

论著

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马皎洁¹, 邵兵², 林肖惠¹, 于红霞³, 李凤琴¹

(1. 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所, 北京 100021; 2. 北京市疾病预防控制中心, 北京 100013; 3. 山东大学公共卫生学院, 山东 济南 250012)

摘要:目的 了解我国部分地区 2010 年产谷物及其制品中多组分真菌毒素污染状况。方法 2010 年在安徽、云南、福建、甘肃、广西、海南、黑龙江、湖北、湖南、江西、山西和上海 12 个省(市/自治区)采集玉米及其制品、小麦粉、大米和花生共计 650 份样品,用超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)方法检测 14 种真菌毒素。结果 玉米制品和小麦粉样品中污染的真菌毒素主要是 B 类单端孢霉烯族化合物和玉米赤霉烯酮(ZEN)。215 份玉米样品中有 84.65% 检出脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON),其中 7 份样品中的 DON 污染水平超过我国规定的 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 限量标准,超标 1.08~2.51 倍(平均 1.77 倍);69.30% (149/215)的玉米样品 ZEN 阳性,其中 23 份样品中的 ZEN 水平超过我国规定的 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 限量标准,超标 1.06~19.19 倍,平均 4.32 倍。53.02% 的玉米样品还受到黄曲霉毒素的污染,其中有 12 份样品中 AFB₁ 含量超过了我国规定的 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 限量标准,尤以云南、广西样品受污染较重。125 份小麦粉样品中,仅有 1 份来自湖北的样品其 DON 污染水平(1 016.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 超过我国规定的 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 限量标准。40.41% 的花生样品不同程度地受到黄曲霉毒素的污染,其中有 5 份样品中的 AFB₁ 水平超过 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的国家限量标准;大米受真菌毒素的污染较轻。结论 我国玉米制品和小麦粉受多种真菌毒素污染,且以 B 类单端孢霉烯族化合物和 ZEN 为主;玉米和花生不同程度地受到黄曲霉毒素的污染。

关键词: 谷物制品;真菌毒素;食品安全;食品污染物

中图分类号: R151.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2011)06-0481-08

Study on the natural occurrence of multi-mycotoxin in cereal and cereal-based product samples collected from parts of China in 2010

Ma Jiaojie, Shao Bing, Lin Xiaohui, Yu Hongxia, Li Fengqin

(National Institute for Nutrition and Food Safety, China CDC, Beijing 100021, China)

Abstract: Objective To elucidate the natural occurrence of multi-mycotoxin in cereal and cereal-based products collected from parts of China in 2010. **Methods** A total of 650 corn and corn product, wheat flour, rice and peanut samples collected from Anhui, Yunnan, Fujian, Gansu, Guangxi, Hainan, Heilongjiang, Hubei, Hunan, Jiangxi, Shanxi and Shanghai provinces (cities/autonomous regions) in 2010 were analyzed for 14 kinds of mycotoxin by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Results** Corn product and wheat flour samples were mainly contaminated by type B trichothecenes as well as zearalenone (ZEN). Among 215 of corn samples, 182 (84.65%) were positive for deoxynivalenol (DON) and the contamination level of DON in 7 samples was 1.08 to 2.51 times (average: 1.77 times) of the tolerance limit of 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ for DON. ZEN was found in 69.30% of corn samples and the concentration of ZEN in 23 samples was higher than the tolerance limit of 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ for ZEN, which was 1.06 to 19.19 times (average 4.32 times) higher than the tolerance limit. Additionally, 53.02% of corn samples were also positive for AFB₁ with a level of exceeding the tolerance limit of 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in 12 samples. Samples from Yunnan and Guangxi were heavily contaminated by AFB₁. Only one of 125 wheat flour samples collected from Hubei was contaminated by DON at the level of 1 016.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$, which was a little bit higher than the tolerance limit (1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$) for DON. Among 292 peanut samples, 118 (40.41%) were contaminated by aflatoxins and the level of AFB₁ in 5 samples was higher than the tolerance limit of 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The level of mycotoxins detected in rice was very low. **Conclusion** Corn product and wheat flour

收稿日期: 2011-09-15

基金项目: 国家质检总局公益项目(200910278)

作者简介: 马皎洁 女 硕士研究生 研究方向为生物毒素

通信作者: 李凤琴 女 研究员 博士生导师 研究方向为食品微生物 E-mail: lifengqin0224@gmail.com

于红霞 女 教授 硕士生导师 研究方向为营养与食品卫生 E-mail: yuhx@sdu.edu.cn

samples analyzed in this study were contaminated by multi-mycotoxins , mainly by type B trichothecenes and ZEN. Some corn product and peanut samples were positive for aflatoxins.

Key words: Cereal-based products; contamination; food safety; food contaminants

真菌是浸染农作物的重要病原菌之一 ,不仅造成粮食减产和品质降低 ,其生长过程中还可产生有毒代谢产物真菌毒素 ,人和动物进食被真菌毒素污染的食品及饲料后可引起急慢性中毒。我国地域辽阔 ,气候差异较大 ,一种农作物被多种真菌及其毒素污染的情况较为常见 ,从植物保护、农产品质量和人类健康影响严重程度的角度考虑 ,谷物及其制品中污染的具有重要卫生学意义的真菌毒素有单端孢霉烯族化合物、玉米赤霉烯酮 (zearalenone , ZEN) 、黄曲霉毒素 (aflatoxin) 、交链孢霉毒素等 ,其中与人类健康关系最密切、曾引起人和动物中毒的真菌毒素是 B 类单端孢霉烯族化合物中的脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol ,DON) 及其乙酰化衍生物和 ZEN。

DON 是赤霉病谷物的重要指示性毒素 ,具有很强的致呕吐作用 ,因此又被称为“呕吐毒素”。人类摄入被 DON 污染的食品后可引起呕吐、腹泻、头疼、头晕等以消化系统和神经系统为主的中毒症状。DON 还可引起实验动物食欲下降、体重降低等慢性中毒表现 ,并具有免疫毒性和生殖发育毒性。随着研究的深入 ,近几年世界各国相继报道了 DON 的隐蔽型如 DON-3-葡萄糖苷 (DON-3-glucoside ,DON-3-G) 协同污染谷物的情况。鉴于一种谷物可被多种真菌同时浸染 ,导致同一谷物和食品可被多种真菌毒素同时污染的情况 ,为了解我国主粮及其制品中多组分真菌毒素污染状况 ,本研究对我国部分地区 2010 年产小麦、玉米、大米、花生及其制品中多组分真菌毒素污染状况进行研究 ,为我国居民膳食暴露真菌毒素评估提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 仪器

ACQUITY™ 超高效液相色谱仪和 Ultima™ Micromass® -Quattro Pt 质谱仪及 Masslynx 色谱工作站 (美国 Waters 公司) 。电子天平; 粉碎机; 冷冻离心机; 小型离心机; 数控超声波清洗器; 纯水仪; 自动涡旋混合器; 氮吹仪; 可调式移液器; Mycosep226 多功能净化柱; 黄曲霉毒素免疫亲和柱 (美国 Romer Labs) ; 玻璃纤维滤纸。

