

# AS/ABS 产品中 3 种腈类化合物迁移量模型和风险评估模型建立

韩 陈\* 杨建平 周耀斌

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114)

**摘 要:** **目的** 建立 AS/ABS 产品中乙腈、丙烯腈和丙腈等 3 种腈类化合物迁移量模型和风险评估模型的分析方法。**方法** 考察 AS/ABS 阳性产品在不同模拟物、不同时间和不同温度(20、40、70 °C)条件下 3 种腈类化合物迁移量规律研究。**结果** 随着温度的升高和时间的延长, 腈类化合物的迁移量上升速率越快; 温度在 20~70 °C 时, 水中丙烯腈和丙腈  $A_p$  范围值为 7.9~14.1; 丙烯腈和丙腈化合物动力学参数活化能  $E_a$  分别为 133.86 KJ/mol 和 134.07 KJ/mol。**结论** AS 中腈类化合物迁移到食品模拟物中的暴露量处于低风险水平, 建立 AS 产品中腈类化合物迁移模型和致癌风险评估数学模型。

**关键词:** 顶空气相色谱仪; 食品接触材料; 腈类化合物; 迁移量模型; 风险评估模型

DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2019.21.010

## Migration Models and Risk Assessment of 3 kinds of nitrile compounds in AS/ABS by HS-GC

HAN Chen\*, YANG Jian-Ping, ZHOU Yao-Bin

(Shanghai Institute of quality Inspection and Technical Research, Shanghai 201114, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To establish the analytical methods of mobility model and risk assessment model of acetonitrile, acrylonitrile and propionitrile in AS/ABS products. **Methods** The migration of three nitrile compounds of AS/ABS positive products under different simulated conditions, different time and different temperatures (20, 40, 70 °C) was studied. **Results** With the increase of temperature and time, the migration rate of nitrile compounds increased faster. When the temperature was between 20 and 70 °C, the range of acrylonitrile and propionitrile in water was 7.9 to 14.1; the activation energy  $E_a$  of acrylonitrile and propionitrile compounds was 133.86 KJ/mol and 134.07 KJ/mol, respectively. **Conclusion** The exposure of nitrile compounds in AS to food simulants is at a low risk level, establishing a nitrile migration model and a mathematical model for carcinogenic risk assessment in AS products.

**KEY WORDS:** headspace gas chromatography ; food contact materials; nitrile compounds; migration model; risk assessment model

**基金项目:** 上海市质量监督检验技术研究院科研项目(KY-2017-12-QH)、由上海市科学技术委员会研发公共服务平台建设项目《上海市日用消费品质量安全检测专业技术服务平台》(项目编号: 14DZ2293000)资助。

**Fund:** Supported by Research Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research (KY-2017-12-QH) and Support by Shanghai Science and Technology Commission R&D Public Service Platform Construction Project “Shanghai Daily Consumer Product Quality and Safety Testing Professional Technical Service Platform” (Project No.: 14DZ2293000).

\*通讯作者: 韩陈, 工程师, 主要研究方向为食品接触材料及产品质量安全。E-mail: shhanchen@163.com

\*Corresponding author: HAN Chen, Engineer, Food Contact Materials and Product Quality Safety, No.900, Jiangyuelu Road, Minghang District, Shanghai 201114, China. E-mail: shhanchen@163.com

## 1 引 言

聚丙烯腈-苯乙烯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(AS/ABS)产品作为食品接触材料被广泛应用,在 AS/ABS 食品接触材料中均是聚丙烯腈类材料,还会添加一些助剂可能残留一些腈类化合物等会迁移到食品中,国标食品接触材料的标准 GB 4806.6-2016 《食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂》对 AS、ABS 产品中丙烯腈和 1,3-丁二烯特定迁移量要求不得检出<sup>[1]</sup>,2016 年新国标实施,国家标准 GB 31604.17-2016<sup>[2]</sup>规定了食品接触材料制品中丙烯腈含量和迁移量的测定方法,对丙烯腈特定迁移限量并加以管控,腈类化合物主要会引起呼吸道刺激、呼吸加快、头痛甚至昏迷和呼吸心跳停止而死亡。基于菲克扩散定律的原理,建立腈类化合物迁移模型可预测其迁移量,避免了进行迁移实验所需要大量的人力和物力。随着消费者生活水平的提高,对在食品接触材料中腈类化合物迁移量安全性进行风险评估是非常有意义的。我国针对食品接触材料迁移模型和风险评估方面的研究相对滞后,因此建立食品接触材料 AS 和 ABS 中腈类化合物特定迁移量模型和风险评估数学模型迫在眉睫。

