

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250109001

引用格式: 杨艳琳, 李文彬, 陈义烽, 等. 贵州不同地区野生刺梨果籽多糖品质特征研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 181–189.

YANG YL, LI WB, CHEN YF, *et al.* Quality characteristics of wild *Rosa roxbunghii* seeds polysaccharides sourced from different regions of Guizhou Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 181–189. (in Chinese with English abstract).

贵州不同地区野生刺梨果籽多糖品质特征研究

杨艳琳, 李文彬, 陈义烽, 罗 跃, 马 跃, 杨莹莹, 陈思思, 胡凌涛, 李正豪, 宋 亚*

(茅台学院食品科学与工程系, 仁怀 564500)

摘 要: **目的** 探究贵州不同地区野生刺梨果籽多糖的品质特征。**方法** 采用超声辅助酶法提取贵州 11 个不同地区的野生刺梨果籽多糖, 测定多糖理化性质, 并比较其差异。**结果** 贵州不同地区野生刺梨果籽多糖的成分组成、理化性质、抗氧化性和应用品质不尽相同。理化性质方面, 地区 QD3 的野生刺梨果籽多糖提取率(26.23%)最高; 地区 QD5 的野生刺梨果籽多糖溶解性(98%)最好; 地区 QD9 的野生刺梨果籽多糖持油力(5.06 g/g)和糖醛酸含量(55.90%)最高; 地区 QD7 的野生刺梨果籽多糖蛋白质含量(18.53%)最高; 地区 QD10 的野生刺梨果籽多糖中性糖含量(15.04%)最高。体外抗氧化性方面, 地区 QD3 的野生刺梨果籽多糖 2,2'-联氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]阳离子自由基清除能力最强[半数抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC₅₀)为 0.09 mg/mL]; 地区 QD10 的野生刺梨果籽多糖羟基自由基清除能力最强(IC₅₀ 值=0.24 mg/mL); 地区 QD2 的野生刺梨果籽多糖 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力最强(IC₅₀ 值=0.13 mg/mL)。应用品质方面, 添加地区 QD4 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的硬度最大; 而添加地区 QD1 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的酥脆性最佳。**结论** 贵州不同地区野生刺梨果籽多糖的品质差异明显, 各具特征, 本研究结果可为开发野生刺梨果籽多糖功能性产品奠定理论基础, 拓宽野生刺梨精深加工利用途径, 提高野生刺梨的经济效益, 并为有关产业发展及科学研究提供数据参考。

关键词: 刺梨果籽; 多糖; 品质分析

Quality characteristics of wild *Rosa roxbunghii* seeds polysaccharides sourced from different regions of Guizhou Province

YANG Yan-Lin, LI Wen-Bin, CHEN Yi-Feng, LUO Yue, MA Yue, YANG Ying-Ying, CHEN Si-Si, HU Ling-Tao, LI Zheng-Hao, SONG Ya*

(Department of Food Science and Engineering, Moutai Institute, Renhuai 564500, China)

收稿日期: 2025-01-09

基金项目: 贵州省基础研究(自然科学)计划项目(黔科合基础-ZK[2023]一般 451); 贵州省 2022 年大学生创新创业训练计划项目(S202214625027X)

第一作者: 杨艳琳(2001—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为特色食品资源开发。E-mail: 18584434551@163.com

*通信作者: 宋亚(1990—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物提取分离及其生物活性机制研究, 以及天然产物对肠道菌群的影响。E-mail: songya_1990@163.com

ABSTRACT: Objective To investigate the quality characteristics of wild *Rosa roxbunghii* seeds polysaccharides from different regions in Guizhou Province. **Methods** Wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides were extracted from 11 different regions in Guizhou Province by ultrasonic assisted enzymatic method, and the physicochemical properties of the polysaccharides were determined to compare their differences. **Results** The composition, physicochemical properties, antioxidant properties and application quality of wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides from different regions in Guizhou Province were not the same. In terms of physical and chemical properties, the extraction ratio of wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides in region QD3 was the highest (26.23%); the solubility of wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides in region QD5 was the best (98%); the holding oil capacity of wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides in region QD9 was the highest (5.06 g/g) and the content of galacturonic acid was the highest (55.90%); the content of protein in wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides in region QD7 was the highest (18.53%); and the content of neutral sugar in wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides in region QD10 was the highest (15.04%). In terms of *in vitro* antioxidant activity, the wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide from region QD3 had the strongest 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) cationic radical scavenging ability [half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) value=0.09 mg/mL]; the wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide from region QD10 had the strongest hydroxyl radical scavenging ability (IC_{50} value=0.24 mg/mL); and the wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide from region QD2 had the strongest 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging ability (IC_{50} value=0.13 mg/mL). In terms of application quality, the hardness of the cookie formula with wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides from region QD4 was the largest; and the crispiness of the cookie formula with wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides from region QD1 was the best. **Conclusion** The quality of wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides from different regions in Guizhou Province is obviously different and has its own characteristics. The results of this study can provide a theoretical basis for developing functional products from wild *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides, broadening the way of deep processing and utilization of wild *Rosa roxbunghii* fruit, improving the economic benefits of wild *Rosa roxbunghii* fruit, and providing data reference for the development of related industries and scientific research.

