

我国现行真菌毒素检测标准概述

王文珺^{1*}, 孙双艳², 叶金³, 王松雪³, 桑华春^{1*}

(1. 北京智云达科技股份有限公司, 北京 100081; 2. 国家质检总局标准与技术法规研究中心, 北京 100028; 3. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 真菌毒素污染是一个世界性的公共安全问题, 也是我国食品安全监管的重点, 近年来我国多次修订该类标准。真菌毒素检测标准数量众多, 标准的制定发展迅速。本文系统的描述了我国现行有效的各类真菌毒素检测标准: 国家标准(GB)、行业标准(LS、NY、SN)及部分地方标准, 通过对这些标准的检测方法和检出限的阐述和分析, 从应用和市场的角度提出了一些建议和看法, 以期能为质检部门监管及企业自检提供科学依据, 同时, 希望为我国标准的修订提供参考性建议。

关键词: 真菌毒素; 限量; 检测标准

Review of current Chinese of testing standard of mycotoxin

WANG Wen-Jun^{1*}, SUN Shuang-Yan², YE Jin³, WANG Song-Xue³, SANG Hua-Chun^{1*}

(1. Beijing ZYD Sci & Tech Co. Ltd., Beijing 100081, China; 2. Standards and Regulations Reach Center of AQSIQ, Beijing 100028, China; 3. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

ABSTRACT: Mycotoxin pollution is a worldwide public safety problem and also the focus of food safety supervision in China. In recent years, the relevant standards have been revised many times in China. There are numerous mycotoxin detection standards under rapid development. This paper systematically described the current effective standards for the detection of mycotoxins in China, including national standards (GB), industry standards (LS, NY and SN) and some local standards. Through the elaboration and analysis of the detection methods and limits of detection of these standards, this paper put forward some suggestions and opinions from the perspective of application and market, so as to provide scientific basis for the supervision of quality inspection departments and self-inspection of enterprises, and at the same time, in order to provide reference suggestions for the formulation of standards in China.

KEY WORDS: mycotoxin; maximum level; detection standard

1 引言

真菌毒素(mycotoxin)是产毒真菌在粮食(或果蔬)的种植、收获、运输、储存过程中侵染粮食(或果蔬), 并在适宜

的生长条件下产生的次生代谢产物^[1]。真菌毒素污染谷物、饲料、果蔬, 通过食物链危害人类健康和畜禽生产安全。因此, 世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)把真菌毒素列为食源性疾病的3大根源之首^[2,3]。我国是真菌毒

*通讯作者: 王文珺, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量安全的免疫检测技术及应用研究。E-mail: wwj107@163.com

桑华春, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全快检仪器及应用方法研究。E-mail: shc@zhiyunda.com

*Corresponding author: WANG Wen-Jun, Ph.D, Associate Professor, Beijing ZYD Sci & Tech Co. Ltd., Beijing 100081, China. E-mail: wwj107@163.com

SANG Hua-Chun, Ph.D, Senior Engineer, Beijing ZYD Sci & Tech Co. Ltd., Beijing 100081, China. E-mail: shc@zhiyunda.com

素污染最严重的国家之一^[4]。

目前,人们发现的真菌毒素有400多种。我国重点关注黄曲霉毒素(主要是 aflatoxin B₁, AFB₁ 和 aflatoxin M₁, AFM₁)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)、赭曲霉毒素(ochratoxin A, OTA)、展青毒素(patulin, PAT)、T-2毒素(T-2 toxin, T-2)和伏马毒素(fumonisin, FBs)等,这些毒素都具有强毒性和高污染频率等特点,但每种毒素的化学结构、生物毒性及适宜生长的基质不同;有些毒素会在饲用动物体内发生结构转化,以结构类似物存在动物源性食品中,危害人类健康。包括我国在内的许多国家都制定了真菌毒素的限量标准,这些限量标准是非关税壁垒的重要组成部分,也是保障我国食品安全和畜牧业健康发展的需要。

从国家“十五”到“十二五”计划期间,国家重点关注农、兽药等外源性有毒有害物质污染,对真菌毒素的重视较晚,相关检测技术的研究起步也较晚。国家标准委员会曾提出在标准制定中采用国际标准和国外先进技术、积极与国际接轨的要求,促使我国真菌毒素检测标准的制修订得到了充分的发展。一些标准制定借鉴了国外先进的检测技术,这在一定程度上为我国国有品牌树立了标杆和发展方向。

经过十几年的发展,我国制定了一系列的真菌毒素相关标准,但还需要在检测技术、作用毒理、公共危害等领域得到加强的基础上逐步改进和丰富。研究人员曾对我国真菌毒素的检测标准进行探讨^[5,6],但那些被讨论过的标准很多已被废止,侧面反映了近些年来我国真菌毒素标准制定的活跃。

真菌毒素标准包括限量标准和检测标准。按照检测方法,可分为色谱仪器方法和快速检测方法;按照适用范围,可分为食品类、原粮类和饲料类。本文对我国现行真菌毒素检测标准进行了梳理、阐述和分析,对各类标准涉及的技术进行思考和探讨,并从应用和市场角度提出了一些建议和意见,以期为我国真菌毒素标准的发展提供有益的参考。

2 我国现行的食品中真菌毒素的标准

现行的食品安全国家标准 GB 2761-2017《食品中真菌毒素限量》^[7],是国家强制执行的标准,与本标准不一致的相关规定,应该按照该标准执行。GB 2761 包括限定的毒素种类、限量、食品类型及检验方法的标准。最早的 GB 2761 是 1981 年颁布实施的,先后经过 4 次修订。1981 年版只规定了 AFB₁ 的限量和食品种类;2005 年版增加了 AFM₁、DON、PAT;2011 年版又增加了 OTA、ZEN^[8]。2017 年版没有增加毒素种类,但对食品类型的划分更加细致。该标准没有做出受饲料行业监管、污染原粮的 FBs、T-2 的限定。GB 2761 的修订,反映了国家对食品真菌毒素

