

基于赖氨酸修饰胶体金的花生黄曲霉毒素 B₁ 检测

黄星奕 叶伟涛 王成全 吕日琴 孙兆燕

(江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

摘要: 通过建立赖氨酸表面修饰的胶体金体系, 构建了一种检测霉变花生中黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 的方法。首先, 用柠檬酸三钠还原法制备胶体金 (AuNPs), 然后在所制备的胶体金溶液中加入赖氨酸, 制备了赖氨酸修饰的胶体金溶液 (Lys - AuNPs)。利用紫外可见分光光度计和透射电镜对其进行表征, 建立了 Lys - AuNPs 溶液在 725 nm 和 525 nm 处吸光度的比值 (A_{725}/A_{525}) 与 AFB₁ 质量浓度之间的相关关系。结果表明: AFB₁ 质量浓度在 1 ~ 50 ng/mL 范围内与 A_{725}/A_{525} 具有良好的线性关系, 决定系数为 0.996, 检出限为 0.2 ng/mL。花生样品中的加标回收率范围是 85% ~ 110%。通过高效液相色谱法 (HPLC) 对花生中 AFB₁ 质量浓度进行验证, AFB₁ 质量浓度的预测值与真实值的均方根误差为 0.865 1 ng/mL, 相关系数为 0.996 1。该方法具有快速简单、灵敏度高、操作简便等优点, 可运用于霉变花生中 AFB₁ 的快速检测。

关键词: 花生; 黄曲霉毒素 B₁; 胶体金; 赖氨酸修饰

中图分类号: S565.2; S13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)05-0370-06

Detection of Aflatoxin B₁ in Peanut Based on Lysine-functionalized Gold Nanoparticles System

HUANG Xingyi YE Weitao WANG Chengquan LÜ Riqin SUN Zhaoyan
(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Aflatoxin B₁ (AFB₁) is the most toxic mycotoxin, which is classified as grade 1 carcinogens by the World Health Organization. A method for detection of AFB₁ in moldy peanut was proposed by using lysine-functionalized gold nanoparticles (Lys - AuNPs). AuNPs was synthesized by the citrate reduction method, of which the color was red-wine. To obtain lysine-functionalized AuNPs, lysine solution was added to the prepared AuNPs under stirring by magnetic stirrer. It was characterized by transmission electron microscope and UV-visible spectrophotometry. The detection of AFB₁ was achieved through the competitive reaction mechanism between Hg²⁺, AFB₁ and amino acids on lysine surface in the gold nanoparticles solution. As the concentration of AFB₁ in Lys - AuNPs solution was increased, the color of the solution was changed from grey to red. UV-visible spectrums were measured to establish the relationship between the A_{725}/A_{525} value of Lys - AuNPs solution and the concentration of AFB₁. The results showed that there was a good linear relationship in the range of 1 ~ 50 ng/mL, and the correlation coefficient was 0.996. The detection limit of AFB₁ was 0.2 ng/mL and the recovery in peanut samples was 85% ~ 110%. In addition, the concentration of AFB₁ in peanut was confirmed by high performance liquid chromatography (HPLC). The method for detection of AFB₁ in moldy peanuts had the advantages of quick simplicity, high sensitivity, and simple operation and so on, which can be applied to the rapid detection of aflatoxin B₁ in moldy peanut and make the assay widely applicable.

Key words: peanut; aflatoxin B₁; gold nanoparticles; lysine-functionalized

0 引言

花生是我国产量丰富、食用广泛的一种坚

果^[1]。在夏季高温、高湿情况下, 花生易发生霉变, 在霉变过程中会产生黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素、黑曲霉毒素等霉菌毒素^[2-4]。研究表明, 在所

有已知的霉菌毒素中,黄曲霉毒素 B₁ (Aflatoxin B₁, AFB₁) 的毒性、致畸性、致癌性均居于首位,其半数致死量(LD₅₀)为 0.294 mg/kg^[5]。我国对农产品中 AFB₁ 含量具有严格的限制,规定花生及其制品中 AFB₁ 的含量(质量比)不得超过 20 μg/kg^[6]。农产品中 AFB₁ 的检测,对于减少霉菌毒素的危害具有重要的意义。

