

蒸汽爆破预处理白芦笋下脚料多糖提取工艺

窦勇博^{1,2}, 王成忠¹

(1. 齐鲁工业大学 食品科学与工程学院, 济南 250353;

2. 中华全国供销合作总社济南果品研究院, 济南 250014)

摘要: **目的** 研究蒸汽爆破预处理白芦笋下脚料多糖提取的最佳工艺, 分析蒸汽爆破预处理对多糖得率的影响。**方法** 以白芦笋加工下脚料为原料, 采用蒸汽爆破预处理提取多糖, 探讨物料粒径、汽爆压力、维压时间、料腔比(物料与料腔体积的比值)对多糖得率的影响, 利用响应面优化设计筛选白芦笋下脚料多糖的最佳提取工艺。**结果** 汽爆压力对白芦笋下脚料多糖得率的影响最大, 其次为物料粒径、维压时间、料腔比。得到了响应面优化蒸汽爆破预处理的最佳提取条件, 物料粒径为30目, 维压时间为128 s, 汽爆压力为1.50 MPa, 在此条件下多糖得率的实测值达到8.86%, 较直接热水浸提法的多糖得率增加了22.88%。**结论** 蒸汽爆破预处理对提升多糖得率具有一定的促进作用。

关键词: 蒸汽爆破; 芦笋; 下脚料; 多糖

中图分类号: S644.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)03-0033-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.03.005

Extraction of Polysaccharides from White Asparagus Processing Waste by Steam Explosion Pretreatment

DOU Yong-bo^{1,2}, WANG Cheng-zhong¹

(1. College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China;

2. Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply & Marketing Cooperatives, Jinan 250014, China)

ABSTRACT: The work aims to study the optimal technological conditions for extraction of polysaccharides from white asparagus scraps processing waste pretreated by steam explosion and analyze the effects steam explosion pretreatment on yield of polysaccharides. With white asparagus scraps processing waste as raw materials, the polysaccharides were extracted by steam explosion pretreatment to discuss the effects of particle size, steam explosion pressure, steam explosion time and material cavity ratio on the yield of polysaccharides. The optimal extraction process response of polysaccharide from white asparagus processing waste was designed and optimized by response surface optimization. The results showed that the effect of steam explosion pressure on the yield of polysaccharides was the biggest, followed by the particle size, steam explosion time and material cavity ratio. The optimal extraction conditions of steam explosion pretreatment were material size of 30 meshes, steam explosion time of 128 s, steam explosion pressure of 1.50 MPa. Under this condition, the yield of polysaccharides reached 8.86%, which was 22.88% higher than that of direct hot water extraction. The results show that steam explosion pretreatment has a certain promoting effect on improving the yield of polysaccharides.

KEY WORDS: steam explosion; asparagus; processing waste; polysaccharides

收稿日期: 2020-04-26

基金项目: 山东省重点研发计划(2017YYSP006)

作者简介: 窦勇博(1990—), 男, 齐鲁工业大学硕士生, 主攻食品科学与工程。

通信作者: 王成忠(1964—), 男, 硕士, 齐鲁工业大学教授, 主要研究方向为食品资源开发。

白芦笋 (*Asparagus officinalis*) 又名石刁柏, 为宿根性多年生百合科天门冬属植物。白芦笋和常见的绿芦笋属于同一种芦笋的不同产出方式, 白芦笋具有更高的营养和食疗功效。国内种植的芦笋除了应季直接供应人们食用以外, 大部分以罐藏和速冻产品的形式出口, 这是由芦笋不耐贮藏的特性所决定的, 其采摘后会在短时间内发生木质化纤维化。在芦笋的初加工及贮运过程中, 需要剔除外观不佳的畸形笋、病态笋、散头笋等, 这些不适合直接销售的原料可以用来提取多糖等功能活性物质。由于芦笋具有不耐贮藏的特性, 因此其加工贮运过程会产生大量的废弃物, 这助推了芦笋加工产业的发展, 对增加其利用价值和扩大产品范围提供了研究方向。

近年来, 我国芦笋种植面积逐渐增大, 加工产业发展迅速, 年产量约为 180 万 t。山东是芦笋的主要种植和加工基地, 其年出口芦笋罐头约占全国出口总量的 33.33%^[1]。在罐头加工过程中产生的老茎等下脚料占原料的 30%~40%, 这些下脚料大多被当作废弃物直接丢弃, 利用率不高, 造成了一定的环境污染和资源浪费。芦笋加工下脚料中含有丰富的营养物质 (如皂苷类化合物^[2]、氨基酸^[3]和多糖类物质^[4-5]等), 其中多糖能够清除自由基、抑制脂质过氧化等, 具有抗肿瘤^[6]、抗炎^[7]、抗衰老^[8]、免疫调节^[9]等多种生物活性功能。刘发生等^[10]研究表明, 芦笋多糖在一定浓度范围内对减少斑马鱼体内中性粒细胞数量具有明显的改善作用。从芦笋采收地或者加工后的一些废弃物、下脚料中提取多糖活性功能成分, 既可以减少对环境的污染, 也能够增加其附加值, 达到变废为宝的目的^[11]。

实验中常用的多糖提取方法为直接热水浸提法, 黄晓德等^[12]对芦笋茎叶中粗多糖的提取工艺进行了研究, 确定了水提法的最佳条件, 料腔比 (物料占料腔体积的比值) 为 1:20, 温度为 90 °C, 时间为 2 h。此外, 生物酶解法、超声提取法、微波提取法等也是近年来研究较多的多糖辅助提取方法。蒸汽爆破技术在玉米秸秆汽爆纤维素的制备等方向上应用得较为广泛, 将蒸汽爆破预处理技术运用于多糖提取工艺的研究并不常见。蒸汽爆破预处理是在高温高压条件下瞬间产生爆破效应的物理处理方法, 能改变物料结构, 更好地破坏细胞壁, 减少内部组织对多糖等活性成分的束缚, 有利于多糖等物质的提取, 具有提取效率高、节省时间、纯度高优点^[13-15]。易军鹏等^[16]对紫甘薯进行蒸汽爆破预处理提取花色苷, 结果表明, 预处理并未破坏花色苷结构, 并且在一定程度上提高了其抗氧化能力。付晓康等^[17]对米糠进行了蒸汽爆破预处理, 结果表明, 蒸汽爆破使可溶性膳食纤维的提取率提高了 2.77 倍。为探讨蒸汽爆破预处理白芦笋下脚料多糖的最佳工艺, 实验采用蒸汽爆破对原料进行预处理, 以获得更多的多糖组分。

1 实验

1.1 材料与设备

主要实验材料与试剂: 白芦笋加工后的下脚料老茎, 山东恒宝食品集团有限公司; 无水乙醇, 分析纯, 天津大茂化学试剂厂; 蒸馏水, 实验室自制。

主要实验仪器与设备: XFB-400 小型植物粉碎机、YP3001N 电子天平、FD-2 冷冻干燥机、RE100-Pro 旋转蒸发仪、TDL-5A 低速大容量多管离心机、DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱、SHB-III 循环水式多用真空泵、HW-SY21-K 电热恒温水浴锅、QB-S80B 小型汽爆机组。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

热水浸提工艺流程: 白芦笋加工下脚料→清洗→干燥→粉碎→90 °C水浴提取→抽滤浓缩→无水乙醇沉降→离心干燥→芦笋多糖。

蒸汽爆破工艺流程: 白芦笋加工下脚料→清洗→干燥→粉碎→复水调整→蒸汽爆破→50 °C干燥→热水浸提。

1.2.2 样品的预处理

对白芦笋下脚料进行分拣, 选择无变质腐烂的老茎等部分, 先用自来水清理干净样品的表面, 用蒸馏水冲洗后擦拭干净。称取适量样品, 将白芦笋切片放在烘箱中干燥, 在 50 °C下开盖烘干 3 h, 加盖后于干燥皿中降温 30 min, 用万分之一天平称其质量; 在 50 °C下开盖, 继续烘干 4 h, 然后加盖于干燥皿中 30 min, 重复以上操作步骤, 直至连续 2 次实验后其质量小于 1 mg。把经烘干处理的白芦笋下脚料样品用粉碎机进行破碎, 过筛后避光密封保存, 以备后续实验使用。

1.2.3 热水浸提法直接提取多糖

研究热水浸提法直接提取白芦笋下脚料多糖的得率。精确称取过 30 目筛处理后的白芦笋下脚料粉末 1.0 g, 料腔比为 1:20, 在 90 °C下水浴提取 2 h, 冷却。抽滤后浓缩, 加入 4 倍体积的无水乙醇, 静置 12 h, 在 4000 r/min 下离心 20 min, 收集沉淀物, 干燥后计算多糖得率 (%), 见式 (1), 重复 3 次实验。

