DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2025.02.050

枸杞色素提取、分离纯化及其药理作用研究进展

苏圆锦[1],奚佳玉[1],董树清[2],邵士俊[2],梁卿[2],杨扶德[1]
(1.甘肃中医药大学药学院,甘肃 兰州 730000;2.中国科学院兰州化学物理研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:枸杞是具有滋补肝肾、益精明目之效的药食同源中药。枸杞色素是枸杞的主要活性成分之一,有抗氧化、抗肿瘤、保护视力、保护肝脏等药理活性,不同的提取和分离纯化方法对枸杞色素的含量和纯度均有不同程度的影响。对枸杞色素的提取、分离纯化方法、化学组成及主要药理活性进行归纳总结,并对其研究前景进行展望,为枸杞色素进一步开发利用提供理论依据。

关键词:枸杞;色素;提取;分离纯化;结构;药理活性
中图分类号:R282.71 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2025)02-0241-05

Research Progress on Extraction, Separation, Purification and Pharmacological Activities of Pigments Extracted from Gouqi (Lycii Fructus)

SU Yuanjin[1], XI Jiayu[1], DONG Shuqing[2], SHAO Shijun[2], LIANG Qing[2], YANG Fude[1]
(1. College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu, China;
2. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Gouqi (Lycii Fructus) is a Chinese drug which is homology of medicine and food with the effect of nourishing liver and kidney, nourishing the essence and brightening the eyes. Pigment is one of the main active components of Gouqi (Lycii Fructus), which has pharmacological activities such as antioxidant, anti-tumor, vision protection and liver protection effects. Different extraction and purification methods have varying degrees of impact on the contents and purities of pigments. This paper summarized the extraction methods, separation and purification, chemical composition and main pharmacological activities of pigments from Gouqi (Lycii Fructus) and prospected their research prospects, providing theoretical support for the further development and utilization of pigments from Gouqi (Lycii Fructus).

Keywords: Gouqi (Lycii Fructus); pigment; extraction; separation and purification; structure; pharmacological activities

枸杞 *Lycium barbarum* L. 属茄科多分枝灌木植物,全世界约有 80 种枸杞属植物,其中南美、北美及非洲分布较多。我国有 7 个品种和 3 个变种,广泛分布于宁夏、甘肃、青海、山西、新疆、陕西、河北、内蒙古等地[1]。枸杞果实是我国传统中药材,性平味甘,归肝、肾经,有滋补肝肾、益精明目之功效,能治疗虚劳精亏、腰膝酸痛、眩晕耳鸣、阳痿遗精、内热消渴、血虚萎黄、目昏不明等症状[2]。现代研究发现,枸杞化学成分有多糖类、色素类、黄酮类、生物碱类等化合物[3]。枸杞色素是枸杞中各种呈色物质的总称,主要组成为类胡萝卜素及其酯类[4],其中玉米黄素双棕榈酸是枸杞呈色的主要原因,因此又将该单体称为“枸杞红素”,将枸杞中类胡萝卜素类物质称为“枸杞红素类成分”[5]。枸杞色素有抗氧化、保护眼部、肝脏和预防肿瘤等药理活性[6]。目前枸杞研究主要集中在枸杞多糖的提取分离及药理活性方面,对枸杞色素成分的研究较少,因此本文主要对枸杞色素的化学成分、提取制备、分离纯化以及药理活性进行归纳总结,为枸杞色素的进一步开发利用提供理论依据。

基金项目:甘肃省科技计划项目重点研发计划项目(21YF5GA134);兰州市人才创新创业项目(2022-RC-29)
作者简介:苏圆锦(1999-),女,陕西咸阳人,硕士,研究方向:中药鉴定与品质评价。
通讯作者:梁卿(1980-),男,山东梁山人,高级工程师,学士,研究方向:中药和天然药物质控技术与质量标准。E-mail:liangqing@licp.cas.cn。
杨扶德(1972-),男,甘肃古浪人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向:中药品质及中药材规范化栽培。E-mail:gszyyfd@163.com。

1 枸杞色素化学成分及结构式

枸杞色素主要由枸杞中的类胡萝卜素及其酯类组成,类胡萝卜素是由 8 个异戊二烯单位组成的四萜类化合物,通过共轭双键构成的一类脂溶性色素[4],主要包括 β-胡萝卜素、玉米黄素、叶黄素、β-隐黄素以及各种类胡萝卜素脂肪酸酯等[7],具体化合物名称见表 1,结构式见图 1。

