

玫瑰多糖的提取纯化、结构表征、生物活性及应用研究进展

闫 帅

(商丘职业技术学院, 河南 商丘 476005)

摘要: 玫瑰作为一种传统的药食同源植物, 不仅具有观赏价值, 还富含多种对人体有益的生物活性成分。玫瑰多糖是其主要的生物活性成分之一, 具备多种有益的生物活性, 包括抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抗糖尿病、保护肝脏和保湿等。文章综述了玫瑰多糖的提取、纯化、结构特征、生物活性以及结构与活性之间的关系, 并对玫瑰多糖潜在的应用进行了分析总结。

关键词: 玫瑰; 多糖; 生物活性; 构效关系; 应用

Research progress on extraction, purification, structural characteristics, biological activities, and application of rose polysaccharides

YAN Shuai

(Shangqiu Polytechnic, Shangqiu, Henan 476005, China)

Abstract: As a traditional medicinal and food homologous plant, rose not only has ornamental value, but also contains a variety of bioactive components that are beneficial to human body. Among them, rose polysaccharide is one of its main bioactive ingredients, with a variety of beneficial biological activities, including antioxidant, anti-inflammatory, anti-tumor, anti-diabetes, liver protection and moisturizing. This review summarized the extraction, purification, structural characteristics, biological activities and relationship between structure and activity of rose polysaccharides, and the potential applications of rose polysaccharides were also analyzed and discussed.

Keywords: rose; polysaccharide; biological activity; structure-activity relationship; application

玫瑰(*Rosa rugose* Thunb), 又称刺玫、徘徊花、笔头花, 是蔷薇科蔷薇属常绿或落叶灌木, 在世界范围内被广泛种植^[1]。中国作为其原产地, 已有 2 000 多年的栽培历史, 栽培品种有金顶玫瑰、紫枝玫瑰、丰花玫瑰及苦水玫瑰等特色玫瑰^[2]。据《本草纲目》记载, 玫瑰和血、理气, 益肝胆、益肺脾、驱邪气, 被国家卫健委列入《药食同源目录》^[3-4]; 其富含多种生物活性成分, 如多酚、黄酮、多糖、精油等, 其中多糖被认为是玫瑰的主要活性物质^[5-7]。相关研究^[8-11]表明, 从玫瑰中提取的多糖具有抗氧化、提高免疫力、抗炎、抗肿瘤、抗糖尿病、降血糖、保护肝脏等多种作用。目前, 关于玫瑰多糖及其生物活性成分的研究主要集中在结构表征、生物活性方面。而对玫瑰多糖的结构特征、生物活性及构效关系的研究尚缺乏全面系统

的综述。文章拟以玫瑰多糖各方面的研究成果为基础, 并结合最新研究趋势, 系统综述玫瑰多糖的提取纯化、化学结构、生物活性、构效关系及应用, 以为玫瑰多糖的进一步开发利用提供依据。

1 玫瑰多糖提取和分离纯化

1.1 玫瑰多糖的提取

玫瑰多糖提取前通常需要对原料进行预处理, 如采用乙醇等有机溶剂对原料进行脱脂、脱色以及去除小分子物质。目前, 玫瑰多糖主要的提取方法包括水浸提法、酸浸提法、碱提取法、酶辅助提取法、超声波辅助提取法和微波辅助提取法等^[12]。由表 1 可知, 通过不同提取方法对玫瑰多糖得率的影响有所差异。热水浸提法是提取玫瑰多糖最常用的方法, 根据相似相溶原理进行提取, 具

基金项目: 河南省教育科学“十四五”规划(编号: 2021YB0751)

通信作者: 闫帅(1988—), 女, 商丘职业技术学院讲师, 硕士。E-mail: sqzyys@163.com

收稿日期: 2024-02-18 改回日期: 2024-07-07

有操作简单、安全、成本低等优点,但多糖得率较低。为了提高多糖得率,采用一些技术进行辅助提取,如超声辅助提取、微波辅助提取以及酶辅助提取。刘瑶^[17]通过超声辅助提取玫瑰多糖的最佳工艺条件为超声功率 300 W,提取温度 50 ℃、时间 25 min、料液比 1:55 (g/mL),此时多

糖提取率为 13.48%。与传统水提法相比,该法提取时间缩短且多糖得率提高。张曰辉等^[16]采用纤维素酶、果胶酶处理玫瑰后提取玫瑰多糖,提取率为 12.49%。综上,选择一种经济、合适的方法提取多糖对其生物活性的研究具有重要影响。

