

# Single Cell Oils

## Microbial and Algal Oils

# 单细胞油脂

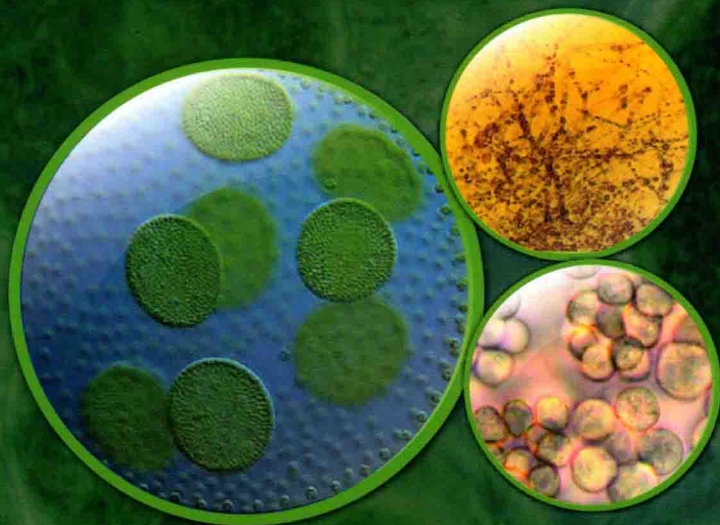
## 微生物和藻类来源的油脂

▲ 原著第二版

[以] 兹斐·科恩 (Zvi Cohen) 著

[英] 考林·腊特列杰 (Colin Ratledge)

纪晓俊 任路静 黄和 等译



化学工业出版社

**Single Cell Oils**  
Microbial and Algal Oils

# 单细胞油脂

## 微生物和藻类来源的油脂

▲ 原著第二版 ▼

[以] 兹斐·科恩 (Zvi Cohen) 著  
[英] 考林·腊特列杰 (Colin Ratledge)

纪晓俊 任路静 黄和 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为系统论述单细胞油脂（微生物和藻类来源的油脂）的专著。全书涵盖了各种单细胞油脂的功能、性质和制取加工方法，以及单细胞油脂的积累机制及相关产油微生物、藻类的生理生化特性和育种方法；着重介绍了富含各种多不饱和脂肪酸的单细胞油脂的生产，以及单细胞油脂作为生物燃料原料的商业应用进展及前景预测。全书分6部分，共20章，内容紧密结合当前单细胞油脂科学与技术发展的最新进展，以资源、功能、应用、制取为主线，在阐述当前研究成果与技术现状的同时反映了其发展态势与开发前景。

本书可供相关科研院所、高等院校和企业等从事食用油脂、生物能源等研究和开发工作的科研管理人员、科研工作者和研发生产人员借鉴与参考；也可以作为研究生教学用书，尤其适合作为生物化工、发酵工程、能源化工、食品科学与工程等学科的教学参考用书。

### 图书在版编目（CIP）数据

单细胞油脂：微生物和藻类来源的油脂/[以]  
科恩(Cohen, Z.) [英] 腊特列杰(Ratledge, C.) 著；  
纪晓俊, 任路静, 黄和等译. 北京：化学工业出版社, 2015. 5

书名原文: Single cell oils: microbial and algal oils  
ISBN 978-7-122-23260-1

I. ①单… II. ①科…②腊…③纪…④任…⑤黄…  
III. ①油脂-研究 IV. ①TS

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 043924 号

**Single Cell Oils: Microbial and Algal Oils, 2nd edition/by Zvi Cohen, Colin Ratledge**  
**ISBN 978-1-893997-73-8**

Copyright © 2010 by AOCS Press. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by AOCS Press

本书中文简体字版由 AOCS Press 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：01-2014-4040

---

责任编辑：成荣霞

文字编辑：王琳

责任校对：边涛

装帧设计：王晓宇

---

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：三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张26 $\frac{3}{4}$  字数491千字 2015年7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



