

# 超高效液相色谱-串联质谱法测定柳州螺蛳粉中米酵菌酸

覃冬杰\*, 陈荣珍, 卢 艺, 许蓉蓉, 闭秋华

(柳州市食品药品检验所, 柳州 545006)

**摘 要:** **目的** 建立超高效液相色谱-串联质谱法测定柳州螺蛳粉中米酵菌酸的分析方法。**方法** 样品经 75% 甲醇超声提取, MAX 固相萃取柱净化后, 经 Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm) 色谱柱分离, 以乙腈和含 0.1% 甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液为流动相进行梯度洗脱, 采用 ESI 离子源负离子模式电离, 多反应监测模式检测。**结果** 米酵菌酸在 1.050 ~ 1050 ng/mL 浓度范围内呈良好线性关系, 方法检出限为 0.01 μg/kg, 定量限为 0.03 μg/kg, 平均回收率为 80.4% ~ 96.3%, 相对标准偏差为 1.3%~4.4%。**结论** 建立的测定方法简易、灵敏、准确, 可作为柳州螺蛳粉中米酵菌酸的测定方法。

**关键词:** 超高效液相色谱-串联质谱法; 柳州螺蛳粉; 米酵菌酸; 固相萃取

## Determination of bongkreikic acid in Liuzhou river snails rice noodle by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

QIN Dong-Jie\*, CHEN Rong-Zhen, LU Yi, XU Rong-Rong, BI Qiu-Hua

(Liuzhou Institute of Food and Drug Control, Liuzhou 545006, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of bongkreikic acid in Liuzhou river snails rice noodle by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Methods** After ultrasonic extraction with 75% methanol and purification with MAX solid phase extraction column, the samples were separated with Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm) column by gradient elution using acetonitrile and 10 mmol/L ammonium formate solution as mobile phase, ionized by the negative ion mode of ESI ion source, and detected by the multi-reaction monitoring mode. **Results** Bongkreikic acid had a good linear relationship in the concentration range of 1.050–1050 ng/mL. The limit of detection was 0.01 μg/kg and the limit of quantification was 0.03 μg/kg. The average recovery rates were 80.4%–96.3%, and the relative standard deviations were 1.3%–4.4%. **Conclusion** The established method is simple, sensitive and accurate, and can be used as a method for determination of bongkreikic acid in Liuzhou snail rice noodle.

**KEY WORDS:** ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; Liuzhou river snails rice noodle; bongkreikic acid; solid phase extraction

\*通讯作者: 覃冬杰, 主管药师, 主要研究方向为食品药品分析。E-mail: 176425865@qq.com

\*Corresponding author: QIN Dong-Jie, Pharmacist, Liuzhou Institute of Food and Drug Control, Yanghe Industrial New District, Liuzhou 545006, China. E-mail: 176425865@qq.com

1 引言

米酵菌酸是椰毒假单胞菌米面亚种产生的一种脂肪酸代谢产物<sup>[1,2]</sup>, 发酵米面制品、变质食品有被椰毒假单胞菌污染的可能, 产生米酵菌酸, 如果食用了此类食品则容易导致米酵菌酸中毒<sup>[3]</sup>。米酵菌酸会损伤肝、肾细胞, 若误食量过大, 甚至会致人死亡<sup>[4]</sup>。

近年来, 因米酵菌酸引起的中毒事件时有发生<sup>[5]</sup>。2014 年云南文山州广南县 6 人因食用含米酵菌酸的食物而死亡<sup>[6]</sup>; 2018 年, 广东省发生首次因食用米粉引起米酵菌酸中毒事件, 导致 2 死 1 伤<sup>[7]</sup>。柳州螺蛳粉是知名特色小吃, 深受全国广大消费者的喜爱, 也是柳州市政府大力发展的产业。而柳州地处于亚热带, 气候较为湿热, 特别是春季, 如果米粉在生产或存储过程当中, 没有对工艺做出很好的把控, 则有可能致使米粉发酵变质, 进而产生米酵菌酸, 危害人体健康。但目前执行的地方标准中<sup>[8]</sup>, 并未有此方面的检测, 有可能产生安全隐患。因此, 对柳州螺蛳粉中米酵菌酸的测定十分有必要。

