DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250925004
引用格式: 吴爱红, 张倩倩, 周顺瑶, 等. 胶体金免疫层析法快速检测草莓中苦参碱残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 61–67.
WU AIH, ZHANG QQ, ZHOU SY, *et al*. Rapid detection of matrine residues in *Fragaria ananassa* Duch by colloidal gold immunochromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 61–67. (in Chinese with English abstract).

胶体金免疫层析法快速检测草莓中苦参碱残留

吴爱红[1#], 张倩倩[2#], 周顺瑶[3], 李 征[1], 张慧敏[1], 刘丽强[1*], 胥传来[1]

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214000; 2. 无锡市滨湖区农业技术推广站, 无锡 214000;
3. 无锡市滨湖区农业综合行政执法大队, 无锡 214000)

摘 要: 目的 建立胶体金免疫层析法快速检测草莓中苦参碱农药残留分析方法。**方法** 通过优化金纳米粒子标记参数和试纸条检测线膜浓度, 使胶体金与苦参碱单克隆抗体在最佳条件下结合, 利用抗体和抗原高特异性识别及金标抗体可视化, 从而实现对草莓中苦参碱农药残留的定性检测。**结果** 确定标记参数为: 1 mL 的胶体金溶液加 20 μL 的 0.1 mol/L K_2CO_3, 抗体 8 μg, 选择 5%聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVP)表面活性剂, 抗原划膜质量浓度为 0.10 mg/mL; 利用以上条件实现对草莓样本中苦参碱的检出限为 10 μg/kg, 并对采集到的 126 个草莓样本进行快速检测。**结论** 该方法具有较高灵敏度和特异性, 能够快速准确地检测样本中的苦参碱残留, 可实现现场大量样本的快速筛查。

关键词: 苦参碱; 草莓; 免疫层析; 胶体金

Rapid detection of matrine residues in *Fragaria ananassa* Duch by colloidal gold immunochromatography

WU Ai-Hong[1#], ZHANG Qian-Qian[2#], ZHOU Shun-Yao[3], LI Zheng[1],
ZHANG Hui-Min[1], LIU Li-Qiang[1*], XU Chuan-Lai[1]

(1. *School of Food Science*, *Jiangnan University*, *Wuxi* 214000, *China*; 2. *Wuxi Binhu District Agricultural Technology Extension Station*, *Wuxi* 214000, *China*; 3. *Wuxi Binhu District Agricultural Comprehensive Administrative Law Enforcement Brigade*, *Wuxi* 214000, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish an analytical method for the rapid detection of matrine pesticide residues in *Fragaria ananassa* Duch by colloidal gold immunochromatography. **Methods** By optimizing the labeling parameters of gold nanoparticles and the concentration of the test strip detection line, colloidal gold could bind with monoclonal antibodies against matrine under optimal conditions. By utilizing highly specific recognition of antibodies and antigens and visualization of gold labeled antibodies, the localization detection of matrine pesticide residues in *Fragaria ananassa* Duch could be achieved. **Results** Determine the labeling parameters as follows: 1 mL

收稿日期: 2025-09-25
基金项目: 无锡市滨湖区葡萄项目; 草莓胶体金速测农药参数筛选试验项目
#吴爱红和张倩倩为共同第一作者
第一作者: 吴爱红(1993—), 女, 硕士, 实验师, 主要研究方向为食品安全快速检测。E-mail: wuaihongwah@163.com
张倩倩(1990—), 女, 硕士, 农艺师, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: 747999785@qq.com
***通信作者:** 刘丽强(1979—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全快速检测。E-mail: murel@163.com

of colloidal gold solution with 20 μL of 0.1 mol/L K_2CO_3, 8 μg of antibody, 5% polyvinyl pyrrolidone (PVP) surfactant, and an antigen transmembrane concentration of 0.10 mg/mL; using the above conditions, the limit of detection of matrine in *Fragaria ananassa* Duch samples was set to 10 μg/kg, and rapid detection was performed on 126 collected *Fragaria ananassa* Duch samples. **Conclusion** This method has high sensitivity and specificity, and can quickly and accurately detect residual matrine in samples, enabling rapid screening of a large number of samples on site.

