

基于核酸适配体检测玉米中的赭曲霉毒素 A

彭臻菲, 魏碧娜, 叶丽颖, 李泳宁*

(福建卫生职业技术学院, 福州 350101)

摘要: 目的 建立一种基于核酸适配体检测玉米中赭曲霉毒素 A (ochratoxin A, OTA)的方法。**方法** 以微孔板为载体, 采用偶联生物素和 Cy3 荧光标记的核酸适配体与 OTA 的特异性结合, 而与偶联黑洞淬灭探针 (black hole quencher 2, BHQ2)的互补序列无法配对, 导致荧光值变化从而实现对 OTA 的定量检测。**结果** 优化的条件为链亲和素质量浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$, 核酸适配体浓度为 200 nmol/L, 互补序列浓度为 400 nmol/L, OTA 在 0.05~10.00 ng/mL 范围具有较好的线性关系。与赭曲霉毒素 B、黄曲霉毒素 B₁、脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮的交叉反应率均低于 1%, 玉米样品中添加 OTA 的平均回收率为 89.0%~93.8%。**结论** 该方法快速、准确、灵敏, 交叉反应率低, 可用于样品中 OTA 的分析检测。

关键词: 赭曲霉毒素 A; 核酸适配体; 玉米

Determination of ochratoxin A in corn based on aptamer

PENG Zhen-Fei, WEI Bi-Na, YE Li-Ying, LI Yong-Ning*

(Fujian Health College, Fuzhou 350101, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of ochratoxin A (OTA) in corn based on aptamer. **Methods** In microplate, biotin and Cy3 labeled aptamer could bind specifically to OTA and not hybridize with the complementary strand which labeled with black hole quencher 2 (BHQ2), and it led to the change of fluorescence value, so as to realize the quantitative detection of OTA. **Results** The optimization of parameters were that the mass concentration of streptavidin was 100 $\mu\text{g/mL}$, aptamer concentration was 200 nmol/L and complementary strand concentration was 400 nmol/L, and OTA had good linear relationship in the range of 0.05-10.00 ng/mL. The cross-reactivity rate was lower than 1% with ochratoxin B, aflatoxin B₁, zearalmon and deoxynivalenol, and the average recoveries of OTA in corn samples were 89.0%–93.8%. **Conclusion** This method is rapid, accurate and sensitive with low cross-reactivity rate. It will be used for the analysis and detection of OTA in samples.

KEY WORDS: ochratoxin A; aptamer; corn

0 引言

赭曲霉毒素是曲霉属和青霉属的某些菌株产生的代谢

产物, 其中赭曲霉毒素 A (ochratoxin A, OTA)在自然界分布最广泛、毒性最强^[1]。毒理学研究表明, OTA 具有肝肾毒性、致畸、致癌和致突变作用等多种毒副作用^[2]。近年

基金项目: 福建省中青年骨干教师教育科研项目(JAT171034)、福建卫生职业技术学院科技创新团队项目(2018-1-3)

Fund: Supported by the Education and Scientific Research Project for Middle-aged and Young Teachers in Fujian Province (JAT171034), and the Scientific and Technological Innovation Team Project of Fujian Health Vocational and Technical College (2018-1-3)

*通信作者: 李泳宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为免疫学检测研究。E-mail: yongningli@163.com

*Corresponding author: LI Yong-Ning, Ph.D, Associate Professor, Fujian Health College, No.366, Guankou Village, Jingxi Town, Minhou County, Fuzhou City, Fujian 350101, China. E-mail: yongningli@163.com

