

风险评估

安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属污染状况调查分析

唐秀婷, 杨洋, 曾勇, 耿天宇, 吴翔, 兰勤

(六安市疾病预防控制中心, 安徽 六安 237000)

摘要:目的 研究安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏组织中的重金属的污染状况,为食品安全风险监测、引导饮食提供一定依据。方法 随机采集2019年安徽省各地市鸡肉、鸡蛋、鸡肝和鸡胗样品,检测重金属元素砷(As)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)的含量,并结合中国居民食物消费量调查数据,将居民膳食中各重金属暴露量结合健康指导值进行简单分析。结果 此次研究的鸡肉、鸡蛋、鸡肝、鸡胗样品各重金属检出率不同,合格率为100%;同一重金属元素(除Pb外)在鸡肉、鸡蛋、鸡胗和鸡肝中含量差异均具有统计学意义($P < 0.05$),不同重金属元素的含量差异有统计学意义($\chi^2=17.13, P < 0.05$);重金属在内脏中含量高于鸡肉和鸡蛋,其中Cr含量最高,Pb次之;安徽省人群鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中各重金属暴露量远低于其健康指导值。结论 安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏对重金属元素的累积能力不同,重金属在内脏中更容易累积,安徽省鸡肉、鸡蛋和内脏中重金属的含量较低,人群膳食暴露量较低,对人体健康产生危害的风险相对较小。

关键词:安徽省; 鸡肉; 重金属; 污染状况; 调查分析

中图分类号: R155

文献标识码: A

文章编号: 1004-8456(2022)06-1244-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.06.018

Investigation and analysis of heavy metal pollution in chicken, eggs and viscera in Anhui Province

TANG Xiuping, YANG Yang, ZENG Yong, GENG Tianyu, WU Xiang, LAN Qin

(Lu'an Center for Disease Control and Prevention, Anhui Lu'an 237000, China)

Abstract: Objective To investigate the pollution of heavy metals in chicken, eggs and chicken viscera in Anhui province, and to provide a basis for food safety risk monitoring and dietary guidance. **Methods** Chicken, eggs, chicken liver and gizzard were randomly sampled around the cities in Anhui Province in 2019. Heavy metal element arsenic (As), lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), mercury (Hg) contents were detected. Health risk was calculated combining the exposure levels of heavy metals and the Chinese residents' food consumption survey data. **Results** The detection rates of heavy metals in chicken, egg, liver and gizzard samples were different, and the qualified rate was 100%. The contents of the same heavy metal (except Pb) in chicken, egg, chicken gizzard and chicken liver were significantly different ($P < 0.05$), and the contents of different heavy metal were significantly different ($\chi^2=17.13, P < 0.05$). The content of heavy metals in viscera was higher than that in chicken and eggs, and Cr content was the highest, followed by Pb. The exposure of heavy metals in chicken, eggs and chicken offal in Anhui province was far lower than the health guidance value. **Conclusion** The accumulation capacity of heavy metals in chicken, eggs and chicken viscera in Anhui Province is different, and heavy metals are more easily accumulated in viscera. The content of heavy metals in chicken, eggs and viscera in Anhui Province is low, the dietary exposure of the population is low, and the risk to human health is relatively small.

Key words: Anhui Province; chicken; heavy metals; pollution status; investigation and analysis

民间素有“无鸡不成宴”之说,鸡肉、鸡蛋是人们日常饮食的常见食物。安徽是传统的家禽养殖大省,也是传统的禽肉消费大省,安徽每年人均消费鸡肉的增幅高于其他主要肉类。随着经济的不断

发展,环境污染问题日渐突显,重金属污染不仅直接影响人体健康,还影响其产品的出口贸易,同时也给畜禽业生产造成了严重的损失。目前关于鸡肉类样品中重金属的文献报道并不多,主要以各省的监测报告为主。

重金属通常是指自然界中密度大于 4.5 g/cm^3 的金属或类金属元素,如金、银、铜、铁等;在化学元素周期表中砷位于第四周期、第VA族,由于砷(As)化学性质和环境行为与重金属极其相似,通常也被列为

