

2018—2022年广西贵港市食用植物油中黄曲霉毒素 B₁ 监测结果分析及暴露风险评估

睦世闰,曾肖寒,李凤标,曾永芳,覃昆飞,谢江宁,梁梅夏,覃雄林,覃春伟

(贵港市疾病预防控制中心,广西 贵港 537100)

摘要:旨在为广西贵港市预防食源性疾病提供科学依据,采用 GB 5009.22—2016 中的高效液相色谱-柱后衍生法测定 2018—2022 年从贵港市不同地点采集的 625 件食用植物油样品的黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)含量,并应用人群肝癌发病风险法和暴露限值(MOE)法对 AFB₁的暴露风险进行评估。结果表明:在 625 件食用植物油样品中,AFB₁的检出率为 96.80%,超标率为 20.00%,其中定型包装油均合格,散装油超标率为 31.97%;花生油中 AFB₁的检出率为 97.04%,超标率为 24.70%,其他食用植物油均合格;采集自油坊、杂货店和街头摊点的样品的 AFB₁超标率较高;食用植物油中 AFB₁的日膳食暴露量为 5.26 ng/kg,AFB₁致肝癌发病风险为 0.236 例/(年·10 万人),其中散装油为 0.581 例/(年·10 万人),花生油为 0.416 例/(年·10 万人);食用植物油的 MOE 值为 76,其中散装油为 31,定型包装油为 625,花生油为 43,其他油为 930。综上,贵港市食用植物油中以散装花生油中 AFB₁的污染及暴露风险最高,存在一定的食品安全潜在风险,须加强监管并采取相应措施以提高食品安全性。

关键词:黄曲霉毒素 B₁;食用植物油;高效液相色谱;风险评估

中图分类号:R155.5+8;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)10-0087-06

Analysis of monitoring results and exposure risk assessment of aflatoxin B₁ in edible vegetable oil in Guigang, Guangxi, during 2018 – 2022

SUI Shigui, ZENG Xiaohan, LI Fengbiao, ZENG Yongfang, QIN Kunfei,
XIE Jiangning, LIANG Meixia, QIN Xionglin, QIN Chunwei

(Guigang Center for Disease Prevention and Control, Guigang 537100, Guangxi, China)

Abstract: In order to provide a scientific basis for the prevention of foodborne diseases in Guigang, Guangxi, a total of 625 edible vegetable oil samples were collected from different locations in Guigang from 2018 to 2022, and aflatoxin B₁ (AFB₁) was detected by post-column derivatization high performance liquid chromatography method in GB 5009.22 – 2016. The exposure risk of AFB₁ was assessed using margin of exposure (MOE) method and population risk of liver cancer method. The results showed that in 625 samples, the detection rate of AFB₁ was 96.80%, and the exceeded rate was 20.00%, among which all the packaged samples were qualified, and the exceeded rate of bulk samples was 31.97%. The detection rate of AFB₁ in peanut oil was 97.04%, and the exceeded rate was 24.70%, while the other edible vegetable oils were qualified. The exceeded rate of AFB₁ in samples collected from oil mills, grocery stores and street stalls was higher. The daily dietary exposure of AFB₁ in edible vegetable oil was 5.26 ng/kg, and the incidence risk of liver cancer caused by AFB₁ was 0.236 cases/100 000 people per year, of which bulk oil was 0.581 cases/100 000 people per year and peanut oil was 0.416

cases/100 000 people per year. The MOE value of edible vegetable oil was 76, of which bulk oil was 31, packaged samples were 625, peanut oil was 43, and other oils were 930. In conclusion,

收稿日期:2022-11-17;修回日期:2023-06-25

作者简介:睦世闰(1985),女,副主任技师,硕士,研究方向为食品卫生检验(E-mail)929341295@qq.com。

通信作者:覃春伟,副主任医师(E-mail)ggcdckyb@163.com。

the risk of AFB₁ contamination and exposure of bulk peanut oil in edible vegetable oils in Guigang is high, and there are certain potential risks of food safety. Supervision should be strengthened and corresponding measures should be taken to improve food safety.