来的调查研究发现:在很多的农产品如谷类、豆类、干果、油料作物等都可以检测到 OTA^[3-4],因此 OTA 引起的农产品安全问题越来越受到人们的关注。

目前,检测 OTA 的方法主要有薄层层析法(thin layer chromatography, TLC)^[5]、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[6]、高效液相色谱-质谱法(high performance liquid chromatography-mass spectrometry, HPLC-MS)^[7]、酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)^[8]和电化学法(electrochemical method, ECM)^[9]等。TLC 法操作简便,但灵敏度和特异性较差。HPLC 是目前检测 OTA 最常用的定量分析方法,采用荧光检测器的灵敏度可达 0.1~1.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,但操作复杂且对样品的纯度有较高的要求。而 HPLC-MS 对设备要求较高,因而其使用受到限制。近年来快速发展的基于抗原-抗体或核酸适配体亲和反应的免疫检测技术由于其灵敏度高和特异性强,成为国内外很多研究人员的工作重点,但抗体易受外界条件尤其是温度的影响,在很大程度上限制了其应用,而利用同样具有特异性的核酸适配体检测技术则是目前研究的热点方向。核酸适配体是通过指数富集配体的系统进化技术筛选的一段寡核苷酸序列,与抗体相比,核酸适配体具有易合成、易修饰、易固定、可反复使用和长期保存的优点。目前,国内外已有采用核酸适配体建立 OTA 检测技术研究的报道,都具有较好的检测灵敏度,但在检测操作和设备要求上都较高,难以在大量样品的分析检测中进行应用,而基于核酸适配体技术的胶体金法,检测灵敏度较低仅适用于样本初筛,可见实现大量样品的快速检测方法仍是目前的研究重点。本研究以微孔板为载体,采用偶联生物素和 Cy3 荧光标记的核酸适配体与 OTA 的特异性结合,而与偶联黑洞淬灭探针(black hole quencher 2, BHQ2)的互补序列无法配对,导致荧光值变化从而实现 OTA 的定量检测,仅使用简单的酶标仪即可对样品中的 OTA 进行分析检测,可实现大量样本的快速检测,从而为食品和农产品安全使用提供重要保障。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

玉米粉:当地市场采集。

赭曲霉毒素 A、赭曲霉毒素 B (ochratoxin B, OTB)、黄曲霉毒素 B₁ (aflatoxin B₁, AFB₁)、玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEA)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA)(纯度 $\geq 98\%$,美国 Sigma 公司);4-羟乙基哌嗪乙磺酸[4-(2-hydroxyethyl) piperazine-1-erhanesulfonic acid, HEPES](纯度 $\geq 99\%$,北京索莱宝公司);链亲和素(纯度 17 U/mg,上海源叶生物公司);磷酸盐缓冲液(phosphate buffer saline, PBS)(0.0067 mol/L, pH 7.0~7.2,美国 HyClone 公司);Tris(纯度 99.9%,德国 Biofroxx 公司);

OTA 核酸适配体 5'-biotin-GATCGGGTGT GGGTGGCG TAAAGGGAGCATCGGACA-Cy3-3',结合序列 5'-BHQ2-TGTCCGATGC-3'参考文献^[10]设计,由福州尚亚生物技术有限公司合成。碳酸钠、乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、盐酸、甲醇(分析纯,佛山西陇化工股份有限公司)。

1.2 主要仪器

KQ-700DE 超声波提取仪(昆山超声仪器有限公司);SpectraMax M3 多功能酶标仪(美国 Molecular Devices 公司);96 孔微孔板(湖南比克曼生物科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 OTA 检测方法的建立

在 96 孔微孔板上包被链亲和素,与偶联生物素和 Cy3 荧光基团的特异性核酸适配体进行结合,当检测体系中不存在 OTA 时,核酸适配体与标记有淬灭基团的互补探针杂交而使荧光基团淬灭;当存在 OTA 时,核酸适配体构象发生变化,与互补探针无法结合,采用酶标仪检测其荧光信号值,荧光强度值与 OTA 浓度成正比,从而实现 OTA 的定量检测。

1.3.2 链亲和素包被浓度的优化实验

链亲和素用碳酸钠溶液稀释成 0、25、50、75、100、150、200、250 $\mu\text{g}/\text{mL}$,在 96 孔微孔板中加入不同浓度链亲和素稀释液,每个浓度 3 个重复孔,每孔 100 μL ,4 $^{\circ}\text{C}$ 包被过夜。拍干,用 PBS 缓冲液清洗 3 次,再次拍干;用 1% BSA 进行封闭,封闭 2 h 后,用 PBS 缓冲液清洗 3 次,拍干。加入过量核酸适配体(1000 nmol/L)进行反应,25 $^{\circ}\text{C}$ 振荡孵育 30 min,用 PBS 缓冲液清洗 3 次,拍干。采用酶标仪检测其荧光值,激发波长为 488 nm,吸收波长为 532 nm。

