

水产品中丁香酚的残留风险评估研究进展

李晋成, 刘欢, 王群, 吴立冬, 许玉燕, 马兵, 宋恽*

(中国水产科学研究院质量与标准研究中心, 北京 100141)

摘要: 水产品质量安全与人们的日常生活息息相关。随着高密度养殖渔业的发展, 水产品受到不同程度的药物污染, 其中麻醉剂残留问题已经得到人们越来越多的关注。丁香酚是水产养殖业中广泛使用的一种麻醉剂。丁香酚作用于水产品后, 不仅起到麻醉效果, 同时也会在水产品体内蓄积, 影响到水产品的食用安全。目前国内对丁香酚在水产品中残留的风险评估仍显不足。本文从危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征描述方面综述了丁香酚在水产品中残留的风险评估研究进展, 以期为水产品的质量安全监管提供依据。

关键词: 丁香酚; 水产品; 风险评估

Progress in risk assessment of eugenol residues in aquatic products

LI Jin-Cheng, LIU Huan, WANG Qun, WU Li-Dong, XV Yu-Yan, MA Bing, SONG Yi*

(Quality and Standard Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China)

ABSTRACT: The issues of aquatic products quality and safety are related to the health of people's daily life. With the development of high density cultures fisheries, aquatic products have been polluted by different levels of drug contaminants and anesthetic residues, which has obtained more and more attention. Eugenol is an anesthetic drug used widely in aquatic products. Eugenol can make aquatic products anesthetic, but also can accumulate in aquatic products and affect their safety. However, the research of risk assessment is still insufficient on eugenol. In this paper, the current progress is reviewed about the risk assessment of eugenol in order to provide the basis for aquatic products quality safety supervision. The focused points of this paper are hazard identification, hazard characterization, exposure assessment and risk characterization, which are four parts of risk assessment.

KEY WORDS: eugenol; aquatic product; risk assessment

1 引言

风险评估是一个以科学为依据的过程, 国际食品法典委员会(CAC)认为其由危害识别(hazard identification)、危害特征描述(hazard characterization)、暴露评估(exposure assessment)、风险特征描述(risk characterization)四个环节组成^[1-4]。目前, 风险评估在水产品中药物残留安全性研究方面的应用受到越来越多的关注^[5-8]。

丁香酚(eugenol)为苯丙素类化合物, 可以从丁香树、柴桂等多种植物中提取^[8]。丁香酚具有持久香气, 常作为食品添加剂^[9-12]。1972年, 日本科学家远藤发现丁香酚对鱼有强烈的麻醉作用, 并开始将它作为麻醉剂进行了系列研究。目前, 丁香酚已经用于塞内加尔鲷、虹鳟、河鲈、黄尾雀鲷、大鳞大马哈鱼等水产品的麻醉^[13-15]。近年来, 由于丁香酚在水产养殖业中广泛应用, 导致其在水产品中残留, 亦会随水产品的排泄物进入土壤和水体环境, 而土

基金项目: 中国水产科学研究院院部中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2013C005)

Fund: Supported by the Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Chinese Academy of Fishery Sciences (2013C005)

*通讯作者: 宋恽, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与管理。E-mail: songyi@gmail.com

*Corresponding author: SONG Yi, Researcher, Quality and Standard Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China. E-mail: songyi@gmail.com

壤中的丁香酚也会随径流进入水体; 水产养殖中丁香酚则随饲料或直接进入水体, 对生态环境造成影响。尤其是在 2013 年北京某水产市场用丁香油水门汀(含有丁香酚)运输活鱼, 经媒体曝光之后, 被炒得沸沸扬扬^[16]。丁香酚到底是否可用? 具体用量是多少? 被其麻醉后作为食物的鱼对人来说有什么样的影响? 都已经成为消费者关注的话题。

结合 CAC 食品安全风险评估理论和技术分析水产品中丁香酚残留的风险显得很有必要。从水产品安全的角度研究丁香酚与人类健康之间的关系, 评估丁香酚给人类健康带来的风险具有非常重要的学术意义和现实意义。

