

研究报告

摩擦行为对食品接触用不锈钢制品中金属元素迁移影响研究

潘静静^{1,2}, 刘兆平³, 卢倩¹, 宗瑜¹, 李丹¹, 郑建国¹, 隋海霞³, 钟怀宁¹

(1. 广州海关技术中心 广东省动植物与食品进出口技术措施研究重点实验室, 广东 广州 510623;
2. 暨南大学食品科学与工程系, 广东 广州 510632; 3. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

摘要:目的 评价摩擦行为对食品接触用不锈钢制品中金属元素迁移的影响。方法 分别采用 GB 4806.9—2016《食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品》和欧洲委员会决议 CM/Res(2013)9(以下简称欧标)规定方法,检测长期使用过和市售新不锈钢制品中金属元素的迁移水平,迁移试验条件分别为4%乙酸中煮沸30 min后室温放置24 h和5 g/L柠檬酸中100℃下浸泡2 h。参考 GB/T 32095.2—2015《家用食品金属烹饪器具不粘表面性能及测试规范 第2部分:不粘性及耐磨性测试规范》振动耐磨方法,研究动态摩擦对市售新不锈钢制品中金属元素迁移的影响,以上方法金属迁移量均符合相应标准要求。结果 采用欧标方法,5份长期使用摩擦后不锈钢制品铅(Pb)第1次迁移量高于定量限,而全新不锈钢制品均低于定量限。采用国标方法,80%(4/5)长期使用摩擦后不锈钢制品的第1次迁移试验中铬(Cr)的迁移量超过定量限,远高于全新不锈钢制品(20%,1/5)。3次动态摩擦试验后Cr和镍(Ni)迁移达到平衡。结论 国标的迁移试验体系比欧标对不锈钢中Cr元素提取能力强。摩擦行为促进不锈钢的腐蚀和金属元素迁移,长期使用后的不锈钢制品与全新制品比较,Pd和Cr元素的迁移水平更高,但均不存在安全风险。

关键词:食品接触材料;摩擦行为;不锈钢;金属;迁移

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2020)03-0234-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2020.03.003

The effect of friction behavior on the migration of metal elements from stainless-steel articles for food contact

PAN Jingjing^{1,2}, LIU Zhaoping³, LU Qian¹, ZONG Yu¹, LI Dan¹, ZHENG Jianguo¹, SUI Haixia³, ZHONG Huaining¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Import and Export Technical Measures of Animal, Plant and Food, Guangzhou Customs District Technology Center, Guangdong Guangzhou 510623, China; 2. Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangdong Guangzhou 510632, China; 3. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To evaluate the effect of friction behavior on migration levels of metal elements from stainless-steel articles for food contact. **Methods** The migration levels of metal elements from used and new stainless-steel articles were compared according to GB 4806.9-2016 and Council of Europe Resolution CM/Res (2013) 9. The migration conditions were boiling in 4% acetic acid for 30 min followed by at room temperature for 24 h and soaking in 5 g/L citric acid at 100℃ for 2 h, respectively. Meanwhile, the impact of dynamic friction on migration were investigated on new stainless-steel articles, where the friction method were referred to the GB/T 32095.2-2015 standard. Migration of metal elements complied with the corresponding standard. **Results** Based on the European standard, migration of lead in the first migration test was above limit of quantitation (LOQ) in all five used stainless-steel articles after friction, but none in new ones. The quantification rate of chromium in the first migration test in 80% (4/5) of used stainless-steel articles were above LOQ after friction by GB 4806.9-2016 standard while were 20% (1/5) in new ones. The migration level of Cr was higher by GB 4806.9-2016 standard than by European resolution in single dynamic friction study. Results from the dynamic friction experiments indicated that the migration of Cr and Ni reached equilibrium after 3 times of friction. **Conclusion**

收稿日期:2020-03-17

基金项目:国家重点研发计划(2016YFF0203705);国家质检总局科技项目(2016IK057)

作者简介:潘静静 女 博士后 研究方向为食品接触材料及制品的检测和风险评估 E-mail:jingjing.pan@iqtc-fcm.com

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

The migration condition in GB 4806.9-2016 standard had stronger leaching ability for Cr from stainless-steel articles than that in European resolution. Friction behavior promoted corrosion and metal element migration of stainless steel. Long-term used stainless-steel products had higher lead and chromium migration than new products, but without safety risks.

