

北京地区部分市售食用植物油中玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染状况分析

谢 丹¹, 邓春丽¹, 赵云峰^{2,3}, 吴永宁^{2,3*}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022;
3. 卫生部食品安全风险评估重点实验室, 北京 100022)

摘 要: **目的** 分析北京市售植物油中玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染状况。**方法** 实验采用同位素稀释-超高效液相色谱-串联质谱法, 在多反应监测模式下对所采集玉米油、花生油、调和油等食用油样中的玉米赤霉烯酮(ZEN)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)进行了检测, 并对其污染现状进行分析。**结果** ZEN和DON在3~500 ng/mL浓度范围内线性良好, 相关系数为0.999, 加标回收率为95.05%~107.10%, ZEN和DON方法的检出限分别为0.03 μg/kg和0.9 μg/kg; ZEN和DON方法的定量限分别为0.1 μg/kg和3 μg/kg。对北京市售30个油样检测结果表明, DON为未检出, ZEN检出率为100%, 最高含量为333 μg/kg, 最低含量为1.95 μg/kg, 平均含量为67.7 μg/kg, 低于欧盟规定的限量标准400 μg/kg。**结论** 通过分析食用油中真菌毒素的含量状况, 初步了解了北京市售植物油中玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇的污染状况。

关键词: 玉米赤霉烯酮; 脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 植物油; 高效液相色谱-质谱法

Investigation of the contamination status of zearalenone and deoxynivalenol in edible oil

XIE Dan¹, DENG Chun-Li¹, ZHAO Yun-Feng^{2,3}, WU Yong-Ning^{2,3*}

(1. College of Food Science and Engineering Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. China National Central for Food Safety and Risk Assessment, Beijing 100022, China;
3. Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment Ministry of Health, Beijing 100022, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the pollution status of zearalenone and deoxynivalenol in edible oil sold in Beijing market. **Methods** Zearalenone(ZEN), deoxynivalenol(DON) in the collected samples including peanut oil, corn oil, blend oil and other edible oils were detected and analyze by the method of isotope dilution-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) under the multiple reaction monitoring mode. **Results** Zearalenone(ZEN), deoxynivalenol(DON) had a good linear relationship in the range of 3~500 ng/mL with the correlation coefficients of 0.999 and the recoveries were 95.05% ~ 107.10%. The detection limits of ZEN and DON were 0.03 μg/kg and 0.9 μg/kg and the quantification limits of ZEN and DON were 0.1 μg/kg and 3 μg/kg. The results of 30 samples collected from Beijing market showed that, DON was not detected, the detection rate of ZEN was 100% with the highest content of 333 μg/kg and the lowest content of 1.95 μg/kg, while

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31501400)

Fund: Supported by The National Science Fund For Distinguished Young Scholars(31501400)

*通讯作者: 吴永宁, 男, 研究员, 研究方向为食品安全检测与膳食暴露评估。E-mail: wuyongning@cfsa.net.cn

*Corresponding author: WU Yongning, Professor, China National Central for Food Safety and Risk Assessment, NO.37, Guangqu Road, Chaoyang District, Beijing 100022, China. E-mail: wuyongning@cfsa.net.cn

the mean amount was 67.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, which was lower than the tolerance limits specified in EU. **Conclusion** By the analysis of the toxin content in edible oils, we could get a preliminary understanding of the pollution of ZEN and DON in edible oil in Beijing.

KEY WORDS: zearalenone; deoxynivalenol; vegetable oil; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

1 引言

玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)又称 F-2 毒素, 主要是由禾谷镰刀菌等菌种产生的一种雌激素类有毒代谢产物, 常存在于玉米、小麦、燕麦和大麦等作物, 是一种酚的二羟基苯酸的内酯结构。研究发现^[1-4], 玉米赤霉烯酮具有致癌毒性、生殖毒性、免疫毒性和细胞毒性。早期发现表明玉米胚芽油是 ZEN 的主要来源, 欧洲食品安全局(EFSA)证实 ZEN 的风险评估中植物油的摄入是影响 ZEN 暴露水平的重要因素, 欧盟于 2006 年规定 ZEN 在食用油中的限量标准为 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[5]。我国食用油对 ZEN 含量并无限量标准, 但 GB 2715-2005《粮食卫生标准》中明确规定供人类食用的小麦及玉米中 ZEN 的残留限量标准为 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[6]。

