



教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐特色教材

微生物油脂学

何东平 陈 涛 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐特色教材

微生物油脂学

何东平 陈 涛 主编

 化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

微生物油脂学/何东平, 陈涛主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 12

教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐
特色教材

ISBN 7-5025-8033-6

I. 微… II. ①何…②陈… III. 微生物-油脂制备-
高等学校-教材 IV. ①Q939.9②TQ641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 157930 号

教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐特色教材

微生物油脂学

何东平 陈 涛 主编

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 张春娥

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 1/4 插页 3 字数 446 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8033-6

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

微生物油脂项目，是由武汉工业学院和中国科学院武汉病毒研究所等单位联合组织的课题小组共同开发完成的。先后获得中国科学院武汉病毒研究所所长基金的资助，并在湖北省教育厅立项（[1998] 016 号批文），是国家教育部青年科技攻关项目（教技司 [2000] 65 号批文），在 2000 年 3 月完成中试及其测试，达到预期目标，通过了由湖北省科技厅、湖北省教育厅及中国科学院武汉分院组织的鉴定，该研究成果的总体水平处于国内领先水平，在油脂的后处理加工方面，其技术和手段达到国际领先水平，填补了国内空白。

多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acids, PUFAs）主要是指 γ -亚麻酸（GLA）、 α -亚麻酸（ALA）、花生四烯酸（ARA）、二十碳五烯酸（EPA）及二十二碳六烯酸（DHA）等。这些多不饱和脂肪酸具有重要保健功能，已被证实的生理功能有：防治高血压、心脏病，其中有些是大脑和神经系统重要的、不可缺少的营养物质，经过一段时间的食用后可明显提高记忆力和改善睡眠效果；对儿童组的实验表明这些多不饱和脂肪酸可明显提高儿童智商。在美国，经过对海马喂用多不饱和脂肪酸的实验表明，可明显提高海马的记忆力，其进一步的机理还在研究之中。研究和开发多不饱和脂肪酸油脂符合现代的第四代保健食品的潮流（第四代保健食品的显著特点是有效成分明确，生理功能清楚。例如，虽然可以从月见草油中提取生理活性极强的 GLA，在深海鱼油中提取 EPA 和 DHA，但其价格昂贵，随着人口的增多和资源的相对不足，科学家已将注意力转移到培养微生物来合成这些多不饱和脂肪酸），而且可以弥补从天然产物中提取多不饱和脂肪酸油脂的不足。酸油脂这一途径，这方面的研究已成为近年来的重要热门课题，此项目的研究和开发具有十分重要的意义和广阔的前景。

本书编写者为：何东平（第一章、第八章），殷梦华（第二章），陈涛（第三章、第四章、第六章），王常高（第五章），刘玉兰（第七章），刘丽娜（第九章），杜传林（第十章），段家玉（第十一章），杨宁（第十二章）。主编何东平、陈涛。

在本书的编写过程中，得到了教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会和中国粮油学会油脂专业分会的大力支持，王瑞元、张根旺、刘大川、张声华、左恩南、傅敦智、李志伟、谢阶平、丁福祺、周伯川、刘世鹏、胡新标、朱元言、陆业华、陶钧、褚绪轩、胡健华、王兴国、苏瑞民、万光、武秀芬、周晓光、刘顺等教授、专家也给予了关心和支持，在此对关心和帮助本书编写和出版的人员一并表示感谢。

诚请武汉工业学院陈文麟教授、中国农业科学院油料作物研究所江木兰研究员为本书主审，感谢他们为本书付出的辛勤劳动。

《微生物油脂学》被教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐为专业特色教材。

本意敬业，无奈编者专业水平有限，加之付梓仓促，书中疏漏之处，恳请读者不吝赐教，以便改正。

何东平

2005 年 9 月于武汉

Email: hedp123456@163.com

目 录

第一章 微生物油脂	1
第一节 微生物油脂学的定位	1
第二节 微生物油脂	2
一、PUFAs 的应用	3
二、利用微生物技术制取 PUFAs	4
三、微生物法制取 PUFAs 的研究状况	4
四、本领域研究的目的与意义	4
第二章 重要的产油脂微生物	6
第一节 酵母	7
一、酵母的分布和结构	7
二、酵母的繁殖方式	7
三、酵母的生活史	8
四、酵母的脂质特征	9
五、油脂含量较高的酵母菌	10
第二节 细菌	12
一、细菌的形态	12
二、细菌细胞质内贮存的化学物质——内含体	14
三、革兰阳性菌和革兰阴性菌	14
第三节 霉菌	19
一、曲霉菌	19
二、毛霉菌	20
三、被孢霉	21
四、根霉	22
五、白霉菌	23
第四节 藻类	24
一、球藻	24
二、硅藻	26
三、海洋微藻	28
第三章 产油脂微生物的营养与培养	33
第一节 产油脂微生物的营养	33
一、产油脂微生物的基本营养要求	33
二、特殊营养要素	36
三、培养基	38
第二节 产油脂微生物的培养	39
一、细菌培养	39

