

## 甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜对美洲鲈的急性毒性研究

张新铨<sup>1</sup>, 朱新平<sup>1</sup>, 刘毅辉<sup>1</sup>, 洪孝友<sup>1</sup>, 黄俭城<sup>2</sup>, 曾敏玲<sup>3</sup>

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 农业部热带亚热带水产资源利用与养殖重点实验室, 广东 广州 510380;  
2. 广东省渔政总队番禺大队, 广东 广州 511400; 3. 广东省广州番禺区水产技术推广站, 广东 广州 511400)

**摘要:** 采用静水式急性毒性试验法研究了甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜对美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 的急性毒性。在 15 ℃、20 ℃ 和 25 ℃ 3 个温度下, 甲苯咪唑 96 h 的半致死质量浓度 (LC<sub>50</sub>) 为 0.226 mg·L<sup>-1</sup>、0.077 mg·L<sup>-1</sup> 和 0.122 mg·L<sup>-1</sup>, 安全质量浓度 (SC) 分别为 0.194 mg·L<sup>-1</sup>、0.027 mg·L<sup>-1</sup> 和 0.063 mg·L<sup>-1</sup>; 溴氰菊酯 96 h-LC<sub>50</sub> 分别为 0.386 μg·L<sup>-1</sup>、0.234 μg·L<sup>-1</sup> 和 0.259 μg·L<sup>-1</sup>, SC 分别为 0.090 μg·L<sup>-1</sup>、0.061 μg·L<sup>-1</sup> 和 0.082 μg·L<sup>-1</sup>; 硫酸铜 96 h-LC<sub>50</sub> 分别为 0.320 mg·L<sup>-1</sup>、0.385 mg·L<sup>-1</sup> 和 0.186 mg·L<sup>-1</sup>, SC 分别为 0.042 mg·L<sup>-1</sup>、0.115 mg·L<sup>-1</sup> 和 0.019 mg·L<sup>-1</sup>。根据鱼类毒性等级评价标准, 可判定甲苯咪唑在 20 ℃ 时对于美洲鲈为剧毒药物, 在 15 ℃ 和 25 ℃ 时为高毒药物, 溴氰菊酯在 3 个温度梯度下均属于剧毒类的药物, 硫酸铜在 3 个温度梯度下均属于中毒类的药物。试验结果表明, 温度对美洲鲈各种药物的 SC 影响很大, 因此养殖过程中要特别注意根据温度的变化使用药物。

**关键词:** 美洲鲈; 甲苯咪唑; 溴氰菊酯; 硫酸铜; 安全质量浓度; 温度

中图分类号: S 965.219

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2015)02-0066-06

## Acute toxicity of mebendazole, deltamethrin and copper sulphate to *Alosa sapidissima*

ZHANG Xincheng<sup>1</sup>, ZHU Xinping<sup>1</sup>, LIU Yihui<sup>1</sup>, HONG Xiaoyou<sup>1</sup>, HUANG Jiancheng<sup>2</sup>, ZENG Minling<sup>3</sup>

(1. Key Lab. of Tropical & Subtropical Fishery Resource Application & Cultivation of Ministry of Agriculture, Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China; 2. Panyu Brigade, Guangdong Province Fishery Corps, Guangzhou 511400, China; 3. Aquatic Product Technology Extension Station of Panyu District, Guangzhou, Guangdong Province, Guangzhou 511400, China)