KEY WORDS: matrine; *Fragaria ananassa* Duch; immunochromatography; colloidal gold

0 引 言

草莓因其色泽艳丽、香气浓郁、酸甜可口而成为全球范围内广受欢迎的高价值经济作物浆果[1–2]。随着市场需求量的持续增长和栽培种植技术的普及，草莓的种植已实现周年化生产。然而，在其集约化栽培种植过程中，病虫害(如白粉病、灰霉病、蚜虫、红蜘蛛等)的发生日益严重，对草莓的产量和品质构成了巨大威胁[3–7]。

为保障浆果作物经济效益，化学合成农药仍是当前防控病虫害的主要手段，但不符合当代推崇绿色农业和可持续发展的主题[8]。苦参碱(matrine, MAT)是一种从豆科植物苦参(*Sophora flavescens*)、苦豆子等中提取的天然植物源生物碱[9]。因其具有杀虫、杀菌和杀螨活性，对多种农业害虫(如蚜虫、红蜘蛛等)具有显著的防治效果，且对非靶标生物相对安全、环境相容性好，在环境中易降解等特点，已成为化学合成农药的理想替代品之一。根据中国 NY/T 393—2020《绿色食品农药使用准则》，MAT 属于可用于绿色食品生产的农药清单。其在草莓等果蔬的病虫害绿色防控体系中应用日益广泛，尤其适用于无公害、绿色和有机农产品的生产[10–13]。

尽管 MAT 属于低毒农药，但任何农药的不规范、超量或违规使用都可能导致其在农产品中的残留超出安全限量。欧盟委员会(European Commission, EC)通过食品和饲料快速预警系统发布了几份通知和警告，凡是标称有机茶叶，均不得检出 MAT 并将其列入未经批准的物质清单，在西班牙和比利时等其他欧盟国家从中国出口的蜂蜜和茶叶中检测到 MAT 并拒绝入境，MAT 在蜂蜜中的最大残留限量设定为 0.01 mg/kg[14–16]。GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定了 MAT 在蔬菜和水果中的最大残留限量(maximum residue limits, MRL)，其中结球甘蓝、黄瓜为 5 mg/kg；柑、橘、橙为 1 mg/kg；梨为 5 mg/kg[17]。草莓属于连续采收型果实，果实表面粗糙且直接裸露，更易滞留农药。同时，其鲜食特性使得采收与消费间隔短，这对农药残留监控提出了更高的时效性要求[18–21]。

目前，针对 MAT 的检测方法已有报道，主要包括高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)[22–23]、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)[24–28]、气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)[29–30]和电化学法[31]。然而，草莓基质复杂，含有丰富的色素(如花青素)、有机酸、糖类和各种次级代谢产物，这些物质在分析过程中极易产生干扰，对目标化合物的提取净化和仪器检测的灵敏度与特异性构成挑战。

因此，建立快速、灵敏、准确的分析方法来检测草莓中的 MAT 残留水平，对于评估膳食暴露风险、保障消费者舌尖上的安全具有至关重要的意义。本研究基于 MAT 单克隆抗体开发了草莓中 MAT 快速检测方法。通过合成相应抗原，并对金标抗体条件优化和抗原浓度优化，制备 MAT 试纸条，旨在开发出能用于草莓样品的快速检测产品，满足现场高通量快检的需求。这不仅是食品安全监管的技术支撑，也是推动草莓产业可持续、高质量发展，维护“莓农”经济利益和品牌声誉的重要保障。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氯金酸(分析纯，上海 Sigma Aldrich 有限公司)；2-吗啉乙磺酸(2-morpholinoethanesulfonic acid, MES)、氯化钠、十二水合磷酸氢二钠、氯化钾、磷酸二氢钾、碳酸钾、甘氨酸、柠檬酸三钠、蔗糖、海藻糖、甲醇、甲酸、N,N-二甲基甲酰胺(N,N-dimethylformamide, DMF)、聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVP)、磷酸盐缓冲液(phosphate buffer solution, PBS, 0.0l mol/L, pH 7.4)(分析纯，上海国药集团化学试剂有限公司)；聚乙二醇 20000 (polyethylene glycol 20000, PEG 20000)、吐温 20 (Tween 20)、S17 表面活性剂(rhodasurf ON-870, ON-870)、月桂醇聚氧乙烯醚、布里杰 35、十三烷醇聚醚硫酸钠(RHODAPEX EST-65, R65)、曲拉通、二甲基辛炔二醇(dimethyl octynediol, DO)、卡松、抑菌防腐剂(ProClean 950, PC-950)(杭州速泰生物技术有限公司)；羊抗鼠 IgG(纯度≥99.9%，北京百奥莱博科技有限公司)；MAT 半抗原、牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA)、MAT 单克隆抗体皆由本实验室提供；1-乙基-3-(3-二甲氨基丙基)碳化二亚胺(ethyldimethylaminopropyl carbodiimide, EDC，纯度≥98%)、N-羟基丁二酰亚胺(N-hydroxy succinimide, NHS，纯度≥98%)、MAT 分析标准品(纯度≥98%，上海阿拉丁生化科技股份有限公司)；聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)底板、玻璃纤维膜(样品垫、结合垫)、棉绒纤维膜(吸水垫)、硝酸纤维素膜(nitrocellulose

