



TIANRAN GAOFENZIJI XINCAILIAO CONGSHU

《天然高分子基新材料》丛书

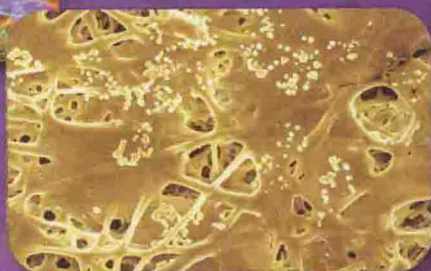
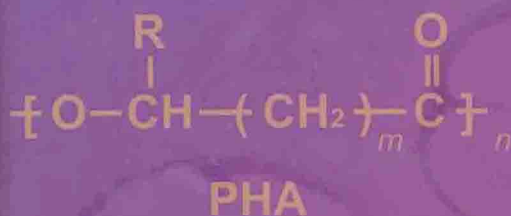


张俐娜 总主编 邵正中 总副主编

“十二五”国家重点图书

微生物聚羟基 脂肪酸酯

陈国强 魏岱旭 编著



化学工业出版社

TIANRAN GAOFENZIJI XINCAILIAO CONGSHU

《天然高分子基新材料》丛书



张俐娜 总主编 邵正中 总副主编

“十二五”国家重点图书

TQ323.4
09

微生物聚羟基 脂肪酸酯

陈国强 魏岱旭 编著



化学工业出版社

本书为《天然高分子基新材料》丛书之一,系统地叙述了聚羟基脂肪酸酯(PHA)的生产、提取、加工及结构与性能,并对聚羟基脂肪酸酯及其降解产物在医学、药学、塑料工业等领域的研究和应用进行了详细的介绍。通过回顾聚羟基脂肪酸酯的发展史,汇总了聚羟基脂肪酸酯的微生物合成代谢途径、发酵生产和提取、物理化学性质、在医药及其降解产物等多方面的研究内容,全面地介绍了聚羟基脂肪酸酯在生物降解材料、日用化工、医药、农业、生物能源、食品加工等诸多领域的实际应用,涉及分子生物学、微生物学、物理学、化学、材料学等领域从研究前沿到工业生产的诸多技术。

本书适合微生物学、生物材料、高分子化学、医学、药学、农学等专业的本科生、研究生、教师及相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物聚羟基脂肪酸酯/陈国强,魏岱旭编著.

北京:化学工业出版社,2014.9

(《天然高分子基新材料》丛书.张俐娜总主编)

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-122-20482-0

I. ①微… II. ①陈…②魏… III. ①聚羟基脂肪酸酯-微生物-研究 IV. ①TQ225.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第081274号

责任编辑:翁靖一
责任校对:宋 玮

文字编辑:向 东
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京盛通印刷股份有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张18³/₄ 字数350千字 2014年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:128.00元