2 危害识别

2.1 丁香酚的性质及危害描述

丁香酚化学名是 2-甲氧-4-烯丙基苯酚, 分子式为 $C_{10}H_{12}O_2$, 沸点 250~255 °C, 相对密度 1.064~1.068。丁香酚纯品为无色至淡黄色微稠厚液体, 有干甜的花香和辛香, 几乎不溶于水, 与乙醇、甲醇、氯、乙醚等有机溶剂可混溶。丁香酚可以作为一种吸入性麻醉剂应用于鱼体中, 可以对鱼类整个机体中中枢神经系统功能产生广泛的麻醉作用^[17-19]。丁香酚进入鱼体内后, 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)^[20-21]。Andetron^[22]用丁香酚作为麻醉剂, 对红鲟鱼进行麻醉研究, 结果表明用丁香酚麻醉后的红鲟鱼的鳃活动频率明显降低, 其游动速度变慢, 行动迟缓, 鱼体的活动及氧气消耗都有明显下降。赵艳丽等^[23]用不同浓度的丁香酚水溶液研究其对大黄鱼的麻醉效果, 水温 25~27 °C 时, 5 mg/L 的丁香酚溶液可在 1 min 内使大黄鱼鱼种(8.4~11.8 cm)进入麻醉状态, 入水后 3 min 左右苏醒; 20 mg/L 的丁香酚溶液 23 s 内即可使大黄鱼鱼种进入麻醉状态。

2.2 丁香酚在生物体中代谢规律

关于丁香酚在生物体中的吸收、分布、代谢物质及代谢过程研究非常少。Guénette 等^[24]将虹鲟鱼置于 75 mg/L 的丁香酚溶液(4 °C)中浴 15 min, 详细研究了虹鲟鱼血液中丁香酚的代谢动力学过程。代谢动力学参数 C_{max} 和 AUC_{0-1} 分别为 10.53 $\mu\text{g/mL}$ 和 16.55 $\mu\text{g}\cdot\text{h/mL}$ 。血液中丁香酚浓度由 C_{max} 消除一半所需时间仅为 12.14 h。Fischer 等^[25]曾研究过丁香酚在人体内的药代动力学过程, 其特征为: 口服后吸收和代谢均非常迅速, 可以在 24 h 内通过尿液几乎完全排泄出来。利用气相色谱-质谱联用技术, 在人的尿液中鉴定出丁香酚共有 9 种代谢物: 4-羟基-3-甲氧苯基丙烷(4-hydroxy-3-methoxyphenyl-propane), 顺式异丁香酚(cis-isoeugenol), 反式异丁香酚(trans-isoeugenol), 3-(4-羟基-3-甲氧苯基)-丙基-1,2-环氧乙烷(3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-propylene-1,2-oxide), 3-(4-羟基-3-甲氧苯基)-丙烷-1,2-二醇(3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-propane-1,2-diol), 3-(4-羟基

-3-甲氧苯基)-丙酸(3-(4-hydroxy-3-methoxy-phenyl)-propionic acid), 3-羟基-3-(4-羟基-3-甲氧基)-烯丙基苯(3-hydroxy-3-(4-hydroxy-3-methoxy)-allylbenzene), 3-(6-巯基-4-羟基-3-甲氧基苯基)-丙烷(3-(6-mercapto-4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-propane), 2-羟基-3-(4-羟基-3-甲氧基苯基)-丙酸(2-hydroxy-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-propionic acid)。Fischer 等在实验室已经将前六种代谢物合成出来, 并进行了质谱鉴定。

3 危害特征描述

3.1 丁香酚对养殖水体的影响

丁香酚在养殖水产品麻醉中使用的量一般为 40~50 mg/L 到 100~150 mg/L 之间, 根据养殖水产品的品种的不同, 其最优化值也会有所调整。丁香酚进入水体后, 可通过水体颗粒物吸附沉降、底泥吸附、生物降解、生物富集等途径消除。初始浓度越高, 丁香酚在低浓度时维持的时间就越久。然而丁香酚对养殖水体的影响相关研究鲜有报道, 缺乏风险评估方面的数据。

3.2 试验动物研究

一般认为丁香酚对人体没有明显毒性^[26-28]。1978 年美国 FDA 曾规定丁香酚在食品中的最高安全限量(MRL)为 1.5 g/kg, 并给出大白鼠体内丁香酚的半数致死量 LD_{50} 值为 2.68 g/kg bw^[29]。LaVoie 等^[30]曾报道大白鼠体内丁香酚的 LD_{50} 值, 给出大白鼠和仓鼠体内丁香酚的 LD_{50} 值分别为 11 和 17 mg/kg bw。Velisek 等^[31]曾报道丁香酚在 10 min 时导致虹鲟鱼死亡的 $LC_{0.1}$ 、 LC_{50} 和 $LC_{99.9}$ 分别为 63.9、81.1 和 100.1 mg/L, 在 96 h 时对虹鲟鱼的 $LC_{0.1}$ 、 LC_{50} 和 $LC_{99.9}$ 分别为 12.5、14.1 和 16.2 mg/L。他们认为当丁香酚的浓度低于 30 mg/L 时, 不会对虹鲟鱼造成不可逆的损伤。上海海洋大学的杨先乐课题组研究报道^[10]丁香酚在 30 min 时对大黄鱼的 LC_{50} 值为 10 mg/L。

