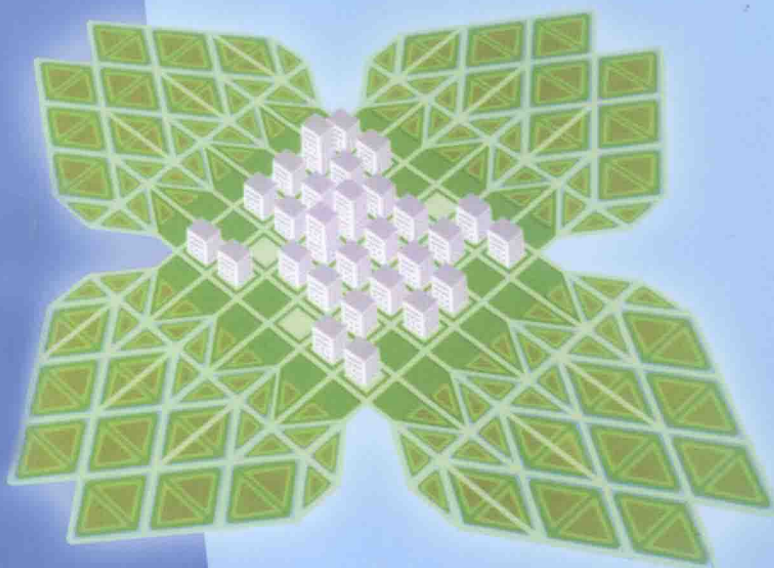




# 合成生物学 及应用

[奥地利] M. 施密特 (Markus Schmidt) 编  
周延 吴巧雯 译

## Synthetic Biology: Industrial and Environmental Applications



化学工业出版社

# 合成生物学 及应用

[奥地利] M. 施密特 (Markus Schmidt) 编

周延 吴巧雯 译

**Synthetic Biology:**  
Industrial and  
Environmental Applications



化学工业出版社

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

合成生物学及应用/[奥]施密特(Schmidt, M.)编;周延, 吴巧雯译. —北京:化学工业出版社, 2014. 1

书名原文: Synthetic Biology: Industrial and Environmental Applications,

ISBN 978-7-122-18854-0

I. ①合… II. ①施…②周…③吴… III. ①化学合成-生物学  
IV. ①Q503

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 256687 号

Synthetic Biology: Industrial and Environmental Applications, by  
Markus Schmidt

ISBN 978-3-527-33183-3

All rights reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Chemical Industry Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons Limited 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2013-0366

---

责任编辑: 傅四周  
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 张春娥  
装帧设计: 关 飞

---

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 240 千字 2014 年 4 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: 59.00 元

版权所有 违者必究

# 编者名单

---

**Rachel Armstrong**

Senior Lecturer, Research & Enterprise  
School of Architecture & Construction  
University of Greenwich  
Avery Hill Campus, Mansion Site,  
Bexley Road, Eltham  
London SE9 2PQ  
UK

**Shlomiya Bar-Yam**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building E40-437  
Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Mark Bedau**

Reed College  
3203 SE Woodstock Blvd.  
Portland, OR 97202  
USA

**Jennifer Byers-Corbin**

Gryphon Scientific  
6930 Carroll Ave, Suite 810  
Takoma Park, MD 20912  
USA

**Rocco Casagrande**

Gryphon Scientific  
6930 Carroll Ave, Suite 810  
Takoma Park, MD 20912  
USA

**Antoine Danchin**

AMAbiotics SAS  
Building G1, 2 rue Gaston Crémieux  
91000 Evry  
France

**Florentine Eichler**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building  
E40-437 Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Zheng-Jun Guan**

Chinese Academy of Sciences  
Institute of Botany  
20 Nanxincun, Xiangshan  
100093 Beijing  
China

**Allen Lin**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building  
E40-437 Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Ismail Mahmutoglu**

BAUER Umwelt GmbH  
In der Scherau 1  
86529 Schrobenhausen  
Germany

**Martin Österreicher**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building  
E40-437 Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Kenneth A. Oye**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building  
E40-437 Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Lei Pei**

