

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250328003

引用格式: 谢腾, 陈焕, 马琳, 等. 湖北省一起米酵菌酸引起食物中毒事件的调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(12): 126–132.

XIE T, CHEN H, MA L, *et al.* Investigation and analysis of a food poisoning incident caused by bongkrekkic acid in Hubei Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(12): 126–132. (in Chinese with English abstract).

湖北省一起米酵菌酸引起食物中毒事件的调查分析

谢腾, 陈焕, 马琳, 王赤华, 郑懿, 刘雪芹*, 王芬

(黄冈市疾病预防控制中心, 黄冈 438000)

摘要: **目的** 调查分析湖北省孝感市一起米酵菌酸(bongkrekkic acid, BA)引起的中毒事件, 分离鉴定病原菌, 并检测其毒素。**方法** 采用超高效液相色谱-串联质谱(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)法测定2份暴露食品(凉皮)、3份食品储存环境样本及2份病例血液样本中BA。参照GB/T 4789.29—2020《食品卫生微生物检验 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验》, 对2份暴露食品及3份环境样本中的病原菌进行分离培养、飞行时间质谱、16S rDNA测序、实时荧光定量聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)分析、产毒实验等微生物鉴定。**结果** 两例病例血液样本中BA质量浓度分别为92.2 μg/L、1059.0 μg/L, 待售凉皮与冻存凉皮中BA含量分别为2.26 mg/kg、0.39 mg/kg, 环境样本均未检出BA。从疑似暴露食品中分离出两株可疑菌株, VITEK MS飞行时间质谱仪及16S rDNA测序比对结果表明两株可疑菌株均为唐菖蒲伯克霍尔德氏菌, 实时荧光定量PCR分析及产毒实验结果表明两株可疑菌株均可产生BA且**bon**基因阳性, 均具备产毒能力, 综合判定为唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒致病种。环境样本中未鉴定出唐菖蒲伯克霍尔德氏菌。**结论** 本次食物中毒事件由受唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒致病种污染的凉皮食品引起, 有关部门需加强食品安全监管, 防范类似中毒事件发生。

关键词: 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌; 米酵菌酸; 食物中毒

Investigation and analysis of a food poisoning incident caused by bongkrekkic acid in Hubei Province

XIE Teng, CHEN Huan, MA Lin, WANG Chi-Hua, ZHENG Yi, LIU Xue-Qin*, WANG Fen

(Huanggang Center for Disease Control and Prevention, Huanggang 438000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate and analyze a food poisoning incident caused by bongkrekkic acid (BA) in Xiaogan City, Hubei Province, isolate and identify the pathogenic bacteria, and detect the toxin. **Methods** Ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) was used to measure BA levels in 2

收稿日期: 2025-03-28

基金项目: 湖北省公共卫生青年拔尖人才项目(鄂卫通 2021-40 号)

第一作者: 谢腾(1983—), 男, 主管技师, 主要研究方向为食品安全及微生物检验。E-mail: 110568289@qq.com

*通信作者: 刘雪芹(1984—), 女, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品安全及理化检验。E-mail: 2270345146@qq.com

exposed food samples (cold rice noodles), 3 food storage environment samples, and 2 patient blood samples. Following GB/T 4789.29—2020 *Microbiological examination of food hygiene—Examination of Burkholderia gladioli* (*Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farinofermentans*), microbial identification was performed on 2 exposed food samples and 3 environmental samples, including isolation and culture, matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry, 16S rDNA sequencing, real-time quantitative polymerase chain reaction (PCR) analysis, and toxin production experiments. **Results** The BA concentrations in the 2 patients' blood samples were 92.2 $\mu\text{g/L}$ and 1059.0 $\mu\text{g/L}$, respectively. The BA content in the unsold and frozen cold rice noodles was 2.26 mg/kg and 0.39 mg/kg, respectively, while no BA was detected in the environmental samples. Two suspected strains were isolated from the implicated food. VITEK MS MALDI-TOF MS and 16S rDNA sequencing identified both strains as *Burkholderia gladioli*. Real-time quantitative PCR and toxin production experiments confirmed that both strains could produce BA and tested positive for the *bon* gene, indicating toxigenic potential. They were comprehensively identified as *Burkholderia gladioli* pathovar *cocovenenans*. No *Burkholderia gladioli* was detected in the environmental samples. **Conclusion** This food poisoning incident is caused by cold rice noodles contaminated with *Burkholderia gladioli* pathovar *cocovenenans*. Relevant authorities need to strengthen food safety supervision to prevent similar poisoning incidents.

