分步醇沉对玛咖多糖单糖组成及抗氧化活性的影响

陈燕文，李玉娟，郑梦梦，冯坤苗，李佳，张永清*，韩春超*
（山东中医药大学，济南 250355）

［摘要］ **目的**：分析分步醇沉所得玛咖多糖的单糖组成，并对各部分玛咖多糖的抗氧化能力进行研究。**方法**：采用水提醇沉法得到玛咖粗多糖，通过分步醇沉对玛咖粗多糖进行分离、纯化；采用气相色谱分析法对各玛咖多糖的单糖组成进行分析；最后采用三氯乙酸法和清除 DPPH 自由基的方法考察各部分玛咖多糖的抗氧化能力。**结果**：分步醇沉随乙醇浓度增加依次得到 0～40% 乙醇多糖部分，40%～50% 乙醇多糖部分，50%～60% 乙醇多糖部分，60%～70% 乙醇多糖部分及 70%～80% 乙醇多糖部分，依次命名为 MP1，MP2，MP3，MP4 和 MP5；其中收率最大的为 MP1，纯度最高的为 MP4，分别为 0.856% 和 68.5%；经气相色谱技术分析发现不同体积分数乙醇所得玛咖多糖的单糖组成种类及比例不同；抗氧化能力试验结果表明各部分玛咖多糖的抗氧化能力存在显著性差异，其中抗氧化能力最强的为 MP5，MP4 抗氧化能力次之，抗氧化能力最弱的为 MP1。**结论**：分步醇沉所得各部分玛咖多糖的抗氧化能力有较大差异，玛咖多糖的抗氧化活性与其单糖组成的种类、比例及其空间构象密切相关，分步醇沉对分离纯化玛咖多糖具有重要意义，为玛咖多糖进一步分离纯化、结构组成和药理研究提供可靠的参考依据。

［关键词］ 玛咖；多糖；分步醇沉；单糖组成；抗氧化能力
［中图分类号］ R284.1 ［文献标识码］ A ［文章编号］ 1005-9903(2017)18-0047-06
［doi］ 10.13422/j.cnki.syfjx.2017180047
［网络出版地址］ http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20170629.0904.008.html
［网络出版时间］ 2017-06-29 9:04

Effect of Step Alcohol Precipitation on Compositions and Antioxidant Activity of Maca Polysaccharide

CHEN Yan-wen, LI Yu-juan, ZHENG Meng-meng, FENG Kun-miao, LI Jia,
ZHANG Yong-qing*, HAN Chun-chao*
(*Shandong University of Traditional Chinese Medicine*, *Ji'nan* 250355, *China*)

［**Abstract**］ **Objective**: To analyze the compositions of polysaccharides in Maca obtained by step alcohol precipitation, and study their antioxidant capacity respectively. **Method**: The crude Maca polysaccharides were obtained by water extraction and alcohol precipitation method, then separated and purified by step alcohol precipitation. Gas chromatography (GC) was used to analyze the monosaccharide compositions of Maca polysaccharides. Finally, their antioxidant capacity was studied by trichloroacetic acid method and DPPH free radical scavenging method. **Result**: 0-40% Ethanol polysaccharide, 40%-50% ethanol polysaccharide, 50%-60% ethanol polysaccharide, 60%-70% ethanol polysaccharide and 70%-80% ethanol polysaccharide were obtained as ethanol concentration was increased by fractional precipitation, and they were named as MP1, MP2, MP3, MP4 and MP5 respectively. Among them, MP1 had the highest yield (0.856%) and MP4 had the highest purity (68.5%). Gas chromatography results showed that the compositions of Maca polysaccharides including the

