

2020 年我国粮食及其产品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素污染情况与分布特征

段鸿渐, 李文霞, 郝得隆, 任兴葡, 安康, 张正征, 王丹, 李群伟*

[山东第一医科大学(山东省医学科学院)公共卫生学院, 泰安 271016]

摘要: 目的 了解脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)毒素在各种粮食及其产品和全国各地区的污染情况及分布特征。**方法** 收集我国 29 个省、自治区、直辖市中销售的 13 种产自当地的粮食, 共计 3414 个样本。将粮食样品充分研磨, 采用酶联免疫吸附法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)进行检测, 在包被了 DON 毒素的微孔中加入标本、标准品和抗体。温育并洗涤之后, 用酶标仪测定吸光度, 计算样品浓度。**结果** 在不同种类的粮食中, 玉米中 DON 毒素平均含量显著高于大米、绿豆、红豆($P<0.05$)。玉米不同加工产品中玉米渣的 DON 毒素平均含量极显著低于玉米面、玉米($P<0.01$)。西北地区的玉米中 DON 毒素平均含量显著低于北方和南方地区($P<0.05$); 北方地区的面粉中 DON 毒素平均含量显著低于南方地区($P<0.05$); 南方地区的大米中 DON 毒素平均含量极显著高于西北和北方地区($P<0.01$)。**结论** 不同粮食毒素的含量不同, 玉米中的毒素含量较高。玉米不同加工产品 DON 毒素的含量有所不同。粮食中 DON 毒素含量的分布情况与环境的温度湿度有较大关系。

关键词: 粮食; 脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 污染; 分布

Pollution situation and distribution characteristics of deoxynivalenol toxin in grains and their products in China in 2020

DUAN Hong-Jian, LI Wen-Xia, HAO De-Long, REN Xing-Pu, AN Kang,
ZHANG Zheng-Zheng, WANG Dan, LI Qun-Wei*

(School of Public Health, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences,
Taian 271016, China)

ABSTRACT: Objective To understand the pollution situation and distribution characteristics of deoxynivalenol (DON) toxin in various grains and their products, and various regions of the country. **Methods** A total of 3414 samples were collected types of local-produced food sold in 29 provinces, autonomous regions, and municipalities in China. The grain samples were ground thoroughly, detected by enzyme linked immunosorbent assay (ELISA), and specimens, standards and antibodies were added to the microwells that contained deoxynivalenol. After incubation and washing, the absorbance was measured with a microplate reader, and the samples concentration was calculated. **Results** Among different kinds of grains, the average content of DON toxin in corn was significantly higher than

基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目(202012020136)

Fund: Supported by the Projects of Medical and Health Technology Development Program in Shandong (202012020136)

*通信作者: 李群伟, 博士, 教授, 主要研究方向为病因流行病学、地方病、慢性病。E-mail: qwli@sdfmu.edu.cn

*Corresponding author: LI Qun-Wei, Ph.D, Professor, School of Public Health, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, No.619, Changcheng Road, Daiyue District, Taian 271016, China. E-mail: qwli@sdfmu.edu.cn

that in rice, mung beans, and red beans ($P<0.05$). The average content of DON toxin in corn in different processed corn products was significantly lower than that of corn flour and corn ($P<0.01$). The average content of DON toxin of corn in the northwest region was significantly lower than that in the north and south regions ($P<0.05$). The average content of DON toxin of flour in the north than was significantly lower in the south ($P<0.05$), the average content of DON toxin of rice in the southern region was significantly higher than in the northwest and northern regions ($P<0.01$). **Conclusion** The content of toxin in different grains is different, and the content of toxin in corn is higher. The content of DON toxin in different processed corn products is different. The distribution of DON toxin content in grain is closely related to the temperature and humidity of the environment.

KEY WORDS: grains; deoxynivalenol; pollution; distribution

0 引言

食品受到天然毒素,特别是真菌毒素的污染,对食品和农业以及人和动物的健康都是一个严重的世界性问题^[1]。脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)又称呕吐毒素,是最常见的霉菌毒素之一,其可污染几乎全世界的谷物及其副产品,主要存在于小麦、玉米和大麦等谷物之中^[2]。摄入 DON 毒素污染的食物会导致呕吐、厌食、免疫、胃肠道功能紊乱等症状^[3],高剂量会引起人类消化道慢性或急性疾病^[3]。还有研究表明 DON 毒素有潜在的神经毒性作用,其会直接影响神经元和神经胶质细胞,减少神经节面积,并进一步诱发脑损伤^[4-5]。李群伟等^[6]研究也表明粮食中 DON 毒素可能是引起骨关节炎和大骨节病的重要病因。

