

风险评估

2020—2021年山东省小麦中镉污染状况及健康风险评估

朱丽君¹,赵文静¹,王雪婷¹,王楷¹,张静¹,辛成龙²,焦燕妮²

(1. 德州市疾病预防控制中心,山东德州 253014;2. 山东省疾病预防控制中心,山东济南 250014)

摘要:目的 了解山东省16个地市小麦中镉的污染状况,并对其膳食暴露量及健康风险进行评估。方法 采用电感耦合等离子体质谱法检测2020—2021年山东省16个地市小麦中镉含量,结合山东省居民小麦消费量计算镉膳食暴露量,采用安全限值法(MOS)和美国环境保护局推荐的健康风险评估模型评价镉引起的健康风险。结果 山东省小麦中镉含量的中位数为0.020 2 mg/kg,检出率为97.5%;小麦中镉的污染呈现山东省南部及胶东半岛较高,西北部较低分布;山东省居民每月经小麦摄入镉的平均暴露量为1.80 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$,低于每月可耐受摄入量参考值(25 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$);通过小麦的镉暴露量的MOS为13.9,风险可以接受;个人致癌平均年风险为 0.46×10^{-5} /年,低于国际放射防护委员会推荐的最大可接受年风险水平。结论 山东省居民通过小麦摄入镉的健康风险处于可接受水平,但不同地区的小麦污染存在区域差异。

关键词:小麦;镉;污染状况;膳食暴露;健康风险;分布

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)09-1340-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.09.014

Cadmium pollution status and health risk assessment in wheat in Shandong Province from 2020 to 2021ZHU Lijun¹, ZHAO Wenjing¹, WANG Xueting¹, WANG Kai¹, ZHANG Jing¹,
XIN Chenglong², JIAO Yanni²

(1. Dezhou Center for Disease Control and Prevention, Shandong Dezhou 253014, China;

2. Shandong Center for Disease Control and Prevention, Shandong Ji'nan 250014, China)

Abstract: Objective To understand the pollution status of cadmium in wheat in 16 cities of Shandong Province and evaluate its dietary exposure and health risks. **Methods** Inductively coupled plasma mass spectrometry was performed to detect the cadmium content in wheat in 16 cities in Shandong Province from 2020 to 2021, and the dietary exposure to cadmium was calculated based on the wheat consumption of Shandong residents. The health risks caused by cadmium were evaluated using the margin of safety (MOS) and the health risk assessment model recommended by the United States Environmental Protection Agency. **Results** The median of cadmium in wheat was 0.020 2 mg/kg, and the detection rate was 97.5%. The cadmium pollution in wheat was higher in southern Shandong Province and Jiaodong Peninsula, and lower in northwestern Shandong Province. The average monthly intake of cadmium from wheat by Shandong residents was 1.80 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$, which was less than the reference value of PTMI (25 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$). The MOS of cadmium in wheat was 13.9 and the risk was acceptable. The average annual personal cancer risk was 0.46×10^{-5} per year, which was less than the standard of the international commission on radiation protection. **Conclusion** There are regional differences in wheat pollution in Shandong Province, and the health risk of residents ingesting cadmium through wheat is at an acceptable level.

Key words: Wheat; cadmium; pollution status; dietary exposure; health risk assessment; distribution

随着现代工业的发展,镉已经成为一种普遍存

在的化学污染物,它可以通过食品、空气、饮用水等多种途径进入人体,其中食品摄入是除了职业暴露外主要的人群暴露途径^[1-2]。联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)和国际职业卫生重金属委员会将镉列入重点研究的环境污染物;世界卫生组织(World Health Organization, WHO)则将其作为优先研究的食品污染物^[3-5],美国毒物与疾病登记署(Agency for Toxic Substances and

收稿日期:2022-06-02

基金项目:山东省中医药科技项目(No. 2021M221)

作者简介:朱丽君 男 副主任技师 研究方向为质谱谱技术在

食品检测中应用 E-mail:18653465060@163.com

通信作者:焦燕妮 女 副主任技师 研究方向为卫生检验

E-mail:jiaoyanni1220@163.com

Disease Registry, ATSDR)也把镉列为第6位危害人体健康的有毒物质。镉具有毒性高、难以降解和容易蓄积的特性,因此一旦过量摄入或蓄积后会对骨骼系统、呼吸消化系统等造成损伤。1993年国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)已将镉及其化合物列为I类致癌物^[6],各国科研人员进行的流行病学和动物试验也发现,镉会提高肺癌、前列腺癌、乳腺癌、消化道肿瘤等发生的风险^[7-8]。

