DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251106003
引用格式: 姚博伟, 张译匀, 赵双宏, 等. 西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染情况调查及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 127–135.
YAO BW, ZHANG YY, ZHAO SH, *et al*. Investigation on the pollution situation and risk assessment of dietary exposure of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil sold in a certain province in Northwest China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 127–135. (in Chinese with English abstract).

西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染情况调查及膳食暴露风险评估

姚博伟*, 张译匀, 赵双宏, 李应东, 朱秋楠, 田羚雁
(宁夏计量质量检验检测研究院, 银川 750200)

摘 要: 目的 调查了解西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染状况, 并对其人群膳食暴露风险进行评估。**方法** 采集 2023—2024 年西北某省市售食用植物油样品共计 233 批次, 按照 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》中规定方法进行检测, 对食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量情况进行分析, 根据成人膳食消费量, 应用点评估方法对居民的黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露风险进行评估。**结果** 在 233 批次食用植物油样品中, 黄曲霉毒素 B_1 的总体检出率为 0.43%, 超标率为 0%, 平均含量为 0.017 μg/kg。该省成年居民食用植物油膳食暴露量平均值和高暴露值(第 95 百分数 P_{95})分别为 0.011 ng/(kg • BW • d)和 0.009 ng/(kg • BW • d), 暴露边界比(margin of exposure, MOE)均值和 P_{95} 均大于 10000, 成年居民肝癌发病风险均在可接受范围内。**结论** 2023—2024 年西北某省各类市售食用植物油黄曲霉毒素 B_1 污染情况总体较轻, 安全程度较高, 各年龄段不同性别成年居民平均膳食暴露和高暴露膳食风险和肝癌发病风险均在可接受范围内, 但仍需持续关注和监测食用植物油食品安全风险, 加强监管力度, 进一步防范和减少食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露风险。

关键词: 食用植物油; 黄曲霉毒素 B_1; 膳食暴露; 风险评估

Investigation on the pollution situation and risk assessment of dietary exposure of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil sold in a certain province in Northwest China

YAO Bo-Wei*, ZHANG Yi-Yun, ZHAO Shuang-Hong, LI Ying-Dong,
ZHU Qiu-Nan, TIAN Ling-Yan
(*Ningxia Academy of Metrology & Quality Inspection*, *Yinchuan* 750200, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the pollution situation of aflatoxin B_1 in commercially available edible

收稿日期: 2025-11-06
基金项目: 宁夏市场监管厅科技计划项目(2024SJKY0005); 2023 年度宁夏回族自治区青年科技托举人才培养项目(宁科协发组字〔2024〕6 号); 宁夏科技惠民项目(2024CMG03049)
第一作者/*通信作者: 姚博伟(1993—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为应用微生物及食品质量安全。E-mail: ybw2016@sina.com

vegetable oils in a certain province in Northwest China and evaluate the dietary exposure risk for local residents. **Methods** A total of 233 commercially available edible vegetable oil samples were collected from the northwest province between 2023 and 2024. Aflatoxin B_1 content was determined in accordance with GB 5009.22—2016 *National food safety standard-Determination of aflatoxins B and G in foods*. The aflatoxin B_1 content in edible vegetable oils was analyzed, and the point assessment method was applied to assess the dietary exposure risk of aflatoxin B_1 among the general population based on adult dietary consumption data. **Results** Among the 233 batches of edible vegetable oil samples, the overall detection rate of aflatoxin B_1 was 0.43%, with no samples exceeding the standard limit. The average aflatoxin B_1 content was 0.017 μg/kg. The average dietary exposure and high exposure level (95th percentile, P_{95}) of aflatoxin B_1 from edible vegetable oils for adult residents in this province were 0.011 ng/(kg • BW • d) and 0.009 ng/(kg • BW • d), respectively. Both the mean and P_{95} values of the margin of exposure (MOE) were greater than 10000, suggesting that the liver cancer risk associated with aflatoxin B_1 exposure was within the acceptable range for adult residents. **Conclusion** The pollution situation of aflatoxin B_1 in various commercially available edible vegetable oils in a certain province in Northwest China during 2023—2024 is generally mild, with a high level of safety. The average dietary exposure, high-exposure dietary risk and liver cancer incidence risk of adult residents of different genders in all age groups are all within the acceptable range. However, it is still necessary to continuously pay attention to and monitor the food safety risks of edible vegetable oils, strengthen supervision and further prevent and reduce the dietary exposure risk of aflatoxin B_1 in edible vegetable oils.

