

甘肃省市售食品中二噁英类化合物污染现状研究

张 睿[#], 李 磊[#], 杨 琛, 崔 燕^{*}

(甘肃省疾病预防控制中心, 兰州 730000)

摘 要: **目的** 了解甘肃省市售食品中二噁英类化合物的污染现状。**方法** 按总膳食研究方法, 对甘肃省 8 类市售食品样品(水产及其制品、肉类及其制品、蛋及其制品、乳及乳制品、谷类及其制品、薯类及其制品、豆类及其制品、蔬菜类及其制品)中 17 种多氯代苯并二噁英和多氯代苯并呋喃同系物(polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, PCDD/Fs)同系物和 12 种二噁英样多氯联苯(dioxin like polychlorinated biphenyls, dl-PCBs)同系物进行含量测定和毒性当量浓度汇总分析和评价。**结果** 甘肃省送检的食物样品中水产、肉类均检出二噁英类化合物, 其余 6 类食品样品中个别同系物未检出。按毒性当量(toxic equivalent, TEQ)计算时, 肉类食品样品中 PCDD/Fs 和 dl-PCBs 毒性当量浓度最高, 均为 0.08 pgTEQ/g。**结论** 甘肃省 8 类市售食品样品中动物性食品二噁英类化合物检出率高于植物性食品, 肉类食品样品中 PCDD/Fs 和 dl-PCBs 毒性当量浓度均高于全国平均水平。建议对甘肃省二噁英类化合物暴露水平高的食品进行长期监测, 提出相应的风险管理措施。

关键词: 甘肃省; 市售食品; 二噁英类化合物; 污染

Pollution status of dioxin-like compounds in commercial food in Gansu province

ZHANG Rui[#], LI Lei[#], YANG Chen, CUI Yan^{*}

(Gansu Center for Disease Control and Prevention, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the pollution status of dioxin-like compounds in commercial sold food in Gansu province. **Methods** According to the total diet study method, 17 kinds of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs) homologues and 12 kinds of dioxin-like polychlorinated biphenyls (dl-PCBs) homologues in 8 types of commercial sold foods samples (aquatic products and their products, meat and their products, eggs and their products, milk and dairy products, cereals and their products, potatoes and their products, beans and their products, vegetables and their products) in Gansu province were determined and their toxicity equivalent concentrations were analyzed and evaluated. **Results** Dioxin compounds were detected in aquatic products and meat samples in Gansu province, and some homologues were not detected in the other 6 kinds of food samples. According to toxic equivalent (TEQ), the highest concentrations toxic equivalent of PCDD/Fs and

基金项目: 甘肃省卫生行业科研计划项目(GSWSKY-2019-28)

Fund: Supported by the Health Industry Scientific Research Program of Gansu Province (GSWSKY-2019-28)

[#]张睿和李磊为共同第一作者。

[#]ZHANG Rui and LI Lei are Co-first Authors.

*通信作者: 崔燕, 副主任医师, 主要研究方向为营养与食品安全。E-mail: 543710805@qq.com

*Corresponding author: CUI Yan, Associate Chief Physician, Gansu Center for Disease Control and Prevention, Lanzhou 730000, China. E-mail: 543710805@qq.com

dL-PCBs were found in meat samples, both of which were 0.08 pgTEQ/g. **Conclusion** The detection rates of animal food dioxin compounds in 8 types of commercial food samples in Gansu Province are higher than those of plant foods, and the toxicity equivalent concentrations of PCDD/Fs and dL-PCBs in meat food samples are higher than the national average level. It is suggested that the food with high exposure level of dioxin compounds should be monitored for a long time in Gansu and corresponding risk management measures should be put forward.