版权所有 违者必究

《天然高分子基新材料》丛书编委会

编委会主任：张俐娜 中国科学院院士，武汉大学教授

编委会副主任：邵正中 复旦大学教授，长江学者特聘教授
周伟斌 化学工业出版社社长

委员（按姓氏汉语拼音排序）：

蔡 杰 武汉大学教授

陈国强 清华大学教授，长江学者特聘教授，国家“973”项目首席科学家

陈 云 武汉大学教授

杜予民 武汉大学教授

付时雨 华南理工大学教授，珠江学者特聘教授

黄 进 武汉理工大学教授，教育部新世纪优秀人才

任 杰 同济大学教授，教育部新世纪优秀人才

邵正中 复旦大学教授，长江学者特聘教授，国家杰出青年科学基金获得者

汪秀丽 四川大学教授，教育部新世纪优秀人才

王玉忠 四川大学教授，长江学者特聘教授，国家杰出青年科学基金获得者

张洪斌 上海交通大学教授

张立群 北京化工大学教授，长江学者特聘教授，国家“973”项目首席科学家

张俐娜 中国科学院院士，武汉大学教授

周伟斌 化学工业出版社社长

《天然高分子基新材料》丛书编著人员

丛书总主编：张俐娜

丛书总副主编：邵正中

分册编著人员：

- | | |
|----------------|------------------|
| 《纤维素科学与材料》 | 蔡杰 吕昂 周金平 张俐娜 编著 |
| 《蚕丝、蜘蛛丝及其丝蛋白》 | 邵正中 著 |
| 《甲壳素/壳聚糖材料及应用》 | 施晓文 邓红兵 杜予民 编著 |
| 《木质素化学及改性材料》 | 黄进 付时雨 编著 |
| 《大豆蛋白质科学与材料》 | 陈云 王念贵 编著 |
| 《淀粉基新材料》 | 王玉忠 汪秀丽 宋飞 编著 |
| 《多糖及其改性材料》 | 张洪斌 编著 |
| 《天然橡胶及生物基弹性体》 | 张立群 编著 |
| 《聚乳酸》 | 任杰 李建波 编著 |
| 《微生物聚羟基脂肪酸酯》 | 陈国强 魏岱旭 编著 |

生物经济是建立在生物资源可持续利用和生物技术基础之上，而不完全依赖于化石资源的一种新经济形态。它的创建正在挑战并推动着传统工业、农业、林业等产业的发展，引起了工业界、学术界和政府的高度关注和协力应对，以形成新的资源配置和利用。在材料科学领域，基于“可持续发展”和“环境保护”两方面的考虑，利用可再生的生物质创造新材料同样面临着重要的发展机遇。显然，这是由于化石资源的日益枯竭及其产品对环境造成不同程度的污染所致。

在可再生的生物质中，天然高分子占据非常重要的地位。天然高分子是一类来源于自然界广泛存在的动物、植物以及微生物中的大分子有机物质，主要包括多糖（如纤维素、甲壳素/壳聚糖、淀粉、透明质酸等）、蛋白质（植物蛋白如大豆蛋白，动物蛋白如蚕丝、各类酶等）以及木质素、天然橡胶、天然聚酯等。它们是自然界赋予人类最重要的物质资源和宝贵财富。天然高分子，可以被直接利用及通过化学或物理方法构建成新的功能材料，也可以制备成各种化工原料、生化品、低聚物及生物柴油等。广义的天然高分子还包括天然高分子衍生物以及用天然有机物质作为原料通过生物合成、化学合成或复合而形成的各种高分子材料（如聚乳酸、聚羟基脂肪酸酯、生物基弹性体等）。天然高分子材料废弃后很容易被土壤中的微生物降解和无害化处理，是典型的环境友好材料。

当前，化学科学发展的趋势之一是致力于解决人类社会中的环境问题并促进世界的可持续发展。近年来，科学界和工业界正在积极关注建立环境友好的技术和方法及基于天然高分子的“绿色”产品和材料的研究与开发。很多全球性大公司对于生物质材料、生物燃料及相关的加工技术都制订了高瞻远瞩的发展计划，尤其瞄准天然高分子基新材料在生物医药、纺织、包装、运输、建筑、日用品，乃至光电子器件等诸多领域的应用前景。美国能源部(DOE)

预计，在2020年源于植物生产的基本化学结构材料将增加到10%，而在2050年将达到50%。可见，天然高分子基新材料领域的研究及应用正在蓬勃展开，它们必然带动农业、绿色化学、生物医学、可生物降解材料以及纳米技术、生物技术、分子组装等多学科的发展，终将对人类的生存与健康和世界经济的发展起不可估量的作用。

