

风险评估

浙江省5大类食物中赭曲霉毒素A暴露评估

赵毕¹,吴平谷²,章荣华²,赵栋²,张荷香²,吴晓丽²,蔡增轩²,陈江²,潘晓东²,
王绩凯²,许娇娇²,齐小娟²,周标²

(1. 宁波大学医学院,浙江宁波 315000;2. 浙江省疾病预防控制中心,浙江杭州 310051)

摘要:目的 评价浙江省居民膳食赭曲霉毒素A(OTA)暴露风险。方法 收集2018—2019年浙江省居民消费食物5大类24种共518份,结合浙江省2015—2016年膳食消费量调查数据,对居民OTA膳食暴露进行评估。结果 OTA只在谷物及其制品中检出,而水果、茶叶、膨化食品、婴幼儿谷类辅食中均未检出OTA。燕麦及其制品OTA检出率最高为16.1%(5/31);OTA阳性样本含量范围为0.53~4.00 μg/kg,其中燕麦及其制品检出含量最高,为4.00 μg/kg;OTA含量均未超过我国限量标准(5 μg/kg)。暴露评估显示,浙江省全人群中绝大多数消费情景下谷物及其制品膳食OTA暴露量为0.004~7.360 ng/kg BW,在OTA的安全摄入量范围内(14 ng/kg BW);少数高污染高消费情景下,稻谷OTA摄入量为19.627 ng/kg BW,是安全摄入量的140.19%。不同年龄组人群以1~6岁组每日摄入量最高,为0.014~34.644 ng/kg BW,是安全摄入量的0.10%~247.46%。本研究中稻谷是浙江省居民膳食OTA的主要贡献食物,不同消费人群贡献率达到87.22%~98.32%。结论 食用谷物及其制品致OTA暴露的健康风险总体较低,但少数高摄入人群存在潜在风险,特别是低年龄组消费者,需要引起关注。

关键词:赭曲霉毒素A;暴露评估

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)02-0315-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.02.020

Ochratoxin A dietary exposure assessment in five food categories from Zhejiang Province

ZHAO Bi¹, WU Pinggu², ZHANG Ronghua², ZHAO Dong², ZHANG Hexiang², WU Xiaoli²,
CAI Zengxuan², CHEN Jiang², PAN Xiaodong², WANG Jikai², XU Jiaojiao², QI Xiaojuan², ZHOU Biao²
(1. School of Medicine, Ningbo University, Zhejiang Ningbo 315000, China;

2. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Zhejiang Hangzhou 310051, China)

Abstract: Objective To evaluate the food exposure risk of ochratoxin A (OTA) in Zhejiang Province, China. **Methods** A representative of 518 samples (five food categories including 24 kinds of food stuffs) were examined from 2018 to 2019 in order to evaluate the occurrence of OTA in Zhejiang Province. Food consumption data was collected from the Food Consumption Survey of Zhejiang Province between 2015 and 2016. **Results** OTA was only detected in grains and related products, but was not detected in fruits, tea, puffed foods and infant cereals. The higher incidence was found in oats and related products (16.1%, 5/31); the OTA levels of positive samples ranged from 0.53 to 4.00 μg/kg; and the maximum value of 4.00 μg/kg was found in oats and related products; no samples exceeded the limit set by China (5 μg/kg). Exposure assessment showed that in most consumption scenarios, OTA probable daily intake for eating grains and related products were 0.004-7.360 ng/kg BW, less than OTA safety exposure value of 14 ng/kg BW; the highest OTA exposure value was 19.627 ng/kg BW and represents 140.19% of the safe intake. The 1-6 years old age group had the highest daily intake of 0.014-34.644 ng/kg BW, representing 0.10%-247.46% of the safe intake. The main food source of OTA was rice with a contribution rate of 87.22%-98.32% among different scenarios. **Conclusions** The OTA intakes through grains and related products consumption by Zhejiang population do not raise safety concerns except a few high intake groups, especially young consumers.

Key words: Ochratoxin A; exposure assessment

收稿日期:2021-04-29

基金项目:国家卫生健康委员会科研基金(WKJ-ZJ-1917)

