

烘焙纸中残留甲苯向食品模拟物中迁移分析

姜婉悦¹, 张君², 朱金艳³, 郭霞⁴, 岑琴⁴, 曹宁阳⁴, 代双¹, 常南^{1*}

(1.沈阳医学院 公共卫生学院, 沈阳 110034; 2.沈阳市食品药品检验所, 沈阳 110123;
3.庄河市检验检测认证技术服务中心, 辽宁 庄河 116400; 4.沈阳产品质量监督检验院, 沈阳 110022)

摘要: **目的** 研究烘焙纸中残留甲苯向食品中的迁移规律, 并考察烘焙纸微观结构变化对迁移的影响。**方法** 采用气相色谱-串联三重四级杆质谱(GC-MS/MS)法, 研究在不同烘焙温度、时间、纸张定量、甲苯初始浓度、微波加热等条件下, 残留甲苯向橄榄油和改性聚苯醚(Tenax-TA)中的迁移规律, 通过扫描电镜等技术手段, 考察迁移前后烘焙纸微观结构的变化。**结果** 烘焙温度越高, 甲苯迁移率越大; 迁移率随迁移时间的延长而升高, 但超过40 min后, 甲苯向Tenax-TA中的迁移率出现明显下降趋势; 纸张定量越大, 迁移率越低; 初始浓度对迁移率的影响不显著; 微波功率越高, 迁移率越大。随着微波时间的延长, 迁移率呈先升高后降低的现象。扫描电镜结果表明, 经过高温烘焙后, 纸张纤维孔隙的尺寸及数量有所增加。**结论** 烘焙纸中残留甲苯在一定条件下向食品模拟物中发生迁移, 纸张内部纤维结构的变化使甲苯分子更容易穿过孔隙进入食品中, 加速了迁移的发生。

关键词: 烘焙纸; 甲苯; 迁移; 食品模拟物

中图分类号: TB484.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)19-0085-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.19.011

Analysis of Migration of Residual Toluene from Baking Paper to Food Simulants

JIANG Wan-yue¹, ZHANG Jun², ZHU Jin-yan³, GUO Xia⁴, CEN Qin⁴, CAO Ning-yang⁴,
DAI Shuang¹, CHANG Nan^{1*}

(1. School of Public Health, Shenyang Medical College, Shenyang 110034, China; 2. Shenyang Food and Drug Inspection Institute, Shenyang 110123, China; 3. Inspection and Testing Certification Technology Service Center of Zhuanghe, Liaoning Zhuanghe 116400, China; 4. Shenyang Product Quality Supervision and Inspection Institute, Shenyang 110022, China)

ABSTRACT: The work aims to study the migration law of residual toluene from baking paper to food and investigate the effect of baking paper microstructure on the migration. In this research, the GC-MS/MS method was used to analyze the migration law of residual toluene from baking paper into food simulants (olive oil, Tenax-TA) under different conditions of baking temperature, time, paper quantification, initial toluene content, microwave heating, etc., and the microstructure changes of baking paper before and after migration. The results showed that, the migration rate varied markedly with the temperature, with higher temperatures leading to accelerated migration. The longer the migration, the greater the migration rate. However, after the migration lasted for more than 40 min, the migration rate of toluene into Tenax-TA shifted to a downward trend significantly. The higher the gram weight of paper, the lower the toluene migration rate. The initial concentration of toluene in baking paper had no significant effect on the migration rate. The higher the microwave power, the higher the migration rate. As the microwave time lengthened, the migration rate rose first and then dropped. The scanning electron microscope (SEM) results suggested that baking at a high temperature could change the internal fiber structure of paper,

收稿日期: 2022-11-08

基金项目: 辽宁省大学生创新创业训练计划项目(S202110164001S); 辽宁省教育厅科学技术研究项目(LJKMZ20221802); 辽宁省食品污染物检验检测及风险评估重点实验室项目(2022JH13/10200048)

and lead to an increasing size and number of fiber holes. Residual toluene in baking paper migrates to food simulants under certain conditions. This makes it easier for toluene molecules to pass through the pores into the food, thus accelerating migration.

