

# 高效液相色谱法检测鮰鱼体内丁香酚的残留

王彩霞<sup>1,2</sup>, 熊光权<sup>1</sup>, 白 婵<sup>1</sup>, 王炬光<sup>1</sup>, 李 宁<sup>1</sup>, 王 俊<sup>1</sup>, 钜晓艳<sup>1</sup>, 廖 涛<sup>1\*</sup>

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/湖北省农产品辐照工程技术研究中心, 武汉 430064;  
2. 武汉工程大学化学与环境工程学院, 武汉 430073)

**摘要: 目的** 建立测定斑点叉尾鮰中丁香酚残留量的高效液相色谱法, 并探究高、中、低 3 个不同丁香酚浓度在鱼体内的残留规律。**方法** 样品先经过冷冻干燥法将鱼肉冻干, 磨成粉状过筛, 称 0.5 g 冻干鱼粉经 5 mL 乙腈超声重复提取 3 次, 280 nm 条件下, 高效液相色谱技术进样检测, 采用外标法定量。**结果** 丁香酚标样在 0.15~20.0 mg/L 浓度范围内, 线性关系良好, 线性相关系数达到 0.99996。在添加浓度为 0.40~3.20 mg/kg 时, 加标回收率在 78.67%~90.54%, 相对标准偏差为 3.37%~5.54%, 方法的检出限为 0.045 mg/kg。同时发现麻醉时所用的丁香酚溶液浓度越高, 丁香酚在鱼体内积累越多, 用 60 mg/L 丁香酚溶液麻醉过的鮰鱼, 体内丁香酚完全代谢需 6~8 d, 而用 40、16 mg/L 丁香酚溶液麻醉过的鮰鱼, 仅需 4~6 d。**结论** 本方法具有操作简便、快速、准确、所用试剂价格低廉的特点, 适用于斑点叉尾鮰中丁香酚残留量批量检测。

**关键词:** 丁香酚; 斑点叉尾鮰; 高效液相色谱法; 残留量

## Determination of eugenol residues in channel catfish by high performance liquid chromatography

WANG Cai-Xia<sup>1,2</sup>, XIONG Guang-Quan<sup>1</sup>, BAI Chan<sup>1</sup>, WANG Ju-Guang<sup>1</sup>, LI Ning<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, ZU Xiao-Yan<sup>1</sup>, LIAO Tao<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Hubei Engineering Research Center for Farm Products Irradiation, Wuhan 430064, China;  
2. College of Chemistry and Environmental Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of eugenol residues in channel catfish by high performance liquid chromatography (HPLC), and investigate the residues of eugenol in fish at 3 different concentrations. **Methods** The flesh of fish was frozen-dried by freeze dryer, grinded into powder and sifted. The 0.5 g frozen-dried sample was extracted by 5 mL acetonitrile ultrasound for 3 times. Under 280 nm conditions, the samples were detected by high performance liquid chromatography and quantified by external standard method. **Results** Eugenol standard samples had a good linear relationship within the concentration range of 0.15-20.0 mg/L, and the linear correlation coefficient reached 0.99996. When the added concentration was 0.40-3.20 mg/kg, the recoveries were 78.67%-90.54%, with the relative standard deviation were 3.37%-5.54%, and the limit of detection

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助项目(CARS-46)、湖北省科技特派员项目、湖北省农业科技创新中心项目(2019-620-000-001-036)

**Fund:** Supported by China Agriculture Research System (CARS-46), Hubei Scientific and Technological Service Commissioner Project, and Hubei Agricultural Science and Technology Innovation Center Project (2019-620-000-001-036)

\*通讯作者: 廖涛, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与安全。E-mail: 17418431@qq.com

\*Corresponding author: LIAO Tao, Ph.D, Professor, Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, No.5 Nanhu Avenue, Wuhan 430064, China. E-mail: 17418431@qq.com

was 0.045 mg/kg. At the same time, it was also found that the higher the concentration of eugenol solution used during anesthesia, the more eugenol accumulated in the fish. With 60 mg/L of eugenol solution anesthetizing the fish, the metabolism of eugenol totally takes 6-8 d, and with 40, 16 mg/L of eugenol solution anesthetizing the fish, only 4-6 d. **Conclusion** This method is simple, rapid, accurate and cheap, which is suitable for the batch detection of eugenol residues in catfish.

