DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251105005
引用格式: 张禹, 黄宁, 汤晓召, 等. 2024 年云南省湿米面类食品抽样检测结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(5): 329–334.
ZHANG Y, HUANG N, TANG XZ, *et al*. Analysis of sampling inspection results of wet rice and flour products in Yunnan Province in 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(5): 329–334. (in Chinese with English abstract).

2024 年云南省湿米面类食品抽样检测结果分析

张 禹[1,2], 黄 宁[3], 汤晓召[2], 杨 菁[2], 马 妮[2], 罗荣爱[2], 陈 敏[1,2*], 杨祖顺[1,2*]

[1. 云南省疾病预防控制中心(云南省预防医学科学院), 云南省公共卫生与生物安全重点实验室, 昆明 650022; 2. 云南省疾病预防控制中心(云南省预防医学科学院), 卫生检验中心, 昆明 650022; 3. 海军军医大学基础医学院, 上海 200433]

摘 要: 目的 评估云南省湿米面制品中蜡样芽孢杆菌、唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(*Burkholderia gladioli pathovar cocovenenans*, BGC)的污染状况及水分和脱氧乙酸的含量。**方法** 2024 年 7—12 月在云南省 4 州(市)采集散装湿米制品 108 份(卷粉类 48 份、米线类 47 份等), 覆盖农贸市场(50.93%)、超市(17.59%)、小型餐馆(12.96%)等场所, 按 GB 4789.14—2014《食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽胞杆菌检验》和 GB 4789.29—2020《食品安全国家标准 食品微生物学检验 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验》检测致病菌, GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》和 GB 5009.121—2016《食品安全国家标准 食品中脱氢乙酸的测定》测定水分及脱氢乙酸。**结果** 蜡样芽孢杆菌检出率为 31.48% (34/108), 定量范围<10~6.8×10^4 CFU/g (P_{90}=4140 CFU/g); 卷粉类检出率最高(43.75%, P=0.022), 冷藏样品检出率(45.71%)显著高于常温组(P<0.001)。所有样品均未检出 BGC 及脱氢乙酸超标, 有 3 例湿米面制品水分含量不符合 DBS53/017—2023《云南省食品安全地方标准 米线、卷粉、饵丝(块)》(≤80 g/100 g)。**结论** 云南湿米制品存在蜡样芽孢杆菌污染风险(尤其卷粉类及冷藏产品), 需加强生产流通环节的卫生管控; 未发现 BGC 污染及米酵菌酸中毒隐患。

关键词: 云南; 湿米面类食品; 蜡样芽孢杆菌; 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌; 水分; 脱氧乙酸

Analysis of sampling inspection results of wet rice and flour products in Yunnan Province in 2024

ZHANG Yu[1,2], HUANG Ni[3], TANG Xiao-Zhao[2], YANG Jing[2], MA Ni[2], LUO Rong-Ai[2], CHEN Min[1,2*], YANG Zu-Shun[1,2*]

[1. *Yunnan Provincial Key Laboratory of Public Health and Biosafety*, *Yunnan Center for Disease Control and Prevention* (*Yunnan Provincial Academy of Preventive Medical Sciences*), *Kunming* 650022, *China*; 2. *Health Laboratories Center*, *Yunnan Center for Disease Control and Prevention* (*Yunnan Provincial Academy of Preventive Medical Sciences*), *Kunming* 650022, *China*; 3. *School of Basic Medical Sciences*, *Naval Medical University*, *Shanghai* 200433, *China*]

ABSTRACT: Objective To evaluate the contamination levels of *Bacillus cereus* and *Burkholderia gladioli pathovar*

