

谷物及其制品玉米赤霉烯酮污染及膳食暴露评估

陆姿洁¹ 综述, 周标² 审校

1. 杭州医学院公共卫生学院, 浙江 杭州 310000; 2. 浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051

摘要: 玉米赤霉烯酮 (ZEN) 是由镰刀菌产生的一种非甾体类雌激素真菌毒素, 在谷物及其制品中有不同程度的污染。小麦、大米是我国居民的主食, 了解谷物及其制品 ZEN 污染及膳食暴露风险, 对维护食品安全和促进人群健康具有重要意义。本文对 2012—2023 年发表的有关谷物及其制品 ZEN 污染及膳食暴露评估的文献进行综述, 发现谷物及其制品 ZEN 污染的膳食暴露风险较低, 但需继续加强食品安全监测和监督管理, 保障食品安全。

关键词: 玉米赤霉烯酮; 谷物; 谷物制品; 膳食暴露评估

中图分类号: R155 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2024) 11-0958-03

Contamination and dietary exposure assessment of zearalenone in cereals and their products

LU Zijie¹, ZHOU Biao²

1. School of Public Health, Hangzhou Medical College, Hangzhou, Zhejiang 310000, China;

2. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

Abstract: Zearalenone (ZEN), a nonsteroidal mycotoxin produced by fusarium with estrogen-like effects, and it contaminates various types of cereals and their products to varying degrees. Wheat and rice are the staple foods of Chinese residents, and understanding the contamination status and dietary exposure risk of ZEN in grains and their products is of great significance for maintaining food safety and promoting population health. This article reviewed the publications between 2012 and 2023 on ZEN contamination and dietary exposure assessment in cereals and their products, and found that the dietary exposure risk of ZEN contamination in cereals and their products was low. Continued efforts are needed to strengthen food safety monitoring and regulatory oversight to ensure food safety.

Keywords: zearalenone; cereal; cereal product; dietary exposure assessment

玉米赤霉烯酮 (zearalenone, ZEN) 又称 F-2 毒素, 是一种非甾体类雌激素真菌毒素, 化学式为 $C_{18}H_{22}O_5$, 由多种镰刀菌代谢产生, 通常存在于玉米中, 也在小麦、大米、高粱和黑麦等谷物中发现^[1-2]。ZEN 主要作用于肝脏, 主要代谢产物为 α -玉米赤霉烯醇和 β -玉米赤霉烯醇。ZEN 及其代谢产物具有生殖毒性、免疫毒性、细胞毒性及遗传毒性, 且与其他真菌毒素联合作用时毒性增强, 国际癌症研究机构将其归为第三类致癌物^[3-4]。

ZEN 在储存、加工和烹饪过程中比较稳定, 不易被分解^[3], 因此人类可能通过摄入被污染的食物

导致 ZEN 在体内蓄积。世界各国对食物中 ZEN 的含量和人群摄入量作出严格限制, 但尚未统一标准: 欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 规定 ZEN 每日可耐受摄入量为 $0.25 \mu\text{g}/\text{kg}$; 联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会 (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) 暂定每日最大耐受摄入量为 $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ ^[3]。本文检索 2012—2023 年发表的 ZEN 污染及膳食暴露评估的相关文献, 对我国不同地区小麦、玉米和稻谷 ZEN 污染状况及人群膳食暴露风险进行综述, 为加强食品 ZEN 污染监督提供依据。

1 谷物及其制品 ZEN 污染

1.1 小麦及其制品 ZEN 污染

我国是世界上最大的小麦生产国和消费国^[5]。

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2024.11.009

基金项目: 国家卫生健康委员会科研基金项目 (WKJ-ZJ-1917)

作者简介: 陆姿洁, 硕士研究生在读, 公共卫生专业

通信作者: 周标, E-mail: bzhou@cdc.zj.cn

小麦产区集中化趋势明显,共有五大优势产区,分别是黄淮海、长江中下游、西南、西北和东北产区^[6],不同产区的小麦 ZEN 污染情况有所不同。

黄淮海产区:2008年和2013年黄淮海产区采集样本的 ZEN 检出率较高,且有超标现象^[7-8]。山东省样本检测结果显示,ZEN 在零食中的含量高于主食,可能由于零食的加工原料和工艺复杂,更容易受到真菌毒素污染^[7,9]。安徽省不同年份小麦中 ZEN 含量和检出率相差较大^[5,8,10],可能是收获期气象条件不同导致小麦受到不同程度的污染,有研究显示,开花期到收获期的降雨量是影响 ZEN 积累的主要因素^[11]。

长江中下游产区:2018年江苏省脱粒小麦中 ZEN 含量最高达 22 572.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[5],可能与储藏前干燥不充分或储存条件不当有关。上海市、浙江省和江苏省小麦中 ZEN 均有不同程度的检出,可能与这些地区降水较多有关^[12]。

西北和东北产区:陕西省小麦及其制品中 ZEN 检出率和污染浓度较低^[13];甘肃省小麦中 ZEN 检出率较高^[14];吉林省小麦粉中 ZEN 污染较为严重^[7]。暂未检索到西南产区相关研究报道。