Key words: aflatoxin B₁; edible vegetable oil; high performance liquid chromatography; risk assessment

据统计,我国食用植物油的人均消费量不断提高,我国居民的食用植物油人均年消费量从20世纪80年代的2.2 kg已提高到了2022年的26.6 kg^[1-2]。随着人们生活水平的提高,食用油的安全问题也引起了广泛关注,而黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFT)超标是食用植物油存在的主要安全问题之一。

AFT主要是由黄曲霉、寄生曲霉及集蜂曲霉等真菌代谢产生的一类二氢呋喃香豆素衍生物,农产品中天然污染的AFT包括B族和G族两大类,主要有黄曲霉毒素B₁(AFB₁)、黄曲霉毒素B₂(AFB₂)、黄曲霉毒素G₁(AFG₁)和黄曲霉毒素G₂(AFG₂)4种,其中以AFB₁最常见且污染水平最高。AFB₁广泛分布于各类农产品中,且以花生及其制品、玉米及其制品、大米和棉籽为重^[3]。AFT已被国际癌症研究机构列为人类1类致癌物^[4],其可增加慢性乙肝患者患肝癌的风险^[5],是促使亚洲肝细胞癌发展的危险因素之一^[6]。其中,AFB₁已被证实为毒性最大的致癌物质,其毒性为氰化钾的10倍,砒霜的68倍^[7],主要作用靶器官为肝脏,可造成肝脏损伤,引发肝炎、肝硬化、肝坏死等^[8-9]。

肝癌居广西恶性肿瘤死亡率及发病率的第一位^[10],已有相关文献^[11-15]对广西部分地区食用油中的AFB₁进行了调查分析及风险评估,但目前尚未有相关研究对贵港市食用植物油中AFB₁监测结果进行分析及暴露风险评估,因此本研究对贵港市食用植物油中AFB₁含量进行监测分析及暴露风险评估,了解其污染状况,并加以控制污染,以保证人民群众的健康,并为制定食品安全政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 样品来源

根据《创建广西食品安全城市项目》的要求于2018—2022年在广西贵港市各地采集样品(每个乡镇采集食用植物油样品5~15件),于2018—2019年在广西壮族自治区食品安全风险监测任务中采集样品,其中2018年共采集样品420件(每个乡镇随机采集约15件),2019年共采集样品125件(每个乡镇随机采集约5件);2020—2022年食品安全风险监测任务在贵港市采集的散装花生油样品80件。

散装油来源于个体花生油坊、街头摊点、杂货店,定型包装油来源于超市及杂货店,涉及花生油(506件)、调和油(82件)、玉米油(20件)、菜籽油(9件)、橄榄油(5件)、大豆油(1件)、葵花籽油(1件)、芝麻油(1件)各类日常食用植物油。

1.1.2 仪器与试剂

Ultimate 3000 高效液相色谱仪、Multifuge X1R 高速冷冻离心机、Qrion Star A211 pH计, Thermo Scientific 公司;GL-901 Vortex 振荡器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;AR522CN 电子天平,奥豪斯仪器有限公司;HY-4 调速多用振荡器,常州普天仪器制造有限公司;黄曲霉毒素总量免疫亲和柱,北京中科汇仁科技有限公司;NAI-DCY-12Y 水浴氮吹仪,上海那艾精密仪器有限公司;Mili-Q IQ 7005 超纯水制备系统,美国 Millipore 公司。

甲醇、苯、乙腈,色谱纯,美国 Fisher 公司;氯化钠、磷酸氢二钾、磷酸氢二钠、氯化钾,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;AFB₁标准品(3.00 mg/L),美国 O2si Smart Solutions 公司;实验用水均为一级水。

1.2 实验方法

1.2.1 样品中 AFB₁ 的检测与评价

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》^[16]中的高效液相色谱-柱后衍生法对采集的食用植物油进行 AFB₁ 检测。检测结果按照 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[17]进行评价,即花生油、玉米油中 AFB₁ 含量小于或等于 20 μg/kg 及其他植物油中 AFB₁ 含量小于或等于 10 μg/kg 视为合格。

