DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260212001
引用格式: 寇力丹, 朱梦, 李欣妍, 等. 香露兜粉中细菌多样性及阪崎克罗诺杆菌耐药性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(16): 296–303.
Kou Lidan, Zhu Meng, Li Xinyan, et al. Analysis of bacterial diversity and antimicrobial resistance of *Cronobacter sakazakii* in *Pandan amaryllifolius* powder [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(16): 296–303. (in Chinese with English abstract).

香露兜粉中细菌多样性及阪崎克罗诺杆菌耐药性分析

寇力丹, 朱　梦, 李欣妍, 林　敏, 吴芳梅, 谢作蓉*

[海南省检验检测研究院, 国家市场监督管理总局重点实验室(热带果蔬质量与安全), 海口　570311]

摘　要: 目的　探究香露兜粉中细菌多样性, 并分析阪崎克罗诺杆菌污染情况和耐药性。**方法**　从某电商平台收集 6 份不同品牌的香露兜粉, 通过 16S rDNA 高通量测序技术进行细菌多样性分析, 再按照 GB 4789.40—2024《食品安全国家标准 食品微生物学检验 克罗诺杆菌检验》检测阪崎克罗诺杆菌, 并分析其药物敏感性。**结果**　香露兜粉的优势细菌门分别为厚壁菌门、变形菌门、蓝藻, 优势细菌属为肠杆菌属、魏斯氏菌属、梭状芽胞杆菌属。共有 2 份样品检测出 3 株阪崎克罗诺杆菌, 药敏结果显示这 3 株阪崎克罗诺杆菌对 *β*-内酰胺类(除厄他培南外)、硝基呋喃类抗生素均不敏感。**结论**　香露兜粉中的细菌种群较为丰富, 有较多的肠杆菌属, 检出食源性致病菌阪崎克罗诺杆菌, 且为多重耐药菌, 易感人群应谨慎食用。

关键词: 香露兜粉; 细菌多样性; 阪崎克罗诺杆菌; 耐药性
中图分类号: TS207.4　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)16–0296–08

Analysis of bacterial diversity and antimicrobial resistance of *Cronobacter sakazakii* in *Pandan amaryllifolius* powder

KOU Li-Dan, ZHU Meng, LI Xin-Yan, LIN Min, WU Fang-Mei, XIE Zuo-Rong*

(*Hainan Academy of Inspection and Testing*, *Key Laboratory of Tropical Fruits and Vegetables Quality and Safety*, *State Administration for Market Regulation*, *Haikou* 570311, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the bacterial diversity in *Pandanus amaryllifolius* powder and analyze the contamination status and antimicrobial resistance of *Cronobacter sakazakii*. **Methods**　The 6 samples of *Pandanus amaryllifolius* powder from different brands were collected from an e-commerce platform. High-throughput 16S rDNA sequencing technology was used to analyze the bacterial diversity. *Cronobacter sakazakii* was detected in accordance with GB 4789.40—2024 *National food safety standard-Food microbiological examination-Cronobacter spp.*, and its antimicrobial susceptibility was analyzed. **Results**　The dominant bacterial phyla in *Pandanus amaryllifolius* powder were Firmicutes, Proteobacteria and Cyanobacteria. The dominant bacterial genera were *Enterobacter*, *Weissella* and

收稿日期: 2026-02-12
基金项目: 国家市场监督管理总局重点实验室(热带果蔬质量与安全)项目(ZZ-2024003)
第一作者: 寇力丹(1994—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品微生物与分子生物学检测。E-mail: 1424802928@qq.com
***通信作者:** 谢作蓉(1984—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品微生物与分子生物学检测。E-mail: 15208940836@163.com

Clostridium. The 3 strains of *Cronobacter sakazakii* were isolated from 2 samples. The antimicrobial susceptibility results showed that these three strains were not sensitive to *β*-lactam antibiotics (except ertapenem) and nitrofuran antibiotics. **Conclusion** The bacterial flora in *Pandanus amaryllifolius* powder is relatively abundant with a high content of *Enterobacter*. The foodborne pathogenic bacterium *Cronobacter sakazakii* is isolated from the powder and the 3 strains exhibit multidrug resistance. Therefore, vulnerable populations should consume it with caution.

KEY WORDS: *Pandanus amaryllifolius* powder; bacterial diversity; *Cronobacter sakazakii*; antimicrobial resistance

0　引　言

香露兜(*Pandanus amaryllifolius*)是一种生长在热带地区的食用香料, 具备特殊清香气味, 其关键特征香气物质是 2-乙酰-1-吡咯啉。香露兜又被称为斑兰叶、斑斓叶、香兰叶、板兰叶、碧血树[1], 其营养丰富, 还含有多种挥发性成分和生物活性物质[2−3], 具有广阔的市场前景。研究显示, 富含总黄酮和总酚酸的香露兜水提取物可改善代谢综合征, 因此可作为膳食补充剂, 改善肥胖[4]; 香露兜叶提取物可刺激胰岛素分泌, 抑制 *α*-糖苷酶酶活性, 降低餐后血糖, 具备抗高血糖的能力[5]; 香露兜叶提取物具有抗变形链球菌[6]、大肠杆菌[7]等抑菌活性, 可作为天然抗菌剂添加在日化产品中。近年来, 依托得天独厚的光热资源与生态优势, 香露兜在海南全省的种植面积已超过 4 万亩, 成为海南特色农业的新名片。2022 年海南省将香露兜作为地方特色食品管理, 还将其纳入海南省级林下经济高质量发展规划, 香兜露成为助力乡村振兴、实现农民增收的地方支柱产业。目前市场上最常见的香露兜类商品为香露兜叶粉, 将鲜叶或提取物干燥成粉末可打破产地限制, 扩大市场范围, 提高产品附加值, 且粉末易运输、耐储存, 易作为原料添加在各类产品中。香露兜叶粉主要用于制作糕点类食品, 如蛋糕、面包、粽子、月饼、米糕等, 可以增加食物天然色泽和特殊清香, 加上其具有改善代谢和抑制细菌的作用, 符合现代人健康生活理念, 因此在市场上颇受欢迎, 但多为小作坊生产, 生产方式简单、落后, 消毒杀菌不彻底, 再加上海南气候高温高湿, 有利于微生物繁殖, 容易在种植、收割、运输、加工、包装、储存各个环节引入环境中的微生物, 因此香露兜叶粉存在致病微生物污染风险。