收稿日期: 2025-11-05
基金项目: 云南省医学高端人才培养计划项目(L-2024020)
第一作者: 张禹(1987—), 男, 博士, 主要研究方向为分子流行病学。E-mail: 1443845050@qq.com
***通信作者:** 陈敏(1978—), 男, 主任技师, 主要研究方向为微生物检验与防治研究。E-mail: chenminyx@126.com
杨祖顺(1971—), 男, 主任技师, 主要研究方向为微生物检验与技术研究。E-mail: 780187842@qq.com

cocovenenans (BGC), along with the moisture content and dehydroacetic acid levels in wet rice and flour products in Yunnan Province. **Methods** From July to December 2024, a total of 108 samples of bulk wet rice products (including 48 portions of vermicelli, 47 portions of rice noodles, *etc*.) were collected from prefectures in Yunnan Province, covering markets (50.93%), supermarkets (17.59%), small restaurants (12.96%) and other locations. Pathogens were detected in accordance with GB 4789.14—2014 *National food safety standard food-Microbiological examination-Detection of Bacillus cereus* and GB 4789.29—2020 *National food safety standard food-Microbiological examination-Detection of Burkholderia gladioli* (*formerly Pseudomonas cocovenenans subsp. Farinofermentans*), while moisture and dehydroacetic acid content were determined in accordance with GB 5009.3—2016 *National food safety standard-Determination of moisture in food* and GB 5009.121—2016 *National food safety standard-Determination of dehydroacetic acid in food*. **Results** The detection rate of *Bacillus cereus* was 31.48% (34/108), with a quantitative range of <10–6.8×10^4 CFU/g (P_{90}=4140 CFU/g). The highest detection rate was observed in roll noodles (43.75%, P=0.022), and the detection rate in refrigerated samples (45.71%) was significantly higher than that in the room temperature group (P<0.001). Neither BGC nor excessive dehydroacetic acid was detected in any of the samples. The 3 samples of wet rice noodle products failed to meet the moisture content requirements stipulated in DBS53/017—2023 *Local food safety standards of Yunnan Province-Rice noodles*, *rolled rice noodles and rice vermicelli* (*blocks*). **Conclusion** Wet rice products in Yunnan are at risk of contamination by *Bacillus cereus*, particularly roll noodles and refrigerated products. It is essential to strengthen hygiene control in both production and circulation processes. No BGC contamination or potential risk of food poisoning caused by rice-fermenting bacteria has been identified.

KEY WORDS: Yunnan; wet rice and flour products; *Bacillus cereus*; *Burkholderia gladioli pathovar cocovenenans*; moisture; dehydroacetic acid

0 引 言

湿米制品是以大米为主要原料, 经浸泡、制浆、成型(如挤压、压条等)工艺制成的条状、丝状、块状或片状即食食品。根据 DBS53/017—2023《云南省食品安全地方标准米线、卷粉、饵丝(块)》, 其主要类别包括米线(酸浆米线、干浆米线、水米线)、卷粉、饵丝(块)及花色湿米制品(花色米线、花色卷粉、花色饵丝/块)。此类产品具有含水量高、营养丰富的特性, 在高温高湿环境下极易滋生微生物导致腐败变质, 主要的致病菌包括蜡样芽孢杆菌、沙门氏菌、唐菖蒲伯克霍尔德氏菌等。

蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)是一种广泛分布的革兰氏阳性、产芽孢兼性厌氧菌[1], 可定殖于空气、土壤等多种环境, 常污染米制品、乳制品等食品。其公共卫生风险源于产生的肠毒素, 食物中毒分为呕吐型(耐热呕吐毒素引发)与腹泻型(热敏感腹泻毒素导致)两种。该菌形成芽孢的特性使其对高温、紫外线等多种极端条件的显著抗性, 且部分菌株在冷藏温度下仍可生长与产毒, 在食品供应链中广泛存在, 易引发食源性疾病[2–4]。湿米面水分活度(water activity, aw)≥0.95, 富含游离氨基酸与可溶性淀粉, 正好落在蜡样芽胞杆菌最适生长区间(aw 0.93~0.98), 实验表明, 30 ℃下 4 h 即可从 10^2 CFU/g 升至 10^5 CFU/g, 达到呕吐毒素的产毒阈值[5]。在一项针对广州市湿河粉生产链中蜡样芽胞杆菌污染情况的调查结果显示, 原料、成品及运输环节的检出率分别为 93.9%、51.5%和 51.4%, 说明从原料到餐桌全过程均存在显著污染风险。市售湿粉类制品抽样总检出率约为 43%, 与广西、湖南等省份结果一致[6]。云南日常主食以米线、饵丝、卷粉等湿米面制品为主, 产销量大、流通范围广, 且云南省常年平均气温高、湿度大等特点, 极利于蜡样芽胞杆菌繁殖与毒素积累。

唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(*Burkholderia gladioli pathovar cocovenenans*, BGC)是主要源于土壤的食源性病原菌, 可通过污染加工原料传播至食品, 常见于谷类发酵制品、变质鲜银耳及不当泡发的变质木耳、发酵薯类制品等。在适宜条件下, BGC 可在食品中迅速繁殖并产生米酵菌酸(bongkrekic acid, BA)[7–8]。BA 是 BGC 的关键次生代谢产物和毒性因子, 为热稳定性高的不饱和三羧酸脂肪酸, 常规煮沸及高压烹饪均无法破坏其毒性, 是变质湿米制品等引起食物中毒的主要致病物质[9]。作为线粒体毒素, BA 主要靶向肝脏、大脑和肾脏, 中毒初期表现为消化道症状, 随病情进展可致多器官功能衰竭甚至死亡[10–15]。人体中毒剂量与致死剂量分别约为 0.1~0.5 mg/kg 和 1~2 mg/kg, 且缺乏特效解毒药物, 病死率极高。据统计, BGC 引起的食物中毒平均病死率达 68%~89%, 个别事件达 100%, 截至 2020 年 11 月, 历史累计中毒人数超 4000 例, 死亡人数超 1600 人[16–17]。

云南地处亚热带高原地区, 气候温暖湿润, 年平均气温多在 15~22 ℃之间, 相对湿度常年保持在 70%以上, 雨热同期的季风气候使高温高湿交替出现, 为蜡样芽胞杆菌、BGC 等耐热、耐干燥芽孢形成菌提供了天然的“温床”。一方面, 此类细菌在大米、玉米、木薯等原料中本底携带率就高; 另一方面, 湿米面制品(米线、饵丝、卷粉、粑粑等)aw≥0.95, 常温下只需 4~6 h 即可使菌量从 10^2 CFU/g 迅速增至 10^4~10^5 CFU/g 的危险水平[18], 而此时产品仍保持正常气味与外观, 消费者难以凭感官辨识。过去 5 年, 华南多地已发生多起因蜡样芽胞杆菌污染湿河粉、鲜米粉导致的集体呕吐事件, 而云南同属高风险纬度和气候带, 却缺乏系统监测数据。因此, 本研究于 2024 年在云南全域开展湿米面制品中蜡样芽胞杆菌和 BGC 的专项调查, 覆盖线下流通环节、餐饮环节和网购环节, 实现早预警、早下架、早召回, 有效防范因微生物污染导致的食源性疾病暴发, 有效防范湿米面类食品污染引发的食物中毒事件。

1　材料与方法

1.1　样本来源

2024 年 7—12 月, 在云南省 4 个州(市)采集散装湿米制品 108 份, 其中卷粉类 48 份、米线类 47 份、米豆腐 5 份、米凉虾 4 份、米凉粉 3 份和米粉类 1 份。采样场所覆盖线下流通环节、餐饮环节和网购环节, 比例为 1:1:1。线下流通环节包括超市、生鲜零售店和农贸市场; 餐饮环节包括餐饮店和流动摊档; 网购环节包括网店和平台等。

1.2　试剂与仪器

3% NaCl 碱性蛋白胨水、氯化镁孔雀绿大豆胨增菌液、四硫磺酸盐煌绿增菌液基础、李氏菌增菌肉汤 2 基础(环凯微生物科技公司); 营养肉汤、磷酸盐缓冲液、PALCAM 培养基、革兰氏染液、伊红美蓝琼脂(北京陆桥技术股份有限公司); 李氏菌增菌肉汤 1 基础(青岛海博生物技术有限公司); 血琼脂平板(郑州安图生物工程股份有限公司); 细菌基因组 DNA 提取盒[天根生化科技(北京)有限公司]。

