

H₂O₂ 预处理结合微生物发酵提取玉米芯木聚糖的工艺研究傅杰¹, 王园¹, 王瑞芳¹, 陈秋燕¹, 郭俊清², 冯霞², 安晓萍^{1*}, 齐景伟^{1*}¹内蒙古农业大学动物科学学院, 呼和浩特 010018; ²内蒙古优牧特农牧科技股份有限公司, 呼和浩特 010010

摘要:为提高微生物发酵玉米芯提取木聚糖的效率,本研究采用 H₂O₂ 预处理结合微生物发酵的方法提取玉米芯中的木聚糖,并通过扫描电镜(SEM)从微观结构初步探讨了 H₂O₂ 预处理提高微生物发酵提取玉米芯木聚糖的原因。其结果表明:利用 4% H₂O₂ 预处理玉米芯 1 小时,木聚糖含量可达 40.21 ± 0.21 mg/g,较未处理组玉米芯中木聚糖含量提高了 87.72%;4% H₂O₂ 预处理结合微生物发酵玉米芯,可显著提高木聚糖得率,其含量可达 52.72 mg/g,较未经 H₂O₂ 预处理组提高了 186.67%;进一步利用响应面法优化微生物发酵经 H₂O₂ 预处理玉米芯提取木聚糖的工艺,得到了发酵最佳培养基组成为含水量 50%、尿素添加量 0.25%、葡萄糖添加量 0.75%,此条件下木聚糖含量达 70.84 mg/g,较未发酵提高了 249.82%;SEM 图像显示 H₂O₂ 预处理使得玉米芯结构变得疏松,微生物发酵结合 H₂O₂ 预处理后的玉米芯出现较大孔洞,结构变得更为疏松。因此,H₂O₂ 预处理可改善玉米芯结构,促进微生物发酵,提高玉米芯木聚糖的提取效率,为玉米芯木聚糖的高效开发利用提供了参考。

关键词:玉米芯;木聚糖;益生菌发酵;H₂O₂ 预处理

中图分类号:R284.2;TS209

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)2-0325-07

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.2.023

Study on extraction condition of corncob xylan by microbial fermentation and H₂O₂ pre-treatment

FU Jie¹, WANG Yuan¹, WANG Rui-fang¹,
CHEN Qiu-yan¹, GUO Jun-qing², FENG Xia², AN Xiao-ping^{1*}, QI Jing-wei^{1*}

¹College of Animal Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;²Youmute Farming Co., Ltd. Hohhot 011517, China

Abstract: The aim of this study was to improve the efficiency of microbial fermentation and extraction of corn cob xylan. In this study, the xylan in corncob was extracted by microbial fermentation combined with H₂O₂ pretreatment, then microstructure of corn cob was observed by scanning electron microscope (SEM) to analysis the reason of increased extraction efficiency of corn cob xylan after H₂O₂ pre-treatment. The results showed that the content of xylan was up to 40.21 ± 0.21 mg/g when corncob was pretreated with 4% H₂O₂ for 1 h, which increased by 87.72% compared to untreated group. Microbial fermentation combined with 4% H₂O₂ pretreatment significantly increased the content of corn cob xylan (52.72 mg/g), which increased by 186.67% compared to untreated group. Optimized the extraction conditions of corncob xylan after microbial fermentation combined with H₂O₂ pretreatment based on response surface methodology, and obtained the optimal medium substrate contained water content 50%, urea 0.25% and glucose 0.75%. Under these conditions, the xylan content reached up to 70.84 mg/g, which increased by 249.82% compared to unfermented corn cob. SEM images showed that the structure of the corn cob became loose after being pretreated by H₂O₂, and larger holes appeared on the surface of corn cob after microbial fermentation combined with H₂O₂ pretreatment. In conclusion, H₂O₂ pretreatment can improve the structure of corn cob, promote microbial fermentation, and increased extraction efficiency of corn cob xylan, this study will provide a reference for the efficient exploitation and utilization of corn cob xylan.