山东省统计局发布的山东统计年鉴2021显示,山东省居民主要以谷物类作为主食,小麦占80.2%^[9],由于小麦是镉富集能力较强的大宗谷物^[10],因此小麦安全问题关系1亿多山东省居民健康。本研究采用2020—2021年640份当年新产小麦的镉含量数据,结合山东2015年居民小麦及其制品消费量数据,计算山东省居民通过摄入小麦的镉暴露量,并采用美国环境署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)化学污染物暴露风险评估模型和化学致癌物风险模型评价人体摄入镉引起的健康风险^[11]。本研究目的在于了解山东省小麦中镉污染程度及污染分布,并评估山东省不同区域镉暴露对人群的健康风险。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品来源

2020和2021年分别采集山东省16个地市农户种植收割新小麦,覆盖到所有地市下辖县(市、区),每个地市每年采集20份,共计640份。

1.1.2 主要仪器与试剂

电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞),M6微波消解仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司);1000 mg/L镉(Cd)标准溶液(中国计量科学研究院),小麦粉成分分析标准物质(中国计量科学研究院),硝酸。

1.2 方法

1.2.1 小麦中镉检测方法 with 质量控制

为了保证监测数据的可靠,样品的采集、保存、样品处理、实验室的检测严格按照《国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》,检测方法为食品中多元素分析的标准操作程序^[12],检出限(Limit of detection, LOD)为0.005 mg/kg。分析中使用标准、仪器设备均可溯源。通过消化空白、小麦粉成分分析标准物质和平行样对实验室内质量进行控制。并参加国家食品安全风险评估中心2021年镉检验能力验证,实验室外质量控制结果满意。

1.2.2 小麦中镉暴露风险评估

联合国粮食与农业组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA)2010年第73次会议制定了镉的暂定每月可耐受摄入量(Provisional tolerable monthly intake, PTMI)25 μg/kg·BW^[13]。采用USEPA发布的化学污染物暴露风险评估模型^[14],镉的PTMI与EMI的比值MOS,对人群暴露于镉的健康风险进行评估。人群小麦及其制品的消费量,参考山东省居民膳食营养与健康调查数据。体质量采用标准人体质量60 kg^[15]。MOS≥1表示镉对居民健康风险可以接受, MOS<1表示镉对居民健康风险较高^[16]。本研究采用山东省小麦及其制品的消费量中位数(178.3 g/d)来计算一般暴露量, P95值(406.3 g/d)来计算高端暴露量。

$$EMI = \frac{C \times IR \times ED \times EF \times 30}{BW \times AT}$$

式中:EMI为镉经口途径的单位体质量每月暴露量[μg/(kg·BW)],C为食品中镉含量(mg/kg);IR为小麦每日平均消费量(g/d);ED为暴露时间(年);EF为暴露频率,按365 d计;AT为平均暴露时间(d),按365 d;BW为平均体质量(kg)。

1.2.3 小麦中镉化学致癌物风险评估

采用USEPA暴露剂量-反应外推模型进行人体健康风险评估,致癌危险度除以人均寿命,表示人群在1年之中患癌症的概率,即年均超额风险度。国际辐射防护委员会(International commission on radiation protection, ICRP)推荐的最大可接受年风险水平5.00×10⁻⁵/年和USEPA致癌风险评估指南推荐的风险水平1.00×10⁻⁴/年^[17]。化学致癌物风险模型:

$$R^c = \frac{1 - \exp(-D_{ig} q_{ig})}{N}$$

$$D_{ig} = \frac{EXP}{30 \times 1000}$$

式中: R^c 为化学致癌物经膳食摄入途径产生的个人平均致癌年风险(/年); D_{ig} 为化学致癌物经食入途径的单位体质量每日平均暴露量(mg/kg·d); q_{ig} 为镉的致癌强度系数,为6.1 kg·d/mg; N 为人均寿命,山东省统计局第七次人口普查结果显示,人口平均预期寿命为79.2岁^[9]。

