

风险评估

武汉市孕妇脱氧雪腐镰孢霉烯醇暴露及健康风险评估

闫贻忠¹, 李雅楠¹, 宋文静¹, 张珍¹, 李依玲¹, 杨雪锋², 郝丽萍², 魏晟¹

(1. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院流行病与卫生统计学系, 湖北 武汉 430030;

2. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院营养与食品卫生学系, 湖北 武汉 430030)

摘要:目的 脱氧雪腐镰孢霉烯醇(DON)是一种食物中常见的真菌毒素,可造成多种健康危害。孕妇作为各种污染物暴露危害的易感人群,目前关于我国孕妇DON暴露水平及其健康风险的证据有限。本研究通过检测武汉市孕妇尿DON水平并估计其食物来源DON的摄入量,为评估我国孕妇DON暴露风险提供参考依据。方法 研究对象来自我国湖北省武汉市“同济出生队列”中的103名孕妇,收集其孕期尿液样本,并使用食物频率问卷(FFQ)进行膳食调查。尿DON水平采用超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)测定。结果 103份孕妇尿样中,95份(92.23%,95/103)检出总DON,76份(73.79%,76/103)检出游离DON。孕妇孕期尿中平均总DON水平为19.12 ng/mg creatinine,其中孕早期为15.17 ng/mg creatinine,孕中期为20.91 ng/mg creatinine。孕妇食物来源DON摄入量为0.45~0.89 μg/(kg b. w. ·d)。11.65%~22.33%孕妇的食物来源DON摄入量超出了其暂定最大每日耐受摄入量(PMTDI)范围。孕妇饮食中大米及其制品的摄入量与其尿DON水平呈正相关。结论 本研究中武汉市孕妇尿DON水平较低,但检出率较高。今后应关注孕妇DON的暴露水平及其对母亲和胎儿的潜在健康风险。

关键词:孕妇;脱氧雪腐镰孢霉烯醇;暴露评估

中图分类号:R151 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)05-0600-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.05.015

Exposure and health risk assessment of deoxynivalenol among pregnant women in WuhanYAN Yizhong¹, LI Yanan¹, SONG Wenjing¹, ZHANG Zhen¹, LI Yiling¹,YANG Xuefeng², HAO Liping², WEI Sheng¹

(1. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Tongji Medical

College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430030, China;

2. Department of Nutrition and Food Safety, School of Public Health, Tongji Medical

College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430030, China)

Abstract: Objective As one of the common mycotoxins in the food, deoxynivalenol (DON) poses multiple health risks. Limited information is available on DON exposure in Chinese pregnant women who they are vulnerable to various pollutants exposure hazards. The purpose of this study was to detect urine DON concentrations and estimate dietary DON intake in Chinese pregnant women, and provide evidence for assessing the risk of dietary DON exposure for pregnant women. **Methods** The study involved 103 pregnant women from the Tongji birth cohort study in Wuhan, China. Urine samples were collected and dietary investigation was conducted using food-frequency questionnaire (FFQ). The level of DON in urine was determined by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Results** Among 103 pregnant women, total DON was detected in 95 urine samples (92.23%, 95/103), free DON was detected in 76 samples (73.79%, 76/103). The mean total DON levels were 19.12 ng/mg creatinine for both trimesters, 15.17 ng/mg creatinine for the first trimester and 20.91 ng/mg creatinine for the second trimester. The dietary DON intake for pregnant women was 0.45-0.89 μg/(kg b. w. ·d). The dietary DON intake of 11.65%-22.33% pregnant women exceeded current guidance regarding the provisional maximum tolerable daily intake (PMTDI) for DON. The diet of pregnant women was mainly rice and its products, and its intake was positively correlated with the concentration of DON. **Conclusion** In this study, the detection rate of DON in the urine samples of pregnant women in Wuhan was high, but the

收稿日期:2020-12-17

基金项目:国家重点研究发展计划(2018YFC1603105)

作者简介:闫贻忠 男 讲师 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:erniu19880215@sina.com

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

level of DON was low. Future attention should be paid to the exposure level of pregnant women to DON and the potential health risks to both mother and fetus.

