

研究报告

基于Meta分析对全球小麦及小麦粉中多种真菌毒素污染特征的比较研究

李明璐^{1,2}, 王小丹¹, 马宁¹, 张磊¹, 梁江¹, 魏晟²

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021; 2. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院流行病学与卫生统计学系, 湖北 武汉 430030)

摘要:目的 针对小麦及小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)、黄曲霉毒素(AFs)、玉米赤霉烯酮(ZEN)、雪腐镰刀菌烯醇(NIV)、T-2毒素(T2)、HT-2毒素(HT2)、赭曲霉毒素A(OTA)、伏马菌素(FBs)、交链孢酚(AOH)、交链孢酚单甲醚(AME)、展青霉毒素(TEN)及交链孢菌酮酸(TeA)等真菌毒素的全球污染情况进行Meta分析。方法 数据主要来自PubMed、Web of Science、知网及万方数据库。结果 通过文献筛选,共纳入69篇文献22308个样本。小麦及小麦粉中以上真菌毒素的全球总体污染率为58%(95%CI:51%~66%),其中,TeA为99%、TEN为88%、DON为85%、AFs为57%、ZEN为42%、T2为39%、AOH为30%、AME为29%、NIV为28%、HT2为25%、OTA为21%及FBs为16%;小麦及小麦粉中真菌毒素的全球总体污染水平为32.80 μg/kg(95%CI:24.96~43.10 μg/kg),DON在小麦及小麦粉中的含量最高,为317.53 μg/kg,其次为TeA 117.37 μg/kg及FBs 45.09 μg/kg。DON-ZEN组合的污染率分别为11.0%、14.0%及26.7%,TeA-TEN组合为16.2%,TeA-TEN-AME组合为14.3%和TeA-TEN-AOH-AME组合为19.5%。结论 小麦及小麦粉在不同国家或地区表现出不同的真菌毒素污染特征,且小麦及小麦粉中一种以上真菌毒素共污染率较高,在进行联合暴露评估时应予以关注。

关键词:真菌毒素;全球;污染情况;Meta分析

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)03-0467-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.03.012

Comparative study on mycotoxins contamination in global wheat and wheat-based products via Meta-analysis

LI Minglu^{1,2}, WANG Xiaodan¹, MA Ning¹, ZHANG Lei¹, LIANG Jiang¹, WEI Sheng²

(1. National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China; 2. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430030, China)

Abstract: Objective To estimate the global prevalence and concentration of deoxynivalenol (DON), aflatoxins (AFs), zearalenone (ZEN), nivalenol (NIV), T-2 toxin (T2), HT-2 toxin (HT2), ochratoxin A (OTA), fumonisins (FBs), alternariol (AOH), alternariol monomethyl ether (AME), tentoxin (TEN) and tenuazonic acid (TeA) in wheat and wheat-based products via Meta-analysis. **Methods** The databases include PubMed, Web of Science, CNKI and WANFANG database. **Results** A total of 69 eligible studies were included in this study, related to 22,308 samples. The global pooled prevalence of mycotoxins in wheat and wheat-based products was 58% (95%CI: 51%–66%), which mainly were TeA (99%), TEN (88%), DON (85%), AFs (57%), ZEN (42%), T2 (39%), AOH (30%), AME (29%), NIV (28%), HT2 (25%), OTA (21%) and FBs (16%). The global pooled concentration of mycotoxins in wheat and wheat-based products was 32.80 μg/kg (95%CI: 24.96–43.10 μg/kg). DON showed the highest concentration (317.53 μg/kg), followed by TeA (117.37 μg/kg), FBs (45.09 μg/kg). The co-occurrence rate of DON-ZEN was 11.0%, 14.0% and 26.7%, TeA-TEN was 16.2%, TeA-TEN-AME was 14.3% and TeA-TEN-AOH-AME was 19.5%, respectively. **Conclusion** Wheat and wheat-based products showed different

收稿日期:2022-02-18

基金项目:国家重点研发计划(2019YFC1606500);国家食品安全风险评估中心“高层次人才队伍建设523项目”

作者简介:李明璐 女 在读研究生 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:201470699@qq.com

通信作者:梁江 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:liangjiang@cfsa.net.cn

魏晟 男 教授 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:shengwei@hust.edu.cn

characteristics of mycotoxin contamination in different countries or regions, and the co-occurrence rate of more than one mycotoxin in wheat and wheat-based products was high, which should be paid attention to in the combined exposure assessment.

