

无衍生-高效液相色谱法测定玉米中 AFB₁ 含量

周 闯, 班晓敏, 刘胜利, 张海彬*

(南京农业大学动物医学院, 南京 210095)

摘 要: **目的** 建立 AFB₁ 无衍生的 HPLC 检测方法。**方法** 本试验对谷物中 AFB₁ 的提取方法、净化方法、色谱条件进行摸索, 最终建立了一套完整的无衍生的 HPLC 方法。**结果** 该方法在 AFB₁ 的浓度为 0.5~80 µg/mL 范围内线性关系良好, 线性回归方程为 $Y=1095223X+857392$, 相关系数 $R^2=0.99884$, 检测限为 0.60 ng/mL, 回收率在 86.40%~99.06% 之间。在 43 份送检玉米样品中, AFB₁ 的总检出率和超标率分别为 39.53% 和 11.63%。**结论** 无衍生的 HPLC 方法也可以用于检测玉米中的 AFB₁ 的含量, 比衍生化的方法更简单、可操作性更强、更有应用价值。

关键词: AFB₁; 玉米; 高效液相色谱法; 检测

Determination of AFB₁ in corns by high performance liquid chromatography without derivations

ZHOU Chuang, BAN Xiao-Min, LIU Sheng-Li, ZHANG Hai-Bin*

(College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: Objective To develop a method for the determination of AFB₁ in the corns by high performance liquid chromatography (HPLC) without any derivations to make the determination process simpler. **Methods** The extraction, purification and detection conditions were optimized. Finally, an HPLC method without derivations was developed. **Results** When the concentrations of AFB₁ were at 0.5~80 µg/mL, a good linearity between the concentration and peak area ratio was obtained. The linear regression equation was $Y=1095223X+857392$ with $R^2=0.99884$. The limit of detection was 0.60 ng/mL and recovery rates were between 86.40% and 99.06%. Relevance rate and the rate of exceeding the allowed standards of China in the 43 corn samples was 39.53% and 11.63%, respectively. **Conclusion** The HPLC without derivations could be used to detect the content of AFB₁ in the corns, and it had simpler process, better operability and more practical application value.

KEY WORDS: AFB₁; corns; high performance liquid chromatography; determination

1 引 言

黄曲霉毒素(aflatoxins)是由寄生曲霉和黄曲霉产生一类具有很强毒性的化合物^[1], 据报道, 大量谷物受到黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 等的污染^[2-3], 其

中 AFB₁ 的致癌性最强^[4], 近期研究发现玉米及其制品中四种黄曲霉毒素 AFB₁ 的检出率最高, 引起了人们的极大关注^[5]。

随着各国食品中 AFB₁ 最大限量的逐渐降低, 我国制定的谷物中 AFB₁ 最大限量最低已至 5 µg/kg^[6-7]。

*通讯作者: 张海彬, 教授, 主要研究方向为真菌毒素与畜产品安全。E-mail: haibinzh@njau.edu.cn

*Corresponding author: ZHANG Hai-Bin, Professor, College Of Veterinary Medicine Nanjing Agricultural University, No.1, Weigang, Xuanwu District, Nanjing 210095, China. E-mail: haibinzh@njau.edu.cn

从而对谷物中 AFB₁ 的检测方法提出了更高的要求,目前 AFB₁ 的检测方法主要有酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)^[8]、高效液相色谱法(HPLC)^[9-10]、液质联用(LC-MS/MS)^[11-12]等,由于 ELISA 的灵敏度较低,LC-MS/MS 价格较高且要求较强的专业技术,所以 HPLC 串联荧光检测器(FLD)方法使用的频率较高^[8-12]。

过去大多数关于 AFB₁ 的 HPLC-FLD 检测方法都进行衍生,可能是由于通过衍生能够使目标物的荧光信号增强,但同时也使操作过程变得复杂,使这些方法在生产实践中不容易被重复出来,降低了 HPLC 方法的使用率^[11-13]。AFB₁ 衍生试剂主要有强氧化剂三氟乙酸(TFA)和卤族元素(碘、溴)以及衍生物过溴化吡啶溴(PBPB)等^[13],衍生不但会使操作变得复杂,还会因为种种不足,如加热衍生、稳定性差、试剂有挥发性、腐蚀性、保存寿命短等^[14]。本实验尝试对 HPLC-FLD 方法进行优化,省去衍生化步骤来检测玉米中的 AFB₁,使检测方法变得简单、快捷、准确、廉价,从而使该检测方法在生产实践中能够得到大力推广。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

