

丙烯酸树脂食品接触材料中 16 种单体迁移量的测定及迁移风险考察

赖 莹* 林 睿 林伟靖 葛秀秀 董清木 黄宗平

(厦门出入境检验检疫局技术中心 厦门 361026)

摘 要 建立了丙烯酸树脂塑料食品接触材料中 16 种残留丙烯酸酯类及苯乙烯类单体迁移量的测定方法。采用水、3% 乙酸、20% 醇、50% 醇、95% 醇及异辛烷作为食品模拟物,测定丙烯酸树脂在 80℃ 浸泡 8 h 后 16 种单体的迁移量。其中水基食品模拟液(水、20% 醇)采用吹扫捕集-气相色谱质谱法检测。选择 DB-WAX 毛细管柱实现了在 21 min 内同时分离 16 种单体。结果表明直接进样方法对所测各物质的定量限可达到 0.7 mg/L 以下,吹扫捕集进样的定量限可达到 0.2 μg/L 以下。在 3 个添加水平下,平均回收率在 80.1% ~ 97.5% 之间。方法的灵敏度、回收率高、选择性好,能满足实际工作的要求。对阳性样品迁移风险考察结果表明:聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethylmethacrylate, PMMA)材质样品中甲基丙烯酸甲酯的迁移风险极高,相对于 PMMA 材质,苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物(Styrene-methyl methacrylate copolymer, MS)材质较为安全。

关键词 食品接触材料; 丙烯酸酯; 苯乙烯; 迁移; 气相色谱质谱法

1 引 言

丙烯酸树脂具有很好的耐紫外线、耐酸碱性等优点,特别是聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethylmethacrylate, PMMA)和苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物(Styrene-methyl methacrylate copolymer, MS),在食品包装及容器方面得到广泛应用。但是,由于其单体大多具有较强的刺激性或腐蚀性,若残留在聚合物产品中,必然会对产品的质量和使用产生不良影响。

鉴于丙烯酸树脂单体的毒性,多国制定了技术法规限制该类物质在食品接触产品中的使用。欧盟法规(EU) No 10/2011 规定,丙烯酸或丙烯酸酯类化合物在食品模拟物中的迁移量总和均不得超过 6 mg/kg,苯乙烯和 α -甲基苯乙烯的迁移限量分别为 60 mg/kg 和 0.05 mg/kg。我国和日本均有类似规定。

目前,关于丙烯酸树脂食品接触材料迁移量的研究主要集中于甲基丙烯酸甲酯或有限的几种单体^[1~5],大量的有害单体未得到关注。此外,对于水基食品模拟物中挥发性单体的检测,一般是采用有机溶剂萃取后气相色谱法测定^[6],灵敏度不高。部分文献报道采用顶空方式进样^[3,4],但由于无法避免水蒸汽的引入,仍对色谱柱效有一定影响。

在塑料食品接触产品迁移行为研究方面,已有一些报道,例如塑料容器中的邻苯二甲酸酯向食用油和矿泉水迁移的研究^[8~11]、塑料食品包装中抗氧化剂、烷基酚、紫外光吸收剂等迁移研究^[8~11]。尚无针对丙烯酸树脂类食品接触产品中残留单体迁移行为及影响因素的系统研究。

本研究通过对丙烯酸树脂食品接触材料的成分和生产工艺分析,筛选出可能存在的有害单体 16 种(见表 1)。建立了各单体迁移量的气相色谱质谱测定方法,并针对水基食品模拟物,采用吹扫捕集进样,大大提高灵敏度并简化分析流程。在此基础上,对丙烯酸树脂类食品接触产品在不同迁移条件(模拟物、时间、温度、迁移方式等)下,残留单体的迁移风险进行了系统研究。

2015-04-07 收稿; 2015-07-15 接受

本文系福建省自然科学基金项目(No. 2011J05030),厦门市科技计划项目(No. 3502Z2011015),国家质检总局科研项目(No. 2014IK160)资助

* E-mail: laiy@xmciq.gov.cn

2 实验部分

2.1 仪器与试剂

7890A-5975C 气相色谱质谱仪和 P&T 9800 吹扫捕集装置(美国 Agilent 公司)。德国 Sartorius R200D 电子天平。

16 种单体(见表 1)纯度 $\geq 97\%$ 均购自德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司。甲醇、乙醇为色谱纯,其余试剂均为分析纯。