KEY WORDS: edible vegetable oil; aflatoxin B_1; dietary exposure; risk assessment

0 引 言

黄曲霉毒素是一类由黄曲霉和寄生曲霉次生代谢产生的真菌毒素[1–2], 其中黄曲霉毒素 B_1 最为常见和普遍[3], 且具有较大的危害[4–5]。研究表明, 黄曲霉毒素 B_1 具有强烈的致癌致畸毒性、神经毒性和免疫抑制性[6–8], 已于 1993 年被世界卫生组织(World Health Organization, WHO)列为I级致癌物[9–10]。黄曲霉毒素 B_1 可对人体肝、肠、肾等多个器官造成损害甚至导致肿瘤[11–13], 还可引发少年儿童发育迟缓[14–15], 对人体和动物健康造成严重的威胁。黄曲霉毒素 B_1 主要污染花生、玉米及其制品[16], 其次是小麦、稻谷、杂粮、豆类等作物[17], 它可通过食物链进一步富集, 从而对食品安全和公共健康造成严重影响。据研究数据估算, 全球约有 45 亿人存在黄曲霉毒素日常膳食暴露风险[18]。目前, 全世界约有 100 个国家和地区将黄曲霉毒素 B_1 作为食品安全重点监测指标, 并制定了相应的食品中黄曲霉毒素 B_1 限值标准。

食用植物油是我国人民经常使用的主食之一, 在膳食结构中占有重要地位, 我国主要油料作物花生、玉米在种植、采摘、储存和运输过程中都极易被黄曲霉毒素 B_1 污染[19], 因此黄曲霉毒素 B_1 污染在植物油中较为常见。我国现行 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》中对食用油中黄曲霉毒素 B_1 限量进行了严格规定, 明确要求花生油、玉米油中黄曲霉毒素 B_1 不得超过 20 μg/kg, 其他植物油中黄曲霉毒素 B_1 不得超过 10 μg/kg。近年来, 南宁[20]、上海[21]、重庆[22]、广州[23]等地均对食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量进行了调查监测和风险评估。因此食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 的膳食暴露风险评估具有十分重要的意义。本研究重点针对我国西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量进行安全监测和膳食暴露风险评估。本研究采用高效液相色谱-柱后光化学衍生法检测 2023—2024 年 233 份西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量, 结合食用植物油膳食消费调查数据, 应用点评估法、低剂量外推法对其潜在健康风险进行评估, 获得该省市售食用植物油黄曲霉毒素 B_1 含量情况和膳食暴露风险数据, 以期为监管部门制定相应监管措施降低食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染提供理论参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

于 2023—2024 年从西北某省内各地级市超市、农贸市场、小作坊、餐饮经营单位等场所随机抽取 233 批次食用植物油(均为正规生产厂家生产的定型包装植物油), 种类包括大豆油 62 批次、玉米油 33 批次、花生油 17 批次, 亚麻籽油 80 批次、菜籽油 41 批次。

黄曲霉毒素 B_1 标准溶液(质量浓度 10 μg/mL, 山东美正生物科技有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国默克集团有限公司)。

1.2　仪器与设备

LC-20AD 型高效液相色谱仪(配荧光检测器, 日本岛津株式会社); XS204 型电子天平(精度 0.0001 g)、XPR225DU 型电子天平(精度 0.00001 g)(瑞士梅特勒公司)。

1.3　试验方法

1.3.1　样品前处理和检测方法

按照 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》中第三法 高效液相色谱-柱后光化学衍生法进行样品前处理和食用植物油样品中黄曲霉毒素 B_1 含量的测定。方法检出限(limit of detection, LOD)为 0.03 μg/kg, 定量限为 0.1 μg/kg, 高于定量限视为检出。实验采用加标回收、平行双样、空白实验等方法进行质量控制。

1.3.2　评价标准

按照 GB 2761—2017 判定是否超标, 植物油脂中黄曲霉毒素 B_1 的含量(花生油、玉米油除外)大于 10 μg/kg 视为超标, 花生油、玉米油中黄曲霉毒素 B_1 的含量大于 20 μg/kg 视为超标。

1.4　膳食暴露风险评估

1.4.1　膳食暴露量的计算

采用联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)和 WHO 推荐的点评估法[24–26], 根据该省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量检测数据和食用植物油消费量数据, 计算得出该省成年居民黄曲霉毒素 B_1 每周膳食暴露量, 计算公式见式(1)。

$$EDI=\frac{DC\times M}{BW}\times f \tag{1}$$

式中: EDI 为黄曲霉毒素 B_1 经口途径的单位体重每日膳食暴露量(estimated daily intake), ng/(kg・BW・d); M 为黄曲霉毒素 B_1 含量的实测值, μg/kg, 采用平均值和第 95 百分数(P_{95})值计算; DC 为当地居民每日食用植物油消费量(daily consumption), g/d, 采用成年居民食用油膳食摄入状况调查数据[27], 成年居民人均摄入食用油为 39.6 g/d, 不同年龄成年居民食用油摄入量分别为 18~44 岁 35.8 g/d, 45~60 岁 42.3 g/d, 60 岁以上 41.1 g/d; BW 为体重(body weight), 其中成年人群平均体重以 63 kg 计[28], 不同年龄不同性别成年人群体重来自中国居民营养与慢性病状况报告[29], 18~44 岁男性和女性分别为 66.2 kg 和 57.3 kg, 45~59 岁男性和女性分别为 67.0 kg 和 56.7 kg, 60 岁以上人群男性和女性分别为 62.4 kg 和 55.6 kg; f 为加工因子, 按照国际通用做法, 默认为 1。

