

# 生物降解塑料制品快速组分分析技术研究

孙梦捷, 姚晶晶, 左莹

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114)

**摘要:** **目的** 针对目前国内外生物降解塑料制品快速组分分析方法的空白, 建立生物降解塑料制品组分分离及鉴定方法。**方法** 通过采用红外光谱分析 (FTIR)、差示量热扫描 (DSC) 和热重分析 (TGA) 方法, 研究生物降解塑料制品快速组分分析方法。**结果** 结合 FTIR 和 DSC 对树脂组分进行鉴定, 结合 FTIR 和 TGA 对填料组分进行鉴定, 建立了生物降解塑料制品快速组分分析方法。**结论** 通过本研究可以开展生物降解塑料制品快速组分分析工作, 为广大企业提供质量控制技术服务, 为监管部门提供监管技术支持, 具有重要的现实意义。

**关键词:** 生物降解; 组分分离; 组分鉴定

中图分类号: TQ320.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)23-0224-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.23.027

## Rapid Component Analysis Technology of Biodegradable Plastic Products

SUN Meng-jie, YAO Jing-jing, ZUO Ying

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 201114, China)

**ABSTRACT:** The work aims to establish a component separation and identification method of biodegradable plastic products to deal with the blank of rapid component analysis methods of biodegradable plastic products at home and abroad. In this work, a rapid component analysis method of biodegradable plastic products was established through infrared spectroscopy (FTIR), differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA). FTIR and DSC were used to identify resin components, FTIR and TGA were used to identify filler components, and a rapid component analysis method for biodegradable plastic products was established. Through this research, rapid component analysis of biodegradable plastic products is carried out. It provides quality control technical services for the majority of enterprises, and provides regulatory technical support for regulatory authorities, which has important practical significance.

**KEY WORDS:** biodegradation; component separation; component identification

随着国内外环保意识的普遍提高以及日益凸显的塑料污染问题<sup>[1]</sup>, 特别是快递包装、外卖餐具、农用地膜和一次性餐饮具等新型塑料垃圾的大量产生, 生物降解塑料制品受到了越来越多的重视和推广。生物降解塑料指在自然界或堆肥、厌氧消化等条件下, 可由自然界中的微生物最终完全分解为成分较简单的化合物及所含元素的矿化无机盐、生物死体的一种塑料<sup>[2-3]</sup>。目前主要产品包括生物降解塑料袋、生物

降解农膜和生物降解一次性塑料制品等, 可应用于餐饮、外卖和农业等领域<sup>[4-5]</sup>。该类产品因其在自然环境下可较快完全降解而成为解决塑料废弃物环境污染问题的有效途径之一, 引起了广泛关注<sup>[6-7]</sup>。

2015 年, 吉林省正式实施“禁塑令”, 规定全省范围内禁止生产、销售不可降解塑料购物袋、塑料餐具, 成为全国第 1 个全面禁塑地区。2018 年年底, 海南省发布《海南省全面禁止生产、销售和使用一次

收稿日期: 2023-03-02

基金项目: 上海市科学技术委员会研发公共服务平台建设项目 (14DZ2293000); 上海市市场监督管理局科研项目 (2022-51)

性不可降解塑料制品实施方案(征求意见稿)》,到2019年底全面禁塑,并从政策上倾向生物降解塑料。2020年1月,国家发改委发布了《关于进一步加强塑料污染治理的意见(发改环资〔2020〕80号)》,并于2020年7月进一步发布了《关于扎实推进塑料污染治理工作的通知(发改环资〔2020〕1146号)》。随着生物降解塑料产品市场占有率快速增长,各类宣称可生物降解的产品开始出现在市场上。由于较大的成本差距,可能存在用聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)等传统塑料冒充生物降解塑料的情况。因此,研究生物降解塑料制品快速组分分析方法,也成了未来亟需解决的问题。

红外光谱分析(FTIR)、差示量热扫描(DSC)和热重分析(TGA)是表征材料特性的常见手段。采用适当的仪器参数对样品进行分析,得到能够反映样品真实特性的图谱数据,是一种可靠、有效、低成本、便捷的质量控制手段<sup>[8-9]</sup>。市面上生物降解塑料制品的成分一般主要为聚乳酸(PLA)、聚对苯二甲酸/己二酸/丁二酯(PBAT)、聚丁二酸丁二酯(PBS)、淀粉、碳酸钙和滑石粉<sup>[10-13]</sup>。本研究通过采用FTIR、DSC和TGA表征方法,结合组分分离技术,研究了生物降解塑料产品快速组分分析方法,以期生物降解塑料产品生产企业稳定产品质量,为监管部门开展材质快速筛查提供技术支持。

