

纤维素类生物质废弃物水解方法的研究进展

杨 洋 张玉苍 何连芳 孙岩峰

(大连工业大学 资源开发利用研究所,辽宁 大连 116034)

摘要: 纤维素是一种地球上含量最丰富的可再生资源,经预处理、水解、发酵后可生产燃料乙醇。因此,纤维素水解制备糖是纤维素转化工程中关键步骤,而水解技术主要包括酸水解和酶水解两大类。对这两大类水解工艺的优缺点进行了分析和比较,指出了废弃纤维素类生物质水解的研究方向。

关键词: 燃料乙醇; 废弃纤维素; 生物质; 酸水解; 酶水解

中图分类号: TS262.2; Q556; TQ353.6

文献标识码: B 文章编号: 1001-9286(2009)10-0082-05

Research Progress in Hydrolysis Methods of Waste Cellulose Biomass

YANG Yang, ZHANG Yu-cang, HE Lian-fang and SUN Yan-feng

(Resource Development & Utilization Research Institute, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

Abstract: Cellulose is a rich renewable biomass on the earth. After pretreatment, hydrolysis and fermentation, it could be used for fuel-ethanol production. Accordingly, the key to the conversion of celluloses to bioethanol was the preparation of fermentable sugar effectively by the hydrolysis of cellulose. The main hydrolysis techniques included acid hydrolysis and enzymatic hydrolysis. In this paper, the advantages and the disadvantages of the two hydrolysis techniques were analyzed and compared. Besides, the research direction of the hydrolysis of waste cellulose biomass was put forward.

Key words: fuel ethanol; waste cellulose; biomass; acid hydrolysis; enzymatic hydrolysis

随着世界工业化的发展,人口的迅猛增加和人民生活水平的不断提高,能源的需求量也急剧增加,能源的短缺问题日益加剧。石油能源作为主要的能源供给,大量的消耗必将导致快速的枯竭。因此,寻找可再生性的替代能源,已经成为维持人类社会可持续发展的紧迫任务。

我国可开发的纤维素资源约有 6 亿 t, 其中 50% 来自农作物(稻草、麦秸秆、玉米秆等)。而农业废弃物秸秆、草和木屑等都属于纤维素类生物质废弃物^[1]。如果,把废弃纤维素作为生产燃料乙醇的原料,可以降低乙醇的生产成本。因此,以废弃纤维素降解发酵生产燃料乙醇是一个具有巨大潜力的新领域。

废弃纤维素发酵生产乙醇的技术主要包括预处理、水解、发酵三大步骤。而废弃纤维素转化为燃料乙醇的关键是寻找有效的途径将纤维素和半纤维素水解为葡萄糖和木糖等可溶性发酵糖。目前,废弃类纤维素水解的方法主要有化学酸水解和生物酶水解两种途径。本文主要对纤维素类生物质废弃物的水解方法进行分析, 以为纤维素酒精的商业化生产提供依据。

1 稀酸水解工艺

稀酸水解是溶液中的氢离子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,纤维素长链既在该处断裂,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。

按照废弃纤维素成分分离的顺序,可将稀酸水解分为一步法和两步法^[2]。一步法水解是比较传统的水解工艺,其方法是:将废弃类纤维素加到一定量的酸液(酸的质量分数为 1%~3%)中,在一定条件下直接进行水解处理。一步法的主要缺点是反应时间过长,水解过程中得到的单糖会进一步降解生成对发酵有害的物质。革新的两步法水解的主要原理是利用半纤维素和纤维素水解条件的不同进行水解,其方法是:第一步稀酸水解在较低的温度下进行,在此过程中,半纤维素非常容易被水解,得到木糖等五碳糖产物;第二步稀酸水解是在较高的温度下进行,把第一步酸水解中残留的固体(主要为微晶纤维素)进一步水解,水解产物主要为葡萄糖^[3]。

1.1 稀硫酸水解

袁振宏^[4]对稀硫酸水解芒草进行了研究。将原料按照不同的固液比、硫酸浓度放入锥形瓶中,在 121℃ 下进行高温水解,在不同时间内取样,测定葡萄糖、木糖含量。结果表明,葡萄糖含量随着酸浓度提高而升高,最高为

