

超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱法快速筛查和确证食品中米酵菌酸

韩超¹, 吴娟², 童贇恺², 叶明立¹, 饶桂维¹, 黄超群^{2*}

(1. 浙江树人大学生物与环境工程学院, 杭州 310015; 2. 杭州海关技术中心, 杭州 310016)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱法(ultra performance liquid chromatography-quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry, UPLC-Q-Orbitrap HRMS)快速筛查和确证食品(银耳、木耳、粉条)中米酵菌酸。**方法** 样品用水浸泡后用甲醇涡旋振荡提取、过滤后直接采用UPLC-Q-Orbitrap HRMS测定, 采用电喷雾负离子同时进行一级、二级高精度全扫描, 得到母离子和碎片离子精确质量数, 同时进行定性定量分析, 外标法定量。**结果** 米酵菌酸在1.0~20.0 µg/L范围内线性良好, 相关系数0.9997, 定量限(limit of quantitation, LOQ, $S/N \geq 10$)为0.05 mg/kg, 在0.05、0.10、0.25 mg/kg加标水平下, 回收率在89.0%~96.0%之间, 相对标准偏差为4.1%~9.6%。**结论** 该方法前处理简单、快速、准确性好, 能够满足食品中米酵菌酸的快速筛查和确证分析。

关键词: 米酵菌酸; 超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱法; 筛查; 确证

Rapid screening and confirmation of bongkrekic acid in foods by ultra performance liquid chromatography-quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry

HAN Chao¹, WU Juan², TONG Yun-Kai², YE Ming-Li¹, RAO Gui-Wei¹, HUANG Chao-Qun^{2*}

(1. College of Biology and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hangzhou 310015, China;
2. Technical Center of Hangzhou Customs, Hangzhou 310016, China)

ABSTRACT: Objective To establish an ultra performance liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry (UPLC-Q-Orbitrap-HRMS) method for the rapid screening and confirmation of bongkrekic acid in foods (tremella, agaric and vermicelli). **Methods** The samples were soaked in water and extracted by methanol with vortex. After filtration, the sample extract was directly determined by UPLC-Q-Orbitrap HRMS, the primary and secondary high-precision full scanning was carried out simultaneously by electrospray negative ion, and the accurate mass numbers of parent ion and fragment ion were obtained, qualitative and quantitative analyses were carried out at the same time, and the external standard method was carried out for quantification. **Results** There was a good linearity for bongkrekic acid in the range of 1.0–20.0 µg/L with correlation coefficient higher than 0.9997. The limit of quantitation (LOQ, $S/N \geq 10$) of the method was 0.05 mg/kg.

基金项目: 浙江树人大学人才引进专项项目(2019R024)、浙江省151人才工程第一层次项目

Fund: Supported by the Special Fund for Talent Introduction of Zhejiang Shuren University (2019R024), and the First Level Project of 151 Talent Project of Zhejiang Province

*通信作者: 黄超群, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 75189819@qq.com

*Corresponding author: HUANG Chao-Qun, Master, Professor, Technical Center of Hangzhou Customs, Fuchunlu 126#, Hangzhou 310016, China. E-mail: 75189819@qq.com

The average recoveries at 3 spiking levels (0.05, 0.10, 0.25 mg/kg) were 89.0%–96.0%, and the relative standard deviations (RSDs) were 4.1%–9.6%. **Conclusion** This method is simple, rapid and accurate, and can meet the requirements of rapid screening and confirmation of bongkreikic acid in foods.