二、酵母菌培养	39
三、真菌培养	40
四、藻类培养	42
第四章 产油脂微生物的分离与筛选	44
第一节 采样	44
一、土样	44
二、水样	44
第二节 土样分离	44
第三节 筛选	45
一、筛选指标	45
二、筛选方式和技术	45
三、筛选实例	47
第五章 产油脂微生物的菌种选育与保藏	52
第一节 微生物的遗传与变异	52
一、微生物的遗传	52
二、微生物的变异	57
第二节 微生物菌种选育	67
一、物理化学诱变选育	67
二、基因工程株的构建	73
第三节 菌种的衰退、复壮和保藏	74
一、菌种的衰退	74
二、菌种复壮	76
三、菌种保藏	76
第六章 微生物油脂的发酵生产技术	79
第一节 生产菌种制备技术	79
一、生产菌种的指标	79
二、生产菌株的工艺流程和技术	79
三、工艺技术	80
第二节 生产工艺技术及流程	82
一、生产工艺流程	82
二、预制生产培养基	83
三、大罐装料和灭菌	83
四、接种	85
五、发酵过程动态监控	85
六、放罐及收集菌丝体	89
七、菌丝体干燥	90
第三节 生产设备的设计及选型	90
一、生产设备种类与结构	90
二、生产设备的配套	93
三、生产设备的设计与选型	94

第四节 生产辅助设备及选型	95
一、供热设备	95
二、制冷系统	95
三、供气设备	95
四、供水设备	96
五、动力设备	96
六、排水设备	96
第七章 微生物油脂的制取	97
第一节 微生物发酵菌干燥	97
一、微生物发酵菌水分调节的意义和要求	97
二、微生物发酵菌水分调节的机理	98
三、微生物发酵菌水分调节的动力学	99
四、微生物发酵菌水分调节的工艺与设备	99
第二节 微生物发酵菌的蒸炒	101
一、蒸炒的目的和类型	101
二、湿润蒸炒理论	102
三、湿润蒸炒设备	104
四、湿润蒸炒工艺技术	105
第三节 压榨法取油	106
一、压榨法取油的基本原理	106
二、液压榨油机取油	109
三、螺旋榨油机取油	111
第四节 浸出法制取微生物油脂	116
一、溶剂	117
二、微生物菌料的浸出	120
三、混合油处理	124
四、湿粕处理	130
五、溶剂回收	134
第五节 超临界流体萃取技术	140
一、超临界流体萃取技术	140
二、超临界流体萃取原理	141
三、超临界 CO ₂ 流体萃取设备	142
四、超临界流体萃取工艺	142
第八章 微生物油脂的精炼	144
第一节 微生物油脂精炼的目的和方法	144
一、微生物油脂精炼的目的	144
二、微生物油脂精炼的方法	144
第二节 微生物油脂的沉降	145
一、影响沉降的因素	145
二、沉降设备	146

第三节 微生物油脂的过滤	147
一、过滤理论	147
二、过滤设备	148
第四节 微生物油脂水化脱胶	150
一、水化脱胶的基本原理	151
二、影响水化脱胶的因素	152
三、水化脱胶工艺	154
四、水化脱胶设备	156
第五节 微生物油脂酸炼脱胶	156
第六节 微生物油脂碱炼脱酸	157
一、碱炼的基本原理	158
二、影响碱炼的因素	160
三、碱炼损耗及碱炼效果	166
四、碱炼脱酸工艺	166
五、碱炼脱酸设备	168
第七节 微生物油脂脱色	169
一、吸附剂	169
二、吸附脱色机理	171
三、影响吸附脱色的因素	171
四、吸附脱色设备	172
五、吸附脱色工艺	174
第八节 微生物油脂脱臭	174
一、水蒸气蒸馏理论	174
二、脱臭损耗	178
三、影响脱臭的因素	179
四、脱臭操作	182
五、脱臭设备	183
第九章 微生物油脂的产品制备	186
第一节 微生物油脂的纯化	186
一、纯化的目的和意义	186
二、纯化的方法	186
第二节 微生物油脂微胶囊制备	190
一、微胶囊技术的发展、定义及原理	190
二、微胶囊技术	191
三、微胶囊化技术的应用	192
第三节 壁材的选择	193
一、蛋白质类	194
二、碳水化合物	195
第四节 胶囊制备工艺与设备	198
一、喷雾干燥法	198

