

黑果腺肋花楸花色苷研究进展

蒋欣琪,张悦健,李腾腾,王哲义,王饶颖,卢涛*

(北京中医药大学 生命科学学院,北京 100029)

摘要:黑果腺肋花楸(*Aronia melanocarpa* (Michx.) Ell.)是一种新兴的小浆果树,含有花色苷、原花青素和花青素等生物活性成分。其中,花色苷被称为“第七类营养素”,效用颇多,包括抗氧化、抗辐射、抗炎症、降血脂等。花色苷在修复调理胃肠道疾病、肿瘤、糖尿病等方面也有显著作用,国际上主要将其应用于医药与食品工业领域。从黑果腺肋花楸活性成分研究入手,通过深度整合、挖掘分析,从提取工艺、生理特性、医用研究等方面重点论述黑果腺肋花楸有效成分花色苷的研究进展,旨在充分挖掘黑果腺肋花楸花色苷的功效,为我国中医药产业进一步开发出相应的食品、化妆品与药品等提供参考与理论指导。

关键词:黑果腺肋花楸;花色苷;提取工艺;生理特性;医用研究

DOI:10.11954/ytctyy.202305050

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

中图分类号:R284

文献标识码:A

文章编号:1673-2197(2023)05-0240-06



Research Progress on Anthocyanin of *Aronia Melanocarpa*

Jiang Xinqi, Zhang Yuejian, Li Tengting, Wang Zheyi, Wang Raoying, Lu Tao*

(College of Life Science, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China)

Abstract: Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) is an edible dark purple berry rich in bioactive components, such as anthocyanin, procyanidin and anthocyanin, etc. Anthocyanin is known as the seventh nutrient with much effects, including anti-oxidation, anti-radiation, anti-inflammation and lowering blood lipid, etc. It refers to pharmaceutical and food industry internationally, and highlights in some diseases (gastrointestinal diseases, neoplasm and diabetes, etc.). Herein the bioactive components of *Aronia melanocarpa* were introduced firstly, and then we insight analysed the research progress of anthocyanin, mainly focused on the extraction process, physiological characteristics and medical research, etc. Based on this review, anthocyanin was profound acknowledged, which would extend its bioactive function, and give further scientific instruction and theoretical basis to developing Chinese food, cosmetics and drugs.

Keywords: *Aronia Melanocarpa*; Anthocyanin; Extraction Process; Physiological Characteristics; Medical Research

黑果腺肋花楸(*Aronia melanocarpa* (Michx.) Ell.),简称黑果,别名不老莓,是蔷薇科腺肋花楸属多年生落叶灌木,原产于北美、欧洲等地,天然分布于北美大湖区东北部,对土壤、气候适应性极强。研究表明,黑果腺肋花楸中富含生理活性物质,如花色苷、黄酮类、花青素、胡萝卜素等物质^[1]。黑果于20世纪90年代引入中国,是一种具有生态性、食用性与药用性的经济树种。

花色苷是一类由花色素与糖以糖苷键形式结合而成的化合物,广泛存在于不同植物的花、果实和叶

的细胞液中,在黑果中含量最高^[2],约占其多酚类化合物总量的26%。花色苷具有多种生物活性,包括抗氧化^[3]、抗癌^[4]、抑菌^[5]、抗炎^[6]等;还被广泛应用于预防和治疗心血管疾病^[7]、糖尿病^[8],可增强人体免疫系统功能等,其目前的提取技术已较为成熟,工艺多样化、操作简便、提取率较高,为进一步开发黑果花色苷提供了技术保障。综上,本研究先整体综述了黑果腺肋花楸的活性成分,再从提取工艺、生理功能与医用研究三个角度,结合近年来国内外对黑果有效成分花色苷的最新研究成果,重点阐述黑果

收稿日期:2022-10-17

基金项目:北京市双一流高层次人才科研经费资助项目(1000041510053);北京中医药大学校内基金;教育专创融合—慧生美不老酵素(1120063520011)

作者简介:蒋欣琪(1998—),男,北京中医药大学硕士研究生,研究方向为中药有效成分分析。E-mail:13255185895@163.com

通讯作者:卢涛(1968—),男,博士,北京中医药大学教授,博士生导师,研究方向为中药生物活性和中西医结合基础研究。E-mail:taolu@bucm.edu.cn

