

基于两种典型降解塑料制品中风险项目的迁移规律分析研究

郭风, 杨学军, 王亭亭, 付金贝, 李丽, 张智力*

(山东省产品质量检验研究院 国家市场监督管理总局技术创新中心(绿色包装评价), 山东 济南 250102)

摘要: 文章重点研究淀粉基塑料一次性餐具于70 °C、2 h条件下在4%乙酸食品模拟物、10%乙醇食品模拟物、植物油(95%乙醇替代实验)中的总迁移量变化情况, 探究聚乳酸(PLA)材质薄膜袋在4种食品模拟液中的总迁移量迁移规律以及PLA薄膜袋在95%乙醇溶液中乙酰柠檬酸三丁酯(ATBC)的迁移行为。结果显示:5批次淀粉基塑料一次性餐具在4%乙酸食品模拟液中总迁移量最高。PLA薄膜袋的总迁移量结果表明:4种食品模拟液的提取能力为4%乙酸>异辛烷>95%乙醇>20%乙醇。随着实验温度的升高、迁移时间的增加,总迁移量呈现增长趋势。ATBC实验结果显示:95%乙醇(60 °C, 10 d)迁移量大于20 °C、40 °C条件下的迁移量;样品厚度越小,ATBC相对迁出率越大。酸性实验条件对淀粉基塑料一次性餐具和PLA薄膜袋的总迁移量有显著影响,且样品中淀粉的结构、性质及添加比例也会影响总迁移量。此外,迁移时间、实验温度和样品厚度对PLA薄膜袋中ATBC在95%乙醇溶液中的迁移行为有显著影响。

关键词: 可降解塑料制品; 风险项目; 迁移

中图分类号: TB39; O657.63

文献标志码: A

文章编号: 1005-3360(2026)02-0158-04

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2026.02.028

Analysis and Study on Migration Law of Risk Items in Two Typical Degradable Plastic Products

GUO Feng, YANG Xuejun, WANG Tingting, FU Jinbei, LI Li, ZHANG Zhili*

(Shandong Institute for Product Quality Inspection, Technology Innovation Center of Green Packaging Evaluation,
State Administration for Market Regulation, Jinan 250102, China)

Abstract: The article focused on studying the total migration amount changes of starch-based disposable tableware in 4% acetic acid food simulants, 10% ethanol food simulants, and vegetable oil (with 95% ethanol as a substitute) under the conditions of 70 °C for 2 h. It also explored the migration patterns of total migration amount in polylactic acid (PLA) film bags in four types of food simulants and the migration behavior of acetyl tributyl citrate (ATBC) in PLA film bags in 95% ethanol solution. The results showed that among the five batches of starch-based disposable tableware, the highest total migration amount was observed in the 4% acetic acid food simulant. The total migration amount results of PLA film bags indicated that the extraction ability of the four food simulants was in the order of 4% acetic acid > isooctane > 95% ethanol > 20% ethanol. As the experimental temperature increased and the migration time extended, the total migration amount also increased. The ATBC experimental results revealed that the migration amount in 95% ethanol (60 °C, 10 d) was higher than that under the conditions of 20 °C and 40 °C. The thinner the sample, the greater the relative out-migration rate of ATBC. Acidic experimental conditions had a significant impact on the total migration of starch-based disposable tableware and PLA film bags, and the structure, properties, and addition ratio of starch in the samples also affected the total migration amount. In addition, migration time, experimental temperature, and sample thickness significantly influenced the migration behavior of ATBC in PLA film bags in 95% ethanol solution.

Keywords: Degradable plastic tableware; Risk project; Migration

收稿日期 Submitted date 2025-02-25; 修回日期 Revised date 2025-03-21; 录用日期 Accepted date 2025-04-16

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2025MK079); 山东省产品质量检验研究院科研储备项目(2024ZJKY003); 山东省产品质量检验研究院科研储备项目(2024ZJKY005)

*联系人, zhili1008@163.com

引用本文: 郭风, 杨学军, 王亭亭, 等. 基于两种典型降解塑料制品中风险项目的迁移规律分析研究[J]. 塑料科技, 2026, 54(2): 158-161.

Citation: GUO F, YANG X J, WANG T T, et al. Analysis and study on migration law of risk items in two typical degradable plastic products [J]. Plastics Science and Technology, 2026, 54(2): 158-161.

