

花青素的提取方法及药理作用

李彤¹, 闵清^{1*}, 张裕平^{2*}, 胡文祥^{1,3*}

¹湖北科技学院药学院, 湖北 咸宁

²湖南文理学院, 湖南 常德

³北京神剑天军医学科学研究院京东祥鹤微波化学联合实验室, 北京

收稿日期: 2022年1月24日; 录用日期: 2022年2月15日; 发布日期: 2022年2月25日

摘要

花青素是自然界中广泛存在于植物组织中的一种水溶性天然色素。目前它是人们研究和开发的一类重要物质, 而且对人类健康也有很大益处。本文对有关花青素的研究现状及其发展趋势, 包括花青素的来源及结构特点、提取方法和生理功能进行综述。以为花青素进一步的研究提供参考。

关键词

花青素, 提取方法, 微波辅助提取法, 药理作用

Extraction Method and Pharmacological Function of Anthocyanins

Tong Li¹, Qing Min^{1*}, Yuping Zhang^{2*}, Wenxiang Hu^{1,3*}

¹School of Pharmacy, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

²Hunan University of Arts and Science, Changde Hunan

³Jingdong Xianghu Microwave Chemistry Union Laboratory, Beijing ShenjianTianjun Research Academy of Medical Sciences, Beijing

Received: Jan. 24th, 2022; accepted: Feb. 15th, 2022; published: Feb. 25th, 2022

Abstract

Anthocyanin is a kind of water-soluble pigment widely found in plant tissues in nature. At present, it is a kind of important substance that people research and develop, and also has great benefit to human health. This paper reviews the research status and development trend of anthocyanins, in-

*通讯作者。

cluding the sources, structural characteristics, extraction methods and pharmacological functions of anthocyanins, in order to provide reference for the further study of anthocyanins.

Keywords

Anthocyanin, Extraction Method, Microwave-Assisted Extraction, Pharmacological Function

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

花青素(anthocyanin), 也称为花色素, 是广泛存在于植物组织中的一类天然水溶性色素, 属于黄酮类化合物, 可以在不同条件下呈现不同颜色, 易受光照、pH 值、温度等因素的影响。花青素作为一种天然存在的食用色素, 安全无毒, 资源丰富, 具有一定的营养价值和药理作用。在医药、食品和化妆品等领域有着巨大的应用潜力。

花青素广泛存在于开花植物(被子植物)中, 其在植物中的含量随品种、季节、气候、成熟度等不同有很大差别。本文对其提取方法及生理功能方面进行了综述, 以为花青素的深入探究和应用提供参考。

2. 花青素的结构

花青素由一个基本的 2-苯基苯并吡喃型阳离子环和环上不同取代基构成(如图 1), 且由于 B 环上的 R1 和 R2 位置的取代基不同(甲氧基和羟基)可以形成不同种类的花青素。自 1947 年法国科学家马斯魁勒在花生仁的包衣中发现花青素以来, 目前已知在 27 个科, 73 个属的植物中均发现含有花青素, 如紫甘薯、葡萄、血橙、红球甘蓝、蓝莓、茄子、樱桃、红莓、草莓、桑葚、山楂、牵牛花等植物的组织中都有一定含量。其中常见的花青素有六种: 矢车菊色素(cyanidin, Cn)、牵牛花色素(petunidin, Pt)、飞燕草色素(delphinidin, Dp)、锦葵色素(malvidin, Mv)、芍药色素(peonidin, Pn)以及天竺葵色素(pelargonidin, Pg), 以蓝莓、黑豆、紫薯、黑枸杞等浆果中含量较多。由于花青素结构中酚羟基较多, 吸收自由基能力强, 故其抗氧化能力强。

