

食品接触材料中纳米银迁移行为研究

朱绍华¹, 李莉², 丁利¹, 龚强¹, 成婧¹, 付善良¹, 王利兵^{1*}

(1. 湖南出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 国家食品安全检测重点实验室, 食品安全科学技术湖南省重点实验室, 长沙 410004; 2. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

摘要: **目的** 研究纳米银在不同食品模拟液中的迁移情况。**方法** 采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)检测了纳米银保鲜盒中纳米银的含量, 比较了微波消解和干法灰化的前处理效果, 并研究了不同温度情况下, 纳米银食品接触材料在脂肪类(正己烷)、酸性(4%乙酸)、酒精类(65%乙醇)和水性(去离子水)食品模拟液中的迁移行为。**结果** 食品模拟溶液、温度对纳米银的迁移有影响, 其中纳米银在脂肪类模拟液中的迁移速度最快, 在65%乙醇中迁移速度最慢。由Fick扩散模型, 建立了PVC中塑化剂的迁移规律数学模型, 得到了模型的重要参数。**结论** 本研究成果能够对食品接触材料中纳米银的安全性评价提供技术支持。

关键词: 迁移; 纳米食品接触材料; 纳米银; 食品模拟液

Migration of Ag nanoparticles in food contact material

ZHU Shao-Hua¹, LI Li², DING Li¹, GONG Qiang¹, CHENG Jing¹, FU Shan-Liang¹, WANG Li-Bing^{1*}

(1. Technology Center of Hunan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, State Key Laboratory of Food Safety Testing, Hunan Key Laboratory of Food Safety Science & Technology, Changsha 410004, China; 2. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

ABSTRACT: Objective To study the migration rule of Ag nanoparticles (NPs) in different food simulants. **Methods** The concentrations of Ag NPs in food container were detected by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), and the effects of pretreatment by microwave digestion and dry ashing were compared. The migration of Ag NPs in 4 kinds of food simulants solution was investigated at different temperatures, which was shown as follows in ascending order: n-hexane, 4% acetic acid, 65% ethanol and distilled water. **Results** The food simulants and temperature were proved to have effects on the migration of Ag NPs. The migration rate of Ag NPs in fats simulants was the fastest, and in 65% ethanol was the slowest. The mathematical model based on Ficks' law was established and the model's important parameters were also achieved. **Conclusion** The results of this study can provide technical support for the safety evaluation of Ag NPs in food contact materials.

KEY WORDS: migration; food contact nanomaterial; Ag nanoparticles; food simulants solution

1 引言

近年来, 纳米技术在食品科学领域具有较好的

应用前景, 尤其是新型的纳米复合包装材料在食品包装产业的研发和应用。纳米复合材料以其抗菌效果好、机械强度高、阻隔能力强的特点在现代食品包装

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD29B05)

Fund: Supported by the National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2012BAD29B05)

*通讯作者: 王利兵, 研究员, 主要研究方向为食品安全及化学品安全。E-mail: Wanglb1@126.com

*Corresponding author: WANG Li-Bing, Researcher, Technology Center of Hunan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hunan Key Laboratory of Food Safety Science & Technology, Changsha 410004, China. E-mail: Wanglb1@126.com

市场上取得了快速发展^[1-3]。纳米复合材料包装产品的开发主要利用了纳米粒子表面活性高和无机材料惰性强的优势,同时纳米材料还可以具有较强的抗菌活性等功能。纳米银是使用最广泛的纳米产品原料,具有广谱、高效的抗菌性,并且能够均匀地分散在不同类型的聚合物。由于纳米银粒子具有抗菌和杀菌作用,因此国际上许多知名公司开发和生产了含银纳米粒子的食品包装产品^[4],如含有纳米银粒子的保鲜盒、纳米蒙脱土复合材料制成的饮料瓶等。

由于银金属用于餐具具有较长的历史,同时纳米银具有良好的抗菌、杀菌性能,因此人们普遍认为纳米银在传统包装材料中的复合“固定”将不会影响食品的质量安全。但是近年来大量动物实验表明^[5-8],微纳米银颗粒能够穿透血管壁进入血液循环,在组织和器官中蓄积,对生物体产生肝毒性、肾毒性、神经毒性等毒性反应,严重时甚至可以导致死亡发生,纳米复合材料中的纳米成分向食品中迁移,成为食品安全领域中一个新的安全隐患来源。因此,纳米复合包装材料中纳米粒子的含量测定以及纳米粒子向食品中的迁移情况研究对于纳米食品接触材料的安全性评价具有重要意义。