污染的重视。

2.1 黄曲霉毒素(AF)

AF 是产毒真菌黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)产生的次级代谢产物,是毒性最强的化学致癌物质之一。目前分离鉴定出的 AF 包括 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂、AFM₁ 和 AFM₂ 等 18 种^[9]。1993 年国际癌症研究所将 AF 确定为一级人类致癌物^[10]。热带和亚热带地区农作物易遭受 AF 污染,居民肝癌发病率较高^[11]。

GB 2761-2017 规定了食品中 AFB₁/M₁ 的最大限量标准及其存在的食品类别:谷物及其制品、豆类及其制品、坚果及籽类、油脂及其制品、调味品、特殊膳食用食品等 6 大类 18 小类,限量范围为 0.5~20 μg/kg,其中特殊膳食用食品的限量最低。AFM₁ 限量的食品类别分为乳及乳制品、特殊膳食用食品等 2 大类 8 小类,统一限量 0.5 μg/kg。GB 2761-2017 的限量明显比 GB 13078-2017《饲料卫生标准》严格^[12],但低于欧盟食品的限量要求^[13]。

AF 的检测标准(见表 1)包括国家标准(GB)、粮油行业标准(LS)、农业行业标准(NY)、出入境检验检疫行业标准(SN)、地方标准(DB)及食药局快检标准(KJ)等,涵盖了真菌毒素检测的所有方法。涉及的检测方法有柱后光化学衍生高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、超高效液相色谱法、免疫亲和柱净化-高效液相色谱法(immunoaffinity column purification-high performance liquid chromatography, IAC-HPLC)、同位素内标-液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)、高效液相色谱-柱前衍生法等仪器分析方法和胶体金定量/定性检测技术、酶联免疫吸附筛查法(enzyme-linked immuno sorbent assay, ELISA)、时间分辨荧光定量检测技术(fluoroimmunoassay, FIA)、双流向酶联免疫法、薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)、免疫亲和层析净化荧光光度法等快检方法。

一种作物可能被多种真菌毒素污染,因此实现对多种真菌毒素同时检测的技术很有实际应用价值。刚刚实施的 LS/T 6133-2018《主要谷物中 16 种真菌毒素的测定液相色谱串联质谱法》采用稳定同位素内标液相色谱-串联质谱法,对谷物中多种毒素同时检测,该技术除了检测我国日常监管的毒素外,还可以检测其衍生物或结构类似物^[14]。

目前,我国快检方法不再仅仅是对实验室方法的有益补充,根据 2015 年颁布的《食品安全法》,国家认可的快检方法可以作为执法依据。农业部、国家粮食局和国家食药总局先后颁布了 8 个免疫检测技术的标准。粮食行业标准率先将胶体金定量检测技术纳入标准中^[15],而之前胶体金免疫层析技术只是作为一种定性筛查的手段。2017 年国家食药局颁布了 3 个真菌毒素的快检标准,其中两个是

AF 的标准^[16,17]。这些都为免疫层析技术及产品在农业、粮油、食药行业的应用提供了技术保障和标准支撑, 满足田间、仓库等现场快速筛查需要, 有效保障了对这些领域 AF 污染的监管和检测, 在检测方法上实现了欧美国家同步。唯一写入 GB 或 GB/T 的免疫方法是市场应用刷减的酶联免疫, 应用广泛的免疫层析技术只出现在行业标准中。但随着免疫层析技术的进步, 相信免疫层析检测技术会登堂入室, 写进 GB 的。

全球有 100 多个国家和地区制订了食品和饲料中 AF 限量标准。我国对食品中 AFB₁ 和 AFM₁ 的最高允许量有严格规定, 而美国、加拿大等国家主要对 AFs 总量

(B₁+B₂+G₁+G₂)做出限定。为了满足进出口的需求, SN 标准是针对黄曲霉毒素总量的检测^[18-20]。

AF 的检测标准虽然覆盖了 AF 污染的大多数食品, 但不包括中草药、蜂蜜、茶叶等的检测方法, 还需要制定相关的标准。同时, 一些推荐过时检测技术的标准依然有效: 如 NY/T 1664-2008《牛乳中黄曲霉毒素的快速检测 双向酶联免疫法》^[21], 该技术操作繁琐, 专业性要求高, 且只能定性检测, 市面上已很难买到相应的检测试剂。薄层色谱法是一种前处理复杂、当前应用很少的检测技术, 依然作为第五法写入 GB 5009.22-2016 中^[22]。建议废止不能适应市场需要的一些标准。