表 1 玫瑰多糖的提取方法
Table 1 Extraction methods of rose polysaccharide

提取方法	提取工艺				提取率/%	文献
	温度/℃	时间/min	料液比(g/mL)	其他		
热水浸提法	95	256	1:30	—	1.46	[8]
	100	240	1:20	—	1.28	[10,13]
	90	120	1:20	提取 2 次	3.49	[14]
	90	60	1:20	—	0.46	[15]
酶辅助提取法	—	—	1:30	纤维素酶处理条件:温度 50 ℃、pH 4.6、时间 150 min、加酶量 4.5 g/100 g;果胶酶处理条件:温度 45 ℃、pH 3.5、时间 120 min、加酶量 0.1 g/100 g	12.49	[16]
超声波辅助提取法	50	25	1:55	超声功率 300 W	13.40	[17]
微波辅助提取法	90	240	1:30	微波功率 800 W	2.14	[18]

1.2 玫瑰多糖的分离纯化

目前,除蛋白质杂质的方法有 Sevag 法、三氯乙酸法和酶法^[19]。其中,Sevag 法是从玫瑰多糖提取物中提取蛋白质最常用的方法,其去除蛋白效果最好,但多糖损失率高;三氯乙酸法易破坏多糖结构;酶法除蛋白的反应条件严格,且多糖损失率随蛋白质的去除而增加。色素可以通过物理吸附和化学氧化的方法来去除。经去除杂质后得到的玫瑰粗多糖纯度虽有较大提高,但仍是一种含有多种多糖组分的杂多糖混合物。目前,常用的多糖纯化方法包括色谱柱法(阴离子交换色谱法和凝胶过滤色谱法)、膜过滤法以及分步沉淀法等。其中,最常用的是色谱法,采用阴离子色谱柱对酸性多糖和中性多糖进行分离,然后根据多糖相对分子质量进一步纯化获得多糖纯化组分,高纯度的多糖是研究其结构和生物活性的前提。Zhang 等^[20]采用 DEAE-52 离子交换柱和 Sephadex G-100 凝胶层析柱纯化从玫瑰花瓣粗多糖中得到中性多糖组分 RRPS-1 和酸性多糖组分 RRPS-2,其纯度分别为 96.63%, 94.37%。

2 玫瑰多糖的结构表征

天然植物多糖具有多种生物活性,由于原料及提取纯化的不同导致多糖结构和空间构象存在差异,进而导致多糖具有不同的生物活性。为了探究玫瑰多糖构效关系,需对其结构进行深入研究。多糖结构表征主要包括单糖组成、相对分子质量、化学结构和空间构象,通过甲基化分析、Smith 降解、高碘酸盐氧化、红外光谱、紫外光谱、气相色谱、高效液相色谱、扫描电子显微镜、原子力显

微镜和核磁共振进一步测定^[5,12,21]。表 2 总结了近年来玫瑰多糖的单糖组成、相对分子质量、结构特征和生物活性等相关信息。

2.1 相对分子质量

相对分子质量是多糖化学性质的关键参数,其测定方法主要包括凝胶渗透色谱、高效液相色谱和高效凝胶渗透色谱。其中,高效凝胶渗透色谱是测定多糖相对分子质量最广泛使用的方法^[24]。由表 2 可知,玫瑰花瓣中提取的多糖相对分子质量为 70~150 或<2.5,而玫瑰花瓣中得到的多糖相对分子质量为 8.8~443.8。Zhang 等^[20]采用热水萃取玫瑰花瓣多糖,通过色谱柱分离出相对分子质量为 8.8 的中性多糖 RRPS-1 和相对分子质量为 443.8 的酸性多糖 RRPS-2。Wang 等^[25]采用 DEAE-纤维素柱将玫瑰多糖分离成相对分子质量为 20 的中性多糖 WRPP-N 和相对分子质量为 220,500 的两种酸性多糖组分(WRPP-1 和 WRPP-2)。Liu 等^[13]采用 Sephadex G-100 色谱柱从玫瑰花瓣中分离出相对分子质量为 327.92 的多糖组分 RRP; Ng 等^[26]采用不同浓度 NaCl 洗脱 DEAE 色谱柱,并使用 Sephadex G-200 进一步纯化得到相对分子质量分别为 150,8 的两种具有抗氧化活性的复合多糖组分。综上,玫瑰多糖的相对分子质量主要分布在 2.5~500,且不同的提取纯化条件也会对多糖的相对分子质量产生影响。