作者简介:赵毕 女 硕士生 研究方向为营养与食品安全 E-mail: zhaobi960314@163.com

通信作者:周标 男 主任医师 研究方向为流行病与卫生统计 E-mail: bzhou@cdc.zj.cn

赭曲霉毒素是由曲霉属和青霉属产毒真菌产生的一组污染食品的、重要的真菌毒素,普遍存在于各种饲料、食品及其他农副产品中,根据其化学结构的不同通常被划分为A、B、C三类^[1-3]。其中赭曲霉毒素A(Ochratoxin A, OTA)由于其在自然界中毒性最强(具有肾毒性、肝毒性、致癌性、致畸性、免疫抑制作用等^[4-5])、分布最广泛,引起高度关注。国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)在1993年将OTA归为2B类致癌物^[6];国际食品安全机构为了保护人群健康,为OTA设置了限量值。食品添加剂联合专家委员会(the Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA)设置的每周可耐受摄入量(Provisional maximum tolerated weekly intake, PMTWI)为100 ng/kg BW,相应的每日可耐受摄入量(Provisional maximum tolerated daily intake, PMTDI)为14 ng/kg BW^[7]。我国真菌毒素限量标准:GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》规定谷物及其制品中OTA的限量值为5 μg/kg^[8]。

OTA的产生情况受温度和水的影响较大,产毒菌株在15~20℃、水分活度为0.98时产OTA量最多^[9]。浙江地处亚热带中部,主要为亚热带季风气候。相对温暖潮湿和大量的降雨有利于霉菌的生长和毒素的产生,使当地食品存在OTA污染的潜在风险。然而,目前未见对浙江省居民进行的膳食OTA暴露评估。因此,为了解浙江省居民膳食OTA的暴露情况,本研究开展了浙江居民膳食OTA的摄入水平研究及健康风险评估。

1 材料和方法

1.1 样品的采集

通过多阶段分层随机抽样法采集2018—2019年浙江省各个地市样品共518份,包含5大类24种食物(谷物及其制品,水果,膨化食品,婴幼儿谷类辅食,茶叶等),详见表1。样品产地分为省内、省外和不详;样品包装方式分为散装(包括自行简易包装)和定型包装;采样场所分为网店、商店、农贸市场和农场。采样完成后尽快送往实验室,密封冷冻保存直至分析。

表1 浙江省5大类食品中OTA污染情况

Table 1 The incidence and concentration of OTA from five kinds of foods categories in Zhejiang Province

食品类别	样品份数	检出份数	检出率/%	OTA含量 ^a /(μg/kg)		
				P50	P95	最大值
谷物及其制品	稻谷	93	3	3.2	0	1.84
	玉米及其制品	31	2	6.5	0	2.44
	燕麦及其制品	31	5	16.1	0	4.00
	糙米	31	2	6.5	0	1.34
	小米	31	2	6.5	0	1.12
水果	柑橘	24			< LOD	
	葡萄	24			< LOD	
	杨梅	12	0	0	< LOD	
	枇杷	20			< LOD	
	苹果	20			< LOD	
茶叶	黑茶—普洱茶(熟)	33			< LOD	
	红茶	11	0	0	< LOD	
	青茶—普洱茶(生)	30			< LOD	
膨化食品	米花糖	8			< LOD	
	雪饼	19			< LOD	
	薯片薯条	18	0	0	< LOD	
	其他膨化食品	17			< LOD	
婴幼儿谷类辅食	以大米为主	41			< LOD	
	以小麦为主	14	0	0	< LOD	
	以小米为主	4			< LOD	
	以其他谷物为主或者混合谷物	6			< LOD	

注:^a未检出值用0替代

1.2 方法

1.2.1 OTA含量的测定

食物中OTA含量的检测按照LST 6133—2018《粮油检验 主要谷物中16种真菌毒素的测定》中要求的液相色谱-串联质谱法进行^[10]。根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)发布的“食品中低水平污染物可信评价”的推荐性程序^[11],在暴

露评估时,对未检出值以1/2检出限值(Limit of detection, LOD)代替。

1.2.2 居民消费量调查

本研究消费量数据来源于2015—2016年浙江省居民膳食消费状况调查。调查点覆盖浙江省10个县(市、区),调查对象为居住6个月及以上的常住居民,采用多阶段分层随机抽样,以家庭为单位抽

取调查对象,被抽中家庭常住人口全部签署知情同意书(未成年人由监护人代签)并被选做调查对象,总调查人口约 10 000 人。以食物频率法调查近一年不同年龄组人群的各类食物消费情况。详见表 2。

1.2.3 质量控制

样品采集、处理及检测参照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》^[12]严格执行。进行污染物浓度测定时,检测人员必须严格按照国家标准操作程序开展检测工作。在样品检测过程中进行实验室内部及实验室间质量控制,采取标准物质测定、超标样品复测、样品加标回收试验等措施,保证检测数据准确可靠。

1.2.4 暴露评估方法

1.2.4.1 暴露量的计算

食物中 OTA 的每日摄入量(probable daily intake, PDI)计算公式为:

$$PDI = \frac{Fi \times Ci}{BW} \quad (1)$$

式中:PDI 为 OTA 平均每日每公斤体质量摄入量,ng/kg BW;Fi 为食物 i 的消费量,g/d;Ci 为食物 i 中 OTA 含量,μg/kg;BW 为体质量,kg。