表 1 我国现行标准中黄曲霉毒素的检测方法
Table 1 Analysis methods of aflatoxins in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限(μg/kg)
GB 5009.24-2016	食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 M 族的测定	乳、乳制品和含乳特殊膳食用食品	第一法: 同位素稀释液相色谱-串联质谱法; 第二法: 高效液相色谱法; 第三法: 酶联免疫吸附筛查法。	第一法: 液态乳、酸奶, 取样 4 g。AFM ₁ : 0.005/0.015; AFM ₂ : 0.005/0.015。乳粉、特殊膳食用食品、奶油和奶酪, 取样 1g。AFM ₁ : 0.02/0.05; AFM ₂ : 0.02/0.05; 第二法: 液态乳、酸奶 4g, AFM ₁ : 0.005/0.015; AFM ₂ : 0.0025/0.0075。 乳粉、特殊膳食用食品、奶油和奶酪 1g, AFM ₁ : 0.02/0.05; AFM ₂ : 0.01/0.025
GB 5009.22-2016	食品安全国家标准食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定	谷物及其制品、豆类及其制品、坚果及籽类、油脂及其制品、调味品、婴幼儿配方食品和婴幼儿辅助食品	第一法: 同位素稀释液相色谱-串联质谱法; 第二法: 高效液相色谱-柱前衍生法; 第三法: 高效液相色谱-柱后衍生法; 第四法: 酶联免疫吸附筛查法; 第五法: 薄层色谱法	第一法: B ₁ : 0.03/0.1; B ₂ : 0.03/0.1; G ₁ : 0.03/0.1; G ₂ : 0.03/0.1。 第二法: B ₁ : 0.03/0.1; B ₂ : 0.03/0.1; G ₁ : 0.03/0.1; G ₂ : 0.03/0.1。 第三法: B ₁ : 0.03/0.1; B ₂ : 0.01/0.03; G ₁ : 0.03/0.1; G ₂ : 0.01/0.03。 第四法: B ₁ (谷物、坚果、油脂、调味品样品): 1/3; B ₁ (特殊膳食用食品): 0.1/0.3 第五法: B ₁ : 5
GB/T 30955-2014	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ 的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	饲料	免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	B ₁ : 0.2/1.0; B ₂ : 0.2/1.0; G ₁ : 0.3/1.0; G ₂ : 0.3/1.0。
GB/T 17480-2008	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的测定 酶联免疫吸附法	饲料原料、配合饲料及浓缩饲料	酶联免疫	0.1
LS/T 6111-2015	粮食中黄曲霉毒素 B ₁ 胶体金快速定量法	小麦、玉米、大米等	胶体金定量检测	2
LS/T 6108-2014	谷物中黄曲霉毒素 B ₁ 的快速测定免疫层析法	大米、糙米、玉米等	胶体金免疫层析(定性)	4~20
LS/T 6122-2017	粮油及其制品中黄曲霉毒素含量测定 柱后光化学衍生高效液相色谱法	粮油及其制品	柱后光化学衍生高效液相色谱法	B ₁ : 0.5; B ₂ : 0.25; G ₁ : 1.0; G ₂ : 0.5

续表 1

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
LS/T 6128-2017	粮食中黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ 的测定 超高效液相色谱法	粮食及其制品	超高效液相色谱法	B ₁ : 0.2/0.4; B ₂ : 0.1/0.3; G ₁ :0.5/1.5; G ₂ : 0.1/0.3
LS/T 6133-2018	主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ : 0.3/1.0
NY/T 2547-2014	生鲜乳中黄曲霉毒素 M ₁ 筛查技术规程	生鲜乳	时间分辨荧光免疫层析法	0.45
NY/T 2548-2014	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的测定 时间分辨荧光免疫层析法	饲料及饲料原料	时间分辨荧光免疫层析法	0.3
NY/T 2071-2011	饲料中黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮和 T2 毒素的测定 液相色谱-串联质谱法	单一饲料、配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混合饲料	液相色谱-串联质谱法	1.0/2.0
NY/T 2549-2014	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的测定 免疫亲和荧光光度法	饲料及饲料原料	免疫亲和荧光光度法	0.3
NY/T 2550-2014	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的测定 胶体金法	饲料及饲料原料	胶体金法	1
NY/T1664-20 08	牛乳中黄曲霉毒素的快速检测 双流向酶联免疫法	生牛乳、巴氏杀菌乳、UHT 灭菌乳、乳粉	双流向酶联免疫法	0.5
DB 813-2008	饲料中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析净化荧光光度法	配合、浓缩饲料和单一饲料	免疫亲和层析净化荧光光度法	B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂ 总量: 1
DB37/T 2617-2014	饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的测定 高效液相色谱法	饲料	高效液相色谱法	5
SN/T 3136-2012	出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B ₁ 、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定	花生、谷类及其制品	液相色谱-质谱/质谱检测方法	AFB ₁ :0.5; AFB ₂ 、AFG ₁ 、AFG ₂ :1
SN/T 3263-2012	出口食品中黄曲霉毒素残留的测定	玉米、茶叶、花生果、苦杏仁、花生米	方法一: 高效液相色谱法; 方法二: 荧光光度法	方法一: B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ : 0.5。 方法二: 黄曲霉毒素总量: 1.0
SN/T 3868-2014	出口植物油中黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ 的检测 免疫亲和柱净化高效液相色谱法	花生油、芝麻油、橄榄油	免疫亲和柱净化高效液相色谱法	B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ : 1.0
KJ201708	食用油中黄曲霉毒素 B ₁ 的快速检测 胶体金免疫层析法	花生油、玉米油、大豆油及其他植物油等食用油	胶体金免疫层析法	B ₁ 玉米油、花生油: 20; 其他植物油脂: 10
KJ201709	液体乳中黄曲霉毒素 M ₁ 的快速检测 胶体金免疫层析法	生鲜乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳	胶体金免疫层析法	0.5

2.2 脱氧雪腐镰刀菌烯醇

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)又称为呕吐毒素, 广泛存在玉米、小麦、大麦等谷物中, 是污染食物的主要真菌毒素。DON 破坏人和动物免疫系统, 具有一定的胚胎毒性和致畸性^[23]。世界各国都对食品中 DON 做出了限量要求^[24-27]。GB 2761-2017 规定谷物及其制品中 DON 的限量是 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 与美国对小麦的限量标准一致^[26]。而欧盟标准规定的非常细致: 未加工的硬质小麦、谷物和玉米中 DON 的限量为 1750 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 未加工的谷物(除前述之外的谷物)的 DON 限量是 1250 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 终端销售的谷物面粉、麸皮和胚芽的 DON 限量为 750 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 谷物为原料的婴儿食品中 DON 限量不得超过 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[24]; 日本规定小麦和小麦制品的 DON 限量为 1100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[25]。

