

全国“星火计划”丛书

- 王定昌 编著
- 朱庆裴 审

工業廢水生產單細胞蛋白

陳駒聲題



69.13577

- 中国轻工业出版社

工业废水生产单细胞蛋白

王定昌 编著

朱庆裴 审

3160615

中国轻工业出版社

(京)新登字034号

内 容 提 要

饲料酵母(单细胞蛋白)是一种营养价值很高的饲料,含有大量的蛋白质和维生素,还有各种酶系和激素。在普通饲料中配入一定量(3~5%)的饲料酵母喂养牲畜和家禽,可刺激其生长速度和生殖能力,并降低其死亡率。

味精废液、酒精蒸馏废液、亚硫酸纸浆废液、废糖蜜和林业农业废料等,都可以制得较廉价的饲料酵母。

本书主要介绍味精生产中的废液、酒精蒸馏废液、亚硫酸盐纸浆废液制造饲料酵母的工艺过程和经验,酵母增殖的原理,酵母培养罐的设计原理和选型以及饲料酵母的质量指标和分析方法等。书末还附有以味精废液为原料、年产250吨饲料酵母车间的设计资料。

本书可供从事一般发酵工业(味精厂、酒精厂、酵母厂等)和制糖工业、造纸工业、食品工业以及饲料工业、畜牧业、家禽养殖业、乡镇企业的技术人员及大专院校师生参考。

工业废水生产单细胞蛋白

王定昌 编著

朱庆裴 审

中国轻工业出版社出版
北京市卫顺印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

787×1082毫米¹/₃₂印张: 3.25 字数: 67千字

1991年12月 第1版第1次印刷

印数: 1—4500 定价: 2.90元

ISBN7—5019—1107—x/TS·0753

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员（以姓氏笔划为序）

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委 员（以姓氏笔划为序）

王晓方 向华明 米景九 应日珽

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协出版《“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

前 言

早在几十年以前就开始研究微生物菌体作为动物饲料的问题，相继形成了发酵饲料、饲料用菌丝体、饲料酵母或单细胞蛋白等工业生产，特别是饲料酵母的科学研究和工业生产得到了蓬勃发展。

蛋白质、特别是动物性蛋白，是人类必需的营养物质，而提供动物蛋白的畜牧业、养禽业等更需要蛋白质饲料，例如鱼粉、骨粉和饲料酵母。其中只有饲料酵母是可以用工业方法制造的蛋白质资源。制取饲料酵母蛋白的速度比植物形成蛋白质的速度，一般要快百倍，乃至几百倍。而积累同样数量的蛋白质的速度比动物更快得多了，通常要快千倍以上。可见发展饲料酵母工业是解决蛋白质饲料不足的重要途径。

酵母细胞具有合成全效价的蛋白质和维生素的能力，而且能同化各种碳水化合物和含氮化合物。所以饲料酵母的工业生产既不占用农田，也不受气候地理条件的限制，另外可使用的原料甚广，例如制糖工业的废糖蜜、造纸工业的纸浆废液、酒精工业的蒸馏废液、味精生产的废液、食品工业的各种下脚料等，同时由于这些“废弃物”的利用大大改善了环境保护条件。

饲料酵母与解决人类蛋白质营养问题密切相关，它的制造过程又是一个化害为利的环境保护手段，所以应该特别注

意发展饲料酵母工业生产，而且我国的实际情况也具有发展这种工业的广泛前途。

本书共分十个部分，介绍了饲料酵母的生产概况、性质与用途、饲料酵母生产的原料资源和菌种、造纸工业的废液和酒精蒸馏废液生产饲料酵母的工艺过程等，并侧重介绍味精废液生产饲料酵母的工艺和发酵设备的选型。这些是作者多年来从事单细胞蛋白研究工作的经验体会。