二、机械设备	199
第十章 微生物油脂生产中工业废水的处理	209
第一节 微生物油脂生产工业废水来源	209
第二节 微生物油脂生产废水的处理	210
一、微生物油脂废水的特点及检测方法	210
二、微生物油脂废水污染程度的项目指标和排放标准	210
三、微生物油脂生产废水的基本处理方法	212
第三节 微生物油脂废水处理厂设计方案	221
一、设计依据	221
二、设计原则	221
三、废水水质水量及排放标准	221
四、治理工艺的选择	221
第十一章 微生物油脂产品的理化指标及检测	226
第一节 微生物油脂的外观指标	226
一、微生物油脂的色泽	226
二、微生物油脂的风味	226
三、杂质	226
第二节 微生物油脂的理化指标	226
一、微生物油脂的组成	227
二、碘价	228
三、酸价	228
四、皂化价	228
第三节 微生物干菌体含油量的测定	228
一、索氏提取法	232
二、直滴式抽提器	232
第四节 微生物油脂的色泽检验	232
一、目视比色法	232
二、罗维朋比色法	233
三、重铬酸钾溶液比色法	234
四、碘表法	235
第五节 微生物油脂密度的测定	235
一、比重计法	236
二、比重瓶法	237
三、液体比重天平法	238
第六节 微生物油脂折射率的测定	238
一、原理	239
二、仪器和用具	239
三、试剂	239
四、操作步骤	239
五、计算结果	239

第七节 微生物油脂水分及挥发物的测定	240
一、电热板法	240
二、真空烘箱法	241
第八节 微生物油脂酸价	241
第九节 微生物油脂过氧化值的测定	248
一、测定原理	248
二、仪器和用具	248
三、试剂	248
四、操作步骤	248
五、计算结果	249
六、注意事项	249
第十节 微生物油脂加热试验	250
一、原理	250
二、仪器和用具	250
三、操作步骤	250
四、试验结果	250
五、注意事项	250
第十二章 微生物油脂的卫生检验	251
第一节 微生物油脂中致病菌的检验	251
一、病菌的种类	251
二、检验技术	253
第二节 甲型肝炎病毒及其检测	265
一、对人体的毒害与危害	265
二、检测意义	265
三、检测方法	265
第三节 细菌总数的测定	266
一、细菌总数的检测意义	266
二、细菌总数的检测方法	267
第四节 菌落总数及其检测	267
一、菌落总数及其对人体的毒性与危害	267
二、检测意义	267
三、检测方法	268
第五节 大肠菌群的测定	270
一、大肠菌群分布	270
二、检测意义	270
三、检测方法	270
参考文献	275

第一章

微生物油脂

第一节 微生物油脂学的定位

微生物油脂学是由微生物学、油脂科学和油脂工程学相结合的一门新兴的交叉学科。它以微生物学为基础，在研究微生物学一般规律的同时，注重微生物和油脂之间相互作用的规律、微生物活动对油脂和人类产生的有益的影响。

中国在占全球 7% 的可耕地面积上，生产出了世界上 18.4% 的粮食，解决了全球 22% 人口的吃饭问题，这是个奇迹，为人类作出了重大贡献。但由于人口基数过大，虽然施行计划生育政策，但人口绝对增长量每年仍高达 1200 万~1500 万人之多，可耕地面积却每年递减约 40 万~47 万公顷 (hm^2)。这就使人口与食物的矛盾日益突出。因此，合理进行食物消费，充分利用有限资源，是当前刻不容缓的历史任务。众所周知，粮食、健康和环境是我国在较长时期内的三大基本问题。我国经济发展的基本点，在于增加粮食供给，提高健康水平和改善生态环境。我国幅员辽阔，经济、文化发展非常不平衡，食物消费现状也存在着相当大的差异。到 2030 年我国人口将达到 15 亿，要保证人均年消耗的食物可基本满足人体的正常需要，大体上接近日本现在的膳食结构水平，需人均年消费粮食 175kg、植物油 9kg、动物油 3kg 和其他消费品。每人每天平均摄取蛋白质 80g、脂肪 80g，这意味着对粮食的需求量将大幅度增加，但中国现有的人均农业资源仅为世界平均水平的 1/3，目前每个农民平均约耕种 0.6 hm^2 耕地。因此，我国人口过多与农业自然资源严重短缺的矛盾将变得更为尖锐，农业将面临空前未有的严峻困难和挑战。预计到 2030 年我国全部人口的粮食需求总量将近 7 亿吨，油脂的需求量为 1824 万吨。目前，中国每年产油脂 800~900 万吨，还缺口 1000 万吨，因此，寻求开发新的食用油源，是一项刻不容缓的艰巨任务。