KEY WORDS: baking paper; toluene; migration; food simulants

近年来,我国烘焙业保持每年10%的速度增长^[1]。烘焙纸是一种特殊食品用纸,俗称“防油纸”,具有良好的防油、耐高温、成型性等特点,广泛应用于面点烘焙、食品烧烤、微波加热以及食品包装等^[2]。为了更好的表达产品属性,一些烘焙纸外表面印有图案来提高对消费者的吸引力。溶剂型油墨因其价格低廉、印刷效果好、对生产设备性能要求较低等优势,仍被一些食品包装企业使用^[3]。但油墨及油墨的稀释剂中,可能含有甲苯、二甲苯、酮类、酯类等物质^[4-5],而甲苯是公认的致癌物,吸附性较高、易发生残留,对神经、肝脏、血液等系统具有一定毒性,还可能引起胎儿致畸风险^[6]。纸张内部本身的纤维多孔状结构,可能会促使有机小分子物质更容易穿过孔隙迁移到食品中,从而给人体健康带来隐患^[7-8]。

在相关法规、标准方面,从国际来看,欧盟建立了较为完善的食物接触材料法律法规,主要基于框架法规 Regulation (EC) No 1935/2004^[9]。2020年7月,出台了CM/Res (2020) 9号决议^[10],适用范围包括烘焙纸、烹饪纸等。决议中指出:“这些产品可以经过涂覆、黏合、印刷等工艺,且残留溶剂主要来自于印刷油墨,成品中的残留溶剂应尽可能降低到最低水平”,但未规定具体的溶剂种类及限量。在印刷油墨方面,瑞士是全球最早建立食物接触用油墨法规的国家。主要法规为SR 817.023.21^[11],其中规定残留溶剂总量不得超过0.6 mg/dm²。欧盟发布了ResAP (2005) 2决议《食物接触材料及制品中非食物接触面的印刷油墨》^[12],该决议要求苯类物质迁移量应<0.01 mg/kg。

我国尚未针对烘焙纸出台专有的国家标准或行业标准,该产品只能由生产企业自行制定企业标准,绝大部分企业标准参照GB 4806.8—2016^[13]或QB/T 1014—2010^[14]来制定,但上述标准中,并未要求检测残留有机溶剂及苯类物质。因此,烘焙纸企业标准中污染物指标仅涉及重金属、甲醛、荧光性物质等,未对溶剂残留指标进行更为有效的监控。在检测方法方面,仅有GB/T 10004—2008^[15]中规定了包装用塑料复合膜、袋中溶剂残留量的检测方法,食品用纸制品中溶剂残留量目前未出台相关检测方法标准。因此,烘焙纸中残留甲苯的监管及检测缺乏相应的技术法规支撑。

本文以食物接触用烘焙纸为研究对象,研究在不同烘焙温度、时间、纸张定量、甲苯初始浓度、微波加热等条件下,残留甲苯向食物模拟物中的迁移规律。通过扫描电镜等技术手段,考察迁移条件对烘焙纸微观结构的影响,为建立烘焙纸产品相关法律法规

提供理论依据,为生产企业改良生产工艺、保障食品安全奠定基础。

1 试验

1.1 材料与仪器

主要材料:烘焙纸,样品外表面均有印刷,标称定量分别为30、40、50 g/m²,来自沈阳市某食物接触用纸制品生产企业;甲苯,色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;Tenax-TA(改性聚苯醚),60~80目,荷兰Buchem BV公司;橄榄油,益海嘉里集团;超纯水,由Millipore超纯水系统制备。

主要仪器:TSQ 9000气相色谱-三重四级杆质谱仪(GC-MS/MS),配电子轰击(EI)离子源,赛默飞世尔科技公司;TG-5 MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),Thermo scientific;ST16R高速冷冻离心机,赛默飞世尔科技公司;BS124S电子天平,赛多利斯集团;202-OAB恒温干燥箱,天津泰斯特仪器有限公司;N-EVAP-112全自动氮吹浓缩仪,美国Organomation公司;QYC-C迁移测试池(φ81 mm),济南兰光机电技术有限公司;微波炉,美的集团;Merlin场发射扫描电子显微镜,卡尔蔡司集团。

1.2 方法

1.2.1 食物模拟物的选择及迁移试验

根据烘焙纸的实际使用条件,选择固体模拟物及油性模拟物进行迁移试验。

固体模拟物:根据DIN EN 14338^[16],选择Tenax-TA(改性聚苯醚)作为固体食物模拟物,Tenax-TA的用量与纸张内表面接触面积之比为4 g/dm²。将烘焙纸裁剪成直径为2.5 cm的圆形纸样,放入带有磨口塞的称量瓶(直径2.5 cm)中,将食物接触面向上放置,准确称取0.196 4 g Tenax-TA,均匀平铺于烘焙纸内表面,盖上磨口塞,置于迁移条件下进行试验。

