

# 安徽河南粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮的污染调查

熊凯华<sup>1</sup>, 胡威<sup>1</sup>, 汪孟娟<sup>1</sup>, 魏华<sup>1</sup>, 程波财<sup>1,2,\*</sup>

(1. 南昌大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047;

2. 中南大学资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:** 目的: 调查安徽、河南两省粮食中镰刀菌毒素污染情况。方法: 以玉米、小麦为材料, 分别采用酶联免疫吸附法(ELISA)和高效液相色谱法(HPLC)检测了脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)和玉米赤霉烯酮(ZEN)的含量, 采用 SPSS 软件对检测结果进行统计学分析。结果: 安徽河南两省玉米、小麦中的 DON 和 ZEN 含量平均值分别为 424.0  $\mu\text{g/kg}$  和 187.2  $\mu\text{g/kg}$ , 检出率分别为 76.7% 和 75.3%。其他省份的玉米、小麦中 DON 和 ZEN 含量的平均值为 52.2  $\mu\text{g/kg}$  和 24.1  $\mu\text{g/kg}$ , 检出率分别为 60% 和 70%。结论: 和其他省份相比, 安徽、河南两省的粮食受镰刀菌毒素污染程度更严重。根据现有的国家限量标准, ZEN 的超标率比 DON 更高。

**关键词:** 镰刀菌毒素; 粮食; 污染水平

## A Survey on Contamination of Deoxynivalenol and Zearalenol in Maize and Wheat from Anhui and Henan Province

XIONG Kai-hua<sup>1</sup>, HU Wei<sup>1</sup>, WANG Meng-juan<sup>1</sup>, WEI Hua<sup>1</sup>, CHENG Bo-cai<sup>1,2,\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. School of Resources Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Objective: To survey contamination level of *Fusarium* toxins in maize and wheat from Anhui and Henan province. Methods: Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and HPLC were applied for the detection and determination of deoxynivalenol (DON) and zearalenol (ZEN) in maize and wheat respectively. Statistical analysis was performed using SPSS 10.0 software. Results: The average contents of DON and ZEN in maize and corn from Anhui and Henan province were 424.0 and 187.2  $\mu\text{g/kg}$ , and the contamination rates were 76.7% and 75.3%, respectively. In contrast, the average contents of DON and ZEN in maize and wheat from other provinces were 52.2 and 24.1  $\mu\text{g/kg}$ , and the contamination rates were 60% and 70%, respectively. Conclusion: The contamination levels of DON and ZEN in maize and wheat from Anhui and Henan province are much higher than those from other provinces, and ZEN exhibits a higher percentage of exceeding the level specified in the Chinese National Standard compared with DON.

**Key words:** *Fusarium* toxins; maize and wheat; contamination level

中图分类号: TS210

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)20-0265-04

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)是分布最为广泛的两种镰刀菌毒素, 广泛出现于玉米、小麦、大麦、燕麦及麦芽、啤酒和面包等谷物加工产品中, 给全球粮食产业造成巨大经济损失的同时, 也给人类健康带来潜在威胁<sup>[1-2]</sup>。

DON 俗称为“呕吐毒素”, 主要由禾谷镰刀霉

(*Fusarium graminearum*)和黄色镰刀霉(*Fusarium culmorum*)产生。作为一种单端孢霉烯类的毒素, DON 具有较强的免疫毒性和细胞毒性。在引起动物呕吐的同时, 还会引起各种急性和慢性中毒症状以及致畸、致癌作用<sup>[3-4]</sup>。除此之外, DON 还能促进小麦赤霉病和玉米穗腐病的发生<sup>[5]</sup>。ZEN 又名 F-2 毒素, 主要由禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum*)、黄色镰刀菌(*Fusarium*

收稿日期: 2009-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(3086008)

作者简介: 熊凯华(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为微生物工程。E-mail: ncxkh0305@yahoo.cn

\* 通讯作者: 程波财(1972—), 男, 讲师, 博士研究生, 研究方向为生物技术。E-mail: chengbocai@126.com

*culmorum*)、克地镰刀菌(*Fusarium crookwellense*)产生。通过食物链进入人和动物体的ZEN在机体内蓄积,产生多种雌激素效应综合症状,甚至引起致癌和致畸<sup>[6-9]</sup>。

