XXXX DOI:

乌苏里鼠李浆果花色苷提取及抗氧化活性研究

赵朝庭[1],李 娟[1],张 凤[2]
(1.重庆市中药研究院大健康中心,重庆 400065;2.重庆理工大学药学与生物工程学院,重庆 400054)

【摘 要】**目的**:以乌苏里鼠李浆果为研究对象,讨论其果实中花色苷的提取及抗氧化活性。**方法**:采用闪式-超声波辅助提取法,以AB-8树脂为材料对花色苷进行纯化;以超氧离子自由基(·O^{2-}),羟基自由基(·OH)及DPPH自由基的清除率为指标,研究了花色苷体外抗氧化活性。**结果**:不同洗脱纯化花色苷清除能力存在差异,其中60%、90%乙醇洗脱纯化花色苷对于DPPH自由基清除能力最强,其浓度在0.4 mg/mL时达到(90.92 ± 0.66)%、(90.73 ± 1.22)%强于Vc;60%、90%乙醇洗脱纯化花色苷浓度在0.6 mg/mL时,对羟基自由基(·OH)的清除率强于Vc,达到(76.11 ± 3.21)%和(88.05 ± 1.45)%;60%乙醇洗脱纯化花色苷的超氧自由基清除率0.4 mg/mL时略高于Vc,90%乙醇明显优于维生素C达到(50.31 ± 2.15)%;30%洗脱纯化花色苷的活性均低于Vc活性,但是在高浓度时,对于羟基自由基也基本与维生素C活性相似。**结论**:AB-8可以筛选以上花色苷,其花色苷具有良好清除自由基能力,产物具有开发价值。

【关键词】乌苏里鼠李浆果;花色苷;提取;AB-8;抗氧化
【中图分类号】R965.1 【文献标志码】A 【收稿日期】2025-07-25

Extraction and antioxidant activity of anthocyanin from the fruit of *Rhamnus ussuriensis* J. Vass

Zhao Chaoting[1], *Li Juan*[1], *Zhang Feng*[2]
(*1.Great Health Center, Chongqing Academy of Chinese Materia Medica; 2.School of Pharmacy and Bioengineering, Chongqing University of Technology*)

【**Abstract**】***Objective***: To investigate the extraction and antioxidant activity of anthocyanin from the fruit of *Rhamnus ussuriensis* J. Vass. ***Methods***: The method of flash extraction and ultrasound-assisted extraction was used for the purification of anthocyanin with AB-8 macroporous resin as the adsorbent, and the *in vitro* antioxidant activity of anthocyanin was analyzed based on the scavenging rates of superoxide anion radicals, hydroxyl radicals, and DPPH radicals. ***Results***: There was a significant difference in radical scavenging capacity between the different eluents of anthocyanin, among which the 60% and 90% ethanol eluents of anthocyanin had the strongest DPPH radical scavenging capacity, reaching (90.92 ± 0.66)% and (90.73 ± 1.22)%, respectively, at the concentration of 0.4 mg/mL, with a stronger capacity than vitamin C (Vc); the 60% and 90% ethanol eluents of anthocyanin had a higher scavenging rate of hydroxyl radicals than Vc at the concentration of 0.6 mg/mL, reaching (76.11 ± 3.21)% and (88.05 ± 1.45)%, respectively; the 60% ethanol eluent of anthocyanin had a slightly higher scavenging rate of superoxide radicals than Vc at the concentration of 0.4 mg/mL, and the 90% ethanol eluent of anthocyanin had a significantly better scavenging rate [(50.31±2.15)%] than Vc; the 30% ethanol eluent of anthocyanin had a significantly lower activity than Vc, but with a comparable hydroxyl radical scavenging activity to Vc at high concentrations. ***Conclusion***: Anthocyanins can be effectively purified via AB-8 macroporous resin, and the anthocyanins extracted from the fruit of *Rhamnus ussuriensis* J. Vass exhibit remarkable free radical scavenging capacity, suggesting that there is considerable potential for their development and application.

【**Key words**】fruit of *Rhamnus ussuriensis* J. Vass; anthocyanin; extraction; AB-8; antioxidant activity

作者介绍:赵朝庭,Email:zhaochaoting@163.com,
研究方向:针灸治疗神经性疾病。
通信作者:张 凤,Email:jun20172019@163.com。
基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项面上资助项目(编号:CSTB2023TIAD-LDX0026)。

乌苏里鼠李(*Rhamnus ussuriensis* J. Vass),属于落叶灌木[1]。国内主要分布于我国北方(例如:东北、华北、西北、蒙东等地[1])。此外俄罗斯远东及西伯利亚地区也有分布,其中东北地区野生资源较为丰富[1-2]。多生长于河边、山地林中及山坡[2],其可以多作为园林景观树栽植,其成熟果实呈黑褐色[3]。

果皮及果肉中富含花色苷、鞣质、黄酮及衍生物(黄酮苷、黄酮醇)[3],口感苦涩与以上成分密切相关。其树皮可入药,具有清热解毒、通便去火功效,这与其富含有酚类及蒽醌类密切相关[1,3]。现阶段研究显示:其生物存量较大,且果实富含花色苷色素(最高达到45 kg/T)[3-4],所以具有潜在开发价值。花色苷多属于水溶性天然色素,其具备抗氧化、抗炎、调节代谢等[6]生物活性,是一类良好功能成分,保健及医药用途广泛。

