

研究报告

枸杞多糖特性和单糖组成及木糖醇含量的分析

张玲,胡紫艳,金鑫

(南京市食品药品监督管理局,江苏南京 210000)

摘要:目的 多种分析方法联合分析枸杞多糖特性和单糖组成及木糖醇含量。方法 枸杞干果采用水提醇沉的方法提取枸杞多糖,计算提取率。建立凝胶渗透色谱-示差检测-多角度激光光散射法测定枸杞多糖分子量及分子量分布;再将提取的枸杞多糖经三氟乙酸水解为单糖,建立高效阴离子色谱-积分脉冲安培法测定水解后的阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、岩藻糖、核糖9种单糖和木糖醇。结果 采用本法检测宁夏地区的10批枸杞,枸杞多糖得率为1.86%~3.21%;10批枸杞多糖的重均相对分子量为 $9.12\times 10^5\sim 3.65\times 10^6$ Da,离子色谱法检测10批枸杞中单糖和木糖醇含量从高到低依次为阿拉伯糖、葡萄糖、鼠李糖、半乳糖、甘露糖、果糖、木糖醇及岩藻糖。结论 本文对枸杞多糖的重均分子量及单糖组成、含量进行初步研究,与现行质量标准中检测方法相比,控制指标更加全面、客观、准确,为建立枸杞多糖的质量控制方法提供技术参考。

关键词:枸杞多糖;单糖;分子量;离子色谱法

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)04-0657-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.04.004

Analysis of polysaccharides characteristic, monosaccharide composition and xylitol content of *Lycium barbarum*

ZHANG Ling, HU Ziyang, JIN Xin

(Nanjing Institute for Food and Drug Control, Jiangsu Nanjing 210000, China)

Abstract: Objective To establish a method to jointly analyze the polysaccharides characteristics, monosaccharide composition and xylitol content of *Lycium barbarum*. **Methods** *Lycium barbarum* polysaccharides were extracted from dried *Lycium barbarum* fruits by water extraction and alcohol precipitation, and then the extraction rate was calculated. The gel permeation chromatography-refractive index-multi-angle laser light scattering method was developed to determine the molecular weight and molecular weight distribution of *Lycium barbarum* polysaccharides. The extracted *Lycium barbarum* polysaccharide was hydrolyzed into monosaccharide by trifluoroacetic acid, and a high-performance anion-exchange chromatography-integrating pulse amperometric detection was used to survey and evaluate nine kind of monosaccharides such as arabinose, rhamnose, galactose, glucose, mannose, fructose, xylose, fucose, ribose and one type of xylitol. **Results** This method was used to detect 10 batches of *Lycium barbarum* from Ningxia region. It was found that the yield of *Lycium barbarum* polysaccharide was between 1.86% and 3.21%. The average molecular weight of 10 batches of *Lycium barbarum* polysaccharides was between $9.12\times 10^5\sim 3.65\times 10^6$ Da. It was found that the order of monosaccharide and xylitol content from high to low was arabinose, glucose, rhamnose, galactose, mannose, fructose, xylitol and fucose in 10 batches of *Lycium barbarum* detected by ion chromatography. **Conclusion** This method to determine average molecular weight, monosaccharide composition and content is more comprehensive, objective and accurate than the detection method in the current quality standard. This study may provide technical reference for establishing the quality control method of *Lycium barbarum* polysaccharide.

Key words: *Lycium barbarum* polysaccharides; monosaccharides; molecular; ion chromatography

枸杞具有较高营养价值和保健功效,在国内外

食药市场享有盛誉^[1]。近年来,国际市场对枸杞的需求量不断增长,我国枸杞的出口贸易规模也在不断扩大^[2]。枸杞多糖(*Lycium barbarum* polysaccharide, LBP)作为枸杞中主要活性成分之一,具有调节免疫、保护肝脏、降低血糖、保护视神经、提高生殖能力等诸多药理作用^[3-4],在枸杞的质量评价中占重要

收稿日期:2022-02-14

基金项目:南京市市场监督管理局科技项目(Kj2019049)

