

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250206005

引用格式: 何媛, 杨杰, 海妮·巴音达, 等. 干制水果中金黄色葡萄球菌3种鉴定方法的比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(10): 272–277.

HE Y, YANG J, HAINI BYD, et al. Comparison of 3 kinds of identification methods for *Staphylococcus aureus* in dried fruits [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(10): 272–277. (in Chinese with English abstract).

干制水果中金黄色葡萄球菌3种鉴定方法的比较

何媛, 杨杰, 海妮·巴音达, 房芳, 巴哈提古丽·马那提拜*

(乌鲁木齐海关技术中心, 乌鲁木齐 830063)

摘要: **目的** 比较生化鉴定、质谱仪鉴定、分子生物学鉴定3类实验方法鉴定干制水果中金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)结果的异同。**方法** 对干制水果中的金黄色葡萄球菌进行分离, 分离的典型菌株通过生物化学(VITEK 2-Compact)、质谱(VITEK MS)及分子生物学(实时荧光定量聚合酶链式反应)3类方法进行鉴定, 并比较3类方法实验的鉴定结果。**结果** 3类鉴定方法对金黄色葡萄球菌均鉴定到种水平, 但在鉴定效率和时限有一定差异, 质谱鉴定的结果更准确, 且时效性更高。**结论** 本研究分析不同鉴定方法优缺点, 将传统微生物检测方法与现代技术联用, 在传统检测方式的增菌、分离为后续鉴定提供基础, 在此之上结合不同原理的先进鉴定技术, 形成一套完整的检测流程。这种联用模式可相互验证结果, 提高检测准确性, 为建立更可靠的特色干制水果微生物检测体系提供新思路。

关键词: 特色干制水果; 金黄色葡萄球菌; 鉴定

Comparison of 3 kinds of identification methods for *Staphylococcus aureus* in dried fruits

HE Yuan, YANG Jie, HAINI Ba-Yin-Da, FANG Fang, BAHATIGULI Ma-Na-Ti-Bai*

(Technical Center of Urumqi Customs, Urumqi 830063, China)

ABSTRACT: Objective To compare the similarities and differences in the identification results of *Staphylococcus aureus* in dried fruits analyzed by 3 experimental methods: Biochemical identification, mass spectrometer identification and molecular biological identification. **Methods** *Staphylococcus aureus* in dried fruits was isolated. The isolated typical strains were identified and compared through 3 approaches: Biochemistry (VITEK 2-Compact) mass spectrometer (VITEK MS), and molecular biology (real-time fluorescence quantitative polymerase chain reaction), the identification results of the 3 types of experiments were compared. **Results** All 3 identification methods could identify *Staphylococcus aureus* to the species level, but there were certain differences in efficiency and time required. Mass spectrometry yielded more accurate results with higher timeliness. **Conclusion** This paper

收稿日期: 2025-02-06

基金项目: 新疆少数民族科技人才特殊培养计划科研项目(2023D03002)

第一作者: 何媛(1987—), 女, 硕士, 主要研究方向为食品微生物检验。E-mail: 1452095510@qq.com

*通信作者: 巴哈提古丽·马那提拜(1979—), 女, 博士, 高级兽医师, 主要研究方向为反刍动物消化道微生物、食品微生物及公共用品用具微生物的相关检测与研究。E-mail: bahet88@163.com

analyzes the advantages and disadvantages of different identification methods, combines traditional methods with modern technologies. The enrichment and isolation in traditional detection methods provide a basis for subsequent identification. On this basis, advanced identification technologies with different principles are integrated to form a complete detection process. This combined mode can mutually verify the results, improve the detection accuracy, and provide new ideas for establishing a more reliable microbiological detection system for characteristic dried fruits.

