

# 固态酒精发酵与酒精产业化发展的可行性研究

吴天祥<sup>1,2</sup> 丁重阳<sup>1</sup> 杨海龙<sup>1</sup> 陈 蕴<sup>1</sup> 章克昌<sup>1</sup>

1(江南大学生物工程学院工业生物技术教育部重点实验室, 无锡, 214036)

2(贵州工业大学生物工程学院, 贵阳, 550003)

TS2f A

**摘 要** 固态酒精发酵是以固态基质为底物而进行的边糖化边发酵模式之一。近年来, 受世界能源危机影响, 世界上许多发达国家都在进行可再生能源——燃料酒精的研究, 以期代替或部分代替汽油。而目前酒精的生产主要是液态深层发酵模式, 排放的酒精糟液严重污染地表水系的生态环境, 世界各国政府和研究机构正致力于酒精糟液处理和综合利用的研究。作者综述了固态发酵酒精生产的研究与进展, 并提出了固态发酵酒精生产与饲料生产偶联的符合中国国情的酒精产业化发展的基本思路。

**关键词** 固态发酵, 酒精, 产业化, 酒精糟液, 饲料

传统固态发酵(solid state fermentation, SSF)模式就是微生物在固态基质和没有游离水的条件下所进行的代谢过程<sup>[1,2]</sup>。而本文表述的固态发酵系统是指在酒精浓醪发酵的基础上进行的半固态的边糖化边发酵——固态蒸馏的偶联系统(simultaneously saccharification and fermentation-solid state distillation)。从20世纪80年代起, 就有了关于固态发酵模式在出糟形式等方面优于深层液态发酵模式的报道<sup>[3,4]</sup>, 特别是由于能源紧张, 西方国家的学者又开始研究固态发酵生产酒精, 以求降低蒸煮和蒸馏的能耗, 同时更好地为酒精的综合利用创造条件<sup>[5]</sup>。通过比较, 固态发酵系统比液态深层发酵系统具有设备投资少, 用水量及废液处理量明显减少的优点。

我国年产酒精约300万t, 仅次于美国、俄罗斯和巴西<sup>[6]</sup>。然而传统酒精发酵工艺产生的酒精和废水对环境造成一定程度的污染<sup>[7]</sup>, 并给酒精生产企业带来较大的酒精后处理压力; 废液循环使用是减少生产过程污染物排放量的简便途径之一, 而实际生产中即使采用比较低的循环比, 装置也难以实现稳定运行<sup>[8]</sup>。虽然以淀粉质原料为基质的

固态发酵工艺存在淀粉转化率不高的缺陷, 但如果能将酒精生产与饲料工业进行工业化偶联, 实现酒精联产饲料的产业化模式, 则能解决上述问题。为此本文将对固态发酵酒精产业化发展的基本思路进行简要论述。

## 1 酒糟及废水处理

### 1.1 国内酒糟及废水处理方式

以薯干、木薯、糖蜜等为原料的酒糟废液的治理工艺主要采用厌氧法制取沼气, 以谷物为原料的采用全干法法制取全干酒糟。

以淀粉质原料生产酒精存在的最大难题是生产过程中排放的酒糟液难以有效治理。例如, 河南南阳酒精总厂年产酒精9万t, 年排放酒糟液108万t, 排放有机物质约为54000t, 副产物CO<sub>2</sub>8万t<sup>[9]</sup>。由于酒精生产排出的酒糟是一种酸度高、粘度大并含有大量悬浮物和有机物的废液, 其COD含量达4×10<sup>4</sup> mg/L, BOD含量在3×10<sup>4</sup> mg/L左右。目前, 国内已有企业将酒糟固液分离后滤渣干燥作饲料出售, 滤液经沉淀中和后全部返回生产中替代部分清水使用, 取得了一定的效果。但是采用全回用糟液生产酒精存在染菌问题, 而且在酒精的分离、沉淀及中

第一作者: 博士研究生, 副教授。

收稿时间: 2002-07-16, 改回时间: 2002-09-22



和过程中同样存在染菌的机会<sup>[10]</sup>,从而加大了工艺和生产管理的难度。另外,国内有利用酒精糟液生产细菌农药、菌肥、培养食用菌,将酒精液引入湿法水泥厂,焚烧处理酒精等的报道,但因其利用量不大,均影响了这些方法的推广。