Organisation for International  
Dialogue and Conflict Management  
Kaiserstr. 50/6  
1070 Vienna  
Austria

**Manuel Porcar**

Universitat de València  
Biotechnology and Synthetic Biology  
Institut Cavanilles de Biodiversitat i  
Biologia Evolutiva  
46071 Valencia  
Spain

**Pernilla C. Regardh**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building E40-437  
Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Vincent Schachter**

Total Gas & Power  
Research and Development  
2, place Jean Miller – La Défense 6  
92078 Paris La Défense Cedex  
France

**Markus Schmidt**

Organisation for International  
Dialogue and Conflict Management  
Kaiserstr. 50/6  
1070 Vienna  
Austria  
and  
Biofaction KG  
Grundsteingasse 36/41  
1160 Vienna  
Austria

**Helge Torgersen**

Institute of Technology Assessment  
Austrian Academy of Sciences  
Strohgasse 45, 5  
1030 Vienna  
Austria

**Ralph D. Turlington**

Massachusetts Institute of Technology  
(MIT)  
77 Massachusetts Ave., Building E40-437  
Cambridge, MA 02139-4307  
USA

**Wei Wei**

Chinese Academy of Sciences  
Institute of Botany  
20 Nanxincun, Xiangshan  
100093 Beijing  
China

# 合编者简历

---

## Rachel Armstrong

具临床资质的医学博士，多媒体制作人与艺术合伙人，目前致力于研究达成新技术的理想与现实相一致的建筑设计可能性。与国际科学家和建筑学家们合作，通过在实验装置中开发代谢物质，探讨可持续发展的边缘技术。

## Shlomiya Bar-Yam

麻省理工学院技术与政策项目的研究生，致力于开发合成生物学的环境应用。本科毕业于布朗大学（Brown University），获生物学理学学士。Bar-Yam 主攻生态学，致力于可持续发展项目的研究，是新英格兰复合系统研究所（New England Complex Systems Institute）的科学撰稿人。

## Mark A. Bedau

复合适应系统方面交叉学科研究的国际著名领军人物，组建了意大利威尼斯 ProtoLife Srl 生物技术公司，并任首席总执行官；还在意大利威尼斯组建了欧洲现用技术中心（UNIVE）。是里德学院哲学与人文科学教授，意大利米兰分子医学欧洲学院（European School of Molecular Medicine）的客座教授。Bedau 是复合适应系统哲学基础方面的国际著名资深专家。

## Jennifer Byers-Corbin

Gryphon 科技公司的康复理疗和医学干预专家。Corbin 博士毕业于纽约大学（New York University）生物医学科学专业，毕业后致力于研究和分析生物安全与防范。在有关生物防御的广阔领域方面，与几个工作组建立了 BARDA 模型。Corbin 博士是一位德才兼备的高效领导者，曾任美国联邦政府首席审查员和多项任务的项目负责人。

## Rocco Casagrande

康奈尔大学化学与生物学理学学士，麻省理工学院实验生物学博士，Gryphon 科技公司的管理主任。近几年，Casagrande 博士主持了几个有关美国联邦和各州的大规模杀伤性武器以及科学政策方面的项目，这些项目包括 WMD

威胁和风险评价、生物防御系统评估、技术评估、建模以及技术指导。2002年12月至2003年3月期间，Casagrande博士作为伊拉克战争的UNMOVIC生物武器观察家，在伊拉克获得了化学和生物学武器方面的一手经验。

### **Antoine Danchin**

法国生物学领域的知名遗传学家。早年曾是Henri Poincare研究所的数学家、巴黎综合理工大学(École Polytechnique)的物理学家。是初期AMA生物公司的主席，致力于生物修复的代谢研究，专攻合成生物学。Danchin曾任巴黎巴斯德研究所(Institute Pasteur)基因组与遗传学分部的主任，主持细菌基因组方面的遗传学研究。