KEY WORDS: *Burkholderia gladioli*; bongkrekic acid; food poisoning

0 引 言

唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(*Burkholderia gladioli*)椰毒致病种, 也称椰毒假单胞菌酵米面亚种, 是一种严重威胁食品安全的致病菌^[1], 该菌广泛存在于自然环境中^[2], 尤其容易污染高淀粉含量、高水分的发酵食品^[3-4], 如玉米面制品、椰子制品、湿米粉及木耳等。唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒致病种的主要代谢产物为米酵菌酸(bongkrekic acid, BA), 其生物活性较强^[5]。居民误食受 BA 污染的食品后, BA 在生物体内引起一系列中毒症状, 常见头晕、呕吐、腹痛腹泻、肝肿大等^[6]。BA 引起的食源性疾病病死率较高, 可达 40%, 其流行于我国西北、东南等地区, 严重威胁群众生命安全^[7]。近年来, 黑龙江^[8]、惠州^[9]、广州^[10]等地均报道过由唐菖蒲伯克霍尔德氏菌污染食品引发的 BA 中毒事件。

生物样本中的 BA 检测方法暂无国家标准, 湿米面等食品样本中 BA 检测方法前处理复杂、耗时长^[11], BA 中毒患者发病急, 临床症状与其他疾病无明显区分, 因此建立 BA 中毒事件的快速溯源方法对及时救助患者有重要的现实意义^[12]。超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)在生物样本的鹅膏肽类等多种毒素检测中显现出快速、准确等优点^[13-14], 有研究成功应用 UPLC-MS/MS 检测血液等生物样本中 BA^[15-16]。VITEK MS 飞行时间质谱仪可快速鉴定可能的病原, 优于传统的生化鉴定试剂盒^[17], 结合产毒能力试验可快速确认病原产毒能力及可能亚种^[18]。目前关于 BA 中毒事件中理化检测结合病原学技术的快速溯源实例报道相对较少, 鉴于此, 本研究采用 UPLC-MS/MS 快速检测病例血液样本中的 BA 含量, 确定

可能病因后, 利用 UPLC-MS/MS 筛选 BA 阳性流行病学相关样本, 对暴露食品中分离出的可疑菌株进行快速生化鉴定后, 直接分析其产毒能力, 确定可能的病菌及其亚种后, 再辅以 16S rDNA 测序、*bon* 基因簇检测等检测技术进一步确认病菌, 为 BA 引起的中毒事件中快速确定病因、病原溯源分析和制定科学防控策略提供实践参考。

1 材料与方 法

1.1 样品来源

2024 年 8 月, 孝感市安陆市发生一起疑似米酵菌酸中毒事件, 基于患者特征性临床症状与流行病学调查结果的关联分析, 初步判定患者共同的暴露场所为某凉皮零售摊位, 可疑暴露食品为市售凉皮制品。

环境样本采集: 共采集涉事凉皮摊位的环境样本 3 份, 包括 2 份食品加工接触面样本(操作工具、操作台各 1 份)、1 份冷链储存环境样本(冰箱内壁)。参考 GB/T 18204.4—2013《公共场所卫生检验方法 第 4 部分: 公共用品用具微生物》采集涉事凉皮摊位食品加工工具、操作台面及冷链储存环境等样本, 其中, 操作工具(刀具): 使用浸润生理盐水的无菌棉签在刀具表面以切割面为中心各 5 cm×3 cm (15 cm²)面积上正反两面各均匀涂抹 5 次, 将棉拭子放入采样管, 用无菌操作方法去掉手接触部分, 完成采样。操作台面(砧板): 以烧灼灭菌并浸入平皿冷却后的镊子夹取一片浸润生理盐水的检测纸, 于砧板中央处 5 cm×5 cm (25 cm²)面积上均匀涂抹 5 次, 将检测纸放入采样管。储存环境(冰箱): 因凉皮塑料包装完整, 采样处选择为凉皮放置处底部中心 5 cm×5 cm (25 cm²)面积, 具体采样过程同操作台面。

食品样本采集:采集可疑暴露食品样本 2 份,其中,原料型冰冻冻存凉皮包装完整,整份采集,共 1 份,以下简称“冻存凉皮”,解冻后即食待售凉皮剩余部分全部采集,共 1 份,以下简称“待售凉皮”。

生物样本采集:采集 2 份患者(1 例轻度病例、1 例重度病例)全血样本。对肘部静脉采血部位进行消毒后,使用一次性采血针进行穿刺,用肝素钠抗凝管采集疑似中毒患者静脉血 3.0 mL,置于冷藏盒中避光保存。

所有采集的样本均在 4 °C 条件下冷藏保存和运输,均于采集后 24 h 内进行实验室检测。

1.2 仪器与试剂

1290UPLC-6475QQQ 型超高效液相色谱-质谱/质谱仪[配电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI), 美国 Agilent 公司]; THR-20D 型离心机(湖南英泰科技有限公司); 2300TH 型数控超声波清洗器(上海安谱实验科技股份有限公司); MFV-24plus 型智能氮吹仪(广州得泰仪器科技有限公司); Milli-Q 型纯水系(德国 Merck 公司); VITEK MS 全自动快速微生物质谱鉴定系统(法国梅里埃公司); L1-9082 电热生化培养箱(上海龙跃仪器设备有限公司); AB2-5S1 二级生物安全柜(新加坡 ESCO 公司); MVS-83 立式压力蒸汽灭菌器(大连冰山松洋生物科技有限公司); Archimed X6 实时荧光定量聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)仪(北京鲲鹏基因科技有限公司); Neofuge 1600R 高速冷冻离心机(上海力新仪器有限公司), Zorbax Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm)、MAX 固相萃取柱(美国 Agilent 公司)。

