

风险评估

广东省常见发酵茶中黄曲霉毒素 B₁ 污染现状及暴露评估周少君¹,黄湘东¹,汪廷彩²,陈子慧³,方磊¹,熊含鸿²,纪桂元³,邓小玲¹,张永慧¹(1. 广东省疾病预防控制中心,广东广州 511430; 2. 广东省食品检验所,广东广州 510160;
3. 广东省公共卫生研究院,广东广州 511430)

摘要:目的 了解广东省市售包括黑茶、红茶、乌龙茶等发酵茶中黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 的污染含量水平,并评估其饮用健康风险。方法 按照简单随机抽样方法确定样品量,在广东省 4 个片区选取 9 个地市的超市商店、批发市场、茶叶行等市售环节以及网店,分别采集黑茶、红茶、乌龙茶等发酵茶类样品共 260 份,按 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》第一法同位素稀释-液相色谱-串联质谱法测定其中的 AFB₁ 含量。运用暴露限值(MOE)法和数学模型法,结合 2012 年广东省居民营养与健康状况调查数据、AFB₁ 浸出率数据,评估人群从饮用茶叶摄入 AFB₁ 的膳食暴露量情况。结果 260 份发酵茶类样品中 AFB₁ 的总体检出率为 1.15% (3/260),检出值范围为 0.26~0.56 μg/kg。3 份检出 AFB₁ 的样品均为普洱茶熟茶样品。3 种发酵茶类别间的检出率差异无统计学意义 ($P>0.05$)。代入发酵茶中 AFB₁ 的含量平均值计算,广东省总人群、广东省茶叶消费人群经茶叶摄入 AFB₁ 的平均膳食暴露量分别为 0.000 352、0.000 981 ng/kg BW;代入 AFB₁ 含量最大值计算的膳食暴露量为 0.005 73、0.016 0 ng/kg BW。MOE 值均 >10 000,按欧洲食品安全局推荐的 MOE 结果判定依据,表明广东省居民经茶叶摄入的 AFB₁ 对健康造成危害的风险低。以广东省人群乙肝表面抗原 (HBsAg) 阳性率为 11.1% 计算,广东省人群由于茶叶 AFB₁ 的膳食暴露引发肝癌的风险为 0.000 010 9~0.000 674 例/10 万人,表明目前茶叶中的 AFB₁ 对广东省居民产生的健康风险低。结论 广东省市售发酵茶中 AFB₁ 的检出率低、检出值低,对广东省总人群和茶叶消费人群的平均膳食暴露风险低,具有较高的饮用安全性。

关键词:发酵茶;普洱茶;黄曲霉毒素 B₁;暴露评估;茶叶;食品安全

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2018)01-0093-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2018.01.020

Contamination levels and exposure assessment of aflatoxin B₁ in fermented tea from Guangdong ProvinceZHOU Shao-jun¹, HUANG Xiang-dong¹, WANG Ting-cai², CHEN Zi-hui³, FANG Lei¹,
XIONG Han-hong², JI Gui-yuan³, DENG Xiao-ling¹, ZHANG Yong-hui¹

(1. Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Guangzhou 511430, China; 2. Guangdong Provincial Institute of Food Inspection, Guangdong Guangzhou 510160, China; 3. Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Guangzhou 511430, China)

Abstract: Objective To investigate the contamination levels of aflatoxin B₁ (AFB₁) in fermented tea, including dark tea, black tea and oolong tea, and evaluate their health risk. **Methods** The sampling was determined by the simple random sampling method. A total of 260 tea samples (dark tea, black tea and oolong tea) were collected from supermarkets, wholesale markets, tea shop and online store in 9 prefecture-level cities of Guangdong Province. AFB₁ concentrations were examined according to GB 5009.22-2016. By using the method of margin of exposure (MOE) and mathematical modeling, the AFB₁ dietary exposure in tea was assessed. **Results** The detection rate of AFB₁ in 260 fermented tea samples was 1.15% (3/260), and the detected content range was from 0.26 to 0.56 μg/kg. The three AFB₁ positive samples of were Pu'er tea samples. There was no significant difference in the detection rate between three kinds of fermented tea (Fisher exact probability method, $P>0.05$). The average dietary exposure of AFB₁ from tea of the total survey population and the tea consumption population were 0.000 352, and 0.000 981 ng/kg BW, respectively. The dietary exposure was 0.005 73, 0.016 0 ng/kg BW for the total survey population and the tea consumption population when