1.1.2 试剂及真菌毒素标准溶液

甲醇和乙腈、98% 甲酸、氨水 (分析纯) 、氯化钠 (优级纯) 、超纯水 (25 ℃ 电阻率大于

18.2 MΩ·cm) 。

3 μg/ml 的黄曲霉毒素 B₁ (aflatoxin B₁ ,AFB₁) 、黄曲霉毒素 B₂ (AFB₂) 、黄曲霉毒素 G₁ (AFG₁) 、黄曲霉毒素 G₂ (AFG₂) 苯-乙腈混合溶液 (98:2 ,V/V) , 50 μg/ml ZEN 乙腈溶液 ,103.7 μg/ml T-2 毒素乙腈溶液 ,以上试剂均购自美国 Supelco 公司; 100.8 μg/ml DON 乙腈溶液 ,104.0 μg/ml 15-乙酰化 DON (15-acetylene-DON ,15-A-DON) 乙腈溶液 ,101.1 μg/ml 3-乙酰化 DON (3-acetylene-DON 3-A-DON) 乙腈溶液 ,49.6 μg/ml DON-3-G 乙腈溶液 ,100.9 μg/ml 雪腐镰刀菌烯醇 (nivalenol ,NIV) 乙腈溶液 ,102.1 μg/ml 镰刀菌烯酮-X (fusarenon-X ,FX) 乙腈溶液 ,102.2 μg/ml 二乙酰蔗草镰孢烯醇 (diacetoxyscripenol ,DAS) 乙腈溶液 ,101.6 μg/ml HT-2 毒素乙腈溶液 ,均购于美国 Romer 公司。

分别吸取一定体积的 14 种真菌毒素单标工作液于 10 ml 棕色容量瓶中 ,用 40% 的甲醇水溶液定容至刻度 ,制成 100.0 ng/ml 的毒素标准混合液 ,4 ℃ 保存备用。

1.1.3 粮食品

根据地理位置、气候条件等情况 ,选择安徽、云南、福建、甘肃、广西、海南、黑龙江、湖北、湖南、江西、山西和上海 12 个省 (自治区/直辖市) 为采样点。为保证所采样品的代表性 ,根据 2010 年国家食品安全风险监测计划要求 ,每个省又设 4~8 个地市分采样点 ,从每个分采样点所辖的超市、农家和农贸市场分别进行采样 ,全国共采集 2010 年产玉米、小麦、大米和花生及其制品共计 650 份样品。样品信息见表 1。其中玉米样品中有 171 份是玉米面 (渣/片) ,44 份为玉米粒 (包括爆米花用玉米粒) 。样品采集后置入塑料自封袋内 ,编号并记录 ,于阴凉干燥处保存。

1.2 测定方法

1.2.1 样品提取净化

按文献 [1] 进行。

1.2.2 仪器条件

液相色谱条件、质谱条件均按文献 [1] 进行。各毒素检测限为: DON、3-A-DON、15-A-DON、ZEN 和 NIV 均为 0.10 μg/kg ,AFB₁ 和 AFB₂ 均为 0.03 μg/kg ,AFG₁ 和 AFG₂ 均为 0.15 μg/kg ,T-2 毒素和 HT-2 毒素均为 0.20 μg/kg ,FX、DAS 和 DON-3-G 分别为 0.30、0.50 和 1.00 μg/kg。

1.3 数据处理

1.3.1 毒素污染水平测得数据的处理

表 1 本研究用谷物及其制品样品信息

Table 1 The number of cereal and cereal-based product samples used in this study

采样地区	样品数量				
	玉米	小麦粉	花生	大米	合计
安徽	30	20	58	-	108
云南	14	3	16	-	33
福建	16	2	27	-	45
甘肃	17	10	30	-	57
广西	44	22	34	-	100
海南	3	6	6	9	24
黑龙江	18	9	-	-	27
湖北	20	8	29	-	57
湖南	10	11	15	-	36
江西	11	3	23	9	46
山西	13	7	-	-	20
上海	19	24	54	-	97
合计	215	125	292	18	650

注: - 为没有采样。

按照 WHO 全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第二次会议“食品中低水平污染物可信评鉴”中对未检出数据的“推荐”标准对数据进行处理^[2],即对于样品中毒素含量的实测值小于 LOD 的比例 < 60% 时,将所有低于 LOD 的检测结果均赋予 1/2 LOD 值后统计;对于样品中毒素含量的实测值小于 LOD 的比例 ≥ 60% 时,则采取对所有低于 LOD 的检测结果赋予 LOD 值后统计。

1.3.2 统计学分析

计算各毒素污染水平的最大值、最小值、均值、中位数及阳性率等参数;用 SPSS 17.0 软件对多种毒素的污染水平进行 *t* 检验,用单因素方差分析对 DON-3-G、3-A-DON 和 15-A-DON 三种毒素污染水平差异进行两两比较,用 Spearman 等级相关对 DON 与 ZEN 的相关性进行分析。

2 结果

2.1 玉米样品中多组分真菌毒素污染状况

12 个省(自治区/直辖市)玉米样品中真菌毒素的污染状况见表 2,分别测定各省不同地区的样品中的各种毒素含量,测定后分别取均数得到表 2 中数据。由表 2 可见,12 省市玉米中污染的毒素主要为镰刀菌毒素,且以 B 类单端孢霉烯族化合物和 ZEN 污染最重、检出率最高,其中 B 类单端孢霉烯族化合物中尤以 DON 的污染水平最高。在 12 省市分析的共计 215 份玉米样品中,有 182 份(84.65%)检出 DON,污染水平范围 0.10 ~ 2 511.70 μg/kg(均数:196.86 μg/kg,中位数:59.10 μg/kg),阳性样品中有 7 份(3.85%,7/182)DON 的污染水平超过我国规定的 1 000 μg/kg 限量标准,超标范围 1.08 ~ 2.51 倍(平均 1.77 倍);分省市的统计结果显示,玉米样品中 DON 污染最重的省份依次是湖北(均值

390.94 μg/kg)、甘肃(均值 325.58 μg/kg)、上海(均值 307.58 μg/kg)、安徽(均值 305.62 μg/kg)和海南(均值 271.20 μg/kg)。由表 2 还可看出,多数玉米样品(69.30%,149/215)受 ZEN 污染,污染水平范围 0.10 ~ 1 151.40 μg/kg(均数 49.02 μg/kg,中位数 8.00 μg/kg),阳性样品中有 23 份(15.44%,23/149)ZEN 污染水平超过我国规定的 60 μg/kg 限量标准,超标范围 1.06 ~ 19.19 倍,平均 4.32 倍。且 ZEN 的污染水平随着 DON 污染水平的提高而升高,Spearman 等级相关分析结果显示,二者呈正相关($r = 0.75, P < 0.05$)。

从全国整体水平而言,玉米样品中 DON 的污染水平均高于其三种衍生物 15-A-DON、3-A-DON 及 DON-3-G 中的任何一种。三种衍生物中浓度由高到低依次为 15-A-DON(均数 68.72 μg/kg)、DON-3-G(均数 46.73 μg/kg)和 3-A-DON(均数 8.17 μg/kg),且 15-A-DON 和 DON-3-G 的污染水平均高于 3-A-DON(P 值均 < 0.01)。分省统计结果显示,黑龙江产玉米中 15-A-DON 的污染水平高于 3-A-DON($P < 0.01$);而湖南产玉米中 DON-3-G 的污染比 3-A-DON 严重($P < 0.05$);其余各省此三种毒素的污染水平差异均无统计学意义。

此外,玉米样品还不同程度地受到黄曲霉毒素的污染,有半数以上的样品(53.02%,114/215)AFB₁ 阳性,而阳性样品中有 12 份(10.53%,12/114)样品中 AFB₁ 含量超过了我国规定的 20 μg/kg 限量标准,超标 1.10 ~ 29.07 倍,平均 6.11 倍。玉米中 AFB₁ 污染较为严重的省份是云南和广西,而云南 35.71%(5/14)的玉米样品中 AFB₁ 含量超过国家限量标准,超标范围 1.49 ~ 22.59 倍,平均超标 6.23 倍;广西 13.64%(6/44)的样品中 AFB₁ 含量超标,超标范围 1.10 ~ 29.07 倍,平均超标 6.46 倍。值得注意的是两省/区玉米样品中 AFB₁ 的平均水平(云南 57.30 μg/kg,广西 22.84 μg/kg)已分别是限量标准的 2.87 倍和 1.14 倍,说明两省区玉米中 AFB₁ 的含量整体水平较高。此外,1 份来自湖南的玉米样品也被高浓度的 AFB₁(67.60 μg/kg,超标 3.38 倍)污染。

2.2 小麦粉样品中多组分真菌毒素的污染状况

12 个省(自治区/直辖市)小麦粉样品中真菌毒素的污染状况见表 3。由表 3 可见,与玉米样品相比,小麦粉样品中真菌毒素的污染水平较低,在所分析的 125 份小麦粉样品中,仅有 1 份来自湖北的样品 DON 污染水平(1 016.80 μg/kg)稍高于我国规定的 1 000 μg/kg 限量标准。小麦粉中 DON 污染较重的省份有湖北(均值 406.24 μg/kg)、安徽(均

表 2 我国部分省(市/自治区)2010 年产玉米样品中 14 种真菌毒素污染状况

Table 2 Natural occurrence of 14 kinds of mycotoxin in corn and corn-based product samples harvested in 2010 collected from parts of China

地区	统计量	毒素水平(μg/kg)													
		B 类单端孢霉烯族化合物						ZEN	A 类单端孢霉烯族化合物			黄曲霉毒素			
		DON	3ADON	15ADON	DON-3-G	NIV	FX		DAS	HT-2	T-2	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
范围	1.10 ~ 2082.10	0.20 ~ 57.50	0.80 ~ 438.30	1.40 ~ 1979.20	0.10 ~ 25.30	0.15 ~ 17.20	0.30 ~ 1151.40	0.25 ~ 19.10	0.30 ~ 2.00	0.10 ~ 1.00	0.10 ~ 1.70	0.10 ~ 0.40	0.15 ~ 0.40	0.08 ~ 1.30	
安徽 均值	305.62	8.79	124.64	136.28	5.59	3.29	79.74	2.70	0.94	0.29	0.29	0.21	0.19	0.37	
中位数	205.85	3.20	84.50	41.45	3.30	1.60	13.80	1.60	0.75	0.20	0.20	0.20	0.15	0.35	
阳性率(%)	100.00	93.33	100.00	100.00	93.33	96.67	90.00	76.67	26.67	76.67	50.00	23.33	26.67	40.00	
范围	0.30 ~ 280.40	0.10 ~ 2.00	0.30 ~ 59.70	0.50 ~ 12.80	1.40 ~ 185.60	1.00 ~ 69.90	9.70 ~ 56.20	0.25 ~ 1.00	-	-	0.10 ~ 451.80	0.10 ~ 35.20	0.15 ~ 0.70	0.08 ~ 7.70	
云南 均值	41.09	0.50	8.31	2.43	63.45	16.88	26.46	0.37	-	-	57.30	6.44	0.43	1.57	
中位数	8.30	0.20	2.60	0.50	25.50	5.40	21.80	0.25	-	-	3.60	2.40	0.43	0.60	
阳性率(%)	85.71	64.29	100.00	71.43	100.00	100.00	35.71	64.29	-	-	78.57	50.00	14.29	50.00	
范围	1.10 ~ 913.00	0.30 ~ 60.30	0.40 ~ 464.70	0.50 ~ 250.40	0.20 ~ 11.00	0.15 ~ 9.10	0.30 ~ 77.00	0.25 ~ 0.70	0.10 ~ 0.20	-	0.10 ~ 0.70	0.10	0.15	-	
福建 均值	160.54	11.36	63.64	46.41	2.46	3.16	11.64	0.37	0.11	-	0.32	0.10	0.15	-	
中位数	98.45	3.20	32.05	26.00	0.90	1.50	4.75	0.25	0.10	-	0.25	0.10	0.15	-	
阳性率(%)	100.00	81.25	100.00	81.25	87.50	75.00	87.50	56.25	50.00	-	37.50	37.50	6.25	-	
范围	5.10 ~ 2149.30	0.70 ~ 58.50	3.80 ~ 245.20	0.50 ~ 123.50	0.30 ~ 146.80	0.30 ~ 54.10	0.30 ~ 259.30	0.25 ~ 3.20	0.20 ~ 5.10	0.10 ~ 1.40	0.10	0.10 ~ 0.20	0.15 ~ 0.15	0.08 ~ 0.30	
甘肃 均值	325.58	16.83	45.18	24.44	27.81	16.79	38.93	1.27	1.33	0.53	0.10	0.15	0.15	0.18	
中位数	30.80	13.00	20.20	12.20	4.75	6.70	5.60	0.95	0.50	0.55	0.10	0.15	0.15	0.20	
阳性率(%)	94.12	52.94	100.00	70.59	58.82	52.94	88.24	58.82	47.06	94.12	5.88	11.76	11.76	52.94	
范围	0.10 ~ 201.00	0.10 ~ 3.10	0.10 ~ 45.40	0.50 ~ 267.60	0.10 ~ 17.10	0.15 ~ 6.40	0.10 ~ 134.30	0.25 ~ 2.50	-	-	0.10 ~ 581.30	0.10 ~ 4.60	0.15 ~ 5.90	0.08 ~ 3.50	
广西 均值	22.27	0.69	4.49	43.33	2.73	1.37	19.30	0.53	-	-	22.84	0.85	0.65	0.38	
中位数	0.40	0.40	0.50	5.60	1.40	1.00	2.40	0.25	-	-	1.70	0.30	0.15	0.08	
阳性率(%)	50.00	52.27	72.73	36.36	97.73	79.55	31.82	52.27	-	-	88.64	47.73	29.55	38.64	
范围	10.10 ~ 532.30	0.50 ~ 5.30	1.00 ~ 2.90	0.50 ~ 103.50	0.40 ~ 6.10	2.10 ~ 2.20	265.70	86.00	-	0.90 ~ 1.10	1.00 ~ 8.00	0.30 ~ 1.00	0.20	0.20 ~ 1.40	
海南 均值	271.20	2.47	2.00	52.00	2.63	2.15	265.70	86.00	-	0.97	4.50	0.65	0.20	0.80	
中位数	271.20	1.60	2.10	52.00	1.40	2.15	265.70	86.00	-	0.90	4.50	0.65	0.20	0.80	
阳性率(%)	66.67	100.00	100.00	66.67	100.00	66.67	33.33	33.33	-	100.00	66.67	66.67	33.33	66.67	
范围	2.60 ~ 367.20	0.10 ~ 1.60	1.50 ~ 29.00	0.50 ~ 68.20	0.10 ~ 1.70	0.15 ~ 0.70	0.10 ~ 3.10	0.25 ~ 0.50	0.10 ~ 0.30	0.10 ~ 0.40	0.10 ~ 0.30	0.10	0.15	0.08 ~ 0.30	
黑龙江 均值	56.36	0.53	10.63	11.42	0.58	0.34	0.77	0.28	0.20	0.18	0.20	0.10	0.15	0.12	
中位数	37.95	0.30	10.45	6.40	0.40	0.15	0.40	0.25	0.20	0.10	0.20	0.10	0.15	0.08	
阳性率(%)	100.00	38.89	100.00	100.00	44.44	50.00	72.22	50.00	11.11	44.44	11.11	16.67	5.56	55.56	
范围	2.20 ~ 2511.70	0.60 ~ 169.90	21.00 ~ 1518.50	1.60 ~ 172.40	0.20 ~ 960.70	0.30 ~ 134.30	0.20 ~ 657.00	0.60 ~ 2.80	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.40	0.10 ~ 9.50	0.10 ~ 5.90	0.15 ~ 0.20	-	
湖北 均值	390.94	24.88	253.33	49.79	56.13	13.83	112.59	1.40	0.13	0.20	2.18	1.06	0.16	-	
中位数	202.15	9.85	114.80	27.60	3.40	2.20	25.20	0.90	0.10	0.20	1.60	0.40	0.15	-	
阳性率(%)	100.00	100.00	100.00	85.00	95.00	75.00	100.00	35.00	20.00	85.00	60.00	40.00	30.00	-	
范围	0.40 ~ 182.50	0.30 ~ 1.10	1.30 ~ 40.90	0.50 ~ 18.00	0.20 ~ 22.60	0.15 ~ 4.50	0.20 ~ 7.00	0.25 ~ 4.10	0.20	0.10 ~ 1.10	0.10 ~ 67.60	0.10 ~ 20.30	-	0.20 ~ 9.90	
湖南 均值	55.79	0.51	11.16	6.76	7.76	1.61	2.04	1.15	0.20	0.39	13.19	4.88	-	4.03	
中位数	38.85	0.40	6.20	5.60	7.35	1.50	1.00	0.65	0.20	0.25	2.20	2.15	-	3.00	
阳性率(%)	80.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.00	50.00	60.00	20.00	100.00	70.00	60.00	-	40.00	
范围	3.00 ~ 904.20	0.90 ~ 6.90	1.20 ~ 213.20	0.50 ~ 78.80	0.20 ~ 4.20	0.15 ~ 1.90	0.10 ~ 121.90	0.25 ~ 1.80	0.30	0.10 ~ 1.20	0.10 ~ 0.30	-	0.15	0.08	
江西 均值	163.83	2.78	39.92	16.11	1.63	0.76	18.12	0.44	0.30	0.28	0.20	-	0.15	0.08	
中位数	39.30	2.05	11.80	10.80	1.50	0.50	2.95	0.25	0.30	0.10	0.20	-	0.15	0.08	
阳性率(%)	100.00	72.73	100.00	90.91	100.00	81.82	90.91	72.73	9.09	54.55	36.36	-	18.18	45.45	
范围	0.80 ~ 798.30	0.10 ~ 2.40	0.70 ~ 68.30	0.50 ~ 132.70	0.20 ~ 44.00	0.15 ~ 3.10	0.10 ~ 201.40	0.25 ~ 1.00	-	0.20	0.10 ~ 6.50	0.10 ~ 0.90	-	-	
山西 均值	123.00	0.80	15.13	18.28	8.29	0.88	54.33	0.44	-	0.20	1.33	0.50	-	-	
中位数	21.20	0.20	5.40	3.80	2.85	0.40	4.90	0.25	-	0.20	0.55	0.50	-	-	
阳性率(%)	84.62	53.85	100.00	92.31	76.92	69.23	53.85	84.62	-	7.69	61.54	15.38	-	-	
范围	5.50 ~ 1827.50	0.60 ~ 31.30	3.10 ~ 866.00	1.30 ~ 127.60	0.90 ~ 38.60	0.15 ~ 11.10	1.60 ~ 501.60	0.25 ~ 2.60	0.10	0.10 ~ 0.40	0.10 ~ 2.20	0.10 ~ 0.20	0.15	0.08	
上海 均值	307.58	8.92	125.20	28.11	7.06	1.64	50.14	0.77	0.10	0.20	0.86	0.17	0.15	0.08	
中位数	163.85	3.50	39.40	12.05	3.90	0.95	11.50	0.25	0.10	0.20	0.40	0.20	0.15	0.08	
阳性率(%)	84.21	89.47	78.95	84.21	84.21	94.74	94.74	78.95	10.53	78.95	36.84	15.79	10.53	10.53	
范围	0.10 ~ 2511.70	0.10 ~ 169.90	0.10 ~ 1518.50	0.50 ~ 1979.20	0.10 ~ 960.70	0.15 ~ 134.30	0.10 ~ 1151.40	0.25 ~ 86.00	0.10 ~ 5.10	0.10 ~ 1.40	0.10 ~ 581.30	0.10 ~ 35.20	0.15 ~ 5.90	0.08 ~ 9.90	
合计 均值	196.86	8.17	68.72	46.73	15.29	4.95	49.02	1.67	0.59	0.32	14.67	1.59	0.35	0.63	
中位数	59.10	1.85	16.50	11.80	2.85	1.40	8.00	0.50	0.20	0.20	0.70	0.20	0.15	0.20	
阳性率(%)	84.65	71.63	92.56	77.21	86.51	79.07	69.30	60.93	16.28	46.05	53.02	31.16	17.67	31.63	