收稿日期: 2021-10-30

作者简介: 唐秀婷 女 主管技师 研究方向为食品与水质理化检验 E-mail: 1356004984@qq.com

通信作者: 杨洋 男 主管技师 研究方向为食品与水质理化检验 E-mail: 458956441@qq.com

重金属元素。通常,重金属污染物分为两类:一类为对机体有利的微量元素,如钴、铜、锰、硒、锌等,这些元素一旦过量,也将损害机体的正常生理功能;另一类为不具备生理功能的元素,如汞(Hg)、铅(Pb)等,这类元素对机体的生长存活具有不良效应。重金属对人体健康最主要的危害主要来自砷、汞、铅、镉(Cd)这四类毒性较强的元素及其化合物。

环境中的重金属可通过膳食、呼吸、接触等方式被动物摄入并残留或蓄积在动物组织中^[1],进而通过食物链进入人体,影响人类的健康。人体若长期暴露于重金属污染如铅、镉、汞、砷的环境中可能会引起神经系统、肝脏、肾脏等损伤^[2-3]。某些重金属,如毒性较强的镉,在微量的情况下即可引发毒性效应。某些重金属可在微生物作用下转化为毒性更强的金属化合物,如汞的甲基化作用。总之,动物源性食品的重金属污染具有隐蔽性、富集性和不可逆性,故受到政府和社会的广泛关注。美国环境保护署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)于1979年将银、铜、砷、铍、铬(Chromium, Cr)、铜、汞、镍、铅、铋、硒、铊、锌等13种金属及其化合物列为有毒污染物名单,建议对这些最具代表性的、对人体健康和生态平衡危害较大的污染物进行优先重点控制。

重金属的毒性依赖于其摄入量和摄入频率,因此,仅仅对重金属的总量进行分析并不能提供足够的信息以证明重金属的迁移性、积累性和危害性,动物源食品重金属危害的风险评估^[4-8]是判定其是否会对人体产生危害的首要方法。联合国粮农组织和世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, FAO/WHO)自1970年就对重金属进行风险评估^[4-8],已建立起完善的评估方法与程序,其风险评估研究结果为动物源食品中重金属污染控制与风险管理提供依据。本研究对2019年安徽省鸡肉、鸡蛋和内脏中砷、铅、镉、铬、汞的含量进行了调查分析,初步获得安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属本底污染趋势情况,并简单分析人群食用此类食品的重金属暴露量;并对鸡肉、鸡蛋和鸡内脏的质量安全进行了评价,为指导生产、引导消费提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集与处理

按照2019年安徽省食品污染物监测方案要求,遵循随机采样原则,选择安徽省16地市超市、农贸市场、餐饮店及生产企业等场所采集具有代表

性、典型性的样品。分别采集当地鸡肉、鸡蛋、鸡内脏(鸡肝、鸡胗),每个地市共采集15份样品,包括5份鸡肉、5份鸡蛋、5份鸡内脏(鸡肝和鸡胗)。共采集鸡肉80份(丢失3份鸡肉样品数据)、鸡蛋80份、鸡内脏80份(鸡胗48份,鸡肝32份),共计样品240份。每份样品需至少采集5个样品混合,以保证样品的代表性。所有样品清洗干净之后,取适量鸡肉、鸡肝、鸡胗等组织样品粉碎,鸡蛋液搅匀,放在塑料保鲜盒内,置于-20℃冰箱中冷冻保存,待下一步处理分析。

1.1.2 主要仪器与试剂

美国CEM公司MARS 6 CLASSIC微波消解仪;东方科创(北京)生物技术有限公司YOUR BRIDGE EHD-24自动赶酸装置;默克化工技术(上海)有限公司Milli-Q纯水机;岛津企业管理(中国)有限公司(SHIMADZU)AUW220电子天平($d=0.1\text{ mg}$);铂金埃尔默仪器有限公司(Perkin Elmer)Nexlon 350D电感耦合等离子体质谱联用仪。实验所用水均为Milli-Q所制超纯水(电阻率 $18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$, $25\text{ }^\circ\text{C}$);硝酸(电子纯,苏州晶锐化学股份有限公司);过氧化氢(优级纯,国药集团化学试剂有限公司)。

