

## 风险评估

## 我国食品接触用不锈钢制品中金属元素迁移理论风险评估

袁悦<sup>1,2</sup>, 赵方蕾<sup>1</sup>, 杨道远<sup>1</sup>, 张泓<sup>1</sup>, 高洁<sup>1</sup>, 隋海霞<sup>1</sup>, 郝卫东<sup>2</sup>

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021; 2. 北京大学公共卫生学院毒理学系/食品安全毒理学研究与评价北京市重点实验室, 北京 100191)

**摘要:**目的 建立推导食品接触材料来源的危害因素可接受暴露水平的方法,并评估食品接触用不锈钢制品中5种金属元素迁移的理论暴露水平及潜在健康风险,对我国现行标准的适宜性进行评价。方法 参考国际上饮用水中化学污染物、金属制品来源的金属元素,以及食品接触材料来源的污染物可接受暴露水平的分配原则,综合考虑金属元素的膳食暴露水平和毒理学数据,确定我国居民不锈钢制品来源的金属元素的可接受暴露水平。假定每天摄入1 kg由不锈钢制品盛放的食物,利用GB 4806.9—2016《食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品》中规定的不锈钢制品中铅、镉、砷、铬、镍元素的特定迁移限量,估计5种金属元素迁移的理论暴露水平,并依据推导的可接受暴露水平评估不锈钢制品中金属元素迁移的健康风险。结果 食品接触用不锈钢制品中铅、镉、砷、铬和镍的可接受暴露水平分别为0.06(铅儿童)、0.13(铅成人)、0.08、0.30、60.00和2.40  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 。食品接触用不锈钢制品来源的铅和砷的理论暴露水平分别为2.50(铅儿童)、0.83(铅成人)和0.67  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ,暴露限值分别为0.02(铅儿童)、0.16(铅成人)和0.45,远低于1。镉、铬和镍的理论暴露水平分别为0.33、33.33和8.33  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ,分别为相应不锈钢制品来源的可接受暴露水平的400.12%、55.56%和347.22%。结论 在我国现行标准下,根据理论暴露结果,铬元素迁移导致的风险较低,镉、镍、铅和砷迁移导致的健康风险相对较高,建议开展基于实际迁移水平的风险评估,为是否需要修订GB 4806.9—2016提供科学依据。

**关键词:**食品接触材料; 不锈钢制品; 金属元素; 风险评估; 理论评估; 分配系数

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)05-0712-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.05.012

**Theoretical risk assessment of metal elements from stainless-steel products for food contact in China**

YUAN Yue<sup>1,2</sup>, ZHAO Fanglei<sup>1</sup>, YANG Daoyuan<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>1</sup>, GAO Jie<sup>1</sup>,  
SUI Haixia<sup>1</sup>, HAO Weidong<sup>2</sup>

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China;

2. Department of Toxicology, School of Public Health, Peking University/Beijing Key Laboratory of Toxicological Research and Risk Assessment for Food Safety, Beijing 100191, China)

**Abstract: Objective** To establish a method to derive the acceptable exposure levels of hazard from food contact materials, and assess the theoretical exposure levels and potential health risks of five metal elements released from stainless-steel products for food contact, so as to evaluate the suitability of the current National Standard of Food Safety in China. **Methods** The acceptable exposure levels of metal elements from stainless-steel products in China were determined in accordance with international allocation principles for acceptable exposure levels of chemical contaminants from drinking-water, metal elements from metal products, and contaminants from food contact materials, dietary exposure levels and toxicology data for the metal elements were also considered. The specific migration limits of lead, cadmium, arsenic, chromium, and nickel in the “National Standard of Food Safety: Metal Materials and Articles for Food Contact (GB 4806.9—2016)”, were used to theoretically estimate the exposure levels of the five metal elements, assuming that

收稿日期:2022-03-24

基金项目:国家自然科学基金(32061160474)

作者简介:袁悦 女 硕士研究生 研究方向为安全性评价和风险评估 E-mail:2011210121@bjmu.edu.cn

通信作者:隋海霞 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:suihaixia@cfsa.net.cn