本书承刘同昌、张天杭同志提供资料，在此一并致谢。

由于编者水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

一、饲料酵母的生产概况	1
二、饲料酵母的性质与用途	7
1. 饲料酵母的化学成分	7
2. 饲料酵母的饲养效果	11
3. 应用饲料酵母的经济效益	12
4. 饲料酵母的其他用途	14
三、饲料酵母生产的原料资源	15
1. 味精废液	15
2. 酒精废液	15
3. 亚硫酸盐纸浆废液	16
4. 废糖蜜	17
5. 豆制品厂废水	19
6. 乳清	20
7. 纤维素原料	20
8. 其他原料	21
四、饲料酵母生产的菌种	22
1. 菌种	22
2. 菌种的保藏	24
五、酵母的增殖	28
1. 酵母增殖的原理	28

2. 工艺条件对酵母增殖的影响	28
六、酵母培养罐的设计和选型	35
1. 酵母培养罐生产能力的计算	35
2. 酵母干物质产量的计算	36
3. 酵母培养罐的选型	37
4. 几种发酵罐比较试验结果	46
七、味精废液生产饲料酵母的工艺过程	50
1. 概述	50
2. 生产工艺	50
3. 1321菌发酵前后味精废液主要成分的变化 ..	54
4. 味精废液饲料酵母的应用	55
八、酒精废液生产饲料酵母的工艺过程	59
1. 酒精废液的化学成分	59
2. 生产工艺	59
九、亚硫酸盐纸浆废液生产饲料酵母的工艺过程——	
pekilo法	76
1. 亚硫酸盐废液的特征	76
2. pekilo 法制取蛋白质的工艺	78
3. pekilo蛋白质的营养成分和实际应用	79
十、饲料酵母的质量指标和检测方法	81
1. 各国饲料酵母的质量指标	81
2. 饲料酵母的检测方法	82
十一、展望	90
附录 以味精废液为原料年产250 t 饲料酵母车间	
所需主要设备及物料衡算	92
主要参考文献	95

前 言

早在几十年以前就开始研究微生物菌体作为动物饲料的问题，相继形成了发酵饲料、饲料用菌丝体、饲料酵母或单细胞蛋白等工业生产，特别是饲料酵母的科学研究和工业生产得到了蓬勃发展。

蛋白质、特别是动物性蛋白，是人类必需的营养物质，而提供动物蛋白的畜牧业、养禽业等更需要蛋白质饲料，例如鱼粉、骨粉和饲料酵母。其中只有饲料酵母是可以工业方法制造的蛋白质资源。制取饲料酵母蛋白的速度比植物形成蛋白质的速度，一般要快百倍，乃至几百倍。而积累同样数量的蛋白质的速度比动物便更快得多了，通常要快千倍以上。可见发展饲料酵母工业是解决蛋白质饲料不足的重要途径。

酵母细胞具有合成全效价的蛋白质和维生素的能力，而且能同化各种碳水化合物和含氮化合物。所以饲料酵母的工业生产既不占用农田，也不受气候地理条件的限制，另外可使用的原料甚广，例如制糖工业的废糖蜜、造纸工业的纸浆废液、酒精工业的蒸馏废液、味精生产的废液、食品工业的各种下脚料等，同时由于这些“废弃物”的利用大大改善了环境保护条件。

饲料酵母与解决人类蛋白质营养问题密切相关，它的制造过程又是一个化害为利的环境保护手段，所以应该特别注

多吨，产品销售十几个国家。

德国和捷克斯洛伐克都缺乏蛋白饲料资源，又不进口鱼粉和豆粕，因此都把发展饲料酵母作为取得稳定的蛋白质饲料来源的一项重要措施。德国已建成年产4万吨的石油酵母工厂，捷克以亚硫酸纸浆废液为原料的年产2.5万吨饲料酵母工厂即将投产，投资费均达上亿元人民币。他们在财政上，采取补贴措施支持其发展。德国甚至不惜以古巴糖为原料生产饲料酵母。饲料酵母的年产量，德国为4.6万吨，捷克斯洛伐克为1.8万吨，工厂规模都较大，一般都在年产5000吨以上，新建厂都在万吨以上，所用原料主要是糖蜜和亚硫酸纸浆废液，也有用古巴糖、合成酒精和乳清的。从生产技术上讲，两国都经历了一个引进、消化和创新的过程。由于发酵罐的电耗占总电耗的70%以上，他们的研究重点都放在关键性设备发酵罐上，经过十多年的努力，都研制成了各具特色的发酵罐，为实现高糖度、高效率、全年连续化生产的工艺技术提供了保证。