Key words: Food contact material; frictional behavior; stainless steel; metals; migration

随着经济发展和人民生活水平的提高,消费者对食品安全问题越来越重视。为保障食品安全,保护消费者健康,各国政府相继制定食品安全法规标准来管控和降低有毒有害物质进入食品的风险。研究表明不锈钢烹饪器皿是镍(Ni)、铬(Cr)和铁(Fe)的重要膳食暴露来源^[1],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效应,与氧化损伤、DNA分解、神经行为异常和肿瘤等疾病的发生相关^[2-3];因此,欧洲^[4]、意大利、法国和我国^[5-6]等均设立金属元素迁移限量要求。中国现行标准GB 4806.9—2016《食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品》(以下简称国标)规定了铅(Pb)、Cr、镉(Cd)、砷(As)和Ni等5种金属元素迁移限量要求,与欧洲委员会决议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》(以下简称欧标)涵盖21种金属元素比较,涉及元素种类较少,限量要求相对宽松。从欧盟食品和饲料快速预警系统(Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF)通报看,不锈钢是我国输欧食品接触材料及制品中的高风险产品,占通报总量的35.60%,除少数感官劣变问题外,大部分因为Cr、锰(Mn)、Ni超标^[7]。

更需要引起关注的是,目前各国的监管^[8]和风险评估^[9]往往基于全新产品,考察有毒有害物质迁移到食品中的量。实际上全新未使用过的不锈钢制品售卖前一般经过抛光钝化工艺处理,表面光滑平整。由于不锈钢制品经久耐用,价格相对塑料等制品昂贵,普遍使用年限很长,使用过程中食物或烹饪工具的摩擦,导致不锈钢制品表面出现不可逆的缺陷,粗糙度上升,迁移水平与全新样品可能有差异。对不同抛光程序制得的不锈钢AISI 420^[10]和AISI 430^[11]的研究证实,不同表面光洁度的不锈钢在食品模拟物中金属元素迁移水平有很大不同。王松等^[12]总结分析了金属材料的人工假体植入物的生物摩擦、腐蚀耦合近十年的研究,发现摩擦和腐蚀的协同作用不可避免,摩擦会加速腐蚀和铝(Al)、钒(V)、Cr、钼(Mo)等金属元素释放。

为揭示不锈钢制品在长期使用过程中的金属元素迁移风险,以及法规标准体系中迁移试验是否需要考虑动态摩擦过程,本研究采用国标和欧标规定的迁移试验测试方法,比较全新与长期使用后的不锈钢制品中金属元素的迁移水平,并进一步研究不锈钢锅和锅铲在动态摩擦下的金属元素迁移情

况,为保护消费者健康和食品安全国家标准的修订提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品来源

市场购买5个品牌、每个品牌2把全新不锈钢锅铲,共10把。市场购买同一品牌的全新不锈钢锅和锅铲5套。征集家用使用时间超过2年的不锈钢锅铲10把。

1.1.2 主要仪器与试剂

PE 5300DV 电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-OES)仪(美国PerkinElmer)、Agilent 7700cx 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)仪(美国安捷伦)、TG-1900 振动试验机(东莞迈晟电子设备有限公司)。

金属元素标准溶液除锌(Zn)外其他浓度均为1 000 mg/L,均购自美国o2si,各金属元素和标准品编号分别为:Pb(981329-85)、As(1034904-8)、Cd(99631-7)、Cr(977657-11)、Ni(984273-48)、锂(Li, 751942-79)、锡(Sn, 977645-8)、汞(Hg, 143369-107)。混合标准溶液包括铍(Be)、Al、V、Cr、Mn、Fe、钴(Co)、Ni、铜(Cu)、Zn(100 mg/L)、As、Mo、银(Ag)、Cd、锑(Sb)、钡(Ba)、铊(Tl)、Pb。硝酸、乙酸、柠檬酸均为分析纯,三级水(电阻率达到18 MΩ·cm, 25 ℃)。

1.2 方法

本研究采用长期使用摩擦、动态单次摩擦和动态多次摩擦三种情形,研究摩擦行为对不锈钢制品中金属元素迁移水平影响。具体流程见图1。

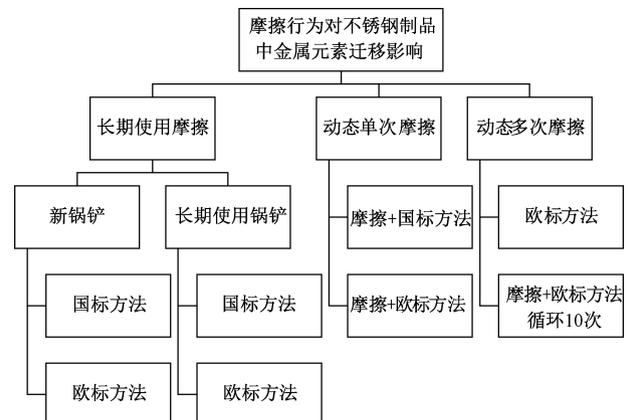


图1 迁移试验流程图

Figure 1 Flow chart of the migration experiment

1.2.1 不锈钢制品中金属元素的迁移水平测试方法

国标和欧标规定的金属元素迁移试验方法的比较,见表2。欧标浸泡方式为:对于锅铲按照样品尺寸选择合适的容器,模拟液浸泡到带手柄样品的手柄下沿,不带手柄锅铲的浸泡高度为样品整体高度的2/3,按照对应假想容器体积进行换算。欧标对不锈钢锅测试按照2/3的总容量进行浸泡或换

算。国标对于锅铲样品按照接触面积与食品模拟液的体积比为 $6\text{ dm}^2/\text{kg}$ 进行浸泡或换算。国标浸泡不锈钢锅时,加入模拟物应保证加热时不会溢出,容积按照总容积的4/5进行浸泡或换算。按照标准要求浸泡或换算后,迁移结果可与限值进行比较。质量控制要求为工作曲线相关系数 >0.999 ,样品加标回收率为 $80\% \sim 120\%$ 。

表2 国标和欧标规定的食品接触用不锈钢制品的迁移试验

Table 2 Migration test of food contact stainless steel specified by GB and Europe

标准编号	食品模拟物	迁移测试条件	重复次数	分析仪器	测试元素种类	LOQ/(mg/kg)
GB 4806.9—2016	4%乙酸	煮沸 30 min, 室温放置 24 h	三次	ICP-OES	Pb、As、Cd、Cr、Ni	0.03、0.005、0.03、0.03、0.06
CM/Res(2013)9	5 g/L 柠檬酸	100 °C 2 h	三次	ICP-MS 和 ICP-OES	Li、Be、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、 Ni、Cu、Zn、As、Mo、Ag、Cd、Sn、 Sb、Ba、Hg、Tl、Pb	0.005、0.005、0.1、0.005、0.01、 0.3、5、0.01、0.01、0.05、1、0.001、 0.05、0.01、0.003、5、0.02、0.1、 0.002、0.000 1、0.005

注:LOQ为定量限

1.2.2 长期使用摩擦不锈钢制品中金属元素的迁移水平测试

将收集到的家用超过2年的不锈钢旧铲5把,按照1.2.1描述的国标测试方法,检测5种金属元素迁移,其余5把按照1.2.1描述的欧标测试方法,检测21种金属元素迁移。全新样品10把均分后,分别按照国标(5把)和欧标(5把)方法检测金属元素迁移水平。

1.2.3 动态单次摩擦不锈钢制品中金属元素的迁移水平测试

采用全新不锈钢锅和锅铲2套,首先分别加入煮沸的模拟液4%乙酸和5 g/L柠檬酸,装载上振动试验机,参考GB/T 32095.2—2015《家用食品金属烹饪器具不粘表面性能及测试规范 第2部分:不粘性及耐磨性测试规范》^[13]中振动耐磨试验方法,使得锅铲在盛有模拟液的不锈钢锅中摩擦30 min,再分别按照1.2.1国标和欧标方法进行金属元素迁移测试,每个平行样均进行3次循环。

