

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.60144

# 基于量子点纳米粒子对乳制品中 致病菌进行定性分析

王芳妹<sup>1,2</sup> 钟文涛<sup>1,2</sup> 李政<sup>1,2</sup> 徐越<sup>1,2</sup> 苏家佑<sup>1,2</sup> 向俊<sup>1,2</sup>  
陈瑶<sup>1,2</sup> 李白玉<sup>1,2</sup> 卢琳<sup>1,2</sup> 方群<sup>1,2</sup>

(1. 湖南省产商品质量检验研究院, 湖南 长沙 410007; 2. 湖南省食品安全监测预警重点实验室, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** [目的] 基于量子点纳米粒子构建多元定性分析食品微生物中致病菌检测的新方法, 以满足当前食品安全监管和短保食品时效要求。[方法] 量子点有着丰富类别和多样的合成方法, 与免疫荧光分析方法结合, 可快速、灵敏、高效检测两种或更多种不同致病菌的方法。[结果] 该方法可有效同时快速、灵敏、高效地检测食源性致病菌。当菌数为  $10^3$  CFU/mL 时, 在 15 min 内仍可检测出。对不同基质的乳制品通过盲样致病菌添加后检测, 与传统方法符合率达到 100%。[结论] 该方法对致病菌检测的特异性强、灵敏度高, 且操作简便、检测时间短, 具有良好的实用性。

**关键词:** 量子点; 纳米粒子; 乳制品; 致病菌; 定性分析

## Qualitative analysis of pathogenic bacteria in dairy products based on quantum dot nanoparticles

WANG Fangmei<sup>1,2</sup> ZHONG Wentao<sup>1,2</sup> LI Zheng<sup>1,2</sup> XU Yue<sup>1,2</sup> SU Jiayou<sup>1,2</sup> XIANG Jun<sup>1,2</sup>  
CHEN Yao<sup>1,2</sup> LI Baiyu<sup>1,2</sup> LU Lin<sup>1,2</sup> FANG Qun<sup>1,2</sup>

(1. Hunan Provincial Institute of Quality Inspection of Products, Changsha, Hunan 410007, China;  
2. Key Laboratory Food Safety Monitoring and Early Warning, Changsha, Hunan 410007, China)

**Abstract:** [Objective] To develop a novel multivariate qualitative analysis method for detecting pathogenic bacteria in food microorganisms based on quantum dot nanoparticles, aiming to meet the current requirements of food safety supervision and the timeliness of short-shelf-life food detection. [Methods] Quantum dots, with their diverse categories and various synthesis methods, were combined with immunofluorescence analysis to establish a rapid, sensitive, and efficient method for detecting two or more different pathogenic bacteria. [Results] This method enabled the simultaneous, rapid, sensitive, and efficient detection of foodborne pathogens. When the bacterial concentration was  $10^3$  CFU/mL, pathogens could still be detected within 15 min. Blind sample testing of pathogenic bacteria in dairy products with different substrates showed a 100% agreement rate with traditional methods. [Conclusion] This method exhibits strong specificity and high sensitivity for pathogen detection, while also being simple to operate and requiring a short detection time, making it highly practical.

**Keywords:** quantum dot; nanoparticles; dairy products; pathogenic bacterium; qualitative research

食源性疾病(FD)被定义为一种由摄入含有病原制剂的食物或水引起的综合征,影响消费者的健康<sup>[1]</sup>。食源性疾病会出现多种胃肠道症状,如恶心、呕吐、腹泻、腹痛、发热等,在某些情况下还会出现脓毒症、脑膜炎、流产、瑞特综合征、癌症或死亡等<sup>[2]</sup>。这些疾病主要影响儿童、孕

妇、免疫系统受损的人及老年人。据世界卫生组织<sup>[3]</sup>估计,每年全世界每10人中就有1人因食物而受到这些疾病的影响,有42万人死亡,特别是儿童。食源性疾病由于其发病率和死亡率及对生产力、贸易、卫生服务成本、实施和食品安全监测的负面影响,被认为是世界范围内的

基金项目:湖南省市场监督管理局科技计划项目(编号:2024KJJH07,2023KJJH16)

收稿日期:2024-10-26 改回日期:2025-02-11

引用格式:王芳妹,钟文涛,李政,等. 基于量子点纳米粒子对乳制品中致病菌进行定性分析[J]. 食品与机械,2025,41(3):39-44.

