

# GC法测定食品接触用再生PVC中氯乙烯类化合物的迁移量

陈蚕蚕<sup>1,2</sup>, 阿文伟<sup>2</sup>, 张敏<sup>3</sup>, 董犇<sup>2</sup>, 林勤保<sup>1\*</sup>, 李丹<sup>2</sup>, 钟怀宁<sup>2\*</sup>

(1.暨南大学 包装工程学院, 广东普通高校产品包装与物流重点实验室, 广东 珠海 519070;

2.广州海关技术中心, 国家食品接触材料检测重点实验室(广东), 广州 510623;

3.南京海关危险货物与包装检测中心, 江苏 常州 213022)

**摘要:** **目的** 有效考察食品接触用再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的迁移风险。**方法** 建立测定食品接触用再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷在水、酸性、含乙醇、橄榄油和化学替代溶剂中迁移量的气相色谱法。采用DB-624(60 m×250 μm×1.4 μm)毛细管柱对迁移实验后的3种物质进行组分分离,用电子捕获检测器(ECD)进行检测。**结果** 氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的色谱分离效果较好,在0.005~0.05 mg/kg内线性关系良好,检出限为0.001 mg/kg,定量限为0.005 mg/kg。当添加量为0.005、0.01和0.02 mg/kg时,3种物质的加标回收率为94.8%~108%,相对标准偏差(n=6)为0.0%~9.0%,均低于10%。**结论** 该方法具有较好的精密度和准确度,可用于食品接触用再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷迁移量的测定。

**关键词:** 再生聚氯乙烯; 氯乙烯; 1,1-二氯乙烯; 1,1-二氯乙烷; 气相色谱

中图分类号: TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)19-0009-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.19.002

## Determination of Migration of Vinyl Chloride Compounds in Food Contact Recycled Polyvinyl Chloride Materials by Gas Chromatography

CHEN Can-can<sup>1,2</sup>, A Wen-wei<sup>2</sup>, ZHANG Min<sup>3</sup>, DONG Ben<sup>2</sup>, LIN Qin-bao<sup>1\*</sup>, LI Dan<sup>2</sup>, ZHONG Huai-ning<sup>2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Product Packaging and Logistics, College of Packaging Engineering, Jinan University, Guangdong Zhuhai 519070, China; 2. National Key Laboratory of Food Contact Materials Testing (Guangdong), Guangzhou Customs District Technology Center, Guangzhou 510623, China; 3. Nanjing Customs Testing Center for Dangerous Goods and Packaging, Jiangsu Changzhou 213022, China)

**ABSTRACT:** The work aims to evaluate the migration risk of vinyl chloride, vinylidene chloride and 1,1-dichloroethane from food contact recycled polyvinyl chloride materials. A gas chromatography method was developed to determine the migration of vinyl chloride, vinylidene chloride and 1,1-dichloroethane in food contact recycled polyvinyl chloride materials in water, acid, ethanol, olive oil and chemical alternative solvents. The three substances were separated on a DB-624 (60 m×250 μm×1.4 μm) capillary column, and detected with an electrical conductivity detector (ECD). Results showed that vinyl chloride, vinylidene chloride and 1,1-dichloroethane had good chromatographic separation effect and there were good linear relationships for the analytes in the range of 0.005-0.05 mg/kg, with a detection limit of 0.001 mg/kg and a quantitation limit of 0.005 mg/kg. When the addition amounts were 0.005 mg/kg, 0.01 mg/kg and 0.02 mg/kg, the recoveries ranged from 94.8% to 108%, with the relative standard deviations (n=6) of 0.0%-9.0% which was lower than 10%. With high accuracy and good precision, the established method could be used to determine the migration of vinyl chloride, vinylidene chloride and 1,1-dichloroethane in food contact recycled polyvinyl chloride materials.

