

# 河北省小麦、玉米及其制品中16种真菌毒素污染水平调查与分析

任贝贝, 王丽英\*, 路 杨, 赵晨曦, 刘梦颖, 曹梦思, 陈福尊

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

**摘要:** **目的** 调查分析河北省小麦、玉米及其制品中16种常见真菌毒素污染状况。**方法** 收集河北省37份鲜(冻)玉米/玉米粒、74份玉米、玉米面制品以及240份小麦样品。样品经乙腈:水:甲酸(79:20:1, V:V:V)溶液超声离心提取后,通过同位素内标稀释法处理,采用液相色谱-串联质谱法进行检测。**结果** 伏马毒素小麦检出8份,玉米、玉米面制品检出66份,检出范围为ND~3889.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;玉米赤霉烯酮检出小麦检出2份,玉米、玉米面制品检出69份,检出范围为ND~323.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;脱氧雪腐镰刀菌烯醇小麦检出122份,玉米、玉米面制品检出68份,检出范围为ND~4183.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;3-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇小麦检出5份,玉米、玉米面制品检出18份;15-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇小麦检出12份,玉米、玉米面制品检出38份;其他毒素均为未检出。鲜(冻)玉米/玉米粒中16种真菌毒素均未检出。**结论** 伏马毒素、玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇为小麦、玉米及其制品的主要污染物,其污染状况应引起关注。

**关键词:** 河北;小麦;玉米;真菌毒素

## Investigation and analysis of 16 kinds of mycotoxins pollution levels in wheat, corn and products in Hebei province

REN Bei-Bei, WANG Li-Ying\*, LU Yang, ZHAO Chen-Xi, LIU Meng-Ying,  
CAO Meng-Si, CHEN Fu-Zun

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the contamination situation of 16 common mycotoxins in wheat, corn and their products from Hebei province. **Methods** Totally 37 fresh (frozen) corn/corn kernels, 74 corn and corn flour products and 240 wheat samples were collected. The samples were extracted by ultrasonic centrifugation of acetonitrile: water: formic acid (79:20:1, V:V:V) solution, then treated by isotope internal standard dilution method, and detected by liquid chromatography tandem mass spectrometry. **Results** 8 samples of fumonisins were detected in wheat, 66 samples were detected in corn and corn flour products, and the detection range was ND~3889.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 2 samples were detected in wheat zearalenone, and 69 samples were detected in corn and corn flour products. The detection range is ND~323.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 122 samples of deoxynivalenol wheat were detected, 68 samples of corn and corn flour products were detected, and the detection range was ND~4183.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 5 samples of 3-acetyl-deoxynivalenol were detected in wheat,

基金项目: 河北省卫健委跟踪项目(GZ2020091)

Fund: Supported by Hebei Provincial Health Commission Tracking Project (GZ2020091)

\*通信作者: 王丽英, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: wangliying2011@163.com

\*Corresponding author: WANG Li-Ying, Associate Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: wangliying2011@163.com

18 samples were detected in corn and corn flour products; 12 samples of 15-acetyl-deoxynivalenol were detected in wheat, 38 samples were detected in corn and corn flour products; others Toxins were not detected. **Conclusion** Fumonisin, zearalenone and deoxynivalenol are the main pollutants of wheat, corn and their products, and their pollution status should be paid attention to.

**KEY WORDS:** Hebei; wheat; corn; mycotoxins

## 0 引言

真菌毒素是真菌在生长繁殖过程中产生的次级代谢产物,广泛存在于农作物、食品和饲料中<sup>[1-2]</sup>。真菌毒素可直接污染植物及其制品,也可以通过被污染的饲料进入动物组织,进而引起人或动物中毒,真菌毒素也具有致癌、致畸、致细胞突变的危害<sup>[3-5]</sup>。

真菌毒素检测方法主要有酶联免疫法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)<sup>[6]</sup>、薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)<sup>[7]</sup>、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)<sup>[8-9]</sup>、高效液相色谱串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)<sup>[10-12]</sup>。HPLC 和 HPLC-MS/MS 是目前检测真菌毒素最常用的方法, HPLC 同时检测真菌毒素种类较少,且多需要衍生, HPLC-MS/MS 因其灵敏度高、选择性好已广泛应用于多种真菌毒素同时检测。