地球上的一切生物可归纳成 3 大类：动物、植物和微生物，那么相对应的油脂也可分为动物油脂、植物油脂和微生物油脂。开发微生物油脂的意义有：

① 微生物油脂资源是可无限再生的资源。而石油的开采量还能供人类约 60 年的使用，因此石油化工产品逐渐向油脂化学产品转移也是必然的。

② 通过微生物发酵，把农副产品及食品工业和造纸工业中产生的废弃物加以利用，用来生产微生物油脂，同时还保护了环境。

③ 生产微生物油脂不受场地、季节和气候变化的影响，也不受原料生产的影响，一年四季除设备维修外，都可连续生产。

④ 随着人口的增加，人们对油脂的需求量逐年增长，微生物油脂可以弥补不足。

⑤ 微生物油脂是具有功能性的产品，从丝状真菌中可提取富含多不饱和脂肪酸如 γ -亚

麻酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸（EPA）、二十二碳六烯酸（DHA）等一些具有保健作用的微生物油脂。

可供人类食用的动物油、植物油称为食用油脂（简称油脂）。在食品制作中使用的油脂是油和脂的总称。常温下呈液体状态的称油，呈固体状态的称脂。如图 1-1 所示，油脂的来源有陆产油脂、水产油脂和特种微生物油脂。

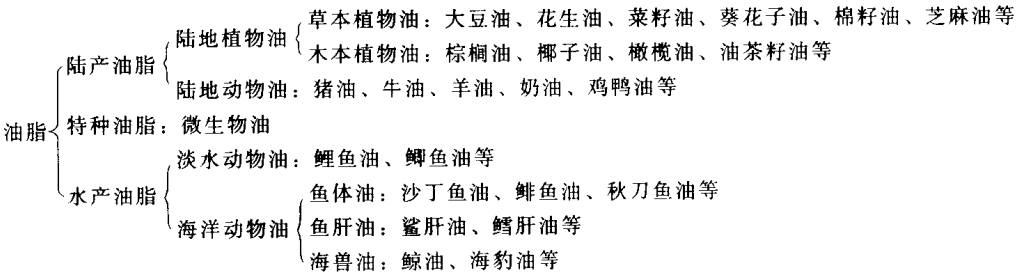


图 1-1 油脂的分类

第二节 微生物油脂

微生物油脂主要是由多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acids，简称 PUFAs）组成的甘油三酯。多不饱和脂肪酸是指含有两个或两个以上碳-碳双键的脂肪酸，主要包括亚油酸（LA）、 γ -亚麻酸（GLA）、 α -亚麻酸（ALA）、花生四烯酸（ARA）、二十碳五烯酸（EPA）

和二十二碳六烯酸（DHA）等。PUFAs 主要来源于动植物，LA 分布较广且在植物油脂中含量很丰富，GLA 主要从月见草等天然植物中获得，ARA 少量存在于动物油中，EPA 和 DHA 存在于深海鱼油中。在人体和动物体内，PUFAs 也可通过摄入的油酸或 LA 经代谢途径转化而成（如图 1-2 所示）。进入体内的油酸或 LA 经过一系列的碳链的增长和脱氢作用，按顺序交替增加 1 个双键和 2 个碳原子，分别逐步转化为 EPA 和 DHA，但转化过程较缓慢。在微生物中这种转化量较大，近年来人们已开始利用微生物技术生产 PUFAs。

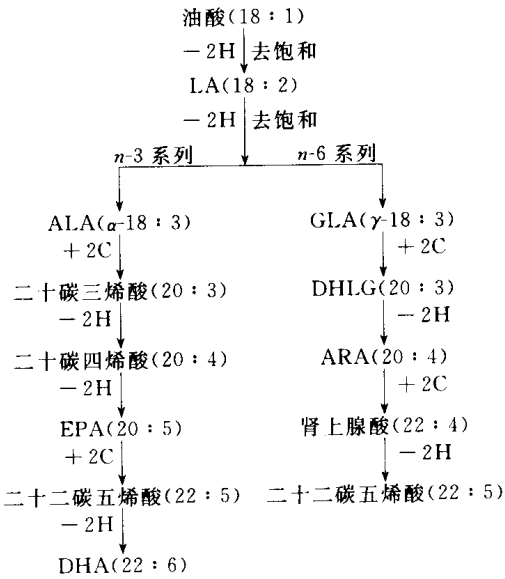


图 1-2 动物体内和微生物体内的 EPA 与 DHA 的生物合成途径
括号中前一个数字为碳原子的数目，后一个数字为双键的数目。 n 是速记命名法中的符号，也可用“ ω ”代替。 $n-3$ 表示从脂肪酸的甲基端数起的第一个双键的碳原子位置，其余同理