乌苏里鼠李果实作为一种具有潜在开发价值的野生植物资源,其果实中富含的花色苷作为一类重要的天然抗氧化活性物质,在功能性食品、化妆品等领域展现出广阔的应用前景[4-5]。然而,目前学界针对乌苏里鼠李果实花色苷的系统性研究仍较为匮乏,其活性成分的提取工艺优化及抗氧化功能挖掘尚未得到充分关注,这在一定程度上限制了该植物资源的综合开发与利用[5]。鉴于此,为高效提取乌苏里鼠李果实中的花色苷成分,本研究采用闪式-超声辅助提取法[6]。该方法结合了闪式提取的快速破壁优势与超声辅助的强化传质作用,能够在缩短提取时间的同时提高目标成分的得率,显著提升提取效率[6-7],所以本文采用对闪式-超声辅助提取法[8],为了优化提取工艺,本文进一步通过正交设计优化提取工艺[7-10]。此外文中选用AB-8大孔树脂对粗花色苷进行纯化处理,AB-8树脂因其对多酚类物质具有良好的吸附与解吸性能,可有效去除提取液中的杂质,提高花色苷的纯度与活性稳定性[8-9]。本文同时将进一步系统考查纯化后乌苏里鼠李果实花色苷的体外抗氧化活性,包括其对羟基自由基、DPPH自由基等[6,8],进一步考查其体抗氧化活性可以为乌苏里鼠李(*R. ussuriensis* J. Vass)果实的综合开发利用提供一定理论基础,为将来开发保健功能产品,化妆产品提供原料,助力野生植物资源的产业化转化与高附加值化利用。

1 材料与方法

1.1 实验材料及试剂

1.1.1 主要原料 乌苏里鼠李浆果:采用黑龙江牡丹江爱民区和西安区园林,经牡丹江师范学院于爽教授鉴定为乌苏里鼠李(*R. ussuriensis* J. Vass)典型成熟果实,实验用材料标本现藏于重庆市中医药学院。

1.1.2 主要试剂 矢车菊素-3-葡萄糖苷(HPLC,≥98%),西宝生物科技(上海)股份有限公司;DPPH(BR):美国Sigma公司;焦性没食子酸(AR):天津博迪化工股份有限公司;邻二氮杂菲(AR):天津大茂化学试剂厂;AB-8大孔吸附树脂:郑州勤实科技有限公司盐酸Tris(AR):北京索莱宝(Solarbio)科技有限公司;七水合硫酸亚铁(AR)及硫酸铁铵(AR):Sigma-Aldrich(进口分装);乙醇(AR)、双氧水(AR)、L-抗坏血酸(AR)等购买自天津永大化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器

ME204电子天平:德国Mettler Toledo集团公司;JHBE-50S闪式提取器:上海钒帜精密设备有限公司;N-1210BV-WB旋转蒸发仪:东京理化器械株式会社;SCIENTZ-5T超声波萃取装置:新芝生物有限公司;FD2010真空冷冻干燥机:日本东京理化器械株式会社;酸度计:德国赛多利斯集团;移液枪(量程1~10 μL):德国Eppondorf公司;UV-6100S紫外可见分光度计:上海元析仪器有限责任公司;AB-8层析柱(柱长70 cm,内径5 cm):瑞达恒辉。

1.3 实验方法

1.3.1 花色苷提取工艺流程 本文为了快速获得花色苷,采用闪式提取+超声波提取法相结合,通过闪式技术快速剪切结合超声波空化作用,实现快速提取花色苷。此外采用大孔树脂AB-8进行花色苷纯化,可以进一步富集不同剂型花色苷,其提取工艺流程见图1。

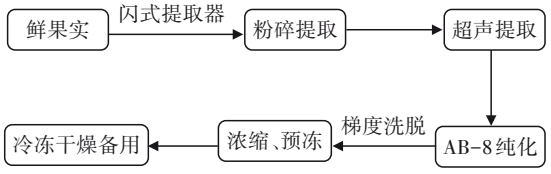


图1 提取工艺流程

1.3.2 花色苷提取工艺的优化 在参考文献及前期单因素试验的基础上[13],综合分析最终以闪式快速提取时间(A)、超声功率(B)、料液比或固液比(C)、超声提取时间(D)等为正交试验因子[11-14],以乌苏里鼠李果实的花色苷得率为定量指标,采用$L_9(3^4)$正交试验表[13-17],各因素水平设计见表1。

表1 正交试验水平表

水平	因素			
	闪式提取时间A (s)	超声功率B (W)	料液比C (g/mL)	超声时间D (min)
1	50	500	1:5	30
2	100	600	1:10	40
3	150	800	1:15	50

1.3.3 花色苷标准曲线制作 采用直接法测定花色苷相对含量[18-19],以1%盐酸-甲醇溶液作为溶剂,以矢车菊素-3-葡萄糖苷为对照品,配制约在15 μg/mL[18]、30μg/mL、45 μg/mL、60 μg/mL、70 μg/mL在518~525 nm处测定吸光度(absorbance,A值)[19-20],其中1%盐酸甲醇作为空白,制作标准曲

线，并对不同工艺条件下样品进行检测。

1.3.4 花色苷制备及纯化 文中采用闪式-超声波复合法[9-12]提取相关活性物质，具体操作如下：精确称取100.0 g鲜果备用；

闪式提取：闪式提取参数依次为[11-12,20]：以1%盐酸的90%乙醇（盐酸1%，乙醇90%，其余为水）[11-12]为提取剂，固液比1∶5~1∶15，提取时间50~150 s，转速为5 000 r/min[13-14]，室温（25 ℃）提取[13]。

