

枸杞多糖的抗疲劳活性研究

孙 鑫¹ 范士君²

(1. 郑州职业技术学院, 河南 郑州 450000; 2. 天津理工大学, 天津 300382)

摘要: [目的]明确枸杞多糖发挥抗疲劳功效的主要组成成分。[方法]采用水提、超滤膜分级透析等方法制备不同相对分子质量的枸杞多糖组分,通过小鼠负重游泳试验获得抗疲劳活性较好的组分,进一步利用离子交换柱和凝胶层析柱对其进行洗脱纯化,测定其相对分子质量、单糖组分,并进行红外光谱分析。[结果]不同相对分子质量的枸杞多糖中多糖含量为 63.62%~75.63%、蛋白质含量为 1.77%~2.63%、糖醛酸含量为 17.77%~24.77%,其中 LBP2 组分的得率较高,4 种组分的相对分子质量分别为 115.3×10^3 , 47.4×10^3 , 8.14×10^3 , 4.82×10^3 ; LBP2 组分在延长游泳时间,降低尿素氮、血乳酸含量,提高肌糖原、肝糖原含量,增强超氧化物歧化酶、过氧化物酶、谷胱甘肽过氧化物酶活力 ($P < 0.05$) 方面优于其他组分; LBP2 经纯化获得了酸性多糖 LBPE1、LBPE2 和 LBPE3, LBPE1 和 LBPE2 的相对分子质量分别为 3.54×10^4 , 1.10×10^4 , 主要由甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖组成,其摩尔比分别为 0.73:1.61:0.53:3.22:6.33:8.26 和 1.94:1.81:1.36:6.77:8.46:6.57,具有多处明显的多糖特征吸收峰,且均为 β -吡喃糖苷类多糖。[结论]枸杞多糖片段 LBPE1 和 LBPE2 是其发挥抗疲劳作用的主要组成物质。

关键词: 枸杞多糖; 分离纯化; 抗疲劳; 相对分子质量; 单糖

Anti-fatigue activity of *Lycium barbarum* polysaccharides

SUN Xin¹ FAN Shijun²

(1. Zhengzhou Vocational and Technical College, Zhengzhou, Henan 450000, China;

2. Tianjin University of Technology, Tianjin 300382, China)

Abstract: [Objective] To clarify the main components of *Lycium barbarum* polysaccharides that exert an anti-fatigue effect. [Methods] *Lycium barbarum* polysaccharides with different relative molecular weights are prepared by water extraction, ultrafiltration membrane fractionation dialysis, and other methods. The components with good anti-fatigue activity are obtained by mice burden swimming test. They are then eluted and purified by ion exchange column and gel chromatography column to determine the relative molecular weights and monosaccharide components. The infrared spectrum is employed to analyze. [Results] The content of polysaccharide, protein, and uronic acid in *Lycium barbarum* polysaccharides with different molecular weights is 63.62%~75.63%, 1.77%~2.63%, and 17.77%~24.77%, respectively. The LBP2 has a higher component yield. The relative molecular weight of the four components is 115.3×10^3 , 47.4×10^3 , 8.14×10^3 , and 4.82×10^3 , respectively. The LBP2 is superior to other components in prolonging swimming time, reducing urea nitrogen and blood lactate content, increasing muscle glycogen and liver glycogen content, and enhancing the activity of superoxide dismutase, peroxidase, and glutathione peroxidase ($P < 0.05$); LBP2 is purified to obtain acidic polysaccharides LBPE1, LBPE2, and LBPE3. The relative molecular weight of LBPE1 and LBPE2 is 3.54×10^4 and 1.10×10^4 , respectively. The main components are mannose, rhamnose, galacturonic acid, glucose, galactose, and arabinose, with molar ratios of 0.73:1.61:0.53:3.22:6.33:8.26 and 1.94:1.81:1.36:6.77:8.46:6.57, respectively. LBPE1 and LBPE2 have multiple distinct polysaccharide characteristic absorption peaks, both of which are β -pyranoside polysaccharides. [Conclusion] The polysaccharides LBPE1 and LBPE2 from *Lycium barbarum* polysaccharide are the main structural components that exert an anti-fatigue effect.

通信作者: 孙鑫(1986—), 男, 郑州职业技术学院讲师, 硕士。E-mail: 1915321303@qq.com

收稿日期: 2024-10-22 改回日期: 2025-05-17

引用格式: 孙鑫, 范士君. 枸杞多糖的抗疲劳活性研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 175-182.

Citation: SUN Xin, FAN Shijun. Anti-fatigue activity of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 175-182.