顺应于天然高分子科学与技术的发展，迫切需要该领域的科技工作者对这些生物质大分子及其改性材料的基本概念、基础理论、实验技术、应用前景以及学科的发展历史和最新研究成果有足够的了解和认识，因此亟须有套权威丛书来系统介绍它们。同时，为了培养一大批从事天然高分子材料科学与技术的科技人才，极力促进各相关知识领域及其应用产业链间资源与信息的整合，也急需一套全面、系统介绍天然高分子材料与应用的专著供大家参考。为此，我受化学工业出版社邀请，专门组织我国长期从事天然高分子研究的老、中、青年专家、教授共同编写了《天然高分子基新材料》丛书（共10册）。该丛书包括《纤维素科学与材料》、《蚕丝、蜘蛛丝及其丝蛋白》、《甲壳素/壳聚糖材料及应用》、《木质素化学及改性材料》、《大豆蛋白质科学与材料》、《淀粉基新材料》、《多糖及其改性材料》、《天然橡胶及生物基弹性体》、《聚乳酸》和《微生物聚羧基脂肪酸酯》。我国可利用的生物质资源极其丰富，相关研究和产业化也取得了长足发展。尤其近几年，我国在纤维素低温溶解、天然高分子纺丝、丝蛋白和多糖结构功能解析、生物塑料和生物基弹性体等方面取得了一系列国际瞩目的研究成果。本套书以高质量、科学性、准确性、系统性和实用性为目标，图文并茂、深入浅出地表述，具有科普性强，内容新颖、丰富的特点；不仅全面介绍了许多重要天然高分子材料的基本概念、基础理论、实验技术以及最新研究进展和发展趋势，也反映了所有编著者在各自领域的研究成果和经验积累，涵盖了天然高分子基新材料基础研究和应用的诸多方面，便于读者拓展思路、开阔眼界。

历经近两年时间，这套《天然高分子基新材料》丛书即将问世。在此，我衷心地感谢杜予民教授（武汉大学）、邵正中教授（复旦大学）、陈国强教授（清华大学）、张立群教授（北京化工大学）、王玉忠教授（四川大学）、张洪斌教授（上海交通大学）、

任杰教授（同济大学）、陈云教授（武汉大学）、黄进教授（武汉理工大学）、蔡杰教授（武汉大学）等积极热心地参加并负责完成了书稿。同时，他们的很多研究生也参与了这项工作，并在文献查阅和翻译外文资料以及编写、制图等方面付出了艰辛的劳动。尤其，一些国内外知名专家如江明院士（复旦大学）、Gregory F Payne教授（美国马里兰大学）、张厚民教授（Hou-min Chang，美国北卡罗来纳州立大学）、谢富弘教授（Fu-hung Hsieh，美国密苏里大学哥伦比亚分校）、王彦峰教授（武汉大学中南医院）和杨光教授（华中科技大学）等热情地为这套书提出了一些宝贵的意见，在此一并表示感谢。最后，也感谢化学工业出版社为这套书的出版所做的一切努力。

资源、健康、环境与发展是人类关心的根本问题。我们期待本套书的出版对天然高分子基材料的创新和技术进步及国民经济的发展有积极的促进作用，进而有效地提升我国天然高分子研究的国际地位，推动整个学科的全新发展。我衷心地希望更多的教师、研究生、工程师、生物学家及高分子学家能参与到天然高分子基新材料的研究、开发及应用行列，共同推进人类社会的可持续发展，共建我们美丽的家园。

张俐娜

中科院院士

武汉大学教授

2014年2月28日

在过去的几十年内,石化类塑料成为我们应用最多的一种材料。随着以石油和天然气为代表的化石资源日益减少、环境污染逐渐加重,人们开始寻找一系列可持续发展的天然高分子基材料用于逐步取代传统的石化类塑料。发展可持续的天然高分子基材料已成为推进我国战略性新兴产业发展的一项重要任务。

聚羟基脂肪酸酯(Polyhydroxyalkanoates, PHA)是唯一一个完全由微生物合成的天然高分子基材料。自然条件下,微生物通过相关酶的作用,将羟基脂肪酸聚合成线状的PHA,作为微生物的碳源和能源储备物质。目前,已发现的PHA侧链单体有150多种,致使PHA的品种繁多、材料学性质和应用前景也各不相同。PHA具有材料多变性、非线性光学性能、压电性能、气体阻隔性能、热塑性、生物可降解性、良好的生物相容性等特点,使其在生物降解材料、日用化工、医药、农业、生物能源、食品加工等诸多领域都具有很好的应用前景。

为了更有效地开发和利用PHA资源,必须充分运用现代分子生物学技术和微生物技术对传统PHA生产菌进行改造,得到结构可控的高产优势菌株;同时,通过材料学和化学手段对已有的PHA材料进行改性和修饰,建立对PHA生产、提取、结构改性的多方面优化方案,进而推动PHA生产技术的发展及产业化的应用。一个关于PHA的产业链正逐渐形成,它横跨微生物、生物化工、高分子材料与工程、医用植入材料、塑料和能源等诸多领域和产业。

