

# 枸杞多糖的分离鉴定与体外肠道代谢初步分析

牛忻<sup>1,3</sup>, 闫娜<sup>1</sup>, 李笃信<sup>1</sup>, 马文平<sup>2</sup>, 时宇<sup>2</sup>, 刘江云<sup>1\*</sup>, 周胜<sup>1</sup>

<sup>1</sup>苏州大学医学部药学院中药系, 苏州 215123;

<sup>2</sup>北方民族大学夏洛蒂医科大学联合研究实验室, 银川 750021;

<sup>3</sup>菏泽市食品药品检验检测研究院, 菏泽 274000

**摘要:**对枸杞多糖的分离纯化工艺和结构鉴定、质量分析方法进行研究, 并对其体外肠道代谢过程进行模拟分析, 为其开发利用提供参考。枸杞子经乙醇提取除杂、水提、超滤浓缩、冷冻干燥获得枸杞多糖(LBP); LBP采用中压制备色谱系统在线检测, 先经DEAE-650M阴离子交换色谱柱分离获得4个主要组分, 再分别经超滤浓缩、Sephadex G25色谱纯化、冷冻干燥, 获得纯化的4种主要枸杞多糖LBP-1~4。经HPSEC色谱分析, 组分LBP-1~4相对分子量依次为65.58、63.83、62.67、65.58 kD; 采用HPAEC-PAD检测, 表明LBP-1~4主要由岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖等6种单糖组成, 其中阿拉伯糖与半乳糖含量较高; 采用紫外-可见分光光度法分析, 测定LBP-1~4的中性糖、糖醛酸和总蛋白质含量分别为64.08%~73.05%、8.5%~18.0%、7.27%~18.67%; 体外模拟肠道代谢分析结果表明, LBP在人工胃液中稳定, 在人工肠液、大鼠肠道菌群液中会发生降解代谢。上述研究结果可为枸杞多糖的制备与质量控制、产品应用开发提供参考。

**关键词:** 枸杞; 多糖; 分离; 结构分析; 肠道代谢

中图分类号: R284

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2019)10-1682-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.10.003

## Separation and *in vitro* gut metabolism analysis of polysaccharides from the fruits of *Lycium barbarum*

NIU Xin<sup>1,3</sup>, YAN Na<sup>1</sup>, LI Du-xin<sup>1</sup>, MA Wen-ping<sup>2</sup>, SHI Yu<sup>2</sup>, LIU Jiang-yun<sup>1\*</sup>, ZHOU Sheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Pharmaceutical Sciences, Soochow University, Suzhou 215123, China;

<sup>2</sup>North Minzu University-Charite Research Laboratory, Yinchuan 750021, China;

<sup>3</sup>Heze Institute For Food and Drug Control, Heze 274000, China

**Abstract:** Polysaccharides of *Lycium barbarum* were separated followed by their structure characterization and *in vitro* gut metabolism analysis, which gave clues for their future utilities and standard quality evaluations in this study. Total polysaccharide of *Lycium barbarum* (LBP) were extracted at first, followed by DEAE-650M and Sephadex G25 column purifications using medium pressure liquor chromatography (MPLC) instrument. As results, four major fractions (LBP-1-4) were separated from LPS with success. They showed similar relative molecular weight to be 65.58, 63.83, 62.67 and 65.58 kD respectively as measured by HPSEC. They were all composed of 6 monosaccharides (Fuc, Ara, Rha, Man, Gal and Glc), of which arabinose and galactose were relative abundant as measured by HPEAC-PAD method. UV-Vib methods were used to measure the total amount of their sugar, glucuronic acid and protein contents, and the results of which indicated to be 64.08%-73.05%, 8.5%-18.0% and 7.27%-18.67% respectively. LBP was stable in artificial gastric juice, while unstable in artificial intestinal juice or rat intestinal flora solution. These results could be beneficial for preparation and quality control of LBP as well as its potential utilizations.

