

淀粉基塑料购物袋性能表征研究

陶强^{1,2}, 吴雄杰^{1,2}, 朱东波^{1,2}, 程劲松^{1,2}, 高龙美^{1,2},
储雨^{1,2}, 郑品^{1,2}, 许磊^{1,2}

(1.安徽省功能高分子材料分析研究有限公司, 安徽 桐城, 231400;
2.国家高分子材料质量检验检测中心(安徽), 安徽 桐城, 231400)

摘要: **目的** 通过对淀粉基塑料购物袋的理化性能表征, 了解淀粉基塑料购物袋使用特性, 为改善淀粉基塑料购物袋使用性能提供一些理论依据。**方法** 采用热重分析(TG)、热机械分析(TMA)等手段对淀粉基塑料购物袋的淀粉含量及耐热性能进行分析, 借助电子万能材料试验机对淀粉基塑料购物袋的力学性能进行分析, 以及利用霉菌培养、总迁移行为探究等方法对淀粉基塑料购物袋霉变程度、卫生性能进行分析。**结果** 样品A、B、C淀粉质量分数分别为15.72%、23.97%、30.36%, 耐热性能比传统PE塑料袋要低; 淀粉基塑料购物袋的拉伸强度随淀粉含量的增大而减小, 断裂伸长率随淀粉含量的增加而增加, 总迁移量结果随淀粉含量增加而增大, 但经三氯甲烷处理后均低于限量要求; 淀粉基塑料购物袋不适宜盛装酸性和低乙醇类食品。**结论** 通过对淀粉基塑料购物袋深入研究, 发现淀粉基塑料购物袋在力学性能、总迁移量、霉变程度存在缺陷, 望研究者们可以从这几个方向入手, 改善淀粉基塑料购物袋的理化性能。

关键词: 淀粉基塑料购物袋; 淀粉含量; 耐热性能; 力学性能; 霉变程度; 总迁移量

中图分类号: TB487

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2022)23-0199-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.23.024

Property Characterization of Starch-based Plastic Shopping Bag

TAO Qiang^{1,2}, WU Xiong-jie^{1,2}, ZHU Dong-bo^{1,2}, CHENG Jin-song^{1,2}, GAO Long-mei^{1,2},
CHU Yu^{1,2}, ZHENG Pin^{1,2}, XU Lei^{1,2}

(1. Anhui Functional Polymer Materials Analytical Research Co., Ltd., Anhui Tongcheng 231400, China; 2. National Center for Quality Inspection and Testing of Polymer Materials (Anhui), Anhui Tongcheng 231400, China)

ABSTRACT: The work aims to understand the use characteristics of starch-based plastic shopping bag through the characterization on the physical and chemical properties of starch-based plastic shopping bag, so as to provide some theoretical basis for improving the properties of starch-based plastic shopping bag. The starch content and heat resistance of starch-based plastic shopping bag were analyzed by means of thermogravimetric analysis and thermomechanical analysis, and the mechanical properties of starch-based plastic shopping bag were analyzed by electronic universal material testing machine. Then, the mildew degree and hygienic performance of starch-based plastic shopping bag were analyzed by the methods of mold culture and total migration behavior. The starch contents of samples A, B, and C were 15.72%, 23.97%, and 30.36%, respectively, and the heat resistance was lower than that of traditional PE plastic bags. The tensile strength of starch-based plastic shopping bag decreased with the increase of starch content, but the elongation at break and the total

收稿日期: 2022-02-28

基金项目: 安庆市科学技术局科技计划项目(2021Z0006, 2021Z0007)

作者简介: 陶强(1990—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品及食品接触材料研究。

通信作者: 吴雄杰(1973—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为高分子材料检测与分析。

migration amount increased with the increase of starch content, which were all lower than the limit requirements after treatment with chloroform. Therefore, starch-based plastic shopping bag was not suitable for acid and low-ethanol food. Through in-depth research on starch-based plastic shopping bag, it is found that starch-based plastic shopping bag has defects in mechanical properties, total migration amount, and degree of mildew. It is hoped that researchers can start from these directions to improve the physical and chemical properties of starch-based plastic shopping bag.

KEY WORDS: starch-based plastic shopping bag; starch content; heat resistance; mechanical properties; degree of mildew; total migration amount

我国是包装材料制造大国,塑料包装材料在整个包装产业中占比近三分之一,2019 年我国塑料加工制品高达 8 184 万 t^[1],到 2020 年我国合成树脂总产量增加至 10 355 万 t,已逐渐成为世界塑料生产第一大国^[2]。其中,塑料包装材料因具有可塑性强、质量轻、成本低等特点,被广泛使用在食品包装领域中^[3-4]。聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚酯(PET)这些传统塑料被丢弃后很难在短时间内降解,造成严重的“白色污染”。生物基塑料具备 2 个重要优点:生物基塑料利用生物质的可再生性,节约化石资源,并具有独特的碳中和潜力;大部分生物基塑料具有可生物降解特性,能够解决“白色污染”问题。随着各国“禁塑政策”的实施与人们环保意识的增强,生物基塑料替代传统塑料已是大势所趋^[5]。在众多生物基材料中,淀粉是除纤维素外的第二大可再生原料,淀粉基生物降解塑料因其来源广泛、成本低廉、安全无毒成为近些年降解材料研究的热点^[6]。截止到目前,淀粉基塑料经历了三代的演变,从第一代的填充型淀粉塑料到第二代的共混型淀粉塑料以及第三代的全淀粉型塑料。这 3 类淀粉基塑料的演变特征主要是淀粉含量的逐渐增加以及生物降解性能不断提升^[7]。