花色苷的研究进展。

1 黑果腺肋花楸的主要成分

1.1 营养成分

黑果腺肋花楸的营养成分包括蛋白质、各种维生素、磷脂质、碳水化合物、膳食纤维、微量元素和矿物质(碘、钾、钙、锰、铜、硼、铁、锌、镁)等^[9]。

1.2 有效成分

黑果腺肋花楸的有效成分主要是总酚类化合物,如原花青素、花色苷、花青素等。通过查阅文献可知,黑果腺肋花楸中有效物质的含量明显高于黑莓、覆盆子、黑加仑子等水果^[10-11]。

1.2.1 原花青素 原花青素是植物中广泛存在的一大类多酚类化合物的总称,由一定量的儿茶素和表儿茶素微粒结合而成。原花青素是黑果口味酸涩、呈色偏黑的关键成分,大约占总酚含量的66%^[9],通过植物实验研究发现^[12],原花青素主要存在于黑果果肉、皮、核中,其中果渣中原花青素的含量最高,达8 192 mg/100 g,且种类丰富^[13]。原花青素具有很强的抗氧化作用,是一种新型高效抗氧化剂^[9]。

1.2.2 花色苷 花色苷由花色素和糖以糖苷键的形式结合构成,为红色的水溶性色素,属于类黄酮。从植物细胞液中提取花色苷是最主要的获得方式,占比可达黑果酚类化合物的26%左右^[2]。花色苷的母核结构为2-苯基-苯并吡喃,研究者对花色苷的结构修饰研究主要集中在母核结构的羟基化、甲氧基化、酰基化和酯基化。其中羟基化使花色苷活性更强,但会降低其稳定性;甲氧基化、酯基化和酰基化也能增强其稳定性^[14-15]。研究发现,黑果果实中所含的花色苷有4种,分别为矢车菊素-3-半乳糖苷(68.68%)、矢车菊素-3-阿拉伯糖苷(25.62%)、矢车菊素-3-木糖苷(0.42%)和矢车菊素-3-葡萄糖苷(5.28%)^[16],均具有清除体内自由基、增殖叶黄素、抗突变、预防高血压的作用^[17]。其中,清除自由基的功能主要与其分子中的羟基有关。此外,花色苷还可以增强夜视能力^[11],加之其安全、无毒,目前已在保健品、化妆品、医药品等行业广泛应用^[9]。

1.2.3 花青素 花青素是花色苷水解得到的有色苷元,在黑果中含量丰富,约占其总酚类的25%^[9]。花青素也是水果、蔬菜、花卉中的主要显色成分,花青素不仅能抗氧化,还能降低酶的活性,抵抗突变,不但可以作为营养添加剂,而且可以代替苯甲酸作为防腐剂,符合现代社会对于天然、安全、健康的要求^[9]。

1.3 其他成分

黑果中黄酮具有抗疲劳、维持身体多个系统的

健康作用^[18];类黄酮、儿茶酚具有抗氧化、抗辐射和抗突变作用^[19];甾醇类化合物具有调控脂肪代谢作用^[20]。综上,黑果腺肋花楸的主要成分物质含量丰富,具有显著的保健功效。而且,黑果中花色苷在已知植物中含量最高,是葡萄的100倍、香蕉的1 500倍^[21],具有抗肿瘤、抗感染、抗疲劳、抗氧化、视觉保护、免疫调节、降血脂等多种功效^[22-23],具有很大的药用开发价值。

2 花色苷的提取工艺

通过文献调查可知,目前黑果花色苷的提取技术较为成熟,工艺多样化(表1)。常见的提取方法有酸辅助提取法、热水提取法、超声波辅助提取法、酶辅助提取法等。在这些方法中,酸辅助提取法提取便捷且提取率较普通水提法更高^[24]。酶辅助提取法步骤繁琐,但耗能低、提取率较高且用量少^[25]。此外,酶辅助提取法的提取率与酶的类型、pH值相关,刘清伟等^[26]研究比较了蜗牛酶、纤维素酶、果胶酶在不同pH条件下对花色苷提取率的影响,结果表明pH值为6.8时最适于花色苷的提取,含量达6.64 mg/g。超声波辅助提取法是近年发展起来的一项新技术,其具有提高效率与产品纯度、节约成本等优点^[27-28]。

表1 黑果腺肋花楸花色苷不同提取方法及效果

提取方法	文献中提取率(mg/g)	文献
酸辅助提取法	3.61	[24]
酶辅助提取法	6.64	[26]
超声波辅助提取法	5.61	[27]
乙醇溶剂浸提法	6.12	[30]
热水提取法	2.12	[31]

