

GANZHE TANGMI
JIQI JIUIJING FEIYE ZIYUANHUA CHULI
JISHU YANJIU

甘蔗糖蜜及其酒精废液资源化 处理技术研究

延鹏
致球

著

中国环境科学出版社

甘蔗糖蜜及其酒精废液资源化 处理技术研究

张学洪 主审

曾鸿鹄 朱义年 梁延鹏 李艳红 朱宗强 王敦球 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

甘蔗糖蜜及其酒精废液资源化处理技术研究/曾鸿鹄等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.1
ISBN 978-7-5111-0733-6

I. ①甘… II. ①曾… III. ①甘蔗制糖—糖蜜—发酵—废物处理—研究②酒精废水—废水处理—研究
IV. ①X792②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 205016 号

责任编辑 刘璐
责任校对 扣志红
封面设计 金喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 1 月第 1 版
印 次 2012 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 12.25
字 数 215 千字
定 价 35.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

甘蔗糖蜜是一种棕黄至黑褐色的浓稠液体,是制糖工业生产过程中的主要副产物。其成分非常复杂,依原料甘蔗的质量及制糖工艺的不同而不同,主要包括水、蛋白质、维生素、氨基酸、有机酸和钾钠盐等,并且其含糖量仍非常高,蔗糖和还原糖占30%~50%,是发酵、食品、饲料和建材工业中质优价廉的原料。

糖蜜酒精废液是指以糖蜜为原料经发酵后,发酵醪液在酒精初馏塔蒸馏出酒精后排放的废液。每生产1t酒精排放13~15t废液。糖蜜酒精废液有以下几个特点:

(1) 糖蜜酒精废液 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 可达8万~12万mg/L, $\rho(\text{BOD}_5)$ 可达4万~6万mg/L, SS含量为10%~12%,属于高浓度有机废水;

(2) 糖蜜酒精废液的pH值为3.5~4.5,含有硫酸根、氯离子和有机酸等,这些有机酸和无机酸排灌农田不仅烧死庄稼,而且使土壤板结,使废水处理装置严重腐蚀;

(3) 糖蜜酒精废液中的固形物(即除水后的干物)高达10%~20%,能干化回收,但黏性大,附加值低;

(4) 含有大量有机质、蛋白质、氨基酸、维生素以及氮、磷、钾、钙、镁、硫等元素,可回收利用;

(5) 颜色深,色度高,含有类黑色素,呈棕黑色,主要成分为焦糖色素、酚类色素、多糖分解产物和氨基酸分解产物,在pH值4~11内颜色不会变浅。这种色素耐温、耐光照,用通常生化—物化方法处理难以脱色。

由此可见,制糖业能为地区的经济发展作出很大的贡献,但同时也是污染最为严重的行业之一。广西壮族自治区(全书简称广西)是我国重要的产糖区,近年来,广西糖业生产稳步发展,成为我国产糖第一大省。目前糖业已成为广西的

支柱产业，并带动了食品、医药、化工和交通运输等诸多行业的发展，糖业生产给广西带来了显著的经济效益和社会效益。与此同时，糖业生产也导致严重的环境污染问题。作为全国产糖的第一大省区，广西的单位产值工业污染排放量一直高居全国前列，糖业废水就是第一大工业污染源，糖厂也大多成为各地市的排污大户。

对于甘蔗糖蜜及其酒精废液综合治理的方法，国内外许多科研工作者进行了多年的研究，归纳起来主要有浓缩法、生化处理法、资源化利用方案、以废治废技术、其他新治理技术等几类综合治理技术。其中一些治理技术已应用于大规模生产，有的着重于治理废液达标排放，有的着重于资源化利用，各具特点，治理效果也各不相同，但目前还没有一种理想的治理方法被厂家所普遍接受。国外对糖蜜采用集中定点方式生产酒精、酵母等产品，有利于污染集中治理。在我国，多数糖厂附设的酒精生产车间规模不大且较为分散，酒精废液处理设施运行效果参差不齐。随着环境管理的严格化，高浓度的糖蜜酒精废液必须要实现达标排放。虽然目前治理糖蜜酒精废液有多种较为成熟的技术，但上一套酒精废液处理设施需要大量的投资。尤其近年来为完成“一控双达标”任务，大部分糖厂对糖蜜酒精生产的利益和酒精废液处理设施投入之间的矛盾处于两难的境地。

