

火焰原子吸收光谱法测定水性食品油墨中铜与铅的溶出量

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.02.001

曹瑜¹ 钟泽辉¹

林锐斌² 唐聪¹

1. 湖南工业大学

包装与材料工程学院

湖南 株洲 412007

2. 广东天龙油墨有限公司

广东 肇庆 526000

摘要: 为探究水性油墨和印刷纸杯中可溶性铅和铜的溶出量,有效控制重金属迁移的安全风险,提出基于火焰原子吸收光谱法测定铜与铅元素的溶出量方法。先配制两种水性食品油墨即深红油墨和深绿油墨,并分析其性能,然后采用火焰原子吸收光谱法测定两种油墨和印刷纸杯中铜和铅的溶出量。实验结果表明:两种油墨的物理状态较为稳定,铜与铅元素在检测中质量浓度与光谱强度线性关系良好,其相对标准偏差分别为1.64%与2.24%,回收率分别在94.0%~101.0%和91.0%~94.8%之间;时间和温度对重金属溶出有较大影响,100℃条件下2h的铅与铜溶出量分别是25℃条件下24h铅与铜的8.3与2.36倍;深红墨的安全性高于深绿墨,所配制油墨及纸杯中铅与铜元素的溶出量在高温或长时间使用下存在超标的风险,因而需要严格控制材料制品与食物接触的时间和温度。所建立的方法快速简单、经济环保,可满足企业日常检验的要求。

关键词: 火焰原子吸收光谱法; 食品接触材料; 水性油墨; 印刷纸杯; 重金属; 溶出量

中图分类号: TS802.3; TS201.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2024)02-0001-07

引文格式: 曹瑜, 钟泽辉, 林锐斌, 等. 火焰原子吸收光谱法测定水性食品油墨中铜与铅的溶出量 [J]. 包装学报, 2024, 16(2): 1-7.

“限塑令”实施后,诸如一次性纸质餐饮具等食品接触材料(food contact materials, FCMs)的需求量得到成倍增长。而油墨中重金属污染成为急需解决的食品安全问题^[1]。已有研究证明重金属可以在特定条件下从容器中释放出来并迁移至食物^[2],随食物进入人体后易导致多种疾病^[3-4]。水性油墨以安全、少

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)且生产成本低等特点在印刷领域得到广泛应用^[5-6]。因此,行业内迫切需要经济、环保且快速准确的水性油墨重金属检测技术。

近年来,原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法及电感耦合等离子体质谱法等传统的分析

收稿日期: 2023-11-16

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2022JJ90002); 2022年度湖南省大学生创新创业训练基金资助项目(5352, 5356); 湖南省教育厅科学研究基金资助项目(23A0433); 2023年度湖南省大学生创新创业训练基金资助项目(4862)

作者简介: 曹瑜(1997-),女,湖南郴州人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为食品接触材料的安全与检测,
E-mail: caoyu5981@163.com

通信作者: 钟泽辉(1970-),男,湖南株洲人,湖南工业大学教授,博士,主要从事包装、印刷材料与技术研究,
E-mail: 365665396@qq.com

方法是检测金属元素的有效方法^[7-12]。其中，原子吸收光谱法因具备较强的灵敏度、经济与可操作性强等特点，在重金属检测方面呈现出明显的优势^[13]。鉴于此，本文拟配制两种不同色度的水性食品油墨，分别从黏度、pH 值及耐磨擦性等方面考察其物理性能，以为相关行业中水性食品油墨的配制及其使用给予一定参考。同时，分别采用不同的样品处理方法，确定仪器最佳的工作条件，从而建立一种快速、经济环保的火焰原子吸收光谱法，并利用此法对所配制的油墨和用途较广的水性油墨印刷纸杯中铅和铜元素在 24 h 内的溶出量变化进行了探究，以期 FCMs 的安全监控与检测提供新思路。

