



生命科学前沿及应用生物技术

White Biotechnology

白色生物技术

[德] R. 乌尔伯 D. 塞尔 主编
李爽 杨博 译



科学出版社

生命科学前沿及应用生物技术大系·典藏版

丛书主编

白色生物技术

White Biotechnology

[德] R. 乌尔伯 D. 塞尔 主编
李爽 杨博 译

Translation from the English language edition
White Biotechnology edited by Roland Ulber and Dieter Zell Copyright ©
Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
Springer is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

图书在案目(CIP)数据

生命科学前沿及应用生物技术大系·典藏版·白色生物技术 / [德] 乌尔伯, 塞尔 主编; 李爽, 杨博 译. — 北京: 科学出版社, 2016
ISBN 978-7-03-047487-5
I. ① 白... II. ① 乌... III. ① 生命科学—研究 ② 生物工程—研究 IV. ① W
Q1-00④819
中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第 043876 号

责任编辑: 王 敏

著:
Babel · I. Endo · S. O
B. Mattiasson · J. Nielse
U. von Stockar · G. T. Tsao

译:
W. S. Hu
Wang

科学出版社

北京

2016年7月第1版 787×1092 1/16
2016年7月第1次印刷 2108

图字：01-2008-2197号

内 容 简 介

应用生物技术大系和现代生命科学前沿系列图书分别被列为“十一五”和“十二五”国家重点图书出版规划项目。本丛书针对生命科学领域前沿重点发展方向以及应用生物技术领域的新成果、新思路、新方法和新技术，全面展示了其最新的发展动态，涵盖了基础理论和主要技术方法，呈现了新的概念与理论、技术，在更深层次上阐明了生命的本质规律，给人们提供了新的认识生命本质的手段，也为生物技术服务于人类开辟了新的途径。涉及领域包括生物医药、干细胞技术、工业微生物学、蛋白质及蛋白质组、系统生物学、合成生物学、生物材料、农业生物技术、环境生物技术、海洋生物技术、生物资源与安全等。

Translation from the English language edition:

White Biotechnology edited by Roland Ulber and Dieter Sell Copyright ©

Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Springer is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

生命科学前沿及应用生物技术大系：典藏版/舒红兵等编著. —北京：科学出版社，2016

ISBN 978-7-03-047487-2

I. ①现… II. ①舒… III. ①生命科学—研究②生物工程—研究 IV. ①Q1-0②Q819

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第043876号

责任编辑：王 静 李 悦

责任印制：张 伟 / 封面设计：刘新新

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年7月第一版 开本：787×1092 1/16

2016年7月第一次印刷 印张：2108

字数：49 985 000

定价：8900.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology

丛书主编: T. Scheper

编者:

P. Babiak · T. Becker · V. G. Dalgaard · J. Dybdal Nilsson
 E. Franco-Lara · K. Gibson · F. Hutzler · D. Hekmat
 H. P. Weidt-Hansen · L. Hiltnerhaus · B. Hitzmann · H. Host
 B. Kamm · M. Kamm · A. Liss · J. Lital · K. Murrer · K. M. O. Odenbrand
 S. Pedersen · D. Petersen · M. Poulsen · B. Rasmussen
 K. E. Reardon · J.-L. Reymond · S. Salmon · T. Schäfer · R. Skagerlid
 V. Skovgard Nielsen · R. Stahl · R. Thilmer · K. Wenger · D. Weuster-Botz
 G. E. Wu · H. Xu

Recent Progress of Biotechnical and Biomedical Engineering in Japan II
 Volume Editor: Kobayashi T.
 Vol. VI, 2004

Recent Progress of Biotechnical and Biomedical Engineering in Japan I
 Volume Editor: Kobayashi T.
 Vol. 99, 2004

Physiological Stress Responses in Bioprocesses
 Volume Editor: Iatova S.-O.
 Vol. 82, 2004

Molecular Biotechnology of Fungal α -Lactam Antibiotics and Related Peptide Syntheses
 Volume Editor: Starkopf A.
 Vol. 88, 2004