桂林理工大学（原桂林工学院）环境工程学科长期致力于甘蔗糖蜜及其酒精废液治理和综合利用研究，先后承担或参与了多项研究课题。结合广西现状，针对糖厂不同的生产规模，以及糖蜜发酵生产酒精的中间产物的特点，采用资源化与治理污染相结合的方式，对甘蔗糖蜜及其酒精废液进行综合利用研究。一方面充分利用糖蜜酒精废液中有机物浓度高，含有多种有利于微生物生长的有机营养物质（大量的糖分、蛋白质、氨基酸、维生素及大量的钾元素等）的特点，通过综合利用的途径，使废水中的有机资源转化成有较高价值的副产品，有效降低废水中的污染物浓度，减轻处理负荷，余下的废水再进行处理，保证处理效果；另一方面，优化制糖业产业结构，为没有能力实现糖蜜酒精废水达标排放或小酒精生产线的糖厂优化产业结构提供一条新的路子，通过利用糖蜜废液研制新型动物蛋白饲料，从而摒弃小酒精生产线，实现废水的达标排放。本专著就是近年来作者研究成果的总结。

本书共分6章：第1章绪论，主要论述了甘蔗糖蜜及其酒精废液的来源和特

点、国内外甘蔗糖蜜及其酒精废液的处理及资源化利用研究现状等；第2章进行了糖蜜酒精废液生物化学处理工艺研究，主要探讨了UASB+AF+BAF组合工艺处理糖蜜酒精废液效果，确定了该工艺的主要运行参数；第3章阐述了甘蔗糖蜜发酵生产单细胞蛋白技术研发；第4章论述了糖蜜酒精废液生产氨基酸生物技术研发；第5章论述了糖蜜酒精废液沸石吸附提取钾的技术研发；第6章总结了主要研究成果。

本专著将多年来取得的科研成果融入编写中，内容由浅入深，内容上具有较强的科学性、完整性、实用性和独立性。本书层次分明，在每一部分中，章与章之间既有承合关系，又可独立成篇，都从实验方法、结果、分析等方面系统介绍了成果的实验过程和理论价值。既有作者自己大量的研究成果，又介绍了本领域国内外的研究成果和研究方法。资料非常丰富，读者能从书中得到多方面的知识和信息，是一部值得一读的科学专著，对从事环境工程的专业人员及相关领域的研究人员了解该领域是很有帮助的，可供从事废水处理工作的工程技术人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

本书基础资料主要来自我们承担的多项甘蔗糖蜜及其酒精废液系列攻关项目的研究报告，在研究工作过程中得到广西区科技厅、广西凤糖鹿寨制糖有限公司、广西甘化（贵港）股份有限公司和桂林理工大学（原桂林工学院）的资助和支持。除署名作者外，参加本研究工作的还有陆燕勤、姚毅、赵敏、赵芯、朱竹江等同志以及桂林理工大学（原桂林工学院）2003—2006级环境工程和市政工程专业的硕士研究生10余人，研究工作在广西环境工程与保护评价重点实验室完成。本书引用了前人的大量研究成果。在此作者对上述单位和个人表示诚挚的谢意。