空白玉米样品购于周边农贸市场,各地企业的送检玉米样品 43 份。

AFB₁ 标准品(纯度≥98%,美国 Sigma 公司);色谱级甲醇、乙腈(上海安谱科学仪器有限公司);氯化钠(分析纯);Whatman No.4 滤纸、GF/C 玻璃纤维滤纸(上海利根商贸有限公司);进样瓶(上海安谱科学仪器有限公司);注射器;有机相针式滤器(0.45 μm)(上海安谱科学仪器有限公司);免疫亲和柱(德国拜发公司)。

2.2 仪器设备

高效液相色谱仪(LC-20AT,日本岛津);荧光检测器(RF-10AXL,日本岛津);色谱柱(Inertsil ODS-3V, 150 mm×4.6 mm, 5 μm, 日本岛津);漩涡振荡器(WH-1 上海沪西分析仪器厂);粉碎机(XL-04A,广州旭郎机械设备有限公司)。

2.3 AFB₁ 高效液相色谱检测条件的优化

2.3.1 AFB₁ 标准品工作液的制备

将 AFB₁ 标准品用色谱级甲醇充分溶解,震荡,

配成 1 mg/mL 的标准液。将标准液用甲醇分别稀释成 0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.0、10、20、40、80、100 μg/mL 的标准工作液。

2.3.2 高效液相检测条件的筛选

AFB₁ 使用荧光检测。实验过程中,色谱柱柱温为 30 ℃,流速为 0.8 mL/min。流动相有乙腈:水(20:80, v/v);乙腈:水(25:75, v/v);乙腈:水(30:70, v/v);乙腈:水(35:65, v/v);甲醇:水(30:70, v/v)。荧光检测条件有 E_x: 360~370 nm, E_m: 410~430 nm。对 AFB₁ 的不同浓度的标准工作液进行检测。进样量 20 μL。

2.4 AFB₁ 免疫亲和柱柱容的确定

2.4.1 AFB₁ 标准品工作液的制备

将 AFB₁ 标准品用色谱级甲醇充分溶解,震荡,配成 1 mg/mL 的标准液。取以上标准液溶于甲醇配成 10 μg/mL 的标准储备液,取标准储备液用甲醇分别稀释成 0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、10 μg/mL 的标准工作液。

2.4.2 实验步骤

(1)将不同浓度的标准工作液 1 mL 分别通过免疫亲和柱,流速为 1 滴/s。保持压力稳定(或重力速度)有利于抗体更好的结合 AFB₁。

(2)待标准液全部通过免疫亲和柱后,用 20 mL 的超纯水通过免疫亲和柱 2 次,每次 10 mL,流速为 5 mL/min,在进行下一步前确保残留水分均排出。

(3)用 1 mL 甲醇(色谱级)洗脱亲和柱上结合的 AFB₁,收集在样品瓶中,流速为 1 滴/s,注意在洗脱过程中进行反复抽吸,以确保柱中单克隆抗体全部变性,从而释放 AFB₁。之后加 1 mL 超纯水通过亲和柱,得到总量为 2 mL 的洗脱液。

(4)分别将以上通过免疫亲和柱的标准品洗脱液浓缩。这些标准品的浓度在理论上或者说未过柱的情况下,浓缩后为 0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、10 μg/mL。

(5)将以上标准液进行 HPLC 检测。

2.5 样品中 AFB₁ 的提取

2.5.1 样品的预处理

取约 1 kg 样品,充分粉碎,混匀。称取 25 g 充分粉碎后的样品于烧杯中,加入 5 g 氯化钠。分别加入甲醇:水(80:20, v/v)、甲醇:水(70:30, v/v)、甲醇:水(60:40, v/v)、甲醇:水(50:50, v/v)、甲醇:水(40:60, v/v)的提取液 125 mL。加氯化钠能够达到除脂的目的。震荡至少 30 min。

用 Whatman No.4 滤纸过滤, 取 15 mL 滤液用 30 mL 超纯水稀释, 震荡混匀。

针对不同比例的提取液, 向 5 份空白样品中添加 AFB₁ 标准品, 浓度为 20 µg/kg, 进行回收率和精密度的测定, 每个样品做 3 个重复, 取平均值计算回收率和相对标准偏差(RSD)。

