

免疫亲和柱净化-高效液相色谱柱后光化学衍生- 荧光检测器检测食品中黄曲霉毒素

薛昆鹏^{1,2}, 郭会琴³, 余冲², 汪超², 蓝凯⁴, 赵岳星^{1,2*}

(1. 浙江师范大学物理化学研究所, 金华 321004; 2. 浙江月旭材料科技有限公司, 金华 321014;
3. 南昌航空大学环境与化学工程学院, 南昌 330063; 4. 江西中烟工业有限责任公司南昌卷烟厂, 南昌 330096)

摘要: **目的** 建立一种免疫亲和固相萃取柱净化-高效液相色谱柱后光化学衍生-荧光检测器同时测定食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 的方法。 **方法** 以甲醇-水(70:30, V:V)为提取溶剂, 采用高速均质提取, 并经过黄曲霉毒素免疫亲和柱净化。 **结果** 经月旭公司 Welch Ultimate[®] XB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)分离后使用光化学衍生器进行柱后衍生, 并采用带荧光检测器的高效液相色谱仪检测, 流动相为甲醇/水(45 : 55, V:V)。黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 线性范围在 0.3~50.0 μg/L 之间, 线性相关系数均大于 0.999, B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 检出限分别为 0.15 μg/kg、0.05 μg/kg、0.15 μg/kg、0.05 μg/kg。在 3 个加标浓度下大米、花生和瓜子等试样的回收率在 80.7%~92.6% 之间; 相对标准偏差(RSD)在 2.04~3.87%之间。 **结论** 该方法的灵敏度、准确度和精密度均符合黄曲霉毒素的检测技术要求, 且简便快速, 适用于食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 的准确测定。

关键词: 黄曲霉毒素; 食品; 高效液相色谱法; 柱后光化学衍生

Determination of aflatoxins in food by immunoaffinity chromatography-high performance liquid chromatography fluorescence detector coupled with post-column photochemical derivatization

XUE Kun-Peng^{1,2}, GUO Hui-Qin³, YU Chong², WANG Chao², LAN Kai⁴, ZHAO Yue-Xing^{1,2*}

(1. Zhejiang Normal University Institute of Physical Chemistry, Jinhua 321004, China; 2. Welch Materials (Zhejiang) Co., Ltd., Jinhua 321014, China; 3. School of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 4. China Tobacco Jiangxi Industrial Co., Ltd., Jiangxi Nanchang 330096, China)

ABSTRACT: Objective To establish an immunoaffinity chromatography-high performance liquid chromatography (HPLC) fluorescence detector coupled with post-column photochemical derivatization method for determination of the aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂ in food. **Methods** The sample was tested by HPLC with fluorescence detector after being homogenizer extracted from methanol-water (70:30, V:V), purified by immunoaffinity chromatography column of aggregated aflatoxin, separated by Welch Ultimate[®] XB-C₁₈ HPLC column, eluted with a mobile phase consisting of methanol and waters (45:55, V:V) and derived from post column photochemical derivative reactor. The content of aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂ in food was measured using peak area external standard method. **Results** The calibration curves showed a good linearity in each

基金项目: 科技型中小企业技术创新项目(13C26213302371)

Fund: Supported by SME Technology Innovation Fund (13C26213302371)

*通讯作者: 赵岳星, 教授级高工, 研究方向为药物分析和食品安全检测。E-mail: eugenezhao@welchmat.com

*Corresponding author: ZHAO Yue-Xing, Professor level Senior Engineer, Zhejiang Normal University Institute of Physical Chemistry, No. 688, Yingbin, Road, Jinhua 321004, China. E-mail: eugenezhao@zjnu.cn

concentration range with correlation coefficient greater than 0.999 within linear range 0.3~50.0 $\mu\text{g/L}$. The limits of detection (LODs) were 0.15, 0.05, 0.15 and 0.05 $\mu\text{g/kg}$ for the aflatoxins B₁, B₂, G₁, and G₂ in food, respectively. The recovery rate was within 80.7 %~92.6 % at 3 adding levels with the relative standard deviation (RSDs) of 2.04~3.87%. **Conclusion** This method is sensitive, accurate and precise, which is in accordance with technical standards of the aflatoxins detection. It is proper for routine detection of the aflatoxins B₁, B₂, G₁, and G₂ in food.