1.2 玉米及其制品 ZEN 污染

玉米及其制品中 ZEN 污染较为普遍。我国玉米种植主要分布在东北到西南的狭长地带,可分为北方、黄淮海和西南三大优势产区^[15]。黄淮海产区的最大污染量较高,多个样本的 ZEN 检出率高于北方和西南产区,且有超标现象。北方和西南产区降水量较少,污染浓度也相对较低。

北方产区:以东北黄金玉米带为核心^[15]。吉林省玉米中 ZEN 检出率为 37.5%,污染均值为 121.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[16]。辽宁省不同季节新收玉米检测结果提示,ZEN 污染受收获季节的影响^[17]。陕西省研究发现,与新鲜玉米相比,玉米制品中 ZEN 污染更严重^[18]。

黄淮海产区:山东省玉米中 ZEN 含量最高为 4 186.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$,可能与部分地区玉米的储藏期较长有关^[19]。河南省玉米中 ZEN 含量及检出率低于玉米制品,玉米粒中 ZEN 均未超标,而玉米制品中均有不同程度的超标^[20-21]。

西南产区:ZEN 污染的相关研究较少。杨晓冬等^[22]检测四川省三地区玉米粉和玉米糝中 ZEN 含量,均未检出污染。

1.3 稻谷及其制品 ZEN 污染

水稻是我国第二大粮食作物,种植面积广,主要分布在长江流域、东北平原和东南沿海三大优势产

区^[23]。长江流域产区,湖南省和江西省大米样本 ZEN 污染浓度较低,分别为 0.1~0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[24]。四川省大米样本未检出 ZEN 超标^[22]。福建省未脱壳稻谷样本 150 份,未检出 ZEN,在通风干燥处储存 4 个月后,ZEN 检出率为 5%^[25],提示谷物在种植期可能已存在真菌污染,且随着储存期延长不断生长。暂未检索到东北平原产区 ZEN 污染的相关报道。

2 ZEN 膳食暴露评估

食品安全风险评估主要包括暴露评估和风险特征描述。ZEN 膳食暴露评估常用方法包括点评估法、概率评估法和食品安全指数法。

2.1 点评估法

点评估法主要根据食物中有害物质含量与人群食物消费量计算。相关研究报道:陕西省城市和农村居民玉米及其制品中 ZEN 的最大暴露水平分别为 0.078 和 0.171 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重,均处于安全范围,且城市居民暴露风险低于农村居民^[13];根据福建省玉米油中 ZEN 含量的均数、第 50 百分位数和第 99 百分位数评估的 ZEN 暴露量均处于安全范围^[26]。

2.2 概率评估法

点评估法无法考虑不同人群膳食暴露量和食物中有害物质含量的差异,而概率评估法可以通过模拟暴露分布,得出更为可靠的结果。LIANG 等^[27]采用概率评估法分析发现,无论是单独暴露还是联合暴露,山东省居民食用板栗暴露于 ZEN 的风险较低。诸寅等^[28]报道上海市居民市售薏苡仁中 ZEN 暴露平均水平为 0.021 6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重,约 1.1% 的居民可因摄入过多薏苡仁导致 ZEN 暴露水平大于每日耐受摄入量。

2.3 食品安全指数法

食品安全指数法通过计算实际摄入量与安全摄入量的比值得出食品安全指数,评估食品中残留 ZEN 对人体的影响程度。董峰光等^[29]结合山东省烟台市市售谷物及其制品污染浓度的第 95 百分位数计算得出食品安全指数>1,超过可接受限值,提示在极端情况下有暴露风险。吉林省居民食用玉米 ZEN 风险评估结果显示,成人和儿童的安全指数分别为 0.023 8 和 0.038 2,暴露风险较低^[16]。

3 小结

谷物及其制品存在 ZEN 污染,从谷物种类来看,玉米中 ZEN 污染较为普遍,其次为小麦和水稻。膳食暴露评估结果显示,大部分地区成年居民 ZEN 暴

露风险较低。目前我国谷物及其制品中 ZEN 污染相关研究的地区和人群覆盖不全,关于西南和东北产区的 ZEN 污染报道较少,膳食评估多涉及成人或全人群,缺少针对婴幼儿和儿童的评估,今后研究需进一步补充和深入。