Citation:WANG Fangmei, ZHONG Wentao, LI Zheng, et al. Qualitative analysis of pathogenic bacteria in dairy products based on quantum dot nanoparticles[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 39-44.

公共卫生事件<sup>[4]</sup>。乳制品是许多微生物生长的最佳培养基,极易腐败变质,不安全的乳制品会导致人们急性中毒,甚至导致死亡<sup>[5]</sup>。

由于幼儿自身免疫系统尚未发育完全,抵抗力较弱,大肠埃希菌感染可能会迅速发展。这种感染可能引发一系列呼吸道症状,如咳嗽、咳痰加重,还可能伴有发热、呼吸急促等。如果不及时治疗,炎症可能会进一步扩散,引起肺部更严重的病变,如肺炎、肺脓肿等<sup>[6]</sup>。近期,河南省疾病预防控制中心<sup>[7]</sup>通过食源性疾病预防数据发现,多起准妈妈、婴幼儿和老人因感染单核细胞增生李斯特氏菌引起败血症、脑膜炎,甚至流产和胎儿死亡的病例。最终流调发现,这些病例均与冰箱有关。单增李斯特菌是一种革兰氏阳性菌,能在低温环境下生长,在2~42℃的温度范围内都能生长,甚至在-20℃的冷冻室里也能存活1年<sup>[8]</sup>。因此,选择乳制品中的大肠埃希氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌作为研究对象。

当前,食源性致病菌的检测方法包括传统培养分离方法、分子生物学方法和免疫学等方法。传统培养分离检测方法乳品中的细菌病原体依赖于细菌的培养琼脂平板上的有机体,操作过程较为耗时<sup>[9]</sup>。分子诊断方法包括DNA分析,例如聚合酶链反应(PCR)<sup>[10]</sup>、多重实时PCR<sup>[11-13]</sup>等。近年来,已建立了一系列基于量子点纳米粒子新颖检测方法,如基于量子点的免疫磁珠分离<sup>[14-15]</sup>、免疫层析试纸条<sup>[16-17]</sup>、量子点荧光能量共振转移<sup>[18-19]</sup>、多重免疫荧光分析<sup>[20-21]</sup>、量子点流式细胞术<sup>[22]</sup>等方法。研究拟提出一种基于量子点探针与免疫荧光分析方法结合,同时快速检测2种或更多不同的致病菌的方法,以期研究者提供快速、灵敏、高效的检测方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

量子点纳米球:上海昆道生物技术有限公司;

李斯特菌和大肠埃希菌抗体:单抗,上海昆道生物技术有限公司;

脑心浸液培养基(BHI)、平板计数琼脂(PCA)等培养基:北京陆桥技术股份有限公司;

GN/GP卡:生物梅里埃美国股份有限公司;

试验所用标准储备菌株:美国菌株保存中心(ATCC)和中国工业微生物菌种保藏管理中心(CICC)。

### 1.2 主要仪器

胶体金试纸条喷点系统仪:XY3060型,美国BIODOT公司;

微电脑裁切机:SB-C6型,深圳市华之鑫自动化设备有限公司;

电热鼓风干燥箱:HTG-9620A型,上海慧泰股份有限公司;

透射电子显微镜(TEM):JEOL 2100F型,美国THERMO公司;

微量移液器:F<sub>1</sub> Series型,美国THERMO公司;

精密电子天平:FA2004型,常州市幸运电子设备有限公司;

荧光免疫分析仪:FIC-Q100型,苏州和迈精密仪器有限公司;

Zeta 电位仪:Zetasizer Nano ZS90型,英国Malvern Instruments公司;

迷你高速离心机:Minispin型,德国Eppendorf公司。

### 1.3 菌种制备

将包括单核细胞增生李斯特氏菌在内的食品中常见致病菌的标准储备菌株在BHI液体培养基中培养24 h后取1 mL单核细胞增生李斯特氏菌液逐级稀释至10<sup>-7</sup>,选择7个稀释度(10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-7</sup>)分别吸取1 mL于营养琼脂平板中,36℃培养1~2 d后计数,其他常见致病菌逐级稀释后,分别吸取1 mL于PCA平板中,36℃培养2 d后计数,计数结果见表1。

