

郝亚南, 王越, 岳晓彤, 等. 金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因荧光定量 PCR 检测方法的建立及应用[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(4): 835-841.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.04.020

金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因荧光定量 PCR 检测方法的建立及应用

郝亚南^{1,2}, 王越², 岳晓彤², 李雪婷², 王羽²

(1. 吉林省生物基础实验教学示范中心, 吉林 四平 136000; 2. 吉林师范大学生命科学院, 吉林 四平 136000)

摘要: 中毒性休克综合征(TSS)是由金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*) *tst* 基因编码的 TSST-1 引发的一种死亡率较高的全身性感染疾病。为了快速检测含有 TSST-1 毒素基因的金黄色葡萄球菌菌株, 本研究基于 GenBank 中金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因 *tst* 设计特异性引物, 通过 PCR 扩增将目标片段插入 pMD-18T 载体, 转化到大肠杆菌(*Escherichia coli*) DH5 α 感受态细胞中构建重组质粒。对引物浓度、退火温度进行优化, 建立快速检测金黄色葡萄球菌 *tst* 基因的实时荧光定量 PCR 方法, 并验证其灵敏度、特异性和重复性。结果表明, 以重组质粒为标准品获得的标准曲线方程为 $Y = -3.494x + 28.800$, 决定系数 (R^2) = 0.998, 具有良好的线性关系。确定荧光定量 PCR 方法的最佳引物浓度为 0.1 $\mu\text{mol/L}$, 最佳退火温度为 53 $^{\circ}\text{C}$, 且特异性强, 与金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株、大肠杆菌菌株、枯草芽孢杆菌菌株、猪链球菌菌株、铜绿假单胞菌菌株的 DNA 均无交叉反应。此外, 该方法具有较高的灵敏度, 可检测的最低拷贝数为 1 μL 1.29×10^2 个, 其敏感性比普通 PCR 高 100 倍。组内和组间的变异系数均小于 2.00%, 重复性较好。综上, 金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因 *tst* 的实时荧光定量 PCR 检测方法灵敏度高、重复性好且特异性强, 本研究结果为金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因的检测提供了可靠的技术手段。

关键词: 金黄色葡萄球菌; TSST-1 毒素基因(*tst*); 实时荧光定量 PCR

中图分类号: R378.1⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2026)04-0835-07

Establishment and application of real-time PCR for detection of *Staphylococcus aureus* TSST-1 toxin gene

HAO Yanan^{1,2}, WANG Yue², YUE Xiaotong², LI Xueting², WANG Yu²

(1. Jilin Province Demonstration Center for Basic Experiment Biology Education, Siping 136000, China; 2. College of Life Sciences, Jilin Normal University, Siping 136000, China)

Abstract: Toxic shock syndrome (TSS) is a systemic infectious disease with a high mortality rate, caused by TSST-1, which is encoded by the *tst* gene of *Staphylococcus aureus*. To rapidly detect *Staphylococcus aureus* strains containing the TSST-1 toxin gene, in this study, specific primers were designed based on the TSST-1 toxin gene *tst* of *Staphylococcus aureus* in GenBank. The target fragment was inserted into the pMD-18T vector by PCR amplification, and trans-

formed into *Escherichia coli* DH5 α competent cells to construct a recombinant plasmid. The primer concentration and annealing temperature were optimized to establish a real-time PCR method for rapid detection of the *tst* gene of *Staphylococcus aureus*, and its sensitivity, specificity and repeatability were verified. The results showed that the standard curve equation obtained using the recombinant plasmid as the standard was $Y = -3.494x + 28.800$, with a

收稿日期: 2025-04-06

基金项目: 吉林省教育厅科学技术研究规划项目(JJKH20230519); 吉林师范大学研究生科研创新计划项目(202038)

作者简介: 郝亚南(1980-), 女, 吉林大安人, 硕士, 副研究员, 主要从事微生物学教学与科研管理。(E-mail) j13292019@163.com

通讯作者: 王羽, (E-mail) wang2311472521@163.com

coefficient of determination (R^2) of 0.998, indicating a good linear relationship. The optimal primer concentration for the real-time PCR method was determined to be 0.1 $\mu\text{mol/L}$, and the optimal annealing temperature was 53 $^\circ\text{C}$, with strong specificity and no cross-reaction with the DNA of *Staphylococcus aureus* strain RN4220, *Escherichia coli* strain, *Bacillus subtilis* strain, *Streptococcus suis* strain, and *Pseudomonas aeruginosa* strain. In addition, this method exhibited high sensitivity, with the minimum detectable copy number being 1.29×10^2 copies per microliter, and its sensitivity was 100 times higher than that of ordinary PCR. The intra-group and inter-group coefficients of variation were both less than 2.00%, showing good repeatability. In conclusion, the real-time PCR detection method for the TSST-1 toxin gene *tst* of *Staphylococcus aureus* has high sensitivity, good repeatability and strong specificity. The results of this study provide a reliable technical means for the detection of the TSST-1 toxin gene of *Staphylococcus aureus*.