**Abstract:** The acute toxicities of mebendazole, deltamethrin and copper sulphate to *Alosa sapidissima* were studied by static water tests. At 15 ℃, 20 ℃ and 25 ℃, the 96 h median lethal concentrations (LC<sub>50</sub>) of mebendazole to *A. sapidissima* were 0.226 mg·L<sup>-1</sup>, 0.077 mg·L<sup>-1</sup> and 0.122 mg·L<sup>-1</sup>, and safe concentrations (SC) were 0.194 mg·L<sup>-1</sup>, 0.027 mg·L<sup>-1</sup> and 0.063 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. The 96 h-LC<sub>50</sub> of deltamethrin were 0.386 μg·L<sup>-1</sup>, 0.234 μg·L<sup>-1</sup> and 0.259 μg·L<sup>-1</sup>, and SCs were 0.090 μg·L<sup>-1</sup>, 0.061 μg·L<sup>-1</sup> and 0.082 μg·L<sup>-1</sup>, respectively. The 96 h-LC<sub>50</sub> of copper sulphate were 0.320 mg·L<sup>-1</sup>, 0.385 mg·L<sup>-1</sup> and 0.186 mg·L<sup>-1</sup>, and SCs were 0.042 mg·L<sup>-1</sup>, 0.115 mg·L<sup>-1</sup> and 0.019 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. According to the standard of fish acute toxicity, mebendazole was high-toxic at 20 ℃ and was less toxic at 15 ℃ and 25 ℃. Deltamethrin and copper sulphate were high-toxic and middle-toxic at three water temperatures. The results reveal that temperature affected SCs of different drugs to *A. sapidissima* greatly. Thus, dose of fishery drugs should be adjusted cautiously according to different water temperatures.

收稿日期: 2014-05-12; 修回日期: 2014-07-03

资助项目: 国家科技基础性工作专项(2013FY110700); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201101F03)

作者简介: 张新铨(1987-), 男, 硕士, 从事种质资源与遗传育种研究。E-mail: zhangxincheng2012@126.com

通信作者: 朱新平(1964-), 男, 研究员, 从事种质资源与遗传育种研究。E-mail: zhuxinping\_1964@163.com

**Key words:** *Alosa sapidissima*; mebendazole; deltamethrin; copper sulphate; safe concentration; temperature

美洲鲈(*Alosa sapidissima*)属于鲈形总目、鲈形目、鲈科、西鲈属,主要分布于北美洲东西沿岸的河流和海洋中<sup>[1-2]</sup>。美洲鲈与中国鲈同属于鲈亚科,不但形态上相似<sup>[3]</sup>,味道和营养价值也很相近<sup>[4]</sup>。“长江三鲜”之一的中国鲈已基本灭绝,作为中国鲈的替代品种,美洲鲈的引进和养殖具有很高的经济价值和社会效益。美洲鲈作为新的养殖品种,尚未见病害和药物研究的相关报道。然而,美洲鲈对外界的刺激非常敏感,反应十分剧烈<sup>[5]</sup>,药物使用不当会导致大量应激死亡,造成巨大经济损失。因此关于美洲鲈药物安全使用浓度的研究非常重要和迫切。目前寄生虫病是美洲鲈人工养殖最主要的疾病,而甲苯咪唑(mebendazole)、溴氰菊酯(deltamethrin)和硫酸铜作为寄生虫防治的常效药物常被使用。甲苯咪唑和溴氰菊酯对鱼类毒性较大,而硫酸铜对一些鱼类也有较大毒性,它们在美洲鲈养殖中的使用量需要特别注意。因此笔者选取了甲苯咪唑、溴氰菊酯、硫酸铜3种药物对美洲鲈的急性毒性进行分析和评价,探讨了药物在不同水温下对美洲鲈的毒性差异,为在不同温度下药物的使用和在美国鲈养殖生产中和鱼病防治药物的使用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验用鱼来自珠江水产研究所繁育的美洲鲈苗种,平均体质量为 $(8.80 \pm 1.20)$  g,平均体长为 $(9.2 \pm 0.9)$  cm。试验在珠江水产研究所高要基地进行,美洲鲈暂养于育苗车间内,试验容器为 $69.8 \text{ cm} \times 198.3 \text{ cm} \times 50.0 \text{ cm}$ 的养殖池,试验用水为经曝气处理的自来水。试验期间使用水产养殖自动温度控制系统(广州恒心节能科技有限公司出品)对试验水体进行温度调节(温度精确度 $\pm 0.5$  °C),试验前24 h停止喂食,试验期间不投食。

