

文章编号: 1674-5566(2021)01-0189-08

DOI:10.12024/j.sou.20200202926

## 渔用麻醉剂在鱼类麻醉保活运输中应用的研究进展

谢 晶<sup>1,2,3</sup>, 曹 杰<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

**摘 要:** 为了满足广大消费者可以品尝到各地鲜活鱼类的需求, 鱼的保活运输显得尤为重要, 为了降低运输损伤、提高运输存活率, 麻醉保活运输起到了重要作用。文章综述了 4 种常见渔用麻醉剂在鱼类麻醉保活运输中的应用, 讨论影响麻醉保活运输存活率效果的主要因素、麻醉剂对鱼体生理生化的影响以及麻醉剂残留的检测技术, 并概括了现阶段麻醉保活运输中存在的主要问题和发展前景。目前, 针对渔用麻醉剂的研究主要集中在对不同水产品的麻醉效果以及对鱼体生理生化的影响, 针对鱼肉风味影响方面的研究少。新型渔用麻醉剂和针对麻醉残留的快速检测技术将会是未来研究的重点。

**关键词:** 鱼; 麻醉剂; 保活运输; 麻醉剂检测技术

**中图分类号:** S 981.1      **文献标志码:** A

我国渔业资源丰富, 种类多样。长期以来, 中国的消费者喜食鲜活水产品, 为了满足广大消费者可以品尝到不同地区鲜活水产品的需求, 保活运输技术起到了重要作用。然而, 在保活运输过程中, 鱼类易受振荡碰撞等影响, 引发一系列应激反应, 导致鱼体受到伤害甚至死亡<sup>[1]</sup>。另外, 随着氧气消耗及氨氮排泄导致的水质恶化, 鱼的存活率会进一步降低。麻醉保活通过抑制鱼类神经系统的敏感性, 降低其对外界环境的应激反应, 减缓鱼体新陈代谢速率和呼吸强度, 从而降低运输损伤、提高运输存活率<sup>[2]</sup>。

### 1 渔用麻醉剂在保活运输中的应用

#### 1.1 渔用麻醉剂的作用

渔用麻醉剂可以抑制鱼脑的感觉中枢, 使鱼失去反射能力, 其作用原理是: 首先抑制脑的皮质(触觉丧失期), 再作用于基底神经节与小脑(兴奋期), 最后作用于脊髓(麻醉期)<sup>[3]</sup>。当麻醉药物从鱼体内排出后即可复苏, 具有可逆性<sup>[4]</sup>。然而, 麻醉剂质量浓度过高或者在麻醉剂溶液中浸泡时间过长, 使鱼呼吸系统和神经中枢深度麻

痹, 则会导致鱼体死亡<sup>[5]</sup>。

近年来, 渔用麻醉剂的种类剧增, 应用于鱼类运输的就有 30 多种, 其中最常用的有 MS-222、丁香油、2-苯氧乙醇和二氧化碳等。

#### 1.2 常见渔用麻醉剂在麻醉保活中的应用

##### 1.2.1 MS-222

MS-222 又称“三卡因”, 化学名为间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐( $C_{10}H_{15}NO_5S$ )。MS-222 耐高温, 易溶于水, 它的水溶液见光呈黄褐色, 呈弱酸性。MS-222 没有富集作用, 在清水中, 活鱼肌肉中的代谢时间约 12 h<sup>[6]</sup>。目前, MS-222 是唯一被美国食品和药品管理局(FDA)批准使用的鱼用安全麻醉剂, 被广泛应用在鱼体的保活运输中, 是各个国家应用于水产品中最安全有效的麻醉药物之一<sup>[7]</sup>。

在水溶液中, MS-222 主要经鱼鳃、皮肤等部位传导至鱼脑感受中枢, 控制鱼的反射和活动能力, 使鱼入麻, 降低其新陈代谢, 减少氧气消耗, 并进入休眠状态<sup>[8]</sup>。向建国等<sup>[9]</sup>研究发现, 当 MS-222 质量浓度为 45 ~ 65 mg/L 时, 金鱼的代谢量明显减少, 在较高装运密度(21 尾/L 以上)下

收稿日期: 2020-02-12      修回日期: 2020-05-01

基金项目: 国家“十三五”重点研发项目(2019YFD0901601); 2019 年上海市科技兴农重点攻关项目(2019-02-08-00-10-F01143); 上海市科学技术委员会工程技术研究中心能力提升项目(19DZ2284000)

作者简介: 谢 晶(1968—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为水产品保鲜与贮运。E-mail: jxie@shou.edu.cn

模拟运输 48 h 后,麻醉组金鱼的存活率明显高于空白组。林丽珍等<sup>[10]</sup>研究发现:经质量浓度为 60.0 mg/L 的短时间 MS-222 药浴后,黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 进入快速麻醉期,在空气中暴露 10 min 仍能保持麻醉状态,适宜短时间内的转运;当采用质量浓度为 20.0 mg/L 长时间镇定药浴后,黄颡鱼能长时间处于深度镇定期,该质量浓度可用于较长时间(24 h)的鱼体运输。丁亚涛等<sup>[11]</sup>分析比较了不同质量浓度、不同水温 and 不同鱼水质量比下鳊鱼 (*Parabramis pekinensis*) 的存活率,发现当鱼水比为 1:3,在 7 °C 的水温条件下,MS-222 的质量浓度为 60 mg/L 时,鳊鱼存活率最久,保活时间最长。

