

智能手机检测蔬菜中多种农药残留

汤迪朋¹, 李周敏^{2*}, 许丹科³, 陈美莲⁴

[1. 南京祥中生物科技有限公司, 南京 210002; 2. 南京大学金陵学院, 南京 210089; 3. 南京大学化学化工学院, 南京 210023; 4. 上海市农产品质量安全中心 农业部食品质量监督检验测试中心(上海), 上海 201708]

摘要: 目的 建立基于可视化蛋白芯片法智能手机同时快速检测蔬菜中 3 种农药残留的分析方法。**方法** 依次向制备好的微孔板芯片中加入 50 μL 标准品工作液和 50 μL 相应的纳米银标记抗体, 在 37 $^{\circ}\text{C}$ 、600 r/min 下反应 15 min; 再加入 50 μL 显色液进行显色并用智能手机进行拍照, Photoshop 软件对图像进行反相, 再用 genpixmap 软件提取阵列点上的灰度值进行分析。**结果** 该方法对多菌灵、百菌清、克百威的定量检测范围分别为 3~243 ng/mL、3~243 ng/mL、0.5~8 ng/mL, 相关系数 $r>0.99$, 且 3 者之间的交叉反应率均 $<1\%$; 向不同种类的空白蔬菜中添加 4 种不同浓度的标准品时, 检测结果具有较高的准确度和重复性, 加标回收率为 84.0%~118.0%, 变异系数均 $<10\%$ ($n=3$); 检测限分别为 79、69、15 ng/mL。**结论** 该法具有操作简便、检出限低、高通量、多指标同时检测, 且无需专业检测设备等优点, 适用于蔬菜中农药残留的同时快速检测。

关键词: 蔬菜; 智能手机; 蛋白芯片; 多菌灵; 百菌清; 克百威; 农药残留

Detection of pesticide residues in vegetables by smartphone

TANG Di-Peng¹, LI Zhou-Min^{2*}, XU Dan-Ke³, CHEN Mei-Lian⁴

[1. Nanjing Xiangzhong Biological Technology Co., Ltd., Nanjing 210002, China; 2. Jinling College, Nanjing University, Nanjing 210089, China; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 4. Shanghai Agri-products Quality and Safety Center, The Ministry of Agriculture Food Quality Supervision and Inspection Center (Shanghai), Shanghai 201708, China]

ABSTRACT: Objective To establish a fast and simultaneous detection method of 3 pesticide residues in vegetables by smartphones based on visual protein chip method. **Methods** The prepared microporous plate chip was successively added with 50 μL standard working solution and 50 μL corresponding nano silver labeled antibody, and reacted at 37 $^{\circ}\text{C}$ and 600 r/min for 15 min. Then 50 μL color rendering solution was added for color rendering and photos were taken with a smartphone. Photoshop software was used to invert the image, and then genpixmap software was used to extract the gray value on the array points for analysis. **Results** The quantitative detection ranges of carbendazim, chlorothalonil and carbobicarb were 3–243 ng/mL, 3–243 ng/mL, and 0.5–8 ng/mL, respectively. The correlation coefficient $r>0.99$, and the cross reaction rates of the 3 groups were all less than 1%. When 4 kinds of standard substances with different concentrations were added to different kinds of blank vegetables, the detection results had high accuracy and repeatability. The recoveries were 84.0%–118.0%, and the coefficients of variation

基金项目: 上海市科技兴农项目(2019-02-08-00-15-F01147)、江苏省高校“青蓝工程”项目(0010392001)、南京大学金陵学院教学改革项目(0010522020)

Fund: Supported by Shanghai Science and Technology Agriculture Project (2019-02-08-00-15-F01147), Jiangsu University “Qinglan” Project (0010392001), and Educational Reform Project of Jinling College Nanjing University (0010522020)

***通信作者:** 李周敏, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物芯片在食品安全检测中的应用。E-mail: lizhoumin@126.com

***Corresponding author:** LI Zhou-Min, Ph.D, Lecturer, Jinling College, Nanjing University, No.8, Xuefu Road, Pukou District, Nanjing 210089, China. E-mail: lizhoumin@126.com

were all less than 10% ($n=3$). The limits of detection were 79, 69 and 15 ng/mL, respectively. **Conclusion** This method has the advantages of simple operation, low detection limit, high throughput, simultaneous detection of multiple indicators, and no need of professional testing equipment. It is suitable for simultaneous rapid detection of pesticide residues in vegetables.