目前,对于纳米食品接触材料中纳米银的含量测定主要为原子吸收光谱法^[9,10]和原子发射光谱法^[10-13]等。Lin 等^[12]用电感耦合等离子体原子发射光谱法(inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer, ICP-AES)和电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)结合微波消解的方法测定纳米食品包装材料中的纳米银的含量,并比较了 ICP-AES 和 ICP-MS 的检测结果。Song 等^[13]用 ICP-MS 结合微波消解的方法研究聚乙烯薄膜向 2 种食品模拟液中迁移的行为。

本研究以纳米银保鲜盒为研究对象,比较微波消解和干法灰化的前处理效果,采用 ICP-AES 检测其材质中纳米粒子的含量,并研究纳米银保鲜盒中纳米银在正己烷、4%乙酸、水、65%乙醇 4 种食品模拟液中的迁移量和迁移规律,为纳米食品接触材料的监管提供技术支撑。

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 试剂

超纯水(美国 Millipore 公司);双氧水、硫酸、硝

酸(优级纯,国药集团沪试);银标准溶液(1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$,国家钢铁材料测试中心);硝酸双氧水消解液: $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}_2=3:1$;硝酸硫酸消解液: $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4=3:1$;纳米银保鲜盒(聚丙烯 PP 材质,韩国 TAFUCO 公司)。

2.1.2 仪器

Varian 715-ES 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES),美国瓦里安公司;Ultra Wave 微波消解仪(意大利 Milestone 公司);Mettler AE240 电子天平(瑞士 Mettler 公司);Carbolite AAF1100 马弗炉(英国 Carbolite 公司);JRY-D350-A 电热板(湖南金蓉园仪器设备有限公司)。

2.2 方法

把保鲜盒清洗干净,晾干,剪成 5 mm \times 5 mm 见方的小块,装入洁净的封口袋中。

2.2.1 干法灰化

称取已剪碎的样品 3.0 g(精确至 0.001 g),置于瓷坩锅中,在电炉上碳化至无烟,转移至马弗炉中,在 500 $^{\circ}\text{C}$ 下灰化 4 h,冷却后,用 3% HNO_3 溶解,并用 25 mL 容量瓶定容。

样品重复处理 3 次,最终结果取 3 次实验结果的平均值。

2.2.2 微波消解

称取已剪碎的样品 0.2 g(精确至 0.001 g)于玻璃消解管中,加入 6 mL 浓 HNO_3 、2 mL 浓 H_2SO_4 ,盖上内罐盖,浸泡 30 min,将消解管置于聚四氟乙烯耐压外罐中,安装好消解罐,采用程序升温控压模式消解,消解条件见表 1。消解完毕,待样品温度冷却后,将消解液转移至 10 mL 比色管中并用超纯水定容,待测。随同样品做空白试验。

样品重复处理 3 次,最终结果取 3 次实验结果的平均值。

表 1 微波消解条件
Table 1 Microwave digestion condition

	时间(min)	功率(W)	温度($^{\circ}\text{C}$)
1	10	800	190
2	10	1200	230
3	10	1200	230

2.2.3 ICP-OES 检测参数

检测元素 Ag 选定的检测波长为 328.068 nm,功

率为 1200 W, 冷却气为 Ar 气, 流速为 14 L/min, 辅助气流量为 0.5 L/min, 载气为 200 kPa, 流速为 0.6 L/min, 蠕动泵为 15 r/min。

2.2.4 迁移实验

将保鲜盒洗净晾干, 每个样品分别注入 400 mL 的正己烷、蒸馏水、4%醋酸、65%乙醇, 并用封口膜密封。置于 20 °C、40 °C、60 °C 的条件下进行迁移 10 d。在迁移实验开始后在 2 d(48 h)、4 d(96 h)、6 d(144 h)、8 d(192 h)、10 d(240 h)时, 每个样品分别取出 20 mL 的模拟液, 浓缩近干后, 用 3%的 HNO₃ 溶解残渣定容至 10 mL, 检测其中银的含量。

