杨波, 于林, 孟苇特, 等. 玫瑰花和玫瑰花渣多糖结构表征及生物活性比较 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(13): 408−418. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060321

YANG Bo, YU Lin, MENG Weite, et al. Structural Characterization and Comparison of Biological Activity of Polysaccharides from the *Rosa rugosa* Thunb. and Its Residues[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(13): 408−418. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060321

·营养与保健·

玫瑰花和玫瑰花渣多糖结构表征及生物活性比较

杨　波[1], 于　林[1], 孟苇特[1], 张小平[1], 易宇欣[1], 杨博轩[1], 聂梅利[1],
艾合米丁·外力[2], 阿衣吐逊·阿布都外力[1,*]

（1.新疆农业大学化学化工学院, 新疆乌鲁木齐 830052;
2.中国科学院新疆理化技术研究所, 中国科学院干旱区植物资源化学重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830011）

摘　要: 为了实现玫瑰花资源的高效利用，本文以玫瑰花及玫瑰精油生产后的花渣作为研究对象，旨在探讨玫瑰花渣是否保留玫瑰花原有活性成分。采用水提醇沉、大孔吸附树脂及阴离子交换柱层析法进行分离纯化得到玫瑰花多糖（RP）和玫瑰花渣多糖（RRP），对各多糖进行结构及生物活性的对比研究。结果表明，RP 和 RRP 均分离出一种中性和两种酸性多糖。各多糖的糖、糖醛酸及蛋白含量分别在 12.25%~41.75%、19.63%~66.21% 及 1.01%~33.84%；由不同摩尔比的鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖及半乳糖组成。分子量检测结果表明 RP-Ⅱ和 RRP-Ⅱ纯度较高，重均分子量分别为 15.47、9.61 kDa。扫描电镜及刚果红染色显示两种多糖具有不同的表面结构形貌及空间构象。生物活性结果表明 RP 和 RRP 均具有一定的抗氧化活性，其中 RP-Ⅰ的清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基的能力较强，半抑制浓度（IC_{50}）为 9.59×10^{-2} mg/mL；RP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ的羟自由基清除能力较强，IC_{50} 值分别为 1.11 及 1.35 mg/mL。同时，各多糖能够促进巨噬细胞的增殖，RP-Ⅲ及 RRP-Ⅱ显著促进巨噬细胞分泌 IL-1β 和 TNF-α（P<0.05）。本文研究结果表明，玫瑰花及玫瑰花渣均富含功能性多糖，可适用于食品、医药、化妆品等行业，同时将为玫瑰花资源的进一步开发利用提供理论基础。

关键词: 玫瑰花, 玫瑰花渣, 多糖, 结构表征, 生物活性
中图分类号: TS201.2　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)13−0408−11
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060321　　本文网刊:

Structural Characterization and Comparison of Biological Activity of Polysaccharides from the *Rosa rugosa* Thunb. and Its Residues

YANG Bo[1], YU Lin[1], MENG Weite[1], ZHANG Xiaoping[1], YI Yuxin[1], YANG Boxuan[1], NIE Meili[1], AIHEMIDING Waili[2], AYITUXUN Abuduwaili[1,*]

（1.College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2.State Key Laboratory of Xinjiang Indigenous Medicinal Plants Resource Utilization, Xinjiang Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China）

Abstract: In order to achieve the efficient utilization of *Rose rugosa* resources, this article took *Rose rugosa* and its residues after the production of rose essential oil as the research object, aimed to explore whether the rose residue retained the original bioactive ingredients of *Rose rugosa*. *Rose rugosa* polysaccharides (RP) and *Rose rugosa* residue polysaccharides

收稿日期: 2025−06−26
基金项目: 新疆维吾尔自治区人才发展基金“天池英才”引进计划项目（2522GCCRC）; 新疆农业大学研究生科研创新计划项目。
作者简介: 杨波（1999−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 功能多糖的制备及其活性, E-mail: 2029958010@qq.com。
*** 通信作者:** 阿衣吐逊·阿布都外力（1991−）, 女, 博士, 讲师, 研究方向: 糖化学及生物学, E-mail: Aytursun11@126.com。

(RRP) were obtained through extraction and purification using water extraction and ethanol precipitation, macroporous adsorption resin, and anion exchange column chromatography. The structures and biological activities of the polysaccharides were comparatively studied. The results showed that both RP and RRP contained one neutral and two acidic polysaccharide fractions. The contents of neutral sugar, uronic acid, and protein in the different polysaccharides ranged from 12.25% to 41.75%, 19.63% to 66.21%, and 1.01% to 33.84%, respectively. RP and RRP were composed of different molar ratios of rhamnose, arabinose, xylose, mannose, glucose, and galactose. The molecular weight detection results showed that RP-Ⅱ and RRP-Ⅱ had higher purity, with molecular weights of 15.47 kDa and 9.61 kDa, respectively. Scanning electron microscopy and Congo red staining revealed different surface morphologies and conformational structure of the polysaccharides. The biological activity results showed that both RP and RRP had certain antioxidant activity, among which RP-Ⅰ had a strong ability to scavenge 1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine free radicals with a half inhibition concentration (IC_{50}) of 9.59×10^{-2} mg/mL. RP-Ⅱ and RP-Ⅲ had strong hydroxyl radical scavenging abilities, with IC_{50} values of 1.11 and 1.35 mg/mL, respectively. Meanwhile, all polysaccharides could promote the proliferation of macrophages, and RP-Ⅲ and RRP-Ⅱ significantly promoted the secretion of IL-1β and TNF-α by macrophages (P<0.05). The results indicated that both *Rose rugosa* and *Rose rugosa* residue were rich in functional polysaccharides, which could be applied to foods, pharmaceuticals, and cosmetics industry. Simultaneously, it would provide a theoretical basis for the further development and utilization of *Rose rugosa* resources.

Key words: *Rosa rugosa* Thunb.; *Rosa rugosa* residue; polysaccharide; structural characterization; biological activity

玫瑰花是蔷薇科植物玫瑰(*Rosa rugosa* Thunb.)的干燥花蕾，是一味传统中药，收录于《中国药典》，具有行气解郁、和血、止痛之功效，主治肝胃气痛、食少呕恶、月经不调及跌扑伤痛，历来民间制作玫瑰花酱用于胃胀、消化不良等，具有疏肝理气、解郁安神、补血、健脾开胃功能[1]。在新疆，玫瑰花主要用于制备玫瑰花精油及精露等，然而其得率较低。周亚军等[2]研究表明水蒸气蒸馏提取玫瑰精油得率在0.0810%，酶法辅助提取精油得率在 0.0967%，高压脉冲电场协同纤维素酶提取精油得率在 0.1165%，产率较低。玫瑰精油提取过程中，产生大量的副产物玫瑰花渣，玫瑰花渣大多直接被废弃掉，只有少部分可以作为饲料使用，导致资源浪费。同时，花渣中含有大量有机物，排入环境中很容易造成污染[3]。因此，玫瑰花渣的充分利用能够提高玫瑰花资源的综合利用水平，副产物的综合利用可实现变废为宝，并使其中的有机物含量降低，改善环境污染。

玫瑰花成分复杂，含有多酚类、黄酮类等多种化学成分[4]，具有抗氧化、抗炎、抗菌、免疫调节、降血脂和预防心脏病等生理活性[5−7]。多糖是玫瑰花植物的主要活性成分之一，玫瑰花花瓣、叶子和果中均含有多糖类成分，且具有抗炎、抗氧化及抗肿瘤作用[8]。作为玫瑰精油提取后的副产物，玫瑰花渣同样含有多种营养成分，包括多糖、多酚、色素、蛋白质、膳食纤维等物质，具有极大的开发利用价值[9]。梁启超等[10]报道在提取温度为 95 ℃、时间为 256 min 及液料比为 1∶30 g/mL 的最优条件下，玫瑰花多糖得率达1.46%，且其显示出较强的体内抗氧化活性。勾明江等[11]报道当提取温度 82 ℃、时间 37 min 及料液比 1∶26 g/mL 时，玫瑰花渣多糖的得率达 1.58%。上述结果表明玫瑰花渣仍含有丰富的多糖成分。目前，有关玫瑰花和玫瑰花渣多糖的研究主要集中在提取工艺优化及粗提取的活性筛选等方面，有关其进一步分离纯化及纯化多糖的结构及活性，以及二者结构方面的比较研究报道甚少。此外，有关经精油提取后的残渣是否保留原多糖的结构及功能特征尚未知。