KEY WORDS: Gansu province; commercial sold food; dioxin-like compounds; pollution

0 引言

二噁英类化合物是多氯代二苯并-对-二噁英(polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDDs)、多氯代二苯并呋喃(polychlorinated dibenzofurans, PCDFs)和类二噁英多氯联苯(dioxin-like polychlorinated biphenyls, dl-PCBs)的统称。它们作为持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs),具有高毒性、长期残留性、半挥发性和高脂溶性的特征,可以在食物链中富集放大,并且能够通过多种途径在全球迁移分配,对人体健康和生态环境具有严重的危害^[1]。由于二噁英类化合物可以通过食物链富集,因此通过膳食摄入是一般人群摄入二噁英类化合物的主要途径。已有研究表明,人体二噁英污染的负荷 95%来源于食物^[2]。又因其具有强脂溶性,致使其在脂肪含量较高的动物源性食物中,如肉类、鱼类、奶制品、蛋类等含量较高^[3]。为此荷兰、比利时、日本、美国、法国、英国等相继开展了一系列针对各种食品基质(主要是动物性食品)中二噁英类化合物污染状况及居民膳食摄入二噁英类化合物的研究工作,得出动物性食品中二噁英类化合物污染水平远高于植物性食品,且鱼类中二噁英含量最高,蛋类、肉类和乳制品次之^[4-9],并制定了食品和饲料中二噁英污染限量标准。我国在二噁英污染限量标准方面的研究起步较晚,二噁英的总体污染水平借助于总膳食研究,了解二噁英在食品中的暴露情况,进而对特定地区食品中二噁英暴露评估提供基线水平。

因此本研究应用总膳食研究方法^[10],开展对甘肃省市售食品中二噁英类化合物监测,分析甘肃省市售食品中二噁英类化合物污染情况和暴露因素,以期为相关工作提供重要的基础数据,对保障食品安全、开展二噁英类化合物的暴露危险性评估和预警监测具有十分重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 食物样品的制备及送检

采集我省 8 类市售食品样品(水产及其制品、肉类

及其制品、蛋及其制品、乳及乳制品、谷类及其制品、薯类及其制品、豆类及其制品、蔬菜类及其制品),按照本省习惯使用的烹调方法进行统一烹调加工,将得到的单个食物样品打碎,混成匀浆,装入高压聚乙烯塑料容器中,置于-20℃低温冰箱冷冻保存。制备好的食品样品全程冷链送国家食品安全风险评估中心检测。

1.2 实验室检测与质量控制

制备好的食物样品送国家食品安全风险评估中心检测,按照 GB/T 5009.205—2013《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定》执行,用高分辨气相色谱/高分辨质谱仪(high resolution gas chromatography/high resolution mass spectrometer, HRGC/HRMS)对样品中 17 种 PCDD/Fs 同系物和 12 种 dl-PCBs 同系物进行定量分析检测和毒性当量浓度分析。

食物样品的制备、烹调、留样、记录等工作均由国家专家组莅临现场指导完成。所有数据来源于国家食品安全风险评估中心的检测结果。

2 结果与分析

2.1 甘肃省市售食品样品中二噁英类化合物含量监测情况

甘肃省 8 类市售食品样品中 17 种 PCDD/Fs 同系物和 12 种 dl-PCBs 同系物含量结果以脂肪重量计,见表 1。结果表明,17 种 PCDD/Fs 同系物在 8 类食品样品中 2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英(2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin, 2378-TCDD)含量最少,其在蛋、谷、薯、豆、蔬菜等 5 类样品中均未检出,水产类和肉类食品样品含量最高,均为 0.01 pg/g 脂肪;该同系物中八氯代二苯并-对-二噁英(octachlorodibenzo-p-dioxin, OCDD)在被检测样品中含量值最高,其中肉类该物质的含量为 0.42 pg/g 脂肪,为乳类含量的 24.71 倍。12 种 dl-PCBs 同系物中 2,3,4,4,5-五氯联苯(2,3,4,4,5-pentachlorobiphenyl, PCB-118)在 8 类食品样品中均有检出,且贡献率最高,其含量依次为水产类>肉类>谷类>蛋类>薯类>乳类>豆类>蔬菜类,该物质在水产类中的含量值较蔬菜类多 10.934 pg/g 脂肪,与相关

研究结果一致, 北方水产品中 TEQ 主要来自 dl-PCBs^[3]。PCDD/Fs 和 dl-PCBs 毒性当量浓度最高, 均为 0.08 pgTEQ/g 脂肪。