然而,使用 MS-222 时需要考虑到:在运输过程中,MS-222 不能减少 CO<sub>2</sub> 的排放,并且 MS-222 的水溶液具有弱酸性,所以鱼在麻醉后进行保活运输时,血液中皮质醇含量依然持续增长<sup>[12]</sup>;此外,MS-222 溶液应防止阳光直射,不然会对海水鱼产生毒性<sup>[13]</sup>。

### 1.2.2 丁香油

丁香油提取自丁香、肉桂和月桂叶等植物的花蕾,为淡黄色或无色的油状物质,它的有效活性成分为丁香酚,具有麻醉作用,占丁香油质量分数的 85% ~ 95%,此外,丁香油中还含有少量的异丁香酚和甲基丁香酚<sup>[14]</sup>。市场上多数商家使用丁香油水门汀作为渔用麻醉剂,据农业农村部水产品安全评估风险实验室调查发现,市场上所用的丁香油水门汀,其丁香酚质量分数高达 99.9%<sup>[15]</sup>。丁香油麻醉剂具有休药期短、价格低廉和实用性好等优点,世界上许多国家已经允许其作为渔用麻醉剂使用<sup>[16]</sup>。

对于丁香油麻醉剂的研究主要集中在麻醉效果和麻醉剂残留量等安全性方面。TAGO 等<sup>[17]</sup>研究了日本大比目鱼丁香酚最佳麻醉使用剂量,当鱼体血浆中丁香酚质量浓度为 2.19 ~ 4.88 μg/mL 时,平均体质量 127 g 的日本比目鱼能得到有效麻醉。KE 等<sup>[18]</sup>调研了中国农贸市场上市丁香酚麻醉剂在水产品中的残留,结果发现丁香酚残留的检出率为 10.6%。虽然我国还没有明确规定丁香油作为麻醉剂在水产品中的用量,但已有学者就丁香油在鱼类麻醉运输中的应用效果展开研究。王文豪等<sup>[19]</sup>利用丁香油麻醉大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 幼鱼进行模拟运输实

验,控制恒温为 28 °C,运输密度为 130 g/L,丁香酚质量浓度为 10 mg/L,并设置空白对照组,模拟运输 10 h 后,经丁香油麻醉后大口黑鲈幼鱼的存活率为 100%,远高于未麻醉鱼的 60%。方晓磊等<sup>[20]</sup>研究丁香油在草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 保活运输中的麻醉效果,结果显示:草鱼经质量浓度为 40 mg/L 的丁香油溶液药浴 3 min 后就能进入快速麻醉期,适宜草鱼短时间内的转运;当采用质量浓度为 10.0 mg/L 的丁香油溶液长时间药浴后,鱼体处于深度镇静期,适合草鱼的长时间(24 h)运输,保活率为 100%。适当降低麻醉剂的质量浓度,可以延长鱼体对麻醉剂的耐受时间,从而增加运输时间。考虑到丁香油麻醉剂中可能会含有甲基丁香酚,且有研究显示甲基丁香酚是潜在的致癌物质<sup>[21]</sup>,因此美国 FDA 未批准丁香油作为渔用麻醉剂使用<sup>[22]</sup>。此外,丁香酚具有挥发性,在长距离麻醉运输过程中其功效会逐渐减弱。

### 1.2.3 2-苯氧乙醇

2-苯氧乙醇 (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>) 为无色微黏液体,可溶于水。因为其价格低廉、准备方便,有着杀灭细菌和真菌的功效,并且在鱼类运输中可以降低排氨率,故被认为是一种优良的麻醉剂<sup>[23]</sup>。

相比于 MS-222 和丁香油在麻醉保活运输中的广泛应用,2-苯氧乙醇的使用较少,研究也相对少,主要集中于 2-苯氧乙醇对鱼生理生化指标的影响。AKBARY 等<sup>[24]</sup>研究 2-苯氧乙醇对鳊 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 的一级(皮质醇水平)和二级(血液指标和葡萄糖水平)应激反应和代谢酶(AST、ALT 和 ALP)活性的影响,结果表明:2-苯氧乙醇使用体积分数为 0.9 mL/L 时对鳊的血液参数指标的影响最小。YILDIZ 等<sup>[25]</sup>研究了 5 种体积分数的 2-苯氧乙醇(0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL/L)和丁香油(0.50、0.75、1.00、1.25、1.50 mL/L)在 7、13、18 °C 下对虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 的麻醉效果,结果显示随着 2-苯氧乙醇体积分数的增加,虹鳟的复苏时间显著增加。综合考虑合法性、可用性、成本效益、易用性,以及食品安全和环境安全,PRIBORSKY 等<sup>[26]</sup>不建议 2-苯氧乙醇用于食用鱼麻醉,但其综合应用价值不如 MS-222 和丁香油。