3 结果与分析

3.1 消解方法的建立

纳米银通常与高分子材料组成复合材料, 因而检测其中纳米粒子通常需要对复合材料进行消解预处理, 干法灰化和微波消解是高分子材料消解最常用的方法。

干法灰化法具有空白背景低的优点, 但是因其实验条件是敞开的高温环境, 会对挥发性元素造成一定的损失, 同时由于坩埚的吸附作用, 使得分析结果可能偏低。微波消解技术具有样品分解快速、完全, 挥发性元素损失小, 实际消耗少, 空白背景低等特点, 广泛应用于食品、环境、化工、生物医药分析等领域中。本研究分别用微波消解和干法灰化法对保鲜盒样品进行预处理。

3.1.1 干法灰化法

干法灰化是经典的消解方法, 因此其消解条件的设定较为简单, 马弗炉的温度为 500 °C, 灰化 5 h 后用 3%的 HNO₃ 溶解残渣, 并定容。

3.1.2 微波消解法

微波消解方法是一种新型的消解方法, 本实验研究了 2 种消解液硝酸双氧水消解液和硝酸硫酸消解液, 消解温度选择了 190 °C、210 °C 和 230 °C 进行优化。用硝酸双氧水消解液进行消解时, 3 种温度下消解 30 min 都不能彻底消解样品, 190 °C 和 210 °C 时, 仍能在溶液里看到样品存在, 在 230 °C 时, 在消解液表面上仍有少量白色漂浮物。用硝酸硫酸消解液时, 190 °C 时, 消解 30 min 后, 溶液中还有部分未消解样品, 210 °C 时仍有少量漂浮物, 当温度升到 230 °C 时, 溶液澄清, 能够完全消解。因此微波消解

条件为消解时间 30 min, 230 °C 下用硝酸硫酸消解液处理样品。

3.2 纳米银含量的测定

分别用微波消解和干法灰化法对纳米银保鲜盒样品进行处理, 并采用 ICP-OES 进行分析。

配制一系列不同浓度的银离子的标准样品: 0.02、0.05、0.10、0.20、0.50、1.00、2.00 和 5.00 μg/mL, 再用 ICP-OES 方法进行分析。结果显示在检测浓度范围内, 相应强度和浓度成正比, 相关系数为 0.9993, 检测低限为 0.02 μg/mL。

保鲜盒样品用干法灰化和微波消解法处理, 再用 ICP-OES 进行分析, 干法灰化处理后的 3 次检测结果平均值为 28.5 μg/g, 微波消解处理后的 3 次检测结果平均值为 32.1 μg/g。从结果可以看到, 微波消解处理后的检测结果相对于干法灰化的结果更高些, 并且由于干法灰化消耗时间过长, 因此微波消解法更具优势。

3.3 迁移行为研究

3.3.1 模拟液对迁移量的影响

参考相关法规^[14], 采用水、4%乙酸、65%乙醇和正己烷分别模拟水性、酸性、酒精类和脂肪类食品。在迁移过程中, 考察不同温度下, 不同的食品模拟液中纳米银的迁移量, 见图 1, 其中图 1a 为 20 °C 下四种食品模拟液中不同时间纳米银的浓度, 图 1b 为 40 °C 下四种食品模拟液中不同时间纳米银的浓度, 图 1c 为 60 °C 下四种食品模拟液中不同时间纳米银的浓度。从图中可以看到, 随着时间的增减, 迁移量不断增加, 到 8~10 d 左右时, 迁移浓度增加变得缓慢。在相同的温度下, 可以发现正己烷中的迁移量最大, 4%乙酸次之, 水中迁移量第三, 65%乙醇的迁移量最小。根据相似相容原理, 正己烷模拟的是油性食品, 对 PP 塑料有一定的溶胀作用, 溶胀后的 PP 塑料更容易把纳米银释放出来。4%的乙酸虽然溶胀作用较正己烷弱, 但是酸性环境有利于银的溶解。65%乙醇虽然对 PP 塑料有溶胀作用, 但实验结果显示纳米银在酒精类食品模拟液的迁移较少。

3.3.2 温度对迁移量的影响

根据小分子化合物迁移的理论, 温度对迁移有较大的影响。本研究选择了 20 °C、40 °C 和 60 °C 3 个温度进行迁移实验, 并对比了温度对迁移量的影响。由图 1 可以发现, 在选定的模拟液中, 比如正己