### **Florentine Eichler**

奥地利维也纳大学(University of Vienna)法学毕业，在奥地利和荷兰研究期间主攻医学法律。目前是麻省理工学院新兴技术项目(PoET)的副研究员。

### **Zheng-Jun Guan**

在中国西北大学生命科学学院取得细胞生物学博士学位，曾执教“细胞生物学”八年。目前是中国科学院植物研究所的博士后，研究经过遗传改造的生物在合成生物学方面的生物安全性。

### **Allen Lin**

2011年于麻省理工学院取得生物化学工程学士和电子工程与计算机科学工程硕士学位，目前是麻省理工学院Weiss实验室合成生物学方面的研究技术助理。自2009年以来，与Kenneth A. Oye教授一道致力于合成生物学风险评估与管理工作。

### **Ismail Mahmutoglu**

Bauer Umwelt公司的化学家，“棕色地带”修复、水处理、尾气处理方面的专家。致力于为清除污染、废水处理、生产饮用水而设计和建造水处理工厂，涉猎的范围包括用生物处理方法进行复杂的技术处理，以及采用原位技术改善微生物的地下环境。

### **Kenneth A. Oye**

麻省理工学院在政治科学和工程系统相关方面的新兴技术项目负责人，NSF

SynBERC PI, iGEM 仲裁人和生物安全协调人，国际风险管理理事会全球科学技术指导委员会的 NRC 成员。近期发表的文章有：“Adaptive licensing,” (Nature CPT, 即将出版), “Synthetic biology and future of biosecurity” (Politics and Life Sciences, 2010), “Planned adaptation in risk regulation” (Technology Forecasting and Social Change, 2010), “Intellectual commons and property in synthetic biology” (Synthetic Biology, 2009) 和 “Embracing uncertainty” (Issues in Science and Technology, 2009)。

## Martin Österreicher

维也纳大学法学毕业，目前为麻省理工学院新兴技术项目 (PoET) 的副研究员，在维也纳和瑞士的 St. Gallen 研究期间，主攻国际法和遗传学法。

## Lei Pei

于 2002 年在瑞典的 Karolinska 研究所临床细菌学分部完成博士学位，接着在哈佛医学院附属麻省总医院医学部传染病科做博士后研究，2005 年至 2009 年间在比利时 Gent 大学分子生物学系 Flanders 生物技术研究所从事第二个博士后研究。自 2009 年开始跟随 Markus Schmidt 进行合成生物学和风险评估方面的博士后研究。

## Manuel Porcar

应用微生物学家和生物技术学家，在瓦伦西亚大学 (University of Valencia) Cavanilles 研究所主管生物技术和合成生物学实验室，并且在生物修复、生物燃料生产和生物能源学方面采用菌株和基因选择的策略进行多项研究。作为一名 GMOs 评估专家，他是西班牙 GMOs 智囊团国家生物安全委员会成员，并积极参与国际遗传学工程机构竞争，开发合成生物学方面的设备。Porcar 全力支持在合成生物学中使用达尔文主义的方法为工具。

## Pernilla Regardh

瑞典斯德哥尔摩大学 (Stockholm University) 政治科学文学学士，瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院 (Royal Institute of Technology in Stockholm) 生物技术理学学士，麻省理工学院技术与政策专业硕士。她的研究兴趣包括风险评估、调控发展以及有关新兴技术的公众舆论。在麻省理工学院攻读研究生学位期间，她与 Kenneth A. Oye 博士一起分析和比较了欧洲和美国合成生物学方面的调控前



景。Regardh 刚刚毕业于麻省理工学院，正成为斯德哥尔摩市政府的一名战略顾问。

### **Vincent Schachter**

道达尔能源公司主管研发的副总裁，之前是法国 CEA 系统生物学主任，主管计算系统生物学研究团队。在巴黎高等师范学院 (Ecole Normale Supérieure) 获计算机科学博士学位，在蛋白质相互作用网络分析领域从事生物信息学方面的研究。毕业后先在一家名为 Hybrigenics 的生物技术公司任生物信息学研究主任，取得了蛋白质与蛋白质之间相互作用、序列、细胞表型等一些高通量实验数据方面的应用经验，继而成为 CEA 生物信息学主任。Schachter 组建了生物途径联合会 (BioPathways Consortium)，致力于 BioPAX 标准的建立，还是几本生物信息学和生物学杂志的审稿专家。