渔药用溴氰菊酯(质量分数为1%)和甲苯咪唑(质量分数为10%)购自广州精博生物技术有限公司,硫酸铜(分析纯,质量分数 $\geq 99\%$ )购自光华化学厂。

### 1.2 试验方法

挑选体色、摄食、游动正常、个体大小相近的试验鱼用于试验。由于鲈易受到惊吓,从暂养池转

到试验池后,若立即进行急性药物试验可能会对试验结果产生很大影响,因此笔者将试验鱼转到试验池后暂养1~2 d(同样不喂食),待其适应新环境后,再加入药物开始试验<sup>[6]</sup>。药物均在试验开始前2 h提前配制成母液,甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜以蒸馏水配制后摇匀作为母液。试验时将药物按需要配置稀释,然后全池均匀泼洒,依其浓度由低到高逐个加入,记录投药时间。

参考SC/T 1087.1-2006<sup>[7]</sup>的要求,采用静态急性毒性试验法,每个养殖池加水530 L(溶解氧质量浓度为 $6.2 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 7.0~7.4),试验期间采用空气压缩机24 h连续充气增氧,同时保证水体的流动,减少上下层水温的差异,保持整体的统一性。

**1.2.1 预备试验** 根据这3种药物的鱼病防治常用浓度,并参考其他鱼类对这3种药物的急性毒性试验结果以及药物的推荐使用浓度,设定试验浓度进行预备试验,水温梯度为15 °C、20 °C和25 °C( $\pm 0.5$  °C),试验持续96 h。

每组一次性放入试验鱼10尾,不设平行组,1个空白组作为对照。试验记录24 h、48 h、72 h和96 h每个试验池内试验鱼的死亡数量,并及时清除死鱼。求出药物在设定温度下的24 h最低全死质量浓度(24 h-LC<sub>100</sub>)和96 h最高未死质量浓度(96 h-LC<sub>0</sub>)。

**1.2.2 急性毒性试验** 根据预备试验结果确定试验浓度范围,按照寇氏法(Karber)设计分组<sup>[8]</sup>,药物试验设5~7个等对数间距梯度,每个梯度设2个平行组,同时设1组不加药物的空白对照,每组一次性放入试验鱼10尾。试验水温设置3个梯度15 °C、20 °C和25 °C,试验周期为96 h。

试验开始后进行8 h连续观察,记录试验鱼的活动和成活情况,并详细记录鱼在24 h、48 h、72 h和96 h的死亡率,及时剔除死亡的个体。以鳃盖停止活动、针刺无反应作为判断死亡的标准。

**1.2.3 数据处理** 用寇氏法求出试验鱼对各种不同药物分别在24 h、48 h、72 h和96 h的半致死质量浓度(LC<sub>50</sub>)<sup>[9]</sup>,计算公式为:  $\log LC_{50} = \sum$

$$\frac{1}{2}(X_i \times X_{i+1}) \cdot (P_{i+1} - P_i)$$

式中X为剂量对数;P为各剂量组死亡率。

$\log LC_{50}$  的标准误差 (Slog  $LC_{50}$ ):  $Slog LC_{50} = d$   
 $\times \sqrt{\sum \frac{P_i \times (1 - P_i)}{ni}}$   
 $\log LC_{50}$  95% 可信限  $\lg^{-1}(\log LC_{50} \pm 1.96 S \log LC_{50})$   
 $d$  为相邻剂量比值的对数,  $P$  为各剂量组死亡率。  
安全质量浓度 (SC) = 48 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 预试验结果

甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜对美洲鲈的预试验持续 96 h, 根据鱼体反应及死亡情况, 最终得到这 2 种药物对美洲鲈 24 h- $LC_{100}$  和 96 h- $LC_0$  (表 1)。

表 1 甲苯咪唑、溴氰菊酯和硫酸铜对美洲鲈的 24 h 最低全死质量浓度和 96 h 最高未死质量浓度  
Tab. 1 24 h  $LC_{100}$  and 96 h  $LC_0$  of mebendazole, deltamethrin and copper sulphate at 15 °C, 20 °C and 25 °C