KEY WORDS: aflatoxins; food; high performance liquid chromatography; post-column photochemical derivatization

1 引言

黄曲霉毒素(aflatoxins, AFT)是由黄曲霉菌(*aspergillus flavus*)和寄生曲霉菌(*aspergillus parasiticus*)等多种真菌产生的次级代谢产物,是一类具有相似结构的二氢呋喃杂氧萜衍生物^[1,2],最为常见的有B₁、B₂、G₁、G₂和M₁等。黄曲霉毒素是一类极强致癌性物质,其毒性比氰化钾强10倍^[3],能使植物和动物细胞的染色体发生畸变,使胎儿致畸,其中尤其以B₁的存在量和毒性为最大^[4]。黄曲霉毒素B₁、B₂、G₁和G₂主要存在于植物源的食品中,如花生、玉米、坚果、调味料和植物油脂等^[5]。

到目前为止,黄曲霉毒素的检测方法已经有很多种,常见的有薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)^[6]、酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)^[7-9]、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[10, 11]和液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography mass spectrometry, HPLC-MS/MS)^[12, 13]。其中HPLC荧光检测法具有灵敏度高、准确性好、重现性好等众多优点,近年来在黄曲霉毒素的检测应用越来越广泛。GB 18979-2003即采用黄曲霉毒素免疫亲和柱净化结合柱前碘衍生-高效液相色谱荧光检测的方法对食品中的黄曲霉毒素B₁、B₂、G₁和G₂进行定量测定。但是,这种采用碘试剂柱前衍生方法存在试剂使用多、操作繁琐、检测灵敏度和重现性受人为因素的影响很大^[14,15]、且衍生试剂本身具有腐蚀性、挥发性、稳定性差或耗时长等问题。因此,本文采用黄曲霉毒素免疫亲和固相萃取柱净化-高效液相色谱柱后光化学衍生-荧光检测器测定食品中黄曲霉毒素B₁、B₂、G₁和G₂的含量。该方法具有样品前处理简单、净化效果好、准确度高和重现性好等一系列优势,满足食品中黄曲霉毒素

的限量检测要求。

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 样品来源

主要试验材料为大米、花生、瓜子,其样品数分别为10粒,所有样品均购置于金华市区的农贸市场。

2.1.2 主要仪器与试剂

高效液相色谱仪(Shimadzu LC-20AD,日本岛津);洁盟牌超声波清洗器(深圳市洁盟清洗设备有限公司);九阳高速分散均质机(九阳股份有限公司);XW-80A涡旋混合仪振荡器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司);12位真空固相萃取装置和黄曲霉毒素免疫亲和柱(浙江月旭材料科技有限公司)。

黄曲霉毒素B₁、B₂、G₁、G₂混合标准溶液(美国Sigma公司,B₁、B₂、G₁、G₂含量分别为1000.0、300.0、1000.0、300.0 $\mu\text{g/L}$)和甲醇(德国Merck公司,色谱纯),实验用水为娃哈哈超纯水(杭州娃哈哈集团有限公司)。

2.2 方法

2.2.1 样品处理

分别准确称取经过磨细(粒度小于2 mm)的试样25.0 g于250 mL具塞锥形瓶中,加入5.0 g氯化钠以及甲醇/水溶液(7:3, V:V) 125 mL,用均质机高速均质提取2 min,然后用定量滤纸过滤后,准确移取15 mL滤液并加入30 mL水进行稀释,用玻璃纤维滤纸过滤,至滤液澄清,待净化。

2.2.2 样品的免疫亲和SPE柱净化

样品的SPE净化分为以下四个步骤:①回温解冻:提前半小时将黄曲霉毒素免疫亲和柱从冰箱去除,至于常温下回温解冻;②上样:准确移取15 mL“2.2.1”步骤所得的提取液注入免疫亲和柱,使提取液以1滴

