

食品流通与包装

水性胶黏剂中丙烯酸正丁酯在不同条件下的迁移

张勤军¹, 马俊杰¹, 郭盼¹, 胡长鹰^{1,2}

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

2.暨南大学 理工学院, 广州 510632)

摘要: **目的** 聚丙烯酸酯类胶黏剂用于食品复合包装时, 残留的丙烯酸酯单体的安全性受到关注, 以丙烯酸正丁酯(nBA)为研究对象, 探索顶空固相微萃取(HS-SPME)在不同食品模拟物中对nBA的富集效果, 在优化检测的基础上, 研究不同工况对铝塑复合膜中nBA向不同食品模拟物迁移的影响。**方法** 比较分析不同萃取头、萃取时间、萃取温度及加盐量对nBA萃取效果的影响。将铝箔和聚丙烯膜(CPP)利用水性丙烯酸酯胶黏剂制备成铝塑复合膜, 研究铝塑复合膜在短期热接触(70℃, 2h)、长期储存(60℃, 10d)、紫外处理1h后再迁移、不同温度的巴氏杀菌和蒸煮条件下(60, 80, 100, 121, 130℃), nBA向体积分数为4%的乙酸、体积分数为10%的乙醇及橄榄油模拟物中的迁移规律。**结果** 在所有工况中, nBA在不同模拟物中迁移量均呈现出乙酸(体积分数为4%)>乙醇(体积分数为10%)>橄榄油的规律, 紫外处理对nBA的迁移量无明显影响($P>0.05$)。不同温度的影响规律都不一致, 在80, 100℃的温度下, 迁移量随蒸煮时间的延长而增加, 平衡时的最大迁移量分别为32.7, 54.7 μg/kg, 在121, 130℃条件下, 迁移量随蒸煮时间的延长而减少, 最大迁移量分别为122.3, 115.2 μg/kg。**结论** nBA在体积分数为4%的乙酸模拟物中更容易发生迁移, 在文中研究的工况迁移试验中, 蒸煮对nBA迁移量影响最大, 研究结果为胶黏剂中有害物质在食品复杂供应链下的安全性评估提供了数据支撑。

关键词: 丙烯酸正丁酯; 胶黏剂; 迁移量; 铝塑复合膜; 顶空固相微萃取

中图分类号: TQ331.4⁺7 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)11-0053-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.11.008

Migration of n-Butyl Acrylate in Water-Based Adhesive under Different Conditions

ZHANG Qin-jun¹, MA Jun-jie¹, GUO Pan¹, HU Chang-ying^{1,2}

(1a.College of Packaging Engineering b.Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, Ji'nan University, Zhuhai 519070, China; 2. College of Science & Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

ABSTRACT: When polyacrylic ester resin agent is used in food packing, the safety of the residual acrylic acid ester monomer is concerned, this paper took n-butyl acrylate (nBA) as the research object, explored the headspace solid phase microextraction (HS-SPME) in different food simulation for the nBA enrichment effect, and on the basis of the optimization test, different condition of aluminum-plastic composite film was studied in the nBA to different food to simulate the effects of migration. The effects of different extraction heads, extraction time, extraction temperature and salt concentration on the extraction efficiency of nBA were compared and analyzed. Aluminum-plastic composite film was prepared from

收稿日期: 2020-10-13

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1603205/2018YFC1603200); 广东省重点领域研发计划(2019B020212002)

作者简介: 张勤军(1994—), 男, 暨南大学硕士生, 主攻食品包装安全。

通信作者: 胡长鹰(1968—), 女, 博士, 暨南大学教授, 主要研究方向为食品包装安全、功能性食品。

aluminum foil and polypropylene film (CPP) by water-based acrylate adhesive, and the migration law of nBA to acetic acid with a volume fraction of 4%, ethanol with a volume fraction of 10%, and olive oil simulants was studied in the short term thermal contact (70 °C, 2 h), long-term storage (60 °C, 10 d), UV treatment for 1 h before migration and under the condition of different temperature pasteurization and boiling (60, 80, 100, 121, 130 °C). In all conditions, nBA migration in different simulants showed the law of 4% acetic acid > 10% ethanol > olive oil. UV treatment had no significant influence on nBA migration ($P > 0.05$). At 80 °C and 100 °C, the migration increased with the extension of boiling time, and the maximum migration at equilibrium was 32.7, 54.7 µg/kg respectively. At 121 °C and 130 °C, the migration decreased with the extension of boiling time, and the maximum migration was 122.3, 115.2 µg/kg respectively. nBA was more likely to migrate in 4% acetic acid simulation. In different condition migration test studied in this paper, boiling had the greatest effects on nBA migration. The results of this study provide data support for the safety assessment of harmful substances in adhesive in the complex food supply chain.