1.3.3 核酸适配体浓度的优化实验

将核酸适配体用 Tris-盐酸缓冲液(pH=7.5,含 1 mmol/L EDTA)稀释成不同浓度(0、50、100、150、200、250、300、400、500 nmol/L),在包被链亲和素的 96 孔微孔板中分别加入 100 μL 不同浓度的核酸适配体,25 $^{\circ}\text{C}$ 振荡孵育 30 min,用 PBS 缓冲液清洗 3 次,拍干,采用酶标仪检测荧光强度。

1.3.4 互补序列浓度的优化实验

将互补序列用上述 Tris-盐酸缓冲液稀释成不同浓度(0、100、200、300、400、500 nmol/L),在已加入上述优化的核酸适配体反应的微孔板中,分别加入 100 μL 不同浓度的互补序列,洗涤后,拍干。37 $^{\circ}\text{C}$ 振荡孵育 30 min,用 PBS 缓冲液清洗 3 次,再次拍干,采用酶标仪检测荧光强度。

1.3.5 标准曲线的绘制

将 OTA 标准品采用甲醇进行溶解,再用 HEPES 缓冲液(pH=7.0,含 120 mmol/L NaCl、5 mmol/L KCl、20 mmol/L MgCl₂、20 mmol/L CaCl₂)稀释成 0、0.001、0.005、0.010、0.050、0.100、0.500、1.000、5.000、10.000、50.000、100.000 ng/mL 标准溶液。在包被链亲和素的 96 孔微孔板中加入 100 μL 上述优化浓度的核酸适配体,25 $^{\circ}\text{C}$ 振荡孵育 30 min, PBS 缓冲

液清洗 3 次, 拍干; 分别加入 100 μL 不同浓度的标准品溶液, 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 30 min 后, PBS 缓冲液清洗 3 次, 拍干。再加入上述优化的互补序列, 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 30 min 后, PBS 缓冲液清洗 3 次, 拍干。最后采用酶标仪检测荧光强度, 根据标准品浓度与荧光强度绘制标准曲线。

1.3.6 交叉反应性分析

将 OTB、AFB₁、ZEA、DON 标准品溶解稀释成 1 ng/mL 和 10 ng/mL, 按上述方法进行检测, 计算交叉反应率。

1.3.7 玉米粉样品检测处理及加标回收率测定

准确称取 1.000 g 样品, 加入 10 mL 甲醇进行提取, 涡旋剧烈振荡 5 min, 超声提取 30 min, 滤纸过滤, 收集滤液 1。滤饼再用 10 mL 甲醇溶解后超声提取, 过滤后收集滤液 2。合并 2 次收集的滤液, 浓缩至尽干, 加入 1 mL HEPES 缓冲液进行溶解后, 采用上述方法检测样品中 OTA 含量。选择未检出 OTA 的玉米粉样品进行加标回收率实验, 分别向 1.000 g 玉米粉样品中添加 OTA 标准品, 使其每克样品中含有 1.0 ng 和 10.0 ng OTA, 提取后采用上述方法进行检测, 计算加标回收率。

2 结果与分析

2.1 链亲和素包被浓度的优化

将不同浓度的链亲和素包被于 96 孔微孔板上, 加入 1000 nmol/L 核酸适配体进行反应, 反应后洗涤, 采用酶标仪检测微孔板上的 Cy3 荧光强度值, 结果发现, 随着微孔板上包被的链亲和素浓度的增大, 荧光强度也随之增加, 当浓度达到 75 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上时, 荧光强度达到 25000 a.u 以上, 再增大链亲和素浓度, 其荧光值变化不大, 此时微孔板上包被的链亲和素已达到最大浓度, 为保证后续的反应, 选择 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 链亲和素为包被浓度。

2.2 核酸适配体浓度的优化

为了使包被于微孔板上的链亲和素与生物素标记核酸适配体的反应达到平衡, 本研究在已包被上述优化链亲和素的微孔板中加入不同浓度的核酸适配体进行反应, 反应后洗涤, 拍干, 再采用酶标仪检测其荧光强度, 结果发现, 随着核酸适配体浓度的增大, 荧光强度也随之增加, 当核酸适配体浓度达到 200 nmol/L 时, 荧光强度已经达到最大值, 再增大核酸适配体浓度, 其荧光强度的变化不大, 表明此时生物素标记的核酸适配体与微孔板上包被的链亲和素已经达到平衡, 因此后续核酸适配体浓度选择 200 nmol/L。