4 暴露评估

丁香酚毒性低, 可以快速地在血液及其他组织中代谢, 并排泄出体外^[27]。国际上, 关于丁香酚对人体的危害性仍具有一定的争议, 丁香酚作为渔用麻醉剂的安全性仍没有统一的观点。联合国粮农组织及世界卫生组织(FAO/WHO)联合食品添加剂专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)报告认为丁香酚不具有致癌性, 但可能增加雌性大鼠肝脏内的肿瘤细胞发生率, 该观点基于两年的大鼠实验^[32]; 欧洲食品安全局(EFSA)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, 并且皮肤接触后会产生过敏反应^[33]。Thompson 等研究表明丁香酚对肝细胞有一定的毒性^[34]。国际癌症研究机构(International Agency for Research

on Cancer, IARC)报告认为丁香酚会导致小鼠肝脏内的癌细胞的发病率增高,并将其列为第 3 类致癌物质^[35-36]。大剂量丁香酚对人体的肺部组织也可能具有一定的毒性。LaVoie 等^[30]曾研究原料中含有丁香(含丁香酚)的卷烟对人体的危害,结果表明人体吸食大量含有丁香的卷烟会导致肺水肿、支气管痉挛及咳血等副作用。

4.1 暴露途径

丁香酚对公众的主要暴露路径是使用含有丁香酚残留的食品,包括水产品。水产品中丁香酚残留过量的途径主要有以下两个:水产养殖中使用大量丁香酚进行麻醉,又没有经过合理的休药期,导致水产品中丁香酚残留过量;使用丁香酚作为水产长途运输过程的麻醉剂,降低水产品的新陈代谢活动,同时也导致水产品中丁香酚含量过高。人类食用含有过量丁香酚的水产品将对其健康产生危害。

4.2 暴露人群情况

丁香酚在动物体内吸收快、代谢快,是一种低毒、低蓄积药物。依据 JECFA 推荐人体日允许摄入量(Acceptable Daily Intake, ADI)评估,丁香酚对人体的每日容许摄入量(ADI)为 2.5 mg/kg bw^[32]。EFSA 规定丁香酚 ADI 值为 1.0 mg/kg bw^[33]。

4.3 剂量-反应外推

剂量-反应外推一般是将毒理学试验获得的数据外推到人,计算人体的每日容许摄入量 ADI 值。实验获得的最大无作用剂量(NOEL)值乘以合适的安全系数等于安全水平或者每日允许摄入水平。JECFA 和 EFSA 均采用安全系数以克服不确定性,通常安全系数为 100,剂量-反应外推的详细数据详见表 1。

表 1 大鼠经口服染毒剂量-反应外推

Table 1 Extrapolation of dose-response of oral exposure to rats

建议机构	NOEL(mg/kg bw)	安全系数	ADI (mg/kg bw)
JECFA	300	100	2.5 ^[32]
EFSA	300	100	1.0 ^[33]

5 风险特征描述

风险特征描述是在综合危害识别、危害特征描述和暴露评估的结果,描述危害对人体产生不良结果的可能性。JECFA 在 1967 年第 11 次会议上,根据当时的研究结果,将丁香酚的 ADI 值暂定为 5 mg/kg bw^[37]。之后,随着研究的不断深入,1982 年 JECFA 在第 26 次会议上结合新的研究结果,重新将丁香酚的 ADI 值定为 2.5 mg/kg bw^[32]。2006 年委员会在第 65 次会议上将丁香酚的 ADI 值仍然定为 2.5 mg/kg bw,以 60 kg 成人计算,即每人每日安全摄取

量为 150 mg/d^[38]。报告指出丁香酚的 NOEL 为 300 mg/kg bw。委员会经过专门讨论,认为食品中所含有丁香酚的浓度对人类健康不构成威胁。

