

家用料理机 Cr 和 Mn 迁移规律及风险估计研究

施思倩¹, 叶平², 高俊伟^{2*}, 张晓雨², 陈松辉², 姚卫蓉¹, 谢云飞¹, 于航¹

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 泰州市产品质量监督检验院, 泰州 225300)

摘要: **目的** 研究市售家用料理机中重金属 Cr 和 Mn 迁移规律并对其进行风险评估。**方法** 以市售家用料理机为研究对象, 对不同材质料理机在不同的食品模拟物体系中(去离子水, 4%乙酸溶液, 10%乙醇溶液, 50%乙醇溶液)重金属 Cr 和 Mn 向食品体系的迁移过程进行动力学分析与扩散模型分析, 将 Cr 和 Mn 迁出浓度与我国现有标准中重金属限量值进行比较。**结果** 在 Cr 和 Mn 迁出风险较高的 4%乙酸溶液中, 其迁移行为符合一级动力学过程, 短期接触时部分迁移符合 Fick 扩散过程, 长期接触时均符合 Fick 扩散过程。当迁移达到平衡时, 4 种模拟液中 Cr 和 Mn 元素的迁出浓度均低于生活饮用水中限量值。**结论** Fick 第二定律能较好地应用于料理机中 Cr 和 Mn 的迁移研究, 在日常使用条件下料理机中 Cr 和 Mn 的迁移危害风险较低。

关键词: 家用料理机; 铬; 锰; 迁移模型; 风险估计

Study on migration law and risk estimate of Cr and Mn in household food machines

SHI Si-Qian¹, YE Ping², GAO Jun-Wei^{2*}, ZHANG Xiao-Yu², Chen Song-Hui²,
YAO Wei-Rong¹, XIE Yun-Fei¹, YU Hang¹

(1. Department of Food Quality and Safety, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Taizhou Product Quality Supervision and Inspection Institute, Taizhou 225300, China)

ABSTRACT: Objective To study the migration rules of heavy metals Cr and Mn in commercial household cooking machines and evaluate their risks. **Methods** Taking the commercial household cooking machine as the research object, the heavy metals Cr and Mn were applied to the food system in different food simulant systems (deionized water, 4% acetic acid solution, 10% ethanol solution, 50% ethanol solution). The migration process was carried out by dynamic analysis and diffusion model analysis, and the Cr and Mn migration concentrations were compared with the existing heavy metal limit values in China. **Results** In the 4% acetic acid solution with higher risk of Cr and Mn migration, the migration behavior was consistent with the first-order kinetics process. Partial migration met the Fick diffusion process in short-term exposure, and the Fick diffusion process was consistent in long-term exposure. When the migration reached equilibrium, the migration concentrations of Cr and Mn in the four simulated fluids were lower than the limit concentration in the drinking water. **Conclusion** Fick's second law can be better applied to the migration of Cr and Mn in the cooking machine, and the risk of migration of Cr and Mn in the cooking machine is relatively low under daily use conditions.

基金项目: 江苏省质量技术监督局科技项目(KJ175923)

Fund: Supported by the Jiangsu Provincial Quality and Technical Supervision Bureau Science and Technology Project (KJ175923)

*通讯作者: 高俊伟, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: gaojunwei84@163.com

*Corresponding author: GAO Jun-Wei, Senior Engineer, Taizhou Product Quality Supervision and Inspection Institute, Taizhou 225300, China. E-mail: gaojunwei84@163.com

KEY WORDS: household food machine; chromium; manganese; migration model; risk estimate

1 引言

塑料原材料丰富,成本低,玻璃性能优良、美观,这两者成为料理机杯体的主要组成材料。塑料、玻璃在加工过程中加入的稳定剂、增塑剂等添加剂使得杯体中存在一定浓度的重金属,而这些重金属在日常使用过程中会迁移到盛装的食品中,从而对人体造成危害。其中铬(Cr)主要来源于食品接触材料生产中所使用的染料及着色剂,锰(Mn)主要来源于玻璃和塑料制造过程中使用的无机金属类催化剂/引发剂。Cr和Mn属于人体必需微量元素,具有影响体内葡萄糖平衡、维持血液胆固醇水平等作用^[1],但当其浓度过高时,会对人体造成危害,高剂量铬具有致突变性、引起皮肤过敏等危害^[2];高剂量锰会引起动脉硬化、心肌梗死等疾病^[3]。