基金项目 辽宁省教育厅 2007 年度创新团队项目计划(2007T008) 2005 大连市第三批科技计划(2005E21SF146)。

收稿日期: 2009-08-05

作者简介 杨洋(1985-),女,硕士研究生。

通讯作者 张玉苍,教授,资源开发利用研究所所长,研究方向为生物质能源及天然产物资源化学。

2.16%, 提高酸浓度对降解纤维素有利; 木糖在稀酸条件下会随酸浓度提高而升高, 最高含量为 3.58%, 但酸度达一定值后, 如 3% 时, 木糖会随酸浓度提高而含量降低; 芒草水解的主要产物是木糖, 木糖占总糖含量的 79%。

伯永科等^[5]以脱脂棉、滤纸模拟生物质的主要组分之一纤维素作为原料进行稀硫酸水解实验, 选择稀硫酸浓度为 0.8%~9%, 反应温度为 160~180 °C, 反应时间在 60~90 min 之间, 用离心法进行固液分离。最后确定稀硫酸浓度为 4%, 反应时间 80 min, 反应温度 170 °C 条件下得到的还原糖含量最高可达 25%。

Target 等^[6]对草类纤维素的硫酸水解进行了研究。以 0.5% (v/v) 的硫酸在 140 °C 下处理 1 h, 可将 92% 的半纤维素水解, 预处理后原料中 75% 的纤维素可被酶水解。用 0.45% (v/v) 的硫酸于 160 °C 处理杨木 5~10 min, 可将 90% 以上的半纤维素水解, 预处理后原料中纤维素酶水解率可达到 90% 以上。

Nguyen 等^[7]研究了稀硫酸法水解软木。以冷杉和松木为原料, 水解器采用蒸汽爆破反应器。先将原料用 0.4%~0.7% 的稀硫酸浸泡 4 h, 然后放入反应器。在水解温度为 190 °C、硫酸浓度 0.7% 和反应时间为 3 min 的条件下进行第一步水解反应, 水解后用过滤法进行固液分离, 把剩余的固体进行第二步水解。第二步水解温度为 215 °C, 硫酸浓度为 0.4%, 反应时间同样为 3 min。经过两步水解后原料中半纤维素和纤维素的转化率分别为 83.9% 和 50.1%, 总糖产量最高可达到 39.2 g/100 g 原料。

付泽鹏等^[8]为了降低水解液中抑制剂的浓度, 对纤维素的稀酸低温水解进行了研究。将粉碎后的原料, 加入一定体积和浓度的 NaOH 溶液, 室温浸泡进行预处理。第一步水解的条件为: 温度 135 °C, 反应时间 2 h, 硫酸 1.5%; 第二步水解的条件为: 温度 135 °C, 反应时间 2 h, 硫酸 3%。嗜鞣管囊酵母对软木水解液进行乙醇发酵, 仅 24 h, 乙醇产量就达到 14.24 g/L, 乙醇产率达到 0.41 g/g, 相当于最大理论产率的 89.4%, 乙醇生成能力达 0.59 g/L·h。

1.2 稀盐酸水解

Herrera 等^[9]研究了纤维素的稀盐酸水解工艺, 酸浓度为 2%~6%, 反应温度为 100 °C。当盐酸浓度为 2%、4% 和 6%, 反应时间为 5 h、5 h、3 h 时, 木糖的最大得率分别为 17.3 g/L、19.9 g/L 和 19.7 g/L; 木糖得率最大时葡萄糖得率分别为 3.8 g/L、5.1 g/L 和 5.3 g/L; 其中, 糖的降解物乙酸分别为 2.5 g/L、3.6 g/L 和 3.6 g/L, 糠醛分别为 1.0 g/L、1.1 g/L 和 1.7 g/L。由此可知, 盐酸浓度过大时, 木糖得率开始降解, 而葡萄糖得率随盐酸浓度的升高而增大, 同时糖的降解物乙酸和糠醛也随之增加。

杭志喜等^[10]研究了盐酸降解植物纤维素的最佳反应条件。盐酸质量分数在 5%~30% 之间, 在低质量分数

时, 转化率直线上升, 当质量分数大于 20% 以后, 转化率上升趋势变缓慢但不明显。温度选在 20~95 °C 之间, 盐酸降解纤维素时, 转化率随温度上升而上升, 在 95 °C 时转化率达到最大。反应时间在 0.5~2.5 h 之间, 在前 1 h, 转化率上升很快, 1.5 h 后, 转化率不再有明显提高。预处理后的试样在最佳条件下的转化率为 44.3%。