DON 的检测标准有 9 个(见表 2), 包括 4 个 LS, 1 个 KJ, 3 个 GB 和 1 个 SN, 其中 GB 5009.111-2016《食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定》^[28]是 GB 2761-2017 指定的检验方法, 可以检测谷物及其制品、酒类、酱油、醋中的 DON 及其乙酰化衍生物。与 AF 相比, DON 检测标准的数量和方法明显减少, 但作为粮食行业重点关注的毒素, LS 占比非常大。DON 的结构类似物雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol, NIV)的毒性很强, 甚至被认为比 DON 对人类的危害更大, 欧洲食品安全局连续几年对食品和饲料中的 NIV 进行了风险评估^[29]。NIV 对我国中东部作物的污染较常见, 但目前只有 DB 32/T 3205-2017《饲料中雪腐镰刀菌烯醇(NIV)的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法》提出了它的检测方法^[30]。希望相关部门加强对 NIV 的监管和标准制定, 以保障我国食品质量安全。

表 2 我国现行标准中呕吐毒素检测方法
Table 2 Analysis methods of deoxynivalenol in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB 5009.111-2016	食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定	食品	第一法: 同位素稀释液相色谱-串联质谱法; 第二法: 免疫亲和层析净化高效液相色谱法 第三法: 薄层色谱测定法	第一法: 谷物及其制品、酒类、酱油、醋、酱及酱制品取样 2 g, DON、3-AC-DON、15-AC-DON: 10/20。 酒类取样 5 g, DON、3-AC-DON、15-AC-DON 5/10; 第二法: 谷物及其制品、酱油、醋、酱及酱制品取样 25 g, DON: 100/200; 酒类取样 20 g, DON: 50/100; 第三法: DON:300
GB/T 8381.6-2005	配合饲料中脱氧雪腐镰刀菌烯醇薄层色谱法	饲料	薄层色谱法	1000
GB/T 30956-2014	饲料中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的测定免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	饲料原料、配合饲料、浓缩饲料、精料补充料	免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	100
LS/T 6110-2014	谷物中脱氧雪腐镰刀菌烯醇测定胶体金快速测试卡法	小麦、玉米等谷物	胶体金快速测试卡法	1000
LS/T 6113-2015	粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇测定胶体金快速定量法	小麦、玉米等及其粮食制品	胶体金快速定量法	120
LS/T 6127-2017	粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的测定超高效液相色谱法	粮食及其制品	超高效液相色谱法	50/150
LS/T 6133-2018	主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	DON: 45/150 DON-3G: 7.5/25 3-AcDON: 12/40 15-AcDON: 6.0/20
SN/T 3136-2012	出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B1、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定	花生、谷类及其制品	液相色谱-质谱/质谱检测方法	50
KJ201702	食品中呕吐毒素的快速检测胶体金免疫层析法	谷物加工品及谷物碾磨加工品	胶体金免疫层析法	1000

2.3 玉米赤霉烯酮

玉米赤霉烯酮主要污染玉米、小麦及其制品。动物食用被ZEN污染的饲料会引起中枢神经中毒,妊娠期的动物则可能流产、死胎、畸胎^[31]。GB 2761-2017规定小麦(粉)、玉米(粉)中ZEN的限量为60 μg/kg,未规定以小麦、玉米为原料的玉米油、调味品等的ZEN限量。

ZEN现行的检测标准有8个(表3),包括4个LS,3个GB,1个NY,基本覆盖了市场上ZEN的检测技术。GB 2761-2017指定的ZEN的检验方法GB 5009.209-2016《食品中玉米赤霉烯酮的测定》中规定的方法,适用很多检测样本:粮食和粮食制品、酒类、酱油、醋、酱及酱制品、玉米油、大豆、牛肉、猪肉、牛肝、牛奶、鸡蛋^[32]。ZEN在动物源性食品中常以代谢物玉米赤霉烯醇的形式存在,玉米赤霉烯醇对动物具有类似ZEN生物效应^[33],但目前关于玉米赤霉烯醇的检测标准非常不完善^[34,35]。LS/T 6112-2015的检出限是5 μg/kg^[36],远小于GB 2761确定的限量值,应用上没太大实际意义,但对推动检测技术和国

家限量标准的改进具有积极的作用,建议放宽此类标准的检出限,给国内产品更多的市场机会。

2.4 伏马毒素

伏马毒素是串珠镰刀菌(*Fusarium moniliforme* Sheld)产生的毒素,包括FB₁、FB₂和FB₃。我国主要检测FB₁和FB₂总量,但目前尚无食品中的FB限量标准。GB 13078-2017规定了不同饲料及原料中FB的限量,范围是5~60 mg/kg。随着检测技术的改进和国家对检测标准统一的要求,近年来FB标准废止力度较大。

我国现行的伏马毒素的检测标准(表4)有6个,包括1个GB和5个行业标准,适用样本包括粮食及其制品、玉米及其制品、花生、谷物、饲料(配合饲料、浓缩饲料、精料补充料)等。今年刚颁布实施的DB 36/T 1023-2018规定了饲料及其原料中FB的胶体金快速定量法^[37],是FB唯一的现行有效的快检标准。GB(GB/T)或行标缺乏FB的快检方法,限制了FB快检技术及产品在相关行业领域的应用。

