

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241216001

引用格式: 卢军, 黄文, 李崇勇, 等. QuEChERS 净化结合超高效液相色谱-串联质谱法快速检测汉中面皮中米酵菌酸含量 [J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 228–233.

LU J, HUANG W, LI CY, *et al.* Determination of bongkreikic acid content in Hanzhong Mianpi by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with QuEChERS purification [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 228–233. (in Chinese with English abstract).

QuEChERS 净化结合超高效液相色谱-串联质谱法 快速检测汉中面皮中米酵菌酸含量

卢 军, 黄 文*, 李崇勇, 缙慧君, 徐姗姗

(汉中市食品药品监督检验检测中心, 汉中 723000)

摘 要: 目的 建立一种 QuEChERS 前处理净化结合超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)快速检测汉中面皮中米酵菌酸含量的方法。**方法** 面皮样品采用乙腈-水(8:2, V:V)超声提取, QuEChERS 净化处理, 浓缩、定容, 选用 Thermo (100 mm×2.1 mm, 1.8 μ m) 色谱柱分离, 以乙腈和 0.1%甲酸水溶液进行梯度洗脱, 电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI), 负离子多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式, 以标准曲线法定量。**结果** 米酵菌酸在 1~100 ng/mL 范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)大于 0.999, 在 2、10、50 μ g/kg 低中高 3 个加标水平下, 加标回收率为 86.7%~90.0%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 2.3%~2.9%, 检出限为 0.5 μ g/kg, 定量限为 1.5 μ g/kg。所有实际样品均未检出米酵菌酸。**结论** 该方法前处理简单、分析快速、回收率高、灵敏度高, 可为汉中面皮中米酵菌酸的质量控制提供参考。

关键词: 超高效液相色谱-串联质谱法; QuEChERS 净化; 米酵菌酸; 汉中面皮

Determination of bongkreikic acid content in Hanzhong Mianpi by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with QuEChERS purification

LU Jun, HUANG Wen*, LI Chong-Yong, GOU Hui-Jun, XU Shan-Na

(Food and Drug Supervision Inspection and Testing Center of Hanzhong, Hanzhong 723000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for rapid determination of bongkreikic acid content in Hanzhong Mianpi by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) combined with QuEChERS purification. **Methods** Hanzhong Mianpi samples were extracted by acetonitrile-water (8:2, V:V)

收稿日期: 2024-12-16

基金项目: 陕西省市场监督管理局 2022 年度科技计划项目(2022KY27)

第一作者: 卢军(1983—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为食品药品质量安全控制、生产工艺研究与检验检测。E-mail: lujun10106@163.com

*通信作者: 黄文(1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品药品检验检测、食品生产工艺研究。E-mail: 413627056@qq.com

ultrasonic extraction, purified by QuEChERS, concentrated, constant volume, separated by Thermo (100 mm×2.1 mm, 1.8 μ m) chromatographic column, gradient eluted by acetonitrile and 0.1% formic acid aqueous solution, quantified by standard curve method with electric spray ion source (ESI), multiple reaction monitoring (MRM) mode. **Results** The linear relationship of bongkreikic acid was good within the range of 1–100 ng/mL, with a correlation coefficient (r^2) greater than 0.999. At 3 spiked levels of 2, 10 and 50 μ g/kg, the spiked recovery rate was 86.7%–90.0%, the relative standard deviation (RSD) was 2.3%–2.9%, the limit of detection was 0.5 μ g/kg, and the limit of quantitation was 1.5 μ g/kg. All actual samples did not detect any citric acid. **Conclusion** This method has simple pre-treatment, fast analysis, high recovery rate, and high sensitivity, which can provide reference for the quality control of bongkreikic acid in Hanzhong Mianpi.