### 1.2.4 二氧化碳

1943年二氧化碳(CO<sub>2</sub>)被首次提出可以当作一种麻醉剂来使用<sup>[27]</sup>,与其他渔用麻醉剂相比,其优点是会在鱼体内有残留,对操作者和环境也十分安全,且价格低廉<sup>[28-29]</sup>。作为渔用麻醉剂没有药效消退期的规定,经处理后的鱼能够直接销向市场<sup>[2]</sup>。

GUAN等<sup>[30]</sup>研究发现,罗非鱼在高氧浓度的水溶液中保活时间显著延长。目前将CO<sub>2</sub>作为麻醉剂应用在鱼保活运输中的研究较少。张恒等<sup>[31]</sup>研究发现碳酸法在无水保活中可以有效提升鲫的存活率。但此方法等待鱼复苏花费的时间长,并且麻醉剂的量难以把控。

CO<sub>2</sub>不会对鱼体组织造成毒害,然而当CO<sub>2</sub>过多地积聚在鱼局部组织中时会使得麻醉过度,造成鱼窒息死亡<sup>[32]</sup>。研究<sup>[33]</sup>发现,当水中的碳酸质量浓度大于620 μg/mL时,鲫的存活率急剧下降。目前,将CO<sub>2</sub>用作麻醉保活运输的麻醉剂技术还不成熟,而且CO<sub>2</sub>麻醉只对部分鱼有作用,所以其在麻醉保活中的应用比较受限。

综上所述,在保活运输中,MS-222有较好的麻醉效果,没有富集作用,在肌肉中的残留量少,容易在干净的水中从鱼体内转移到水中,复苏时间短,安全高效;但是它价格贵,使用成本高。丁香油价格低廉,对人体健康的风险低,在水产品中消除速度快,将其用作鱼类保活运输的麻醉剂,拥有广阔的市场,但针对其可能存有的安全隐患,需进行充分的毒理学研究,对被其麻醉过的鱼进行药物代谢分析,以了解该物质在食用鱼中的允许浓度。CO<sub>2</sub>在鱼体内不存在残留问题,对操作者和环境也十分安全,但是其麻醉剂量难以控制,麻醉效果不稳定且适用的范围窄,在麻醉保活中的应用有较多限制。总之,MS-222和丁香油是目前最适宜作为麻醉保活运输的麻醉剂。但是今后还需要进一步加强对上述麻醉剂在鱼体内药代动力学的研究,并开发更安全高效、药物残留少、反复使用危害小的新型麻醉剂。

## 2 影响麻醉保活运输效果的主要因素

### 2.1 鱼的种类

相同的麻醉剂对不同品种的鱼会有不同的麻醉效果,这可能是因为不同种类的鱼具有不同的代谢速率<sup>[34]</sup>。当水溶液中的MS-222质量浓度

为30~40 mg/L时,中华鲟(*Acipenser sinensis*)处于深度麻醉状态,而体型相似的施氏鲟(*A. schrenckii*)则处于中度麻醉状态,表明中华鲟比施氏鲟对MS-222更敏感<sup>[35]</sup>。研究<sup>[36]</sup>发现,MS-222对斑马鱼(*Danio rerio*)、孔雀鱼和剑尾鱼(*Xiphophorus hellerii*)等也表现出不同的麻醉效果,斑马鱼更为敏感。所以,在选用麻醉剂时要考虑到鱼种类的差异,不能简单地根据一种鱼的麻醉情况推断另一种鱼的麻醉效果和适宜麻醉浓度。

### 2.2 麻醉剂浓度

合适的麻醉剂浓度对麻醉保活运输至关重要,麻醉剂浓度太低,起不到麻醉作用,不能够减少鱼类因应激反应而产生的损伤;麻醉剂浓度太高,增大了鱼体的损伤。处于深度镇静期的鱼对外界刺激的应激反应小,代谢率降低,却仍然能够维持鱼体平衡,此状态下,最适合保活运输。

### 2.3 水温

温度的变化对鱼类的生理反应起决定性作用。水温对于麻醉效果的影响非常大。水温升高,加快了鱼体内新陈代谢活动,同时,麻醉药物渗透到腮丝的速率也加快。研究<sup>[37-38]</sup>发现,温度越高,鱼体达到各麻醉阶段的时间越短,而完全复苏所需要的时间越长。而王昊龙等<sup>[39]</sup>和王利娟等<sup>[40]</sup>的研究发现麻醉时间有随水温升高而延长的趋势,复苏时间有随水温升高而缩短的趋势。但也有研究<sup>[41]</sup>显示,丁香油对褐石斑鱼(*Epinephelus bruneus*)的有效麻醉浓度随水温的升高而降低,这可能是由于不同品种的鱼对水温和麻醉剂的敏感程度不同。低温条件对鱼体生化反应的速率有直接的影响,水温降低可以减缓鱼的新陈代谢,从而减少氨的产生和毒性,减少氧的消耗,增加氧的溶解度。研究表明,降低5~10℃的水温有助于降低大多数温水鱼类50%的耗氧量和产氨量<sup>[22]</sup>。选择合适的温度对麻醉保活运输的效果至关重要,也有待进一步研究。