我国作为粮食生产大国,是受真菌毒素污染比较严重的国家之一。就DON和ZEN的污染程度而言,沿淮地区以及长江中下游地区是真菌毒素污染的重灾区,而安徽、河南地区尤为严重,DON和ZEN的污染程度更是远远超过我国限量标准<sup>[10-13]</sup>。为了深入了解安徽和河南省粮食中DON和ZEN的污染水平、影响因素以及分布规律,对2008年安徽及河南部分县市的玉米、小麦样品中DON和ZEN的含量行调查研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

玉米、小麦样品:取自安徽和河南两省的沿淮河流域各县。采用入户收集的方法,对农户家中当年所收获的玉米和小麦进行随机采样。每份样品采集500g,放置采样袋中。通过邮寄从山西、山东、河北和辽宁获得玉米、小麦样品,将所有样品用粉碎机粉碎后置4℃保存。

DON ELISA检测试剂盒 南昌博恒生物制品有限公司;DON、ZEN标准品 美国Sigma公司;甲醇(HPLC级)、乙腈(HPLC级) 天津永大试剂公司。除特殊注明外,所用试剂均为分析纯,水为超纯水。

### 1.2 仪器与设备

JYL-A070样品粉碎机 济南九阳公司;恒温培养振荡器 上海智诚公司;Model 680酶标仪 美国Bio-Rad公司;Labofuge 400R离心机 德国Heraeus公司;Model S1121高效液相色谱仪 德国Sykna公司;2475荧光检测器 美国Waters公司;Simplicity纯水系统 美国Millipore公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 玉米、小麦样品中DON含量的检测方法

对ELISA检测试剂盒提供的方法作部分修改。分别称取玉米、小麦样品2g加入20ml 25%甲醇溶液,充分振荡5min,4000r/min离心5min,取上清液用ELISA检测试剂盒检测样品中DON的含量。经回收实验验证,该方法的回收率平均为75%~78%,DON的最低检测线为20ng。

#### 1.3.2 玉米、小麦样品中ZEN含量的检测方法

色谱柱: Waters公司Symmetry-C<sub>18</sub>柱(4.6mm × 150mm, 5 μm); 流动相: 乙腈-水-甲醇(46:46:8, V/V/V); 流速: 0.8ml/min; 进样量: 20 μl; 柱温: 30℃; 荧光检测器: 激发波长274nm, 发射波长440nm。

分别取50、100、500、1000、2000、4000ng/ml

的ZEN标准甲醇溶液各20 μl,按上述实验条件处理进样,用所得峰面积对质量浓度进行回归分析,计算相关系数,建立标准曲线。

采用国家标准(GB/T 19540—2004)方法,提取液经液-液萃取、浓缩,并用高效液相色谱法(HPLC)进行检测。

### 1.3.3 统计学分析

应用SPSS 10.0软件,先对以安徽和河南两省为主的玉米、小麦样品中DON和ZEN的污染程度及检出率进行统计学分析,进而比较不同省份的玉米、小麦样品之间两种毒素含量的差别,并通过方差分析判别其显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品中DON污染水平

#### 2.1.1 采集样品中DON整体污染水平比较

比较DON在不同样品中的含量有助于了解DON在不同样品中的分布规律。83份样品(玉米样品42份,小麦样品41份)中DON的检出率为72.3%,最高达到3737 μg/kg, DON平均含量为379.2 μg/kg。如表1所示:玉米样品中DON的检出率为47.6%,平均含量为334.1 μg/kg,小麦样品中DON的检出率为97.6%,平均含量为425.5 μg/kg。玉米、小麦样品中DON含量无显著性差异( $P > 0.05$ ),但小麦样品中DON检出率明显高于玉米样品( $P < 0.01$ )。