步入 21 世纪, 随着社会经济的发展, 人民生活水平不断提高, 科技的进步带动物质文明的极大丰富, 人们开始追求健康的饮食和生活方式。功能性油脂资源具有特殊的生理功能, 对人体一些营养素缺乏症和内源性疾病, 特别是现代社会文明病有积极防治作用, 成为人们关注的焦点, 其需求量日益增加。富含多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 的油脂是重要的功能性油脂之一, 其中 PUFA 对婴幼儿智力及视网膜发育、成年人心脑血管疾病预防和治疗等具有促进作用, 是这类功能性油脂功能发挥的主要贡献者。然而, 传统的基于动物组织的提取法限制了这些功能性油脂资源的来源, 无法满足人们日益增长的巨大需求, 因此亟需发展一种可持续的廉价的途径来获取这类功能性油脂。单细胞油脂 (single cell oils, SCO) 即是符合这种要求的新资源。单细胞油脂是由微生物或藻类积累的一类可食用的油脂, 与 20 世纪兴起的单细胞蛋白 (single cell protein, SCP) 相对应, 其概念最早于 1976 年被提出。随着对单细胞油脂研究的不断深入和推进, 人们发现利用自养藻类的光合作用实现从  $\text{CO}_2$  到油脂的积累过程, 不仅是减少碳排放的一种有效途径, 还可以为生物柴油提供原料, 因此在对异养微生物积累功能性油脂研究与开发的基础上, 利用自养藻类积累油脂进一步生产生物燃料的过程也逐渐受到高度的关注。

在开展单细胞油脂研究过程中, 我们关注到英国赫尔大学 (University of Hull, UK) 的 Colin Ratledge 教授是单细胞油脂概念的提出者和微生物产油理论的完善者, 他与以色列本古里安大学 (Ben-Gurion University of the Negev, Israel) 的 Zvi Cohen 教授于 2005 年和 2010 年陆续出版了两版有关单细胞油脂的专著, 这两版专著与时俱进, 及时更新领域相关研究最新进展, 由著名的美国油脂化学家协会 (American Oil Chemists' Society, AOCS) 出版社出版。该书是在历年 AOCS 年会会议论文的基础上由 Zvi Cohen 教授和 Colin Ratledge 教授邀请全球范围内相关领域的著名学者结合自己的科研进展编写而成的, 全书内容涵盖了单细胞油脂的发展历史、异养微生物及自养微生物生产单细胞油脂的过程、面向生物燃料的单细胞油脂生产、单细胞油脂的营养和安全性评价、单细胞油脂的未来发展前景等, 内容紧密结合当前单细胞油脂研究的最新进展, 以资源、功能、应用、制取为主线, 在阐述当前研究成果与技术现状的同时反映了发展态势与开发前景, 为未来单细胞油脂的开发利用指明了需要重点解决的研究方向。我们认为, 这本书将为我国单细胞油脂开发利用的研究者提供非常宝贵的参考素材, 推动我国各种单细胞油脂的产业化进程。2012 年, Colin Ratledge 教授访华期间,

译者向其当面请教，并交流了国内外单细胞油脂的研究现状和发展前景。在交谈过程中，我们一拍即合，有了出版该专著中译本的想法。于是，2013年译者在化学工业出版社的支持下着手翻译这本专著。Colin Ratledge 教授对本书的出版非常关心，欣然为中译本做序，对全体译者给予了很大的鼓励和鞭策，在这里表示衷心的感谢！

在本书翻译过程中，我们体会到了“写一本好书难，译好一本好书更难”的道理。南京工业大学的研究生张琰珩、庄小燕、邬文嘉等也参加了本书的文字翻译和大量图表的绘制工作，感谢他们的辛勤付出。同时，我们还要感谢化学工业出版社为本书的顺利出版所做出的贡献。

由于译者水平有限，虽然几经讨论，数易其稿，书中可能还会存在不足之处，敬请广大读者及各位同行不吝赐教，以便今后修订时加以改进。

纪晓俊 任路静 黄和

2015年1月

# I 中译本前言 I | FOREWORD |

我非常高兴为 Zvi Cohen 教授和我 2010 年编写的“Single Cell Oils: Microbial and Algal Oils”（第二版）的中文版撰写前言。