6 讨论

6.1 相关政策法规和标准

我国水产品风险评估仍处于初级阶段,关于水产品中麻醉剂的风险评估方面研究更是鲜有报道。事实上,我国目前允许丁香(含丁香酚)用于牙膏、香皂等日用品中起到防腐抗菌的作用^[39]。美国的 FDA 没有规定丁香酚可以在水产品中使用,但可将其作为食品添加剂使用;日本、澳大利亚、韩国、新西兰等国认为是合法的水产麻醉剂,但要经过一定的休药期才可上市^[17]。日本允许丁香酚在水产品中使用时,其药浴剂量为 50~200 μg/mL,休药期为 7 d,最高残留量(MRL)设定为 50 ng/mL^[40]。目前,我国对丁香酚在水产品中的使用并没有相关政策法规和标准,这给我国水产品中丁香酚的合理使用及残留监控带来了很大的不便。

6.2 存在问题及建议

改革开放 30 年,我国水产养殖业迅猛发展,已成为我国水产品供应的主要来源,极大地丰富和满足了国民的消费需要。但是,高密度规模化的养殖也带来的一些负面影响,如水环境的污染,水产品中各种禁限用药物残留超标等,这些都对消费者的食用安全带来了潜在危害^[41-44]。然而,我国水产养殖业不仅存在禁限用药物残留的问题,同时也存在麻醉剂残留问题^[45]。根据我们调研结果分析,目前在水产品运输等环节中均存在不同程度使用麻醉剂(如丁香酚)的现象。作为一名水产领域的科技工作者,笔者认为我国应尽快从以下几个方面加快水产养殖业中丁香酚使用的研究工作。

(1)建立丁香酚检测的行业标准

经过笔者调研发现,目前我国丁香酚的行业检测标准仍属空白。建议组织科研人员加快丁香酚检测标准的建立工作,为我国丁香酚的行业监管及合理使用提供技术支撑。笔者所在的实验室也在进行这方面的工作,目前已经完成了丁香酚的电喷雾负离子质谱裂解规律研究工作,正在承担水产品中丁香酚检测的行业标准制定工作,相信不久后将有检测方法结果向大家汇报。

(2)进行风险排查,摸清丁香酚在我国水产养殖业中的使用情况

根据行业需要,积极组织我国水产领域的质检机构开展丁香酚在我国水产养殖业中养殖、加工、运输等环节中的使用情况。

(3)尽快出台合适我国国情的相关政策法规

参考国际上关于丁香酚在水产品中的使用规定,根据我国水产品中丁香酚的使用现状及相关研究,尽快出台

适合我国水产养殖业中丁香酚使用的标准和法规。合理的标准和法规的出台, 可结束目前我国水产养殖业中麻醉剂使用状况混乱的现状, 为我国水产养殖业的可持续发展保驾护航。