2.2 单糖组成

单糖组成分析是玫瑰多糖结构解析的基础,尤其是单糖的组成和比例。玫瑰多糖通过酸水解破坏多糖的糖苷键,然后进行中和、过滤、衍生化后通过 GC、HPLC、

表 2 玫瑰多糖的结构表征
Table 2 Structural characteristics of rose polysaccharide

组分名称	相对分子质量	单糖组成	结构特征	生物活性	文献
RP-1	—	糖醛酸、鼠李糖、核糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖比例为 60.40:0.57:0.16:6.49:0.28:1.17:6.83:1.75	果胶多糖和 II 型-阿拉伯-3,6-半乳糖	免疫调节	[22]
RRPS-1	8.8	果糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖醛酸比例为 1.79:6.14:5.64:2.69:65.47:18.26	RRPS-1 和 RRPS-2 均由吡喃糖单元组成,且 RRPS-2 含有丰富的糖醛酸	抗氧化、保湿	[20]
RRPS-2	443.8	半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖、鼠李糖比例为 40.14:35.53:14.02:10.31			
RRP	—	葡萄糖、半乳糖醛酸、甘露糖、鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖比例为 7.78:7.59:4.23:3.22:3.15:1.65	RRP 由吡喃糖单元组成	保肝活性	[10]
WRPP	—	鼠李糖、半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖比例为 3.4:12.1:21.4:49.7:2.6:11.6	—	抗肿瘤	
WRPP-N	20	半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖比例为 25.0:36.7:4.0	—		
WRPP-1	220	鼠李糖、半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸比例为 3.0:12.4:24.7:53.9:1.9:3.0:1.1	主链为 I 型鼠李糖半乳糖醛酸、高半乳糖醛酸和阿拉伯半乳糖聚糖		
WRPP-2	500	鼠李糖、半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸比例为 7.8:23.0:15.0:48.7:1.7:2.8:0.9	主链为 I 型鼠李糖半乳糖醛酸和高半乳糖醛酸		
RBPP	—	阿拉伯糖、半乳糖、半乳糖醛酸、鼠李糖、葡萄糖比例为 48.5:22.9:11.1:3.2:14.3	—	降血糖、保肝活性	[9,23]
RBPP-N	—	阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖比例为 378:27.2:35.0	主链由阿拉伯半乳糖组成		
RBPP-P	—	—	主链由阿拉伯半乳糖组成,以及少量的 I 型鼠李糖半乳糖醛酸和高半乳糖醛酸		

GC-MS 等技术确定单糖组成^[12]。由表 2 可知,玫瑰多糖是一种杂多糖,由鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖、半乳糖醛酸以及葡萄糖醛酸以不同摩尔比组成。Wang 等^[25]从玫瑰花瓣中分离出酸性多糖和中性多糖,其中酸性多糖含有大量糖醛酸,而中性多糖中不含糖醛酸;Zhang 等^[20]仅在中性多糖 RRPS-1 中检测到岩藻糖的存在。综上,玫瑰多糖之间单糖组成和摩尔比的差异主要由于原料、分离和纯化方法的差异造成的。

2.3 化学结构

目前,多糖结构表征主要集中在多糖的一级结构上,通常采用红外光谱、核磁共振、扫描电镜、甲基化分析和气质联用等方法对其结构进行表征^[27]。Wang 等^[25]通过 DEAE 纤维素从玫瑰花多糖中分离出中性多糖组分(WRPP-N)和酸性多糖组分(WRPP-1 和 WRPP-2),其中 WRPP-N 主要由阿拉伯半乳糖聚糖(AG)和葡聚糖组成;WRPP-1 和 WRPP-2 由 I 型鼠李糖半乳糖醛酸(RG-I)、高半乳糖醛酸(HG)和 AG 片段组成,其均为酸性果胶组分,主链均由 RG-I 和 HG 组成,侧链均为 AG。然而,WRPP-2 中 HG 和 RG-I 结构域的含量高于 WRPP-1 的。Li 等^[23]从玫瑰花多糖中分离出两种多糖组分(RBPP-N 和 RBPP-P),其中性多糖 RBPP-N 主要由葡聚糖和 AG 组成,

而酸性多糖 RBPP-P 是一种典型的果胶多糖。采用 NMR 对 RBPP-P 作进一步结构分析发现,化学相对位移 108.3 和 104.5 的信号峰分别属于 α -1,5-Araf 和 Galp,表明 AG 片段的存在,化学相对位移 102.5 和 102.8 的信号峰分别属于 α -1,4-Galp A 和 α -1,2-Rhap,表明存在少量 RG-I 和 HG 结构域。此外,还有关于玫瑰多糖复合物的研究,如从玫瑰花瓣中提取的糖蛋白复合物 P1-a,是一种具有 α 型键的多糖蛋白复合物^[13]。

