

响应面法优化紫薯蒟粗多糖乙醇沉淀工艺

王泽锋,石玲,苏一兰,闵勇*
(红河学院理学院,云南蒙自 661199)

摘要:优化了紫薯蒟中粗多糖的乙醇沉淀工艺。在单因素实验的基础上,选取乙醇体积分数、醇沉时间、醇沉温度、相对密度为自变量,粗多糖得率为响应值,采用中心组合(Box-Behnken)实验设计方法,研究各自变量及其交互作用对粗多糖得率的影响,采用Design-Expert软件,建立了粗多糖得率与乙醇沉淀过程中各因素的二次多项式模型,并通过响应面优化法确定了紫薯蒟粗多糖乙醇沉淀最佳工艺为:乙醇体积分数75%、醇沉时间18h、醇沉温度0.5℃、相对密度1.23。该条件下粗多糖得率验证值为2.49%,与预测值的相对误差为0.32%。

关键词:紫薯蒟,粗多糖,响应曲面法,苯酚-硫酸法,紫外可见分光光度法

Optimization on response surface models for the optimal extracting conditions of polysaccharides from purple yam via ethanol precipitation

WANG Ze-feng, SHI Ling, SU Yi-lan, MIN Yong*

(Department of Chemistry, Honghe University, Mengzi 661199, China)

Abstract: Response surface methodology was used to optimize the ethanol precipitation technology of polysaccharides from purple yam. Based on single-factor experiments, ethanol concentration, precipitation time, precipitation temperature and relative density were selected as influencing factors during extraction. The experiment mathematical model was arranged according to Box-Behnken central composite experiment design, which studied each variable and their interactions on the yield of polysaccharide. The quadratic multinomial model on the contents of polysaccharide and each influence factor of ethanol precipitation of polysaccharides was established by using the Design-Expert software. The optimal conditions for precipitating polysaccharides obtained were achieved after 18h precipitation with 75% ethanol and relative density 1.23 at 0.5℃, under which the highest yield of polysaccharides reached with verified value being of 2.49% and the relative error was 0.32% compared to the predictive value.

Key words: purple yam; polysaccharide; response surface method; phenol-sulfuric acid method; UV-visible spectrophotometry

中图分类号:TS201.1

文献标识码:B

文章编号:1002-0306(2014)12-0240-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.044

多糖(polysaccharides, PS),又称多聚糖,是一种具有广泛生物活性的大分子,自然界中广泛存在于有机物体中的生物聚合体。多糖不仅是各种生物的营养成分,而且还参与多种生命活动。大多数的多糖都属于中药中所指五味药中的甘味药,此类药是人体代谢所需要的营养成分,具有补充营养,强壮机体,增强、调节免疫功能,提高抗病能力^[1-4]等作用。因此,活性多糖提取及功效研究已经成为生物医药研究的重要内容之一。紫薯蒟别名紫山药、紫蒟药,是薯蒟科草本蔓生性植物,紫薯蒟块根表皮紫褐色,肉乳白色中带紫点或为全紫色,含有比普通薯蒟更多

的维生素和微量元素,特别是多糖、花色苷、皂苷、氨基酸,具滋肺、益肾、健脾、止泻、降压、利肝等功效,是集美味和保健于一体的药食兼用的绿色食品^[5-6]。目前,在我国,对紫薯蒟主要活性多糖成分提取的方法主要是常规水提法^[7]、超声波辅助提取法^[8]、纤维素酶法^[9]。目前,乙醇沉淀法已应用于特色生物资源中多糖的提取,而对于采用乙醇沉淀法提取紫薯蒟中的多糖尚未见报道。

多糖是多羟基的醛或酮,可溶于水,但是多糖水溶液中加入乙醇会破坏其中的氢键,从而降低多糖在水中的溶解度,使多糖以沉淀的形式析出。利用多糖溶于水而不溶于高浓度的乙醇,可使多糖从水溶液中沉淀出来。乙醇沉淀法提取生物资源中的多糖具有设备简单、生产成本低、便于规模化生产,具有较好的适用性^[10-11]的优点。本论文以紫薯蒟为原料,研究了乙醇沉淀法提取多糖的条件,考察了乙醇的体积分