## 1 实验部分

### 1.1 样品

主要样品:生物降解塑料制品,市售;淀粉,试剂纯;碳酸钙,试剂纯;滑石粉,试剂纯;三氯甲烷,试剂纯;无水乙醇,试剂纯。

### 1.2 仪器与设备

差示扫描量热仪(Q2000),美国TA公司;傅里叶变换红外光谱仪(Frontier),美国PerkinElmer公司;热重分析仪(Pyris 1),美国PerkinElmer公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 FTIR

截取适当面积的样品(如1 cm×1 cm),然后将样品表面磨平。采用衰减全反射附件(ATR)对样品进行分析,反射晶体ZnSe,扫描次数4次,分辨率为4 cm<sup>-1</sup>,扫描范围为4 000~650 cm<sup>-1</sup>。

#### 1.3.2 DSC

条件:氮气气氛,吹扫气流速为50 mL/min,样品质量为5~10 mg。

升温程序:以15 °C/min的速率升至210 °C,保持2 min,冷却至-80 °C,保持5 min,再以15 °C/min速率升至210 °C。

#### 1.3.3 TGA

条件:氮气气氛,吹扫气流速为50 mL/min,升温速率为20 °C/min,样品质量为10~20 mg。

升温程序:以20 °C/min的速率升至设定温度。

#### 1.3.4 组分分离方法

取2 g样品,向其中加入100 mL三氯甲烷,于80 °C条件下搅拌50 min使之完全溶解,取溶解后的液体高速离心5 min;将无水乙醇滴入离心后的上层澄清液体中;然后将最上层产生的乳浊液转移至干净容器后蒸干,得到树脂组分;将离心管底部的固体干燥,得到填料组分。

## 2 结果与讨论

### 2.1 FTIR

PLA、PBAT和PBS原料红外谱图如图1所示。由图1可知,PLA的特征峰为2 997 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),2 946 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 749 cm<sup>-1</sup>(C=O),1 454 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 383 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 359 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 268 cm<sup>-1</sup>(C—O—C),1 182 cm<sup>-1</sup>(C—O—C),1 130 cm<sup>-1</sup>(C—O—C),1 084 cm<sup>-1</sup>(C—O—C),1 041 cm<sup>-1</sup>(C—O—C),755 cm<sup>-1</sup>(α-CH<sub>3</sub>)。当样品红外谱图体现聚酯信息且1 749 cm<sup>-1</sup>处出现单一强峰,755 cm<sup>-1</sup>出现明显中强峰,则判定含PLA。PBAT的特征峰为2 955 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 711 cm<sup>-1</sup>(C=O),1 505 cm<sup>-1</sup>(苯环),1 459 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>2</sub>),1 409 cm<sup>-1</sup>(O—CH<sub>2</sub>),1 366 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>2</sub>),1 267 cm<sup>-1</sup>(C—O),1 164 cm<sup>-1</sup>(C—O),1 118 cm<sup>-1</sup>(C—O),1 102 cm<sup>-1</sup>(C—O),1 019 cm<sup>-1</sup>(C—H,苯环),727 cm<sup>-1</sup>(C—H,苯环)。当样品红外谱图体现聚酯信息且1 711 cm<sup>-1</sup>处出现单一强峰,1 164、1 118 cm<sup>-1</sup>处出现中强峰,727 cm<sup>-1</sup>出现明显强峰,则判定含PBAT;PBS的特征峰为2 947 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>3</sub>),1 712 cm<sup>-1</sup>(C=O),1 473 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>2</sub>),1 152 cm<sup>-1</sup>(C—O),1 046 cm<sup>-1</sup>(O(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>O),954 cm<sup>-1</sup>(C—O),805 cm<sup>-1</sup>(CH<sub>2</sub>)。