membrane, NC)(杰一生物技术有限公司)。

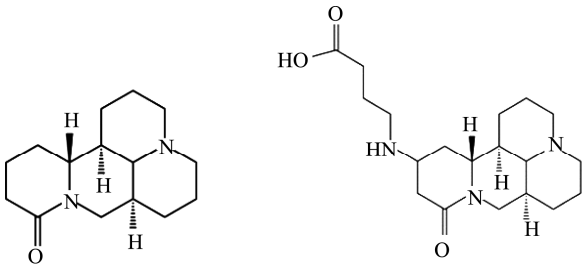
1.2　仪器与设备

JEOL JEM-2100 透射电子显微镜(transmission electron microscopy, TEM)(江南大学国家重点实验室测试中心); Agilent Cary 60 紫外-可见分光光度计(美国 Agilent Technologies 公司); XYZ3000 金标点样仪、HM3035 三维平面点膜喷金仪、CM 4000 自动斩切机(上海金标生物科技有限公司); 5500 QTRAP 配备超高效液相系统-三重四级杆复合线性离子阱质谱仪、ACQUTITY BEH C_{18} 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 mm)(美国 SCIEX 公司); BCD-213TM(E)冰箱(美的有限公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　偶联物包被抗原合成制备

MAT 本身结构不带有直接与载体蛋白偶联的基团, 在尽可能保有原药结构的基础上, 本研究采用了如图 1 半抗原的结构, 衍生出含有羧基的半抗原, 以此来合成抗原。利用 EDC 法合成: 取半抗原 4.87 mg、5.03 mg NHS 溶于适量的 DMF 溶剂, 室温搅拌反应 15 min 后, 加入用 50 μL MES 溶解的 7.71 mg EDC, 室温反应 4~6 h; 称取 10 mg BSA 溶于 3 mL PBS 中, 向其缓慢滴加上述半抗原活化溶液偶联反应过夜; 透析 3 d, 备用。



MAT　　MAT半抗原

图 1　MAT 及其半抗原

Fig.1　MAT and its hapten

1.3.2　金纳米粒子的合成与表征

将要使用到玻璃仪器三角烧瓶与搅拌子用王水浸泡过夜, 再用超纯水冲洗干净, 与 60 ℃烘箱烘干待用。参考采用柠檬酸三钠还原法制备胶体金: 在 250 mL 三角烧瓶中加入 95 mL 水搅拌, 加入 5 mL 质量浓度为 2 g/L 的氯金酸溶液, 加热搅拌至沸腾, 继续加热搅拌持续 30 min, 然后快速加入 1.8 mL 1%的柠檬酸三钠溶液, 体系一直保持搅拌沸腾状态下, 观察溶液颜色变化, 先是暗紫色然后转变为酒红色, 停止加热, 直到搅拌冷却, 用保鲜膜封口于 4 ℃冰箱保存备用。胶体金纳米粒子采用 UV-Vis 分光光度计和 TEM 进行表征。

1.3.3　金标抗体的条件优化

(1)标记时的 pH 优化

选用 0.1 mol/L 的 K_2CO_3 来优化 pH, 取 4 个 1.5 mL 的离心管分别加入 1 mL 的胶体金, 再加入 5、10、20、30 μL 不同体积的 0.1 mol/L K_2CO_3 溶液, 混合均匀, 每管加入事先用 2 mmol/L pH 8.0 的硼酸缓冲溶液稀释抗体到 0.2 mg/mL 50 μL, 充分振荡, 室温反应 35 min, 观察溶液颜色, 将 MAT 标准品使用 PBS 稀释至 0.5 ng/mL, 在对应试纸条加样孔中分别加入 100 μL 空白 PBS 和 100 μL 标准品稀释液, 选择加标后具有肉眼辨别的较高抑制的且 0.1 mol/L K_2CO_3 用量最少的体积。

(2)标记时抗体用量优化

取 4 个离心管分别加入 1 mL 胶体金, 加入优化好的 0.1 mol/L K_2CO_3 的体积, 每管各加入 4、6、8、10 μg 不同质量的抗体, 振荡均匀, 室温反应 35 min, 观察颜色变化, 选择溶液颜色仍为均一酒红色且抗体用量最少且抑制最好的浓度。

(3)金标重悬液的优化

在基础缓冲液中添加一些不同表面活性剂: 5% Tween 20、5% PEG 20000、5% R65、5% PVP, 选择抑制最好表面活性剂。

1.3.4　金标抗体的条件制备过程

(1)标记

取 2 mL 离心管, 加入 1 mL 胶体金溶液, 加入优化好的 0.1 mol/L K_2CO_3 溶液, 振荡均匀, 再加入优化好的抗体用量, 充分混合, 室温反应 35 min。