3 玫瑰多糖的生物活性

3.1 抗氧化活性

机体自由基失衡会导致细胞氧化损伤而引起多种疾病的发生,包括炎症、糖尿病、心血管疾病、癌症、动脉硬化等^[28-29]。玫瑰多糖是天然的抗氧化剂,可以在一定程度上预防和减少病理损伤,对机体健康具有重要意义。

Zhang 等^[20]从玫瑰花瓣中分离出 RRPS、RRPS-1 和 RRPS-2 3 种多糖组分,并测定其体外抗氧化能力。结果表明,RRPS、RRPS-1 和 RRPS-2 对 DPPH 自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基均表现出显著的清除活性,在 0.05~3.20 mg/mL 范围内呈浓度依赖性,其清除能力顺序为 RRPS-2>RRPS>RRPS-1,且酸性多糖比中性多糖具

有更好的活性,可能与糖醛酸含量高有关。Olech等^[14]研究表明,玫瑰花瓣、叶片、尾部等部位提取的多糖对DPPH自由基和ABTS⁺自由基的清除能力存在明显差异,其中从花瓣中提取的多糖对自由基的清除活性最强。此外,Li等^[10]建立了急性酒精性肝病(ALD)模型,以验证RRP的抗氧化能力。结果表明,RRP能增加酒精性肝病小鼠的SOD、GSH、GSH-Px活性,降低小鼠肝脏NO和MDA含量。Ng等^[30]评估了从玫瑰中分离出的F21、F1-a和F23种多糖组分的抗氧化能力。结果表明,F21、F1-a和F2在500 μg/mL质量浓度下均能抑制细胞溶血,但F21对大鼠脑匀浆和大鼠肾匀浆中脂质过氧化的抑制作用以及清除超氧自由基的能力均强于F2和F1-a。此外,Ng等^[26]从玫瑰干花中分离出两种多糖组分P1和P2,结果表明,其对小鼠脑、肾红细胞溶血和脂质过氧化有较强的抑制活性。

3.2 抗炎活性

炎症是感染或创伤引起疾病的第一阶段,由炎症因子调节的自我分解和受控的过程。如果炎症原因持续存在或者控制机制失去作用,会导致细胞突变和增殖,形成有利于癌症发展的环境^[31-32]。Olech等^[14]研究发现,玫瑰不同部位的多糖是一种非选择性环氧合酶抑制剂,以剂量依赖的方式抑制两种COX同工酶(COX-1、COX-2)。玫瑰多糖通过抑制促炎细胞因子的表达,增强抗炎细胞因子的水平,抑制NO和前列腺素E2的产生,影响白细胞向炎症部位的迁移以及抑制脂氧合酶和环氧合酶的活性来达到抗炎作用。此外,Li等^[10]建立了ALD模型,并研究玫瑰多糖对ALD的保护作用。结果表明,经玫瑰多糖处理的ALD小鼠血清中IL-1β、IL-6和TNF-α水平显著降低,表明玫瑰多糖具有较强的抗炎作用。

3.3 抗肿瘤活性

目前,由于癌症的高死亡率,已经成为人类全球公共卫生的一大挑战,尽管对癌症的诊断和治疗取得了巨大进展,但长期使用化学药物干预会对机体产生巨大损伤,因此,开发低毒、高效的抗肿瘤新药具有重要意义^[33]。Wang等^[25]研究发现,从WRPP中分离出的所有组分(WRPP-N、WRPP-1、WRPP-2)也对结肠癌细胞HT-29和HCT116表现出浓度依赖性增殖抑制,且中性多糖和酸性多糖组分也显示出协同效应,共同作用于肿瘤细胞。Liu等^[13]研究发现,经分离纯化后的玫瑰多糖RRP能显著抑制宫颈癌细胞(HeLa和SiHa)的增殖、迁移和细胞周期阻滞。RRP通过激活Caspase蛋白家族和介导ROS线粒体途径以及通过PI3K/AKT/mTOR途径诱导癌细胞凋亡。Nowak等^[15]从玫瑰花瓣中分离出的水溶性多糖对人体正常细胞无毒性,但在质量浓度为100 μg/mL时,对宫颈癌细胞HeLa和乳腺癌细胞T47D的抑制率高达80%,表明其对T47D和HeLa癌症细胞系具有较高的抗增殖作用。