**KEY WORDS:** eugenol; *Ictalurus punctatus*; high performance liquid chromatography; residue

## 1 引言

斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)由于其对生态环境适应性较强,自 1984 年由湖北省水产科学院研究所从美国引进后,目前已在我国广泛养殖。该鱼蛋白质含量较高,肉质较好,肌肉中含有 18 种氨基酸,且富含人体所需的多种微量元素,深受消费者的喜爱<sup>[1]</sup>。由于斑点叉尾鮰受养殖区域限制,南鱼北运已是必需。在活鱼运输过程,当鱼受到震荡胁迫时,鱼很容易产生应激反应,这将直接导致鱼体免疫抑制,身体受到伤害甚至死亡<sup>[2]</sup>,在运输过程中,由于氧气消耗和氨排泄导致的水质恶化,鱼类的存活率可能会进一步降低<sup>[3]</sup>,渔用麻醉剂可以减少活鱼的应激和活动,防止互相伤害,减少新陈代谢,大大提高活鱼在运输中的存活率。因此,多种渔用麻醉剂如三甲基磺酸盐(MS-222)<sup>[4]</sup>,苯佐卡因<sup>[5]</sup>、丁香酚<sup>[6]</sup>、二氧化碳<sup>[7]</sup>等被引入水产养殖以协助活鱼运输。

丁香酚具有麻醉诱导时间短、复苏快、对于人和鱼均无毒、低残留等特点<sup>[8,9]</sup>,成为渔业领域应用广泛的麻醉剂之一。在日本、新西兰、澳大利亚、智利等国家,均已批准丁香酚用作合法的水产麻醉剂,日本和欧盟对其最大残留量规定为 0.05 mg/kg 和 6 mg/kg,同时,日本规定丁香酚麻醉后的鱼体药期定为 7 d<sup>[10-12]</sup>。但是,活鱼经麻醉剂麻醉后,因鱼种类不同,实际代谢过程中丁香酚完全代谢干净可能超过 7 d,鱼体内残留的丁香酚可以通过食物链传递,最终会富集到人体内,可能会影响人体健康。因此,对活鱼运输过程中麻醉剂的残留检测及麻醉剂在鱼体内的代谢规律已经受到人们的广泛关注。

目前,鱼体内丁香酚残留的检测方法主要有高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)<sup>[13]</sup>、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography tandem mass spectrometry, LC/MS)<sup>[14]</sup>、气相色谱法(gas chromatography, GC)<sup>[15]</sup>及气相色谱-串联质谱(gas chromatography coupled mass spectrometry, GC/MS)<sup>[16]</sup>,这些检测方法中质谱检测器较昂贵,一般水产公司难以大量推广到生产实践中,而部分 HPLC 前处理方法仅仅用到液液萃取,大量使用有机溶剂对实验操作者的身体造成潜在危害;同时相对于麻醉效果研究,水产品中丁香酚残留消除方面的研究很少。本实验采用冻干法结合有机溶剂提取

对样品进行前处理,以高效液相色谱法进行测定,并对不同浓度麻醉的鮰鱼中丁香酚的代谢残留量进行测定,探究鮰鱼肌肉组织中丁香酚残留的消除规律,以期水产品中丁香酚残留检测及使用提供参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料、试剂与仪器

#### 2.1.1 材料

斑点叉尾鮰(约 500 g)购于武汉市白沙洲大市场,实验前,先将购买回的鱼暂养一段时间,按不同浓度丁香酚麻醉一定时间,转移到 14 °C 清水中暂养。隔 2 d 取 1 次样,鱼样经宰杀、放血、取肉、去皮,自来水冲洗后用蒸馏水洗,然后用干净纱布擦去肌肉表面的水渍,用绞肉机搅碎,做好标记装入真空包装袋,放入 -18 °C 下冷藏备用。

