

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250214002

引用格式: 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 bongkreic acid production of *Burkholderia gladioli* in wet rice noodles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 115–121. (in Chinese with English abstract).

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

黄静敏¹, 陈晶^{1*}, 吴燕蕙¹, 李乐诗¹, 李媚竹², 蒋玉珍²

(1. 深圳市计量质量检测研究院, 深圳 518100; 2. 华南农业大学食品学院, 广州 510642)

摘 要: **目的** 了解双乙酸钠对唐菖蒲伯克霍尔德氏菌在实验室培养体系及湿米粉培养体系中的生长及产毒的影响。**方法** 以 10 株自湿米粉样品及其大米原料中分离得到的和菌种保藏中心购买的唐菖蒲伯克霍尔德氏菌菌株为研究对象, 接种至添加了不同比例的双乙酸钠的培养基中, 研究其在培养基中生长及产毒情况。**结果** 10 株唐菖蒲伯克霍尔德氏菌在 BHI 肉汤中生长情况一致。双乙酸钠对不同菌株抑制作用一致, 当 BHI 肉汤中双乙酸钠添加量>0.1%时, 10 株唐菖蒲伯克霍尔德氏菌的生长均明显被抑制, 添加量达到 0.2%时, 没有菌生长。在 BHI 半固体培养基及湿米粉培养基中, 双乙酸钠添加量超过 0.1%时, 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌的生长显著减弱甚至被完全抑制, 米酵菌酸的产量也大大减少。**结论** 双乙酸钠能有效抑制唐菖蒲伯克霍尔德氏菌的生长和降低米酵菌酸的产生, 有望成为安全有效且可作用于该菌的防腐剂或复配防腐剂之一, 以行业更容易接受的成本来降低唐菖蒲伯克霍尔德氏菌污染风险。

关键词: 双乙酸钠; 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌; 椰毒假单胞菌; 湿米粉; 米酵菌酸

Effects of sodium diacetate on the growth and bongkreic acid production of *Burkholderia gladioli* in wet rice noodles

HUANG Jing-Min¹, CHEN Jing^{1*}, WU Yan-Hui¹, LI Le-Shi¹, LI Mei-Zhu², JIANG Yu-Zhen²

(1. Shenzhen Academy of Metrology & Quality Inspection, Shenzhen 518100, China;
2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: Objective To understand the effect of sodium diacetate on the growth and toxin production of *Burkholderia gladioli* in fresh wet rice noodles medium. **Methods** A total of 10 *Burkholderia gladioli* strains isolated from wet rice noodles samples and rice raw materials and purchased by the strain preservation center were used as research objects. The strains were inoculated into the medium supplemented with different proportions of sodium diacetate to study the growth and toxin production of the strains in the medium. **Results** The growth of 10

收稿日期: 2025-02-14

基金项目: 深圳市科技计划项目(KCXFZ20211020165404007)

第一作者: 黄静敏(1985—), 女, 主要研究方向为食品微生物。E-mail: 376450925@qq.com

*通信作者: 陈晶(1976—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为食品微生物。E-mail: m18316443750@163.com

strains of *Burkholderia gladioli* in BHI broth was consistent. Sodium diacetate had consistent inhibitory effects on different bacterial strains. When the addition of sodium diacetate in BHI broth was more than 0.1%, the growth of 10 strains of *Burkholderia gladioli* was significantly inhibited, and there was no bacterial growth when the addition reached 0.2%. In BHI semi-solid medium and wet rice noodles medium, when sodium diacetate was added more than 0.1%, the growth of *Burkholderia gladioli* was significantly weakened or even completely inhibited, and the production of bongkrekic acid was also greatly reduced. **Conclusions** Sodium diacetate can effectively inhibit the growth of *Burkholderia gladioli* and reduce the production of bongkrekic acid. It is expected to become a safe and effective preservative or compound preservative that can act on *Burkholderia gladioli*, reducing the risk of contamination by *Burkholderia gladioli* at a more affordable cost in the industry.

