

生物基可降解高分子材料的合成工艺与性能调控

刘志飞

方圆新材料科技有限公司 江苏淮安

【摘要】生物基可降解高分子材料作为一种新型环保材料，已成为解决塑料污染和促进资源循环利用的重要方向。其合成工艺与性能调控是提高材料应用性能的关键。本文主要探讨了生物基可降解高分子材料的合成方法，包括聚合反应、共聚合和改性技术，重点分析了不同合成工艺对材料性能的影响，如降解速率、力学性能和热稳定性等。通过调整合成条件，可以优化材料的可降解性和力学性能，进而拓展其在包装、农业和医疗领域的应用前景。本文还综述了当前生物基可降解高分子材料研究中的挑战，并提出了未来发展方向。

【关键词】生物基材料；可降解高分子；合成工艺；性能调控；聚合技术

【收稿日期】2025 年 4 月 6 日

【出刊日期】2025 年 6 月 11 日

【DOI】10.12208/j.jccr.20250013

Synthesis process and performance regulation of bio-based degradable polymer materials

Zhifei Liu

Jiangsu Fangyuan New Materials Technology Co., LTD, Huaian, Jiangsu

【Abstract】As a new type of environmentally friendly material, bio-based degradable polymer materials have become an important direction for solving plastic pollution and promoting the recycling of resources. The synthesis process and performance regulation of such materials are the key to improving their application performance. This paper mainly discusses the synthesis methods of bio-based degradable polymer materials, including polymerization reactions, copolymerization, and modification technologies. It focuses on analyzing the influence of different synthesis processes on the properties of the materials, such as degradation rate, mechanical properties, and thermal stability. By adjusting the synthesis conditions, the degradability and mechanical properties of the materials can be optimized, thereby expanding their application prospects in the fields of packaging, agriculture, and medicine. This paper also reviews the challenges in the current research on bio-based degradable polymer materials and proposes future development directions.

【Keywords】Bio-based materials; Degradable polymers; Synthesis process; Performance regulation; Polymerization technology

引言

随着环境污染问题的日益严重，尤其是塑料垃圾对生态环境造成的危害，生物基可降解高分子材料作为一种潜在的替代材料，受到了广泛关注。相比于传统的石油基塑料，生物基材料具有可再生性和较低的环境负担，能在特定条件下实现自然降解，减少对环境的长期污染。然而，如何在保证其可降解性的提升材料的力学性能和加工性，成为生物基高分子材料研究中的关键问题。本文将探讨生物基可降解高分子材料的合成工艺与性能调控方法，通过对当前合成技术及其影响因素的分析，提出优化的途径和未来的研究方向。

1 生物基可降解高分子材料的合成工艺概述

生物基可降解高分子材料的合成工艺是实现材料环保特性和功能化的关键。生物基高分子材料的合成主要包括聚合反应、共聚合、以及后处理改性等工艺。其中，聚合反应通常涉及通过乳液聚合、溶液聚合、熔融聚合等方法，利用天然高分子单体如乳酸、丁二酸、葡萄糖等进行合成^[1]。这些天然单体来源广泛，能够在较短的时间内从可再生资源中提取，为材料提供了较为丰富的原料基础。通过优化反应条件，尤其是在温度、压力、催化剂等因素的控制下，能够在较短的合成周期内获得具有理想性能的生物基高分子材料。

在合成过程中，共聚合是提高材料综合性能的重要手段。通过将生物基单体与合成单体进行共聚，可以

有效调整材料的降解速率、力学性能以及热稳定性。聚乳酸 (PLA) 与其他高分子单体的共聚合能够改善其在高温条件下的稳定性, 避免降解过快, 同时提升材料的力学强度。共聚合反应的调控对合成工艺的优化起到了关键作用, 它不仅能改善材料的多功能性, 还能为其在实际应用中提供更为广泛的适应性。

改性技术也在生物基高分子材料的合成中扮演着不可忽视的角色。为了提高生物基高分子材料的使用性能, 常采用物理或化学改性方法, 如交联、填料增强、表面修饰等。这些方法能够有效地提高材料的耐热性、力学性能和加工性。添加天然纤维、矿物填料等增强材料的机械性能, 而表面处理或改性则能够提高其水解稳定性和降解控制性。通过这些手段, 生物基高分子材料不仅能够具备良好的可降解性, 还能在各种应用领域中充分发挥其优势。

