

风险评估

陕西省市售谷物中4种交链孢毒素的监测及暴露风险评估

赵迪,袁文婷,乔海鸥,张路钱

(陕西省疾病预防控制中心,陕西西安 710054)

摘要:目的 了解陕西省市售谷物中4种交链孢毒素的污染情况,评估居民膳食交链孢毒素暴露量引起的健康风险。方法 2022年在流通环节随机采集小麦粉、玉米粉(糝)、大米共171份,采用超高效液相色谱质谱法测定4种交链孢毒素的含量,结合第五次中国总膳食研究中陕西省的食物消费量调查数据,采用毒理学关注阈值(TTC)方法评估谷物中交链孢毒素的膳食暴露风险。结果 陕西省谷物中交链孢酚、交链孢酚单甲醚、细交链孢菌酮酸和腾毒素的平均值为0.128、0.461、15.3和1.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。小麦粉中细交链孢菌酮酸和腾毒素含量具有显著的相关性。谷物中交链孢酚的均值膳食暴露量为0.64 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,低于TTC值。谷物中交链孢酚的 $P_{97.5}$ 膳食暴露量为4.62 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,超TTC值。谷物中交链孢酚单甲醚的均值、 $P_{97.5}$ 膳食暴露量分别为3.45和17.8 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,超TTC值。谷物中细交链孢菌酮酸的均值、 $P_{97.5}$ 膳食暴露量分别为144和336 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,低于TTC值。谷物中腾毒素的均值、 $P_{97.5}$ 膳食暴露量分别为16.7和32.6 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,低于TTC值。结论 陕西省市售谷物中4种交链孢毒素均有不同程度污染。陕西居民谷物中交链孢酚和交链孢酚单甲醚膳食暴露量较高,2~7岁儿童是暴露量较高人群;细交链孢菌酮酸和腾毒素膳食暴露风险较低。

关键词:谷物;交链孢酚;交链孢酚单甲醚;细交链孢菌酮酸;腾毒素;暴露评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2024)11-1252-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2024.11.008

The monitoring and exposure assessment of 4 kinds of alternaria toxins in grains on sale in Shaanxi Province

ZHAO Di, YUAN Wenting, QIAO Haiou, ZHANG Luqian

(Shaanxi Provincial Centre for Disease Control and Prevention, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: Objective To investigate the contamination of 4 kinds of alternaria toxins in grains in Shaanxi Province and evaluate the risk to the health of dietary exposure. **Methods** A total of 171 samples of wheat flour, rice and corn grits were randomly collected in circulation in 2022. Four kinds of alternaria toxins were determined by ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. The health risk of alternaria toxins in grains were evaluated based on the threshold of toxicological concern method. **Results** The average contents of alternariol, alternariol monomethyl ether, tenuazonic acid and tentoxin were 0.128, 0.461, 15.3 and 1.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in grains, with the detection rates of 8.19, 56.73, 57.31 and 38.01%, respectively. There was a significant correlation between tenuazonic acid and tentoxin contents in wheat flour. The alternariol average dietary exposure is 0.64 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, below the corresponding TTC values. The alternariol $P_{97.5}$ dietary exposure is 4.62 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, above the corresponding TTC values. The alternariol monomethyl ether average and $P_{97.5}$ dietary exposures are 3.45 and 17.8 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, above the corresponding TTC values. The tenuazonic acid average and $P_{97.5}$ dietary exposures are 144 and 336 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, below the corresponding TTC values. The tentoxin average and $P_{97.5}$ dietary exposures are 16.7 and 32.6 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, below the corresponding TTC values. **Conclusion** The grains were contaminated by 4 kinds of alternaria toxins to different degrees in Shaanxi Province. The dietary exposure levels of alternariol and alternariol monomethyl ether in grains exceed the TTC values, and children aged from 2 to 7 years old were higher exposure. Tenuazonic acid and tentoxin were lower dietary exposure.

