

全国高等林业院校试用教材

植物原料水解工艺学

张 矢 主编

中国林业出版社

全国高等林业院校试用教材

植物原料水解工艺学

张矢 主编

林产化工专业用

中国林业出版社

(京)新登字033号

责任编辑：王晓梅

全国高等林业院校试用教材

植物原料水解工艺学

张矢 主编

中国林业出版社出版(北京西城区刘海胡同7号)
新华书店北京发行所发行 河北遵化印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开本 15.5印张 376千字

1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷

印数 1—3300 定价：7.20 元

责任编辑：王晓梅 版式设计：李静

封面设计：袁崇文 责任校对：杨静

ISBN 7-5038-1089-0/TB·0229

前 言

《植物原料水解工艺学》是由高等林业院校林产化工专业指导委员会在1990年9月的会议上重新列入编写计划的教材，又于1991年10月在北京会议上进一步明确该教材由东北林业大学主编。

该教材包括水解原料，水解基础理论与工艺，糠醛、酒精、饲料酵母、木糖醇、糖饲料及原料综合利用生态学最佳工艺等内容。作为林产化工专业本科的教科书。

本书由东北林业大学张矢主编，第十章由杨磊编写，其它九章由张矢编写。本书由东北林业大学潘志超主审。

由于编者水平所限，内容难免有不足和错误之处，请读者予以指正。

编 者

1992年10月于东北林业大学

目 录

绪论	(1)
第一章 水解工业的原料	(3)
第一节 水解工业原料的种类	(3)
第二节 各种原料化学组成的特点	(3)
第三节 原料的工艺性质	(7)
第四节 原料的预处理、贮存和运输	(12)
第二章 植物原料水解工艺	(13)
第一节 植物原料稀硫酸水解工艺	(13)
一、固定法水解工艺	(14)
二、渗滤法水解工艺	(15)
三、水解工段的主要设备	(32)
第二节 纤维素的酶水解	(39)
一、酶的一般特性与分类	(39)
二、纤维素酶	(40)
三、纤维素酶水解工艺过程	(41)
四、纤维素酶水解急待解决的问题	(44)
第三节 多糖浓酸水解	(46)
一、浓酸水解机理	(46)
二、浓酸水解工艺	(49)
第四节 高温水解	(52)
一、挤压法水解	(52)
二、爆炸法水解	(53)
第三章 植物原料稀酸水解理论基础	(55)
第一节 多糖苷键断裂的机理	(55)
第二节 水解反应的基本动力学特性及影响水解速度的因素	(58)
一、水解反应的基本动力学特性	(58)
二、影响多糖水解速度的因素	(61)
第三节 半纤维素的水解特性与动力学	(69)
一、半纤维素的水解特性	(69)
二、半纤维素水解动力学	(74)
第四节 水解条件下单糖和糠醛的分解与动力学	(75)
一、水解条件下单糖的分解	(75)
二、水解条件下呋喃化物的转换	(77)
三、水解条件下单糖分解动力学	(78)
第五节 稀酸水解条件下木质素及提取物的转换	(80)

一、水解条件下木质素的转换	(80)
二、酸水解条件下提取物的转换	(83)
第六节 固定法水解条件下单糖得率	(84)
第七节 渗滤法水解的单糖得率	(86)
第八节 宏观动力学因素对单糖得率的影响	(87)
一、扩散过程	(88)
二、流体动力学因素	(89)
三、水解液比	(91)
第四章 发酵培养液的预处理	(93)
第一节 水解液的化学组成	(93)
第二节 水解液的转化	(97)
第三节 水解液的中和	(99)
一、石灰乳的制备	(99)
二、中和过程的工艺参数	(100)
第四节 无机营养盐添加	(103)
第五节 中和液的净化和冷却	(103)
一、中和液沉淀澄清	(103)
二、中和液真空冷却	(104)
三、中和液气吹与冷沉淀	(105)
四、培养液的絮凝净化	(106)
第五章 饲料酵母生产	(108)
第一节 概述	(108)
第二节 饲料酵母生产的原料	(110)
一、林业和农业生产废料	(110)
二、工业生产中含多糖类的废液、废渣	(110)
三、制糖工业的副产物——糖蜜	(111)
四、含淀粉和糖类的野生植物和浆果	(112)
第三节 饲料酵母生产的菌种及其扩大培养	(112)
一、饲料酵母生产常用的菌种	(113)
二、菌种的扩大培养	(113)
第四节 饲料酵母生产中最佳条件的选择	(114)
一、温度	(115)
二、酸度	(115)
三、糖液浓度	(116)
四、接种量	(117)
五、氧的供给	(117)
六、营养盐	(118)
第五节 饲料酵母生产工艺	(118)
一、营养盐的制备	(119)
二、培养液的预处理	(119)
三、酵母繁殖工艺与设备	(121)
四、浓缩、分离和干燥与设备	(129)

