

济南部分地区谷物制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇 及玉米赤霉烯酮的污染状况

李丹迪, 赵丽, 季静, 刘娜, 秦泽明*

(山东大学, 公共卫生学院, 济南 250012)

摘要: 目的 了解济南部分地区常见的即食谷物加工制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)的污染情况。**方法** 在济南市区内 4 个不同地点随机采集即食谷物加工制品共 50 份, 酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)检测 DON、ZEN 的含量, 根据食品安全国家标准 GB 2761-2017 食品中真菌毒素限量对结果进行分析。**结果** 50 份样品中, DON 和 ZEN 的检出率分别为 90.0%、76.0%, 超标率分别为 48.0%、16.0%, 中位数分别为 975.0、39.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。12 份有食品包装批号和 38 份无食品包装批号的样品中, DON 超标率分别为 33.3%、52.6%, ZEN 超标率分别为 8.3%、18.4%, 差别均无统计学意义(DON: $X^2=1.361$, $P=0.243>0.05$; ZEN: $X^2=0.144$, $P=0.704>0.05$)。DON、ZEN 超标率在不同采样点的差别均无统计学意义(DON: $X^2=2.985$, $P=0.225>0.05$; ZEN: $X^2=1.453$, $P=0.484>0.05$)。在零食类谷物制品和主食类谷物制品中, DON 超标率的差别无统计学意义($P=0.749>0.05$), ZEN 超标率的差别有统计学意义($P=0.010<0.05$)。**结论** 济南部分地区即食谷物加工制品中存在一定程度的 DON、ZEN 污染, 其中 DON 污染更严重, 这种污染情况同时存在于两种包装形式、零食和主食两大类以及不同售卖地点的谷物制品中。提示济南部分地区谷物加工制品的 DON、ZEN 污染情况应引起相关监管机构的重视。

关键词: 谷物制品; 脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 玉米赤霉烯酮; 酶联免疫吸附试验

Contamination status of deoxynivalenol and zearalenone in cereal products in parts of Jinan city

LI Dan-Di, ZHAO Li, JI Jing, LIU Na, QIN Ze-Ming*

(School of Public Health, Shandong University, Jinan 250012, China)

ABSTRACT: Objective To investigate deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN) contamination status in cereal products in parts of Jinan city, so as to provide scientific basis for the supervision and administration of food safety. **Methods** A total of 50 ready-to-eat grain processed products were randomly collected from four different locations in Jinan. The contents of DON and ZEN were detected by ELISA, and the results were analyzed according to GB 2761-2017. **Results** Among the 50 samples, the detection rates of DON and ZEN were 90.0%, 76.0%, 48.0% and 16.0%, respectively, with median values of 975.0 and 39.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Among the 12 samples with food package batch numbers and 38 samples without food package batch numbers, the DON exceeding rate was 33.3%, 52.6%, and the ZEN exceeding rate was 8.3% and 18.4%, respectively, with no statistical significance (DON: $X^2=1.361$,

*通讯作者: 秦泽明, 助理实验师, 主要研究方向为微生物检验。E-mail: qinzm@sdu.edu.cn

*Corresponding author: QIN Ze-Ming, Assistant Experimentalist, Department of Laboratory Science of Sanitary Microbiology, School of Public Health, Shandong University, Jinan 250012, China. E-mail: qinzm@sdu.edu.cn

$P=0.243>0.05$; ZEN: $\chi^2=0.144$, $P=0.704>0.05$). There was no statistically significant difference in the exceeding rate of DON and ZEN at different sampling points (DON: $\chi^2=2.985$, $P=0.225>0.05$; ZEN: $\chi^2=1.453$, $P=0.484>0.05$). Among snack cereal products and staple cereal products, the difference of DON exceeding rate was not statistically significant ($P=0.749>0.05$), while the difference of ZEN exceeding rate was statistically significant ($P=0.010<0.05$).

Conclusion There is a certain degree of DON and ZEN pollution in ready-to-eat cereal products in some areas of Jinan, among which DON pollution is more serious. This kind of pollution exists in two kinds of packaging forms, snacks and staple food, and food sold in different places. It is suggested that the pollution of DON and ZEN of cereal products in jinan should be paid more attention to.