目前,国内外已有关于PHA微生物生产、提取及加工的相关专著,也有一些零散介绍PHA在材料学或医药应用的文献和著作,但仍缺少从PHA的微生物合成到产品应用开发的全面介绍,更缺少对近几年PHA研究成果的深入讨论。由此,本书面向生物质基新材料产业的战略需求,针对PHA的特点,从PHA的微生物合成代谢入手,较全面、系统地介绍了PHA的微生物合成和提取、材料改性及加工、多领域应用和PHA产品开发等成果和技术,同时阐述了PHA如何形成一种多学科、多领域的交叉科学技术研究体系。

本书大量吸收了近年来全世界PHA领域的最新研究成果和技术方法,其中不乏新的尝试和观点,也包括我课题组的最新研究成果。全书共分9章。第1章“绪论”概述了PHA的发现、命名、组成及材料学性质、应用,并对PHA研究现状进行了介绍。第2章“PHA生物合成代谢途径”重点介绍了PHA的微生物合成代谢途径、自然条件下的PHA颗粒及其表面的结合蛋白,并介绍了以PHA生物合成路径为一种生物技术工具,用于改造其他微生物。第3章“常见PHA的微生物发酵生产和提取”依次介

绍了几种常见PHA微生物的发酵生产和提取技术。第4章“PHA的其他生产方式和非常见PHA”分别介绍了通过活性污泥发酵和转基因植物生产PHA,并汇总了一些具有特殊主链和侧链基团的非常见PHA。第5章“PHA的结构与性能”重点分析了PHA的各项物理化学性质,并对PHA的化学改性进行介绍。第6章“手性羟基脂肪酸的生产和应用”是对PHA的降解产物(手性羟基脂肪酸)的生产技术和应用进行介绍。第7章“PHA在医药领域的研究和应用”重点介绍了PHA作为一种生物相容性良好的可降解材料在手术(植入)器械材料、组织工程支架材料、药物载体、医疗保健等方面的应用。第8章“PHA在塑料工业及其他领域的研究和应用”重点介绍了PHA作为一种生物可降解材料在塑料工业的应用。第9章“PHA的产业化和展望”是对PHA的产业化进行介绍,重点汇总了目前国内外的PHA生产企业及其产品,同时对PHA的科学研究前景提出展望。

在本书的编著过程中,得到了清华大学微生物实验室的许多老师、同事和同学们的帮助,在此表示谢意。他们是(按姓氏拼音排列):曹骞、陈祥斌、傅晓智、李腾、李正军、刘倩、吕丽、马一鸣、孟德川、谭丹、汪洋、王芝辉、魏晓星、徐军、姚慧、叶海木、尹进、曾国栋和章隽宇等。在本书的编写过程中,得到国内外众多同行的关心、支持和帮助。诚挚感谢《天然高分子基新材料》丛书编委会提出的意见和建议!

未来的PHA研究,既可集中在高附加值的医疗植入材料、手性药物和功能性材料的开发,也可集中在低附加值的环保材料和能源的使用等领域。随着国家“十二五”规划的顺利执行,希望能与不同学科不同领域的人员共同努力,建立并完善PHA产业链。也希望有更多的年轻学者投身PHA的研究中。

本书适合微生物学、生物材料、高分子化学、医学、药学、农学等专业的本科生、研究生、教师及相关科技人员阅读,也可用于相关专业的教学参考。

由于编著者水平有限,书中难免有不足之处,恳请使用本书的广大读者批评指正。

陈国强
2014年5月
于清华园



目 录

contents

第1章 绪论

(001)

1.1 聚羟基脂肪酸酯概述	004
1.2 PHA的生理功能	007
1.3 PHA的单体组成和分类	008
1.4 PHA及单体的读写规则	010
1.5 PHA的材料学性质	012
1.6 PHA的应用	014
1.7 我国研究和开发PHA的基础	017
1.8 PHA研究发展过程中重要事件和人物	020
参考文献	023