标准储备液(1000 mg/L):准确称取 16 种单体各 0.1 g 置于 100 mL 容量瓶中,用甲醇定容,充分摇匀。

标准工作溶液(直接进样):移取适量标准储备液,用乙醇稀释成适用浓度的标准工作溶液。

标准工作溶液(吹扫捕集进样):移取适量标准储备液,用水稀释成适用浓度的标准工作溶液。

2.2 吹扫捕集参数

载气: N_2 ; 吹扫温度: $20^\circ C$, 吹扫流量: 40 mL/min, 吹扫时间: 11 min; 解吸温度: $250^\circ C$, 解吸时间: 2 min; 烘焙温度: $280^\circ C$, 烘焙时间: 5 min; 样品瓶: 40 mL, 吹扫管: 10 mL, 样品定量环: 5 mL。

2.3 气相色谱质谱参数

DB-WAX 色谱柱(30.0 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm); 程序升温: 初始温度 $45^\circ C$, 保持 8 min, $40^\circ C/min$ 升至 $100^\circ C$, 保持 3 min, $10^\circ C/min$ 升至 $160^\circ C$, $40^\circ C/min$ 升至 $220^\circ C$, 保持 4.2 min; 进样口温度: $250^\circ C$; 质谱接口温度: $280^\circ C$; 离子源温度: $230^\circ C$; 四极杆温度: $150^\circ C$; 载气: He(纯度 $> 99.999\%$), 1.0 mL/min; 进样量: 1 μL ; 进样方式: 分流进样, 分流比 20:1; 电离方式: EI。

质谱扫描方式: 同时采集全扫描(SCAN)和选择离子(Selected ion mode, SIM)数据; SCAN 范围: m/z 33 ~ 500; SIM 采集参数: 见表 1; 溶剂延迟: 3 min(异辛烷模拟液), 5.8 min(20% 乙醇、50% 乙醇、95% 乙醇模拟液)。

2.4 迁移实验

2.4.1 食品模拟物的选择性

参考(EU) No10/2011 及 GB/T23296-2009 相关规定, 考虑模拟尽可能多的食品种类, 选择的食品模拟物包括: 水(pH > 4.5 的亲水性食品)、3% 乙酸(pH < 4.5 的亲水性食品)、20% 乙醇(乙醇浓度

低于 20% 的乙醇性食品以及含有一定有机成分, 且具有一定亲脂性的食品)、50% 乙醇(乙醇浓度高于 20% 的乙醇性食品及油水乳浊液)、95% 乙醇及异辛烷(油脂性食品)。

2.4.2 常规浸泡 $80^\circ C$ 下浸泡下 8 h。食品模拟物包括: 水、3% 乙酸、20% 乙醇、50% 乙醇、95% 乙醇、异辛烷。

2.4.3 微波浸泡 微波炉功率为 1300 W。食品模拟物包括: 水、20% 乙醇、50% 乙醇、95% 乙醇。微波时间: 水、20% 乙醇为 10 min; 50% 乙醇、95% 乙醇为 2 min。

2.4.4 微波浸泡 微波炉功率为 1300 W。食品模拟物包括: 水、20% 乙醇、50% 乙醇、95% 乙醇。微波时间: 水、20% 乙醇为 10 min; 50% 乙醇、95% 乙醇为 2 min。

2.5 进样方式

对于水和 20% 乙醇模拟物, 采用吹扫捕集进样方式。对于 3% 乙酸模拟物样品, 经乙酸乙酯提取后

表 1 16 种单体的特征离子

Table 1 Characteristic ion of 16 monomers

物质 Compound	定量离子 Quantitative ion (m/z)	参照离子 1 Reference ion 1 (m/z)	参照离子 2 Reference ion 2 (m/z)
丙烯酸甲酯 Methylacrylate	55	85	58
丙烯酸乙酯 Ethylacrylate	55	99	73
甲基丙烯酸甲酯 Methylmethacrylate	69	41	100
甲基丙烯酸乙酯 Ethylmethacrylate	69	99	41
丙烯酸丁酯 <i>n</i> -Butyl acrylate	55	73	85
甲基丙烯酸丁酯 Butylmethacrylate	69	87	56
苯并环丁烯 Benzocyclobutene	104	78	51
苯乙烯 Styrene	104	78	51
α -甲基苯乙烯 α -Methylstyrene	118	103	78
4-甲基苯乙烯 4-Methylstyrene	117	91	65
苯甲醛 Benzaldehyde	105	106	77
(<i>R</i>)-氧化苯乙烯 (<i>R</i>)-Styrene oxide	91	104	120
丙烯酸 Acrylic acid	72	55	45
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	91	120	65
甲基丙烯酸 Methacrylic acid	86	69	41
苯并噻唑 Benzothiazole	135	108	69

