

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 20120051302026

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

青霉T24-2固态发酵产酶及其
纤维素酶系组份分离纯化的研究

Study on solid-state fermentation and purification of
cellulase from *Penicillium* sp.T24-2

王世锋

指导教师姓名: 龙 敏 南 教授

专 业 名 称: 微 生 物 学

论文提交日期: 2008年 4 月 25 日

论文答辩时间: 2008年 5 月 30 日

学位授予日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

答辩委员会主席: _____ 教授

评 阅 人: _____

2008 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）： 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

目录

摘要	1
Abstract	2
第1章 绪论	4
1 纤维素	4
1.1 纤维素的分布	4
1.2 纤维素的结构	5
1.3 纤维素的理化性质	6
1.4 纤维素的预处理	7
2 纤维素酶	9
2.1 纤维素酶的来源	9
2.2 纤维素酶的组成及性质	10
2.3 纤维素酶的作用机理	11
2.4 纤维素酶活力测定	12
2.5 纤维素酶的分离纯化	13
2.6 纤维素酶的生产	14
2.7 纤维素酶的应用	15
2.8 纤维素酶的研究趋势	16
3 木聚糖与木聚糖酶	17
3.1 木聚糖的结构与性质	17
3.2 木聚糖酶的组成	17
3.3 木聚糖酶的结构与功能	18
3.4 木聚糖酶的分离纯化	19
3.5 木聚糖酶的应用	21
4 纤维素的酶解糖化	22
5 纤维素生物质产酒精	25
6 本论文的研究内容及意义	26
第2章 青霉 T24-2 的固态发酵产酶	28
1 材料与方法	28
1.1 实验材料	28
1.2 仪器和设备	29
1.3 实验方法	29
1.3.1 制曲与糖化	29
1.3.2 糖化液发酵产酒精	29
1.3.3 还原糖测定方法	29
1.3.4 酶活测定	31
2 结果与分析	31
2.1 青霉 T24-2 固态发酵产酶及糖化条件分析	31
2.1.1 培养时间对产酶及糖化率的影响	31
2.1.2 培养温度对产酶及糖化率的影响	32
2.1.3 pH 对产酶及糖化率的影响	33
2.1.4 接种量对产酶及糖化率的影响	35
2.1.5 装瓶量对产酶及糖化率的影响	36

2.1.6 氮源对产酶及糖化率的影响	37
2.1.7 蔗麸比对产酶及糖化率的影响	38
2.1.8 糖化时间对糖化率的影响	39
2.1.9 加水比对糖化率的影响	40
2.1.10 曲料比对糖化率的影响	41
2.1.11 青霉 T24-2 糖化条件优化	41
2.2 甘蔗渣糖化液发酵产酒精	42
2.3 不同预处理对产酶及糖化的影响	42
2.3.1 二甲基亚砷预处理对产酶及糖化的影响	42
2.3.2 酸碱分批预处理对产酶及糖化的影响	43
3 讨论	45
第3章 青霉24-2纤维素酶系组分的分离纯化	47
1 材料与方法	47
1.1 实验材料	47
1.2 仪器和设备	48
1.3 实验方法	48
1.3.1 粗酶液的制备	48
1.3.2 粗酶液的浓缩	48
1.3.3 酶蛋白的层析分离	49
1.3.4 酶活测定	50
1.3.5 蛋白质浓度测定	52
1.3.6 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳	53
1.3.7 纤维素酶系组分的一般理化性质	55
2 结果与分析	56
2.1 内切- β -1,4-葡聚糖酶的分离纯化	56
2.2 β -葡萄糖苷酶的分离纯化	58
2.3 木聚糖酶的分离纯化	60
2.4 纤维素酶系组分的理化性质分析	62
3. 讨论	65
结论与展望	66
参考文献	68
致谢	73

