

螺杆挤压连续汽爆玉米秸秆的稀酸水解效果

黄秋婷, 张鹏^{*}, 张淑荣, 李果

(北京化工大学生命科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 对采用螺杆挤压连续汽爆方法处理的玉米秸秆进行酸水解, 探讨稀硫酸和稀盐酸在酸浓度、反应时间、反应温度及固液比等因素对经过处理的玉米秸秆水解效果的影响。结果表明: 在硫酸水解正交试验中, 影响水解过程的因素由主到次分别为: 原料类型、固液比、水解温度、酸浓度和水解时间。其优化条件为: 硫酸浓度 3%, 水解温度 110℃, 水解时间 60 min, 固液比 1:15, 此时 120℃下汽爆 10 min 的原料的水解效果最好, 还原糖得率可达 39.7%。在盐酸水解的正交试验中, 影响水解过程的因素由主到次分别为: 水解温度、原料类型、水解时间、酸浓度和固液比。在最优条件下, 即采用 120℃下汽爆 6 min 的原料, 在盐酸浓度为 3%, 水解温度 110℃, 水解时间 60 min, 固液比 1:20 的条件下进行水解, 还原糖得率为 42.0%。结果表明, 螺杆挤压连续汽爆方法能有效提高玉米秸秆在稀酸条件下的水解能力。

关键词: 螺杆挤压连续汽爆, 玉米秸秆, 糖化, 水解, 稀酸

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.035

中图分类号: TK6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0190-05

黄秋婷, 张鹏, 张淑荣, 等. 螺杆挤压连续汽爆玉米秸秆的稀酸水解效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 190—194.
Huang Qiuting, Zhang Peng, Zhang Shurong, et al. Hydrolysis effect of dilute acid on corn stalks by continuous screw extrusion steam explosion[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 190—194. (in Chinese with English abstract)

0 引言

近年来, 随着石油等不可再生资源的日益枯竭以及对环境问题的关注, 生物质资源的开发利用得到世界各国的高度重视, 其中, 以木质纤维素原料制取燃料乙醇技术备受关注^[1-2]。利用木质纤维素生产乙醇主要有两个关键步骤^[3], 一是对原料进行水解得到还原糖; 二是微生物将水解产生的糖转化为乙醇。纤维素原料水解主要有 3 种方法^[4]: 稀酸水解法, 浓酸水解法, 酶水解法。其中, 浓酸水解法使用耐腐蚀设备并需要进行酸回收^[1, 5]; 而酶水解法对原料的要求较高, 酶的成本较为昂贵, 并且酶水解过程活性的保持也需要进一步研究^[4-6]。因此, 本试验采用稀酸法对木质纤维素原料进行水解。

稀酸水解由于使用的酸浓度低, 反应时需要较高的温度, 因而需要耐高温高压的设备。本试验采用一种新型的连续汽爆方法处理木质纤维素, 使原料能在较低的温度下进行稀酸水解, 并有较好的还原糖得率。由于对木质纤维素进行连续汽爆的方法鲜有报道, 而本试验采用的螺杆挤压机能实现对玉米秸秆的连续汽爆^[7-8]。通过稀硫酸和稀盐酸水解研究这种连续汽爆处理后玉米秸秆的糖化表现并为后续乙醇发酵提供糖液甚至作为酶水解

的预处理步骤。

1 材料与方法

1.1 试验材料

玉米秸秆在不同条件下用螺杆挤压机进行连续汽爆处理, 过筛, 60℃烘干备用。其他试剂均为分析纯。

1.2 试验方法

1) 原料的主要成分分析: 参照文献[9]。

2) 不同原料的稀硫酸水解: 在预试验获得的条件下对不同原料进行水解, 比较不同汽爆条件对水解效果的影响。原料水解后过滤, 用去离子水洗涤残渣, 合并滤液, 用 3,5-二硝基水杨酸法测定滤液还原糖含量。

3) 稀硫酸水解正交试验: 采用在上述试验中具有较好水解效果的原料进行稀硫酸水解正交试验, 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行试验, 分析不同因素对硫酸水解的影响。

4) 稀盐酸水解正交试验: 采用原料与稀硫酸水解正交试验相同, 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行试验, 对影响盐酸水解的因素进行分析。