2 枸杞色素的提取和分离纯化

2.1 *枸杞色素的提取* 枸杞色素的提取方法可大致分为溶剂提取法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法和超临界流体提取法,其中溶剂提取法最为常见。李宏燕等[11]用乙醇提取枸杞色素,并采用正交试验对提取工艺进行优化,得到最佳工艺条件为:料液比 1∶20 时,用 60% 乙醇在 80 ℃下提取 3 次,每次提取 2 h,得率为 49.1%。采用溶剂提取法提取枸杞色素,提取物中会含有大量脂肪酸甘油酯以及各种游离脂肪酸等水溶性成分,对产品纯度测定以及色素释放有一定的影响,为获得高纯度的枸杞色素,用皂化法除去脂肪酸以及脂肪酸甘油酯等酯类。李国银等[12]加入 NaOH 溶液皂化处理枸杞,结果表明当皂化温度 40℃,NaOH 溶液质量分数 1%,料液比 1∶4,皂

化提取 40 min 时为最佳工艺参数,并发现皂化处理效果明显优于未皂化处理效果。超声波提取可以破坏植物细胞壁,利于细胞内容物溶出,有提取时间短、产率高、条件温和等优点。郭志华等[13]用超声波辅助法提取枸杞色素,通过正交试验得到最佳提取工艺:提取溶剂为石油醚,料液比 1∶6,超声功率 400 W,在 40 ℃提取 25 min,枸杞色素粗品提取率为 97.68%。微波提取法有加热速度快、控制方便、受热体系温度均匀、节约能量等优点,但设备昂贵,不适合大规模生产。李宏燕等[14]采用微波法提取枸杞色素,并采用正交试验法进行参数优化,结果显示当加入料液比 1∶30,提取温度 45 ℃,提取 2 次,每次 20 min 时,枸杞色素得率为 17.14%。酶提取法可以通过纤维素酶和果胶酶水解细胞壁,从而有利于色素向胞外扩散和溶剂向胞内扩散,促进色素溶出,相较于溶剂提取法的提取率较高[15]。牛红军等[16]利用纤维素酶协同超声波法提取枸杞色素,采用3 因素 3 水平响应面法对酶解 pH 值、酶解温度和液料比进行了优化,得到最佳酶处理工艺为:酶解 pH 为 5.5,酶解温度为 35.5 ℃,液料比为 15.5∶1,此时,枸杞色素吸光值为 0.319。对枸杞色素不同提取方法进行统计(见表 2),最佳提取工艺的提取温度在 30 ~ 80 ℃,提取时间在 0.3 ~ 4 h,料液比在 1∶3 ~ 1∶60,提取次数在 2 ~ 4 次。

表 1 枸杞中主要的色素类化合物

序号	化合物名称	文献
1	β - 胡萝卜素	[8]
2	玉米黄素	[8]
3	叶黄素	[8]
4	β - 隐黄素	[8]
5	玉米黄素单豆蔻酸酯	[9]
6	玉米黄素单棕榈酸酯	[10]
7	玉米黄素二棕榈酸酯	[10]
8	β - 隐黄素单棕榈酸酯	[10]
9	紫黄素二棕榈酸酯	[9]
10	玉米黄素二棕榈酸酯	[9]
11	花药黄素二棕榈酸酯	[9]

药材的来源对枸杞色素的提取也有显著影响,不同产地、不同种类、不同年份枸杞的色素含量不同。张志宁等[31]采用溶剂法提取枸杞中类胡萝卜素,分光光度法测定类胡萝卜素含量,考察不同产地的类胡萝卜素含量,结果显示含量较高的产地是宁夏中宁舟塔乡与中卫镇锣乡。雷建武等[32]采用分光光度法测定不同种鲜果和干果中枸杞类胡萝卜素含量,结果表明鲜果中类胡萝卜素含量最高为枸杞,其次是黄果枸杞,黑果枸杞含量最小;干果中类胡萝卜素含量大小顺序为:宁杞 1 号 > 黑果枸杞 > 黄果枸杞 > 枸杞 09191 > 宁农杞 2 号 > 宁农杞 1 号。除了产地和品种之外,年份对枸杞色素含量也有影响,郑坚强等[33]采用溶剂法提取不同年份中枸杞的类胡萝卜素,发现陈年枸杞的存放时间越短,其类胡萝卜素含量越高。

