

风险评估

广西居民膳食中黄曲霉毒素暴露风险评估

石萌萌¹, 梁江², 赵鹏¹, 钟延旭¹, 蒋玉艳¹

(1. 广西壮族自治区疾病预防控制中心, 广西南宁 530028;

2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

摘要:目的 评估广西居民膳食中黄曲霉毒素的暴露水平及潜在健康风险。方法 利用2013—2017年广西食品安全风险监测黄曲霉毒素含量数据、2012年广西居民营养与健康状况调查数据,采用简单分布评估和暴露限值(MOE)方法计算膳食中黄曲霉毒素暴露水平和致癌风险。结果 广西居民膳食中黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)的每日平均暴露量和高暴露量(P95)分别为10.38和25.49 ng/kg BW,其MOE值分别为16和7;通过膳食摄入黄曲霉毒素致原发性肝癌(HCC)平均发病风险为0.37例/10万人,高暴露人群致HCC发病风险为0.92例/10万人。油脂类及其制品(主要是花生油)是居民膳食中AFB₁暴露的主要来源,贡献率高达72.17%;假设严格执行限量标准情况下,AFB₁平均暴露量降至5.13 ng/kg BW,降幅为50.58%。结论 低年龄儿童和油脂类及其制品在控制广西居民膳食中黄曲霉毒素暴露水平和致癌发病风险中是不可忽视的重点人群和重点食品,应给予较高的关注度。

关键词:黄曲霉毒素;暴露;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2020)04-0432-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2020.04.016

Dietary exposure assessment of aflatoxins of residents in Guangxi

SHI Mengmeng¹, LIANG Jiang², ZHAO Peng¹, ZHONG Yanxu¹, JIANG Yuyan¹

(1. Guangxi Zhuang Autonomous Region Center for Disease Control and Prevention, Guangxi Nanning 530028, China; 2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To evaluate the exposure of aflatoxins and their potential health risks of residents in Guangxi.

Methods The concentration data of aflatoxins from food safety monitoring in Guangxi in 2013-2017 and the food consumption data from nutrition and health investigation in 2012 were obtained. Based on deterministic assessment model and margin of exposure (MOE), the dietary exposure to projected risks for liver cancer was calculated. **Results** The average dietary exposure and the highly exposure (P95) of aflatoxins B₁ (AFB₁) were 10.38 and 25.49 ng/kg BW, respectively. The MOE values were 16 and 7, the average risk for hepatocellular carcinoma (HCC) was 0.37 cases/10⁵ people, and the risk for HCC in highly exposed was 0.92 cases /10⁵ people. It was indicated that the main dietary sources of AFB₁ were vegetable oil (mainly peanut oil), which was contributed more than 72.17%. Assuming that the standard limit was strictly implemented, the average exposure of AFB₁ was 5.13 ng/kg BW, with a 50.58% reduction. **Conclusion** It should be paid more attention to the potential health risks caused by dietary exposure of AFB₁ of residents in Guangxi, especially the low age group and vegetable oils.

Key words: Aflatoxins; exposure; risk assessment

黄曲霉毒素(aflatoxins, AFs)是由黄曲霉、特曲霉和寄生曲霉等产生的一类含有二氢呋喃环结构

的次生代谢产物,食物中常见的包括黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)、黄曲霉毒素 B₂(AFB₂)、黄曲霉毒素 G₁(AFG₁)、黄曲霉毒素 G₂(AFG₂)等,且被国际癌症研究机构(IARC)列为I类致癌物质^[1]。天然产生的黄曲霉毒素可广泛污染各类农产品、食品及动物饲料等,且具有典型的地域分布特征,一般在热带和亚热带地区污染较严重。广西作为原发性肝癌(hepatocellular carcinoma, HCC)高发地区^[2]和黄曲霉毒素重点污染的亚热带地区,居民膳食中黄

收稿日期:2020-05-19

基金项目:广西壮族自治区卫生厅自筹经费科研课题(Z20190215);
广西医疗卫生适宜技术开发与推广应用项目(S2017068)

作者简介:石萌萌 女 主管医师 研究方向为食品安全风险评估
和食源性疾病 E-mail:897665390@qq.com

通信作者:蒋玉艳 女 副主任医师 研究方向为食品安全风险评估
E-mail:190819695@qq.com

曲霉毒素暴露导致的健康危害不容忽视,且近年来频发的散装花生油 AFB₁ 超标事件,引起社会的广泛关注。为了解广西地区居民膳食中 AFB₁ 暴露情况,掌握其潜在的健康风险,本研究对广西居民膳食中 AFB₁ 污染情况分析并进行风险评估。