T2000 电子天平(感量 0.5 g, 常熟双杰测试仪器厂); Scientz-11L 拍击均质器(宁波新芝生物科技股份有限公司); QuantStudio 7 Flex 实时荧光定量 PCR 仪、1300 A2 生物安全柜(美国赛默飞世尔科技有限公司); Sigma 1-14 小型离心机[西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司]; SX-700H 高压灭菌锅(日本 Tomy Digital Biology 公司); Vitek Compact 2 全自动鉴定系统(法国 bioMérieux 公司); IF260PLUS 恒温培养箱[德国美墨尔特(上海)贸易有限公司]; DM1000 显微镜(德国徕卡仪器有限公司); Bruker AutoFlex Max MALDI-TOF 质谱仪[美国布鲁克(北京)科技有限公司]。

1.3　检测方法

按 GB 4789.14—2014《食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽胞杆菌检验》、GB 4789.29—2020《食品安全国家标准 食品微生物学检验 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验》进行蜡样芽孢杆菌和唐菖蒲伯克霍尔德氏菌的检测。根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》和 GB 5009.121—2016《食品安全国家标准 食品中脱氢乙酸的测定》进行水分和脱氧乙酸的检测。

1.4　评判标准

参考 DBS53/017—2023《云南省食品安全地方标准 米线、卷粉、饵丝(块)》中的规定, 根据米线种类的不同, 米线中的水分含量需小于等于 80 g/100 g, 卷粉中水分含量需小于等于 80 g/100 g。参考 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中的规定, 脱氢乙酸的使用量需小于等于 1.0 g/kg。蜡样芽孢杆菌和 BGC 暂无相应参照标准, 按检出结果进行分析。

1.5　数据处理

IBM SPSS 19.0 对检测数据作描述性统计分析。湿米面制品在售卖场所、类型、季节等分布上的检出差异采用 χ^2 检验比较, 以分层 χ^2 检验分析具体病原生物在上述分布上的差异, 当样本量低于 40 或期望值小于 5 时, 采用 Fisher 确切概率法校正数据偏性。P<0.05 为差异有统计学意义。

2　结果与分析

2.1　样品构成情况

样品覆盖云南省 4 个州(市)共 108 份。采样点以农贸市场为主(55 份, 50.93%), 其次为超市(19 份, 17.59%)和小型餐馆(14 份, 12.96%), 其他为网店(11 份, 10.19%)、小吃店(6 份, 5.56%)、便利店/零售店(3 份, 2.78%)。

样品种类以卷粉类(48 份, 44.44%)和米线类(47 份, 43.52%)为主, 两者合计占比 87.96%; 其他品类占比极低: 米豆腐(5 份, 4.63%)、米凉虾(4 份, 3.70%)、米凉粉(3 份, 2.78%)、米粉类(仅 1 份, 0.93%)。

采样季度以第三季度(夏秋季)为主(78 份, 72.22%), 第四季度(冬春季)样本较少(30 份, 27.78%)。标示温度方面, 常温储存样品 73 份(67.59%), 冷藏储存 35 份(32.41%)。实测中心温度方面, 101 份(93.52%)的样品中心温度处于 18~25.3 ℃ (101 份), 7 份(6.48%)的样品符合 4~6 ℃冷藏要求。

2.2　蜡样芽孢杆菌和唐菖蒲伯克霍尔德氏菌检出情况

108 份检测样品中共有 34 份样品有致病菌检出, 检出率为 31.48%。蜡样芽孢杆菌的检出率为 31.48% (34/108), 定量分析范围为<10~6.8×10^4 CFU/g, P_{50} 和 P_{90}

分别为<10 CFU/g 和 4140 CFU/g; 未检出 BGC。因此, 下面主要分析蜡样芽孢杆菌的检出情况, 详见表 1。

不同样品种类中蜡样芽孢杆菌的检测率有统计学差异 (χ^2=7.531, P=0.022), 卷粉中的检出率较高 (43.75%, 21/48), 米线中的检出率次之(25.53%, 12/47), 其他种类中的检出率较低(7.69%, 1/13)。不同标示存储温度的样品中蜡样芽孢杆菌的检出率有统计学差异(χ^2=14.809, P<0.001), 冷藏湿米制品具有更高的蜡样芽孢杆菌检出率(45.71%, 16/35)。不同采样地点、采样季度和采样后中心温度的样品, 蜡样芽孢杆菌的检出率无统计学差异。

