

# 黑枸杞的保健功能与药用价值应用研究进展

孟 瓚, 王 丹, 张悦然, 李咨诺, 高 妍, 高 云\*

辽宁科技大学化学工程学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2026年7月1日; 录用日期: 2026年7月17日; 发布日期: 2026年8月27日

## 摘 要

黑枸杞(*Lycium ruthenicum* Murray)是茄科枸杞属多年生灌木植物, 主要分布于我国西北干旱及半干旱地区, 是我国西部地区特有的药食两用植物资源。近年来研究表明, 黑枸杞富含多糖、花青素、黄酮类化合物、多酚类、生物碱等多种生物活性成分, 具有抗氧化、抗炎、抗疲劳、降血糖、降血脂、免疫调节、神经保护、肝脏保护等多种保健功能。文章系统综述了黑枸杞的主要活性成分、提取纯化方法、保健功能特性及其在食品、医药、包装材料等领域的应用研究进展, 重点阐述了花青素和多糖两大核心活性成分的作用机制, 分析了不同产地、不同提取工艺对活性成分含量及生物活性的影响, 探讨了黑枸杞在功能性食品、药品、智能包装材料等领域的开发应用现状, 并对黑枸杞产业的未来发展前景进行了展望, 以期黑枸杞资源的深度开发利用提供理论参考。

## 关键词

黑枸杞, 花青素, 多糖, 保健功能, 抗氧化, 药食同源

# Health Benefits of Black Barbary Wolfberry and Research Progress in Its Applications for Medicine and Food

Zan Meng, Dan Wang, Yueran Zhang, Zinuo Li, Yan Gao, Yun Gao\*

College of Chemical Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: July 1, 2026; accepted: July 17, 2026; published: August 27, 2026

## Abstract

Black barbary wolfberry (*Lycium ruthenicum* Murray) is a perennial shrub belonging to the genus *Lycium* of the Solanaceae family, primarily distributed in the arid and semi-arid regions of

\*通讯作者。

文章引用: 孟瓚, 王丹, 张悦然, 李咨诺, 高妍, 高云. 黑枸杞的保健功能与药用价值应用研究进展[J]. 药物化学, 2026, 14(3): 276-285. DOI: 10.12677/hjmce.2026.143027

northwestern China, serving as a unique dual-purpose medicinal and edible plant resource in western China. Recent studies have demonstrated that black barberry wolfberry is rich in various bioactive components such as polysaccharides, anthocyanins, flavonoids, polyphenols, and alkaloids, exhibiting multiple health benefits including antioxidant, anti-inflammatory, anti-fatigue, hypoglycemic, lipid-lowering, immunomodulatory, neuroprotective, and hepatoprotective effects. This article provides a systematic review of the main active constituents, extraction and purification methods, health functional properties, and application advancements of black barberry wolfberry in food, pharmaceuticals, and packaging materials. It focuses on elucidating the mechanisms of action of the two core active components—anthocyanins and polysaccharides—analyzes the impact of different cultivation sites and extraction techniques on active ingredient content and biological activity, examines current developments in its applications for functional foods, pharmaceuticals, and smart packaging materials, and outlines future prospects for the black barberry wolfberry industry, aiming to provide theoretical references for the comprehensive utilization of this resource.

## Keywords

**Black Barbary Wolfberry, Anthocyanins, Polysaccharides, Health Benefit, Antioxidant, Medicinal and Edible Homology**

Copyright © 2026 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/>



Open Access

## 1. 引言

随着现代社会生活节奏的加快以及膳食结构的改变, 心血管疾病、糖尿病、肥胖以及神经退行性疾病等慢性病的发病率不断上升。与此同时, 社会大众的健康意识不断增强, 其对于健康食品以及各类天然功能性成分的关注也日益增多。在此背景下, 来源于天然植物的功能性资源逐渐成为食品科学、营养学和药学研究的重要方向。近年来, 药食同源资源因其兼具营养和保健功能, 在功能食品开发和疾病预防领域显示出重要应用价值。

### 1.1. 黑枸杞概述

黑枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)属于茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium* L.), 是黑果枸杞、苏枸杞的原生基源植物。植株株高 20~150 cm, 分枝数量丰富, 枝条质地坚硬, 多呈曲折的之字形; 果实为近球形浆果, 成熟后颜色为紫黑色, 果肉甘甜、水分含量充足[1]。

黑枸杞广泛分布于西北干旱半干旱区域, 对恶劣生境具备较强耐受性, 常生长于盐碱化荒地、荒漠沙土、盐湖沿岸等生态条件较差的地域。这种特殊的生境赋予了黑枸杞极强的抗逆性, 也使其果实积累了丰富的次生代谢产物, 特别是花青素类化合物[2]。青海省柴达木盆地是我国黑枸杞的主产区之一, 该地区海拔高、日照时间长、昼夜温差大, 非常有利于黑枸杞中活性成分的积累[3]。