小麦、玉米极易受到真菌毒素污染,且可能同时存在多种真菌毒素<sup>[13-14]</sup>。马皎洁等<sup>[14]</sup>对我国部分地区 2010 年产谷物及其制品中 14 种真菌毒素污染状况进行了研究,研究表明我国玉米制品和小麦粉受多种真菌毒素污染,以脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)为主。李俊玲等<sup>[15]</sup>对河南省 2017—2019 年小麦中真菌毒素污染状况进行了分析,结果发现小麦中 16 种真菌毒素有不同程度检出,以 DON、ZEN、伏马菌素、黄曲霉毒素为主。为了解河北省小麦、玉米及其制品中污染状况,本研究对河北省鲜(冻)玉米/玉米粒、玉米、玉米面制品以及小麦样品中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>(aflatoxin B<sub>1</sub>, AFB<sub>1</sub>)、黄曲霉毒素 B<sub>2</sub>(aflatoxin B<sub>2</sub>, AFB<sub>2</sub>)、黄曲霉毒素 G<sub>1</sub>(aflatoxin G<sub>1</sub>, AFG<sub>1</sub>)、黄曲霉毒素 G<sub>2</sub>(aflatoxin G<sub>2</sub>, AFG<sub>2</sub>)、赭曲霉毒素 A(ochratoxin A, OTA)、伏马毒素 B<sub>1</sub>(fumonisin B<sub>1</sub>, FB<sub>1</sub>)、伏马毒素 B<sub>2</sub>(fumonisin B<sub>2</sub>, FB<sub>2</sub>)、伏马毒素 B<sub>3</sub>(fumonisin B<sub>3</sub>, FB<sub>3</sub>)、T-2 毒素、HT-2 毒素、杂色曲霉毒素(sterigmatocystin, ST)、DON 及其乙酰化衍生物[3-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-acetyl-deoxynivalenol, 3-ADON)、15-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-acetyl-deoxynivalenol, 15-ADON)]、雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol, NIV)、ZEN 等 16 种真菌毒素污染状况进行研究,以期评估小麦、玉米及其制品中真菌毒素对河北省区域内居民健康的潜在风险提供基础性数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 样品

选择河北省 11 个地级市为采样点。鲜(冻)玉米/玉米粒和玉米、玉米面制品从每个分采样点辖区的超市和农贸市场分别随机进行采样,采样量为 1:1;小麦样品由河北省粮食系统提供。全省采集样品共计 351 份,包括 37 份鲜(冻)玉米/玉米粒、74 份玉米面、玉米碴、玉米面窝头、玉米面饼子等玉米、玉米面制品以及 240 份小麦样品,其中玉米及其制品采于 2016 年,小麦样品 2017 年 120 份,2018 年 60 份,2019 年 60 份。样品采集后置于塑料自封袋内,编号并记录,于 -20 °C 冰箱冷冻保存。

#### 1.1.2 主要仪器与试剂

TQS 高效液相色谱串联三重四极杆质谱仪(美国 Waters 公司); JJ600 电子天平(0.01 g, 常熟市双杰测试仪器厂); GM200 刀式研磨仪(德国 Retsch 公司); P180H 超声仪(德国 Elma 公司); 3-30K 高速台式离心机(美国 Sigma 公司)。

乙腈(色谱纯,德国 Merck 公司); 甲酸(色谱纯,美国 Fisher 公司); AFB<sub>1</sub>(99.90%)、AFB<sub>2</sub>(99.30%)、AFG<sub>1</sub>(99%)、AFG<sub>2</sub>(99%)、OTA(10.08 μg/mL)、FB<sub>1</sub>(50.00 μg/mL)、FB<sub>2</sub>(50.1 μg/mL)、FB<sub>3</sub>(50.5 μg/mL)、T-2 毒素(98%)、HT-2 毒素(98%)、ST(99%)、<sup>13</sup>C-AFB<sub>1</sub>(0.503 μg/mL)、<sup>13</sup>C-AFB<sub>2</sub>(0.500 μg/mL)、ZEN(50 μg/mL)、DON(200.9 μg/mL)、D<sub>6</sub>-ZEN(50 μg/mL)、NIV(25 μg/mL)、<sup>13</sup>C-AFG<sub>1</sub>(0.5 μg/mL)、<sup>13</sup>C-AFG<sub>2</sub>(0.505 μg/mL)、<sup>13</sup>C-DON(25.3 μg/mL)、<sup>13</sup>C-ST(25 μg/mL)、<sup>13</sup>C-OTA(10 μg/mL)、<sup>13</sup>C-T-2 毒素(25 μg/mL)、<sup>13</sup>C-HT-2 毒素(25.1 μg/mL)、<sup>13</sup>C-FB<sub>1</sub>(25.0 μg/mL)、<sup>13</sup>C-FB<sub>2</sub>(10.01 μg/mL)、<sup>13</sup>C-FB<sub>3</sub>(10.02 μg/mL)、<sup>13</sup>C-NIV(25 μg/mL)、3-ADON(96%)、15-ADON(90%)(上海安谱公司); 实验用水为蒸馏水。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 液相色谱条件