### **Markus Schmidt**

具有交叉学科背景：电子和生物医学工程学士，生物学理学硕士，环境风险研究专业博士。研究兴趣包括风险评估、科学与社会的相互联系、生物技术、纳米技术、集成技术等各种新技术的技术评估 (TA)。自 2005 年以来，在欧洲倡导合成生物学安全性和伦理学研究。Schmidt 是国际对话和冲突管理组织 (IDC) 的筹办者和委员会成员，奥地利生物科技中心的组建者及 CEO。详见 [www.markusschmidt.eu](http://www.markusschmidt.eu)。

### **Helge Torgersen**

1981 年至 1989 年，是维也纳大学分子生物学研究所和生物化学研究所的研究人员和讲师，于 1990 年成为奥地利科学院技术评估研究所 (ITA) 的研究人员。主要兴趣有：比较生物技术政策和安全性调控、转基因生物的风险评估和公众看法、生物技术的科学研究、参与技术评估的方法等。Torgersen 目前的兴趣包括纳米技术、基因组学和合成生物学的社会影响方面。

### **Ralph D. Turlington**

麻省理工学院技术和政策项目的研究生，和 Kenneth A. Oye 博士共同研究合成生物学的安全防范意义。在美国西点军校学习的头两年开始对安全防范感兴趣。Ralph 在弗吉尼亚大学 (University of Virginia) 获得环境科学理学学士，并同时选修经济学。他的本科研究是喜马拉雅山的大气科学和污染物转移研究。

## Wei Wei

于中国科学院植物研究所取得博士学位，主要研究兴趣是植物生态学和生物多样性保护。在遗传改造生物的生物安全性问题方面工作了十年，现在致力于研究遗传工程和合成生物学之间的生物安全性联系，志在开发出合成生物学方面适当的风险评估和管理策略。Wei 是《卡塔赫纳生物安全协议书》(Cartagena Biosafety Protocol) 框架范围内风险评估和风险管理的特邀专家组成员。

# 译者的话

---

合成生物学是 20 世纪末和 21 世纪初学科交叉迅猛发展的必然结果，也是未来最有希望的技术领域之一。在众多的相关书籍中我们有幸看到了 Markus Schmidt 博士主编的这本书，本书对合成生物学最具前景技术的工业与环境应用进行了全方位评价，分析评价的广度和深度是现有其他书籍中很难见到的。

此书主要介绍了生物燃料、生物修复、生物材料以及合成生物学的新发展四个领域中合成生物学的 20 个应用，每个应用从以下几方面进行了技术评价：对现有技术的作用；在经济上的影响；对环境影响的利弊；在社会和伦理学方面的影响。对于研究人员来讲，应该对这些方面有所了解，以摆脱狭小的技术视野。同时，这些内容也正是国家和国际基金会机构进行政策和投资决策所需要的。

本书的前言、第 1 章、第 4 章、第 5 章由北京警察学院的吴巧雯博士翻译；第 2 章、第 3 章由北京化工大学的周延博士翻译。由于译者水平和专业的局限性，译文中的错误和不尽如人意之处难以避免，热切希望专家与广大读者不吝指正。本书得到了化学工业出版社的大力支持，非常感谢出版社编辑的辛勤工作。

周 延 吴巧雯

2014 年 1 月于北京化工大学

# 前言

---

21 世纪的头十年，科学与工程领域中生物学成长为真正的技术，这便是合成生物学的出现。在此之前，人们往往使用较传统的生物技术形式，而合成生物学超越了这些被称为“工匠”式的生物技术。为了让生物学为日常生活需要服务，合成生物学应用诸如标准化、模型化等工程原理，运用分级提取或对设计和建造进行耦合的方法，建立一套新的用于社会的生物学系统。

本书的目的是希望对合成生物学中最具前景的工业与环境应用进行全方位评价。我们不仅分析合成生物学能将现代技术提高至何种程度，而且寻找从经济、环境、社会和伦理学方面合成生物学都有哪些潜在应用。为了能全面地呈现合成生物学在技术、经济、环境和社会上的多种应用，本书总结了各种不同的观点。