KEY WORDS: vegetables; smartphones; protein chips; carbendazim; chlorothalonil; carbofuran; pesticide residues

0 引言

近年来,我国果蔬中农药残留超标的情况较严重,食品安全国家标准规定大部分蔬菜中农药多菌灵最大残留限量为 2~5 mg/kg、百菌清为 3~5 mg/kg、克百威为 0.02 mg/kg。发展相应的农药残留快速检测技术已受到社会的高度关注和重视。目前农药残留的检测方法有色谱法^[1-5]、免疫分析法^[6-11]、酶抑制法^[12-14]等。色谱法最常用的有高效液相色谱法^[1]、气相色谱法^[2]、液相色谱-质谱联用法^[3]、气相色谱-质谱联用法^[4-5]等。免疫分析法中常见的有胶体金层析法^[6]、酶联免疫吸附法^[7-10]、免疫芯片法^[11]等。传统的国家标准检测方法样品前处理过程烦琐、消耗试剂多、耗时长、成本高。因此发展简单、快速、高效的快检技术,具有广阔的应用前景。其化学结构和性质各异、样品待测组分复杂,很难同时对农药残留进行灵敏和特异性的定性、定量分析。因此,研发特异性强、灵敏度高、方便快捷、准确安全的快速检测新方法,且同时实现高效样品前处理和灵敏的后续检测于一体的快速分析检测技术是未来农药快检的发展趋势。

智能手机具有普及范围广、便于携带、成像清晰等优点,且可以实行远程传输数据的实时共享,有多种传感器可以进行相关数据的检测。手机摄像头是最常用的一种传感器,可以进行样品的数字图片采集并实现比色分析检测。近年来,有许多研究人员开发了基于智能手机的各种检测设备方法,并且已经开始应用于实际^[15-20]。相比传统实验室中使用的大型检测仪器,利用智能手机开发的便携式、低成本的检测设备可以面向普通的非专业人员,迅速普及^[21-24]。

本研究基于可视化蛋白芯片法,采用智能手机对蔬菜中多菌灵、百菌清、克百威 3 种农药进行含量测定,以期快捷方便的检测蔬菜样本中多种农药的残留。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

DT 1001 电子天平(江苏省常熟市意欧仪器仪表有限公司); DMT-2500 多管漩渦混合仪(上海柯淮仪器有限公司); TGL-10K 离心机(上海安亭科学仪器厂); VORTEX-5

涡旋振荡器(海门市其林贝尔仪器制造公司产品); HX-4 拍打式均质器(上海沪析实业有限公司); MB100-2A 微孔板恒温振荡仪、微孔板芯片(南京祥中生物科技有限公司); 华为 P20 智能手机; 聚苯乙烯离心管(50 mL、2 mL, 美国 Axygen 有限公司)。

牛乳清白蛋白(bovine serum albumen, BSA) (纯度 99%, 美国 Sigma 公司); 乙腈、氯化钠、氯化钾、无水磷酸氢二钠、无水磷酸二氢钾、乙腈(分析纯, 南京化学试剂股份有限公司); 吐温 20(化学纯, 南京化学试剂股份有限公司); 多菌灵、百菌灵、克百威(纯度均大于 99%, 美国 Sigma 公司); 多菌灵、百菌灵、克百威抗原及纳米银标记的抗体, 显色液 A 和 B (南京祥中生物科技有限公司)。蔬菜样本购于南京当地各大超市。