1.3 测定内容

还原糖得率 (%) = 水解液中还原糖总量 / 汽爆秸秆干质量 × 100

可水解部分还原糖得率 (%) = 水解液总还原糖质量 / 汽爆秸秆干质量中纤维质含量 × 100

2 结果与分析

2.1 原料基本成分分析

对玉米秸秆采用螺杆挤压连续汽爆预处理, 不同处理条件下样品的成分分析结果如表 1 所示。

收稿日期: 2008-11-02 修订日期: 2009-04-21

作者简介: 黄秋婷 (1981—), 女, 海南万宁人。研究方向: 木质纤维素水解。北京 北京化工大学生命科学与技术学院, 100029。

Email: huanqiuting@126.com

*通信作者: 张鹏 (1963—), 男, 辽宁海城人, 副教授, 主要从事纤维素乙醇发酵等方面的研究。北京 北京化工大学生命科学与技术学院, 100029。Email: zhangpeng@mail.buct.edu.cn

表 1 不同预处理方法原料的主要成分
Table 1 Main composition of corn stalks with different pretreatment methods

原料类型	处理条件	半纤维素 /%	纤维素 /%	木质素 /%	灰分 /%
0#	玉米秸秆植物粉碎机粉碎	32.0	39.1	13.3	2.4
1#	100℃ 自然汽爆 10 min, 未过筛	31.4	38.8	13.3	2.0
2#	100℃ 自然汽爆 10 min, 过 10 目筛	30.1	37.8	11.4	2.2
3#	100℃ 自然汽爆 10 min, 过 20 目筛	28.4	36.0	11.4	5.1
4#	100℃ 自然汽爆 10 min, 过 80 目筛	18.1	28.2	10.4	14.4
5#	120℃ 汽爆 6 min, 未过筛	24.2	31.9	10.9	4.6
6#	120℃ 汽爆 8 min, 未过筛	23.4	30.2	10.3	4.1
7#	120℃ 汽爆 10 min, 未过筛	22.4	29.5	9.3	4.3

首先，由表 1 可以看出，用植物粉碎机粉碎的玉米秸秆与 100℃ 自然汽爆未过筛的玉米秸秆成分相似，但两者的形态不同。植物粉碎机粉碎后的秸秆呈小块粒状，而汽爆后的秸秆呈纤维状。

其次，筛分对原料的成分也有较大的影响。原料的粒径越大，其成分越接近于未经汽爆的玉米秸秆，有着较高的半纤维素和纤维素的含量。原料的粒径在过 20 目筛后仍基本保持和之前相似的结构成分，但过 80 目筛后的原料成分发生了大的变化，半纤维素和纤维素的含量明显降低，很可能是由于汽爆过程中产生的小粒径颗粒中的半纤维素和纤维素更易发生水解。

再次，汽爆温度对玉米秸秆的成分改变有着明显的影响。与 100℃ 下汽爆相比，120℃ 汽爆的玉米秸秆，其半纤维素和纤维素的含量都有所降低，半纤维素下降的更多，这与半纤维素在高温下易水解有关。并且，120℃ 汽爆后秸秆的粒径比 100℃ 下汽爆的秸秆粒径显著变小，纤维变短；同时，汽爆的时间越长，汽爆后秸秆的粒径越小。

2.2 不同原料的稀硫酸水解对还原糖得率的影响

通过预试验，初步采用的稀硫酸水解条件为硫酸浓度 5%，温度 110℃，水解时间 1 h，固液比 1：20（g：mL）。在此条件下对不同原料进行水解，结果如图 1 所示。

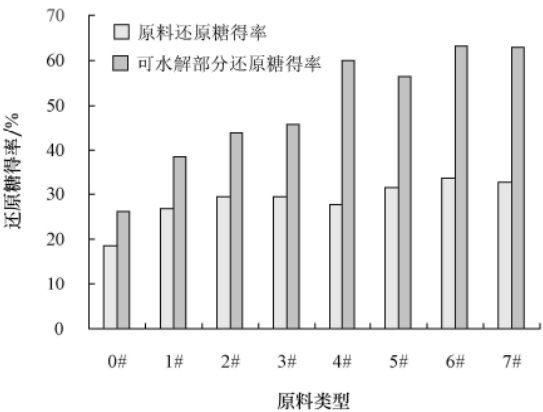


图 1 不同原料对还原糖得率的影响
Fig.1 Effect of different materials on the yield of reducing sugar

