增加,水生生物 LC_{50} 呈现出明显的时间-效应关系。虾、蟹等节肢动物对溴氰菊酯最为敏感,其次为鱼类,而软体动物最不敏感;溴氰菊酯对鱼类的 96 h LC_{50} 比虾类要高 1~2 个数量级。溴氰菊酯对克氏原螯虾^[5]的 24 h LC_{50} 为 0.16 $\mu\text{g/L}$,溴氰菊酯对日本对虾^[6]的 24 h LC_{50} 为 0.90 $\mu\text{g/L}$ 。该研究表明溴氰菊酯对南美白对虾的 24 h LC_{50} 为 0.61 $\mu\text{g/L}$,溴氰菊酯对同类不同种虾的毒性也存在种间差异,但不至于相差一个数量级。一些小型生物对溴氰菊酯的毒性极为敏感,比如胡伟华等^[7]研究发现溴氰菊酯对枝角类、桡足类、轮虫、原生动物的半数效应浓度(EC_{50})分别为 0.18、0.30、2.00 和 0.66 $\mu\text{g/L}$ 。

溴氰菊酯对南美白对虾的 96 h LC_{50} 小于 1.0 mg/L,结合

国家相关标准可知,溴氰菊酯对南美白对虾的毒性属于剧毒级别。从表3可以看出,相关研究表明溴氰菊酯对凡纳滨对虾24、48、72 h的半致死浓度分别为0.17、0.10、0.06 $\mu\text{g/L}$ ^[8],对文蛤和菲律宾蛤仔的24 h LC₅₀分别为1 520.00和67.00 $\mu\text{g/L}$;与鱼类相比,溴氰菊酯对双壳类动物的毒性属于中毒。虽然鱼类对溴氰菊酯的耐受性较高,但吴楠等^[4]研究

发现低剂量溴氰菊酯的长期存在除了对其自身产生生理生化影响外,还会通过食物链传递给高一级的生物。

同种不同规格试验动物暴露溴氰菊酯的LC₅₀也有所差别,中华绒螯蟹^[9]对溴氰菊酯的耐受力随着体重的增大而增高。除了不同品种、不同规格外,毒性差异还与试验水温、pH、DO等理化因子有关。

表3 溴氰菊酯对水生动物的LC₅₀
Table 3 LC₅₀ of deltamethrin to aquatic animals

受试生物 Test organisms	规格 Specification//g	不同时间LC ₅₀ LC ₅₀ at different time// $\mu\text{g/L}$			
		24 h	48 h	72 h	96 h
南美白对虾 <i>Penaeus vannamei</i> Boone	12.96	0.61	0.38	0.22	0.15
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	11.70	0.73	0.39	0.19	0.14
凡纳滨对虾 <i>Penaeus vannamei</i> Boone ^[8]	10.50	0.17	0.10	0.06	—
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>	11.72	0.90	0.50	0.19	0.12
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	—	0.14	0.13	—	—
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	19.44	0.16	0.10	—	0.06
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i> ^[9]	14.38	2.13	1.38	1.15	0.91
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i> ^[10]	6.30	0.89	0.67	0.40	0.31
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	17.90	1.62	1.00	0.57	0.42
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	134.60	3.16	2.19	1.26	0.65
远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	150.00	0.21	0.17	0.13	0.11
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i>	29.40	1 520.00	300.00	280.00	270.00
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	10.80	67.00	11.00	70.00	60.00
鲤鱼 <i>Cyprinus carpio</i> ^[11]	0.71	1.00	—	—	—
美洲鲈 <i>A.sapidissima</i> ^[12]	8.80	0.39	0.35	0.29	0.26
真鲷 <i>Pagrosomus major</i> ^[13]	81.20	—	—	—	1.50
唐鱼 <i>T.albonubes</i> ^[14]	0.20	3.86	2.63	1.73	1.22
斑马鱼 <i>Brachydanio rerio</i> ^[15]	0.30	—	5.20	—	—
齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i> ^[16]	135.00	—	—	—	2.59
鲤鱼 <i>Cyprinus carpio</i> ^[17]	—	1.00	0.54	0.36	0.32
罗非鱼 <i>Oreochromis mossambicus</i> ^[18]	0.48	12.80	8.34	4.44	3.04
罗非鱼 <i>Oreochrom isco aureus</i>	70.00	—	—	—	29.51
剑尾鱼 <i>Xiphophoru shellerii</i>	2.03	20.68	6.97	6.97	6.81