酶联免疫吸附法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)安全、高效、便捷,其商业化的 ELISA 检测试剂盒也已广泛应用在粮食中包括脱氧雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)等真菌毒素的检测^[7],相比于其他的毒素检测方法,ELISA 方法则更加简单快捷、经济实用。甄阳光等^[8]运用 ELISA 检测方法对全国 7 个地区的饲料进行 DON 毒素的检测,分析其在全国的污染情况,但我国目前对于粮食中 DON 毒素在全国的污染及分布情况的相关研究仍然较少。

因此,本研究拟对全国各地在售的粮食进行采集,采用 ELISA 方法检测其中 DON 毒素的含量,以期掌握 DON 毒素在各种粮食及其产品和全国各地区的污染情况和分布特点,为加强粮食中毒素的检测与监管提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本次研究数据共收集了全国 20 个省(除台湾省、青海省、海南省)、5 个自治区与 4 个直辖市(除澳门与香港行政区)销售的 13 种粮食(大米、黄豆、绿豆、红豆、黑豆、面粉、小麦、小米、玉米、糙米、青稞、糯米、黑米),共计 3414 个样品。采样时间为 2020 年 4~10 月。采样方法为从

全国各地区的粮食销售店铺、仓库等随机采集其储存或正在销售的粮食商品,粮食样品均产自销售处当地。将样品放在防潮袋中密封保存好,送至山东第一医科大学泰安校区进行检测,每份样品的含量不少于 200 g,于 10 月底全部送达实验室,期间到达的样品立刻研磨粉碎,放入密封袋中,冻存于 -20°C 的冰箱中。

1.2 分析方法

样品在山东第一医科大学泰安校区流行病学实验室进行检测,采用美国 Beacon Analytical Systems Inc 公司呕吐毒素(DON) ELISA 检测试剂盒,按照产品提供说明书的操作方法进行检测,用酶标仪在 450 nm 波长下测定吸光度,计算样品浓度,最终于 12 月完成所有样品的检测。

1.3 数据统计与处理

应用 SPSS 25.0 软件来进行分析不同地区、不同种类粮食毒素的含量,以“平均值 \pm 标准偏差”来表示,并进行方差分析与最小显著性差异法(least significant difference, LSD)多重比较($P<0.05$)。应用 Tableau public 软件制作 DON 毒素含量分布的热力图。

2 结果与分析

2.1 不同种类粮食的 DON 毒素含量分析

本次所测全国 3414 个样品 DON 毒素的检测结果见表 1。检出率 98.21%,超标率为 1.64%。采样的粮食中除去糯米的检出率为 84.44%,其余粮食产品的 DON 毒素检出率均不低于 90%。其中黑米、青稞和糙米的检出率最高,为 100%。按照 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》规定的标准,当粮食中的 DON 毒素含量超过 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$,即为超标。玉米有 34 个样品超标,超标率为 6.02%;面粉中有 20 个样品超标,超标率为 3.34%;绿豆有 1 个样品超标,超标率为 0.34%;黄豆有 1 个样品超标,超标率为 0.29%。检测出玉米和面粉的超标样品较多,绿豆与黄豆仅有单个样品超标,其他种类粮食样品中 DON 含量均未超出规定范围。

表 1 不同粮食中 DON 毒素含量
Table 1 Content of deoxynivalenol toxin in different grains

粮食种类	样品数	平均值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	检出率/%	超标率/%
大米	764	105.24 \pm 34.28	261.18	92.01	0
面粉	599	175.62 \pm 107.23	543.32	95.16	3.34
玉米	564	252.44 \pm 310.34	1513.42	98.76	6.02
小米	349	114.91 \pm 28.76	191.81	97.71	0
黄豆	348	151.81 \pm 73.87	429.22	99.42	0.29
绿豆	296	135.59 \pm 75.98	436.21	98.99	0.34
红豆	224	118.83 \pm 31.87	193.06	96.88	0
黑米	133	137.08 \pm 34.14	198.97	100.00	0
糯米	46	100.44 \pm 22.85	136.89	84.44	0
青稞	35	100.70 \pm 24.12	117.62	100.00	0
小麦	26	91.46 \pm 18.14	124.65	96.00	0
糙米	19	99.37 \pm 6.77	112.22	100.00	0
黑豆	11	142.68 \pm 57.49	215.32	90.00	0
合计	3414	149.31 \pm 132.96	1513.42	98.21	1.64