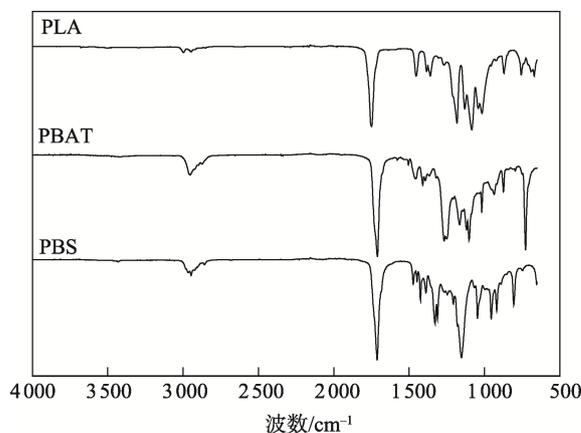


图1 PLA、PBAT和PBS原料红外谱图  
Fig.1 Infrared spectra of PLA, PBAT and PBS raw materials

当样品红外谱图体现聚酯信息且  $1711\text{ cm}^{-1}$  处出现单一强峰,  $954$ 、 $805\text{ cm}^{-1}$  处出现中强峰,  $720\text{ cm}^{-1}$  附近无明显出峰, 则判定含 PBS。上述结果与文献[14]一致。

淀粉 (ST)、碳酸钙 ( $\text{CaCO}_3$ ) 和滑石粉 (TALC) 的红外谱图如图 2 所示。由图 2 可知, 淀粉的特征峰为  $3300\text{ cm}^{-1}$  (O—H)、 $1640\text{ cm}^{-1}$  (淀粉中吸附水的无定型区域)、 $998\text{ cm}^{-1}$  (C—OH) 和  $926\text{ cm}^{-1}$  (C—O—C); 碳酸钙的特征峰为  $1388\text{ cm}^{-1}$  (C—O)、 $875\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CO}_3$ ) 和  $711\text{ cm}^{-1}$  (O—C—O); 滑石粉的特征峰为  $3675\text{ cm}^{-1}$  (O—H)、 $1003\text{ cm}^{-1}$  (Si—O)、 $669\text{ cm}^{-1}$  (O—H)。上述结果与文献[10, 11, 15]一致。

## 2.2 DSC

对 60 批次生物降解制品进行 DSC 分析, 结合红外结果对熔点和玻璃化转变温度归属进行统计, 结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, PBS 的熔点范围为  $106\sim 115\text{ }^\circ\text{C}$ ; PBAT 的玻璃化转变温度为  $-37\sim -28\text{ }^\circ\text{C}$ , 熔点范围为  $119\sim 132\text{ }^\circ\text{C}$ ; PLA 的玻璃化转变温度为

$53\sim 61\text{ }^\circ\text{C}$ , 熔点范围为  $142\sim 174\text{ }^\circ\text{C}$ 。PLA、PBAT 和 PBS 树脂的特征温度区别较大, 结合红外特征峰可以进行有效鉴别。

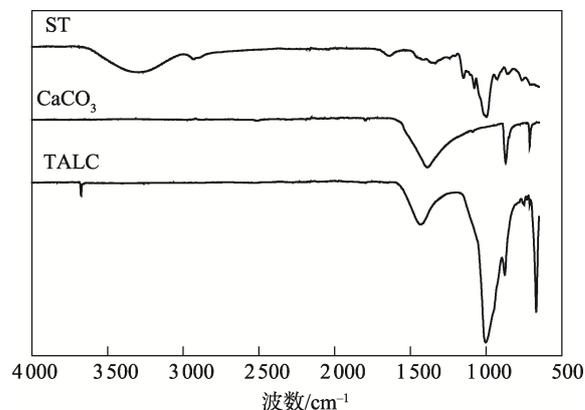


图 2 淀粉、碳酸钙和滑石粉的红外谱图  
Fig.2 infrared spectra of starch, calcium carbonate and talcum powder

表 1 生物降解制品熔点和玻璃化转变温度统计

Tab.1 Statistics of melting point and glass transition temperature of biodegradable products