2.5.2 样品通过免疫亲和柱前的准备

由于免疫亲和柱有柱容的问题, 有可能样品中的毒素含量高到在通过免疫亲和柱时超过了柱容。所以为了在实验中避免这种问题, 在样品过柱前, 先取浸泡样品的提取液, 经过滤后直接用 HPLC 检测, 估计样品中 AFB₁ 量, 由此计算出通过免疫亲和柱时 AFB₁ 以及样品的最佳量。通过此次实验, 计算出样品在过柱前以及过柱后毒素浓度的变化, 使其从提取过程到检测, 即不超过柱容, 也能处于检测的线性范围内。

2.5.3 样品的免疫亲和柱净化

将稀释后的样品通过免疫亲和柱。免疫亲和柱中 AFB₁ 单克隆抗体能够捕获结合 AFB₁, 而其他杂质全部通过了亲和柱, 达到了净化的效果。

步骤如下:

(1) 取 15 mL 稀释后的样品通过免疫亲和柱, 流速为 1 滴/s。保持压力稳定(或重力速度)有利于抗体更好地结合 AFB₁。

(2) 待样品全部通过免疫亲和柱后, 用 20 mL 的超纯水通过免疫亲和柱 2 次, 每次 10 mL, 流速为 5 mL/min, 在进行下一步前确保残留水分均排出。

(3) 用 1 mL 甲醇(色谱级)洗脱亲和柱上结合的 AFB₁, 收集在样品瓶中, 流速为 1 滴/s, 注意在洗脱过程中进行反复抽吸, 以确保柱中单克隆抗体全部变性, 从而释放 AFB₁。之后加 1 mL 超纯水通过亲和柱, 得到总量为 2 mL 的洗脱液。

2.5.4 样品的 HPLC 检测

(1) 标准曲线的绘制和样品的检测

将浓度为 1.0、5.0、10、15、30、50 µg/mL 的标准工作液, 依照确立的液相检测条件进行测定, 重复 3 次, 结果取平均值。以峰面积为纵坐标, 浓度为横坐标, 绘制标准曲线, 并得到回归方程。

将待测样品, 经 0.45 µm 针式滤器过滤, HPLC 检测。样品做重复, 结果取平均值。

(2) 检测限与定量限的测定

配制不同浓度标准品溶液, 添加到样品中, 按

上述方法提取净化, HPLC 分析。以信噪比 3:1 作为检测限, 以信噪比 10:1 作为定量限。

(3) 回收率与精密度测定

在空白样品中添加 AFB₁ 标准品, 浓度为 5、10、50 µg/kg, 进行回收率和精密度的测定, 每个浓度做 3 个重复的平行试验, 取平均值计算回收率和相对标准偏差(RSD)。

2.5.5 样品的检测结果分析

利用上述检测方法对送检的 43 份样品进行 AFB₁ 检测, 并利用 EXCEL 办公软件对检测结果进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 AFB₁ 高效液相检测条件的优化结果

根据保留时间、峰的对称性、峰面积等条件, 确立液相检测条件如下: 流动相: 乙腈:水=30:70(v/v); 流速: 0.8 mL/min; 荧光检测: 激发波长 Ex=365 nm, 发射波长 Em=418 nm; 柱温: 30 °C; 进样量: 20 µL; 色谱柱: Inertsil ODS-3V, 150 mm×4.6 mm, 5 µm。

HPLC 检测 1.0、5.0、10、15、30 µg/mL 浓度的标准品, 以峰面积为纵坐标, 浓度为横坐标, 绘制标准曲线。目标峰的保留时间在 17.5 min 左右, AFB₁ 在 0.5~80 µg/mL 浓度范围内线性关系良好。线性回归方程为 $Y=1095223X+857392$, 相关系数 $R^2=0.99884$ 。检测限是 0.60 ng/mL(1.2 µg/kg)。标准曲线图以及标准品、样品以及样品加标色谱图, 如图 1, 图 2。

3.2 免疫亲和柱柱容的测定结果

将 0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、10 µg/mL 浓度的标准品通过免疫亲和柱并稀释后, 用 HPLC 检测。经过 5 次重复试验, 以上标准品过柱浓缩后, 与其理论状态下或者未过柱情况下的浓度(0.5、1.0、2.0、3.0、