**Key words:** *Lycium barbarum*; polysaccharide; separation; structure analysis; gut metabolism

收稿日期: 2019-03-19

接受日期: 2019-08-13

基金项目: 江苏省科技厅现代农业项目(BE2018322); 江苏省第十四批“六大人才高峰”项目(SWYY-167)

\* 通信作者 Tel: 86-512-65884301; E-mail: liujiangyun@suda.edu.cn

枸杞是中国传统的药食两用功能食品, 中国药典收载枸杞子为宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)的干燥成熟果实, 功能滋补肝肾, 益精明目, 用于虚劳

精亏,腰膝酸痛,眩晕耳鸣,阳萎遗精,内热消渴,血虚萎黄,目昏不明<sup>[1]</sup>。现代研究证实枸杞具有调节免疫,抗炎,保护细胞、血管、神经,以及抗衰老和抗肿瘤等多种药理作用<sup>[2,3]</sup>。枸杞多糖是一类结构复杂的糖蛋白<sup>[2,4]</sup>,近年来对其免疫调节<sup>[5,6]</sup>、降血糖<sup>[7]</sup>,调节肠道菌群<sup>[8,9]</sup>等功效的研究报道较为集中。但由于枸杞多糖相对含量较低、物质组成复杂<sup>[10,11]</sup>,传统的分离纯化方法较为低效;另一方面,其结构表征方法和技术相对复杂,缺乏专属性的质量分析方法,这些困难限制了对枸杞多糖功效与其作用机制的深入研究。

本文针对传统分离效率低下的问题,采用中压制备液相色谱纯化系统(MPLC)对枸杞多糖的在线分离方法进行研究。该色谱系统配备电导/pH/DAD检测器和自动输液、流分收集系统,适于在线分析控制和优化工艺参数。在分离方法上,主要选用DEAE弱阴离子交换色谱进行分离,并对具体工艺参数如填料类型、流动相种类、pH、离子强度和洗脱条件等进行考察,建立优化的枸杞多糖分离色谱条件。对分离纯化的多糖组分,系统采用高效分子排阻色谱(HPSEC)、高效阴离子交换色谱-脉冲安培检测(HPAEC-PAD)、紫外-可见分光光度计等分析技术对其进行结构表征和质量分析,为枸杞多糖的制备技术和专属性质量分析方法提供参考。在此基础上,采用HPSEC法对枸杞多糖在人工模拟胃肠道环境的代谢过程进行初步考察,为枸杞多糖的深入开发与应用研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

枸杞(批号:181101)产地中宁,经北方民族大学生物科学与工程学院马文平教授鉴定为宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)的果实。系列葡聚糖T-10、T40、T70、T110、T200均购自北京拜尔迪生物公司;D-无水葡萄糖(批号110833-201205,标示含量99.5%)购自中国食品药品检定研究院;十八种氨基酸(套)标准品、L-羟脯氨酸,购自中国食品药品检定研究院;葡萄糖醛酸(批号D1216012)购自阿拉丁试剂(上海)有限公司;牛血清白蛋白(批号M00118010)购自上海麦克林生化科技有限公司、BCA蛋白浓度测定试剂盒购自碧云天生物技术有限公司。DEAE 650M弱阴离子填料和TSK-GEL G4000和G3000 PW<sub>XL</sub>色谱柱(7.8 × 300 mm)购自日本Tosoh公司;Sephadex G25填料购自美国GE公司;其他试剂均

为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器

APPS MV 10D中压制备液相色谱仪(利穗科技有限公司);LC-20A高效液相色谱仪(日本岛津公司);Microza MF/UF小型实验膜设备和3K超滤膜(旭化成分离膜装置有限公司);Freezone 2.5 L冻干机(美国Labconco);HPAEC-PAD 850离子色谱仪(瑞士万通中国有限公司);ME215S电子天平(德国Starorious公司);Tecan Infinite M1000 PRO酶标仪(帝肯上海贸易有限公司);L8900氨基酸自动分析仪(日本日立公司)。

## 2 实验方法

### 2.1 枸杞多糖的提取

参考文献方法进行<sup>[1,4]</sup>。取枸杞干果500 g于-80℃冷冻后粉碎,以80%乙醇80℃除杂;药渣挥干,料液比1:10,80℃水提2次,每次1 h,水提液以10 000 × g离心除杂,取上清液经中空纤维膜(10 K)超滤浓缩,浓缩液冷冻干燥,即得枸杞总多糖(LBP,35 g)。