食品接触材料在与食品接触的过程中,有害物质的迁移往往随着接触时间、温度、浓度的改变而改变,属于非稳态扩散过程。Fick第二定律凭借良好的预测效果被广泛用于食品接触材料中有害物质的迁移研究^[4-8]。有报道采用3%乙酸作为食品模拟物,研究了Sb从聚对苯二甲酸乙二醇酯托盘中迁移的行为,建立了基于Fick定律的迁移模型,并预测了真实食品体系的迁移浓度,预测效果较好^[9]。针对陶瓷食品包装材料中铅、锌、镉、钴、镍5种重金属向食品模拟液及实际食品样品的迁移行为,通过短期迁移实验构建基于Fick扩散方程的迁移预测模型,长期迁移实验进行模型验证,得到较好的预测效果^[10]。而目前对于小家电中的Cr和Mn的系统研究较为罕见,对其迁移规律了解较少。

本论文选择3种市售家用料理机为研究对象,对不同温度下不同材质中Cr和Mn元素的迁移情况进行研究,探讨Cr和Mn在不同的食品模拟物体系中(去离子水,4%乙酸溶液,10%乙醇溶液,50%乙醇溶液)的迁移规律,并对迁移数据进行动力学分析与扩散模型分析。根据迁移结果,结合饮用水标准限量,对料理机中Cr和Mn元素的迁出风险进行评估,为料理机使用过程中的安全性提供数据支撑,为后续的安全性评价与风险评估提供一定的参考。

2 材料与方法

2.1 样品收集

3种多功能料理机A1(塑料材质)、A2(塑料材质)、B(玻璃材质)购自线上或者线下超市,依次用自来水、蒸馏水洗3遍,洗净后自然风干备用。

2.2 实验材料

2.2.1 仪器

Agilent/7700 电感耦合等离子体发射光谱-质谱联用仪(Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS, 美国安捷伦公司);HG-124 烘箱(泰州长江制药机械有限公司);VEOLIA-CENTRA-R200 中央纯水系统(法国威立雅公司)。

2.2.2 试剂及器皿预处理

冰乙酸、浓硝酸、无水乙醇(分析纯,国药集团);27种重金属混标标准品(浓度 1000 μg/mL, 国家标准物质中心)。

为防止玻璃器皿受重金属污染,实验器皿每次使用后在盛有体积分数为5% HNO₃溶液的酸缸中浸泡24 h后洗净备用。

2.3 迁移实验条件选取

2.3.1 食品模拟液选择与处理

根据料理机在日常使用过程中可能接触到的食品种类与相应规定,选择去离子水,4%乙酸溶液,10%乙醇溶液,50%乙醇溶液做食品模拟液。短期迁移实验采用上述4种模拟液,根据短期实验结果选择确定长期迁移水平模拟物。去离子水样品直接进样检测,乙酸、乙醇模拟液先加热蒸发除去其中的乙酸、乙醇后,用1% HNO₃溶液定容后进样检测。

2.3.2 迁移实验

家用料理机的杯体容量一般为1.0~1.5 L,实验中统一加入0.8 L食品模拟液,插电运行2 min左右,在一定温度(40 °C, 60 °C)下保持一定时间(1~500 h)。在相应时间点取25 mL模拟液转移到锥形瓶中处理定容至原体积,用ICP-MS进行检测。每个实验重复3次,测得Cr和Mn的迁移浓度为食品模拟液与料理机接触时的实际迁出浓度。

2.4 ICP-MS 检测条件

ICP-MS工作参数:等离子体气体流量15.0 L/min,辅助气体流量1.0 L/min,载气流量1.0 L/min,补偿气体流量1.0 L/min,雾化室温度2 °C,扫描方式单点跳峰,质量通道数3,停留时间100 ms。

2.5 模型分析方法

2.5.1 动力学分析

采用动力学模型公式对重金属迁移数据进行拟合^[11]:

$$\ln(1 - M_t/M_\infty) = -k_1 t \quad (1)$$

其中 t 为迁移时间, h; M_t 为 t 时刻溶液中重金属浓度, μg/L; M_∞ 为平衡时溶液中重金属浓度, μg/L; k_1 为一级动力学速率常数。 k_1 值越大,说明物质迁移越显著。

