MS-222 对大菱鲆麻醉效果及富集消除规律研究

孙伟红[1], 赵东豪[2], 付树林[1], 邢丽红[1*], 冷凯良[1*], 朱 敏[1]

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘 要: 目的 确立大菱鲆的有效麻醉浓度, 研究 3-氨基苯甲酸乙酯甲基磺酸盐(MS-222)在大菱鲆体内的生物富集和消除规律。**方法** 考察大菱鲆在不同 MS-222 浓度下麻醉、苏醒过程中的行为变化以及呼吸频率的变化, 采用液相色谱-串联质谱法测定大菱鲆组织中的药物水平。**结果** MS-222 麻醉大菱鲆的有效浓度为 60 mg/L, 在此浓度下, 鱼体能够在 5 min 之内达到第 IV 期麻醉状态, 5 min 之内苏醒恢复。大菱鲆肝脏中 MS-222 的富集浓度高于肌肉, 经 48 h 消除实验后肌肉和肝脏中的 MS-222 均低于 1 μg/kg, 其消除半衰期分别为 13.14 h(肌肉)和 14.15 h(肝脏)。**结论** 在水温不低于(12±0.3) ℃条件下, 建议将 MS-222 的休药期定为 3 天。

关键词: 3-氨基苯甲酸乙酯甲基磺酸盐; 大菱鲆; 麻醉; 富集; 消除

Anesthesia effects and accumulation and elimination regularity of MS-222 in turbot *Scophthalmus maxinus*

SUN Wei-Hong[1], ZHAO Dong-Hao[2], FU Shu-Lin[1], XING Li-Hong[1*], LENG Kai-Liang[1*], ZHU Min[1]

(1. *Yellow Sea Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Qingdao* 266071, *China*;
2. *South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Guangzhou* 510300, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish effective anesthesia concentrations and study the regularity of accumulation and elimination of tricaine methanesulfonate (MS-222) in muscle and liver of turbot. **Methods** Under different concentrations of MS-222 anesthesia, waking up in the process of behavior change and the change of respiratory frequency were studied in turbot. The residues were detected by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). **Results** The effective concentration of MS-222 for turbot was 60 mg/L, and under this condition, it reached stage IV anesthesia and recovered within 5 min. The accumulation amount of turbot liver was higher than that of the muscle. The MS-222 concentration was eliminated below safe quantity (1 μg/kg) in muscle and liver after 48 h, and the elimination half-life were 13.14 h (muscle) and 14.15 h (liver). **Conclusion** Under the condition of this experiment, it was recommended withdrawal period of 3 d.

KEY WORDS: tricaine methanesulphonate; *Scophthalmus maxinus*; anesthesia; accumulation; elimination

---

基金项目: 国家水产品质量安全风险评估项目(GJFP2015009)

Fund: Supported by National Program of Aquatic Product Quality and Safety Risk Assessment and Evaluation (GJFP2015009)

*通讯作者: 邢丽红, 助理研究员, 主要研究方向为水产品安全性与质量控制, E-mail: xinglh@ysfri.ac.cn

冷凯良, 研究员, 主要研究方向为水产品加工, E-mail: lengkl@ysfri.ac.cn

***Corresponding author:** XING Li-Hong, Assistant Researcher, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No.106, Nanjing Road, Shinan District, Qingdao 266071, China. E-mail: xinglh@ysfri.ac.cn

LENG Kai-Liang, Researcher, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No.106, Nanjing Road, Shinan District, Qingdao 266071, China. E-mail: lengkl@ysfri.ac.cn

1 引　言

在鲜活水产品长距离运输中, 如果水产品应激反应过于强烈, 就会受到不同程度的损伤, 甚至死亡, 降低其经济价值。随着我国对鲜活水产品的需求不断加大, 提高水产品运输过程的存活率具有重要的意义。目前, 保活运输方法主要有增氧法、低温法和麻醉法等。合理使用麻醉剂, 可以提高水产品在运输过程中的成活率, 降低运输成本和保障质量安全等作用[1,2]。目前渔用麻醉剂已有 10 余种, 其中 3-氨基苯甲酸乙酯甲基磺酸盐(MS-222)的麻醉效果最好, 它是美国食品药品监督管理局(FDA)批准可用于食用鱼的麻醉剂[3,4]。由于它极易溶于水, 对水产品的麻醉作用见效快, 且对水产品安全无害, 因此得到越来越广泛的应用。然而水产品使用 MS-222 后, 可能会在加工后的产品中残留, 并在体内富集, 损害人体生理机能[5]。因此使用 MS-222 后, 水产品必须经过一段时间的休药期才能保证安全。