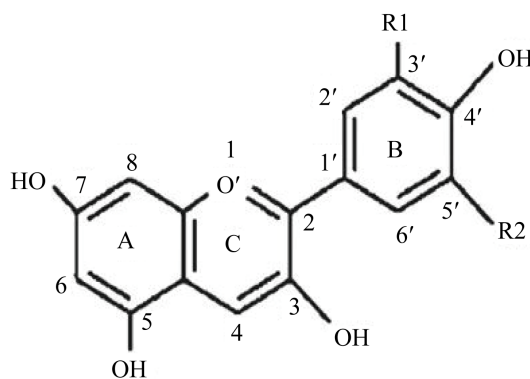


Figure 1. The structure of anthocyanin

图 1. 花青素的结构

3. 花青素的提取方法

由于花青素是一种极性化合物，可以在水和有机极性溶剂中溶解。所以以此为前提的提取方法主要分为溶剂提取法和水提取法。随着工业技术不断发展，以产率高、杂质少、环境友好、条件温和等条件为期望目标，出现了微波辅助提取法、超声波辅助提取法、酶辅助提取法等方法。

3.1. 溶剂提取法

溶剂提取法指的是将植物原料进行干燥粉碎后加入提取溶剂直接进行浸提的方法。为使提取过程中花青素不被降解，有学者提出可在提取前使用低温方式来处理材料。由于花青素在酸性环境中稳定，为了防止在提取过程中降解，所以通常会加入有机酸或无机酸。例如：甲酸、盐酸、乙酸等。以有机溶剂作为提取剂溶剂，目前常用的溶剂有乙醇、甲醇等。溶剂提取法常用于实验室和工业中的提取，操作相对简单灵活。栾琳琳等[1]以乙醇作为提取溶剂对桑葚果渣中的花青素进行提取，最终确定的最佳工艺参数为在 50℃，pH = 3.5 的 60% 的乙醇溶液在料液比为 1:70 的条件下浸提 120 min，最终提取量达到 33.18 mg/g 花青素原料。张振文等[2]以酸性甲醇作为提取溶剂，在料液比为 1:20，温度为 60℃ 的条件下提取 4 h，最终得到木薯叶花青素含量为 158.78 mg/g，具有较高的提取率。溶剂提取法的优点是操作简便，比水提取法效率要高。缺点是杂质含量比较高，提取时间长，效率较低。常与辅助提取法结合使用。

3.2. 水提取法

水提取法是将水作为提取溶剂提取物质中的有效成分的一种方法。刘强[3]在花青素提取工艺的研究进展中提到，用水做提取溶剂，制备流程操作简单，生产过程安全无害，不需要回收，可实现工业中规模化生产。但缺点是提取率较低，提取时间长，杂质含量多且会造成原料浪费。所以此法有待于进一步改进。

3.3. 辅助提取法

3.3.1. 微波辅助提取法

微波辅助提取法(microwave-assisted extraction, MAE)，是一种用微波加热的特性对物料中目标成分进行选择提取的方法，通过调节微波参数，有效加热目标成分，促进提取的速度和效率。蔡圆等[4]利用微波辅助法提取紫甘薯花青素，最佳提取工艺参数为以 75% 乙醇作为汽化剂，紫甘薯粉与汽化剂之比为 1:1.6 (g/mL)，功率 288 w 的条件下提取 15 s，提取率可达 86.7%。袁媛等[5]分别采用了浸提、微波辅助和超声波辅助的方法对桃金娘果实的花青素和黄酮进行提取比较，最终得出微波辅助提取法最好，提取量分别达(1123.9 ± 1.74) mg/100g DM 和(182.01 ± 5.95) mg/100g DM。此法提取时间短，提取率高，操作流程简单。但是需要较大量有机溶剂作为提取剂，所以在提取过程中要规范实验操作，加强安全管理。

3.3.2. 超声波辅助提取法

超声波提取法是采用超声波辅助溶剂进行提取，声波产生高速、强烈的空化效应和搅拌作用，破坏植物药材的细胞，使溶剂渗透到药材细胞中，可缩短提取时间，提高提取率。卫春会等[6]在桑葚花青素超声波辅助提取工艺优化中发现，当超声功率为 1600 w，以 65% 乙醇为提取剂，料液比为 1:10，在 50℃ 的条件下提取 20 min，最终得到花青素提取量为 2.88 mg/g。Xiaofen Fu [7]等在对茄子皮花青素的提取中采用超声波辅助乙醇法，通过正交试验得出最佳工艺参数为在料液比为 13:15、温度为 50℃ 的条件下提取 40 min。花青素在 100℃ 后处理 1 min 热稳定性良好。而且发现超声微波辅助法操作简便，所需时间短，对环境友好。但是需要大量有机溶剂，并且要对其进行有效回收。此外部分有机溶剂具有可燃性，在投入规模化生产中也要注重人身和设备的安全性。