(2)封闭

标记后, 加入 50 μL 10% BSA 溶液, 混合均匀, 反应 2 h。作用是覆盖金纳米粒子表面未与抗体结合的位点, 避免非特异性吸附。

(3)重悬

封闭结束, 8000 r/min 4 ℃离心 20 min, 弃上清。用 1 mL 标记洗涤液溶解, 4000 r/min 4 ℃离心 20 min, 弃上清, 加入 100 μL 金标重悬液, 置于 4 ℃保存。

(4)冷冻干燥

将金标重悬液稀释到一个合适的浓度, 以 50 μL/孔加到 96 孔酶标板中, 利用冷冻干燥机进行冷冻干燥, 最后密封干燥保存待用。

1.3.5　胶体金试纸条 T 线包被原浓度的确定

实验中将合成好的包被抗原稀释成: 0.05、0.10、0.15、0.20 mg/mL 4 个质量浓度, 分别喷到 NC 膜 T 线上, 同时在 C 线喷上最佳适宜浓度的羊抗鼠二抗, 烘干待用。准备 4 个微孔, 加入金标抗体溶液吹打均匀, 插入准备好的不同包被原浓度的试纸条, 7~8 min 取出, 评价标准同上述一致, 比较各浓度下试纸条的颜色, 选择均一且肉眼明显看出抑制的时最低的包被浓度作为最佳的 T 线包被原浓度。

1.3.6　胶体金试纸条组装

胶体金试纸条主要有底板 PVC, 样品垫, 硝酸纤维膜(NC 膜), 吸收垫 4 大部分组成, 如示意图 2 所示。首先,

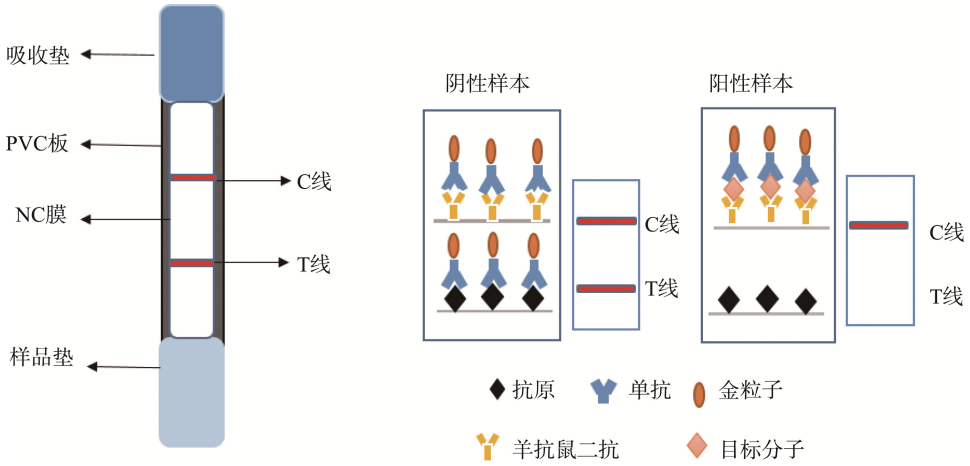


图 2 胶体金免疫层析试纸条结构原理示意图

Fig.2 Schematic diagram of the structure of the colloidal gold immunochromatographic test strip

先在 NC 膜上喷上合适浓度的包被抗原和羊抗鼠二抗分别作为 T 线和 C 线，并置于 37 ℃烘箱烘 2 h 待用。检测使用时具体操作流程为：将金标抗体重悬液与样品待测液于微型孔中混合，反应 5~8 min，再将试纸条样品垫的一端插入微型孔中，由于毛细管的作用，溶液会由样品垫一端向吸水垫一端流动。当为阴性样品时，金标抗体直接与包被抗原结合，C 线和 T 线同时显色。当为阳性样品时，金标抗体先与目标分子结合，流动到 T 线时，T 线的包被抗原失去了与抗体结合的位点，金标抗体直接流动到 C 线，这时只有 C 线显色或 T 线颜色变淡。如果 C 线都没有颜色，说明该试纸条是失效的。

1.3.7 胶体金样本检测

从无锡市滨湖区各农户草莓种植园中采集到 126 份草莓实际样本，配制含 1%的 ON-870 和 10%甲醇的 0.01 mol/L 的磷酸盐缓冲液作为样本稀释液。经过以下前处理过程，称取(1.00±0.02) g 的草莓样本于样品袋中，加入 1 mL 稀释液，充分揉捏，取 100 μL 液体加入到装有 100 μL 稀释液的离心管中，振荡混匀，取上清进行胶体金试纸条筛查检测。