药物 drug		15 °C	20 °C	25 °C
$\rho$ (甲苯咪唑)/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ mebendazole	24 h- $LC_{100}$	8.00	8.00	8.00
	96 h- $LC_0$	0.01	0.01	0.01
$\rho$ (溴氰菊酯)/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ deltamethrin	24 h- $LC_{100}$	0.95	0.70	0.80
	96 h- $LC_0$	0.10	0.16	0.14
$\rho$ (硫酸铜)/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ copper sulphate	24 h- $LC_{100}$	2.69	1.50	2.34
	96 h- $LC_0$	0.05	0.05	0.076

2.2 甲苯咪唑对美洲鲈的急性毒性

甲苯咪唑最高浓度组  $8.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 美洲鲈立即出现中毒症状, 在 1 h 后出现死亡, 到第 5 小时全部死亡。 $5.66 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度组也立即出现中毒症状, 但 4 h 后才个别出现死亡, 第 24 小时全部死亡。 $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  下部分个体出现中毒症状, 其他浓度在第一天未见到中毒个体。

美洲鲈中毒表现为游动迅速, 贴池壁游动, 体色加深, 体表分泌粘液增多, 体表形成一层白色絮状物质。中毒鱼会侧身沿筒壁游动, 直至垂直沉入池底, 侧卧在池底。不时挣扎游动一下, 鳃盖不断开合。解剖死亡个体观察, 鳃的颜色变深; 肝肿大、色泽变暗, 肝细胞表面有大量脂肪出现; 肠内有少量黄绿色液体, 身体呈弯曲状。

美洲鲈随温度的改变,  $LC_{50}$  和 SC 都发生改变。20 °C 组 24 h、48 h、72 h 和 96 h 的  $LC_{50}$  低于 15 °C 和 25 °C 的各组, 15 °C 的各时间点具有最高的  $LC_{50}$ 。随着用药时间的延长, 各温度组的  $LC_{50}$  逐渐降低。甲苯咪唑在 15 °C、20 °C 和 25 °C 3 个温度下, 美洲鲈的 SC 分别为  $0.194 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.027 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.063 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 2)。

在 15 °C、20 °C 和 25 °C 3 个温度的  $8.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5.66 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  3 个质量浓度下, 试验鱼都立刻出现了中毒反应, 但 15 °C 下的中毒反应会弱很多, 剧烈游动减少和出现中毒、死亡的时间会相应的推迟, 死亡率也有很大差异。

时间会相应的推迟, 死亡率也有很大差异。

2.3 溴氰菊酯对美洲鲈的急性毒性

溴氰菊酯最高浓度组, 加药处理后部分试验鱼在 10 min 内出现中毒症状, 6 h 后出现死亡, 12 h 后试验组全部死亡。美洲鲈中毒表现为贴池壁迅速游动, 偶尔会撞击到池壁, 体色变暗, 身体逐渐失去平衡, 垂直沉入池底, 侧卧在池底, 身体出现弯曲, 鳃盖不断开合, 不时游到水面。在试验期间, 可以明显观察到 15 °C 的试验鱼游动缓慢, 对外界的刺激反应弱, 20 °C 和 25 °C 的差异不明显。死亡个体身体僵硬弯曲, 双眼略有外凸, 口张开。鳃丝正常, 体表粘液增多。肝脏颜色变淡, 表面有大量脂肪出现; 胆囊肾脏颜色未见异常, 肠内有少量黄绿色液体。

不同水温下, 20 °C 组 48 h、72 h 和 96 h 的  $LC_{50}$  低于 15 °C 和 25 °C 组, 15 °C 在各时间点具有最高的  $LC_{50}$ 。随着用药时间的延长, 各温度组的  $LC_{50}$  逐渐降低。溴氰菊酯在 15 °C、20 °C 和 25 °C 3 个温度下, SC 分别  $0.090 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.061 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.082 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 3)。

3 个温度试验组也出现类似甲苯咪唑的现象, 15 °C 组的中毒反应会弱很多, 剧烈游动减少和出现中毒、死亡的时间会相应的推迟, 死亡率也有很大差异。

2.4 硫酸铜对美洲鲋的急性毒性

硫酸铜最高浓度组在加药 4 h 后，部分个体出现中毒症状，5 h 后出现死亡个体，20 h 后全部死亡。中毒表现脱离鱼群在水中快速游动，体色加深。严重地失去平衡，浮在水面贴池壁游动，运动能力减弱，直至沉入水底，侧卧在池底，身体出现弯曲，鳃盖不断开合，不时游到水面。死亡个体身

