

## 果蔬用泡沫箱中挥发性有机物的迁移特性

李中意<sup>1,2,3</sup>, 靳登鹏<sup>1,2,3</sup>, 刘焕<sup>1,2,3</sup>, 黄卓权<sup>1,2,3</sup>, 卜玲玲<sup>1,2,3</sup>,  
柯倩华<sup>1,2,3</sup>, 柳春红<sup>1,2,3</sup>

(1.华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2.广东省食品质量安全重点实验室, 广州 510642;  
3.农业农村部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(广州), 广州 510642)

**摘要:** **目的** 研究果蔬用聚苯乙烯泡沫箱中挥发性有机物的迁移情况, 对食物接触泡沫箱后的安全性进行评估。**方法** 采集不同来源的泡沫箱, 先用乙酸(体积分数为4%)和乙醇(体积分数为10%)对其进行模拟液迁移实验, 然后选取迁移量较高的挥发性有机物进行实物迁移实验, 检测挥发性有机物的迁移量。**结果** 模拟液的迁移实验中检出间二甲苯、对二甲苯、邻二甲苯、苯乙烯、乙苯和1,3-丁二烯均有不同程度的迁移, 并且体积分数为10%的乙醇作为迁移液时迁移值较高, 苯乙烯在体积分数为10%的乙醇中迁移量最高; 实物迁移实验中邻二甲苯在橙子中未检出, 苯乙烯在橙子中的迁移量随着温度的升高, 贮藏时间越长, 迁移量越高。菜心检出了邻二甲苯, 并且迁移量同样随着温度和时间增加而呈现上升趋势, 樱桃番茄中未检出挥发性有机物的迁移。**结论** 泡沫箱中苯乙烯、邻二甲苯在模拟液中的迁移量较高, 并且在较高温度、较长时间接触橙子和菜心后可能会大量迁移, 对人体健康产生风险。

**关键词:** 泡沫箱; 挥发性有机物; 苯乙烯; 迁移

中图分类号: TB487; TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)11-0067-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.11.010

## Migration Characteristics of Volatile Organic Compounds in Foam Box for Fruits and Vegetables

LI Zhong-yi<sup>1,2,3</sup>, JIN Deng-peng<sup>1,2,3</sup>, LIU Huan<sup>1,2,3</sup>, HUANG Zhuo-quan<sup>1,2,3</sup>,  
BU Ling-ling<sup>1,2,3</sup>, KE Qian-hua<sup>1,2,3</sup>, LIU Chun-hong<sup>1,2,3</sup>

(1.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, Guangzhou 510642, China; 3.Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-Products on Storage and Preservation (Guangzhou), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510642, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the migration of volatile organic compounds in polystyrene foam boxes for fruits and vegetables and evaluate the safety of food after contact with foam boxes. The foam boxes from different sources were collected, and 4% (volume fraction) acetic acid and 10% (volume fraction) ethanol were used to simulate liquid migration experiments. Then the volatile organic compounds with higher migration were selected for physical migration experiments to detect the migration of volatile organic compounds. Meta-xylene, p-xylene, o-xylene, styrene, ethylbenzene,

收稿日期: 2020-11-27

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估项目(GJFP2019038); 广东省重点领域研发计划(2019B020210002)

作者简介: 李中意(1997—), 男, 华南农业大学硕士生, 主攻食品工程。

通信作者: 柳春红(1968—), 女, 博士, 华南农业大学教授, 主要研究方向为食品安全与营养。

1,3-butadiene had different degrees of migration detected in the migration experiment of the simulated liquid, and 10% (volume fraction) ethanol has a higher migration value as a migration solution, styrene has the highest migration in 10% (volume fraction) ethanol; o-xylene was not detected in oranges in physical migration experiments, and the migration of styrene in oranges increases with the temperature, the longer the storage time, and the greater the migration high. O-xylene was detected in Chinese cabbage, and the migration amount also showed an upward trend with the increase of temperature and time. The migration of volatile organic compounds was not detected in cherry tomatoes. The migration of styrene and o-xylene in the foam box in the simulated liquid is relatively high, and they may migrate in large quantities after being exposed to oranges and Chinese cabbage for a long time at higher temperature, posing risks to human health.