KEY WORDS: n-Butyl acrylate; adhesive; migration; aluminum-plastic laminate film; headspace solid phase micro-extraction

水性胶黏剂以水为溶剂或者分散剂,取代了传统的有机溶剂,无挥发性有机物(VOCs)排放,不需熟化、生产工艺简单,是一种环境友好型胶黏剂,是未来胶黏剂行业发展的重要研究对象^[1-2]。其中水性聚丙烯酸酯胶黏剂因其具有良好的耐紫外线和耐酸碱等优点,已广泛应用于纸塑、铝塑等食品复合包装材料中^[3]。丙烯酸酯类单体种类繁多,可单独聚合,也可与丙烯腈、苯乙烯或甲基丙烯酸酯类单体共聚形成乳液,用于食品包装时残留丙烯酸酯单体的危害已受到大众关注^[4]。丙烯酸正丁酯(nBA)作为丙烯酸酯类胶黏剂具有代表性的单体,近年来,研究其毒理性及迁移备受重视。Rocha和Lee等^[5-6]研究发现,nBA可通过羧酸酯酶在生物体内分解为丁醇和丙烯酸,通过谷胱甘肽消耗和抑制CAT活性而影响抗氧化系统的改变,具有生殖毒性。陈燕芬等^[7]研究了胶黏剂中nBA在固体模拟物Tenax的迁移行为,结果表明,Tenax的迁移量并非随着温度和时间呈正相关的关系,目标物的迁移长期处于“吸附-脱附”的动态平衡中。

顶空固相微萃取技术(HS-SPME)已被广泛应用于药品和食品中衡量挥发性物质的分析,集萃取、浓缩和进样为一体,大大加快了检测速度^[8-9]。文中试验尝试采用HS-SPME在食品模拟物中对nBA进行富集,考察HS-SPME技术在迁移试验检测中的适用性。

食品复合包装在现代食品复杂供应链下会经历灌装、杀菌、运输和存储等不同的工况,不同工况下的恶劣条件可能会促进包装材料中有害物质的产生或迁移^[10-11]。文中试验在优化的检测方法基础上,研究nBA用于铝塑复合包装时,在不同工况下向食品模拟物的迁移情况,以期在水性胶黏剂中有害物质在食品复杂供应链下的安全性评估提供数据支撑。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料:聚丙烯薄膜(casting polypropylene, CPP),厚度为50 µm,购于互联网;水性聚丙烯酸酯胶黏剂,含有nBA,由某胶黏剂生产企业提供;铝箔,厚度为7 µm,由某包装公司提供。

标准品与试剂:nBA(纯度>99.0%),德国CNW公司;甲醇(色谱级),美国Fisher chemical公司;N,N-二甲基甲酰胺(N,N-Dimethylformamide,DMF),(色谱纯),美国Sigma公司;无水乙醇(优级纯),天津科密欧化学试剂有限公司;乙酸(分析纯),广州化学试剂厂;橄榄油(分析纯),上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:7890B-5977B,气相色谱-质谱仪联用仪(GC-MS),配备PAL自动进样装置,美国Agilent Technologies公司;101-3AB,电热鼓风干燥箱,天津泰斯特仪器公司;75 L反压高温蒸煮锅,北京发恩科贸有限公司;SPH-110X12,恒温振荡水域培养摇床,上海世平实验设备有限公司;固相微萃取头(CAR/PDMS 85 µm, PDMS 100 µm, PDMS/DVB 65 µm, PA 85 µm),美国Supelco公司;EL104,电子分析天平(0~220 g,精度0.0001 g),梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;SS75,不锈钢试验池,福建出入境检验检疫局;移液枪(20~200 µL,精度0.2 µL),德国Brand Transferpette公司。