超声提取：冷却至室温后（20 ℃左右），将料液全部转入超声提取器中，超声参数如下[13-14,16,20-21]：超声功率500~800 W，提取温度在25 ℃[15-16,21]，超声提取时间30~50 min，提取级数：1~3次[13,17]，旋蒸法浓缩合并相关滤液，其浓缩至原体积1/6~1/10之间[8,17,20]。

纯化：采用湿法上柱[8,22-23]，在分别以30%、60%、90%的甲醇溶液依次梯度洗脱（流速控制2 mL/min[23]），收集馏分，TLC法[硅胶G板，展开剂为氯仿∶甲醇∶乙酸（5∶3∶1）[8,16,24]，10%硫酸乙醇显色体系]合并洗脱纯化花色苷，其中30%乙醇获得2BV洗脱纯化花色苷，60%乙醇获得2.5BV，90%乙醇获得2BV洗脱纯化花色苷。

干燥：所得相同的洗脱纯化花色苷浓缩后，-70 ℃低温冰箱预冻24 h，冷冻干燥3 d后获得干粉、备用[20]。

1.3.5 不同馏分抗氧化活性研究 样品液制备：分别精密称取0.250 g的花色苷（AB-8洗脱纯化物）冻干品[20]，用1/3量的去离子水不断搅拌使提取纯化物溶解（或者超声溶解：超声时间5 min，温度4℃，超声功率600 W，超声频率50 kHZ）[18,20-21]，定容至250 mL棕色容量瓶可以获得1 mg/mL的花色苷提取物母液。用母液分别稀释配制1.0、0.8、0.6、0.4、0.2以及（0.1、0.05）mg/mL的花色苷提取（洗脱纯化后冻干的花色苷）物溶液[20-21]，在4 ℃下，遮光冰箱内保存。

阳性对照液维生素C标准也配制：精密称取0.250 g L-抗坏血酸（Vc）粉末[13,20]，加入超纯水使其溶解（适当涡旋），依据前面样品梯度配制对照不同浓度的待测阳性样品，用棕色瓶4℃遮光保存，以上需要现用现配[13,21]。

1.3.5.1 超氧自由基（$\cdot O^{2-}$）清除能力研究 本文依照邻苯三酚在碱性条件下可发生自氧化反应的特性，且属于广泛使用检测方法[20,24]，所以以邻苯三酚自氧化（pyrogallol autoxidation method）法测定纯化花色苷超氧自由基（$\cdot O^{2-}$）清除能力[25-26]。具体如下：在室温下（不超过30℃），以10 mmol/L HCl溶液配制空白参照，其余加入不同浓度样品及阳性对照品（Vc），在波长325 nm左右[20-21,26]，每隔30 s测1次吸光度，控制自氧化速率（A值）0.060~0.065/min[20-21,26]，测定3.5 min后，终止试验并计算结果。

样品测定：在不同测试管中依次加不同浓度待测样品或者阳性对照品10 μL[20-21]（注意一定加入液面下，并适当清洗枪头），依照1.3.5.1方法操作，涡旋混合器摇匀（10~20 s），立即测定，检测重复3次[24]，其清除率计算公式如下：

$$清除率(\%) = \left[(C_0 - C_1)/C_0\right] \times 100$$

式中：C_0自氧化变化；C_1（样品）为加入样品液后吸光值A。

1.3.5.2 羟基自由基（·OH）清除能力研究 羟基自由基（·OH）是活性氧（ROS）中氧化性最强的一种[20,28]，经典检测多采用Fenton反应体系[28]。因此，本文采用$C_{12}H_8N_2$（1，10-菲啰啉）-$FeSO_4$-H_2O_2体系构建羟基自由基（·OH）[21,28]，并检测样品（或Vc对照品）的清除能力[25,27]，依次加入样品或空白（去离子水替代）等涡旋混合均匀，检测波长在510 nm处[13,25,27]。以上实验重复3次，计算平均值，其计算公式如下：

$$清除率(\%) = \left[(H_1 - H_2)\right]/\left[H_3 - H_2\right] \times 100$$

式中：H_1为样品+$C_{12}H_8N_2$-$FeSO_4$-H_2O_2体系溶液的吸光度；H_2为加H_2O_2溶液+空白样品体系溶液的吸光度；H_3为不加H_2O_2和样品的体系溶液的吸光度；

1.3.5.3 DPPH自由基清除能力测定 依据文献[20,27-32]方法，其中略有改动，在20 mL试管中，依次精确加入2.5 mL DPPH溶液（0.1 mmol/L）和1.5 mL90%乙醇，总体积为4 mL，涡旋（10s）混合均匀，检测其记为D_0[20,28-29]；同上步骤操作和1.5 mL待测样品（纯化花色苷或阳性药Vc）溶液，测定值为D_1[20,27-28]；空白：加入2.5mL 90%乙醇和1.5 mL待测样品溶液，测定值记为D_2[29-30]。溶液涡旋（10~15 s）混匀[20-21]，在黑暗条件下（遮光）反应20~25 min，在525 nm下测定其吸光度[20,29]。所有实验重复3次，具体的计算公式如下：

$$清除率(\%) = \left[1 - (D_1 - D_2)/D_0\right] \times 100$$

1.4 统计学方法

本文采用Excel2010或SPSS对抗氧化等数据进行相对标准偏差计算[20]，Origin2018制作相关抗氧化曲线[13,24]。

2 结果与讨论

2.1 花色苷标准曲线

依据1.3.3方法建立标准曲线，其结果显示矢车菊素-3-葡萄糖苷对照品在（13.9~69.4）μg/mL，线性相关系数R^2=0.999 4，线性关系良好，其回归方程为Y=0.001 9x+0.039 3。