综上,玫瑰多糖具有明显的抗增殖活性,并能显著抑制肿瘤细胞的发展,在医药领域具有巨大发展空间。

3.4 降血糖活性

糖尿病主要有两种形式,胰岛素依赖型糖尿病和非胰岛素依赖型糖尿病,糖尿病及其相关并发症降低了人们的生活质量,并造成了巨大的经济和社会负担,而植物多糖可以通过多种途径治疗糖尿病^[34]。Yang等^[9]研究发现,玫瑰花粉多糖组分RBPP-P可以促进胰腺β细胞增殖和胰岛素分泌。体外研究表明,RBPP-P通过调节胰岛素基因的表达,促进胰岛素的产生、诱导转录调节因子的表达,维持胰腺β细胞的成熟。体内研究表明,RBPP-P显著逆转了ALX诱导的胰岛损伤,增加了胰腺β细胞面积/胰腺面积比,保持了胰腺细胞的结构完整性,恢复了胰岛功能。此外,Li等^[23]通过不同方式喂养肥胖小鼠探究了玫瑰花粉多糖的抗糖尿病活性,结果表明,玫瑰花粉多糖通过AMPK/mTOR信号通路刺激自噬,以增加小鼠的葡萄糖耐量和胰岛素抵抗,且降低小鼠脂肪组织中TNF-α、IL-6含量,表明其减少了脂肪量,改善了胰岛素抵抗。因此,玫瑰多糖可以作为一种潜在新型治疗肥胖和糖尿病的药物。

3.5 其他作用

除上述活性外,玫瑰多糖还具有保湿、抗菌等活性。Zhang等^[20]从玫瑰花瓣中分离出两种多糖组分(RRPS-1和RRPS-2),并分析了其吸水性和水合能力。结果表明,在43%相对湿度下,RRPS-2的吸水率(20.2%)与壳聚糖的(22.7%)相似,远高于RRPS-1的(11.5%),但低于甘油的(29.4%);同等条件下水合能力为壳聚糖>RRPS-2>甘油>RRPS-1,RRPS-2具有良好的保湿性可用于化妆品等行业。Nowak等^[15]研究发现,玫瑰水溶性多糖对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌具有良好的体外抗菌性能。

4 玫瑰多糖的构效关系

由于玫瑰多糖的结构较为复杂,对其结构与生物活性之间的关系还存在研究不足的问题,对于这一构效关系的理解仍然有限。一般认为,多糖的生物活性与其结构特征密切相关。据报道^[35],具有不同药理活性的多糖在结构特征上存在显著差异。其中,单糖的组成、相对分子质量、糖苷键的类型和位置以及化学构象被认为是影响玫瑰多糖生物学特性的关键因素。采用Sephadex G-100分离出相对分子质量分别为8.8的RRPS-1和443.8的RRPS-2,其中RRPS-2的抗氧化活性和保湿活性显著优于RRPS-1^[20]。此外,从玫瑰多糖粗提物中分离出相对分子质量<2.5的F₂和相对分子质量为70的多糖复合物F_{1-a},抗氧化结果表明,高相对分子质量多糖的抗氧化活性强于低相对分子质量多糖^[30]。单糖组成及比例不同也会导致多糖活性的差异,如从玫瑰花瓣中提取的多糖RRP

和 RRPS-2 分别由葡萄糖、半乳糖醛酸、甘露糖、鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖醛酸和半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖、鼠李糖组成,分别具有抗炎和抗氧化作用^[13]。此外,同浓度下,WRPP-2 比 WRPP-1 具有更强的抗肿瘤活性和抗氧化活性,这可能是因为 WRPP-2 含有更多的 HG、RG-I 及糖醛酸。有研究^[23]表明,玫瑰多糖的结构可能对其生物活性产生影响,如玫瑰多糖主链由 α -1,2-、 α -1,4-和 α -1,5-糖苷键连接,具有较强的降血糖活性。此外,RRP 是由含硫酸基团的吡喃糖单元组成,在生物活性方面对酒精性肝病具有较强的保护作用^[10]。