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)又名呕吐毒素, 属于单端孢霉烯族化合物, 主要由禾谷镰刀菌、粉红镰刀菌、雪腐镰刀菌等镰刀菌产生, 许多粮谷类都会受到污染, 如小麦、大麦、燕麦和玉米等^[7]。DON 具有较强的热抵抗力, 在加热情况下不易被破坏。DON 可在人体内蓄积, 对人体及动物均有很强的毒性, 具有致畸性、神经毒性、胚胎毒性和免疫抑制作用^[8, 9]。我国对食用油中的 DON 限量标准还没有规定, 但在 GB 2761-2011《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[10]中规定玉米、小麦等谷物及其制品中的限量标准为 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。ZEN 和 DON 的结构式如下:

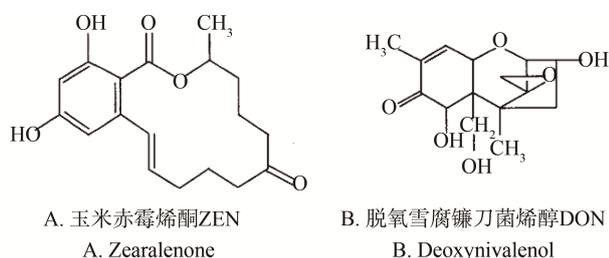


图1 ZEN 和 DON 的结构式

Fig. 1 Structural formula of ZEN and DON

关于植物油中的真菌毒素污染状况的报道极少, 植物油中真菌毒素暴露与玉米、花生、大豆、菜籽等油料作

物受真菌污染有关, 玉米赤霉烯酮和脱氧雪腐镰刀菌烯醇主要污染玉米及小麦等农作物。马皎洁等^[11]对我国部分地区谷物中真菌毒素污染状况的研究中显示, 玉米样品中 ZEN 的污染阳性率为 69.30%, DON 的污染阳性率为 84.65%。王伟等^[12, 13]对中国居民小麦粉和玉米制品中 ZEN 和 DON 的暴露水平进行评估, 研究显示中国小麦粉和玉米制品中 ZEN 和 DON 的污染水平较低, 玉米制品中 DON 的阳性率为 97.4%, ZEN 污染阳性率为 87.6%。由此可见, 因玉米每年都受到 ZEN 和 DON 不同程度的污染, 从而导致食用油中真菌毒素暴露。因此, 对食用油中的真菌毒素含量的检测很有必要, 通过对威胁到人们身体健康的食品来源进行监管, 从而达到降低食品暴露风险的目的。

本研究采用同位素稀释-超高效液相色谱-串联质谱法对所采集油样中玉米赤霉烯酮、脱氧雪腐镰刀菌烯醇进行了检测。目前真菌毒素的检测方法主要有薄层层析色谱法(TLC)、酶联免疫吸附试验法(ELISA)、高效液相色谱法(HPLC)和液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)等。其中 TLC 和 ELISA 方法操作简便快速而且费用低廉, 但灵敏度和重现性较差; HPLC 方法准确可靠, 但仅适用于单独检测同类毒素, 无法实现多类毒素的高通量在线检测; 而 UPLC-MS/MS 法可实现多目标化合物的准确性、定量检测, 能够有效弥补上述方法的弊端。食用油与人们的饮食息息相关, 其卫生质量直接影响人们的健康和安全, 因此对食用油中真菌毒素的污染监测非常重要。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

乙腈、醋酸铵(色谱纯, 美国费希尔公司); 氨水(色谱纯, 德国 CNW 公司); 净化柱: MycoSep226 固相萃取柱(美国 Romer Labs 公司); 实验用水为 Milli-Q 超纯水。

真菌毒素标准品: 玉米赤霉烯酮(ZEN, 61.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、¹³C-玉米赤霉烯酮(¹³C-ZEN, 10.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON, 100.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、¹³C-脱氧雪腐镰刀菌烯醇(¹³C-DON, 10.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$), 均购于美国 Romer Labs 公司; 质控样: ZEN(53~105 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 美国 Romer Labs 公司), DON(0.7~0.9 ppm, 美国 Romer Labs 公司);

Waters UPLC I-Class-Xevo TQ-S 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国沃特世公司); Mettler Toledo 电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司); QB-210 试管翻转混合器

(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); SIGMA 离心机(德国 SIGMA 公司); 可调式移液器(Eppendorf Reasch plus, 德国 Eppendorf 公司); 聚丙烯离心管(美国 Corning 公司); 氮吹仪; 数控超声波清洗器。