［收稿日期］ 20170117(008)
［基金项目］ 国家“重大新药创制”科技重大专项(2010ZX09401-302-5-12)
［第一作者］ 陈燕文，在读硕士，从事中药资源及质量控制，Tel：18765804058，E-mail：18765804058@qq.com
［通讯作者］ *张永清，教授，博士，从事中药资源及质量控制，E-mail：zyq622003@126.com；
*韩春超，副教授，硕士生导师，从事中药活性物质与新剂型研究，Tel：13256676921，E-mail：1075812878@qq.com

type and ratio of monosaccharides were different under different ethanol concentrations. Antioxidant capacity test results showed that the antioxidant capabilities of different polysaccharide fractions were obviously different, among which MP5 had the strongest antioxidant capacity, followed by MP4, and MP1 had the weakest antioxidant capacity. **Conclusion**: There was great difference in antioxidant activity for various Maca polysaccharides fractions, and that was related to the type, proportion and spatial conformation of their monosaccharide compositions. The step alcohol precipitation had important significance for the separation and purification of Maca polysaccharides, and it could provide a reliable reference for the further studies on purification, structure and pharmacology of Maca polysaccharides.

[**Key words**] Maca; polysaccharides; step alcohol precipitation; monosaccharide composition; antioxidant capacity

玛咖又称玛卡,系十字花科独行菜属一年或两年生植物玛咖的干燥块根,原产于南美洲安第斯山区的秘鲁境内海拔 3 500 ~ 4 500 m,目前主要分布在秘鲁胡宁和帕斯科地区的“suni”和“puna”生态区的狭长地带[1]。玛咖素有“南美人参”之称,富含蛋白质、生物碱、氨基酸、碳水化合物及矿物元素等,此外还独有玛咖烯、玛咖酰胺等成分[2-4]。传统上玛咖因能增强生育能力、改善性功能而著名,现代药理研究表明玛咖还具有抗疲劳、抗氧化、抗肿瘤及调节内分泌等功能[5-7]。植物多糖是指一类由 10 个以上单糖以肽苷键相连形式组成的聚合物,广泛存在于植物体内,是维持生命活动正常运转的基本物质之一[8]。相关实验证明植物多糖具有增强机体免疫、抗氧化、抗病毒、调节血糖血脂等活性,且具有安全无毒的优点[9-10]。玛咖多糖是玛咖药材中有效活性成分之一,也具有一般多糖的药理活性[11-12]。柳志宇[13]采用液相色谱分析法对不同品种玛咖多糖的单糖组成进行分析,发现不同品种玛咖的单糖组成不同。王金全[14]采用阴离子柱色谱和凝胶柱色谱对玛咖多糖进行分离纯化得到 2 个单一组分玛咖多糖,然后应用气相色谱技术对所得 2 个组分的单糖组成进行分析,结果得出 2 个组分的单糖组成存在一定差异。为了进一步探究玛咖多糖的单糖组成与其药理活性的内在联系,本研究利用分步醇沉原理对经简单纯化后玛咖多糖中逐渐加入乙醇,分别得到 0 ~ 40% 乙醇多糖部分,40% ~ 50% 乙醇多糖部分,50% ~ 60% 乙醇多糖部分,60% ~ 70% 乙醇多糖部分及 70% ~ 80% 乙醇多糖部分,然后分别命名为 MP1,MP2,MP3,MP4 和 MP5,再水解、乙酰衍生化,应用 GC 技术分析多糖的单糖组成,最后应用清除 DPPH 自由基和三氯乙酸法测定各部分多糖的抗氧化能力。本研究为玛咖多糖的进一步分离纯化、结构组成和药理研究提供可靠的参考依据。

1 材料

7890B 型气相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司),UV5100B 型紫外分光光度计(上海元析仪器有限公司),5810R 型台式高速大容量冷冻离心机(德国艾本德股份有限公司),ALPHA1-4 LD plus 型冷冻干燥机(上海汇分电子科技有限公司),ZKXB-2 型电热真空干燥箱(上海树立仪器仪表有限公司),LD-Y500A 型高速万能粉碎机(上海丁帅电热有限公司),CP225D 型 1/10 万电子分析天平(上海越平科学仪器有限公司)。

玛咖购自安徽亳州药材市场,经郭庆梅教授鉴定为十字花科植物玛咖 *Lepidium meyenii* 的干燥块根。阿拉伯糖(批号 1506-200001,纯度 > 98%),葡萄糖(批号 110833-200904,纯度 > 98%)均购自中国食品药品检定研究所;*D*-甘露糖(批号 C02S7H20299,纯度 > 98%),*D*-半乳糖(批号 C10064394,纯度 > 98%),*L*-鼠李糖(批号 C10017005,纯度 > 98%),木糖(批号 C10021687,纯度 > 98%)均购自上海麦克林生化科技有限公司。DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼,批号 2016027,南京奥多福尼生物科技有限公司),抗坏血酸、三氟乙酸、三氯乙酸、硼氢化钠、冰乙酸、乙酸酐、吡啶、三氯甲烷、无水硫酸钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、铁氰化钾、浓硫酸、苯酚均等为分析纯;蒸馏水自制。

2 方法与结果

2.1 玛咖多糖的提取与纯化 准确称取经干燥粉碎过 40 目筛的玛咖 1.0 kg,装入圆底烧瓶中,加入 20 倍量丙酮,50 ℃ 条件下加热回流提取 1.5 h,抽滤,药渣加入 20 倍量 95% 乙醇,60 ℃ 条件下加热回流提取 1.5 h,抽滤,药渣阴凉处晾干,加入 25 倍量蒸馏水,80 ℃ 条件下加热回流提取 2 h,残渣按上述方法再提取 1 次,合并滤液减压浓缩至适当体积,加入 4 倍量无水乙醇,4 ℃ 条件下静置过夜,抽滤,滤

饼用无水乙醇和丙酮各洗涤 3 次,减压干燥得玛咖粗多糖。称取玛咖粗多糖 10.0 g 加入 20 倍量蒸馏水溶解,应用 Savage 法充分除蛋白,至有机相层不再出现乳白色。收集上清液加入适量活性炭摇匀,放置过夜脱色。过滤,上清液逐渐加入无水乙醇,使乙醇浓度达到 40%,4 ℃条件下静置过夜,抽滤,无水乙醇和丙酮洗涤滤饼后真空冷冻干燥得 MP1。滤液再逐渐加入无水乙醇,使乙醇体积分数分别达到 50%,60%,70%,80%,按上述操作分别得到 MP2,MP3,MP4 和 MP5。

2.2 标准曲线制备 精确称取在 105 ℃条件下干燥至恒重的葡萄糖对照品 5.0 mg,配制成 0.05 g·L^{-1}的对照品溶液。精确吸取葡萄糖对照品溶液 0.3,0.6,0.9,1.2,1.5,1.8 mL 于 6 只干燥洁净的试管中,加蒸馏水补足至 2.0 mL,摇匀。准确移取 5.0% 的苯酚溶液 1.0 mL 加入每只试管中,摇匀后迅速加入浓硫酸 5.0 mL,摇匀,在 50 ℃的水浴锅中保温反应 15 min。另取一只洁净干燥的试管加入蒸馏水 2.0 mL,按上述步骤操作空白组。在 490 nm处测吸光度,作标准曲线,得出回归方程 $Y = 47.58X + 0.010\,6$($r = 0.999\,3$),葡萄糖在 0.001 875 ~ 0.011 250 g·L^{-1}线性关系良好。

2.3 分步醇沉对玛咖多糖收率及纯度影响 取 **2.1** 项下所得各部分多糖分别配制成质量浓度为 0.1 g·L^{-1}的样品溶液,按 **2.2** 项下操作,依次加入苯酚 1.0 mL 和浓硫酸 5.0 mL,50 ℃水浴反应 15 min于 490 nm 波长下测定吸光度,代入标准曲线计算各部分多糖纯度。见表 1。

表 1 分步醇沉浓度对玛咖多糖收率和纯度影响

Table 1 Effects of step alcohol precipitation on yield and purity of Maca polysaccharide %

部位	多糖纯度	多糖收率
MP1	53.1	0.856
MP2	58.4	0.816
MP3	39.8	0.406
MP4	68.5	0.639
MP5	61.9	0.419

由表 1 可以看出,不同体积分数乙醇所得各部分多糖的收率和纯度有较大差别,其中 MP1 收率最高,达 0.856%,其次为 MP2,MP4 和 MP5,MP3 收率最低仅为 0.406%;从纯度方面来看,MP4 纯度最大为 68.5%,其次分别为 MP5,MP2 和 MP1,MP3 纯度最低仅为 39.8%。

2.4 GC 分析法测定玛咖多糖单糖组成

2.4.1 玛咖多糖的水解 分别准确称取各醇沉浓度下的玛咖多糖样品 30.0 mg 加入 4 mol·L^{-1}的三氟乙酸 5.0 mL,充氮气密封后于 120 ℃条件下水解 4 h,冷却后抽滤,滤液减压蒸干加入甲醇 5 mL,用氮气吹干,如此重复 3 ~ 4 次以除去多余的三氟乙酸,残渣冷冻干燥后用 0.05 mol·L^{-1}的氢氧化钠溶解,定容至 10.0 mL 做样品溶液,备用。

2.4.2 单糖的乙酰化衍生物制备 用 0.05 mol·L^{-1}的氢氧化钠溶液分别配制质量浓度为 1.0 g·L^{-1}的 *D*-甘露糖,葡萄糖,*L*-鼠李糖,木糖,阿拉伯糖和 *D*-半乳糖溶液。取样品溶液 5.0 mL 和各单糖溶液加入硼氢化钠 100 mg 室温反应过夜。加入冰乙酸破坏多余的硼氢化钠,再加入甲醇 5.0 mL,减压浓缩蒸干,如此重复多次,除去硼酸根至无酸味。所得粉末干燥后加入乙酸酐 2.0 mL 和吡啶 2.0 mL,密封于 100 ℃条件下乙酰化 4 h,减压蒸干,真空干燥得到白色粉末,加入三氯甲烷 5.0 mL 溶解,再加入等体积的蒸馏水,混匀,4 ℃条件下以 4 000 r·min^{-1}离心 10 min,弃水相,如此重复 3 次,三氯甲烷层加入适量无水硫酸钠干燥,过滤,用三氯甲烷定容至 10.0 mL,供气相分析。

2.4.3 气相色谱分析及条件 取上述样品溶液过微孔滤膜,进样。色谱分析条件:HP-5 毛细管色谱柱,氢火焰离子检测器,进样口温度 300 ℃,检测器温度 300 ℃,N_2 为载气,流速 1.0 mL·min^{-1},分流比 30∶1,进样量 1.0 μL。升温程序为:初始温度 120 ℃,以 5 ℃·min^{-1}速率升温至 200 ℃,再以 0.5 ℃·min^{-1}速率升温至 210 ℃,再以 2 速率升温至 220,最后以 20 速率升温至 270,保持 5 min。

2.4.4 分步醇沉玛咖多糖的单糖组成 在对单糖对照品衍生物气相色谱分析时发现相同浓度的不同单糖,气相色谱峰面积不同。为准确反映玛咖多糖的单糖组成,现根据各单糖衍生物的峰面积大小引入各单糖的响应因子,以半乳糖为参考设定其响应因子为 1.0,其他单糖的衍生物峰面积与半乳糖衍生物峰面积比值为该单糖的响应值。各单糖衍生物的保留时间和响应因子见表 2。

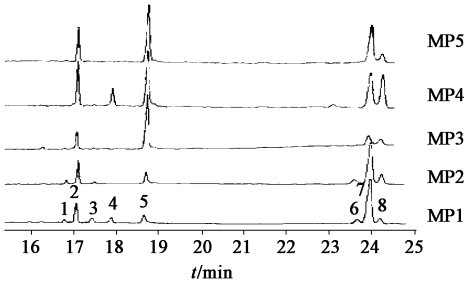
分步醇沉所得各部分玛咖多糖水解衍生化后经气相色谱分析,所得 MP1,MP2,MP3,MP4 和 MP5 单糖组成色谱图见图 1。根据各单糖衍生物的响应因子及玛咖多糖气相色谱图中的峰面积计算得出,MP1 的已知单糖组成及摩尔比为 *L*-鼠李糖-阿拉伯糖-木糖-*D*-甘露糖-葡萄糖-*D*-半乳糖(1∶6∶3∶4∶

表 2　各单糖衍生物保留时间和响应因子

Table 2　Retention time and response factor of each monosaccharide derivative

单糖	保留时间/min	响应因子
L-鼠李糖	16.807	1.57
阿拉伯糖	17.108	1.46
木糖	17.500	1.08
D-甘露糖	23.695	1.68
葡萄糖	24.046	1.24
D-半乳糖	24.328	1.00

34∶5)；MP2 的已知单糖组成及比例为 *L*-鼠李糖-阿拉伯糖-木糖-*D*-甘露糖-葡萄糖-*D*-半乳糖(2∶9∶1∶2∶39∶10)；MP3 的已知单糖组成及比例为阿拉伯糖-葡萄糖-*D*-半乳糖(6∶6∶5)；MP4 的已知单糖组成及比例为阿拉伯糖-葡萄糖-*D*-半乳糖(2∶3∶4)；MP5 的已知单糖组成及比例为阿拉伯糖-葡萄糖-*D*-半乳糖(2∶5∶1)。



1. *L*-鼠李糖；2. 阿拉伯糖；3. 木糖；4. 未知组分 a；5. 未知组分 b；6. *D*-甘露糖；7. 葡萄糖；8. *D*-半乳糖

图 1　玛咖多糖组成单糖衍生物 GC 色谱

Fig. 1　GC of each monosaccharide derivatives

2.5　玛咖多糖抗氧化能力测定

2.5.1　三氯乙酸法测定玛咖多糖还原能力　取各醇沉浓度所得玛咖多糖分别配制成质量浓度为 1.0，2.0，3.0，4.0，5.0 g·L^{-1}的样品溶液，1.0 g·L^{-1}的抗坏血酸为阳性对照，分别取各质量浓度的样品溶液 1.0 mL 和抗坏血酸，加入 pH 6.6 浓度为 0.2 mol·L^{-1}的磷酸盐缓冲溶液 2.5 mL，再加入质量浓度为 1.0% 的铁氰化钾 2.5 mL，摇匀，50 ℃条件下水浴反应 30 min，取出冷却至室温加入 10% 的三氯乙酸 1 mL，以 3 000 r·min^{-1}离心 10 min，取上清液 4.0 mL 加入新配制的 0.1% 三氯化铁 1.0 mL，37 ℃条件下水浴反应 30 min，于 700 nm 处测定吸光度。吸光度越大，说明样品还原能力越强。

分步醇沉对玛咖多糖还原能力影响见图 2。由图可以看出各部分醇沉多糖都具有一定的还原能力，其中 MP5 还原能力最强，其次为 MP4，MP2 和 MP3 还原能力相近，MP1 还原能力最弱。与抗坏血酸还原能力相比，5 部分多糖的还原能力都明显弱于抗坏血酸，1.0 g·L^{-1}抗坏血酸的吸光度达 1.811。

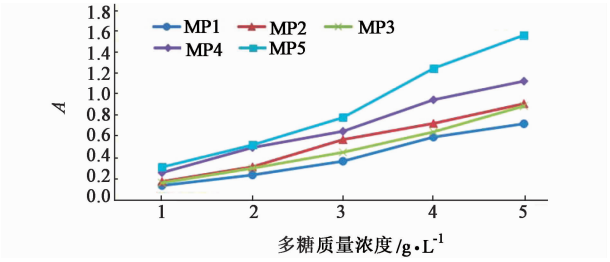


图 2　分步醇沉对玛咖多糖还原能力影响

Fig. 2　Effect of step alcohol precipitation on reducing ability of Maca polysaccharide

2.5.2　玛咖多糖对 DPPH 自由基清除能力测定　精确称量 DPPH 5.0 mg，溶于无水乙醇配制成质量浓度为 50.0 mg·L^{-1}的 DPPH 乙醇溶液；另分别取各醇沉浓度玛咖多糖配制质量浓度为 0.2，0.4，0.6，0.8，1.0 g·L^{-1}样品溶液，0.1 g·L^{-1}的抗坏血酸为阳性对照。取等体积样品溶液和 DPPH 乙醇溶液充分混匀，室温，静置避光条件反应过夜。517 nm 波长下测定各组实验吸光度。$Y = [1 - (A - A_0)/A_1] \times 100\%$。其中 Y 为样品对 DPPH 的清除率；A 为样品溶液 3 mL + DPPH 3 mL 的吸光度；A_0 为样品溶液 3 mL + 无水乙醇 3 mL 的吸光度；A_1 为 DPPH 3 mL + 无水乙醇 3 mL 的吸光度。

分步醇沉对玛咖多糖清除 DPPH 自由基能力的影响见图 3。由图可知 5 部分醇沉多糖对 DPPH 都具有一定的清除能力，其中 MP5 清除 DPPH 自由基能力最强，其次为 MP4，MP2 与 MP3 清除 DPPH 自由基能力相当，MP1 能力最弱。在 0.2 ~ 1.0 g·L^{-1}各部分多糖的清除 DPPH 自由基能力随多糖质量浓度的增加而增强。但与抗坏血酸相比，5 部分多糖对 DPPH 自由基的清除能力都较弱，0.1 g·L^{-1}的抗坏血酸对 DPPH 的清除率可达 89.7%，明显高于同等质量浓度 5 部分多糖的清除能力。

3　结论与讨论

本研究应用分步醇沉法对玛咖多糖进行初步分级、纯化，并对 MP1，MP2，MP3，MP4 和 MP5 的收率和纯度进行测定，得出 MP1 收率最高，MP4 纯度最大，二者分别为 0.856% 和 68.5%。水提醇沉是根据多糖易溶于水而不溶于乙醇、丙酮等有机溶剂的性质进行提取分离，不同体积分数乙醇溶液中不同相对分子质量、不同极性多糖溶解度差异较大；随着乙醇不断加入，醇体积分数不断变大，一些相对分子

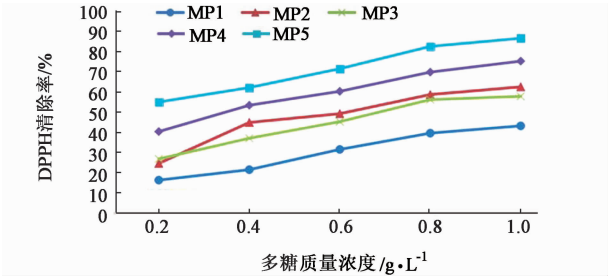


图 3　分步醇沉对玛咖多糖清除 DPPH 自由基影响

Fig. 3　Effect of step alcohol precipitation on DPPH free radical scavenging of Maca polysaccharide

质量较小、极性较小的多糖部分也不断析出。醇体积分数达到 80% 时提取率再次变小，说明此时大部分多糖都已沉淀析出，上清液中只剩下了脂溶解性较大的低聚糖和寡糖。在醇体积分数达到 60% 时，多糖的收率和纯度都最低，可能原因是该范围的多糖含量小且其他水溶性成分较多，此时醇体积分数下杂质析出较多。不同醇沉部分的多糖收率和纯度差异较大，说明玛咖多糖中各部分多糖分布是不均匀的。

总得看来，随乙醇体积分数增加，所得玛咖多糖单糖组成种类逐渐减少。其中，MP1 单糖种类最多，含有 6 种已知成分和 a，b 两种未知成分；MP2 所含单糖种类次之，含有 6 种已知成分和未知成分 b；MP4 含 3 种已知单糖和 a，b 两种未知成分；MP3 和 MP5 含单糖种类最少，仅包含 3 种已知单糖和未知成分 b。从组成单糖比例上来看，各部分多糖所含单糖的比例也不同。随乙醇体积分数增加，所得玛咖多糖共有组分葡萄糖所占比例明显变小；未知组分 b，阿拉伯糖和 *D*-半乳糖的比例呈增加趋势，其中未知组分 b 的增加最为显著。MP3，MP4 和 MP5 中未检测出 *L*-鼠李糖，木糖和 *D*-甘露糖。