Key words: Grains; alternariol; alternariol monomethyl ether; tenuazonic acid; tentoxin; exposure assessment

收稿日期:2024-01-03

作者简介:赵迪 女 助理研究员 研究方向为食品理化检验 E-mail:254181360@qq.com

通信作者:张路钱 男 主管医师 研究方向为传染病预防与控制 E-mail:245209492@qq.com

交链孢毒素是由丝状真菌交链孢霉产生的一类有毒次级代谢产物,主要污染谷物、水果及蔬菜等。交链孢酚(Alternariol, AOH)、交链孢酚单甲醚(Alternariol monomethyl ether, AME)、细交链孢菌酮酸(Tenuazonic acid, TeA)和腾毒素(Tentoxin, TEN)是小麦、大米、玉米等粮食作物中最常见的4种交链孢毒素^[1-2]。AOH和AME具有较强的致突变性和遗传毒性作用^[3-4],TeA具有细胞毒性和急性毒性^[5-6],TEN具有植物毒性^[7],对哺乳动物的毒性试验还未见报道。目前,我国部分省份已开展谷物中交链孢毒素的监测^[8-9],但尚未见到陕西省谷物中交链孢毒素污染水平的调查报告,同时缺乏陕西省膳食暴露交链孢毒素对居民健康影响的风险评估资料。毒理学关注阈值(Threshold of toxicological concern, TTC)是近年发展的新的风险评估方法,目前已被联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)、欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)、美国食品药品监督管理局

(United States Food and Drug Administration, USFDA)等食品安全风险评估和管理机构采用,广泛应用于食品包装材料、食用香料等化学物质的风险评估。1995年USFDA首次应用TTC法于食品接触化学物质的管理阈值^[10]。JECFA采用TTC原则评价食用香料的安全性^[11]。我国也有研究将TTC法应用于食品中化学物质的暴露风险评估^[12-13]。本研究采用高效液相色谱质谱法对2022年陕西省市售谷物中的4种交链孢毒素进行监测,了解陕西省谷物中AOH、AME、TeA和TEN的污染情况,并采用毒理学关注阈值法评估谷物中交链孢毒素的暴露风险。

1 材料与方法

1.1 样本来源

2022年在陕西省10个地级市采用随机抽样的方法,选取市售谷物供应量大农贸市场或商超采集谷物样品171份,其中包括小麦粉61份、玉米粉(粳)77份和大米33份。所有样品尽快制样,4℃密封保存。

表1 谷物采样地点分布情况表

Table 1 The distribution of cereal sampling sites

地市名称	大米	小麦粉	玉米粉(粳)	采样点数	采样时间
西安市	6	16	13	29	2022.3~2022.6
铜川市	2	9	3	9	2022.6
宝鸡市	4	12	8	12	2022.9
咸阳市	4	12	10	16	2022.6~2022.7
渭南市	4	12	10	14	2022.8
延安市	2	—	7	9	2022.5~2022.8
汉中市	2	—	7	7	2022.8
榆林市	4	—	8	11	2022.4~2022.9
安康市	3	—	6	9	2022.8~2022.9
商洛市	2	—	5	7	2022.4~2022.8
合计	33	61	77		

1.2 仪器与试剂

Dionex U3000 超高效液相色谱仪(美国 Thermal 公司);5500Q-trap 三重四级杆串联质谱仪(配有电喷雾离子源和流动注射泵,美国 AB SCIEX 公司);涡旋振荡器(美国海道夫公司);氮吹仪(广州得泰仪器科技有限公司);离心机(日本 HITACHI 公司)。

100.0 μg/mL AOH、AME、TeA、TEN 标准溶液,25.0 μg/mL ¹³C₁₄-AOH、¹³C₁₅-AME、¹³C₁₀-TeA 内标溶液均购于美国 Romer 公司,TEN-D₃内标(纯度>99%)购于加拿大 TRC 公司。甲醇、乙腈、磷酸二氢钠、碳酸氢铵为色谱纯,均购于德国 Merck 公司。Oasis HLB 固相萃取柱(200 mg/6 mL,美国 Waters 公司)。

1.3 仪器工作条件

1.3.1 色谱条件

色谱柱 Waters BEH C18 (2.1 mm×100 mm,

2.5 μm);柱温 50℃;流速 0.4 mL/min;进样体积 2.0 μL;流动相:A:甲醇;B:1.0 mmol 碳酸氢铵;梯度洗脱:0~2.0 min,95%B;2.0~3.0 min,95%~5%B;3.0~6.0 min,5%B;6.0~6.5 min,5%~95%B;6.5~10.0 min,95%B。

1.3.2 质谱条件

电喷雾 ESI 离子源(负离子模式);扫描方式多反应监测(MRM);电喷雾电压-4 500 V;气帘气压力 35 psi;雾化气压力 35 psi;辅助气压力 35 psi;离子源温度 550℃;入口电压、碰撞室入口电压、碰撞室出口电压、碰撞电压、去簇电压见表 2。

1.4 分析方法与质量控制

准确称取 5.0 g 样品(精确至 0.001 g)加入 200 μL 混合内标溶液,以磷酸二氢钠-甲醇-乙腈混合溶液作为提取溶液,经 HLB 固相萃取柱净化,再浓缩、定容和过滤。按 2022 版《国家食品污染物和有害因

表2 质谱参数
Table 2 MS parameters

名称	保留时间/min	母离子 Q1(m/z)	子离子 Q3(m/z)	CE (V)	EP (V)	DP (V)	CXP (V)
TeA	2.26	196.0	139.0*	-27	-10	-90	-10
		196.0	112.0	-32	-10	-90	-10
AOH	5.33	257.1	215.0*	-35	-10	-150	-12
		257.1	147.0	-43	-10	-150	-12
AME	5.82	271.0	256.0*	-32	-10	-200	-15
		271.0	228.0	-40	-10	-200	-15
TEN	5.54	413.1	141.0*	-28	-10	-170	-10
		413.1	271.2	-22	-10	-170	-10
¹³ C ₁₀ -TeA	2.25	206.0	117.0*	-33	-10	-100	-15
		206.0	144.9	-27	-10	-100	-15
¹³ C ₁₄ -AOH	5.33	271.1	156.1*	-45	-10	-160	-15
		271.1	227.0	-35	-10	-160	-15
¹³ C ₁₅ -AME	5.81	286.1	270.0	-31	-10	-160	-15
		286.1	241.1	-42	-10	-160	-15
TEN-D ₃	5.53	416.2	140.9	-25	-10	-160	-10
		416.2	273.9	-23	-10	-160	-10

注:*表示定量离子;EP:入口电压;CEP:碰撞室入口电压;CXP:碰撞室出口电压;CE:碰撞

素风险监测工作手册》^[14]中液相色谱-串联质谱法测定交链孢霉毒素的含量。TeA 在 4.00~200 ng/mL 浓度范围的线性方程为 $y=0.0751x-0.0325$, $r=0.9996$; TEN 在 0.20~10.0 ng/mL 浓度范围的线性方程为 $y=0.0586x+0.00726$, $r=0.9965$; AME 在 0.20~10.0 ng/mL 浓度范围的线性方程为 $y=0.0759x-0.00106$, $r=0.9995$; AOH 在 2.50~50.0 ng/mL 浓度范围的线性方程为 $y=0.0734x-0.0528$, $r=0.9997$ 。TeA、TEN、AME 和 AOH 的检出限为 2.00、0.10、0.10 和 1.00 μg/kg。分析过程通过加标回收实验和平行双样控制分析质量,每 10 个样做一个平行样,每批样品做一个空白样和样品加标。加标回收实验的回收率为 93.6%~107.5%,平行双样的 RSD<10%。

1.5 暴露风险评估

1.5.1 交链孢霉毒素膳食暴露量

本研究采用点评估方法,根据公式 $D=X*C/W$ 计算谷物中交链孢霉毒素膳食暴露量。其中,D 为谷物中交链孢霉毒素膳食暴露量[ng/(kg·BW·d)];X 为谷物的日均摄入量(g/d);C 为谷物中交链孢霉毒素的均值含量(μg/kg);W 为个体体重(kg)。

1.5.2 膳食中交链孢霉毒素的慢性暴露风险评估

在交链孢霉毒素膳食暴露量评估基础上,利用 TTC 评估谷物中交链孢霉毒素的膳食暴露风险。按照 TTC 决策树,由于 AOH 和 AME 具有遗传毒性,其 TTC 值为 0.15 μg/(人·d)即 2.50 ng/(kg·BW·d)^[15];按照 TTC 决策树中 Cramer 的化合物分级(根据物质化学结构不同将其分为 I、II、III 类),TeA 和 TEN 属于第 III 类化合物,其 TTC 值为 90 μg/(人·d)