由于作者理论水平和实践经验有限，书中不足和错误在所难免，热忱希望读者批评指正。

曾鸿鹄 朱义年 梁延鹏 李艳红 朱宗强 王敦球

2011年5月于桂林理工大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 甘蔗糖蜜的特点和资源化途径及应用现状	2
1.1.1 甘蔗糖蜜的特点	2
1.1.2 甘蔗糖蜜的资源化途径及应用现状	2
1.2 糖蜜酒精废液处理及资源化途径及应用现状	18
1.2.1 糖蜜酒精废液的处理技术	18
1.2.2 糖蜜酒精废液的资源化途径与应用现状	21
第 2 章 糖蜜酒精废液生物化学处理工艺研究	25
2.1 糖蜜酒精废液厌氧生物处理研究	25
2.1.1 厌氧处理工艺的选择	25
2.1.2 厌氧处理试验设备	26
2.1.3 厌氧试验启动	27
2.1.4 UASB 一级厌氧处理试验结果	31
2.1.5 AF 二级厌氧处理试验结果	35
2.1.6 UASB+AF 两级厌氧处理稳定运行试验结果	38
2.1.7 小结	38
2.2 糖蜜酒精废液好氧生物处理研究	39
2.2.1 好氧处理工艺的选择	39
2.2.2 好氧处理试验装置	40
2.2.3 BAF 填料的选择实验	42
2.2.4 BAF 处理糖蜜酒精废液的单因素影响实验	47
2.2.5 BAF 滤池的反冲洗	55
2.2.6 BAF 处理糖蜜酒精废液的正交实验研究	58

2.2.7 小结	61
2.3 UASB+AF+BAF 组合工艺处理糖蜜酒精废液研究	62
2.4 研究小结	63
第3章 甘蔗糖蜜发酵生产单细胞蛋白技术研发	65
3.1 糖蜜成分的测定及菌种的选择实验	66
3.1.1 实验材料	66
3.1.2 实验方法	67
3.1.3 结果与讨论	69
3.2 发酵条件的研究	74
3.2.1 实验材料	74
3.2.2 实验方法	75
3.2.3 结果与讨论	77
3.3 组合菌生长的动力学研究	85
3.3.1 实验材料	85
3.3.2 实验方法	85
3.3.3 结果与讨论	86
3.4 经济分析和食品安全性测定	91
3.4.1 甘蔗糖蜜发酵生产单细胞蛋白技术经济分析	91
3.4.2 单细胞蛋白的食品安全性评价	93
3.5 研究小结	94
第4章 糖蜜酒精废液生产氨基酸生物技术研发	96
4.1 菌种的驯化及其影响因素研究	96
4.1.1 实验材料	97
4.1.2 实验方法	97
4.1.3 结果与讨论	99
4.2 微生物蛋白酶水解实验	103
4.2.1 实验材料	104
4.2.2 实验方法	104
4.2.3 结果与讨论	104
4.3 微生物蛋白酸水解实验	109
4.3.1 实验材料	109

4.3.2	实验方法	109
4.3.3	结果与讨论	109
4.4	微生物蛋白碱水解实验	112
4.4.1	实验材料	112
4.4.2	实验方法	113
4.4.3	结果与讨论	113
4.5	复合氨基酸提取液脱色实验	117
4.5.1	实验材料	117
4.5.2	实验方法	117
4.5.3	结果与讨论	118
4.6	复合氨基酸的精制、浓缩与干燥实验研究	123
4.6.1	实验材料	123
4.6.2	实验方法	123
4.6.3	结果与讨论	124
4.7	研究小结	126
第5章	糖蜜酒精废液沸石吸附提取钾的技术研发	128
5.1	糖蜜酒精废液沸石吸附提取钾的可行性分析	129
5.1.1	BCO 和 BAF 反应器在糖蜜酒精废液资源化处理中的运用分析	129
5.1.2	沸石在糖蜜酒精废液资源化处理中的运用分析	130
5.1.3	沸石提钾的动力学初探	130
5.2	BCO 资源化处理糖蜜酒精废液实验研究	134
5.2.1	实验材料	134
5.2.2	实验装置	135
5.2.3	分析方法	135
5.2.4	结果与讨论	135
5.3	BAF 资源化处理糖蜜酒精废液实验研究	139
5.3.1	实验材料	140
5.3.2	实验装置	140
5.3.3	结果与讨论	141
5.4	BCO+BAF 工艺资源化处理糖蜜酒精废液	158
5.4.1	实验装置	158

5.4.2	实验方法	159
5.4.3	结果与分析	159
5.5	四苯硼钠指示控制实验研究	161
5.5.1	实验材料	161
5.5.2	实验方法	161
5.5.3	结果与讨论	162
5.6	研究小结	165
第6章	主要研究成果	167
参考文献		171