1.2.4.2 暴露量占 PMTDI 比例

计算 OTA 暴露量与 JECFA 推荐的 PMTDI 的比值。公式为:

$$PMTDI\% = \frac{PDI}{PMTDI} \times 100\% \quad (2)$$

PMTDI 为每日可耐受摄入量,ng/kg BW。

1.2.4.3 各类食物 OTA 暴露量贡献率

$$\text{贡献率}\% = \frac{PDI}{PDI_{\text{总}}} \times 100\% \quad (3)$$

PDI 为每种食物 OTA 平均每日每公斤体质量摄入量,ng/kg BW;

$PDI_{\text{总}}$ 为 5 大类食物 OTA 平均每日每公斤体质量总摄入量,ng/kg BW;

1.3 统计学分析

使用 Excel 2010 软件录入和处理数据,统计分析使用 SPSS 25.0,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。各类食物 OTA 含量和消费量数据均呈偏态分布($P < 0.001$),因此用 $P50$ 、 $P95$ 等百分位数来描述其分布特征。不同包装、采样场所及产地情况下谷物及其制品 OTA 检出率差异采用 χ^2 检验。

在暴露评估时,考虑到问卷调查得到的消费量数据存在极端值,因此以 $P95$ 代表高消费人群消费量;而 OTA 含量来源于质谱分析,相对准确,以最大值代表高污染情况。因此,得到四组不同消费情景下的 OTA 摄入量(A 组:消费量 $P50$ 乘以 OTA 污染水平 $P50$;B 组:消费量 $P50$ 乘以 OTA 污染水平最大值;C 组:消费量 $P95$ 乘以 OTA 污染水平 $P50$;D 组:消费量 $P95$ 乘以 OTA 污染水平最大

表 2 浙江省居民部分谷物消费量以及人口学基本信息

Table 2 Daily consumption rate of some grains and related products in Zhejiang population and basic demographic information of Zhejiang population.

人群分组	食品类别	调查人数	食用人数	食用率/%	每日消费量/(g/d)			体质量/kg	年龄/岁
					P50	P95	最大值		
全人群	稻谷	10 959	10 910	99.55	225.00	600.00	2 400.00	56.25 ± 15.05	41 ± 19.38
	小米	9 820	1 310	13.34	1.00	14.29	450.00	55.86 ± 15.89	38 ± 18.80
	玉米面	6 656	1 830	27.49	0.82	28.57	500.00	57.04 ± 15.19	40 ± 18.93
	玉米粒	10 111	8 040	79.52	3.33	25.71	600.00	56.29 ± 15.13	41 ± 19.16
1~6岁	稻谷	567	563	99.29	120.00	360.00	1 800.00	19.12 ± 5.29	4 ± 1.26
	小米	506	76	15.02	1.00	10.64	150.00	18.44 ± 4.16	4 ± 1.17
	玉米面	332	88	26.51	0.75	41.57	160.00	19.72 ± 5.07	4 ± 1.26
	玉米粒	525	429	81.71	2.50	14.29	57.14	19.29 ± 5.27	4 ± 1.21
7~12岁	稻谷	744	742	99.73	160.00	450.00	900.00	33.30 ± 10.54	9 ± 1.69
	小米	665	111	16.69	0.67	14.29	21.43	33.48 ± 11.15	9 ± 1.66
	玉米面	457	135	29.54	1.10	34.86	500.00	34.45 ± 12.12	9 ± 1.71
	玉米粒	675	559	82.81	2.86	20.00	300.00	33.78 ± 10.73	9 ± 1.68
13~17岁	稻谷	479	478	99.79	200.00	600.00	1 350.00	50.62 ± 10.73	15 ± 1.40
	小米	423	51	12.06	0.83	17.14	100.00	50.76 ± 9.89	15 ± 1.27
	玉米面	283	90	31.80	0.82	24.64	200.00	51.62 ± 10.78	15 ± 1.41
	玉米粒	431	341	79.12	3.33	25.71	500.00	51.06 ± 11.06	15 ± 1.41
18~59岁	稻谷	7 318	7 288	99.59	240.00	600.00	2 400.00	61.14 ± 10.19	42 ± 11.25
	小米	6 616	900	13.60	1.00	17.14	450.00	61.20 ± 10.64	41 ± 10.55
	玉米面	4 449	1 256	28.23	0.82	28.57	400.00	61.87 ± 10.39	42 ± 11.32
	玉米粒	6 782	5 437	80.17	3.33	25.71	600.00	61.16 ± 10.25	42 ± 11.23
60岁及以上	稻谷	1 851	1 839	99.35	240.00	600.00	1 650.00	58.94 ± 10.17	67 ± 7.00
	小米	1 610	172	10.68	1.54	22.68	100.00	60.39 ± 9.75	67 ± 6.76
	玉米面	1 135	261	23.00	0.82	17.14	300.00	59.94 ± 10.49	67 ± 6.43
	玉米粒	1 698	1 274	75.03	3.33	34.29	500.00	59.24 ± 10.19	67 ± 6.57