大菱鲆属于硬骨鱼蝶形目鲆科, 冷水性鱼类, 养殖适宜温度为 10 ℃~20 ℃, 是一种名贵的经济海水鱼[6]。大菱鲆对温度的要求较高, 在运输过程中合理使用麻醉剂, 可以减少运输过程对鱼体的伤害, 提高成活率。目前我国有关 MS-222 在大菱鲆中的应用研究很少[7], 而且不同水产品的麻醉有效浓度差别很大[8], 因此有必要对大菱鲆的麻醉过程进行研究。我们考察了 MS-222 对大菱鲆的有效麻醉浓度, 并对其富集代谢规律进行了研究, 对于合理制定 MS-222 的休药期具有重要的指导意义。

2 材料与方法

2.1 实验动物

本实验采用体质量约(300.0±50.0) g 的健康大菱鲆, 购于莱州市海庙姜家大菱鲆养殖厂, 实验条件下暂养两周后用于实验。所用海水取自于烟台莱州市海庙姜家大菱鲆养殖厂附近海域, 深层海水沙滤, 水温 12 ℃~13 ℃, 盐度 3%~4%, pH 6.0~6.5, 溶氧量(DO)8~9 mg/L。

2.2 仪　器

TSQ Quantum Access 液相色谱-三重四级杆质谱联用仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); T18 basic 均质机(德国 IKA 公司), XW-80A 涡旋混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司), KQ-600DE 型数控超声波清洗仪(昆山市超声仪器有限公司), CR22G 高速离心机(日本日立公司), BP224S 电子分析天平(西德赛多利斯公司), LABOROTA 4000 旋转蒸发器(德国 Heidoplh 公司), VISIPREP 24^{TM} DL 固相萃取装置(美国 Supelco 公司), GRADIENT A10 超纯水系统(法国 Millipore 公司)。

2.3 试　剂

MS-222 标准品(纯度 >98%)购自美国 Sigma-Aldrich 公司; 甲醇、甲酸均为色谱纯, 冰乙酸和乙酸钠均为国产分析纯; Agela C_{18} 固相萃取小柱(6 mL, 500 mg, Agela 公司)。

2.4 试验方法

2.4.1 暴露实验

暴露实验在大菱鲆工厂化养殖车间内进行, 采用 1000 L 容器, 每个容器随机放入 40~50 尾大菱鲆。共设 6 个浓度组和 1 个对照组, MS-222 浓度分别为 50、60、70、90、110 和 130 mg/L, 每个浓度组在相同的试验条件下设置 3 个重复。具体暴露实验设置如下:

(1) MS-222 对大菱鲆的麻醉试验

将大菱鲆放入麻醉液中, 观察水箱内大菱鲆的麻醉情况, 用秒表计时, 分别记录到达不同麻醉程度的时间。测定大菱鲆在不同浓度的 MS-222 溶液中呼吸频率随时间(60、120、180、240、300 和 360 s)的变化规律。呼吸频率以 1 min 内大菱鲆鳃盖张合次数来表示, 计算平均值作为大菱鲆的呼吸频率。

(2) MS-222 麻醉大菱鲆后的苏醒试验

将经过麻醉实验的大菱鲆浸浴 20 min 后移出, 放入循环海水中复苏, 记录大菱鲆从入水到完全清醒所需要的时间以及成活率。完全复苏的标准是将大菱鲆腹部朝上时能够迅速翻身到正常状态。