Biomanufacturing
 Volume Editor: Zhong J.-J.
 Vol. 87, 2004

Cell Culture Engineering
 Volume Editor: Wu G.
 Vol. 101, 2005

Biotechnology for the Future
 Volume Editor: Nielsen J.
 Vol. 100, 2005

Gene Therapy and Gene Delivery Systems
 Volume Editor: Schaller D. V., Zhou W.
 Vol. 99, 2005

Sterile Filtration
 Volume Editor: Joritz M. W.
 Vol. 98, 2005

Marine Biotechnology II
 Volume Editor: Le Gal Y., Ullrich R.
 Vol. 97, 2005

编者:

W. Babel · I. Endo · S.-O. Enfors · A. Fiechter · M. Hoare · W.-S. Hu
 B. Mattiasson · J. Nielsen · H. Sahl · K. Schügerl · G. Stephanopoulos
 U. von Stockar · G. T. Tsao · C. Wandrey · J.-J. Zhong

Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology

丛书主编: T. Scheper

已出版及将出版书

White Biotechnology

Volume Editors: Ulber, R., Sell, D.

Vol. 105, 2007

Analytics of Protein-DNA Interactions

Volume Editor: Seitz, H.

Vol. 104, 2007

Tissue Engineering II

Basics of Tissue Engineering and Tissue Applications

Volume Editors: Lee, K., Kaplan, D.

Vol. 103, 2007

Tissue Engineering I

Scaffold Systems for Tissue Engineering

Volume Editors: Lee, K., Kaplan, D.

Vol. 102, 2006

Cell Culture Engineering

Volume Editor: Hu, W.-S.

Vol. 101, 2006

Biotechnology for the Future

Volume Editor: Nielsen, J.

Vol. 100, 2005

Gene Therapy and Gene Delivery Systems

Volume Editors: Schaffer, D. V., Zhou, W.

Vol. 99, 2005

Sterile Filtration

Volume Editor: Jornitz, M. W.

Vol. 98, 2006

Marine Biotechnology II

Volume Editors: Le Gal, Y., Ulber, R.

Vol. 97, 2005

Marine Biotechnology I

Volume Editors: Le Gal, Y., Ulber, R.

Vol. 96, 2005

Microscopy Techniques

Volume Editor: Rietdorf, J.

Vol. 95, 2005

Regenerative Medicine II

Clinical and Preclinical Applications

Volume Editor: Yannas, I. V.

Vol. 94, 2005

Regenerative Medicine I

Theories, Models and Methods

Volume Editor: Yannas, I. V.

Vol. 93, 2005

Technology Transfer in Biotechnology

Volume Editor: Kragl, U.

Vol. 92, 2005

Recent Progress of Biochemical and Biomedical

Engineering in Japan II

Volume Editor: Kobayashi, T.

Vol. 91, 2004

Recent Progress of Biochemical and Biomedical

Engineering in Japan I

Volume Editor: Kobayashi, T.

Vol. 90, 2004

Physiological Stress Responses in Bioprocesses

Volume Editor: Enfors, S.-O.

Vol. 89, 2004

Molecular Biotechnology of Fungal β -Lactam

Antibiotics and Related Peptide Synthetases

Volume Editor: Brakhage, A.

Vol. 88, 2004

Biomanufacturing

Volume Editor: Zhong, J.-J.

Vol. 87, 2004

New Trends and Developments in Biochemical

Engineering

Vol. 86, 2004

编者名单

主编: Roland Ulber · Dieter Sell

编者:

P. Babiak · T. Becker · T. V. Borchert · L. Dybdal Nilsson
E. Franco-Lara · K. Gibson · F. Hatzack · D. Hekmat
H. P. Heldt-Hansen · L. Hilterhaus · B. Hitzmann · H. Høst Pedersen
B. Kamm · M. Kamm · A. Liese · H. Lund · K. Muffler · K. M. Oxenbøll
S. Pedersen · D. Peters · R. Pörtner · P. B. Poulsen · R. Puskeiler
K. F. Reardon · J.-L. Reymond · S. Salmon · T. Schäfer · P. Skagerlind
V. Skovgard Nielsen · F. Stahl · R. Ulber · K. Wenger · D. Weuster-Botz
G. F. Wu · H. Xu