1.3.8 胶体金免疫层析法验证

(1)液相色谱-质谱法检测条件

色谱条件：ACQUTITY BEH C_{18} 色谱柱(100 mm×2.1 mm，1.7 μm)，以 0.1%甲酸水溶液(A)和甲醇(B)为流动相，柱温 40 ℃，流速 0.3 mL/min，进样量 10 μL。

质谱条件：采用电喷雾电离源(electrospray ionization，ESI)正离子扫描模式，多重反应(multiple reaction monitoring，MRM)监测模式，喷雾电压 3500 V，离子源温度 350 ℃。

(2)验证过程

先用胶体金试纸条对收集到的样本进行检测，当样本中 MAT 的含量高于或等于试纸条检出限时，检测结果用阳性(+)表示并重复实验 5 次。再用液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry，LC-MS)对每个阳性样本中 MAT 的含量进行定量。

1.4 数据处理

本研究采用 OriginPro 8.5 对相关数据进行统计分析。

2 结果与分析

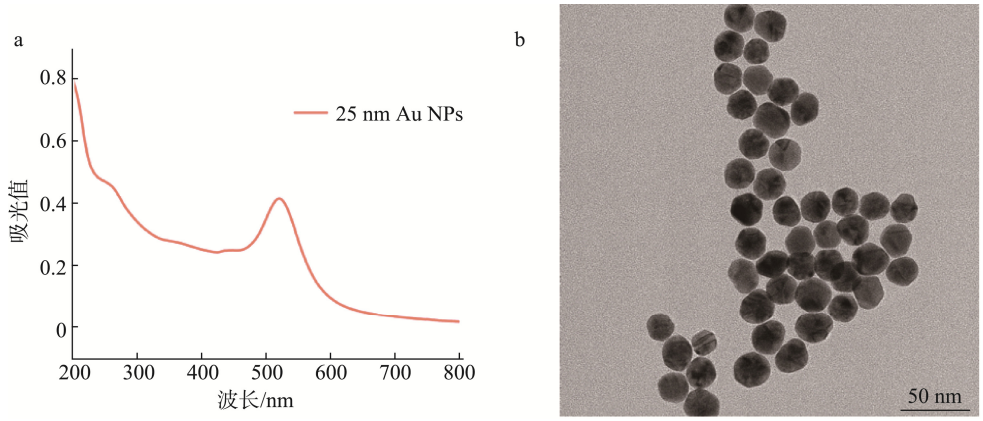
2.1 金纳米粒子的合成

将所得到颜色为透明酒红色的胶体金溶液，进行紫外鉴定，观察其吸收峰的位置，并通过透射电镜 TEM 表征胶体金的均一性和分散性，平均粒径为 25 nm。如图 3 胶体金溶液的表征所示，图 3a 为紫外吸收图，在 530 nm 处有特征吸收峰，说明是为金纳米粒子；图 3b 为 TEM 电镜图，说明金纳米粒子有很好的均一性和分散性。

2.2 金标抗体条件优化和 T 线浓度优化

在胶体金试纸条制备过程中，金纳米粒子标记抗体时体系的 pH 起到至关重要的作用。合适的 pH 有助于调控金纳米粒子表面电荷防止非特异性聚集沉降，并维持抗体构象稳定性。只有在标记体系的 pH 接近或者略高于抗体的等电点时，金纳米粒子和抗体二者通过静电作用高效结合。另外，在标记时抗体的用量和检测时抗原的划膜浓度对试纸条的灵敏度也有影响，过量的抗体和过高的抗原浓度会导致检测线 T 线颜色过深不敏感，肉眼判断不清晰影响检测结果。表面活性剂具有双亲结构有以下功能：改善抗体的微环境保持良好的构象，增强识别能力；也可防止金纳米粒子聚集；试纸条测试时促进金标偶联物流动扩散均匀分布，提高检测性能和稳定性。