1.2 实验方法

1.2.1 检测原理

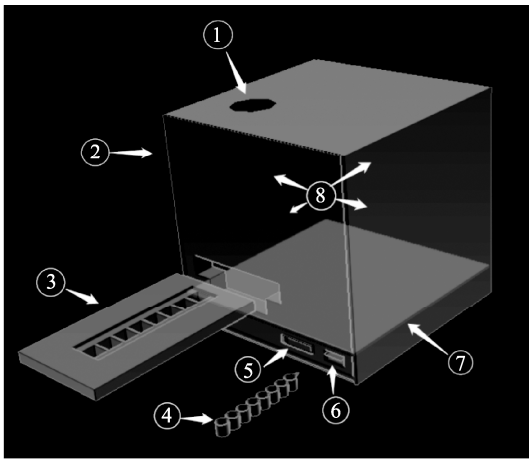
实验采用间接竞争免疫法,将多菌灵、百菌灵、克百威人工抗原点样后固定于微孔板内,加入一定量的标准品或样品和相应的纳米银标记抗体,固定在孔板底部的人工抗原和溶液中游离的标准品会与对应的抗体发生竞争反应。最后加入显色液催化还原形成肉眼可见的黑色沉淀,测定板底灰度信号值。根据标准曲线计算样品中多菌灵、百菌灵、克百威的含量。

1.2.2 检测方法

依次向制备好的微孔板芯片里加入 50 μ L 标准品工作液和 50 μ L 相应的纳米银标记抗体,用盖板膜封板,在 37 $^{\circ}$ C、600 r/min 下反应 15 min 后洗板;将显色 A 液和 B 液按 1:1(V:V)比例均匀混合(现配现用)。再向每孔加入混合后的显色液 50 μ L, 37 $^{\circ}$ C、600 r/min 避光显色 12 min, 洗板,最后拍干。将显色后的微孔板芯片放入自行设计的暗盒中,见图 1,利用智能手机获取图像,启用 photoshop 软件对图像进行反相处理,最后用 genpix 软件获取图像灰度值并对其进行分析。

1.2.3 样品前处理

称取 1 g 样本,加入 2.5 mL 乙腈,2500 r/min 振荡 3 min,5000 r/min 离心 5 min,取上清液 50 μ L 于 2 mL 离心管中,加入 950 μ L 1x 磷酸缓冲液(phosphatic buffer solution, PBS)稀释,混匀后用于检测。样本稀释倍数为 50 倍,可以降低蔬菜样本的基质干扰。



注: 1 摄像孔; 2 检测暗盒; 3 微孔板条卡槽; 4 微孔板条; 5 充电插口; 6 发光二极管(light-emitting diode, LED)等开关; 7 柔光板; 8 避光板。

图1 自行设计的暗盒示意图

Fig.1 Schematic diagram of a self-designed cassette

2 结果与分析

2.1 多菌灵、百菌清、克百威人工抗原和纳米银标记抗体浓度的优化

在免疫分析中, 抗原抗体的浓度会影响检测的灵敏度。抗原抗体的浓度高, 信号值也高, 但灵敏度会降低。因此, 需要对抗原抗体浓度进行优化。选择多菌灵、百菌灵、克百威人工抗原的浓度分别为 1:10、1:20、1:40、1:80 稀释; 标记抗体浓度为: 1:25、1:50、1:100、1:200 稀释。

结果表明, 当多菌灵人工抗原浓度为 1:20, 抗体浓度为 1:50; 百菌清人工抗原浓度为 1:40, 抗体浓度为 1:100; 克百威人工抗原浓度为 1:20, 抗体浓度为 1:100 时, 3 者的信号值分别为 40359、43432、45991, 信号值适中, 灵敏度最高。此时多菌灵、百菌灵、克百威的灵敏度分别为: 3、3、0.5 ng/mL。