体僵硬弯曲。鳃丝颜色变淡，体表粘液增多，解剖后肝脏可见有脂肪滴出现，胆囊肾脏颜色未见异常。

随着温度的升高，24 h、48 h、72 h 和 96 h 的  $LC_{50}$  逐渐降低，并且随着用药时间的延长，各温度组的  $LC_{50}$  也逐渐降低。硫酸铜在 15 ℃、20 ℃ 和 25 ℃ 3 个温度下，SC 分别为  $0.042\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.115\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.019\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (表 4)。

表 2 甲苯咪唑在 15 ℃、20 ℃和 25 ℃对美洲鲋急性毒性试验结果  
Tab.2 Acute toxicity of mebendazole to *A. sapidissima* at 15 ℃, 20 ℃ and 25 ℃

处理时间/h treatment time	15 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 15 ℃	15 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	20 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 20 ℃	20 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	25 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 25 ℃	25 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
24	5.129(2.985 ~ 8.808)	0.194	4.519(2.631 ~ 7.761)	0.027	5.070(3.498 ~ 7.348)	0.063
48	2.570(1.496 ~ 4.415)		1.245(0.650 ~ 2.382)		1.778(1.200 ~ 2.636)	
72	0.741(0.359 ~ 1.530)		0.195(0.099 ~ 0.386)		0.419(0.283 ~ 0.621)	
96	0.226(0.144 ~ 0.357)		0.077(0.049 ~ 0.123)		0.122(0.074 ~ 0.203)	

表 3 溴氰菊酯在 15 ℃、20 ℃和 25 ℃对美洲鲋急性毒性试验结果  
Tab.3 Acute toxicity of deltamethrin to *A. sapidissima* at 15 ℃, 20 ℃ and 25 ℃

处理时间/h treatment time	15 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 15 ℃	15 ℃ SC/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	20 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 20 ℃	20 ℃ SC/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	25 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 25 ℃	25 ℃ SC/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
24	0.502(0.436 ~ 0.579)	0.090	0.424(0.354 ~ 0.508)	0.061	0.389(0.305 ~ 0.496)	0.082
48	0.422(0.345 ~ 0.516)		0.331(0.270 ~ 0.406)		0.346(0.269 ~ 0.444)	
72	0.394(0.326 ~ 0.478)		0.258(0.216 ~ 0.310)		0.291(0.233 ~ 0.363)	
96	0.386(0.319 ~ 0.468)		0.234(0.203 ~ 0.270)		0.259(0.213 ~ 0.313)	

表 4 硫酸铜在 15 ℃、20 ℃和 25 ℃对美洲鲋急性毒性试验结果  
Tab.4 Acute toxicity of copper sulphate to *A. sapidissima* at 15 ℃, 20 ℃ and 25 ℃

处理时间/h treatment time	15 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 15 ℃	15 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	20 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 20 ℃	20 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	25 ℃ 的 $LC_{50}$ 和 95% 可信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $LC_{50}$ and 95% confidence limit at 25 ℃	25 ℃ SC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
24	1.202(0.937 ~ 1.543)	0.042	0.824(0.810 ~ 1.018)	0.115	0.809(0.606 ~ 1.081)	0.019
48	0.587(0.460 ~ 0.750)		0.638(0.490 ~ 0.831)		0.345(0.171 ~ 0.693)	
72	0.399(0.303 ~ 0.628)		0.539(0.398 ~ 0.729)		0.245(0.173 ~ 0.346)	
96	0.320(0.243 ~ 0.420)		0.385(0.264 ~ 0.561)		0.186(0.139 ~ 0.249)	