### 1.2 酒精废液治理的状况

国内外对以薯干为原料的酒精废液经过厌氧-好氧工艺处理达到排放标准后排放;玉米酒精废液主要是生产 DDG 和 DDGS;糖蜜酒精废液的处理是将废液浓缩后喷入燃烧炉中燃烧并回收热量,实现能量的二次利用。我国现有酒精生产企业约 1100 多家,年产发酵酒精包括白酒厂自产自用酒精约 300 万

t,年排放酒精糟液总量约 3600 万 t,年排放酒精糟中的有机物总量约 250 万 t,不仅浪费资源,而且造成对生态环境的严重污染,直接影响到酒精工业的持续发展。

## 2 固态酒精发酵工艺

### 2.1 工艺路线 1(见图 1)

工艺特点:

- (1)玉米原料的处理采用制曲工艺,固态制曲,半固态发酵;
- (2)添加固体物料进行固态蒸馏;
- (3)酒糟固态发酵转化为蛋白饲料;
- (4)有机废水生物转化为乳酸<sup>[21]</sup>。

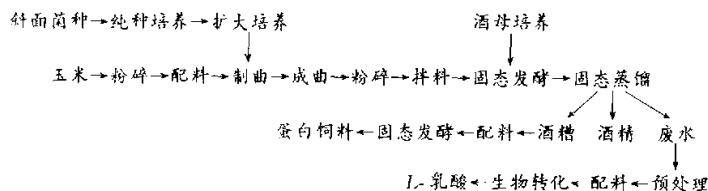


图 1 制曲式固态酒精发酵清洁生产工艺流程

### 2.2 工艺路线 2(见图 2)

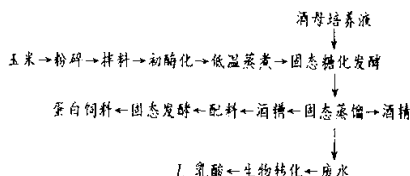


图 2 多酶系固态酒精发酵清洁生产工艺流程

工艺特点:

- (1)多酶系协调分段作用,低温蒸煮;
- (2)固态糖化发酵;
- (3)酒母纯种培养<sup>[20]</sup>;
- (4)清洁系统与工艺路线 1 相同。

### 2.3 固态酒精发酵技术的应用前景

#### 2.3.1 在我国白酒工业上的应用

结合我国白酒工业的产品结构调整,将酒精、白酒、饲料、生物农药等进行整合来开

发,实现燃料酒精产业的最佳成本、最大利润和有利于环境保护的经济效益和社会效益的综合目标。具体思路是:通过固态酒精发酵系统的建立,重点盘活白酒现有的、国有良性资产,充分利用白酒固态法工艺的原料前处理设备、发酵设备、蒸馏设备和储存设备等,从而大量减少固态酒精发酵系统的二次投资费用,为燃料酒精项目的实施节省巨大的投资。

#### 2.3.2 在我国饲料工业上的应用

目前,我国饲料工业每年用量约需 1.6 亿多 t,饲料产量将超过 7000 万 t,但是蛋白饲料资源相当紧缺(缺口在 1000 万 t 以上),饲料工业所需要的豆粕、鱼粉需从国外大量进口<sup>[12]</sup>。饲料资源的严重不足制约了饲料工业和畜牧业的共同发展,随着我国社会和经济的发

升,而肉蛋奶的增产也就是畜牧业的增产,并且只能依靠饲料资源的转化<sup>[13]</sup>。实现饲料工业的规模发展,必须调整饲料生产结构,开辟新的饲料资源,以满足畜牧业的需求。发展畜牧业饲料是关键,根据我国蛋白资源的现状,开发生态饲料(利用微生物在饲料原料中的生长繁殖和新陈代谢、积累有用的菌体、酶和中间代谢产物来生产和加工的饲料)不仅可利用资源丰富,而且前景广阔<sup>[22]</sup>。固态酒精中含有一定量的残余淀粉、低碳糖、杂醇等有机成分,通过补充适量无机氮源,采用多菌种复合固态发酵技术可获得营养丰富的蛋白饲料<sup>[14-19]</sup>。因此,利用固态酒精发酵后的酒糟加工饲料,不仅节约了饲料用粮,而且是防治污染的一项重要措施,从而促进酒精工业的可持续发展。