表 1 甘肃省市售食品中二噁英类化合物含量(pg/g 脂肪)
Table 1 Content of dioxins in commercial sold food in Gansu province (pg/g fat)

同系物	水产	肉	蛋	乳	谷	薯	豆	蔬菜
2378-TCDD	0.01	0.01	ND	0.002	ND	ND	ND	ND
12378-PeCDD	0.01	0.03	0.01	0.004	ND	0.002	ND	ND
123478-HxCDD	0.01	0.01	ND	0.003	ND	0.001	0.022	0.002
123678-HxCDD	0.01	0.02	0.01	0.005	ND	0.002	ND	0.004
123789-HxCDD	0.01	0.01	0.01	0.001	ND	0.003	0.033	ND
1234678-HpCDD	0.02	0.05	0.02	0.001	0.039	0.01	ND	0.024
OCDD	0.14	0.42	0.28	0.017	0.36	0.215	0.241	0.23
2378-TCDF	0.05	0.03	0.02	0.004	0.01	0.003	ND	0.006
12378-PeCDF	0.04	0.03	0.02	ND	0.013	0.005	0.021	0.009
23478-PeCDF	0.05	0.06	0.02	0.015	0.023	0.005	ND	0.012
123478-HxCDF	0.01	0.05	0.01	0.009	0.015	0.006	ND	0.009
123678-HxCDF	0.02	0.03	0.01	0.01	0.008	0.004	ND	0.005
234678-HxCDF	0.02	0.02	0.02	0.009	0.011	0.004	0.022	0.007
123789-HxCDF	0.01	0.01	ND	0.004	0.008	ND	ND	0.005
1234678-HpCDF	0.03	0.07	0.06	0.006	0.053	0.015	0.033	0.032
1234789-HpCDF	0.006	0.02	0.01	0.002	ND	0.003	ND	ND
OCDF	0.001	0.03	0.02	ND	0.037	0.002	0.02	0.029
PCB-77	1.33	0.46	0.18	0.256	0.098	0.161	0.273	0.097
PCB-126	0.38	0.61	ND	0.054	ND	0.017	0	0.024
PCB-169	0.23	0.72	ND	0.044	ND	0.003	ND	0.014
PCB-81	0.09	0.08	0.26	0.013	0.013	0.004	0.012	0.068
PCB-105	3.68	1.07	0.36	0.467	0.21	0.226	0.259	0.128
PCB-114	0.59	0.32	ND	0.061	0.086	0.066	0.047	ND
PCB-118	11.43	3.43	1.37	1.137	1.524	1.28	0.761	0.496
PCB-123	0.76	0.12	0.05	0.027	0.015	0.009	ND	ND
PCB-156	3.5	0.78	0.07	0.159	0.127	0.077	0.064	0.042
PCB-157	1.04	0.36	0.08	0.024	0.049	0.047	0.024	0.054
PCB-167	2.04	0.26	0.03	0.072	0.058	0.017	0.016	ND
PCB-189	1.71	0.62	ND	ND	ND	0.02	0.025	ND
TEQ _{PCDD/Fs-TEF2005}	0.05	0.08	0.02	0.02	0.0136	0.006	0.009	0.008
TEQ _{DLPcBs-TEF2005}	0.05	0.08	0	0.01	0.0001	0.002	0.00009	0.003

注: ND: 未检出。

2.2 动物性食品样品中二噁英类化合物污染情况

由表 2、3 可见, 甘肃省动物性食品样品中 PCDD/Fs 毒性当量浓度最高为肉类食品 0.08 pgTEQ/g 脂肪, 其次为水产类食品 0.05 pgTEQ/g 脂肪, 蛋类与乳类食品水平相当, 均为 0.02 pgTEQ/g 脂肪。4 类动物性食品检测样品中总毒性当量浓度排序与 $TEQ_{PCDD/Fs}$ 一致, 且均低于欧盟限量标准。与全国第五次总膳食研究结果^[10]比较, 甘肃省检测的 4 类动物性食品样品中, 仅肉类食品样品二噁英类化合物含量高于全国平均水平, 差值为 0.07 pgTEQ/g, 其含量为全国含量最高值宁夏(0.23 pgTEQ/g)的 0.74 倍^[10-11]。