### 1.2. 黑枸杞的传统药用价值

黑枸杞在传统民族医药中有着悠久的历史。作为传统药用植物, 黑枸杞的药用功效在多部民族医药典籍中均有记载。藏医药名著《晶珠本草》及《四部医典》记载其味甘性平, 可清心除热, 主治心热内盛、心系病症, 以及月经失调、经闭等妇科病症。此外, 依据《维吾尔药志》所载, 其果实兼具补肾、护肝、明目、健脾、益智、抗衰以及调经通脉等多种药理作用。民间常将黑枸杞生食或榨汁做饮料, 作为滋

补强壮、降压的保健用品[4]。这种长期的民间应用实践为黑枸杞的现代研究提供了重要的线索与依据[5]。

### 1.3. 国内外研究现状

近二十年来,国内外学者对黑枸杞开展了系统的研究,取得了丰硕的成果。在化学成分方面,已从黑枸杞中分离鉴定出多糖、花青素、黄酮、酚酸、生物碱、脂肪酸、氨基酸、维生素、矿物质等多种成分[6]。其中,花青素和多糖被认为是两大核心活性成分。黑枸杞的花青素含量居各类浆果之首,总花色苷含量可达 386.9 mg/100 g 鲜重,且其花青素结构具有独特性——以矮牵牛素母核为主,多含有芳香酸酰化结构[7]。

在药理活性方面,大量体外和体内实验证实黑枸杞提取物及其活性成分具有抗氧化、抗炎、抗疲劳、降血糖、降血脂、免疫调节、神经保护、肝脏保护、心脏保护、抗肿瘤、抗辐射、抗菌等多种生物活性[8]-[11]。这些研究从分子、细胞和整体动物水平上初步阐明了黑枸杞保健功能的物质基础和作用机制。

在应用开发方面,以黑枸杞为原料的复合饮料、发酵乳、果酒、咀嚼片、功能性食品等产品已陆续面市[12]-[14]。此外,黑枸杞花青素因其 pH 敏感性,在智能包装材料领域也展现出应用潜力[15]。

然而,当前研究仍存在一些不足。首先,多数研究集中于粗提物层面,对单体化合物的活性及多靶点协同作用机制研究不够深入。其次,体内研究以动物实验为主,临床研究资料匮乏。再次,不同产地、不同品种黑枸杞的质量标准尚不统一,产品开发同质化现象较为严重。

本文旨在系统综述黑枸杞的活性成分、保健功能特性及药食领域应用研究的最新进展,分析当前研究中存在的问题与挑战,并对未来研究方向和应用前景进行展望,以期在黑枸杞资源的深度开发利用提供理论参考和科学依据。

## 2. 黑枸杞的主要营养成分与活性物质

### 2.1. 多糖类成分

多糖是黑枸杞中含量最高的活性成分之一,占干果重量的 10.89%~16.74%,不同产地、不同采收期的含量存在差异。研究表明,8~9 月采收的黑枸杞多糖含量最高。

黑枸杞多糖(*Lycium ruthenicum* polysaccharides, LRP)是一类结构复杂的杂多糖。化学分析表明,LRP 主要由阿拉伯糖(Ara)、半乳糖(Gal)、葡萄糖(Glc)、甘露糖(Man)、鼠李糖(Rha)和葡糖醛酸(GlcA)等单糖组成,不同提取条件下单糖组成和摩尔比存在差异[16]。提取温度对 LRP 的单糖组成有显著影响,60℃ 提取时 D-Gal 和 L-Ara 比例升高,80℃ 提取时 D-GlcA、D-Glc 和 D-GalA 比例升高。在分子量方面,不同温度提取的 LRP 分子量在 227.94~293.34 kDa 之间。红外光谱分析显示,LRP 具有多糖典型的特征吸收峰,表明单糖残基主要以吡喃糖形式存在,单糖以  $\beta$ -构型为主[17]。从黑果枸杞叶中也分离得到了多糖组分 LRLP3,其分子量为 79.4 kDa,由阿拉伯糖和半乳糖组成(摩尔比约 2:1),并含有少量鼠李糖和葡萄糖。结构分析表明,LRLP3 为多分支结构,主链为(1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -Galp,大部分半乳糖的 6 位存在分支[18]。

### 2.2. 花青素类成分

花青素是黑枸杞区别于红枸杞的特征性成分,也是其呈现紫黑色的原因。黑枸杞总花青素含量可达 3.1%以上,是已知花青素含量最高的天然植物之一,被誉为“花青素之王”。

黑枸杞中的花青素种类丰富,已鉴定出 10 余种。与蓝莓、紫薯等常见花青素来源不同,黑枸杞花青素以矮牵牛素(Petunidin)为主要的苷元母核,占总花青素的 90%以上。同时,这些花青素多具有酰化结构——香豆酸、咖啡酸、阿魏酸、苹果酸等有机酸通过酯键与糖基相连,形成酰基化花青素[19]。

### 2.3. 黄酮类与多酚类成分

黑枸杞中含有丰富的黄酮类化合物。总黄酮含量约为 2.71%~4.29%,主要含有芦丁、槲皮素、木犀

草素、异鼠李素和山柰素等成分[20]。黑枸杞叶中的总黄酮含量高于果实,可达 0.14%(粗制品),经大孔树脂纯化后可提高至 2.80%。多酚类物质是黑枸杞抗氧化活性的重要贡献者。研究表明,50%乙醇提取物的总酚含量较高,且与抗氧化活性具有较好的相关性[21]。黑枸杞中的酚酸类成分主要包括香豆酸、咖啡酸、阿魏酸、没食子酸、原儿茶酸等。原花青素是另一类重要的多酚成分,属缩合鞣质类化合物,在酸性加热条件下可降解生成花青素(图 1)。黑枸杞中原花青素含量约为 3.42%~22%,不同检测方法和标准品选择会导致结果差异较大。