3 花色苷的生理功能

通过检索中英文数据库并分析相关文献发现,黑果花色苷在临床应用中表现出多种生理活性,如抗氧化、抗炎等,并能有效防治多种慢性疾病。根据文献调研,运用Cytoscape 3.7.2软件绘制“花色苷—生理功能—医学疾病”关系图(图1),图中红色矩形表示花色苷,绿色圆形表征生理功能,黄色圆形表征医学疾病,圆形大小表示报道花色苷与该生理功能/医学疾病的文献数目,数目越多,圆形越大。通过分析发现,黑果黄色苷在抗氧化(抗衰老)中研究富集,一定程度上提示其具有较强的抗氧化、抗衰老作用^[3];在医学疾病方面,研究花色苷对肝病、癌症、糖尿病防治效果的文献较多,对胃肠道等疾病研究较少,有待加强。

3.1 抗氧化和抗衰老作用

中国科学院心理研究所统计结果显示^[32],中国亚健康人群比例高达76%,而亚健康状态的起因与活性氧、自由基的效应密切相关;同时,我国老龄化

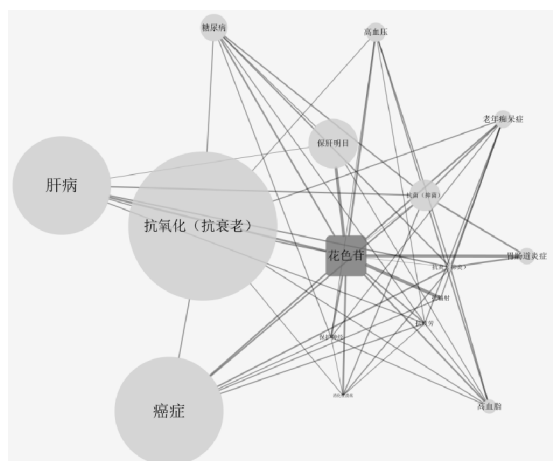


图1 “花色苷—生理功能—医学疾病”关系

严重,2019年底,65周岁及以上人口已达1.76亿,媒体上20岁即开始衰老、80后集体早衰的话题不断涌现。

黑果富含多酚类化合物,特别是花色苷,具有去除ABTS自由基的能力^[3],赋予了黑果较大的抗氧化活性和抗衰老特性^[6],提示黑果在抗衰老行业有巨大的市场空间。MARIE等^[33]的体内试验表明,黑果花色苷可以作为自由基清除剂,抑制促氧化酶的活性。郑丽娜等^[34]研究发现,黑果花色苷可以在一定程度上延长氧化损伤下果蝇的存活时间,这一现象得益于超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的抗氧化活性。有研究发现,相较于谷胱甘肽、丙二醛,花色苷可以使小鼠肝脏组织的SOD活性显著上升^[35]。此外,GOUPY等^[36]通过比较酚基吡喃花色苷衍生物和Vitisin A类衍生物对自由基的清除能力,结果发现酚基吡喃花色苷具有更强的抑制作用^[37],不同结构的黑果花色苷具有不同的抗氧化活性^[38]。

3.2 抗炎和抑菌作用

随着现代化的快速发展和生活方式的改变,炎症疾病已成为影响人类生活健康的一大威胁,也是全球研究热点与突破难点。炎症的产生伴发组胺的释放,继而诱发许多疾病,而花色苷可通过抑制产生组胺所需的酶,从上游阻断组胺生成,减轻炎症反应^[36]。APPEL等^[6]和BOTTING等^[39]研究发现,黑果花色苷衍生物可通过抑制人外周血单核细胞分泌因子,显著降低人血管内皮细胞中的促炎细胞因子,进而降低肿瘤细胞的存活率,并提高机体的抗炎作用。综上,黑果花色苷具有减缓炎症疾病的功效。

同时,黑果花色苷还具有显著的抑菌作用。苗妙等^[5]研究发现,黑果花色苷对产气肠杆菌、脂环酸芽孢杆菌、阴沟肠杆菌、枯草芽孢杆菌均具有较好的抑菌活性。LIEPINA等^[40]研究发现,黑果花色苷对

引起尿路感染的细菌也有一定的抗菌作用。另外,HANDELAND等^[41]通过抑菌性实验,发现黑果花色苷对菌种的抑菌效能随花色苷的浓度增加而升高,可通过增加黑果花色苷的摄入量,增强对尿路感染患者的抗菌干预,发挥其较强的抗炎作用^[36]。这些研究表明,黑果花色苷具有预防和治疗由细菌引起的炎症类疾病的潜能。

