

植物油中真菌毒素污染的防控

静平¹, 宋琳琳², 鲍蕾^{1*}, 吴振兴¹, 许艳丽¹, 吕宁¹, 曹文卿¹

(1. 山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心食品农产品检测中心, 青岛 266002;

2. 山东出入境检验检疫局, 青岛 266001)

摘要: 真菌毒素都有强烈的毒性, 有致癌、致畸、致突变作用。作为细菌的代谢产物, 粮油制品中真菌毒素的污染不可避免。植物油是世界各地人们日常摄入的主要粮油制品, 其安全关系到大众健康和社会稳定。植物油中真菌毒素污染是重要的食品安全隐患。本文从原料的种植、收割、储藏、加工等诸多方面介绍了植物油中真菌毒素污染状况及检测技术, 并着重介绍了真菌毒素的防治, 主要包括除毒和抑毒。实用、有效的植物油中真菌毒素污染的防控方法不仅可以减少国际贸易损失, 更有助于保护消费者健康, 是目前需要迫切发展的研究方向之一。

关键词: 植物油; 真菌毒素; 防治

The prevention of mycotoxins in vegetable oil

JING Ping¹, SONG Lin-Lin², BAO Lei^{1*}, WU Zhen-Xing¹, XU Yan-Li¹, LV Ning¹, CAO Wen-Qing¹

(1. Food and Agricultural Products Testing Agency, Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China; 2. Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266001, China)

ABSTRACT: Mycotoxins have very strong toxicity, and have carcinogenic, teratogenic and mutagenic effects. The pollution of mycotoxins in grain and oil products can not be avoided, since they are the metabolites of bacteria. Vegetable oil is the main daily intake oil product. Food safety of vegetable oil is very important, which is related to the public health and social stability. The mycotoxin contamination of vegetable oil is the main risk of food safety. In this review, the mycotoxin contamination status and detection technology of vegetable oil were discussed from the respects of planting, reaping, store and process, and the methods for prevention and control of mycotoxins were highlighted, mainly including detoxification and suppression. Practical and effective methods for pollution prevention and control of mycotoxins in vegetable oil can not only reduce the loss of international trade, but also protect the health of consumers, which is one of the urgent needs for the development direction.

KEY WORDS: vegetable oil; mycotoxins; prevention

1 引言

在全球的范围内, 真菌毒素对个体的危害基本相同, 但暴露量却有差异, 不仅因为食品中的污染水平有差异,

而且在膳食结构上也有差异。中华饮食文化源远流长, 植物油是国人不可缺少的食品之一。常见的植物油主要有花生油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、芝麻油、色拉油、棕榈油、调和油等。近年来, 国内市场对食用植物油的需求

基金项目: 质检公益项目(200910295)

Fund: Supported by the Commonweal Project of Inspection and Quarantine (200910295)

*通讯作者: 鲍蕾, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: baoleiqd@yahoo.com.cn

*Corresponding author: BAO Lei, Professor, Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection & Quarantine Bureau, No.70, Qutangxia Road, Shinan District, Qingdao 266002, China. E-mail: baoleiqd@yahoo.com.cn

不断增长。据统计, 2011年, 全国食用植物油进口量 657 万吨, 进口金额 77.14 亿美元。2013年 1~6 月, 全国食用植物油进口量 327 万吨, 比去年同期增长 21.2%。我国已成为棕榈油、豆油全球第一大进口国。植物油是人们日常摄入的主要粮油制品, 植物油安全关系到大众健康和社会稳定。真菌毒素污染是植物油存在的重要食品安全隐患, 已成为植物油安全的主要问题之一, 不仅带来经济损失, 对人类健康也有非常严重的危害。

2 真菌毒素危害

真菌毒素是一类由真菌产生的代谢产物, 广泛污染农作物、食品及饲料等产品。目前已知的真菌毒素有 300 多种, 其中相当一部分具有强的致癌性和致畸性^[1], 按其主要产毒菌种可分为曲霉毒素(如黄曲霉毒素、赭曲霉毒素等), 青霉菌毒素(如展青霉素、桔青霉素等), 镰刀菌毒素(如赭曲霉毒素 A、玉米赤霉烯酮等)以及其他类(如孢子素等)几大类。