孙勇等^[11]对盐酸水解玉米秸秆木聚糖的动力学进行了研究, 探讨了不同温度下盐酸水解秸秆半纤维素生成木糖动力学和糠醛生成动力学模型。结果表明, 在质量分数为 2% 的盐酸水解玉米秸秆生成木糖的过程中, 木糖的生成速率远大于其进一步降解的速率, 同时 k_1 的值随着温度的升高而增大, 说明木糖生成速率随温度升高而增大。因此, 从动力学拟合结果看, 随着水解温度的升高以及水解时间的延长, 水解液中的木糖质量浓度随之增大, 与此同时, 木糖的降解速率也相应的增大。因此, 确定质量分数为 2% 的稀盐酸在 120 °C 水解 1 h 为最佳水解条件。其反应模型基于如下假设:

木聚糖 $\xrightarrow{k_1}$ 木糖 $\xrightarrow{k_2}$ 降解产物

其中, k_1 和 k_2 分别指木糖生成速率常数以及木糖分解速率常数, 1/min。

表 1 为木质纤维素两步水解条件和总糖产量^[12], 表 2 为木质纤维素中半纤维素水解的优化条件、木糖产量和木聚糖转化率^[12]。

表 1 木质纤维素两步水解条件和总糖产量^[12]

木质纤维素原料	两步水解条件	还原糖得率 (g/100 g 原料)
铁杉木屑	第一步: 190 °C, 100 s, 1.5 %	39.3
	第二步: 210 °C, 112 s, 2.6 %	
高原干草	第一步: 190 °C, 5 min, 0.5 %	22.4
	第二步: 230 °C, 10 min, 0.5 %	
木屑 (70% 冷杉, 30% 松木)	第一步: 180 °C, 4 min, 2.66 %	43.7
	第二步: 210 °C, 2 min, 2.5 %	
铁杉树皮	第一步: 190 °C, 150 s, 1.1 %	26.9
	第二步: 210 °C, 115 s, 2.5 %	
稻草	第一步: 201 °C, 10 min, 0.5 %	30.9
	第二步: 234 °C, 3 min, 0.5 %	

稀酸水解工艺需要较高的反应温度 (100~220 °C) 和压力, 对设备和能耗要求比较高, 而且水解得率较低, 一般在 50% 左右, 由于稀酸水解不具有选择性, 在高温高压的水解过程中还伴随着糖的进一步降解成糠醛、乙酰丙酸等对后续发酵有害的物质。总的来看, 稀酸水解主要是水解半纤维素, 要想达到水解纤维素的目的, 必须在高温下进行。然而, 稀酸法不仅可以破坏原料中纤维素的晶体结构, 使原料变得疏松; 而且可以有效地水解半纤维素, 节省半纤维素酶的使用, 从而使生物质原料得到充分利用。因此, 采用稀酸法作为酶水解的预处理工艺, 可以将酸水解和酶水解两者有机结合起来, 达到优势互补。

表2 木质纤维素中半纤维素水解的优化条件、木糖产量和木聚糖转化率^[12]

木质纤维素原料	水解条件	木糖产量 (g/100 g原料)	木聚糖 转化率 (%)
蔗渣	159 °C, 17 min, 0.44 %	22.95	90
蔗渣	120 °C, 55~65 min, 1 %	22.0	80
蔗渣	122 °C, 24 min, 2 %	21.6	92
稻草	121 °C, 27 min, 1 %	18.02	77
稻草	201 °C, 10 min, 0.5 %	16.64	81
高粱秆	122 °C, 71 min, 2 %	18.17	95

2 浓硫酸水解

杨斌等^[13]对浓酸水解蔗渣纤维素的动力学进行了研究,获得蔗渣的最佳水解参数为:硫酸浓度 70%、固液比 8%、蔗渣颗粒为 80 目、水解温度 50 °C,在此条件下,浓硫酸最高还原糖转化率为 90.74%。蔗渣经浓硫酸处理前纤维素为 36.2%、半纤维素为 24.3%、木素为 14.7%,经浓硫酸处理后纤维素、半纤维素、木素含量分别下降到 1.84%、2.32%、7.84%。

Farone 等^[14]提出的浓硫酸两步水解工艺是将去污后的木质纤维素干燥至含水 10%左右,并粉碎至 5 mm,将其与 70%~77%的硫酸混合,最佳液固比为 1.25:1(液体质量以纯硫酸为基准,w/w),先在温度 60~80 °C下水解,然后将硫酸浓度稀释到 20%~30%,并提高温度至 80~100 °C,进一步水解,该法可使糖的回收率达到 98%以上。