2.2 油 样

以北京地区超市为采样地点, 采得玉米油、花生油及食用调和油等油样共 30 份(见表 1), 编号并记录信息, 油样在 4 °C 冰箱内保存。

表 1 样品信息
Table 1 Sample information

编号	产品名称	配料	产地
1	调和油	玉米油、大豆油、菜籽油、花生油、鱼油、芝麻油	上海
2	玉米油	玉米油	辽宁营口
3	玉米油	玉米油	辽宁营口
4	调和油	玉米油、大豆油、菜籽油、花生油、稻米油、橄榄油、亚麻籽油、葵花籽油	天津
5	调和油	大豆油、菜籽油、花生油、稻米油、亚麻籽油、葵花籽油、芝麻油	天津
6	调和油	大豆油、菜籽油、花生油、稻米油、亚麻籽油、葵花籽油、芝麻油	天津
7	花生油	花生油	河北石家庄
8	花生油	花生油	山东临沂
9	调和油	大豆油、菜籽油、花生油、葵花籽油、芝麻油、橄榄油	山东临沂
10	玉米油	玉米油	山东滨州
11	花生油	花生油	山东青岛
12	调和油	大豆油、菜籽油(转)、花生油、芝麻油	河北石家庄
13	花生油	花生油	河北石家庄
14	调和油	大豆油、菜籽油、花生油、芝麻油、玉米油、葵花籽油、亚麻籽油、特级初榨橄榄油	内蒙古哈彦淖尔
15	调和油	花生油、芝麻油、玉米油、葵花籽油、亚麻籽油	内蒙古哈彦淖尔
16	玉米胚芽油	玉米胚芽油	黑龙江哈尔滨
17	花生油	花生油	山东省日照市
18	玉米油	玉米油	安徽省蚌埠市
19	玉米油	玉米油	天津市
20	玉米油	玉米油	天津市
21	食用调和油	大豆油、菜籽油、花生油、玉米油、葵花籽油、米糠油、亚麻籽油、油菜籽油	江苏省苏州市、天津市
22	食用调和油	大豆油、花生油、芝麻油	江苏省苏州市、天津市
23	食用调和油	大豆油、菜籽油、花生油、玉米油、葵花籽油、米糠油、芝麻油	江苏省苏州市
24	花生油	花生油	河北省衡水市
25	玉米油	玉米油	河北省衡水市
26	食用调和油	大豆油 56%、葵花籽油 36%、花生油 6%、芝麻香油 2%	河北省衡水市
27	玉米胚芽油	玉米胚芽油	山东省滨州市
28	玉米胚芽油鲜胚	玉米胚芽油	山东省滨州市
29	玉米油	玉米油	山东省滨州市
30	葵花籽油	葵花籽油	山东省滨州市

2.3 实验方法

2.3.1 溶液的配制

标准溶液: 取 10 μL ZEN 标准品(61.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、20 μL DON 标准品(100.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、通过乙腈-0.2%的氨水-10 mmol/L 的醋酸铵水溶液(V:V, 10:90)稀释到 1 mL, 配制成 ZEN 浓度为 616.0 ng/mL, DON 浓度为 2000 ng/mL;

标准工作溶液: 将标准溶液通过乙腈-0.2%的氨水-10 mmol/L 的醋酸铵水溶液(V:V, 10:90)进行梯度稀释, 并分别加入同位素内标溶液(^{13}C -ZEN 和 ^{13}C -DON), 制备成 ZEN 浓度为 3.08、6.16、15.4、30.8、61.6、154.0、308.0 和 616.0 ng/mL 的系列标准品溶液, DON 浓度为 10、20、50、100、200、1000 和 2000 ng/mL 的系列标准溶液, 其中 ^{13}C -ZEN 的浓度均为 3.01 ng/mL, ^{13}C -DON 的浓度均为 10.1 ng/mL。采用同位素稀释法建立标准曲线。

2.3.2 样品前处理

(1)提取

称取油样 2 g(误差允许范围 ± 0.02 g)于 15 mL 的离心管中, 分别加入 100 μL 同位素混标(^{13}C -ZEN 的浓度为 3.01 ng/mL, ^{13}C -DON 的浓度为 10ng/ml,)后, 再加入 10 mL 乙腈:水(V:V, 86:14)溶液提取, 室温下振荡提取 1 h, 然后超声提取 1 h, 以 9000 r/min 离心 15 min。取上清液, 待净化。

(2)净化

吸取上层清液 8 mL 过 MycoSep 226 净化柱, 净化后移取 4 mL 溶液, 用氮气在 40 $^{\circ}\text{C}$ 下吹干。复溶于 1 mL 乙