Key words: Pregnant women; deoxynivalenol; exposure assessment

脱氧雪腐镰孢霉烯醇(Deoxynivalenol, DON)属于单端孢霉烯族毒素,又名呕吐毒素,是由禾谷镰刀菌和粉红镰刀菌产生的一种真菌毒素。人类暴露于DON的主要途径是摄入DON污染的食物,尤其是谷物及其加工食品,如小麦、大麦、玉米、面包及啤酒等^[1]。DON在人体中以非代谢或游离形式及葡萄糖醛酸结合物(DON-glucuronide conjugates, DON-GlcA)的形式存在,包括DON-3-GlcA和DON-15-GlcA^[2-3]。DON的常见毒性包括免疫毒性、生殖毒性及遗传毒性等,可造成呕吐、腹泻、厌食及低体重等健康损害^[4-5]。考虑到含DON食物的摄入量较高及其潜在的健康风险,食物来源的DON暴露已被列为重要的食品安全问题之一^[6]。孕妇由于其特殊的生理状况及对污染物的易感性,其DON暴露的潜在危害引起了众多研究者的关注^[7-8]。但目前未见关于我国孕妇DON暴露水平及其风险评估的相关研究。本研究通过超高效液相色谱-串联质谱法(Ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)检测我国孕妇尿DON水平,估算其食物来源DON的摄入量,并分析尿总DON水平与孕妇各类食物摄入量的相关性,为全面评估我国孕妇人群DON暴露情况提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样本来源

本研究纳入的研究对象来自“同济出生队列”。该队列研究是对居住在我国湖北省武汉市的孕妇及其婴儿进行的前瞻性研究。“同济出生队列”的研究对象招募工作开始于2018年3月,招募对象是在武汉市中心医院、武汉市江岸区妇幼保健所、武汉市汉阳区妇幼保健院做产检的孕妇。研究对象纳入标准为:①孕周为8~16周;②年龄为18周岁以上,且长期居住在武汉市;③计划在上述三所医院分娩;④无沟通障碍。排除标准为:①缺少饮食信息;②双胞胎或多胎;③目前服用药物且对食欲有影响。所有参与者均被告知研究方案,并在纳入研究前经过充分的告知并签署知情同意书。该研究得到华中科技大学同济医学院伦理审查委员会的批准。

1.1.2 实验试剂

实验试剂包括:同位素内标U-[¹³C₁₅]-DON(Romer, Tulln, Austria, 1.2 mL, 002005);DON标准

品(Romer, Tulln, Austria, 1 mL, S02009);β-葡萄糖醛酸酶(Sigma, Saint Louis, MO, USA, Type H-2 from *Helix pomatia*, ≥85 000 units/mL, G0876-10 mL)。

1.1.3 实验仪器/耗材

实验仪器及耗材包括:尿样净化采用固相萃取小柱(Agilent Technologies, California, USA, ABS Elut-NEXUS, 60 mg 3 mL, 100/PK, 12103101)。DON检测设备采用超高效液相色谱-质谱串联三重四极杆质谱仪(Waters, Milford, Massachusetts, USA, ACQUITY UPLC I-Class/Xevo TQ-S IVD系统),色谱柱为Waters ACQUITY UPLC HSS T3 column(Waters, Milford, Massachusetts, USA, 1.8 μm, 2.1 mm×100 mm, 1/PK, 186003539)。

1.2 尿样中DON水平的检测

1.2.1 尿样的处理

每份孕妇尿样进行酶解和不酶解两种处理。首先,将每份尿样解冻、涡旋混匀后取两份500 μL的等体积样本分别放至2 mL的EP管内,各加入10 μL的内标(¹³C₁₅-DON,浓度为1 ng/μL),然后加1.5 mL的纯水将样本稀释至2 mL。其次,不酶解的样品涡旋混匀后直接离心(9 500 r/min, 5 min),静置待净化;需酶解的样品加入β-葡萄糖醛酸酶(800 units, 0.5 mL 乙酸钠, pH 5.0), 37 °C恒温振荡16 h后离心(12 000 r/min, 10 min),静置待净化。