传统的霉菌毒素检测方法主要有生物学检测方法、薄层分析法、高效液相色谱法等^[7],由于这些方法操作复杂、预处理繁琐、处理时间长,研究者正不断开发新的检测方法^[8]。纳米材料由于其量子尺寸效应,表现出与其他传统材料不同的特性,如光学性质、磁学性质、光催化作用等^[9-11],国内外学者尝试使用纳米材料检测霉菌毒素。文献[12]利用 AFB₁ 抗体包被纳米金,制备了可用于小麦粉中 AFB₁ 快速检测的新型安培免疫传感器,检测限为 0.3 μg/L。文献[13]通过合成的纳米粒子与黄曲霉毒素人工抗原抗体的竞争免疫结合,实现了新型的 AFB₁ 检测方法,检测限为 0.03 ng/mL。文献[14]利用纳米粒子建立了一种 OTA(赭曲霉毒素 A)检测体系,通过溶液中游离的 cDNA 与加入的 Ag⁺ 在 NaBH₄ 的存在下形成强荧光的纳米粒子,从而实现 OTA 的检测,检测限为 2 pg/mL。文献[15]以磁性材料为载体,不同纳米材料为信号探针,构建磁控适配体比色、荧光、电化学传感体系,成功检测出花生中赭曲霉毒素 A 和伏马毒素 B₁。

传统的胶体金标记技术的实验步骤较为繁琐,需要构建人工抗原抗体,从而实现标记^[16]。本文以胶体金为介质,制备赖氨酸修饰的金胶体系,以实现霉变花生中 AFB₁ 的快速检测。

1 材料与方法

1.1 仪器

UV-2450 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司);JEOL 2100 型透射电镜(日本 JEOL 公司);LA-20 型高效液相色谱仪(日本岛津公司),配有荧光检测器;11830-RT 型氮吹仪(美国 Organomation 公司);DF-101S 型集热式磁力加热搅拌器(河南巩义市予华仪器厂);TG16-WS 型台式高速离心机(长沙湘仪有限公司);XH-D 型漩涡振荡器(无锡杰瑞安仪器设备有限公司)。

1.2 试剂

AFB₁、OTA、FB₁(伏马毒素 B₁)、氯金酸(HAuCl₄)、柠檬酸三钠,购于 Sigma-Aldrich 公司;L-赖氨酸、三氟乙酸、正己烷,购于萨恩化学技术有限公司;HgCl₂,购于山东西亚化学股份有限公司;乙

腈,购于美国 TEDIA 公司;试验用水为二次去离子水。

1.3 赖氨酸修饰的胶体金制备

本实验采用柠檬酸三钠还原法制备胶体金^[17],首先,称取 8.9 mg 的氯金酸固体粉末溶于 100 mL 的超纯水中,加热到沸腾,迅速加入 12 mL 的 1% 柠檬酸三钠溶液,持续加热。观察溶液的颜色变化,当溶液的颜色完全变为透明、澄清的酒红色时,停止加热。待溶液冷却至室温(20℃),4℃ 避光保存^[18]。然后将 5 mL 的 15 mol/L 赖氨酸水溶液加入 45 mL 所制备的 AuNPs(胶体金)中,150 r/min 搅拌 10 min,制备得到赖氨酸修饰的胶体金(Lys-AuNPs)溶液。利用紫外可见分光光度计和透射电镜对其进行表征。

1.4 AFB₁ 测定原理与方法

Hg²⁺ 能够与 AFB₁ 形成稳定的螯合物。Hg 是过渡金属元素,并且容易形成配位数为 6 的络合物。它的几何构型通常相当于由 6 个配位原子形成的八面体,使得配合物 AFB₁-Hg²⁺ 的共轭平面增强,刚性结构增加^[19]。

本实验通过柠檬酸三钠还原 HAuCl₄ 制得胶体金,生成的溶液是一种胶体溶液,Lys-AuNPs 粒子的表面覆盖着赖氨酸,颗粒之间通过静电排斥作用使得赖氨酸修饰的胶体金溶液保持着稳定性^[20]。如图 1 所示,当溶液中加入 HgCl₂ 时,Hg²⁺ 会与赖氨酸上的氨基发生作用,破坏胶体溶液的稳定性,使溶液产生凝聚,颜色变成灰黑色。当溶液中混入 AFB₁,则 Hg²⁺ 会与 AFB₁ 发生螯合反应,生成稳定的配合物,从而使破坏胶体溶液稳定性的 Hg²⁺ 减少,随着 AFB₁ 浓度的升高,溶液中游离的 Hg²⁺ 不断减少,颜色逐渐变为红色。通过紫外可见分光光度计对溶液进行吸光度测定,然后建立 AFB₁ 浓度与吸光度之间的相关关系。