表1 常见致病菌的标准储备菌株及原液活菌数

Table 1 Standard reserve strains and viable cell counts of common pathogenic bacteria

名称	学名	菌种库	原液活菌数/(CFU·mL <sup>-1</sup> )
大肠埃希氏菌	<i>E. coli</i>	ATCC25922	6.9×10 <sup>8</sup>
单核细胞增生李斯特菌	<i>L. monocytogenes</i>	ATCC19115	4.8×10 <sup>8</sup>
鼠伤寒沙门氏菌	<i>S. typhimurium</i>	ATCC14028	8.0×10 <sup>8</sup>
英诺克李斯特菌	<i>L. innocua</i>	ATCC33090	5.6×10 <sup>8</sup>
斯氏李斯特菌	<i>L. seeligeri</i>	ATCC35967	2.3×10 <sup>8</sup>
伊氏李斯特菌	<i>L. ivanovii</i>	ATCC19119	5.3×10 <sup>8</sup>
蜡样芽孢杆菌	<i>B. cereus</i>	ATCC11778	3.0×10 <sup>6</sup>
副溶血性弧菌	<i>V. Parahemolyticus</i>	ATCC17802	4.2×10 <sup>6</sup>
阪崎肠杆菌	<i>E. sakazakii</i>	ATCC29544	5.3×10 <sup>8</sup>
金黄色葡萄球菌	<i>S. typhimurium</i>	ATCC6538	1.5×10 <sup>8</sup>

### 1.4 偶联试验

取4份200 μL磷酸缓冲液(pH 6.0)于离心管中,向其分别加入100 μL微球,超声混匀;将1-乙基-3[3-二甲基氨基丙基]碳二亚胺盐酸盐(EDC)用磷酸缓冲液(pH 6.0)配成20 mg/mL,分别加入6 μL,混匀孵育30 min;15 000 r/min离心10 min,去上清;取100 μL磷酸缓冲液(pH 6.0)加入两支去上清后微球离心管中,超声混匀,同理磷酸缓冲液(pH 7.0)同样操作;试验序号对应条件取抗体50 μg于100 μL磷酸缓冲液中,混匀,再向其加入对应条件活化后的微球50 μL,超声混匀,孵育30 min;8 000 r/min离心5 min,去上清;加入试验序号对应的封闭液100 μL,超声混匀。孵育2 h。

### 1.5 纸条测试试验

该产品为侧向层析试纸条,有3个条带:靠上的质控线(C线),中间的检测线(T<sub>1</sub>线)和靠下的检测线(T<sub>2</sub>线)

(见图1)。在C线处包被有羊抗鼠二抗, T<sub>1</sub>线处包被有大肠埃希氏单抗, T<sub>2</sub>线处包被有单核细胞增生李斯特氏菌单抗。分别用划膜仪固定在硝酸纤维膜上, 结合垫采用量子点大肠埃希氏和单核细胞增生李斯特氏菌抗体偶联物浸润, 37 °C下干燥后将样品垫、结合垫、硝酸纤维素膜和吸水纸, 按顺序粘贴到PVC底板上, 各部分重叠以保证样品液体的流动。其检测原理为双抗体夹心法, 在检测过程中, 样品中的大肠埃希氏或单核细胞增生李斯特氏菌在毛细作用下往吸水纸方向移动, 结合垫中的量子点抗体偶联物会标记到大肠埃希氏或单核细胞增生李斯特氏菌上, 在继续往吸水纸方向移动的过程中, 检测线上的大肠埃希氏或单核细胞增生李斯特氏菌抗体会将标记量子点的大肠埃希氏捕获, 形成检测带, 未标记大肠埃希氏和单核细胞增生李斯特氏菌的量子点抗体偶联物继续移动至质控线被羊抗兔二抗捕获形成质控线。

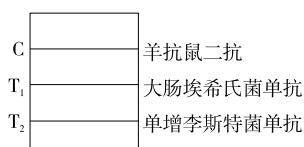


图1 层析试纸条带

Figure 1 Chromatographic strip

取出所需数量的试纸条, 做好标记; 用无菌培养基将大肠埃希氏阳性原液样本按照  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  进行稀释; 用无菌培养基将单核细胞增生李斯特氏菌阳性原液样本按照  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  进行稀释; 按表2将待测液 1:1 混合; 用稀释液将单核细胞增生李斯特氏菌单抗荧光液和大肠埃希氏单抗荧光液按 200:1 进行稀释混合; 取待测液 50  $\mu$ L, 偶联液稀释液 50  $\mu$ L, 将二者混匀后全部滴加在试纸条样本垫部位; 常温下放置 15 min 后判读结果。

表2 大肠埃希氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌稀释配比

Table 2 Dilution ratio of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*

序号	大肠埃希氏菌	单核细胞增生李斯特氏菌	序号	大肠埃希氏菌	单核细胞增生李斯特氏菌
1	原液	0	4	$10^{-3}$	$10^{-2}$
2	$10^{-1}$	$10^0$	5	$10^{-4}$	$10^{-1}$
3	$10^{-2}$	$10^{-3}$	6	0	原液

### 1.6 抗干扰测试试验

取出所需数量的试纸条, 做好标记; 用无菌培养基将 8 株干扰菌阳性原液样本按照 1:10 进行稀释; 用稀释液将单核细胞增生李斯特氏菌单抗荧光液和大肠埃希氏单抗荧光液按 200:1 进行稀释混合; 取待测液 50  $\mu$ L, 偶联液稀释液 50  $\mu$ L。将二者混匀后全部滴加在试纸条样本垫部位; 常温下放置 15 min 后判读结果。

### 1.7 特异性分析

取已活化的英诺克李斯特菌、斯氏李斯特菌、伊氏李斯特菌、鼠伤寒沙门氏菌、阪崎肠杆菌、金黄色葡萄球菌和蜡芽孢杆菌等菌液, 按照 1.6 的方法对常见食源性致病菌进行特异性检测, C 线有条带, T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 无条带的, 判定为阴性; C 线有条带, T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 有条带, 判定为阳性。

### 1.8 灵敏度分析

将已计数的单核细胞增生李斯特氏菌和大肠埃希氏进行 10 倍梯度稀释, 按照 1.6 的方法稀释, 对各梯度稀释液的样品进行检测, C 线有条带, T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 无条带, 判定为阴性; C 线有条带, T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 有条带, 判定为阳性。

### 1.9 粒径检测

将量子点颗粒或者量子点-抗体偶联抗体颗粒分散在水溶液中, 混匀, 取 1 mL 待测液放入比色皿中, 上机测试可读取数值。

### 1.10 样品处理

对不同基质类乳制品样品, 分别添加大肠埃希氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌标准储备菌株, 加入相应的缓冲蛋白水 (BPW) 和李氏菌增菌肉汤 (LB<sub>1</sub>, LB<sub>2</sub>) 基础中培养 24 h 后, 一部分按照 GB 4789.38—2012 和 GB 4789.30—2016 第一法进行检测, 另一部分待测液按试验提出的方法检测。

### 1.11 样本验证

对不同基质类乳制品样品, 分别采用研究建立的基于量子点免疫荧光分析方法与传统的检测方法进行同步检测, 分析两种方法检测结果, 统计阳性与阴性符合率情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 测试表征量子点纳米球的投射电子显微镜图

试验使用的 CdTe 量子点呈近似球形, 量子点结晶性良好, 其晶型结构为立方晶相。利用试验方法制备的 CdTe 量子点在水溶液中具有很好的分散性与稳定性, 投射电子显微镜图如图 2 所示。

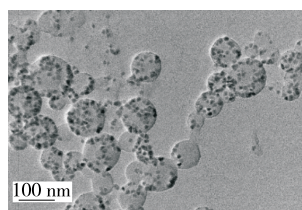


图2 投射电子显微镜图

Figure 2 Projected electron microscope image

### 2.2 抗体与量子点纳米球偶联的紫外吸收和荧光光谱图

量子点的荧光发射光谱显示, 580~680 nm 为荧光发射峰波段, 发射峰为 620 nm, 半峰宽为 75 nm, 荧光发射峰对称性好。CdTe 量子点在与大肠埃希氏抗体偶联之后, 分散性保持良好, 没有聚团, 其荧光性质保持稳定。CdTe 量子点在与抗体偶联后紫外-可见吸收光谱图和荧光光谱图基本不变 (见图 3)。