多糖的得率=提取多糖的质量/白芦笋下脚料的质量×100% (1)

1.2.4 蒸汽爆破预处理样品单因素试验

在单因素试验中, 考察物料粒径 (20, 40, 60, 80, 100 目)、汽爆压力 (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 MPa)、维压时间 (60, 120, 180, 240, 300 s)、料腔比 (1:4, 2:4, 3:4, 4:4) 等因素, 进行蒸汽爆破处理。收集样品, 在 50 °C下干燥 10 h, 按照 1.2.3 节中的热水

浸提条件进行热水浸提，测定多糖得率，研究物料粒径、汽爆压力、维压时间、料腔比等 4 个因素对芦笋下脚料多糖得率的影响。

1.2.5 蒸汽爆破预处理的提取工艺优化

在上述单因素试验的基础上，选取物料粒径、维压时间、汽爆压力等 3 个对白芦笋多糖得率影响显著的因素为响应变量，多糖得率为响应值，按照表 1 进行响应面优化试验。采用 Design-Expert 8.0 软件设计 Box-Behnken 试验方案，通过回归方程拟合各因素和多糖得率之间的函数关系。

表 1 试验因素与水平
Tab.1 Factors and their levels used in experiment

水平	A 粒径/目	B 维压时间/s	C 汽爆压力/MPa
1	20	100	1.0
2	30	120	1.5
3	40	140	2.0

2 结果与分析

2.1 热水浸提法直接提取多糖得率

由表 2 可知，通过研究热水浸提法直接提取白芦笋下脚料多糖，重复 3 次实验得到多糖得率为 7.21%。

表 2 白芦笋加工下脚料中多糖得率
Tab.2 Yield of polysaccharides from white asparagus processing waste

次数	得率/%	平均得率/%
1	7.19	7.21
2	7.15	
3	7.29	

2.2 蒸汽爆破预处理单因素试验

2.2.1 物料粒径对白芦笋多糖得率的影响

由图 1 可知，芦笋多糖得率随着物料粒径的增加，呈现先升高后降低的趋势。当物料粒径为 40 目时，多糖得率达到最高值。这是由于汽爆设备的物料仓呈圆柱状，直径约为 6 cm，当物料粒径较小时，物料颗粒直径较大，会造成蒸汽爆破不彻底，芦笋多糖溶解不完全，导致多糖得率较低；当物料粒径增加时，物料颗粒直径逐渐变小，物料之间粘合得较为紧密，不利于蒸汽的溶胀，从而降低了汽爆作用^[18]。由此可见，从降低成本的角度综合考虑，适宜汽爆提取的物料粒径为 40 目。

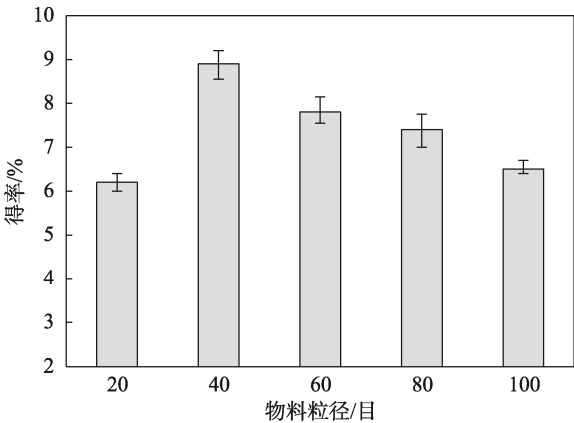


图 1 物料粒径对多糖得率的影响
Fig.1 Effect of material size on polysaccharides yield

2.2.2 汽爆压力对白芦笋多糖得率的影响

由图 2 可知，芦笋多糖得率随着汽爆压力的增加，呈现先升高后降低的趋势，当汽爆压力为 1.5 MPa 时，多糖得率达到最高值；继续增加汽爆压力，多糖得率将会逐渐降低。这是由于在高温高压下细胞结构发生了改变，当突然减压时，芦笋中不溶性多糖的糖苷键发生断裂，得到了小分子还原糖^[19]。当汽爆压力过高时，多糖将会发生碳化，导致得率降低。由此可见，综合考虑提高得率、节能高效等因素，适宜蒸汽爆破提取的压力为 1.5 MPa。