再进样。对于 50% 乙醇、95% 乙醇以及异辛烷模拟物, 采用直接进样方式。

3 结果与讨论

3.1 常规迁移时间和温度的选择

为了更科学地评价材料的安全性, 迁移实验应在可预见的最严苛条件下进行。根据(EU) No 10/2011 的规定, 测试条件选择 40℃ 10 天。该条件可涵盖冷藏和冷冻条件下的所有储藏时长, 包括加热到 70℃ 达 2 h 内, 或加热到 100℃ 达 15 min。

通过提高温度的方法可缩短迁移时间。由于食品模拟物 95% 乙醇回流温度约为 80℃, 异辛烷回流温度为 99℃, 最高浸泡温度不宜超过 80℃。根据(EU) No 10/2011 附件 V 中 2.1.3 公式:

$$t_2 = t_1 \cdot \exp [(-E_a/R) / (1/T_1 - 2/T_2)] \quad (1)$$

其中, E_a 为最差情况下的活化能 80 kJ/mol, R 为 8.31 J/(K · mol), T_1 为 313.15 K, T_2 为检测温度), 计算出在 80℃ 下要达到与 40℃ 10 天相同的迁移结果, 浸泡时间 t_2 为 8 h。

3.2 色谱柱的选择

由于被分析物极性较强(包括两种酸), 普通的弱极性柱分析时峰形易拖尾且重现性差, 因此选择极性的 DB-WAX 柱。实验中比较了 HP-5, DB-WAX, DB-XLB, DB-624 等色谱柱对分离的影响, 结果表明采用 HP-5, DB-XLB 柱时, 个别物质峰形较差, 拖尾明显; 采用 DB-624 柱时, 丙烯酸和甲基丙烯酸无法出峰。而采用 DB-WAX 柱时, 各物质均能保持良好峰形并实现分离(图 1)。

3.3 进样方式的选择

对于水性食品模拟液, 选择吹扫捕集的进样方式, 既克服了气相色谱无法直接进水样的缺点, 又大大提高了灵敏度。但是由于捕集阱的局限, 个别物质((R)-氧化苯乙烯、丙烯酸、甲基丙烯酸) 无法被捕获, 见图 2。

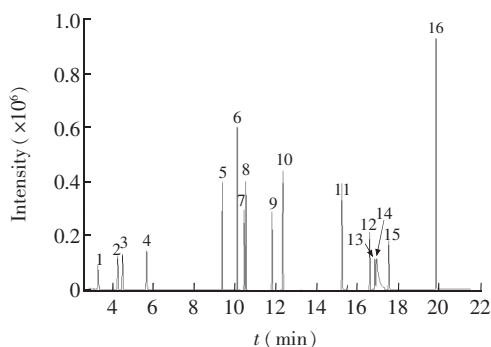


图 1 16 种单体的选择离子色谱图(DB-WAX)

Fig.1 SIM chromatogram of 16 monomers by DB-WAX column

1. 丙烯酸甲酯; 2. 丙烯酸乙酯; 3. 甲基丙烯酸甲酯; 4. 甲基丙烯酸乙酯; 5. 丙烯酸丁酯; 6. 甲基丙烯酸丁酯; 7. 苯并环丁烯; 8. 苯乙烯; 9. α -甲基苯乙烯; 10. 4-甲基苯乙烯; 11. 苯甲醛; 12. (R)-氧化苯乙烯; 13. 丙烯酸; 14. 苯乙醛; 15. 甲基丙烯酸; 16. 苯并噻唑。

1. Methylacrylate; 2. Ethyl acrylate; 3. Methyl methacrylate; 4. Ethyl methacrylate; 5. *n*-Butyl acrylate; 6. Butyl methacrylate; 7. Benzocyclobutene; 8. Styrene; 9. α -Methylstyrene; 10. 4-Methylstyrene; 11. Benzaldehyde; 12. (R)-Styrene oxide; 13. Acrylic acid; 14. Phenylacetaldehyde; 15. Methacrylic acid; 16. Benzothiazole.