Key words: corncob; xylan; microbial fermentation; H₂O₂ pre-treatment

收稿日期:2018-05-25 接受日期:2018-08-23

基金项目:内蒙古自治区科技重大项目;内蒙古自治区科技创新引导奖励资金;内蒙古农业大学引进人才科研启动项目(YJ2015-1)

* 通信作者 E-mail: qijingwei_66@126.com, xiaopingan@163.com

木聚糖是植物细胞中半纤维素的重要组成部分,是自然界中第2丰富的可再生物质^[1]。木聚糖具有广泛的生物活性,如调节免疫、抗肿瘤、降血糖、益生等^[2-5]。随着社会对木聚糖需求的日益增加,寻求一种高效快速的木聚糖提取、制备技术已成为食品添加剂行业发展的需求。

玉米芯作为一种丰富、廉价、富含半纤维素的玉米加工副产物,常用作木聚糖提取的理想原料。然而,自然状态下玉米芯的纤维素、半纤维素和木质素交联在一起,形成了致密的纤维结构。为了能有效地从玉米芯细胞壁中提取木聚糖,常采用物理法、化学法、生物法以及三种方法的结合利用的提取方法。本实验室前期已对菌酶协同发酵法提取玉米芯木聚糖进行了研究,发现枯草芽孢杆菌与酿酒酵母1:9的比例发酵玉米芯的同时,添加纤维素酶量1000 U/g,产物中木聚糖含量可达1.421 mg/g,与对照组相比提高了257%^[6]。但此研究结果所得玉米芯木聚糖含量远低于其他方法^[7,8]。为了更有效地从玉米芯中提取木聚糖,本研究采用微生物发酵结合H₂O₂预处理的方法提取玉米芯木聚糖,并利用SEM法初步探讨了该方法提高玉米芯木聚糖含量的原因,以期为微生物发酵玉米芯生产木聚糖提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菌种:枯草芽孢杆菌CGMCC 1.892 (*Bacillus subtilis* CGMCC 1.892)和酿酒酵母CGMCC 2.119 (*Saccharomyces cerevisiae* CGMCC 2.119)均购买于中国微生物菌种保藏中心。

原料:玉米芯原料购买于市场,粉碎过筛(20目)。

培养基:营养肉汤培养基、麦芽汁培养基均购买广东环凯微生物科技有限公司。

试剂:D-木糖:分析标准品,Aladdin公司。过氧化氢、尿素、葡萄糖、盐酸、氢氧化钠、3,5-二硝基水杨酸、四水酒石酸钾钠、苯酚、无水亚硫酸钠等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

仪器与设备:SW-CJ超净工作台、上海新苗医疗器械;GX2型智力光照培养箱、宁波东南仪器有限公司;QYC-200恒温培养摇床、上海福玛实验设备有限公司;TG16-WS台式高速离心机、湖南湘仪仪器开发有限公司;微孔板分光光度计、美国伯腾仪器有限公司;JSM-6390LV扫描电镜、JEOL公司;IB-3型离子镀金仪喷金镀膜、Eiko公司。

1.2 方法

1.2.1 菌悬液的制备

酿酒酵母菌:将冷冻保存的酿酒酵母经过麦芽汁琼脂培养基活化48 h后,挑取生长良好的单个菌落,接种于酿酒酵母种子液培养基中,置于28℃,120 rpm的摇床中培养24 h,备用。

枯草芽孢杆菌:将冷冻保存的枯草芽孢杆菌经营养肉汤琼脂培养基活化24 h后,挑取生长良好的单个菌落,接种于枯草芽孢杆菌种子液培养基中,置于36℃,120 rpm的摇床中培养24 h,备用。

1.2.2 H₂O₂ 预处理玉米芯

分别将0%、0.5%、1%、2%、4%的双氧水(相对于原料)与2 mL蒸馏水、1 g玉米芯粉混匀,室温下放置0、0.5、1、2、4 h。然后经高压蒸汽灭菌锅灭菌,灭菌条件为121℃、0.15 MPa、20 min。以木聚糖含量为测定指标,确定出H₂O₂的添加量和预处理时间。