Keywords: *Lycium barbarum* polysaccharides; separation and purification; anti-fatigue; molecular weight; monosaccharide

随着生活节奏的加快,多数人处于疲劳亚健康状态。引起疲劳的原因包括能量过度消耗、代谢产物积累及免疫系统紊乱等。疲劳不仅会导致工作效率低下、睡眠质量差,还会引发高血压、糖尿病等慢性疾病。目前抗疲劳药物多为西药,但副作用明显。近年来,传统中药在缓解疲劳方面效果显著且副作用较小^[1],具有巨大的潜在研究价值。

枸杞(*Lycium barbarum* L.)为中国传统滋补性中药材,具有滋补肝肾的作用,已成为当代中老年人的养生必备品种。枸杞中富含黄酮类、花色苷、多糖、生物碱等多种活性成分^[2],具有极高的药用保健价值。多糖是枸杞的主要活性物质,目前有关枸杞多糖的研究大多集中在提取、分离鉴定及功效健康评价等方面。汪明金等^[3]发现提取方法对多糖提取率的影响较大。符梦凡等^[4]通过优化枸杞多糖热水浸提工艺,经脱色、去蛋白、醇沉等纯化处理后,多糖得率为 2.54%,含量达 43.32%。张喜康等^[5]发现不同生长期的枸杞多糖均为小分子,主要由阿拉伯糖、鼠李糖、葡萄糖、木糖、甘露糖和半乳糖组成,纯化后的多糖为酸性多糖。唐华丽^[6]采用热水浸提和膜分离法制备了枸杞多糖,其中 LBP3 组分重均分子量为 4.92×10^3 ,单糖组成中甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖与木糖的摩尔比为 5.52:5.11:28.06:1.00:1.70。此外,大量研究^[7-9]表明,枸杞多糖在抗氧化、抗疲劳、调节血糖、抗肿瘤等方面均具有较好的功能活性。魏芬芬等^[9]研究发现,枸杞多糖能够降低小鼠血清尿素氮、肌酐、乳酸含量,提升肝糖原、肌糖原含量及乳酸脱氢酶、超氧化物歧化酶活力,缓解疲劳,增强运动能力。周秀蓉等^[10]采用不同方法提取枸杞多糖,其中超声增强亚临界水法的多糖提取率最高,且具有较好的抗疲劳功效。由于多糖受单糖类型、糖苷键连接方式及顺序、异头碳构型等影响,结构复杂,因而有关于抗疲劳多糖的结构尚不明晰。研究拟探究不同相对分子质量枸杞多糖的抗疲劳机制,通过超滤膜分级过滤技术对枸杞多糖进行分级,采用经典小鼠负重游泳试验评价筛选出各组分中最佳的抗疲劳多糖组分,经 DEAE 离子交换柱分离纯化,并分析其相对分子质量、单糖组成及红外光谱,旨在为枸杞多糖的高附加值健康食品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

SPF 级昆明小鼠:60 只,雄性,体重(20 ± 2) g,试验动物生产许可证号 CXK(豫)2020-0005,河南斯克贝斯生物科技股份有限公司;

枸杞:市售;

超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、过氧化氢酶(CAT)试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)试剂盒、尿素氮(BUN)试剂盒、乳酸(LA)试剂盒、肝糖原(LG)试剂盒、肌糖原(MG)试剂盒:南京建成生物工程研究所有限公司;

葡萄糖、岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、木糖、甘露糖、果糖标准品:纯度>98%,国药集团化学试剂有限公司;

葡聚糖(T10、T40、T70、T110、T500)标准品:纯度>98%,上海甄准生物科技有限公司;

正丁醇、三氯乙酸、无水乙醇、DEAE-52 纤维素、G-50 葡聚糖凝胶、苯酚、考马斯亮蓝 G-250、浓硫酸、间羟基联苯、四硼酸钠、氢氧化钠、氯化钠、KBr、三氟乙酸:分析纯,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计:TU-1901 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

恒温水浴锅:DK-8D 型,上海锦玟仪器设备有限公司;

冷冻干燥机:LGJ-60A 型,郑州立瑞仪器有限公司;

小型超微粉碎机:XL-30C 型,广州市旭朗机械设备有限公司;

分析天平:BSA224S-CW 型,江苏迅迪仪器科技有限公司;

全自动酶标仪:LD-96A 型,山东安屿生物科技有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20 型,日本岛津公司;

傅里叶红外光谱分析仪:LIDA-20 型,天津恒创立达科技发展有限公司;

自动定量实验室电脑恒流泵:BT100M 型,河北德科机械科技有限公司;

切向流超滤装置:Millipore TFT 型,美国 Millipore 公司;

蒸发光散射检测器:ELSD-II 型,日本岛津公司;

薄膜旋转蒸发器:RE-2000A 型,上海靳澜仪器制造有限公司;

冷冻离心机:JC-12L 型,青岛精诚仪器仪表有限公司;

超高效液相色谱仪:1290 Infinity II 型,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 不同相对分子质量枸杞多糖的制备

(1) 枸杞多糖提取:参考王聪颖等^[11]的方法略有修

改。将枸杞低温烘干,粉碎过40目筛,以料液比($m_{\text{枸杞}}:V_{\text{水}}$)1:10(g/mL)加入纯净水,沸水浴4 h,离心,收集上清液,抽滤,弃去滤渣,滤液于65℃旋转浓缩,加入3倍体积无水乙醇,4℃过夜,抽提上清液,滤渣冻干,得枸杞粗多糖。将粗多糖复溶于水,加入1/4体积多糖溶液的Sevage试剂($V_{\text{氯仿}}:V_{\text{正丁醇}}=4:1$),充分摇晃,静置分层,离心取上清液,重复复溶3次,合并上清液,旋转浓缩,冻干,得枸杞多糖。