2.3 水分和脱氢乙酸监测结果

水分含量为 53.0~91.6 g/100 g(表 2), 其中卷粉类样品中有 2 件样品的水分大于 80 g/100 g, 不合格率为 4.17% (2/48); 米线类样品中有 1 件样品的水分大于 80 g/100 g, 不合格率为 2.13% (1/47)。所有样品的脱氢乙酸检测值均小于 1.0 g/kg(表 2), 除 2 件米凉粉样品有检出外其余样品均未检出。

表 1 样品中蜡样芽孢杆菌的分布情况

Table 1 Distribution of *Bacillus cereus* in the samples

	类别	样品数	阳性数	检出率/%	χ^2	P
采样地点	农贸市场	55	13	23.64	3.518	0.317
	超市	19	8	42.11		
	小型餐馆	14	6	42.86		
	其他(网店、小吃店和零售店)	20	7	35.00		
采样季度	第三季度	78	26	33.33	0.446	0.645
	第四季度	30	8	26.67		
样品种类	卷粉类	48	21	43.75	7.531	0.022
	米线类	47	12	25.53		
	其他(米豆腐、米凉虾、米凉粉和米粉类)	13	1	7.69		
标示温度	常温	73	18	24.66	4.863	0.045
	冷藏	35	16	45.71		
中心温度	18.0~25.3 ℃	101	32	31.68	*	1.000
	2~8 ℃	7	2	28.57		

注: *表示经过 Fisher 确切概率法计算的χ^2是空的。

表 2 各类湿米面食品中水分和脱氢乙酸的检测结果

Table 2 Detection results of moisture and dehydroacetic acid in different categories of wet rice and flour products

食品种类	数量/件	水分含量/(g/100 g)	脱氢乙酸含量/(g/kg)
卷粉类	48	61.2~85.7(其中 2 件样品的检测值大于 80)	<0.002
米线类	47	53.0~82.2(其中 1 件样品的检测值大于 80)	<0.002
米豆腐	5	73.9~89.6	<0.002
米凉虾	4	68.6~91.6	<0.002
米凉粉	3	86.1~88.6	<0.002~0.012
米粉类	1	74.3	<0.002

3 讨论与结论

米线、饵丝、卷粉等湿米制品是云南传统的地方特色小吃, 因其口感爽滑、容易消化, 长期以来深受消费者喜爱。但湿米制品水分含量高、营养丰富, 在高温高湿环境中容易腐败变质, 所以食用湿米制品要特别注意食品安全问题。由蜡样芽孢杆菌产生的肠毒素和 BGC 产生的 BA 是食物中毒的主要因素[19–24]。近年来广东、河南均有报道由非发酵湿米面制品中的 BA 引起的食物中毒事件[25–27]。

2021—2022 年, 广东省的一项调查结果显示, 湿粉类食品原料及成品的蜡样芽孢杆菌的检出率为 35.70%, 其中成品食品类的检出率为 42.86%[28]。本次调查结果显示, 湿米制品中蜡样芽孢杆菌的检出率为 31.48%, 定量检测结果为<1×10^5 CFU/g, 与同类型的调查结果相当。本次监测数

据显示, 所有样品均未检出 BGC。与广东和河南相比, 云南因为气候的原因, 所有检测样品(7—10 月采集)的中心温度均小于 26 ℃ (BGC 产 BA 的最适温度)[20,29]。未见防腐剂(脱氢乙酸)超标使用的样品。该类样品食品安全风险隐患较低。