1 材料与方法

1.1 主要原料及仪器设备

主要原料：79、6217、79-K、6734 及 0212 水性丙烯酸树脂，180、080W、M33H 消泡剂，T800 分散剂，174 快干剂，永固红颜料，酞青绿颜料及研磨玻璃珠等，广东天龙油墨有限公司。聚乙烯（polyethylene，PE）淋膜纸杯市场所购。铅标准储备溶液（1 g/L）和铜标准储备溶液（1 g/L），国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院。盐酸，分析纯，广东广试试剂科技有限公司。冰乙酸、一乙醇胺，分析纯，上海麦克林生化科技股份有限公司。无水乙醇，分析纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

主要仪器设备：AA-7003A 型原子吸收分光光度计、铅及铜空心阴极灯，北京东西分析仪器公司。超纯水仪，AXLC1810 型，重庆阿修罗科技发展有限公司。电子天平，GL224I-1SCN 型，赛多利斯科学仪器有限公司。高速离心机，A21K 型，湖南安君研仪器有限公司。涂料快速分散试验机，KS-370 型，上海现代环境工程技术股份有限公司。高速分散机，BODT10 型，广东标格达实验室仪器用品有限公司。蔡恩杯，4#，日本 TOYO。超声波清洗器，2150TH 型，上海安谱实验科技股份有限公司。pH 计，FE28 型，梅特勒-托利多仪器有限公司。手动展色轮，ZS-100 型，广东天龙油墨有限公司。油墨印刷脱色试验机，PN-PIDF 型，杭州品享科技有限公司。

1.2 水性食品油墨的制备

红浆的制备：使用电子天平称取 79 水性丙烯酸树脂、6217 水性丙烯酸树脂、180 消泡剂、T800 分散剂、永固红颜料及去离子水共 200 g（各成分质量分数见表

1），并加入 150 g 玻璃珠于干净的研磨罐中，然后使用涂料快速分散试验机研磨 3 h 后，过滤装瓶备用。

绿浆的制备：使用电子天平称取 6734 水性丙烯酸树脂、6217 水性丙烯酸树脂、180 消泡剂、T800 分散剂、酞青绿颜料及去离子水共 200 g（各成分质量分数见表 1），并加入 150 g 玻璃珠于干净的研磨罐中，然后使用涂料快速分散试验机研磨 3 h 后，过滤装瓶备用。

调墨油的制备：在 1 个玻璃烧杯中分别加入的 0212 和 79-K 水性丙烯酸树脂、080W 和 M33H 消泡剂、174 快干剂、一乙醇胺等共 200 g，然后使用高速分散机在 1500 r/min 的转速下分散 30 min 后，使用蔡恩杯 4# 检测其黏度，并加水稀释至黏度为 15 s，装瓶备用。

配墨：在试样瓶中称取调墨油 50 g、色浆（红浆/绿浆）50 g，共得到 2 瓶油墨样品，然后使用搅拌机在转速为 1400 r/min 下分散 10 min 后备用。

表 1 色浆配方参考

Table 1 Pigment paste formula reference

原 料	质量分数 /%	
	红浆	绿浆
水性丙烯酸树脂	37.7	39.9
助剂	0.2	1.0
去离子水	25.0	16.4
颜料	37.1	42.7

1.3 分析与测试

1.3.1 物理性能测试

黏度：依据 GB/T 13217.4—2020《油墨黏度检验方法》，以油墨流出至断线的时间表示黏度，分别检测两种油墨样品静置 1 h 和 24 h 后的黏度。

pH 值：使用 pH 计检测（ $n=3$ ）。

耐摩擦性：依据 GB/T 7706—2008《凸版装潢印刷品》，对配制的水性油墨进行油磨、干磨及自来水磨检测。将已展色涂布并完全干燥的样张裁剪成 55 mm × 180 mm 的样条，放于油墨印刷脱色试验机上摩擦 50 次。