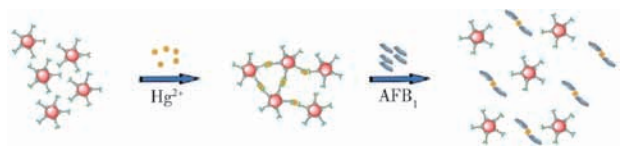


图 1 赖氨酸修饰的胶体金溶液检测 AFB₁ 原理示意图

Fig. 1 Schematic of AFB₁ detection by lysine-functionalized gold nanoparticles

在 5 mL 的离心管中加入 15 μmol/L 的 HgCl₂ 溶液 100 μL 和不同浓度的 AFB₁ 900 μL,漩涡振荡 3 min,混匀。在混合液中加入 1 mL 的 Lys-AuNPs 溶液,漩涡振荡 5 min。用紫外可见分光光度计测其吸收光谱,根据在 725 nm 和 525 nm 处吸光度比值建立 AFB₁ 浓度的校准曲线。

1.5 花生样本的制备

本批次实验花生仁样本均产于江苏省南通市,品种为冀花4号,并参考GB 5009.22—2016的方法进行预处理。首先,将花生样品研磨成粉末,称取0.5 g试样(精确至0.01 g)于50 mL离心管中。再加入20 mL质量分数25%的乙腈,漩涡混匀。然后用均质机均质3 min,在6000 r/min下离心10 min,取其上清液备用。

1.6 AFB₁的高效液相色谱法测定

色谱条件:流动相为25%乙腈;色谱柱为C18柱;流速1.0 mL/min;柱温40℃;进样体积50 μL;检测波长360 nm;发射波长440 nm。

柱前衍生:用移液管吸取4 mL的待测液于10 mL的离心管中,然后在50℃下用氮气慢慢地吹至近干,再加入200 μL的正己烷与100 μL的三氟乙酸,漩涡振荡30 s。在40℃的恒温箱中衍生15 min,在50℃下用氮气缓缓地吹至近干。用25%

乙腈定容至1 mL,漩涡振荡30 s溶解残留物,最后过0.45 μm滤膜,收集滤液于进样瓶中备用。

2 结果与讨论

2.1 Lys-AuNPs 溶液的特征与分析

将制备得到的赖氨酸修饰的胶体金溶液在透射电镜下进行观察,Lys-AuNPs的粒径大约为25 nm,图2为胶体金溶液在不同状态下的电镜图,图2a为赖氨酸修饰的胶体金溶液,颗粒间分散性良好;图2b中颗粒之间发生凝聚现象;图2c中颗粒之间又重新分散开。如图3所示,从紫外可见光谱图中可以发现Lys-AuNPs溶液仅在525 nm处存在一个吸收峰;当溶液中加入Hg²⁺时,溶液颜色会变成灰黑色,且溶液发生凝聚现象,会在525 nm和725 nm处形成2个吸收峰;当溶液中加入Hg²⁺和20 ng/mL的AFB₁时,溶液在525 nm处的吸光度增加,在725 nm处的吸光度减小。