即 1500 ng/(kg·BW·d)^[15]。若暴露量 $D<TTC$ 值,说明该污染物的食品安全风险可接受;若暴露量 $D>TTC$ 值,说明该污染物的食品存在一定的安全风险,需要引起关注。

2 结果

2.1 陕西省谷物中交链孢霉毒素的监测结果

由表 3 可知,谷物中 AOH、AME、TeA 和 TEN 的平均含量为 0.128、0.461、15.3、1.67 μg/kg,检出率依次为 8.19%、56.73%、57.31%、38.01%。小麦粉中普遍存在交链孢霉毒素污染,其中 AME、TeA 和 TEN 检出率较高,分别为 91.8%、100.0%、100.0%;玉米粉(糝)中 AOH、AME、TeA 和 TEN 均检出,检出率为 18.18%、50.65%、41.56% 和 5.19%;大米中仅 AME 和 TeA 检出,检出率为 6.06% 和 15.15%。谷物中 AOH 和 AME 的平均含量均小于 5 μg/kg;小麦粉中 TeA 的平均含量最高,为 37.2 μg/kg,玉米粉(糝)次之;小麦粉中 TEN 平均含量最高,为 4.64 μg/kg。谷物中 TeA 和 TEN 最大检出值分别为 84.0 和 9.39 μg/kg。

2.2 谷物中交链孢霉毒素的相关性分析

阳性谷物样品中存在多种交链孢霉毒素同时污染的情况,61 份小麦粉样品同时检出 TEN 和 TeA,56 份小麦粉样品同时检出 AME、TeA 和 TEN。26 份玉米粉(糝)样品中同时检出 TeA 和 AME。2 份大米样品中同时检出 TeA 和 AME。采用 SPSS 23.0 统计软件对谷物中 AOH、AME、TeA 和 TEN 含量进行相关性分析。大米因为共污染样品数太少,未做相关性分析。结果显示:小麦粉中 TEN 和 TeA 含

表3 2022年陕西省谷物中交链孢毒素污染情况

Table 3 Alternaria toxins contamination of grains in Shaanxi Province in 2022

污染物	谷物	样本量	均值 X/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P_{50} /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P_{90} /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P_{95} /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	$P_{97.5}$ /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	检出率/%
AOH	小麦粉	61	<1.00	—	—	—	—	—	0
	大米	33	<1.00	—	—	—	—	—	0
	玉米粉(糝)	77	0.283	—	1.24	1.71	2.05	3.64	18.18
	合计	171	0.128	—	—	1.20	1.68	3.64	8.19
AME	小麦粉	61	0.631	0.310	1.38	3.00	3.29	4.10	91.80
	大米	33	0.011 8	—	—	0.130	0.260	0.260	6.06
	玉米粉(糝)	77	0.518	0.150	1.76	2.47	2.53	5.04	50.65
	合计	171	0.461	0.170	1.38	2.18	3.00	5.04	56.73
TeA	小麦粉	61	37.2	36.3	56.4	60.8	70.5	75.4	100
	大米	33	0.566	—	3.09	4.13	4.98	4.98	15.15
	玉米粉(糝)	77	4.23	—	8.89	17.4	33.8	84.0	41.56
	合计	171	15.3	4.13	45.3	55.5	60.8	84.0	57.31
TEN	小麦粉	61	4.64	4.52	7.30	7.57	8.77	9.39	100
	大米	33	<0.10	—	—	—	—	—	0
	玉米粉(糝)	77	0.021 0	—	—	0.200	0.490	0.530	5.19
	合计	171	1.67	—	5.43	6.16	7.54	9.39	38.01

注:低于检出限的值按0统计

量呈强正相关性,相关系数为 0.845($P<0.01$),见图1。小麦粉中 TeA 和 AME 相关系数为 0.397($P<0.01$),呈弱正相关性。小麦粉中 TEN 和 AME 相关系数为 0.510($P<0.01$),呈弱正相关性。玉米粉(糝)中 TeA 和 AME 相关系数为 0.310($P<0.01$),呈弱正相关性。结果表明,小麦粉中 TeA、TEN 共污染的情况最严重,且二者呈强正相关性,这与赵凯^[16]研究结果一致。

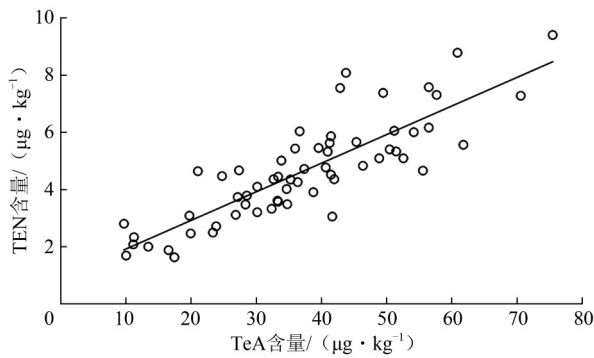


图1 小麦粉中TEN和TeA含量的相关性

Figure 1 The correlation analysis of TEN and TeA contents in wheat flour

表4 4种交链孢毒素的膳食暴露量[ng/(kg·BW·d)]

Table 4 The dietary exposure of 4 alternaria toxins[ng/(kg·BW·d)]

项目	小麦粉		大米		玉米粉(糝)		合计		TTC 值
	D(X)	D($P_{97.5}$)	D(X)	D($P_{97.5}$)	D(X)	D($P_{97.5}$)	D(X)	D($P_{97.5}$)	
AOH	0	—	0	—	0.64	4.62	0.64	4.62	2.50
AME	2.27	11.8	0.015 2	0.335	1.17	5.71	3.45	17.8	2.50
TeA	134	253	0.73	6.42	9.54	76.2	144	336	1 500
TEN	16.7	31.5	0	—	0.047	1.11	16.7	32.6	1 500

2.4 陕西省全人群谷物膳食交链孢毒素暴露水平分析

以中国性别-年龄组人群参考体质量^[18]及谷物消费量^[17]图5为基础,结合陕西省谷物中交链孢毒

2.3 陕西省谷物中交链孢毒素膳食暴露量评估

参考第五次中国总膳食研究中陕西省12类食品样品聚类后食品品种及消费量^[17],陕西省居民平均每日小麦消费量(挂面、馒头、油饼和蛋糕消费量加和)为215.69g,大米和玉米的消费量为77.40g和135.32g。结合2022年陕西省监测的谷物中4种交链孢毒素的含量数据,体质量以标准人的平均体质量60kg计,计算陕西省谷物中交链孢毒素的膳食暴露量。由表4可知,谷物中TeA和TEN膳食暴露量的均值、 $P_{97.5}$ 均远低于TTC值,是TTC值的1.11%~9.6%。谷物中AOH的膳食暴露量均值低于TTC值,是TTC值的25.6%。谷物中AOH的 $P_{97.5}$ 膳食暴露量超过TTC值,玉米粉(糝)的贡献率为100%。谷物中AME的膳食暴露量均值超TTC值,小麦粉、大米、玉米粉(糝)的贡献率分别为65.8%、0.3%和33.9%。谷物中AME的 $P_{97.5}$ 膳食暴露量是TTC值的7倍,小麦粉、大米、玉米粉(糝)的贡献率分别为66.3%、1.8%和31.9%。结果表明,通过谷物AME慢性膳食暴露对消费者健康影响的风险较高。

素的均值含量数据,计算陕西省性别-年龄组交链孢毒素的膳食暴露量。由表6可知,陕西省性别-年龄组的AME膳食暴露量为2.89~5.62ng/(kg·BW·d),为TTC值的1.16~2.25倍;AOH、TeA和TEN膳食暴

露量均未超 TTC 值。其中 2~7 岁年龄组膳食 AME 暴露量最高,为 5.62 ng/(kg·BW·d);其次是 8~12 岁年龄组;男性膳食 AOH 和 AME 暴露量水平稍高于女性。结果表明,通过谷物 AME 的暴露对 2~7 岁儿童健康影响的风险最高,应高度关注。

3 讨论

本研究表明,陕西省小麦粉、大米、玉米粉(糝)都受到 4 种交链孢毒素的污染,谷物中 AOH、AME、TeA 和 TEN 的平均含量为 0.128、0.461、15.3 和 1.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。其中小麦粉中 AME、TeA 和 TEN 检出率最高,分别为 91.8%、100%、100%。四川省对市售小麦及其制品中链格孢霉毒素进行检测,AME、TeA 和 TEN 检出率分别为 86.4%、97.7%、96.0%^[8],

表5 中国性别-年龄组人群参考体质量及谷物消费量
Table 5 Reference body weight and cereal consumption of age-sex groups in China

人群分组	体质量/kg	消费量/g
2~7岁	17.9	218.3
8~12岁	33.1	336.0
13~19岁男	56.4	461.8
13~19岁女	50.0	368.8
20~50岁男	63.0	475.7
20~50岁女	56.0	386.9
50~65岁男	65.0	461.0
50~65岁女	58.0	391.8
>65岁男	59.5	398.8
>65岁女	52.0	326.3

江苏省对小麦粉中 4 种交链孢毒素进行检测, AME、TeA 和 TEN 检出率均为 88%、100%、100%^[9]。以上研究表明,小麦更容易受到交链孢毒素的污染。

表6 陕西省性别-年龄组交链孢毒素暴露水平/[ng/(kg·BW·d)]

Table 6 The dietary alternaria toxins exposure in age-sex groups in Shaanxi Province/[ng/(kg·BW·d)]

项目	2~7岁	8~12岁	13~19岁		20~49岁		50~65岁			>65岁		TTC 值
			男	女	男	女	男	女	男	女		
AOH	1.56	1.30	1.05	0.94	0.97	0.88	0.91	0.86	0.86	0.80	2.50	
AME	5.62	4.68	3.77	3.40	3.48	3.19	3.27	3.11	3.09	2.89	2.50	
TeA	187	155	125	113	116	106	109	103	103	96.0	1 500	
TEN	20.4	17.0	13.7	12.3	12.6	11.5	11.8	11.3	11.2	10.5	1 500	

本研究采用 TTC 方法对陕西省居民膳食中交链孢毒素膳食暴露量进行了评估。陕西谷物中 AME 的膳食暴露量超其对应的 TTC 值,尤其对 2~7 岁儿童健康影响的风险最高,主要来源于小麦粉和玉米粉(糝)。玉米粉(糝)中 AOH 的 $P_{97.5}$ 膳食暴露量超 TTC 值。因此,通过谷物 AME 慢性膳食暴露可能会对消费者健康造成风险,应该引起人们的重视。

本研究还存在一定的不确定性。第一,陕西省谷物中交链孢毒素的膳食暴露量评估采用的膳食消费量数据基于 2009~2013 年的第五次中国总膳食研究,随着时间变化,陕西省居民的膳食消费模式、消费结构和消费量与 2009~2013 年已有一定的差异,因此评估结果存在一定不确定度。第二,陕西人群膳食交链孢毒素暴露水平评估采用的数据以中国 10 个性别-年龄组人群参考体质量及谷物消费量为基础,因此评估数据存在一定的偏倚。第三,交链孢毒素在自然界中普遍存在于蔬菜、水果和谷物中,本研究中只针对谷物进行评估,缺乏水果和蔬菜的膳食暴露量数据,评估数据具有一定的局限性。今后应该全面展开交链孢毒素在蔬菜、水果和谷物中含量的监测及居民膳食消费量调查,为陕西居民膳食交链孢毒素风险评估提供更准确的数据支持。目前世界范围内还没有制定交链孢霉毒素的限量标准,污染数据的全面收集,也有利于加快制定

交链孢霉毒素的限量标准,保障我国食品安全。

参考文献

- [1] 赵凯,李凤琴.食品中交链孢毒素污染及分析方法研究进展[J].卫生研究,2013,42(5):868-874.
ZHAO K, LI F Q. Research progress on the contamination and analytical methods of alternaria toxins in food [J]. Journal of hygiene research, 2013, 42(5): 868-874.
- [2] 闫璐,高贵田,哈益明,等.谷物中链格孢霉毒素的研究进展[J].核农学报,2017,31(2):334-341.
YAN L, GAO G T, HA Y M, et al. Research progress of alternaria mycotoxins in cereals [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(2): 334-341.
- [3] OSTRY V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuff [J]. World Mycotoxin Journal, 2008, 1(2): 175-188.
- [4] SCHRADER T J, CHERRY W, SOPER K, et al. Further examination of the effects of nitrosylation on alternaria alternata mycotoxin mutagenicity *in vitro* [J]. Mutation Research-genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis, 2006, 606(1): 61-71.
- [5] RYCHLIK M, LEPPER H, WEIDNER C, et al. Risk evaluation of the alternaria mycotoxin tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management [J]. Food Control, 2016(68): 181-185.
- [6] 满燕,梁刚,李安,等.链格孢霉毒素检测方法研究进展[J].食品安全质量检测学报,2016,7(2):453-458.
MAN Y, LIANG G, LI A, et al. Research progress of detecting methods for alternaria toxins. Journal of food safety and quality,

- 2016, 7(2): 453-458.
- [7] 郭诗曼, 冯启. 链格孢霉菌毒素的研究进展[J]. 广州化工, 2020, 48(17): 9-12.
- GUO S M, FENG Q. Research progress on alternaria toxins[J]. Guangzhou chemical industry, 2020, 48(17): 9-12.
- [8] 何玲, 秦忠雪, 任琳, 等. 四川省市售小麦及其制品中链格孢霉毒素污染状况调查[J]. 预防医学情报杂志, 2020, 36(11): 1433-1437.
- HE L, QIN Z X, REN L, et al. Investigation on contamination of alternaria toxins from wheat and its products sold in sichuan province[J]. Journal of preventive medicine information, 2020, 36(11): 1433-1437.
- [9] 陈蓓, 吉文亮, 朱峰, 等. 江苏省内小麦粉中4种交链孢毒素污染情况调查[J]. 中国公共卫生, 2018, 34(3): 397-399.
- CHEN B, JI W L, ZHU F, et al. Contamination of 4 alternaria toxins in wheat flour sampled in jiangsu province [J]. Chinese journal of public health, 2018, 34(3): 397-399.
- [10] US FDA, 1995. Food additives: threshold of regulation of substances used in food contact articles; final rule [J]. Federal Register, 1995, 60: 36582-36596.
- [11] JECFA. The safety evaluation of natural flavouring complexes. WHO Food Additives Series, No 52[M]. 1996.
- [12] 李昊泽, 石丽丽, 曹学丽, 等. 风味发酵乳中香精关注成分的筛选及暴露风险评估[J]. 食品科学, 2021, 42(18): 254-260.
- LI H Z, SHI L L, CAO X L, et al. Screening for and exposure risk assessment of added flavor substances of concern in fermented dairy products[J]. Food science, 2021, 42(18): 254-260.
- [13] 李倩云, 吴刚, 王亚, 等. 覆膜金属罐中PBT/PET环状低聚物在食品中的迁移测试及基于膳食暴露量的风险评估[J]. 分析测试学报, 2022, 41(10): 1494-1500.
- LI Q Y, WU G, WANG Y, et al. Migration test and risk assessment based on dietary exposure of PBT/PET cyclic oligomers in polymer-laminated metal cans [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(10): 1494-1500.
- [14] 国家食品安全风险评估中心. 2022年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册(中卷)[M]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2022: 61-82.
- China National Center for Food Safety Risk Assessment. National manual on risk monitoring of food contamination and harmful factors in 2022 [M]. Beijing: China National Center for Food Safety Risk Assessment, 2022: 61-82.
- [15] EFSA panels on contaminants in the food chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of alternaria toxins in feed and food[J]. EFSA Journal, 2011, 9(10): 2407-2415.
- [16] 赵凯. 食品中交链孢毒素污染、生物利用及风险评估研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 2015.
- ZHAO K. Natural Occurrence, Bioavailability and Risk Assessment of Alternaria Mycotoxins in Foods[D]. Beijing: Institute of Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2015.
- [17] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 262-263.
- WU Y N, ZHAO Y F, LI J G. The fifth china total diet study [M]. Beijing: Science Press, 2018: 262-263.
- [18] 张磊, 高俊全, 李筱薇. 2000年中国总膳食研究—不同性别年龄组人群膳食铅摄入量[J]. 卫生研究, 2007, 36(4): 459-467.
- ZHANG L, GAO J Q, LI X W. Lead intakes by different age-sex population groups from Chinese total diet study in 2000 [J]. Journal of Hygiene Research, 2007, 36(4): 459-467.