附着力：将 3 M 胶带平整粘贴于烘干后的印刷样品表面，以揭掉胶带后印刷品表面油墨脱落情况来表征油墨的附着力。

耐冰性：将样品烘干 4 h 后裁切成小碎片置于冰水中分别浸泡 30 min 和 60 min，观察并记录油墨是否脱落变色。

1.3.2 重金属溶出量检测

对于本次制作的食品接触用油墨,参考 QB 2930.1—2008《油墨中某些有害元素的限量及其测定方法 第1部分:可溶性元素》,采用酸溶出方法处理,用 0.07 mol/L 的盐酸将材料中的可溶性铅和铜溶出。而实际样品(纸杯)则参考 GB 31604.1—2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》^[14]选择浓度为 0.7 mol/L 的冰乙酸进行浸泡溶出。然后,将溶出液导入火焰原子吸收分光光度计中,按表 2 的工作条件进行测定,考察可溶性铅和铜在 24 h 内的溶出情况。

油墨样品提取:将配制好的油墨样品搅拌均匀后涂布在玻璃板上后置于烘箱中烘 6 h (45 ℃),在室温下将其粉碎后精确称取 500 mg,随后移入含 0.07 mol/L 稀盐酸溶液的 25 mL 离心管中,用超声波振荡器震荡 1 h (30 ℃),取出后室温下静置 2 min,过滤后转移至离心管中,以 16 000 r/min 离心 5 min,取底层液体测定。

含水性油墨的 PE 淋膜纸杯样品提取:将剪碎的含有水性油墨(油墨覆盖范围大)的纸杯样品称取 1000 mg,放入聚四氟乙烯塑料瓶中,加入 100 mL 冰乙酸,充分浸渍后用超声波振荡器荡 1 h (30 ℃),取出后室温下静置 2 min,将其过滤后转移至离心管中,以 16 000 r/min 离心 5 min,取底层液体测定。

表 2 仪器工作条件

Table 2 Instrument conditions of work

元素	波长 / nm	灯电流 / mA	燃烧头高度 / mm	空气流量 / (L·min ⁻¹)	乙炔流量 / (L·min ⁻¹)	狭缝宽度 / nm
铅	283.3	2	6	50	1.6	0.4
铜	324.8	5	6	50	1.8	0.2

1.3.3 可溶性重金属的数据评估

试样中可溶性重金属铜和铅的元素溶出量计算公式为

$$w = \frac{\rho \times V}{m}, \quad (1)$$

式中: w 为元素含量,单位为 mg/kg; ρ 为样液质量浓度,单位为 mg/L; V 为试样体积,单位为 mL; m 为试样质量,单位为 g。

2 结果与讨论

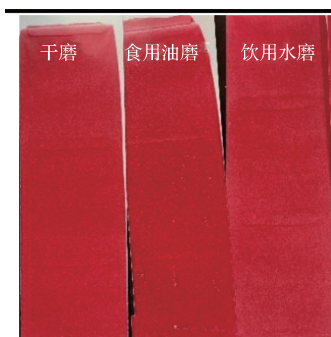
2.1 油墨的物理性能测试

为保证所制备油墨的质量及其安全性,需对油墨

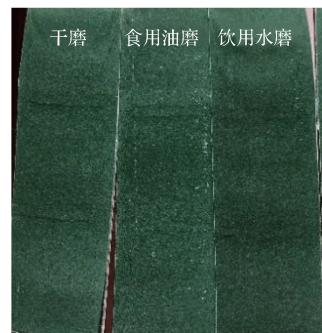
进行物理性能测试,考察其对安全使用的影响,测试结果见表 3。两种油墨样品的黏度均随着时间的增长而变大,但基本稳定在使用范围内。pH 值位于 8.0~8.5 区间内。两种油墨的耐冰性和附着性能均较好,无脱落现象。耐摩擦性测试结果如图 1 所示。