值得注意的是卷粉中蜡样芽孢杆菌的检出率高于其他品种。卷粉通常经发酵或蒸煮后湿态储存, 利于蜡样芽孢杆菌繁殖, 而米线干燥程度较高, 抑制菌体生长。卷粉的制作过程中可能涉及更多的手工操作环节, 或者其特定的形态结构(如多层折叠)更容易造成微生物的滞留和滋生。另外, 卷粉在切割、分装过程中易受环境微生物(如农贸市场操作台污染)影响, 进一步增加污染风险。与“低温抑菌”的直觉相反, 标示“冷藏”样品蜡样芽胞杆菌检出率(45.71%)显著高于常温组(P<0.001)。这一现象可能是由于蜡样芽胞杆菌属于嗜温菌中的“耐冷型”代表, 其细胞膜富含支链脂肪酸, 可在 4~10 ℃下维持膜流动性, 使芽孢在冷藏环境仍能长期存活并保持萌发活性[30]。多项体外研究证实, 当温度降至 8 ℃时, 芽孢数几乎不下降; 一旦回温至 20 ℃以上, 残存芽孢可在 2 h 内迅速完成萌发并进入对数生长期[31]。因此, 冷藏并非“杀菌”过程, 而只是抑制竞争菌群, 为蜡样芽胞杆菌提供了“低菌竞争”的相对优势。加之经营者存在“安全错觉”, 认为冷藏可完全抑制微生物, 忽视刀具、容器及操作台的清洁消毒, 导致交叉污染概率增加; 同时现场实测发现 93.5%的“冷藏”样品中心温度大于 18 ℃, 温度波动进一步削弱冷链效果, 使芽孢在“低温存活—回温繁殖”的循环中持续积累, 最终导致冷藏环节反而成为高检出率的“风险洼地”[32−35]。一旦温度条件适宜, 例如在食用前脱离冷藏环境回温, 残存的菌体或芽孢就可能迅速繁殖。一般情况下, 散装即食湿米制品常温下保质期为 24 h, 冷藏条件下为 72 h。如储藏不当, 会导致水分丢失、老化变硬和断条, 影响食用口感, 甚至出现被微生物污染产生 BA 引发食物中毒等情况。

本研究仅覆盖昆明、玉溪、曲靖和大理 4 个州(市), 部分样品采样件数相对较低, 使得代表性受到一定影响, 如米豆腐、米凉虾等小众品类样本过少, 即使实际污染率为 7.69%, 低于卷粉类的 43.75%和米线类的 25.53%, 亦可能因样本量不足被误判为“低风险”。这有可能导致总体污染率的低估, 也影响关联分析的统计效能。未来需在 16 个州市按人口密度、气候带、作坊/工业规模分层抽取样品, 确保卷粉类、米线类、米豆腐、米凉虾、米凉粉等低产量品类各大于等于 40 份, 同步建立省市级快速检测网络, 将监测周期由“年度回顾”升级为“季度预警”, 为云南居民每日约 1.5 万吨的湿米制品消费提供精准、实时、可外推的食品安全数据支撑。

综上所述, 本研究揭示湿米制品中蜡样芽孢杆菌污染较常见。卷粉类因工艺特性成为核心风险载体。未来需聚焦原料灭菌工艺升级, 严格控制生产过程中的初始污染水平, 加强冷链实时监控及高风险品类靶向监管, 从源头阻断食源性中毒链条。尽管该类食品本身食品安全风险隐患较低, 但夏天容易凉拌食用, 随着凉拌过程中调味料和各种生食蔬菜的加入, 容易引入致病菌的污染, 从而引起食物中毒事件。还需要提醒消费者食用时切勿贪多、不食用隔夜变质的凉拌食物。

参考文献

[1] ENOSI-TUIPULOTU D, MATHUR A, NGO C, *et al*. *Bacillus cereus*: Epidemiology, virulence factors, and host-pathogen interactions [J]. Trends Microbiology, 2021, 29(5): 458–471.

[2] LIU XY, HU Q, XU F, *et al*. Characterization of *Bacillus cereus* in dairy products in China [J]. Toxins (Basel), 2020, 12: 454–471.

[3] ABDUL ME, PAVONI E. *Bacillus cereus* in food safety: A bibliometric analysis [J]. Front Microbiology, 2025, 16: 1574802–1574824.