/s 的速度通过免疫亲和柱, 直至 2~3 mL 空气通过柱体, 弃去样品流出液; ③淋洗: 用 10 mL 水淋洗免疫亲和柱, 流速为 1~2 滴/s, 共淋洗两次, 直至 2~3 mL 空气通过免疫亲和柱, 弃去全部的流出液, 并抽干小柱; ④洗脱: 准确加入 1.0 mL 甲醇洗脱, 流速约为 1 滴/s, 收集全部的洗脱液于离心管中, 用甲醇/水 (45:55, V:V) 定容至 2 mL, 涡旋混合均匀后过 0.45 μm 有机滤膜, 进高效液相色谱仪测定。

2.2.3 仪器条件

色谱柱: 月旭公司 Ultimate[®] XB-C₁₈ 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇/水 (45:55, V:V); 荧光检测器: 激发波长 360 nm, 发射波长 420 nm; 柱温: 35 ; 流速: 1.0 mL/min, 进样体积: 20 μL 。光化学衍生器连接在色谱柱与荧光检测器之间。

2.2.4 定性定量方法

准确移取 1.0 mL 黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 混合标准溶液至 10 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 分别配制成 100.0、30.0、100.0、30.0 $\mu\text{g/L}$ 的混合标准储备液, 至于棕色容量瓶于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱避光保存。使用前用甲醇/水 (45:55, V:V) 混合溶液进行稀释, 得到一系列黄曲霉毒素混合标准工作溶液 (B₁ 和 G₁ 的质量浓度分别为 1.0、2.0、5.0、10.0、50.0 $\mu\text{g/L}$, B₂ 和 G₂ 的质量浓度分别为 0.3、0.6、1.5、3.0、15.0 $\mu\text{g/L}$)。

3 结果与分析

3.1 黄曲霉毒素光化学衍生反应

黄曲霉毒素光化学衍生反应器的原理是将一定长度的聚四氟乙烯管绕织成长方形, 并固定于 254 nm 紫外灯照射的不透光的反应架中, 当黄曲霉毒素 B₁ 经过反应线圈时, 由于受到紫外光照射, 促使流动相光解出具有荧光特性的基团, 进而与黄曲霉毒素 B₁ 分子上活性双键发生羟基化反应, 生成荧光性能更强、更为稳定的黄曲霉毒素 B_{2a}^[16], 解决了黄曲霉毒素 B₁、G₁ 在水溶液中存在荧光淬灭等问题, 从而提高其检测灵敏度。衍生反应的原理如图 1 所示。并且, 由图 2 可以看出, 未进行光化学衍生反应时, 因流动相中水对黄曲霉毒素 B₁ 和 G₁ 具有强烈的荧光淬灭作用, 导致荧光强度较弱, 信号响应极低; 而当使用光化学衍生器衍生后, 黄曲霉毒素 B₁ 和 G₁ 荧光强度均有了显著的增强, 其 B₁ 和 G₁ 荧光强度为未衍生时的 4.65 倍和 3.3 倍。