KEY WORDS: bongkreikic acid; ultra performance liquid chromatography-quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry; screening; confirmation

0 引言

米酵菌酸是由椰毒假单胞菌酵米面亚种(*Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farinofermentans*)产生的一种毒素, 易存在于发酵制品、变质银耳等食品中^[1]。由米酵菌酸引起的食物中毒临床表现为腹痛、呕吐等^[2-3], 严重者可导致死亡。2020年10月, 黑龙江省鸡西市发生一起家庭9人聚餐后出现中毒症状, 中毒者全部死亡事件, 在剩余的自制酸汤子(用玉米水磨发酵后做的一种粗面条样的主食)中检出大量的米酵菌酸成分^[4]。椰毒假单胞菌酵米面亚种污染食物产生米酵菌酸很难从食物中去除, 我国的GB 7096—2014《食品安全国家标准 食用菌及其制品》规定银耳及其制品中米酵菌酸的限量要求为 ≤ 0.25 mg/kg。由于银耳、木耳、粉条等是我国居民日常消费的主要食物, 因此建立银耳、木耳、粉条中米酵菌酸的快速、准确、高通量的检测方法对保证食品质量安全、确保消费者人身安全尤为重要。

目前国内外对米酵菌酸的测定方法主要有液相色谱法^[5-6]、液相色谱-串联质谱法^[7-10]、液相色谱-飞行时间质谱法^[11]。其中液相色谱法定性能力较弱, 无法对目标物进行有效确认, 容易产生假阳性结果。液相色谱-串联质谱法作为目前应用较多的方法, 主要是通过多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式对目标物进行检测, 但是分辨率低, 无法给出离子的精确质量数, 对目标物的裂解途径的判断依据不足, 在实际样品检测中容易受基质的干扰而造成假阳性的结果^[12-14]。高分辨质谱具有高分辨率和定性准确等特点, 已成为违禁化合物、有毒有害物质等的快速筛查和确证方法^[15-19], 尤其适用于批量样品的快速筛查^[20-22]。

本研究采用甲醇超声萃取, 过滤后, 直接采用超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱法(ultra performance liquid chromatography-quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry, UPLC-Q-Orbitrap HRMS)测定食品(银耳、木耳、粉条)中米酵菌酸残留, 为银耳、木耳、粉条中米酵菌酸的快速测定提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 仪器、试剂和材料

Uimate 3000-QExactive 超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱仪、ST16R 离心机(美国 Thermo

Fisher Scientific 公司); GM 300 组织捣碎机(德国莱驰公司); MS 105DU 电子天平、PL203 电子天平(0.01 g, 瑞士 METTLER TOLEDO 公司); T18 型均质器(德国 IKA 公司)。

米酵菌酸标准品(纯度 95.0%, 瑞士 ENZO Life Science 公司); 乙腈、甲醇、甲酸、乙酸(色谱纯, 德国 Merck 公司)。

银耳、木耳、粉条为市购。

1.2 标准溶液配制

称取米酵菌酸标准品于 10 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解后定容, 充分混匀后得到 500 $\mu\text{g/mL}$ 标准储备液, 于 -18°C 冰箱中避光保存。用甲醇逐级稀释成 10.0、20.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{g/L}$ 的标准溶液, 临用前用不含米酵菌酸样品溶液配制成 1.0、2.0、5.0、10.0 和 20.0 $\mu\text{g/L}$ 的基质标准工作溶液。

1.3 试样制备

取有代表性样品 500 g, 用组织捣碎机将样品加工成粉末状, 混匀, 装入洁净的盛样容器内, 密封并标记。称取 0.5 g 样品(精确至 0.01 g)于 50 mL 塑料离心管中, 加入 4.5 g 水浸泡 1 h 后, 加入 10 mL 甲醇, 涡旋匀浆 2 min, 4 000 r/min 离心 3 min, 转移上清液至 25 mL 容量瓶。残留物中加 10 mL 甲醇重复提取, 4000 r/min 离心 3 min。合并上清液, 用甲醇定容至刻度, 混匀, 过滤, 供超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱测定, 外标法定量。同时称取 1 份样品, 按照 GB 5009.189—2016《食品安全国家标准 食品中米酵菌酸的测定》中的高效液相色谱法进行分析。