烷中可以看到, d 6 时, 20 °C、40 °C、60 °C 3 个不同温度下, 纳米银迁移浓度分别达到了 0.12、0.18 和 0.22 μg/mL; 同样对于其他模拟液也有类似的情况, 60 °C 的迁移量明显比 40 °C 的迁移量更高, 40 °C 迁移量比 20 °C 的迁移量也更高, 迁移量明显与温度成正比。由于在 65%乙醇中, 纳米银迁移量过低, 20 °C 时, 在 10 d 的迁移周期内未检出纳米银的迁移, 在 40 °C 和 60 °C 在 10 d 内纳米银的迁移量也极微小。

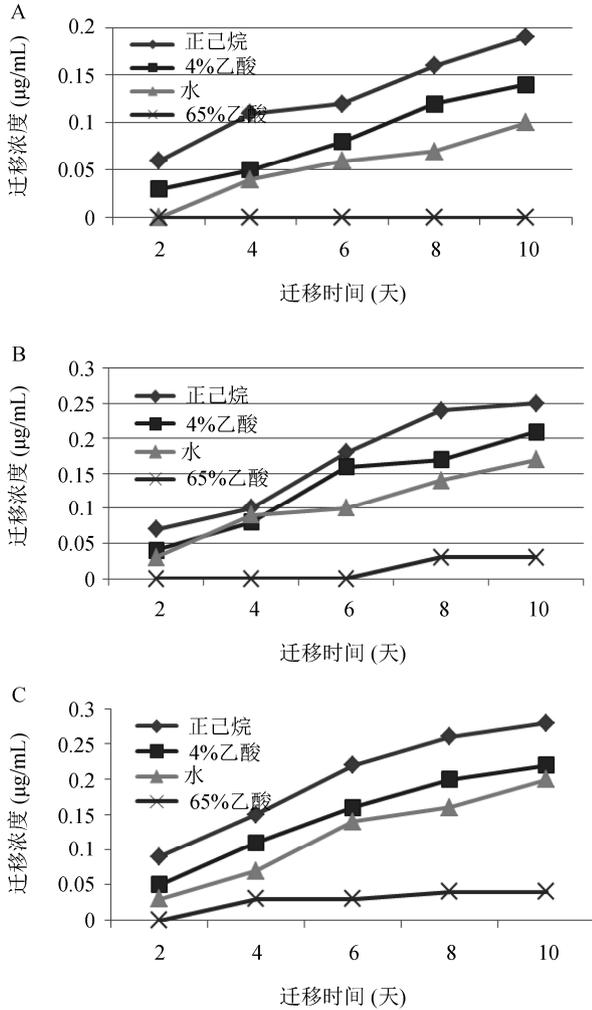


图1 20 °C(A)、40 °C(B)和 60 °C(C)下四种食品模拟液中不同时间纳米银的浓度

Fig. 1 Concentration of Ag nanoparticles in the four kinds of food simulation solutions at 20 °C(A), 40 °C(B) and 60 °C(C)

3.3.3 迁移模型

对包装材料中的化合物的迁移研究通常都通过迁移实验来进行, 近年来国内外学者开始利用数学模型研究迁移情况, 通过模型能够估计迁移物质向

食品中的迁移量, 以取代或部分取代迁移实验。本论文针对纳米食品接触材料中纳米银迁移的数学模型进行初步探讨与建立, 进一步从理论的角度出发对纳米银的迁出进行实验数据的验证和指导。

聚合物包装材料成分迁移的数学模型, 主要包括基于 Fick 扩散定律的扩散行为、非 Fick 扩散行为和无规则扩散, 其数学模型主要是基于 Fick 定律的扩散模型, 为简化分析, 只考虑一维的扩散, 方程(1)即为描述迁移物扩散的二阶偏微分方程。

为简化分析, 同时符合实际应用的情形, 对于迁移过程的模型描述, 需要基于以下基本假设条件:

- (1) 初始时刻, 迁移物在包装材料中分布均匀, 而食品中不含任何迁移物;
- (2) 迁移物从包装材料的一侧进入食品模拟液;
- (3) 食品模拟液充分搅拌, 迁移物在模拟液中没有浓度梯度(即表面传质系数 k_m 很大);
- (4) 在迁移过程中, 扩散系数 D 和分配系数 $K_{P,F}$ 是常数;
- (5) 表面传质系数远大于扩散系数(即 $k_m L_p / D \gg K_{P,F}$), 说明包装材料中的迁移过程符合 Fick 扩散;
- (6) 在包装材料和食品的界面上, 迁移过程的任何时刻都是平衡的;
- (7) 忽略边界层效应, 且包装材料与食品间无相互作用。