3.3 保护神经作用

神经系统是机体内起主导作用的系统,可分为中枢神经系统和周围神经系统两大部分。神经系统通过突触、神经递质等传递信息,进而调控内部器官的活动^[18]。通过对内科类疾病进行研究,发现保护神经可以降低糖尿病患者产生并发症的风险^[8]。有研究发现,黑果花色苷可使老鼠垂直运动增加,通过补充黑果花色苷,可增加海马体中乙酰胆碱酯酶的活性,还可以通过增加海马穿通神经纤维的密度来保护神经^[42]。黑果花色苷可增强老年大鼠学习能力,改善其运动功能^[18]。因而,保护神经调节对改善机体功能显得尤为重要。

3.4 保肝明目作用

《素问·金匱真言论》曰:“肝开窍于目,肝生血气,人身之本。”^[38]而黑果花色苷可从肝入手,整体同调,防治肝病,明目通睛。YANG等^[43]通过临床试验研究黑果花色苷对肝纤维化的作用机制,发现黑果花色苷可促进肝脏代谢,防止酒精摄入过量后引发的酒精性肝硬化。英国学者研究发现,肥胖小鼠口服黑果果汁连续6周后,其体内固醇结构蛋白、乙酰辅酶A羧化酶和脂肪酸合酶mRNA的活性都得到了一定的提升^[9]。此外,有文献报道显示,花色苷具有保护视力,改善夜间视力和改善青光眼的视网膜血液流动等功效^[11]。陈珊珊等^[44]通过体外细胞实验研究发现,黑果花色苷能从细胞凋亡、抗氧化等方面,保护人视网膜色素上皮细胞。

3.5 其他作用

除了以上功效,黑果花色苷还具有抗疲劳、抗辐射等作用。李瑞芳^[18]给予实验小鼠黑果花色苷,结果小鼠疲劳游泳时间明显延长,且浓度越高,效果越明显,与未灌胃黑果组相比,黑果花色苷组血乳酸含量明显降低,说明黑果中花色苷具有抗运动性疲劳的作用。对于抗辐射功能,张永祥等^[45]研究发现,黑果花色苷可提高辐射后皮肤成纤维细胞的存活率,降低细胞内ROS的含量和MMP-1的分泌水平,具有较好的抗紫外线能力。

4 花色苷的医用研究

4.1 预防和治疗心脑血管疾病

心脑血管疾病是一种严重威胁人类健康的常见

病,中国心脑血管病研究报告显示,心脑血管疾病死亡率居首位,全球每年死于该病的人数高达1 500万^[9]。抗心血管疾病流行病学研究表明,花色苷的摄入可显著降低心血管疾病死亡率^[7],花色苷具有防止DNA损伤、避免脂质过氧化、通透毛细血管、恢复血管弹性等功效。

目前,PARZONKO等^[46]研究发现,黑果花色苷可通过激活Nrf 2转录因子及HO-1因子的表达,使其黏附纤连蛋白,在体外的血管紧张素转换酶II电位降低,从而保护内皮细胞。黑果花色苷还有助于降血脂、改善胰岛素抵抗、改善动脉血管硬度并促进血管内皮舒张,KIM等^[47]研究发现,黑果花色苷会使Akt和eNOS发生氧化磷酸化反应,并且通过抑制血管活性前列腺素的形成,以及内皮衍生的超极化因子介导反应,从而起到松弛作用。黑果花色苷还可以降低高血压、高胆固醇血症、糖尿病患者和吸烟者的血小板超氧化物阴离子的产生率^[48]。MALI-NOWSKA等^[49]通过体外诱发半胱氨酸的模型研究发现,黑果花色苷可使体外凝血时间变长,从而抑制血小板聚集、凝血酶诱发的纤维蛋白原聚合,可降低纤维蛋白聚合的最大速度并稳定健康人血浆中纤维蛋白的形成。既往研究报道提示^[16],黑果花色苷可有效阻止疾病的进一步发展,对动脉粥样硬化和血管损伤导致的胆固醇沉积有一定的预防和治疗作用。