**KEY WORDS:** recycled polyvinyl chloride; vinyl chloride; vinylidene chloride; 1,1-Dichloroethane; gas chromatography

聚氯乙烯(PVC)是常用的食品接触材料,目前市场中使用的PVC材料大都为偏二氯乙烯(VDC)单体与氯乙烯(VC)单体的共聚物<sup>[1]</sup>,少量使用VDC单体和丙烯酸酯类共聚物。PVDC共聚物中VC单体的加入,破坏了链的规整度,降低了结晶能力,使材料具有了更好的加工性能和实用价值。PVC包装具有优异的阻隔性,对碱、酸等具有优异的耐化学性,不溶于油和有机溶剂,它具有非常低的回潮率,并且不受霉菌、细菌和昆虫损害的影响。聚氯乙烯可制成片材、管材、模塑件、薄膜和纤维,从而广泛应用于奶酪包装、零食包装、医用包装、酱菜包装、肉制品包装、液体包装、电子产品包装等领域<sup>[2-5]</sup>。其中2022年中国聚氯乙烯类材料的产量为26.2万t,同比增长12.1%。然而,大量使用的食品接触用PVC材料及制品如不能妥善处理,极易造成严重的环境污染和资源浪费<sup>[6-8]</sup>。因此,对PVC食品包装进行回收利用成为当今国内外解决塑料垃圾,保护生态安全的重大举措,具有巨大发展前景。

由于氯乙烯和1,1-二氯乙烯是一种具有肝毒性的致癌物,可引起肝血管肉瘤、肝硬化、皮肿大、肝功能异常及基因毒性<sup>[9]</sup>。1,1-二氯乙烯、氯乙烯单体和1,1-二氯乙烷残留量是PVC类材料及制品中需要控制的重要指标。根据世界卫生组织国际癌症研究机构公布的致癌物质清单中,1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷均在其中<sup>[10-11]</sup>。说明1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷会给人体健康带来不良的影响。GB 4806.6—2016<sup>[12]</sup>、GB 4806.10—2016<sup>[13]</sup>、GB 9685—2016<sup>[14]</sup>等标准中,都规定了食品接触材料中氯乙烯单体残留量不得检出(检出限为0.01 mg/kg)和氯乙烯迁移量不得检出(检出限为0.01 mg/kg)这两方面的要求;与之配套的测试标准GB 31604.31—2016<sup>[15]</sup>则给出了氯乙烯单体残留量和迁移量的检测方法。但在2019年进行的检验方法标准跟踪评价中,发现GB 31604.31—2016检验方法标准存在明显的技术缺陷,在实际测试工作中,仅有氯乙烯的迁移量检测方法,1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷这2种物质并未给出检出方法。测试标准采用GC-FID进行检测,而FID并非一种灵敏度非常高的检测器,一般情况下对目标物质量浓度小于0.1 mg/L的液体样品,响应值都会非常低。此外,回收PVC材料在生产过程中,受工艺、温度、清洗剂等因素的影响,材料和制品中有可能产生更多的氯乙烯类单体物质。为了考察回收过程对再生PVC中氯乙烯类化合物含量变化的影响,亟须建立一种简单高效、选择性好、准确度高,并能同时测定食品接触用再生聚氯乙烯类材料及制品中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷迁移量的检测方法。

气相色谱-电子捕获检测器法(GC-ECD法)具有气相色谱准确度高和分离效果好等优点。ECD仅

对含有卤代烃,含N、O和S等杂原子的能俘获电子的化合物有响应,因而也具有灵敏度高、选择性好等优点,多年来已被广泛用于食品接触材料、环境等领域中检测农药、多氯联苯等。本文建立再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯类化合物的迁移量的检测方法,该方法应用前景良好,可为食品接触用再生PVC材料及制品中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的检测提供技术支持。

## 1 实验

### 1.1 仪器与试剂

主要仪器与试剂:7890B气相色谱仪,配备电子捕获检测器(ECD);质量分数为6%的氰基苯基-聚甲基硅氧烷(DB-624)毛细管气相色谱柱(60 m×250 μm×1.4 μm);ME204电子天平(瑞士梅特勒-托利多仪器公司);电子移液枪(量程为10~200 μL,德国Brand公司);Milli-Q超纯水系统(美国Millipore公司);3种标准物质:氯乙烯(1 000 mg/L)、1,1-二氯乙烯(纯度为99.5%)、1,1-二氯乙烷(纯度为99.5%)均购自安谱公司;N,N-二甲基乙酰胺(99%);无水乙醇、乙酸、异辛烷(HPLC级,Fisher Chemical公司);橄榄油(Macklin公司)。