表3 我国现行标准中玉米赤霉烯酮检测方法
Table 3 Analysis methods of zearalenone in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/(μg/kg)
GB/T 5009.209-2016	食品中玉米赤霉烯酮的测定	第一法: 粮食和粮食制品、酒类、酱油、醋、酱及酱制品、大豆、油菜籽、食用植物油; 第二法: 大豆、油菜籽、食用植物油; 第三法: 牛肉、猪肉、牛肝、牛奶、鸡蛋	第一法 液相色谱法; 第二法: 荧光光度法; 第三法: 液相色谱-质谱法	第一法: 粮食和粮食制品: 5/17; 酒类: 20/66; 酱油、醋、酱及酱制品: 50/165; 大豆、油菜籽、食用植物油: 10/33。 第二法: 10/33。 第三法: 1/4。
GB/T 28716-2012	饲料中玉米赤霉烯酮的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	饲料	免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	2/10
GB/T 19540-2004	饲料中玉米赤霉烯酮的测定	于配合饲料和饲用谷物原料	第一法: 薄层色谱法 第二法: 酶联免疫吸附测定法	第一法: 500 第二法: 500
LS/T 6112-2015	粮食中玉米赤霉烯酮胶体金快速定量法	小麦、玉米、大米	胶体金快速定量法	5
LS/T 6109-2014	谷物中玉米赤霉烯酮测定的胶体金快速测试卡法	小麦、玉米	胶体金快速测试卡法	60
LS/T 6129-2017	粮食中玉米赤霉烯酮超高效液相色谱法	粮食及其制品	超高效液相色谱	5/10
LS/T 6133-2018	主要谷物中16种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	ZEN: 6/20
NY/T 2071-2011	饲料中黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮和T2毒素的测定 液相色谱-串联质谱法	单一饲料、配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混合饲料	液相色谱-串联质谱法	5/10

表4 我国现行标准中伏马毒素检测方法
Table 4 Analysis methods of fumonisin in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB 5009.240-2016	食品中伏马毒素的测定	玉米及其制品	第一法: 免疫亲和柱净化-柱后衍生高效液相色谱法; 第二法: 高效液相色谱-串联质谱联用法; 第三法: 免疫亲和层析净化-柱前衍生高效液相色谱法	第一法: FB_1 、 FB_2 、 FB_3 : 17/50、8/25、8/25; 第二法: FB_1 、 FB_2 、 FB_3 : 7/20、8/25、8/25; 第三法: FB_1 、 FB_2 、 FB_3 : 17/50、8/25、8/25;
LS/T 6130-2017	粮食中伏马毒素 B_1 、 B_2 的超高效液相色谱法	粮食及其制品	超高效液相色谱法	50/250
LS/T 6133-2018	主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	FB_1 : 6/20 FB_2 : 3/10
NY/T 1970-2010	饲料中伏马毒素的测定	植物源性饲料原料、精料补充料、配合饲料、浓缩饲料	第一法: 液相色谱串联质谱法; 第二法: 液相色谱法	第一法: 10/50; 第二法: 10/50
SN/T 3136-2012	出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B_1 、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定	花生、谷类及其制品	液相色谱-质谱/质谱检测方法	50
DB 36/T 1023-2018	饲料中伏马毒素的快速筛查 胶体金快速定量法	饲料及饲料原料	胶体金快速定量法	100

2.5 赭曲霉毒素

赭曲霉毒素是由赭曲霉(*Aspergillus ochraceus*)等真菌产生的有毒代谢物,分为 OTA、OTB 和 OTC 等。其中毒性最大、污染最严重、分布最广的是 OTA。GB 2761-2017 中详细的规定了谷物及其制品、豆类及其制品、葡萄酒等共 5 大类 7 小类食品中 OTA 的限量标准,限量范围为 2~10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

我国现行的 OTA 检测标准中共有 7 个(表 5),包括 3 个 GB 和 5 个行业标准,适用样本包括玉米、小麦、大麦、大米、大豆及其制品、稻谷、油菜籽、油料、葡萄酒、咖啡、酱油、葡萄干、胡椒粉等。GB 2761 制定的检验方法 GB 5009.96-2016《食品安全国家标准食品中赭曲霉毒素 A 的测定》,包括免疫亲和净化-仪器分析、酶联免疫和薄层色谱等五种检测方法^[38]。这些检测标准基本涵盖了国内 OTA 的检测技术。

2.6 T-2 毒素

T-2 是由拟枝孢镰孢(*F.tritinctum*)等真菌产生的有毒代谢产物。在寒冷潮湿的环境下,粮食受 T-2 毒素污染的程度会增加。

我国颁布了一系列 T-2 毒素的检测标准,但尚无食品

中 T-2 的限量标准。由表 6 可知, T-2 共有 3 个 GB 和 3 个行业标准,包括强制性标准 GB 5009.118-2016《食品中 T-2 毒素的测定》^[39]。GB 13078-2017 规定了饲料中 T-2 的限量是 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。显然, GB/T 8381.4-2005《配合饲料中 T-2 毒素的测定 薄层色谱法》的检出限高于国家限量,已无法满足检测要求,建议相关部门改进或废止该检测标准。

2.7 展青霉素

展青霉素是由展青霉(*P.patulin*, pat)、扩展青霉(*Penicillium expansum* Link)、棒曲霉(*Aspergillus clavatus* Desm)等多种真菌产生的有毒代谢产物,主要污染果蔬类,是 GB 2761-2017 标准中唯一不污染谷物的真菌毒素。在果蔬贮藏和运输的过程中,真菌通过寄主表面的伤口或自然孔口侵入并感染宿主^[40]。展青霉素可以诱发一系列急性、慢性疾病及细胞水平的病变^[41,42]。依据 GB 2761-2017,以苹果、山楂为原料的水果制品、果蔬汁及饮料和酒类中,展青霉素不得超过 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$,与欧盟限量一致。

我国针对 Pat 的检测标准只有 2 个(表 7),包括 GB 2761 指定的检测方法 GB 5009.185-2016《食品中展青霉素的测定》^[43]。近年来废止力度较大,是国家监管的真菌毒素现行检测标准最少的,目前只有仪器检测方法。