(2) 超滤膜过滤:将枸杞多糖以纯净水复溶,通过超滤膜技术($5\times 10^4, 1\times 10^4, 5\times 10^3$)对枸杞多糖分级截留,得到不同相对分子质量的多糖,分别为枸杞多糖1(LBP1, $MW\geq 50\times 10^3$)、枸杞多糖2(LBP2, $1\times 10^4\leq MW<5\times 10^4$)、枸杞多糖3(LBP3, $5\times 10^3\leq MW<1\times 10^4$)和枸杞多糖4(LBP4, $MW<5\times 10^3$),低温旋转浓缩,加入3倍体积无水乙醇,4℃过夜,8 000 r/min离心15 min,冻干,得不同相对分子质量的枸杞多糖。

1.3.2 成分测定 参考文献[13—15]的方法分别测定多糖、蛋白及糖醛酸含量,按式(1)计算组分得率,并进一步采用高效凝胶渗透色谱(HPGPC-ELSD)法测定相对分子质量。

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——组分得率,%;

m_1 ——分离后多糖组分质量,g;

m_2 ——多糖总质量,g。

1.3.3 枸杞多糖的抗疲劳作用

(1) 分组与给药:选取昆明小鼠60只,随机分为6组,每组10只,分别为正常组(CON组)、LBP1组、LBP2组、LBP3组、LBP4组和粗多糖组,参考胡馨予等^[15]的方法,灌胃剂量为50 mg/(kg·d),正常组灌胃等量生理盐水,各组自由采食饮水,每隔2 d测定体重,连续灌胃30 d。

(2) 小鼠负重游泳试验:参考杜小娟^[16]的方法,连续灌胃15 d,末次给药后,休息30 min,在小鼠尾部负重一块体重5%的铅皮,置于水深45 cm的游泳箱中,保持水温30℃左右,以小鼠没入水下8 s不浮出为止,记录游泳时间。

(3) 小鼠血清BUN、LA及LG、MG含量测定:游泳结束后,取出小鼠,拭干毛发,30 min后进行小鼠眼眶取血,血样于4℃保存,离心,取血清,按照试剂盒方法测定血清中尿素氮、乳酸含量,取小鼠肝脏及后肢肌肉,用生理盐水清洗3遍,用滤纸擦干,按照试剂盒方法测定肝糖原及肌糖原含量。

(4) 小鼠内源性抗氧化酶活力测定:按照试剂盒方法测定小鼠血清中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶

(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性。

1.3.4 DEAE-52离子交换柱分离 参考乔西凤等^[17]的方法。

1.3.5 相对分子质量测定 参考刘宇^[18]的方法。色谱条件:流动相为纯净水,流量2 mL/min,进样量20 μL,柱温35℃,TSK-gel G-3000PWXL色谱柱(7.8 mm×300 mm),以相对分子质量对数值为纵坐标,以保留时间为横坐标,绘制标准曲线,以纯化后多糖的保留时间计算相对分子质量。

1.3.6 枸杞多糖的单糖组成 采用PMP(1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮)柱前衍生-HPLC法^[19]。

色谱条件:采用Symmetry C₁₈(250 m×4.6 mm, 5 μm)色谱柱,柱温35℃,流速1 mL/min,检测波长250 nm,进样量20 μL,流动相为0.05 mmol/L磷酸盐溶液(pH 6.8)—乙腈溶液($V_{\text{磷酸盐}}:V_{\text{乙腈}}=82:18$)。以混合标准品中葡萄糖标准品为内标物,分别按式(2)、式(3)计算相对校正因子及单糖摩尔比。

$$f = \frac{W_i/W_s}{A_i/A_s}, \quad (2)$$

$$n = \frac{A_x}{A_s} \times \frac{f}{M_r}, \quad (3)$$

式中:

W_i ——标准单糖质量,g;

W_s ——内标质量,g;

A_i ——单糖标准品峰面积;

A_s ——内标峰面积;

n ——单糖物质的量,mol;

A_x ——单糖峰面积;

f ——相对校正因子;

M_r ——单糖相对分子质量。

1.3.7 傅里叶红外光谱测定 分别准确称取2 mg纯化后多糖样品,称取200 mg干燥恒重的KBr,研钵内充分混匀,使用压片机加工成透明的薄片,扫描频率范围为4 000~500 cm⁻¹^[20]。

1.4 数据处理

采用Excel 2019软件处理数据,采用Origin 2019b软件作图,采用SPSS 22.0软件进行组间差异分析, $P<0.05$ 为显著, $P<0.01$ 为极显著。

2 结果与分析

2.1 枸杞多糖的组成成分分析

采用热水浸提法提取枸杞多糖,相关指标拟合得到的标准曲线回归方程分别为多糖 $Y=0.004\ 11X+0.003\ 45$, $R^2=0.995\ 45$;蛋白质 $Y=0.003\ 28X+0.015$, $R^2=0.995\ 07$;糖醛酸 $Y=0.002\ 29X-0.006\ 5$, $R^2=0.996\ 21$,各回归曲线线性关系良好。由表1可知,不同相对分子质量的多糖含