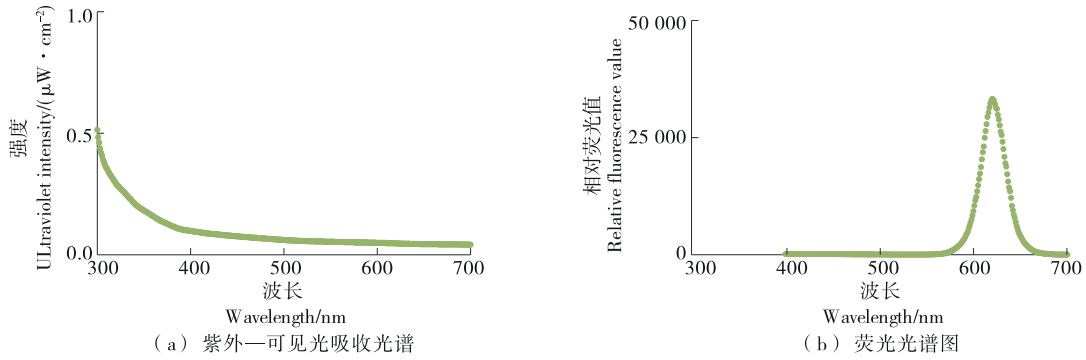


图 3 紫外—可见吸收光谱图和荧光光谱图

Figure 3 UV-VIS absorption spectra and fluorescence spectra

2.3 抗体与量子点纳米球偶联的粒径

为了确保量子点与抗体偶联是否成功,把颗粒分散在水溶液中,取 1 mL 放在比色皿中,分别检测了量子点纳米球与量子点纳米球—抗体偶联物的粒径大小与体积分布情况,详见图 4。结果显示,未偶联的量子点粒径在 100 nm 左右时,而量子点纳米球—抗体偶联物的粒径在 300 nm 左右时,体积分布才在同一个水平线上,说明量子点纳米球与量子点纳米球—抗体偶联成功。

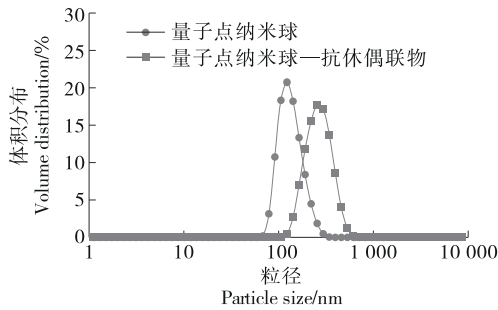


图 4 量子点纳米球与抗体偶联的粒径大小

Figure 4 Particle size of quantum dot nanospheres coupled with antibody

2.4 检测阴性和阳性菌的试纸结果

为了确保量子点与大肠抗体偶联成功,分别以单个菌落和两个菌的混合物对合成的试纸进行验证,结果(图 5)发现,不同的单个菌在相应的部位有条带(第 2 道和第 3 道),混合菌也在对应的部位有条带(第 1 道),再次证明合成的量子点纳米球与量子点纳米球—抗体偶联成功。

2.5 检测试纸的特异性

为了验证量子点与大肠埃希氏和单增李斯特菌抗体偶联物的特异性,选择了实验室常规的标准储备菌种进行验证,结果(图 6)发现,在大肠埃希氏条带处均未有可见的条带,包括鼠伤寒沙门氏菌、阪崎肠杆菌等肠杆菌科,结果为阴性;在单增李斯特菌条带处也均未有可见的条带,包括与单增李斯特菌保守序列相似的英诺克李斯特菌等,结果为阴性。说明合成的量子点与大肠埃希氏和单增李斯特菌抗体偶联物的特异性良好,此方法可行。

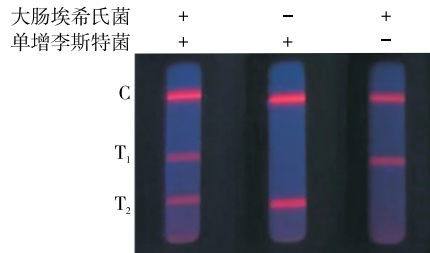
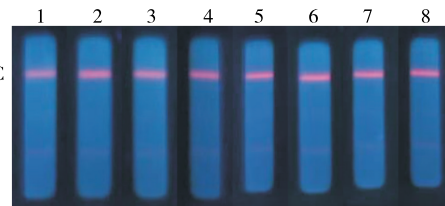