Key words: Mycotoxin; worldwide; contamination; Meta-analysis

真菌毒素是真菌产生的低分子量次级代谢产物(主要有曲霉菌属、镰刀菌属、青霉菌属及交链孢菌属)。真菌毒素的摄入可对人和动物产生各种急性和慢性影响,如肝肾毒性、遗传毒性、免疫抑制性、雌激素毒性、致癌性或致畸性^[1-2]。联合国粮食及农业组织(粮农组织)估计,全球大约25%的谷物受到真菌毒素的污染,每年可造成近10亿吨粮食损失^[3]。其中,小麦是全球温带地区大量种植的作物,是人类重要的食物来源^[4]。小麦籽粒在生长及收获储存过程中可能受各种产毒真菌的污染,是影响小麦制品安全的重要问题之一^[5]。小麦中污染的主要真菌毒素包括黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFs)、单端孢霉烯类毒素(Trichothecenes)、伏马菌素(Fumonisin, FBs)、玉米赤霉烯酮(Zearalenone, ZEN)和赭曲霉毒素A(Ochratoxin A, OTA)^[6],以及交链孢酚(Alternariol, AOH)、交链孢酚单甲醚(Alternariol monomethyl ether, AME)、腾毒素(Tentoxin, TEN)及交链孢菌酮酸(Tenuazonic acid, TeA)等交链孢毒素(Alternaria toxins)^[7]。同时小麦中真菌毒素的联合污染及联合暴露风险也受到越来越多研究者的关注^[8-9]。BLESA等^[10]对摩洛哥的小麦样品进行检测,发现80份小麦样品中有51%的小麦样品含有一种以上的真菌毒素。SHI等^[11]在2016—2017年对加拿大地区的83份小麦样品进行分析,结果发现,54%的小麦样品同时受到至少两种真菌毒素的污染。ZHANG等^[12]对江苏省的35份全小麦粉样品进行检测,发现37.1%的全小麦样品中含有两种及以上的真菌毒素。

鉴于生产管理(储存、收获、加工条件和耕作)、地理因素和天气状况(降雨、湿度和温度)等环境因素均可对真菌毒素污染谱和污染水平产生重要的影响^[5,13],本研究将利用Meta分析针对2010年以来全球不同地区发表的小麦及小麦粉中多种真菌毒素的污染特征相关文献进行比较分析,为进一步确定小麦及小麦粉中真菌毒素污染特征及优先关注的联合暴露风险评估组合提供依据。

1 材料与方法

1.1 检索策略

本研究根据Cochrane协作手册进行系统评价^[14]。本研究依据检索策略获得所有符合纳入标准的关于小麦及小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、赭曲霉毒素A、玉米赤霉烯酮、黄曲

霉毒素、伏马菌素及交链孢毒素污染状况研究文献。本研究以“真菌毒素”、“黄曲霉毒素”、“玉米赤霉烯酮”、“赭曲霉毒素”、“脱氧雪腐镰刀菌烯醇”、“雪腐镰刀菌烯醇”、“H-2毒素”、“HT-2毒素”、“伏马菌素”、“交链孢毒素”、“交链孢酚”、“交链孢酚单甲醚”、“腾毒素”、“交链孢菌酮酸”、“含量”、“污染水平”、“小麦”、“小麦粉”,及英文“mycotoxin”、“deoxynivalenol”、“ochratoxin A”、“zearalenone”、“fumonisin”、“aflatoxin”、“nivalenol”、“T-2 toxin”、“HT-2 toxin”、“alternaria toxins”、“alternariol”、“alternariol monomethyl ether”、“tentoxin”、“tenuazonic acid”、“occurrence”、“wheat”、“wheat flour”等为检索词在PubMed、Web of Science、中国知网(CNKI)、万方数据库中进行检索,搜集2010年后国内外相关文献。

1.2 文献纳入与排除标准

纳入标准:中英文文献;文献内容与小麦、小麦粉及真菌毒素污染有关。

排除标准:报告、图书、专利、标准等方面的文献;文献内容未明确给出真菌毒素均值、标准差、样本数的文献。

1.3 文献中数据的提取

文献中的数据由一位作者提取并由另一位作者检查,提取的信息包括第一作者、发表年份、食物类型、真菌毒素的类别、样本总数、阳性样本数、真菌毒素污染水平的均值或中位数、标准差、真菌毒素的检测方法、检测限、定量限、国家/地区。

1.4 分析方法

对小麦中真菌毒素污染率和污染水平进行量化,并使用Meta分析估计相应的95%置信区间(Confidence interval, CI)。采用DerSimonian-Laird的随机效应分析模型估计了总体污染率和总体污染水平。在R软件4.1.0版本中进行Meta分析^[15],采用LOGIT变换进行污染率分析。污染率定义为阳性样本与总样本的比值,在0~1之间,使用Meta包中的metaprop函数来估算真菌毒素的污染率^[16]。由于不同真菌毒素含量均值差距大,采用对数变换来量化不同真菌毒素含量均值之间的差异,使用Meta包中的metamean函数来估算污染水平,并分别用forestplot包绘制森林图。研究变异性(I²)反映了异质性部分的效应在总的变异中所占的比重。HIGGINS等^[17]将I²值25%、50%和75%分别定为