### 2.2 枸杞多糖分离和纯化

采用MPLC对LBP进行纯化,配备Cond/pH/DAD检测器和自动收集系统。首先采用DEAE-650 M离子交换层析柱(25 × 200 mm;柱体积100 mL)进行分离纯化。在室温下,分别考察pH7.0、8.0、9.0、9.5的40 mmol/L Tris-HCl缓冲液作为流动相A,以0.5 mol/L NaCl和同一浓度缓冲液为流动相B,流速5 mL/min,紫外检测波长210和280 nm,考察色谱分离工艺参数和效果。

MPLC的常规分离流程:先用40 mmol/L pH9.0的Tris-HCl缓冲液平衡,再用0~0.5 mol/L NaCl的Tris-HCl缓冲液线性梯度洗脱。用Sephadex G25凝胶层析柱进一步纯化并脱盐,所得组分超滤浓缩并冻干。

### 2.3 枸杞多糖结构分析

#### 2.3.1 纯度与分子量分布检测

参考前期报道方法<sup>[12]</sup>,采用HPSEC法进行检测。色谱条件:TSK G4000 PW<sub>XL</sub>色谱柱(7.8 × 300 mm);流速0.5 mL/min;柱温30℃;紫外检测波长210 nm;进样量20 μL。实验考察了不同流动相对HPSEC法分析枸杞多糖的影响,包括0.5 mol/L硫酸铵、水、0.2 mol/L Tris-HCl缓冲液(pH8.0)。

采用T10、T40、T70、T110、T200、T500、T2000等系列分子量的葡聚糖(1.0 mg/mL)为标准品进样,以保留时间T为横坐标,M<sub>w</sub>为纵坐标绘制标准曲

线,求得回归方程。根据待测样品的保留时间  $T$ ,通过回归方程计算多糖样品的相对分子质量。枸杞多糖供试品配制浓度  $1.0 \text{ mg/mL}$ 。

### 2.3.2 单糖组成分析

采用 HPAEC-PAD 分析样品单糖组成<sup>[13]</sup>。色谱条件: Dionex CarboPac PA-1 色谱柱 ( $4.0 \times 250 \text{ mm}$ ), 流动相 A 为  $15 \text{ mmol/L NaOH}$  溶液, 流动相 B 为  $15 \text{ mmol/L NaOH}$ - $15 \text{ mmol/L NaAc}$ , 流速为  $1 \text{ mL/min}$ ; 梯度程序为  $0 \sim 10 \text{ min}, 0\% \text{ B}$ ;  $10 \sim 40 \text{ min}, 0\% \sim 100\% \text{ B}$ ;  $40 \sim 45 \text{ min}, 100\% \text{ B}$ ;  $45 \sim 50 \text{ min}, 100\% \sim 0\% \text{ B}$ ;  $50 \sim 60 \text{ min}, 0\% \text{ B}$ 。根据单糖的保留时间确定样品中存在的各单糖组成成分。

将多糖样品溶液 ( $10 \text{ mg/mL}$ ) 与  $1 \text{ mol/L}$  三氟乙酸 (TFA) 各  $2 \text{ mL}$  混合, 置  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  烘箱中降解  $12 \text{ h}$ , 样品减压浓缩至干, 配置成  $100 \text{ ppm}$  的样品溶液。另取岩藻糖等 11 种单糖标准品适量, 配置成浓度为  $25 \text{ ppm}$  的混合标准品溶液。

### 2.3.3 氨基酸组成测定

采用茚三酮柱后衍生生化法检测氨基酸含量<sup>[14]</sup>。色谱条件: 色谱柱为日立磺酸型阳离子树脂填充柱 ( $4.6 \times 60 \text{ mm}, 3 \text{ }\mu\text{m}$ ); 缓冲液 MCI Buffer L-8500-PH Kit; 进样量  $1500 \text{ }\mu\text{L}$ ; 柱温  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 衍生液茚三酮显色液; 检测波长  $570$  和  $440 \text{ nm}$ 。

取样品  $20 \text{ mg}$ , 加入  $10 \text{ mL}, 6 \text{ mol/L}$  盐酸溶液水解  $24 \text{ h}$ , 水解液蒸干, 加入  $1 \text{ mL pH}2.2$  柠檬酸钠缓冲液溶解, 配置成  $20 \text{ mg/mL}$  的样品溶液, 另取 18 种氨基酸标准品适量, 配置成浓度为  $25 \text{ ppm}$  的混合标准品溶液。