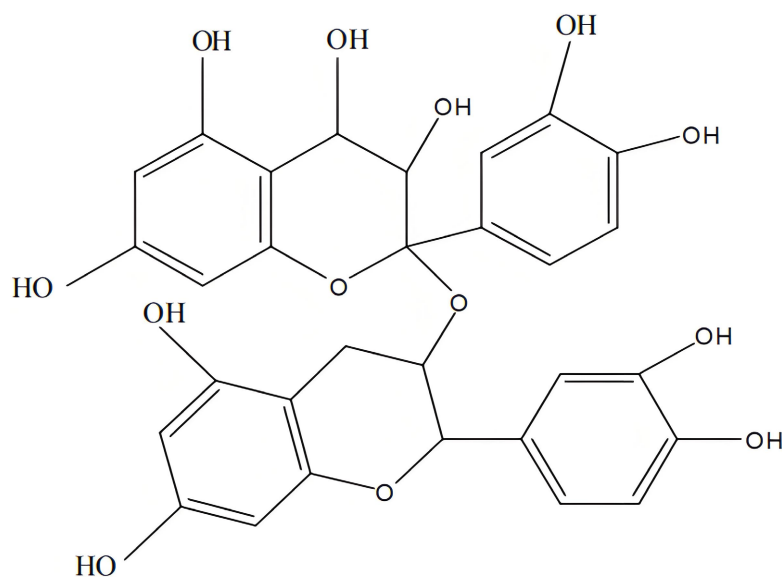


Figure 1. Original anthocyanin structure  
图 1. 原花青素结构

## 2.4. 其他活性成分

黑枸杞中含有甜菜碱(三甲基甘氨酸)、黑麦草碱等生物碱类成分。其中甜菜碱是研究较多的成分,不同产地含量差异较大,甘肃民勤产黑枸杞甜菜碱含量可达 19.58%,青海格尔木约为 9.44%。甜菜碱具有保肝、降脂等生物活性。

黑枸杞种子和果实中含有丰富的脂肪酸,不饱和脂肪酸占比较高(约 80%~90%)。主要脂肪酸包括亚油酸(59.38%~67.6%)、油酸(17.9%~20.85%)、棕榈酸(7.07%)、亚麻酸(2.98%~4.0%)、硬脂酸(5.31%)等。亚油酸和亚麻酸是人体必需脂肪酸,对心血管健康具有保护作用[22]。

黑枸杞中蛋白质含量约为 10.61%~11.5%,含有 17 种氨基酸,其中谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸含量最高。人体必需氨基酸种类齐全。

黑枸杞中还含有维生素 C、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>2</sub>、烟酸等。且矿物质元素含量丰富,以钾含量最高,依次为钠、钙、镁、铁、铜、锌、锰,属高钾低钠果实[23]。此外,还含有硒、锶、铬、钼等微量元素。