在 100℃ 下汽爆的玉米秸秆中，粒径对原料的水解有明显的影 响。原料的粒径越小越易被水解，这与原料与

酸接触的表面积及酸对原料的渗透性有关。然而从还原糖得率来看，4#原料虽然最易被水解，然而由于半纤维素和纤维素的总含量不高，导致还原糖得率相对较低。相较而言，2#原料有着较好的还原糖得率。100℃ 汽爆与 120℃ 汽爆相比，即使不经过筛分，高温下汽爆的玉米秸秆也更易被水解，并且还原糖得率也有提高，这可能与高温下汽爆对玉米秸秆的结构破坏有关，使得原料更易被水解。与机械粉碎的 0#原料相比，汽爆后的玉米秸秆更易被水解，还原糖得率提高了 8%~15%。说明汽爆处理不仅在改变秸秆粒径上，更可能是通过改变秸秆的结构使其更适于稀酸水解。

因此，在预试验获得的条件下对 7 种不同汽爆处理的原料中，2#、5#、6#、7# 4 种原料水解的还原糖得率较高，将对这 4 种原料进行后续正交试验。其中 6# 原料水解效果最好，在 110℃ 下水解还原糖得率可达 33.8%，原料中可水解部分有 63.1% 转化为还原糖。

2.3 稀硫酸水解正交试验

在稀硫酸水解的正交试验中，主要考察硫酸浓度、水解温度、水解时间、固液比及不同原料在硫酸水解中的影响。采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行试验并分析。结果如表 2，3 所示。

表 2 稀硫酸水解 $L_{16}(4^5)$ 正交实验结果与分析
Table 2 Results and analyses of $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment of dilute sulfuric acid hydrolysis

正交号	A 硫酸浓度 /%	B 水解温度 /℃	C 水解时间 /min	D 固液比	E 原料 类型	还原糖得率/%	
						重复 1	重复 2
1	3	100	80	1:15	6#	38.98	36.34
2	5	120	40	1:15	5#	33.35	33.25
3	4	120	80	1:20	7#	34.84	31.92
4	6	100	40	1:20	2#	22.88	24.44
5	3	110	40	1:30	7#	37.08	34.83
6	5	90	80	1:30	2#	23.20	23.97
7	4	90	40	1:10	6#	30.23	33.13
8	6	110	80	1:10	5#	31.31	31.67
9	3	90	100	1:20	5#	30.53	29.78
10	5	110	60	1:20	6#	35.67	34.79
11	4	110	100	1:15	2#	31.58	31.11
12	6	90	60	1:15	7#	36.02	36.06
13	3	120	60	1:10	2#	28.28	27.02
14	5	100	100	1:10	7#	36.57	36.13
15	4	100	60	1:30	5#	33.46	32.67
16	6	120	100	1:30	6#	28.88	29.05
k1	65.71	60.73	62.29	63.58	53.12		
k2	64.74	65.37	65.99	69.17	64.01		
k3	64.23	67.01	63.06	61.21	66.76		
k4	60.08	61.65	63.41	60.78	70.86		
极差 R	5.63	6.28	3.70	8.39	17.75		
优化	A1	B3	C2	D2	E4		

通过极差分析，在稀硫酸水解中，5 个因素对秸秆水解还原糖得率的影响程度依次为：原料类型>固液比>水解温度>硫酸浓度>水解时间。原料类型是影响稀硫酸水解的最主要因素，说明在稀硫酸水解中，原料的结

构成分从根本上决定了原料水解的还原糖得率，降低原料的粒径以及改变秸秆结构能有效提高原料的水解和还原糖的得率。固液比也是影响稀硫酸水解的主要因素，这可能与硫酸的不易挥发有关。当高温加热时，随着时间的延长使水分不断蒸发导致硫酸浓度逐渐增大，酸浓度升高有利于原料水解，然而在高温下也易使水解生成的还原糖发生降解从而导致还原糖得率的降低^[10]。通过方差分析可知，除了水解时间达到显著水平外，其他 4 个因子都达到极显著水平，5 个因子的影响程度与极差分析一致。说明在稀硫酸水解中，任何一个因素的改变都会对水解产生显著的影响。