(3) 模拟运输后的成活率实验

模拟运输条件, 在不断充气的情况下, 考察大菱鲆经 6 个不同浓度麻醉 60 h 后, 大菱鲆的成活率。

(4) MS-222 在大菱鲆鱼肉和肝脏中的富集试验

采用大菱鲆的最适麻醉浓度(60 mg/L)进行药浴, 每隔 5 h 随机取出 5 尾大菱鲆, 共计 60 h。

(5) MS-222 在大菱鲆肌肉和肝脏中的消除试验

大菱鲆经 60 h 的富集实验后, 再将大菱鲆放入循环海水中进行代谢试验, 试验过程保持充气状态。

每隔 4 h, 随机选取 5 尾大菱鲆, 实验共计 60 h。

2.4.2 样品采集

每次采样时, 用清洁海水将大菱鲆体表残留的药液冲洗干净以免影响实验结果。各实验组分别采取肌肉和肝脏样品, 每 1 个时间点取 5 个平行样品。样品均质后, -18 ℃冷冻保存以待检测。

2.4.3 样品测试

参考课题组前期的研究[9], 称取试样 2 g, 置于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 0.2 mol/L 乙酸-乙酸钠缓冲液(pH 4.2)和 10 mL 50 %甲醇溶液提取, 均质 1 min, 在另一 50 mL 离心管中各加入两种提取液 5 mL 清洗均质机刀头, 提取液合并, 8000 r/min 离心 10 min。将上清液全部转移于梨形瓶中, 于 40 ℃水浴中减压旋转蒸发 10 min 去除甲醇。在离心管的剩余残渣中再加入 30 mL 乙酸-乙酸钠缓冲液, 涡旋混匀, 8000 r/min 离心 5 min, 将上清液合并于上述梨形瓶中, 合并提取液, 待净化。

依次用 3 mL 甲醇与 3 mL 乙酸-乙酸钠缓冲液活化的固相萃取柱, 将待净化液转移上柱, 用 2 mL 7.5 %的甲醇溶液淋洗, 抽至近干, 用 2 mL 甲醇和 1%乙酸溶液的混合液(V:V=1:1)进行洗脱。整个萃取过程流速不超过 1 mL/min, 收集洗脱液, 过 0.2 μm 有机相微孔滤膜后, 待测。

1) 色谱条件

色谱柱: C_{18} 柱(150 mm × 2.1 mm, 5 μm); 柱温: 室温; 进样量: 10 μL; 流动相: A)0.5%甲酸溶液, B)乙腈, A:B=60: 40(V:V), 等梯度洗脱; 流速: 0.25 mL/min。

2) 质谱条件

电离方式: ESI^+; 电喷雾电压: 4200 V; 雾化气: 30 psi; 辅助气流量: 1.73 L/min; 源内碰撞诱导解离电压: 2 V; 离子传输管温度: 350 ℃; 扫描模式: 选择反应监测(MRM), 表 1 为母离子、子离子和优化的碰撞能量。

表 1 选择反应监测母离子、子离子和碰撞能量

Table 1 Parent ion and product ions of MS-222 and the collision energy

分析物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碰撞能量 (ev)
3-氨基苯甲酸乙酯甲基磺酸盐	166	138*	16
		77	22

* 为定量离子

2.5 数据统计和处理

以大菱鲆放入不同浓度的 MS-222 溶液中开始, 到出现各期麻醉行为的时间作为麻醉效果的反映, 并记录麻醉过程中大菱鲆呼吸频率的变化; 以药浴后放入清水, 到恢复至正常状态的时间来反映复苏效果; 各试验所得出的数据取平均数后再计算标准误差。复苏率则为经 MS-222 麻醉后能够完全复苏的大菱鲆尾数占试验大菱鲆总数的百分比。

将每个时间点采集的 5 个样品的药物浓度, 计算平均值和标准偏差。采用 WinNonlin 5.2 软件处理药物浓度-时间数据, 计算消除速率常数和消除半衰期等残留消除数据, 掌握 MS-222 在大菱鲆肌肉和肝脏中的残留消除规律。