### 2.3.3 投资燃料酒精策略<sup>[11]</sup>

发展燃料酒精需要投入巨额资金,根据我国的国情和白酒工业的现状,如何盘活我国大量闲置的白酒企业的良性资产和设备,并改造成为燃料酒精固态发酵生产基地是值得思考的重大课题。如果改造白酒企业(以1万t酒精规模为例),只须投资1500万元便可投产。如果投资150亿人民币,则可实现1000万t燃料酒精的生产规模,同时相应地带动与酒精工业、饲料工业、白酒工业等相关产业的发展和互动,并可新增50万人的就业机会。

### 2.3.4 酒精价格风险评价

由于现在的酒精的成本要比汽油贵1/3,但可采用下列措施来弥补,(1)通过盘活国有白酒企业建立固态酒精发酵基地,节约投资成本和缓解还贷压力;(2)是酒精联产饲料的经济互补,实施有机废水的生物转化,降低酒精生产的单项成本;(3)是发展燃料酒精,政府将在财政和税收等方面出台相应的优惠政策,促进产业项目的良性发展。

## 3 小 结

综上所述,酒精产业化发展的思路是一

手拉动农业产业化发展,促进农民种植的积极性;一手联动饲料工业和畜牧业的发展,形成了有效吞吐酒精工业酒糟的产业化途径,优化饲料用粮的机制,实现酒精生产从原料到产品的生态工业模式。而固态酒精发酵技术的应用从一个侧面促进了酒精产业链的形成,并以生态工业模式发展现代燃料酒精工业,且符合中国的国情和酒精工业可持续发展的战略要求,必将产生深远的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Lonsane B K et al. Process Biochemistry, 1992, 27: 257-273
- 2 Raghava Rao et al. Bioprocess Engineering, 1993, 8:255-262
- 3 Muddgert R E. Manual of Industrial Microbiology Processes. Washington: American Society of Microbiologists, 1986. 66-83
- 4 Ghildyal N P et al. J. Food Sci. Technol., 1985, 22: 171-176
- 5 章克昌主编.酒精与蒸馏酒工艺学.北京:中国轻工业出版社,1995.170-171
- 6 谢林等编著.玉米酒精生产新技术.北京:中国轻工业出版社,2000.1-11
- 7 姚汝华等.酒精发酵工艺学.广州:华南理工大学出版社,1998.246-253
- 8 刘传斌等.微生物学报,2001,41(3):367-371.
- 9 姜秀党等.酿酒科技,2000,(1):70-71.
- 10 乞永盛.中国酿造,2000(4):19,27.
- 11 章克昌.无锡轻工大学学报,1998,17,增刊:50-51,63.
- 12 周立新等.粮食与饲料工业,1999(4):23-24
- 13 刘当慧.粮食与饲料工业,1999(1):27-30
- 14 程抱奎.粮食与饲料工业,1999(3):30-31
- 15 莫锡荣.粮食与饲料工业,1990(4):4-6
- 16 孙祖莉等.饲料工业,1997(8):23-25
- 17 王冬梅等.粮食与饲料工业,1999(4):25-26
- 18 熊欣等.粮食与饲料工业,1999(4):36
- 19 蔡皓等.粮食与饲料工业,2000(6):32-34
- 20 章克昌等.酒精工业手册.北京:中国轻工业出版社,1989
- 21 庞钦.酒精浓醪发酵酒糟液生产乳酸的研究.江南大学生物工程学院硕士研究生论文,2002
- 22 余伯良编著.发酵饲料生产与应用新技术.北京:中国农业出版社,1999

# The Feasibility Study on the Solid State Fermentation and the Development of Alcoholic Industry

Wu Tianxiang<sup>1,2</sup> Ding Chongyang<sup>1</sup> Yang Hailong<sup>1</sup>

Zhang Kechang<sup>1</sup> Chen Yun

1(Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, School of Biotechnology,  
Southern Yangtze University, Wuxi, 214036)

2(School of Biochemistry, Guizhou University of Industry, Guiyang, 550003)

**ABSTRACT** The solid state fermentation (SSF) is one of the fermentation process to produce ethanol using solid substrate, its classical technology is the process to produce Chinese liquor. In recent years, many developed countries are investigating the technology to produce fuel-ethanol (one of the reproducible resource). However, the recent technology of ethanol-producing is submerged fermentation and the waste vinasse would be the pollutant to water ecosystem, governments and institutes of all over the world are studying how to use the waste vinasse and investigating more effective technology to produce ethanol. The review describes the research and progress of ethanol-producing by SSF, and develops a new idea about ethanol-producing by SSF uniting feeding stuff-producing, which would be suitable to the reality of alcoholic industry in China.