1.2.4 动态多次摩擦不锈钢制品中金属元素的迁移水平测试

全新不锈钢锅和锅铲3套,先按照欧标方法进行3次迁移试验,考察金属元素的迁移水平是否符合欧标要求。然后按照1.2.3动态摩擦方法装载上振动试验机摩擦30 min,再按照1.2.1欧标方法检测不锈钢锅和锅铲的金属元素迁移。动态摩擦30 min和100 °C下静置2 h为一次循环,每个平行样均进行10次循环。

1.2.5 仪器条件

电感耦合等离子体原子发射光谱:射频功率1 300 W,等离子流量15 L/min,辅助气流量0.2 L/min,

雾化器流量0.8 L/min,分析泵流速1.5 mL/min,冲洗泵流速2.5 L/min,稳定时间15 s,清洗时间15 s,延迟时间15 s,读取时间30 s,样品测定3次。

电感耦合等离子体质谱:射频功率1 550 W,射频匹配1.8 V,载气流速1.0 mL/min,提升速度0.40 r/min,提升时间30 s,稳定时间30 s,反应气体氦气,雾化室温度2 °C,采集模式频谱分析,样品测定3次。

2 结果

2.1 长期使用摩擦对不锈钢制品金属元素迁移水平的影响

采用国标和欧标规定的方法,比较未摩擦(全新未使用不锈钢锅铲)和长期使用摩擦后(收集的使用时间超过2年的不锈钢锅铲)的金属元素迁移水平,检验结果见表3。按照国标方法检测迁移水平,所有样品中Pb、Cd、As和Ni的迁移量均 $<LOQ$ 。全新未摩擦的样品中有1份在第1次迁移试验时检测到Cr的迁移,为0.09 mg/kg,第2次和第3次迁移以及其余样品Cr迁移量均 $<LOQ$ 。长期摩擦后的5份样品中有4份在第1次迁移试验时,检测到Cr的迁移,范围在0.10~0.26 mg/kg之间,第2次和第3次迁移以及其余样品Cr迁移量均 $<LOQ$ 。

按照欧标方法检测时,全新未摩擦的5份样品中有2份样品在第1次迁移试验时检测到Fe的迁移,迁移量分别为11.6和49.1 mg/kg,第2次和第3次迁移以及长期使用摩擦后的5份样品Fe迁移量均 $<LOQ$ 。长期使用摩擦后的5份样品均检测到Pb迁移,第1次和第2次迁移之和均低于7倍的特定迁移限量(SML)要求,第3次迁移试验中Pb迁

表3 长期使用摩擦对食品接触用不锈钢制品金属元素迁移水平的影响(n=5)

Table 3 Effect of long-term friction on the migration of metal elements from stainless-steel articles in contact with food

标准	样品种类	Cr 迁移量/(mg/kg)			Pb 迁移量/(mg/kg)			Cd,As 和 Ni 迁移量/(mg/kg)		
		第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次
国标	全新未摩擦	0.09、<LOQ、<LOQ、<LOQ、<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ
	长期使用摩擦后	0.16、0.11、0.10、0.26、<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ
欧标	样品种类	Pb 迁移量/(mg/kg)			Fe 迁移量/(mg/kg)			其他19种元素迁移量*/(mg/kg)		
		第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次
欧标	全新未摩擦	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	11.6、49.1、<LOQ、<LOQ、<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ
	长期使用摩擦后	0.014、0.030、0.015、0.022、0.030	0.016、<LOQ、<LOQ、<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ

注：* 其他19种金属元素包括Li、Be、Al、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、As、Mo、Ag、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg和Tl

移量均<LOQ。其他19种金属元素在全部样品中迁移量均<LOQ。

2.2 动态单次摩擦对市售新不锈钢制品中金属元素迁移水平的影响

选取2套全新不锈钢锅和锅铲,在国标和欧标迁移试验测试过程中,分别加入煮沸模拟液动态摩擦30min的步骤,金属迁移量结果见表4,参考国标

方法增加动态摩擦过程后,Cr迁移量均高于LOQ,其他4种金属元素迁移量均<LOQ,但迁移水平均符合国标要求。参考欧标方法增加动态摩擦步骤后,21种金属元素在第1次和第2次迁移浸泡液中迁移量均<LOQ,第3次迁移浸泡液Cr迁移量为0.07mg/kg,低于欧标中Cr的限值要求。

表4 动态单次摩擦对食品接触用不锈钢制品中金属元素迁移水平的影响(n=1)