Contents

Chinese abstract	1
English abstract	2
Chapter 1 Introduction	4
1 Cellulose	4
1.1 Distribution of cellulose	4
1.2 Structure of cellulose	5
1.3 Properties of cellulose	6
1.4 Pretreatment of cellulose	7
2.Cellulase	9
2.1 The source of cellulase	9
2.2 Constitute and property of cellulase	10
2.3 Mechanism of cellulase.....	11
2.4 Mensuration of cellulase activity	12
2.5 Purification of cellulase	13
2.6 Production of cellulase	14
2.7 Application of cellulase	15
2.8 The research trend of cellulase	16
3 Xylan and xylanase	17
3.1 Structure and property of xylan	17
3.2 Constitute of xylanase	17
3.3 Structure and function of xylanase.....	18
3.4 Purification of xylanase.....	19
3.5 Application of xylanase.....	21
4 Saccharification of cellulose	22
5 Ethanol-producing from cellulose	25
6 Content and purpose of this research	26
Chapter 2 Solid-state fermentation of <i>Penicillium</i> sp.T24-2.....	28
1 Materials and methods	28

1.1 Materials.....	28
1.2 Instruments.....	29
1.3 Methods.....	29
1.3.1 Starter-making and saccharification.....	29
1.3.2 Ethanol-producing from saccharification liquid.....	29
1.3.3 Mensuration of reducing sugar	29
1.3.4 Mensuration of cellulase activity.....	31
2 Results and analysis.....	31
2.1 Analysis of cellulase production and saccharification.....	31
2.1.1 Incubation time on cellulase production and saccharification	31
2.1.2 Incubation temperature on cellulase production and saccharification	32
2.1.3 pH on cellulase production and saccharification.....	33
2.1.4 Inoculation quantity on cellulase production and saccharification	35
2.1.5 Medium quantity in flask on cellulase production and saccharification.....	36
2.1.6 Nitrogen source on cellulase production and saccharification.....	37
2.1.7 Ratio of bagasse to wheat bran on cellulase production and saccharification. .	38
2.1.8 Saccharification time on cellulase production and saccharification.....	39
2.1.9 Ratio of material to water on saccharification.....	40
2.1.10 Ratio of starter material to bagasse on saccharification.....	41
2.1.11 Optimize the condition of saccharification	41
2.2 Ethanol-producing from bagasse saccharification liquid	42
2.3 Different pretreatments for cellulase production and saccharification.....	42
2.3.1 Effect of pretreatment with DMSO.....	42
2.3.2 Effect of batch pretreatment with H ₂ SO ₄ and NaOH.....	43
3 Discussion	45
Chapter 3 Purification of cellulase from <i>Penicillium</i> sp.T24-2.....	47
1 Materials and methods	47
1.1 Materials.....	47
1.2 Instruments.....	48
1.3 Methods.....	48

1.3.1 Preparation of crude enzyme	48
1.3.2 Concentration of crude enzyme	48
1.3.3 Purification of enzyme protein.....	49
1.3.4 Mensuration of cellulase activity	50
1.3.5 Mensuration of protein concentration.....	52
1.3.6 SDS-PAGE analysis	53
1.3.7 Properties analysis of cellulase.....	55
2 Results and analysis.....	56
2.1 Purification of endo- β -1,4-glucanase.....	56
2.2 Purification of β -glucosidase	58
2.3 Purification of xylanase	60
2.4 Properties analysis of cellulase	62
3 Discussion	65
Discussion and prospect.....	66
References	68
Acknowledgements	73

摘 要

青霉 T24-2 是一株具有较高固态发酵产酶能力的菌株。本文通过对青霉 T24-2 的固态发酵条件进行研究,确定了该菌株的最佳产酶条件为:固体培养基蔗麸比为 4:6,添加 0.2%尿素为氮源,按 10%接种量接种种龄为 18h 的菌悬液,每 250mL 三角瓶中固体培养基装瓶量 30g(干重 10g),pH 自然,30℃下培养 3d。最佳糖化条件为:曲料比 1:3,加水比 1:6,在 50℃,170r/min 条件下糖化 18h,最高糖化率可达 32.4%,每 100g 甘蔗渣糖化液经酿酒酵母发酵后,酒精产量可达 11.3g。

甘蔗渣经 4%二甲基亚砷预处理后,制曲并糖化,CMCase 和 FPA 酶活分别可达 219.38U/g 和 16.07U/g,糖化率为 21.92%。

采用酸碱分批不浸泡的预处理方式,CMCase 和 FPA 酶活分别达到 222.3U/g 和 16.77U/g,糖化率可达 23.34%,能够满足后期糖化液发酵产酒精的要求。