### 2.3.4 中性糖、半乳糖醛酸、蛋白质总含量测定

参考文献方法进行<sup>[15]</sup>。半乳糖醛酸含量采用

咔唑-硫酸法, 以葡萄糖醛酸做标曲, 酶标仪检测波长  $540 \text{ nm}$ 。中性糖含量测定采用硫酸-苯酚法, 以葡萄糖做标曲, 并扣除半乳糖醛酸的干扰, 酶标仪检测波长  $490 \text{ nm}$ 。蛋白质含量以蛋白浓度测定试剂盒检测, 检测波长  $562 \text{ nm}$ 。

## 2.4 LBP 的体外模拟消化道代谢分析

采用 HPSEC 法检测 LBP 在人工胃肠环境中的代谢情况。为检测可能的代谢产物, 选用色谱柱为 TSK G3000 PW<sub>XL</sub> ( $7.8 \times 300 \text{ mm}$ ), 其余色谱条件同 2.3.1 项下。参照《中国药典》2015 年版四部规定配制人工胃液 ( $\text{pH}5.0$ ) 及人工肠液 ( $\text{pH}7.0$ ), 分别在  $9.5 \text{ mL}$  人工胃液、人工肠液中加入 LBP ( $1.0 \text{ mg/mL}$ ) 样品溶液  $0.5 \text{ mL}$ , 置于  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  下培养预定时间后取样检测。另选取正常 SD 大鼠的新鲜粪便, 加 3 倍生理盐水后匀浆,  $800 \times g$  离心  $5 \text{ min}$ , 取上层混悬液, 即为肠道菌群液; 在 LBP ( $1.0 \text{ mg/mL}$ ) 样品溶液  $1.0 \text{ mL}$  中, 加入  $100 \text{ }\mu\text{L}$  肠道菌群液, 置于厌氧环境中  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  培养预定时间; 取样加入甲醇  $1 \text{ mL}$ , 离心 ( $12000 \times g$ ), 取上清液进行检测。实验同时设置空白组, 以生理盐水代替 LBP 样品溶液; 设置 LBP 对照组, 在室温下放置相同时间。

## 3 结果与分析

### 3.1 枸杞多糖的提取与分离纯化

枸杞多糖的分离纯化方法参见 2.2.2 项下, 代表性的样品分离效果参见图 1。LBP 经一次色谱柱制备即可获得 P1 ~ P4 四个组分, 且分离度满足要求, 重现性高。P1-P4 四个组分经超滤浓缩, Sephadex G25 ( $25 \times 200 \text{ mm}$ ; 柱体积  $120 \text{ mL}$ ) 脱盐, 冻干, 获得目标组分 LBP-1 ~ 4。LBP ( $6 \text{ g}$ ) 经多次纯化, 各自得 LBP-1 ( $16 \text{ mg}$ )、LBP-2 ( $18 \text{ mg}$ )、LBP-3 ( $30 \text{ mg}$ )、

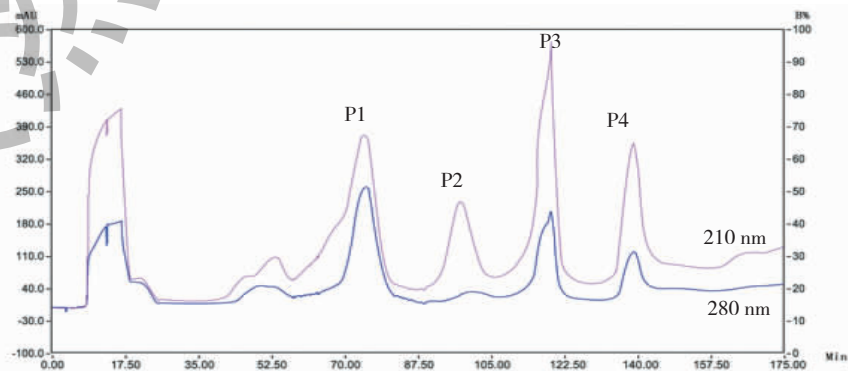


图 1 LBP 的 DEAE-650M 中压制备色谱图

Fig. 1 Preparative MPLC of LBP using DEAE-650M column

注: 色谱峰 P1 ~ P4 依次为 LBP-1 ~ 4。Note: Peak P1 ~ P4 is LBP-1 ~ 4, respectively.