1.4.2　黄曲霉毒素 B_1 暴露评估—暴露边界比法

黄曲霉毒素 B_1 具有遗传毒性和致癌性, 属于 FAO 和 WHO 食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)认定的无阈值风险因子[22]。因此本研究采用欧洲食品安全局科学委员会提出的暴露边界比(margin of exposure, MOE)方法对西北某省居民市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露进行风险评估。MOE 计算公式如式(2)所示。

$$MOE=\frac{BMDL_{10}}{EDI} \tag{2}$$

式中: $BMDL_{10}$ 为基准计量下限值(benchmark dose lower confidence limit, BMDL), 是出现 10%肝癌发生率的基准剂量的 95%置信区间(confidence interval, CI)下限值。2020 年, 欧洲食品安全局根据黄曲霉毒素 B_1 致雄性大鼠肝癌发生率实验数据推算出黄曲霉毒素 B_1 的 $BMDL_{10}$ 为每日 400 ng/(kg・BW)[30]。对于遗传学致癌物, MOE 与健康风险为负相关, 一般认为当 MOE>10000 时, 健康风险相对较低, 公共卫生关注度也较低; 当 MOE≤10000 时, 存在一定的健康风险, 需采取一定的风险管理措施。

1.4.3　肝癌发病风险

JECFA 第 49 次会议[31]认为乙肝表面抗原(hepatitis B surface antigen, HbsAg)阳性者和阴性者摄入 1 ng/(kg・BW・d)黄曲霉毒素 B_1, 分别罹患 0.3 例癌症/(10 万人・年)和 0.01 例癌症/(10 万人・年), 结合当地乙肝病毒携带率, 可以通过数学模型法计算得到平均危害度, 如公式(3)所示, 肝癌风险计算如公式(4)所示。

$$AP=0.3\times P+0.01\times(1-P) \tag{3}$$

$$肝癌风险=AR\times EDI \tag{4}$$

式中: AP 为黄曲霉毒素 B_1 的平均危害度(average potency); P 为肝癌病毒携带率, 以全国普通人群(>5 岁)乙肝病毒携带率 5.6%计算[32]。按照 JEFCA 对肝癌发病风险的判定, 低于每 10 万人中增加 0.1 个癌症病例时, 其风险是可接受的[28]。

1.5　数据处理

使用 Excel 2010 对数据进行统计、作图, 采用 SPSS 22.0 对数据进行显著性差异分析, 以 $P<0.05$ 为显著性差异。不同种类食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 检出率差异比较采用卡方检验(χ^2)。当未检出率大于 60%时, 对于低于 LOD 的数据, 采用 WHO 推荐的替代法进行处理, 将未检出值用 1/2LOD 值进行替换; 当未检出率小于等于 60%时, 将未检出值用 LOD 进行替换[33]。

本研究选择均值、最大值、中位数、P_{95} 统计分析食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量, 并与国家标准限值对比。

2　结果与分析

2.1　西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量的监测情况

2023—2024 年采取的西北某省市售食用植物油样品

中, 黄曲霉毒素 B_1 的总体检出率为 0.43% (1/233), 超标率为 0%, 黄曲霉毒素 B_1 含量检测值均值为 0.017 μg/kg, 最大值为 0.200 μg/kg, 中位数为 0.015 μg/kg, P_{95} 为 0.015 μg/kg。花生油中黄曲霉毒素 B_1 检出率最高为 5.8%, 其余 4 种食用植物油黄曲霉毒素 B_1 检出率均为 0%。应用卡方检验分析不同类别食用植物油检出率差异, 结果显示 χ^2=23.2, P<0.05, 故食用植物油类别与检出率存在显著性差异, 具有统计学意义。具体监测情况分析详见表 1。

2.2 西北某省市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 的膳食暴露风险评估

根据 2023—2024 年西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量的平均检测值的和 P_{95} 以及成年居民食用植物油消费量, 计算该省成年人群食用植物油膳食黄曲霉毒素 B_1 暴露量, 进一步根据暴露量计算 MOE 和肝癌发病风险, 进行膳食风险评估。结果如表 2 所示, 该省成年居民通过膳食摄入食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 的平均暴露量为 0.011 ng/(kg • BW • d), 高消费暴露量为 0.009 ng/(kg • BW • d), 平均和高暴露 MOE 分别为 37433 和 42424, 均小于 10000; 肝癌发病风险平均和高暴露值分别为 0.0003 癌症病例/(10 万人 • 年)和 0.0002 癌症病例/(10 万人 • 年), 可见该省成年人群食用植物油黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露风险和肝癌发病风险均在可接受范围内, 风险较低。不同种类食用植物油中, 花生油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量最高, 均值和高暴露量分别为 0.017 ng/(kg • BW • d)和 0.033 ng/(kg • BW • d), 膳食暴露风险和肝癌发病风险也相应较高, MOE 分别为 24476 和 12238, 肝癌发病风险分别为 0.0004 癌症病例/(10 万人 • 年)和 0.0009 癌症病例/(10 万人 • 年), 这与游杰等[34]对深圳市粮油制品、覃梅等[22]对重庆市植物油黄曲霉毒素 B_1 调查和风险评估结果一致, 但其风险值仍在可接受范围内。