$^\circ\text{C}$

样品序号	PBS		PBAT		PLA		样品序号	PBS		PBAT		PLA	
	$T_m$	$T_g$	$T_m$	$T_g$	$T_m$	$T_g$		$T_m$	$T_g$	$T_m$	$T_g$	$T_m$	$T_g$
1	—	-28	122	—	—	—	31	106、112	—	—	58	172	
2	—	—	—	59	171	—	32	112	—	—	57	160	
3	—	—	—	61	173	—	33	—	-35	121	—	142、151	
4	—	—	—	60	154	—	34	—	-33	126	—	—	
5	115	—	—	—	—	—	35	—	-33	127	—	—	
6	—	-35	130	—	164	—	36	—	-32	122	53	152	
7	—	-35	119	—	—	—	37	—	-30	129	59	145	
8	—	-35	126	—	—	—	38	—	-31	128	56	150	
9	111	-33	127	—	—	—	39	—	-31	129	—	—	
10	—	-35	126	—	—	—	40	—	-31	123	—	—	
11	—	-35	131	—	—	—	41	—	-32	125	—	—	
12	—	-36	131	—	—	—	42	—	-35	127	—	—	
13	—	-34	126	—	—	—	43	—	-34	123	—	—	
14	—	-34	124	57	151	—	44	—	-31	123	53	—	
15	—	-37	120	—	—	—	45	—	-35	127	60	—	
16	112	—	—	—	152、162	—	46	—	-33	124	56	—	
17	—	-35	126	54	145	—	47	—	-35	126	—	—	
18	—	-34	123	—	149	—	48	—	-35	129	54	—	
19	—	-32	125	56	—	—	49	—	-35	129	—	—	
20	—	-33	126	—	—	—	50	—	-32	123	—	—	
21	—	—	—	59	172	—	51	—	-33	124	—	148	
22	—	-34	128	53	145	—	52	—	—	—	59	153、158	
23	—	-32	131	—	—	—	53	—	—	—	—	166、173	
24	—	-31	122	—	—	—	54	—	—	—	—	153、161	
25	—	-34	132	57	147	—	55	113	—	—	—	154、160	
26	113	—	—	53	155	—	56	111	—	—	—	153、161	
27	112	—	—	54	152、159	—	57	—	—	—	60	169	
28	112	—	—	—	167、173	—	58	112	—	—	—	166、173	
29	113	—	—	58	155、161	—	59	—	—	—	—	152、163	
30	106、112	—	—	—	173	—	60	—	—	—	—	167、174	

### 2.3 TGA

淀粉、碳酸钙和滑石粉的 TGA 一阶导数曲线如图 3 所示。由图 3 可知, 淀粉的一阶导数峰温约为 330 °C; 碳酸钙的一阶导数峰温约为 820 °C; 滑石粉的一阶导数峰温约为 605 °C 和 770 °C。淀粉、碳酸钙和滑石粉的一阶导数峰温区别较大, 将样品的填料经三氯甲烷分离后, 其 TGA 一阶导数峰温结合红外特征峰可以对填料种类进行有效鉴别。

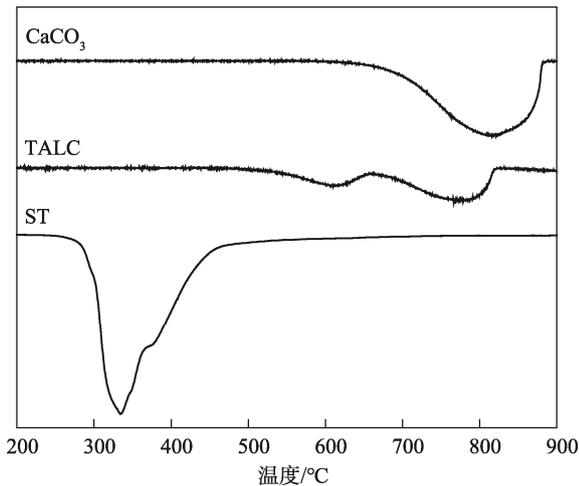


图 3 淀粉、碳酸钙和滑石粉的 TGA 一阶导数曲线

Fig.3 TGA first derivative curves of starch, calcium carbonate and talcum powder

### 2.4 组分分析流程

根据上述结果, 生物降解塑料制品的快速组分分析流程如图 4 所示, 即原样经过红外分析后初步确定样品组分。原样经三氯甲烷溶解离心后将树脂和填料组分分离, 通过 IR 结合 DSC 对 PLA/PBAT/PBS 组分进行鉴别, 通过 IR 结合 TGA 组分对 ST/碳酸盐/硅酸盐组分进行鉴别。