油性模拟物:根据EU No 10/2011^[17],选择橄榄油作为油性食物模拟物进行迁移试验。将烘焙纸安装在直径为81 mm的迁移池上,向迁移池中注入模拟物(橄榄油),模拟物与纸张内表面接触,纸张表面积与模拟物体积比(即表面积-体积比)为6 dm²/L。

1.2.1.1 迁移温度的选择

本试验主要考察烘焙过程中甲苯迁移情况,因此进行烘焙温度下的迁移试验。将上述制备好的样品,分别在150、175、200、225、250 °C下进行迁移试验,

迁移时间为 30 min^[18], 之后测定甲苯向 Tenax-TA 及橄榄油中的迁移率。

1.2.1.2 迁移时间的选择

根据 EU No. 10/2011^[17]及 GB 31604.1—2016^[18]的规定, 以及考虑实际使用情况, 迁移时间分别选择 10、20、30、40、50、60 min, 迁移温度为 200 °C, 测定甲苯向 2 种模拟物中的迁移率。

1.2.1.3 微波加热迁移条件的选择

分别在 800、600、400 W 输出功率下进行试验, 微波时间选择 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 min, 考察甲苯向固体模拟物 Tenax-TA 中的迁移情况。

1.2.1.4 迁移率的计算

迁移率计算公式:

$$M = \frac{C_1}{C_0} \times 100\%$$

式中: M 为迁移率; C_1 为迁移后模拟物中甲苯含量, mg/m^2 ; C_0 为样品中甲苯初始含量, mg/m^2 。

1.2.2 甲苯测定方法

1.2.2.1 标准溶液配制

标准储备液: 称取 1 000 mg (精确至 0.000 1 g) 甲苯, 加入 N-N 二甲基乙酰胺 (DMA) 定容至 100 mL, 配制成质量浓度为 10 mg/mL 的储备液。

标准工作液: 依次取标准储备液 10.0、5.0、1.0、0.5、0.1、0.01、0.001 mL 放入容量瓶中, 用 DMA 定容至 10 mL, 标准工作液浓度分别为 10.0、5.0、1.0、0.5、0.1、0.01、0.001 mg/mL。

分别加入不同浓度标准溶液各 10 μL 于预热顶空瓶中, 密封, 在 100 °C 下加热 30 min, 取顶空气体进行 GC-MS/MS 测定。

1.2.2.2 仪器条件

色谱条件: 采用 TG-5 MS 色谱柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm); 进样口温度为 200 °C; 分流比为 10:1; 载气为氦气, 流速为 1.0 mL/min; 柱温升温程序为初始温度 60 °C, 保持 2 min, 以 20 °C/min 升温至 180 °C, 保持 2 min; 进样体积为 1 mL。

质谱条件: 离子源 (EI 源为电子轰击离子源); 电离能量为 70 eV; 电离温度为 230 °C; 四级杆温度为 150 °C; 传输线温度为 250 °C; 溶剂延迟时间为 4 min; 选择多反应监测 (MRM) 模式。

自动顶空进样器条件: 顶空瓶平衡温度为 100 °C, 平衡时间为 30 min; 进样针温度为 120 °C, 传输线温度为 140 °C, 加压时间为 1 min; 进样体积为 1 mL。

1.2.2.3 甲苯含量的测定

样品中甲苯含量测定: 取烘焙纸样品 0.01 m^2 , 将其剪成约 10 mm \times 10 mm 的碎片, 放入 20 mL 顶空瓶中, 密封, 在 100 °C 下恒温加热 30 min 后, 进行 GC-MS/MS 分析, 测定结果以 mg/m^2 计。

固体食品模拟物 (Tenax-TA) 中甲苯含量的测定:

迁移试验结束后, 将 Tenax-TA 置于带塞玻璃试管中, 加入 10 mL 异辛烷, 超声提取 30 min, 静置 10 min 后, 经氮吹浓缩, 用异辛烷定容至 1 mL, 过 0.22 μm 滤膜后, 取 50 μL 于预热顶空瓶中, 密封, 在 100 °C 下加热 30 min 后, 用 GC-MS/MS 仪器进行测定。