食源性致病菌在日常检测过程中主要依赖食品安全国家标准方法进行培养、鉴定, 该方法针对性较强, 通常一个标准只能检出一种致病菌, 若同时检测多种食源性致病菌则需要大量的样本、时间和人力, 而高通量测序技术只需要少量(通常为 1.0 g)的样本即可检测出样本中微生物的有效 DNA 片段, 准确识别潜在致病微生物, 是一种准确、快速检测致病微生物的方法。该技术目前广泛应用于疾病诊断[8−9]、农业育种[10]和食品质量检测[11], 对精准医疗、分子标记辅助育种、食品掺杂掺假与致病微生物监测有重要意义。钟壹鸣等[12]利用高通量测序技术明确了槟榔间作香露兜对土壤细菌群落结构和多样性的影响, Alvarez-Quinto 等[13]则通过该技术在花叶和褪绿的香露兜叶片上获得了一种新型环状 DNA 病毒的完整基因组序列, 但目前利用高通量测序技术分析香露兜粉中的细菌多样性的研究较少, 而本研究将利用此技术探究香露兜粉中的细菌多样性及潜在的食源性致病菌, 为风险防控提供数据支撑。

本研究采用高通量测序技术分析香露兜粉中细菌多样性, 再根据测序结果按照 GB 4789.40—2024《食品安全国家标准 食品微生物学检验 克罗诺杆菌检验》检测阪崎克罗诺杆菌, 分析其药物敏感性, 为生产者、消费者、监管者提供基础数据和理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

从电商平台采购的 6 批次香露兜粉。其中 3 批次的产地为海南省, 3 批次为江苏省; 生产日期为 2024 年 5 月或 6 月, 实验时均在有效期内。购买后样品均密封保存在阴凉、干燥处。

缓冲蛋白胨水、改良月桂基硫酸盐胰蛋白胨肉汤-万古霉素、克罗诺杆菌显色培养基、胰蛋白胨大豆琼脂、无菌生理盐水(广东环凯微生物科技有限公司); FastPure 土壤 DNA 提取试剂盒(上海美吉逾华生物医药科技有限公司); 琼脂糖凝胶、DNA Marker[宝生物工程(大连)有限公司]; VITEK 2 GN 鉴定卡、VITEK GN-13 药敏卡(法国 bioMérieux 公司)。

1.2　仪器与设备

BSA6202S 电子天平(精度 0.01 g, 德国 Sartorius 公司); BioPhotometer D30 核酸蛋白分析仪(德国 Eppendorf 公司); BSC-1600 II A2 生物安全柜(苏州安泰空气技术有限公司); LRH-250F 生化培养箱(上海一恒科学仪器有限公司); HVE-85 高压灭菌锅(日本 HIRAYAMA 公司); BagMixer 400CC 拍击式均质器(法国 Interscience 公司); VITEK 2 Compact 全自动微生物鉴定和药敏系统(法国 bioMérieux 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 香露兜粉细菌多样性分析

用 75%酒精擦拭香露兜粉外包装，后在紫外下照射 30 min。用无菌剪刀剪开包装，将包装内粉末充分混合均匀，取 1.0 g 上述混匀后的样品，每批次 3 个重复。按照 FastPure 土壤 DNA 提取试剂盒说明书提取香露兜粉中细菌总 DNA，并测定浓度和纯度。以之为模板，使用引物 338F (5'-ACTCCTACGGGAGGCAGCAG-3') 和 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3')对 16S rDNA 进行扩增。反应条件如下: 95 ℃预变性 3 min, 30 个循环(95 ℃变性 30 s, 55 ℃退火 30 s, 72 ℃延伸 45 s), 72 ℃延伸 10 min。将 16S rDNA 扩增产物送至上海美吉生物医药科技有限公司测序，在美吉生物生信平台(网址 https://analysis.majorbio.com/)对检测数据进行处理和分析，分组样本计算时用均值表示，结果按丰度排序，排序时在门水平上选择前 3、在属水平上选择前 10，丰度较低和无法分类的物种归为 others。