1.2.4 数据替代方法

根据WHO全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第二次会议1995年提出的“食品中低水平污染物可信评价”原则,当未检出数据的比例低于60%时,所有未检出数据用1/2LOD替代;当未检出数据的比例高于60%时,所有未检出数据用LOD替代^[18]。

1.3 统计学分析

本次研究小麦中镉检出率为99.4%，因此所有未检出数据用1/2LOD替代。检测结果采用Excel和SPSS 18.0软件进行处理分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 山东省不同地市小麦镉污染水平

对山东省各地市数据进行正态性检验，结果显

示除聊城($P=0.263$)和潍坊($P=0.395$)属于正态性分布，其余14个地市均为非正态分布($P < 0.05$)，为更合理表述各地市小麦中镉污染水平，16个地市均采用中位数($P_{25} \sim P_{75}$)表述(表1)。

2.2 山东省小麦中镉污染空间分布

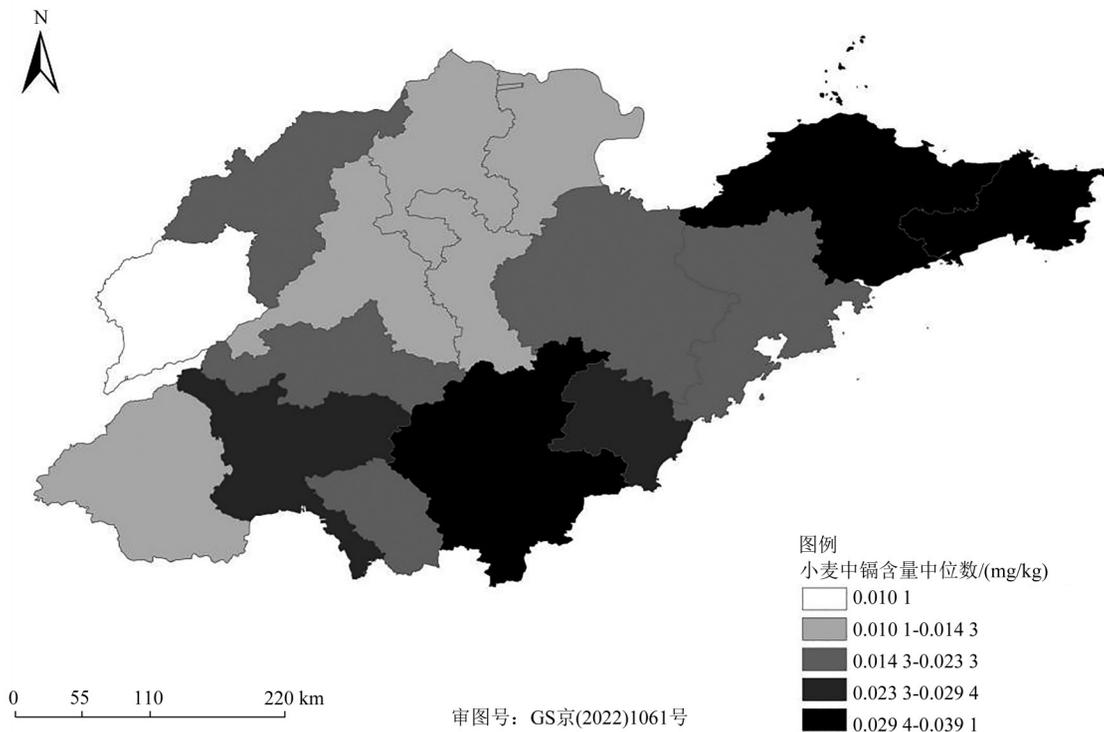
山东省小麦中镉污染存在明显的地域差异，污染相对较重的烟台市小麦中镉污染水平是聊城市(污染相对较轻)的3.9倍，如图1所示。山东省不同地市小麦中镉聚类分析得到3个中心点，第