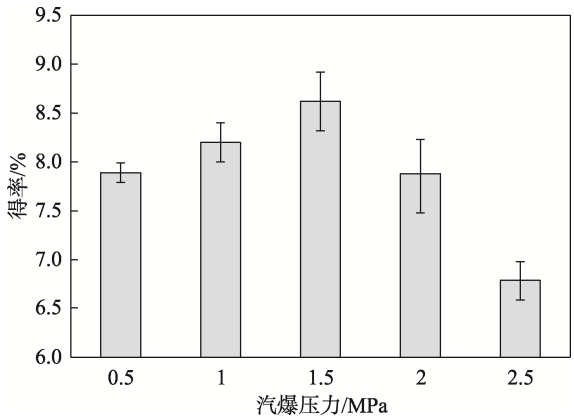


图 2 汽爆压力对多糖得率的影响
Fig.2 Effect of steam explosion pressure on polysaccharides yield

2.2.3 蒸汽爆破维压时间对白芦笋多糖得率的影响

由图 3 可知，芦笋多糖得率随着蒸汽爆破维压时间的增加，呈现先升高后缓慢降低的趋势。当维压时间为 180 s 时，芦笋的多糖得率达到最大值；继续增加维压时间，多糖得率将缓慢降低。这是由于在蒸汽爆破过程中，水蒸气的渗透作用随着时间的增加逐渐变强，当骤然减压时多糖的“束缚力”得到了释放^[20]。维压时间过长将会导致多糖大分子物质发生降解，使多糖得率变低^[21]，因此从绿色环保节能等方面考虑，适宜蒸汽爆破提取的时间为 180 s。

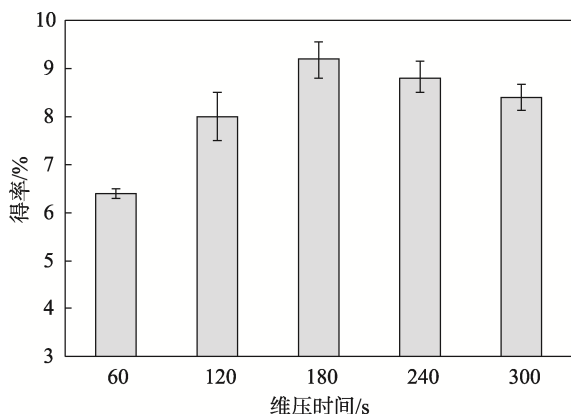


图3 蒸汽爆破维压时间对多糖得率的影响

Fig.3 Effect of steam explosion time on polysaccharides yield

2.2.4 料腔比对白芦笋多糖得率的影响

由图4可知,芦笋多糖得率随着料腔比值的上升,呈现先升高后缓慢降低的趋势。当料腔比为2:4时,芦笋多糖得率达到最大值;继续增加料腔比,多糖得率将缓慢降低。这是由于随着物料添加量的增加,水蒸气的膨胀力逐渐增强;当物料添加过多时,水蒸气的膨胀力逐渐减弱,多糖得率降低。由此可见,从节约原料等方面考虑,适宜蒸汽爆破提取的料腔比为2:4。

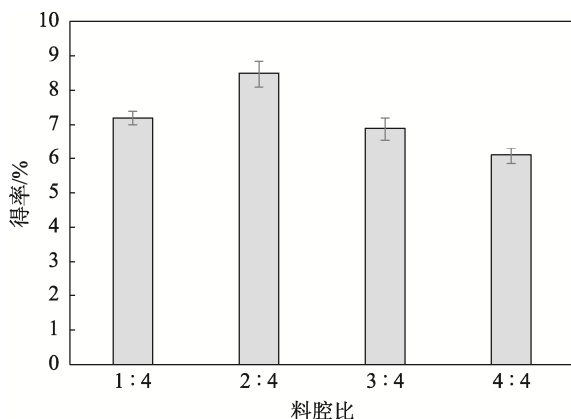


图4 料腔比对多糖得率的影响

Fig.4 Effect of material cavity ratio on polysaccharides yield

2.3 蒸汽爆破预处理的响应面试验结果

2.3.1 响应面试验结果与方差分析

根据单因素试验的结果,进行蒸汽爆破预处理的响应面优化,结果见表3。将表3中的数据采用Design-Expert 8.0.6软件进行分析,以A(粒径)、B(维压时间)、C(汽爆压力)为自变量,以Y(多糖得率)为因变量,建立二次响应面回归方程,方程为: $Y=8.72+0.41A+0.35B+0.45C-0.10AB-0.0025AC-0.078BC-0.61A^2-0.35B^2-0.66C^2$ 。