Table 4 Effect of dynamic friction on the migration level of metal elements from stainless-steel articles in contact with food

样品种类	测试方法	Cr 迁移量/(mg/kg)			其他受限金属元素*/(mg/kg)		
		第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次
动态单次摩擦	国标	0.08	0.07	0.07	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ
	欧标	<LOQ	<LOQ	0.07	均<LOQ	均<LOQ	均<LOQ

注：* 国标中其他受限金属元素包括Pb、As、Cd、Ni,欧标中其他受限金属元素包括Li、Be、Al、V、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Mo、Ag、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl、Pb

2.3 动态摩擦次数对市售新不锈钢制品中金属元素迁移的影响

参考欧标对不同动态摩擦次数的不锈钢制品中金属元素迁移水平进行定量分析。对21种元素的检测发现,不锈钢锅和锅铲的动态模拟液中,仅检测到Cr和Ni的迁移,其余19种元素迁移量均<LOQ。图2显示了Cr和Ni与摩擦次数的关系,前3次为欧标方法测试,第1次迁移试验释放的金属浓度最高,第2次、第3次逐渐减少,Cr和Ni均<LOQ。后10次测试方法为:先加入煮沸的模拟液,动态摩擦30min,再按照欧标进行迁移测试。加入动态摩擦过程后第1次、第2次试验Cr、Ni迁移均比未加入动态摩擦过程的第2次、第3次试验迁移量高,加入动态摩擦过程的第3次试验中Cr、Ni元素迁移量开始逐渐降低并趋于平稳,但仍高于检出限。三次动态摩擦以后Cr和Ni的迁移水平随着循环试验的次数逐渐降低,说明仅考虑单一元素的暴露时,无需关注此不锈钢制品中Cr和Ni的暴露量。

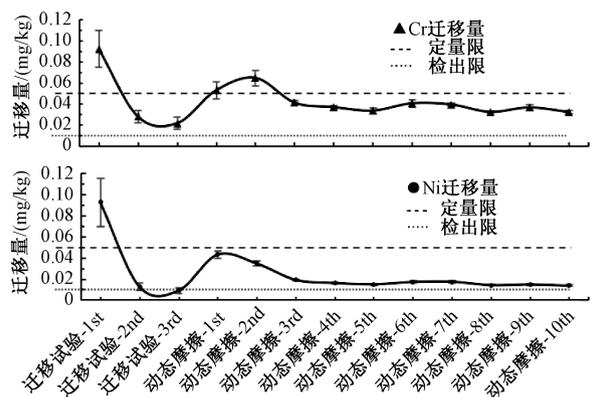


图2 动态摩擦次数对食品接触用不锈钢制品中金属元素迁移水平的影响

Figure 2 Effect of numbers of dynamic friction on the migration level of metal elements from stainless-steel articles in contact with food

3 讨论

长期使用摩擦和全新不锈钢锅铲中金属元素的迁移水平,均符合国标和欧标中对不锈钢材料的要求。采用国标方法,长期使用摩擦后的不锈钢锅

铲 Cr 的迁移量均高于全新未摩擦的样品,可能原因是长期使用造成不锈钢制品表面粗糙度上升,在酸性模拟液中电化学腐蚀增快。Cr 作为不锈钢的合金元素,有助于提升金属制品的耐腐蚀性能,在金属制品中比较常见。本试验中,考虑到国标不锈钢测试时间为 24 h,远高于锅铲接触食品的使用时间 (<2 h),且测试最高值为 0.26 mg/kg,低于国标 SML 2.0 mg/kg,因此长期摩擦后的样品 Cr 迁移造成的风险,可以接受。采用欧标规定的测试方法,长期使用摩擦后的全部样品中 Pb 第 1 次迁移量高于 LOQ,而全新未使用的样品中 Pb 迁移量均 <LOQ。可能的原因是长期使用时的摩擦破坏不锈钢制品表面抛光工艺,重金属的溶出变多。与全新未摩擦样品表面光洁光亮比较,所有摩擦后样品均肉眼可见表面不光滑,边缘坑洼不平,其中一份样品手柄受力处可见 1 cm 长垂直手柄方向的裂纹。此外 Pb 为不锈钢制品中的杂质元素,考虑到不锈钢制造业的发展进步,年代久远的不锈钢制品中杂质元素含量高也可能是原因之一。我国成人居民中有 0.61% 的个体膳食中存在 Pb 暴露导致的健康风险^[14]。对青少年则更为严峻,最近对中国典型人群饮料中 Pb、Cd 暴露评估研究表明,即使不考虑环境、皮肤接触和吸入等途径的暴露,中学生通过饮料的 Pb 暴露超过原健康指导值的 5%^[15],需要尽量降低 Pb 的暴露水平;因此尽管当前检测结果符合标准要求,但与全新未摩擦样品比较,长期使用的不锈钢制品 Pb 迁移量明显更高,建议关注长期使用的金属制品,以尽量降低食源性暴露。

