

乳品中黄曲霉毒素 M₁ 检测方法研究进展

黄亚伟*, 魏光, 王若兰, 罗莉

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要: 黄曲霉毒素 M₁ 是动物摄入黄曲霉毒素 B₁ 后的代谢产物, 主要分布在动物的乳汁、尿液中。黄曲霉毒素 M₁ 毒性很大, 经乳制品摄入会对人体产生巨大的危害。本文主要对乳品中黄曲霉毒素 M₁ 毒性、危害、检测方法进行综述。对主要检测方法的特性及适用范围进行分析与概括, 并且对未来黄曲霉毒素 M₁ 的检测方法的发展进行了合理展望。

关键词: 乳品; 黄曲霉毒素 M₁; 检测

Review on detection methods of aflatoxin M₁ in dairy products

HUANG Ya-Wei*, WEI Guang, WANG Ruo-Lan, LUO Li

(College of Grain Oil and Food Science, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: Aflatoxin M₁ is the metabolite of aflatoxin B₁ after being intaken by animals. It mainly appears in animals' milk and urine. Aflatoxin M₁ is very toxic, ingestion of which by dairy will produce a great harm to the human body. This paper focused on the toxicity, hazards, and detection methods of aflatoxin M₁ in dairy. The main characteristics and scope of the detection methods were analyzed and summarized, and the development of detection of aflatoxin M₁ were also reasonably prospected.

KEY WORDS: dairy products; aflatoxin M₁; detection

黄曲霉毒素 M₁(AFM₁)是黄曲霉毒素 B₁ 的羟化代谢产物, 1963 年由 Alleroft 首先发现, 1965 年被命名为黄曲霉毒素 M₁。AFM₁ 主要存在于动物的可食部分, 如肝脏、肌肉、血液等, 也可以通过尿液和乳汁排出。分子式为 C₁₇H₁₂O₇, 分子量为 328.6 g/mol, 熔点相当高, 为 299 °C, 在 365 nm 的紫外光下产生蓝紫色荧光, 属于二氢呋喃杂萜邻酮衍生物, 其外观为白色或微黄色的长方形片状结晶。其理化性质很稳定, 牛奶经过巴氏消毒, 几乎不被破坏。

AFM₁ 具有强致癌性和致基因突变性。AFM₁ 进入人体后, 对血液、肝脏、肾脏、肌肉有不同程度的

破坏, 其中对肝脏和肾脏的危害最大。当与乙肝病毒共同作用于肝脏时形成倍乘风险效应, 导致肝癌发生^[1,2]。另外, 当婴幼儿乳品及母乳中含有 AFM₁ 时, 对婴幼儿健康会造成很大影响, 可以造成发育迟缓、肾功能降低、肝细胞癌早发甚至可能导致急性中毒死亡。近年来, 世界各国纷纷制定了乳与乳制品中 AFM₁ 的限量标准。包括中国、美国和日本在内的许多国家规定奶及奶制品中 AFM₁ 的含量不得超过 0.5 μg/kg, 欧盟制定的标准更为严格, 为 0.05 μg/kg。其中, 中国规定婴儿乳品及代乳品中 AFM₁ 不得检出。2004 年, 欧盟制定婴儿配方食品的限量标准, AFM₁

基金项目: 河南工业大学高层次人才基金(2012BS009)

Fund: Supported by the High Level Talents Foundation of Henan University of Technology (2012BS009)

*通讯作者: 黄亚伟, 讲师, 主要研究方向为储粮品质检测与控制。E-mail: ywei0371@163.com

*Corresponding author: HUANG Ya-Wei, Lecturer, College of Grain Oil and Food Science of Henan University of Technology, No.100, Lianhua Street Road, High-tech Zones, Zhengzhou 450001, China. E-mail: ywei0371@163.com

的最大限量为 0.025 μg/kg^[3]。

目前,随着一系列 AFM₁ 污染事件被报道,人们对它的认识也逐渐深入。AFM₁ 危害人类最主要的方式就是通过乳及乳制品的摄入,所以乳及乳制品中 AFM₁ 的污染控制极其重要。这就要求提出行之有效的 AFM₁ 检测方法。