2.5.2 扩散模型分析

根据 Crank 理论, 当 $M_t / M_\infty < 0.67$ 时, 可用短期迁移公式对重金属迁移曲线进行拟合:

$$M_t / M_\infty = kt^n \quad (2)$$

其中 n 为扩散指数, 可用于判断扩散类型。当 $n \leq 0.5$ 时, 表示物质扩散过程满足 Fick 定律, 当 $n > 0.5$ 时, 表示物质扩散过程为非 Fick 扩散或异常扩散。

当 $M_t / M_\infty > 0.67$ 时, 用长期迁移公式对重金属迁移曲线进行拟合:

$$M_t / M_\infty = 1 - (8/\pi^2) \exp(-\pi^2 Dt / l^2) \quad (3)$$

变换得:

$$\ln(1 - M_t / M_\infty) = \ln(8/\pi^2) - k_2 t \quad (4)$$

其中 $k_2 = \pi^2 D / l^2$ 为速率常数, 通过 $\ln(M_t / M_\infty)$ 对 t 进行拟合, 由斜率计算得扩散系数 D 。

2.6 数据处理

采用 Excel 2013 与 SPSS 19.0 软件进行数据统计处理, Duncan 法进行显著性差异分析, 并用 Origin 2018 软件进行线性拟合。

3 结果与分析

3.1 不同食品模拟液中 Cr 和 Mn 迁移量

对 4 种食品模拟液(去离子水, 4%乙酸溶液, 10%乙醇溶液, 50%乙醇溶液)中 Cr 和 Mn 元素的迁移浓度进行分析, 如表 1, 发现去离子水、10%乙醇与 50%乙醇溶液中 Cr 和 Mn 迁出浓度较低, 4%乙酸溶液中 Cr 和 Mn 迁出浓度较高, 说明与酸性食品接触时料理机中 Cr 和 Mn 迁出风险较高, 这与重金属在酸性条件下更易迁出的性质一致。为了更好地比较 Cr 和 Mn 元素的迁移规律, 在后续迁移实验中选择迁出风险较大的 4%乙酸溶液为食品模拟液。

3.2 不同材质中 Cr 和 Mn 迁移量

比较塑料材质样品(A1, A2)与玻璃材质样品(B)中 Cr 和 Mn 的迁移浓度, 如图 1, 发现迁移达到平衡时 A1 与 A2 样品中的 Cr 迁出浓度较低, B 样品中迁出浓度较高, 达到前者的两倍; 而平衡时 A1 样品中 Mn 迁出浓度较低, A2 样品与 B 样品较接近, 说明重金属迁出量跟材质没有绝对关

系, 即使相同材质中迁出重金属种类与浓度也存在一定的差异, 迁出量可能与材质中原始重金属浓度、添加剂种类、加工过程等因素有关。

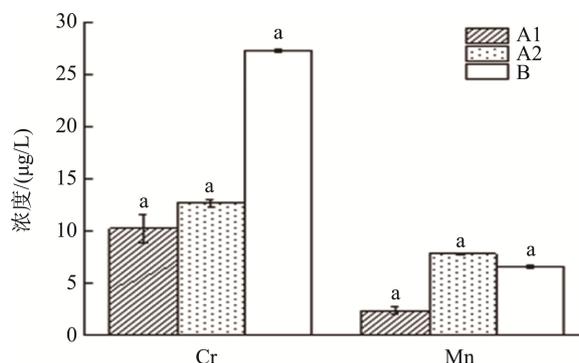


图 1 40 °C 不同材质料理机中 Cr 和 Mn 迁出水平比较(n=3)

Fig.1 Comparison of Cr and Mn removal levels in cooking machines of different materials at 40 °C(n=3)

3.3 不同迁移温度下 Cr 和 Mn 迁移量

将 A2 塑料材质料理机中 40 °C 与 60 °C 条件下 Cr 和 Mn 迁移浓度数据进行比较, 如图 2, 发现温度升高, 重金属浓度变化曲线的斜率增大, 达到平衡时溶液中的重金属浓度增大, 即温度升高, 扩散系数增大, Cr 和 Mn 更容易从食品接触材料迁移到食品中。

3.4 Cr 和 Mn 迁移模型

通过 Origin 软件对迁移数据进行作图, 发现在同一温度下, 随着时间的延长, Cr 和 Mn 浓度变化曲线斜率逐渐减小, 即迁移速率逐渐减小, 最终达到平衡。与已有文献进行比较后^[12,13]发现该迁移规律与 Fick 第二定律中物质迁移趋势具有较好的一致性, 因此采用 Fick 第二定律进行拟合预测。

