

## 综述

乳及乳制品中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 污染及检测技术研究进展

武瑞霞, 李云姣, 霍超, 王向红, 桑亚新

(河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000)

**摘要:** 乳及乳制品中的黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 是黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的羟基化衍生物, 对肝脏有致畸和致癌作用。随着人们生活水平的提高, 乳及乳制品中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 污染也引起越来越多的关注。本文从不同品种、季节及地域分析乳及乳制品中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 污染水平, 并综述了液相色谱法和免疫法的检测技术研究进展。

**关键词:** 黄曲霉毒素 M<sub>1</sub>; 乳; 乳制品; 检测技术; 霉菌毒素; 食品污染物; 综述

中图分类号: R155.5; TS252.5; R379 文献标志码: A 文章编号: 1004-8456(2016)01-0124-05

DOI: 10.13590/j.cjfh.2016.01.028

### Research progress of detection technique and the contamination of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk and dairy products

WU Rui-xia, LI Yun-jiao, HUO Chao, WANG Xiang-hong, SANG Ya-xin

(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Hebei Baoding 071000, China)

**Abstract:** Aflatoxin M<sub>1</sub> is the hydroxylated metabolite of aflatoxin B<sub>1</sub> and it can be found in milk and dairy products. Aflatoxin M<sub>1</sub> have teratogenic and carcinogenic effects on human. With increasing concerns about food safety issues, aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in the dietary calls for more and more attention. This study analyzes the contamination of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk and dairy products based on categories, seasonal and regional differences, summarizes the present research progress on rapid detection technique in liquid chromatography and immunoassay.

**Key words:** Aflatoxin M<sub>1</sub>; milk; dairy products; detection technique; mycotoxin; food contaminant; review

黄曲霉毒素 (aflatoxin, AF) 是一类真菌产生的次生代谢产物, 主要由黄曲霉和寄生曲霉产生<sup>[1]</sup>。黄曲霉毒素对人和动物有着极强的毒性, 目前发现的黄曲霉毒素有 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 等 20 余种, 其中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) 毒性最强, 黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> (AFM<sub>1</sub>) 次之, 且在 1993 年和 2002 年 AFB<sub>1</sub> 和 AFM<sub>1</sub> 分别被世界卫生组织国际癌症研究机构确定为 I 类致癌物<sup>[2-3]</sup>。

AFM<sub>1</sub> 是哺乳动物摄入污染了 AFB<sub>1</sub> 的饲料后在体内代谢的产物, 常分泌到乳汁中, 对肝脏有致癌作用, 能够抑制肝脏细胞中 RNA 的合成, 阻止和影响蛋白质、脂肪、线粒体、酶等的合成与代谢, 导致突变、癌症及肝细胞坏死<sup>[4]</sup>。在我国, 原发性肝细胞癌年发病人数逐年升高, 占世界总病例数的一半左右。其地理分布资料显示, 高发区位于江苏、

浙江、福建、广东及广西等具有亚热带气候特点的东南沿海适于黄曲霉生长繁殖的地区。其发病与多种因素有关, 其中膳食暴露黄曲霉毒素作为一重要的危险因子已引起世界的广泛关注。来自中国、肯尼亚、泰国及菲律宾的研究结果表明<sup>[5]</sup>, 膳食低剂量长期暴露黄曲霉毒素与人类原发性肝细胞癌呈正的剂量-反应关系, 且有年轻化的趋势, 严重威胁人类的身体健康。

为了控制乳及乳制品中的 AFM<sub>1</sub>, 各个国家均制定了乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 的限量标准, 美国食品药品监督管理局和我国卫生部规定 AFM<sub>1</sub> 限量标准均为 0.5 μg/L。目前, 常用的 AFM<sub>1</sub> 的检测方法主要有薄层色谱法<sup>[6]</sup>、高效液相色谱-质谱法<sup>[7-8]</sup> 及酶联免疫分析<sup>[9]</sup> 等。随着人们生活水平的提高, 乳及乳制品需求量的增大, 乳及乳制品暴露黄曲霉毒素将会受到越来越多的关注。

## 1 乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染

### 1.1 不同乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染

由于饲料受到不同程度的真菌毒素污染, 间接地导致奶源也受到不同的影响。2007 年 Hussain

收稿日期: 2015-11-06

基金项目: 国家公益性行业科研专项 (201205031)