1.2.3 预处理方法对比

分别将4% H₂O₂、0.5% 尿素以及4% H₂O₂加0.5% 尿素(相对于原料)与2 mL蒸馏水、1 g玉米芯粉混匀,室温下放置1 h。经高压蒸汽灭菌锅灭菌,灭菌条件为121℃、0.15 MPa、20 min。以木聚糖含量为测定指标,确定出最适预处理方法。

1.2.4 微生物发酵玉米芯

将经预处理与未预处理的玉米芯分别进行发酵,其发酵条件为:发酵菌种酿酒酵母和枯草芽孢杆菌接种比例为9:1,发酵底物由15 g玉米芯、0.15 g尿素、0.15 g葡萄糖、18 g水组成,发酵温度36℃,发酵时间48 h,接种量为10%。以木聚糖含量为测定指标,考察H₂O₂预处理对微生物发酵提取玉米芯木聚糖的影响。

1.2.5 单因素优化微生物发酵提取木聚糖的培养基组成

分别研究含水量、尿素添加量和葡萄糖添加量对玉米芯木聚糖提取率的影响。含水量为45%、50%、55%、60%;尿素添加量为0%、0.25%、0.5%、0.75%、1%;葡萄糖添加量为0%、0.25%、0.5%、0.75%、1%、1.25%。

1.2.6 响应面优化微生物发酵提取木聚糖的培养基组成

在单因素试验基础上,确定含水量(A)、葡萄糖添加量(B)、尿素添加量(C)的取值范围,采用Box-Behnken试验设计三因素三水平的响应面优化试验,以发酵底物中玉米芯木聚糖得率(Y)为响应值,利用Design-Expert 8.0.6软件对数据进行分析,得

出微生物发酵提取玉米芯木聚糖的培养基组成。响应面因素设计见表 1。

表 1 响应面分析试验因素与水平

Table 1 Factors and levels used in response surface analysis

因素 Factors (%)	水平 Level		
	-1	0	1
(A)含水量 Water content	45%	50%	55%
(B)葡萄糖添加量 Glucose addition level	0.5%	0.75%	1%
(C)尿素添加量 Urea addition level	0%	0.25%	0.5%

1.2.7 木聚糖含量测定

将处理后的玉米芯于 45 °C 烘箱中烘干(24 h), 1 g 干燥玉米芯加入 10 mL 蒸馏水, 80 °C 水浴 30 min 后, 放于 5 000 rpm 的高速离心机中离心 15 min, 上清液备用。取 1 mL 上清液, 加入 6 mol/L 盐酸 3 mL, 沸水浴 2 h, 迅速冷却, 用 6 mol/L 的 NaOH 中和水解液并调节 pH 为中性, 用蒸馏水稀释至 10 mL^[9]。本实验以木聚糖为标准品, 采用 DNS 法测定还原糖含量, 再将其乘以稀释倍数 10 和换算系数 0.88, 即得到木聚糖含量^[10]。

1.2.8 扫描电镜

样品用 IB-3 型离子镀金仪喷金镀膜后, 使用 JSM-6390LV 扫描电镜直接上机观察。

1.3 数据统计分析

试验数据采用 SAS9.2 统计软件进行 ANOVA

表 2 H₂O₂ 浓度与处理时间对玉米芯木聚糖含量的影响

Table 2 Effects of concentration of H₂O₂ and treatment time on the content of corncob xylan

组别 Group	0%	0.5%	1%	2%	4%
0 h	20.25 ± 0.83 ^c	26.8 ± 1.15 ^{a,b}	28.31 ± 1.62 ^{*a}	29.37 ± 1.36 ^{*c}	35.01 ± 0.99 ^{*bc}
0.5 h	23.35 ± 1.59 ^b	27.28 ± 0.95 ^{*ab}	30.31 ± 0.96 ^{*a}	31.95 ± 1.41 ^{*b}	36.12 ± 1.66 ^{*b}
1 h	26.92 ± 1.23 ^a	28.39 ± 0.94 ^{*ab}	30.44 ± 1.08 ^{*a}	34.68 ± 1.68 ^{*a}	40.21 ± 1.21 ^{*a}
2 h	25.75 ± 1.25 ^{ab}	28.88 ± 1.53 ^{*a}	27.68 ± 0.91 ^{*a}	29.73 ± 1.28 ^{*c}	34.35 ± 1.54 ^{*bc}
4 h	24.29 ± 1.59 ^b	27.63 ± 1.33 ^{*ab}	27.33 ± 1.51 ^{*a}	29.00 ± 1.12 ^{*c}	31.42 ± 0.98 ^{*c}