收稿日期:2013-08-30 * 通讯联系人

作者简介:王泽锋(1984-),男,硕士研究生,助教,研究方向:天然产物与食品开发。

基金项目:云南省科技厅应用基础研究项目2013FZ120。

数、醇沉时间、醇沉温度和相对密度对粗多糖得率的影响,并采用响应法对多糖提取条件进行优化。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫薯蕨 于2012年11月采自云南省红河州元阳县农贸市场,挑选当年采收,新鲜无腐烂的块状“糊芦”根茎,将紫山药洗净备用;葡萄糖、浓硫酸、苯酚、95%无水乙醇等 上海国药集团化学试剂有限公司,分析纯。

MAS-II型常温微波萃取仪 上海新仪微波化学科技有限公司; **UV-2000X型紫外-可见分光光度计** 上海尤尼科有限公司; **FA1004型电子天平** 上海精密科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 多糖含量与得率的测定

1.2.1.1 葡萄糖标准曲线的制作 精密称取105℃下干燥至恒重的葡萄糖10mg,置于100mL容量瓶中,加水溶解并稀释至刻度,摇匀,配得葡萄糖标准溶液。精密吸取葡萄糖标准溶液0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2mL,分别置于10mL容量瓶中,然后加入1mL 5%苯酚溶液,摇匀,迅速加入5mL浓硫酸,摇匀后放置20min。加入蒸馏水定容。用分光光度计在波长490nm处测定吸光度,以葡萄糖浓度为自变量,吸光度为因变量,获得葡萄糖浓度和吸光度的标准线性回归曲线^[12]。

1.2.1.2 多糖的测定 粗多糖含量的测定采用苯酚-硫酸法^[13-14]。精密吸取样品溶液1mL于10mL容量瓶中,并加水稀释定容。然后精密量取1mL于10mL容量瓶中,加入1mL 5%苯酚溶液,摇匀,迅速加入5mL浓硫酸,混匀后静置20min,加入蒸馏水定容。用分光光度计在波长490nm处测定吸光度。

采用苯酚-硫酸法测定紫薯蕨粗多糖含量:多糖类在硫酸作用下,先水解成单糖分子,迅速脱水生成糖醛衍生物,然后与苯酚合成有色化合物,以比色法测定其含量^[10]。粗多糖得率计算公式如下:

$$\text{粗多糖得率}(\%) = \frac{\text{粗多糖}(\text{g})}{\text{样品}(\text{g})} \times 100$$

1.2.2 紫薯蕨中多糖的提取 紫薯蕨中粗多糖的提取采用以下方法进行^[15]:称取5.0g紫薯蕨样品,匀浆,置于微波萃取仪专用三颈烧瓶中,以水作为溶剂,料液比1:30(g:mL)、提取温度90℃、提取时间1h,微波功率为900W,微波频率是2450MHz,于微波萃取仪加热,用玻砂漏斗过滤得到紫薯蕨提取液,收集备用。

1.2.3 乙醇沉淀法从紫薯蕨提取液中提取多糖 取紫薯蕨提取液,旋转蒸发浓缩(40~45℃时测定,韦氏比重称法);加乙醇并搅拌;静置;采用4000r/min离心分离10min,弃去上清液,收集得到的粗多糖。

1.3 实验设计

1.3.1 紫薯蕨中粗多糖提取单因素实验 以粗多糖得率为指标,分别考察紫薯蕨水提液浓缩至相对密度(1.00、1.10、1.20、1.30、1.40、1.50)、乙醇体积分数(50%、60%、70%、80%、90%、95%)、醇沉时间(12、14、16、18、20、22h)、醇沉温度(0、5、10、15、20、25℃)对粗多糖得率的影响,固定乙醇体积分数70%、醇沉