色谱条件: 色谱柱为 Waters ACQUITY BEH C<sub>18</sub> 液相色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm), 流速 0.3 mL/min; 进样量 5 μL, 柱温 30 °C。正负离子分别检测, 正离子流动相 A 为 0.2% 甲酸-超纯水, B 为乙腈, 梯度洗脱程序为: 初始流动相含 20% 的 B, 保持至 1.5 min, 第 3.5 min 线性至 30%, 第

9 min 线性至 50%, 9.5 min 变为 100%, 并保持至 10.5 min, 11 min 线性回归至 20%, 并保持至 12 min; 负离子流动相 A 为超纯水, B 为乙腈, 梯度洗脱程序为: 初始流动相含 5% 的 B, 第 3.5 min 时线性至 50%, 第 4 min 时线性至 90%, 保持至 5 min, 第 5.5 min 时线性回归 5%, 并保持至 7 min。

### 1.2.2 质谱条件

离子源为电喷雾离子源(electrospray ion, ESI), AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>2</sub>、OTA、ST、T-2 毒素、HT-2 毒素、FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 采用 ESI<sup>+</sup>, DON、3-ADON、15-ADON、NIV、ZEN 采用 ESI<sup>-</sup>。采用多反应离子监测(multiple reaction monitoring, MRM)检测方式, 毛细管电压 3.0 kV, 离子源温度 150 °C, 锥孔反吹气流速 150 L/h, 脱溶剂气温度 450 °C, 脱溶剂气流速 800 L/h, 碰撞气为氩气。

### 1.2.3 样品前处理

称取 5 g 样品(精确到 0.01 g)于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 乙腈-水-甲酸溶液(79:20:1, V:V:V), 涡旋混匀 1 min, 超声 30 min。取 1.0 mL 提取液至 2 mL 离心管中, 10000 r/min 离心 5 min, 准确转移 0.5 mL 上清液至另一 2 mL 离心管中, 加入 1.0 mL 水, 涡旋混匀 1 min, 然后 10000 r/min 离心 5 min, 用 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 取 180 μL 滤液放入 3000 μL 内衬管中, 加入 200 μL 同位素混合内标溶液, 涡旋混匀后待分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 实验条件优化

根据各化合物分子的化学电离性质, 本研究分别选用 ESI<sup>+</sup>和 ESI<sup>-</sup>作为离子化模式。直接进样, 在优化质谱参数的基础上, 分别确定各标准品的母离子和子离子的质量数。结果发现 AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>2</sub>、OTA、ST、

T-2 毒素、HT-2 毒素、FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 在 ESI<sup>+</sup>模式下可获得较高灵敏度, DON、3-ADON、15-ADON、NIV 和 ZEN 在 ESI<sup>-</sup>模式下, 可获得较高的灵敏度。各目标物的监测离子对、碰撞能量、锥孔电压、离子化方式见表 1~2。其标准溶液的 MRM 色谱图见图 1~2, 各物质间区分度良好。