周兰兰等^[15]研究了木屑浓硫酸二步水解的工艺条件。通过实验反应,在酸固比为 2:1(纯酸质量与木屑质量之比)时,第一步混合过程温度 35 °C,反应时间为 120 min,硫酸初始浓度为 80%(w/w),第二步水浴过程将溶液酸浓度稀释至 30%,水浴温度为 95 °C,反应 45 min 时,单糖收率最佳可以达到 90%以上。

Iranmahboob 等^[16]以木屑作为原料进行浓硫酸水解实验。按液固比 5:2 加入一定量 80%的硫酸混合形成均相粘稠物,然后加水将硫酸浓度稀释至 20%~33%,并在沸水浴下加热 30 min,用过滤法进行液固分离,所得滤液加热 2 h,使低聚糖完全水解,葡萄糖的产率在 78%~82%。

陈慧清等^[17]以稻草为原料进行浓硫酸水解实验。采用正交实验探索出的最佳条件为:硫酸质量为 50%(m/m)、水解时间为 60 min、水浴温度为 50 °C、稻草粒径为 10~20 目、固液质量比为 1:9,此时糖的得率达 36%。

杨小寒等^[18]对玉米秸秆浓硫酸水解进行了初步研究。对于玉米秸秆,水解速率随温度升高而提高,但是单糖的降解速率也随之增大,单糖产率在 50 °C 时达到约 80%;水解速率随硫酸浓度提高而升高,单糖产率在硫酸浓度为 70%时最高。影响玉米秸秆浓硫酸水解的主要

因素是硫酸浓度和水解温度,固液比和颗粒尺寸对水解速度及单糖产率影响较小;在 50 °C、70%硫酸、5%固液比及 20~40 目粒径时,水解速率和单糖产率两项指标都较高。

浓硫酸水解工业化时间较早,工艺较成熟,糖的水解得率高,但浓硫酸水解时由于耗酸浓度大,需要回收加以重新利用。目前,硫酸回收或处理的方法主要有:链烷醇萃取、阴离子交换膜透析、石灰石中和、离子排斥色谱法、模拟移动床连续分离酸液和糖液等。浓硫酸的回收利用不但可以避免对环境带来的污染,而且可以有效地降低生产成本。

3 其他酸水解

陈建华等^[19]研究了小麦秸秆浓氢氟酸的水解。以不同浓度的氢氟酸,在常压下水解废弃纤维素。结果表明,浓氢氟酸水解小麦秸秆粉,水解速率随温度和氢氟酸浓度的提高而升高,还原糖得率在氢氟酸浓度为 30%时达到最大。影响小麦秸秆水解的主要因素是氢氟酸浓度、水解温度以及水解时间;在 70 °C、氢氟酸浓度为 30%、固液比为 1:20 的条件下水解 60 目小麦秸秆粉,还原糖得率达到 27.84%,原料水解率为 57.37%。

张利等^[20]对乙酸降解农作物秸秆进行了研究,探索在温和条件下乙酸浓度、催化剂浓度、反应时间及液固比各因素对乙酸降解小麦秸秆纤维素、半纤维素、木质素 3 组分的反应影响。其最适条件为:乙酸浓度为 900 g/L、催化剂浓度为 3 g/L、反应时间为 120 min、液固比为 12:1。水解完成后用抽滤法进行液固分离,回收乙酸后的降解液用稀释法进行半纤维素和木质素分离,固相部分经气提和洗涤,烘干后用于纤维素的测定。在此工艺条件下戊糖的最高得率为 40%。

Birnk^[21]等研究了稀硝酸水解木屑的工艺过程。将木屑与 0.1%~5.0%的硝酸混合,采用连续水解反应器,固体浓度 25%~40%,水解温度 210~220 °C,停留时间在 5 min 左右,可将原料中 90%的半纤维素和 75%的纤维素水解。

Carvalho^[22]等在利用稀磷酸水解液生产木糖醇的研究中,考察了磷酸浓度、水解温度、反应时间等影响因素,结果表明,当磷酸浓度为 7%、水解温度 160 °C、反应时间为 60 min、固液比 1:10(w/v)时,木聚糖转化率达到 82.8%。与硫酸水解相比,磷酸水解液的中和产物磷酸盐可直接作为微生物发酵的磷源营养物,不仅省去过滤操作(例如硫酸水解中硫酸钙的过滤去除),也可在一定程度上降低发酵工序成本^[12]。