收稿日期:2017-11-10

作者简介:周少君 女 副主任技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:jo73671@qq.com

通信作者:张永慧 男 主任医师 研究方向为食品安全 E-mail:zyh@cdcp.org.cn

using the maximum value of AFB₁ in this study. On the basis of European Food Safety Authority (EFSA) criterion, the MOE values were both greater than 10 000, indicating that the health risk associated with AFB₁ in tea in Guangdong was relatively low. The evaluated liver cancer risk was 0.000 010 9-0.000 674 caners per one hundred thousand persons.

Conclusion The detection rate and the content of AFB₁ in fermented tea in Guangdong Province were both low. And the health risk associated with AFB₁ in tea was relatively low, either.

Key words: Fermented tea; Pu'er tea; aflatoxin B₁; exposure assessment; tea; food safety

茶是我国的传统饮品,全国茶叶消费量达179.1万吨^[1]。目前,广东省是全国最大的茶叶消费大省,茶叶年消费量达12万吨,人均茶叶消费量更是居全国首位^[2]。其中作为广东省茶叶消费的集散中心的珠三角地区,主要以黑茶、红茶和乌龙茶等发酵茶类消费为主,特别是普洱茶的消费量大^[3],占珠三角地区茶叶消费的主导地位。

近年来,关于茶叶尤其普洱茶等经过微生物发酵的品种,真菌毒素污染问题反复引起消费者的关注。黄曲霉毒素(aflatoxin, AFT)主要是黄曲霉等真菌产生的次级毒性代谢产物,在自然界中主要以黄曲霉毒素B₁(AFB₁)、B₂、G₁和G₂存在。其中AFB₁被世界卫生组织国际癌症研究中心(IARC)划定为1类致癌物。为控制AFB₁的风险,国内外均制定了AFB₁在主要消费食品中的限量,我国GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[4]中规定了谷物及其制品、豆类及其制品、坚果及籽类、油脂及其制品、特殊膳食用食品、调味品等6类食品中AFB₁限量,范围为0.5~20 μg/kg,但未规定茶叶及其制品中AFB₁的限量。目前,国际食品法典委员会(CAC)、欧洲食品安全局(EFSA)以及其他国家均未规定茶叶及其制品中AFB₁的限量。

关于茶叶是否容易受到AFB₁污染的问题,不同研究的结论相差甚大,既有文献报道^[5-7]普洱茶中AFB₁检出率达100%,亦有文献^[8-10]报道茶叶中未见AFB₁污染,甚至茶叶发酵过程中的茶多酚变化能抑制黄曲霉产毒^[11-12]。针对此问题,目前尚未见文献报道广东省市售茶叶的AFB₁含量和对茶叶AFB₁的暴露评估,为全面了解在广东省占消费主导地位的发酵茶类中AFB₁的含量情况和其膳食暴露风险,本研究开展了广东省市售黑茶、红茶、乌龙茶等3种发酵茶的抽样调查,并结合广东省居民营养与健康状况监测的消费量数据和文献报道^[13-15]的AFB₁浸出率数据,对广东省居民通过饮用茶叶摄入AFB₁的膳食暴露进行初步的评估。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集

在广东省的珠三角、粤东、粤西、粤北4个片区选

取9个代表城市,其中珠三角是广东省茶叶消费的集散中心,因此选取广州、佛山、惠州、东莞、江门、中山6个地市,其余粤北片区选取清远,粤东片区选取梅州,粤西片区选取云浮。分别在市售环节的超市商店、批发市场、茶叶行以及网店采集茶叶样品。