研究人员通常将淀粉与聚酯或天然高分子材料等共混制备淀粉基可生物降解材料,目的是改善淀粉单体的机械强度、降低其吸水性以扩大其应用范围^[8-10]。在“双碳政策”、“绿色包装政策”的引导下,淀粉基塑料的产量和质量都取得了较大的提高,淀粉基塑料购物袋在食品包装塑料领域几乎替代了传统塑料购物袋。2019 年我国将生物基塑料列入鼓励类产业目录,2022 年“安徽省十四五规划”中明确表示将大力发展具有特色优势的生物基新材料,这一系列的政策表明我国对生物基塑料需求保持稳定的增长势头。据欧洲生物塑料协会调研数据显示^[11],到 2022 年全球生物基塑料产能约 244 万 t,欧美是主要的使用市场,而亚洲将是未来生物降解材料使用的主要增长区。

淀粉基塑料购物袋作为淀粉基塑料衍生产品之一,主要是将淀粉作为填充材料,与 PE 或 PP 等材料共混制作塑料购物袋^[12],其极大地解决了因传统塑料难降解造成环境污染的问题。但淀粉分子间与分子内存在较强的氢键,不易加工;其分子链上存在大量

的羟基且分子链间极易生成双螺旋结构,容易吸收水份,对力学性能影响较大^[13],所以一般会加入增塑剂^[14-15]、交联剂^[16-17]、无机物^[18-19]或活性物质^[20-21]提高复合膜的性能。当淀粉基塑料购物袋与食品接触时,这些有意或者生产中无意带入的有毒有害物质也会造成食品安全风险^[22]。目前,我国关于淀粉基塑料购物袋的安全性研究报道较少,导致市售的产品使用范围受限,因此,文中主要基于淀粉基塑料购物袋为研究对象,全面探究淀粉基塑料购物袋的淀粉含量、热稳定性、力学性能、霉变程度以及总迁移特性,为淀粉基塑料购物袋改性提供理论参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:淀粉基塑料购物袋 A、B、C(批发市场随机购买);冰乙酸(优级纯,国药集团化学试剂有限公司);乙醇(优级纯,上海安谱实验科技股份有限公司);三氯甲烷(优级纯,国药集团化学试剂有限公司);实验用水(艾科浦超纯水机制备的三级水)。

主要仪器:Pyris 1 热重分析仪,美国 PerkinElmer 公司;TAM4000 热机械分析仪,美国 PerkinElmer 公司;Proline 电子万能材料试验机,德国 Zwick 公司;ES-050 热恒温水浴锅,山东博科欧莱博公司;CS101-1EB 电热鼓风干燥箱,重庆英博实验仪器有限公司;uni Bloc AuY220 电子分析天平,日本岛津公司;KK/HWS-100 恒温恒湿试验箱,上海科肯试验设备有限公司;YXQ-LS-50SII 型立式压力蒸汽灭菌锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;FW-80 型高速万能粉碎机,天津泰勒特科技有限公司;SPX-250B-Z 型生化培养箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 性能表征

1.2.1 淀粉含量测定

参考 QB/T 2957—2008 测定 3 种淀粉基塑料购物袋的淀粉含量,氮气流量为 50 mL/min,用电子天平称取适量淀粉标样(精确到 0.1 mg)放入热重分析仪的坩埚内,以 20 °C/min 的速率匀速从室温升到 105 °C,恒温 5 min 后降至室温,用热天平称量初始质量为 m_s ,以 20 °C/min 的速率匀速从室温升至

600 °C, 记录外推始点温度对应质量 m_A , 外推终点温度对应质量 m_B ; 淀粉基塑料购物袋测定重复上面 2 个步骤, 记录初始质量 m_{s1} , 外推始点温度对应质量 m_{A1} , 外推终点温度对应质量 m_{B1} , 按式 (1) 计算出淀粉含量 S 。

$$S = \frac{(m_{A1} - m_{B1}) / m_{s1}}{(m_A - m_B) / m_s} \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 耐热性能测试

耐热性能参考美国材料协会标准 ASTM D1525-07 进行测试, 由于 TMA4000 位移测量精度较高 (0.000 1 mm), 所以采用单层样品 (平均厚度约 0.025 mm) 进行维卡软化点测试, 具体步骤: 将样裁剪成 5 mm×5 mm 的正方形薄膜放入夹具上, 使用直径为 1.12 mm 平头探针, 施加 0.05 N 的力, 采用压缩模式, 以 20 °C/min 速率升温至 130 °C, 记录曲线, 以探针下降至 0.01 mm 处记为维卡软化点温度。维卡软化点温度指的是无定形聚合物开始变软时的温度, 表示塑料在瞬时高温下保持形状的能力, 主要表征塑料的耐热等级。

1.2.3 力学性能测试

使用 Proline 电子万能材料试验机测量淀粉基塑料购物袋的拉伸强度以及断裂伸长率, 试样放在温度为 25 °C、相对湿度为 60% 环境中调节 24 h 后进行测试。