#### 2.1.2 试剂

丁香酚标准品(CAS 号: 97-53-0,纯度均≥99%,英国 TCI 公司);甲醇、乙腈(色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司);甲醇、乙腈、丙酮、正己烷、乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

#### 2.1.3 仪器

LC-20AT 型高效液相色谱仪(日本岛津公司);3K15 离心机、IKA®VORTEX 3 涡旋振荡器(美国 Sigma-Aldrich 公司);ISO 9001 电子分析天平(德国 Sartorius 公司);BJ-1000A 粉碎机(德清拜杰电器有限公司);RE 52-99 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);FD5-2.5 冷冻干燥机(美国 GOLD-SIM 公司);KQ5200DE 数字超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);HSC-24A 氮吹仪(天津市恒奥科技发展有限公司);Direct-Q® 5UV 超纯水仪(美国 Millipore 公司)。

### 2.2 标准溶液的配制

准确称取 0.010 g(精确至 0.0001 g)丁香酚标准品用色谱纯甲醇溶解,棕色容量瓶中定容到 10 mL,配制成 1000 µg/mL 标准母液,放于 -18 °C 冰箱保存,有效期 6 个月。使用时用甲醇将母液梯度稀释成所需浓度的标准液。

### 2.3 实验方法

将 -18 °C 冷冻后的样品放到冷冻干燥机中进行冻干处理,分别记下冻干前后的质量,冻干后用粉碎机将鱼样粉碎,过筛。准确称取 0.500 g(精确到 0.001 g)鱼粉置于 50 mL

的离心管中, 加 5 mL 乙腈, 涡旋振荡 1 min, 超声 10 min 后以 10000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液于另一 50 mL 离心管中, 残渣用以上步骤重复提取 2 次, 合并上清液, 倒入 50 mL 鸡心瓶中于 40 °C 水浴中旋蒸到 1 mL, 将浓缩液转移到 5 mL 的离心管中, 40 °C 氮吹至干。加 1 mL 乙腈重新溶解, 摇匀, 过 0.45 μm 有机滤膜, 进样检测。

## 2.4 色谱条件

色谱柱: Phenomenex C<sub>18</sub> 色谱柱(250 mm×4.60 mm, 5.00 μm); 柱温: 30 °C; 流动相为甲醇:水=(80:20, V:V); 流速: 0.6 mL/min; 检测器: UV 检测器; 检测波长: 280 nm; 进样量: 10 μL。

## 2.5 数据统计分析

数据处理采用 Microsoft Excel 2010, 图表的绘制采用 Origin 9.0 软件。

## 3 结果与分析

### 3.1 色谱条件的优化

现行丁香酚检测手段中, 一般采用甲醇-水或者乙腈-水作流动相<sup>[17,18]</sup>, 研究比较了以上 2 种不同有机流动相, 对比发现丁香酚在水-甲醇中的响应值略高于水-乙腈, 并且乙腈对人体健康毒性较大, 因此本实验选取甲醇-水作为流动相。色谱柱温箱温度对于峰的保留时间有直接影响, 当柱温箱温度升高时, 峰保留时间会缩短, 本实验比较了 6 个不同温度(28、30、32、34、36、38 °C)条件下, 相同浓度丁香酚下的响应值, 发现 30 °C 时丁香酚标样的响应值最高, 且峰形对称, 即后续实验柱温箱温度保持在 30 °C。

对于浓度型检测器—紫外检测器检测丁香酚时, 流动相的流速对丁香酚信号峰的对称性以及丁香酚的回收率有很大影响, 最终影响最终结果的准确性, 一般而言, 随流速增大, 回收率会减小。本研究比较了一系列流速(0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 mL/min)条件下, 流速对回收率的影响, 当流速为 0.6 mL/min 时丁香酚峰面积占总峰面积最大, 综合考虑峰形, 选择 0.6 mL/min 流速为最佳流速。图 1 是甲醇-水作为流动相时丁香酚标准溶液色谱图。