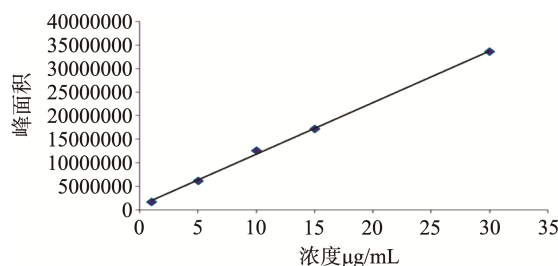


图1 AFB₁ 毒素标准曲线

Fig. 1 AFB₁ standard curve

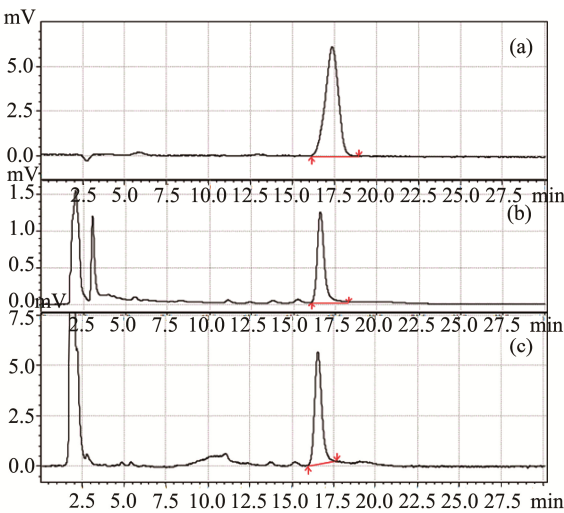


图 2 AFB₁ 标准品(a)、样品(b)及样品加标(c)色谱图
Fig. 2 AFB₁ chromatogram of standards (a), extracting solution(b) and labeling(c)

5.0、10 μg/mL)相比较, 5.0、10 μg/mL 浓度的标准品与其理论状态下或者未过柱情况下的浓度(5.0、10 μg/mL)的峰面积小很多; 3.0 μg/mL 的标准品与理论状态的浓度相差不大, 多次重复的结果均小于理论浓度; 0.5、1.0、2.0 μg/mL 的标准品过柱浓缩后检测的结果在理论浓度左右波动。实验表明免疫亲和柱的柱容在 2.0~3.0 μg 之间。

3.3 提取液的优化结果

比较 5 种提取液-甲醇:水(80:20, v/v)、甲醇:水(70:30, v/v)、甲醇:水(60:40, v/v)、甲醇:水(50:50, v/v)、甲醇:水(40:60, v/v)的提取效果, 其结果见表 1。

由表 1 可知, 5 种提取液的提取效果有差异。效果差异可分为 3 组, 1 组为甲醇:水(80:20, v/v)和甲醇:水(60:40, v/v); 2 组为甲醇:水(70:30, v/v); 3 组为甲醇:水(50:50, v/v)和甲醇:水(40:60, v/v)。这 3 组, 组内差

异不显著($P>0.05$), 组间差异极显著($P<0.01$)。甲醇:水(70:30, v/v)提取液, 加标回收率高, 可达到 91%, 效果最好。甲醇:水(70:30, v/v)提取液对 5 个样品加标回收检测的回收率的总体平均值为 $90.62\% \pm 0.94\%$, 相对标准偏差(RSD)为 1.04%。

3.4 样品中 AFB₁ 高效液相色谱检测方法的验证结果

选取 10 份空白样品, 采用以上已经确立的 AFB₁ 高效液相色谱检测的方法, 加标检测毒素, 加标浓度分别为 5、10、50 μg/kg, 进行回收率和精密度的测定, 每个浓度做 3 次重复。结果见表 2、表 3。

由表 2 可知, 3 个加标浓度下, 检测的 10 个样品的回收率的相对标准偏差(RSD)依次分别为 3.29%、2.33%、3.50%, 且 3 个加标浓度的回收率之间差异不显著($P>0.05$)。

由表 3 可知, 3 个加标浓度下检测 10 个样品, 3 次重复试验回收率的相对标准偏差(RSD)依次分别为 2.36%、2.76%、1.48%, 且 3 次重复试验的回收率的之间差异不显著($P>0.05$)。

3.5 送检玉米样品的分析结果

由表 4 可见, AFB₁ 的阳性平均值为 34.20 μg/kg, 超出国家标准, 最大值 275.71 μg/kg 超标 10 倍以上^[7], 因此黄曲霉毒素 B₁ 虽然整体情况乐观, 但是要加强个别来源的检查。