为了简化模型拟合问题, 在拟合时做出如下假设:

(1) 未试验前, Cr 和 Mn 在塑料和玻璃食品接触材料中均匀分布, 食品模拟液中 Cr 和 Mn 含量为零;

(2) 试样的厚度很小, Cr 和 Mn 迁移只能通过平面进行扩散, 即忽略边缘效应;

表 1 运行后 40 °C 放置 1 h 后 Cr 和 Mn 迁移量

Table 1 Migration of Cr and Mn at 40 °C for 1 h after running

元素	塑料(样品 A1)				玻璃(样品 B)			
	去离子水	4%乙酸	10%乙醇	50%乙醇	去离子水	4%乙酸	10%乙醇	50%乙醇
Cr/(µg/L)	0.382	6.734	0.277	0.177	0.431	7.331	0.231	0.583
Mn/(µg/L)	0.244	7.112	0.486	ND	0.329	7.802	0.179	0.339

注: ND 表示未检出。

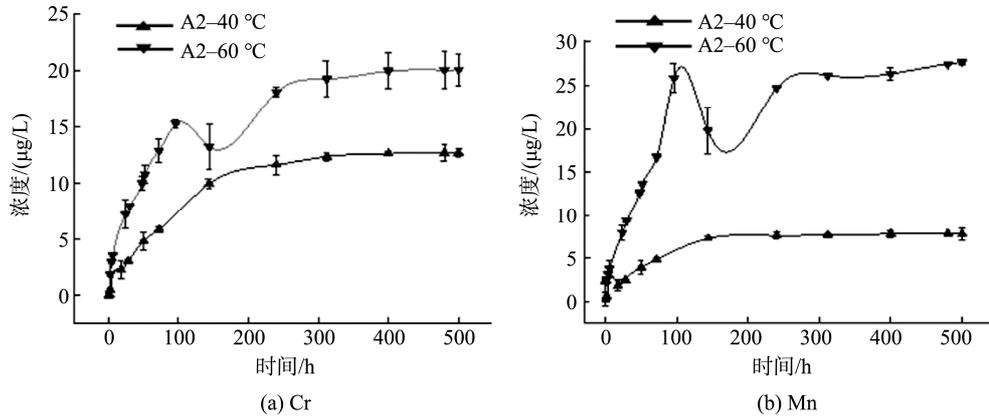


图 2 不同温度下 Cr 和 Mn 浓度变化(n=3)

Fig.2 Variation of heavy metal Cr and Mn concentrations at different temperatures(n=3)

(3) Cr 和 Mn 扩散系数与浓度无关, 即迁移过程中扩散系数 D 为常数;

(4) 任意时刻 Cr 和 Mn 在食品模拟液中的浓度处处相等, 均匀分布, 包装有限, 食品的体积有限。

3.4.1 动力学分析

用动力学方程(1)对 Cr 和 Mn 迁移数据进行拟合, 得到线性拟合图与线性回归方程(图 3 和图 4)。图中可得在

40 °C 与 60 °C 时, 个别时间点 Mn 的浓度变化波动较大, 实际检测值与线性拟合值有较大差距, 但总体上 Cr 和 Mn 从料理机中向食品模拟液中的迁移规律与一级动力学方程拟合效果较好, r^2 值在 0.8950~0.9944 之间。