参考文献

- [1] MARIN D E, PISTOL G C, BULGARU C V, et al. Cytotoxic and inflammatory effects of individual and combined exposure of HepG2 cells to zearalenone and its metabolites [J]. *Naunyn Schmiedeberg Arch Pharmacol*, 2019, 392 (8): 937-947.
- [2] ROGOWSKA A, POMASTOWSKI P, SAGANDYOVA G, et al. Zearalenone and its metabolites: effect on human health, metabolism and neutralisation methods [J]. *Toxicon*, 2019, 162: 46-56.
- [3] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on the risks for public health related to the presence of zearalenone in food [J/OL]. *EFSA J*, 2011, 9 (6) [2024-09-30]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2197>.
- [4] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Risks for animal health related to the presence of zearalenone and its modified forms in feed [J/OL]. *EFSA J*, 2017, 15 (7) [2024-09-30]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4851>.
- [5] 程天笑, 韩小敏, 王硕, 等. 2018年中国4省脱粒小麦中9种真菌毒素污染情况调查 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11 (12): 3992-3999.
- [6] 韩一军, 韩亭辉. “十四五”时期我国小麦增产潜力分析与实现路径 [J]. *农业经济问题*, 2021 (7): 38-46.
- [7] 韩小敏, 李凤琴, 徐文静, 等. 我国五省(市)小麦粉中重要镰刀菌毒素的污染调查 [J]. *中国猪业*, 2017, 12 (6): 33-39, 45.
- [8] 熊凯华, 胡威, 汪孟娟, 等. 安徽河南粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮的污染调查 [J]. *食品科学*, 2009, 30 (20): 265-268.
- [9] 李丹迪, 赵丽, 季静, 等. 济南部分地区谷物制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及玉米赤霉烯酮的污染状况 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10 (23): 8081-8086.
- [10] 唐占敏. 长三角地区谷物中典型真菌毒素识别及污染研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- [11] JI F, XU J H, LIU X, et al. Natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in wheat from Jiangsu Province, China [J]. *Food Chem*, 2014, 157: 393-397.
- [12] 范楷, 祭芳, 徐剑宏, 等. 长三角地区市场常见农产品中40种真菌毒素的污染状况和特征分析 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54 (13): 2870-2884.
- [13] 胡佳薇, 王彩霞, 田丽, 等. 2013—2016年陕西省市售食品中玉米赤霉烯酮的污染状况及暴露评估 [J]. *卫生研究*, 2017, 46 (4): 585-588, 627.
- [14] WANG P, WANG H X, WANG X, et al. Mycotoxins in grains (products), Gansu Province, China and risk assessment [J]. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 2024, 17 (2): 101-109.
- [15] 王军, 徐晓红, 王洪丽, 等. 中国核心优势产区玉米生产效率增长及其分解分析 [J]. *玉米科学*, 2010, 18 (6): 133-137, 142.
- [16] 孟繁磊, 范宏, 谭莉, 等. 吉林省玉米真菌毒素污染状况及其膳食风险评估研究 [J]. *玉米科学*, 2021, 29 (5): 88-94.
- [17] 朱旭东. 2022年度辽宁新收获玉米在农户储存期间真菌毒素现状的调查与探讨 [J]. *粮食加工*, 2023, 48 (5): 98-102.
- [18] 胡佳薇, 乔海鸥, 田丽, 等. 2013—2016年陕西省谷物及其制品中真菌毒素的污染状况 [J]. *卫生研究*, 2017, 46 (6): 1013-1015.
- [19] 王燕, 董燕婕, 岳晖, 等. 山东省玉米真菌毒素污染状况调查及分析 [J]. *粮油食品科技*, 2016, 24 (3): 69-73.
- [20] 李俊玲, 王书舟, 吴俊威, 等. 河南省粮食及其制品中真菌毒素污染情况调查 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32 (4): 418-421.
- [21] 王苏楠, 胡寅瑞, 梁栗源. 2018—2019年洛阳市玉米制品中玉米赤霉烯酮监测结果分析 [J]. *应用预防医学*, 2021, 27 (1): 42-43.
- [22] 杨晓冬, 赵凤, 罗靖, 等. 2022年四川省三地区谷物及制品真菌污染现状调查 [J]. *预防医学情报杂志*, 2023, 39 (7): 830-834.
- [23] 严如玉, 甘国渝, 赵希梅, 等. 我国水稻优势产区生产格局及施肥现状研究 [J]. *中国稻米*, 2023, 29 (3): 1-8.
- [24] 马皎洁, 邵兵, 林肖惠, 等. 我国部分地区2010年产谷物及其制品中多组分真菌毒素污染状况研究 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2011, 23 (6): 481-488.
- [25] 邱文倩, 林坚, 杨艳. 福建省本地稻谷及糙米常见真菌毒素污染状况研究 [J]. *海峡预防医学杂志*, 2021, 27 (3): 1-3.
- [26] 郭萍, 薛生辉, 谢恺, 等. 福建省市售食品玉米赤霉烯酮污染状况与暴露评估 [J]. *海峡预防医学杂志*, 2020, 26 (4): 80-82.
- [27] LIANG J Y, NING M X, GUAN S, et al. Risk assessment of multiple-mycotoxin exposure for consumers of chestnuts in Shandong Province markets in China [J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2021, 38 (12): 2137-2150.
- [28] 诸寅, 毛伟峰, 季申, 等. 上海市售薏苡仁中玉米赤霉烯酮的污染状况及暴露评估 [J]. *卫生研究*, 2020, 49 (5): 840-843, 872.
- [29] 董峰光, 阎西革, 宫春波, 等. 2012—2019年烟台市食品中玉米赤霉烯酮污染状况及暴露评估 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12 (1): 376-381.

收稿日期: 2024-05-28 修回日期: 2024-09-30 本文编辑: 徐文璐