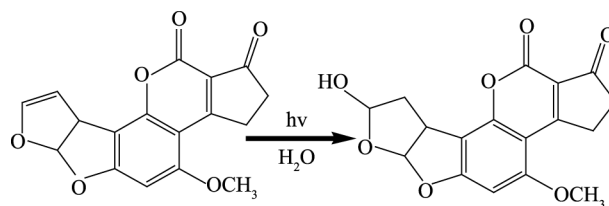


图 1 黄曲霉毒素 B₁ 紫外光照射衍生化原理图

Fig. 1 Schematic of derivatization of aflatoxin B₁

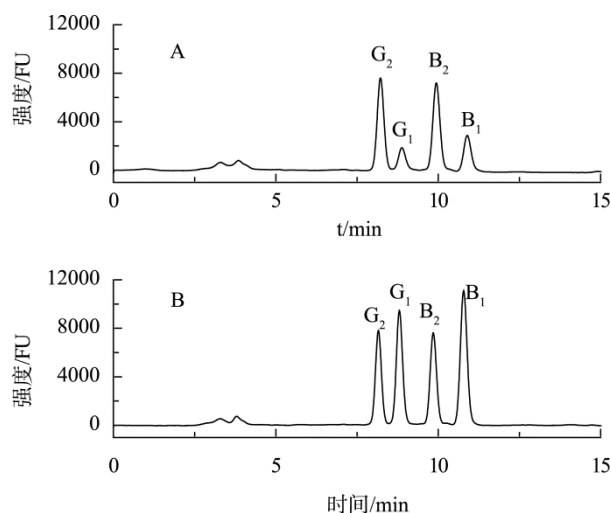


图 2 黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 素色谱图

Fig. 2 The chromatograms of aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂
注: A: 未衍生的黄曲霉毒素标准溶液色谱图; B: 衍生后黄曲霉毒素标准溶液色谱图

3.2 光化学衍生反应的重复性及稳定性

由于光化学衍生反应过程中所使用的紫外灯的辐射强度会直接影响最终黄曲霉毒素测定的荧光强度, 因此, 考察光化学衍生反应器的测试重复性和稳定性是非常有必要的。实验过程中打开紫外灯让其连续工作 150 h 后, 进 2.5 ng/mL 黄曲霉毒素 B₁ 标准溶液进行测试, 连续测定 9 次, 峰面积测定值的相对标准偏差 (RSD) 为 0.56%, 说明光化学衍生反应器的重复性良好。连续测定 10 wk, 每周测定 9 次, 结果表明第 1 周黄曲霉毒素 B₁ 峰面积的平均值和 wk10 黄曲霉毒素 B₁ 的峰面积的平均值相比, 变化率不超过 1.5%, 说明光化学衍生反应器的稳定性良好。

3.3 标准曲线及检出限

以黄曲霉毒素 B₁、G₁ 的质量浓度为 1.0、2.0、5.0、10.0、50.0 $\mu\text{g/L}$ 和 B₂、G₂ 的浓度为 0.3、0.6、1.5、3.0、15.0 $\mu\text{g/L}$ 的混合标准溶液作校准曲线, 按

照“2.2.3”项下色谱条件进行 HPLC 分析, 4 种黄曲霉毒素的标准色谱如图 3 所示。可以看出: 在上述色谱条件下, 黄曲霉毒素色谱峰与其他相邻色谱峰的分度均大于 1.5, 满足基线分离的要求。以峰面积为 Y 轴, 浓度为 X 轴作标准工作曲线, 并以 3 倍信噪比的峰响应值计算出检出限, 以 10 倍信噪比计算出线性范围的下限。结果见表 1。由表 1 可知, 在 1.0~50.0 ng/mL, 黄曲霉毒素 B_1 和 G_1 具有良好的线性关系。在 0.3~15.0 ng/mL 范围内, 黄曲霉毒素 B_2 和 G_2 具有良好的线性关系。相关系数为 0.9996~0.9998, 黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 检出限分别为 0.15、0.05、0.15、0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 表明此方法灵敏度高。

3.4 加标回收及精密度

实验过程中向不含黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 的大米、花生以及瓜子样品中添加不同浓度的黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 混合标准溶液, 进行回收率实验和精密度实验, 其中 B_1 和 G_1 分别添加 2.5、20.0、50.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, B_2 和 G_2 分别添加 0.75、6.0、15.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。按照“2.2.1”和“2.2.2”项下进行前处理, 每个浓度平行测定 5 次, 计算出黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 的平均回收率及相对标准偏差。加标样品的色谱图如图 4 所示, 回收率和精密度结果见表 2。从表 2 可知, 该方法准确度好, 黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 回收率在 80.7%~92.6% 之间; 表明该方法的准确度好, 其 RSD 在 2.04~3.87% 之间, 也表明了该方法的精密度高。