注:与空白对照组相比,*表示存在差异显著($P < 0.05$);a,b,c 同列数据肩标不同表示差异显著($P < 0.05$);肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同。

Note: Compared with control, * indicated significant difference ($P < 0.05$); a, b, c in the same column, values with different superscripts indicated significant difference ($P < 0.05$); While with the same superscripts indicated no significant difference ($P > 0.05$). Same as below.

2.2 H₂O₂ 结合尿素预处理对玉米芯木聚糖含量的影响

如图 1 所示, 玉米芯经 H₂O₂、尿素、H₂O₂ + 尿素处理后, 木聚糖含量分别达 44.27 mg/g、31.11 mg/g、37.21 mg/g, 木聚糖含量均较玉米芯原料有显著提高, 且 H₂O₂ 处理组的木聚糖含量最高。尽管尿

单因素方差分析, 并用 Duncan's 法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著; 采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行响应面试验设计及结果分析。

2 结果与分析

2.1 H₂O₂ 预处理对玉米芯木聚糖含量的影响

玉米芯经浓度 0.5% ~ 4% H₂O₂ 预处理不同时间后, 木聚糖含量变化见表 2。由表 2 可见, 随着 H₂O₂ 处理玉米芯的时间延长, 木聚糖含量呈现先升高后降低的变化, 各浓度 H₂O₂ 预处理组中木聚糖含量最高均出现在处理 1 h。且玉米芯木聚糖含量随着 H₂O₂ 浓度增加而增加, 在 4% H₂O₂ 处理玉米芯 1 h 后, 木聚糖含量可达 40.21 ± 0.21 mg/g, 较未经 H₂O₂ 处理组提高了 98.56% (20.25 ± 0.83 mg/g)。因此选择 4% H₂O₂ 预处理玉米芯 1 h。

素具有破坏纤维素、木质素的致密结构^[11], 促进木聚糖的释放, 但本研究中玉米芯经 H₂O₂ 处理释放木聚糖效果优于尿素处理和 H₂O₂ + 尿素处理, 因此, 选择 H₂O₂ 对玉米芯进行预处理。

2.3 H₂O₂ 预处理对微生物发酵提取玉米芯木聚糖的影响

预处理的目的是破坏木质纤维素结构、脱去木

质素或半纤维素,同时增大微生物与底物的接触面积,提高发酵效率。玉米芯经 H₂O₂ 预处理后,利用酿酒酵母和枯草芽孢杆菌混合发酵,其产物中木聚糖含量分别为 52.72 mg/g,而未经预处理的玉米芯发酵产物中木聚糖含量为 20.95 mg/g(如图 2),H₂O₂ 预处理显著提高了微生物发酵效率($P < 0.01$),

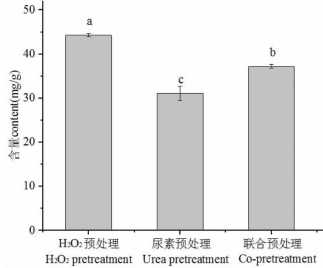


图 1 不同预处理对木聚糖含量的影响

Fig. 1 Effect of Different Pretreatments on Xylan Content

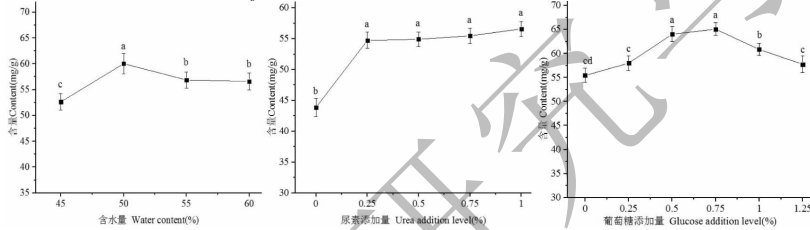


图 3 含水量(a)、尿素(b)和葡萄糖(c)对发酵玉米芯中木聚糖含量的影响

Fig. 3 Effects of water content, urea and glucose on the contents of xylan from fermented corncob