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; QuEChERS purification; bongkreikic acid; Hanzhong Mianpi

0 引 言

米酵菌酸(bongkreikic acid, BA)是一种椰毒假单胞菌酵米面亚种产生的一种作用于线粒体的生物毒素^[1–5], 能够阻止线粒体中的氧化磷酸化过程, 最终导致中毒者肝脏、肾脏、大脑等多处器官功能衰竭^[6–7]、凝血功能异常、代谢性酸中毒, 具有极高的致死率^[8–10]。在变质的发酵玉米面制品和变质淀粉类制品中, BA 通过椰毒假单胞菌米面亚种的繁殖而不断累积。BA 耐热, 一般烹调方法不能破坏其毒性。摄入后会引起食物中毒, 轻者表现为头晕、恶心、呕吐、全身无力等症状^[11–12], 重者可出现黄疸、肝肿大、皮下出血、呕血、血尿、意识不清、抽搐等^[13], 甚至死亡^[14]。

汉中面皮是以大米为原料, 经过浸泡、磨浆(添加或不添加食用淀粉)、蒸熟、切条, 再配蔬菜和作料的一种地方特色美食, 冷热形态下均可食用, 具有白薄、光滑、细嫩、柔韧、鲜香等特点, 口感软糯, 香辣味美, 回味悠长, 老少皆宜^[15–17]。汉中面皮的加工工艺与湿米粉制品基本相同, 其本质也属于米粉制品, 加上汉中本身处于盆地, 夏季气温高、潮湿, 生产、运输、经营、消费各环节均存在较大的 BA 污染风险。而 BA 的热稳定性, 使其在高温烹饪环节仍然保持高毒性。由于汉中面皮在人们生活中的重要性和 BA 污染的高风险性, 因此建立一种高效、准确、简便地检测汉中面皮中的 BA 的定性和定量方法势在必行。

目前针对 BA 的检测方法^[18–19]主要有高效液相色谱法^[20–22]、液相色谱-串联质谱法^[23–28]和快速检测法^[29–32]等。本研究在参考 GB 5009.189—2023《食品安全标准 食品中米酵菌酸的测定》及目前 BA 的仪器检测、样品制备方法, 改良 QuEChERS 净化技术, 建立了超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)快速检测汉中面皮中 BA 含量的方法, 使其为汉中面皮中 BA 的快速检测提供技术参考和数据依据, 以期该方法能促进汉中面皮的生产、流

通和消费环节中安全监管和质量控制水平的提升, 对促进汉中面皮产业的发展具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

汉中面皮: 市售, 样品为超市、农贸市场、菜市场随机购买的样品。

阴性样品: 自制, 按照汉中面皮制作工艺使用新制米浆制作并保存在 2–8 $^{\circ}$ C 冷柜中, 经 GB 5009.189—2023 第二法 液相色谱-质谱/质谱法测定, 未检出 BA。

BA 标准品($C_{28}H_{38}O_7$, CAS 号: 11076-19-0, 纯度 $\geq 95\%$)(坛墨质检科技股份有限公司); 甲醇、乙腈、甲酸(色谱纯)、甲酸铵(优级纯)(美国赛默飞世尔科技公司)。

1.2 仪器与设备

Thermo TSQ Quantis 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); BS224S 电子分析天平(精度 0.1 mg, 德国赛多利斯公司); H1850 高速冷冻离心机(湖南湘仪仪器有限公司); VORTEX-5 漩涡振荡器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); KQ-500DE 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); MFV-24 氮吹仪(得泰仪器科技有限公司); Milli Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 前处理方法

(1)提取。面皮样品粉碎后, 精密称取 2.5000 g(精确到 0.1 mg)于 50.0 mL 塑料离心管中, 加入 10.00 mL 乙腈-水溶液(8:2, V:V), 充分涡旋混匀, 静置 10 min, 剧烈振荡 2 min, 超声提取 20 min, 离心 5 min (4000 r/min), 待净化。

(2)净化。将提取后上清液全部转移到 QuEChERS dSPE EMR-Lipid 离心管中, 摇匀, 涡旋振荡 2 min, 离心 5 min (4000 r/min), 离心管中上清液转移至已装有 NaCl 和无水 $MgSO_4$ 的净化管中, 充分混匀, 涡旋振荡 2 min, 离心 5 min (4000 r/min), 收集净化管中上清液, 于 40 $^{\circ}$ C 水浴下

氮气吹干,准确加入 1.0 mL 乙腈-水溶液(8:2, V:V)复溶,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,供 UPLC-MS/MS 检测备用。

