

超高效液相色谱-串联质谱法同时测定鳗鱼中 6种咪唑类药物残留

张艳燕*, 温建荣, 苏雪香, 郝延涛, 魏晶晶
(龙岩海关, 龙岩 364000)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)测定鳗鱼肉糜中6种咪唑类抗生素(甲苯咪唑、氨基甲苯咪唑、羟基甲苯咪唑、左旋咪唑、甲硝唑、羟基甲硝唑)残留的分析方法。**方法** 采用乙酸乙酯溶液提取, MCX柱净化后进行超高效液相色谱分离, 电喷雾串联质谱进行检测, 多离子反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式定量。**结果** 6种咪唑类抗生素的检出限均小于1 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 该方法在0~20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 范围内线性关系良好, 相关系数均大于0.999。添加水平为5、10、15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 时, 化合物的平均回收率范围为70.5%~92.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均小于14.3% ($n=6$)。**结论** 该方法简单、快速、灵敏, 适用于鳗鱼肉糜中6种咪唑类药物残留的同时快速测定。

关键词: 超高效液相色谱-串联质谱法; 鳗鱼; 咪唑类; 抗生素; 残留

Simultaneous determination of 6 kinds of imidazoles residues in eel by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

ZHANG Yan-Yan*, WEN Jian-Rong, SU Xue-Xiang, HAO Yan-Tao, WEI Jing-Jing
(Longyan Customs, Longyan 364000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of 6 kinds of imidazoles residues (mebendazole, aminomebendazole, 5-hydroxymebendazole, levamisole, metronidazole, metronidazole-OH) in eel by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** The sample was extracted with ethyl acetate, and separated by UPLC after purified by MCX solid phase extraction, determined by positive electrospray ionization, and quantified by multiple reaction monitoring (MRM) mode. **Results** The limits of detection (LOD) for the 6 kinds of imidazoles residues were less than 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The calibration curve showed good linearity within the concentrations of 0–20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, all correlation coefficients were greater than 0.999. The recoveries were ranged from 70.5% to 92.6% for 6 kinds of imidazoles residues with 3 spiked levels of 5, 10 and 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the relative standard deviations (RSDs) were less than 14.3% ($n=6$). **Conclusion** This method is simple, fast and sensitive, and suitable for the simultaneous rapid determination of imidazoles residues in eel.

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; eel; imidazoles; antibiotic; residue

基金项目: 龙岩市科技计划项目(2019LYF5020)、厦门海关科技计划项目(2020XK10)

Fund: Supported by the Science and Technology Plan Program of Longyan (2019LYF5020), and the Xiamen Customs Program (2020XK10)

*通信作者: 张艳燕, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全检测。E-mail: 328564032@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Yan-Yan, Master, Senior Engineer, Longyan Customs, No. 20, Longyan Road, Xinluo District, Longyan 364000, China. E-mail: 328564032@qq.com

0 引言

1858年,咪唑类(imidazoles)由乙二醛和氨首次合成^[1],现如今已作为抗寄生虫药、抗病毒、抗癌药、抗真菌药和抗炎药使用。咪唑类药物具有优异的生物利用度,良好的组织穿透性、渗透性以及相对较低的不良和毒性作用发生率^[2-3]。咪唑类家族包括苯并咪唑类(benzimidazoles, BMZs)、硝基咪唑类(nitroimidazoles, NMZs)等。苯并咪唑、左旋咪唑(属硝基咪唑类)等可以作为中枢神经系统药物使用^[4]。苯并咪唑还是一种腐蚀抑制剂^[5],它及其衍生物,常作为钢(CS、MS)、纯金属(Fe、Al、Cu、Zn)和合金的腐蚀抑制剂。同时硝基咪唑也被广泛用作缺氧细胞放射增敏剂^[6],硝基咪唑类药物由于含有硝基杂环类结构,代谢过程复杂,具有致癌、损伤DNA等潜在风险。但因其成本低、疗效快,受到养殖户的青睐,在渔业养殖中的使用导致药物在水产品中残留。目前,苯并咪唑类和硝基咪唑类药物仍然是鳗鱼养殖的重要监控对象。联合国粮农组织、欧盟、美国、日本等国家和组织都对咪唑类药物的使用有相关规定,如甲硝唑不得检出,左旋咪唑小于10 μg/kg,甲苯咪唑小于60 μg/kg^[7]。我国GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》规定了甲苯咪唑、左旋咪唑等的使用限量,甲硝唑则不得检出。