2.3 不同特征人群市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 的膳食暴露风险评估

根据 2023—2024 年西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量的平均检测值的和 P_{95} 以及成年居民食用植物油消费量, 计算该省不同年龄不同性别成年人群食用植物油膳食黄曲霉毒素 B_1 暴露量, 结果如表 3 所示。根据黄曲霉毒素 B_1 暴露 $BMDL_{10}$ 值和平均危害度以及每日膳食摄入黄曲霉毒素 B_1 暴露量(EDI)和高含黄曲霉毒素 B_1 食品暴露量(EDI-P_{95})进行西北某省不同年龄不同性别成年人群中食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露风险评估, 计算 MOE 和肝癌发病风险, 评估结果如表 4 和表 5 所示。

表 1 2023—2024 年西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染水平

Table 1 Contamination levels of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil sold in a certain province in Northwest China in 2023—2024

食品类别	标准限量/(μg/kg)	样品数/个	(检出数)检出率/%	均值/(μg/kg)	中位数 P_{50}/(μg/kg)	P_{95}/(μg/kg)	最大值/(μg/kg)	超标率/%
大豆油	≤10	62	(0) 0	0.015	0.015	0.015	0.015	0
亚麻籽油		80	(0) 0	0.015	0.015	0.015	0.015	0
菜籽油		41	(0) 0	0.015	0.015	0.015	0.015	0
花生油	≤20	17	(1) 5.8	0.026	0.015	0.052	0.200	0
玉米油		33	(0) 0	0.015	0.015	0.015	0.015	0
合计		233	(1) 0.43	0.017	0.015	0.015	0.200	0

表 2 2023—2024 年西北某省市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量和健康风险

Table 2 Estimated dietary exposure and health risks of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil sold in a certain province in Northwest China in 2023—2024

食品类型	EDI/[ng/(kg • BW • d)]		MOE		肝癌发病风险/[癌症病例/(10 万人 • 年)]	
	均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
大豆油	0.009	0.009	42424	42424	0.0002	0.0002
菜籽油	0.009	0.009	42424	42424	0.0002	0.0002
亚麻籽油	0.009	0.009	42424	42424	0.0002	0.0002
花生油	0.017	0.033	24476	12238	0.0004	0.0009
玉米油	0.009	0.009	42424	42424	0.0002	0.0002
合计	0.011	0.009	37433	42424	0.0003	0.0002

表 3　2023—2024 年西北某省不同特征人群经市售食用植物油摄入黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量[ng/(kg • BW • d)]

Table 3　Estimated dietary exposure of aflatoxin B_1 in edible vegetable oils sold in a certain province of Northwest China among populations with different characteristics in 2023—2024 [ng/(kg • BW • d)]

食品类型	人群分组	18~44 岁 EDI		45~59 岁 EDI		60 岁以上 EDI	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
大豆油	男	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010
	女	0.009	0.009	0.011	0.019	0.011	0.011
菜籽油	男	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010
	女	0.009	0.009	0.011	0.015	0.011	0.011
亚麻籽油	男	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010
	女	0.009	0.009	0.011	0.007	0.011	0.011
花生油	男	0.014	0.028	0.016	0.033	0.017	0.034
	女	0.016	0.032	0.019	0.036	0.019	0.038
玉米油	男	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010
	女	0.009	0.009	0.011	0.008	0.011	0.011
合计	男	0.009	0.008	0.011	0.009	0.011	0.010
	女	0.011	0.009	0.013	0.011	0.013	0.011

表 4　2023—2024 年西北某省不同特征人群经市售食用植物油摄入黄曲霉毒素 B_1 的 MOE

Table 4　MOE for aflatoxin B_1 in edible vegetable oils sold in a certain province in Northwest China among populations with different characteristics in 2023—2024

食品类型	人群分组	18~44 岁 MOE		45~59 岁 MOE		60 岁以上 MOE	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
大豆油	男	49311	49311	42238	42238	40487	40487
	女	42682	42682	35934	35934	36075	36075
菜籽油	男	49311	49311	42238	42238	40487	40487
	女	42682	42682	35934	35934	36075	36075
亚麻籽油	男	49311	49311	42238	42238	40487	40487
	女	42682	42682	35934	35934	36075	36075
花生油	男	28449	14224	24368	12184	23358	11679
	女	24624	12312	20731	10366	20812	10406
玉米油	男	49311	49311	42238	42238	40487	40487
	女	42682	42682	35934	35934	36075	36075
合计	男	43510	49311	37269	42238	35724	40487
	女	37660	42682	31706	35934	31831	36075

表 5　2023—2024 年西北某省不同特征人群经市售食用植物油摄入黄曲霉毒素 B_1 致肝癌发病风险

Table 5　Estimated hepatocellular carcinoma incidence risk induced by aflatoxin B_1 in edible vegetable oils sold in a certain province of Northwest China among populations with different characteristics in 2023—2024

食品类型	人群分组	18~44 岁肝癌发病风险		45~59 岁肝癌发病风险		60 岁以上肝癌发病风险	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
大豆油	男	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
	女	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003

表 5(续)

