

# 纤维素乙醇

叶晨 17307130243

能源作为现代社会赖以生存和发展的基础，受到了世界各国的广泛关注。目前，有限的化石燃料面临资源枯竭的危险，且带来污染环境的后果。在此背景下，生物能源成为了一种重要的替代能源，而利用了木质纤维素中的能量的纤维素乙醇是最具有前景的发展方向之一。

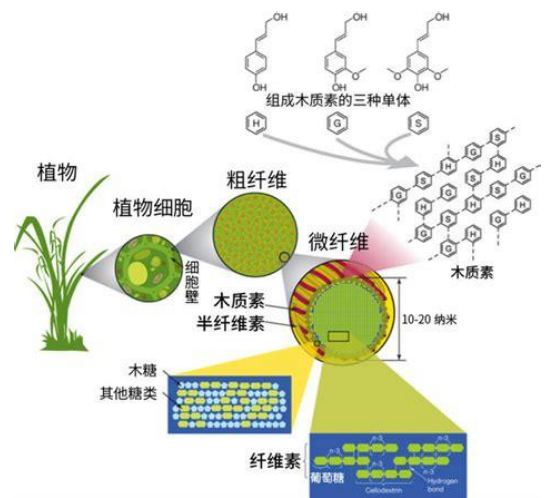
## ● 技术原理

木质纤维素生产生物乙醇的步骤如下：

### 1. 预处理—破坏木质纤维素的结构

纤维素生物质由纤维素、半纤维素和木质素三部分组成。自然界把纤维素赋予植物作为主要骨架结构，为植物提供了抵抗重力和生物降解的支撑性架构。半纤维素结合在纤维素微纤维的表面并相互连接，木质素形成交织网来硬化细胞壁，形成了极为坚固的木质纤维素结构。为了释放其中的能量，必须先破坏这种结构。

目前的预处理技术主要以物理和化学相结合为基础，包括蒸汽爆破、液相热水预处理(LHM)、氨纤维爆破(AFEX)、酸预处理、石灰预处理、有机溶胶。



### 2. 水解—将纤维素降解为葡萄糖

纤维素大分子是由葡萄糖脱水，通过  $\beta$ -1,4 葡萄糖苷键连接而成的直链聚合体，性质很稳定，只有在催化剂存在下纤维素的水解反应才能显著地进行。常用的催化剂是无机酸和纤维素酶，由此分别形成了酸水解和酶水解工艺，其中的酸水解又可分为浓酸水解工艺和稀酸水解工艺。



i. 浓酸水解

浓酸水解的原理是结晶纤维素在较低温度下可完全溶解在硫酸中，转化成含几个葡萄糖单元的低聚糖。把此溶液加水稀释并加热，经一定时间后就可把低聚糖水解为葡萄糖。

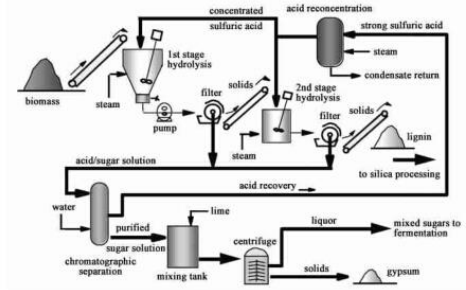


图 1 Arkenol 公司的浓酸水解流程图<sup>[9]</sup>  
Fig. 1 Concentrated acid hydrolysis of Arkenol company<sup>[9]</sup>

ii. 稀酸水解

稀酸水解的原理是溶液中的氢离子可和纤维素上的氧原子相结合，使其变得不稳定，容易和水反应，纤维素长链即在该处断裂，同时又放出氢离子，从而实现纤维素长链的连续解聚，直到分解成为最小的单元葡萄糖。