5 玫瑰多糖的应用

5.1 在食品行业的应用

玫瑰多糖在食品行业中被广泛应用,其常被添加到功能性食品和保健品中以提供益生元、抗氧化和免疫调节等多种功效^[36]。玫瑰多糖具有良好的均匀性和黏度,可用作稳定剂、增稠剂、胶凝剂和食品强化剂以及用于健康食品的开发,从而减少工业添加剂的使用。例如,在酸奶制作中,玫瑰多糖可作为增稠剂或稳定剂,能够改善酸奶的凝胶网络结构,提高酸奶的稳定性,并可以改善酸奶的功能特性,调节肠道菌群^[37]。此外,玫瑰多糖还可添加到果酱、花酒、花饼等产品中,以增加产品的保湿性和口感,延长产品保质期,并提高抗氧化能力^[38]。玫瑰多糖还具有一定的药理活性,可用于制备抗肿瘤、抗衰老和抗毒药品等。在工业生产中,可以直接制成高浓度的多糖粗提物,进一步加工成饮料或口服液,或直接作为营养强化剂添加到食品中,满足特殊人群的保健需求。总之,玫瑰多糖在食品行业中具有广泛的应用前景,有助于满足人们对健康食品的需求,使玫瑰多糖从食品转化为功能食品。

5.2 在日化行业的应用

玫瑰多糖不仅具有药用价值,还具有良好的吸湿、抗氧化和抗衰老等性能,能够提升产品性能,满足消费者对天然活性物质的需求,对人体无毒副作用。在洗发水中添加玫瑰多糖提取物可以有效增稠,提升洗发水的黏性和附着力,使其更易于使用和清洁,并提供保湿效果^[39]。作为日化产品的原料,将玫瑰多糖添加到洗面奶、沐浴露等产品中,可减缓化学成分对皮肤的刺激,促进皮肤表面有益菌的生长,抑制有害菌的生长,调节皮肤微生态,改善皮肤的整体护理效果。此外,玫瑰多糖与皮肤中的其他多糖和纤维蛋白共同形成含水的细胞外基质,为皮肤提供水分。玫瑰多糖还具有良好的成膜性能,可以在皮肤表面形成均匀的薄膜,减少皮肤表面水分的蒸发,促进水分从基底组织扩散到角质层,实现持久的保湿效果^[40-41]。此外,玫瑰多糖还具有抗衰老的特性,能够捕获

有害自由基并减少脂质过氧化的链长,从而保护皮肤免受环境因素的损伤,减缓皮肤老化过程。玫瑰多糖还可以用作防晒霜的成分,抑制黑色素的形成并减少紫外线对皮肤的刺激。总的来说,玫瑰多糖在日化产品工业中的应用价值和潜力非常广泛,可以用于洗发水、洗面奶、面霜、爽肤水和精华液等产品中,为产品提供多重功效,满足消费者对高品质护肤产品的需求。

6 结论与展望

玫瑰作为药食两用的食材,拥有巨大的研究开发价值。由于提取方法、分离纯化技术的不同,得到的玫瑰多糖相对分子质量、单糖组成和化学结构不同,结构差异会影响其生物活性。玫瑰多糖作为其活性成分之一,具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、降血糖和保肝护肝等生物活性。此外,玫瑰多糖还可作为日用化工产品、食品添加剂和稳定剂的原料和增稠剂,使玫瑰多糖在功能性食品和医学领域也具有广阔的应用前景,未来如何获得纯度更高、活性更好的多糖,并进一步阐明玫瑰多糖的高级结构与生物活性机制等需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 岳华岭, 廖红梅. 食用玫瑰多酚提取物的稳定性及抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(8): 130-137.
YUE H L, LIAO H M. Evaluation of stability and antioxidant activity of polyphenol extracts from edible rose[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(8): 130-137.
- [2] 王珍珍, 王其刚, 唐开学, 等. 云南主栽食用玫瑰花香成分及关键花香基因表达分析[J]. 植物生理学报, 2019, 55(7): 1 038-1 046.
WANG Z Z, WANG Q G, TANG K X, et al. Analysis of volatile components and scent-related gene expressions of edible roses in Yunnan[J]. Plant Physiology Journal, 2019, 55(7): 1 038-1 046.
- [3] 孟岳成, 石双妮, 陈杰. 玫瑰花最佳浸提工艺优化及其茶饮料的研制[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 92-96.
MENG Y C, SHI S N, CHEN J. The optimum extraction technology of rosa rugosa and preparation of tea drink[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(8): 92-96.
- [4] 王晓艺, 李培坤, 李锦红, 等. 超声辅助低共熔溶剂提取玫瑰多酚及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 98-105.
WANG X Y, LI P K, LI J H, et al. Ultrasonic-assisted extraction of rose polyphenols by deep eutectic solvent and antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 98-105.
- [5] 鲁雷震, 贾紫伟, 封成玲, 等. 玫瑰植物中活性物质及其功效研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 206-213.
LU L Z, JIA Z W, FENG C L, et al. Review of biologically

- active substances in rose plants and their functions[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 206-213.
- [6] PIRES T C S P, DIAS M I, BARROS L, et al. Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: valorization as new food ingredients[J]. Food Chemistry, 2017, 220: 337-343.
- [7] REN G, XUE P, SUN X, et al. Determination of the volatile and polyphenol constituents and the antimicrobial, antioxidant, and tyrosinase inhibitory activities of the bioactive compounds from the by-product of *Rosa rugosa* Thunb. var. plena Regal tea[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2018, 18(1): 307.
- [8] 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 Q C, ZOU Y L, ZHANG X P, et al. Optimization of extraction of *Rosa rugosa* Thunb. petals polysaccharides and antioxidant activities[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 41-46.
- [9] YANG S, QU Y, CHEN J, et al. Bee pollen polysaccharide from *Rosa rugosa* Thunb. (Rosaceae) promotes pancreatic β -cell proliferation and insulin secretion[J]. Frontiers in Pharmacology, 2021, 12: 688073.
- [10] LI H, XIE Z, ZHANG Y, et al. Rosa rugosa polysaccharide attenuates alcoholic liver disease in mice through the gut-liver axis[J]. Food Bioscience, 2021, 44: 10138.
- [11] 帕尔哈提·柔孜, 阿依姑丽·艾合麦提, 朱昆, 等. 玫瑰花瓣总黄酮和总多糖的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 138-141.
- Parhat Rozi, Aygul Ahmat, ZHU K, et al. Antioxidant activity in vitro of total flavonoids and total polysaccharides from rose petals[J]. Food Science, 2013, 34(11): 138-141.
- [12] 郭建行, 贾颂华, 李博润, 等. 红海藻多糖提取、分离纯化及生物活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(16): 216-224.
- GUO J H, JIA S H, LI B R, et al. Research progress on extraction, purification, and bioactivity of polysaccharides from red seaweed[J]. Food Research and Development, 2022, 43(16): 216-224.
- [13] LIU Y, LI H, ZHENG Z, et al. *Rosa rugosa* polysaccharide induces autophagy-mediated apoptosis in human cervical cancer cells via the PI3K/AKT/mTOR pathway[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 212: 257-274.
- [14] 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.
- [15] NOWAK R, OLECH M, PECIO L, et al. Cytotoxic, antioxidant, antimicrobial properties and chemical composition of rose petals[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(3): 560-567.
- [16] 张曰辉, 韩立文, 郑岚, 等. 玫瑰多糖的酶法提取及柱前衍生 HPLC 分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(20): 5031-5033.
- ZHANG Y H, HAN L W, ZHENG L, et al. Analysis of rose polysaccharide by enzyme extraction and pre-column derivatization HPLC[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(20): 5031-5033.
- [17] 刘瑶. 玫瑰花多糖的提取及功能性饮料的制备[D]. 天津: 天津科技大学, 2017: 11-28.
- LIU Y. Study on the extraction of rose polysaccharide and preparation of functional beverage[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017: 11-28.
- [18] 白伟芳. 玫瑰花多糖的提取及其功效研究[D]. 济南: 山东轻工学院, 2010: 9-22.
- BAI W F. Study on the extraction and activity of rose polysaccharide[D]. Jinan: Shandong Institute of Light Industry, 2010: 9-22.
- [19] 王思婷, 薛蕊, 李欣怡, 等. 干贝多糖的蛋白质脱除方式对抗氧化活性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(8): 62-69.
- WANG S T, XUE R, LI X Y, et al. Effect of deproteinization methods of polysaccharide from dried adductor muscle on antioxidant activities[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(8): 62-69.
- [20] ZHANG C, ZHAO F, LI R, 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.
- [21] HE Y, LI L, CHANG H, et al. Research progress on extraction, purification, structure and biological activity of *Dendrobium officinale* polysaccharides[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 965073.
- [22] 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.
- [23] LI X, GONG H, YANG S, et al. Pectic bee pollen polysaccharide from *Rosa rugosa* alleviates diet-induced hepatic steatosis and insulin resistance via induction of AMPK/mTOR-mediated autophagy[J]. Molecules, 2017, 22(5): 699.
- [24] JI X, HOU C, GUO X. Physicochemical properties, structures, bioactivities and future prospective for polysaccharides from *Plantago* L. (Plantaginaceae): a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135: 637-646.
- [25] WANG B, DIAO Q, ZHANG Z, et al. Antitumor activity of bee pollen polysaccharides from *Rosa rugosa*[J]. Molecular Medicine Reports, 2013, 7(5): 1555-1558.
- [26] NG T B, PI Z F, FU M, et al. A polysaccharopeptide complex and a condensed tannin with antioxidant activity from dried rose (*Rosa rugosa*) flowers[J]. Journal of Pharmacy and