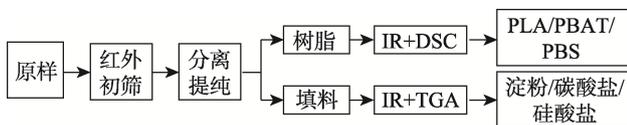


图 4 生物降解塑料制品的快速组分分析流程

Fig.4 Rapid component analysis process of biodegradable plastic products

### 2.5 方法验证

#### 2.5.1 验证样品 A

样品 A 的标称材质为 PBAT+PLA。原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图如图 5 所示, 原样红外谱图可见 PBAT 和碳酸盐特征峰; 分离后树脂红外谱图可见 PBAT 和 PLA (1 750 cm<sup>-1</sup> 附近较微弱肩峰)

的特征峰; 分离后填料红外谱图可见碳酸盐特征峰。

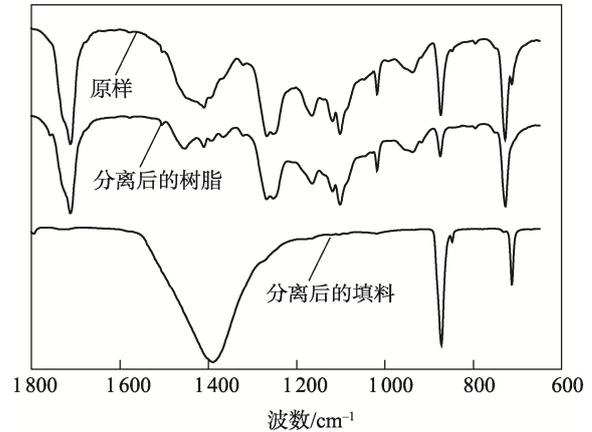


图 5 样品 A 原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图

Fig.5 Infrared spectra of sample A, the separated resin and the separated filler

分离后树脂 DSC 曲线如图 6 所示, 可得到 PBAT 的玻璃化转变温度和熔点、PLA 的玻璃化转变温度 (约 60 °C) 和熔点 (约 150 °C)。结合 IR 和 DSC 结果, 说明样品 A 的树脂成分为 PBAT 和 PLA。

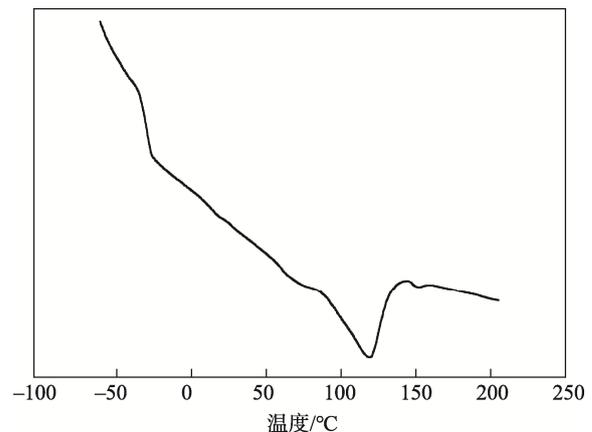


图 6 样品 A 分离后树脂 DSC 曲线  
Fig.6 DSC curve of the separated resin of sample A

分离后的填料 TGA 一阶导数曲线如图 7 所示, 可见碳酸盐的特征一阶导数特征峰。结合 IR 和 TGA 结果, 说明样品 A 的填料成分为碳酸盐。

结合 FTIR、DSC 和 TGA 的结果可知, 样品 A 的主要成分为 PBAT+PLA+碳酸盐。

#### 2.5.2 验证样品 B

样品 B 的标称材质为 PBAT+PLA+矿物粉。原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图如图 8 所示。原样红外谱图可见 PBAT、碳酸盐和硅酸盐的特征峰; 分离后树脂红外谱图可见 PBAT 和 PLA (1 750 cm<sup>-1</sup> 附近较微弱肩峰) 的特征峰; 分离后填料红外谱图可见碳酸盐和硅酸盐特征峰。

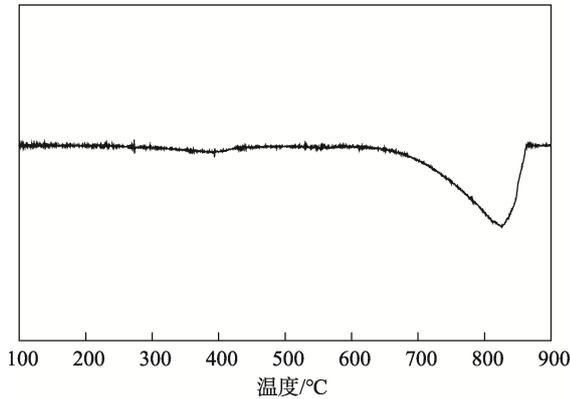


图7 样品A分离后的填料TGA一阶导数曲线  
Fig.7 TGA first derivative curve of the separated filler of sample A