腈-0.2%氨水 10 mM 乙酸铵水溶液(V:V, 10:90)中。混合涡旋 30 s, 过 0.20 μm 微孔滤膜过滤, 待上机。

2.3.3 仪器条件

(1) UPLC 色谱条件

流动相 A: 乙腈; 流动相 B: 0.2%氨水+10 mmol/L 乙酸铵水溶液; 流速: 0.3 mL/min; 流动相梯度洗脱条件见表 2; 柱温: 40 $^{\circ}\text{C}$; 进样体积: 10 μL 。

(2)质谱条件

离子源: ESI; 毛细管电压: -0.5 kV; 离子源温度: 150 $^{\circ}\text{C}$; 锥孔反吹气流量: 150 L/h; 脱溶剂气温度: 500 $^{\circ}\text{C}$; 脱溶剂气流量: 1000 L/h; 检测模式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM), 具体参数见表 3。

3 结果与讨论

3.1 方法的线性范围与定量限

在 2.3.3 仪器条件下检测, 以标准曲线中待测化合物与内标定量离子峰面积之比作为纵坐标, 以标准品中待测化合物与内标浓度之比作为横坐标, 进行线性回归分析, 得到待测化合物的标准曲线线性回归方程与相关系数, 结果如表 4 所示。由表 4 可知, 4 种真菌毒素在 3~500 ng/mL 浓度范围内线性良好, 相关系数为 0.999。以信噪比 $S/N=10$ 时的相应浓度计算定量限(limit of quantitation, LOQ)。以信噪比 $S/N=3$ 时的相应浓度作为检出限(limit of detection, LOD)。

表 2 UPLC 梯度洗脱程序
Table 2 Gradient elution program for UPLC

	时间(min)	流速(mL/min)	A(%)	B(%)	保持时间
1	起始	0.3	5.0	95.0	线性变化
2	1.0	0.3	5.0	95.0	线性变化
3	3.5	0.3	18.0	72.0	线性变化
4	4.0	0.3	20.0	80.0	线性变化
5	5.0	0.3	20.0	80.0	线性变化
6	5.5	0.3	25.0	75.0	线性变化
7	7.5	0.3	60.0	40.0	线性变化
8	10.0	0.3	80.0	20.0	线性变化
9	11.0	0.3	100.0	0.0	线性变化
10	11.5	0.3	100.0	0.0	线性变化
11	12.0	0.3	5.0	95.0	线性变化
12	15.0	0.3	5.0	95.0	线性变化

表 3 质谱参数
Table 3 MS parameters

毒素名称	母离子(m/z)	锥孔电压(V)	定量离子(m/z)	碰撞能(eV)	定性离子(m/z)	碰撞能(eV)
DON	355	20	295	10	265	15
¹³ C-DON	370	20	310	15	279	10
ZEN	317	44	175	30	131	24
¹³ C-ZEN	335	44	185	24	140	30

表 4 线性范围与定量限
Table 3 Linear equations and the limit of quantitation

真菌毒素	线性方程	相关系数	线性范围	定量限(μg/kg)	检出限
ZEN	$Y=0.6734X-0.20778$	0.999	3~600 ng/mL	0.1	0.03
DON	$Y=1.0413X-0.79646$	0.999	10~500 ng/mL	3	0.9

3.2 回收率与质控样

选取 2 个油样进行了加标回收实验, 结果表明 ZEN 的加标回收率为 107.10%, DON 的加标回收率为 95.05%; 另取 2 个离心管, 分别向其中添加 ZEN 和 DON 质控样 2g, 各做两个平行, 测得 ZEN 的平均浓度为 54.1 μg/kg, DON 的平均浓度为 0.875 μg/mL, 检测值均在质控样标示值范围之内实验结果可靠。

3.3 样品和标准品的色谱图

阳性样品的多反应监测色谱图见图 2, 由图 2 可知, ZEN 检测含量为 162 μg/kg, DON 未检出, 仪器响应良好。ZEN 内标在 8.81 min 出峰, DON 内标在 3.68 min 出峰。标准品的多反应监测色谱图见图 3。

3.4 植物油中真菌毒素污染调查分析

实验测定结果表明, 30 个样品中未检出 DON, 但 ZEN 检出率为 100%, ZEN 的检出结果最低含量为 1.95 μg/kg, 最高含量为 333 μg/kg, 平均值为 67.7 μg/kg, 低于 EFSA 的限量标准 400 μg/kg; 植物油样品中 DON 的检出率为 0%。植物油样品 ZEN 检测结果如表 5 所示, 结果显示, 有 8 个样品的检出量较高, 在 100~400 μg/kg 之间, 其中 6 个油样为玉米油, 其他分别为花生油和葵花籽油。检测结果如表 7 所示。

由表 5 及表 7 的数据可知, 取样的植物油中玉米赤霉烯酮含量大小为: 玉米油>花生油>调和油, 且玉米油中 ZEN 含量明显高于花生油和调和油。

4 讨论

吴振兴等^[14]检测了植物油中多种真菌毒素, 结果

显示 3 个花生油、3 个玉米油和 1 个调和油都检出了 ZEN, 其中山东滨州产的玉米油 ZEN 含量为 1160.1 μg/kg。而在本次检测中山东滨州产的玉米油的最大检出量为 333 μg/kg, 山东滨州产的葵花籽油的检出量 148 μg/kg, 本次测定结果均低于欧盟规定的限量标准。程传民等^[15]在玉米赤霉烯酮的污染分布规律调查中发现 ZEN 污染最为严重的是华东地区; 熊凯华等^[16]调查安徽、河南两省粮食中镰刀菌毒素的污染状况, 发现两省受镰刀菌毒素污染严重。本研究发现 ZEN 检测含量偏高的地区有安徽、山东及河北等华北华东地区, 结合上述调查推测食用油中真菌毒素受污染严重与当地产油农作物受到污染有关。

在本次调查中, 虽未发现 ZEN 和 DON 超标样品, 但植物油样品中 ZEN 的检出率较高, 因此对于植物油中真菌毒素的检测仍然很有必要。由于 ZEN 和 DON 耐热性好, 常规的加热处理并不能去除。而目前常用的降解毒素的方法主要有物理、化学、生物 3 大类^[17]。物理方法以无机吸附(活性炭、粘土类吸附剂等)为主, 但对 DON 的清除不够彻底, 且会引起二次污染; 主要对吸附黄曲霉毒素有效, 而对 DON 及其他霉菌毒素无效或效果有限。粘土使用量较高时还会降低饲料中微量元素, 如锰、锌、镁、铜和钠等的利用率。能有效地使霉菌毒素解毒或失活的化学物质有: 氨气、亚硝酸钠、臭氧、碱和香精油等, 然而由于安全性, 大多数化学去毒方法都不具有实际操作的可行性^[18]。近年来, 采用微生物方法控制食物链中的真菌毒素已被科学界所关注, 包括微生物菌体的吸附和微生物代谢将毒素转化为无毒产物, 这正是目前降解研究的重点^[19]。

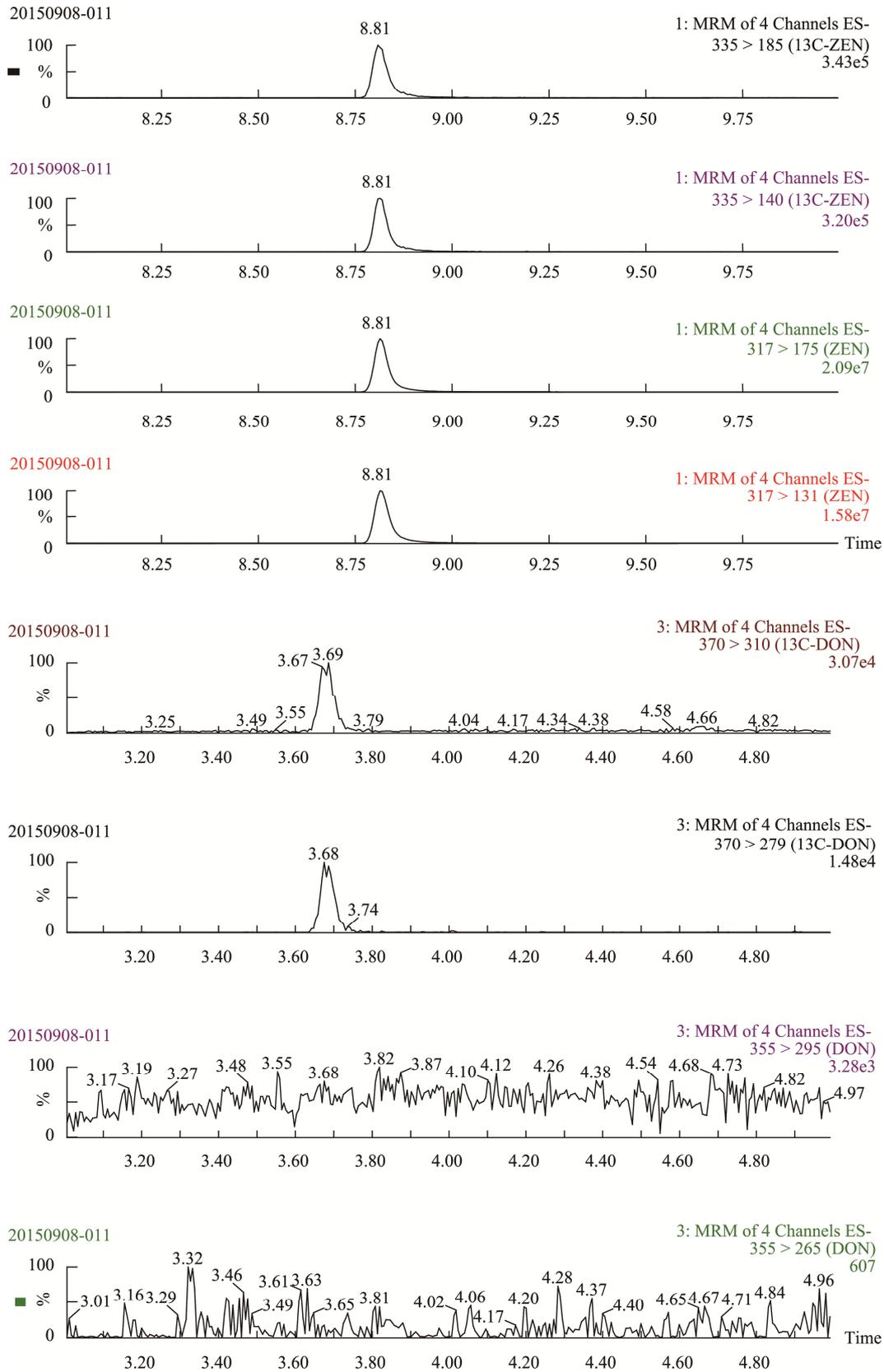


图 2 阳性样品的多反应监测色谱图
Fig. 2 MRM chromatograms of positive samples

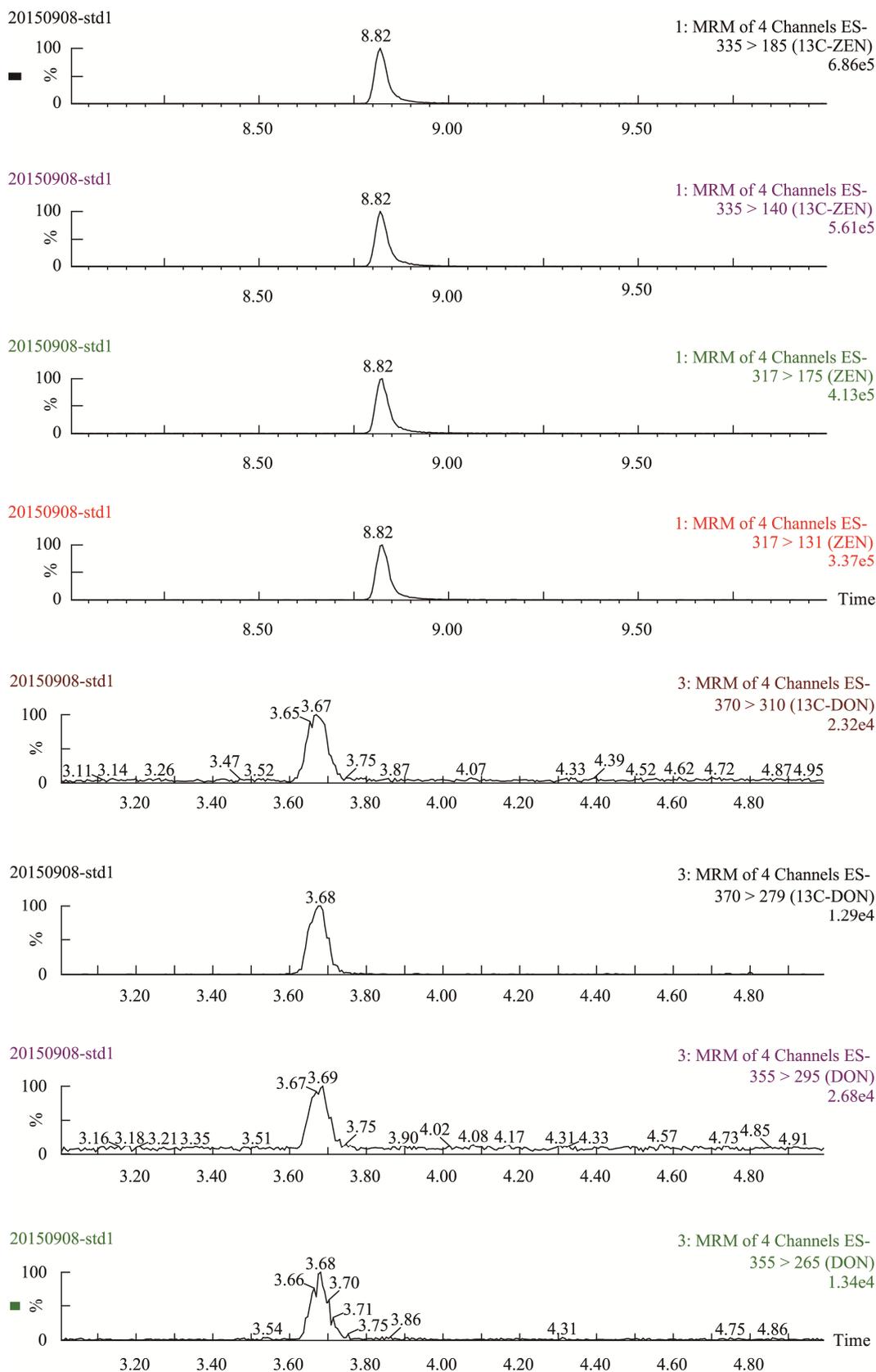


图 3 标准品的多反应监测色谱图
Fig. 3 MRM chromatograms of standards

表 5 植物油样品中 ZEN 检测结果
Table 5 Results of ZEN in edible oils

油样	数量(份)	平均值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最小值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中值($\mu\text{g}/\text{kg}$)
花生油	6	53.5	162	2.43	40.6
玉米油	11	132	333	5.45	111
调和油	12	8.76	42.2	1.95	3.14
葵花籽油	1	148	148	148	148

表 6 植物油样品中 DON 检测结果
Table 6 Results of DON in edible oils

油样	数量(份)	平均值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最小值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中值($\mu\text{g}/\text{kg}$)
花生油	6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
玉米油	11	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
调和油	12	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
葵花籽油	1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

表 7 含量偏高样品的检测结果
Table 7 Results of samples with high content

植物油	检测结果($\mu\text{g}/\text{kg}$)							
	花生油	玉米油			葵花籽油			
ZEN($\mu\text{g}/\text{kg}$)	162	290	263	111	157	257	333	148

植物油与中国居民的饮食息息相关,并且其中的真菌毒素能对人体产生极大的危害,因此我国应尽早制定食用植物油中的真菌毒素相关限量标准,完善食品安全体系以保障居民的膳食安全。

参考文献

- [1] 柳永振,朱凤华,宁雪娇,等.饲料中玉米赤霉烯酮污染状况及其毒性的研究进展[J].饲料博览,2012,(9):42-45.
Liu YZ, Zhu FH, Ning XJ, *et al.* Research progress on pollution and toxicity of zearalenone in feed [J]. Feed Rev, 2012, (9): 42-45.
- [2] 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 HZ, Yang WR, Yang ZB. Metabolism toxicity and preventive measures of zearalenone [J]. Chin J Anim Nutr, 2011, 23(2): 196-202.
- [3] 鲍蕾,静平,许艳丽,等.免疫亲和柱净化-HPLC法测定植物油中玉米赤霉烯酮[J].农产品加工学刊,2013,2:62-64
Bao L, Jing P, Xu YL, *et al.* Determination of zearalenone in edible oil by HPLC-fluorometry with immunoaffinity column clean up [J]. Acad Peri Farm Prod Proc, 2013, 2: 62-64.
- [4] 邓友田,袁慧.毒性机理研究进展[J].动物医学进展,2007,28(2):89-92.
Deng YT, Yuan H. The development of zearalenone toxicity mechanism [J]. Progr Veterin Med, 2007, 28(2): 89-92.
- [5] Drzymala SS, Weiz S, Heinze J, *et al.* Automated solid-phase extraction coupled online with HPLC-FLD for the quantification of zearalenone in edible oil [J]. Anal Bioanal Chem, 2015, (407): 3489-3497.
- [6] GB 2715-2005 粮食卫生标准[S].
GB 2715-2005 Hygienic standard for grains [S].
- [7] TUTELYAN V A. Deoxynivalenol in cereals in Russia [J].Toxico Lett, 2004, 153(1): 173-179.
- [8] 尹杰,伍力,彭智兴,等.脱氧雪腐镰刀菌烯醇的毒性作用及其机理[J].动物营养学报,2012,24(1):48-54.
Yin J, Wu L, Peng ZX, *et al.* Deoxynivalenol: toxicity and mechanisms of action [J]. Chin J Anim Nutr, 2012, 24(1): 48-54.
- [9] 崔晓娜,李航,王洪涛,等.高效液相色谱串联质谱测定粮谷及饲料中玉米赤霉烯酮及其代谢物和伏马毒素 B₁、B₂[J].中国畜牧杂志,2015,51(4):62-66.
Cui XN, Li H, Wang HT, *et al.* Determination of zearaleimne and its metabolites and fumonisins B₁ and B₂ in the grain and feed with