AFM₁ 的检测方法主要有色谱法(包括薄层色谱法和高效液相色谱法)、免疫化学法(包括免疫亲和柱法、酶联免疫法、放射免疫法和胶体金法)、电化学方法、化学发光及各种方法之间的联用。

1 色谱法

1.1 薄层色谱法(TLC)

薄层法具有设备简单、操作方便和成本较低等优点,于1990年被美国分析化学家协会(AOAC)定为标准方法^[4]。20世纪60年代,薄层色谱法是国内外检测 AFM₁ 的主要方法。其原理是利用 AFM₁ 的溶解特性,将 AFM₁ 从样本中提取出来,浓缩后于薄层板上分离,在波长为 365 nm 的紫外光下检测。在检出限要求较低的情况下常被采用,但在婴幼儿乳品 AFM₁ 检测时,由于该方法灵敏性和重现性较差,且其检出限无法满足国家规定的如此之低的限量要求,而越来越少被采用,逐渐被更灵敏、高效的方法所代替。

1.2 高效液相色谱法(HPLC)

高效液相色谱法用于测定黄曲霉毒素具有高效、灵敏、快速、准确、检出限低、特异性强及重现性好等优点,是目前国内外检测黄曲霉毒素应用最广泛的方法^[5,6]。其原理是样品经过固定比例的有机溶剂萃取后,经装有相应填料的净化柱去除杂质,样品经净化处理后再进行浓缩干燥,弱酸条件下衍生,最后经过反向 C₁₈ 柱分离,检测器(荧光光谱、质谱)检测定量。该方法在操作的过程中需要使用具有剧毒的 AFM₁ 标准物,且样品预处理过程中用到很多有毒的有机溶剂,会污染环境,存在伤害操作者危险。对操作者的专业素养要求较高。

张国梁等^[7]采用 RP-HPLC 对干酪中的 AFM₁ 测定,其中以乙腈为提取剂萃取效果较好,干酪中被快速检测出,回收率较高,最低检出限为 0.037 μg/kg。丁俭等^[8]采用在线固相萃取富集法处理样品,然后结合高效液相色谱检测武汉市市售牛奶。该方法检测时间在 30 min 以内,定量限为 0.1 μg/kg,检出限为 0.04

μg/kg。Manetta 等^[9]利用高效液相色谱-荧光检测器测定了牛奶与奶酪中 AFM₁ 的含量,衍生剂为溴化吡啶。其灵敏度达 1~5 ng/kg。Behfar 等^[10]用高效液相色谱分析经巴氏消毒后的牛奶中的 AFM₁ 污染水平,每份消毒过的牛奶样品加热到 37 °C 并用离心机离心分离,脂肪层被分离出来,再过滤,处理过的溶液通过 C₁₈ 柱后进行分离检测。结果显示选取的 20 份样品中 AFM₁ 污染水平为 0.00096~0.0097 μg/mL,平均污染水平为 0.00203 μg/mL。

Bognanno 等^[11]利用高效液相色谱串联质谱对 240 份羊奶样品进行分析。AFM₁ 的最低检测限和定量检测下限为 250 ng/L。检测结果为 81% 的奶样品检测出了 AFM₁, 含量从 2 ng/L 至 108 ng/L 不等。Beltran 等^[11]利用超高效液相色谱-三重串联四级杆质谱仪测定了婴儿食品中的 AFM₁, 在所有食品样品中获得的回收率为 80%~110%, 相对标准偏差低于 15%。Cavaliere 等^[12]分别用两种不同的方法对样品进行提取,第一个方法为二氯甲烷用于硬、陈奶酪或者丙酮用于新鲜奶酪,然后用石墨化炭黑进行固相萃取净化。第二种方法是在净化前采用水/甲醇溶液(90:10, v:v)进行萃取。然后再用液相色谱串联质谱进行检测。由于不同的基体效应,第一种方法定量限为 0.019~0.025 μg/kg, 第二种方法定量限为 0.048~0.143 μg/kg。都达到了良好地检测效果。