KEY WORDS: *Rosa roxbunghii* seeds; polysaccharides; quality characteristics

0 引言

刺梨(*Rosa roxbunghii*)属野生小灌木,是一种蔷薇科多年生落叶灌木缢丝花果实,其外皮覆盖有小刺,口感清脆且多汁^[1],主要分布于中国的四川、云南和贵州等地^[2]。其富含维生素 C、超氧化物歧化酶、多糖、三萜、黄酮、微量元素及可溶性膳食纤维^[3-4]等,具有平衡人体的氧化应激,降低糖尿病、癌症、神经退行性疾病和心血管疾病风险等功效,展现抗衰老和抗动脉粥样硬化的潜力^[5]。然而,随着关于刺梨的加工类产品的不断增多,其主要副产物刺梨果渣、果籽等一般作为废弃物丢弃。其中,刺梨籽在刺梨果实中的占比约为 10%左右,富含油脂、蛋白和多糖等物质^[6]。

植物多糖是提取自植物的根、茎、叶、皮、花、种子等部位的一大类天然高分子聚合物,在大量临床研究中其功效得以验证,它具有多项显著的药理作用^[7]。植物多糖可通过激活人体的免疫细胞发挥免疫调节作用。既能起到预防肿瘤作用,同时还兼具抑制和杀伤人体已有肿瘤细胞

的功效^[8]。同时,植物多糖对体内的超氧阴离子、过氧化氢、羟基自由基等具有清除作用,具有显著抗氧化、抗衰老和美容养颜作用^[9]。此外,植物多糖还在抗抑郁和抗辐射、治疗高血脂以及高血糖方面均具有明显功效^[10]。目前,国内外常用的植物多糖提取方法主要有超声辅助提取法、微波辅助提取法、酶提取法等^[11]。超声辅助酶法是将超声辅助提取法和酶提取法结合使用,综合物理与化学方法,利用超声的破壁效应和酶作用条件温和、专一性强的优点^[12],增大细胞内多糖的释放速率和释放量,使多糖在相对较低的温度下也具有较高的提取率。

目前果籽的研究多集中于制备果籽油、多酚、蛋白质和多糖等物质的制备和方面。如刘松奇等^[13]研究了水酶法萃取百香果籽油的工艺;崔遥等^[14]研究了刺梨果籽中原花青素与多糖的提取及其体外活性;刘畅等^[15]对罗汉果籽蛋白的提取及功能特性展开了研究;罗旭璐等^[16]进行了美藤果籽多酚的提取及其抗氧化活性测定。而关于刺梨果籽,目前仅有少量的研究者开展了刺梨籽油的提取工艺优化,或刺梨籽油脂脂肪酸组成等研究^[6]。此外,由于贵州地域宽

阔,各个地区海拔及气候环境等差异显著,仅毕节地区的不同位置其刺梨多糖含量及抗氧化活性就存在明显的显著差异^[17]。由此可推测贵州各个地区海拔及气候环境对于野生刺梨果籽多糖含量、结构及活性的影响可能也存在显著影响。基于此,为提高刺梨的高值化利用,本研究拟采用超声波辅助酶法对贵州 11 个不同地区的野生刺梨果籽多糖进行提取并分别测定理化性质,分析对比得到不同地区野生刺梨果籽多糖的品质特征,再将提取出的多糖添加到配方饼干中以测定多糖的应用品质,以期为贵州野生刺梨资源的开发利用及研究提供助力。

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

纤维素酶(酶活力 40 万 U/g,食品级,南宁庞博生物工程有限公司);牛血清蛋白、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐 [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS](生物试剂,上海源叶生物科技有限公司);NaOH、水杨酸(分析纯,上海国药集团药业股份有限公司);C₄H₁₀O、CHCl₃(分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司);H₂SO₄(分析纯,广东光华科技股份有限公司);H₂O₂、柠檬酸、无水半乳糖醛酸(分析纯,成都金山化学试剂有限公司);苯酚(分析纯,四川西陇科学有限公司);无水乙醇(分析纯,常熟市鸿盛精细化工有限公司)。

本研究所用 11 款贵州不同地区野生刺梨信息如表 1 所示。

1.2 仪器与设备

FA2204 电子天平(精度 0.0001 g,上海菁海仪器有限公司);HH-2 恒温水浴锅(江苏中大仪器科技有限公司);R-1001VN 旋转蒸发仪(郑州长城科工贸有限公司);DGG-9140 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);

Multiskan Sky High 全光谱酶标仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);FD8-3T 真空冷冻干燥机(德国 GOLD SIM 公司);CR-009S 超声清洗机(杭州有顺机械设备有限公司);CLT55R 离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司);Herb Grinder 2 粉碎机(浙江永康铂欧五金制品有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 实验工艺

(1)工艺流程

刺梨果籽粉末→酶解→离心→上清液浓缩→脱蛋白→离心→上清液浓缩→醇沉→离心、复溶→冷冻→冻干

(2)操作要点

参照李春飞等^[18]方法并稍作修改。将野生刺梨果肉与果籽分离,果籽洗净 55 °C 烘干,粉碎机打碎过 60 目筛,密封保存备用。将预处理后的果粉,按照料液比 1:15 (g:mL)加入石油醚溶液,浸泡 12 h,过滤,回收有机溶剂,再将原料放入烘干箱 55 °C 烘干。称取 2.0 g 粉碎后的刺梨果籽粉末,记为 m_2 ,按料液比 1:20 (g:mL)加入柠檬酸溶液以及氢氧化钠溶液并将 pH 调节至 7~8。随后加入 0.3% 纤维素酶溶液,超声 25 min 辅助酶解,酶解温度 40 °C,酶解时间 40 min,酶解后 95 °C 灭酶 15 min,悬浮液经 4500 r/min 离心 20 min,分离上清液和沉淀。灭活后的酶解液转移至旋转瓶中进行浓缩操作,待旋转瓶中的酶解液变浓稠时,酶解液中的水分大量被分离。上清液经浓缩后,与 Sevage 试剂(正丁醇:氯仿=1:4, V:V)以 5:1 (V:V)比例混合、振摇,以 4500 r/min,离心 20 min。离心后,利用旋转蒸发仪除去 Sevage 试剂及浓缩液。浓缩液加入 4 倍体积 60 °C 的 85% 以上乙醇溶液,4 °C 沉淀 24 h,4500 r/min 离心 20 min,收集沉淀用 95% 乙醇洗涤 2 次,加水复溶,置入冰箱中冷冻 24 h,经真空冷冻干燥即得多糖,多糖质量记为 m_1 。提取率计算如公式(1)所示:

$$\text{提取率}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为多糖的质量, g; m_2 为刺梨果籽粉末的质量, g。

表 1 贵州不同地区野生刺梨产地的环境情况

Table 1 Environmental conditions of wild *Rosa roxbunghii* producing areas in different regions of Guizhou Province