食品类型	人群分组	18~44 岁肝癌发病风险		45~59 岁肝癌发病风险		60 岁以上肝癌发病风险	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
菜籽油	男	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
	女	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
亚麻籽油	男	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
	女	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
花生油	男	0.0004	0.0007	0.0004	0.0009	0.0004	0.0009
	女	0.0004	0.0009	0.0005	0.0010	0.0005	0.0010
玉米油	男	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
	女	0.009	0.009	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
合计	男	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003
	女	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003

注: 肝癌发病风险均值和 P_{95} 单位均为癌症病例/(10 万人・年)。

由表 4~6 可知, 18~44 岁、45~59 岁, 60 岁及以上年龄男女人群 5 种食用植物油黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量均值和 P_{95} 风险 MOE 均大于 10000, 说明膳食风险相对较低, 公共卫生关注度也相应较低; 肝癌发病风险均值和高暴露值也均少于 0.1 癌症病例/(10 万人・年), 这说明西北某省因食用植物油中黄曲霉素 B_1 所导致肝癌发病风险是可接受的。其中花生油膳食暴露风险高于其他种类植物油, 这是因为相较其他油料作物, 花生更容易受到黄曲霉毒素污染[28]。不同年龄人群中 5 种植物油高含黄曲霉毒素 B_1 食用植物油苯黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露 MOE 低于暴露均值, MOE 呈现随着年龄的增大而降低的趋势, 肝癌发病风险程序随年龄而增加的趋势, 这可能是因为该省 45 岁以上人群食用油膳食消耗量较高的原因, 导致其膳食风险相应较高。不同年龄女性人群膳食暴露风险高于男性人群, 这可能是因为女性人群体质量更低的原因。

3 讨论与结论

从这次监测调查结果中可以看出, 我国西北某省 2023—2024 年市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 检出率较低, 为 0.43%, 超标率为 0%, 本研究中 233 批次 5 种食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量平均浓度为 0.017 μg/kg, 远低于现行 GB 2761—2017 中规定的限值, 表明该省市售食用植物油黄曲霉毒素 B_1 污染情况总体较轻。查阅既往研究结果, 广州市[23]市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 浓度范围为 0.17~28.68 μg/kg, 超标率为 4.6%; 南宁市[20]市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 平均浓度为 15.8 μg/kg, 超标率为 26.9%; 上海市[21]市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 浓度范围为未检出~9.31 μg/kg, 平均浓度为 0.468 μg/kg, 检出率为 26.2%。与上述地区研究结果相比, 该省市售食用植物油黄曲霉毒素 B_1 污染情况低于以上城市平均水平, 安全程度较高。不同种类食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染水平不同, 其中花生油黄曲霉毒素 B_1 检出率最高, 这与南宁市[20]、上海市[21]、深圳市[34]对食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量调查结果一致。原因可能是相较于大豆、菜籽、亚麻籽等其他油料作物, 花生更易受到黄曲霉毒素污染[35]。

该省成年居民市售食用植物油黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量均值为 0.011 ng/(kg・BW・d); 高暴露消费人群暴露量为 0.009 ng/(kg・BW・d), MOE 分别为 37433 和 42424, 肝癌发病风险分别为 0.0003 癌症病例/(10 万人・年)和 0.00002 癌症病例/(10 万人・年), 膳食风险均处于可接受范围内。与上海市[21]市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 MOE 为 6067, 肝癌发病风险 0.002 癌症病例/(10 万人・年); 广西贵港市[36]市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 MOE 为 6067, 肝癌发病风险 0.002 癌症病例/(10 万人・年); 广东云浮市[37]市售植物油中黄曲霉毒素 B_1 MOE 为 333, 肝癌发病风险 0.033 癌症病例/(10 万人・年)的研究数据相比, 该西北某省植物油中黄曲霉毒素 B_1 风险低于以上城市平均水平。这可能是因为各地饮食习惯和主要油料作物不同导致, 例如虽然本研究中花生油风险值相对其他类别植物油较高, 但是我国花生主要产地位于东北, 而在我国西部如新疆、宁夏、甘肃等产地产量较低[38], 从而其植物油膳食暴露风险也相对较低。不同植物油中花生油中黄曲霉毒素 B_1 暴露量平均值和 P_{95} 相对较高, 分别为 0.017 ng/(kg・BW・d)和 0.033 ng/(kg・BW・d), 相应的膳食暴露风险也较高, MOE 分别为 24476 和 12238, 肝癌发病风险分别为 0.0004 癌症病例/(10 万人・年)和 0.0009 癌症病例/(10 万人・年), 风险可接受, 相较于其他省份如河南省[39]对花生油的黄曲霉毒素 B_1 膳食风险评估结果为暴露量 0.30 ng/(kg・BW・d)、深

圳市[40]0.036 ng/(kg • BW • d)、山东省[28]1.09 ng/(kg • BW • d)的研究数据, 该省花生油安全风险低于以上省份和城市平均水平, 安全程度较高, 这可能是因为本次研究抽取花生油均为正规生产厂家生产的定型包装花生油, 这与眭世闺等[36]、程恒怡等[41]、欧嵩凤等[20]对于定型包装植物油黄曲霉毒素 B_1 膳食风险的研究一致。