2.2 *枸杞色素的分离纯化* 目前对枸杞色素进行分离纯化的方法主要有薄层色谱法(TCL)、柱层析法和高效液相色谱法(HPLC),郭涛[34]采用薄层色谱法,用氧化镁 - 硅藻土(1∶2,w/w)做吸附剂,正己烷 - 丙酮(90∶10,v/v)做洗脱剂,经展开剂石油醚 - 丙酮(17∶4,v/v)展开,该条件下枸杞色素提取液的分离效果较好。孙宇杰等[35]采用柱层析法分离纯化枸杞类胡萝卜素,并通过单因素实验筛选最佳条件,柱填料为中性氧化铝 - 硅胶(100 ~ 200 目)(2∶1,w/w),洗脱剂为丙酮 - 正己烷(5∶1,v/v),上样量 1 mL,在此条件下分离效果最好,纯化倍数是 1.15 倍。冯作山等[36]采用氧化镁柱层析对枸杞色素粗品进行纯化,先用石油醚洗脱脂溶性成分,再用石油醚 - 丙酮(10∶1,v/v)做洗脱剂,最终得到类胡萝卜素,通过 TCL 法和 HPLC 法测定,可得到纯度为 78% 的类胡萝卜素。

此外还可采用乙醇溶析旋蒸法对枸杞色素进行纯化,得到的色度纯度较高,且回收效果较好。张崇坚等[37]采用溶剂法、乙醇溶析旋蒸法和溶剂萃取 - 乙醇溶析旋蒸联合法 3 种方法分别纯化枸杞色素,比较发现乙醇溶析旋蒸法处理过的枸杞粗色素效果最好,纯度可达 76.46%,回收率为 84.18%。