1.3.2 克罗诺杆菌检测与耐药性分析

参照 GB 4789.40—2024 检测香露兜粉中克罗诺杆菌。取样品 100 g 置于 900 mL 缓冲蛋白胨水中, 36 ℃培养 18 h; 再取 1 mL 前增菌液置于 10 mL 改良月桂基硫酸盐胰蛋白胨肉汤-万古霉素肉汤中, 42 ℃培养 24 h; 取增菌液划线接种于克罗诺杆菌显色培养基平板, 36 ℃培养 24 h; 挑取可疑菌落划线接种于胰蛋白胨大豆平板, 36 ℃培养 24 h; 挑取菌落置于无菌生理盐水，配制成 0.5 麦氏浊度的菌悬液，再用 VITEK 2 Compact 全自动微生物鉴定系统鉴定。按照革兰氏阴性菌药敏卡片(AST-GN13 卡)说明书对鉴定为阪崎克罗诺杆菌的菌株进行药敏试验，根据美国临床和实验室标准协会(Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI)发布的药物敏感试验标准判定。

1.4 数据处理

使用 WPS Excel 2007 进行数据分析，表格由 WPS Office 2023 制作，图片由美吉生物生信平台自动生成。

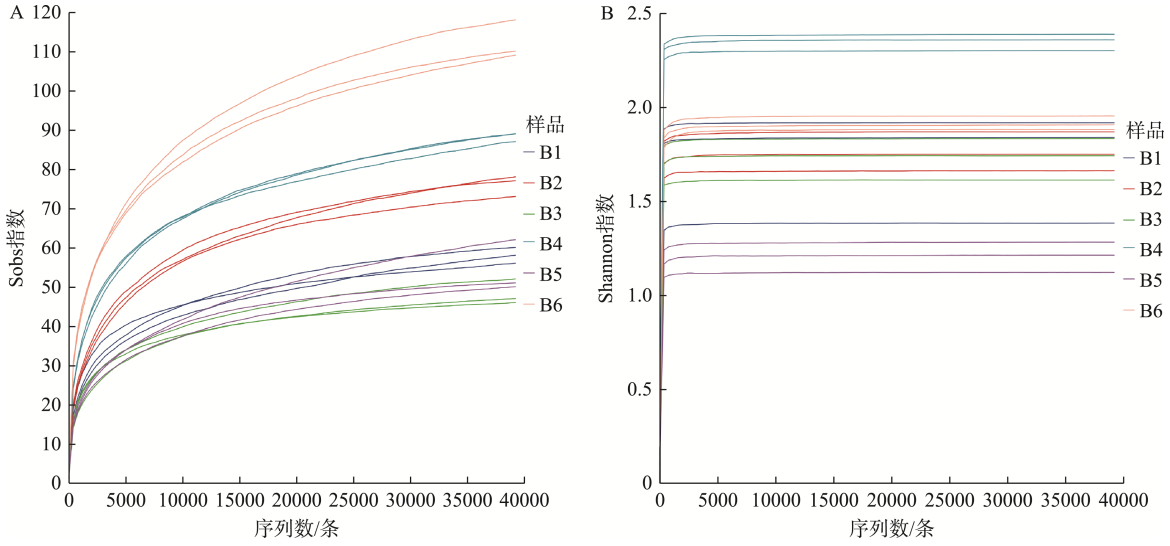
2 结果与分析

2.1 稀释性曲线

稀释性曲线可反映样品的测序深度，由随机抽取的序列数与其所能代表各分类学水平的数目构建而成。当曲线趋向平坦时，说明测序数据量合理，足以反映样本中绝大多数的微生物多样性信息，可满足后续实验分析需求。6 份香露兜粉样品的稀释性曲线见图 1。Sobs 指数用来表示实际观测到的物种数量(图 1A)，反映群落物种丰富度，值越高代表物种越丰富；Shannon 指数代表物种多样性(图 1B)，值越高代表多样性越高。随着序列数量的增加，曲线快速上升后趋向平坦，说明本研究中样品产生的数据量足够大，可用于下一步分析。

2.2 α 多样性分析

6 份香露兜粉样品通过高通量测序共获得 980310 条优化序列，对所得序列进行聚类转化，共得到 1316 个细菌 OTU。多样性分析结果见表 1，Sobs、Ace、Chao1 指数反映群落丰富度，Shannon 指数反映群落多样性，Pielou_e 指数反映群落均匀度, coverage 指数反映群落覆盖度。由表 1 可知，样品 B6 的 Sobs、Ace、Chao1 指数最大，其细菌群落最为丰富；样品 B4 的 Shannon 指数最大，其物种多样性最高；样品 B4 的 Pielou_e 指数最大，其物种个体数量分布更均匀；所有样品的 coverage 指数为 1.00±0.00，说明各样品中的物种均被检测到，实现了完整覆盖。



注: A. Sobs 指数; B. Shannon 指数

图 1 稀释性曲线

Fig.1 Rarefaction curve

表 1　6 份香露兜粉样品细菌菌群 α 多样性分析结果(n=3)

Table 1　α-diversity analysis results of bacterial flora in 6 *Pandanus amaryllifolius* powder samples (n=3)

样品	Sobs	Ace	Chao1	Shannon	Pielou_e	coverage
B1	58.00±2.00	66.26±3.66	64.25±1.75	1.71±0.29	0.42±0.07	1.00±0.00
B2	76.00±2.65	84.80±7.29	81.91±3.67	1.76±0.10	0.41±0.02	1.00±0.00
B3	48.33±3.21	52.56±4.81	54.53±6.19	1.73±0.11	0.45±0.02	1.00±0.00
B4	88.33±1.15	100.89±1.50	100.18±6.17	2.35±0.04	0.52±0.01	1.00±0.00
B5	54.33±6.66	69.13±25.50	61.62±13.44	1.21±0.08	0.30±0.02	1.00±0.00
B6	112.33±4.93	123.42±5.82	120.06±4.93	1.91±0.04	0.41±0.00	1.00±0.00