表 3 稀硫酸水解正交试验结果的方差分析

Table 3 Variance analyses of orthogonal experiment results in dilute sulfuric acid hydrolysis

方差来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>F</i> _{0.05}	<i>F</i> _{0.01}	显著性
H ₂ SO ₄ 浓度	37.05	3	12.35	10.93	3.24	5.29	**
水解温度	53.51	3	17.84	15.79			**
水解时间	15.44	3	5.15	4.56			*
固液比	89.29	3	29.76	26.36			**
原料	345.59	3	115.20	101.95			**
误差	18.06	16	1.13				

注：**表示影响达极显著水平，*表示影响达显著水平。

稀硫酸水解正交试验得到的优化组合为 A₁B₃C₂D₂E₄，即硫酸浓度为 3%，水解温度为 110℃，水解时间为 60 min，采用固液比为 1：15，7#原料（120℃下汽爆 10 min）有着最佳的还原糖得率。验证试验表明，该条件下 7#原料水解的还原糖得率为 39.76%，原料中可水解部分有 83.9%转化为还原糖，水解液中还原糖浓度可达 27.87 g/L。

2.3 稀盐酸水解正交试验

正交结果如表 4、5 所示。通过极差分析可知，5 个因素对秸秆水解还原糖得率的影响程度依次为：水解温度>原料类型>水解时间>盐酸浓度>固液比。温度和原料的类型对盐酸的水解影响最大。通过方差分析可知，除了固液比外，其他 4 个因子对原料水解的影响都达到极显著水平，5 个因子的影响程度与极差分析一致。其中温度对原料水解的影响最为显著，这也和大多数文献报一致^[11-12]。并且不同的原料类型对水解也有这重要的影响。

与稀硫酸水解不同，稀盐酸水解中温度为最主要的影响因素，这可能与盐酸的易挥发有关。温度升高使盐酸挥发加快导致酸浓度的降低，因此原料的水解不充分，还原糖得率降低。所以稀盐酸水解时酸的浓度在较高的水平，而稀硫酸水解时浓度在较低的水平。原料的结构成分在两种稀酸水解中都是最主要的影响因素之一，说明无论是酶水解还是稀酸水解，对秸秆进行预处理是一个必要的步骤。通过方差分析还发现由于固液比对原料水解的影响并未达到显著水平，因此可以考虑提高固液比，减少酸的用量并能提高水解液中还原糖的浓度，将更有利于后续乙醇发酵。

试验表明，最有利于秸秆水解的最优组合为 G₃B₃C₂

D₃E₄，即采用 5#原料（120℃下汽爆 6 min），在盐酸浓度为 3%，水解温度 110℃，水解时间 60 min，固液比 1：20 的条件下水解，其还原糖得率为 42.0%，原料中 74.9%的半纤维素和纤维素转化为还原糖，水解液中还原糖浓度可达 23.36 g/L。

表 4 稀盐酸水解 L₁₆(4⁵)正交试验结果与分析

Table 4 Results and analyses of L₁₆(4⁵) orthogonal experiment of dilute hydrochloric acid hydrolysis

正交号	G HCl 浓度/%	B 水解温 度/℃	C 水解时间 /min	D 固液比	E 原料 类型	还原糖得率/%	
						重复 1	重复 2
1	1	100	80	1:15	6#	26.4	30.7
2	3	120	40	1:15	7#	33.4	37.7
3	2	120	80	1:20	5#	38.0	37.4
4	4	100	40	1:20	2#	27.7	30.3
5	1	110	40	1:30	5#	34.2	34.3
6	3	90	80	1:30	2#	25.0	26.2
7	2	90	40	1:10	6#	24.7	26.6
8	4	110	80	1:10	7#	34.3	37.4
9	1	90	100	1:20	7#	28.0	28.2
10	3	110	60	1:20	6#	37.4	40.0
11	2	110	100	1:15	2#	29.9	33.9
12	4	90	60	1:15	5#	30.2	32.8
13	1	120	60	1:10	2#	32.5	30.8
14	3	100	100	1:10	5#	35.8	34.9
15	2	100	60	1:30	7#	37.9	37.2
16	4	120	100	1:30	6#	31.8	31.3
k1	61.27	55.4	62.19	64.21	59.06		
k2	66.36	65.22	69.67	63.76	68.49		
k3	67.6	70.33	63.86	66.72	62.22		
k4	63.93	68.2	63.43	64.46	69.37		
极差 R	6.33	14.94	7.47	2.96	10.3		
优化	G3	B3	C2	D3	E4		