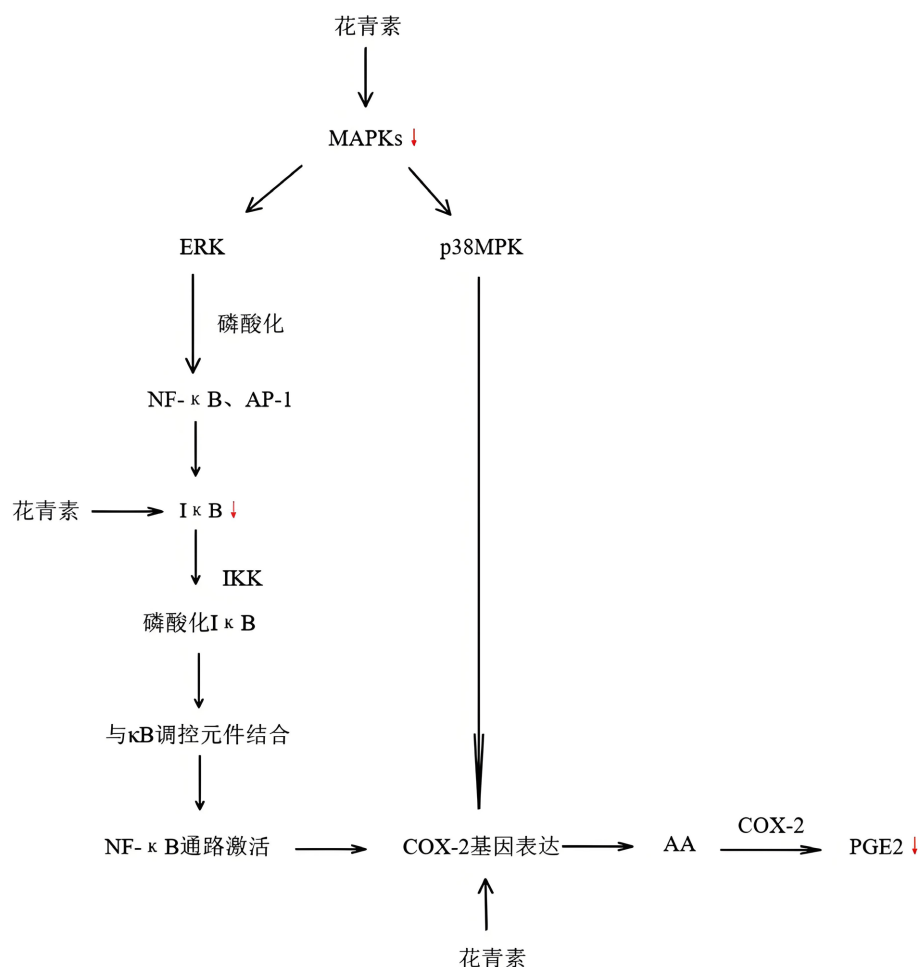
## 3. 黑枸杞的保健功能与药用价值

### 3.1. 抗氧化与抗炎作用

抗氧化是黑枸杞最为核心的保健功能之一。黑枸杞提取物及其活性成分在多种体外化学模型和体内生物模型中均表现出优异的抗氧化活性。

体外抗氧化实验结果表明,黑枸杞中的花青素、多糖、黄酮、多酚等组分均具有清除 DPPH 自由基、

ABTS<sup>+</sup>自由基、羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )及超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )的能力,同时表现出良好的还原能力。不同活性成分的抗氧化能力存在一定差异,整体强弱顺序大致为花青素 > 黄酮 > 多酚 > 多糖。花青素较强的抗氧化活性与其分子结构密切相关,其 B 环上的邻位二羟基结构能够有效稳定自由基,形成共振稳定的半醌式自由基结构[24]-[26]。花青素抗炎机制如图 2 所示:



**Figure 2.** Anti-inflammatory mechanisms of anthocyanins

**图 2.** 花青素抗炎机制

体内实验结果证实,黑枸杞花青素、多糖等成分可显著提升机体抗氧化酶活性。在力竭运动小鼠模型中,灌胃给予黑枸杞水提取物可明显降低血乳酸与血尿素氮水平,提高乳酸脱氢酶活性,并增加肝糖原与肌糖原储备量。在高脂饮食诱导的肥胖小鼠模型中,黑枸杞花青素可显著提升血清中谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活性及总抗氧化能力,同时降低丙二醛含量[27]。黑枸杞提取物可通过抑制 IκBα 磷酸化,阻断 NF-κB 信号通路的激活,进而发挥抗炎作用。在尿酸钠诱导的急性痛风性关节炎模型中,黑枸杞花青素可明显缓解踝关节肿胀,降低血清尿酸水平。在运动性心肌损伤模型中,黑枸杞多糖可通过调控 Nrf2/NF-κB 信号通路,降低心肌组织炎症因子水平与细胞凋亡率,从而减轻心肌损伤[28]-[32]。

### 3.2. 抗疲劳、心脏保护与神经保护作用

黑枸杞的抗疲劳作用已得到较为系统的研究,其发挥作用的活性成分主要包括多糖与花青素等[29]。



研究证实,黑枸杞果实多糖经灌胃干预后,可显著延长小鼠负重游泳时间,增强机体抗氧化酶活性,提升血清、肝脏 SOD 活力,减少脂质过氧化产物 MDA 含量,提升肝糖原与肌糖原储存量,缓解运动后体内尿素氮、乳酸堆积[6]。黑枸杞水提物灌胃处理可显著延长小鼠负重游泳时间,降低运动后血乳酸与血尿素氮水平,提高 LDH 活性,增加肝糖原与肌糖原含量,并改善力竭运动所致的心肌细胞病理改变[24]。

在低氧诱导的 H9c2 心肌细胞模型中,黑枸杞花青素可促进细胞增殖并抑制凋亡。机制研究表明,黑枸杞花青素可激活 Nrf2 信号通路,抑制 NF- $\kappa$ B 信号通路,并调控  $\text{Ca}^{2+}$  稳态相关因子以维持细胞内钙平衡,进而保护心肌细胞免受低氧损伤[30] [31]。在饲养于海拔 2500 m 的八眉三元猪模型中,日粮中添加黑枸杞花青素可改善血常规指标与血气参数,上调心肌组织中 Nrf2、HO-1、NQO1、HIF-1 $\alpha$ 、VEGF 的表达,下调 Keap1、PHD2 的表达,提示其可通过多靶点调控增强机体低氧适应能力。

在 D-半乳糖诱导的衰老大鼠模型中,黑枸杞花青素可改善动物学习记忆能力,降低海马组织中 AGEs 与 MDA 水平,抑制神经炎症,并下调 RAGE、p-JNK、Bax/Bcl-2 比值、Caspase-3 等凋亡相关蛋白的表达[5]。在氧糖剥夺/复氧诱导的原代皮层神经元损伤模型中,黑枸杞多糖可提高细胞活力、抑制凋亡并上调 Nrf2 表达,其保护机制与激活 Nrf2/ARE 信号通路有关[33]。