对不同年龄段(18~44 岁、45~59 岁、60 岁以上)不同性别(男、女)组成该省成年居民 5 种食用植物油黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露水平进行分析和风险评估, 不同种类食用植物油黄曲霉毒素 B_1 暴露量均值和高暴露水平(P_{95}) MOE 均大于 10000, 肝癌发病风险均在可接受范围内。本研究中黄曲霉毒素 B_1 暴露存在随年龄逐渐上升且女性风险较高的趋势, 但总体风险水平较低, 仍在可接受范围内, 这与上海[21]、广西玉林市[42]等地对成年居民食品中黄曲霉毒素 B_1 膳食风险暴露性别组成研究结果一致。这可能是因为相较于男性, 女性平均体重较轻且喜食油炸食品的饮食习惯有关。

本次评估具有一定的局限性: (1)抽取样本仅包括正规厂家生产的定型包装食用植物油, 未包括散装植物油和小作坊自制土榨植物油, 相较于后者, 前者在制作过程中去除黄曲霉毒素 B_1 技术更为成熟; (2)本研究样本范围仅涉及食用植物油, 未能覆盖到其他可能受到黄曲霉毒素 B_1 污染的食品, 如花生及其制品、大米和小麦粉等谷物制品; (3)仅涉及 2023—2024 年近两年的样本数据, 样本量较少, 不能反映完整的市售食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染时空分布特征; (4)所使用的食用植物油消费量和体重数据非最新数据, 且未对青少年和儿童进行风险评估。这些局限性均可能导致评估结果存在一定程度的偏倚, 有待进一步结合最新数据开展精确评估。

综上所述, 从食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 含量调查情况、膳食暴露风险、肝癌发病风险评价方面都表明西北某省市售食用植物油具有较高的安全性, 黄曲霉毒素 B_1 的污染水平总体较轻, 膳食暴露风险较低, 在可接受范围内。但监管部门仍需密切注意食用植物油安全风险, 尤其是严格控制花生油、花生及其制品等重点食品中黄曲霉毒素 B_1 污染风险, 加强食品生产全链条含黄曲霉毒素重点食品的监管和查处力度, 引导消费者购买正规生产厂家生产的食用油制品, 防止黄曲霉毒素 B_1 污染和黄曲霉毒素 B_1 超标食品进入市场, 降低含黄曲霉毒素 B_1 食品对人体健康造成的安全风险。

参考文献

[1] MAKAU JN, ISAAC UM. Evaluating aflatoxin contamination control practices among smallholder maize farmers in Kilifi County, Kenya: A poisson regression analysis [J]. Environment, Development and Sustainability, 2023, 26(4): 10029–10041.

[2] 钦巧眉, 毛劲, 程玲, 等. 农产品和食品中黄曲霉毒素检测与阻控技术研究现状及展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(10): 1–14.
QIN QM, MAO J, CHENG L, *et al*. Research status and prospect of the detection, prevention and control techniques for aflatoxins in agricultural products and food [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(10): 1–14.

[3] YANG H, JI X, ZHONG H, *et al*. CRISPR screening identifies protein methylation and ubiquitination modifications that modulate aflatoxin B_1 cytotoxicity [J]. Science China (Life Sciences), 2025, 68(7): 2121–2136.

[4] VÍQUEZ JD, OKUR I, GHORBANI J, *et al*. Exposure to aflatoxins through coffee ingestion in Costa Rica: A health risk assessment study [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 148(P3): 108472.

[5] SIPOS P, PELES F, BRASSÓ DL, *et al*. Physical and chemical methods for reduction in aflatoxin content of feed and food [J]. Toxins, 2021, 13(3): 204.

[6] 张璐, 韩镕博, 沈佳雪, 等. 黄曲霉毒素 B_1 的毒代动力学和毒性作用研究进展[J]. 中国兽医杂志, 2025, 61(4): 96–103.
ZHANG L, HAN RB, SHEN JX, *et al*. Research progress on toxicokinetics and toxic effects of aflatoxin B_1 [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2025, 61(4): 96–103.

[7] MAFE AN, BÜSSELBERG D. Mycotoxins in food: Cancer risks and strategies for control [J]. Foods, 2024, 13(21): 3502.

[8] WANG YH, WANG XH, LI QZ. Aflatoxin B_1 in poultry liver: Toxic mechanism [J]. Toxicon, 2023, 233: 107262.

[9] LI CC, LIU XD, WU J, *et al*. Research progress in toxicological effects and mechanism of aflatoxin B_1 toxin [J]. Peerj, 2022, 10: e13850.

[10] IARC. Summaries and evaluations: aflatoxins [R]. France: International Agency for Research on Cancer, 2002.

[11] SUN YH, SONG YQ, LONG M, *et al*. Immunotoxicity of three environmental mycotoxins and their risks of increasing pathogen infections [J]. Toxins, 2023, 15(3): 187.