**KEY WORDS:** foam box; volatile organic compounds; styrene; migration

泡沫箱被广泛用于果蔬的运输和保存,主要是以发泡聚苯乙烯为原料制成的箱式包装容器。发泡聚苯乙烯主要由苯乙烯单体、发泡剂(如戊烷和丁烷)、助剂等制成发泡聚苯乙烯粒子,经加热发泡而成<sup>[1]</sup>。市场调研发现,泡沫箱的生产制作工艺比较简单,所需设备、原料、助剂、发泡剂等的成本不高;市场购买的泡沫箱缺少生产厂家、生产日期、生产原料和主要添加剂成分等;相应的生产要求也无国家标准,部分生产商为了追求低成本,采用废旧的回收泡沫塑料进行加工;在集中存放泡沫箱的仓库中能闻到明显的刺激性气味,网购水果时打开商家使用的泡沫箱大多数也能闻到明显的气味。

挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)通常指在标准大气压下沸腾温度低于50~260℃,且熔点低于室温的所有有机化合物,包括烷烃、烯烃、炔烃、芳烃、醇、醛、醚、酮、酯、卤代烃等<sup>[2]</sup>。泡沫箱中的聚苯乙烯本身是无毒的,但泡沫箱在生产加工过程中残留的苯乙烯单体和所添加的引发剂、发泡剂等化学助剂中的VOCs会残留到泡沫箱成品中,在长期储存食品或受热条件下很容易迁移到食品中<sup>[3]</sup>。大量吸入VOCs对人体具有潜在毒性,危害人体健康,可能导致各种疾病的发生,如苯会对人体造血功能有抑制作用,使红细胞、白细胞和血小板减少<sup>[4]</sup>,丁二烯会使人出现头晕、乏力和恶心等症状<sup>[5]</sup>。

目前对食品接触材料中挥发性有机物的研究较多,孙春燕<sup>[6]</sup>对食品接触聚苯乙烯塑料制品中的苯乙烯和甲苯的迁移进行了研究;李绚<sup>[7]</sup>利用顶空-气相色谱/质谱法分析了食品包装纸中17种挥发性有机物的残留量;侯锐等<sup>[8]</sup>研究了硅胶制品中挥发性有机物在不同食品模拟液中的迁移情况。在现阶段,果蔬用泡沫箱的研究大多集中在泡沫箱的保温和保鲜性能上<sup>[9]</sup>,鲜有关于泡沫箱中挥发性有机物安全性的研究。果蔬与泡沫箱直接接触,其中的有害成分可能迁移至果蔬中,在食用后会被人体吸收,对人体带来一定的风险,因此急需对泡沫箱进行科学有效的质量安全评估。

## 1 实验

### 1.1 材料

主要材料:泡沫箱(36.5 cm×26.6 cm×16 cm),电商;PE保鲜盒(21 cm×15 cm×22 cm),商场;橙子,菜心,樱桃番茄,佛山市顺德区南江市场;邻二甲苯(纯度≥98%),阿拉丁试剂(上海)有限公司;苯乙烯(纯度≥99%),阿拉丁试剂(上海)有限公司;硫酸(分析纯),广州化学试剂厂;高锰酸钾标准滴定溶液( $c(1/5_{\text{KMnO}_4})=0.1001 \text{ mol/L}$ ),上海安谱实验科技股份有限公司;草酸钠工作基准试剂(质量分数为99.95%~100.05%),天津市科密欧化学试剂有限公司;三氯甲烷(分析纯),广州化学试剂厂;乙酸(色谱纯),阿拉丁试剂(上海)有限公司;无水乙醇(分析纯),广州化学试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:气相色谱质谱联用仪(GCMS-QP2010),日本岛津公司;去离子水发生器(Milli-Q),美国Millipore公司;电子天平(ML204),瑞士METTLER TOLEDO公司;涡旋混合器(IKA MS3),德国IKA公司;超声波清洗器,广州市吉普超声波电子设备有限公司;电热恒温水浴锅(HWS-28),上海一恒科学设备有限公司;电热鼓风干燥箱(DHG-9245A),上海一恒科学设备有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 总迁移量和高锰酸钾消耗量的测定