表 3 两种食品接触用油墨的物理性能
Table 3 Physical properties of two kinds of food contact inks

样品名称	黏度 / (Pa·s)		pH 值	耐冰性	附着力
	1 h	24 h			
深红油墨	16.5	29.8	8.22	无脱落	无脱落
深绿油墨	19.6	35.4	8.24	无脱落	无脱落



a) 深红油墨



b) 深绿油墨

图 1 深红油墨和深绿油墨的耐摩擦测试结果

Fig. 1 Friction resistance test results of deep red ink and deep green ink

脱色程度由高到低依次是食用油磨、饮用水磨、干磨。其原因是水的挥发性比食用油好,食用油很容易渗透纸质样品,导致油墨易于脱落。总的来说,油墨的状态相对稳定,性能满足 GB/T 26395—2011 及 QB/T 2825—2017 中规定的使用技术要求。物理性能稳定的油墨在一定程度上可增大重金属元素等污染物迁移的难度。

2.2 标准曲线和检出限

使用超纯水对 1 g/L 铅溶液进行逐级稀释后得

到铅的标准溶液，使用超纯水对 1 g/L 的铜溶液进行逐级稀释后得到铜的标准溶液，随后根据 1.3.2 节进行提取后上机测定，绘制其标准曲线，如图 2 所示。以 3 倍空白测定吸光度值的标准偏差除以标准曲线斜率计算检出限 ($n=20$)^[15]。结果得到铜元素的线性方程为 $y=0.0456x-4 \times 10^{-4}$ ，相关系数为 0.9996，检出限为 0.276 mg/L，铅元素的线性方程为 $y=0.0054x+3.1086$ ，相关系数为 0.9989，检出限为 0.233 mg/L。

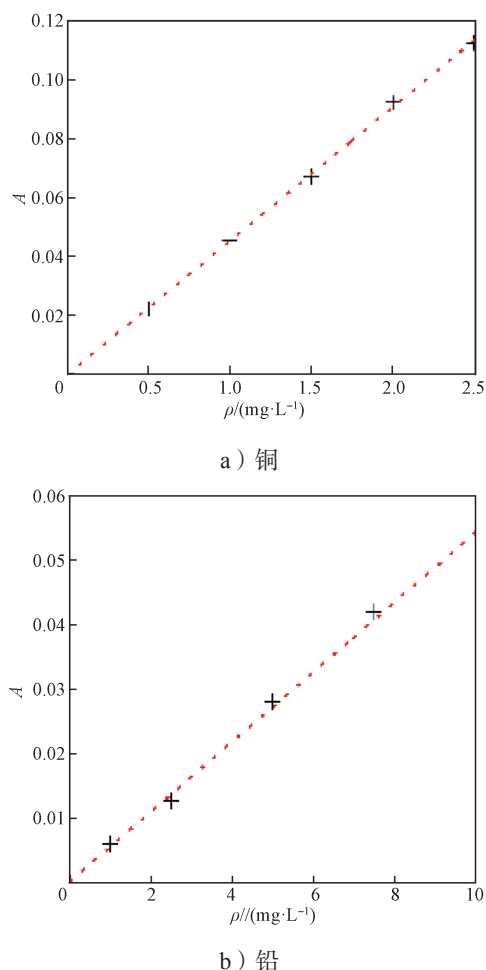


图 2 铜和铅元素的标准曲线

Fig. 2 Standard curves of copper and lead elements

2.3 精密度和回收试验

按 1.3.2 节测定理论质量浓度为 0.5 mg/L 铜和 1.0 mg/L 铅的吸光度，并得到其相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD)，分别为 1.64% 及 2.24%。这说明方法精密度良好。取铜 (0.5, 1.5, 2.5 mg/L) 和铅 (1.0, 2.5, 10.0 mg/L) 低、中、高 3 个质量浓度水平的标准使用液测定后，计算空白回收率，试验

结果见表 4。铜和铅的回收率分别在 94.0 %~101.0 % 和 91.0 %~94.8 % 区间内。

表 4 回收试验结果 ($n=3$)

Table 4 Results of test for recovery ($n=3$)

