

国内外水果真菌毒素的限量及检测方法标准分析

王蒙, 姜楠, 戴莹, 冯晓元*

(北京农业质量标准与检测技术研究中心, 农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京), 北京 100097)

摘要: 水果在采收、运输和贮藏过程中易受到病原微生物污染, 产生并积累各种真菌毒素。由于不适宜的加工工艺, 这些真菌毒素会迁移至水果加工制品中, 进而引起潜在风险。鉴于此, 世界各国都积极制定各种标准、法规来控制真菌毒素在水果及其制品中的污染水平。本文综述了近年来我国水果中真菌毒素的现行限量标准及检测方法标准的制修订状况, 并与国外相应的标准进行了对比和探讨, 分析了在我国建立水果中真菌毒素限量及检测方法标准的紧迫性和重要性, 以为相关检测人员进行水果中真菌毒素检测时选择方法提供依据, 同时也为政府部门制定国家标准提供参考。

关键词: 水果; 真菌毒素; 标准; 限量; 检测方法

Maximum residue levels and testing standards of mycotoxins in fruits in China and abroad

WANG Meng, JIANG Nan, DAI Ying, FENG Xiao-Yuan*

(Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Risk Assessment Laboratory for Agro-products of the Ministry of Agriculture (Beijing), Beijing 100097, China)

ABSTRACT: Fruits are especially susceptible to be infested by fungi during harvest, transport and storage, and in consequence, several classes of mycotoxins can simultaneously contaminate fruits. Mycotoxins contamination of fruit products is linked to the use of improper technological processing steps. Therefore, many countries have established regulations on maximum residue levels for mycotoxins in fruits and fruit products. This review summarized standards of the maximum residue levels and determination methods for fruit mycotoxins, compared and discussed the existing main mycotoxin standards in commodities, and analyzed the importance and urgency of establishing the maximum residue levels and determination methods for fruit mycotoxins in China. It will provide useful references for analysts, and also for government to establish national standards.

KEY WORDS: fruits; mycotoxins; standards; maximum residue levels; detection method

1 引言

水果在生长、采收、贮藏、运输、销售等过程中, 易受到病原微生物污染, 特别是在贮藏期间, 由病原菌侵染

引起的水果采后腐烂较重, 产生并积累各种真菌毒素。其中, 污染水果最主要的真菌毒素包括链格孢霉毒素 (*Alternaria* toxin), 展青霉素 (patulin, PAT), 赭曲霉毒素 (ochratoxin, OT) 及黄曲霉毒素 (aflatoxin, AFT)^[1,2]。它们都

基金项目: 北京市自然科学基金项目(6154023)、北京市农林科学院青年基金项目(QNJJ201518)

Fund: Supported by the Beijing Natural Science Foundation (6154023) and Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences Youth Fund (QNJJ201518)

*通讯作者: 冯晓元, 研究员, 博士, 主要研究方向为果品质量与安全。E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

*Corresponding author: FENG Xiao-Yuan, Professor, Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Room 703, Block A, Beijing Agricultural Building, No.11 Middle Road of Shuguang Garden, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

具有致癌、致畸和致突变的作用^[3-6], 给人和动物的健康造成了极大的危害。长期以来, 由于鲜食的水果在食用过程中会去除腐烂部位, 水果中的真菌毒素污染未引起足够的重视。但已有研究表明, 腐烂部位周围的健康组织也会有不同程度的真菌毒素检出^[7]。此外, 在果汁、果酱、果酒等工业生产过程中, 主要是通过剔除腐烂部分降低毒素及病菌污染的风险, 但是这并不能完全消除水果制品的潜在风险。特别是有的病原菌, 如链格孢菌属(*Alternaria* spp.)可使果实内部腐烂而表皮无明显变化, 不能通过冲洗、分拣操作去除毒素, 进而增加了果汁类产品的安全隐患。鉴于此, 世界各国都积极制定各种标准、法规来控制真菌毒素在农产品及其制品中的污染水平。我国于 2011 年 4 月 20 日颁布了新修订的真菌毒素限量标准, 即 GB 2761-2011《食品安全国家标准食品中真菌毒素限量》^[8], 新增了黄曲霉毒素和展青霉素在果品及其制品的限量指标, 涵盖的范围更广, 目前已成为各级政府、质检机构监管食品中真菌毒素污染的标准依据。

在世界范围内, 国际标准化组织(ISO)、美国分析化学家协会(AOAC)、欧洲标准化委员会(CEN)和我国国家标准(GB)都在制定真菌毒素检测方法标准方面做了大量的工作, 其中 ISO 较权威但其颁布的标准涉及毒素种类有限^[9]; AOAC 作为国际上普遍认可的分析检测者和颁布者建立的检测方法, 相对比较完善, 检测对象、种类方面覆盖面广^[10]; CEN 大多采用免疫亲和层析净化-高效液相色谱法, 在高新技术的应用方法上走在了世界前列^[11]; 近年来我国的真菌毒素检测国家标准制修订方面也得到了迅猛的发展^[9-11]。这些标准的制定和实施基本反映了当前国际上真菌毒素检测方法标准的现状和技术应用水平, 为国内外食品安全提供了强大的技术支撑和重要保障。

本文综述了近年来国内外水果真菌毒素的限量及检测方法标准的制定修订现状与进展, 并根据综合的 ISO、AOAC、CEN 及我国水果中现有主要真菌毒素的检测方法标准, 分析在我国建立水果中真菌毒素限量及检测方法标准的紧迫性和重要性。

2 水果中真菌毒素的毒性及限量

2.1 链格孢霉毒素

链格孢菌(*Alternaria* spp.)是污染水果蔬菜最普遍的真菌之一。它不仅可在田间、运输及贮藏过程中引起果蔬的霉变, 还可在低温潮湿的环境下生长繁殖, 导致冷藏水果、蔬菜的腐烂变质。链格孢霉毒素是由链格孢菌产生的一系列代谢产物, 根据其化学结构和理化性质不同分为 5 类^[12]。第 1 类是二苯- α -吡喃酮类, 包括交链孢酚(alternariol, AOH), 交链孢酚单甲醚(alternariol monomethyl ether, AME)和交链孢烯(altenuene, ALT); 第 2 类是细交链孢酮酸(tenuazonic acid, TeA)及异细交链孢酮酸(*iso*-TeA); 第 3