### 3.2 鱼样预处理方法的选择

通过冷冻干燥技术处理, 鱼样中原溶于水的溶解物质就地析出, 鱼体内的杂质大量减少, 通过合适的有机溶剂提取后, 丁香酚的峰形很容易显现出来, 目标峰附近杂峰较小, 不影响丁香酚化合物的识别定量, 其次, 采用冻干后的鱼样, 前处理过程可以不用添加氯化钠和无水硫酸镁, 前处理方法较为简单。因此, 采用冻干后的鱼样进行测定。

### 3.3 提取剂的优化

对于鱼体内丁香酚的提取, 提取剂种类的选择对于丁香酚的定量提取是最为关键的, 因此, 定量方法的第一步包括测试不同的溶剂。在提取过程中, 甲醇和乙腈的提取液澄清透明, 丙酮和正己烷提取液呈现悬浊液状态, 杂质明显比前两种提取剂多, 具体提取效果如表 1 所示, 乙腈和甲醇具有较高的提取效率, 但是经浓缩后的甲醇提取液杂质明显高于乙腈, 可能是因为鱼体内脂肪和甲醇均含有羟基, 用甲醇提取杂质较多, 进色谱检测发现目标峰附近杂质较多, 直接导致方法的检出限较低, 而乙腈提取峰型较好、杂质较少; 因此, 选择乙腈作为鱼样的提取液。

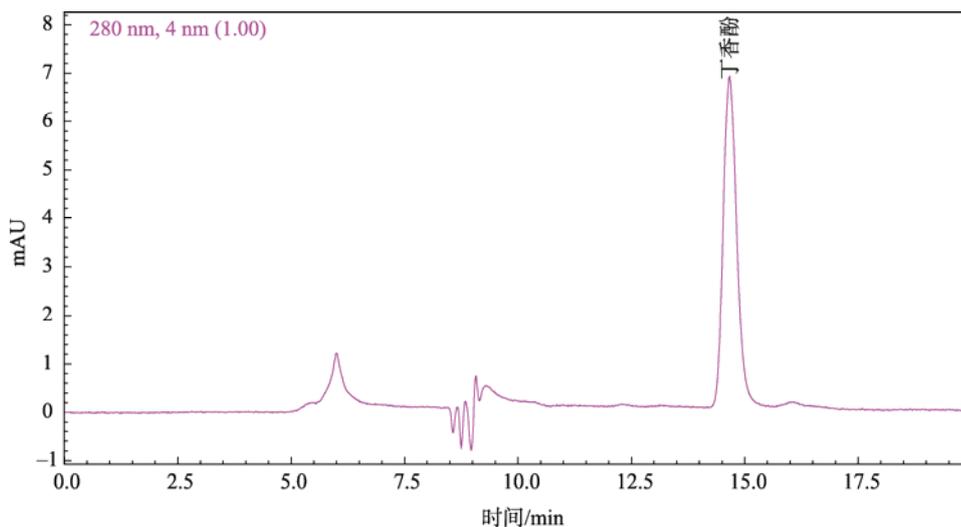


图 1 甲醇-水作为流动相时丁香酚标准溶液色谱图

Fig.1 Chromatogram of eugenol standard solution with methanol-water as mobile phase

表1 不同溶剂对提取效果的影响( $n=3$ )

| 溶剂  | 回收率/% | 杂质干扰 | 峰形 | 基线噪音 |
|-----|-------|------|----|------|
| 乙腈  | 53.94 | 较小   | 较好 | 较小   |
| 甲醇  | 52.71 | 较多   | 较好 | 较小   |
| 丙酮  | 24.63 | 较多   | 较差 | 较小   |
| 正己烷 | 36.59 | 较多   | 较差 | 较大   |