参照GB 31604.8—2016《食品接触材料及制品总迁移量的测定》,对泡沫箱进行了总迁移量的测试。量取各食品模拟物试液70 mL,分次置于(预先在(100±5)℃干燥箱中干燥2 h)50 mL玻璃圆底蒸发皿,在模拟液沸点温度的水浴上蒸干,擦去皿底水滴,置于(100±5)℃干燥箱中干燥2 h后取出,在干燥器中冷却0.5 h后称量,同时进行空白试验。参照GB 31604.2—2016《食品接触材料及制品高锰酸钾消耗

量的测定》，对泡沫箱进行了高锰酸钾消耗量的测试。

### 1.3.2 模拟液迁移试验

分别选取从工厂、仓库、电商渠道采购的泡沫箱各 10 个，根据 GB 5009.156—2016《食品接触材料及制品迁移实验预处理方法通则》和 GB 31604.1—2015《食品接触材料及制品迁移试验通则》，确定迁移试验条件及食品模拟物，将体积分数为 4% 的乙酸和体积分数为 10% 的乙醇作为食品模拟液，在 40 °C 下浸泡泡沫箱样品，10 d 后取出，根据 SN/T 4148—2015《包装材料中挥发性有机物(VOCs)的测定》中的方法检测泡沫箱中 9 种挥发性污染物，见表 1，检出限为 50 μg/L。

表 1 9 种挥发性有机物  
Tab.1 9 kinds of volatile organic compounds

序号	检测项目	CAS
1	甲苯	108-88-3
2	丙苯	103-65-1
3	间二甲苯	108-38-3
4	邻二甲苯	95-47-6
5	异丙苯	98-82-8
6	苯乙烯	100-42-5
7	乙苯	100-41-4
8	1,3-丁二烯	106-99-0
9	对二甲苯	106-42-3

### 1.3.3 实物迁移试验

#### 1.3.3.1 挥发有机物对橙子的迁移试验

根据曾姝莉等<sup>[10]</sup>的研究，泡沫箱中邻二甲苯和苯乙烯等 2 种挥发性有机物含量较高，为了模拟泡沫箱中这 2 种挥发性有机物在高浓度下对橙子的迁移能力，使用 PE 保鲜盒，取邻二甲苯和苯乙烯标品于 PE 保鲜盒中使其自由挥发，同时将新鲜橙子一同放置于

PE 保鲜盒中，试验设计方案见表 2，橙子中邻二甲苯和苯乙烯含量检测参考 GB/T 16631—2008《高效液相色谱法通则》，邻二甲苯的检出限为 2 mg/kg，苯乙烯的检出限为 0.6 mg/kg。

#### 1.3.3.2 挥发性有机物对菜心和樱桃番茄的迁移试验

使用从电商渠道采购的泡沫箱进行实物迁移试验，选取使用泡沫箱运输和储存的菜心及樱桃番茄作为样品，在温度为 20 °C 时，开展 5 种挥发性有机物实物迁移试验，见表 3。参考《高效液相色谱法通则》检测挥发性有机物的迁移量，并通过 SPSS 19.0 分析软件对实验结果进行了处理。邻二甲苯的检出限为 2 mg/kg，苯乙烯的检出限为 0.6 mg/kg，乙苯、间二甲苯和对二甲苯检出限均为 4 mg/kg。

## 2 结果与讨论

### 2.1 总迁移量和高锰酸钾消耗量的测定结果

总迁移量的指标是食品接触材料应当满足的基本指标之一，其测定的是食品模拟物与食品接触材料相浸泡后，所得到的全部非挥发性物质的总量<sup>[11]</sup>，国家标准中规定总迁移量不得超过 10 mg/dm<sup>2</sup>。文中用乙酸（体积分数为 4%）和乙醇（体积分数为 10%）分别模拟酸性食品和非酸性食品，在温度为 40 °C 的条件下，浸泡 10 d 来自工厂、仓库和电商等 3 种泡沫箱，然后检测总迁移量。除乙酸（体积分数为 4%）浸泡的仓库泡沫箱检测结果未超过国家标准，其余检测结果全部高于标准限量，见图 1。4%（体积分数）乙酸浸泡的工厂泡沫箱检测结果最高，达到了 19.63 mg/dm<sup>2</sup>，已经接近国家标准的 2 倍。由此说明，泡沫箱中的总迁移量存在超标的情况，对食品安全和人体健康存在一定的风险。

高锰酸钾消耗量是指食品接触材料的浸泡液在酸性条件下，能够与高锰酸钾反应的量。这些能够与高锰酸钾反应的物质主要是迁移液中的有机物。根据

表 2 邻二甲苯和苯乙烯迁移模拟试验设计方案  
Tab.2 Design scheme of migration simulation experiment of o-xylene and styrene

序号	检测项目	温度/°C	迁移时间/d	序号	检测项目	温度/°C	迁移时间/d
1	邻二甲苯	4	0	9	苯乙烯	4	0
2	邻二甲苯	4	3	10	苯乙烯	4	3
3	邻二甲苯	4	7	11	苯乙烯	4	7
4	邻二甲苯	4	15	12	苯乙烯	4	15
5	邻二甲苯	20	0	13	苯乙烯	20	0
6	邻二甲苯	20	3	14	苯乙烯	20	3
7	邻二甲苯	20	7	15	苯乙烯	20	7
8	邻二甲苯	20	15	16	苯乙烯	20	15

表3 菜心、樱桃番茄实物迁移试验设计方案  
Tab.3 Experimental design of physical migration of Chinese cabbage and cherry tomato

序号	检测项目	迁移时间/d	序号	检测项目	迁移时间/d
1	邻二甲苯	0	11	邻二甲苯	7
2	苯乙烯	0	12	苯乙烯	7
3	乙苯	0	13	乙苯	7
4	间二甲苯	0	14	间二甲苯	7
5	对二甲苯	0	15	对二甲苯	7
6	邻二甲苯	3	16	邻二甲苯	15
7	苯乙烯	3	17	苯乙烯	15
8	乙苯	3	18	乙苯	15
9	间二甲苯	3	19	间二甲苯	15
10	对二甲苯	3	20	对二甲苯	15

GB 31604.2—2016《食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定》，食品接触塑料制品中的高锰酸钾消耗量不得高于 10 mg/kg。检测结果见表 4，从结果可以看出，所有的泡沫箱中都检测出一定量的有机物，但检测结果均符合国家标准。

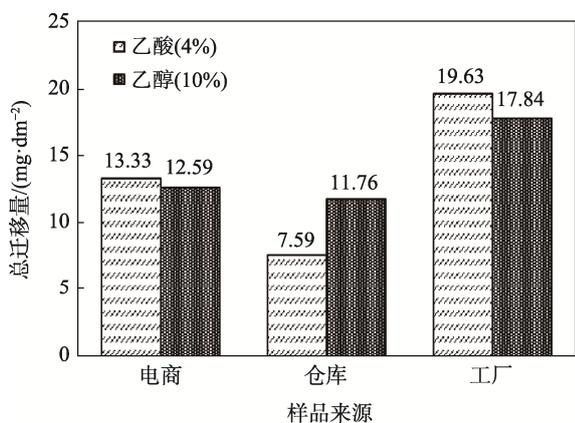


图1 泡沫箱总迁移量的测试结果

Fig.1 Test results of the total migration volume of the foam box

表4 泡沫箱高锰酸钾消耗量的测试结果  
Tab.4 Test results of potassium permanganate consumption in the foam box

样品信息	参考值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	测试结果/(mg·L <sup>-1</sup> )
电商样品	≤10	3.2
仓库样品	≤10	2.8
工厂样品	≤10	4.5