KEY WORDS: characteristic dried fruit; *Staphylococcus aureus*; identification

0 引言

食品安全问题受到世界各国的广泛关注, 由病原体引起的食源性疾病引起了科学研究和食品工业的高度关注。金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)是食源性致病菌之一, 它在自然界分布广泛, 是革兰氏阳性菌的典型代表, 非鞭毛、非孢子形成, 过氧化氢酶和凝固酶阳性。金黄色葡萄球菌不仅能导致皮肤感染, 还可通过产生毒素来诱发食物中毒, 主要症状包括呕吐、腹泻和腹部绞痛, 严重时还会出现头痛、肌肉痉挛甚至休克等^[1-3]。因而, 采用准确、高效的金黄色葡萄球菌检测方法, 是预防食源性金黄色葡萄球菌及食品安全质量控制的关键^[4-5]。

近年来, 微生物的检测鉴定技术已逐步由手工检测走向仪器化和电脑化, 并力求简便、快速、准确^[6]。VITEK 2 对细菌的鉴定是以每种细菌的微量生化反应为基础, 通过不同种类的鉴试卡, 操作流程包括制备菌悬液、装载试剂卡、进行测定并打印结果。王原等^[7]评价 VITEK-2 Compact 全自动微生物鉴定仪对葡萄球菌的鉴定的能力, 结果显示对金黄色葡萄球菌的鉴定率较高, 但是在鉴定凝固酶阴性时有一定的局限性, 需要其他方法予以补充。王娟等^[8]应用 VITEK 2 Compact 全自动微生物测定仪对药品中金黄色葡萄球菌的鉴定比传统方法更加快捷和准确。VITEK 2 Compact 全自动微生物分析系统的应用已在一些国家被官方检验机构认可, 国内很多地区实验室都用此仪器作为细菌鉴定的判断依据^[9-10]。

VITEK MS 借助基质和激光之间的反应电离样品, 在电场的作用下离子加速测定它们到达检测器的时间-飞行时间, 传送谱图并将其与数据库进行比对。杜强等^[11]采用 VITEK MS 对细菌性食物中毒的检测简单快速, 得出结论对单个纯菌落进行菌种鉴定具有很高的准确率。VITEK MS 对细菌性食物中毒样品的快速检测方法和效果, 能提高致病菌检测效率而得到广泛应用^[12-14]。

实时荧光定量聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction, PCR) 技术是近年来广泛应用于食源性致病菌的快速检测方法, 具有特异性强, 灵敏度高等特点^[15-17]。李苗云等^[18]以金黄色葡萄球菌的耐热核酸酶基因 *nuc* 为靶基因, 设计并筛选引物, 建立并优化金黄色葡萄球菌的荧光定量 PCR 检测方法, 得出荧光定量 PCR 比传统细菌检测方法更

特异、快速、灵敏。

本研究旨在探索特色干制水果中金黄色葡萄球菌的有效检测方法。首先, 运用传统检测方式对特色干制水果中的金黄色葡萄球菌展开增菌、分离。与此同时, 为了对分离得到的典型菌株进行快速准确鉴定, 采取多种先进的检测手段 VITEK 2 Compact 全自动微生物鉴定系统、质谱 VITEK MS 以及实时荧光定量 PCR 方法, 对不同鉴定方法的优缺点展开深入分析。传统方法与现代技术联用, 传统检测方式的增菌、分离为后续鉴定提供基础, 在此之上结合不同原理的先进鉴定技术, 形成一套完整的检测流程。这种联用模式可相互验证结果, 提高检测准确性, 为建立更可靠的特色干制水果微生物检测体系提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

葡萄干、无花果干、红枣均购自华凌干果批发市场。

MS16001LE 天平(精度 0.01 g, 美国梅特勒公司); MAHFIA 拍击式均质器(法国生物梅里埃 AES 公司); DZKW 水浴锅(北京市永光明医疗仪器有限公司); Nu-437-400E 生物安全柜(美国纽埃尔股份有限公司); HPP260 培养箱(德国美墨尔特公司); CLG-32L 高压灭菌锅(日本艾尔普公司); Nikon 100 显微镜(日本尼康公司); VITEK 2 Compact、VITEK MS[梅里埃诊断产品(上海)有限公司]; 7500Real-Time PCR 系统(美国应用生物系统公司)。

1.2 培养基及试剂

7.5% NaCl 肉汤、Baird-Parker (BP) 平板、血琼脂平板、血浆凝固酶试剂、营养琼脂平板、BHI 培养基(北京陆桥技术有限公司); GD302+细菌基因组 DNA 提取试剂盒[天根生化科技(北京)有限公司]; 2X TaqMan Fast qPCR 预混液[生工生物工程(上海)股份有限公司]; VITEK 2 Compact 鉴定所用的革兰氏阳性细菌鉴定卡、VITEK MS 所用 CHCA 基质(恒瑞达科技有限责任公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 增菌、分离