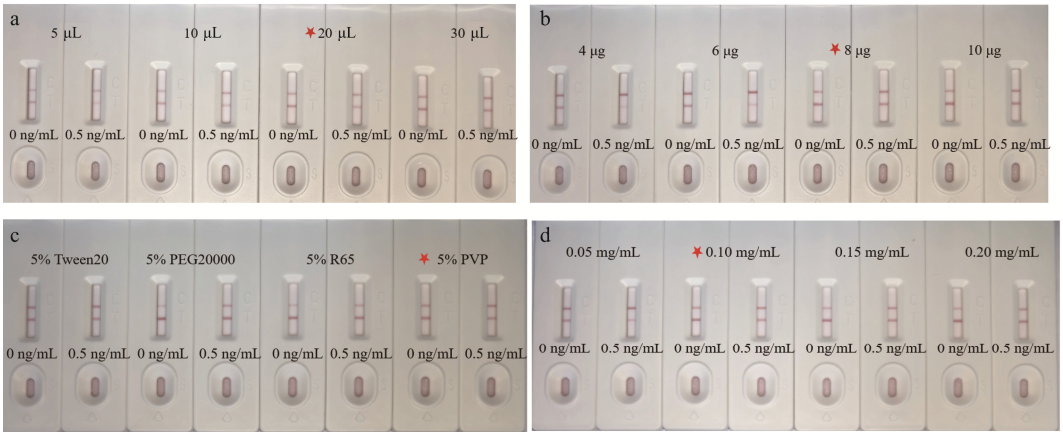
通过优化以上条件和参数，得到苦参 MAT 试纸条金标抗体最佳条件：1 mL 的胶体金溶液 20 μL 的 0.1 mol/L K_2CO_3 和抗体 8 μg，选择 5% PVP 表面活性剂，抗原划膜质量浓度为 0.10 mg/mL。如图 4 所示，用星号标出了选择的最佳条件。在最佳优化条件下，确定了草莓中 MAT 检出限为 10 μg/kg，如图 5 所示。



注: a. 紫外吸收图，金纳米颗粒(gold nanoparticles, Au NPs); b. 透射电镜图。

图 3　胶体金的表征

Fig.3　Characterization of colloidal gold



注: ✶表示最后所确定的条件。

图 4　金标抗体 pH (a)、抗体标记量(b)、表面活性剂(c)及 T 线浓度(d)的确定

Fig.4　Determination of pH (a), antibody labeling amount (b), surfactant (c) and T-line concentration (d) for gold labeled antibodies

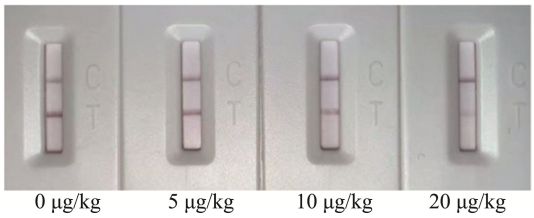
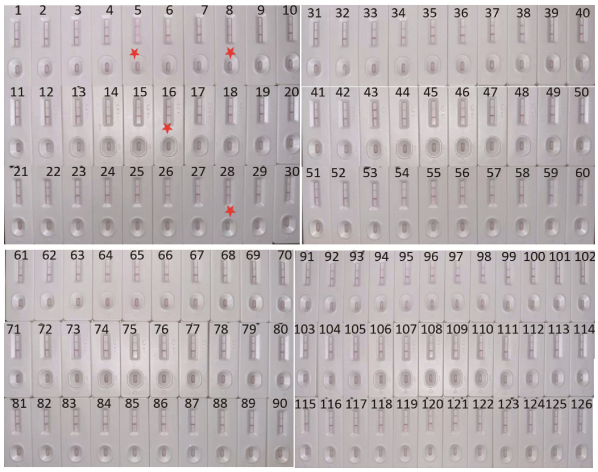


图 5　胶体金试纸条对 MAT 在草莓中的检测结果

Fig.5　Test results of colloidal gold strips for MAT in *Fragaria ananassa* Duch

2.3　MAT 试纸条样本快检结果

在草莓试纸条检测中，确定 MAT 检出限为 10 μg/kg，在此基础上进行 126 个样本的检测筛查，根据比色法进行判断，其中 5、8、16、28 共 4 个样本，检测线颜色明显减弱，说明样本中含有 MAT 残留且其含量相当或高于试纸条的检出限，为阳性样本并用星号标出，如图 6 所示。



注: ✶表示测得的阳性样本。

图 6　MAT 胶体金试纸条检测 126 个草莓样本

Fig.6　MAT colloidal gold test strip for detecting 126 *Fragaria ananassa* Duch samples

2.4 胶体金试纸条方法验证

通过试纸条对 4 个阳性样本进行 5 次重复检测实验，检测结果均为一致。样本经过 LC-MS 测定后，阳性样本中 MAT 的残留量均接近或大于 10 μg/kg，检测结果如表 1 所示。经 LC-MS 仪器分析验证，实验结果证明，胶体金免疫层析法可定性半定量检测草莓中 MAT 残留，该方法具有可行性。

表 1 胶体金免疫层析法与 LC-MS 检测结果对比

Table 1 Comparison of detection results between colloidal gold immunochromatography and LC-MS

样本	样本编号	胶体金免疫层析法 (n=5)	LC-MS/(μg/kg)
草莓	5	+++++	26.80
	8	+++++	17.60
	16	+++++	8.06
	28	+++++	12.30

