

# 丁香酚在水产品中的残留及风险评估 研究进展

杨洁<sup>1\*</sup>, 朱晓玲<sup>2</sup>

(1. 南京市食品药品监督检验院, 南京 211198; 2. 湖北省食品质量安全监督检验研究院, 武汉 430070)

**摘要:** 受我国南北气候、地理环境和养殖条件的限制, 鲜活水产品需要经过长途运输来满足不同市场的需求。而运输过程中鲜活水产品受应激胁迫、机体受伤感染、水质恶化等因素影响, 不仅引起水产品存活率降低, 而且造成产品质量下降。丁香酚有较强的麻醉作用, 广泛应用于口腔牙科麻醉, 现也作为渔用麻醉剂应用到鲜活水产品的运输过程中。本文通过对丁香酚国内外标准规定、使用现状、麻醉机理和应用、残留检测方法、残留风险评估以及前景展望等方面进行说明和探讨, 以期为我国丁香酚在水产养殖运输环节中的合理使用提供依据和参考。

**关键词:** 鲜活水产品; 丁香酚; 麻醉剂; 风险评估

## Research progress of eugenol residue and risk assessment in aquatic products

YANG Jie<sup>1\*</sup>, ZHU Xiao-Ling<sup>2</sup>

(1. Nanjing Institute for Food and Drug Control, Nanjing 211198, China; 2. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan 430070, China)

**ABSTRACT:** Restricted by the north-south climate, geographical environment and culture conditions in China, fresh aquatic products need to be transported over long distances to meet the needs of different markets. During transportation, fresh aquatic products are affected by factors such as stress, injury and infection, and deterioration of water quality, which not only causes a decrease in the survival rate of aquatic products, but also causes a decline in product quality. Eugenol has a strong anesthetic effect and is widely used in oral dental anesthesia. It is also used as a fishery anesthetic in the transportation of fresh aquatic products. This article explained and discussed the domestic and foreign standards and regulations of eugenol, its use status, anesthesia mechanism and application, residue detection methods, residue risk assessment and prospects, so as to provide the basis and reference for the reasonable use of eugenol in aquaculture transportation in China.

**KEY WORDS:** fresh aquatic products; eugenol; anesthetic; risk assessment

## 1 引言

鲜活水产品是一种高蛋白质、低脂肪食用农产品, 深

受人民喜爱。随着我国水产业的迅猛发展, 为减缓水产品  
在运输过程中的应激反应, 提高成活率, 降低水产品  
在运输途中受伤, 主要应用麻醉剂、充氧、低温诱导休眠和无

\*通讯作者: 杨洁, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全。E-mail: 358915666@qq.com

\*Corresponding author: YANG Jie, Engineer, Nanjing Institute for Food and Drug Control, 199 Wenfang Road, Jiangning District, Nanjing 211198, China. E-mail: 358915666@qq.com

水储运等方式调高鲜活水产品质量<sup>[1-3]</sup>。但低温诱导休眠效果有限,仅对适应温度为 10℃以上的鱼类有效,而对适应温度为 10℃以下的鱼类则低温诱导作用差,很难起到镇定作用<sup>[4]</sup>。

麻醉剂在国外被广泛应用于鲜活水产品的运输、标记等渔业生产和研究中,在降低鱼类对捕捞、运输等应激反应方面有较好的保护作用<sup>[5]</sup>。农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室 2016 年调查表明,目前水产市场上多数商家所使用的渔用麻醉剂—丁香油木门汀,其丁香酚含量达 99.9%,因此对丁香油麻醉剂的研究仅考虑丁香酚<sup>[6]</sup>。

渔用麻醉剂丁香酚价格低廉,麻醉效果好,普遍应用到水产养殖和运输业,虽然我国逐渐开展丁香酚应用、残留检测、风险评估等方面的研究,但关于水产品中麻醉剂丁香酚从应用到残留风险评估的综合性研究综述较少。

本研究结合国内外丁香酚使用现状和研究进展,从麻醉作用机制、残留消除、分析检测技术、对人体健康风险影响等方面对丁香酚研究现状进行概述,以期对丁香酚在水产运输的合理使用提供理论依据。

## 2 丁香酚简述

丁香酚(分子式:  $C_{10}H_{12}O_2$ ),无色至黄色液体,有强烈的丁香香气,不溶于水,可溶于非极性或弱极性溶剂。1972 年,在日本远藤地区发现丁香酚,并证明其对鱼类具有麻醉作用,此后便逐渐应用于鱼类的麻醉<sup>[7]</sup>;还可作为食用香精用于食品中添加。