黄曲霉毒素(aflatoxin, AF)可以使人类急性中毒、慢性中毒。国际癌症研究所(IARC)将黄曲霉毒素划为 I 类致癌物^[2]。黄曲霉毒素 B1 主要诱发肝、胃、肾、泪腺、直肠、乳腺、卵巢及小肠等部位的肿瘤, 还可出现畸胎。慢性黄曲霉毒素中毒可干扰人体免疫系统, 导致免疫力下降。黄曲霉毒素毒性大小是 $AFB1 > AFG1 > AFB2 > AFG2$ ^[1]。鉴于黄曲霉毒素的严重危害, 各国政府都制定了黄曲霉毒素的限量标准和法规。

赭曲霉毒素 A(ochratoxin A, OTA)可以造成肾肿大; 当浓度超过 5 mg/kg 时, 会破坏肝脏组织和肠, 引起肠炎、肝肿大等。OTA 还对免疫系统有毒性, 并有致癌、致畸和致突变作用^[3]。欧盟对 OTA 在食品中的限量标准极其严格: 在谷物中不得超过 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 在谷物制品中不得超过 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 在干鲜果品中不得超过 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[4]。

玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)具有雌激素的作用, 主要影响动物的繁殖能力, 危害生殖器官^[5]。

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(亦称呕吐毒素, deoxynivalenol, DON)是单端孢霉烯族真菌毒素的一种, 主要由禾谷镰刀菌、尖孢镰刀菌、串珠镰刀菌、粉红镰刀菌等镰刀菌产生。该毒素对热稳定, 主要污染谷物。猪对该毒素最敏感, 作用于猪的肠胃系统引起呕吐症状, 造成胃肠道损伤^[6], 故名呕吐毒素。当人食用被呕吐毒素污染的食物后, 会导致厌食、腹泻、呕吐等症状, 严重时会造成死亡。

伏马菌素(fumonisin, FB)在人及动物机体内的靶器官是大脑, 产生神经毒性^[7]。

T-2 毒素主要作用于细胞分裂旺盛的组织器官, 如胸腺、骨髓、肝、脾、淋巴结、生殖腺及胃肠粘膜等, 抑制这些器官细胞蛋白质和 DNA 合成, 引起淋巴细胞中 DNA 单链的断裂, 还可引起线粒体呼吸抑制。T-2 毒素的中毒症

状主要为恶心、呕吐、食欲减退或拒食、倦怠和体重减轻等, 同时还具有致畸性和弱的致癌性。

3 植物油中真菌毒素污染状况及其检测技术

花生、玉米、葵花籽、橄榄、芝麻、大豆、菜籽等油料极易受到呕吐毒素、黄曲霉毒素(AFTB1、AFTB2、AFTG1、AFTG2)、伏马毒素、T-2 毒素、赭曲霉毒素 A 和玉米赤霉烯酮等真菌毒素的污染。对山东、福建、江苏、陕西等地植物油的调查结果显示, 污染植物油的真菌毒素主要有黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮等。在以上各地的玉米油中几乎都能检出玉米赤霉烯酮, 含量从 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 到 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 不等; 在山东、福建的花生油中检出了黄曲霉毒素, 含量均小于国家规定的 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

国际上, 真菌毒素大多是采用液相色谱法、荧光法、酶联免疫吸附法和一步式检测金标试纸法等对单个毒素进行分析检测^[8,9]。我国的国家、行业标准检测方法有很多, 包括薄层析法、液相色谱法和免疫化学分析法(有免疫亲和柱-荧光分光光度法和免疫亲和柱-HPLC 法、酶联免疫吸附法、微柱筛选法和一步式检测金标试纸法)等^[10-14], 其定性、定量、重现性和检出限等基本能达到国际要求。