分离后的填料 TGA 一阶导数曲线如图 10 所示, 可见碳酸盐和硅酸盐的特征一阶导数特征峰。结合 IR 和 TGA 结果, 说明样品 B 的填料成分为碳酸盐和硅酸盐。

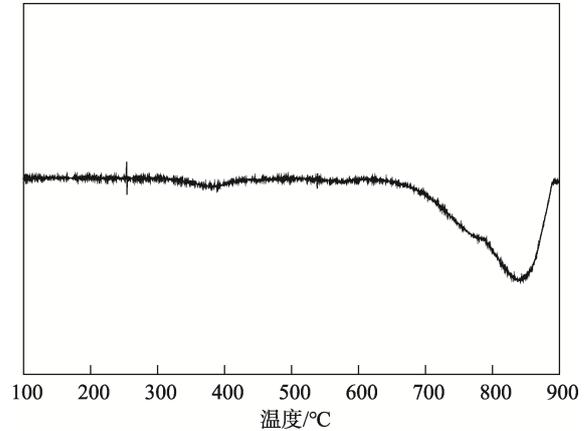


图10 样品B分离后的填料TGA一阶导数曲线  
Fig.10 TGA first derivative curve of the separated filler of sample B

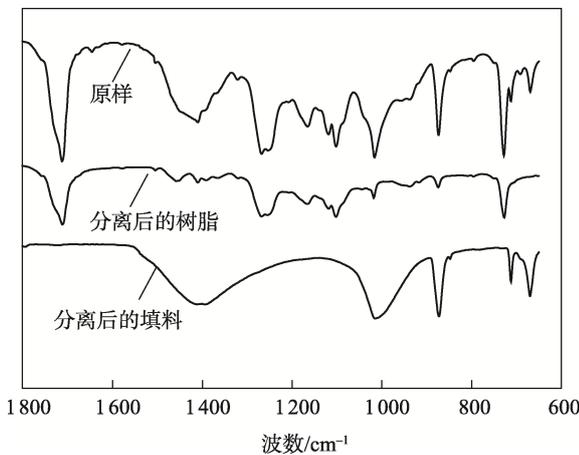


图8 样品B原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图  
Fig.8 Infrared spectra of sample B, the separated resin and the separated filler

分离后树脂的 DSC 曲线如图 9 所示, 可见 PBAT 和 PLA 的玻璃化转变温度和熔点。结合 IR 和 DSC 结果, 说明样品 B 的树脂成分为 PBAT 和 PLA。

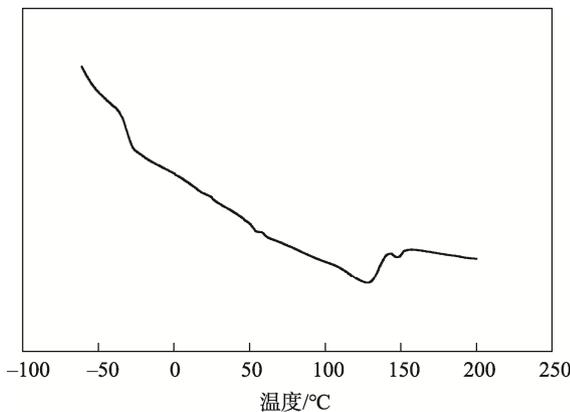


图9 样品B分离后树脂DSC曲线  
Fig.9 DSC curve of the separated resin of sample B

结合 FTIR、DSC 和 TGA 的结果可得, 样品 B 的主要成分为 PBAT+PLA+碳酸盐+硅酸盐。

### 2.5.3 验证样品 C

样品 C 的标称材质为 PLA。原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图如图 11 所示。原样红外光谱图可见 PLA、PBS 和硅酸盐的特征峰; 分离后树脂红外光谱图可见 PLA 和 PBS 特征峰; 分离后填料红外光谱图可见硅酸盐和淀粉特征峰。