3.3.3. 酶辅助提取法

酶辅助提取法就是在提取溶剂中加入一定量的酶来破坏植物的细胞壁，使植物有效成分最大限度溶解分离出的一种方法。张莹丽等[8]在超声波辅助酶法提取紫薯花青素及抗氧化性研究中以超声波辅助纤维素酶和 α -淀粉酶对紫薯花青素进行提取优化，得出纤维素酶和 α -淀粉酶联合使用且质量之比为1:1时，花青素的提取率较高，提取紫薯花青素的最佳工艺为料液比1:30 (g/mL)，酶用量4 mg/g，提取时间40 min，提取温度55℃。Segade [9]等在以pH = 3.2的水醇缓冲液中添加了果胶裂解酶、多聚半乳糖醛酸酶、纤维素酶等对葡萄皮细胞进行软化，结果缩短了浸提时间约40 h，受酶的剂量和葡萄品种的影响，花青素提取量对照提高8%~15%。其优点是提取率高，条件温和，对环境无污染。但流程结束后酶如何回收和再利用无法进行有效解决，从而增加了提取成本。

3.3.4. 其他辅助提取法

超临界流体萃取法(supercritical fluid extraction, SFE)，是以超临界状态的流体为溶剂，利用其强穿透力和高溶解性来萃取、分离单体。目前可作为超临界流体的有二氧化碳、乙烷、氨、氧化亚氮等，其中多选用二氧化碳作为萃取剂，由于其无毒无味，不易燃、安全性高而被广泛应用。Maran 等[10]采用超临界流体萃取法对Jamun果实中的花青素和酚类化合物进行提取，以CO₂为萃取剂，纯度99.9%的乙醇为助溶剂，提高了花青素和酚类化合物提取率。超临界流体萃取法以CO₂为萃取剂，无毒无害，性价比高，稳定性好；另外其萃取率高，萃取工艺流程简单，对环境无污染。虽然设备要求和安装成本较高，但是从绿色发展角度来说，应用潜力还是很大的。

双水相萃取法(aqueous two-phase extraction, ATPE)是一种利用物质在互不相溶的双水相间分配系数的差异来进行分离的方法。当一定浓度两种不同的有机物水溶液或者是有机物水溶液和无机盐溶液以一定体积比混合时，能自然分成互不相溶的双水相或多相。Xiao Liu 等[11]采用响应面研究了双水相萃取法从紫薯中提取花青素。结果表明，最佳提取条件为：液固比45:1 (mL/g)、乙醇浓度25%、硫酸铵浓度22%、pH = 3.3。花青素产率和分配系数分别为90.02%和19.62。同时发现与常规溶剂萃取相比，双水相萃取是一种温和的方法，这种方法可以保持物质原有的组成和结构，而且为从蔬菜果实中花青素的工业化提取提供了潜在的优势。

高压脉冲电场辅助提取法(pulse electric field, PEF)产生的电脉冲破坏细胞膜，导致细胞膜形成暂时或永久性的小孔，使细胞内容物可以快速释放出来，电场强度也是影响提取物浓度的重要因素[12]。李圣桡等[13]采用响应面法优化提取工艺并与传统浸提法最优参数、提取量进行对比。结果发现高压脉冲电场辅助提取的最佳工艺参数为乙醇体积分数67%、电场强度20 kV/cm、脉冲数10个、液料比1:78 g/mL，最终得到花青素提取量为34.20 mg/g。同时发现运用此法提取花青素优化后，具有时间缩短、溶剂消耗少、花青素提取量多的优点。所以，虽然对设备要求较高，但是对环境损害小并且有着良好的发展前景。