3 枸杞色素的药理活性

3.1 *抗氧化活性* 研究发现,枸杞色素具有良好的抗氧化性能。赵萍等[38]通过溶剂提取法得到枸杞色素,对枸杞色素的

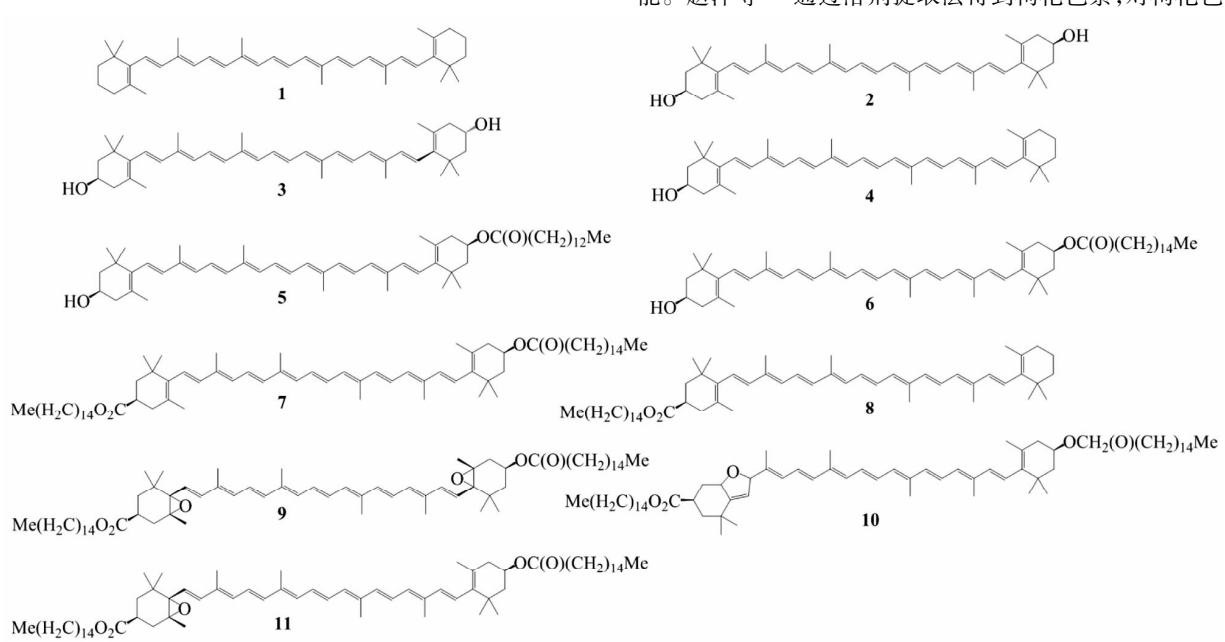


图 1 枸杞中主要色素类成分结构

表 2 枸杞色素的提取方法及结果

提取方法	考察因素	考察方法	影响因子程度大小	最佳工艺	最大色素提取率/(%)	色素(类胡萝卜素)含量	文献
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、液料比(C)、石油醚? 丙酮(D)	二次正交旋转实验设计	B>C>A>D	A(30.9 ℃)、B(2.2 h)、C(7.16∶1)、D(5.43∶1)	—	—	[17]
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、乙醇浓度(C)、提取次数(D)	单因素实验+正交实验	C>A>D>B	A(80 ℃)、B(2 h)、C(60%)、D(3 次)	49.1	—	[11]
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、提取次数(C)、液料比(D)	单因素实验+正交实验	A>C>B>D	A(50 ℃)、B(1.5 h)、C(4 次)、D(3∶1)	91.6	—	[18]
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、乙醇浓度(C)、料液比(D)	单因素实验+正交实验	C>A>D>B	A(50 ℃)、B(1 h)、C(无水乙醇)、D(1∶12)	8.1	—	[19]
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、pH 值(C)、提取溶剂(D)	正交实验	D>A>C>B	A(50 ℃)、B(4 h)、C(3)、D(异丙醇)	60	—	[20]
溶剂提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、甲醇∶无水乙醇(D)	正交试验	D>A>B>C	A(60 ℃)、B(60 min)、C(1∶10)、D(1∶3)	—	69.58 mg/100 g	[21]
	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、无水乙醇∶石油醚(D)	正交试验	C>A>B>D	A(40 ℃)、B(50 min)、C(1∶10)、D(1∶2)	—	69.58 mg/100 g	
	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、无水乙醇∶乙酸乙酯(D)	正交试验	C>A>B>D	A(40 ℃)、B(60 min)、C(1∶10)、D(1∶2)	—	286.75 mg/100 g	
	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、无水乙醇∶石油醚(D)	响应面分析	A>B>C>D	A(45 ℃)、B(50 min)、C(1∶12.5)、D(1∶1)	—	327.57 mg/100 g	
超声波辅助提取法	无水乙醇∶石油醚(A)、料液比(B)、提取时间(C)	单因素实验+响应面分析	A>C>B	A(2.6∶1)、B(1∶60)、C(41 min)	—	321.52 mg/100 g	[22]
超声波辅助提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、超声功率(D)	单因素实验+正交实验	A>C>D>B	A(40 ℃)、B(25 min)、C(1∶6)、D(80 W)	97.68	—	[13]
超声波辅助提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、超声功率(D)	单因素实验+正交实验	A>C>B>D	A(40 ℃)、B(50 min)、C(1∶30)、D(200 W)	9.93	—	[23]
超声波辅助提取法	提取时间(A)、料液比(B)、粒度(C)	正交试验	C>A>B	A(30 min)、B(1∶15)、C(>40 目)	92.3	—	[24]
超声波辅助提取法	提取时间(A)、超声功率(B)、料液比(C)、超声频率(D)	单因素实验+正交实验	B>A>C>D	A(50 min)、B(300W)、C(1∶15)、D(60 Hz)	—	18.16 mg/100 g	[25]
微波辅助法	提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、提取次数(D)	单因素实验+正交实验	C>D>A>B	A(45 ℃)、B(20 min)、C(1∶30)、D(2 次)	17.14	—	[14]
微波辅助法	微波火力(A)、提取时间(B)、料液比(C)、提取次数(D)	单因素实验+正交实验	D>C>B>A	A(中火)、B(20 S)、C(1∶4)、D(3 次)	—	14.23 mg/L	[26]
微波辅助法	微波功率(A)、提取时间(B)、料液比(C)、0.1 mol/L HCl∶95% 乙醇(D)	单因素实验+正交实验	D>B>A>C	A(400 W)、B(30S)、C(1∶10)、D(2∶3)	16.86	—	[27]
皂化提取法	皂化温度(A)、皂化时间(B)、NaOH 质量分数(C)、液料比(D)	单因素实验+正交实验	A>C>D>B	A(40 ℃)、B(40 min)、C(1.0%)、D(4∶1)	—	—	[12]
皂化提取法	提取温度(A)、提取时间(B)、Na_2CO_3 浓度(C)、起泡 pH 值(D)	单因素实验+正交实验	A>C>B>D	A(40 ℃)、B(3 h)、C(0.7 mol/L)、D(7.5)	—	—	[28]
超声-微波协同提取法	料液比(A)、微波功率(B)、提取温度(C)、提取时间(D)	单因素实验+响应面分析	B>A>C>D	A(1∶16.2)、B(612.7 W)、C(55.39 ℃)、D(31.76 min)	—	—	[29]
超声波辅助皂化法	皂化温度(A)、皂化时间(B)、KOH 浓度(C)、超声功率(D)	单因素实验+响应面分析	B>A>C>D	A(40.7 ℃)、B(1 h)、C(1.8 mol/L)、D(205 W)	—	128.099 mg/100 g	[30]
酶协同超声波法	酶解温度(A)、酶解 pH(B)、液料比(C)	单因素实验+响应面分析	B>C>A	A(35.5 ℃)、B(5.5)、C(15.5∶1)	—	—	[16]