由图 3 a 可知,含水量对发酵产物中木聚糖含量有一定的影响,随着培养基中含水量的增加,发酵产物中木聚糖含量呈现先增大后减少的趋势。含水量 50% 时,木聚糖含量达到最高值 60.04 mg/g,显著高于其他料水比($P < 0.05$)。因此,选择培养基中含水量为 50%。同理由图 3 b 和图 3 c 可得,确定出尿素添加量为 0.25%、葡萄糖添加量为 0.75%,在此条件下,木聚糖含量可达 65.06 mg/g。由 SAS 9.2 软件方差分析可知,三因素不同添加量对木聚糖含量的影响均显著($P < 0.05$)。

2.5 响应面优化结果与分析

2.5.1 响应面结果

在单因素结果基础上,采用三因素三水平的 Box-Behnken 试验设计及分析方法对含水量(A)、葡萄糖添加量(B)和尿素添加量(C)进一步优化,试验结果见表 3。

利用 Design-Expert 8.0 软件,通过对多项式回归分析,得到的拟合全变量二次回归方程模型为: $Y = 65.85 + 2.62A + 0.11B + 2.01C + 1.38AB - 0.65AC + 1.04BC - 4.09A^2 - 1.62B^2 - 3.62C^2$ 。

发酵产物中木聚糖含量提高了 151.64%。

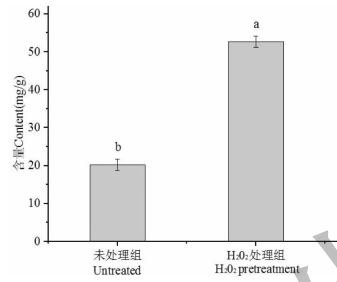


图 2 H₂O₂ 预处理对微生物发酵玉米芯中木聚糖含量的影响

Fig. 2 Effect of H₂O₂ pretreatments on the content of xylan from microbial fermentation corncob

2.4 单因素试验结果

表 3 Box-Behnken 响应面优化试验设计及结果
Table 3 Experimental design and results for Box-Behnken

试验号 No.	A	B	C	含量 Content (mg/g)
1	0	-1	-1	60.971
2	1	1	0	65.650
3	-1	-1	0	57.394
4	0	0	0	67.240
5	0	0	0	69.337
6	1	0	1	62.150
7	0	0	0	65.030
8	-1	1	0	56.988
9	1	-1	0	60.543
10	-1	0	-1	52.840
11	0	1	-1	56.964
12	0	0	0	66.431
13	-1	0	1	58.871
14	0	0	0	61.229
15	1	0	-1	58.714
16	0	1	1	62.344
17	0	-1	1	62.180

回归模型各项的方差分析见表4。由表4可知,该模型 P 值为 0.0378,表明回归模型极显著,失拟项的 P 值为 0.7588 大于 0.05,模型失拟不显著,试验误差小^[12],由此说明用该模型对微生物发酵提

取玉米芯木聚糖的培养基组成进行优化是可行的。由 F 值可知,三因素对发酵产物中玉米芯木聚糖含量影响的顺序为:含水量(A) > 尿素添加量(C) > 葡萄糖添加量(B)。

表4 回归模型方差分析结果

Table 4 Analysis of variance for the fitted regression model

误差源 Source	平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Significance
模型 Model	251.17	9	27.91	4.11	0.0378	*
A	54.94	1	54.94	8.10	0.0249	*
B	0.092	1	0.092	0.014	0.9106	
C	32.22	1	32.22	4.75	0.0657	
AB	7.60	1	7.60	1.12	0.3251	
AC	1.68	1	1.68	0.25	0.6337	
BC	4.35	1	4.35	0.64	0.4497	
A ²	70.44	1	70.44	10.38	0.0146	*
B ²	11.04	1	11.04	1.63	0.2426	
C ²	55.16	1	55.16	8.13	0.0246	*
残差 Residual	47.50	7	6.79			
失拟误差 Lack of Fit	11.04	3	3.68	0.40	0.7588	
纯误差 Pure Error	36.45	4	9.11			
总离差 Cor Total	298.67	16				

注:*. 差异显著($P < 0.05$); **. 差异极显著($P < 0.01$)。

Note: * Significant difference ($P < 0.05$); ** extremely significant difference ($P < 0.01$).

