

# PBAT 合成、性能及其应用的研究现状

## An Overview of the Synthesis,

## Performance and Application of PBAT

何海东 (阳泉煤业化工集团有限责任公司, 山西 太原 030006)

He Haidong (Yangquan Coal Chemical Industry Group Co., Ltd., Shanxi Province 030006)

**摘要:** 生物可降解聚合物是解决当前化石资源和环境污染问题的有效措施。脂肪族共聚酯是一种新型的可生物降解聚合物, 近年来得到了广泛的研究和迅速的发展。聚(己二酸丁二醇酯-对苯二甲酸丁二醇酯)(PBAT) 是其中的典型代表, PBAT 已经通过丁二醇、己二酸和对苯二甲酸的缩聚反应利用普通聚酯制造技术商业化。其具有理想的性能和低廉的成本, 可应用于许多领域。因此, 本文旨在对 PBAT 的合成、性质和应用进行综述。

**关键词:** 聚(己二酸丁二醇酯-对苯二甲酸丁二醇酯); PBAT; 可生物降解; 合成; 性能; 应用

**Abstract:** Biodegradable polymers are effective measures to solve the current problems of fossil resources and environmental pollution. Aliphatic-aromatic co-polyesters is a new type of biodegradable polymer, which has received extensive research and rapid development in recent years. Poly (butylene-adipate-co-terephthalate) (PBAT) is a typical representative among them. PBAT has been commercialized through the polycondensation reaction of butanediol, adipic acid and terephthalic acid using common polyester manufacturing technology. It has ideal performance and low cost, and can be used in many fields. Therefore, this article aims to review the synthesis, properties and applications of PBAT.

**Key words:** Poly (butylene-adipate-co-terephthalate) ; PBAT; Biodegradation; Synthesis; Property; Application

自 21 世纪以来, 塑料由于其优异的性能和低廉的成本, 广泛应用于工业和生活的各个领域, 成为最重要的材料之一。然而, 传统塑料(聚乙烯、聚丙烯和聚苯乙烯等)无法降解, 对其焚烧或掩埋均带来了严重的环境污染<sup>[1]</sup>。近年来, 可生物降解塑料的快速发展和广泛应用有效地解决了传统塑料的环境污染问题。在过去的二十年里, 生物降解塑料的市场迅猛发展, 为了解决环境问题和满足市场需求, 研究新型生物可降解聚合物引起了大家的关注, 在众多的脂肪族-芳香族共聚酯中, 最有前途和最受欢迎的一种是聚(己二酸丁二醇酯-对苯二甲酸丁二醇酯)(PBAT), 其由丁二醇、己二酸和对苯二甲酸缩聚而成。PBAT 已经被证实具有优异的性能和良好的生物降解性。因此, 本文对 PBAT 的合成、性质和应用进行了综述。

### 1 PBAT 的合成方法研究

聚酯通常是由二醇和二羧酸的混合物通过缩聚反应所得。PBAT 可以使用常规的聚酯制造技术和设备, 通过丁二醇、己二酸和对苯二甲酸缩聚反应生产, 含锌、锡和钛的有机金属化合物通常可以作为催化剂。生产 PBAT 需要长时间、高真空度以及高温等环境条件, 用以去除在生产过程中产生的额外水分子。PBAT 的生产流程通常分为预混合、预聚合和最终聚合三个过程。在最终聚合的过程中, 通常需要成核剂以改善 PBAT 的结

晶行为并避免粘着, 成核剂通常是无机化合物, 常见的成核剂有滑石、云母和氧化硅等。磷化合物如磷酸和亚磷酸可以在预聚合或最终聚合过程中作为颜色稳定剂加入, 但这会导致缩合速率的降低。基于成本的考虑, 生产的 PBAT 膜必须尽可能薄且强度大, 这就需要提高熔体强度, 而改善熔体强度的最有效的方法是在聚合物主链中引入长支链(LCB)。LCB 聚合物的出现极大地扩展了聚合物材料的应用领域。

### 2 PBAT 的性能研究

#### 2.1 生物降解性

PBAT 受到广泛研究的关键因素是其具有生物降解性。Mohamed Dammak<sup>[2]</sup>通过熔融共混法制备了增塑淀粉(TPS)/PBAT 复合物, 采用 ISO 14855-2 作为方法评价复合物的生物降解性, 实验表明 TPS/PBAT 具有可生物降解性, 不同 TPS 含量的复合物具有不同的 CO<sub>2</sub> 产生速率, 在没有任何增容剂的情况下, TPS/PBAT 复合物的降解率超过了 85%。Hao Wang 报道了 PBAT/ 热塑性淀粉薄膜的土壤掩埋生物降解研究, 结果表明在抗微生物物质聚六亚甲基胍盐酸盐(PHGH) 存在的情况下, PBAT 和淀粉仍能降解, 由于偶联剂 2,2'-(1,3-亚苯基)-双(2-恶唑啉)(PBO) 和更少的淀粉含量, 即使经过三个月的生物降解测试, 该膜仍具有超过 99% 的生长抑制作用。

## 2.2 机械性能

由于分子链中的芳族单元, PBAT 还具有出色的机械性能。与大多数可生物降解的聚酯(例如聚乳酸和聚丁二酸共丁二酸酯)相比, PBAT 的机械性能体现出更高的柔韧性, 且与低密度聚乙烯相似。这些机械性能使 PBAT 成为非常有前途的可生物降解材料, 可用于广泛的潜在应用中。Lee 和 Herrera 指出 PBAT 的杨氏模量随对苯二甲酸酯的含量而增加, 而断裂伸长率则降低, 同时, 随着分子量的增加, 拉伸强度增加, 断裂伸长率降低。因此在实际生产中, 可以根据反应器的压力、温度等工艺变量来调整 PBAT 的力学性能。