### 2.4 氧气

溶解氧(dissolved oxygen, DO)通过影响鱼类的鳃部运动和呼吸而造成鱼体麻醉效果的差异。DO越高,鱼的呼吸频率越低,单位时间内吸入的麻醉剂量越少,因此鱼会缓慢进入麻醉状态,且复苏快、成活率高<sup>[4]</sup>。在有限体积的容器内,随着运输时长增加,容器内氧含量逐渐降低,鱼为

满足自身代谢而增大呼吸频率,加速水质恶化,运输后死亡的鱼大多因缺氧和水质败坏而死<sup>[39]</sup>。所以,麻醉运输过程离不开充足的氧气,可以通过氧气棒、增氧剂补充氧或是在敞口容器进行麻醉运输。

此外,运输过程中水体指标(氨氮、pH和菌落数等)的变化对鱼类的存活率也有较大影响。鱼的健康状况也对活鱼运输过程中和运输后的生存能力中起着至关重要的作用。因此需要从以上这些方面对运输要求进行进一步地研究。

### 3 麻醉保活对鱼生理生化的影响

鱼体对麻醉操作也会产生一定的应激反应。当前,麻醉对鱼生理生化影响的研究主要集中于对耗氧率、pH和血液成分指标的检测。

#### 3.1 耗氧率

丁亚涛等<sup>[11]</sup>研究发现,鳊鱼麻醉组保活12 h后溶解氧水平是同一时间对照组溶解氧水平的1.9倍,在这一时间之后对照组鳊鱼出现死亡,麻醉组鳊鱼存活率为100%。这可能由于麻醉减少了鳊鱼对溶解氧的消耗,延长了保活时间。中华鲟幼鱼经丁香酚麻醉后,耗氧率呈现先上升后下降的趋势<sup>[42]</sup>。这可能是麻醉剂对鱼体产生胁迫作用,使其活力增强,呼吸频率加快,导致耗氧率上升。随着麻醉程度进一步加深,鱼体逐渐趋于安静状态,耗氧率下降。

#### 3.2 pH

研究发现,麻醉后鳊鱼体内的糖原下降速率和乳酸上升速率均小于对照组,麻醉组鱼体肌肉pH呈现下降趋势,且该趋势低于未麻醉组<sup>[11]</sup>。当鱼处于饥饿状态时,鱼体血液中的葡萄糖不能够满足鱼体的消耗,此时鱼类就会分解肌糖原,进行无氧代谢,糖原分解产生大量乳酸。乳酸在肌肉中不断积累,引起肌肉pH的变化,麻醉后的鱼代谢较低,乳酸积累少,故pH降幅低于未麻醉鱼的降幅。

#### 3.3 对血液成分的影响

血浆皮质醇水平、转氨酶活性和血糖含量是鱼类血液中重要的应激指标,通过检测这几个指标,可以反映出鱼体对麻醉剂所产生的应激反应以及从生化指标中体现麻醉剂在鱼类的保活运输中产生的作用。

#### 3.3.1 皮质醇水平

血液中皮质醇水平可以快速地体现鱼体的应激程度,常被用作鱼体应激指标。当鱼体受到刺激时,其皮质醇水平会显著升高<sup>[43]</sup>。运输过程中的碰撞、震荡均可使皮质醇含量升高。研究表明,麻醉剂可能是一个潜在的应激源,使血浆皮质醇水平升高,这与王利娟等<sup>[40]</sup>和IVERSEN等<sup>[34]</sup>的发现一致。研究<sup>[34]</sup>发现,在运输鲑鱼期间,与麻醉组的鱼相比,未麻醉的对照组鲑鱼血浆皮质醇水平更高。加州鲈鱼在被麻醉后,血液中皮质醇含量升高,但在麻醉运输过程中,皮质醇水平变化不明显<sup>[40]</sup>。这可能是鱼体被麻醉时产生了应激反应,而在运输时,麻醉剂减少了鱼体对外界的应激反应,从而保持皮质醇水平稳定。

#### 3.3.2 谷草转氨酶

谷草转氨酶活性是反映鱼体应激程度的重要指标。一般状态下,血液中谷草转氨酶的活性较低且稳定,当鱼体受到刺激时,谷草转氨酶活性升高,也表示组织受到一定程度的损伤<sup>[44]</sup>。虹鳟被MS-222麻醉后,其谷草转氨酶活性增加,而使用丁香酚麻醉后,血液中谷草转氨酶活性降低<sup>[45]</sup>。这可能是鱼体对不同种类的麻醉剂所产生的应激反应程度也不相同。

#### 3.3.3 葡萄糖

鱼体血液中的葡萄糖含量会在应激反应下升高<sup>[46]</sup>,可作为相应的应激指标。研究<sup>[11,40,45]</sup>表明,鳊鱼、加州鲈鱼和虹鳟在麻醉后鱼体内的葡萄糖含量升高。但也有一些研究结果与上述规律不符,如黑斑鲫(*Puntius filamentosus*)经MS-222麻醉后,其鱼体内血浆葡萄糖水平显著降低<sup>[47]</sup>。欧洲鲑经2-苯氧乙醇麻醉后鱼体内血浆葡萄糖浓度无明显变化<sup>[48]</sup>。