4 酶水解

4.1 纤维素酶水解的机理

纤维素酶是降解纤维素生产葡萄糖的一组酶的总

称,它不是单成分酶,而是由多个起协同作用的酶所组成的多酶体系。包括葡聚糖内切酶、葡聚糖外切酶和 β -葡萄糖苷酶。纤维素酶对纤维素的降解次序至今并不明了,但被大部分研究者接受的是协同理论学说。该学说认为,当3个主要成分的活性比例适当时,就能协同作用并完成对纤维素的降解^[23]。目前,普遍接受的酶解机制的协同作用模型,见图1^[24]。

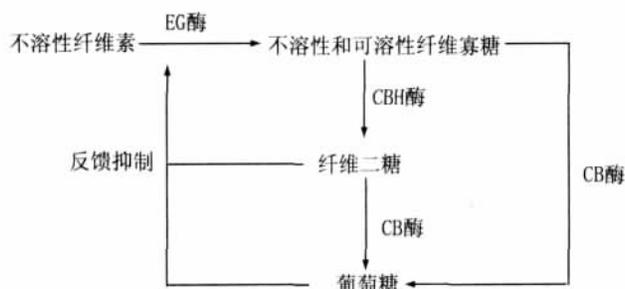


图1 协同作用模型

在纤维素水解过程中,首先由内切型 β -葡聚糖酶在纤维素的无定形区进行切割,产生新末端,生成较小的葡聚糖,然后再由外切型 β -葡聚糖酶作用于末端基释放出纤维二糖和其他更小分子的低聚糖,最后由 β -葡萄糖苷酶将纤维二糖分解为葡萄糖^[25]。

4.2 酶水解

刘斌等^[26]对纤维素酶水解稻草秸秆进行了研究。其采用自制的纤维素酶液,酶活力为10 U/mL。结果对稻草的酶解可选用3%盐酸溶胀,不进行蒸煮,直接加入纤维素酶液;当加酶量约30 U/g干稻草、最适反应pH 4.8、温度50℃左右、振荡条件下反应,此时稻草中的还原糖释放量达到最大值,还原糖得率约为0.5364 g/g干稻草,酶解得率为53.64%。

徐忠等^[27]对大豆秸秆酶水解的影响因素进行了研究。首先对粉碎后的大豆秸秆进行氨水处理,然后称取2.0 g试样,按25 U/g试样加入1.0 mL纤维素酶溶液和39 mL pH值为4.8、0.05 mol/L的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液,于50℃水浴振荡器内反应36 h,过滤,滤液经适当稀释后进行糖分分析。预处理后大豆秸秆的纤维素酶解最佳工艺条件为:加酶量为450 U/g(秸秆),pH 4.8,温度45℃,底物浓度5%,反应时间28 h,酶解糖得率为28.63%。

吕学斌等^[28]对玉米秸秆酶水解条件的优化进行了研究,采用响应曲面法对玉米秸秆酶水解反应进行了评价,从而确定玉米秸秆酶水解反应的优化条件为:底物中酶浓度57.5 FPU/g,底物质量浓度64.7 g/L,温度48℃,pH 4.8,反应时间49 h,在此条件下,每100 g底物还原糖产量为46.34 g。

全易等^[29]对小麦秸秆纤维素的酶水解进行了研究。结果表明,用经膨化预处理的小麦秸秆为原料,用纤维素

酶水解是可行的;经过试验得到了适宜的反应条件:酶/小麦秸秆=0.04、秸秆浓度为5%、反应时间3 d、在线控制pH 4.8,在此条件下,酶解率可达60.4%。

崔洪斌等^[30]对纤维素酶水解玉米芯进行了研究。得到纤维素酶作用的最佳条件:pH 4.5、温度35℃、酶添加量10 U/g玉米芯、底物浓度100 g/L。在该条件下纤维素酶水解玉米芯的葡萄糖收率为27.1%。

酶水解的特点是具有选择性,降解产物少,葡萄糖得率高,反应温度低于酸水解,能耗较低,不需使用大量的酸,因而避免了对酸进行中和处理和回收的步骤,不要求反应器具有高耐腐蚀性,被视为最有潜力降低从木质生物资源制取乙醇成本的突破口^[31]。