郝卫东 男 教授 研究方向为食品毒理学 E-mail:whao@bjmu.edu.cn

隋海霞和郝卫东为共同通信作者

each person consumed 1 kg of food in stainless-steel products per day. The health risks of metal elements in stainless-steel products were assessed based on the derived acceptable exposure levels. **Results** Acceptable exposure levels for lead from stainless-steel products were 0.06 (children), 0.13  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$  (adults), and those for cadmium, arsenic, chromium, and nickel were 0.08, 0.30, 60.00, and 2.40  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ , respectively. The theoretical exposure levels for lead from stainless-steel products for food contact were 2.50 (children) and 0.83  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$  (adults) with margins of exposure of 0.02 (children) and 0.16 (adults). Meanwhile for arsenic the theoretical exposure level was 0.67  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ , with an MOE of 0.45. Notably, for lead and arsenic the MOE were lower than 1. The theoretical exposure levels for cadmium, chromium, and nickel were 0.33, 33.33, and 8.33  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ , which were 400.12%, 55.56%, and 347.22% of the acceptable exposure levels, respectively. **Conclusion** Under the current standards in China, the health risk from the release of chromium was low, whereas the health risks from the release of cadmium, nickel, lead, and arsenic were relatively high. Notably, these standards are based on theoretical exposure rather than experimental data. Therefore, it is recommended that risk assessment be performed based on actual migration levels to provide a more accurate assessment of the health risks. This information could then be used to decide whether to revise the current standards (GB 4806.9—2016).

**Key words:** Food contact materials; stainless-steel products; metal elements; risk assessment; theoretical assessment; allocation factor

不锈钢是一类铁-碳合金的总称,它以铁元素为主,碳含量一般不超过 1.2%,通常还含有至少 10.5% 的铬元素<sup>[1]</sup>。因其具有较好的耐腐蚀性,被广泛用于食具容器、食品生产经营用工具和设备等食品相关产品,常见的有不锈钢刀、叉、勺、碗、锅和食品加工器具如滤网、搅拌器等。

食品接触用不锈钢的主要安全问题为金属元素的迁移。当不锈钢制品在使用过程中迁移到食品的金属元素超过限量时,可能对人体健康造成潜在风险。研究表明不锈钢烹饪器皿是镍、铬和铁暴露的重要来源<sup>[2]</sup>,动物和人体流行病学研究证实长期低剂量摄入多种金属具有不良健康效应,与皮肤损害、心血管功能障碍、神经行为异常和器官肿瘤等多种疾病的发生相关<sup>[3]</sup>。因此,目前中国、法国、韩国、意大利等国家和欧盟委员会均规定了食品接触用金属材料及制品中金属元素的迁移限量要求<sup>[4]</sup>。欧盟委员会决议 CM/Res(2013)9《食品接触用金属和合金制造商和立法的实用指南》制定了 21 种金属元素(铅、镉、砷、锂、铍、钒、铈、铝、铁、铜、铬、镍、锰、钴、钼、锌、钒、锡、铊、汞、银)的特定释放限量,其中铅、镉、砷、铬、镍的特定释放限量分别为 0.01、0.005、0.002、0.25 和 0.14  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[5]</sup>。我国现行标准 GB 4806.9—2016《食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品》<sup>[6]</sup>中规定了包括不锈钢制品在内的金属制品的原材料要求、理化指标、迁移试验以及特殊使用要求等内容。不锈钢制品中受限金属元素包括铅、镉、砷、铬、镍,其特定迁移限量(Specific migration limit, SML)分别为 0.05、0.02、0.04、2.0 和 0.5  $\text{mg}/\text{kg}$ ,与欧盟委员会及其他国家的迁移限量值相比较为宽松。因此,为评估我国现行标准的适宜性,以及为是否需要修订标准提供科学依据,本研究利用我国现