类是二萜嵌苯醌类(戊醌类), 主要包括交链孢毒素(altertoxin-I, altertoxin-II 和 altertoxin-III); 第 4 类是丙三羧酸酯类化合物, 即 AAL 毒素, 包括 TA、TB、TC、TD 和 TE, 是番茄属链格孢霉的代谢物, 属于寄主专一性毒素。它们的结构及毒性与伏马菌素相似; 第 5 类是包括腾毒素(tentoxin, TEN)在内的其他结构类。

目前, 研究表明大多数链格孢霉毒素的急性毒性较低, 但 AME 和 AOH 已被证明具有强的致癌性, 且存在协同效应^[13], 同时这 2 种毒素也是食管癌高发地区的常见霉菌毒素^[3]。对大鼠和小鼠的动物实验表明 AME 对食管下段及前胃有较高的亲和力, 说明其致癌作用存在器官特异性^[14]。以往的研究表明 AOH 的致癌机制与癌基因的激活和抑癌基因的变异有密切关系, 特别是能导致基因损伤修复系统 DNA 聚合酶 β 发生突变, 并且可能导致蛋白结构的变化而使 DNA 聚合酶 β 的基因修复功能异常^[15,16]。同时, 研究结果还发现 AOH 的致癌机制与其浓度水平有关, 低浓度的 AOH 不引起细胞的 DNA 聚合酶 β 基因发生突变, 较高浓度的 AOH 才会引起突变^[16]。正是由于有了较高浓度的 AOH 存在于食物中, 才可能造成细胞内基因突变而引发肿瘤^[16,17]。TeA 作为最重要的链格孢霉毒素被美国国家职业安全及健康组织列入有毒化学物质登记册中^[18]。TeA 对哺乳类动物的毒害作用机制主要是抑制细胞内新合成的蛋白质从核蛋白体释放到浆液中, 可选择性地与体内某些痕量金属离子(Ca^{2+} , Mg^{2+})形成络合物, 并作用于肽键形成过程中一含 60S 的转肽酶的活性中心^[19]。Yekeler 等^[20]对小鼠每日喂食 25 mg/kg TeA, 持续 10 个月, 经光学电子显微镜观察发现经 TeA 处理后的小鼠食管黏膜上皮细胞部分细胞核发生固缩, 细胞核轮廓改变, 染色质增大并呈颗粒化。Sauer 等^[21]在研究高粱中链格孢霉代谢产物的毒性时发现, 只产 AOH、AME 和 ALT 的培养物对大鼠和雏鸡均无毒性作用, 而加入 29 mg/kg 的 TeA 和 ATX-I 后, 对其却是致命的。而产生同等水平的急性毒性, 单独添加 TeA 的剂量远远超过 29 mg/kg。这表明 TeA 能与其他链格孢霉毒素协同作用, 产生急性毒性。

与谷物相比, 相对湿度较高的水果蔬菜更容易污染链格孢霉毒素, 其中 TeA、AME 和 AOH 在各类水果及其制品、番茄及其制品、小麦及其他谷物、油料种籽及植物油等食品中检出率较高^[12,22], 是污染果蔬的主要链格孢霉毒素。Tournas 等^[23]研究了链格孢霉污染的水果在不同温度条件下产生 AME 和 AOH 的能力, 结果表明, 草莓中污染的优势菌(灰霉菌, *Botrytis cinerea*)的快速生长会抑制链格孢霉毒素的生成, 而葡萄和苹果在低温贮存时也可产生 AME 和 AOH, 且随着贮藏时间的延长, 毒素逐渐累积。何强等^[24]对中国市场浓缩苹果汁抽样调研过程中也发现痕量的 AME 和 AOH。Scott 等^[25]对来自加拿大的 24 份葡萄酒中的 AME 和 AOH 进行了测定, 结果分别有 19 份和 20

份检出痕量的 AME 和/或 AOH。TeA 在番茄及其制品中污染较为普遍。Zhao 等^[26]对中国市场的番茄酱污染链格孢霉毒素调查发现, 31 个样品中 TeA、AME 和 AOH 的检出率分别为 100%、90.3%和 45.2%, 其中 TeA 含量最高可达 1.8 mg/kg。Noser 等^[27]研究瑞士和德国市场中的番茄制品发现, 几乎 100%的产品均有 TeA 污染。

但到目前为止, 国内外现行有效的谷物、食品和饲料中真菌毒素的限量标准中尚不包括链格孢霉毒素^[12]。真菌毒素限量标准制定的一般原则是应根据毒理学研究, 在安全性评估的基础上提出的, 但目前链格孢霉毒素可用的毒性数据有限, 甚至几乎没有, 欧洲食品安全局(EFSA)提出了一种可采用毒理学关注阈值(TTC)方法来评估食品中链格孢霉毒素对人类健康的潜在风险^[12]。由于 AOH 和 AME 具有诱变性, 估算的慢性日粮暴露上界与 95%处均值超过了 2.5 ng/kg 体重的 TTC 值, 说明随膳食摄入的 AOH 和 AME 对公众健康可能存在潜在风险; 而对于 TeA 这类非基因毒性物质的 TTC 值是 1500 ng/kg BW/d^[12], 尽管 TeA 在果蔬制品中检出率及检出值都较高, 但单独存在时健康风险较低。目前欧盟已开始着手制定链格孢霉毒素的最大残留限量标准^[28]。

2.2 展青霉素

扩展青霉(*Penicillium expansum* L.)是引起苹果、梨和桃等大宗水果采后腐烂的主要病原菌^[29], 该病原菌还会产生一种有毒的代谢产物, 即展青霉素(PAT)。PAT 具有急性毒性, 包括对动物的肺、脑水肿、肝脏、脾脏、肾的损害和免疫系统的毒害作用; 也具有慢性毒性, 表现在对动物的细胞毒性, 基因毒性和免疫毒性^[29]。