值);分别计算不同年龄组人群的 OTA 摄入量(1~6岁组;7~12岁组;13~17岁组;18~59岁组;60岁及以上年龄组)。

2 结果

2.1 OTA 污染状况

如表 1 所示,只有谷物及其制品中的 5 种食物 OTA 阳性(玉米除外),阳性率介于 3.2%(3/93)~16.1%(5/31)之间,阳性率最高的是燕麦及其制品(16.1%,5/31)。水果、茶叶、膨化食品和婴幼儿谷类辅食等食品中未检出 OTA。OTA 阳性样品中,OTA 含量介于 0.53~4.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间;燕麦及其制品中 OTA 含量最高为 4.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其次是玉米及其制品,OTA 含量为 2.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$;稻谷、糙米和小米中 OTA 含量均小于 2.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。根据我国限量标准(5 $\mu\text{g}/\text{kg}$),未发现样品中 OTA 含量超标。

2.2 不同包装、采样场所及产地情况下谷物及其

制品 OTA 污染状况

谷物及制品的样品包装方式分为定型包装和散装,OTA 检出率分别为 12.5%(11/193)和 5.7%(3/24),OTA 检出率差异没有统计学意义($\chi^2=0.703, P=0.402$)。定型包装和散装样本 OTA 含量分别为 0~2.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 0~4.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

谷物及其制品的采样场所分为网店、商店、农贸市场、农场。其中 OTA 检出率最高的为农贸市场(9.8%,5/51),网店、商店和农场采集样品检出率依次为 9.1%(2/22)、7.8%(4/51)和 3.2%(3/93)。不同采样场所样品 OTA 检出率差异没有统计学意义($\chi^2=3.571, P=0.292$)。商店采集样品检出 OTA 最高污染水平,为 4.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

谷物及制品样品产地分为省内、省外、不详三种,不同产地样品 OTA 检出率差异有统计学意义($\chi^2=7.716, P=0.016$),其中省内产样品 OTA 污染水平为 0~2.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$,省外产样品污染水平为 0~2.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。详见表 3。

表 3 各类食物不同消费情景下 OTA 的每日膳食暴露量以及暴露量占 PMTDI 的比例

Table 3 Summary of OTA incidence and levels found in grains and related products of Zhejiang province according to different packing types, sampling sites and producing areas

分组依据	样品份数	检出份数	检出率/%	OTA 含量 ^a /($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
				P50/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P95/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
包装方式						
散装 (n=193)	193	11	5.7	0	0	4.00
定型包装 (n=24)	24	3	12.5	0	1.99	2.08
χ^2		0.703			—	
P		0.402			—	
采样场所						
网店 (n=22)	22	2	9.1	0	1.81	2.08
商店 (n=51)	51	4	7.8	0	0	4.00
农贸市场 (n=51)	51	5	9.8	0	0.77	2.52
农场 (n=93)	93	3	3.2	0	0	1.84
χ^2		3.571			—	
P		0.292			—	
产地						
省内 (n=136)	136	4	2.9	0	0	2.52
省外 (n=24)	24	3	12.5	0	1.52	2.08
不详 (n=57)	57	7	12.3	0	0.66	4.00
χ^2		7.716			—	
P		0.016			—	

注:^a未检出值用 0 替代

2.3 谷物及其制品全人群及不同年龄组人群膳食 OTA 摄入水平

暴露评估结果如表 4 所示。A 组定义为一般暴露组;B、C 为高暴露组,D 为超高暴露组。全人群一般暴露组 OTA 摄入量为 0.004~1.000 ng/kg BW,高暴露组为 0.020~7.360 ng/kg BW,超高暴露组为 0.287~19.627 ng/kg BW。超高暴露组部分食物存在风险:其中消费者食用稻谷的 OTA 暴露量为 19.627 ng/kg BW,超过了 JECFA 设置的 PMTDI 14 ng/kg BW,占 PMTDI 的比例为 140.19%;其余组暴

露量均小于 PMTDI,占 PMTDI 比例为 0.03%~52.57%。

不同年龄组人群暴露评估结果显示:1~6岁组、7~12岁组、13~17岁组、18~59岁组和 60岁及以上年龄组人群 OTA 摄入量分别为 0.014~34.644 ng/kg BW、0.005~24.865 ng/kg BW、0.004~21.810 ng/kg BW、0.004~18.057 ng/kg BW、0.006~18.731 ng/kg BW。与全人群暴露评估结果相似,仅超高暴露组的稻谷存在风险,其中 1~6岁年龄段 D 组人群膳食 OTA 摄入量最高,为

表4 各类食物不同消费情景下OTA的每日膳食暴露量以及暴露量占PMTDI的比例

Table 4 OTA probable daily intake (PDI) in different scenarios and the ratio of PDI and PMTDI by consuming various foods products

人群分组	食品类别	OTA摄入量 ^a /(ng/kg BW)				占PMTDI比例 ^c /%			
		A组	B组	C组	D组	A组	B组	C组	D组
全人群	稻谷	1.000	7.360	2.667	19.627 ^b	7.14	52.57	19.05	140.19 ^b
	燕麦及其制品 ^d	0.004	0.072	0.064	1.023	0.03	0.51	0.46	7.31
	糙米 ^d	0.004	0.024	0.064	0.343	0.23	0.17	0.46	2.45
	小米	0.004	0.020	0.064	0.287	0.03	0.14	0.46	2.05
	玉米及其制品 ^e	0.013	0.124	0.114	1.112	0.09	0.88	0.81	7.94
1~6岁	稻谷	1.569	11.548	4.707	34.644 ^b	11.21	82.49	33.62	247.46
	燕麦及其制品 ^d	0.014	0.217	0.144	2.308	0.10	1.55	1.03	16.49
	糙米 ^d	0.014	0.073	0.144	0.773	0.10	0.52	1.03	5.52
	小米	0.014	0.061	0.144	0.646	0.10	0.43	1.03	4.62
	玉米及其制品 ^e	0.026	0.252	0.208	2.030	0.18	1.80	1.49	14.50
7~12岁	稻谷	1.201	8.841	3.378	24.865 ^b	8.58	63.149	24.131	177.61 ^b
	燕麦及其制品 ^d	0.005	0.080	0.107	1.707	0.04	0.572	0.762	12.19
	糙米 ^d	0.005	0.027	0.107	0.572	0.04	0.192	0.762	4.09
	小米	0.005	0.022	0.107	0.478	0.04	0.160	0.762	3.41
	玉米及其制品 ^e	0.020	0.192	0.158	1.542	0.14	1.372	1.129	11.01
13~17岁	稻谷	0.988	7.270	2.963	21.810 ^b	7.06	51.93	21.17	155.78 ^b
	燕麦及其制品 ^d	0.004	0.065	0.084	1.351	0.03	0.47	0.60	9.65
	糙米 ^d	0.004	0.022	0.084	0.452	0.03	0.16	0.60	3.23
	小米	0.004	0.018	0.084	0.378	0.03	0.13	0.60	2.70
	玉米及其制品 ^e	0.013	0.127	0.126	1.226	0.09	0.91	0.90	8.76
18~59岁	稻谷	0.981	7.223	2.453	18.057 ^b	7.01	51.59	17.52	128.98 ^b
	燕麦及其制品 ^d	0.004	0.065	0.070	1.120	0.03	0.47	0.50	8.00
	糙米 ^d	0.004	0.022	0.070	0.375	0.03	0.16	0.50	2.68
	小米	0.004	0.018	0.070	0.314	0.03	0.13	0.50	2.24
	玉米及其制品 ^e	0.012	0.119	0.105	1.024	0.09	0.85	0.75	7.31
60岁及以上	稻谷	1.018	7.492	2.545	18.731 ^b	7.27	53.52	18.18	133.79 ^b
	燕麦及其制品 ^d	0.006	0.102	0.094	1.502	0.05	0.73	0.67	10.73
	糙米 ^d	0.006	0.034	0.094	0.503	0.05	0.24	0.67	3.59
	小米	0.006	0.029	0.094	0.421	0.05	0.20	0.67	3.00
	玉米及其制品 ^e	0.011	0.110	0.125	1.221	0.08	0.78	0.89	8.72

注:^aOTA摄入量在计算时未检出值用1/2 LOD替代;A组:消费量P50乘以OTA污染水平P50;B组:消费量P50乘以OTA污染水平最大值;C组:消费量P95乘以OTA污染水平P50;D组:消费量P95乘以OTA污染水平最大值;A组定义为一般暴露组,B、C组为高暴露组,D组为超高暴露组。^bOTA摄入量大于食品添加剂联合专家委员会(JECFA)推荐的每日可耐受摄入量(PMTDI)14 ng/kg BW;^c占PMTDI比例是指OTA摄入量占PMTDI(每日可耐受摄入量)的百分比;^d由于缺少燕麦及其制品(包括燕麦和燕麦片)和糙米的消费量数据,以小米的消费量替代分析;^e玉米及其制品包括玉米粒和玉米面