保加利亚在60年代初期一下子就建起两座万吨级的饲料酵母工厂。现在全国饲料酵母产量将近4万吨。原料采用木材水解糖液、糖蜜和酒精废液，他们正计划兴建一座以葡萄糖藤为原料的水解饲料酵母工厂。

罗马尼亚多山，有木材资源，并且注重综合开发，增加效益，减少污染。利用纸浆废液生产酵母共有四家工厂，发酵设备采用了法国的列弗浪苏式发酵罐，敞口、无机械搅拌装置、能耗省。查勒斯蒂的木材综合加工厂，年产酵母7800吨。皮亚特拉—利蒙特的纤维素综合利用厂年产酵母2600吨。

罗马尼亚人均粮食年产量已达1吨，仍引进国外先进技术，不断发展单细胞蛋白生产。全国2200多万人口，年产各

种酵母近 10 万吨。与苏联 2.6 亿人口，年产单细胞蛋白 120 万吨相比，不相上下，都属国际上人均产量最多的国家。两国生产饲料酵母所用原料，也是大同小异，即用石油原料生产的正烷烃酵母占 60% 以上；其次为木材加工业的副产品，占 20~30%。苏、罗两国之所以有今天的成就，首先是政府重视生产单细胞蛋白对于发展畜牧养殖业的作用，其次是按照本国资源制订切实可行的计划。坚持执行 20 年收到成效，提高了全民的营养水平。

单细胞蛋白的蛋白质含量高，氨基酸组分齐全，富含多种维生素，对人类和禽畜均有很高的营养价值，所以世界各国对发展单细胞蛋白的生产非常重视。根据西欧各国从事生物工程的有关人士介绍，虽然他们本国有较充足的蛋白饲料，食品丰富，但整个世界，特别是亚、非、东欧、中美洲等仍然缺乏蛋白质，需要发展单细胞蛋白工业，兴建工厂。因此，他们为了本国的利益，一方面不断加强开发研究，另一方面则积极出售技术及设备，近几年在世界各地兴建了许多家饲料及面包酵母工厂，主要分布在苏联、拉丁美洲、非洲及南亚地区。

生产规模是工业生产的重要依据。规模过小，在经济上不易过关，但规模过大，也有坏处，如英国帝国化学(ICI)公司所建的年产 7 万吨甲醇单细胞蛋白工厂，曾以其技术先进、规模大，在世界上首屈一指而获英国女王奖，但每年开工率不到 50%，而未能发挥其大的优势。又如意大利塞林纳(SALINE)石蜡单细胞蛋白工厂，规模为年产 10 万吨，耗资 2.5 亿多美元，自 1977 年建成后，因政治、经济等各种因素影响，至今未投产，造成公司破产。

国外兴建的单细胞蛋白工厂，大多为年产 0.5~1.2 万

吨规模的。例如,法国斯卑西姆 (SPEICHIM) 公司在古巴建的 7 家糖蜜酵母厂,除一家为年产 0.9 万吨外,其他 6 家均为 1.2 万吨。德国 STARCOSA 公司为埃及、苏联、伊朗等国建的厂,多为 0.5~1 万吨。而奥地利 ANDRITZ 公司为匈牙利、捷克斯洛伐克、叙利亚建的厂也为 0.5~1.2 万吨规模。这些公司认为建厂规模过大或偏小均不适宜。

我国酵母生产始于 1922 年,至今已有 67 年的历史。建国前只制造面包酵母,年产量仅 12 吨。建国后,我国酵母工业有了较大发展,除了原来的上海大华利卫生食料厂发展起来的上海酵母厂外,还建立了广东省江门甘蔗化工厂酵母分厂、吉林省石岘造纸厂酵母车间和黑龙江省南岔木材水解厂酵母车间。其酵母生产能力均在千吨级以上。目前生产酵母的工厂已有 40 多家,遍及全国 19 个省、市、自治区。酵母产品除供应食品工业、医药工业和畜牧业的需要外,还有部分出口。在使用原料方面也由单一的粮食原料发展为废糖蜜、亚硫酸纸浆酒精废液、木材锯末水解酒精废液、糖蜜酒精废液、味精废液和淀粉生产下脚料等多种原料。酵母分离机的研制成功和成批生产,为发展我国酵母工业生产打下了基础。