## 2.2 模拟液迁移试验

泡沫箱模拟液迁移结果见表 5，分别对电商、仓库、工厂等 3 种不同来源的泡沫箱进行乙酸（体积分

数为 4%）和乙醇（体积分数为 10%）等 2 种模拟物的迁移试验，还测试了 9 种挥发性有机物。结果显示，所有样品的模拟物中均有挥发性有机物检出，其中来自仓库和工厂的泡沫箱只检出了苯乙烯，而来自电商的泡沫箱则检出了 5 种挥发性有机物，分别是间二甲苯、邻二甲苯、对二甲苯、苯乙烯和乙苯。另外，结果还发现乙醇（体积分数为 10%）的迁移效果要优于乙酸（体积分数为 4%），可能是因为挥发性有机物一般是脂溶性物质，而乙醇对脂溶性物质的溶解能力要强于乙酸。目前，我国在挥发性有机物迁移限量方面还没有出台相关的法律法规，但根据 EC 2002/72 及其修订版，单一物质的迁移不能超过总迁移限量 60 mg/kg<sup>[12]</sup>。检测结果表明，所有样品中的苯乙烯迁移量都超过了欧盟的限定标准，其中电商样品中的 5 种挥发性有机物迁移量均超过了欧盟标准，并且在体积分数为 10% 的乙醇迁移液中，电商泡沫箱中苯乙烯的迁移量达到了 1311.1 mg/kg，说明不同厂家生产的泡沫箱质量参差不齐。泡沫箱中的挥发性有机物对人体存在一定的健康风险，所以应当制定泡沫箱的生产规范以保证泡沫箱的质量安全。

## 2.3 实物迁移试验

### 2.3.1 挥发性有机物在橙子中的迁移状况

样品橙子中邻二甲苯和苯乙烯的检测结果显示，邻二甲苯未检出，苯乙烯在橙子中的迁移结果见图 2。从图 2 中可以看出，苯乙烯随着时间的增加在橙子中的迁移量呈现上升的趋势，Maqbool 等<sup>[13]</sup>检测了聚苯乙烯为包装材料时饮用水中的苯乙烯迁移量，发现同一品牌瓶装水储存 60 d 后苯乙烯的迁移量为 16.00 μg/L，而 120 d 后苯乙烯迁移量达到了 20.35 μg/L，文中研究结果与之较为一致；温度为 20 °C 时苯乙烯的迁移量要高于 4 °C，说明温度越高，迁移量也随之

表 5 不同来源泡沫箱模拟物迁移结果  
Tab.5 Migration results of foam box simulants from different sources

mg/L

检测项目	电商		仓库		工厂	
	乙酸(4%)	乙醇(10%)	乙酸(4%)	乙醇(10%)	乙酸(4%)	乙醇(10%)
甲苯	—	—	—	—	—	—
丙苯	—	—	—	—	—	—
间二甲苯	171.3	209.2	—	—	—	—
邻二甲苯	95.3	142.7	—	—	—	—
异丙苯	—	—	—	—	—	—
苯乙烯	924.1	1311.1	187.4	300.2	162.6	224.5
乙苯	113.1	106.9	—	—	—	—
1,3-丁二烯	—	—	—	—	—	—
对二甲苯	75.7	122.2	—	—	—	—

注：各种挥发性有机物的检出限均为 50 μg/L

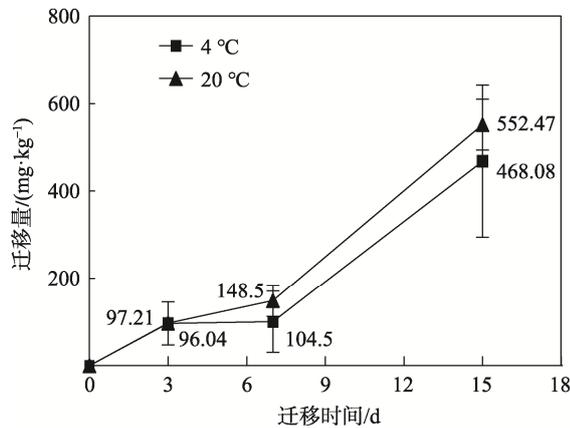


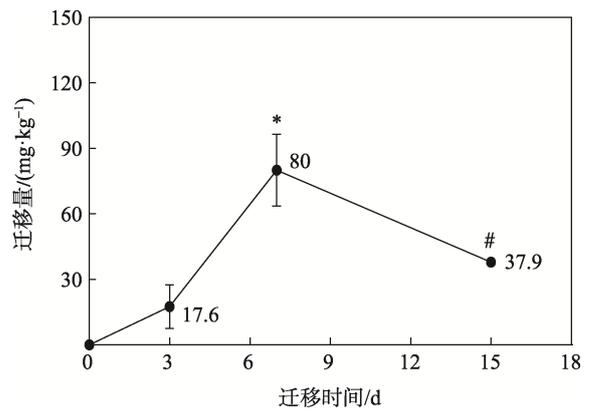
图 2 不同温度下橙子中苯乙烯的迁移量测试结果  
Fig.2 Test results of styrene migration in oranges at different temperatures