第 1 章详细介绍了几种不同类型的生物燃料及其生产方法，例如乙醇、非乙醇燃料、产自藻类的燃料、生物氢能源、微生物燃料电池和生物光电系统。介绍了乙醇应用的技术瓶颈及其实现环境可持续性生产的条件。还讨论了丁醇的优点与生产挑战，为了使藻类生产系统具有竞争性必须考虑哪些特定经济问题，以及在开放池生产系统中环境影响的不确定性等。进一步探讨了生物氢能源经济的环保优势及其面对的问题，最后描述了环境友好型微生物燃料电池美好的市场前景。

第 2 章详述了许多生物修复的应用。主要介绍了检测环境污染物的可能方法，分析了水处理、土壤和地下水净化对环境和社会带来的益处，描述了固体废物处理的市场前景。此外，第 2 章还介绍了面对未来全球性水资源匮乏局面合成生物学中最重要的应用之一——使用生物膜进行水脱盐技术所面临的挑战。另一个全球性的环境挑战是合成生物学使  $\text{CO}_2$  的再利用发展为商业的可能性。

第 3 章集中介绍了运用合成生物学生产的各种生物材料，诸如生物聚合物（生物塑料）、大宗化学品、精细化学品等。本章突显了合成生物学通过合成化学所实现的环境优势，因为合成化学通常具备集约型生产体系，例如运用合成生物学的设计通过使用细胞工厂可以除去有毒的副产物。本章的另一大焦点是纤维小体。纤维小体可用于降解纤维素和半纤维素，这在经济和环境方面有巨大的用途。

第 4 章探讨了两项仍处于实验阶段却具有广阔前景的合成生物学技术。原始细胞和外来生物学终将会提供一套新的应用系统，范围波及环境中的智能半生命体系，以及为了阻止自然生物和工程生物之间基因流的水平扩散而建一道基因防

火墙，这些均涉及许多环境和伦理学问题。

最后一章，也就是第 5 章，给读者介绍了用于合成生物学的一些规则框架。鉴于地区差异，本章分别介绍了美国、欧洲和中国的情况。针对已出台的规则框架，第 5 章也为面对不断出现的技术发明提出了改进和修改的建议。

感谢本书的所有合著者，他们是来自学术、工业和非营利组织的专家学者。也感谢 Wiley 友好地出版此书。还感谢读者朋友们对合成生物学应用于科学、经济、环境、社会和伦理学方面的兴趣。

我希望本书能使大家更好地理解合成生物学在社会方方面面的应用，并有助于人们为日益发展的合成生物学工具和应用做出更睿智的决策。

Markus Schmidt

# 致谢

---

Markus Schmidt、Ismail Mahmutoglu、Manuel Porcar、Rachel Armstrong、Mark Bedau 和 Lei Pei 感谢欧洲调查委员会第七次框架项目 (“TAROPL 运用工程菌体系靶向去除环境污染物”，2008—2010，FP7 EU-KBBE-212894) 提供的资金支持。Antoine Danchin 感谢 Fourmentin-Guilbert 基金会和欧盟第七次框架项目 “Microme” KBBE\_2007\_3-2\_08\_222886\_2 提供的支持。Markus Schmidt、Lei Pei、Wei Wei 和 Zheng-Jun Guan 感谢由 FWF (奥地利科学基金) 和 NSFC (中国国家自然科学基金) 的联合项目 “奥地利 (欧洲) 和中国合成生物学的生物安全性与风险评估需求的调研” (项目编号为 I215-B17 和 NSFC 30811130544) 所提供的支持。Markus Schmidt 感谢通过欧洲科学基金会对 EUROSYNBIO 项目给 FWF (奥地利科学基金) 项目 “SYNMOD: 运用合成学获得新型抗生素和优化生产体系” (项目编号为 I490-B12) 所提供的资金支持。NSF 合成生物学工程研究中心 (SynBERC) 为下列科学家们提供了资金支持: Shlomiya Bar-Yam, Jennifer Byers-Corbin, Rocco Casagrande, Florentine Eichler, Allen Lin, Martin Österreicher, Pernilla C. Regardh, Ralph D. Turlington, Kenneth A. Oye, NSF 资助编号为 050869。感谢 Michael Stachowitsch 对引言、1 章至 4 章的英文校对。