### 3.4 超声时间对提取效果的影响

超声提取可以促进丁香酚的溶解,由图2可知,超声10、20 min提取效率较30、40 min低,而超声30、40 min提取效率相差不大,因此在实验过程中,采取超声30 min完成后续实验。

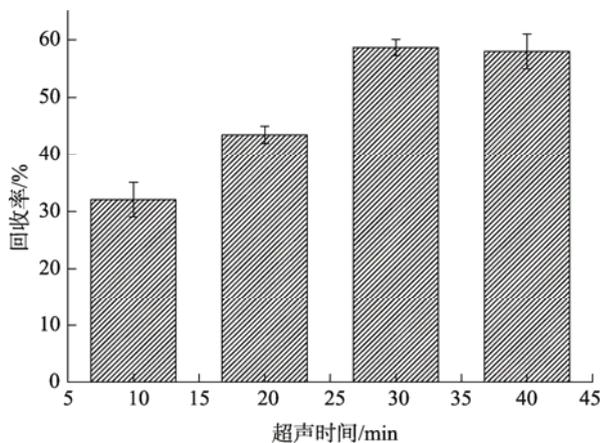
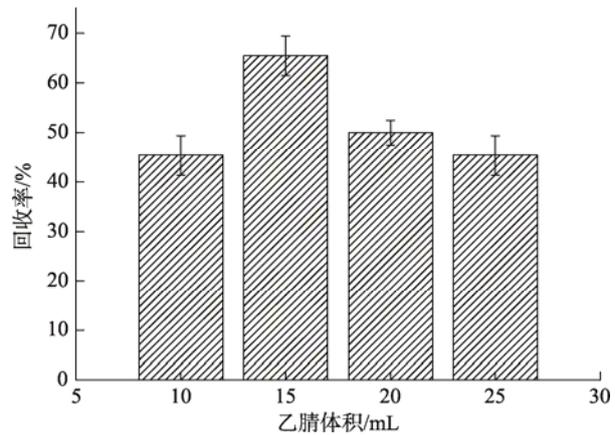
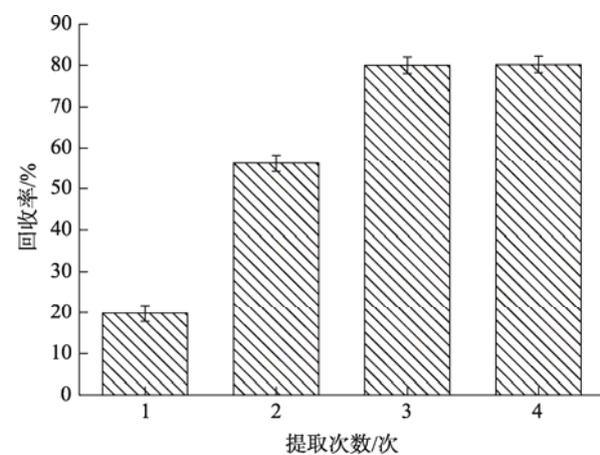
### 3.5 提取液体积的选择

取0.5  $\mu\text{g/g}$  加标鱼样,比较提取溶剂体积(10、15、20、25 mL)对回收率的影响,结果如图3所示,用15 mL乙腈进行提取时,丁香酚回收率最大。

### 3.6 提取次数的影响

对于化合物的提取,提取次数对于加标回收率有着重要的影响,一般遵守少量多次原则,但若提取次数太多,会造成资源和时间双重浪费,用15 mL乙腈提取不同次数后的回收率如图4所示,显然提取1次和2次的回收率远小于提取3次和4次,说明只提取1或者2次,目标化合物在残渣里的残留量仍较大,提取3次和4次的回收率相差不大,综合考虑到实验条件、实际操作过程等各方面的因素,选择提取3次。