干果样品的前处理过程在洁净实验室进行, 用 75% 的酒精棉球擦拭外包装, 开启后, 剪碎样品称取 25 g 立即加入 225 mL 7.5% NaCl 肉汤中, 混合均质 1~2 min, 样品匀

液于 $36\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 增菌培养 24 h。将增菌后的培养物分别采用划线法接种至 BP 平板与血琼脂平板。其中, 血琼脂平板在温度为 $36\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下倒置培养, 培养时为 18 h 至 24 h; BP 平板同样在 $36\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下倒置培养, 培养时间为 24 h 至 48 h。

1.3.2 鉴定

(1) 生化鉴定

将典型菌落划线接种至营养琼脂, $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 倒置培养 24 h, 挑取菌落进行革兰氏染色, 镜检后革兰氏阳性球菌的菌落, 开展血浆凝固酶测试。同时用 VITEK 2 Compact 对营养琼脂上纯化后的菌落进行上机鉴定。

(2) VITEK MS 鉴定

挑取疑似的菌落划线接种营养琼脂进行纯培养, 于 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h。取纯化后的单菌落点涂于靶板上, 进行上机 VITEK MS 鉴定。

(3) 荧光定量 PCR 法

取待测样品用细菌 DNA 提取试剂盒制备 DNA 模板, 取 $1\text{ }\mu\text{L}$ 作为荧光定量 PCR 检测模板。与此同时, 取金黄色葡萄球菌标准菌株(ATCC 6538)作阳性对照。引物设计^[19-20]: 以耐热核酸酶基因 *nuc* 为靶基因设计特异性引物, 引物由北京鼎国生物科技有限公司合成, 其序列为: *nuc* F 为 5'-GGGATGGCTATCAGTAA-3'; *nuc* R 为 5'-TGAATCAG CGTTGCTCTT-3'。荧光定量 PCR 反应体系见表 1, 反应程序见表 2。

表 1 荧光定量 PCR 反应体系(25 μL)

Table 1 Reaction system of fluorescent quantitative PCR (25 μL)

试剂	体积/ μL
2X SGEcel FastSYBR Mixture	12.5
引物 1	0.5
引物 2	0.5
DNA 模板	1.0
ddH ₂ O	10.5

表 2 荧光定量 PCR 反应程序

Table 2 Reaction program of fluorescent quantitative PCR

步骤	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间	循环
预变性	95	3 min	-
变性	95	5 s	35 个循环
退火/延伸	60	35 s	
溶解曲线分析	95	15 s	-
	60	1 min	
	95	15 s	
	60	15 s	

注: -表示无此项。

1.4 数据处理

实验数据采用 Microsoft Excel 2016 对结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 菌落形态

在 BP 琼脂平板上, 金黄色葡萄球菌所形成的菌落呈圆形, 颜色为黑色, 并且菌落周围围绕着一圈透明环。而在血琼脂平板上, 金黄色葡萄球菌的菌落表现为金黄色, 形态大且向外突起, 呈规则的圆形, 不透明, 其表面十分光滑, 菌落周围还存在明显的溶血圈(图 1)。

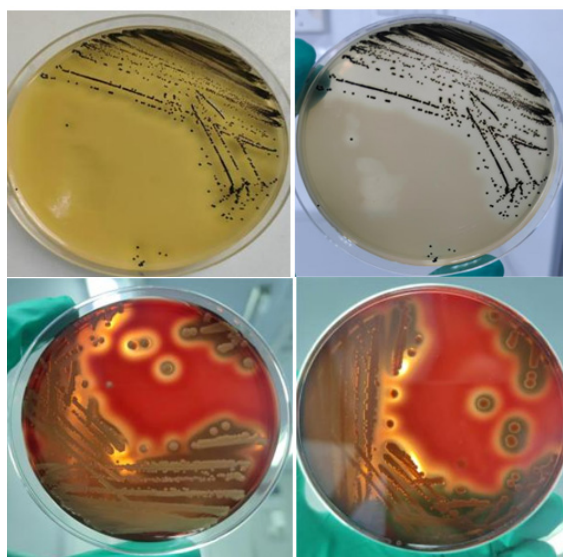


图 1 BP 琼脂平板和血琼脂平板菌落形态

Fig.1 Colony morphology on the front and back of blood agar plate and BP agar plate