每份样品通过固相萃取小柱进行净化,具体流程见图1。

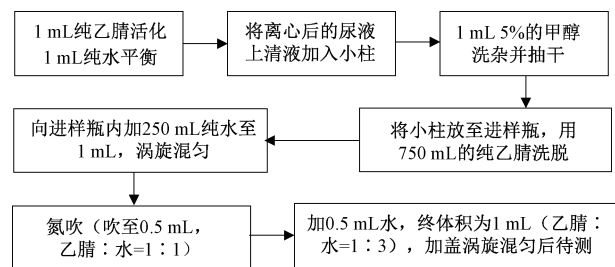


图1 孕妇尿样净化流程图

Figure 1 Flow chart of urine sample purification for pregnant women

1.2.2 UPLC-MS/MS分析

利用反相色谱条件对DON进行分离,流动相A为纯水,B为甲醇,具体梯度见表1。参照¹³C₁₅-DON内标对DON进行定量。质谱仪条件保持恒定,离子源:正离子电离ESI⁺,电喷雾离子源;离子源温度:150 °C;毛细管电压:+3.0 kV;锥孔电压:+30 V;脱

溶剂气流速:1 000 L/h;脱溶剂气温度:600 ℃;锥孔气流速:150 L/h;碰撞气流速:0.15 mL/min;检测方式:多反应监测模式。

表1 流动相梯度洗脱程序

Table 1 Flow phase gradient elution procedures

时间	流动相	
	A(纯水)/%	B(甲醇)/%
0~1 min	90	10
1~5 min	5	95
5~6 min	0	100
6~6.1 min	90	10
6.1~9 min	90	10

1.2.3 尿肌酐检测

尿 DON 水平需通过尿液中的肌酐(creatinine)水平进行校正。尿肌酐采用肌氨酸氧化酶法进行检测。本文尿 DON 的水平以未校正(ng/mL)和肌酐校正(ng/mg creatinine)表示。

1.2.4 孕妇食物来源 DON 摄入量估计

根据每人每天食物来源 DON 摄入量的测算公式,估算武汉市孕妇食物来源 DON 摄入量=(Total DON \times V)/(ER \times b. w.)^[9],其中 ER 为尿排泄率,68%^[10];V 为尿量(L/d);b. w. 为孕妇孕期体质量(body weight,单位 kg)。由于缺乏孕妇尿量数据,我们采用文献报道我国成年女性尿量的范围进行测算^[11-13]。本研究分别选择了每天 1.0、1.5 和 2.0 L 的尿量对孕妇食物来源 DON 摄入量进行估计。

1.2.5 孕妇膳食调查

孕妇尿检前最近两天的食物摄入情况通过食物频率问卷(Food frequency questionnaire, FFQ)获取。本研究中纳入分析的食物类型包括米及其制品(米饭、粥及米粉等)、面及其制品(馒头、包子、饺子、面条等)、杂粮(小米、玉米、燕麦、高粱、荞麦等)、薯类(红薯、山药、芋头等)及零食(饼干、面包等)。

1.2.6 统计学分析

采用 SAS 9.4 软件进行统计学分析,描述性统计采用均数 \pm 标准差,中位数和四分位间距及极值范围来表示。采用两独立样本 *t* 检验对孕早期和孕中期孕妇的基本特征(年龄、身高等)进行统计比较。采用两独立样本的 Mann-Whitney 检验对孕早期和孕中期孕妇的尿 DON 水平及食物摄入量进行统计比较。采用 $2\times 2\chi^2$ 检验对孕早期和孕中期尿 DON 的检测阳性率进行统计比较。Spearman 相关系数(双尾)用于评估孕妇尿 DON 水平与食物摄入量的相关性。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 孕妇基本情况