因此，本文以提高农业副产物——玫瑰花渣资源的综合利用为目的，以玫瑰花和玫瑰花渣为研究对象，通过水提醇沉、大孔吸附树脂除杂及阴离子交换柱层析分离纯化，采用经典化学方法结合现代仪器分析手段结构表征及分子生物学方法评价生物活性等方式，首次对玫瑰花及玫瑰花渣活性多糖开展研究。同步制备玫瑰花多糖(Rosa polysaccharide, RP)和玫瑰花渣多糖(Rosa residue polysaccharide, RRP)，采用紫外光谱、红外光谱、高效凝胶渗透色谱、气相色谱、刚果红试验、扫描电镜等手段对 RP 及 RRP 的结构进行表征，并通过体外自由基清除能力及对巨噬细胞 RAW264.7 的增殖及细胞因子分泌功能对比研究二者生物活性。本文的研究成果将为农业副产物资源的高值化利用及其在药用与保健功能的挖掘、产品的研发提供一定的理论基础和科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

玫瑰花、玫瑰花渣　均由新疆于田县瑰觅生物科技股份有限公司提供，玫瑰花为玫瑰花植物的干燥花蕾，玫瑰花渣为玫瑰花花蕾经水蒸气蒸馏法制备玫瑰花精油之后的残渣；石油醚、甲醇、盐酸羟胺、过硫酸钾、氯化钠　分析纯，天津市鑫博特有限公司；无水乙醇、氯化亚铁　分析纯，天津致远化学试剂有限公司；乙酸酐　分析纯，成都市克隆化学品有限公司；吡啶　分析纯，天津市福晨化学试剂厂；三氟乙酸　分析纯，广州科檬生物科技有限公司；菲啰嗪-钠盐、间羟基联苯、半乳糖醛酸、2,6-二叔丁基对甲酚　分析纯，上海源叶生物科技有限公司；葡萄糖、水杨酸、刚果红、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、鼠李糖、蒽酮　上海阿达玛斯试剂有限公司；小鼠 RAW264.7

巨噬细胞系、DMEM 培养液　武汉尚恩生物技术有限公司；胎牛血清　Cytiva 公司；TNF-α、IL-1β 酶联免疫吸附检测法（ELISA）试剂盒　上海科艾博生物技术有限公司；CCK8　武汉三鹰生物技术有限公司；三氯甲烷、硫酸　分析纯，四川西陇科学有限公司；L-抗坏血酸（维生素 C）　分析纯，上海皓鸿生物医药科技有限公司。

723N 紫外可见分光光度计　上海佑科仪器仪表有限公司；GC-2014 型气相色谱仪、UV-2500 型紫外吸收光谱仪、IRTracer-100 型红外光谱仪　日本岛津公司；Waters 1515 型高效液相色谱仪、Waters2410 型示差检测器、Waters2707 型自动进样器　美国 Waters 公司；Multiskan FC 全自动酶标仪　赛默飞世尔仪器有限公司；E-1045 离子溅射仪　日本株式会社日立高新技术那珂事业所；SUPRA-55vp 场发射扫描电子显微镜　德国蔡司公司；SL-12N 真空冷冻干燥机　南京市顺溜仪器有限公司；RE-2012 旋转蒸发仪　上海兴创科学仪器设备有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　多糖的提取分离　按照课题组前期研究报道进行玫瑰花及玫瑰花渣多糖的提取分离[12]。

前处理：玫瑰花和玫瑰花渣干燥粉碎，过 100 目筛，备用。称取 100 g 粉末，按料液比为 1∶5（g/mL）加入 500 mL 石油醚，磁力搅拌器搅拌 2 h、抽滤、自然风干，粉末重复脱脂至石油醚层无色。脱脂后的粉末按料液比为 1∶5（g/mL）加入 85% 乙醇回流脱色，脱至乙醇颜色较淡，每次 2 h，抽滤、自然风干，置于干燥通风处备用。

粗多糖的提取：经预处理后的玫瑰花及玫瑰花渣粉末通过水提醇沉法制备粗多糖，提取条件如下：提取时间为 2 h，提取温度 90 ℃，料液比为 1∶20（g/mL）。提取完毕，提取液离心（4000 r/min，10 min），上清液浓缩至原体积的 1/3，再次离心（4000 r/min，5 min）去除不溶物，透析 48 h（8000~14000 Da），上清液中加入 4 倍体积的无水乙醇沉淀 12 h。离心（4000 r/min，5 min），取出沉淀，复溶，并冷冻干燥，得粗多糖 RP 及 RRP，得率分别为 8.64%、1.72%。

多糖的分离纯化：称取粗多糖 5 g 溶解在蒸馏水中，经 AB-8 大孔树脂脱色及脱蛋白后，上样于 DEAE Sepharose Fast Flow 阴离子交换柱（50 cm×50 mm）分离纯化，分别以蒸馏水、0.2、0.4、0.6 及 0.8 mol/L 的 NaCl 溶液作为洗脱溶剂进行梯度洗脱，通过蒽酮硫酸法绘制洗脱曲线。水洗组分直接冻干，经 NaCl 洗脱所得组分进行透析（3500 Da）再冻干。玫瑰花及花渣多糖各得到一种中性及两种酸性多糖组分，命名为 RP-Ⅰ、RP-Ⅱ、RP-Ⅲ和 RRP-Ⅰ、RRP-Ⅱ、RRP-Ⅲ。其中，RP-Ⅰ、RP-Ⅱ及 RP-Ⅲ的得率分别为 5.40%、6.46%、1.09%；RRP-Ⅰ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ的得率分别为 1.00%、7.75%、0.34%。

1.2.2　含量测定　中性糖糖含量：通过蒽酮硫酸法测定糖含量[13]，配制浓度为 1 mg/mL 葡萄糖标准溶液，稀释至不同浓度，取 100 μL 不同浓度的标准品溶液，加入 400 μL 0.2% 蒽酮-硫酸试剂，冷却后 90 ℃ 反应 10 min，取出，室温放置 10 min，620 nm 处测定吸光度，绘制葡萄糖标准曲线。样品溶液按照上述方法进行测定。标准曲线如下：y=0.0041x+0.0745，R^2=0.9932。

糖醛酸含量：通过间羟基联苯法测定糖醛酸含量[14]，配制浓度为 100 μg/mL 半乳糖醛酸标准品溶液，稀释至不同浓度，取 100 μL 不同浓度半乳糖醛酸标准品溶液，加入 600 μL 0.01 mol/L 四硼酸钠溶液，混匀，冷却，90 ℃ 反应 12 min，取出，冷却至室温；随后加入 8 μL 1.5 mg/mL 间羟基联苯溶液，室温放置 40 min，520 nm 处测定吸光度，绘制半乳糖醛酸标准品曲线。样品溶液按照上述方法测定。标准曲线如下：y=0.0037x+0.0.0523，R^2=0.9912。

蛋白含量：按照二辛可宁酸法（Bicinchoninic acid，BCA）试剂盒说明书检测样品中的蛋白含量。首先按照体积比 50∶1（V/V）分别混合 BCA 试剂盒中 A、B 液，准备工作液。取 25 μL 不同浓度的牛血清蛋白标准品溶液，加入 175 μL 的 BCA 工作液，混匀，37 ℃ 反应 30 min，562 nm 处测吸光度，绘制蛋白标准品曲线。样品溶液同上述方法测定。标准曲线如下：y=0.0009x+0.1393，R^2=0.9947。

1.2.3　结构表征

1.2.3.1　紫外与红外光谱　配制浓度为 0.1 mg/mL 的各多糖溶液，通过紫外吸收光谱仪测定其在 200~400 nm 范围内紫外吸收光谱（UV-visible spectroscopy，UV）。取少许多糖，加入适量溴化钾进行压片，通过红外吸收光谱仪测定 4000~500 cm^{-1} 范围内的红外吸收光谱（Fourier transform infrared spectroscopy，FT-IR）[9]。

1.2.3.2　分子量的测定　采用高效凝胶渗透色谱法（High performance gel permeation chromatography，HPGPC）对多糖样品分子量进行测定[9]。精确称量不同分子量的右旋糖酐标准品（分子量 1000~670000 Da 系列分析标准品），以 0.05 mol/L NaCl 溶液作为溶剂，配制浓度为 5 mg/mL 的标准溶液，使用 0.22 μm 滤膜过滤备用，使用高效凝胶渗透色谱串联柱来进行检测，以标准品相对分子质量的对数值为纵坐标，以相应色谱峰的保留时间为横坐标进行线性回归，得校正曲线。按照上述方法配制 5 mg/mL 多糖样品溶液，8000 r/min 离心 10 min，过滤膜，备用。色谱条件：Waters 示差检测器，聚合物基质水溶性 SEC 色谱柱（8×300 mm）3 根串联，流速 0.65 mL/min，柱温 40 ℃，进样量为 30 μL。