1.2.4 霉变程度测试

霉菌测定主要参考国标 GB 4789.15—2016, 将放置 45 d 后的淀粉基塑料购物袋冷冻粉碎, 称取 0.5 g 粉末于 50 mL 无菌离心管中, 加入 10 mL 无菌生理盐水, 震荡涡旋 1 min。吸取 1 mL 样品原液于表面皿内, 每个表面皿中加入约 20 mL 马铃薯葡萄糖琼脂。另外分别取 1 mL 无菌生理盐水加入表面皿中, 作为空白对照。琼脂凝固后, 置于 28 °C 培养箱中培养 5 d。

1.2.5 总迁移行为研究

对于已标明食品接触条件的样品, 按照 GB/T 31604.1—2015 选择合适的模拟物和浸泡条件, 并按 GB/T 31604.8—2016 中 5.5.1 进行总迁移行为的研究; 对于未标明食品接触条件的样品, 选择 4% 乙酸 (体积分数)、20% 乙醇 (体积分数)、95% 乙醇 (体积分数) 等模拟液, 70 °C 浸泡 2 h 条件进行总迁移行为的研究; 进一步对样品的蒸发残渣按 GB/T 31604.8—2016 中 5.5.2 测定三氯甲烷提取物, 最终总迁移量的结果以三氯甲烷提取物测定的结果计。

2 结果与讨论

2.1 淀粉基塑料购物袋表征

2.1.1 热重分析

文中研究过程中, 采用热重分析仪对淀粉基塑料

购物袋的淀粉含量进行测定, 如图 1 所示是 TG-DTG 曲线。从图 1 热重分析曲线可以看出, 样品 A 与 B 在起始阶段没有发生重量明显下降的情况, 说明样品 A 与 B 所含水分以及易挥发的小分子有机物很少; 而样品 C 在 100 °C 附近质量损失率达到了一个峰值, 但在 116 °C 附近曲线开始趋于平缓, 造成这一现象的原因可能是样品 C 中水分含量较高, 随着温度的升高, 水分开始蒸发, 导致质量显著下降。从第 1 阶段淀粉分解的台阶看, 样品 A、B、C 的淀粉含量逐渐增多, 但质量损失率在 351 °C 附近几乎达到了最大值, 表明淀粉含量的多少对淀粉基塑料购物袋的热稳定性没有影响。根据式 (1) 计算, 可以得出样品 A 中的淀粉含量为 15.72%, 样品 B 中的淀粉含量为 23.97%, 样品 C 中的淀粉含量为 30.36%, 结果见表 1。淀粉质量分数的计算结果表明随机购买的淀粉基塑料购物袋都符合 QB/T 4012—2010 的要求 (淀粉质量分数 ≥ 15%)。为了验证样品 C 起始段热重曲线明显下降的分析结果, 将样品 C 按照 SH/T 1770—2010 测试其水分含量, 计算的结果为 2.05%, 与热重曲线上得出的结果基本一致。

2.1.2 耐热性能分析

考虑到淀粉基塑料购物袋可能会装入温度较高的食品, 有必要探究其耐热性能, 避免高温导致购物袋发生热变形以及有毒有害物质迁移到食品中。以传统 PE 塑料购物袋为对照组, 采用热机械分析仪分别测试样品 A、B、C 的软化点, 探究淀粉基塑料购物袋的最高使用温度。

图 2 为 4 组样品热稳定性能的曲线图, 从图 2 中可以看出传统 PE 材质的购物袋维卡软化点为 129.54 °C, 明显比淀粉基塑料购物袋的软化点高; 其次, 从图中曲线趋势可以看出 PE 塑料购物袋达到维卡软化点时, 随着温度的升高位移发生断崖式下降, 而淀粉基塑料购物袋位移则以一定的坡度下降, 说明淀粉基塑料购物袋在受热时产生的热变形过程比较缓慢。从图中可知, 样品 A、B、C 维卡软化点分别为 116.75、112.82、122.67 °C, 说明淀粉基塑料购物袋中掺杂少量淀粉时会造成维卡软化点温度的下降, 当淀粉掺杂量继续增加时, 维卡软化点又开始增大, 分析原因可能是淀粉基塑料购物袋中掺杂了淀粉颗粒, 使其无定形区域增多^[23], 导致样品 A 维卡软化温度低于 PE 塑料购物袋; 随着淀粉含量增加, PE 分子无定形区域进一步增加, 样品 B 维卡软化温度再次出现下降; 当淀粉掺杂量达到 30.36% 时, 淀粉颗粒较好地包裹在 PE 分子链周围, 阻挡了部分热量传导, 从而使样品 C 维卡软化温度升高。最后, 从图 2 结果综合分析可知, 虽然淀粉基塑料购物袋比传统 PE 购物袋耐热性能要差, 但足以满足日常的生活使用。