1 材料与方法

1.1 数据来源

食品中 AFB₁ 的含量数据来自 2013—2017 年广西食品安全风险监测数据,共计监测样品 3 668 份。监测食品种类包括豆类及其制品、谷物及其制品、坚果及其籽类、油脂类、调味品、酒类等。各地所检测的样品均为当地市场销售的食品,采样地点覆盖超市、农贸市场和油料小作坊等。食品中黄曲霉毒素检测方法按照 GB/T 18979—2003《食品中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析净化高效液相色谱法和荧光光度法》^[3] 检测样品分析,检测限(LOD)为 0.02 μg/kg。按 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[4] 进行食品中 AFB₁ 超标情况的判定。

食物消费量数据来自 2012 年广西居民营养与健康状况调查,采用多阶段分层整群随机抽样的方法,通过连续 3 d 24 h 膳食回顾法,共获得 1 823 名 6 岁及以上个体的体重数据和消费量数据。

1.2 方法

1.2.1 膳食暴露评估

本研究采用简单分布评估的方法,计算每个个体每日每公斤体重 AFB₁ 膳食暴露量,计算公式为:

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{(Fi \times Ci)}{1\,000 \times W}$$

其中,Exp 为某个体每日每公斤体重 AFB₁ 暴露量,μg/kg BW;Fi 为被调查人群每天第 i 种食品的平均消费量,g/d;Ci 为第 i 种食品中 AFB₁ 的平均含量,μg/kg;W 为某个体的体重,kg。

根据人群食物消费模式,将全人群分为 6~10、11~18、19~64 及 ≥65 岁以上共 4 个年龄段。通过上述公式计算,最终可获得 1 823 名 6 岁及以上调查对象 AFB₁ 暴露量的分布,并计算全人群不同年龄段人群 AFB₁ 暴露量的均值和不同百分位数的暴露量。P95 反映了该类食物高消费人群 AFB₁ 暴露量。

1.2.2 风险描述

暴露限值(MOE)评估方法:根据联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)报告,针对遗传毒性致癌物,以引发 HCC 作为毒性效应终点评估人群摄入黄曲霉毒素的风险,通过推算 AFB₁ 的 BMDL₁₀(肝癌发生率为 10%

的 95% 基准剂量置信区间下限值)为每天 170 ng/kg BW, MOE = BMDL₁₀/Exp_{AFB₁}。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,应当优先采取风险管理措施^[5]。

JECFA 推导出 AFB₁ 的危害程度:当黄曲霉毒素的暴露量为 1 ng/kg BW 时,乙肝表面抗原(HBsAg)阴性者中 HCC 的发生率为 0.01 例/10 万人,HBsAg 阳性者中 HCC 的发生率为 0.3 例/10 万人^[6],设定 P 为人群乙肝病毒感染率,平均致癌风险 = 0.01(1-P) + 0.3P。按照广西人群乙肝病毒携带率 8.80%^[2] 计算,平均致癌风险为 0.036,即每 10 万人中,每日每公斤体重摄入 1 ng 的 AFB₁,导致肝癌发病率为 0.036 例/10 万人。

1.2.3 数据处理

按照世界卫生组织全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第二次会议关于“食品中低水平污染物可信评价”中对未检出数据的处理原则^[7],对 AFB₁ 未检出数据赋予 1/2LOD 值进行统计。

1.3 统计学分析

采用 Excel 2010 建立数据库,应用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 各类食品中 AFB₁ 含量分析

各类食品中 AFB₁ 的检出率范围为 0.00% ~ 71.33%,其中花生油的 AFB₁ 含量均值最高,为 22.37 μg/kg,高于国家限量标准(20 μg/kg),其检出率为 71.33%(1 376/1 929),超标率为 28.20%(544/1 929);其次为花生及其制品,AFB₁ 含量均值为 10.11 μg/kg,检出率为 27.10%(42/155),超标率为 2.58%(4/155)。其他豆类及其制品、发酵酒、酱油和酿造酱均未检出 AFB₁,见表 1。

2.2 含黄曲霉毒素食品的消费量分析

广西居民膳食中各类食品的食用率为 0.38% ~ 100.00%,其中大米的平均消费量最高为 249.71 g/d,其次是小麦粉及其制品 21.82 g/d,见表 2。

2.3 广西居民全人群膳食中 AFB₁ 暴露水平及来源

结果显示,广西居民全人群膳食中 AFB₁ 平均暴露量为 10.38 ng/kg BW,其中 6~10 岁年龄组 AFB₁ 平均暴露量最高,为 17.41 ng/kg BW,见表 3。广西地区居民膳食中 AFB₁ 主要来源是油脂及其制品,贡献率高达 72.17%,见图 1。