KEY WORDS: cereal products; deoxynivalenol; zearalenone; enzyme-linked immunosorbent assay

1 前言

真菌毒素(Mycotoxin)是由真菌产生的有毒次级代谢产物^[1,2]。目前有超过 300 种已知的真菌毒素,其中具有代表性的包括黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮、单端孢霉烯族毒素、赭曲霉毒素、伏马毒素等,这些毒素可广泛存在于粮食及其加工成品中^[3]。部分真菌毒素除了污染食品引起食物中毒外,还具有致癌、致畸、致突变作用,对健康造成极大威胁^[4]。

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)是由真菌产生的次级代谢产物,又称为呕吐毒素(Vomitoxin),主要污染小麦、大麦、燕麦、玉米等谷物^[5]。低温、潮湿的气候环境有利于这些真菌在谷物中的生长和繁殖,产生毒素^[6]。DON 的急性中毒症状包括恶心、呕吐、腹泻、腹痛、头晕和头痛等^[5],而长期低剂量摄入可能会引起大骨节病,或与肿瘤形成有关^[7-9],被欧盟列为三级致癌物^[10]。

玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)是一种真菌代谢产物,又称 F2 毒素,禾谷镰刀菌是 ZEN 的主要产毒菌株^[11]。ZEN 主要存在于玉米及其加工制品中,也可存在于小麦、高粱、大米中。ZEN 具有生殖发育毒性、免疫毒性,并能损伤 DNA 及其结构、抑制细胞增殖^[12]。

研究显示^[8,18,19],山东部分地区包括 DON、ZEN 在内的真菌毒素在食用油、小麦粉、玉米粉等均有不同程度的污染,而这些样品均可进一步加工,制作为馒头、煎饼、面包以及各类糕点等即食谷物加工制品。由于此类食品具有即食性,所以其中含有的真菌毒素会直接进入人体,对健康造成损害。因此,检测即食谷物加工制品中 DON、ZEN 的含量,了解生活中谷物加工制品的真菌毒素污染情况,具有重要的现实意义。本研究在济南市部分地区采集当地居民经常购买的 50 份谷物制品作为样品,分别测定 DON、ZEN 的含量,分析 2 种毒素的总体污染状况,并对不同类型的样品进行比较,旨在了解日常谷物加工食品的 DON、ZEN 污染情况,为相关食品监督工作提供依据。

2 材料与方法

2.1 样本来源

采用简单随机抽样,样品采集于济南市历下区民族商业街(简称“民族街”)、济南市历下区文化东路大润发超市(简称“大润发”)、济南市某高校食堂(简称“高校食堂”)和山东大学趵突泉校区学生超市(简称“学生超市”)4 个地点,采样时间为 2019 年 1 月 9 日至 2019 年 1 月 12 日,总计 50 份样品,包括馒头、煎饼、面包以及饼干、蛋卷、干脆面等各类糕点。

2.2 主要试剂及器材

甲醇(分析纯,济南瑞杰生物科技有限公司); AgraQuant[®]呕吐毒素检测试剂盒(检测范围 0.25~5 mg/kg)、AgraQuant[®]玉米赤霉烯酮检测试剂盒(检测范围 25~1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$)(ROMER 公司); Synergy2 型酶标仪(美国 BioTek 公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品的前处理

将样品进行编号,分别混匀,称取 20 g 于相应编号的均质袋中。测定 DON 时,量取 100 mL 去离子水或蒸馏水于均质袋中;测定 ZEN 时,量取 100 mL 新配制的 70%甲醇溶液于均质袋中。均质器 430 r/min 混匀 2 min。