表3 响应面试验设计和多糖得率的测定结果
Tab.3 Response surface test design and determination of polysaccharide yield

试验号	A	B	C	得率/%
1	-1	-1	0	6.85
2	1	-1	0	7.94
3	-1	1	0	7.78
4	1	1	0	8.46
5	-1	0	-1	6.62
6	1	0	-1	6.38
7	-1	0	1	7.52
8	1	0	1	8.27
9	0	-1	-1	6.83
10	0	1	-1	7.65
11	0	-1	1	7.91
12	0	1	1	8.42
13	0	0	0	8.74
14	0	0	0	8.72
15	0	0	0	8.76
16	0	0	0	8.70
17	0	0	0	8.69

方差分析见表4。由表4可知,由白芦笋加工下脚料多糖得率建立的回归模型中显著水平 $P < 0.0001$,说明该实验建立的回归方程模型非常显著,失拟项 $P=0.0947 > 0.05$ 不显著, $R^2=0.9791$,模型调整确定系数 $R^2_{Adj}=0.9962$,此模型解释了99.62%响应值变化,说明该回归方程的拟合误差较小,能够较好地显示预测值和实际值,白芦笋加工下脚料多糖得率可以用该模型进行预测和分析。在此模型中,A,B,C, A^2 , B^2 , C^2 的 $P < 0.0001$,说明粒径、维压时间、汽爆压力、粒径二次项、维压时间二次项和汽爆压力二次项对多糖得率的影响极显著;AB和BC的 $P < 0.05$,说明粒径和维压时间的交互项,以及维压时间和汽爆压力的交互项对多糖得率的影响显著;AC(粒径和汽爆压力的交互项)对多糖得率影响不显著。A(粒径)、B(维压时间)、C(汽爆压力)等3个因素中对多糖得率的影响由大到小的顺序为:汽爆压力、粒径、维压时间。

2.3.2 响应面分析

响应面三维图能够直观地反映两因素间的交互作用与响应值之间的关系,响应面曲面坡度越陡峭,等高线呈椭圆形,说明两因素的交互作用显著^[22]。通过对响应面弯曲程度和等高线图的观察,在实验数据范围内,响应面存在极值点,由图5可知,粒径和维压时间的交互作用对多糖得率的影响均较强;粒径

表 4 方差分析结果
Tab.4 Results of variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	8.42	9	0.94	468.22	<0.0001	**
A	1.34	1	1.34	673.36	<0.0001	**
B	0.97	1	0.97	483.72	<0.0001	**
C	1.66	1	1.66	829.28	<0.0001	**
AB	0.42	1	0.42	21.04	0.0025	
AC	2.5×10^{-5}	1	2.5×10^{-5}	0.013	0.9141	
BC	0.024	1	0.024	12.03	0.0104	
A ²	1.57	1	1.57	783.85	<0.0001	
B ²	0.53	1	0.53	265.32	<0.0001	
C ²	1.86	1	1.86	931.63	<0.0001	
残差	0.014	7	1.997×10^{-3}			
失拟相	0.011	3	3.567×10^{-3}	4.35	0.0947	
纯误差	3.28×10^{-3}	4	8.2×10^{-3}			
总和	8.43	16				
R ²	0.9791					
R ² _{Adj}	0.9962					