1.3 方法

1.3.1 标准工作溶液配制

nBA标准储备液(1000 mg/L):称取10 mg nBA

标准品(精确到 0.1 mg)于 10 mL 容量瓶中,用 DMF 定容至刻度线,在-20 °C 冰箱中避光保存。

nBA 标准中间液(10 mg/L): 移取 100 μ L 标准储备液于 10 mL 容量瓶中,用 DMF 定容至刻度线,在-20 °C 冰箱中避光保存。

制备体积分数为 4% 的乙酸、体积分数为 10% 的乙醇迁移量标准工作液:准确移取 5 mL 的体积分数为 4% 乙酸、体积分数为 10% 乙醇于顶空瓶中,分别移入 10, 15, 25, 40, 50, 75 μ L 的标准中间液,获得浓度为 20, 30, 50, 80, 100, 150 μ g/L 的标准工作液。

制备橄榄油迁移量标准工作液:准确称量 5.0 g 橄榄油于顶空瓶中,分别移入 10, 15, 20, 25, 30 μ L 的标准中间液,获得含量为 20, 30, 40, 50, 60 μ g/kg 的标准工作液。

1.3.2 仪器条件

当体积分数为 4% 的乙酸、体积分数为 10% 的乙醇为模拟物时,顶空温度为 70 °C,平衡时间为 30 min;橄榄油为模拟物时,顶空温度为 120 °C,平衡时间为 20 min,进样体积均为 1 mL。

色谱柱:DB-624, 60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 1.4 μ m 石英毛细管柱(美国 Agilent 公司)。升温程序:70 °C 保持 1 min,后以 10 °C/min 升至 200 °C,保持 1 min,再以 20 °C/min 升至 220 °C,保持 2 min。进样口温度为 230 °C。

离子源温度为 230 °C,四极杆温度为 150 °C,电子能量为 70 eV。载气(He)流速为 1.0 mL/min。采用选择离子模式(SIM),nBA 的定性离子(m/z)为 55(定量离子),56, 85。

1.3.3 顶空固相微萃取(HS-SPME)前处理方式的尝试

在之前的研究中^[12],采用液体进样的方式建立了同时检测 17 种丙烯酸酯单体向异辛烷迁移量的检测方法,其中 nBA 在异辛烷中的检出限为 0.1 mg/L,难以满足迁移试验检测的需求。为进一步丰富食品模拟液物种类、降低方法检出限,文中采用控制变量法,以 nBA 的峰面积为依据,研究不同萃取纤维类型、萃取时间、萃取温度和加盐量在不同模拟物中对 nBA 的萃取效果,考察 HS-SPME 技术在迁移试验检测中的适用性。

1.3.4 复合膜样品制备

在 3 dm² 的铝箔上均匀涂布 0.7 g 胶黏剂,再与大小相同的 CPP 膜复合,在通风橱中自然晾干 2 h。为确保样品的均匀性,将晾干后的复合膜裁成 1 dm² 样品,称量计算上胶量,选取上胶量为(0.22 $\pm$ 0.02)g/dm² 的复合膜进行迁移试验。

1.3.5 迁移试验

根据 GB 31604.1—2015^[13]和 EU 10/2011^[14]中的

规定,并结合食品包装材料的预期使用条件,选取了乙酸(体积分数为 4%)、乙醇(体积分数为 10%)和橄榄油分别作为酸性、水性和油性模拟物,模拟了铝塑复合膜在短期热接触(70 °C, 2 h)、时间大于 180 d 的长期储存(60 °C, 10 d)、紫外杀菌(UV 处理 1 h 再灌注(UV-F)、灌装后再 UV 处理 1 h(UV-T)、不作 UV 处理(UV-BK)、不同温度的蒸煮(80, 100, 121, 130 °C)等工况下目标物质的迁移情况。采用迁移测试池(紫外处理采用玻璃制迁移池)进行迁移,将样品裁成边长为 10 cm 的正方形,安装好迁移池后加入 74 mL 的食品模拟物(迁移池与样品接触面积为 0.44 dm²),使其 S/V 以每 6 dm² 对应 1 kg 或 1 L 食品模拟物的比例进行迁移试验。

1.3.6 数据处理

采用 SPSS 25 和 Origin 9.1 对数据结果进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 SPME 的萃取效果