表 5 我国现行标准中赭曲霉毒素检测方法
Table 5 Analysis methods of ochratoxins in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB 5009.96-2016	食品安全国家标准食品中赭曲霉毒素 A 的测定	第一法: 谷物、油料及其制品、酒类、酱油、醋、酱及酱制品、葡萄干、胡椒粒/粉; 第二法: 玉米、稻谷(糙米)、小麦、小麦粉、大豆、咖啡、葡萄酒; 第三法: 玉米、小麦等粮食产品、辣椒及其制品等、啤酒等酒类、酱油等产品、生咖啡、熟咖啡; 第四法: 玉米、小麦、大麦、大米、大豆及其制品; 第五法: 小麦、玉米、大豆。	第一法: 免疫亲和层析净化液相色谱法 第二法: 离子交换固相萃取柱净化高效液相色谱法 第三法: 免疫亲和层析净化液相色谱-串联质谱法 第四法: 酶联免疫吸附法 第五法: 薄层色谱法	第一法: 粮食和粮食制品、食用植物油、大豆、油菜籽、葡萄干、胡椒粒/粉: 0.3/1; 酒类: 0.1/0.3; 酱油、醋、酱及酱制品: 0.5/1.5; 第二法: 葡萄酒: 0.1/0.33; 其他样品: 1.0/3.3; 第三法: 玉米、小麦等粮食产品、辣椒及其制品: 1.0/3.0; 啤酒等: 1.0/3.0; 熟咖啡、酱油等: 0.5/1.5; 第四法: 玉米、小麦、大麦、大米、大豆及其制品: 1/2; 第五法: 未列出
GB/T 19539-2004	饲料中赭曲霉毒素 A 的测定	配合饲料、饲用谷物原料	第一法: 薄层色谱法; 第二法: 酶联免疫吸附测定法	薄层色谱: 2; 酶联免疫吸附测定方法: 0.05
GB/T 30957-2014	饲料中赭曲霉毒素 A 的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	饲料原料、配合饲料、浓缩饲料、精料补充料	免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	定量限: 5.0
LS/T 6114-2015	粮食中赭曲霉毒素 A 测定的胶体金快速定量法	小麦、玉米、燕麦等粮食及其制品	胶体金定量检测	3
LS/T 6126-2017	食品中赭曲霉毒素 A 的测定 超高效液相色谱法	粮食及其制品	超高效液相色谱法	0.5/1
LS/T 6133-2018	主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	0.6/2
SN/T 3136-2012	出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B ₁ 、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定	花生、谷物及其制品	液相色谱-质谱/质谱检测方法	2
SN/T 4675.10-2016	进口葡萄酒中赭曲霉毒素 A 的测定 液相色谱-质谱/质谱法	葡萄酒	液相色谱-质谱/质谱法	0.2

表 6 我国现行标准中 T-2 检测方法
Table 6 Analysis methods of T-2 in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB 5009.118-2016	食品安全国家标准食品中 T-2 毒素的测定	第一法: 粮食及粮食制品、酒类、酱油、醋、酱及酱制品; 第二法、第三法: 粮食及粮食制品	第一法: 免疫亲和层析净化液相色谱法; 第二法: 间接 ELISA 法; 第三法: 直接 ELISA 法	第一法: 粮食及粮食制品: 10/33; 酒类、酱油、醋、酱及酱制品: 5/17 第二法: 粮食及粮食制品: 1/3; 第三法: 粮食及粮食制品。直接 ELISA 法一: 1/3; 直接 ELISA 法二: 3.5/11。

续表 6

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB/T 8381.4-2005	配合饲料中 T-2 毒素的测定 薄层色谱法	配合饲料	薄层色谱法	1000
GB/T 28718-2012	饲料中 T-2 毒素的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	饲料原料、配合饲料、浓缩饲料	免疫亲和柱净化-高效液相色谱法	10/30
LS/T 6133-2018	主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法	小麦、玉米、稻谷	液相色谱串联质谱法	T-2: 0.6/2 HT-2: 3/10
SN/T 3136-2012	出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B ₁ 、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定	花生、谷物及其制品	液相色谱-质谱/质谱检测方法	10
NY/T 2071-2011	饲料中黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮和 T2 毒素的测定 液相色谱-串联质谱法	单一饲料、配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混合饲料	液相色谱-串联质谱法	1.0/2.0
SN/T 5026-2017	饲料中 T-2 毒素的测定 酶联免疫吸附法	/*	酶联免疫吸附法	/

注: *无法获得更详细的信息。

表 7 我国现行标准中展青霉素检测方法

Table 7 Analysis methods of patulin in foods and feeds set by Chinese regulations

标准号	标准名称	适用样本	检测方法	检出限/定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
GB 5009.185-2016	食品安全国家标准 食品中展青霉素的测定	第一法: 苹果和山楂及其制品、果蔬汁类和酒类; 第二法: 苹果为原料的果蔬汁类和酒类	第一法: 同位素稀释-液相色谱-串联质谱法; 第二法: 高效液相色谱法	第一法: 净化方式: 1、混合型阴离子交换柱: 澄清果汁: 1.5/5; 苹果酒: 1.5/5; 固体、半流体: 3/10; 2、净化柱法: 澄清果汁: 3/10; 苹果酒: 3/10; 固体、半流体: 6/20; 第二法: 液体试样: 6/20; 固体、半流体试样: 12/40;
DBS 53/016-2013	食品中展青霉素的测定 液相色谱-串联质谱法	果汁饮料、果酒、果酱、果干及薯类制品等	液相色谱-串联质谱法	5

3 结 论

我国真菌毒素的检测标准还不完善, 检测标准中还包括一些比较落后或者不常用的检测技术, 在经济贸易全球化的今天, 建立完善的检测标准, 是解决贸易壁垒的最好办法之一。近年来, 随着国家对食品中真菌毒素污染的重视, 真菌毒素检测技术发展迅速, 致使我国真菌毒素的检测标准新旧更替频繁。虽然真菌毒素的检测标准废止很多, 但还拥有较其他化学污染物更多的检测标准。一些市场上应用剧减的技术, 如薄层色谱等, 虽然不再是 GB 的唯一方法, 但依然作为方法之一, 可以预测, 这类检测方