作者简介:张玲 女 主任药师 研究方向为食品药品安全与质量控制研究 E-mail: 2459437556@qq.com

地位。2020年版《中国药典》中,枸杞药材项下采用苯酚-硫酸比色法测定枸杞多糖含量,食品相关标准QB/T 5176—2017《枸杞多糖》和GB/T 18672—2014《枸杞》也采用苯酚-硫酸比色法测定枸杞多糖含量。此方法专属性较差,重现性不佳,无法全面反映枸杞中多糖信息,也不能甄别是否掺入其他来源的多糖。

枸杞多糖属于糖缀合物,为多聚糖与多肽或蛋白质形成的结合物。枸杞多糖的水溶性较好,枸杞中枸杞多糖的含量范围为1.71%~4.56%^[5],目前,枸杞中多糖的质量评价是研究热点之一,单一的方法难以满足当下多糖质量控制的需求,多种分析技术联用成为多糖质量控制的研究发展方向^[6-7]。枸杞多糖的分子量范围和单糖组成及含量可作为枸杞多糖定性和定量分析的重要指标^[8]。本实验分两阶段进行定性定量联合分析,首先,枸杞经水提醇沉后,得到枸杞粗多糖,采用凝胶渗透色谱-示差检测-多角度激光光散射(Gel permeation chromatography-refractive index-multi-angle laser light scattering, GPC-RI-MALLS)技术对提取的枸杞多糖进行绝对分子量测定^[9],再将枸杞多糖水解成单糖,利用高效阴离子色谱-积分脉冲安培法(High-performance anion-exchange chromatography-integrating pulse amperometric detection, HPAEC-PAD)对单糖进行定量分析,以期对枸杞的质量评价体系提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与试剂

Aligent 1260 高效液相色谱仪(安捷伦科技有限公司,德国),WTREX-14 多角度激光光散射检测器(美国怀雅特公司),Thermo ICS6000 离子色谱仪-配脉冲安培检测器(赛默飞世尔科技有限公司),XSE205DU 电子天平(梅特勒托利多集团),R-300EA 旋转蒸发器(瑞士步琦有限公司),IQ7000 超纯水仪(密理博公司),TSGP10 恒温水浴锅(赛默飞世尔科技有限公司)。

阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、岩藻糖、核糖 9 种单糖和木糖醇对照品均购于中国食品药品检定研究院,纯度大于 97%;三氟乙酸、(无水)乙醇、氯化钠、氢氧化钾、正丁醇、氯仿均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。10 批枸杞子均收集于宁夏地区。

1.2 实验方法

1.2.1 枸杞多糖的提取

将枸杞干果剪碎,称取 15 g,加乙醚 100 mL,置 35 °C 水浴中加热回流 1 h,静置放冷后,过滤,弃去

滤液,残渣置 35 °C 水浴上挥尽乙醚。取残渣加 80% 乙醇 300 mL,置 85 °C 水浴中加热回流 1 h,趁热滤过,滤渣与滤器用热 80% 乙醇 30 mL 分 2 次洗涤,弃去滤液和洗液,取滤渣连同滤纸置烧瓶中,加水 450 mL,置沸水浴中加热回流 2 h。趁热过滤,取滤液,加入 27 g 活性炭,40 °C 超声 40 min^[10],4 000 r/min 离心 10 min,过滤,取滤液,40 °C 水浴旋转蒸发至约 75 mL,置分液漏斗中,加 15 mL Sevag 试剂(三氯甲烷:正丁醇=4:1,V/V),振摇 10~20 min,静置分层,弃去下层有机相,水层离心取上清液,将水相再加入相当于其体积 1/4 的 Sevag 试剂(三氯甲烷:正丁醇=4:1,V/V),重复上述过程,共计重复 6 次,取上清液加入约 4 倍体积的无水乙醇(终浓度 80%)醇沉,4 °C 静置过夜,4 000 r/min 离心 10 min,取沉淀,挥去乙醇,真空干燥 6 h,得枸杞多糖,称质量,根据公式(1)计算枸杞多糖得率^[11]。

$$\text{LBP得率}(\%) = \frac{\text{多糖质量}}{\text{枸杞质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 枸杞多糖分子量的测定