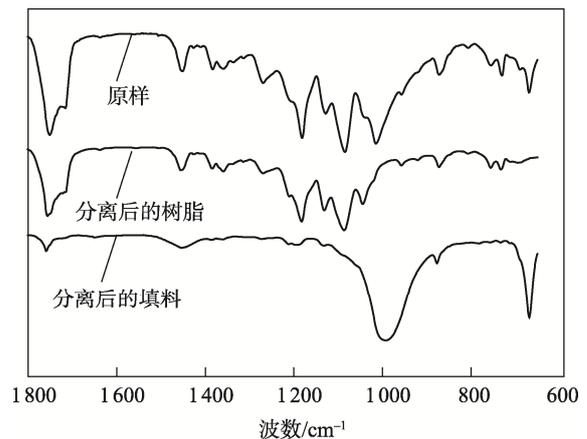


图11 样品C原样、分离后的树脂和分离后的填料的红外光谱图  
Fig.11 Infrared spectrum of sample C, the separated resin and the separated filler

分离后树脂 DSC 曲线如图 12 所示, 可见 PLA 的玻璃化转变温度和熔点、PBS 的熔点。结合 IR 和 DSC 结果, 说明样品 C 的树脂成分为 PLA 和 PBS。

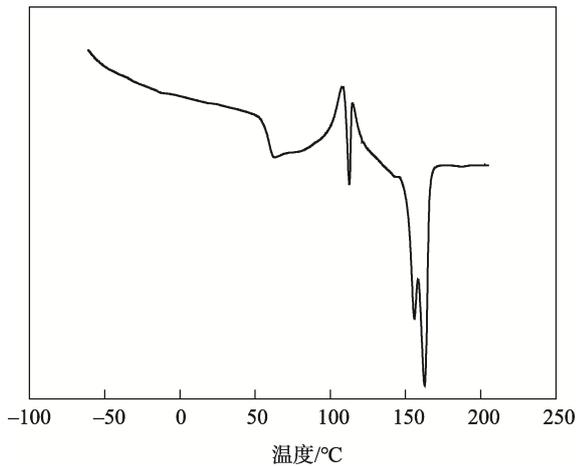


图 12 样品 C 分离后树脂 DSC 曲线  
Fig.12 DSC curve of the separated resin of sample C

分离后填料 TGA 一阶导数曲线如图 13 所示, 可见硅酸盐和淀粉的特征一阶导数特征峰。结合 IR 和 TGA 结果, 说明样品 C 的填料成分为硅酸盐和淀粉。

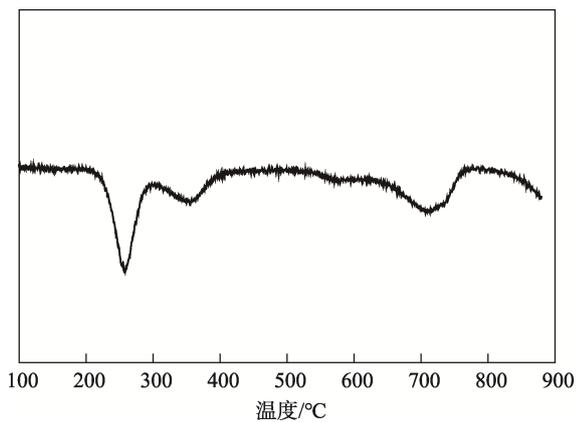


图 13 样品 C 分离后的填料 TGA 一阶导数曲线  
Fig.13 TGA first derivative curve of the separated filler of sample C