Bulent^[13]利用反向高效液相色谱对土耳其婴幼儿奶粉中 AFM₁ 进行测定。最低检出限为 0.005 μg/kg, 回收率为 85.27%~88.21%。

2 免疫化学法

2.1 免疫亲和柱法(IAC)-荧光光度法(fluorometer method)

免疫亲和柱法是 20 世纪 90 年代在分析领域得到应用的一种新技术,具备高专一性吸附和抗干扰特性,灵敏度高,净化效果好,是较常用的前处理方法之一。荧光光度计对免疫亲和柱处理过的存在于洗脱液中的 AFM₁ 进行含量测定分析。此方法显著简化了样品的前处理过程,无需使用标准物质 AFM₁, 大大降低了实验过程中对操作者潜在的危害。但整体操作较繁杂,耗时较长,且存在试剂浪费和污染环境的不足,使该方法的应用推广受到一定的限制。

褚庆华等^[14]采用免疫亲和柱-荧光光度法快速测

定了鲜牛奶和乳粉中的 AFM₁。用甲醇/水(10:90, v:v)去除免疫亲和柱上的杂质,采用的洗脱液为甲醇/水(80:20, v:v),然后加入溴溶液进行衍生,利用荧光光度计测定洗脱液中 AFM₁,检出限为 0.01 μg/kg,在 0.1~1.0 μg/kg 的范围内,回收率可达到 89.6%~96.1%,变异系数为 0.52%~5.8%。分析一个样品的所需时间少于 30 min。

Scott^[15]通过使用免疫亲和柱分离样品,再利用荧光光度计对牛乳中的 AFM₁ 进行检测,该方法的最低检出限为 0.05 μg/L,平均回收率达到 97%。

2.2 酶联免疫吸附法(ELISA)

酶联免疫吸附法是抗体抗原特异性反应和酶与底物显色反应的催化作用结合起来测定黄曲霉毒素含量的免疫分析方法。该方法样品的处理简单,结果准确稳定,特异性强,干扰小,方便快捷,灵敏度高且检测且成本较低,在目前黄曲霉毒素检测方面已得到广泛应用^[16]。

其原理是将抗 AFM₁ 的抗体在聚乙烯微孔上进行固化,然后加入作为抗原的 AFM₁ 标准样品,抗体与抗原进行特异性吸附,同时加入 AFM₁ 的酶结合物与抗体进行免疫反应,再加入底物显色液对反应的情况进行判断,颜色深浅和免疫反应成比例关系。由于酶本身具有不稳定性,会对检测结果造成一定的影响。

裴世春等^[17]对直接竞争-ELISA 快速检测乳品中的 AFM₁ 进行了研究。他们将辣根过氧化物酶(HRP)与高纯度抗 AFM₁ 单克隆抗体进行偶联。检测范围是 0.015~4.05 μg/L,添加 AFM₁ 至 0.45 μg/L 的鲜奶样品中检测平均回收率为 80%。

梁迪思等^[18]通过使用甲醇/水(1:1, v:v)提取再经三氯甲烷净化的处理方法,来对 ELISA 检测婴幼儿配方奶粉中 AFM₁ 含量方法进行改进。该方法的灵敏度为 0.1 μg/kg,相对标准偏差为 6.57%,加标回收率为 90.0%~105.6%。结果显示该方法重复性好,有效地降低了假阳性的出现。

Kav 等^[19]用 ELISA 检测了白色盐渍乌拉法奶酪中 AFM₁。选用了 127 个由绵羊和牛的奶液制成的乌拉法奶酪作为样品。被 AFM₁ 污染水平范围为 70.61~770.97 ng/kg。这样的奶酪对消费者是一个潜在风险,尤其是对婴儿。