PUFAs 在人类生命与健康中的重要生理作用，已被广泛地研究与报道。20 世纪 50 年代以来，关于膳食中脂肪和胆固醇含量与冠心病发病率之间的关系一直是争论的焦点。当膳食中高熔点的饱和脂肪酸（SFA）含量过高时，所形成的 SFA 胆固醇酯熔点高，不易乳化也不易在动脉血管中流动，因而较易形成沉淀物沉积在动脉血管壁，久而久之就发展为硬化症状。相反，人体内摄入富含 PUFAs

的油脂，由于 PUFAs 熔点低，所形成的 PUFAs 胆固醇酯熔点较低，易于乳化、输送和代谢，因此不易在动脉血管壁上积集沉淀而诱发硬化症和冠心病。American Medical Associa-

tion (美国医学会) 建议美国人脂肪摄入量应占总能量的 35% 以下, 其中饱和脂肪酸摄入量应降至 10% 以下, 不饱和脂肪酸应占总量的 20%。在天然存在的 PUFAs 中, LA、GLA 和 ARA 是人体不能自行合成或合成量不够使用而必须从食物中摄取的, 因此被称为必需脂肪酸。必需脂肪酸是维持人体正常生长和正常生理功能所必需的, 人体缺乏必需脂肪酸就会出现生长停滞、肾功能衰退、生殖功能丧失等症状, 尤其是中枢神经系统、视网膜和血小板功能异常。PUFAs 主要以全顺式结构形式存在, 双键两端的碳链不在一直线上而呈折叠状, 因此能使人体细胞膜把外界的营养物质送进细胞内而同时又能将不需要的废料分子从膜内运送出去。PUFAs 还是人体内一种重要的激素化合物——前列腺素的前体, 前列腺素具有抑制脂肪降解和血小板凝结的作用, 它是由 C₂₀ (含有 20 个碳的脂肪酸) 全顺式多烯酸氢化、环化和还原而成。动物体内和微生物体内的 EPA 与 DHA 的生物合成路线如图 1-2 所示。

一、PUFAs 的应用

PUFAs 具有许多生理功能, 被广泛应用于食品、医药、化工等领域。

1. PUFAs 在食品行业的应用

(1) 食品营养强化剂 PUFAs 是人体必需的营养物质, 可作为营养强化剂用于各种食品 (如婴幼儿奶粉、鲜奶、饮料、饼干等) 的营养强化, 为婴幼儿和青少年的身体发育, 特别是智力发育提供必需脂肪酸。在婴幼儿配方食品中添加 PUFAs 是婴幼儿配方食品发展的趋势。在欧洲、中东、澳洲、日本等地区的市场上已有许多婴幼儿食品及孕妇食品中添加了 ARA 及 DHA 微生物油脂。2000 年 7 月美国惠氏公司在中国推出添加 ARA 的新型婴幼儿配方奶粉, 成为中国市场上第一种添加 ARA 的婴幼儿奶粉, 这一产品的推出为中国国产婴幼儿奶粉企业指明了发展方向, 不久的将来, PUFAs 将成为婴幼儿配方食品的标准营养强化因子。

(2) 保健食品功能因子 PUFAs 具有降低胆固醇、抑制血小板聚集、增加血管弹性、降低血液黏度、调节白细胞功能、提高免疫力、促进胎儿发育等生理活性, 可作为保健食品的功能因子开发使用。如针对孕产妇的促进胎儿发育、提高母乳中 ARA 含量的保健品, 针对中老年人的降血脂、降胆固醇、预防心脑血管病的保健品, 针对少年儿童的促进智力发育、促进生长发育的保健品等。

2. PUFAs 在医药方面的应用

PUFAs 中 ARA 是前列腺素的直接前体, 如果能得到高纯度的 ARA (90% 以上), 就可以利用现代酶工程技术, 实现前列腺素的合成。前列腺素作为目前已知的最强的生物活性物质 (浓度低至 1mg/mL 时, 仍能引起动物平滑肌收缩), 在医学领域中运用相当广泛, 对治疗高血压、阻止受孕、进行人工流产、缓解支气管哮喘和鼻充血以及消化系统溃疡等疾病疗效十分显著。