超高压辅助提取法是在常温下用一定的流体静压力作用于原料，在预定压力保持一段时间，使细胞内外压力达到平衡后迅速卸压，使细胞内外渗透压力差突然增大，细胞内的有效成分穿过细胞的各种膜转移到细胞外的提取液中，达到提取有效成分的目的方法。姜秀杰等[14]在超高压辅助提取黑豆花青素的工艺优化研究中，通过响应面分析方法对其工艺进行优化研究。结果是最佳工艺参数为乙醇浓度70%、料液比1:40 (g/mL)、处理压力438 MPa和保压时间6 min。在此条件下，黑豆花青素的提取率为3.47 mg/g。超高压辅助提取法是近年来发展起来的一项新技术，具有提取时间短、提取液稳定性好、溶剂消耗少、提取率高、节能等优点，受到大多数科研工作者的好评。其最初用于食品保鲜、食品品质改良等领域，近年来从食品领域扩展到医药领域，开始用于中药有效成分的提取。虽然此法优点众多，但是目前处于初级阶段，需要不断探究其对分子结构、蛋白变性等方面的影响。

4. 花青素的药理作用

4.1. 抗氧化作用

花青素因其特殊的化学结构,清除自由基的能力明显高于维生素 C 和维生素 E。有研究表明,其抗氧化活性比维生素 E 高 50 倍,比维生素 C 高 20 倍[15]。在体内外都能清除多种氧自由基,增加细胞对氧自由基的吸收、增强一些天然抗氧化酶活性,从而发挥抗氧化作用[16]。其主要从以下几个方面发挥抗氧化作用:1) 阻止与过氧根离子发生反应;2) 与体内某些特定的金属离子螯合,阻止羟基的产生;3) 抑制脂质发生过氧化反应;4) 与胶原蛋白结合起保护作用[17] [18]。

王兵亚等[19]在夏黑葡萄花青素抗氧化活性及对 D-半乳糖衰老模型小鼠的保护作用研究中发现,夏黑葡萄花青素具有很强的抗氧化活性,尤其在浓度较大时对于 DPPH 自由基的清除率可达到 98%,对 D-半乳糖衰老模型小鼠起到较好的保护作用。吕晓凡等[20]在秋石斛花青素提取液成分分析及其体外抗氧化活性和刺激性研究中采用家兔皮肤刺激和眼刺激实验对提取物的安全性进行了试验。结果表明,从花青素提取物中检测出 15 个花青素的成分,如昔元有飞燕草素、矢车菊素、锦葵素等;提取物体外抗氧化活性较强,相同浓度下花青素提取物的 DPPH 清除能力和总抗氧化能力均强于抗坏血酸;且在浓度 0.25~1.0 g/L 的花青素提取物中对家兔眼和皮肤都不含刺激性。

4.2. 抗癌作用

癌症不仅威胁着人类的健康,而且还会影响人们的生活质量。目前治疗癌症的手段有物理化学治疗和外科手术治疗。在患者接受物理化学治疗时,许多不良反应也会随之发生。因此,抗癌药物的新型研发成为医学界急需解决的重要课题。现在已经有研究通过实验等证明花青素具有抗癌的作用。

侯锐等[21]在蓝莓花青素诱导结肠癌 LS174T 细胞凋亡和抑制其增殖的实验中,采用体外培养结肠癌 LS174T 细胞的方法,加入不同浓度的蓝莓花青素处理,利用 CCK 法、Hoechst 染色检测不同浓度的蓝莓花青素对 LS174T 细胞增殖和凋亡的影响;实时荧光定量 PCR 检测细胞相关凋亡基因 P53、CCND3、P73、SFN、Caspase-8 和 FAM200amRNA 的表达;蛋白质免疫印迹法检测细胞 Caspase-8 和 P73 的表达。结果发现蓝莓花青素抑制结肠癌 LS174T 细胞增殖,诱导凋亡与 P73 蛋白表达上调和 Caspase-8 蛋白表达下调相关。田野等[22]在紫嫣茶中花青素水提工艺及其提取物抗癌活性的实验中,以其中花青素含量达到最高为目的,以不含花青素成分但儿茶素含量相当的“天青”茶为对照,比较了其水提取物对肝癌、乳腺癌、结肠癌细胞的抗癌活性。所得结果是与“天青”茶相比较,“紫嫣”茶对 3 种癌细胞的抑制作用均优于对照茶样,说明花青素确实有一定的抑癌作用。