4 讨论与结论

HPLC 法是当前国内外最常用也是最权威的检测 AFB₁ 的方法之一^[9-10], 可同时实现毒素的定性和定量测定。由于分析条件之间相互影响、相互制约, 为达到理想的分离效果, 分析时要综合考虑以达到最佳的分析条件^[15]。所以, 为了能够准确地检测出玉

表 1 提取液体积比对提取效果影响(n=3)
Table 1 Effect of extraction by different extracting solution (n=3)

3 次重复试验	5 个样品加标平均回收率%				
	甲醇:水 80:20	甲醇:水 70:30	甲醇:水 60:40	甲醇:水 50:50	甲醇:水 40:60
第一次试验	82.18	91.05	80.135	74.86	75.54
第二次试验	86.04	91.28	82.07	75.70	72.80
第三次试验	84.09	89.54	84.70	75.26	74.98
平均回收率%±标准差%	84.10±1.92	90.62±0.94	82.30±2.29	75.27±0.42	74.44±1.45

表 2 加标回收实验(n=3)
Table 2 Recoveries of experiments (n=3)

	10 个样品回收率%		
	加标 5 μg/kg	加标 10 μg/kg	加标 50 μg/kg
1	86.40	94.60	95.70
2	95.00	91.70	96.24
3	98.20	89.10	95.82
4	95.00	92.70	90.18
5	92.60	95.20	90.08
6	92.80	96.80	99.06
7	94.60	91.60	93.70
8	95.00	92.50	91.76
9	92.40	93.60	94.12
10	94.80	92.40	88.84
总体平均±标准差	93.68±3.08	93.02±2.17	93.55±3.27

表 3 精密度的测定结果
Table 3 Results of determined variation

3 次重复试验	10 个样品平均回收率%		
	加标 5 μg/kg	加标 10 μg/kg	加标 50 μg/kg
第一次重复	95.20	93.60	93.98
第二次重复	94.80	92.50	93.30
第三次重复	91.20	93.00	93.36
平均值±标准差	93.73±2.21	92.33±2.55	92.35±1.37

表 4 被检玉米样品中 AFB₁ 的检测结果
Table 4 The test results of AFB₁ in corn samples

样品数 目(份)	阳性样品 数(份)	检出率 (%)	超标样品 数(份)	超标 率(%)	阳性平均 值(μg/kg)	最大值 (μg/kg)
43	17	39.53	5	11.63	34.20	275.71

米中 AFB₁ 的含量, HPLC 检测的条件至关重要。本试验经过优化色谱条件得到一种简便、准确、稳定的检测方法, 并且对提取方法进行了优化使得回收率在 86.40%~99.06%。

目前, 关于 AFB₁ 高效液相检测的研究较多, 但是大多数都会采用衍生的方法, 本实验经过尝试, 不需要衍生步骤也可以精确地检测谷物中的 AFB₁ 的含量, 检测限可以达到 1.2 μg/kg 比国家规定的允许量 5 μg/kg 小, 因此该方法不需要衍生也能满足谷物中 AFB₁ 的检测^[7]。

随着人们对食品安全问题的重视以及相关国家标准的设定, AFB₁ 的检测方法也在不断改进。每种方法都有自己的优缺点, 所以不能作出某种方法比另一种方法更优越的评论, 但可以根据各种检测方法的特点, 选用最合适的检测方法^[16]。关于 AFB₁ 的 HPLC 检测方法的报道, 都热衷于用一些化学物质对 AFB₁ 进行衍生, 不结合实际只追求精确度, 无论是柱前的还是柱后^[10,17]的衍生, 都会使检测过程变得复杂, 而且衍生还跟浓度、温度、反应时间等参数有关, 如果经验不足者操作, 反而会变成事倍功半^[18]。所以, 本文所介绍的无需衍生的 HPLC 检测方法检测谷物中 AFB₁ 的含量要比衍生化的方法更简单、可操作性更强、更有应用价值。

参考文献

[1] Magan N, Olsen M. Mycotoxins in food: Detection and control [M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004.

[2] Goryacheva IY, Rusanova TY, Pankin KE. Fluorescent properties of aflatoxins in organized media based on surfactants, cyclodextrins, and calixresorcinarenes [J]. J Anal Chem, 2008, 63(8): 751–755.