样品量按简单随机抽样的方法计算:

$$n_0 = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 p(1-p)}{L^2}$$

公式中 n_0 为最小样品量, P 为期望污染率, $Z_{\alpha/2}$ 为在给定可信水平 $(1-\alpha)\%$ 上的 Z 值, L 为绝对误差。本研究中采用的95%可信水平对应的 $Z_{\alpha/2}$ 值为1.96,参考2014年的广州市荔湾区普洱茶AFB₁检出率5.7%^[16],使最大相对误差不超过5%,则计算出最小样品量为82份。考虑到非完全随机抽样的因素,对样品量进行3倍扩容,初步确定总样品量为246份。

根据GB/T 30766—2014《茶叶分类》^[17]、国内茶叶产量比例^[1],选择发酵茶类的黑茶、红茶、乌龙茶为采集样品类别,并适当加大广东省消费量大的普洱茶等黑茶的样品比例,计划按黑茶:红茶:乌龙茶=3:1:1的比例采集样品,最终共采集样品260份。

1.1.2 茶叶消费量数据

消费量数据来自2012年广东省居民营养与健康状况调查。采用分层多阶段整群随机抽样方法,在广东省抽取9个调查点,包括3个大城市点(深圳市罗湖区、广州市天河区、深圳市南山区),3个中小城市点(佛山市禅城区、珠海市金湾区、肇庆市端州区),3个农村点(阳江市阳西县、韶关市翁源县、惠州市博罗县)。从每个调查点抽取3个街道(乡镇),每个街道(乡镇)抽取2个居委会(村),每个居委会抽取25户常住人口家庭户,调查对象即为抽中户的常住人口,经过培训的调查员进行入户调查。调查方法采用食物频率问卷,对调查户家庭利用统一的食物频率调查问卷,收集调查户在过去1年内各种食物消费频率及消费量。

1.2 方法

1.2.1 AFB₁检测

根据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》^[18],采用第一法同位素稀释-液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)

法检测茶叶样品中 AFB₁ 含量,检出限 (LOD) 为 0.03 μg/kg。

1.2.2 暴露评估方法

评估以 2012 年广东省居民营养与健康状况调查中被调查对象的实际茶叶消费量和体重数据为基础,结合茶叶的 AFB₁ 含量、浸出率数据,采用确定性评估方法,计算各组人群每天每公斤体重 AFB₁ 的膳食暴露量,计算公式为:

$$Exp = \frac{F \times C \times L \times 1\ 000}{W}$$

其中: *Exp* 为某组人群每日每公斤体重 AFB₁ 的膳食暴露量,ng/kg BW; *F* 为调查总人群每日茶叶的平均消费量,g; *C* 为茶叶中 AFB₁ 的平均含量,μg/kg; *L* 为茶叶中 AFB₁ 的浸出率; *W* 为各组人群平均体重,kg。

1.2.3 风险特征描述方法

1.2.3.1 暴露限值(MOE)法

食品添加剂联合专家委员会(JECFA)曾于第 31、46、49、56、68 次会议上对黄曲霉毒素先后进行了 5 次评估,由于黄曲霉毒素为无阈值的遗传毒性致癌物,在任何暴露水平都有不同程度的风险,因此并未设定其健康指导值而是采用 MOE 法进行风险评价。以动物试验或人群研究所推导的引起原发性肝细胞癌为毒性效应终点来评估人群摄入 AFB₁ 的风险,MOE 值计算公式为 $MOE = BMDL_{10}/Exp$, $BMDL_{10}$ 为出现 10% 肝癌发生率的 95% 基准剂量置信区间下限值, *Exp* 为人群膳食暴露量。EFSA 认为^[19],当 $MOE > 10\ 000$ 时,可认为该有害物质对人群健康造成危害的风险很低,具有较低的公共卫生关注度,看作是一个低优先级的风险管理行为;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。MOE 值越小,表明有害物质对人群健康造成危害的风险越高。