表 1 枸杞多糖成分分析

Table 1 Component analysis of *Lycium barbarum* polysaccharides

组分	多糖/%	蛋白质/%	糖醛酸/%	组分得率/%	相对分子质量
LBP1	67.32±1.12	2.20±0.78	22.26±0.73	11.32±0.73	1.15×10 ⁵
LBP2	75.63±0.67	1.77±0.44	24.77±0.88	57.37±1.16	4.74×10 ⁴
LBP3	63.62±0.86	2.63±0.47	22.61±0.26	33.81±0.78	8.14×10 ³
LBP4	67.73±0.78	2.51±0.62	17.77±0.82	5.66±0.66	4.82×10 ³

量较高,蛋白质含量较低,纯化效果较好,并含有一定量的糖醛酸。

2.2 枸杞多糖的抗疲劳结果

2.2.1 对小鼠体重的影响 由图 1 可知,小鼠体重随时间呈递增趋势,LBP4 组和粗多糖组在 10~20 d 时体重增长较快,但在 30 d 时各组体重差异较小。

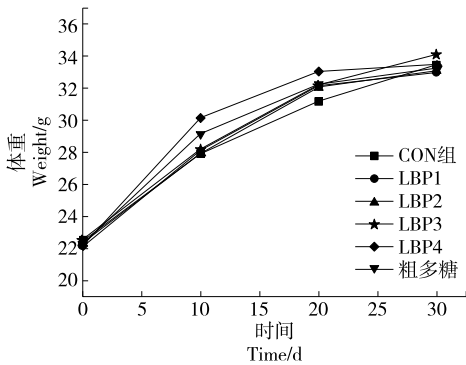


图 1 枸杞多糖对小鼠体重的影响

Figure 1 Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on body weight of mice

2.2.2 对负重游泳时间的影响 负重游泳时间能够直观地反映药物成分的抗疲劳功效^[21]。由图 2 可知,与正常组相比,LBP1、LBP2、LBP3、LBP4、粗多糖组的游泳时间均有延长,其中 LBP2 组的游泳时间最长($P<0.01$),表明其能够增强小鼠运动耐力。

2.2.3 对小鼠血清 BUN、LA 及 LG、MG 含量的影响

BUN 是肾脏中蛋白质和氨基酸的代谢产物,代谢失衡表明机体运动强度过大,出现疲劳,因此,BUN 被作为疲劳的常见评价指标之一^[22]。血乳酸是葡萄糖在无氧呼吸下产生的,剧烈运动时,机体积累产生大量乳酸,造成疲劳感^[23]。血糖是维持机体正常运行的主要能源,其主要储存形式为肌糖原和肝糖原,长时间保持运动状态时,肝糖原、肌糖原会迅速转化为葡萄糖,维持机体需求^[24]。由图 3 可知,与空白组相比,枸杞多糖各组分均能降低 BLA 和 BUN 含量,其中 LBP2 组的 BUN 含量最低;枸杞多糖各组分的 LG 和 MG 含量均显著升高($P<0.05$),其中

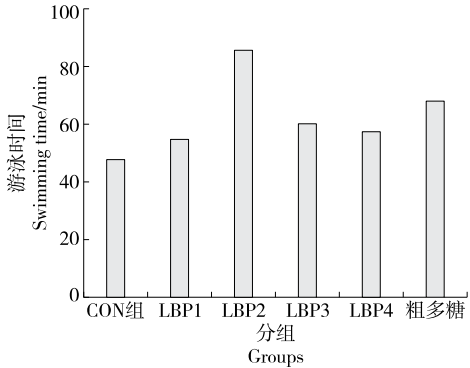
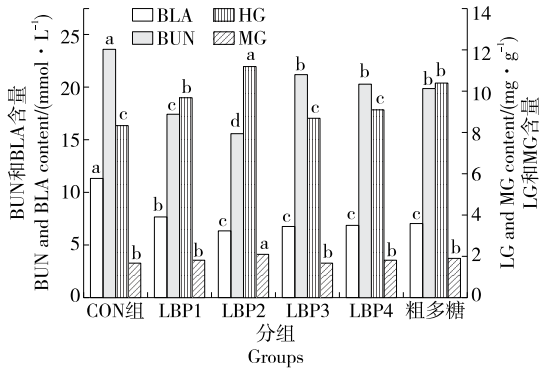


图 2 枸杞多糖对小鼠游泳时间的影响

Figure 2 Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on swimming time of mice

LBP2 组与粗多糖组存在明显差异,二者均明显高于 LBP1、LBP3、LBP4 组($P<0.05$);LBP1、LBP3、LBP4、粗多糖组的 MG 含量与空白组差异较小,LBP2 组能够明显提高 MG 含量($P<0.05$)。