Hanmid 等^[20]利用 ELISA 检测了冬夏两季 50 个

白干酪样品,60%的样品被检出 AFM₁,含量范围为 40.9~374.0 ng/kg,且冬季白干酪样品中 AFM₁ 含量要明显高于夏季。

Kanungo 等^[21]提出超灵敏的夹心酶联免疫吸附法,将 AFM₁ 的大鼠单克隆抗体在 384 个微孔板上固定用来捕获 AFM₁ 抗原。然后再加入被辣根过氧化物酶标记的家兔二次多克隆抗体进行竞争反应,最后加入鲁米诺发光试剂进行示踪检测。预处理之后对不同脂肪百分比含量的牛奶进行分析。在 3% 的脂肪含量的牛奶中 AFM₁ 检测的线性范围为 6.25~250 pg/mL。这种分析方法只需样品 10 μL,能够对牛奶样品中的 AFM₁ 进行痕量分析,改进检测限为 0.005 pg/mL。

2.3 放射免疫法(RIA)

放射免疫法的测试原理为过量的特异抗体或受体选择性吸附样品中残留的 AFM₁,然后加入 ³H 标记的抗原,抗原与没有吸附残留 AFM₁ 的抗体或受体结合,经过离心沉淀,取沉淀物并加入闪烁剂放置到 CHARMII 6600/7600 系统中进行 1 min 闪烁计数,然后与基准值进行对照,即可测出样品中黄曲霉毒素的污染水平。放射免疫法中样品的前处理和提取方法简便易于操作,且具有高效,灵敏,特异性强,测试周期短和测试速度快等优点,可进行大批量的样品初筛,在国内外受到越来越多研究者和企业的重视。

Pestka 等^[22]在 1981 年首次利用放射免疫法检测牛奶中的 AFM₁,收到很好的检测效果。当时他的检测范围为 5.0~50.0 μg/kg,灵敏度为 1.0 μg/L。闫磊等^[23]利用此方法检测牛奶中的 AFM₁,对牛奶样品进行 18 次浓度分别为 0.25 g/kg 和 0.50 g/kg 的加标试验,结果全部符合,测得测定精密密度为 1.1%和 1.3%,检测限可达到 0.25 μg/kg。

2.4 胶体金法(GIGA)

胶体金免疫层析法是 20 世纪 80 年代发展起来的一种利用单克隆抗体而设计的固相免疫分析法。利用纳米金作为标记物,在 5~10 min 内完成对样品中 AFM₁ 的检测。具有快速、高效、操作方便等特点。整个检测过程无需分离纯化样品,也无须对检测溶液做任何处理。达到现代先进检测技术的要求。其检测结果与高效液相色谱法测得的结果相符率超过 90.5%,结果重现性达到 100%^[24]。但其灵敏度相对稍低,不能达到限量要求很低的样品的检测,适用于现

场快速检测、临床诊断与药物检测等。

Wang 等^[25]用金纳米免疫层析试纸条检测牛奶中的 AFM₁, 这种方法快速, 适于现场快速检测。其对牛奶样品中的 AFM₁ 的检出限为 1.0 ng/kg, 10 min 即可完成检测。

孙翠萍等^[26]依据胶体金免疫层析技术, 研制出快速检测牛奶中 AFM₁ 的胶体金快速检测试纸条。该试纸条检测时间仅需 10 min, 检出限为 0.5 ng/kg, 假阴性与假阳性率均为 0。

3 电化学方法

电化学方法是 20 世纪 90 年代才被人们提出并使用的一种新兴检测方法。该方法用到的核心仪器为传感器, 传感器将免疫识别反应生成的免疫复合物转化为物理化学信号, 再通过二次仪表将输出信号放大, 从而检测出毒素的含量。该方法测试费用低、选择性好且样品无需进行前处理, 应用广泛。但对设备要求较高。

Andreou 等^[27]使用电化学流动注射 AFM₁ 监测技术。AFM₁ 的注射剂被制成携带电解质的流体, 毒素在起支撑和过滤作用的双层类脂膜上暴露之后, 出现了一个短暂的电信号, 这个信号可重复的持续少于 10 s。这个信号的强弱与 AFM₁ 的浓度成线性关系, 检测限低于纳摩尔水平。

Parker 等^[28]研究了电化学免疫芯片传感器在 AFM₁ 检测上的应用。这种方法得到的牛奶中的 AFM₁ 检出限约为 8 ng/L, 其动态监测范围为 10~100 ng/L。