**Key words** the solid state fermentation, ethanol, industrialization, vinasse, feed

(上接第9页)

捷克转基因食物的标签制度已于2002年起实施,以配合欧盟的有关转基因食物的法规。

2000年4月,波兰波兰政府宣布所有转基因食物都需要贴上标签,环保部长下令有关信息需要印在包装纸上,以显眼的颜色印上易读的字样。

1999年5月起,澳大利亚实施《转基因食品标准》,规定对转基因工程技术生产的产品必须进行安全性评价,如在安全性评价中未获认可,将不得进入市场销售。

从1999年7月1日起,俄罗斯进口转基因食品必须经俄有关部门质检。俄授权医学科学院食品研究所和国家生物工程中心对进口转基因食品进行质检,并从2002年10月1日开始,俄罗斯将实施要求所有转基因食品注册的法律。

日本持较为中立的态度,一方面对转基因食品有进口需求;另一方面对转基因食品的安全性有所顾虑,规定采用转基因技术获得的农作物及食品不能作为绿色食品。针对越来越多的消费者对转基因食品的安全性的忧虑,日本农林水产省在加大了对生物技术的宣传的同时,于2001年4月起对某些转基因食品实施强制性标识制度。

从2001年3月1日开始,韩国政府实施转基因食品强制性标识制度。对大豆和玉米等4种作物必须标明是否是转基因农作物。从2001年9月1日起对所有进口的大豆、玉米以及含有这些成分的食品要求加贴“转基因”标识,并出具转基因检测证明。

泰国作为全球第一大米出口国和其他食品的主要进口国,泰国政府对转基因食品的安全问题关心日益增强,在未经科学证明转基因食品是否安全之前,泰国禁止进口转基因种子。

印度尼西亚1996年的食品法将转基因食品纳入监管。标签制度规定,所有经转基因的食品都需要贴上印有“基因工程改造”的标签;在加工食品上,转基因成分要列明在成分表上。

沙特阿拉伯政府禁止所有经由转基因生物制造的动物产品,并从2001年12月开始严格执行标签制度,转基因食品一定要贴上一个三角形标签,并以阿拉伯文及英文印上警告句,转基因食品进口也需附上健康证明。

印度政府正在研究对所有进口食品实施转基因证书计划,以确保食品有正确标识,保护消费者的健康。一旦计划实施,则可在不违反WTO所作的关税承诺的情况下,对所担心的进口食品实施限制。印度政府要求所有进口商出具证明,证明其进口的食品是否含有转基因的成分。由于国际上转基因大豆很普遍,而印度最大的进口食品是食用油,所以油菜子和葵花子将会成为对转基因成分检测的首要进口食品。

从2001年5月1日起,斯里兰卡所有转基因食品都被禁止进口,政府亦禁止进口、制造、运输、储存、分发及销售任何转基因食品。

我国为了加强农业转基因生物安全管理,国务院于2001年5月23日颁布了《农业转基因生物安全管理条例》(简称《条例》)。为保障《条例》的实施,我国农业部于2002年1月5日发布了《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》和《农业转基因生物标识管理办法》3个配套规章。第一批列入目录的农业转基因生物是大豆种子、大豆、大豆粉、大豆油、豆粕、玉米种子、玉米、玉米油、玉米粉、油菜种子、油菜子、油菜子油、油菜子粕、棉花种子、番茄种子、鲜番茄、番茄酱等。

为使《条例》和配套管理办法的实施不影响转基因农产品贸易的正常进行,农业部于3月11日发布了《转基因农产品安全管理临时措施公告》。境外公司可申请“临时证明”,并按《农业转基因生物标识管理办法》的规定进行标识后继续向我国出口转基因农产品。

截止到2002年6月3日,我国已颁发进口转基因农产品临时证明256个,进口标识审查认可批件536个,安排了一批生物研发公司进行转基因农产品环境释放监测。农业转基因生物安全管理工作已纳入我国农业部重要的工作日程。