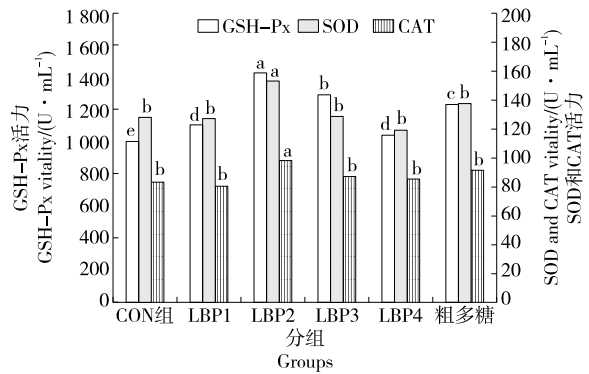
字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 3 对小鼠血清 BUN、BLA 及 MG、LG 含量的影响

Figure 3 Effects on the content of BUN, BLA, MG and LG in serum of mice

2.2.4 对小鼠内源性抗氧化酶活力的影响 自由基和疲劳密切相关,氧自由基的积累能够无条件地攻击肌肉细胞,是造成疲劳的重要原因之一^[25]。内源性抗氧化酶系统由 SOD、CAT、GSH-Px 组成,能够有效清除自由基、减

缓细胞氧化应激、抑制脂质过氧化^[26]。由图4可知,与空白组相比,LBP1、LBP2、LBP3、LBP4、粗多糖组的GSH-Px活力均明显升高($P<0.05$),其中LBP2的酶活力最高,较CON组提升了42.9%;除LBP2组外,其余各组的CAT和SOD活力差异不显著。因此,LBP2组对小鼠体内抗氧化酶活力的提升效果最强。



字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图4 枸杞多糖对CAT、SOD、GSH-Px活力的影响
Figure 4 Effects of *Lycium barbarum* polysaccharides on the activity of CAT, SOD, and GSH-Px

2.3 枸杞多糖的分离纯化

2.3.1 DEAE-52离子交换柱分离 由于多糖电荷具有明显差异,因此采用DEAE-52纤维素离子交换柱对LBP2多糖进行分离纯化。由图5可知,LBP2经0.0、0.5、1.0、1.5、2.0 mol/L NaCl洗脱,可收集到酸性多糖LBPE1、LBPE2和LBPE3。

2.3.2 相对分子质量分析 采用高效凝胶渗透色谱法测定LBPE1和LBPE2的相对分子质量,以相对分子质量对数值为纵坐标,保留时间为横坐标绘制标准曲线 $\text{Log}(M_r)=-0.219\ 32T+7.738\ 96$, $R^2=0.995\ 53$ 。由图6

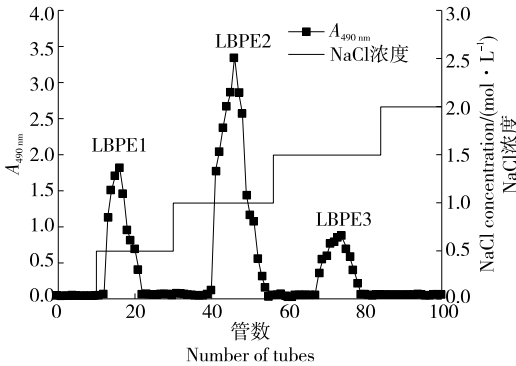
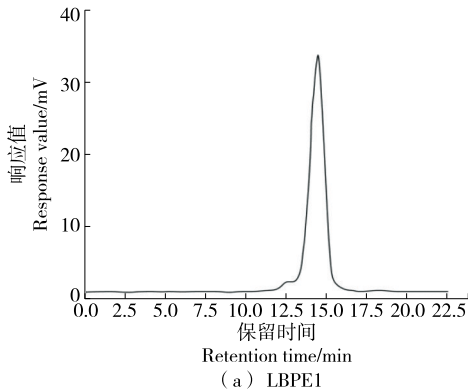


图5 色谱柱层析洗脱曲线
Figure 5 Elution curves of column chromatography

可知, LBPE1和LBPE2的保留时间分别为14.544, 16.864 min,相对分子质量分别为 3.54×10^4 , 1.10×10^4 ,由于色谱图分离度较好,峰型较窄,说明多糖纯度较高。

2.3.3 单糖组成分析 由图7可知,LBPE1和LBPE2均含有甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖、半乳糖醛酸,但摩尔组分具有明显差异。以混标中的葡萄糖为内标物,根据葡萄糖的峰面积和其他单糖的峰面积,分别计算不同单糖的相对校正因子,结果见表2。由表2可知,

表2 各组分单糖的相对校正因子
Table 2 Relative correction factors for monosaccharides of each component

单糖标准品	保留时间/min	峰面积	相对校正因子
甘露糖	14.17	18 389.75	1.29
鼠李糖	16.49	16 466.94	1.05
半乳糖醛酸	21.82	4 026.15	0.26
葡萄糖	28.88	21 593.17	1.00
半乳糖	33.44	16 749.70	0.83
阿拉伯糖	36.44	24 011.93	1.48