可降解塑料通过微生物发酵、氧化降解、光照分解等步骤,在潮湿的自然环境中可安全分解为低分子小颗粒的无毒无害物质,并溶解于自然环境中^[1]。依据降解原理,可降解塑料可分为光降解、生物降解、可堆肥降解塑料等^[2]。生物可降解塑料是解决塑料污染的重要手段之一,研究和应用前景广阔。优化生物降解塑料的加工工艺可提高其综合性能并降低生产成本^[3-5]。在食品包装领域,可降解材料主要用于膜袋类产品和容器工具类产品的生产^[6]。常规包装材料是造成“白色污染”的主要来源^[7],而包装材料作为直接接触食品的材料,其安全性与食品质量息息相关^[8-9]。聚乳酸(PLA)具有良好的降解性、加工特性和无毒无刺激性等优点,但也存在降解时间不易控制、阻隔性较差等缺点^[10-12]。在生产中可使用淀粉、滑石粉和乙酰柠檬酸三丁酯(ATBC)等助剂来提高产品的机械加工性能和使用性能。淀粉基生物降解塑料因其来源广泛、成本低、安全无毒,成为近年来降解材料研究的热点^[13-14]。淀粉分子链上含有大量羟基基团,易与水分子结合,因此淀粉基塑料一次性餐具应储存于阴凉干燥的环境中,防止在潮湿环境中发生霉变。总迁移是指食品包装材料中的非挥发性物质向食品模拟物的迁移,我国标准与欧盟法规对塑料食品接触材料向食品模拟物的总迁移限值为 10 mg/dm^2 ^[15]。相关资料显示,食品接触用生物降解塑料的独特材质属性使其非挥发性物质更容易迁移到食品中,给食品安全带来一定风险^[16-19]。

本文重点研究淀粉基塑料一次性餐具在4%乙酸、10%乙醇、植物油中(70℃,2h)的总迁移量情况,PLA薄膜袋产品在4%乙酸、异辛烷、20%乙醇、95%乙醇模拟液中的总迁移量情况,PLA薄膜袋在最“严苛”的95%乙醇溶液中的ATBC迁移行为。通过研究常规项目总迁移量和特定迁移项目ATBC,可快速筛查食品包材中的有害物质总量,更好地解答消费者的疑问,准确分析问题原因并采取有效的应对措施,预防和控制产品风险,为企业的生产以及抽检任务提供有效的指导,保障消费者的健康安全。

1 实验部分

1.1 主要原料

乙酸、无水乙醇、异辛烷,色谱纯,德国默克公司;标准品ATBC,CAS号77-90-7,广州佳途科技股份有限公司;迁移池,上海汇像信息技术有限公司;样品,淀粉基塑料一次性餐具、PLA薄膜袋,市售。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),7890B-5977B,美国安捷伦科技有限公司;烘箱,WFO-700W,上海爱朗仪器有限公司;电热恒温水浴锅,HH-21-8,常州诺基仪器有限公司;电子分析天平,ME204,精度0.1 mg,瑞士梅特勒-托利多公司。

1.3 样品制备

从市场购买11批次可降解塑料产品,其中包括淀粉基塑料一次性餐具(5批次餐盒)和PLA薄膜袋(6批次)。

1.4 性能测试与表征

总迁移量测试:按照GB 31604.8—2021^[20]和GB 5009.156—2016^[21]进行迁移实验。(1)淀粉基塑料一次性餐具选择4%乙酸、10%乙醇和植物油(95%乙醇替代实验),迁移实验条件为70℃、2h。其中植物油(70℃,2h)按照BS EN 1186—1:2002选择溶剂替代实验条件95%乙醇(60℃,2h)。对4%乙酸和95%乙醇的蒸发残渣,再进行三氯甲烷提取实验。(2)PLA材质薄膜袋选择4%乙酸、异辛烷、20%乙醇和95%乙醇模拟液。

ATBC含量测定:准确称取0.5 g(精确至0.000 1 g)试样于50 mL具塞玻璃锥形瓶中,加入20 mL正己烷,45℃温度下超声提取1 h,重复提取一次,收集试液于50 mL容量瓶中,用正己烷定容至刻度,试液经0.22 μm滤膜,试液和空白溶液上机测试。

ATBC迁移量测定:按照GB 31604.1—2023^[22]和GB 5009.156—2016的要求,模拟液A为95%乙醇(20℃,1 d)、95%乙醇(40℃,1 d)和95%乙醇(60℃,1 d);模拟液B为95%乙醇(20℃,3 d)、95%乙醇(40℃,3 d)和95%乙醇(60℃,3 d);模拟液C为95%乙醇(20℃,10 d)、95%乙醇(40℃,10 d)和95%乙醇(60℃,10 d)。实验前处理采用全浸没法,样品接触面积与食品模拟液的体积比(S/V)为 $0.6 \text{ dm}^2/100 \text{ mL}$ 。按照实验室方法从食品模拟液中提取ATBC,试液和空白溶液上机测试。