2.2 鉴定结果

2.2.1 生化鉴定结果

从血平板上挑取典型菌落, 对其进行革兰氏染色。随后通过显微镜镜检, 其呈现革兰氏阳性球菌特征, 观察到在视野中排列成葡萄球状, 且菌体无芽孢, 也无荚膜, 如图 2 所示。本研究运用试管法来开展血浆凝固酶实验。从 BP 平板和血平板上挑取典型的菌落, 将其接种至 BHI 培养基中, 在 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下培养 24 h。随后, 取出 0.5 mL 培养后的菌液, 加入到已用 0.5 mL 生理盐水完全溶解的血浆里, 充分搅拌均匀。将混合液置于 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中继续培养 24 h, 培养期间每隔 30 min 观察一次。在培养到 1.5 h 的时候, 样品开始呈现出初步的凝固迹象; 随着培养时间的推进, 6 h 时, 凝固现象逐渐变得明显; 当培养时长达到 24 h 后, 样品已完全凝固。根据上述现象, 可判定结果为阳性。

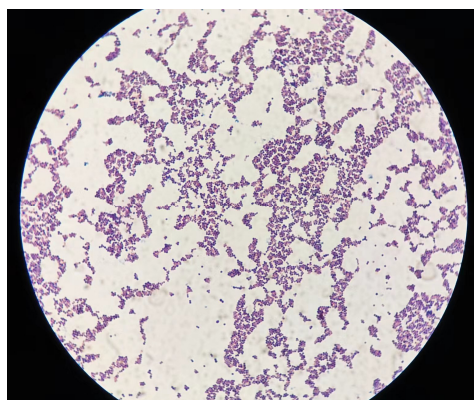


图 2 样品镜检结果

Fig.2 Results of microscopic examination of samples

VITEK 2 Compact 上机鉴定, 鉴定报告中显示特性生化反应, 样品与金黄色葡萄球菌相似性如表 3 所示。

表 3 样品 VITEK 2 鉴定结果
Table 3 VITEK 2 identification results of samples

样品名称	鉴定结果	相似率/%
葡萄干	金黄色葡萄球菌	91
无花果	金黄色葡萄球菌	94
红枣	金黄色葡萄球菌	91

2.2.2 质谱仪 VITEK MS 鉴定结果

挑取典型菌落后, 将其接种至营养琼脂上进行培养纯化。完成纯化后, 对样本进行进样上机检测。首先, 利用基质辅助激光解吸电离飞行时间(matrix-assisted laser desorption/ionization-time of flight, MALDI-TOF)技术获取图谱, 随后, 将所得图谱与 VITEK MS 数据库中不同微生物家族的种/属特定图谱进行比对, 以此得出鉴定结果。经鉴定, 样品菌落为金黄色葡萄球菌, 相似性高达 99.9%, 见表 4 所示。

表 4 样品 VITEK MS 鉴定结果
Table 4 VITEK MS identification results of samples

样品名称	鉴定结果	相似率/%
葡萄干	金黄色葡萄球菌	99.9
无花果	金黄色葡萄球菌	99.9
红枣	金黄色葡萄球菌	99.9

2.2.3 分子生物学鉴定结果

采用染料法对样品及金黄色葡萄球菌标准菌株进行实时荧光定量 PCR 扩增。扩增曲线依次 A 为标准菌株、B 为样品葡萄干、C 为无花果、D 为红枣、E、F 为阴性对照和空白对照(图 3)。溶解曲线结果显示样品及标准菌株均出现单一峰图, 表明 PCR 扩增产物的特异性(图 4)。根据上述结果可知, 样品中均检测出金黄色葡萄球菌。