表1 山东省小麦中镉污染状况

Table 1 Status of cadmium pollution in wheat in Shandong Province

地区	检出率/%	平均值/(mg/kg)	几何均数/(mg/kg)	最小值/(mg/kg)	中位数(P25~P75)/(mg/kg)	P95/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)
滨州市	80(32/40)	0.013 1	0.010 0	<LOD	0.012 5(0.006 2~0.017 2)	0.023 9	0.052 8
德州市	100(40/40)	0.023 7	0.020 6	0.009 2	0.018 8(0.014 0~0.027 1)	0.055 7	0.084 3
东营市	92.5(37/40)	0.013 5	0.011 5	<LOD	0.012 8(0.007 7~0.018 4)	0.021 1	0.031 9
菏泽市	97.5(39/40)	0.015 1	0.013 5	<LOD	0.014 3(0.010 4~0.017 6)	0.026 9	0.046 3
济南市	97.5(39/40)	0.015 4	0.013 0	<LOD	0.013 0(0.009 0~0.021 3)	0.034 9	0.044 6
济宁市	100(40/40)	0.032 5	0.027 3	0.008 6	0.029 4(0.016 1~0.041 3)	0.077 0	0.079 2
聊城市	100(38/40)	0.010 8	0.009 8	<LOD	0.010 1(0.007 6~0.013 0)	0.017 5	0.023 2
临沂市	100(40/40)	0.039 7	0.037 0	0.020 8	0.035 4(0.029 6~0.046 0)	0.065 4	0.091 4
青岛市	100(40/40)	0.025 4	0.023 8	0.010 1	0.023 3(0.019 9~0.029 9)	0.046 9	0.053 0
日照市	100(40/40)	0.027 5	0.025 3	0.009 6	0.027 5(0.019 7~0.034 8)	0.044 2	0.060 6
泰安市	100(40/40)	0.021 0	0.019 5	0.008 1	0.020 8(0.017 4~0.024 8)	0.033 5	0.046 1
威海市	97.5(39/40)	0.033 7	0.030 7	<LOD	0.031 8(0.027 0~0.038 0)	0.050 2	0.097 4
潍坊市	100(40/40)	0.022 0	0.019 9	0.006 3	0.021 9(0.014 1~0.027 9)	0.037 1	0.039 2
烟台市	100(40/40)	0.044 3	0.037 3	0.008 9	0.039 1(0.024 6~0.061 9)	0.089 2	0.094 1
枣庄市	100(40/40)	0.023 8	0.021 8	0.008 8	0.021 8(0.018 4~0.028 6)	0.039 4	0.062 1
淄博市	100(40/40)	0.018 1	0.015 3	0.007 4	0.012 7(0.009 8~0.021 6)	0.042 4	0.045 1
山东省	97.5(624/640)	0.024 1	0.019 4	<LOD	0.020 2(0.012 8~0.030 4)	0.056 7	0.097 4

注:LOD:方法检出限



注:色柱灰度表示小麦中镉浓度(mg/kg)

图1 山东省小麦中镉污染空间分布

Figure 1 Spatial distribution of cadmium pollution in wheat in Shandong Province

一类中心点坐标为 0.012 6 mg/kg,包括滨州市、东营市、菏泽市、济南市、聊城市、淄博市;第二类中心点 0.023 3 mg/kg,包括德州市、济宁市、青岛市、

日照市、泰安市、潍坊市、枣庄市;第三类中心点 0.035 4 mg/kg,包括临沂市、威海市、烟台市,见表 2。

表 2 山东省不同地市小麦中镉聚类分析结果

Table 2 Cluster analysis of cadmium in wheat in different cities in Shandong Province

类别	镉/(mg/kg)	地市数量	地市名称
类别 1	0.012 6	6	滨州市、东营市、菏泽市、济南市、聊城市、淄博市
类别 2	0.023 3	7	德州市、济宁市、青岛市、日照市、泰安市、潍坊市、枣庄市
类别 3	0.035 4	3	临沂市、威海市、烟台市

2.3 山东省不同地市居民通过摄入小麦的镉暴露风险

表 3 显示山东省居民通过摄入小麦的镉无论是在一般暴露情况下,还是高端暴露情况下,暴露

量(EMI)、MOS、个人致癌平均年风险(R^c)均符合要求。但烟台市在高风险情况下个人致癌平均年风险为 2.04×10⁻⁵/年,占 ICRP 推荐的最大可接受年风险水平的 40.8%。