综上所述,不同种类鱼经麻醉后可能会产生不同的应激反应,使用麻醉剂可以减少鱼体在运输过程中对水中溶解氧的消耗,降低鱼体的应激反应,减少应激损伤,从而提高保活存活率。

## 4 麻醉剂残留检测

目前,渔用麻醉剂在水产品流通中已有许多应用,但国内目前尚未建立水产品运输中使用化学麻醉剂的限量标准或法律法规,这会引起人们

对渔用麻醉剂安全性的担忧,因而急需制定相应的检测和限量标准。目前,已有许多学者对麻醉剂残留的检测技术进行了深入研究。

BINANCA 等<sup>[49]</sup>采用传统分散液相微萃取法 (dispersive liquid-liquid micro-extraction, DLLME) 和低密度分散液相液-液微萃取法 (low density solvent-based dispersive liquid-liquid micro-extraction, LDS-DLLME) 对罗非鱼鱼片中薄荷醇 (1R, 2S, 5R)-2-异丙基-5-甲基环己醇进行了研究,对萃取和分散剂溶剂的性质进行了单变量分析,结果表明,以甲苯为萃取溶剂,丙酮为分散剂,对薄荷醇的萃取效率较高。该方法可以用于测定在不同麻醉时间和不同麻醉浓度下宰杀的鱼体内的薄荷醇残留量。梁旭等<sup>[50]</sup>采用涡旋涡辅助液液微萃取 (vortex-assisted liquid-liquid micro-extraction, VALLME) 消除了基质效应,并通过顶空固相微萃取 (headspace solid phase micro-extraction, HS-SPME) 结合气相色谱-质谱仪技术 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 提高了丁香酚测定的灵敏度。在 VALLME 和 HS-SPME 的最佳条件下,检测出鱼肉中丁香酚的含量呈良好的线性范围,范围为 15.0 ~ 750.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,丁香酚含量的检测限和定量限分别为 0.5 和 1.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。测得丁香酚的回收率为 95.4% ~ 119.9%,相对标准偏差小于 20%。并采用建立的方法对鱼样品中不同部位的丁香酚含量进行了测定。结果表明,建立的方法与长期应用的 GC-MS 分析相一致,具有良好的重复性、线性和灵敏度。赵东豪等<sup>[51]</sup>建立了一种实用的固相萃取 (solid-phase extraction, SPE) 法与液相色谱/串联质谱 (liquid chromatography/tandem mass spectrometry, LC-MS / MS) 相结合用于测定水中鱼用麻醉剂 MS-222 的方法。使用 3 个不同规格的 SPE 柱对水样品进行浓缩和纯化,在不同的色谱柱上使用不同的甲醇水溶液构建 MS-222 的洗脱曲线,并根据洗脱曲线优化 SPE 条件。以甲醇和 0.1% 甲酸溶液为流动相,线性梯度洗脱,在 C18 柱上分离 MS-222。采用电喷雾离子源正模式下的三重四极质谱进行检测,测得 MS-222 的回收率为 82.6% ~ 101.0%,相对标准偏差低于 9.36%,其中,MS-222 含量的检测限和定量限分别为 0.01  $\mu\text{g}/\text{L}$  和 0.03  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。王彩霞等<sup>[52]</sup>建立了一种检测鱼体内丁香酚残留量的高效液相

色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC) 方法,通过冷冻干燥技术预处理结合乙腈超声前处理手段,加标回收率为 78.67% ~ 90.54%,相对标准偏差小于 6%,定量限为 0.15  $\text{mg}/\text{kg}$ ,方法检出限值为 0.045  $\text{mg}/\text{kg}$ 。同时发现丁香油溶液质量浓度越高,鱼体内丁香酚积累越多,并利用该方法检测到斑点叉尾鲷经 60  $\text{mg}/\text{L}$  的丁香油溶液麻醉后,鱼体内丁香酚需 6 ~ 8 d 才能完全代谢,而经 40  $\text{mg}/\text{L}$  的丁香油溶液麻醉后,仅需要 4 ~ 6 d。

以上几种麻醉剂检测方法均有着灵敏度高、准确性高以及稳定性好等特点,但是所用设备价格高昂,操作步骤繁琐,难以用于政府现场监管和中小企业的自检。因此,为了实现渔用麻醉剂的规范化使用,新型快速检测技术可作为未来科研的方向。

## 5 总结

在长途运输中使用麻醉剂可以有效地降低鱼类伤亡,减少损失。目前许多学者对渔用麻醉剂展开了研究,但主要偏向于研究麻醉剂对鱼类麻醉的效果以及对鱼体生理生化的影响,在麻醉剂对鱼肉风味影响方面的研究少。在研究麻醉效果的同时,也应对麻醉药物的安全范围、休药期、药物残留以及人体安全评价等方面进行着重研究。