ATBC上机测定:(1)气相色谱参数测定采用DB-5MS毛细管柱(规格30.00 m×0.25 mm×0.25 μm);不分流进样模式,进样量1 μL,氮气流速1 mL/min;进样口温度300℃;初温60℃,以20℃/min的速率升温至220℃,保持1 min,以5℃/min的速率升温至300℃,保持6 min;(2)质谱参数测定采用电子轰击离子源技术,选择离子扫描模式,离子源温度230℃;四级杆温度150℃;传输线温度290℃。

2 结果与讨论

2.1 淀粉基塑料一次性餐具的总迁移量迁移规律分析

按照设定迁移实验条件进行前处理,表1为严苛条件下淀粉基塑料一次性餐具的总迁移量实验结果。从表1可以看出,样品在4%乙酸模拟液中迁出的非挥发性物质的量明显高于其他食品模拟物,经三氯甲烷溶剂提取后,总迁移量均小于 2.0 mg/dm^2 ,说明迁出的物质主要为无机物。95%乙醇浸泡液所得残渣经三氯甲烷提取前后,总迁移量结果变化不明显,表明淀粉基塑料中含有少量游离的小分子量有机物。实验发现,测试样品在10%乙醇中的总迁移量均小于 10 mg/dm^2 。在70℃条件下,淀粉颗粒的迁移现象更为明显。然而,样品中淀粉含量的增加并未导致总迁移量呈上升趋势,这可能与原料的性质及成品生产工

艺密切相关。淀粉与聚乙烯、聚丙烯等高分子材料的相容性通常较差。在实际生产中,为提升产品加工性能和物理性能,企业常添加各类助剂或添加剂。这些产品接触不同模拟液会使材料中的低聚物、降解物质及聚合物单体等迁

移到溶液中,从而导致总迁移量增大。研究还发现,测试样品中淀粉的结构、性质及添加比例也对总迁移量有一定影响。相关文献显示,淀粉基餐勺在水性和酸性食品模拟物中的总迁移量高于油性食品模拟物^[23-24]。

表1 严苛条件下淀粉基塑料一次性餐具的总迁移量实验结果

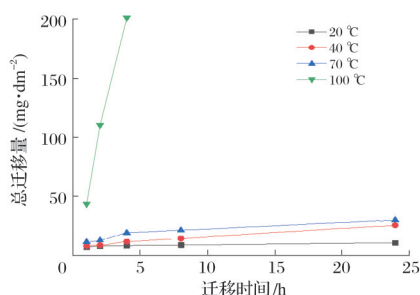
Tab.1 Experimental results of total migration amount of starch-based disposable tableware under harsh conditions

样品 编号	$w_{\text{淀粉}}/\%$	4%乙酸(70 °C, 2 h)总迁移量/(mg·dm ⁻²)		10%乙醇(70 °C, 2 h)总迁移量/ (mg·dm ⁻²)	95%乙醇(60 °C, 2 h)总迁移量/(mg·dm ⁻²)	
		提取前	提取后		提取前	提取后
1	26.6	84.5	<2.0	8.6	9.2	8.1
2	29.6	6.8	<2.0	<2.0	9.5	8.4
3	30.1	97.3	<2.0	2.8	9.0	7.8
4	30.5	13.8	<2.0	2.4	8.9	7.9
5	31.3	104.9	<2.0	3.9	9.2	8.0