结合 FTIR、DSC 和 TGA 的结果可得, 样品 C 的主要成分为 PLA+PBS+硅酸盐+淀粉。

### 3 结语

1) 本研究通过采用 FTIR、DSC 和 TGA 表征方法, 结合组分分离技术, 建立了生物降解塑料制品快速组分分析方法。

2) 通过本研究可以开展生物降解塑料制品快速组分分析工作, 为广大企业提供质量控制技术服务, 为监管部门提供监管技术支持, 具有重要的现实意义。

### 参考文献:

- [1] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014(2): 95-102.  
YAN Chang-rong, LIU En-ke, SHU Fan, et al. Review of Agricultural Plastic Mulching and Its Residual Pollution and Prevention Measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014(2): 95-102.
- [2] GB/T 18006.3—2020, 一次性可降解餐饮具通用技术要求[S].  
GB/T 18006.3-2020, General Requirement of Degradable Disposable Tableware[S].
- [3] NARAYAN R. Biodegradable and Biobased Plastics: An Overview[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2017.
- [4] 孙梦捷, 姚晶晶, 郭永昌. PBAT 农膜氙灯老化研究[J]. 包装工程, 2022, 43(21): 102-106.  
SUN Meng-jie, YAO Jing-jing, GUO Yong-chang. Study on Characteristics of PBAT Agricultural Film by Xenon Lamp Aging[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(21): 102-106.
- [5] 马映超, 朱佳欢, 孙梦捷, 等. PBAT-PLA 膜袋受控需氧堆肥条件下的降解研究[J]. 包装工程, 2022, 43(19): 106-112.  
MA Yi-chao, ZHU Jia-huan, SUN Meng-jie, et al. Degradation of PBAT-PLA Packaging under Controlled Aerobic Compost[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(19): 106-112.
- [6] 杨森. “禁塑”时代生物塑料的应用及其发展[J]. 塑料科技, 2020, 48(2): 149-152.  
YANG Sen. The Applications and Developments of the Bioplastics in the Times of Ban Plastic[J]. Plastics Science and Technology, 2020, 48(2): 149-152.
- [7] 李冬芸, 韩昭良. 生物可降解塑料的生产现状及应用[J]. 合成树脂及塑料, 2021, 38(5): 83-86.  
LI Dong-yun, HAN Zhao-liang. Production and Application of Biodegradable Plastics[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2021, 38(5): 83-86.
- [8] 廖志祥. CQC 材料认证及数据库服务在家电行业的应用[J]. 广东化工, 2019, 46(23): 61-64.  
LIAO Zhi-xiang. Application of CQC Material Certification and Database Service in Home Appliance Industry[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(23): 61-64.
- [9] 彭坚, 胡利芬. 非金属材料认证一致性控制技术[J]. 认证技术, 2010(6): 44-46.

- PENG Jian, HU Li-fen. Consistence Control Technic for the Nonmetal Materials Certification[J]. China Quality Certification, 2010(6): 44-46.
- [10] 卢光明, 赵明泽, 冯计民. 傅里叶变换红外光谱检验生物降解塑料[J]. 刑事技术, 2009(1): 17-18.  
LU Guang-ming, ZHAO Ming-ze, FENG Ji-min. Identification of Biodegradable Plastic[J]. Forensic Science and Technology, 2009(1): 17-18.
- [11] 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, 36(5): 127-132.  
WU Xiong-jie, TAO Qiang, ZHU Dong-bo, et al. Study on Material Identification and Total Migration of Biodegradable Plastic Shopping Bags Used for Food Contact[J]. China Plastics, 2022, 36(5): 127-132.
- [12] 董炎明, 马兵飞, 张金龙. 一种耐热 PLA 吸管及其制备方法: 中国, 113004669A[P]. 2021-06-22.  
DONG Yan-ming, MA Bing-fei, ZHANG Jin-long. Heat-Resistant PLA Straw and Preparation Method Thereof: China, 113004669A[P]. 2021-06-22.
- [13] 林新华. 一种餐饮具用全生物降解复合材料及其制备方法与应用: 中国, 110698822A[P]. 2021-11-16.  
LIN Xin-hua. Fully Biodegradable Composite Material for Tableware, Preparation Method and Applications Thereof: China, 110698822A[P]. 2021-11-16.
- [14] CAI Yan-ming, LYU Jun-gang, FENG Ji-min. Spectral Characterization of Four Kinds of Biodegradable Plastics: Poly(lactic acid), Poly(butylenes adipate-co-terephthalate), Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) and Poly(butylenes succinate) with FTIR and Raman Spectroscopy[J]. Journal of Environmental Polymer Degradation, 2012, 21(1): 108-114.
- [15] 任静, 刘刚, 欧全宏, 等. 淀粉的红外光谱及其二维相关红外光谱的分析鉴定[J]. 中国农学通报, 2015, 31(17): 58-64.  
REN Jing, LIU Gang, OU Quan-hong, et al. Starch Discrimination with Fourier Transform Infrared Spectroscopy(FTIR) and Two-Dimensional Correlation Infrared Spectroscopy(2D-IR)[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(17): 58-64.

责任编辑: 曾钰婵