丁香酚作为食品添加剂,主要用于改善和提高食品的风味。丁香酚作为香料和风味剂在美国和欧盟等国家和地区可以合法使用,且没有制定最大残留或使用限量<sup>[8,9]</sup>。在我国 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[10]</sup>附录 B.3(允许使用的食品用合成香料名单)表明,丁香酚是允许使用的食品用合成香料;但附录“B.1 食品用香精、香料的使用原则”中规定,表 B.1 中所列食品没有加香的必要,不得添加食品用香料、香精,法律、法规或国家食品安全标准另有明确规定者除外。而“09.01 鲜水产”食品在名单之列。这表明,丁香酚作为食品添加剂,在我国新鲜水产食品中是不允许添加使用的。

丁香酚作为渔用麻醉剂,可以在日本、澳大利亚、智利和新西兰等国合法使用<sup>[11]</sup>。日本在 2006 年水产养殖用药第 21 号通报中为麻醉剂丁香酚新设定了休药期,即鱼类休药期为 7 d,甲壳类休药期为 10 d<sup>[12]</sup>;我国和美国、加拿大、英国暂没有相关法律规定<sup>[13]</sup>。

## 3 丁香酚的作用机制和应用

### 3.1 丁香酚的作用机制

鲜活水产品在水产养殖和流通过程中,短时间转移操作

和运输是其重要环节,搬运、离水、持续震荡摇晃等操作会引起水产品的应激反应,造成不同程度的损伤,进而影响成活率。丁香酚作为渔用麻醉剂,主要作用是镇静鲜活水产品,缓解惊吓,减少碰撞擦伤,降低耗氧量和氨氮排放量<sup>[14]</sup>,维持暂养水质。

麻醉剂主要是通过水产品的鳃部或体表吸收首先进入到血液,然后影响中枢神经系统,使其失去反射动作,进而对水产品产生麻醉作用<sup>[15]</sup>。水产品体麻醉后需经历触觉丧失期、兴奋期和麻醉期这 3 个时期,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>[16]</sup>。麻醉剂是能可逆地抑制中枢神经系统或者能在局部阻断神经冲动传导的药物,当解除麻醉手段或药物在体内被代谢或排除后,机体即可复苏<sup>[5]</sup>。但当麻醉剂量过大或麻醉时间过长时,麻醉剂会深入髓质,造成呼吸与血管舒缩中枢麻痹,最终导致死亡<sup>[16]</sup>。

### 3.2 丁香酚的应用

目前已有使用丁香酚应用于麻醉刀鲚幼鱼、克氏原螯虾幼虾、大口黑鲈、罗非鱼等鲜活水产品的采卵、短时间转移操作和长途运输过程的研究。Houston 等<sup>[17]</sup>假设鱼类达到麻醉状态需要一个“绝对”麻醉剂摄入量,“绝对”摄入量仅在不同鱼种间存在差异。李靖等<sup>[18]</sup>通过对大西洋鲑鱼的研究,显示鱼体规格对丁香酚麻醉效果(浸浴时间、恢复时间、麻醉浓度等)造成的影响并不显著,仅对丁香酚的耐受性有轻微差异。杨移斌等<sup>[19]</sup>用丁香酚对俄罗斯鲟进行麻醉结果表明,相同浓度的丁香酚对不同体重的俄罗斯鲟麻醉效果相差不大;罗晶晶等<sup>[20]</sup>研究表明,丁香酚对罗非鱼的麻醉效果与鱼的规格无相关性;研究结果与 Houston 假设相一致。

丁香酚对不同水产品品种的适宜麻醉浓度、麻醉时间以及是否适用存在较大差异,详见表 1。朱之发等<sup>[21]</sup>在筛选适宜长蛸的麻醉剂实验中发现,丁香酚对长蛸无麻醉作用,不适用于部分头足类水产品。丁香酚的浓度与麻醉时间呈负相关,与复苏时间呈正相关。当对鲜活水产品实施短时间人工操作(采样、测量、转移等)时,适宜选择丁香酚质量浓度较高的麻醉剂。低浓度的丁香酚麻醉剂不能使水产品进入深度麻醉期,而是长期处于镇静期,适合长途运输操作,既降低鲜活水产品的代谢,又不会对其机体产生伤害。丁香酚麻醉剂对同品种水产品麻醉效果受丁香酚不同的质量浓度、暂养水体温度、不同麻醉时间、水产品个体在空气中的暴露时间等因素影响,从而决定鲜活水产品的存活率和复苏率。