2.3　门水平上的细菌群落多样性分析

从门水平上看，6 份样品中均含有较高比例的厚壁菌门(Phylum Firmicutes)、变形菌门(Proteobacteria)、蓝藻(Cyanobacteria)，其相对丰度见图 2。厚壁菌门在 B5 中占比最高(87.78%)，在 B1 中占比最低(31.15%)；变形菌门在 B2 中占比最高(61.58%)，在 B5 中占比最低(3.35%)；蓝藻在 B3 中占比最高(16.76%)，在 B6 中占比最低(1.12%)。本研究中的 6 份香露兜粉样品中的优势菌群组成较为一致，在门水平上的相对丰度有差别，说明香露兜在生长、加工、储存过程中的细菌污染种类差别不大。

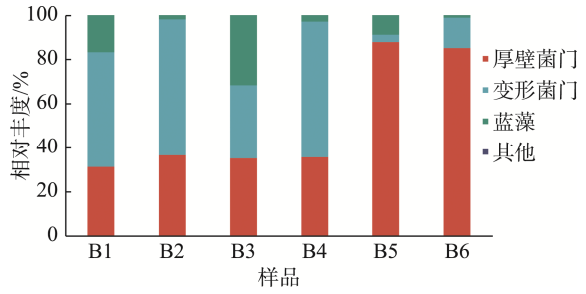


图 2　基于门水平上的相对丰度

Fig.2　Relative abundance at the phylum level

厚壁菌门细菌细胞壁含胞壁酸的肽聚糖含量高，能够抵抗脱水并在极端环境下存活，如低水分活度的羊奶粉[14]、手撕牛肉[15]以及发酵食品[16]，厚壁菌门细菌所占比例均较高。变形菌门是革兰氏阴性菌，形状极为多样，是人体肠道的主要菌群之一。变形菌门细菌既能维持肠道微生态平衡，也可能在过度增殖或失调时导致肠道炎症、代谢紊乱、感染性疾病以及免疫和神经系统疾病[17−18]。蓝藻又称为蓝细菌，含叶绿素 a，可进行产氧性光合作用，主要存在于淡水中，也可附生生长在亚热带植物上，还可存在于海洋、湖泊、岩石、动物皮毛里[19]，曾在生榨米粉[20]中被检测出。

2.4　属水平上的细菌群落多样性分析

从图 3 中可以看出，菌属丰度靠前的为肠杆菌属(*Enterobacter*)、魏斯氏菌属(*Weissella*)、梭状芽胞杆菌属(*Clostridium_sensu_stricto_1*)、未被明确分类的叶绿体相关序列(*norank_o__Chloroplast*)、片球菌属(*Pediococcus*)、明串珠菌属(*Leuconostoc*)、乳球菌属(*Lactococcus*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、乳酸杆菌属(*Lactobacillus*)、肠球菌属(*Enterococcus*)。魏斯氏菌属、片球菌属、明串珠菌属、乳球菌属、乳酸杆菌属、肠球菌属等细菌能发酵糖类物质产生乳酸，因此均为乳酸菌。肠杆菌属在 6 个样品中均被检测到，其相对丰度在 2.63%~59.36%，在样品 B2 中最高，B5 中最低。乳酸菌也在 6 个样品中被检测到，其相对丰度为 0.45%~87.42%，在样品 B5 中最高，B6 中最低。梭状芽胞杆菌属只存在于样品 B6 中，相对丰度为 64.33%。未被明确分类的叶绿体相关序列同样存在于 6 个样品中，相对丰度在 1.12%~31.78%，在样品 B3 中最高，B6 中最低。芽孢杆菌属存在于 B2、B4、B6 3 个样品中，相对丰度在 0.10%~13.28%，在样品 B6 中最高，B4 中最低。

肠杆菌属普遍存在于自然环境中，属条件致病菌，可引起泌尿道、呼吸道、创口等多种感染，较为常见的是阴沟肠杆菌(*Enterobacter cloacae*)、产气肠杆菌(*Enterobacter aerogenes*)和克罗诺杆菌(*Enterobacter sakazakii*)。乳酸菌分布于动植物的体表和体内，常用于饲料生产、水产养殖、植物病害防治、食品加工与保鲜、有毒有害物质的清除等[21]；有研究表明[20]，香露兜叶被乳酸菌发酵后可以增加总酚、黄酮类化合物含量，增强抗氧化活性，还会产生新的化合物[22]。梭状芽胞杆菌是产芽胞型细菌，对环境抗性较强，可长期生存，少部分对人体致病，李颖等[23]研究发现我国婴儿配方乳粉和喂养环境中梭状芽胞杆菌的污染水平达 30.3%。芽孢杆菌属细菌广泛存在于自然界，能利用多种有机物，抗逆性强，在 71.4%的墨西哥辣椒粉样品中其相对丰度高达 99%[24]，在 95%的泰国香露兜叶粉中检出蜡样芽孢杆菌[25]。未被明确分类的叶绿体相关序列表示在现行分类规则中未被明确分类的微生物类群，可能与植物或藻类的叶绿体有关。可见，香露兜粉中的微生物污染主要来源于自然环境，大多为抗逆性强的菌属，这与其基质属性有关。乳酸菌可能参与生成、调节香露兜的挥发性物质和生物活性功能。香露兜生长环境温暖湿润，蓝藻极易生长，因此当香露兜叶未被充分洗净时，蓝藻就会带入到香露兜粉中。