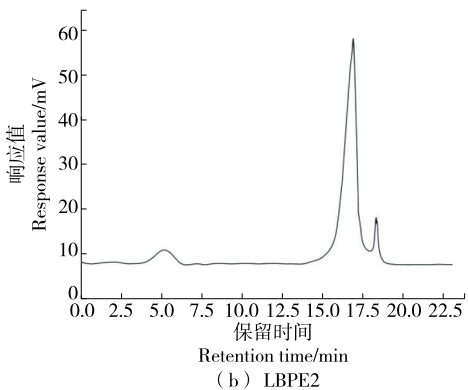


图6 LBPE1和LBPE2的高效液相色谱图
Figure 6 HPLC chromatograms of LBPE1 and LBPE2

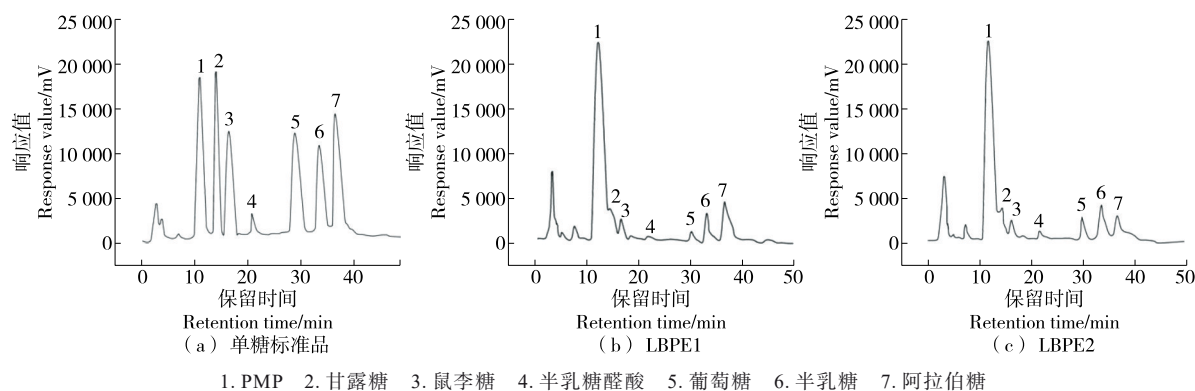


图 7 单糖标准品、LBPE1 和 LBPE2 的 HPLC 色谱图

Figure 7 HPLC chromatograms of monosaccharide standards, LBPE1 and LBPE2

LBPE1 和 LBPE2 中甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖的摩尔比分别为 0.73:1.61:0.53:3.22:6.33:8.26 和 1.04:1.81:1.36:6.77:8.46:6.57。

2.3.4 傅里叶红外光谱分析 由图 8 可知, LBPE1 和 LBPE2 分别在 3 419.35, 3 435.48 cm^{-1} 处出现较宽且强的峰为—OH 的伸缩振动吸收峰, 属于多糖的特征吸收峰。LBPE1 和 LBPE2 分别在 2 926.88, 2 819.35 cm^{-1} 和 2 922.00, 2 806.45 cm^{-1} 处的吸收峰为—CH₂—或—CH₃

的 C—H 伸缩振动, 1 744.09, 1 736.56 cm^{-1} 处为醛基的吸收峰, 表明含有糖醛酸, 1 612.29, 1 582.79 cm^{-1} 和 1 602.15, 1 583.33 cm^{-1} 处为—COOH 的 C=O 伸缩振动吸收峰, 1 367.74, 1 368.28 cm^{-1} 处为 C—H 吸收峰, 1 152.69, 1 141.61 cm^{-1} 处为 C—O—C 醚键 C—O 的伸缩振动, 1 047.31, 1 013.44 cm^{-1} 处的吸收峰表明存在吡喃糖苷, 898.92, 882.25 cm^{-1} 处的吸收峰表明有 β -糖苷键。综上, 纯化后的 LBPE1 和 LBPE2 均为 β -吡喃糖苷类多糖。