## 4 丁香酚残留检测方法

高密度规模化的水产业不仅存在兽药残留问题,同时也存在渔用麻醉剂残留问题<sup>[28]</sup>,这对消费者的食用安全

带来了潜在的危害。水产品基质较复杂, 蛋白质含量高, 样品检测难度较大。只有吉林省发布过关于丁香酚化合物检测的地方标准(DB22/T 1988-2013《水产品中丁香酚的测定 高效液相色谱法》<sup>[29]</sup>), 但该标准已于 2018 年 11 月 19 日废止, 国家暂无对丁香酚残留物检测的相关标准, 只有补充检验方法。

国家市场监督管理总局 2019 年 4 月 8 日发布了《水产品及水中丁香酚类化合物的测定》等 2 项食品补充检验方法的公告<sup>[30]</sup>(2019 年第 15 号), 其中补充检验方法 BJS 201908《水产品及水中丁香酚类化合物的测定》中规定, 水产品经乙腈饱和正己烷除脂净化或过滤净化(水样)处理后, 采用气相色谱-质谱联用仪检测丁香酚含量, 检出限 0.01 mg/kg, 定量限为 0.02 mg/kg。

近几年随着水产品问题的突出, 对丁香酚研究的深

入, 出现了多种对水产品中丁香酚残留检测的分析方法。目前, 水产品中丁香酚的检测方法主要有以固相萃取、微波辅助萃取<sup>[31]</sup>、分子印迹固相萃取、QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, rugged and safe)为前处理手段, 采用高效液相色谱法、气相色谱法、气相色谱-质谱联用法、液相色谱-质谱联用法等检测方法, 检测方法和结果见表 2。通过分析比较发现, 黄武等<sup>[33,34]</sup>采用气相色谱-质谱联用仪检测水产品中丁香酚, 其检出限较低, 并能够减少分析时间、提高效率、减少溶剂消耗、降低环境污染, 较适用于水产品中丁香酚的批量检测。与 2019 年国家市场监督管理总局颁布的水产品中丁香酚补充检验方法<sup>[39]</sup>采用的检测仪器(气相色谱-质谱联用仪)相一致。通过分析, 旨在为丁香酚麻醉剂残留检测的标准制定提供理论依据。

表 1 不同水产品中丁香酚的适宜质量浓度和适用范围  
Table 1 Appropriate mass concentration and application range of eugenol in different aquatic products

序号	样品	个体质量/g	温度/°C	适用范围	适宜质量浓度(mg/L)	麻醉时间	复苏率	存活率	文献
1	草鱼	1000~1500	20±1	短时间操作(采样、转移等)	40	3 min	100%	/	[1]
				运输操作	10	24 h	/	100%	
2	大口黑鲈幼鱼	130±10	28±0.5	运输操作	10	10 h	/	100%	[13]
3	克氏原螯虾幼虾	4.18±0.54	18.0±0.5	运输操作	40	不超过 4 h	/	100%	[14]
4	大西洋鲑	99,153,375 以上	14~15	短时间操作(采样、转移等)	50	12 min	100%	/	[18]
5	罗非鱼	104±11.3	23~25	短时间操作(采样、转移等)	45	3 min	100%	/	[20]
6	长蛸	138~151	18±0.3	/	40 μL/L(出现中毒现象)	10 min	/	0%(低浓度未出现麻醉)	[21]
7	长江刀鲚幼鱼	2.5~3.0	25±0.5	短时间操作(采样、转移等)	30	(2.89±0.59) min	100%	/	[22]
				运输操作	8	12 h	/	100%	
8	黄斑篮子鱼幼鱼	4.83±1.30	29.3±1.1	短时间操作(采样、转移等)	30	6 min	100%	/	[23]
9	锦鲤幼鱼	40.50±1.04	19.5±0.5	短时间操作(采样、转移等)	30~40	5.22~17.46 min	100%	/	[24]
10	异齿裂腹鱼	1072±101	12.5	短时间操作(采样、转移等)	35	/	100%	/	[25]
11	长薄鳅幼鱼	1.95±0.24	22 ±1	短时间操作(采样、转移等)	40~60	3 min	100%	/	[26]
				运输操作	10	10 h	/	100%	
12	罗非鱼	320±50	23±2	短时间操作(采样、转移等)	30	3 min	100%	/	[27]

注: “存活率”表示水产品在运输过程后, 鲜活的水产品量占总运输水产品量的百分比; “复苏率”表示水产品在短时间操作转移后, 鲜活水产品量占总操作转移水产品量的百分比; “/”表示不存在该项结果。