4 化学发光法

化学发光法是一种非标记光学检测方法。其原理是将 AFM₁ 的抗体固定在特定膜表面, 再加入含 AFM₁ 的样品, 抗体与抗原进行特异性吸附, 同时加入 AFM₁ 的酶结合物进行竞争性免疫反应, 然后通过检测有效折射率的变化, 对样品中的 AFM₁ 进行定量分析。

王岩等^[29]建立直接竞争化学发光酶免疫分析法, 对牛奶和奶粉样品中的 AFM₁ 进行快速检测, 该方法检出限为 0.00235 ng/mL, 牛奶和奶粉样品的平均回收率分别达到 97.20%和 97.69%。

Magliulo 等^[30]使用超灵敏化学发光酶免疫分析法检测牛奶中 AFM₁。将 AFM₁ 与牛血清蛋白复合物

在 384 微孔黑色聚丙烯酶标板上进行固定, 然后加入辣根过氧化物酶标记的次级抗体, 进行竞争反应。整个检测过程无需对样品进行任何净化处理, 定量下限为 1 μg/kg, 回收率从 96%~122%。

5 目前各种方法存在的问题与展望

薄层色谱法样品前处理繁杂, 耗时, 且在较高的限量要求的样品检测中不适用; 高效液相色谱存在污染环境、浪费试剂等问题, 对操作者操作技能与专业素养要求较高和会对操作者身体造成一定的危害; 免疫亲和柱-荧光光度法整体操作较繁杂, 耗时较长, 也存在浪费试剂和污染环境等不足; 酶联免疫吸附法、放射免疫法和化学发光法成本较高; 胶体金法与酶联免疫吸附法存在精度不高的问题, 电化学方法对设备要求较高。

乳品与乳制品在我国消费量越来越大, 且品种也越来越多样化。为了确保乳品市场上商品的安全, 乳品中 AFM₁ 快速检测显得尤为重要。当前常用的分析方法仍需在应用中不断地改进和完善, 克服自身特有缺点。世界各国也都在努力建立和完善一套完整的、高效快速且低廉的 AFM₁ 分析检测方法。各种方法的联用及廉价快速检测纸是今后发展方向。

参考文献

- [1] Bognanno M, Fauci LL, Ritieni A, *et al.* Survey of the occurrence of Aflatoxin M₁ in ovine milk by HPLC and its confirmation by MS [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2006, 50(3): 300-305.
- [2] 梁江, 宋筱瑜, 朱江辉, 等. 我国乳与乳制品中黄曲霉毒素 M₁ 的限量标准适宜性分析及居民膳食暴露风险评估[J]. *卫生研究*, 2013, 1: 19-21.
Liang J, Song XY, Zhu JH, *et al.* Suitability analysis of tolerance limit for aflatoxin M₁ in foods and Chinese population dietary exposure to aflatoxin M₁ from milk [J]. *J Hyg Res*, 2013, 1: 19-21.
- [3] 任立居. 欧盟制定曲霉毒素限量新标准[J]. *北京农业*, 2004, (12): 36.
Ren LJ. European Union new standard for Aspergillus toxins limited [J]. *Beijing Agr*, 2004, (12): 36.
- [4] Horwit W. Official methods of analysis of AOAC international [C]. 17th ed. Chapter 49, Mycotoxins. AOAC International, Gaithersbury, 2000.
- [5] Nicholas WT, Sreenath S, Sergey AP. Analytical methods for determination of mycotoxin: A review [J]. *Anal Chim Acta*, 2009,