1.4 色谱条件

色谱柱: HypersiL GLODTM (100 mm \times 2.1 mm, 3 μm); 柱温 30°C ; 进样量 10.0 μL ; 流速 0.3 mL/min; 流动相: 0.1% 甲酸(A)和乙腈(B), 梯度洗脱程序: 0~2.00 min, 30% \rightarrow 50% B; 2.00~10.00 min, 50% B。

1.5 质谱条件

加热电喷雾离子源(heating electrospray ionization, HESI); 负离子扫描; 数据模式: Full MS/dd-MS2; 质量扫描范围(m/z): 100~600; 全扫描(full MS)分辨率: 70000 FWHM; 二级质谱扫描(dd-MS2)分辨率: 17500 FWHM; 电喷雾电压: 3200 V; 鞘气: 高纯氮气, 50 Arb; 辅助气: 高纯氮气, 20 Arb; 毛细管温度: 320°C ; 辅助气加热温度: 350°C ; 碰撞能量(normalized

collision energies, NCE)设定为 10%和 20%。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

本研究比较了乙腈、甲醇与水、0.1%乙酸水溶液、0.1%甲酸水溶液、10 mmol/L 乙酸铵和 10 mmol/L 甲酸铵组成的流动相的洗脱效果, 发现采用 0.1%甲酸和乙腈作为流动相, 色谱峰的峰形更加对称, 峰形更佳。本研究对比了 HypersiL GLODTM (100 mm×2.1 mm, 3 μm)、Agilent Eclipse XDB-C₁₈ (150 mm×2.1 mm, 3.5 μm)、Waters XSelect HSS T3 (150 mm×2.1 mm, 3.5 μm) 3 种色谱柱对目标化合物的分离效果, 结果发现 HypersiL GLODTM (100 mm×2.1 mm, 3 μm) 柱效更高, 分离效果更好。因此, 本研究选择 HypersiL GLODTM (100 mm×2.1 mm, 3 μm) 作为色谱柱, 流动相为 0.1%甲酸和乙腈, 采用梯度洗脱, 在优化的色谱条件下, 银耳样品加标溶液的提取离子流色谱图见图 1。

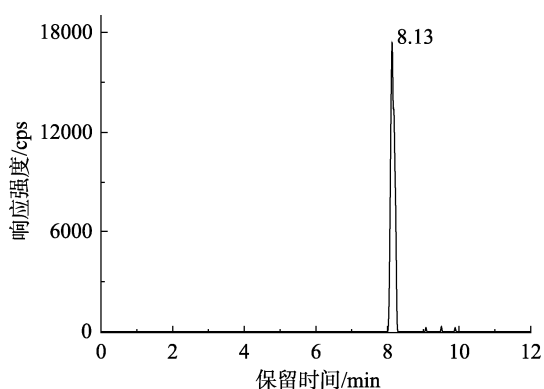


图 1 空白银耳基质加标提取离子流色谱图(0.05 mg/kg)
Fig.1 Extracted ion chromatogram of standard solution spiked in matrix of blank tremella (0.05 mg/kg)

2.2 质谱条件的确证

考虑到定性分析和定量分析的准确性, 本研究采用 70000 FWHM 作为全扫描分辨率, 17500 FWHM 作为二级质谱分辨率, 得到的谱图既有母离子的精确质量数, 又有二级质谱的全扫描信息, 能够满足定性分析和定量分析要求。对米酵菌酸的标准溶液分别进行了正离子和负离子模式全扫描, 结果表明米酵菌酸在负离子模式下的响应值较高, 因此本研究选用负离子模式进行检测。米酵菌酸的分子式为 C₂₈H₃₈O₇, 理论分子量为 m/z 486.26175, 在负离子模式下, 质谱特征离子 m/z 485.25323 与分子离子 [M-H]⁻ (m/z 485.25448) 的理论值一致。故选用 m/z 为 485.25323 的离子作为母离子, 对子离子进行全扫描, 得到米酵菌酸的二级质谱图。如图 2 所示, 主要的碎片离子为 m/z 441.26425 (理论值: m/z 441.26465) 和 m/z 397.27496 (理论