表1 玉米、小麦样品中DON污染水平

Table 1 Deoxynivalenol contamination level in maize and wheat

样品	样品数	检出率(%)	含量(μg/kg, $\bar{x} \pm s$ )	频度分布		
				<1000 μg/kg	1000~2000 μg/kg	>2000 μg/kg
玉米	42	47.6	334.1 ± 778.0	37	2	3
小麦	41	97.6	425.5 ± 545.6	37	3	1

注:玉米、小麦样品间DON含量经 $t$ 检验,  $P > 0.05$ ;玉米、小麦样品间DON检出率经 $\chi^2$ 检验,  $P < 0.01$ 。

#### 2.1.2 不同省份之间DON污染水平的比较

进一步比较不同省份间样品中DON含量,可以发现不同地区间DON污染水平的差异及分布特点。不同省份之间DON污染水平见表2,由表2可知,河南省玉米样品中DON含量平均值高于安徽省及其他省份,然而三者之间的差异并不显著( $P > 0.05$ ),对于检出率,三者之间同样不具有显著性差异( $P > 0.05$ )。而对于小麦样品,安徽省小麦样品中DON含量明显高于河南省( $P < 0.01$ )以及其他省份( $P < 0.01$ ),但DON检出率并无明显差异( $P > 0.05$ )。

表2 不同省份之间玉米、小麦样品中 DON 污染水平

Table 2 Comparison of deoxynivalenol contamination level in maize and wheat from different provinces

省份	玉米			小麦		
	样品数	检出率(%)	含量( $\mu\text{g/kg}$ , $\bar{x} \pm s$ )	样品数	检出率(%)	含量( $\mu\text{g/kg}$ , $\bar{x} \pm s$ )
安徽	8	25	155.7 $\pm$ 376.6	10	100	949.4 $\pm$ 795.8
河南	28	57.1	449.4 $\pm$ 916.4	27	96.3	284.3 $\pm$ 304
其他省份	6	33.3	41.3 $\pm$ 64.9	4	100	68.5 $\pm$ 94.3

注: 安徽、河南和其他省份玉米样品间 DON 含量经方差分析,  $P > 0.05$ ; 小麦样品间 DON 含量经方差分析,  $P < 0.01$ ; 安徽、河南和其他省份玉米样品间 DON 检出率经  $\chi^2$  检验,  $P > 0.05$ ; 小麦样品间 DON 检出率经  $\chi^2$  检验,  $P > 0.05$ 。

## 2.2 样品中 ZEN 污染水平

### 2.2.1 HPLC 检测 ZEN 的标准曲线以及加标回收样品谱图

根据 ZEN 的质量浓度和峰面积的关系制成标准曲线。通过回归分析表明, ZEN 在 50~4000ng/ml 质量浓度范围内线性关系良好。线性方程如下:  $Y=1.6703X-16.043$ ,  $R^2=0.9998$ 。其中  $X$  为 ZEN 质量的浓度,  $Y$  为峰面积。

根据上述方法的色谱条件, 得到 ZEN 加标样品的色谱图。如图 1 可见, ZEN 的色谱峰峰形良好, 保留时间为 9.53min。

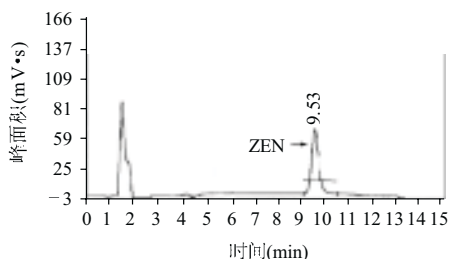


图1 ZEN 含量为 1  $\mu\text{g/kg}$  的样品谱图  
Fig.1 Chromatogram of ZEN (1  $\mu\text{g/kg}$ )

采用国家标准(GB/T 19540—2004)方法, 提取液经液-液萃取、浓缩, 并用高效液相色谱法(HPLC)进行检测。经回收实验验证, 该方法回收率平均为 85%~88%, ZEN 的最低检测线为 20ng。