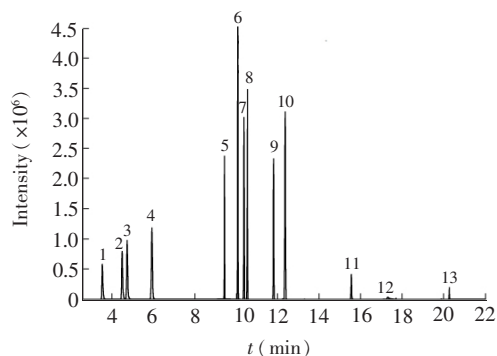


图 2 13 种单体的选择离子色谱图(DB-WAX, 吹扫捕集进样)

Fig.2 SIM chromatogram of 13 monomers by DB-WAX column with purging and trapping sampling

1. 丙烯酸甲酯; 2. 丙烯酸乙酯; 3. 甲基丙烯酸甲酯; 4. 甲基丙烯酸乙酯; 5. 丙烯酸丁酯; 6. 甲基丙烯酸丁酯; 7. 苯并环丁烯; 8. 苯乙烯; 9. α -甲基苯乙烯; 10. 4-甲基苯乙烯; 11. 苯甲醛; 12. 苯乙醛; 13. 苯并噻唑。

1. Methylacrylate; 2. Ethyl acrylate; 3. Methyl methacrylate; 4. Ethyl methacrylate; 5. *n*-Butyl acrylate; 6. Butyl methacrylate; 7. Benzocyclobutene; 8. Styrene; 9. α -Methylstyrene; 10. 4-Methylstyrene; 11. Benzaldehyde; 12. Phenylacetaldehyde; 13. Benzothiazole.

3.4 工作曲线、线性范围和定量限

研究了 16 种丙烯酸树脂单体的直接进样气相色谱质谱法的检测线性范围和定量限(表 2) 结果表明,各物质在相应范围内,线性相关系数均在 0.997 以上,定量限(LOQ, Limit of quantification, $S/N = 10$) ≤ 0.7 mg/L, 完全满足检测需要。

表 2 直接进样法测定 16 种单体的回归方程、相关系数、线性范围和定量限

Table 2 Regression equations, correlation coefficients, linear ranges and quantification limits of 16 monomers by direct injection

物质 Compound	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficients	线性范围 Linear range (mg/L)	定量限 LOQ (mg/L)
丙烯酸甲酯 Methylacrylate	$y = 5055x + 969.8$	0.9995	1 ~ 100	0.6
丙烯酸乙酯 Ethylacrylate	$y = 7067x + 663.4$	0.9995	0.5 ~ 100	0.4
甲基丙烯酸甲酯 Methylmethacrylate	$y = 3300x + 367.3$	0.9995	0.5 ~ 100	0.2
甲基丙烯酸乙酯 Ethylmethacrylate	$y = 6158x - 238.7$	0.9995	0.2 ~ 100	0.1
丙烯酸丁酯 <i>n</i> -Butylacrylate	$y = 10090x - 3305$	0.9995	0.05 ~ 100	0.04
甲基丙烯酸丁酯 Butylmethacrylate	$y = 7506x - 2909$	0.9995	0.05 ~ 100	0.04
苯并环丁烯 Benzocyclobutene	$y = 7895x - 258.7$	0.9995	0.05 ~ 100	0.04
苯乙烯 Styrene	$y = 11060x - 447.6$	0.9995	0.05 ~ 100	0.03
α -甲基苯乙烯 α -Methylstyrene	$y = 8224x - 2041$	0.9995	0.1 ~ 100	0.06
4-甲基苯乙烯 4-Methylstyrene	$y = 11180x - 3381$	0.9995	0.1 ~ 100	0.06
苯甲醛 Benzaldehyde	$y = 6255x + 2512$	0.9995	0.1 ~ 100	0.07
(<i>R</i>)-氧化苯乙烯 (<i>R</i>)-Styrene oxide	$y = 6763x + 1595$	0.9995	0.1 ~ 100	0.05
丙烯酸 Acrylic acid	$y = 3867x - 1444$	0.9995	1 ~ 100	0.7
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	$y = 6760x + 1835$	0.9995	1 ~ 100	0.7
甲基丙烯酸 Methacrylic acid	$y = 5388x - 2029$	0.9995	0.1 ~ 100	0.08
苯并噻唑 Benzothiazole	$y = 21570x - 14620$	0.9985	0.1 ~ 100	0.06