目前关于花青素抗癌作用的机制有以下几点猜想:一是转录过程中,通过调节细胞凋亡的基因表达信号途径,促进癌细胞凋亡;二是在癌细胞分裂时,降低周期蛋白和依赖激酶表达量,减慢癌细胞增殖速度且使其分化;三是破坏表皮生长因子受体与癌细胞膜的配体结合,减少表达量,防止扩散及侵袭周围器官;四是切断给予癌细胞的营养物质途径,使其长期处于一种“饥饿”状态,癌细胞会因缺少“食物”而凋亡[23]。花青素的抗癌作用还有待于深入研究,但因其独特的化学结构和生物活性,未来在此方向有很大的发展潜力。

4.3. 抗炎作用

近些年来,一些研究报道证实花青素具有较强的抗炎作用。其可能通过抑制促炎细胞因子、CAM、氧自由基表达、影响 NF-KB 和 MAPKs 通路及介导 NO、COX-2 的表达等发挥抗炎作用[24]。

Wei Xu 等[25]以园蓝为研究材料,鉴定园蓝花青素提取物(GBBAEs)中的功能性成分的结构,建立脂多糖(LPS)诱导的体外炎症模型,并评价其抗炎作用。结果表明,通过 ELISA 法测定园蓝花青素提取物

(GBBAEs)中可以明显抑制 NO、PGE₂、IL-1 β 、IL-6、INF- γ 等炎症因子的释放；RT-PCR 分析阐明在 LPS 诱导的单核 - 巨噬细胞 RAW 264.7 中，GBBAEs 可以明显抑制 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 、COX-2 及 MCP-1 的炎症相关基因 mRNA 的表达水平。王静等[26]在对金叶女贞果实花青素的研究中发现其具有抗炎作用，也有镇痛作用。将实验动物分成五组，生理盐水对照组、阿司匹林对照组、花青素高、中、低剂量组；通过小鼠热板法和醋酸扭体法观察花青素镇痛作用，通过二甲苯至耳廓肿胀法腹腔毛细血管通透性及棉球肉芽肿实验观察花青素的抗炎作用。实验结论得出：金叶女贞果实花青素具有抗炎镇痛作用，其机制可能与提高小鼠抗氧化能力，减少 NO 和炎性因子 PGE₂ 的生成有关。

4.4. 对心血管疾病的影响

心血管疾病是全世界范围内主要的死亡原因，往往具有潜在的发展进程。血管健康取决于内皮功能、动脉硬化和动脉粥样硬化斑块的存在。近年来动脉硬化在我国的发病率呈现逐步上升趋势，而 LDL 氧化和血小板聚集是引发动脉粥样硬化的主要原因。动脉硬化的发生通常会诱发相应器官受损或导致疾病的发生，主要以冠心病、心绞痛和脑栓塞最为常见和严重。

Alvarez-Suarez JM 等[27]在补充富含草莓花青素的花青素可以改善人类的心血管风险研究中，让 500 名健康志愿者每天补充草莓 500g，持续一个月。实验结果发现，花青素可降低总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯水平，降低心血管疾病患病风险。Thandapilly SJ 等[28]对自发性高血压大鼠给予冷冻干燥葡萄粉末 10 周后，自发性高血压大鼠的动脉舒张功能得到改善，血压显著降低，心肌肥厚减轻。另外 Hwang [29]等分析了紫甘薯中花青素减少脂质在体内蓄积的作用机制，发现花青素是通过激活磷酸腺苷活化蛋白酶来减少脂质在肥胖小鼠体内的蓄积，来达到降脂的目的。这些研究成果为预防心血管疾病，降低心血管发病率提供了有效的依据。

4.5. 保护视力

花青素保护视力的作用主要通过以下途径实现：不仅能有效防止眼睛晶状体的蛋白质氧化、晶状体浑浊，还能防止白内障的产生；一是通过活化和促进视网膜上视红素的合成，从而改善人眼视觉的敏锐程度，改善人的视力；二是通过抑制视网膜光化学损伤感光细胞的凋亡，防止视网膜光化学损伤，从而达到保护视力的功效；三是通过预防性的神经保护作用，从而使视网膜免受光所诱导的视网膜病变。在二战时期英国皇家空军飞行员在执行飞行任务前，都会给他们搭配富含蓝莓的饮食。研究显示，蓝莓中的花青素会促进视网膜上视紫质的再生，提高视觉灵敏度，对于飞行员来说提供了很大的帮助。这也足以说明花青素在保护视力方面有着非比寻常的作用。