图 5 大肠埃希氏和单增李斯特标准储备菌在试纸上显示的条带

Figure 5 *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* standard reserve bacteria are displayed in strips



1. 鼠伤寒沙门氏菌 2. 英诺克李斯特菌 3. 斯氏李斯特菌 4. 伊氏李斯特菌 5. 蜡样芽孢杆菌 6. 副溶血性弧菌 7. 阪崎肠杆菌 8. 金黄色葡萄球菌

图 6 常见致病菌在试纸上的检测情况

Figure 6 Detection of common pathogens on the test paper

2.6 检测试纸的灵敏度

2.6.1 检测大肠埃希氏菌 为了验证大肠埃希氏量子点抗体偶联物的灵敏度,用无菌培养基将大肠埃希氏阳性原液样本( $6.9 \times 10^8$  CFU/mL)按照  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  进行稀释。由图 7 可知,当大肠埃希氏菌稀释至  $10^{-4}$  时,肉眼可见有明显条带,其检测范围大致为  $10^4$  CFU/mL。表明试验建立的检测方法对大肠埃希氏菌的灵敏度较高,检出限大致为  $10^4$  CFU/mL。

2.6.2 检测单增李斯特菌 为了验证单增李斯特菌量子点抗体偶联物的灵敏度,用无菌培养基将单核细胞增生李斯特菌阳性原液样本( $4.8 \times 10^8$  CFU/mL)按照  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  进行稀释。由图 8 可知,当单增李斯特菌

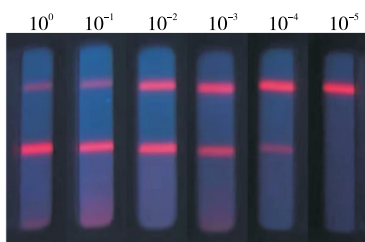


图7 不同菌数大肠埃希氏菌在试纸上的检测情况

Figure 7 Detection of *Escherichia coli* at different concentrations on the test paper

稀释至  $10^{-3}$  时,肉眼可见仍有条带,表明试验建立的检测方法对单增李斯特菌的灵敏度较高,检出限大致为  $10^4 \sim 10^5$  CFU/mL。

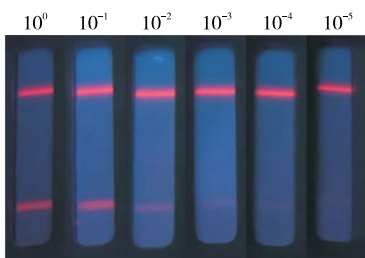


图8 不同菌数单增李斯特菌在试纸上的检测情况

Figure 8 Detection of *Listeria monocytogenes* at different concentrations on the test paper

2.6.3 同时检测大肠埃希氏菌和李斯特菌 在同一体系中验证大肠埃希氏和单增李斯特菌抗体偶联物的灵敏度。由图9可知,大肠埃希氏菌与单增李斯特菌按不同比例稀释时,可明显观察到检测条带。再次表明建立的检测方法对大肠埃希氏菌和单增李斯特菌的特异性 and 灵敏度较高,可在同一个体系中同时检测大肠埃希氏菌和单增李斯特菌。

2.7 对不同基质类乳制品样品进行盲样检测

对不同基质类乳制品样品,随机添加致病菌,利用试

大肠埃希氏菌  $10^0$   $10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$  —  
 单增李斯特菌 —  $10^{-4}$   $10^{-3}$   $10^{-2}$   $10^{-1}$   $10^0$

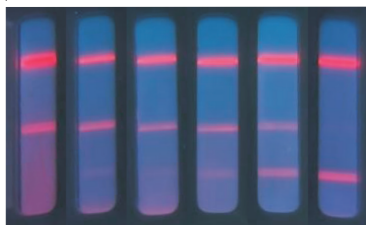


图9 不同稀释比例下大肠埃希氏菌和单增李斯特菌在试纸上的检测情况

Figure 9 Detection of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on the test paper at the same time under different dilution ratios

验建立的基于量子点免疫荧光分析方法与传统的检测方法进行同步检测,分析两种方法检测结果,统计阳性与阴性符合率为 100%(详见表3),说明两种方法检测结果完全一致,进一步表明建立的方法具有良好的实用性。