对比了常用的几种固相微萃取纤维头(CAR/PDMS 85 μ m, PDMS 100 μ m, PDMS/DVB 65 μ m, PA 85 μ m)对 nBA 的萃取效果,见图 1。结果表明,CAR/PDMS 85 μ m 型萃取纤维更适合吸附小分子极性挥发有机物,用于乙酸(体积分数为 4%)、乙醇(体积分数为 10%)及橄榄油的 nBA 标准溶液萃取时,富集效果均优于其他几种萃取纤维。以 5 mL, 1 mg/L 的乙酸(体积分数为 4%)标准溶液为例,nBA 的峰面积随萃取时间的延长和萃取温度的升高,均呈先增大后减小(图 1a—b)的趋势,原因是萃取纤维涂层对目标物的吸附量是一种动态平衡的过程,萃取时间为 30 min、萃取温度为 50 °C 时峰面积达到最大值,随着萃取时间延长/萃取温度升高,分配系数降低,吸附在纤维上的 nBA 会逐渐脱落^[15]。加入一定量的 NaCl 能增强溶液粒子强度,降低目标物溶解度,见图 1c。加盐后,由于盐析效应的存在,nBA 的峰面积明显增大($P < 0.05$,相对于不加盐),当加盐量大于 1.0 g 时,基质粘度增加,不利于挥发物从溶液中逸出,富集效果有所降低。对低浓度的标准溶液萃取时,随着浓度的降低峰面积急剧减小,不成正比关系,质量浓度为 0.05 mg/L 时,nBA 的信噪比低于仪器定量限($S/N < 10$)。这是由于萃取纤维用于食品模拟物中目标物的富集时,目标物(nBA)和食品模拟物中易挥发物质(乙酸)存在竞争关系,低浓度的标准溶液中,乙酸会占据纤维涂层,趋于饱和,导致 nBA 无法被吸附,因此,HS-SPME 技术用于食品模拟物中目标物的富集时,要重点考虑模拟物本身挥发性物质对目标物的影响。文中试验借鉴陈燕芬等^[7]建立的

方法,采用顶空进样方式,nBA在乙酸(体积分数为4%)、乙醇(体积分数为10%)及橄榄油中定量限均能低于0.01 mg/L时,能满足检测要求,采用顶空进样方式,标准溶液浓度为0.01 mg/L nBA的SIM图,见图2。

2.2 短期接触和长期储存条件下 nBA 的迁移量

按照 GB 31604.1—2015^[13]规定,在70℃,2h

条件下可模拟包装材料与食品短期接触,在60℃,10d条件下可模拟室温下长期储存(>180d)。nBA在60℃,10d条件下,向3种模拟物的迁移量均大于70℃,2h时的条件,在体积分数为4%的乙酸中迁移量差值最大,为 $(13.1 \pm 1.2) \mu\text{g/kg}$,见图3。在3种模拟物中nBA的迁移量均呈现出乙酸(体积分数为4%)>乙醇(体积分数为10%)>橄榄油的规律,这表明nBA极性较强,更容易向酸性模拟物中发生迁移。