表 3 山东省小麦中镉暴露量、安全指数及个人致癌平均年风险

Table 3 EMI, MOS and R^c of cadmium in wheat in Shandong Province

地区	暴露量(EMI)/(μg/kg·BW)		安全指数(MOS)		个人致癌平均年风险(R ^c)/(×10 ⁻⁵ /年)	
	中位数	P95	中位数	P95	中位数	P95
滨州市	1.11	2.54	22.4	9.85	0.29	0.65
德州市	1.68	3.82	14.9	6.55	0.43	0.98
东营市	1.14	2.60	21.9	9.62	0.29	0.67
菏泽市	1.27	2.90	19.6	8.61	0.33	0.75
济南市	1.16	2.64	21.6	9.47	0.30	0.68
济宁市	2.62	5.97	9.54	4.19	0.67	1.53
聊城市	0.90	2.05	27.8	12.2	0.23	0.53
临沂市	3.16	7.19	7.92	3.48	0.81	1.84
青岛市	2.08	4.73	12.0	5.28	0.53	1.21
日照市	2.45	5.59	10.2	4.48	0.63	1.43
泰安市	1.85	4.22	13.5	5.92	0.48	1.08
威海市	2.83	6.50	8.82	3.87	0.73	1.66
潍坊市	1.95	4.45	12.8	5.62	0.50	1.14
烟台市	3.49	7.90	7.17	3.15	0.89	2.04
枣庄市	1.94	4.43	12.9	5.65	0.50	1.14
淄博市	1.13	2.58	22.1	9.69	0.29	0.66
山东省	1.80	4.10	13.9	6.09	0.46	1.05

2.4 国内其他地区小麦中镉的污染状况、一般暴露量和个人致癌平均年风险

小麦作为居民的主食,其安全问题受到广泛关注,将此次山东省小麦中镉的污染水平、暴露量和个人致癌平均年风险与国内其他地区比对,结果见

表 4。山东省小麦中镉中位数与张朝正等^[19]研究中国地区小麦镉中位数水平接近,比河南省、甘肃省、陕西省、内蒙古研究的结果较高。小麦中镉一般暴露量为 1.80 μg/kg·BW,高于河南省低于陕西省水平,水平居中。

表 4 近年来国内小麦中镉的污染状况、一般暴露量和个人致癌平均年风险

Table 4 Contamination status, EMI and R^c of cadmium in wheat from other studies in recent years

国家/地区	种类	样品份数	检出率/%	平均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	超标率/%	EXP/(μg/kg·BW)	R ^c /年(×10 ⁻⁵)	文献
中国	小麦	117 1	—	0.027 1	0.019 9	0.22	—	—	—	[19]
河南省	面类	132 6	41.5	0.011	0.006	0.14	1.06	1.26	—	[20]
甘肃省	小麦粉	851	—	0.012	0.002	0.099	0	—	—	[21]
陕西省	小麦及其制品	936	88.1	0.022	0.016	0.273	1.17	3.19	—	[22]
内蒙古	小麦(粉)	87	—	0.015	—	0.07	0	—	—	[23]
陕西省	谷物及其制品	130 4	73.93	0.021 4	0.013 0	0.400	0.84	4.74	1.29	[16]

注:—为文献未涉及

3 讨论

从污染程度看,烟台市(0.039 1 mg/kg)、临沂市(0.035 4 mg/kg)、威海市(0.031 8 mg/kg)、济宁

市(0.029 4 mg/kg)位居前 4,聊城市(0.010 1 mg/kg)污染最轻,接近于烟台的四分之一,全省 640 份样品中无小麦超过国家标准限值^[24]。从污染空间分

布看,第一类属于低污染区,多位于山东省西北,包括6个地市;第三类属于相对高污染区,包括烟台市、威海市、临沂市,多为与山东省胶东半岛及南方;第二类属于地理位置位于一、三类之间,包括7个地市,污染水平居中。总体山东省小麦中镉污染呈现东南污染相对较重,西北污染相对较轻的分布。东南工业发达,工业发展较快可能是形成这样分布的原因^[25]。