五、饲料酵母产品质量标准与主要技术经济指标	(133)
六、饲料酵母生产的工艺流程	(134)
第六章 酒精生产	(137)
第一节 水解酒精生产常用的酵母菌种	(137)
第二节 酒精发酵生物化学	(138)
第三节 酒精发酵的工艺流程	(140)
一、木材水解糖液酒精发酵的特征	(140)
二、木材水解糖液酒精发酵的适宜条件	(140)
三、酒精发酵的现象与特征	(142)
四、酒精发酵工艺计算	(143)
五、酒精发酵工艺流程	(144)
第四节 酒精精馏浓缩和净化除杂质	(145)
一、蒸发系数 K 及醪液中的杂质	(145)
二、精馏系数 K' 及杂质分类	(146)
三、醪液蒸馏和酒精精馏工艺流程	(147)
第五节 工业酒精的特性	(150)
第六节 燃料酒精的制备	(150)
第七节 制备液体和固体二氧化碳	(152)
第七章 糠醛生产	(154)
第一节 糠醛生产的基本原理	(154)
一、原料种类和特征	(154)
二、糠醛生产的催化剂	(155)
三、形成糠醛的反应动力学	(155)
四、影响糠醛得率的因素	(158)
第二节 糠醛生产的蒸煮工艺	(159)
一、一段水解	(160)
二、二段法水解	(166)
三、其它获得含醛冷凝液的途径	(168)
第三节 糠醛的蒸馏与净化	(169)
一、糠醛蒸馏的基本原理、工艺流程和条件	(169)
二、粗糠醛的精制	(174)
三、糠醛生产中热能和副产物的回收	(177)
四、典型糠醛蒸馏与精制的工艺评述	(185)
第四节 糠醛的主要性质和用途	(192)
一、糠醛的物理化学性质	(192)
二、糠醛的一般用途	(197)
第五节 糠醛加氢产品及其用途	(198)
一、糠醇生产和用途	(199)
二、四氢糠醇生产和用途	(205)
三、其它产品	(205)
第六节 糠醛和糠醇等产品的质量指标	(206)
一、糠醛质量指标	(206)

二、糠醇质量指标	(206)
三、其它产品质量指标	(207)
第七节 合成聚合物的制备	(207)
一、糠醛合成树脂的生产工艺	(208)
二、糠醇合成树脂的生产工艺	(209)
三、四氢呋喃合成树脂的生产工艺	(210)
第八章 木糖醇生产	(211)
第一节 含聚戊糖原料的预处理	(211)
第二节 半纤维素的水解工艺	(212)
第三节 戊糖水解液的化学组成	(212)
第四节 戊糖水解液氢化前预处理	(214)
一、水解液的转化	(214)
二、水解液的中和和脱色	(215)
三、中和液真空蒸发	(215)
四、中和液的离子交换净化	(216)
第五节 木糖加氢	(217)
第六节 木糖醇溶液的净化与浓缩	(219)
第七节 木糖醇结晶	(220)
第八节 木糖醇的特性	(222)
第九节 木糖醇的主要用途	(222)
第十节 制取脱水木糖醇	(223)
第九章 糖饲料工艺	(224)
第一节 植物糖饲料添加剂的制备	(225)
一、小液比酸水解	(225)
二、二段水解制备植物-糖饲料添加剂	(226)
三、植物糖-蛋白饲料	(227)
四、植物-无机饲料添加剂	(228)
五、自动水解	(229)
第二节 饲料糖生产工艺	(230)
第十章 原料综合利用和生态学最佳工艺	(232)
第一节 各种专业生产中不同原料的产品得率	(232)
第二节 工业木质素的利用	(233)
一、工业木质素的特性和预加工方法	(233)
二、工业木质素作为能源	(233)
三、木质素炭化方法	(234)
四、硝酸氧化木质素	(235)
第三节 废料的加工	(235)
第四节 酵母生产中废培养液的利用	(236)
第五节 污水的净化	(237)
一、水的净化方法	(237)
二、两段生物净化废水流程	(238)
主要参考文献	(241)

绪 论

近年来,由于矿物有机原料贮量的不断减少,引起了全世界对植物原料化学与生物技术加工的极大关注。植物原料主要来自于林业和农业生产的植物废料。植物原料与矿物有机原料不同,它是一种再生植物资源,是取之不尽用之不绝的。据统计,地球每年约形成2000亿t含纤维的植物原料。下个世纪,主要的有机原料将是木材、农业植物和煤炭,而其中首要的将是植物资源。