目前国内外针对咪唑类药物的检测手段主要有拉曼测试分析法^[8]、气相色谱-串联质谱法^[9]、高效液相色谱法^[10-15]、高效液相色谱-串联质谱法^[16-21]等。其中高效液相色谱-串联质谱法常用于检测基质复杂的样品^[22],因其灵敏度高且使用范围宽广,故成为常用的有效分析手段。但是,目前的方法仅是对同类别的咪唑类药物进行快速检测,同时检测多种不同类型咪唑类抗生素的方法鲜见报告。因此本研究旨在通过探索并优化样品的前处理方法,建立超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)检测鳗鱼肉糜中多种类型咪唑类,以期为鳗鱼中咪唑类药物残留的监控提供依据。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

AB3500 超高效液相色谱-串联质谱仪[美国 AB SCIEX 公司(新加坡)]; Milli-Q direct16 纯水系统(美国 Millipore 公司); MV5 全自动平行浓缩仪(北京莱伯泰科公司); MSE 125P-100-DU 电子天平(十万分之一,德国赛多利斯仪器系统公司); PM-600 电子天平(百分之一,瑞士梅特勒-托多利集团)。

甲苯咪唑(mebendazole, MBZ)、氨基甲苯咪唑(aminom ebendazole, MBZ-NH₂)、羟基甲苯咪唑(5-hydro xymebendazole, MBZ-OH)、盐酸左旋咪唑(levamisole, LMS)、甲硝唑(metronidazole, MNZ)、羟基甲硝唑(metronidazole-OH, MNZ-OH)(纯度均大于99%,德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司); 氢氧化钠、氯化钠、氨水、浓盐酸(优级纯)、乙酸乙酯(色谱纯)(厦门西陇科学股份有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯,德国默克股份两合公司); 甲酸(色谱纯,上海安普实验科技股份有限公司); 水(一级水,Milli-Q direct16 纯水系统,美国 Millipore 公司); MCX 强阳离子交换萃取柱: Thermo MCX SPE(美国赛默飞世尔科技公司); ZX MCX SPE 柱(北京振翔科技有限公司), 2 种 MCX 柱的规格均为 3 mL, 60 mg, 使用前依次用甲醇 3 mL 和 0.2 mol/mL 盐酸 1 mL 活化,保持柱体湿润。

0.2 mol/L 盐酸溶液: 取 18 mL 盐酸,用水定容至 1000 mL。

氨水-甲醇溶液(1:9, V:V): 量取 50 mL 氨水与 450 mL 甲醇混合,摇匀。

0.1%甲酸溶液: 取 1 mL 甲酸,用水定容至 1000 mL。

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液的配制

标准储备液: 准确称取适量的上述 6 种标准品,用色谱纯甲醇分别配制成 100.0 μg/mL 的标准储备液,保存于 -18 °C。

混合标准工作液: 取适量室温的标准储备溶液,按 1:1:1:1:1:1 (V:V:V:V:V:V)混合后再用乙腈进行适度稀释。

1.2.2 样品前处理

称取 10 g 混匀的鳗鱼肉糜(精确至 0.01 g)于 50 mL 的聚丙烯离心管中,并加入 20 mL 乙酸乙酯、0.1 mL 10 mol/mL 氢氧化钠溶液和 5 g 氯化钠,涡旋混合 30 s,超声提取 10 min,4000 r/min 离心 10 min。取上层乙酸乙酯溶液 10 mL,将其置于另一个 50 mL 聚丙烯离心管中,再加入 20 mL 的 0.2 mol/L 盐酸,振荡 10 min,2000 r/min 离心 5 min。取下层盐酸溶液 10 mL,待净化。

将所得的提取液 10 mL 加载到 MCX 小柱,依次用水 3 mL、0.2 mol/L 盐酸 1 mL 和甲醇 3 mL 淋洗,用氨水-甲醇溶液(1:9, V:V) 4.0 mL 洗脱。用 10 mL 试管接收洗脱液,再用氮气吹干仪将洗脱液吹干,用乙腈-水溶液(3:17, V:V)定容至 1 mL,过 0.22 μm 的滤膜(有机滤膜),用于超高效液相色谱-串联质谱仪测定。

1.2.3 仪器条件

(1) 色谱条件

色谱柱: ACQUITY™ UPLC BEH C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm); 流动相: A 为 0.1%甲酸水溶液, B 为乙腈。梯度洗脱程序如表 1 所示。流速: 0.4 mL/min; 柱温: 35 °C; 进样量: 2.0 μL。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution programs