在以上条件下对空白鱼样、加标鱼样进行处理后色谱图分析,其结果如图5和图6所示。

图2 超声时间对提取效果的影响( $n=3$ )Fig.2 Effect of different ultrasonic time on the extraction ( $n=3$ )图3 不同体积的溶剂对提取效果的影响( $n=3$ )Fig.3 Effect of different volumes of solvents on the extraction( $n=3$ )图4 不同提取次数对提取效果的影响( $n=3$ )Fig.4 Effect of different extraction times on the extraction( $n=3$ )

### 3.7 方法的加标回收率和精密度

配制不同浓度丁香酚标准溶液进行HPLC测定,发现在0.15~20.0 mg/L浓度范围内,线性关系良好,线性相关系数达到0.99996。加标回收率测定过程,在空白冻干鱼样中分别添加浓度为0.40、1.60、3.20 mg/kg的丁香酚标准溶液,每个浓度设6个平行,同时设一个空白对照,计算其加标回收率和相对标准偏差,结果如表2所示,在添加浓度为0.40~3.20 mg/kg时,平均回收率在78.67%~90.54%,相对标准偏差为3.37%~5.54%,表明该实验方法具有较好的准确性和重现性,符合残留分析实验的要求,同时,以3倍信噪比( $S/N$ )计算方法的检出限(limit of detection, LOD)为0.045 mg/kg,10倍信噪比计算定量限(limit of quantitation, LOQ)为0.15 mg/kg,黄武等<sup>[19]</sup>研究了以高效液相色谱测定罗非鱼中丁香酚含量,其检出限和定量限分别为0.03 mg/kg和0.10 mg/kg,本方法的优点在于使用有机溶剂较少,操作简单,检出限低于日本规定的最大残留限量标准,可以用于鱼样中丁香酚残留量的检测。

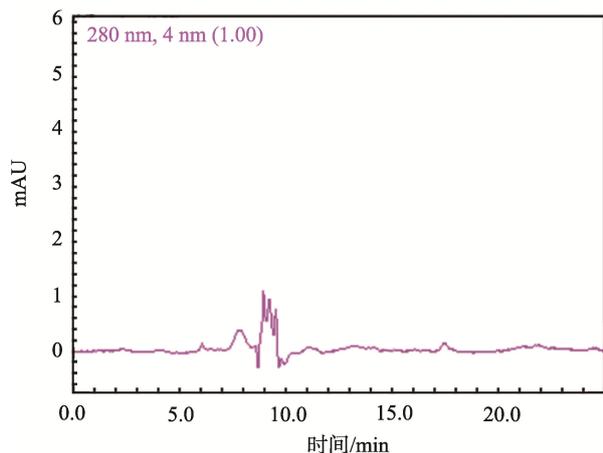


图 5 空白鲮鱼样品图

Fig.5 Chromatogram of *Ictalurus punetaus* blank sample

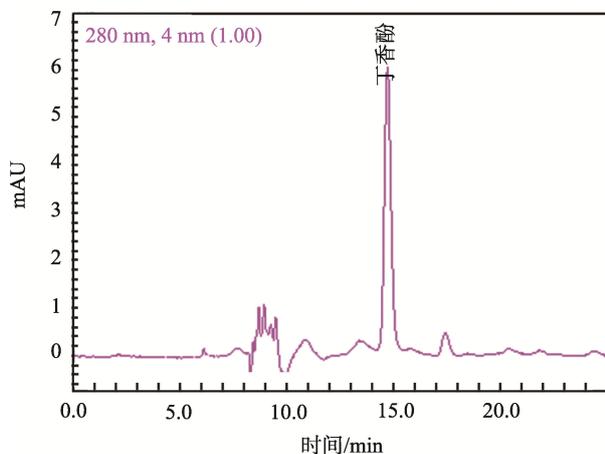


图 6 鲮鱼加标样品图

Fig.6 Chromatogram of *Ictalurus punetaus* spiked sample

表 2 丁香酚加标回收率和相对标准偏差(n=6)  
Table 2 The standard addition recoveries and relative standard deviation of eugenol(n=6)

| 添加浓度/(mg/kg) | 回收率平均值/% | RSD/% |
|--------------|----------|-------|
| 0.40         | 78.67    | 5.54  |
| 1.60         | 79.03    | 4.38  |
| 3.20         | 90.54    | 3.37  |

### 3.8 斑点叉尾鲮鱼肉中丁香酚的残留消除研究

由于缺乏关于淡水鱼中丁香酚摄取及代谢的信息, 需要进行初步研究以确定暴露浓度和持续时间, 将所购买的鲮鱼暂养一段时间, 分成 3 组每组 40 尾, 于 14 °C±1 °C 下, 按 16、40、60 mg/L 浓度麻醉分别麻醉 20、10、5 min 以达到相同的麻醉状态(深度麻醉), 然后清水冲洗, 转移到 14 °C 清水玻璃缸中暂养。隔 2 d 取 1 次样, 用上述开发的方法进行测定, 如图 7 所示是斑点叉尾鲮丁香

酚残留消除药时曲线(T=14 °C), 3 个麻醉浓度下鲮鱼肌肉组织内的丁香酚残留峰值分别为 94.54、76.45、64.26 mg/kg, 且代谢刚开始, 丁香酚含量快速下降, 在 2 d 后均已降至峰值 20% 以下, 之后代谢速度趋于平缓, 60 mg/L 丁香酚溶液麻醉过的鱼体内丁香酚降至检出限以下需要 6~8 d, 而 40、16 mg/L 丁香酚溶液麻醉过的鱼只需 4~6 d。Meinertz 等<sup>[20]</sup>于 17 °C 下将平均体重 358 g 的虹鳟鱼置于 5~100 mg/L 丁香酚溶液药浴 5~1440 min, 后转移到清水中暂养。结果表明虹鳟在 10 mg/L 丁香酚溶液下药浴 60 min, 鱼肉组织中丁香酚残留量达最大值, 而鱼肉中丁香酚消除半衰期为 19.97 min。该研究也表明丁香酚在虹鳟鱼肉中消除速率快, 和本实验结果基本一致。

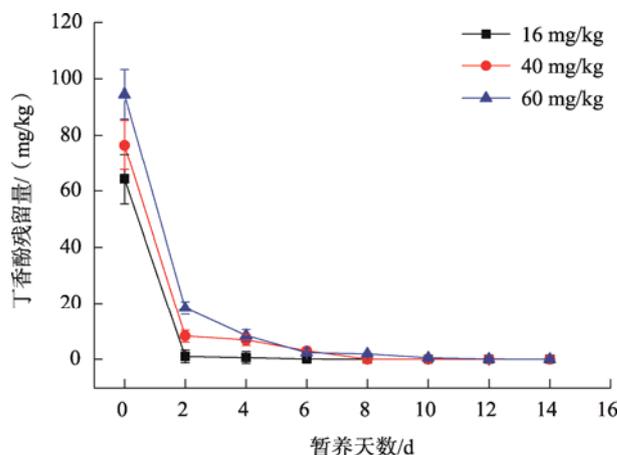


图 7 不同浓度丁香酚溶液麻醉过的鱼体内丁香酚残留消除趋势曲线(n=3)

Fig.7 Elimination trend curve of eugenol residue in fish anesthetized with different concentrations of eugenol(n=3)

## 4 结论

本研究建立了一种检测鱼体内丁香酚残留量的 HPLC 方法, 通过冻干法处理, 乙腈超声重复提取 3 次的前处理手段, 加标回收率为 78.67%~90.54%(RSD<6%), LOQ 为 0.15 mg/kg。暴露研究的结果显示斑点叉尾鲮经不同浓度丁香酚麻醉后均被快速消除。该方法可有效测定鱼类中的丁香酚, 可用于鱼类的丁香酚残留监测。

### 参考文献

[1] 周进. 斑点叉尾鲮肌肉营养成分分析[J]. 河北渔业, 2003, (1): 17-26.  
Zhou J. Analysis of muscle nutritional components in channel catfish [J]. Hebei Fish, 2003, (1): 17-26.