### 2.2.2 采集样品中 ZEN 整体污染水平比较

表3 玉米、小麦样品中 ZEN 污染水平

Table 3 Zearalenol contamination level in maize and wheat

样品	样品数	检出率(%)	含量( $\mu\text{g/kg}$ , $\bar{x} \pm s$ )	频度分布		
				<60 $\mu\text{g/kg}$	60~1000 $\mu\text{g/kg}$	>1000 $\mu\text{g/kg}$
玉米	42	78.6	178.1 $\pm$ 308.0	26	14	1
小麦	41	68.3	152.4 $\pm$ 336.4	25	16	1

注: 玉米、小麦样品间 ZEN 含量经  $t$  检验,  $P > 0.05$ ; 玉米、小麦样品间 ZEN 检出率经  $\chi^2$  检验,  $P > 0.05$ 。

83 份样品(玉米样品 42 份, 小麦样品 41 份)中 ZEN 的检出率为 73.4%, 最高达到 1737  $\mu\text{g/kg}$ , ZEN 平均含量为 167.5  $\mu\text{g/kg}$ 。如表 3 所示: 玉米样品中 ZEN 的检出率为 78.6%, 平均含量为 178.1  $\mu\text{g/kg}$ 。小麦样品中 ZEN 的检出率为 68.3%, 平均含量为 152.4  $\mu\text{g/kg}$ , 小麦样品和玉米样品相比, ZEN 的含量和检出率无显著性差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2.3 不同省份之间 ZEN 污染水平的比较

表4 不同省份之间玉米、小麦样品中 ZEN 污染水平

Table 4 Comparison of zearalenol contamination level in maize and wheat from different provinces

省份	玉米			小麦		
	样品数	检出率(%)	含量( $\mu\text{g/kg}$ , $\bar{x} \pm s$ )	样品数	检出率(%)	含量( $\mu\text{g/kg}$ , $\bar{x} \pm s$ )
安徽	8	62.5	35.6 $\pm$ 53.8	10	70	34.2 $\pm$ 78.2
河南	28	89.3	260.9 $\pm$ 352.1	27	66.7	212.3 $\pm$ 401.1
其他省份	6	50	11.0 $\pm$ 16.3	4	75	43.8 $\pm$ 41.7

注: 安徽、河南和其他省份玉米样品间 ZEN 含量经方差分析,  $P > 0.05$ ; 小麦样品间 ZEN 含量经方差分析,  $P > 0.05$ ; 安徽、河南和其他省份玉米样品间 ZEN 检出率经  $\chi^2$  检验,  $P > 0.05$ ; 小麦样品间 ZEN 检出率经  $\chi^2$  检验,  $P > 0.05$ 。

表 4 表明, 河南省玉米样品中 ZEN 含量平均值高于安徽省及其他省份, 然而三者之间的差异并不显著( $P > 0.05$ ), 对于检出率, 三者之间同样不具有显著性差异( $P > 0.05$ )。对于小麦样品, 三者之间的 ZEN 含量以及检出率差异也不具有显著性( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

目前, 对于 DON 和 ZEN 来说, 常规检测手段包括薄层色谱法(TLC)、酶联免疫吸附法(ELISA)、液相色谱法(HPLC)和气相色谱法(GC)<sup>[14-15]</sup>。在本次研究中, 考虑到样品的数量、两种毒素的特征以及检测的准确性和特异性, 分别采用了 ELISA 和 HPLC 的方法对 DON 和 ZEN 进行检测。对于 DON 的检测, 首先它无荧光特征, 只在紫外波长为 218nm 处有最大吸收峰, 而 218nm 作为多种物质的最大吸收波长, 很难作为 DON 的定量依据。同时对于 HPLC 和 GC 来说, 检测前用于净化处理的免疫亲和柱售价昂贵, 导致检测的成本大大增加, 很难应用于大批量样品的检测。ELISA 方法快速、简单、灵敏度高, 因此成为了检测 DON 的首选方法。而对于 ZEN 来说, 国家标准(GB/T 19540—2004)方法成熟可行, 提取率和纯度都很高, 推荐用 TLC 的方法检测。但是考虑到它具有荧光特征, 为提高检测的准确度, 本实验选用 HPLC 方法替代 TLC 方法, 同样取得了良好的效果。