当前检测米酵菌酸的方法主要有高效液相色谱法<sup>[9-11]</sup>和超高效液相色谱-串联质谱法<sup>[12,13]</sup>。但高效液相色谱法分析时间长, 易受样品基质干扰致使定性定量出现偏差; 超高效液相色谱-串联质谱法灵敏度高, 专属性好, 分析时间短, 尤其适用于批量样品的快速筛查。关于米酵菌酸的研究, 目前多集中在样品的监测方面, 但对于其测定方法的系统研究并不多见。

本研究采用超高效液相色谱-串联质谱法对柳州螺蛳粉中米酵菌酸进行测定, 摸索最佳的色谱及质谱条件, 优化样品前处理方法, 建立了柳州螺蛳粉中米酵菌酸的测定方法, 为相关监管部门今后对柳州螺蛳粉中米酵菌酸的监管工作提供参考依据。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

米酵菌酸对照品(批号 B6179, 含量: 1.050 mg/mL, 美国 Sigma-Aldrich 公司); OasisRMAX 阴离子固相萃取柱(60 mg/3 cc, 美国沃特世公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国 Fisher Scientific 公司); 甲酸、乙酸铵(优级纯, 纯度 ≥ 99.0%, 北京百灵威公司)。

试验用水为本实验室自制一级纯化水。

阳性样品的制备: 本实验以在米浆中添加米酵菌酸标准品, 经过熟化、成型、老化、干燥等工艺步骤制备米粉阳性样品, 用于样品测定方法的建立。

柳州螺蛳粉样品来源均为本实验室日常抽检的样品, 取米粉包, 粉碎, 混匀, 见表 1。

表 1 柳州螺蛳粉样品来源

Table 1 Sample source of Liuzhou river snails rice noodle

| 样品编号 | 样品名称      | 类型  | 批号       |
|------|-----------|-----|----------|
| 1    | 螺蛳王螺蛳粉    | 冲泡型 | 20191010 |
| 2    | 小薯螺蛳粉     | 冲泡型 | 20191013 |
| 3    | 心上碗柳州螺蛳粉  | 冲泡型 | 20191018 |
| 4    | 家柳螺蛳粉     | 冲泡型 | 20191025 |
| 5    | 寄杨轩柳州螺蛳粉  | 冲泡型 | 20191025 |
| 6    | 螺霸王柳州螺蛳粉  | 水煮型 | 20191031 |
| 7    | 合味芳柳州螺蛳粉  | 水煮型 | 20191101 |
| 8    | 好欢螺柳州螺蛳粉  | 水煮型 | 20191102 |
| 9    | 华 A 柳州螺蛳粉 | 水煮型 | 20191103 |
| 10   | 爱民螺蛳粉     | 水煮型 | 20191106 |

2.2 仪器

1290-6430 超高效液相色谱-质谱联用仪(电化学喷雾离子源(ESI), 美国安捷伦公司); SK8200HP 超声波清洗器(上海科导超声仪器有限公司); 3-30K 台式高速离心机(德国 Sigma 公司); AE240 电子分析天平(瑞士梅特勒托利多公司); 24 UV 超纯水器(德国默克密理博公司)。

2.3 供试品制备方法

取样品 10 g, 精密称定, 置 100 mL 离心管中, 精密加入 75%甲醇 50 mL, 超声 20 min, 4000 r/min 离心 5 min, 上清液全部过 MAX 固相萃取柱(固相萃取柱预先用 3 mL 甲醇和 3 mL 水活化), 然后用 3 mL 水和 3 mL 甲醇淋洗固相萃取柱, 弃去淋洗液, 真空抽干小柱, 最后用 3 mL 含 2%甲酸的甲醇溶液洗脱, 收集洗脱液于 40 °C 氮吹至近干, 用初始流动相定容至 1 mL, 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 作为供试品溶液。