注: +为阳性。

3 结 论

基于高灵敏度的抗 MAT 单克隆抗体，开发制备了草莓中 MAT 快速检测的胶体金试纸条检测方法，该技术不需要复杂的仪器，检测试剂成本相对较低，且操作简单，无需专业技术人员，降低草莓整体质量控制成本。能够向消费者证明其产品的安全性和高品质，维护品牌信誉，增强市场信心，避免因农药残留超标导致的退货、索赔甚至贸易壁垒，保障草莓出口的顺畅，助力出口贸易。另外可为政府有关监管部门在进行大量、快速的现场抽检和风险筛查时的有力工具，提高监管效率和靶向性，构建多层次监管网络。

参考文献

[1] 余冬冬, 李永军. 不同微生物菌剂对草莓灰霉病的防治效果、植株生长及果实品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(10): 2482–2486.
YU DD, LI YH. The control effect of different microbial agents on strawberry gray mold, plant growth, and fruit quality [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(10): 2482–2486.

[2] SAMTANI JB, GILBERT C, WEBER JB, *et al*. The status and future of the strawberry industry in the United States [J]. Hort Technology, 2019, 29(1): 11–24.

[3] 姜秋同, 张爽, 朱洪坤, 等. 草莓病害的发生与防治措施[J]. 现代农村科技, 2023(7): 49–50.
JIANG QT, ZHANG S, ZHU HK, *et al*. The occurrence and prevention measures of strawberry diseases [J]. Modern Rural Technology, 2023(7): 49–50.

[4] 王丰, 张舒媛, 卢洁, 等. 草莓炭疽病研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2023, 54(4): 490–501.
WANG F, ZHANG SY, LU J, *et al*. Research progress on strawberry anthracnose [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2023, 54(4): 490–501.

[5] BAGGIO JS, FORCELINI BB, WANG NY, *et al*. Management of botrytis fruit rot in strawberry using integrated pest management (IPM) and organic strategies [J]. Plant Disease, 2021, 105(10): 2856–2867.

[6] FANG X, PHILLIPS D, LI H, *et al*. Control of strawberry powdery mildew (*Podosphaera aphanis*) by the novel fungicide SYP-Z048 [J]. Crop Protection, 2012, 31: 84–89.

[7] 陈哲, 梁宏, 黄静, 等. 草莓叶斑病及其防治的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(23): 1–14.
CHEN Z, LIANG H, HUANG J, *et al*. Research progress on strawberry leaf spot disease and its prevention and control [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(23): 1–14.

[8] 刘金慧. 大棚草莓种植与病虫害防治技术[J]. 新农业, 2024(12): 40–41.
LIU JH. Greenhouse strawberry cultivation and pest control techniques [J]. New Agriculture, 2024(12): 40–41.

[9] 孙起超, 康云红, 徐静, 等. 苦参碱药理作用,毒性及临床应用研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2024, 31(11): 191–196.
SUN QC, KANG YH, XU J, *et al*. Research progress on pharmacological effects, toxicity, and clinical application of matrine [J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2024, 31(11): 191–196.

[10] ZHANG RX, HU S, CHEN X, *et al*. Dispersive liquid-liquid microextraction combined with high-performance liquid chromatography for the simultaneous analysis of matrine alkaloids in traditional chinese medicine [J]. Journal of Chromatographic Science, 2016, 54(9): 1687–1693.

[11] 杜小凤, 徐建明, 王伟中, 等. 植物源农药研究进展[J]. 农药, 2000(11): 8–10.
DU XF, XU JM, WANG WZ, *et al*. Research progress on plant-based pesticides [J]. Agrochemicals, 2000(11): 8–10.

[12] 徐耀. 不同药剂对草莓蚜虫防治效果的研究[J]. 农业科技通讯, 2022(4): 177–179.
XU Y. Study on the control effect of different pesticides on strawberry aphids [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(4): 177–179.

[13] 霍恒志, 糜林, 李金凤, 等. 几种生物农药对草莓主要害虫的防治效果试验[J]. 江西农业学报, 2012, 24(9): 66–68.
HUO HZ, MI L, LI JF, *et al*. Experimental study on the control effect of several biopesticides on the main pests of strawberries [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(9): 66–68.

[14] WANG Z, ZU T, HUANG X, *et al*. Comprehensive investigation of the content and the origin of matrine-type alkaloids in Chinese honeys [J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134254.

[15] LUO T, ZOU QX, HE YQ, *et al*. Matrine compromises mouse sperm functions by a [Ca^{2+}] i-related mechanism [J]. Reproductive Toxicology, 2016, 60: 69–75.