粮食中真菌毒素的污染程度常通过毒素的均值和检

表5 近年粮食中镰刀菌毒素污染水平的调查  
Table 5 Surveys on *Fusarium* toxins contamination level in maize and wheat in recent years

样品	本次调查		李荣涛 <sup>[10]</sup>		王晓云 <sup>[11]</sup> 、于淑萍 <sup>[12]</sup>		王若军 <sup>[16]</sup>		敖志刚 <sup>[17]</sup>		张丞 <sup>[18]</sup>		张丞 <sup>[19]</sup>	
	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦
DON 含量均值( $\mu\text{g/kg}$ )	334.1	425.5	—	—	25.5	19.8	600	—	1280	—	991*	259*	1140*	438*
DON 检出率(%)	47.6	97.6	—	—	66.6	66.3	100	—	100	—	95.9	82.4	83.1	55
ZEN 含量均值( $\mu\text{g/kg}$ )	178.1	152.4	224	98	—	—	84	—	143.2	—	211*	94*	388*	117*
ZEN 检出率(%)	78.6	68.3	100	100	—	—	100	—	81.8	—	42.3	5.9	58.1	50

注: —, 未检测; \*, 所有阳性样品的均值。

出率来体现。综合文献中玉米、小麦中 DON 和 ZEN 的污染水平的报道(表 5), 发现两种毒素的均值和检出率存在着较大的差异。对于 DON 来说, 玉米、小麦样品中含量范围在  $19.8 \sim 1280 \mu\text{g/kg}$ , 检出率范围在  $47.6\% \sim 100\%$ 。ZEN 的含量范围在  $84 \sim 388 \mu\text{g/kg}$ , 检出率范围在  $5.9\% \sim 100\%$ 。而本实验中 DON 在玉米中的含量和检出率相对偏低, 部分原因可能与其他检测结果中采用样品阳性均值评定有关; 另一方面, 小麦中 DON 的含量和检出率则相对偏高。对于 ZEN 来说, 两种样品中的含量和检出率与以往调查结果具有较好的一致性。从另一角度来看, 本次调查中玉米和小麦样品之间的两种毒素含量差异都不明显, 提示镰刀菌污染农作物的广泛性和普遍性, 污染水平的差异可能与镰刀菌生长和产毒的气候条件有关系<sup>[10]</sup>。

根据表 2、4 的结果, 可以进一步得到: 安徽河南两省玉米、小麦中的 DON 和 ZEN 含量平均值分别为  $424.0 \mu\text{g/kg}$  和  $187.2 \mu\text{g/kg}$ , 检出率分别为  $76.7\%$  和  $75.3\%$ 。其他省份的玉米、小麦样品中 DON 和 ZEN 含量的平均值为  $52.2 \mu\text{g/kg}$  和  $24.1 \mu\text{g/kg}$ , 检出率分别为  $60\%$  和  $70\%$ 。从样本中毒素的含量均值来比较, 无论是 DON 还是 ZEN, 安徽河南两省都显著高于其他省份( $P < 0.01$ )。可见, 安徽河南两省粮食受镰刀菌毒素污染更为严重, 结果与文献报道相符合<sup>[10-14]</sup>。

我国《粮食卫生标准》(GB 2715—2005)规定小麦和玉米中的 ZEN 限量为  $60 \mu\text{g/kg}$ , DON 为  $1000 \mu\text{g/kg}$ 。根据本次调查结果,  $10.8\%$  的样品中 DON 超标,  $38.6\%$  的样品中 ZEN 超标。样品中 DON 含量均值为  $379.2 \mu\text{g/kg}$ , 低于限量标准的二分之一, 而 ZEN 含量的均值为  $167.5 \mu\text{g/kg}$ , 接近限量标准的三倍, 且 ZEN 的超标率也远高于 DON 的超标率, 可见 ZEN 的污染需要引起人们更多的关注。

#### 4 结 语

真菌毒素作为影响食品安全的一大隐患, 目前已经成为各国普遍关注的焦点问题。真菌毒素的污染水平受多种因素的影响, 除了气候条件之外, 还包括真菌的侵染能力、农作物的抗性、土壤条件等。如何降低真菌毒素的污染水平, 减少人或动物体直接或间接摄入真菌毒素成为了现阶段真菌毒素研究的核心问题。目前,