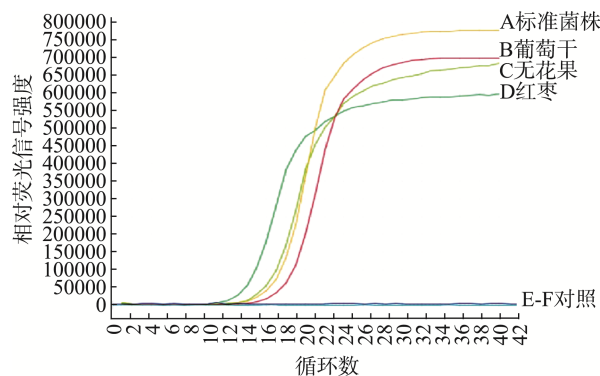


图 3 扩增曲线图
Fig.3 Amplification curve

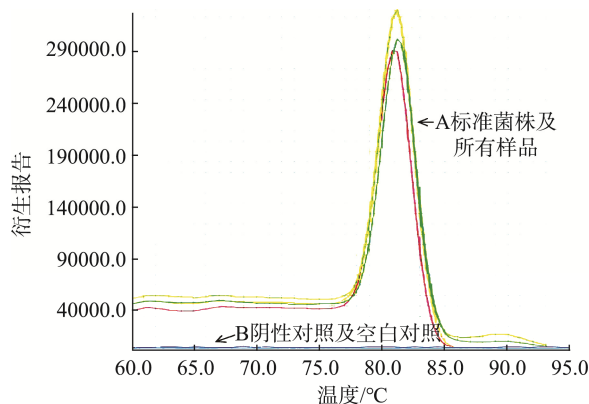


图 4 溶解曲线图
Fig.4 Melting curve

3 讨论与结论

传统微生物检测方法、VITEK 2 Compact 全自动微生物鉴定系统、VITEK MS 质谱鉴定系统和实时荧光定量 PCR 方法均能准确检出金黄色葡萄球菌。传统的检测微生物检测方法检测周期长, 检测过程也较为烦琐^[21], 相较于其他方法具有操作简单、不需要专用设备等优点。但很难回避病原菌富集分离过程, 延长了检测时间, 不能满足干果制品中金黄色葡萄球菌的快速检测需求。

全自动细菌鉴定系统以微生物的特征性生化反应作为鉴定依据, 操作流程包括制备菌悬液、装载试剂卡、进行测定并打印结果。系统通过自动化操作, 从配制菌悬液到读数的所有步骤均由优化的工作流程完成, 减少了人为错误的风险。鉴定结果通常在 5~8 h 内提供, 具有追溯能力, 确保全程溯源^[22-23]。在检验过程中, 微生物的纯度、浓度、传代次数及培养时间和培养基类型等因素对检验结果影响较大^[24]。实验员对菌落形态、颜色、溶血性的观察, 革兰染色细菌形态和染色性的观察, 上机前或后需要加作补充实验等, 将有助于提高该系统的准确率。

全自动微生物质谱鉴定系统 VITEK MS 采用 MALDI-TOF 技术所得的谱图与数据库内的标准图谱进行

对比,实现对微生物种类的鉴定。检测耗时最短、灵敏度高、特异性好,可快速准确鉴别金黄色葡萄球菌^[25-26]。仪器在数分钟内完成鉴定,大大缩短了鉴定时间;简单的操作流程,无需进行革兰氏染色及显微镜观察,减少了操作复杂度;数据库包含大量微生物数据,提高了鉴定的准确率^[27-28]。每次运行可鉴定多达 192 个菌株,适合大规模样本的鉴定需求。然而,质谱鉴定设备颇为高昂,致使多数普通实验室难以承受。

染料法荧光定量 PCR 操作简单,可对任何双链 DNA 进行定量;不需要探针,因此减少了实验设计及运转成本;适合于大量基因的分析;简单易用,能对样品中的金黄色葡萄球菌进行快速检测^[29-30]。这一方法改进了常规的反应法,能够对致病菌的情况进行动态且定量的检测。该方法具有特异性强、假阳性低;灵敏度高、准确性高;操作简单、交叉污染机会少等优点,被广泛应用于食源性致病菌的检测^[31-33]。由于直接从干果提取出来的基因组 DNA 质量不高,可能影响后续的 PCR 扩增结果,因此在本研究中,首先对干果中的金黄色葡萄球菌进行增菌,再提取增菌液中细菌基因组 DNA,保证细菌 DNA 模板的质量,同时避免干果中金黄色葡萄球菌含量极低而出现假阴性。

各类检测方法均具备独特优势,若将它们结合运用,不仅能显著提升检测结果的特异性、灵敏度以及抗外界干扰能力,还能进一步缩短检测所需时间。在实际操作时,需充分考量各类检测需求以及实际具备的条件,进而挑选出契合的检测方法。这一结果也显示在进行微生物检测时需要谨慎操作,确保结果的准确性。不同的检测方法可能受到多种因素的影响,如样本的处理方式、试剂的质量、操作人员的技能水平等。聚焦特色干制水果这一特定样本,不同食品基质特性不同,对检测方法的影响有差异。因此,检测分析过程中,必须严格遵循既定操作规程,同时强化质量把控与结果核验,以此保障检测结果精准无误、真实可信。