时间18h、醇沉温度5℃。

1.3.2 响应面实验设计 采用Design-Expert软件中的BBD响应面进行实验设计^[16-17],选取沉淀用相对密度(A)、乙醇体积分数(B)、醇沉时间(C)和醇沉温度(D)四个对多糖微波提取效果影响显著的因素为自变量,每个自变量的低、中、高实验水平分别以-1、0、1进行编码。以粗多糖得率(Y)为响应值,对紫薯蕨中粗多糖的乙醇沉淀方法进行四因素三水平研究,利用Design-Expert 8.0.6软件进行数据处理和回归分析。具体的实验因素与水平设计详见表1。

表1 BBD响应面因素水平表

Table 1 Process variables and their levels in four variables-three levels of response surface design

因素	水平		
	-1	0	1
A 相对密度	1.10	1.20	1.30
B 乙醇体积分数(%)	60	70	80
C 醇沉时间(h)	16	18	20
D 醇沉温度(℃)	0	5	10

2 结果与分析

2.1 标准曲线

将上述已处理的葡萄糖标准储备液,在490nm处用紫外分光光度计测定其吸光值,按1.2.1.1中的分析条件进行测定,以葡萄糖浓度c为横坐标,吸光度A为纵坐标,进行线性回归,得回归方程。A=30.105+0.0182c,相关系数为R²=0.9999。

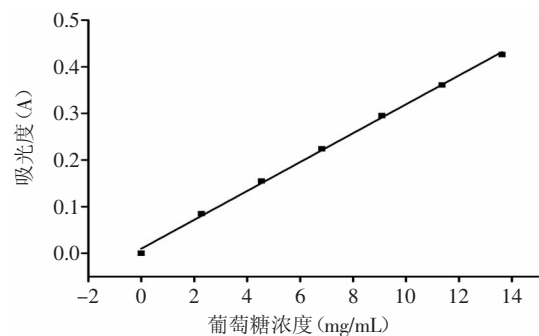


图1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 Standard curve for glucose concentration determination

2.2 紫薯蕨多糖提取的工艺选择

2.2.1 相对密度对粗多糖得率的影响 由图2可知,相对密度在1.00~1.20内,随着相对密度的增加,提取得粗多糖得率明显上升,当达到1.20时,粗多糖得率最高,再增加提取液相对密度,粗多糖得率反而下降,这可能是因为旋转蒸发浓缩过程中,加热时间过长,部分紫薯蕨多糖降解为单糖^[18-19],乙醇沉淀出的多糖含量减少。因此,选择1.2作为最佳的醇沉提取相对密度。

2.2.2 乙醇体积分数对粗多糖得率的影响 采用醇沉法提取多糖时,乙醇体积分数对粗多糖得率的影响很大,主要取决于多糖的相对分子质量的大小和

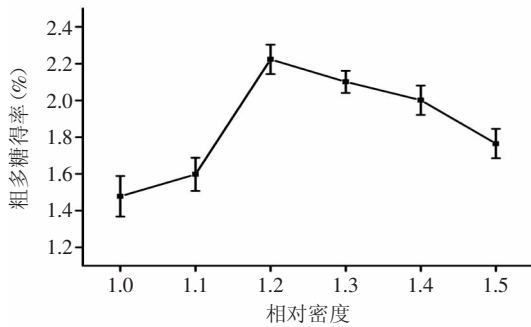


图2 相对密度对粗多糖得率的影响

Fig.2 Effect of relative density on the yield of crude polysaccharides

分子的形状。一般情况下,多糖的分子质量越大,被沉淀下来所需的乙醇体积分数越小^[10]。粗多糖得率与乙醇体积分数的关系见图3。由图3可知,随着乙醇体积分数从50%升高到80%,粗多糖得率明显增加。但进一步增加乙醇体积分数,粗多糖得率变化不明显,这主要是因为随着乙醇体积分数的增加,部分多糖溶于乙醇溶液而未被沉淀下来,导致粗多糖得率下降。因此,综合考虑乙醇用量及粗多糖得率,沉淀用乙醇体积分数取80%。