甲醇、乙腈[色谱级,赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; 氨水、甲酸(色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 甲醇中米酵菌酸溶液标准物质(质量浓度 100 μg/mL,北方伟业计量集团有限公司); 椰毒假单胞菌酵米面亚种 *bon* 基因核酸检测试剂盒(山东美正生物科技有限公司); 含 225 mL GVC 增菌液的均质袋(即用型)、改良马铃薯葡萄糖琼脂平板、PCFA 培养基平板、马铃薯葡萄糖琼脂平板、卵黄琼脂培养基、50%卵黄乳液(青岛海博生物技术有限公司)。均需在有效期内使用。

1.3 实验方法

1.3.1 米酵菌酸的测定

湿米面 BA 含量的测定方法参考 GB 5009.189—2023 《食品安全国家标准 食品中米酵菌酸的测定》。

血液样本中 BA 含量的测定方法参考文献[19–20]。将病例血液样本从冷藏盒中取出,于室温下振荡摇匀 3 min 后,取 200 μL 全血于 1.5 mL EP 管中,加入预先在 -20 °C 冷冻的甲醇 800 μL,于室温下振荡摇匀 5 min,在 12000 r/min、4 °C 条件下离心 5 min,取上清液 0.22 μm 滤膜后上机检测。

产毒实验培养液中 BA 含量的测定方法参考文献[3]。

取产毒培养收集的上清液 0.5 mL,以乙腈定容至 50 mL,涡旋,12000 r/min 离心 5 min,取上清液,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后上机检测。

仪器条件为: Zorbax Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm); 柱温 30 °C; 流量 0.40 mL/min; 流动相 A 为含 0.1% 甲酸的水溶液, B 为乙腈; 进样量 10.0 μL。梯度洗脱程序: 0~1 min 时, B 由 20% 升至 60%; 1.0~3.0 min 时, B 由 60% 升至 80%; 3.0~5.1 min 时, B 由 80% 升至 100%; 保持至 6.5 min。质谱条件为: 双喷射流电喷雾离子源, 负离子模式; 干燥气温度 250 °C, 干燥气流量 10 L/min; 鞘气温度 350 °C, 鞘气流量 12 L/min; 雾化器压力 40.0 psi; 毛细管喷雾电压 4000 V, 喷嘴电压 2000 V; 多反应监测模式, 母离子(*m/z*) 485.3; 子离子(*m/z*) 397.2、441.3, 碎裂电压 95 V, 驻留时间 100 ms, 碰撞能量分别设置为 12~18 V。

根据定性离子对、保留时间定性, 基质匹配外标法定量。BA 检出限和定量限分别为 1.3 μg/L 和 4.2 μg/L。

1.3.2 分离纯化与生化鉴定

采用 GB/T 4789.29—2020 《食品安全国家标准 食品微生物学检验 唐菖蒲伯克霍尔德菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验》的方法进行样品处理、增菌、分离, 使用 VITEK MS 全自动快速微生物质谱鉴定系统进行鉴定。

1.3.3 分子生物学鉴定

将分离纯化后的唐菖蒲伯克霍尔德氏菌平板送往苏州泓迅生物科技股份有限公司进行 16S rDNA 基因测序。将测序结果在美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI)数据库上进行 Blast 比对分析, 使用 Neighbor-Joining method 法在分子进化遗传分析(molecular evolutionary genetics analysis, MEGA)上构建系统发育树。使用椰毒假单胞菌酵米面亚种 *bon* 基因核酸检测试剂盒(PCR-探针法)进行椰毒假单胞菌酵米面亚种 *bon* 基因的检测。

1.3.4 产毒试验

取适量空白湿米面样品放入灭菌锅 105 °C 灭菌 5 min, 灭菌后样品称取 10.0 g 放入灭菌的 250 mL 锥形瓶中, 加入 1 mL 的 10⁸ CFU/mL 菌悬液, 再加入 50 mL 培养液, 于 26 °C 连续培养 5 d, 利用 UPLC-MS/MS 测定 BA 浓度。

1.4 数据处理

使用 Excel 2020 收集、处理实验数据, 使用 Origin 2018 绘图。

2 结果与分析

2.1 米酵菌酸的测定

采用 UPLC-MS/MS 对 2 份全血样本(一例轻度病例、一例重度病例)、2 份疑似暴露食品样本(待售凉皮样品、冻存凉皮样品各 1 份)、3 份环境样本进行 BA 毒素检测,

结果表明, 轻度患者、重度患者血液中 BA 质量浓度分别为 92.2 μg/L、1059.0 μg/L。待售凉皮样品、冻存凉皮样品 BA 含量分别为 2.26 mg/kg、0.39 mg/kg, 均高于 GB 7096—2014《食品安全国家标准 食用菌及其制品》中 BA 含量限值 0.25 mg/kg, 3 份环境样本中均未检出 BA。两例病例血液中 BA 的 UPLC-MS/MS 色谱图见图 1。