### 3 讨论

化学物对鱼类毒性等级评价标准, 根据其 $LC_{50}$ 划分为四级: 96 h 小于  $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  为剧毒;  $0.1 \sim 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  为高毒;  $1 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  为中毒; 约  $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  为低毒<sup>[9]</sup>。甲苯咪唑在  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时对于美洲鲈为剧毒药物, 在  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时为高毒药物, 溴氰菊酯在 3 个温度梯度下均属于剧毒类的药物, 硫酸铜在 3 个温度梯度下均属于中毒类的药物。

#### 3.1 甲苯咪唑对美洲鲈的毒性

甲苯咪唑属于苯并咪唑类药物, 是常见的高效、广谱的驱虫类药物, 在水产养殖上被用来驱杀一些寄生虫<sup>[10]</sup>。甲苯咪唑主要通过抑制寄生虫对葡萄糖的吸收, 虫体消耗自身糖原, 同时抑制延胡索酸还原酶系统, 阻碍三磷酸腺苷(ATP)的产生, 使寄生虫死亡<sup>[11]</sup>。

甲苯咪唑在  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时对于美洲鲈为剧毒药物,  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时为高毒药物。因此, 在生产中要根据温度谨慎使用。此试验结束后, 成活的试验鱼转至不加药的暂养池, 最后大部分鱼仍然死亡, 其中 96 h 无死亡浓度组中也有部分死亡, 这一方面是因为美洲鲈受到外界刺激后易死亡, 另一方面是由于即使脱离药物环境, 甲苯咪唑对鱼体造成的毒害也很难消除, 或者药物在鱼体内可能有富集作用。

甲苯咪唑的毒性可能会影响鱼体内的糖原和 ATP 代谢, 随着染毒时间延长, 致病鱼体出现代谢障碍, 最终导致鱼体死亡<sup>[12]</sup>。甲苯咪唑在  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  3 个温度下, 美洲鲈的 SC 低于生产上使用的质量浓度 ( $0.1 \sim 0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 将甲苯咪唑溶液 1 000 ~ 3 000 倍稀释均匀后泼洒, 每  $1 \text{ m}^3$  水体,  $0.1 \sim 0.15 \text{ g}$ )。美洲鲈各温度下的 SC 高于花鳗鲡 (*Anguilla marmorata*) [ $(0.87 \pm 0.19) \text{ g}$ ] 在  $(28 \pm 2) \text{ }^{\circ}\text{C}$  的  $0.023 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[12]</sup>, 杂交鳢 (*Channa maculata* ♀ × *C. argus* ♂) [ $(2.55 \pm 0.40) \text{ g}$ ] 在  $27 \sim 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的 SC 为  $0.029 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[13]</sup>, 黄河鲤 (*Cyprinus carpio*) [ $(40.35 \pm 1.86) \text{ g}$ ] 在  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的 SC 为  $1.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[14]</sup>。这说明在鱼药的使用上应根据品种制定不同的使用标准, 常用的安全标准对于一些鱼类可能不安全。

#### 3.2 溴氰菊酯对美洲鲈的毒性

溴氰菊酯是拟除虫菊酯类杀虫剂, 对水生动物甲壳类寄生虫和浮游动物有杀灭作用, 对鱼类等为高毒, 可能会引起哺乳动物遗传物质的改变, 具有

一定的致变作用<sup>[15]</sup>。杀虫机理是药物作用于虫体神经系统, 引起过度兴奋, 痉挛, 最后麻痹而死<sup>[11,16-17]</sup>。

从中毒表现可以看出溴氰菊酯会引起鱼的神经兴奋以及对呼吸造成影响。并且溴氰菊酯易在肝脏中蓄积残留, 导致其发生脂肪变形、坏死, 并且对鱼肾脏也有损害作用<sup>[18]</sup>。试验结束后, 低浓度成活的试验鱼即使转移至不加药的暂养池中, 最后大部分鱼仍然死亡。说明药物在鱼体内也有积累作用或者会对机体造成不可恢复的毒害, 所以脱离毒害环境也无法成活。试验测得溴氰菊酯在  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  3 个温度下均属于剧毒类的药物, SC 低于生产上使用的质量浓度 ( $0.1 \sim 0.15 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 将溴氰菊酯溶液 2 000 倍稀释均匀后泼洒, 每  $1 \text{ m}^3$  水体  $0.15 \sim 0.22 \text{ mg}$ )。因此, 在生产上使用时对于用药量要非常谨慎。