2.3.2 样品的萃取

取部分均质后的混合物,3000 r/min 离心 5 min,获得上清液。吸取上清液通过 Whatman#1 滤纸并收集滤液,做好标记,备检。

2.3.3 谷物制品中 DON 和 ZEN 的检测

按照 AgraQuant[®]呕吐毒素检测试剂盒和 AgraQuant[®]玉米赤霉烯酮检测试剂盒的步骤,对滤液进行 ELISA 检测。使用酶标仪在 450 nm 波长及 630 nm 示差波长下测量微孔板中溶液的吸光度值 A ,绘制标准曲线,以标准品对数浓度为横坐标,每个浓度的 $\text{Logit } B/B_0(A/A_0)$ 为纵坐标,绘制标准曲线,根据待测样品的吸光度 A 值,得到待测样

品中两种真菌毒素的浓度, 从而计算样品中 DON 和 ZEN 的含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)。毒素浓度小于检测最低限度的样品即未在试剂盒检测范围内, 应报告为没有毒素检出。毒素浓度大于检测最高限度的样品应进行稀释再重新检测。

GB 2761-2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[13]中规定: 谷物及其加工制品中的 DON 限量 $\leq 1000 \mu\text{g}/\text{kg}$, ZEN 限量 $\leq 60 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。根据此标准判断样品中 DON 及 ZEN 是否超标。

2.4 统计学处理

所有数据均经 SPSS 17.0 软件处理。两样本率的比较及多个样本率的比较均采用卡方检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 DON 和 ZEN 标准曲线

DON 标准溶液浓度的对数值与各浓度对应的 Logit B/B_0 值呈线性关系, 线性方程为 $Y = -0.8456X - 0.04674$, $R^2=0.996$ 。ZEN 标准溶液浓度的对数值与各浓度对应的 Logit B/B_0 值呈线性关系, 线性方程为 $Y = -0.9247X + 1.8396$, $R^2=0.998$ 。

3.2 谷物制品中 DON 及 ZEN 的总体污染情况

50 份谷物制品中, 45 份检出 DON, 检出率为 90.0%, 24 份 DON 含量超标, 超标率为 48.0%, DON 含量范围为 0.0~4150.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 最高值为 4150.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 中位数为 975.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 38 份检出 ZEN, 检出率为 76.0%, 8 份 ZEN 含量超标, 超标率为 16.0%, ZEN 含量范围为 0.0~188.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 最高值为 188.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 中位数为 39.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。具体结果见表 1。

3.3 有食品包装批号和无食品包装批号的谷物制品中 DON 及 ZEN 的污染情况

在 12 份有食品包装批号和 38 份无食品包装批号的谷物制品中, DON 的中位数分别为 740.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1085.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标率分别为 33.3%和 52.6%, 经检验, 两类谷物制品中 DON 超标率的差别无统计学意义 ($X^2=1.361$, $P=0.243>0.05$), 尚不能认为有食品包装批号的谷物制品和无食品包装批号的谷物制品的 DON 超标

率不相等; ZEN 的中位数分别为 25.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 41.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标率分别为 8.3%和 18.4%, 经检验, 两类谷物制品中 ZEN 超标率的差别无统计学意义 ($X^2=0.144$, $P=0.704>0.05$), 尚不能认为有食品包装批号的谷物制品和无食品包装批号的谷物制品的 ZEN 超标率不相等。具体结果见表 2、表 3。

3.4 不同采样点谷物制品中 DON 及 ZEN 的污染情况

在民族街、大润发、高校食堂、学生超市 4 个采样点中, DON 含量的中位数分别为 840.0、1020.0、1670.0、535 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。仅在民族街、大润发、高校食堂采集的谷物制品中检测出 DON 的含量超标, 超标率分别为 40.0%、50.0%、83.3%, 经检验, 以上 3 个采样点的超标率的差别无统计学意义 ($X^2=2.985$, $P=0.225>0.05$), 学生超市采集的谷物制品中 DON 的含量未检测到超标; ZEN 含量的中位数分别为 46.2、38.8、36.2、32.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 仅在民族街、大润发、高校食堂采集的谷物制品中检测出 ZEN 的含量超标, 超标率分别为 30.0%、13.3%、16.7%, 经检验, 以上 3 个采样点的超标率的差别无统计学意义 ($X^2=1.453$, $P=0.484>0.05$), 学生超市采集的谷物制品中 ZEN 的含量未检测到超标。具体结果见表 4、表 5。