### 3.3. 降血糖、抗肥胖与肝脏保护作用

在降血糖方面,黑枸杞多糖对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠具有明显降血糖作用,可显著降低模型小鼠血糖水平,促进葡萄糖向肝糖原转化,增强血清与肝脏 SOD 活性,并降低 MDA 含量。肠道菌群调控研究发现,黑枸杞花青素可调节高脂饮食诱导肥胖小鼠的肠道菌群结构,降低厚壁菌门/拟杆菌门比例,减少与肥胖相关的乳酸杆菌科、链球菌科、瘤胃球菌科、丹毒丝菌科的相对丰度。粪菌移植实验证实,将经黑枸杞花青素干预后的小鼠肠道菌群移植给肥胖受体小鼠,可有效减轻受体小鼠的肥胖表型。基于高脂饮食诱导形成的非酒精性脂肪肝小鼠模型研究表明,黑枸杞果实提取物可改善肝脏脂质蓄积现象,使肝内脂滴体积减小,降低血清 AST 水平,通过调控脂代谢基因,抑制脂肪合成相关基因表达并激活脂肪酸氧化相关基因[34]。

黑枸杞花青素的生物利用度与体内代谢转化是决定其保健功效的关键因素。花青素属水溶性小分子物质,口服后可通过胃肠道上皮细胞的主动运输方式被快速吸收,约 45 分钟后可进入人体各组织器官。黑枸杞花青素在酸性环境下结构稳定,半衰期可达 27 小时,对结缔组织具有较强亲和力[9]。然而,天然花青素的生物利用度普遍较低,大部分以原型形式到达结肠后被肠道菌群代谢,转化为酚酸等小分子代谢物(如原儿茶酸、香草酸等),这些代谢物被认为是发挥体内药理活性的重要形式[10]。在剂量-效应关系方面,动物实验表明黑枸杞花青素的功效呈现一定的剂量依赖性。以高脂饮食诱导的肥胖小鼠模型为例,低、中、高剂量黑枸杞花青素(50, 100, 200 mg/kg)干预后,小鼠体质量、血脂水平和炎症因子水平的改善程度随剂量增加而增强[11]。人类口服安全性评价显示,一个约 70 公斤的个体即使连续半年每日摄入 35,000 mg 的花青素也未观察到明显不良反应,但仍需更多临床试验数据加以佐证。

### 3.4. 免疫调节与抗肿瘤作用

LRLP3 作为黑果枸杞叶中提取的多糖组分,可有效增强正常小鼠脾细胞的增殖能力,同时分别与 ConA、LPS 发挥协同效应,依次促进 T 淋巴细胞、B 淋巴细胞的增殖。在环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠模型中,黑枸杞多糖可恢复胸腺指数与脾指数,促进 T 细胞与 B 细胞增殖,增强巨噬细胞吞噬功能,提高血清溶血素水平,并上调 IL-2、IL-6 与 TNF- $\alpha$  水平。黑枸杞多糖 LRP1-S2 可抑制人胰腺癌 BxPC-3 细胞增殖,其作用机制与阻断 p38 MAPK/NF- $\kappa$ B 及 GSK-3 $\beta$ /Catenin 信号通路、诱导细胞凋亡有关。黑枸杞多糖与花青素联合使用可协同抑制人结肠癌 LoVo 细胞增殖,通过诱导 G0-G1 期阻滞与 ROS 依赖的

线粒体凋亡途径发挥抗肿瘤作用[34]-[37]。

## 4. 黑枸杞药膳研发与保健品加工应用

黑枸杞中蕴含种类丰富的活性物质，主要包含花青素、多糖、黄酮等功能性成分，且安全性高、毒副作用小，近年来在食品、医药、包装材料及纺织等领域的应用研究日益深入，呈现出多元化、高值化的发展趋势。

### 4.1. 食品领域的应用

功能性饮料是黑枸杞开发最为成熟的产品类型。以黑枸杞与玫瑰、梨、山楂等复配的复合饮料已有多项研究报道。闫世芳等研制的黑枸杞玫瑰复合饮料，最佳配方为黑枸杞汁 7%、玫瑰提取液 22%、柠檬酸 0.08%、木糖醇 7%，并添加黄原胶、羧甲基纤维素钠和果胶作为复合稳定剂。该饮料呈紫红色、酸甜适口、澄清不浑浊，花青素含量达 73.59 mg/L，黄酮含量 25.30 mg/L，总酚含量 11.25 mg/L，其 DPPH 自由基清除率达 94.25%，ABTS 自由基清除率达 99.59%，表现出良好的抗氧化活性。此外，黑枸杞梨汁复合饮料、黑枸杞山楂银耳复合饮料等产品也有报道，丰富了黑枸杞饮料的产品线[38]。

发酵乳与酵素是黑枸杞应用的另一个重要方向。许英瑞[11]等研究发现，黑枸杞多糖可显著促进嗜热链球菌 G2 的生长和产酸，0.5 g/L 的多糖使 G2 生物量增加 26.7%，同时延长副干酪乳杆菌 L9 的对数生长期。此外，黑枸杞多糖还能增强两株乳酸菌的抗氧化能力，包括提高 DPPH 自由基清除率和还原力。闵祥博等利用植物乳植杆菌、罗伊氏粘液乳杆菌和鼠李糖乳杆菌复合发酵制备的黑枸杞本草酵素，富含花色苷类代谢物(发酵后 11 种花色苷上调)。动物实验表明该酵素可促进脂溢性脱发小鼠的毛发生长，增加毛囊数量，促进胶原蛋白沉积，上调毛囊增殖细胞标记物 Ki67 和毛囊干细胞标记物 Sox9 的表达。