表 1 ESI 质谱条件  
Table 1 Mass spectrometry of ESI<sup>-</sup>

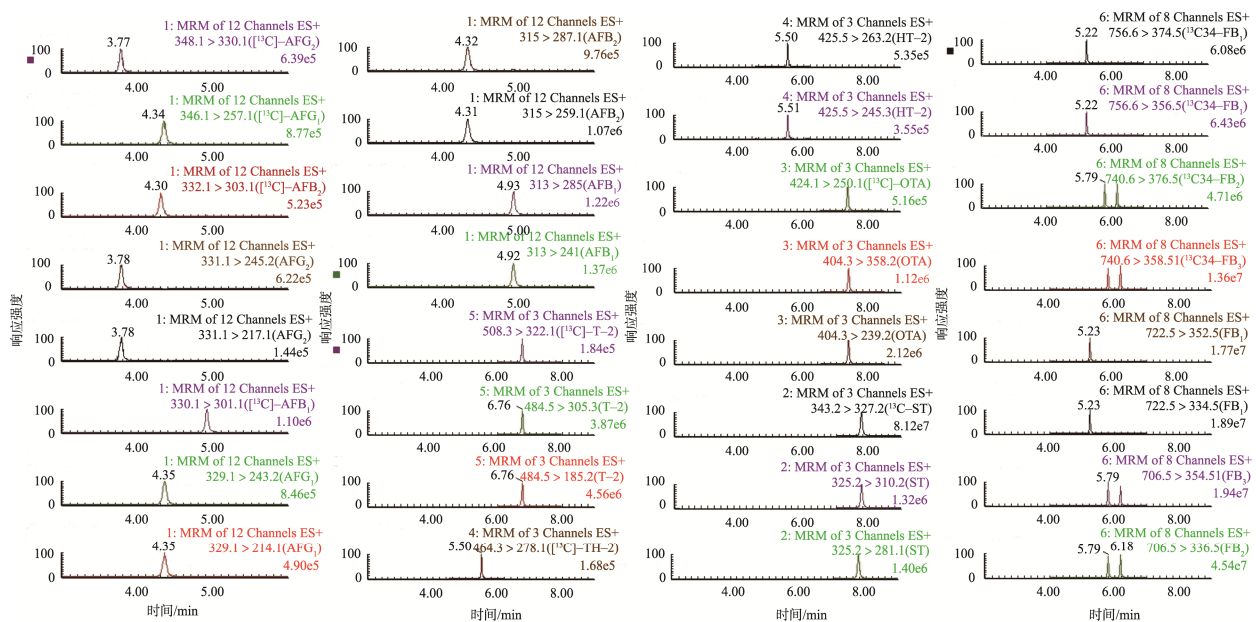
化合物	母离子 (m/z)	特征离子 (m/z)	锥孔电压 /V	碰撞能量 /eV
DON	295.0	138.0	26	19
		265.0	26	11
<sup>13</sup> C-DON	310.0	261.0	26	16
		279.0	26	11
3-ADON	337.0	173.0	24	9
		307.0	24	15
15-ADON	337.0	150.0	20	23
		219.0	20	11
NIV	310.9	281.2	40	10
		187.0	40	25
<sup>13</sup> C-NIV	326.1	295.0	40	10
		131.0	40	30
ZEN	317.2	175.1	40	26
		175.3	40	25
D <sub>6</sub> -ZEN	323.3	279.3	40	20

表 2 ESI<sup>+</sup>质谱条件  
Table 2 Mass spectrometry of ESI<sup>+</sup>

化合物	母离子 (m/z)	特征离子 (m/z)	锥孔电压/V	碰撞能量/eV
AFB <sub>1</sub>	313.0	285.0	40	23
		241.0	40	32
AFB <sub>2</sub>	315.0	287.1	36	26
		259.1	40	26
AFG <sub>1</sub>	329.1	243.2	36	20
		214.1	40	24
AFG <sub>2</sub>	331.1	245.2	40	24
		217.1	40	24

表 2(续)

化合物	母离子 ( $m/z$ )	特征离子 ( $m/z$ )	锥孔电压/V	碰撞能量/eV
OTA	404.3	239.2	21	25
		358.2	21	13
FB <sub>1</sub>	722.5	334.5	60	42
		352.5	60	38
FB <sub>2</sub>	706.5	336.5	60	36
FB <sub>3</sub>	706.5	354.5	60	32
ST	325.2	310.2	40	25
		281.1	40	31
T-2 毒素	484.5	305.3	15	15
		185.2	15	20
HT-2 毒素	425.5	236.2	13	15
		245.3	13	18
<sup>13</sup> C-AFB <sub>1</sub>	330.1	301.1	40	20
<sup>13</sup> C-AFB <sub>2</sub>	332.1	303.1	40	24
<sup>13</sup> C-AFG <sub>1</sub>	346.1	257.1	40	28
<sup>13</sup> C-AFG <sub>2</sub>	348.1	330.1	40	24
<sup>13</sup> C-OTA	424.1	250.1	21	27
<sup>13</sup> C-FB <sub>1</sub>	756.6	356.5	60	42
<sup>13</sup> C-FB <sub>2</sub>	740.6	376.5	60	36
<sup>13</sup> C-FB <sub>3</sub>	740.6	358.5	60	40
<sup>13</sup> C-ST	343.2	327.2	40	25
<sup>13</sup> C-T-2	508.3	322.1	15	15
<sup>13</sup> C-HT-2	464.3	278.1	20	13

图 1 ESI<sup>+</sup>真菌毒素标准溶液 MRM 色谱图Fig.1 ESI<sup>+</sup> MRM chromatograms of mycotoxins standards