2.3 互补序列浓度的优化

在上述优化的条件下, 在已经反应的微孔板中分别加入 100 μL (0、100、200、300、400、500 nmol/L) 的标记 BHQ2 淬灭基团的互补序列, 37 $^{\circ}\text{C}$ 振荡孵育 30 min, 用

PBS 缓冲液清洗后, 拍干, 用酶标仪进行检测。结果发现, 当互补序列的浓度增大(互补序列与核酸适配体的摩尔比例增加), 其荧光值明显降低, 且随着互补序列浓度的增大而降低, 当互补序列浓度达到 400 nmol/L 时(互补序列与核酸适配体摩尔比为 2:1 时), 荧光值仅为 3000 a.u 左右, 再增大互补序列其荧光值有所下降, 但差异不大。因此, 互补序列浓度选择 400 nmol/L。

2.4 标准曲线的建立

将 OTA 标准品溶液稀释成不同浓度(0、0.001、0.005、0.01、0.05、0.1、0.5、1.0、5.0、10、50、100 ng/mL)标准溶液, 按照上述建立的方法进行测定, 结果发现, 当体系中 OTA 浓度低于 0.01 ng/mL 时, 其荧光强度值变化不大, 此后增加 OTA 浓度, 荧光强度值迅速增加, 当 OTA 浓度为 0.05~10.00 ng/mL 呈现较好的线性关系, 在此范围内建立标准曲线, 标准方程为: $Y=8476X+17047$ ($r^2=0.9901$)。再增加 OTA 浓度时, 荧光强度值变化不大, 因此本研究建立的检测方法线性范围确定为 0.05~10.00 ng/mL。

2.5 交叉反应率的测定

OTA 的结构类似物主要是 OTB, 而在食品和农产品的霉变过程也会产生其他霉菌毒素, 因此, 本研究选择 OTB、AFB₁、ZEA 和 DON 霉菌毒素来测试其反应特异性。将上述标准品溶液稀释成相应的浓度, 采用上述建立的方法进行测定, 结果如表 1 所示。

表 1 与结构相似物的交叉反应(%)
Table 1 Cross-reaction with structure-similar molecules (%)

浓度/(ng/mL)	OTB	AFB ₁	ZEA	DON
1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
10.0	0.80±0.06	<0.1	<0.1	<0.1

从表 1 可以看出, 本研究建立的 OTA 检测方法除了与 OTB 的有一定的交叉反应率, 10 ng/mL OTB 浓度下反应中的最大交叉反应率为 0.8%±0.06%, 与 AFB₁、ZEA 和 DON 的交叉反应率均低于 0.1%。可见本方法的特异性较好, 与 OTA 的结构类似物及其他霉菌毒素的交叉反应率均低于 1%。

2.6 玉米粉样品中 OTA 加标回收率实验

从市场收集玉米粉数份, 提取后用建立的方法进行检测, 选出未检出 OTA 的样品。再分别准确称取未检出 OTA 的玉米粉样品 1.000 g, 向样品中加入 OTA 标准品溶液, 使每克样品中含有 1.0 ng 和 10.0 ng OTA。按提取方法进行提取, 采用建立的方法进行测定样品的 OTA 含量, 计算玉米粉样品的 OTA 回收率, 结果得到, 在玉米粉样品中

OTA 标准品的平均回收率为 89.0%~93.8%，回收率较高，表明本研究建立的检测方法具有较高的准确度。

3 结论与讨论

近年来，霉菌毒素对人和动植物造成的严重危害，广泛引起政府和大众对动植物食品安全卫生的高度关注。被霉菌毒素污染的谷物，不仅影响食品安全，也严重影响动物生长和繁殖，并随着食物链进入人体，进而造成一系列严重的健康问题。因此，食品质量安全也越来越引起人们的重视，建立快速、灵敏的霉菌毒素检测方法是保障食品安全的重要手段。目前，欧盟规定谷物原料中 OTA 最大限量为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，我国规定谷类及其制品、豆类及其制品的 OTA 最大限量也是 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，饲料中 OTA 最大限量为 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，可见对 OTA 的检测灵敏度要求也越来越高，开发新的快速、灵敏的检测方法也是目前的研究重点。