目前文献<sup>[3-8]</sup>中主要是对 AS 和 ABS 测定丙烯腈化合物含量和特定迁移量进行测定,方法主要有气相色谱法以及气质联用法等<sup>[9-12]</sup>,但没有相应 AS 和 ABS 中腈苯类化合物的迁移量模型和风险评估数学模型,这些文献标准中主要存在以下问题:1. 目前没有研究食品接触材料中腈类化合物迁移量模型;2. 这些文献中没有对 ABS、AS 材质产品中腈类化合物风险评估数学模型全面研究。因此,为建立快速的腈类化合物迁移评价方法,并为国家制定腈类化合物标准和法规提供科学依据和数据支持。

本研究根据 GB31604.1-2015《食品接触材料及制品迁移试验通则》和 GB 5009.156-2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则》<sup>[13,14]</sup>,分别考察食品模拟物(水、4%乙酸、10%乙醇、20%乙醇、50%乙醇、异辛烷和橄榄油模拟物)、迁移温度(20、40、70 °C)及时间(0.5、1、2、8、24、72、120 和 240 h)对迁移的影响,通过研究以 Fick 第二定律为基础,建立 ABS、AS 中腈类化合物迁移数学模型建立,避免大量昂贵耗时的实验,同时又能达到准确预测腈类化合物迁移情况。美国环境保护局(US Environmental Protection Agency, EPA)人体健康风险评估手册 F 部分(2009 年版)的风险评估补充指南和我国环保部提供的健康风险评估模型<sup>[15,16]</sup>,利用丙烯腈致癌风险指数和风险评估模型对其特定迁移量风险评价,以供研究 ABS、AS 材质产品中腈类化合物特定迁移量模型和风险评估数学模型,对食品相关产品研究和提高产品质量具有重要的意义。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

仪器: Agilent 7890A 气相色谱仪和顶空进样器(美国安捷伦科技公司); ML204 电子天平(感量 0.1 mg, 瑞士特勒-托利多公司); DHG 9240 电热鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司)。

标准品: 乙腈(纯度 > 99.0%, 德国 Dr. Ennenstorfer GmbH 公司); 丙烯腈和丙腈标准物质(纯度 > 99.0%, 美国 AccuStandard, Inc 公司), 纯度均大于 99.0%, 上述均带证书。用 N, N-二甲基乙酰胺稀释定容, 得到母液的浓度均为 1000 mg/L, 分别取上述母液依次配制 0.25、0.5、1、2、3、4、5 mg/L 系列标准溶液。

溶剂: 乙醇、N, N-二甲基乙酰胺、橄榄油、异辛烷和冰乙酸(色谱纯, 美国天地公司); 氯化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

### 2.2 气相色谱条件:

色谱柱: DB-WAX (30 m×0.32 mm, 0.25 μm)毛细管柱; 载气: N<sub>2</sub>; 载气流速: 1.0 mL/min; 进样口: 温度 200 °C, 进样量 1 mL, 分流比 5:1; 柱温: 40 °C, 保持 6 min, 以 10 °C/min 升至 200 °C, 保持 3 min, 氮磷检测器温度: 250 °C; 氢气流量 3 mL/min; 空气流量: 60 mL/min。顶空条件: 样品平衡时间 30 min; 顶空瓶温度 80 °C; 传输线温度 100 °C; 压力平衡时间 1 min 进样时间 1 min。

### 2.3 实验方法

称取 1.0 g(精确至 0.001 g)样品于 20mL 顶空瓶中, 然后加入 5 mL N, N-二基乙酰胺溶剂, 平行制样二份, 溶解 4 h 后, 然后气相色谱中测定。

根据食品接触材料预期使用条件, 按照 GB5009.156-2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则》和 GB31604.1-2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》的要求从迁移实验中获取, 准确量取迁移实验中得到的水基食品模拟物 5.0 mL 到顶空瓶中, 加入 100 μL 的 N, N-二甲基乙酰胺于顶空瓶中, 加盖密封, 混合均匀后, 于气相色谱平行测定。