溴氰菊酯对美洲鲈各温度的 96 h- $LC_{50}$  都低于花鳗鲡 (*Anguilla marmorata*) [ $(0.87 \pm 0.19) \text{ g}$ ] 的  $7.67 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[12]</sup>、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) ( $8.21 \text{ g}$ ) 的  $2.16 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[21]</sup>, 相似于金鱼 (*Carassius auratus*) (体长  $3 \sim 5 \text{ cm}$ ) 的  $0.34 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[19]</sup>。溴氰菊酯会造成狂游等中毒症状<sup>[19]</sup>, 会造成美洲鲈头部以及鱼鳃的伤害, 影响美洲鲈的成活率。

#### 3.3 硫酸铜对美洲鲈的毒性

硫酸铜引发中毒的机制是离子铜被鱼体吸收后, 可使肝溶酶体膜磷脂发生氧化反应, 导致溶酶体膜的破裂, 水解酶大量释放, 从而引起肝组织坏死<sup>[20]</sup>。此试验测得硫酸铜在  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  3 个温度下属于中毒类的药物, 生产上硫酸铜常用质量浓度为  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (将硫酸铜溶液均匀泼洒, 每  $1 \text{ m}^3$  水体  $0.5 \text{ g}$ ), 高于 3 个温度的 SC。

#### 3.4 温度对药物毒性影响的分析

低温可以减弱试验鱼的应激反应, 其游动变得缓慢, 主要集中在水底, 中毒症状相比其他温度组要轻, 减少了对身体的伤害。温度的降低也会使鱼的代谢降低, 与外界的物质交换也降低了, 相比于高温时相同的浓度摄入体内的药物量也会减少, 而且低温下美洲鲈的耗氧量也会减少<sup>[21]</sup>, 甲苯咪唑和溴氰菊酯对鱼的呼吸都有一定影响<sup>[11,15]</sup>, 所以相同浓度的药物会因温度出现  $LC_{50}$  和 SC 的差异。

宋文华等<sup>[22]</sup>研究得出温度升高会诱导热休克蛋白的上调表达。BROWN 等<sup>[23]</sup>和董云伟等<sup>[24]</sup>对美洲拟鲈 (*Euplates crassus*) 的上皮细胞进行热应激

后, 得出热休克蛋白可以提高其对化学物质的抵抗能力的结论。由此推断温度因素可能会诱导热休克蛋白的产生, 从而影响了美洲鲈对药物的耐受力。美洲鲈在 25 °C 下可能会诱导部分热休克蛋白, 使其对药物的耐受力增强, 以及 20 °C 时应激性最强烈, 因此出现了甲苯咪唑和溴氰菊酯 25 °C 的 SC 高于 20 °C。

硫酸铜是重金属离子, 毒性机理和甲苯咪唑、溴氰菊酯不同, 积累在肝脏产生毒害, 不同鱼类对其的耐受能力不同。20 °C 是美洲鲈的最适温度, 游动和代谢都处在最佳状态, 相对于低温和高温的条件能够更好地成活。

综上所述, 美洲鲈药物使用的 SC 和温度会影响药物毒性, 在美洲鲈的药物使用过程中, 药物毒性受到温度的影响, 而且鱼的应激强弱也会影响成活率从而影响药物毒性。

#### 4 小结

外用药物对于养殖鱼类的毒性受多方面影响, 只从一个方面考虑是片面的。从此试验可以看出温度对美洲鲈的用药安全影响很大, 在美洲鲈的养殖生产中尤其要注意, 甲苯咪唑、溴氰菊酯、硫酸铜的毒性较大, 不宜使用, 或者需要根据水温小心使用, 对使用量要特别注意。