人类饮食中的 PAT 主要来源于被霉菌污染的苹果和苹果汁。PAT 在苹果汁中稳定时间最长, 是影响浓缩苹果汁质量和限制浓缩苹果汁出口的首要问题。Spadaro 等^[30]研究了欧洲市场上 135 份苹果制品中的真菌毒素污染水平, 结果表明 PAT 的检出率为 34.8%, 其含量为 1.6~55.4 μg/kg。鲁琳等^[31]对 2005~2007 年广东省市场销售的苹果和山楂制品进行了 PAT 含量的测定, 结果表明: 抽检的 83 份样品中有 6 份 PAT 阳性样品, 检出率为 7.2%, 其中有 1 份

样品 PAT 的含量为 95 μg/kg。Guo 等^[32]对 2006~2010 年陕西省市场销售的苹果汁进行了 PAT 含量的测定, 结果表明: 抽检的 1987 份样品中有 1941 份 PAT 阳性样品, 检出率为 97.7%, 其中有 8 份样品 PAT 的含量超过 50 μg/kg, 最高含量为 78 μg/kg。

由于 PAT 在苹果汁生产过程中难以完全去除, 世界各国及国际组织制定了果品中 PAT 的最大残留限量。如表 1 所示, 世界各国对 PAT 在水果中的限量标准大多规定在 50 μg/kg 以内, 主要以苹果和山楂作为主要限制对象, CAC 规定在苹果汁中 PAT 的限量值为 50 μg/kg^[33], 我国 GB 2761-2011 标准^[8]中规定在苹果和山楂制品中限量值为 50 μg/kg。而欧盟的 PAT 限量标准更为细致^[34], 对于苹果汁和苹果肉产品采用不同的限量标准, 最新规定中苹果肉产品中最大允许限量为 25 μg/kg。同时考虑到婴幼儿的承受能力和成人不同, 增加了婴儿食品的限量标准, PAT 的最大限量不超过 10 μg/kg, 明显严格于普通食品。这些新内容对食物的监控更广泛和完善, 有力地保障人类食品的安全。

2.3 赭曲霉毒素

赭曲霉毒素是由纯绿青霉(*Penicillium verrucosum*)、赭曲霉(*Aspergillus ochraceus*)和炭黑曲霉(*A. carbonarius*)等真菌产生的有毒代谢产物, 包括 A、B、C、D 4 种化学结构非常相似的化合物, 其中, 赭曲霉毒素 A(OTA)在自然界中最常见、毒性最强, 对人类和动物的健康威胁最大。OTA 被证明具有较强的肝毒性和肾毒性, 并有致畸、致癌和致突变作用^[35]。2004 年国际癌症研究机构(IARC)将其划分为可能的人类致癌物, 即 2B 类物质。

随着科技的发展以及人们对 OTA 毒性的认识, 葡萄及其制品中 OTA 被普遍研究, 在不同的葡萄制品中 OTA 的污染状况轻重不一。Ponsone 等^[36]研究了阿根廷的红葡萄酒、红葡萄酒以及葡萄干中 OTA 污染状况, 结果发现葡萄干中污染最为严重, 其 OTA 含量为 0.3~20.3 ng/mL, 远远超过红葡萄酒和红葡萄酒中污染水平。Brera 等^[37]对意大利不同品种的葡萄酒 OTA 的污染情况研究时发现, 红葡萄酒中 OTA 的平均含量最高(7.5 ng/mL)。值得注意的是, 同一地区不同年份生产的葡萄酒中 OTA 污染水平也存在

表 1 国内外水果及其制品中 PAT 的现行限量标准

Table 1 Standards for maximum PAT limits in fruits and fruit products in China and abroad

国家	标准号	产品	最高限量 (μg/kg)
CAC	Codex Stan 193-2010	苹果汁(包括作为其他饮料组成部分的苹果汁)	50
欧盟	(EC) No1881/2006	果汁及水果原汁, 特别是苹果汁	50
		酒精饮品、苹果酒, 以及其他用苹果制成的发酵饮品	50
		苹果肉产品, 包括可直接食用的苹果蜜饯、苹果泥	25
		婴幼儿食品	10
美国	CPG Sec. 510.150	苹果汁及浓缩苹果汁	50
中国	GB 2761-2011	苹果、山楂制品	50

差异。Quintela 等调查发现 1995~2008 年间里奥哈地区的葡萄酒的 OTA 平均污染量为 0.035 ng/mL, 然而在 2009 年对该地区生产的葡萄酒再次调查时发现, OTA 平均含量上升为 0.077 ng/mL^[38,39]。Zhang 等^[40]研究了 1999~2009 年间我国 119 种葡萄酒中 OTA 的污染情况, 结果显示东北部地区 OTA 污染最严重, 平均含量为 2.2 ng/mL。因此, 葡萄及其制品中 OTA 污染的研究成为食品安全中的一个重要内容。

目前, 欧盟委员会^[34]和 OIV^[41]对葡萄酒中 OTA 已作出相关限量规定, 葡萄酒中 OTA 的限量为 2 μg/kg, 同时欧盟对葡萄汁和葡萄干中 OTA 的限量进行规定, 分别为 2 μg/kg 和 10 μg/kg(表 2)。加拿大对葡萄汁和葡萄干中 OTA 的限量规定与欧盟相一致, 但未对葡萄酒中 OTA 的限量进行规定^[42]。在我国国家标准 GB 2761-2011 中, 规定了谷物及其制品和豆类及其制品中 OTA 限量为 5 μg/kg, 但对葡萄及其制品中 OTA 的限量尚未明确规定^[8]。目前我国已经成为葡萄酒消费大国, 每年都会消费大量的进口葡萄酒。陈杰等^[43]分析了宁波进口的 84 种来自不同地区的葡萄酒

中 OTA 的含量, 发现 OTA 检出率为 100%。因此, 葡萄及其制品中 OTA 的污染状况应引起我国相关监管部门的重视, 并需及时制定进口葡萄酒主要污染物风险评估系统及残留限量要求。

2.4 黄曲霉毒素

黄曲霉毒素(AF)是目前已知毒性最强的真菌毒素, 主要是由黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)产生的次生代谢产物, 主要包括 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂、AFM₁、AFM₂等, 其中 AFM₁和 AFM₂主要存在于乳和乳制品中。1993 年, AFB₁被 IARC 列为人类一级致癌物。大量的科学研究证明, AF 对人和动物的肝脏有一定的毒害作用, 严重可导致肝癌, 甚至死亡^[44]。