1.3.2 色谱条件

色谱柱为 Thermo (100 mm $\times$ 2.1 mm, 1.8 μm); 流动相分别为: 0.1%甲酸水溶、乙腈; 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 40 $^{\circ}\text{C}$; 进样量: 5 μL ; 流动相梯度洗脱程序见表 1。

表 1 流动相梯度洗脱程序
Table 1 Gradient programs of mobile phase

时间/min	0.1%甲酸水溶液/%	乙腈/%
0.0	80	20
2.0	30	70
4.0	30	70
5.0	80	20
6.0	80	20

1.3.3 质谱条件

质谱参数: 离子化方式为电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI); 负离子模式; 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 喷雾电压为 3000 V; 离子传输管温度为 320 $^{\circ}\text{C}$; 离子选择参数: 定量离子(m/z 485.300 $\rightarrow$ 441.333), 定性离子(m/z 485.300 $\rightarrow$ 397.083)。

1.4 数据处理

通过 TraceFinder 4.1 软件(美国赛默飞世尔科技公司)进行数据采集和预处理、生成标准曲线, 样品做 6 次平行实验, 并使用外标法定量分析; 采用 WPS office 12.1.0.19302 软件制表及绘制柱状图, 进行数据统计与比较。

2 结果与分析

2.1 质谱条件优化

将仪器调节至优化模式, 针对 BA 选择 ESI 源, 分别进行正离子模式和负离子模式的全扫描, 比较得出 BA 在 ESI 负离子模式下响应值较好, 因此使用 ESI 负离子模式进行分析。选用母离子 m/z 485.300 进行优化, 在优化的二级子离子中 m/z 441.333 响应值最高, m/z 397.083 响应值第二高, 故选择作为 m/z 485.300/441.333 定量离子对, 选择 m/z 485.300/397.083 作为定性离子对。

2.2 色谱条件优化

本研究对比了甲醇-水、甲醇-0.1%甲酸水、甲醇-2 mmol/L 甲酸铵、乙腈-水、乙腈-0.1%甲酸水、乙腈-2 mmol/L 甲酸铵作为流动相时, 测试 BA 在流动相中的电离强度, 结果显示选取乙腈-0.1%甲酸水作为流动相时电离强度最高。同时比较了甲醇和乙腈作为流动相的有机相, 使用乙腈峰型更好且柱压更低。综上可得, 理想流动相应选择乙腈-0.1%甲酸水, 同时将洗脱程序进行了优化, 使得 BA 得到了更好的分离, 峰型更好, 出峰时间更快, 最终得出最优梯度

洗脱程序(见表 1)。

2.3 前处理方法优化

2.3.1 提取溶剂优化

以阴性样品为基质, 选取乙腈、乙腈-水(8:2, V:V)、乙腈-0.1%甲酸水、甲醇、甲醇-水(8:2, V:V)作为提取溶剂进行测试。分别向阴性样品加入 BA 标准工作液, 将上述 5 种提取溶剂各 10 mL 分别加入样品中, 充分混匀, 静置 10 min, 涡旋振荡 2 min, 超声提取 20 min, 4000 r/min 离心 5 min, 经 0.22 μm 尼龙微孔滤膜过滤, 测定 BA 含量, 计算出回收率, 结果见图 1, 结果显示以乙腈-水(8:2, V:V)为提取溶液回收率最高, 因此提取溶剂选择乙腈-水(8:2, V:V)。

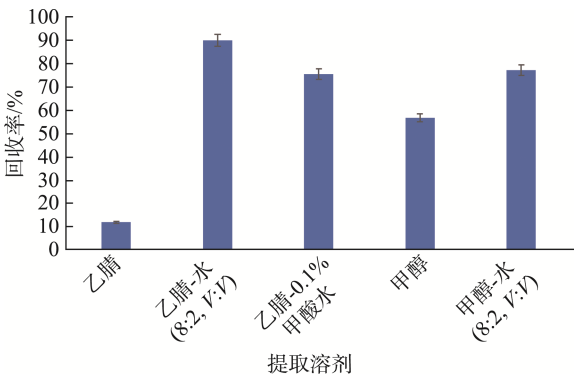


图 1 不同提取溶剂对回收率的影响
Fig.1 Effects of different extraction solvents on recovery rate