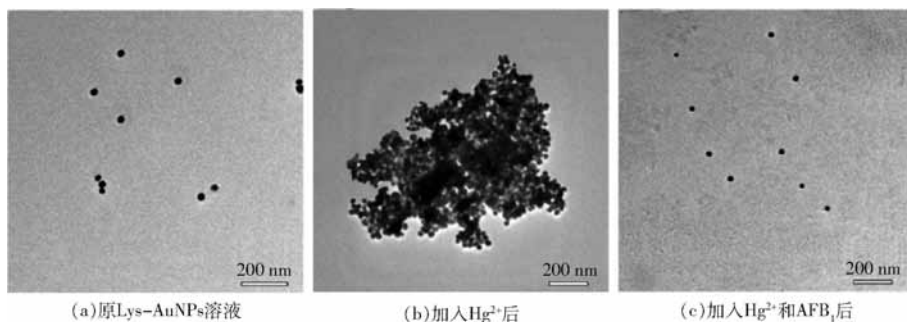


图2 胶体金溶液不同状态下的透射电镜图

Fig. 2 TEM images of different states of gold nanoparticles solution

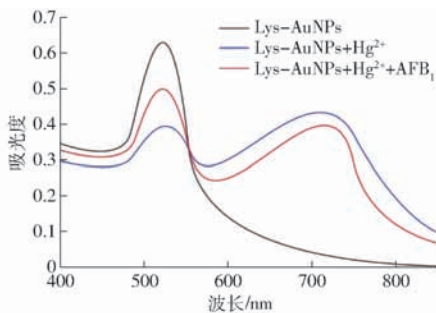


图3 溶液中加入Hg²⁺和AFB₁后Lys-AuNPs的紫外可见光谱

Fig. 3 UV-visible spectra of gold nanoparticles solution after adding Hg²⁺ and AFB₁

2.2 梯度实验

在Lys-AuNPs和Hg²⁺离子浓度一致的情况下,向体系中加入不同质量浓度(0、1、2.5、5、10、20、50、100、300、400、500 ng/mL)的AFB₁溶液,混匀、平衡后观察其在不同质量浓度AFB₁下Lys-AuNPs溶液的颜色变化和凝聚情况,并用紫外可见分光光度计测量混合后溶液的吸光度,其紫外可见光谱图如

图4所示。

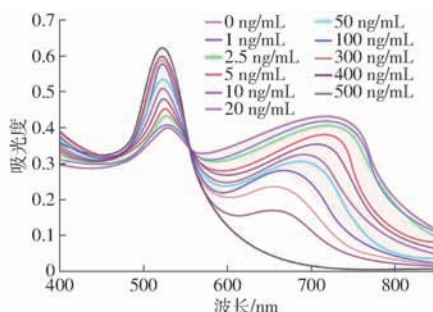


图4 溶液在不同AFB₁质量浓度下的紫外可见光谱

Fig. 4 UV-visible spectrogram of different concentrations of AFB₁

当AFB₁的质量浓度发生变化时,溶液的颜色也会产生相应的变化,如图5所示。当溶液中没有混入AFB₁,只有Lys-AuNPs和Hg²⁺时,溶液呈灰黑色,此时溶液在525 nm处和725 nm处有两个吸收峰;随着AFB₁质量浓度的不断增加,溶液的颜色由灰黑色逐渐变淡,最后向红色转变,Lys-AuNPs溶液在525 nm处的吸光度缓慢下降,而725 nm处的

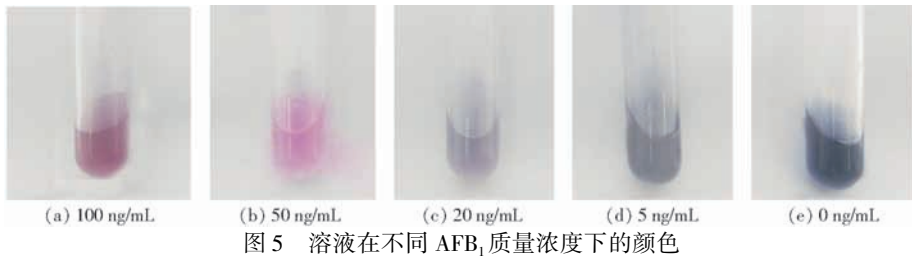


图5 溶液在不同 AFB₁ 质量浓度下的颜色

Fig. 5 Color of solutions with different concentrations of AFB₁

吸光度不断增加;当溶液中 Hg²⁺ 全部与 AFB₁ 形成配合物时,溶液颜色变为红色,此时,紫外可见光谱图中只剩下一个吸收峰。观察溶液在 525 nm 和 725 nm 处双峰吸光度与 AFB₁ 浓度之间的关系可知, Lys - AuNPs 溶液在 725 nm 处的吸光度 A_{725} 与在 525 nm 处的吸光度 A_{525} 之间的比值 A_{725}/A_{525} 随着 AFB₁ 质量浓度的增加而减小,逐渐趋向 0。通过分析 Lys - AuNPs 溶液中 AFB₁ 质量浓度与 A_{725}/A_{525} 的相关关系发现,当溶液中 AFB₁ 质量浓度在 1 ~ 50 ng/mL 时, A_{725}/A_{525} 与 AFB₁ 质量浓度有较好的线性关系,如图 6 所示,线性回归方程为 $y = -0.0105x + 1.1447$, 决定系数 $R^2 = 0.996$, 检出限为 0.2 ng/mL。