抗氧化活性进行研究,发现枸杞色素有一定的还原性,且皂化前抗氧化活性高于皂化后,对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH)、超氧阴离子和羟基自由基也有较好的清除能力,其抗氧化活性随色素浓度的升高而增强。雷建武等[32]发现不同品种枸杞的抗氧化活性差异明显,其中宁杞 1 号干果的总抗氧化能力和 FRAP 值最高,2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2′-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate),ABTS]自由基清除力和 FRAP 值与总类胡萝卜素含量相关系数分别为 0.97 和 0.715,呈极性显著正相关($P<0.01$)。类胡萝卜素可以充当抗氧化剂或促氧化剂,表现出抗氧化作用[39]。SARADA S K 等[40]研究发现,β-胡萝卜素通过降低血浆内的丙二醛水平,增加谷胱甘肽和谷胱甘肽过氧化物酶的水平来抑制男性白化病中缺氧诱导的氧化应激。

3.2 抗肿瘤活性 枸杞色素主要由类胡萝卜素组成,有研究发现,女性血浆中类胡萝卜素含量水平较高会降低患乳腺癌的风险[41]。GLORIA N F 等[42]研究发现,用 β-胡萝卜素处理人乳腺癌 MCF-7 细胞 48 和 96 h,能有效抑制癌细胞增殖,诱

导不同阶段的癌细胞周期停滞,增加癌细胞凋亡。JANG S H 等[43]研究发现 β-胡萝卜素能通过上调凋亡蛋白 p53 水平和下调介导 B 细胞淋巴瘤-2(B-cell lymphoma-2,Bcl-2)水平,降低胃癌 AGS 细胞的存活率,促进癌细胞凋亡。HOU J 等[44]研究发现从盐杆菌中提取的类胡萝卜素在较高浓度(>0.5 μmol/L)下对肝癌 HepG2 细胞有明显的增殖抑制作用。此外,β-胡萝卜素可降低缺氧诱导因子-1α(hypoxia-inducible factor-1α,HIF-1α)的表达,并减弱恶性神经母细胞瘤细胞的迁移和侵袭能力[45]。

3.3 保护视力活性 枸杞色素中含丰富与眼睛保护作用有关的类胡萝卜素,即 β-胡萝卜素、玉米黄素、叶黄素等,其中玉米黄素是发挥明目作用的主要成分,有保护黄斑和视网膜感光细胞的功能[46]。β-胡萝卜素具有很好的抗氧化活性,长期服用可预防年龄性黄斑变性和白内障[47]。张晋等[48]发现枸杞色素对脂多糖所诱导的大鼠葡萄膜炎有明显的抑制作用,其机制可能是通过调控眼部一氧化氮/非对称性二甲基精氨酸的水平以及提高机体抗氧化能力。叶黄素和玉米黄质可吸收光毒性最大的蓝光,从而保护中央凹免受蓝光损伤[49],长期补充叶黄素和玉米黄质可对氧化应激引起的光感受器和人视网膜色素细胞凋亡提供保护作用[50-51]。此外还有研究发现,叶黄素和玉米黄质在治疗早期糖尿病视网膜病变方面也具有很大的潜力[52]。TANG L 等[53]研究发现枸杞或其活性成分类胡萝卜素可通过靶向 AMP 活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase,AMPK)和叉头框蛋白 O3a(Forkhead Box Protein O3a,FOXO3a)信号通路,导致细胞活性氧的正常化和内质网应激的衰减,预防 2 型糖尿病小鼠视网膜凋亡和恢复视网膜结构。每天补充一定量的枸杞子可增加血浆中玉米黄质和抗氧化水平,维持视网膜黄斑色素密度[54]。

