

# 改性淀粉基生物降解制品的加工工艺与应用

许晓霞

沧州金达包装制品有限公司, 河北省沧州市, 061001;

**摘要:** 改性淀粉基生物降解材料因原料可再生、可完全降解, 成为替代传统石油基塑料的重要方向。本文系统综述了改性淀粉基材料的加工工艺与应用研究进展。工艺层面重点分析了热塑改性赋予淀粉热塑加工性的机理, 化学改性(接枝共聚、界面增容)改善淀粉与疏水聚酯相容性的策略, 以及淀粉与PBAT、PLA等可降解聚酯的复合共混工艺。应用层面总结了材料在食品包装、农业地膜、医疗材料和一次性制品等领域的最新进展, 以供参考。

**关键词:** 改性淀粉基; 生物降解; 加工工艺

## Processing Technology and Application of Modified Starch-Based Biodegradable Products

Xu Xiaoxia

Cangzhou Jinda Packaging Products Co., Ltd., Cangzhou City, Hebei Province, 061001;

**Abstract:** Modified starch-based biodegradable materials, due to their renewable raw materials and complete degradability, have become an important direction for replacing traditional petroleum-based plastics. This paper systematically reviews the research progress in the processing technology and application of modified starch-based materials. On the processing level, it focuses on analyzing the mechanism by which thermoplastic modification endows starch with thermoplastic processability, the strategies of chemical modification (graft copolymerization, interfacial compatibilization) to improve the compatibility of starch with hydrophobic polyesters, and the composite blending process of starch with degradable polyesters such as PBAT and PLA. On the application level, it summarizes the latest progress of the materials in fields such as food packaging, agricultural mulching films, medical materials, and disposable products for reference.

**Keywords:** Modified starch-based; biodegradation; processing technology

**DOI:** 10.69979/3029-2700.26.03.096

## 引言

生物降解材料近年来发展速度越来越快, 背后是全球塑料污染问题的持续加剧。目前绿色材料领域的研究重点集中在淀粉基材料上, 这类材料来源广、成本低, 还能完全降解。但天然淀粉无法开展热塑加工, 其分子内部和分子间存在大量氢键, 导致分解温度比熔融温度低; 纯淀粉材料则力学性能差、亲水性强, 难以直接投入使用。因此, 要想实现淀粉基生物降解材料的产业化, 需要通过改性技术赋予淀粉热塑加工性、改善其与疏水聚酯的相容性。近几年, 改性淀粉加工技术接连取得新突破, 覆盖球磨接枝、界面增容以及AI辅助分子设计等方向, 这类材料的应用范围也拓展到了包装、农业、医疗等领域。本文将从加工工艺和应用两个方面, 系统整理该领域的研究进展。

## 1 改性淀粉基材料的核心加工工艺

### 1.1 热塑改性技术

天然淀粉是由多糖分子构成, 内部含有大量羟基, 分子间与分子内的氢键相互作用, 使其熔融温度比分解温度高, 无法直接开展热塑加工。热塑改性能实现的核心, 是通过物理或化学方法破坏淀粉的结晶结构和氢键网络, 降低其玻璃化转变温度和熔融温度, 让淀粉具备热塑性。在热塑改性的各类手段中, 较常用的是增塑剂体系, 水、甘油、乙二醇等小分子增塑剂, 可渗透到淀粉分子链之间, 与羟基形成新氢键, 替换掉淀粉内部原有氢键, 这样便能破坏双螺旋结晶结构。热塑性淀粉的力学性能, 与增塑剂的添加量直接相关, 只有将添加量控制在合适区间, 才能获得良好的综合性能<sup>[1]</sup>。传统增塑剂甘油, 在高温加工时易挥发, 塑化效果会降低, 使用乙二醇作为高效塑化剂, 可让高直链淀粉在高温下完全糊化。乙二醇在体系中既发挥塑化剂的作用, 又能充当“氢键竞争者”, 打破淀粉分子间的氢键网络, 解开双螺旋结构, 推动淀粉从有序晶体转向无序结构, 为淀粉基材料的高温注塑、流延成型等工业加工提供可行技