2 合成工艺对材料性能的影响与优化

合成工艺对生物基可降解高分子材料的性能具有重要影响, 优化合成工艺是提高材料性能的关键环节。在生物基高分子材料的合成过程中, 聚合方式、反应温度、时间、催化剂的选择等因素都会直接影响最终产品的力学性能、降解速率和热稳定性。聚乳酸 (PLA) 的合成工艺中, 温度的提高会加速聚合反应, 但过高的温度可能导致分子链的降解, 从而影响材料的分子量和力学性能。为了优化这一过程, 研究者通常会调节反应温度和催化剂的种类, 达到提高聚合效率和材料稳定性的平衡。反应时间也是一个关键因素, 过长的聚合时间可能导致过度交联, 从而降低材料的可降解性和力学性能。

共聚合技术为优化生物基可降解高分子材料的性能提供了另一种有效途径。通过引入不同的共聚单体, 可以调节材料的物理化学性质。聚乳酸和聚对苯二甲酸丁二酯 (PBAT) 共聚后, 材料的韧性和耐热性得到了显著提高^[2]。这种共聚合方法不仅能够改善材料的机械性能, 还能控制其降解速率, 以满足不同应用领域的需求。共聚合工艺中的单体比例、反应条件等因素, 需要精细控制, 以确保所获得的高分子材料在保持生物降解性的具备较强的应用性能。

除了聚合和共聚合过程, 改性工艺同样是提升生物基高分子材料性能的有效手段。通过物理或化学改性, 能够显著改善材料的综合性能。常见的改性方法包括交联反应、填料增强以及表面处理等。通过交联反应, 可以增加材料的网状结构, 从而提升其机械强度和热稳定性。填料增强技术则通过加入天然纤维、矿物材料

等来提高材料的硬度和抗冲击性, 尤其适用于包装材料 and 工程塑料领域。表面改性处理, 如化学接枝或表面涂层, 能够显著改善材料的水解稳定性, 延长其使用寿命。通过合理设计这些改性工艺, 不仅能提高生物基高分子材料的机械性能和耐久性, 还能进一步优化其降解特性, 增强其在实际应用中的可操作性和适用性。

3 生物基高分子材料的性能调控方法

生物基高分子材料的性能调控是其广泛应用的关键, 特别是在力学性能、热稳定性、降解速率等方面的优化。为了满足不同领域对材料性能的要求, 调控手段主要集中在分子结构的调整、复合材料的制备以及表面改性技术等方面。通过合理选择单体和聚合工艺, 可以调节高分子链的结构, 进而优化材料的综合性能。通过调整聚合物分子链的长度和交联度, 可以有效控制材料的力学性能和热稳定性。长链分子通常赋予材料更好的韧性和柔韧性, 而短链分子则可以增强材料的刚性和耐热性。通过合理控制合成过程中的反应条件, 可以在力学和热性能之间找到合适的平衡点。

复合材料的制备为性能调控提供了另一种有效方法。在生物基高分子材料中加入适当的填料或纤维, 如天然纤维、矿物材料或无机纳米材料, 能够显著提高材料的机械强度、刚性及热稳定性。天然纤维如竹纤维、木纤维的加入, 不仅能增加材料的力学性能, 还能改善其加工性能, 使材料在生产过程中的流动性和成型性得到提升^[3-7]。纳米材料的加入, 特别是纳米粘土、纳米二氧化硅等, 不仅能增强材料的力学强度, 还能改善其气密性和耐水性。复合材料的制备还可以通过调节填料的分布和形态来进一步优化材料的性能, 使其适应更多的应用场景, 如包装材料、农业膜以及医用材料等领域。

表面改性技术也是调控生物基高分子材料性能的重要途径。材料的表面特性往往直接决定了其在特定环境中的适用性和耐久性。通过表面接枝或化学修饰, 可以改变高分子材料的表面亲水性或疏水性, 从而调节其与外界环境的相互作用。对于某些需要耐高温或耐腐蚀的应用, 表面涂层技术能够提供额外的保护层, 增强材料的抗氧化性和抗水解性。在某些领域, 材料的表面改性还可以赋予其抗菌、抗紫外线等特性, 进一步拓宽其应用范围。通过精确控制表面改性过程中的参数, 如温度、反应时间、改性剂浓度等, 可以实现对材料性能的精准调控, 从而使生物基高分子材料更加适应市场对环保和功能化的多元化需求。