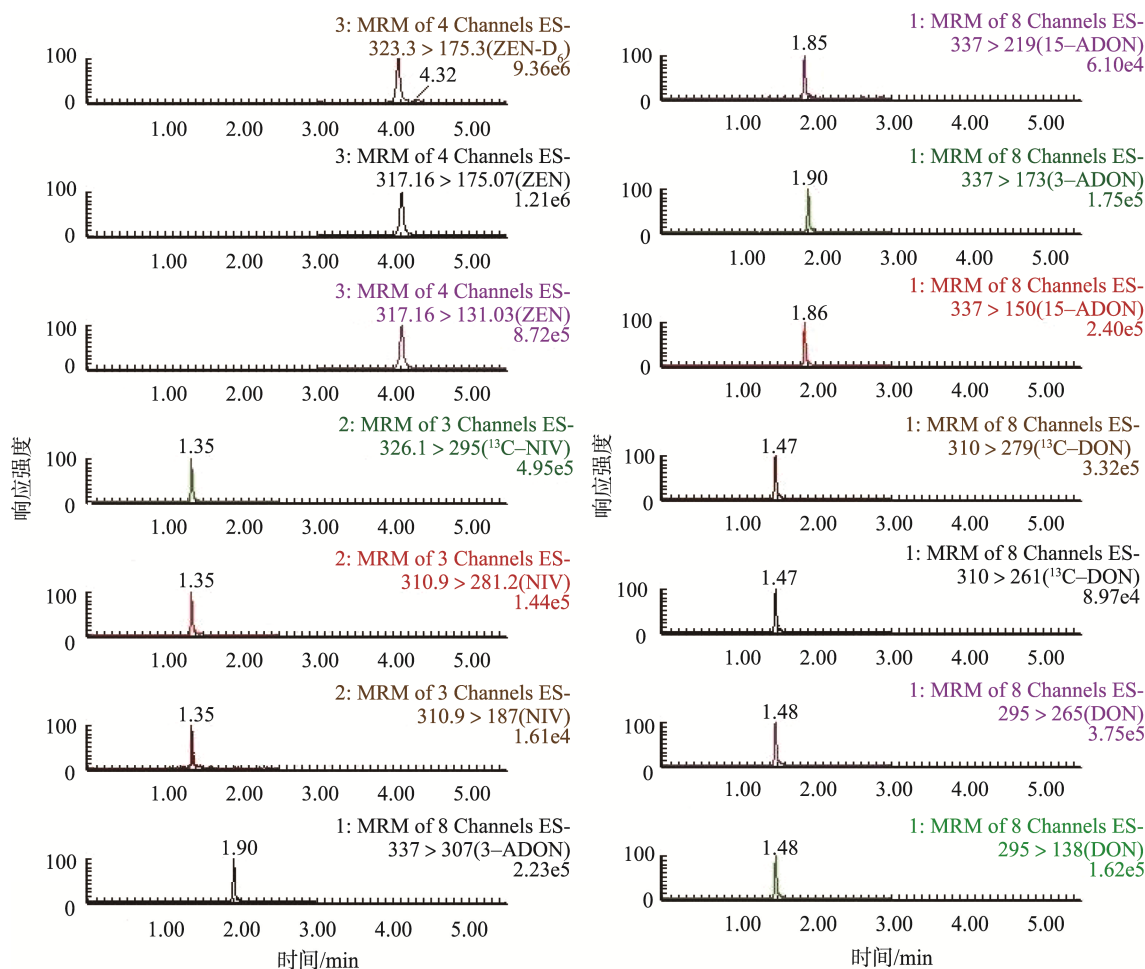


图 2 ESI真菌毒素标准溶液 MRM 色谱图

Fig.2 ESI MRM chromatograms of mycotoxins standards

## 2.2 回收率和精密度

本研究在所考察的线性范围内, 16 种真菌毒素均获得良好线性, 相关系数均不低于 0.999; 以基线噪音的 3 倍 ( $S/N=3$ ) 和 10 倍 ( $S/N=10$ ) 分别对应的目标化合物的浓度作为检出限(limit of detection, LOD)和定量限(limit of quantitation, LOQ)的规则, 计算得到 16 种真菌毒素的检出限和定量限见表 3, 满足实际样品检测和限量要求。以阴性样品为加标基质, 分别在高、中、低 3 个水平进行加标实验, 每个加标水平平行测定 6 次, 计算目标化合物的回收率和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。方法回收率为 79.4%~96.3%, RSD 为 3.2%~6.6%, 方法精密度较高。

## 2.3 不同类别食品中 16 种真菌毒素检出情况

小麦、玉米及其制品中 16 种真菌毒素检出情况见表 4。从表 4 中可以看出, 351 份样品中, AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>2</sub>、OTA、T-2 毒素、HT-2 毒素、ST、NIV、3A-DON 和 15A-DON 检出率均不高, 检测值较低; FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 在小麦及鲜(冻)玉米/玉米粒中检出率不高, 检测值较低,