时间/min	A/%	B/%
0	90	10
3.0	60	40
4.0	60	40
5.0	10	90
6.0	10	90
6.2	90	10
7.0	90	10

(2) 质谱条件

电离方式: 电喷雾离子源正离子 (electron spray ionization, ESI+); 扫描方式: 多反应监测 (multiple reaction monitoring, MRM); 电喷雾电压: 5500 V; 气帘气压力: 0.172 MPa (氮气); 离子源温度: 550 °C; 雾化气压力: 0.379 MPa; 辅助气压力: 0.379 MPa, 其他质谱参数见表 2。

2 结果与分析

2.1 提取溶剂的选择

咪唑类抗生素药物一般采用有机溶剂提取, 如乙腈、乙酸乙酯、甲醇等。本研究比较了上述 3 种有机溶剂, 结果表明, 乙酸乙酯对本实验的 6 种化合物提取效果更好, 提取回收率更高, 测定值更大。因此采用乙酸乙酯提取。

2.2 洗脱液的选择

比较了氨水-甲醇(1:3, V:V)、氨水-甲醇(1:6, V:V)、氨水-甲醇(1:9, V:V), 结果表明氨水-甲醇(1:9, V:V)的洗脱效

果最好, 回收率最高。

2.3 不同 SPE 柱的选择

本研究采用了 2 种不同的 MCX SPE 小柱 (Thermo MCX SPE 柱和 ZX MCX SPE 柱)。2 种 SPE 柱都可以得到较好的净化效果, 但 Thermo MCX SPE 柱的重现性更好。在阴性鳊鱼样品中添加 5.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 左旋咪唑的回收实验 ($n=6$), 采用 Thermo MCX SPE 柱净化的回收率为 90.5%, 精密度为 5.6%; 采用 ZX MCX SPE 柱净化的回收率为 88.9%, 精密度为 8.7%。因而采用 Thermo MCX SPE 柱。

2.4 流动相的选择

本研究比较了 3 种流动相组合, 乙腈-水、乙腈-0.1% 甲酸水溶液、乙腈-0.1% 甲酸水+5 mmol 乙酸铵溶液, 结果表明, 化合物在用乙腈-水为流动相时, 峰形较差, 基线噪声较大, 拖尾严重; 化合物在用乙腈-0.1% 甲酸水溶液作流动相时峰形好; 化合物在乙腈-0.1% 甲酸水+5 mmol 乙酸铵为流动相时, 峰形较差。因此选择乙腈-0.1% 甲酸溶液为流动相。