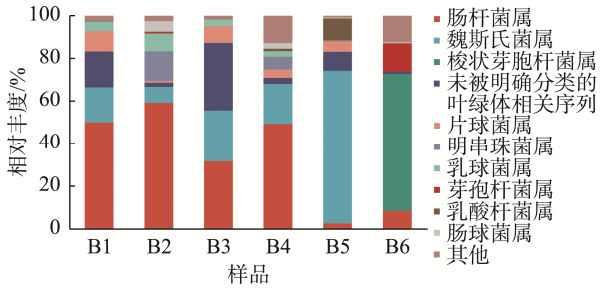


图 3 基于属水平上的相对丰度

Fig.3 Relative abundance at the genus level

2.5 阪崎克罗诺杆菌的药物敏感性结果分析

根据高通量测序结果，6 份香露兜粉中均检测到肠杆菌属，克罗诺杆菌作为肠杆菌属中一种重要的食源性致病菌，其耐热、耐干燥，具有较强的环境适应性，可以长时间存活在香露兜粉中，给消费者埋下安全隐患，因此选择克罗诺杆菌进行活菌检测和药敏鉴定。按照 GB 4789.40—2024 对 6 份样品进行增菌后分离，有 2 份样品检出阪崎克罗诺杆菌，检出率为 33.33% (2/6)，其中 B4 检出 1 株，B5 检出 2 株，分别命名为 *Cro*-1、2、3。阪崎克罗诺杆菌在克罗诺杆菌显色培养基上呈湿润、圆形、蓝-绿色菌落，见图 4；其全自动微生物鉴定结果见表 2。3 株克罗诺杆菌的药物敏感性结果如表 3 所示。

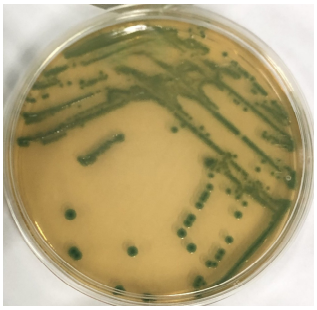


图 4 阪崎克罗诺杆菌在克罗诺杆菌显色培养基上的典型特征图

Fig.4 Typical morphological characteristics of *Cronobacter sakazakii* on *Cronobacter* chromogenic medium

药敏结果显示，3 株菌对测试中的多数 *β*-内酰胺类药物耐药或中介，仅对厄他培南敏感。*Cro*-1、2 对氨基糖苷类药物呈中介，而 *Cro*-3 对阿米卡星耐药、对妥布霉素敏感。3 株菌对喹诺酮类药物环丙沙星、左氧氟沙星均表现出敏感，说明喹诺酮类药物可能成为治疗克罗诺杆菌感染的备选药物。*Cro*-1、2、3 对硝基呋喃类药物呋喃妥因均表现耐药。*Cro*-1 对磺胺类药物复方新诺明耐药，而 *Cro*-2、3 则表现敏感。以上结果表明，来源于香露兜粉中的 3 株阪崎克罗诺杆菌均为多重耐药菌，与近年来克罗诺杆菌耐药性逐渐增强、多重耐药菌频繁出现的趋势相符。

表 2 阪崎克罗诺杆菌在全自动微生物鉴定系统中的生化结果

Table 2 Biochemical results of *Cronobacter sakazakii* by the automated microbial identification system

序号	项目	结果	序号	项目	结果
1	丙氨酸-苯丙氨酸-脯氨酸芳胺酶	–	25	侧金盏花醇	–
2	硫化氢产生	–	26	*β*-N-乙酰葡萄糖苷酶	+
3	*β*-葡萄糖苷酶	–	27	*D*-麦芽糖	+
4	*L*-脯氨酸芳胺酶	–	28	脂酶	+
5	蔗糖	+	29	*D*-塔格糖	–
6	乳酸盐产碱	–	30	*α*-葡萄糖	+
7	氨基乙酸芳胺酶	–	31	鸟氨酸脱羧酶	+
8	O/129 耐受	+	32	谷氨酸-甘氨酸-精氨酸芳胺酶	–
9	吡咯烷基芳胺酶	–	33	*L*-阿拉伯醇	–
10	谷氨酰芳胺酶	–	34	*D*-葡萄糖	+
11	*D*-甘露醇	+	35	*D*-甘露糖	+
12	古老糖	+	36	酪氨酸芳胺酶	–
13	*D*-海藻糖	+	37	柠檬酸盐(钠)	–
14	琥珀酸盐产碱	–	38	N-乙酰-酰-*β*-半乳糖氨酶	–
15	赖氨酸脱羧酶	–	39	组氨酸同化	–
16	*L*-苹果酸盐同化	–	40	5,5'-二硫双-2-硝基苯甲酸	+
17	*D*-纤维二糖	+	41	*B*-半乳糖苷酶	+
18	*γ*-谷氨酰转移酶	–	42	葡萄糖发酵	+
19	*β*-木糖苷酶	+	43	*β*-丙氨酸芳胺酶	–
20	尿素酶	–	44	*D*-山梨醇	–
21	丙二酸盐	–	45	5-酮-葡萄糖苷	–
22	*α*-半乳糖苷酶	+	46	磷酸酶	–
23	香豆酸盐利用试验	–	47	*β*-葡萄糖苷酸酶	–
24	*L*-乳酸盐同化	–	48	脱羧酶阴性对照	nd