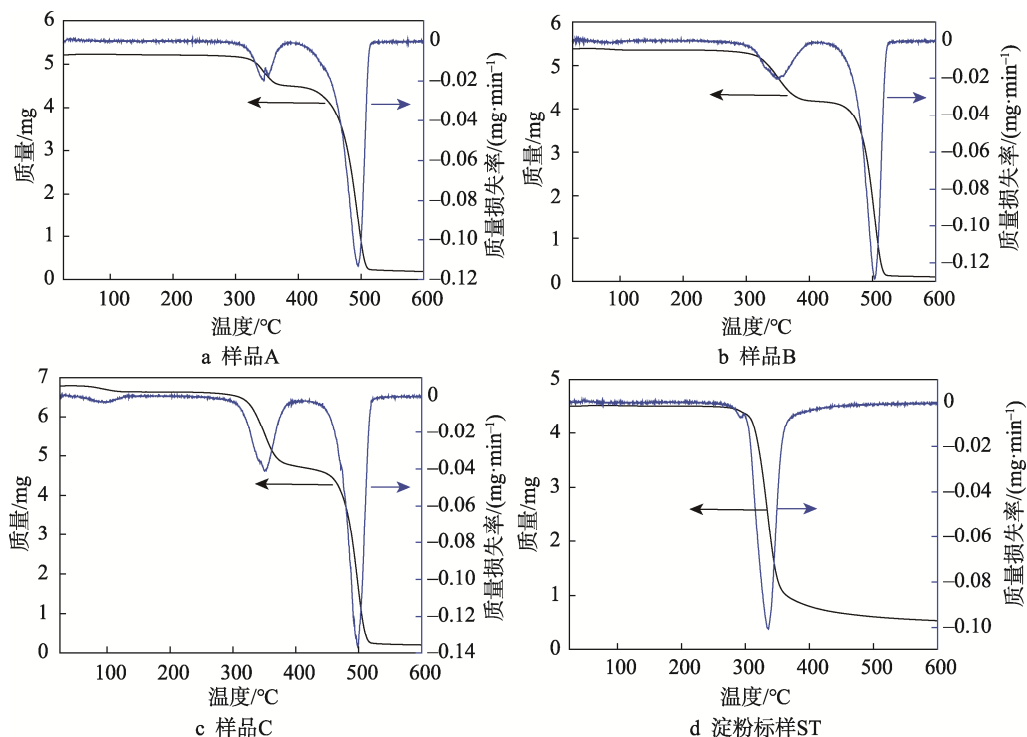


图 1 4 组样品 TG-DTG 曲线图

Fig.1 TG-DTG curves of 4 groups of samples (ST-starch standard sample)

表 1 3 组样品淀粉含量结果

Tab.1 Results of starch content in 3 groups of samples

编号	初始质量/mg	外推始点温度对应质量/mg	外推终点温度对应质量/mg	淀粉质量分数/%
淀粉标样 ST	$m_s=4.512$	$m_A=4.240$	$m_B=1.132$	
样品 A	$m_{s1}=5.216$	$m_{A1}=5.108$	$m_{B1}=4.543$	$S=15.72$
样品 B	$m_{s1}=5.386$	$m_{A1}=5.173$	$m_{B1}=4.284$	$S=23.97$
样品 C	$m_{s1}=6.790$	$m_{A1}=6.401$	$m_{B1}=4.981$	$S=30.36$

