

# 生物基增强改性塑料的力学性能与降解特性研究

盛占丰

1 金达科技股份有限公司, 河北省沧州市, 061001;

2 河北省塑料包装材料工程技术创新中心, 河北省沧州市, 061001;

**摘要:** 为解决传统生物基塑料力学性能薄弱、降解速率可控性差的问题, 本文以天然植物纤维增强 PLA/PBAT 共混体系为研究案例, 通过熔融共混与注塑成型制备改性复合材料, 系统测试其拉伸、弯曲、冲击等核心力学指标, 并在工业堆肥环境下开展降解特性研究。结果表明, 当增强相添加量为 30wt% 时, 复合材料拉伸强度达 38.6MPa、弯曲强度 42.3MPa、简支梁冲击强度 8.7kJ/m<sup>2</sup>, 较纯基体分别提升 62.4%、58.2%、112.2%, 堆肥 120d 失重率达 71.5%, 分子量保留率仅 32.1%, 实现了力学性能强化与生物降解性的协同平衡。

**关键词:** 生物基塑料; 增强改性; 力学性能; 生物降解; PLA/PBAT 共混体系

## Research on Mechanical Properties and Degradation Characteristics of Bio-based Reinforced Modified Plastics

Sheng Zhanfeng

1 Jinda Technology Co., Ltd., Cangzhou City, Hebei Province, 061001;

2 Hebei Provincial Engineering Technology Innovation Center for Plastic Packaging Materials, Cangzhou City, Hebei Province, 061001;

**Abstract:** To address the problems of weak mechanical properties and poor controllability of degradation rate of traditional bio-based plastics, this paper takes natural plant fiber reinforced PLA/PBAT blends as the research case. Modified composites were prepared via melt blending and injection molding. Their key mechanical indexes including tensile, flexural and impact properties were systematically tested, and the degradation characteristics were investigated under industrial composting conditions. The results show that when the reinforcement content is 30 wt%, the tensile strength of the composite reaches 38.6 MPa, flexural strength 42.3 MPa, and Charpy impact strength 8.7 kJ/m<sup>2</sup>, which are increased by 62.4%, 58.2% and 112.2% respectively compared with the neat matrix. After 120 days of composting, the weight loss rate reaches 71.5% and the molecular weight retention rate is only 32.1%, achieving a synergistic balance between enhanced mechanical properties and biodegradability.

**Keywords:** bio-based plastics; reinforced modification; mechanical properties; biodegradation; PLA/PBAT blend system

**DOI:** 10.69979/3029-2700.26.03.095

石化塑料的过度使用与难降解特性引发了全球性的生态环境问题, 生物基可降解塑料作为绿色替代材料成为材料科学领域的研究热点。聚乳酸 (PLA)、聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯 (PBAT) 等生物基聚合物具备可再生、可完全降解的优势, 但单一基体存在脆性大等缺陷, 限制了其规模化应用。通过天然纤维增强改性可有效优化材料力学性能, 同时保留其环境友好性。本文以纤维增强生物基共混塑料为案例, 探究增强改性对材料力学性能的提升机制及降解行为的演化规律, 为生物基塑料的高性能化与功能化改性提供实践依据。

## 1 生物基增强改性塑料体系与研究基础

本研究选取的改性案例采用经硅烷偶联剂表面处

理的天然纤维作为增强相, 以 PLA/PBAT(质量比 70:30) 为共混基体, 通过熔融挤出、注塑成型工艺制备系列改性复合材料。该体系既依托生物基原料实现全生命周期环保, 又通过纤维增强解决了纯基体力学性能不足的痛点, 符合包装、农用、轻量化结构件等领域的应用需求。与无机填料增强体系相比, 天然纤维增强生物基塑料在降解过程中无残留污染物, 纤维自身可同步被微生物分解, 不会破坏土壤与水体生态环境, 这也是其区别于传统改性塑料的核心优势<sup>[1]</sup>。