2.4 仪器测定条件

2.4.1 色谱条件

色谱柱为 Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm), 流动相 A 为含 0.1%甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液, 流动相 B 为乙腈, 梯度洗脱条件为: 初始 80%A (0 ~ 2 min), 80%A ~ 20%A(2 ~ 5 min), 20%A(5 ~ 7 min), 20%A ~ 80%A( 7 ~ 8 min), 80%A(8 ~ 10 min), 流速为 0.3 mL/min, 柱温为 40 °C, 进样体积为 5 μL。

2.4.2 质谱条件

电化学喷雾离子源(ESI), 负离子模式, 多反应监测模式(multiple- reaction monitoring, MRM)采集。离子源温度: 350 °C; 干燥器流量: 8 L/min; 毛细管电压 4000 V, 雾化器压力 45 psi。母离子 *m/z* 485.2, 定量离子 *m/z* 441.1, 定性离子 *m/z* 397.0。碎裂电压 100 V, 碰撞能量 10 eV。

### 3 结果与分析

#### 3.1 色谱及质谱条件的选择

##### 3.1.1 色谱柱的选择

在同一条件下, 以乙腈-含 0.1% 甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液作为流动相, 分别对 Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm), ACQUITY UPLC BEH C<sub>18</sub>(2.1 mm×50 mm, 1.7 μm), ACQUITY UPLC COR CSHTM(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm) 等色谱柱进行实验。通过比较不同色谱柱试验结果, 综合考虑保留时间、响应值和理论塔板数等因数, 选择 Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm) 作为色谱柱。

##### 3.1.2 流动相的选择

在同一条件下, 使用 Eclipse Plus C<sub>18</sub> RRHD(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm) 分别对乙腈-水、乙腈-0.1% 甲酸溶液、乙腈-10 mmol/L 甲酸铵溶液和乙腈-含 0.1% 甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液等流动相进行试验。通过比较不同流动相实验结果, 发现当乙腈-水作为流动相时, 米酵菌酸的峰型较差; 当乙腈-0.1% 甲酸溶液作为流动相时, 米酵菌酸有较好的峰型, 但由于本实验为负离子模式, 甲酸溶液抑制米酵菌酸电离, 响应值稍低; 当乙腈-10 mmol/L 甲酸铵溶液作为流动相时, 米酵菌酸有较高的响应值, 但峰型不佳; 当乙腈-含 0.1% 甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液作为流动相时, 米酵菌酸有最佳的峰型和响应值。综合峰型和响应值, 选择乙腈-含 0.1% 甲酸的 10 mmol/L 甲酸铵溶液作为流动相。米酵菌酸色谱图见图 1。

##### 3.1.3 质谱条件的选择

在同一色谱条件下, 对米酵菌酸进行正离子和负离子全扫描, 选取响应值较高的模式; 进一步优化碎裂电压和碰撞能量, 选取出响应值最高的离子对作为定性和定量离子对。不同扫描结果显示, 在负离子模式下, 米酵菌酸响应值更高, 故选用负离子模式。以  $m/z$  485.2 作为母离子, 进行二级子离子扫描, 得到米酵菌酸的二级质谱图, 见图 2。由图 2 可见, 米酵菌酸的主要碎片离子为  $m/z$  441.1、397.0、365.1、321.1, 与文献报道的基本一致<sup>[14,15]</sup>。选取响应值最高的  $m/z$  485.2/441.1 作为定量离子对,  $m/z$  485.2/397.0 作为定性离子对。以多反应监测模式采集, 碎裂电压为 100 V, 碰撞能量为 10 eV。