标准品由铂金埃尔默仪器有限公司(Perkin Elmer)生产,编号为N9300281,浓度为 $100\text{ }\mu\text{g/mL}$ 的21种混标,以及由国家有色金属及电子材料分析中心生产,编号为GSB04-1729-2004,批号为202010-4,标准值为 1000 mg/L 的Hg标准溶液;内标溶液为铂金埃尔默仪器有限公司(Perkin Elmer)生产,编号为N9303832,浓度为 $10\text{ }\mu\text{g/mL}$ 的内标溶液。

1.2 方法

1.2.1 检测依据与评价依据

检测方法参照《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》GB 5009.268—2016中第一法电感耦合等离子体质谱法^[9]进行检测,检出限为As 0.002 mg/kg , Pb 0.020 mg/kg , Cd 0.002 mg/kg , Cr 0.050 mg/kg , Hg 0.001 mg/kg 。检出值参照《食品安全国家标准 食品中污染物限量》GB 2762—2017进行判断^[10],健康风险值参照USEPA所推荐的非致癌物风险值进行分析^[11]。

1.2.2 样品处理

准确称取 $0.5\sim 1.0\text{ g}$ 样品,置于已泡酸处理的消解罐中,加入6 mL硝酸,然后将消解罐置于预消器上 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 预消解1 h,冷却,盖上消解罐盖子置于通风橱中放置过夜。每一批做两个样品空白,两个加标样品,10%的平行样。第二天加1 mL过氧化氢,然后将消解罐置于微波消解仪上按设置好的消解程序消解。消解完成后,拿出消解罐置于预消器 $130\text{ }^\circ\text{C}$

赶酸,等到剩余的溶液约 0.5 mL 时停止赶酸。取出,冷却至室温后用超纯水反复洗涤并定容至 25 mL,摇匀,静置。然后,取样液上电感耦合等离子体质谱仪检测 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的含量。测定结果用湿质量 mg/kg 表示。

1.2.3 质量控制

每批样品(40个一批)均含试剂空白和标准样品,10%的样品进行平行性试验和加标回收率试验。

1.2.4 低水平数据的处理

本研究未检出数据参照 WHO 推荐的方法处理未检出值^[12],未检出率低于 60% 时,所有未检出数据用 1/2 检出限(Limit of detection, LOD)替代,未检出率高于 60% 时,所有未检出数据用 LOD 替代。本研究依据未检出率结果,As、Cd 以 1/2LOD 值替代未检出值,其余未检出元素的结果以 LOD 代替。

1.2.5 膳食暴露量计算方法

鸡肉、鸡蛋和鸡内脏重金属污染膳食暴露量^[13-20]由以下公式计算,使用食物日消费量的平均值估算人群食品中重金属平均摄入水平。

$$ADD=(C \times IR)/(BW) \times 10^{-3} \quad (\text{公式 1})$$

式中:ADD 为每日膳食暴露量,mg/kg·BW;BW 为人体质量,kg;C 为重金属的浓度,mg/kg;IR 为目标人群每日食品的消费量,单位为 g/d;

1.2.6 各重金属的健康指导值

根据 FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA)评估报告数据。对于 AS,以无机砷产生肺癌发生作为毒性效应终点的基准剂量(3~5 μg/kg·BW),从保守评估考虑,选择 3 μg/kg·BW 作为计算值;对于 Cd, JECFA 在 2011 年第 73 次会议制定的食品中镉的暂定每月允许摄入量为 25 μg/kg·BW(相当于每日 0.833 μg/kg·BW);对于 Pb,每日允许摄入量为 3.5 μg/kg·BW;对于 Cr,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐每日 Cr 摄入量为 8.3 μg/kg·BW;FAO/WHO JECFA 建议汞的每周耐受摄入量(Tolerable weekly intake, PTWI)为 4 μg/(kg·BW)(相当于每日 0.57 μg/kg·BW)。综上,As、Pb、Cd、Cr、Hg 的参考摄入剂量(Reference intake dose, RfD)分别为 0.003、0.003 5、0.000 83、0.008 3、0.000 57 mg/kg·BW·d^[21-22]。