在很短的时间内，人们建立起单细胞油脂（SCO）的商业化生产。许多不同的微生物，如酵母、真菌、微藻甚至一些细菌可以产生可食用的油脂和脂肪。单细胞油脂这个短语最先由我在 1976 年提出，与 20 世纪 70~80 年代广泛使用的单细胞蛋白（SCP）相对应，其特指高蛋白饲料，来源于生长在各种不同原料上的微生物，这些原材料包括甲烷、甲醇和各种廉价的碳水化合物。最早的 SCO 生产始于 1985 年，之后世界范围内的其他生产过程相继建立。在不到 30 年的时间里，人们采用微生物生产了数千吨的油脂，确实是一件举世瞩目的壮举！

与 SCP 一样，SCO 这个短语想要表明其微生物来源，但是同时没有透露出可能来自真菌、酵母、微藻或细菌。事实上感觉这些由发酵罐中微生物生产的 SCP 和 SCO 可能会引起公众一些不必要的担忧，尤其是吃微生物材料的概念可能会引起他们消费上的一些误解。尚没有任何有关微生物油脂的安全问题被提出和确认。目前，非常高兴 SCO 能够被科学工作者和公众接受，并且它在许多网站搜索引擎中获得了比 SCP 更多的点击率。

目前油脂因作为成年人和婴幼儿安全摄入的营养物以及最近作为生物柴油生产的潜在资源而引起了广泛的兴趣。与日俱增的基础研究工作已经能够让人们更好地理解油脂生产过程。看到在过去的一年内关于 SCO 的出版物清单，我惊喜地注意到，这个主题大约 40% 的研究文章来自中国的科学家。明显地，许多中国的研究机构对这个主题产生了浓厚的兴趣，但这项研究活动并不局限于研究机构，同时有很多中国公司涉足用于人类消费的多种 SCO 的生产。这些公司在与美国和欧洲的公司竞争生产高品质的富含重要多不饱和脂肪酸的油脂，这些油脂对于婴幼儿的生长和维持成年人的健康有很重要的作用。

因此，中国的研究正引领着基于微生物代谢指导解决油脂生产过程中的棘手问题。同时，寻找和开发 SCO 用于生物柴油的原料，也是中国和世界其他各国的主要研究工作。这是一个极具挑战的领域，很明显，以筛选的自养藻类以及酵母和真菌，培养在包括各种农业废料在内的廉价碳源上的工作激起了人们很大的热情。时间将会告诉我们这个愿望是否会实现：市场要求以最廉价的油脂生产最廉价的生物柴油。因此，微生物油脂能否承受这个经济挑战？我很有信心，中国的科学家们将会站在世界的最前沿来解决这些问题并开发相关的新方法和新技术。

因此，我希望所有在此领域工作的研究机构和工厂的研究者、科学家们以及

这本书的读者拥有一个光明的未来，相信你们可以用自己的努力解决那些困难，创造出合适的技术手段，并且 SCO 将会继续在食品和石油领域发挥关键作用。

衷心感谢化学工业出版社独具慧眼的工作人员，为使本书得以在中国出版，他们付出了艰辛的劳动；需要感谢的还有译者纪晓俊、任路静、黄和以及其他涉及编辑和设计这本书的诸君。没有他们的辛勤工作，中文版的问世和由它引发的交流就不可能实现，随着此书出版计划的展开，他们不断付出努力，我亦承蒙雅爱，其深情厚谊不胜感佩。在此过程中，我有幸结识了一些亲密的新朋友，他们为此项工作呕心沥血。对他们每一个人，我想说一句：有劳各位，遥致谢忱。

考林·腊特列杰 (Colin Ratledge)