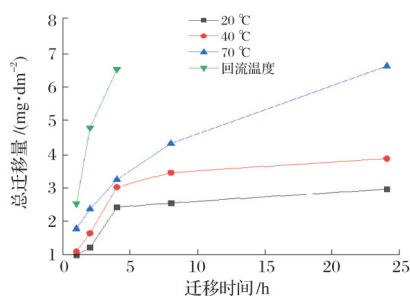
2.2 PLA薄膜袋总迁移量和ATBC迁移规律研究

2.2.1 PLA薄膜袋的总迁移量迁移规律分析

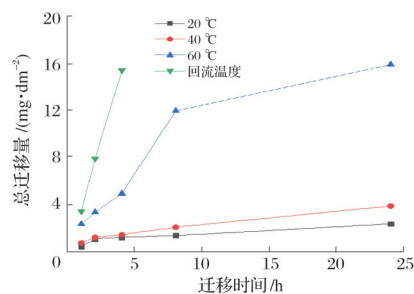
选择2#PLA薄膜袋样品,采用全浸没方法,按照前处理规定进行实验处理。图1为PLA薄膜袋在不同食品模拟液中的总迁移量。从图1可以看出,在4种实验条件下,实验温度、迁移时间对样品的总迁移量结果有重要影响。在每一种模拟液中,随着实验温度的升高、迁移时间的增加,总迁移量呈现增长趋势。PLA对水的亲和力较小,酸性环境下会促进PLA的降解。对于PLA薄膜袋,4种模拟液的提取能力为:4%乙酸>异辛烷>95%乙醇>20%乙醇。4%乙酸和异辛烷的总迁移量结果均高于20%乙醇和95%乙醇模拟液的迁移结果。PLA材质餐具在4%乙酸和异辛烷中,其含有的游离小分子物质更易迁出。研究发现其他批次的样品也呈现这样的迁移规律。



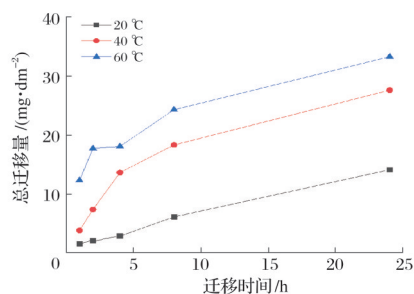
(a) 4%乙酸模拟液



(b) 20%乙醇模拟液



(c) 95%乙醇模拟液



(d) 异辛烷模拟液

图1 PLA薄膜袋在不同食品模拟液中的总迁移量

Fig.1 Total migration amount of PLA film bags in different food simulants

2.2.2 不同实验条件对ATBC迁移结果的影响

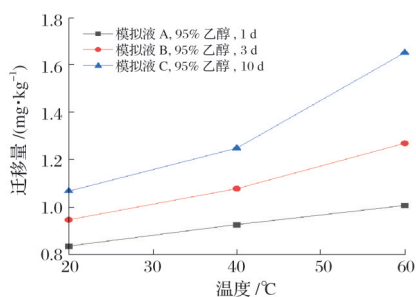
按照实验室确认的方法^[25],对6批次PLA薄膜袋样品进行ATBC检测。表2为PLA薄膜袋ATBC的测定结果。选择阳性结果较大的1#样品(厚度为0.036 4 mm)和4#样品(厚度为0.029 0 mm)进行ATBC迁移行为的研究。

图2为不同实验条件下两个样品中ATBC的迁移量。从图2可以看出,温度相同时,样品在95%乙醇中ATBC迁移量随着迁移时间的增加逐渐增加;迁移时间相同时,随着实验温度升高,迁移结果逐渐增大。当实验温度和迁移时间都增加时,迁移速度加快,ATBC迁移量更大。当温度升高时,分子运动速度会加快,结晶度和定向度降低,分子间距逐渐增大,为扩散提供更多通道,加快了目标物迁出的速

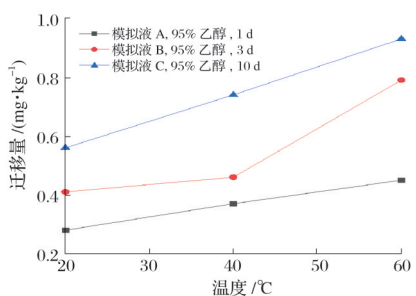
度。在温度 60 °C 时,样品中 ATBC 迁移量高于 40 °C 和 20 °C 时的迁移量。从表 2 和图 2 还可以看出,1#样品的 ATBC 含量为 4#样品中的 4 倍,ATBC 的迁移量也大于 4#样品。但是,经过计算相对迁出率(迁移量与 ATBC 含量的比值),发现 4#样品中 ATBC 的相对迁出率大于 1#样品。这说明样品厚度越小,ATBC 的相对迁出率就越大。分析原因,可能是薄膜越厚,分子间的交联度越高,氢键连接好,范德华力大,ATBC 的相对迁出率减少。

表 2 PLA 薄膜袋 ATBC 含量的测定结果
Tab.2 Determination results of ATBC content
in PLA film bags 单位:mg·kg⁻¹

样品	ATBC 含量
1#	411.45
2#	130.28
3#	32.76
4#	109.86
5#	156.78
6#	26.32



(a) 1#样品在食品模拟液 A、B、C 中 ATBC 的迁移量



(b) 4#样品在食品模拟液 A、B、C 中 ATBC 的迁移量

图 2 不同实验条件下两个样品中 ATBC 的迁移量

Fig.2 ATBC migration amount in two samples
under different experimental conditions