#### 3.2 提取条件的选择

##### 3.2.1 提取溶剂及提取方法的选择

因为米酵菌酸为脂溶性极性化合物, 耐热, 易溶于甲醇、乙腈和氯仿等有机溶剂, 故以甲醇、乙腈和氯仿作为提取溶剂, 超声和回流作为提取方法, 比较不同溶剂和提取方法对米酵菌酸得率的影响。阳性样品经不同溶剂和不同方法提取后, 净化, 测定, 计算米酵菌酸的含量。不同溶剂和不同提取方法制备的供试液米酵菌酸得率结果见表 2,

以甲醇、乙腈和氯仿作为提取溶剂时, 均为超声法的米酵菌酸得率最高, 而甲醇和乙腈作为提取溶剂时米酵菌酸得率无明显差别, 氯仿较低, 从经济性及毒性考虑, 决定采用以甲醇作为提取溶剂, 以超声作为提取方法制备供试液。

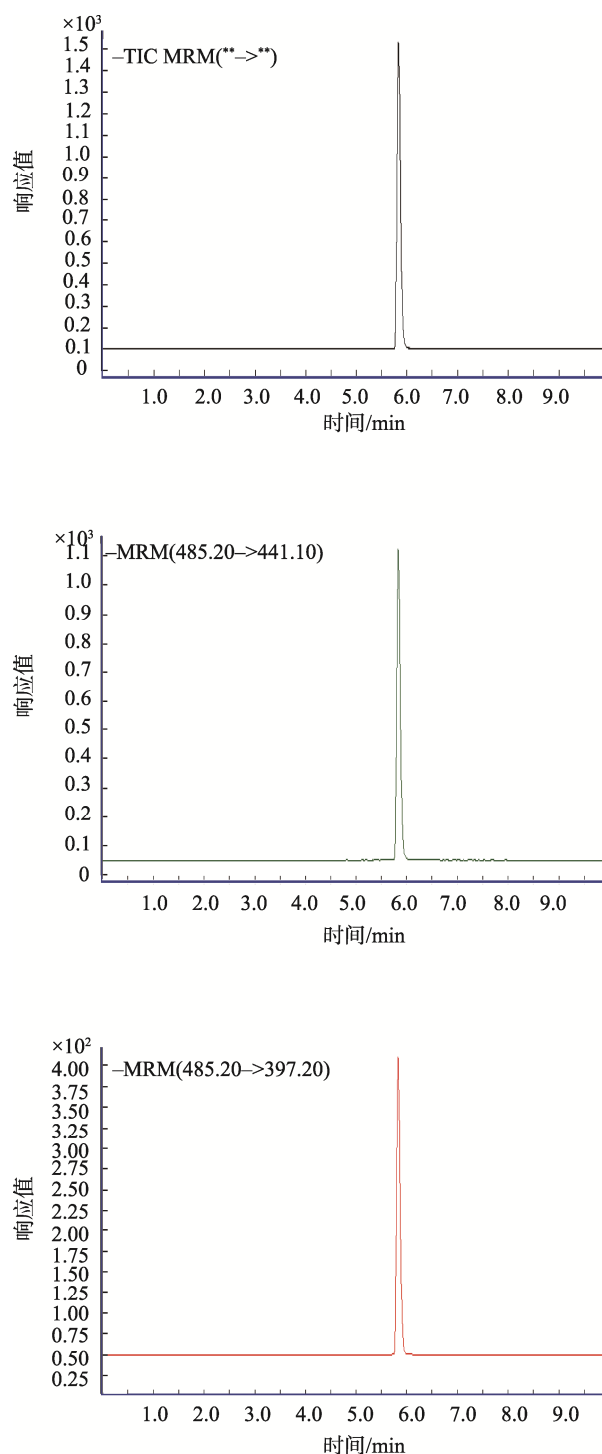


图 1 米酵菌酸色谱图

Fig.1 Chromatograms of bongkreic acid

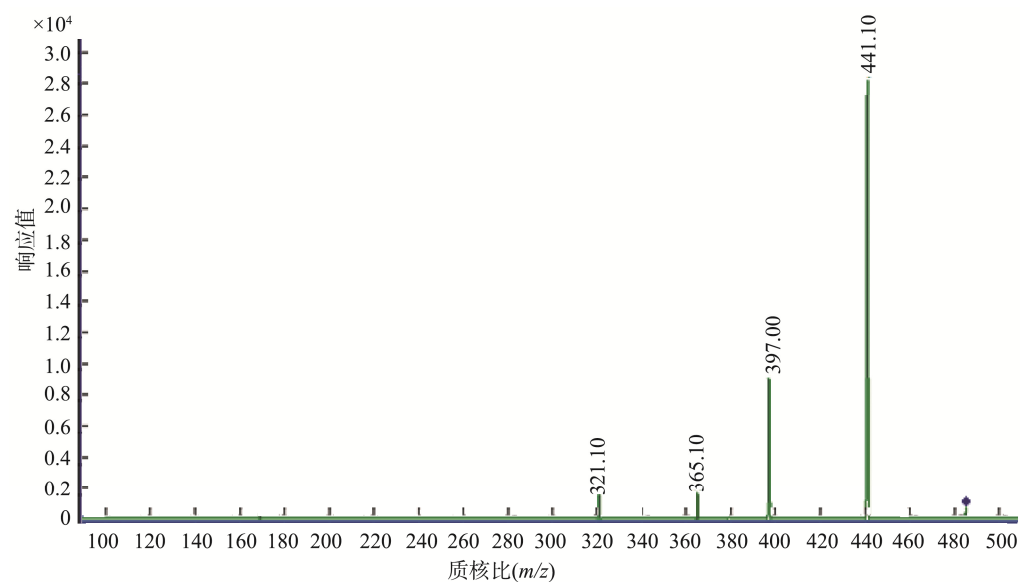


图 2 米酵菌酸二级质谱图

Fig.2 MS/MS spectrum of bongkreic acid

表 2 不同溶剂和不同提取方法制备的供试液米酵菌酸得率  
Table 2 Content of test solution prepared by different solvents and different extraction methods

| 提取方法 | 米酵菌酸/(μg/kg) |       |       |
|------|--------------|-------|-------|
|      | 甲醇           | 乙腈    | 氯仿    |
| 超声   | 9.865        | 9.834 | 8.031 |
| 回流   | 8.899        | 8.967 | 7.264 |

3.2.2 正交试验结果

以称样量(A, 5、10、20 g)、甲醇浓度(B, 50%、75%、

100%)、超声时间(C, 20、40、60 min)、甲醇量(D, 20、50、100 mL)作为考察因素, 采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交表进行试验, 以米酵菌酸作为考察指标。正交试验结果及方差分析分别见表 3 和表 4。由表 4 方差分析可知, 各因素对米酵菌酸得率的影响程度为: A(称样量)>B(甲醇浓度)>D(甲醇量)>C(超声时间), 其中称样量、甲醇浓度和甲醇量的 3 个水平对供试液米酵菌酸得率的影响具有统计学差异。依据试验结果, 确立最优提取条件为: A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub>, 即: 取样量为 10 g, 加入 75%甲醇 50 mL, 超声处理 20 min。