KEY WORDS: sodium diacetate; *Burkholderia gladioli*; *Pseudomonas cocovenenans*; wet rice noodles; bongkrekic acid

0 引言

唐菖蒲伯克霍尔德氏菌[椰毒假单胞菌酵米面亚种, *Burkholderia gladioli* (*Pseudomonas cocovenenans* subsp. *Farinofermentans*, BGC)]为革兰氏阴性无芽胞短小杆菌, 兼性厌氧, 在自然界分布广泛, 大多来源于土壤, 可能会随食物原料而污染食品。BGC 不耐高温, 很容易被杀死, 但其代谢产物米酵菌酸(bongkrekic acid, BA)耐热性很强, 120 °C 高温处理 1 h 仍可保持毒性^[1], 可引起食物中毒甚至死亡, 是我国微生物因素食源性疾病的首要死亡原因^[2-5]。

我国 BA 中毒事件之前主要集中在发酵米面制品及其他变质淀粉类制品等食品^[6-8], 主要是家庭自制。然而, 2018 年广东省首次报道了因食用鲜湿米粉类食品引起的 BA 中毒事件^[9-10]。区别于以往的中毒事件, 鲜湿米粉是工厂标准化批量生产的加工食品, 是我国一种产销量巨大的大众食品, 这种风险的严重性引起了社会和监管部门的高度重视。

湿米粉中 BGC 污染溯源研究表明, 其主要传播途径呈现多环节特征: (1)原料污染。稻米等原料在种植、采收过程中接触含菌土壤^[11], 未彻底清洗的原料成为初级污染源^[12-13]; (2)生产污染。加工设备由其是冷却成型车间环境及设施(含风扇、风口)及操作人员交叉接触导致的二次污染; (3)储运增殖。产品在流通环节中室温或较高温度存放(大于 26 °C 持续 4 h)会显著加速菌体繁殖^[14]。湿米粉含水量高与 pH (4.0~8.5)恰好位于 BGC 最适生长区间^[15], 为微生物增殖创造理想基质条件。

鲜湿米粉的品质控制关键在于防止 BGC 的生长, 研究表明, 低温保存可有效抑制 BGC 生长^[16-17]。但目前湿米粉行业已经存在冷链运输和存储难以推广的行业现实, 显示情形中, 由于食品行业冷链物流尚不完善且成本较高, 因此河粉等湿米粉制品的生产经营者更倾向于使用防腐剂以达到常温状态下延长货架期的目的。为解决实际需求, 需寻找可作用于 BGC 的防腐剂, 探索多手段结合的控制

措施, 以行业更容易接受的成本提高风险管控水平, 具有重要的现实意义。

双乙酸钠是一种新型的高效低毒防腐、防霉和保鲜剂, 在食品和饮料等领域广泛应用^[18-19]。双乙酸钠是继富马酸酯类和丙酸盐类之后开发研制和应用的粮食、食品及饲料防霉剂的新品^[20-23]。在欧美和日本等发达国家已得到普遍使用, 世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)已批准双乙酸钠在谷物食品中作防腐保鲜剂使用^[24], 1989 年我国正式批准将其作粮食、食品和饲料等物质的防腐剂、防霉剂和保鲜剂。根据 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》, 双乙酸钠在食品中的最大使用量因食品类别而异。例如, 在原粮中最大使用量为 1.0 g/kg, 粉圆中为 4.0 g/kg, 糕点中为 2.5 g/kg。

本研究以自大米原料和湿米粉样品中分离到的 BGC 为研究对象, 研究双乙酸钠对鲜湿粉在贮藏过程中 BGC 的抑制效果, 以期降低鲜湿粉被 BGC 污染风险提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从大米原料和湿米粉样品中自行分离的 6 株产毒株、2 株非产毒株和 2 株菌株 BGC 标准菌株, 见表 1。

双乙酸钠(化学纯, 天津市大茂化学试剂厂); BHI 营养肉汤(北京陆桥技术有限责任公司); 血平板(郑州安图生物工程股份有限公司); BA 标准品(Lot: 2358211, 500 mg/L 甲醇, 1.2 mL, ANPEL 上海安谱唯世公司); 大米为市购。

1.2 仪器与设备

DENSIMAT 比浊仪(法国梅里埃公司); QUINTIX313-1CN 千分之一电子天平(德国赛多利斯公司); GER IRM 恒温恒湿培养箱、SCIEXTQ4500 液相色谱串联质谱仪(爱尔兰沃特斯中国有限公司)。