选取大米、黄豆、绿豆、红豆、面粉、玉米这 6 种样本含量较大、地区分布广(小米除外, 采样地区较少)的粮食进行呕吐毒素含量的方差分析多重比较, 如图 1 所示, 结果发现玉米中 DON 毒素平均含量显著高于大米、绿豆、红豆($P<0.05$), 其他各种粮食之间进行两两比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。

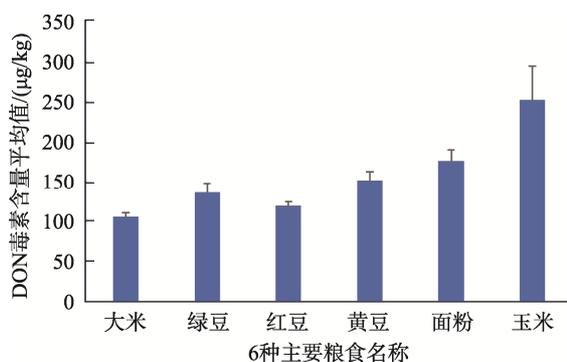


图 1 6 种主要粮食 DON 毒素含量的平均值($n=2795$)

Fig.1 Average values of the deoxynivalenol content in 6 kinds of main grains ($n=2795$)

2.2 玉米不同加工产品中 DON 毒素含量分析

本次玉米样品中共有未加工玉米、玉米面、玉米粒、玉米渣 4 种产品, 统计结果见表 2。玉米产品整体的污染较为严重, 检出率很高, 达到 98.76%, 其中未加工玉米与玉米粒的检出率都为 100%。玉米整体的超标率为 6.02%, 其中玉米面的超标率最大, 其次是未加工玉米, 超标率最

少的为玉米渣。玉米面的 DON 毒素含量平均值最高。对 4 种产品进行方差分析的多重比较, 结果显示玉米渣 DON 毒素平均含量极显著低于玉米面与玉米($P<0.01$)。

2.3 全国地区的粮食中 DON 毒素含量分布情况分析

依据《中国行政区规划及地理区划划分图》, 按地理位置将全国分为西北、北方和南方 3 个区域。将每种粮食按这 3 个地区的分布进行方差分析。其中发现玉米、面粉和大米的 DON 毒素含量在这 3 个地区分布部分差异有统计学意义($P<0.05$)。3 种粮食的统计分析结果见表 3。

对这 3 种粮食进行方差分析的多重比较, 其中西北地区的玉米中 DON 毒素平均含量显著低于北方和南方地区($P<0.05$); 北方地区的面粉中 DON 毒素平均含量显著低于南方地区($P<0.05$); 南方地区的大米中 DON 毒素平均含量极显著高于北方和西北地区($P<0.01$), 结果见表 4。

3 结论与讨论

3.1 不同种类粮食 DON 毒素含量差异分析

本次所检出的 3414 个粮食样品中, 检出率 98.21%, 可见 DON 毒素在粮食污染中的普遍性, 毒素容易在粮食产品中生长累积^[9], 足以证明 DON 毒素对粮食的污染在当今食品安全质量方面是一个严肃的问题。DON 毒素主要污染的作物为玉米和小麦^[10-11], 玉米的生长月份主要为 5~8 月或 7~10 月, 适宜 DON 毒素的积累^[9], 而小麦的生长需

要度过寒冷的冬天, 有研究表明 DON 毒素在粮食中的积累不会越冬^[4], 这就导致同为污染的主要作物玉米中 DON 毒素的含量却高于小麦。在收获时, 玉米本身就积累较多的毒素, 在其深加工过程中, 由于目前的加工技术尚不能

有效破坏分解其中的毒素^[12], 导致毒素更容易富集在玉米及其副产品之中, 使得玉米的粮食产品毒素含量平均值高于其他粮食。玉米作为全球产量最高的农作物^[13], 其真菌毒素带来的危害与隐患不容忽视。

表 2 玉米不同产品种类 DON 毒素含量
Table 2 Content of deoxynivalenol toxin in different types of corn products

产品种类	玉米面	未加工玉米	玉米粒	玉米渣	合计
样品数	141	167	59	197	564
平均值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	360.86 \pm 784.99*	340.25 \pm 467.58*	251.92 \pm 301.69	149.53 \pm 276.20	267.41 \pm 509.91
检出率/%	99.30	100.00	100.00	96.95	98.76
超标率/%	10.63	8.38	5.08	1.02	6.02