AF 的污染范围和污染程度相当广泛^[9], 在玉米、花生、牛奶及其制品、水稻、菜籽、坚果、枣、薯类、调味品以及中草药等受到污染都有报道。鉴于 AF 对人类身体健康危害的严重性, 许多国家和国际组织已对 AF 在食品中的限量标准做出了规定。由表 3 可以看出, 欧盟不但对

表 2 国内外水果及其制品中 OTA 的现行限量标准
Table 2 Standards for maximum OTA limits in fruits and fruit products in China and abroad

国家	标准号	产品	最高限量(μg/kg)	
			AFB ₁	B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂
欧盟	(EC) No 1881/2006	葡萄干	-	10
		葡萄酒以及其他葡萄发酵饮料	-	2
		葡萄汁以及葡萄为原料的饮料	-	2
加拿大		葡萄干	-	10
		葡萄汁	-	2
OIV		葡萄酒	-	2
保加利亚		葡萄汁	-	3

表 3 国内外水果及其制品中 AF 的现行限量标准
Table 3 Standards for maximum AF limits in fruits and fruit products in China and abroad

国家	标准号	产品	最高限量 (μg/kg)	
			AFB ₁	B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂
CAC	Codex Stan 193-2010	加工原料的杏仁、巴西坚果、榛子、开心果	-	15
		即食的杏仁、巴西坚果、榛子、开心果	-	10
欧盟	(EC) No 1881/2006	食用前需经过处理的巴旦木、开心果、杏仁	12	15
	(EC) No 165/2010	食用前需经过处理的榛子和巴西坚果	8	15
	(EC) No 1058/2012	食用前需经过处理的其他坚果或果脯	5	10
		直接供人类食用的巴旦木、开心果、杏仁	8	10
		直接供人类食用的榛子和巴西坚果	5	10
		直接供人类食用的其他坚果或果脯	2	4
美国	CPG Sec. 570	无花果干	6	10
	GB 2761-2011	坚果(开心果, 巴西坚果, 阿月浑子)	-	20
中国		熟制坚果及籽类	5	-

食品中 AFB₁ 的限量进行规定, 同时也限制了 4 种 AF 毒素的总和, 且根据适用对象的不同分别进行了限量的规定, 其限量标准更为严格。CAC^[33] 和美国^[45,46] 仅对 AF 毒素的总和进行限量, 可能是考虑到真菌毒素的协同作用, 没有对单一毒素进行限量。目前我国仅仅对毒性较强的 AFB₁ 进行了限量规定^[8], 但最新研究结果表明: 256 份湖北省市售 9 种坚果及籽类制品中 4 种 AF 毒素有不同程度的检出, 其中 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 的检出率分别为 76%、25%、62%、18%; AFB₁ 的污染最为严重, 且最高含量达 11.2 μg/kg, 2.0% 的样品超出国家限量标准^[47]。因此, 应加强坚果样品中 AF 污染水平常规监测, 以便积累更多有价值的的数据, 为完善我国真菌毒素的限量标准奠定基础。

3 水果中真菌毒素的检测方法标准研究

世界各国对真菌毒素限量的强制性规定进一步推动了真菌毒素检测方法的发展。目前真菌毒素的检测方法发展很快, 已经从传统上以薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)为主, 发展到目前以现代色谱如高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)和免疫分析方法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)为主, 各种技术并存发展的局面。

ISO 是世界上最大、最权威的国际标准化专门机构, 但目前该组织的标准体系中果品真菌毒素检测方面, 涉及有限, 仅制定了苹果汁中 PAT^[48,49] 和坚果中 AF^[50] 的检测方法标准(表 4), 且 PAT 的检测方法标准为 1993 年颁发的, 检测技术较为落后, 到目前无更新标准。在 ISO 标准中, 已颁布了谷物及其制品中 OTA 检测方法标准, 尚缺少水果中 OTA 检测标准。总体而言, ISO 标准体系在高新技术应用方面也存在一定的滞后。

CEN 颁布了苹果制品中 PAT^[51,52]、葡萄制品及干果等 OTA^[53,54]、开心果等坚果中 AF^[55,56] 的检测方法标准(表 5)。其中 PAT 检测标准为 2 个, 采用液液分配净化(苹果汁)或固相萃取柱净化(苹果酱)结合 HPLC 色谱技术。OTA 和 AF 检测标准各 2 个, 有 1 个 AF 标准采用 ISO 标准, 且多数采用的是免疫亲和柱(immunoaffinity column, IAC)-HPLC 检测方法, 该技术基于抗原抗体反应, 对样品中的目标物具有高度的选择性, 不仅净化效果理想, 而且大大提高了操

作的简易性和方便性。从近几年制定的标准可以看出, 除 PAT 外, 其他水果真菌毒素的检测方法都采用 IAC-HPLC, 在高新技术的应用上 CEN 走在了世界的前列, 这也和欧盟一贯在食品安全领域的高度重视和严格要求相适应。但目前, CEN 还没有制定出链格孢霉毒素的检测标准。

作为国际上普遍认可的分析检测“金标准”的验证者、颁布者, AOAC 标准组织在制定真菌毒素检测方法标准方面做了大量的工作。水果及其制品中真菌毒素的检测方法标准见表 6, 其中 PAT^[57-59] 检测标准 3 个, 包括 TLC 法 1 个, HPLC 法 2 个, 也未制定 IAC-HPLC 法。OTA^[60] 检测标准 1 个, 为 IAC-HPLC 法。AF^[61-63] 检测标准有 3 个, 包括 TLC 法 1 个, IAC-HPLC 法 1 个, 多功能净化柱(multifunctional column, MFC)-HPLC 法 1 个。由此可见, 与 ISO 和 CEN 标准相比, AOAC 的标准体系中, 真菌毒素的检测方法相对比较完善, 在检测对象及新老技术应用等方面覆盖较广, 充分体现了随着技术的进步, 方法标准得到不断改进和更新, 较好地反映了技术发展在真菌毒素方法标准建立中的推动作用。