3. PUFAs 在化工方面的应用

在化妆品中, PUFAs 作为美容护肤、促进毛发生长、改善发质的功能因子, 添加在美容护肤用品及美发用品中, 一些使用天然植物油脂 (如月见草油) 开发的洗涤化妆品就是利用其中的 ARA 和 GLA 对皮肤的营养保护作用。这类产品在国外较为常见, 如 Nioxin 生物营养洗发精 (Nioxin bionutrient cleanser), D-care 的 Dandruff 香波, 以及 Labelle 的维生素 F (必需脂肪酸) 护肤霜 (vitamin F Creme) 等。

二、利用微生物技术制取 PUFAs

长期以来人们都在研究如何从动植物油脂中提取 PUFAs。因为动植物的生长随季节、地理位置等的影响而发生变化,所以 PUFAs 的含量和构成也在随之而变。从动植物油脂中提取 PUFAs 的成本较高,不能适应市场的需要。近年来一直有人在探索 PUFAs 的新来源——利用微生物技术来生产 PUFAs。

利用微生物发酵可以得到 ARA、GLA、EPA、DHA 等 PUFAs。在微生物中,PUFAs 的合成通常是以碳链的增长和去饱和作用两个反应来完成的,并且合成的量较大。培养好的干菌体内油脂含量一般在 40%~45%。

制取微生物油脂的方法:在一定的条件下培育繁殖微生物油脂的菌体,烘干成干菌体;粉碎后,进入蒸炒锅,再进入榨油机,菌饼进入浸出罐,加入有机溶剂,经蒸发、汽提得到浸出的毛微生物油脂;毛微生物油脂经碱炼、水洗、干燥、脱色、脱溶、脱臭、过滤,即得微生物油脂。

三、微生物法制取 PUFAs 的研究状况

鉴于微生物油脂的诸多优点,发酵法生产 PUFAs 成为其工业化生产的最佳途径。从 20 世纪 80 年代中后期开始,世界各国纷纷投入大量人力和资金进行这方面的研究。1989 年,日本 Shinmen 等人在《微生物技术》一书中介绍利用生物发酵技术可生产出 ARA,随后其发酵产品开始进入市场,由于含量、成本等原因,未能形成大规模生产。进入 90 年代,Stewdansk 等发现了高产 ARA、EPA、DHA 等 PUFAs 的真菌、海生细菌。Jareonkitmon-gkoi 等通过诱变处理、改变培养基、老化等方法提高菌株中 PUFAs 的含量。Yuji shimada 等研究了用脂肪酶通过选择性水解微生物油脂制取 ARA。1996 年,美国马泰克生物技术有限公司研究出真菌产甘油三酯类油脂技术,开始工业化生产 ARA 油脂,其单细胞油脂产品随即推向市场。

国内也有这方面的报道:20 世纪 80 年代末上海工业微生物研究所利用微生物发酵生产出 GLA。1997 年,中国科学院等离子体物理研究所余增亮等人利用低能离子辐射诱变的方法筛选出了富含 ARA 油脂的高产菌株,该菌株的含油脂量达到 40%,而油脂中 ARA 含量达 58%;1998 年华南理工大学关洁雯等人研究了添加植物油对发酵生产 GLA 的影响;2000 年,武汉烯王生物工程有限公司对这一菌株进一步研究,并实现了工业化生产,成为国内惟一生产 ARA 油脂的公司。最近,中国科学院等离子体物理研究所研究了富含 ARA 的微生物油脂中 ARA 的提取和富集方法。

四、本领域研究的目的与意义

微生物的生长周期短、培养简单,不受原料限制,是一种可无限再生的资源。利用微生物制取 PUFAs 既可以降低成本,又可以提高 PUFAs 的产量,弥补动物资源、植物资源的不足,有利于 PUFAs 大量地被使用,使生产厂家与消费者均受益。通过微生物的发酵还可以把农副产品及其食品工业产生的废弃物加以利用,保护了环境,这是一种极具潜力的途径。大力研发利用富含 PUFAs 的微生物油脂这一营养强化剂,可以调整和改善国民的膳食结构,提高健康水平。在中国,富含微生物油脂的食品市场需求十分旺盛。美国和日本等经济发达国家对微生物油脂的开发和应用正处于快速增长阶段,一些厂家已经开始抢滩此类食

品近乎空白的中国市场。美国惠氏公司生产的“爱儿乐婴儿奶粉”，2000年7月在中国一上市，就以其有微生物油脂的卖点而备受消费者青睐，每900g的市场零售价为178元，而国产婴儿奶粉同质量时的零售价仅为40元。用微生物技术制取PUFAs油脂，中国在此领域的研究起步相对较晚。用已发酵完成并得到高产PUFAs的微生物干菌体为原料，来研究微生物油脂制备和加工的过程，即为用微生物技术制取PUFAs油脂。以此来解决我国含PUFAs的动植物油脂来源不足的问题，并能推动我国微生物油脂研究方面的发展。本领域研究的主要目的是通过实验研究出制备和加工微生物油脂的最佳工艺方法和参数，并对加工后的产品进行检测分析，得到PUFAs含量高的粉末微生物油脂。