低、中、高。由于本研究的异质性(I^2)>90%,所以采用随机效应模型(Random effects Meta-analysis, REM)来估计所有亚组的汇总^[18],显著性水平设为 0.05。

2 结果

2.1 文献筛选流程

本研究在 PubMed ($n=2\ 263$)、Web of Science

($n=3\ 550$)、知网($n=294$)及万方($n=305$)数据库共检索到 6 412 篇文献,去重后剩余 4 998 篇文献。根据标题进行初步筛选,排除 4 845 篇研究内容与本研究不相关的文献后,对其余符合本研究的 153 篇文献下载全文并阅读全文,最终将 69 篇文献的结果纳入 Meta 分析(图 1)。本研究的文献筛选流程在 EndNote X9 上进行。

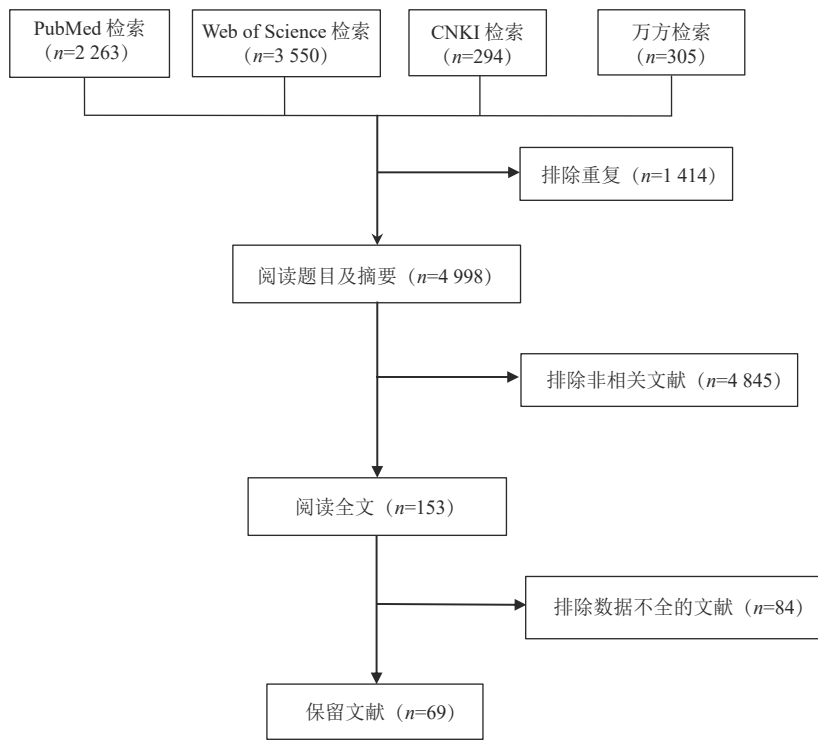


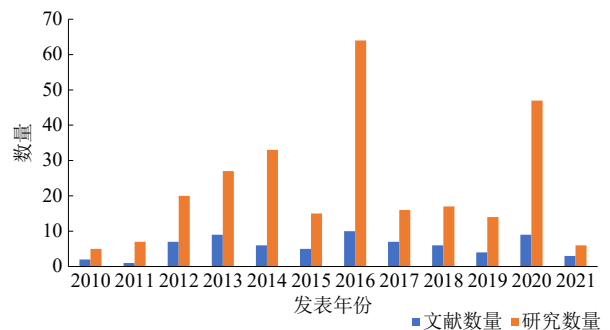
图 1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow diagram of article selection process

2.2 文献中提取的数据特征

本研究共筛选出 69 篇文献,发表于 2010 年 8 月至 2021 年 11 月,小麦原粮 57 篇,小麦粉 12 篇,样本量为 22 308。其中,44.93%(31/69)来自亚洲,包括中国(21 篇)及巴基斯坦、马来西亚、韩国等 8 个中国以外亚洲国家(共 10 篇);33.33%(23/69)来自欧洲,包括西班牙、意大利、波兰、塞尔维亚、丹麦等 10 个国家;14.49%(10/69)来自美洲,包括巴西、加拿大、美国、阿根廷和荷兰;7.25%(5/69)来自非洲,包括突尼斯、摩洛哥、阿尔及利亚等 5 个国家或地区。如图 2 所示,2010—2021 年小麦及小麦粉中真菌毒素污染相关研究的年度文献数量及研究个数,从 2012 年开始增长,2016 年最高,为 10 篇,2017—2021 年减少至 3~9 篇。

如图 3 所示,针对小麦及小麦粉中真菌毒素污染情况的相关的文献研究中,以 DON 研究文献数最多(45 篇),其次为 ZEN(29 篇)、NIV(17 篇)、OTA(14 篇)、T2(12 篇)、HT2(11 篇)、AFs(5 篇)、FBs(5 篇)、AME(8 篇)、AOH(8 篇)、TeA(6 篇)及