作者简介: 武瑞霞 女 研究生 研究方向为食品生物技术

E-mail: wuruixia123@163.com

通信作者: 桑亚新 男 教授 研究方向为食品微生物

E-mail: sangyaxin@sina.com

等<sup>[10]</sup>就对巴基斯坦的费萨拉巴特地区 5 种乳品中 AFM<sub>1</sub> 进行检测,其中水牛奶、牛奶、山羊奶、绵羊奶的检出率分别为 34.5%、37.5%、20.0% 和 16.7%,骆驼奶无检出,其中有 15.8% 的水牛奶和 20.0% 的牛奶中 AFM<sub>1</sub> 含量超过欧盟规定的限量标准(0.05 μg/L)。2006 年 Rahimi 等<sup>[11]</sup>对伊朗西南部阿瓦士市 311 份原料奶(包括牛奶、水牛奶、骆驼奶、绵羊奶、山羊奶)中的 AFM<sub>1</sub> 进行检测,其检出率分别为 78.7%、38.7%、12.5%、37.3% 和 27.1%。其中 36.0% 的牛奶、8.0% 水牛奶、3.9% 绵羊奶、5.7% 山羊奶超过欧盟规定的 AFM<sub>1</sub> 的限量标准。牛奶中 AFM<sub>1</sub> 的检出率较高,而牛奶是众多乳及乳制品中消费量较高的产品,这对人体健康有着较大的潜在危害。

在众多乳制品中,奶酪是唯一一种易受真菌污染并产生毒素的奶制品<sup>[12]</sup>,而导致奶酪中存在 AF 的原因有:①用含有 AFM<sub>1</sub> 的奶制作奶酪;②奶酪被曲霉菌类的真菌污染并产生黄曲霉毒素(B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub> 和 G<sub>2</sub>)<sup>[13-14]</sup>。2008 年 Fallah 等<sup>[15]</sup>调查了伊朗的伊斯法罕和亚兹德省市场上奶酪中 AFM<sub>1</sub> 污染情况,研究表明抽检的 210 份白色和奶油奶酪样品中,76.6% 的样品中 AFM<sub>1</sub> 的浓度在 52.1 ~ 785 ng/kg 之间,其中 24.2% 的样品超过瑞士规定奶酪中 AFM<sub>1</sub> 的限量标准(250 ng/kg)。

越来越多的研究表明黄曲霉毒素对人类造成的危害是剧烈的和长期的,特别是发育期的人误食黄曲霉毒素会影响其生长发育<sup>[16]</sup>,所以对于婴幼儿接触 AFM<sub>1</sub> 需要高度重视。而目前婴幼儿通过母乳或配方奶粉接触 AFM<sub>1</sub> 的危险度仍很高。2006 年 Sadeghi 等<sup>[17]</sup>收集了来自伊朗德黑兰地区 160 名女性的母乳,并对其进行 AFM<sub>1</sub> 的检测,发现 157 份样品中 AFM<sub>1</sub> 的浓度为(8.2 ± 5.1) ng/kg,其中有 35.0% 的样品中 AFM<sub>1</sub> 的含量超过了瑞士和澳大利亚的限量标准(10 ng/kg)。2010 年 El-Tras 等<sup>[18]</sup>对埃及的 125 份婴幼儿配方奶粉和 125 份母乳样品进行检测,结果表明,婴幼儿通过母乳接触 AFM<sub>1</sub> 的相对危险度高于配方奶粉。新生儿平均每天通过婴幼儿配方奶粉或母乳摄入 AFM<sub>1</sub> 的量分别为 52.7 和 8.17 ng。

## 1.2 不同季节乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染

AF 的污染受气候影响较大<sup>[19-20]</sup>,潮湿炎热的气候更利于 AF 的产生,气候干燥的地区 AF 污染较轻。2011—2012 年 XIONG 等<sup>[8]</sup>对长江三角洲地区不同季节的 18 个奶牛场的原料奶中 AFM<sub>1</sub> 进行了研究。研究表明在冬季 88.9% 的原料奶样品被 AFM<sub>1</sub> 污染,其中 72.2% 的样品高于 AFM<sub>1</sub> 限制标