- HPLC-MS/MS [J]. *Chin J Anim Sci*, 2015, 51(4): 62-66.
- [10] GB 2761-2011 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2761-2011 National Food Safety Standard-Fungal toxins in food [S].
- [11] 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): 481-488.
Ma JJ, Shao B, 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): 481-488
- [12] 王伟, 朱江辉, 邵兵, 等. 中国居民小麦粉和玉米制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮暴露水平评估[J]. *中华预防医学杂志*, 2015, 49(3): 223-227.
Wang W, Zhu JH, Shao B, *et al.* Probabilistic assessment of dietary exposure to both deoxynivalenol and zearalenone from cereal based products in Chinese populations [J]. *Chin J Prev Med*, 2015, 49(3): 223-227.
- [13] 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): 55-60.
Wang W, Shao B, Zhu JH, *et al.* Dietary exposure assessment of some important fusarium toxins in cereal-based products in China [J]. *J Hyg Res*, 2010, 39(6): 55-60.
- [14] 吴振兴, 鲍蕾, 吕宁, 等. 植物油中多种真菌毒素的液相色谱-串联质谱检测方法建立及污染调查分析[J]. *分析测试学报*, 2012, 31(12): 106-110.
Wu ZX, Bao L, Lv N, *et al.* Investigation and analysis of contamination and foundation of LC-MS/MS determination method of mycotoxins in vegetable oils [J]. *J Instru Anal*, 2012, 31(12): 106-110.
- [15] 程传民, 柏凡, 李云, 等. 2013 年玉米赤霉烯酮在饲料原料中的污染分布规律[J]. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(16): 68-73.
Cheng ChM, Bai F, Li Y, *et al.* Distribution of zearalenone contamination of feed raw materials in 2013 [J]. *Chin J Anim Sci*, 2014, 50(16): 68-73.
- [16] 熊凯华, 胡威, 汪孟娟, 等. 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状况调查[J]. *食品科学*, 2009, 30(20): 265-268.
Xiong KH, Hu W, Wang MJ, *et al.* A survey on contamination of deoxynivalenol and zearalenol in maize and wheat from Anhui and Henan provinces [J]. *Food Sci*, 2009, 30(20): 265-268.
- [17] 饶正华, 李兰, 苏小鸥. 玉米赤霉烯酮解毒技术研究进展及发展趋势[J]. *饲料工业*, 2010, 31(22): 58-60.
Rao ZH, Li L, Su XO. The research development and trend of zearalenol detoxification technology[J]. *Feed Indus*. 2010, 31(22): 265-268.
- [18] 李溪, 王金荣, 赵银丽, 等. 饲料中玉米赤霉烯酮脱毒技术研究[J]. *饲料研究*, 2015, 13: 16-21.
Li X, Wang JR, Zhao YL, *et al.* The detoxification technology research of zearalenone in feed[J]. *Feed Res*, 2015, 13: 16-21.
- [19] 龙焱, 李鹏, 朱连勤, 等. 微生物降解玉米赤霉烯酮毒素及其机制[J]. *动物医学进展*, 2011, 32(11): 116-119.
Long M, Li P, Zhu LQ, *et al.* Advance in microbial degradation of zearalenone toxin and its mechanism[J]. *Progr Veterin Med*, 2011, 32(11): 116-119.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



谢 丹, 硕士, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 67682xie@163.com



吴永宁, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测与膳食暴露评估。

E-mail: wuyongning@cfsa.net.cn