第二章

重要的产油脂微生物

1989年 Ratledge 把油脂积累量超过细胞总量 20% 的微生物定义为产油脂微生物 (oleaginous microorganism)。实际上含油量稍低但商业价值高的微生物也应列入产油脂微生物。产油脂微生物必备条件有：①具备或改良后具备合成油脂能力，油脂积累量大，含油量稳定在 50% 以上；②能进行工业化大量培养，且培养装置简单；③食用安全，具有良好的风味和消化吸收性高；④生长速度快，抗污染能力强；⑤油脂易于提取。

产油脂微生物主要包括细菌、酵母菌、霉菌和微藻。对于 PUFA 的生产，由于细菌产量低，所以目前主要集中在真菌和藻类。油脂含量超过生物量的 20% 的微生物见表 2-1。

表 2-1 产油脂微生物及其油脂含量

微 生 物 名 称	最大油脂 含量/%	微 生 物 名 称	最大油脂 含量/%
细菌		霉菌(真菌)	
节杆菌(<i>Arthrobacter</i> sp.)	>40	圆锥虫霉(<i>Entomophthora conica</i>)	38
微藻		花冠虫霉(<i>Entomophthora coronata</i>)	43
丛粒藻(<i>Botryococcus braunii</i>)	>40	三孢布拉霉(<i>Blakeslea trispora</i>)	37
盐生杜藻(<i>Dunaliella salina</i>)	>40	刺抱小克银汉霉(<i>Cunninghamella echinulata</i>)	45
粉核小球藻(<i>Chlorella pyrenoidosa</i>)	>40	雅致小克银汉霉(<i>Cunninghamella elegans</i>)	56
(<i>Monalanthus salina</i>)	>40	同宗结合小克银汉霉(<i>Cunninghamella homothallica</i>)	38
(<i>Nannochloris</i> sp.)	>40	山茶小克银汉霉(<i>Cunninghamella japonica</i>)	60
酵母		深黄被孢霉(<i>Mortierella isabellina</i>)	86
弯假丝酵母(<i>Candida curvata</i>)	58	细小被孢霉(<i>Mortierella pusilla</i>)	59
迪丹假丝酵母(<i>Candida diddensii</i>)	37	葡萄酒色被孢霉(<i>Mortierella vinacea</i>)	66
季也蒙假丝酵母(<i>Candida guilliermondii</i>)	22	变抱毛霉(<i>Mucor albo-ater</i>)	42
热带假丝酵母(<i>Candida tropicalis</i>)	23	卷枝毛霉(<i>Mucor circinelloides</i>)	65
假丝酵母属(<i>Candida</i> sp. 107)(NCYC911)	42	大毛霉(<i>Mucor mucedo</i>)	51
浅白色隐球酵母(<i>Cryptococcus albidus</i>)	65	密丛毛霉(<i>Mucor plumbeus</i>)	63
罗伦隐球酵母(<i>Cryptococcus laurentii</i>)	32	拉莫毛霉(<i>Mucor ramanianus</i>)	56
新型隐球酵母(<i>Cryptococcus neoformis</i>)	22	刺囊毛霉(<i>Mucor spinosus</i>)	47
西弗汉逊酵母(<i>Hansenula ciferrii</i>)	22	无根根霉(<i>Rhizopus arrhizus</i>)	57
土星汉逊酵母(<i>Hansenula saturnus</i>)	22	德列马根霉(<i>Rhizopus delemar</i>)	45
产油油脂酵母(<i>Lipomyces lipofer</i>)	64	米根霉或稻根霉(<i>Rhizopus oryzae</i>)	57
斯达油脂酵母(<i>Lipomyces starkeyi</i>)	63	卵抱接霉(<i>Zygorhynchus moelleri</i>)	40
短四孢油脂酵母(<i>Lipomyces terrasperus</i>)	67	畸雌腐霉(<i>Pythium irregulare</i>)	42
红冬孢酵母(<i>Rhodotorula toruloides</i>)	66	终级腐霉(<i>Pythium ultimum</i>)	48
胶黏红酵母(<i>Rhodotorula glutinis</i>)	72	费希曲霉(<i>Aspergillus fischeri</i>)	53
禾本科红酵母(<i>Rhodotorula graminis</i>)	36	构巢曲霉(<i>Aspergillus nidulans</i>)	51
黏红性酵母或胶红酵母(<i>Rhodotorula mucilaginis</i>)	28	赭曲霉(<i>Aspergillus ochraceus</i>)	48
西方许旺酵母(<i>Schwanniomyces occidentalis</i>)	23	米曲霉(<i>Aspergillus oryzae</i>)	57
皮状丝孢酵母(<i>Trichosporon cutaneum</i>)	45	土曲霉(<i>Aspergillus terreus</i>)	57
茁芽丝孢酵母(<i>Trichosporon pullulans</i>)	65	球毛壳霉(<i>Chaetomium globosum</i>)	54
易变三角酵母(<i>Trigonopsis variabilis</i>)	40	球茎状镰孢(<i>Fusarium bulbigenum</i>)	50
(<i>Yarrowia lipolytica</i>)	36	木贼镰孢(<i>Fusarium equiseti</i>)	48