准。在夏季 44.4% 的原料奶样品被 AFM<sub>1</sub> 污染,其中 11.1% 的样品高于 AFM<sub>1</sub> 的欧盟限制标准。在冬季采集的原料奶样品中 AFM<sub>1</sub> 的含量均高于夏天的,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。2011—2012 年 Iqbal 等<sup>[21]</sup>在冬季和夏季期间采集了巴基斯坦旁遮普地区 221 份牛奶和奶制品样品,冬季中 39.6% 原料奶、51.1% 超高温(UHT)牛奶、37.3% 酸奶、60.0% 黄油和 42.9% 冰淇淋的样品被 AFM<sub>1</sub> 污染,其中 27.1% 原料奶、24.4% UHT 牛奶、25.5% 酸奶、34.3% 黄油和 16.7% 冰淇淋样品高于 AFM<sub>1</sub> 限制标准。夏季中 35.7% 原料奶、30.8% UHT 牛奶、28.9% 酸奶、40.0% 黄油及 24.3% 冰淇淋被 AFM<sub>1</sub> 污染,其中 23.2% 原料奶、23.1% UHT 牛奶、17.8% 酸奶、20.0% 黄油和 5.4% 冰淇淋样品高于 AFM<sub>1</sub> 的欧盟限量标准。冬季牛奶和乳制品样品中 AFM<sub>1</sub> 的含量均高于夏季。所以冬季是 AFM<sub>1</sub> 发生的高风险季节,应重视乳及乳制品季节性管理。

## 1.3 不同地域乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染

不同地区间气候差异性较大,因此 AF 污染与所处的地理位置有着密切的关系。在西南亚地区,来自伊朗、土耳其、巴基斯坦等的大部分研究表明乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染较高。Nemati、Heshmati、Alborzi 等<sup>[22-24]</sup>的调查研究表明伊朗国内大部分地区和南部沿海地区的乳制品易受 AFM<sub>1</sub> 污染,检测的样品中 AFM<sub>1</sub> 污染率为 100%,其中 30% 以上的乳制品中 AFM<sub>1</sub> 的含量超过了欧盟规定的最大残留量标准。2011 年 Kabak 等<sup>[25]</sup>采集了土耳其市场上 40 份 UHT 牛奶样品进行分析,研究发现 20.0% 的 UHT 牛奶样品被 AFM<sub>1</sub> 污染,其中 5.0% 的牛奶样品远远高于欧盟允许的最大残留量标准。

东亚地区的调查表明来自印度、日本、泰国和韩国的新鲜牛奶及来自中国的乳及乳制品有 AFM<sub>1</sub> 的污染<sup>[26-30]</sup>。2012 年黄良策等<sup>[26]</sup>采集了西安市 70 批次生鲜羊奶样品和 30 批次羊奶粉样品,研究表明生鲜羊奶中 AFM<sub>1</sub> 检出率为 98.1%,在羊奶粉中检出率为 100%,所有样品中 AFM<sub>1</sub> 含量都远低于国家限量(500 ng/kg)。2006 年 Nuryono 等<sup>[27]</sup>收集了印尼不同地区农场的 113 份牛奶样品进行检测,结果表明,其中 42.5% 的样品中 AFM<sub>1</sub> 的浓度小于 5 ng/L,其余样品都高于 5 ng/L 但没有超过欧盟规定的最大残留量标准。

非洲和拉丁美洲地区的调查表明乳及乳制品中也存在 AFM<sub>1</sub> 的污染。2008 年 Motawee 等<sup>[31]</sup>收集了 175 份来自埃及不同乳及乳制品样品(包括水牛奶 50 份、牛奶 50 份、山羊奶 50 份、骆驼奶 25 份)进行检测,结果表明 50.0% 水牛奶、30.0% 牛奶、

26.0%山羊奶、20.0%骆驼奶的 AFM<sub>1</sub> 超过了欧盟规定的最大残留量标准(0.05 μg/L)。在2011—2012年期间 Silva 等<sup>[32]</sup>收集了来自于巴西不同品牌 and 不同超市的152份UHT牛奶样品进行检测,结果表明,87.5%的UHT牛奶样品中 AFM<sub>1</sub> 的平均浓度为19.6 ng/L,2.6%的样品超过了欧盟规定的最大残留量标准。