### 2.4 计算公式

迁移量通常以迁移率( $M_t$ )来表示, 即迁移后食品模拟物中腈类化合物特定迁移量的含量( $M_{F,t}$ , mg)与塑料中腈类化合物的初始含量( $M_{P,O}$ , mg)的比值。

$$M_t = \frac{M_{F,t}}{M_{P,O}} \quad (1)$$

以 Fick 第二扩散定律为依据, Brandsch 等<sup>[12]</sup>对 Piringer 迁移模型进行简化, 得到简化的迁移方程:

$$\frac{M_{F,t}}{M_{P,O}} = \frac{2}{L_p} \left( \frac{D_p t}{\pi} \right)^{0.5} \quad (2)$$

$L_p(\text{cm})$  是聚合物包装材料的厚度( $\text{cm}$ ),  $D_p$  是扩散系数( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  $t$  是时间( $\text{h}$ );

Mercea 等<sup>[15]</sup>将扩散系数与迁移质的相对分子质量以及温度的特性参数对扩散系数  $D_p$  值进行估算, 从而得到适用于所有塑料材料的通用公式, 即

$$D_p = 10^4 \exp \left( A_p - 0.1351 \cdot M_r^{2/3} + 0.003 \cdot M_r - \frac{10454}{T} \right) \quad (3)$$

式中:  $A_p$  代表聚合物基体向迁移质扩散的通路, 是塑料材料对扩散过程的特定贡献; 0.1351、0.003 代表迁移质的特定贡献;  $T$  为温度/ $\text{K}$ ;  $M_r$  为迁移物的相对分子质量。

通过求同一体系不同温度下的扩散系数, 根据阿伦尼乌斯关系式可得活化能。

$$D_p = 10^4 \exp \left( -\frac{E_a}{RT} \right) \quad (4)$$

$E_a$ : 活化能;  $R = 8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

环保部公布的经口致癌风险模型和非致癌风险模型计算公式为:

$$ADD = \frac{C_i \cdot IR}{BW} \quad (5)$$

式(5)中:  $ADD$  为每人每日水中腈类化合物膳食暴露量( $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ );  $C_i$  为水及食物中腈类化合物的含量( $\text{mg}/\text{kg}$ );  $IR$  为摄入量, 成年人每日摄入水(饮料)量为  $2 \text{ L}$ , 即  $2 \text{ kg}/\text{d}$ ;  $BW$  为体重, 成年人  $60 \text{ kg}$ 。

$$HQ = ADD/RfD \quad (6)$$

式中:  $HQ$  为健康风险;  $RfD$  为参考剂量/ $(\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{kg}))$ 。

通过计算如果  $HQ < 1$ , 可以认为该腈类化合物没有严重的致癌或非致癌风险; 如果  $HQ > 1$ , 可以认为该腈类化合物有严重的致癌或非致癌风险持续增加。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 实际样品的测定

本次研究共有 20 批次食品接触材料产品, 食品接触材料产品类别包括聚丙烯腈-苯乙烯( $\text{polyacrylonitrile-styrene}$ , AS)、聚丙烯腈-丁二烯-苯乙烯( $\text{polyacrylonitrile-butadiene-styrene}$ , ABS)等, 聚丙烯腈-苯乙烯(AS)产品 10 批次和聚丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)10 批次, 按试验方法进行分析, 2 次检出腈类化合物, 考虑到聚丙烯腈-苯乙烯 AS 中腈类化合物更容易迁移到食品模拟物中去, 本次迁移实验采用 AS 材质食品接触材料产品来研究食品接触材料产品中腈类化合物在水基模拟物中迁移模型和风险评估。