第1章 绪 论

广西是我国的重要的产糖区。近年来,广西糖业生产稳步发展,成为我国产糖第一大省。根据最新的统计资料,在2007—2008年榨季,截至2008年3月底,广西累计已入榨甘蔗6193万t,产糖765万t,已经连续13年稳居全国第一。目前,糖业已成为广西的支柱产业,还带动了食品、医药、化工和交通运输等诸多行业的发展,糖业生产给广西带来了显著的经济效益和社会效益。与此同时,糖业生产也导致严重的环境污染问题。作为全国产糖的第一大省区,广西的单位产值工业污染排放量一直高居全国前列,糖业废水就是第一大工业污染源,糖厂也大多成为各地市的排污大户。

将提纯的甘蔗汁多次蒸发浓缩、离心机分离结晶糖至无法再蒸发浓缩结晶而得到的一种棕黄至黑褐色的浓稠液体,称甘蔗糖蜜,一般单称糖蜜即为甘蔗糖蜜。甘蔗糖蜜一般占榨量的2%~4%,其成分依原料甘蔗的质量及制糖工艺的不同而不同,一般含有蔗糖(约30%)、转化糖(约20%)、胶体(约10%)和灰分(约15%),可用作食物或饲料,也可用于发酵工业的原料。在广西多用甘蔗糖蜜发酵生产酒精,成为制糖业的副产品,可变废为宝,取得较好的经济效益。

糖蜜酒精废液便是以甘蔗糖蜜为原料,经发酵醪液在初馏塔蒸馏出酒精后所排放的高浓度有机酸性废醪液,颜色多为棕色或棕黑色,有机物含量 COD_{Cr} 9万~12万mg/L, BOD_5 5万~6万mg/L,是一种有机物浓度极高的废水。每生产1t酒精就排放13~15t的废液,糖蜜酒精废液的污染物主要包括悬浮在废液中的固体不溶物、油脂、蛋白质、淀粉、胶体和溶解在水中的糖、酸、碱、盐以及可能存在的病毒、病菌等,其固形物高达10%~20%,能干化回收,但黏性大,附加值低;含大量有机质、蛋白质、维生素、N、P、K等,无毒无害;色度高,含有类黑色素,难以物化、生化去除;腐蚀性强,一般pH值为4.0~4.8,含硫酸根、氯根等。糖蜜酒精废液可生化性好,属高温、高硫、高浓度食品加工有机废液,污染物浓度高,直接排入水体会造成严重污染,且颜色深,酸度高,容易发臭,是制糖工业最严重的排污源,能否有效处理将直接关系到环境效益、经济效益及社会效益。

由于糖蜜酒精废液达标处理是当今环保专家和环保企业及制糖业的难题，开发新技术资源化利用糖蜜并达标处理显得极为重要；此外，糖蜜酒精废水中有机物浓度很高，而且废水中主要是糖分、蛋白质、氨基酸以及糖蜜发酵生产酒精的中间产物，是宝贵的资源。如果直接进行处理，不仅浪费资源，而且会因负荷高而耗费较多的基建投资和运行费用，处理效果也不理想。因此，通过综合利用的途径，使废水中的有机资源转化成有较高价值的副产品，一方面可充分利用资源，另一方面可降低废水中的污染物浓度。余下的废水再进行处理，不仅可减轻处理负荷，也可保证处理效果。综合来看，资源化与治理污染相结合是糖蜜酒精废水治理的理想途径，可达到经济效益、环境效益和社会效益的统一。

1.1 甘蔗糖蜜的特点和资源化途径及应用现状

1.1.1 甘蔗糖蜜的特点

广西是我国的重要的产糖区，根据最新的统计资料，在 2007—2008 年榨季，截至 2008 年 3 月底，广西累计已入榨甘蔗 6 193 万 t，产糖 765 万 t，已经连续 13 年稳居全国第一位。制糖过程中大概会产生 3%~4% 的甘蔗糖蜜，因此每年产生的糖蜜数量非常巨大。

甘蔗糖蜜是一种棕黄色至黑褐色的浓稠液体，是制糖工业生产过程中的副产物。其成分依原料甘蔗的质量及制糖工艺的不同而不同。糖蜜一般占榨量的 2%~4%，含有蔗糖（约 30%）、转化糖（约 20%）、胶体（约 10%）和灰分（约 15%）详见表 1.1，长期以来用做发酵工业中的碳源。