2.5.2 响应面分析

图4为各交互因素对发酵产物中木聚糖含量影响的响应面。由图4可知,两因素交互作用对木聚糖含量影响并不显著($P > 0.05$),图4(A)表示,随着含水量的增加,木聚糖含量呈逐渐上升后下降的

趋势。图4(B)中,含水量和尿素添加量的增加,木聚糖含量也逐渐上升。表4中,二次项 A²、C² 对木聚糖含量均有显著影响($P < 0.05$),进一步说明各因素对木聚糖含量的影响不是简单地线性关系。

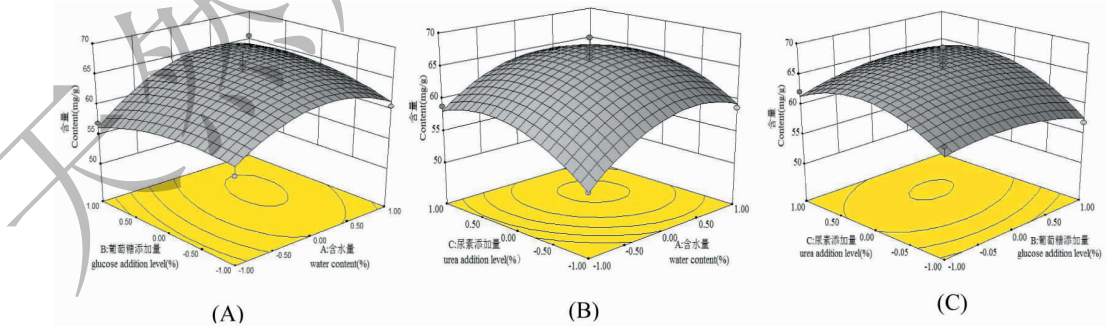


图4 各因素之间的交互作用影响

Fig. 4 Response surface plots showing the interactive effects of different factors on the content of xylan

2.5.3 优化培养基组成的验证

用 Design-expert 8.0 软件对二次多项式回归方程进行计算,得出的最优培养基组成为含水量

50%、葡萄糖添加量 0.75%、尿素添加量 0.25%,在该条换上玉米芯木聚糖含量为 69.337 mg/g,在此条件下进行 5 次重复发酵试验,实际玉米芯木聚糖

含量为 70.84 mg/g。与理论值偏差 2.16%，说明此模型有效且优化结果可靠。该优化结果比未发酵玉米芯木聚糖含量提高 249.82%。

2.6 电镜扫描

玉米芯原料、 H_2O_2 预处理玉米芯、微生物发酵 + H_2O_2 预处理玉米芯本研究利用扫描电镜观察经过一系列处理后玉米芯微观结构变化。SEM 扫描结果如图 5, 玉米芯(图 5 a)表面光滑, 结构致密, 没有孔洞损伤。玉米芯经过 H_2O_2 预处理后, 表面出

现较多坑洞, 结构变得疏松, 木质素结构受到一定破坏, 木质素与纤维素和半纤维素之间连接的共价键发生了断裂(图 5 b); 玉米芯经过微生物发酵 + H_2O_2 预处理后, 玉米芯表面孔洞更大更多, 结构更疏松(图 5 c)。 H_2O_2 预处理后玉米芯较疏松的结构可显著增加微生物菌体细胞及其产生的酶与玉米芯表面的接触, 提高微生物对玉米芯中木质纤维素的降解效率^[13], 促进木聚糖的释放。