本研究与国内其他地区小麦中镉污染情况比较,山东省小麦中镉中位数(0.020 2 mg/kg)与张朝正等^[19]调查1 171份中国地区小麦中镉结果中位数(0.019 9 mg/kg)较一致,且二者均为左偏态分布,具有可比性。梁晓聪等^[22]在陕西省938份小麦及其制品调查中其小麦中镉平均值为0.022 mg/kg与本研究结果基本一致,中位数(0.016 mg/kg)较本研究低。其他研究表明河南省、甘肃省、内蒙古无论在均值还是中位数上,均远低于本研究结果。因镉污染与工业发展水平相关,因此山东省小麦中镉污染在中等偏上水平符合实际。山东省居民通过小麦摄入镉的一般暴露量和个人致癌平均年风险分别为1.80 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 和0.46 $\times 10^{-5}$ /年,一般暴露量较河南省高但较陕西省低。对于人群来说,个人致癌平均年风险具有重要的指导意义。

本研究仍然存在一定的不确定性。首先,本研究采用60 kg标准人进行分析,没有考虑到年龄组、体质量、性别差异带来的偏差,尤其儿童,由于其摄入量与体质量关系,更容易受到更大暴露风险;其次,本研究着重于小麦中镉的污染及暴露评估,但人群膳食结构复杂(大米、蔬菜等也可以是镉膳食暴露风险的贡献者),因此可能低估了镉暴露的风险;最后,本研究样品量仍存在不足,因此一定程度上影响了结果的均一性和稳定性。

参考文献

- [1] 林程程,王桂安,黄琼,等.非职业人群膳食镉暴露评估研究进展[J].中国食品卫生杂志,2014,26(6):624-627.
LIN C C, WANG G A, HUANG Q, et al. The exposure assessment research progress of dietary cadmium progress with non-occupational crowd[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2014, 26(6): 624-627.
- [2] 高彭,陈东宛,吕金昌,等.北京市顺义区居民膳食镉暴露风险评估[J].现代预防医学,2016,43(19):3505-3508.
GAO P, CHEN D W, LYU J C, et al. Risk assessment on residents' dietary exposure of cadmium in Shunyi District, Beijing[J]. Modern Preventive Medicine, 2016, 43(19): 3505-3508.
- [3] World Health Organization. Cadmium. Environmental health criteria[R]. Geneva, Switzerland: WHO, 1992: 1-100. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39366/9241571357-eng.pdf?sequence=1>.
- [4] FAO/WHO. Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTFF [EB/OL]. [2021-05-13]. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-14%252FINFO-DOC%252FCF14_INF01x.pdf.
- [5] 杜瑜,尚琪.环境镉污染人群健康影响研究回顾[J].卫生研究,2006,35(2):241-243.
DU Y, SHANG Q. Review of effect on human health for environmental cadmium pollution[J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 35(2): 241-243.
- [6] HARRI V, ELISABETH H, CHRISTIANE P, et al. Meeting of the IARC working group on beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry[J]. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 1993, 19(5): 360-363.
- [7] SATARUG S, MOORE M R. Emerging roles of cadmium and heme oxygenase in type-2 diabetes and cancer susceptibility[J]. The Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2012, 228(4): 267-288.
- [8] ANETOR J I. Rising environmental cadmium levels in developing countries: Threat to genome stability and health[J]. Nigerian Journal of Physiological Sciences: Official Publication of the Physiological Society of Nigeria, 2012, 27(2): 103-115.
- [9] 山东省统计局.山东统计年鉴2021[M].北京:中国统计出版社,2021.
Shandong provincial bureau of statistics. Shandong statistical yearbook 2021[M]. Beijing: China Statistical Press, 2021
- [10] 武超,周顺江,王华利,等.生物炭和锌对土壤镉赋存形态及小麦镉积累的影响[J].环境科学研究,2022,35(1):202-210.
WU C, ZHOU S J, WANG H L, et al. Effects of biochar and zinc on soil cadmium fractions and wheat accumulation[J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(1): 202-210.
- [11] 张春荣,董炳刚,刘小丽,等.山东省2020年新收小麦中15种元素含量水平调查及健康风险评估[J].现代预防医学,2021,48(9):1700-1704.
ZHANG C R, DONG B G, LIU X L, et al. Investigation and health risk assessment of the content levels of 15 elements in newly harvested wheat in Shandong, 2020[J]. Modern Preventive Medicine, 2021, 48(9): 1700-1704.
- [12] 国家食品安全风险评估中心.2020年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册[M].北京:国家食品安全风险评估中心,2020.
China National Center for Food Safety Risk Assessment. National Food Contamination and Hazardous Factors Risk Monitoring workbook for 2020[M]. Beijing: China National Center for Food Safety Risk Assessment, 2020.
- [13] SHARMA A. Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives[J]. World Health Organization technical report series, 2012, 776: 1-64