据初步判断,世界已查明的石油贮量相当于地球上木材的蓄积量。而石油资源会逐渐地枯竭,可木材的蓄积量却可因更新而增加。所以可以预测,将会从石油工业生产过渡到化学与生物化学加工木材与其它植物原料的生产。

水解工业是微生物工业的组成部分,也是现代生物工艺学的一个分支。它是基于对木质化生物质多糖苷键的水解分解作用,使多糖转换成单糖,再将这些单糖进行化学或生物化学的加工,把单糖转变成饲料、酒精、糠醛及其衍生物、木糖与木糖醇,以及其它工业和民用的各种产品。所以植物原料水解工业是最有发展前途的化学与生物化学加工工业之一。

植物原料水解的研究工作起始于19世纪初期,而应用于工业生产却是本世纪之初。

早在1819年法国化学家布拉克诺曾用91.5%的硫酸水解过亚麻布和木材。1832年首先公布德国人德博涅尔在利用硫酸作用于糖和淀粉制取甲酸时,意外地发现了糠醛,而后在1840年司梯恩豪兹首先从木屑和农业植物秸秆中制取出糠醛。1844年佩因首先在加压釜中进行木材稀硫酸水解实验。1855年伯路兹和阿鲁努在法国提出利用浓硫酸在常温下水解木材制取酒精,这为同年在法国巴黎建设的水解装置打下了技术基础。同年米尔森在布鲁塞尔提出用2.5%的硫酸在100~170℃水解粉碎后的木材制取葡萄糖和酒精,1887年俄国化学家契尔文斯基提出用0.5%~1%的 H_2SO_4 和HCl以木屑制造饲料用糖。1891年彼尔特兰和费舍尔利用钠汞齐还原D-和L-木糖,合成出了木糖醇。

1894年瑞典化学家希姆逊正式提出一段木材水解过程:水解时间25min,硫酸浓度0.5%,温度165~170℃,液比5,单糖得率达木材重量的22%~23%,硫酸耗量2.5%~3%,这种方法在中间试验室的装置中,乙醇得率为50~60L/t绝干木材。

1899年克拉辛教授在德国提出过浓硫酸水解木材的方法,依据该法在德国、英国和美国建立过水解酒精厂,这些工厂以后由于技术问题,不久就关闭了。

1922年美国开始掌握糠醛生产技术,加工燕麦生产出第一吨商品糠醛。

1926年法国化学家彼尔梯尔斯在黑格兰(瑞典)参与下提出木材浓盐酸水解工艺,按着该工艺建设了工厂,1933年投产,年产饲料糖6000~8000t,该厂从1934年起生产葡萄糖和酒精,从1939年改产食用酵母。

1926年德国化学家肖勒尔提出渗滤水解工艺,稀酸溶液从反应的物料中滤出并带出形成的糖,1931年第一个渗滤水解厂投产,至1934年该厂已生产出6000t糖。并加工成250万L酒精。后在1936和1937年又相继有两个厂投产,总生产能力达85000L/年。

原苏联1934年开始建设列宁格勒水解厂，1935年12月进行试验性运转。该厂试车时采用一段水解工艺。温度175~190℃，硫酸浓度0.5%~0.7%，水解器容积18m³，内衬耐酸砖。在1945年提出《列宁格勒渗滤水解规程》。两次世界大战期间曾组织生产食用纤维素和食用酵母，以其产品供作黑面包和食用蛋白酵母的添加剂(10%~15%)。

建国前，我国除天津在1932年有一个每天生产几升糠醛(以棉籽壳为原料)的小试验车间外，水解工业是个空白。

原苏联是主要的木材水解生产国家，有46个水解厂在运转。其中有37个企业属于医药和微生物工业部，9个企业和车间归其它部门领导。按专业分，18个工厂生产酒精、酵母；16个企业生产酵母，并有12个企业生产糠醛、木糖和酵母。从其水解产品总产值看，饲料酵母约占50%，其它商品如酒精占15%，预混饲料(Premix)、糠醛和呋喃化物占10%，木糖醇和脱水木糖醇占2%，其它产品占10%。

其它国家如美国水解工业主要生产糠醛及其衍生物。其产量在世界上占主导地位。

我国在建国后开始发展水解工业，现有木材水解酒精-酵母厂一座。糠醛总生产能力5万余t(100余家小型企业)，是世界上一个糠醛出口大国。目前正在兴建糠醛衍生物的生产工厂，不久即将形成一定的生产能力。此外也有五个生产木糖醇的生产车间，其产品主要是出口。