参考文献

- [1] 曲彩红. 食源性致病菌带菌情况检测结果分析[J]. 临床研究, 2021, 29(9): 137-139.
QU CH. Analysis of the detection results of foodborne pathogenic bacteria carriage [J]. Clinical Research, 2021, 29(9): 137-139.
- [2] 王韬, 李红娜, 袁飞. 食源性金黄色葡萄球菌的危害及其快速检测方法研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(4): 856-859.
WANG T, LI HN, YUAN F. Research progress on the hazards and rapid detection methods of foodborne *Staphylococcus aureus* [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(4): 856-859.
- [3] 刘慧, 曾祥权, 蒋世卫, 等. 生物传感器在食源性金黄色葡萄球菌快速检测中的应用[J]. 食品科学, 2022, 43(1): 372-381.
LIU H, ZENF XQ, JIANG SW, et al. Application of biosensors in rapid detection of foodborne *Staphylococcus aureus* [J]. Food Science, 2022, 43(1): 372-381.
- [4] 陈志敏. 散装即食食品中金黄色葡萄球菌检测方法研究进展[J]. 现代食品, 2022, 28(7): 116-118.
CHEN ZM. Research progress on detection methods of *Staphylococcus aureus* in bulk ready-to-eat foods [J]. Modern Food, 2022, 28(7): 116-118.
- [5] 吴任之, 胡欣洁, 韩国全, 等. 食源性金黄色葡萄球菌快速检测方法的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 291-296.
WU RZ, HU XJ, HAN GQ, et al. Research progress in rapid detection methods of foodborne *Staphylococcus aureus* [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 291-296.
- [6] 杨毓环, 陈伟伟. VITEK 全自动微生物检测系统原理及其应用[J]. 海峡预防医学杂志, 2000(3): 38-39.
YANG YH, CHEN WW. Principles and applications of the VITEK automatic microbial detection system [J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2000(3): 38-39.
- [7] 王原, 许江燕. VITEK-2 compact 全自动微生物鉴定仪对葡萄球菌鉴定能力的评价[J]. 生物医学工程学进展, 2010, 31(4): 206-208.
WANG Y, XU JY. Evaluation of the identification ability of VITEK-2 compact automatic microbial identification instrument for *Staphylococcus* [J]. Progress in Biomedical Engineering, 2010, 31(4): 206-208.
- [8] 王娟, 刘岐, 朱世真. 应用 VITEK2 Comoact 全自动微生物测定仪对药品中金黄色葡萄球菌的鉴定[J]. 中国处方药, 2014, 12(7): 22-23.
WANG J, LIU Q, ZHU SZ. Identification of *Staphylococcus aureus* in drugs by using VITEK 2 comoact automatic microbial analyzer [J]. China Prescription Drug, 2014, 12(7): 22-23.
- [9] 孙燕萍, 彭浩, 凌霞, 等. VITEK 2 Compact 全自动微生物分析系统的应用及鉴定结果分析[J]. 现代预防医学, 2010, 37(20): 3891-3893, 3900.
SUN YP, PENG H, LING X, et al. Application and identification result analysis of VITEK 2 Compact automatic microbial analysis system [J]. Modern Preventive Medicine, 2010, 37(20): 3891-3893, 3900.
- [10] 杜强. ITEK 全自动微生物分析系统和手工方式检测副溶血性弧菌的结果对比报告[J]. 中国卫生检验杂志, 2004(6): 767-750.
DU Q. Comparative report on the detection results of *Vibrio parahaemolyticus* by the ITEK automatic microbial analysis system and manual method [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2004(6): 767-750.
- [11] 杜强, 黎俊宏, 屠博文. VITEK MS 在快速检测食物中毒和菌株同源性分析中的初步应用[J]. 现代预防医学, 2017, 44(16): 2928-2932.
DU Q, LI JH, TU BW. Preliminary application of VITEK MS in rapid detection of food poisoning and analysis of strain homology [J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(16): 2928-2932.
- [12] 张玲, 常江, 吴俐勤, 等. 生鲜牛乳中金黄色葡萄球菌的鉴定及耐药分子特征研究[J]. 中国预防兽医学报, 2019, 41(9): 899-905.
ZHANG L, CHANG J, WU LQ, et al. Identification and molecular characteristics of drug resistance of *Staphylococcus aureus* in raw milk [J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine, 2019, 41(9): 899-905.
- [13] 孟令缘, 牛沁雅, 廉鲁昕, 等. 基于 16S rDNA 序列、MALDI-TOF-MS 和 VITEK 的沙门氏菌和金黄色葡萄球菌的鉴定[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 197-205.
MENG LY, NIU QY, LIAN LX, et al. Identification of *Salmonella* and *Staphylococcus aureus* based on 16S rDNA sequences, MALDI-TOF-MS and VITEK [J]. Journal of the Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 197-205.
- [14] 吕婕, 闫文萍, 牛莉莉. MALDI-TOF MS 技术在快速鉴定革兰阴性杆菌血流感染中的应用[J]. 实用检验医师杂志, 2022, 14(1): 59-62.
LV J, YAN WP, NIU LL. Application of MALDI-TOF MS technology in the rapid identification of Gram-negative *Bacilli* bloodstream infections [J].