欧洲地区乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染的调查研究较少且污染较轻。2008年 Meucci 等<sup>[33]</sup>对意大利地区的185份配方奶样品进行检测,结果表明,所有样品中只有2份样品检出 AFM<sub>1</sub> 但均不超过欧盟规定的最大残留量标准。因此,AFM<sub>1</sub> 污染程度地理分布的总趋势是从内陆向沿海、自北往南增高。

## 2 乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 检测技术研究进展

我国规定乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 的限量为0.5 μg/kg,超过该含量就可能对人体造成危害。因此,必须有更精确、简便、快速、灵敏、不需特殊设备和可在实验室开展的分析方法。自 AFM<sub>1</sub> 被发现以来,国内外建立了大量用于测定乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 含量的方法。AFM<sub>1</sub> 的检测方法一般分为两大类,一类为建立在色谱基础上的分析方法,其中包括较传统的应用荧光检测的薄层色谱法(TLC)、高效液相色谱法(HPLC)、质谱检测(MS)以及近年来新发展的超高效液相色谱法等;另一类为可快速测定的免疫化学法,如酶免疫测定法(EIA)。

### 2.1 色谱分析法

在20世纪末,国内外对建立 AFM<sub>1</sub> 测定的薄层色谱法就有大量的报道<sup>[34-35]</sup>,我国也颁布了采用薄层色谱法测定牛乳及乳制品中的 AFM<sub>1</sub> 的标准<sup>[36]</sup>。但是随着高效液相色谱和液相色谱-串联质谱技术的发展,TLC的缺点也逐渐显现,TLC逐步被液相色谱所取代。但由于TLC法的优点在于不依赖特殊仪器、成本低、易于普及,仍被用于大规模的筛查研究中。

高效液相色谱法其原理就是利用免疫亲和柱或 C<sub>18</sub> 柱将样品中的 AFM<sub>1</sub> 萃取、浓缩、净化、分离,再通过 HPLC 串联不同检测器进行检测。该方法灵敏度高、特异性强,被广泛应用于 AFM<sub>1</sub> 的定量测定中。2013年徐燕等<sup>[37]</sup>将乳制品中的 AFM<sub>1</sub> 经免疫亲和柱固相萃取后,利用高效液相色谱法测定。该方法线性范围为0.1~1.0 μg/L,精密度(RSD)为4.02%~5.71%,回收率为71.0%~80.5%,检出限为0.003 μg/kg。2012年丁俭等<sup>[38]</sup>采用在线固相萃取富集技术,将牛奶样品直接进样,再通过高效液相色谱法进行分析,检出限为0.04 μg/kg,回收

率在98%~105.7%之间。该方法减轻了对样品处理的繁琐过程,同时提高了回收率。

质谱法是通过将样品分子裂解为分子离子和各种离子碎片的集合,按质荷比( $m/z$ )大小进行分离、记录的分析方法。MS检测器具有更高的选择性、对分析物分子标识的确证、可用同位素标记作为内标等优势。基于液相色谱-质谱联用(LC-MS)或液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)高特异性和高灵敏度的优势,利用其测定乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 越来越普遍。2013年 ZHANG 等<sup>[39]</sup>利用 LC-MS/MS 测定强化奶、婴儿配方奶、奶粉和婴儿酸奶中的 AFM<sub>1</sub>,线性范围为0.01~2.0 μg/kg,精密度(RSD) <20%,回收率为89%~126%,简化了样品的前处理,提高了检测量。2013年 Busman 等<sup>[40]</sup>利用实时直接分析质谱(DART-MS)测定牛奶中的 AFM<sub>1</sub>,线性范围为0.1~2.5 μg/kg,精密度(RSD)为9.6%~13.5%,回收率为94.7%~109.2%,可以更快更方便的检测牛奶中的 AFM<sub>1</sub>。

超高效液相色谱(UPLC)是分离科学中的一个全新类别,UPLC借助于HPLC的理论及原理,涵盖了小颗粒填料、非常低系统体积及快速检测手段等全新技术,增加了分析的通量、灵敏度及色谱峰容量。王军淋等<sup>[41]</sup>采用超高效液相色谱系统,并配有大体积流通池的荧光检测器快速检测乳及乳制品中的 AFM<sub>1</sub>。该方法的定量限为0.03 μg/kg,线性范围为0.06~1.2 μg/kg,回收率在81.95%~94.20%之间。该方法的灵敏度较普通流通池提高了近3倍,且使用了大体积流通池的高效液相色谱荧光法,不需要增加衍生设备,简化了操作,较现有方法更为简便。