Key words: *Staphylococcus aureus*; TSST-1 toxin gene (*tst*); real-time PCR

金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 是一种重要的临床病原菌,可引发皮肤感染、严重组织感染及败血症等一系列重症^[1]。该菌通过促进组织侵袭、黏附或免疫逃避的毒力因子的选择性表达,定植于人或动物组织并在复杂环境中存活^[2]。其产生的毒力因子可诱发宿主先天性和适应性免疫反应,其中 T 细胞超抗原 (SAg) 是一种重要的毒力因子,属于金黄色葡萄球菌外毒素家族,可通过多种方式作用于宿主免疫系统^[3]。目前已在金黄色葡萄球菌中发现 29 种 T 细胞超抗原毒素,包括中毒性休克综合征毒素 1 (TSST-1)、葡萄球菌肠毒素 (SE) 及类肠毒素 (SEI) 等^[4-5]。

在金黄色葡萄球菌中约 5%~50% 的菌株可产生 TSST-1^[6]。该毒素通过增强机体对内毒素的敏感性导致局部或全身损伤,其诱导 T 细胞增殖和激活的能力远超普通抗原。TSST-1 进入机体后,以非抗原依赖方式激活 T 细胞和抗原呈递细胞 (APC),干扰宿主对病原体的免疫应答^[7],具体而言,它可同时与 T 细胞受体 β 链及主要组织相容性复合体 (MHC) II 类分子 α 链结合,触发信号通路级联反应,导致 T 细胞和 APC 过度激活并释放大量细胞因子^[8]。这种非特异性、过量的 T 细胞激活可引发中毒性休克综合征 (TSS),甚至导致多器官衰竭及自身免疫性疾病。研究结果显示,从 TSS 患者中分离的金黄色葡萄球菌菌株中,*tst* 基因 (编码 TSST-1) 的检出率高达 70%,且该基因与菌株导致多器官功能障碍的致病性密切相关^[9-10]。此外,*tst* 基因的携带量与金黄色葡萄球菌的感染风险呈正相关,是感染性的重要关联因素^[11]。褚敏君^[12]的研究结果也证实,儿童重症肺炎患者中致病菌 *tst* 基因检出率显著升高,且携带该致病菌基因的患儿临床病情更重 (炎症指标升高、肺部感染程度加剧)。

随着对 TSST-1 的研究不断深入,建立高特异性、高灵敏度的检测技术成为迫切需求。传统检测方法中,普通定量 PCR 准确性和重复性不足,免疫学方法 (如 ELISA) 虽有效但操作繁琐、耗时较长且抗体制备难度大^[13]。相比之下,基于核酸特异性序列的实时荧光定量 PCR (qPCR) 具有快速、敏感、特异性强且稳定的优势,已广泛应用于金黄色葡萄球菌、肺炎链球菌等致病菌的检测^[14]。目前,针对金黄色葡萄球菌 *tst* 基因的 qPCR 检测方法尚未见报道。因此,本研究拟建立一种高灵敏度、高特异性且快速的 *tst* 基因 qPCR 检测方法,用于 TSST-1 的定性定量检测及产 TSST-1 菌株的筛查,以期为相关感染的早期诊断和防治提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验菌株

金黄色葡萄球菌 834 菌株、金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株、大肠杆菌菌株、猪链球菌菌株、枯草芽孢杆菌菌株、铜绿假单胞菌菌株以及鸡源和牛源金黄色葡萄球菌分离株均由吉林师范大学生命科学学院微生物研究室保存。

1.2 仪器设备

实时荧光定量 PCR 仪为安捷伦 (Agilent) 科技有限公司产品;1580R 高速冷冻离心机为上海贝晶生物技术有限公司产品;Eppendorf 多功能基因扩增仪为 Eppendorf (上海) 实验室科技有限公司产品。