第2章 PHA生物合成代谢途径

(025)

2.1 PHA生物合成代谢途径概述	026
2.1.1 主要的生物合成代谢途径	026
2.1.2 其他的生物合成代谢途径	029
2.2 PHA生物合成相关基因	030
2.3 PHA生物合成的关键	031
2.3.1 PHA聚合酶的分类	031
2.3.2 PHA聚合酶编码基因在基因组中的排列方式	032
2.3.3 PHA聚合酶的结构特征	034
2.3.4 对PHA聚合酶催化机制的推测	036
2.3.5 PHA聚合酶基因的克隆方案	036
2.4 PHA颗粒和PHA颗粒结合蛋白	038
2.4.1 PHA颗粒	038
2.4.2 PHA颗粒的结构	039
2.4.3 PHA颗粒的组装	040
2.4.4 PHA颗粒形成的计算机模拟	042
2.4.5 PHA颗粒表面结合蛋白	044
2.4.6 体外人工制备的PHA颗粒	048
2.4.7 PHA颗粒的应用	052
2.5 PHA生物合成代谢途径作为生物技术工具	060
2.5.1 PHA生物合成代谢途径对微生物生理状况的影响	060

2.5.2 PHA生物合成代谢途径调节了生物的代谢流	061
2.5.3 PHA生物合成代谢途径提高了微生物的抗逆性	062
2.5.4 PHA生物合成基因在工业微生物中的应用	063
参考文献	066

第3章 常见PHA的微生物发酵生产和提取

(069)

3.1 短链PHA的发酵生产	070
3.1.1 利用野生菌生产PHB及PHBV	070
3.1.2 利用重组大肠杆菌生产PHB及PHBV	076
3.1.3 新型短链PHA的生产	079
3.2 中长链PHA的发酵生产	083
3.2.1 利用嗜油假单胞菌生产中长链PHA	083
3.2.2 利用恶臭假单胞菌生产中长链PHA	083
3.2.3 利用其他假单胞菌生产中长链PHA	086
3.2.4 利用重组大肠杆菌合成中长链PHA	086
3.3 短链和中长链PHA共聚酯的发酵生产	088
3.3.1 利用气生单胞菌生产短链和中长链PHA共聚酯	088
3.3.2 利用假单胞菌生产短链和中长链PHA共聚酯PHBHA	093
3.3.3 利用短链PHA生产菌生产短链和中长链PHA共聚酯PHBHA	095
3.4 PHA均聚物的生产	099
3.4.1 短链PHA均聚物的生产	099
3.4.2 中长链PHA均聚物的生产	100
3.5 PHA的提取纯化原则及其工艺	101
3.5.1 PHA提取纯化方法的开发原则	101
3.5.2 短链PHA的提取纯化方法	103
3.5.3 中长链PHA的提取纯化方法	106
参考文献	107

第4章 PHA的其他生产方式和非常见PHA

(111)

4.1 利用活性污泥生产PHA	112
4.1.1 概述	112
4.1.2 利用活性污泥生产PHA的代谢机制	112
4.1.3 活性污泥中积累的PHA的种类	113
4.1.4 活性污泥生产PHA的工艺	113
4.1.5 活性污泥及其他混合培养积累PHA的微生物研究	114
4.1.6 活性污泥生产PHA的研究展望	115
4.2 利用转基因植物生产PHA	116
4.2.1 利用转基因植物生产PHA的概述	116

4.2.2 在植物细胞质中合成 PHB	117
4.2.3 在植物质体中合成 PHB	117
4.2.4 在植物线粒体或过氧化物酶体中合成 PHB	119
4.2.5 在植物中合成 PHBV	119
4.2.6 在植物中合成中长链 PHA	120
4.2.7 转基因植物生产 PHA 的研究展望	121
4.3 非常见 PHA	122
4.3.1 非常见 PHA 概述	122
4.3.2 具有功能性侧链基团的 MCL-PHA 的研究	122
4.3.3 带新型主链结构 PHA 的生产和应用	130
参考文献	133