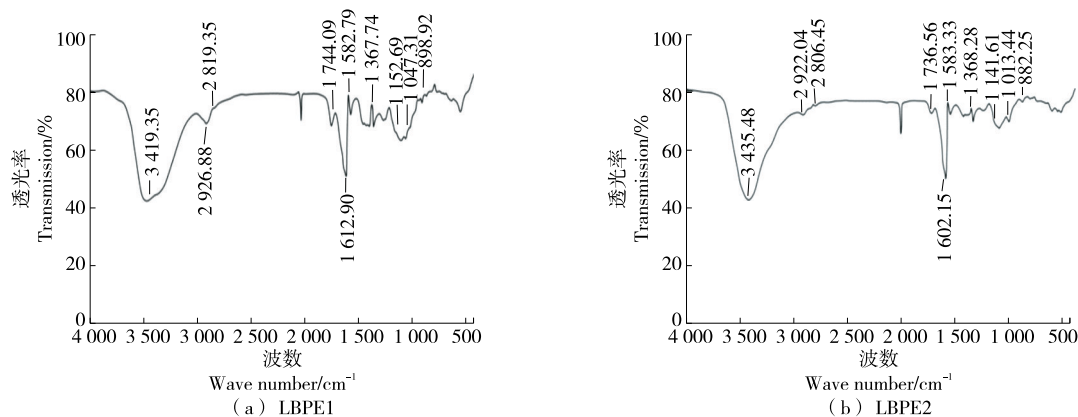


图 8 LBPE1 和 LBPE2 的红外光谱图

Figure 8 Infrared spectra of LBPE1 and LBPE2

3 结论

利用超滤膜分级技术得到了 4 种枸杞多糖组分 LBP1、LBP2、LBP3 和 LBP4, 其中 LBP2 组分能够显著延长小鼠游泳时间, 降低小鼠血清尿素氮、乳酸含量, 提升肝糖原、肌糖原含量, 增强超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶等内源性抗氧化酶活力 ($P < 0.05$)。以 LBP2 组分为对象, 分离纯化得到了高纯度的酸性多糖 LBPE1、LBPE2 和 LBPE3; LBPE1 和 LBPE2 的相对分子质量分别为 3.54×10^4 , 1.10×10^4 , 主要由甘露糖、

鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖组成, 其摩尔比分别为 0.73:1.61:0.53:3.22:6.33:8.26 和 1.94:1.81:1.36:6.77:8.46:6.57, 具有多处明显的多糖特征吸收峰, 且均为 β -吡喃糖苷类多糖。从枸杞多糖中分离纯化得到了 LBP2 多糖组分, 并从整体动物水平分析评价其抗疲劳活性, 但这一层次只能反映该组分对生物体多系统、多靶点的综合作用, 因此还应结合细胞水平、分子水平对其作用机制进一步深度挖掘, 全面阐述其调控机理和应用潜力。

参考文献

- [1] 刘兴龙, 赵迎春, 陈雪艳, 等. 黑参多糖抗疲劳作用的分子机制[J]. 食品科学, 2020, 41(5): 173-179.
LIU X L, ZHAO Y C, CHEN X Y, et al. Anti-fatigue effect and molecular mechanism of black ginseng polysaccharides in mice [J]. Food Science, 2020, 41(5): 173-179.
- [2] 孙甜甜, 高云航, 孙卓, 等. 枸杞多糖研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2018, 52(12): 75-80.
SUN T T, GAO Y H, SUN Z, et al. Research advances of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2018, 52(12): 75-80.
- [3] 汪明金, 龙玲. 枸杞多糖的提取、纯化、结构鉴定及药理作用研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(1): 131-135, 146.
WANG M J, LONG L. Research progress on extraction, purification, structure identification and pharmacological action of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2022, 58(1): 131-135, 146.
- [4] 符梦凡, 赵一帆, 阎卫东. 柱前衍生化 HPLC 法分析枸杞多糖中单糖组成[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 186-191.
FU M F, ZHAO Y F, YAN W D. Analysis of monosaccharide composition of polysaccharides from *Lycium barbarum* L. by HPLC with precolumn derivatization[J]. Food Science, 2018, 39(18): 186-191.
- [5] 张喜康, 赵宇慧, 刘军, 等. 枸杞不同生长期多糖的理化特性及结构分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 158-164.
ZHANG X K, ZHAO Y H, LIU J, et al. Physicochemical properties and structural analysis of *Lycium barbarum* L. polysaccharides at different growth stages[J]. Food Science, 2020, 41(16): 158-164.
- [6] 唐华丽. 枸杞多糖的结构分析及代谢组学研究[D]. 南京: 东南大学, 2016: 16.
TANG H L. Study on the Structural analysis and metabolomics of *Lycium barbarum* polysaccharides[D]. Nanjing: Southeast University, 2016: 16.
- [7] 谢文, 陈华国, 赵超, 等. 枸杞多糖的生物活性及作用机制研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 349-359.
XIE W, CHEN H G, ZHAO C, et al. Recent progress in understanding the biological and mechanism of action of *Lycium barbarum* polysaccharide[J]. Food Science, 2021, 42(5): 349-359.
- [8] 董碧莲, 蔡延渠, 吕莉, 等. 中药多糖增强免疫、抗疲劳作用的研究进展[J]. 中成药, 2019, 41(5): 1119-1124.
DONG B L, CAI Y Q, LV L, et al. Research progress of polysaccharide of traditional Chinese medicine on enhancing immunity and anti fatigue[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41(5): 1119-1124.
- [9] 魏芬芬, 王文娟, 张波. 枸杞多糖缓解小鼠体力疲劳研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 48-52.
WEI F F, WANG W J, ZHANG B. Study of lycium barbarum polysaccharide relieving physical fatigue in mice[J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 48-52.
- [10] 周秀蓉. 不同方法提取枸杞多糖的化学性质及其对运动疲劳的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(11): 5352-5356.
ZHOU X R. The chemical properties of lycium barbarum polysaccharide extracted by different methods and its effect on exercise fatigue[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(11): 5352-5356.
- [11] 王聪颖, 黄小强, 徐玥玥, 等. 枸杞子多糖的提取纯化、体外抗氧化及其抗衰老作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 1-8.
WANG C Y, HUANG X Q, XU Y Y, et al. Extraction and purification of *Lycium barbarum* polysaccharides and its *in vitro* antioxidation and *in vivo* anti-aging effects[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 1-8.
- [12] 胡颖, 徐鑫, 张春阳, 等. 不同品种来源枸杞子多糖及甜菜碱含量测定和比较分析[J]. 中国现代中药, 2022, 24(12): 2383-2390.
HU Y, XU X, ZHANG C Y, et al. Determination and comparative analysis of *Lycii fructus* polysaccharides and betaine from different varieties[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(12): 2383-2390.
- [13] 李亚平, 周鸿立. 多糖中糖醛酸含量测定方法的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(17): 207-211.
LI Y P, ZHOU H L. Progress on determination content of uronic acid in polysaccharides[J]. Food Research and Development, 2019, 40(17): 207-211.
- [14] 朱碧芬, 张若妍, 尹浩, 等. 四种食用菌糖蛋白粗提物体外抗氧化和抑菌活性比较[J]. 食用菌学报, 2024, 31(3): 59-65.
ZHU B F, ZHANG R Y, YIN H, et al. Comparison of antioxidant and antibacterial activities of crude glycoprotein extracts from four edible fungi *in vitro*[J]. Acta Edulis Fungi, 2024, 31(3): 59-65.
- [15] 胡馨予, 赵冰, 孙晓琪, 等. 枸杞子多糖抗疲劳活性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(7): 197-200.
HU X Y, ZHAO B, SUN X Q, et al. Anti-fatigue action of *Lycium barbarum* polysaccharides in mice[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(7): 197-200.
- [16] 杜小娟. 刺梨果渣多酚对小鼠运动抗疲劳的影响及其机制研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(6): 281-288.
DU X J. Effect of *Rosa roxburghii pomace* polyphenols on exercise anti-fatigue in mice and its mechanism[J]. China Food