2.2 正交工艺优化

为优化提取工艺，本实验选取闪式提取时间（A）、超声提取功率（B）、料液比（或固液比）（C）及超声提取时间（D）作为主要影响因素，采用正交设计法进行实验[12,20]。实验选用$L_9(4^3)$正交表安排试验，每组实验均平行操作3次[20-21]，最终结果以3次平行实验的平均值计[15]，具体实验结果如表2所示。

结果如表2，其正交极差结果R值显示提取影响因素对提取率影响的程度依次为：超声提取时间（D）>闪式提取作用时间（A）>超声功率（B）>料液比或固液比（D）。且其最佳工艺条件为7号（$A_3B_1C_3D_2$），其闪式提取时间为150 s，料液比1∶15，超声波提取时间为40 min，超声提取功率在500 W，其平均得率可达到3.42%。为了进一步优化并确认最佳提取参数[10,21]，依据K值变化进一步讨论，发现可能最佳组合

表2 正交分析结果

试验号	闪式提取时间(s)	超声功率(W)	料液比(g/mL)	超声时间(min)	得率(%)
1	50	500	1∶5	30	2.32
2	50	600	1∶10	40	2.78
3	50	800	1∶15	50	1.79
4	100	500	1∶10	50	1.98
5	100	600	1∶15	30	3.16
6	100	800	1∶5	40	2.98
7	150	500	1∶15	40	3.42
8	150	600	1∶5	50	2.68
9	150	800	1∶10	30	3.04
K1	2.297	2.537	2.660	2.840	
K2	2.707	2.873	2.600	3.060	
K3	3.047	2.603	2.790	2.150	
R	0.750	0.300	0.190	0.910	

$A_3B_2C_3D_2$,但是其不在正交设计表范围内,所以需要进一步验证[10,13],以进一步获得明确的最佳工艺。将$A_3B_2C_3D_2$组合依据前方法设计提取,其花色苷最终得率为2.83%,其结果略低于组合$A_3B_1C_3D_2$(第7组),所以最终确定最佳工艺为$A_3B_1C_3D_2$。为了进一步验证工艺稳定性,在最佳工艺条件下(第7组),对其进行放大实验5倍(500 g),实验平行3次,其收率最终为(3.66±0.09)%。因此其所得工艺相对稳定,重复性也较好。后续依据以上最佳工艺参数点进行提取乌苏里鼠李果实花色苷,并对粗提取花色苷进行AB-8树脂纯化。

2.3 不同馏分体外抗氧化研究

乌苏里鼠李果实花色苷提取物中含多种花色苷及多酚类物质[4,28],为了进一步研究不同极性甲醇洗脱的花色苷可能的抗氧化价值,本文通过与阳性对照(维生素C)抗氧化比较[20-21,27],进一步确定相对抗氧化活性,可以为进一步为乌苏里鼠李果实花色苷进一步开发综合利用提供一定的理论基础。

2.3.1 不同浓度甲醇洗脱物对超氧自由基的清除作用结果 其不同浓度甲醇洗脱乌苏里鼠李果实花色苷组分对超氧自由基($\cdot O^{2-}$)的清除作用能力,其结果具体可见图2。

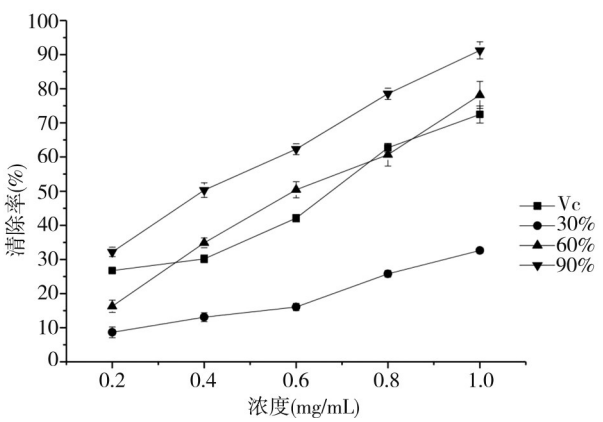


图2 纯化物对超氧自由基的清除作用

依据图2结果,不同极性花色苷(洗脱组分)成分[20,31]对于超氧自由基去除能力存在显著的差异,当浓度在0.4 mg/mL时,60%、90%甲醇洗脱纯化花色苷活性均已经高于阳性对照品Vc,其中90%甲醇洗脱纯化花色苷可达到52.48%左右,随着花色苷浓度增加清除能力进一步增大,显示一定的正相关,其最高清除可达到94.12%;60%乙醇洗脱花色苷在浓度达到0.8 mg/mL,达到64.19%。而30%洗脱纯化花色苷均低于以上组分,这可能是甲醇浓度较低,30%浓度较大极性下,有一些糖苷、多肽或者果胶类等出现或者残留出现抗氧化能力降低[4,20,24]。此外,30%,60%,90%洗脱纯化花色苷清除率在0.2~1.0 mg/mL浓度范围内均呈线性相关(R^2=0.962,P<0.05;R^2=0.992,P<0.05;R^2=0.996,P<0.05)。