### 2.2 免疫法

现场快速的检测对于质量监管具有重要的意义,现阶段建立在免疫基础上的快速检测技术广泛应用到现场 AFM<sub>1</sub> 的检测上。快速免疫检测技术具有高度的灵敏度和特异性,样品不需特殊处理,可直接测定,大大减轻了工作人员的劳动量,而且检测速度快、成本低、仪器操作简单,适用于大批样品 AFM<sub>1</sub> 的检测筛选。

酶联免疫分析(ELISA)技术在黄曲霉毒素分析过程中是最为引人注目的,因为它们具有高度的灵敏度和选择性,而且具有快速和大批量的检测能力,已成为最常见的快速检测食品中霉菌毒素的方法。2010年 GUAN 等<sup>[42]</sup>采用半固体筛选法筛选出了抗 AFM<sub>1</sub> 的抗体,利用此抗体建立超灵敏间接竞争 ELISA 方法,用于检测牛奶和乳制品,回收率为91%~110%,变异系数小于10%,检测限分别为

3 和 6 ng/L。2012 年 YU 等<sup>[43]</sup>建立了一种高灵敏度的 ELISA 方法。通过改变包被抗体的浓度来改变抗体的活性,使之达到最佳状态。改进后的 ELISA 法,其灵敏度可达 0.001 5 ng/ml。

胶体金法是基于竞争法胶体金免疫层析技术,用于快速筛查含有 AFM<sub>1</sub> 的液态奶、奶粉(含婴儿奶粉)等样品。2013 年罗晓琴等<sup>[44]</sup>采用胶体金免疫层析技术,建立一种快速检测牛奶中 AFM<sub>1</sub> 的方法。该方法快速检测试纸条的检测限为 0.3 μg/L,检测时间短,假阳性率和假阴性率为 0,适合进行现场快速检测牛奶中残留的 AFM<sub>1</sub>。

上转换发光免疫层析技术(AFM<sub>1</sub>-UPT-LF)是一种基于上转换发光技术(UPT)的光电检测仪器,通过对利用上转换发光材料(UCP)作为标记物的免疫层析试纸条上的 UCP 颗粒的分布状态进行测量、分析与处理,给出样品中目标被检物的浓度。做到对待测样品的快速、准确定量检测。2013 年刘晓等<sup>[45]</sup>利用 AFM<sub>1</sub>-UPT-LF 建立奶粉及牛奶中 AFM<sub>1</sub> 的快速检测方法。采用 AFM<sub>1</sub>-UPT-LF 可实现 20 min 内完成奶粉及牛奶中 AFM<sub>1</sub> 定性及定量检测。奶粉中检测限为 0.1 μg/kg,线性范围在 0.1 ~ 0.7 μg/kg 间较好,牛奶中检测限为 0.3 μg/L,线性范围在 0.3 ~ 0.7 μg/kg 间较好;在定性检测中,对奶粉检测灵敏度为 100%,特异性为 85%,牛奶检测中灵敏度为 81%,特异性为 88%。

### 3 展望

乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染仍是一个全球尚未解决的问题,数据显示,现阶段乳及乳制品的加工过程如:UHT、巴氏杀菌、冷冻等对 AFM<sub>1</sub> 的稳定性影响不大,而基于我国是乳及乳制品的消费大国,乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 污染现状仍不容忽视。所以为加强 AFM<sub>1</sub> 污染控制,应严格执行乳及乳制品中 AFM<sub>1</sub> 的限量标准和尽可能选择专一、高效、安全的脱毒解毒方法。

### 参考文献

[ 1 ] Anfossi L, Baggiani C, Giovannoli C, et al. Occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in Italian cheese: results of a survey conducted in 2010 and correlation with manufacturing, production season, milking animals, and maturation of cheese [ J ]. *Food Control*, 2012, 25 ( 1 ): 125-130.

[ 2 ] IARC. Some naturally occurring substances; food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins [ M ]. // IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon, France: IARC, World Health Organization, 1993: 19-23.

[ 3 ] IARC. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins,

naphthalene and styrene [ M ]. // IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon, France: World Health Organization, 2002: 171-175.