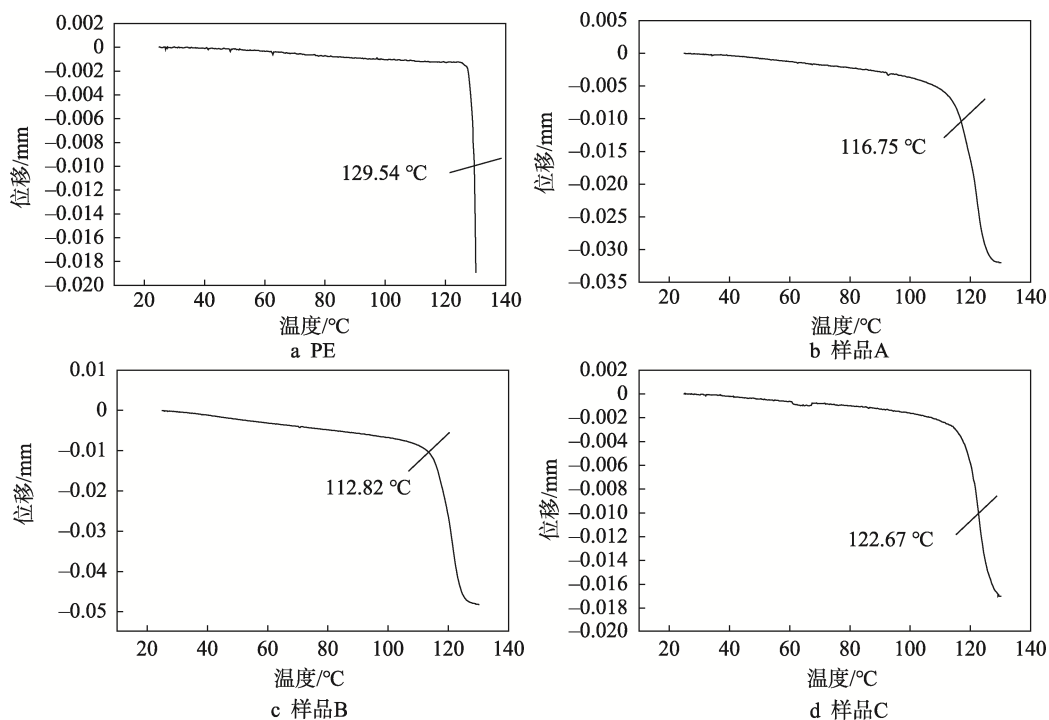


图 2 4 组样品的热机械分析曲线

Fig.2 Thermomechanical analysis curves of 4 groups of samples

2.1.3 拉伸性能分析

PE、A、B、C 4 组样品的拉伸强度以及断裂伸长率曲线图见图 3。从图 3 中可以看出 PE 塑料购物袋拉伸强度远大于淀粉基塑料购物袋, 淀粉基塑料购物袋拉伸强度随淀粉含量的增加, 其拉伸强度逐渐下降, 造成这一现象可能是“海-岛结构效应”, 在外力作用下基体树脂从填充料淀粉颗粒表面被拉开, 导致承受外力表面积减少, 所以拉伸强度下降, 其次, 淀粉与基体树脂间形成的新界面容易产生应力集中, 导致相分离或离层现象。与淀粉基塑料购物袋相比, PE 购物袋断裂伸长率只有 345.58%, 而样品 A 的断裂伸长率为 425.00%, 样品 B、C 断裂伸长率更是高达 686.64%、784.48%, 接近 PE 购物袋的 2 倍左右, 表明了淀粉基塑料购物袋在装入一定质量的物品时容易产生拉伸变形。从拉伸强度与断裂伸长率的数据分析, 说明淀粉基塑料购物袋力学性能要低于 PE 塑料购物袋力学性能, 并且随着淀粉含量的增加, 力学性能下降明显。

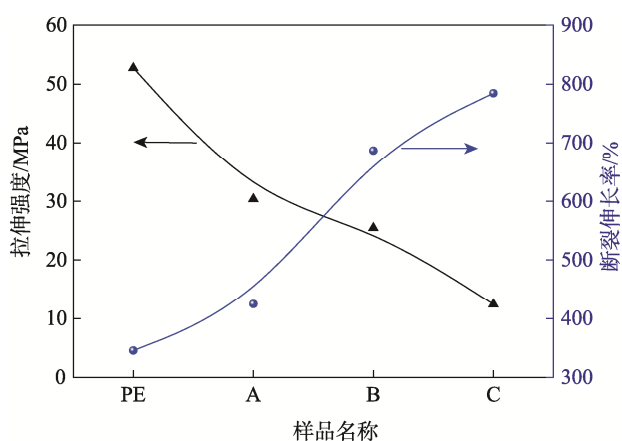


图 3 4 组样品的拉伸强度与断裂伸长率曲线
Fig.3 Tensile strength and elongation at break curves of 4 groups of samples

2.1.4 霉变程度分析

淀粉基塑料购物袋由于其淀粉自身具有高吸湿性、易被微生物污染等因素, 所以在长时间存放过程中其表面极有可能会发生霉变^[24], 影响其使用性能。当用这类购物袋直接装食品时, 会间接污染食品, 影响人们的身体健康。为了探究淀粉基塑料购物袋发生霉变的风险, 将样品 A、B、C 在相对湿度大于 80%, 温度为 36 °C 条件下放置 45 d 后测菌落结果, 并将 PE 塑料购物袋作为对照组, 命名为 D, 放入相同条件下 45 d 测试菌落结果。

图 4 为样品 A、B、C 以及对照组 D 在相对湿度大于 80%、温度为 36 °C 条件下放置 45 d 后菌落的测试结果图。从图 4 中可知, 样品 A、B 以及对照

组 D 在相对湿度大于 80%, 温度为 36 °C 条件下放置 45 d, 表面均未发现微生物生长, 但在 45 d 后样品 C 上有少量微生物菌群, 说明淀粉基塑料购物袋在一定环境条件下有发生霉变的风险。霉菌在生长繁殖过程中, 可能会产生微量的毒素, 这些霉菌与霉菌毒素会污染食品^[25-26], 所以淀粉基塑料购物袋在使用过程中滋生细菌发生霉变引起了人们的重视, 因此, 无论是制造商还是消费者在储存淀粉基塑料购物袋时, 要尽量保证环境的干燥, 避免其发生霉变。

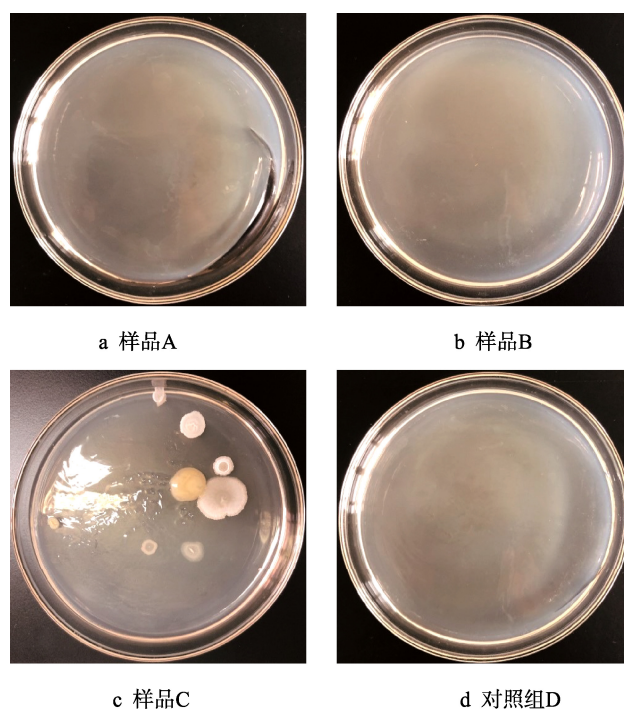


图 4 4 组样品菌落在马铃薯葡萄糖琼脂平板生长情况
Fig.4 Growth of colonies of 4 groups of samples on potato grape agar plates