目前,大多针对麻醉鱼效果的实验研究都处于静水条件下,在该条件下,鱼类能保持稳定,产生的应激反应少,但在运输过程中,鱼体受震荡碰撞等影响,引发一些应激反应,这些变化可能与个体的差异性有关,如压力条件、代谢率、大小等因素,这会影响鱼的麻醉效果。同样,对不同麻醉剂和温度的耐受水平在不同鱼类之间可能存在显著差异。因此,静水条件下测得的最适麻醉质量浓度并不一定适用于保活运输中。对此,今后可对渔用麻醉剂在模拟活鱼运输中的效果展开进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] 毕靖红,陈爱萍. 黄颡鱼的苗种运输及注意事项[J]. 科学养鱼, 2011 (4): 81.
- BI J H, CHEN A P. Yellow catfish fry transportation and precautions, *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Scientific Fish Farming, 2011 (4): 81.

- [2] 何蓉, 谢晶. 水产品保活技术研究现状和进展[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 243-246.  
HE R, XIE J. Current status and advances in studies on technology of keeping alive of aquatic products[J]. Food & Machinery, 2012, 28(5): 243-246.
- [3] 李博岩, 陆曼, 焦亚琴, 等. 常用鱼类麻醉剂及其作用机理研究进展[J]. 生物学教学, 2017, 42(2): 7-10.  
LI B Y, LU M, JIAO Y Q, et al. Research progress on common fish anesthetics and their mechanism of action[J]. Biology Teaching, 2017, 42(2): 7-10.
- [4] 董纯, 潘磊, 乔晔. 鱼用麻醉剂概述[J]. 水产科技情报, 2016, 43(1): 28-32, 36.  
DONG C, PAN L, QIAO Y. Overview of fishing anesthetics[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(1): 28-32, 36.
- [5] 李亚菲. 浅析麻醉剂在水产品中的研究现状及措施[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(12): 66-67, 77.  
LI Y F. Analysis on the current research situation and measures of anesthetics in aquatic products[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2015, 61(12): 66-67, 77.
- [6] 孙伟红, 赵东豪, 付树林, 等. MS-222 对大菱鲆麻醉效果及富集消除规律研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4578-4583.  
SUN W H, ZHAO D H, FU S L, et al. Anesthesia effects and accumulation and elimination regularity of MS-222 in turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(11): 4578-4583.
- [7] 吕海燕, 王群, 刘欢, 等. 鱼用麻醉剂安全性研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(2): 24-28.  
LYU H Y, WANG Q, LIU H, et al. The research progress of anesthetics safety in fish[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2013, 3(2): 24-28.
- [8] 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 X D, WANG J Y, ZHANG L M, et al. Anaesthetic MS-222 and its influencing factors of anaesthetic effectiveness[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2009, 36(2): 56-59.
- [9] 向建国, 何福林, 陈才, 等. MS-222 麻醉金鱼模拟运输试验[J]. 水利渔业, 2005, 25(4): 13-15.  
XIANG J G, HE F L, CHEN C, et al. A simulation transport test by focusing golden fish with MS-222[J]. Reservoir Fisheries, 2005, 25(4): 13-15.
- [10] 林丽珍, 杜明溪, 于琳琳, 等. MS-222 对黄颡鱼麻醉效果的研究[J]. 水产科技情报, 2019, 46(1): 56-60.  
LIN L Z, DU M X, YU L L, et al. Anesthetic effects of MS-222 on yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2019, 46(1): 56-60.
- [11] 丁亚涛, 汪之和, 王林林, 等. MS-222 对鲢鱼麻醉保活运输效果的研究[J]. 水产科学, 2019, 38(3): 296-304.  
DING Y T, WANG Z H, WANG L L, et al. Effect of MS-222 on survival of bream fish during anaesthesia transportation[J]. Fisheries Science, 2019, 38(3): 296-304.
- [12] 符映英, 徐闪浪. 浅析三种渔用麻醉剂应用研究现状[J]. 食品安全导刊, 2019(9): 148-150.  
FU Y Y, XU S L. A brief analysis on the current research status of three fishery anesthetics[J]. China Food Safety Magazine, 2019(9): 148-150.
- [13] COYLE S D, DURBOROW R M, TIDWELL J H. Anesthetics in aquaculture[R]. SRAC Publication, 2004.
- [14] 刘春花, 赵长臣, 陈总会, 等. 丁香油麻醉剂在水产养殖上的应用研究进展[J]. 江西水产科技, 2016(6): 48-52.  
LIU C H, ZHAO C C, CHEN Z H, et al. Research progress on application of clove oil anesthetic in aquaculture[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2016(6): 48-52.
- [15] 金元, 何雅静, 程波, 等. 丁香酚类麻醉剂的安全性探讨[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 33-40.  
JIN Y, HE Y J, CHENG B, et al. Research on safety of eugenol derivatives anesthetics[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(1): 33-40.
- [16] 柯常亮, 刘奇, 陈洁文, 等. 气相色谱-串联质谱联用法测定水中丁香酚残留[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(4): 49-55.  
KE C L, LIU Q, CHEN J W, et al. Determination of eugenol in water using gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2014, 4(4): 49-55.
- [17] TAGO A, YOKOYAMA S, ISHIKAWA M, et al. Pharmacokinetics of eugenol in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2018, 49(4): 780-787.
- [18] KE C L, LIU Q, LI L, et al. Residual levels and risk assessment of eugenol and its isomers in fish from China markets[J]. Aquaculture, 2018, 484: 338-342.
- [19] 王文豪, 董宏标, 孙永旭, 等. MS-222 和丁香酚在大口黑鲈幼鱼模拟运输中的麻醉效果[J]. 南方水产科学, 2018, 14(6): 52-58.  
WANG W H, DONG H B, SUN Y X, et al. Anesthetic effects of MS-222 and eugenol in simulated transportation of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(6): 52-58.
- [20] 方晓磊, 柯常亮, 李刘冬, 等. 丁香酚辅助鲜活草鱼处理和运输的剂量研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 275-278, 318.  
FANG X L, KE C L, LI L D, et al. Concentrations of eugenol assisting for transport and handling of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(17): 275-278, 318.
- [21] MZANDARANI M, MARZI I, HEDAYETY, et al. Survey on anesthetic effects in different concentrations of eugenol on fingerlings and broodstocks caspian roach[J]. Journal of Animal Physiology and Development, 2018, 4(43): 37-48.