# 目录

---

全书概要	1
引言	6
合成生物学的应用有哪些?	6
我们关注合成生物学在哪些领域的应用?	7
如何选择和评价合成生物学的应用?	7
关于合成生物学的管理情势	9
参考文献	10
<b>1 生物燃料</b>	<b>11</b>
1.1 生物燃料总论	11
1.1.1 简介	11
1.1.2 经济潜能	13
1.1.3 环境影响	15
1.1.4 可预见的社会与伦理问题	19
1.2 乙醇	21
1.2.1 简介	21
1.2.2 经济潜能	22
1.2.3 环境潜能	23
1.2.4 可预见的社会和伦理学问题	25
1.3 非乙醇燃料	27
1.3.1 简介	27
1.3.2 经济潜能	31
1.3.3 环境影响	32
1.3.4 可预见的社会和伦理问题	33
1.4 产自藻类的燃料	34
1.4.1 简介	34
1.4.2 经济潜能	36
1.4.3 环境影响	39
1.4.4 可预见的社会和伦理问题	39
1.5 氢的生产	41

1.5.1	简介	41
1.5.2	经济潜能	43
1.5.3	环境影响	45
1.5.4	可预见的社会和伦理问题	47
1.6	微生物燃料电池与生物光电池	48
1.6.1	简介	48
1.6.2	经济潜能	50
1.6.3	环境影响	51
1.6.4	可预见的社会与伦理问题	53
1.7	关于生物燃料的小结	54
	参考文献	55
<b>2</b>	<b>生物修复</b>	<b>61</b>
2.1	生物修复总论	61
2.1.1	简介	61
2.1.2	经济潜能	61
2.1.3	环境影响	62
2.1.4	可预见的社会与伦理问题	63
2.2	检测环境污染物(生物传感器)	64
2.2.1	简介	64
2.2.2	经济潜能	66
2.2.3	环境影响	67
2.2.4	可预见的社会与伦理问题	68
2.3	水处理	69
2.3.1	简介	69
2.3.2	经济潜能	70
2.3.3	环境影响	71
2.3.4	可预见的社会与伦理问题	71
2.4	用生物膜进行水脱盐	72
2.4.1	简介	72
2.4.2	经济潜能	72
2.4.3	环境影响	73
2.4.4	可预见的社会与伦理问题	73
2.5	土壤和地下水净化	74
2.5.1	简介	74
2.5.2	经济潜能	75



2.5.3	环境影响	76
2.5.4	可预见的社会与伦理问题	76
2.6	固体废物的处理	77
2.6.1	简介	77
2.6.2	经济潜能	78
2.6.3	环境影响	78
2.6.4	可预见的社会与伦理问题	78
2.7	CO <sub>2</sub> 的再利用	79
2.7.1	简介	79
2.7.2	经济潜能	83
2.7.3	环境影响	84
2.7.4	可预见的社会与伦理问题	86
2.8	关于生物修复的建议	87
	参考文献	88
	延伸阅读	90
<b>3</b>	<b>生物材料</b>	<b>91</b>
3.1	生物材料总论	91
3.1.1	简介	91
3.1.2	经济潜能	92
3.1.3	环境影响	94
3.1.4	可预见的社会与伦理问题	95
3.2	生物聚合物/塑料	95
3.2.1	简介	95
3.2.2	经济潜能	98
3.2.3	环境影响	100
3.2.4	可预见的社会与伦理问题	101
3.3	大宗化学品	103
3.3.1	简介	103
3.3.2	经济潜能	106
3.3.3	环境影响	108
3.3.4	可预见的社会与伦理问题	109
3.4	精细化学品	111
3.4.1	简介	111
3.4.2	经济潜能	113
3.4.3	环境影响	115