2.2 淀粉基塑料购物袋总迁移行为分析

由于淀粉与 PE 或 PP 共混时相容性较差, 为了改善其性能往往会加入一些添加剂或助剂, 这些化学试剂连同聚合物单体、低聚物、大分子降解产物等在与食品接触过程中会迁移到食品中, 总迁移量数值越大, 说明迁移到模拟物中有害物质越多, 对人们的健康危害越严重。通过对总迁移量的研究, 能够快速筛选出不合格产品, 为监督管理部门以及产品质量控制提供理论指导。

2.2.1 总迁移量直接检验结果分析

图 5 为样品 A、B、C 总迁移量直接检验的结果图。从图 5 中可以看出, 样品 A 与样品 B 总迁移量结果均未超过限量要求, 但样品 C 在 4% 乙酸、20% 乙醇 2 种模拟液中 70 °C 条件下浸泡 2 h 总迁移量结

果都远超限量要求。另外, 3 组样品的总迁移量结果表现出一定的变化趋势, 在 4%乙酸模拟液中最大, 20%乙醇模拟液中次之, 在 95%乙醇模拟液中最小, 分析原因可能是淀粉能在酸性模拟液中容易发生糊化, 乙酸破坏了淀粉颗粒结构^[27-29], 导致总迁移量结果增大; 在低乙醇模拟液中糊化效果较酸性模拟液差, 所以总迁移量结果减小; 而在高乙醇含量(体积分数 95%)模拟液中, 淀粉糊化受阻, 进一步使总迁移量结果与 4%乙酸、20%乙醇结果相比急剧减小, 甚至低于限量要求。从图 5 中还可以看出, 随着样品淀粉含量的增加, 其总迁移量结果也随之增大, 说明淀粉基塑料购物袋中有害物质随淀粉含量的增加迁移到食品中的量也在增多。所以, 在保证总迁移符合标准要求的前提下, 适当提高淀粉的掺杂量, 以满足降解性能需求。

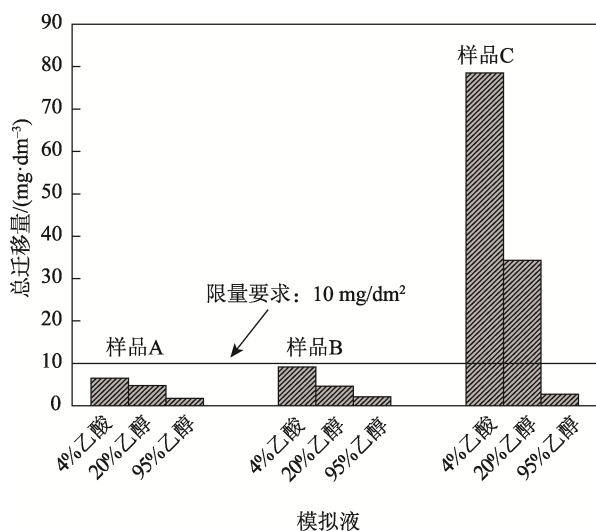


图 5 3 组样品直接处理后总迁移量的检验结果图
Fig.5 Inspection results of the total migration amount of the 3 groups of samples after direct treatment

2.2.2 经三氯甲烷处理的总迁移量结果分析

图 6 为用三氯甲烷处理后样品 A、B、C 总迁移量的检验结果图。从图 6 中可知, 3 组样品经三氯甲烷处理后其总迁移量结果都满足限量要求, 并且 3 种模拟液总迁移量结果都出现了下降, 样品 A、B 总迁移量结果下降不明显, 而样品 C 在未经三氯甲烷处理前总迁移量结果是不合格的, 但在经三氯甲烷处理后总迁移量结果不仅符合标准要求, 且远小于限量要求, 说明三氯甲烷处理对低淀粉含量的淀粉基塑料购物袋总迁移量的结果影响较小, 对高淀粉含量的淀粉基塑料购物袋总迁移量的结果影响较大。这也为淀粉基塑料购物袋总迁移量标准修订提供了参考依据: 找到合适的淀粉含量临界点, 低于临界值, 则总迁移量结果直接计; 高于临界值, 则总迁移量结果以三氯甲烷处理结果计。

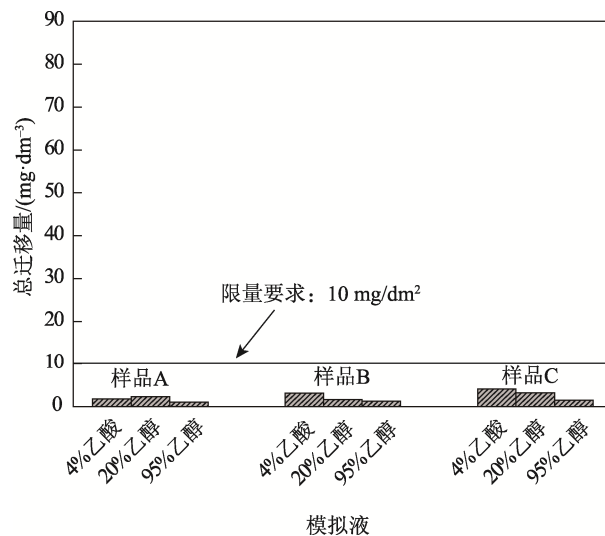


图 6 3 组样品三氯甲烷处理后总迁移量的检验结果
Fig.6 Inspection results of the total migration amount of the 3 groups of samples after treatment with chloroform