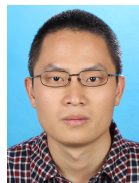
参考文献

- Gorris LGM. Risk analysis: risk assessment: principles, methods, and applications[J]. *Encycl Food Saf*, 2014, (1): 65–72.
- Paisley LG, Koeijer AD, Hagenaars TJ, *et al.* Risk analysis of Transmissible Spongiform Encephalopathies in animals: state-of-the-art[J]. *Int J Risk Assess Manag*, 2008, 8(3): 214–242.
- 聂文静, 李太平. 食品安全风险评估模型研究综述[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(5): 1551–1556.
Nie WJ, Li TP. Research review of food safety risk assessment model[J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(5): 1551–1556.
- 平华, 马智宏, 王纪华, 等. 农产品质量安全风险评估研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(3): 674–680.
Ping H, Ma ZH, Wang JH, *et al.* Advances in risk assessment of agricultural product quality and safety[J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(3): 674–680.
- Copat C, Bella F, Castaing M, *et al.* Heavy metals concentrations in fish from sicily (Mediterranean sea) and evaluation of possible health risks to consumers[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2012, 88: 78–83.
- Omar WA, Zaghoul KH, Abdel-Khalek AA, *et al.* Risk assessment and toxic effects of metal pollution in two cultured and wild fish species from highly degraded aquatic habitats[J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2013, 65: 753–764.
- Masoud MS, El-Samra MI, El-Sadawy MM. Heavy-metal distribution and risk assessment of sediment and fish from El-Mex Bay, Alexandria, Egypt[J]. *Chem Ecol*, 2007, 23: 201–216.
- 王群, 宋恽, 孟娣, 等. 石油烃对水产品质量安全影响及风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(2): 628–633.
Wang Q, Song Y, Meng D, *et al.* Impacts and risk assessments of petroleum hydrocarbon on aquatic product quality and safety[J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(2): 628–633.
- 李晋成, 刘欢, 吴立冬, 等. 丁香酚的电喷雾负离子质谱裂解规律研究[J]. *中国渔业质量与标准*, 2013, 3(4): 11–14.
Li JC, Liu H, Wu LD, *et al.* Cleavage pathways of eugenol by negative electrospray ionization mass spectrometry[J]. *Chin Fish Qual Standard*, 2013, 3(4): 11–14.
- Morsy MA, Fouad AA. Mechanisms of gastroprotective effect of eugenol in indomethacin-induced ulcer in rats[J]. *Phytother Res*, 2008, 22(10): 1361–1366.
- Nagababu E, Lakshmaiah N. Inhibitory effect of eugenol on non-enzymatic lipid peroxidation in rat liver mitochondria[J]. *Biochem Pharmacol*, 1992, 43(11): 2393–2400.
- Kabuto H, Tada M, Kohno M. Eugenol [2-methoxy-4-(2-propenyl)phenol] prevents 6-hydroxydopamine-induced dopamine depression and lipid peroxidation inductivity in mouse striatum[J]. *Biol Pharm Bull*, 2007, 30(3): 423–427.
- 吕海燕, 王群, 刘欢, 等. 渔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.
Lv HY, Wang Q, Liu H, *et al.* The research progress of anesthetics safety in fish[J]. *Chin Fish Qual Standard*, 2013, 3(2): 24–28.
- Guénette SA, Hélie P, Beaudry F, *et al.* Eugenol for anaesthesia of African clawed frogs (*Xenopus laevis*)[J]. *Vet Anaesth Analg*, 2007, 34: 164–170.
- Goulet F, Hélie P, Vachon P. Eugenol anesthesia in African clawed frogs (*Xenopus laevis*) of different body weights[J]. *J Am Assoc Lab Anim Sci*, 2010, 49(4): 460–463.
- 鲜鱼被曝注“丁香油水门汀”麻醉后运输[EB/OL][2013-03-18]. <http://health.qq.com/a/20130318/000035.htm>
Fresh fish transported after anesthesia with "clove oil"[EB/OL] [2013-03-18]. <http://health.qq.com/a/20130318/000035.htm>
- 李晋成, 刘欢, 吴立冬, 等. 动物体内麻醉剂残留检测技术研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(5): 251–256.
Li JC, Liu H, Wu LD, *et al.* Progress in detection of anesthetic residues in food-producing animals[J]. *Food Sci*, 2014, 35(5): 251–256.
- Renault S, Daverat F, Pierron F, *et al.* The use of Eugenol and electro-narcosis as anaesthetics: transcriptional impacts on the European eel (*Anguilla anguilla* L.)(J). *Ecotoxicol Environ Saf*, 2011, 74(6): 1573–1577.
- Sánchez-Vázquez FJ, Terry MI, Felizardo VO, *et al.* Daily rhythms of toxicity and effectiveness of anesthetics (MS222 and eugenol) in zebrafish (*Danio rerio*)[J]. *Chronobiol Int*. 2011 Mar; 28(2): 109–117.
- 刘长琳, 何力, 陈四清, 等. 鱼类麻醉研究综述[J]. *渔业现代化*, 2007, 34(5): 21–25.
Liu CL, He L, Chen SQ, *et al.* Fish anaesthetics in aquaculture—a review[J]. *Fish Mod*, 2007, 34(5): 21–25.
- Park CK, Kim K, Jung SJ, *et al.* Molecular mechanism for local anesthetic action of eugenol in the rat trigeminal system[J]. *Pain*, 2009, 144(1-2): 84–94.
- Andertson WG. The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance[J]. *N Am J Fish Manage*, 1997, 17(2): 301–307.
- 赵艳丽, 杨先乐, 黄艳平, 等. 丁香酚对大黄鱼麻醉效果的研究[J]. *水产科技情报*, 2002, 29(4): 163.
Zhao YL, Yang XL, Huang YP, *et al.* Study on the effect of eugenol on anaesthesia in large yellow croaker *pseudosciaena crocea*[J]. *Fish Sci Technol Inform*, 2002, 29(4): 163.
- Guénett SA, Uhland FC, Hélie P, *et al.* Pharmacokinetics of eugenol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2007, 266(1-4): 262–265.
- Fischer IU, Von Unruh GE, Dengler HJ. The metabolism of eugenol in man[J]. *Xenobiotica*, 1990, 20(2): 209–222.
- Maura A, Pino A, Ricci, R. Negative evidence in vivo of DNA-damaging, mutagenic and chromosomal effects of eugenol[J]. *Mutat Res*, 1989, 227(2): 125–129.
- Phillips DH. Further evidence that eugenol does not bind to DNA in vivo[J]. *Mutat Res* 1990, 243: 23–26.
- Zheng GQ, Kenney PM, *et al.* Sesquiterpenes from clove (*Eugenia caryophyllata*) as potential anticarcinogenic agents[J]. *J Nat Prod*, 1992, 55(7): 999–1003.
- US Food and Drug Administration scientific literature: review of eugenol and related substances in flavor usage[R], pp. 1–134.
- LaVoie EJ, Adams JD, Reinhardt J, *et al.* Toxicity studies on clove cigarette smoke and constituents of clove: determination of the LD50 of euge-