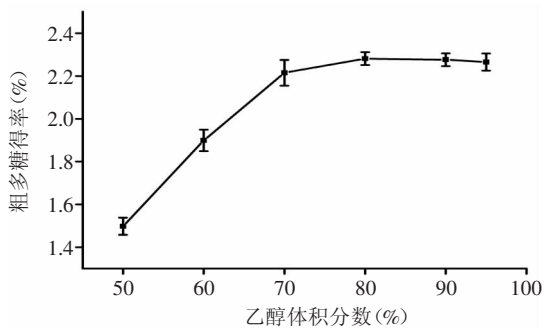


图3 乙醇体积分数对粗多糖得率的影响

Fig.3 Effect of alcohol concentration on the yield of crude polysaccharides

2.2.3 醇沉时间对粗多糖得率的影响 由图4可知,醇沉时间在12~18h内,随着醇沉时间的增加,粗多糖得率上升的幅度显著。但是,醇沉时间在18~22h内提取到的粗多糖得率基本不变。这是由于紫薯

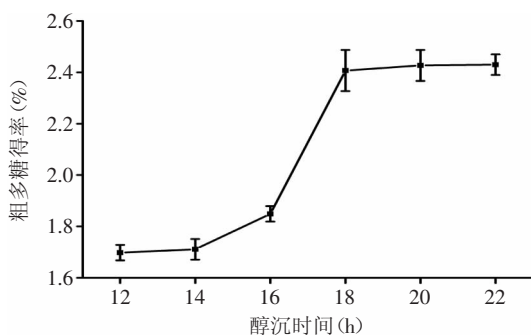


图4 醇沉时间对粗多糖得率的影响

Fig.4 Effect of precipitation time on the yield of crude polysaccharides

蒎多糖在水溶液中溶解和扩散达到了平衡而使粗多糖得率变化趋缓。综合考虑,选择18h作为最佳醇沉时间。

2.2.4 醇沉温度对粗多糖得率的影响 由图5可知,醇沉温度在0~25℃内,随着醇沉温度的增加,粗多糖得率呈逐渐下降的趋势,醇沉温度在0℃时粗多糖得率含量达到最高,这是因为温度较低时,降低多糖在醇沉溶液中的溶解度,有利于多糖的沉淀析出,温度升高时,增加了多糖在醇沉溶液中的溶解度,导致沉淀析出的粗多糖含量较少,因此,选0℃作为最佳的醇沉温度。

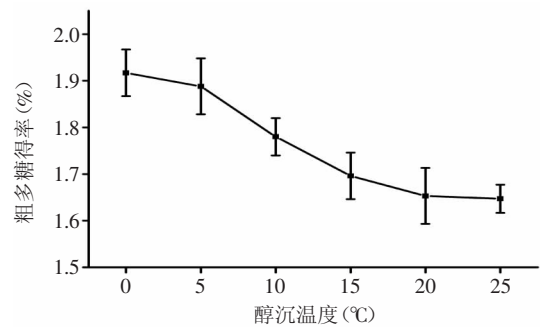


图5 醇沉温度对粗多糖得率的影响

Fig.5 Effect of precipitation temperature on the yield of crude polysaccharides

2.2.5 BBD响应面实验设计 本次实验共有29个实验点,分为两类:其一是析因点,自变量取值在各因素所构成的三维顶点,共有24个析因点;其二是零点,为区域的中心点,零点实验重复5次,以多糖含量为响应值,结果见表2。

2.2.6 建立模型方程与方差分析 应用Design-Expert 8.0.6软件对表3中的数据进行二次回归方程拟合,得到相对密度(A)、乙醇体积分数(B)、醇沉时间(C)、醇沉温度(D)与粗多糖得率之间的二次多项回归方程:

$$Y=2.39+0.21A+0.13B+0.042C-0.095D-0.053AB-0.012AC-0.019AD+0.022BC-0.023BD+0.060CD-0.46A^2-0.15B^2-0.13C^2-0.035D^2$$

对上述回归模型进行显著性检验,结果见表3。

2.2.7 响应面分析及最优提取条件的确定 由表3可知,该回归模型极显著($p<0.0001$),且方程的失拟项不显著($p=0.1322>0.05$),表明该方程对实验拟合情况较好,实验误差小。模型决定系数 $R^2=0.9559$,说明响应值(得率)的变化有95.59%来源于所选变量,即相对密度、乙醇体积分数、醇沉时间和醇沉温度。因此,回归方程可以较好地描述各因素与响应值之间的真实关系,可以利用该回归方程确定最佳提取条件。回归方程中各自变量对指标(响应值)影响的显著性,由F检验来判定,概率p的值越小,则相应变量的显著程度越高。由表中可以看出,各因素一次项A、B、D是极显著的,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 也是极显著的,由此可见,各因素对响应值的影响不是简单的线性关系。各因素对紫薯蒎多糖得率的影响次序为:相对密度一次项(A)>乙醇体积分数一次项(B)>醇沉温度一次项(D)>醇沉时间一次项(C)。