3.5 实际样品测定

实验中对市售的 30 份大米、花生、瓜子等食品样本进行了检测, 其中大米、花生、瓜子各为 10 粒, 30

个样品中均未检出黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 。阴性大米样品色谱图见图 5 所示。

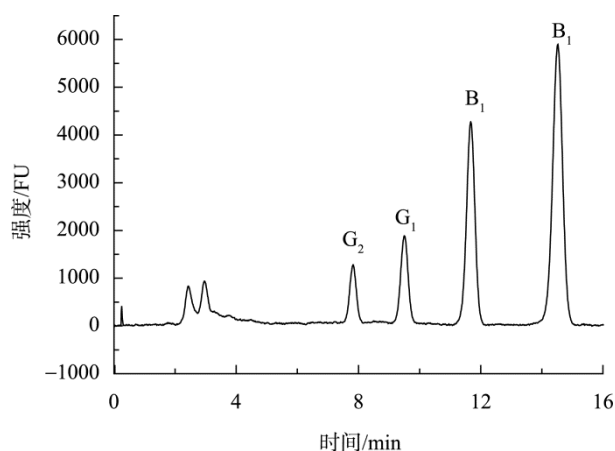


图 3 黄曲霉毒素 B_1 、 B_2 、 G_1 和 G_2 标准色谱图

Fig. 3 The standard chromatogram of aflatoxin B_1 , B_2 , G_1 , and G_2

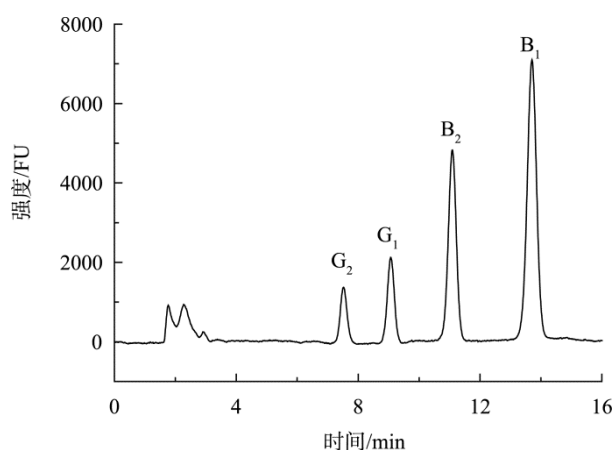


图 4 加标样品色谱图

Fig. 4 Chromatogram of spike sample

表 1 黄曲霉毒素的线性回归方程、相关系数、线性范围和检出限

Table 1 Regression equations, correlation coefficients, linear range and detection limits of aflatoxins

黄曲霉毒素	线性回归方程	相关系数	线性范围($\mu\text{g}/\text{L}$)	检出限($\mu\text{g}/\text{kg}$)
B_1	$Y=20474X-1127$	0.9996	1.0~50	0.15
B_2	$Y=42616X-4039$	0.9998	0.3~15	0.05
G_1	$Y=20652X-1946$	0.0006	1.0~50	0.15
G_2	$Y=45354X-4851$	0.9997	0.3~15	0.05

表 2 回收率实验结果($n=5$)
Table 2 Results of recovery ($n=5$)

黄曲霉毒素	加标含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)	回收率/%			相对标准偏差/%		
		大米	花生	瓜子	大米	花生	瓜子
B ₁	2.5	84.6	80.7	81.2	3.87	3.04	3.34
	20	90.2	86.8	88.5	3.02	2.75	2.58
	50	87.6	89.8	92.4	2.83	2.26	2.73
B ₂	0.75	83.2	82.9	83.4	3.47	3.12	3.56
	6.0	87.4	83.2	83.1	3.23	2.84	2.87
	15.0	92.6	88.9	85.1	2.98	2.47	2.63
G ₁	2.5	87.7	82.1	81.3	2.89	2.32	3.31
	20	85.8	86.2	86.5	2.04	2.67	2.78
	50	89.2	84.2	89.2	2.36	2.90	2.43
G ₂	0.75	91.6	82.9	81.9	2.69	3.04	3.67
	6.0	89.7	84.7	83.8	2.53	2.45	3.02
	15.0	83.2	88.3	88.9	2.16	2.21	2.51