目前,我国饲料酵母的年产量约 4000 吨,其中吉林石岘造纸厂的生产规模较大,该厂利用亚硫酸盐木浆废液经酒精发酵蒸馏分出酒精后的废液,含还原物约 1.4g/100mL,大部分成分是五碳糖。该厂已有近 20 年的生产历史,月产量最高达到 174 吨,成品合格率达到 100%。产品主要出口,近几年在国内也有销售。

南岔木材水解厂利用木材锯末水解酒精废液生产饲料酵母也有 20 年的历史,产品主要出口。上海普陀豆制品厂和上海卢湾豆制品厂曾用制豆腐的废水添补部分糖蜜生产白地霉

酵母粉也有多年生产经验，年产量达到 300 吨，产品供畜产公司饲养水貂用。扬州苏北米厂用酒糟水添加部分糖蜜生产白地霉酵母粉从 60 年代初就开始生产。

江苏如东生物化学总厂在轻工业部食品发酵工业科学研究所的协作下，利用味精生产的废液生产饲料酵母获得成功。先后经过小试和年产量 100 吨规模的中试生产，于 1986 年建成了年产 500 吨的饲料酵母车间，经过了几年的生产实践，酵母浓度稳定在 15g/L 以上，产品蛋白质含量 60% 左右，分离酵母后的废液，COD（化学耗氧量）去除 60% 左右，经济效益和社会效益都较明显。常州味精厂在轻工业部食品发酵工业研究所和如东生物化学总厂的协助下，也已建成了年产 500 吨的饲料酵母车间，并已有几年的生产经验。

但是，我国酵母生产还远远满足不了国民经济发展和人民生活的需要，与世界先进水平比较，还较落后，主要表现为：

(1) 产量少。仅饲料酵母而言，目前世界产量约 150 多万吨，而我们 4000 吨的产量与世界一些国家相比，差距很大，远远不能满足畜牧业和家禽饲养业的需要，只好依靠进口鱼粉。产量少的原因，一方面是饲料酵母作为支农、畜用产品，售价低，其利润远比药用酵母的低，再加上进口大量鱼粉，使饲料酵母生产得不到应有的重视。其次是原材料和化工原料及燃料动力供应不足，现有工厂能力没有充分发挥出来。再次是原料资源，如大量的亚硫酸盐纸浆废液、味精废液、酒精废液等没有很好利用，流入江河，污染环境，没有引起重视。

(2) 生产规模小，技术落后，成本高。我国 40 多家酵母生产单位，除几家工厂年产干酵母粉在千吨以上外，其余的

产量都较小。在生产工艺上有用单级连续发酵，也有用间歇发酵的，但在设备上，则是采用 40 年代的鼓泡式或机械搅拌式通风发酵罐，酵母生产率低（一般在 30~40% 之间），原材料消耗大，成本高。

我国饲料酵母的生产成本以味精废液为原料的江苏如东生物化学总厂和常州味精厂较低。

(3) 管理技术水平低。以我国生产较好的江苏如东生物化学总厂饲料酵母分厂来说，工人实物效率，每人每年生产饲料酵母粉 14.28 吨（按每吨售价 3500 元计，产值 4.99 万元）。而瑞典有一家用马铃薯淀粉废水生产饲料酵母的工厂，全厂 22 人，年产值 637 万元，平均劳动生产率为 29/万元（人·年）。

(4) 酵母生产的科研和专业化设备的研制工作不能适应生产发展的需要。酵母生产的工艺与设备及生产技术水平与国外对比差距较大。

我国 11 亿人口，农业发展受可耕地面积的极大限制，蛋白质供应十分短缺，可是单细胞蛋白的年总产量迄今才只有 1.6 万多吨。其中饲用单细胞蛋白不足 0.5 万吨，对于发展配合饲料工业，真是杯水车薪，无能为力。饲料酵母工业既是农业的补充，又是轻工等部门综合利用的组成部分。在国家十分重视农业和食品工业的今天，应把饲料酵母工业提上日程。我们一定要借鉴国外的成功经验，领导重视，措施得力，不失时机地推动我国单细胞蛋白工业的发展。