注：+ 代表生化反应阳性，– 代表生化反应阴性。nd 表示无相关数据。

来源于辽宁省婴幼儿食品中的 58 株阪崎克罗诺杆菌

对头孢菌素类抗生素头孢唑啉、头孢噻肟、头孢西丁的耐药率均超过 8.62%, 对氨卡西林、头孢他啶、亚胺培南、四环素、庆大霉素、阿奇霉素和环丙沙星 100%敏感[26]; 来源于台州市售婴幼儿谷类辅助食品中的 41 株克罗诺杆菌仅对对头孢菌素类药物头孢唑啉、硝基呋喃类药物呋喃妥因存在不同程度的耐药性, 其敏感率仅为 48.8%和 39.0%, 对药敏板 AST-GN13 上的其余 16 种抗生素均敏感[27]; 来源于淮安市售婴幼儿食品中的 10 株克罗诺杆菌对阿米卡星、庆大霉素、亚胺培南、美罗培南、阿莫西林克拉维酸盐、氨苄青霉素-舒巴坦、哌拉西林-他佐巴坦钠、头孢他啶、头孢噻肟、头孢吡肟、氨曲南、氨苄青霉素、哌拉西林、粘菌素、复方新诺明、环丙沙星、左氧氟沙星、莫西沙星、四环素敏感率为 100.00%, 对头孢唑林敏感率为 80.00%, 对氯霉素敏感率为 90.00%, 即对大部分抗生素敏感[28]。上述 3 项研究与香露兜粉中 3 株阪崎克罗诺杆菌对头孢菌素类药物 100%耐药或中介、仅对厄他培南和环丙沙星 100%敏感差别较大。梁安莉等[29]用 9 种抗生素检测来源于广西区内婴幼儿米粉的克罗诺杆菌的药物敏感性, 发现该 32 株菌仅对环丙沙星 100%敏感, 这与本研究较为一致。来源于不同环境中的阪崎克罗诺杆菌, 其耐药性不尽相同, 婴幼儿食品大多原料单一、基质简单, 加工过程热处理强, 导致大部分细菌被杀死, 存活下来的菌更加脆弱或处于受损状态, 其对抗生素更加敏感; 而婴幼儿米粉中常常加入果蔬粉, 在增加蛋白质、维生素等其他营养成分的同时, 也可能会带来细菌污染, 而为了保持米粉的口感和营养, 未经高温杀菌, 其加工方式和过程也相对简单, 容易造成耐药菌株反复污染, 因而耐药性更强; 香露兜粉的种植环境高温湿润, 有利于微生物定殖在植株上, 且粉末加工工序少、强度低, 加工胁迫较小, 再加上香露兜本就有抗菌作用, 经过多重筛选, 更容易出现耐药菌株。由此需加强阪崎克罗诺杆菌的耐药性监测, 针对不同来源的菌株选择不同的抗生素, 避免抗生素滥用, 对有症状的患者开展针对性治疗。

表 3　3 株阪崎克罗诺杆菌的药物敏感性试验

Table 3　Drug susceptibility test of 3 strains of *Cronobacter sakazakii*

分类	亚类	抗生素名称	药物敏感性结果		
			Cro-1	*Cro*-2	*Cro*-3
β-内酰胺类	青霉素类	氨苄西林	R	R	R
		氨苄西林/舒巴坦	R	R	R
		哌拉西林/他唑巴坦	R	R	R
	头孢菌素类	头孢唑啉	R	R	R
		头孢替坦	I	I	I
		头孢他啶	R	R	I
		头孢曲松	I	I	I
		头孢吡肟	I	I	I
	单环*β*-内酰胺类	氨曲南	R	R	R
	碳青霉烯类	厄他培南	S	S	S
		亚胺培南	I	I	I
氨基糖苷类		阿米卡星	I	I	R
		庆大霉素	I	I	I
		妥布霉素	I	I	S
喹诺酮类		环丙沙星	S	S	S
		左氧氟沙星	S	S	S
硝基呋喃类		呋喃妥因	R	R	R
磺胺类		复方新诺明	R	S	S

注: S 代表敏感, R 代表耐药, I 代表中介。

3　讨论与结论

分析网络市售香露兜粉中微生物多样性可知, 其主要存在肠杆菌属、乳酸菌、梭状芽胞属与芽孢杆菌属污染, 以上菌属大多来自于自然界中, 说明其生产过程应更注重卫生, 用清水彻底清洗香露兜叶表面的杂质, 减少菌体及绿藻附着; 分层晾晒, 保持通风干燥环境, 抑制细菌繁殖; 定期清洗粉碎仪器, 保持仪器清洁干燥, 减少环境污染; 有条件的生产者可以选择喷雾干燥方式, 也可在制成香露兜粉后利用辐射等技术消毒杀菌, 减少食源性感染的可能性。