于英国赫尔大学

2014 年 8 月

# | 第二版前言 | | FOREWORD |

在过去四五年中，微生物油脂（单细胞油脂）领域的快速发展使我们都感到惊讶，因此，我们着手准备这本书的新版，以使读者跟上其发展的步伐。从某种程度上讲，自 2005 年以来，以微生物油脂（尤其是光合藻类油脂）作为生物燃料的商业计划如雨后春笋般出现，这种状况引起了我们的兴趣，并令我们感到惊讶。然而，因为这些发展和投资过热，这些计划中的一部分的情况变得十分严峻。在新版中已经包含了这些商业活动，也包含了发展以细菌作为生物燃料潜在来源的内容。毫无疑问，来源于微藻的生物燃料成本很高。然而，尽管科学家们开展了大量的研究甚至基因操作来提高油脂产率降低成本，但是某种程度上人们仍然对低成本生产生物燃料并与石化燃料竞争的可行性心存疑虑。然而，我们没有预测未来的能力。没有人可以精确预测未来化石燃料的价格，更不用说猜测一些宣称使用“微生物或藻类燃料”的政府将会给予消费者多大程度的补贴。但是，我们不应该过多抱怨，这些商业活动将激发新的思想并将激发人们更大的兴趣和热情，而这也正是 20 世纪前期数十年来对微生物油脂发展所欠缺的一种激情。

生物燃料，现在已经可以被认为是因为微生物油脂的出现而变成非常传统的一种能源形式。然而，除此之外，在过去的 5 年内，生产富含长链多不饱和脂肪酸（LC-PUFA）（用于强化婴幼儿、成人及动物营养）的微生物油脂也取得了可喜的进展。运用基因技术克隆和转化微生物来生产新的多不饱和脂肪酸（PUFA），或者生产一些不易从动物或植物来源获取的 PUFA，这些工作取得了一些成功。在第二版中也包括了基因工程改造酵母和霉菌的章节。能够生产出前述“设计”油脂的那一刻已经来临。另外，我们看到了大众将 PUFA 作为饮食的必要部分，同时也认识到传统的海洋资源无法足量供应这些油脂，并且因为其动物来源，许多人不能接受这种来源的油脂。另外，存在的一系列污染物富集在海洋动物油脂中，进一步加剧了这种情况。因此，许多公司开始生产和开发微生物油脂。在很短的时间内，这些油脂从学术研究演变为商业产品。

当然，每个人（包括作者）都得承认微生物油脂（尤其是使用非光合作用微生物）的生产成本非常昂贵，因为这需要大型的发酵设备和大量的生产原料。如果一些关键的脂肪酸能够通过基因修饰的植物生产，这将会是一个非常便宜的路线。但是，无论是超过 10 年对大量植物基因的研究还是植物培育，事实上证明了培育能生产关键脂肪酸的植物是不现实的。并且，我们无法预测这个领域的未来。



同时，单细胞油脂将会一直在市场上占有一席之地。它们虽然很贵，但却是安全的、可食用的，并且不受气候影响，也不需要农药、杀虫剂和除草剂，是真正原始来源的材料。我们坚信其在市场上的安全地位。