1.2.2 膳食暴露水平及风险评估

1.2.2.1 暴露量评估

本次调查采用点评估法^[13-14,18]对贵港市居民食用植物油中 AFB₁ 膳食暴露量进行评估。通过食用植物油 AFB₁ 污染水平的平均值、居民消费量^[12,19]和标准人体质量(60 kg)计算通过食用植物油 AFB₁ 的膳食暴露量:膳食暴露量=食用植物油中 AFB₁ 污染水平×居民消费量/体质量。

1.2.2.2 人群风险分析

(1) 人群肝癌发病风险法

采用FAO/WHO食品添加剂联合专家委员会(JECFA)推荐的AFB₁危险程度评估方法对人群肝癌发病风险(r)进行评价,按公式(1)计算。

$$r = 0.3 \times P + 0.01 \times (1 - P) \quad (1)$$

式中: P 为乙肝病毒携带率;0.3与0.01分别为乙肝携带者与非乙肝携带者每日每千克体质量摄入1 ng AFB₁所致的肝癌发病率(以每年10万人人为基准计)^[14,20]。

以广西贵港市乙型肝炎表面抗原(Hepatitis B surface antigen, HBsAg)携带率11.99%^[21]计算,可推算出贵港市人群每千克体质量摄入1 ng AFB₁所致的肝癌发病风险为0.044 8例/(年·10万人)。根据贵港市人群AFB₁膳食暴露量即可计算出AFB₁致肝癌发病风险。

(2) 暴露限值(MOE)法

采用欧洲食品安全局(EFSA)提出的MOE评估AFB₁致癌毒性,MOE按公式(2)计算^[15,22]。

$$E_{MO} = L/E_{sp} \quad (2)$$

式中: E_{MO} 为MOE值; L 为AFB₁暴露后引发雄

性大鼠10%原发性肝癌发病率的基准剂量置信区间下限值(BMDL₁₀); E_{sp} 为AFB₁暴露量。

EFSA研究显示,以观察到肝癌细胞为终点,AFB₁引起雄性大鼠BMDL₁₀的最低剂量为0.4 μg/(kg·d)。当MOE > 10 000时认为对公众的影响较低;当MOE < 10 000时,可认为具有较高的公共卫生关注度,应当优先采取风险管理措施^[23]。MOE值越小,表明对人群造成危害的风险越高。

1.2.3 数据处理

对样品AFB₁含量小于检出限(LOD)的数据按1/2 LOD计算^[24-25],视为对检出率无影响;对大于LOD而小于定量限(LOQ)的数据按实际数值计算。本研究中AFB₁的LOD为0.03 μg/kg。采用SPSS 19.0软件进行数据统计分析,两样本率的比较及多个样本率的比较均采用卡方检验,以 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 食用植物油中AFB₁污染情况

2.1.1 不同年份样品中AFB₁污染情况

不同年份样品中AFB₁污染情况见表1。

表1 不同年份的样品中AFB₁污染情况

年份	样品数	检出数	检出率/%	超标数	超标率/%	污染水平/(μg/kg)			
						检出范围	平均值	标准差	P50
2018	420	403	95.95	86	20.48	0.015~205	14.97	28.56	2.46
2019	125	125	100.00	14	11.20	0.082~169	8.07	18.78	1.58
2020	25	24	96.00	8	32.00	0.15~138	21.82	30.12	10.12
2021	25	24	96.00	8	32.00	0.15~33.4	12.16	10.69	8.06
2022	30	29	96.67	9	30.00	0.15~35.4	12.05	11.19	8.05
合计	625	605	96.80	125	20.00	0.015~205	13.61	25.95	2.84