表 1 实验用 BGC 菌株信息			
Table 1 Information of BGC strains used in the experiment			
菌株编号	来源	产毒情况	备注
BGC79123	大米	产毒株	自分离, 已测序
BGC83756	湿米粉	产毒株	自分离, 已测序
BGC72074	混合米浆	产毒株	自分离, 已测序
BGC72073	米浆	产毒株	自分离, 已测序
BGC72069	大米	产毒株	自分离, 已测序
BGC15002	米浆	产毒株	自分离, 已测序
BG95947	米浆	非产毒株	自分离, 已测序
BG83139	湿米粉	非产毒株	自分离, 已测序
LMG11626	广东省微生物菌种保藏中心	产毒株	标准菌株
CICC10574	中国工业微生物菌种保藏管理中心	非产毒株	标准菌株

1.3 方 法

1.3.1 菌液制备

取出菌株冻干粉置于 10 mL 营养肉汤中, 36 °C 活化 12 h。再划线到血平板上, 36 °C 培养 24 h。挑取单菌落, 用 5 mL 无菌生理盐水制成菌悬液, 调菌液浓度为 1.0 MCF, 作为接种菌液。

1.3.2 培养基制备

实验液体培养基: 按比例分别在 BHI 肉汤中加入 0.1%、0.2%、0.4%、0.6% 的双乙酸钠, 灭菌备用。

BHI 半固体: 每 100 mL BHI 肉汤中加入 0.5 g 琼脂粉制成。

湿米粉培养基: 大米浸泡磨浆后(1.5 kg 大米/3 kg 水), 按米浆的量分别称取 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 的双乙酸钠, 边搅拌边向培养皿中加入 25 mL 混合米浆, 于蒸锅中蒸煮 10 min, 再置于灭菌锅中 121 °C 灭菌 15 min, 冷却备用。

1.3.3 液体培养

取 1 mL 1.0 MCF(约 10⁷)的菌悬液分别接种至 100 mL BHI 肉汤及添加了不同比例双乙酸钠的实验液体培养基, 37 °C 培养 48 h, 按不同培养时间点取出 300 μL 培养物置于酶标仪上测定菌液的 OD₆₀₀ 值。

1.3.4 半固体培养

取 100 μL 1.0 MCF(约 10⁷)的菌悬液分别涂布到 BHI 半固体培养基及添加了不同比例双乙酸钠的实验半固体培养基(每个平板 25 mL 培养基), 26 °C 培养 5 d, 进行菌落总数及 BA 测定, 菌落总数的测定按照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》进行^[15], BA 的测定按照 GB 5009.189—2023《食品安全国家标准 食品中米酵菌酸的测定》进行^[16]。

1.3.5 湿米粉培养基培养

取 100 μL 1.0 MCF(约 10⁷)的菌悬液分别涂布到湿米

粉培养基及添加了不同比例双乙酸钠的湿米粉培养基, 26 °C 培养 5 d, 取样时间分别为 1、2、3、4、5 d。进行菌落总数及 BA 测定。

1.4 数据处理

数据图片均采用 Excel 2010 进行处理。数据统计采用 SPSS 26 进行, 采用单因素方差分析和广义估计方程进行统计分析, 以校正时间相关性对结果的影响。

2 结果与分析

2.1 不同菌株在 BHI 肉汤中的生长情况

对 6 株分离产毒、2 株非产毒的 BGC 以及 2 株标准菌株进行生长曲线的测定, 结果见图 1。不产毒菌株 CICC10574、BG95947、BG83139 与产毒菌株 LMG11626、BGC79123、BGC72074、BGC72069、BGC15002 在培养 0~4 h 内生长缓慢, 处于生长迟缓期。4~16 h 为生长对数期, 生长迅速。16 h 后进入稳定期并持续到 30 h, 30 h 后逐渐进入衰亡期。不产毒菌株 CICC10574、BG95947、BG83139 与产毒菌株 BGC79123、BGC72074、BGC72069、BGC15002 在生长趋势上无明显差异。但产毒株 BGC83756、BGC72073 4 h 后进入对数期, 一直持续到 24 h, 24~42 h 一直处于稳定期, 42 h 后逐渐进入衰亡期。

通过广义估计方程对不同菌株生长情况进行统计分析, 不同菌株在 BHI 肉汤中生长差异不具有统计学意义 ($P>0.05$)(表 2)。总体而言, 几株产毒株和非产毒株或标准菌株和分离株的生长曲线均符合微生物典型的生长趋势, 虽个别菌株对数生长期持续时间有不同, 稳定期也稍有长短, 但总体生长情况一致。