R. 乌尔伯

D. 塞尔

2006年10月于德国柏林和汉堡编辑

Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology

丛书电子版获取途径

我们通过Springer Link免费为已订购Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology丛书的读者提供电子版。请联系在SpringerLink.com注册了全文获取权限密码的图书馆。

如果你没有注册，你依然可以通过SpringerLink的主页看到本书的目录及每篇文章的摘要。你可以点击“Browse by Online Libraries”，然后点击“Chemical Sciences”，最后选择Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology丛书。

你可以在SpringerLink.com利用搜索功能获得以下信息：

- 编者名单
- 目的和意图
- 对作者的建议
- 样章

前 言

目前在生物技术领域，没有哪个词汇像“白色生物技术”一样这么频繁地被专家讨论。白色生物技术是“工业生物技术”的另一种名称，其所关注的重点包括各类产品的生产，如大宗化学品、精细化学品、酶、食品和动物饲料添加剂、药物活性成分、农用化学品和过程工业助剂等。

在某些领域，白色生物技术已经占领了主导市场地位：

- 近年来，工业生物技术方法生产的氨基酸产量已超过 100 万 t；
- 在维生素生产领域，已有几个从化学法到生物技术方法合成工艺路线的转变实例，并且可以预期这种转变会不断增加；
- 在过去 10 年中，酶制剂的市场容量已经增加了 50%；
- 聚交酯的成功，标志着白色生物技术向聚合物和人工合成材料领域的突破。

目前，原油是最重要的也是应用最为广泛的化学原料。初级工业和聚合物化学现在都强烈依赖于石油的供应。但是，现在离石油枯竭的时间已经所剩不多。现在几乎所有的研究者都同意石油高峰期（也就是原油开采量达到最高点）会在 21 世纪上半叶出现。随着开发新的石油来源难度的增加，世界各国都在努力降低国家对石油进口的依赖。

总而言之，现在留给开发基于可再生资源的替代工艺和满足生产领域各种需求的工业生物技术的时间已经不多。分子生物学领域的巨大进步为工业催化相关的生物催化剂的开发提供了空前的机会。同时，生物加工工程的经验为从平板模式到摇床，再到工业化的发展提供了有效的技术支持。因此，理论上，新的工业生物加工过程加速发展的基础是存在的。本书中，来自不同工业生物技术学科和商业领域的专家，将就目前的发展情况和技术发展水平作出总结。

1.1 工业生产的可用性	14
1.2 原料成本和发酵工艺经济学	15
1.3 化学工业的替代策略	17
2 小结	2006 年 10 月于法兰克福和凯泽斯劳滕

R. 乌尔伯

D. 塞尔

2006 年 10 月于法兰克福和凯泽斯劳滕

参考文献	18
------	----

致谢	23
----	----

1 简介	23
------	----

2 对生长中的细胞进行酶法的产品分离	24
--------------------	----

2.1 平板发酵	25
----------	----

2.2 液式发酵	27
----------	----

3 微孔板和微阵列中的高通量筛选	27
------------------	----

3.1 数据收集	27
----------	----

3.2 化学发光检测和非发光检测	29
------------------	----

3.3 分析和数据解释	33
-------------	----

3.4 展望	35
--------	----

目 录

前言

发酵原料	1
1 简介	1
2 碳水化合物类原料	2
2.1 糖类原料	2
2.2 淀粉类原料	4
2.3 菊粉类原料	5
2.4 木质纤维素原料	6
2.5 乳清	8
2.6 纸浆废液	9
2.7 其他	10
3 油脂和脂肪类原料	10
3.1 植物油、动物脂肪和脂肪酸	12
3.2 甘油	12
4 其他原料	13
4.1 醇类	13
4.2 甲烷	13
4.3 碳氢化合物	14
5 原料的可用性、成本和经济	14
5.1 生物质的可用性	14
5.2 原料成本和发酵工艺经济学	15
5.3 化学工业的糖市场组织	17
6 小结	17
参考文献	18
筛选系统	23
1 简介	23
2 对生长中的细胞进行酶活的筛选和选择	24
2.1 平板检测	25
2.2 流式细胞仪	27
3 微孔板和微阵列中的高通量筛选	27
3.1 酶偶联法	27
3.2 化学发光底物和荧光底物	29
3.3 发光和荧光传感器	33
3.4 微阵列	35