青霉 T24-2 粗酶液依次经苯基疏水柱(Phenyl 6 Fast Flow)与凝胶柱(Sephadex G-200)分离纯化得到内切- β -1,4-葡聚糖酶;经丁基疏水柱(Butyl 4 Fast Flow)与离子交换柱(DEAE-Sepharose Fast Flow)分离纯化得到 β -葡萄糖苷酶;经离子交换柱(DEAE-Sepharose Fast Flow)单柱纯化得到木聚糖酶。上述三种组分经 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳分析,分子量分别为 40kD,55kD 和 20kD。其中,内切- β -1,4-葡聚糖酶纯化了 3.15 倍,比活力由 2.06 U/mg 提高到 6.48 U/mg; β -葡萄糖苷酶纯化了 3.67 倍,比活力由 0.33 U/mg 提高到 1.21 U/mg;木聚糖酶纯化了 3.72 倍,比活力由 1.54 U/mg 提高到 5.74 U/mg。

内切- β -1,4-葡聚糖酶和木聚糖酶的最适反应 pH 为 6.5, β -葡萄糖苷酶的最适反应 pH 为 5.0,上述三种组分的最适反应温度均为 50℃。内切- β -1,4-葡聚糖酶和木聚糖酶分别在 pH5.5 和 pH6.0 时较为稳定,而 β -葡萄糖苷酶在 pH5.0 时稳定性最高。40℃甚至更高的温度会严重影响上述三种酶组分的稳定性,对其保藏是极为不利的。

关键词:青霉 T24-2; 固态发酵; 糖化; 纤维素酶;

Abstract

Penicillium sp.T24-2 is a high cellulase-producing strain for solid-state fermentation. The optimum solid state fermentation conditions for cellulase production were achieved as: the ratio of bagasse to wheat bran was 4:6, 0.2% urea as nitrogen source, the inoculation quantity was 10% with loading age 18h, medium quantity was 30g(dry weight 10g) in a 250mL flask, natural pH, 30°C, starter-making time was 3d. The optimum saccharification conditions were achieved as: the ratio of starter material to bagasse was 1:3, the ratio of material to water was 1:6, 50°C, the saccharification time was 18h, saccharification yield could reach 32.4%. The ethanol yield was 11.3% (g ethanol/g bagasse).

The bagasse was pretreated with 4% DMSO, after starter-making and saccharification, CMCase and FPA were obtained as 219.38U/g and 16.07U/g, saccharification yield could reach 21.92%.

The bagasse was batch pretreated separately with H₂SO₄ and NaOH without immersing, CMCase and FPA were obtained as 222.3U/g and 16.77U/g, saccharification yield could reach 23.34%, the result could reach the demand for ethanol producing.

Endo- β -1,4-glucanase was purified 3.15 folds with a specific activity of 6.48 U/mg through Phenyl 6 Fast Flow and Sephadex G-200 chromatography; β -glucosidase was purified 3.67 folds with a specific activity of 1.21 U/mg through Butyl 4 Fast Flow and DEAE-Sepharose Fast Flow chromatography; Xylanase was purified 3.72 folds with a specific activity of 5.74 U/mg through DEAE-Sepharose Fast Flow chromatography, their molecular weights were determined as 40kD, 55kD and 20kD respectively by SDS-PAGE.

The affection of pH and temperature on the activity of enzymes were investigated. The maximum activities were obtained at pH6.5 for endo- β -1,4-glucanase and xylanase, at pH5.0 for β -glucosidase. The optimum reaction temperature for endo- β -1,4-glucanase, β -glucosidase and xylanase

was 50°C. Endo- β -1,4-glucanase, β -glucosidase and xylanase showed high stability at pH5.5, pH5, pH6.0 respectively. All the three enzymes were stable below 40 °C.

Key words: *Penicillium* sp. T24-2; solid-state fermentation; saccharification; cellulase

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第1章 绪论

纤维素是生物界最重要的碳源物质，全世界通过光合作用产生的纤维素物质每年高达 2000 亿 t，其中只有 11% 用作饲草、造纸和建筑原料^[1]，剩余 89% 的纤维素原料并未被有效利用，而是通过微生物自然分解，参加自然界碳素循环。这不但造成了巨大的浪费，也给自然环境带来了一定的污染。