表 5 稀盐酸水解正交试验结果的方差分析

Table 5 Variance analyses of orthogonal experiment results in dilute hydrochloric acid hydrolysis

方差来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>F</i> _{0.05}	<i>F</i> _{0.01}	显著性
HCl 浓度	46.95	3	15.65	5.32	3.24	5.29	**
水解温度	261.60	3	87.20	29.66			**
水解时间	66.45	3	22.15	7.53			**
固液比	10.42	3	3.47	1.18			
原料	148.08	3	49.36	16.79			**
误差	47.04	16	2.94				

注：**表示影响达极显著水平。

3 结论与讨论

在不同连续汽爆处理的玉米秸秆中，高温汽爆有利于后续的酸水解并有较高的还原糖得率；在相同的处理条件下，对处理后的秸秆进行筛分，粒径小的部分越易水解，然而还原糖得率不一定最高。

在硫酸水解的正交试验中, 优化组合为硫酸浓度为3%, 水解温度为110℃, 水解时间为60 min, 采用固液比为1:15, 7#原料(120℃下汽爆10 min)。在优化条件下, 稀硫酸水解的还原糖得率可达39.7%。在盐酸水解正交试验中, 优化组合为采用5#原料(120℃下汽爆6 min), 在盐酸浓度为3%, 水解温度110℃, 水解时间60 min, 固液比1:20。在最优条件下, 稀盐酸水解的还原糖得率可达42.0%。

试验结果表明, 原料和酸之间具有一定的选择性, 不同的酸对原料的水解有不同影响, 一般来说盐酸的水解效果好于硫酸的水解效果^[13]。从酸方面来说, 主要的影响因素有酸种类、酸浓度、反应温度、时间、固液比; 从原料来说, 主要的影响因素有原料粒径、纤维素的聚合程度、纤维素与半纤维素、木质素等的结合情况等。由于原料的影响因素在各种木质纤维素原料中不尽相同, 因此难于把一种类型原料的水解条件推广至其他类型的原料^[10]。

由于木质纤维素水解需要用于后续乙醇发酵, 因此Abelardo Herrera等对酸的水解效率提出了一个效率因子 E , 在对原料水解时, 不仅要考虑最大的还原糖得率, 还要考虑原料水解可能产生的各种对后续发酵有抑制作用的副产物, 通过两者之间的比较, 判断某种原料更适合用哪些酸水解^[14]。

与相关文献相比^[11,15], 通过螺杆挤压汽爆处理的玉米秸秆能在较低的酸浓度、较低的水解温度和较短的水解时间内得到较高的还原糖产量。通过进一步研究, 改善螺杆挤压汽爆的条件, 考察酸水解中相关因素的交互作用, 减少生成产物的降解, 螺杆挤压连续汽爆与稀酸水解耦合将有可能获得良好的生产应用的前景。

[参 考 文 献]