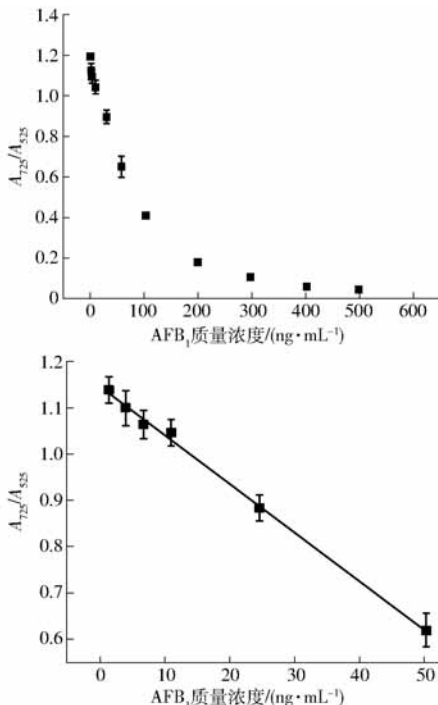


图6 A_{725}/A_{525} 与 AFB₁ 质量浓度之间的关系

Fig. 6 Relationship between concentration of AFB₁ and A_{725}/A_{525} value

2.3 回收率和相对标准偏差

选取正常花生将其研磨成粉末,在 50 mL 的离心管中称取 4 份花生粉末,每份 0.5 g,将等体积不同质量浓度的 AFB₁ (0.5、1、10、50 ng/mL),加入 20 mL 的 50% 乙腈,漩涡混合,用均质机均质 3 min,

在 6 000 r/min 下离心 10 min。然后利用 Lys - AuNPs 溶液测 AFB₁ 的质量浓度,得其加标回收率分别为 85.0%、97.2%、110%、95.5%,平均加标回收率为 96.9%,相对标准偏差为 8.9%。

2.4 Lys - AuNPs 溶液的特异性

为了研究本实验中制备的 Lys - AuNPs 溶液的特异性,通过选用霉变花生仁中其它霉菌毒素,如 OTA 和 FB₁ 作为干扰霉菌毒素,进行验证。取 900 μ L 质量浓度为 5 ng/mL 的 AFB₁、OTA、FB₁ 分别加入 3 支 10 mL 的离心管内,在离心管中分别加入 15 μ mol/L 的 HgCl₂ 溶液 100 μ L,漩涡振荡 3 min,使其充分混合。然后在每个离心管的混合液中分别加入 1 mL 的 Lys - AuNPs 溶液,漩涡振荡 5 min,并用紫外可见分光光度计测其吸收光谱。图 7 为分别加入 AFB₁、FB₁、OTA 后的紫外可见光谱图,与空白组相比,加入 5 ng/mL AFB₁ 的溶液在 525 nm 处的吸光度明显上升,725 nm 处的吸光度显著降低,而加入 OTA 与 FB₁ 的溶液的吸光度几乎没有变化。数据表明,目标物中混入 AFB₁ 时的吸光度变化率远高于混入 OTA 与 FB₁。由以上结果表明,此方法所构建的赖氨酸修饰的胶体金体系有较好的选择性,霉变花生仁中存在的 OTA 和 FB₁ 并不会影响 AFB₁ 质量浓度的检测,基于此建立的花生仁中 AFB₁ 含量的检测方法具有良好的特异性。

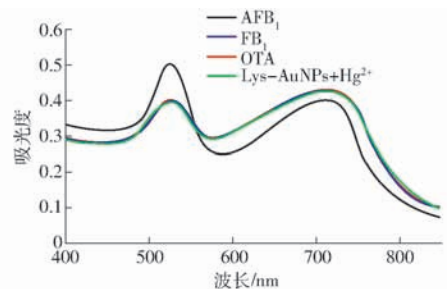


图7 AFB₁、FB₁、OTA 的紫外可见光谱

Fig. 7 UV - visible spectrogram of AFB₁, FB₁ and OTA

2.5 AFB₁ 含量的高效液相色谱法测定

用本研究提出的 Lys - AuNPs 溶液检测 AFB₁ 的方法检测溶液中 AFB₁ 的质量浓度,并用高效液相色谱法(HPLC)对 AFB₁ 的质量浓度进行验证。选取 40 个花生样品对其 AFB₁ 质量浓度进行测定与比较,

由图8可知,用高效液相色谱法和 Lys - AuNPs 溶液测定的 AFB₁ 质量浓度的均方根误差为 0.8651 ng/mL,

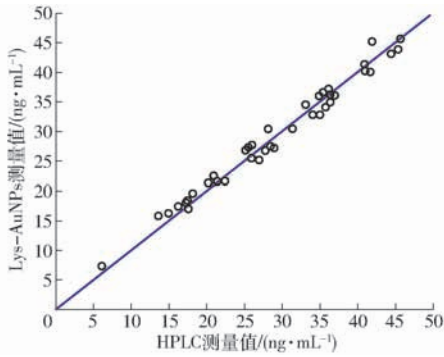


图8 用 Lys - AuNPs 和 HPLC 测定 AFB₁ 浓度的比较

Fig. 8 Comparison of results for AFB₁ concentration determined by Lys - AuNPs and HPLC methods

相关系数为 0.996 1。结果表明由本实验所建立的赖氨酸修饰的胶体金体系可用于花生中 AFB₁ 的检测。

3 结束语

提出了一种新的霉变花生中 AFB₁ 检测方法:用赖氨酸修饰的胶体金溶胶体系对霉变花生中 AFB₁ 进行检测。该方法无需使用光敏材料、酶试剂等,具有快速、简单、特异性好等优势,并且无需制备复杂的特异性抗体来检测黄曲霉毒素。Lys - AuNPs 溶液检测 AFB₁ 的线性范围为 1 ~ 50 ng/mL,决定系数 0.996,检出限为 0.2 ng/mL,平均加标回收率为 96.9%,相对标准偏差为 8.9%。该方法快速、准确、灵敏,可用于霉变花生中 AFB₁ 的检测。

参 考 文 献

- [1] 王叶群,姚刚,张绍英. 污染黄曲霉毒素花生的检测及分选技术研究进展[J]. 农业工程,2014,4(6):59-63.
WANG Yequn, YAO Gang, ZHANG Shaoying. Development of detection and sorting technology for aflatoxins contaminated peanuts[J]. Agricultural Engineering, 2014,4(6):59-63. (in Chinese)
- [2] 刘焱,蔡静平. 储粮中黄曲霉毒素检测和预警方法研究进展[J]. 粮食与油脂,2015,28(3):1-5.
LIU Yan, CAI Jingping. Research progress on methods of aflatoxins detecting and warning in stored grain[J]. Cereals & Oils, 2015,28(3):1-5. (in Chinese)
- [3] CHEN F, LUAN C, WANG L, et al. Simultaneous determination of six mycotoxins in peanut by high-performance liquid chromatography with fluorescence detector[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 97(6):1805-1810.
- [4] 孙冰洁,朱伟,张波. 黄曲霉毒素检测技术的研究进展[J]. 热带医学杂志,2017,17(9):1268-1274.
SUN Bingjie, ZHU Wei, ZHANG Bo. Review on the methodology of aflatoxin detection[J]. Journal of Tropical Medicine, 2017,17(9):1268-1274. (in Chinese)
- [5] 谢芳,赖卫华,史爱武,等. 免疫磁珠富集结合酶联免疫吸附法检测酱油中黄曲霉毒素 B₁[J]. 食品科学,2013,34(18):165-169.
XIE Fang, LAI Weihua, SHI Aiwu, et al. Immunomagnetic bead enrichment and ELISA for detection of aflatoxin B₁ in sauce [J]. Food Science, 2013, 34(18):165-169. (in Chinese)
- [6] 李少晖,任丹丹,谢云峰,等. 食品中黄曲霉毒素检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(4):1107-1115.
LI Shaohui, REN Dandan, XIE Yunfeng, et al. Research progress on determination methods of aflatoxins in foodstuffs[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015,6(4):1107-1115. (in Chinese)
- [7] VIDAL J C, BONEL L, EZQUERRA A, et al. Electrochemical affinity biosensors for detection of mycotoxins: a review[J]. Biosensors & Bioelectronics, 2013, 49(4):146-158.
- [8] GEORGIEVSKI B, KOSTIK V, MEMETI S, et al. Qualitative and quantitative analysis of aflatoxins in raw peanuts[J]. Journal of Environmental Protection and Ecology, 2016, 17(3):961-969.
- [9] MOON J, KIM G, LEE S. Development of nanogold-based lateral flow immunoassay for the detection of ochratoxin A in buffer systems[J]. Journal of Nanoscience & Nanotechnology, 2013, 13(11):7245-7249.
- [10] 王馨,胡文忠,陈晨,等. 纳米材料在果蔬保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业,2017,43(1):281-286.
WANG Xin, HU Wenzhong, CHEN Chen, et al. Application of nanomaterials in storage of fruits and vegetables[J]. Food and Fermentation Industries, 2017,43(1):281-286. (in Chinese)
- [11] 杨华,徐霞红,郭玉娜,等. 基于 MOCs - MWCNTs 的大肠杆菌电化学免疫传感器[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):328-333.
YANG Hua, XU Xiahong, GUO Yu'na, et al. Electrochemical immunosensor assay of *E. coli* O157:H7 based on MOCs - MWCNTs with highly efficient antibody immobilization[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(6):328-333. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170643&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.043. (in Chinese)
- [12] 干宁,谢东华,李榕生,等. 小麦粉中黄曲霉毒素 B₁ 现场检测用纳米修饰传感器[J]. 中国粮油学报,2009,24(12):124-128.

- GAN Ning, XIE Donghua, LI Rongsheng, et al. A novel screen print amperometric immunosensor to determine aflatoxin B₁ in flour based on antibody coated nano gold particles modified electrode[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, 24(12):124 – 128. (in Chinese)
- [13] 李响,李向丽,谭贵良,等. 磁分离结合 CdTe 发光量子点标记黄曲霉毒素 B₁ 免疫检测新方法[J]. *食品与生物技术学报*, 2013, 32(3):258 – 264.
- LI Xiang, LI Xiangli, TAN Guiliang, et al. A new immunoassay method for aflatoxin B₁ using CdTe luminescent quantum dots as labels[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2013, 32(3):258 – 264. (in Chinese)
- [14] CHEN J, ZHANG X, CAI S, et al. A fluorescent aptasensor based on DNA-scaffolded silver-nanocluster for ochratoxin A detection[J]. *Biosensors & Bioelectronics*, 2014, 57(10):226 – 231.
- [15] 王成全. 基于磁控适配体传感体系的农产品中典型霉菌毒素检测研究[D]. 镇江:江苏大学, 2016.
- WANG Chengquan. Research on detection of typical mycotoxins in agricultural products based on magnetically controlled aptasensor[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016. (in Chinese)
- [16] GOPAL J, ABDELHAMID H N, HUANG J H, et al. Nondestructive detection of the freshness of fruits and vegetables using gold and silver nanoparticle mediated graphene enhanced Raman spectroscopy[J]. *Sensors & Actuators B Chemical*, 2016, 224:413 – 424.
- [17] LI X, LI P, ZHANG Q, et al. Multi-component immunochromatographic assay for simultaneous detection of aflatoxin B₁, ochratoxin A and zearalenone in agro-food[J]. *Biosensors & Bioelectronics*, 2013, 49(22):426 – 432.
- [18] 刘颖沙,李建科,张琳. 胶体金制备技术的改进与优化[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(11):110 – 114.
- LIU Yingsha, LI Jianke, ZHANG Lin. Improvement and optimization of preparation technology of colloidal gold[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(11):110 – 114. (in Chinese)
- [19] 刘雪芬. 基于环糊精的黄曲霉毒素 B₁ 荧光增敏检测技术研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2011.
- LIU Xuefen. Study on cyclodextrins-based fluorescence enhancement technology for aflatoxin B₁ detection [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. (in Chinese)
- [20] 庞世琦,刘青,李志勇,等. 胶体金技术快速测定葡萄酒中赭曲霉毒素 A[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(8):3073 – 3076.
- PANG Shiqi, LIU Qing, LI Zhiyong, et al. Rapid detection of ochratoxin A in wines by gold immunochromatography assay [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2016, 7(8):3073 – 3076. (in Chinese)