果酒与果醋方面，以黑枸杞为原料的发酵产品也有开发。黑枸杞自然发酵醋中含有丰富的有机酸和酚类物质，具有一定的抗氧化活性且咀嚼片与微胶囊为改善黑枸杞提取物的稳定性和口感提供了新思路。以壳聚糖和羟丙基- $\beta$ -环糊精为壁材制备的花青素微胶囊，包封率可达 84.28%，对酪氨酸酶活性和 B16 黑色素瘤细胞黑色素合成具有抑制作用，在美白护肤领域也展现出应用潜力[8]。

### 4.2. 医药保健领域的应用

黑枸杞可作为“药食同源”原料，开发具有抗氧化、辅助降血糖、辅助降血脂、增强免疫力、缓解体力疲劳等功能的保健食品[6] [9]。毒理学评价证实，黑枸杞花青素在小鼠急性毒性试验、Ames 试验、小鼠精子畸变试验及 30 天喂养试验中均未见明显毒性，具有良好的食用安全性[36]。黑枸杞花青素是水溶性天然色素，在不同 pH 条件下呈现不同颜色(pH 2~4 红色，pH 5~6 蓝色，pH > 7 黄色)，可作为 pH 指示剂和天然着色剂应用于药品和食品中[4]。此外，申娅媚等[39]研究发现，黑枸杞花青素可通过促进 CD146<sup>+</sup> 人脂肪源性血管外膜细胞增殖和细胞周期转化(G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub> 期比例下降，S 期和 G<sub>2</sub>/M 期比例上升)，进而促进脐血 CD34<sup>+</sup>造血干/祖细胞的体外扩增，在造血干细胞移植领域具有潜在的应用价值。

关于长期摄入的安全性，已有毒理学研究证实黑枸杞花青素在小鼠急性毒性试验、Ames 试验、小鼠精子畸变试验及 30 天喂养试验中均未见明显毒性。但对于特定人群(如孕妇、哺乳期妇女、儿童)的长期摄入安全性，尚缺乏充分的人群研究数据。在药物相互作用方面，黑枸杞具有滋补肝肾、改善循环的药理作用，理论上可能与抗凝血药物、降压药物及降糖药物产生叠加效应。此外，过量摄入黑枸杞可能导致尿液颜色加深(因花青素代谢产物经肾脏排出)，少数敏感体质者可能出现口干、上火等不适反应。建议在保健食品开发中明确标注推荐摄入量和注意事项，对于正在服用抗凝药物、降压药物或降糖药物的人群，应在医师指导下食用[40] [41]。

### 4.3. 智能包装材料领域的应用

黑枸杞花青素具有优异的 pH 敏感性和氨气敏感性, 其颜色随 pH 值变化而改变, 可实时反映食品的新鲜度[15]。将黑枸杞花青素固定在多孔滤纸上制成智能标签, 贴在肉制品、水产品的包装内部, 当食品腐坏产生氨类挥发性物质时, 标签颜色由紫红色逐渐变为青色乃至黄色, 实现新鲜度的实时、无损检测[8]。此外, 将黑枸杞多酚或花青素与淀粉、聚乙烯醇、明胶、大豆分离蛋白等成膜材料复合, 可制备具有抗氧化、抗菌活性的食品包装膜。其响应机制基于花青素分子结构中黄烊盐阳离子在不同 pH 条件下的可逆结构转化(图 3): 酸性条件下以红色的黄烊盐阳离子形式存在, 中性条件下转化为蓝色的醌型碱, 碱性条件下进一步转化为黄色的查尔酮结构。当食品腐坏产生氨类挥发性物质时, 包装内微环境 pH 升高, 花青素分子发生结构转变, 从而实现颜色由紫红色向青色或黄色的可视化转变[42][43]。该类活性包装膜可降低透光率、水蒸气透过率和氧气透过率, 提高拉伸强度和水接触角, 从而延长食品的货架期。

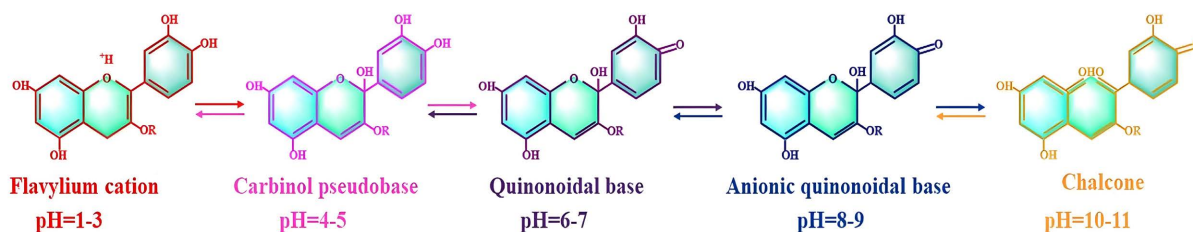


Figure 3. Transformation of anthocyanin structure at different pH levels

图 3. 不同 pH 下花青素结构的转变

然而, 该类智能包装材料在实际应用中仍面临若干挑战: 其一, 花青素在成膜过程中可能因加热、光照而发生降解, 影响 pH 响应灵敏度; 其二, 薄膜基质的微环境(如局部 pH、金属离子)可能干扰花青素的显色准确性; 其三, 花青素与成膜基质的相容性直接影响薄膜的机械性能和响应均匀性, 不同植物来源的花青素在膜基质中的表现存在显著差异[44]。

