

# MS-222 对赤眼鲮幼鱼麻醉效果的研究

彭宁东, 汤文圣, 郭 栋, 赵 俊\*

(广州市亚热带生物多样性与环境生物监测重点实验室, 广东省水产健康安全养殖重点实验室, 华南师范大学生命科学学院, 广州 510631)

**摘要:** 在水温(26±0.5) °C 条件下, 测定了 MS-222 对赤眼鲮 (*Squaliobarbus curriculus*) 幼鱼的麻醉效果. 根据鱼体在麻醉和复苏过程中的行为特征, 将其麻醉过程分为 6 期, 复苏过程分为 4 期. 实验结果表明, 赤眼鲮幼鱼的入麻时间随 MS-222 质量浓度的升高而减少, 复苏时间随 MS-222 质量浓度的升高而增加. 在本实验条件下, 测得的 MS-222 有效质量浓度为 120~180 mg/L. 在此范围内, 实验鱼能在 3 min 内进入 4 期麻醉状态, 5 min 内复苏, 且在麻醉液中连续浸浴 15 min 的成活率为 100%. 麻醉过程中, 赤眼鲮幼鱼的呼吸频率在浅麻醉状态时略微上升, 深麻醉状态时快速下降, 直至麻醉过度而停止呼吸. 进入深度麻醉的幼鱼, 当空气暴露时间在 9 min 内时, 复苏时间随空气暴露时间的增加而减少, 且能全部复苏. 当暴露时间在 9~15 min 时, 复苏时间随暴露时间的增加而增加, 复苏率逐渐下降, 暴露 18 min 时实验鱼全部死亡. 结果表明, MS-222 对赤眼鲮幼鱼有着入麻及复苏时间短、安全边界宽等优点, 是较理想的麻醉剂.

**关键词:** 赤眼鲮; 麻醉; MS-222

中图分类号: S965.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-5463(2016)06-0037-07

## The Anaesthesia Effects of MS-222 on Juvenile *Squaliobarbus curriculus*

PENG Ningdong, TANG Wensheng, GUO Dong, ZHAO Jun\*

(Guangzhou Key Laboratory of Subtropical Biodiversity and Biomonitoring; Guangdong Provincial Key Laboratory for Healthy and Safe Aquaculture; School of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Anaesthetic has been used in aquaculture to minimize the stress and damage of fish during harvesting, grading, transportation, spawning induction and handling. This study investigated the anaesthetic effect of MS-222 on juvenile *Squaliobarbus curriculus* at water temperature (26±0.5) °C. According the juvenile behavioral characteristics, the anesthesia process is divided into six stages, while the recovery process is divided into four stages. Experimental results show that the anesthesia time reduced with the increase of mass concentration of MS-222 and the recovery time increased with the increase of mass concentration of MS-222. The most effective anesthetic concentration range from 120 mg/L to 180 mg/L. At these conditions, the juvenile could reach stage 4 anesthesia within 3 minutes and recover in less than 5 minutes, and had a survival rate of 100% after immersed in the MS-222 solution for 15 minutes. In the course of anesthesia, juvenile *S. curriculus* breathing frequency increased in light anesthesia state, decreased rapidly during deep anesthesia, until the breath cessation. After the juvenile reached stage 5 anesthesia, the fish were taken out for air exposure of 0-18 minutes. When air exposure time within 9 minutes, the recovery time slightly reduced with the extension of air exposure time and all the fish can recover. When air exposure time in 9-15 minutes, the recovery time increased and the recovery rate decreased with the extension of air exposure time. When exposed to 18 minutes, all of the experiment fish died. The results indicate that MS-222 as an anaesthetic to juvenile *S. curriculus* is feasible in terms of the effects that fish can be induced anesthesia rapidly and recovery rapidly with a wide safety concentration ranges without any increasing tolerance by repeated anaesthetization.

**Key words:** *Squaliobarbus curriculus*; anaesthesia; MS-222

收稿日期: 2016-04-28

《华南师范大学学报(自然科学版)》网址: <http://journal.scnu.edu.cn/>

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303048); 国家科技基础条件平台工作重点项目(2005DKA21402); 华南师范大学大学生创新创业项目(20160516)

\* 通讯作者: 赵俊 教授, Email: zhaojun@scnu.edu.cn.