注：*表示显著（ $P<0.05$ ）；**表示极显著（ $P<0.001$ ）

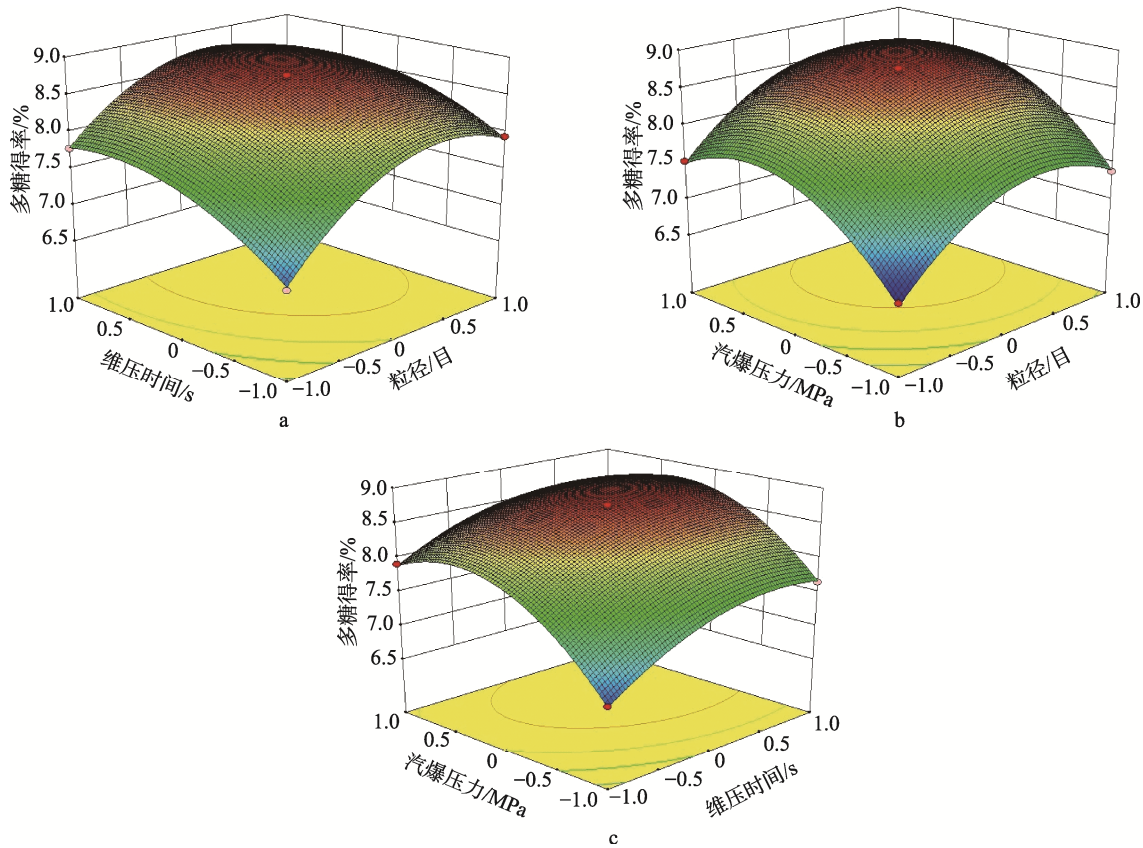


图 5 各因素交互作用响应面
Fig.5 Response surface plots of interaction of various factors

和汽爆压力的交互作用对多糖得率的影响较弱,但也存在一定程度的影响;维压时间和汽爆压力的交互作用对多糖得率的影响较强,这与方差分析的结果相一致。

2.3.3 验证实验

利用 Design-Expert 8.0.6 软件,得到了多糖得率最高的处理条件:粒径为 33.01 目,维压时间为 128.23 s,汽爆压力为 1.66 MPa,在此条件下的理论多糖得率为 8.92%。结合实际情况,对上述最优条件进行修正微调后,并进行了实验验证,调整后的条件为粒径 30 目、维压时间 128 s、汽爆压力 1.50 MPa,在此条件下,重复做了 3 次实验,得到多糖的平均得率为 8.86%,得率的实际值与预测值相近,重复性较好,说明该回归模型优化所得参数精准可靠。

3 结 语

在单因素试验的基础上,以多糖得率为响应值,利用响应面优化试验筛选出显著影响蒸汽爆破预处理提取白芦笋加工下脚料多糖的 3 个因素:汽爆压力、粒径、维压时间。通过响应面分析表明,回归方程模型非常显著,用此模型预测多糖得率可行。采用响应面试验优化了提取工艺:粒径 30 目、维压时间 128 s、汽爆压力 1.50 MPa,在此条件下,实验验证芦笋的多糖得率达到 8.86%,较直接热水浸提法的多糖得率增加了 22.88%。实验表明,蒸汽爆破预处理对提升多糖得率具有一定的促进作用。