1.2.3.3　单糖组成的测定　利用柱前衍生化及气相

色谱法（Gas chromatography, GC）对 RP 及 RRP 单糖组成进行测定[15]。各称取 5 mg 半乳糖（Gal）、鼠李糖（Rha）、阿拉伯糖（Ara）、木糖（Xyl）、葡萄糖（Glc）及甘露糖（Man），加入 8 mg 的盐酸羟胺及 0.5 mL 吡啶，于 90 ℃ 水浴加热 30 min，取出、冷却至室温，再加入 0.5 mL 乙酸酐，于 90 ℃ 水浴加热 30 min，待反应结束，取出、冷却至室温，用氮吹仪吹干，溶解于 1 mL 三氯甲烷，过 0.45 μm 滤头，供气相色谱分析。称取 5 mg 的各多糖样品，加入 4 mL 浓度为 2 mol/L 的三氟乙酸溶液，于 110 ℃ 水解 6 h。待水解完毕，加入 3 mL 的甲醇，通过旋转蒸发仪减压浓缩，重复 3~4 次。经酸水解后的样品按照单糖的衍生化方法进行衍生化。色谱条件为：毛细管色谱柱 OV-1701（30 m×0.32 mm），膜厚 0.25 μm。FID 检测器，检测器温度 250 ℃，进样口温度 250 ℃，进样量 2 μL，色谱柱程序起始温度为 160 ℃，以 5 ℃/min 升至 190 ℃，保持 5 min，同样速度升温至 230 ℃，载气为氮气。

1.2.3.4　扫描电镜-X-射线能谱分析　取少量多糖样品于样品台上，用离子溅射仪喷一层铂金。用扫描电子显微镜在 5000×放大倍数下观察各样品的表面形态。进一步通过与扫描电镜联用的 EDX 分析仪对多糖表面的元素组成进行半定量分析。

1.2.3.5　刚果红试验　分别配制浓度为 2 mg/mL 的样品溶液，准确量取 6 份 1 mL 的样品溶液于离心管中，加入 1 mL 浓度为 0.2 mmol/L 刚果红试剂和不同体积的 1 mol/L 的 NaOH 溶液，使 NaOH 的最终浓度分别为 0.5、0.4、0.3、0.2、0.1、0.05 mol/L，室温反应 5 min。用紫外分光光度计测定反应液在 400~700 nm 波长范围内的最大吸收波长（λ_{max}）。横坐标为 NaOH 的浓度，纵坐标为 λ_{max}，绘制各多糖溶液与刚果红形成络合物的 λ_{max} 随着 NaOH 浓度变化的曲线[16]。

1.2.4　抗氧化活性　分别配制浓度为 4 mg/mL 的多糖样品母液（RP-Ⅰ、RP-Ⅱ、RP-Ⅲ、RRP-Ⅰ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ），将其稀释至不同的浓度梯度，分别测定 DPPH、$ABTS^+$及羟自由基清除能力、总还原能力及亚铁离子螯合能力，以 2,6-二叔丁基对甲酚（BHT）作为阳性对照（羟自由基清除率测定时阳性对照为 V_C），按下式（1）计算自由基清除率及亚铁离子螯合能力[17−19]。还原能力通过特定吸收波长下的吸光度表示。

$$自由基清除能力(\%)=\left(1-\frac{A_i-A_j}{A_0}\right)\times 100 \quad 式（1）$$

式中，A_i 表示样品组的吸光度；A_j 表示对照组的吸光度；A_0 表示空白组的吸光度。

1.2.5　细胞实验

1.2.5.1　细胞培养　将 RAW264.7 细胞培养于 DMEM 完全培养基（含 10%FBS、2% 双抗），培养于 37 ℃、5%CO_2 的细胞培养箱内，使用对数生长期的细胞用于实验。

1.2.5.2　CCK8 法检测细胞活性　采用 CCK8 法检测细胞活性，取对数生长期细胞，调整密度为 5×10^3 个/mL，接种于 96 孔板中，每孔 150 μL；分组培养，24 h 后弃上清，加入含多糖样品（RP-Ⅱ、RP-Ⅲ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ）的完全培养基，多糖浓度分别为 2、1、0.5、0.25、0.125 mg/mL，另设空白组（加入 100 μL 的 10% 的 CCK-8 溶液）和对照组（未给药细胞加入 100 μL 的 10% 的 CCK-8 溶液）；24 h 后弃上清，加入含 10%CCK8 的完全培养基，每孔 100 μL，1 h 后在 450 nm 处检测 OD 值，按照式（2）计算细胞存活率[20]。

$$细胞存活率(\%)=\frac{样品组OD值-空白组OD值}{对照组OD值-空白组OD值}\times 100 \quad 式（2）$$

1.2.5.3　ELISA 法测细胞上清液 TNF-α、IL-1β 的含量　取对数生长期细胞，调整密度为 5×10^3 个/mL，接种于 96 孔板中，每孔 200 μL；分组培养，24 h 后弃上清，加入含药完全培养基干预 8 h，样品浓度为 0.5 mg/mL，另设对照组（未给药细胞加入 100 μL 的 10% 的 CCK-8 溶液），实验重复 3 次，按照 ELISA 试剂盒说明书检测 TNF-α、IL-1β 含量。

1.3　数据处理

采用 Origin 2021 进行数据绘图，SPSS 19.0 软件进行数据分析，组间比较采用单因素方差分析，数据以平均值±标准差表示，$P<0.05$ 为存在显著差异，$P>0.05$ 为不存在显著差异。

2　结果与分析

2.1　玫瑰花和玫瑰花渣多糖的分离纯化

玫瑰花及玫瑰花渣多糖经 DEAE Sepharose Fast Flow 阴离子交换柱层析法分离纯化的洗脱曲线如图 1 所示。RP 及 RRP 均获得一种中性（RP-Ⅰ、RRP-Ⅰ）和两种酸性多糖（RP-Ⅱ、RP-Ⅲ和 RRP-Ⅱ、RRP-Ⅲ）。玫瑰花多糖中含有较多的中性糖和酸性糖，而玫瑰花渣主要以 0.2 mol/L 的 NaCl 洗脱的组分 RRP-Ⅱ为主；均随着 NaCl 溶液浓度的上升，各多糖组分得率逐渐下降。此结果表明精油的提取导致部分水溶性糖的损失。各组分含量测定结果如表 1 所示，其结果表明中性组分 RRP-Ⅰ的糖含量略低于 RP-Ⅰ，而 RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ的糖含量高于 RP-Ⅱ及 RP-Ⅲ。糖醛酸含量而言，玫瑰花和玫瑰花渣多糖显出无规则变化，其中 RP-Ⅱ的含量更高，达 66.21%；四种酸性多糖均含有较多的糖醛酸，说明 RP-Ⅱ、RP-Ⅲ、RRP-Ⅱ、RRP-Ⅲ可能是果胶类多糖[15]。蛋白含量测定结果表明，两种中性多糖组分 RP-Ⅰ及 RRP-Ⅰ蛋白含量较高，此外酸性组分 RP-Ⅲ的蛋白含量也较高，经大孔吸附树脂脱蛋白仍然未能去除蛋白质，说明其中可能含有以共价方式结合的

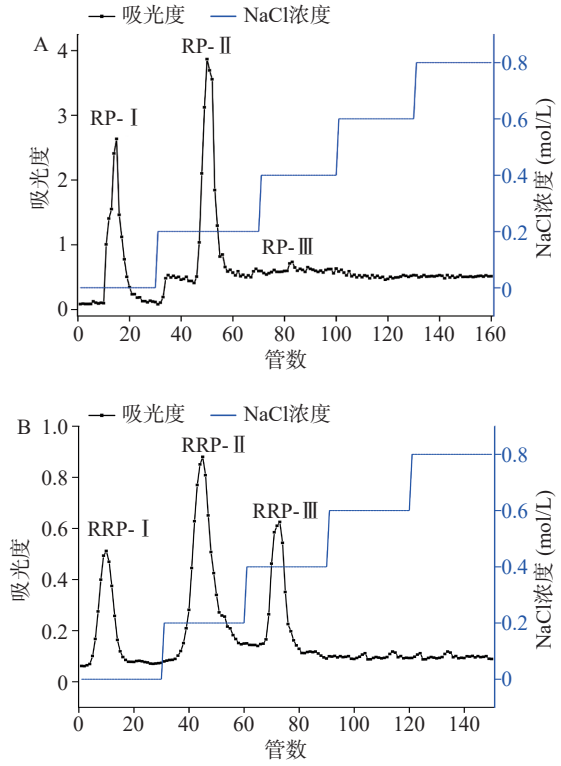


图 1 RP(A)及 RRP(B)的 DEAE sepharose fast flow 阴离子交换柱层析洗脱曲线

Fig.1 Elution curves on DEAE sepharose fast flow anion exchange column elution of RP (A) and RRP (B)