1.2.3.2 估计肝癌发病风险的方法

参考 JECFA 第 49 次会议提出的数学模型法来

估计通过茶叶摄入 AFB₁ 引发肝癌的危害程度^[20]。用数学模型法推导得出的公式为危害程度 = $0.3 \times HBsAg^+ + 0.01 \times (1 - HBsAg^+)$ 。即当 AFB₁ 膳食暴露量为 1 ng/kg BW 时,对于乙肝表面抗原(HBsAg)阳性人群中肝癌年发生率为 0.3 例/10 万人,阴性人群肝癌年发生率为 0.01 例/10 万人。以广东省人群 HBsAg 阳性率为 11.1% 计算^[21],1 ng/kg BW AFB₁ 膳食暴露量可能引发居民患肝癌的风险为 0.042 例/10 万人。通过对茶叶 AFB₁ 膳食暴露量的计算,可以估算出广东省居民通过摄入污染 AFB₁ 的茶叶的安全风险。

1.2.4 质量控制

试验过程通过采用平行双样、标准物质法、加标回收试验,确保检测数据的准确性。

1.3 检测数据处理及统计学分析

本研究采用世界卫生组织(WHO)推荐的替代法^[22]对未检出值进行处理,在大于 80% 的检测值为未检出时,将未检出值分别用 0 和 LOD 替代计算平均值。统计分析使用 SPSS 17.0 软件,采用 Fisher 确切概率法对不同茶叶等分组类别的检出率进行统计学比较,以 $\alpha = 0.05$ 为检验水准。

2 结果

2.1 发酵茶中 AFB₁ 污染现状

2.1.1 不同种类发酵茶中 AFB₁ 含量

在广东省 9 地市共采集黑茶、红茶、乌龙茶等发酵茶叶样品 260 份,其中只有 3 份样品检出 AFB₁,总体检出率为 1.15% (3/260),检出值低,检出值范围为 0.26 ~ 0.56 μg/kg。用 0 和 LOD 替代未检得出值得出的平均值分别为 0.004 7、0.034 4 μg/kg。检出最大值为 0.56 μg/kg。

3 份检出 AFB₁ 的样品均为黑茶,其余包括红茶、乌龙茶在内的发酵茶类均未检出 AFB₁。经 Fisher 确切概率法检验,3 种茶叶类别间的检出率差异无统计学意义 ($P > 0.05$),见表 1。

表 1 不同种类发酵茶中 AFB₁ 的含量

Table 1 Content of AFB₁ in different kinds of fermented tea

茶叶类别	样品份数	平均值(0 替代)/(μg/kg)	平均值(LOD 替代)/(μg/kg) [#]	检出值范围/(μg/kg)	检出份数	检出率/%
黑茶	158	0.007 8	0.037 2	0.26 ~ 0.56	3	1.90
红茶	51	0	0.030 0	0	0	0.00
乌龙茶	51	0	0.030 0	0	0	0.00
合计	260	0.004 7	0.034 4	0.26 ~ 0.56	3	1.15

注: # 为平均值数据是对未检出值替代后的结果

2.1.2 不同种类黑茶中 AFB₁ 的含量

从表 2 可见,在黑茶中,检出 AFB₁ 的 3 份黑茶样品为普洱茶,则普洱茶的 AFB₁ 检出率为 2.03% (3/148)。其余黑茶种类样品未检出 AFB₁。

2.1.3 不同类别普洱茶中 AFB₁ 的检出情况

进一步分析不同类别普洱茶中 AFB₁ 的检出情况,熟茶的 AFB₁ 检出率为 3.23% (3/93),生茶未见检出。从年份看,AFB₁ 只在年份 < 10 年的样品

表2 不同种类黑茶中 AFB₁ 的含量Table 2 Content of AFB₁ in different kinds of dark tea

黑茶类别	样品份数	平均值(0替代)/(μg/kg)	平均值(LOD替代)/(μg/kg) [#]	检出值范围/(μg/kg)	检出份数	检出率/%
普洱茶	148	0.008 3	0.037 7	0.26~0.56	3	2.03
茯茶	8	0	0.030 0	0	0	0.00*
六堡茶	2	0	0.030 0	0	0	0.00*
合计	158	0.007 8	0.037 2	0.26~0.56	3	1.90