4.2 预防和治疗癌症

2020年2月,世界卫生组织公布了一组数据:全球每年新发癌症病例1 600多万。因癌症造成的死亡人数不断增加,癌症防治已成为我国的重要公共卫生问题。最新研究表明^[4],花色苷在细胞实验中被证实具有促癌细胞凋亡的效应——Cy-3-rut可诱导白血病细胞凋亡。KATARINA等^[50]研究发现,黑果花色苷对子宫癌、胎记瘤和慢性粒细胞性白血病有一定的抑制作用。还有研究发现,在化疗周期中添加黑果提取物健康营养补充剂,可以提高药物治疗胰腺癌的疗效^[51],特别适用于难以治愈的癌症。王化等^[52]通过MTT比色法初步考察了花色苷对人胃癌细胞的影响,结果表明其中两种花色苷成分均能有效抑制癌细胞的增殖。

此外,黑果花色苷的抗癌特性对人体结肠癌Caco-2细胞增殖具有非常显著的抑制作用,MALIK等^[53]研究了黑果花色苷对人结肠癌细胞周期的阻断作用,结果提示,黑果花色苷对癌细胞的抑制作用是通过抑制其生长完成的,而不是通过细胞毒性作用来完成的。LING等^[54]研究花色苷在黑果中的作用,发现通过调控Ca²⁺稳态和凋亡相关基因,可以抑

制线粒体功能障碍,保护SH-SY5Y细胞免受Ca²⁺引起的凋亡。但目前花色苷在人体内究竟如何吸收、代谢,其机理尚不明确。

4.3 预防和治疗糖尿病

目前,糖尿病的发病率日益增长,预测到2025年糖尿病患者人数将增加至3亿。已有研究证实^[8],黑果花色苷的摄入可以增加葡萄糖代谢,降低高脂饮食动物的血糖浓度,降低患糖尿病的风险。体外实验结果也表明,黑果花色苷代谢物可作为抗糖尿病药物,预防糖尿病的发生^[55]。BRONCEL等^[17]研究发现,针对糖尿病患者,通过服用黑果果汁,连续坚持2个月,可有效改善代谢综合征患者体征,使其红细胞抗氧化酶的活性提高,血压降低,且不依赖于胰岛素代谢。综上,黑果制品为糖尿病类代谢性疾病的预防和治疗提供了潜在的新方法。

4.4 预防和治疗消化系统疾病

根据世界卫生组织报告,胃肠道炎症、消化性溃疡等消化系统疾病是严重危害人类健康的全球性疾病,目前胃病和肝病造成的疾病负担占有所有疾病的十分之一^[9]。根据最新研究显示,经常食用黑果产品还具有保护肠胃的作用^[56]。黑果产品因其富含花色苷而具有减重功效,WANG等^[20]研究发现,利用黑果花色苷诱导HepG₂细胞脂肪并建立NAFLD体外模型,由于花色苷与甘油三酯拥有B环(-OH)结合,可以减少脂肪在肝细胞内的积累,改变油酸引起的非酒精性脂肪肝,导致活性氧的形成和甘油三酯在这些细胞中的积累减少。VALCHEVA等^[57]研究证实黑果花色苷可以降低血浆和胃黏膜脂质过氧化的生物标志物丙二醛水平,从而降低胃溃疡的大小和发病率。

4.5 治疗其他疾病

目前,关于黑果花色苷可能具有改善大脑生理功能的作用,已被研究证实,但具体机理尚不清楚^[1]。有研究表明,摄入富含花色苷的食物和蔬菜,如黑果汁、葡萄汁^[58],可以显著改善大脑功能衰退^[59],每日摄入适量的黑果果汁还可对阿尔茨海默病起到较好的预防作用^[42]。EDWARD等^[60]研究发现,黑果中花色苷对维持人体血管动脉系统的稳定性具有积极作用。

5 结语

综上所述,近年来,黑果腺肋花楸花色苷凭借其含量丰富、生理功能多样等特点在食品与医药领域受到广泛关注。随着黑果花色苷的提取工艺、生理功能与医用研究的不断进展,其健康功能价值得到极大开发。已有证据表明,黑果花色苷具有抗氧化、抗炎、抗突变等多种生理功能,在医学上,可以防治