## 5. 结论与展望

黑枸杞作为特色药食两用植物, 虽在活性成分、药理功能等方面取得显著研究进展, 但仍存在单体活性研究不足、临床数据匮乏、花青素稳定性差等问题。未来需聚焦机制深化, 借助组学技术解析多靶点调控网络, 开展临床试验验证人体功效与安全性; 强化质量控制, 建立科学标准体系, 优化种植加工规范; 依托先进技术提升花青素稳定性, 开发高附加值产品并拓展应用领域; 加强叶、籽、渣等副产物高值化利用, 推动全产业链发展; 加快各类标准制定, 规范市场秩序。相信通过系统研究与科学开发, 黑枸杞将在功能性食品、医药等领域发挥更大价值, 助力健康中国战略建设, 兼具显著的经济与社会效益。

## 基金项目

辽宁省自然科学基金面上项目(项目编号: 2024LNYKJ27)、国家级大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202510146040)和辽宁省大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202610146026)。

## 参考文献

- [1] 王海歌, 李嘉俊, 叶堃鑫, 等. 不同寒旱地域黑枸杞花青素成分及抗氧化性分析[J]. 中国食品添加剂, 2025,



- 36(11): 8-15.
- [2] 艾则孜江·艾尔肯, 滕亮, 刘梦, 等. 黑果枸杞的花青素成分和药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志, 2021, 36(1): 170-173.
- [3] 赵鑫, 李建民, 朱雪冰, 等. 黑果枸杞的营养价值和保健功效[J]. 青海科技, 2017, 24(1): 74-76.
- [4] Xu, M., He, Y., Xie, L., Qu, L., Xu, G. and Cui, C. (2024) Research Progress on Active Ingredients and Product Development of *Lycium ruthenicum* Murray. *Molecules*, **29**, Article 2269. <https://doi.org/10.3390/molecules29102269>
- [5] 武睿, 贺莉萍, 石建业, 等. 黑果枸杞的保健作用研究进展[J]. 现代农业, 2016(9): 73-78.
- [6] 闫亚美, 冯丹萍, 陈晓燕, 等. 黑果枸杞花色苷的肥胖干预作用研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(4): 21-26.
- [7] Lee, H.S. and Choi, C. (2023) Black Goji Berry (*Lycium ruthenicum* Murray): A Review of Its Pharmacological Activity. *Nutrients*, **15**, Article 4181. <https://doi.org/10.3390/nu15194181>
- [8] 潘悦. 壳寡糖-酪蛋白美拉德反应产物的制备及其包埋黑枸杞花青素的研究[D]: [硕士学位论文]. 锦州: 锦州医科大学, 2025.
- [9] 李婧, 苏蓉, 刘振华, 等. 黑果枸杞果实中抗炎活性成分的筛选及作用机制研究[J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(5): 9-15, 38.
- [10] 张荣, 肖锦玲, 高文姬, 等. 黑枸杞花青素对胶原诱导性关节炎模型大鼠血清中 TNF- $\alpha$ 、IL-6 和 IL-17 的影响[J]. 黑龙江科学, 2026, 17(2): 49-53.
- [11] 许英瑞, 朱妍丽, 薛元泰, 等. 黑枸杞多糖的提取及其对副干酪乳杆菌 L9、嗜热链球菌 G2 生长特性及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 179-185.
- [12] 闵祥博, 李丽娜, 余萍, 等. 黑枸杞本草酵素缓解小鼠脂溢性脱发作用[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(15): 41-47.
- [13] 刘冰, 马静钰, 李婷, 等. 提取温度对黑果枸杞多糖理化特性及抗氧化、免疫调节活性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(3): 60-70.
- [14] 杨巨峰, 王奇, 孙晶, 等. 黑枸杞水提物对小鼠疲劳及运动性心肌损伤的改善作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 296-299, 312.
- [15] 刘洋, 殷璐, 龚桂萍, 等. 黑果枸杞叶多糖 LRLP3 的结构、抗氧化活性及免疫活性[J]. 高等学校化学学报, 2016, 37(2): 261-268.
- [16] 曹叶霞, 王泽慧, 贺金凤, 等. 静乐黑枸杞多糖的提取及抗氧化性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 196-202.
- [17] 杨洁, 杨敏, 支宇慧, 等. 黑枸杞总黄酮微波辅助提取及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(4): 55-60.
- [18] 董雨荷, 胡文忠, 连俊辉, 等. 黑果枸杞活性成分及其药理作用的研究进展[J]. 广东化工, 2020, 47(23): 48-49, 54.
- [19] 刘思琪, 吴正云, 康峻, 等. 富含花青素原料发酵酒酿造和贮存中花青素变化的研究进展[J]. 中国酿造, 2025, 44(7): 26-32.
- [20] 王春林, 武芸, 芦娅妮, 等. Plackett-Burman 联合响应面法优化黑果枸杞黄酮提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 218-225.
- [21] 冯小雨, 王丹, 刘敏, 等. 黑枸杞中矿物质元素含量测定及溶出性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 178-181.
- [22] 周琪乐, 罗诗萌, 高园, 等. 黑枸杞脂肪酸和生育酚的分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(23): 139-144.
- [23] 刘爱红, 陈洁, 孙美玲. 黑果枸杞的营养保健成分及其开发应用研究进展[J]. 食品工程, 2018(4): 5-7, 10.
- [24] 郑润韬, 沈童, 吴华, 等. 黑果枸杞花青素调控低氧下八眉三元猪心脏抗氧化/炎症/免疫功能及 Nrf2 通路的作用机制[J]. 中国兽医科学, 2026, 56(2): 263-272.
- [25] 王海歌. 基于花青素为标志物的黑枸杞真空冷冻干燥方法和加工品质研究[D]: [硕士学位论文]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2024.
- [26] 黄群惠. 黑枸杞花青素离线抗氧化分析及抗缺氧活性研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- [27] 李金铭, 吴华, 沈童, 等. 黑果枸杞花青素通过调节  $\text{Ca}^{2+}$  稳态对低氧诱导的 H9c2 大鼠心肌细胞的保护作用[J]. 中国兽医科学, 2023, 53(11): 1468-1474.
- [28] 杨承武, 尹晓翔. 黑果枸杞多糖通过调节 Nrf2/NF- $\kappa$ B 信号通路缓解运动性心肌损伤的保护作用[J]. 分子植物育种, 2025, 23(12): 4135-4142.
- [29] 杨晓磊. 藏药黑果枸杞对运动疲劳所致氧化应激的影响[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2019.
- [30] 闫淑萍, 王硕, 陈涛, 等. 黑果枸杞花青素提取物对大鼠急性痛风性关节炎的作用[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(3): 105-111.