3.4 保护肝脏活性 KIM H P 等[55]研究发现枸杞类胡萝卜素可以抑制继发性肝纤维化,其机制可能是通过抑制肌成纤维细胞增殖、抑制受损肝细胞和活化的 Kupffer 细胞传递的旁分泌信号,保持谷胱甘肽 S-转移酶活性降低胆红素毒性来介导的。XIAO J 等[56]研究了枸杞类胡萝卜素对大鼠酒精性脂肪性肝病模型的作用效果,发现枸杞玉米黄质能够通过降低核因子-κB(nuclear factor-κB,NF-κB)活性和调节丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-Activated Protein Kinases,MAPK)通路降低肝细胞凋亡和乙醇诱导的肝毒性。CHAMBERLAIN S M 等[57]研究发现玉米黄质可通过减少氧化应激显著阻止非酒精性脂肪肝炎的炎症和纤维化。LI J J 等[58]研究发现枸杞类胡萝卜素可以减轻非肥胖小鼠慢性乙型肝炎和非酒精性脂肪性肝炎合并引起的肝损伤。GAO H 等[59]研究发现枸杞衍生的玉米黄质二棕榈酸酯对乙醇诱导的酒精性脂肪性肝病有治疗和保护作用,通过磷脂酰肌醇 3-激酶-Akt 和 AMPK-FoxO3a 通路,以恢复被乙醇中毒抑制的线粒体自噬功能。

4 总结与展望

枸杞色素组成成分较复杂,本文从枸杞色素的提取、分离纯化以及药理活性进行归纳整理分析,发现:(1)关于枸杞色素提取方法的研究较多,且不同来源枸杞色素含量差异较大,不同产地、不同种类和不同年份枸杞所含色素含量不同,影响枸杞提取的因素较多,如加工条件、贮藏条件不同也会影响枸杞色素含量,因此建议深入研究这些影响因素。(2)枸杞色素在分离纯化方面还稍有欠缺,纯化方法较为单一,得到的色素纯度也较低,应增加枸杞色素分离纯化研究,提高枸杞色素纯度。(3)枸杞色素有抗氧化、抗肿瘤、保护视力、保护肝脏等药理作用,但目前关于枸杞生理活性的研究主要集中于枸杞多糖上,建议增加枸杞色素药理作用研究。枸杞色素作为来源于药食同源作物枸杞中的具有较强生物活性的一类天然化合物,具有广阔的应用前景,可以开发枸杞色素相关保健食品及药品,进一步提升枸杞的食用价值、药用价值及经济价值。

参考文献

[1] 马鹏生,朱溶月,白长财,等. 宁夏枸杞植物资源及产业发展调查[J]. 中成药,2021,43(11):3245-3248.
[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:260-261.
[3] 邹新,产柳佳,易冰,等. 枸杞化学成分及其药理作用研究[J]. 湖北农业科学,2022,61(18):120-130.
[4] 牛红军,杨官娥. 枸杞色素提取工艺研究进展[J]. 中华中医药学刊,2016,34(10):2348-2351.
[5] 肖佳,高昊,周正群,等. 枸杞属中枸杞红素类成分研究进展[J]. 科学通报,2017,62(16):1691-1698.
[6] 罗青,米佳,冉林武,等. 枸杞类胡萝卜素研究进展[J]. 食品工业科技,2018,39(24):331-335,339.
[7] 张雪燕,戴瑜婷,王艺璇,等. 枸杞化学成分和药理作用研究进展及质量标志物的预测分析[J]. 中华中医药学刊,2024,42(1):174-183,260.
[8] 魏雪松,王海洋,孙智轩,等. 宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展[J]. 中成药,2018,40(11):2513-2520.
[9] YAO X,PENG Y,XU L J,et al. Phytochemical and biological studies of *Lycium* medicinal plants[J]. Chem Biodivers,2011,8(6):976-1010.
[10] INBARAJ B S,LU H,HUNG C F,et al. Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-APCI-MS[J]. J Pharm Biomed Anal,2008,47(4-5):812-818.
[11] 李宏燕,潘立娇,赵广涛. 枸杞色素的提取工艺研究[J]. 食品研究与开发,2011,32(10):180-183.
[12] 李国银,李正英,李成军,等. 皂化对枸杞色素提取效果的影响[J]. 农产品加工·学刊,2009(1):28-31.
[13] 郭志华,刘刚,王聪,等. 超声波辅助提取枸杞中的色素[J]. 光谱实验室,2012,29(6):3429-3432.
[14] 李宏燕,郝凤霞. 微波法提取枸杞色素的工艺[J]. 食品研究与开发,2014,35(9):40-42.
[15] 张蓝月,刘念,叶向斌. 天然色素的萃取与纯化[J]. 北方园艺,2010(20):216-219.
[16] 牛红军,李爽,杨官娥. 酶协同超声波法提取枸杞色素工艺研究[J]. 中国食品添加剂,2016(8):47-52.
[17] 钟智敏,李正英. 枸杞脂溶性色素提取条件的优化[J]. 农业机械,2011(20):162-165.
[18] 张春兰,冯作山. 枸杞色素提取工艺的研究[J]. 山西食品工业,2004(4):2-4.
[19] 任顺成,王小丽,孙军涛. 枸杞色素提取工艺及其稳定性研究[J]. 食品研究与开发,2009,30(2):183-187.
[20] 张业辉,张桂,孙卫东,等. 枸杞中类胡萝卜素的提取研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(11):84-87.
[21] 郑坚强,叶豪,司俊玲,等. 响应面优化萃取宁夏枸杞类胡萝