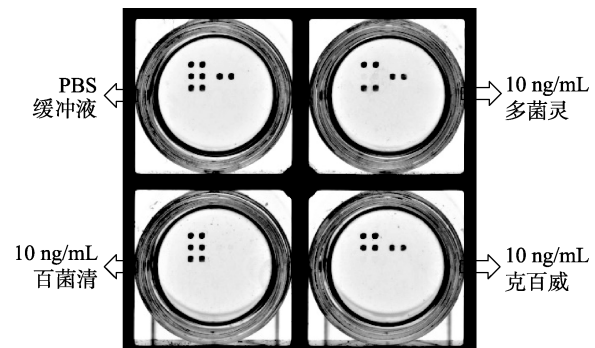
2.2 交叉反应率(特异性)

在多菌灵、百菌清、克百威三合一的生物芯片上, 分别加入 PBS 空白、多菌灵、百菌清、克百威标准品, 再加入混合抗体, 结果显示多菌灵标准品只和自身抗体发生竞争免疫反应(图 2)。多菌灵、百菌清、克百威 3 种抗体材料的特异性很强, 交叉反应率均小于 1%(表 1)。

2.3 标准曲线的建立

根据抗原抗体优化的条件, 将多菌灵抗原、啮虫肽抗原、蝇毒磷抗原分别以 1:20、1:40、1:20 稀释后点样固定于微孔板底部, 抗体分别以 1:50、1:100、1:100 稀

释, 多菌灵和百菌清的 6 个标准品浓度均分别为 0、3、9、27、81、243 ng/mL, 克百威的 6 个标准品浓度分别为 0、0.5、1、2、4、8 ng/mL。用华为 P20 智能手机拍摄获取图像后再用 genpix 分析软件提取灰度信号值, 并以浓度对数[lgC, (ng/mL)]为横坐标 X, 抑制率(B/B₀, %)为纵坐标 Y, 绘制标准曲线图, 多菌灵的线性方程为 $Y = -0.3856X + 1.0076$, $r = 0.9904$; 百菌清的线性方程 $Y = -0.3623X + 0.8915$, $r = 0.9913$; 克百威的线性方程 $Y = -0.5149X + 0.5717$, $r = 0.9916$ 。其中, 相关系数 r 全部大于 0.99, 说明线性关系良好。



注: 图中孔内每 2 个点代表一个项目, 从上到下, 从左往右, 依次为质控(纳米银标记的羊抗鼠 IgG)、多菌灵、百菌清、克百威抗原。

图2 抗体材料特异性实验结果扫描图

Fig.2 Experimental results of antibody material specificity

表 1 多菌灵、百菌清、克百威单抗的交叉反应率
Table 1 Cross-reaction rate of carbendazim, chlorothalonil and carbofuran

标准品	多菌灵抗体	百菌清抗体	克百威抗体
多菌灵	100%	< 1%	< 1%
百菌清	< 1%	100%	< 1%
克百威	< 1%	< 1%	100%

2.4 稳定性考察

将固定好的多菌灵、百菌清和克百威抗原的生物芯片, 以及配制好的抗体和标准品置于 4~8 °C 冰箱。分别每周进行一次稳定性实验, 每次选取 0、3 ng/mL 标准品在生物芯片上进行反应检测, 结果显示 12 周后多菌灵、百菌清和克百威标准品抑制率基本保持一致, 多菌灵的抑制率为 75%~85%, 百菌清为 70%~80% 和克百威为 30%~40%(图 3)。说明多菌灵、百菌清和克百威抗原抗体材料和标准品在生物芯片上相对比较稳定。

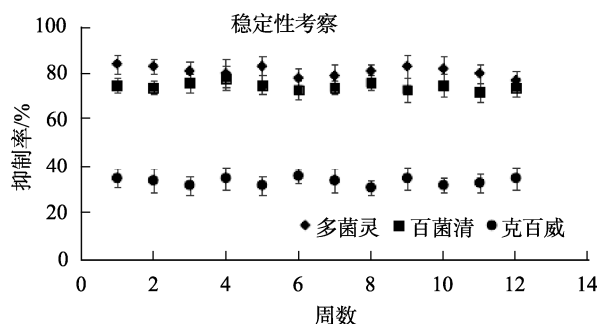


图 3 多菌灵、百菌清和克百威抗原抗体和标准品的稳定性(n=3)