2.3.2 不同浓度甲醇洗脱物对羟基自由基的清除作用结果 不同浓度甲醇洗脱组分对羟基自由基($\cdot OH$)的清除作用其具体结果可见图3。

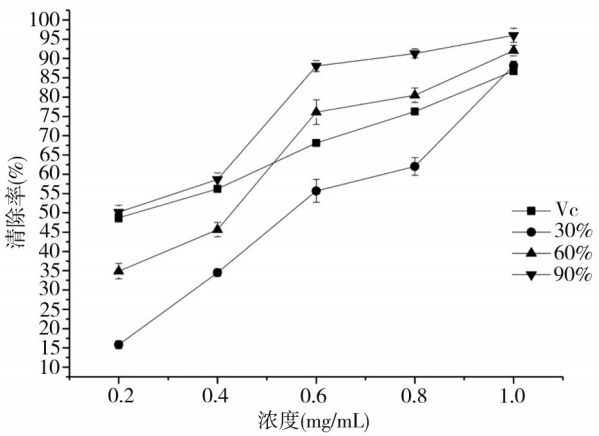


图3 纯化物对羟基自由基的清除作用

依据图3结果,以上乌苏里鼠李纯化花色苷均表现良好羟基自由基的清除作用或能力,当浓度1 mg/mL其结果均除30%甲醇洗脱组分在88.17左右外,60%及90%甲醇纯化花色苷清除能力均在90%以上,在低浓度下(0.2~0.6 mg/mL),其90%洗脱纯化花色苷对于羟基自由基($\cdot OH$)抗氧化作用略强于维生素C(阳性药)。当花色苷的达到或超过0.60 mg/mL时,60%、90%甲醇洗脱纯化的乌苏里鼠李果实花色苷均强于Vc,其分别达到78.58%,89.17%,显示出良好出色的体外抗氧化能力。现代研究表明,由于羟基自由基与人体衰老有密切的联系[20-21],所以经过AB-8纯化后60%、90%洗脱乌苏里鼠李果实花色苷显示出一定开发抗衰老产品的潜质[20,29-33]。同时30%洗脱组分,其在高浓度下也有一定羟基自由基抗氧化能力,其浓度在0.8mg/mL时,可以达到64.57%清除效果。此外,30%、60%、90%洗脱纯化花色苷清除率在0.2~1.0 mg/mL均呈线性相关(R^2=0.977,P<0.05;R^2=0.937,P<0.05;R^2=0.886,P<0.05)。

2.3.3 不同浓度甲醇洗脱物对DPPH自由基的清除作用结果 洗脱物(乌苏里鼠李果实花色苷纯化物质)对DPPH自

由基的清除作用显示一定正相关，其具体结果见图4。

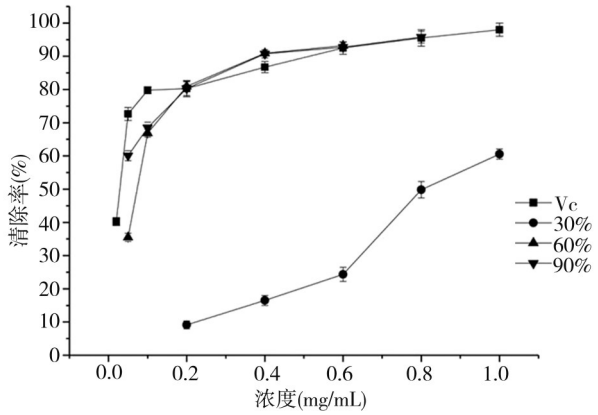


图4 纯化物对DPPH自由基的清除作用

通过研究其AB-8数值纯化后花色苷，当洗脱浓度在60%、90%时，纯化花色苷均显示出对DPPH自由基、羟基自由基及超氧自由基良好清除能力，当其浓度在0.60 mg/mL时均略高于阳性对照Vc，甚至超过5%~20%清除效果。其中30%甲醇洗脱纯化花色苷由于存在可能其他成分或者一些杂质（其的大分子多糖，蛋白、多肽，果胶等[20-21,27,32]），其抗氧化就出现相对降低的现象，也从一个侧面说明，通过AB-8纯化后有利于提高产品抗氧化能力，但是对于大分子物质其保留值较低，为此要进一步讨论30%洗脱组分，可以进一步采用中等剂型大孔树脂进一步纯化[33]。

此外，60%及90%洗脱花色苷明显在中间浓度0.6 mg/mL时，其DPPH清除能力达到91.32%，90.19%，显示较好清除相关自由基能力。同时也发现，在DPPH自由检测中，30%洗脱纯化花色苷清除率在0.2~1.0 mg/mL均呈良好线性相关（R^2=0.948，P<0.05）；60%，洗脱纯化花色苷清除率在0.05~0.6 mg/mL均呈对数曲线相关（R^2=0.909，P<0.05）；90%洗脱纯化花色苷清除率在0.05~0.8 mg/mL均呈线性相关（R^2=0.829，P<0.05）。