随着人口的增长和人民生活水平的不断提高，能源危机、食物短缺、环境污染等问题正日益严重地困扰着整个世界，开发新能源、节省粮食、减少环境污染显得越来越重要^[2]。纤维素在一定条件下可以被水解成单糖，单糖再通过微生物发酵生产各种有用的产品，如燃料、化工原料、饲料、食品、药品等^[3]。

中国的天然纤维素原料也很丰富，每年产量是 11.45 亿 t，仅农作物秸秆、皮壳一项，每年就达 7 亿多 t，其中玉米秸秆占 35%，小麦秸秆占 21%，稻草占 19%，大麦秸秆占 10%，高粱秸秆占 5%，谷草占 5%，燕麦秸秆占 3%，黑麦秸秆占 2%。可见，玉米秸秆、小麦秸秆和稻草是中国最主要的三大秸秆。此外，来自林业副产品、城市垃圾和工业废物中的天然纤维素原料量也很可观^[4]。

怎样变废为宝，充分利用上述纤维素资源来应对人类所面临的危机，已经成为世界各国科学家普遍关注的课题。其中利用纤维素酶的水解作用将纤维素转化为能源、可利用食物和化工原料是比较理想的“绿色”途径。纤维素酶有着专一、高效、彻底、无污染的优点，在工业、农业、医学方面都有广阔的利用前景^[5,6]。

发展和利用生物技术分解转化天然纤维素原料既是资源利用的有效途径，与此同时，纤维素的利用与转化对于解决目前世界能源危机、粮食短缺、环境污染等问题也具有十分重要的意义。

1 纤维素

1.1 纤维素的分布

纤维素是生物界最重要的碳源物质，在每年由光合作用产生的植物原料中，纤维素占了 50%^[7]。我国的纤维素资源也极为丰富，每年仅农作物秸秆的产量达 5.7×10^8 t，森林面积达 1.59 亿公顷，森林蓄积量为 112.7 亿立方米^[8]。

自然界存在的纤维素资源有：木浆（纤维素 93.8%）、糠醛渣、木屑、青干草

粉、稻草（蔗渣、麦秆、稻壳、玉米穗轴、花生壳粉等）等，另外还包括滤纸（其他纸类）、木纸浆、洋麻、啤酒滤饼、制糖工业甜菜废丝等^[9]。

由于各种植物的纤维素含量参差不齐，种类繁多，可将其分为纯纤维素，木质纤维素和果胶质纤维素。其中棉花被认为是自然界中最纯的纤维素纤维，强度大、韧性好，棉纤维的结晶度为 80~90%，聚合度为 3500~10000，高于木质纤维素；亚麻、大麻、马尼刺麻、竹、甘蔗、西班牙草、猴面包树等含有的纤维为果胶质纤维；木材、黄麻等的纤维，为木质纤维素^[10,11]。此外，某些种类海洋动物和细菌也能产纤维素。

下表为几种原材料中纤维素的含量^[12]。

表 1-1 几种原材料的纤维素、半纤维素、木质素含量

Tab.1-1 The contents of cellulose, hemicellulose and lignin in some materials

原材料	纤维素 (%)	半纤维素 (%)	木质素 (%)
松木 (Pine wood)	26.0	44.0	27.8
桦木 (Birch wood)	39.0	40.0	19.5
甘蔗渣 (Sugar cane bagasse)	30.0	33.4	18.9
稻草 (Rice straw)	24.0	32.1	12.5
棉花 (Cotton)	5~20	80~95	0

1.2 纤维素的结构

纤维素是高等植物细胞壁的主要成分，是由吡喃葡萄糖以 β -1,4-糖苷键连接成的线性大分子聚合物，它所连成的线性长链是“硬而直的”。纤维二糖是其基本单元。纤维素分子表面平整，易于长向伸展，加上吡喃葡萄糖环上的侧基，十分利于氢键的形成，使这种带环、刚性的分子链聚集在一起^[13,14]。纤维素分子的化学结构表示见图 1-1。