Fig.3 Stability of carbendazim, chlorothalonil and carbofuran antigens and standards (n=3)

2.5 蔬菜样本加标回收率的测定

根据以上建立的标准曲线, 检测不同种类蔬菜的加标回收率。蔬菜样本采购于南京当地超市, 并用高效液相色谱-质谱联用法(high performance liquid chromatography-mass spectrometry, HPLC-MS)验证不含农药残留。取 4 种不同的蔬菜样本, 每种样本称 4 管, 其中 1 管作为阴性对照, 其余 2 管中多菌灵和百菌清的加标浓度为 500、2500、5000 ng/mL, 克百威的加标浓度为 50、100、250 ng/mL。检测结果见表 2。由表 2 可知蔬菜样本中多菌灵的加标回收率为 87.4%~114.5%, 百菌清的加标回收率为 86.8%~116.0%, 克百威的加标回收率为 84.0%~118.0%, 且检测相对标准偏差都小于 10%(n=3), 符合检测要求。

表 2 蔬菜样本加标回收率和相对标准偏差(n=3)
Table 2 Spiked recoveries and relative standard deviations of vegetables (n=3)

化合物	蔬菜样本种类	添加浓度/(ng/mL)	检测浓度/(ng/mL)	回收率/%	相对标准偏差/%
多菌灵	番茄	0	20	-	6.3
		500	482	92.4	5.6
		2500	2689	106.8	3.1
		5000	5743	114.5	5.2
多菌灵	青菜	0	41	-	8.5
		500	493	90.4	7.4
		2500	2478	97.5	8.2
		5000	5447	108.1	5.6
多菌灵	韭菜	0	35	-	6.4
		500	511	95.2	3.6
		2500	2281	89.8	4.9
		5000	5231	103.9	5.9
多菌灵	西葫芦	0	25	-	4.2
		500	462	87.4	7.3
		2500	2458	97.3	2.9
		5000	5271	104.9	5.9

表 2(续)

化合物	蔬菜样本种类	添加浓度/(ng/mL)	检测浓度/(ng/mL)	回收率/%	相对标准偏差/%
百菌清	番茄	0	28	-	8.3
		500	462	86.8	6.1
		2500	2601	102.9	7.1
		5000	5361	106.7	4.2
		0	36	-	5.1
百菌清	青菜	500	525	97.8	5.1
		2500	2532	99.8	3.1
		5000	5662	112.5	5.6
百菌清	韭菜	0	51	-	4.3
		500	526	95.0	2.6
		2500	2813	110.5	5.8
		5000	5261	104.2	3.9
		0	43	-	4.8
百菌清	西葫芦	500	561	103.6	8.3
		2500	2613	102.8	8.1
		5000	5843	116.0	3.8
		0	3	-	3.9
		50	45	84.0	7.6
克百威	番茄	100	97	94.0	6.8
		250	218	86.0	2.2
		0	5	-	3.5
		50	64	118.0	3.4
克百威	青菜	100	109	104.0	5.2
		250	268	105.2	5.6
		0	11	-	6.4
		50	66	110.0	3.6
克百威	韭菜	100	123	112.0	7.9
		250	228	86.8	5.9
		0	3	-	4.2
		50	45	84.0	7.1
克百威	西葫芦	100	88	85.0	5.6
		250	243	96.0	4.9

2.6 样本检出限的测定

对 20 个阴性蔬菜样本进行检测, 根据 20 个阴性样品的检测平均值加上 3 倍标准偏差计算样品的检测限, 多菌灵的检测限为 79 ng/mL, 百菌清为 69 ng/mL, 克百威为 15 ng/mL, 满足国家对蔬菜残留限量的检测要求。