表 3 正交试验与结果  
Table 3 Orthogonal test and results

| 编号               | A/g    | B/%    | C/min  | D/mL   | Y1     | Y2     | Y <sub>i</sub> |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 1                | 5      | 50     | 20     | 20     | 9.557  | 9.426  | 18.983         |
| 2                | 5      | 75     | 40     | 50     | 9.713  | 9.845  | 19.558         |
| 3                | 5      | 100    | 60     | 100    | 9.334  | 9.381  | 18.715         |
| 4                | 10     | 50     | 60     | 100    | 10.451 | 10.463 | 20.914         |
| 5                | 10     | 75     | 40     | 20     | 10.514 | 10.452 | 20.966         |
| 6                | 10     | 100    | 20     | 50     | 10.127 | 10.363 | 20.490         |
| 7                | 20     | 50     | 60     | 50     | 10.080 | 10.185 | 20.265         |
| 8                | 20     | 75     | 20     | 100    | 9.820  | 9.955  | 19.775         |
| 9                | 20     | 100    | 40     | 20     | 9.673  | 9.691  | 19.364         |
| I <sub>j</sub>   | 57.256 | 60.162 | 59.248 | 59.313 |        |        |                |
| II <sub>j</sub>  | 62.370 | 60.299 | 59.836 | 60.313 |        |        |                |
| III <sub>j</sub> | 59.404 | 58.569 | 59.946 | 59.404 |        |        |                |
| $\bar{X}_1$      | 19.085 | 20.054 | 19.749 | 19.771 |        |        |                |
| $\bar{X}_2$      | 20.790 | 20.100 | 19.945 | 20.104 |        |        |                |
| $\bar{X}_3$      | 19.801 | 19.523 | 19.982 | 19.801 |        |        |                |
| R                | 1.705  | 0.577  | 0.233  | 0.333  |        |        |                |

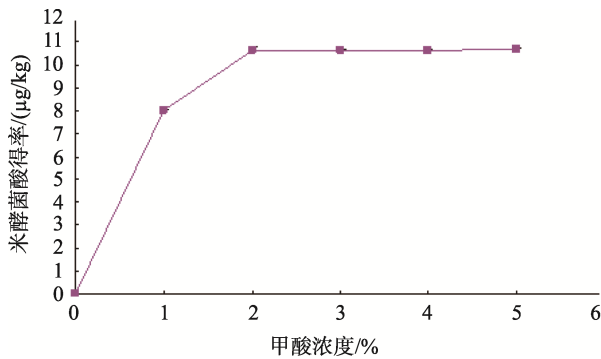


图 3 不同甲酸浓度对米酵菌酸洗脱性的影响( $n=3$ )  
Fig.3 Effect of different concentration of formic acid on the elution( $n=3$ )

3.3 净化条件的选择

在同一提取条件下, 比较  $C_{18}$ 、HLB、WAX 和 MAX 固相萃取柱的净化效果。通过比较不同固相萃取柱试验结果, 米酵菌酸提取液在  $C_{18}$  和 HLB 固相萃取柱上并无保留, 可能因为这两类为通用型固相萃取柱, 适用于非极性至中等极性的化合物, 而 75% 甲醇作为提取溶剂时是强洗脱剂, 米酵菌酸在固相萃取柱上无法保留。WAX 和 MAX 是阴离子固相萃取柱, 对酸性化合物保留能力强。试验结果发现, WAX 柱对米酵菌酸的吸附效果较 MAX 柱差, 回收率为 60%, 而 MAX 柱的回收率能达 90% 以上, 故本试验选择 MAX 固相萃取柱净化样品。试验还比较了含不同甲酸浓度甲醇的洗脱液对洗脱效果的影响, 见图 3, 不含甲酸的洗脱液无法洗脱目标物, 当甲酸含量为 2% 时, 能完全洗脱目标物, 且继续增大甲酸浓度时, 米酵菌酸含量并无较大差别。确立净化条件为: 经 4000 r/min 离心后的样液全部过 MAX 固相萃取柱(固相萃取柱预先用 3 mL 甲醇和 3 mL 水活化), 然后用 3 mL 水和 3 mL 甲醇淋洗固相萃取柱, 弃