心血管疾病、癌症,糖尿病等。然而,我国黑果产品开发尚处于初级阶段,在提取工艺、加工技术、产品化等方面尚有不足,对花色苷生理活性的机理研究解释也有待进一步深化,由于目前尚缺少针对黑果花色苷功效的临床研究,难以将其推广应用到市场。基于花色苷具有多种生理功能的特性,将来应考虑在升级优化花色苷提取工艺的同时,加大对其基础实验和临床试验的研究力度,开发出市场更能够接受的产品,从而使其在食品、保健品领域发挥更大的潜力和价值。随着人们对黑果花色苷生理活性与代谢途径的深入研究,黑果花色苷有望作为保健品,为改善人类亚健康状态和防治慢性疾病作出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 孙智谋,张佳霖,周旭.黑果腺肋花楸多酚类物质抗氧化功效的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(9):396-400.
- [2] 仇洋.黑果腺肋花楸多酚的提取纯化及活性研究[D].长春:吉林大学,2017.
- [3] DUDA-CHODAK A, SROKA P, MICHALIK J, et al. Transformations of phenolic compounds in an in vitro model simulating the human alimentary tract[J]. Food Technol Biotech, 2009, 47(4): 456-463.
- [4] RENTIAN F, HONG-MIN N, SHIOW Y W, et al. Cyanidin-3-rutinoside, a Natural Polyphenol Antioxidant, Selectively Kills Leukemic Cells by Induction of Oxidative Stress[J]. J Biol Chem, 2007, 282(18):13468-13476.
- [5] 苗妙,刘宇璇,胡苗苗,等.黑果腺肋花楸多酚的抑菌活性研究[J].现代食品科技,2017,33(12):56-60.
- [6] APPEL, MEISER K, MILLAN P, et al. Chokeberry (Aronia melanocarpa (Michx.) Elliot) concentrate inhibits NF- κ B and synergizes with selenium to inhibit the release of pro-inflammatory mediators in macrophages[J]. Fitoterapia, 2015, 105:73-82.
- [7] MINK P J, SCRAFFORD C G, BARRAJ L M, et al. Flavonoid intake and cardiovascular disease mortality: a prospective study in postmenopausal women[J]. Am J Clin Nutr, 2007, 85:895-909.
- [8] PRIOR R L, WU X L, GU L W, et al. Whole berries versus berry anthocyanins: interactions with dietary fat levels in the C57BL/6J mouse model of obesity[J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(3): 647-653.
- [9] 胡文泽,李森,郭东旭,等.黑果腺肋花楸研究进展[J].食品与发酵工业,2020,23(7):1-8.
- [10] 黄泰曾.黑果腺肋花楸花色苷的提取、纯化及种类鉴定[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [11] 徐贞贞,廖小军.花色苷生理功能研究进展[J].中国食物与营养,2014,20(10):65-68.
- [12] 饶雪甜.黑果腺肋花楸体外消化模拟及其原花青素性质和应用研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [13] 孙智谋,周旭,张佳霖,等.黑果腺肋花楸花青素抗氧化功能的研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(16):220-224.
- [14] LILA M A, BURTON-FREEMAN B, GRACE M, et al. Unraveling anthocyanin bioavailability for human health[J]. Annu Rev Food Sci Technol, 2016, 7(1):375-393.
- [15] NOVOTNY J A, CLEVIDENCE B A, KURILICH A C. Anthocyanin kinetics are dependent on anthocyanin structure[J]. Brit J Nutr, 2012, 107(4):504-509.
