

# 山东省市售花生及其制品中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 污染状况与膳食暴露风险评估

董文亚<sup>1</sup>, 陈晨<sup>1</sup>, 赵秀兰<sup>1</sup>, 杨永浩<sup>1</sup>, 赵金山<sup>2</sup>, 肖培瑞<sup>2</sup>, 褚遵华<sup>2</sup>

(1. 山东大学公共卫生学院, 济南 250012; 2. 山东省疾病预防控制中心, 山东大学预防医学研究院, 济南 250014)

**摘要:**为了解山东省市售花生及其制品中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) 污染状况, 评估其暴露水平及潜在的健康风险, 并为有关部门采取控制措施提供依据, 2015—2020 年于山东省 16 市生产环节、流通环节(农贸市场、商店)随机采集花生、花生酱、花生油共计 246 份样品, 采用高效液相色谱-柱后衍生法测定其 AFB<sub>1</sub> 含量, 计算 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量和暴露限值(MOE), 评估山东省市售花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 膳食暴露风险。结果表明, 花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 总检出率为 28.46%, 不合格率为 7.72%。花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 检出率显著高于花生; 散装花生酱、花生油中 AFB<sub>1</sub> 检出率显著高于预包装食品; 一般消费居民通过花生、花生酱和花生油 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 0.01、0.61、1.09 ng/(kg·d), 肝癌发病风险分别为 0.000、0.019、0.034 例/10 万人, 其 MOE 分别为 30 500、500 和 280; 高消费居民通过花生、花生酱和花生油 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 0.23、6.64、8.90 ng/(kg·d), 肝癌发病风险分别为 0.007、0.205、0.274 例/10 万人, 其 MOE 分别为 1 326、46 和 34。严格执行限量标准后经花生酱和花生油 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量、肝癌发病风险降幅均达 50% 以上。为了更大限度地保护人群健康, 有必要采取有效的监管和风险管理措施控制山东省市售花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 含量, 特别是散装花生酱和花生油。

**关键词:**黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>; 花生; 花生酱; 花生油; 食品污染; 暴露风险评估

中图分类号: TS201.6; R155.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)07-0067-06

## Contamination status and dietary exposure assessment of aflatoxin B<sub>1</sub> in peanut and its products sold in Shandong province

DONG Wenya<sup>1</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>, ZHAO Xiulan<sup>1</sup>, YANG Yonghao<sup>1</sup>,  
ZHAO Jinshan<sup>2</sup>, XIAO Peirui<sup>2</sup>, CHU Zunhua<sup>2</sup>

(1. School of Public Health, Shandong University, Jinan 250012, China; 2. Shandong Center for Disease Control and Prevention, Institute of Preventive Medicine, Shandong University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** To investigate the contamination status of aflatoxin B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) in peanut and its products sold in Shandong province, evaluate its exposure level and health risk, and provide basis for relevant departments to take control measures, a total of 246 peanuts, peanut butter and peanut oil were randomly collected from production and circulation links (farmers' markets and stores) in 16 cities of Shandong province from 2015 to 2020. The contents of AFB<sub>1</sub> in peanut and its products were determined by high performance liquid chromatography - post - column derivatization method, and mean dietary exposure and margin of exposure (MOE) were calculated to evaluate the dietary exposure risk of residents to AFB<sub>1</sub>

through peanut and its products sold in Shandong province. The results showed that the total detection rate of AFB<sub>1</sub> in peanut and its products was 28.46% and the unqualified rate was 7.72%. The detection rate of AFB<sub>1</sub> in peanut

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2023-04-24

作者简介: 董文亚(1998), 女, 在读硕士, 研究方向为公共卫生应急与管理(E-mail) dwy17854110372@163.com。

通信作者: 褚遵华, 主任技师(E-mail) chuzunhua@163.com。

butter and peanut oil was significantly higher than that in peanut. The detection rate of AFB<sub>1</sub> in bulk peanut butter and peanut oil was significantly higher than that in pre-packing products. The AFB<sub>1</sub> exposure of general consumption residents through peanut, peanut butter and peanut oil were 0.01, 0.61 ng/(kg·d) and 1.09 ng/(kg·d), the risk of liver cancer were 0.000, 0.019 and 0.034 cases per 100 000 people, and the MOE values were 30 500, 500 and 280, respectively. The AFB<sub>1</sub> exposure of high consumption residents through peanut, peanut butter and peanut oil were 0.23, 6.64 ng/(kg·d) and 8.90 ng/(kg·d), respectively, the risk of liver cancer were 0.007, 0.205 and 0.274 cases per 100 000 people, and the MOE values were 1 326, 46 and 34, respectively. After strict implementation of the limit standard, AFB<sub>1</sub> exposure and the risk of liver cancer were reduced by more than 50%. For greater protection of population health, it is necessary to take effective regulatory and risk management measures to control the AFB<sub>1</sub> content in peanut and its products sold in Shandong province, especially in bulk peanut butter and peanut oil.