研究了 13 种丙烯酸树脂单体的吹扫捕集进样气相色谱质谱法的检测线性范围和定量限,结果(表 3)表明,各物质在相应范围内,线性相关系数均在 0.995 以上,LOQ ≤ 0.2 μ g/L, 完全满足检测需要。

3.5 回收率精密度实验

选择某品牌 MS 材质塑料杯,进行 3 个水平加标回收实验。结果表明,各单体在水和 50% 乙醇模拟物的加标回收率为 80.1% ~ 97.5%, 相对标准偏差($n = 6$) 在 5% 以内,方法的准确度与精密度完全满足分析要求。

表 3 吹扫捕集进样法测定 13 种单体的回归方程、相关系数、线性范围和定量限

Table 3 Regression equations, correlation coefficients, linear ranges and quantification limits of 13 monomers by purging and trapping sampling

物质 Compound	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficients	线性范围 Linear range (μ g/L)	LOQ (μ g/L)
丙烯酸甲酯 Methylacrylate	$y = 12221x + 1314.5$	0.9995	0.2 ~ 100	0.2
丙烯酸乙酯 Ethylacrylate	$y = 17125x + 1447.7$	0.9995	0.2 ~ 100	0.2
甲基丙烯酸甲酯 Methylmethacrylate	$y = 9200.8x + 1857.8$	0.9995	0.2 ~ 100	0.2
甲基丙烯酸乙酯 Ethylmethacrylate	$y = 17266x + 2963.1$	0.9995	0.1 ~ 100	0.09
丙烯酸丁酯 <i>n</i> -Butylacrylate	$y = 12359x + 4731.1$	0.9995	0.05 ~ 100	0.05
甲基丙烯酸丁酯 Butylmethacrylate	$y = 6255.8x + 4276.8$	0.9995	0.02 ~ 100	0.02
苯并环丁烯 Benzocyclobutene	$y = 4007.1x + 5234.9$	0.9985	0.005 ~ 100	0.005
苯乙烯 Styrene	$y = 20765x + 24797$	0.9985	0.005 ~ 100	0.003
α -甲基苯乙烯 α -Methylstyrene	$y = 11456x + 14113$	0.9980	0.01 ~ 100	0.01
4-甲基苯乙烯 4-Methylstyrene	$y = 15191x + 14673$	0.9975	0.01 ~ 100	0.009
苯甲醛 Benzaldehyde	$y = 2329.7x + 991.55$	0.9995	0.02 ~ 100	0.02
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	$y = 902.12x + 413.3$	0.9990	0.02 ~ 100	0.02
苯并噻唑 Benzothiazole	$y = 553.16x + 3253.6$	0.9995	0.2 ~ 100	0.2

3.6 迁移风险考察

3.6.1 样品的选择 按照文献[12]方法,对丙烯酸树脂类食品接触产品中残留 16 种单体的含量进行普查,并筛选出部分阳性代表样品进行系统的迁移规律研究。选择的阳性样品及编号如下: 塑料罐 PM-

MA2、弧度杯 PMMA5、调味罐(圆) PMMA8; 塑料水杯 MS1、MS6、MS12、MS14 及 MS22。

3.6.2 PMMA 材质样品实验结果及分析 对样品 PMMA2 , PMMA5 和 PMMA8 进行了常规迁移和微波迁移实验 ,测得阳性迁移的实验结果见表 4。检测出的迁移物质包括: 丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯、苯乙烯、苯甲醛、苯乙醛。

表 4 PMMA 材质样品迁移实验结果(单位: mg/dm²)
Table 4 Migration result of samples in PMMA material (mg/dm²)