3.4.2 迁移模型分析

根据短期迁移公式(2)与长期迁移公式(4)进行拟合, 得到线性回归方程(表 2)。

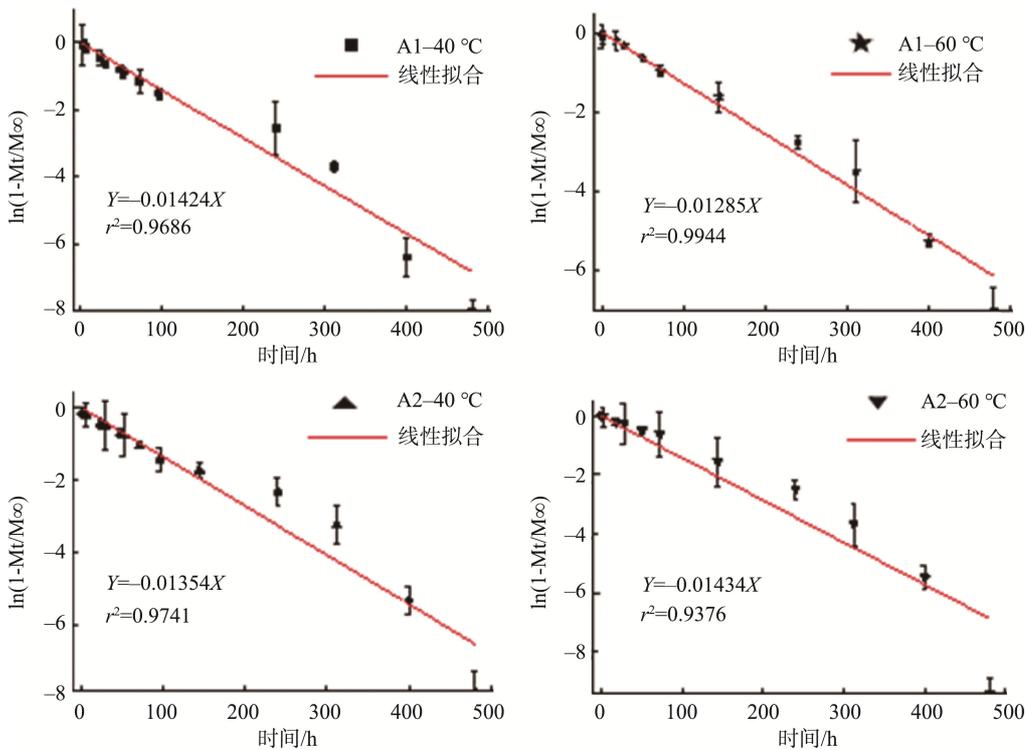
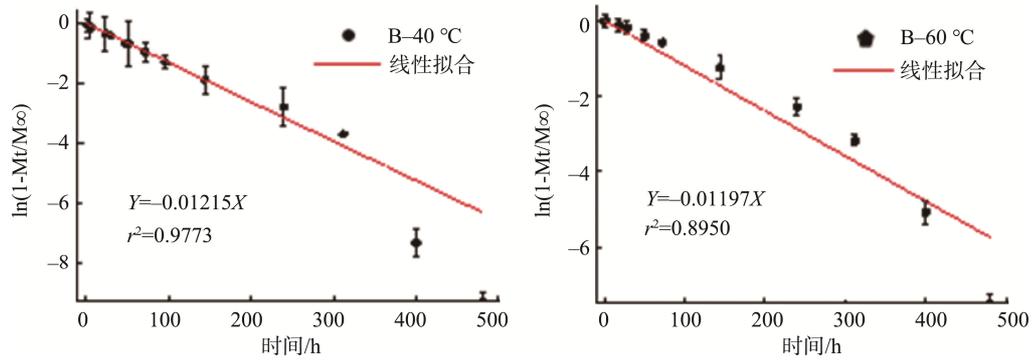


图 3 不同材质中 Cr 迁移动力学拟合

Fig.3 Kinetics fitting of migration of Cr in different materials



续图 3 不同材质中 Cr 迁移动力学拟合
Fig.3 Kinetics fitting of migration of Cr in different materials