3 结果与分析

3.1 MS-222 对大菱鲆呼吸频率的影响

呼吸频率能够反映鱼体的麻醉情况[10]。由于 MS-222 对大菱鲆的麻醉过程是连续的[11], 浓度较高时会使大菱鲆迅速进入深度麻醉状态[12], 药物浓度越高, 大菱鲆稳定状态下的呼吸频率越低, 代谢越缓慢, 但是药物浓度过高时大菱鲆呼吸频率变化太快, 容易引起激烈的应激反应。图 1 为不同浓度的 MS-222 溶液中大菱鲆的呼吸频率随时间的变化情况。实验开始时, 呼吸频率略有上升, 随后呈下降趋势, 并在 4 min 后保持平稳状态。当 MS-222 浓度为 50 和 60 mg/L 时, 大菱鲆的呼吸频率的变化较为平缓, 说明低浓度下鱼体的应激反应不强。随着浓度的增加, 呼吸频率变化幅度逐渐变大, 浓度为 130 mg/L 时, 呼吸频率下降 50%以上, 说明此时应激反应强烈, 可能降低鱼体成活率。

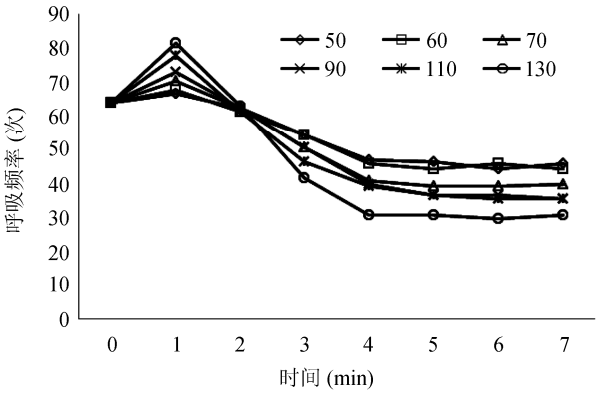

图 1 不同浓度的 MS-222 对大菱鲆呼吸频率的影响

Fig. 1 The effect of different concentrations of MS-222 on the breathing frequency of turbot

3.2　大菱鲆麻醉后复苏时间的确定

大菱鲆的复苏过程可分为四个时期[13,14,7]，其中 IV 期为恢复正常状态的特征，鱼体完全恢复触觉，身体平衡，将腹部侧置时，鱼体能够迅速翻身。实验结果表明，MS-222 的浓度越高，大菱鲆复苏时间越长，而且浓度过大也会导致大菱鲆的死亡。浓度为 50~70 mg/L 时，苏醒时间均在 5 min 内；浓度为 90~110 mg/L 时，鱼体的苏醒时间略长，平均大于 5 min，且有一定的死亡，可推测在实际运输中，随着麻醉时间的延长，更容易造成鱼体的死亡；浓度为 130 mg/L 时，鱼体存活率低，仅为 30%。

3.3　MS-222 对大菱鲆有效麻醉浓度的确定

理想的有效浓度的标准是：3 min 之内麻醉并在 5 min 之内苏醒[15]。大菱鲆经 MS-222 药浴后，逐步进入麻醉状态，并表现出不同的行为状态。前期研究中[7,16,17]，将 MS-222 对大菱鲆的麻醉过程分为六个阶段。其中最佳麻醉状态为 IV 期，此时鱼体完全丧失肌肉张力，腹部向上时，鱼体静止，鳃盖震动变慢但规律。

MS-222 浓度越高，大菱鲆进入各麻醉状态的时间越短。但是浓度过高时，部分大菱鲆就会进入麻醉第 V 期，甚至死亡。当 MS-222 溶液的浓度为 50 mg/L 时，鱼体进入 IV 期的时间为(687±36) s，此时约半数的大菱鲆没有被完全麻醉，仅表现为鱼体失去平衡和侧靠在水箱边缘缓慢呼吸的状态；浓度为 110 和 130 mg/L 时，进入 IV 期的时间为(102±13) s 和(88±10) s，鱼体剧烈扭动、挣扎，甚至跳跃，极易造成大菱鲆的损伤，麻醉时间稍长后鱼体容易出现呼吸停止的现象，可能会在实际运输过程中造成不必要的损失；浓度为 60~90 mg/L 时，进入 IV 期的时间为(288~174) s，能够满足对大菱鲆的有效麻醉，而且应激反应较小。为了最大限度的保障 MS-222 对鱼体的安全性，结合 3.1 和 3.2 中对呼吸频率和复苏时间的实验结果，我们将 60 mg/L 设为 MS-222 对大菱鲆的有效麻醉浓度。