术路径。

## 1.2 化学改性技术

要想改善淀粉的疏水性、相容性和力学性能，最根本的方法是开展化学改性，具体操作是在其分子链上引入新的官能团，或是接枝其他聚合物链。接枝共聚是化学改性中的重要方法，对该工艺加入球磨活化辅助后，机械球磨的作用会让淀粉表面活化，随后与聚己内酯（PCL）发生接枝反应，形成淀粉-g-PCL 共聚物。经过这种改性处理，淀粉会具备热塑加工性，同时与聚（4-羟基丁酸酯）（P4HB）这类疏水聚酯的相容性也会提升<sup>[2]</sup>。淀粉和疏水聚酯共混时会出现相分离情况，界面增容策略是将聚甲基丙烯酸缩水甘油酯（PGMA）引入共混体系，它会选择性分散在 PLA 和 P4HB 的相界面上，发挥界面交联增容作用，让复合材料的断裂伸长率提升，形状记忆恢复率也随之提高。经过化学改性的淀粉材料，亲水性会转变为疏水性，界面结合强度有所增强，这为开发高性能淀粉基复合材料奠定了基础。

## 1.3 复合共混工艺

要想同时兼顾材料的力学性能、加工性能和生产成本，最实用的方法是将改性淀粉与可完全生物降解聚酯混合。目前实际生产中常用的聚酯类型，有聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT）、聚乳酸（PLA）、聚己内酯（PCL）以及 P4HB 等。淀粉与 PBAT 混合形成的体系，在挤出吹塑时结构会发生复杂变化：在成膜环节，淀粉的分子键断裂，双螺旋结构散开，分子量也随之下降；吹膜环节中，淀粉和 PBAT 相内的分子重新排列、结晶状态改变，会让体系出现相分离。先整理出覆盖不同配方、不同工艺参数的薄膜数据库，再结合方差分析和相关性分析展开研究，可揭示成膜参数与薄膜性能的内在关联，接着搭建依托加工参数的人工神经网络预测模型，精准预判薄膜的机械性能和阻隔性能。进入产业化阶段后，使用多种助剂精准调整，让淀粉分子结构重构、界面改性，实现极性反转，可将淀粉的添加比例提至较高水平，同时采用高速喷射固液混合、连续挤出以及静态反应等创新工艺，可有效提升混合效率，能耗和生产成本也随之降低，最终制备出生物基占比高、力学性能好且可完全降解的薄膜产品。

## 1.4 前沿制备技术

从制备实践来看，溶剂 / 反溶剂调控相分离策略是制备超弹性淀粉基水凝胶的新型方法。操作时，先将淀粉分散于甘油水溶液中，加热使其充分糊化；再通过乙醇（反溶剂）替换体系中的原有溶剂，引发可控相分离：淀粉分子链在局部聚集形成致密的牺牲区域，同时构建出相互连通的稀疏相网络。连续的稀疏相结构可有效促进应力传递，致密畴则通过牺牲键断裂耗散能量，二者协同作用显著提升水凝胶的力学性能，所制备的水凝胶具有高应变能力，且可在土壤环境中完全生物降解。当前结合 AI 与算力的研发模式更先进，正在改变淀粉材料的开发方式。先是搭建包含大量多糖样本分子结构的数据库，将淀粉分子转化为三维数字模型，再用 AI 拆分、重组、修饰分子结构，预测新材料的性能，最后通过湿实验验证结果<sup>[3]</sup>。这套“模拟-验证-优化”的闭环流程，可有效提高研发效率，多糖分子模拟的速度较传统量子化学计算显著加快，为淀粉基材料的分子设计与精准定制提供了强大工具，推进材料开发从经验驱动转向数据驱动。