值: m/z 397.27482), 其中 m/z 441.26425 的丰度较大, 用于定量离子分析。二级碎片离子 m/z 441.26425 来源于母离子丢失了 CO₂, m/z 397.27496 来源于母离子丢失 CO₂ 和 CO₂ (图 3)。

2.3 样品提取溶剂的优化

米酵菌酸为极性化合物, 实验优先选择甲醇和乙腈作为提取溶剂。银耳和木耳为干制品, 按照 1.3 方式提取。加标样品经甲醇和乙腈提取后, 发现甲醇的提取率为 94.3%, 乙腈的提取率为 90.1%, 同时考虑到甲醇的毒性相对较小, 故选择甲醇作为提取溶剂。为进一步提高提取效率, 本研究使用 10 mL 的甲醇重复提取 2 次, 回收率可达 95.2%, 效果更好, 故本研究前处理过程中采用甲醇对样品重复提取 2 次。同时, 本研究对提取液进行净化和不净化进行了比较, 净化步骤依据 GB 5009.189—2016 进行操作, 结果显示, 净化的回收率为 92.3%, 不净化的回收率为 94.0%, 结果差异不大, 故选择不净化。综上, 本研究采用高分辨质谱进行测定, 无需对提取溶液采取净化步骤, 避免了目标物在净化过程中损失, 具有样品前处理简单、回收率高的特点。

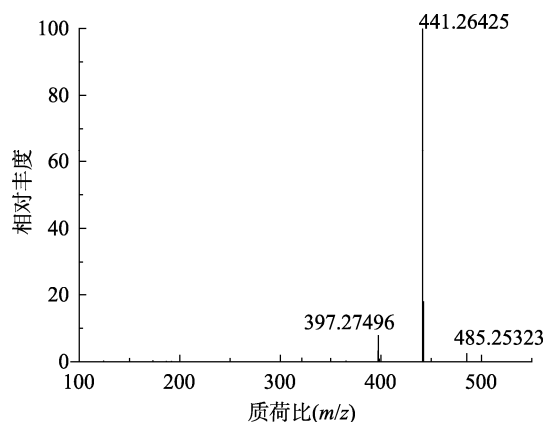


图 2 米酵菌酸二级质谱图
Fig.2 MS2 spectrum of bongkrekic acid

2.4 方法学验证

2.4.1 线性范围与定量限

采用基质匹配工作曲线以最大程度消除基质效应对定量分析结果的影响。采用外标法对“1.3”方法制备的 1.0、2.0、5.0、10.0、20.0 μg/L 系列基质标准工作溶液进行上机测定, 以各组分的定量离子的峰面积为纵坐标 (Y), 其质量浓度为横坐标 (X, μg/L) 绘制标准曲线。结果表明, 在 1.0~20.0 μg/L 浓度范围内, 线性关系良好, 回归方程 $Y=5.771 \times 10^5 X - 1.253 \times 10^5$, 相关系数 (r^2) 为 0.9997。向空白基质提取液添加低水平的标准溶液 (1.0 μg/L), 以信噪比获得到定量限 (limit of quantitation, LOQ, $S/N \geq 10$) 为 0.05 mg/kg。