4	工具酶检测	37
4.1	色谱	37
4.2	质谱	38
4.3	核磁共振谱	39
4.4	红外辐射	40
5	小结	40
	参考文献	41
	工业酶	45
1	绪论	46
1.1	生命周期评价介绍	47
2	酶的应用	48
2.1	酶在衣用洗涤剂 and 自动洗碗机中的应用	48
2.1.1	衣用洗涤剂	48
2.1.2	自动洗碗机用洗涤剂	50
2.1.3	回顾与近期发展	51
2.1.4	洗涤剂中添加酶的环保效果	55
2.2	酶在纺织产品中的应用	56
2.2.1	简介	56
2.2.2	当前酶在纺织工艺中的应用	57
2.2.3	展望	62
2.2.4	酶法纺织品生产的环境优点	62
2.3	酶在纸浆和造纸工业中的应用	63
2.3.1	简介	63
2.3.2	概述	63
2.3.3	现阶段应用情况	63
2.4	酶在淀粉制品中的应用	67
2.4.1	简介	67
2.4.2	概述	68
2.4.3	近期发展	70
2.5	酶在生物乙醇生产中的应用	71
2.5.1	简介	71
2.5.2	概述	71
2.5.3	近期发展	73
2.5.4	酶法生物乙醇对环境的积极作用	74
2.6	酶在食品中的应用	75
2.6.1	简介	75
2.6.2	概述	75
2.6.3	近期发展	78
2.6.4	酶用于烘焙对环境的有利影响	79

2.7	酶在动物饲料添加剂中的应用	80
2.7.1	简介	80
2.7.2	概述	80
2.7.3	最新进展	83
2.7.4	酶作为动物饲料添加剂给环境带来的好处	85
2.8	酶在有机合成中的应用	85
2.8.1	简介	85
2.8.2	概述	86
2.8.3	白色生物技术与 β -内酰胺类抗生素的合成	86
2.8.4	白色生物技术和聚合物合成	87
2.8.5	酶用于有机合成对环境的好处	88
3	酶发现技术简介	89
3.1	简介	89
3.2	筛选程序中多样化的输入	89
3.3	多样化输出：如何筛选	89
	参考文献	90
	结构单元	96
1	前言	96
2	生物催化及化工原料	97
3	历史与发展现状	98
4	生物技术合成	99
4.1	非手性合成	99
4.1.1	全细胞催化合成非手性产物	100
4.1.2	酶法合成非手性化合物	101
4.2	不对称合成	102
4.2.1	全细胞催化不对称合成	102
4.2.2	酶法催化合成不对称化合物	109
4.3	外消旋体拆分	114
4.3.1	全细胞催化外消旋体拆分	115
4.3.2	酶法拆分外消旋体	116
5	结论与展望	121
	参考文献	123
	生物炼制——多产品加工工艺	128
1	简介	128
2	生物质原料	130
3	生物炼制原理	131
3.1	原理	131
3.2	生物技术的作用	132
3.3	原料、化学品和筛选	134