表1 各类食品中 AFB₁ 的含量分析Table 1 Analysis of AFB₁ levels in food

食品分类	样品份数	检出份数 (%)	超标份数 (%)	AFB ₁ 含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
				均值	中位数	P95	最大值	
豆类及其制品	干豆	73	7 (9.59)	0 (0.00)	3.53	0.10	1.03	247.00
	其他豆类及其制品	8	0 (0.00)	0 (0.00)	0.09	0.00	—	0.25
谷物及其制品	大米	110	35 (31.82)	0 (0.00)	0.23	0.10	0.86	4.07
	小麦粉及其制品	458	106 (23.14)	9 (1.97)	1.36	0.25	3.34	109.00
	玉米及其制品	386	129 (33.42)	15 (3.89)	3.79	0.25	17.88	198.00
	其他谷类	50	7 (14.00)	0 (0.00)	0.21	0.05	0.70	0.87
坚果及籽类	花生及其制品	155	42 (27.10)	4 (2.58)	10.11	0.05	11.72	555.00
	熟制坚果与籽类	44	4 (9.09)	0 (0.00)	0.21	0.25	1.06	1.42
酒类	发酵酒	30	0 (0.00)	0 (0.00)	0.02	0.02	—	0.02
	酱油	24	0 (0.00)	0 (0.00)	0.02	0.02	—	0.02
调味品	酿造酱	7	0 (0.00)	0 (0.00)	0.02	0.02	—	0.02
	香辛料类	78	7 (8.97)	0 (0.00)	0.25	0.02	1.58	9.56
油脂及其制品	花生油	1 929	1 376 (71.33)	544 (28.20)	22.37	6.98	91.55	950.00
	其他植物油	281	94 (33.45)	30 (10.68)	4.20	0.30	23.66	95.20
	玉米油	35	13 (37.14)	0 (0.00)	0.90	0.25	—	2.80

注:括号中数值为检出率或超标率;—为该类食品样品数少,无法计算 P95

表2 广西全人群相关食品消费情况($n=1\ 823$)

Table 2 Analysis of daily consumption of food of Guangxi

食品分类	食用人数	食用率/%	消费量/(g/d)					最大值
			均值	P50	P95	P97.5	P99	
干豆	121	6.64	1.40	0.00	8.31	19.65	33.62	85.19
其他豆类及其制品	808	44.32	7.75	0.00	37.98	53.30	75.02	232.95
大米	1 823	100.00	249.71	234.01	472.98	523.72	582.21	752.84
小麦粉及其制品	754	41.36	21.82	0.00	99.65	127.93	160.95	337.69
玉米及其制品	377	20.68	4.37	0.00	27.03	45.44	71.96	163.77
其他谷类	398	21.83	8.37	0.00	50.00	75.67	119.20	725.00
花生及其制品	339	18.60	3.30	0.00	19.42	35.16	52.55	134.41
熟制坚果及籽类	342	18.76	4.40	0.00	26.64	50.00	76.05	200.00
酒类	114	6.25	8.76	0.00	33.33	100.00	250.00	750.00
酱油	7	0.38	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
酿造酱	591	32.42	2.87	0.00	14.90	22.32	32.96	71.10
油脂及其制品	1 270	69.67	19.36	18.30	52.10	64.60	87.48	134.50

表3 广西居民不同年龄段膳食中 AFB₁ 暴露量Table 3 Dietary exposure of AFB₁ in different age groups in Guangxi residents

年龄分段	人数	暴露量/(ng/kg BW)					最大值
		均值	P50	P95	P97.5	P99	
6~10岁	97	17.41	14.97	39.32	48.69	55.07	66.43
11~18岁	116	14.38	15.39	30.40	35.97	39.44	39.56
19~64岁	1 239	9.33	8.75	22.19	25.81	31.87	54.85
≥65岁	371	10.81	9.91	23.56	29.78	43.92	47.70
全人群	1 823	10.38	9.41	25.49	30.26	38.89	66.43

2.4 严格执行限量标准后广西居民膳食中 AFB₁ 暴露水平及来源

假设严格执行限量标准情况下,市场上不存在超标食品,对所有超标样品 AFB₁ 含量赋予标准规定的限量值进行统计,在该污染水平下,评估广西居民全人群 AFB₁ 平均暴露量降至 5.13 ng/kg BW, 致癌风险为 0.18 例/10 万人,降幅均为 50.58%, MOE 值为 33,详见表 4~6。贡献率最高的仍为油脂及其制品 (60.91%),其次是大米和小麦粉及其制