- [22] PARVATHY U, KUMAR K S, BINSI P K, et al. Effect of anesthetics, temperature and aeration in live transportation of tilapia[J]. *Fishery Technology*, 2019, (56): 38-43.
- [23] 韩军军, 胡江伟, 时春明, 等. 不同条件下 2-苯氧乙醇对扁吻鱼幼鱼的麻醉效果[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(2): 211-218.  
HAN J J, HU J W, SHI C M, et al. Effects of 2-phenoxyethanol as anaesthetics on juvenile *Aspiorhynchus laticeps* under different conditions[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(2): 211-218.
- [24] AKBARY P, PIRBEIGI A, JAHANBAKHSI A. Analysis of primary and secondary stress responses in bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) by anesthetization with 2-phenoxyethanol[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2016, 13(4): 1009-1016.
- [25] YILDIZ M, KAYIM M, AKIN S. The anesthetic effects of clove oil and 2-phenoxyethanol on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at different concentrations and temperatures[J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2013, 12(4): 947-961.
- [26] PRIBORSKY J, VELISEK J. A review of three commonly used fish anesthetics[J]. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2018, 26(4): 417-442.
- [27] POST G. Carbonic acid anesthesia for aquatic organisms[J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 1979, 41(3): 142-144.
- [28] 金一春, 胡萍华, 曲学伟, 等. 二氧化碳麻醉对白斑狗鱼的影响[J]. *湖南农业科学*, 2009(12): 138-140.  
JIN Y C, HU P H, QU X W, et al. Anesthetic effect of carbon dioxide on *Esox lucius* [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009(12): 138-140.
- [29] OBERG E W, PEREZ K O, FUIMAN L A. Carbon dioxide is an effective anesthetic for multiple marine fish species[J]. *Fisheries Research*, 2015, 165: 22-27.
- [30] GUAN W L, ZHAO M M, LIU T T, et al. Cooling combined with hyperoxic CO<sub>2</sub> anesthesia is effective in improving the air exposure duration of tilapia[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 14016.
- [31] 张恒, 汪玉祥, 冒森莉, 等. 淡水鱼碳酸休眠法无水保活运输技术[J]. *水产科技情报*, 2008, 35(5): 236-240.  
ZHANG H, WANG Y X, MAO S L, et al. Transportation techniques for keeping freshwater fish alive without water by using carbonic acid as dormancy[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2008, 35(5): 236-240.
- [32] 程君晖, 吴际萍, 王海霞, 等. 淡水鱼无水保活方法比较[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(9): 152-154.  
CHENG J H, WU J P, WANG H X, et al. The comparison of method of freshwater fish anhydrous preservation[J]. *Food Research and Development*, 2009, 30(9): 152-154.
- [33] TANG S, THORARENSEN H, BRAUNER C J, et al. Modeling the accumulation of CO<sub>2</sub> during high density, recirculating transport of adult *Atlantic salmon*, *Salmo salar*, from observations aboard a sea-going commercial live-haul vessel[J]. *Aquaculture*, 2009, 296(1/2): 102-109.
- [34] IVERSEN M H, ØKLAND F, THORSTAD E B, et al. The efficacy of Aqui-S vet. (iso-eugenol) and metomidate as anaesthetics in European eel (*Anguilla anguilla* L.), and their effects on animal welfare and primary and secondary stress responses[J]. *Aquaculture Research*, 2013, 44(8): 1307-1316.
- [35] 陈细华, 朱永久, 刘鉴毅, 等. MS-222 对中华鲟和施氏鲟的麻醉试验[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(1): 39-42.  
CHEN X H, ZHU Y J, LIU J Y, et al. Anesthetic trials of MS-222 on sturgeons, *Acipenser sinensis* and *A. schrenckii* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, 36(1): 39-42.
- [36] CHAMBEL J, PINHO R, SOUSA R, et al. The efficacy of MS-222 as anaesthetic agent in four freshwater aquarium fish species[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(7): 1582-1589.
- [37] 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, 28(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, 28(4): 531-537.
- [38] 杜浩, 危起伟, 杨德国, 等. MS-222、丁香油、苯唑卡因对养殖美洲鲟幼鱼的麻醉效果[J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22(1): 20-26.  
DU H, WEI Q W, YANG D G, et al. Anaesthetic effects of MS-222, clove oil and benzocaine on cultured American shad *Alosa sapidissima* fingerlings [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2007, 22(1): 20-26.
- [39] 王昊龙, 徐弘, 安苗, 等. MS-222 对杂交鲟幼鱼的麻醉效果及模拟运输试验[J]. *山地农业生物学报*, 2016, 35(1): 40-44, 50.  
WANG H L, XU H, AN M, et al. Effect of MS-222 on the anesthetic results and simulated transportation in hybrid juvenile sturgeon [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2016, 35(1): 40-44, 50.
- [40] 王利娟, 程守坤, 张饮江, 等. MS-222 在加州鲈鱼模拟运输中的麻醉效果[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(2): 235-241.  
WANG L J, CHENG S K, ZHANG Y J, et al. Anesthetic effects of MS-222 in simulated transportation of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(2): 235-241.
- [41] PARK M O, HUR W J, IM S Y, et al. Anaesthetic efficacy and physiological responses to clove oil-anaesthetized kelp grouper *Epinephelus bruneus* [J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(8): 877-884.
- [42] 庄平, 徐滨, 章龙珍, 等. MS-222 和丁香酚对中华鲟幼鱼耗氧率与排氨率的影响[J]. *中国水产科学*, 2009, 16(4): 612-618.  
ZHUANG P, XU B, ZHANG L Z, et al. Effects of MS-222 and clove oil on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile Chinese sturgeon, *Acipenser*