在迁移模型中, 通常都认为聚合物材料的体积都远小于食品的体积, 因而都视作有限包装体积, 由于食品的体积远远大于聚合物材料的体积, 为简化模型, 通常都认为食品的体积为无限体积食品。因而采用有限包装-无限食品的 Fick 模型:

$$\frac{M_{F,t}}{M_{F,e}} = \frac{2}{L_p} \left(\frac{Dt}{\pi} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$M_{F,t}$: t 时刻进入食品中的迁移量, g;

$M_{F,e}$: 平衡时进入食品的迁移量, g;

L_p : 聚合物的厚度, m;

D : 扩散系数, m^2/s 。

根据公式(1), 由实验数据可知, 保鲜盒中纳米银的扩散系数分别为:

$$D_{20\text{ }^\circ\text{C-正己烷}}=5.9197 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}; D_{20\text{ }^\circ\text{C-4\%乙酸}}=3.3283 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{20\text{ }^\circ\text{C-水}}=1.6996 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}; D_{20\text{ }^\circ\text{C-65\%乙醇}}=0 \text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{40\text{ }^\circ\text{C-正己烷}}=9.814 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}; D_{40\text{ }^\circ\text{C-4\%乙酸}}=9.723 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{40\text{ }^{\circ}\text{C-水}}=4.9298\times 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}; D_{40\text{ }^{\circ}\text{C-65\%乙醇}}=1.4739\times 10^{-13}\text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{60\text{ }^{\circ}\text{C-正己烷}}=1.4715\times 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}; D_{60\text{ }^{\circ}\text{C-4\%乙酸}}=9.1485\times 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{60\text{ }^{\circ}\text{C-水}}=7.1108\times 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}; D_{60\text{ }^{\circ}\text{C-65\%乙醇}}=3.6682\times 10^{-13}\text{ cm}^2/\text{s};$$

通过扩散系数能够衡量纳米银在相应的温度和食品模拟物中迁移的快慢, 并且把扩散系数代入公式(1)中, 可得到相应的迁移方程。

Piringer 聚合物通用扩散系数模型^[15]是一种广泛应用的模型, 方程表达如下:

$$D_p = 10^4 \exp\left(A_p - 0.135M_{r,i}^{\frac{2}{3}} + 0.003M_{r,i} - \frac{10454}{T}\right) \quad (2)$$

其中 $M_{r,i}$ 为迁移物的相对分子量, A_p 为聚合物基体特征参数, T 为绝对温度。由于该模型的预测值总是高于实验值, 因此被称为“恶劣环境”方法模型。不同的聚合物, A_p 值不同, 由 $A_p = A_p' - \tau/T$ 计算得到。 A_p' 表示塑料材料对扩散过程的贡献, τ 表征聚合物内扩散活化能对参照活化能的偏离, 主要来自大量迁移实验的数据收集, 部分实验数据如下表所示。

表 2 部分聚合物 A_p' 和 τ
Table 2 A_p' and τ of some polymer

聚合物	A_p'	τ	温度(°C)
LDPE	11.5	0	<90
HDPE	14.5	1577	<100
PP	13.1	1577	<120
PS	0	0	<70
PET	6.0	1577	<175
PA	2.0	0	<100

采用 Piringer 扩散系数模型, 首先利用该模型计算纳米银在 PP 中的扩散系数, 对聚合物 PP, A_p' 为 6.0 和 τ 为 1577, 通过公式(2)可以得到, 不同温度下, PP 中纳米银的扩散系数分别为:

$$D_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}=1.0223\times 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{40\text{ }^{\circ}\text{C}}=1.4010\times 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s};$$

$$D_{60\text{ }^{\circ}\text{C}}=1.4023\times 10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s}。$$

从上面的结果也可以发现, 由 Piringer 模型得到的扩散系数远远大于通过实验得到的数值。原因可能有以下几个, 一是 Piringer 扩散系数模型为经验模型, 获得的扩散系数通常都要大于通过实验获得的扩散系数, 二是本研究采用的是有限包装无限食品的简

化迁移模型, 计算得到的扩散系数与真实数值有一定偏离。

4 结 论

本研究利用 ICP-AES 方法检测保鲜盒中纳米银的含量, 并利用食品模拟液研究了纳米银的迁移行为, 根据 Fick 迁移模型, 计算得到扩散系数, 初步研究探讨了有限包装-无限食品模型中纳米银向食品迁移的数学模型。纳米银在脂肪模拟液正己烷中迁移量最大, 在 4%乙酸和水中也有一定的迁移, 研究表明在油性食品、酸性食品和水性食品中的迁移情况应该值得关注。通过本研究的数据和内容, 希望能够为相关行业和部门对新型的纳米银食品接触材料的监管和安全评估提供一定的技术支持。