地区	产地信息	海拔/m	经度/°	纬度/°	年平均气温/°C	年平均降水量/mm
QD1	黔西南兴义	1299.60	104.77	25.28	16.7	1405.4
QD2	遵义绥阳	866.00	107.19	27.95	15.1	1136.9
QD3	遵义务川	603.00	107.87	28.55	15.5	1271.7
QD4	六盘水盘州	1665.46	104.50	26.01	14.1	1400.0
QD5	安顺镇宁	1274.09	105.78	26.04	16.2	1277.0
QD6	遵义仁怀	960.00	106.40	27.80	17.7	1038.9
QD7	黔东南凯里	745.81	107.90	26.50	16.0	1240.0
QD8	黔南平塘	850.00	107.30	25.90	17.0	1259.0
QD9	毕节大方	1319.75	105.61	27.16	11.8	1150.4
QD10	铜仁沿河	782.80	108.40	28.40	16.3	966.0
QD11	六盘水钟山区	1450.00	104.80	26.60	12.3	1182.8

1.3.2 理化指标测定

(1) 溶解度

参照徐雅琴等^[19]和 LI 等^[20]方法稍作修改。取 0.05 g 的 9 种刺梨果籽多糖放入离心管中, 称重记为 W_0 , 多糖质量记为 W_i , 再向离心管中倒入 10 mL 蒸馏水, 并在 25 °C 下放置 90 min, 期间每隔 30 min 晃动 8 s, 再通过 5000 r/min 离心 50 min 倒出其中液体, 并将离心管放在 60 °C 中干燥 30 min, 称重记为 W_1 。溶解度计算如公式(2)所示:

$$\text{溶解率}/\% = \frac{W_0 - W_1}{W_i} \times 100\% \quad (2)$$

(2) 持油力

参照张佐伊等^[21]和 TANG 等^[22]方法稍作修改。取 0.05 g 的刺梨籽多糖, 记为 W_i , 加入离心管中称重, 记为 W_a , 然后向离心管中加入 10 mL 的花生油, 并在 25 °C 下混合 90 min, 再将所得混合物在 5000 r/min 下离心 50 min, 倒出剩余花生油, 将其放在 60 °C 下进行 30 min 的干燥, 称重, 记为 W_b 。持油力计算如公式(3)所示:

$$\text{持油力}/(\text{g/g}) = \frac{W_b - W_a}{W_i} \times 100\% \quad (3)$$

(3) 蛋白质含量

参照牛新茹等^[23]方法稍作修改。配制标准品质量浓度为 0.05 mg/mL 的牛血清蛋白标准溶液。配制系列梯度质量浓度为 0、5、15、25、35、45、50 $\mu\text{g/mL}$ 的多糖标准溶液。向 10 mL 的具塞试管中加入 1 mL 标品溶液, 5 mL 考马斯亮蓝溶液(G-250 100 mg、95%乙醇 50 mL、85%磷酸 100 mL, 超纯水定容于 1 L 的容量瓶中); 充分摇匀后静置 25 min, 波长 595 nm 测吸光度值。以牛血清蛋白标液的浓度为横坐标(X , $\mu\text{g/mL}$), 吸光度为纵坐标(Y), 绘制校准曲线。以同样的方法处理多糖溶液, 将吸光度值带入标准曲线($Y=0.0048X+0.4772$, $r^2=0.9919$), 即可计算出刺梨果籽多糖的蛋白质含量。

(4) 糖醛酸和中性糖含量测定

糖醛酸含量: 参照方嘉沁等^[24]方法稍作修改。配制 0.1 mg/mL 无水半乳糖醛酸标准溶液。配制系列梯度质量浓度为 0、100、300、500、700、900、1000 $\mu\text{g/mL}$ 的多糖标准溶液。1 mL 样品溶液(冰浴)中加入 6 mL 浓硫酸; 充分摇匀后 80 °C 条件下水浴 25 min, 待冷却后加入 0.2 mL 的吡啶-乙醇溶液(0.125%), 混合均匀后静置 2 h, 波长 530 nm 测吸光度值。以半乳糖醛酸标液的浓度为横坐标(X , $\mu\text{g/mL}$), 吸光度为纵坐标(Y), 绘制校准曲线。多糖溶液的处理方式与上述方法相同, 将吸光度值带入标准曲线($Y=0.0021X+0.0996$, $r^2=0.9902$), 即可算出果籽多糖的糖醛酸含量。

中性糖含量: 参照窦祖满^[25]方法稍作修改。配制标准品质量浓度为 0.05 mg/mL 的葡萄糖标准溶液。配制系列梯度质量浓度为 0、100、300、500、700、900、1000 $\mu\text{g/mL}$ 的多糖标准溶液。向 10 mL 的具塞试管中加入 1 mL 标准

品溶液, 0.6 mL 5%的苯酚和 4 mL 浓硫酸, 摇匀, 静置反应 0.5 h, 波长 490 nm 测定吸光度值, 绘制葡萄糖标准曲线。以同样方法处理多糖溶液, 将吸光度值带入标准曲线($Y=0.0422X+0.0551$, $r^2=0.9909$), 即可计算出刺梨多糖的中性糖含量。中性糖含量计算如公式(4)所示:

$$\text{中性糖含量}/\% = \frac{C \times D \times V}{m} \times 100\% \quad (4)$$

式中: C 为样品溶液的葡萄糖质量浓度, mg/mL; D 为样品溶液的稀释倍数; V 为样品溶液的体积, mL; m 为样品质量, mg。

(5) ABTS 阳离子自由基清除能力

参照安雪菲等^[26]和 SUN 等^[27]方法并稍作修改。配制 10 mL 的 7.4 mmol ABTS 和 10 mL 的 2.6 mmol 过硫酸钾溶液, 1:1 ($V:V$)混合暗处反应 12 h 后, 稀释, 使 ABTS 工作液在 734 nm 处吸收值为 0.7 左右备用。配制 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的系列梯度多糖溶液。取 100 μL 多糖溶液和 100 μL ABTS 工作液在 96 孔板混合, 静置反应 0.5 h, 波长 734 nm 测定吸光度值。每次试验重复 3 次。各浓度下 ABTS 阳离子自由基清除率计算如公式(5)所示:

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}/\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中: A_0 为 ABTS 标准液的吸光度值, A_1 为多糖与 ABTS 工作液的吸光度值。

将各浓度对数与清除率导入 GraphPad Prism 8.0 软件, 采用非线性回归模型拟合剂量-反应曲线, 计算半数抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC_{50})值, 羟基自由基清除能力和 DPPH 自由基清除能力计算相同。

(6) 羟基自由基清除能力

参照刘良伟等^[28]方法稍作修改。配制系列梯度质量浓度为 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的多糖溶液。向 96 孔板中加入等体积多糖溶液、6 mmol/L FeSO_4 溶液, 6 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液, 6 mmol/L H_2O_2 溶液, 摇匀后于 37 °C 反应 0.5 h。波长 510 nm 测其吸光度值, 以去离子水为空白对照, 每个处理重复 3 次实验。各浓度下羟基自由基清除率计算如公式(6)所示:

$$\text{羟基自由基清除率}/\% = \frac{1 - (B_1 - B_2)}{B_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中: B_1 为样品溶液的吸光度值; B_2 为去离子水替代 H_2O_2 溶液的吸光度值; B_0 为去离子水替代样品的吸光度值。

(7) DPPH 自由基清除能力

参照施洋等^[29]方法稍作修改。配制系列梯度浓度为 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的多糖溶液。向具塞试管中加入 1 mL 多糖溶液、1 mL 0.08 mg/mL 的 DPPH-乙醇溶液混合均匀, 放于暗处静置反应 0.5 h。波长 517 nm 测定吸光度, 以去离子水为空白对照。各浓度下 DPPH 自由基清除率计算如公式(7)所示:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{1-(C_1-C_2)}{C_0} \times 100\% \quad (7)$$

其中: C_1 为多糖溶液与 DPPH 溶液的吸光度; C_2 为多糖溶液与乙醇溶液的吸光度; C_0 为蒸馏水与 DPPH 溶液的吸光度。

1.3.3 配方饼干品质测定

(1) 配方饼干制作

准备 20 g 黄油隔水加热融化, 加入低筋面粉 60 g、糖 30 g、奶粉 20 g、食盐 0.6 g、泡打粉 3 g、刺梨多糖 0.6 g, 拌匀后装入裱花袋, 裱花袋剪小口挤到预先刷好油的烤盘上做成饼干, 放入烤箱上下火 180 °C 烤制 8 min。

(2) 品质测定

每组选 3 个刺梨果籽多糖配方饼干, 用质构仪对饼干硬度、酥脆性进行测定。参数设定为探头型号 P/2, 测试速度 1.0 mm/s, 下压距离 5 mm, 测定时将饼干样品放在测试台的中心位置, 并将探头对准样品的中心, 连续压缩 2 次, 间隔 3 s, 每组样品平行测定 10 次。

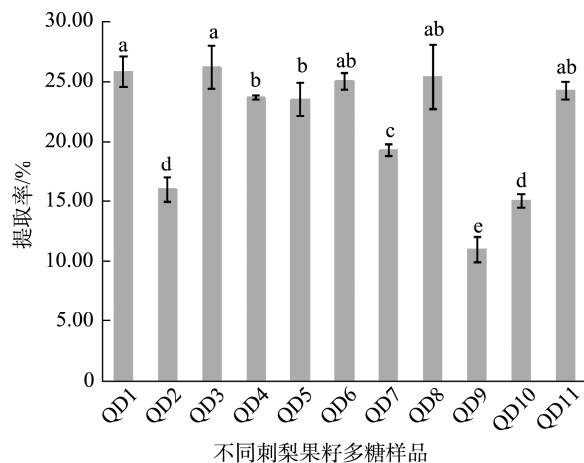
1.4 数据处理

每组实验重复测试 3 次, 结果用平均值±标准偏差表示。使用 Excel 2016 和 GraphPad Prism 8.0 进行数据整理, Origin Pro 2022 软件作图。

2 结果与分析

2.1 刺梨果籽多糖提取率

由图 1 可知, 11 个地区野生刺梨果籽多糖提取率在 10.96%~26.23% 之间, 差异显著。其中 QD3 的野生刺梨果籽多糖提取率最高(26.23%), 而 QD9 的野生刺梨果籽多糖提取率(10.96%)最低, 且显著低于其他地区($P<0.05$)。这可能是由于贵州不同地区的年平均气温不同, 其中 QD9 年平



注: 不同小写字母差异表示组间存在显著差异($P<0.05$), 下同。

图 1 刺梨果籽多糖提取率结果对比

Fig.1 Comparison of extraction ratio results of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharides

均气温最低。适宜的气温条件可以促进刺梨的生长和多糖的合成, 过低的气温可能导致刺梨生长受阻, 多糖合成和积累减少^[30]。

2.2 多糖理化特征测定结果

2.2.1 刺梨果籽多糖溶解度

由图 2 可知, 贵州不同地区的野生刺梨果籽多糖的溶解度均较好, 溶解度均处于 80% 以上。其中地区 QD5 的野生刺梨果籽多糖溶解度(98%)最高, 比溶解度最低的 QD11 地区(83%)高了 15%。可能是由于贵州不同地区的平均温度不同导致, QD5 与 QD11 的平均海拔、年降水量、平均温度均存在较大差距, 其中 QD5 的年降水量、平均温度均高于 QD11, 但平均海拔低于 QD11。由此可见, 降水量、生长温度和环境海拔均有可能影响多糖的合成及其结构的变化。在降水量过少的地区, 刺梨可能因缺水而生长不良, 导致多糖含量降低, 溶解度也随之下降; 在温度过低的地区, 刺梨的生长可能受到抑制, 导致多糖含量降低, 溶解度也可能受到影响; 高海拔地区的紫外线辐射较强, 可能对刺梨果实中的多糖产生光降解作用, 从而降低其溶解度^[3]。