法会逐步删除的。免疫层析技术在欧美国家应用非常普遍, 但在我国, 一些真菌毒素如 FB、PAT 和 T-2 毒素等尚没该技术的检测标准, 未来的发展趋势, 免疫层析技术会越来越的进入我国的检测标准。

如何使真菌毒素检测标准体系科学、统一、权威, 这是一个与技术相关但不限于技术的问题。目前我国现行的检测标准, 检出限普遍远小于或等于国家限量。太低的检出限市场应用意义并不大, 但会推动我国真菌毒素检测技术的进步和国家限量标准的改进。方法检出限等于国家限量也是不科学的, 因为每种检测方法都存在一个不确定区间。正常的情况应该选择检出限略低于国家限

量的检测方法。尤其对于免疫分析方法来说,受抗原-抗体的来源影响非常大,检出限过低,特别容易形成技术瓶颈和市场垄断。

参考文献

- [1] Stoev SD. Foodborne mycotoxicoses, risk assessment and underestimated hazard of masked mycotoxins and joint mycotoxin effects or interaction [J]. *Environ Toxicol Pharm*, 2015, 39(2): 794–809.
- [2] WHO. WHO Global Strategy for Food Safety: safer food for better health. Food Safety Programme 2002. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO), 2002 [Z].
- [3] FAO. Worldwide regulation for mycotoxins in food and feed. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004 [Z].
- [4] 杜政, 唐瑞明. 粮食中真菌毒素标准法规与检验[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2013.
Du Z, Tang RM. Standard regulations and inspection of mycotoxins in grain [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Publishing House, 2013.
- [5] 刘莹, 王珮玥, 刘雪平, 等. 我国现行食品与饲料中真菌毒素限量及检测标准概述[J]. *中国酿造*, 2014, 33(7): 10–19.
Liu Y, Wang PY, Liu XP, *et al*. Review of current Chinese regulations of maximum residue levels and testing standard of mycotoxin in foods and feeds [J]. *Chin Brew*, 2014, 33(7): 10–19.
- [6] 苏福荣, 王松雪, 孙辉, 等. 国内外粮食中真菌毒素限量标准制定的现状与分析[J]. *粮油食品科技*, 2007, 15(6): 57–59.
Su FR, Wang SX, Sun H, *et al*. The state of mycotoxin maximum limit of grain [J]. *Sci Technol Cereal Oil Food*, 2007, 15(6): 57–59.
- [7] GB 2761-2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2761-2017 National food safety standard-Limit of mycotoxins in food [S].
- [8] GB 2761-2011 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2761-2011 National food safety standard-Limit of mycotoxins in food [S].
- [9] 曾昆, 杜道林, 薛永来. 基于特异性生物识别分子的黄曲霉毒素快速分析方法研究进展[J]. *生物技术通报*, 2016, 32(8): 47–55.
Zeng K, Du DL, Xue YL. Research advances on rapid detection methods for aflatoxin based on biological binders [J]. *Biotech Bull*, 2016, 32(8): 47–55.
- [10] IARC monographs oil the evaluation of carcinogenic risks to humans [M]. Lyon: IARC, 1993.
- [11] 张牧臣, 郑楠, 王加启. 食品中黄曲霉毒素污染研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(7): 312–320.
Zhang MC, Zheng N, Wang JQ. Aflatoxin B₁ contamination in foods: A review [J]. *Food Sci*, 2018, 39(7): 312–320.
- [12] GB 13078-2017 饲料卫生标准[S].
GB 13078-2017 Hygienic standard for feeds [S].
- [13] Cordeiro F, Baer I, Roubouch P, *et al*. Setting maximum limits for trace elements in baby food in European legislation [J]. *Food Addit Contam*, 2013, 30(4): 678–686.
- [14] LS/T 6133-2018 粮油检验 主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱串联质谱法[S].
LS/T 6133-2018 Inspection of grain and oils-Determination of 16 mycotoxin in creals-HPLC-MS/MS method [S].
- [15] LS/T 6111-2015 粮油检验 粮食中黄曲霉毒素 B₁ 测定胶体金快速定量法[S].
LS/T 6111-2015 Detection of aflatoxinB₁ in grain-Rapid quantitative method of colloidal gold technique [S].
- [16] KJ 201708 食用油中黄曲霉毒素 B₁ 的快速检测胶体金免疫层析法[S].
KJ 201708 Rapid determination of aflatoxin B₁ in edible oil by colloidal gold immunochromatography [S].
- [17] KJ 201709 液体乳中黄曲霉毒素 M₁ 的快速检测胶体金免疫层析法[S].
KJ 201709 Rapid determination of aflatoxin M₁ in liquid milk by colloidal gold immunochromatography [S].
- [18] SN/T 3263-2012 出口食品中黄曲霉毒素残留量的测定[S].
SN/T 3263-2012 Determination of aflatoxins residues in foods for export [S].
- [19] SN/T 3136-2012 出口花生、谷类及其制品中黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素 B₁、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素、HT-2 毒素的测定[S].
SN/T 3136-2012 Determination of aflatoxins, ochratoxin, fumonisin B₁, deoxynivalenol, T-2 and HT-2 toxins in peanut, grain and their products for export [S].
- [20] SN/T 3868-2014 出口植物油中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 的检测 免疫亲和柱净化高效液相色谱法[S].
SN/T 3868-2014 Determination of aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂ in edible oil for export-Immunoaffinity column clean-up and HPLC with fluorescence detection [S].
- [21] NY/T 1664-2008 牛乳中黄曲霉毒素的快速检测 双流向酶联免疫法[S].
NY/T 1664-2008 Rapid determination for aflatoxin M₁ in milk-double flow enzyme-link immunosorbent assay [S].
- [22] GB 5009.22-2016 食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定[S].
GB 5009.22-2016 National food safety standard-Determination of aflatoxin group B and G in food [S].
- [23] Pestka JJ, Zhou HR, Moon Y, *et al*. Cellular and molecular mechanisms for immune modulation by deoxynivalenol and other trichothecenes: Unraveling a paradox [J]. *Toxicol Lett*, 2004, 153(1): 61–73.
- [24] No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs [S].
- [25] Anukul N, Vangnai K, Mahakarnchanakul K. Significance of regulation limits in mycotoxin contamination in Asia and risk management programs at the national level [J]. *J Food Drug Anal*, 2013, 21(3): 227–241.
- [26] Toxin derid from fusarium graminearum, F. Culmorum and F. Crookwellense: zearalenone, deoxynivalenol, nivalenol and fusarenone X [EB/OL]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol56/mono56-15>.
- [27] FDA regulatory guidance for mycotoxins: A guide for grain elevators, feed manufacturers, grain processors and exporters [EB/OL]. <https://www.ngfa.org/wp-content/uploads/NGFAcomplianceguide-fda-regulatory-guidance-for-mycotoxins-8-2011>.
- [28] GB 5009.111-2016 食品安全国家标准 食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定[S].
GB 5009.111-2016 National food safety standard-Determination of deoxynivalenol and its acetylated derivatives in food [S].
- [29] 白艺珍, 李培武, 丁晓霞, 等. 我国粮油作物产品真菌毒素风险评估现状及对策探讨[J]. *农产品质量与安全*, 2015, (5): 54–58.
Bai YZ, Li PW, Ding XX, *et al*. Present situation and countermeasures of