本研究发现,加入动态摩擦过程后 Cr 和 Ni 的迁移量增大,可能的原因是动态摩擦使得金属制品表面划伤,粗糙度上升,破坏了不锈钢表面钝化膜,使不锈钢防腐能力降低,易于发生化学腐蚀;同时表面积增加和三相界面的不断变化使得金属制品表面的腐蚀速度加快,相应 Cr、Ni 重金属的迁移量对比摩擦前略有上升。随着试验次数增加,表面的金属元素逐渐释放,使得迁移量逐渐降低并趋于平稳。KAMERUD 等^[16]使用番茄酱进行烹饪测试,随着烹饪周期循环,金属元素迁移明显降低,6 个烹饪循环后,金属元素的迁移趋于平稳。CHEN 等^[17]对不锈钢静置下迁移试验研究表明,Cr、Ni 迁移达到平衡时间约为 24 h。本研究中,加入动态摩擦促进迁移速度,缩短达到平衡时间和循环次数。

综上所述,采用欧标规定的方法,长期使用摩擦后不锈钢制品中 Pb 的第 1 次迁移量均高于 LOQ,而全新不锈钢制品中迁移量均 <LOQ。采用国标规定的方法,长期使用摩擦后和动态单次摩擦的

不锈钢制品中 Cr 的迁移量均高于欧标方法,说明国标试验体系(4% 乙酸中煮沸 30 min,室温放置 24 h)比欧标(5 g/L 柠檬酸中 100 °C 下浸泡 2 h)对 Cr 元素提取能力更强。动态多次摩擦显示,摩擦行为对不锈钢制品外观形貌有一定的影响,促进腐蚀和金属迁移,加快达到迁移量平衡时间。从目前研究推断合格的不锈钢制品由于经过精炼,杂质有害元素含量低,迁移风险小,长期使用摩擦和动态摩擦的不锈钢样品均符合欧标和国标对不锈钢材料的要求。鉴于本研究仅为初步探索摩擦对不锈钢制品中金属元素迁移的影响,所用样品量较少,后续还需进一步扩大样品量继续验证。

参考文献

- [1] KULIGOWSKI J, HALPERIN K M. Stainless steel cookware as a significant source of nickel, chromium, and iron [J]. Arch Environ Contam Toxicol, 1992, 23(2): 211-215.
- [2] TSIAOUSSIS J, ANTONIOU M N, KOLIARAKIS I, et al. Effects of single and combined toxic exposures on the gut microbiome: current knowledge and future directions[J]. Toxicol Lett, 2019, 312(4): 72-97.
- [3] WANG S Y, WU W Y, LIU F. Assessment of the human health risks of heavy metals in nine typical areas[J]. Environ Sci Pollut Res, 2019, 26(12): 12311-12323.
- [4] 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.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 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, 2016.
- [6] 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.
- [7] 元延芳, 陈慧. 2016—2017 年欧盟食品和饲料快速预警系统对华食品通报情况分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(7): 5-10.
- [8] 朱雨萍, 卢明, 何渊井. 国内市场食品接触金属制品的质量安全状况分析[J]. 轻工标准与质量, 2013(6): 37-38, 40.
- [9] RITTHIRONG A, SAENBOONRUANG K. Quantification of aluminum and heavy metal contents in cooked rice samples from Thailand markets using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and potential health risk assessment[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2018, 30(5): 372-380.
- [10] HERTING G, LINDSTROM D, WALLINDER I O, et al. Multi-analytical investigation of stainless steel grade AISI 420 in simulated food contact[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(1): 23-31.
- [11] DEWAN A K, VALENZUELA D P, DUBEY S T, et al. Corrosion at metal interfaces—a study of corrosion rate and solution properties, including electrical conductance, viscosity, and density[J]. Ind Eng Chem Res, 2002, 41(5): 914-921.
- [12] 王松, 廖振华, 冯平法, 等. 骨科植入物金属材料生物摩擦