本文研究所用再生PVC样品由国内从事再生塑料回收的公司提供。

### 1.2 标准溶液的配制

#### 1.2.1 标准储备溶液与标准中间溶液

以N,N-二甲基乙酰胺为溶剂配制1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的质量浓度均为1 000 mg/L的单标储备溶液,再用N,N-二甲基乙酰胺将质量浓度为1 000 mg/L的氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷单标储备液,分别稀释成质量浓度为2.5、5.0、10.0、15.0、25.0 mg/L的3种目标物的混合标准中间溶液。

#### 1.2.2 水、酸性、含乙醇食品模拟物标准工作溶液

在5个顶空瓶中分别加入10 mL对应食品模拟物,向每个顶空瓶中依次加入不同浓度的氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷混合标准中间溶液各20 μL,混合均匀后得到质量浓度为0.005、0.01、0.02、0.03和0.05 mg/L的标准工作溶液。

#### 1.2.3 含油脂食品模拟物标准工作溶液

分别称取10 g(精确至0.1 g)橄榄油于5个20 mL的顶空瓶中,依次加入不同浓度的氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷混合标准中间溶液各20 μL,混合均匀后得到含量为0.005、0.01、0.02、0.03、0.05 mg/kg的标准工作溶液。

#### 1.2.4 迁移实验

按照GB 31604.1—2015<sup>[16]</sup>和GB 5009.156—2016<sup>[17]</sup>

的规定, 对样品进行迁移实验

### 1.3 浸泡液的处理

水性、酸性、含乙醇食品模拟物和化学替代溶剂: 准确量取迁移实验后得到的食品模拟物 10 mL, 置于 20 mL 顶空瓶中, 摇匀后待测。

含油脂食品模拟物: 准确称取迁移实验后得到的橄榄油浸泡液 10.0 g (精确至 0.1g), 加入 20 mL 顶空瓶中, 摇匀后待测。

### 1.4 仪器条件

顶空条件: 橄榄油模拟物的平衡温度为 110 °C; 体积分数为 95% 的乙醇和异辛烷的平衡温度为 60 °C; 其他模拟物的平衡温度为 80 °C; 平衡时间均为 30 min。

气相色谱条件: 色谱柱为质量分数为 6% 的氰基苯基-聚甲基硅氧烷毛细管气相色谱柱 (60 m×250 μm×1.4 μm), 或等效柱; 升温程序为起始温度为 35 °C, 保持 3 min, 以 5 °C/min 的速率升温至 60 °C, 保持 0 min, 再以 30 °C/min 升至 255 °C, 保持 1 min; 载气为氮气, 流速为 1.5 mL/min; 进样方式为分流进样, 分流比为 20:1; 进样量为 1 mL; 进样口温度为 200 °C; 检测器温度为 300 °C, 尾吹气 (N<sub>2</sub>) 流量为 30 mL/min; ECD 检测器温度为 300 °C, 尾吹气流量为 30 mL/min。

## 2 结果与讨论

### 2.1 进样方式和顶空条件的优化

由于目标物本身为挥发性物质, 故所有模拟物均采用顶空进样的方式 (对于乙醇 (95%) 和异辛烷, 液体进样的响应效果较顶空进样的差, 故采用顶空进样的方式)。为了尽量减少可能存在的安全隐患, 乙醇 (95%) 和异辛烷在进行顶空进样时, 要适当降低顶空温度。欧盟的迁移指南文件中建议, 出于安全考虑, 乙醇 (95%) 和异辛烷的使用温度不宜超过 60 °C。