参 数	铜质量浓度 /(mg·L ⁻¹)			铅质量浓度 /(mg·L ⁻¹)		
	0.5	1.5	2.5	1.0	2.5	10.0
加标量 /(mg·L ⁻¹)	0.50	1.50	2.50	1.00	2.50	10.0
测定值 /(mg·L ⁻¹)	0.47	1.52	2.44	0.91	2.37	9.17
回收率 /%	94.0	101.0	97.6	91.0	94.8	91.7

2.4 样品分析

油墨中添加剂是易于迁移的主要污染物。化学物质迁移的全过程受到许多参数的影响，温度和接触时间对化学物质迁移的影响较大。B. Kudłak 等^[16]从 3 种包装材料 (罐衬、多层复合材料和杯体) 在 5 种模拟介质 (蒸馏水、0.1 mol/L 乙醇、0.4 mol/L 二甲亚砜、0.8 mol/L 乙酸、人工唾液) 中提取环氧树脂前驱体。结果表明，温度对环氧树脂前驱体迁移起主导作用。因此，按照 1.3.2 节中的试验方法对深红、深绿及 PE 淋膜纸试样分别进行分析，以考察温度和接触时间对重金属铅、铜元素迁移的影响，其动力学曲线如图 3 与 4 所示。

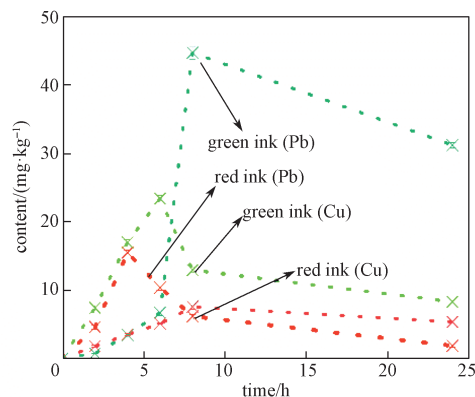


图 3 不同时间下水性食品油墨中可溶性重金属溶出情况
Fig. 3 Changes in the dissolution of soluble heavy metals in water-based food inks at different times

从图 3 可知，水性食品油墨中铜与铅到达稳定平台所需的时间几乎一致，但深绿墨中铜与铅的溶出速度较深红墨更快，深绿墨中铅溶出量在 8 h 时达到峰值。深绿墨中可溶性重金属溶出量大于红墨，这主要与其颜料的种类和助剂的添加量有关。2 种油墨中的铅元素峰值均未超过限量值 90 mg/kg^[17]。目前未见有油墨中铜元素的限量标准，而 FCMs 中铜的限量是 5 mg/L，我国对铜的推荐摄入量为 0.8 mg/d^[18]。因此，

在 FCMs 中重金属的含量仍存在安全风险, 需进一步控制。

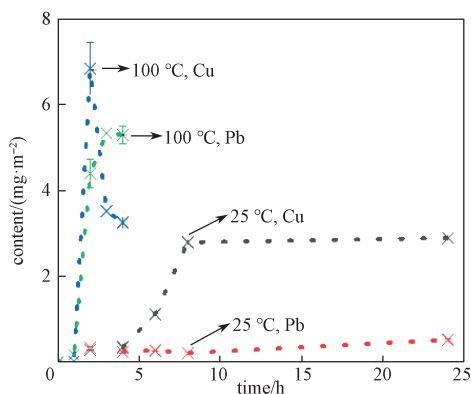


图 4 不同时间下 PE 淋膜纸杯中可溶性重金属溶出情况

Fig. 4 Changes in the dissolution of soluble heavy metals in PE coated paper cups at different times

从图 4 可知, 温度可促进重金属溶出, 其溶出速率与温度成正比。有学者也得出类似的结论^[19-20]。在 100 °C 下 PE 淋膜纸杯中铅与铜溶出量在 2 h 左右达到峰值, 其中铅的溶出量是在 25 °C 下用 0.7 mol/L 乙酸溶液浸出 24 h 的 8.3 倍, 而铜的溶出量是浸出 24 h 的 2.36 倍。因此, 特别需要注意模拟介质的温度和接触材料的性质对有害物质迁出的影响。金属的释放量很大程度上取决于接触材料的类型和模拟介质的酸度。同一温度条件下, 在初始阶段, 重金属的迁移量呈现快速上升的趋势, 达到某个时间点之后, 重金属迁移量的上升速率变慢, 并逐渐趋于平稳, 这主要与重金属迁移机制有关。