1.3 数据分析

数据由 Excel 2007 录入并整理,采用 SPSS 22.0 统计分析软件对数据进行统计分析,对计量资料首先进行正态性检验,经检验数据不符合正态分布,用非参数检验进行统计学检验,以 α=0.05 为检验

标准。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属元素含量

根据《食品安全国家标准食品中污染物限量》GB 2762—2017^[10]的限量要求,肉及肉制品中 Pb 含量限值为:Pb 0.20 mg/kg, Cd 0.10 mg/kg, Hg 0.05 mg/kg, As 0.50 mg/kg, Cr 1.00 mg/kg, 其余没有限量标准;内脏组织:Pb 0.50 mg/kg, Cd 0.50 mg/kg, 其余没有限量标准;鸡蛋:Hg 0.05 mg/kg, 其余没有限量标准。本试验采集的安徽省各地市鸡肉、鸡蛋、鸡肝、鸡胗样品合格率为 100%。As、Pb、Cd、Cr、Hg 的总检出率分别为 65.40%、14.76%、48.52%、8.01%、2.00%。鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中各种重金属元素的检出率各不相同,鸡肉中 Cd 检出率最高, Hg 检出率最低;鸡蛋中 As 检出率最高, Cr 检出率最低;内脏中 Cd 检出率最高, Hg 检出率最低。同一重金属元素在内脏和鸡肉中的检出率高于鸡蛋。汞在鸡肉、鸡蛋、鸡肝中有检出,但检出数量较少,其中鸡肝中检出 3 份,且最高值为 0.015 mg/kg。

由表 1 可知,鸡肉、鸡蛋和鸡胗中重金属元素的含量高低为(以平均值排序):Cr>Pb>AS>Cd>Hg, 鸡胗中重金属含量高低为 Cr>Pb>Cd>AS>Hg, 且不同重金属元素的含量差异有统计学意义($\chi^2=17.13$, $P < 0.05$)。同一重金属元素在不同类样品中的含量高低为:鸡内脏(鸡胗、鸡肝)>鸡肉>鸡蛋,不同类样品中的同一种重金属元素除 Pb 外($\chi^2=3.02$, $P > 0.05$),其他元素在鸡肉、鸡蛋和内脏中的含量差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。其中鸡胗、鸡肝中 Cr 平均含量为 0.110 和 0.056 mg/kg, Pb 为 0.023 和 0.021 mg/kg, 各类样品中重金属的 P95 含量高于平均值(表 1)。

2.2 人群鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属暴露量

根据中国居民人群膳食暴露参数及相关资料文献^[19-24],根据公式 1 计算可知,安徽省各人群对鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属元素的每日膳食暴露量(Daily dietary exposure, ADD)均远低于其健康指导值或基准指导值(<1%)。鸡肉、鸡蛋、鸡内脏中各重金属元素的 ADD 为鸡蛋>鸡肉>内脏。鸡肉、鸡蛋中各重金属的膳食暴露量高低顺序为 Cr>Pb>As>Cd>Hg, 内脏中重金属的膳食暴露量高低顺序为 Cr>Pb>Cd>AS>Hg。

3 讨论

鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中,重金属元素的含量不同。不同类样品中同一重金属元素除 Pb 外,其他元

表1 鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中的重金属元素含量(mg/kg)
Table 1 Heavy metal elements in chicken, eggs and chicken offal (mg/kg)