赤眼鲮 (*Squaliobarbus curriculus*) 隶属鲤形目 (Cypriniformes)、鲤科 (Cyprinidae)、雅罗鱼亚科 (Leuciscinae)、赤眼鲮属 (*Squaliobarbus*) ,是我国自然水体中常见的优质经济鱼类<sup>[1]</sup>。它栖息于水体中上层,喜跳跃,易受惊而致鳞片脱落受伤。

在对鱼类进行人工繁殖、体外标记和形态学测量等人工操作时,鱼体会产生强烈应激反应,不仅阻碍人工操作的顺利进行,同时还会对鱼体造成伤害。在鱼类运输过程中,鱼体在高密度状态下挣扎剧烈,易导致充血、掉鳞、受伤,从而引起死亡<sup>[2]</sup>。科学合理地使用麻醉剂,能够较大程度降低鱼类的应激反应,减少可能造成的伤害,同时方便人工操作。目前使用的近30种鱼类麻醉剂中,MS-222具有使用简便、入麻和复苏快等优点,是目前国际上应用最广泛、最安全有效的水产麻醉剂<sup>[3]</sup>。经美国食品和药物管理局(FDA)许可,MS-222可用于水产品的麻醉运输<sup>[4]</sup>。MS-222作为麻醉剂用于多种鱼类的麻醉研究已见报道,如施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 和中华鲟 (*Acipenser sinensis*)<sup>[5]</sup>、长薄鳅 (*Leptobotia elongate*)<sup>[6]</sup>、半滑舌鳎 (*Cynoglossus semilaevis Günther*)<sup>[7]</sup>、真鲷 (*Pagrus major*)<sup>[8]</sup>、小体鲟 (*Acipenser ruthenus*)<sup>[9]</sup>、斑马鱼 (*Danio rerio*) 和孔雀鱼 (*Poecilia reticulata*)<sup>[10]</sup>等。研究表明,MS-222对于不同鱼类的适宜质量浓度存在较大差异。因此,对任一种鱼类而言,在利用MS-222作为麻醉剂之前,都需进行适宜质量浓度的研究。

本实验采用MS-222作为麻醉剂,测定了MS-222对赤眼鲮幼鱼麻醉的有效质量浓度、在不同麻醉时间的呼吸频率以及不同空气暴露时间对鱼体复苏的影响,以期MS-222在赤眼鲮上的应用提供基础数据和科学参考。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料

实验用赤眼鲮幼鱼体质量(8.80±2.40)g,体长(8.94±1.72)cm,购自韶关市水产研究所。实验前停食1d。实验用鱼缸长宽高分别为23、15、17cm。MS-222由杭州动物药品厂生产,质量分数≥98%。使用前,用分析天平准确称量MS-222粉末,配制成所需质量浓度的麻醉液,用NaHCO<sub>3</sub>将溶液pH值调至7.0~7.5之间。实验用水为经过24h以上曝气的自来水,水温(26±0.5)℃,溶解氧的质量浓度≥5mg/L,pH(7.5±0.5)。

### 1.2 实验方法

1.2.1 麻醉和复苏阶段行为特征观察 随机选取5尾实验鱼置于90mg/L的MS-222麻醉液中,观察并记录鱼体在麻醉和复苏中各时期的行为特征。麻醉和复苏的分期参考刘长琳等<sup>[3,7]</sup>的标准,并结合赤眼鲮幼鱼自身行为特征。麻醉和复苏分期及其行为特征见表1和表2。

表1 赤眼鲮幼鱼麻醉过程分期

Table 1 Induction stages of MS-222 on juvenile *Squaliobarbus curriculus*

麻醉过程分期	行为特征
0期(正常期)	呼吸频率正常(鳃盖振动次数和振幅恒定),将鱼体侧置时,能够迅速翻身,对外界刺激能迅速主动回避。
1期(轻度镇静期)	触觉略失,对外界刺激无法迅速主动回避。
2期(深度镇静期)	触觉丧失,将鱼体腹部置上时,挣扎后能够翻身恢复到正常游泳姿态。
3期(平衡失调期)	肌肉张力和平衡感略失,将鱼体腹部置上时,鱼体头部和尾部上翘身体呈弓形来回晃动,不能翻身恢复到正常游泳姿态。
4期(麻醉期)	肌肉张力和平衡感丧失,将鱼体腹部置上时,鱼体静止,鳃盖振动变慢但有规律。
5期(深度麻醉期)	鱼体静止,鳃盖振动不连续,应立即移入清水中复苏。
6期(延髓麻醉期)	鱼体静止,鳃盖振动停止,浸浴时间过长鱼体将死亡。

表2 赤眼鲮幼鱼复苏过程分期

Table 2 Recovery stages of MS-222 on juvenile *Squaliobarbus curriculus*

复苏过程分期	行为特征
第I期	鱼体静止,鳃盖开始恢复振动,呼吸恢复。
第II期	部分平衡及运动恢复,无法翻身。
第III期	完全恢复平衡,对外界反应恢复,但略显“迟钝”。
第IV期	行为特征完全恢复正常。