从动力学曲线来看, 重金属溶出量显然不随接触时间的增加而呈现线性增加的趋势。但短期内, 金属的释放量随着接触时间和温度的升高而增加, 呈正相关性, 这与 Li Y.^[21] 所述的研究结果一致。此外, 重金属迁移速率随接触时间的延长而减小, 直到达到稳态。以上实验结果与前人研究结果^[22-23] 基本一致, 但达到稳态所需的时间、迁移水平与接触时间存在些许分歧。因此, 根据金属溶出量与温度成正比的线性关系, 可以预测重金属在高温条件下的溶出量。总之, 接触时间和温度应被严格规定。

3 结语

基于循环经济的前提, 各地呼吁回收和循环利用咖啡杯等一次性杯。回收利用时, 需考虑印刷纸杯在

高温条件下长时间使用具有较大安全风险的问题。为揭示金属在不同接触时间和温度上动态溶出的规律, 本文成功配制了两种符合使用要求的水性食品油墨, 并建立了一种快速、经济环保的火焰原子吸收光谱法检测油墨中重金属铅和铜元素溶出量。水性食品油墨中铜和铅的 RSD 分别为 1.64 % 与 2.24 %, 回收率分别在 94.0 %~101.0 % 和 91.0 %~94.8 % 之间, 说明本方法精密度良好, 可为相关企业检测重金属提供新思路。使用本方法对所配制的油墨样品以及一次性纸杯进行了可溶性重金属铅和铜元素溶出量的测定, 并研究了 24 h 内 3 种样品 (深红油墨、深绿油墨与 PE 淋膜纸杯) 中重金属溶出情况及印刷纸杯中两种重金属在高温条件下的溶出情况。结果表明, 24 h 内两种油墨中铅的最大溶出量均低于欧盟标准限量值, 但目前暂未有针对油墨中铜元素的限量标准, 需注意铜元素的累积安全风险。

本研究的局限性是试样不够丰富, 油墨中铅元素的限量标准不符合即将实施的 GB 4806.14—2023《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用油墨》中不应超过 10 mg/kg 的规定。下一步将研究降低金属含量的油墨制备方法, 增加试样数量, 深入分析纸杯材料的结构对重金属溶出的影响, 为控制材料制品与食物的接触时间和温度提出参考。

参考文献:

- [1] 李 晴. 复合包装材料中印刷油墨的化学物质迁移与危害 [J]. 化学工程与装备, 2023(5): 253-254, 256.
LI Qing. Chemical Migration and Harm of Printing Ink in Composite Packaging Materials[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2023(5): 253-254, 256.
- [2] HAN Y, CHENG J L, AN D, et al. Occurrence, Potential Release and Health Risks of Heavy Metals in Popular Take-out Food Containers from China[J]. Environmental Research, 2022, 206: 112265.
- [3] 任 翊, 胡 雨, 陈丹丹, 等. 原子吸收光谱法与电感耦合等离子体质谱法测定肉制品中重金属含量的研究 [J]. 粮食与食品工业, 2023, 30(3): 59-63.
REN Yi, HU Yu, CHEN Dandan, et al. Determination of Heavy Metal Content in Meat Products by Atomic Absorption Spectrometry and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Cereal & Food Industry, 2023, 30(3): 59-63.
- [4] 宋道冲, 庞金玲, 黄晓佳. 食品中重金属检测及样品