对真菌毒素污染控制, 应该从污染前的预防以及污染后的去毒两个方面入手。首先, 适时的收割、良好的保存以及添加适量的防腐剂能有效预防和减少粮食中真菌毒素的污染水平。除此之外, 对于已污染的粮食, 可采用多种物理化学的清除手段, 包括当前兴起的生物降解手段将部分或者全部的真菌毒素清除。通过以上的控制措施, 可以有效控制真菌毒素的污染水平, 减少其对人体及动物体的危害, 为解决食品安全问题提供有力的工具。

#### 参考文献:

- [1] ZINEDINE A, SORIANO J M, MOLT J C, et al. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45: 1-18.
- [2] TUTELYAN V A. Deoxynivalenol in cereals in Russia[J]. Toxicology Letters, 2004, 153: 173-179.
- [3] AVANTAGGIATO G, HAVENAAR R, VISCONTI A. Evaluation of the intestinal absorption of deoxynivalenol and nivalenol by an *in vitro* gastrointestinal model, and the binding efficacy of activated carbon and other adsorbent materials[J]. Food Chem Toxicol, 2004, 42: 817-824.
- [4] JAMES J P. Deoxynivalenol: toxicity, mechanisms and animal health risks[J]. Anim Feed Sci Tech, 2007, 137: 83-298.
- [5] TANAKA K, SAGO Y, ZHENG Y, et al. Mycotoxins in rice[J]. Int J Food Microbiol, 2007, 119: 59-66.
- [6] KAKAYA H, TAKAHASHI-ANDO N, KIMURA M, et al. Biotransformation of the mycotoxin, zearalenone, to a non-estrogenic compound by a fungal strain of *Clonostachys* sp. [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2002, 66(12): 2723-2726.
- [7] MINERVINIA F, DELLAQUILA M E, MARITATO F, et al. Toxic effects of the mycotoxin zearalenone and its derivatives on *in vitro* maturation of bovine oocytes and 17  $\beta$ -estradiol levels in mural granulosa cell cultures[J]. Toxicology in Vitro, 2001, 15: 489-495.
- [8] YU Z L, HU D S, LI Y. Effects of zearalenone on mRNA expression and activity of cytochrome P450 1A1 and 1B1 in MCF-7 cells[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2004, 58: 187-193.
- [9] CREPPY E E. Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe[J]. Toxicology Letters, 2002, 127: 19-28.
- [10] 李荣涛, 谢刚, 付鹏程, 等. 小麦和玉米中玉米赤霉烯酮污染情况初探[J]. 粮食储藏, 2004(5): 36-38.
- [11] 王晓云. 2005年中国六省玉米中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染调查[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [12] 于淑萍. 2005年中国四省小麦中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染调查[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [13] 陆刚, 李季, 薛英. 安徽省谷物及制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染调查[J]. 中华预防医学杂志, 1994, 28(1): 27-30.
- [14] TRUNER N W, SUBRAHAMANYAM S, PILETSKY S A. Analytical methods for determination of mycotoxins: a review[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 632: 169-180.
- [15] LATTANZIO V M T, PASCALE M, VISCONTI A. Current analytical methods for trichothecene mycotoxins in cereals[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2009, 28(6): 758-768.
- [16] 王若军, 苗朝华, 张振雄, 等. 中国饲料及饲料原料受霉菌毒素污染的调查报告[J]. 饲料工业, 2003, 24(7): 53-54.
- [17] 敖志刚, 陈代文. 2006—2007年中国饲料及饲料原料霉菌毒素污染调查报告[J]. 中国畜牧兽医, 2008, 35(1): 152-156.
- [18] 张丞, 刘颖丽. 2007年中国饲料和原料中霉菌毒素污染情况调查报告[J]. 新饲料, 2008(4): 28-32.
- [19] 张丞, 刘颖丽. 2008年中国饲料和原料中霉菌毒素污染情况调查报告[J]. 饲料广角, 2009(5): 18-20.