采用国家标准方法进行克罗诺杆菌检测, 6 份样品中有 2 份检出阪崎克罗诺杆菌。香露兜粉中的阪崎克罗诺杆菌可能来自于自然环境和加工环境[30–31], 如土壤、水、香露兜叶片和加工场所的地面、设备表面等, 因此从种植到加工的各个环节均可能引入环境中的阪崎克罗诺杆菌。其有一定生物膜成膜能力, 保护自身菌体, 应对干燥、热应激和酸性环境, 还能黏附在食品、食品加工设备等生物和非生物材料表面[32], 并长期持续性存在, 通过直接接触和交叉接触扩散污染, 因此应采取多种措施控制污染。检出的 3 株阪崎克罗诺杆菌对药敏卡中的 *β*-内酰胺类(除厄他培南外)、硝基呋喃类抗生素均呈耐药或中介, 仅对喹诺酮类药物环丙沙星、左氧氟沙星及碳青霉烯类药物厄他培南敏感。3 株菌对氨基糖苷类药物阿米卡星、庆大霉素、妥布霉素以及磺胺类药物复方新诺明呈现不同的药敏结果。以上 3 株阪崎克罗诺杆菌为多重耐药菌, 提示香露兜粉中克罗诺杆菌的耐药性较强, 应加强监测与重视, 并及时开发新型治疗方法和预防策略, 孕妇、婴幼儿、免疫力低下的人群应谨慎食用。

参考文献

[1] 郝朝运. 神奇的东方香草: 斑兰叶[J]. 生命世界, 2020(8): 50–51.

Hao Chaoyun. Magical oriental *Vanilla*: banlan leaf [J]. Life World, 2020(8): 50–51.

[2] 赖宣丞, 黄涵, 刘业谊. 香露兜营养价值和加工技术研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(9): 342–346.
Lai Xuancheng, Huang Han, Liu Yeyi. Research progress on nutritional value and processing technology of *Pandanus* [J]. The Food Industry, 2022, 43(9): 342–346.

[3] 郭培培, 黄志, 秦晓威, 等. 香露兜不同叶位挥发性成分差异性分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2517–2525.
Guo Peipei, Huang Zhi, Qin Xiaowei, et al. Comparative analysis of the volatile components in different leaf position of *Pandanus amaryllifolius* roxb [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(12): 2517–2525.

[4] Reshidan N H, Abd Muid S, Mamikutty N. The effects of *Pandanus amaryllifolius* (Roxb.) leaf water extracts on fructose-induced metabolic syndrome rat model [J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2019, 19(1): 232.

[5] Chiabchalard A, Nooron N. Antihyperglycemic effects of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. leaf extract [J]. Pharmacognosy Magazine, 2015, 11(41): 117–122.

[6] Juariah S, Wiranda J, Sepryani H. Uji efektifitas ekstrak daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb) terhadap pertumbuhan bakteri *Streptococcus mutans* [J]. Journal of Indonesian Medical Laboratory and Science (JoIMedLabS), 2022, 3(1): 89–96.

[7] Juariah S, Melpasandy M, Yusrita E. Uji *Daya* hambat ekstrak daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb) terhadap bakteri *Eschericia coli* [J]. Jurnal Media Kesehatan, 2022, 15(2): 1–8.

[8] 库得来提•阿不都克力木, 多力昆•吾甫尔. 高通量测序技术发展及其在几种口腔颌面疾病中的研究进展[J]. 临床口腔医学杂志, 2023, 39(5): 308–311.
Kudetiti Abuduklimu, Dolikun Wupuer. Technical development in high-throughput sequencing and its research progress in several oral and maxillofacial diseases [J]. Journal of Clinical Stomatology, 2023, 39(5): 308–311.

[9] 王成彬. 高通量测序技术在临床感染性疾病实验室诊断中的应用[J]. 中华医学杂志, 2023, 103(15): 1087–1091.
Wang Chengbin. Application of high-throughput next-generation sequencing technology in clinical laboratory diagnosis of infectious diseases [J]. National Medical Journal of China, 2023, 103(15): 1087–1091.

[10] 张振超, 陶美奇, 潘永飞, 等. 基于高通量测序的青花菜 KASP 标记开发与应用[J]. 核农学报, 2025, 39(3): 513–521.
Zhang Zhenchao, Tao Meiqi, Pan Yongfei, et al. Development and application of KASP markers for broccoli based on high-throughput sequencing [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2025, 39(3): 513–521.

[11] 袁向芬, 吴绍强, 林祥梅, 等. 高通量测序分析 5 例进口鱼粉鱼源性成分构成[J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(1): 93–100.
Yuan Xiangfen, Wu Shaoqiang, Lin Xiangmei, et al. Analysis of fish-derived components of five imported fishmeal samples *via* high throughput sequencing method [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2021, 48(1): 93–100.

[12] 钟壹鸣, 张昂, 王志勇, 等. 槟榔间作香露兜对土壤细菌群落结构和多样性的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(4): 915–923.
Zhong Yiming, Zhang Ang, Wang Zhiyong, et al. Effects of *Areca catechu* L. intercropping *Pandanus amaryllifolius* Roxb. on soil bacterial flora and diversity [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(4): 915–923.

[13] Alvarez-Quinto R A, Grinstead S, Rott P, et al. Genome characterization and complete sequence of a new badnavirus from *Pandanus amaryllifolius* [J]. Archives of Virology, 2022, 167(8): 1717–1720.

[14] 王鸣秋, 杨硕, 刘艳, 等. 婴幼儿羊奶粉及米粉中的细菌多样性分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 137–143.
Wang Mingqiu, Yang Shuo, Liu Yan, et al. Bacterial diversity analysis of infant food based on 16S rRNA high-throughput sequencing [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 137–143.

[15] 徐攀, 王田田, 张雁君, 等. 基于 Illumina MiSeq 高通量测序分析电子束辐照对手撕牛肉微生物多样性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(24): 176–181.
Xu Pan, Wang Tiantian, Zhang Yanjun, et al. Effect of electron beam irradiation on microbial community diversity of shredded beef by Illumina MiSeq sequencing [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(24): 176–181.