由表1可知:本次调查共检测食用植物油625件,AFB₁含量范围为0.015~205 μg/kg,平均含量为13.61 μg/kg,检出率为96.80%,超标率为20.00%,远远高于山东省食用植物油中AFB₁的检出率(44.5%)和超标率(7.2%)^[26]以及天津市食用植物油中AFB₁的检出率(23.00%)和超标率(4.00%)^[27],表明广西贵港市食用植物油的AFB₁检出率和超标率较高,污染更严重,本次调查结果与徐文静等^[28]的研究结果(广西的植物油样品中AFT污染较高)一致;2018年的样品中AFB₁检出率为95.95%,超标率为20.48%,2019年的样品中AFB₁检出率为100.00%,超标率为11.20%,2020年与2021年的样品中AFB₁检出率均为96.00%,超标率均为32.00%,2022年的样品中AFB₁检出率为

96.67%,超标率为30.00%;其他4个年份的样品中AFB₁超标率为2019年的1.8~2.9倍,造成这一结果的原因可能是2018年从街头摊贩和杂货店采样的比例比2019年的高,而2020—2022年的样品都是花生油和散装油,并且都是从油坊采样,其AFB₁污染水平可能较高。经检验,本研究中不同年份的样品中AFB₁超标率有统计学意义($\chi^2 = 12.485, p = 0.014, p < 0.05$)。

2.1.2 不同品种的样品中AFB₁污染情况

不同品种的样品中AFB₁污染情况见表2。

由表2可知:花生油中AFB₁检出率为97.04%,超标率为24.70%,高于全国土榨花生油AFB₁的检出率(44.44%)和超标率(11.11%)^[29]以及福建省花生油中AFB₁的检出率(74.1%)和超标率

(7.1%)^[30],而在与贵港市气候条件相似的广州市^[31]及南宁市^[14]发现 AFB₁ 在花生油中的超标率也较高,造成这一结果的原因主要是广西位于北回归线南侧,属于湿润的亚热带季风气候,高湿高温的气候很容易造成花生在种植、储存、加工过程中被 AFT 污染^[11,32],从而导致花生油中 AFB₁ 含量增高;其他食用植物油中 AFB₁ 检出率为 95.80%,超标率

为 0%,且 AFB₁ 含量远低于国标限值水平,这是因为其他食用植物油主要为来自正规厂家生产的定型包装油,正规厂家一般有完整的原料筛选、碱炼、吸附脱毒等生产加工工艺和质量控制流程,可以使 AFB₁ 降到很低的水平。经检验,本研究中不同品种的样品 AFB₁ 超标率有统计学意义($\chi^2 = 36.747, p < 0.001$)。

表 2 不同品种的样品中 AFB₁ 污染情况

植物油	样品数	检出数	检出率/%	超标数	超标率/%	污染水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
						检出范围	平均值	标准差	P50
花生油	506	491	97.04	125	24.70	0.015 ~ 205	16.54	28.05	4.61
其他	119	114	95.80	0	0.00	0.015 ~ 4.18	1.18	1.01	0.84
合计	625	605	96.80	125	20.00	0.015 ~ 205	13.61	25.95	2.84

2.1.3 不同包装方式的样品中 AFB₁ 污染情况

不同包装方式的样品中 AFB₁ 污染情况见表 3。

表 3 不同包装方式的样品中 AFB₁ 污染情况

包装类型	样品数	检出数	检出率/%	超标数	超标率/%	污染水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
						检出范围	平均值	标准差	P50
定型包装	234	218	93.16	0	0.00	0.015 ~ 4.86	1.22	1.07	0.89
散装	391	387	98.98	125	31.97	0.015 ~ 205	21.03	30.48	9.81
合计	625	605	96.80	125	20.00	0.015 ~ 205	13.61	25.95	2.84

由表 3 可知:定型包装油中 AFB₁ 检出率为 93.16%,超标率为 0%,污染水平较低,远低于国标限量值;散装油中 AFB₁ 检出率为 98.98%,超标率为 31.97%,散装油中 AFB₁ 平均污染水平为 21.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$,约为定型包装油的 17 倍。经检验,不同包装方式的样品中 AFB₁ 超标率有统计学意义($\chi^2 = 93.510, p < 0.001$)。本次调查结果显示贵港市定型包装油 AFB₁ 均为合格,超标样品均为散装油,这与李昕^[26]、林玉娜^[31]等的研究结果一致。分析发现,本研究中超标率高的散装花生油主要来源于油坊、