注:[#]为平均值数据数据是对未检出值替代后的结果;*为样品量过少,检出率仅供参考

中检出(2.88%,3/104),其余年份的样品均未检出 AFB₁。从价格看,只在价格低于百元每斤的样品中检出 AFB₁(6.52%,3/46),从每斤100元至每斤2000元以上的102份样品未检出 AFB₁。从包装看,以饼和包的形式的普洱茶有检出 AFB₁,其余罐、盒、砖包装样品未检出。经 Fisher 确切概率法检验,各分组类别间的检出率差异无统计学意义($P > 0.05$),见表3。

表3 普洱茶的 AFB₁ 污染情况Table 3 Contamination of AFB₁ in Pu'er tea

分组类别	分组细类	样品份数	检出份数	检出率/%	P
普洱茶类别	熟茶	93	3	3.23	0.295
	生茶	55	0	0.00	
	<10	104	3	2.88	
生产年份	10~19	38	0	0.00	0.616
	≥20	6	0	0.00	
	<100	46	3	6.52	
价格/(元/500g)	100~500	75	0	0.00	0.136
	501~2000	16	0	0.00	
	>2000	11	0	0.00	
	超市商店	61	3	4.92	
采样场所	茶行	61	0	0.00	0.452
	批发市场	18	0	0.00	
	网店	8	0	0.00	
包装形式	包	23	1	4.35	0.652
	饼	85	2	2.35	
	罐	4	0	0.00	
	盒	24	0	0.00	
	砖	12	0	0.00	

2.2 广东省人群茶叶 AFB₁ 暴露水平

2012年广东省居民营养与健康状况调查共获得3537名调查对象的食物频率问卷数据。结果^[13]显示,广东省总人群每日的平均消费量为4.09g,茶叶消费人群的每日平均消费量为11.41g;男性总人群的消费量高于女性。

AFB₁不易溶于水,VISWANATH等^[14]的红茶浸出试验和IHA等^[15]的姜茶浸出试验均发现 AFB₁的浸出率为10%~30.6%。采用30.6%的浸出率数据,结合人群体重,以及本研究中发酵茶中 AFB₁含量均值(以LOD替代未检出值)、AFB₁含量最大值,可计算出总人群通过饮用茶叶的 AFB₁膳食暴露量分别为0.000352、0.00573ng/kg BW,茶叶消费人群的 AFB₁膳食暴露量分别为0.000981、0.0160ng/kg BW。其中,男性的 AFB₁膳食暴露量

是女性的2倍,见表4。

表4 广东省人群茶叶 AFB₁ 膳食暴露量情况Table 4 Exposure levels of AFB₁ in tea of Guangdong population

人群分组	每日平均消费量/g	膳食暴露量/(ng/kg BW)	
		以 AFB ₁ 平均值计	以 AFB ₁ 最大值计
男性	6.78	0.000542	0.00883
女性	2.73	0.000258	0.00420
总人群	4.09	0.000352	0.00573
茶叶消费人群	11.41	0.000981	0.0160

2.3 广东省人群茶叶 AFB₁ 暴露风险

EFSA基于动物致癌性数据推算的 AFB₁的 BMDL₁₀为每日340ng/kg BW^[23],计算得到广东省总人群、广东省茶叶消费人群平均经茶叶摄入 AFB₁的 MOE值分别为483000、173000(见表5)。若以本研究的茶叶中 AFB₁含量最大值计,MOE值分别为29700、10600。其中女性人群的平均经茶叶摄入 AFB₁的 MOE值最大,茶叶消费人群以 AFB₁含量最大值计算的 MOE值最小。所有组别的 MOE值均>10000,按 EFSA 推荐的 MOE 结果判定依据,认为风险较低。

表5 广东省人群茶叶 AFB₁ 暴露限值Table 5 MOE of AFB₁ in tea of Guangdong population

人群分组	BMDL ₁₀ (ng/kg BW)	MOE	
		以 AFB ₁ 平均值计	以 AFB ₁ 最大值计
男性	340	313000	19300
女性	340	659000	40500
总人群	340	483000	29700
茶叶消费人群	340	173000	10600