[ 5 ] 马君刚, 岳琳, 杨文菊. 食品中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 污染状况 [ J ]. *新疆畜牧业*, 2009 ( 2 ): 51-52.

[ 6 ] Fallah A A. Aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in dairy products marketed in Iran during winter and summer [ J ]. *Food Control*, 2010, 21 ( 11 ): 1478-1481.

[ 7 ] WANG Y, LIU X, XIAO C, et al. HPLC determination of aflatoxin M<sub>1</sub> in liquid milk and milk powder using solid phase extraction on OASIS HLB [ J ]. *Food Control*, 2012, 28 ( 1 ): 131-134.

[ 8 ] XIONG J L, WANG Y M, MA M R, et al. Seasonal variation of aflatoxin M<sub>1</sub> in raw milk from the Yangtze River Delta region of China [ J ]. *Food Control*, 2013, 34 ( 2 ): 703-706.

[ 9 ] ZHENG N, SUN P, WANG J Q, et al. Occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in UHT milk and pasteurized milk in China market [ J ]. *Food Control*, 2013, 29 ( 1 ): 198-201.

[ 10 ] Hussain I, Anwar J, Asi M R, et al. Aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in milk from five dairy species in Pakistan [ J ]. *Food Control*, 2010, 21 ( 2 ): 122-124.

[ 11 ] Rahimi E, Bonyadian M, Rafei M, et al. Occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in raw milk of five dairy species in Ahvaz, Iran [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48 ( 1 ): 129-131.

[ 12 ] Sengun I Y, Yaman D B, Gonul S A. Mycotoxins and mould contamination in cheese: a review [ J ]. *World Mycotoxin Journal*, 2008, 1 ( 3 ): 291-298.

[ 13 ] Lopez C, Ramos L, Ramadan S, et al. Distribution of aflatoxin M<sub>1</sub> in cheese obtained from milk artificially contaminated [ J ]. *International Journal of Food Microbiology*, 2001, 64 ( 1 ): 211-215.

[ 14 ] Kamkar A, Karim G, Aliabadi F S, et al. Fate of aflatoxin M<sub>1</sub> in Iranian white cheese processing [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 46 ( 6 ): 2236-2238.

[ 15 ] Fallah A A, Jafari T, Fallah A, et al. Determination of aflatoxin M<sub>1</sub> levels in Iranian white and cream cheese [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2009, 47 ( 8 ): 1872-1875.

[ 16 ] GONG Y Y, Cardwell K, Hounsa A, et al. Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Benin and Togo: cross sectional study [ J ]. *BMJ*, 2002, 325 ( 7354 ): 20-21.

[ 17 ] Sadeghi N, Oveisi M R, Jannat B, et al. Incidence of aflatoxin M<sub>1</sub> in human breast milk in Tehran, Iran [ J ]. *Food Control*, 2009, 20 ( 1 ): 75-78.

[ 18 ] El-Tras W F, El-Kady N N, Tayel A A. Infants exposure to aflatoxin M<sub>1</sub> as a novel foodborne zoonosis [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, 49 ( 11 ): 2816-2819.

[ 19 ] Shah H U, Simpson T J, Alam S, et al. Mould incidence and mycotoxin contamination in maize kernels from Swat Valley, North West Frontier Province of Pakistan [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48 ( 4 ): 1111-1116.

[ 20 ] Cotty P J, Jaime-Garcia R. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination [ J ]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 119 ( 1 ): 109-115.

[ 21 ] Iqbal S Z, Asi M R, Jinap S. Variation of aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in milk and milk products collected during winter and summer seasons [ J ]. *Food Control*, 2013, 34 ( 2 ): 714-718.