刘春民等[30]曾给近视青少年治疗组口服一定量的花青素，一个月后，发现青少年的视力得到明显改善。因为花青素能有效缓解因疲劳引起的视觉模糊，尤其对患糖尿病者的视网膜具有良好的治疗效果。之后姚佳宇等[31]报道，蓝莓提取物花青素也可缓解视觉疲劳、眼表疾病、糖尿病性白内障疾病、青光眼等。花青素具有保护视力的作用，这与其拥有强抗氧化能力有着密切关系，它能加快微血管循环减轻眼睛受自由基的攻击。通过体外实验发现花青素可让各类视网膜细胞逃脱氧化应激的攻击，起到保护视力的效果[32]。

5. 结语

花青素具有抗氧化、抗炎、抗癌等其他一些特殊的药理作用，近年来在医药、化妆品、食品行业中受到一定的重视。大量研究发现，临床上还可以将花青素添加到某些药物中，利用其特殊的化学特性，帮助病人区别药物。研究人员也逐渐发现其潜在的多重保护作用和医用价值。但由于花青素溶解度较小，

在体内生物利用度低,而且药物研发成本较高,同时其发挥药理作用所涉及的信号通路、分子结构及两者关系等仍不明确,如何有效利用其生物活性将其效益最大化也是研究人员近来所面临的问题。虽然花青素在医药方面的应用受到一定的限制,但其具有良好的生理功能使其未来注定拥有比较广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 栾琳琳. 桑葚果渣花青素的提取及稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [2] 张振文, 徐缓, 吴秋妃, 等. 木薯叶花青素提取工艺研究[J]. 热带作物学报, 2018, 39(3): 570-574.
- [3] 刘强. 花青素提取工艺的研究进展[J]. 云南化工, 2018, 45(6): 7-9.
- [4] 蔡圆圆, 叶杭钰, 姜海峰, 等. 微波辅助法提取紫甘薯花青素及其抗氧化性研究[J]. 生物化工, 2018, 4(6): 102-105.
- [5] 袁媛, 余修亮, 陈余欢, 等. 桃金娘花青素和黄酮的提取方法及其抗氧化能力研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(9): 144-151.
- [6] 卫春会, 张兰兰, 邓杰, 等. 桑葚花青素超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 96-99.
- [7] Fu, X., Zhu, C., Shen, A., *et al.* (2021) Extraction of Anthocyanin from Eggplant Peel by Ultrasonic Assisted Method and Application in Cosmetics. *EDP Science*, **267**, Article ID: 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126702002>
- [8] 张莹丽, 邓瑞瑞, 李伟民. 超声波辅助酶法提取紫薯花青素及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 92-96.
- [9] Segade, S.R., Pace, C., Torchio, F., *et al.* (2015) Impact of Maceration Enzymes on Skin Softening and Relationship with Anthocyanin Extraction in Wine Grapes with Different Anthocyanin Profiles. *Food Research International*, **71**, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.012>
- [10] Prakash Maran, J., Priya, B. and Manikandan, S. (2014) Modeling and Optimization of Supercritical Fluid Extraction of Anthocyanin and Phenolic Compounds from Syzygiumcumini Fruit Pulp. *Journal of Food Science and Technology*, **51**, 1938-1946. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1237-y>
- [11] Liu, X., Mu, T., Sun, H., *et al.* (2013) Optimisation of Aqueous Two-Phase Extraction of Anthocyanins from Purple Sweet Potatoes by Response Surface Methodology. *Food Chemistry*, **141**, 3034-3041. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1237-y>
- [12] 崔丽霞, 张志军, 李晓君, 等. 花青素提取、分离纯化技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(20): 195-199.
- [13] 李圣桡, 李若萌, 陈博朴, 等. 高压脉冲电场辅助提取蓝莓果花青素工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(8): 3242-3250.
- [14] 姜秀杰, 张爱武, 姜彩霞, 等. 超高压辅助提取黑豆花青素的工艺优化研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2020, 32(5): 42-48.
- [15] 温桃勇, 刘小强. 紫色甘薯营养成分和药用价值研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1954-1956, 2035.
- [16] 徐春明, 庞高阳, 李婷. 花青素的生理活性研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2013(3): 205-210.
- [17] 赵海田, 王振宇, 王路, 等. 花色苷类物质降血脂机制研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(4): 139-144.
- [18] 林清华. 蓝莓花青素对 CCl_4 诱导小鼠肝损伤的保护作用及其抗氧化机制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [19] 王兵亚, 连秀仪, 杨琛擘, 等. 夏黑葡萄花青素抗氧化活性及对 D-半乳糖衰老模型小鼠的保护作用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 22-26, 32.
- [20] 吕晓凡, 周新红, 王莹, 等. 秋石斛花青素提取液成分分析及其体外抗氧化活性和刺激性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(4): 374-381.
- [21] 侯锐, 王利, 李少伟, 等. 蓝莓花青素诱导结肠癌 LS174T 细胞凋亡和抑制其增殖[J]. 基础医学与临床, 2016, 36(11): 1467-1471.
- [22] 田野, 殷中琼, 唐茜. 紫嫣茶中花青素水提工艺及其提取物抗癌活性[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(1): 1-7.
- [23] 彭晓莉, 余小平. 花青素对乳腺癌防治作用及机制研究进展[J]. 成都医学院学报, 2011, 3(1): 226-229.
- [24] 杨霞, 王利, 李少伟, 等. 花青素抗炎机制的研究进展[J]. 山东医药, 2017, 57(18): 106-109.