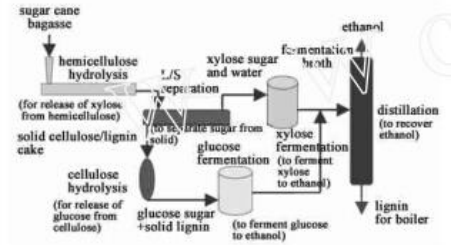
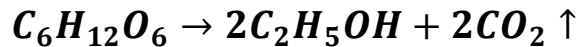


图 2 两步稀酸水解<sup>[16]</sup>  
Fig. 2 Dilute acid hydrolysis of two steps<sup>[16]</sup>

iii. 酶水解

纤维素酶是降解纤维素成为葡萄糖单体所需的一组酶的总称，一般认为其主要包括 3 个组分：内切葡聚糖酶，外切葡聚糖酶和纤维素二糖酶。每一组分又有若干亚组分组成。纤维素水解生成葡萄糖的过程必须依靠这 3 种组分的协同作用才能完成。

3. 发酵—将糖代谢为乙醇，通常使用酵母菌株



事实上，半纤维素占木质纤维素组成的相当部分，将半纤维素水解所得戊糖代谢为乙醇是纤维素乙醇工业的重要研究话题。高产和高耐受力菌株的选育和发酵工艺的研究是当今乙醇发酵研究的两个主要方向。

4. 蒸馏-精馏-去水—分离纯化乙醇以满足需求

● 技术应用

在过去的十几年中，生物质制燃料乙醇的技术取得了长足的进步。随着近年来国际油价的上涨，特别是 2006 年美国总统一提出发展用纤维素原料生产乙醇的技术后，国外企业对纤维素制燃料乙醇的兴趣大增。

美国的 Celunol 公司采用 2 级稀硫酸水解工艺，发酵的核心技术是转基因的大肠杆菌，由佛罗里达大学开发。2006 年 11 月，Celunol 在路易斯安那州的 Jennings 开工建造一个生物质制酒精的示范工厂，可年产燃料酒精 5500 万加仑。

加拿大的 Iogen 公司，在 2000 年建成了一个用麦秸生产燃料乙醇的示范工厂，采用酶水解工艺，原料预处理用稀硫酸催化的水蒸汽爆裂。日处理原料 40 吨，4 吨原料生产 1 吨乙醇，年产乙醇 300-400 万升。据称正在建一所商业化工厂，日处理原料 1500 吨，年产乙醇 1.7 亿升。

近年来我国在纤维素制乙醇的工艺上也取得了较大进展。“十五”期间该课题被列为“863”项目，在上海奉贤建成以纤维素为原料，年产燃料乙醇 600 吨的示范工厂。该项目由华东理工大学等 6 个单位承担，以稀酸水解工艺为主，同时也开展酶水解研究。该工艺过程已经打通，并实现连续化生产，形成具有自主知识产权的纤维素生产燃料乙醇的工艺，为我国纤维素生产燃料乙醇的规模化应用奠定了基础。

2017 年 9 月 14 日，国家发展改革委、国家能源局等十五部门联合印发《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，明确到 2020 年在全国范围内推广使用车用乙醇汽油，基本实现全覆盖，市场化运行机制初步建立。

## ● 技术优缺点

### 优点：

- 1) 纤维素生物质在全球产量丰富而廉价，纤维素乙醇技术使纤维素中的能量得到有效利用，降低生物燃料生产成本，有效地处理了纤维素废弃物，化解了从前用粮食作物生产生物燃料所带来的人、粮、地之间的矛盾。
- 2) 乙醇作为燃料添加剂能减少有害气体排放，且其高辛烷值和火焰传播速度使得能量效率得到了提高。

### 缺点：

- 1) 纤维素酶的生产效率低，活力低，成本较高，用量大，酶解效率低。
- 2) 木质纤维素原料分散，季节性强，质量良莠不齐，运输成本高。
- 3) 预处理过程难度高而价格昂贵，提高了成本。
- 4) 目前缺乏能有效利用己糖和戊糖的发酵菌株。
- 5) 生产过程成本高，与传统生物燃料工艺相比竞争力不大，得不到生产企业的重视便难以有更长足的发展。