杂货店、街头摊点等非正规厂家,且杂货店和街头摊点的散装油均来自油坊,都未贴任何产品标签。现场调查发现,由于油坊的原料储存不当,原料一般未经过筛选,且榨油工艺相对落后,榨油设备未清洗彻底,残留的油渍及花生残渣会产生霉变,甚少进行脱毒处理,因此无法去除因原料霉变引发的 AFT 污染,从而使得贵港市散装花生油中 AFB₁ 污染严重。

2.1.4 不同采样点样品中 AFB₁ 污染情况

不同采样点样品中 AFB₁ 污染情况见表 4。

表 4 不同采样点样品中 AFB₁ 污染情况

采样点	样品数	检出数	检出率/%	超标数	超标率/%	污染水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
						检出范围	平均值	标准差	P50
油坊	355	351	98.87	115	32.39	0.015 ~ 205	20.91	29.78	10.12
街头摊点	7	7	100.00	1	14.29	0.015 ~ 102	15.42	38.21	0.68
杂货店	53	53	100.00	9	16.98	0.015 ~ 158	13.81	29.73	2.52
小超市	39	36	92.31	0	0.00	0.015 ~ 4.18	1.21	1.16	0.66
大型超市	171	158	92.40	0	0.00	0.015 ~ 4.16	1.16	1.01	0.91
合计	625	605	96.80	125	20.00	0.015 ~ 205	13.61	25.95	2.84

由表 4 可知:来自油坊的样品中 AFB₁ 检出率为 98.87%,超标率为 32.39%;来自街头摊点的样品中 AFB₁ 检出率为 100%,超标率为 14.29%;来自杂货店的样品中 AFB₁ 检出率为 100%,超标率为 16.98%;来自小超市的样品中 AFB₁ 检出率为 92.31%,超标率为

0%;来自大型超市的样品中 AFB₁ 检出率为 92.40%,超标率为 0%。来自油坊的样品中 AFB₁ 超标率最高,其次为杂货店和街头摊点。经检验,不同采样点样品的 AFB₁ 超标率有统计学意义($\chi^2 = 87.029, p < 0.001$)。

2.2 贵港市食用植物油中 AFB₁膳食暴露情况与暴露风险评估

贵港市食用植物油中 AFB₁暴露风险评估见表5。

表5 贵港市食用植物油中 AFB₁暴露风险评估

样品类型	AFB ₁ 污染水平/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	消费量/(g/d)	日膳食暴露量/ (ng/kg)	AFB ₁ 致 肝癌发病风险/ (例/(年·10万人))	MOE
花生油	16.54	33.70	9.29	0.416	43
其他油	1.18	21.70	0.43	0.019	930
散装	21.03	37.00	12.97	0.581	31
定型包装	1.22	31.44	0.64	0.029	625
合计	13.61	23.20	5.26	0.236	76

由表5可知:贵港市居民食用植物油中 AFB₁日膳食暴露量为 5.26 ng/kg, 远远高于云南省植物油 AFB₁日膳食暴露量 (0.09 ng/kg)^[18];花生油中 AFB₁日膳食暴露量为 9.29 ng/kg, 其他食用植物油中 AFB₁日膳食暴露量为 0.43 ng/kg, 花生油中 AFB₁日膳食暴露量约是其他食用植物油的 22 倍;散装油中 AFB₁日膳食暴露量为 12.97 ng/kg, 定型包装油中 AFB₁日膳食暴露量为 0.64 ng/kg, 散装油中 AFB₁日膳食暴露量约是定型包装油的 20 倍;贵港市居民通过摄入被 AFB₁污染的食用植物油引发的肝癌安全风险为 0.236 例/(年·10万人), 其中:散装油为 0.581 例/(年·10万人), 定型包装油为 0.029 例/(年·10万人);花生油为 0.416 例/(年·10万人);其他食用植物油为 0.019 例/(年·10万人)。可见,散装油及花生油中 AFB₁罹患肝癌发病风险较高。JECFA 第 49 次会议指出,每百万人中增加一个癌症病例是可以被接受的风险^[14],因此贵港市居民通过摄入被 AFB₁污染的食用植物油引起的肝癌安全风险是不可以被接受的,特别是散装油及花生油引发的肝癌发病风险尤其高。由表5还可知,贵港市居民通过摄入 AFB₁污染的食用植物油的 MOE 值为 76,其中散装油和定型包装油的 MOE 值分别为 31 和 625,花生油和其他食用植物油的 MOE 值分别为 43 和 930,MOE 值均低于 10 000,说明贵港市食用植物油对人群造成的风险较大,特别是散装的花生油,具有较高的公共卫生关注度。