- [25] Xu, W., Zhou, Q., Yao, Y., *et al.* (2016) Inhibitory Effect of Gardenblue Blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) Anthocyanin Extracts on Lipopolysaccharide-Stimulated Inflammatory Response in RAW 264.7 Cells. *Zhejiang University-Science B (Biomedicine and Biotechnology)*, **17**, 425-436. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1500213>
- [26] 王静, 王建安, 姜玉新, 等. 金叶女贞果实花青素抗炎镇痛的作用机制[J]. 中国应用生理学杂志, 2015, 31(5): 431-436.
- [27] Alvarez-Suarez, J.M., Giampieri, F., Tulipani, S., Casoli, T., Di Stefano, G., González-Paramás, A.M., Santos-Buelga, C., Busco, F., Quiles, J.L., Cordero, M.D., *et al.* (2014) One-Month Strawberry-Rich Anthocyanin Supplementation Ameliorates Cardiovascular Risk, Oxidative Stress Markers and Platelet Activation in Humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, **25**, 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.11.002>
- [28] Thandapilly, S.J., LeMaistre, J.L., Louis, X.L., Anderson, C.M., Netticadan, T. and Anderson, H.D. (2012) Vascular and Cardiac Effects of Grape Powder in the Spontaneously Hypertensive Rat. *American Journal of Hypertension*, **25**, 1070-1076. <https://doi.org/10.1038/ajh.2012.98>
- [29] Hwang, Y.P., Choi, J.H., Han, E.H., *et al.* (2011) Purple Sweet Potato Anthocyanins Attenuate Hepatic Lipid Accumulation through Activating Adenosine Monophosphate-Activated Protein Kinase in Human HepG2 Cells and Obese Mice. *Nutrition Research*, **31**, 896-906. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.09.026>
- [30] 刘春民, 王抗美, 邹玲. 花青素对近视青少年视疲劳症状及视力的影响[J]. 中国实用眼科杂志, 2005, 23(6): 607-609.
- [31] 姚佳宇, 李志坚. 蓝莓花青素在眼科疾病的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2016, 16(12): 2234-2236.
- [32] Kalt, W., Hanneken, A., Milbury, P., *et al.* (2010) Recent Research on Polyphenolics in Vision and Eye Health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**, 4001-4007. <https://doi.org/10.1021/jf903038r>