但在玉米、玉米面制品中检出率较高, 检出率为 89.2%, 检出范围为 ND~3889.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; ZEN 在小麦及鲜(冻)玉米/玉米粒中检测值较低, 但在玉米、玉米面制品中检出率较高, 检出率为 93.2%, 检出范围为 ND~323.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; DON 在鲜(冻)玉米/玉米粒中未检出, 在小麦和玉米、玉米面制品中检出率较高, 其中小麦中检出率为 50.8%, 玉米、玉米面制品检出率为 91.9%, 检出范围为 ND~4183.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

37 份鲜(冻)玉米/玉米粒中 16 种真菌毒素均未检出。

74 份玉米、玉米面制品中均未检出 AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>2</sub>、OTA、T-2 毒素、HT-2 毒素、ST、NIV; DON 共检出 68 份, 检出率为 91.9%; 3-ADON 共检出 18 份, 检出率为 24.3%; 15-ADON 共检出 38 份, 检出率为 51.4%; FB<sub>1</sub> 共检出 66 份, 检出率为 89.2%; FB<sub>2</sub> 共检出 66 份, 检出率为 89.2%; FB<sub>3</sub> 共检出 62 份, 检出率为 83.8%; ZEN 共检出 69 份, 检出率为 93.2%, 其中有 14 份样品超过限量标准 60  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[16]</sup>, 超标率为 18.9%。阳性样品在超市和农贸市场所采样品中分别为 85.7%和 97.4%, 超市样品略优于农贸市场样品。

表 3 16 种真菌毒素检出限与定量限  
Table 3 Limits of detection and limits of quantitation of 16 mycotoxins

真菌毒素	检出限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	定量限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	真菌毒素	检出限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	定量限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
AFB <sub>1</sub>	0.3	1.0	DON	10.0	30.0
AFB <sub>2</sub>	0.3	1.0	3-ADON	20.0	60.0
AFG <sub>1</sub>	1.0	3.0	15-ADON	20.0	60.0
AFG <sub>2</sub>	1.0	3.0	ZEN	1.0	3.0
OTA	1.0	3.0	T-2 毒素	2.0	6.0
FB <sub>1</sub>	5.0	15.0	HT-2 毒素	10.0	30.0
FB <sub>2</sub>	5.0	15.0	NIV	20.0	60.0
FB <sub>3</sub>	10.0	30.0	ST	1.0	3.0

表 4 不同类别食品中真菌毒素检出情况  
Table 4 Fusarium detection in different categories of food

真菌毒素	小麦		玉米、玉米面制品		鲜(冻)玉米/玉米粒	
	检出范围/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	检出率/%	检出范围/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	检出率/%	检出范围/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	检出率/%
AFB <sub>1</sub>	ND	0	ND	0	ND	0
AFB <sub>2</sub>	ND	0	ND	0	ND	0
AFG <sub>1</sub>	ND	0	ND	0	ND	0
AFG <sub>2</sub>	ND	0	ND	0	ND	0
OTA	ND	0	ND	0	ND	0
FB <sub>1</sub>	ND~124.7	2.5	ND~3889.9	89.2	ND	0
FB <sub>2</sub>	ND~28.2	0.4	ND~1292.7	89.2	ND	0
FB <sub>3</sub>	ND~21.7	0.4	ND~598.2	83.8	ND	0
T-2 毒素	ND	0	ND	0	ND	0
HT-2 毒素	ND	0	ND	0	ND	0
DON	ND~4183.4	50.8	ND~876.0	91.9	ND	0
3-ADON	ND~66.9	2.1	ND~39.2	24.3	ND	0
15-ADON	ND~90.6	5.0	ND~248.8	51.4	ND	0
ZEN	ND~8.0	0.8	ND~323.2	93.2	ND	0
NIV	ND	0	ND	0	ND	0
ST	ND	0	ND	0	ND	0

注: ND 表示检测结果小于检出限, 按未检出统计。

玉米、玉米面制品购于当年 8~9 月, 经过高温高湿的暑期, 真菌毒素大量繁殖, 检出率和超标率远高于鲜(冻)玉米/玉米粒。控制玉米及其制品夏季存储条件, 可以极大

降低真菌毒素污染。

240 份小麦样品中均未检出 AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>2</sub>、OTA、T-2 毒素、HT-2 毒素、ST、NIV、FB<sub>1</sub> 共检出