注:研究数量指文献中包含的研究数

图 2 2010—2021 年小麦及小麦粉中真菌毒素污染相关研究的年度文献情况

Figure 2 Variation numbers of articles and studies on mycotoxins in wheat and wheat-based products from 2010 to 2021

TEN(5 篇)。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 小麦及小麦粉中真菌毒素的总体污染情况

对全球范围内小麦及小麦粉中真菌毒素的污染情况进行分析,结果如表 1 所示。小麦及小麦粉中真菌毒素的总体污染率为 58%(95%CI: 51%~

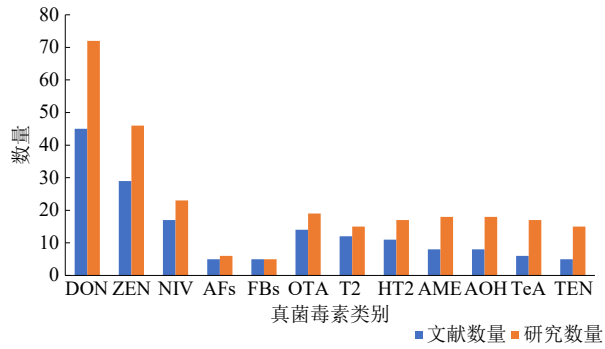


图3 小麦及小麦粉中真菌毒素污染相关研究的文献及研究数量比较

Figure 3 The number of articles and studies in wheat and wheat-based products based on the type of mycotoxins

66%), 具有较高的异质性 ($I^2=95.10\%$, $P<0.05$), 故将毒素类别绩效亚类分组分析来评估可能的异质性来源。以真菌毒素类别进行 Meta 的亚组分析, 结果显示, TeA、TEN 及 DON 毒素的污染率较高。小麦及小麦粉中真菌毒素总体污染水平为 $32.80 \mu\text{g}/\text{kg}$ ($95\%CI: 24.96\sim 43.10 \mu\text{g}/\text{kg}$), 具有较高的异质性 ($I^2=100.00\%$, $P<0.05$)。以真菌毒素类别进行 Meta 亚组分析, 结果显示, DON、TeA 及 FBs 毒素的污染水平较高。

2.3.2 不同国家和地区小麦及小麦粉中真菌毒素的污染情况比较

对不同国家或地区进行 Meta 亚组分析的结果显示, 小麦及小麦粉中真菌毒素的污染率见图 4a,

中国地区真菌毒素的污染率较高, 其次为欧洲地区及美洲地区。其中, 中国的小麦及小麦粉中真菌毒素污染率排名前 5 的为 TeA (99%)、DON (94%)、TEN (85%)、NIV (52%)、ZEN (49%), 欧洲地区为 TeA (99%)、TEN (97%)、DON (77%)、AME (49%)、T2 (40%), 美洲地区为 DON (94%)、ZEN (26%)、NIV (15%)、HT2 (14%)、T2 (12%), 中国以外的亚洲地区为 AME (100%)、TEN (93%)、AOH (67%)、AFs (64%)、ZEN (59%), 非洲地区为 T2 (100%)、DON (41%)、ZEN (29%)、AFs (26%)、HT2 (25%)。全球各区域小麦及小麦粉真菌毒素的污染水平见图 4b, 美洲地区真菌毒素污染水平较高, 其次为非洲及中国地区。其中, 中国的小麦及小麦粉中真菌毒素污染水平排名前 5 的为 DON ($214.09 \mu\text{g}/\text{kg}$)、TeA ($115.77 \mu\text{g}/\text{kg}$)、ZEN ($31.01 \mu\text{g}/\text{kg}$)、NIV ($23.66 \mu\text{g}/\text{kg}$)、TEN ($20.05 \mu\text{g}/\text{kg}$), 美洲地区为 DON ($574.29 \mu\text{g}/\text{kg}$)、ZEN ($69.63 \mu\text{g}/\text{kg}$)、NIV ($66.84 \mu\text{g}/\text{kg}$)、HT2 ($36.90 \mu\text{g}/\text{kg}$)、OTA ($8.33 \mu\text{g}/\text{kg}$), 非洲地区有 DON ($348.66 \mu\text{g}/\text{kg}$)、ZEN ($52.73 \mu\text{g}/\text{kg}$)、T2 ($21.80 \mu\text{g}/\text{kg}$)、HT2 ($10.16 \mu\text{g}/\text{kg}$)、AFs ($6.60 \mu\text{g}/\text{kg}$), 欧洲地区为 DON ($324.88 \mu\text{g}/\text{kg}$)、TeA ($122.02 \mu\text{g}/\text{kg}$)、FBs ($72.22 \mu\text{g}/\text{kg}$)、ZEN ($30.47 \mu\text{g}/\text{kg}$)、NIV ($19.95 \mu\text{g}/\text{kg}$), 中国以外的亚洲地区为 DON ($213.43 \mu\text{g}/\text{kg}$)、HT2 ($72.41 \mu\text{g}/\text{kg}$)、FBs ($17.00 \mu\text{g}/\text{kg}$)、ZEN ($13.80 \mu\text{g}/\text{kg}$)、AOH ($6.00 \mu\text{g}/\text{kg}$)。