3 结论

淀粉基塑料一次性餐具在 4% 乙酸模拟液中总迁移量相对较高,4 种模拟液对 PLA 薄膜袋总迁移量的提取能力排序为:4% 乙酸>异辛烷>95% 乙醇>20% 乙醇。在每一种模拟液中,随着实验温度的升高、迁移时间的增加,总迁移量呈现增长趋势。迁移实验条件的不同对总迁移量和 ATBC 特定迁移量均有影响。建议企业提高生产工艺水平,在醒目处标注注意事项和使用条件,指导消费者更好地使用可降解产品。

参考文献

- [1] 朱亚凯,蔡文彬.可降解塑料产业发展概述[J].塑料包装,2021(3): 19-21.
- [2] 许超,申丽霞,王亭亭,等.基于可降解塑料餐具典型项目的分析研究[J].塑料工业,2021(7): 99-103.
- [3] 李军.我国生物可降解塑料产业发展现状浅析[J].当代石油石化,2023(8): 23-26.
- [4] 程国仁,宗文,李均,等.生物降解塑料的研究与应用现状[J].化工管理,2023(13): 84-92.
- [5] 刘金凤,者东梅,杨勇,等.生物降解塑料的分类和应用研究进展[J].塑料科技,2024,52(1): 117-123.
- [6] 魏明华,杜延超.关于降解食品包装材料及制品检验研究[J].轻工标准与质量,2021(3): 68-70.
- [7] 王子扬,谢梦竹,陈思怡,等.生物降解聚乳酸改性及其在塑料薄膜中的应用[J].塑料包装,2022(6): 1-4.
- [8] 孔英戈,邹淳辉,申颖,等.浅谈食品接触用塑料材料及制品的安全标准与检验问题[J].中国标准化,2019(10): 253-254.
- [9] 秦蓓.塑料食品包装材料安全性研究现状[J].包装工程,2011,32(19): 33-37.
- [10] 路洋,杨卓霖,马秀清.生物可降解塑料 PLA 的改性研究进展[J].橡塑技术与装备,2024,50(7): 10-16.
- [11] 丁蕊,徐昂,刘倚帆,等.滑石粉增强增韧聚乳酸生物可降解材料进展[J].塑料,2022,51(3): 58-65.
- [12] 刘彩云,陈衍玲,王景,等.生物降解材料的性能及应用研究进展[J].塑料科技,2022,50(7): 81-85.
- [13] 吴雄杰,陶强,朱东波,等.食品接触用生物降解塑料购物袋材质鉴别与总迁移量研究[J].中国塑料,2022(5): 127-132.
- [14] 陈启杰,周丽玲,董徐芳,等.淀粉基膜的制备及应用研究进展[J].食品与机械,2017,33(3): 211-215.
- [15] 植爱萍,李超银,韦丽梅,等.不同浸泡条件对薄膜包装材料总迁移量检测结果的影响[J].食品安全质量检测学报,2020(23): 8736-8739.
- [16] 何金凤,林勤保,任纪州,等.聚乳酸生物降解复合膜向食品模拟物的总迁移及钙的迁移研究[J].分析测试学报,2021(11): 1639-1644.
- [17] 黄香丽.食品接触材料及制品总迁移量的测定方法探讨[J].酿酒,2019(3): 88-90.
- [18] 李丽莎,马芮萍,孙世琨,等.食品接触材料中有害物质的迁移研究展望[J].中国包装,2019(6): 58-69.
- [19] 魏晓晓,高峡,刘伟丽.GC-MS 和 LC-MS 技术用于食品接触高分子中非有意添加物的检测研究[J].分析仪器,2019(3): 51-55.
- [20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品接触材料及制品 总迁移量的测定: GB 31604.8—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.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: GB 5009.156—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品接触材料及制品 迁移试验通则: GB 31604.1—2023[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [23] 陶强,吴雄杰,朱东波,等.淀粉基塑料购物袋性能表征研究[J].包装工程,2022,43(23): 199-206.
- [24] 黄鑫茜,余稳稳,姚皓程,等.淀粉基餐勺表征及总迁移检测分析[J].食品与发酵工业,2020(12): 225-230.
- [25] 张智力,齐永润,孙元浩,等.基于可降解塑料袋中乙酰柠檬酸三丁酯的迁移规律研究[J].塑料科技,2024(6): 111-114.