LBP-4(38 mg);经 HPSEC 纯度分析(图 2),其中 LBP-2、LBP-3 为均一多糖,LBP-1、LBP-4 还有少量杂峰、有待进一步纯化。

### 3.2 多糖纯度与分子量测定

#### 3.2.1 多糖的纯度和分子量分析

经方法学考察和优化,采用适宜分子量范围的 TSK G4000 色谱柱建立了 LBP 分子量测定的

HPSEC 法,其色谱条件参见 2.3.1 项下,色谱图参见图 2。图中显示,LBP-2、LBP-3 均为高纯度的单一一对称峰,表明其为均一多糖。以系列葡聚糖对照品的平均重分子量对数值  $M_w$  对  $t_R$  作线性回归,得到回归方程为  $y = -29\ 069x + 486\ 207, R^2 = 0.997\ 3$ ,表明该多糖在 10 ~ 200 kD 的分子量范围内  $M_w$  对  $t_R$  呈较好的线性关系。

表 1 枸杞多糖组分 LBP-1 ~ 4 的相对分子量及保留时间  
Table 1 Relative molecular weight and retention time of LBP-1-4

样品 Sample	LBP-1	LBP-2	LBP-3	LBP-4
保留时间 $t_R$ (min)	14.47	14.53	14.57	14.47
相对分子量 $M_w$ (kD)	65.58	63.83	62.67	65.58

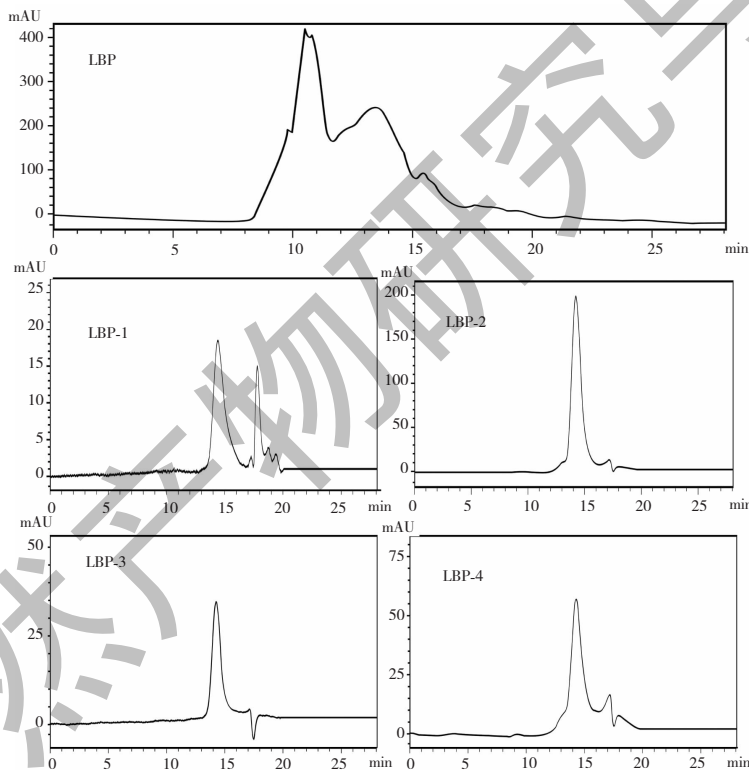


图 2 LBP 及其组分样品的 HPSEC 色谱图

Fig. 2 HPSEC chromatograms of LBPs

#### 3.2.2 枸杞多糖单糖组成

采用 HPAEC-PAD 检测,对枸杞多糖全水解样品的单糖组成进行定性分析。结果表明,枸杞多糖组分 P1-P4 均主要含有岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖等六种单糖,其中阿拉伯糖与半乳糖含量较高。总多糖 LBP 也含有该 6 种多糖,其中阿拉伯糖、葡萄糖含量较高,并含有较高含

量的半乳糖醛酸。

#### 3.2.3 氨基酸组成的测定

样品分析结果表明,LBP、LBP-1 ~ 4 均含有组氨酸、胱氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸等 18 种氨基酸,详见表 2。