油性食品模拟物 (橄榄油) 中甲苯含量的测定: 根据周良春等^[19]方法, 称取 5.0 g 经过迁移试验的橄榄油置于 10 mL 具塞离心管中, 加入 5.0 mL 异辛烷, 涡旋振荡 10 min 后, 用高速冷冻离心机在 4 500 r/min 的转速下离心 10 min, 移取异辛烷萃取液置于圆底烧瓶中。分别用 5.0 mL 异辛烷再重复萃取 2 次, 合并 3 次异辛烷萃取液, 经氮吹浓缩, 用 1.0 mL 异辛烷复溶, 取上清液。加入 50 μL 于预热顶空瓶中, 密封, 在 100 °C 下加热 30 min 后进行测定。

1.2.3 纸张厚度的测定

按照 GB/T 6672—2001^[20]方法测定纸张厚度。

1.2.4 纸张定量的测定

按照 GB/T 451.2—2002^[21]方法测定纸张定量。

1.2.5 扫描电镜 (SEM) 分析

取面积约 5 mm \times 3 mm 的烘焙纸样品, 装台、固定、喷金, 在 500 倍放大倍数下, 观察纸张的微观结构。

1.2.6 数据处理

采用 Origin 2021 和 SPSS 27.0 作图并进行统计分析, 所得数据为 3 次平行试验数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 方法评价

2.1.1 线性关系、检出限、定量限

根据 1.2.2 节方法, 采用外标法定量, 以峰面积为纵坐标, 标准溶液浓度为横坐标进行线性回归, 得到回归方程为 $y=6\ 302x+147.69$, 甲苯在 0.001 ~ 10.0 mg/m^2 内线性良好, 相关系数 (R^2) 为 0.999 3; 利用 3 倍信噪比 (S/N) 计算检出限 (LOD), 10 倍信噪比计算定量限 (LOQ), LOD 值为 0.001 0 mg/m^2 , LOQ 值为 0.003 3 mg/m^2 。

2.1.2 精密度、加标回收率

按照 GB/T 27404—2008^[22]的规定进行加标回收试验, 采取“三水平六平行”方式, 即选取 3 个水平浓度 (0.001、0.01、1.0 mg/mL) 进行加标, 分别做 6 次平行试验取平均值, 结果见表 1。烘焙纸样品中甲苯回收率为 91.2% ~ 94.8%, 相对标准偏差 (RSD) 为 2.6% ~ 5.1%; Tenax-TA 中甲苯回收率为 92.5% ~ 95.1%, RSD 为 2.7% ~ 5.4%; 橄榄油中甲苯回收率为 89.3% ~ 93.7%, RSD 为 2.8% ~ 5.7%, 以上均符合 GB/T 27404—2008 的要求, 说明检测方法科学可靠。

表 1 甲苯回收率与相对标准偏差 ($n=6$)
Tab.1 Recoveries (%) and RSD (%) of toluene ($n=6$)

样品及模拟物	0.001 mg/mL		0.1 mg/mL		1.0 mg/mL	
	回收率/%	RSD 值/%	回收率/%	RSD 值/%	回收率/%	RSD 值/%
烘焙纸样品	91.2	5.1	92.7	3.9	94.8	2.6
Tenax-TA	92.5	4.3	92.9	5.4	95.1	2.7
橄榄油	89.3	5.7	90.4	2.8	93.7	3.1

2.2 迁移试验结果

2.2.1 烘焙温度对甲苯迁移的影响

由图 1 可以看出,随着温度升高,甲苯向 2 种模拟物中的迁移率均呈上升趋势;与 150 °C 相比,温度在 200 °C 时,甲苯向橄榄油和 Tenax-TA 中迁移率分别增加了 19.9% 和 14.0%;当温度超过 200 °C 后,甲苯向橄榄油中的迁移率仍然有小幅增加 ($P > 0.01$),但向 Tenax-TA 中迁移率略有下降,下降幅度不显著 ($P > 0.01$)。分析原因认为,一是高温可以使较为疏松多孔的纸张纤维孔隙增大;二是增加了小分子化合物的活化能,使其更容易穿过孔隙迁移至食品中。但因为 Tenax-TA 为多孔聚合物,吸附稳定性较弱,且甲苯为易挥发物质,当迁移至 Tenax-TA 后,在较高的温度下可能产生挥发现象,所以造成在高温条件下向 Tenax-TA 中的迁移率略有下降。