#### 参考文献:

- [1] HASSELMAN D J, RICARD D, BENTZEN P. Genetic diversity and differentiation in a wide ranging anadromous fish, American shad (*Alosa sapidissima*), is correlated with latitude[J]. Mol Ecol, 2013, 22(6): 1558–1573.
- [2] BETHONEY N D, SCHONDELMEIER B P, STOKESBURY K D E, et al. Developing a fine scale system to address river herring (*Alosa pseudoharengus*, *A. aestivalis*) and American shad (*A. sapidissima*) bycatch in the US Northwest Atlantic mid-water trawl fishery[J]. Fish Res, 2013, 141: 79–87.
- [3] 洪孝友, 朱新平, 陈昆慈, 等. 孟加拉鲈美洲鲈和中国鲈形态学比较分析[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(2): 203–206.
- [4] 洪孝友, 谢文平, 朱新平, 等. 美洲鲈与孟加拉鲈肌肉营养成分比较[J]. 营养学报, 2013, 35(2): 206–208.
- [5] 齐红莉, 梁拥军, 杨广, 等. 美洲鲈应激反应机理的研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(1): 36–39.
- [6] 郑伟刚, 黎中宝, 李文静, 等.  $Hg^{2+}$  对 5 种鳊鲂白仔急性毒性影响的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(4): 6–23.
- [7] 中华人民共和国农业部. SC/T 1087.1-2006 渔药毒性试验方法第一部分: 外用渔药急性毒性试验[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [8] 中华人民共和国农业部. GB 15193.3-2003 急性毒性试验国家标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [9] 孟紫强. 生态毒理学原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 149–155.
- [10] BILBAO A, NÚÑEZ J, VIERA M D P, et al. Control of shell-boring polychaetes in *Haliotis tuberculata coccinea* (Reeve 1846) aquaculture: species identification and effectiveness of mebendazole[J]. J Shellfish Res, 2011, 30(2): 331–336.
- [11] 农业部新编渔药手册编撰委员会. 新编渔药手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 470–486.
- [12] 林岗, 张倩, 饶小珍. 吡啶酮, 甲苯咪唑, 溴氰菊酯对花鳃鲈的急性毒性[J]. 海洋渔业, 2011, 33(4): 467–471.
- [13] 林启存, 陈武, 周立伟, 等. 6 种常见药物对杂交鳊的急性毒性试验[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4639–4641.
- [14] 徐文彦, 郭国军, 齐子鑫, 等. 阿维菌素和甲苯咪唑对黄河鲤的急性毒性研究[J]. 淡水渔业, 2011, 41(2): 88–91.
- [15] 郑伟华, 赵建庄, 马德英, 等. 溴氰菊酯的毒性和致突变性的研究进展[J]. 北京农学院学报, 2004, 19(1): 77–80.
- [16] 孟立霞, 张文华, 潘娟, 等. 甲氰菊酯和溴氰菊酯对黔东南田鱼(鲤)的急性毒性与安全评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10301–10302.
- [17] 张婷, 罗宇良. 甲氰菊酯对鲤鳃  $Na^+-K^+-ATP$  酶活性及组织损伤的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(6): 41–46.
- [18] 武斌, 严鹏, 尉志文, 等. 溴氰菊酯在急性中毒大鼠体内的分布[J]. 法医学杂志, 2013(1): 25–27.
- [19] 潘厚军, 吴淑琴, 黄志诚, 等. 鱼类对有机磷和溴氰菊酯农药的敏感性研究[J]. 淡水渔业, 2000, 20(6): 39–40.
- [20] 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.
- [21] 洪孝友, 潘德博, 朱新平, 等. 温度对美洲鲈耗氧率的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(10): 59–161.
- [22] 宋文华, 董云伟, 刘营, 等. 高温对草鱼热休克蛋白表达的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2012(1): 27–32.
- [23] GOMIERO A, DAGNINO A, SFORZINI S, et al. Heat stress effects on toxicity of copper and oxytetracycline on the marine protozoa *Euplotes crassus* in a climate change perspective[J]. Comp Biochem Physiol A, 2012, 163: S4.
- [24] 董云伟, 董双林, 纪婷婷. 水生动物热休克蛋白研究进展[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2008, 38(1): 39–44.