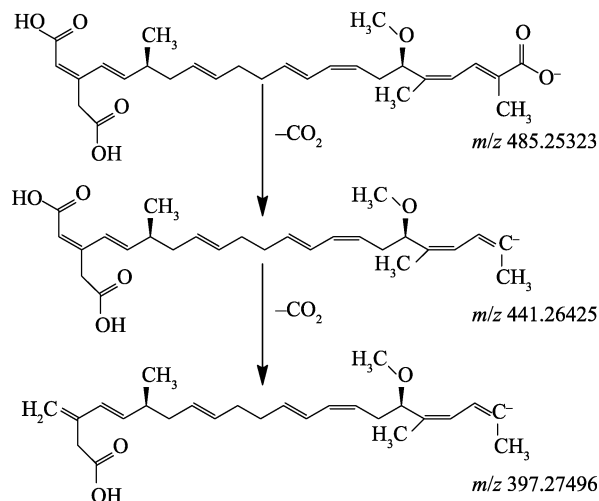


图3 碎片离子的裂解途径

Fig.3 Fragmentation pathways of debris ions

2.4.2 回收率与精密度

在不同样品的空白样品中,分别进行 0.05、0.10、0.25 mg/kg 3 个不同浓度水平的加标回收实验,每个水平重复测定 6 次,结果见表 1,回收率在 89.0%~96.0%之间,相对标准偏差为 4.1%~9.6%,说明该方法的准确度和精密度良好。

表 1 加标回收实验结果($n=6$)
Table 1 Results of recovery experiments ($n=6$)

样品	加标量/(mg/kg)	平均回收率/%	RSD/%
银耳	0.05	94.0	9.6
	0.10	89.0	5.1
	0.25	92.8	4.2
木耳	0.05	90.0	8.3
	0.10	91.0	6.5
	0.25	90.4	4.3
粉条	0.05	96.0	5.2
	0.10	95.0	4.1
	0.25	91.2	4.6

2.5 实际样品检测

在农贸市场和超市购买不同的银耳、木耳、粉条,每种样品各 5 份,采用本方法和 GB 5009.189—2016 中的高效液相色谱法进行检测,均未检出米酵菌酸。

3 结论与讨论

本研究建立了银耳、木耳、粉条中米酵菌酸的快速筛查方法,样品采用甲醇超声萃取,过滤后,无需采取烦琐的净化步骤,直接采用 UPLC-Q-Orbitrap HRMS 进行分析,定量限虽高于 GB 5009.189—2016 和文献报道^[23],作为快速筛查方法,完全满足 GB 7096—2014 关于银耳及其制品中米

酵菌酸的限量要求。固相萃取净化作为前处理手段在一定程度上能净化杂质、浓缩目标物,但也会对目标物造成一定的损失,且操作烦琐。相比于 GB 5009.189 称样量(20 g),本研究所需样品少(0.5 g)、提取溶液多(25 mL)、基质干扰小、无需净化和浓缩,样品分析过程快速,20 min 完成从样品提取到仪器分析过程,操作简便,采用 UPLC-Q-Orbitrap HRMS 进行测定,具有高分辨率、高质量精度、选择性高、扫描速度快的特点,能够满足复杂基质食品中米酵菌酸的快速定性筛查和确证分析,避免假阳性情况的发生。同时方法学参数表明该方法稳定,重复性好,适用于大批量银耳、木耳、粉条中米酵菌酸的快速筛查,在突发食品安全事件中迅速占有先机,为相关部门提供决策依据,同时也为相关的工作提供了有益参考。