- Journal of Practical Laboratory Physicians, 2022, 14(1): 59–62.
- [15] 庄璐. PCR 技术在快速检测食源性致病菌中的作用[J]. 现代食品, 2017(9): 21–22.
ZHUANG L. The role of PCR technology in the rapid detection of foodborne pathogens [J]. Modern Food, 2017(9): 21–22.
- [16] 李羽翥, 李瑞, 曲志强. 核酸扩增信号放大技术在食源性金黄色葡萄球菌检测中的应用进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(9): 19–28.
LI YF, LI R, QU ZQ. Research progress of signal amplification technique based on nucleic acid amplification in detection of foodborne *Staphylococcus aureus* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(9): 19–28.
- [17] 郭梦冉, 董兵, 李聪, 等. 荧光定量 PCR 检测金黄色葡萄球菌方法的建立及应用[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(3): 72–76, 83.
GUO MR, DONG B, LI C, *et al.* Establishment and application of a real-time fluorescence quantitative PCR method for the detection of *Staphylococcus aureus* [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2018, 41(3): 72–76, 83.
- [18] 李苗云, 惠利娜, 赵改名, 等. 荧光定量 PCR 检测生猪肉中金黄色葡萄球菌的应用研究[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(4): 475–480.
LI MY, HUI LN, ZHAO GM, *et al.* Applied research on the detection of *Staphylococcus aureus* in fresh pork by fluorescence quantitative PCR [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(4): 475–480.
- [19] 文霞, 张淑瑶, 陈漪汶, 等. 化妆品中金黄色葡萄球菌的快速检测方法研究[J]. 工业微生物, 2021, 51(5): 20–25.
WEN X, ZHANG SY, CHEN YW, *et al.* Research on the rapid detection method of *Staphylococcus aureus* in cosmetics [J]. Industrial Microbiology, 2021, 51(5): 20–25.
- [20] 高沙尔·卡依尔哈力, 巴哈提古丽·马那提拜, 马雪艺, 等. 多种方法鉴定分析一次性使用口罩中金黄色葡萄球菌[J]. 中国口岸科学技术, 2022, 4(4): 48–55.
GAOSHAER KYERHL, BAHATIGULI NMBT, MA XY, *et al.* Identification and analysis of *Staphylococcus aureus* in disposable masks by multiple methods [J]. China Port Science and Technology, 2022, 4(4): 48–55.
- [21] 杨晶, 王伟欢. VITEK 2 Compact 系统的应用及鉴定结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(18): 2643–2645.
YANG J, WANG WH. Application of VITEK 2 compact system and analysis of its identification results [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2016, 26(18): 2643–2645.
- [22] 刘杰, 赵满仓, 周海峰. VITEK II全自动微生物分析系统应用问题分析[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(9): 119–121.
LIU J, ZHAO MC, ZHOU HF. Analysis of application issues of VITEK II automatic microbial analysis system [J]. China Medical Devices, 2013, 28(9): 119–121.
- [23] 林杰, 张景艳, 王磊, 等. VITEK2 Compact 全自动微生物分析系统对牛乳中葡萄球菌的鉴定效果评价[J]. 微生物学通报, 2016, 43(11): 2514–2520.
LIN J, ZHANG JY, WANG L, *et al.* Evaluation of the identification efficacy of the VITEK 2 compact automatic microbial analysis system for *Staphylococci* in cow milk [J]. Microbiology China, 2016, 43(11): 2514–2520.
- [24] 郭瑞军. VITEK 2 Compact 及其在食品微生物检测中的应用研究[J]. 现代食品, 2020(12): 192–193, 201.
GUO RJ. Research on VITEK 2 compact and its application in food microorganism detection [J]. Modern Food, 2020(12): 192–193, 201.