表 1.1 糖蜜的主要成分

	垂度 (BX)	全糖分/ %	蔗糖/ %	转化糖/ %	纯度/ %	胶体/ %	酸度/ pH 值	灰分/ %	总氮量/ %
碳酸法	82.00	54.80	35.80	19.00	59.00	7.50	10.0	11.10	0.54
硫酸法	85.81	52.81	35.11	20.00	58.69	12.10	9.7	11.30	0.491

1.1.2 甘蔗糖蜜的资源化途径及应用现状

1.1.2.1 发酵生产单细胞蛋白

单细胞蛋白（Single Cell Protein, SCP）也称微生物蛋白、菌体蛋白，是指细

菌、真菌和微藻在其生长过程中利用各种基质,在适宜的培养条件下培养细胞或丝状微生物的个体而获得的菌体蛋白(Microbial-Protein)。

人类利用微生物生产食品已有数千年的历史,而近代采用培养微生物为食物的生产始于德国。当时处于第一次世界大战,为了解决粮食问题,第一次工业化生产 SCP 作为人类食品。SCP 的生产与开发,近 20 年来受到世界科技界和工业界的注目。从 1967—1981 年已召开过三次国际 SCP 会议,上百家企业、大学和研究所参与开发。

由于世界人口激增,据估计人口每年增长速度为 2%以上,但粮食方面仅靠高等植物的传统生产方法,其增长率赶不上世界人口的增加率。同时由于世界经济日趋富裕,生活水平不断提高,对动物蛋白质的需求量增加很快。然而,生产动物蛋白却需要消耗很多植物蛋白,如要获得牛蛋白 1 需消耗植物蛋白 3~4;要获得家禽蛋白 1 需消耗植物蛋白 7~10,很不经济。并且有些家禽与人类争粮食。由此可见,粮食不足中最严重的是蛋白质问题。1967 年在美国麻省理工大学召开了第一次世界 SCP 会议,确认了开发 SCP 是解决粮食饲料问题的重要途径之一。

(1) 单细胞蛋白的生物学特性

微生物细胞中含有丰富的蛋白质,例如酵母菌蛋白质含量占细胞干物质的 45%~55%;细菌蛋白质占干物质的 60%~80%;霉菌丝体蛋白质占干物质的 30%~50%;单细胞藻类如小球藻等蛋白质占干物质的 55%~60%,而作物中含蛋白质最高的是大豆,其蛋白质含量也不过 35%~40%。

SCP 的具体特性表现为以下六个方面:

1) SCP 营养丰富

单细胞蛋白的氨基酸组成不亚于动物蛋白质,如酵母菌体蛋白,其营养十分丰富,人体必需的 8 种氨基酸,除蛋氨酸外,它具备 7 种,故有“人造肉”之称。一般成人每天吃干酵母 10~15g,蛋白质的需要量就足够了。微生物细胞中除含有蛋白质外,还含有丰富的碳水化合物以及脂类、维生素、矿物质,因此单细胞蛋白营养价值很高。与黄豆粉相比,蛋白质含量高达 15%,而可利用氮比大豆高 20%,如添加蛋氨酸则可利用氮达 95%以上。

2) 利用原料广,可就地取材,廉价大量地解决原料问题

生产单细胞蛋白的原料来源极为广泛,一般分为四类:一是糖质原料,如淀粉或纤维素的水解液、亚硫酸纸浆废液、制糖的废蜜等;二是石油原料,如柴油、正烷烃、天然气等;三是石油化工产品,如醋酸、甲醇、乙醇等;四是氢气和碳酸气。最有前途的原料是可再生的植物资源,如农林加工产品的下脚料、食品工厂的废水下脚料等。这些资源数量多,而且用后可以再生,还可实现保护环境的目的。

3) 生产速率高

一般蛋白质生产速度同猪、牛、羊等体重的倍增时间成正比。微生物的倍增时间比牛、猪、鸡等快千万倍,如细菌、酵母菌的倍增时间为20~120h。霉菌和绿藻类为2~6h,植物1~2周,牛1~2个月,猪4~6周。据估计,一头500kg公牛每天生产蛋白质0.4kg,而500kg酵母至少生产蛋白质500kg。