注: *表示同行不同产品具有极显著差异($P<0.01$)。

表 3 3 种粮食按地区划分的统计结果
Table 3 Statistical results of 3 kinds of grains divided by region

粮食种类		西北地区	北方地区	南方地区
玉米	样品数	138	292	134
	平均值	170.65 \pm 276.48	295.41 \pm 609.96	304.05 \pm 431.81
	95%置信区间	122.86~218.44	224.16~366.65	227.91~380.18
面粉	样品数	102	321	176
	平均值	257.49 \pm 251.90	236.19 \pm 347.21	317.01 \pm 330.68
	95%置信区间	207.25~307.73	197.95~274.44	267.38~366.63
大米	样品数	117	286	361
	平均值	80.91 \pm 24.81	93.42 \pm 62.30	114.55 \pm 71.81
	95%置信区间	74.76~87.05	85.40~101.44	106.53~122.58

表 4 3 种粮食按地区划分的多重比较
Table 4 Multiple comparisons of 3 kinds of grains divided by region

粮食种类	比较对象	平均值差值	标准偏差	P 值
玉米	西北-北方	124.76	53.50	0.020
	西北-南方	133.40	63.20	0.035
	北方-南方	8.64	54.22	0.873
面粉	西北-北方	21.30	36.67	0.562
	西北-南方	59.51	40.17	0.139
	北方-南方	80.81	30.09	0.007
大米	西北-北方	12.51	9.05	0.167
	西北-南方	33.64	8.81	0.000
	北方-南方	21.14	5.59	0.000

3.2 玉米不同产品 DON 毒素含量差异分析

在玉米、玉米面、玉米粒、玉米渣 4 种产品中, 玉米面和玉米毒素含量都极显著高于玉米渣($P<0.01$)。玉米中毒素含量较高的另一个原因可能是在农作物生长直到收获的过程中毒素积累较多^[14], 而后期又没有进一步的深处理加工导致原始积累的毒素继续存留在产品之中。玉米面中毒素含量较高的原因可能是由于玉米面的质地较为松软, 在储藏的过程中更容易产生受潮、发霉等情况, 而 DON 毒素等真菌毒素生长的首要条件是潮湿的环境和适宜的温度^[15], 这些都导致了 DON 毒素在玉米面中的生长和积累。玉米面和未加工的玉米毒素超标率分别为 10.63%和 8.38%, 这在销售的食品中已经是很高的数值^[16], 在食品加工和储藏过程中, 我们仍需做出更多的努力来控制 DON 毒素的污染。

3.3 全国地区的粮食 DON 含量分布情况分析

在所测得的粮食中,共有玉米、面粉和大米 3 种粮食的毒素含量在划分的西北、北方、南方 3 个地区的部分差别具有统计学意义。在制作的热力图可以看出以秦岭-淮河为界限^[9]的差别较为明显,其分布也与中国的气候及干湿分布图较为相似^[17]。西北区域主要为高原山地气候和温带大陆性气候,总体降水较少,年降水量基本在 200 mm 以下,环境较为干燥,不利于 DON 毒素在粮食中的生长积累。北方区域主要为温带季风气候,年降水量主要在 400 mm 左右,处于半湿润区,更利于毒素的生长。南方地区主要为亚热带季风气候及热带季风气候,降水量多,环境潮湿温热,相较之下最适合毒素的生长,粮食产品感染 DON 毒素的概率也就更高,含量也会更高。

3.4 关于粮食中 DON 毒素产生的研究

粮食中的 DON 毒素来自作物生长和收获、加工、运输、储藏过程中。在粮食生长收获的过程中,有时粮食会来不及晾晒、干燥,就容易出现受潮、发霉等情况导致毒素的产生。目前农业机械化普及,但也使得粮食破损的程度增多,霉变的几率升高,更会增加毒素的产生^[18]。而在储藏过程中,储存环境条件的不同直接影响到了其中毒素的生长繁殖,最为关键的因素是温度和湿度。有研究表明在粮食的正常储存过程中,如果环境水分活度低于其安全界限, DON 毒素的生长将会受到抑制,其含量不会进一步增高^[19]。大部分毒素生长的适宜温度在 15~30 °C 之间^[20],超过这个范围都会抑制毒素的生长。因此在粮食的储藏过程中要控制好温度与湿度。