2.3.2 净化材料的优化

本研究对比了 C_{18} 、乙二胺-N-丙基硅烷(primary secondary amine, PSA)、 C_{18} +PSA、dSPE EMR-Lipid 不同净化材料对 BA 加标回收率的影响。以阴性样品为基质, 分别加入 BA 标准工作液, 经乙腈-水(8:2, V:V)提取后, 分别使用上述 4 种净化材料进行净化, 结果显示(图 2), C_{18} 、PSA、 C_{18} +PSA 这 3 类净化材料均对 BA 有较强的吸附, 极大影响了回收率。使用 dSPE EMR-Lipid 净化材料时既能较好地去除杂质, 也能尽可能低地减少对 BA 的吸附, 从而提高回收率。因此净化材料选择 dSPE EMR-Lipid。

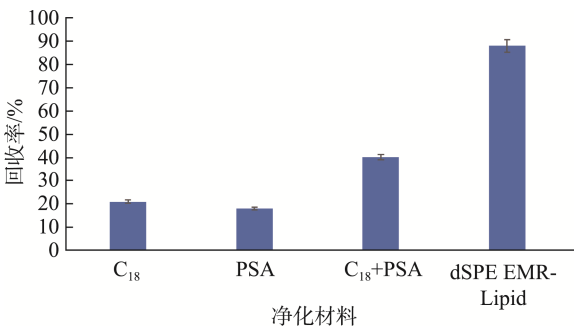


图 2 不同净化材料对回收率的影响
Fig.2 Effects of different purification materials on recovery rate

2.4 方法学评价

2.4.1 线性关系、检出限和定量限

将 BA 标准物质分别配制成质量浓度为 1、2、5、10、20、50、100 ng/mL 的系列标准溶液, 建立标准品工作曲线 (BA 质量浓度为横坐标(X, ng/mL), BA 相应峰面积(Y)为纵坐标)。将标准溶液稀释后加入空白基质中, 进行 1.3.1 前处理方法处理后上机测定, 以 3 倍信噪比(S/N)和 10 倍信噪比(S/N)分别作为检出限和方法定量限。BA 的线性方程为 $Y=3.853e^3X-91.9$ ($r^2=0.9996$), 在 1~100 ng/mL 范围内线性关系良好, 检出限和定量限分别为 0.5 μg/kg、1.5 μg/kg, 均满足 GB 5009.189—2023 的要求。

2.4.2 回收率和精密度

精密称取阴性样品 2.5000 g, 分别量取对应低、中、高 3 种浓度标准溶液于样品中, 每种浓度平行处理 6 个样品, 样品按照 1.3.1 前处理方法进行处理, 上机测定, 根据添加浓度计算出回收率, 结果见表 2, 由表 2 可见 BA 回收率在 86.7%~90.0%之间, 符合 GB/T 27417—2017《合格评定 化学分析方法确认和验证指南》中方法回收率偏差要求, RSDs 在 2.3%~2.9%之间。

2.5 实际样品测定

在生产环节和流通环节购买 15 批汉中面皮样品, 按 1.3.1 项下制备供试品溶液, 按照 1.3.2 项下色谱条件和 1.3.3 项下质谱条件进行测定, 结果显示 15 批汉中面皮样

表 2 回收率和精密度
Table 2 Recoveries and precisions

标准物质名称	添加浓度/(μg/kg)	平均浓度/(μg/kg)	平均回收率/%	RSDs/%
BA	2	1.734	86.7	2.6
	10	8.910	89.1	2.9
	50	45.000	90.0	2.3

注: 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。

品均未检出 BA。

2.6 方法对比

所建方法与 GB 5009.189—2023 法相比(表 3), 该方法在前处理环节处理更便捷和高效, 仪器分析时间也短于国家标准方法。

目前, 针对 BA 测定的现行国家标准为 GB 5009.189—2023, 其中第二法液相色谱-质谱/质谱法仅仅提高了检测的准确度和灵敏度, 但是在前处理过程中仍存在耗时且酸碱试剂使用量较大的问题。梁明等^[23]、曾雪芳等^[24]、周鹏^[25]、于浩洋等^[28]均采用 UPLC-MS/MS, 提高了检测的效率, 但在提取效率上各有优劣(见表 3), 本研究兼顾提取和检测两方面, 旨在简化提取步骤、减少试剂用量、缩短实验时间上提高检测效率。