- [22] Nemati M, Mehran M A, Hamed P K, et al. A survey on the occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk samples in Ardabil, Iran[J]. Food Control, 2010, 21(7):1022-1024.
- [23] Heshmati A, Milani J M. Contamination of UHT milk by aflatoxin M<sub>1</sub> in Iran[J]. Food Control, 2010, 21(1):19-22.
- [24] Alborzi S, Rashidi M, Astaneh B. Aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in pasteurized milk in Shiraz (South of Iran) [J]. Food Control, 2006, 17(7):582-584.
- [25] Kabak B, Ozbey F. Aflatoxin M<sub>1</sub> in UHT milk consumed in Turkey and first assessment of its bioaccessibility using an in vitro digestion model[J]. Food Control, 2012, 28(2):338-344.
- [26] 黄良策, 郑楠, 王加启, 等. 西安地区羊奶的成分和霉菌毒素污染状况研究[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(5):17.
- [27] Nuryono N, Agus A, Wedhastri S, et al. A limited survey of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk from Indonesia by ELISA[J]. Food Control, 2009, 20(8):721-724.
- [28] Sugiyama K, Hiraoka H, Sugita-Konishi Y. Aflatoxin M<sub>1</sub> contamination in raw bulk milk and the presence of aflatoxin B<sub>1</sub> in corn supplied to dairy cattle in Japan [J]. Journal of the Food Hygienic Society of Japan, 2008, 49(5):352-355.
- [29] Ruangwises S, Ruangwises N. Occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in pasteurized milk of the school milk project in Thailand [J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(8):1761-1763.
- [30] Lee J E, Kwak B M, Ahn J H, et al. Occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in raw milk in South Korea using an immunoaffinity column and liquid chromatography[J]. Food Control, 2009, 20(2):136-138.
- [31] Motawee M M, Bauer J, McMahon D J. Survey of aflatoxin M<sub>1</sub> in cow, goat, buffalo and camel milks in Ismailia-Egypt [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 83(5):766-769.
- [32] Silva M V, Janeiro V, Bando E, et al. Occurrence and estimative of aflatoxin M<sub>1</sub> intake in UHT cow milk in Paraná State, Brazil [J]. Food Control, 2015, 53(1):222-225.
- [33] Meucci V, Razuoli E, Soldani G, et al. Mycotoxin detection in infant formula milks in Italy [J]. Food Additives and Contaminants, 2010, 27(1):64-71.
- [34] Woychik N A, Hinsdill R D, CHU F S. Production and characterization of monoclonal antibodies against aflatoxin M<sub>1</sub> [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984, 48(6):1096-1099.
- [35] Hansen T J. Affinity column cleanup and direct fluorescence measurement of aflatoxin M<sub>1</sub> in raw milk [J]. Journal of Food Protection, 1990, 53(1):75-77.
- [36] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.24—2010 食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 和 B<sub>1</sub> 的测定 [J]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [37] 徐燕, 王冬梅. 固相萃取-高效液相色谱法测定乳制品中的黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> [J]. 海峡预防医学杂志, 2014, 20(3):47-48.
- [38] 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黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> [J]. 食品科学, 2013, 34(10):289-293.
- [39] ZHANG K, Wong J W, Hayward D G, et al. Determination of mycotoxins in milk-based products and infant formula using stable isotope dilution assay and liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(26):6265-6273.
- [40] Busman M, Bobell J R, Maragos C M. Determination of the aflatoxin M<sub>1</sub> (AFM<sub>1</sub>) from milk by direct analysis in real time-mass spectrometry (DART-MS) [J]. Food Control, 2015, 47(8):592-598.
- [41] 王军淋, 蔡增轩, 任一平. 超高效液相色谱-大体积流通池荧光法检测奶及奶制品中的黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> [J]. 浙江大学学报, 2013, 39(2):191-196.
- [42] GUAN D, LI P, ZHANG Q, et al. An ultra-sensitive monoclonal antibody-based competitive enzyme immunoassay for aflatoxin M<sub>1</sub> in milk and infant milk products [J]. Food Chemistry, 2011, 125(4):1359-1364.
- [43] YU F Y, Cribas A V, Vdovenko M M, et al. Development of ultrasensitive direct chemiluminescent enzyme immunoassay for determination of aflatoxin B<sub>1</sub> in food products [J]. Talanta, 2013, 107(12):25-29.
- [44] 罗晓琴, 赵正苗, 吴继华, 等. 牛奶中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 胶体金试纸条的研究 [J]. 食品研究与开发, 2014, 35(1):76-79.
- [45] 刘晓, 王立平, 周蕾, 等. 基于上转发光技术的奶粉及牛奶中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 快速定量检测方法研究 [J]. 军事医学, 2014, 38(11):850-854.

欢迎投稿《中国食品卫生杂志》网址: [www.zgspws.com](http://www.zgspws.com)