3.4　MS-222 在大菱鲆体内的富集情况

大菱鲆在 60 mg/L 的 MS-222 中进行暴露试验，从图 2 中可以看出，肌肉和肝脏对 MS-222 的富集趋势相似。在肌肉中，在药浴 35 h 内 MS-222 的富集速度较快，35 h 后富集速度逐渐变慢，50 h 后基本达到平衡状态，在 60 h 达到富集最高值，平均为 47.8 μg/g；在肝脏中，40 h 内 MS-222 富集速度较快，50 h 后基本平衡，平均最大富集浓度可达 67.9 μg/g。因此，大菱鲆肝脏中 MS-222 的富集浓度高于肌肉。

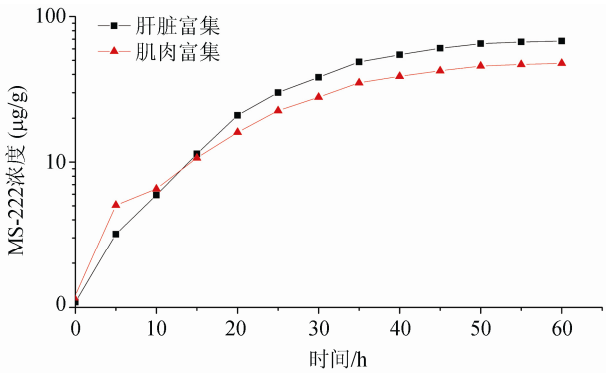

图 2　大菱鲆肌肉和肝脏中 MS-222 的富集曲线

Fig. 2　Accumulation curves of MS-222 in muscle and liver of turbot

3.5　大菱鲆肌肉和肝脏中 MS-222 的消除规律

图 3 是 MS-222 大菱鲆肌肉和肝脏中的消除曲线。从图中可以看出 MS-222 在肌肉和肝脏中表现出相似的消除规律。在 48 h 内 MS-222 的浓度快速下降，肝脏中 MS-222 的代谢速度较快，44 h 以后，MS-222 的残留量均降到比较低的水平，48 h 后肌肉和肝脏中的 MS-222 均低于检出限(检出限为 1 μg/kg)。

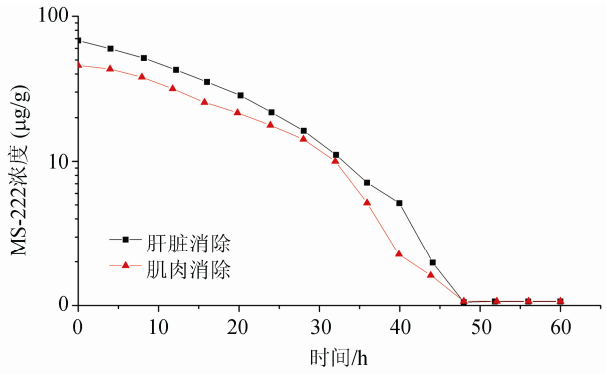

图 3　MS-222 在大菱鲆肌肉和肝脏中的消除曲线

Fig. 3　Elimination curves of MS-222 in muscle and liver of turbot

3.6　MS-222 的消除半衰期

大菱鲆经 MS-222(60 mg/L)药浴后，消除曲线拟合后所得大菱鲆肌肉和肝脏组织中 MS-222 的消除半

衰期分别为 13.14 h 和 14.15 h，表明 MS-222 的消除较快，在大菱鲆肌肉中的滞留时间比肝脏要短。

4 讨 论

4.1 MS-222 在不同组织中残留量的比较

通过药浴的方式可以将MS-222富集到大菱鲆的不同组织中，在肝脏中的富集能力显著高于肌肉，进入消除试验后，各组织中 MS-222 含量快速下降，在消除 30 h 后，肝脏和肌肉中含量均下降 80 %以上，其中肝脏中的消除速度较快，48 h 后肌肉和肝脏中残留量均已低于检出限。肝脏是大菱鲆的解毒器官，在机体代谢中，血液中的有害物质及微生物代谢的产物，就会在肝脏内被解毒和清除[18,19]。可推测，MS-222 在肝脏中快速消除与肝脏的解毒功能有关。