1.2.2.1 样品溶液的制备

称取 100 mg 枸杞粗多糖,加超纯水 4 mL 溶解,取 1 mL 加流动相 3 mL 稀释,过 0.22 μm 滤膜,即得。

1.2.2.2 GPC-RI-MALLS 色谱条件

色谱柱:Shodex HQ 804 凝胶渗透色谱柱(300 mm×8 mm,7 μm)串联;流动相:0.1 mol/L 氯化钠溶液;流速:0.5 mL/L;柱温:25 °C;进样量:20 μL;检测器:RI 与 MALLS 联用,MALLS 激光波长 658 nm,dn/dc 值设置为 0.138。

1.2.3 枸杞多糖中单糖组成及含量测定

1.2.3.1 枸杞多糖的水解

精密称量 45 mg 枸杞粗多糖,置 15 mL 具塞离心管中,滴加 4 mol/mL 三氟乙酸 3 mL,震荡使溶解,置于恒温干燥箱内 110 °C 下反应 3 h,冷却至室温,氮吹除去三氟乙酸,残渣滴加 20 mL 水溶解,过 0.22 μm 微孔滤膜,待测。

目前多糖水解为单糖的方法以酸水解法为主,酸的强度和浓度直接影响水解后的产物,本实验选用沸点较低易于吹干的三氟乙酸进行水解,选用 5、4、1 mol/mL 3 个浓度水平的三氟乙酸,常用水解温度 100 °C、110 °C、120 °C 水解 3 h,优化水解条件。结果选用 4 mol/mL 三氟乙酸在 110 °C 下水解,既可保证 LBP 水解较完全,又能避免因过度水解造成单糖结构破坏。

1.2.3.2 对照品的制备

取阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、岩藻糖、核糖 9 种单糖和木糖醇对照品

各 10 mg,加水配制成 1 000 mg/L 标准储备液。分别取各单糖和木糖醇储备液适量,加水稀释成各单糖和木糖醇分别为 10 μg/mL 的混合溶液,即得混合对照品溶液。

1.2.3.3 色谱条件

色谱柱:CarboPac PA-20(150 mm×3 mm,粒径 3.5 μm);淋洗液 A:0.2 mmol/L KOH 溶液,淋洗液 B:0.5 mmol/L KOH 溶液,淋洗液 C:200 mmol/L KOH 溶液,淋洗液流速:0.5 mL/min,淋洗液洗脱梯度程序见表 1;检测器:脉冲安培检测器,Au 工作电极,Ag/AgCl 参比电极,糖四电位波形;柱温:30 ℃;进样体积:5 μL。

表 1 淋洗液洗脱梯度程序

Table 1 The eluent elution gradient program

时间/min	淋洗液/%		
	A	B	C
0	8	92	0
5	8	92	0
15	90	10	0
20	0	10	90

2 结果

2.1 GPC-RI-MALLS测定结果

按“1.2.2.2”项下色谱条件,对 10 批样品进行检测,经 Astra V 软件分析即可得其分子量及分布结果。10 批宁夏产枸杞多糖得率为 1.86%~3.21%,测定结果见表 2。

表 2 枸杞多糖的产率及分子量分布

Table 2 Yield and molecular weight distributions of *Lycium barbarum* polysaccharides