设计实验采用控制变量法对顶空平衡温度和平衡时间进行优化, 对于不同的食品模拟物, 固定平衡时间, 考察同一浓度水平下食品模拟液在不同温度条件下的响应。结果表明, 模拟物中氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷在仪器上的响应整体上随温度的升高逐渐增大, 并趋于稳定。同时考虑随着温度升高进入仪器的水汽量也明显增加, 最终确定平衡温度。同理, 通过固定平衡温度确定不同食品模拟物的平衡时间。经优化后得到不同食品模拟物的实验条件: 水、酸性、含乙醇类食品模拟物的条件为 80 °C 和 30 min; 化学替代溶剂的条件为 60 °C 和 30 min; 含油脂类食品模拟物条件为 110 °C 和 30 min。优化情况详见图 1~3。

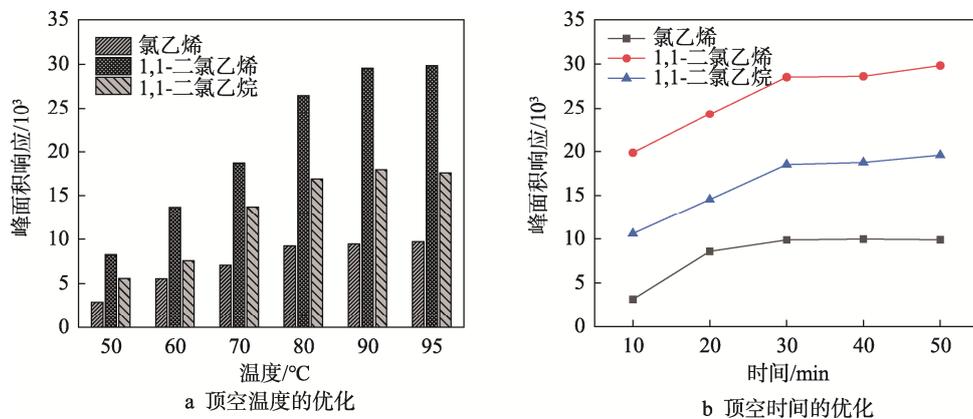


图 1 不同模拟液中顶空条件的优化

Fig.1 Optimization of headspace conditions for different simulants

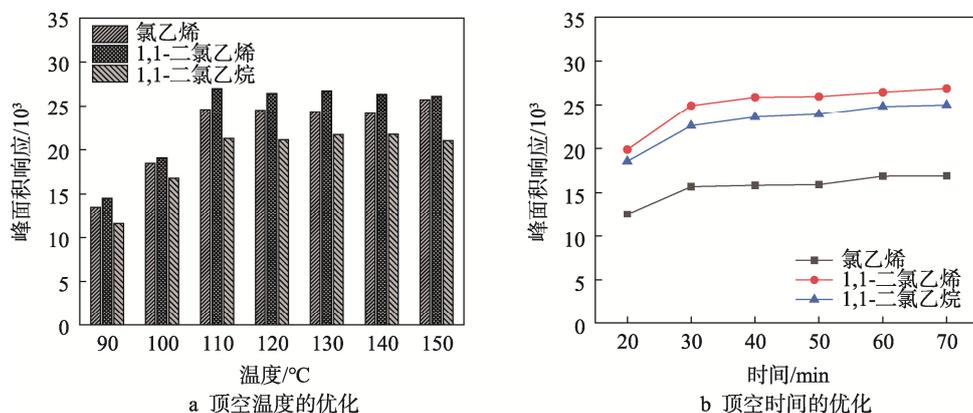
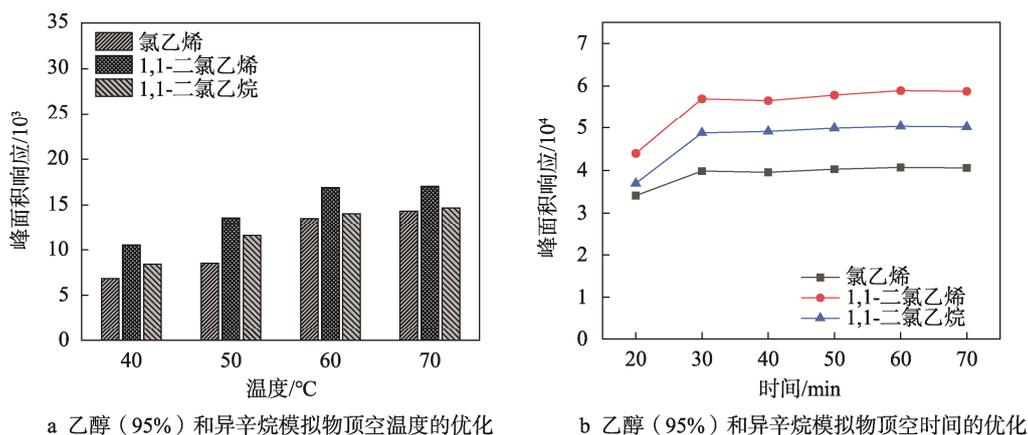


图 2 橄榄油模拟液中顶空条件的优化

Fig.2 Optimization of headspace conditions for olive oil simulant



a 乙醇 (95%) 和异辛烷模拟物顶空温度的优化

b 乙醇 (95%) 和异辛烷模拟物顶空时间的优化

图3 不同模拟液中顶空条件的优化

Fig.3 Optimization of headspace conditions for different simulants

## 2.2 色谱柱的选择

本文考察了氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷在强极性色谱柱 (HP-INNOWax)、中等极性色谱柱 (DB-624)、弱极性色谱柱 (DM-5MS) 和专门分析易挥发气体的 HP-PLOT 色谱柱上的分离效果。结果表明,氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷在 DB-624 毛细管色谱柱上的分离效果较好 (见图4), 可满足实际检测需求。因此, 选择 DB-624 (60 m $\times$  250  $\mu\text{m}\times$ 1.4  $\mu\text{m}$ ) 毛细管气相色谱柱, 以获得更好的分离效果。

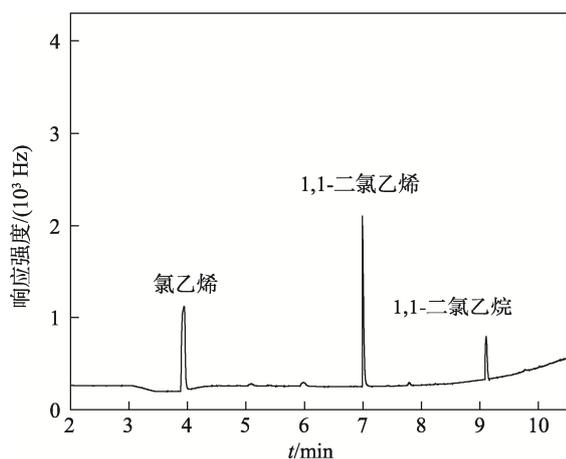


图4 3种物质在GC-ECD上的气相色谱图

Fig.4 Gas chromatogram of three substances on GC-ECD

## 2.3 检测器的选择

根据氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷3种目标物均含有氯元素的特点, 考察了3种目标物在GC-ECD上的响应情况。结果表明, 在适当条

件下, 3种目标物在ECD检测器上均有很好的响应值, 可以达到较低的检出限和定量限, 完全可以满足产品标准的限量要求。ECD检测器的参数均按仪器设备默认值设定即可 (加热器温度为300  $^{\circ}\text{C}$ , 尾吹气流量为30 mL/min)。经上述条件优化后, 氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷检出限的色谱图见图4。

## 2.4 线性范围、检出限及定量下限

将相应的食品模拟液系列标准工作溶液按照优化的仪器条件上机进行测定, 每个浓度进行2次进样, 取其平均值进行计算。以氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的峰面积 ( $y$ ) 和对应的含量 ( $x$ , mg/L) 绘制标准工作曲线。结果表明, 氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷在质量浓度为0.005~0.05 mg/L时线性关系良好, 相关系数 ( $R$ ) 均大于0.995 (见表1)。取未检出氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的样品作为空白样品进行迁移实验, 取浸泡液进行相应浓度的加标实验, 计算目标峰的信噪比 ( $S/N$ ), 并进行实际验证。进一步结合  $S/N \geq 3$  和  $S/N \geq 10$  确定检出限和定量下限。结果显示, 氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的检出限均为0.001 mg/kg, 定量限均为0.005 mg/kg。