[2] Barton BA. Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids [J]. Integrat Comparat Bio, 2002, 42(3): 517-525.

[3] John C, Tracey M, Rob C, et al. Water quality in Tilapia transport: From the farm to the retail store [J]. North Am J Aquacul, 2011, 73(4): 426-434.

- [4] 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 WH, Zhao DH, Fu SL, *et al.* Study on the anesthetic effect and enrichment elimination of MS-222 on turbot [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(11): 4578–4583.
- [5] 禚开智, 纪少凡, 符灵梅. 超高效液相色谱测定鱼体中的苯佐卡因残留量研究[J]. 食品工业, 2018, (1): 308–311.  
Zhai KZ, Ji SF, Fu LM. Determination of benzocaine residues in fish by ultra performance liquid chromatography [J]. *Food Ind*, 2018, (1): 308–311.
- [6] Velisek J, Svobodova Z, Piackova V. Effects of clove oil anaesthesia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Acta Veter*, 2005, 74(1): 139–146.
- [7] 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 YC, Hu PH, Qu XW, *et al.* Effects of carbon dioxide anesthesia on pike [J]. *Hunan Agric Sci*, 2009, (12): 138–140.
- [8] Brown LA. Tropical fish medicine anesthesia in fish [J]. *Veter Clin North Am Small Anim Pract*, 1988, 18(2): 317–330.
- [9] Ross LG, Ross B. Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals [J]. *J Fish Bio*, 1999, 56(6): 1562–1563.
- [10] Committee for medicinal products for veterinary use. European public MRL assessment report (EPMAR)-isoeugenol (fin fish) [Z].
- [11] Javahery S, Moradlu AH. AQUI-S, a new anesthetic for use in fish propagation [J]. *Global Vet*, 2012, 9(2): 205–210.
- [12] The Japanese positive list system for agricultural chemical residues in foods (2014) MRLs updated on January [Z]. [2014-01].
- [13] 焦亚琴, 吕世明, 谭艾娟, 等. 高效液相色谱法测定鲤鱼血浆中丁香酚含量[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(8): 2022–2026.  
Jiao YQ, Lv SM, Tan AJ, *et al.* Determination of eugenol in plasma of carp by high performance liquid chromatography [J]. *Geno Appl Bio*, 2016, 35(8): 2022–2026.
- [14] Sun P, Gao Y, Lian Y. Determination of eugenol in aquatic products by dispersive solid-phase extraction and ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Anal Methods*, 2017, (1): 1–8.
- [15] 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.* Simultaneous determination of residues of six eugenol anesthetics in aquatic products by dispersive solid phase extraction-gas chromatography [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(8): 88–92.
- [16] 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 Bio Chem*, 2015, 407(21): 6563–6568.
- [17] 卢智玲, 刘华栋. 反相高效液相色谱法测定克痢痧胶囊中丁香酚的含量[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, (9): 2190–2191.  
Lu ZL, Liu HD. Determination of eugenol in Keqi capsules by reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. *China J Heal Inspect*, 2011, (9): 2190–2191.
- [18] 方晓磊. 青石斑鱼中丁香酚的残留消除特征研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.  
Fang XL. Study on residue elimination characteristics of eugenol in blue grouper [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017.
- [19] 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 by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(1): 103–106.
- [20] Meinertz JR, Schreier TM, Porcher ST, *et al.* Depletion of eugenol residues from the skin-on fillet tissue of rainbow trout exposed to 14 C-labeled eugenol [J]. *Aquaculture*, 2014, 430: 74–78.

(责任编辑: 武英华)

## 作者简介



王彩霞, 硕士, 主要研究方向为水产品中麻醉剂检测。  
E-mail: 571041964@qq.com

廖涛, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与安全。  
E-mail: 17418431@qq.com