08	3.4	各种原料实例	135
08	3.4.1	琥珀酸	135
08	3.4.2	乳酸	136
28	4	生物炼制系统	138
28	4.1	背景	138
28	4.2	以木质纤维素为原料的精炼	138
28	4.3	整体农作物精炼	140
28	4.4	绿色生物炼制	142
28	4.5	两个平台概念	144
78		参考文献	145
		促成科技：发酵和下游处理	151
28	1	绪论	153
28	2	生物过程设计	154
28	2.1	反应体系	154
28	2.1.1	实验室规模的搅拌釜反应器 (stirred-tank reactor)	154
28	2.1.2	平行搅拌釜反应器	155
28	2.1.3	摇瓶	155
28	2.1.4	微孔板	156
28	2.1.5	毫升规模的搅拌釜反应器	157
28	2.2	平行生物过程设计的前景	158
28	3	代谢过程分析	160
28	3.1	生化系统特征	160
28	3.1.1	化学计量网络分析	160
28	3.1.2	酶动力学模型	161
28	3.2	代谢流分析	162
28	3.3	代谢控制分析	163
28	3.3.1	局部和全局敏感性	164
28	3.3.2	控制系数的性质	164
28	3.3.3	其他分析框架	165
28	3.4	整体方法的前景：“组学”和系统生物学	166
28	4	生物产品下游处理	167
28	4.1	大分子生物产品的下游处理面临的挑战	168
28	4.1.1	工业规模制备色谱	168
28	4.1.2	大规模亲和层析分离蛋白质	170
28	4.1.3	大规模蛋白质结晶	171
28	4.2	下游处理过程展望：联合工艺	174
28		参考文献	175
		未来生物过程监测技术展望	181
28	1	引言	182

2	生物传感器、化学传感器和光学传感器	182
2.1	生物传感器	183
2.2	化学传感器	183
2.3	生物和化学传感器	184
2.4	纳米尺度生化传感器	184
2.5	光学传感器	185
2.5.1	紫外光谱仪的应用	185
2.5.2	近红外光谱 (NIR) 和傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 的应用	186
2.5.3	拉曼光谱的应用	186
2.5.4	荧光光谱的应用	187
2.5.5	脉冲太赫兹光谱	187
3	DNA 及蛋白质微阵列技术	187
3.1	DNA 微阵列	188
3.1.1	DNA 微阵列基础	188
3.1.2	生物过程研究中的基因表达分析	189
3.1.3	基因表达分析: 问题和缺陷	190
3.2	蛋白质微阵列	190
3.2.1	蛋白质组分析	190
3.2.2	蛋白质微阵列的制造	190
3.3	微阵列技术在生物过程监测中的前景	191
4	软件传感器	192
4.1	软件传感器的概念	192
4.2	软件传感器的应用	193
4.3	软件传感器的发展前景	193
5	流动注射分析	194
5.1	FIA 测量信号的稳定性和可靠性	195
5.2	增加 FIA 测量的灵敏度	197
5.3	增加 FIA 测量的稳定性	198
5.4	FIA 基础监测与控制的进一步发展	198
6	新的控制策略	199
6.1	开环反馈最优控制器	199
6.2	控制培养基浓度分批培养的 OLFO 策略	200
6.3	优化时空产率的分批培养的 OLFO 策略	201
6.4	控制器性能评价	202
7	结论	203
	参考文献	203

可以作为工业发酵原料生产生物产品和生物燃料 (biofuel) 的发酵原料有许多种。来源于糖类或淀粉类植物的碳水化合物是工业发酵中使用最广泛的碳源, 并且油脂作为碳源既可以单独使用, 也可以与碳水化合物联合使用。除此之外, 醇类、氨基酸

发酵原料

Dietmar Peters

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Hofplatz 1, 18276 Gülzow, Germany
d.peters@fnr.de

1 简介	1	3.2 甘油	12
2 碳水化合物类原料	2	4 其他原料	13
2.1 糖类原料	2	4.1 醇类	13
2.2 淀粉类原料	4	4.2 甲烷	13
2.3 菊粉类原料	5	4.3 碳氢化合物	14
2.4 木质纤维素原料	6	5 原料的可用性、成本和经济	14
2.5 乳清	8	5.1 生物质的可用性	14
2.6 纸浆废液	9	5.2 原料成本和发酵工艺经济学	15
2.7 其他	10	5.3 化学工业的糖市场组织	17
3 油脂和脂肪类原料	10	6 小结	17
3.1 植物油、动物脂肪和脂肪酸	12	参考文献	18