卜素工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 197 - 201.
[22] 吴有锋, 马世震, 谭亮, 等. 柴达木枸杞类胡萝卜素提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 250 - 256.
[23] 孙建霞, 吕昭伟, 文罗娜, 等. 超声波辅助提取鲜枸杞色素[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(9): 38 - 42.
[24] 赵锡兰. 超声浸取法提取枸杞中类胡萝卜素方法优化[J]. 宁夏医学杂志, 2010, 32(5): 424 - 425.
[25] 曹有龙, 刘兰英, 李晓莺, 等. 枸杞鲜果类胡萝卜素超声提取工艺优化及光稳定性[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(5): 20 - 22.
[26] 陶能国, 张继红, 张妙玲, 等. 微波法提取枸杞中类胡萝卜素的工艺研究[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2008, 30(2): 48 - 51, 71.
[27] 李金梅, 赵智宏, 杨秋林. 微波辅助法提取枸杞红色素的工艺条件研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2012, 33(2): 241 - 244.
[28] 杨莉, 郭洁红. 枸杞色素提取工艺研究[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2007, 10(4): 29 - 32.
[29] 贾鸿震, 张晓雪, 于长青, 等. 枸杞色素的闪式提取和超声 - 微波协同提取工艺[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 104 - 113.
[30] 王星, 牛黎莉, 王晓璇, 等. 皂化工艺对枸杞皮渣中类胡萝卜素提取效果的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(7): 709 - 714.
[31] 张志宁,张玮. 宁夏枸杞类胡萝卜素含量测定[J]. 内蒙古中医药,2013,32(34): 134.
[32] 雷建武, 米佳, 罗青, 等. 枸杞中类胡萝卜素及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2015, 36(12): 5 - 8.
[33] 郑坚强, 宋佳旭, 李红, 等. 陈年枸杞中类胡萝卜素含量的测定[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 121 - 125.
[34] 郭涛. 枸杞类胡萝卜素的分离纯化方法[J]. 中国果菜, 2014, 34(4): 33 - 36.
[35] 孙宇杰, 赵祎琳, 王岁楼. 枸杞类胡萝卜素的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2020(22): 4 - 7.
[36] 冯作山, 陈计峦, 孙高峰, 等. 枸杞色素的提取及纯化技术[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(12): 141 - 144.
[37] 张崇坚,吴正奇,杜志欣,等. 宁夏枸杞色素提取与纯化的工艺研究[J]. 食品科技,2015,40(5): 247 - 251.
[38] 赵萍, 吴灿军, 赵瑛, 等. 枸杞色素总抗氧化能力的研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3): 60 - 64.
[39] BLACK H S, BOEHM F, EDGE R, et al. The benefits and risks of certain dietary carotenoids that exhibit both anti - and pro - oxidative mechanisms - a comprehensive review [J]. Antioxidants, 2020, 9(3): 264.
[40] SARADA S K, DIPTI P, ANJU B, et al. Antioxidant effect of beta - carotene on hypoxia induced oxidative stress in male albino rats[J]. J Ethnopharmacol, 2002, 79(2): 149 - 153.
[41] ELIASSEN A H, HENDRICKSON S J, BRINTON L A, et al. Circulating carotenoids and risk of breast cancer: pooled analysis of eight prospective studies[J]. J Natl Cancer Inst, 2012, 104(24): 1905 - 1916.
[42] GLORIA N F, SOARES N, BRAND C, et al. Lycopene and beta - carotene induce cell - cycle arrest and apoptosis in human breast cancer cell lines [J]. Anticancer Res, 2014, 34(3): 1377 - 1386.
[43] JANG S H, LIM J W, KIM H. Mechanism of beta - carotene - induced apoptosis of gastric cancer cells: involvement of ataxia - telangiectasia - mutated[J]. Ann N Y Acad Sci, 2009, 1171: 156 - 162.
[44] HOU J, CUI H L. *In vitro* antioxidant, antihemolytic, and anticancer activity of the carotenoids from halophilic Archaea[J]. Curr Microbiol, 2018, 75(3): 266 - 271.
[45] NIRANJANA R, GAYATHRI R, NIMISH MOL S, et al. Carotenoids modulate the hallmarks of cancer cells[J]. J Funct Foods, 2015, 18: 968 - 985.
[46] 苏国辉, 米雪松. 中药材枸杞子药食同源的机理[J]. 生命科学, 2015, 27(8): 1070 - 1075.
[47] BUNGAU S, ABDEL - DAIM M M, TIT D M, et al. Health benefits of polyphenols and carotenoids in age - related eye diseases[J]. Oxid Med Cell Longev, 2019, 2019: 9783429.
[48] 张晋, 赵飞飞, 白双, 等. 枸杞色素抑制脂多糖致大鼠葡萄膜炎作用与机制的研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(11): 1778 - 1782.
[49] BARKER F M 2nd, SNODDERLY D M, JOHNSON E J, et al. Nutritional manipulation of primate retinas, V: effects of lutein, Zeaxanthin, and n - 3 fatty acids on retinal sensitivity to blue - light - induced damage[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2011, 52(7): 3934 - 3942.
[50] RAMÉ A. Age - related macular degeneration[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
[51] NAKAJIMA Y, SHIMAZAWA M, OTSUBO K, et al. Zeaxanthin, a retinal carotenoid, protects retinal cells against oxidative stress [J]. Curr Eye Res, 2009, 34(4): 311 - 318.
[52] 胡博杰, 胡雅楠, 林松, 等. 叶黄素和玉米黄质在糖尿病视网膜病变中的临床应用[J]. 眼科新进展, 2010, 30(9): 866 - 868.
[53] TANG L, ZHANG Y N, JIANG Y, et al. Dietary wolfberry ameliorates retinal structure abnormalities in db/db mice at the early stage of diabetes[J]. Exp Biol Med, 2011, 236(9): 1051 - 1063.
[54] BUCHELI P, VIDAL K, SHEN L S, et al. Goji berry effects on macular characteristics and plasma antioxidant levels[J]. Optom Vis Sci, 2011, 88(2): 257 - 262.
[55] KIM H P, LEE E J, KIM Y C, et al. Zeaxanthin dipalmitate from *Lycium chinense* fruit reduces experimentally induced hepatic fibrosis in rats[J]. Biol Pharm Bull, 2002, 25(3): 390 - 392.
[56] XIAO J, WANG J T, XING F Y, et al. Zeaxanthin dipalmitate therapeutically improves hepatic functions in an alcoholic fatty liver disease model through modulating MAPK pathway[J]. PLoS One, 2014, 9(4): e95214.
[57] CHAMBERLAIN S M, HALL J D, PATEL J, et al. Protective effects of the carotenoid Zeaxanthin in experimental nonalcoholic steatohepatitis[J]. Dig Dis Sci, 2009, 54(7): 1460 - 1464.
[58] LI J J, GAO H, LV Y, et al. Zeaxanthin dipalmitate alleviates hepatic injury induced by superimposed chronic hepatitis B and non - alcoholic steatohepatitis in non - obese mice[J]. J Asian Nat Prod Res, 2017, 19(9): 910 - 923.
[59] GAO H, LV Y, LIU Y X, et al. Wolfberry - derived Zeaxanthin dipalmitate attenuates ethanol - induced hepatic damage[J]. Mol Nutr Food Res, 2019, 63(11): e1801339.