参考文献

- [1] 苏永恒,张伟,张榕杰,等.固相萃取-高效液相色谱法测定食品中米酵菌酸含量[J].中国卫生工程学,2017,16(4):438-440.
SU YH, ZHANG W, ZHANG RJ, et al. Determination of bongkrekic acid in food by solid extraction-high performance liquid chromatography [J]. Chin J Public Health Eng, 2017, 16(4): 438-440.
- [2] 周鹏.超高效液相色谱串联质谱法测定银耳中米酵菌酸[J].食品研究与开发,2015,36(22):123-126.
ZHOU P. Determination of bongkrekic acid in *Tremella fuciformis* Berk by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2015, 36(22): 123-126.
- [3] 李红艳,金燕飞,黄海智,等.高效液相色谱-二极管阵列检测器结合固相萃取法快速测定食品中米酵菌酸残留[J].食品科学,2016,37(24):247-251.
LI HY, JIN YF, HUANG HZ, et al. Fast determination of bongkrekic acid in foods using mixed-mode weak anion exchange solid phase extraction coupled with high performance liquid chromatography with diode array detection (HPLC-DAD) [J]. Food Sci, 2016, 37(24): 247-251.
- [4] 阮光锋.科学解读“酸汤子”为什么会引发米酵菌酸中毒[J].中国食品,2020,(20):128-129.
RUAN GF. Scientific interpretation of why “sour soup” can cause poisoning of bongkrekic acid [J]. China Food, 2020, (20): 128-129.
- [5] 周霞,陈万勤,傅红雪,等.全自动固相萃取-超高效液相色谱法快速测定食品中米酵菌酸含量[J].安徽农业科学,2018,46(8):159-160.
ZHOU X, CHEN WQ, FU HX, et al. Fast determination of bongkrekic acid in food by auto solid phase extraction-ultra high performance liquid chromatography [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(8): 159-160.
- [6] 曾令浩,李思颖,李文倩,等.高效液相色谱-串联质谱法快速检测银耳中的米酵菌酸[J].食品安全质量检测学报,2019,10(19):6538-6541.
ZENG LH, LI SY, LI WQ, et al. Rapid determination of bongkrekic acid in *Tremella* by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(19): 6538-6541.
- [7] 覃冬杰,陈荣珍,卢艺,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定柳州螺蛳粉中米酵菌酸[J].食品安全质量检测学报,2020,11(13):4273-4278.
QIN DJ, CHEN RZ, LU Y, et al. Determination of bongkrekic acid in Liuzhou river snails rice noodle by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(13): 4273-4278.
- [8] 王俊虎,乔勇升,王建设,等.超高效液相色谱-串联质谱法快速测定