- [14] 范云燕, 欧嵩凤, 张海霞, 等. 南宁市大米中镉污染现状及膳食暴露研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(3): 276-279. FAN Y Y, OU S F, ZHANG H X, et al. Cadmium contamination and dietary exposure assessment in rice in Nanning City [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(3): 276-279.
- [15] 王彩霞, 郭蓉, 程国霞, 等. 陕西省谷物中重金属污染状况及健康风险评估[J]. 卫生研究, 2016, 45(1): 35-38, 44. WANG C X, GUO R, CHENG G X, et al. Dietary exposure and health risk assessment of heavy metal in grains of Shaanxi Province [J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(1): 35-38, 44.
- [16] 刘宇, 王彩霞, 袁文婷, 等. 2012—2020年陕西省食品中镉污染状况及健康风险评估[J]. 卫生研究, 2022, 51(2): 308-312. LIU Y, WANG C X, YUAN W T, et al. Contamination status and health risk assessment on the dietary exposure of cadmium in foods of Shaanxi Province from 2012 to 2020 [J]. Journal of Hygiene Research, 2022, 51(2): 308-312.
- [17] U.S. Environmental Protection Agency. Available EPA Information on Assessing Exposure to Pesticides in Food--A User's Guide [EB/OL]. [2018-09-30]. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2007-0780-0001>.
- [18] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002(4): 63-64. WANG X Q, WU Y N, CHEN J S. Low level data processing of food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002(4): 63-64.
- [19] 张朝正, 薛建杰, 闫晓, 等. 我国小麦重金属污染状况分析[J]. 食品安全导刊, 2022(11): 128-134, 138. ZHANG C Z, XUE J J, YAN X, et al. Analysis of heavy metal contamination of wheat in China [J]. China Food Safety Magazine, 2022(11): 128-134, 138.
- [20] 李杉, 杨丽, 袁蒲, 等. 河南省居民膳食中铅、镉暴露水平评估[J]. 中国健康教育, 2016, 32(9): 791-794. LI S, YANG L, YUAN P, et al. The dietary exposure assessment of lead and cadmium in Henan Province [J]. Chinese Journal of Health Education, 2016, 32(9): 791-794.
- [21] 梁琼, 李拥军. 甘肃省市售谷物制品中铅和镉污染调查及健康风险预警分析[J]. 卫生研究, 2016, 45(5): 844-846. LIANG Q, LI Y J. Investigation and health risk warning analysis of lead and cadmium pollution in cereal products sold in Gansu Province [J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(5): 844-846.
- [22] 梁晓聪, 王辛, 唐丽, 等. 2002—2018年陕西省市售谷物中铅、镉、总汞和总砷污染状况及暴露评估[J]. 卫生研究, 2021, 50(5): 827-831, 836. LIANG X C, WANG X, TANG L, et al. Pollution status and exposure assessment of lead, cadmium, total mercury and total arsenic in grains on sale from Shaanxi Province, 2002—2018. Journal of Hygiene Research, 2021, 50(5): 827-831, 836.
- [23] 杨富华, 杨乐, 徐晓枫, 等. 2017—2019年内蒙古地区地产谷物与蔬菜中铅、镉、总汞和总砷污染状况[J]. 卫生研究, 2021, 50(5): 846-848. YANG F H, YANG Y, XU X F, et al. Contamination of lead, cadmium, total mercury and total arsenic in cereals and vegetables in Inner Mongolia from 2017 to 2019 [J]. Journal of Hygiene Research, 2021, 50(5): 846-848.
- [24] 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 食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission, National Food and Drug Administration. National food safety standard- Maximum levels of contaminants in foods: GB 2762—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [25] 孙发伟, 王佳佳, 陈卫平, 等. 污灌区镉污染麦田安全利用技术的工程应用. 环境工程, 2022, 40(10): 134-140. SUN F W, WANG J J, CHEN W P, et al. Engineering application of safe utilization technology of cadmium polluted wheat field in sewage irrigation areas [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(10): 134-140.