本研究共纳入 103 例孕妇,年龄为(28.78 \pm

3.19)岁,包括妊娠早期 32 例,妊娠中期 71 例。妊娠早、中期相比,差异有统计学意义的基本特征包括体质量[妊娠早期:(56.67 \pm 6.83) kg,中期:(61.48 \pm 7.49) kg; $t=-3.099$, $P=0.003$]、体质指数[妊娠早期:(21.51 \pm 2.43) kg/m²,中期:(23.71 \pm 2.50) kg/m²; $t=-4.190$, $P=0.000$]、年龄[妊娠早期:(27.72 \pm 3.06)岁,中期:(29.25 \pm 3.15)岁; $t=-1.997$, $P=0.341$]、身高[妊娠早期:(162.34 \pm 4.73) cm,中期:(160.95 \pm 5.40) cm; $t=0.846$, $P=0.212$]无显著差异。

2.2 孕妇尿 DON 水平

经实验室检测,95 名孕妇(92.23%,95/103)的尿样中检出总 DON,76 名孕妇(73.79%,76/103)的尿样中检出游离 DON。妊娠中期总 DON 和游离 DON 的检出率均高于妊娠早期,但均无统计学意义[总 DON,94.37%(67/71) vs 87.50%(28/32), $\chi^2=1.452$, $P=0.228$;游离 DON,76.06%(54/71) vs 68.75%(22/32), $\chi^2=0.609$, $P=0.435$]。肌酐校正前后的尿总 DON 水平分别为 16.82 ng/mL 和 19.12 ng/mg creatinine,游离 DON 水平分别为 6.12 ng/mL 和 5.40 ng/mg creatinine。尿总 DON 与游离 DON 的差值作为 DON-GlcA 的水平,校正前后分别为 10.70 ng/mL 和 13.72 ng/mg creatinine。尿总 DON、游离 DON 及 DON-GlcA 在妊娠中期的水平均高于妊娠早期,其中 DON-GlcA 水平的差异有统计学意义($P=0.021$)。另外,DON-GlcA 在尿总 DON 中占比较高,肌酐校正前后占比分别约为 63.60% 和 71.75%。具体见表 2。

2.3 孕妇食物来源 DON 摄入量

使用人群信息(尿量、体质量等)和所测尿总 DON 水平估计孕妇食物来源 DON 摄入量,并进一步与其暂定最大每日耐受摄入量(Provisional maximum tolerable daily intake, PMTDI)[1 μ g/(kg b. w. \cdot d)]比较以进行风险评估。假设孕妇尿量为 1.0、1.5 和 2.0 L/d,相应孕妇食物来源 DON 的平均摄入量分别为 0.45、0.67 和 0.89 μ g/(kg b. w. \cdot d)。根据假定的尿量范围(1.0~2.0 L/d),研究对象中有 11.65%~22.33% 孕妇的食物来源 DON 摄入量超出 PMTDI 范围,其中妊娠早期 9.38%~21.88%,妊娠中期 12.68%~22.54%。具体见表 3。

2.4 孕妇食物摄入量与尿 DON 水平的相关性

表 4 是孕妇各类食物的摄入量水平,这些食物容易被 DON 污染,是孕妇摄入 DON 的主要来源。结果显示,孕妇摄入的易被 DON 污染的食物以米及其制品为主,平均每天摄入(138.44 \pm 72.71)g。尿 DON 水平与食物消费量的相关性分析表明,尿

表 2 孕妇尿液中总 DON 和游离 DON 水平

Table 2 Urinary level of total DON and free DON of pregnant women

组别	孕早期 (n=32)				孕中期 (n=71)				合计 (n=103)				Z*	P*	
	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R			
未校正 (ng/mL)	总 DON	10.68±17.75	2.53	9.69	0.20~79.40	19.58±41.16	5.12	13.54	0.20~271.08	16.82±35.72	4.90	12.50	0.20~271.08	-1.519	0.129
	游离 DON	4.79±7.84	1.25	6.12	0.20~31.78	6.71±13.10	1.48	4.06	0.20~71.26	6.12±11.72	1.48	4.44	0.20~71.26	-0.389	0.697
	DON-GlcA	5.89±14.87	1.05	4.77	0.00~76.74	12.87±33.16	2.36	7.76	0.00~199.82	10.70±28.85	2.10	6.42	0.00~199.82	-2.207	0.027
校正 (ng/mg creatinine)	总 DON	15.17±38.23	1.46	11.22	0.23~205.66	20.91±62.98	3.25	12.48	0.10~500.39	19.12±56.33	2.69	12.72	0.10~500.39	-1.746	0.081
	游离 DON	5.10±9.06	0.58	4.49	0.11~36.75	5.54±10.15	1.05	3.34	0.06~38.87	5.40±9.78	0.89	3.83	0.06~38.87	-0.274	0.784
	DON-GlcA	10.07±35.33	0.62	3.35	0.00~198.77	15.37±61.07	1.83	6.52	0.00~496.24	13.72±54.27	1.40	6.44	0.00~496.24	-2.303	0.021