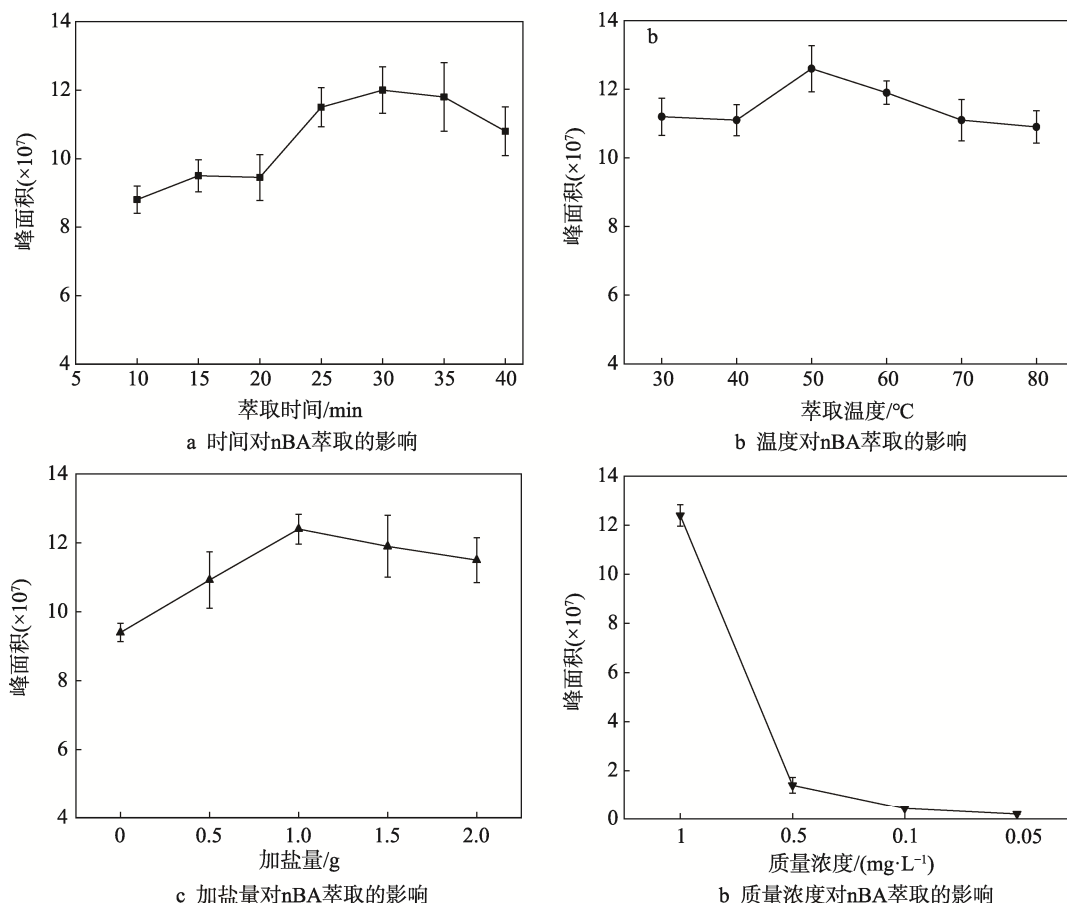


图1 萃取时间、萃取温度、加盐量和浓度对 nBA 萃取效果的影响

Fig.1 Effect of extra extraction time, extraction temperature, the amount of salt and concentration on extraction effect of nBA

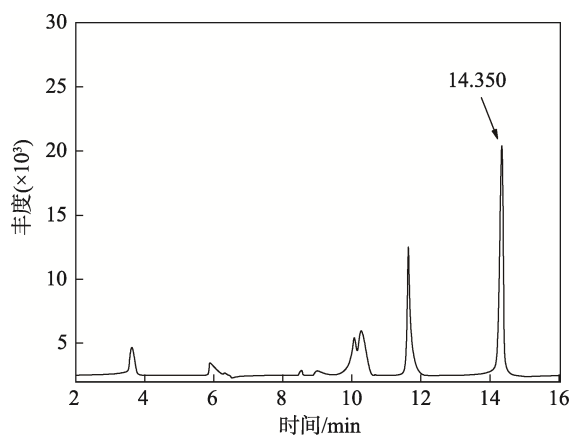


图2 nBA 的SIM

Fig.2 SIM chromatograms of nBA

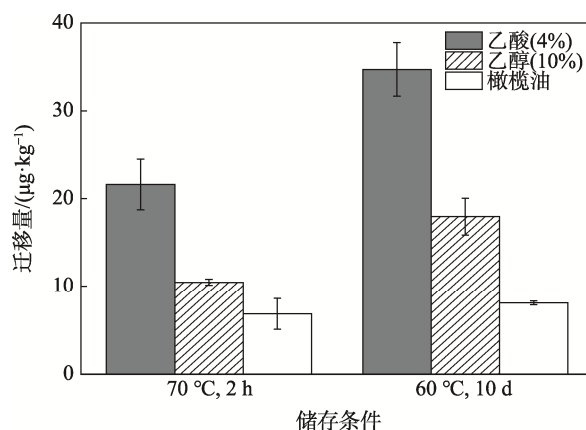


图3 70℃, 2h和60℃, 10d下 nBA 的迁移量

Fig.3 Migration of nBA under 70℃, 2h and 60℃, 10d

2.3 巴氏杀菌和蒸煮对 nBA 迁移的影响

2.3.1 不同温度对 nBA 向乙酸（体积分数为 4%）迁移的影响

在蒸煮时间均为 30 min 时，温度从 60 °C 到 121 °C，nBA 迁移量明显增加，这是由于迁移初期 nBA 在 CPP 膜两侧有浓度差，高温能促进分子的热运动，使得 nBA 更容易穿过 CPP 膜快速迁移到模拟物中，见图 4。nBA 在 121 °C 时迁移量最大，为 $(92.6 \pm 3.8) \mu\text{g}/\text{kg}$ ，130 °C 时的迁移量同 121 °C 无显著性差异 ($P > 0.05$)。分析原因，可能是 nBA 在灭菌锅中进行迁移试验时，有较长的升温过程，这时间段内 nBA 在不断迁移，当温度升至 121 °C 或 130 °C 的高温时，由于 CPP 膜两侧 nBA 的浓度差减少，nBA 的迁移已接近平衡状态，迁移量不再增加，因此，nBA 是易挥发有机物（沸点 145 °C），温度是影响其迁移量的重要因素。含 nBA 的胶黏剂在用于食品包装时应考虑包装材料的使用温度，避免因 nBA 迁移带来的安全隐患。

