

利用大孔树脂 对莼菜多糖脱色的工艺优化

张春燕¹, 吴美儒¹, 周毅峰², 唐巧玉^{1,*}

(1. 生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北民族学院, 湖北恩施 445000;

2. 生物科学与技术学院, 湖北民族学院, 湖北恩施 445000)

摘要: 为了研究莼菜多糖的脱色条件, 本文以脱色率为主要测定指标, 首先对比了不同类型的树脂对莼菜多糖的脱色效果, 然后通过树脂种类、脱色温度、脱色 pH 的单因素实验和正交实验对脱色工艺参数进行了优化。结果表明: 采用大孔树脂 NKA-9 树脂, 在脱色温度 55 ℃ 和脱色 pH 为 4 的条件下, 莼菜多糖溶液的脱色率可达到 79.22%, 多糖保留率为 67.54%, 蛋白质去除率为 55.75%。该脱色方法工艺简单, 效果好, 可用于莼菜多糖的脱色。

关键词: 莼菜, 多糖, 大孔树脂, 脱色条件

Optimization of Decolorization Condition of *Brasenia schreiberi* Polysaccharide Using Macroporous Resin

ZHANG Chun-yan¹, WU Mei-ru¹, ZHOU Yi-feng², TANG Qiao-yu^{1,*}

(1. Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization of Hubei Province,

Hubei Institute for Nationalities, Enshi 445000, China;

2. College of Bioscience and Technology, Hubei Institute for Nationalities, Enshi 445000, China)

Abstract: In order to study the *Brasenia schreiber* polysaccharides decolorization condition, the decolorization capability of different kinds of resins was compared taking decolorizing rate as major selection standard. Then through the single factor experiment and orthogonal experiment of resins species, decolorization temperature and decolorization pH, the decolorization process parameters was optimized. The Result showed that NKA-9 resin had the best decolorization ability, under the decolorization temperature 55 ℃ and pH was 4, the decolorization rate of the *Brasenia schreiber* polysaccharides solution reached 79.22%, the *Brasenia Schreiber* polysaccharide retention rate was 67.54%, the protein removing rate was 55.75%. The decolorization process was simple, the effect was good, could be used as a decolorization method of *Brasenia schreiberi* polysaccharides.

Key words: *Brasenia schreiber*; polysaccharides; macroporous resin; decolorization condition

中图分类号: TS201.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)15-0154-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.028

引文格式: 张春燕, 吴美儒, 周毅峰, 等. 利用大孔树脂对莼菜多糖脱色的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 154-157, 164.

莼菜(*Brasenia schreberi*) 别名蹄草、水葵、露葵、湖菜等, 为睡莲科莼菜属中的栽培种, 是一种多年生宿根水生草本蔬菜^[1]。莼菜含有酸性多糖、蛋白质、氨基酸和维生素等化学成分, 有抗肿瘤、抗溃疡、抗菌消炎和促进免疫等生物活性, 具有营养、医疗和保健功效, 为重要的野生经济植物^[2]。

已有的研究表明, 莼菜多糖具有降血糖、降血脂作用^[3-5], 对莼菜多糖结构及功能性的深入研究有利于合理开发利用莼菜。因此, 对于莼菜多糖的提取、

分离和纯化具有重要意义。莼菜粗多糖的提取工艺已有研究^[6-7], 而要得到有一定纯度的多糖, 首先需要通过初步分离纯化除去共存的色素、蛋白等杂质。多糖分离纯化有多种方法, 大孔树脂法是一种常用的初步分离纯化方法, 具有稳定性高、吸附容量大、适用范围广、再生处理方便等诸多优点, 因而被广泛用于天然产物的分离纯化^[8-10]。目前, 针对莼菜多糖进行大孔树脂脱色的优化实验尚未见报道。

本文首先对不同类型的离子交换树脂和吸附树

收稿日期: 2017-11-06

作者简介: 张春燕(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 野生动植物保护与利用, E-mail: 364615070@qq.com。

* 通讯作者: 唐巧玉(1979-), 女, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 天然产物开发利用, E-mail: zhoujunye2009@163.com。

基金项目: 湖北省教育厅重点项目(D20131902)。

脂对莼菜多糖溶液脱色效果进行了考察,然后研究具有较好脱色效果的树脂对莼菜多糖的脱色工艺条件,拟找出能够生产高纯度莼菜多糖的工艺,为莼菜多糖的开发利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莼菜 湖北利川,经脱胶^[11]、60℃烘干、粉碎后过60目筛,即为莼菜粉,备用;大孔阴离子交换树脂D301-G、大孔阳离子交换树脂001×7、大孔吸附树脂X-5、AB-8、NKA-9、NKA 天津南开大学化工厂;牛血清白蛋白(生化试剂) 南京奥生化学技术有限公司;考马斯亮蓝(G-250) 上海化学试剂公司;蒽酮、浓硫酸、氢氧化钠、葡萄糖、盐酸、95%乙醇 均为国产分析纯。

HZS-H 水浴振荡器 哈尔滨市东联电子技术开发有限公司;PHSJ-4A 酸度计 上海雷磁仪器厂;TU-1810 紫外/可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司;PH-030A 数显恒温干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;RE-52 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;ALPHA1-4 真空冷冻干燥机 德国Marin Chris 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 树脂的预处理 称取5.000 g 阴离子交换树脂D301-G,用去离子水反复洗涤直至无泡沫为止,然后用5%盐酸浸泡4 h,再用去离子水冲洗至中性,最后5% NaOH 浸泡4 h,去离子水冲洗至pH8.0;称取5.000 g 阳离子交换树脂001×7,用去离子水反复洗涤直至无泡沫为止,然后用5% NaOH 浸泡4 h,再用去离子水冲洗至中性,最后用5% HCl 浸泡4 h,去离子水冲洗至pH8.0;称取5.000 g 吸附树脂X-5、AB-8、NKA-9、NKA,用5% HCl 浸泡4 h,蒸馏水冲洗至pH6.0,然后用5% NaOH 浸泡4 h,去离子水冲洗至pH8.0,最后用95%乙醇浸泡12 h 蒸馏水清洗备用^[12]。

1.2.2 莼菜多糖的提取 莼菜粉经95%乙醇预处理脱去部分色素后,用55℃热水搅拌浸提2 h,5000 r/min离心10 min,上清液用旋转蒸发器55℃减压浓缩,得到的浓缩粗多糖溶液用3倍体积95%乙醇沉淀,5000 r/min离心10 min收集沉淀,并进行冷冻干燥(-80℃)得到粗多糖,溶解备用。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 树脂的筛选 分别向不同的三角瓶中加入1.0 g D301-G、001X7、X-5、AB-8、NKA-9、NKA 树脂,再加入10 mL pH5.0的莼菜多糖溶液,用55℃的恒温振荡水浴振荡2 h后过滤,测定各种树脂对莼菜多糖脱色率、蛋白质去除率和多糖保留率的影响。

1.2.3.2 pH对树脂脱色效果的影响 分别向不同的三角瓶中加入1.0 g D301-G、AB-8、NKA-9树脂,再加入10 mL pH为4、5、6、7和8的莼菜多糖溶液,用55℃恒温振荡水浴振荡2 h后过滤,测定不同树脂在不同pH条件下对莼菜多糖脱色率的影响。

1.2.3.3 脱色温度对树脂脱色效果的影响 分别向不同的三角瓶中加入1.0 g D301-G、AB-8、NKA-9

树脂,再加入10 mL pH为5.0的莼菜多糖溶液,在30、40、50、60、70℃恒温振荡水浴振荡2 h后过滤,测定不同树脂在不同温度下对莼菜多糖脱色率的影响。

1.2.4 正交设计确定脱色的最佳工艺条件 在单因素实验基础上,采用正交实验法确定茶多糖提取液的最佳脱色条件,按照四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交设计,见表1。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of orthogonal experiment

水平	因素			
	A 树脂种类	B pH	C 温度(℃)	D 空(误差项)
1	D301-G	4	45	1
2	NKA-9	5	50	2
3	AB-8	6	55	3

1.2.5 多糖含量的测定 采用蒽酮硫酸法^[13]。取2 mL多糖溶液,加入8 mL 2 mg/mL的蒽酮-硫酸溶液,混匀,沸水浴中加热15 min,自来水冷却至室温,以蒸馏水代替多糖做空白参比,在625 nm波长处测定吸光度,通过标准曲线得到溶液的多糖含量。

1.2.6 蛋白质含量的测定 采用考马斯亮蓝G-250法^[14]。取1 mL多糖溶液,加入5 mL考马斯亮蓝G-250溶液,混匀,以蒸馏水代替多糖溶液做空白参比,在595 nm波长处测定吸光度,通过标准曲线得到溶液的蛋白质含量。

1.2.7 相关指标的计算

多糖保留率(%) = $C_F \times 100 / C_B$ (C_B 、 C_F 分别为脱色前、脱色后的多糖含量)

蛋白质去除率(%) = $(C_B - C_F) \times 100 / C_F$ (C_B 、 C_F 分别为脱色前、脱色后的蛋白质含量)

脱色率(%) = $(OD_{420_B} - OD_{420_F}) \times 100 / OD_F$ (OD_{420_B} 、 OD_{420_F} 分别为脱色前、脱色后溶液在420 nm处的光密度值)

1.3 数据处理

所有数据均为3次平行实验的平均值,实验数据以均值±标准偏差(Mean±SD)的形式表示,应用Microsoft office excel 2007对实验数据进行分析作图,SPSS软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 树脂的初筛选

从脱色率分析结果来看(表2~表3),在 $\alpha=0.05$ 的精度水平上,六种树脂处理组间F值大于F临界值,证明树脂对莼菜多糖溶液脱色率有显著的影响($p<0.05$)。从各处理脱色率平均数分析来看,树脂001×7与树脂D301-G、AB-8、NKA-9、NKA、X-5对莼菜多糖溶液脱色率有显著性差异($p<0.05$),而树脂D301-G、AB-8、NKA-9、NKA、X-5之间对莼菜多糖溶液脱色率并无显著性差异($p>0.05$),并且D301-G、AB-8、NKA-9三种树脂对莼菜多糖溶液脱色率均达到了60%以上,其中NKA-9对莼菜多糖溶液脱色率达到最大值70.19%。

从多糖保留率的方差分析来看(表4~表5),在

表3 脱色率的方差分析($n=3, \alpha=0.05$)

Table 3 The variance analysis of influence for decolorizing raet($n=3, \alpha=0.05$)

差异源	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>p</i> 值	F crit
组间	0.339573	5	0.067915	4.280079	0.018183	3.105875
组内	0.190411	12	0.015868			
总计	0.529985	17				

表2 脱色率的平均数分析($n=3, \alpha=0.05$)

Table 2 The means analysis of influence for decolorizing rate($n=3, \alpha=0.05$)

组	平均值 ± 标准差 (%)	显著性
D301-G	64.13 ± 1.32	b
AB-8	60.51 ± 1.17	b
NKA	53.67 ± 1.59	b
X-5	59.24 ± 0.24	b
001 × 7	26.88 ± 1.88	a
NKA-9	70.19 ± 1.36	b

注:不同的小写字母代表显著性差异($p<0.05$)。

$\alpha=0.01$ 的精度水平上,六种树脂处理组间 *F* 值远远大于 *F* 临界值, *p* 值为 5×10^{-6} , 证明树脂对莼菜多糖保留率有极显著的影响($p<0.01$)。从各处理多糖保留率的平均数分析来看,001 × 7 与 X-5、D301-G、AB-8、NKA-9、NKA 对莼菜多糖保留率有极显著性差异($p<0.01$), D301-G、AB-8、NKA-9、NKA 对莼菜多糖保留率并无极显著性差异($p>0.01$), 其中 001 × 7 对莼菜多糖保留率达到最大值 59.35%。

表4 多糖保留率的平均数分析($n=3, \alpha=0.01$)

Table 4 The means analysis of influence for polysaccharides holding rate($n=3, \alpha=0.01$)

组	平均值 ± 标准差 (%)	显著性
D301-G	42.17 ± 0.89	AB
AB-8	42.17 ± 1.21	AB
NKA	37.99 ± 1.43	A
X-5	48.72 ± 1.16	B
001 × 7	59.35 ± 2.12	C
NKA-9	36.71 ± 1.42	A

注:不同的大写字母代表极显著性差异($p<0.01$);表6同。

从蛋白质去除率的方差分析来看(表6~表7),

表5 多糖保留率的方差分析($n=3, \alpha=0.01$)

Table 5 The variance analysis of influence for polysaccharides holding rate($n=3, \alpha=0.01$)

差异源	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>p</i> 值	F crit
组间	0.106867	5	0.021373	25.77278	5×10^{-6}	5.064343
组内	0.009952	12	0.000829			
总计	0.116818	17				

表7 蛋白质去除率的方差分析

Table 7 The variance analysis of influence for protein removnig rate($n=3, \alpha=0.01$)

差异源	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>p</i> 值	F crit
组间	0.099457	5	0.019891	15.25524	7.68×10^{-5}	5.064343
组内	0.015647	12	0.001304			
总计	0.115104	17				

在 $\alpha=0.01$ 的精度水平上,六种树脂处理组间 *F* 值远远大于 *F* 临界值, *p* 值为 7.68×10^{-5} , 证明树脂对莼菜多糖溶液中蛋白质去除率有极显著的影响($p<0.01$)。从各处理蛋白质去除率平均数分析来看,树脂 001 × 7 与树脂 D301-G、AB-8、NKA-9、NKA、X-5 对莼菜多糖溶液蛋白质去除率有极显著性差异($p<0.01$), D301-G、AB-8、NKA-9、X-5 对莼菜多糖溶液蛋白质去除率并无极显著性差异($p>0.01$), 并且 D301-G、AB-8、NKA-9、X-5 蛋白质去除率均达到 50% 以上, 其中 AB-8 对莼菜多糖溶液中蛋白质去除率达到最大值 63.7%。

表6 蛋白质去除率的平均数分析($n=3, \alpha=0.01$)

Table 6 The means analysis of influence for protein removnig rate($n=3, \alpha=0.01$)

组	平均值 ± 标准差 (%)	显著性
D301-G	54.16 ± 1.17	BC
AB-8	63.71 ± 1.08	C
NKA	49.78 ± 2.03	B
X-5	54.16 ± 1.56	BC
001 × 7	39.72 ± 1.49	A
NKA-9	58.29 ± 1.82	BC

从脱色率、蛋白质去除率、多糖保留率三个方面综合考虑,筛选出 D301-G、AB-8、NKA-9 三种树脂进行后续实验研究。

2.2 pH 对脱色效果的影响

从图1可以看出,树脂种类不同,脱色的最适 pH 也不同。pH 为 4~8 时, D301-G 和 NKA-9 对多糖溶液的脱色率随着 pH 的增大呈先上升后下降趋势, 均在 pH=6 左右达到较佳脱色效果; AB-8 对多糖溶液的脱色率随着 pH 的增大逐渐下降。总的来说, 三种树脂对莼菜多糖的脱色效果在酸性条件下比较好。综合考虑 pH 对三种不同树脂脱色效果的影响, 选择

pH 为 4~6 作为正交实验的 pH 研究范围。

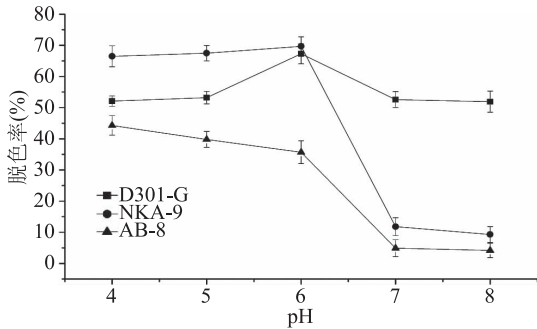


图 1 pH 对脱色效果的影响
Fig.1 Effect of pH on decolorizing rate

2.3 温度对脱色效果的影响

由图 2 可以看出,温度对脱色率的影响较明显。温度在 30~70 ℃ 时,随着温度的增大,NKA-9、AB-8 对多糖溶液的脱色率都呈先上升后下降趋势,当温度在一定范围内升高时,由于分子的扩散速度加快,多糖溶液的粘度下降,色素更易与树脂吸附表面结合,但温度超过一定范围(>50 ℃),因色素与树脂吸附作用力较弱,解吸也会加快,导致脱色率下降,D301-G 对多糖溶液的脱色率 30~60 ℃ 之间呈平稳上升趋势。因在 50 ℃ 左右温度条件下,三种树脂的脱色效果都较好,故选择 45~55 ℃ 作为正交实验的温度范围。

2.4 正交实验确定脱色的最佳工艺条件

从正交实验和极差分析表(表 8)可看出,由 R

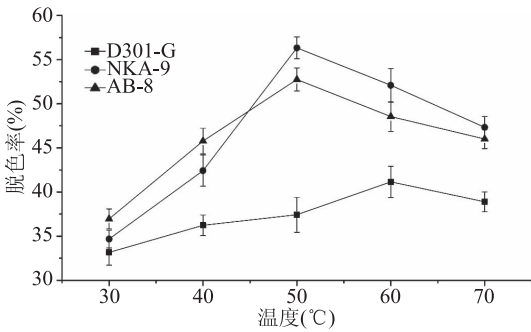


图 2 温度对脱色效果的影响
Fig.2 Effect of temperature on decolorizing rate

值可知,对脱色率来说,树脂种类影响最大,温度的影响次之,pH 影响最小,这与莼菜多糖溶液中色素分子所带的电荷、疏水性、极性、是否容易与吸附树脂的表面基团形成氢键等有关。对多糖保留率来说,树脂种类影响最大,pH 的影响次之,温度影响最小,这可能与莼菜多糖大多是碱溶性的酸性多糖有关。对蛋白质去除率来说,温度的影响较大,树脂的种类次之,pH 影响最小,这与进行树脂种类筛选时测定的蛋白质去除率相一致。由 k 值大小可知,以主要考察指标脱色率进行衡量,优化工艺组合为 A₂B₁C₃。采用优化工艺组合 A₂B₁C₃ 即树脂选用 NKA-9、脱色 pH 为 4 和脱色温度 55 ℃ 对莼菜多糖脱色,得到多糖脱色率为 79.22%,多糖保留率为 67.54%,蛋白质去除率 55.75%,优于正交实验脱色最高组合 A₂B₂C₃。

表 8 莼菜多糖溶液脱色正交实验结果

Table 8 Orthogonal test results of decolorizing of *Brasilia schreberi* polysaccharides

实验号	A	B	C	D(空白)	脱色率 (%)	多糖保留率 (%)	蛋白质去除率 (%)
1	1	1	1	1	66.74	38.53	54.94
2	1	2	2	2	57.90	50.35	64.42
3	1	3	3	3	61.91	48.53	38.95
4	2	1	2	3	70.30	58.62	42.56
5	2	2	3	1	77.89	41.26	36.11
6	2	3	1	2	74.28	64.08	47.97
7	3	1	3	2	71.19	67.54	40.75
8	3	2	1	3	64.74	60.35	42.56
9	3	3	2	1	65.03	76.36	51.59
脱色率 (%)	k ₁	62.18	69.41	68.59			
	k ₂	74.16	66.84	64.41			
	k ₃	66.99	67.07	70.33			
	R	11.97	2.57	5.92			
多糖保留率 (%)	k ₁	45.80	54.90	54.32			
	k ₂	54.65	50.65	61.78			
	k ₃	68.08	62.99	52.44			
	R	22.28	12.34	9.33			
蛋白去除率 (%)	k ₁	52.77	46.08	48.49			
	k ₂	42.21	47.70	52.86			
	k ₃	44.97	46.17	38.60			
	R	10.56	1.61	14.25			

油微胶囊的最佳工艺条件为壁芯比 5:1 (g/mL)、包埋时间 2.0 h、包埋温度 46 ℃、加水量与 β -CD 比 8:1 (mL/g)、乙醇与精油比 30:1 mL/mL,在此工艺条件下的微胶囊包埋得率为 75.15% $\pm$ 0.24%。缓释性能研究显示,在 100 ℃ 条件下加热挥发 10 h,沙枣花精油的挥发率是 29.87%,而微胶囊的挥发率只有 7.22%,因此,微胶囊化可明显降低沙枣花精油的挥发率;同时,对油脂的稳定性的实验结果表明,微胶囊化也能够降低油脂发生过氧化程度,从而提高沙枣花精油的利用率,延长精油的使用寿命,为沙枣的开发利用提供理论参考。

参考文献

- [1] 傅德志,李德铎,包伯坚,等.中国植物志:第 52 卷,第 2 分册[M].北京:科学出版社,1997:40.
- [2] 马丽娟.沙枣的开发利用[J].宁夏科技,2000(4):37.
- [3] 张凤春.沙枣资源的利用与保护[J].自然资源,1990(5):32-35.
- [4] 张万年,刘泽鹰,王哲民.沙枣树药用价值和有效成分研究的进展[J].中草药,1986,17(7):41-44.
- [5] 王雅,樊明涛,赵萍,等.沙枣多酚超声波辅助提取工艺优化及抗氧化性研究[J].中国食品学报,2011,11(2):95-102.
- [6] 邓彦斌,刘宗渊,姜彦成,等.沙枣花蜜腺的发育解剖学研究[J].植物研究,1998,18(1):34-37.
- [7] 廉宜君,李元元,李敏,等.超临界 CO₂ 萃取和水蒸气蒸馏法萃取沙枣花挥发油工艺的比较研究[J].中国中医药信息杂志,2010,17(1):51-53.
- [8] 杨继涛.兰州沙枣花挥发性物质分析[D].兰州:兰州大学,2010.
- [9] 乔海军,杨继涛,杨晰,等.沙枣花挥发油化学成分的 GC-MS 分析[J].食品科学,2011,32(16):233-235.
- [10] 任小玲,岳淑丽,向红,等.桉叶精油微胶囊工艺优化及缓释性能研究[J].包装工程,2017,38(9):107-111.

- [11] 梁治齐.微胶囊技术及其应用[M].北京:中国轻工业出版社,1999.
- [12] 王家良,王永斌,陈龙.八角油树脂微胶囊的制备[J].中国粮油学报,2008,23(3):107-110.
- [13] 朱红梅,张彦军,徐飞,等.4 种物理方法制备香草兰精油微胶囊的比较分析[J].食品科学,2017,38(21):106-111.
- [14] 王延圣,苏平.微胶囊技术在植物精油中的应用及研究进展[J].食品工业科技,2012(10):453-456.
- [15] 姚健,赵保堂,王俊龙等.甘肃黄花蒿超临界 CO₂ 萃取产物化学成分的差异性分析[J].草业科学,2009,26(3):57-63.
- [16] 陆宁,宛晓春.茉莉精油微胶囊香气成分的释放研究[J].食品与发酵工业,2004,30(3):30-34.
- [17] 赵保堂,寇宁,汪月,等.微波辅助提取红芪多糖[J].食品发酵与工业,2015,41(11):228-236.
- [18] 王娣,许晖,汪张贵,等.百里香精油的微胶囊制备及缓释性能[J].食品科学,2013,34(6):61-63.
- [19] 陈计密,宋丽军,张云,等. β -环糊精包合薰衣草精油工艺的研究[J].2009,34(4):106.
- [20] 陶艳,吴轲璐,任喜平. β -环糊精包合玫瑰精油制备微胶囊香精的工艺研究[J].应用化工,2011,40(3):512.
- [21] 徐宁,谭日和,王锋,等.桉叶精油微胶囊的制备方法研究[J].食品工业科技,2014(14):321-325.
- [22] 刘文妮,沈科萍,张忠,等.响应面法优化孜然精油微胶囊工艺[J].食品科学,2014,35(8):19-21.
- [23] 王倩.响应面优化壳聚糖包裹白豆蔻精油微胶囊的制备[J].食品工业,2016,37(3):130-131.
- [24] 李安,肖小年,郭烨,等.柚子籽油- β -环糊精微胶囊制备工艺的优化[J].中国油脂,2013,38(10):47.
- [25] 于蒙,沙漠,刘珊珊,等.甜杏仁油微胶囊化工艺响应面法优化[J].食品与机械,2012,28(1):223-226.
- [26] 文震,刘波,郑宗坤,等.玫瑰精油 β -环糊精包合物的制备与表征[J].食品科学,2009,30(10):29-32.
- [27] 邓靖,谭日和,薛琼.丁香精油 β -环糊精微胶囊制备工艺条件的优化[J].包装工程,2010,31(11):19-22.

(上接第 157 页)

3 结论

通过正交实验工艺优化,得到了莼菜多糖大孔树脂脱色的最佳工艺。采用 NKA-9 树脂,在脱色温度为 55 ℃ 和脱色 pH 为 4 的条件下,莼菜多糖溶液的脱色率为 79.22%,多糖保留率为 67.54%,蛋白质去除率为 55.75%,莼菜多糖得到了初步纯化,可采用离子交换层析和凝胶过滤层析对其进行进一步纯化。

参考文献

- [1] 刘成秀,马祖陆,肖丹,等.莼菜扦插的影响因素研究[J].安徽农业科学,2013,41(4):1812-1813,1821.
- [2] 高邦权,张光富,陈会艳.不同生境下莼菜群落的物种多样性[J].应用生态学报,2007,18(2):283-287.
- [3] 刘翠俐,于秋英.莼菜多糖粘胶降血糖作用的研究[J].职业与健康,2004,20(6):142-143.
- [4] 于秋英,刘翠俐,陈桃香,等.莼菜多糖蛋白体降低小鼠血脂作用的研究[J].中国公共卫生学报,1997,16(2):85-86.
- [5] 刘翠俐,于秋英,刘洪,等.莼菜多糖降低小鼠血糖作用的研究[J].现代预防医学,1999,26(3):358-359.

- [6] 王淑如,夏尔宁,周岚.莼菜多糖的提取分离及某些生物活性的研究[J].中国药科大学学报,1987,18(3):87.
- [7] 唐巧玉,周毅峰,吴永尧.莼菜水溶性多糖提取工艺优化研究[J].北方园艺,2008(3):40-41.
- [8] 宿玮,王彦超,张翠玉,等.海地瓜多糖脱色工艺研究[J].离子交换与吸附,2011,27(6):521-529.
- [9] 黄素华,邱丰艳,戴婉妹,等.枇杷叶多糖纯化工艺及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2017,38(5):205-209.
- [10] 邓琴琴,林晓璇,张明,等.大孔树脂分离纯化菠萝蜜果皮黄酮工艺及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2017,38(5):246-251,257.
- [11] 周毅峰,唐巧玉,吴永尧.脱胶莼菜嫩叶生物大分子中锌的分布研究[J].食品科学,2008,29(6):108-110.
- [12] 王元凤.茶多糖的分离纯化、结构及构效关系研究[D].无锡:江南大学,2005.
- [13] 王佩芬,池源,王丽波.蒽酮-硫酸比色法测定南瓜籽多糖含量[J].食品研究与开发,2014,35(24):121-125.
- [14] 王学奎.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2006.