3.5 零食与主食两大类谷物制品中 DON 及 ZEN 的污染情况

将谷物制品按照是否作为居民一日三餐中正餐的食物, 分为零食和主食两大类, 其中面包类食品因不能准确归类, 故排除在比较范围内。按照上述标准进行分类, 零食类谷物制品总计 16 份, 主食类谷物制品总计 21 份。在零食类谷物制品和主食类谷物制品中, DON 的中位数分别为 1110.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1200.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标率分别为 56.2%和 61.9%, 经检验, 两类谷物制品中 DON 超标率的差别无统计学意义 (Fisher 精确检验, $P=0.749>0.05$), 尚不能认为零食类谷物制品和主食类谷物制品的 DON 超标率不相等; ZEN 的中位数分别为 49.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 36.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标率分别为 31.2%和 0.0%, 经检验, 两类谷物制品中 ZEN 超标率的差别有统计学意义 (Fisher 精确检验, $P=0.010<0.05$), 且相较于主食类谷物制品, 零食类谷物制品的 ZEN 超标率更高。具体结果见表 6、表 7。

表 1 50 份谷物制品中 DON 及 ZEN 污染总体情况

Table 1 DON and ZEN pollution situation in 50 cereal products

毒素种类	含量范围/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	中位数/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	阳性数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%
DON	0.0~4150.0	975.0	45	90.0	24	48.0
ZEN	0.0~188.4	39.2	38	76.0	8	16.0

表 2 有食品包装批号和无食品包装批号的谷物制品中 DON 的检测结果

Table 2 Results of DON in cereal products with and without food packaging lot number

谷物制品类别	样品数/份	含量范围/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	中位数/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	超标数/份	超标率/%
有食品包装批号	12	0.0~1900.0	740.0	4	33.3
无食品包装批号	38	0.0~4150.0	1085.0	20	52.6

表 3 有食品包装批号和无食品包装批号的谷物制品中 ZEN 的检测结果
Table 3 Results of ZEN in cereal products with and without food packaging lot number

谷物制品类别	样品数/份	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位数/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标数/份	超标率/%
有食品包装批号	12	0.0~93.8	25.4	1	8.3
无食品包装批号	38	0.0~188.4	41.5	7	18.4

表 4 4 个采样地点的谷物制品中 DON 的检测结果
Table 4 Results of DON in cereal products at 4 sampling points

采样地点	样品数/份	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位数/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标数/份	超标率/%
民族街	10	0.0~4150.0	840.0	4	40.0
大润发	30	0.0~1800.0	1020.0	15	50.0
山医食堂	6	0.0~2610.0	1670.0	5	83.3
山医超市	4	0.0~760.0	535.0	0	0.0

表 5 四个采样地点的谷物制品中 ZEN 的检测结果
Table 5 Results of ZEN in cereal products at 4 sampling points

采样地点	样品数/份	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位数/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标数/份	超标率/%
民族街	10	0.0~188.4	46.2	3	30.0
大润发	30	0.0~93.8	38.8	4	13.3
山医食堂	6	0.0~93.8	36.2	1	16.7
山医超市	4	0.0~50.1	32.3	0	0.0

表 6 零食与主食两大类谷物制品中 DON 的检测结果
Table 6 Results of DON in snack and staple cereal products

谷物制品类别	样品数/份	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位数/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标数/份	超标率/%
零食	16	0~4150.0	1110.0	9	56.2
主食	21	0~2610.0	1200.0	13	61.9

表 7 零食与主食两大类谷物制品中 ZEN 的检测结果
Table 7 Results of ZEN in snack and staple cereal products

谷物制品类别	样品数/份	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位数/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标数/份	超标率/%
零食	16	0~188.4	49.3	5	31.2
主食	21	0~54.1	36.8	0	0.0*