3.5 关于粮食中 DON 毒素降解技术的研究

为了提高食品安全,现在有许多关于粮食中 DON 毒素降解技术的研究,但还没有彻底有效的讲解方法来解决毒素的污染问题。目前主要的降解方法有物理法、化学法、生物法等。物理法的成本较低,主要是降解法、吸附法等,将粮食中的毒素吸附去除,但是这种方法没有选择性,容易将粮食中的营养成分也吸附走;化学法主要有碱处理和氧化处理,常用的试剂有石灰碱、过氧化氢等,在处理后的脱毒效率最高可达 95%,但是化学试剂会影响粮食的香味、色泽,也可能产生其他的毒性;生物法中的酶法降解和菌株降解^[21]均可以达到比较高的降解率,有效降低粮食毒性,但是必须考虑其相对高昂的成本^[9,21-22]。生物降解法凭借其较高的效率将成为今后的研究趋势^[23],未来仍需要更进一步地研究出经济高效的降解技术,有效地控制粮食中真菌毒素带来的危害。

粮食的真菌毒素污染问题仍然存在,在种植粮食时应重点关注粮食中 DON 等真菌毒素的污染,不同温度、湿度所造成的毒素污染存在较大差异,在种植、加工、储存等过程中保持周围环境清凉干燥是控制毒素增长风险的重

要手段,对于染毒的粮食要选择合理的方法与手段降低毒素的含量,提升粮食的品质、保障居民的健康。

参考文献

- [1] PENG Z, LIAO Y, CHEN L, *et al.* Heme oxygenase-1 attenuates low-dose of deoxynivalenol-induced liver inflammation potentially associating with microbiota [J]. *Toxicol Appl Pharm*, 2019, 374: 20–31.
- [2] MOSAAD A, AZIZA A, ASMAA S, *et al.* Protective capabilities of silymarin and inulin nanoparticles against hepatic oxidative stress, genotoxicity and cytotoxicity of deoxynivalenol in rats [J]. *Toxicol*, 2018, 142: 1–13.
- [3] WANG S, WU KT, XUE DF, *et al.* Mechanism of deoxynivalenol mediated gastrointestinal toxicity: Insights from mitochondrial dysfunction [J]. *Food Chem Toxicol*, 2021, 153: 112214.
- [4] ZHANG JJ, YOU L, WU WD, *et al.* The neurotoxicity of trichothecenes T-2 toxin and deoxynivalenol (DON): Current status and future perspectives [J]. *Food Chem Toxicol*, 2020, 145: 111676.
- [5] SHEN YB, ALEXANDRA W, KIM SW. Physiological effects of deoxynivalenol from naturally contaminated corn on cerebral tryptophan metabolism, behavioral response, gastrointestinal immune status and health in pigs following a pair-feeding model [J]. *Toxins*, 2021, 13(6): 393.
- [6] 李群伟, 李金平, 侯海峰, 等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇致幼年鼠骨及关节软骨损伤差异的实验研究[J]. *中国预防医学杂志*, 2011, 12(10): 813–817.
- [7] LI QW, LI JP, HOU HF, *et al.* Experimental study on the difference of bone and articular cartilage damage in adult rats caused by deoxynivalenol [J]. *Chin Prev Med*, 2011, 12(10): 813–817.
- [8] 陈鑫璐, 邱月, 张建友, 等. 国内外谷物中多种真菌毒素限量和同步检测标准及方法研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2021, 10(18): 12.
- [9] CHEN XL, QIU Y, ZHANG JY, *et al.* Domestic and foreign research progress on the limit standards and simultaneous detection standards and methods of multiple mycotoxins in grain [J]. *J China Cere Oils Assoc*, 2021, 10(18): 12.
- [10] 甄阳光, 柏凡, 张克英, 等. 我国主要饲料原料及产品呕吐毒素污染分布规律研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2009, 45(8): 21–24, 28.
- [11] ZHEN YG, BO F, ZHANG KY, *et al.* Study on the distribution law of vomiting toxin pollution in main feed ingredients and products in my country [J]. *Chin J Anim Husband*, 2009, 45(8): 21–24, 28.
- [9] 祖智富, 田素香, 钱裕勤. 镰刀菌毒素污染谷物和动物饲料的研究进展[J]. *广东饲料*, 2021, 30(6): 49–51.
- [10] ZU ZF, TIAN SX, QIAN YQ, *et al.* Research progress of fusarium toxin contaminated grain and animal feed [J]. *Guangdong Feed*, 2021, 30(6): 49–51.
- [10] 陈晓园, 张恩东, 沈乃东, 等. 玉米深加工中真菌毒素污染、检测及降解研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2019, (2): 48–52.
- [11] CHEN XY, ZHANG END, SHEN ND, *et al.* Research progress on contamination, detection and degradation of mycotoxins in corn deep processing [J]. *Food Feed Ind*, 2019, (2): 48–52.
- [11] 陈帅, 于英威, 杨娟, 等. 粮食中的呕吐毒素(DON)研究进展[J]. *粮油仓储科技通讯*, 2019, 35(4): 46–49, 53.
- [12] CHEN S, YU YW, YANG J, *et al.* Research progress of vomiting toxin (DON) in food [J]. *Grain Oil Storage Technol Newslett*, 2019, 35(4): 46–49, 53.