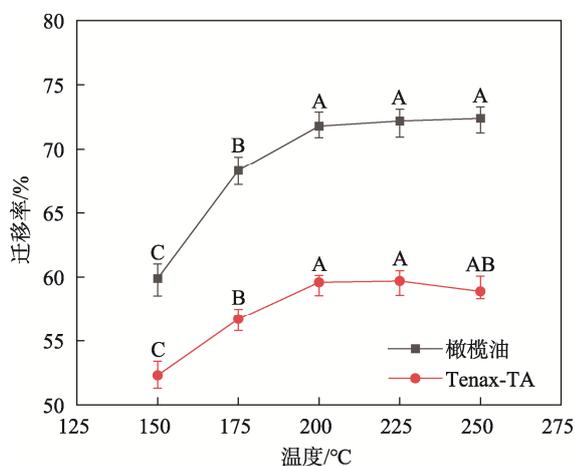


图 1 不同温度下烘焙纸中甲苯迁移率
(20 min)

Fig.1 Toluene migration rates of baking paper at different temperature (20 min)

注:字母表示在不同温度下甲苯迁移率差异显著性,显著水平为 0.01。

2.2.2 烘焙时间对甲苯迁移的影响

根据烘焙过程实际情况,迁移时间选择 10~60 min。由图 2 可以看出,当以橄榄油为模拟物时,迁移率随着时间的延长呈现上升趋势,当迁移时间超过 20 min 后,迁移率达到近似平衡状态。当模拟物为 Tenax-TA 时,10~20 min 时迁移率迅速上升 ($P < 0.01$); 20~

30 min 时迁移率增加不显著 ($P > 0.01$); 迁移时间超过 40 min 后,迁移率呈现较为明显的下降趋势 ($P < 0.01$)。说明当甲苯向 Tenax-TA 中迁移时,并非时间越长,迁移率越大,这与陈燕芬等^[23]的研究相类似。

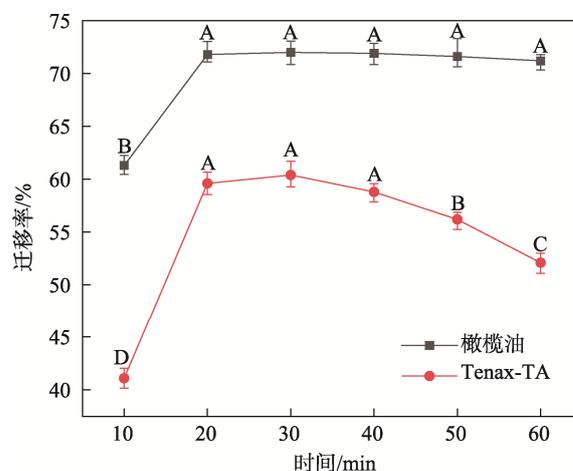


图 2 不同时间下烘焙纸中甲苯迁移率
(200 °C)

Fig.2 Toluene migration rates of baking paper under different time (200 °C)

注:字母表示在不同时间下甲苯迁移率差异显著性,显著水平为 0.01。

2.2.3 纸张定量对甲苯迁移的影响

纸张的规格常以“定量”来表示,即每平方米纸张的质量,以 g/m^2 表示。由图 3 所示,随着纸张定量的增加,甲苯向橄榄油及 Tenax-TA 中的迁移率均显著降低 ($P < 0.01$)。同等条件下,定量为 50 g/m^2 的样品中甲苯向橄榄油及 Tenax-TA 中的迁移率,分别比 30 g/m^2 样品的迁移率降低了 22.5% 和 27.7%。可以推测,纸张越厚,内部纤维结构越复杂,其阻隔能力越强,因此甲苯穿过纸张进行迁移的过程将更加复杂,导致迁移率降低。

2.2.4 残留甲苯初始浓度对甲苯迁移的影响

本试验选择不同甲苯含量的烘焙纸为研究对象,考察残留甲苯初始浓度对迁移效果的影响。按照 1.2.2 节方法对不同样品中甲苯初始含量进行测定,结果如表 2 所示。表 2 中 A、B、C 分别代表 3 组不同甲苯初始含量的烘焙纸,范围为 0.631~1.783 mg/m^2 。

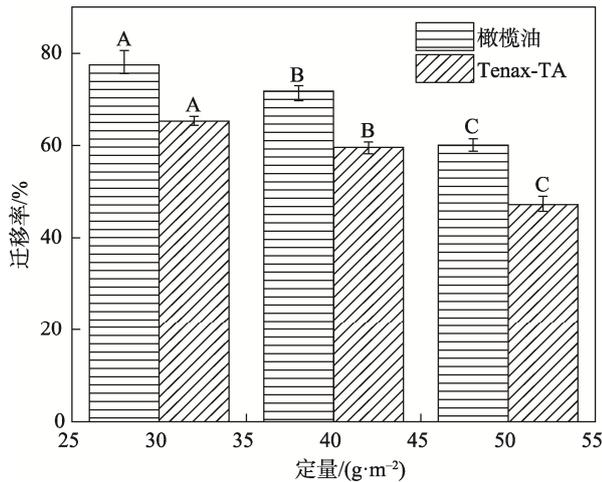


图 3 不同定量样品中甲苯迁移率 (200 °C、20 min)