4.2 MS-222 在大菱鲆体内休药期的推导

FDA 已经证实 MS-222 可以用于鱼类和其它冷血动物，规定休药期为 21 d，加拿大为 5 d。但是它在许多国家都没有允许用作兽药，包括我国，因此 MS-222 在我国水产品中是不得检出的。由于 MS-222 的代谢周期较短，因此我们可结合其残留消除规律研究，推测 MS-222 在大菱鲆体内的休药期。

由于鱼体生理活动、给药途径、温度和 pH 值等因素的不同，休药期的数据可能会有一定的差异，其中温度的影响因素较大。在一定的温度范围内，药物的代谢强度与水温成正比关系，温度升高 1 ℃，药物的代谢速度约提高 10%[20]。因此，对于水产品休药期的确定，需要结合水体温度来确定。

本研究采用 12 ℃~13 ℃海水，在 60 mg/L 浓度条件下进行消除试验，52 h 后，在大菱鲆肌肉和肝脏中的残留量均低于检出限，因此在该条件下，建议将大菱鲆的休药期定为 3 d。

5 结 论

MS-222 对大菱鲆具有良好的麻醉效果，鱼体入麻时间短、复苏快，是一种理想的麻醉剂。然而使用 MS-222 的水产品必须经过一定时间的休药期，大菱鲆在有效麻醉浓度为 60 mg/L 的 MS-222 中浸浴 48 h 以上时，需经过 54 h 的代谢才能保证其食用安全性。对不同种类、不同规格的水产品，MS-222 的有效麻醉浓度和消除半衰期可能不同，其休药期也可能会有差异。因此，在水产运输中采用 MS-222 作为渔用麻醉剂时，应满足休药期的要求，这对保障消费者健康具有实际意义。

参考文献

[1] Ross LG and Ross B. Anesthetic and sedative techniques for aquatic animals (3rd edition) [M]. Oxford: Blackwell Scientific, 2008.

[2] 柳旭东，王际英，张利民，等. 麻醉剂 MS-222 及其麻醉效果的影响因素[J]. 水产科技情报, 2009, 36(2): 56–59.
Liu XD, Wang JY, Zhang LM, *et al*. The influence factors of MS-222 and the effect of anesthesia [J]. Fish Sci Technol Inf, 2009, 36(2): 56–59.

[3] 张丽，汪之和. MS-222 对大黄鱼成鱼麻醉效果的研究[J]. 科技与产业, 2010, 8: 38–40.
Zhang L, Wang ZH. Anesthetic effect of MS-222 on adult *Pseudosciaena crocea* [J]. Sci Technol Ind, 2010, 8: 38–40.

[4] Sink TD, Strange RJ, Sawyers RE. Clove oil used at lower concentrations is less effective than MS-222 at reducing cortisol stress responses in anesthetized rainbow trout [J]. N Am J Fish Manage, 2007, 27: 156–161.

[5] Vera LM, Ros-Sanchez G, Garcia-Mateos G, Sanchez-Vazquez FJ. MS-222 toxicity in juvenile seabream correlates with diurnal activity, as measured by a novel video-tracking method [J]. Aquaculture, 2010, 307: 29–35.

[6] 刘长林，陈四清，何力，等. MS-222 对半滑舌鳎成鱼的麻醉效果研究[J]. 中国水产科学, 2008, 1: 92–98.
Liu CL, Chen SQ, He L, *et al*. Effects of MS-222 as an anaesthetic on adult *Cynoglossus semilaevis Giinther* [J]. J Fish Sci China, 2008, 1: 92–98.

[7] 朱敏. 渔用麻醉剂MS-222残留量的测定及在大菱鲆体内富集消除规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Zhu M. Determination of Anesthesia MS-222 and Study on the Accumulation and Elimination in Turbot [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.