3 结语

通过对淀粉基塑料购物袋淀粉含量、耐热性能、力学性能、霉变程度等指标的全面研究分析可知, 样品 A、B、C 的淀粉质量分数分别为 15.72%、23.97%、30.36%, 符合 QB/T 4012—2010《淀粉基塑料》中淀粉含量的要求; 虽然淀粉基塑料购物袋的耐热性能要低于传统 PE 塑料袋, 但其软化点都在 100 °C 以上, 可以满足日常使用的需求; 从力学性能的研究中表明随着样品淀粉含量的增加, 淀粉基塑料购物袋的拉伸强度随之下降, 而断裂伸长率则出现了增长趋势, 因此在使用淀粉基塑料购物袋时要避免装入过重的物品, 以防止物品过重导致购物袋发生断裂或变形; 从霉变程度分析中说明淀粉基塑料购物袋在潮湿环境中存在霉变的风险, 因此淀粉基塑料购物袋储存时要放置在阴凉干燥的环境中, 潮湿的环境可能会造成其表面发生霉变。

总迁移行为研究直观、快速地反映了有毒有害物质从淀粉基塑料购物袋中迁移到食品中的量值大小, 未经三氯甲烷处理的样品 C 在 4%乙酸与 20%乙醇模拟物中 70 °C 条件下浸泡 2 h 总迁移量远超限量要求, 经三氯甲烷处理后样品 A、B、C 总迁移量结果均出现下降, 其中样品 C 下降最为明显, 其结果已经低于限量要求; 从总迁移行为的研究结果变化趋势中说明, 淀粉基塑料购物袋不适宜装入酸性与低乙醇类食品。

通过对淀粉基塑料购物袋基本理化性能表征研究, 可以发现淀粉基塑料购物袋在力学性能、总迁移量、霉变程度存在缺陷, 可能会限制其使用范围, 因此, 研究者们可以从提高断裂强度、降低断裂伸长率、减小总迁移量、降低霉变风险等几个方面入

手,综合改善淀粉基塑料购物袋的使用局限性,使其既能实现降解的目的又能满足与传统PE塑料袋同样的使用性能。

参考文献:

- [1] 中国塑料加工工业协会. 中国塑料加工业 2019 年回顾与 2020 年展望[R]. 北京: 中国塑料加工工业协会, 2020.
China Plastics Processing Industry Association. 2019 Review and 2020 Prospect on Chinese Plastics Processing Industry[R]. Beijing: China Plastics Processing Industry Association, 2020.
- [2] 曲岩松. “十四五”期间中国合成树脂工业的机遇和挑战[J]. 中国塑料, 2022, 36(3): 140-145.
QU Yan-song. Opportunities and Challenges of China's Synthetic Resin Industry during the 14th Five-Year[J]. China Plastics, 2022, 36(3): 140-145.
- [3] 王艳丽, 李玉坤, 支朝晖, 等. 淀粉基食品包装材料的生命周期评价[J]. 中国食品学报, 2021, 21(12): 277-282.
WANG Yan-li, LI Yu-kun, ZHI Chao-hui, et al. Comparative Life Cycle Assessment of Starch-Based Food Packaging Materials[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(12): 277-282.
- [4] BARNES S J. Understanding Plastics Pollution: The Role of Economic Development and Technological Research[J]. Environmental Pollution, 2019, 249: 812-821.
- [5] 郭斌, 韩梓军, 薛灿, 等. 当今世界淀粉塑料行业的发展现状——北美[J]. 塑料科技, 2018, 46(3): 140-143.
GUO Bin, HAN Zi-jun, XUE Can, et al. Present Status of Starch Plastics Industry in North America[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(3): 140-143.
- [6] 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.
CHEN Qi-jie, ZHOU Li-ling, DONG Xu-fang, et al. Research Progress on Preparation and Application of Starch-Based Films[J]. Food & Machinery, 2017, 33(3): 211-215.
- [7] 金征宇, 王禹, 李晓晓, 等. 淀粉基生物可降解材料的研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 1-7.
JIN Zheng-yu, WANG Yu, LI Xiao-xiao, et al. Research Progress on Starch-Based Biodegradable Materials[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(5): 1-7.
- [8] 韩国程, 郭蕊, 俞朝晖. 淀粉基生物降解薄膜材料的研究进展[J]. 生物加工过程, 2019, 17(5): 460-465.
HAN Guo-cheng, GUO Rui, YU Zhao-hui. A Review on Biodegradable Starch-Based Films[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2019, 17(5): 460-465.
- [9] 张晓晓, 黄丽婕, 陈杰, 等. 淀粉基食品包装膜材料的研究进展[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 83-88.
ZHANG Xiao-xiao, HUANG Li-jie, CHEN Jie, et al. Research Progress of Starch-Based Food Packaging Film[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 83-88.
- [10] 申志翔, 陈复生, 宋小勇, 等. 淀粉基生物可降解材料的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 290-294.
SHEN Zhi-xiang, CHEN Fu-sheng, SONG Xiao-yong, et al. Research Progress of Biodegradable Starch Based Plastics[J]. The Food Industry, 2017, 38(11): 290-294.
- [11] 李祖义. 生物塑料引领塑料产业新方向[J]. 工业微生物, 2019, 49(4): 56-63.
LI Zu-yi. Bioplastics Leading New Direction of Plastics Industry[J]. Industrial Microbiology, 2019, 49(4): 56-63.
- [12] 何芃, 张欣涛, 黄建智. 淀粉填充聚乙烯塑料的降解性能研究[J]. 福建轻纺, 2013(3): 28-33.
HE Peng, ZHANG Xin-tao, HUANG Jian-zhi. Study on Degradability of Starch Filled Polyethylene Plastics[J]. The Light & Textile Industries of Fujian, 2013(3): 28-33.
- [13] 王冬, 东为富. 全降解淀粉基塑料[J]. 塑料包装, 2020, 30(4): 4-10.
WANG Dong, DONG Wei-fu. Fully Degradable Starch-Based Plastic[J]. Plastics Packaging, 2020, 30(4): 4-10.
- [14] TALJA R A, et al. Effect of Various Polyols and Polyol Contents on Physical and Mechanical Properties of Potato Starch-Based Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(3): 288-295.
- [15] ZHANG Ya-chuan, HAN J H. Crystallization of High-Amylose Starch by the Addition of Plasticizers at Low and Intermediate Concentrations[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(1): 8-16.
- [16] LEE Wan-jin, YOUN Y N, YUN Y H, et al. Physical Properties of Chemically Modified Starch(RS4)/PVA Blend Films—Part 1[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2007, 15(1): 35-42.
- [17] MATHEW S. Characterisation of Ferulic Acid Incorporated Starch-Chitosan Blend Films[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(5): 826-835.
- [18] NORDQVIST D, HEDENQVIST M S. Properties of Amylopectin/Montmorillonite Composite Films Containing a Coupling Agent[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 104(6): 4160-4167.