增高。陈文林<sup>[14]</sup>研究了聚苯乙烯泡沫塑料中苯乙烯单体在 25, 45, 65 °C 温度下的迁移规律, 发现在同一时间下, 苯乙烯的迁移量也是随着浸泡温度的升高而升高。橙子皮中含有柠檬烯等挥发油, 泡沫箱由发泡聚苯乙烯制成, 其生产加工过程中残留的苯乙烯单体可能通过挥发迁移到实物挥发油中<sup>[15]</sup>, 从而对人体健康产生潜在风险。

### 2.3.2 挥发性有机物在菜心和樱桃番茄中的迁移状况

根据模拟液迁移实验的结果, 3 种不同来源的泡沫箱中电商常用的泡沫箱中检出挥发性有机物种类最多, 分别为苯乙烯、间二甲苯、邻二甲苯、对二甲苯和乙苯。其中樱桃番茄中 5 种挥发性有机物均未被检出, 有可能是由于樱桃番茄皮的结构对挥发性有机物的迁移有阻隔作用<sup>[16]</sup>, 而菜心中只检出了邻二甲苯, 结果见图 3。从图 3 中可以看出, 邻二甲苯的迁移量随着时间的增加呈现先上升后下降的趋势, 并且在第 7 天时达到最大值 80 mg/kg ( $P < 0.05$ ), 超过了欧

盟限定标准 60 mg/kg; 在第 15 天时, 邻二甲苯的迁移量下降到了 37.9 mg/kg ( $P < 0.01$ ), 说明随着时间的增加, 邻二甲苯有可能向外散发, 导致迁移量降低。



注：\*表示贮藏 7 d 与贮藏前相比  $P < 0.05$ ;  
#表示贮藏 15 d 与贮藏前相比  $P < 0.01$

图 3 菜心样品中邻二甲苯的迁移量  
Fig.3 Migration amount of o-xylene in chinese cabbage

## 3 结语

对聚苯乙烯泡沫箱中 9 种挥发性有机物在乙酸 (体积分数为 4%) 和乙醇 (体积分数为 10%) 中进行了模拟液迁移实验, 实验表明, 间二甲苯、邻二甲苯、对二甲苯、苯乙烯和乙苯在模拟液中有较高含量的迁移。模拟了邻二甲苯和苯乙烯在高浓度时对橙子的迁移, 结果显示, 苯乙烯在橙子中的迁移量随着时间和温度的增加而增加, 而邻二甲苯未被检出。还选取了菜心和樱桃番茄等 2 种果蔬进行了实物迁移实验, 结果发现, 邻二甲苯在菜心中迁移量较高, 已超过欧盟标准, 且随着温度高及时间长等因素, 迁移量呈现上升的趋势。

在总迁移量的测试中,全部泡沫箱样品的检测结果都有超过国家标准的情况;在高锰酸钾消耗量的检测中,所有泡沫箱样品的检测结果都符合国家标准。综上所述,不同厂家生产的泡沫箱质量良莠不齐,需要相关法规对泡沫箱中的挥发性有机物进行监管,并制定相关标准。