我国目前的国家标准体系中, 在食品安全受到广泛关注以及国家标准化管理委员会的高度重视下, 真菌毒素的检测标准体系已经相对比较完善, 当前关注的水果及其制品中 4 种真菌毒素基本上都有了检测标准。在我国现有标准中, 水果及其制品中 PAT^[64-68] 检测标准有 5 个, 包括 1 个国家标准(GB), 1 个农业行业标准(NY) 和 3 个出入境行业标准(SN)。采用的标准方法包括 TLC 法 1 个(GB), HPLC 法 2 个和 HPLC-MS 法 2 个。水果及其制品中 OTA^[69,70] 检测标准有 2 个, 包括 1 个国家标准(GB) 和 1 个出入境行业标准(SN), 采用的检测方法都是 IAC-HPLC。水果及其制品中 AF^[71,72] 检测标准有 2 个, 包括 1 个国家标准(GB) 和 1 个出入境行业标准(SN), 采用的检测方法分别为 MFC-HPLC 和 IAC-HPLC 法。总体而言, 我国检测方法标准体系中, 采用的技术从传统的 TLC 到基于 IAC 净化的 HPLC 法都有标准, 并率先建立了 HPLC-MS 方法标准, 在高新技术在标准的应用推广方面处于国际先进水平。

目前, 在真菌毒素标准制定上, 出入境检验检疫行业标准占很重要的比例, 体现了我国在进出口贸易中对毒素检测工作对高度重视, 这对保护我国人民身体健康打破国际贸易壁垒是重要的技术保证。同时, 在检测毒素种类上, 与 ISO、

表 4 ISO 水果及其制品中真菌毒素的检测方法标准
Table 4 Analysis methods of mycotoxins in fruits and fruit products set by ISO regulations

组织	标准号	名称
PAT	ISO 8128-1: 1993	苹果汁, 苹果浓缩汁和含有苹果汁的饮料展青霉素含量的测定-HPLC
	ISO 8128-2: 1993	苹果汁, 苹果浓缩汁和含有苹果汁的饮料展青霉素含量的测定-TLC
AF	ISO 16050: 2003	谷物, 坚果及衍生产品中黄曲霉毒素 B ₁ 和黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 和 G ₂ 的总量含量的测定高效液相色谱法

表 5 CEN 水果及其制品中真菌毒素的检测方法标准
Table 5 Analysis methods of mycotoxins in fruits and fruit products set by CEN regulations

组织	标准号	名称
PAT	EN 14177: 2003	清澈和混浊苹果汁和苹果泥中展青霉素的测定
	EN 15890: 2010	果汁和婴幼儿水果泥类食品中展青霉素的测定
OTA	EN 14133: 2009	葡萄酒和啤酒中赭曲霉毒素 A 含量的测定-免疫亲和柱净化高效液相色谱法
	EN 15829: 2010	醋栗、葡萄干、小葡萄干、混合干果和干无花果中赭曲霉毒素 A 含量的测定-免疫亲和柱净化荧光检测高效液相色谱法
AF	EN 14123: 2007	榛子、花生、开心果、无花果和辣椒粉中黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 和 G ₂ 的总量以及黄曲霉毒素 B ₁ 的测定-免疫亲和柱净化柱后衍生高效液相色谱法
	EN ISO 16050: 2011	谷物、坚果及衍生产品中黄曲霉毒素 B ₁ 和黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 和 G ₂ 的总量含量的测定高效液相色谱法(ISO 16050: 2003)

表 6 AOAC 水果及其制品中真菌毒素的检测方法标准
Table 6 Analysis methods of mycotoxins in fruits and fruit products set by AOAC regulations

组织	标准号	名称
PAT	AOAC 974.18	苹果汁中展青霉素
	AOAC-IUPAC-IFJU 995.10	苹果汁中展青霉素
	AOAC 2000.02	苹果汁和苹果酱中展青霉素
OTA	AOAC 2001.01	葡萄酒和啤酒中赭曲霉毒素 A
	AOAC 994.08	玉米、杏仁、巴西坚果、花生和开心果的果实中黄曲霉毒素
AF	AOAC 974.16	开心果果实中黄曲霉毒素
	AOAC 999.07	花生酱、开心果酱、无花果酱及辣椒粉中黄曲霉毒素 B ₁ 和总黄曲霉毒素

表 7 中国水果及其制品中真菌毒素的检测方法标准
Table 7 Analysis methods of mycotoxins in fruit and fruit products set by Chinese regulations

组织	标准号	名称
链格孢霉毒素	SN/T 4259-2015	出口水果蔬菜中链格孢菌毒素的测定液相色谱-质谱/质谱法
PAT	GB/T 5009.185-2003	苹果和山楂制品中展青霉素的测定
	NY/T 1650-2008	苹果及山楂制品中展青霉素的测定高效液相色谱法
	SN/T 2008-2007	进出口果汁中棒曲霉毒素的检测方法高效液相色谱法
	SN/T 1859-2007	饮料中棒曲霉毒素和 5-羟甲基糠醛的测定方法液相色谱法-质谱法和气相色谱质谱法
	SN/T 2534-2010	进出口水果和蔬菜制品中展青霉素含量检测方法液相色谱-质谱/质谱法与高效液相色谱法
OTA	GB/T 23502-2009	食品中赭曲霉毒素 A 的测定免疫亲和层析净化高效液相色谱法
	SN/T 1940-2007	进出口食品中赭曲霉毒素 A 的测定方法
AF	GB/T 5009.23-2006	食品中黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 和 G ₂ 的测定
	SN/T 3263-2012	出口食品中黄曲霉毒素残留量的测定

CEN 和 AOAC 体系相比,我国已详尽制定了链格孢霉毒素^[73]检测标准,于 2016 年 1 月 1 日实施,这是其他 3 个标准体系中未出现的。综合可知,我国在水果及其制品中真菌毒素检测方法标准和技术方面已经走到了世界的前列。