**Key words:** aflatoxin B<sub>1</sub>; peanut; peanut butter; peanut oil; food contamination; exposure risk assessment

黄曲霉毒素(Aflatoxin, AF)是一类真菌次级代谢物,是黄曲霉和寄生曲霉的部分菌株产生的二呋喃环毒素<sup>[1]</sup>,主要污染农产品及其制品,如花生、玉米和水稻<sup>[2]</sup>。目前已发现 20 余种 AF,食物中最常见的主要有 4 种,即黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>(AFB<sub>1</sub>)、黄曲霉毒素 B<sub>2</sub>(AFB<sub>2</sub>)、黄曲霉毒素 G<sub>1</sub>(AFG<sub>1</sub>)和黄曲霉毒素 G<sub>2</sub>(AFG<sub>2</sub>),其中 AFB<sub>1</sub> 毒性最大,致癌性最强,国际癌症研究机构(IARC)已经将其列为一类致癌物<sup>[3]</sup>。AF 对人体的危害主要是肝脏损害,可引发肝炎、肝硬化、肝癌等疾病<sup>[4]</sup>,如:El-Serag<sup>[5]</sup> 研究发现,肝癌发病率高的地区,食品中含有较高水平的 AF;Qu 等<sup>[6]</sup> 研究表明,食品中 AF 是导致肝癌的主要因素之一。此外,AF 在人体内具有积蓄性,长时间摄入低剂量的 AF 也会增加患肝癌的风险<sup>[7]</sup>。

为控制 AF 的风险,各国卫生机构分别制订了标准以限制食品中 AF 含量,如:欧盟规定食品中 AFB<sub>1</sub> 的限量值范围为 0~12.0 μg/kg,其中直接食用的花生中 AFB<sub>1</sub> 的限量值为 2.0 μg/kg;美国食品药品监督管理局(FDA)规定,食品中 AF(B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>+G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>)的最大残留限量为 15 μg/kg;我国规定花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 含量不得超过 20 μg/kg。

花生作为我国主要的油料作物,其在生长、收获、储存和加工过程中极易受到 AF 污染,花生及其制品中 AF 超标的现象时有发生。杨博磊等<sup>[8]</sup> 对我国小作坊生产的土榨花生油中 AFB<sub>1</sub> 污染状况进行调查,结果表明,山东省土榨花生油中 AFB<sub>1</sub> 污染较严重,其检出率为 40.0%。黄湘东等<sup>[9]</sup> 对广东省内超市和农贸市场采集的 68 份花生及其制品的 AFB<sub>1</sub> 进行检测,结果显示,花生、花生油、花生酱和花生渣

中 AFB<sub>1</sub> 检出率分别为 26.9%、35.1%、66.7% 和 100.0%,不合格率分别为 0、17.6%、13.3% 和 80.0%。邱文倩等<sup>[10]</sup> 对福建省 9 个地区采集的 62 份花生和花生制品的 AFB<sub>1</sub> 进行检测,结果显示,花生、花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 检出率分别为 30.6%、60.0% 和 45.0%,AFB<sub>1</sub> 平均含量分别为 114.0、199.0 μg/kg 和 3.0 μg/kg。

风险评估是国际公认的食品质量安全评价、标准制订与风险管理的理论依据和技术支持,而膳食暴露是风险评估的重要组成部分。Ding 等<sup>[11]</sup> 评估了我国采收后的花生 AF 膳食摄入风险,结果表明,采收后花生 AF 暴露引起的健康风险较低。宋美英等<sup>[12]</sup> 对广东居民通过小作坊花生油对 AFB<sub>1</sub> 的膳食暴露及其产生的健康风险进行评估,结果表明,高消费居民花生油中 AFB<sub>1</sub> 引发肝癌的风险相对较高。