从生产工艺看，我国酒精-酵母厂采用的是原苏联渗滤水解工艺，水解器容积18m³。至于糠醛生产工艺，都是采用汽相水解法(一段水解)。

我国糠醛生产虽具有一定的生产能力，但生产规模小，企业管理不善，尚缺乏具有一定水平的工程技术人员。

现代微生物工业生产出的饲料添加剂复合体，能提高家畜饲料的营养价值，生产饲料酵母和蛋白-维生素浓缩物、饲料水解糖、氨基酸、酵素、维生素、食用抗生素和其它产品。

有些资本主义国家也在致力于水解和生物工艺的研究。由于迫切的能源问题，企图从木材和植物农业废料制取酒精为内燃机提供燃料。美国、瑞典、巴西、新西兰和其它国家在这方面均已取得一定的成就。水解生产的发展要决定于市场上石油和非石油产品的价格。

随着矿物原料贮量日益减少，会引起世界对水解工业的发展进一步认识。

我国地少人多，虽然有尚未开发的丰富的矿物原料，但终究是日趋减少。为满足四化建设的需要和提高人民生活水平，势必把一定力量投向水解工业。

第一章 水解工业的原料

第一节 水解工业原料的种类

森林采伐、木材加工、农作物加工的植物废料、野生植物以及纤维性生活垃圾等都可以作为水解工业的原料。

水解厂所在地区内原料的密集程度和原料的工艺性质都是选用原料的原则。因为这些因素决定着原料的成本。据测算，木屑和葵花籽壳是最便宜的水解原料，如果把葵花籽壳的价格作为1，而木片则为5，玉米芯为4.2。

产地原料的密集程度决定着原料的运输费用，也在很大程度上决定着水解厂的生产能力。

原料的工艺性质，如原料的化学组成、多糖水解性能、过滤性能和散重等都是影响水解规程的确定、产品的得率、设备的生产能力和企业经济效益的重要因素。

森林采伐时可得到15%~25%的树枝、伐根、树皮和其他剩余物。在一个森林采伐区里这些物质分布的密集程度取决于森林采伐量。有时由于运输困难，难以送到工业生产上利用，在清理林场时被烧掉。

采伐的树木大部分被送到制材厂，制材可得到60%~65%的锯材，10%~12%软废料(锯末)和20%硬废料(树皮、板条和刨花)。这些废料中一部分作为锅炉燃料，或者供居民日常生活使用。在现代化企业中，应尽力地作为工业原料加以利用，以提高其利用率。如作为水解生产的原料，或者作纸板、纤维板生产的原料，以及其他生产的原料。

浸提松香生产和栲胶生产的废渣同样可以作为水解生产的原料。阔叶薪材也可作为水解生产的原料。

农作物加工的植物废料，如棉籽壳、玉米芯、葵花籽壳、稻壳、黍壳、麻屑、稻麦草等都可作为水解生产的原料。此外，芦苇也是很好的水解生产原料，但其价格较高，在经济上不够合理。

分解程度较低的泥煤也可作为水解生产的原料。

第二节 各种原料化学组成的特点

用水解方法进行植物原料的化学加工时，首先就要注意到原料中多糖组分的含量和种类，并由此把原料分成两类：针叶材和以阔叶材为代表的含聚戊糖的原料。含聚戊糖原料除阔叶材外，还含有阔叶木材机械加工废料、栲胶生产的废料、农产品加工的植物废料和分解程度低的泥煤等。

含聚戊糖原料中聚戊糖含量要比针叶材中的含量高。并且这些原料中的半纤维素多糖成分的化学结构和组成是多种多样的。针叶材中的半纤维素基本上是由半乳糖葡萄糖甘露聚糖

和阿拉伯糖葡萄糖醛酸木聚糖组成的；而阔叶材中的半纤维素则基本上是由葡萄糖醛酸木聚糖组成的。阔叶材半纤维素中的阿拉伯半乳聚糖的含量也与针叶材的不同(见表 1—1, 图 1—1)。