4 现有标准分析与展望

我国水果及其制品中限量标准与 CAC、欧盟和美国标准相比存在一定的差异。欧盟作为世界上食品安全标准

体系建设较为完备的国家和地区, 其标准不仅严格且细致, 针对不同用途的同类食品和人群设置不同的限量值, 进而提高了标准的可操作性。此外, 我国的限量标准制定相对缺乏, 缺少水果中 OTA 的限量标准。尽管在新制定的标准中, 增加了坚果中 AF 的限量标准, 但尚未涉及 AFB₁、AFBB₂、AFBG₁ 和 AFBG₂ 的总量要求, 因此在几种毒性叠加效应方面的要求相对缺失; 而国外标准大多涉及 AF 的总量标准。由于这种限量标准的不统一, 发达国家利用技术优势和贸易保护, 阻碍发展中国家部分产品出口, 如 PAT 含量超标是限制我国苹果汁出口欧盟的主要原因之一。目前国内外缺乏针对农产品中链格孢霉毒素的限量标准, 而风险评估是制定真菌毒素限量标准的前提。基于毒理学的研究成果, 对毒素进行风险评估可更科学的评估其危害程度, 以获得人体每日最大允许摄入量(ADI), 结合膳食摄入量, 确定水果及其制品中真菌毒素的最高残留限量。随着人们对食品安全的关注, 水果中各类真菌毒素的风险评估将成为今后的研究热点。

制定限量标准, 开展风险评估都需要检测技术的支持。综合 ISO、AOAC、CEN 及我国标准可以看出, 真菌毒素检测技术得到了快速发展。在前处理技术上, 传统技术和最新技术并存, 但近些年传统技术的应用已经越来越少, 代表着先进水平的免疫亲和技术得到了大量应用, 已成为我国和发达国家如欧盟主要采用的标准前处理方法。在检测技术上, HPLC 法得到了广泛应用, 处于绝对主导地位, 而且我国还在真菌毒素检测中引入了 HPLC-MS 方法, 更走到了国际标准的前列。但是, 目前国内外尚缺少可同时检测多种真菌毒素的检测方法标准, 建议应尽快制定适用于不同水果和干果及其制品基质的多种毒素同时检测的方法标准。同时, 操作简便、检测快速、成本低廉、精确度高的检测技术也是将来真菌毒素检测标准的制修订方向。

参考文献

- [1] Drush S, Ragab W. Mycotoxins in fruits, fruit juice, and dried fruits [J]. J Food Prot, 2003, 66: 1514-1527.
- [2] Barkai Golan R, Paster N. Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: part 1 [J]. World Mycotoxin J, 2008, 1: 147-159.
- [3] 安玉会, 卢荣华, 冯文舟, 等. 林县交链孢霉毒素-交链孢醇单甲醚和交链孢烯的协同毒性和致畸作用研究[J]. 癌症, 1988, 7: 54-55. An YH, Lu RH, Feng WZ, et al. Alternaria toxins in Linxian-study on synergistic toxicity and teratogenic effects of alternariol and alternariol monomethyl ether [J]. Cancer, 1988, 7: 54-55.
- [4] 宗元元, 李博强, 秦国政, 等. 棒曲霉毒素对果品质量安全的危害及其研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(4): 36-41. Zong YY, Li BQ, Qin GZ, et al. Toxicity of patulin on fruit quality and its research progress [J]. J Agric Sci Technol, 2013, 15(4): 36-41.
- [5] 王峻峻, 张红印, 王海英, 等. 控制葡萄及其制品中赭曲霉毒素 A 的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 395-399. Wang JJ, Zhang HY, Wang HY, et al. Research progress in the controlling ochratoxin A in grape and its products [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(16): 395-399.
- [6] 赵志辉. 农产品和饲料中常见真菌毒素的种类和危害[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2012, 30(4): 8-11. Zhao ZH. Advances of research on mycotoxins in agricultural products and feed [J]. J Beijing Technol Bus Univ: Nat Sci Ed, 2012, 30(4): 8-11.
- [7] Robiglio AL, Lopez SE. Mycotoxin production by *Alternaria alternata* strains isolated from red delicious apples in Argentina [J]. Int J Food Microbiol, 1995, 24: 413-417.
- [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 Food safety standards the MRLs of mycotoxins in food [S].
- [9] 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 YP, Liu XP, et al. Review of current Chinese regulations of maximum residue levels and testing standard of mycotoxin in foods and feeds [J]. China Brew, 2014, 33(7): 10-19.
- [10] 王松雪, 鲁沙沙, 张艳, 等. 国内外真菌毒素检测标准制修订现状与进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 408-416. Wang SX, Lu SS, Zhang Y, et al. Current status and advances in the standards of mycotoxin detection [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(3): 408-416.
- [11] 杜英秋, 张瑞英, 杨焕春, 等. 国内外真菌毒素检测标准现状及分析[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(7): 60-66. Du YQ, Zhang RY, Yang HC, et al. Current status and analysis of domestic and international mycotoxin determination standard [J]. Cereals Oils, 2014, 27(7): 60-66.
- [12] EFSA on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of *Alternaria* toxins in feed and food [J]. EFSA J, 2011, 9(10): 2407.
- [13] Pfeiffer E, Eschbach S, Metzler M. Alternaria toxins: DNA strand-breaking activity in mammalian cells *in vitro* [J]. Mycotoxin Res, 2007, 23(3): 152-157.
- [14] 石智勇, 刘桂亭, 钱玉珍, 等. 交链孢酚单甲醚在大鼠小鼠体内的分布[J]. 河南医科大学学报, 1990, 25(2): 136-140. Shi ZY, Liu GT, Qin YZ, et al. The distribution of alternariol monomethyl ether in rats and mice [J]. J Henan Med Univ, 1990, 25(2): 136-140.
- [15] 朱涵, 杨春, 赵伟达, 等. 交链孢酚对成纤维细胞中 DNA 聚合酶 β 的影响[J]. 现代预防医学, 2012, 39(19): 5071-5073. Zhu H, Yang C, Zhao WD, et al. Effect of alternariol on DNA polymerase β in NIH/3T3 cell line [J]. Mod Prev Med, 2012, 39(19): 5071-5073.
- [16] 朱涵, 樊红琨, 章茜. 互隔交链孢酚对 NIH/3T3 细胞中 DNA 聚合酶 β 的致突变作用[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(15): 2831-2834. Zhu H, Fan HK, Zhang Q. Mutation effect of alternariol on DNA polymerase beta in NIH/3T3 cell line [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2012, 16(15): 2831-2834.
- [17] 杨胜利, 董子明, 裴留成, 等. 河南林县居民粮食中互隔交链孢霉及其毒素污染和人群暴露状况研究[J]. 癌变, 畸变, 突变, 2007, 19(1): 44-46. Yang SL, Dong ZM, Pei LC, et al. Study on contamination of *Alternaria alternata* in grains and exposure to its toxins in residents from Henan Linxian [J]. Carcinog Compr Mutag, 2007, 19(1): 44-46.
- [18] 吴春生, 马良, 江涛, 等. 链格孢霉毒素交链孢菌酮酸的研究进展