1.2.2 鱼体最终麻醉程度实验 在麻醉剂质量浓度较高时,实验鱼进入麻醉状态的时间较短,较难依

靠鱼体的行为特征来区分不同的麻醉程度;而当麻醉剂质量浓度较低时,鱼体能达到一个相对稳定的、行为特征较明显的最终麻醉状态。实验设计10、20、40、60、90、120mg/L等6个质量浓度梯度,每个梯度用鱼5尾,测定实验鱼24h内在各质量浓度下所达到的最终麻醉程度。

1.2.3 不同麻醉剂质量浓度的麻醉效果 根据预实验的结果,设置30、60、90、120、150、180、210、240mg/L等8个MS-222质量浓度梯度,每个梯度用鱼5尾,重复3次。其中,入麻时间是指鱼放入麻醉液

至进入4期麻醉所需的时间;复苏时间是指4期麻醉鱼放入清水至行为特征完全恢复正常所需的时间. 参考文献[11],本实验采用的有效质量浓度标准为:3 min内麻醉,5 min内复苏,且在麻醉液中连续浸浴15 min后成活率为100%.

1.2.4 不同空气暴露时间对进入深度麻醉期赤眼鲟幼鱼复苏的影响 将实验鱼放入质量浓度为150 mg/L的MS-222溶液中进行深度麻醉(达到5期麻醉)然后从麻醉液中取出,用湿毛巾包裹实验鱼的中后部,分别在空气中暴露0、3、6、9、12、15、18 min后立即放入清水中,记录复苏时间,每组用鱼5尾.

1.2.5 麻醉对呼吸频率的影响 在60、90、120、150 mg/L等4个质量浓度下开展实验,每组5尾鱼,取5尾鱼呼吸频率的平均值作为各质量浓度下的呼吸频率,方法参考文献[7],即:将鳃盖一张一合作为

一次呼吸,统计连续呼吸10 s时各组鱼的呼吸次数,换算为1 min的呼吸次数,即为呼吸频率. 首先将实验鱼放入清水中,稳定后计数呼吸频率作为初始值,然后将鱼移入各质量浓度的麻醉液中,记录麻醉0.5、1、3、5、8、12、16 min时的呼吸频率.

1.2.6 数据处理 实验所得数据用Excel和SPSS 17.0软件进行统计分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 赤眼鲟幼鱼麻醉和复苏阶段的行为特征

在MS-222质量浓度为90 mg/L时观察到的实验鱼进入麻醉和复苏过程中各分期的时间及行为表现见表3和表4.

表3 90 mg/L的MS-222下赤眼鲟幼鱼进入各麻醉分期的时间及行为表现

Table 3 The time and behavioral expression of induction stages on juvenile *Squaliobarbus curriculus* under 90 mg/L MS-222

t/s	麻醉过程分期	行为表现
2.6±0.55	1期	产生强烈应激,在缸内快速游荡,鳃盖振动频率增加.
60±6.82	2期	游动速度及范围都减小,不能保持躯体完全平衡,鳃盖振动频率增加.
210±11.38	3期	将鱼体腹部置上时,头部和尾部上翘,躯体呈弓形来回荡动,但不能翻身,发生背腹部翻转现象.
495.2±17.28	4期	平躺静卧在鱼缸底部,鳃盖振动缓慢.
1 079.8±26.45	5期	鱼体静止,鳃盖振动出现不连续,偶尔出现咧鳃现象.
1 499.6±30.15	6期	鳃盖停止振动,因浸浴时间过长而死亡.

表4 90 mg/L的MS-222下赤眼鲟幼鱼进入各复苏分期的时间及行为表现

Table 4 The time and behavioral expression of recovery stages on juvenile *Squaliobarbus curriculus* under 90 mg/L MS-222

t/s	复苏过程分期	行为表现
8±2.55	第I期	静躺在鱼缸底部,鳃盖开始缓慢张合.
19.8±4.09	第II期	鳃盖振动频率增加,鳍条开始摆动,平衡部分恢复,但无法翻身.
35.8±4.82	第III期	鳃盖振动频率恢复到正常水平,平衡完全恢复,游动范围增大,但无法迅速主动回避外界刺激.
61.6±7.83	第IV期	鱼体的行为特征完全恢复正常,对外界刺激能快速作出反应.

### 2.2 赤眼鲟幼鱼在MS-222溶液中24 h内所能达到的最终麻醉程度

随着MS-222质量浓度的上升,实验鱼所能达到的最终麻醉程度逐渐增大(图1);当MS-222质量浓度为10 mg/L时,实验鱼的最终麻醉程度为0期,无法进入麻醉状态;当MS-222质量浓度为20 mg/L时,部分实验鱼仍停留在0期,而大部分实验鱼进入1期,其原因可能是个体差异所致;当MS-222质量浓度为40 mg/L时,实验鱼最终麻醉程度为2期;当MS-222质量浓度为60 mg/L时,部分实验鱼为3期,部分实验鱼为4期;当MS-222质量浓度为90 mg/L时,部分实验鱼为5期,部分实验鱼为6期,即鱼体死亡;当MS-222质量浓度为120 mg/L时,全部实验鱼进入6期.