- [16] 郭金颖,张克义,庞静.黑果腺肋花楸的功能性成分及保健作用研究进展[J].饮料工业,2020,23(1):68-71.
- [17] BRONCEL M, MARZENA K, PIOTR D, et al. Aronia melanocarpa extract reduces blood pressure, serum endothelin, lipid, and oxidative stress marker levels in patients with metabolic syndrome[J]. Int Med J Expl Clin Res, 2010, 16(1):28-34.
- [18] 李瑞芳.超声波辅助提取黑果腺肋花楸黄酮及其抗运动疲劳研究[J].食品研究与开发,2017,38(13):63-68.
- [19] KIM B, KU C S, PHAM T X, et al. Aronia melanocarpa (chokeberry) polyphenol-rich extract improves antioxidant function and reduces total plasma cholesterol in apolipoprotein E knockout mice[J]. Nutr Res, 2013, 33(5):406-413.
- [20] WANG Y, ZHAO L, WANG D, et al. Anthocyanin-rich extracts from blackberry, wild blueberry, strawberry, and chokeberry: antioxidant activity and inhibitory effect on oleic acid-induced hepatic steatosis in vitro[J]. J Sci Food Agric, 2016, 96:2494-2503.
- [21] MAODOBRY M, BIENIASZ M, DZIEDZIC E. Evaluation of the yield and some components in the fruit of blue honeysuckle (Lonicera caerulea var. edulis Turcz. Freyn.) [J]. Folia Horti, 2010, 22(1):45-50.
- [22] KULLING S E, RAWEL H M. Chokeberry (Aronia melanocarpa)-a review on the characteristic components and potential health effects[J]. Planta Med, 2008, 74(13):1625-1634.
- [23] OCHMIAN I, GRAJKOWSKI J, SKUPIEN K. Field performance, fruit chemical composition and firmness under cold storage and simulated "Shelf-Life" conditions of three blue honeysuckle cultivars (Lonicera caerulea) [J]. J Fruit Ornamental Plant Res, 2008, 16:83-91.
- [24] 位路路,林杨,王月华,等.黑果腺肋花楸花色苷提取工艺优化及其抗氧化活性和组成鉴定[J].食品科学,2018,39(12):239-246.
- [25] 刘富梁,金卫根,梁华正,等.酶法在中药提取中的研究进展[J].时珍国医国药,2006,17(7):1152-1153.
- [26] 刘清玮,赵权,毛欣欣.酶对黑果腺肋花楸中花色苷提取率的影响[J].食品工业,2018,39(11):158-162.
- [27] 李梦莎.响应面法优化超声提取黑果腺肋花楸花色苷工艺的研究[J].中国酿造,2014,33(9):129-133.
- [28] 孙婧超,刘玉田,赵玉平. pH 示差法测定蓝莓酒中花色苷条件的优化[J].中国酿造,2011,30(11):171-174.
- [29] 刘飞,穆晶晶,张博,等.超声波辅助提取黑果腺肋花楸花色苷工艺优化及稳定性研究[J].天然产物研究与开发,2018,30(3):485-494.
- [30] 唐璐,薛晓丽,李延辉,等.黑果腺肋花楸花色苷的提取分离纯化工艺[J].北方园艺,2020,34(3):111-119.
- [31] 李雨浩,张楠,向珊珊,等.黑果腺肋花楸花色苷的提取工艺优化及其稳定性[J].食品工业科技,2019,40(3):120-126.
- [32] 张云华.健康与亚健康人群生化指标的对比分析[J].中国保健营养,2020,30(2):284.
- [33] MARIE B, SLIMESTAD R, WANGENSTEEN H, et al. Extracts, anthocyanins and procyanidins from Aronia melanocarpa as radical scavengers and enzyme inhibitors[J]. Nutr, 2013, 5