#### 3.2 AS 材质食品接触材料在不同乙醇浓度模拟条件下 3 种腈类化合物迁移曲线

选择 AS 材质阳性食品接触材料, 分别选取水、4%乙

酸、10%乙醇、20%乙醇、50%乙醇、异辛烷和橄榄油等作为模拟物, 按照 2.2 和 2.3 试验方法测定, 结果所得 3 种腈类化合物迁移情况见下图 1。

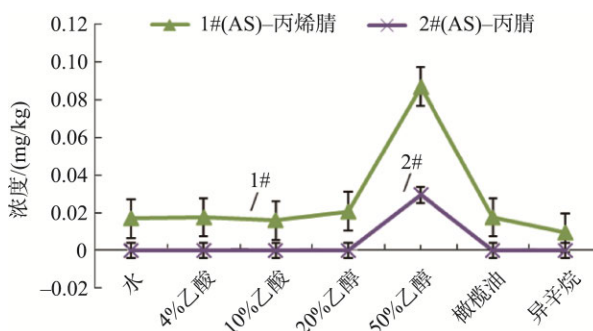


图 1 AS 材质食品接触材料在不同模拟物条件下腈类化合物迁移曲线( $n=3$ )

Fig.1 Migration Curves of Nitrile Compounds in Food Contact Materials of AS Material under Different Simulants ( $n=3$ )

由图 1 随着乙醇模拟物浓度变大, 乙醇模拟物与高分子聚合物亲和力越强, 3 种腈类化合物越容易迁移到食品模拟物中去, 特别当乙醇模拟物浓度 50% 时 3 种腈类化合物迁移量急剧增大, AS 食品接触材料中 3 种腈类化合物迁移量在水模拟物测定条件下方法灵敏度高, 选用提取水作为食品模拟物模型来研究 AS 食品接触材料中 3 种腈类化合物在不同接触时间和接触温度下的迁移模型。

#### 3.3 AS 中腈类化合物在不同温度下迁移趋势

根据 GB5009.156-2016 和 GB31604.1-2015 等标准选择模拟条件, 分别选择模拟时间为 0.5、1、2、8、24、72、120 和 240 h, 按照 2.2 和 2.3 测定, 结果所得 3 种腈类化合物, 分别在模拟温度  $20^\circ\text{C}$ 、 $40^\circ\text{C}$ 、 $70^\circ\text{C}$  模拟温度, 其中在水基模拟物, 有丙烯腈和乙腈等腈类化合物检出, 丙烯腈和乙腈迁移曲线见下图 2。

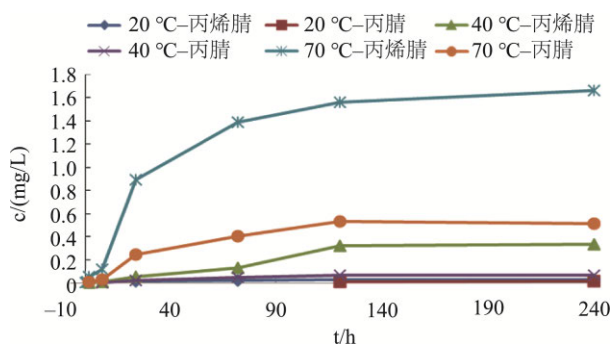


图 2 AS 食品接触材料在不同温度下丙烯腈和丙腈迁移曲线( $n=2$ )

Fig.2 Migration curves of acrylonitrile and propionitrile for AS food contact materials at different temperatures ( $n=2$ )

食品接触材料由聚合物、添加剂等组成, 食品接触材

料中的聚合物在一般情况下不会迁移到食品中去, 但不合格的生产原料和简陋的工艺都会导致有部分残留的腈类化合物单体, 在与食品接触时, 可能会迁移到食品模拟物中, 由图 2 可知, 温度越高, 腈类化合物的迁移率越大, 这是因为温度升高, 3 种腈类化合物分子的活化能增大, 分子更容易迁移, 随着接触时间的延长, 迁移率在前期快速增加, 达到一定时间后, 趋于平衡状态。

3.4 AS 中腈类化合物在不同温度下向水基食品模拟物中迁移曲线

目前文献中有关食品模拟物中腈类化合物特定迁移曲线很少, 本次根据食品接触材料厚度、食品模拟物中腈类化合物特定迁移量的含量和食品接触材料中腈类化合物的初始含量,按照公式 2, 以腈类化合物迁移率( $Mt$ )与时间的平方根  $T^{0.5}$ , 利用 Origin 软件, 通过最小二乘法进行线性拟合, 计算其迁移线性方程、扩散系数  $D_p$  和特征参数  $A_p$ , 结果见表 1。