4 面临的挑战与未来发展方向

生物基可降解高分子材料在应用过程中仍面临着许多挑战,尤其是在材料的性能与可加工性方面。尽管生物基高分子材料具有较强的环保特性,但其力学性能、热稳定性和降解控制性等方面仍难以与传统石油基塑料媲美。聚乳酸(PLA)等生物基材料在高温下的热稳定性较差,限制了其在高温环境下的应用。生物基高分子材料的降解速率也容易受到环境因素的影响,在实际应用中可能导致性能的不稳定。这些问题要求在合成和改性工艺方面进行更多创新,以提高其在不同应用场合下的可靠性和耐久性。

生物基高分子材料的生产成本一直是其广泛应用的关键障碍。尽管这些材料的原料来源于可再生资源,具有环保优势,但其生产过程相较于传统塑料更为复杂,涉及多个环节如聚合反应、改性处理和后续加工,这使得整体的生产成本较高^[8]。生物基高分子材料的合成往往需要较高的能量投入,尤其在高温和高压条件下进行聚合时,能耗问题尤为突出。这些因素导致生物基高分子材料在与传统石油基塑料的竞争中处于劣势,尤其是在成本敏感型市场如包装和日常消费品领域。降低生产成本,提升生产效率,尤其是通过优化工艺流程、提高单体的利用率、减少能源消耗,成为未来研究的重点方向。通过这些改进,能够推动生物基材料的商业化进程,并加速其在市场上的普及应用。

为了应对上述挑战,未来生物基高分子材料的研究将集中在提高材料的多功能性和开发新型高效的合成工艺上。随着纳米技术、共聚合技术和智能化材料的发展,未来的生物基高分子材料可能会拥有更加优异的性能。通过引入纳米填料或采用多元共聚合,可以显著提升材料的力学性能和热稳定性。随着智能材料的兴起,生物基高分子材料有望具备更多可调控的特性,如自修复、响应性降解等,这将为其在更广泛领域的应用打开新局面。优化废弃物回收与再利用技术,将有助于促进生物基材料的循环经济发展,从而进一步推动其可持续发展。

结语

生物基可降解高分子材料作为替代传统塑料的重要材料,展现了巨大的环保潜力。尽管其在力学性能、热稳定性和降解控制性等方面仍面临一定挑战,但随着合成工艺的不断优化和改性技术的进步,生物基材

料的性能已逐步得到提升。未来,随着生产工艺的革新和新型复合材料的开发,生物基高分子材料的成本有望降低,其应用领域将更加广泛。智能化材料和循环经济的发展将为其可持续发展提供更多支持。生物基高分子材料的前景广阔,值得在环境保护和资源利用方面持续深入研究与创新。

参考文献

- [1] 张丽平,谢同,高永平.生物可降解塑料行业发展现状、存在问题与建议[J].中国塑料,2025,39(04):75-83.
- [2] 尹伟浩,桑晓明,姜寒,等.动态共价键在交联树脂降解回收中的进展[J].塑料,2025,54(01):161-166.
- [3] 罗晓宇.加快发展生物可降解材料产业[N].安徽日报,2025-01-25(004).
- [4] 刘洋,王婷,蔡庆,等.可降解聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯/天然橡胶生物基复合材料性能的研究[J].橡胶工业,2024,71(12):919-924.
- [5] 陈禹全,任彬,李雪梅,等.一种具有优异本征阻燃性和可降解性的全生物基环氧树脂的制备及其性能[J].中国塑料,2024,38(11):33-40.
- [6] 李娜.体育器械用生物基水性聚氨酯合成革的力学性能研究[J].中国皮革,2024,53(12):132-136.
- [7] 姚督生,王敏嘉,王光芒,等.生物基水性聚氨酯(BWPU)的合成与生物应用研究[J].广东化工,2024,51(21):35-37.
- [8] 司凯,邱勇隽,赵黎明.绿色离子液体辅助生物基材料:绿色、抗菌和抗氧化的食品包装解决方案[C]//中国食品科学技术学会.中国食品科学技术学会第二十一届年会论文摘要集.华东理工大学生物工程学院生物反应器工程国家重点实验室,;2024:629-630.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS