

干燥方式对牛蒡多糖理化性质及抗氧化活性的影响

Effects of drying methods on physiochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from roots of *Arctium lappa* L.

喻俊¹ 张利¹ 李亚波¹ 贾春红²

YU Jun¹ ZHANG Li¹ LI Ya-bo¹ JIA Chun-hong²

(1. 四川农业大学理学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川农业大学林学院, 四川 成都 611130)

(1. College of Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

摘要:分别研究热风干燥、真空干燥和冷冻干燥 3 种方式对牛蒡粗多糖理化性质和抗氧化活性的影响。结果表明: 3 种干燥方式所得牛蒡多糖均为灰白色固体、是无多酚类物质的非淀粉类多糖; 冷冻干燥牛蒡粗多糖的多糖含量和蛋白质含量最高, 分别为 $(90.72 \pm 1.45)\%$ 和 $(2.41 \pm 0.17)\%$; 真空干燥牛蒡粗多糖的糖醛酸含量最高, 为 $(2.66 \pm 0.09)\%$; 热风干燥牛蒡粗多糖的相对分子量最大, 为 46.74×10^4 Da。同时, 冷冻干燥牛蒡粗多糖的抗氧化活性高于热风和真空干燥, 其 DPPH 自由基和羟自由基清除率以及还原力的 IC_{50} 分别为 2.11, 2.44, 3.68 mg/mL。综上, 考虑到多糖含量最高及抗氧化能力最好, 可选用冷冻干燥方式干燥牛蒡粗多糖。

关键词:干燥方式; 牛蒡; 多糖; 理化性质; 抗氧化活性

Abstract: Using the roots of *Arctium lappa* L. as materials to extract polysaccharides from the roots of *Arctium lappa* L. The influences of different drying methods were studied, including hot air drying, vacuum drying and freeze drying, on the physiochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from roots of *Arctium lappa* L.. Hot air drying, vacuum drying and freeze drying methods polysaccharides from roots of *Arctium lappa* L. were all gray solid, non-starch polysaccharides and no polyphenols content. Freezing drying *Arctium lappa* polysaccharides had higher total sugar and protein. And the contents of total sugar and protein were $(90.72 \pm 1.45)\%$ and $(2.41 \pm 0.17)\%$. Vacuum drying *Arctium lappa* polysaccharides had higher uronic acid. And the content of uronic acid was $(2.66 \pm 0.09)\%$. Three different drying methods have a certain influence on molecular weight and antioxidant activities of

ALP. It was clearly demonstrated that the IC_{50} of hot air drying *Arctium lappa* polysaccharides and vacuuming drying *Arctium lappa* polysaccharides removing DPPH, $\cdot OH$ and reducing power were higher than that of freezing drying *Arctium lappa* polysaccharides. The IC_{50} of freezing drying *Arctium lappa* polysaccharides on DPPH, $\cdot OH$, and reducing power were 2.11, 2.44 and 3.68 mg/mL, respectively. Freezing drying *Arctium lappa* polysaccharides had higher antioxidant activities than hot air drying *Arctium lappa* polysaccharides and vacuuming drying *Arctium lappa* polysaccharides.

Keywords: drying methods; *Arctium lappa* L.; polysaccharides; physiochemical properties; antioxidant activities

牛蒡(*Arctium lappa* L.)又名东洋参、牛鞭菜, 为菊科牛蒡属二年生草本植物^[1]。近年来, 国内外研究发现, 牛蒡多糖具有降血糖^[2]、抗氧化^[3]、抗菌^[4]、免疫调节、抑制肿瘤 K56 细胞的增殖作用和小鼠肠道菌群调节作用^[5]等多方面生物活性, 目前已成为医药和保健食品研究与开发的热点。

据研究^[6-7]发现, 多糖的水溶性、理化性质、分子量大小、粘度和生物活性等主要受到样品处理方法、提取工艺参数和干燥方法三大类因素的影响。常用的干燥方式主要有热风干燥、抽真空干燥和冷冻干燥等方式。热风干燥多糖色泽保持较好, 但温度过高对多糖活性有较大影响; 抽真空干燥处理室内相对缺氧, 可避免多糖被氧化, 但生产效率较低; 冷冻干燥采用冻结升华的方法使水分脱去, 在独特的高真空、低温环境条件下干燥, 微生物的生长和酶的作用受到抑制, 能最大限度地保持多糖的活性。MA Li-shuai^[8]和 FAN Liu-ping^[9]等研究了干燥方式对白桦茸多糖和灵芝多糖理化性质及抗氧化活性的影响, 结果显示, 干燥方式对白桦茸多糖和灵芝多糖理化性质及抗氧化活性有显著影响, 其中冷冻干燥所得多糖抗氧化活性最好。目前关于干燥方式对牛蒡多糖理化性质及抗氧化活性的影响未见报道。本试验

基金项目:国家级星火计划项目(编号: 2014GA810004); 四川省科技厅科技计划项目(编号: 2014FZ0056)

作者简介:喻俊, 女, 四川农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:张利(1969—), 女, 四川农业大学教授, 博士。

E-mail: zhang8434@sina.com

收稿日期:2016-01-19

拟研究热风干燥、真空干燥和冷冻干燥 3 种方式对牛蒡粗多糖理化性质和抗氧化活性的影响,旨在为牛蒡多糖的进一步研究和开发提供试验依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

牛蒡根:采自简阳牛蒡种植基地,由四川农业大学理学院张利教授鉴定为白肌理想牛蒡;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、四唑氮蓝(NBT)、还原型辅酶 I 钠盐(NADH)、吩嗪硫酸甲酯(PMS);AR 级,美国 Sigma 公司;

葡萄糖、苯酚、浓硫酸、95%乙醇;AR 级,成都市科龙化工试剂厂;

透析袋(8000);成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:CP-114 型,上海洪纪仪器设备有限公司;
超声波清洗机:SB-600DTD 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

冷冻干燥机:LJG-12 型,北京松源华兴科技发展有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1600PG 型,上海美谱达仪器有限公司;

高速冷冻离心机:GL-22MS 型,匡贝实业有限公司;
傅里叶交换光谱分析仪:SA-205 型,美国 Thorlabs 公司。

1.2 方 法

1.2.1 牛蒡多糖的提取及干燥样品的制备 将牛蒡根切片粉碎机粉碎,过 60 目筛。用 90%的乙醇索氏提取 8 h 以除去单糖、低聚糖和色素等小分子物质,自然阴干。取干燥后的牛蒡根粉末以 1:25(g/mL)的料液比加水,于 80 ℃水浴中提取 2 次,每次 3 h,5 000 r/min 离心 10 min,合并上清液,旋蒸至原溶液体积的 1/4 采用 Sevag 法脱除蛋白^[10],透析袋透析,得粗提物。

粗提物分别采用热风干燥(60 ℃,2.0 m/s±0.2 m/s)、真空干燥(60 ℃,0.06 MPa)和冷冻干燥(-40 ℃,100 Pa)进行处理,干燥至水分含量小于 10%^[9]。热风干燥、真空干燥和冷冻干燥获得的多糖样品分别命名为 ALP-H、ALP-V、ALP-F。

1.2.2 多糖含量的测定 采用苯酚—硫酸法^[11]。根据多糖浓度 x 与吸光度 y 作图得标准曲线的回归方程为 $y = 6.942x + 0.029\ 9(R^2 = 0.994)$,可计算可溶性多糖的含量。

1.2.3 淀粉鉴定 采用碘—碘化钾试验。称取牛蒡粗多糖样品 0.1 g,用超纯水定容至 10 mL。取 1 mL 所配溶液与碘—碘化钾试剂(碘含量 0.02%)混合,观察记录颜色变化。

1.2.4 酚羟基鉴定 采用三氯化铁显色反应。称取牛蒡粗多糖样品 0.1 g,用超纯水定容至 10 mL。向 1 mL 所配溶液中加入 1~2 滴三氯化铁溶液,混匀,观察颜色变化。

1.2.5 糖醛酸含量的测定 采用硫酸—咔唑法^[12]。称取牛

蒡多糖配置浓度为 0.1 mg/mL 的牛蒡粗多糖溶液,取 1 mL 于具塞试管中,加入 5 mL 浓硫酸,震荡摇匀于沸水浴中加热 30 min 后冷却至室温,再加入 1 mL 咔唑试剂,摇匀,于沸水浴中加热 10 min,冷却至室温,在 530 nm 处测定其吸光度。根据糖醛酸浓度 x 与吸光度 y 作图得标准曲线的回归方程为 $y = 3.43x - 0.095(R^2 = 0.997)$,可计算糖醛酸的含量。

1.2.6 蛋白质含量的测定 采用考马斯亮蓝 G-250 法。称取牛蒡多糖配置浓度为 0.1 mg/mL 的牛蒡粗多糖溶液,取 1 mL 于试管中,加入 5 mL 提前配置好的考马斯亮蓝 G-250,在常温静置 15 min,待颜色稳定后,在 595 nm 处测定其吸光度。根据蛋白质浓度 x 与吸光度 y 作图得标准曲线的回归方程为 $y = 5.2x - 0.025(R^2 = 0.996)$,可计算粗多糖中蛋白质的含量。

1.2.7 水分含量测定 称取样品 1.0 g 于已干燥至恒重的称量瓶中,置于 130 ℃电热恒温箱内,半开称量瓶盖,烘烤 2 h 后,盖好瓶盖。移入干燥器内,冷却至室温,称量,如此反复,烘干至恒量。水分含量按式(1)计算:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:
 w ——水分含量,%;
 m_0 ——称量瓶质量,g;
 m_1 ——烘干前多糖和称量瓶的总质量,g;
 m_2 ——烘干后试剂和称量瓶的总质量,g。

1.2.8 红外光谱分析 取牛蒡粗多糖样品 2 mg 与 100 mg 溴化钾在玛瑙研钵中研磨均匀,压片,置于傅里叶变换红外光谱仪中在 4 000~450 cm⁻¹波数范围内扫描,观察记录谱峰^[13]。

1.2.9 粗多糖相对分子量的测定 采用凝胶过滤色谱法。将 Dextran-T 系列右旋糖酐 T10(M_w 10 000),T40(M_w 40 000),T70(M_w 70 000),T100(M_w 100 000)和 T500(M_w 500 000)等不同分子量大小的标准品用超纯水配成 5 mg/mL,过膜后上 Sephadex-G100 凝胶层析柱,上样量为 20 μL。以保留时间为横坐标,平均分子量的对数(lg M_w)为纵坐标,绘制标准曲线。以相同的条件将样品上柱,根据标准曲线,求得相对分子量。

1.2.10 牛蒡粗多糖的抗氧化活性研究

(1) 对 DPPH 自由基的清除作用:参照文献[14]测定牛蒡粗多糖清除 DPPH 自由基的能力。用超纯水将牛蒡粗多糖配成不同浓度(0.0~4.0 mg/mL)的溶液,以 Vc 做阳性对照。每个样品重复 3 次,求平均值。DPPH 自由基清除率按式(2)计算:

$$T = \frac{A_0 - A_j - A_i}{A_0} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:
 T ——清除率,%;
 A_0 ——水代替样品溶液的 DPPH 溶液的吸光度;
 A_i ——样品溶液与 DPPH 混合溶液的吸光度;
 A_j ——不加 DPPH 溶液的样品溶液的吸光度。

(2) 对羟自由基的清除作用:参照文献[15]测定牛蒡粗多糖对羟基自由基的清除能力。用超纯水将牛蒡粗多糖配成不同浓度(0.0~4.0 mg/mL)的溶液。以 Vc 做阳性对照。每个样品重复 3 次,求平均值。羟自由基清除率按式(2)计算,其中: A_0 为水代替样品溶液的混合反应溶液的吸光度, A_i 为样品溶液与混合反应溶液的吸光度, A_j 为不加水杨酸混合反应溶液的吸光度。

(3) 铁离子还原能力测定:通过测定多糖将 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} 的能力评价样品的还原能力。参考文献[16]分别移取各浓度梯度多糖(0.2~2.0 g/mL)样品溶液 2.5 mL 加入到装有 2.5 mL 磷酸缓冲液(0.2 mol/L,pH 6.6)的试管中,然后每支试管中分别加入 2.5 mL 铁氰化钾(1 g/100 mL),混合均匀后 50 ℃水浴 20 min。冷却至室温后向混合液中分别加入 0.5 mL 三氯乙酸(10 g/100 mL),3 000 r/min 离心 10 min。分别取 2 mL 上清液加入到事先装有 2 mL 超纯水的试管中,再加入 0.5 mL 三氯化铁(0.1 g/100 mL),室温放置 10 min 后,700 nm 处测定吸光度。以超纯水代替样品溶液作为试剂空白。吸光度越高表明样品的还原力越强。

1.3 数据分析

采用 Excel 2013 处理软件进行数据处理及分析,所有试验均重复 3 次,以平均值表示。

2 结果与分析

2.1 理化性质

2.1.1 颜色反应及含量分析 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的理化性质见表 1。在色泽观察方面,ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均为灰白色固体。在香气分析方面,ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均无臭无味。碘化钾反应和三氯化铁反应均呈阴性,说明 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均为非淀粉类多糖和无多酚类物质。

粗多糖水分含量测定显示,干燥方式对多糖水分含量影响不显著。多糖含量结果显示,干燥方式对 ALP 多糖含量有显著影响($P<0.05$),其中 ALP-F 多糖含量最高,达到了 $(90.72 \pm 1.45)\%$,ALP-H 多糖含量次之,为 $(88.46 \pm 1.76)\%$,ALP-V 多糖含量最少,为 $(85.51 \pm 1.82)\%$ 。可能是热风干燥和真空干燥处理所需温度更高,较高温度情况下,多糖可能发生降解^[17]。干燥方式对 ALP 糖醛酸含量和

表 1 牛蒡粗多糖的理化性质[†]

Table 1 Physicochemical properties of polysaccharides from roots of *Arctium lappa* L. ($n=3$)

多糖	色泽观察	香气分析	碘化钾反应	三氯化铁反应
ALP-H	灰白色	无味	阴性	阴性
ALP-V	灰白色	无味	阴性	阴性
ALP-F	灰白色	无味	阴性	阴性
多糖	水分含量/%	多糖含量/%	糖醛酸含量/%	蛋白质含量/%
ALP-H	3.03 ± 0.05^a	88.46 ± 1.76^a	2.05 ± 0.18^b	2.28 ± 0.07^a
ALP-V	2.97 ± 0.21^a	85.51 ± 1.82^b	2.66 ± 0.09^a	1.72 ± 0.13^b
ALP-F	3.29 ± 0.15^a	90.72 ± 1.45^a	1.73 ± 0.11^b	2.41 ± 0.17^a

[†] 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

蛋白质含量有显著影响($P<0.05$),其主要受产量和温度的影响^[8]。热风干燥和真空干燥需要温度较高,可破坏其部分有效成分。

2.1.2 红外光谱分析 红外光谱利用分析特征官能团的吸收峰可以初步判断多糖的官能团。由图 1 可知,ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 都具有明显的多糖类物质的特征吸收峰。3 380 cm^{-1} 附近出现的吸收峰为 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的 O—H 伸缩振动吸收;在 2 950 cm^{-1} 处为 C—H 伸缩振动的吸收峰^[18];在 1 800~1 600 cm^{-1} 中,1 755 cm^{-1} 为酰胺基 RCONHR—的酰胺 I 吸收带,1 650 cm^{-1} 是 N—H 的变角振动,为 RCONHR—德酰胺 II 吸收带,证明 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均有蛋白质存在。ALP-F 的吸收强度明显强于 ALP-H 和 ALP-V,说明 ALP-F 中蛋白质含量大于 ALP-H 和 ALP-V;1 226 cm^{-1} 附近有吸收,说明不同干燥方式牛蒡多糖均含有硫酸基;950~1 200 cm^{-1} 的吸收峰为 C—O—H 和 C—O—C 的变角振动产生^[19];1 035 cm^{-1} 附近的吸收峰为葡萄糖的特征吸收,说明了 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 主要组成单糖都有葡萄糖;在糖类的环振动吸收区 900~700 cm^{-1} 处存在 868 cm^{-1} β -型糖苷键的特征吸收峰,说明 ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均是 β -吡喃糖。

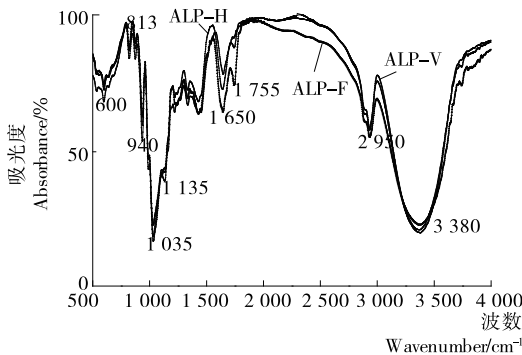


图 1 牛蒡粗多糖的红外光谱图

Figure 1 The IR spectra of polysaccharides from roots of *Arctium lappa* L.

2.1.3 干燥方式对牛蒡粗多糖相对分子量分布的影响 由表 2 可知,ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均洗脱出 3 个峰,且 ALP-F 洗脱出的 3 个峰的相对分子量较 ALP-H 和 ALP-V 小,可能是高温条件下牛蒡多糖更容易发生聚合^[8]。

2.2 干燥方式对牛蒡粗多糖抗氧化活性的影响

2.2.1 清除 DPPH 自由基的作用 由图 2 可知,ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 对 DPPH 自由基均有较好的清除效果,且趋势基本一致。当多糖质量浓度达到 4.0 mg/mL 时,ALP-H、

表 2 干燥方式对牛蒡粗多糖相对分子量的影响

Table 2 Effects of different drying methods on molecular weight of ALP ($\times 10^4$ Da)

ALP-H	ALP-V	ALP-F
70.43 ± 1.55	54.19 ± 2.37	46.74 ± 1.83
33.24 ± 0.98	43.41 ± 1.20	26.57 ± 1.01
7.43 ± 2.17	7.09 ± 1.65	5.93 ± 1.27

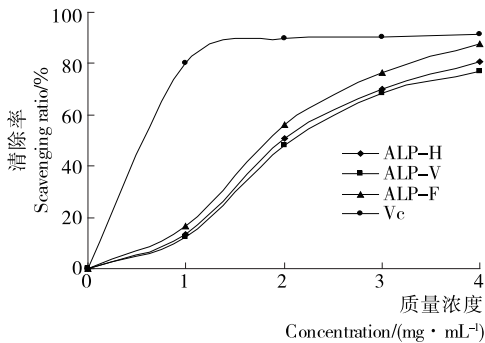


图 2 牛蒡粗多糖和 Vc 对 DPPH 自由基的清除作用
Figure 2 Scavenging effect of ALP and Vc on DPPH radical

ALP-V 和 ALP-F 的清除率分别为 77.09%，80.95%，87.87%，在此浓度下 ALP-F 对 DPPH 自由基的清除能力与 Vc 差异较小，ALP-H 和 ALP-V 与 Vc 差异较大。多糖对 DPPH 自由基的清除效率可用 DPPH 清除率达 50% 时多糖质量浓度即 IC_{50} 值来表示， IC_{50} 值越小说明该多糖清除 DPPH 自由基的能力越强。ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的 IC_{50} 值分别为 2.42，2.31，2.11 mg/mL，说明 ALP-F 清除 DPPH 自由基的能力强于 ALP-H 和 ALP-V。

2.2.2 清除羟基自由基的作用 由图 3 可知，ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 对羟基自由基都具有较强的清除能力。在质量浓度 0.0~4.0 mg/mL 的范围内具有量效关系。当多糖质量浓度为到 4.0 mg/mL 时，ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 对羟基自由基的清除率分别为 61.31%，75.33%，83.09%，在此浓度下 ALP-F 清除羟基自由基的能力与 Vc 的差异较小，其余多糖与 Vc 差异较大。ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的 IC_{50} 值分别为 3.27，2.88，2.44 mg/mL，说明 ALP-F 清除羟基自由基的能力强于 ALP-H 和 ALP-V。

2.2.3 还原能力测定 由图 4 可知，ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 均具有保护亚铁离子不被氧化的能力。在所选质量浓度 0.0~4.0 mg/mL 范围内，均呈现剂量效应。根据清除线计算，ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的理论 IC_{50} 值分别为 4.93，4.61，3.68 mg/mL，说明不同干燥方式牛蒡粗多糖对金属离子还原能力从弱到强为：ALP-H<ALP-V<ALP-F。

3 种多糖对 DPPH 的平均 IC_{50} 比羟基自由基和还原能力的小。据 CHEN Rui-zhao 等^[20] 研究报道，多糖的抗氧化活性 主要与多糖的理化性质、相对分子量、单糖组分、分子量

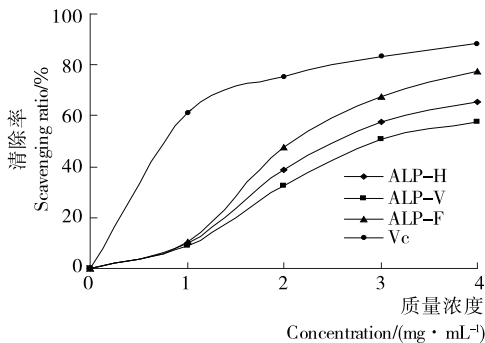


图 3 牛蒡粗多糖和 Vc 对羟基自由基的清除作用
Figure 3 Scavenging effect of ALP and Vc on hydroxyl radical

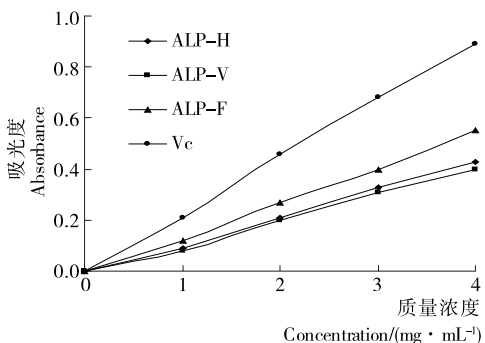


图 4 牛蒡粗多糖和 Vc 的还原能力
Figure 4 Scavenging effect of ALP and Vc on reducing power

大小和结构构象等因素有关。ALP-H、ALP-V 和 ALP-F 的抗氧化能力主要受不同干燥方式对牛蒡多糖理化性质和相对分子量分布的影响。LING Shi-kuan 等^[21] 研究发现多糖相对分子量越小，抗氧化活性越强，与本试验的 ALP-F 抗氧化活性强于 ALP-H 和 ALP-V 的结果一致。

3 结论

本试验研究了热风干燥、真空干燥和冷冻干燥 3 种方式对牛蒡粗多糖理化性质及抗氧化活性的影响。结果表明，不同干燥方式所得牛蒡粗多糖均为无臭、无味的灰白色固体，为无多酚类物质的非淀粉类多糖。3 种干燥方式所得牛蒡粗多糖在清除 DPPH 自由基、羟基自由基和保护亚铁离子不被氧化方面均表现出较强的能力，并呈现良好的量效关系。当多糖质量浓度达到 4.0 mg/mL 时，ALP-F 抗氧化能力与 Vc 差异不明显，其余多糖与 Vc 差异较明显。3 种多糖抗氧化能力的大小为：ALP-H<ALP-V<ALP-F。以上试验结果为牛蒡多糖的后续研究提供了试验依据。

参考文献

[1] 曹旭, 曹剑锋, 陈靠山. 牛蒡根总黄酮抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 138-146.
[2] 王佳佳, 刘玮, 朱静, 等. 牛蒡多糖的降血糖活性[J]. 中国农业大学学报, 2013, 44(5): 455-459.
[3] 马利华, 宋慧, 秦杰. 牛蒡提取物体外抗氧化性的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 69-72.
[4] 陈世雄, 陈靠山. 牛蒡根化学成分及活性研究进展[J]. 食品与药品, 2010, 12(7): 281-284.
[5] 徐永杰, 张波, 张炜腾. 牛蒡多糖的提取及对小鼠肠道菌群的调节作用[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 428-431.
[6] WEI Xin-lin, CHEN Miao-ai, XIAO Jian-bo, et al. Composition and bioactivity of tea flower polysaccharides obtained by different methods[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(2): 418-422.
[7] NEP E, CONWAY B R. Physicochemical characterization of Grewia polysaccharide gum: effect of drying method[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(1): 446-453.
[8] MA Li-shuai, CHEN Hai-xia, ZHU Wen-chai, et al. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom *Inonotus obliquus*[J]. Food Research International, 2013, 50(2): 633-640.

(下转第 175 页)

3 结论

本研究通过加入新型的硅胶担持碳酸银催化剂进行催化合成香叶醇葡萄糖苷, 且所得粗产物不经纯化直接脱除乙酰基, 从而大大简化了反应进程, 相对提高产率及反应效率。

以分离纯化理论为依据对比和优化了两种香叶醇吡喃葡萄糖苷的分离纯化的方法。结果表明, HPLC 法得到的样品纯度较硅胶柱层析法较高, 可达到 98.66%, 更适合高纯度样品的制备。但处理大批量样品时硅胶柱层析法由于上样量相对较大, 利用其分离纯化既经济且效果较好。但是, 为了满足糖苷类香料前体分离纯化的经济、快速和高效, 将硅胶柱层析与 HPLC 结合用于糖苷类粗品的纯化是值得探索的新方向。

参考文献

[1] ZHAO Ji, BAO Xi, LI Ci, et al. Improving monoterpene geraniol production through geranyl diphosphate synthesis regulation in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2016(11): 2 568-2 569.

[2] YUAN Y, ZHOU R, LI D L, et al. Aromatic glycoside from flue-cured tobacco *nicotiana tabacum* leaves and its pyrolysis behavior studies by pyrolysis-GC/MS[J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2014, 26(12): 3 620-3 622.

[3] LI hua-jiang, HIROSHI Kojima. Isolation of some glycosides as aroma precursor in young leaves of Japanese pepper(*Xanthoxylum piperitum*DC) [J] . *J. Agric. Food Chem.*, 2001(49): 5 888-5 894.

[4] 解万翠, 杨锡洪, 汤坚, 等. 色谱技术在 β-D-吡喃葡萄糖苷合成中的应用[C]//第十七届全国色谱学术报告会论文集. 长沙: 中国化学会, 中国色谱学会, 中国化工学会, 2009: 496.

[5] YOKO Sekiwa, YURI Mizuno, YUKO Yamamoton, et al. Iso-

lation of some glycosides as aroma precursors from ginger[J]. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 1999(3): 384-389.

[6] JOSIP Mastelic, IGOR Jerkovic. Synthesis of selected naturally occurring glucosides of volatile compounds. Their chromatographic and spectroscopic properties [J]. *Croatica Chemica Acta.*, 2004, 77(3): 491-500.

[7] FURNISS B S, HANNAFORD A J, Smith P W G, et al. *Textbook of practical organic chemistry*[M]. 5th ed. England: Prentice Hall, Pearson Education Limited, 1996: 647.

[8] ZENG Shi-tong, SUN Shi-hao, LIU Shan, et al. Synthesis of alpha-ionyl-beta-d-glucoside and its property of flavour release [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, 115(2): 1 049-1 056.

[9] 杨锡洪, 解万翠, 汤坚, 等. 顺-3-己烯基-β-D-吡喃葡萄糖苷的合成、纯化与表征[J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2007, 28(5): 439-441.

[10] 嵇金丽, 杨始刚. 丁香酚和异丁香酚-β-D-葡萄糖苷的合成[J]. *上海应用技术学院学报: 自然科学版*, 2011, 11(1): 46-50.

[11] MASASHI Kishida, MIHO Nishiuchi, HIROYUKI Akita, et al. Chemoenzymatic synthesis of *n*-hexyl and *O*-*n*-xylopyranosyl-(1→6)-β-D-glucopyranosides[J]. *Chem. Pharm. Bull.*, 2004, 52(9): 1 105-1 108.

[12] 郭瑞霞, 周冉, 陆敏, 等. 香料前体香叶醇-β-D-葡萄糖苷的合成[J]. *河北化工*, 2011, 34(2): 59-62.

[13] EIJI Kawahara, MIKIO Fujii, HIROYUKI Akita, et al. Chemoenzymatic synthesis of naturally occurring benzyl 6-O-glycosyl-β-D-glucopyranosides[J]. *Chem. Pharm. Bull.*, 2005, 53(8): 1 058-1 061.

[14] 张雷, 凌铁军, 张正竹, 等. 香叶醇-β-D-葡萄糖苷的化学合成、纯化与表征[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(4): 20-23.

[15] 杨锡洪, 王颖, 李爱军. 香料前体香叶醇-β-D-葡萄糖苷的合成、纯化与表征[J]. *食品与机械*, 2006, 22(3): 46-49.

(上接第 163 页)

[9] FAN Liu-ping, LI Jin-wei, DENG Ke-quan, et al. Effects of drying methods on the antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(2): 1 849-1 854.

[10] 李超, 林松毅, 周斌, 等. 废弃香菇培养基中多糖类化合物的提取与初步纯化[J]. *食品与机械*, 2008, 24(6): 62-67.

[11] 王超, 甄润英. 海芦笋多糖超声波辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 138-141.

[12] CHENG Hao-ran, FENG Shi-ling, JIA Xue-jing, et al. Structural characterization and antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Epimedium acuminatum* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 92(1): 63-68.

[13] GANESH K C, JOO H S, CHOI J W, et al. Purification and characterization of an extracellular polysaccharide from haloalkalophilic *Bacillus* [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2004, 34(7): 673-681.

[14] 聂少平, 谢明勇, 罗珍. 用清除有机自由基 DPPH 法评价茶叶多糖的抗氧化性[J]. *食品科学*, 2006, 27(3): 34-36.

[15] 吴兰芳, 景永帅, 张震东, 等. 吊灯笼提取物体外抗氧化活性评价[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(11): 78-80.

[16] PU Xin-ying, MA Xiao-long, LIU Lu, et al. Structural characterization and antioxidant activity in vitro of polysaccharides from angelica and astragalus[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 137(10): 154-164.

[17] 吴振, 李红, 罗杨, 等. 不同干燥方式对银耳多糖理化特性及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(13): 93-97.

[18] YU Ge, DUAN Yu-feng, FANG Gu-zhen, et al. Polysaccharides from fruit calyx of *Physalis alkekengi* var. Francheti: Isolation, purification, structural features and antioxidant activities[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 77(3): 188-193.

[19] KACURAKOVA M, CAPEK P, SASINKOVA V, et al. A FT-IR study of plant cell wall model compounds: Pectic polysaccharides and hemicelluloses [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2000, 43(8): 95-103.

[20] CHEN Rui-zhao, LIU Zhi-qiang, ZHAO Ji-min, et al. Antioxidant and immunobiological activity of water-soluble polysaccharide fractions purified from *Acanthopanax senticosu* [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(2): 434-440.

[21] LING Shi-kuan, LING Yang, TAO Fang, et al. Physicochemical characterization of the polysaccharides from *Bletilla striate*: Effect of drying method[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 12(5): 1-8.