由表 1 可知, 同一温度下, 水中, 70 °C 时丙烯腈扩散系数其它温度的  $32.5\sim 3.25\times 10^3$  倍, 丙腈扩散系数其它温度

的  $60.8\sim 2.56\times 10^3$  倍, 温度越高, 对扩散系数的影响越显著, 腈类化合物越容易迁移到食品接触产品中, 这是由于模拟物温度越高,根据阿仑尼乌斯理论, 分子活化能越高, 化学平衡所用时间越少, 迁移到食品中风险越高。

对于 AS 中特征参数  $A_p$  的取值不同, 一般通过大量的迁移实验数据获得。利用公式(3), 通过计算结果见表 1, 温度在 20~70 °C 时, 水中丙烯腈和丙腈  $A_p$  范围值为 7.9~14.1, 相同模拟条件下, 丙腈的特征参数  $A_p$  比丙烯腈的特征参数  $A_p$  大, 这是因为 AS 中丙腈化合物自身的性质有关, 例如丙腈分子量(55)比丙烯腈(53)大, 导致特征参数  $A_p$  也是不同的。

3.5 AS 中腈类化合物活化能

按照公式(4), 20、40、70 °C 条件下, 确定 AS 中腈类化合物扩散系数  $D_p$  值, 并在此基础上, 进一步分析了 AS 中腈类化合物在迁移体系中迁移动力学, 以  $\ln D_p$  与  $1/T$  通过最小二乘法进行线性拟合, 计算腈类化合物  $\ln D_p$  和  $1/T$  线性方程, 利用此方程确定腈类化合物活化能  $E_a$ , 见表 2。

表 1 不同温度下中腈类化合物的迁移线性方程、扩散系数  $D_p$  和特征参数  $A_p$

Table 1 Linear equation diffusion, coefficients and characteristic parameter of nitrile compounds at different temperatures

T/°C	丙烯腈				丙腈			
	线性方程	$R^2$	$D_p(\text{cm}^2/\text{s})$	$A_p$	线性方程	$R^2$	$D_p(\text{cm}^2/\text{s})$	$A_p$
20	$Y=7E(-5)X$	0.877	$1.54*10^{-9}$	7.9	$Y=4E(-4)X$	0.676	$5.02*10^{-8}$	11.4
40	$Y=7E(-4)X$	0.891	$1.54*10^{-7}$	10.2	$Y=2.6E(-3)X$	0.936	$2.12*10^{-6}$	12.9
70	$Y=4E(-3)X$	0.899	$5.02*10^{-6}$	10.8	$Y=2.0E(-2)X$	0.905	$1.29*10^{-4}$	14.1

Y: 迁移率( $Mt$ ); X:  $T^{0.5}$

表 2 不同温度下中腈类化合物的  $\ln D_p$  和  $1/T$  线性方程和活化能

Table 2 Linear equation diffusion, coefficients and characteristic parameter of nitrile compounds at different temperatures

丙烯腈			丙腈		
线性方程	$R^2$	$E_a(\text{KJ/mol})$	线性方程	$R^2$	$E_a(\text{KJ/mol})$
$Y=16101X-35.026$	0.977	133.86	$Y=16126X-37.456$	0.924	134.07

Y:  $\ln D_p$ ; X:  $1/T$

由表 2 可知, 丙烯腈和丙腈化合物动力学参数活化能  $E_a$  分别为 133.86 KJ/mol 和 134.07 KJ/mol, 与文献<sup>[16-19]</sup>中利用 Kissinger 方法计算活化能  $E_a$  基本上吻合, 表明方法有一定应用性。

3.6 AS 中腈类化合物风险评估

研究发现部分食品接触材料 AS 中部分腈类化合物会迁移到食品模拟物中去, 然后人们通过饮水、进食和呼吸等途径进入人体。美国 EPA 提出部分腈类化合物的经口致癌风险摄入参考剂量(reference dose of oral cancer risk intake, IUR)、经呼吸致癌风险摄入参考剂量(reference dose

for respiratory cancer risk exposure, OSF)、经口非致癌风险摄入参考剂量(oral non-cancer risk intake reference dose, RfD)和经呼吸非致癌风险摄入参考剂量(reference dose for non-cancer risk exposure, Rfc)见下表<sup>[20]</sup>, 由于腈类化合物从食品接触制品中迁移到食品中是产生人体暴露剂量的主要途径, 对于腈类化合物主要是通过经口和呼吸非致癌风险摄入, 腈类化合物经呼吸进入人体的量很少, 可以忽略不计, 由于本次研究结果显示丙烯腈有检出, 丙烯腈主要是经口致癌风险摄入, 环保部公布的经口致癌风险模型和非致癌风险模型适用于食品接触材料 AS 中腈类化合物风