实验将蒸汽爆破预处理用于白芦笋加工下脚料多糖的提取,对多糖提取工艺的研究提供了不同思路。这是由于蒸汽爆破预处理使多糖大分子受到蒸汽爆破的影响,植物细胞结构受到一定程度的破坏,化学键断裂,非共价键作用力减小,大分子间的空间更加疏松,更有利于功能性物质的提取,这导致大分子结构多糖和小分子低聚体增多。进行工艺优化后即得到了蒸汽爆破预处理的最佳工艺,与其它提取方法相比较,该方法在原料预处理方面进行了有益的探索。研究芦笋多糖的提取对弥补其不耐保鲜的特性,指导其在贮藏加工食品工业中的应用,增加其附加值等具有重要意义。同时,芦笋罐头制品等产业的规模化和工厂化生产对芦笋的贮运包装提出了更高的要求,对未来芦笋罐头新型包装材料的研发提供了方向。

参考文献:

- [1] 臧传江,许念芳,焦健,等.山东省芦笋产业发展现状及对策分析[J].中国果菜,2017,37(12):54—56.
ZANG Chuan-jiang, XU Nian-fang, JIAO Jian, et al. Analysis on Current Situation and Countermeasures of Asparagus Industry in Shandong Province[J]. China

- Fruit & Vegetable, 2017, 37(12): 54—56.
- [2] WANG L W, ZHAO B, HUANG Y X. Determination of Diosgenin in Asparagus Officinalis Byproduct by RP-HPLC[J]. Medicinal Plant, 2011, 2(1): 42—44.
- [3] HAYES P Y, JAHIDIN A H, LEHMANN R, et al. Steroidal Saponins from the Roots of Asparagus Racemosus[J]. Phytochemistry, 2008, 69: 796—804.
- [4] 瞿明.芦笋多糖提取分离、纯化、初步结构鉴定及其抗氧化活性研究[D].武汉:华中农业大学,2011:11—16.
QU Ming. Study on Extraction, Isolation, Purification, Structure and Antioxidant Activity of Polysaccharides from Asparagus[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011: 11—16.
- [5] FUENTES-ALVENTOSA J M, JARAMILLO S, RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ G, et al. Flavonoid Profile of Green Asparagus Genotypes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 6977—6984.
- [6] 夏俊,陈治文,胡守芬,等.芦笋提取液抑制恶性黑色素瘤 A₃₇₅ 细胞增值的研究[J].蚌埠医学院学报,2004,29(2):95—97.
XIA Jun, CHEN Zhi-wen, HU Shou-fen, et al. Asparagus Extract in Inhibiting the Proliferation of Melanoma A₃₇₅ Cells[J]. Journal of Bengbu Medical College, 2004, 29(2): 95—97.
- [7] LEE D Y, CHOO B K, YOON T, et al. Anti-inflammatory Effects of Asparagus Cochinchinensis Extract in Acute and Chronic Cutaneous Inflammation[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2009, 121(1): 28—34.
- [8] 苗明三,顾丽亚,方晓燕,等.芦笋多糖对衰老模型小鼠的影响[J].中国中药杂志,2004,29(7):673—675.
MIAO Ming-san, GU Li-ya, FANG Xiao-yan, et al. Effect of *Phragmites Communis* Polysaccharide on the Aged-model Mice [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2004, 29(7): 673—675.
- [9] GAUTA M M, SAH A S, BAN I S, et al. Immunomodulatory Activity of Asparagus Racemosus on Systemic Th1/Th2 Immunity: Implications for Immunoadjuvant Potential[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2009, 121: 241—247.
- [10] 刘发生,王荣春,郭敬兰,等.利用斑马鱼模型研究芦笋有效成分对免疫功能的调节作用[J].山东科学,2017,30(6):29—34.
LIU Fa-sheng, WANG Rong-chun, GUO Jing-lan, et al. Immune-regulatory Effects of Active Ingredients of Asparagus Using Zebrafish Model[J]. Shandong Science, 2017, 30(6): 29—34.
- [11] 王瑶,吴茂玉,王兆升,等.芦笋下脚料可溶性纤维的提取及其抗氧化性[J].食品工业,2020,41(2):81—85.
WANG Yao, WU Mao-yu, WANG Zhao-sheng, et al. Extraction of Soluble Dietary Fiber from Green Asparagus Waste and Its Antioxidant Activity[J]. The Food