山东省是我国花生主产区之一,花生产量占全国的 1/3,出口量占 60%<sup>[13]</sup>。山东省花生的污染水平对全国花生产业具有较大的影响。本文采用高效液相色谱-柱后衍生法对山东省市售花生、花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 进行测定,以了解山东省花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 污染状况,对山东省居民通过花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 的暴露量进行风险评估,掌握山东省居民 AFB<sub>1</sub> 膳食暴露水平,为食品安全监管部门进行监督和风险管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 样品来源

2015—2020 年于山东省 16 市随机采集市售花生及其制品共计 246 份,其中花生 87 份、花生酱 79 份、花生油 80 份,每份样品不少于 500 g。抽样环节

为生产环节和流通环节,抽样场所涉及农贸市场和商店(超市、便利店、专营店),花生制品按照包装类型分为散装和预包装。

### 1.1.2 试剂与仪器

AFB<sub>1</sub> 标准品(纯度≥99%),乙腈、甲醇为色谱纯,氯化钠、磷酸氢二钠、磷酸氢二钾、氯化钾、三溴化吡啶、吐温-20,均为分析纯。

Waters e2695 Separations Module 高效液相色谱仪、Waters 2475 Multi λ Fluorescence Detector 荧光检测器,美国 Waters 公司;Hitachi CR21N High-Speed Refrigerated Centrifuge 高速均质器,日本日立公司;Pribolab 光化学柱后衍生器,新加坡 Pribolab 公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 AFB<sub>1</sub> 测定

采用 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》中高效液相色谱-柱后衍生法对 AFB<sub>1</sub> 进行测定,按照 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》中花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 限量 20 μg/kg 进行判定。

仪器每进样检测 20 个样品后检测 1 个空白样品和 1 个低浓度标准溶液样品,进样空白样品以确保仪器没有被样品污染,进样低浓度标准溶液样品确保加标回收率在 80%~110% 之间。

### 1.2.2 膳食暴露量的计算

采用点评估法计算膳食暴露量,平均膳食暴露量 =  $\Sigma(\text{食物中 AFB}_1 \text{ 平均含量} \times \text{食品消费量}) / \text{体质量}$ ,体质量按中国标准人体质量 63 kg<sup>[14]</sup> 计算。一般消费居民花生及其制品消费量依据《中国居民营养与健康状况监测报告之一:2010—2013 年膳食与营养素摄入状况》,其中花生和花生酱消费量以坚果消费量代替,具体为花生和花生酱的消费量为 3.70 g/d,花生油的消费量为 7.40 g/d。高消费居民花生及其制品的消费量依据《第五次中国总膳食研究》中的消费量数据,具体为花生的消费量为 72.78 g/d,花生油和花生酱的消费量分别为 60.61 g/d 和 40.25 g/d。

### 1.2.3 膳食暴露风险评估

采用世界卫生组织(WHO)推荐的 AFB<sub>1</sub> 危险程度评估方法进行评价,肝癌发病风险 =  $0.01 \times (1 - P) + 0.3P$ ,其中  $P$  为乙肝病毒(HBsAg)携带率,以我国人群 HBsAg 携带率为 7.18% 进行计算<sup>[15]</sup>,即 1 ng/(kg·d) AFB<sub>1</sub> 膳食暴露量可能引发居民患肝癌的风险为 0.030 822 例/10 万人。通过对膳食暴露量的计算,可以估算出居民通过摄入被 AFB<sub>1</sub> 污染的花生及其制品所造成的健康风险。

暴露限值(MOE)评估方法:联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)报告称,对于有遗传毒性和致癌性的物质应采用暴露限值法进行风险特征描述。MOE 计算公式为  $E_{MO} = L_{BMD10} / E_{AFB1}$ ,式中: $E_{MO}$  为 MOE 值; $L_{BMD10}$  为肝癌发病风险为 10% 的 95% 基准剂量置信区间下限值(BMDL<sub>10</sub>),本文采用 BMDL<sub>10</sub> 为 305 ng/kg 进行计算<sup>[16]</sup>; $E_{AFB1}$  为 AFB<sub>1</sub> 平均每日膳食暴露量。当 MOE > 10 000 时,可认为具有较低的公共卫生关注度;当 MOE < 10 000 时,可认为具有较高的公共卫生关注度,应优先采取风险管理措施<sup>[17]</sup>。