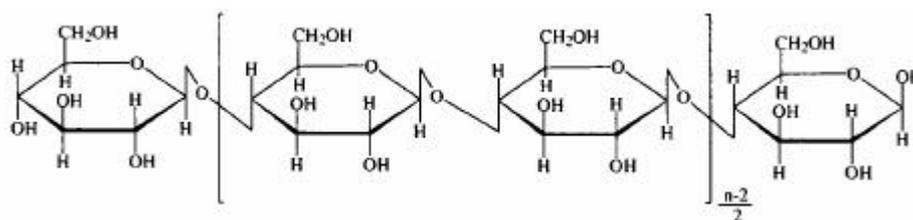


图 1-1 纤维素结构表示图

Fig.1-1 The structure of cellulose

n 为聚合度，纤维素分子的聚合度变化很大，一般在 8000~10000 个葡萄糖残基左右。值得注意的是占重要比重的植物纤维素的聚合度高达 14000 左右。它的高聚合度、毛细管结构、木质素和半纤维素形成的保护层，再加上其超分子结构中的结晶区存在大量氢键，从而使纤维素很难被很好的利用^[15]。

纤维素分子的分子量是不均一或多分散的，其大小及分布直接影响到纤维素的物理机械性能、纤维素溶液的性质以及纤维素原料的降解等化学性质。纤维素分子的大小常用聚合度 (DP) 来定义，即葡萄糖残基的含量。一般认为植物纤维素 DP 约为 14000 以上，微生物纤维素 DP 约为 3500，商品纤维素 DP 为 50~5000^[15]，植物纤维素中，木材类纤维的聚合度要大于草类等禾本科植物纤维素。

天然的纤维素由排列整齐而规则的结晶区和相对不规则、松散的无定型区组成。通过 X 射线衍射可以发现，纤维素大分子的聚集体中，结晶区部分分子排列比较整齐，有规则，而且密度较大，约 $1.588\text{g}/\text{cm}^3$ 。无定形区部分的分子链排列不整齐，较疏松，分子间距离较大，密度较低，约 $1.500\text{g}/\text{cm}^3$ 。在纤维素物质中，除了纤维素链之间存在氢键外，在分子内也存在氢键。不管是分子间还是分子内氢键，它们的存在，给纤维素水解带来很大的困难。

纤维素物质多是以木质纤维素的形式存在于自然界中。木质纤维素主要由纤维素、半纤维素、木质素组成，三者按一定比例紧密地结合在一起。纤维素是由许多个葡萄糖分子通过 β -1,4-糖苷键连接而成的直链高聚糖，经预处理后聚合度会下降，完全水解后得到葡萄糖；半纤维素是带有支链的多聚糖的总称，其结构单元包括戊糖基、己糖基、糖酸基和己酞基，其中戊糖主要为木糖和阿拉伯糖；木质素是植物界中仅次于纤维素的最丰富的有机高分子化合物，由苯丙烷单元以非线性的、随机方式连接组成的复合体，在酸的作用下难以水解的高分子无定形物质。在秸秆中纤维素被半纤维素及木质素包围，而且纤维素的结晶结构及其与半纤维素、木质素的紧密结合，使得木质纤维素水解速度与糖化率受到很大影响，因而除去木质素，尽量使纤维素结晶度降低的预处理，对于秸秆中纤维素的降解是非常重要的^[16, 17]。

1.3 纤维素的理化性质

纤维素本身为白色粉末，这是由于纤维素结构具有不均一性，其内形成多孔体系，对光产生漫反射的结果。其晶体结构属于单斜晶系，并具有双折射性质，

从而纤维素及其衍生物的溶液显旋光性。聚合的大分子之间存在着有序结构形成氢键，导致纤维素既不溶于水也不溶于一般的有机溶剂。

能直接溶解纤维素的溶剂只有有限的几类，主要分为：水溶剂和非水溶剂两大类。一般水溶剂有无机酸碱、铜氨溶液、金属乙二胺络合物、EWNN 配合物等；某些氨、酰胺、内酯、亚砷等有机化合物与 N_2O_4 、 $NOCl$ 和醛等组成的复合溶剂，它们属于非水溶剂，由于纤维素本身含有糖醛酸基、极性羟基，使纤维素在水中时，表面带负电荷，在水中形成双电层。改变电解质的浓度，对电极电位（纤维素表面的电位）无影响，但对动电位（纤维素吸附层外界面）影响很大。纤维素表面电化学性质和制浆造纸、纤维素酶解发酵的过程关系很大^[16, 17]。

1.4 纤维素的预处理

在微生物降解纤维素物质过程中，酶与纤维素底物直接接触是酶水解的先决条件。任何限制纤维素接近酶的结构特征，都会减少纤维素对酶降解的敏感性。在天然纤维素原料中，木质素和半纤维素形成牢固结合层，包围着纤维素，使得木质纤维素水解速度与糖得率受到很大影响。