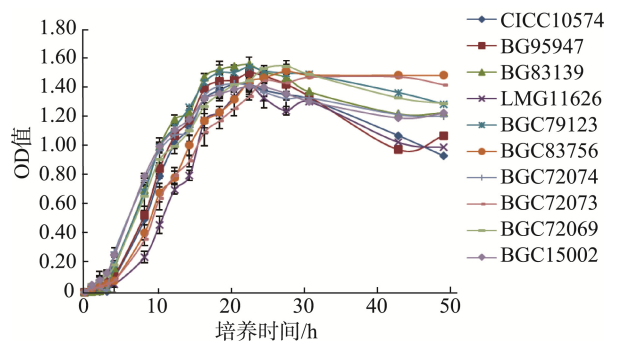


图 1 10 株 BGC 在 BHI 肉汤中的生长曲线图
Fig.1 Growth patterns of 10 strains of BGC in BHI broth

2.2 在添加了不同比例双乙酸钠的实验液体培养基的生长情况

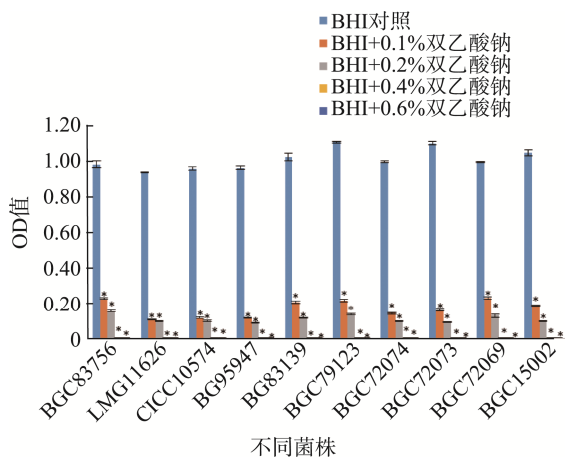
把 6 株分离产毒、2 株非产毒的 BGC 以及 2 株标准菌株接种到添加了不同比例双乙酸钠的实验液体培养基中, 37 °C 培养 48 h, 观察菌株生长情况。

表 2 10 株 BGC 生长情况的广义线性模型结果
Table 2 Results of the generalized estimating equation model for the growth of 10 strains of BGC

参数	斜率	标准误差	95%瓦尔德置信区间		假设检验		
			下限	上限	瓦尔德卡方	自由度	显著性
BG83139	0.209	0.1238	-0.034	0.451	2.843	1	0.092
BG95947	0.139	0.1238	-0.103	0.382	1.268	1	0.260
BGC15002	0.174	0.1238	-0.069	0.416	1.966	1	0.161
BGC72069	0.185	0.1238	-0.058	0.427	2.226	1	0.136
BGC72073	0.087	0.1238	-0.156	0.330	0.493	1	0.483
BGC72074	0.158	0.1238	-0.084	0.401	1.638	1	0.201
BGC79123	0.226	0.1238	-0.017	0.468	3.320	1	0.068
BGC83756	0.124	0.1238	-0.119	0.367	1.004	1	0.316
CICC10574	0.096	0.1238	-0.146	0.339	0.603	1	0.437
LMG11626	0						

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$; 未标注表示无统计学差异。

双乙酸钠对 8 株分离株以及 2 株标准菌株的生长菌均有明显的抑制作用, 如图 2 所示。0.1%添加量时, 10 株 BGC 生长显著减少, OD 值减少 70%以上; 当添加量达到 0.2% 以上时, 10 株 BGC 在 BHI 肉汤中基本都不生长。对双乙酸钠比例和不同菌株两个因素进行检验, 发现双乙酸钠对菌株的抑制作用具有统计学意义($P<0.05$), 而不同菌株对双乙酸钠的响应没有差异, 由此可见, 双乙酸钠可有效抑制 BG 生长, 且对不同菌株抑制作用一致。



注: * $P<0.05$ 。

图 2 10 株 BGC 在添加了不同比例双乙酸钠的 BHI 肉汤中的生长情况

Fig.2 Growth patterns of 10 strains of BGC in BHI broth with varying sodium diacetate concentrations

2.3 BGC 在添加了不同比例双乙酸钠的半固体培养基中的生长情况及 BA 产生情况

由 2.1 和 2.2 结果可见, 无论是产毒株或非产毒株, 还是分离株或标准菌株, 10 株 BGC 在同等培养条件下, 生长

情况没有显著差异, 故选取 1 株分离株 BGC83756 和 1 株标准菌株 LMG11626 接种到添加了不同比例双乙酸钠的半固体培养基中, 26 °C 培养 5 d, 后续观察菌株生长情况及 BA 产生情况。