行标准中所规定的食品接触用不锈钢制品的 SML,对 5 种金属元素迁移的暴露水平开展理论评估。

金属元素的健康指导值(Health based guidance value, HBGV)或毒性分离点(Point of departure, POD)包括所有膳食暴露来源,而不锈钢制品中金属元素的迁移仅为金属元素膳食暴露的来源之一。本研究综合分析国际上针对饮用水中化学污染物 HBGV 的分配比例<sup>[7]</sup>、欧盟委员会决议 CM/Res(2013)9 中规定的金属元素可接受暴露水平的分配原则<sup>[5]</sup>以及欧盟委员会对于食品接触材料(Food contact material, FCM)迁移物的可接受暴露水平的分配原则<sup>[8]</sup>,确定不锈钢制品来源的金属元素的可接受暴露水平,建立推导食品接触材料来源的危害因素可接受暴露水平的方法,为后续食品接触材料中危害物的风险评估提供方法学支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

食品接触用不锈钢制品中铅、镉、砷、铬、镍 5 种元素的迁移数据采用我国现行标准 GB 4806.9—2016 中规定的允许迁移的最大值,即 SML。通过文献检索,获得 5 种金属元素的 HBGV 或 POD。铅儿童和成人的基准剂量低限值(Benchmark dose lower confidence,  $\text{BMDL}_{01}$ )分别为 0.6 和 1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ <sup>[9]</sup>,砷的  $\text{BMDL}_{0.5}$  为 3  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ <sup>[10]</sup>,镉的暂定每月可耐受摄入量(Provisional tolerable monthly intake, PTMI)为 25  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ <sup>[9]</sup>,铬和镍的每日可耐受摄入量(Tolerable daily intake, TDI)分别为 300 和 12  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ <sup>[11-12]</sup>。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 理论暴露水平估计

参考欧盟食品接触材料相关法规(EU No 10/

2011)<sup>[13]</sup>进行暴露评估,假设成人的平均体质量为60 kg,儿童的平均体质量为20 kg,每天摄入1 kg盛放在不锈钢制品中的食品,结合迁移数据获得每种金属元素的理论暴露水平。计算公式为:

$$EDI = \frac{SML \times 1}{BW}$$

其中:EDI为每人每天每公斤体质量经食品接触用不锈钢制品摄入各金属元素的估计暴露量(mg/kg BW);SML为每千克食品中从不锈钢制品迁移的各金属元素的最大水平(mg/kg);1为每人每天摄入与不锈钢制品接触的食物的量(kg/d);BW为平均体质量(kg)。

### 1.2.2 食品接触用不锈钢制品中金属元素的可接受暴露水平

上述5种金属元素的暴露来源多样,不仅来自不锈钢制品,而且对于非职业暴露人群最主要的暴露来源为食品和饮用水等。因此,本次评估需对来自不锈钢制品的金属元素可接受暴露水平给予相应HBGV或POD一个分配系数。

世界卫生组织(World Health Organization, WHO)《饮用水质量指南》<sup>[7]</sup>中表示,在缺乏足够的暴露数据的情况下,饮用水中化学污染物占每日总摄入量的一般分配系数为20%,反映了基于广泛经验的合理暴露水平。

欧盟委员会决议CM/Res(2013)9<sup>[5]</sup>中规定,对于合金元素的特定释放限量(Specific release limit, SRL)应基于毒理学数据和暴露水平进行设置。若有足够的毒理学数据和暴露数据,当膳食暴露量未超过毒理学参考值时,给予毒理学参考值和P95暴露量的差值;当暴露量超过毒理学参考值时,采用尽可能地低剂量(As low as reasonable achievable, ALARA)原则。若有足够的毒理学数据,但缺乏或没有暴露数据,应参考WHO饮用水指南,将HBGV或POD的20%分配给金属制品。若没有或缺乏足够的毒理学数据,但是有暴露数据,则不分配比例或采用ALARA原则。对于杂质金属元素,其SRL应独立于暴露数据固定给予毒理学参考值10%的比例,铅和镉元素除外,分别为25%和26%。对于金属元素镁和钛,不需要设定SRL。

此外,欧盟委员会对于FCM中迁移物可接受暴露水平的分配原则也作出了规定<sup>[8]</sup>,若非食品接触材料来源的暴露低于相应HBGV或POD1个数量级,则食品接触材料来源的暴露水平的分配系数为100%;若非食品接触材料来源的暴露显著但低于HBGV或POD,则分配系数为20%;若非食品接触材料来源的暴露接近或超过HBGV或POD,则分配