注: * 孕早期与孕中期相比。 $\bar{x}\pm s$, 均值±标准差; M, 中位数; IQR, 四分位间距; R, 极值范围

表 3 孕妇食物来源 DON 摄入量

Table 3 Estimation of Dietary DON intake in pregnant women

组别	尿量/(L/d)	食物来源 DON 摄入量 ^a /[$\mu\text{g}/(\text{kg b. w.}\cdot\text{d})$]	超 PMTDI 情况/%
孕早期 (n=32)	1.0	0.36 (0.01, 4.51)	9.38 (3/32)
	1.5	0.55 (0.01, 6.77)	18.75 (6/32)
	2.0	0.73 (0.01, 9.03)	21.88 (7/32)
孕中期 (n=71)	1.0	0.48 (0.00, 9.68)	12.68 (9/71)
	1.5	0.72 (0.00, 14.52)	18.31 (13/71)
	2.0	0.96 (0.00, 19.36)	22.54 (16/71)
合计 (n=103)	1.0	0.45 (0.00, 9.68)	11.65 (12/103)
	1.5	0.67 (0.00, 14.52)	18.45 (19/103)
	2.0	0.89 (0.00, 19.36)	22.33 (23/103)

注: ^a, 均值(最小值, 最大值)

表 4 纳入研究的孕妇米及其制品、面及其制品、杂粮、薯类及零食的摄入量情况 (g/d)

Table 4 Dietary intake of rice and its products, noodles and its products, grains, tubers and snacks in pregnant women (g/d)

食物类型	孕早期 (n=32)				孕中期 (n=71)				合计 (n=103)				Z*	P*
	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R	$\bar{x}\pm s$	M	IQR	R		
米及其制品	135.99±61.07	154.87	119.29	0.6~240	139.55±77.77	140.00	120.00	0~390	138.44±72.71	140.00	120.00	0~390	-0.100	0.920
面及其制品	52.29±31.75	47.21	51.43	0.3~120	66.55±41.58	70.00	64.29	0~210	62.12±39.20	57.14	57.14	0~210	-1.427	0.154
杂粮	6.18±10.42	2.68	8.21	0~50	7.48±9.46	5.36	10.71	0~420	7.08±9.74	4.29	10.00	0~50	-1.313	0.189
薯类	12.01±28.83	0.00	9.29	0~150	26.71±44.04	12.50	28.57	0~255	22.15±40.38	7.14	26.79	0~255	-2.728	0.066
零食	6.06±9.62	0.00	12.86	0~40	10.73±16.40	4.29	16.07	0~100	9.28±14.74	3.21	14.29	0~100	-1.926	0.054

注: * 孕早期与孕中期相比。 $\bar{x}\pm s$, 均值±标准差; M, 中位数; IQR, 四分位间距; R, 极值范围

总 DON 水平与米及其制品的消费量呈正相关 ($r = 0.280, P = 0.005$), 而与面及其制品 ($r = 0.103, P = 0.308$)、杂粮 ($r = 0.008, P = 0.940$)、薯类 ($r = 0.064, P = 0.532$) 及零食 ($r = 0.017, P = 0.864$) 无显著相关。

3 讨论

本研究检测了我国中部地区武汉市孕妇尿 DON 的水平, 并估算了其食物来源 DON 的摄入量。结果发现, 纳入研究的孕妇尿样中总 DON 的检出率为 92.23%, 游离 DON 的检出率为 73.79%, 且有 11.65%~22.33% 孕妇的食物来源 DON 摄入量超出了 PMTDI 范围, 较高的检出率和超 PMTDI 率表明武汉市孕妇食物来源的 DON 可能存在一定健康风险。

与其他国家或地区孕妇的尿 DON 水平相比, 本研究中武汉市孕妇尿中 DON 浓度处于中等水平。具体来看, 英国、孟加拉国及克罗地亚孕妇人群的尿 DON 平均水平分别为 29.7 ng/mg creatinine^[7],

2.14 ng/mg creatinine^[8] 和 93.7 ng/mg creatinine^[14]。本研究得出的武汉市孕妇尿样中 DON 的平均水平 (19.12 ng/mg creatinine) 低于克罗地亚和英国孕妇的水平, 但高于孟加拉国孕妇的水平。另外, 由于我国孕妇尿 DON 水平数据的缺乏, 本研究与我国成年女性尿 DON 水平进行了比较。MEKY 等^[15] 发现我国云南成年女性尿 DON 的平均水平为 12.0 ng/mL, 河南成年女性的为 37.0 ng/mL。TURNER 等^[16] 报道我国上海成年女性的尿 DON 水平为 4.8 ng/mL。本研究得出的武汉市孕妇的尿 DON 水平 (16.82 ng/mL) 低于河南成年女性的水平, 但高于云南和上海成年女性的水平。另外, 本研究比较了孕妇孕早期和孕中期尿 DON 的水平, 结果显示孕中期孕妇尿 DON 的水平有高于孕早期孕妇的趋势, 这可能与不同孕期孕妇的生理状况、代谢特点等有关, 而且据报道, 通过人类细胞进行的体外实验发现 DON 能通过胎盘到达胎儿体内, 这可能导致随着孕期的推移, 孕妇体内的 DON 水平有所提高^[17]。

生物样本检测结果的差异可能部分归因于不

同国家及同一国家不同地区居民的饮食习惯、气候条件、农作物栽培及食品加工过程等因素的不同。比如,我国南方居民以米为主食,北方居民则更倾向于面食,而据报道,DON的食物来源主要是被污染的小麦、大麦及玉米等,其次是大米、高粱等^[18-20]。本研究中武汉市孕妇的饮食以米及其制品为主,摄入量是面及其制品的2~3倍,可能导致其尿DON浓度与米及其制品的摄入量呈正相关。另外,本研究发现武汉市孕妇食物来源DON摄入量为0.45~0.89 μg/(kg b. w. · d)(假定孕妇尿量为1~2 L/d),低于王小丹等^[21]报道的中国北方居民的食物来源DON摄入量[1.15 μg/(kg b. w. · d)],但高于南方居民的摄入量[0.41 μg/(kg b. w. · d)]。同时,本研究中有11.65%~22.33%孕妇的食物来源DON摄入量超出了PMTDI范围,超出率同样低于北方居民(49.2%),高于南方居民(8.6%)^[21]。分析原因可能是我国中部地区武汉市饮食虽以米及其制品为主,但面食的摄入量高于我国南方地区^[22]。从全球来看,孟加拉国孕妇的食物来源DON摄入量为52.4 ng/(kg b. w. · d)^[23],克罗地亚孕妇的为2.5 μg/(kg b. w. · d)^[14]。本研究孕妇的食物来源DON摄入量为0.67 μg/(kg b. w. · d)(孕妇尿量取1.5 L/d),低于克罗地亚但高于孟加拉国孕妇的摄入量。可见,孕妇的尿DON水平及食物来源DON摄入量均存在明显的地域差异。

本研究存在一定不确定性。首先,本研究样本量较小,这可能是导致研究中孕早期和孕中期孕妇尿DON水平无明显差异的原因。今后需扩大样本量,进一步比较分析不同孕期尿DON水平的变化情况。其次,本研究仅是对孕妇尿DON水平的检测和描述,并未分析其与不良健康结局的关系。未来需要在队列研究的基础上,进一步追踪观察孕妇及其婴儿不良结局(如早产、低出生体质量等)的发生情况,并分析其与DON水平的相关性。

本研究显示居住在我国中部地区武汉市的孕妇尿DON水平虽然不高,但检出率较高并且有相当部分孕妇的食物来源DON摄入量超出了PMTDI范围,表明武汉市孕妇DON暴露可能存在一定的健康风险。未来需要开展大样本的队列随访研究以评估孕妇DON暴露的健康风险,并提出相应管控建议。

参考文献

[1] MOUSAVI KHANEGHAH A, FAKHRI Y, SANT'ANA A S. Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and Zearalenone: A systematic review and meta-

analysis[J]. Food Chemistry, 2018, 268: 611-624.

[2] BERTHILLER F, SULYOK M, KRŠKA R, et al. Chromatographic methods for the simultaneous determination of mycotoxins and their conjugates in cereals[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119 (1-2): 33-37.

[3] KOSTELANSKA M, HAJŠLOVA J, ZACHARIASOVA M, et al. Occurrence of deoxynivalenol and its major conjugate, deoxynivalenol-3-glucoside, in beer and some brewing intermediates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57 (8): 3187-3194.

[4] REDDY K E, SONG J, LEE H J, et al. Effects of high levels of deoxynivalenol and Zearalenone on growth performance, and hematological and immunological parameters in pigs[J]. Toxins, 2018, 10 (3): E114.

[5] PALACIOS S A, ERAZO J G, CIASCA B, et al. Occurrence of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside in durum wheat from Argentina[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 728-734.

[6] MISHRA S, SRIVASTAVA S, DEWANGAN J, et al. Global occurrence of deoxynivalenol in food commodities and exposure risk assessment in humans in the last decade: A survey[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 60 (8): 1346-1374.

[7] WELLS L, HARDIE L, WILLIAMS C, et al. Determination of deoxynivalenol in the urine of pregnant women in the UK[J]. Toxins, 2016, 8 (11): E306.

[8] ALI N, BLASZKEWICZ M, AL NAHID A, et al. Deoxynivalenol exposure assessment for pregnant women in Bangladesh[J]. Toxins, 2015, 7 (10): 3845-3857.

[9] HEYNDRIKX E, SIOEN I, HUYBRECHTS B, et al. Human biomonitoring of multiple mycotoxins in the Belgian population: Results of the BIOMYCO study[J]. Environment International, 2015, 84: 82-89.

[10] WARTH B, SULYOK M, BERTHILLER F, et al. New insights into the human metabolism of the *Fusarium* mycotoxins deoxynivalenol and Zearalenone[J]. Toxicology Letters, 2013, 220 (1): 88-94.

[11] 张建芬, 张娜, 何海蓉, 等. 河北省某高校大学生春季饮水量、排尿量及水合状态分析[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53 (4): 355-359.

[12] DECAUX G, MUSCH W. Estimated daily urine volume and solute excretion from spot urine samples to guide the therapy of hyponatremia in SIADH[J]. Journal of Clinical Medicine, 2019, 8 (10): E1511.

[13] PAPAGEORGIU M, WELLS L, WILLIAMS C, et al. Assessment of urinary deoxynivalenol biomarkers in UK children and adolescents[J]. Toxins, 2018, 10 (2): E50.

[14] SARKANJ B, WARTH B, UHLIG S, et al. Urinary analysis reveals high deoxynivalenol exposure in pregnant women from Croatia[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 62 (12): 231-237.

[15] MEKY F A, TURNER P C, ASHCROFT A E, et al. Development of a urinary biomarker of human exposure to deoxynivalenol[J]. Food and Chemical Toxicology, 2003, 41 (2): 265-273.

[16] TURNER P C, JI B T, SHU X O, et al. A biomarker survey of urinary deoxynivalenol in China: The Shanghai Women's Health

- Study[J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2011, 28 (9): 1220-1223.
- [17] 俞苗. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的胚胎毒性及胎盘氧化应激所起作用[D]. 武汉:华中科技大学, 2016.
- [18] 王晓云,于雅琴,俞琼. 2005年中国居民膳食DON污染调查及暴露评估[J]. 长治医学院学报, 2007, 21(2): 101-103.
- [19] 陆晶晶,杨大进. 2013年中国小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染调查[J]. 卫生研究, 2015, 44(4): 658-660.
- [20] 史建荣,刘馨,仇剑波,等. 小麦中镰刀菌毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染现状与防控研究进展[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3641-3654.
- [21] 王小丹,杨欣,徐海滨,等. 中国不同地区居民谷类食物脱氧雪腐镰刀菌烯醇暴露量及健康风险评估[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53(4): 394-397.
- [22] 佚名. 南方与北方的饮食文化差别[J]. 意林文汇, 2018(16): 6-9.
- [23] ALI N, BLASZKEWICZ M, DEGEN G H. Assessment of deoxynivalenol exposure among Bangladeshi and German adults by a biomarker-based approach[J]. Toxicology Letters, 2016, 258: 20-28.

风险评估

青海省成年居民膳食铝暴露风险评估

张倩¹, 郭学斌^{1,2}

(1. 青海大学,青海 西宁 810016; 2. 青海省疾病预防控制中心,青海 西宁 810007)

摘要:目的 评价青海省成年居民膳食铝的暴露水平及潜在的健康风险。方法 利用2015—2020年青海省7类共499份主要含铝食品的铝含量数据,以及《第五次中国总膳食研究》和2010—2013年中国居民营养与健康监测中的食物消费量数据,采用点评估的方法,评估青海省不同年龄-性别组成成年居民的铝暴露水平及潜在风险。结果 7类主要含铝食品铝的平均含量为72.210 mg/kg,最大值为1 220.000 mg/kg。总检出率为77.96%(389/499),总超标率为19.72%(57/289)。其中,即食海蜇的检出率和超标率均为最高,分别为100.00%(11/11)、90.91%(10/11)。青海省成年居民铝的平均每日暴露量为0.080 mg/(kg·d),占暂定每周耐受摄入量(PTWI)的27.86%,谷物及其制品对青海省成年居民膳食铝暴露的贡献率最高,达88.07%。不同年龄-性别组成成年居民以≥60岁年龄组女性每日铝暴露量最高,平均为0.086 mg/(kg·d),占PTWI的30.05%。各年龄-性别组成成年居民膳食铝中位暴露量(铝含量取P50)和平均暴露量(铝含量取均值)占PTWI百分比均<1。结论 青海省成年居民膳食铝摄入的健康风险较低,谷物及其制品为主要贡献食品。

关键词:铝;膳食暴露;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)05-0605-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.05.016

Assessment on dietary exposure of aluminum among adult residents in Qinghai Province

ZHANG Qian¹, GUO Xuebin^{1,2}

(1. Qinghai University, Qinghai Xining 810016, China; 2. Qinghai Center for Diseases Prevention and Control, Qinghai Xining 810007, China)

Abstract: Objective To evaluate the dietary exposure level of aluminum and its potential health risk among adult residents in Qinghai Province. **Methods** In this paper, the aluminum content of 499 samples of 7 kinds of main aluminum containing foods in Qinghai Province from 2015 to 2020, the Fifth China total dietary study and the food consumption data of nutrition and health monitoring of Chinese residents from 2010 to 2013 were used. The exposure level and potential risk of dietary aluminum in different age and sex groups of residents in Qinghai Province were evaluated by point evaluation method. **Results** The average content of aluminum in 7 kinds of main aluminum containing foods was 72.210 mg/kg, and the maximum was 1 220.000 mg/kg. The total detection rate was 77.96% (389/499), and the total over standard rate was 19.72% (57/289), among which the detection rate and over standard rate of instant jellyfish were 100.00% (11/11)

收稿日期:2021-01-08

作者简介:张倩 女 在读硕士生 研究方向为食品卫生 E-mail:1223364151@qq.com

通信作者:郭学斌 男 主任医师 研究方向为食品卫生 E-mail:guo_xuebin@126.com