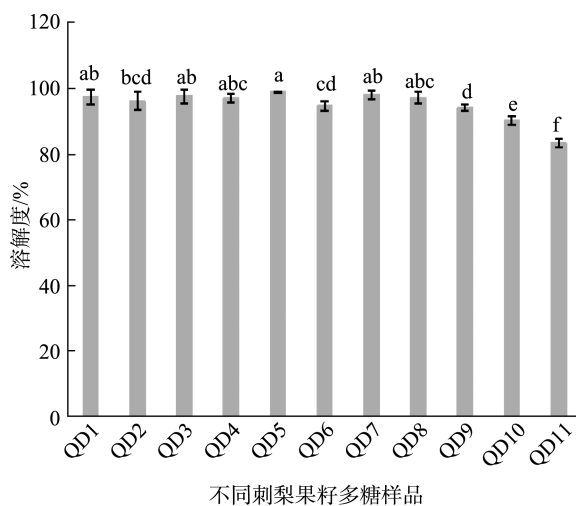


图 2 刺梨果籽多糖溶解度结果对比

Fig.2 Comparison of solubility results of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide

2.2.2 刺梨果籽多糖持油力

由图 3 可知, 地区 QD9 的野生刺梨果籽多糖持油力(5.06 g/g)显著高于其他地区($P<0.05$), 比持油力最差的地区 QD1 (1.52 g/g)高了 3.33 倍。这可能是由于贵州不同地区的年平均气温不同, 其中 QD9 年平均气温最低。气温的变化可能导致刺梨多糖的结构发生变化, 如链长、分支度、取代基等, 这些变化都可能影响多糖的持油力^[31]。

2.2.3 刺梨果籽多糖蛋白质含量

由图4可知,11个地区野生刺梨果籽多糖蛋白质含量在2.42%~18.53%之间,其中地区QD6的野生刺梨果籽多糖蛋白质含量(2.42%)显著低于其他地区($P<0.05$),而地区QD7(18.53%)最高,二者之间相差了7.66倍,这可能是由于地区QD6的年平均温度较高导致,这说明较高的气温可能促进了刺梨果籽中结合蛋白的生成和积累^[32]。

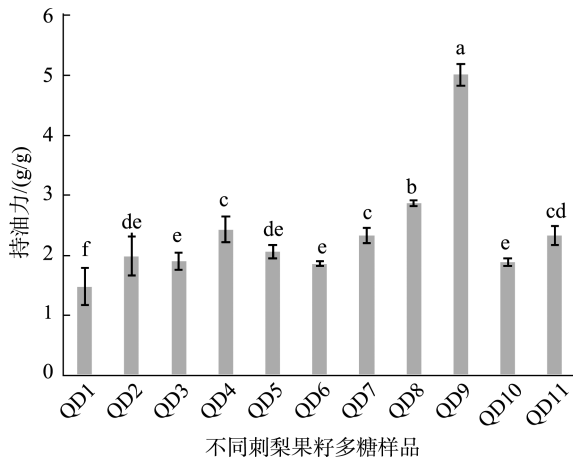


图3 刺梨果籽多糖持油力结果对比

Fig.3 Comparison of oil holding results of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide

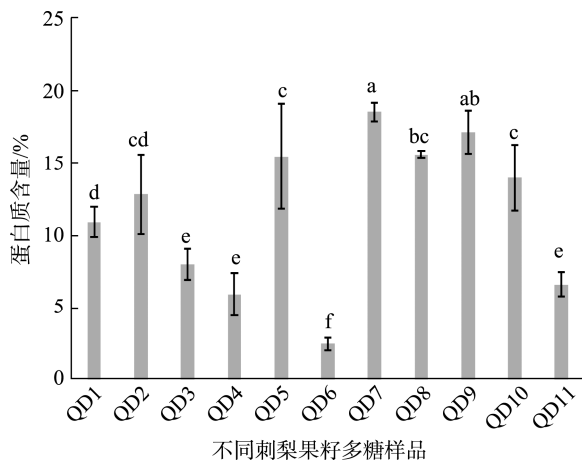


图4 刺梨果籽多糖蛋白质含量结果对比

Fig.4 Comparison of protein content results of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide

2.2.4 刺梨果籽多糖糖醛酸含量

由图5可知,11个地区野生刺梨果籽多糖中糖醛酸含量差异显著。其中,地区QD9的野生刺梨果籽多糖中糖醛酸含量(55.90%)显著高于其他地区($P<0.05$),而地区QD1(0.51%)显著低于其他地区($P<0.05$)。这可能是由于地区QD9海拔较高,且常年平均温度较低更利于刺梨果实中果胶的生成有关。

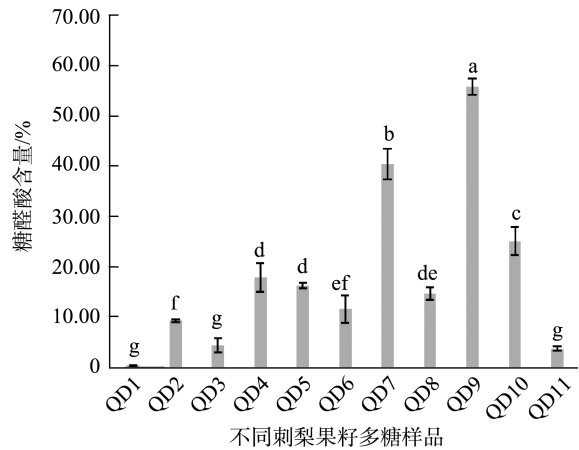


图5 刺梨果籽多糖糖醛酸含量结果对比

Fig.5 Comparison of glycollic acid content results of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide

2.2.5 刺梨果籽多糖中性糖含量

由图6可知,11个地区野生刺梨果籽多糖中糖醛酸含量差异显著。其中,QD10的野生刺梨果籽多糖中性糖含量(15.04%)显著高于与其他地区($P<0.05$),地区QD3刺梨果籽多糖中性糖含量(1.78%)显著低于其他地区($P<0.05$),这可能与贵州不同地区的年降水量和年平均温度不同有关。地区QD10年降水量较少,更利于刺梨果实中性糖类物质的积累,而地区QD10年平均温度较高,促进了刺梨植株的中性糖类物质的消耗。