- 632: 168–180.
- [6] 万珊, 朱曦, 梁利妹, 等. 牛奶中黄曲霉毒素 M₁ 常见检测方法比较[J]. 湖北畜牧兽医, 2013, 34(6): 78–80.
- Wan S, Zhu X, Liang LM, *et al.* The more common method for detection of aflatoxin M₁ in milk [J]. Hubei Anim Husb Vet Med, 2013, 34(6): 78–80.
- [7] 张国梁, 郑冬梅, 李晓冬, 等. 亲水亲脂平衡柱萃取高效液相色谱快速测定干酪中的黄曲霉毒素 M₁ [J]. 中国酿造, 2013, 32(4): 141–143.
- Zhang GL, Zheng DM, Li XD, *et al.* Using solid phase extraction on OASIS HLB, HPLC technique to detect quickly of aflatoxin M₁ in cheese [J]. China Brew, 2013, 32(4): 141–143.
- [8] 丁俭, 李培武, 李光明, 等. 在线固相萃取富集-高效液相色谱法快速测定牛奶中的黄曲霉毒素 M₁ [J]. 食品科学, 2013, 34(10): 289–293.
- Ding J, Li PW, Li GM, *et al.* Determination of Aflatoxin M₁ in Milk by High Performance Liquid Chromatography Using On-line Solid Phase Extraction [J]. Food Sci, 2013, 34(10): 289–293.
- [9] Manetta AC, DI GL, Giammarco M, *et al.* High-performance liquid chromatography with post-column derivatisation and fluorescence detection for sensitive determination of Aflatoxin M₁ in milk and cheese [J]. J Chromatogr A, 2005, 1083(1): 219–222.
- [10] Behfar A, Nazari KZ, Alemzadeh Z, *et al.* Determination of Aflatoxin M₁ contamination levels in produced pasteurised milk manufactory in Ahvaz city by HPLC [J]. Toxicol Lett, 2010, 196: 329–330.
- [11] Beltrán E, Ibáñez M, Sancho JV, *et al.* UHPLC–MS/MS highly sensitive determination of aflatoxins, the aflatoxin metabolite M₁ and ochratoxin A in baby food and milk [J]. Food Chem, 2011, 126(2): 737–744.
- [12] Cavaliere C, Foglia P, Guarino C, *et al.* Aflatoxin M₁ determination in cheese by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. J Chromatogr A, 2006, 1135(2): 135–141.
- [13] Bulent K. Aflatoxin M₁ and ochratoxin A in baby formulae in Turkey: Occurrence and safety evaluation [J]. Food Control, 2012, 26: 182–187.
- [14] 褚庆华, 徐超一, 刘岩, 等. 免疫亲和柱-荧光分析法测定鲜乳和乳粉中的黄曲霉毒素 M₁[J]. 检验检疫科学, 2003, 13(2): 41–43.
- Zhu QH, Xu CY, Liu Y, *et al.* Determination of aflatoxin M₁ of milk and milk powder by fluorescence analysis - immunoaffinity column[J]. Inspect Quarant Sci, 2003, 13(2): 41–43.
- [15] Scott PM. Application of immunoaffinity columns to mycotoxin analysis [J]. AOAC Int, 1997, 80(5): 9.
- [16] 廖妍俨, 黄家岭. 酶联免疫法检测牛奶中黄曲霉毒素 M₁ 的应用[J]. 贵州化工, 2012, 37(4): 33–34.
- Liao YY, Huang JL. THE application of enzyme-linked immunosorbent assay on aflatoxin M₁ in milk [J]. Guizhou Chem Ind, 2012, 37(4): 33–34.
- [17] 裴世春, 肖理文. 基于 HRP 标记抗体的黄曲霉毒素 M₁ 的直接竞争-ELISA[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 221–224.
- Pei SC, Xiao LW. Rapid Detection of Aflatoxin M₁ by Anti-AFM₁ mAb-HRP Based Dc-ELISA [J]. Food Sci, 2011, 32(18): 221–224.
- [18] 梁迪思, 李建生. 酶联免疫法(ELISA)测定婴幼儿配方奶粉中的黄曲霉毒素 M₁[J]. 现代食品科技, 2010, 26(12): 1421–1423.
- Liang DS, Li JS. Determination of Aflatoxin M₁ in Infant Formula by Enzyme-linked Immunosorbent Assay(ELISA) [J]. Mod Food Sci Technol, 2010, 26(12): 1421–1423.
- [19] Kav K, Col R, Kaan TK. Detection of aflatoxin M₁ levels by ELISA in white-brined Urfa cheese consumed in Turkey [J]. Food Control, 2011, 22(12): 1883–1886.
- [20] Hamid RT, Majid R, Abolfazl K, *et al.* Occurrence of aflatoxin M₁ in white cheese samples from Tehram, Iran [J]. Food Control, 2012, 23: 293–295.
- [21] Kanungo L, Pal S, Bhand S. Miniaturised hybrid immunoassay for high sensitivity analysis of aflatoxin M₁ in milk [J]. Biosens Bioelectron, 2011, 26(5): 2601–2606.
- [22] Pestka J, LI Y, Harder W, *et al.* Comparison of radioimmunoassay and enzyme-linked immunosorbent assay for determining aflatoxin M₁ in milk [J]. J Assoc Off Anal Chem, 1981, 64(2): 294–301.
- [23] 闫磊, 李卓, 张燕. 牛奶中黄曲霉毒素的放射免疫法检测[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(1): 135–137.
- Yan L, Li Z, Zhang Y. Aflatoxins in Milk by Radio Immuno assay Method [J]. Food Res Dev, 2010, 31(1): 135–137.
- [24] 刘坚, 熊宁, 刘利, 等. 免疫层析试纸法快速检测粮食中黄曲霉毒素 B₁ 的验证研究[J]. 河南工业大学学报, 2011, 32(5): 51–57.
- Liu J, Xiong N, Liu L, *et al.* Verification of rapid detection of aflatoxin B₁ in grain by immunochromatographic test paper method [J]. J Henan Univ Technol, 2011, 32(5): 51–57.
- [25] Wang JJ, Liu BH, Hsu YT, *et al.* Sensitive competitive direct enzyme-linked immunosorbent assay and gold nanoparticle immunochromatographic strip for detecting aflatoxin M₁ in milk [J]. Food Control, 2011, 22(6): 964–969.
- [26] 孙翠萍, 万宇平, 王效东, 等. 黄曲霉毒素 M₁ 胶体金快速检测试纸的研制[J]. 吉林畜牧兽医, 2013, 1: 19–21.
- Sun CP, Wan YP, Wang XD, *et al.* Study on Gold Immunochromatography Assay for Rapid Detection of Aflatoxin