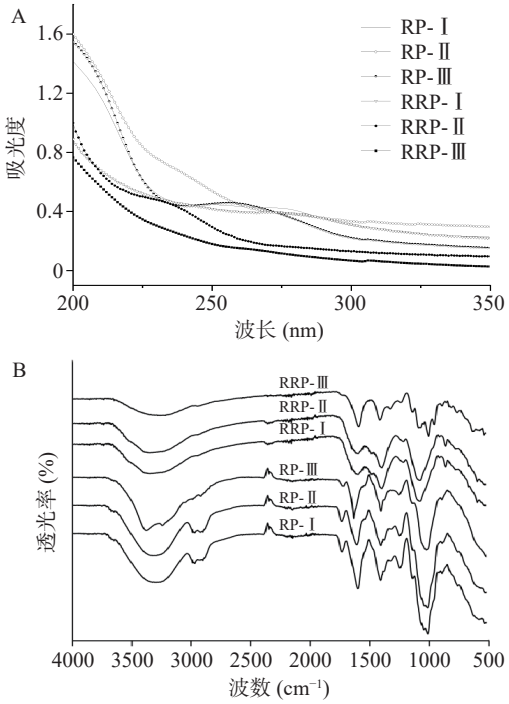


图 2 RP 及 RRP 多糖的 UV(A)及 FT-IR(B)光谱图

Fig.2 UV (A) and FT-IR (B) spectra of RP and RRP polysaccharides

蛋白质[21]。上述结果表明,玫瑰花及玫瑰花渣多糖在其得率及含量等方面均存在较大的差异,此差异将导致多糖显示出不同的结构及活性特征。虽然精油提取导致玫瑰花中多糖的损失,但其中仍保留丰富的多糖成分。因此,研究玫瑰花渣中的多糖成分有实际的意义。

2.2 玫瑰花和玫瑰花渣多糖的结构表征

2.2.1 UV 及 FT-IR 结果 经 UV 扫描可知(图 2A),RP-Ⅰ、RP-Ⅲ和 RRP-Ⅰ在 280 nm 处有吸收峰,表明其可能含有蛋白,跟脱蛋白结果相结合初步判断 RP-Ⅰ、RP-Ⅲ及 RRP-Ⅰ中可能含有共价方式结合的蛋白,该结果与表 1 中定量测定结果一致。

玫瑰花多糖和玫瑰花渣多糖的 FT-IR 图如图 2B 所示,两种多糖均在 4000~500 cm^{-1} 范围内呈现出典型的红外吸收峰。其中,3270 cm^{-1} 附近的峰因羟基 O-H 伸缩振动而引起,2950 cm^{-1} 附近的吸收峰为-CH_3 的 C-H 伸缩振动峰;1640 cm^{-1} 附近的吸收峰为糖类水合振动峰,1250~1000 cm^{-1} 范围内的 3 个弱吸收峰表明玫瑰花及玫瑰花渣多糖均是吡喃多糖,850 及 890 cm^{-1} 附近的吸收峰表明多糖中存在 α 及 β 构型的糖苷键[22−23]。结果表明,玫瑰花和玫瑰花渣多糖均含有典型的糖类化合物吸收峰。

2.2.2 分子量及单糖组成测定结果 HPGPC 法分子量测定结果如图 3A 及表 2 所示。各多糖重均分子量(Mw)及数均分子量(Mn)差距较大,Mw 介于 2.82~825.06 kDa 之间、Mn 介于 2.15~473.49 kDa 之间,分布系数在 1.31~1.74。其中 RPs 的分子量显著低于 RRPs。此结果表明玫瑰花渣多糖中低分子量的部分可能在精油提取过程中有所损失。GC 法单糖组成检测结果如图 3B 及表 3 所示,各多糖由不同摩尔比的鼠李糖(Rha)、阿拉伯糖(Ara)、甘露糖(Man)、葡萄糖(Glc)、半乳糖(Gal)组成,其中 RP 主要以 Man、Gal 及 Glc 为主,RRP 以 Ara 及 Gal 为主。此外,RRPs 还含有少量木糖(Xyl),且其中 Gal 的含量比 RPs 更为丰富。结果表明玫瑰花及经精油提取后的玫瑰花渣在其分子量及单糖组成方面存在较大的差异。因此,精油的提取对原有的玫瑰花多糖产生一定的影响。

表 1 RP 及 RRP 多糖的含量测定结果

Table 1 Results of the content determination of RP and RRP polysaccharides

样品名	RP-Ⅰ	RP-Ⅱ	RP-Ⅲ	RRP-Ⅰ	RRP-Ⅱ	RRP-Ⅲ
糖含量(%)	28.15±7.42^{b}	30.70±2.30^{b}	12.25±2.43^{c}	24.76±3.39^{b}	41.75±2.52^{a}	39.31±3.73^{a}
糖醛酸含量(%)	–	66.21±2.18^{a}	19.63±4.72^{c}	–	25.18±3.85^{c}	54.45±7.61^{b}
蛋白质含量(%)	33.84±2.32^{a}	2.66±0.14^{c}	33.29±4.78^{a}	13.06±3.31^{b}	1.01±0.47^{c}	3.15±1.30^{c}

注:同一行不同字母代表存在显著差异(P<0.05)。

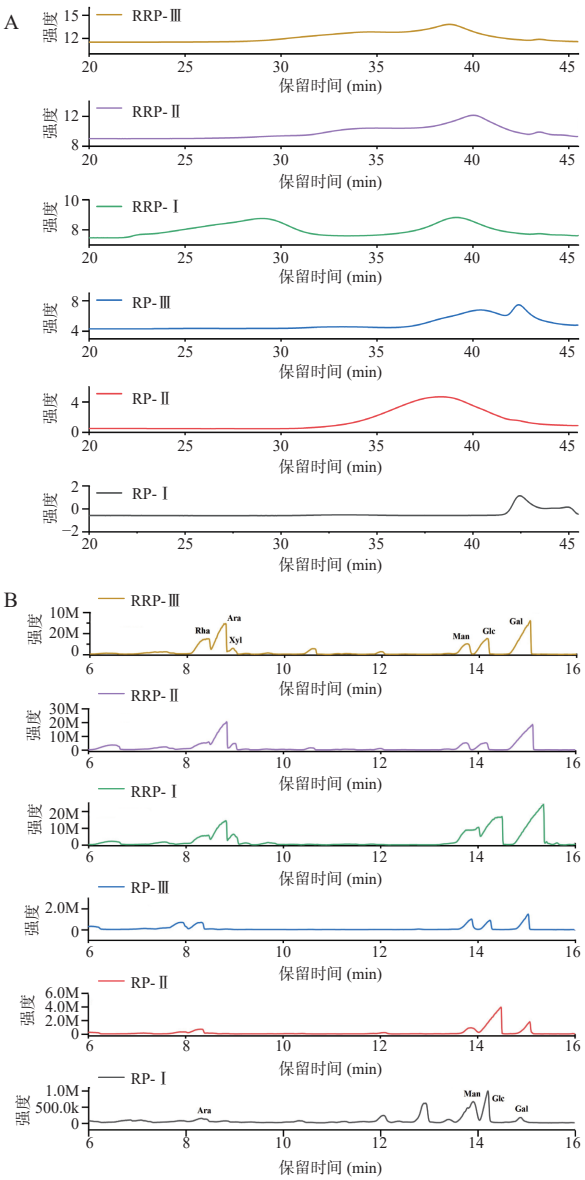


图 3　RP 及 RRP 多糖的 HPGPC(A)及 GC(B)色谱图

Fig.3　HPGPC (A) and GC (B) chromatogram of RP and RRP polysaccharides

分子量是多糖生物活性至关重要的影响因素之一，分子量过高将影响多糖的溶解度，从而阻碍活性的发挥，且分子量过高的多糖无法较好地与细胞融合，从而导致其活性较弱。分子量较低的多糖因 O-H 的分子内氢键效应和给电子取代基显示出较高的抗氧化性能[24]。单糖组成方面，酸性多糖由于其所含的半乳糖醛酸往往显示出较强的生物活性，此外中性糖种类对多糖发挥其生物活性也有至关重要的影响。Yuan 等[25] 发现 Ara、Gal、Xyl 及 Glc 能够增强多糖的抗氧化活性。本研究结果表明 RPs 及 RRPs 在其分子量及单糖组成方面差距较大，其中 RRPs 的分子量更大，单糖种类更为丰富，且所含 Gal 的含量更高，表明 RRPs 化学结构更为复杂，进一步通过研究糖链的精细结构、糖苷键连接方式及支链构型等特征传递更多生物识别信息，包括细胞识别、信号传导、分子识别及生物活性调控等关键生物学信息。然而，本研究中的玫瑰花及玫瑰花渣多糖结构方面与已有

表 2　RP 及 RRP 多糖的分子量检测结果

Table 2　Results of molecular weight determination of RP and RRP polysaccharides

样品名	Mw(kDa)	Mn(kDa)	分布系数(Mw/Mn)
RP-Ⅰ	2.82	2.15	1.32
RP-Ⅱ	15.47	10.83	1.43
RP-Ⅲ	6.52	4.77	1.37
	2.89	2.2	1.31
RRP-Ⅰ	825.06	473.49	1.74
	13.68	9.61	1.42
RRP-Ⅱ	73.72	47.67	1.55
	9.61	6.87	1.40
RRP-Ⅲ	80.8	52.01	1.55
	15.8	11.02	1.43

表 3　RP 及 RRP 多糖的单糖组成结果(摩尔比)

Table 3　Results of monosaccharide compositions of RP and RRP polysaccharides (molar ratio)

样品名	Rha	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
RP-Ⅰ	–	3.77	–	18.23	12.71	3.34
RP-Ⅱ	3.91	8.73	–	10.98	45.99	12.20
RP-Ⅲ	6.34	7.32	–	11.12	10.34	15.34
RRP-Ⅰ	6.44	11.72	3.37	13.92	19.98	27.81
RRP-Ⅱ	9.40	23.99	2.97	5.53	5.70	25.87
RRP-Ⅲ	13.64	20.07	2.47	6.69	9.27	23.68

文献报道相比显示出一定的差异。Zhang 等[26] 从玫瑰花中分离得到了一种中性(RRPS-1)及一种酸性多糖(RRPS-2)，分子量分别为 8.8 及 443.8 kDa，主要由岩藻糖、Ara、Xyl、Man、Glc、Gal 组成，摩尔比为 1.79∶6.14∶5.64∶2.69∶65.47∶18.26。Wu 等[27] 从玫瑰花渣中分离得到了一种具有免疫调节活性的多糖，其分子量为 111 kDa，由摩尔比为 42.6∶21.4∶9.9∶2.2∶23.9 的 Glc、Man、Ara、Xyl 及 Gal 组成的多糖。上述差异表明目标药材的来源、多糖的制备方法及分离纯化手段对多糖的结构产生明显的影响，结构方面的差异将导致玫瑰花及玫瑰花渣多糖显出不同的生物活性。

2.2.3　扫描电镜-X-射线能谱结果　玫瑰花及玫瑰花渣多糖在 5000×的放大倍数下的扫描电镜结果如图 4 所示。其中，中性多糖组分 RP-Ⅰ(图 4A)和 RRP-Ⅰ(图 4D)由无规则的球状或块状组成，RP-Ⅰ颗粒更加立体，RRP-Ⅰ则表面更光滑；RP-Ⅱ(图 4B)和 RRP-Ⅱ(图 4E)形貌基本相似，多表现为无规则的球状突起，表面较为粗糙；RP-Ⅲ(图 4C)表面呈现高度有序的分级组装结构，多为针状或棒状微晶，多为刀锋状结构，而 RRP-Ⅲ(图 4F)则更加偏向为蜂窝煤状，包含大小不一的孔洞。综上所述，玫瑰花和玫瑰花渣多糖在形貌特征方面各不相同，此现象可能与各多糖分子间的氢键网络及分子间作用力不同有关。EDX 元素分析结果(图 5)表明玫瑰花和玫瑰花渣多糖除含有 C、O 之外，还含有 S、K、Ca、Mg、Zn、P 等微量元素。

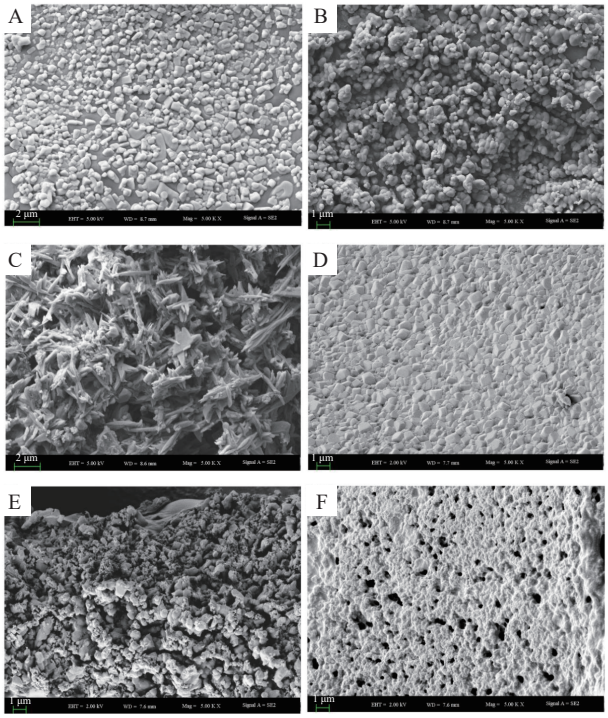


图 4 RP 及 RRP 多糖的 SEM 图(5000×)

Fig.4 SEM images of RP and RRP polysaccharides (5000×)

注: A: RP-Ⅰ; B: RP-Ⅱ; C: RP-Ⅲ; D: RRP-Ⅰ; E: RRP-Ⅱ; F: RRP-Ⅲ。

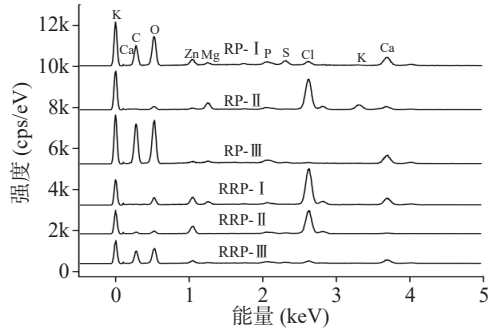


图 5 RP 及 RRP 多糖的 X-射线能谱图

Fig.5 X-ray disperxive energy spectrum of RP and RRP polysaccharides

2.2.4 刚果红试验结果 刚果红可与具有三螺旋构象的多糖分子形成复合物,在一定碱性条件下会使刚果红-多糖复合物的 λ_{max} 发生红移[28],而碱浓度过大会使复合物解离,从而使得 λ_{max} 呈现出下降趋势。研究显示多糖的三螺旋结构等高级结构的差异会导致生物活性的差异。玫瑰花及玫瑰花渣多糖刚果红试验结果如图 6 所示,除 RP-Ⅲ外,其余多糖与对照组相比均发生红移现象,并随着 NaOH 浓度升高 λ_{max} 逐渐下降。然而,各多糖的 λ_{max} 上升幅度有一定的差别,中性多糖组分 RP-Ⅰ及 RRP-Ⅰ的 λ_{max} 变化量最为明显。酸性组分 RP-Ⅱ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ的 λ_{max} 变化量及趋势基本一致。此结果表明 RP-Ⅰ、RP-Ⅱ、RRP-Ⅰ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ多糖组分可能含有三螺旋结构,而其内部构象存在一些差异,其需要通过进一步实验进行探讨。

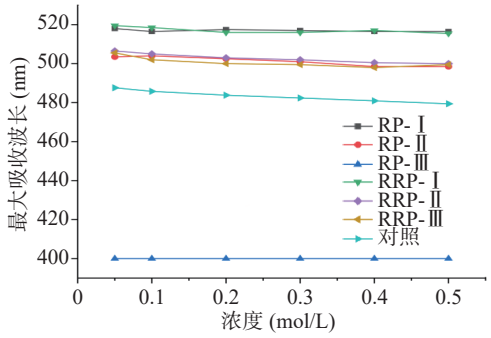


图 6 RP 及 RRP 多糖与刚果红络合物的 λ_{max} 的变化图

Fig.6 Variation diagram of λ_{max} of RP and RRP polysaccharides-Congo red complex

2.3 玫瑰花和玫瑰花渣多糖的抗氧化活性实验结果

抗氧化活性结果表明玫瑰花和玫瑰花渣多糖均显出较强的抗氧化活性,随着多糖浓度的升高,各多糖的自由基清除能力及亚铁离子螯合能力基本呈现上升趋势,结果如图 7 所示。

DPPH 自由基清除能力方面(图 7A),RP-Ⅰ的清除能力最强,IC_{50} 值为 9.59×10^{-2} mg/mL,其次为 RRP-Ⅰ,其余酸性多糖的 DPPH 自由基清除能力均较弱。尤其是 RP-Ⅱ及 RP-Ⅲ,当浓度为 1 mg/mL 时,自由基清除能力分别为 15.16% 及 28.16%。羟自由基清除能力方面(图 7B),各多糖的自由基清除能力均较弱,且显著低于 V_C($P<0.05$)。其中,RP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ的清除能力略高,当浓度为 1 mg/mL 时,其对羟自由基的清除能力分别为 54.34% 及 48.89%。各多糖的 $ABTS^+$自由基清除能力强弱为 RP-Ⅲ>RRP-Ⅰ>RP-Ⅰ>RRP-Ⅲ>RP-Ⅱ>RRP-Ⅱ。其中,RP-Ⅲ及两种中性多糖的 $ABTS^+$自由基清除能力强于其余多糖。亚铁离子螯合能力方面,RP-Ⅰ及 RP-Ⅲ的活性最为显著,当其浓度为 1 mg/mL 时,亚铁离子螯合能力达 74.26% 及 64.32%。RP-Ⅰ、RP-Ⅲ及 RRP-Ⅰ显出较强的总还原能力,且当浓度为 1 mg/mL 时,RP-Ⅰ的总还原能力与阳性对照相当。