通过三氯乙酸法和清除 DPPH 自由基的方法考察各部分多糖的抗氧化能力。综合来看，各部分玛咖多糖均具有一定的抗氧化能力，但与相应浓度的抗坏血酸相比，各部分玛咖多糖的抗氧化能力都较弱。其中，MP5 抗氧化能力最强，MP4 抗氧化能力次之，MP1，MP2 和 MP3 抗氧化能力都较弱。出现这样结果的可能原因是不同体积分数乙醇沉淀出的玛咖多糖相对分子质量和分子极性不同，低体积分数乙醇条件下沉淀出的玛咖多糖相对分子质量和分子极性较大，而较高体积分数乙醇所得到的玛咖多糖相对分子质量和分子极性相对较小。此外，不同体积分数乙醇条件下沉淀出的玛咖多糖的空间结构和单糖组成也有很大差异，这些差异都可能是玛咖多糖抗氧化能力不同的原因。

本研究通过分步醇沉对玛咖粗多糖分离、纯化，并考察各部分玛咖多糖的抗氧化能力，结果各部分多糖的抗氧化能力不同，其中以 MP5 的抗氧化最强。说明该方法可将相对分子质量、分子极性和药理作用不同的玛咖多糖进行分离纯化，可为玛咖多糖的结构分析、药理作用探究提供理论依据。但相对分子质量、结构和空间构象的不同对玛咖多糖抗氧化能力的影响尚不明了，其原因还需要进一步研究。

［参考文献］

［1］ Leon J. The "Maca" (*Lepidium meyenii*), a little known food plant of peru［J］. Economic Botany, 1964, 18(2): 122-127.

［2］ 余龙江，金文闻. 玛咖(*Lepidium meyenii*)干粉的营养成分及抗疲劳作用研究［J］. 食品科学，2004，25(1)：164-166.

［3］ Duarte D S, Dolabela M F, Salas C E, et al. Chemical characterization and biological activity of *Macfadyena unguis-cati* (Bignoniaceae)［J］. J Pharm Pharmacol, 2000, 52(3): 347-352.

［4］ CUI B, ZHENG B L, HE K, et al. Imidazole alkaloids from *Lepidium meyenii*［J］. J Nat Prod, 2003, 66(8): 1101-1103.

［5］ 余龙江，金文闻，吴元喜，等. 玛咖的植物学及其药理作用研究概况［J］. 天然产物研究与开发，2002，14(5)：71-74.

［6］ 余龙江，金文闻，李为，等. 南美植物玛咖的研究进展［J］. 中草药，2003，34(2)：105-107.

［7］ 余龙江，张永忠，金文闻，等. 玛咖醇提取物对小鼠的抗衰老作用［J］. 中草药，2006，37(1)：81-83.

［8］ 安晓娟，冯琳，宋红平，等. 植物多糖的结构分析及药理活性研究进展［J］. 中国药学杂志，2012，47(16)：1271-1275.

［9］ Ramberg J E, Nelson E D, Sinnott R A. Immunomodulatory dietary polysaccharide: a systematic review of the literature［J］. Nutr J, 2010, 18(9): 54-61.

［10］ LIU Y H, LIU C H, TAN H N, et al. Sulfation of a polysaccharide obtained from *Phellinus ribis* and potential biological activities of the sulfated derivatives［J］. Carbohyd Polym, 2009, 77(2): 370-375.

［11］ 浦跃武，王金全. 玛咖多糖的抗氧化性研究［J］. 安徽农业科学，2009，37(28)：13803-13805.

［12］ 孙晓东，唐辉，杜萍，等. 丽江玛咖的营养成分分析及多糖体外的抗氧化作用［J］. 光谱实验室，2013，30(5)：2365-2371.

［13］ 柳志宇. 玛咖多糖提取及其单糖组成的研究［D］. 北京：北京林业大学，2012.

［14］ 王金全. 玛咖中农多糖的提取，分离纯化与简单的结构鉴定［D］. 广州：华南理工大学，2010.

［责任编辑　顾雪竹］