- [J]. 食品科学, 2014, 35(19): 295-301.
- Wu CS, Ma L, Jiang T, *et al.* A review on tenuazonic acid, a toxic produced by *Alternaria* [J]. Food Sci, 2014, 35(19): 295-301.
- [19] Steyn PS, Rabie CJ. Characterization of magnesium and calcium tenuazonate from *Phomasorghina* [J]. Phytochemistry, 1976, 15: 1977-1979.
- [20] Yekeler H, Bitmiş K, Özçelik N, *et al.* Analysis of toxic effects of *Alternaria* toxins on esophagus of mice by light and electron microscopy [J]. Toxicol Pathol, 2001, 29(4): 492-497.
- [21] Sauer DB, Seitz LM, Burroughs R, *et al.* Toxicity of *Alternaria* metabolites found in weathered sorghum grain at harvest [J]. J Agric Food Chem, 1978, 26(6): 1380-1383.
- [22] Logrieco A, Moretti A, Solfrizzo M. *Alternaria* toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks [J]. World Mycotoxin J, 2009, 2(2): 129-140.
- [23] Tournas VH, Stack ME. Production of alternariol and alternariol methyl ether by *Alternaria alternata* grown on fruits at various temperatures [J]. J Food Prot J, 2001, 64(4): 528-532.
- [24] 何强, 李建华, 孔祥虹, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定浓缩苹果汁中的4种链格孢霉毒素[J]. 色谱, 2010, 28(12): 1128-1131.
- He Q, Li JH, Kong XH, *et al.* Simultaneous determination of four *Alternaria* toxins in apple juice concentrate by ultra performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2010, 28(12): 1128-1131.
- [25] Scott PM, Lawrence GA, Lau BPY. Analysis of wines, grape juices and cranberry juices for *Alternaria* toxins [J]. Mycotoxin Res, 2006, 22(2): 142-147.
- [26] Zhao K, Shao B, Yang DJ, *et al.* Natural occurrence of four *Alternaria* mycotoxins in tomato- and citrus-based foods in China [J]. J Agric Food Chem, 2015, 63: 343-348.
- [27] Noser J, Schneider P, Rother M, *et al.* Determination of six *Alternaria* toxins with UPLC-MS/MS and their occurrence in tomatoes and tomato products from the Swiss market [J]. Mycotoxin Res, 2011, 27(4): 265-271.
- [28] Prella A, Spadaro D, Garibaldi A, *et al.* A new method for detection of five *Alternaria* toxins in food matrices based on LC-APCI-MS [J]. Food Chem, 2013, 140: 161-167.
- [29] de Melo FT, de Oliveira IM, Greggio S, *et al.* DNA damage in organs of mice treated acutely with patulin, a known mycotoxin [J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50(10): 3548-3555.
- [30] Spadaro D, Ciavarella A, Frati S, *et al.* Incidence and level of patulin contamination in pure and mixed apple juices [J]. Food Control, 2007, 18: 1098-1102.
- [31] 鲁琳, 高燕红, 许秀敏, 等. 2005-2007年广东省抽检苹果、山楂制品中展青霉素残留量结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(8): 1591-1604.
- Lu L, Gao YH, Xu XM, *et al.* Determination and result analysis of patulin in apple and hawthorn products in Guangdong Province from 2005 to 2007 [J]. Chin J Health Lab Technol, 2008, 18(8): 1591-1604.
- [32] Guo YD, Zhou ZK, Yuan YH, *et al.* Survey of patulin in apple juice concentrates in Shaanxi (China) and its dietary intake [J]. Food Control, 2013, 34: 570-573.
- [33] Codex Stan 193-2010 Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed [S].
- [34] (EC) No 1881/2006 Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs [S].
- [35] Gerald S, Hildegard H, Maika K, *et al.* Effect of ochratoxin A on cell survival and collagen homeostasis in human mesangial cells in primary culture [J]. Food Chem Toxicol, 2008, 47: 209-213.
- [36] Ponsone ML, Chiotta ML, Combina M, *et al.* Nature occurrence of ochratoxin A in musts, wines and grape vine fruits from grapes harvested in Argentina María [J]. Toxins, 2010, 2: 1984-1996.
- [37] Brera C, Debegnach F, Minardi V, *et al.* Ochratoxin A contamination in Italian wine samples and evaluation of the exposure in the Italian population [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56: 10611-10618.
- [38] Quintela S, Villaran MC, de Armentia IL, *et al.* Occurrence of ochratoxin A in Rioja Alavesa wines [J]. Food Chem, 2011, 126: 302-305.
- [39] Quintela S, Villaran MC, de Armentia IL, *et al.* Ochratoxin A in Spanish exportation wine market [J]. Food Control, 2012, 25: 501-504.
- [40] Zhang X, Chen L, Li J, *et al.* Occurrence of ochratoxin A in Chinese wines: influence of local meteorological parameters [J]. Eur Food Res Technol, 2013, 236: 277-283.
- [41] OIV 2008 Compendium of international methods of wine and must analysis [S].
- [42] Wu E, Bui-Klimke T, Naumoff SK. Potential economic and health impacts of ochratoxin A regulatory standards [J]. World Mycotoxin J, 2014, 7(3): 387-398.
- [43] 陈杰, 莫艳霞, 徐银君, 等. 进口葡萄酒中赭曲霉毒素A的含量分析[J]. 酿酒科技, 2012, 1: 107-109.
- Chen J, Mo YX, Xu YJ, *et al.* Analysis of ochratoxin A content in imported grape wines [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2012, 1: 107-109.
- [44] 刘峰良, 赵志辉, 谢晶. 谷物中真菌毒素的研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 19: 115-119.
- Liu FL, Zhao ZH, Xie J. Research progress of mycotoxins in cereals [J]. Guangdong Agric Sci, 2012, 19: 115-119.
- [45] CPG Sec. 570.200 Brazil nuts-Adulteration with aflatoxin [S].
- [46] CPG Sec. 570.500 Pistachio nuts-Aflatoxin adulteration [S].
- [47] 白春林, 马蓓蓓, 余青, 等. 湖北省市售坚果及籽类制品中4种黄曲霉毒素含量的监测质量评价[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(13): 2210-2212.
- Bai CL, Ma BB, Yu Q, *et al.* Surveillance quality assessment of the 4 aflatoxins in market - sale roasted seeds and nuts in Hubei [J]. Chin J Health Lab Technol, 2015, 25(13): 2210-2212.
- [48] ISO 8128-1-1993 Apple juice, apple juice concentrates and drinks containing apple juice- Determination of patulin content. Part 1: Method using high-performance liquid chromatography [S].
- [49] ISO 8128-2-1993 Apple juice, apple juice concentrates and drinks containing apple juice-Determination of patulin content. Part 2: Method using thin-layer chromatography [S].
- [50] ISO 16050: 2003 Foodstuffs determination of aflatoxin B₁, and the total content of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂ in cereals, nuts and derived products-High-performance liquid chromatographic method [S].
- [51] EN 14177: 2003 Foodstuffs-Determination of patulin in clear and cloudy apple juice and puree HPLC method with liquid/liquid partition clean-up [S].
- [52] EN 15890: 2010 Foodstuffs-Determination of patulin in fruit juice and fruit based products for infants and young children-HPLC method with