[12] LIU Y, WANG J, CHANG Z, *et al*. SeMet alleviates AFB_1-induced oxidative stress and apoptosis in rabbit kidney by regulating Nrf2/Keap1/NQO1 and PI3K/AKT signaling pathways [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2024, 269: 115742.

[13] ZHANG L, GONG X, ZHANG S, *et al*. Danshen polysaccharides alleviate AFB_1 induced jejunal injury [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2024, 285: 117115.

[14] FALADE TD, NEYA A, BONKOUNGOU S, *et al*. Aflatoxin contamination of maize, groundnut, and sorghum grown in Burkina Faso, mali, and niger and aflatoxin exposure assessment [J]. Toxins, 2022, 14(10): 700.

[15] 乔香君, 邵翠萍, 古绍彬, 等. 坚果类食品中真菌毒素污染现状及其检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(16): 186–192.
QIAO XJ, SHAO CP, GU SB, *et al*. Research progress of fungal toxin contamination status and detection technologies in nutfoods [J]. Journal of

Food Safety & Quality, 2025, 16(16): 186–192.

[16] 古丽米娜·阿力木, 杨雪丽, 李方. 我国花生及其制品中黄曲霉毒素 B_1 污染及脱毒技术的研究进展[J]. 职业与健康, 2024, 40(19): 2732–2736.
GULIMINA ALM, YANG XL, LI F. Research progress on aflatoxin B_1 contamination and detoxification technology in peanuts and their pr products in China [J]. Occupation and Health, 2024, 40(19): 2732–2736.

[17] HAO W, GUAN S, LI AP, *et al*. Mycotoxin occurrence in feeds and raw materials in China: A five-year investigation [J]. Toxins, 2023, 15(1): 63.

[18] 李昌安, 张维, 刘雯雯, 等. 2022—2023 年合肥市市售花生黄曲霉毒素 B_1 污染状况及膳食暴露风险评估[J]. 热带病与寄生虫学, 2024, 22(4): 223–226, 232.
LI CAN, ZHANG W, LIU WW, *et al*. Contamination status and risk assessment of dietary exposure to aflatoxins B_1 in peanuts on the market in Hefei City from 2022 to 2023 [J]. Journal of Tropical Diseases and Parasitology, 2024, 22(4): 223–226, 232.

[19] 胡小猛, 李强, 包金阳, 等. 油脂中黄曲霉毒素 B_1 的控制及光催化降解研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(15): 182–190.
HU XM, LI Q, BAO JY, *et al.* Research progress on the control and photocatalytic degradation of aflatoxin B_1 in edible oil [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(15): 182–190.

[20] 欧嵩凤, 范云燕, 黄珊, 等. 南宁市食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 污染现状及健康风险评估[J]. 中国油脂, 2021, 46(6): 94–97.
OU SF, FAN YY, HUANG S, *et al*. Pollution status and health risk assessment of aflatoxin inedible vegetable oil in Nanning City [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(6): 94–97.

[21] 邱丹萍, 罗宝章, 蔡华, 等. 2018—2023 年上海市 15 岁及以上居民膳食黄曲霉毒素暴露风险评估[J]. 卫生研究, 2024, 53(5): 797–804.
QIU DP, LUO BZ, CAI H, *et al*. Dietary exposure assessment of aflatoxins of residents in Shanghai residents aged 15 years and above from 2018 to 2023 [J]. Journal of Hygiene Research, 2024, 53(5): 797–804.

[22] 覃梅, 程莉, 陈锦瑶, 等. 重庆市土榨植物油中黄曲霉毒素污染现状及膳食暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(9): 1028–1034.
QIN M, CHENG L, CHEN JY, *et al*. Contamination status and dietary exposure assessment of aflatoxins in traditionally-produced vegetable oils in Chongqing City [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(9): 1028–1034.

[23] 林玉娜, 罗晓燕, 朱惠扬, 等. 广州市市售粮油食品中黄曲霉毒素 B_1 的污染调查分析[J]. 医学动物防制, 2019, 35(7): 694–696.
LIN YN, LUO XY, ZHU HY, *et al*. Investigation and analysis of aflatoxin B_1 pollution in cereals, oils and food stuffs in Guangzhou [J]. Journal of Medical Pest Control, 2019, 35(7): 694–696.

[24] 程良宇, 殷娇娇. 武汉市 14 种市售淡水鱼类中砷和汞的污染特征及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 108–114.
CHENG LY, YIN JJ. Arsenic and mercury pollution characteristics anddietary exposure risk assessment of 14 commercially available freshwater fish in Wuhan [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(17): 108–114.

[25] 陈元元, 庄美慧, 姜健, 等. 2023 年安徽省小麦铅、镉、砷、铬污染分析及暴露健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 83–90.
CHEN YY, ZHUANG MH, JIANG J, *et al*. Analysis of lead, cadmium, arsenic and chromium pollution and health risk assessment of *Triticum aestivum* L. exposure in Anhui Province in 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 83–90.

[26] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-third report of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives [R/OL]. (2012-06-16) [2020-07-28]. https://apps.who.int/iris/handle/10665/44515

[27] 马芳, 张银娥, 靳雅男, 等. 宁夏成年居民膳食摄入状况调查分析[J]. 宁夏医学杂志, 2017, 39(2): 186–188.
MA F, ZHANG YE, JIN YN, *et al*. Investigation and analysis of dietary intake status of adult residents in Ningxia [J]. Ningxia Medical Journal, 2017, 39(2): 186–188.