#### 参考文献:

- [1] ZHANG X, XUE Z, LI H, et al. Ambient Volatile Organic Compounds Pollution in China[J]. Environ Sci(China), 2017, 55(1): 69—75.
- [2] STANLEY L H, WOLFGANG B. Analysis of Volatiles Associated with Industrial Scale Processing of Expanded Polystyrene[J]. Part I: Methods Development, 1993, 16(10): 609—614.
- [3] 宋雪超, 林勤保, 方红. 聚苯乙烯包装材料中苯乙烯检测及迁移的研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 1—6.  
SONG Xue-chao, LIN Qin-bao, FANG Hong. Research Progress on Detection and Migration of Styrene in Polystyrene Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 1—6.
- [4] 谢永萍, 赖红娟, 邝雅怡, 等. 食品接触材料中残留苯乙烯单体的测定及风险分析[J]. 当代化工, 2016, 45(6): 1264—1266.  
XIE Yong-ping, LAI Hong-juan, KUANG Ya-yi, et al. Determination and Risk Analysis of Residual Styrene Monomer in Food Contact Materials[J]. Modern Chemical Industry, 2016, 45(6): 1264—1266.
- [5] 曹艳芸. 食品用纸包装中挥发性有机物的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009: 1—3.  
CAO Yan-yun. Research on Volatile Organic Compounds in Food Paper Packaging[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009: 1—3.
- [6] 孙春燕. 食品接触塑料制品中挥发性有机物高通量检测及迁移研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017: 1—5.  
SUN Chun-yan. High-Throughput Detection and Migration of Volatile Organic Compounds in Food Contact Plastic Products[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2017: 1—5.
- [7] 李绚. 顶空-气相色谱/质谱法测定食品包装纸中挥发性有机物的残留[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 259—263.  
LI Xuan. Determination of Volatile Organic Compounds in Food Packaging Paper by Headspace-Gas chromatography/mass Spectrometry[J]. Food Industry, 2015, 36(2): 259—263.
- [8] 侯锐, 黄越, 伍换, 等. 与食品接触硅胶制品工艺对其安全卫生质量的影响[J]. 塑料制造, 2016(S1): 88—93.  
HOU Rui, HUANG Yue, WU Huan, et al. The Impact of the Process of Food Contact Silicone Products on Its Safety and Health Quality[J]. Plastic Manufacturing, 2016(S1): 88—93.
- [9] 曾姝莉, 李和平, 蒋立茂, 等. 农产品接触性包装材料发泡聚苯乙烯泡沫箱保温效果的验证试验[J]. 四川农业与农机, 2019(5): 30—32.  
ZENG Shu-li, LI He-ping, JIANG Li-mao, et al. Verification Test on Thermal Insulation Effect of Foamed Polystyrene Foam Box of Contact Packaging Material for Agricultural Products[J]. Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2019(5): 30—32.
- [10] 曾姝莉, 蒋立茂, 徐涵秋, 等. 热脱附-气相色谱-质谱法测定泡沫箱内释放的 10 种挥发性有机化合物[J]. 四川农业与农机, 2019(6): 33—34.  
ZENG Shu-li, JIANG Li-mao, XU Han-qiu, et al. Thermal Desorption-Gas Chromatography-Mass Spectrometry Determination of 10 Volatile Organic Compounds Released in Foam Box[J]. Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2019(6): 33—34.
- [11] 胡伟, 杨艳梅, 杨婷. 浅析 GB 4806.7—2016《食品安全国家标准食品接触用塑料材料及制品》中总迁移量的测定[J]. 标准科学, 2018(3): 120—126.  
HU Wei, YANG Yan-mei, YANG Ting. Analysis of the Total Migration of GB 4806.7—2016, Food Safety National Standard Food Contact Plastic Materials and Products[J]. Standard Science, 2018(3): 120—126.
- [12] 朱蕾, 樊永祥, 张俭波. 欧盟塑料食品接触材料新规解析[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(1): 80—85.  
ZHU Lei, FAN Yong-xiang, ZHANG Jian-bo. Analysis of EU New Regulations on Plastic Food Contact Materials[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2013, 25(1): 80—85.
- [13] MAQBOOL A, AHMAD S B. Leaching of Styrene and Other Aromatic Compounds in Drinking Water from PS Bottles[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007(4): 421—426.
- [14] 陈文林. 食品级发泡聚苯乙烯中苯乙烯迁移研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015: 17—20.  
CHEN Wen-lin. Study on the Migration of Styrene in Food-Grade Expanded Polystyrene[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015: 17—20.
- [15] 谢永萍, 徐蕾, 廖惠媚, 等. 食品接触材料成型品中的苯乙烯单体迁移风险分析[J]. 塑料科技, 2018, 46(11): 98—101.  
XIE Yong-ping, XU Lei, LIAO Hui-mei, et al. Risk Analysis of Styrene Monomer Migration in Food Contact Materials[J]. Plastic Science and Technology, 2018, 46(11): 98—101.
- [16] 王庆玲, 朱莉, 孟春棉, 等. 番茄皮渣膳食纤维的理化性质及其结构表征[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 60—64.  
WANG Qing-ling, ZHU Li, MENG Chun-mian, et al. Physicochemical Properties and Structural Characterization of Dietary Fiber from Tomato Peel Residue[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 60—64.