按照 JECFA 确立的方法的数学模型法对茶叶中 AFB₁膳食暴露可能引发肝癌风险的危害程度进行评价,结果见表6。以广东省人群 HBsAg 阳性率为11.1%计算,广东省各组人群由于茶叶 AFB₁的膳食暴露引发肝癌的风险为0.0000109~0.000674例/10万人,远远小于我国目前24.6例/10万人的肝癌发病率^[24],表明目前茶叶中的 AFB₁对广东省居民产生的健康风险低。

3 讨论

按加工工艺和发酵程度不同,发酵茶类包括全发酵的红茶、后发酵的黑茶以及半发酵的乌龙茶等,其中只有普洱熟茶等黑茶加工有一个微生物参与后发酵(渥堆)过程。近年有关黑茶真菌毒素

表 6 广东省人群茶叶中 AFB₁ 引发肝癌风险的危害程度
Table 6 Estimated liver cancer risk caused by AFB₁ in tea of Guangdong population

人群分组	膳食暴露量/(ng/kg BW)		危害程度/(例/10 万人)	
	以 AFB ₁ 平均值计	以 AFB ₁ 最大值计	以 AFB ₁ 平均值计	以 AFB ₁ 最大值计
男性	0.000 542	0.008 83	0.000 022 9	0.000 373
女性	0.000 258	0.004 20	0.000 010 9	0.000 177
总人群	0.000 352	0.005 73	0.000 014 8	0.000 242
茶叶消费人群	0.000 981	0.016 0	0.000 041 4	0.000 674

污染的风险引起了广泛关注,有言论指出普洱茶普遍含有 AFB₁,不少学者开展了相关研究,由于样品来源及检测方法的不同,关于普洱茶等茶叶中 AFB₁ 检测的报道不一致。陈建玲等^[5]、吴静^[6]对湿仓贮存的普洱茶检测 AFB₁,检出率为 100%。柳其芳^[25]用酶联免疫试剂盒测定,发现 16.6% 的湿仓普洱茶 AFB₁ 含量超过 20 μg/kg。ZHANG 等^[7]在 5 份普洱茶中均发现 AFB₁ 污染,且检测出文献报道最大值为 59.3 μg/kg。陈若恒等^[16]、谭志熹等^[26]用酶联免疫吸附法检测普洱茶的检出率分别为 5.7%、33.33%。而王秋霜等^[8]、HAAS 等^[10]、赵浩军等^[27]用高效液相色谱(HPLC)法,均未在普洱茶样品制品中检出 AFB₁。吴国华等^[9]、刘慧妍等^[28]用 HPLC 法检测红茶、绿茶、乌龙茶、六堡茶,亦未检出 AFB₁。本研究用同位素稀释-LC-MS/MS 法检测 260 份发酵茶(红茶、黑茶、乌龙茶)的 AFB₁,检出率为 1.15%,普洱茶中 AFB₁ 检出率为 2.03%,3 份检出 AFB₁ 的普洱茶样品的含量范围为 0.26 ~ 0.56 μg/kg,污染程度低。

黄曲霉主要寄生在高淀粉、高蛋白质食品如玉米、小麦、花生、大豆等粮食作物中^[29],而普洱茶的含水量、淀粉和蛋白质含量很低,黄曲霉难以生存^[30]。渥堆的后酵过程能产生大量热量和茶多酚,优势菌种黑曲霉可抑制其他菌种生长,许多研究^[31-32]在普洱茶中分离出黑曲霉、青霉、产黄青霉、毛霉等霉菌,黄曲霉极为少见。李亚莉等^[33]将产毒黄曲霉接种于普洱茶原料(云南大叶种晒青茶)中,进行模拟渥堆试验,发现接种的黄曲霉在发酵初期生长较快,但随着发酵时间延长,生长明显受抑制,发酵终止时,通过 LC-MS/MS 法未在茶叶中检出黄曲霉毒素。此外,还有大量研究^[11-12,34-35]证明,茶叶中的茶多酚本身可抑制黄曲霉的生长和黄曲霉毒素的产生。