金属元素	鸡肉			鸡蛋			鸡胗			鸡肝			χ ² 值	P值				
	含量范围	平均含量	检出率/%	P95	含量范围	平均含量	检出率/%	P95	含量范围	平均含量	检出率/%	P95						
As	ND~0.075	0.004	72.72	0.009	ND~0.008	0.002	46.25	0.006	ND~0.038	0.006	87.50	0.013	ND~0.016	0.003	62.50	0.013	24.34	<0.05
Pb	ND~0.127	0.023	19.48	0.043	ND~0.080	0.023	11.25	0.063	ND~0.082	0.023	16.67	0.031	ND~0.035	0.021	9.38	0.031	3.02	>0.05
Cd	ND~0.004	0.002	98.70	0.002	ND	0.002	0.00	0.002	ND~0.013	0.004	79.16	0.050	ND~0.091	0.016	96.88	0.050	130.46	<0.05
Hg	ND~0.004	0.001	1.30	0.001	ND~0.002	0.001	1.25	0.001	ND	0.001	0.00	0.001	ND~0.015	0.002	9.38	0.001	3.99	<0.05
Cr	ND~0.165	0.052	7.79	0.055	ND	0.050	0.00	0.050	ND~2.239	0.110	18.75	0.190	ND~0.191	0.056	12.50	0.190	15.35	<0.05
合计																	17.13	<0.05

注:ND表示“未检出”

素在三类样品中含量差异显著;且同一类样品中不同重金属的含量差异也较为显著;不同重金属元素在所有样品中的含量差异显著。鸡内脏(鸡胗、鸡肝)中的重金属含量高于鸡肉、鸡蛋样品,这可能与重金属在动物体内的蓄积特性有关^[25];尽管内脏中重金属的膳食暴露量远低于健康指导值,也需提倡消费者合理均衡膳食的宣传,避免长期大量食用内脏产品。Cr 缺少或者过量对人体健康都会产生一定的危害,目前文献报道铬的摄入量都是较低的^[26-28]。结果表明,人群鸡肉、鸡蛋和鸡内脏膳食中 Cr 暴露量低于其健康指导值。因此,正常食用此类食品不会对居民健康造成不良影响。

当然本研究也存在一定的局限性,比如未对各地市样品、鸡饲料等进行调查,所以各地市所采集的样品中重金属污染可能的原因不是很清楚。由于样品从安徽省 16 地市搜集来,各地市采样点的选择是否具有代表性,以及采样的规范性也是一个问题。本研究样品集中在安徽省,由于没有本地的消费量调查数据,本研究在膳食暴露风险分析这一部分是参考中国人群暴露参数,与安徽省居民实际的消费量情况会有一些差异,数据的时效性也存在一定局限性,不能很好地反映现阶段人群的膳食消费量数据,用此来代表安徽省人群的消费水平,结果可能也存在一定偏差。今后应当尽量完善安徽省此类食品消费量调查数据,从而为日后做风险评估提供资料。检测样品中重金属含量时未经烹调、蒸煮等过程,未考虑食品加工过程中重金属含量的可能变化导致结果存在一定不确定性。

综上所述,2019 年安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属污染相对较轻,各人群对各类样品中铅、镉、砷、汞、铬的平均暴露量远低于其健康指导值或基准剂量,鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中各重金属的总暴露量仍远低于健康指导值,总体膳食危害较小,食用此类食品不会造成严重的重金属危害^[22],与国内已有报道过的相关文献结果类似^[21]。同时,应继续加强此类食品风险监测,进一步增加样品种类和数量,从不同方面选取有代表性的样本进行检测,将安徽省鸡肉、鸡蛋和鸡内脏中重金属污染降到较低水平,同时为日后完善风险评估模型提供更科学、更准确、更全面的依据。

参考文献

[1] 潘根兴, ANDREW C.CHANG, ALBERT L PAGE. 土壤-作物污染物迁移分配与食物安全的评价模型及其应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 854-858.
PAN G X, ANDREW C.Hang, ALBERT L PAGE. Evaluation model and Application of soil-crop pollutant migration and