[3] 高秀芬, 荫士安, 张宏元, 等. 中国部分地区玉米中 4 种黄曲霉毒素污染调查[J]. 卫生研究, 2011, 40(1): 46–49.

Gao XF, Yin SA, Zhang HY, *et al.* Aflatoxin contamination of corn samples collected from six regions of China[J]. J Hyg Res, 2011, 40(1): 46–49.

[4] Eaton DL, Groopman JD. The toxicology of aflatoxins: human health, veterinary, and agricultural significance[M]. New York: Academic Press, 1993.

[5] 高秀芬, 杨大进, 计融. 玉米中四种黄曲霉毒素的关系[J]. 中国预防医学杂志, 2013, (010): 759–762.

Gao XF, Yang DJ, Ji R. Correlationship of four aflatoxins in corns[J]. Chin Prev Med, 2013 (010): 759–762.

[6] Commission Regulation (EC) No. 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Off J Eur Communities L77/1, 2001.

[7] GB 2761-2011 食品安全国家标准食品中真菌毒素限量[S]. GB2761-2011 Maximum levels of mycotoxins in foods [S].

[8] 叶雪珠, 王小骊, 赵燕申, 等. 黄曲霉毒素 B₁ 检测方法的分析[J]. 食品与发酵工业, 2004, 29(10): 90–92.

Ye XZ, Wang XL, Zhao YS, *et al.* Analysis of Determination Methods of AFB₁[J]. Food Ferment Ind, 2004, 29(10): 90–92.

[9] Maragos C. Analysis of mycotoxins with capillary electrophoresis [J]. Semin Food Anal, 1998, 3: 353–374.

[10] Beaver RW. Determination of aflatoxins in corn and peanuts

- using high performance liquid chromatography[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 1989, 18(3): 315–318.
- [11] Xue XF, Selvaraj JN, Zhao L, *et al.* Simultaneous Determination of Aflatoxins and Ochratoxin A in Bee Pollen by Low-Temperature Fat Precipitation and Immunoaffinity Column Cleanup Coupled with LC-MS/MS[J]. Food Anal Methods, 2014, 7(3): 690–696.
- [12] Rahmani A, Jinap S, Soleimany F, *et al.* Sample preparation optimization for the simultaneous determination of mycotoxins in cereals[J]. Eur Food Res Technol, 2011, 232(4): 723–735.
- [13] 马良. 黄曲霉毒素 B₁ 高灵敏度检测技术研究[D]. 武汉: 中国农业科学院, 2007.
- Ma L. Study on Detection Technology for Determination of Aflatoxin B₁ With high sensitivity[D]. Wuhan: Chinese Academy of Agriculture Sciences, 2007.
- [14] 李培武, 马良, 杨金娥, 等. 粮油产品黄曲霉毒素 B₁ 检测技术研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(2): 77–81.
- Li PW, Ma L, Yang JE, *et al.* A review on analytical methods for aflatoxin B₁ in grains and oilseeds products[J]. Chin J Oil Crop Sci, 2005, 27(2): 77–81.
- [15] 班晓敏. AFB₁、OTA、DON 高效液相色谱检测方法的优化和应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- Ban XM. Optimization and Application of High Performance Liquid Chromatography Detection Methods for AFB₁, OTA, DON[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [16] Duarte D, 刘瑞娜, 汪静霞. 霉菌毒素蓝皮书[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- Duarte D, Liu RN, Wang JX. The Mycotoxin Blue Book [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008.
- [17] Jansen H, Jansen R, Brinkman UAT, *et al.* Fluorescence enhancement for aflatoxins in HPLC by post-column split-flow iodine addition from a solid-phase iodine reservoir[J]. Chromatographia, 1987, 24(1): 555–559.
- [18] 张敏, 郭婷, 刘馨, 等. β -环糊精及其衍生物对黄曲霉毒素 B₁ 荧光增强机理研究[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 28–33.
- Zhang M, Guo T, Liu X, *et al.* Mechanisms Underlying Fluorescence Enhancement of Aflatoxin B₁ by β -Cyclodextrin and Its Derivatives[J]. Food Chem, 2012, 33(15): 28–33.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



周 闯, 硕士, 主要从事真菌毒素的检测方法的应用与研究。

E-mail: zhouchuang1989@126.com



张海彬, 教授, 主要研究方向为真菌毒素与畜产品安全。

E-mail: haibinzh@njau.edu.cn