注:1. - 为未检出;2. 范围一行中有的省份只有一个样品有检出,则其数值后无~。

表 3 不同地区小麦粉样品中真菌毒素污染状况

Table 3 Natural occurrence of multi-mycotoxin in wheat flour samples from different areas

地区	统计量	毒素水平 (μg/kg)													
		B 类单端孢霉烯族化合物						ZEN	A 类单端孢霉烯族化合物			黄曲霉毒素			
		DON	3ADON	15ADON	DON-3-G	NIV	FX		DAS	HT-2	T-2	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
范围	17.30 ~ 0.10 ~	0.40 ~	0.50 ~	0.10 ~	0.15 ~	0.10 ~	0.25 ~	0.10 ~	0.30 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.15 ~	0.08 ~		
安徽	均值	959.80	11.40	19.50	51.60	37.10	2.50	4.00	0.60	0.50	1.80	2.10	0.40	0.30	1.30
	中位数	293.29	2.91	3.71	19.09	13.00	0.87	1.11	0.43	0.33	0.94	0.52	0.20	0.23	0.39
	阳性率 (%)	100.00	80.00	95.00	100.00	100.00	65.00	90.00	10.00	20.00	100.00	25.00	25.00	20.00	60.00
云南	范围	34.30 ~	0.20	0.50 ~	1.60 ~	0.10 ~	0.15 ~	-	-	-	-	-	-	0.08	
	均值	119.60		1.40	2.80	0.40	0.50	-	-	-	-	-	-	0.08	
	中位数	65.17	0.20	0.83	2.13	0.23	0.33	-	-	-	-	-	-	0.08	
	阳性率 (%)	41.60	0.20	0.60	2.00	0.20	0.33	-	-	-	-	-	-	0.08	
	阳性率 (%)	100.00	33.33	100.00	100.00	100.00	66.67	-	-	-	-	-	-	33.33	
福建	范围	6.20 ~	-	0.10 ~	1.20	0.20 ~	-	0.10	-	-	-	-	0.10	0.15	-
	均值	8.40		1.20	0.40			0.10	-	-	-	-	0.10	0.15	-
	中位数	7.30	-	0.65	1.20	0.30	-	0.10	-	-	-	-	0.10	0.15	-
	阳性率 (%)	7.30	-	0.65	1.20	0.30	-	0.10	-	-	-	-	0.10	0.15	-
	阳性率 (%)	100.00	-	100.00	100.00	100.00	-	50.00	-	-	-	-	50.00	50.00	-
甘肃	范围	10.50 ~	4.80 ~	0.50 ~	0.50 ~	0.80 ~	1.30 ~	0.30 ~	-	0.40 ~	1.00 ~	-	-	0.15	0.20 ~
	均值	631.50	19.80	22.40	10.00	1.10	8.70	4.90	-	1.00	1.80	-	-	0.15	0.40
	中位数	105.08	12.30	8.91	4.30	0.93	5.25	1.45	-	0.66	1.35	-	-	0.15	0.28
	阳性率 (%)	35.50	12.30	6.15	3.80	0.90	5.50	0.90	-	0.60	1.30	-	-	0.15	0.30
	阳性率 (%)	90.00	20.00	100.00	50.00	30.00	40.00	60.00	-	50.00	100.00	-	-	10.00	90.00
广西	范围	17.70 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.50 ~	0.10 ~	0.15 ~	0.10 ~	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.08
	均值	558.40	8.50	3.40	28.00	52.40	4.40	32.40	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.08
	中位数	137.92	1.64	1.29	7.75	6.80	1.44	4.29	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.08
	阳性率 (%)	74.95	0.35	1.15	5.20	1.30	0.50	0.20	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.08
	阳性率 (%)	100.00	81.82	81.82	68.18	86.36	50.00	36.36	18.18	9.09	13.64	13.64	9.09	9.09	9.09
海南	范围	9.80 ~	0.50	0.40 ~	0.50 ~	2.90 ~	0.30	0.10 ~	1.00	-	0.70 ~	-	0.10 ~	0.15 ~	0.20
	均值	231.60		5.80	11.20	12.20		1.10	1.00	-	1.00	-	0.20	0.40	
	中位数	63.58	0.50	1.63	3.98	5.95	0.30	0.56	1.00	-	0.84	-	0.13	0.25	0.20
	阳性率 (%)	39.75	0.50	0.60	3.10	4.35	0.30	0.60	1.00	-	0.80	-	0.10	0.20	0.20
	阳性率 (%)	100.00	16.67	100.00	83.33	66.67	16.67	83.33	16.67	-	83.33	-	50.00	50.00	16.67
黑龙江	范围	32.80 ~	0.20 ~	0.30 ~	3.20 ~	0.10 ~	-	0.10 ~	0.25	0.10 ~	0.10 ~	-	-	0.15	0.08 ~
	均值	358.60	2.00	2.70	44.00	2.00		5.60	0.60	0.60	1.10			0.30	
	中位数	109.76	1.10	1.42	12.44	1.09	-	1.31	0.25	0.26	0.66	-	-	0.15	0.22
	阳性率 (%)	61.20	1.10	1.00	6.60	0.95	-	0.40	0.25	0.25	0.65	-	-	0.15	0.30
	阳性率 (%)	100.00	44.44	100.00	100.00	88.89	-	77.78	66.67	88.89	88.89	-	-	11.11	88.89
湖北	范围	90.00 ~	1.10 ~	0.90 ~	3.20 ~	2.10 ~	0.30 ~	0.10 ~	1.40 ~	0.10	0.20 ~	0.10	-	-	-
	均值	1016.80	12.10	16.20	21.20	43.50	1.20	52.00	4.30	0.60	0.60	0.10	-	-	-
	中位数	406.24	4.22	8.83	9.80	17.03	0.60	9.17	2.85	0.10	0.38	0.10	-	-	-
	阳性率 (%)	219.80	1.80	8.45	7.00	7.10	0.40	2.30	2.85	0.10	0.35	0.10	-	-	-
	阳性率 (%)	100.00	75.00	100.00	75.00	87.50	62.50	87.50	25.00	37.50	100.00	12.50	-	-	-
湖南	范围	19.80 ~	0.10 ~	0.10 ~	1.40 ~	0.10 ~	0.15	0.10 ~	0.25 ~	0.20	0.10 ~	0.10 ~	0.10	0.15	0.08 ~
	均值	424.90	0.90	2.30	17.00	5.50		2.10	1.60		0.80	0.20	0.10	0.15	0.40
	中位数	129.08	0.36	1.30	6.20	1.56	0.15	0.40	0.73	0.20	0.35	0.15	0.10	0.15	0.19
	阳性率 (%)	100.00	0.30	1.50	4.60	1.10	0.15	0.15	0.53	0.20	0.30	0.15	0.10	0.15	0.20
	阳性率 (%)	100.00	81.82	100.00	100.00	100.00	27.27	72.73	36.36	9.09	100.00	18.18	9.09	9.09	100.00
江西	范围	0.10 ~	0.30 ~	1.30 ~	1.40 ~	0.20 ~	0.15 ~	0.10	0.25	-	0.10 ~	-	-	0.15	0.08
	均值	63.60	0.50	1.40	3.60	3.90	0.30				0.20				
	中位数	26.37	0.40	1.35	2.50	2.05	0.23	0.10	0.25	-	0.17	-	-	0.15	0.08
	阳性率 (%)	15.40	0.40	1.35	2.50	2.05	0.23	0.10	0.25	-	0.20	-	-	0.15	0.08
	阳性率 (%)	100.00	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	100.00	-	100.00	-	-	33.33	66.67
山西	范围	19.40 ~	0.10 ~	0.40 ~	0.50 ~	0.50 ~	-	0.10 ~	0.25	0.10 ~	0.10 ~	-	-	-	0.08
	均值	109.00	0.20	0.70	9.90	1.60		0.20		0.60	0.30				
	中位数	63.22	0.13	0.53	4.86	1.02	-	0.11	0.25	0.34	0.20	-	-	-	0.08
	阳性率 (%)	64.20	0.10	0.50	3.40	1.00	-	0.10	0.25	0.30	0.20	-	-	-	0.08
	阳性率 (%)	85.71	42.86	100.00	100.00	71.43	-	100.00	14.29	100.00	71.43	-	-	-	100.00
上海	范围	6.30 ~	0.40 ~	0.20 ~	0.50 ~	0.50 ~	0.15 ~	0.10 ~	0.25 ~	0.10	0.10 ~	-	0.20	0.15	0.08
	均值	713.70	7.10	25.50	52.80	76.50	1.60	23.30	6.10		0.80				
	中位数	232.00	2.07	8.36	11.54	22.71	0.53	7.75	2.46	0.10	0.39	-	0.20	0.15	0.08
	阳性率 (%)	191.40	1.40	3.05	5.30	11.90	0.40	2.15	2.05	0.10	0.35	-	0.20	0.15	0.08
	阳性率 (%)	91.67	75.00	100.00	79.17	100.00	54.17	91.67	41.67	4.17	83.33	-	4.17	8.33	37.50
合计	范围	0.10 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.50 ~	0.10 ~	0.15 ~	0.10 ~	0.25 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.15 ~	0.08 ~
	均值	1016.80	19.80	25.50	52.80	76.50	8.70	52.00	6.10	1.00	1.80	2.10	0.40	0.40	1.30
	中位数	178.99	2.16	4.21	10.05	10.34	1.11	3.45	1.17	0.32	0.62	0.30	0.15	0.19	0.20
	阳性率 (%)	92.00	0.90	1.50	5.10	2.50	0.45	0.40	0.25	0.30	0.50	0.10	0.10	0.15	0.08
	阳性率 (%)	96.80	64.00	95.20	83.20	86.40	43.20	72.80	26.40	24.80	74.40	8.80	10.40	12.80	49.60

注: - 未检出。

值 293.29 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、上海(均值 232.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、广西(均值 137.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$)和湖南(均值 129.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。因此无论玉米还是小麦粉,来自安徽、湖北和上海的样品中 DON 的污染水平都很高。此外,所有小麦粉样品中 ZEN 和 AFB₁ 含量均分别低于我国规定的 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的限量标准,且小麦粉中 ZEN 的污染水平也与 DON 水平成正相关(Spearman 等级相关分析结果显示 $r=0.415, P<0.05$)。

与玉米样品相比,12 省市合计的小麦粉样品及各省小麦粉样品中 DON 的检出率虽高,但污染水平普遍低于玉米(湖北省除外);而所分析的小麦粉样品中 DON 三种衍生物的水平依次为 3-A-DON(均数 2.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$) < 15-A-DON(均数 4.21 $\mu\text{g}/\text{kg}$) < DON-3-G(均数 10.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ,其污染水平也远低于玉米中相应的三种毒素的水平。

2.3 小麦粉和玉米样品中 B 类单端孢霉烯族化合物各成分构成比分析

到目前为止,美国、加拿大、韩国和我国报道的粮食中单端孢霉烯族化合物的污染均以 B 类中的 DON 为主,日本则以 NIV 为主。本研究结果显示,除云南外,其余各省玉米中 DON 的总体污染水平均高于 NIV ,DON 的平均浓度约为 NIV 的 10 倍以上(见表 4);12 省市面粉样品中 DON 污染水平全部高于 NIV ,DON 的平均浓度为 NIV 的 15 倍以上。

玉米中 3-A-DON 与 15-A-DON 之和分别占 DON、3-A-DON 和 15-A-DON 三种毒素之和的 1.62% ~ 41.58% ,全国平均 28.09% (详见表 5)。除福建面粉外,其他省份面粉中 3-A-DON 与 15-A-DON 之和占三种毒素之和的 1.04% ~ 16.80% ,全国平均 3.44%。因此若以 JECFA 规定的将 DON 的暂定每日最大容许摄入量(PMTDI) 改为以 DON、3-A-DON 和 15-A-DON 三种化合物组表示,则从全国上述部分省市玉米(小麦粉) 而言,至少平均有 28.09% 和 3.44% 的贡献来自 3-A-DON 和 15-A-DON。因此将针对 DON 单一的 PMTDI 修改为以 DON、3-A-DON 和 15-A-DON 三种化合物组表示,更能反映人类及动物实际摄入的 DON 水平。

2.4 花生样品中黄曲霉毒素污染状况

除海南外,10 省市所检测的 292 份花生污染的四种黄曲霉毒素中,以 AFB₁ 的检出率和污染水平最高,有 5 份(1.71%)样品的 AFB₁ 超过了我国规定的 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 限量标准。花生中 AFB₁ 污染较重的省份有江西(均值 24.53 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、湖北(均值 18.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$)和上海(均值 15.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ,其中江西花生样品中 AFB₁ 的平均污染水平已超过国家规定 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的限量标准,超标 1.23 倍,具体详见表 6。

表 4 我国 12 省区玉米、小麦中 DON 和 NIV 污染水平构成

Table 4 The constitution of DON and NIV in corn and wheat flour samples(%)

采样地点	品种	DON	NIV
安徽	玉米	98.21	1.79
安徽	面粉	95.76	4.24
云南	玉米	39.31	60.69
云南	面粉	99.50	0.50
福建	玉米	98.49	1.51
福建	面粉	96.05	3.95
甘肃	玉米	92.13	7.87
甘肃	面粉	99.12	0.88
广西	玉米	89.10	10.90
广西	面粉	95.30	4.70
海南	玉米	99.04	0.96
海南	面粉	91.44	8.56
黑龙江	玉米	98.99	1.01
黑龙江	面粉	99.02	0.98
湖北	玉米	87.44	12.56
湖北	面粉	95.98	4.02
湖南	玉米	87.79	12.21
湖南	面粉	98.80	1.20
江西	玉米	99.01	0.99
江西	面粉	92.79	7.21
山西	玉米	93.69	6.31
山西	面粉	98.41	1.59
上海	玉米	97.76	2.24
上海	面粉	91.08	8.92
全国	玉米平均	92.79	7.21
全国	面粉平均	94.54	5.46

表 5 我国 12 省市玉米、小麦中 DON 及 DON-3-G、3-A-DON 和 15-A-DON 平均含量构成比

Table 5 The constituent ratio of average concentration of DON , DON-3-G , 3-A-DON and 15-A-DON in corn and wheat flour samples(%)

采样地点	品种	DON	3-A-DON	15-A-DON	DON-3-G
安徽	玉米	53.12	1.53	21.66	23.69
安徽	面粉	91.94	0.91	1.16	5.98
云南	玉米	78.53	0.96	15.87	4.64
云南	面粉	95.37	0.29	1.22	3.12
福建	玉米	56.94	4.03	22.57	16.46
福建	面粉	79.78	0.00	7.10	13.11
甘肃	玉米	79.02	4.09	10.97	5.93
甘肃	面粉	80.47	9.42	6.82	3.29
广西	玉米	31.46	0.98	6.34	61.22
广西	面粉	92.81	1.10	0.87	5.21
海南	玉米	82.77	0.75	0.61	15.87
海南	面粉	91.23	0.72	2.34	5.71
黑龙江	玉米	71.40	0.67	13.47	14.46
黑龙江	面粉	88.00	0.88	1.14	9.98
湖北	玉米	54.38	3.46	35.24	6.93
湖北	面粉	94.68	0.98	2.06	2.28
湖南	玉米	75.17	0.69	15.04	9.11
湖南	面粉	94.26	0.26	0.95	4.53
江西	玉米	73.59	1.25	17.93	7.24
江西	面粉	86.12	1.31	4.41	8.17
山西	玉米	78.24	0.51	9.62	11.63
山西	面粉	91.97	0.19	0.77	7.07
上海	玉米	65.47	1.90	26.65	5.98
上海	面粉	91.35	0.82	3.29	4.54
全国	玉米平均	61.43	2.55	21.44	14.58
全国	面粉平均	91.60	1.11	2.16	5.14

表 6 花生样品中黄曲霉毒素污染状况

Table 6 Natural occurrence of aflatoxins in peanut samples

地区	统计量	毒素水平($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
		AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
安徽	范围	0.10 ~ 0.20	-	0.15	-
	均值	0.11	-	0.15	-
	中位数	0.10	-	0.15	-
	阳性率(%)	27.59	-	1.72	-
云南	范围	0.10 ~ 0.30	-	0.10 ~ 0.15	-
	均值	0.12	-	0.15	-
	中位数	0.10	-	0.15	-
	阳性率(%)	62.50	-	6.25	-
福建	范围	0.10 ~ 3.70	0.10 ~ 0.40	0.15	-
	均值	0.77	0.23	0.15	-
	中位数	0.20	0.20	0.15	-
	阳性率(%)	25.93	14.81	3.70	-
甘肃	范围	0.10 ~ 0.30	-	0.15	0.15 ~ 0.20
	均值	0.13	-	0.15	0.18
	中位数	0.10	-	0.15	0.18
	阳性率(%)	20.00	-	10.00	6.67
广西	范围	0.10 ~ 107.90	0.10 ~ 18.00	0.15	0.30 ~ 0.60
	均值	7.95	4.20	0.15	0.45
	中位数	0.25	0.50	0.15	0.45
	阳性率(%)	76.47	26.47	5.88	5.88
湖北	范围	0.10 ~ 339.60	0.10 ~ 15.90	0.15	-
	均值	18.16	2.12	0.15	-
	中位数	0.40	0.30	0.15	-
	阳性率(%)	68.97	31.03	6.90	-
湖南	范围	0.10 ~ 0.20	0.10	0.15 ~ 0.20	0.15
	均值	0.15	0.10	0.17	0.15
	中位数	0.15	0.10	0.15	0.15
	阳性率(%)	26.67	6.67	20.00	6.67
江西	范围	0.20 ~ 166.80	0.10 ~ 19.80	-	0.15
	均值	24.53	4.14	-	0.15
	中位数	0.20	0.10	-	0.15
	阳性率(%)	30.43	21.74	-	4.35
上海	范围	0.10 ~ 334.70	0.10 ~ 11.20	0.15 ~ 0.20	0.15
	均值	15.70	2.18	0.16	0.15
	中位数	0.10	0.20	0.15	0.15
	阳性率(%)	40.74	11.11	12.96	5.56
合计	范围	0.10 ~ 339.60	0.10 ~ 19.80	0.15 ~ 0.20	0.15 ~ 0.60
	均值	9.29	2.70	0.16	0.22
	中位数	0.10	0.30	0.15	0.15
	阳性率(%)	40.41	11.64	6.85	3.08

注: - 为未检出; 海南样品四种毒素均阴性故未列出。

2.5 大米样品中真菌毒素污染状况

大米样品中真菌毒素污染状况见表 7。由表 7 可见, 海南和江西采集的共计 18 份大米样品中, 所有毒素虽有检出, 但其水平均很低, 说明大米样品受真菌毒素的污染较轻。

3 讨论

本次研究结果显示, 我国谷物制品中污染的真菌毒素主要是镰刀菌毒素中的单端孢霉烯族化合物和 ZEN, 玉米还不同程度地受到黄曲霉毒素污染。小麦抽穗扬花期和玉米灌浆期受真菌的浸染、暖湿多雨的气象条件以及谷物品种对真菌浸染的抗性降低是造成谷物赤霉病流行的基本条件。2010 年我国降水多历史罕见, 但季节和区域分布不均。5 月至 7 月, 南方出现 14 次强降雨天气, 华南大部、江南大部年降水量超过 1 500 mm, 东北大部、华北东部、黄淮、江淮、江汉、西北地区东南部、西南地区中东部的降雨量也在 500 ~ 1 500 mm; 7 月中旬至 9 月上旬, 我国北方遭受 10 轮暴雨袭击, 部分地区日降水量突破历史极值。此外, 2010 年高温天气频繁、强度大、范围广, 全国平均年高温日数为近 50 年来之最, 南方大部、华北中西部、黄淮西部及新疆东部、内蒙古中西部和东北部、黑龙江西北部等地年平均高温日数较常年偏多 5 ~ 15 天。而 4—5 月正值小麦抽穗扬花期、8—9 月则是玉米灌浆期, 此时的多雨、高温、少日光天气利于赤霉病的流行, 这在小麦中 DON 及其衍生物和 ZEN 污染较重的湖北、安徽、上海等地以及玉米中毒素污染水平较高的湖北、甘肃、上海、安徽、海南、江西、福建等地尤为明显, 因此 2010 年的气候条件有利于镰刀菌浸染, 是造成小麦和玉米中镰刀菌毒素污染水平偏高的原因。