1.3 引物的设计合成

根据 GenBank 中金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因 *tst* 序列设计特异性引物,上游引物 *tst*-U1 序列为 5'-GTTGCTTGCACAAATCGCT-3',下游引物 *tst*-L1 序列为 5'-CTGATGCTGCCATCTGTGTT-3',目的片段预期长度为 204 bp。

1.4 质粒标准品的制备与鉴定

以金黄色葡萄球菌 834 菌株的 DNA 为模板,用上下游引物 *tst*-U1 和 *tst*-L1 进行 PCR 扩增,同时设阴性对照(金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株的 DNA)和空白对照(无菌水)。PCR 反应体系(20.0 μ L): 2 \times San *Taq* PCR Mix 10.0 μ L,上游引物(浓度为 25 μ mol/L)0.5 μ L,下游引物(浓度为 25 μ mol/L)0.5 μ L,模板 DNA 2.0 μ L,双蒸无菌水补足至 20.0 μ L。反应程序:95 $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94 $^{\circ}$ C 变性 30 s,55 $^{\circ}$ C 退火 30 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 1 min,共 30 个循环;最后 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。将纯化的 PCR 产物与 pMD-18T 载体连接,转化至大肠杆菌(*Escherichia coli*) DH5 α 感受态细胞,涂布于含氨苄青霉素(Amp⁺)的 LB 固体培养基,培养后筛选阳性菌落。挑取阳性菌落接种至含氨苄青霉素的 LB 液体培养基,培养 16 h 后,通过 PCR 验证阳性克隆。提取阳性质粒送至生工生物工程(上海)股份有限公司测序,序列验证正确后作为质粒标准品。

质粒拷贝数计算公式:

表 1 阳性质粒标准品稀释倍数和对应的拷贝数

Table 1 Dilution ration of plasmid standards and corresponding copies

稀释倍数(倍)	1 \times 10 ¹	1 \times 10 ²	1 \times 10 ³	1 \times 10 ⁴	1 \times 10 ⁵	1 \times 10 ⁶	1 \times 10 ⁷	1 \times 10 ⁸
拷贝数(个)	1.29 \times 10 ¹²	1.29 \times 10 ¹¹	1.29 \times 10 ¹⁰	1.29 \times 10 ⁹	1.29 \times 10 ⁸	1.29 \times 10 ⁷	1.29 \times 10 ⁶	1.29 \times 10 ⁵

1.7 荧光定量 PCR 敏感性试验

应用建立的荧光定量 PCR 和普通 PCR 分别对 1 μ L 1.29 \times 10⁵ 个拷贝数至 1 μ L 1.29 个拷贝数重组质粒的模板进行扩增,以双蒸无菌水为阴性对照,每个浓度重复 3 次试验,对比分析荧光定量 PCR 和普通 PCR 方法的最低检测限,以评估两种方法在检测低拷贝重组质粒的敏感性。

1.8 荧光定量 PCR 特异性试验

取 1 μ L 1.29 \times 10⁵ 个拷贝数的重组质粒为模板,同时以金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株、大肠杆菌菌株、枯草芽孢杆菌菌株、猪链球菌菌株和铜绿假单胞菌菌株的 DNA 为对照,进行荧光定量 PCR 验证其特异性。

1.9 荧光定量 PCR 重复性试验

取 1 μ L 1.29 \times 10⁵ 个拷贝数至 1 μ L 1.29 \times 10³ 个拷贝数的重组质粒为模板,分别进行 3 次组内和 3 次组间重复试验,基于每组重复试验的 *C_q* 均值计算标

拷贝数(个,1 μ L)=[质粒质量浓度(g/ μ L) \times 6.02 \times 10²³(拷贝,1 mol)]/[(碱基对数 \times 660)g/mol]

1.5 TSST-1 毒素基因荧光定量 PCR 检测方法的建立

选择不同引物浓度(0.10 μ mol/L、0.15 μ mol/L、0.20 μ mol/L)和不同退火温度(51 $^{\circ}$ C、52 $^{\circ}$ C、53 $^{\circ}$ C)进行优化,反应体系为(15 μ L):TB Green Premix *Ex Taq* II 试剂[宝生物工程(大连)有限公司产品]7.5 μ L,上下游引物各 0.2 μ L,质粒模板 1.5 μ L,双蒸无菌水 5.6 μ L。以最高荧光值和最小循环阈值(*C_q*)来确定最佳引物浓度和退火温度。

1.6 标准曲线的建立

用双蒸无菌水对质粒标准品进行 10 倍梯度稀释,各稀释度对应的拷贝数见表 1。以不同拷贝数的质粒为模板进行 3 次荧光定量 PCR,同时设置双蒸无菌水作为阴性对照。以质粒标准品的稀释倍数为横坐标,*C_q* 值为纵坐标,绘制标准曲线及熔解曲线。

准差和变异系数评估其重复性。

1.10 金黄色葡萄球菌临床分离株的检测

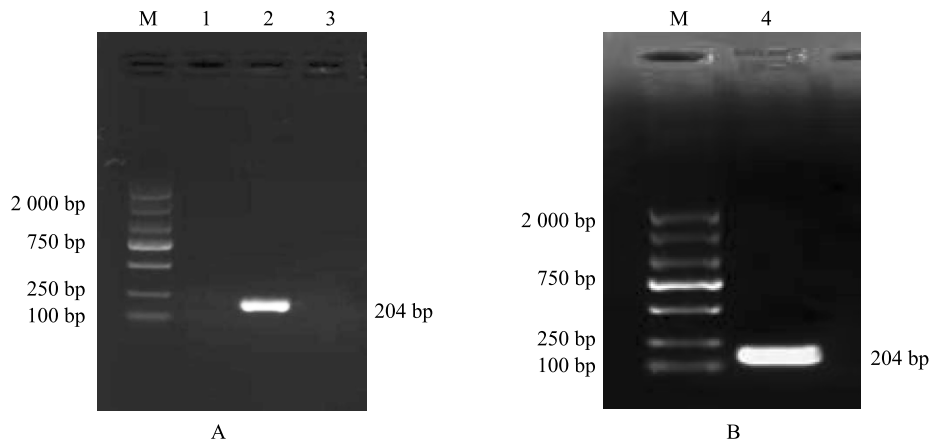
对从吉林省不同地区不同奶牛场和养鸡场采集样品分离得到的 56 株金黄色葡萄球菌菌株进行 *tst* 基因的实时荧光定量 PCR 检测。

2 结果与分析

2.1 基因扩增及质粒标准品的制备与鉴定

以金黄色葡萄球菌 834 基因组 DNA 为模板,使用引物 *tst*-U1 和 *tst*-L1 进行 PCR 扩增,电泳检测结果显示,扩增片段大小为 204 bp,与预期相符;金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株阴性对照和空白对照均未出现特异性条带(图 1A)。PCR 扩增重组质粒 pMD18-T-*tst*,获得目的片段大小与预期一致(图 1B)。测序鉴定重组质粒片段与 NCBI 发表的序列(CP162438.1)相似度为 100%,表明质粒构建成功,可用作后续试验的阳性标准品。经测定该质粒质量

浓度为 $50.4 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, OD_{260}/OD_{280} 值为 1.845, 重组质粒 1 μL 的拷贝数为 1.29×10^{13} 个。



A: *tst* 基因的 PCR 鉴定; B: 重组质粒 pMD18-T-*tst* 的 PCR 鉴定。M: 2 000 bp DNA marker; 1: 金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株; 2: 金黄色葡萄球菌 834 菌株; 3: 空白对照; 4: 重组阳性质粒。

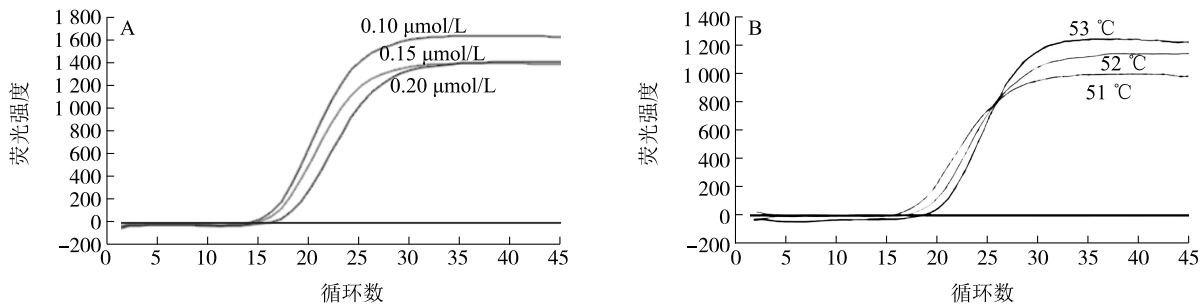
图 1 基因扩增及重组质粒的鉴定结果

Fig.1 The results of gene amplification and recombinant plasmid identification

2.2 TSST-1 毒素基因荧光定量 PCR 检测方法的建立

以出现最高荧光值和最小 C_q 值为标准, 最终

确定最佳引物浓度为 $0.1 \mu\text{mol}/\text{L}$, 最佳退火温度为 $53 \text{ }^\circ\text{C}$, 扩增曲线结果见图 2A 和图 2B。



A: 不同引物浓度 ($0.10 \mu\text{mol}/\text{L}$, $0.15 \mu\text{mol}/\text{L}$, $0.20 \mu\text{mol}/\text{L}$) 的优化; B: 不同退火温度 ($51 \text{ }^\circ\text{C}$, $52 \text{ }^\circ\text{C}$, $53 \text{ }^\circ\text{C}$) 的优化。

图 2 荧光定量 PCR 方法优化

Fig.2 Optimization of the real-time PCR method

2.3 实时荧光定量 PCR 扩增标准曲线的建立

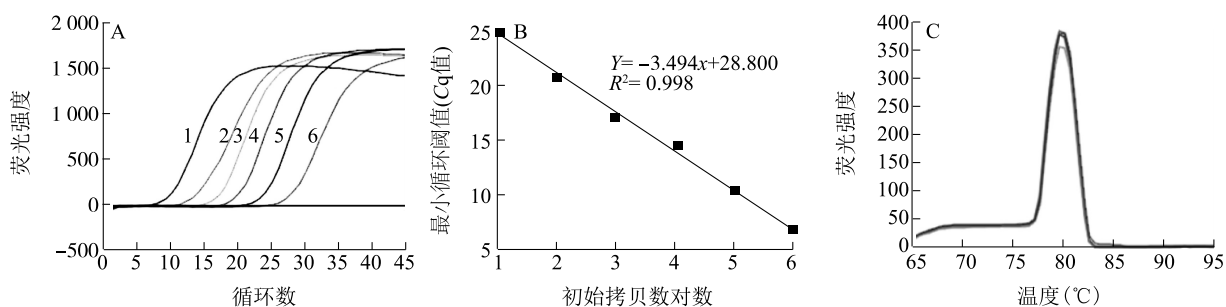
1 μL 1.29×10^8 个至 1 μL 1.29×10^3 个不同拷贝数重组质粒的实时荧光定量 PCR 均可以获得 *tst* 基因的特异性扩增曲线, 6 条扩增曲线呈梯度分布 (图 3A)。决定系数 (R^2) 为 0.998, 扩增效率为 93.28%, 标准曲线方程为: $Y = -3.494x + 28.800$ (图 3B)。在熔解曲线分析中, 所有样品在 $79.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 均出现了单一明显的熔解峰, 表明扩增体系具有高度特异性 (图 3C)。

2.4 荧光定量 PCR 敏感性

从图 4A 可见, 重组质粒拷贝数为 1 μL $1.29 \times$

10^1 个时仍可观察到扩增曲线并获得 C_q 值, 但从图 4B 可见, 熔解曲线与阴性对照的熔解峰相同, 存在非特异性扩增现象。因此确定荧光定量 PCR 方法的最低检测拷贝数为 1 μL 1.29×10^2 个。

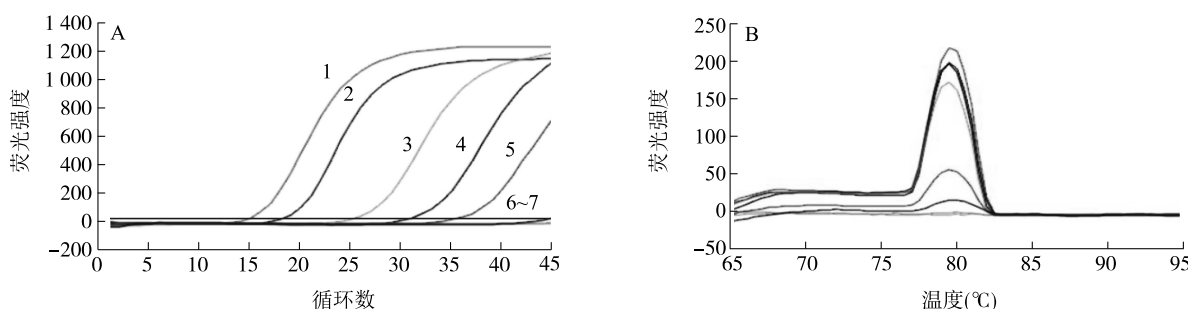
采用拷贝数分别为 1 μL 1.29×10^{11} 个至 1 μL 1.29×10^3 个的阳性重组质粒进行普通 PCR 扩增, 结果显示拷贝数为 1 μL 1.29×10^6 个的阳性重组质粒能够明显观察到扩增条带; 在 1 μL 1.29×10^4 个时能检测到模糊的条带, 而在 1 μL 1.29×10^3 个时不能检测到条带 (图 5)。



A: 扩增曲线; B: 标准曲线; C: 熔解曲线。1~6 分别表示拷贝数从 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^8$ 个至 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^3$ 个不同拷贝数的重组质粒进行实时荧光定量 PCR 所获得的 *tst* 基因特异性扩增曲线。

图3 金黄色葡萄球菌 *tst* 基因实时荧光定量 PCR 扩增

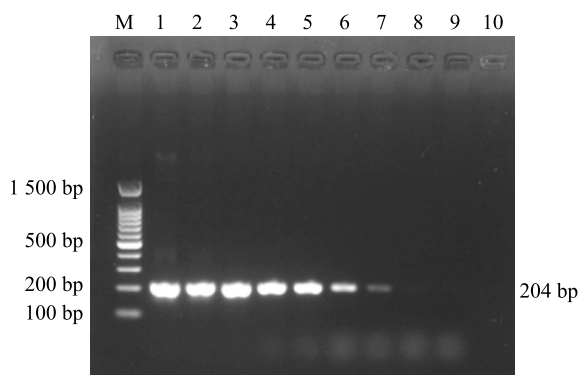
Fig.3 The real-time PCR amplification of *Staphylococcus aureus* *tst* gene



A: 荧光定量 PCR 敏感性扩增曲线; B 荧光定量 PCR 敏感性熔解曲线。1~6 分别表示拷贝数从 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^5$ 个至 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^0$ 个重组质粒荧光定量 PCR 敏感性扩增曲线; 7 为阴性对照。

图4 荧光定量 PCR 敏感性试验的扩增曲线与熔解曲线

Fig.4 Amplification and melting curves of real-time PCR sensitivity test



M: 100 bp DNA ladder; 1~9 分别表示拷贝数从 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^{11}$ 个至 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^3$ 个重组质粒普通 PCR 扩增; 10 为阴性对照。

图5 普通 PCR 对不同拷贝数阳性重组质粒扩增的敏感性检测电泳图

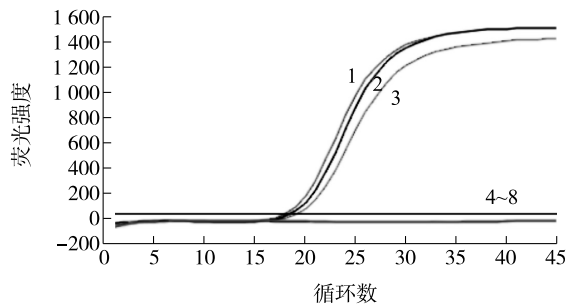
Fig.5 Electrophoresis image for detecting the sensitivity of conventional PCR in amplifying positive recombinant plasmids with different copy numbers

2.5 荧光定量 PCR 特异性

对拷贝数为 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^5$ 个的阳性重组质粒以及金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株、大肠杆菌菌株、枯草芽孢杆菌菌株、猪链球菌菌株和铜绿假单胞菌菌株 DNA 进行实时荧光定量 PCR 检测, 结果如图 6 所示, 仅 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^5$ 个拷贝数的阳性重组质粒观察到了明显的扩增曲线, 表明实时荧光定量 PCR 方法具有高度的特异性, 未与其他不携带 *tst* 基因的细菌菌株 DNA 产生交叉反应。

2.6 荧光定量 PCR 重复性

选取 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^5$ 个拷贝至 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^3$ 个拷贝重组质粒标准品验证实时荧光定量 PCR 检测方法的重复性, 结果显示, 无论是组内重复还是组间重复变异系数均低于 2.00% (表 2), 表明本研究建立的金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因的实时荧光定量 PCR 检测方法具有良好的重复性。



1~3 分别表示拷贝数为 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^5$ 个阳性质粒重复组;4~8 分别为金黄色葡萄球菌 RN4220 菌株、大肠杆菌菌株、枯草芽孢杆菌菌株、猪链球菌菌株和铜绿假单胞菌菌株的 DNA。

图 6 实时荧光定量 PCR 特异性试验中不同菌株 DNA 扩增曲线对比

Fig.6 Comparison of DNA amplification curves of different strains in the real-time PCR specificity test