### 1.2.4 数据处理及统计分析

运用 SPSS 24.0 统计软件对数据进行处理和分析,采用卡方检验, $p < 0.05$  为差异具有统计学意义。AFB<sub>1</sub> 含量低于检出限(LOD)时,定义为“未检出”,统计分析时将未检出数据用 1/2LOD 替代<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 污染水平

表 1 为 2015—2020 年山东省花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平。由表 1 可看出,246 份花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 含量范围为 0.00~274.00 μg/kg,总检出率为 28.46%,不合格率为 7.72%,最大值为 274.00 μg/kg,为国家标准限量值的 13.70 倍。检出率由高到低分别为花生酱(60.76%)、花生油(26.25%)、花生(1.15%),差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );不合格率由高到低分别为花生酱(12.66%)、花生油(11.25%)、花生(0.00%),差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

表 1 2015—2020 年山东省花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平

样品	样品数量	检出数量	检出率/%	超标数量	不合格率/%	AFB <sub>1</sub> 含量/(μg/kg)			
						均值	中位数	P95	最大值
花生	87	1	1.15	0	0.00	0.20	0.10	0.10	9.10
花生酱	79	48	60.76	10	12.66	10.39	1.31	65.10	172.00
花生油	80	21	26.25	9	11.25	9.25	0.10	59.24	274.00
总计	246	70	28.46	19	7.72	6.42	0.10	43.89	274.00

## 2.2 不同包装类型花生制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平

表 2 为不同包装类型花生制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平。由表 2 可看出,散装花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 的检出率分别为 83.33% 和 66.67%,不合格率分别为 27.78% 和 30.00%,差异均无统计学意义

( $p > 0.05$ )。预包装花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 的检出率分别为 54.10% 和 2.00%,不合格率分别为 8.20% 和 0.00%,差异均具有统计学意义( $p < 0.05$ )。散装花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 的检出率和不合格率高于预包装的,差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

表 2 不同包装类型花生制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平

包装类型	样品	样品数量	检出数量	检出率/%	超标数量	不合格率/%	AFB <sub>1</sub> 含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
							均值	中位数	P95	最大值
散装	花生酱	18	15	83.33	5	27.78	21.55	4.70	81.14	172.00
	花生油	30	20	66.67	9	30.00	24.45	0.94	182.70	274.00
预包装	花生酱	61	33	54.10	5	8.20	7.10	0.78	58.06	73.60
	花生油	50	1	2.00	0	0.00	0.13	0.10	0.10	1.39

## 2.3 不同居民经花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 暴露水平

表 3 为山东省居民经花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 的平均膳食暴露量。由表 3 可看出:山东省一般消费居民中,经花生、花生酱、花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 0.01、0.61、1.09  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ;高消费居民中,经花生、花生酱、花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 0.23、6.64、8.90  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

表 3 山东省居民经花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量

样品	消费量/( $\text{g}/\text{d}$ )		暴露量/( $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ )	
	一般消费居民	高消费居民	一般消费居民	高消费居民
花生	3.70	72.78	0.01	0.23
花生酱	3.70	40.25	0.61	6.64
花生油	7.40	60.61	1.09	8.90

## 2.4 严格执行限量标准后山东省花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 暴露水平

对所有超标样品的 AFB<sub>1</sub> 含量赋予 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,评估严格执行限量标准前后(见表 4)不同居民经花生及其制品摄入的 AFB<sub>1</sub> 暴露量和致癌风险,结果见表 5、表 6。由表 5 可知,一般消费居民经花生酱

和花生油摄入的 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别降至 0.29  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$  和 0.34  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ,降幅分别为 52.46% 和 68.81%,MOE 分别上升至 1 052 和 897。花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 暴露引发的肝癌发病风险分别降至 0.009 例/10 万人和 0.010 例/10 万人,降幅分别为 52.63% 和 70.59%。由表 6 可知,高消费居民经花生酱和花生油摄入的 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别降至 3.21  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$  和 2.77  $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ,降幅分别为 51.66% 和 68.88%,MOE 分别上升至 95 和 110。花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 暴露引发的肝癌发病风险分别降至 0.100 例/10 万人和 0.085 例/10 万人,降幅分别为 51.22% 和 68.98%。

表 4 严格执行限量标准后山东省花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 污染水平变化

样品	样品数量	检出数量	检出率/%	AFB <sub>1</sub> 含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	
				均值	最大值
花生	87	1	1.15	0.20	9.10
花生酱	79	48	60.76	5.02	20.00
花生油	80	21	26.25	2.88	20.00
总计	246	70	28.46	2.62	20.00

表 5 严格执行限量标准前后对一般消费居民经花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 暴露量和致癌风险的影响

样品	暴露量		MOE		肝癌发病风险	
	执行前/后/ ( $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ )	降幅/%	执行前/后	升幅/%	执行前/后/ (例/10 万人)	降幅/%
花生	0.01/0.01	0.00	30 500/30 500	0.00	0.000/0.000	0.00
花生酱	0.61/0.29	52.46	500/1 052	110.40	0.019/0.009	52.63
花生油	1.09/0.34	68.81	280/897	220.36	0.034/0.010	70.59

表 6 严格执行限量标准前后对高消费居民经花生及其制品 AFB<sub>1</sub> 暴露量和致癌风险的影响

样品	暴露量		MOE		肝癌发病风险	
	执行前/后/ ( $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ )	降幅/%	执行前/后	升幅/%	执行前/后/ (例/10 万人)	降幅/%
花生	0.23/0.23	0.00	1 326/1 326	0.00	0.007/0.007	0.00
花生酱	6.64/3.21	51.66	46/95	106.85	0.205/0.100	51.22
花生油	8.90/2.77	68.88	34/110	221.30	0.274/0.085	68.98

## 2.5 讨论

本研究结果显示,花生中 AFB<sub>1</sub> 污染水平较低,花生油和花生酱污染水平较高。花生酱和花生油中 AFB<sub>1</sub> 检出率分别为 60.76% 和 26.25%,与对于辽宁省<sup>[19]</sup>、江苏省<sup>[20]</sup>、杭州市<sup>[21]</sup> 等的调查结果一致。

散装花生酱和花生油 AFB<sub>1</sub> 污染水平高于预包装的,与邱文倩<sup>[10]</sup>、刘辉<sup>[22]</sup>、陈涛<sup>[23]</sup> 等的研究结果一致,其主要原因可能是散装花生酱和花生油大多来源于小作坊,小作坊在原材料的筛选检测、储存保管和脱毒工艺等方面技术较薄弱<sup>[24]</sup>,从而造成花生制品中 AF 污染水平较高。可从以下方面进行改善:通过人工或机器设备将霉变花生挑选出来;储存方式采取除湿通风、低温保藏等措施,防止花生霉变;加工过程中采用物理脱毒法、化学脱毒法、生物脱毒法等脱毒工艺,以降低花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 的含量。另外,本研究发现预包装花生酱 AFB<sub>1</sub> 污染水平显著高于花生油,这可能与加工方式有关。通过压榨,花生中大多数的 AF 迁移至花生饼中,花生油中剩余 10%~20% 的 AF。

山东省一般消费居民通过花生酱、花生油 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 0.61、1.09 ng/(kg·d),高消费居民通过花生酱、花生油 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量分别为 6.64、8.90 ng/(kg·d),与全国 AF 平均膳食暴露水平[11.09 ng/(kg·d)]<sup>[25]</sup> 相比,均低于全国水平。花生油中 AFB<sub>1</sub> 平均膳食暴露量远高于河南省[0.30 ng/(kg·d)]<sup>[26]</sup> 和深圳地区[0.036 8 ng/(kg·d)]<sup>[27]</sup> 的。本研究中一般消费居民花生酱和花生油的 MOE 分别为 500 和 280,高消费居民花生酱和花生油的 MOE 分别为 46 和 34,远小于 10 000,说明相比于花生,花生酱和花生油具有较高的公共卫生关注度,应优先采取有力的风险管理措施。另外,本研究显示一般消费居民通过花生酱、花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 引发肝癌的发病风险分别为 0.019、0.034 例/10 万人,高消费居民通过花生酱、花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 引发肝癌的发病风险分别为 0.205、0.274 例/10 万人,根据 JECFA 第 49 次会议提出每百万人中增加 1 个癌症病例是可以被接受的风险,判断本研究中高消费居民由花生酱和花生油引发的肝癌发病风险不可以被接受<sup>[15]</sup>。与我国的肝癌发病率为 11.64 例/10 万人<sup>[28]</sup> 相比,通过食品花生酱和花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 导致的肝癌发病风险对中国人肝癌的总体发病率贡献很小,但不能因此放松警惕,应给予足够和持续的公共卫生关注。

## 3 结论

本研究结果显示,严格执行限量标准后,山东居

民通过花生酱和花生油摄入 AFB<sub>1</sub> 导致的健康风险显著降低。因此,为了更最大限度地保护人群健康,有必要采取有效的监管和风险管理措施控制花生及其制品中 AFB<sub>1</sub> 含量,特别是散装花生酱和花生油,这对山东省 AF 污染防控具有重要意义。建议在原材料储存方面,加强对花生存放环境的监管,确保低温干燥的存放环境;在原材料筛选方面,加强对小作坊花生品质的监管和控制,应重点审查其原料来源是否具有相应的合格证;在生产加工环节,针对小作坊开展脱毒技术培训,指导其合理、安全地生产;在流通环节,加强花生相关产品检测,加大不合格产品打击力度,以降低居民通过花生酱和花生油 AFB<sub>1</sub> 暴露水平,保护人群健康,降低人群致癌风险。

由于 AFB<sub>1</sub> 在玉米、水稻等食品中也有较为广泛分布,下一步需结合其他食品中 AF 污染情况,对 AFB<sub>1</sub> 的总体膳食暴露和风险状况进行评估。此外,本研究评估结果存在一些不足之处:人群消费数据采用全国调查结果,使得评估结果可能会有一些偏差。

## 参考文献:

- [1] RUSHING B R, SELIM M I. Aflatoxin B<sub>1</sub>: a review on metabolism, toxicity, occurrence in food, occupational exposure, and detoxification methods [J]. *Food Chem Toxicol*, 2019, 124: 81–100.
- [2] HAMID A S, TESFAMARIAM I G, ZHANG Y, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> - induced hepatocellular carcinoma in developing countries: geographical distribution, mechanism of action and prevention [J]. *Oncol Lett*, 2013, 5(4): 1087–1092.
- [3] International Agency for Research on Cancer. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins naphthalene, and styrene [M]//IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC, 2002.
- [4] KEW M C. Aflatoxins as a cause of hepatocellular carcinoma [J]. *J Gastrointest Liver Dis*, 2013, 22: 305–310.
- [5] EL - SERAG H B. Epidemiology of viral hepatitis and hepatocellular carcinoma [J]. *Gastroenterology*, 2012, 142: 1264–1273.
- [6] QU C F, CHEN T Y, FAN C S, et al. Efficacy of neonatal HBV vaccination on liver cancer and other liver diseases over 30 - year follow - up of the Qidong hepatitis B intervention study: a cluster randomized controlled trial [J/OL]. *PLoS Med*, 2014, 11(12): e1001774 [2014 - 05 - 09]. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001774>.
- [7] 范蓓,李庆鹏,哈益明.关注黄曲霉毒素国内外限量标准,完善食品安全保障措施[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(12): 26–27.
- [8] 杨博磊,张秀娟,王刚,等.我国土榨花生油黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>及圆弧偶氮酸毒素污染调查[J]. *中国油脂*, 2020, 45

- (9):34-37,53.
- [9] 黄湘东,龙朝阳,梁春穗,等. 广东省市售大米、花生及其制品中黄曲霉毒素污染水平调查[J]. 华南预防医学, 2007(3):62-63.
- [10] 邱文倩,傅武胜. 福建省市售花生及花生制品中4种黄曲霉毒素污染调查[J]. 中国卫生检验杂志,2012,22(10):2446-2448.
- [11] DING X X, WU L X, LI P W, et al. Risk assessment on dietary exposure to aflatoxin B<sub>1</sub> in post-harvest peanuts in the Yangtze River ecological region [J]. *Toxins (Basel)*, 2015,7(10):4157-4174.
- [12] 宋美英,乐丽华,罗钰珊,等. 广东小作坊生产花生油中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 膳食暴露及风险评估[J]. 中国油脂, 2019,44(4):96-101.
- [13] 王守经,祝清俊,胡鹏,等. 花生及其制品的黄曲霉毒素污染与防控措施[J]. 中国食物与营养, 2010(3):14-16.
- [14] 刘书贵,尹怡,单奇,等. 广东省鳊鱼和杂交鳢中孔雀石绿和硝基呋喃残留调查及暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志,2015,27(5):553-558.
- [15] World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants; forty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on food Additives [M]. Geneva: WHO,1999:69-77.
- [16] BENFORD D, LEBLANC J C, SETZER R W. Application of the margin of exposure (MOE) approach to substances in food that are genotoxic and carcinogenic example aflatoxin B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) [J]. *Food Chem Toxicol*, 2010, 48(Suppl 1): S34-S41.
- [17] European Food Safety Authority. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to the potential increase of consumer health risk by a possible increase of the existing maximum levels for aflatoxins in almonds, hazelnuts and pistachios and derived products [J]. *EFSA J*, 2007, 446: 1-127.
- [18] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO,1995.
- [19] 王颖,王建忠,林秋君,等. 辽宁花生主产区黄曲霉毒素调查与分析[J]. 辽宁农业科学,2021(2):77-79.
- [20] 蔡梅,吉文亮,刘华良,等. 江苏地区市售花生和玉米中黄曲霉毒素总量监测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志,2013,23(11):2504-2505.
- [21] 王姝婷,黄希汇,刘少颖,等. 2018年—2019年杭州市售花生制品中4种黄曲霉毒素污染水平调查[J]. 中国卫生检验杂志,2021,31(9):1127-1129,1132.
- [22] 刘辉,张燕,熊波,等. 食用油中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的污染调查[J]. 广东化工,2015,42(4):29-30.
- [23] 陈涛. 福建省 2016 年市售花生油黄曲霉毒素污染监测 [J]. 海峡预防医学杂志,2017,23(5):75-77.
- [24] 曹悦,刘晓莉,陈世琼,等. 2011—2015 年花生和小麦制品中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的检测[J]. 食品安全质量检测学报,2016,7(4):1479-1482.
- [25] 王君,刘秀梅,张志强. 中国人群膳食黄曲霉毒素致肝癌的暴露评估[J]. 中华预防医学杂志,2009(6):478-481.
- [26] 李杉,杨丽,袁蒲,等. 河南省居民黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 膳食暴露量评估[J]. 现代预防医学,2016,43(6):1008-1010.
- [27] 李可,陈网璇,丘汾,等. 非参数概率法评估 2015—2017 年深圳地区 9 类食品黄曲霉毒素膳食暴露风险[J]. 卫生研究,2018,47(5):827-832.
- [28] 安澜,曾红梅,郑荣寿,等. 2015 年中国肝癌流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志,2019,41(10):721-727.

(上接第 48 页)

- [7] ZHENG J L, BUREL F, SALMI T, et al. Carbonation of vegetable oils: influence of mass transfer on reaction kinetics [J]. *Ind Eng Chem Res*, 2015, 54(43): 10935-10944.
- [8] AOMCHA V, CRISTOFOL A, DELLA M F, et al. Recent progress in the catalytic transformation of carbon dioxide into biosourced organic carbonates [J]. *Green Chem*, 2021, 23: 1077-1113.
- [9] MAZO P, RIOS L. Carbonation of epoxidized soybean oil improved by the addition of water [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(5): 725-730.
- [10] CAI T T, LIU J X, CAO H, et al. Synthesis of bio-based cyclic carbonate from vegetable oil methyl ester by CO<sub>2</sub> fixation with acid-base pair MOFs [J/OL]. *Ind Crop Prod*, 2020, 145: 112155 [2022-06-05]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112155>.
- [11] JALILIAN M, YEGANEH H, HAGHIGHI M N. Synthesis and properties of polyurethane networks derived from new soybean oil-based polyol and a bulky blocked polyisocyanate [J]. *Polym Int*, 2008, 57(12): 1385-1394.
- [12] 曾红舟, 蒋惠亮, 郭宏珍. 强碱催化大豆油脂交换制备生物柴油[J]. 大豆科学, 2007, 26(4): 583-587.
- [13] 路光辉. 不饱和脂肪酸甲酯基五元环状碳酸酯的制备研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- [14] 刘阳庆, 韩粉女, 许琦. 环状碳酸酯的绿色合成方法[J]. 化工管理, 2021(32): 15-16.
- [15] ANDREA K A, PLOMMER H, KERTON F M. Ring-opening polymerizations and copolymerizations of epoxides using aluminum- and boron-centered catalysts [J/OL]. *Eur Polym J*, 2019, 120: 109202 [2022-06-05]. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.08.029>.
- [16] SUN J, YANG C K, CHEN Y L, et al. Facile synthesis of zinc halide-based ionic liquid for efficient conversion of carbon dioxide to cyclic carbonates [J/OL]. *Mol Catal*, 2020, 480: 110637 [2022-06-05]. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110637>.