近年来具有高灵敏度和特异性的核酸适配体被广泛应用于霉菌毒素的检测，目前已报道了大量能特异性结合霉菌毒素的核酸适配体，也开发了基于核酸适配体检测 AFB₁、ZEA、AFB₂ 和 OTA 等霉菌毒素的方法和生物传感器^[11-16]。目前，国外学者 SAUCEDA-FRIEBE 等^[17]建立了一种利用微阵列检测 OTA 的快速检测方法，在绿咖啡提取物中的检测限达到 0.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，检测时间仅有 12 min。LIU 等^[18]利用 TiO₂ 多孔硅开发了一种新的基于核酸适配体的微阵列检测方法，该方法可以同时筛选多种霉菌毒素，其中 OTA 的检测范围可达到 0.1~10.0 ng/mL。WEI 等^[15]设计了一种基于核酸适配体的新型高通量光子晶体微球悬浮阵列，用于谷物样品中的多重真菌毒素。该检测系统具有超灵敏、高选择性和小容量的优点，OTA 的检测范围可达到 0.1 pg/mL~0.1 ng/mL。国内 OTA 核酸适配体微阵列检测技术应用相对较少，基于核酸适配体的 OTA 检测技术多应用于建立化学传感器分析方法。张立转等^[19]建立了一种核酸适配体生物传感器检测 OTA 的方法，该法检测限达到 20 nmol/L。曲瑶等^[20]开发了核酸适配体传感器检测 OTA 的方法，对 OTA 检测的线性范围为 0.67~7.80 nmol/L，检出限达到 0.67 nmol/L。由此可见，应用核酸适配体技术建立 OTA 检测方法具有线性好、灵敏度高的特点，但也存在检测操作复杂和设备要求高的缺点，难于进行大量样品的分析检测。本试验利用微孔板载体，采用偶联生物素和 Cy3 荧光标记的核酸适配体与 OTA 的特异性结合，而与偶联 BHQ2 的互补序列无法配对，导致荧光值变化从而实现 OTA 的定量检测，本方法快速、简便、灵敏度高，仅使用简单的酶标仪即可对样品中的 OTA 进行分析检测，设备要求低，可适用于大量样品的分析筛查和检测，并为基于微孔板的多指标联检技术开发奠定基础。

本研究建立的基于微孔板的核酸适配体识别-荧光淬

灭探针高灵敏度检测技术，快速、灵敏、特异性好、操作简单，在优化条件下，检测浓度范围为 0.05~10.00 ng/mL，与其他霉菌毒素的交叉反应率低，在玉米样品中加标回收率高，不仅可以作为大规模样品分析检测的方法，同时也为建立检测高通量多元霉菌毒素的新型分析方法奠定基础。