表 3 所建方法与国标方法及参考文献对比

Table 3 Comparison of the established method with the national standard method and reference literature

项目			方法
前处理步骤	使用试剂	实验时间/h	
液液萃取、QuEChERS 净化	3 种, 无酸碱试剂使用	1.0~1.5	本研究
提取、浸泡 1 h、重复提取, 固相萃取净化	6 种, 有酸碱试剂使用	2.0~2.5	GB 5009.189—2023
液液萃取、QuEChERS 净化	4 种, 无酸碱试剂使用	1.0~1.5	[23]
提取、浸泡 1 h、混合阴离子交换柱净化	5 种, 有酸碱试剂使用	2.0~2.5	[24]
液液萃取、混合强阴离子交换柱净化	7 种, 有酸碱试剂使用	1.0~1.5	[25]
提取、浸泡 1 h	1 种, 有酸碱试剂使用	2.0~2.5	[28]

3 结 论

本研究通过改进前处理方法, 建立了 UPLC-MS/MS 快速检测汉中面皮中 BA 的含量。该方法在 GB 5009.189—2023 的基础上对前处理方法、色谱条件和质谱条件进行了优化, BA 在 1~100 ng/mL 范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)大于 0.999, 方法检出限、定量限均高于国家标准中对于食品中 BA 的测定, 在低、中、高 3 个浓度水平加标回收率范围为 86.7%~90.0%, RSDs 在 2.3%~2.9%, 并且大大缩短了实验时间, 由此说明该方法可以为制定汉中面皮食品安全地方标准提供可靠的数

据参考与技术支持。

参考文献

[1] 苏嘉妮, 杨丹婷, 李婉珊, 等. 2018 年广东省米面制品、淀粉及其制品中椰毒假单胞菌酵米面亚种的调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4112-4118.
SU JN, YANG DT, LI WS, et al. Investigation and analysis of coconut venom *Pseudomonas aeruginosa* rice noodle subspecies in rice noodle products, starch and its products in Guangdong Province in 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(13): 4112-4118.
[2] YU CH, WANG IT, SU YJ. Bongkrekic acid contaminated food, a

- life-threatening meal [J]. The American Journal of Emergency Medicine, 2024, 82(8): 209–210.
- [3] YAO YT, ZHANG XW, ZHOU Y, *et al.* Exploring the characteristics of *Burkholderia gladioli* pathovar cocovenenans: Growth, bongkreikic acid production, and potential risks of food contamination in wet rice noodles and vermicelli [J]. Food Microbiology, 2024, 120(6): 104449.
- [4] KANO A, FUJIKI M, FUKAMI K, *et al.* Bongkreikic acid inhibits 2-deoxyglucose-induced apoptosis, leading to enhanced cytotoxicity and necrotic cell death [J]. Pharmacological Research-Reports, 2024, 2(3): 100017.
- [5] LV RG, ZENG WX, ZHANG PD, *et al.* The toxicokinetic and extracorporeal removal of bongkreikic acid during blood purification therapies: A case report [J]. Toxicon, 2023, 233(9): 107275.
- [6] SHI RJ, LONG CY, DAI YD, *et al.* Bongkreikic acid poisoning: Severe liver function damage combined with multiple organ failure caused by eating spoiled food [J]. Legal Medicine, 2019, 41: 101622.
- [7] 李俊纛, 柳晓峰, 程笑, 等. 成功救治米酵菌酸中毒致肝衰竭 1 例[J]. 肝脏, 2023, 28(8): 1005–1006.
- LI JY, LIU XF, CHENG X, *et al.* Successful treatment of one case of liver failure caused by rice yeast acidosis [J]. Liver, 2023, 28(8): 1005–1006.
- [8] 孙健, 张强, 赵凌国, 等. 一起米酵菌酸食物中毒致死事件的调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 6(34): 1323–1325.
- SUN J, ZHANG Q, ZHAO LG, *et al.* Investigation into a fatal incident of rice yeast acid food poisoning [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 6(34): 1323–1325.
- [9] 刘志涛, 万蓉, 胡太芬, 等. 一起椰毒假单胞菌酵米面亚种引起的食物中毒调查分析[J]. 职业与健康, 2013, 29(5): 582–583.
- LIU ZT, WANG R, HU TF, *et al.* Investigation on a food poisoning incident induced by *Pseudomonas cocovenenans* subsp *farinifermentans* [J]. Occup Health, 2013, 29(5): 582–583.
- [10] JIAO ZQ, YOSHIKI K, NORIKO M, *et al.* Need to differentiate lethal toxin-producing strains of *Burkholderia gladioli*, which cause severe food poisoning: description of *B. gladioli* pathovar cocovenenans and an emended description of *B. gladioli* [J]. Microbiology & Immunology, 2003, 47(12): 915–925.
- [11] 陈荣桥, 陈汉金, 胡均鹏, 等. 米和食用淀粉中椰毒假单胞菌酵米面亚种污染调查与风险分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1): 260–267.
- CHEN RQ, CHEN HJ, HU JP, *et al.* Investigation and risk analysis of contamination of rice flour subspecies fermented by coconut toxin pseudomonas in rice and edible starch [J]. Modern Food Science and Technology 2021, 37(1): 260–267.
- [12] 申屠平平, 朱珈慧, 徐小民, 等. 一起椰毒假单胞菌酵米面亚种引起的食物中毒调查[J]. 上海预防医学, 2019, 31(6): 466–468.
- SHEN TPP, ZHU JH, XU XM, *et al.* Investigation on food poisoning caused by *Pseudomonas aeruginosa* subsp [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2019, 31(6): 466–468.
- [13] LAI CC, WANG JL, HSUEH PR. *Burkholderia gladioli* and bongkreikic acid: An under-recognized foodborne poisoning outbreak [J]. Journal of Infection, 2024, 89(7): 106182.
- [14] SU YJ. The first time devastating food poisoning happened in Taiwan-Bongkreikic acid poisoning [J]. Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology, 2024, 63(9): 614–617.
- [15] 王蓓蓓, 李春梅, 李崇勇, 等. 固相萃取-光化学衍生法测定汉中面皮中的黄曲霉毒素 B₁[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2021, 6(37): 50–55.
- WANG BB, LI CM, LI CY, *et al.* Determination of aflatoxin B₁ in Hanzhong noodle skin by solid-phase extraction photochemical derivatization method [J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 6(37): 50–55.
- [16] 蒋小平, 王一策, 丁龙. 汉中面皮水磨米粉的加工技术优化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(7): 2621–2626.
- JIANG XP, WANG YC, DING L. Study on optimization of processing technology of Hanzhong noodle rice noodles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(7): 2621–2626.
- [17] 赵梦欣. 围绕“一碗面皮”安全下硬功、动硬茬—陕西省汉中市点面结合加强食品安全监管纪实[J]. 中国食品药品监管, 2015, 12(15): 53–54.
- ZHAO MX. Focusing on the safety of ‘one bowl of noodle skin’ and strengthening food safety supervision through the integration of point noodles in Hanzhong City, Shaanxi Province [J]. China Food and Drug Administration, 2015, 12(15): 53–54.
- [18] 黄媛. 米酵菌酸检测技术的研究进展[J]. 广东化工, 2020, 47(6): 136–137.
- HUANG Y. Research progress on acid detection technology for rice fermentation bacteria [J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(6): 136–137.
- [19] 蔡洁, 罗琳, 刘翔晔, 等. 食品中米酵菌酸检测方法研究进展[J]. 食品安全导刊, 2023(4): 156–159.
- CAI J, LUO L, LIU XY, *et al.* Research progress on monitoring methods of citric acid in food [J]. China Food Safety Magazine, 2023(4): 156–159.
- [20] 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): 254–258.
- LI HY, JIN YF, HUANG HZ, *et al.* Rapid determination of residual citric acid in food by high performance liquid chromatography diode array detector combined with solid-phase extraction method [J]. Food Science, 2016, 37(24): 254–258.
- [21] 许和强, 鲁长海, 曾军. 高效液相色谱(二极管阵列检测器)法测定河粉中米酵菌酸含量[J]. 现代食品, 2023, 29(20): 208–210.
- XU HQ, LU CH, ZENG J. Determination of rice fermentation acid content in river flour by high performance liquid chromatography (diode array detector) method [J]. Modern Food, 2023, 29(20): 208–210.
- [22] 侯佰立. 固相萃取-高效液相色谱法快速测定食品中米酵菌酸残留[J].