表1 小麦及小麦粉中不同真菌毒素的全球污染率及污染水平

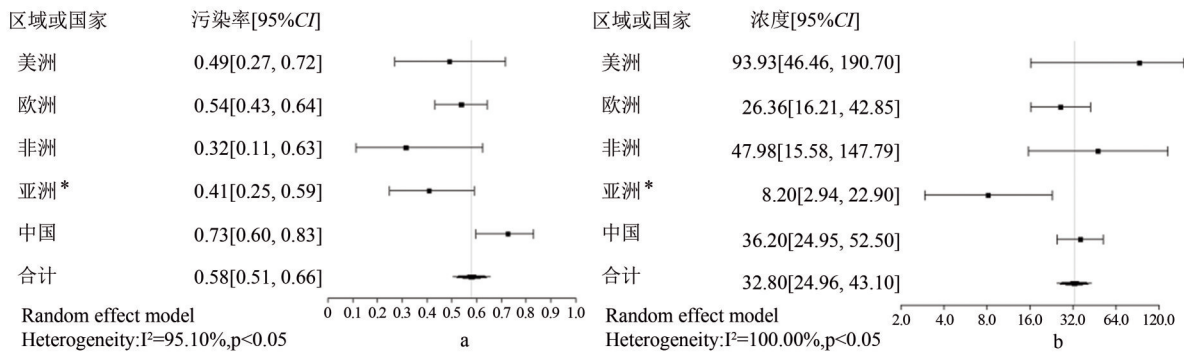
Table 1 Global pooled prevalence and concentration of each mycotoxin in wheat and wheat-based products

真菌毒素类别	污染率/%	95%CI	I^2 /%	污染水平/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	95%CI	I^2 /%
ZEN	42	[0.30,0.55]	95.00	32.34	[21.90,47.75]	99.80
DON	85	[0.75,0.91]	93.30	317.53	[247.26,407.76]	99.70
NIV	28	[0.16,0.46]	97.60	25.86	[13.85,48.29]	99.40
HT2	25	[0.13,0.43]	88.60	11.68	[4.27,31.95]	99.20
T2	39	[0.17,0.68]	90.20	9.08	[3.02,27.32]	98.70
AFs	57	[0.23,0.86]	93.40	1.59	[0.62,4.05]	99.00
FBs	16	[0.06,0.35]	76.50	45.09	[17.04,119.29]	99.60
OTA	21	[0.11,0.38]	85.50	3.74	[1.44,9.74]	100.00
AOH	30	[0.19,0.44]	91.60	8.07	[4.34,15.02]	98.30
AME	29	[0.11,0.56]	94.60	3.59	[1.58,8.12]	97.30
TEN	88	[0.71,0.96]	91.50	7.18	[2.67,19.29]	99.80
TeA	99	[0.95,1.00]	67.00	117.37	[63.72,216.21]	99.10
合计	58	[0.51,0.66]	95.10	32.80	[24.96,43.10]	100.00

2.3.3 小麦及小麦粉中多组分真菌毒素的联合污染情况

本研究筛选出的文献中共有 20 篇文献表明小麦及小麦粉中真菌毒素存在联合污染现象, 见表 2。巴西的一项真菌毒素联合污染情况研究显示, DON-ZEN 及 DON-ZEN-NIV 真菌毒素组合的占比较大。中国的一项针对交链孢毒素联合污染情况研究表

明, TeA-TEN、TeA-TEN-AME 及 TeA-TEN-AOH-AME 交链孢毒素组合的占比较大。XU 等^[19]对 2015 年安徽省小麦中多种真菌毒素的联合污染情况的研究结果表明, 99.5% (368/370) 的小麦样品中同时检出两种及以上真菌毒素, 其中 2 种、3 种、4 种、5 种、6 种、7 种毒素组合占比分别为 6.2%、5.4%、10.3%、22.2%、30.3% 及 25.1%。JUAN



注：*：中国以外的亚洲地区

图 4 全球不同区域小麦及小麦粉中真菌毒素的污染率及污染水平随机效应 Meta 分析森林图

Figure 4 Forest plot for random-effects Meta-analysis of estimated pooled prevalence and concentration of each mycotoxin in wheat and wheat-based products in different regions of the world