- M₁ [J]. *Jilin Anim Husb Vet Med*, 2013, 1: 19–21.
- [27] Andreou VG, Nikolelis DP. Flow injection monitoring of Aflatoxin M₁ in milk and milk preparations using filter-supported bilayer lipid membranes [J]. *Anal Chem*, 1998, 70(11): 2366–2371.
- [28] Parker CO, Lanyon YH, Manning M, *et al.* Electrochemical immunochip sensor for Aflatoxin M₁ detection [J]. *Anal Chem*, 2009, 81(13): 5291–5298.
- [29] 王岩, 于源华, 王维, 等. 黄曲霉毒素 M₁ 化学发光酶免疫检测方法的建立[J]. *食品科技*, 2013, 38(5): 342–346.
Wang Y, Yu YH, Wang W, *et al.* Development of chemiluminescence enzyme immunoassay for the determination of aflatoxin M₁ [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(5): 342–346.
- [30] Magliulo M, Mirasoli M, Simoni P, *et al.* Development and validation of an ultrasensitive chemiluminescent enzyme immunoassay for Aflatoxin M₁ in milk [J]. *J Agr Food Chem*, 2005, 53(9): 3300–3305.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



黄亚伟, 博士, 讲师, 主要研究方向为储粮品质检测与控制。
E-mail: ywei0371@163.com

“样品前处理研究”专题征稿

样品前处理在仪器分析过程中是一个既耗时又极易引进误差的步骤, 样品前处理的好坏直接影响最终的分析结果。因此, 为了提高仪器分析的测试效率, 改善和优化样品前处理的方法和技术是个重要的问题。

鉴于此, 《食品安全质量检测学报》特别策划了“样品前处理方法研究”专题, 由中山大学化学与化学工程学院李攻科教授担任专题主编, 围绕常用的食品前处理技术、前处理新方法、在线样品前处理技术、食品基质的影响等多方面展开讨论, 计划在 2014 年 5 月出版。

本刊编辑部及陈教授欢迎各位专家为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2014 年 4 月 10 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

Email: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部