- 现代食品, 2019(9): 169–172.
- HOU BL. Rapid determination of residual citric acid in food by solid-phase extraction high performance liquid chromatography [J]. Modern Food, 2019(9): 169–172.
- [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[C]. 2019 年广东省学会年会论文集, 2019.
- LIANG M, HU JP, WANG B, *et al.* QuEChERS EMR Lipid combined with ultra-high performance liquid chromatography quadrupole electrostatic field orbital trap high-resolution mass spectrometry for rapid determination of citric acid in river flour [C]. Proceedings of the 2019 Guangdong Society Annual Meeting, 2019.
- [24] 曾雪芳, 刘嘉飞, 王立亚, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定米粉和河粉中的米酵菌酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4074–4079.
- ZENG XF, LIU JF, WANG LY, *et al.* Determination of oryzic acid in Rice noodles and river noodles by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(13): 4074–4079.
- [25] 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): 133–136.
- ZHOU P. Determination of mycelic acid in *Tremella fuciformis* by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Food Research and Development, 2015, 36(22): 133–136.
- [26] 李晨华, 李海霞, 王宾, 等. 超高压液相色谱-高分辨质谱联用仪检验血液中的米酵菌酸[J]. 化学研究与应用, 2023, 35(3): 708–712.
- LI CH, LI HX, WANG B, *et al.* Ultra high pressure liquid chromatography high resolution mass spectrometer for detecting glycolic acid in blood [J]. Chemical Research and Application, 2023, 35(3): 708–712.
- [27] 陈慧娇, 林诗琦, 苏碧玲, 等. 同位素稀释-液相色谱-串联质谱法测定血浆中的米酵菌酸[J]. 海峡预防医学杂志, 2023, 29(5): 71–74.
- CHEN HJ, LIN SQ, SU BL, *et al.* Isotope dilution liquid chromatography tandem mass spectrometry for the determination of citric acid in plasma [J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2023, 29(5): 71–74.
- [28] 于浩洋, 冯静, 李颜岩. 超高效液相色谱-串联质谱测定米粉中米酵菌酸[J]. 化学分析计量, 2022, 31(9): 12–15.
- YU HY, FENG J, LI YY. Determination of oryzic acid in rice noodles by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chemical Analysis Metrology, 2022, 31(9): 12–15.
- [29] XUAN CY, CAO YY, WU HY, *et al.* Bioinspired core-shell nanospheres integrated in multi-signal immunochromatographic sensor for high throughput sensitive detection of bongkreikic acid in food [J]. Food Chemistry, 2024, 460(12): 140565.
- [30] ZHONG CF, LI XY, ZHANG F, *et al.* Rapid and sensitive determination of bongkreikic acid with molecularly imprinted polymer-coated wooden-tip electrospray ionization mass spectrometry [J]. Advances in Sample Preparation, 2024(12): 100137.
- [31] LIN WX, SUN JD, ZHANG T, *et al.* A rapid and sensitive time-resolved fluorescence microsphere immunochromatographic test strip for bongkreikic acid detection in edible fungi [J]. Food Bioscience, 2024, 59(6): 103846.
- [32] 谭攀, 吴鑫, 唐霏, 等. 米酵菌酸单克隆抗体的制备与鉴定[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(3): 141–147.
- TAN P, WU X, TANG F, *et al.* Preparation and identification of monoclonal antibodies of bongkreikic acid [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(3): 141–147.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)