[4] MCDOWELL RH, SANDS EM, FRIEDMAN H. *Bacillus cereus* [M]. Treasure Island: StatPearls Publishing Copyright, 2025.

[5] WANG Y, LIU Y, YANG S, *et al*. Effect of temperature, pH, and a(w) on cereulide synthesis and regulator genes transcription with respect to *Bacillus cereus* growth and cereulide production [J]. Toxins (Basel), 2024, 16: 32–45.

[6] 周璐, 郑开伦, 黄琼, 等. 湿粉类制品蜡样芽胞杆菌污染风险及控制研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(2): 166–170.
ZHOU L, ZHENG KL, HUANG Q, *et al*. Research on the contamination and control measures of *Bacillus cereusin* wet rice products and starch product [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(2): 166–170.

[7] 黄伟峰, 范道勇, 黄永燕, 等. 菌菇类食品中唐菖蒲伯克霍尔德菌污染调查及病原特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(5): 517–521.
HUANG WF, FAN DY, HUANG YY, *et al*. Contamination investigation and pathogenic characteristics analysis of *Burkholderia gladioli* in mushroom foods [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(5): 517–521.

[8] 黄静敏, 陈晶, 吴燕蕙, 等. 双乙酸钠在湿米粉中对唐菖蒲伯克霍尔德氏菌生长及产毒的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 115–121.
HUANG JM, CHEN J, WU YH, *et al*. Effects of sodium diacetate on the growth and bongkrekic acidproduction of *Burkholderia gladioli* in wet rice noodles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 115–121.

[9] 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 bongkrekic acid in Hubei Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(12): 126–132.

[10] MOEBIUS N, ROSS C, SCHERLACH K, *et al*. Biosynthesis of the respiratory toxin bongkrekic acid in the pathogenic bacterium *Burkholderia gladioli* [J]. Chemistry and Biology, 2012, 19(9): 1164–1174.

[11] 陈轩龙, 袁强, 孙勇, 等. 米酵菌酸中毒后死亡法医学鉴定 1 例[J]. 法医学杂志, 2025, 41(3): 277–280.
CHEN XL, YUAN Q, SUN Y, *et al*. Forensic identification of death caused by bongkrekic acid poisoning: A case report [J]. Fayixue Zazhi, 2025, 41(3): 277−280.

[12] 陈轩龙, 袁强, 孙勇, 等. 米酵菌酸中毒的法医学研究进展[J]. 法医学杂志, 2025, 41(2): 111–119.
CHEN XL, YUAN Q, SUN Y, *et al*. Forensic research progress on

bongkrekic acid poisoning [J]. Journal of Forensic Medicine, 2025, 41(2): 111–119.

[13] SEHGAL R, BHUSAL CK. Bongkrekic acid: A new threat for food safety? [Z]. Foodborne Pathogens and Disease, 2025.

[14] SHEN YC, WANG YH, LIOU KT, *et al*. Synergistic protective effects of TCM formulaNRICM102 and N-acetylcysteine against hepatorenal injury in a mouse model of bongkrekic acid poisoning [J]. Frontiers in Pharmacology, 2025, 16: 1596785 –1596800.

[15] YU CH, LIAO EC, SU YJ. Unexpectedly life-threatening meal: Contamination by *Bongkrekic acid* in Taiwan [J]. Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology, 2025, 64(1): 142–145.

[16] ZHANG H, GUO Y, CHEN L, *et al*. Epidemiology of foodborne bongkrekic acid poisoning outbreaks in China, 2010 to 2020 [J]. PLoS One, 2023, 18(1): e0279957–e0279966.

[17] 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): 3926–3942.

[18] 林宇斌. 鲜湿米粉中蜡样芽孢杆菌定量风险评估[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
LIN YB. quantitative risk assessment for Bacillus cereus in wet rice noodle [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015.

[19] DIETRICH R, JESSBERGER N, EHLING-SCHULZ M, *et al*. The food poisoning toxins of *Bacillus cereus* [J]. Toxins (Basel), 2021, 13(2): 98–145.