[28] 董文亚, 陈晨, 赵秀兰, 等. 山东省市售花生及其制品中黄曲霉毒素 B_1 污染状况与膳食暴露风险评估[J]. 中国油脂, 2023, 48(7): 67–72.
DONG WY, CHEN C, ZHAO XL, *et al*. Contamination status and dietary exposure assessment of aflatoxin B_1 in peanut and its products sold in Shandong Province [J]. China Oils and Fats, 2023, 48(7): 67–72.

[29] 顾景范.《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》解读[J]. 营养学报, 2016, 38(6): 525–529.
GU JF. Interpretation of the *Report on the Chinese residents chronic diseaases and nutritional 2015* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2016, 38(6): 525–529.

[30] EFSA Contampanel, SCHRENKD, BIGNAMIM, *et al*. Scientific opinion-risk assessment of aflatoxins in food [J]. European Food Safety Authority Journal, 2020, 18(3): 6040.

[31] JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants: Forty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Rome: WHO Technical Report Series, 1998.

[32] SHAN S, ZHAO XY, JIA JD. Comprehensive approach to controlling chronic hepatitis B in China [J]. Clinical and Molecular Hepatology, 2024, 30(2): 135–143.

[33] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 6(4): 278–279.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Problem of low level data processing in food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 6(4): 278–279.

[34] 游杰, 岳亚军, 夏伟, 等. 深圳市罗湖区居民食用油黄曲霉毒素风险评估[J]. 现代预防医学, 2014, 41(20): 3688–3689, 3707.
YOU J, YUE YJ, XIA W, *et al*. Risk assessment on AFB_1 in cooking oil in

Luohu District of Shenzhen City [J]. Modern Preventive Medicine, 2014, 41(20): 3688–3689, 3707.

[35] 王奭, 管乐, 韩紫怡, 等. 我国花生黄曲霉毒素污染影响因素分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7818–7825.
WANG Y, GUAN L, HAN ZY, *et al*. Analysis on the influencing factors of aflatoxin contamination in peanut in China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(19): 7818–7825.

[36] 眭世闰, 曾肖寒, 李凤标, 等. 2018—2022 年广西贵港市食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 监测结果分析及暴露风险评估[J]. 中国油脂, 2023, 48(10): 87–92.
SUI SG, ZENG XH, LI FB, *et al*. Analysis of monitoring results and exposure risk assessment of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil in Guigang, Guangxi, during 2018—2022 [J]. China Oils and Fats, 2023, 48(10): 87–92.

[37] 王娟, 张银菊, 袁娟娟, 等. 2019—2022 年云浮市食品中黄曲霉毒素 B_1 污染状况及健康风险评估[J]. 华南预防医学, 2024, 50(3): 216–221, 226.
WANG J, ZHANG YJ, YUAN JJ, *et al.* Contamination status and health risk assessment of aflatoxin B_1 in foodstuffs in Yunfu City, 2019—2022 [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2024, 50(3): 216–221, 226.

[38] 张帮锐, 张军以. 中国主要油料作物 2000—2020 年生产时空演化特征及驱动因素分析[J]. 西南农业学报, 2024, 37(6): 1377–1385.
ZHANG BR, ZHANG JY. Spatiotemporal evolution charateristics and driving factors of production of major oil cropd in China from 2000 to 2020 [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2024, 37(6): 1377–1385.

[39] 李杉, 杨丽, 袁蒲, 等. 河南省居民黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露量评估[J]. 现代预防医学, 2016, 43(6): 1008–1010.
LI S, YANG L, YUAN P, *et al.* Assessment of aflatoxin B_1 dietary exposure among Henan residents [J]. Modern Preventive Medicine, 2016, 43(6): 1008–1010.

[40] 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.
LI K, CHEN WX, QIU F, *et al.* Dietary exposure assessment to aflatoxins in nine kinds of foodstuff by Mont Carlo non-parametric probability approach in Shenzhen City [J]. Journal of Hygiene Research, 2018, 47(5): 827–832.

[41] 程恒怡, 钟延旭, 陈杰, 等. 暴露限值法评估广西食用植物油中黄曲霉毒素 B_1 的暴露风险[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(4): 496–499.
CHENG HY, ZHONG YX, CHEN J, *et al*. Exposure risk assessment of aflatoxin B_1 in edible vegetable oil by using the margin of exposure in Guangxi [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2017, 29(4): 496–499.

[42] 梁馨予, 陈凤, 黎强, 等. 广西玉林市小作坊花生油中黄曲霉毒素 B_1 膳食暴露及风险评估[J]. 中国油脂, 2022, 47(1): 131–136.
LIANG XY, CHEN F, LI Q, *et al*. Dietary exposure and risk assessment of aflatoxin B_1 in the peanut oil of small workshops in Yulin City, Guangxi [J]. China Oils and Fats, 2022, 47(1): 131–136.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)