- liquid/liquid partition cleanup and solid phase extraction and UV detection [S].
- [53] EN 14133: 2009 Foodstuffs-Determination of ochratoxina in wine and beer-HPLC method with immunoaffinity column clean-up [S].
- [54] EN 15829: 2010 Foodstuffs-Determination of ochratoxin A in currants, raisins, sultanas, mixed dried fruit and dried figs-HPLC method with immunoaffinity column cleanup and fluorescence detection [S].
- [55] EN 14123: 2007 Foodstuffs-Determination of aflatoxin B₁ and the sum of aflatoxinB₁, B₂, G₁ and G₂ in hazelnuts, peanuts, pistachios, figs and paprika powder-HPLC method with post-column derivatisation and immunoaffinity column cleanup [S].
- [56] EN ISO 16050: 2011 Foodstuffs-Determination of aflatoxinB₁ and the total content of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂ in cereals, nuts and derived products- High-performance liquid chromatographic method(ISO 16050: 2003) [S].
- [57] AOAC 974.18 Patulin in apple juice thin-layer chromatographic method [S].
- [58] AOAC 995.10 Patulin in apple juice liquid chromatographic method [S].
- [59] AOAC 2000.02 Patulin in clear and cloudy apple juices and apple puree liquid chromatographic method [S].
- [60] AOAC 2001.01 Determination of ochratoxin A in wine and beer immunoaffinitycolumn cleanup/liquid chromatographic analysis [S].
- [61] AOAC 994.08 Aflatoxins in corn, almonds, Brazil nuts, peanuts, and pistachio nuts multifunctional column (Mycosep) [S].
- [62] AOAC 974.16 Aflatoxins in pistachio nuts thin-layer chromatographic method [S].
- [63] AOAC 999.07 Aflatoxin B₁ and total aflatoxins in peanut butter, pistachio paste, fig paste, and paprika powder immunoaffinitycolumn liquid chromatography with post-column derivitization [S].
- [64] GB/T 5009.185-2003 苹果和山楂制品中展青霉素的测定[S].
GB/T 5009.185-2003 Determination of patulin in apple and hawthorn products [S].
- [65] NY/T 1650-2008 苹果及山楂制品中展青霉素的测定高效液相色谱法 [S].
NY/T 1650-2008 Determination of patulin in apple and hawthorn products-High performance liquid chromatography [S].
- [66] SN/T 2008-2007 进出口果汁中棒曲霉毒素的检测方法高效液相色谱法 [S].
SN/T 2008-2007 Determination of patulin in fruit juice for import and export-HPLC method [S].
- [67] SN/T 1859-2007 饮料中棒曲霉毒素和 5-羟甲基糠醛的测定方法液相色谱-质谱法和气相色谱-质谱法[S].
SN/T 1859-2007 Determination of patulin and 5-hydroxymethylfurfural in beverage-LC-MS and GC-MS method [S].
- [68] SN/T 2534-2010 进出口水果和蔬菜制品中展青霉素含量检测方法液相色谱-质谱/质谱法与高效液相色谱法[S].
SN/T 2534-2010 Determination of patulin in fruit and vegetable products for import and export-LC-MS/MS and HPLC method [S].
- [69] GB/T 23502-2009 食品中赭曲霉毒素 A 的测定免疫亲和层析净化高效液相色谱法[S].
GB/T 23502-2009 Determination of ochratoxin A in food-High performance liquid chromatographic method with immunoaffinity column clean-up [S].
- [70] SN/T 1940-2007 进出口食品中赭曲霉毒素 A 的测定方法[S].
SN/T 1940-2007 Determination of ochratoxin A in foods for import and export [S].
- [71] GB/T 5009.23-2006 食品中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ 的测定[S].
GB/T 5009.23-2006 Determination of aflatoxinsB₁, B₂, G₁, G₂ in foods [S].
- [72] 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].
- [73] SN/T 4259-2015 出口水果蔬菜中链格孢菌毒素的测定液相色谱-质谱/质谱法[S].
SN/T 4259-2015 Determination of Alternaria toxins in fruit and vegetable for export-LC-MS/MS [S].

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



王 蒙, 博士, 副研究员, 研究方向为农产品质量安全与标准。
E-mail: ameng-001@163.com



冯晓元, 博士, 研究员, 主要研究方向果品质量与安全。
E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com