险评估, 环保部调查发现, 目前成年人每日摄入水(饮料)量为 2 L, 成年人质量按照 60 kg 计算, 按照公式 5 和 6, 丙烯腈每日暴露剂量=1.66×2/60=0.055 mg/(kg·bw·d), 对于儿童来说, 其相对比值可能更大, 但均是低于美国 EPA 提出部分丙烯腈经口致癌风险参考剂量 0.54mg/(kg·bw·d)

见表 3, HQ 等于 0.10, 远远小于 1, 说明在这种情况下, 食品接触材料 AS 中腈类化合物迁移到食品模拟物中的暴露量处于低风险水平,但是饮用水浓度超过(drinking water unit risk) 1.5×10<sup>-5</sup> μg/L,便会产生风险, 因此使用 AS 产品时防止丙烯腈迁移到食品中去。

表 3 IUR、OSF、Rfd 和 Rfc 的数据  
Table 3 Data of IUR、OSF、Rfd and Rfc

化合物名称	通过呼吸致癌风险 IUR*10 <sup>-6</sup> /(μg/m <sup>3</sup> )	经口致癌风险 OSF(mg/Kg·d)	通过呼吸非致癌风险 Rfc/(mg/m <sup>3</sup> )	经口非致癌风险 Rfd/(mg/kg·day)
丙烯腈	68	0.54	0.002	/
乙腈	/	/	0.06	/
丙腈	/	/	/	/

4 结 论

本文利用顶空气相色谱法来检测 AS/ABS 产品中乙腈、丙烯腈和丙腈等 3 种腈类化合物迁移量。分别考察食品模拟物(水、4%乙酸、10%乙醇、20%乙醇、50%乙醇、异辛烷和橄榄油模拟物)、迁移温度(20、40℃、70℃)及时间(0.5、1、2、8、24、72、120 和 240 h)对迁移的影响对 AS/ABS 产品中 3 种腈类化合物迁移量的迁移情况进行研究。得以下结论: 获得了 AS/ABS 产品中 3 种腈类化合物迁移量规律的影响因素, 得出模拟条件如温度和接触时间对腈类化合物的迁移率影响很大; 通过本研究得出: 建立腈类化合物在不同温度下向水中迁移模型, 根据迁移模型初步确定扩散系数  $D_p$  值, 70 °C时丙烯腈扩散系数是其它温度的 32.5~3.25×10<sup>3</sup> 倍, 丙腈扩散系数是其它温度的 60.8~2.56×10<sup>3</sup> 倍, 水中丙烯腈和丙腈  $A_p$  范围值为 7.9~14.1, 相同模拟条件下, 丙腈的特征参数  $A_p$  比丙烯腈的特征参数  $A_p$  大, 丙烯腈和丙腈化合物活化能  $E_a$  分别为 133.86 和 134.07 KJ/mol。同时建立食品接触材料 AS 中致癌风险模型, AS 中腈类化合物迁移到食品模拟物中的暴露量处于低风险水平, 建立 AS 产品中腈类化合物迁移模型和致癌风险评估评估数学模型, 对于提高食品相关产品的质量安全以及保障人体健康和安全, 具有重要的意义。

参考文献

[1] GB 4806.6-2016 食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂[S].  
GB 4806.6-2016 Food safety national standard-Food contact plastic resins [S].  
[2] GB 31604.17-2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品丙烯腈的测定和迁移量的测定[S].  
GB 31604.17-2016 National food safety standard-Determination of acrylonitrile and its migration in food contact materials and products [S].  
[3] 胡敏. 固相微萃取气质联法测定丙烯腈迁移量[J]. 广州化工, 2016, 44(8): 126-127.  
Hu.M. Determination of acrylonitrile migration by solid phase