去淋洗液, 真空抽干小柱, 最后用 3 mL 含 2% 甲酸的甲醇溶液洗脱, 收集洗脱液于 40℃ 氮吹至近干, 用初始流动相定容至 1 mL。

3.4 方法学考察

3.4.1 线性关系及检出限

分别精密吸取米酵菌酸标准储备液适量, 各加初始流动相配制成含米酵菌酸浓度分别为 1.050、5.250、10.50、52.50、105.0、525.0、1050 ng/mL 的标准系列溶液。分别精密吸取上述溶液 5  $\mu$ L, 测定, 以定量离子丰度值作为纵坐标, 米酵菌酸浓度作为横坐标, 线性回归方程为  $Y=185.03X-45.25$ ,  $r^2=0.9998$ , 米酵菌酸在 1.050~1050 ng/mL 浓度范围内与丰度值呈良好线性关系。依据 3 倍和 10 倍基线噪音时所对应的米酵菌酸浓度确定仪器检出限为 0.1 ng/mL 和定量限为 0.3 ng/mL。经计算, 本方法的检出限为 0.01  $\mu$ g/kg, 定量限为 0.03  $\mu$ g/kg。

3.4.2 精密度及回收率

取 6 份阳性样品制备的平行供试液分别进行测定, 计算精密度; 按低、中、高 3 个浓度水平向阴性样品(1 号)中分别添加米酵菌酸对照品溶液适量, 每个水平平行 6 次试验, 结果表明, 精密度相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 0.31%, 回收率结果见表 5, 方法的精密度和准确性较好。

3.5 样品测定

10 批次样品均未检出米酵菌酸。在实际的样品测定中, 未发现柳州螺蛳粉中存在米酵菌酸污染的状况, 说明该产品的生产工艺及质量较为优良。但由于本次样品均为秋季生产, 尚未能全面反映出不同季节气候对样品的生产及存储条件的影响, 故建议相关监管部门今后加强监控工作。

表 4 方差分析  
Table 4 Analysis of variance

| 方差来源     | SS    | <i>n</i> | MS    | <i>F</i> | <i>P</i> |
|----------|-------|----------|-------|----------|----------|
| <i>A</i> | 2.198 | 2        | 1.099 | 157.00   | <0.01    |
| <i>B</i> | 0.308 | 2        | 0.154 | 22.00    | <0.01    |
| <i>C</i> | 0.047 | 2        | 0.024 | 3.43     | >0.05    |
| <i>D</i> | 0.102 | 2        | 0.051 | 7.29     | <0.05    |
| 误差       | 0.063 | 9        | 0.007 |          |          |

注:  $F_{0.05(2,9)}=4.26$ ;  $F_{0.01(2,9)}=8.02$ 。

表 5 回收率试验结果( $n=6$ )  
Table 5 Recovery test results( $n=6$ )

| 添加水平 | 添加量/( $\mu$ g/kg) | 实测量/( $\mu$ g/kg) | 回收率/%         | 平均回收率/% | RSD/% |
|------|-------------------|-------------------|---------------|---------|-------|
| 低    | 1.050             | 0.825 ~ 0.881     | 78.57 ~ 83.90 | 80.4    | 4.4   |
| 中    | 52.50             | 48.04 ~ 51.37     | 91.50 ~ 97.85 | 95.7    | 1.3   |
| 高    | 105.0             | 98.11 ~ 102.6     | 93.44 ~ 97.71 | 96.3    | 1.7   |

## 4 结 论

本研究建立了固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法测定柳州螺蛳粉中米酵菌酸的方法,并对该方法进行了系统、全面的研究。与现行米酵菌酸国家标准<sup>[16]</sup>比较,该方法操作简便,且精密度、灵敏度和准确度均满足要求,可为现行标准作出补充,对保障柳州螺蛳粉的安全性发挥重要作用。