## 2 实验设计与性能测试方法

### 2.1 样品制备方案

实验以 PLA、PBAT 为基体原料, 表面改性天然纤维为增强相, 添加质量分数为 0%、10%、20%、30%、40% 的增强相, 采用双螺杆熔融共混机制备母粒, 再通过注塑机制备标准力学测试样条与降解测试试样。制备过程中, 挤出温度控制在 170~190℃, 注塑温度 185℃, 保压压力 60MPa, 确保纤维在基体中均匀分散, 避免团聚导致的性能下降。所有样品在测试前均置于恒温恒湿箱 (23℃, 50%湿度) 中调节 48h, 消除加工残余应力, 保证测试数据的准确性与重复性。

## 2.2 性能测试标准

力学性能测试严格遵循国家标准执行: 拉伸性能按 GB/T 1040.2-2018 测试, 拉伸速度 5mm/min, 记录拉伸强度、断裂伸长率; 弯曲性能按 GB/T 9341-2008 测试, 弯曲速度 2mm/min, 测定弯曲强度与弯曲模量; 简支梁

冲击性能按 GB/T 1043.1-2008 测试, 无缺口试样, 计算冲击强度。降解特性采用工业堆肥法测试, 将试样置于温度 58℃、湿度 85% 的堆肥环境中, 分别在 30d、60d、90d、120d 取样, 测试试样失重率与粘均分子量变化, 评价材料的降解速率与降解程度<sup>[2]</sup>。

## 3 力学性能测试结果与分析

### 3.1 力学性能数据

通过系统测试, 获得不同增强相添加量下复合材料的力学性能数据, 具体结果如表 1 所示。数据显示, 增强相的添加量对材料力学性能存在显著的非线性影响, 在合理添加范围内, 力学指标随纤维含量增加持续提升, 超过临界值后性能出现下降, 这与纤维团聚、界面结合力下降直接相关。

表 1 不同增强相添加量下生物基复合材料的力学性能

增强相添加量(wt%)	拉伸强度(MPa)	弯曲强度(MPa)	冲击强度(kJ/m <sup>2</sup> )	断裂伸长率(%)
0	23.8	26.7	4.1	32.6
10	28.5	31.2	5.3	35.1
20	33.7	36.8	6.9	36.4
30	38.6	42.3	8.7	35.8
40	35.2	38.5	7.2	31.5

### 3.2 拉伸性能演化规律

纯 PLA/PBAT 共混基体的拉伸强度仅为 23.8MPa, 表现出典型的韧性不足、强度偏低的特点。随着天然纤维增强相的加入, 拉伸强度逐步提升, 当添加量为 30wt% 时达到峰值 38.6MPa, 较纯基体提升 62.4%。这是因为表面改性后的纤维与基体形成了良好的界面结合, 在外力作用下, 纤维承担主要载荷, 通过界面将应力均匀传递至基体, 抑制了基体裂纹的萌生与扩展。当添加量增至 40wt% 时, 纤维在基体中出现团聚现象, 形成应力集中点, 导致拉伸强度下降 8.8%, 同时断裂伸长率也降至 31.5%, 说明过量纤维会破坏材料的连续性, 降低其变形能力<sup>[3]</sup>。

### 3.3 弯曲与冲击性能分析

弯曲强度的变化趋势与拉伸强度一致, 30wt% 添加量下弯曲强度达 42.3MPa, 较纯基体提升 58.2%, 弯曲模量同步提升至 1.8GPa, 材料的抗弯曲变形能力显著增强。天然纤维的高刚性特征有效弥补了 PLA/PBAT 基体柔性过剩、刚性不足的缺陷, 使复合材料在弯曲载荷下

具备更强的结构稳定性。冲击强度方面, 纯基体仅为 4.1kJ/m<sup>2</sup>, 脆性特征明显; 30wt% 添加量时冲击强度提升至 8.7kJ/m<sup>2</sup>, 增幅达 112.2%, 纤维在冲击过程中通过拔出、断裂消耗大量能量, 有效提升了材料的抗冲击韧性。过量添加后, 纤维团聚导致能量传递受阻, 冲击强度明显回落, 进一步证明 30wt% 为该体系的最优增强添加量。