表2 枸杞多糖中氨基酸的含量  
Table 2 Amino acid contents of LBP<sub>s</sub>

样品 Sample	LBP-1 (%)	LBP-2 (%)	LBP-3 (%)	LBP-4 (%)	LBP (%)
组氨酸 Histidine	0.14	0.03	0.21	0.16	0.23
胱氨酸 Cystine	0.18	0.09	0.37	0.23	0.42
天门冬氨酸 Asparaginic acid	0.34	0.11	0.52	1.13	0.33
苏氨酸 Threonine	0.42	0.29	0.75	1.72	0.45
丝氨酸 Serine	0.59	0.67	1.19	1.26	0.96
谷氨酸 Glutamic acid	1.02	0.74	0.95	1.44	0.77
脯氨酸 Proline	0.89	0.31	1.45	0.91	1.27
羟脯氨酸 Hydroxyproline	0.91	1.26	1.79	2.22	2.01
甘氨酸 Glycine	0.88	0.58	1.14	1.65	1.29
丙氨酸 Alanine	0.21	0.37	0.48	0.84	1.45
缬氨酸 Valine	0.18	0.63	0.97	1.25	0.75
蛋氨酸 Methionine	0.57	0.65	0.59	0.72	0.93
亮氨酸 Leucine	0.22	0.18	0.60	0.90	0.65
异亮氨酸 Isoleucine	0.16	0.32	0.93	0.67	0.89
酪氨酸 Tyrosine	0.17	0.27	0.52	0.58	1.20
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.11	0.49	0.88	0.79	0.59
赖氨酸 Lysine	0.08	0.29	0.58	0.57	0.38
精氨酸 Arginine	0.07	0.20	0.96	0.49	0.34
总计 Total	7.14	7.48	14.88	17.53	14.91

### 3.2.4 中性糖、半乳糖醛酸、蛋白质总含量的测定

枸杞多糖 LBP, LBP-1 ~ 4 各组分的中性糖、糖醛酸、蛋白质总含量见表 3。由总计含量可见,各多糖组分纯度均大于 93%。其中, LBP-1 ~ 4 各组分的

总蛋白质含量依此增高,而糖醛酸含量变化趋势不一致,表明总蛋白质(总的氨基酸组成)是影响 DE-AE 色谱分离行为的主要因素。

表3 枸杞多糖的中性糖、糖醛酸、蛋白质总含量  
Table 3 Total neutral sugar, uronic acid and protein contents

样品 Sample	LBP (%)	LBP-1 (%)	LBP-2 (%)	LBP-3 (%)	LBP-4 (%)
中性糖 Neutral Sugar	46.44	67.90	73.05	71.15	64.08
糖醛酸 Uronic acid	36.85	18.08	11.85	8.50	14.63
总蛋白质 Total protein	15.10	7.27	8.23	15.77	18.67
总计 Total	98.39	93.25	93.13	95.42	97.37

### 3.2.5 LBP 的体外模拟消化道代谢分析

在上述研究基础上,采用 HPSEC 法对 LBP 在人工胃肠道的代谢情况进行初步分析。研究结果表明, LBP 在人工胃液中较为稳定,无明显代谢变化;在人工肠液中会发生降解代谢,在 10 h 时 LBP 基本代谢完全。在正常大鼠肠道菌群液的作用下, LBP

在 5 h 即有  $M_1$  ( $t_R$  19 min) 代谢产物峰出现;在 10 h 时, LBP 有  $M_1$  和  $M_2$  ( $t_R$  21 min) 代谢产物峰出现,同时峰面积减少了 38%, 参见图 3 所示。研究结果提示,枸杞多糖在人工肠液、肠道菌群中均可发生代谢,这可能是枸杞多糖作为益生元起效的主要途径,其具体体内代谢吸收规律有待进一步研究。