- mycotoxin risk assessme of grain and oil crops in China [J]. Qual Saf Agro-prod, 2015, (5): 54-58.
- [30] DB32/T 3205-2017 饲料中雪腐镰刀菌烯醇(NIV)的测定 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法[S].
DB32/T 3205-2017 Determination of nivalenol in feed-Immunoaffinity column purification-high performance liquid chromatography [S].
- [31] Mao XY, Cheng X, Wang X, *et al.* Free-radical-scavenging and anti-inflammatory effect of yak milk casein before and after enzymatic hydrolysis [J]. Food Chem, 2011, 126(2): 484-490.
- [32] GB 5009.209-2016 食品安全国家标准 食品中玉米赤霉烯酮的测定[S].
GB 5009.209-2016 National food safety standard-Determination of zearalenone in food [S].
- [33] Jiang HY, Wang WJ, Zhu JH, *et al.* Determination of zearanol and its metabolites in bovine muscle and liver by a chemiluminescence enzyme immunoassay: Compared to an ultraperformance liquid chromatography tandem mass spectroscopy method [J]. Luminescence, 2014, 29: 393-400.
- [34] GB/T 21982-2008 动物源性食品中玉米赤霉醇、 β -玉米赤霉醇、 α -玉米赤霉烯醇、 β -玉米赤霉烯醇、玉米赤霉酮和玉米赤霉烯酮残留量检测方法 液相色谱-质谱/质谱法[S].
GB/T 21982-2008 Determination of residues of zearalanol, β -zearalanol, α -zearalenol, β -zearalenol, zearalanone and zearalenone in foodstuffs of animal origin-LC-MS/MS method [S].
- [35] DBS 22/013-2013 植物源性食品中 α -玉米赤霉烯醇和赤霉烯酮的测定 液相色谱-质谱/质谱法[S].
DBS 22/013-2013 Determination of α -zearalenol and zearalenone in foodstuffs of plant origin-LC-MS/MS method [S].
- [36] LS/T 6112-2015 粮油检验 粮食中玉米赤霉烯酮测定 胶体金快速定量法[S].
LS/T 6112-2015 Inspection of grain and oils-Detection of zearalenone in grain-Rapid quantitative method of colloidal gold technique [S].
- [37] DB 36/T 1023-2018 饲料中伏马毒素的快速筛查胶体金快速定量法[S].
DB 36/T 1023-2018 Rapid screening of fumaroxin in feed by colloidal gold rapid quantitative method [S].
- [38] GB 5009.96-2016 食品安全国家标准 食品中赭曲霉毒素 A 的测定[S].
GB 5009.96-2016 National food safety standard-Determination of ochratoxin A in food safety standard [S].
- [39] GB 5009.118-2016 食品安全国家标准 食品中 T-2 毒素的测定[S].
GB 5009.118-2016 National food safety standard-Determination of T-2 in food safety standard [S].
- [40] 姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 等. 果蔬中真菌毒素污染及臭氧防治研究进展 [J]. 食品质量安全检测学报, 2016, 7(11): 4415-4420.
Jiang N, Wang M, Wei DZ, *et al.* Progress on mycotoxins contamination and ozone degradation in fruits and vegetables [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(11): 4415-4420.
- [41] 李志霞, 聂继云, 闫震, 等. 果品主要真菌毒素污染检测、风险评估与控制研究进展[J]. 中国农业科学, 2016, 50(2): 332-347.
Li ZX, Nie JY, Yan Z, *et al.* Progress in research of detection, risk assessment and control of the mycotoxins in fruits and fruit products [J]. Sci Agric Sin, 2016, 50(2): 332-347.
- [42] Speijers GJ, Franken MA, Van FX. Subacute toxicity study of patulin in the rat: Effects on the kidney and the gastro-intestinal tract [J]. Food Chem Toxicol, 1988, 26(1): 23-30.
- [43] GB 5009.185-2016 食品安全国家标准食品中展青霉素的测定[S].
GB 5009.185-2016 National food safety standard-Determination of patulin in food [S].

(责任编辑: 武英华)

作者简介



王文珺, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量安全的免疫检测技术及应用研究。

E-mail: wwj107@163.com



桑春华, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全快检仪器及应用方法研究。

E-mail: shc@zhiyunda.com