表2 乙醇沉淀粗多糖BBD响应面实验设计及结果
Table 2 Box-Behnken design and results for response surface analysis for optimizing ethanol precipitation of crude polysaccharides

实验号	A	B	C	D	Y 粗多糖得率(%)
1	0	0	-1	1	2.019
2	0	1	-1	0	2.232
3	0	0	0	0	2.357
4	0	-1	-1	0	1.939
5	0	1	0	-1	2.365
6	1	0	0	1	2.121
7	-1	0	0	-1	1.686
8	0	0	1	-1	2.327
9	-1	1	0	0	1.762
10	1	0	0	-1	2.348
11	-1	-1	0	0	1.495
12	0	1	0	1	2.225
13	0	-1	0	-1	2.142
14	-1	0	1	0	1.621
15	0	-1	1	0	1.987
16	1	0	1	0	1.939
17	1	-1	0	0	1.919
18	0	-1	0	1	1.909
19	0	1	1	0	2.368
20	0	0	1	1	2.256
21	1	1	0	0	1.976
22	0	0	0	0	2.459
23	0	0	-1	-1	2.331
24	0	0	0	0	2.353
25	0	0	0	0	2.434
26	-1	0	-1	0	1.556
27	0	0	0	0	2.339
28	1	0	-1	0	1.921
29	-1	0	0	1	1.534

通过软件分析,得到紫薯蒟粗多糖提取的最佳条件为:相对密度1.23、乙醇体积分数73.37%、醇沉时间17.55h、醇沉温度0.48℃,在此条件下,紫薯蒟粗多糖得率预测值为2.48%。为检验响应曲面法所得结果的可靠性,采用上述优化条件提取紫薯蒟粗多糖,考虑到实际操作的便利,将提取参数修正为:相对密度1.23、乙醇体积分数75%、醇沉时间18h、醇沉温度0.5℃,在此修正条件下提取得到的紫薯蒟粗多糖的得率为2.49%,与理论预测值相比,其相对误差为0.32%小于1%。因此,基于响应曲面法所得的优化提取方法参数准确可靠,具有实用价值。

3 结论

应用醇沉法提取紫薯蒟粗多糖,大大增加了紫薯蒟粗多糖得率。通过单因素实验和Box-Behnken设计实验优化了提取工艺,从而求得紫薯蒟粗多糖乙醇沉淀法提取的最佳工艺条件是:醇沉用乙醇体积分数是75%,相对密度为1.23,醇沉时间为18h,醇沉温度0.5℃,紫薯蒟粗多糖得率为2.49%。

表3 回归模型方差分析

Table 3 Analysis of variance of the quadratic polynomial model

方差来源	平方和(SS)	自由度(ƒ)	均方(MS)	F值	p值
模型	2.34	14	0.17	21.69	<0.0001**
A	0.55	1	0.55	71.44	<0.0001**
B	0.20	1	0.20	25.55	0.0002**
C	0.021	1	0.021	2.70	0.1223
D	0.11	1	0.11	13.93	0.0022**
AB	0.011	1	0.011	1.43	0.2515
AC	5.523×10 ⁻⁴	1	5.523×10 ⁻⁴	0.072	0.7928
AD	1.406×10 ⁻³	1	1.406×10 ⁻³	0.18	0.6757
BC	1.936×10 ⁻³	1	1.936×10 ⁻³	0.25	0.6240
BD	2.162×10 ⁻³	1	2.162×10 ⁻³	0.28	0.6046
CD	0.015	1	0.015	1.88	0.1914
A ²	1.36	1	1.36	177.02	<0.0001**
B ²	0.15	1	0.15	19.81	0.0005**
C ²	0.11	1	0.11	14.51	0.0019**
D ²	8.132×10 ⁻³	1	8.132×10 ⁻³	1.06	0.3216
残差	0.11	14	7.704×10 ⁻³		
失拟项	0.096	10	9.611×10 ⁻³	3.27	0.1322
纯误差	0.012	4	2.936×10 ⁻³		
总误差	2.45	28			
R ²	0.9559				
R ² _{adj}	0.9119				