续表

微生物名称	最大油脂含量/%	微生物名称	最大油脂含量/%
白地霉(<i>Geotrichum candidum</i>)	50	腊叶枝孢(<i>Cladosporium herbarum</i>)	49
藤包赤霉(<i>Gibberella fujikuroi</i>)	48	甘薯生小核菌(<i>Sclerotium bataticola</i>)	46
柔毛棒质霉(<i>Humicola lanuginosa</i>)	75	紫梗麦角菌(<i>Claviceps purpurea</i>)	60
瓜哇青霉(<i>Penicillium javanicum</i>)	39	薄膜革菌属(<i>Pellicularia praticola</i>)	39
淡紫青霉(<i>Penicillium lilacinum</i>)	56	高粱轴黑粉菌(<i>Sphacelotheca reiliana</i>)	41
暗边青霉(<i>Penicillium soppii</i>)	40	高粱褶孢黑粉菌(<i>Tolyposporium ehrenbergii</i>)	41
小刺青霉(<i>Penicillium spinulosum</i>)	64	玉米黑粉菌(<i>Ustilago zae</i>)	59
<i>Stibella themophila</i>	38		

由于产油脂微生物种类繁多,其培养原料来源广泛,许多工业废弃物均可利用。现在的工作,主要包括微生物体内 PUFAs 的生物合成途径和代谢调控机制;采用现代生物技术,如基因工程和原生质体融合技术;对菌种进行改造,选育高产菌株;改进发酵工艺,降低发酵成本,建立高效、简单的 PUFAs 提取浓缩技术等。

第一节 酵 母

酵母是典型的单细胞真菌。酵母不是一个自然分类群,它们分布在子囊菌、担子菌和半知菌中,但它们在细胞组成上有明显的基本特征。

一、酵母的分布和结构

酵母必须以有机碳化合物作为主要碳源和能源,营腐生或寄生生活。它在自然界中栖息于植物体尤其是花蜜、树木汁液、果实及叶子表面,营腐生生活,有些半知菌类的酵母在动物体和人体内营寄生生活。几乎所有的酵母都含有 B 族维生素,还可以产生多种醇类、辅酶 A、细胞色素 C、辅酶 I、谷胱甘肽、腺苷三磷酸、多种有机酸、氨基酸等。因此,酵母在酿造、食品、制药及酶制剂等工业方面有着重要作用。由于酵母重要的经济价值,多年来对它的细胞学、遗传学、生态学、营养和生理学以及近代的分子生物学等方面都进行了广泛深入的研究。

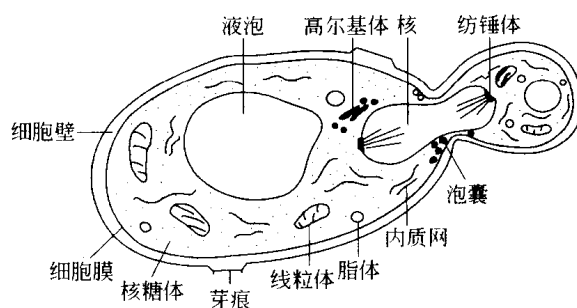


图 2-1 酵母细胞的结构

酵母细胞具有真核生物所具有的细胞器。细胞被细胞膜包裹,膜外有一层厚的细胞壁,细胞质内含有细胞核、线粒体、内质网、液泡、核糖体及 2~3 层光面内质网重叠而形成的未分化的高尔基体。此外,细胞中还存在着作为能源的糖原、脂质体以及多聚磷酸盐等贮藏物质。如图 2-1 所示。

二、酵母的繁殖方式

酵母的繁殖包括有性和无性两种形式。有性繁殖主要产生子囊孢子进行繁殖,往往需要在一定的营养和环境条件下才能发生,所以酵母的有性繁殖常常需要诱导培养才能观察到。

无性繁殖主要有裂殖和芽殖两种方式。大多数酵母进行出芽繁殖。芽体成熟后产生隔