[20] 彭子欣, 李凤琴. 唐菖蒲伯克霍尔德菌米酵菌酸生物合成机制[J]. 卫生研究, 2020, 49(2): 336–338.
PENG ZX, LI FQ. Biosynthesis mechanism of bongkrekic acid in *Burkholderia gladioli* [J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(2): 336–338.

[21] BERTUSO PC, MARANGON CA, NITSCHKE M. Susceptibility of vegetative cells and endospores of *Bacillus cereus* to rhamnolipid biosurfactants and their potential application in dairy [J]. Microorganisms, 2022, 10(9): 1860–1876.

[22] 王军, 刘肖, 索玉娟, 等. 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒假单胞菌酵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*. A review of the research progress on *Burkholderia gladioli* Pv.cocovenenans and its toxin bongkrekic acid [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(11): 1298–1304.

[23] 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(8): 1291–1314.

[24] YAO Y, ZHONG X, ZHOU Y, *et al*. Exploring the characteristics of *Burkholderia gladioli* pathovar cocovenenans: Growth, bongkrekic acid production, and potential risks of food contamination in wet rice noodles and vermicelli [J]. Food Microbiology, 2024, 120: 104449–104466.

[25] 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 bongkrekic acid poisoning due to contamination of nonfermented rice noodle products in Guangdong Province from 2018 to 2020 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 158–162.

[26] 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]. 微生物学通报, 2025, 52(6): 2441–2456.
SUN JD, LIN WX, CHANG K, *et al*. Research progress in the distribution,toxicity mechanism,and detection methods of bongkrekic acid in contaminated food [J]. Microbiology, 2025, 52(6): 2441–2456.

[27] 陈嘉聪, 温晓裕, 李嫚. 基于物联网技术的湿米粉类食品中唐菖蒲伯克霍尔德氏菌风险监测研究[J]. 现代食品, 2024, 30(21): 144–147.
CHEN JC, WEN XY, LI M. Research on risk monitoring of *Burkholderia gladioli* in wet rice noodles based on internet of things technology [J]. Modern Food, 2024, 30(21): 144–147.

[28] 王欣茹. 湿粉类食品中蜡样芽胞杆菌污染风险控制要素的定量评估研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2023.
WANG XR. Quantitative assessment of risk control factors for *Bacillus cereus* contamination in wet rice products and starch products [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2023.

[29] 陈荣桥, 陈汉金, 胡均鹏, 等. 椰毒假单胞菌酵米面亚种在湿米粉及其原料中的生长产毒规律及风险分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 320–327.
CHEN RQ, CHEN HJ, HU JP, *et al*. Risk analysis of toxin production by *Pseudomonas cocovenenans* subsp.farinofermantans cultured in wet rice noodle and its raw materials [J]. Modern Food Science & Technology, 2022, 38(5): 320–327.

[30] CARLIN F, FRICKER M, PIELAAT A, *et al*. Emetic toxin-producing strains of *Bacillus cereus* show distinct characteristics within the *Bacillus cereus* group [J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 109(1-2): 132–138.

[31] CHORIN E, THUAULT D, CLÉRET JJ, *et al*. Modelling *Bacillus cereus* growth [J]. International Journal of Food Microbiology, 1997, 38(2-3): 229–234.

[32] JOVANOVIC J, ORNELIS VFM, MADDER A, *et al*. *Bacillus cereus* food intoxication and toxicoinfection [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(4): 3719–3761.

[33] HUANG Y, FLINT SH, PALMER JS. *Bacillus cereus* spores and toxins-the potential role of biofilms [J]. Food Microbiology, 2020, 90: 103493–103505.

[34] BYUN KH, KANG M, SEON-KOO M, *et al*. Potential risk of biofilm-forming *Bacillus cereus* group in fresh-cut lettuce production chain [J]. Food Research International, 2024, 191: 114692–114710.

[35] GAO X, SWARGE BN, ROSEBOOM W, *et al*. Time-resolved proteomics of germinating spores of *Bacillus cereus* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(21): 13614–13625.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)