- [19] XIONG Han-guo, et al. The Structure and Properties of a Starch-Based Biodegradable Film[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(2): 263-268.
- [20] MAIZURA M, FAZILAH A, NORZIAH M H, et al. Antibacterial Activity and Mechanical Properties of Partially Hydrolyzed Sago Starch-Alginate Edible Film Containing Lemongrass Oil[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(6): 324-330.
- [21] VÁSCONEZ M B, et al. Antimicrobial Activity and Physical Properties of Chitosan-Tapioca Starch Based Edible Films and Coatings[J]. Food Research International, 2009, 42(7): 762-769.
- [22] 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.
WEI Ming-hua, DU Yan-chao. Research on Inspection of Degradable Food Packaging Materials and Products[J]. Standard & Quality of Light Industry, 2021(3): 68-70.
- [23] 汪钰文, 李亚娜, 林勤保, 等. 热塑性淀粉/高密度聚乙烯复合材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 62-68.
WANG Yu-wen, LI Ya-na, LIN Qin-bao, et al. Preparation and Properties of Thermoplastic Starch/High Density Polyethylene Composite Materials[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(21): 62-68.
- [24] 黄鑫茜, 余稳稳, 胡长鹰. 淀粉基餐盒的霉变和堆肥菌填埋降解分析[J]. 包装工程, 2021, 42(17): 39-46.
HUANG Xin-qian, YU Wen-wen, HU Chang-ying. Analysis of Mold Deterioration and Composting Bacteria Bury Degradation of Starch-Based Meal Boxes[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(17): 39-46.
- [25] 侯楠楠, 谢全喜, 王梅, 等. 2019 年全国部分地区饲料及原料霉菌毒素污染状况调查[J]. 广东饲料, 2020, 29(10): 47-50.
HOU Nan-nan, XIE Quan-xi, WANG Mei, et al. The Status of Mycotoxin Contamination in Feed and Raw Materials in some Regions of the Country in 2019 is Adjusted[J]. Guangdong Feed, 2020, 29(10): 47-50.
- [26] 王奇, 王传明, 刘鹏, 等. 复合调味料中霉菌毒素的风险控制[J]. 中国调味品, 2021, 46(2): 196-200.
WANG Qi, WANG Chuan-ming, LIU Peng, et al. Risk Control of Mycotoxins in Compound Seasonings[J]. China Condiment, 2021, 46(2): 196-200.
- [27] 赵青山, 李冬梅. 醋酸淀粉合成的工艺研究[J]. 山西食品工业, 2004(3): 31-33.
ZHAO Qing-shan, LI Dong-mei. Study on Synthesis Technology of Acetic Acid Starch[J]. Shanxi Food Industry, 2004(3): 31-33.
- [28] 严青. 不完全糊化法研究淀粉颗粒的外壳和小体结构[D]. 西安: 陕西科技大学, 2015: 8-11.
YAN Qing. Outer Shells and Blocklets of Starch Granules as Indicated by Insufficient Gelatinization[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2015: 8-11.
- [29] 傅晓丽, 王顺喜, 龙蕾. 不同因素对淀粉糊化特性的影响[J]. 饲料工业, 2012, 33(3): 54-57.
FU Xiao-li, WANG Shun-xi, LONG Lei. Effect of Different Factors on the Starch Pasting Properties[J]. Feed Industry, 2012, 33(3): 54-57.

责任编辑: 曾钰婵