2.3.2 不同巴氏杀菌/蒸煮时间对 nBA 向乙酸（4%）迁移的影响

由 2.1.1 节可知，在 60 °C 和 80 °C 的巴氏杀菌温

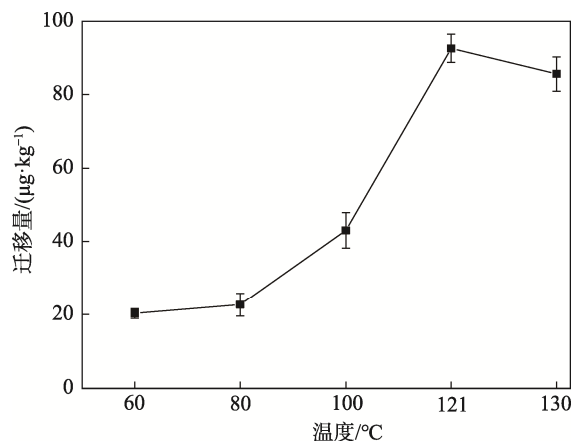


图 4 不同温度下 nBA 向体积分数为 4% 乙酸的迁移量
Fig.4 Migration of nBA to 4% acetic acid at different temperatures

度下，nBA 的迁移量相差不大，因此，文中研究了在 80 °C 巴氏杀菌、100 °C 蒸煮、121，130 °C 的高温蒸煮条件下 nBA 向体积分数为 4% 乙酸迁移的情况。在温度为 80，100 °C 时，nBA 向体积分数为 4% 乙酸的迁移量随着蒸煮时间的延长而增大，直至达到迁移平衡，平衡时最大迁移量分别为 (32.6 ± 3.7) ， $(54.7 \pm 4.6) \mu\text{g}/\text{kg}$ ，且温度越高，迁移达到平衡所用的时间也越短，见图 5。在温度为 121，130 °C 的条件下蒸煮，