5 结语

5.1 酸水解中,稀酸水解所需时间短,酸用量少,一般不需对酸回收,但温度较高,高温下纤维素的水解往往伴有木糖、葡萄糖的降解,某些降解产物对糖液的发酵有害;浓酸水解可在常温、常压下进行,糖产率高,副产物少,然而,由于浓酸的腐蚀性强,采用浓酸水解必然对设备材质要求很高,另一方面,从经济性考虑浓酸必须进行回收,浓酸的分离和再浓缩增加了工艺的复杂程度。

5.2 酶水解反应条件温和,设备简单,能耗低,污染小,因此纤维素酶解条件的研究得到广泛的重视。从现有的研究水平看,酶水解是生化反应,与酸水解相比,它可在常压下进行,可减少能量的消耗,并且由于酶具有较高的选择性,可形成单一产物,产率较高。由于酶水解时基本上不必外加化学药品,且副产物少,所以提纯过程相对简单,也避免了污染。但是纤维素酶的成本高,生产过程中,酶用量大,导致纤维素酒精的价格无法与粮食酒精相竞争。

因此,利用纤维素类生物质废弃物发酵生产燃料乙醇的研究还要加强对以下技术的研究:①在化学法(酸水解)发酵生产乙醇方面,应着重研究解决如何减少酸的用量,高效、经济的回收酸,以及更好地解决酸解产物毒性的问题。②在生物法(酶水解)方面,酶的价格直接决定着废弃纤维素类生物质发酵生产燃料乙醇的成本,因而今后应着重研究以基因共存手段选育高产纤维素酶的菌种,以有效地降低酶的生产成本。③化学法(酸水解)与生物法(酶水解)能否有机地结合,也值得研究。如果能解决好这些问题,那么废弃纤维素原料生物转化乙醇必将产生更大的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 李阳,孙岩峰,张玉苍.木质纤维素类物质生产燃料乙醇预处理工艺的研究进展[J].世界农业,2008,43(5):48-49.
- [2] 徐明忠,庄新妹,袁振宏,等.木质纤维素类生物质稀酸水解技术研究进展[J].可再生能源,2008,26(3):43-47.
- [3] 河北海,林鹿,孙润仓,等.木质纤维素化学水解产生可发酵糖