- [1] 曲音波. 纤维素乙醇产业化[J]. 化学进展, 2007, 19(7/8): 1098—1108.
Qu Yinbo. Industrialization of cellulosic ethanol[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7/8): 1098—1108. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈洪章, 邱卫华. 秸秆发酵燃料乙醇关键问题及其进展[J]. 化学进展, 2007, 19(7/8): 1116—1121.
Chen Hongzhang, Qiu Weihua. The crucial problems and recent advance on producing fuel alcohol by fermentation of straw[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7/8): 1116—1121. (in Chinese with English abstract)
- [3] Ye Sun, Cheng Jay J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production[J]. Bioresource Technology, 2005, 96: 1599—1606.
- [4] Iranmahboob J, Nadim F, Monemi S. Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips[J]. Biomass and Bioenergy, 2002, 22: 401—404.
- [5] 何北海, 林鹿, 孙勇, 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—1146.
He Beihai, Lin Lu, Sun Yong, et al. Chemical hydrolysis of lignocellulosics into fermentable sugars[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7/8): 1141—1146. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张素平, 颜涌捷, 任铮伟, 等. 纤维素制取乙醇技术[J]. 化学进展, 2007, 19(7/8): 1129—1133.
Zhang Suping, Yan Yongjie, Ren Zhengwei, et al. Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7/8): 1129—1133. (in Chinese with English abstract)
- [7] Govindasamy S, Campanella O H, Oates C G. The single screw extruder as a bioreactor for sago starch hydrolysis[J]. Food Chemistry, 1997, 60(1): 1—11.
- [8] Jeong H S, Toledo R T. Twin-screw extrusion at low temperature with carbon dioxide injection to assist expansion: extrudate characteristics[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 425—432.
- [9] 王玉万, 徐文玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木质素的定量分析程序[J]. 微生物学通报, 1987, (2): 82—84.
- [10] Karimi K, Kheradmandinia S, Taherzadeh M J. Conversion of rice straw to sugars by dilute-acid hydrolysis[J]. Biomass and Bioenergy, 2006, 30: 247—253.
- [11] 卫民, 陈玉平, 蒋剑春, 等. 玉米秸秆稀硫酸水解研究[J]. 生物质化学工程, 2007, 41(5): 36—38.
Wei Min, Chen Yuping, Jiang Jianchun, et al. Study on hydrolysis of corn stalks using dilute sulfuric acid[J]. Biomass Chemical Engineering, 2007, 41(5): 36—38. (in Chinese with English abstract)
- [12] 黄爱玲, 周美华. 玉米秸秆水解的酶法与稀酸法比较[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(5): 110—114.
Huang Ailing, Zhou Meihua. The enzymatic hydrolysis and dilute sulfuric acid hydrolysis of corn stalk compared[J]. Journal of Donghua University(Natural Science), 2005, 31(5): 110—114. (in Chinese with English abstract)
- [13] 颜涌捷, 任铮伟. 纤维素连续催化水解研究[J]. 太阳能学报, 1999, 20(1): 55—58.
Yan Yongjie, Ren Zhengwei. Continuous catalytic hydrolysis of cellulose[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 1999, 20(1): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [14] Herrera A, Simon J, Tellez-Luis S J, et al. Effect of the hydrochloric acid concentration on the hydrolysis of sorghum straw at atmospheric pressure[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 103—109.
- [15] 孙勇, 张金平, 李佐虎, 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.
Sun Yong, Zhang Jinping, Li Zuohu, et al. Kinetic study on the dilute hydrochloric acid hydrolysis of corn straw xylose[J]. Chemical Engineering (China), 2007, 35(10): 49—52. (in Chinese with English abstract)

Hydrolysis effect of dilute acid on corn stalks by continuous screw extrusion steam explosion

Huang Qiuting, Zhang Peng^{*}, Zhang Shurong, Li Guo

(College of Life Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The corn stalks were pretreated by continuous screw extrusion steam explosion. The effects of the concentration of acid, reaction time, reaction temperature and the ratio of feedstuff to dilute acid on the conversion of the pretreated corn stalks to reducing sugars were investigated. In the orthogonal experiment of sulfuric acid hydrolysis, the effect order of five factors arranged from large to small was the type of raw materials, the ratio of feedstuff to dilute acid, hydrolysis temperature, concentration of H_2SO_4 , and reaction time. The materials exploded at 120°C for 10 min had the highest reducing sugar yield at the optimal conditions of 3% sulfuric acid concentration, hydrolysis temperature 110°C , hydrolysis time 60 min, and ratio of feedstuff to dilute acid of 1:20, and the yield of reducing sugars was 39.7%. In the orthogonal experiment of hydrochloric acid hydrolysis, the effect order of five factors was hydrolysis temperature, the type of raw materials, hydrolysis time, concentration of acid and the ratio of feedstuff to dilute acid. The optimal conditions were 3% HCl, hydrolysis temperature 110°C , hydrolysis time 60 min, ratio of feedstuff to dilute acid of 1:20 and the material explosion at 120°C for six minutes, and the yield of reducing sugars was 42.0%.

Key words: continuous screw extrusion steam explosions, corn straw, saccharification, hydrolysis, dilute acid,