摘要 工业发酵中需要能够满足微生物生长的原料,如合适的碳源、氮源、矿物质和特殊营养物质,这些原料要求能够大量获得且品质优良。本章对发酵原料进行了全面的论述,包括新的发展趋势和近年来的研究进展,其中作为初始原料的糖、淀粉、菊粉和木质纤维素将会被一一介绍。生物基原料是目前应用最广泛的发酵原料。然而,目前也有许多来源于石化工业的发酵原料。这些底物多是碳氢化合物、醇类和羧酸类物质,它们的一些应用会在本章进行介绍。

关键词 原料 碳水化合物 木质纤维素 油脂 甘油

1 简介

大部分发酵用培养基由碳源、氮源、矿物质和特殊营养物质组成。对于需氧微生物来讲,氧气或者氧气来源也是一种关键的营养物质。实验室里使用的培养基的化学成分大都是确定的,但工业发酵中使用的培养基要复杂得多。

工业发酵过程中主要使用化能有机营养菌(chemoorganotrophic microorganism)作为发酵微生物,这是因为该类微生物能够通过代谢有机物来满足自身的能量和碳需求,并且由于碳源占培养基重量的绝大部分,因此本章将着重讨论化能有机营养菌的碳源。

可以作为工业发酵碳源来生产生物产品和生物燃料(biofuel)的发酵原料有许多种。来源于糖类或淀粉类植物的碳水化合物是工业发酵中使用最广泛的碳源。并且油脂作为碳源既可以单独使用,也可以与碳水化合物联合使用。除此之外,醇类、碳氢化合

物和其他有机物质也可以作为碳源。近年来,木质纤维素作为碳源的应用也逐渐成为研究热点。

工业发酵用培养基在多篇讨论原料和营养物质的文章中已经有了详细论述^[1~5]。因此,本章将对发酵原料的最新发展趋势和近年来的研究进展做一个简短而深入的回顾。

2 碳水化合物类原料

碳水化合物是目前应用最广泛的发酵原料^[6,7],包括来源于甜菜和甘蔗的蔗糖(saccharose 或 sucrose)和糖蜜(molasses),以及淀粉的水解产物,如葡萄糖(glucose)和糊精(dextrin)。此外来源于菊粉(inulin)的果糖和其他碳水化合物都可用作发酵原料。几年前,糖类原料^[8]和淀粉类原料^[9]作为工业发酵中的碳水化合物原料已经详细论述过^[10,11]。而对于乙醇发酵过程中的合适原料也已经在文献[12~16]中得到充分论述^[12~16]。为了生产出更廉价的生物乙醇,含有纤维素和半纤维素的木质纤维素成为研究的焦点。目前,利用木质纤维素作为发酵碳源的研究正在抓紧进行中^[17~21]。此外,残渣和废弃生物质也被考虑当作发酵原料来应用^[49]。其中一些(乳清、纸浆废液)已经开始投入应用,而其他大部分废弃物,如木质纤维素残渣仍在研究中。

2.1 糖类原料

糖料植物是指含有由葡萄糖和果糖组成的二糖(也叫蔗糖)的植物。在农业科学和植物学中,“糖”这个词被当作碳水化合物蔗糖的同义词。甜菜和甘蔗是蔗糖和糖蜜的主要来源。其他植物,如甜高粱(sweet sorghum)、糖枫(sugar maple)和棕榈(sugar palm)也可以作为蔗糖的来源。但只有甜高粱在发酵过程中作为糖类原料具有一定的应用价值。表1给出了主要糖料植物的蔗糖含量。

表1 糖料植物的蔗糖含量

植物	平均含糖量/%
甜菜	16~24
甘蔗	7~20
甜高粱	7~15

2004~2005年以甜菜和甘蔗为原料制备的蔗糖的世界产量总计约15500万t,其中23%来自甜菜,77%来自甘蔗^[22]。目前,德国、法国和美国主要以甜菜为原料制备蔗糖,而巴西、澳大利亚、印度、泰国、墨西哥和中国多以甘蔗作为原料生产蔗糖。