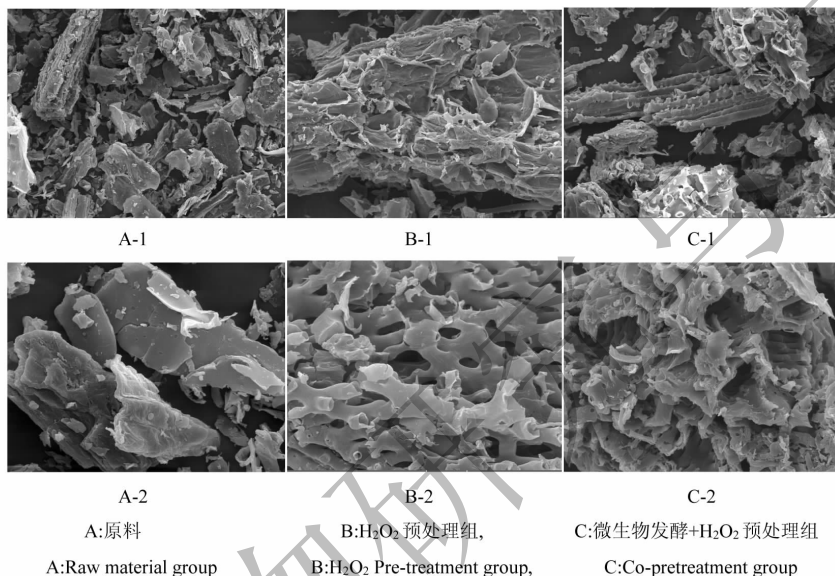


图 5 预处理前后玉米芯的扫描电镜图(100 × , 20 ×)

Fig. 5 SEM of corncob before and after pre-treatment(100 × , 20 ×)

3 结论

玉米芯内部结构复杂, 而木质素又紧密包裹在纤维素和半纤维素周围, 形成天然抗降解屏障, 保护纤维素和半纤维素不受微生物的破坏^[14]。因此, 去除木质素是解除玉米芯天然抗降解屏障、提高微生物发酵效率的首要任务。预处理可以增加底物的多孔性, 进而增加可及性, 显著提高微生物发酵效率^[15]。 H_2O_2 作为去除木质素的去除试剂, 玉米芯的细胞壁结构被 H_2O_2 氧化后, 细胞壁外面包围的木质素被软化, 半纤维素和纤维素与木质素之间的氢键发生断裂, 微生物可更好的利用纤维素和半纤维素从而提高发酵效率, 释放更多木聚糖^[14-16]。本实验中玉米芯经 H_2O_2 预处理后再发酵, 其发酵产物中木聚糖含量 52.72 mg/g, 较未经 H_2O_2 预处理玉米芯发酵产物中木聚糖含量提高了 186.76%。

将 H_2O_2 预处理玉米芯作为培养基, 利用酿酒酵母和枯草芽孢杆菌混合固态发酵, 其产物中木聚

糖含量可达 70.84 mg/g, 较 H_2O_2 预处理玉米芯中木聚糖含量提高了 60.01% (44.27 mg/g), 由此可见微生物发酵可显著提高玉米芯木聚糖含量。这可能是由于酿酒酵母属于真菌, 真菌降解纤维素的主要机制是分泌大量的胞外酶来破坏木质纤维素的紧密结构, 从而有效降解玉米芯。枯草芽孢杆菌属于细菌, 细菌降解木质纤维素的机制是主要通过分泌的纤维素酶的纤维素结合域附着在木质纤维素的表面, 纤维素受细菌作用易于膨胀而被破坏分解^[17,18], 从而促进玉米芯木聚糖的释放。

通过 H_2O_2 预处理能够提高微生物发酵效率, 提高玉米芯木聚糖释放, 其结构的变化是玉米芯木聚糖含量提高的内在原因。SEM 图像表明, 玉米芯纤维素、木质素相互缠绕的致密结构及其表层均被 H_2O_2 破坏, 更容易被微生物利用, 从而经微生物发酵后的玉米芯表面孔洞更大更多, 结构变得更疏松。本实验采用微生物发酵结合 H_2O_2 预处理提取玉米

芯中木聚糖,其最佳工艺为:4% H₂O₂ 预处理玉米芯原料 1 h 后,采用酿酒酵母:枯草芽孢杆菌 9:1 比例发酵,发酵培养基组成为含水量 50%、葡萄糖添加量 0.75%、尿素添加量 0.25%,该条件下玉米芯木聚糖含量可达 70.84 mg/g。