注:“*”代表有显著性影响,“**”代表具有极显著影响。

参考文献

[1] Li S, Wu Q H, Chen C, *et al.* Recent research progress on antitumor activity of polysaccharides[J]. Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics, 2007, 28(28): 213-216.
 [2] Undie A S, Akubue P I. Pharmacological evaluation of Dioscorea dumetorum tuber used in traditional antidiabetic therapy[J]. Journal of Ethnopharmacology, 1986, 15: 133-144.
 [3] Araghiniknam M, Chung S, Nelson-White, *et al.* Antioxidant activity of dioscorea and dehydroepiandrosterone (DHEA) in older humans[J]. Life Science, 1996, 59: 147-157.
 [4] Tewtrakul S, Itharat A. Anti-allergic substances from the rhizomes of Dioscorea membranacea[J]. Bioorganic Medicinal Chemistry, 2006, 14(24): 8707-8711.
 [5] 陈溟子. 花镜[M]. 2版. 北京: 农业出版社, 1980: 172-175.
 [6] 张秀英, 史历延. 桃花品种资源多样性的研究[J]. 中国园林, 1997, 13(2): 17-19.
 [7] 陈少青, 蒋旭钢, 汪财生, 等. 紫山药多糖超声波辅助提取工艺优化及抗氧化性能研究[J]. 江苏农业科学, 2009(5): 231-234.
 [8] 姚惠伶, 蒋林彬. 超声波提取紫薯蒟多糖的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8357-8358.
 [9] 汪财生, 孙安吉, 王忠华, 等. 紫山药多糖酶法提取工艺优化条件[J]. 食品工业科技, 2010(2): 266-271.
 [10] 许琳, 刘建伟. 米糠多糖乙醇沉淀工艺特性的研究[J]. 农

(下转第248页)

表9 入料流速对喷雾干燥效果的影响

Table 9 Effect of different feeding flow rate on spray drying

入料流速 (mL·h ⁻¹)	出粉率 (%)	含水率 (%)	休止角 (°)
120	36.85±0.45 ^e	4.12±0.09 ^d	30±0 ^d
240	42.11±0.56 ^a	4.89±0.10 ^e	49±1 ^e
360	39.07±0.38 ^b	5.41±0.07 ^b	67±1 ^b
480	30.82±0.50 ^d	7.24±0.09 ^a	69±0 ^a

著。随着入料流速的升高,出粉率出现显著上升再下降,含水率和休止角均出现显著上升。这是因为入料流量过低时,液滴干燥完全,使物料自身的温度过高,会过早的进入黏流态,产生粘壁现象。入料流速过高,物料干燥不完全,产品含水率过高,使产品流动性较差,易产生结块黏壁,使产品的出粉率降低,流动性较差。此外,由于温度过高会使物料发生褐变反应,产生焦糊味,对品质产生不利影响。因此入料流速在240mL·h⁻¹为宜。

表10 压缩空气流量对喷雾干燥效果的影响

Table 10 Effect of different compressed air flow rates on spray drying

压缩空气流量 (mL·h ⁻¹)	出粉率 (%)	含水率 (%)	休止角 (°)
460	40.30±0.25 ^b	4.92±0.06 ^a	50±1 ^a
500	42.38±0.36 ^a	4.86±0.03 ^b	48±0 ^b
540	42.24±0.33 ^a	4.31±0.04 ^c	39±0 ^c
580	40.32±0.27 ^b	4.02±0.03 ^d	25±0 ^d