3 结论与展望

乌苏里鼠李在东北地区（大小兴安岭、张广才岭；长白山腹地、通化；本溪、抚顺、丹东）广泛分布或者种植，其浆果资源较为丰富，但是对开发相对落后，除了基本生物学研究，其相关花色苷提取等文献较少，因此有一定的开发潜力。本文通过闪式-超声波复合提取法对其所含花色苷进行提取研究，其正交实验表明：与传统方法比较闪式提取结合超声波提取法具有省时、低能耗优点，其最佳工艺下收率可达3.5%左右，且放大后其结果显示出较好的稳定性，唯一缺点就是闪式提取工业化设备普遍较小，大规模提取需要进一步优化设备台套数，采用并行实验设备购置。通过AB-8树脂纯化及体外抗氧化研究表明，其60%、90%馏分具有显著的抗氧化活性，纯化后且易冻干，这与30%洗脱中果糖成分较多有一定关联。其中在羟基自由基清除方面也显示了良好的性能，除30%乙醇馏分外，其它馏分接近或超过维生素C活性，当浓度0.60 mg/mL就达到52%~65%；其DPPH自由基清除也显示良好活性，在0.2 mg/mL浓度下可以达到80%以上；超氧自由基方面多糖活性最高在0.4 mg/mL浓度下时超过维生素C（Vc），在1 mg/mL浓度下可以达到82%~94%。因此，乌苏里鼠李果花色苷具有进一步开发的价值。

乌苏里鼠李其果实富含花色苷，具有较大的研究潜力，但目前针对乌苏里鼠李花色苷的研究尚处于起步阶段，后续可从多维度深入拓展。在提取与纯化技术优化方面，现有常规提取方法对乌苏里鼠李花色苷的提取率和纯度有待提高。未来可尝试将超高压提取、脉冲电场提取、酶促提取等与传统方法相结合，进一步探索最佳工艺组合。在纯化环节，除了目前常用的大孔吸附树脂法，也可以采用高速逆流色谱、制备型高效液相色谱等先进技术，以获取高纯度的乌苏里鼠李花色苷单体物质，为后续研究奠定物质基础。

乌苏里鼠李花色苷在功能特性与应用领域也存在一定的研究空间。一方面，乌苏里鼠李（*Rhamnus ussuriensis*）作为我国东北寒地特色药用植物，其果实中富含的花色苷类成分（主要为矢车菊素-3-葡萄糖苷、芍药素-3-阿拉伯糖苷等），其花色苷多数是天然水溶性多酚类色素，也是一类具有潜在药用价值的活性成分，具有抗氧化、抗炎、抗衰老、保护心脑血管、可改善胰岛素抵抗，调节血糖等药理活性[34]，以抗氧化为例，对DPPH自由基、$ABTS^+$自由基的清除率可达82.3%~91.5%（高于同等浓度的葡萄皮花色苷），且能通过提升谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）活性，降低脂质过氧化产物（MDA）水平，缓解氧化应激损伤等，在代谢调节方面，体外细胞实验表明其可抑制α-葡萄糖苷酶活性，延缓碳水化合物水解吸收，进而且在3T3-L1 adipocytes细胞模型中能促进胰岛素介导的葡萄糖转运体（GLUT4）膜定位，改善胰岛素抵抗，但是对其系统评估其多重生物活性及作用机制相

对尚有一定空间，多数研究聚焦单一活性（如抗氧化），缺乏对“抗氧化-抗炎-代谢调节”协同作用的整合分析，尤其对神经保护、肝损伤修复等潜在活性的探索尚未开展；二是纯化产物的活性差异未明确，现有研究多采用粗提物（花色苷纯度30%~50%），而大孔树脂吸附、高速逆流色谱等纯化工艺获得的高纯度单体（纯度>90%）或组分，其活性强度与作用特异性是否提升，仍需对比验证尤其是纯化后产物的相关药理药效活性，为此可进一步开展体内体外作用机制研究，如：Nrf2-ARE通路、AMPK-mTOR-Sirtuins轴、PI3K-AKT通路等方面研究，明确其在预防和治疗相关疾病方面的作用机制，确定量效关系，为开发功能性食品、药品提供扎实的科学依据。另一方面，考虑到花色苷稳定性差的问题，开展增强稳定性的稍微滞后，所以通过微胶囊化、主客包合、分子修饰等技术手段，提高乌苏里鼠李花色苷在不同环境条件下的稳定性，尤其对于温度、空气氧气抵抗能力，可以进一步拓宽其在食品工业及保健品开发领域的应用范围。

参 考 文 献

[1] 吴青松，刘英卉，李 硕，等. 乌苏里鼠李茎叶的解剖结构及其生态适应性[J]. 植物研究，2023，43(3)：461-469.

Wu QS，Liu YH，Li S，et al. Anatomical structure and ecological adaptability of stems and leaves of *Rhamnus ussuriensis*[J]. Bull Bot Res，2023，43(3)：461-469.

[2] 刘 洋，郭 娇，王 娟，等. 乌苏里鼠李种子休眠机理及萌发特性研究[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2020，48(12)：127-135.

Liu Y，Guo J，Wang J，et al. Seed dormancy mechanism and germination characteristics of *Rhamnus ussuriensis*[J]. J Northwest A F Univ Nat Sci Ed，2020，48(12)：127-135.

[3] 肖哲丽，王 宁，王宁霞，等. 高效液相色谱法测定化妆品中6种黄酮类化合物[J/OL]. 分析试验室，2025：1-6. [2025-01-07]. https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FXSY2025010700H&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

Xiao ZL，Wang N，Wang NX，et al. Determination of 6 flavonoids in cosmetics by HPLC[J/OL]. Chin J Anal Lab，2025：1-6. [2025-01-07]. https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FXSY2025010700H&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[4] 金光德. 鼠李果红色素的提取及其性质的研究[D]. 延吉：延边大学，2006.

Jin GD. Study on the extraction and properties of red pigment from rhamnus fruit. Yanji：Yanbian University，2006.