注: *与零食超标率相比, $P < 0.05$ 。

4 讨论

谷物中真菌毒素污染多易发的情况相当广泛,究其原因,主要是产毒真菌经常侵染种植在田间的谷物,在低温、潮湿等适宜的气候条件下生长繁殖并产毒,从而导致小麦、玉米等粮食及其加工制品受到严重污染。其次,谷物在储藏期间,未经充分干燥或储存方式失当,也可能导致毒素的产生。目前,世界范围内真菌毒素的污染难以做到根本防治^[6]。真菌毒素污染与人类健康关系密切,据统计,全世界每年约有 25% 的农作物受到真菌毒素污染,2%

的粮食由于霉变而不能食用。山东省是农业大省,小麦和玉米均为当地主要农作物,因此,了解谷物制品中 DON、ZEN 的污染状况并加强监管对促进居民健康具有十分重要的作用。国内关于真菌毒素含量的研究多以面粉、食用油等作为研究对象,而本实验则采集即食谷物加工制品为研究对象,可以得到被人体直接食入的 DON 和 ZEN 的含量,从而更加直观地评价谷物制品受两种真菌毒素污染的情况。

检测食品中真菌毒素的方法有气相色谱、高效液相色谱、酶联免疫吸附法等,其中酶联免疫吸附法快速、灵敏度

高、成本较低,适合大量样品的快速分析;气相色谱、高效液相色谱等方法准确度和灵敏度较高,但是试验成本较高,相较于 ELISA 检测周期更长,不适合大量样品的快速分析检测^[15,16]。ELISA 方法对毒素的净化纯度要求不高,操作简单,并且快速灵敏,重复性高,试验时间短,能够用于毒素的定性定量分析^[15]。因此,本实验选择 ELISA 检测方法作为对谷物制品中的 DON 和 ZEN 的初步筛查方法。

结果显示,在济南市 4 个采样点采集的 50 份谷物制品中, DON 和 ZEN 检出率分别高达 90.0%和 76.0%,超标率分别高达 48.0%和 16.0%,受 DON 及 ZEN 污染样品的最大值分别为国家标准限量的 4.1 倍和 3.1 倍,可见济南部分地区即食谷物加工食品中存在一定程度的 DON、ZEN 污染,且超标严重,其中以 DON 污染更为严重。2017 年张正征等^[16]对山东省谷物粮食中 DON 含量进行检测分析,所采集的 339 份样品中检出率为 57.5%,仅有 5 份超出国家标准限量。陆晶晶等^[6]调查了 2013 年中国小麦粉中 DON 的污染情况,其中华东地区检出率为 83.7%,超标率为 8.8%。2015 年李昕等^[17]对山东部分地区食用植物油中 ZEN 污染状况进行调查,ZEN 检出率为 72.1%,超标率为 6.0%。本研究显示, DON、ZEN 检出率和超标率与其他调查结果相比较,可能的原因有以下几点:本研究大部分样品由小麦粉、玉米粉及其他原料混合制成,不同于其余研究中单纯以一种面粉为原料制成的样品,可能导致检出率与超标率均偏高;采用的检测方法有差异,本研究采用 ELISA 方法,张正征等^[16]采用 ELISA 法,陆晶晶等^[6]采用高效液相色谱法,李昕等^[17]采用 ELISA 法,ELISA 作为一种快速简便的筛查方法,可能造成一定的假阳性;本研究采集的样本虽涵盖了不同地点、类型、包装等,一定程度上反映本地区即食谷物制品的 DON、ZEN 污染情况,但样本量相对较小,可扩大样本量进一步验证。