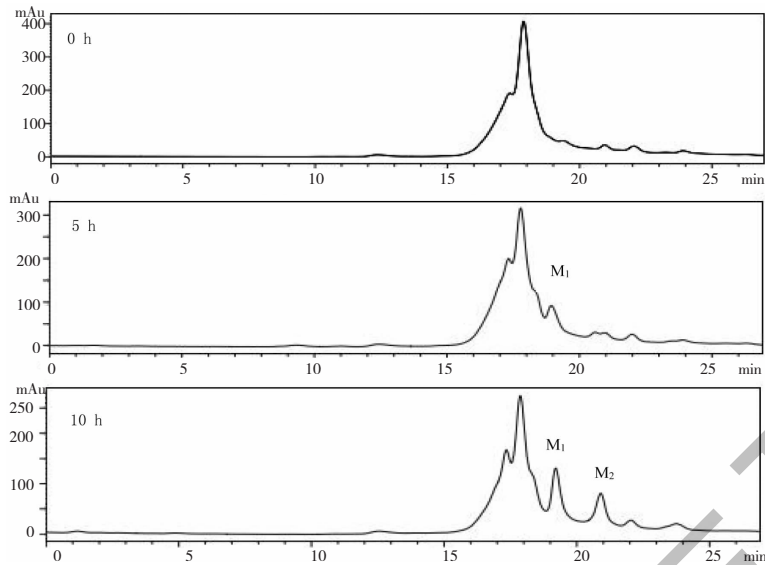


图3 LBP在体外肠道菌群中代谢(0~10 h)的HPSEC色谱图

Fig. 3 HPSEC chromatograms of LBP metabolized in intestinal flora (0~10 h) *in vitro*

#### 4 结论

枸杞多糖作为枸杞子的主要功效物质之一,相关的提取分离方法报道较多。传统实验分离方法一般采用离子交换、分子排阻柱层析方法进行,在收集流分后采用苯酚硫酸法进行离线检测,分离程序复杂、难以实现高效制备。本文首次采用中压液相制备系统进行分离,配备电导/pH/DAD多检测器在线监测,从而易化了分离工艺参数的考察优化,可以大幅提高分离方法开发效率。通过考察,选用DEAE-650M填料分离效果较好,可有效除去枸杞总多糖中的色素等大量杂质;经进一步优化流动相条件、pH、离子强度、梯度洗脱条件、上样量等工艺参数,结合后期超滤膜浓缩、Sephadex G25脱盐、冷冻干燥等纯化工序,通过一次性色谱分离程序即可实现4个多糖组分的有效分离(图1),建立的制备工艺可达到提高柱效、重现性好、容易放大制备规模的目的。采用本分离仪器和方法,可实现对克级以上LBP样品进行制备,可为枸杞多糖的放大纯化工艺提供参考。

枸杞多糖作为一类糖蛋白,多糖的具体组分组成、结构特征均具有复杂性,其分离纯化方法、结构表征和相关质量分析的研究具有一定技术难度。中国药典2015年版<sup>[1]</sup>仅收录了枸杞中总多糖(按葡萄糖计)的含量测定标准。Tian<sup>[4]</sup>首次对宁夏枸杞中的多糖进行了系统研究,分离获得主要的5种不同分子量(23.7~214.8 kD)枸杞多糖,糖链上还连接有包括18种氨基酸的复杂多肽链修饰。Wu等<sup>[11]</sup>对中国50个主要枸杞样品中多糖分子量进行

了测试,表明其大多由复杂的多种多糖组成。本文分析结果表明,LBP主要由4种分子量相近、单糖和氨基酸组成相似的组分LBP-1~4组成,主要区别在于蛋白含量不尽相同(表1-表2)。这与文献报道的枸杞多糖组分结构特征基本一致<sup>[3,4,15]</sup>,但具体分子量、单糖组成等结构特征不完全相同。枸杞多糖中常含有大量杂质、稳定性较差,前处理、不同产地和药用部位来源的原料、样品贮存条件,这些因素都会影响到分离纯化效果。

肠道菌群近年来被认为是机体的代谢新器官,其对健康的影响受到关注,枸杞多糖作为益生元的功效已开始有文献报道<sup>[8]</sup>。本文初步研究结果显示,枸杞多糖在人工胃液中稳定,在人工肠液、大鼠肠道菌群中可发生代谢。最近,Yu等<sup>[9]</sup>报枸杞多糖在人工胃肠道消化系统中没有明显降解;在人粪便菌群发酵24小时后发生水解,肠道微生物群可能通过消化其单糖、降低分子量、降低多糖总含量等途径进行代谢利用,这与本文研究结果基本一致。本文报道的LBP制备工艺、分子量和含量分析、肠道菌群代谢分析等研究方法和成果,可为枸杞多糖及其相关产品的进一步研究与开发提供参考。

#### 参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China; Vol I(中华人民共和国药典;第一部)[M]. Beijing:China Medical Science Press,2015:249.