结果见图 3, 两株菌在 BHI 半固体中均生长良好, 培养后可达到 10^8 CFU/g 以上, BGC83756 可产生 26950 $\mu\text{g/kg}$ 的 BA, LMG11626 BA 的量可达到 30214 $\mu\text{g/kg}$ 。当在半固体培养基中添加 0.1%双乙酸钠时, 两株菌的生长均受到抑制, 菌量减少了两个数量级, 但 BA 的产量显著减少, 仅约 1000 $\mu\text{g/kg}$, 下降了 95%以上, 说明双乙酸钠可有效抑制毒素的产生。当双乙酸钠添加量达到 0.2%时, BGC83756 生长微弱, LMG11626 生长被完全抑制, 此时两株菌均检测不到 BA 的产生。当双乙酸钠添加量达到 0.4%时, BGC83756 和 LMG11626 都没有生长。

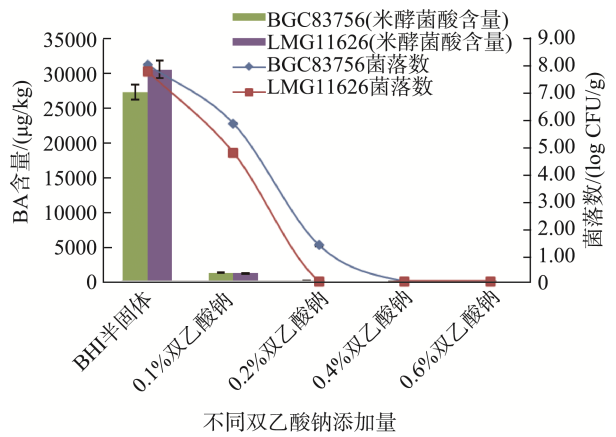


图 3 分离株 BGC83756 和标准菌株 LMG11626 在添加了不同比例双乙酸钠的 BHI 半固体中的生长情况及 BA 产生情况
Fig.3 Growth and BA production patterns of BGC83756 and LMG1162 in BHI semisolids with varying sodium diacetate concentrations

2.4 BGC 在添加了不同比例双乙酸钠的湿米粉培养基中的生长情况及 BA 产生情况

选取分离株 BGC83756 和标准菌株 LMG11626 接种到添加了不同比例双乙酸钠的湿米粉培养基中, 26 °C 培养 5 d, 观察菌株生长情况及 BA 产生情况。由表 3 可见, 未添加双乙酸钠的湿米粉培养基上, BGC 生长良好, 肉眼可见大量菌落, 湿米粉培养基全部变黄, 最终菌落数可达 10⁸ 以上, BA 的浓度均可达 30000 µg/kg 以上。当双乙酸钠添加量大于 0.1% 时, 湿米粉培养基上没有菌落生长, 颜色没有变化, 也没有检测出 BA。

表 3 分离株 BGC83756 和标准菌株 LMG11626 在添加了不同比例双乙酸钠的湿米粉中的生长情况及 BA 产生情况
Table 3 Growth and BA production patterns of BGC83756 and LMG1162 in wet rice noodles with varying sodium diacetate concentrations

样品添加量	菌株			
	BGC83756		LMG11626	
	菌落数 /(CFU/g)	BA 含量 /(µg/kg)	菌落数 /(CFU/g)	BA 含量 /(µg/kg)
湿米粉	3.0×10 ⁸	30533±893	2.6×10 ⁸	45039±920
0.1% 双乙酸钠	<10	ND	<10	ND
0.2% 双乙酸钠	<10	ND	<10	ND
0.3% 双乙酸钠	<10	ND	<10	ND
0.4% 双乙酸钠	<10	ND	<10	ND