在有食品包装批号和无食品包装批号的谷物制品中, DON 超标率分别为 33.3%和 52.6%, ZEN 的超标率分别为 8.3%和 18.4%,差别均无统计学意义,可见在以上两种谷物制品中 DON 和 ZEN 的超标情况相近。2015 年李昕等^[17]对山东部分地区不同包装的食用植物油中 ZEN 污染状况进行调查,定型包装油和散装油中 ZEN 超标率的差别无统计学意义。本研究结果中,在无食品包装批号的谷物制品中, DON 的中位数超标,且最大值为国家标准限量的 4.1 倍;而有食品包装批号的谷物制品的中位数尚未超标,且最大值仅为国家标准限量的 1.9 倍。从 ZEN 来看,有食品包装批号的谷物制品的最大值为国家标准限量的 1.6 倍;而无食品包装批号的谷物制品的最大值为国家标准限量的 3.1 倍。虽然超标率差别无统计学意义,但其他几项指标显示无食品包装批号的谷物制品均比有食品包装批号的谷物制品污染严重,仍需引起重视。无食品包装批号的谷物制品主要是商家自制品,未受正规监管,原料保存不善,加

工过程简单粗陋,卫生条件较差,使其产品质量难以得到保障。

对 4 个采样点的谷物制品中 DON、ZEN 超标率分别比较发现,差别无统计学意义。可能是由于采样点间相距较近,存在同样的供货来源,导致原料交叉现象所致;各采样点样本量不同,且样本量偏小等也是可能的原因。

本研究对零食类谷物制品和主食类谷物制品中 DON、ZEN 超标率分别进行比较发现, DON 超标率的差别无统计学意义, ZEN 超标率的差别有统计学意义,且零食类比主食类的 ZEN 超标率高。其原因可能是主食的原料比较单一,而零食的原料复杂多样,因此受到真菌毒素污染的可能性更高。

总体来说,本研究尚存在样本量较小等不足之处,可扩大样本量,抽取部分样本采取其他检测方法进行结果验证,以更好地评价谷物制品中两种真菌毒素的污染状况,进而对居民进行膳食暴露评估。

5 结 论

综上所述,济南部分地区即食谷物加工制品中存在一定程度的 DON 和 ZEN 污染,尤其是 DON 污染更加严重,同时 ZEN 污染在零食类高于主食类食品。此外,我国目前尚未制定针对特殊敏感人群(如婴幼儿)的 DON、ZEN 限量标准,而玉米淀粉类食品经常作为婴幼儿辅食或零食食用^[18]。因此,我国应加快对特殊敏感人群设定单独限量;制造商应加强原料质量控制,避免采用毒素含量超标的粮食作为加工食品的原料,减少从田间到加工过程的污染风险;消费者应该选择由正规可靠的企业生产的且产品标识清楚的商品,并按照贮存条件妥善储存,避免二次污染;监管部门应密切关注原粮污染监测调查情况,尤其是因气候变化而导致的高风险污染地区,应当对其产出的粮食及其制品加强抽查和监督管理。

参考文献

- [1] 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 Bios, 2011, 20(2): 108-112.
- [2] 朱群英,索莉莉,胡美华. 液质联用同位素内标法同时测定小麦粉中 7 种真菌毒[J]. 现代预防医学, 2014, 41(23): 4362-4365, 4377.
Zhu QY, Suo LL, Hu MH. Simultaneous determination of 7 mycotoxins in wheat flour by ultra performance liquid chromatography- tandem mass spectrometry using isotope internal standard [J]. Mod Prev Med, 2014, 41(23): 4362-4365, 4377.
- [3] 杨世亚,邱景富. 食品中真菌毒素的污染状况与检测方法研究进展[J]. 现代预防医学, 2012, 39(22): 5897-5900.
Yang SY, Qiu JF. Research progress of pollution condition and detecting methods in mycotoxins in the food [J]. Mod Prev Med, 2012, 39(22): 5897-5900.