## 4 降解特性测试与规律研究

### 4.1 堆肥环境下失重率变化

在工业堆肥标准环境中, 复合材料的失重率随降解时间延长持续上升, 体现出良好的生物降解特性。纯 PLA/PBAT 基体堆肥 30d 失重率为 12.3%, 120d 失重率为 52.7%; 而 30wt% 增强相添加的最优试样, 30d 失重率达 18.6%, 120d 失重率高达 71.5%, 降解速率显著快于纯基体。这是因为天然纤维本身易被堆肥中的微生物分解, 纤维降解后在材料内部形成多孔结构, 增大了微生物与聚合物基体的接触面积, 加速了 PLA 与 PBAT 的水解与微生物侵蚀进程<sup>[4]</sup>。

## 4.2 分子量衰减与降解机理

降解过程中,复合材料的粘均分子量持续下降,反映出聚合物主链的逐步断裂。测试结果显示,最优试样堆肥 120d 后,分子量保留率仅为 32.1%,而纯基体分子量保留率为 47.3%。PLA 的酯键在湿热环境下易发生水解断裂,PBAT 的脂肪族链段则易被微生物代谢分解,纤维增强相的引入未改变基体的降解机理,反而通过物理结构优化加速了降解反应。降解后期,材料表面出现明显的腐蚀坑洞,内部纤维完全降解,基体碎片化,最终完全分解为二氧化碳、水和生物质,无微塑料残留,符合全生物降解材料的环保要求。

## 4.3 增强相对降解特性的影响机制

适量天然纤维增强相可同步优化材料的力学性能与降解性能,而过量添加则会导致降解速率放缓。40wt%添加量的试样 120d 失重率仅为 63.2%,低于 30wt%组,原因是过量纤维团聚形成致密阻隔层,阻碍了水分与微生物进入材料内部,抑制了降解反应。同时,纤维表面的偶联剂涂层在过量添加时会局部富集,降低材料的亲水性,延缓水解进程。这一结果表明,增强相添加量是平衡力学性能与降解特性的关键参数,只有在最优配比下,才能实现二者的协同优化。

## 5 性能协同调控机理分析

生物基增强改性塑料的性能提升源于界面结合强化与多相协同作用。经硅烷偶联剂改性的天然纤维,表面羟基与偶联剂形成共价键,另一端与 PLA/PBAT 基体的酯基、羧基形成氢键与范德华力,构建了稳定的界面过渡层。该界面层可有效传递应力,避免纤维与基体脱粘,从而提升拉伸、弯曲强度。同时,界面结合力适中,保证了纤维在冲击作用下能够拔出耗能,提升冲击韧性<sup>[5]</sup>。

在降解过程中,纤维的可降解性与多孔结构为微生

物提供了附着位点,加速了基体的降解,而基体的逐步降解又为纤维的脱离与分解创造了条件,形成相互促进的降解机制。这种“增强-增韧-促降解”的协同效应,是天然纤维增强生物基塑料区别于其他改性体系的核心特征,也为该类材料的配方设计提供了核心思路:通过调控增强相种类、表面改性方式与添加比例,实现力学性能与降解特性的精准匹配。

## 6 结语

综上所述,本文以天然纤维增强 PLA/PBAT 生物基塑料为研究案例,通过实验测试与机理分析,探究了增强改性对材料力学性能与降解特性的影响规律。该研究验证了天然纤维增强改性在生物基塑料高性能化中的可行性,为可降解生物基复合材料的配方优化、工艺设计与工程应用提供了指导。

## 参考文献

- [1]曹忠瑞,詹子安,时子光,等.反应性增容改性生物可降解聚乙醇酸(PGA)/聚对苯二甲酸-己二酸丁二酯(PBAT)共混物的力学性能与热稳定性[J].材料科学,2025,15(12):2167-2173.
- [2]王子怡,于梦丽,陈复生.淀粉/聚乙烯醇可降解材料的改性及应用进展[J].食品与发酵工业,2025,51(13):369-379.
- [3]林叶春,令狐昌开,龙勇,等.改性聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯酯熔融包覆制备缓释肥的研究[J].塑料工业,2025,53(1):49-55.
- [4]张子震,刘梓檀,梁婧雯,等.天然高分子基水凝胶可食性包装膜研究进展[J].中国食品添加剂,2025,36(10):26-32.
- [5]蔺永岗,张鹏,张晓波,等.不同基材上改性锂藻土/聚乳酸复合薄膜的制备与表征[J].塑料工业,2025,53(3):129-136.