序号	产地	枸杞质量/g	多糖质量/g	得率/%	M _w /Da	M _w /M _n	均方半径/nm
1	宁夏	15.109 1	0.280 6	1.86	9.12×10 ⁵ ±7.33×10 ⁴	1.42±0.95	127.21±1.53
2	宁夏	15.069 5	0.380 4	2.52	2.58×10 ⁶ ±1.97×10 ⁵	1.53±0.67	131.12±2.48
3	宁夏中宁	15.074 2	0.290 0	1.92	2.11×10 ⁶ ±1.84×10 ⁵	1.24±0.13	129.63±1.74
4	宁夏银川	15.044 9	0.473 5	3.15	2.88×10 ⁶ ±2.36×10 ⁵	1.38±0.23	133.78±1.23
5	宁夏	14.994 0	0.281 0	1.87	1.59×10 ⁶ ±9.41×10 ⁴	1.29±0.19	129.81±1.66
6	宁夏中卫	15.034 1	0.483 2	3.21	3.65×10 ⁶ ±2.52×10 ⁵	1.32±0.08	131.44±2.31
7	宁夏	15.027 0	0.278 9	1.86	2.60×10 ⁶ ±8.22×10 ⁴	1.48±0.41	129.68±3.58
8	宁夏银川	15.052 4	0.320 5	2.13	3.09×10 ⁶ ±3.28×10 ⁵	1.57±0.26	132.49±4.72
9	宁夏	15.084 5	0.360 1	2.39	1.98×10 ⁶ ±4.19×10 ⁵	1.26±0.12	127.62±2.89
10	宁夏	15.030 4	0.403 7	2.69	1.81×10 ⁶ ±5.51×10 ⁵	1.43±0.10	130.66±1.57

枸杞多糖激光光散射信号(LS)和示差检测信号(d RI)分布曲线如图 1,宁夏地区枸杞多糖重均分子量(M_w)在 9.12×10⁵~3.65×10⁶ Da 之间。10 批枸杞多糖分子量分布结果见图 2。多分散系数(M_w/M_n)反映高分子化合物的分子量分散水平,10 批枸杞的多分散系数(M_w/M_n)在 1.24~1.57 之间,均具有较窄的分子量分布。均方半径均在 130 nm 左右,均方半径反映枸杞多糖的松散程度。实验数据为石振萍等^[12]推测的酸性多糖结构为空心球体的存在状态提供佐证。

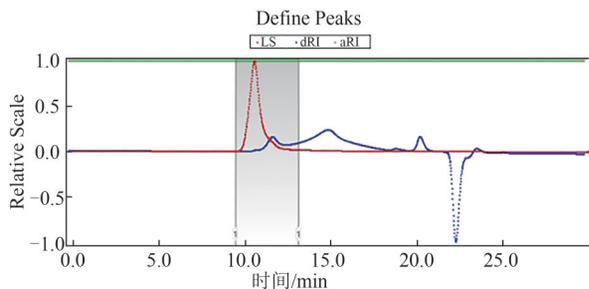


图 1 样品典型 GPC-RI-MALLS 图谱

Figure 1 Typical GPC-RI-MALLS chromatograms of sample

2.2 枸杞多糖中单糖组成及含量测定

2.2.1 线性范围与检出限

9 种单糖和木糖醇在 2~200 μg/mL 范围内具有较好线性关系,相关系数 r 均>0.995 0,9 种单糖和

木糖醇的检出限范围为 2~100 μg/L(表 3)。表明该方法线性良好,检测灵敏度较高。

表 3 线性方程、相关系数和检出限

Table 3 Linear equation, correlation coefficient and limit of detection

名称	线性方程	相关系数 r	检出限/(μg/L)
阿拉伯糖	y=0.040 6x+0.504 6	0.995 7	10
鼠李糖	y=0.025 8x+0.128 5	0.997 6	20
半乳糖	y=0.045 2x+0.362 1	0.998 2	10
葡萄糖	y=0.055x+0.745	0.995 3	20
甘露糖	y=0.035 9x+0.141 7	0.995 6	50
果糖	y=0.014 6x+0.033 7	0.996 7	100
木糖	y=0.013 5x+0.453 7	0.997 8	20
岩藻糖	y=0.040 46x+0.328 9	0.996 7	2
核糖	y=0.021 46x+0.178 4	0.996 7	100
木糖醇	y=0.008 5x+0.128 7	0.997 0	20