3 结论

贵港市食用植物油中 AFB₁污染较为严重,主要污染源为散装的花生油,约 90% 的超标样品来自油坊,且散装花生油中 AFB₁的暴露风险最高,存在一定的食品安全潜在风险。建议政府相关部门重点加强对油坊、街头摊点及杂货店销售散装花生油的监管力度,对生产或出售不合格产品的油坊、街头摊

点、杂货店等严厉处罚;并加强开展 AFT 危害、榨油原料的防霉去毒、榨油设备清洗等宣传教育力度,特别是在乡镇以及农村地区积极开展宣传教育工作;同时,推广榨油新工艺,对不合格的油坊要进行整改或取缔。本次调查结果由政府相关部门合理监管食用植物油提供相关参考依据的同时,也提示贵港市消费者购买食用植物油时应尽量购买定型包装产品。

参考文献:

- [1] 王佳雅, 尚艳娥, 王利丹, 等. 2014—2016 年北京市市售食用植物油质量调查分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(6):85-89.
- [2] 王瑞元. 2022 年我国粮油产销和进出口情况[J]. 中国油脂, 2023, 48(6):1-7.
- [3] 王竹天. 食品卫生检验方法(理化部分)注解[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] ZUCKERMAN J A. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans[J/OL]. J Clin Pathol, 1995, 48(7): 691 [2022-11-17]. <http://dx.doi.org/10.1136/jcp.48.7.691-a>.
- [5] GROOPMAN J D, KENSLER T W, WILD C P. Protective interventions to prevent aflatoxin-induced carcinogenesis in developing countries[J]. Annu Rev Pub Health, 2008, 29(1):187-203.
- [6] SCHOLL P F, GROOPMAN J D. Long-term stability of human aflatoxin B₁ albumin adducts assessed by isotope dilution mass spectrometry and high-performance liquid chromatography-fluorescence[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2008, 17(6):1436-1439.
- [7] 高大威. 粮食和饲料中的黄曲霉毒素[J]. 黑龙江粮食, 2003(2):45-46.
- [8] EATON D L, GROOPMAN J D. The toxicology of aflatoxins: human health, veterinary, and agriculture significance[M]. San Diego: Academic Press, 1994: 309-325.
- [9] PEERS F G, LINSELL C A. Dietary aflatoxins and human liver cancer - a population study based in Kenya[J]. Brit J