microextraction and gas mass spectrometry [J]. J Guangzhou Chem Ind, 2016, 44(8): 126-127.  
[4] Saviello D, Pouyet E, Toniolo L, *et al.* Synchrotron-based FTIR microspectroscopy for the mapping of photo-oxidation and additives in acrylonitrile-butadiene-styrene model samples and historical objects [J]. Anal Chimica Acta, 2014, (843): 59-72.  
[5] 肖文斌, 袁桂梅, 梁国华, 等. 水中丙烯腈含量分析方法研究[J]. 山西化工, 2017, (1): 30-33.  
Xiao WB, Yuan GM, Yi GH, *et al.* Study on analytical method of acrylonitrile content in water [J]. J Shanxi Chem Ind, 2017, (1): 30-33.  
[6] Más J, Vidaurre A, Meseguer JM, *et al.* Dynamic mechanical properties of polycarbonate and acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer blends [J]. J Appl Polym Sci, 2002, 83(7): 1507-1516.  
[7] Choi JO, Jitsunari F, Asakawa F, *et al.* Migration of styrene monomer, dimers and trimers from polystyrene to food simulants [J]. Food Add Contam, 2005, 22(7): 693-699.  
[8] 马明, 沈康俊, 邵敏. 顶空-气相色谱-质谱法测定食品接触 ABS, AS 制品中丙烯腈[J]. 分析实验室, 2017, (6): 71-75.  
Ma M, Shen KJ, Shao M. Determination of acrylonitrile in food contact ABS and AS products by headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2017, (6): 685-689.  
[9] 池海涛, 程静, 高峡, 等. 食品接触塑料中添加剂迁移模型研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (9): 3315-3322.  
Chi HT, Cheng J, Gao X, *et al.* Research progress on migration models of additives in food contact plastics [J] J Food Saf Qual, 2015, (9): 3315-3322.  
[10] Onghena M, Negreira N, Hoeck EV, *et al.* Quantitative determination of migrating compounds from plastic baby bottles by validated GC-QqQ-MS and LC-QqQ-MS methods [J]. Food Anal Method, 2016, 9(9): 2600-2612.  
[11] 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): 365-372.  
Du ZN, Miao HJ, Li JG, *et al.* Study on migration rule of plasticizer in food contact material PVC and establishment of migration model [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(11): 365-372.  
[12] Brandsch J, Mercea P, Rüter, M, *et al.* Migration modelling as a tool for quality assurance of food packaging [J]. Food Add Contamin, 2002, (19):

- 29–41.
- [13] GB31604.1-2015 食品接触材料及制品迁移试验通则[S].  
GB31604.1-2015 General rules for migration tests of food contact materials and products [S].
- [14] GB 5009.156-2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则[S].  
GB 5009.156-2016 National food safety standard-General rules for pretreatment of migration test of food contact materials and products [S].
- [15] Mercea P, Petrescu L, Piringer O, *et al.* User-friendly software for migration estimations [M]. New York: Plastic Packaging: Interactions with Food and Pharmaceuticals, Second Edition, 2008.
- [16] 隋海霞, 刘兆平. 我国食品接触材料安全性评估体系构建[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(6): 7–13.  
Sui HX, Liu ZP. Establishment of safety assessment system for food contact materials in China [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(6): 7–13.
- [17] 陈厚, 刘军深, 曲荣君, 等. AN/AA 共聚物热解反应表观活化能的计算[J]. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(5): 242–245.  
Chen H, Liu JS, Qu RJ, *et al.* Calculation of apparent activation energy of AN/AA copolymer pyrolysis reaction [J]. J Polym Mater Sci Eng, 2005, 21(5): 242–245.
- [18] 袁军, 陈小霞, 刘明. 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物热降解反应动力学[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(4): 26–29.  
Yuan J, Chen XX, Liu M. Kinetics of thermal degradation of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer [J]. J Wuhan Univ Eng, 2013, 35(4): 26–29.
- [19] 冯仰婕, 戴浩良. 丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物的热降解动力学[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 1994, (2): 253–259.  
Feng YJ, Dai HL. Thermal degradation kinetics of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer [J]. J East China Univ Technol: Nat Sci Ed, 1994, (2): 253–259.

(责任编辑: 陈雨薇)

## 作者简介



韩 陈, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品接触材料及产品质量安全。  
E-mail: shhanchen@163.com