品,见图 2。

3 讨论

广西地区居民膳食中 AFB₁ 的平均暴露水平为 10.38 ng/kg BW, 与全国黄曲霉毒素暴露水平比较^[8],按照标准人均体重 60 kg 计算,略低于全国水平 (11.09 ng/kg BW),P95 暴露水平 (25.49 ng/kg BW) 远低于全国水平 (413.12 ng/kg BW) 且 10 岁以下年龄段人群膳食中 AFB₁ 暴露风险较高,需要

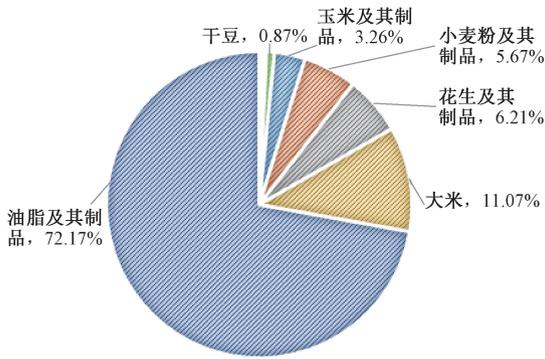


图 1 广西居民全人群膳食中 AFB₁ 暴露的各类食品贡献率

Figure 1 Contribution of different foods to dietary exposure of AFB₁ in Guangxi general population

给予较高的关注度。

油脂及其制品是广西地区膳食中 AFB₁ 暴露的主要贡献食品,程恒怡等^[9] 调查结果表明广西居民花生油消费量为 33.77 g/d,高于膳食宝塔建议的 25 g/d,尤其是散装花生油污染情况远高于定型包装^[9-11],由于广西当地散装花生油多来自于小作坊,从原料至成品的加工工艺都存在一定的食品安全隐患,应采取优先风险管理措施。

根据 JECFA 第 49 次会议推导出黄曲霉毒素致 HCC 的能力,广西居民通过膳食摄入黄曲霉毒素致 HCC 平均发病风险和 P95 发病风险分别为 0.37 和 0.92 例/10 万人,均高于全国肝癌发病率风险(平均

表 4 严格执行限量标准后 AFB₁ 的含量变化

Table 4 Content change of AFB₁ after strict implementation of limited standard

食品类别	样品份数	检出份数	检出率/%	AFB ₁ 含量/(μg/kg)		
				均值	最大值	
豆类及其制品	干豆	73	7	9.59	3.53	247.00
	其他豆类及其制品	8	0	0.00	0.09	0.25
谷物及其制品	大米	110	35	31.82	0.23	4.07
	小麦粉及其制品*	458	106	23.14	0.92	5.00
	玉米及其制品*	386	129	33.42	2.22	20.00
	其他谷类	50	7	14.00	0.21	0.87
坚果及籽类	花生及其制品*	155	42	27.10	1.44	20.00
	熟制坚果与籽类	44	4	9.09	0.21	1.42
酒类	发酵酒	30	0	0.00	0.02	0.02
	酱油	24	0	0.00	0.02	0.02
调味品	酿造酱	7	0	0.00	0.02	0.02
	香辛料类	78	7	8.97	0.25	9.56
油脂及其制品	花生油*	1 929	1 376	71.33	9.31	20.00
	其他植物油*	281	94	33.45	1.79	10.00
	玉米油	35	13	37.14	0.90	2.80

注: * 为 AFB₁ 含量均值下降的食品类别

表 5 严格执行限量标准后膳食中 AFB₁ 暴露量

Table 5 Dietary exposure of AFB₁ after strict implementation of the limit standard

年龄分段	人数	暴露量 (ng/kg BW)					
		均值	P50	P95	P97.5	P99	最大值
6~10 岁	97	8.65	7.74	19.32	22.04	23.58	25.69
11~18 岁	116	7.15	6.88	13.98	17.40	19.73	19.95
19~64 岁	1 239	4.63	4.21	10.08	12.13	14.77	24.07
≥65 岁	371	5.24	4.89	10.50	13.49	19.90	20.93
全人群	1 823	5.13	4.58	11.93	14.02	17.33	25.69

表 6 严格执行限量标准对广西居民膳食中 AFB₁ 暴露致癌风险的影响

Table 6 Effect of strict implementation of limits on the carcinogenic risk of dietary AFB₁ exposure of Guangxi residents