- Industry, 2020, 41(2): 81—85.
- [12] 黄晓德, 赵伯涛, 钱骅, 等. 芦笋茎叶多糖的提取纯化研究[J]. 江西农业学报, 2006(1): 15—18.
HUANG Xiao-de, ZHAO Bo-tao, QIAN Hua, et al. Study on Extraction and Purification of Polysaccharides from Stem and Leaves of *Asparagus Officinalis* L [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2006(1): 15—18.
- [13] 王加启, 赵圣国. 研究人员建立提高玉米秸秆高效利用的蒸汽爆破技术[J]. 基层农技推广, 2019, 7(12): 25.
WANG Jia-qi, ZHAO Sheng-guo. Researchers Set up Steam Blasting Technology to Improve the Efficient Utilization of Corn Straw[J]. Primary Agricultural Technology Extension, 2019, 7(12): 25.
- [14] 王崇队, 张明, 杨立风, 等. 蒸汽爆破预处理辅助提取芦笋老茎多糖工艺研究[J]. 中国果菜, 2019, 39(12): 37—40.
WANG Chong-dui, ZHANG Ming, YANG Li-feng, et al. Study on the Process of Extracting the Old Stem Polysaccharide from Asparagus by Steam Explosion Pretreatment[J]. China Fruit & Vegetable, 2019, 39(12): 37—40.
- [15] 孙毅, 卫青, 赵晓东. 蒸汽爆破技术在小茴香秸秆薄片中的应用[J]. 中国造纸学报, 2019, 34(4): 41—45.
SUN Yi, WEI Qing, ZHAO Xiao-dong. Application of Steam Explosion Technology to Fennel Stalk for Preparing Tobacco Sheet[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2019, 34(4): 41—45.
- [16] 易军鹏, 杨亚皇, 李欣, 等. 蒸汽爆破预处理对紫甘薯花色苷抗氧化性及抑菌性的影响[J]. 农产品加工, 2019(19): 25—30.
YI Jun-peng, YANG Ya-huang, LI Xin, et al. Effect of Steam Explosion Pretreatment on Antioxidation and Antibacterial Activity of Anthocyanins from Purple Sweet Potato[J]. Farm Products Processing, 2019(19): 25—30.
- [17] 付晓康, 苏玉, 黄亮, 等. 蒸汽爆破-超微粉碎对米糠膳食纤维结构和功能性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(4): 142—150.
FU Xiao-kang, SU Yu, HUANG Liang, et al. Effect of Steam Explosion-superfine Pulverization on Structure and Functional Properties of Rice Bran Dietary Fiber[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(4): 142—150.
- [18] 王田林. 蒸汽爆破技术对甘薯渣膳食纤维改性研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2017: 17—25.
WANG Tian-lin. Study on Modification of Dietary Fiber from Sweet Potato Residue by Steam Explosion[D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2017: 17—25.
- [19] 任天宝, 马孝琴, 徐桂转, 等. 响应面法优化玉米秸秆蒸汽爆破预处理条件[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 282—286.
REN Tian-bao, MA Xiao-qin, XU Gui-zhuan, et al. Optimizing Steam Explosion Pretreatment Conditions of Corn Stalk by Response Surface Methodology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(9): 282—286.
- [20] 王崇队, 张明, 马超, 等. 蒸汽爆破对绿芦笋废弃物膳食纤维改性的研究[J]. 中国果菜, 2020, 40(2): 28—34.
WANG Chong-dui, ZHANG Ming, MA Chao, et al. Study on Modification of Dietary Fiber from Green Asparagus Waste by Steam Blasting[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(2): 28—34.
- [21] 贺永惠, 王清华, 黄会丽, 等. 蒸汽爆破提高小麦麸皮中水溶性戊聚糖含量及热重分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 286—291.
HE Yong-hui, WANG Qing-hua, HUANG Hui-li, et al. Steam Explosion Increasing Water Soluble Pentosan content of Wheat Bran and Its the Thermogravimetric Analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(13): 286—291.
- [22] 段伟萍, 李新蕊, 司明东, 等. 山药多糖提取工艺的响应面法优化及其功能活性分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 118—123.
DUAN Wei-ping, LI Xin-rui, SI Ming-dong, et al. Optimization of Extraction Technology for Chinese Yam Polysaccharides by Response Surface Method and Its Hypoglycemic and Antioxidant Activity[J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 118—123.