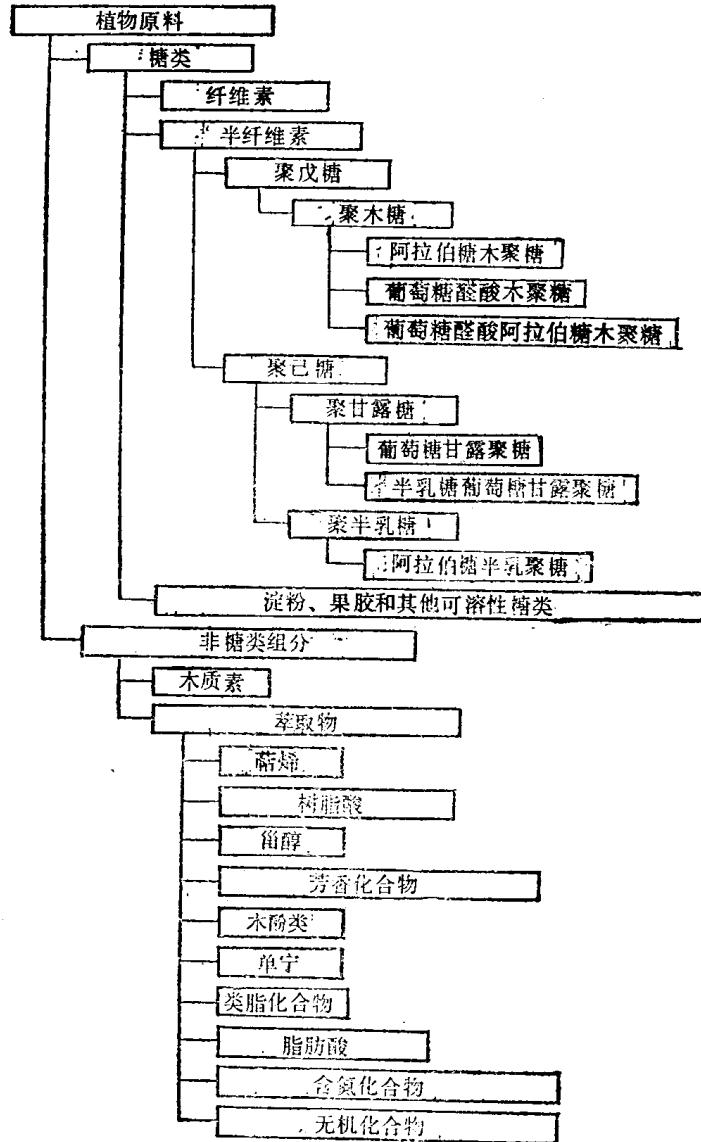


图 1—1 植物原料基本组成

表 1—1 中列出了各种去皮木材试样的化学组成。以糖类的总含量计，针叶材与阔叶材的含量几乎是相等的，其水解单糖的理论得率为绝干原料量的 66%~72%。

在水解生产中，各种产品的得率取决于水解液中单糖的组成。

从图 1—2 中可以看出：水解-酵母厂可以选用任何种类的原料，因为酵母菌既能利用水解液中的己糖，又能利用其中的戊糖。而在水解酒精厂，要优先选用针叶材，这样才能保证酵母酒精发酵取得高产率的酒精。糠醛和木糖醇是由聚戊糖得到的，所以对生产这些产品的工厂要选用含聚戊糖原料。

表 1—1 各种木材原料对绝干物的化学组成

组 成	对绝干物质含量(%)					
	云 杉	松 木	冷 杉	落 叶 松	白 桦	山 杨
多 聚 糖						
易 水 解	17.3	17.8	14.9	27.2	26.5	20.3
难 水 解	48.0	47.7	44.2	39.0	39.4	44.0
总 计	65.3	65.5	59.1	66.2	65.9	64.3
聚 戊 糖(无糖醛酸)	5.1	6.0	5.2	7.8	22.1	16.3
己 糖	58.7	59.3	52.5	57.7	40.3	45.4
纤 维 素	46.1	44.1	41.2	34.5	35.4	41.8
木 质 素(无灰)	28.1	24.7	29.9	26.1	19.7	21.8
糖 醛 酸	4.1	4.0	3.6	3.9	5.7	8.0
乙 酰 基	1.3	2.2	0.8	1.4	5.8	5.6
灰 分	0.3	0.2	0.5	0.1	0.1	0.3
树 脂(乙醚萃取)	0.9	1.8	0.7	1.1	0.9	2.8
易水解多糖水解液中的单糖						
半 乳 糖	1.0	2.0	0.8	16.7	1.3	0.8
葡 萄 糖	2.0	2.8	2.9	1.0	1.9	1.7
甘 露 糖	9.6	9.6	6.9	4.5	1.2	0.8
木 糖	4.1	3.9	3.1	4.2	20.7	16.7
阿 拉 伯 糖	0.8	1.5	1.5	3.6	0.9	0.7
难水解多糖水解液中的单糖						
葡 萄 糖	51.2	49.0	45.8	36.3	30.3	46.4
木 糖	0.9	1.4	1.3	1.0	3.5	1.1
甘 露 糖	1.3	2.5	2.0	2.3	1.0	0.7

在实际生产中，木材水解原料中常含有大量的树皮，由于树皮中糖含量低，使原料中总糖量降低(见表 1—2)，且使原料过滤性能变差，导致单糖得率降低，水解液的质量下降。为此，对原料中树皮的含量要加以限制。