注: ND 表示未检出。

3 讨论与结论

鲜湿米粉是以大米为主要原料, 营养丰富, 水分高达 60% 以上, 非常适合微生物生长, 研究表明在常温条件下鲜湿米粉的保质期只有 1~2 d^[25]。本研究结果显示, 10 株 BGC 在同等培养条件下, 生长差异不具统计学意义, 一般 4 h 后就开始快速生长, 12 h 后菌量接近最高值。由前期调查结果可知, 鲜湿米粉从生产, 获得出厂证明, 然后运输到销售或经营者手里, 大概就需要 6~8 h, 要是跨市的话, 时间更长。由此可见, 要是储运条件不当, 湿米粉到达消费者手里时, 已存在较高风险。低温条件下储运对 BGC 生长的抑制作用明显, 但从产品品质角度来说, 企业普遍反应产品冷藏后容易断条, 影响产品品质, 商家会因为冷链的米粉感官变差而拒绝接受产品。因此, 为了延长鲜湿米粉的货架期, 生产企业更偏向于添加一些食品添加剂, 常见的是脱氢乙酸钠。然而关于河源 BA 中毒事件流行病学调研结果表明: 河粉因超范围使用了脱氢乙酸钠, 常温存放超过 3 d 仍无肉眼可见的霉变、无明显酸馊气味, 反而掩盖了河粉已变质的问题^[9]。脱氢乙酸及其钠盐是我国使用较为广泛的防霉剂^[26-27], 但已有研究表明, 脱氢乙酸钠

不能有效抑制 BGC 的生长及 BA 的产生^[16]。2025 年实施的 GB 2760—2024 中规定大米制品及淀粉制品均不能添加脱氢乙酸钠, 但现有调查仍发现广州市河粉等大米制品超范围使用脱氢乙酸及其钠盐的问题十分突出^[28]。可见, 不少生产企业法律意识薄弱或没有充分意识到 BGC 污染的风险, 在没有其他安全有效的保鲜剂可选择的情况下, 仍然选择违规添加脱氢乙酸钠。

双乙酸钠是一种新型的高效低毒防霉、防腐和保鲜剂。GB 2760—2024 中规定双乙酸钠允许使用于原粮、粉圆和糕点等食品。现研究表明其显著的微生物抑制效果: 刘壮等^[29]通过实验探究发现, 双乙酸钠可显著降低鲜湿米粉条霉菌总数, 并有效改善产品外观、色泽及风味特性; 张灿^[30]对马铃薯鲜湿粉条的保鲜研究表明, 双乙酸钠对细菌和霉菌生长均具有显著抑制作用, 且不影响产品感官品质。本研究通过培养基体系实验发现, 当双乙酸钠添加量大于 0.1% 时, 在 37 °C 条件下对 10 株 BGC 的生长有明显的抑制作用, 且各菌株抑制效果呈现高度一致性。在 26 °C 模拟贮藏条件下, 同样有效抑制 BA 毒素的生物合成; 值得注意的是, 在模拟湿米粉基质体系中, 添加量大于 0.1% 双乙酸钠即可完全抑制 BGC 生长, 且 BA 生成量低于检出限。尽管现行国家标准尚未批准双乙酸钠应用于大米制品及淀粉制品(包括湿米粉), 但其对 BGC 菌株及毒素合成的双重抑制作用, 为开发安全高效的鲜湿米粉保质技术提供了理论依据。

然而需要指出的是, 本研究的实验体系基于培养基条件, 而实际湿米粉生产过程中涉及的复杂基质参数(如 pH、水分活度及其他组分)可能对双乙酸钠的抑菌效能产生显著影响。虽然实验数据表明 0.1% 添加量即可实现完全抑制, 但该浓度对产品感官特性(包括质构特性、风味特征等)的影响仍需通过系统评价进行验证。双乙酸钠在湿米粉中的应用需解决两个关键问题: 一是法规限制(当前未获批用于大米制品); 二是添加后对产品品质的影响。未来研究可探索复配防腐剂(如与乳酸钠结合)以降低单一添加量, 或通过工艺优化减少对米粉质构的影响。此外, 推动双乙酸钠在大米制品中的合规性申报是实际应用的前提。

随着食品安全监管体系对 BGC 污染风险防控的持续强化, 以及消费者安全意识的不断提升, 预期将严格规范脱氢乙酸钠等添加剂的非法使用行为。在此背景下, 双乙酸钠凭借其特异性抑制 BGC 及控制 BA 毒素生成的特性, 有望发展成为符合行业成本控制需求的新型防腐解决方案, 为鲜湿米粉安全生产提供技术支撑。

参考文献

[1] FALCONER TM, KERN SE, BRZEZINSKI JL, *et al.* Identification of the potent toxin bongkrekic acid in a traditional African beverage linked to a fatal outbreak [J]. Forensic Science International, 2016: S037907381630