- distribution and food security [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 854-858.
- [2] 梁林涵, 钟格梅, 黄林, 等. 广西环境镉污染重点地区居民饮用水、食物和空气镉暴露量调查[J]. *实用预防医学*, 2018, 25(11): 1340-1343.
- LIANG L H, ZHONG G M, HUANG L, et al. Investigation of cadmium exposure in drinking water, food and air of residents in key areas of environmental cadmium pollution in Guangxi [J]. *Practical Preventive Medicine*, 2018, 25(11): 1340-1343.
- [3] 何佳璐, 方力, 余新威. 舟山市海产品铅、镉、甲基汞污染调查. *预防医学*, 2017, 29(3): 240-242.
- HE J L, FANG L, YU X W. Investigation on contamination of lead, cadmium and methylmercury in seafood in Zhoushan City. *Preventive Medicine*, 2017, 29(3): 240-242.
- [4] 湛天丽, 黄阳, 何腾兵, 等. 贵州铜仁汞矿区主要农产品重金属污染及其健康风险评估[J]. *安全与环境学报*, 2017, 17(4): 1524-1529.
- ZHAN T L, HUANG Y, HE T B, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment of main agricultural products in Tongren Mercury mining area, Guizhou Province [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2017, 17(4): 1524-1529.
- [5] 陈栋, 操基玉. 六安市城区饮用水中氯仿和四氯化碳健康风险初评[J]. *环境卫生学杂志*, 2016, 6(5): 347-350.
- CHEN D, CAO J Y. Preliminary assessment on health risks of chloroform and carbon tetrachloride in drinking water in Lu'an city [J]. *Journal of Environmental Health*, 2016, 6(5): 347-350.
- [6] 蔡圆圆, 林丹, 山若青, 等. 温州市本地种植大米镉污染情况及健康风险评估[J]. *预防医学*, 2017, 29(3): 293-294.
- CAI Y Y, LIN D, SHAN R Q, et al. Cadmium pollution and health risk assessment of local rice in Wenzhou city [J]. *Preventive Medicine*, 2017, 29(3): 293-294.
- [7] 程家丽, 马彦宁, 刘婷婷, 等. 中国部分海产品重金属污染特征及健康风险评估[J]. *卫生研究*, 2017, 46(1): 148-154.
- CHENG J L, MA Y N, LIU T T, et al. Characteristics and health risk assessment of heavy metal pollution in some seafood in China [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2017, 46(1): 148-154.
- [8] 程家丽, 任硕, 刘婷婷, 等. 2001—2017年我国部分地区蔬菜中砷和重金属累积特征及膳食暴露风险[J]. *中国食品卫生杂志*, 2018, 30(2): 187-193.
- CHENG J L, REN S, LIU T T, et al. Accumulation characteristics of arsenic and heavy metals in vegetables and dietary exposure risk in some parts of China from 2001 to 2017 [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2018, 30(2): 187-193.
- [9] 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 食品中多元素的测定: GB 5009.268—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National Standard of Food safety-Determination of multi-element in food: GB 5009.268—2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [10] 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, State Food and Drug Administration. National Standard of Food Safety Limit of pollutants in food: GB 2762—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] FANG T, LU W X, LI J, et al. Levels and risk assessment of metals in sediment and fish from Chaohu Lake, Anhui Province, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(18): 15390-15400.
- [12] World Health Organization (WHO). GEMS/Food-EURO workshop on reliable evaluation of low level contamination of food: report of a workshop in the frame of GEMS/Food-EURO [C]. Kulmbach Germany: WHO Regional Office for Europe, 1994.
- [13] 聂晓玲, 程国霞, 王敏娟, 等. 2014年陕西省市售食品中重金属污染调查及评价[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(2): 240-243.
- NIE X L, CHENG G X, WANG M J, et al. Investigation and evaluation of heavy metal pollution in food sold in Shaanxi Province in 2014 [J]. *China Food Hygiene Journal*, 2016, 28(2): 240-243.
- [14] 樊伟, 王晶, 王若燕, 等. 绍兴市市售动物性水产制品有毒重金属污染调查[J]. *预防医学*, 2018, 30(8): 837-840.
- FAN W, WANG J, WANG R Y, et al. Investigation of toxic heavy metal pollution in Shaoxing aquatic products [J]. *Preventive Medicine*, 2018, 30(8): 837-840.
- [15] 倪承珠, 郝伟, 张海君. 台州市海带和紫菜中铅、镉含量分析[J]. *预防医学*, 2018, 30(10): 1050-1052.
- NI C Z, HAO W, ZHANG H J. Analysis of lead and cadmium in Kelp and laver in Taizhou city [J]. *Preventive Medicine*, 2018, 30(10): 1050-1052.
- [16] 罗贤如, 黄薇, 张锦周, 等. 深圳市居民铅镉膳食摄入水平评估[J]. *中国热带医学*, 2016, 16(12): 1204-1207.
- LUO X R, HUANG W, ZHANG J Z, et al. Assessment of dietary intake of lead and cadmium in Shenzhen residents [J]. *Chinese Journal of Tropical Medicine*, 2016, 16(12): 1204-1207.
- [17] 蒋立新, 杨梅, 李玥, 等. 深圳居民镉的膳食暴露评估[J]. *中国热带医学*, 2016, 16(10): 981-985.
- JIANG L X, YANG M, LI Y, et al. Assessment of dietary exposure to cadmium in Shenzhen residents [J]. *Chin J Tropical Medicine*, 2016, 16(10): 981-985.
- [18] 叶海湄, 王铤, 朱明, 等. 海南省水产品中铅镉摄入量的暴露评估[J]. *中国热带医学*, 2012, 12(9): 1062-1064.
- YE H M, WANG T, ZHU M, et al. Exposure assessment of lead and cadmium intake in aquatic products in Hainan Province [J]. *Chinese Journal of Tropical Medicine*, 2012, 12(9): 1062-1064.
- [19] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- Ministry of Environmental Protection. Chinese population Exposure Parameter Manual [M]. Beijing: China Environment Press, 2013.
- [20] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册(成人卷)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- Ministry of Environmental Protection. Chinese Population Exposure