- Additives, 2023, 34(6): 281-288.
- [17] 乔西凤, 马丛伟, 张颖, 等. 枸杞多糖的分离纯化及其体外抗增殖和抗炎活性分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 125-134.
- QIAO X F, MA C W, ZHANG Y, et al. Isolation and purification of *Lycium barbarum* polysaccharides and analysis of its *in vitro* anti-proliferative and anti-inflammatory activities [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 125-134.
- [18] 刘宇. 平菇多糖分离纯化、结构分析及其抗疲劳活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020: 10.
- LIU Y. Isolation, purification, identification and anti-fatigue activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus*[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020: 10.
- [19] 余亦婷, 皮文霞, 谢辉, 等. PMP柱前衍生化-HPLC法分析不同生长年限黄芪中6种单糖的含量[J]. 中国药房, 2021, 32(12): 1 448-1 452.
- YU Y T, PI W X, XIE H, et al. Content determination of 6 kinds of monosaccharide in *Astragalus membranaceus* with different growth years by pre-column derivatization-HPLC[J]. China Pharmacy, 2021, 32(12): 1 448-1 452.
- [20] 张金荣, 卢士玲, 罗瑞峰, 等. 富硒葡萄中硒多糖的分离纯化及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 116-124.
- ZHANG J R, LU S L, LUO R F, et al. Separation, purification and antioxidant activity of selenium polysaccharide from selenium-enriched grapes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 116-124.
- [21] 李戈, 张烁. 树莓果肉多糖提取工艺优化及其抗疲劳作用[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 112-120.
- LI G, ZHANG S. Extraction process optimization of raspberry (*Rubus idaeus* L.) pulp polysaccharide and anti-fatigue activity of the polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2023, 44(11): 112-120.
- [22] XU J, ZHAO Q S, QU Y Y, et al. Antioxidant activity and anti-exercise-fatigue effect of highly denatured soybean meal hydrolysate prepared using neutrase[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 1 982-1 992.
- [23] 王新明. 红树莓籽黄酮提取及其抗氧化、抗疲劳与降血糖活性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 34.
- WANG X M. Extraction of flavonoids from red raspberry seeds and its antioxidant, anti-fatigue and hypoglycemic activities[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019: 34.
- [24] 周海涛, 曹建民, 林强, 等. 铁皮石斛对运动训练大鼠物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国药理学杂志, 2013, 48(19): 1 684-1 688.
- ZHOU H T, CAO J M, LIN Q, et al. Effect of *Dendrobium officinale* kimura et migo on substance metabolism and exercise capacity in rats after exercise training[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2013, 48(19): 1 684-1 688.
- [25] 周勇, 杨珏. 花椒叶多糖对小鼠运动疲劳作用及其机制研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(7): 234-239.
- ZHOU Y, YANG J. Effects of polysaccharide from *Zanthoxylum bungeanum* leaves on exercise-fatigue mice and its mechanism[J]. China Food Additives, 2023, 34(7): 234-239.
- [26] CHI A P, LI H, KANG C Z, et al. Anti-fatigue activity of a novel polysaccharide conjugates from Ziyang green tea[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 80: 566-572.