甜菜(*Beta vulgaris*)属温带二年生块根作物。它在第一年生长期产糖,春天播种,秋天和初冬之间收获。甜菜加工时先用70℃热水从切开的甜菜丝中萃取,获得原糖汁(raw juice),原糖汁进一步纯化得到平均含糖量为16%的稀糖汁(thin juice)。稀糖汁经过多步浓缩获得含糖量为67%的浓糖汁(thick juice)。湿的、加压沥滤过的甜菜切片,称作废丝,经过干燥研磨后可以作为饲料。

甘蔗(*Saccharum officinarum*)是多年生亚热带和热带植物,在赤道地区几乎可以全年种植,通常播种季节在春天或晚春,有时候也在秋天。甘蔗秆在种植后的10~24个月进行收割。甘蔗收割的具体时间取决于它的含糖量和成熟阶段,可以由人工或机械收割。收割时,甘蔗从茎部底端砍断,茎上的叶子全部摘除。之后甘蔗还会长出新的茎,并能持续8个生长季。通常来讲,甘蔗的收割和种植都是交叠进行的,以避免储

存种植材料。甘蔗茎经过洗涤、砍断、切碎，然后用水从切碎的茎中萃取，获取含糖量为10%~15%的原糖汁。净化后，原糖汁经过蒸发浓缩得到平均含糖量为60%的浓糖汁。剩下的纤维残余物，即所谓的蔗渣，大部分用来燃烧以获得能量。

来源于甜菜或者甘蔗的蔗糖汁通过结晶、离心纯化（精制）获得93%~96%的纯原糖浆。再经过进一步的洗涤、离心和结晶操作获得纯度超过99%的精制糖（white sugar）。最后一次结晶剩下的新鲜液体（green run-off）就是糖蜜，其中仍然含有40%~60%的碳水化合物。最终糖蜜成分不仅有蔗糖，还有葡萄糖和果糖。

甜高粱（*Sorghum saccharatum*）是一类广泛种植于非洲、亚洲和美洲的温带禾谷类植物（cereal grass）。甜高粱是在春天播种，而收割情况与甘蔗类似，这是因为甜高粱的茎部也含有蔗糖。由于甜高粱茎部还含有额外1%的葡萄糖，因此，结晶生产精制糖变得很困难。因而，甜高粱只能用于生产糖浆，作为食品工业和乙醇发酵的原料。

加工过程中产生的不同含糖量的组分（原汁、浓糖汁、蔗糖、糖蜜）都可以作为发酵原料使用。因此，用在发酵过程中的不同纯度的蔗糖可以是糖浆或粉末状态。与糖蜜相比，蔗糖特别是精制糖结晶，一方面由于其高纯度的特点对发酵过程的干扰更少；另一方面，蔗糖由于不含氮源、矿物质或维生素等其他物质而价格昂贵许多。此外，多种纯度较低的原糖，如糖汁、糖浆和糖蜜，或多或少也可供发酵使用（表2）。由于其中部分只能在收获季节获得，因此，只有结晶糖、精制糖液体和糖蜜才能全年应用。

表2 糖用甜菜加工过程中不同原料的含糖量和纯度^[8]

来源	含糖量/%	纯度/%
原糖汁	13~17	89~91
稀糖汁	13~17	91~93
浓糖汁	61~70	>91
新鲜液体	63~70	77~90
糖蜜	50~56	58~63

在制糖业中，甜菜和甘蔗糖蜜是最便宜且应用最广泛的碳水化合物发酵培养基。2004~2005年，世界糖蜜产量为4800万t，其中甘蔗糖蜜大约占80%^[23]。糖蜜基本上分为三种：

- (1) 甜菜或甘蔗的赤糖糊（blackstrap molasses）；
- (2) 甘蔗精制赤糖糊（refinery blackstrap molasses）；
- (3) 高品质或转化甘蔗糖蜜。

赤糖糊是甘蔗加工过程中的最后流出物，随后结晶步骤获得的母液的含糖量仍然约占总糖量的52%。甜菜糖蜜的生产过程和甘蔗糖蜜相似。赤糖糊含有少量的复杂多糖和转化糖（invert sugar），以及多种非碳水化合物，包括含氮物质等。赤糖糊的深色由“褐变反应”引起，即加工过程中赤糖糊在碱性物质和热的作用下，糖和氨基酸发生Maillard反应。赤糖糊通常是最便宜的糖基原料，因此在工业发酵中使用得最多。