## 2 改性淀粉基材料的应用领域

### 2.1 食品包装领域

目前食品包装领域使用的改性淀粉基材料类型较多，主要分为可食用包装膜和鲜切果蔬保鲜膜两类。在改性淀粉中加入天然果蔬汁这类填料，可增强材料的抗氧化性，再用海藻酸钠构建交联网络，可制备出力学强度和阻隔性能更优的可食用包装膜。采用这类薄膜制作方便面调料包、即食食品的内包装，可实现“包装即食材”的状态，还能让废弃物的产生量有所减少。针对鲜切果蔬的保鲜需求，有一种带 Janus 结构（一面亲水、一面疏水）的淀粉膜效果优异，其疏水层可阻止水分流失，亲水层可吸附保鲜活性物质，存放过程中降低鲜切果蔬的失重率，抑制微生物生长，对金黄色葡萄球菌等常见腐败菌的抑制率较高，还能延长货架期<sup>[4]</sup>。这些具体的应用案例表明，改性淀粉基材料在食品包装领域兼具环保优势与实用价值。

### 2.2 农业与包装材料

农业领域使用的改性淀粉基材料，大多用以制作全

降解地膜和包装薄膜。使用改性淀粉搭配 PBAT、PLA 等可降解聚酯混合制作的地膜，力学性能良好，降解速度也可调控，可在作物生长期保持土壤温湿度，完成使命后通过微生物作用完全降解，避免传统塑料地膜残留导致的土壤污染。在包装材料时，使用改性淀粉填充 P4HB 这类聚酯制成的复合薄膜，成本低、韧性强还能全降解，适合生产购物袋、垃圾袋这类一次性包装制品。此外，采用超临界发泡技术制备的交联 PLA/P4HB 泡沫材料，体积膨胀比较大，导热系数低，缓冲性能好，可用作电商包装、冷链运输中的缓冲保护层，代替 EPS 这类难降解的泡沫塑料。这些应用，为农业可持续发展和绿色包装提供了可行的解决办法<sup>[5]</sup>。

### 2.3 医疗与新兴应用

经过改性处理的淀粉基材料，在医疗行业和部分新兴领域具有独特的应用潜力。在医疗领域，通过 AI 辅助设计出高直链淀粉胶囊，这种胶囊较传统植物胶囊成本更低，可代替动物明胶递送药物，既不会让患者出现过敏问题，也能满足素食人群的需求。超弹性淀粉水凝胶是通过溶剂/反溶剂相分离的方法制成，其拉伸性强、与人体组织相容性好，可被加工成气动仿生抓手，在医疗机器人上夹取柔软易碎的组织，或是往人体内递送药物，且这种抓手用完后可完全被生物分解，不用再进行二次手术取<sup>[6]</sup>。此外，淀粉基材料还有其他实用方向，比如制作可吸收手术缝合线、组织工程支架等，其降解速度可调控，植入体内后会逐步被新生组织取代。这些新兴应用，打破了淀粉材料只用于传统包装的局限，让其进入附加值更高的生物医用领域，彰显其多功能性与可持续发展价值。

### 3 结语

改性淀粉基生物降解材料的研究与产业化正处在技术突破与市场应用交汇的关键时期。热塑改性突破了淀粉难以热加工的天然瓶颈，化学改性解决了与疏水聚酯的相容性难题，复合共混工艺实现了性能与成本的平衡，AI 驱动研发更加速了材料创新。在应用层面，可食用包装膜、全降解地膜、超弹性水凝胶等成果，印证了淀粉作为“平台型分子”替代传统塑料并创造绿色价值的巨大潜力。然而连续化生产效率、力学性能和成本仍需优化，需多学科协同攻关。展望未来，在绿色可持续发展背景下，改性淀粉基材料必将迎来更广阔的发展空间。

### 参考文献

- [1] 林毅, 朱品玲, 严飞, 等. 改性淀粉基生物降解塑料包装的进展[J]. 塑料, 2024, 53(06): 113-120.
- [2] 管祁, 严华. 改性淀粉基生物降解塑料的材料性质鉴别方法[J]. 化学工程与装备, 2024, (08): 126-129.
- [3] 高书燕, 李家栋, 陈野, 等. 淀粉基可生物降解材料研究进展[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2023, 51(05): 1-14+181.
- [4] 许鑫, 王斌, 崔波. 可生物降解改性淀粉基薄膜的特性及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(15): 474-481.
- [5] 生物降解性淀粉基材料的制备与成型技术. 陕西省, 西安交通大学, 2004-01-01.
- [6] 张文峰. 淀粉/聚己内酯可生物降解塑料的研究[D]. 中国人民解放军国防科学技术大学, 2002.