- 腐蚀研究进展[J]. 摩擦学学报, 2017, 37(1): 130-138.
- [13] 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. 家用食品金属烹饪器具不粘表面性能及测试规范 第2部分: 不粘性及耐磨性测试规范: GB/T 32095.2—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [14] 毛伟峰, 杨大进, 隋海霞, 等. 我国成人居民膳食中铅暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(1): 107-110.
- [15] 毛伟峰, 隋海霞, 刘爱东, 等. 累积风险评估方法在典型人群饮料中铅和镉联合暴露评估中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(3): 307-311.
- [16] KAMERUD K L, HOBBIE K A, ANDERSON K A. Stainless steel leaches nickel and chromium into foods during cooking[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(39): 9495-9501.
- [17] CHEN Y. Study of the impact factors on heavy metals migration of stainless steel choppers[J]. Advanced Materials Research, 2013, 834-836: 420-424.

研究报告

食品中化学有害物质风险定量模型在计算机系统实现

苏亮¹, 张磊¹, 任鹏程¹, 李志兴², 王亚男¹, 岑增¹, 宿晨¹, 刘兆平¹, 周萍萍¹

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022;

2. 吉林省食品生产许可证审核中心, 吉林 长春 130000)

摘要:目的 建立快速、自动化地评估食品中化学有害物质的风险定量模型。方法 基于 Spring MVC 框架, 集成食品化学有害物质定量评估模型以及对评估结果的可视化方法。结果 形成了一套融合多源数据的食品安全化学有害物质电子化风险评估软件。结论 阐述了信息化电子评估系统, 实现了食品化学有害物质风险定量评估模型的流程化与自动化, 使食品化学有害物质的定量评估模型能够在业务中广泛采用, 从而提高了评估的工作效率。

关键词: 风险评估; 化学有害物质; 计算机系统; 食品安全

中图分类号: R155 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8456(2020)03-0239-05

DOI: 10.13590/j.cjfh.2020.03.004

Quantitative risk model of hazardous chemicals in foodstuffs in computer system

SU Liang¹, ZHANG Lei¹, REN Pengcheng¹, LI Zhixing², WANG Yanan¹, CEN Ceng¹,
XU Chen¹, LIU Zhaoping¹, ZHOU Pingping¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;

2. Jilin Province Center for Food Production License Audit, Jilin Changchun 130000, China)

Abstract: Objective To quickly and automatically evaluate the risk of hazardous chemical substances in food quickly and automatically. **Methods** Based on the Spring MVC framework, a quantitative assessment model of food chemicals was integrated and a visualization of the assessment result was provided. **Results** A set of food safety risk assessment software chemical hazard based on multi-source data fusion electronic. **Conclusion** The e-evaluation system described in this article had enabled the process and automation of a quantitative assessment model for the risk of food chemicals. It had also enabled the quantitative assessment model for food chemicals to be widely used in the business, thereby improving the efficiency of assessment.

Key words: Risk assessment; food chemicals; computer system; food safety

在食品安全问题中, 化学有害物质是一个不容忽视的风险因素。加强对化学有害物质有效控制,

是保障食品安全的重要方面。而对食品中化学有害物质的风险评估, 是控制其危害的前提。食品中化学有害物质的风险评估方法主要有: 定性评估、半定量评估和定量评估。其中, 定性评估主要依据对数据资料的定性分析和判断, 直接得出描述性结果, 但缺乏直观的量化结果。半定量评估方法将食品污染监测数据、食品消费量数据等定量数据与专

收稿日期: 2020-03-19

作者简介: 苏亮 男 助理研究员 研究方向为食品安全信息化

E-mail: suliang@cfsa.net.cn

通信作者: 张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估

E-mail: zhanglei@cfsa.net.cn