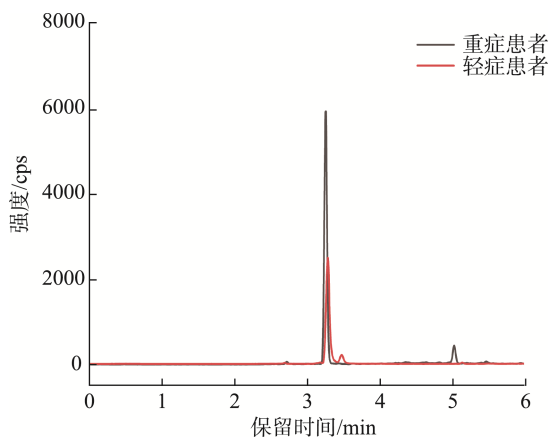


图 1 两例病例血液样本中米酵菌酸 UPLC-MS/MS 色谱图
Fig.1 UPLC-MS/MS chromatogram of bongkrekic acid in blood samples of two cases

2.2 菌落分离与生长特征

将采集的 5 份样品加入 GVC 增菌液中, 36 °C 下增菌 24 h, 蘸取增菌液分别划线接种于改良马铃薯葡萄糖琼脂平板和 PCFA 平板上, 36 °C 下培养 48 h 后观察菌落形态。可疑菌株在改良马铃薯葡萄糖琼脂平板平板上菌落呈紫色,

直径 2~4 mm, 圆形轮廓, 表面光滑湿润黏稠, 部分菌落中心凸起。在 PCFA 平板上菌落呈乳白色, 直径 1~2 mm, 表面光滑, 边缘整齐。挑取可疑菌落接种于卵黄琼脂平板上, 36 °C 培养 24 h 后筛选得到可疑菌株 5 株(S1- S2、S3、S4 和 S5), 其中 S1~S3 来自于环境样本, S4 来自于待售凉皮样本, S5 来自于冷冻凉皮样本。可疑菌株在卵黄琼脂平板上菌落部分略微凸起, 直径 2~4 mm, 周围伴有乳白色混浊环, 表面湿润黏稠, 斜射光下可见菌落带有虹彩环。结果见图 2。

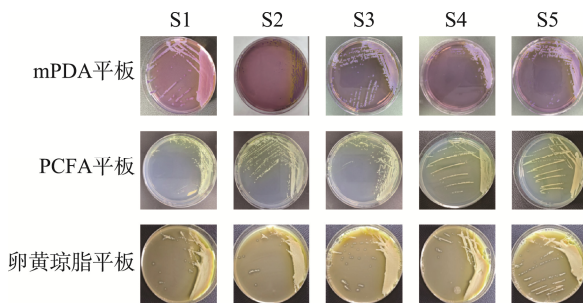


图 2 可疑菌株在改良马铃薯葡萄糖琼脂平板、PCFA 平板、卵黄琼脂平板培养基上的菌落形态特征
Fig.2 Colony morphological characteristics of the suspected strain the modified potato glucose AGAR plate, PCFA plate and egg yolk AGAR plate media

2.3 菌株生化鉴定

5 株可疑菌株 VITEK MS 飞行时间质谱图见图 3, 生化鉴定结果见表 1。S4、S5 菌株为唐菖蒲伯克霍尔德菌 (*Burkholderia gladioli*), 其蛋白分布质谱图与标准图谱一致。