Fig.3 Toluene migration rates of different qualitative samples (200 °C, 20 min)

注: 字母表示不同定量样品中甲苯迁移率差异显著性, 显著水平为 0.01。

表 2 不同烘焙纸样品中甲苯初始含量
Tab.2 Initial toluene content in different baking paper (n=3)

纸样	初始含量±标准偏差/(mg·m ⁻²)
样品 A	0.631±0.022
样品 B	1.198±0.025
样品 C	1.783±0.026

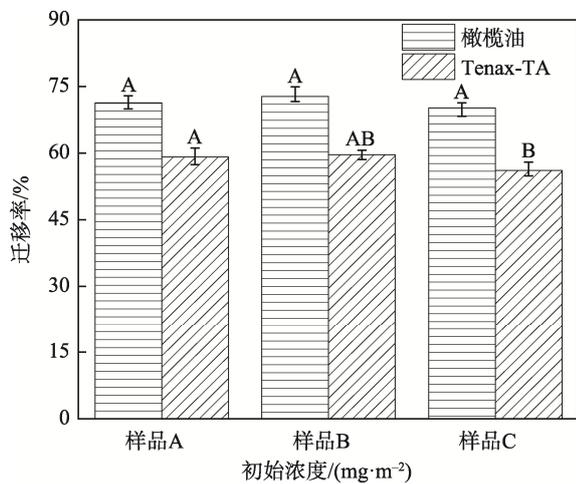


图 4 不同残留甲苯初始浓度样品中甲苯的迁移率 (200 °C、20 min)

Fig.4 Toluene migration rates of samples with different residual initial toluene content (200 °C, 20 min)

注: 字母表示不同定量样品中甲苯迁移率差异显著性, 显著水平为 0.01。

由图 4 可以看出, 只有样品 A 和样品 C 中残留甲苯向 Tenax-TA 中迁移率数值差异显著 ($P < 0.01$), 其他条件下, 3 种样品中甲苯的迁移率并无显著差异 ($P > 0.01$)。说明在一定范围内, 烘焙纸样品中残留甲苯初始浓度对甲苯迁移率影响较小。

2.2.5 微波加热对甲苯迁移的影响

由图 5 所示, 微波功率越高, 甲苯迁移越大, 且随着微波时间的延长, 3 种功率下甲苯向 Tenax-TA 中迁移率均先升高之后有不同程度的下降。当功率为 800 W 时, 微波 1.5 min 时迁移率达到最高, 为 51.2%, 微波时间超过 1.5 min 后迁移率出现下降趋势, 微波时间超过 2.0 min 后迁移率显著下降 ($P < 0.05$), 微波时间达到 3.5 min 时迁移率下降至 40.2%; 当微波功率为 600 W 和 400 W 时, 迁移率分别在 2.5 min 和 3.0 min 时达到最高值, 随后出现较为明显的下降趋势 ($P < 0.05$)。这种现象可能是由于在微波加热方式下, 食物是从内部产生热量, 使整体温度迅速升高, 所以加速了甲苯分子的运动速率, 使其迅速迁移到食品模拟物中。随着时间的延长, 在微波的作用下, 已经迁移至 Tenax-TA 中的甲苯向空气中挥发, 因此在达到最大迁移值后, 发生迁移率下降的现象, 且下降幅度较为显著。

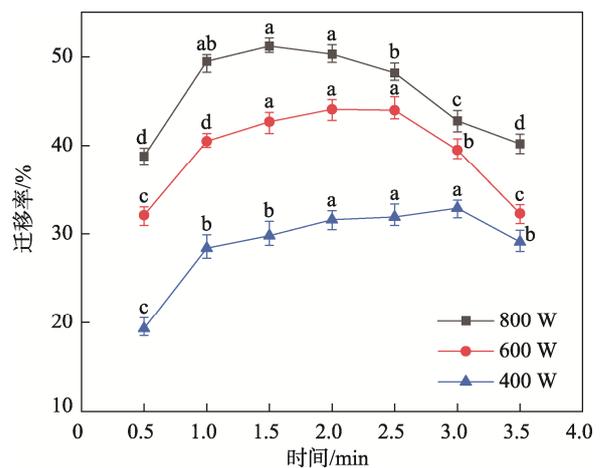


图 5 不同微波功率下烘焙纸中甲苯向 Tenax-TA 中迁移率

Fig.5 Toluene migration rates of baking paper into Tenax-TA under different microwave power