参考文献

- [1] Aitken RJ, Hankin SM, Tran CL, *et al.* A multidisciplinary approach to the identification of reference materials for engineered nanoparticle toxicology [J]. *Nanotoxicology*, 2008, 2(2): 71-78.
- [2] 关荣发, 蒋家新, 黄光荣, 等. 纳米级食品包装材料安全性的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(1): 134-137.
Guan RF, Jiang JX, Huang GR, *et al.* The progress of nano-food-packaging material safety [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(1): 134-137.
- [3] 徐晓娟. 食品与药品包装中的纳米技术[J]. *包装工程*, 2008, 29(2): 191-194.
Xu XJ. Nanometer technology in food and pharmaceutical packaging [J]. *Packag Eng*, 2008, 29(2): 191-194.
- [4] 韩伟, 于艳君, 李宁涛, 等. 纳米复合材料在食品包装中的应用及其安全评价[J]. *科学通报*, 2011, 56(3): 198-209.
Han W, Yu YJ, Li NT, *et al.* Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging [J]. *Chin Sci Bull*, 2011, 56(3):198-209.
- [5] Report of an OECD Workshop on Exposure Assessment and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials. Technical Report, OECD Environment, Health and Safety Publications [Z] Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, No. 13, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 2009.
- [6] Borm PJ, Robbins D, Haubold S, *et al.* The potential risks of nanomaterials: A review carried out for ECETOC [J]. *Part Fibre Toxicol*, 2006, 3: 1-35
- [7] Nemmar A, Vanbilloen H, Hoylaerts MF, *et al.* Passage of intratracheally instilled ultrafine particles from the lung into the

- systemic circulation in hamster [J]. *Am J Resp Crit Care Med*, 2001, 164: 1665–1668
- [8] Kreyling WG, Semmler M, Erbe F, *et al.* Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low [J]. *J Toxicol Env Heal A*, 2002, 65: 1513–1530
- [9] 刘江晖, 江瑾华, 陈斌, 等. 石墨炉原子吸收光谱法测定抗菌纤维中的银[J]. *光谱实验室*, 2003, 20(6): 908–910.
Liu JH, Jiang JH, Cheng B, *et al.* Determination of silver in antibacterial fiber by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2003, 20(6): 908–910.
- [10] 王成, 赵淑云, 肖丽梅. 电感耦合等离子体原子发射光谱法和火焰原子吸收光谱法测定铜铈及含铜烧结物料中银[J]. *冶金分析*, 2011, 31(7): 61–64.
Wang C, Zhao SY, Xiao LM. Determination of silver in copper matte and copper bearing sintering materials by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and flame atomic absorption spectrometry [J]. *Metal Anal*, 2011, 31(7): 61–64.
- [11] 侯列奇, 李洁, 王树安, 等. 电感耦合等离子体-原子发射光谱法测定银中 22 种微量元素[J]. *光谱实验室*, 2007, 24(3): 299–302
Hou LQ, Li J, Wang SA, *et al.* Determination of twenty-two trace elements in super purity silver by ICP-AES [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2007, 24(3): 299–302.
- [12] Lin QB, Lin B, Song H, *et al.* Determination of silver in nano-plastic food packaging by microwave digestion coupled with inductively coupled plasma atomic emission spectrometry or inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Food Addit Contam A*, 2011, 28: 1123–1128.
- [13] Song H, Li B, Lin QB, *et al.* Migration of silver from nanosilver-polyethylene composite packaging into food stimulants [J]. *Food Addit Contam A*, 2011, 28: 1758–1762
- [14] GB 9687-88 食品包装用聚乙烯成型品卫生标准[S].
GB 9687-88 Hygienic standard for polypropyrene products used as food containers and tablewares [S]
- [15] Brandsch J, Mercea P, Rüter M, *et al.* Migration modeling as a tool for quality assurance of food packaging [J]. *Food Addit Contam A*, 2012, 19(Supplement): 92–101

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



朱绍华, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全及食品包装安全。
E-mail: ishaohua@foxmail.com



王利兵, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全及化学品安全。
E-mail: Wanglb@126.com