本研究小麦粉和玉米制品中 DON 和 ZEN 的结果与既往资料相比, 阳性率虽高, 但污染水平却低于既往调查结果^[3-4], 其原因可能是以往调查所用的样品为小麦和玉米原粮, 而原粮中污染的真菌毒素主要集中于种粒的表层部分, 加工过程可除去部分毒素所致, 而本次调查所用的小麦粉和玉米制品样品均为直接入口的食品原料, 其中含有的毒素代表了可被机体摄入毒素的真实水平。与国外资料相比, 本次调查玉米制品中 DON 的污染水平低于 2006—2007 年意大利翁布里亚地区玉米中 DON 的污染水平 (2006 年污染水平范围为 0.20 ~ 3.98 mg/kg, 平均 1.04 mg/kg; 2007 年污染水平最高达 14.00 mg/kg, 平均 0.86 mg/kg)。但 ZEN 水平 (范围: 0.10 ~ 1 151.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 平均 49.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 远高于意大利 (平均水平 2006 年为 2.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 2007 年为 8.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$); AFB₁ 平均污染水平虽低于意大利 (2007 年平均 26.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 和巴基斯坦的结果 (16.22 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 但最高污染水平却高于巴基斯坦结果^[5-6]。此外, 本次分析的花生样品中 AFB₁ 的污染状况要比葡萄牙样品严重 (最高污染水平仅为

表 7 不同地区大米样品中真菌毒素污染状况

Table 7 Natural occurrence of multi-mycotoxin in rice samples collected from different regions

地区	统计量	毒素水平(μg/kg)													
		B 类单端孢霉烯族化合物						ZEN	A 类单端孢霉烯族化合物			黄曲霉毒素			
		DON	3ADON	15ADON	DON-3-G	NIV	FX		DAS	HT-2	T-2	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
湖南	范围	0.10~2.10	0.50~4.60	0.10~1.90	1.00~2.10	0.10~8.30	0.15~2.70	0.10~0.30	0.70	0.20	1.00~1.30	0.10~0.20	0.10	0.40	-
	均值	1.08	1.60	0.61	1.55	2.22	1.43	0.17	0.70	0.20	1.10	0.12	0.10	0.24	-
	中位数	1.05	0.65	0.40	1.55	0.80	1.43	0.10	0.70	0.20	1.05	0.10	0.10	0.24	-
	阳性率(%)	44.44	44.44	88.89	22.22	55.56	22.22	33.33	11.11	11.11	44.44	66.67	33.33	22.22	-
江西	范围	0.10~0.70	-	0.20~0.70	1	0.20~3.60	0.15~0.70	0.10	0.10~1.20	0.20	0.10~0.20	0.20~6.90	0.10~0.80	-	0.40
	均值	0.40	-	0.46	1.00	1.47	0.33	0.10	0.48	0.20	0.11	2.43	0.45	-	0.40
	中位数	0.40	-	0.40	1.00	1.20	0.23	0.10	0.25	0.20	0.10	0.20	0.45	-	0.40
	阳性率(%)	44.44	-	100.00	22.22	77.78	66.67	44.44	66.67	11.11	77.78	33.33	22.22	-	11.11
合计	范围	0.10~2.10	0.50~4.60	0.10~1.90	1.00~2.10	0.10~8.30	0.15~2.70	0.10~0.30	0.10~1.20	0.20	0.10~1.30	0.10~6.90	0.10~0.80	0.08~0.40	0.40
	均值	0.74	1.60	0.53	1.28	1.78	0.60	0.13	0.51	0.20	0.47	0.89	0.24	0.24	0.40
	中位数	0.60	0.65	0.40	1.00	1.00	0.23	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.24	0.40
	阳性率(%)	44.44	22.22	94.44	22.22	66.67	44.44	38.89	38.89	11.11	61.11	50.00	27.78	11.11	5.56

注: - 为未检出。

1.51 μg/kg)^[7],但优于刚果 2009 年的花生样品(所分析的 60 个花生样品中有 70% AFB₁ 的含量超过 WHO 规定的 5 μg/kg 限量标准)^[8]。

综上所述,我国 2010 年部分省份玉米、小麦制品及花生受多组分真菌毒素的污染,且污染水平存在样品种类、生产地域等差异,相对而言大米的污染情况较轻。为了降低我国居民通过小麦、玉米等主粮制品膳食暴露多组分真菌毒素的水平,应加强从农田到餐桌各环节粮食的管理,同时结合我国居民的膳食消费量进行风险评估,严格粮食制品中真菌毒素的限量标准,切实保护消费者的健康。

参考文献

[1] 于钊钊,邵兵,李凤琴,等.粮食中隐蔽型脱氧雪腐镰刀菌烯醇等多组分真菌毒素协同检测技术[J].中华预防医学杂志,2010 44(8):736-740.
[2] 王绪卿,吴永宁,陈君石.食品污染物监测低水平数据处理问题[J].中华预防医学杂志,2002 36(4):278-279.

[3] 李凤琴,于钊钊,邵兵,等.2007-2008 年中国谷物中隐蔽型脱氧雪腐镰刀菌烯醇及多组分真菌毒素污染状况[J].中华预防医学杂志,2011 45(1):57-63.
[4] 王伟,邵兵,朱江辉,等.中国谷物制品中重要镰刀菌毒素膳食暴露评估研究[J].卫生研究,2010 39(6):709-714.
[5] COVARELLI L, BECCARI G, SALVI S. Infection by mycotoxigenic fungal species and mycotoxin contamination of maize grain in Umbria, central Italy [J]. Food Chem Toxicol, 2011 49(9):2365-2369.
[6] SHAH H U, SIMPSON T J, ALAM S, et al. Mould incidence and mycotoxin contamination in maize kernels from Swat Valley, North West Frontier Province of Pakistan [J]. Food Chem Toxicol, 2010 48:1111-1116.
[7] SILVERIO A, LOPES M M, FREITAS G. Determination of fungal contamination, Aflatoxin B1 and Ochratoxin A content in peanuts available in Portuguese market [J]. Special Abstracts/J Biotechnol 2010, 150S: S305.
[8] KAMIKA I, TAKOY L L. Natural occurrence of Aflatoxin B1 in peanut collected from Kinshasa, Democratic Republic of Congo [J]. Food Control 2011 22:1760-1764.

公告栏

关于发布食品安全国家标准《食用盐碘含量》的公告

2011 年第 22 号

根据《中华人民共和国食品安全法》和《食品安全国家标准管理办法》的规定,经食品安全国家标准审评委员会审查通过,现发布食品安全国家标准《食用盐碘含量》(GB 26878—2011)。

特此公告。

食用盐碘含量标准(略)

卫生部
二〇一一年九月十五日