注: 字母表示相同微波功率下, 加热不同时间后甲苯迁移率的差异显著性, 显著水平为 0.05。

2.3 微观结构表征

焙烤、微波等“恶劣”的食品加工条件会对食品接触材料造成一定影响, 从而促进污染物的迁移。为了更直观地考察烘焙过程对烘焙纸内部微观结构的变化, 采用扫描电镜对纸张进行观察。图 6a 为未经过处理的样品 (对照), 图 6b 是以 Tenax-TA 为模拟物, 经过 200 °C、20 min 烘焙后, 纸张的微观结构图。从图 6 可以看出, 未经过处理的纸张内部纤维排列更加紧密, 而经过高温烘焙后, 与对照组相比, 纸张基质纤维中孔隙尺寸略有增大, 且数量增多, 因此更有利于提高小分子化合物的迁移速度, 使得迁移率升高。

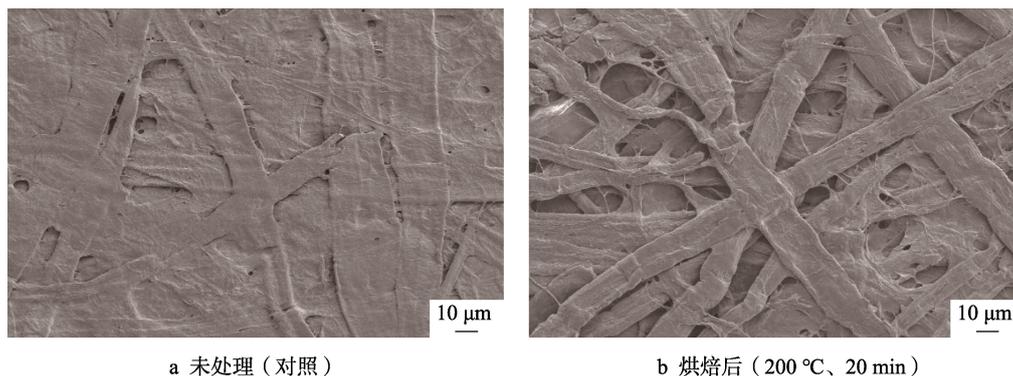


图6 烘焙纸样品扫描电镜照片
Fig.6 SEM photos of baking paper sample

3 结语

本文研究了在不同焙烤和微波加热条件下,烘焙纸中残留甲苯向固体食品模拟物(Tenax-TA)及油类模拟物(橄榄油)中的迁移规律。结果表明,随着焙烤温度的升高,甲苯向2种模拟物的迁移率逐渐增大,当温度超过200℃后,甲苯向Tenax-TA中迁移率略有下降;焙烤时间越长,甲苯向橄榄油中迁移率越高,并最终达到近似平衡状态。但当使用Tenax-TA作为模拟物时,烘焙超过40min后,迁移率呈现显著下降趋势;纸张定量越大,甲苯迁移率越低;烘焙纸中残留甲苯初始浓度对甲苯迁移率影响较小;使用微波炉进行加热时,微波功率越高,甲苯向Tenax-TA中迁移率越大,且随着微波时间的延长,迁移率呈现先升高后降低的现象。扫描电镜表明,经过烘焙后,纸张内部纤维结构受到一定影响,纤维空隙的尺寸及数量有所增加。本试验结果为烘焙纸产品相关法规及标准的制定提供理论依据,为进一步加强烘焙纸质量安全监管提供参考。同时建议尽可能避免在高温下使用附有印刷的烹饪用纸,从而减少食品的安全隐患。

参考文献:

- [1] 李政, 刘文, 刘群华. 烘焙纸的特性及研究进展[J]. 中国造纸, 2016, 35(11): 52-57.
LI Zheng, LIU Wen, LIU Qun-hua. The Properties and Research Progress of Baking Paper[J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(11): 52-57.
- [2] CHOI H, BAE I A, CHOI J C, et al. Perfluorinated Compounds in Food Simulants after Migration from Fluorocarbon Resin-Coated Frying Pans, Baking Utensils, and Non-Stick Baking Papers on the Korean Market[J]. Food Additives & Contaminants Part B, Surveillance, 2018, 11(4): 264-272.
- [3] CHANG Nan, ZHANG Chun-hong, ZHENG Feng-e, et al. Migration of Toluene Through Different Plastic Laminated Films into Food Simulants[J]. Food Control, 2016, 59: 164-171.
- [4] SADIGHARA P, PIRHADI M, SADIGHARA M, et al. Benzene Food Exposure and Their Prevent Methods: a Review[J]. Nutrition & Food Science, 2022, 52(6): 971-979.
- [5] VERA P, CANELLAS E, NERÍN C. Compounds Responsible for Off-Odors in Several Samples Composed by Polypropylene, Polyethylene, Paper and Cardboard Used as Food Packaging Materials[J]. Food Chemistry, 2020, 309: 125792.
- [6] BOWEN S E, HANNIGAN J H. Binge Toluene Exposure in Pregnancy and Pre-Weaning Developmental Consequences in Rats[J]. Neurotoxicology and Teratology, 2013, 38: 29-35.
- [7] BLANCO-ZUBIAGUIRRE L, ZABALETA I, PRIETO A, et al. Migration of Photoinitiators, Phthalates and Plasticizers from Paper and Cardboard Materials into Different Simulants and Foodstuffs[J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128597.
- [8] 王飞杰, 王利强, 张新昌. 防油纸在食品包装中的研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 138-144.
WANG Fei-jie, WANG Li-qiang, ZHANG Xin-chang. Research Progress of Oil-Proof Packaging Paper Based on Plant Fiber[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(21): 138-144.
- [9] (EC) No 1935/2004, Regulation on Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food[S].
- [10] CM/Res (2020) 9, Council of Europe Resolution on the Safety and Quality of MATERIALs and Articles for Contact with Food[S].
- [11] SR 817. 023. 21, Verordnung des EDI über Materialien

- und Gegenstände, die Dazu Bestimmt Sind, Mit Lebensmitteln in Berührung zu Kommen[S].
- [12] ResAP (2005) 2, Resolution on Packaging Inks Applied to the Non-Food Contact Surface of Food Packaging Materials and Articles Intended to Come into Contact with Foodstuffs[S].
- [13] GB 4806.8—2016, 食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品[S].
GB 4806.8—2016, National Food Safety Standard -- Food Contact Paper and Board Materials and Their Products[S].
- [14] QB/T 1014—2010, 食品包装纸[S].
QB/T 1014—2010, Food Packaging Paper[S].
- [15] GB/T 10004—2008, 包装用塑料复合膜、袋 干法复合、挤出复合[S].
GB/T 10004—2008, Plastic Laminated Films & Pouches for Packaging Dry Lamination & Extrusion Lamination[S].
- [16] BS EN 14338, Paper and Board Intended to Come into Contact with Foodstuffs-Conditions for Determination of Migration from Paper and Board Using Modified Polyphenylene Oxide (MPPO) as a Simulant[S].
- [17] EU 10/2011, Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food[S].
- [18] GB/T 31604.1—2015, 食品接触材料及制品迁移试验通则[S].
GB/T 31604.1—2015, General Rules for Migration Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [19] 周良春, 马俊辉, 张晓飞, 等. 气相色谱-质谱法快速测定食品接触用塑料中 2, 2, 4-三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯的特定迁移量[J]. 理化检验-化学分册, 2021, 57(2): 146-151.
ZHOU Liang-chun, MA Jun-hui, ZHANG Xiao-fei, et al. Rapid Determination of Specific Migration Amount of 2, 2, 4-Trimethyl-1, 3-Pentanediol Diisobutyrate in Plastics for Food Contact by GC-MS[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis), 2021, 57(2): 146-151.
- [20] GB/T 6672—2001, 塑料薄膜和薄片 厚度测定 机械测量法[S].
GB/T 6672—2001, Plastics Film and Sheeting--Determination of Thickness by Mechanical Scanning[S].
- [21] GB/T 451.2—2002, 纸和纸板定量的测定[S].
GB/T 451.2—2002, Paper and Board--Determination of Grammage[S].
- [22] GB/T 27404—2008, 实验室质量控制规范 食品理化检测[S].
GB/T 27404—2008, Criterion on Quality Control of Laboratories-Chemical Testing of Food[S].
- [23] 陈燕芬, 马宁宁, 曾莹, 等. 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, et al. Migration Behavior of Butyl Acrylate from Adhesive to Dry Simulant Tenax[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 306-312.

责任编辑: 曾钰婵