2.2.2 方法精密度、稳定性实验

取混合标准溶液连续进样 6 次,测定色谱峰峰面积,得到阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、岩藻糖、核糖 9 种单糖和木糖醇峰面积测定值的相对标准偏差,分别为 2.08%、3.67%、3.54%、1.47%、2.25%、1.06%、2.93%、3.05%、1.77%、1.54%,按 1.2.1 项下方法制备水解枸杞多糖样品(编号 1),分别在 0、2、4、5、8 h 进行测定,计算各峰面积的 RSD 为 1.78%~4.03%。以上结果表明方法的精密度高、稳定性好,可用于枸杞多糖水

解后9种单糖和木糖醇的分析。

2.2.3 加标回收率实验

以已知含量的宁夏产枸杞为本底(编号1),采用标准加入法分别精密加入含阿拉伯糖、鼠李糖、半乳

糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、岩藻糖、核糖、木糖醇的混合对照溶液,按1.2.1方法处理样品,进样测定并计算8种多糖的回收率及RSD,结果见表4。测定的平均回收率范围在90%~110%,RSD<2%。

表4 回收率的测定
Table 4 Test of recovery

名称	样品量/ μg	加入量/ μg	测定量/ μg			平均回收率/%	RSD/%
			1	2	3		
阿拉伯糖	22.38	11.09	34.77	34.37	35.19	103.90	1.18
鼠李糖	56.23	28.57	80.84	80.73	80.98	95.34	0.15
半乳糖	47.54	23.66	70.78	70.99	70.05	99.17	0.70
葡萄糖	120.54	60.54	180.11	181.05	182.07	100.00	0.54
甘露糖	139.68	70.98	201.09	202.54	200.67	95.62	0.55
果糖	14.47	7.12	20.01	20.39	20.77	94.44	1.86
岩藻糖	3.02	1.59	4.43	4.54	4.58	97.98	1.72
木糖醇	5.23	2.55	7.08	7.18	7.32	92.46	1.68

2.3 样品测定

通过水提醇沉法对宁夏产的10批枸杞多糖进行提取,并采用三氟乙酸将粗多糖水解为单糖,经离子色谱进行测定,得到枸杞多糖中单糖组成及含量见表5。宁夏产10批枸杞经中性提取多糖,酸性水解后的单糖组成基本一致,所测定的9种单糖和木糖醇中,宁夏产枸杞多糖主要有阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、岩藻糖7种单糖

和木糖醇,其中葡萄糖、甘露糖和鼠李糖含量较高,与文献[13]基本一致。10批枸杞单糖和木糖醇测定结果见表5,样品色谱图见图2。

枸杞多糖水解后得到的单糖种类和含量受提取方式和水解条件的制约,传统的水提醇沉法得到的枸杞多糖提取率较高,且操作简便,所用仪器设备大多数实验室都能够满足,选择该法作为质量评价方法具有通用性和实用性。

表5 10批枸杞单糖和木糖醇含量

Table 5 Determinations of monosaccharide and xylitol content in 10 batches of *Lycium barbarum*

序号	百分含量/%								
	木糖醇	阿拉伯糖	鼠李糖	半乳糖	果糖	甘露糖	葡萄糖	岩藻糖	总量
1	0.03±0.000 11	0.14±0.001 7	0.35±0.001 5	0.29±0.004 4	0.09±0.001 1	0.87±0.005 8	0.75±0.011	0.02±0.000 21	2.53
2	0.03±0.000 26	0.14±0.001 5	0.36±0.005 4	0.31±0.003 5	0.09±0.001 0	0.77±0.006 9	0.88±0.012	0.02±0.000 18	2.59
3	0.03±0.000 23	0.15±0.001 9	0.33±0.002 6	0.30±0.002 2	0.10±0.001 2	0.86±0.007 3	0.76±0.010	0.03±0.000 28	2.56
4	0.03±0.000 34	0.20±0.002 1	0.41±0.006 2	0.40±0.004 7	0.15±0.001 2	0.98±0.009 1	0.88±0.012	0.03±0.000 22	3.09
5	0.04±0.000 28	0.24±0.002 0	0.43±0.004 4	0.42±0.004 0	0.18±0.001 4	1.05±0.001 7	0.98±0.014	0.04±0.000 25	3.37
6	0.05±0.000 36	0.24±0.001 9	0.41±0.002 9	0.40±0.003 3	0.17±0.001 1	1.02±0.001 1	0.98±0.013	0.03±0.000 28	3.29
7	0.04±0.000 24	0.15±0.001 3	0.48±0.003 8	0.38±0.002 4	0.11±0.001 0	0.98±0.008 5	0.99±0.010	0.03±0.000 19	3.15
8	0.03±0.000 5 7	0.17±0.001 2	0.47±0.003 7	0.37±0.001 9	0.11±0.001 0	0.99±0.008 2	0.96±0.009 4	0.03±0.000 20	3.12
9	0.03±0.000 4 5	0.13±0.008 3	0.39±0.002 8	0.34±0.001 2	0.86±0.005 1	0.89±0.007 6	0.10±0.004 6	0.02±0.000 19	2.75
10	0.03±0.000 2 9	0.14±0.007 5	0.36±0.003 2	0.35±0.005 9	0.90±0.007 6	0.94±0.007 7	0.10±0.006 5	0.03±0.000 24	2.85