参考文献

- Zheng F, Huang JX, Ding SJ, et al. A novel neutral xylanase with high SDS resistance from *Volvariella volvacea*: characterization and its synergistic hydrolysis of wheat bran with acetyl xylan esterase[J]. *J Ind Microbiol Biot*, 2013, 40:1083-1093.
- Huang SS. Research on metabolic properties of xylan in rat intestine[D]. Guilin: Guangxi Normal University(广西师范大学), 2014.
- Sun YL, Xia F, Zhao LP. Research progress in pentosans as a kind of cereal dietary fiber and their gut microflora modulatory effect[J]. *Food Sci(食品科学)*, 2012, 33:326-330.
- Lei Z, Yin DF, Yuan JM. Advances in research on the probiotic function of arabinoxylan and arabinose-oligosaccharides[J]. *Chin J Anim Nutr(动物营养学报)*, 2017, 29:365-373.
- Liu LY, Zhao ML, Zhong K, et al. Study on the benefit life of wheat bran arabic xylan in vitro[J]. *J China. Cel Oils Assoc(中国粮油学报)*, 2016, 31(10):1-5.
- Zhang QR, An XP, Qi JW. Study on synthesizing xylan by fermentation of corncob with coenzyme[J]. *Chin Feed(中国饲料)*, 2017, 22:23-26.
- Tang WH, Wei JP, Zhang L. Study on the extraction conditions of xylan from corncob by steaming[J]. *Food Res Dev(食品研究与开发)*, 2016, 37(15):85-88.
- Yao D, Ma P, Wang Y, et al. Optimization of extraction process for xylan from corncob by response surface methodology[J]. *Food Sci(食品科学)*, 2011, 32:111-115.
- Sun WW, Cao WQ, Wang J. Colorimetric determination of water-soluble total sugars in corn stalk with 3, 5-dinitrosalicylic acid[J]. *Food Res Dev(食品研究与开发)*, 2006, 6:120-123.
- Miao L, Fang YH, Zhang HR, et al. Comparison of analytical methods for the quantitation of xylan in sugarcane bagasse[J]. *Food Sci(食品科学)*, 2016, 37:162-167.
- Ding XL, Zhang MN, Hang ZX, et al. Effect of urea ammoniation pretreatment on anaerobic fermentation characteristics of rice straw[J]. *Ecol Env Sci(生态环境学报)*, 2018, 27(1):18-23.
- Gao PH, Huo SS, Mao Z, et al. Effect of pretreatments of acids, alkali and oxidants on fermentation straw[J]. *Chin Feed(中国饲料)*, 2015, 4:24-27.
- Zhao K, Wang Y, Jiang YX, et al. Optimization of extraction of benzyl glucosinolate from the seeds of *Carica papaya* L. by response surface methodology[J]. *Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发)*, 2016, 28:735-740.
- Jia YQ. Extractives of pretreated lignocellulose and its effect on saccharification and fermentation[D]. Jinan: Shandong University(山东大学), 2017.
- Zhang JZ. Study on pretreatment and bio-ethanol conversion of lignocellulosic energy crops[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology(北京化工大学), 2017.
- Hou LF, Sun XY, Ding CH. Effects of different pretreatment solution properties and microstructure of corn cob enzyme[J]. *Food Ind(食品工业)*, 2015, 36(6):32-35.
- Li LB, Ren XD, Dou S. Comparative study of the degradation efficiency of 2 types of microorganisms on the degradation of corn stalks in solid-state fermentation[J]. *J Agro Env Sci(农业环境科学学报)*, 2017, 36:2136-2142.
- Zhang ST, Lan X, Li Z, et al. Research progress of microbial degradation of corn straw[J]. *J Jilin Agri Univ(吉林农业大学学报)*, 2016, 38:517-522.

致谢:对以下合作单位参与本刊的学术建设表示由衷的感谢!

广西壮族自治区药用植物园

昆明医科大学药学院

西南交通大学生命科学与工程学院

西南交通大学期刊社