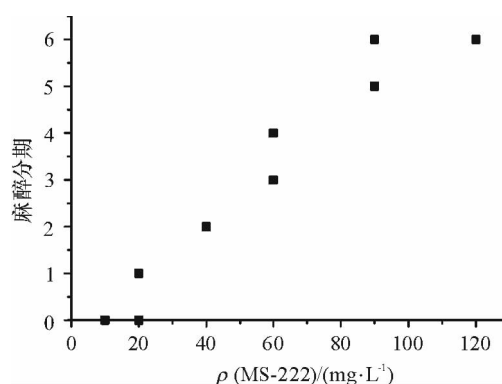


图1 赤眼鲟幼鱼在6种MS-222质量浓度中的最终麻醉程度  
Figure 1 Final stage of fish anaesthesia under six different MS-222 concentrations

### 2.3 MS-222 麻醉赤眼鲮幼鱼的有效质量浓度

在水温为(26±0.5)℃时,研究赤眼鲮幼鱼在不同质量浓度的MS-222的入麻时间、复苏时间及连续浸浴15 min后的成活率(图2)。结果表明:当MS-222质量浓度为30、60 mg/L时,实验鱼在麻醉液中浸浴15 min后仍未进入4期麻醉,停留在镇静期;当MS-222质量浓度在90~240 mg/L时,随时间推移,均能进入4期,且随MS-222质量浓度的增大,实验鱼的入麻时间逐渐减少。当质量浓度为90、120、150、240 mg/L时,入麻时间存在显著性差异( $P < 0.05$ ),而当质量浓度为180 mg/L和210 mg/L时,则无显著差异( $P > 0.05$ )。MS-222的质量浓度为90 mg/L时,实验鱼约8.3 min进入4期麻醉;质量浓度 $\geq 120$  mg/L时,实验鱼能在3 min内进入4期。

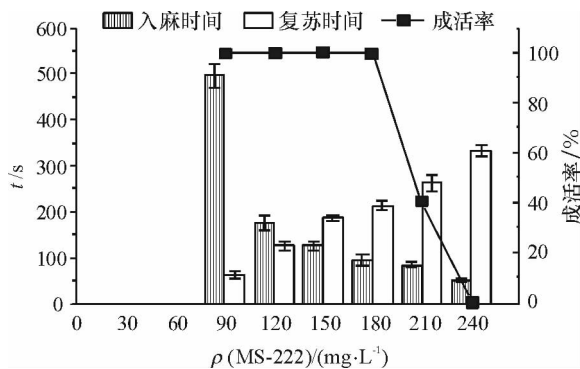


图2 不同MS-222质量浓度下赤眼鲮幼鱼的入麻时间、复苏时间及浸浴15 min后成活率

Figure 2 Induction time, recovery time and survival rate after soaking 15 minutes of juvenile *Squaliobarbus curriculus* in different concentrations

进入4期麻醉后的赤眼鲮幼鱼的复苏时间随MS-222的质量浓度的增大而增加( $P < 0.05$ )。当质量浓度 $\leq 210$  mg/L时,实验鱼能在5 min内复苏;当质量浓度 $\geq 240$  mg/L时,复苏时间大于5 min。

只有当MS-222的质量浓度 $\leq 180$  mg/L时,在麻醉液中连续浸泡15 min的成活率才达到100%。参照文献[11]的3 min内麻醉且5 min内复苏的理想麻醉剂质量浓度标准,再加上连续浸浴15 min成活率为100%的条件,本实验得到的赤眼鲮幼鱼有效MS-222质量浓度为120~180 mg/L。

### 2.4 空气中暴露时间对深度麻醉赤眼鲮幼鱼复苏的影响

将赤眼鲮幼鱼置于150 mg/L MS-222溶液中,3.8 min后鱼体均进入5期深度麻醉。实验结果(图3)表明,当空气暴露时间在9 min内时,复苏时间随空气暴露时间的延长而减少( $P < 0.05$ );暴露时间在

9~15 min时,复苏时间随其延长而增加( $P < 0.05$ )。此外,当深度麻醉的赤眼鲮幼鱼暴露时间在9 min内时,转入清水后均能全部复苏;超过9 min后,复苏率逐渐下降;暴露12 min的复苏率为60%,15 min的复苏率为40%,18 min时实验鱼全部死亡。