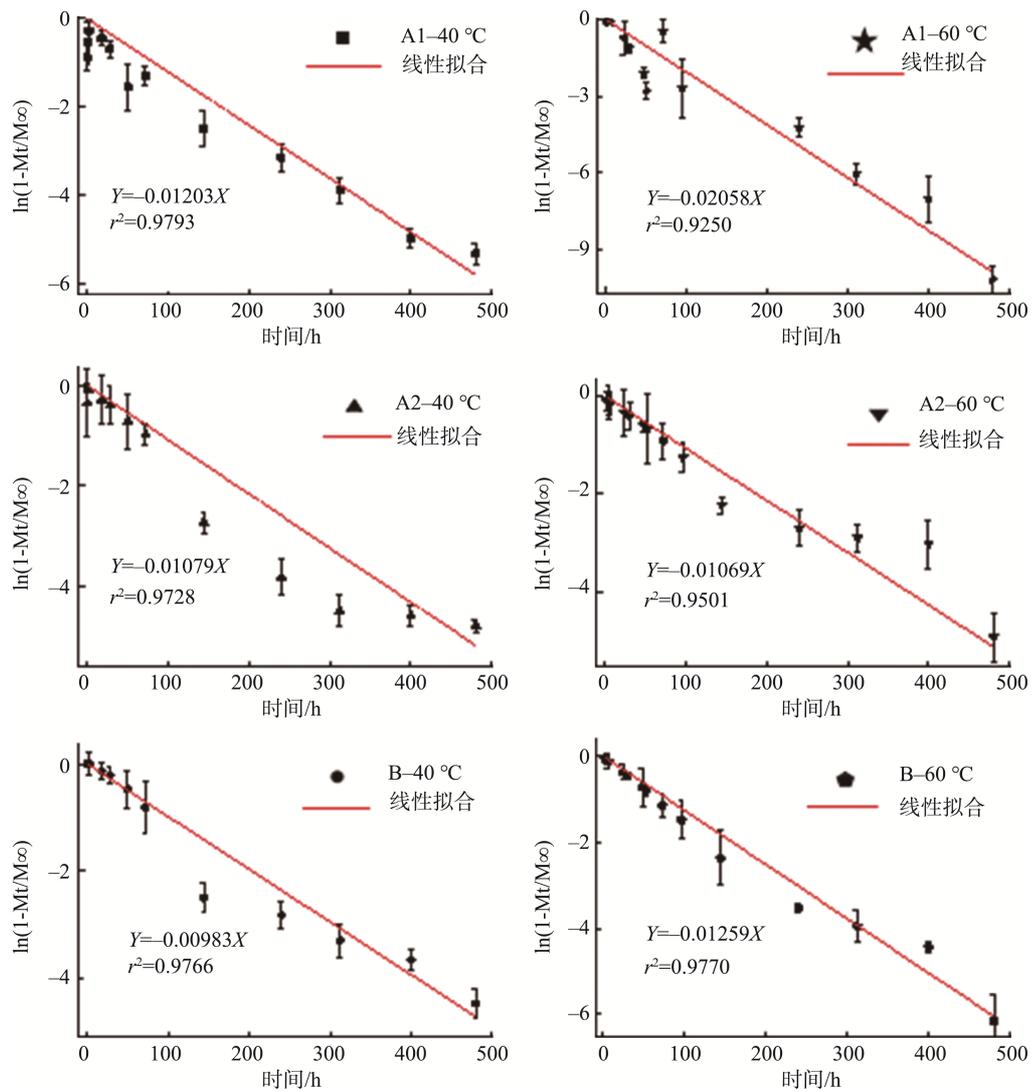


图 4 不同材质中 Mn 迁移动力学拟合(n=3)
Fig.4 Kinetics fitting of migration of Mn in different materials(n=3)

表 2 Cr 和 Mn 元素扩散模型拟合
Table 2 Fitting diffusion models of Cr and Mn element

元素	温度/°C	样品	短期迁移模型		长期迁移模型		$D \times 10^4 / (\mu\text{m}^2/\text{h})$
			线性回归方程	r^2 值	线性回归方程	r^2 值	
Cr	40	A1	$Y=0.62091X-3.26211$	0.9872	$Y=-0.01608X-0.209$	0.9885	0.8146
		A2	$Y=0.48678X-2.60303$	0.9903	$Y=-0.01196X-0.209$	0.9649	0.6059
		B	$Y=0.59914X-3.17354$	0.9929	$Y=-0.01697X-0.209$	0.9716	0.8597
	60	A1	$Y=0.37748X-2.263$	0.9898	$Y=-0.0119X-0.209$	0.9812	0.6029
		A2	$Y=0.68X-3.69601$	0.9902	$Y=-0.01596X-0.209$	0.9461	0.8085
		B	$Y=0.93527X-5.095$	0.9920	$Y=-0.01604X-0.209$	0.9162	0.8126
Mn	40	A1	$Y=0.23211X-1.3722$	0.9817	$Y=-0.01063X-0.21$	0.9995	0.5385
		A2	$Y=0.4959X-2.8972$	0.9836	$Y=-0.01165X-0.21$	0.9991	0.5902
		B	$Y=0.5763X-3.4023$	0.9100	$Y=-0.00903X-0.21$	0.9869	0.4575
	60	A1	$Y=0.6084X-3.0102$	0.9597	$Y=-0.01939X-0.21$	0.9317	0.9823
		A2	$Y=0.4703X-2.6576$	0.9506	$Y=-0.00949X-0.21$	0.9749	0.4808
		B	$Y=0.6685X-3.2608$	0.9903	$Y=-0.01144X-0.21$	0.9381	0.5796