- [12] 职爱民, 贾国超, 郑文楠, 等. 玉米不同结构中玉米赤霉烯酮的污染分布规律[J]. 饲料工业, 2017, 38(3): 58–60.
ZHI AIM, JIA GC, ZHENG WN, *et al.* Pollution distribution law of zearalenone in different structures of maize [J]. Feed Ind, 2017, 38(3): 58–60.
- [13] 汪洋, 王松雪. 粮食中修饰型呕吐毒素的产生、毒性及其代谢研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 321–327.
WANG Y, WANG SX. Research progress on production, toxicity and metabolism of modified vomiting toxin in food [J]. Food Technol, 2021, 46(2): 321–327.
- [14] FAN XF, YAN Z, YANG MX, *et al.* Contamination and translocation of deoxynivalenol and its derivatives associated with fusarium crown rot of wheat in North China [J]. Plant Dis, 2021. DOI: 10.1094/PDIS-03-21-0612-RE
- [15] FRIEDERIKE MW, ELISABETH O, TORSTEN M, *et al.* Effects of temperature and soil fauna on the reduction and leaching of deoxynivalenol and zearalenone from *Fusarium graminearum*-infected maize stubbles [J]. Mycotoxin Res, 2021, 37(3): 249–263.
- [16] 常敬华. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)在面粉加工中的变化规律研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
CHANG JH. Reduction of deoxynivalenol (DON) during processing of flour products [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [17] NATHANAIL AV, SYVAHUOKO J, MALACHOCA A, *et al.* Simultaneous determination of major type A and B trichothecenes, zearalenone and certain modified metabolites in Finnish cereal grains with a novel liquid chromatography-tandem mass spectrometric method [J]. Anal Bioanal Chem, 2015, 407(16): 4745–4755.
- [18] 徐剑宏, 祭芳, 王宏杰, 等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇降解菌的分离和鉴定[J]. 中国农业科学, 2010, 43(22): 4635–4641.
XU JH, JI F, WANG HJ, *et al.* Isolation and identification of deoxynivalenol degradation strains [J]. Sci Agric Sin, 2010, 43(22): 4635–4641.
- [19] LEE HJ, RYU D. Worldwide occurrence of mycotoxins in cereals and cereal-derived food products: Public health perspectives of their co-occurrence [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(33): 7034–7051.
- [20] DIMITRIOUS D, MICHAEL S, RUDOLF K, *et al.* Raised concerns about the safety of barley grains and straw: A swiss survey reveals a high diversity of mycotoxins and other fungal metabolites [J]. Food Control, 2021, 125: 107919.
- [21] LIU C, FELSKLERX V. Quantitative modeling of climate change impacts on mycotoxins in cereals: A Review [J]. Toxins, 2021, 13(4): 276–276.
- [22] YANG Y, XU Y, WU S, *et al.* Evaluation of the toxicity and chemical alterations of deoxynivalenol degradation products under ozone treatment [J]. Food Control, 2021, 124: 107937.
- [23] PANTANO L, SCALA LL, OLIBRIO F, *et al.* QuEChERS LC-MS/MS screening method for mycotoxin detection in cereal products and spices [J]. Int J Environ Res Pub Health, 2021, 18(7): 3774–3774.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



段鸿渐, 硕士研究生, 主要研究方向为流行病与卫生统计学。

E-mail: 814343045@qq.com



李群伟, 博士, 教授, 主要研究方向为病因流行病学、地方病、慢性病。

E-mail: qwli@sdfmu.edu.cn