二、饲料酵母的性质与用途

如上所述，饲料酵母主要是将废弃的、剩余的或廉价的碳水化合物作为原料制成的一种畜禽饲料。如用味精厂的味精废液、酒精厂的蒸馏废液和造纸厂的亚硫酸盐废液生产饲料酵母，不但可以扩大饲料来源，同时又可避免或减轻水源的污染。

饲料酵母是单细胞蛋白的一种。从它所含的蛋白质来看，接近于动物性蛋白质浓缩物，并富含维生素，是一种营养丰富的高级饲料，在混合饲料中加入 2~5% 的饲料酵母，对家禽、家畜的生长有显著效果。

1. 饲料酵母的化学成分

饲料酵母的化学成分，不论其制造原料如何，均无显著的差异，典型的数据列于表 1。

表1 饲料酵母、鱼粉、豆饼的化学成分

	饲料酵母			鱼 粉	豆 饼
	水解液及酒精废液	糖蜜酒精废液	石蜡原料		
水分(%)	6.0~10.0	8.0~10.0	6.0~10.0	9.1~12.0	10.0
蛋白质 N×6.25 (按绝干物计)	43~58	46~56	48~62	48~62	46
碳水化合物 (%)	11~23	10.0~18.0	10.0~22.0	20~11	1.5
脂类(%)	0.3~4.0	0.5~2.0	1.0~5.0	—	28
灰分(%)	5.0~11.0	12~14	5.0~12	32	8.0

饲料酵母的蛋白质和维生素含量不亚于鱼粉和豆饼，甚至有些指标还超过鱼粉和豆饼。

饲料酵母的蛋白质含有约 20 种氨基酸，比一般的蛋白质营养价值高，且易吸收，其中 10 种氨基酸是生命活动必需的，只有蛋氨酸和胱氨酸的含量不及鱼粉（表 2）。

饲料酵母、鱼粉和豆饼的主要氨基酸成分

表 2

（按蛋白质%计）

氨基酸	饲料酵母			鱼粉	豆饼
	水解液及酒精废液	糖蜜酒精废液	石蜡原料		
色氨酸	1.5	1.2~2.6	1.0~3.0	1.0	1.4
赖氨酸	6.8	3.9~5.6	5.0~8.0	8.9	6.3
蛋氨酸	1.7	0.4~1.2	0.5~1.5	2.9	1.3
精氨酸	5.6	2.3~4.7	4.6~5.7	6.7	7.6
组氨酸	2.4	0.6~1.2	1.6~2.1	2.3	2.4
苏氨酸	4.2	3.7~4.1	3.3~6.7	4.5	3.9
缬氨酸	5.1	2.5~3.9	4.6~5.6	3.8	5.3
异亮氨酸	4.5	2.5~3.6	3.4~4.8	5.5	5.5
亮氨酸	7.6	3.1~6.5	5.2~8.5	8.0	7.7
苯丙氨酸	4.2	2.2~3.7	2.5~5.0	4.5	4.9
胱氨酸	1.3	2.3~2.5	1.8	1.9	1.4

酵母的碳水化合物由多糖、肝糖、甘露糖、几丁质组成。

饲料酵母含有 1~5% 脂肪，其中四分之三是由游离的不饱和脂肪酸、一，二，三甘油脂、磷脂等组成。

酵母灰分（约 8~10%）大多是由培养酵母的培养基的基质所组成，用糖蜜酒糟培养的酵母，其灰分稍高达 14%。酵母灰分约有 50% 以磷的形式存在的，磷是核酸、磷脂的成分，钙、钾占灰分的 40%，其余的便是镁和钠等。

饲料酵母的特殊营养价值还在于含有丰富的 B 族维生素（表 3），其含量比其他饲料都高。