注: 根据样品材料取样品厚度 1 为 5 mm。

对短期迁移模型进行分析, 在 40 °C 时, A1 中的 Mn、A2 中的 Cr 和 Mn 短期迁移 n 值分别为 0.23211、0.4959、0.48678, 说明初始阶段这三者的迁移符合 Fick 扩散定律。60 °C 时, A1 中的 Cr 与 A2 中的 Mn 迁移 n 值也均小于 0.5, 符合 Fick 扩散过程。样品 B 中 Cr 和 Mn 在 40 °C 与 60 °C 下 n 值均大于 0.5, 说明短期接触公式用于玻璃材质料理机中 Cr 和 Mn 的迁移预测效果欠佳。比较不同温度下 n 值的大小, 发现温度升高, n 值存在增大的现象, 说明温度改变会直接影响 Cr 和 Mn 从料理机壁材向食品中的迁移扩散过程。

对长期迁移模型进行分析, 根据 r^2 值可知, 长期接触公式用于 Cr 和 Mn 迁移的拟合效果较好, 即长期接触时 Cr 和 Mn 从料理机向食品模拟液中的迁移符合 Fick 扩散过程。

3.5 食品接触材料重金属迁移的风险评估

查阅文献发现, 目前暂无 Cr 和 Mn 元素在果蔬汁等食品中的迁移限量规定, 我国生活饮用水相关规定中 Cr 和 Mn 的限量分别为 0.05 mg/L 和 0.10 mg/L。料理机与食品模拟物接触一定时间后, 溶液中的 Cr 和 Mn 浓度达到平衡, 分别为 0.044 mg/L 和 0.024 mg/L, 说明在本实验条件下 Cr 和 Mn 的最大迁出浓度均未超过生活饮用水中限量。考虑到食品与料理机接触后直接食用的特殊性与重金属在人体内的代谢特性与蓄积性, 对料理机中 Cr 和 Mn 的迁出进行风险评估, 设定相应限量值十分必要。

4 结 论

目前已有的研究大多集中于塑料材质中重金属元素的含量^[14,15]或塑料中重金属向食品模拟液中的迁移^[16], 对于家用料理机在与不同食品模拟物接触时和实际使用条件下 Cr 和 Mn 迁出的研究较少。本文以市售家用料理机为实验对象, 用 ICP-MS 对不同材质和不同接触温度下 Cr 和 Mn 向食品模拟液中的迁移扩散浓度进行检测研究。对迁移数据初步作图发现重金属迁移浓度变化趋势较符合 Fick 第二定律, 后采用一级动力学方程进行动力学分析, 发现 Cr 和 Mn 迁移与一级动力学方程拟合效果较好。用 Crank 模型对不同接触温度下短期与长期接触时 Cr 和 Mn 的迁移浓度进行拟合, 得到较好的结果。将迁移达到平衡时 Cr 和 Mn 浓度与限量标准进行比较, 发现 Cr 和 Mn 迁移浓度最大值均未超过我国生活饮用水中相关限量值, 即在正常使用条件下料理机中 Cr 和 Mn 的迁移风险较低。但考虑到重金属与人体接触的途径较广、蓄积性较强, 对料理机不同材质中 Cr 和 Mn 的迁出进行研究, 设置 Cr 和 Mn 限量值仍具有重要意义。本论文在一定程度上证明了用 Fick 第二定律对料理机食品接触材料中 Cr 和 Mn 的迁移进行预测的可行性, 为重金属迁移规律研究和预测模型的建立提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] 姚华, 乔富强, 张中文, 等. 微量元素锰与铬在动物机体内的生物学功