广东省总人群、茶叶消费人群通过饮用茶叶摄入 AFB₁ 膳食暴露量低,暴露量分别为 0.000 352 和 0.000 981 ng/kg BW。若考虑花生油、大米、小麦、玉米制品、花生、坚果等 AFB₁ 其他膳食来源,茶叶在广东省居民 AFB₁ 膳食暴露量中的贡献只占不到 0.01% (待发表)。CAC 的食品污染物标准制定原则指出,限量标准仅针对可能构成公众健康较大风

险的污染物以及对消费者膳食暴露量产生较大影响的食物;对无健康指导值的污染物,重点关注膳食暴露贡献率高的食物。仅从本研究看,茶叶中 AFB₁ 的膳食暴露量低,暂未有制定标准限量的需要。

MOE 法和数学模型法是遗传毒性致癌物的风险评估方法。MOE 法表示实际暴露水平与造成健康损害剂量的距离,广东省总人群、茶叶消费人群、男性人群、女性人群 4 组的平均经茶叶摄入 AFB₁ 的 MOE 值、AFB₁ 含量最大值的 MOE 值均 > 10 000,表明经茶叶摄入的 AFB₁ 对广东省居民健康造成危害的风险低。男性人群的 MOE 值均低于女性人群,根据 MOE 值越小风险越高,由此反映了男性人群通过茶叶摄入 AFB₁ 的风险虽低,但仍比女性人群高。数学模型法是以估算每 10 万人中,每日每公斤体重 1 ng 的 AFB₁ 摄入量导致肝癌发病率来评价危害程度,广东省居民通过摄入污染 AFB₁ 的茶叶而承担可能引发肝癌的风险低。综上所述,通过对广东省市售发酵茶中 AFB₁ 的含量现状分析和暴露评估发现,发酵茶中 AFB₁ 检出率低、检出值低,对广东省总人群和茶叶消费人群的平均膳食暴露风险低,具有较高的饮用安全性。

需要说明的是,由于膳食调查方案设计的限制,采用频率法调查过去一年的茶叶消费频次及平均每次用量,未对茶叶类型进行细分,仅能获取总的茶叶平均消费量。本次研究采用了保守策略,以广东省总人群和广东省茶叶消费人群的每日茶叶平均消费量替代发酵茶的平均消费量、假设茶叶中的 AFB₁ 含量均为最大值、浸出率为最大值等,可能高估了一般人群通过饮用发酵茶摄入 AFB₁ 的暴露风险。但另一方面,考虑到仅饮用发酵茶的人群的高端消费量可能高于一般人群的茶叶平均消费量,因此本研究尚未能确定仅饮用发酵茶的高消费人群的风险。本次暴露评估针对来自茶叶中的 AFB₁,未考虑其他膳食来源,由于谷物、坚果及籽类、植物油才是 AFB₁ 含量高的食物,下一步将结合其他食物开展广东省人群 AFB₁ 的总体膳食暴露评估的相关研究。

参考文献

- [1] 梅宇. 2014年中国茶叶产销报告及2015年形势预测[J]. 茶世界, 2015(6):50-59.
- [2] 李丹霞, 梁俊芬, 杨震宇, 等. 2015年广东茶叶产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2016, 43(5):6-9.
- [3] 李丹霞, 梁俊芬, 杨震宇, 等. 2014年广东茶叶产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2015, 42(13):6-12.
- [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] 陈建玲, 李文学, 杨光宇, 等. 广州某茶叶市场普洱茶中多种生物毒素污染现状调查[J]. 癌变 畸变 突变, 2011, 23(1):68-71.
- [6] 吴静. 渥堆中普洱茶品质形成及陈化中真菌毒素状况的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [7] ZHANG D, LI P, YANG Y, et al. A high selective immunochromatographic assay for rapid detection of aflatoxin B₁ [J]. *Talanta*, 2011, 85(1):736-742.
- [8] 王秋霜, 陈栋, 卓敏. 陈香普洱茶品质安全性评价与分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(11):82-86.
- [9] 吴国华, 赵榕, 里南, 等. 茶叶中黄曲霉毒素 B₁ 的检测方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3):808-812.
- [10] HAAS D, PFEIFER B, REITERICH C, et al. Identification and quantification of fungi and mycotoxins from Pu-erh tea [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2013, 166(2):316-322.
- [11] 徐丹, 石伟力, 宋宏新. 茶多酚对黄曲霉生长及产毒能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12):20-25.
- [12] 张浩. 茶叶发酵过程中的多酚变化及其对黄曲霉产毒的抑制效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [13] 张永慧, 马文军. 广东省居民膳食营养与健康状况十年变化分析[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2016.
- [14] VISWANATH P, NANJEGOWDA D K, GOVINDEGOWDA H, et al. Aflatoxin determination in black tea (*Camellia sinensis*)—status and development of a protocol[J]. *Journal of Food Safety*, 2012, 32(1):13-21.
- [15] IHA M H, TRUCKSESS M W. Aflatoxins and ochratoxin A in tea prepared from naturally contaminated powdered ginger [J]. *Food Additives & Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2010, 27(8):1142.
- [16] 陈若恒, 谭志熹, 张秋丽. 荔湾区茶叶批发市场普洱茶中黄曲霉毒素 B₁ 污染调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 24(14):2088-2089.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 茶叶分类: GB/T 30766—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [18] 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, 2016.
- [19] European Food Safety Authority. 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 Journal*, 2005, 3(10):1-31. DOI:10.2903/j.efsa.2005.282.
- [20] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants. Forty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 1999.
- [21] 梁剑, 邵晓萍, 吴承刚, 等. 广东省乙型肝炎表面抗原携带率的变化分析[J]. 华南预防医学, 2011, 37(4):40-42.
- [22] WHO. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food. Report on a workshop in the frame of GEMS/Food-EURO [R]. Kulmbach Germany: WHO Regional Office for Europe, GEMS/Food-EURO, 1995.
- [23] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain [CONTAM] 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 Journal*, 2007, 5(3):1-32. DOI: 10.2903/j.efsa.2007.446.
- [24] 陈建国, 宋新明. 中国肝癌发病水平的估算及分析[J]. 中国肿瘤, 2005, 14(1):28-31.
- [25] 柳其芳. ELISA法测定发酵茶和植物香料真菌毒素的污染[J]. 中国热带医学, 2011(11):1381-1382.
- [26] 谭志熹, 江俊生, 陈若恒, 等. 免疫亲和柱净化-酶联免疫吸附法检测普洱茶中黄曲霉毒素 B₁ [J]. 预防医学论坛, 2014, 20(6):413-415.
- [27] 赵浩军, 王坤, 杨卫花, 等. 高效液相色谱柱后光化学反应-荧光检测茶叶中黄曲霉毒素 B₁ [J]. 茶叶科学, 2013, 33(3):237-241.
- [28] 刘慧妍, 王华, 罗达龙, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定六堡茶中黄曲霉毒素 B₁ 的研究[J]. 蛇志, 2015, 27(4):350-351.
- [29] 陈炳卿. 营养与食品卫生学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2001.
- [30] 赵振军, 刘勤晋. 普洱茶中真菌研究进展[J]. 茶叶科学, 2014, 34(3):205-212.
- [31] 李雪玲, 陈华红, 段海秀, 等. 普洱茶渥堆及发酵罐发酵过程中优势微生物的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(6):35-40.
- [32] 林长欣. 普洱茶中的风味成分及微生物在贮藏过程中的变化[D]. 广州: 暨南大学, 2010.
- [33] 李亚莉, 康冠宏, 杨丽源, 等. 普洱茶发酵过程中外源接种黄曲霉产毒研究[J]. 茶叶科学, 2014, 34(5):435-441.
- [34] 吴清华. 茶叶中抑制黄曲霉毒素产生的组分及相关特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [35] 李浩, 谭英智, 陈柱涛, 等. 云南大叶种晒青毛茶提取物对产毒黄曲霉生长及产毒的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11):101-106.