3 讨论

3.1 提取方法的选择

枸杞多糖的提取方法较多,包括酶解法、超声辅助提取法、微波辅助提取法等。因枸杞多糖的结构中含有较多羟基,与水反应易形成氢键而溶出,因此水提法是多糖提取最常用的传统方法^[14],同时水提法与枸杞泡、煮的服用方法相一致。本研究采用水提法提取枸杞多糖,旨在枸杞多糖药效物质基础上^[15],以枸杞多糖分子量特征鉴别为前提,以水解后的单糖含量测定为重点,对其进行定性定量联合分析,能更科学、合理评价枸杞质量。

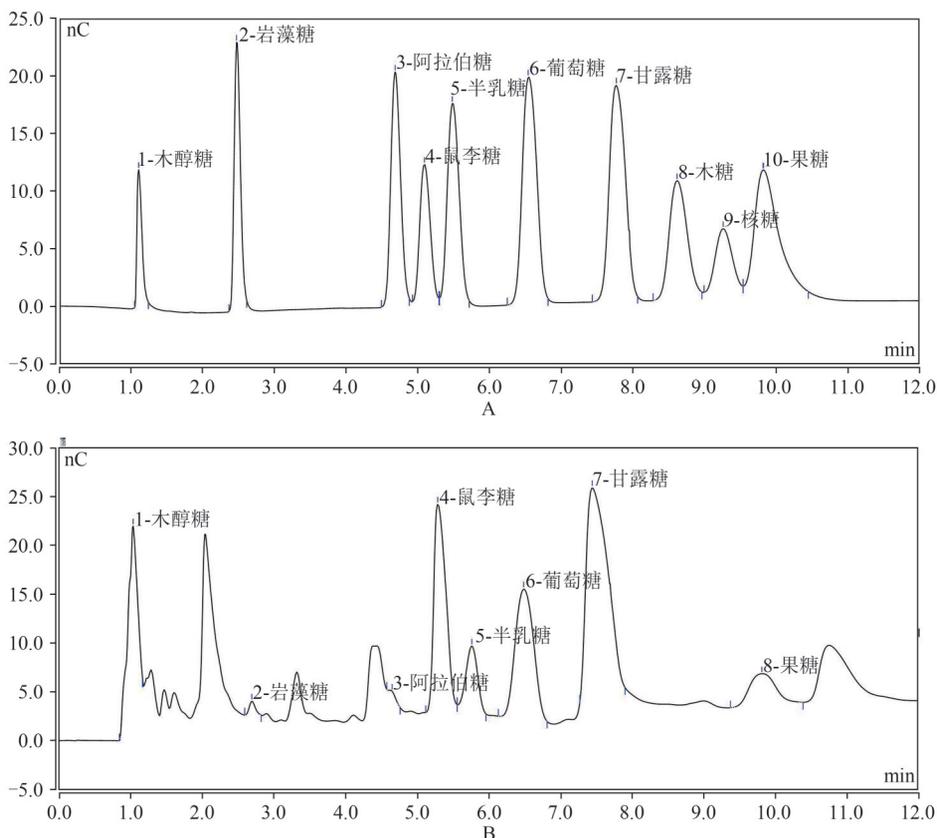
枸杞多糖是与蛋白结合的杂多糖,在水提过程

中游离蛋白质也被提取出来,为提高枸杞多糖的纯度需增加除蛋白步骤,脱去游离蛋白的方法有Sevag法、三氯乙酸法等,Sevag法相比三氯乙酸法较温和,不会影响多糖的生物活性。故本试验采用Sevag法脱枸杞多糖中的游离蛋白。

3.2 枸杞多糖测定方法

目前,枸杞多糖含量测定方法以苯酚硫酸或硫酸蒽酮比色法常见,该方法多选用葡萄糖作为对照品,但枸杞多糖是由多种单糖组成,其响应与葡萄糖不同^[16],专属性较差,影响结果的准确性。

枸杞多糖的分子量和分子量分布与其生物活性有显著的关联性^[17-18],重均分子量作为枸杞多糖



注:A:对照品;B:一号枸杞样品

图2 各单糖和木糖醇色谱图

Figure 2 Chromatogram of various monosaccharide

质量评价的一个关键参数,应纳入到枸杞质量控制标准体系中。GPC-RI-MALLS 通过绝对法测定分子量,是分析天然聚合物分子量和分子量分布的有效方法之一。本文对枸杞多糖的 M_w 测定方法及单糖和木糖醇组成和测定进行初步研究。通过对 10 批宁夏枸杞的测定并对分子量和分子量分布进行比较和研究,初步得出结论:枸杞多糖的重均分子量 (M_w) 大致范围为 $9.12 \times 10^5 \sim 3.65 \times 10^6$ Da, 含有单糖阿拉伯糖、葡萄糖、鼠李糖、半乳糖、甘露糖、果糖、木糖醇及岩藻糖 7 种单糖及木糖醇,总量为 2.53% ~ 3.37%。枸杞多糖的测定可采用 GPC-RI-MALLS 联用方法对分子量及分子量分布作为定性鉴别指标,同时对多糖水解后的几种单糖和木糖醇的含量进行检测,采用多种分析方法联合测定,能更加系统、精准地反映枸杞多糖的内在质量。与传统的蒽酮-硫酸、苯酚-硫酸总糖测定法相比,准确度高、操作简便、无需使用浓硫酸和苯酚等高腐蚀、有毒试剂。高效阴离子交换色谱法与脉冲安培法相结合检测是分析酸性和中性 LBP 最有效的技术之一。尺寸排除色谱结合多角度激光光散射和折射率检测是可行的测定 LBP 的绝对分子量信息。两种方法联用才能够弥补各种方法的不足,通过多指