## 2.5 加标回收率及相对标准偏差

在待测样品的迁移测试过程中, 采用实际样品在8种食品模拟物 (水、乙酸 (4%)、乙醇 (10%)、乙醇 (20%)、乙醇 (50%)、乙醇 (95%)、异辛烷、橄榄油) 中进行加标实验, 分别在不同的空白样品浸泡过的食品模拟物中添加0.005、0.01和0.02 mg/L 3个不同质量浓度的氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷, 每个水平单独测定6次 (见表1)。由表1可知, 氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的加标回收率

表 1 氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷的线性参数、回收率及相对标准偏差  
Tab.1 Linear parameters, recoveries and RSDs of vinyl chloride, vinylidene chloride and 1,1-Dichloroethane

化合物名称	食品模拟物	线性浓度范围/ (mg·L <sup>-1</sup> )	线性方程	R <sup>2</sup>	添加量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	回收率/%	相对标准 偏差/%
氯乙烯	水	0.005 ~ 0.05	y=10 7826x-33.75	0.998	0.005、0.01、0.02	103、103、102	4.0、1.8、4.9
	乙酸 (4%)	0.005 ~ 0.05	y=1 023 329x+10.37	0.997	0.005、0.01、0.02	105、102、96.4	7.2、3.3、2.5
	乙醇 (10%)	0.005 ~ 0.05	y=256 365x+56.97	0.999	0.005、0.01、0.02	96.4、105、103	4.3、3.9、6.1
	乙醇 (20%)	0.005 ~ 0.05	y=243 684x-96.07	0.997	0.005、0.01、0.02	99.2、107、98.6	7.4、1.9、5.7
	乙醇 (50%)	0.005 ~ 0.05	y=258 119x+32.97	0.997	0.005、0.01、0.02	100、106、101	7.5、1.3、6.1
	乙醇 (95%)	0.005 ~ 0.05	y=10 086.85x+1.98	0.996	0.005、0.01、0.02	98.0、104、104	7.6、2.2、5.6
	异辛烷	0.005 ~ 0.05	y=54 128.3x+69.3	0.996	0.005、0.01、0.02	104、103、100	6.2、1.5、6.2
	橄榄油	0.005 ~ 0.05	y=54 118.0x-33.9	0.997	0.005、0.01、0.02	104、104、98.0	5.0、2.7、6.0
1,1-二氯乙烯	水	0.005 ~ 0.05	y=113 126x+14.87	0.998	0.005、0.01、0.02	95.6、105、96.4	2.3、3.3、4.2
	乙酸 (4%)	0.005 ~ 0.05	y=245 086x-133.2	0.998	0.005、0.01、0.02	101、105、97.3	6.6、3.0、7.7
	乙醇 (10%)	0.005 ~ 0.05	y=256 043x-288.9	0.997	0.005、0.01、0.02	103、106、100	6.4、2.7、7.4
	乙醇 (20%)	0.005 ~ 0.05	y=1 456 869x+17.95	0.996	0.005、0.01、0.02	99.2、105、102	2.3、3.5、6.3
	乙醇 (50%)	0.005 ~ 0.05	y=245 854x+75.94	0.997	0.005、0.01、0.02	103、103、103	6.5、2.3、4.2
	乙醇 (95%)	0.005 ~ 0.05	y=25 143.9x+50.1	0.997	0.005、0.01、0.02	97.2、104、99.9	6.3、3.5、5.7
	异辛烷	0.005 ~ 0.05	y=35 598.5x-17.3	0.998	0.005、0.01、0.02	98.4、106、98.3	0.9、2.2、6.5
	橄榄油	0.005 ~ 0.05	y=65 195.3x-7.96	0.998	0.005、0.01、0.02	106、105、96.0	6.6、3.1、4.0
1,1-二氯乙烷	水	0.005 ~ 0.05	y=122 879.53x-11.56	0.997	0.005、0.01、0.02	101、106、103	3.3、3.7、2.4
	乙酸 (4%)	0.005 ~ 0.05	y=246 673x+12.89	0.996	0.005、0.01、0.02	99.2、101、99.4	2.7、1.1、5.3
	乙醇 (10%)	0.005 ~ 0.05	y=564 772x-115.78	0.998	0.005、0.01、0.02	100、106、104	7.5、2.9、7.8
	乙醇 (20%)	0.005 ~ 0.05	y=135 885x-432.6	0.996	0.005、0.01、0.02	99.6、104、102	4.4、2.5、6.6
	乙醇 (50%)	0.005 ~ 0.05	y=125 112x+19.3	0.998	0.005、0.01、0.02	102、106、104	8.1、1.6、3.6
	乙醇 (95%)	0.005 ~ 0.05	y=25 399.3x+42.3	0.999	0.005、0.01、0.02	107、104、100	2.8、2.2、6.2
	异辛烷	0.005 ~ 0.05	y=15 415.9x+76.0	0.997	0.005、0.01、0.02	102、106、101	8.6、2.9、5.9
	橄榄油	0.005 ~ 0.05	y=12 498.2x+6.13	0.996	0.005、0.01、0.02	102、106、99.5	6.3、3.3、5.5

