

· 综述 ·

# 中国花生及其制品黄曲霉毒素污染与风险评估研究现状

赵毕<sup>1</sup>综述, 周标<sup>2</sup>审校

1. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315000; 2. 浙江省疾病预防控制中心科研信息部

**摘要:** 黄曲霉毒素 (AF) 易污染花生、玉米等食物, 被国际癌症研究机构 (IARC) 列为人类致癌物, 尤以黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) 污染最普遍, 毒性和致癌性最强。我国是花生生产大国, 开展花生及其制品中污染状况调查和风险评估对制定防控措施、保护出口贸易和维护居民健康至关重要。本文总结了2015—2021年我国黄淮海流域、长江流域、东南沿海和东北等主要花生生产区的AF污染情况, 膳食AF暴露风险评估方法的应用及评估结果, 为加强花生及其制品AF污染监管, 保障食品安全提供依据。

**关键词:** 花生; 黄曲霉毒素; 风险评估; 肝癌

**中图分类号:** R155      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2096-5087 (2021) 12-1228-04

## Current status of aflatoxin pollution and risk assessment of peanut and related products in China

ZHAO Bi\*, ZHOU Biao

\*School of Medicine, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315000, China

**Abstract:** Peanuts, corn and other food products are prone to aflatoxins (AF). AF was listed as a human carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC), especially aflatoxin B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>), as it is considered the most prevalent and toxic. China is a big peanut producer, so carrying out pollution investigation and risk assessment in peanuts and their products is crucial to formulate prevention measures, protect export trade and maintain health. This paper summarizes the AF pollution of peanuts and their products in the Huang-Huai-Hai Basin, Yangtze River Basin, Southeast Coast and Northeast region of China from 2015 to 2021, and the application of dietary AF exposure risk assessment methods, providing a basis for strengthening the supervision of AF pollution in peanuts and their products, and ensuring food safety.

**Keywords:** peanut; aflatoxins; risk assessment; hepatocellular carcinoma

黄曲霉毒素 (aflatoxin, AF) 是常见的食品污染物之一, 广泛存在于花生、大米和玉米等食物中<sup>[1]</sup>。AF 主要由黄曲霉 (*Aspergillus flavus*)、寄生曲霉 (*Aspergillus parasiticus*) 和集峰曲霉 (*Aspergillus nomius*) 产生, 包括黄曲霉毒素 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>) 等, 以 AFB<sub>1</sub> 污染最普遍、最严重, 毒性和致癌性最强<sup>[2]</sup>。国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 将自然产生的 AF 列为人类致癌物 (第 1 组)<sup>[3]</sup>。AF 的主

要靶器官为肝脏, 暴露于 AFB<sub>1</sub> 的乙型肝炎病毒携带者发生肝癌的概率是非携带者的 60 倍<sup>[4]</sup>。

花生具有较高的营养价值<sup>[5]</sup>, 易被真菌及其所产毒素污染, 特别是 AF, 故开展花生及其制品中 AF 的风险评估对保障居民健康尤为重要。虽然相关部门出台了 AF 限量标准<sup>[6-7]</sup>, 但是 AF 作为基因毒性致癌物, 任何暴露水平都可能存在不同程度的健康风险。联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会 (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) 推荐使用肝癌发病风险法和暴露限值法 (the margin of exposure, MOE) 进行 AF 膳食暴露风险评估<sup>[8-9]</sup>。本文对 2015—2021 年我国花生及其制品中 AF 污染情况和人群膳食暴露风险评估研究进展作一综述, 为加强食品安全监管、

**DOI:** 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.12.008

**基金项目:** 国家卫生健康委员会科研基金 (WKJ-ZJ-1917)

**作者简介:** 赵毕, 硕士在读

**通信作者:** 周标, E-mail: bzhou@cdc.zj.cn

保障人群健康提供依据。

## 1 我国花生及其制品 AF 污染情况

我国花生种植面积和产量连续多年位居全球前列, 2018年产量为1 733万吨, 远高于印度的470万吨, 已成为最大的花生生产国<sup>[10]</sup>。我国花生产区主要分布在黄淮海流域、长江流域、东南沿海和东北四大区域, 其他产区包括云贵高原、黄土高原和西北花生区等<sup>[10-11]</sup>。