以上结果表明与玫瑰花多糖相比,玫瑰花渣多糖同样显出较强的自由基清除能力及亚铁离子螯合能力,且玫瑰花渣多糖对 DPPH、$ABTS^+$及羟自由基的清除能力整体比玫瑰花多糖有不同幅度的上升,此现象可能与玫瑰花渣多糖更为复杂的结构相关。从图 7 及表 4 可知,各多糖显出不同的抗氧化活性,其中中性多糖 DPPH 和 $ABTS^+$自由基清除能力显著强于酸性多糖。研究表明多糖的生物活性与其含量、单糖组成、分子量、空间构象、糖链结构等多个因素相关[29−30]。RP-Ⅰ的强抗氧化活性可能与其较低的分子量[25]及其所含的蛋白质成分相关[31]。酸性多糖组分显出了较强的羟自由基清除能力,尤其是 RP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ,其 IC_{50} 值分别为 1.11 及 1.35 mg/mL,此结果可能与其较高的糖醛酸含量有关,糖醛酸含量的增加可能会减少羟基自由基的产生,使多糖提供电子能力更强,抗氧化活性更高[32]。

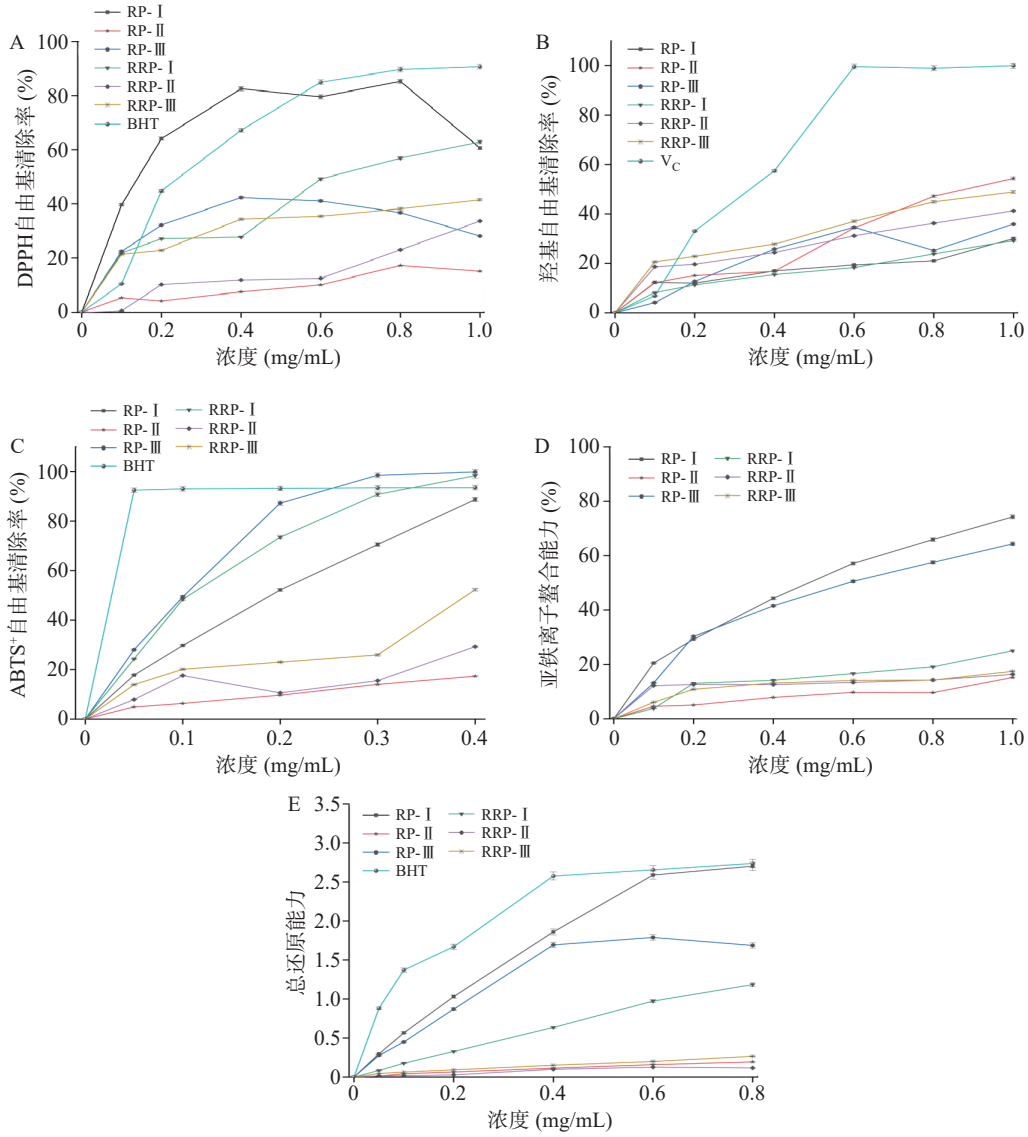


图 7　RP 及 RRP 多糖的抗氧化活性

Fig.7　Antioxidant activity of the RP and RRP polysaccharides

注：A：DPPH 自由基清除率；B：羟自由基清除率；C：ABTS$^+$自由基清除率；D：亚铁离子螯合能力；E：总还原能力。

表 4　RP 及 RRP 多糖的抗氧化活性(IC_{50}, mg/mL)

Table 4　Antioxidant activity of RP and RRP polysaccharides (IC_{50}, mg/mL)

样品	DPPH	ABTS$^+$	羟自由基	亚铁离子
RP-Ⅰ	9.59×10^{-2}	0.15	–	0.43
RP-Ⅱ	–	4.47	1.11	–
RP-Ⅲ	–	0.08	1.52	0.56
RRP-Ⅰ	0.66	0.10	5.17	4.27
RRP-Ⅱ	1.51	4.87	2.72	–
RRP-Ⅲ	2.25	0.73	1.35	–

研究报道显示有关玫瑰花渣多糖抗氧化活性方面的报道甚少，张婷阳等[33]发现玫瑰花渣粗多糖对 DPPH 及 ABTS$^+$自由基的清除能力的 IC_{50} 值分别为 0.357、0.608 mg/mL。RRP-Ⅰ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ中，RRP-Ⅰ对 DPPH 及 ABTS$^+$自由基清除能力与亚铁离子螯合能力最强，其 IC_{50} 值分别为 0.66、0.10、4.27 mg/mL，而 RRP-Ⅲ对羟自由基清除能力最强，IC_{50} 值达 1.35 mg/mL。RRP-Ⅰ虽然分子量较高，但其单糖组成较为丰富。研究报道显示 Ara 及 Gal 含量高的多糖显出较强的抗氧化活性，因此其高活性可能与其单糖组成有关[34]。与本文结果相比，经分离纯化后的多糖中 RRP-Ⅰ清除 ABTS$^+$自由基的能力较强，而 DPPH 自由基清除能力均较弱。由于粗多糖中含有较多的除多糖以外的小分子杂质，导致其活性较强。因此，多糖的抗氧化活性是其含量、分子量及单糖组成等众多因素的综合表现[35]。综上所述，玫瑰花及玫瑰花渣多糖均具有较强的抗氧化活性，通过玫瑰花渣中多糖成分的分离分析可以实现农业副产物资源的综合利用。

2.4　玫瑰花和玫瑰花渣多糖的免疫调节活性

免疫调节活性为多糖最为主要的生物活性之一，多糖的多种抗氧化、抗炎等功效均可通过免疫调节而发挥。通常，多糖通过促进细胞增殖、分泌细胞因子及激活信号通路等起免疫调节作用，并改善机体

的健康。Wu 等[27] 从玫瑰花渣中分离得到一种多糖，体外研究表明，其可以增强巨噬细胞的吞噬活性，促进 ROS、NO、IL-6、TNF-α 的产生，激活 NF-κB 信号通路，发挥免疫调节活性。Ma 等[36] 报道从艾草根中分离得到的果聚糖通过激活 TLR/MAPK 信号通路，增强巨噬细胞的增殖及吞噬活性，促进细胞因子的分泌，从而发挥免疫调节活性。Wu 等[37] 报道从灵芝中分离得到的半乳糖聚糖通过激活 TLR/MAPK 信号通路，促进巨噬细胞的增殖和吞噬活性，并显著促进 NO 和细胞因子的分泌，发挥其免疫调节活性。本文中以巨噬细胞 RAW 264.7 为研究对象，分别探讨玫瑰花及玫瑰花渣多糖对其细胞增殖的活性及细胞因子分泌的影响，经综合考虑各组分的得率、分子量及单糖组成结果，选择 RP-Ⅱ、RP-Ⅲ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ开展免疫调节活性的评价，结果如图 8 所示。

RP-Ⅱ、RP-Ⅲ、RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ四种多糖在（0.125~2 mg/mL）浓度范围内对 RAW264.7 巨噬细胞均无毒性（存活率大于 100%），RP-Ⅱ及 RP-Ⅲ在浓度为 0.5 mg/mL 时细胞存活率最高，而 RRP-Ⅱ及 RRP-Ⅲ在浓度为 1 mg/mL 时细胞存活率最高，但其与多糖浓度为 0.5 mg/mL 时的细胞存活率差距较小，无显著性差异（P>0.05）。因此，选择剂量为 0.5 mg/mL 进行细胞因子分泌实验。进一步通过 ELISA 试剂盒检测多糖对巨噬细胞分泌细胞因子的影响，结果如图 9 所示。与对照组相比，RP-Ⅱ、RRP-Ⅱ和 RP-Ⅲ显著促进了 IL-1β 的分泌（P<0.05），而 RP-Ⅲ、RRP-Ⅱ和 RRP-Ⅲ显著促进了 TNF-α 分泌（P<0.05），结果表明，玫瑰花和玫瑰花渣多糖在浓度为 0.5 mg/mL 时可促进巨噬细胞分泌 IL-1β、TNF-α。上述结果与 Wu 等[27] 及 Slavov 等[38] 的报道结果一致，玫瑰花及玫瑰花渣多糖能够促进巨噬细胞的增殖，并促进细胞因子的分泌，其可作为潜在的免疫调节剂。

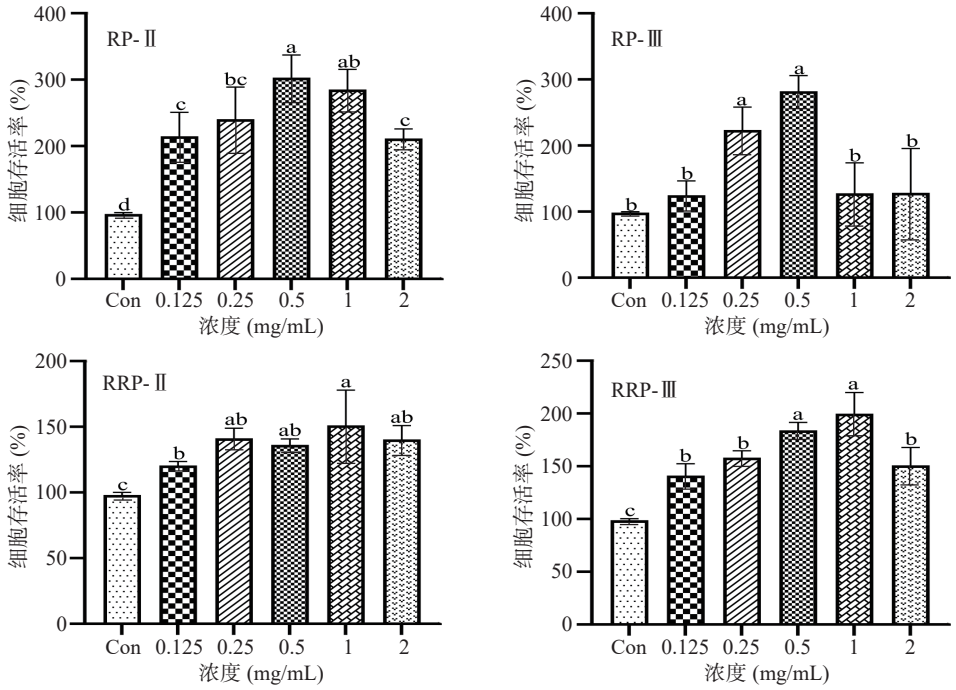


图 8 RP 及 RRR 多糖对巨噬细胞 RAW264.7 的细胞增殖活性

Fig.8 Proliferative activity of RP and RRP polysaccharides on RAW264.7 macrophages

注：图中不同小写字母表示差异显著 P<0.05，图 9 同。

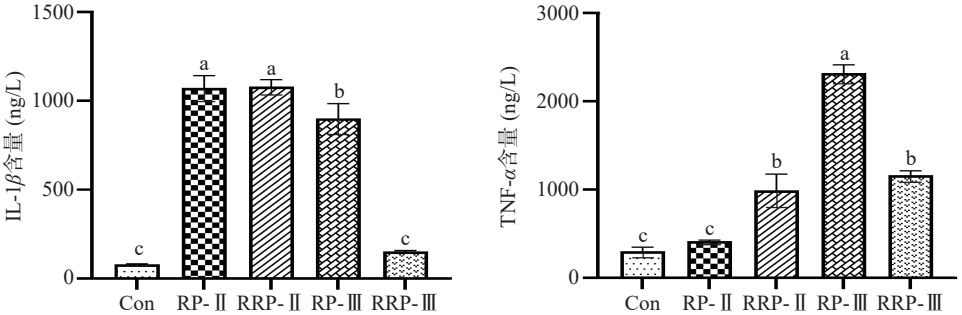


图 9 RP 及 RRR 多糖对巨噬细胞 RAW264.7 分泌细胞因子的影响

Fig.9 Effects of RP and RRP polysaccharides on the secretion of cytokines by macrophages RAW264.7

注：A：IL-1β；B：TNF-α。

3　结论

玫瑰花及经精油提取后的玫瑰花渣均含有丰富的多糖成分，但二者在结构和活性方面有一定的区别。尤其是各多糖在其含量及单糖组成方面差异较大，玫瑰花多糖主要由 Gal、Glc 和 Man 组成，而玫瑰花渣多糖由 Ara 和 Gal 为主。各多糖在分子量及空间构象方面显示出一定的特点。生物活性检测结果显示其均具有一定的体外自由基清除能力及促进巨噬细胞增殖及分泌细胞因子的能力，尤其是中性多糖显示出较强的自由基清除能力，酸性多糖 RP-Ⅲ及 RRP-Ⅱ显出较强的免疫调节活性。本文研究结果显示作为农业废弃物资源的玫瑰花渣仍含有大量活性多糖类成分，将为玫瑰花资源的综合利用及农业副产物资源的高值化利用提供一定的理论依据。然而，有关玫瑰花渣多糖结构与活性之间的构效关系尚需要进一步探讨，并通过核磁共振、甲基化等手段解析精细结构，从而为构效关系的阐明提供基础。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-三部：2020 年版［M］. 北京：中国医药科技出版社，2020. ［Chinese Pharmacopoeia Commission. People's Republic of China（PRC）pharmacopoeia-part Ⅲ：2020 edition［M］. Beijing：China Medical Science Press, 2020.］

［2］ 周亚军, 李圣桡, 王淑杰, 等. 高压脉冲电场协同酶法辅助提取玫瑰精油工艺优化［J］. 食品科学，2020, 41(6)：270−277. ［ZHOU Yajun, LI Shengrao, WANG Shujie, et al. Optimization of extraction of rose essential oil by high intensity pulsed electric field combined with enzymatic treatment-assisted steam distillation［J］. Food Science, 2020, 41(6)：270−277.］

［3］ 张雪喜, 孙迪, 田鑫, 等. 玫瑰花渣的再利用研究进展［J］. 农产品加工(下)，2016(2)：64−66. ［ZHANG Xuexi, SUN Di, TIAN Xin, et al. Research progress in the comprehensive utilization of rose dregs［J］. Farm Products Processing, 2016(2)：64−66.］

［4］ 吕俊涛, 李洒洒, 王宇, 等. 玫瑰花多糖提取纯化、理化性质及生物活性研究进展［J］. 牡丹江医学院学报，2018, 39(4)：118−119, 7. ［LÜ Juntao, LI Sasa, WANG Yu, et al. Research progress on extraction, purification, physical and chemical properties and biological activity of rose polysaccharide［J］. Journal of Mudanjiang Medical University, 2018, 39(4)：118−119,7.］

［5］ 高嘉宁, 张丹, 龙伟, 等. 玫瑰花主要化学成分和药理作用研究进展［J］. 化学工程与装备，2021(3)：205−206. ［GAO Jianing, ZHANG Dan, LONG Wei, et al. Research progress on main chemical constituents and pharmacological effects of roses［J］. Chemical Engineering & Equipment, 2021(3)：205−206.］

［6］ 刘嘉, 赵庆年, 曾庆琪. 玫瑰花的化学成分及药理作用研究进展［J］. 食品与药品，2019, 21(4)：328−332. ［LIU Jia, ZHAO Qingnian, ZENG Qingqi. Advances in chemical constituents and pharmacological activities of roses［J］. Food and Drug, 2019, 21(4)：328−332.］

［7］ 田谊红, 冯雅玲, 王馨怡, 等. 玫瑰花化学成分质量评价及食用药用的研究进展［J］. 质量安全与检验检测，2022, 32(2)：43−46, 68. ［TIAN Yihong, FENG Yaling, WANG Xinyi, et al. Research progress on quality evaluation of chemical components and edible and medicinal use of *Rosa rugosa*［J］. Quality Safety Inspection and Testing, 2022, 32(2)：43−46,68.］

［8］ OLECH M, NOWACKA-JECHALKE N, MASŁYK M, et al. Polysaccharide-rich fractions from *Rosa rugosa* Thunb.：Composition and chemopreventive potential［J］. Molecules, 2019, 24(7)：1354.