- 能[C]. 中国畜牧兽医学学会家畜内科学分会 2009 年学术研讨会论文集. 2009: 632-635.
- Yao H, Qiao FQ, Zhang ZW, *et al.* Biological functions of trace elements manganese and chromium in animal organisms [C]. Proceedings of the 2009 Symposium of the Livestock Science Branch of the Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary. 2009: 632-635.
- [2] 赵付文, 孙卓军, 高国庆, 等. 食品接触塑料材料中有害重金属迁移量测定方法综述[J]. 化学分析计量, 2015, (1): 101-105.
- Zhao FW, Sun ZJ, Gao GQ, *et al.* Review of determination methods of harmful heavy metal migration amount in plastic materials contacting with food [J]. Chem Anal Meter, 2015, (1): 101-105.
- [3] 杨心乐, 王桂兰, 张忠诚. 锰与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 12(18): 50-52.
- Yang XL, Wang GL, Zhang ZC. Manganese and human health [J]. Stud Trace Elem Health, 2006, 12(18): 50-52.
- [4] Sanches-Silva A, Andre C, Castanheira I, *et al.* Study of the migration of photoinitiators used in printed food-packaging materials into food simulants [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(20): 9516-9523.
- [5] Chung D, Papadakis SE, Yam KL. Simple models for assessing migration from food-packaging films [J]. Food Addit Contam, 2002, 19(6): 611-617.
- [6] Wu YM, Hu CY, Wang L, *et al.* Migration of contaminants from packaging materials into dairy products [C]. Iapri World Conference on Packaging, 2010.
- [7] 冯怡, 汪仕韬, 卫荣, 等. 食品包装污染物双酚类物质在食品模拟体系中的迁移规律研究[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 101-106.
- Feng Y, Wang ST, Wei R, *et al.* Migration of bisphenol compounds as food packaging pollutants in food model system [J]. Food Sci, 2014, 35(5): 101-106.
- [8] Li B, Wang ZW, Lin QB, *et al.* Study of the migration of stabilizer and plasticizer from polyethylene terephthalate into food simulants [J]. J Chromatogr Sci, 2016, 54(6): 939-951.
- [9] Haldimann M, Alt A, Blanc A, *et al.* Migration of antimony from PET trays into food simulant and food: Determination of Arrhenius parameters and comparison of predicted and measured migration data [J]. Food Addit Contam: Part A, 2013, 30(3): 587-598.
- [10] 董占华. 陶瓷食品包装材料中重金属有害物的迁移试验与理论研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- Dong ZH. Experimental and theoretical study on migration of heavy metals from ceramic food packaging material [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [11] 朱杰, 李晓玺, 李琳. 食品模拟体系中淀粉基膜材增塑剂迁移的动力学模型[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 141-146.
- Zhu J, Li XX, Li L. Kinetic modeling of plasticizer migration from starch-based film in food simulants [J]. Mod Food Sci Technol, 2016, 32(9): 141-146.
- [12] Maia J, De-Quirós RB, Ana, *et al.* The determination of key diffusion and partition parameters and their use in migration modelling of benzophenone from low density polyethylene (LDPE) into different foodstuffs [J]. Food Addit Contam: Part A, 2016, 33(4): 715-724.
- [13] 杜珍妮, 苗宏健, 李敬光, 等. 食品接触材料 PVC 中塑化剂迁移规律研究及迁移模型建立[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4627-4634.
- Du ZN, Miao HJ, Li JG, *et al.* Research on the migration regularity and the modeling building of plasticizers in food contact material PVC [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(11): 4627-4634.
- [14] 何霜, 黄冰洋, 寻知庆, 等. 微波消解/电感耦合等离子体质谱法同时测定食品纸包装材料与食品模拟物中 24 种元素[J]. 分析测试学报, 2017, 36(6): 711-717.
- He S, Huang BY, Xun ZQ, *et al.* Simultaneous determination of 24 elements in food packaging materials and food simulants by microwave digestion/ICP-MS [J]. J Instrum Anal, 2017, 36(6): 711-717.
- [15] 王斌, 况丽, 钟康华, 等. 乙二胺四乙酸二钠络合消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定塑料中的铅、镉、铬和汞[J]. 理化检验(化学分册), 2016, 52(5): 552-554.
- Wang B, Kuang L, Zhong KH, *et al.* Determination of lead, cadmium, chromium and mercury in plastics by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with disodium edetate [J]. Phys Test Chem Anal Part B, 2016, 52(5): 552-554.
- [16] 张立辉, 张昊, 霍宗利. 离子色谱-直接紫外检测法测定食品接触材料中的六价铬迁移量[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(4): 53-56.
- Zhang LH, Zhang H, Huo ZL. Determination for migration of hexavalent chromium in food contact materials by ion chromatography with direct ultraviolet detection [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(4): 53-56.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

施思倩, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 17219107311@qq.com

高俊伟, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: gaojunwei84@163.com