- Pharmacology, 2006, 58(4): 529-534.
- [27] 祝贝贝. 白芨多糖分离纯化、化学性质及生物活性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(10): 343-350.
- ZHU B B. Research progress on separation, purification, chemical properties, and bioactivity of polysaccharide from *Bletilla striata*[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(10): 343-350.
- [28] 郭建行, 谢俊杰, 阳小雨, 等. 红枣多糖降解条件优化及抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(1): 99-106.
- GUO J H, XIE J J, YANG X Y, et al. Degradation condition optimization and antioxidant activity of jujube polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2024, 45(1): 99-106.
- [29] 冀晓龙, 郭建行, 田静源, 等. 植物多糖降解方法及降解产物特性研究进展[J]. 轻工学报, 2023, 38(3): 55-62.
- JI X L, GUO J H, TIAN J Y, et al. Research progress on degradation methods and product properties of plant polysaccharides[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(3): 55-62.
- [30] NG T B, HE J S, NIU S M, et al. A gallic acid derivative and polysaccharides with antioxidative activity from rose (*Rosa rugosa*) flowers[J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2004, 56(4): 537-545.
- [31] 胡流云, 周钰龙, 左胜, 等. 3 种不同组分香菇多糖对溃疡性结肠炎小鼠的缓解作用[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(23): 56-66.
- HU L Y, ZHOU Y L, ZUO S, et al. The mitigative effects of three different fractions of lentinan on ulcerative colitis in mice[J]. Food Research and Development, 2023, 44(23): 56-66.
- [32] 冀晓龙, 王治雯, 潘飞兵, 等. 槟榔多糖对 Caco-2 细胞氧化损伤的保护作用[J]. 轻工学报, 2022, 37(6): 18-24.
- JI X L, WANG Z W, PAN F B, et al. Protective effect of *Areca catechu* L. polysaccharide on Caco-2 cells oxidative injury[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(6): 18-24.
- [33] 姜浩, 孙涛, 姚皓昱, 等. 食用真菌多糖的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 447-456.
- JIANG H, SUN T, YAO H Y, et al. Research progress of edible fungal polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 447-456.
- [34] 何俊叶, 刘成, 于宠洋, 等. 黄皮不同部位多糖的结构特性及体外降血糖活性[J]. 食品与机械, 2024, 40(3): 156-164.
- HE J Y, LIU C, YU C Y, et al. Structural characteristics and hypoglycemic activity of polysaccharides from different parts of wampee[J]. Food & Machinery, 2024, 40(3): 156-164.
- [35] 李少华, 龙娇妍, 秦令祥. 贝母多糖提取纯化、结构表征及生物活性研究进展[J]. 饲料工业, 2024, 45(10): 127-132.
- LI S H, LONG J Y, QIN L X. Research progress on extraction, purification, structure characterization and biological activity of *Fritillaria* polysaccharides[J]. Feed Industry, 2024, 45(10): 127-132.
- [36] 张飞, 李钰景, 彭春秀, 等. 玫瑰花红茶发酵工艺以及水提物的非靶向代谢组学分析及体外抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(20): 216-225.
- ZHANG F, LI Y J, PENG C X, et al. Fermentation process of rose black tea and non-targeted metabolomics analysis of water extract and evaluation of antioxidant activity *in vitro*[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(20): 216-225.
- [37] XU K, GUO M, DU J, et al. Okra polysaccharide: effect on the texture and microstructure of set yoghurt as a new natural stabilizer[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 133: 117-126.
- [38] YAMADA K, NORIKOSHI R, SUZUKI K, et al. Determination of subcellular concentrations of soluble carbohydrates in rose petals during opening by nonaqueous fractionation method combined with infiltration-centrifugation method[J]. Planta, 2009, 230(6): 1115-1127.
- [39] SINGH R S, KAUR N, SINGH D, et al. Pullulan in pharmaceutical and cosmeceutical formulations: a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 231: 123353.
- [40] SUN A, YANG D. Design of cationic surfactant reinforced carrageenan waterproof composite films and applied as water induced electricity generator[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 126713.
- [41] DE DECKER I, HOEKSEMA H, VANLERBERGHE E, et al. Occlusion and hydration of scars: moisturizers versus silicone gels[J]. Burns, 2023, 49(2): 365-379.