工业木片和木屑中的多糖总含量为 55%~65%，其产品得率低于相应的去皮木材，经过处理后其多糖含量不应低于 60%。

水解厂加工的大部分阔叶材都包括不同程度的腐朽木。桦木腐朽量为 3%~4%，杨木约为 10%~15%。多糖的含量随着木材腐朽降解程度的增加而降低。如桦木腐朽量从 4.2% 增加到 22.4% 时，聚戊糖含量从 22.4% 下降到 19%，而多糖含量也从 64% 下降到 58.9%。当水解这样腐朽的木材时，不仅 RS(可还原物，Reducing Substance)得率下降，而且水解液中非碳水化合物还原性物质的含量也会增加。

从工艺的角度看，含聚戊糖或聚木糖原料的主要特点是能够得到高得率的食用木糖醇或糠醛。用于生产木糖醇和糠醛的含聚戊糖原料最多的是玉米芯、棉籽壳、燕麦壳(见表 1—3)

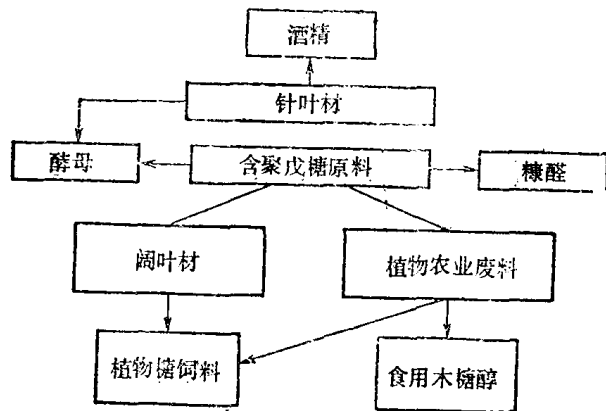


图 1—2 各种原料可生产出的基本产品

表 1—2 树皮的化学组成

组 分	对绝干物质的含量(%)		组 分	对绝干物质的含量(%)	
	云杉树皮	山杨树皮		云杉树皮	山杨树皮
多 糖			易水解多糖水解液的组成		
易水解多糖	19.4	24.3	己 糖	19.8	9.7
难水解多糖	21.4	21.6	戊 糖	7.6	16.4
总 计	40.8	45.9	难水解多糖水解液的组成		
糖 醛 酸	10.4	14.5	己 糖	19.9	18.1
乙 酰 基	1.0	3.8	戊 糖	0.5	2.0
树 脂	10.7	7.5	总 计	47.3	46.2
(乙醇萃取)					
灰 分	2.1	4.6			

表 1—3 农业生产主要植物废料的化学组成(对绝干料%)

	玉米芯	棉籽壳	葵花籽壳	燕麦壳	稻 壳	棉 秆	麦 秆
纤维素	31.5	31.4	22.6	28.9	27.9	40.8	38.2
聚戊糖	34.8	21.4	18.4	33.6	17.1	13.6	23.6
聚糖醛酸	7.4	7.7	10.1	5.4	4.4	9.7	4.6
易水解多糖单糖得率	37.9	24.9	19.7	34.7	18.1	20.6	20.5
D-半乳糖	2.1	0.8	0.9	1.3	1.0	2.0	0.8
D-葡萄糖	3.4	1.6	0.8	1.1	3.5	3.1	1.1
D-甘露糖	—	微量	0.5	—	—	0.1	0.5
L-阿拉伯糖	3.8	0.8	4.2	3.2	2.0	1.2	1.6
D-木糖	31.2	20.6	13.2	32.8	13.7	11.3	13.3
L-鼠李糖	—	0.4	0.5	—	—	—	—
难水解多糖单糖得率	33.4	34.2	25.1	28.6	29.1	38.3	37.4
D-葡萄糖	34.9	34.9	25.1	32.2	31.0	40.0	35.0
D-木糖	2.6	1.8	2.4	微量	1.9	2.5	3.1
D-甘露糖	—	0.9	0.4	—	—	—	—
完全水解时RS得率	79.3	65.8	49.8	70.4	52.4	60.2	64.6
木 质 素	15.2	30.6	29.1	17.2	19.0	25.6	25.1
灰 分	1.1	2.5	2.1	7.7	18.0	3.5	5.2

和甘蔗渣。美国和其他一些国家主要是用燕麦壳和甘蔗渣。

农业生产的植物废料长期贮存时,会由于腐朽而降低碳水化合物组分的含量。其中,玉米芯聚戊糖的损失量可达25%,会使木糖醇生产的戊糖水溶液的质量下降。为得到高质量的水溶液,就必须选用多糖含量在65%~68%以上的原料才可。