2.5 线性关系与检出限

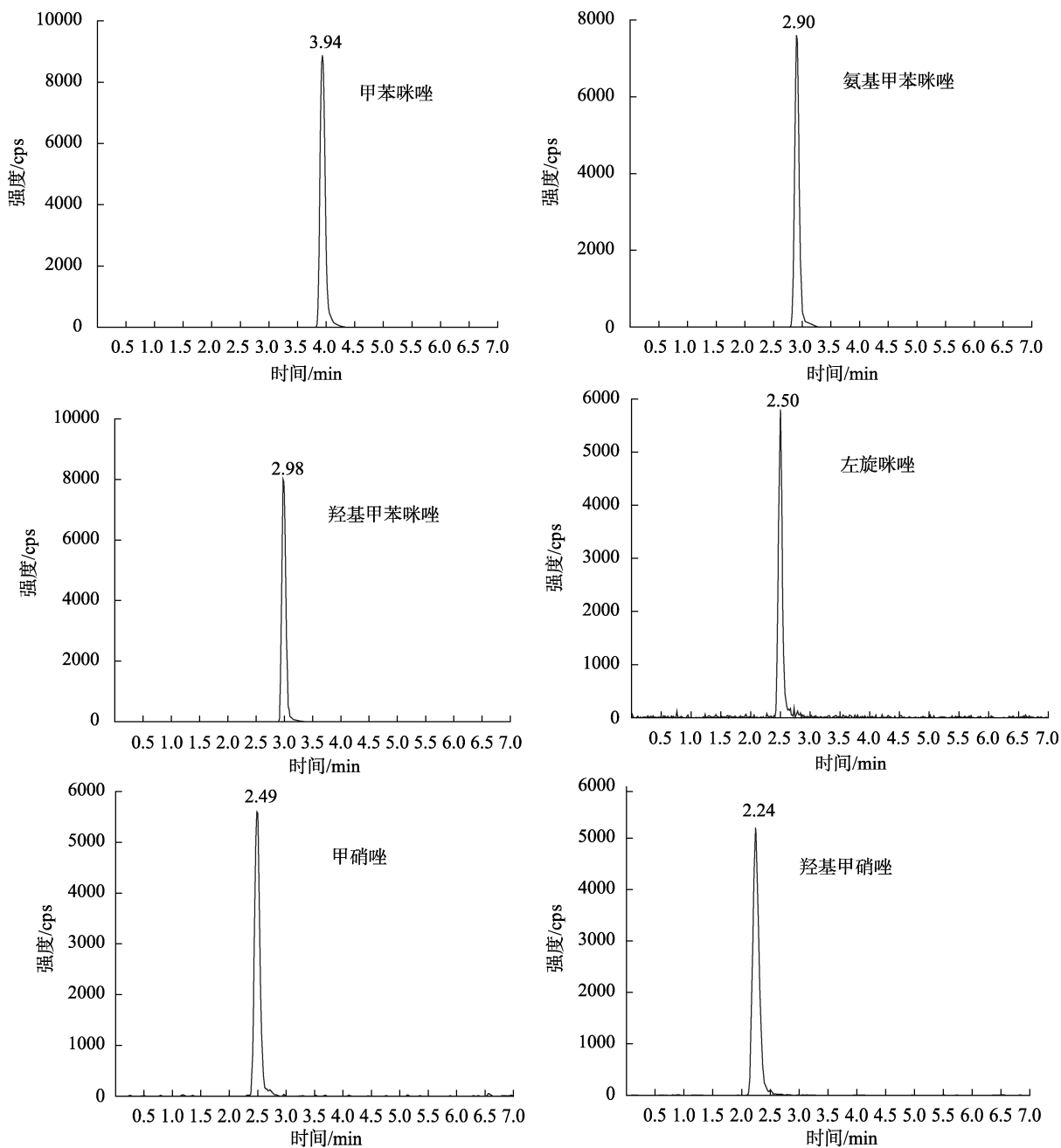
以空白鳊鱼肉糜样品的提取液为标准溶液的稀释溶液, 将混合标准溶液逐级稀释成标准混合工作液, 经 UPLC-MS/MS 分析, 6 种咪唑标准品在鳊鱼糜样空白样品中的色谱图见图 1。以各化合物组分的峰面积 (Y) 对质量浓度 ($X, \mu\text{g}/\text{kg}$) 绘制标准曲线。结果表明, 6 种咪唑类化合物在 0~20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 范围时线性关系好, 相关系数均大于 0.999, 通过阴性样品添加标准品确定方法的检出限 ($S/N=3$), 测得甲苯咪唑、氨基甲苯咪唑、羟基甲苯咪唑、左旋咪唑、甲硝唑、羟基甲硝唑的检出限均小于 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 如表 3 所示, 说明本方法可以满足实际工作的检测需要。

表 2 6 种化合物的其他质谱参数
Table 2 Other mass spectrum parameters of 6 kinds of compounds

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	去簇电压/V	入口电压/V	碰撞电压/V	碰撞池退出电压/V
甲苯咪唑	296.2	264.2	100	10	31	14
	296.2	105.0			45	
氨基甲苯咪唑	238.0	105.0	150	10	35	14
	238.0	133.1			48	
羟基甲苯咪唑	298.0	266.1	105	10	32	14
	298.0	160.0			45	
左旋咪唑	205.0	92.0	83	10	45	14
	205.0	179.0			30	
甲硝唑	172.0	81.7	63	10	33	14
	172.0	127.8			20	
羟基甲硝唑	188.1	123.3	56	10	18	14
	188.1	126.2			23	

表3 各组分线性回归方程、相关系数和检出限
Table 3 Regression equations, correlation coefficients and limits of detection for each compound

化合物	标准曲线方程	相关系数	检出限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
甲苯咪唑	$Y=80125.013X+6182.592$	0.9994	0.06
氨基甲苯咪唑	$Y=64453.649X+3853.804$	0.9990	0.10
羟基甲苯咪唑	$Y=65677.156X+2395.696$	0.9998	0.07
盐酸左旋咪唑	$Y=51236.659X+1984.562$	0.9991	0.12
甲硝唑	$Y=46288.368X+6326.989$	0.9991	0.30
羟基甲硝唑	$Y=33529.885X+9\ 951.741$	0.9992	0.25