**Zvi Cohen**  
**Colin Ratledge**

# | 第一版前言 | | FOREWORD |

单细胞油脂 (SCO) 的时代来临了! 它能够提供更长的链多不饱和脂肪酸 (LC-PUFA), 而发挥关键的令人满意的作用, 并且正成为婴幼儿营养的必需品。但是它成为油脂潜在的来源是一个漫长的过程。许多评论家在单细胞油脂发展的早期一度怀疑其是否能够以合理的价格生产出来, 即使可以, 他们仍然怀疑公众是否会接受单细胞油脂, 尽管公众没有明显地反对消费以细菌或酵母等微生物来源的酸奶、奶酪、面包等食物作为其日常饮食的一部分。如果产品很好, 公众会购买; 如果产品是必需的, 公众会排队购买; 如果产品是婴幼儿必需的, 那么排队队伍会更长。单细胞油脂是从微生物中提取出来的可食用油脂, “单”意味着完全生活在食物链底部。大多数油脂含量高的优秀生产者都是酵母和真菌, 另外几种藻类也可以生产高水平的多不饱和脂肪酸 (PUFA)。对单细胞油脂的研究兴趣经历了一个世纪, 到如今才变得家喻户晓。尤其是在第二次世界大战期间, 人们在寻找潜在的微生物生产菌株方面做出了很多努力, 并用于生产急需的油脂产品。起初, 人们尝试生产一些主要由油料植物生产油脂的替代产品, 甚至生产一些可可脂产品。但是, 其具有 PUFA 潜在的生产能力被发现之后, 研究者逐渐将兴趣转向了那些植物和动物无法生产的高度需求的必需脂肪酸。写这本专著的思路源于 2003 年 5 月 David Kyle 教授为美国油脂化学家协会 (AOCS) 组织的一个讨论会, 其中包含了该领域正在进行的一些项目。它与 AOCS 早期的两个会议类似, 第一个是 1982 年在多伦多, 第二个是 1992 年在芝加哥, 同样是由 David Kyle 教授组织。经过这些年的发展, 单细胞油脂变得更加安全。1992 年, 单细胞油脂还仅仅是停留在脑海中的想法, 如今已经变成了商业现实。单细胞油脂的生产过程同时出现在美国、欧洲、日本和中国。对于它的研究兴趣正广泛传播, 生产出多种多样的 PUFA 的未来掌握在我们的手中。正如人们所预测的那样, 在下一个十年或者更久的未来, 单细胞油脂是否会被转基因植物来源的油脂代替, 仍会是一个让人期待的未来。但是, 现在是单细胞油脂的时代!