系数为10%。

本研究参考上述原则,综合考虑我国居民膳食中铅、镉、砷的暴露水平,鉴于铅、镉和砷的膳食暴露水平接近或超过了HBGV<sup>[14-15]</sup>,且三者均为金属制品中的杂质元素,最终确定不锈钢制品来源的杂质元素的分配系数为毒性参考值的10%。铬和镍为不锈钢制品中的合金元素,有足够的毒理学数据<sup>[11-12]</sup>,但没有暴露数据,因此参考WHO饮用水指南,将HBGV或POD的20%分配给这两种合金元素。

### 1.2.3 风险表征

对于毒性有阈值的金属元素(镉、铬、镍),计算其理论暴露量占相应不锈钢制品来源的健康指导值(HBGV<sub>不锈钢</sub>)的比例,低于100%说明风险可以接受。

金属元素暴露量占HBGV<sub>不锈钢</sub>比例=(EDI/HBGV<sub>不锈钢</sub>)×100%

对于毒性没有阈值的金属元素(铅、砷),采用暴露限值(MOE)的方法进行风险评估。MOE是临界效应的BMDL与金属元素暴露量的比值。对于铅和砷而言,MOE大于1,表明风险可以接受。

$$MOE = BMDL_{L-不锈钢} / EDI$$

## 2 结果

### 2.1 不锈钢制品来源的各金属元素可接受暴露水平或基准剂量

参考WHO和欧盟的相关规定,综合分析5种金属元素的毒性数据和膳食暴露数据,本评估对合金元素铬和镍,给予HBGV20%的分配系数。对杂质元素铅、镉和砷,给予BMDL或PTMI10%的分配系数,从而得出食品接触用不锈钢制品来源的各金属元素可接受暴露水平或基准剂量,具体见表1。

表1 金属元素不锈钢制品来源的可接受暴露水平或基准剂量

Table 1 HBGV or BMDL of metal elements from stainless-steel products

元素	HBGV/BMDL/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	分配系数/%	HBGV <sub>不锈钢</sub> /BMDL <sub>不锈钢</sub> / ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )
铅	0.6(BMDL <sub>01</sub> , 儿童)	10	0.06
	1.3(BMDL <sub>01</sub> , 成人)		0.13
镉	25(PTMI)	10	0.08
砷	3(BMDL <sub>0.5</sub> )	10	0.30
镍	12(TDI)	20	2.40
铬*	300(TDI)	20	60.00

注:\*表示三价铬

### 2.2 不锈钢制品中各金属元素的暴露评估及风险表征

根据GB 4806.9—2016中规定的各金属元素

的 SML,采用欧盟传统方法进行暴露评估,计算中国居民通过不锈钢制品摄入各金属元素的理论水平,并依据各金属元素不锈钢制品来源的 HBGV 或 BMDL 比较其健康风险,具体见表 2。结果显示,铅和砷的理论暴露水平分别为 2.50(铅儿童)、0.83(铅成人)和 0.67  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ,MOE 分别为 0.02、0.16 和 0.45,均远低于 1。镉和镍的理论暴露水平

分别为 0.33 和 8.33  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ,分别为各自不锈钢制品来源的可接受暴露水平的 400.12% 和 347.22%。铬的理论暴露水平为 33.33  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ,为不锈钢制品来源的可接受暴露水平的 55.56%。因此,经不锈钢制品摄入铅、砷、镉、镍的健康风险需要优先关注,经不锈钢制品摄入铬的风险无需优先关注。

表 2 不锈钢制品中各金属元素的理论评估

Table 2 Theoretical assessment of metal elements from stainless-steel products

元素	SML/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	EDI/ $(\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW})$	HBGV <sub>不锈钢</sub> / $(\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW})$	BMDL <sub>不锈钢</sub> / $(\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW})$	HBGV <sub>不锈钢</sub> /%	MOE
铅	50	2.50(儿童)	—	0.06(儿童)	—	0.02
		0.83(成人)		0.13(成人)		0.16
镉	20	0.33	0.08	—	400.12	—
砷	40	0.67	—	0.30	—	0.45
镍	500	8.33	2.40	—	347.22	—
铬*	2 000	33.33	60.00	—	55.56	—