- nol by intratracheal instillation in rats and hamsters[J]. Arch Toxicol, 1986, 59(2): 78–81.
- [31] Velisek J, Svobodova Z, Piackova V, *et al.* Effects of clove oil anaesthesia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Acta Veter Brno, 2005, 74(1): 139–146.
- [32] Evaluation of certain food additives and contaminants (Twenty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)[R]. WHO Technical Report Series, No. 683, 1982.
- [33] Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance eugenol[J]. EFSA J, 2012, 10(11): 2914–2960.
- [34] Thompson DC, Barhoumi R, Burghardt RC. Comparative toxicity of eugenol and its quinone methide metabolite in cultured liver cells using kinetic fluorescence bioassays[J]. Toxicol Appl Pharmacol, 1998, 149(1): 55–63.
- [35] International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations volume 36: eugenol [EB/OL]. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol36/eugenol.html>
- [36] 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 CL, Liu Q, Chen JW, *et al.* Determination of eugenol in water using gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry[J]. Chin Fish Qual Standard, 2014, 4(4): 49–55.
- [37] Anon. Toxicological Evaluation of Some Flavouring Substances and Non-Nutritive Sweetening Agents; FAO Nutrition Meetings[R]. Report Series No. 44A, WHO/FAO Add./68.33. 1967.
- [38] Evaluation of certain food additives and contaminants (Sixty-fifth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)[R]. WHO Technical Report Series, No. 934, 2006.
- [39] 杜世祥. 我国传统香料香精的防腐功能 [J]. 中国食品添加剂, 1999, (3): 33–37.
Du SX. Anti-corrosion features China's traditional spice flavors[J]. China Food Addi, 1999, (3): 33–37.
- [40] 吕书为, 雷红涛, 孙远明. 鱼用麻醉剂安全性研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 267–270.
Lv SM, Lei HT, Sun YM. Research progress in safety of fish anesthetics[J]. Food Sci, 2012, 33(1): 267–270.
- [41] Zhang Y, Yu W, Pei L, *et al.* Rapid analysis of malachite green and leucomalachite green in fish muscles with surface-enhanced resonance Raman scattering[J]. Food Chem, 2015, 15, 169: 80–84.
- [42] Zhu C, Wei J, Dong X, *et al.* Fast analysis of malachite green, leucomalachite green, crystal violet and leucocrystal violet in fish tissue based on a modified QuEChERS procedure. Se Pu, 2014, 32(4): 419–25.
- [43] Jester EL, Abraham A, Wang Y, *et al.* Performance evaluation of commercial ELISA kits for screening of furazolidone and furaltadone residues in fish. Food Chem, 2014, 15, 145: 593–598.
- [44] Sheu SY, Tai YT, Li WR, *et al.* Development of a competitive ELISA for the detection of a furaltadone marker residue, 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ), in cultured fish samples. J Vet Med Sci, 2012, 74(11): 1439–1446.
- [45] Li JC, Liu H, Yu MQ, *et al.* Rapid determination of tricainemesylate residues in fish samples using modified QuEChERS and highperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Anal Method, 2014, 6 (22): 9124–9128.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



李晋成, 助理研究员, 主要研究方向为水产品中药物及其他有害物质残留检测技术开发。

E-mail: lijc@cafs.ac.cn



宋 悱, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全研究。

E-mail: songyi@cafs.ac.cn