4522. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.10.015
- [2] 韩海红, 寇柏洋, 马洁, 等. 2018 年中国大陆食源性疾病暴发监测资料分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(4): 822–829.
- HAN HH, KOU BY, MA J, *et al.* Analysis of foodborne disease outbreaks in Chinese Mainland in 2018 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(4): 822–829.
- [3] 李红秋, 郭云昌, 宋壮志, 等. 2019 年中国大陆食源性疾病暴发监测资料分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(6): 650–656.
- LI HQ, GUO YC, SONG ZZ, *et al.* Analysis of foodborne disease outbreaks in Chinese Mainland in 2019 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(6): 650–656.
- [4] 李红秋, 贾华云, 赵帅, 等. 2021 年中国大陆食源性疾病暴发监测资料分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(4): 816–821.
- LI HQ, JIA HY, ZHAO S, *et al.* Analysis of foodborne disease outbreaks in Chinese Mainland in 2021 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(4): 816–821.
- [5] 李佳雨, 郭云昌, 李薇薇, 等. 2002—2016 年家庭内食源性疾病暴发事件分析[J]. 现代预防医学, 2018, 45(8): 6.
- LI JY, GUO YC, LI WW, *et al.* Analysis of foodborne disease outbreaks in family in 2002—2016 [J]. Modern Preventive Medicine, 2018, 45(8): 6.
- [6] 唐振柱, 杨文敏, 陈兴乐, 等. 广西 9 起糯米面食物中毒流行病学分析[J]. 广西预防医学, 2003, 9(1): 15–17.
- TANG ZZ, YANG WM, CHEN XL, *et al.* Epidemiological analysis of 9 cases of fermented rice and flour food poisoning in Guangxi [J]. Guangxi Journal of Preventive Medicine, 2003, 9(1): 15–17.
- [7] 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 for an event of *Burkholderia gladioli* (*Pseudomonas cocovenenans* subtype *Farino fermentans*) food poison in Yunnan Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(23): 8098–8101.
- [8] 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 *Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farinofermentans* from rice flour products and starch and its products in Guangdong province in 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(13): 4112–4118.
- [9] LI JH, ZHOU LU, LONG C, *et al.* An investigation of bongkreik acid poisoning caused by consumption of a nonfermented rice noodle product without noticeable signs of spoilage [J]. Journal of Food Protection, 2019, 82(10): 1650–1654.
- [10] 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, 31(4): 5.
- WANG HY, SONG MD, WANG J, *et al.* Identification of the pathogen in rice noodles in relation to food poisoning caused by bongkreik acid in Guangdong Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 31(4): 5.
- [11] 刘秀梅, 杜春明. 椰毒假单胞菌酵米面亚种在自然环境中的污染调查[J]. 中国公共卫生, 1991, 7(4): 3.
- LIU XM, DU CM. Investigation on contamination of rice noodle subspecies by *Pseudomonas cocotidis* in natural environment [J]. Chinese Public Health, 1991, 7(4): 3.
- [12] 陈汉金, 陈荣桥, 朱文信, 等. 湿粉生产中浸洗米工艺去除椰毒假单胞菌酵米面亚种污染分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 6.
- CHEN HJ, CHEN RQ, ZHU WX, *et al.* Using rice soaking and rinsing to remove *Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farinofermentans* during wet flour production [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 6.
- [13] 陈荣桥, 陈汉金, 洗燕萍, 等. 基于全基因组序列的污染事件中椰毒假单胞菌酵米面亚种溯源分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(9): 3854–3859.
- CHEN RQ, CHEN HJ, XIAN YP, *et al.* Traceability analysis of *Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farinofermentans* in pollution event based on whole genome sequence [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(9): 3854–3859.
- [14] 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. *farinofermentans* cultured in wet rice noodle and its raw materials [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 320–327.
- [15] 李兵, 叶青华, 赵美平, 等. 唐菖蒲伯克霍尔德氏菌椰毒致病变种污染调查及其生长与产毒特性分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(10): 283–289.
- LI B, YE QH, ZHAO MP, *et al.* Contamination of *Burkholderia gladioli* pathovar *cocovenenans* in retail foods and its growth and toxicity characteristics [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 283–289.
- [16] 陈子慧, 王海燕, 陈少威, 等. 1 株唐菖蒲伯克霍尔德氏菌在湿米粉中的产毒规律分析[J]. 中国食品学报, 2023, 23(12): 70–76.
- CHEN ZH, WANG HY, CHEN SW, *et al.* Analysis of the toxic production of *Burkholderia gladioli* in wet rice flour culture medium [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(12): 70–76.
- [17] 严琼英, 李乐诗, 孙钰涵, 等. 1 株椰毒假单胞菌酵米面亚种在湿米粉基质中的产毒情况和酸度分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(6): 164–168.
- YAN QY, LI LS, SUN YH, *et al.* Analysis of virulence and acidity of a fermented rice noodling subspecies of *Pseudomonas cocovenenans* in wet rice flour matrix [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2002, 38(6): 1–7.
- [18] 钟国清. 双乙酸钠的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2006, 27(3): 39–43.
- ZHONG GQ. Research progress on the application of sodium diacetate [J]. Feed Industry, 2006, 27(3): 39–43.
- [19] 陈阳, 钟国清. 防霉剂双乙酸钠的合成研究进展[J]. 食品科技, 2010(5):