对于水解生产,除了考虑原料中的总灰分之外,还要考虑活性灰分的含量。活性灰分通常与无机组分相作用而消耗的硫酸量来表示。葵花籽壳的总灰分含量为3.7%,活性灰分为2.7%;玉米芯分别为3%和1.3%;木材的灰分通常为0.2%~0.5%。因此水解木材时,硫酸的附加消耗量比水解农业生产植物废料少1/2到2/3。水解木材时,中和灰分附加硫酸耗量对每吨绝干原料为5~12kg;水解玉米芯时为24kg;而水解葵花籽壳则为44kg。

除了上述提到的含聚戊糖原料之外,可供木糖醇及糠醛生产用的原料还有高粱秆、蓖麻秆、龙须草、油茶壳、甘蔗渣、甘蔗髓等。

第三节 原料的工艺性质

不仅原料的化学组成影响到水解过程的速度，中间产物和最终产品的组成，而且原料的物理结构、密度、颗粒组成，以及其它工艺性质也都会对其有影响。

原料的质量和数量基本指标。木材的密度决定于单位体积内木材的质量，即密度-木材的容积质量：

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中： ρ ——密度；

m ——质量；

V ——木材的体积。

对木材原料常用到重度或容重。

木材的密度(无孔隙)实际上与原料的树种无关。平均为 1540kg/m^3 (纤维素密度为 1580kg/m^3 ，木质素为 $1380\sim 1410\text{kg/m}^3$)。

细胞壁的密度因树种的不同而异。这是由于细胞壁上的小纹孔大小不一，其中，松树细胞壁中的小纹孔体积占6%， $\rho = 1290\text{kg/m}^3$ ；杨树的小纹孔体积占6%， $\rho = 980\text{kg/m}^3$ 。各种树种细胞壁的平均密度介于 $980\sim 1320\text{kg/m}^3$ 之间。

天然木材密度大小与自身孔隙体积有关，孔隙体积一般达木材体积的40%~77%。不同树种木材的孔隙度不同。绝干天然木材的密度介于 $350\sim 700\text{kg/m}^3$ 之间。

湿木材的密度——在某一湿度下，木样的质量与其体积之比。湿木材密度的绝对值，低于绝干状态下相同树种木材的密度。这是因为湿木材的孔隙中局部或全部充满水分。由于木材在湿态下发生膨胀，低于湿态下单位体积中木材物质的数量小于干态。例如 1m^3 绝干状态的云杉为 430kg 木材物质，而在绝对湿度为40%时只有 389kg 。

木材含水率(湿度)通常以相对湿度和绝对湿度表示：

相对湿度(W_r)——木材试样的含水量与木材试样的质量之比，以%表示：

$$W_r = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-2)$$

式中： m_1 ——湿样的质量(g)；

m_2 ——试样干燥到恒定质量时的质量(g)。

绝对湿度(W_a)——木材试样含水量与绝干木材试样质量之比，以%表示：

$$W_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1-3)$$

在实际应用中，多是把木材湿度理解为相对湿度。相对湿度与绝对湿度的换算关系如下：

$$W_r = \frac{100W_a}{100 + W_a} \quad (1-4)$$

$$W_a = \frac{100W_r}{100 - W_r} \quad (1-5)$$

原木码垛存放时，原木之间是有空隙的。碎料，如木片、木屑或农产品加工的废料在堆放贮存时，其颗粒间同样也是有空隙的。对这样的料堆或料垛的几何体积以堆积 m^3 表示。原

料的堆积 m^3 可通过原料的实积系数 K_a 换算成其实积 m^3 。原料实积系数 K_a 表明在原料堆积的几何体积中实积原料量。木片的 K_a 平均值等于0.36。原料的实积 m^3 是确定原料数量的基本单位,原料资源的数量、企业的原料消耗数量、单位原料的产品得率等都是以该单位进行换算。

在实际生产中,以体积为单位计算原料的消耗量是不够精确的。水解锅进行间歇操作时要分批检测装入水解锅的原料的数量,以便计算产品得率,以绝干原料的重量%表示。

堆积密度(堆积质量) ρ_b ——单位碎料几何体积内原料的质量:

$$\rho_b = m_w / V_b \quad (1-6)$$

式中: m_w ——湿度为 W 的原料质量(kg);

V_b ——原料的体积(料堆体积)(m^3)。

原料的湿度提高时,其堆积密度也随之增加。

原料比容(m^3/kg)——质量为1kg的原料所占有的体积。

装锅密度——在 $1m^3$ 的水解锅有效容积中,装入的绝干原料质量(kg)。

原料的密度不仅影响装水解锅中的原料量,也影响木材物理-机械性质。纤维横向抗压强度对于水解生产有很大的影响,它决定渗滤水解时原料承受压力的程度和改变料层的流体阻力。当纤维横向压力从2MPa增加到8MPa时,发现各种木材原料的密度成正比例地增加到300~600kg/ m^3 。水解条件下木材物理结构的破坏程度取决于植物组织中纤维间的结合强度,解剖结构的均一性,以及水解条件。