样品编号 Samle No.	迁移方式 Migration way	食品模拟物 Food simulants	丙烯酸甲酯 Methylacrylate	甲基丙烯酸甲酯 Methylme- thacrylate	苯乙烯 Styrene	苯甲醛 Benzaldehyde	苯乙醛 Phenylace- taldehyde
PMMA2	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	nd	1.7	nd	nd	nd
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	nd	1.2	nd	nd	nd
PMMA5	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.25	19	nd	nd	nd
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.17	13	nd	nd	nd
PMMA8	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	nd	0.15	0.092	0.0060	0.014
		异辛烷 Isooctane	nd	nd	0.041	nd	nd
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	nd	0.10	0.084	nd	nd

注: nd-未检出 not detected。

甲基丙烯酸甲酯在所有 PMMA 样品的 95% 乙醇模拟液中检出 ,但未在其它模拟液检出。微波迁移条件下的迁移量约为常规迁移的 70% ,这与甲基丙烯酸甲酯的溶解性相一致。

值得注意的是 ,PMMA2 和 PMMA5 中甲基丙烯酸甲酯的迁移量均已超过欧盟限量 6 mg/kg(相当于 1 mg/dm²) ,而 PMMA5 甚至超标近 20 倍。这与两个样品本体残留高浓度的甲基丙烯酸甲酯单体相吻合。

苯乙烯仅在 PMMA8 样品的 95% 乙醇及异辛烷模拟液中检出 ,尽管 PMMA2 和 PMMA5 中均含有苯乙烯。微波和常规迁移条件下 ,95% 乙醇中苯乙烯的迁出量大致相当。常规迁移时 ,苯乙烯在异辛烷中的迁出量约为 95% 乙醇的 45% 。迁出量均远低于欧盟限量要求。

丙烯酸甲酯仅在 PMMA5 样品的 95% 乙醇模拟液中检出。微波迁移条件下的迁移量约为常规迁移的 70% 。迁移量均不超过 0.3 mg/dm² ,位于安全范围之内。

苯甲醛、苯乙醛仅在 PMMA8 样品的 95% 乙醇模拟液中检出。这与各物质的溶解度规律是一致的。

3.6.3 MS 材质样品实验结果及分析 对样品 MS1 ,MS6 ,MS12 ,MS14 和 MS22 进行了常规迁移和微波迁移实验 ,测得阳性迁移的实验结果列于表 5。检测出的迁移物质包括: 甲基丙烯酸甲酯和苯乙烯。

表 5 MS 材质样品迁移实验结果(mg/dm²)
Table 5 Migration result of samples in MS material (mg/dm²)

样品名称 Samle No.	浸泡方式 Migration way	食品模拟物 Food simulants	甲基丙烯酸甲酯 Methylmethacrylate	苯乙烯 Styrene
MS1	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.17	0.13
		异辛烷 Isooctane	nd	0.060
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.041	0.026
		95% 乙醇 95% Ethanol	0.19	0.24
MS6	常规 Baking oven	异辛烷 Isooctane	nd	0.050
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.046	0.048
MS12	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.39	0.48
		异辛烷 Isooctane	nd	0.060
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.090	0.10
		95% 乙醇 95% Ethanol	0.19	0.30
MS14	常规 Baking oven	异辛烷 Isooctane	nd	0.060
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.043	0.057
MS22	常规 Baking oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.012	0.41
		异辛烷 Isooctane	nd	0.047
	微波 Microwave oven	95% 乙醇 95% Ethanol	0.0030	0.0080

注: nd-未检出 (not detected) 。

甲基丙烯酸甲酯在所有 MS 样品的 95% 乙醇模拟液中检出,但未在其它模拟液检出。微波迁移条件下的迁移量约为常规迁移的 25% 左右。迁移量均不超过 0.2 mg/dm^2 , 在安全范围之内。

苯乙烯在所有 MS 样品的 95% 乙醇及异辛烷模拟液中检出,但未在其它模拟液检出。微波迁移条件下的迁移量约为常规迁移的 20%。迁移量均不超过 0.3 mg/dm^2 , 在安全范围之内。

4 结 论

本研究建立了丙烯酸树脂食品接触材料中 16 种残留丙烯酸酯类及苯乙烯类单体迁移量的测定方法。方法的定量限低于国家限量要求,回收率高、精密度好,能满足实际工作要求。同时考察了阳性样品在 80℃ 水、3% 乙酸、20% 醇、50% 醇、95% 醇及异辛烷模拟物中浸泡 8 h 的迁移量,结果表明,所研究单体迁移风险受以下因素影响: (1) 物质在模拟物中的溶解度; (2) 物质在材料本体中的含量; (3) 材料的聚合形态和表面处理工艺; (4) 不同的迁移方式; (5) 不同的食品模拟物。在各种食品模拟物中,所研究物质在 95% 乙醇和异辛烷的迁移风险最高。PMMA 材质样品中甲基丙烯酸甲酯的迁移风险极高,相对于 PMMA,MS 材质较为安全。