- 研究[J].化学进展,2007,19(7/8):1141-1145.
- [4] 袁振宏,孔晓英,颜涌捷,等.芒草稀硫酸水解工艺条件的正交实验[J].太阳能学报,2006,27(6):631-634.
- [5] 伯永科,崔海信,蔡鸿昌,等.木质纤维素稀酸糖化研究初探[J].中国农业科技导报,2007,9(6):105-109.
- [6] Torget R, Werdene P, Himmel M, et al. Dilute acid pretreatment of Short rotation woody and herbaceous crops[J]. Appl Biochem Biotechnol, 1990, (24-25): 115-126.
- [7] Nguyen Q A, Tucker M P, Keller F A, et al. Dilute acid hydrolysis of softwoods (Scientific note)[J]. Appl Biochem Biotechnol, 1999, (77-79): 133-142.
- [8] 付泽鹏,田沈,黄晓宇,等.木质纤维素两步稀酸低温水解实验[J].太阳能学报,2007,28(9):967-970.
- [9] Herrera A, Tellez-Luis S J, Ramirez J A, et al. Production of xylose from sorghum straw using hydrochloric acid[J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37(3): 267-274.
- [10] 杭志喜,崔海丽.稀酸降解植物纤维素研究[J].安徽工程科技学院学报,2007,28(9):967-970.
- [11] 孙勇,张金平,杨刚,等.盐酸水解玉米秸秆木聚糖的动力学研究[J].化学工程,2007,35(10):49-52.
- [12] 张毅民,杨静,吕学斌,等.木质纤维素类生物质酸水解研究进展[J].世界科技研究与进展,2007,29(1):48-53.
- [13] 杨斌,高孔荣.浓酸水解蔗渣纤维素的动力学研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),1997,25(8):10-15.
- [14] Faorne W A, Cuzens J E. Method of producing sugars using strong acid hydrolysis of cellulosic and hemicellulosic Materials[P]. US 5562777, 1996-10-08.
- [15] 周兰兰,任铮伟,张素萍,等.木屑浓酸水解的工艺条件研究[J].太阳能学报,2007,28(4):385-388.
- [16] Iranmahboob J, Nadim F, Monemi S. Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed woodchips [J]. Biomass and Bioenergy, 2002, 22(5): 401-404.
- [17] 陈慧清,张卫,赵宗保,等.大米草浓酸水解及发酵生产生物燃料的初步研究[J].可再生能源,2007,25(3):16-20.
- [18] 杨小寒,黄爱玲,周美华.玉米秸秆浓酸水解的初步研究[J].中国资源综合利用,2003,(11):9-11.
- [19] 陈建华,王联结,马英辉.小麦秸秆浓氢氟酸水解的研究[J].黑龙江农业科学,2008,(2):93-95.
- [20] 张利,张清东,漆玉邦,等.乙酸降解农作物秸秆的研究[J].四川农业大学学报,2001,19(2):155-157.
- [21] Brink D L, Lynn S, Merriman M M. Method of treating biomass material [P]. W09967409, 1999-12-29.
- [22] Carvalho W, Batista M A, Canilha L, et al. Sugarcane bagasse hydrolysis with phosphoric and sulfuric acids and hydrolysate detoxification for xylitol production[J]. J Chem Technol Biotechnol, 2004, 79(11):1308-1312.
- [23] 张杰,张晓东,孟祥梅,等.纤维素酶研究进展[J].再生资源,2007,25(5):57-60.
- [24] 王超,章超梓.酶解纤维素类物质生产燃料酒精的研究进展[J].节能,2003,(12):6-9.
- [25] 王健,袁永俊,张弛松.纤维素发酵产酒精研究进展[J].中国酿造,2006,(6):9-13.
- [26] 刘斌,蔡敬民,吴克,等.纤维素酶对稻草秸秆水解的研究[J].中国饲料,2007,(5):33-41.
- [27] 徐忠,杨雪欣,汪群雪,等.大豆秸秆酶水解的影响因素的研究[J].中国粮油学报科技,2004,(3):51-53.
- [28] 吕学斌,张毅民,杨静,等.玉米秸秆酶水解条件的优化研究[J].化学工程,2008,36(2):59-62.
- [29] 全易,夏天喜,刘红.酶水解小麦秸秆纤维素研究[J].江苏工业学院学报,2003,15(1):4-6.
- [30] 崔洪斌,金滨锋,徐伟,等.纤维素酶水解玉米芯的研究[J].食品与机械,2004,20(3):9-10.
- [31] 罗鹏,刘忠.木质生物资源水解[J].林产化学与工业,2006,26(2):99-103.

(上接第81页)

2.4 配制工艺的优化

为综合考虑各因素对紫苏青梅配制酒效果的影响,设计了3因素3水平的正交试验。正交结果见表5。

通过正交试验分析,表5结果表明,影响紫苏青梅配制酒品质的因素主次顺序为:B>C>A,即加入酒中的糖浓度对紫苏青梅配制酒品质效果影响最大,其次为pH值,紫苏浸提液与青梅基酒的比值影响较小。紫苏青梅配制酒的最佳调配条件为B₃C₂A₁,即:加入35%的糖,在pH值为3的条件下按料液比1:3放置24h,紫苏青梅酒的调配效果最好。

3 结论

本研究选用调配的方法制作紫苏青梅酒,以感官评价作为评价指标,优化了紫苏青梅酒的调配条件。对紫苏青梅配制酒来说,影响最大的因素是加入的糖的浓度,然

后是pH值,影响最小的是紫苏浸提液与青梅基酒的比值,其调配的最佳工艺条件为:采用35%的糖溶液,按照1:3的料液比在pH值为3的条件下放置24h,紫苏青梅酒的口感、色泽都最佳。

参考文献:

- [1] 俞大丽,丘天.BIB创意在红酒包装及市场中的运用[J].包装工程,2007,(11):218-220.
- [2] 王圣开,董全.国内外果酒生产工艺的研究进展[J].中国食物与营养,2008,(1):38-39.
- [3] 于淑玲,王秀玲.药用紫苏的营养价值与综合利用的概述[J].食品科技,2006,(5):12-15.
- [4] 李伟光.青梅果酒的研制[J].酿酒科技,1999,(3):93-94.
- [5] 孙慧.营养型复制酒中的酒精度与总糖的测定[J].酿酒,1998,(1):44-45.
- [6] 张水华.食品分析[M].北京:中国轻工食品出版社,2007.