**Zvi Cohen**  
**Colin Ratledge**

第一部分 导论和概述

第 1 章 21 世纪的单细胞油脂 ..... 2

1.1 引言 ..... 2

1.2 最初阶段 ..... 3

1.3 20 世纪后 25 年的发展 ..... 6

1.3.1 GLA 的生产过程 ..... 6

1.3.2 与可可脂等效的油脂生产过程 ..... 8

1.4 21 世纪单细胞油脂 ..... 9

1.4.1 探求富含 DHA 的 SCO ..... 9

1.4.2 富含 ARA 的油脂 ..... 11

1.4.3 其他 PUFA-SCO 资源 ..... 12

1.5 SCO 与转基因植物油的竞争 ..... 16

参考文献 ..... 18

第二部分 利用异养生长微生物生产单细胞油脂

第 2 章 产花生四烯酸菌株高山被孢霉：突变株的产生、相关酶基因的分离和分子育种 ..... 24

2.1 引言 ..... 24

2.2 从高山被孢霉 1S-4 衍生的突变株 ..... 26

2.2.1  $\Delta^9$ -脱饱和酶缺陷型菌株 ..... 26

2.2.2  $\Delta^{12}$ -脱饱和酶缺陷型菌株 ..... 27

2.2.3 脱饱和酶活性提高的突变株 ..... 27

2.2.4  $\Delta^6$ -脱饱和酶缺陷型菌株 ..... 27

2.2.5  $\Delta^5$ -脱饱和酶缺陷型菌株 ..... 27

2.2.6  $\Delta^{12}$ -脱饱和酶和  $\Delta^5$ -脱饱和酶双缺陷型突变株 ..... 28

2.2.7 n-3 脱饱和酶缺陷型突变株 ..... 28

2.2.8 延长酶 (EL1 促使棕榈酸转化成硬脂酸) 缺陷型菌株 ..... 28

2.2.9 积累甘油二酯的突变株 ..... 28

2.2.10 分泌油脂的突变株 ..... 29

2.3 高山被孢霉中多不饱和脂肪酸生物合成中涉及的酶编码基因分析 ..... 29

2.3.1  $\Delta^9$ -脱饱和酶 ..... 30

2.3.2	$\Delta^{12}$ -脱饱和酶和 $\omega$ -3 脱饱和酶	30
2.3.3	$\Delta^5$ -脱饱和酶和 $\Delta^6$ -脱饱和酶	31
2.3.4	延长酶	32
2.3.5	NADH-细胞色素 $b_5$ 还原酶和细胞色素 $b_5$	33
2.4	脱饱和酶缺陷型突变株中突变位点的鉴定	33
2.5	高山被孢霉菌株的遗传操作	35
2.6	结论	38
	参考文献	38
<b>第 3 章</b>	<b>通过代谢工程使产油酵母生产 <math>\omega</math>-3 脂肪酸</b>	<b>44</b>
3.1	引言	44
3.2	筛选解脂耶氏酵母作为生产主体	47
3.3	生物合成途径生产 EPA 和 DHA	49
3.4	可行性论证: 一种解脂耶氏酵母菌株通过 " $\Delta^6$ 途径" 生产 EPA	50
3.5	分离和使用强启动子	51
3.6	合成解脂耶氏酵母密码子优化基因	52
3.7	将 C 原子引入或者移除改造的途径	54
3.8	通过 " $\Delta^6$ 途径" 用解脂耶氏酵母菌株生产 EPA, 占总 FAME 的 40%	55
3.9	生成解脂耶氏酵母菌株通过 " $\Delta^6$ 途径" 产生占总 FAME 的 6% 的 DHA	58
3.10	通过 " $\Delta^6$ 途径" 提高 EPA 和 DHA 产量的策略	59
3.11	通过 " $\Delta^9$ 途径" 在不提供 GLA 的情况下生产 EPA	60
3.12	结论	60
	参考文献	61
<b>第 4 章</b>	<b>利用裂殖壶菌发酵生产二十二碳六烯酸的技术发展: 历史回顾和展望</b>	<b>66</b>
4.1	引言	66
4.1.1	$\omega$ -3 长链多不饱和脂肪酸对人体健康的重要性	66
4.1.2	$\omega$ -3 长链多不饱和脂肪酸的来源	67
4.1.3	可替代技术发展的必要性	68
4.2	生物理性技术的应用发展	69
4.2.1	初步毒理学探究	72
4.3	发酵的扩大	72
4.4	菌体和提取 DHA 油脂的安全性评价	77
4.5	产品	77
4.6	裂殖壶菌产品的最新相关研究	78
4.7	结论	79
	参考文献	80

<b>第 5 章 花生四烯酸：利用被孢霉属真菌发酵生产</b> .....	<b>85</b>
5.1 引言 .....	85
5.2 花生四烯酸来源 .....	86
5.3 高山被孢霉和高山被孢霉油脂的一些性能 .....	88
5.4 长链多不饱和脂肪酸在高山被孢霉中的生物合成 .....	91
5.5 高山被孢霉发酵 .....	93
参考文献 .....	94
<b>第 6 章 双鞭藻类产单细胞油脂</b> .....	<b>101</b>
6.1 引言 .....	101
6.2 二十二碳六烯酸的重要性 .....	102
6.3 双鞭藻类产单细胞油脂的商业化成功 .....	103
6.4 双鞭藻类油脂与传统油脂的对比 .....	104
6.5 商业化生产双鞭藻类油脂 .....	106
6.5.1 菌株的选育和优化 .....	106
6.5.2 工业生产双鞭藻类油脂 (DHA 油脂) .....	107
6.6 DHA 油脂的特性 .....	111
6.7 DHA 油脂的安全性 .....	112
参考文献 .....	112
<b>第 7 章 海洋微藻寇氏隐甲藻利用可替代碳源异养生产二十二碳六烯酸研究</b> .....	<b>114</b>
7.1 引言 .....	114
7.2 可替代碳源的利用 .....	115
7.3 乙酸的使用 .....	116
7.4 乙醇用作碳源 .....	124
7.5 C <sub>2</sub> 为碳源生产脂肪酸 .....	126
7.6 甘油作为碳源 .....	128
参考文献 .....	129
<b>第 8 章 利用异养型微藻生产二十碳五烯酸</b> .....	<b>131</b>
8.1 引言 .....	131
8.2 EPA .....	132
8.2.1 结构、影响和重要性 .....	132
8.2.2 生物合成 .....	134
8.2.3 来源 .....	136
8.3 微藻生产 EPA .....	140
8.3.1 EPA 生产的影响因素 .....	140
8.3.2 微藻的培养体系 .....	143
8.3.3 微藻生产 EPA 的培养策略 .....	146