表3 不同基质乳制品样品中检出阳性情况

Table 3 Milk samples detected positive in different substrates

样品类别	样品来源	样品批数	试验方法		传统方法	
			大肠埃希氏菌	李斯特菌	大肠埃希氏菌	李斯特菌
调制乳品	市售	10	2	0	2	0
发酵乳品	市售	10	0	2	0	2
液体乳制品	市售	10	2	2	2	2
乳精粉品	市售	10	2	1	2	1
乳清蛋白	市售	10	2	0	2	0
奶油	市售	5	2	1	2	1
浓缩乳制品	市售	5	2	1	2	1
干酪	市售	5	1	1	1	1
固态成型产品	市售	5	1	1	1	1

3 结论

该研究选取乳制品以及相关产品作为重点检测对象,根据免疫荧光量子点技术的优势,筛选出有效致病菌抗体偶联量子点,通过其特异性、灵敏度与时效性分析致病菌抗体偶联量子点的性能评估,并利用检出限、准确度和分辨率分析不同基质乳品中该方法对适用性体系的影响,建立乳制品中基于量子点的检测方法可同时检测多元致病菌的检测方法。量子点具有极佳的荧光性质,激发光谱宽,荧光强度高而且稳定,十分有利于降低免疫层析技术的检测限,且试纸可在室温保存,便于携带,检测时间短,适用于多种样品现场快速检测;该方法不需要特别复杂精密仪器,能减少食品样品中复杂基质的干扰作用,可为食品质量安全管理与微生物检测标准的制定和修订提供技术支撑和数据支持。

但该方法中致病菌对应的抗体质量直接影响到量子点偶联物效果,抗体偶联物的优化工作量很大;该方法通过肉眼直接进行判断,无法精确定量准确判断样品含量很低的致病菌且易受人为因素影响;后续将优化偶联条件,增加试样数目、增加偶联的多元性,得到更多可行性数据以完善此方法。

参考文献

[1] VARELA Z S, LILIANA P L, ALVARADO D E. Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos: una mirada en colombia[J]. Universidad del Norte, 2016, 1: 1-15.  
 [2] ESPINOSA L, VARELA C, ELENA-VANESA M, et al. Brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en Espaa, 2008—