表 2 水产品中丁香酚残留检测情况  
Table 2 Detection of eugenol residues in aquatic products

样品	前处理方法	检测方法	检出限	定量限	平均回收率	文献
石斑鱼、桂花鱼、南美白对虾	分子印迹固相萃取	高效液相色谱法	/	0.05 mg/kg	91.27%~99.29%	[32]
罗非鱼、南美白对虾	QuEChERS 方法净化	气相色谱-质谱联用法	2.0 μg/kg	5.0 μg/kg	78.2%~93.4%	[33]
南美白对虾、石斑鱼、鳊鱼、鳙鱼	固相萃取	气相色谱-质谱联用法	3.0 μg/kg	10.0 μg/kg	85.7%~101.5%	[34]
鲫鱼、对虾	固相萃取	超高效液相色谱 - 串联质谱法	/	2.5 μg/kg	79.2%~102.6%	[35]
罗非鱼	溶剂提取(乙腈)	高效液相色谱法	0.03 mg/kg	0.10 mg/kg	80.5%~101.2%	[36]
鲤鱼	标记丁香酚单克隆抗体	胶体金免疫层析法	2.0 mg/L	/	/	[37]
罗非鱼、南美白对虾、鳊鱼以及梭子蟹	分散固相萃取(DSPE)	气相色谱法	/	0.1 mg/kg	87.3%~97.7%	[38]

注：“/”表示该文献研究中，没有相关数据。

## 5 丁香酚健康风险评估

### 5.1 毒理学研究

依据世界卫生组织对毒性划分的标准，丁香酚属于低毒害物质<sup>[40]</sup>。丁香酚会导致小鼠肝脏内的癌细胞的发生率增高，但由于目前丁香酚对试验动物致癌的证据不足，流行病学数据缺乏，世界癌症研究机构将丁香酚归类为可疑致癌物<sup>[41]</sup>。欧洲食品安全局认为丁香酚不具有遗传毒性和细胞毒性，但是对皮肤和眼睛具有刺激作用<sup>[42]</sup>。美国国家毒理学计划的突变实验结果，丁香酚不会诱导啮齿动物突变反应的发生，丁香酚诱导的细胞遗传学效应仅在中国仓鼠卵巢细胞内发生<sup>[43]</sup>。大剂量丁香酚对人体的肺部组织可能具有一定的毒性<sup>[44]</sup>。Lavoie 等<sup>[45]</sup>研究结果表明人体吸食大量含有丁香(含丁香酚)的卷烟会导致肺水肿、支气管痉挛等副作用。

### 5.2 水产品中丁香酚残留消除的研究

Li 等<sup>[46]</sup>将草鱼放置 10 mg/L 丁香酚溶液中 2 h 后检测发现，草鱼肌肉中丁香酚药峰质量浓度 1.93 mg/kg，清水净化 96 h 后肌肉中没有丁香酚残留。彭勤等<sup>[47]</sup>通过丁香酚在凡纳滨对虾中残留消除的研究发现，2~2.5 h 内丁香酚消除速率较快，虾的肝胰腺消除能力较好，消除速率较快，肌肉次之，而虾头消除速率相对较慢。在经过 48 h 消除代谢后，凡纳滨对虾体内丁香酚能够降低至 0.8~1 μg/kg。其中影响水产品代谢残留主要因素有温度、个体大小、年龄、水体盐度、pH 值等，其中温度对残留消除的影响最大<sup>[48]</sup>。孙宇航等<sup>[27]</sup>研究丁香酚在罗非鱼肝脏和肌肉组织中的残留时间较在血浆中的长，约为 8 d。这一结果与日本规定丁香酚休药期为 7 d 的结论相似。

### 5.3 人体膳食暴露风险评估

湖北省课题组于 2017 年对淡水产品中的丁香酚开展了风险监测调研。共采集 200 批次样品，涉及 15 个品种细类，采用超高效液相色谱-串联质谱法分析测定了水产品中丁香酚的残留量。结果显示，65 批样品检出丁香酚残留，检出率为 32.50%，残留量范围为 2.90~3623.11 μg/kg。与 2015 年国家水产品质量安全风险评估项目组(下称：2015 年项目组)的风险监测结果比较发现<sup>[49]</sup>，水产品中丁香酚残留检出率明显升高，由 2015 年抽检检出率的 10.6% 上升到 2017 年的 32.50%，但丁香酚残留范围低于 2015 年项目组。2015 年项目组检测丁香酚残留量范围为 3~36100 μg/kg，残留量最高值是 2017 年湖北项目组的近 10 倍。付晓苹等<sup>[50]</sup>2016 年在流通环节采集 48 批次水产样品，共有 1 批次的水产品检出了丁香酚，检出率为 2.08%；翟纹静等<sup>[51]</sup>2018 年也对江苏部分地区流通环节水产品中的丁香酚进行了风险监测，采集 108 批水产品中检出丁香酚残留样品 20 批，检出率 18.52%，含量范围为 2.02~297.78 μg/kg。以上通过对水产品中丁香酚残留风险监测的结果表明，丁香酚残留量范围可能受样品量差距大(2015 年项目组有 537 份活鱼样品)、地域差异等因素影响；但从丁香酚检出率分析，市面上水产品中丁香酚残留风险有上升趋势。