- Parameter Manual (Adult volume) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2013.
- [21] 续倩,吴维,何绮霞,等.广东省鸡产品中重金属含量及膳食暴露评估[J].广东农业科学,2015,42(5):83-86.
- XU Q, WU W, HE Q X, et al. Heavy metal content and dietary exposure assessment of chicken products in Guangdong Province [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(5): 83-86.
- [22] Joint Expert Committee on Food Additives(JECFA). Summary of evaluations performed by the JECFA [R/OL]. (2010-02-25) [2021-01-20].
- [23] 翟凤英.中国居民膳食结构与营养状况变迁的追踪研究[M].北京:科学出版社,2008.
- ZHAI F Y. A follow-up study on changes in dietary Structure and nutritional status of Chinese Residents. Beijing: Science Press, 2008.
- [24] 冯哲伟,王峥,杨海斌,等.杭州市下城区居民主要膳食中镉暴露评估[J].中国食品卫生杂志,2019,31(2):162-166.
- FENG Z W, WANG Z, YANG H B, et al. Assessment of cadmium exposure in main diets of residents in Xiacheng district of Hangzhou [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 31(2): 162-166.
- [25] 杨洋,操基玉,陈栋,等.安徽省六安市2013—2016年各类食品中重金属铅镉暴露量及风险评估[J].中国热带医学,2019,19(7):671-674.
- YANG Y, CAO J Y, CHEN D, et al. Exposure and risk assessment of heavy metals lead and cadmium in various types of food in Lu'an City, Anhui Province from 2013 to 2016 [J]. Chinese Journal of Tropical Medicine, 2019, 19(7): 671-674.
- [26] 吴茂江.铬与人体健康.微量元素与健康研究,2014,31(4):72-73.
- WU M J. Chromium and human health. Trace Elements and Health Research, 2014, 31(4): 72-73.
- [27] 刘鹭,李函彤,张书文,等.生物富集与人体营养健康.生物产业技术,2018(1):102-106.
- LIU L, LI H T, ZHANG S W, et al. Biological chromium enrichment and human nutrition health. Biotechnology, 2018(1): 102-106.
- [28] 中国营养学会.中国居民膳食指南[M].修订版.拉萨:西藏人民出版社,2010.
- Chinese Nutrition Society. Dietary Guidelines for Chinese Residents [M]. Revised Edition. Lhasa: Tibet People's Publishing House, 2010.