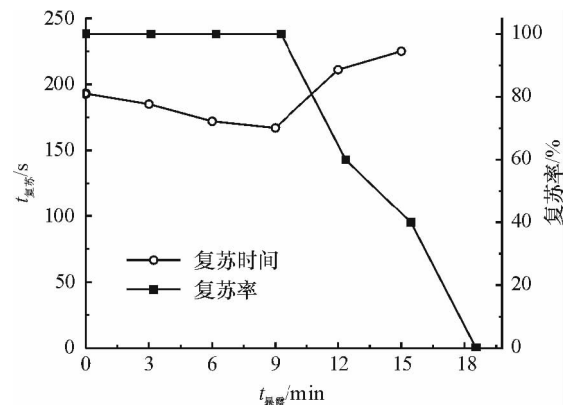


图3 空气暴露时间对鱼体复苏时间及复苏率的影响

Figure 3 Effect of exposure time to air on fish recovery time and recovery rate

### 2.5 麻醉对赤眼鲮幼鱼呼吸频率的影响

实验结果(图4)表明,在低质量浓度麻醉液中(60 mg/L),赤眼鲮幼鱼的呼吸频率先略微上升,然后降至对照组水平以下,之后停留在镇静期,呼吸频率保持稳定。当质量浓度为90~150 mg/L时,呼吸频率先略微上升,后随麻醉时间的延长而显著下降( $P < 0.05$ )。总体而言,赤眼鲮幼鱼在MS-222麻醉液中呼吸频率随时间延长,呈下降趋势。

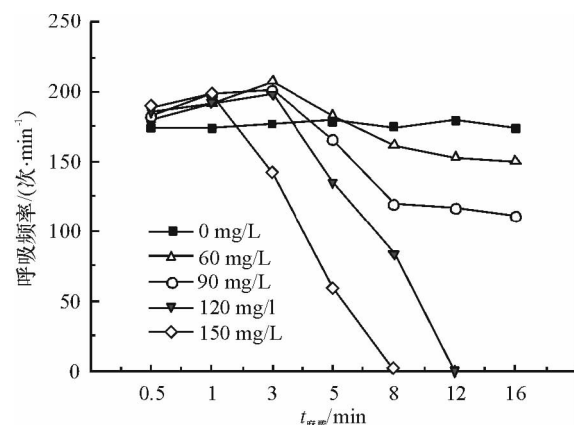


图4 不同MS-222质量浓度对赤眼鲮幼鱼呼吸频率的影响  
Figure 4 Effect of different MS-222 concentrations on fish respiratory rate

由图可见:(1)麻醉时间为0.5~3 min时,各组鱼的呼吸频率无显著差异( $P > 0.05$ ),除150 mg/L组外,各组鱼的呼吸频率均高于对照组;150 mg/L组的鱼在3 min时,其呼吸频率开始降至对照组水

平以下,至 8 min 时,该组鱼的呼吸频率下降为 0,呼吸停止。(2) 麻醉时间为 5 min 时,90、120 mg/L 组鱼的呼吸频率开始降至对照组水平以下,120 mg/L 组鱼的呼吸频率在 12 min 时降至 0,呼吸停止。(3) 麻醉时间为 8 min 时,60 mg/L 组鱼的呼吸频率开始降至对照组水平以下;60、90 mg/L 组鱼的呼吸频率在 16 min 时虽然低于对照组水平,但都未降至 0。

### 3 讨论

#### 3.1 关于 MS-222 溶液的配制

由于 MS-222 为酸性物质,溶于水后会使其 pH 值降低<sup>[12]</sup>,所以在使用 MS-222 麻醉淡水鱼时应用 NaOH 或 NaHCO<sub>3</sub> 等碱性物质调节麻醉液的 pH<sup>[13]</sup>。本实验中 MS-222 质量浓度范围为 10~240 mg/L,在配制麻醉液时,加入了适量的 NaHCO<sub>3</sub>,将溶液 pH 调至 7.0~7.5,减少对鱼体的刺激。

#### 3.2 关于 MS-222 麻醉的有效质量浓度

理想的麻醉剂应具备无毒、快速麻醉和复苏、低残留、使用简便、价格低廉等优点<sup>[14-16]</sup>。MS-222 具有入麻和复苏快、使用简便等优点,但也具有以下缺点:(1) 药物残留时间长。美国食品药品监督管理局(FDA)规定使用 MS-222 麻醉运输的鱼需经过 21 d 后才可上市出售<sup>[17]</sup>。(2) 使用 MS-222 麻醉后的鱼,其血浆中皮质醇质量浓度一直在增加,影响采血操作的进行<sup>[2]</sup>。(3) MS-222 商品价格和用量较高。因此在选用 MS-222 作为麻醉剂时应充分考虑其优缺点。