为 94.8%~108%, 相对标准偏差 (RSD,  $n=6$ ) 为 0.0% ~ 9.0%, 均低于 10%, 表明本方法的准确度与精密度满足分析要求。

## 2.6 实际样品测定

利用文中方法对 5 款收集到的再生 PVC 样品进行氯乙烯、1,1-二氯乙烯和 1,1-二氯乙烷迁移量的检测。取空白样品基质分别以 3 个浓度水平加标, 按气相色谱法进行前处理, 用外标法进行定量, 每个水平单独测定 5 次, 测试结果仅有一款样品在体积分数为 95% 的乙醇、温度为 40 °C、时间为 0.5 h 的迁移条件下检出 1,1-二氯乙烯, 含量为 0.008 9 mg/kg, 所有样品均未检出氯乙烯和 1,1-二氯乙烷 (见图 5)。

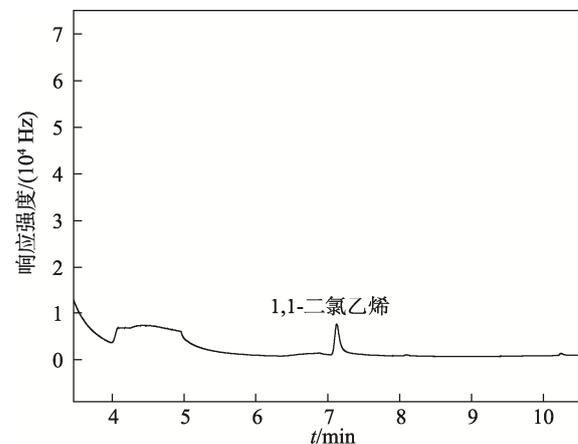


图 5 样品中 1,1-二氯乙烯的气相色谱图  
Fig.5 Gas chromatogram of vinylidene chloride in the sample

### 3 结语

本实验采用气相色谱法建立了食品接触用再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷的迁移量检测方法。研究表明该方法具有灵敏度高、精密度和准确度好等优点,能够满足食品接触用再生聚氯乙烯类材料中氯乙烯、1,1-二氯乙烯和1,1-二氯乙烷迁移量的日常检测需求。