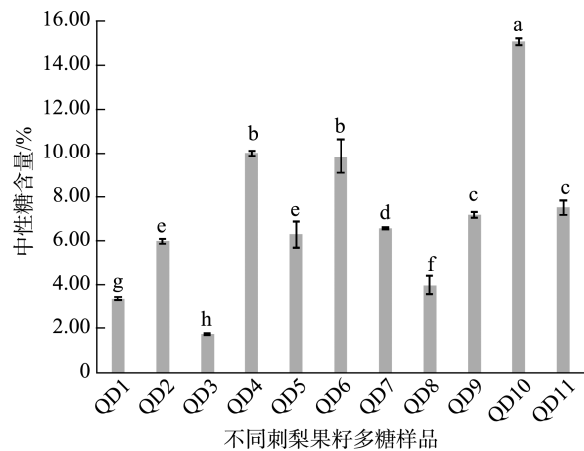


图6 刺梨果籽多糖中性糖含量结果对比

Fig.6 Comparison of neutral sugar content result of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide

2.2.6 刺梨果籽多糖抗氧化能力

由表2可知,不同地区野生刺梨果籽多糖清除不同自由基的能力不尽相同。其中,地区QD3的野生刺梨果籽多糖ABTS阳离子自由基清除能力(IC_{50} 值=0.09 mg/mL)显著高于其他地区($P<0.05$),而地区QD8的野生刺梨果籽多糖ABTS阳离子自由基清除能力(IC_{50} 值=1.06 mg/mL)显著低

表 2 刺梨果籽多糖自由基清除能力 IC_{50} 值(mg/mL)
Table 2 IC_{50} of radical scavenging activities of *Rosa roxbunghii* seed polysaccharide (mg/mL)

地区	ABTS 阳离子 自由基清除能力	羟基自由基 清除能力	DPPH 自由基 清除能力
QD1	0.67±0.02 ^b	0.41±0.02 ^c	1.24±0.10 ^a
QD2	0.41±0.01 ^c	0.51±0.02 ^d	0.13±0.06 ^e
QD3	0.09±0.02 ^e	0.52±0.01 ^d	1.04±0.05 ^b
QD4	0.35±0.01 ^d	0.48±0.05 ^d	0.24±0.02 ^f
QD5	0.35±0.02 ^d	0.75±0.03 ^b	0.88±0.03 ^c
QD6	0.37±0.01 ^d	0.63±0.02 ^c	0.99±0.06 ^b
QD7	0.30±0.01 ^e	0.64±0.01 ^c	1.17±0.05 ^a
QD8	1.06±0.04 ^a	0.51±0.01 ^d	0.32±0.04 ^e
QD9	0.29±0.03 ^e	0.98±0.02 ^a	0.41±0.05 ^d
QD10	0.43±0.02 ^c	0.24±0.02 ^f	1.19±0.02 ^a
QD11	0.24±0.01 ^f	0.48±0.01 ^d	1.07±0.05 ^b

注: 同列不同小写字母差异表示组间存在显著差异($P<0.05$), 下同。

于其他地区($P<0.05$)。地区 QD10 的野生刺梨果籽多糖羟基自由基清除能力(IC_{50} 值=0.24 mg/mL)显著高于其他地区($P<0.05$), 而地区 QD9 的野生刺梨果籽多糖羟基自由基清除能力(IC_{50} 值=0.98 mg/mL)显著低于其他地区($P<0.05$)。地区 QD2 的野生刺梨果籽多糖 DPPH 自由基清除能力(IC_{50} 值=0.13 mg/mL)显著高于其他地区($P<0.05$), 而地区 QD1、QD7 和 QD10 的野生刺梨果籽多糖 DPPH 自由基清除能力(IC_{50} 值分别为 1.24、1.17、1.19 mg/mL)显著低于其他地区($P<0.05$)。不同地区的刺梨生长环境差异可能导致刺梨果籽中多糖的种类和含量不同, 从而影响其抗氧化能力^[32]。同时, 不同结构的多糖清除自由基的途径也会不同, 而自由基种类差异也可能导致不同种类的多糖在自由基清除能力上的差异。

2.3 多糖配方饼干测定结果

硬度和酥脆度可以直观地表现出饼干的口感和品质。由表 3 可知, 贵州不同地区野生刺梨果籽多糖配方饼干的硬度差异比酥脆度差异更加明显。其中, 地区 QD4 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的硬度显著高于其他地区($P<0.05$), 而地区 QD7 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的硬度显著低于其他地区($P<0.05$), 这可能与不同刺梨果籽多糖溶解性、持水性差异有关。地区 QD1、QD8 野生刺梨果籽多糖配方饼干的酥脆度显著高于地区 QD2、QD4、QD5、QD7 和 QD9, 这可能与不同刺梨果籽多糖持水性、持油性以及与面团的黏着性差异有关。由此可见, 可以在饼干中添加地区 QD4 野生刺梨果籽多糖以增加其硬度, 而添加地区 QD1 和 QD8 野生刺梨果籽多糖以增加其酥脆性。

表 3 多糖配方饼干的品质测定结果
Table 3 Quality determination results of polysaccharide formula biscuits

地区	硬度/N	酥脆性/N
QD1	1092.27±43.12 ^c	105.33±4.04 ^a
QD2	891.94±65.10 ^{de}	69.67±14.57 ^b
QD3	1058.27±40.86 ^c	84.67±3.79 ^{ab}
QD4	1453.91±59.92 ^a	72.67±4.16 ^b
QD5	955.61±25.12 ^d	69.33±9.24 ^b
QD6	793.62±39.32 ^c	94.33±35.16 ^{ab}
QD7	660.96±51.84 ^f	73.00±12.29 ^b
QD8	897.61±40.50 ^{de}	101.33±6.03 ^a
QD9	982.27±45.40 ^{cd}	72.33±9.71 ^b
QD10	1015.60±25.46 ^{cd}	96.00±15.59 ^{ab}
QD11	1256.59±46.75 ^b	90.00±1.00 ^{ab}

3 讨论与结论

研究显示, 贵州不同地区野生刺梨果籽多糖的中性糖、糖醛酸、蛋白质含量及持油性、溶解度、羟基自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力、ABTS 阳离子自由基清除能力、应用品质均具有显著性差异。