注:\*表示三价铬,假设不锈钢制品中迁移的铬均为三价铬;—表示无该项

### 3 讨论

我国是不锈钢生产大国,年产量超 3 000 万吨,已成为全球不锈钢的主产区<sup>[16]</sup>。不锈钢因耐摔、耐腐蚀及易清洁的特点,被广泛应用于食具容器等食品相关产品。但不锈钢制品中迁移出的金属元素,可能会给人体健康造成潜在不良影响。例如,铅长期慢性摄入可对人体神经、心血管、骨骼以及肝、肾等多个系统和器官产生损害,其中胎儿、婴儿和儿童是最敏感的人群。在铅的诸多危害中,对儿童智力及对成人血压影响的证据最为充分<sup>[17]</sup>。镉长期暴露可蓄积于肾脏、骨骼等器官,导致肾小管损伤等健康危害<sup>[18]</sup>。吸入镉和镉化合物会导致职业人群肺癌,并且与肾癌和前列腺癌的发生呈正相关,因此国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)将其列为 1 类致癌物<sup>[19]</sup>。人类长期摄入无机砷可导致皮肤损害、发育毒性、神经毒性以及糖尿病<sup>[20]</sup>。经食物或饮水摄入无机砷化合物,可引起皮肤癌、肺癌和膀胱癌等癌症,被 IARC 列为 1 类致癌物<sup>[19]</sup>。铬(Ⅲ)不会引起明显的毒性效应,而经口摄入铬(Ⅵ)则会引起遗传毒性、生殖能力受损等<sup>[21]</sup>。经吸入途径摄入的铬(Ⅵ)化合物可以导致肺癌,并与鼻咽癌、鼻窦癌的发生有正相关关系,被 IARC 列为 1 类致癌物<sup>[19]</sup>。镍是一种诱导胚胎毒性的发育毒性物质,可致神经细胞发育异常<sup>[22]</sup>。IARC 指出经吸入途径暴露于镍及其化合物可导致肺癌、鼻腔癌和副鼻窦癌,为 1 类致癌物<sup>[19]</sup>。因此,作为食品接触用的不锈钢制品,必须符合一定的食品安全要求。我国食品安全国家标准 GB 4806.9—2016 已针对不锈钢制品规定了铅、

镉、砷、铬、镍 5 种金属元素的迁移指标。但对于食品接触用不锈钢制品的金属迁移问题必须持续关注,严格控制食品安全风险。

本研究采用欧盟对于食品接触材料传统评估方法的基本假设,依据 GB 4806.9—2016 中规定的各金属元素 SML 进行了理论评估,反映了我国居民理论上通过不锈钢制品暴露于铅、镉、砷、铬和镍的水平以及我国现行标准的保护力。结果显示,在现行标准下,除铬元素的暴露水平低于不锈钢制品来源的三价铬的可接受暴露水平,风险较低外,镉和镍的暴露水平远超相应的可接受暴露水平,铅和砷的 MOE 远低于 1,其健康风险均需优先关注。

本次评估存在一定的不确定性。由于本次评估基于情景假设,所用食品消费量数据源自模型膳食,即假定体质量 60 kg 的成人或体质量 20 kg 的儿童每天均摄入 1 kg 由不锈钢制品盛放的食物,并非居民实际的消费数据,可能会高估暴露风险,特别是针对儿童的铅暴露评估。同时,本次评估是基于国家标准的理论评估,而非实际迁移水平的评估,仅能反应标准的理论保护水平。

如前所述,欧盟委员会决议 CM/Res(2013)9 制定了 21 种金属元素的特定迁移限量。综合本研究的评估结果,建议开展不锈钢制品中多元素的迁移水平检测并进行基于实际迁移水平的风险评估,从而全面评估我国居民不锈钢制品来源的金属元素的迁移风险,为是否需要修订标准提供科学依据。