注: 标准品添加量为 $2.0\ \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

图1 6种咪唑标准品在鳎鱼肉糜空白样品中的MRM色谱图

Fig.1 MRM chromatograms of eel muscle spiked samples of 6 kinds of imidazoles

2.6 回收率与精密度

用空白鳊鱼肉糜样品进行加标回收实验, 测试方法回收率和精密度。添加水平为 5、10、15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 实验, 每个添加水平做 6 个平行实验。结果如表 4 所示, 化合物的平均回收率范围为 70.5%~92.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均 $\leq 14.3\%$ ($n=6$), 满足检测的要求。

2.7 实际样品检测

用本方法对龙岩辖区养鳊场的 36 份鳊鱼样品进行检测, 没有发现阳性样品。经向委托送样检测的养鳊场了解,

目前辖区的 7 家养鳊场均没有发现使用本研究中提到的 6 种药物。

3 结论与讨论

本研究采用超高效液相色谱-串联质谱法快速筛选和测定鳊鱼中 6 种咪唑类药物, 实现同时对苯并咪唑类和硝基咪唑类化合物检测。该方法具有操作简单、灵敏度高、检出限低等优点, 在 5~15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 范围内, 回收率 70.5%~92.6%, 相对标准偏差均 $\leq 14.3\%$, 符合满足残留测定需要, 可以为鳊鱼中 6 种咪唑类药物的同时检测提供参考。

表 4 6 种咪唑化合物的添加回收率和精密度($n=6$)
Table 4 Spike recoveries and determination accuracies of imidazoles ($n=6$)

化合物	添加水平/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$					
	5		10		15	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
甲苯咪唑	80.5	11.8	81.7	10.4	82.3	8.6
氨基甲苯咪唑	85.6	12.6	82.6	11.5	87.6	8.4
羟基甲苯咪唑	88.3	10.8	84.4	8.8	89.6	8.2
盐酸左旋咪唑	90.5	5.6	88.7	7.2	92.6	6.5
甲硝唑	70.5	14.3	72.6	13.8	75.8	11.2
羟基甲硝唑	72.8	11.7	74.8	10.9	76.6	13.5

参考文献

- [1] BHATNAGAR A, SHARMA PK, KUMAR N. A review on "Imidazoles": Their chemistry and pharmacological potentials [J]. *Int J Pharmtech Res*, 2011, 3(1): 268-282.
- [2] RANI N, SHARMA A, KUMAR GG, *et al.* Imidazoles as potential antifungal agents: A review [J]. *Mini Rev Med Chem*, 2013, 13(11): 1626-1655.
- [3] PARDESHI VAS, CHUNDAWAT NS, PATHAN SI, *et al.* A review on synthetic approaches of benzimidazoles [J]. *Synthetic Commun*, 2021, 51(4): 485-513.
- [4] SAGANUWAN SA. Conversion of benzimidazoles, imidazothiazoles and imidazoles into more potent central nervous system acting drugs [J]. *Cent Nerv Syst Agent Med Chem*, 2020, 20(1): 3-12.
- [5] MARINESCU M. Recent advances in the use of benzimidazoles as corrosion inhibitors [J]. *BMC Chem*, 2019, 13: 1-21.
- [6] WARDMAN P. Nitroimidazoles as hypoxic cell radiosensitizers and hypoxia probes: Misonidazole, myths and mistakes [J]. *British J Radiol*, 2018, 92(1093): 20170915.
- [7] 国家食品安全信息中心. 中国食品安全资源数据库/农兽药数据库/农兽药的限量/左旋咪唑[EB/OL]. [2008-05-30]. http://www.fsr.org.cn/User_Log.Asp [2021-04-02].
National food safety information center. National food safety re-source database/pesticide and veterinary drugs/limits of pesticide and veterinary drugs/levamisole [EB/OL]. [2008-05-30]. http://www.fsr.org.cn/User_Log.Asp [2021-04-02].
- [8] 刘国志, 赵金涛, 徐存英, 等. 麻黄素和左旋咪唑显微拉曼测试分析 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(2): 248-250.
- [9] 徐静, 肖珊珊, 董伟峰, 等. 两次液液萃取-气相色谱-质谱联用法测定动物肝脏中左旋咪唑残留 [J]. *色谱*, 2012, 30(9): 922-925.
- [10] 杨方, 李耀平, 李小晶. 高效液相色谱法检测动物性食品中甲苯咪唑残留 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2004, 14(5): 545-546.
- [11] LI SM, LIANG Q, AHMED SAH, *et al.* Simultaneous determination of five benzimidazoles in agricultural foods by core-shell magnetic covalent organic framework nanoparticle-based solid-phase extraction coupled with high-performance liquid chromatography [J]. *Food Anal Method*, 2020, 13: 1111-1118.
- [12] DAR SA, NAUTIYAL V, PHULIA V, *et al.* Determination of benzimidazoles in fish plasma by chromatographic method and their effects on metabolic and antioxidative enzymes activity [J]. *Aquaculture*, 2018, 486: 57-63.
- [13] 罗成江, 张晓丽, 陈晓琳, 等. HPLC-DAD 法测定饲料中 5 种硝基咪唑