参考文献

- [1] BUI-KLIMKE TR, WU F. Ochratoxin A and human health risk: A review of the evidence [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2015, 55(13): 1860-1869.
- [2] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain mycotoxins in food [Z]. 2001.
- [3] COVARELLI L, BECCARI G, MARINI A, *et al.* A review on the occurrence and control of ochratoxigenic fungal species and ochratoxin A in dehydrated grapes, non-fortified dessert wines and dried vine fruit in the Mediterranean area [J]. *Food Control*, 2012, 26(2): 347-356.
- [4] DUARTE SC, PENA A, LINO CM. A review on ochratoxin A occurrence and effects of processing of cereal and cereal derived food products [J]. *Food Microbiol*, 2010, 27(2): 187-198.
- [5] SANTOS EA, VARGAS EA. Immunoaffinity column clean-up and thin layer chromatography for determination of ochratoxin A in green coffee [J]. *Food Addit Contam A*, 2002, 19(5): 447-458.
- [6] TESSINI C, MARDONES C, VON BD, *et al.* Alternatives for sample pre-treatment and HPLC determination of ochratoxin A in red wine using fluorescence detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2010, 660(1-2): 119-126.
- [7] REINSCH M, TOPFER A, LEHMANN A, *et al.* Determination of ochratoxin A in beer by LC-MS/MS ion trap detection [J]. *Food Chem*, 2007, 100(1): 312-317.
- [8] YU FY, CHI TF, LIU BH, *et al.* Development of a sensitive enzyme-linked immunosorbent assay for the determination of ochratoxin A [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(17): 6947-6953.
- [9] KAUR N, BHARTI A, BATRA S, *et al.* An electrochemical aptasensor based on graphene doped chitosan nanocomposites for determination of ochratoxin A [J]. *Microchem J*, 2019, 144: 102-109.
- [10] YANG Y, LI W, SHEN P, *et al.* Aptamer fluorescence signal recovery screening for multiplex mycotoxins in cereal samples based on photonic crystal microsphere suspension array [J]. *Sensor Actuat B Chem*, 2017, 248: 351-358.
- [11] GUO X, WEN F, ZHENG N, *et al.* Aptamer-based biosensor for detection of mycotoxins [J]. *Front Chem*, 2020, 8, 195: 1-19.
- [12] GOUD KY, HAYAT A, SATYANARAYANA MKV, *et al.* Aptamer-based zearalenone assay based on the use of a fluorescein label and a functional graphene oxide as a quencher [J]. *Microchim Acta*, 2017, 184(11): 4401-4408.
- [13] CHEN L, WEN F, LI M, *et al.* A simple aptamer-based fluorescent assay for the detection of aflatoxin B₁ in infant rice cereal [J]. *Food Chem*, 2016, 215: 377-382.
- [14] CHEN XI, BAI XI, LI HY, *et al.* Aptamer-based microcantilever array biosensor for detection of fumonisin B-1 [J]. *RSC Adv*, 2015, 5(45): 35448-35452.
- [15] WEI M, WANG CL, XU ES, *et al.* A simple and sensitive electrochemiluminescence aptasensor for determination of ochratoxin A

- based on a nicking endonuclease-powered DNA walking machine [J]. *Food Chem*, 2019, 282: 141–146.
- [16] WEI M, ZHANG WY. The determination of ochratoxin A based on the electrochemical aptasensor by carbon aerogels and methylene blue assisted signal amplification [J]. *Chem Cent J*, 2018, 12(45): 1–8.
- [17] SAUCEDA-FRIEBE JC, KARSUNKE XY, VAZAC S, *et al.* Regenerable immuno-biochip for screening ochratoxin A in green coffee extract using an automated microarray chip reader with chemiluminescence detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2011, 689(2): 234–242.
- [18] LIU R, LI W, CAI T, *et al.* TiO₂ nanolayer-enhanced fluorescence for simultaneous multiplex mycotoxin detection by aptamer microarrays on a porous silicon surface [J]. *ACS Appl Mater Int*, 2018, 10(17): 14447–14453.
- [19] 张立转, 赵旭华, 梁晶晶, 等. 基于核酸适配体-聚多巴胺纳米复合物的荧光生物传感器检测赭曲霉毒素 A[J]. *分析科学学报*, 2019, 35(3): 84–88.
ZHANG LZ, ZHAO XH, LIANG JJ, *et al.* Aptamer/polydopamine nanospheres complex based fluorescence biosensor for sensitive and selective detection of ochratoxin A [J]. *J Anal Sci*, 2019, 35(3): 84–88.
- [20] 曲瑶, 张亚旗, 肖光, 等. 基于核酸碱基猝灭荧光团的核酸适配体传感

器检测赭曲霉毒素 A[J]. *分析化学*, 2020, 48(10): 1409–1415.

QU Y, ZHANG YQ, XIAO G, *et al.* Aptasensor based on nucleic acid base quenching fluorophore for detection of ochratoxin A [J]. *Chin J Anal Chem*, 2020, 48(10): 1409–1415.

(责任编辑: 于梦娇 郑丽)

作者简介



彭臻菲, 博士, 讲师, 主要研究方向为分析化学研究。

E-mail: zhenfei2001@163.com



李泳宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为免疫学检测研究。

E-mail: yongningli@163.com