2.3 植物性食品样品中二噁英类化合物污染情况

甘肃省植物性食品样品中 PCDD/Fs 和 dl-PCBs 毒性当量浓度最高的分别为谷类(0.0136 pgTEQ/g 脂肪)和蔬菜类(0.003 pgTEQ/g 脂肪), 且谷类样品中的总毒性当量浓度高于全国平均水平 0.0085 pgTEQ/g 脂肪^[10], 见表 4。

3 结论与讨论

2009—2011 年第 5 次总膳食研究显示, 水产类含

量最高为 0.30 pgTEQ/g, 乳类次之, 含量为 0.13 pgTEQ/g, 肉类和乳类中相当, 其他植物性食品中污染水平相对较低。自 2007—2011 年间, 蛋类、乳类、谷类、豆类和坚果中污染水平呈下降趋势, 薯类和蔬菜类样品中污染水平呈上升趋势, 而水产和肉类则因地区而异^[10-11]。

本次检测结果显示, 甘肃省 8 类市售食品样品中动物性食品样品中(水产、肉、蛋、乳)二噁英类化合物检出率较高, 且肉类食品样品二噁英类化合物含量高于全国平均水平。二噁英类化合物具有亲脂性的特点, 致使其在脂肪含量较高的动物源性食物中含量较高, 而食物链中的二噁英类化合物既可来自污染的直接排放, 也可经由受污染的水、土壤、底泥等介质的传输。本实验样品均取自甘肃本地市售食品, 且畜类、乳牛、蛋鸡主要是以集中饲养、喂食饲料为主的生产模式, 数值高可能是因为被放养在土壤受污染地区或被喂食污染过的饲料^[12-13]。赵楠楠等^[14]研究表明, 饲料中二噁英可向养殖动物体内迁移和蓄积, 故不能排除饲料被二噁英类化合物污染, 从而通过富集进入动物体内的可能。

表 2 甘肃省动物性食品样品中 PCDD/Fs 毒性当量浓度(TEF2005, pgTEQ/g 脂肪)

Table 2 Toxic equivalent concentration of PCDD/Fs in animal food samples in Gansu province (TEF2005, pgTEQ/g fat)

同系物	水产		肉		蛋		乳	
	甘肃	欧盟限量	甘肃	欧盟限量	甘肃	欧盟限量	甘肃	欧盟限量
$TEQ_{PCDD/Fs}$	0.05	3.50	0.08	2.5 ^a , 1.75 ^b , 1.0 ^c	0.02	2.5	0.02	2.5
Total TEQ	0.09	6.50	0.17	4 ^a , 3 ^b , 1.25 ^c	0.02	5	0.02	5.5

注: 水产品含量按鲜计重, TEQ pg/g 脂肪; 肉类、蛋类、乳类中按脂肪计, a: 牛羊肉; b: 禽肉; c: 猪肉。

表 3 甘肃省动物性食品样品中二噁英类化合物含量与第五次 TDS 比较情况(TEF2005, pgTEQ/g 脂肪)

Table 3 Comparison of dioxin compounds content with the fifth TDS in animal food samples in Gansu province (TEF2005, pgTEQ/g fat)

同系物	水产		肉		蛋		乳	
	甘肃	第 5 次 TDS	甘肃	第 5 次 TDS	甘肃	第 5 次 TDS	甘肃	第 5 次 TDS
$TEQ_{PCDD/Fs-TEF2005}$	0.05	0.16	0.08	0.05	0.02	0.05	0.02	0.08
$TEQ_{DLPCBs-TEF2005}$	0.05	0.11	0.08	0.05	0	0.03	0.01	0.03
Total $TEQ_{TEF2005}$	0.09	0.28	0.17	0.10	0.02	0.08	0.02	0.11