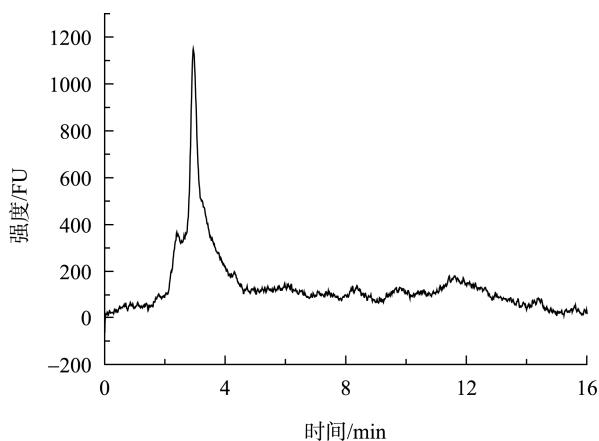


图 5 实际大米样品色谱图
Fig. 5 Chromatogram of rice sample

对黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 具有专一的选择性, 黄曲霉毒素能专一性地保留在免疫亲和柱的抗体上, 使得样品的杂质净化效果极其理想, 大大提高了灵敏度; 且提取速度快, 大大简化了样品前处理过程。并且, 本文利用光化学衍生的方式测定食品中黄曲霉毒素的含量, 与柱后碘衍生反应相比, 方法操作过程简单, 在衍生过程中无需使用化学试剂, 减少了对荧光检测器的污染, 同时检测结束后无需特别的冲洗步骤。此方法不需要使用化学试剂和增加额外的泵进行柱后衍生, 也不需要电化学衍生池等昂贵仪器。本文所建立的方法的灵敏度高、重现性好, 因此特别适用于食品中 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 的快速准确分析。

参考文献

- [1] 张春艳, 周孝治, 陈菊芳, 等. 光化学衍生-高效液相色谱法测定黄曲霉毒素含量[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(5): 569-573.
Zhang CY, Zhou XZ, Chen JF, *et al.* Determination of aflatoxins by high performance liquid chromatography with post-column photochemical derivatization [J]. JHunan Agric Univer, 2010, 36(5): 569-573.
- [2] 冯靓, 蔡增轩, 谭莹, 等. HPLC 同时测定食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(3): 511-513.
Feng L, Cai ZX, Tan Y, *et al.* Simultaneous detection of aflatoxin

4 结 论

本文建立了免疫亲和固相萃取柱净化-高效液相色谱柱后光化学衍生-荧光检测器同时测定食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 的方法。试验以甲醇/水(70:30, V:V)混合溶剂作为提取剂, 采用高速均质的方式对样品中黄曲霉毒素进行提取, 提取方法与国标 GB 18979-2003 相一致, 因而可作为黄曲霉毒素检测的法规效应前处理提取方法; 然后采用黄曲霉毒素免疫亲和柱对样品提取液进行净化, 由于此抗体