标反映枸杞的真实质量属性,既满足中医药的整体观念,同时也实现了建立枸杞整体质量控制标准的精准评价。

参考文献

- [1] 王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.
WANG Y M, ZHANG K, XU F H, et al. Chemical analysis and nutritional evaluation of different varieties of Goji Berries (*Lycium barbarum L.*)[J]. Food Science, 2014, 35(1):34-38.
- [2] 聂莹, 赵丹华. “一带一路”倡议下柴达木枸杞产业发展研究[J]. 青海社会科学, 2020(1): 87-94.
NIE Y, ZHAO D H. Research on the development of Qaidam medlar industry under the “the Belt and Road Initiative”[J]. Qinghai Social Sciences, 2020(1):87-94.
- [3] 娜日苏, 孔维雪. 枸杞多糖的纯化与生理功能的研究进展[J]. 中药材, 2019, 42(3): 704-707.
NA R S, KONG W X. Research progress on purification and physiological function of *Lycium barbarum* polysaccharide[J]. Journal of Chinese Medicinal Material, 2019, 42(3):704-707.
- [4] 魏雪松, 王海洋, 孙智轩, 等. 宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展[J]. 中成药, 2018, 40(11): 2513-2520.
WEI X S, WANG H Y, SUN Z X, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Lycium barbarum* in Ningxia[J]. Chinese Traditional Patent Medicine,