- 六神曲中的米酵菌酸[J]. 色谱, 2019, 37(9): 963-968.
- WANG JH, QIAO YS, WANG JS, *et al.* Rapid determination of bongkreki acid in Liushenqu by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2019, 37(9): 963-968.
- [9] 王俊虎, 陈骁鹏, 仇雅静, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法快速测定建曲中的米酵菌酸[J]. *药物分析杂志*, 2020, 40(6): 1025-1031.
- WANG JH, CHEN XP, QIU YJ, *et al.* Rapid determination of bongkreki acid in Jianqu with ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2020, 40(6): 1025-1031.
- [10] 温海滨. 高效液相色谱-串联质谱法测定黑木耳中的米酵菌酸[J]. *现代食品*, 2020, 12: 166-169.
- WEN HB. Determination of bongkreki acid in *Auricularia auricula* by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Mod Food*, 2020, 12: 166-169.
- [11] 李红娜, 袁飞, 张辰阳, 等. 液相色谱和飞行时间质谱联用检测米酵菌酸[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 319-323.
- LI HN, YUAN F, ZHANG CY, *et al.* The research of detection bongkreki acid (BA) by LC-ESI-TOF technology [J]. *Food Ind*, 2018, 39(7): 319-323.
- [12] 李双, 王春芳, 方科益, 等. 酸性染料在四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱中的离子化与裂解规律[J]. *分析测试学报*, 2020, 39(3): 351-357.
- LI S, WANG CF, FANG KY, *et al.* Study on the ionization and fragmentation law of acid dyes by quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2020, 39(3): 351-357.
- [13] 陈树兵, 余晓玲, 李双, 等. 苏丹红染料在四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱中的离子化与裂解规律研究[J]. *分析测试学报*, 2020, 39(9): 1143-1148.
- CHEN SB, YU XL, LI S, *et al.* Study on ionization and fragmentation law of 4 sudan red dyes by quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry (Q-Orbitrap HRMS) [J]. *J Instrum Anal*, 2020, 39(9): 1143-1148.
- [14] 李岳, 李琨, 纪宏, 等. 利用高分辨四级杆静电场轨道阱质谱快速定性和定量筛查确证中药保健品中的 114 种非法添加药物[J]. *中国药学杂志*, 2019, 54(21): 1804-1816.
- LI Y, LI M, JI H, *et al.* Qualitative and quantitative screening of 114 illegally added adulterants in health products by high resolution four-stage electrostatic field orbital trap mass spectrometry [J]. *Chin Pharm J*, 2019, 54(21): 1804-1816.
- [15] 潘娟, 严凤, 张婧, 等. 超高效液相色谱-静电场轨道阱质谱同时筛查测定猪肉中 21 种磺胺类药物残留[J]. *上海畜牧兽医通讯*, 2019, 4: 8-13.
- PAN J, YAN F, ZHANG J, *et al.* Simultaneous screening and determination of 21 sulfonamides residues in pork by ultra performance liquid chromatography electrostatically orbitrap mass spectrometry [J]. *Shanghai J Anim Husb Vet Med*, 2019, 4: 8-13.
- [16] 李蓉, 杨璐齐, 张鹏云, 等. 超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法快速筛查水产及水产加工品中 24 种镇静剂类药物[J]. *色谱*, 2018, 36(2): 125-135.
- LI R, YANG LQ, ZHANG PY, *et al.* Rapid screening of 24 tranquillizer drugs in fish and fishery products by ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectroscopy [J]. *Chin J Chromatogr*, 2018, 36(2): 125-135.
- [17] 聂雪梅, 董旭阳, 许秀丽, 等. 超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱离子阱质谱同时检测动物源性食品中 20 种 β -受体阻滞剂及代谢物[J]. *色谱*, 2019, 37(9): 1011-1018.
- NIE XM, DONG XY, XU XL, *et al.* Determination of 20 β -blockers and metabolites in animal-origin foods by ultra performance liquid chromatography-quadrupole electrostatic field orbitrap mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2019, 37(9): 1011-1018.
- [18] DONG H, XIAN YP, LIA HX, *et al.* Analysis of heterocyclic aromatic amine profiles in Chinese traditional bacon and sausage based on ultrahigh-performance liquid chromatography-quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry (UHPLC-Q-Orbitrap-HRMS) [J]. *Food Chem*, 2020, 310: 125937.
- [19] LIU SQ, JUNAID M, ZHONG W, *et al.* A sensitive method for simultaneous determination of 12 classes of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater by ultra performance liquid chromatography coupled with quadrupole orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. *Chemosphere*, 2020, 251: 126327.
- [20] LIANG M, XIAN YP, WANG B, *et al.* High throughput analysis of 21 perfluorinated compounds in drinking water, tap water, river water and plant effluent from southern China by supramolecular solvents-based microextraction coupled with HPLC-Orbitrap HRMS [J]. *Environ Pollut*, 2020, 263: 114389.
- [21] DENG HL, WANG HB, LIANG MH, *et al.* A novel approach based on supramolecular solvent microextraction and UPLC-Q-Orbitrap HRMS for simultaneous analysis of perfluorinated compounds and fluorine-containing pesticides in drinking and environmental water [J]. *Microchem J*, 2019, 151: 104250.
- [22] ABDALLAH MAE, NGUYEN KH, EBELE AJ, *et al.* A single run, rapid polarity switching method for determination of 30 pharmaceuticals and personal care products in waste water using Q-exactive orbitrap high resolution accurate mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2019, 1588: 68-76.
- [23] 梁明, 胡均鹏, 王斌, 等. QuEChERS EMR-Lipid 结合超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱快速测定河粉中的米酵菌酸[J]. 2019 年广东省食品学会年会论文集, 2019.
- LIANG M, HU JP, WANG B, *et al.* Determination of bongkreki acid in rice noodles by QuEChERS-EMR-lipid coupled with ultra performance liquid chromatography-quadrupole orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. *Proceedings of the 2019 Guangdong Food Society Annual Conference*, 2019.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



韩超, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全及环境中有毒有害物质的检测。
E-mail: chaohan@zjsru.edu.cn



黄超群, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: 75189819@qq.com