- 2011 (excluye brotes hídricos) [J]. *Revista Española de Salud Pública*, 2014, 88(3): 395-406.
- [3] World Health Organization. Estimates of the global burden of foodborne diseases[R/OL]. World Health Organization, 2015. [2024-10-01]. [https://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne\\_disease/fergreport/en/](https://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/fergreport/en/).
- [4] ELMAHDI S, DA SILVA L V, PARVEEN S. Antibiotic resistance of vibrio parahaemolyticus and vibrio vulnificus in various countries: a review[J]. *Food Microbiology*, 2016, 57: 128-134.
- [5] 赵淑环, 王云霞, 刘丽君, 等. 乳及乳制品中食源性致病菌快速检测技术的应用研究进展[J]. *乳业科学与技术*, 2023, 46(1): 62-67.
- ZHAO S H, WANG Y X, LIU L J, et al. Progress in the application of techniques for rapid detection of foodborne pathogens in milk and dairy products[J]. *Journal of Dairy Science and Technology*, 2023, 46(1): 62-67.
- [6] 赵一鸣. 三种分型技术对食源性单增李斯特菌分型研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015: 45-47.
- ZHAO Y M. Genotyping of three different methods to foodborne *Listeria monocytogenes*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015: 45-47.
- [7] 河南省疾病预防控制中心. 河南省食源性疾病监测报告[R]. 郑州: 河南省疾病预防控制中心, 2023.
- Henan Provincial Center for Disease Control and Prevention. Henan Provincial Foodborne Disease Surveillance Report[R]. Zhengzhou: Henan Provincial Center for Disease Control and Prevention, 2023.
- [8] 刘欣, 王真, 王园, 等. 持久性单增李斯特菌的抗逆表型及相关功能基因的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(21): 284-292.
- LIU X, WANG Z, WANG Y, et al. Progress on stress resistant phenotype and related functional genes of persistent *Listeria monocytogenes*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(21): 284-292.
- [9] TRAORE S, KHELAIPIA S, ARMSTRONG N, et al. Isolation and culture of *Methanobrevibacter smithii* by co-culture with hydrogen-producing bacteria on agar plates[J]. *Clinical Microbiology and Infection*, 2019, 25(5): 631-637.
- [10] XU D, LEI J, WU X, et al. Detection and differentiation of vibrio parahaemolyticus by multiplexed real-time PCR assay [J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2018, 64(12): 925-933.
- [11] ZHONG L L, ZHOU Q, TAN C Y, et al. Multiplex loop-mediated isothermal amplification (multi-LAMP) assay for rapid detection of mcr-1 to mcr-5 in colistin-resistant bacteria [J]. *Infection and Drug Resistance*, 2019, 12: 1 877-1 887.
- [12] 赵爱兰, 熊衍文, 白雪梅, 等. 鉴定五类致泻性大肠埃希菌和志贺菌的多重 PCR 方法[J]. *疾病监测*, 2011, 26(1): 3-8.
- ZHAO A L, XIONG Y W, BAI X M, et al. Multiplex PCR method for identification of five classes of diarrhegenic *Escherichia coli* and *Shigella*[J]. *Disease Surveillance*, 2011, 26(1): 3-8.
- [13] 王芳妹, 钟文涛, 王淑好, 等. 5 种致泻大肠埃希氏菌实时荧光定量 PCR 快速检测技术[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 88-95.
- WANG F M, ZHONG W T, WANG S H, et al. Study on the rapid detection of five strains of diarrhegenic *Escherichia coli* by real-time fluorescence quantitative PCR[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(5): 88-95.
- [14] ZHAO Y, YE M, CHAO Q, et al. Shen H Simultaneous detection of multifoed-borne pathogenic bacteria based on functionalized quantum dots coupled with immunomagnetic separation in food samples[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(2): 517-524.
- [15] KUANG H, CUI G, CHEN X, et al. A one-step homogeneous sandwich immunosensor for *Salmonella* detection based on magnetic nanoparticles (MNPs) and quantum dots (QDs) [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, 14: 8 603-8 610.
- [16] SANVICENS N, PASCUAL N, FERNÁNDEZ-ARGÜELLES M T, et al. Quantum dot-based array for sensitive detection of *Escherichia coli*[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011, 89(8): 2 755-2 762.
- [17] WANG H, LI Y B, SLAVIK M. Rapid and simultaneous detection of *Salmonella* and *Campylobacter* in poultry samples using quantum dots based fluorescent immunoassay coupled with magnetic immunoseparation[J]. *International Journal of Poultry Science*, 2014, 13: 611-618.
- [18] WANG B, WANG Q, CAI Z, et al. Simultaneous, rapid and sensitive detection of three food-borne pathogenic bacteria using multicolor quantum dot probes based on multiplex fluoroimmunoassay in food samples[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 61: 368-376.
- [19] 张燕辉, 谢服役, 陈效黎. 基于量子点和磁珠的大肠埃希菌 O157:H7 检测研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25(9): 1 366-1 368.
- ZHANG Y H, XIE G J, CHEN X L. Detection of *Escherichia coli* O157:H7 based on quantum dots and magnetic beads[J]. *Chinese Journal of Health Inspection*, 2015, 25(9): 1 366-1 368.
- [20] XU F, XU D, MING X, et al. Quantum dot-based immunochromatography test strip for rapid detection of *Campylobacter jejuni*[J]. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2013, 13(7): 4 552-4 559.
- [21] 陈伶利, 李杰. 多序列比对的量子点荧光探针检测金黄色葡萄球菌的研究[J]. *激光生物学报*, 2010, 19(5): 587-592.
- CHEN L L, LI J. Quantum dot fluorescence probes for multi-sequencing alignment in the detection of *Staphylococcus aureus*[J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2010, 19(5): 587-592.
- [22] 李倩倩, 陈萍, 王静, 等. 基于多色量子点和免疫磁珠技术检测沙门氏菌、志贺菌和金黄色葡萄球菌[J]. *卫生研究*, 2013, 4(24): 660-663.
- LI Q Q, CHEN P, WANG J, et al. Detection of *Salmonella*, *Shigella* and *Staphylococcus aureus* based on quantum dots and immunomagnetic beads[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2013, 4(24): 660-663.