34.644 ng/kg BW,是PMTDI的2.47倍。与高年龄组人群相比,低年龄组人群OTA摄入量更高。

如图1所示,不同消费人群OTA膳食主要贡献食物均为稻谷,稻谷OTA的贡献率为87.22%~98.32%;而小米的贡献率最低,不同消费人群贡献率为0.27%~2.15%。

3 讨论

本研究分析了浙江省五大类食物中OTA的检出情况。OTA只在谷物及其制品中检出,其中燕麦及其制品OTA检出率最高(16.1%,5/31),而稻谷的检出率较低(3.2%,3/93)。水果、茶叶、膨化食品和婴幼儿谷类辅食中未检出OTA。以上结论与之前的一些研究相似^[13-15];不同的是,在以往的研究中,玉米中伏马菌素、玉米赤霉烯酮、黄曲霉毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇等真菌毒素的检出率往往很高^[14,16,17],而OTA检出率一般很低甚至未检出^[18-20],

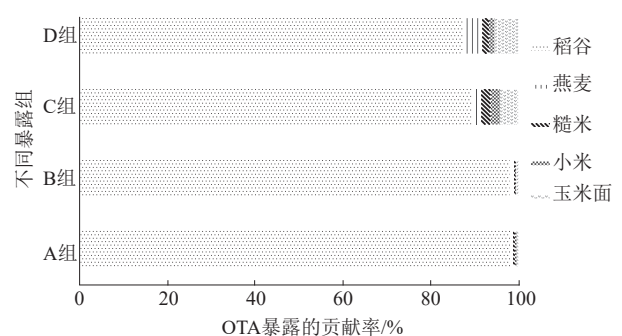


图1 浙江省居民在不同消费情景下谷物及其制品OTA膳食暴露贡献率

Figure 1 Contribution of grains and related products to Zhejiang population dietary exposure of OTA in different consumption scenarios

本研究中玉米及其制品中OTA检出率为6.5%(2/31)。谷物及其制品的OTA检出率虽然高,但阳性样本中OTA含量均未超过我国限量标准(0.53~4.00 μg/kg,其中燕麦及其制品最高为4.00 μg/kg,

其次是玉米及其制品为 2.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。且 OTA 含量与之前的研究结果相似,如杨延友等^[21]研究济南市售小米和玉米中 OTA 污染情况,污染水平在 0.40~4.45 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间;疏秀林等^[22]研究发现:烘焙食品中 OTA 含量为 0.23~3.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。谷物在收获后,在贮藏、加工、运输等各个环节遇到适宜的环境条件,都有可能发生 OTA 污染,其中气候条件是重要的影响因素^[23],而浙江地区温暖潮湿和大量的降雨条件非常有利于霉菌的生长和 OTA 毒素的产生^[9],在进行碾磨加工的过程非常容易受到毒素污染,提示为了减少真菌毒素污染,应加强对粮食作物产前以及产后的一系列生产、加工、储存及销售等各个环节的管理。

影响霉菌毒素污染食物的因素较多,常见的有采样场所、包装方式、产地、温湿度等。本研究结果显示不同产地样本 OTA 检出率存在差异($P=0.016$);而不同包装方式和采样场所样本检出率差异没有统计学意义。这表明 OTA 污染可能与产地有关。农作物在收获、贮藏、加工、运输等各个环节遇到适宜的环境条件,都有可能发生 OTA 污染,但气候条件是影响霉菌毒素生长的重要环境条件^[23],因此,可能是气候差异导致不同产地样本检出率的差异。

暴露评估结果显示在特定情况下浙江省居民 OTA 膳食暴露存在潜在风险且低年龄组人群风险高于高年龄组人群。特别是稻谷,作为本研究中膳食 OTA 的主要贡献食物,全人群 D 组暴露量高达 19.627 ng/kg BW(消费量 P95 为 600 g;OTA 污染水平最大值为 1.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$),为 PMTDI 的 1.4 倍;1~6 岁、7~12 岁、13~17 岁年龄组人群 D 组稻谷暴露量高于全人群组(分别为 34.644 ng/kg BW、24.865 ng/kg BW、21.810 ng/kg BW);存在潜在风险,应引起足够重视,采取针对性的控制措施,保护消费者的食品安全,特别是低年龄组消费人群。而 OTA 含量最高的燕麦及其制品,借鉴小米的消费量进行暴露评估,发现全人群 D 组超高暴露人群暴露量(1.023 ng/kg BW),各年龄组人群 D 组暴露量(1.120~2.308 ng/kg BW)均远低于 PMTDI,可推测由于杂粮消费量较低,存在潜在风险的可能性非常低。