第5章 PHA的结构与性能

137

5.1 概述	138
5.2 PHA的分子结构	139
5.2.1 PHA的分类与特性	139
5.2.2 PHA分子结构的测定方法	140
5.3 PHA的凝聚态结构	143
5.3.1 PHA材料凝聚态结构的信息	143
5.3.2 PHA的结晶行为	146
5.3.3 光学手段检测 PHA 结构	148
5.3.4 X射线衍射	151
5.3.5 二次谐波 (SHG) 的研究	153
5.3.6 红外光谱的研究	157
5.3.7 介电谱的研究	163
5.3.8 固态 NMR 的研究	164
5.3.9 太赫兹技术在 PHA 的应用	165
5.4 PHA的物理性能	166
5.4.1 PHA的热性能	166
5.4.2 力学性能	169
5.4.3 光电性能	170
5.5 PHA的化学性质	171
5.5.1 PHA的热降解行为	171
5.5.2 PHA的水解	174
5.5.3 PHA的环境降解	175
5.5.4 PHA的酶降解	175
5.6 PHA的化学改性	179
5.7 PHA的加工	181
5.7.1 PHA的溶液加工	181

5.7.2 PHA 的热加工	182
5.8 PHA 性能的改进	184
5.8.1 加工工艺的改进	184
5.8.2 PHA 的共混改性	188
参考文献	189

第6章 手性羟基脂肪酸的生产和应用

(195)

6.1 手性羟基脂肪酸的概述	196
6.2 手性羟基脂肪酸的主要生产方法	196
6.2.1 化学方法直接合成手性羟基脂肪酸	196
6.2.2 化学方法降解聚羟基脂肪酸酯	197
6.2.3 生物酶法降解聚羟基脂肪酸酯	198
6.2.4 生物转化法生产手性羟基脂肪酸	201
6.2.5 利用基因工程菌直接生物合成手性羟基脂肪酸	202
6.3 手性羟基脂肪酸单体及低聚体的主要应用	205
6.3.1 手性羟基脂肪酸作为昂贵化合物合成的手性起始原料	205
6.3.2 利用手性羟基脂肪酸合成内酯、环状低聚物、树状及 手性线状聚合物	206
6.3.3 手性羟基脂肪酸的生理作用	207
6.3.4 手性羟基脂肪酸的潜在药用价值	207
6.4 前景和展望	208
参考文献	208

第7章 PHA在医药领域的研究和应用

(211)

7.1 PHA 及其降解产物的医用研究历史概述	212
7.2 PHA 作为手术器械材料的研究	214
7.2.1 手术缝合线	215
7.2.2 防粘连膜	217
7.3 PHA 作为组织工程支架材料的研究进展	218
7.3.1 心血管组织工程	218
7.3.2 骨组织工程	221
7.3.3 软骨组织工程	223
7.3.4 神经导管组织工程	225
7.3.5 食管组织工程	227
7.3.6 皮肤组织工程	228
7.3.7 PHA 作为组织工程支架材料的前景和展望	228
7.4 PHA 作为药物载体材料研究	229

7.5 PHA降解产物的医疗保健作用研究	238
7.5.1 低聚物和单体的细胞相容性研究	238
7.5.2 HB单体对骨质疏松症的治疗研究	239
7.5.3 HB单体对糖尿病的治疗研究	240
7.5.4 HB单体对神经退行性疾病的治疗研究	240
7.5.5 PHA降解产物作为药物的前景与展望	242
参考文献	242

第8章 PHA在塑料工业及其他领域的研究和应用 (247)

8.1 生物可降解塑料简介	248
8.2 生物可降解塑料的分类	249
8.3 PHA在塑料工业领域的研究和应用	250
8.3.1 对PHA降解性能的改性	251
8.3.2 PHA用于塑料包装业的可能性	254
8.3.3 PHA类产品用于食品包装业的可能性	255
8.4 PHA类产品用于塑料业的经济性评价	256
8.5 PHA在其他领域的应用	257
参考文献	258

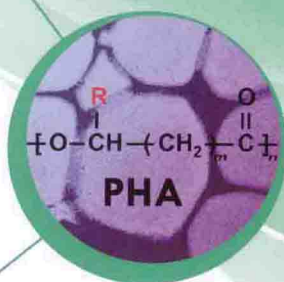
第9章 PHA的产业化和展望 (259)