4 真菌毒素去除技术

食用油中真菌毒素污染的有效防控是一个重要议题, 在保障植物油食品安全, 保障国人的生命安全和身体健康等方面, 都具有十分重要的意义。防控植物油中真菌毒素污染需要了解真菌毒素的产毒条件和影响因素。目前, 真菌毒素防治主要包括两个方面, 除毒和抑毒, 除毒主要是应用物理、化学和生物学等一系列手段清除食品中已污染的毒素或使其失去毒性, 成本大, 效果不理想; 抑毒主要是通过作物抗病育种、化学药物防治和生物防治等方法抑制毒素的产生^[15,16]。

针对植物油中真菌毒素污染的问题, 主要有以下几种除毒方法。

4.1 物理除毒法

4.1.1 紫外光照法

紫外光照法的去毒原理是: 在紫外光照射下, 黄曲霉毒素吸收一定波长光能, 一部分光能被激发荧光消耗, 剩下的一部分光能使毒素分子内发生光化学变化, 荧光性消失, 毒性也随之消失, 该方法处理上限为 300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[17]。对于更高浓度的真菌毒素污染, 该方法效果不理想。

4.1.2 微波及辐照法

微波处理法可以有效去除单端孢霉烯族真菌毒素。辐照处理是目前最有效、安全的真菌毒素去除技术, 效果稳定可靠, 技术实用性强^[17]。

4.2 化学除毒法

化学除毒主要是碱炼法。碱炼法的去毒原理是利用强碱破坏植物油中的黄曲霉毒素 B₁, 该法工艺流程如下:

污染油预热(25~35 °C)→加碱液(边加边搅拌)→继续搅拌升温(60 °C)→澄清(静置 8 h 以上)→分离水洗(三次)→过滤净油。油脚用次氯酸钠消毒。

采用碱法精炼的植物油去毒效果好, 但此方法的缺点是实际应用中设备投资大, 油耗大。

4.3 生物除毒方法

4.3.1 黄曲霉毒素

研究表明^[18-20], 橙黄色黄杆菌(*Flavobacterium aurantiacum*)能够去除培养基中的黄曲霉毒素 B₁, 其解毒功能已经在许多食物中得到了证实, 包括植物油、花生、玉米和花生奶。负责降解黄曲霉毒素 B₁ 的主要成分是黄杆菌中的一种酶或者酶系。其他微生物包括假蜜环菌、根霉、黑曲霉、链孢霉、红色类棒菌、解酯假丝酵母和乳酸杆菌等都对黄曲霉毒素有一定的降解作用, 大多数微生物把黄曲霉毒素转化为黄曲霉毒素醇。从假蜜环菌分离出的黄曲霉毒素解毒酶(ADTZ), 可以打开黄曲霉毒素 B₁ 的咪唑环, 从而降低其诱导有机体突变的性能。

4.3.2 单端孢霉烯族真菌毒素

12、13 位置的环氧环是单端孢霉烯族真菌毒素中的主要致毒基团, 去掉此环可以大大减少毒性, 肠道中的微生物菌群可以降解环氧环, 从而对 DON 起减毒作用^[21]。Fuchs^[22]从牛瘤胃的富集培养物中分离到一株厌氧优杆菌属细菌(*Eubacterium* BBSH797), 该菌可以在 24~48 h 内转化 DON 和其他的单端孢霉烯族真菌毒素, 从而部分减轻饲料的毒性。Volkl 等^[23]报道了一种可以把 DON 转变成 3-酮基-DON 的混合微生物培养物。Shima 等^[24]从土壤中分离到一株属于土壤杆菌根瘤菌属的细菌, 它能够把绝大部分 DON 转化为 3-酮基-DON, 从而使 DON 毒性大为减小, 该细菌对 3-乙酰-DON 同样有作用, 但对其他的单端孢霉烯族真菌毒素没有活性。Poppenberger 等^[25]从拟南芥中分离到一种 UDP-葡萄糖基转移酶, 该酶可以将 UDP-葡萄糖中的糖基转移到 DON 的 3-OH 上, 减小 DON 的毒性。