国外关于 OTA 膳食暴露评估及贡献率的研究较多,如比利时^[24]存在潜在风险的食物是面包,高暴露量为 14.16 ng/kg BW;摩洛哥^[25]居民 OTA 膳食暴露的主要贡献食物是面包,P95 消费量计算得到的高暴露量为 22.62 ng/kg BW/week;越南^[26]OTA 主要贡献食物是大米及其制品(高暴露量

为 0~15.7 ng/kg BW);日本^[27]OTA 最大暴露量在荞麦面中检出(不同年龄段人群暴露量为 2.64~6.94 ng/kg BW)。本次评估中 OTA 的主要贡献食物与国外不同,这种差异可能是由于不同地区饮食习惯的不同,浙江省主要以大米为主食。

本研究存在食物类别中缺乏肉类和蔬菜等相关数据的缺陷,但目前认为 OTA 主要存在于谷物及其制品中^[14,24,26],因此本研究仍具有一定借鉴意义的。此外,以往的报道表明咖啡、可可制品、干果、酒等食物也易受 OTA 污染^[28-30],今后的研究将纳入这几类食物。

参考文献

- [1] 何随彬,李好磊,李步社,等.赭曲霉毒素 A 的毒性作用及致毒机理研究进展[J].上海畜牧兽医通讯,2020(4):9-12.
HE S B, LI H L, LI B S, et al. Progress in the toxicity effect and toxicity mechanism of Ochratoxin A [J]. Shanghai Animal Husbandry and Veterinary Communications, 2020(4):9-12.
- [2] FINK-GREMELS J, JAHN A, BLOM M J. Toxicity and metabolism of ochratoxin A [J]. Natural Toxins, 1995, 3 (4): 214-220.
- [3] ABARCA M L, BRAGULAT M R, CASTELLÁ G, et al. Ochratoxin A production by strains of *Aspergillus niger* var. *niger* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60 (7): 2650-2652.
- [4] EL KHOURY A, ATOUI A. Ochratoxin a: General overview and actual molecular status [J]. Toxins, 2010, 2 (4): 461-493.
- [5] PETZINGER, ZIEGLER. Ochratoxin A from a toxicological perspective [J]. Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics, 2000, 23 (2): 91-98.
- [6] International Agency for Research on Cancer. Agents Classified by the IARC Monographs Volumes 1-124 [EB/OL]. (2021-04-08) [2021-04-17]. <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>.
- [7] Evaluation of certain mycotoxins in food. Fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [J]. World Health Organization Technical Report Series, 2002, 906: i-viii,1-62.
- [8] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量:GB 2761—2017 [S].北京:中国标准出版社,2017.
The National Health and Family Planning Commission of the PRC, the State Food and Drug Administration. National standard for food safety mycotoxin limit in food: GB 2761—2017 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [9] KOGKAKI E A, NATSKOULIS P I, MAGAN N, et al. Effect of interaction between *Aspergillus carbonarius* and non-ochratoxigenic grape-associated fungal isolates on growth and ochratoxin A production at different water activities and temperatures [J]. Food Microbiology, 2015, 46: 521-527.
- [10] 国家粮食和物资储备局.粮油检验 主要谷物中 16 种真菌毒素的测定 液相色谱-串联质谱法:LSST 6133—2018 [S].北

- 京: 中国标准出版社, 2018.
- The National Food and Strategic Reserves Administration. Grain and oil inspection Measurement of 16 mycotoxins in major grain Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry: LS/T 6133—2018[S]. Beijing: China Standards Press, 2018
- [11] 国家食品安全风险评估中心. 国家食品污染和有害因素风险监测工作手册[Z]. 2018.
- The National Center for Food Safety Risk Assessment. National working manual for risk monitoring of food pollution and harmful factors[Z]. 2018.
- [12] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO, 1995.
- [13] LIANG Z H, HUANG K L, LUO Y B. Ochratoxin A and ochratoxin-producing fungi on cereal grain in China: A review [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2015, 32 (4): 461-470.
- [14] 李雅静, 秦曙, 杨艳梅, 等. 中国谷物真菌毒素污染研究现状[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 186-194.
- LI Y J, QIN S, YANG Y M, et al. Current research status of grain mycotoxin contamination in China [J]. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35 (3): 186-194.
- [15] 李志霞, 聂继云, 闫震, 等. 果品主要真菌毒素污染检测、风险评估与控制研究进展[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 332-347.
- LI Z X, NIE J Y, YAN Z, et al. Progress in Research of Detection, Risk Assessment and Control of the Mycotoxins in Fruits and Fruit Products [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 332-347.
- [16] 许嘉, 林楠, 王志, 等. 北京市市售谷物及制品中真菌毒素污染状况的调查[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(3): 28-30.
- XU J, LIN N, WANG Z, et al. Investigation of Mycotoxin Pollution in Grain and Products in Beijing Province [J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(3): 28-30.
- [17] 韩小敏, 张宏元, 张靖, 等. 中国94份玉米饲料原料中真菌及其毒素污染状况调查[J]. 中华预防医学杂志, 2016, 50(10): 907-911.
- HAN X M, ZHANG H Y, ZHANG J, et al. Survey on fungi contamination and natural occurrence of mycotoxins in 94 corn feed ingredients collected from China [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2016, 50(10): 907-911.
- [18] 李俊玲, 王书舟, 吴俊威, 等. 河南省粮食及其制品中真菌毒素污染情况调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(4): 418-421.
- LI J L, WANG S Z, WU J W, et al. Investigation of mycotoxins in grain and its products in Henan Province [J]. Chinese Journal Of Food Hygiene, 2016, 50(10): 907-911.
- [19] 胡佳薇, 田丽, 王敏娟, 等. 陕西省120份市售玉米及其制品中真菌毒素的污染状况调查[J]. 现代预防医学, 2017, 44(9): 1593-1596.
- HU J W, TIAN L, WANG M J, et al. Mycotoxins contamination in 120 corn products on sale of Shaanxi [J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(9): 1593-1596.
- [20] 李杉, 袁蒲, 付鹏钰, 等. 2014—2015年河南省部分食品中真菌毒素污染状况调查分析[J]. 中国卫生产业, 2017, 14(27): 144-147.
- LI S, YUAN P, FU P Y, et al. Investigation of Contamination Situation of Fungal toxin in Some Food in Henan Province from 2014 to 2015 [J]. China Health Industry, 2017, 14 (27): 144-147.
- [21] 杨延友, 高文花, 温红玲, 等. 济南市售小米和玉米中赭曲霉毒素A污染状况研究[J]. 山东大学学报(医学版), 2010, 48(11): 125-128.
- YANG Y Y, GAO W H, WEN H L, et al. Contamination of Ochratoxin A in millet and maize sold in Jinan [J]. Journal Of Shan Dong University (Health Sciences), 2010, 48 (11): 125-128.
- [22] 疏秀林, 施庆珊, 谢小保, 等. 烘焙食品中赭曲霉毒素AELISA快速检测及主要产生菌分离鉴定的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(5): 974-975.
- SHU X L, SHI Q S, XIE X B, et al. Investigation of Ochratoxin A by ELISA Method of inbaking food and isolation and identification of Ochratoxin A producing strain [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2010, 20(5): 974-975.
- [23] 王刚, 王玉龙, 张海永, 等. 真菌毒素形成的影响因素[J]. 菌物学报, 2020, 39(3): 477-491.
- WANG G, WANG Y L, ZHANG H N, et al. Factors that affect the formation of mycotoxins: a literature review [J]. Mycosystema, 2020, 39(3): 477-491.
- [24] MEERPOEL C, VIDAL A, ANDJELKOVIC M, et al. Dietary exposure assessment and risk characterization of citrinin and ochratoxin A in Belgium [J]. Food and Chemical Toxicology, 2021, 147: 111914.
- [25] TABARANI A, ZINEDINE A, BOUCHRITIN, et al. Exposure assessment to ochratoxin A through the intake of three cereal derivatives from the Moroccan market [J]. Food Research International, 2020, 137: 109464.
- [26] HUONG B T M, TUYEN L D, TUAN D H, et al. Dietary exposure to aflatoxin B1, ochratoxin A and fumonisins of adults in Lao Cai Province, Viet Nam: A total dietary study approach [J]. Food and Chemical Toxicology, 2016, 98: 127-133.
- [27] SUGITA-KONISHI Y, KAMATA Y, Sato T, et al. Exposure and risk assessment for ochratoxin A and fumonisins in Japan [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2013, 30 (8): 1392-1401.
- [28] MARIN S, RAMOS A J, CANO-SANCHO G, et al. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment [J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 60: 218-237.
- [29] SILVA L J G, RODRIGUES A P, PEREIRA A M P T, et al. Ochratoxin A in the Portuguese wine market, occurrence and risk assessment [J]. Food Additives & Contaminants: Part B, 2019, 12 (2): 145-149.
- [30] FOERSTER C, MUOZ K DELGADO-RIVERA L, et al. Occurrence of relevant mycotoxins in food commodities consumed in Chile [J]. Mycotoxin Research, 2019, 36(4).