- 277–280.
- CHEN Y, ZHONG GQ. Progress in synthesis of sodium diacetate for mildew preventive agent [J]. Food Science and Technology, 2010(5): 277–280.
- [20] 游天福. 酱牛肉复配防腐剂的研制[J]. 现代食品, 2022(9): 28.
- YOU TF. Study on compound preservatives of sauce beef [J]. Modern Food, 2022(9): 28.
- [21] 李洋. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐和双乙酸钠对羊肉品质的控制机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2024.
- LI Y. Studies on the control mechanism of ϵ -poly-L-lysine • HCl and sodium diacetate on the quality of mutton [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2024.
- [22] 王子苑, 舒健虹, 陈光吉, 等. 添加双乙酸钠对发酵全混合日粮发酵品质和霉菌毒素含量的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(12): 5958–5966.
- WANG ZY, SHU JH, CHEN GJ, *et al.* Effects of adding sodium diacetate on fermentation quality and mycotoxin content of fermented total mixed ration [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(12): 5958–5966.
- [23] 张树银, 郭廷, 楚慧灵. 乳酸钠和双乙酸钠对熟火腿的抑菌作用和感官品质的影响[J]. 河南化工, 2021, 38(4): 35–38.
- ZHANG SY, GUO T, CHU HL. Effects of sodium lactate and sodium diacetate on the bacteriostasis and sensory quality of cooked ham [J]. Henan Chemical Industry, 2021, 38(4): 35–38.
- [24] 贺普霄. 新一代防腐保健剂——双乙酸钠[J]. 农友, 2002(2): 1.
- HE PX. A new generation of antimold health agent-Sodium diacetate [J]. Nongyou, 2002(2): 1.
- [25] 柳鑫, 文丽, 李莎, 等. 湿米粉中菌相分析与微生物生长预测模型的建立[J]. 中国酿造, 2013, 32(1): 65–70.
- LIU X, WEN L, LI S, *et al.* Analysis of main microflora and development of predictive models of microbe in wet rice noodle [J]. China Brewing, 2013, 32(1): 65–70.
- [26] 雷伟伟, 刘浩, 谢佳玉, 等. 饲料防腐剂脱氢乙酸钠对肉鸡安全性研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2017, 38(4): 46–49.
- LEI WW, LIU H, XIE JY, *et al.* Study on the safety of sodium dehydroacetate used as feed fungicide for broilers [J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2017, 38(4): 46–49.
- [27] 祝团结, 何松, 段慧琴. 微胶囊脱氢乙酸钠在面包生产中的应用[J]. 现代食品科技, 2011, 27(6): 687–690.
- ZHU TJ, HE S, DUAN HQ. Application of microcapsule sodium dehydroacetate in bread products [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(6): 687–690.
- [28] 张维蔚, 刘于飞, 梁伯衡, 等. 广州市米粉制品超范围使用脱氢乙酸情况调查及居民暴露水平分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(18): 2293–2295, 2298.
- ZHANG WW, LIU YF, LIANG BH, *et al.* Investigation on excessive use of dehydroacetic acid in rice flour products and analysis of residents' exposure level in Guangzhou [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2018, 28(18): 2293–2295, 2298.
- [29] 刘壮, 凌彬, 谢子江, 等. 双乙酸钠对鲜湿米粉条保鲜和品质的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(7): 5.
- LIU Z, LING B, XIE ZJ, *et al.* Preservation and quality variation of fresh rice noodle by sodium diacetate [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(7): 5.
- [30] 张灿. 无明矾马铃薯鲜湿粉条的研制及其保鲜研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
- ZHANG C. Research on the preparation and preservation of alum-free potato fresh vermicelli [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010.
- (责任编辑: 蔡世佳 于梦娇)