其中, QD1 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的酥脆性最好; QD2 野生刺梨果籽多糖 DPPH 自由基清除能力最好; QD3 的野生刺梨果籽多糖提取率最高; QD4 的野生刺梨果籽多糖配方饼干的硬度最大; QD5 的野生刺梨果籽多糖溶解度最好; QD7 的野生刺梨果籽多糖中结合蛋白质含量最高; QD9 的野生刺梨果籽多糖持油性最好、糖醛酸含量最高; QD10 的野生刺梨果籽多糖中性糖含量最高、羟基自由基清除能力最好。造成上述结果的原因可能是由于贵州不同地区的平均海拔、平均温度、年降水量等气候因素的不同对野生刺梨果籽多糖的品质特征产生了不同程度的影响^[3,30-32], 进而导致各地区野生刺梨品质不一, 果籽多糖结构种类、结构及性能等产生差异。

基于这些差异, 可以开发具有特定功能的野生刺梨果籽多糖产品。例如, 对于糖醛酸含量较高的多糖, 可以考虑生产果冻等食品; 而对于抗氧化性能强的多糖, 则可以开发抗衰老面膜和保健品。这样的开发策略将有助于拓展野生刺梨的精深加工应用, 提升其经济价值, 并解决刺梨开发过程中籽粕浪费和利用率低的问题。然而, 目前尚缺乏对贵州不同地理环境如何影响果籽多糖品质特征的研究。未来的研究应深入探讨这一影响, 以探索野生刺梨精深加工产业进一步发展的潜在途径。

参考文献

- [1] 苗得庆, 周樊, 范志梁, 等. 基于网络药理学及分子对接技术探讨刺梨

- 干预脓毒症的作用[J]. 通化师范学院学报, 2024, 45(2): 60–68.
- MIAO DQ, ZHOU F, FAN ZL, *et al.* Exploring the role of *Roxburgh pear* in sepsis based on network pharmacology and molecular docking [J]. Journal of Tonghua Normal University, 2024, 45(2): 60–68.
- [2] 李敏, 郭斌. 刺梨多糖协同帕博西尼治疗胰腺癌的作用及机制[J]. 锦州医科大学学报, 2024, 45(1): 46–52.
- LI M, GUO B. Study on the effect and mechanism of *Roxburghil* polysaccharide combined with Palbocinb in the treatment of pancreatic cancer [J]. Journal of Jinzhou Medical University, 2024, 45(1): 46–52.
- [3] 陈钰祺, 徐玉娟, 林羨, 等. 不同成熟度及海拔地区刺梨果实营养活性成分比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(24): 9556–9564.
- CHEN YQ, XU YJ, LIN X, *et al.* Comparisons of nutritional and bioactive components of *Rosa roxbunghii* fruits of different maturities, altitudes and regions [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(24): 9556–9564.
- [4] 黄超瑜, 崔兰玉, 林发全. 刺梨的化学成分和生物学功能研究进展[J]. 食品工业, 2023, 44(6): 174–180.
- HUANG CY, CUI LY, LIN FQ. Chemical constituents and research progress on biological functions of *Rosa roxbunghii* [J]. The Food Industry, 2023, 44(6): 174–180.
- [5] 杨曦澜, 董洁怡, 刘佳玥, 等. 刺梨发酵乳的制备及其理化性质[J]. 现代食品科技, 2024, 40(3): 153–162.
- YANG XL, DONG JY, LIU JY, *et al.* Preparation and physicochemical properties of *Roxburgh rose* yogurt [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 153–162.
- [6] 毕会敏, 范方宇, 胡青. 溶剂对刺梨籽油脂肪酸组成及抗氧化活性的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(7): 115–122.
- BI HM, FAN FY, HU Q. Effect of solvent on fatty acid composition and antioxidant activity of *Rosa roxbunghii* Tratt seed oil [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(7): 115–122.
- [7] 陈炯朝, 马雪, 张研, 等. 响应面法优化超声辅助低共熔溶剂提取洋蓟花苞多糖工艺[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(4): 57–64.
- CHEN JZ, MA X, ZHANG Y, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted low eutectic reagents extraction of polysaccharides from artichoke buds by response surfacemethodology [J]. China Food Additives, 2024, 35(4): 57–64.
- [8] 张桂凤, 刘闯, 刘光东, 等. 植物多糖的抗肿瘤机制及其构效关系研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 428–437.
- ZHANG GF, LIU C, LIU GD, *et al.* Research progress on antitumor mechanism and structure-activity relationship of plant polysaccharides [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 428–437.
- [9] 宋晨光. 植物多糖抗氧化活性研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(4): 25–33.
- SONG CG. Advances in antioxidant activity of plant polysaccharides [J]. China Vegetables, 2022, 42(4): 25–33.
- [10] 刘思扬, 陆雅琦, 海日汉, 等. 功能性植物多糖及其应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 444–453.
- LIU SY, LU YQ, HAI RH, *et al.* Research progress on plant functional polysaccharides and its application [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 444–453.
- [11] 周元龙, 宋年年, 易宇欣, 等. 不同提取方法对罗布麻多糖理化性质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 40–48.
- ZHOU YL, SONG NN, YI YX, *et al.* Effects of different extraction methods on physicochemical properties and antioxidant activity of *Apocynum venetum* polysaccharides [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 40–48.
- [12] 劳超, 李毅花, 冯秀静, 等. 超声辅助提取香菇多糖及其生物活性的研究进展[J]. 大众科技, 2017, 19(2): 35–38.
- LAO C, LI YH, FENG XJ, *et al.* A view of extraction of lentinan assisted by ultrasound and its bioactivities [J]. Popular Science & Technology, 2017, 19(2): 35–38.
- [13] 刘松奇, 戴得蓉, 段丽丽. 水酶法提取百香果籽油工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 四川旅游学院学报, 2020(3): 26–31.
- LIU SQ, JI DR, DUAN LL. On the optimization of extraction technology and antioxidant activity of seed oil from passion fruit by aqueous enzymatic method [J]. Journal of Sichuan Tourism University, 2020(3): 26–31.
- [14] 崔遥, 钟方丽, 王晓林, 等. 刺玫果籽中原花青素与多糖的提取及其体外活性[J]. 大连工业大学学报, 2022, 41(5): 355–361.
- CUI Y, ZHONG FL, WANG XL, *et al.* Extraction of proanthocyanidins and polysaccharides from rosehip seeds and their in vitro activity [J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2022, 41(5): 355–361.
- [15] 刘畅, 张东艳, 邓珍菊, 等. 罗汉果籽蛋白的提取及功能特性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 93–102.
- LIU C, ZHANG DY, DENG ZJ, *et al.* Extraction and functional properties of *Momordica grosvenori* seed protein [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 93–102.
- [16] 罗旭璐, 袁雨川, 贺鹏, 等. 美藤果籽粕多酚的提取及其抗氧化活性测定[J]. 林业科技开发, 2015, 29(1): 75–78.
- LUO XL, YUAN YC, HE P, *et al.* Extraction and antioxidant activity of polyphenols from sacha inchi seed cake [J]. Journal of Forestry Engineering, 2015, 29(1): 75–78.
- [17] 刘欣, 李俊杰, 邹启文, 等. 毕节地区刺梨多糖提取工艺优化及产地间多糖含量与抗氧化活性差异研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(2): 297–306.
- LIU X, LI JJ, ZHOU QW, *et al.* Optimization of high-efficiency extraction of polysaccharide from *Rosa roxbunghii* and study on the difference of polysaccharide content and antioxidant activity among different regions in Bijie [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(2): 297–306.
- [18] 李春飞, 赵运, 张晓娟. 金刺梨渣中膳食纤维的提取及其性质研究[J]. 现代食品, 2022, 28(15): 89–93.
- LI CF, ZHAO Y, ZHANG XJ. Study on extraction and properties of dietary fiber from *Rosa roxbunghii* residue [J]. Modern Food, 2022, 28(15): 89–93.
- [19] 徐雅琴, 杜明阳, 杨露, 等. 超声波处理对黑加仑果实多糖性质与生物活性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(15): 148–153.
- XU YQ, DU MY, YANG L, *et al.* Effect of Ultrasonic treatment on