- [25] 刘娜, 赵琳娜, 张伟, 等. 16S rRNA 基因序列、生化鉴定、质谱 3 类方法鉴定常见微生物的结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(1): 60–64.
LIU N, ZHAO LN, ZHANG W, *et al.* Analysis of identification results of common microorganisms by three methods: 16S rRNA gene sequencing, biochemical identification, and mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(1): 60–64.
- [26] 周淑燕, 柳丽娟, 卓传尚, 等. 梅里埃 MALDI-TOF-MS 系统与 VITEK 2 Compact 全自动微生物鉴定仪对临床常见病原菌鉴定的一致性分析[J]. 现代检验医学杂志, 2020, 35(2): 92–96.
ZHOU SY, LIU LJ, ZHUO CS, *et al.* Analysis of the consistency between the bioMérieux MALDI-TOF-MS system and the VITEK 2 compact automatic microbial identification instrument in the identification of common clinical pathogenic bacteria [J]. Journal of Modern Laboratory Medicine, 2020, 35(2): 92–96.
- [27] 林晓晖, 麦惠香, 简梦华, 等. 梅里埃 VITEK MS 质谱仪在甲氧西林耐药及敏感的金黄色葡萄球菌快速鉴定的应用研究[J]. 现代检验医学杂志, 2020, 35(5): 121–123.
LIN XH, MAI HX, JIAN MH, *et al.* Study on the application of bioMérieux VITEK MS Mass spectrometer in the rapid identification of methicillin-resistant and sensitive *Staphylococcus aureus* [J]. Journal of Modern Laboratory Medicine, 2020, 35(5): 121–123.
- [28] 柳婷婷, 夏苏芬, 宋合兴, 等. 3 种 MALDI-TOF MS 微生物鉴定系统的比较研究[J]. 军事医学, 2022, 46(3): 173–178.
LIU TT, XIA SS, SONG HX, *et al.* Comparative study of three MALDI-TOF MS microbial identification systems [J]. Military Medical Sciences, 2022, 46(3): 173–178.
- [29] 韩涌, 蔡扩军, 徐敏. 生驼乳中金黄色葡萄球菌的荧光 PCR 检测[J]. 中国畜牧业, 2022(8): 50.
HAN Y, CAI KJ, XU M. Fluorescent PCR detection of *Staphylococcus aureus* in raw ramel milk [J]. China Animal Industry, 2022(8): 50.
- [30] 雷永良, 王晓光, 叶碧峰, 等. 实时荧光定量 PCR 技术在食品污染物监测中的应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(4): 828–830, 857.
LEI YL, WANG XG, YE BF, *et al.* Application of real-time fluorescent quantitative PCR technology in the monitoring of food contaminants [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2009, 19(4): 828–830, 857.
- [31] 张嘉荟, 方志宇, 乔文姝. 实时荧光定量 PCR 技术对金黄色葡萄球菌的检测概况[J]. 食品安全导刊, 2017(27): 111.
ZHANG JH, FANG ZY, QIAO WS. Overview of the detection of *Staphylococcus aureus* by real-time fluorescent quantitative PCR technology [J]. China Food Safety Magazine, 2017(27): 111.
- [32] 王艳, 李洁群. 实时荧光定量 PCR 法在食源性致病菌检测中的应用效果[J]. 医疗装备, 2024, 37(19): 58–60.
WANG Y, LI JQ. Application effect of real-time fluorescent quantitative PCR method in the detection of foodborne pathogens [J]. Medical Equipment, 2024, 37(19): 58–60.
- [33] 韩齐, 孔保华, 李沛军, 等. 实时荧光定量 PCR 技术对金黄色葡萄球菌检测中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 359–363.
HAN Q, KONG BH, LI PJ, *et al.* Application of real-time fluorescent quantitative PCR technology in the detection of *Staphylococcus aureus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 359–363.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)