表 2 不同国家小麦及小麦粉中多组份真菌毒素联合污染情况

Table 2 Co-occurrence of mycotoxins in wheat and wheat-based products in different countries

国家	毒素种类	样本数	联合污染情况	参考文献
巴西	ZEN、DON、NIV	371	ZEN-DON: 11.0%	[22]
			DON-NIV: 3.8%	
			ZEN-DON-NIV: 74.0%	
巴西	ZEN、DON、NIV	374	ZEN-DON: 14.0%	[22]
			DON-NIV: 11.0%	
			ZEN-DON-NIV: 12.0%	
中国	DON、ZEN	157	DON-ZEN: 26.7%	[23]
			TeA-TEN: 16.2%	
			TeA-AME 及 TEN-AME: 9.4%	
中国	AME、AOH、TeA、TEN	370	TeA-AOH: 3.8%	[24]
			AOH-TEN 及 AOH-AME: 3.5%	
			TeA-TEN-AME: 14.3%	
			TeA-TEN-AOH: 5.4%	
			TeA-AOH-AME: 5.1%	
			AOH-TEN-AME: 4.9%	
TeA-TEN-AOH-AME: 19.5%				

等^[20]对意大利的小麦中 26 种真菌毒素的污染情况进行分析,结果显示 90.5%(67/74)的小麦样本中同时存在两种及以上真菌毒素污染。JANIĆ 等^[21]对塞尔维亚地区的小麦样品中交链孢毒素的污染情况进行分析,结果显示,2011 年的 2.5%(1/40)的小麦样品检测到两种交链孢毒素,2012 年 5.1%(2/39)的小麦样品检测到三种交链孢毒素和 2.6%(1/39)的小麦样品中检测到两种交链孢毒素,而在 2013 年 30.8%(4/13)的小麦样品中检测到三种交链孢毒素。

3 讨论

本研究对全球区域范围内小麦及小麦粉中真菌毒素的污染情况进行了 Meta 分析。研究表明,小麦及小麦粉中真菌毒素的全球总体污染率为 58%,其中以 TeA 的污染率最高,其次为 TEN 及 DON;总体污染水平为 32.80 μg/kg,其中,DON 的污染水平

为 317.53 μg/kg,其次为 TeA 117.37 μg/kg,可见 DON 与 TeA 在小麦及小麦粉中污染率及污染水平均较高。对不同国家或区域进行亚组分析的结果表明小麦作物在不同国家或地区表现出不同的真菌毒素污染特征,而气候条件等环境因素差异对真菌毒素在作物生长和作物贮藏期间的污染产生显著影响。GRUBER 等^[25]针对气候条件对真菌毒素的影响研究结果表明,开花和籽粒发育敏感期的天气条件(即降雨和温度)等极端天气条件可能导致真菌毒素污染水平远远超过特定地区通常观察到的污染水平。KHARBIKAR 等^[26]研究花期之后降雨、杀菌剂和收获时间对小麦中 ZEN 的影响,结果显示,花期后降雨可显著增加小麦中 ZEN 的含量,而延迟收获期可进一步增加 ZEN。同时,BIOMIN 公司分析了 2020 年 1 月至 12 月期间全球 79 个国家的 21 709 份谷物原粮中真菌毒素的发生情况,包括 AFs、ZEN、DON、T-2、FBs 及 OTA 毒素,

结果发现,全球污染率最高的为 DON(65%),其次为 FBs(64%)及 ZEN(48%),其中,北美洲的污染率为 77%,美洲中部地区为 87%,南美洲为 67%,欧洲地区为 49%,亚洲地区为 79%,中东地区为 56%,非洲地区为 72%,且非洲地区 86% 的样本中至少含有一种真菌毒素^[27]。

本研究针对真菌毒素的联合污染情况进行系统综述,一种以上真菌毒素共污染率较高。BIOMIN 公司针对 2019 年小麦、玉米、稻谷及大麦等谷类原粮中超过 380 种真菌毒素的共污染情况进行全球分析,结果显示,全球范围内 87% 样本中含有 10 种及以上真菌毒素及其代谢物,平均每个样本中有 30 种真菌毒素及其代谢物^[27]。真菌毒素联合污染组合结果可知, DON-ZEN 组合污染率相对较高,交链孢毒素中 TeA-TEN、TeA-TEN-AME 和 TeA-TEN-AOH-AME 组合的污染率相对较高。

本研究纳入的是近 10 年发表的文献,涉及 28 个国家或地区,且文献中真菌毒素的检测方法及检出限的不同,可能会导致得出的污染率及污染水平存在较大的异质性。且涉及 AFs、FBs 及交链孢毒素的文献仅 5~8 篇,因此样本量的不足可能导致数据不能真实反映这几种真菌毒素的污染情况。关于真菌毒素联合污染情况,由于受文献数量的影响,可能会导致结果具有一定的偏倚。