表 4 甘肃省植物性食品样品中二噁英类化合物含量与第 5 次 TDS 比较情况(TEF2005, pgTEQ/g 脂肪)

Table 4 Comparison of dioxin compounds content with the fifth TDS in plant food samples in Gansu province (TEF2005, pgTEQ/g fat)

同系物	谷		薯		豆		蔬菜	
	甘肃	第五次 TDS	甘肃	第五次 TDS	甘肃	第五次 TDS	甘肃	第五次 TDS
$TEQ_{PCDD/Fs-TEF2005}$	0.0136	0.0007	0.006	0.013	0.009	0.004	0.008	0.009
$TEQ_{DLPCBs-TEF2005}$	0.0001	0.0045	0.002	0.001	0.00009	0.0002	0.003	0.002
Total $TEQ_{TEF2005}$	0.0137	0.0052	0.008	0.014	0.009	0.004	0.011	0.011

水体中持久性有机污染物通过悬浮颗粒物质的吸附以及水生食物链的转移进入水产品中,同种水产类不同样品之间污染程度不同,这与养殖环境的污染程度相关^[15]。而水产对环境中有有机污染物的富集,往往是饲料、沉积物等多目标物的同时富集^[16-18],为此开展二噁英类化合物污染的溯源研究具有重要意义。

植物性食品因处于食物链的底层,其污染水平通常较低。而甘肃省植物性食品样品(谷、薯、豆、蔬菜)均存在个别数值高于全国平均水平^[10-11]的情况。农产品持久性有机污染物主要来源于土壤,因农药的长期使用致使土壤中污染物含量不断提升,且在循环系统的作用下,对大气以及水体等都带来了不同程度的污染^[19]。因此需要开展环境中二噁英类化合物的检测,及时发现污染源,防止污染,保障食品安全和百姓健康。另因样品为烹调加工后的混样,在烹调过程中对于二噁英类化合物的含量有无影响,有待进一步的研究。

膳食习惯及快速的城市化发展都影响着二噁英的污染水平,近年来大气环境的研究表明,我国不少城市的二噁英污染水平仍处高位,给我国居民健康带来了巨大的安全隐患^[20]。环境暴露和膳食暴露是人类面临持久性有机污染物的两大途径,随之相关健康问题的研究则是近年来研究的热点问题之一。甘肃省首次开展市售食品中二噁英类化合物污染情况相关工作,环境和相关食品消费量数据缺乏,各暴露因素之间的相关性有待进一步研究,因此有必要持续开展环境和食品中二噁英类化合物污染监测研究。