[16] NARDIELLO D, MARCHESIELLO WMV, SPORTELLI S, *et al*. Quick and reliable determination of matrine and oxymatrine in vegetable products by liquid chromatography and mass spectrometry [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 109: 104465.

[17] 王治颖, 黄学者, 贾光群, 等. 蜂蜜中苦参碱和氧化苦参碱的膳食摄入风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(16): 107–113.
WANG ZY, HUANG XZ, JIA GQ, *et al*. Dietary risk assessment of

matrine and oxymatrine in honey [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(16): 107–113.

[18] 程昕. 草莓中农药多残留检测方法的建立及膳食风险评估研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022.
CHENG X. Establishment of detection method for pesticide residues in strawberries and study on dietary risk assessment [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2022.

[19] 付岩, 张亮, 吴银良. 草莓中嘧霉胺的残留与膳食风险评估[J]. 现代食品科技, 2017, 33(11): 206–211
FU Y, ZHENG L, WU YL. Residue of imidacloprid in strawberries and dietary risk assessment [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(11): 206–211.

[20] 张利明, 陈玲, 王银. 多功能针式过滤器—LC-MS/MS 快速检测草莓中农药残留[J]. 农业装备技术, 2019, 45(4): 17–24.
ZHANG LM, CEHN L, WANG Y. Multi functional needle filter LC-MS/MS rapid detection of pesticide residues in strawberries [J]. Agricultural Equipment & Technology, 2019, 45(4): 17–24.

[21] 翟硕莉, 张秀丰. 固相萃取-气相色谱法检测草莓中农药残留量[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1434–1436.
ZHAI SL, ZHANG XF. Detection of pesticide residues in strawberries by solid phase extraction gas chromatography [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(6): 1434–1436.

[22] ZHANG Y, CHEN X, LI J, *et al*. Salt-assisted dispersive liquid-liquid microextraction for enhancing the concentration of matrine alkaloids in traditional Chinese medicine and its preparations [J]. Journal of Separation Science, 2018, 41(18): 3590–3597.

[23] PENG X, LI B, HU M, *et al*. Quantitative analysis of matrine in liquid crystalline nanoparticles by HPLC [J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2014, 2014: 368682.

[24] 朱平川, 岑卫健, 范晓苏, 等. UPLC-MS-MS 测定癣宁搽剂中苦参碱与氧化苦参碱[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(6): 51–54.
ZHU PC, CEN WJ, FANG XS, *et al*. UPLC-MS-MS determination of matrine and oxymatrine in Jianning liniment [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2014, 20(6): 51–54.

[25] JIA X, ZHANG H, JIANG X, *et al*. Profiling and quantitation of alkaloids in different parts of *Sophora alopecuroides* L. extracts by high-performance liquid chromatography with electrospray ionisation ion mobility spectrometry detection [J]. Phytochemical Analysis, 2021, 32(6): 1003–1010.

[26] 张闯, 赵孔祥, 潘红蕊, 等. 超高效液相色谱串联质谱检测枸杞中苦参碱和氧化苦参碱残留量的方法[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(5): 189–195.
ZHANG C, ZHAO KX, PANG HR, *et al.* Method for detecting residual levels of matrine and oxymatrine in goji berries by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 189–195.

[27] CANG S, LIU R, WANG TY, *et al*. Simultaneous determination of five active alkaloids from compound kushen injection in rat plasma by LC-MS/MS and its application to a comparative pharmacokinetic study in normal and NSCLC nude rats [J]. Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 2019, 1126: 121734.

[28] YIN R, CHEN LG, MA L. Extraction of matrine from soil with matrix solid-phase dispersion by molecularly imprinted polymers derived from lignin-based pickering emulsions [J]. Journal of Separation Science, 2019, 42(23): 3563–3570.

[29] SIT D. Gas chromatography-mass spectrometry determination of matrine in human plasma [J]. Journal of Chromatography B, 2004, 808(2): 209–214.

[30] 吴惠勤, 张春华, 黄晓兰, 等. 气相色谱-串联质谱法同时检测尿液中 15 种有毒生物碱[J]. 分析测试学报, 2013, 32(9): 1031–1037.
WU HQ, ZHANG CH, HUANG XL, *et al*. Simultaneous detection of 15 toxic alkaloids in urine by gas chromatography tandem mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2013, 32(9): 1031–1037.

[31] 陶菡, 黄锐, 刘丰, 等. 部分电化学还原氧化石墨烯修饰玻碳电极用于苦参碱的测定[J]. 理化检验-化学分册, 2021, 57(6): 481–486.
TAO H, HUANG R, LIU F. *et al*. Partial electrochemical reduction of graphene oxide modified glassy carbon electrode for the determination of matrine [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2021, 57(6): 481–486.

(责任编辑: 蔡世佳　安香玉)