2.7 实际样本的检测

应用本方法对南京本地各大超市的 40 个蔬菜样本进行检测, 检测结果均未超出国家规定的残留限量要求。

3 结论与讨论

本研究建立了基于可视化微阵列蛋白芯片法, 采用智能手机对蔬菜中多种农药残留同时定量检测。通过优化最佳的抗原抗体浓度, 计算 3 者之间的交叉反应率, 建立标准曲线, 分别对蔬菜中多菌灵、百菌清、克百威的加标回收率和重复性进行考察, 加标回收率均在 84.0%~118.0%内, 相对标准偏差均小于 10%。方法的检出限分别为多菌灵 79 ng/mL、百菌清 69 ng/mL、克百威 15 ng/mL。用建立的方法应用于当地各大超市未知蔬菜样品的检测, 检测结果均未超出国家规定的残留限量要求。可视化蛋白芯片法具有操作简单、检测时间短、可进行大量样本多个指标同时检测, 且用智能手机即可实现定量检测, 无需专业的检测设备等优点, 对于降低蔬菜中多种农药残留检测成本以及促进分析检测行业的发展都有重要的意义。

参考文献

- [1] CHORMEY DS, DURAK BY, BAKIRDERE S. Determination of pyridaphenthion in aqueous and food samples by reverse phase high performance liquid chromatography (HPLC) after quechers extraction and degradation studies under ultraviolet (UV) radiation [J]. *Anal Lett*, 2021, 54(4): 637–645.
- [2] 赵蕾, 张媛媛, 李轶, 等. 同时测定蔬菜中 15 种有机磷农药的残留方法 [J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(16): 113–118.
ZHAO L, ZHANG YY, LI Y, *et al.* Simultaneous determination of 15 organophosphorus pesticide residues in vegetables [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(16): 113–118.
- [3] HE ZY, XU YP, ZHANG YW, *et al.* On the use of in-source fragmentation in ultra high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-high-resolution mass spectrometry for pesticide residue analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67: 10800–10812.
- [4] MAO XJ, YAN AP, WAN YQ, *et al.* Dispersive solid-phase extraction using microporous sorbent uio-66 coupled to gas chromatography-tandem mass spectrometry: A quechers-type method for the determination of organophosphorus pesticide residues in edible vegetable oils without matrix interference [J]. *Food Chem*, 2019, 67: 1760–1770.
- [5] MAESTRONI B, ALNASER AA, GHANEM I, *et al.* Validation of an analytical method for the determination of pesticide residues in vine leaves by GC-MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66: 6421–6430.
- [6] XIE Y, KOU Q M, SUN Q, *et al.* Development and validation of an immunochromatography test strip for rapid detection of pyrimethanil residues [J]. *Food and Agric Immuno*, 2020, 31: 393–405.
- [7] KONDO M, TSUZUKI K, HAMADA H, *et al.* Development of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for residue analysis of the fungicide azoxystrobin in agricultural products [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60: 904–911.
- [8] VASYLIEVA N, AHN KC, BARNYCH B, *et al.* Development of an immunoassay for the detection of the phenylpyrazole insecticide fipronil [J]. *Environ Sci Technol*, 2015, 49: 10038–10047.
- [9] CAO Z, ZHAO HW, CUI YL, *et al.* Development of a sensitive monoclonal antibody-based enzyme linked immunosorbent assay for the analysis of paclobutrazol residue in wheat kernel [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62: 1826–1831.
- [10] SHIM JY, KIM YA, LEE YT, *et al.* Monoclonal antibody-based enzyme-linked immunosorbent assays for the organophosphorus insecticide o-ethyl o-4-nitrophenyl phenylphosphonothioate (EPN) [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58: 5241–5247.
- [11] 赵颖, 王双节, 柳颖, 等. 毒死蜱等 10 种农药多残留快速检测芯片研究 [J]. *分析化学*, 2019, 47(11): 1759–1766.
ZHAO Y, WANG SJ, LIU Y, *et al.* Immunochip assay for multi-residue rapid detection of ten kinds of common pesticides [J]. *Chin J Anal Chem*, 2019, 47(11): 1759–1766.
- [12] DUFORD DA, XI YQ, SALIN ED. Enzyme inhibition-based determination of pesticide residues in vegetable and soil in centrifugal microfluidic devices [J]. *Anal Chem*, 2013, 85: 7834–7841.
- [13] 丁泽锋. 基于酶抑制法的蔬菜农药残留快速检测研究 [J]. *农业技术与装备*, 2019, 357(9): 28–29, 31.
DING ZF. Rapid detection of pesticide residues in vegetables based on enzyme inhibitory method [J]. *Agric Technol Equip*, 2019, 357(9): 28–29, 31.
- [14] 叶嘉明, 邵佳美, 杨平, 等. 用于农残快速检测的离心式微流控芯片研制 [J]. *食品科学*, 2017, 38(12): 292–297.
YE JM, SHAO JM, YANG P, *et al.* Fabrication and application of centrifugal microfluidic chip for rapid detection of pesticide residues [J]. *Food Sci*, 2017, 38(12): 292–297.
- [15] LI ZM, LI ZH, ZHAO DY, *et al.* Smartphone-based visualized microarray detection for multiplexed harmful substances in milk [J]. *Biosens Bioelectron*, 2017, 87(15): 874–880.
- [16] CHU SY, WANG HQ, LING X, *et al.* A portable smartphone platform using a ratiometric fluorescent paper strip for visual quantitative sensing [J]. *Appl Mater Interfaces*, 2020, 12: 12962–12971.
- [17] XIAO M, LIU ZG, XU NX, *et al.* A smartphone-based sensing system for on-site quantitation of multiple heavy metal ions using fluorescent carbon nanodots based microarrays [J]. *ACS Sens*, 2020, 5: 870–878.
- [18] CAPOFERRI D, ALVAREZ-DIDUK R, CARLO MD, *et al.* Electrochromic molecular imprinting sensor for visual and smartphone-based detections [J]. *Anal Chem*, 2018, 90: 5850–5856.
- [19] KOOHKAN R, KAYKHAI M, SASANI M, *et al.* Fabrication of a smartphone-based spectrophotometer and its application in monitoring concentrations of organic dyes [J]. *ACS Omega*, 2020, 5: 31450–31455.
- [20] SENA-TORRALBA A, ALVAREZ-DIDUK R, PAROLO C, *et al.* Paper-based electrophoretic bioassay: Biosensing in whole blood