- 前处理方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 4958–4966.
- SONG Xiaochong, PANG Jinling, HUANG Xiaojia. Research Progress on the Detection of Heavy Metals and Sample Preparation Methods in Food Samples[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(15): 4958–4966.
- [5] 曹瑜, 钟泽辉, 唐聪. 食品接触材料中有害物质迁移的研究进展[J]. 包装工程, 2023, 44(15): 112–121.
- CAO Yu, ZHONG Zehui, TANG Cong. Research Progress on Migration of Harmful Substances in Food Contact Materials[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(15): 112–121.
- [6] 白永利, 黄新国, 彭楠, 等. 基于可见/近红外光谱分析技术的水性油墨黏度预测模型[J]. 包装学报, 2022, 14(5): 49–56.
- BAI Yongli, HUANG Xinguo, PENG Nan, et al. The Model for Predicting the Viscosity of Water-Based Ink by Vis/NIR Spectroscopy[J]. Packaging Journal, 2022, 14(5): 49–56.
- [7] 张晓敏. 液体阴极辉光放电原子发射光谱高灵敏检测溶液中的金属元素[D]. 兰州: 西北师范大学, 2018.
- ZHANG Xiaomin. Highly Sensitive Detection of Metal Elements in Solution by Liquid Cathode Glow Discharge Atomic Emission Spectrometry[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2018.
- [8] 张泉雄, 钟红霞. 食品接触材料重金属迁移检测分析[J]. 化工管理, 2020(14): 34–35.
- ZHANG Xiaoxiong, ZHONG Hongxia. Detection and Analysis of Heavy Metal Migration in Food Contact Materials[J]. Chemical Enterprise Management, 2020(14): 34–35.
- [9] ALI GHORBANI Y, GHOREISHI S M, GHANI M. Derived N-Doped Carbon Through Core-Shell Structured Metal-Organic Frameworks as a Novel Sorbent for Dispersive Solid Phase Extraction of Cr(III) and Pb(II) from Water Samples Followed by Quantitation Through Flame Atomic Absorption Spectrometry[J]. Microchemical Journal, 2020, 155: 104786.
- [10] TEKIN Z, UNUTKAN T, ERULAŞ F, et al. A Green, Accurate and Sensitive Analytical Method Based on Vortex Assisted Deep Eutectic Solvent-Liquid Phase Microextraction for the Determination of Cobalt by Slotted Quartz Tube Flame Atomic Absorption Spectrometry[J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125825.
- [11] YANG S C, JIANG S Y, HU K, et al. Investigation of Dispersive Solid-Phase Extraction Combined with Slurry Sampling Thermospray Flame Furnace Atomic Absorption Spectrometry for the Determination of Cadmium[J]. Microchemical Journal, 2020, 154: 104542.
- [12] ALTUNAY N, ELIK A, BINGÖL D. Simple and Green Heat-Induced Deep Eutectic Solvent Microextraction for Determination of Lead and Cadmium in Vegetable Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry: a Multivariate Study[J]. Biological Trace Element Research, 2020, 198(1): 324–331.
- [13] 张爱国, 张蒙, 彭文娟. 原子吸收光谱法在食品重金属检测中的运用研究[J]. 食品安全导刊, 2023(9): 184–186.
- ZHANG Aiguo, ZHANG Meng, PENG Wenjuan. Study on the Application of Atomic Absorption Spectrometry in the Detection of Heavy Metals in Food[J]. China Food Safety Magazine, 2023(9): 184–186.
- [14] 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 食品接触材料及制品迁移试验通则: GB 31604.1—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 2–3.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standard: General Principle for the Migration Test of Food Contact Materials and Their Products: GB 31604.1—2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 2–3.
- [15] 魏洪敏, 孟范胜, 孔轶, 等. 超声提取-石墨炉原子吸收光谱法测定高纯石墨中铅的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59(9): 1028–1031.
- WEI Hongmin, MENG Fansheng, KONG Yi, et al. Determination of Lead in High Purity Graphite by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry with Ultrasonic Extraction[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B(Chemical Analysis)), 2023, 59(9): 1028–1031.
- [16] KUDŁAK B, JATKOWSKA N, KUBICA P, et al. Influence of Storage Time and Temperature on the Toxicity, Endocrine Potential, and Migration of Epoxy Resin Precursors in Extracts of Food Packaging Materials[J]. Molecules, 2019, 24(23): 4396.
- [17] 戴宏民, 戴佩燕. 食品包装油墨迁移污染及安全性对策[J]. 中国包装, 2011, 31(12): 37–42.
- DAI Hongmin, DAI Peiyan. Migration Pollution of Food Packaging Ink and Its Safety Countermeasures[J]. China Packaging, 2011, 31(12): 37–42.
- [18] 付鹏钰, 韩涵, 叶冰, 等. 微量元素铜对人体健康的影响[J]. 现代疾病预防控制, 2021, 32(12): 888–892.
- FU Pengyu, HAN Han, YE Bing, et al. Effect of Trace Element Copper on Human Health[J]. Modern Disease