参考文献

- [1] GRUBER-DORNINGER C, NOVAK B, NAGL V, et al. Emerging mycotoxins: Beyond traditionally determined food contaminants [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(33): 7052-7070.
- [2] PALUMBO R, CRISCI A, VENÂNCIO A, et al. Occurrence and co-occurrence of mycotoxins in cereal-based feed and food [J]. *Microorganisms*, 2020, 8(1): 74.
- [3] MARIN S, RAMOS A J, CANO-SANCHO G, et al. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 60: 218-237.
- [4] FAO. FAOSTAT [DB/OL]. 2021-12-09. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- [5] PITT J I, TANIWAKI M H, COLE M B. Mycotoxin production in major crops as influenced by growing, harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives [J]. *Food Control*, 2013, 32(1): 205-215.
- [6] SANTOS PEREIRA C, C CUNHA S, FERNANDES J O. Prevalent mycotoxins in animal feed: Occurrence and analytical methods [J]. *Toxins*, 2019, 11(5): 290.
- [7] EFSA PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN (CONTAM). Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of alternaria toxins in feed and food [J]. *EFSA Journal*, 2011, 9(10): 2407.
- [8] MAHDJOUBI C K, ARROYO-MANZANARES N, HAMINI KADAR N, et al. Multi-mycotoxin occurrence and exposure assessment approach in foodstuffs from Algeria [J]. *Toxins*, 2020, 12(3): 194.
- [9] BRYŁA M, WAŚKIEWICZ A, PODOLSKA G, et al. Occurrence of 26 mycotoxins in the grain of cereals cultivated in Poland [J]. *Toxins*, 2016, 8(6): 160.
- [10] BLESA J, MOLTÓ J C, EL AKHDARI S, et al. Simultaneous determination of Fusarium mycotoxins in wheat grain from Morocco by liquid chromatography coupled to triple quadrupole mass spectrometry [J]. *Food Control*, 2014, 46: 1-5.
- [11] SHI H T, SCHWAB W, YU P Q. Natural occurrence and co-contamination of twelve mycotoxins in industry-submitted cool-season cereal grains grown under a low heat unit climate condition [J]. *Toxins*, 2019, 11(3): 160.
- [12] ZHANG Y Y, PEI F, FANG Y, et al. Comparison of concentration and health risks of 9 Fusarium mycotoxins in commercial whole wheat flour and refined wheat flour by multi-IAC-HPLC [J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 763-769.
- [13] REYNERI A. The role of climatic condition on micotoxin production in cereal [J]. *Veterinary Research Communications*, 2006, 30(1): 87-92.
- [14] HIGGINS J P T, THOMAS J, CHANDLER J, et al. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.2* [Z/OL]. 2021. <http://www.training.cochrane.org/handbook>.
- [15] R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing [Z/OL]. Vienna, Austria, 2021. <https://www.R-project.org/>.
- [16] BALDUZZI S, RÜCKER G, SCHWARZER G. How to perform a meta-analysis with R: A practical tutorial [J]. *Evidence-Based Mental Health*, 2019, 22(4): 153-160.
- [17] HIGGINS J P T, THOMPSON S G, DEEKS J J, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses [J]. *BMJ: Clinical Research Ed*, 2003, 327(7414): 557-560.
- [18] SPINELI L M, PANDIS N. Meta-analysis: random-effects model [J]. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2020, 157(2): 280-282.
- [19] XU W J, HAN X M, LI F Q. Co-occurrence of multi-mycotoxins in wheat grains harvested in Anhui Province, China [J]. *Food Control*, 2019, 96: 180-185.
- [20] JUAN C, COVARELLI L, BECCARI G, et al. Simultaneous analysis of twenty-six mycotoxins in durum wheat grain from Italy [J]. *Food Control*, 2016, 62: 322-329.
- [21] JANIĆ HAJNAL E, ORČIĆ D, TORBICA A, et al. Alternaria toxins in wheat from the Autonomous Province of Vojvodina, Serbia: A preliminary survey [J]. *Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2015, 32(3): 361-370.
- [22] CALORI-DOMINGUES M A, BERNARDI C M G, NARDIN M S, et al. Co-occurrence and distribution of deoxynivalenol, nivalenol and Zearalenone in wheat from Brazil [J]. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 2016, 9(2): 142-151.
- [23] 何玲, 秦忠雪, 任琳, 等. 2018年四川省小麦中真菌毒素污染调查 [J]. *现代预防医学*, 2020, 47(8): 1502-1504, 1523.
- [23] HE L, QIN Z X, REN L, et al. Investigation on contamination