4) 劳动生产率高

生产不受季节气候的制约,易于人工控制,同时由于在大型发酵罐中立体式培养占地面积少。如年产10万t的SCP工厂,以酵母计,按蛋白质含量45%计算,一年所产蛋白质为45000t。一亩大豆按亩产200kg计,含蛋白质40%,则一年产生80kg蛋白质。所以一个SCP工厂所产蛋白质相当于562500亩土地所产的大豆。

5) 可以完全工业化生产

单细胞蛋白生产比农业生产需要的劳动力少,又不受地区、季节和气候条件的制约,可在占地有限的小设备上进行,不仅数量大,而且质量好,远远超过现有粮食品种的蛋白质。许多国家单细胞蛋白的生产已具有很大的规模,取得了丰硕成果。前苏联年产单细胞蛋白质达数百万吨以上,保加利亚也有几十万吨之多。德国、美国、前苏联、加拿大等国早已用单细胞高活性生物饲料代替了鱼粉。

6) 单细胞生物易诱变,比动植物品种容易改良

可采用物理、化学、生物学方法定向诱变育种,获得蛋白质含量高、质量好、味美,并易于提取蛋白质的优良菌种。

(2) 生产单细胞蛋白的菌种

菌种是发酵必不可少的物质。菌种的优良是成功生产菌体蛋白饲料的关键和保证。大量事实表明,微生物发酵法是各种原料加工最为经济的方法。1989年,美国FDA批准了41种认为是安全、有效的微生物,我国农业部于1999年6月公布了啤酒酵母、嗜酸乳杆菌、纳豆芽孢杆菌等12种可作为饲用微生物。用于生产蛋白饲料的微生物需符合以下条件:

- 繁殖速度快,菌体蛋白含量高
- 能较好地同化基质碳源及无机氮源
- 菌种性能稳定
- 无毒性 and 致病性

从当前的研究进展来看,一般采用混合菌种发酵较单菌种发酵效果要好,其优势在于多个菌种之间可互相补偿其缺陷,进行协同互生发酵。国内外都从这方面做了大量的尝试和研究,取得了一定的成果。在生产中根据原料和生产条件选

择合适的菌种。至今,很少有病毒、立克次氏体、支原体(霉形体)、衣原体、螺旋体和原生动物做饲料微生物的报道,SCP生产的微生物种类选择应从安全性、实用性、生产效率和培养条件等方面考虑。目前用于生产单细胞蛋白的微生物主要包括4大类群,即非致病和非产毒的酵母菌、细菌、真菌和微藻;主要细菌有乳酸菌、粪链球菌、双歧杆菌、光合细菌、芽孢杆菌、纤维素分解菌等;主要酵母菌有啤酒酵母、产朊假丝酵母、热带假丝酵母、解脂假丝酵母等;主要霉菌有根霉、曲霉、青霉和木霉等;主要担子菌有小齿薄耙齿菌及柳叶皮伞,还有大量的食用真菌如香菇、木耳等;主要有微型藻、螺旋蓝藻和小球藻等。介绍如下:

1) 酵母菌 (Yeast)

酵母菌是当前生产单细胞蛋白的微生物类群中最受关注的一类,也是应用最为广泛的一类。它是一种单细胞的真核微生物的通俗名称,其繁殖方式包括无性繁殖和有性繁殖。无性繁殖方式有芽殖和裂殖,而芽殖是酵母菌最普遍的繁殖方式。酵母具有特有的色、香、味,适口性好,而且发酵过程中酵母菌耐酸能力强,适宜于低pH值培养,不易污染,回收率高。酵母菌蛋白含量高达60%,几乎含所有的氨基酸,尤其是赖氨酸、苏氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸等必需氨基酸的含量高,而且维生素含量也比较丰富。常用的酵母菌有啤酒酵母、假丝酵母和白地霉。其中假丝酵母能够同化六碳糖和五碳糖,能忍耐高浓度的 SO_2 ,菌体中含有高含量的蛋白质,并含有大量的赖氨酸和较多的维生素及许多微量元素。