- B₁, B₂, G₁, G₂ in foods by HPLC [J]. *Chin J Health Lab tec*, 2007, 17(3): 511–513.
- [3] 陈新, 王雄, 雷达. 免疫亲和-光化学柱后衍生高效液相色谱荧光法测定花生粕中黄曲霉毒素的研究[J]. *中国饲料*, 2007, 24: 30–34.
- Chen X, Wang X, Lei D. Determination of aflatoxin B₁, B₂, G₁ and G₂ by using photochemical derivatization-HPLC-fluorescence detector [J]. *Chin Feed*, 2007, 24: 30–34.
- [4] Hasan A, Abdurrahman A, Sahan S. Determination of aflatoxin levels in some dairy and food products which consumed in ankara [J]. *Food Control*, 2005, 16(3): 263–266.
- [5] 计成, 赵丽红. 黄曲霉毒素生物降解的研究及前景展望[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(2): 241–245.
- Ji C, Zhao LH. Research and prospects of aflatoxin biological detoxification [J]. *Chin J Animal Nutrition*, 2010, 22(2): 241–245.
- [6] Lin LM, Zhang J, Wang P. Thin-layer chromatography of mycotoxins and comparison with other chromatography methods [J]. *J Chromatogr A*, 1998, 815(1): 3–20.
- [7] Guan D, Li P, Zhang W, *et al.* An ultra-sensitive monoclonal antibody-based competitive enzyme immunoassay for aflatoxin M₁ in milk and infant milk products [J]. *Food Chem*, 2011, 125(4): 1359–1364.
- [8] 谢体波, 刘红, 陆苇, 等. 间接竞争 ELISA 检测试剂盒测定粮油食品中的黄曲霉毒素 B₁[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(7): 2834–2839.
- Xie TB, Liu H, Lu W, *et al.* Determination of aflatoxin B₁ in cooking oil, peanut, and grain by using direct competitive ELISA kit [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(7): 2834–2839.
- [9] 李平, 谢体波, 易重任, 等. 黄曲霉毒素 M₁ ELISA 试剂盒的检测效果研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(6): 2297–2302.
- Li P, Xie TB, Yi ZR, *et al.* Research on detection result of aflatoxin M₁ enzyme-linked immune sorbent assay detection kit [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(6): 2297–2302.
- [10] 朱鹏飞, 刘文卫, 凌霞, 等. 柱前衍生 高效液相色谱荧光法测定粮谷类食物中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ [J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25(6): 807–815.
- Zhu PF, Liu WW, Ling X, *et al.* Determination of aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂ in cereal food by high performance liquid chromatography with fluorescence detector and pre-column derivatization [J]. *Chin J Health Lab Tec*, 2015, 25(6): 807–815
- [11] GB/T 18979-2003 食品中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析柱高效液相色谱法和荧光光度法[S].
- GB/T 18979-2003 Determination aflatoxins content in food-clean up by immunoaffinity chromatography and determination by high-performance liquid chromatography and fluorometer[S].
- [12] Nonaka Y, Saito K, Hanioka N, *et al.* Determination of aflatoxins in food samples by automated on-line in-tube solid-phase microextraction coupled with liquid chromatography-mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216(20): 4416–4422.
- [13] Tanaka H, Takino M, Sugita-Konishi Y, *et al.* Development of a liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometric method for the simultaneous determination of trichothecenes, zearalenone and aflatoxins in food stuffs [J]. *Rapid Commun Mass Sp*, 2006, 20(9): 1422–1428.
- [14] Andri PB, Joerg S, Elke A. Comparison of two post-column derivation system, ultraviolet irradiation and electrochemical determination for the liquid chromatographic determination of aflatoxin in food [J]. *J Chromatogr A*, 2002, 85(2): 411–416.
- [15] 王君, 刘秀梅. 食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 的高效液相色谱测定方法[J]. *中国食品卫生杂志*, 2005, 17(6): 498–500.
- Wang J, Liu X M. High performance liquid chromatographic method for determination of Aflatoxin B₁, B₂, G₁ and G₂ in foods [J]. *Chin J Food Hyg*, 2005, 17(6): 498–500.
- [16] 范海东, 王玲锋, 赵冬吉. 自制光化学衍生反应器高效液相色谱法测定大豆油中黄曲霉毒素[J]. *理化检验-化学分册*, 2013, 49(8): 999–1001.
- Fan HD, Wang LF, Zhao D. Determination of aflatoxins in soybean oil by Homemade photochemical reactor-high performance liquid chromatography [J]. *Phy Test Chem Anal Part B: Chem Anal*, 2013, 49(8): 999.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



薛昆鹏, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: kunpengxue@welchmat.com



赵岳星, 教授级高工, 主要研究方向为药物分析和食品安全检测。

E-mail: eugenezhao@zjnu.cn