9.1 PHA的产业化	260
9.2 从石油塑料到生物可降解塑料	265
9.3 常见生物可降解塑料的性质及生产历史	266
9.3.1 聚乳酸	266
9.3.2 第一代商业化PHA材料PHB	267
9.3.3 第二代商业化PHA材料PHBV	270
9.3.4 第三代商业化PHA材料PHBHHx	271
9.3.5 第四代商业化PHA材料的研究进展及瓶颈	272
9.4 世界主要PHA生产企业	273
9.5 我国PHA研究生产情况	277
9.6 PHA的科学研究前景	281
9.6.1 研究短链PHA的发酵生产前景和展望	281
9.6.2 中长链PHA的发酵生产的前景和展望	282
9.6.3 短链中长链共聚的PHA发酵和生物合成的前景和展望	283
参考文献	284

附录 部分菌种拉丁文-中文译文对照表 (285)

第1章

绪论



在过去的几十年内,石油化工类塑料一直是应用最多的材料,主要是由于这类材料具有结构多样、性能易调、适用面广及原材料(石油)成本低等优点。目前,这类塑料可用于家用电器、电脑配件、建筑、体育设施、包装、医疗器械和各种纤维等,塑料很明显已成为当今生产、生活不可或缺的材料。全球塑料生产于2010年达到近 $3 \times 10^8 \text{t}$ (图1.1),其继续增长的趋势将使塑料在2050年达到近 $4 \times 10^8 \text{t}$ 。

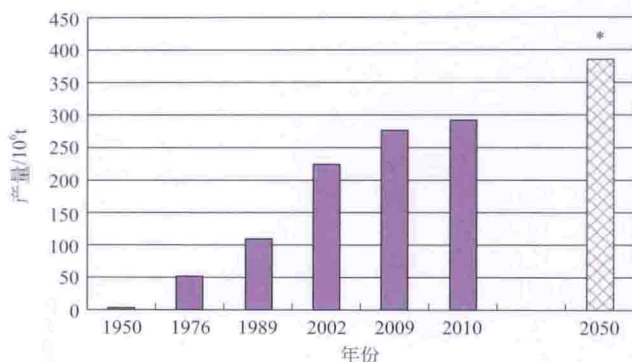


图1.1 1950 ~ 2050年世界塑料生产量变化趋势

本资料来自于塑胶欧洲市场研究集团(Plastics Europe Market Research Group)

但从20世纪70年代开始,由于石油储量枯竭的预测以及石油输出国人为地减少石油产量,直接导致了原油价格的迅速提升。因此,人们开始寻找一个能替代石油化工类塑料的可持续发展的材料。与此同时,很多天然高分子基材料被发现并大量研究,它们的工业效用以及生物降解性也逐渐被研究清楚。这些天然高分子基材料包括纤维素、淀粉及改性淀粉基材料、聚乳酸(PLA)、丁二酸丁二醇共聚物(PBS)、二氧化碳共聚物(PPC)、对苯二甲酸-1,3-丙二醇共聚物(PTT)、生物乙烯(bio-PE)和聚羟基脂肪酸酯(PHA)等(图1.2)。除淀粉基材料之外,其他的天然高分子基材料中至少有一个单体可以用微生物发酵的方法来制造,然后采用化学聚合方法聚成材料。而PHA是唯一一个全生物合成的天然高分子基材料,且品种繁多,目前PHA有超过150种不同的单体被报道过^[1]。

除了可持续性之外,天然高分子基材料还由于其环境友好性,即生物可降解性(biodegradability),受到生物和材料领域的许多关注,因此这些材料也被称为环境可降解塑料(environmentally degradable plastics, EDPs)。特别是在我国,塑料消耗量占全球消耗量的近1/4(图1.3),所以开发天然高分子基材料就显得尤为迫切。

上述天然高分子基材料一方面与传统的,以石油为原料合成的塑料(如聚乙烯、聚丙烯等)有相似的材料学性质,另一方面它们可由可再生的能源如碳水化合物、脂肪酸等合成,其结构多样,并且可以完全降解进入自然界的生态循环。