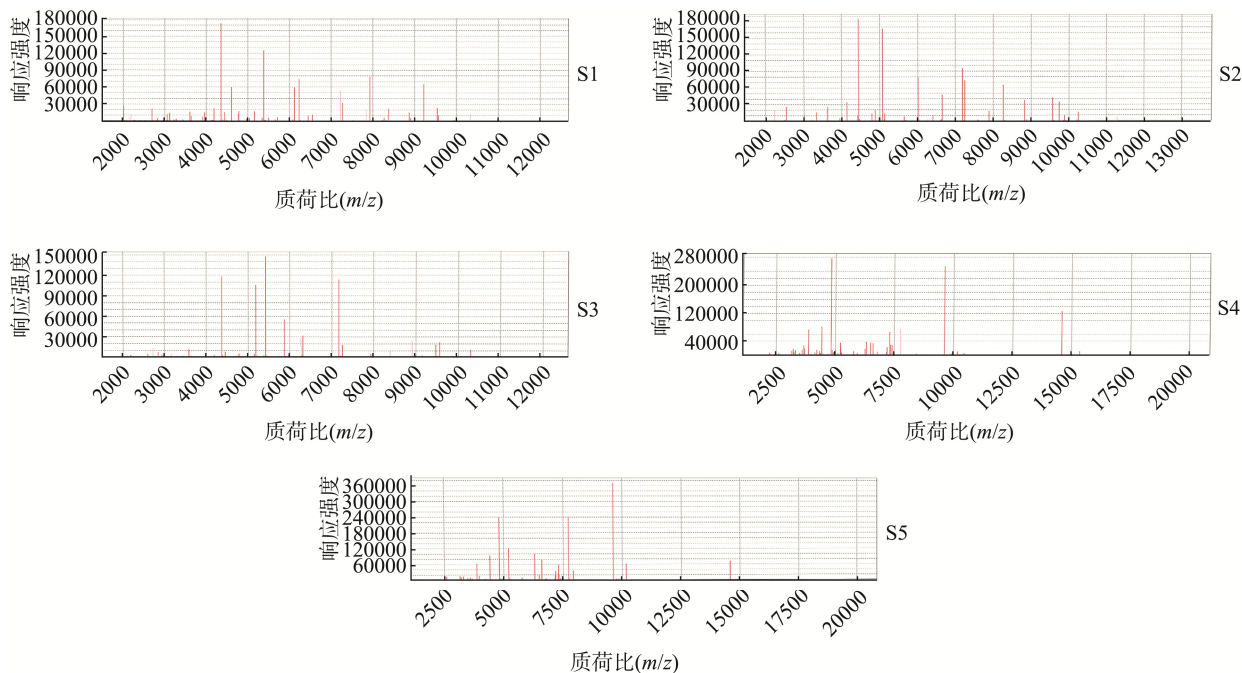


图 3 分离菌株的质谱结果
Fig.3 Mass spectrometry results of isolated strains

表 1 分离菌株的生化鉴定和 16S rDNA 测序结果
Table 1 Biochemical identification and 16S rDNA sequencing results of isolated strains

菌株编号	VITEK MS 结果	16S rDNA 测序结果
S1	粘质沙雷氏菌(<i>Serratia marcescens</i>)	粘质沙雷氏菌(<i>Serratia marcescens</i>)
S2	荧光假单胞菌(<i>Pseudomonas fluorescens</i>)	生防假单胞菌(<i>Pseudomonas protegens</i>)
S3	解鸟氨酸拉乌尔菌(<i>Raoultella ornithinolytica</i>)	植生拉乌尔菌(<i>Raoultella planticola</i>)
S4	唐菖蒲伯克霍尔德菌(<i>Burkholderia gladioli</i>)	唐菖蒲伯克霍尔德菌(<i>Burkholderia gladioli</i>)
S5	唐菖蒲伯克霍尔德菌(<i>Burkholderia gladioli</i>)	唐菖蒲伯克霍尔德菌(<i>Burkholderia gladioli</i>)

2.4 菌株分子生物学鉴定结果

5 株可疑菌株 16S rDNA 基因测序结果见表 1, 进一步确定了菌株 S4 和 S5 为唐菖蒲伯克霍尔德氏菌。在 NCBI 基因数据库里选取若干个伯克霍尔德菌属菌株的已知 16S 序列, 和菌株 S4 和 S5 的测序结果进行多序列比对, 构建系统发育树, 结果见图 4。菌株 S4 和 S5 与唐菖蒲伯克霍尔德氏菌标准菌株聚类到同一分支, 支持率为 99%, 亲缘度高。实时荧光定量 PCR 结果显示 S4 和

S5 椰毒假单胞菌 *bon* 基因阳性。

2.5 产毒试验

进一步对菌株的 BA 产毒特性进行研究, 本研究分离出的唐菖蒲伯克霍尔德菌 S4、S5 均为产毒菌株。S4、S5 菌株的 BA 产量随培养时间增加而增加, 培养 4 d 内 BA 浓度快速上升, 并在第 5 d 趋于稳定。S5 菌株产毒能力强于 S4 菌株, 第 5 d 时培养液中 BA 质量浓度分别达到 796.7 $\mu\text{g/L}$ 、580.2 $\mu\text{g/L}$, 结果见图 5。

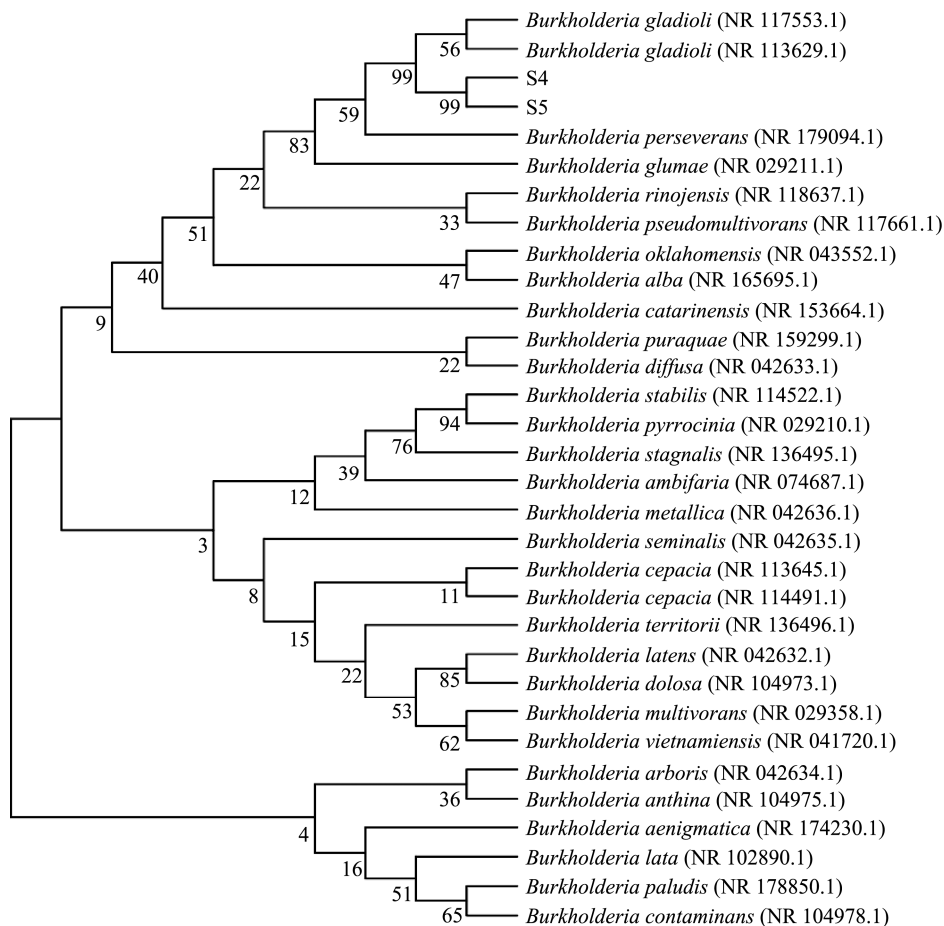


图 4 两株唐菖蒲伯克霍尔德氏菌菌株的系统发育树

Fig.4 Phylogenetic tree of two strains of *Burkholderia gladioli*

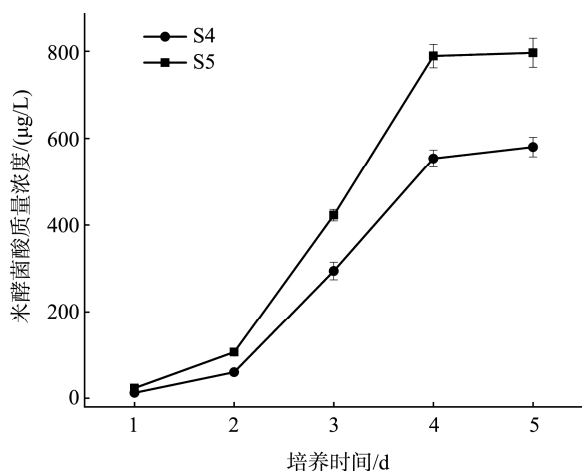


图 5 S4、S5 菌株的 BA 产毒特性

Fig.5 Toxin-producing characteristics of BA of strains S4 and S5

3 结论与讨论

本研究成功运用 UPLC-MS/MS 在 8 min 内准确性患者血液中的毒性物质为 BA 并定量其浓度, 血液样本操作简单, UPLC-MS/MS 分析准确、快速, 实验室生物样本检测总时长低于 20 min, 可作为 BA 中毒事件中生物样本检测的优先考虑方法。既往致病病原溯源工作中^[21-23]发现, 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌属有较多菌种, 部分菌种生化鉴定与 16S rDNA 测序后仍然无法确认其是否产毒, 本研究发现经生化鉴定后直接进行产毒培养和毒素测定, 明确其产毒能力, 推测其最可能为椰毒假单胞种, 进一步明确患者中毒原因, 以开展相应的救治措施。因此, 以 UPLC-MS/MS 检测病例血液中 BA, 结合生化鉴定后直接产毒培养, 再以 16S rDNA 测序、*bon* 基因簇检测结果予以佐证^[24-25], 可避免溯源时间过长、前处理复杂等问题, 可作为 BA 中毒事件快速溯源标准流程的实践参考。

研究发现, 湿米面中 BA 含量较高, 而环境样本均未检出 BA, 这可能与操作台及工具清洗频繁, 储存冰箱表面光滑病菌难以附着繁殖有关^[26-27]。BA 中毒事件的发生大多与食品储存条件不当, 如长时间室温存放或反复冷冻解冻^[28-30]以及加工环境不达标^[31]等原因有关。本研究也发现, 冷冻储存但时间较长的凉皮仍然存在唐菖蒲伯克霍尔德菌及其代谢产物 BA, 且保存不当会使该致病菌产生更多的毒素。

本次事件发生的主要原因是湿米面制品储存条件不当, 商贩食品安全意识薄弱, 因此, 为有效预防 BA 中毒事件的发生, 建议如下: (1)有关部门应加强 BA 中毒预防知识的宣传教育工作, 引导消费者、生产厂家及零售摊贩等提高安全意识, 确保湿米面食品保存条件适宜, 同时避免存放时间过久, 减少类似中毒事件的发生; (2)尽快建立理化分析与唐菖蒲伯克霍尔德氏菌病原学鉴定结合的 BA 中

毒事件快速鉴定体系, 及时确定类似事件的病因, 及时对症救助 BA 中毒患者。

参考文献

- [1] 孙嘉笛, 林婉昕, 常宽, 等. 污染食品中米酵菌酸的分布、毒性机制及检测方法研究进展[J/OL]. 微生物学通报, 1-17. [2024-12-18]. <https://doi.org/10.13344/j.microbiol.china.240852>
SUN JD, LIN WX, CHANG K, et al. Research progress on the distribution, toxicity mechanism and detection methods of rice yeast acid in contaminated food [J/OL]. Microbiology, 1-17. [2024-12-18]. <https://doi.org/10.13344/j.microbiol.china.240852>
- [2] NIU C, SONG X, HAO J, et al. Identification of *Burkholderia gladioli* pv. *cocovenenans* in Black Fungus and efficient recognition of bongkrekic acid and toxoflavin producing phenotype by back propagation neural network [J]. Foods, 2024, 13(2): 13.
- [3] 王海燕, 宋曼丹, 王建, 等. 广东省首起米酵菌酸中毒病原菌鉴定研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(4): 394-398.
WANG HY, SONG MD, WANG J, et al. Identification of pathogenic bacteria of rice yeast acidosis in Guangdong Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 31(4): 394-398.
- [4] 王军, 刘肖, 索玉娟, 等. 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒假单胞菌米面亚种及其毒素米酵菌酸的研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(11): 1298-1304.
WANG J, LIU X, SUO YJ, et al. Research progress on the subspecies of *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas cocovenenans* and its toxin *Saccharomyces acid* [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(11): 1288-1304.
- [5] HAN D, CHEN J, CHEN W, et al. Bongkrekic acid and *Burkholderia gladioli* pathovar *cocovenenans*: Formidable foe and ascending threat to food safety [J]. Foods, 2023, 12(21): 3926.
- [6] ANWAR M, KASPER A, STECK AR, et al. Bongkrekic acid—a review of a lesser-known mitochondrial toxin [J]. Journal of Medical Toxicology, 2017, 13(2): 173-179.
- [7] 陈晖, 傅镛洁, 王琦, 等. 2005—2020 年我国唐菖蒲伯克霍尔德氏菌中毒事件流行病学分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(6): 1336-1341.
CHEN H, FU YJ, WANG Q, et al. Epidemiological analysis of *Burkholderia gladioli* poisoning incidents in China from 2005 to 2020 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 34(6): 1336-1341.
- [8] 杨桦. 试论椰毒假单胞菌引发食物中毒的成因及防治措施——以黑龙江省鸡西市“酸汤子”食物中毒事件为例[J]. 现代食品, 2021(16): 168-170, 175.
YANG H. Discussion on the causes and prevention measures of food poisoning caused by *Pseudomonas coconut-taking* “sour soup” food poisoning incident in Jixi City, Heilongjiang Province as an example [J]. Modern Food, 2021(16): 168-170, 175.
- [9] 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. A case of liver failure caused by rice yeast acidosis was successfully treated [J]. Liver, 2019, 28(8): 1005-1006.
- [10] 罗兆环, 邵燕鸿, 杨志前, 等. 4 例急性米酵菌酸中毒的诊治[J]. 中国工业医学杂志, 2023, 36(5): 414-417.
LUO ZH, SHAO YH, YANG ZQ, et al. Diagnosis and treatment of 4 cases of acute rice yeast acidosis [J]. Chinese Journal of Industrial Medicine, 2023, 36(5): 414-417.
- [11] 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(10): 156-159.
- CAI J, LUO L, LIU XY, *et al.* Research progress on detection methods of rice yeast acid in food [J]. China Food Safety Magazine, 2023(10): 156-159.
- [12] LAI CC, WANG JL, HSUEH PR. *Burkholderia gladioli* and bongkreki acid: An under-recognized foodborne poisoning outbreak [J]. The Journal of Infection, 2024, 89(1): 106182.
- [13] 韦慧慰, 刘金明, 孙金影, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定野生蘑菇中毒样品中 5 种鹅膏蕈类毒素[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(9): 178-185.
- WEI HW, LIU JM, SUN JY, *et al.* Determination of five amanita peptide toxins in wild mushroom poisoning samples by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(9): 178-185.
- [14] 覃辉艳, 杨慧, 张洁宏, 等. 一起非典型肉毒毒素中毒事件实验室检测分析[J]. 中国公共卫生, 2025, 41(3): 376-379.
- QIN HY, YANG H, ZHANG JH, *et al.* Laboratory detection and analysis of an atypical botulinum toxin poisoning incident [J]. Chinese Public Health, 2025, 41(3): 376-379.
- [15] 周博, 李惠玲, 马婧, 等. 血浆中米酵菌酸的高效液相色谱-串联质谱快速测定法[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2022, 40(3): 3.
- ZHOU B, LI HL, MA J, *et al.* Rapid determination of rice yeast acid in plasma by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Occupational Diseases, 2022, 40(3): 3.
- [16] 赵舰, 程莉, 贺丽迎, 等. 超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱高分辨质谱法测定食物及呕吐物中的米酵菌酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2022(3): 32.
- ZHAO J, CHENG L, HE LY, *et al.* Determination of rice yeast acid in food and vomit by ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole electrostatic field orbital trap high resolution mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2022(3): 32.
- [17] 范璐, 栾杰. 云南省一例唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)食物中毒事件调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(23): 8098-8101.
- FAN L, LUAN J. Investigation and analysis of a food poisoning case of *Burkholderia gladiolus* (*Pseudomonas cocotidis* yeast subspecies) in Yunnan Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(23): 8098-8101.
- [18] 赵凌国, 雷蕾, 孙健, 等. 一起米酵菌酸中毒事件的病因学诊断[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(3): 606-610.
- ZHAO LG, LEI L, SUN J, *et al.* Etiological diagnosis of a rice yeast acidosis incident [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(3): 606-610.
- [19] 张秀尧, 蔡欣欣, 张晓艺, 等. 超高效液相色谱-三重四极杆质谱联用法测定血浆和尿液中米酵菌酸和异米酵菌酸[J]. 质谱学报, 2020, 41(3): 11.
- ZHANG XY, CAI XX, ZHANG XY, *et al.* Determination of rice yeast acid and isorice yeast acid in plasma and urine by ultra-high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2020, 41(3): 11.
- [20] 周丽屏, 郭嘉明, 郭尧平, 等. 超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱法快速定性、定量分析人全血中米酵菌酸[J]. 理化检验: 化学分册, 2023, 59(2): 6.
- ZHOU LP, GUO JM, GUO YP, *et al.* Rapid qualitative and quantitative analysis of rice zyemic acid in human whole blood by ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. Physical and Chemical Examination: Chemistry Branch, 2023, 59(2): 6.
- [21] 李晓琨, 杨祖顺, 国译丹, 等. 椰毒假单胞菌酵米面亚种食物中毒的病原分离鉴定[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(1): 36-39.
- LI XL, YANG ZS, GUO YD, *et al.* Isolation and identification of pathogenic agents for food poisoning of rice noodle subspecies with *Pseudomonas cocotidis* [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2016, 28(1): 36-39.
- [22] 王晓雯, 陈晶, 陈国培, 等. 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒致病型实时荧光 PCR 方法的建立[J]. 食品科技, 2022, 47(1): 330-335.
- WANG XW, CHEN J, CHEN GP, *et al.* Establishment of real-time fluorescent PCR method for the pathogenesis of coconut virus of *Burkholderia gladiolus* [J]. Food Science and Technology, 2022, 47(1): 330-335.
- [23] HU RM, FU TG, XIA SL, *et al.* Unexplained rhabdomyolysis and hepatic renal dysfunction: A case of bongkreki acid poisoning [J]. Cureus, 2024, 16(10): e70625.
- [24] YUAN Y, GAO R, LIANG Q, *et al.* A foodborne bongkreki acid poisoning incident-Heilongjiang Province, 2020 [J]. China CDC Weekly, 2020, 2(51): 975-978.
- [25] SHI M, ZENG M, GENJIAFU A, *et al.* Severe bongkreki acid poisoning caused by eating spoiled *Auricularia auricula*: A case report [J]. BMC Complementary Medicine & Therapies, 2024, 24(1): 419.
- [26] 卢宇剑. 食品中米酵菌酸的测定及其产生环境条件研究[D]. 南京: 南京医科大学, 2023.
- LU YJ. Research on the determination of yeast acid in food and its environmental conditions for production [D]. Nanjing: Nanjing Medical University, 2023.
- [27] YU CH, LIAO EC, SU YJ. Unexpectedly life-threatening meal: Contamination by bongkreki acid in Taiwan [J]. Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology, 2025, 64(1): 142-145.
- [28] LI M, XIONG K, JIN W, *et al.* Prediction of the ecological behavior of *Burkholderia gladiolus* in fresh wet rice noodles at different temperatures and its correlation with quality changes [J]. Foods, 2025, 14: 1291.
- [29] 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, 34(6): 1323-1325.
- SUN J, ZHANG Q, ZHAO LG, *et al.* Investigation on a fatal case of rice yeast acid food poisoning [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(6): 1323-1325.
- [30] 陈子慧, 黄芮, 梁骏华, 等. 2018—2020 年广东省河粉类食品米酵菌酸中毒事件流行病学分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 158-162.
- CHEN ZH, HUANG R, LIANG JH, *et al.* Epidemiological analysis of rice yeast acidosis incidents in river meal food in Guangdong Province from 2018 to 2020 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 158-162.
- [31] 梅灿辉, 李汴生, 阮征, 等. 鲜湿粉类食品中产生米酵菌酸风险点的探讨[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 460-466.
- MEI CH, LI BS, RUAN Z, *et al.* Study on the risk points of producing rice yeast acid in fresh and wet powder [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(6): 460-466.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)