- sinensis[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(4): 612-618.
- [43] ACERETE L, BALASCH J C, ESPINOSA E, et al. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling [J]. Aquaculture, 2004, 237(1/4): 167-178.
- [44] SVOBODA M. Stress in fish-review[J]. Bulletin of Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology, Vodnany, 2001, 37: 169-191.
- [45] VELISEK J, STARA A, LI Z H, et al. Comparison of the effects of four anaesthetics on blood biochemical profiles and oxidative stress biomarkers in rainbow trout [J]. Aquaculture, 2011, 310(3/4): 369-375.
- [46] COSTAS B, ARAGÃO C, MANCERA J M, et al. High stocking density induces crowding stress and affects amino acid metabolism in Senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup 1858) juveniles[J]. Aquaculture Research, 2008, 39(1): 1-9.
- [47] 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 filamentus* (Valenciennes) [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(2): 309-314.
- [48] VELISEK J, WLASOW T, GOMULKA P, et al. Effects of 2-phenoxyethanol anaesthesia on sheatfish (*Silurus glanis* L.) [J]. Veterinarni Medicina, 2007, 52(3): 103-110.
- [49] BOTREL B M C, ABREU D C P, SACZK A A, et al. Dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of menthol residue in fish by GC - MS[J]. Microchemical Journal, 2017, 133: 70-75.
- [50] LIANG X, FENG T T, WU J H, et al. Vortex-assisted liquid-liquid micro-extraction followed by head space solid phase micro-extraction for the determination of eugenol in fish using GC-MS[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(3): 790-796.
- [51] ZHAO D H, WANG Q, WANG X F, et al. Determination of MS-222 in water samples by solid-phase extraction coupled with liquid chromatography/tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatographic Science, 2017, 55(8): 813-817.
- [52] 王彩霞, 熊光权, 白婵, 等. 高效液相色谱法检测鲫鱼体内丁香酚的残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2195-2200.
- WANG C X, XIONG G Q, BAI C, et al. Determination of eugenol residues in channel catfish by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(8): 2195-2200.

## Research progress on application of fishing anesthetic in fish anesthesia keep-alive transportation

XIE Jing<sup>1,2,3</sup>, CAO Jie<sup>1</sup>

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to meet the needs of consumers who can taste fresh fish which are from different places, keep-alive transportation of fish is particularly important. Anesthesia keep-alive transportation plays an important role in reducing transport injury and improving transport survival rate. This article summarizes the application of four common fishery anesthetics in fish anesthesia keep-alive transportation, discusses the main factors affecting the survival rate of anesthesia keep-alive transportation, the effects of anesthetics on fish physiology and biochemistry, and the detection technology of anesthetic residues and summarizes the current problems and development prospects of anesthesia keep-alive transportation. At present, researches on anesthetics for fisheries are mainly focused on the anesthetic effects for different aquatic products and the effects on fish physiology and biochemistry, and there are few studies on the effects of fish flavor. New types of fishing anesthetics and rapid detection technology for anesthetic residues will be the focus of future research.

**Key words:** fish; anesthetic; keep-alive transportation; anesthetic detection technology