## 参考文献

- [1] 刘莹,金立鹏. 米酵菌酸的研究进展[J]. 潍坊医学院学报, 2003, (2): 153-155.  
Liu Y, Jin LP. Research progress of BA [J]. J Weifang Med Coll, 2003, 25(2): 153-155.
- [2] 刘坤, 孟玲芝, 王圣博, 等. 米酵菌酸在食品检测中的研究新进展[J]. 吉林农业, 2018, (17): 81.  
Liu K, Meng LZ, Wang SB, *et al.* New progress in the research of BA in food testing [J]. Jilin Agric, 2018, (17): 81.
- [3] 王俊虎, 乔勇升, 王健, 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, 9(26): 963-968.  
Wang JH, Qiao YS, Wang J, *et al.* Rapid determination of bongkreikic acid in Liushenqu by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2019, 9(26): 963-968.
- [4] 宋兴田, 吴洪娟, 庄宝祥. 米酵菌酸中毒小鼠肝和脑组织的形态学改变[J]. 中国医药导报, 2010, 7(26): 36-38.  
Song XT, Wu HJ, Zhuang BX. Morphologic changes of intoxicated mice hepatocyte and brain tissues of bongkreikic acid [J]. Chin Med Herald, 2010, 7(26): 36-38.
- [5] 魏桂兰, 许成栋, 赵松华, 等. 对贵州发酵米粉与新玉米中椰毒伯克氏菌的调查[J]. 山地农业生物学报, 2001, 20(1): 35-38.  
Wei GL, Xu CD, Zhao SH, *et al.* Investigation on burkholderia cocovenenans and bongkeric acid of the fermented food and new harvesting corn in Guizhou province [J]. J Mount Agric Biol, 2001, 20(1): 35-38.
- [6] 周帼萍, 梁泉, 黄庭轩, 等. 云南省文山州广南县吊浆粳食物中毒事件的病原学分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(1): 71-75.  
Zhou GP, Liang Q, Huang TX, *et al.* Etiology analysis of an outbreak caused by fermented corn flour in Guangnan county, Wenshan city, Yunnan province [J]. Chin J Food Hyg, 2017, 29(1): 71-75.
- [7] 王海燕, 宋曼丹, 王建, 等. 广东省首起米粉米酵菌酸中毒病原菌鉴定研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 4(1): 394-398.  
Wang HY, Song MD, Wang J, *et al.* Identification of the pathogen in rice noodles in relation to food poisoning caused by bongkreikic acid in Guangdong Province [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 4(1): 394-398.
- [8] DBS 45/034-2018 食品安全地方标准 柳州螺蛳粉[S].  
DBS 45/034-2018 Local food safety standard-Liuzhou river snail rice noodles [S].
- [9] 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 bongkreikic 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.

- [10] 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, 182.

Zhou X, Chen WQ, Fu HX, *et al.* Fast determination of bongkreikic acid in food by auto solid phase extraction-ultra high performance liquid chromatography [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(8): 159-160, 182.

- [11] 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. Fast determination of bongkreikic acid in foods using solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. Mod Food, 2019, (9): 169-172.

- [12] 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 bongkreikic acid in Tremella fuciformis berk by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2015, 36(22): 123-126.

- [13] 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 bongkreikic acid (BA) by LC-ESI-TOF technology [J]. Food Ind, 2018, 39(7): 319-323.

- [14] 苏青明, 梁达清. 液相色谱-串联质谱法测定银耳中的米酵菌酸[J]. 广东化工, 2014, 41(16): 168-169.

Su KM, Liang DQ. Determination of bongkreikic acid in Tremella fuciformis by LC-MS/MS [J]. Guangdong Chem Ind, 2014, 41(16): 168-169.

- [15] 林广沅, 柏文良, 李芸. 液相色谱-串联质谱法快速测定食品中的米酵菌酸[J]. 广东化工, 2019, 46(19): 177-178.

Lin GY, Bai WL, Li Y. Fast determination of bongkreikic acid in foods by LC-MS/MS [J]. Guangdong Chem Ind, 2019, 46(19): 177-178.

- [16] GB 5009.189-2016 食品安全国家标准 食品中米酵菌酸的测定[S].  
GB 5009.189-2016 National food safety standard-Determination of bongkreikic acid in food [S].

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



覃冬杰, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为食品药品分析。  
E-mail: 176425865@qq.com