- properties and bioactivity of polysaccharides from blackcurrant fruit [J]. Food Science, 2019, 40(15): 148–153.
- [20] LI JC, CHEN ZX, SHI HM, *et al.* Ultrasound-assisted extraction and properties of polysaccharide from Ginkgo biloba leaves [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 93: 106295.
- [21] 张佐伊, 崔艳敏, 马月, 等. 羊肚菌多糖的提取、生物活性及理化特性研究[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 186–193.
- ZHANG ZY, CUI YM, MA Y, *et al.* Extraction, biological activity and physicochemical properties of *Morchella Esculenta* polysaccharides [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(8): 186–193.
- [22] TANG ZJ, HUANG GL, HUANG HL. Ultrasonic/cellulase-assisted extraction of polysaccharide from *Garcinia mangostana* rinds and its carboxymethylated derivative [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 99: 106571.
- [23] 牛新茹, 朱彤彤, 高志杰, 等. 紫苏叶多糖分离纯化及体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(9): 30–35.
- NIU XR, ZHU TT, GAO ZJ, *et al.* Separation and purification of *Perilla frutescens* polysaccharides and their antioxidant activities *in vitro* [J]. Food Research and Development, 2023, 44(9): 30–35.
- [24] 方嘉沁, 郑青松, 文雨欣, 等. 不同提取方法的莲籽心多糖结构与理化性质比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(1): 92–103.
- FANG JQ, ZHENG QS, WEN YX, *et al.* Comparison of the structures and physicochemical properties of polysaccharides extracted from *Plumula nelumbinis* by different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 92–103.
- [25] 窦祖满. 不同分子量黑莓多糖的制备、结构解析及其体外消化、酵解特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- DOU ZM. Preparation, structure analysis, *in vitro* digestion and fermentation of blackberry polysaccharides with different molecular weights [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2022.
- [26] 安雪菲, 但汉龙, 罗旭璐, 等. 无籽刺梨的体内外抗氧化活性及化学成分分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(5): 177–182.
- AN XF, DAN HL, LUO XL, *et al.* Antioxidant activities and content analysis of chemical constituents in *Rosa sterilis* [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2022, 42(5): 177–182.
- [27] SUN YJ, XU JT, ZHAO HY, *et al.* Antioxidant properties of fermented soymilk and its anti-inflammatory effect on DSS-induced colitis in mice [J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 9: 1088949.
- [28] 刘良伟, 任杰, 侯俊财, 等. 牡蛎多糖结构特征、理化特性及抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(6): 57–63.
- LIU LW, REN J, HOU JC, *et al.* Structural characteristics, physicochemical properties, and antioxidant activity of oyster polysaccharides [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(6): 57–63.
- [29] 施洋, 熊善强, 胡晓波, 等. 苍耳子多糖的理化性质与生物学活性研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022, 45(7): 978–983.
- SHI Y, XIONG SQ, HU XB, *et al.* Study on physicochemical properties and biological activities of polysaccharides from *Fructus Xanthii* [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2022, 45(7): 978–983.
- [30] 陈新华. 野生刺梨不同采收期多糖的含量分析[J]. 微量元素与健康研究, 2006(3): 20–21.
- CHEN XH. Analysis of polysaccharide content in wild *Rosa roxburghii* at different harvest periods [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2006(3): 20–21.
- [31] 白静, 张宗泽, 鲁敏, 等. 贵州不同地区野生刺梨果实品质分析[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(3): 43–46.
- BAI J, ZHANG ZZ, LU M, *et al.* Fruit quality of wild *Rosa roxburghii* germplasm resources from different regions in Guizhou [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(3): 43–46.
- [32] 李婕羚. 贵州喀斯特不同地区无籽刺梨品质研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2017.
- LI JL. A study on quality of *Rosa sterilis* from different Karst areas in Guizhou Province [D]. Guiyang: Normal University, 2017.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)