8.4 微藻生产 EPA 的前景	148
8.5 结论	150
参考文献	150
<b>第 9 章 单细胞油脂的下游处理、萃取与纯化</b>	<b>157</b>
9.1 总论	157
9.2 油脂的萃取过程	159
9.2.1 卷枝毛霉中 $\gamma$ -亚麻酸的萃取	159
9.2.2 高山被孢霉中 ARA 油脂的萃取	161
9.2.3 工艺流程设计	161
9.3 寇氏隐甲藻和裂殖壶菌中 DHA 油脂的萃取	164
9.3.1 发酵和富集	164
9.3.2 预处理和细胞破碎	165
9.3.3 萃取和精制	166
9.3.4 品质特征	168
9.4 微藻中油脂的萃取	168
9.4.1 概述	168
9.4.2 萃取	169
9.4.3 纯化	170
参考文献	171

### 第三部分 利用光合自养生长微生物生产单细胞油脂

<b>第 10 章 寻求富含不饱和脂肪酸的光合藻类</b>	<b>176</b>
10.1 简介	176
10.2 富含 PUFA-TAG 微藻的出现	178
10.2.1 微藻中油脂的积累	178
10.3 富含 PUFA 的 TAG 可用于叶绿体脂质 修饰的 PUFA 储存池	179
10.4 缺刻缘绿藻的分离及其特性	179
10.4.1 在缺刻缘绿藻中诱导 ARA 的积累	181
10.4.2 细胞密度对 ARA 含量的影响	183
10.4.3 缺刻缘绿藻中 ARA 的生物合成	185
10.4.4 ARA 在缺刻缘绿藻中的作用	187
10.5 DGLA 的生产	191
10.5.1 DGLA 生产力	193
10.6 结论	194
参考文献	194
<b>第 11 章 用微生物生产类胡萝卜素</b>	<b>198</b>

11.1 引言 .....	198
11.2 $\beta$ -胡萝卜素 .....	199
11.2.1 杜氏盐藻 .....	199
11.2.2 三孢布拉霉菌 .....	201
11.3 虾青素 .....	202
11.3.1 雨生红球藻 .....	202
11.3.2 红法夫酵母/ <i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i> .....	203
11.4 叶黄素 .....	204
11.5 其他类胡萝卜素和其他生物体 .....	206
11.6 结论 .....	206
参考文献 .....	207

#### 第四部分 利用单细胞油脂生产生物燃料

<b>第 12 章 微藻作为生物柴油原料的商业化生产进展 .....</b>	<b>216</b>
12.1 引言 .....	216
12.2 藻类：利与弊 .....	217
12.3 微藻能源研究历史 .....	218
12.4 开放式池塘 .....	222
12.4.1 Aquaflow Bionomic Corporation Ltd. ....	222
12.4.2 PetroSun Inc. ....	223
12.4.3 Seambiotic Ltd. ....	223
12.4.4 PetroAlgae .....	224
12.4.5 HR Biopetroleum .....	225
12.4.6 Green Star Products Inc. ....	226
12.4.7 Sapphire Energy .....	227
12.5 光生物反应器 .....	228
12.5.1 GreenFuel Technologies Corporation .....	228
12.5.2 AlgaeLink N.V. ....	229
12.5.3 Valcent Products .....	230
12.5.4 Solix Biofuels .....	232
12.5.5 OriginOil .....	232
12.6 发酵 .....	233
12.6.1 Solazyme .....	233
12.6.2 Bayer Technology .....	234
12.7 合成基因 .....	234
12.8 前景 .....	235
参考文献 .....	236