参考文献

- [1] FEMÁNDEZ-GONZÁLEZ R, YEBRA-PIMENTEL I, MARTINEZ-CARBALLO E, *et al.* A critical review about human exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) through foods [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2015, 55: 1590-1617.
- [2] MCGREGOR DB, PARTENSKY C, WILBOURN J, *et al.* An IARC evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans as risks factors in human carcinogenesis [J]. *Environ Health Perspect*, 1998, 106(2): 755-760.
- [3] LI JG, WU YN, ZHANG L, *et al.* Dietary intake of polychlorinated dioxins, furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls from foods of animal origin in China [J]. *Food Addit Contam* 2007, 24: 186-193.
- [4] BAARS AJ, BAKKER MI, BAUMANN RA, *et al.* Dioxins, dioxin-like pcbs and non-dioxin-like pcbs in foodstuffs: Occurrence and dietary intake in the Netherlands [J]. *Toxicol Lett*, 2004, 151: 51-61.
- [5] WINDAL I, VANDEVIJVERE S, MALEKI M, *et al.* Dietary intake of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs of the Belgian population [J]. *Chemosphere*, 2010, 79: 334-340.
- [6] SASAMOTO T, USHIO F, KIKUTANI N, *et al.* Estimation of 1999-2004 dietary daily intake of PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs by a total diet study in metropolitan Tokyo, Japan [J]. *Chemosphere*, 2006, 64: 634-641.
- [7] HUWE J, PAGAN-RODRIGUEZ D, ABDELMAJID N, *et al.* Survey of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, and non-ortho-polychlorinated biphenyls in U.S. meat and poultry, 2007-2008: Effect of new toxic equivalency factors on toxic equivalency levels, patterns, and temporal trends [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57: 11194-11200.
- [8] SIROT V, TARD A, VENISSEAU A, *et al.* Dietary exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated biphenyls of the French population: Results of the second French total diet study [J]. *Chemosphere*, 2012, 88: 492-500.
- [9] FERNANDES A, MORTIMER D, ROSE M, *et al.* Dioxins (PCDD/Fs) and PCBs in offal: Occurrence and dietary exposure [J]. *Chemosphere*, 2010, 81: 536-540.
- [10] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五届中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
WU YN, ZHAO YF, LI JG. The fifth total diet study of China [M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [11] 张磊. 我国居民二恶英类物质膳食暴露及机体负荷研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2014.
ZHANG L. Study on dietary exposure and body load of dioxins in Chinese residents [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2014.
- [12] 周杰, 曾晓龙, 邓雪, 等. 重庆市某城区鸡蛋中指示性多氯联苯含量调查[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(7): 2610-2613.
ZHOU J, ZENG XL, DENG X, *et al.* Investigation of indicator polychlorinated biphenyls in eggs of a district in Chongqing [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(7): 2610-2613.
- [13] 朱淑怡, 张露艺, 陈晨, 等. 杭州市市售食品中持久性有机污染物膳食暴露评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(11): 4439-4444.
ZHU SY, ZHANG LY, CHEN C, *et al.* Preliminary assessment of dietary exposure to persistent organic pollutants in retailed foods from Hangzhou [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(11): 4439-4444.
- [14] 赵楠楠, 刘逸飞, 李晓敏, 等. 饲料中二噁英赋存特征及其向养殖动物体内迁移规律[J]. *农产品质量与安全*, 2020, (5): 74-79, 91.
ZHAO NN, LIU YF, LI XM, *et al.* Occurrence characteristics of dioxins in feed and their migration to cultured animals [J]. *Qual Saf Agric Prod*, 2020, (5): 74-79, 91.
- [15] 蒋友胜, 张建清, 周健, 等. 鱼体中二噁英、多氯联苯和多溴联苯醚的污染分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2010, 7(20): 1631-1635.
JIANG YS, ZHANG JQ, ZHOU J, *et al.* Pollution analysis of dioxins, polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls in fish [J]. *Chin J Health Lab*, 2010, 7(20): 1631-1635.
- [16] 韩莹, 刘文彬, 邢颖, 等. 我国大闸蟹中二噁英类持久性有机污染物的暴露水平研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(16): 4302-4307.
HAN Y, LIU WB, XING Y, *et al.* Study on exposure levels of dioxin-like persistent organic pollutants in Chinese hairy crabs [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(16): 4302-4307.
- [17] 于永兴, 张晓娜, 姚琳, 等. 双壳贝类中的持久性有机污染物生物标志物的研究及其应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(22): 8151-8156.
YU YX, ZHANG XN, YAO L, *et al.* Biomarkers of persistent organic pollutants in bivalve shellfish and their application [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(22): 8151-8156.

- [18] 朱晓玲, 江丰, 刘杰, 等. 湖北省水产品中持久性有机污染物残留状况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 56–63.

ZHU XL, JIANG F, LIU J, *et al.* Analysis of persistent organic pollutants residues in aquatic products of Hubei province [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(1): 56–63.

- [19] 张莉娜, 杨玉林, 严春. 我国各地区环境介质中二噁英含量的对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 1073–1077.

ZHANG LN, YANG YL, YAN C. Comparative analysis of dioxins content in environmental media in various regions of China [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(3): 1073–1077.

- [20] LI Y, WANG P, DING L, *et al.* Atmospheric distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls around a steel plant area, northeast China [J]. *Chemosphere*, 2010, 79(3): 253–258.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张 睿, 主管技师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: 741143298@qq.com



崔 燕, 副主任医师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: 543710805@qq.com