精制赤糖糊与赤糖糊的唯一不同在于：精制赤糖糊是甘蔗产的粗糖经重结晶精制过程获得的残余母液。

高品质或转化甘蔗糖蜜含糖量为70%~75%，其生产方法与前面讨论的不尽相同，

这是因为结晶糖并不是我们需要的最终产品。甘蔗汁的部分转化可以避免糖产生结晶，换句话说，糖先被部分水解成单糖（通过加热、酸解或酶解反应），再经过纯化，最终浓缩成糖浆。因此，严格来说，高品质或转化甘蔗糖蜜只是一种适度纯化和转化的糖浆，其成分为葡萄糖和果糖。它比赤糖糊更受欢迎，一是因为其运费更为低廉（以糖浓度为计算标准）；二是因为其所包含的非发酵成分更少。但高品质甘蔗糖蜜只有在蔗糖生产过剩的年份才会生产。

2.2 淀粉类原料

淀粉类植物含有多糖类淀粉，是植物王国中碳水化合物含量最为丰富的一类植物^[24]。淀粉是由直链淀粉（10%~30%）和支链淀粉组成的多糖混合物（70%~90%），其中所含的葡萄糖单元均由 α -1,4-糖苷键连接。但是直链淀粉只是由线性的、无支链的葡萄糖链组成，而支链淀粉在此基础上还含有由 α -1,6-糖苷键连接形成的侧链。

最重要的淀粉来源有谷类（玉米、小麦、稻谷）、木薯（manioc）、番薯（sweet potato）和马铃薯，其淀粉含量取决于植物物种（表3）。2002年淀粉的世界总产量约5800万t（其中大约69%来自玉米，10%来自木薯，9%来自番薯，小麦和马铃薯各占6%，还有不到1%来源于其他植物）^[25]。主要生产国和地区有美国、欧盟、中国和日本。

表3 植物淀粉含量

植物	平均淀粉含量/%
玉米	60~70
小麦	55~70
马铃薯	12~20
木薯	20~40
稻谷	70~75
番薯	19~25

玉米（*Zea mays*）是一年生草本植物。淀粉主要位于籽粒中，常采用湿法研磨加工。籽粒浸泡之后，经过除菌、研磨和过滤，实现淀粉面筋蛋白（protein gluten）的分离，然后对淀粉浆进行纯化和干燥。浸泡过程中产生的剩余液体，称作玉米浆（corn steep liquor），也是一种发酵原料。

小麦（*Triticum aestivum*）是温带气候下的一年生禾本科植物。其淀粉也主要位于籽粒中，可以采用湿法或干法研磨加工。小麦的湿法研磨与玉米的湿法加工方法一样。在干法研磨方法中，籽粒被研磨得很细，去掉麦壳后的小麦粉与水混合，经过过滤、筛选、面筋分离和洗涤后，淀粉就可以通过离心而得到分离。再进一步通过过滤、筛选和干燥纯化就可以获得纯小麦淀粉。

马铃薯（*Solanum tuberosum*）是温带植物。由于马铃薯不耐霜冻，因此通常春天种植，秋天收获块茎。马铃薯洗干净后，将其捣成浆状，使淀粉与纤维和蛋白质分离。再通过进一步的洗涤、分离和纯化就能生产出干淀粉。

番薯（*Ipomoea batatas*）是多年生作物，可以在整个热带和温带地区种植。在热带番薯可以全年种植。番薯通常在种植后4个月收获，收割时间可持续几个月。在温带地区，番薯可以作为一年生作物种植。由于不抗冻，番薯也必须在寒冷的季节到来之前收获。收获后从它的块茎中提取淀粉，其加工和精制过程与马铃薯淀粉加工过程类似。

木薯（*Manihot esculenta*）是多年生热带植物。种植12个月后块茎就能够收获。通过洗涤、削皮和捣浆，木薯粉或者木薯淀粉就可以从木薯块茎中提取得到。分离得到