联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)食品添加剂联合专家委员会推荐丁香酚人体每日允许摄入量为 2.5 mg/(kg·bw)<sup>[52]</sup>。欧洲食品安全局则规定丁香酚 ADI 值为 1.0 mg/(kg·bw)<sup>[42]</sup>。以 60 kg 成人计算，根据欧洲食品安全局规定的丁香酚 ADI 值 1.0 mg/kg bw，即每人每日安全摄取量为 60 mg/d；中国居民膳食指南(2016)中特定人群膳食指南推荐成年女性、成年男性、乳母和孕妇的水产品

消费量分别为 50、75、85 g/d 和 100 g/d<sup>[53]</sup>, 按照 2015 年项目组丁香酚最高残留量 36100 μg/kg 计算, 每人每天从水产品中摄入的丁香酚总量最多为 3.61 mg, 估算值远低于每人每日的安全摄入量 60 mg。因此, 根据现有数据分析, 水产品中丁香酚残留对人体的健康风险较低。

## 6 讨论和展望

基于已有的实验结果, 丁香酚对水产品的麻醉效果受到多种因素影响, 如: 水体温度、水产品品种、个体大小差异等, 且并不适用于所有品种的水产品。并通过研究发现, 不同地区水产品中丁香酚残留量范围存在较大差距, 市场对丁香酚作为麻醉剂没有统一的规范和使用依据, 造成滥用情况普遍存在。建议开展市售水产品中丁香酚残留风险监测, 积累市售水产品 and 养殖用水中丁香酚残留的检测数据, 了解我国市场丁香酚使用情况, 找出市售水产品中可能存在的风险因子, 进行风险防控机制, 评估其作为渔用麻醉剂的安全性。最终能够出台针对渔用麻醉剂丁香酚的使用指导规范性文件以及制定水产品中丁香酚残留的限量标准。

目前, 国家针对水产品中丁香酚残留量的检测还没有标准, 只有补充检验方法, 各实验室或研究团队都是根据自有条件进行检测, 水产品的不同前处理方法、不同检测仪器及其精密度差异等都会影响检测结果, 建议建立丁香酚检测的国家标准。

## 参考文献

- [1] 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.  
Fang XL, Ke CL, Li LD, et al. Concentrations of eugenol assisting for transport and handling of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(17): 275-278.
- [2] 曾鹏, 申江, 陈天及. 休眠方式、温度和时间对离水储藏鲫鱼生理指标的影响[J]. 水产科学, 2019, 38(4): 492-497.  
Zeng P, Shen J, Chen TJ. Effects of resting mode, temperature and time on physiological indices in crucian carp stored in air [J]. Fisher Sci, 2019, 38(4): 492-497.
- [3] Mi H, Qian C, Mao L. Quality and biochemical properties of artificially hibernated crucian carp for waterless preservation [J]. Fish Physiol Biochem, 2012, 38(6): 1721-1728.
- [4] 曾鹏, 陈天及, 申江. 使用麻醉剂及低温诱导休眠对鲫生理抑制作用影响的比较[J]. 水产科技情报, 2017, 44(6): 303-308.  
Zeng P, Chen TJ, Shen J. Comparison of the effects of anesthetics and hypothermia-induced dormancy on physiological inhibition of crucian carp [J]. Fisher Sci Technol Inf, 2017, 44(6): 303-308.
- [5] 刘春花, 赵长臣, 巩华, 等. 丁香油麻醉剂在水产养殖上的应用研究进展[J]. 广东饲料, 2016, 25(11): 33-36.  
Liu CH, Zhao CC, Gong H, et al. Research progress of clove oil anesthetics in aquaculture [J]. Guangdong Feed, 2016, 25(11): 33-36.
- [6] 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 YJ, Cheng B, et al. Research on safety of eugenol derivatives anesthetics [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(1): 33-40.
- [7] 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 BY, Lu M, Jiao YQ, et al. Research progress of common fish anesthetic and its mechanism of action [J]. Biol Teach, 2017, 42(2): 7-10.
- [8] The Flavor and Extract Manufacturers association of the united states. FEMA flavor ingredient library [EB/OL]. [2016-10-25]. <http://www.femaflavor.org/flav-or/search?text=eugenol>.
- [9] European Food Safety Authority. Data base of flavouring substances-European commission [EB/OL]. [2016-04-25]. <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/top-ic/flavourings>.
- [10] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].  
GB 2760-2014 National food safety standard-Standards for use of food additives [S].
- [11] 王彩霞, 熊光权, 白婵, 等. 渔用麻醉剂检测方法及残留安全性评价研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1): 51-56.  
Wang CX, Xiong GQ, Bai C, et al. Research progress of detection methods and residual safety evaluation of fish sedatives [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(1): 51-56.
- [12] The Japanese positive list system for agricultural chemical residues in foods (2014) MRLs updated on January [EB/OL]. [2014-01]. <http://www.ffcr.or.jp/zaidan/FFCRHOME.nsf/pages/MRLs-p>.
- [13] 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 WH, Dong HB, Sun YX, et al. Anesthetic effects of MS-222 and eugenol in simulated transportation of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. South China Fisher Sci, 2018, 14(6): 52-58.
- [14] 徐滨, 魏开金, 朱祥云, 等. MS-222 和丁香酚对克氏原螯虾幼虾耗氧率、排氨率及窒息点的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(4): 455-459.  
Xu B, Wei KJ, Zhu XY, et al. Effects of MS-222 and clove oil on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxial point of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. J Dalian Ocean Univ, 2018, 33(4): 455-459.
- [15] 刘双凤, 蔡勋. 鱼用麻醉剂的研究进展[J]. 黑龙江水产, 2008, (6): 40-43.  
Liu SF, Cai X. Research progress of fish anesthetics [J]. Fisher Heilongjiang, 2008, (6): 40-43.
- [16] 李思发. 鱼类麻醉剂[J]. 淡水渔业, 1988, 1: 22-23.  
Li SF. Fish anesthetics [J]. Freshwater Fisher, 1988, 1: 22-23.
- [17] Houston AH, Corlett JT, Woods RJ. Specimen weight and MS 222 [J]. J Fisher Res Board Can, 1976, 33(6): 1403-1407.
- [18] 李靖, 刘宝良, 王顺奎, 等. 丁香酚对大西洋鲑麻醉效果的实验研究[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(1): 92-99.  
Li J, Liu BL, Wang SK, et al. Experimental study on the effect of eugenol on Atlantic salmon [J]. Adv Mar Sci, 2015, 33(1): 92-99.
- [19] 杨移斌, 夏永涛, 艾晓辉, 等. 丁香酚对俄罗斯鲟的麻醉效果[J]. 中国渔业质量与标准, 2016, 6(1): 17-21.  
Yang YB, Xia YT, Ai XH, et al. Anesthetic effects of eugenol on *Acipenser gueldenstaedti* [J]. Chin Fishery Qual Stand, 2016, 6(1): 17-21.
- [20] 罗晶晶, 韩典峰, 孙玉增, 等. 丁香酚对罗非鱼的麻醉效果[J]. 河北渔

- 业, 2018, (3): 5-8.
- Luo JJ, Han DF, Sun YZ, *et al.* Anaesthetic effect of eugenol on tilapia [J]. Hebei Fisher, 2018, (3): 5-8.
- [21] 朱之发, 边力, 刘心田, 等. 12 种麻醉剂对长鲮的麻醉效果[J/OL]. 中国水产科学, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3446.S.20191210.1520.002.html>.
- Zhu ZF, Bian L, Liu XT, *et al.* The anesthetic effects of 12 anesthetics on *Octopus variabilis* [J/OL]. J Fishery Sci China, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3446.S.20191210.1520.002.html>.
- [22] 严银龙, 施永海, 张海明, 等. MS-222、丁香酚对刀鲚幼鱼的麻醉效果[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 177-182.
- Yan YL, Shi YH, Zhang HM, *et al.* The anesthetic effect of MS-222 and eugenol on *Coilia nasus* Schlegel juvenile fish [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2016, 25(2): 177-182.
- [23] 曹晓聪, 黄小林, 孙莘溢, 等. 丁香酚对黄斑篮子鱼幼鱼麻醉效果的研究[J]. 南方水产科学, 2019, 15(3): 50-56.
- Cao XC, Huang XL, Sun XY, *et al.* Anaesthesia effects of eugenol on juvenile *Siganus oramin* [J]. South China Fisher Sci, 2019, 15(3): 50-56.
- [24] 杨志强, 李潇轩, 李志辉, 等. 丁香酚对锦鲤幼鱼的麻醉作用[J]. 渔业研究, 2019, 41(3): 247-251.
- Yang ZQ, Li XX, Li ZH, *et al.* The anesthetic effects of eugenol on juvenile brocarded carp [J]. J Fisher Res, 2019, 41(3): 247-251.
- [25] 王万良, 王金林, 曾本和, 等. 丁香酚对异齿裂腹鱼的麻醉效果[J]. 水产学杂志, 2019, 32(5): 60-65.
- Wang WL, Wang JL, Zeng BH, *et al.* Anesthetic effect of eugenol on *Schizothorax oconori* [J]. Chin J Fisher, 2019, 32(5): 60-65.
- [26] 张建明, 田甜, 姜伟. 丁香酚对长薄鳅幼鱼麻醉效果的研究[J]. 西南农业学报, 2019, 32(2): 451-456.
- Zhang JL, Tian T, Jiang W. Effect of eugenol as anaesthetic on juvenile elongate loach (*Leptobotia elongata*) [J]. Southwest China J Agric Sci, 2019, 32(2): 451-456.
- [27] 孙宇航, 王绿洲, 李锋刚. 丁香酚在罗非鱼体内的药物代谢动力学研究[J]. 水产科技情报, 2018, 45(4): 218-222.
- Sun YH, Wang LZ, Li FG. Study on pharmacokinetic of eugenol in genetic improvement of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Fisher Sci Technol Inf, 2018, 45(4): 218-222.
- [28] Li JC, Liu H, Yu MQ, *et al.* Rapid determination of tricainemesylate residues in fish samples using modified QuEChERS and high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Anal Method, 2014, 6(22): 9124-9128.
- [29] DB22/T 1988-2013 水产品中丁香酚的测定 高效液相色谱法[S]. DB22/T 1988-2013 Determination of eugenol in aquatic products-High performance liquid chromatography [S].
- [30] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于发布《水产品及水中丁香酚类化合物的测定》等 2 项食品补充检验方法的公告[EB/OL]. [2019-05-05]. [http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201904/t20190408\\_292637.html](http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201904/t20190408_292637.html).
- State Administration for Market Regulation. The Notice issued by the State Administration for Market Regulation on two supplementary inspection methods for food, including *Determination of eugenol compounds in aquatic products and water* [EB/OL]. [2019-05-05]. [http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201904/t20190408\\_292637.html](http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201904/t20190408_292637.html).
- [31] Gursale A, Dighe V, Parekh G. Simultaneous quantitative determination of cinnamaldehyde and methyl eugenol from stem bark of *Cinnamomum zeylanicum* Blume using RP-HPLC [J]. J Chromatogr Sci, 2010, 48(1): 59-62.
- [32] 何洪健, 黄和, 高平, 等. MISPE-HPLC 检测水产品 5 种丁香酚麻醉剂的残留量[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 39-44.
- He HJ, Huang H, Gao P, *et al.* Determination of five kinds of clove phenol anesthetic in aquatic product by HPLC with molecularly imprinted solid phase extraction [J]. Food Mach, 2016, 32(10): 39-44.
- [33] 黄武, 李红权, 刘建芳, 等. Qu ECh ERS-气相色谱-质谱联用法同时测定水产品中 6 种丁香酚类麻醉剂的残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(2): 422-428.
- Huang W, Li HQ, Liu JF, *et al.* Determination of 6 kinds of eugenol derivatives residues in aquatic products by QuEChERS-gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(2): 422-428.
- [34] 高平, 陈日耀, 黄武, 等. SPE-GC/MS 外标法测定水产品中 4 种丁香酚类麻醉剂[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 229-233.
- Gao P, Chen RM, Huang W, *et al.* Determination of 4 eugenol derivatives in aquatic products by SPE-GC/MS analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(18): 229-233.
- [35] 倪峥飞, 顾晔, 冯永巍, 等. UPLC-MS/MS 同时测定水产品中 4 种丁香酚类麻醉剂残留量[J]. 质谱学报, 2018, 39(4): 451-458.
- Ni ZF, Gu Y, Feng YW, *et al.* Simultaneous determination of 4 eugenol derivatives anesthetics residues in aquatic products by UPLC-MS/MS [J]. J Chin Mass Spectr Soc, 2018, 39(4): 451-458.
- [36] 黄武, 徐金龙, 刘建芳, 等. 高效液相色谱法检测罗非鱼中丁香酚残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1): 103-106.
- Huang W, Xu JL, Liu JF, *et al.* Determination of eugenol residues in tilapia products by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(1): 103-106.
- [37] 解超男, 李芹, 韩刚, 等. 基于单克隆抗体的胶体金免疫层析法快速检测丁香酚[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(20): 6938-6943.
- Xie CN, Li Q, Han G, *et al.* Rapid detection of eugenol using colloidal gold immunoassay based on monoclonal antibody [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(20): 6938-6943.
- [38] 陈焕, 黄和, 高平, 等. 分散固相萃取-气相色谱法同时测定水产品中六种丁香酚类麻醉剂的残留量[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 88-92.
- Chen H, Huang H, Gao P, *et al.* Determination of six clove phenol drug residues in aquatic products by gas chromatography with dispersive solid-phase extraction [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(8): 88-92.
- [39] BJS 201908 水产品及水中丁香酚类化合物的测定[S]. BJS 201908 Determination of eugenol compounds in aquatic products and water [S].
- [40] World Health Organization. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification [R]. Geneva: World Health Organization Press, 2009.
- [41] International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans volume 36: Allyl compounds, aldehydes, epoxides and peroxides [EB/OL]. [2016-10-25]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol11-42/mono36.pdf>.
- [42] Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance eugenol [J]. EFSA J, 2012, 10(11): 2914-2960.
- [43] U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service,

- National Institutes of Health Carcinogenesis. Studies of eugenol in F344/N Rats and B6C3F1 mice (feed studies) [Z].
- [44] 李晋成, 刘欢, 王群, 等. 水产品中丁香酚的残留风险评估研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(11): 3598-3602.
- Li JC, Liu H, Wang Q, *et al.* Progress in risk assessment of eugenol residues in aquatic products [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(11): 3598-3602.
- [45] La VEJ, Adams JD, Reinhardt J, *et al.* Toxicity studies on clove cigarette smoke and constituents of clove: determination of the LD50 of eugenol by intratracheal instillation in rats and hamsters [J]. *Arch Toxicol*, 1986, 59(2): 78-81.
- [46] Li J, Zhang J, Liu Y. Optimization of solid-phase-extraction cleanup and validation of quantitative determination of eugenol in fish samples by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407(21): 6563-6568.
- [47] 彭勤, 黄和, 赵子科. 丁香酚麻醉剂在凡纳滨对虾中残留消除的研究 [J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(5): 64-70.
- Peng Q, Huang H, Zhao ZK. Study on the residual elimination of eugenol anesthetics in *Litopenaeus vannamei* [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2018, 38(5): 64-70.
- [48] 曹鹏. 山东省出口水产品药物残留分析及代谢动力学研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- Cao P. Residue analysis and pharmacokinetics of veterinary drugs in exported aquatic products of Shandong province [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [49] 方晓磊, 柯常亮, 刘奇, 等. 水产品中丁香酚残留的人体健康风险分析 [J]. 水产科学, 2018, 37(1): 140-144.
- Fang XL, Ke CL, Liu Q, *et al.* Human health risk evaluation of eugenol residues in fish [J]. *Fisher Sci*, 2018, 37(1): 140-144.
- [50] 付晓苹, 彭婕, 李晋成, 等. 流通环节水产品及暂养水中孔雀石绿和麻醉剂风险监测[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(12): 5040-5045.
- Fu XP, Peng J, Li JC, *et al.* Risk monitoring of malachite green and anesthetic residues in aquatic products and temporary water in circulation links [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(12): 5040-5045.
- [51] 翟纹静, 朱振华, 陈娟, 等. 2018 年江苏部分地区流通环节水产品中麻醉剂和多种抗生素残留监测[J]. 卫生研究, 2020, 49(2): 313-316.
- Zhai WJ, Zhu ZH, Chen J, *et al.* Surveillance of anesthetics and multiple antibiotic residues in aquatic products in circulation in some areas of Jiangsu in 2018 [J]. *J Hyg Res*, 2020, 49(2): 313-316.
- [52] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series 934: Evaluation of certain food additives, page 49-54 [R]. Geneva: World Health Organization, 2006.
- [53] 中国营养学会. 中国居民膳食指南 2016[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016.
- Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents 2016 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016.

(责任编辑: 王 欣)

## 作者简介



杨 洁, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。  
E-mail: 358915666@qq.com