由表10可知,压缩空气流量对喷雾干燥效果有显著影响。随着压缩空气流量的上升,出粉率先增大再减小,含水率和休止角均显著减小。这是因为在压缩空气流量增大后,液滴的雾化程度增大,使相对的相对受热面积增大,物料干燥的更加充分,水分含量随压缩空气流量增大而显著下降。但压缩空气过高,空气的流动速度加快,会使产品的出粉率降低,而且随着受热面积的增大,使部分物料发生褐变反应,产生稍许的焦糊味,不利于产品的品质,因此喷雾干燥的压缩空气流量在500mL·h⁻¹为宜。

3 结论

3.1 添加Viscozyme L酶对番茄残渣酶解,酶添加量为0.2%,酶解时间为90min,酶解温度为50℃时,其出

汁率达到76.51%,比未经酶处理组提高了12.39%。酶解离心后溶液的固形物含量为15.90%。

3.2 对酶解后番茄残渣水提物添加适量的助干剂进行喷雾干燥,实验结果表明助干剂的最优添加量为:麦芽糊精添加量为75%,环糊精添加量为8%,阿拉伯胶添加量为1%。此时粉末出粉率为42.39%,含水率为4.95%,回潮率为9.14%。

3.3 对喷雾干燥的三个工艺条件参数对出粉率及产品品质影响的研究发现:入料流量在240mL·h⁻¹,进风温度在170℃,压缩空气流量在500mL·h⁻¹,得到产品出粉率为42.38%,且含水量为4.86%,粉末流动性好,感官品质较好,鲜味浓郁,是优良的调味原料。

参考文献

- [1] 姚彤. 寻求突围的中国新疆番茄产业[J]. 中亚信息, 2012(6): 37-38.
- [2] Goula A M, Adamopoulos K G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(1): 35-42.
- [3] 中国科学院学部. 研发可食植物药用产品推动新疆综合经济发展[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(6): 515-518.
- [4] Nir Z, Hartal D, Zach E. The use of soluble tomato solids for reducing the salt content of food products: WIPO Patent 2009104194[P]. 2009-8-28.
- [5] Zach E, Nir Z. Tomato based partial salt replacer for oil based food products: WIPO Patent Application PCT/IL2010/000046[P]. 2010-1-19.
- [6] 许安邦, 林维宣. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008, 79-80.
- [7] 薛文通, 宋瑞霞, 张泽俊. 蜂蜜喷雾干燥后吸湿性的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(S1): 59-61.
- [8] 陈启聪, 黄惠华, 王娟, 等. 香蕉粉喷雾干燥工艺优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 331-337.
- [9] 王静, 王颖, 刘文慧, 等. 麦芽糊精、β-环糊精、CMC和阿拉伯胶对喷雾干燥红枣粉集粉率的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(11): 77-80.
- [10] 胡忠策, 焦学劳, 郑裕国. 助干剂对喷雾干燥技术制备二羧基丙酮饲料添加剂的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(2): 235-239.

(上接第243页)

产品加工·学刊, 2008(4): 22-24.

[11] 金迪, 梁英, 孙工兵. 植物多糖提取技术的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(5): 76-79.

[12] 张陆军, 陈芸芸. 太子参多糖制备工艺研究[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(12): 1201-1203.

[13] 方崇波, 赵夏雨, 吴巧凤. 苯酚硫酸法测定猕猴桃多糖注射剂中多糖的含量[J]. 海峡药学, 2010, 22(10): 64-66.

[14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 2010版. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 265.

[15] 王泽锋, 石玲, 苏一兰, 等. 微波辅助提取紫薯茎中多糖工

艺研究[J]. 食品工业科技, 2014(4): 256-260.

[16] Andre' I K, Siuli M. Response surface methodology [J]. Advanced Review, 2010(2): 128-149.

[17] 温志英, 张朝. 响应面优化柑桔皮黄素微波辅助提取工艺[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 350-355.

[18] 王尉, 徐春明, 曹学丽. 响应面法优化微波辅助提取桑叶多糖的工艺研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2009, 27(4): 6-9.

[19] 李夏兰, 魏国栋, 王昭晶, 等. 均匀设计法优化芥菜多糖提取工艺的研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 104-106.