- Control and Prevention, 2021, 32(12): 888–892.
- [19] 卢莉璟, 董玉杰, 徐 莉, 等. 食品接触用不锈钢材料中镍、铅元素的迁移规律 [J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(5): 150–156.
- LU Lijing, DONG Yujie, XU Li, et al. Migration Law of Nickel and Lead from Food-Contact Stainless Steel to Food[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(5): 150–156.
- [20] 董占华, 卢立新, 刘志刚. 陶瓷食品包装材料中铅、钴、镍、锌向酸性食品模拟物的迁移 [J]. 食品科学, 2013, 34(15): 38–42.
- DONG Zhanhua, LU Lixin, LIU Zhigang. Migration of Lead, Cobalt, Nickel and Zinc from Ceramic Food Packaging Materials into Acidic Food Simulants[J]. Food Science, 2013, 34(15): 38–42.
- [21] Li Y. Migration of Metals from Ceramic Food Contact Materials. 1: Effects of pH, Temperature, Food Simulant, Contact Duration and Repeated-Use[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 24: 100493.
- [22] BOLLE F, FEKETE V, DEMONT M, et al. Lead Migration from Ceramicware in Contact with Foodstuff: Effect of Glaze, Temperature, pH and Food Simulant[J]. Journal of Food Science and Engineering, 2012, 2(6): 301–313.
- [23] LI Y. Migration of Metals from Ceramic Food Contact Materials. 2: Migration Kinetics Under Various Conditions and the Influence of Conventional Thermal Heating and Microwave Heating on Migration[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 24: 100494.
- (责任编辑: 邓 彬)

Dissolution Determination of Copper and Lead from Water-Based Food Ink by Flame Atomic Absorption Spectrometry

CAO Yu¹, ZHONG Zehui¹, LIN Ruibin², TANG Cong¹

(1. College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. Guangdong Tianlong Ink Co., Ltd., Zhaoqing Guangdong 526000, China)

Abstract: The dissolution of soluble lead and copper in water-based inks and printed paper cups was explored to effectively control their potential safety risks. By investigating the physical properties of the prepared ink of deep red and green, the dissolution of copper and lead in the two inks and printed paper cups was determined by flame atomic absorption spectrometry. The results showed that the physical states of the two inks were relatively stable, and the linear relationship of copper and lead was good in the range of their detection mass concentration. The RSDs were 1.64% and 2.24%, and the recoveries were 94.0% ~ 101.0% and 91.0% ~ 94.8%, respectively. Time and temperature had a great influence on the dissolution of heavy metals. The contents of lead and copper at 100 °C for 2 h were 8.3 and 2.36 times those of lead and copper at 25 °C for 24 h. The safety of deep red ink was higher than that of deep green ink, and the amounts of lead and copper dissolved in the formulated inks and cups were at risk of exceeding the standard at high temperatures or under prolonged use. Therefore, it was necessary to strictly control the time and temperature of contact between material products and food. The established method is fast, simple, economical and environmentally friendly, which can meet the requirements of daily inspection in enterprises.

Keywords: flame atomic absorption spectrometry; food contact material; water-based ink; printed paper cup; heavy metal; dissolution