<b>第 13 章 利用微藻油脂制备生物燃料：化学、生理学和生产</b> .....	<b>241</b>
13.1 引言 .....	241
13.2 油脂和脂肪酸 .....	242
13.3 烃类 .....	242
13.4 甘油三酯、脂肪酸和生物柴油制备 .....	242
13.5 藻类生理学、油脂含量和脂肪酸组成 .....	245
13.5.1 营养元素 (N, P, Si) .....	247
13.5.2 碳供给 .....	247
13.5.3 光照 .....	248
13.5.4 盐度 .....	248
13.5.5 温度 .....	249
13.5.6 生物化学 .....	249
13.6 藻种筛选 .....	250
13.7 微藻生产 .....	250
13.8 结论 .....	253
参考文献 .....	253
<b>第 14 章 利用细菌油脂制备生物燃料</b> .....	<b>259</b>
14.1 引言 .....	259
14.2 酶法催化油脂制备生物柴油 .....	261
14.3 全细胞催化油脂制备生物柴油 .....	262
14.4 微生物中性油脂及其功效 .....	263
14.5 中性油脂的生物合成及其相关的酶 .....	266
14.6 微生物中性油脂生产的研究 .....	268
14.7 基因工程改造大肠杆菌制备生物柴油 .....	269
14.8 规模化培养用于制备生物柴油的细菌 .....	271
14.9 前景与展望 .....	271
参考文献 .....	272

## 第五部分 单细胞油脂的安全性和营养

<b>第 15 章 单细胞油脂的安全性评估和作为食品添加剂的调节需求</b> .....	<b>282</b>
15.1 引言 .....	282
15.2 安全性评估 .....	283
15.2.1 安全性评估方法 .....	284
15.2.2 微生物菌种安全性 .....	284
15.2.3 单细胞油脂成分的安全性 .....	286
15.2.4 单细胞油脂的婴幼儿配方奶粉和人类牛奶的临床研究 .....	286
15.2.5 儿童和特殊人口研究 .....	287



15.2.6	潜在出血 .....	288
15.2.7	耐受性 .....	289
15.2.8	ARA .....	289
15.2.9	DHA 和 ARA 的过敏性评估 .....	289
15.2.10	市场和临床数据 .....	290
15.3	适用于单细胞油脂的法规 .....	292
15.3.1	美国——食品成分 .....	292
15.3.2	欧洲 .....	294
15.3.3	澳大利亚和新西兰 .....	296
15.3.4	加拿大 .....	296
15.4	单细胞油脂目前的法规状态 .....	297
15.4.1	美国 .....	298
15.4.2	欧盟 .....	299
15.4.3	澳大利亚和新西兰 .....	300
15.4.4	加拿大 .....	300
15.5	结论 .....	301
	参考文献 .....	302
<b>第 16 章 单细胞油脂的营养方面：花生四烯酸和二十二碳六烯酸油脂的应用 .....</b>		<b>311</b>
16.1	引言 .....	311
16.2	单细胞油脂对动物的研究：组织中的 PUFA 水平和功能研究 .....	314
16.3	SCO 的安全性方面 .....	316
16.4	SCO 应用于婴幼儿的研究 .....	316
16.4.1	实验设计和处理 .....	316
16.4.2	结果 .....	317
16.5	早产婴儿中 LC-PUFA 实验 .....	317
16.5.1	实验设计和处理 .....	318
16.5.2	结果 .....	318
16.6	成人中 SCO 研究 .....	319
16.7	结论 .....	320
	参考文献 .....	321
<b>第 17 章 单细胞油脂中的多不饱和脂肪酸在人体营养中的最新发展 .....</b>		<b>328</b>
17.1	引言 .....	328
17.2	单细胞油脂在婴幼儿配方食品中的应用 .....	329
17.2.1	早产婴儿的单细胞油脂添加 .....	330
17.2.2	足月婴儿的单细胞油脂添加 .....	331
17.3	哺乳期产妇的单细胞油脂添加 .....	332