- of mycotoxins in wheat from Sichuan in 2018 [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2020, 47(8): 1502-1504, 1523.
- [24] XU W J, HAN X M, LI F Q, et al. Natural occurrence of *Alternaria* toxins in the 2015 wheat from Anhui province, China [J]. *Toxins*, 2016, 8(11): 308.
- [25] GRUBER-DORNINGER C, JENKINS T, SCHATZMAYR G. Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey [J]. *Toxins*, 2019, 11(7): 375.
- [26] KHARBIKAR L L, DICKIN E T, EDWARDS S G. Impact of post-anthesis rainfall, fungicide and harvesting time on the concentration of deoxynivalenol and Zearalenone in wheat [J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2015, 32(12): 2075-2085.
- [27] BIOMIN. Mycotoxin survey [Z/OL]. (2022-01-23) [2022-04-18]. <https://www.dsm.com/anh/products-and-services/tools/mycotoxin-contamination/biomin-mycotoxin-survey.html>.

《中国食品卫生杂志》投稿须知

《中国食品卫生杂志》是中华预防医学会、中国卫生信息与健康医疗大数据学会共同主办的国家级食品卫生学术期刊,为中文核心期刊、中国科技核心期刊。《中国食品卫生杂志》的办刊方针是普及与提高并重。设专家述评、论著、研究报告、实验技术与方法、监督管理、调查研究、风险监测、风险评估、食品安全标准、食物中毒、综述等栏目。《中国食品卫生杂志》既报道食品安全领域的重大科研成果,也交流产生、发现于实际工作的研究结论;既涉足实验室,又深入监督管理现场;全方位报道国内外食品安全的政策、理论、实践、动态。

1 投稿的基本要求

文稿应具有创新性、科学性、实用性,文字精练,数据准确,逻辑性强。文章一般不超过5000字,如遇特殊情况请与编辑部联系。投稿时邮寄单位推荐信,介绍该文的作者、单位,文章的真实性,是否一稿两投,是否属于机密,是否受各类基金资助。如为基金资助项目,应附带资助的合同文本封面和课题参加者名单页复印件或获奖证书复印件。

2 文稿中应注意的问题

投稿前最好先阅读本刊,以便对本刊有基本的了解。尤其要注意以下问题。

- 2.1 作者和单位的中英文名称、所在地、邮编分别列于中英文题目之下,单位的英文名称应是系统内认可的、符合规范的。
- 2.2 个人署名作者在2人(含2人)以上以及集体作者,应指定一位通信作者(corresponding author)。第一作者及通信作者应有简短的中文自传:姓名、性别、学位、职称、主攻研究方向,放在文稿第一页的左下方。副高级职称以上的作者应有亲笔签名。
- 2.3 受资助的情况(资助单位、项目名称、合同号)用中英文分别列于文稿左下方。
- 2.4 所有稿件都应有中英文摘要。一般科技论文的摘要包括:目的、方法、结果、结论。作者应能使读者通过阅读摘要就能掌握该文的主要内容或数据。为便于国际读者检索并了解文章的基本信息,英文摘要应比中文摘要更详细。
- 2.5 每篇文章应标注中英文关键词各3~8个。
- 2.6 缩略语、简称、代号除了相邻专业的读者清楚的以外,在首次出现时必须写出全称并注明以下所用的简称。如新术语尚无合适的中文术语译名可使用原文或译名后加括号注明原文。
- 2.7 用于表示科学计量和具有统计意义的数字要使用阿拉伯数字。
- 2.8 研究对象为人时,需注明试验组、对照组受试者的来源、选择标准及一般情况等。研究对象为试验动物时需注明动物的名称、种系、等级、数量、来源、性别、年龄、体重、饲养条件和健康状况等。动物试验和人体试验均需伦理审查文件。
- 2.9 药品、试剂使用化学名,并注明主要试剂的剂量、单位、纯度、批号、生产单位和日期。
- 2.10 主要仪器、设备应注明名称、型号、生产单位、精密度或误差范围。
- 2.11 图、文字和表格的内容不要重复,图、表应有自明性,即不看正文就能理解图意、表意。
- 2.12 所引的参考文献仅限于作者亲自阅读过的。未公开发表或在非正式出版物上发表的著作如确有必要引用,可用圆括号插入正文或在当页地脚加注释说明。原文作者若不超过3人应将作者姓名依次列出,中间用“,”隔开,3位以上作者则列出前3位,逗号后加“等”。参考文献格式如下:

期刊文章:[序号] 主要责任者(外文人名首字母缩写,缩写名后不加缩写点). 文献题名[文献类型标志]. 刊名,年,卷(期): 起页-止页.

举例 [1] 汪国华,马进,李适东,等. 急性出血坏死性胰腺炎的手术治疗[J]. 中级医刊,1995,30(8):22-25.

[2] BERRY R J, LI Z, ERICKSON J D, et al. Preventing neural tube defects with folic acid in China[J]. *N Engl J Med*, 1999, 314: 1485-1490.