类别	暴露水平		MOE		发病风险			下降幅度 /%
					HBsAg- / (例/10 万人)	平均 / (例/10 万人)	HBsAg+ / (例/10 万人)	
	执行前/后 / (ng/kg BW)	下降幅度 /%	执行前/后	上升幅度 /%	执行前/后	执行前/后		
均值	10.38/5.13	50.58	16/33	102.34	0.10/0.05	0.37/0.18	3.11/1.54	50.58
P95	25.49/11.93	53.19	7/14	113.62	0.25/0.12	0.92/0.43	7.65/3.58	53.19
最大值	66.43/25.69	61.32	3/7	158.54	0.66/0.26	2.39/0.92	19.93/7.71	61.32

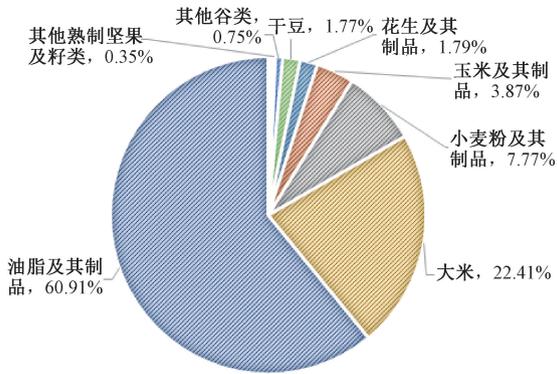


图2 严格执行 AFB₁ 限量标准后广西居民全人群膳食中 AFB₁ 暴露的各类食品贡献率

Figure 2 Contribution of different foods to dietary exposure of AFB₁ in general population after full compliance with AFB₁ standard of Guangxi residents

为 0.35 例/10 万人, P95 为 0.40 例/10 万人)^[12]。而对于 HBsAg 阳性患者致 HCC 平均发病风险为 3.11 例/10 万人, 是平均发病风险近 10 倍, 广西作为肝癌高发区, 肝癌的发病率位居全国第二, 其发病率为 41.66 例/10 万人^[13], HBsAg 阳性患者致 HCC 发病风险占全人群发病率贡献比为 7.46%, 提示因膳食摄入黄曲霉毒素致 HCC 患病风险不容忽视。若严格执行限量标准后, HBsAg 阳性患者通过膳食摄入 AFB₁ 致 HCC 风险减少至少至 1.54 例/10 万人, 降幅为 50% 以上。为了更最大限度地保护人群健康, 降低人群致癌风险, 有必要持续采取有效的执法措施降低食品中 AFB₁ 含量, 特别是散装花生油、坚果及籽类和谷物及其制品等。为相关监管部门制定科学高效的管理措施提供数据支撑, 对建立符合广西地区黄曲霉毒素污染状况的优先风险管理具有重要意义。但由于黄曲霉毒素是强遗传毒性和致癌性物质, 国际上施行合理可行尽量低 (ALARA) 原则, 即能合理达到的最低含量, 因此应减少因膳食摄入而导致患病风险, 从源头上降低人群暴露健康风险。

本次研究存在一定的不确定性, 首先未纳入谷类及其制品加工过程的影响, 在一定水平上高估暴露水平; 其次, 不同年限检测方法、检验仪器和检验能力都有一定程度的差异; 此外, 未考虑所有食品

和其他来源中 AFB₁ 的污染水平, 在一定程度上低估了暴露水平。针对以上不确定性, 还需要进一步开展研究工作。

参考文献

- [1] International Agency for Research on Cancer. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene, and styrene [J]. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2002, 82: 1-556.
- [2] 陈钦艳, 方钟燦, 杨益超, 等. 广西乙型肝炎病毒感染和肝功能情况调查 [J]. 广西医学, 2013, 35(11): 1433-1437.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 食品中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析净化高效液相色谱法和荧光光度法: GB/T 18979—2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [4] 中华人民共和国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.
- [5] EFSA (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]. The EFSA Journal, 2007, 446: 1-127.
- [6] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. WHO Technical Report Series, 1999: 884.
- [7] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO, 1995.
- [8] 王君, 刘秀梅. 中国人群黄曲霉毒素膳食暴露评估 [J]. 中国食品卫生杂志, 2007, 19(3): 238-240.
- [9] 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): 496-498.
- [10] 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): 63-67.
- [11] 刘展华, 唐振柱, 钟延旭, 等. 2014 年广西城乡食用植物油黄曲霉毒素 B₁ 污染水平调查 [J]. 应用预防医学, 2015, 21(6): 377-380.
- [12] 张宸. 我国主要食品中黄曲霉毒素 B₁ 调查与风险评估 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2008.
- [13] 李秋林, 余家华, 容敏华, 等. 2013 年广西肿瘤登记地区肝癌发病与死亡分析 [J]. 中国癌症防治杂志, 2017, 9(6): 462-467.