影响麻醉剂麻醉效果的因素主要为鱼体自身因

素(鱼种、规格等)和水环境因素(水温、pH 值、溶氧等)两大类。麻醉剂的有效质量浓度应满足对实验鱼的伤害最小、符合实验操作要求等条件。MARKING 和 MEYER<sup>[11]</sup>认为,在产卵、切鳍等人工操作时,要求鱼体能较快进入麻醉状态,且完成工作后的复苏也较快,因此理想的麻醉剂质量浓度应让实验鱼在 3 min 内麻醉,5 min 内复苏,移出麻醉液 1 h 后,组织内的药物残留较低。国内外学者大多参考这一观点来定义有效质量浓度<sup>[4-10]</sup>。本实验定义的有效麻醉质量浓度标准为:3 min 内麻醉,5 min 内复苏,且浸浴 15 min 后成活率为 100%。只有麻醉 15 min 后实验鱼仍存活,该质量浓度才能被考虑为适宜质量浓度。因为实际操作时经常涉及大量的鱼同时麻醉,麻醉时间通常要超过个别鱼的入麻时间,所以持续麻醉时间应该有一个足够的安全边界<sup>[10]</sup>。本实验结果表明,在水温(26±0.5)℃时,MS-222 对体质量为(8.80±2.40)g 的赤眼鲟幼鱼的有效质量浓度为 120~180 mg/L,在此范围内,能够有效地使鱼进入麻醉状态,进行标记、手术和测量等人工操作,且不伤害鱼体。关于 MS-222 麻醉研究结果<sup>[13]</sup>表明:MS-222 在不同鱼种、不同规格和不同温度条件下的有效质量浓度不尽相同(表 5)。本实验条件下得到的 MS-222 的有效质量浓度与布氏鲟幼鱼的有效质量浓度相近,低于鳊鱼成鱼、半滑舌鲷成鱼的有效质量浓度,高于中华鲟、史氏鲟、斑点叉尾鲟、长鳍吻鲟的有效质量浓度。MS-222 对赤眼鲟幼鱼的有效质量浓度表现出较宽的安全边界,且入麻时间和复苏时间都较短,因此,MS-222 能较好地应用于赤眼鲟幼鱼的麻醉操作。

表 5 不同实验鱼种的 MS-222 有效质量浓度

Table 5 Effective concentration of MS-222 on test fish

实验鱼种	实验温度/℃	实验规格	有效质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	数据来源
布氏鲟( <i>Tilapia buttikoferi</i> )	26.5±0.2	幼鱼,平均体质量 13.5 g.	110~190	[18]
中华鲟( <i>Acipenser sinensis</i> )	16~18	幼鲟,平均体长 173 cm,平均体质量 30 kg.	80~100	[5]
史氏鲟( <i>Acipenser schrenckii</i> )	16~18	幼鲟,平均体长 37.6 cm,平均体质量 0.195 kg.	90~110	[5]
鳊鱼( <i>Siniperca chuatsi</i> )	13~14	成鱼,体长 25~30 cm,体质量 450~550 g.	200~220	[19]
半滑舌鲷( <i>Cynoglossus semilaevis</i> Günther)	23±0.2	成鱼,体长 25~40 cm,体质量 300~1 500 g.	120~210	[7]
斑点叉尾鲟( <i>Ictalurus punctatus</i> )	26	成鱼,平均体质量 100 g.	100~160	[20]
长鳍吻鲟( <i>Rhinogobio ventralis</i> )	14~15	幼鱼,平均体长 10.5 cm,平均体质量 13.6 g.	80~140	[21]

#### 3.3 关于空气暴露时间对麻醉鱼复苏的影响

本实验结果表明,当进入 5 期麻醉的赤眼鲟幼鱼在空气中的暴露时间≤9 min 时,复苏时间随空气暴露时间的增加而减少;暴露时间在 9~15 min

时,复苏时间随暴露时间的增加而增加。在 MS-222 麻醉布氏鲟(*Tilapia Buttikoferi*) 幼鱼的研究<sup>[18]</sup>以及 MS-222 麻醉长鳍吻鲟(*Rhinogobio Ventralis*) 幼鱼的研究<sup>[21]</sup>中也得出了类似的结果,而使用 MS-222 深

度麻醉美洲鲌(*Alosa Sapidissima*)的结果<sup>[22]</sup>却显示复苏时间随暴露时间的增加而延长. 造成本实验结果的原因可能是: 实验鱼暴露在空气中后, 体内不再继续富集麻醉剂, 且神经系统中的麻醉剂随血液循环向身体其他部位扩散, 经皮肤排出, 由此形成神经系统-肌肉-外部湿润环境之间的麻醉剂排出通道, 降低了神经系统的麻醉程度, 鱼体呼吸部分恢复, 因而在暴露前期, 复苏时间逐渐减少; 当实验鱼的麻醉程度降低后, 因其耗氧量增加、暴露时间过长而导致窒息或者昏迷, 因而后期复苏时间逐渐增加<sup>[18]</sup>.