6份,检出率为2.5%;FB<sub>2</sub>共检出1份,检出率为0.4%;FB<sub>3</sub>共检出1份,检出率为0.4%;ZEN共检出2份,检出率为0.8%;3-ADON共检出5份,检出率为2.1%;15-ADON共检出12份,检出率为5.0%;DON共检出122份,检出率为50.8%,其中有14份样品检出值超过限量标准1000 μg/kg<sup>[16]</sup>,超标率为5.8%。122份DON阳性样品中,2017年检出14份,检出值为62.4~612.6 μg/kg;2018年检出60份,检出值为19.5~4183.4 μg/kg;2019年检出8份,检出值为113.5~664.1 μg/kg。2018年小麦中DON检出率和超标率明显高于其他年份,这可能与当年气候条件有关。研究表明,湿润的气候条件十分利于DON的产生。小麦生长期赤霉病的防治以及小麦收获后存储条件的控制有助于降低真菌毒素污染。

### 3 结论与讨论

本研究对河北省小麦、玉米及其制品中16种常见真菌毒素污染状况进行调查分析。结果表明,16种真菌毒素中,污染较为严重的是ZEN、DON以及伏马毒素,其检出率和超标率明显高于其他毒素。ZEN共检出14份超标样品,均为玉米、玉米面制品,阳性样品最大值为323.2 μg/kg,超标5.38倍;DON共检出14份超标样品,均为小麦样品,阳性样品最大值为4183.4 μg/kg,超标4.18倍。伏马毒素在玉米、玉米面制品中检出率较高,其中FB<sub>1</sub>阳性样品最大值为3889.9 μg/kg,FB<sub>2</sub>阳性样品最大值为1292.7 μg/kg,FB<sub>3</sub>阳性样品最大值为598.2 μg/kg,但目前我国尚未制定伏马毒素限量标准,欧盟规定伏马毒素(FB<sub>1</sub>+FB<sub>2</sub>)在供人直接食用的玉米和玉米制品中限量为1000 μg/kg。玉米、玉米面制品中毒素检测值偏高,可能是由于玉米加工后储存时间过长,储存方式不合理导致毒素进一步繁衍、污染,其污染状况应当引起关注。小麦易受真菌毒素污染主要原因有:(1)小麦抽穗扬花期收到真菌侵染产生赤霉病;(2)收获储藏期干燥不充分或储存条件不当。注重小麦田间种植阶段赤霉病的防治、控制小麦收获、储藏条件,减少真菌毒素的进一步污染,对于保障地区食品安全及人民身体健康具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 宫小明,郝莹,董静,等.真菌毒素检测技术的研究进展[J].检验检疫学报,2010,20(2):67-69.  
GONG XM,HAO Y,DONG J,et al. Review of research progress for the detection of mycotoxins [J]. J Inspect Quarant, 2010, 20(2): 67-69.
- [2] CHANDELIER A, NIMAL C, ANDRÉ F, et al. *Fusarium* species and DON contamination associated with head blight in winter wheat over a 7-year period (2003-2009) in Belgium [J]. Eur J Plant Pathol, 2011, 130(3): 403-414.
- [3] TURNER NW, BRAMHMBHATT H, SZABOVEZSE M, et al.

- Analytical methods for determination of mycotoxins: An update (2009-2014) [J]. Anal Chim Acta, 2015, 901(2): 12-33.
- [4] 史建荣,刘馨,仇建波,等.小麦种镰刀菌毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染现状与防控研究进展[J].中国农业科学,2014,47(18):3641-3654.  
SHI JR, LIU X, QIU JB, et al. Deoxynivalenol contamination in wheat and its management [J]. Sci Agric Sin, 2014, 47(18): 3641-3654.
- [5] 袁航.粮食中主要真菌毒素危害及联合毒性研究进展[J].食品与机械,2019,35(11):223-227.  
YUAN H. Research progress on hazards and toxicity of major mycotoxins in grains [J]. Food Mach, 2019, 35(11): 223-227.
- [6] LING S, PANG J, YU J, et al. Preparation and identification of monoclonal antibody against fumonisin B<sub>1</sub> and development of detection by IC-ELISA [J]. Toxicon, 2014, (80): 41-49.
- [7] TEIXEIRA TR, HOELTZ M, EINLOFT TC, et al. Determination of ochratoxin A in wine from the southern region of Brazil by thin layer chromatography with a charge-coupled detector [J]. Food Addit Contam B, 2011, 4(4): 289-293.
- [8] 于彦斌,万述伟,谭培功,等. OASIS HLB 固相萃取-高效液相色谱柱后衍生荧光检测花生中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> 和 G<sub>2</sub> [J]. 色谱, 2004, (6): 658.  
YU YB, WAN SW, TAN PG, et al. Study on determination of aflatoxins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> and G<sub>2</sub> in peanuts using OASIS HLB cartridges with post-column derivatization HPLC and fluorescence detection [J]. Chin J Chromaogr, 2004, (6): 658.
- [9] 梁桂娟,张琼,杨波,等.高效液相色谱-荧光检测法检测大米中的赭曲霉毒素 A [J]. 中国酿造, 2015, 34(8): 136-138.  
LIANG GJ, ZHANG Q, YANG B, et al. Determination of ochratoxin A in rice by HPLC-FLD [J]. China Brew, 2015, 34(8): 136-138.
- [10] 邹森,陈曦,刘思飞,等.超高效液相色谱串联质谱法测定食用油中16种真菌毒素[J].化学分析计量,2019,28(6):55-65.  
ZOU M, CHEN X, LIU SF, et al. Determination of 16 mycotoxins in edible oil by UPLC-MS [J]. Chem Anal Meter, 2019, 28(6): 55-65.
- [11] 方真,曲粟,古淑青,等.加速溶剂萃取-QuEChERS-超高效液相色谱法测定药食同源性食品中16种真菌毒素[J].色谱,2020,38(7):782-790.  
FANG Z, QU L, GU SQ, et al. Determination of 16 mycotoxins in drug and food homologous products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with accelerated solvent extraction and QuEChERS [J]. Chin J Chromaogr, 2020, 38(7): 782-790.
- [12] 孙雪,郗存显,唐柏彬,等.复合免疫亲和柱净化-液相色谱-串联质谱法测定动物源食品中6种黄曲霉毒素和6种玉米赤霉醇类真菌毒素残留量[J].分析化学,2016,44(6):970-978.  
SUN X, XI CX, TANG BB, et al. Determination of aflatoxins and zearanol in animal-originated foods by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with immunoaffinity clean-up column [J]. Chin J Anal Chem, 2016, 44(6): 970-978.
- [13] 朱克卫,任尧.粮食作物中真菌毒素及其检测与脱除方法研究进展[J].粮食与油脂,2014,27(8):66-69.  
ZHU KW, REN Y. Research progress on mycotoxins in food crop and its detection and removal methods [J]. J Cere Oil, 2014, 27(8): 66-69.
- [14] 马皎洁,邵兵,林肖惠,等.我国部分地区2010年产谷物及其制品中

多组分真菌毒素污染状况研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(6): 481-486.

MA JJ, SHAO BJ, LIN XH, *et al.* Study on the natural occurrence of multi-mycotoxin in cereal and cereal-based product samples collected from parts of China in 2010 [J]. Chin J Food Hyg, 2011, 23(6): 481-486.

[15] 李俊玲, 吴俊威, 申磊. 河南省小麦中真菌毒素污染状况分析[J]. 职业与健康, 2020, 36(16): 2207-2209, 2213.

LI JL, WU JW, SHEN L. Analysis of mycotoxin contamination in wheat in Henan province [J]. Occup Health, 2020, 36(16): 2207-2209, 2213.

[16] 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 mycotoxin in food [S].

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



任贝贝, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 498176842@qq.com



王丽英, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: wangliying2011@163.com

## “保健食品的研发与检测”专题征稿函

保健食品是指具有特定保健功能或者以补充维生素、矿物质为目的的食品。保健食品亦称功能性食品, 是特定的食品种类, 有调节人体功能的作用。

本刊特别策划了“**保健食品的研发与检测**”专题, 由北京联合大学 闫文杰副教授 担任专题主编。专题围绕但不限于**保健食品的开发、功能性活性成分提取与检测、新型保健食品研发、功能性食品添加剂、保健食品配料、保健功能性物质(肽与蛋白质、功能性油脂、多糖、微量元素、维生素等)应用、研发与检测**等方面, 或您认为有意义的相关领域开展论述和研究。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 本刊主编吴永宁研究员、专题主编闫文杰副教授及编辑部全体成员特别邀请您为本专题撰写稿件。研究论文、综述、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。

本专题计划于 2021 年 5~6 月出版, 请您于 2021 年 3 月 31 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

希望您通过各种途径宣传此专题, 并积极为本专题推荐稿件和约稿对象。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)(注明保健食品的研发与检测专题)

E-mail: [jfoodsq@126.com](mailto:jfoodsq@126.com)(注明保健食品的研发与检测专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部