#### 参考文献:

- [1] 章蔼静, 王丹丹, 程磊, 等. 硬片中氯乙烯单体和偏二氯乙烯单体测定法国内外比较及优化[J]. 中国药品标准, 2022, 23(4): 364-369.  
ZHANG Ai-jing, WANG Dan-dan, CHENG Lei, et al. Comparison and Optimization of Determination Methods of Vinyl Chloride Monomer and Ethylene Dichloride Monomer in Hard Tablet[J]. Drug Standards of China, 2022, 23(4): 364-369.
- [2] 吴海龙, 农桂叶, 曹宇, 等. 聚氯乙烯用环保型增塑剂的研究进展[J]. 包装工程, 2022, 43(7): 118-124.  
WU Hai-long, NONG Gui-ye, CAO Yu, et al. Research Progress of Environmentally-Friendly Plasticizers in PVC[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(7): 118-124.
- [3] MOULAY S. Chemical Modification of Poly(Vinyl Chloride)-Still on the Run[J]. Progress in Polymer Science, 2010, 35(3): 303-331.
- [4] 高中峰. PVC改性和加工应用工艺研究进展[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6): 150-153.  
GAO Zhong-feng. Research Progress on Modification and Processing Application of PVC Resin[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6): 150-153.
- [5] MA Yu-feng, LIAO Sheng-liang, LI Qiao-guang, et al. Physical and Chemical Modifications of Poly(Vinyl Chloride) Materials to Prevent Plasticizer Migration - still on the Run[J]. Reactive and Functional Polymers, 2019, 147(45): 104458.
- [6] 毋亭亭, 邓健能, 李道斌, 等. 环氧油酸新戊二醇酯的制备及应用性能研究[J]. 中国塑料, 2021, 35(10): 114-119.  
WU Ting-ting, DENG Jian-neng, LI Dao-bin, et al. Preparation and Application Performance of Epoxidized Neopentylglycol Diolate[J]. China Plastics, 2021, 35(10): 114-119.
- [7] 王悦, 金祥飞, 周新宇, 等. PVC输液器中环己酮和增塑剂ATBC的迁移性质研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(7): 84-87.  
WANG Yue, JIN Xiang-fei, ZHOU Xin-yu, et al. Study on the Migration of Cyclohexanone and Plasticizer ATBC in PVC Infusion Set[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(7): 84-87.
- [8] 于恩强, 李明. 环烷基减四线馏分油加氢精制-糠醛萃取制备环保橡胶增塑剂的研究[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(3): 46-49.  
YU En-qiang, LI Ming. Preparation of Ecofriendly Rubber Plasticizer by Hydrofining-Furfural Extraction from Naphthenic-Base Hvgo[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2021, 52(3): 46-49.
- [9] 国家环境保护局有毒化学品管理办公室化工部北京化工研究院环境保护研究所. 化学品毒性、法规、环境数据手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.  
Toxic Chemicals Management Office of the National Environmental Protection Administration. Environmental Data Manual for Chemical Toxicity Regulations[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992.
- [10] 吴维皓, 李霜. 氯乙烯仍受关注的原因[J]. 国外医学(卫生学分册), 2001, 28(3): 159-162.  
WU Wei-ai, LI Shuang. Reasons Why Vinyl Chloride is still Concerned[J]. Foreign Medical Sciences (Section Hygiene), 2001, 28(3): 159-162.
- [11] GUIDO M, SARCOGNATO S, PELLETTI G, et al. Sequential Development of Hepatocellular Carcinoma and Liver Angiosarcoma in a Vinyl Chloride-Exposed Worker[J]. Human Pathology, 2016, 57: 193-196.
- [12] 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, National Food Safety Standard-Plastic Resin Used in Food-Contact[S].
- [13] GB 4806.10—2016, 食品安全国家标准 食品接触用涂料及涂层[S].  
GB 4806.10—2016, National Food Safety Standard-Food Contact Paints and Coatings[S].
- [14] GB 9685—2016, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准[S].  
GB 9685—2016, National Food Safety Standard--Standard for Uses of Additives in Food Contact Materials and Their Products[S].
- [15] GB 31604.31—2016, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品 氯乙烯的测定和迁移量的测定[S].  
GB 31604.31—2016, Determination of Residual Ethylidene Dichloride in Polyvinyl Chloride Resin and Product for Food Container and Packaging Material[S].
- [16] 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[S].  
GB 31604.1—2015, National Food Safety Standard--General Principle for the Migration Test of Food Contact Materials and Their Products[S].
- [17] 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, General Principle for the Determination of Migration of Packaging Materials and Their Products[S].