2.7 金黄色葡萄球菌临床分离株的检测

对临床分离得到的 56 株金黄色葡萄球菌进行实时荧光定量 PCR 方法检测 *tst* 基因,结果显示,38 株金黄色葡萄球菌菌株携带 TSST-1 毒素基因 *tst*,阳性率为 67.9%。

表 2 金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因实时荧光定量 PCR 检测方法的重复性试验结果

Table 2 Repeatability of the real-time PCR assay for detection of TSST-1 toxin gene in *Staphylococcus aureus*

标准质粒浓度 (拷贝数, $1 \mu\text{L}$)	组内		组间	
	$\bar{X} \pm SD$	变异系数 (%)	$\bar{X} \pm SD$	变异系数 (%)
1.29×10^5	17.72 ± 0.30	1.24	17.60 ± 0.33	1.36
1.29×10^4	21.90 ± 0.51	1.65	21.90 ± 0.51	1.64
1.29×10^3	26.58 ± 0.14	0.38	26.53 ± 0.25	0.68

\bar{X} : 循环阈值的平均值;SD: 标准差。

3 讨论

TSST-1 是金黄色葡萄球菌产生的一种重要的超抗原,与金黄色葡萄球菌的致病性密切相关,是引发严重的中毒性休克综合征关键因素之一^[15]。中毒性休克综合征是由毒素介导的感染性疾病,它会导致患者出现迅速而严重的休克、多器官衰竭,甚至会引发死亡等严重后果^[6]。实现对 TSST-1 的快速且准确检测,对于中毒性休克综合征的及时诊断及后续治疗具有重要意义。

目前,对于 TSST-1 的免疫血清学检测技术存

在灵敏度欠佳、易出现假阴性及操作过程繁琐等不足;普通 PCR 检测技术易受污染、操作复杂且耗时较长;生物传感器检测技术则在稳定性、准确性方面存在局限,且制备与维护成本较高,一定程度上限制了这些检测方法的应用^[16-17]。而实时荧光定量 PCR 检测技术具有极佳的灵敏度、污染风险低以及手工操作时间短等优点,并且无需进行 PCR 后的分析步骤^[18],已经被广泛应用于沙门氏菌^[19]、伯克霍尔德氏菌^[20] 和大肠杆菌^[21] 等病原的快速检测。本研究建立了针对金黄色葡萄球菌 TSST-1 毒素基因 *tst* 快速和高灵敏度的实时荧光定量 PCR 检测方法,最低可检测到的拷贝数为 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^2$ 个,其灵敏度比常规 PCR 检测方法高 100 倍。该检测方法的全过程仅需 2~3 h,显著提高了检测效率,具有较强的特异性和数据可重现性^[22-23]。该方法可精准、高效识别目标 DNA 片段,即使阳性重组质粒稀释至 $1 \mu\text{L } 1.29 \times 10^2$ 个拷贝数,依然可成功扩增。通过对多种细菌 DNA 样本进行实时荧光定量 PCR 分析,仅阳性重组质粒呈现扩增曲线,充分证明该实时荧光定量 PCR 检测方法具备很强的特异性,可保障临床诊断结果的准确性。

4 结论

本研究所建立的实时荧光定量 PCR 检测方法,具备较强的灵敏度与特异性,同时有效缩短了检测所花费的时间,这对于快速准确诊断由产 TSST-1 毒素的金黄色葡萄球菌引发的中毒性休克综合征极为关键。凭借对 TSST-1 毒素基因 *tst* 的高精度检测结果,既提升了实验室的工作效率,也为患者得到及时救治提供了有力支持。

参考文献:

- [1] AHMAD-MANSOUR N, LOUBET P, POUGET C, et al. *Staphylococcus aureus* toxins: an update on their pathogenic properties and potential treatments[J]. *Toxins*, 2021, 13(10): 677.
- [2] HAN J, SHI W L, XU X G, et al. Conditions and mutations affecting *Staphylococcus aureus* L-form formation[J]. *Microbiology*, 2015, 161: 57-66.
- [3] PENG L C, JIANG J L, CHEN T T, et al. Toxic shock syndrome toxin 1 induces immune response via the activation of NLRP3 inflammasome[J]. *Toxins*, 2021, 13(1): 68.
- [4] TUFFS S W, GONCHEVA M I, XU S X, et al. Superantigens promote *Staphylococcus aureus* bloodstream infection by eliciting pathogenic interferon-gamma production[J]. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America, 2022, 119(8):2115987119.
- [5] HU D L, LI S W, FANG R D, et al. Update on molecular diversity and multipathogenicity of staphylococcal superantigen toxins[J]. *Animal Diseases*, 2021, 1(1):7.
- [6] HANSEN N S, LETH S, NIELSEN L T. Toxic shock syndrome [J]. *Ugeskrift for Laeger*, 2020, 182(20):11190673.
- [7] GRUMANN D, RUOTSALAINEN E, KOLATA J, et al. Characterization of infecting strains and superantigen-neutralizing antibodies in *Staphylococcus aureus* bacteremia[J]. *Clinical and Vaccine Immunology*, 2011, 18(3):487-493.
- [8] ABDURRAHMAN G, SCHMIEDEKE F, BACHERT C, et al. Allergy-a new role for T cell superantigens of *Staphylococcus aureus*? [J]. *Toxins*, 2020, 12(3):176.
- [9] DEURENBERG R H, NIEUWENHUIS R F, DRIESSEN C, et al. The prevalence of the *Staphylococcus aureus* *tst* gene among community- and hospital-acquired strains and isolates from Wegener's Granulomatosis patients[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2005, 245(1):185-189.
- [10] ZHENG Y, QIN C H, ZHANG X F, et al. The *tst* gene associated *Staphylococcus aureus* pathogenicity island facilitates its pathogenesis by promoting the secretion of inflammatory cytokines and inducing immune suppression[J]. *Microbial Pathogenesis*, 2020, 138:103797.
- [11] ZAREI KOOSHA R, MAHMOODZADEH HOSSEINI H, MEHDI-ZADEH AGHDAM E, et al. Distribution of *tsst-1* and *MecA* genes in *Staphylococcus aureus* isolated from clinical specimens [J]. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 2016, 9(3):29057.
- [12] 褚敏君. *tst* 基因在儿童金黄色葡萄球菌肺炎中的临床应用价值研究[D]. 昆明:昆明医科大学, 2022.
- [13] MOHAMMAD S M, HEGAZY L A, ABDEL HADY R S, et al. Real-time PCR versus traditional and Nano-based ELISA in early detection of murine trichinellosis [J]. *Journal of Helminthology*, 2023, 97:67.
- [14] KRISHNANNAIR GEETHA D, SIVARAMAN B, RAMMOHAN R, et al. A SYBR Green based multiplex Real-Time PCR assay for rapid detection and differentiation of ocular bacterial pathogens [J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2020, 171:105875.
- [15] DUFRESNE K, DIMAGGIO D A, MADUTA C S, et al. Discovery of an antivirulence compound that targets the *Staphylococcus aureus* SaeRS two-component system to inhibit toxic shock syndrome toxin-1 production [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2024, 300(7):107455.
- [16] FERNANDES S M, LUNA A, HALL T, et al. Toxic shock syndrome after orthopaedic surgery [J]. *Cureus*, 2023, 15(7):42609.
- [17] MEHROTRA M, WANG G, JOHNSON W M. Multiplex PCR for detection of genes for *Staphylococcus aureus* enterotoxins, exfoliative toxins, toxic shock syndrome toxin 1, and methicillin resistance [J]. *Journal of Clinical Microbiology*, 2000, 38(3):1032-1035.
- [18] NAVARRO E, SERRANO-HERAS G, CASTAÑO M J, et al. Real-time PCR detection chemistry [J]. *Clinica Chimica Acta*, 2015, 439:231-250.
- [19] MÜNSTER P, PÖPPEL L, ANTAKLI A, et al. The detection of *Salmonella* enteritidis on German layer farms after cleaning and disinfection [J]. *Animals*, 2023, 13(16):2588.
- [20] LIU A X, PHILLIPS K, JIA J Y, et al. Development of a qPCR detection approach for pathogenic *Burkholderia cenocepacia* associated with fresh vegetables [J]. *Food Microbiology*, 2023, 115:104333.
- [21] COSTA-RIBEIRO A, AZINHEIRO S, ROUMANI F, et al. Multiplex real-time PCR for the detection of shiga toxin-producing *Escherichia coli* in foods [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2023, 2967:63-73.
- [22] CAO N, TANG Z H, ZHANG X Y, et al. Development and application of a triplex TaqMan quantitative real-time PCR assay for simultaneous detection of feline calicivirus, feline parvovirus, and feline herpesvirus 1 [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, 8:792322.
- [23] WANG J H, GUO K, LI S J, et al. Development and application of real-time PCR assay for detection of *Salmonella abortusequi* [J]. *Journal of Clinical Microbiology*, 2023, 61(3):0137522.

(责任编辑:黄克玲)