[8] 王春，罗月媚，葛国吕. 影响乙二醇苯醚对尼罗罗非鱼麻醉作用的因子[J]. 水利渔业, 1996(5): 27–30.
Wang C, Luo YM, Ge GL. The impact factor of ethylene glycol phenyl ether anesthesia effect on *Nile tilapia* [J]. Reservoir Fish, 1996, (5): 27–30.

[9] 朱敏，孙伟红，邢丽红，等. 液相色谱-串联质谱法测定水产品中麻醉剂 MS-222 残留[J].分析试验室, 2012, 31(6): 59–62.
Zhu M, Sun WH, Xing LH, *et al*. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for determination of residues of tricaine in aquaculture [J]. Chin J Anal Lab, 2012, 31(6): 59–62.

[10] Cho GK, Heath DD. Comparison of tricaine methane sulphonate (MS-222) and clove oil anesthesia effects on the physiology of juvenile Chinook salmon Oncorhynchus tshawytscha (Walbaum) [J]. Aquac Res, 2000, 31(6): 537–546.

[11] 廖国璋. 使用 MS-222 麻醉运输鱼类的效果[J]. 国外水产, 1990, (3): 42–45.
Liao GZ. The effect of using MS-222 to transport fish [J]. Foreign fish, 1990, (3): 42–45.

[12] 刘伟东. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)保活的基础研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Liu WD. Basic research on keep-alive of turbots *Scophthalmus maximus* [D]. Qingdao: Ocean University of China,2009.

[13] Billard R. Effect of some fish aresthetics on gamete survival during artificial insemination of rainbow trout [J]. Progr Fish Gulturist, 1981, 43(2): 72–73.

[14] 何新龙, 傅洪拓, 龚永生, 等. 丁香酚对日本沼虾麻醉效果的研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 620–623.
He XL, Bo HT, Gong YS, *et al*. Eugenol as an anesthetic for the freshwater prawn macrobrachium nipponense [J]. Chin Agric Sci Bull, 2007, 23(9): 620–623.

[15] Schram E, Verodegem MCM, Widjaja Rtobh, *et al*. Impact of increased flow rate on specific growth rate of juvenile turbot (*Scophthalmus maxinus*, Rafinesque 1810) [J]. Aquaculture, 2009, 292(1–2): 46–52.

[16] 任洁, 黄永涛, 黄二春, 等. MS-222 用于几种活鱼运输的效果[J].淡水渔业, 1998, 28(1): 24–26.
Ren J, Huang YT, Huang EC, *et al*. Effect of transport several live fishes with MS-222 [J]. Freshwater Fish, 1998, 28(1): 24–26.

[17] 黄书培, 任爱景. 我国大菱鲆市场现状研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(23): 5004–5007.
Huang SP, Ren AJ. Study on the market of the turbot in China [J]. Hubei Agric Sci, 2011, 50(23): 5004–5007.

[18] 汤保贵, 陈刚, 张健东, 等. 两种麻醉剂对罗非鱼的急性毒性及联合毒性研究[J]. 水产科技情报, 2010, 37(3): 111–114.
Tang BG, Chen G, Zhang JD, *et al*. Study on acute toxicity and joint toxicity of two kinds of anesthetics on Tilapia [J]. Fish Sci Technol Inf, 2010, 37(3): 111–114.

[19] Srikanth MS, Kahlstrom T, Oh KH, *et al*. Topical benzocaine (Hurricaine) induced methemoglobinemia during endoscopicprocedures in gastric bypass patients [J]. Obes Surg, 2005, 15: 584–590.

[20] Cakir Y, Strauch SM. Tricaine (MS-222) is a safe anesthetic compound compound compared to benzocaine and pentobarbital to induce anesthesia in leopard frogs [J]. Pharmacol Rep, 2005, 57(4): 467–474.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介

孙伟红, 高级工程师, 主要研究方向为水产品安全性与质量控制。
E-mail: sunwh@ysfri.ac.cn

邢丽红, 助理研究员, 主要研究方向为水产品安全性与质量控制。
E-mail: xinglh@ysfri.ac.cn

冷凯良, 研究员, 主要研究方向为水产品加工。
E-mail: lengkl@ysfri.ac.cn