## 3 PBAT 的应用研究

在过去的数十年中, 关于 PBAT 的研究大量涌现, PBAT 材料渐渐出现在了人们的生活中。然而, PBAT 的应用领域远不止此, 在大规模生产中也出现了 PBAT 的身影, 基于 PBAT 材料的产品已广泛应用于各个领域, 如食品包装、生物医学和农业等。

### 3.1 PBAT 在食品包装中的应用

塑料包装袋的使用随处可见, 因此带来了严重的环境问题, 使用可生物降解的 PBAT 材料作为塑料包装袋可以大大缓解环境压力。与传统的塑料材料相比, 基于 PBAT 材料的包装袋由于其独特的性能目前已在许多领域引起了广泛的关注。Hesham Moustafa 利用焙干咖啡渣(CG)作为 PBAT 复合材料的疏水增强剂, 结果显示 CG/PBAT 复合材料具有良好的分散效果, 结晶温度较纯 PBAT 材料明显升高, 由动力学实验可知 CG/PBAT 复合材料的储能模量也得到提升。此外, 向 PBAT 中添加 10 wt% CG, 复合材料的拉伸强度大幅提升, 表现出良好的机械性能。当增加聚合物基质中的 CG 含量时, 材料与水之间的接触角明显增加, 因此该聚合物材料可用于食品包装应用的高疏水性生物复合材料。

Raja Venkatesan 研究了氧化锌(ZnO)负载量对 PBAT 结构的作用, 此外还研究了其包装性能, 如阻隔性、热稳定性和机械性能, 结果表明通过溶液流延法制备的 ZnO/PBAT 纳米复合薄膜具有良好的相容性, ZnO 纳米颗粒与 PBAT 之间形成了强相互作用。ZnO 含量为 10 wt% 时, 纳米复合膜的拉伸强度达到 45.0% (MPa), 而 PBAT 膜的拉伸强度为 37.9% (MPa), 同时热稳定性也得到了明显提高, 这归因于 ZnO 纳米颗粒在 PBAT 聚合物基质中的均匀且良好的分散性。此外, 复合材料对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌表现出优异的抗菌活性。因此, ZnO/PBAT 纳米复合薄膜有望成为抗菌包装的首选材料。此外, 关于聚乳酸(PLA)/PBAT 复合材料的研究报道也有许多<sup>[1]</sup>。

### 3.2 PBAT 在土地覆盖膜中的应用

随着社会的发展, 科技产品越来越多地应用到农业生产中, 在现代农业中, 土地覆盖膜的应用十分广泛, 其具有保温、保湿、控制杂草、抵御恶劣天气和害虫等作

用, 从而大大提高农作物产量。传统塑料覆盖膜由于风化而破裂, 其残留成分在土地中影响土地的水分渗透与气体交换, 从而影响土壤生产力, 因此, 研究可生物降解的土地覆盖膜具有重要的意义。Daniel Belchior Rocha 报道了碳酸钙增强的 PBAT 柔性薄膜, 实验表明这些膜表现出更好的机械性能, 获得了高度取向的无定形结构, 从而导致了模拟土壤中的低吸水性 and 低降解。

### 3.3 PBAT 在生物医学中的应用

聚合物材料被广泛应用于医学领域, PBAT 也不例外, 近年来, 关于 PBAT 的报道层出不穷。Dafu Wei 制备了 PBAT 抗菌膜, 结果表明 PBAT 膜表现出优异的抗菌活性(抗菌率 > 99.99%) 和快速的病原体灭活效率(抗菌率 > 99.99%, 在 15 秒内), 此外, 即使在聚六亚甲基胍盐酸盐(PHGH)含量很低的情况下也可以得到抗菌性能优异的 PBAT 膜。Kikku Fukushima 研究了基于海泡石、蒙脱土和氟锂蒙脱石的 PBAT 纳米复合材料的生物相容性和降解性, 结果表明 PBAT 基质的机械性能显著提高, 这与纳米粘土的增强作用有关, 纳米粒子的添加会影响 PBAT 降解的早期阶段, 而不会明显影响降解趋势, 细胞毒性测试显示 PBAT 纳米复合材料无细胞毒性, 并具有更高的体外血液相容性和止血能力。Dibyendu Mondal 通过溶液插层法使用天然蒙脱土和十六烷基三甲基溴化铵改性蒙脱土制备了 PBAT 复合材料, 由于季铵基团的存在, PBAT 复合材料体现出了良好的抗菌活性。

## 4 结论

传统聚合物塑料由于难以降解, 带来了严重的环境污染问题, 新型可生物降解聚合物材料 PBAT 受到了广泛的关注。本文综述了关于 PBAT 的合成、性能和应用的最新进展, 通过常规的聚酯制造技术即可得到 PBAT, 其被证实具有良好的生物降解性和机械性能, 因此, PBAT 有望广泛应用于食品包装、生物医学和农业中。

### 参考文献:

- [1]Jian J, Xiangbin Z, Xianbo H. An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate) - PBAT[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2020,3(1):19-26.
- [2]Dammak M, Fourati Y, Tarrés Q, et al. Blends of PBAT with plasticized starch for packaging applications: Mechanical properties, rheological behaviour and biodegradability[J]. Industrial Crops and Products, 2020,144:112061.
- [3]Bonilla J, Paiano R B, Lourenço R V, et al. Biodegradability in aquatic system of thin materials based on chitosan, PBAT and HDPE polymers: Respirometric and physicochemical analysis[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020,164:1399-1412.