［9］ 易宇欣, 薛地, 宋年年, 等. 红枣多糖的降解、结构表征及抗氧化活性［J］. 食品研究与开发，2025, 46(8)：71−79. ［YI Yuxin, XUE Di, SONG Niannian, et al. Degradation, structural characterization and antioxidant activity of jujube polysaccharide［J］. Food Research and Development, 2025, 46(8)：71−79.］

［10］ 梁启超, 邹玉龙, 张秀萍, 等. 玫瑰花多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究［J］. 食品研究与开发，2018, 39(22)：41−46. ［LIANG Qichao, ZOU Yulong, ZHANG Xiuping, et al. Optimization of extraction of *Rosa rugosa* Thunb. petals polysaccharides and antioxidant activities［J］. Food Research and Development, 2018, 39(22)：41−46.］

［11］ 勾明江, 许子竞, 刘茜. 响应面优化法提取玫瑰花渣多糖的工艺研究［J］. 梧州学院学报，2016, 26(6)：37−44. ［GOU Mingjiang, XU Zijing, LIU Qian. Study of the extraction technique of rose flower dreg polysaccharide by response surface methodology［J］. Journal of Wuzhou University, 2016, 26(6)：37−44.］

［12］ 宋年年, 易宇欣, 张小平, 等. 沙棘叶多糖结构表征及体内抗氧化活性分析［J］. 食品工业科技，2025, 46(4)：59−68. ［SONG Niannian, YI Yuxin, ZHANG Xiaoping, et al. Structural characterization and antioxidant activity *in vivo* of polysaccharides from the leaves of *Hippophae rhamnoides* L.［J］. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4)：59−68.］

［13］ DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances［J］. Analytical Chemistry, 1956, 28(3)：350−356.

［14］ BLUMENKRANTZ N, ASBOE-HANSEN G. New method for quantitative determination of uronic acids［J］. Analytical Biochemistry, 1973, 54(2)：484−489.

［15］ ABUDUWAILI A, NUERXIATI R, MUTAILIFU P, et al. Isolation, structural modification, characterization, and bioactivity of polysaccharides from Folium Isatidis［J］. Industrial Crops and Products, 2022, 176：114319.

［16］ YANG Tongliang, ZHANG Han, BIAN Yaqing, et al. Ultrasonic-assisted plasma-activated water extraction of polysaccharide from *Hemerocallis citrina* Baroni：Structural characterization and antioxidant mechanism *in vitro*［J］. Food Chemistry, 2025, 465：142049.

［17］ ZHOU De, HU Yunfei, LI Ren, et al. Optimization of ultrasonic-assisted compound enzyme extraction process, structural characterization, and antioxidant activity of *Gastrodia elata* polysaccharides［J］. Journal of Molecular Structure, 2025, 1327：141214.

［18］ YAO Qiuping, PU Longlin, DONG Boyu, et al. Effects of ultrasonic degradation on physicochemical and antioxidant properties of *Gleditsia sinensis* seed polysaccharides［J］. Carbohydrate Research, 2024, 545：109272.

［19］ LONG Xin, XIE Jing, XUE Bin, et al. Effect of oxidative modification on physicochemical and functional properties of soybean polysaccharides［J］. Journal of Molecular Structure, 2022, 1262：133047.

［20］ YANG Binghui, MA Jinlong, GU Hui, et al. Polysaccharides

isolated from *Ampelopsis grossedentata* and their immunomodulatory activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 286: 138513.

[21] ZHOU S Y, RAHMAN A, LI J H, et al. Extraction methods affect the structure of goji (*Lycium barbarum*) polysaccharides[J]. Molecules, 2020, 25(4): 936.

[22] MA Guangyuan, HOU Lukuan, GUO Jiahui, et al. The structures of two polysaccharides from *Fructus Corni* and their protective effect on insulin resistance[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 353: 123290.

[23] BAI Hongxin, GAO Yuxuan, WANG Shuyao, et al. Structure characteristics of a novel pectic polysaccharide from *Fructus Corni* and its protective effect on alcoholic fatty liver[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 352: 123153.

[24] ARAÚJO-RODRIGUES H, SOUSA A S, RELVAS J B, et al. An overview on mushroom polysaccharides: Health-promoting properties, prebiotic and gut microbiota modulation effects and structure-function correlation[J]. Carbohydrate Polymers, 2024, 333: 121978.

[25] YUAN Shuhui, LI Guolong, DUAN Jinao, et al. Effects of five extraction methods on the physicochemical properties, antioxidant, and α-glucosidase inhibitory activities of polysaccharides from wild jujube flesh[J]. Applied Food Research, 2024, 4(2): 100609.

[26] ZHANG Chaoli, ZHAO Fusheng, LI Ronghui, et al. Purification, characterization, antioxidant and moisture-preserving activities of polysaccharides from *Rosa rugosa* petals[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 124: 938−945.

[27] WU Mengqi, FENG Huafeng, SONG Jinxing, et al. Structural elucidation and immunomodulatory activity of a neutral polysaccharide from the Kushui rose (*Rosa setate* x *Rosa rugosa*) waste[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 232: 115804.

[28] XU Gang, ZHAO Jingyun, YAO Jieqiong, et al. Effects of aging on the fine structure, chain conformation, and morphology of Chenpi polysaccharides[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 349: 122970.

[29] XUE Hongkun, TANG Yingqi, ZHA Min, et al. The structure-function relationships and interaction between polysaccharides and intestinal microbiota: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 291: 139063.

[30] YANG Jun, SONG Yao, YU Yuhe, et al. Research progress on extraction techniques, structure-activity relationship, and biological functional mechanism of berry polysaccharides: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 282: 137155.

[31] 杨斯惠, 马明芳, 曹亚楠, 等. 不同杂粮多糖的体外抗氧化、益生和抗癌活性比较[J]. 食品工业科技, 2023, 44(1): 1−10,47.
[YANG Sihui, MA Mingfang, CAO Yanan, et al. Comparison of *in vitro* antioxidant, probiotic and anticancer activities of different coarse cereal polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(1): 1−10,47.]

[32] LIANG Xiaofei, LIU Mengqiu, WEI Yan, et al. Structural characteristics and structure-activity relationship of four polysaccharides from *Lycii fructus*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 127256.

[33] 张婷阳, 张伶, 蒋雨秦, 等. 玫瑰花渣多糖提取工艺优化及体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(2): 192−199.
[ZHANG Tingyang, ZHANG Ling, JIANG Yuqin, et al. Optimization of polysaccharide extraction process from *Rosa rugosa* residue and analysis of its antioxidant activity *in vitro*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(2): 192−199.]

[34] YI Junpeng, LI Xin, WANG Sai, et al. Steam explosion pretreatment of *Achyranthis bidentatae* radix: Modified polysaccharide and its antioxidant activities[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131746.

[35] LI Qiaoyun, DOU Zuman, DUAN Qingfei, et al. A comparison study on structure-function relationship of polysaccharides obtained from sea buckthorn berries using different methods: Antioxidant and bile acid-binding capacity[J]. Food Science and Human Wellness, 2024, 13(1): 494−505.

[36] MA Gaifan, ZHAO Binbin, TANG Peili, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of polysaccharides from the roots of *Artemisia argyi*[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 368: 124169.

[37] WU Junfeng, YU Guoxing, ZHANG Xiaosa, et al. A fructan-type garlic polysaccharide upregulates immune responses in macrophage cells and in immunosuppressive mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2024, 344: 122530.

[38] SLAVOV A, KIYOHARA H, YAMADA H. Immunomodulating pectic polysaccharides from waste rose petals of *Rosa damascena* Mill[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 59: 192−200.