4 结论

经计算,溴氰菊酯对南美白对虾的安全浓度为0.04 $\mu\text{g/L}$,南美白对虾对溴氰菊酯极为敏感,在采用低剂量溴氰菊酯辅助捕虾时需格外谨慎;另外,经常食用含有拟除虫菊酯残留的食物会影响人类发育,增加神经系统疾病的风险。拟除虫菊酯类杀虫剂在南美白对虾的药物残留有待进一步研究。

参考文献

- [1] 韩现芹,陈永平,郭华阳,等.PCB₁₅₃对半滑舌鳎的急性毒性及抗氧化酶活性的影响[J].江苏农业科学,2019,47(24):153-157.
- [2] 钟硕良,郑惠东,陈宇锋,等.溴氰菊酯对4种海水养殖生物的毒性及其积累[J].渔业科学进展,2017,38(6):139-147.
- [3] 陈宇锋.氰戊菊酯、醚菊酯对日本囊对虾的急性毒性[J].渔业研究,2016,38(2):126-131.
- [4] 吴楠,魏华,沈斌,等.溴氰菊酯对克氏原螯虾肌肉组织的毒性研究[J].水产学报,2015,39(9):1412-1421.
- [5] 魏华,吴楠,沈斌,等.溴氰菊酯对克氏原螯虾的氧化胁迫效应[J].水产学报,2010,34(5):733-739.
- [6] 陈宇锋,郑惠东,许贻斌,等.溴氰菊酯对日本对虾的急性毒性及积累试验研究[J].福建水产,2010,32(3):31-34,20.
- [7] 胡伟华,何辉,袁勇超,等.敌百虫、溴氰菊酯对大鳞副泥鳅仔鱼及多刺

- 裸腹蚤的急性毒性实验[J].淡水渔业,2017,47(1):66-70.
- [8] 周冬仁,盛鹏程,孙博奕,等.氰戊菊酯与溴氰菊酯对凡纳对虾的急性毒性[J].贵州农业科学,2018,46(7):103-105.
- [9] 张小俊,陆宏达,田全全,等.溴氰菊酯对中华绒螯蟹的毒性作用和组织病理研究[J].生态毒理学报,2018,13(6):342-351.
- [10] 耿雪冰,沈美芳,吴光红,等.溴氰菊酯对河蟹的急性毒性研究[J].水产养殖,2009,30(10):48-50.
- [11] 龚瑞忠,蔡道基,钟巧云.溴氰菊酯对鱼虾的毒性与安全评价研究[J].农村生态环境,1996,12(1):29-32,50.
- [12] 张新铨,朱新平,刘毅辉,等.甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜对美洲鲈的急性毒性研究[J].南方水产科学,2015,11(2):66-71.
- [13] 郑惠东.溴氰菊酯对真鲷肝脏组织及细胞DNA的损伤[J].应用生态学报,2017,28(6):2033-2039.
- [14] 陈辉辉,覃剑晖,刘海超,等.典型重金属、多环芳烃及菊酯类农药对唐鱼的急性毒性效应[J].华中农业大学学报,2011,30(4):511-515.
- [15] 王晓光.溴氰菊酯对斑马鱼鳃、肝脏的影响[D].济南:山东师范大学,2015.
- [16] 王伟.溴氰菊酯对齐口裂腹鱼毒性效应研究[D].重庆:西南大学,2018.
- [17] ARSLAN H,ALTUN S,ÖZDEMİR S.Acute toxication of deltamethrin results in activation of iNOS,8-OHdG and up-regulation of caspase 3,iNOS gene expression in common carp (*Cyprinus carpio* L.)[J].Aquatic toxicology,2017,187:90-99.
- [18] 冷春梅.溴氰菊酯对罗非鱼的安全性评价[D].南京:南京农业大学,2007.