- (3):663-678.
- [34] 郑丽娜,赵大庆,赵文学.黑果腺肋花楸水提物对果蝇抗衰老活性的研究[J].食品研究与开发,2018,39(9):165-169.
- [35] 李美兰,黄金珠,李红梅.黑果腺肋花楸对小鼠肝肾抗氧化性的初步研究[J].畜牧与饲料科学,2018,39(10):1-3.
- [36] GOUPY P,BAUTISTA A B,FULCRAND-HOH H,et al. Antioxidant activity of wine pigments derived from anthocyanins: hydrogen transfer reactions to the DPPH radical and inhibition of the heme-induced peroxidation of linoleic acid[J]. J Agric Food Chem,2009,57(13):5762-5770.
- [37] 由璐,隋茜茜,赵艳雪,等.花色苷分子结构修饰及其生理活性研究进展[J].食品科学,2019,40(11):351-359.
- [38] 李玲孺,王济,李英帅,等.氧化应激在亚健康领域的应用研究[C]//中华中医药学会.中华中医药学会亚健康分会换届选举会议暨“治未病”及亚健康防治论坛.北京:中华中医药学会,2012.
- [39] BOTTING N P,AMIN H P,CZANK C,et al. Anthocyanins and their physiologically relevant metabolites alter the expression of IL-6 and VCAM-1 in CD40L and oxidized LDL challenged vascular endothelial cells[J]. Mol Nutr Food Res,2015,59(6):1095-1106.
- [40] LIEPINA I,NIKOLAJEVA V,JAKOBSONE I. Antimicrobial activity of extracts from fruits of Aronia melanocarpa and Sorbus aucuparia[J]. Environ Exp Biol,2013,11:195-199.
- [41] HANDELAND M,GRUDE N,TROP T,et al. Black chokeberry juice (Aronia melanocarpa) reduces incidences of urinary tract infection among nursing home residents in the long term-a pilot study[J]. Nutr Res,2014,34(6):518-525.
- [42] DASKALOVA E,DELICHEV S,TOPOLOV M,et al. Aronia melanocarpa (Michx.) Elliot fruit juice reveals neuroprotective effect and improves cognitive and locomotor functions of aged rats[J]. Food Chem Toxicol,2019,132:110674-110702.
- [43] YANG J,GAO J,YU W C,et al. The effects and mechanism of Aronia melanocarpa anthocyanins on hepatic fibrosis[J]. J Funct Foods,2020,68:103897-103904.
- [44] 宋雪,韩勇,籍保平,等.笃斯越橘花色苷提取物对光损伤人视网膜色素上皮细胞的保护作用[J].食品科学,2010,31(21):324-328.
- [45] 张永祥,国石磊,彭利沙,等.黑果腺肋花楸花色苷对人皮肤成纤维细胞紫外辐射损伤的保护作用[J].天然产物研究与开发,2016,28(7):1088-1092.
- [46] PARZONKO A,OSWIT A,BAZYLKO A,et al. Anthocyan-rich Aronia melanocarpa extract possesses ability to protect endothelial progenitor cells against angiotensin II induced dysfunction[J]. Phytomedicine,2015,22(14):1238-1246.
- [47] KIM J H,AUGER C,KURITA I,et al. Aronia melanocarpa juice,a rich source of polyphenols,induces endothelium-dependent relaxations in porcine coronary arteries via the redox-sensitive activation of endothelial nitric oxide synthase[J]. Nitric Oxide,2013,35:54-64.
- [48] RYSZAWA N,PAWEL R,JACEK P,et al. Different reactivity of the proximal and distal segments of the radial artery to vasoconstrictors in patients undergoing coronary artery bypass grafting[J]. Kardiologia Pol,2007,65(11):1313-1319.
- [49] MALINOWSKA J,BABICZ K,BEATA O,et al. Aronia melanocarpa extract suppresses the biotoxicity of homocysteine and its metabolite on the hemostatic activity of fibrinogen and plasma[J]. Nutr,2012,28(7-8):793-798.
- [50] KATARINA S,GORDANA Z,TEODORA J,et al. Berry fruit teas:phenolic composition and cytotoxic activity[J]. Food Res Intl,2014,62:677-683.
- [51] THANI N A A,SHOLEH K,BASHIR L A,et al. Cytotoxicity of gemcitabine enhanced by polyphenolics from Aronia melanocarpa in pancreatic cancer cell line AsPC-1[J]. J Clinl Pathol,2014,67(11):949-954.
- [52] 李梦莎,王化,朱良玉,等.黑果腺肋花楸花色苷对人胃癌细胞 SGC-7901 作用的初步探究[J].国土与自然资源研究,2016(6):90-92.
- [53] MALIK M,ZHAO C,SCHOENE N,et al. Anthocyanin-rich extract from Aronia melanocarpa E. induces a cell cycle block in colon cancer but not normal colonic cells[J]. Nutr Cancer,2003,46(2):186-196.
- [54] LING S. Anthocyanins extracted from Aronia melanocarpa protect SH-SY5Y cells against amyloid-beta (1-42)-induced apoptosis by regulating Ca^{2+} homeostasis and inhibiting mitochondrial dysfunction[J]. J Agric Food Chem,2018,66(49):12967-12976.
- [55] EDWARD W G,GREGG E W,FAGOT-CAMPAGNA A,et al. Diabetes-a common, growing, serious, costly, and potentially preventable public health problem[J]. Diabetes Res Clin Pract,2000,50(2):77-84.
- [56] 王柳,许一鸣,牟贺,等.黑果腺肋花楸功效及药用食用研究进展[J].现代食品,2018,34(7):53-56.
- [57] VALCHEVA-KUZMANOVA S,MARAZOVA K,KRASNALIEV I,et al. Effect of Aronia melanocarpa fruit juice on indomethacin-induced gastric mucosal damage and oxidative stress in rats[J]. Exp Toxicol Pathol,2015,56(6):385-392.
- [58] KRIKORIAN R,SHIDLER M D,NASH T A,et al. Blueberry supplementation improves memory in older adults[J]. J Agric Food Chem,2010,58(7):3996-4000.
- [59] 于雪,胡文忠,姜爱丽,等.黑果腺肋花楸营养物质与功效的研究进展[J].食品工业科技,2016,37(10):396-400.
- [60] EDWARD K,PAWEL F,KURA M,et al. The influence of anthocyanins from Aronia melanocarpa on selected parameters of oxidative stress and microelements contents in men with hypercholesterolemia[J]. Pol Merkuriusz Lek,2005,19(113):651-653.

(编辑:陈湧涛)