[5] Li ZY，Tian JL，Cheng Z，et al. Hypoglycemic bioactivity of anthocyanins：A review on proposed targets and potential signaling pathways [J]. Crit Rev Food Sci Nutr，2023，63(26)：7878-7895.

[6] 孟庆举，易 红，杨 华，等. 闪式提取法用于紫草的工艺条件研究[J]. 中国中药杂志，2013，38(14)：2302-2305.

Meng QJ，Yi H，Yang H，et al. Studies on flash extraction methods of *Arnebia euchroma*[J]. China J Chin Mater Med，2013，38(14)：2302-2305.

[7] 夏念桐，路 娟，李书洋，等. 响应面法优化余甘子中多酚快速提取工艺[J]. 食品工业，2024，45(4)：127-131.

Xia NT，Lu J，Li SY，et al. Optimization on the rapid extraction process of polyphenols from *Phyllanthus emblica* L. by response surface method [J]. Food Ind，2024，45(4)：127-131.

[8] 韩覃泽. AB-8大孔树脂联合高速逆流色谱分离纯化蓝靛果花色苷[J]. 食品科技，2022，47(3)：231-237.

Han XZ. Separation and purification of anthocyanins from *Lonicera edulis* by AB-8 macroporous resin-high speed counter-current chromatography[J]. Food Sci Technol，2022，47(3)：231-237.

[9] 张 贺，王晓蕊，刘亚旗，等. 霍山石斛黄酮的闪式提取工艺优化及其抗疲劳功能研究[J]. 食品科技，2024，49(6)：247-254.

Zhang H，Wang XR，Liu YQ，et al. Optimization of flash extraction process for flavonoids from *Dendrobium huoshanense* and its anti-fatigue function[J]. Food Sci Technol，2024，49(6)：247-254.

[10] 田 磊，马晓宁，秦令祥，等. 黄芪多糖的超声波-闪式协同提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工，2024，24(6)：55-61.

Tian L，Ma XN，Qin LX，et al. Optimization of ultrasonic-flash assisted extraction process of *Astragalus membranaceus* polysaccharide and its antioxidant activity[J]. Storage Process，2024，24(6)：55-61.

[11] 关 皎，丁思宇，季玲玲，等. 超声法与闪式提取法提取刺五加中刺五加苷B的工艺对比研究[J]. 中国饲料，2024(11)：47-52.

Guan J，Ding SY，Ji LL，et al. Comparative study on extraction technology of *Acanthopanax senticosus* glycoside B by ultrasonic method and flash extraction method[J]. China Feed，2024(11)：47-52.

[12] 柴军红，何婷婷，金志民，等. 花楸叶活性成分提取工艺的优化[J]. 食品研究与开发，2014，35(3)：23-27.

Chai JH，He TT，Jin ZM，et al. Optimization of extraction process for active components from *Sorbus leaves*[J]. Food Res Dev，2014，35(3)：23-27.

[13] 何婷婷，柴军红，金志民，等. 软枣猕猴桃多糖、黄酮提取工艺的优化及抗氧化活性[J]. 江苏农业科学，2017，45(21)：199-201.

He TT，Chai JH，Jin ZM，et al. Optimization of extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides and flavonoids from *Actinidia arguta*[J]. Jiangsu Agric Sci，2017，45(21)：199-201.

[14] 崔 悦，周新新，汤鑫淼，等. 超声法与闪式提取法提取栀子中栀子苷的工艺对比研究[J]. 中国饲料，2022(24)：17-21.

Cui Y，Zhou XX，Tang XM，et al. Comparative study on ultrasonic extraction and flash extraction of geniposide from Gardeniae Fructus[J]. China Feed，2022(24)：17-21.

[15] 郑 义，邵 颖，陈安徽，等. 益智仁总黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学，2014，35(6)：44-49.

Zheng Y，Shao Y，Chen AH，et al. Optimization of ultrasonic-assisted

extraction and antioxidant activities of total flavonoids from *Alpinia oxyphylla* fruits[J]. Food Sci,2014,35(6):44-49.

[16] 张秀娟,刘治廷,杨诗涵,等. 超声波辅助酶法提取蓝莓果渣花色苷的工艺优化及降解动力学[J]. 精细化工,2022,39(10):2069-2077,2098.

Zhang XJ, Liu ZT, Yang SH, et al. Condition optimization and degradation kinetics of anthocyanins from blueberry pomace by ultrasonic-assisted enzymatic extraction[J]. Fine Chem, 2022, 39(10): 2069-2077,2098.

[17] 温舒然,马占山,詹冬玲. 灵芝三萜提取工艺的优化[J]. 吉林大学学报(理学版),2024,62(2):452-463.

Wen SR, Ma ZS, Zhan DL. Extraction process optimization of *Ganoderma* triterpenes[J]. J Jilin Univ Sci Ed,2024,62(2):452-463.

[18] 王 丹,于情情,马 越,等. 蛋白质与笃斯越桔花色苷结合提高其稳定性研究[J]. 食品科技,2019,44(2):280-284.

Wang D, Yu QQ, Ma Y, et al. Study on interaction of the *Vaccinium uliginosum* Linn. anthocyanin with bovine serum albumin(BSA) and increasing stability property[J]. Food Sci Technol,2019,44(2):280-284.

[19] 沈舶宁,苗卫东,王琪瑶,等. 黑果腺肋花楸根、茎、叶中总多糖、花色苷的含量测定[J]. 广东蚕业,2025,59(1):74-76.

Shen BN, Miao WD, Wang QY, et al. Study on the determination of total polysaccharides and anthocyanins in the roots, stems and leaves of the black chokeberry[J]. Guangdong Seric,2025,59(1):74-76.

[20] 柴军红,何婷婷,金志民,等. 黑加仑果渣提取物抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(1):16-20.

Chai JH, He TT, Jin ZM, et al. Study on antioxidant activity of blackcurrant Marc extract[J]. Food Res Dev,2018,39(1):16-20.

[21] 柴军红,何婷婷,赵 楠,等. 五叶地锦果实多糖、花色苷抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. 湖北农业科学,2019,58(15):97-101,138.

Chai JH, He TT, Zhao N, et al. Study on antioxidant and antitumor activity of polysaccharide and anthocyanin from *Parthenocissus quinquefolia* fruit[J]. Hubei Agric Sci,2019,58(15):97-101,138.

[22] 刘树勋,杨航宇,王绍阳,等. 野生蓝莓酒皮渣花色苷及其抗氧化活性研究[J]. 中国酿造,2016,35(2):115-118.

Liu SX, Yang HY, Wang SY, et al. Anthocyanins of wildblueberry wine pomace and its antioxidant activity[J]. China Brew, 2016, 35(2): 115-118.

[23] 何维刚,孙承骏,吕世钧,等. 大孔树脂-C18柱联用分离纯化β-石竹烯及其抗氧化性研究[J]. 化学工业与工程,2025,42(2):35-44.

He WG, Sun CJ, Lü SJ, et al. Study on the process of macroporous resin-C18 column separation and purification of β-caryophyllene and its antioxidation properties[J]. Chem Ind Eng,2025,42(2):35-44.

[24] Meng XJ, Li YC, Xuan JH, et al. AB-8大孔树脂对蓝莓花色苷的动态吸附与解吸特性研究[J]. Sci Technol Food Ind,2007,28(12):94-96,99.

孟宪军,李颖畅,宣景宏,等. AB-8大孔树脂对蓝莓花色苷的动态吸附与解吸特性研究[J]. 食品工业科技,2007,28(12):94-96,99.

[25] Liu CH, Cai LY, Lu XY, et al. Effect of postharvest UV-C irradiation on phenolic compound content and antioxidant activity of tomato fruit during storage[J]. J Integr Agric,2012,11(1):159-165.

[26] Liu W, Wang JJ, Zhang ZZ, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of a fructan from the roots of *Arctium lappa* L[J]. Int J Biol Macromol,2014,65:446-453.

[27] 刘思琳,高 原,武晓艺,等. 蒲公英总黄酮的提取工艺优化及抗氧化活性评价[J]. 化学工程师,2024,38(1):88-91.

Liu SL, Gao Y, Wu XY, et al. Optimization of extraction process and evaluation of antioxidant activity of total flavonoids from Dandelion[J]. Chem Eng,2024,38(1):88-91.

[28] 陈晶晶,张留记,屠万倩,等. 菊花清除自由基动力学特性及对羟基自由基介导的2-脱氧核糖裂解的抑制作用[J]. 食品安全质量检测学报,2023,14(23):206-213.

Chen JJ, Zhang LJ, Tu WQ, et al. Dynamic characteristics of free radical scavenging of *Chrysanthemum morifolium* and its inhibitory effects on hydroxyl radical-mediated 2-deoxyribose degradation[J]. J Food Saf Qual,2023,14(23):206-213.

[29] 雷雨洁,程菁菁,汤 成,等. 蝉蜕中甲壳素的提取工艺优化及其抗氧化活性和止血效果评价[J]. 天然产物研究与开发,2024,36(2):268-278.

Lei YJ, Cheng JJ, Tang C, et al. Optimization of extraction process of chitin from Periostracum Cicadae and evaluation of antioxidant activity and hemostatic effect[J]. Nat Prod Res Dev,2024,36(2):268-278.

[30] Shang HM, Zhou HZ, Yang JY, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of inulin[J]. PLoS One,2018,13(2):e0192273.

[31] 申子佳,陈飞龙,贾朝玉,等. 酸豆外果皮黄酮类成分及其抗氧化活性评价[J]. 天然产物研究与开发,2023,35(11):1877-1886.

Shen ZJ, Chen FL, Jia ZY, et al. Flavonoids from the pericarp of *Tamarindus indica* Linn. and their antioxidant activity[J]. Nat Prod Res Dev, 2023,35(11):1877-1886.

[32] 初宇轩,张 震,张凤东,等. 茯苓多糖对鹦鹉鱼抗氧化、肝功能、非特异性免疫以及消化酶的影响[J]. 天津农业科学,2022,28(9):39-45.

Chu YX, Zhang Z, Zhang FD, et al. Effects of *Poria cocos* polysaccharide on antioxidant, liver function, non-specific immunity and digestive enzymes of parrot fish[J]. Tianjin Agric Sci,2022,28(9):39-45.

[33] 徐华容,李丽琪,刘 阳,等. AB-8大孔树脂纯化紫色马铃薯花色苷的工艺研究[J]. 中国药学杂志,2017,52(24):2141-2145.

Xu HR, Li LQ, Liu Y, et al. Purification study of purple *Solanum tuberosum* anthocyanins by AB-8 macroporous[J]. Chin Pharm J,2017,52(24):2141-2145.

[34] Li L, Jia QQ, Zhang HQ, et al. Tissue lipidomics, network pharmacology, and molecular docking to explore the therapeutic mechanism of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. against gouty arthritis[J]. Food Funct,2023,14(15):7011-7023.

(责任编辑:李青颖)