References

- 1 DONG Qing-Mu, LIN Rui, LAI Ying, LIN Hai-Xia, LIN Wei-Jing, HUANG Long, GE Xiu-Xiu, LAI Tian-Yue, CHEN Wei. *Journal of Food Safety & Quality*, **2013**, 4: 1067 – 1071
董清木, 林睿, 赖莺, 林海霞, 林伟靖, 黄龙, 葛秀秀, 赖添岳, 陈伟. *食品安全质量检测学报*, **2013**, 4: 1067 – 1071
- 2 LI Ying, LI Cheng-Fa, CHEN Xu-Hui, LIANG Feng, BAI Shuang, LIAO Wen-Zhong, LI Yong-Tao, SUN Xiao-Ying. *Plastics Science and Technology*, **2014**, 1: 115 – 119
李英, 李成发, 陈旭辉, 梁烽, 白爽, 廖文忠, 李泳涛, 孙小颖. *塑料科技*, **2014**, 1: 115 – 119
- 3 MA Ming, QING Jiang, ZHOU Yun, ZHOU Yu-Yan, SHEN Kang-Jun. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, **2013**, 12: 1486 – 1488 + 1492
马明, 清江, 周韵, 周宇艳, 沈康俊. *理化检验(化学分册)*, **2013**, 12: 1486 – 1488 + 1492
- 4 ZHOU Yu-Yan, XIAN Yang, CHENG Yu-Xiao, MA Ming, FENG Jian. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, **2012**, 03: 257 – 261
周宇艳, 咸洋, 程欲晓, 马明, 冯健. *理化检验(化学分册)*, **2012**, 03: 257 – 261
- 5 Chiesa L M, Soncin S, Panseri S, Cantoni C. *Veterinary Research Communications*, **2008**, 32 Suppl. 1: 319 – 321
- 6 SN/T 2894-2011, *Food Contact Materials for Export-Polymers-Determination of Methyl Methacrylate in Food Simulants-Gas Chromatography-Mass Spectrometry*. Industry Standard of Entry-Exit Inspection and Quarantine
出口食品接触材料 高分子材料 食品模拟物中甲基丙烯酸甲酯的测定 气相色谱-质谱法. 出入境检验检疫行业标准. SN/T 2894-2011
- 7 Xu Q, Yin X Y, Wang M, Wang H F, Zhang N P, Shen Y Y, Xu S, Zhang L, Gu Z Z. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2010**, 58(21): 11311 – 11317
- 8 CHI Hai-Tao, LIU Ying, GAO Xia, LIU Wei-Li, HU Guang-Hui, LUO Yun-Jun. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2015**, 43(3): 399 – 403
池海涛, 刘颖, 高峡, 刘伟丽, 胡光辉, 罗运军. *分析化学*, **2015**, 43(3): 399 – 403
- 9 Fasano E, Bono-Blay F, Cirillo T, Montuori P, Lacorte S. *Food Control*, **2012**, 27(1): 132 – 138
- 10 LI Quan-Zhong, ZHOU Ming-Hui, LIU Ying-Feng, ZHAI Cui-Ping, ZHENG Jian-Guo, WANG Yun-Yu. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2013**, 41(1): 25 – 30
李全忠, 周明辉, 刘莹峰, 翟翠萍, 郑建国, 王云玉. *分析化学*, **2013**, 41(1): 25 – 30
- 11 LIN Rui, LAI Ying, LIN Wei-Jing, DONG Qing-Mu, HUANG Long, GE Xiu-Xiu, LIN Hai-Xia, HUANG Zong-Ping, TU Xing-Peng. *Journal of Instrumental Analysis*, **2015**, 34(1): 20 – 27
林睿, 赖莺, 林伟靖, 董清木, 黄龙, 葛秀秀, 林海霞, 黄宗平, 涂星鹏. *分析测试学报*, **2015**, 34(1): 20 – 27