- [4] 王君, 刘秀梅. 食品中真菌毒素危险性分析的方法及现状[J]. 中华预防医学杂志, 2005, 39(6): 64-67.
Wang J, Liu XM. Methods and status of risk analysis of mycotoxins in food [J]. Chin J Prev Med, 2005, 39(6): 64-67.
- [5] 关于脱氧雪腐镰刀菌烯醇(呕吐毒素)的科学解读[J]. 粮食加工, 2018, 43(6): 24.
Scientific interpretation of deoxynivalenol [J]. Grain Proc, 2018, 43(6): 24.
- [6] 陆晶晶. 2013年中国小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染调查[J]. 卫生研究, 2013, 44(4): 658-660.
LU JJ. Pollution investigation of deoxynivalenol in wheat flour of China in 2013 [J]. J Hyg Res, 2013, 44(4): 658-660.
- [7] 潘顺叶. ZEA、DON及其联合染毒诱导 CTLL2 细胞凋亡及信号途径研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
Pan SY. Research on apoptosis mechanism on combined effects of deoxynivalenol and zearalenone in CTLL-2 cells [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.
- [8] 陈龙明, 李群伟, 侯海峰, 等. DON与NOC对肝脏致病作用的实验研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2010, 17(21): 1711-1713.
Chen LM, Li QW, Hou HF, et al. Carcinogenic effects in liver tissue caused by DON and NOC [J]. Chin J Cancer Prev Treat, 2010, 17(21): 1711-1713.
- [9] 刘静, 邢欣, 邢凌霄, 等. DON对体外培养胃癌细胞 SGC7901、BGC823 凋亡的影响[J]. 卫生研究, 2009, 38(4): 27-31.
Liu J, Xing X, Xing LX, et al. Effects of deoxynivalenol on apoptosis of human gastric carcinoma cell line SGC-7901, BGC-823 *in vitro* [J]. J Hyg Res, 2009, 38(4): 27-31.
- [10] Krska R, Baumgartner S, Josephs R. The state-of-the-art in the analysis of type-A and -B trichothecene mycotoxins in cereals [J]. Fres J Anal Chem, 2001, 371: 285-299.
- [11] 王允田. 食品中真菌毒素的污染与检测[J]. 职业与健康, 2010, 26(14): 1640-1642.
Wang YT. Mycotoxin contamination and detection in food [J]. Occup Health, 2010, 26(14): 1640-1642.
- [12] 姜淑贞, 杨维仁, 杨在宾. 玉米赤霉烯酮的代谢、毒性及其预防措施[J]. 动物营养学报, 2011, 23(2): 196-202.
Jiang SZ, Yang WR, Yang ZB. The metabolism, toxicity and preventive measures of zearalenone [J]. Chin J Anim Nutr, 2011, 23(2): 196-202.
- [13] 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-Fungal toxins limited in food [S].
- [14] 侯月娥, 姜瑞丽, 李旭宁, 等. 饲料和原料中玉米赤霉烯酮的危害及检测方法探讨[J]. 当代畜牧, 2014, (3): 30-33.
Hou YE, Jiang RL, Li XN, et al. Study on the harm and detection method of gibberellone in feed and raw materials [J]. Cont Anim Husb, 2014, (3): 30-33.
- [15] 李冬阳. 用于毒素检测的酶联免疫吸附测定(ELISA)研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
Li DY. Study on ELISA for detection of toxins [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [16] 张正征, 王丹, 李娜, 等. 山东谷物粮食脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量检测分析[J]. 中国预防医学杂志, 2018, (9): 7-10.
Zhang ZZ, Wang D, Li N, et al. Detection and analysis of fusarium content in desiccation of fusarium oxysporum in Shandong grain [J]. Chin J Prev Med, 2018, (9): 7-10.
- [17] 李昕, 秦泽明, 张维嘉, 等. 2015年山东部分地区食用植物油中黄曲霉毒素 B₁和玉米赤霉烯酮污染状况调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1): 198-203.
Li X, Qin ZM, Zhang WJ, et al. Contaminations of aflatoxin B₁ and zearalenone in edible oil in Shandong province in 2015 [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(1): 198-203.
- [18] 武亭亭, 杨丹. 粮食加工品中玉米赤霉烯酮和呕吐毒素污染情况调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3674-3678.
Wu TT, Yang D. Investigation on zearalenone and deoxynivalenol contamination in grain-related food [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(12): 3674-3678.

(责任编辑: 王欣)

作者简介



李丹迪, 主要研究方向为微生物检验。
E-mail: 17865191679@163.com



秦泽明, 硕士, 助理实验师, 主要研究方向为微生物检验。
E-mail: qinzm@sdu.edu.cn