下面分别介绍各种水解原料的主要特性。

木材原料:水解生产应用的木材原料有木材加工软废料(木屑、刨花等),工业木片和薪炭材等。原苏联水解厂应用工业木片的质量指标,见表1-4。

实际生产中工业木屑的平均颗粒度为1~5mm,其中含3%~10%的树皮。测定木屑的颗粒组成时,必须先把木屑干燥到气干状态,否则会使能通过1mm筛孔的颗粒组分含量大

表1-4 酵母和酒精-酵母水解厂木材原料质量指标

指 标	原 料		
	木 屑	木 片	木 屑
	原苏联国标 18320—78	原苏联国标 15815—83	枝芽材原苏联国标 13—735—83
树皮含量(%), 不大于	8.0	11.0	20
腐朽材含量(%)	5.0	2.5	5
无机杂质(%)	0.5	0.5	2
幼芽含量(针、阔混合原料中阔叶材含量)(%)	—	—	5
酒精专业厂, 不大于	20	30.0	30
酵母专业厂	达100	达100	达100
颗粒组成(%)			
30mm以上的, 不多于	5.0	5.0	5
5mm以下的, 不多于	—	5.0	—
1mm以下, 不多于	10.0	—	—
炭化颗粒、金属及其它夹杂物	不 允 许	存 在	在

大下降(平均减少 3/4)。小颗粒组分含量太多(>10%),使原料对流体的单位阻力增加,从而降低渗滤速度。

工业木屑换算成实积m³的精确度为0.1m³,其方法是按应用情况的不同乘以不同的木材实积系数:向用户卸载时为0.28;距离在5km以内的自动运输机转载时为0.30;距离在5~50km的汽车和火车运输时为0.32;距离在50~500km的运输时为0.36;500km以上的铁路运输时为0.38。该系数随运输过程中原料的座实程度而增加。

工业木片:水解生产所用木片削片机切削角为30°~60°。木片的外形尺寸力求是均一的,也就是说最好都有相同的长度和厚度。事实上,生产中木片沿纤维方向的长度为5~35mm(适宜的规格为20mm),厚度不大于5mm,其宽度不作规定。

原料中树皮的实际含量达15%~20%,腐朽料达15%~18%,不合格的木片高达20%。

木片从堆积体积换算成实积体积的木材实积系数取决于木片的装载方法、运输方法和运输距离等因素。利用机械设备卸载时为0.36;50km内用自动运输机转运时为0.40;50km以上用自动运输机传运时为0.42;铁路运输距离200km以内,201~650km和650km以上时相应系数为0.38、0.39和0.41。气力运输木片时:铁路转运200km以内之后和供给需方之前,可达0.41;经200km以上的转运之后可达0.43。

其他形式的木材原料,按其几何体积换算成实积m³的实积木材系数(K_a)如下:劈材堆中的大块板皮为0.53;交叉楞中的板皮为0.38;板条为0.38;截头为0.60;成堆刨花为0.20。

利用系数K_a,通过下式把原料的体积换算成实积m³:

$$V_a = K_a \cdot V_b \quad (1-7)$$

式中:V_b——原料堆积体积(木屑或木片在仓库中、料斗中、车箱或其它运输工具中的几何体积)(m³)。

原料的堆积密度是一项重要的工艺特性,它决定着水解锅中原料的装入量。当使木片与木屑混合且木片量接近60%时,可达到最高的原料堆积密度。表1-5介绍了多种木材原

表1-5 各种木材和树皮的密度

材 种	木材的密度(kg/m ³)			堆积密度 ρ _a (kg/m ³)	树皮密度 ρ ₁₂ (kg/m ³)
	ρ ₀	ρ ₁₂	ρ ₀		
西伯利亚冷杉	300	380	310	130	470
云 杉	450	480	380	140	310
红 松	510	540	430	148	370
西伯利亚落叶松	600	630	500	190	380
白 桦	620	650	510	160	770
山 杨	450	485	390	140	590
欧洲山毛榉	640	670	525	190	920
栎 树	660	700	560	250	480

料,当木屑与木片的比例为1:1时,在不同的湿度下的木材密度(ρ₀——湿度为0时的木材密度,ρ₁₂——湿度为12%时的木材密度,ρ₀——相对密度,即在单位体积中最大润胀了的或新采伐的木材体积中在绝干状态下所含质量)、堆积密度和湿度为12%时,树皮的密度。

所用原料的含水率是有限制的。许多因素会影响到原料的含水率,如运输和贮存的条