[16] 马上超, 程超, 田成, 等. 基于高通量测序技术分析恩施州淡豆豉的细菌多样性[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 156–161.
Ma Shangchao, Cheng Chao, Tian Cheng, et al. Analysis of bacterial diversity in sojae semen praeparatum from Enshi by high-throughput sequencing [J]. Food Science, 2022, 43(10): 156–161.

[17] 郭仕辉, 余永涛, 万佳宏, 等. 变形菌门与哺乳动物结肠肠道菌群失调相关研究进展[J]. 中国微生态学杂志, 2022, 34(4): 479–484.
Guo Shihui, Yu Yongtao, Wan Jiahong, et al. Progress in research on the relationship between Proteobacteria and the imbalance of mammalian colonic intestinal flora [J]. Chinese Journal of Microecology, 2022, 34(4): 479–484.

[18] Rizzatti G, Lopetuso L R, Gibiino G, et al. Proteobacteria: a common factor in human diseases [J]. BioMed Research International, 2017, 2017: 9351507.

[19] 陶飞. 生命的开路先锋蓝细菌[J]. 世界科学, 2021(7): 37–38.
Tao Fei. The pioneer of life, cyanobacteria [J]. World Science, 2021(7): 37–38.

[20] 黄惠琳, 韦涛, 王宏虹. 高通量测序技术分析生榨米粉生粉团中细菌多样性[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(6): 304–311.
Huang Huilin, Wei Tao, Wang Honghong. Analysis of bacterial diversity in the raw dough of Chinese fermented rice-flour noodles by high-throughput sequencing [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(6): 304–311.

[21] 何进, 徐思杨, 刘波, 等. 乳酸菌在农业和食品加工中的应用研究进展[J]. 微生物学杂志, 2022, 42(4): 1–11.
He Jin, Xu Siyang, Liu Bo, et al. Advance on applied researches of lactic acid bacteria in agriculture and food industry [J]. Journal of Microbiology, 2022, 42(4): 1–11.

[22] Zhou Junping, Feng Zhen, Yue Mingzhe, et al. Innovative enhancement of flavor profiles and functional metabolites composition in *Pandanus amaryllifolius* through lactic acid bacteria fermentation [J]. Food Chemistry, 2024, 24: 101964.

[23] 李颖, 李风琴, 江涛, 等. 我国部分地区婴儿人群梭状芽胞杆菌暴露水平调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(2): 165–170.

Li Ying, Li Fengqin, Jiang Tao, et al. A study on *Clostridium* spp. exposure level on infant population in some parts of China [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(2): 165–170.

[24] Hernández Gómez Y F, González Espinosa J, Ramos López M Á, et al. Insights into the bacterial diversity and detection of opportunistic pathogens in Mexican chili powder [J]. Microorganisms, 2022, 10(8): 1677.

[25] Puangburee S, Jindaprasert A, Vattanmanee S, et al. Microbiological safety of Thai pandan custard filled products and their ingredients [J]. International Food Research Journal, 2016, 23(4): 1808–1811.

[26] 魏彤竹, 孙婷婷, 王伟杰, 等. 辽宁省婴幼儿食品源阪崎克罗诺杆菌生物膜与耐药性分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(3): 267–273.
Wei Tongzhu, Sun Tingting, Wang Weijie, et al. Drug resistance analysis of *Cronobacter sakazakii* from infant food in Liaoning Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(3): 267–273.

[27] 陈喜凯, 盛莹, 沈伟伟, 等. 台州市售婴幼儿谷类辅助食品中克罗诺杆菌污染特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(7): 1075–1079.
Chen Xikai, Sheng Ying, Shen Weiwei, et al. Analysis of *Cronobacter* contamination characteristics in cereal-based supplementary food for infants in Taizhou [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(7): 1075–1079.

[28] 杭婧, 宋呈文, 王萍, 等. 婴幼儿食品克罗诺杆菌污染情况及对小鼠血液指标的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(22): 34–40.
Hang Jing, Song Chengwen, Wang Ping, et al. *Cronobacter* contamination in infant and toddler food and its effects on blood indexes of mice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(22): 34–40.

[29] 梁安莉, 农珍妮, 温桂珍, 等. 市售婴幼儿米粉中克罗诺杆菌的分子分型和耐药分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 36–42, 83.
Liang Anli, Nong Zhenni, Wen Guizhen, et al. Molecular typing and drug resistance of *Cronobacter* spp. in commercial formula rice flour products for infants and young children [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 36–42, 83.

[30] Ling Na, Jiang Xiuting, Forsythe S, et al. Food safety risks and contributing factors of *Cronobacter* spp. [J]. Engineering, 2022, 12: 128–138.

[31] Cechin C D F, Carvalho G G, Bastos C P, et al. *Cronobacter* spp. in foods of plant origin: occurrence, contamination routes, and pathogenic potential [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(33): 12398–12412.

[32] 王敏, 刘长虹, 陈颖, 等. 粮食加工品和肉制品中克罗诺杆菌的污染状况及致病性阪崎克罗诺杆菌生物膜形成能力研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2995–3003.
Wang Min, Liu Changhong, Chen Ying, et al. Study on contamination of *Cronobacter* spp. and biofilm formation ability of pathogenic *Cronobacter sakazakii* in cereal processed products and meat products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(9): 2995–3003.

(责任编辑: 蔡世佳　韩晓红)