目前已知的酵母菌数目远低于细菌。迄今为止,真正重视酵母菌的研究也不过区区百年历史。与细菌相比,分类等方面的研究积累不足,使酵母菌在应用方面还存在许多未知领域,具有很大的潜力。

数千年来,人们利用酵母菌的发酵能力来进行酿酒,而在现代工业中,酵母还可以用来生产甘油、食用酵母、饲料酵母、石油脱蜡、发酵生产有机酸、酶制剂等。由于酵母细胞中富含核糖核酸、细胞色素、辅酶A等,所以它也是制药工业中的重要原料。酵母细胞的广泛用途使得废水处理过程中酵母细胞的再利用可以借鉴发酵行业的丰富经验。

中科院微生物所李明霞等人从全国不同地区的各类基物上分离了3000株酵母,共代表25属。研究表明:无孢子酵母在全部酵母中占绝大多数,其中假丝酵母(*Candida*)在各类基物上始终占绝对优势;土壤中酵母种类很广泛;从甜果表皮及花朵(有花蜜)上分离到许多酵母,特别是在蜜饯和盐腌食品等渗透压较高的环境,也能分离到酵母菌,这些酵母菌基本上在10%NaCl或50%高糖培养基上都能生存。在海水中则能分离到红酵母等酵母菌。来自油田的土壤中分离到的包括解脂假丝酵母(*Candida lipolytica*)和热带假丝酵母(*Candida tropicalis*)等在

内的 9 种假丝酵母。酵母菌的分布情况表明, 经过长期的自然选择, 酵母菌对高糖环境、高碳环境(如石油等)、高渗透压环境等具有较强的适应性, 这使其有可能应用于高浓度有机废水的处理。现代发酵工业中部分酵母菌可利用的碳源与可产生的相应的产品如表 1.2 所示。

表 1.2 部分酵母菌的可利用碳源与用途

酵母菌名称	可利用的特殊碳源	用途
白假丝酵母 (<i>C.albicans</i>)	正烷烃 $C_9 \sim C_{12}$ 及 $C_{15} \sim C_{18}$	石油脱蜡、SCP、柠檬酸
季氏假丝酵母 (<i>C.guilliermondi</i>)	烷烃 C_8 、 C_{17} 、 C_{20} 、 $C_{22} \sim C_{24}$	石油脱蜡、SCP、柠檬酸、木糖醇
克氏假丝酵母 (<i>C.krusei</i>)	石油	维生素 B_2
解脂假丝酵母 (<i>C.lipolytica</i>)	分解正烷烃、脂肪、蛋白质的能力很强	石油发酵制取 SCP、柠檬酸
近平滑假丝酵母 (<i>C.parapsilosis</i>)	石油	柠檬酸、核酸
热带假丝酵母 (<i>C.tropicalis</i>)	氧化烃类能力很强, 可利用煤油	石油蛋白的重要菌株
拟热带假丝酵母 (<i>C.pseudotropicalis</i>)	氧化烃类能力很强, 可利用煤油	与热带假丝酵母相似
皱落假丝酵母 (<i>C.rugosa</i>)	氧化烃类、分解脂肪能力强	石油发酵生产有机酸
产朊假丝酵母 (<i>C.utilis</i>)	五碳糖、六碳糖即造纸工业亚硫酸废液、木材水解液等	生产人畜可食的蛋白质(蛋白质和 B 族维生素含量很高)
异常汉逊氏酵母 (<i>H.anomala</i>)	烃类如煤油、甘油、乙醇	产乙酸乙酯, 用于食品
橙黄红酵母 (<i>R.aurantiaca</i> .Lodder)	烷烃	合成胡萝卜素
黏红酵母 (<i>H.anomala</i>)	氧化烷烃	产脂肪菌种(50%~60%)

酵母菌可利用的碳源种类非常广泛, 使其有可能应用于不同有机废物的治理。施珊等人采用酵母菌固定化技术发酵甘蔗糖蜜生产酒精。添加单浓度稀糖蜜, 在工业生产环境下连续运作生产酒精共 120d, 其中发酵产酒 99d, 正常条件下的发酵周期为 12h, 单位发酵体积的乙醇生产能力平均为 6.21g/(L·h)。成熟醪液乙醇