- Cancer, 1976, 27:473-484.
- [10] 李秋林, 曹骥, 容敏华, 等. 2016年广西肿瘤登记地区恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. 中国癌症防治杂志, 2020, 12(1):44-51.
- [11] 滕南雁, 宋宁宁, 刘涛. 广西地区市售食用植物油和大米中黄曲霉毒素 B₁ 的采样调查和分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6):1531-1532.
- [12] 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 B₁ 的暴露风险[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(4):496-499.
- [13] 石萌萌, 梁江, 赵鹏, 等. 广西居民膳食中黄曲霉毒素暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(4):432-436.
- [14] 王春双, 范云燕, 龙兮, 等. 南宁市粮油食品中黄曲霉毒素 B₁ 的暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2020, 47(2):252-255.
- [15] 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 B₁ 膳食暴露及风险评估[J]. 中国油脂, 2022, 47(1):131-136.
- [16] 食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定: GB 5009.22—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 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.
- [18] 胡文敏, 董海燕, 宁忻, 等. 云南省部分食品黄曲霉毒素 B₁ 膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15):5215-5219.
- [19] 唐振柱. 广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2018.
- [20] Evaluation of certain food additives and contaminants. Forty - ninth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives [M]. Geneva: WHO, 1999.
- [21] 陈启煌. 广西贵港地区肝癌筛查及乙型肝炎病毒基因型分布研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2017.
- [22] Risk assessment of aflatoxins in food[J/OL]. EFSA J, 2020, 18(3):6040 [2021-02-03]. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2020.6040>.
- [23] Opinion of the scientific committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic[J]. EFSA J, 2005, 282:1-31.
- [24] 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, 36(4):278-279.
- [25] 全国卫生专业资格考试专家委员会. 预防医学技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [26] 李昕, 秦泽明, 张维嘉, 等. 2015年山东部分地区食用植物油中黄曲霉毒素 B₁ 和玉米赤霉烯酮污染状况调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1):198-203.
- [27] 张毅, 林肖惠, 夏义平, 等. 2017年天津市市售植物油部分真菌毒素污染状况[J]. 职业与健康, 2018, 34(24):3353-3356.
- [28] 徐文静, 刘丹, 韩小敏, 等. 2015年我国部分地区市售食用植物油中黄曲霉毒素污染调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(1):63-68.
- [29] 杨博磊, 张秀娟, 王刚, 等. 我国土榨花生油黄曲霉毒素 B₁ 及圆弧偶氮酸毒素污染调查[J]. 中国油脂, 2020, 45(9):34-37.
- [30] 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.
- [31] 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 B₁ 的污染调查分析[J]. 医学动物防制, 2019, 35(7):694-696.
- [32] 胡振, 周芳华, 韦波. 2016—2017年广西食用植物油质量安全监测评价分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(2):91-94.

(上接第 76 页)

- [11] LÜ X F, MA J Y, YAN H Q, et al. Effect of degree of ripening on the quality of virgin olive oils produced in Longnan, China [J]. J Am Oil Chem Soc, 2021, 98(11):1-12.
- [12] 石旭东, 蒋红. 食用植物油中酸价 过氧化值的探讨与研究[J]. 农产品加工, 2021, 536(9):63-68.
- [13] CONDE C, DELROT S, GERÓS H. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening[J]. J Plant Physiol, 2008, 165(15):1545-1562.
- [14] 程子彰, 贺靖舒, 占明明, 等. 油橄榄果生长与成熟过程中油脂的合成[J]. 林业科学, 2014, 50(5):123-131.
- [15] 陈坤明 宫海军, 王锁民. 植物谷胱甘肽代谢与环境胁迫[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6):1119-1130.
- [16] PINOT F, BEISSON F. Cytochrome P450 metabolizing fatty acids in plants: characterization and physiological roles[J]. FEBS J, 2011, 278(2):195-205.
- [17] SPECTOR A A, KIM H Y. Cytochrome P450 epoxygenase pathway of polyunsaturated fatty acid metabolism [J]. Biochim Biophys Acta, 2015, 1851(4):356-365.
- [18] MCLEAN K J, HANS M, MUNRO A W. Cholesterol, an essential molecule; diverse roles involving cytochrome P450 enzymes [J]. Biochem Soc Trans, 2012, 40(3):587-593.
- [19] HAN J Y, KIM H J, KWON Y S, et al. The Cyt P450 enzyme CYP716A47 catalyzes the formation of protopanaxadiol from dammarenediol - II during ginsenoside biosynthesis in Panax ginseng [J]. Plant Cell Physiol, 2011, 52(12):2062-2073.
- [20] 李翔宇, 王助乾, 孙春玉, 等. 植物细胞色素 P450s 及其在植物新陈代谢中的作用[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(13):129-134.