此外, 本实验结果表明, 空气暴露时间 $\leq 9$  min时, 复苏率为100%; 而暴露时间超过9 min时, 复苏率随暴露时间的延长而下降, 在18 min时下降为0, 鱼体全部死亡. 因此, 在对麻醉后赤眼鲮幼鱼的测量、标记等人工操作时间不宜超过9 min, 以避免因暴露时间过长而导致鱼体死亡.

### 3.4 关于MS-222对赤眼鲮幼鱼呼吸频率的影响

鱼体浸泡在麻醉液时呼吸频率的快慢可以反映麻醉的深浅. 一般情况下, 呼吸频率快表示所处的麻醉状态浅, 反之则表示所处的麻醉状态深. 大多研究表明, 鱼体的呼吸频率在整个麻醉期间呈下降趋势, 如利用MS-222麻醉的美洲鲌<sup>[22]</sup>、金鱼<sup>[23]</sup>; 利用丁香酚麻醉的黑鲈<sup>[24]</sup>、黄腊鲮<sup>[25]</sup>等. 本实验中, 赤眼鲮幼鱼在麻醉液中的呼吸频率表现为: 在浅麻醉阶段时呼吸频率上升, 在深麻醉阶段时则快速下降, 这一结果与MS-222麻醉的鳊鱼<sup>[19]</sup>、圆斑星鲮<sup>[26]</sup>、半滑舌鲮<sup>[7]</sup>的研究结果相似. 在鱼体呼吸频率下降阶段, 不同质量浓度组的表现有所差异, MS-222的质量浓度越高, 实验鱼的呼吸频率下降得越快, 其原因可能是: MS-222的质量浓度高时, 鱼体通过鳃丝吸入大量麻醉液所用的时间比低质量浓度时所用的时间短, 抑制了鱼体神经中枢的活动, 降低鳃盖张合的速率, 从而导致呼吸频率的快速下降. 因此, 麻醉对呼吸频率的影响不仅与鱼的种类有关, 还与麻醉剂的种类及质量浓度相关.

### 参考文献:

[1] 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 华南师范大学, 暨南大学, 等. 广东淡水鱼类志[M]. 广州: 广东科技出版社, 1991: 84-85.

[2] COYLE S D, DURBOROW R M, TIDWELL J H. Anesthetics in aquaculture [R]. Mississippi: SRAC Publication, 2004.

[3] 刘长琳, 何力, 陈四清, 等. 鱼类麻醉研究综述[J]. 渔

业现代化, 2007(5): 21-25.

- [4] MATTSON N S, RIPLE T H. Metomidate, a better anesthetic for cod (*Gadus morhua*) in comparison with benzocaine, MS-222, chlorobutanol, and phenoxyethanol [J]. Aquaculture, 1989, 83(1/2): 89-94.
- [5] 田家元, 王京树, 万建义, 等. MS-222不同处理方式对史氏鲟和中华鲟麻醉效果的影响[J]. 水生态学杂志, 2011(5): 87-90.
- TIAN J Y, WANG J S, WAN J Y, et al. Effects of different MS-222 treatments of anesthesia on *Acipenser schrenckii* and *Acipenser sinensis* [J]. Journal of Hydroecology, 2011(5): 87-90.
- [6] 张建明, 郭柏福, 袁涛, 等. MS-222对长薄鳅的麻醉效果[J]. 水产学杂志, 2014(5): 47-51.
- ZHANG J M, GUO B F, YUAN T, et al. Anesthetic effects of MS-222 on elongate loach *Leptobotia elongata* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2014(5): 87-90.
- [7] 刘长琳, 陈四清, 何力, 等. MS-222对半滑舌鲮成鱼的麻醉效果研究[J]. 中国水产科学, 2008(1): 92-99.
- LIU C L, CHEN S Q, HE L, et al. Effects of MS-222 as an anaesthetic on adult *Cynoglossus semilaevis* Günther [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008(1): 92-99.
- [8] OIKAWA S, TAKEDA T, ITAZAWA Y. Scale effects of MS-222 on a marine teleost porgy *Pagrus major* [J]. Aquaculture, 1994, 121(4): 369-379.
- [9] BISHKOUL G R, HALIMI M, NOROUSTA R, et al. The anesthetic effects of MS-222 (tricaine methanesulfonate) on some hematological parameters of sterlet *Acipenser ruthenus* [J]. Comparative Clinical Pathology, 2015, 1(24): 89-92.
- [10] CHAMBEL J, PINHO R, PEDROSA R, et al. The efficacy of MS-222 as anaesthetic agent in four freshwater aquarium fish species [J]. Aquaculture Research, 2013, 46(7): 1-8.
- [11] MARKING L L, MEYER F P. Are better anesthetics needed in fisheries? [J]. Fisheries, 1985, 10(6): 2-5.
- [12] OHR E A. Tricaine methanesulfonate - I. pH and its effects on anesthetic potency [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1976, 54(1): 13-17.
- [13] COYLE S D, DURBOROW R M, JINN R H, et al. Comparison of efficacy of five anesthetics in Goldlined sea bream *Sparus sarba* [J]. Acta Zoologica Taiwanica, 1998, 9(1): 35-41.
- [14] TREVES-BROWN K M. Applied fish pharmacology [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000: 328.
- [15] MARŠIĆ-LUČIĆ J, MLADINEO I, TUDOR M. Compar-