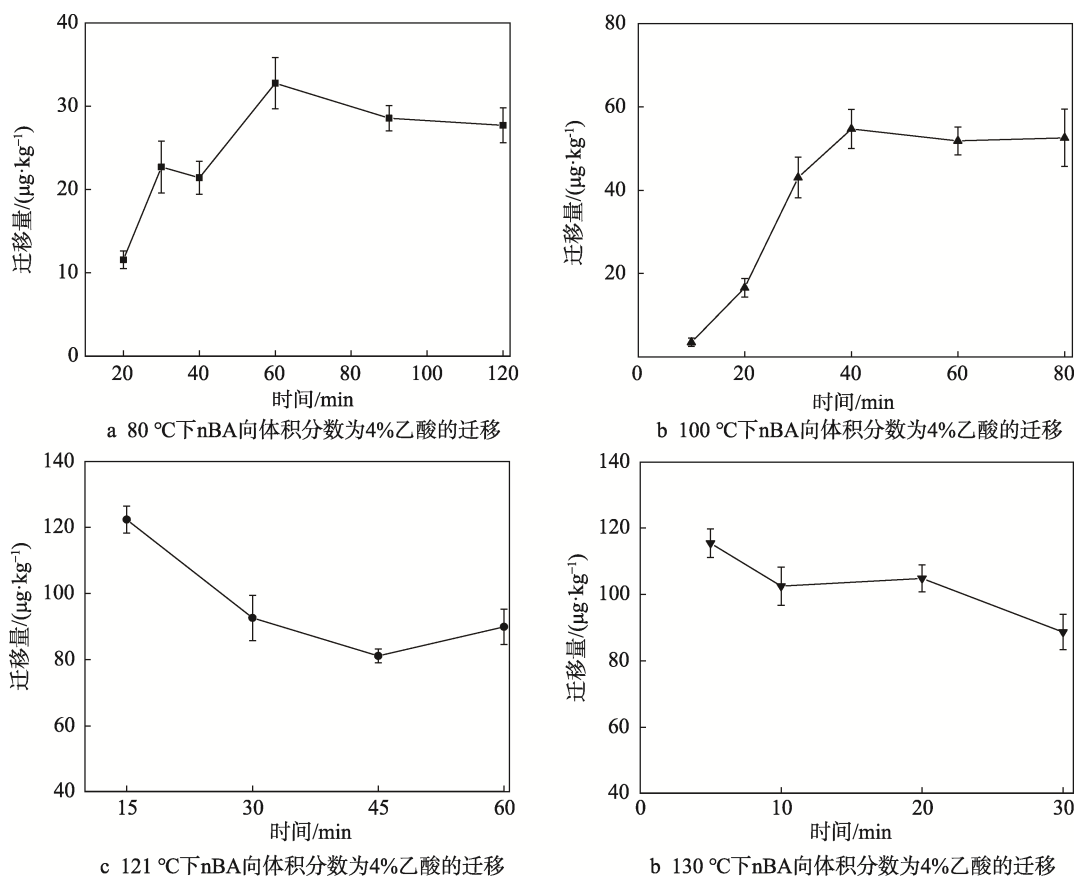


图 5 不同时间下 nBA 向体积分数为 4% 乙酸的迁移量
Fig.5 Migration of nBA to 4% acetic acid at different times

nBA 向乙酸 (4%) 的迁移量随着蒸煮时间的延长而减小, 最大迁移量分别为 (122.6 ± 4.1) , $(115.4 \pm 4.3) \mu\text{g}/\text{kg}$, 这是由于在升温至 $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 过程中, nBA 的迁移已经趋于平衡, 在后续保温和降温过程中, 长时间的高温高压会促进 nBA 的损失, 已经迁移出来的 nBA 会部分转移到环境中。在不同温度下, 随着蒸煮时间的延长 nBA 的迁移规律并不一致, 高温高压蒸煮下 nBA 的迁移量远大于 $80, 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的蒸煮条件, 因此, 建议铝塑复合膜在使用时应尽量避免高温条件。

2.4 紫外处理对 nBA 迁移的影响

无论是先紫外处理再灌装 (UV-F), 还是先灌装再紫外处理 (UV-T), nBA 向 3 种模拟物的迁移量同空白组 (UV-BK) 都无显著性差异 ($P > 0.05$), 见图 6。紫外作为一种常用的冷杀菌技术, 短期照射薄膜时能有效地抑制薄膜表面微生物生长, 但对材料本身的结构性能无影响, 因此, 紫外处理是一种相对安全的杀菌方式, 对复合膜中 nBA 的迁移无影响。

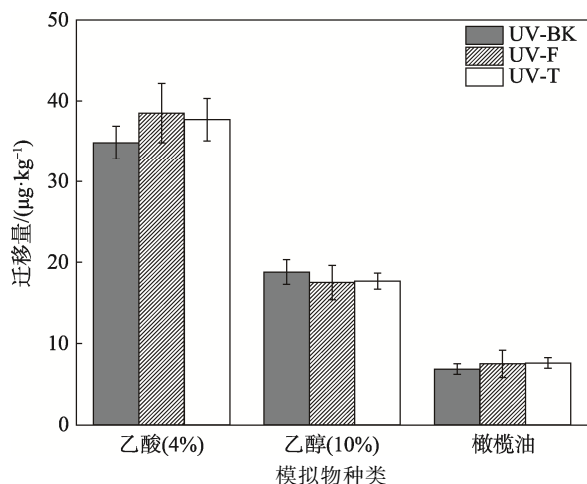


图 6 紫外处理下 nBA 向 3 种模拟物的迁移量

Fig.6 Migration of nBA to three food simulants under ultra-violet treatment

3 结语

将 HS-SPME 用于食品模拟物中对 nBA 进行富集时, 易受到食品模拟物中挥发性物质的影响, HS-SPME 技术在迁移试验中的应用可行性需要进一步研究。在研究的所有工况中, nBA 在不同模拟物中的迁移量均呈现出乙酸 (体积分数为 4%) > 乙醇 (体积分数为 10%) > 橄榄油的规律, 紫外处理不会对 nBA 的迁移造成影响, 是一种相对安全的杀菌方式。蒸煮对 nBA 迁移量影响最大, 高温蒸煮极大地促进了 nBA 的迁移, 因此, 需不断优化水性丙烯酸酯胶黏剂的性能, 确保胶黏剂在恶劣工况下使用的安全性。

参考文献:

- [1] CANELLAS E, AZNAR M, NERIN C, et al. Partition and Diffusion of Volatile Compounds from Acrylic Adhesives Used for Food Packaging Multilayers Manufacturing[J]. Journal of Polymer Research, 2010, 20(24): 5100—5109.
- [2] SARKAR A, JAYARAM R V. A Comparative Study of Properties of Acrylic Based Water-Borne Polymers Using Various Surfactants for Adhesive Applications[J]. Polymer Science, Series B, 2018, 60(5): 629—637.
- [3] 李英, 李成发, 孙小颖. 气相色谱法测定食品接触材料中 12 种单体的迁移量[J]. 包装工程, 2015, 36(11): 36—41.
LI Ying, LI Cheng-fa, SUN Xiao-ying. Determination of Migration of 12 Monomers in Plastic Food Contact Materials by Gas Chromatography[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(11): 36—41.
- [4] LIANG J, WU B, YUAN L. Preparation and Characterization of the Acrylic Latex-Laminating Adhesives Applied in BOPP/PE Composite Films[J]. Polymer Bulletin, 2018, 76(9): 4469—4483.
- [5] ROCHA A C, REIS-HENRIQUES M A. Toxicity of Seven Priority Hazardous and Noxious Substances (HNSs) to Marine Organisms: Current Status, Knowledge Gaps and Recommendations for Future Research[J]. Sci Total Environ, 2016, 542(6): 728—749.
- [6] LEE J W, KIM K. n-Butyl Acrylate-induced Antioxidant System Alteration Through Two Generations in Oryzias Latipes[J]. Fish Physiol Biochem, 2019, 45(3): 873—883.
- [7] 陈燕芬, 马宁宁, 曾莹. 胶粘剂中丙烯酸正丁酯向干性模拟物 Tenax 的迁移行为[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 306—312.
CHEN Yan-fen, MA Ning-ning, ZENG Ying. Migration Behavior of Butyl Acrylate from Adhesive to Dry Simulant Tenax[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 306—312.
- [8] 冯丽丽, 胡晓芳. 顶空固相微萃取/气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定地表水与饮用水中的挥发性有机物[J]. 分析测试学报, 2019, 38(11): 1294—1300.
FENG Li-li, HU Xiao-fang. Determination of Volatile Organic Compounds in Surface Water and Drinking Water by Gas Chromatography-Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry with Head Space-Solid Phase Microextraction[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2019, 38(11): 1294—1300.
- [9] 常宇桐, 罗云敬, 钱承敬. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱法测定馥郁香型白酒中的挥发性香气成分[J].

- 食品安全质量检测学报, 2018, 9(17): 4618—4627.
- CHANG Yu-tong, LUO Yun-jing, QIAN Cheng-jing. Determination of Volatile Aroma Components in Fuyu Flavor Liquor by Head Space-Solid Phase Microextraction with Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(17): 4618—4627.
- [10] 王琦, 胡长鹰, 肖前. 低密度聚乙烯/线性低密度聚乙烯-纳米氧化铜复合膜中铜向柠檬酸溶液的迁移研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 14—19.
- WANG Qi, HU Chang-ying, XIAO Qian. Study on the Migration of Copper from LDPE/LLDPE-Nano CuO composite Films to Citric Acid[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 14—19.
- [11] MAGHSOUD Z, RAFIEI M, FAMILI M. Effect of Processing Method on Migration of Antioxidant from HDPE Packaging into a Fatty Food Simulant in Terms of Crystallinity[J]. Packaging Technology and Science, 2018, 31(30): 141—149.
- [12] 张勤军, 贝荣华, 张泓, 等. 气相色谱-质谱联用法检测食品复合包装材料中 17 种丙烯酸酯类单体的残留量及迁移量[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 287—294.
- ZHANG Qin-jun, BEI Rong-hua, ZHANG Hong, et al. Determination of Residues and Migration of 17 Acrylate Monomers in Food Composite Packaging Material[J]. Journal of Food Science. 2020, 41(24): 287—294.
- [13] 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则[S].
- GB 31604.1—2015, Food Safety National Standard Food Contact Material and Product Migration Test[S].
- [14] EU 10/2011, Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food[S].
- [15] 陈娇娇, 鲁成银, 王国庆. 3 种方法吸附绿茶、黄茶与白茶香气成分的比较[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(4): 449—458.
- CHEN Jiao-jiao, LU Cheng-yin, WANG Guo-qing. Comparison of Three Different Methods for Adsorption of Aroma Compounds for Green Tea, Yellow Tea and White Tea[J]. Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences), 2020, 46(4): 449—458.