- 类药物[J]. 饲料工业, 2020, 41(22): 52–56.
- LUO CJ, ZHANG XL, CHEN XL, *et al.* Determination of 5 nitroimidazoles drugs in feed by HPLC-DAD [J]. *Feed Ind Magaz*, 2020, 41(22): 52–56.
- [14] 林永辉, 李耀平, 陈祥明, 等. 固相萃取法和凝胶渗透色谱法测定鳗鱼中苯并咪唑类药物残留[J]. 食品科学, 2009, 30(8): 177–181.
- LIN YH, LI YP, CHEN XM, *et al.* Solid phase extraction and gel permeation chromatography for eel sample pretreatment for determination of benzimidazole anthelmintics residues in it by liquid chromatography and tandem mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2009, 30(8): 177–181.
- [15] 郭菁, 丁立平, 吴文凡, 等. 高效液相色谱-电喷雾串联质谱法同时测定水产品中硝基咪唑类化合物及其代谢物残留[J]. 分析测试学报, 2015, 34(1): 28–34.
- GUO J, DING LP, WU WF, *et al.* Simultaneous determination of nitromidazoles and their metabolites residues in aquatic products using liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Inst Anal*, 2015, 34(1): 28–34.
- [16] 薄海波, 庞国芳, 雒丽丽, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定牛奶和奶粉中残留的左旋咪唑[J]. 色谱, 2009, 27(2): 149–152.
- BO HB, PANG GF, LUO LL, *et al.* Determination of levamisole residue in milk and milk powder by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2009, 27(2): 149–152.
- [17] 励炯, 孙岚, 王红青, 等. 分散固相萃取净化/高效液相色谱-串联质谱法测定水产品中的 5 种硝基咪唑类药物残留[J]. 分析测试学报, 2017, 36(11): 1357–1362.
- LI J, SUN L, WANG HQ, *et al.* Determination of five nitromidazoles in aquatic products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with dispersive solid phase extraction [J]. *J Inst Anal*, 2017, 36(11): 1357–1362.
- [18] 李祥波, 王亚会. 基于 HPLC-MS/MS 的鸡肉中的硝基咪唑类药物残留检测方法的建立[J]. 食品工业, 2021, 42(2): 332–336.
- LI XB, WANG YH. Determination of metronidazole, dimetridazole, levamisole and ronidazole residues in chicken meat by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Ind*, 2021, 42(2): 332–336.
- [19] 陈思敏, 吴映璇, 蓝草, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定乳制品中苯并咪唑类药物及其代谢物的残留量[J]. 理化检验, 2020, 56(5): 553–564.
- CHEN SM, WU YX, LAN C, *et al.* UHPLC-MS/MS determination of residual amounts of benzimidazoles and its metabolite indairy products [J]. *Phy Test Chem Anal*, 2020, 56(5): 553–564.
- [20] 陈思敏, 吴映璇, 邹游, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定乳和乳制品中 19 种苯并咪唑类药物及其代谢物残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(24): 8251–8260.
- CHEN SM, WU YX, ZOU Y, *et al.* Determination of benzimidazoles and its metabolites residues in dairy and dairy products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(24): 8251–8260.
- [21] CHEN DM, DELMAS JM, PESSEL DH, *et al.* Development of a multi-class method to determine nitroimidazoles, nitrofurans, pharmacologically active dyes and chloramphenicol in aquaculture products by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2020, 311: 125924.
- [22] 张静, 高玉时, 周倩, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定鸡肉和鸡蛋中 10 种硝基咪唑类药物及代谢物[J]. 分析科学学报, 2021, 37(2): 217–222.
- ZHANG J, GAO YS, ZHOU Q, *et al.* Simultaneous determination of 10 nitromidazoles and their metabolites residue in chicken and egg by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Anal Sci*, 2021, 37(2): 217–222.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



张艳燕, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全检测。
E-mail: 328564032@qq.com