**1.1 黄淮海流域产区花生及其制品 AF 污染情况** 黄淮海流域产区不同省份花生的 AF 总量 (total aflatoxin, AFT) 检出率为 1.1%~100.0%, 以 AFB<sub>1</sub> 为主, 不同地区的污染率为 0~69.7%<sup>[11-18]</sup>。仅河南省 2 项研究<sup>[12-13]</sup> 报道了 AFB<sub>2</sub> 检出情况, 污染率分别为 36.0% 和 3.3%, 均低于相应样品中 AFB<sub>1</sub> 污染率 (分别为 69.7% 和 60.0%)。袁鹏等<sup>[11]</sup> 研究发现河南省花生中 AFG<sub>1</sub> 和 AFG<sub>2</sub> 检出率分别为 53.9% 和 24.7%, 说明在 B 族 AF 污染占主导的同时, G 族 AF 污染也不容忽视。程果等<sup>[14]</sup> 采集河北省邯郸市 10 份花生样品中均检出 AF, AFT 含量均数为 67.72 μg/kg, 最大值为 517 μg/kg, 可能与收获前连续下雨有关。河南省花生 AF 检出率也较高, 分别为 31.3% (AFT)、69.7% (AFB<sub>1</sub>) 和 60.0% (AFB<sub>1</sub>)<sup>[12, 15-16]</sup>; 按照我国 AFB<sub>1</sub> 限量标准 (20 μg/kg)<sup>[6]</sup>, 河南省市售花生超标率最高, 为 15.7%, AFB<sub>1</sub> 含量最大值为 41.3 μg/kg<sup>[12]</sup>, 提示河南省 AF 污染较普遍。白春林等<sup>[19]</sup> 发现花生收获前和收获时 AFB<sub>1</sub> 污染均低于 2 μg/kg, 收获晾干后 1 个月和储存 3 个月个别样品 AFB<sub>1</sub> 含量严重超标, 分别为 81.07 μg/kg 和 254.27 μg/kg。综上所述, 黄淮海流域产区污染较普遍, 特别是河北省和河南省; 花生收获前 30 天有连续降雨则 AF 检出率高。

**1.2 长江流域产区花生及其制品 AF 污染情况** 长江流域不同年份、不同地区 AF 污染存在明显差异, 高污染年份和地区通常与收获前 1 个月温度、降雨有关<sup>[20]</sup>。长江中下游大部分地区属于亚热带季风气候, 夏季持续时间较长, 入冬较晚, 食品易发霉。QIN 等<sup>[16]</sup> 发现长江中下游地区花生中 AF 检出率较高 (湖北省检出率最高, 为 34.2%), 而长江上游地区较低 (四川省检出率为 5.6%, 重庆市未检出)。白春林等<sup>[19]</sup> 测定湖北省市售熟制花生中 AF 检出率高达 53.9%, AFB<sub>1</sub> 污染最严重。张杏等<sup>[21]</sup> 研究显示四川省蓬安县花生样品 AFB<sub>1</sub> 检出率较低, 为 4.2%。但也有不同研究结果, 如张学健等<sup>[22]</sup> 发现重庆市万州

区 2013—2014 年市售花生 AFT 检出率为 39.0%, 含量为 0~157.20 μg/kg; 以 AFB<sub>1</sub> 污染为主, 平均含量为 7.94 μg/kg, 超标率为 10.7%。

**1.3 东南沿海产区花生及其制品 AF 污染情况** 东南沿海产区包括广东、广西、福建和海南等省份, 花生及其制品中 AF 检出率为 0~43.5%, AFT 含量均数为 0~43.5 μg/kg, AFB<sub>1</sub> 含量均数为 0~21.97 μg/kg。按照我国花生 AFB<sub>1</sub> 限量标准, 福建省花生超标率较高, 如刘文静等<sup>[23]</sup> 对福建省 6 个花生主产县市 173 份代表性花生样品进行检测, AFB<sub>1</sub> 超标率为 2.6%~10%。按照国际食品法典委员会 (Codex Alimentarius Commission, CAC) 的 AFT 限量标准 (15 μg/kg)<sup>[7]</sup>, QIN 等<sup>[16]</sup> 发现亚热带和温带季风气候城市花生中 AF 污染较严重, 特别是福建省, 花生超标率为 4.6%。此外, 石萌萌等<sup>[24]</sup> 研究显示虽然广西壮族自治区花生超标率较低 (2.58%), 但 AFB<sub>1</sub> 最大含量达 555.00 μg/kg, 是我国限量标准的 27.75 倍, 应引起重视。

**1.4 东北产区花生及其制品 AF 污染情况** 东北产区花生及其制品污染较轻。程果等<sup>[14]</sup> 研究显示 2017 年东北产区花生收获前天气晴朗, 偶有少量降雨或阵雨, AF 未检出。QIN 等<sup>[16]</sup> 研究显示吉林省花生 AF 检出率为 30%, 但超标率为 0, 平均含量为 1.70 μg/kg; 王颖等<sup>[25]</sup> 收集辽宁省 120 份花生样品, 有 13 份样品检出 AF, 总含量为 0.53~6.62 μg/kg, 符合我国及 CAC 对花生中 AF 的限量要求。

**1.5 其他产区花生及其制品 AF 污染情况** 根据我国以及 CAC 的限量标准, 陕西省花生 AFB<sub>1</sub> 和 AFT 超标率分别为 13.5%<sup>[26]</sup> 和 14.8%<sup>[16]</sup>。香港地区 AF 检出率和含量均偏低, YAU 等<sup>[27]</sup> 收集 4 个季节的坚果及其制品 24 份, AF 检出率为 18.7%, 含量为 1.3~1.5 μg/kg。西藏、新疆、天津、甘肃和青海等地花生 AF 未检出<sup>[14, 16, 21]</sup>。

## 2 花生及其制品 AF 膳食暴露风险评估

根据膳食 AF 暴露量计算方法的不同, 风险评估方法分为点评估、简单分布评估和概率评估等<sup>[28]</sup>。

**2.1 点评估** 点评估是将花生及其制品消费量均数与 AF 含量均数相乘, 模型简单, 适用于筛检性研究。YAU 等<sup>[27]</sup> 对香港地区居民全膳食 AF 暴露进行点评估, 显示 AF 暴露量为 0.200~2.800 ng/kg 体重。

**2.2 简单分布评估** 简单分布评估一般考虑消费量分布, 适用于消费模式不同的地区、人群之间暴露量比较。农村和城市居民 AFB<sub>1</sub> 暴露水平差异不大; 李杉等<sup>[13]</sup> 在 2013—2014 年评估河南省居民部分膳食

中 AFB<sub>1</sub> 暴露水平发现, 农村和城市居民坚果暴露量分别为 0.03 和 0.02 ng/kg 体重, 相应的肝癌致癌风险均为 0.001 例/10 万人; 胡文敏等<sup>[29]</sup> 对 2012—2017 年云南省部分地区 6 类市售食品 AFB<sub>1</sub> 暴露水平进行评估, 结果显示大城市、中小城市、一般农村和贫困农村坚果 AFB<sub>1</sub> 暴露量依次为 0.02、0.03、0.02 和 0.02 ng/kg 体重, 相应的肝癌致癌风险均为 0.001 例/10 万人。不同年龄组暴露量比较研究发现, 低年龄儿童膳食 AF 暴露水平和致癌发病风险较高, 是不可忽视的重点人群<sup>[20, 30]</sup>。石萌萌等<sup>[24]</sup> 根据人群食物消费模式将广西壮族自治区居民分为 6~10 岁、11~18 岁、19~64 岁和 ≥65 岁 4 个年龄段, 6~10 岁组 AFB<sub>1</sub> 暴露量最大, 为 8.65 ng/kg 体重。

**2.3 概率评估** 概率评估可对暴露量的变异性和不确定性做出定量描述, 实现精细评估。我国目前以简单分布评估为主, 概率评估逐渐开始运用。DING 等<sup>[20]</sup> 研究发现, 长江流域花生 AF 污染较严重, 暴露量为 0.349~0.777 ng/kg 体重, MOE 值为 219~487, 致癌风险为 (0.011~0.024) 例/10 万人。刘文静等<sup>[23]</sup> 对福建省产后花生 AF 暴露评估显示暴露量为 0.321~0.345 ng/kg 体重, MOE 值为 493~530, 肝癌风险为 0.013 例/10 万人。ZHANG 等<sup>[30]</sup> 借助@risk 软件计算广州市居民膳食 AFB<sub>1</sub> 暴露量, 其中坚果暴露量为 0.010 ng/kg 体重, 暴露贡献率为 1.75%, 存在潜在风险的可能性较低。

### 3 结论

花生是我国重要的粮油作物和经济作物, 花生及其制品 AF 污染严重影响消费人群健康和出口贸易。花生及其制品 AF 污染呈现地域特征: 河北、河南、湖北和福建等地区污染较严重, 以 AFB<sub>1</sub> 污染为主; 东北 AF 检出率和含量较低。这可能与东北地区气候寒冷干燥, 不利于霉菌生长有关。花生中产生 AF 的霉菌主要来自土壤<sup>[31]</sup>, 我国土壤中产毒菌株多分布在长江流域, 其次为东南沿海, 再次为黄河流域, 东北地区最少<sup>[32]</sup>。此外, 花生收获前连续的降雨天气会使霉菌大量繁殖, 毒素含量往往非常高, 若未进行科学晾晒和储存, 可能导致花生及其制品检出 AF 较高。膳食暴露评估研究显示, 城乡花生及其制品中 AF 暴露量差异较小, 但不同年龄组之间的暴露量存在差异; AF 膳食暴露对人体健康存在潜在风险 (致癌风险为 <0.001 例/10 万人~0.370 例/10 万人)。为保障食品安全, 应加强花生中 AF 防控, 特别是在高污染产区; 对花生的栽培技术、品种和气候等影响

AF 污染的因素作进一步研究。还应加强 AF 风险评估工作, 关注低年龄人群, 在简单分布评估的基础上增加概率评估方法的应用, 同时借鉴确定性评估方法如生物标志物法<sup>[33]</sup> 进一步评估内暴露量, 减少评估的不确定性。

### 参考文献

- [1] SCHRENK D, BIGNAMI M, BODIN L, et al. Risk assessment of aflatoxins in food [J]. EFSA J, 2020, 18 (3): 1-112.
- [2] YUNUS A W, RAZZAZI-FAZELI E, BOHM J. Aflatoxin B<sub>1</sub> in affecting broiler 's performance, immunity, and gastrointestinal tract: a review of history and contemporary issues [J]. Toxins, 2011, 3 (6): 566-590.
- [3] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene [M]. Lyon: IARC Press, 2002.
- [4] KEW M C. Synergistic interaction between aflatoxin B<sub>1</sub> and hepatitis B virus in hepatocarcinogenesis [J]. Liver Int, 2003, 23 (6): 405-409.
- [5] ARYA S S, SALVE A R, CHAUHAN S. Peanuts as functional food: a review [J]. J Food Sci Technol, 2016, 53 (1): 31-41.
- [6] 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.
- [7] 尚艳娥, 杨卫民. CAC、欧盟、美国与中国粮食中真菌毒素限量标准的差异分析 [J]. 食品科学技术学报, 2019, 37 (1): 10-15.
- [8] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants. Forty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 1999.
- [9] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food contaminants: sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 2015.
- [10] 崔钊达, 华树春, 王善高. 中国花生产业集聚水平和比较优势分析 [J]. 河北农业大学学报 (社会科学版), 2020, 22 (5): 20-27.
- [11] 万书波. 花生品种改良与高产优质栽培 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [12] 袁鹏, 张利锋, 杨瑞春, 等. 河南省市售食品中黄曲霉毒素污染状况分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2020, 30 (1): 100-103.
- [13] 李杉, 袁蒲, 付鹏钰, 等. 2014—2015 年河南省部分食品中真菌毒素污染状况调查分析 [J]. 中国卫生产业, 2017, 14 (27): 144-147.
- [14] 程果, 陈娜, 王少军, 等. 2017 年花生主产区黄曲霉毒素污染情况分析 [J]. 花生学报, 2018, 47 (2): 30-33.
- [15] 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.
- [16] QIN M, LIANG J, YANG D J, et al. Spatial analysis of dietary exposure of aflatoxins in peanuts and peanut oil in different areas of China [J/OL]. Food Res Int, 2021, 140 (5) [2021-08-30]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109899>.

(下转第 1235 页)