在目前的研究中，原料预处理的目的是主要表现在几个方面^[18]：除去木质素；减小结晶度；增大孔隙体积并相应增大吸附纤维素酶的有效表面积。因此，木质纤维素原料只有通过一定的预处理才能获得较高的水解速度和酶解得率。天然纤维素原料预处理有多种方法，可分为物理预处理、化学预处理和生物预处理^[19]。

(1) 物理预处理法

常用的物理方法有：机械微粒粉碎、蒸汽爆破、微波处理、冷冻粉碎等。

机械微粒粉碎能使木质纤维原料物理性能发生明显的变化，物料尺寸明显变小，结晶度降低，平均聚合度变小，物料的水溶性组分增加。秸秆粉碎预处理对酶解影响的结果表明：随着秸秆粉碎程度加深，表面积也增大，裸露在表面的结合点增加，酶解速度加大^[20]。近年来，许多学者发现，如将纤维素酶水解和缓和的湿磨结合起来同时进行，则纤维素酶解率将成倍增加。另外，一些学者也发现，在用溶剂预处理纤维素原料时，如给予一些轻微的研磨，将能大大提高糖的产率^[21]。

蒸汽爆破技术是利用高压的饱和蒸汽处理后瞬间降压冷却，使纤维素材料急剧爆裂的预处理方法^[22]。一般来说蒸爆分为通过纤维素原料的内含水闪蒸而解纤

和同时通入高压气体，爆破、解纤两种类型。经蒸爆预处理后的物料纤维变成碎片，半纤维素几乎全部降解，纤维素与木质素分离，从而有利于酸解和酶解的进行。蒸汽爆裂法的优点是能耗低，污染少，可以间歇也可以连续操作，主要适合硬木原料和农作物秸秆，但蒸汽爆裂操作涉及高压设备，投资成本较高。

微波处理能使纤维素的分子间氢键发生变化，处理后的粉末纤维素类物质没有胀润性，能提高纤维素的反应活性，可以提高基质浓度，得到较高浓度的糖化液，处理时间短，操作简单，但由于处理费用较高而难以得到工业化应用^[23]。

将天然纤维素原料在水中反复进行冷冻(-75℃)或用液化气在-100℃下粉碎，可以破坏木质素和半纤维素的结合层，降低纤维素的聚合度，增加反应活性。但是冷冻处理成本太高，不适合工业化生产^[24]。

(2) 化学预处理法

化学预处理已广泛用于化学制剂溶解木质素和半纤维素，降低纤维素的结晶度或溶解纤维素，但是化学预处理必须使用耐腐蚀的设备，需要冲洗排除大量化学药品，较难回收木质素和半纤维素而造成环境污染。目前化学预处理的方法主要有酸处理、碱处理、有机溶剂处理等。

稀酸水解已经成功地用于木质纤维原料预处理。稀硫酸预处理可以获得较高的得率，显著促进纤维素水解^[25]。在较高温度下酸处理所需时间短，处理后半纤维素水解成单糖进入水解液，木质素含量不变，纤维素的聚合度下降，反应能力增大。浓酸也可用来处理木质纤维原料，但强酸有毒，有腐蚀性，需要耐酸设备。浓酸预处理后必须对酸进行回收利用以最大限度地减轻对环境的污染，这样就增加了生产成本。酸预处理后必须中和剩余的酸以便后续水解和发酵。

某些碱可以用来预处理木质纤维原料，处理效果主要取决于原料中的木质素含量。碱水解的机理是基于木聚糖半纤维素和其它组分内部分子之间酯键的皂化作用，随着酯键的减少木质纤维原料的空隙率增加。NaOH 有较强的脱木质素作用，原料除去木质素后，酶水解糖化率将明显提高。研究表明：NaOH 预处理对纤维素原料化学组成比例有很大影响，预处理后的物料中纤维素明显得到润胀，纤维素结晶指数降低，纤维素结晶区受到破坏，物料更易于酶解^[26]。尽管碱处理对原料的可降解性效果较好，但在处理过程中有部分半纤维素被分解，致使损失太多。同时还存在试剂的回收、中和、洗涤等问题^[27]。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库