- tive effectiveness of 2-phenoxyethanol and Propiscin as anesthetics for juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* L [J]. *Aquaculture International* ,2005 ,13( 6) : 543-553.
- [16] PRAMOD P K ,RAMACHANDRAN A ,SAJEEVAN T P , et al. Comparative efficacy of MS-222 and benzocaine as anaesthetics under simulated transport conditions of a tropical ornamental fish *Puntius filamentosus* ( Valenciennes) [J]. *Aquaculture Research* ,2010 ,41( 2) : 309-314.
- [17] WOODY C A ,NELSON J ,RAMSTAD K. Clove oil as an anaesthetic for adult sockeye salmon: field trials [J]. *Journal of Fish Biology* ,2002 ,60( 2) : 340-347.
- [18] 何小燕,袁显春,潘志,等. MS-222 对布氏鲟幼鱼的麻醉效果研究[J]. *四川动物* ,2013( 5) : 729-733.  
HE X Y ,YUAN X C ,PAN Z ,et al. The anaesthesia effects of MS-222 on Juvenile *Tilapia buttikoferi* [J]. *Sichuan Journal of Zoology* ,2013( 5) : 729-733.
- [19] 郭丰红,汪之和. MS-222 对鳊鱼成鱼麻醉效果的研究[J]. *湖南农业科学* ,2009( 7) : 150-153.  
GUO F H ,WANG Z H. Anesthetic effect of MS-222 on adult *Siniperca chuatsi* [J]. *Hunan Agricultural Sciences* , 2009( 7) : 150-153.
- [20] 张民强,汪开毓,王均,等. MS-222 对斑点叉尾鮰麻醉效果的研究[J]. *水产科技情报* ,2014( 1) : 21-25; 31.
- [21] 管敏,胡美洪,刘勇,等. MS-222 对长鳍吻鱼幼鱼麻醉效果的研究[J]. *水产科技情报* ,2015( 2) : 72-77.
- [22] 杜浩. 美洲鲟( *Alosa sapidissima* ) 人工孵化、养殖及转运关键技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学 ,2005.
- DU H. Studies on key techniques in incubation ,culture and transportation of American SHAD *Alosa sapidissima* [J]. Wuhan: Huazhong Agricultural University ,2005.
- [23] 李春梅,黄永坚. MS-222 麻醉金鱼的研究[J]. *黄冈职业技术学院学报* ,2002( 4) : 67-70; 63.  
LI C M ,HUANG Y J. Studies on anaesthetic Gold Fish by MS-222 [J]. *Journal of Huanggang Polytechnic* ,2002( 4) : 67-70; 63.
- [24] COOK S J ,SUSKI C D ,OSTRAND K G. Behavioral and physiological assessment of low concentration of clove oil anaesthetic for handling and transporting largemouth bass ( *Micropterus salmoides* ) [J]. *Aquaculture* ,2004 ,239: 509-529.
- [25] 张朝晖,丛娇日,王波,等. 麻醉剂丁香酚对黄腊鲂耗氧的影响[J]. *海洋科学* ,2003( 6) : 11-14; 34.  
ZHANG Z H ,CONG J R ,WANG B ,et al. The effect of anesthetic eugenol on the oxygen consumption rates of *Trachinotus blochii* [J]. *Marine Sciences* ,2003( 6) : 11-14; 34.
- [26] 赵明,柳学周,徐永江,等. MS-222 麻醉圆斑星鲈成鱼效果研究[J]. *海洋科学进展* ,2010( 4) : 531-537.  
ZHAO M ,LIU X Z ,XU Y J ,et al. Study on anaesthetic effects of MS-222 on adult *Verasper variegates* [J]. *Advances in Marine Science* ,2010( 4) : 531-537.

【中文责编: 庄晓琼 英文责编: 李海航】