4.3.3 玉米赤霉烯酮

Takahashi 等从粉红色螺旋聚孢霉中纯化到了一种乳酸脱氢酶, 该酶可以把玉米赤霉烯酮转化为雌激素功能较弱的 1-(3,5-二羟基苯酚)-10-羟基-1-十一烯-6-酮^[26]。

4.3.4 赭曲霉毒素 A

有些微生物(如: 乳酸杆菌、链球菌、双歧杆菌、不动杆菌、根瘤菌、曲霉、根霉)可以把赭曲霉毒素 A 转变为毒性小很多的赭曲霉毒素 α 。黑曲霉 CBS 120.49 能有效去除固体和液体培养基中的 OTA, 赭曲霉毒素 α 最终也能被分解。根霉菌只能部分降解 OTA。葡枝根霉(*Rhizopus stolonifer*)对小麦中的 OTA 有脱毒作用。在 OTA 的解毒过

程中起作用的酶可能是羧肽酶, 因为羧肽酶 A 可以将 OTA 转化为赭曲霉毒素 α ^[27,28]。

4.4 其他去毒方法

Norred 等^[29]的调查显示, 氨化自然感染和人工接种了 *F. moniliforme* 的玉米中伏马毒素(FB)产生水平分别下降了大约 45%和 30%。尽管氨化处理后 FB 的浓度下降了, 但氨化处理的玉米对老鼠的毒性并未改变, 老鼠依然出现体重减轻、血清酶的水平升高和病理组织学病变。在 60~80 °C, 还原性糖 D-葡萄糖与 FB 反应, 封闭 FB 的伯胺基, 使其脱毒。酸、碱、乙醛、硫酸氢盐、氧化剂、各种气体和青贮法等都可用来降低或灭活霉菌毒素。Chelkowski 等^[30]报道了用氨处理被 OTA 污染的大麦后, OTA 浓度明显降低。铝硅酸钙氢钠、班脱土、木炭、硝基氮常常被用来降低 OTA 的毒性。用于物理吸附的物质主要是硅铝酸盐复合物。天然硅铝酸盐矿物质吸附力小, 效率低。对天然硅铝酸盐表面基团或电荷分布进行适当改性, 形成的物质, 获得新的理化特征, 从而改善对霉菌毒素的选择性吸附, 提高吸收能力。

5 油料作物真菌毒素的防治

有效防治植物油中真菌毒素污染一直以来都是困扰世界各国研究者的难题之一。保障植物油的生产原料安全无疑是最基础的一环。自 20 世纪 70 年代以来, 很多学者尝试通过改良栽培技术、使用化学药剂和生物控制等方法来解决油料作物中真菌毒素污染的问题。真菌毒素污染的防治主要有以下几种手段^[31,32]。

5.1 通过转基因技术提高作物对真菌病害的抗性

控制好原材料质量, 植物油中真菌毒素污染的防控就成功了一大半。通过抗病育种提高作物对真菌病害的抗性, 减少毒素的污染, 是最环保的措施之一。例如, 培育可以抵抗黄曲霉菌或镰刀菌侵染, 或阻止黄曲霉毒素或镰刀菌毒素累积的农作物品种, 就能够降低农产品中黄曲霉毒素或镰刀菌毒素的污染水平。目前已经培育出能抵抗黄曲霉毒素或镰刀菌毒素积累的玉米、花生和小麦^[33]。通过转基因技术成功培育抗真菌毒素污染农作物品种无疑是最经济和最有效的途径。因此, 近年来越来越多的研究者致力于寻找新的抗菌基因, 探索更加有效的转基因技术与方法, 并取得了很大的进展。

5.2 化学方法

许多真菌毒素是由农作物生长阶段穗期真菌病害引起的, 利用低毒低残留杀菌剂来控制穗期作物真菌病害, 是控制真菌毒素污染的有效办法。对镰刀菌病害有效的杀菌剂包括多菌灵等苯并咪唑类和戊唑醇等三唑类杀菌剂等, 它们对赤霉病等病害的控制具有显著效果, 它们对病害的控制

效果在 60%~80%，降低毒素含量最高可达 40%左右^[34]。

5.3 生物防治

生物防治技术环境友好，对真菌毒素的抑制作用明显，在真菌毒素的抑制和防治上的应用很有前途。生物防治主要有生物竞争抑制技术、生防微生物及其活性物质等研究方向。生物竞争抑毒是指通过在土壤中接种具有强竞争力的不产毒菌株，与土壤中已存在的产毒菌株竞争侵染作物，不产毒菌株侵染作物后将在一定程度上抑制产毒菌株侵染作物，从而达到减少或避免毒素产生的作用。此项技术在黄曲霉毒素^[35]、呕吐毒素^[36]和赭曲霉毒素 A^[37]的防治上都有成功应用。目前发现可以抑制黄曲霉毒素的生防微生物主要有毛霉、根霉、木霉、茎点霉、隐球酵母、毕赤酵母、枯草芽胞杆菌、阴沟肠杆菌、乳杆菌等；可以抑制呕吐毒素的主要有芽胞杆菌和隐球菌属^[21]。生物防治技术无毒、无污染、成本低廉，是值得推广的真菌毒素防治方法。

6 展 望

真菌毒素污染植物油是一个全球性的问题，世界各国，无论地处南北半球、发达与否，都不同程度上存在真菌毒素污染植物油的问题。真菌毒素污染农产品，进而污染到各种农产品加工品，不仅导致经济损失严重，而且威胁人类和动物的健康。为此，世界各国对真菌毒素限量进行了严的规定，而且，标准越来越严格，检测手段也越来越先进和灵敏。因而，真菌毒素限量检出率越来越高，对国际贸易造成不利影响。因此，有效防止真菌毒素污染是全世界关注的研究课题。我国目前对植物油食品中真菌毒素的检测比较重视，但对如何防控真菌毒素污染尚缺乏系统研究。因此，植物油中真菌毒素污染的防控既大有可为，又充满挑战。结合物理、化学和生物等各学科优势，选择经济、环境友好的方法预防和去除植物油中的真菌毒素污染是一项非常有价值的研究。实用、有效的植物油中真菌毒素污染的防控方法不仅可以减少国际贸易损失，更有助于保护消费者健康，是目前需要迫切发展的研究方向之一。

参考文献

- [1] 张艺兵, 鲍蕾, 褚庆华. 农产品中真菌毒素的检测分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
Zhang YB, Bao L, Chu QH. The analysis of mycotoxins in agricultural products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [2] Henry SH. Reducing liver cancer: Global control of aflatoxin [J]. Science, 1999, 286: 2453-2454.
- [3] MacDonald S, Wilson P, Barnes K, *et al.* Ochratoxin A in driedvine fruit: method development and survey [J]. Food Addit Contam, 1999, 16: 253-260.
- [4] Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.
- [5] 王修海, 杨玉民, 赵宏, 等. 玉米及玉米加工品中的真菌毒素[J]. 吉林粮食高等专科学校学报, 2005, 20(1): 1-6.
Wang XH, Yang YM, Zhao H, *et al.* Mycotoxin in corn and corn products [J]. J Jilin Gra Col, 2005, 20(1): 1-6.
- [6] 赵青, 何敏, 剡海阔, 等. 呕吐毒素不同给药方式对猪血常规指标的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(4): 47-49.
Zhao Q, He M, Yan HK, *et al.* Influence of deoxynivalenol on hematologic indexes by different administration [J]. Chin Anim Husban Veteri Med, 2010, 37(4): 47-49.
- [7] 王守经, 胡鹏, 汝医, 等. 谷物真菌毒素污染及其控制技术[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(3), 13-16.
Wang SJ, Hu P, Ru Y, *et al.* The contamination of grain mycotoxins and its controlling technologies [J]. Food Nutr Chin, 2012, 18(3): 13-16.
- [8] Zheng MZ, Richard JL, Binder J. A review of rapid methods for the analysis of mycotoxins [J]. Mycopathologia, 2006, 161: 216-673.
- [9] Bao L, Trucksess MW, White KD. Determination of Aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in olive oil, peanut oil and sesame oil [J]. J AOAC Int, 2010, 93(3): 936-942.
- [10] GB/T 5009.118-2008 谷物中 T-2 毒素的测定[S].
GB/T 5009.118-2008 Determination of T-2 in cereals [S].
- [11] GB/T 5009.209-2008 谷物中玉米赤霉烯酮的测定[S].
GB/T 5009.209-2008 Determination of zearalenone in cereals [S].
- [12] GB/T 17480-2008 饲料中黄曲霉毒素 B1 的测定酶联免疫吸附法[S].
GB/T 17480-2008 Determination of aflatoxin B1 in animal feeding stuffs-Enzyme-linked immunosorbent assay [S].
- [13] GB/T 5009.23-2006 食品中黄曲霉毒素 B1、B2、G1、G2 的测定[S].
GB/T 5009.23-2006 Determination of aflatoxin B1, B2, G1, G2 in food [S].
- [14] 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].
- [15] 黄天培, 何佩茹, 潘洁茹, 等. 食品常见真菌毒素的危害及其防止措施[J]. 生物安全学报, 2011, 20(2): 108-112.
Huang TP, He PR, Pan JR, *et al.* Health hazard to humans and prevention strategies of food-borne mycotoxins [J]. J Biosaf, 2011, 20(2): 108-112.
- [16] 吴延兵, 丁立人. 霉菌毒素的危害及其脱毒剂的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 12921-12923, 12926.
Wu YB, Ding LR. Research progress on the harm and adsorbent of mycotoxin [J]. J Anhui Agric Sci, 2009, 37(27): 12921-12923, 12926.
- [17] 李慧云, 王军, 张宝善. 真菌毒素对食品的污染及防止措施[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(3): 26-30.
Li HY, Wang J, Zhang BS. The pollution and prevention of mycotoxins to food [J]. Food Res Dev, 2004, 25(3): 26-30.
- [18] 张子沛, 顾楠, 赵国华. 生物方法去除真菌毒素研究进展[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(1): 43-45.
Zhang ZP, Gu N, Zhao GH. Research progress on biological detoxification of mycotoxins [J]. J Cer Oil, 2012, 25(1): 43-45.
- [19] 刘付香, 李玲, 梁炫强. 生物防治黄曲霉毒素污染研究进展[J]. 中国生物防治, 2010, 26(1): 96-101.
Liu FX, Li L, Liang XQ. Advances on biological control of aflatoxin contamination [J]. Chin J Bio Con, 2010, 26(1): 96-101.

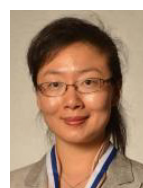
- [20] 王春红, 张宝善, 孟泉科. 常见真菌毒素对人体的危害及生物降解研究进展[J]. 陕西农业科学, 2009, 55(4): 99-102.
Wang CH, Zhang BS, Meng QK. Aspects on harmfulness and degradation of common fungus toxins [J]. Shanxi J Agric Sci, 2009, 55(4): 99-102.
- [21] 闫培生, 曹立新, 王凯, 等. 真菌毒素生物防治研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2008, 6: 89-94.
Yan PS, Cao LX, Wang K, *et al.* Research progress on biological control of mycotoxin contamination [J]. J Agric Sci Tech, 2008, 6: 89-94.
- [22] Fuches E, Binder EM, Heidler D, *et al.* Structural characterization of metabolites after the microbial degradation of type A trichothecenes by the bacterial strain BBSH 797 [J]. Food Add Contam, 2002, 19 (4): 379-386.
- [23] Volkl A, Vogler B, Schollenberger M, *et al.* Microbial detoxification of mycotoxin deoxynivalenol [J]. J Basic Microbiol, 2004, 44 (2): 147-156.
- [24] Shima J, Takase S, Takahashiy, *et al.* Novel detoxification of the trichothecene mycotoxin deoxynivalenol by a soil bacterium isolated from enrichment culture [J]. App Environ Microbio, 1997, 63 (10): 3825-3830.
- [25] Poppenberger B, Berthiller F, Lucyshynd, *et al.* Detoxification of the fusarium mycotoxin deoxynivalenol by a UDP-glucosyltransferase from *A. rabiidopsis thaliana* [J]. J Bio Chem, 2003, 278 (48): 47905-47914.
- [26] 徐剑宏, 蔡芳, 陆琼娟, 等. 谷物真菌毒素的控制策略[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(6): 642-646.
Xu JH, Ji F, Lu QX, *et al.* Advances in control of grain mycotoxins [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2007, 23(6): 642-646.
- [27] 李爱科, 郝淑红, 王松雪. 粮食类饲料资源真菌毒素防制技术探讨[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 419-422.
Li AK, Hao SH, Wang SX. Prevention and control technology of grain feed resources mycotoxin [J]. J Chin Cer Oil Assoc, 2006, 21(3): 419-422.
- [28] 丁平, 侯亚莉, 王永红, 等. 赭曲霉毒素 A 的危害与防治[J]. 中国饲料, 2010, 17: 33-36.
Ding P, Hou YL, Wang YH, *et al.* Harm and detoxification of ochratoxin A [J]. China Feed, 2010, 17: 33-36.
- [29] Norred WP, Voss KA, Bacon CW, *et al.* Effectiveness of ammonia treatment in detoxification of fumonisin-contaminated corn [J]. Food Chem Toxi, 1991, 29(12): 815-819.
- [30] Chelkowski J, Szebiotko K, Golinski P, *et al.* Mycotoxins in cereal grains Part V. Changes of cereal grain biological value after ammoniation and mycotoxins (ochratoxins) inactivation [J]. Nahrung, 1982, 26: 1-7.
- [31] 曹慧英, 伍松陵, 沈晗, 等. 粮食中真菌毒素的控制策略[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(6): 45-48.
Cao HY, Wu SL, Shen H, *et al.* Control strategy against mycotoxins in grains [J]. Sci Technol Cereal Food, 2012, 20(6): 45-48.
- [32] 吴海文, 王茂华, 任嘉嘉, 等. 基于风险分析方法的食物中天然毒素污染防控[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(1): 77-82.
Wu HW, Wang MH, Ren JJ, *et al.* Study on natural toxins pollution prevention and control in food based on risk analysis [J]. J Food Sci Technol, 2013, 31(1): 77-82.
- [33] 李海芬, 陈小平, 洪彦彬, 等. 转基因控制黄曲霉毒素污染的研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, 38(15): 119-121.
Li HF, Chen XP, Hong YB, *et al.* The research progress of transgenic control of aflatoxins [J]. Guangdong Agric Sci, 2011, 38(15): 119-121.
- [34] 徐雍皋. 小麦赤霉病防治理论和实践[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1993.
Xu YG. The theory and practice of wheat scab [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1993.
- [35] Pitt JI, Hocking AD. Mycotoxins in Australia biocontrol of aflatoxin in peanuts [J]. Mycopathologia, 2006, 162: 233-243.
- [36] Dawson WA, Jesbi M, Rizzo A, *et al.* Field evaluation of fungal competitions of *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*, causal agents of ear blight of inter wheat for the control of mycotoxin in production in grain [J]. Biocontrol Sci Technol, 2004, 14: 783-799.
- [37] Petersson S, Hansen MW, Axberg K, *et al.* Ochratoxin A accumulation in cultures of *Penicillium verrucosum* with the arrtagonistic yeast *Pichia anomala* and *Saccaranyces cerevisine* [J]. Mycol Res, 1998, 102: 1003-1008.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



静 平, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: jingdaping@126.com



鲍 蕾, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: baoleiqd@yahoo.com.cn