- operating via smartphone [J]. *Anal Chem*, 2021, 93: 3112–3121.
- [21] CHU SY, WANG HQ, DU YX, *et al.* Portable smartphone platform integrated with a nanoprobe-based fluorescent paper strip: Visual monitoring of glutathione in human serum for health prognosis [J]. *Sustain Chem Eng*, 2020, 8: 8175–8183.
- [22] XIA YQ, CHEN YZ, TANG YM, *et al.* Smartphone-based point-of-care microfluidic platform fabricated with a zno nanorod template for colorimetric virus detection [J]. *ACS Sens*, 2019, 4: 3298–3307.
- [23] ZENG XL, HU J, ZHANG M, *et al.* Visual detection of fluoride anions using mixed lanthanide metal-organic frameworks with a smartphone [J]. *Anal Chem*, 2020, 92: 2097–2102.
- [24] CHEN WL, YU H, SUN F, *et al.* Mobile platform for multiplexed detection and differentiation of disease-specific nucleic acid sequences, using microfluidic loopmediated isothermal amplification and smartphone

detection [J]. *Anal Chem*, 2017, 89: 11219–11226.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

汤迪朋, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: 949400966@qq.com



李周敏, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物芯片检测技术在食品安全检测中的应用。
E-mail: lizhoumin@126.com