### 参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.

- 不锈钢和耐热钢牌号及化学成分: GB/T 20878—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Stainless and heat-resisting steels—Designation and chemical composition: GB/T 20878—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [ 2 ] KULIGOWSKI J, HALPERIN K M. Stainless steel cookware as a significant source of nickel, chromium, and iron[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1992, 23(2): 211-215.
- [ 3 ] AHMAD W, ALHARTHY R D, ZUBAIR M, et al. Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk [J]. Scientific Reports, 2021, 11: 17006.
- [ 4 ] 商贵芹, 赵敏, 王文烨. 国内外不锈钢食品接触材料法规研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2602-2608.
- SHANG G Q, ZHAO M, WANG W Y. Research on the safety regulations of stainless steel food contact materials at home and abroad [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(8): 2602-2608.
- [ 5 ] Council of Europe. CoE Resolution 9, metals and alloys used in food contact materials and articles: a practical guide for manufacturers and regulators: CM/Res (2013) [S]. Strasbourg Cedex, France: Directorate for the Quality of Medicines & Health Care of the Council of Europe, 2013.
- [ 6 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品: GB 4806.9—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. National food safety standard Metal materials and products in contact with food: GB 4806.9—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [ 7 ] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality[M]. 3rd edition. Geneva: WHO, 2008.
- [ 8 ] European Commission (EC). Commission Regulation (EU) 2018/213 on the use of bisphenol A in varnishes and coatings intended to come into contact with food and amending Regulation (EU) No 10/2011 as regards the use of that substance in plastic food contact materials[S]. Brussels: EU, 2018.
- [ 9 ] VERGER P. WHO FOOD ADDITIVES SERIES: 64. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [C]. Geneva: WHO, 2012.
- [ 10 ] AGUDO A, CARRINGTON C, DOERGE D, et al. WHO food additives series: 63. FAO JECFA monographs 8 safety evaluation of certain contaminants in food [C]. The Seventy-Second Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) mercury, 2014.
- [ 11 ] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)[J]. EFSA Journal, 2014, 12(2):3595.
- [ 12 ] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality[M]. Geneva: World Health Organization, 2011.
- [ 13 ] European Commission (EC). Commission Regulation (EU) No<sub>10</sub>/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food[S]. Brussels: EU, 2011, 25(7): 83-88.
- [ 14 ] 高俊全, 李筱薇, 赵京玲. 2000年中国总膳食研究: 膳食铅、镉摄入量[J]. 卫生研究, 2006, 35(6): 750-754.
- GAO J Q, LI X W, ZHAO J L. 2000 Chinese total diet study—The dietary lead and cadmium intakes [J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 35(6): 750-754.
- [ 15 ] 李筱薇, 高俊全, 王永芳, 等. 2000年中国总膳食研究—膳食砷摄入量[J]. 卫生研究, 2006, 35(1): 63-66.
- LI X W, GAO J Q, WANG Y F, et al. 2000 Chinese total dietary study—the dietary arsenic intakes [J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 35(1): 63-66.
- [ 16 ] 赵萍. 2020年不锈钢产量将保持去年水平或微增: 表观消费量将维持正增长[N]. 中国冶金报, 2020.
- ZHAO P. Stainless steel production will remain at last year's level or slightly increase in 2020: performance consumption will continue to grow positively[N]. China Metallurgical News, 2020.
- [ 17 ] World Health Organization (WHO). Exposure to Lead: A major public health concern[R]. Geneva: WHO, 2019.
- [ 18 ] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on tolerable weekly intake for cadmium. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)[J]. EFSA Journal, 2011, 9(2):1975.
- [ 19 ] International Agency for Research on Cancer (IARC). A review of human carcinogens- Part C: Arsenic, metals, fibres and dusts [M]. Lyon: IARC, 2012.
- [ 20 ] World Health Organization (WHO). Arsenic in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality[R]. Geneva: WHO, 2011.
- [ 21 ] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Chromium[R]. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2012.
- [ 22 ] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water[J]. EFSA Journal, 2015, 13(2): 4002.