- 2018,40(11):2513-2520.
- [5] 孙红梅,李振,彭喜春,等.不同产地枸杞子中多糖含量的比较研究[J].中国食物与营养,2021,27(3):58-61.
SUN H M, LI Z, PENG X C, et al. Comparative study on polysaccharide content in *Lycii fructus* from different habitats [J]. Food and Nutrition in China, 2021, 27(3): 58-61.
- [6] 张文晋,王升,黄璐琦,等.中药多糖质量评控方法探析[J].中国中药杂志,2020,45(14):3489-3496.
ZHANG W J, WAGN S, HUANG L Q, et al. Analysis on quality evaluation and control methods of Chinese medicine polysaccharide [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(14): 3489-3496.
- [7] WU D T, GUO H, LIN S, et al. Review of the structural characterization, quality evaluation, and industrial application of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 79: 171-183.
- [8] 郭志焯,韩丽,杨明,等.中药多糖定量测定方法的探讨[J].中成药,2014,36(10):2172-2176.
GUO Z Y, HAN L, YANG M, et al. Discussion on quantitative determination method of traditional Chinese medicine polysaccharide [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2014, 36(10):2172-2176.
- [9] WU D T, LAM S C, CHEONG K L, et al. Simultaneous determination of molecular weights and contents of water-soluble polysaccharides and their fractions from *Lycium barbarum* collected in China [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2016, 129: 210-218.
- [10] LU F, ZHAI R R, RUAN S Y, et al. Enhancement of ultrasound on the dynamic decolorization of wolfberry (*Lycium barbarum*) polysaccharides [J]. LWT, 2021, 145: 111384.
- [11] ZHANG J, JIA S Y, LIU Y, et al. Optimization of enzyme-assisted extraction of the *Lycium barbarum* polysaccharides using response surface methodology [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(2): 1089-1092.
- [12] 石振萍,蒋朝辉,梁卿,等.枸杞多糖结构及药理作用研究进展[J].甘肃中医药大学学报,2021,38(2):90-95.
SHI Z P, JIANG Z H, LIANG Q, et al. Structure and pharmacological action of *Lycium barb-arum* L. polysaccharides [J]. Journal of Gausu University of Chinese Medicine, 2021, 38(2): 90-95.
- [13] 苟春林,张艳,李健.宁夏枸杞多糖的提取分离与组成[J].江苏农业科学,2013,41(6):246-247.
GOU C L, ZHANG Y, LI J. Extraction, separation and composition of Ningxia *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(6): 246-247.
- [14] 王曼宇,刘乃新,张福顺.植物源性多糖提取及生物活性研究进展[J].中国农学通报,2021,37(29):34-41.
WANG M Y, LIU N X, ZHANG F S. Extraction and bioactivity of plant derived polysac charides: A Review [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(29): 34-41.
- [15] MASCI A, CARRADORI S, CASADEI M A, et al. *Lycium barbarum* polysaccharides: Extraction, purification, structural characterization and evidence about hypoglycaemic and hypolipidaemic effects. A review [J]. Food Chemistry, 2018, 254: 377-389.
- [16] 张菀鑫,颜奕曦,赵静,等.枸杞多糖分析方法研究进展[J].药物分析杂志,2018,38(1):3-12.
ZHANG W X, YAN Y X, ZHAO J, et al. Advanced analysis of polysaccharides from *Lycii Fructus* [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2018, 38(1): 3-12.
- [17] SHENG J W, SUN Y L. Antioxidant properties of different molecular weight polysaccharides from *Athyrium multidentatum* (Doll.) Ching [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 108: 41-45.
- [18] 谢雪梅,张晓林,王健.枸杞多糖的组成成分与分析[J].中药材,2020,43(7):1647-1650.
XIE X M, ZHANG X L, WANG J. Composition and analysis of *Lycium barbarum* polysac-charide [J]. Journal of Chinese Medicinal Material, 2020, 43(7): 1647-1650.