- [31] 许恩榕, 吴华, 沈童, 等. 黑果枸杞花青素通过介导 Nrf2 和 NF- $\kappa$ B 通路缓解低氧诱导的 H9c2 心肌细胞氧化应激[J]. 中国兽医科学, 2025, 55(8): 1122-1130.
- [32] 沈童, 王梦杰, 吴华, 等. 黑果枸杞花青素对低氧诱导的 H9c2 大鼠心肌细胞凋亡的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54(8): 3490-3499.
- [33] 王文胜, 吴华, 李金铭, 等. 黑果枸杞花青素提取物对八眉三元猪心脏  $\text{Ca}^{2+}$  稳态途径及血液学参数的影响[J]. 饲料工业, 2025, 46(8): 124-131.
- [34] 马慧娅. 青海黑枸杞特异性功能组分合成调控机制及其对肠道有益影响[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
- [35] Wang, Z., Tanzeela, N., Sun, L., Fang, Z., Yan, Y., Li, D., *et al.* (2019) Effect of *in Vitro* Gastrointestinal Digestion on the Composition and Bioactivity of Anthocyanins in the Fruits of Cultivated *Lycium ruthenicum* Murray. *CyTA—Journal of Food*, 17, 552-562. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1613449>
- [36] Liu, P., Zhou, W., Xu, W., Peng, Y., Yan, Y., Lu, L., *et al.* (2021) The Main Anthocyanin Monomer from *Lycium ruthenicum* Murray Fruit Mediates Obesity via Modulating the Gut Microbiota and Improving the Intestinal Barrier. *Foods*, 11, Article 98. <https://doi.org/10.3390/foods11010098>
- [37] Li, N., Liu, X., Zhang, J., Lang, Y., Lu, L., Mi, J., *et al.* (2022) Preventive Effects of Anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murray in High-Fat Diet-Induced Obese Mice Are Related to the Regulation of Intestinal Microbiota and Inhibition of Pancreatic Lipase Activity. *Molecules*, 27, Article 2141. <https://doi.org/10.3390/molecules2702141>
- [38] 闫世芳, 鲍玉花, 肖明, 等. 黑枸杞玫瑰复合饮料的研制及其品质和抗氧化活性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2972-2980.
- [39] 申娅媚, 牛云霞, 杨婷婷, 等. 黑枸杞花青素联合人脂肪源性血管外膜细胞支持脐血造血干/祖细胞的增殖[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(1): 58-64.
- [40] 赵晓辉, 陶燕铎, 邵赞, 等. 黑果枸杞红色素毒理学安全性评价[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(2): 373-375.
- [41] 孙慧娟, 董玲, 王嘉馨, 等. 黑果枸杞对  $\text{H}_2\text{O}_2$  诱导的 H9c2 心肌细胞氧化应激损伤的保护作用研究[J]. 北京中医药大学学报, 2018, 41(4): 301-305.
- [42] 董静, 刘洋, 王艺璇. 黑枸杞花青素指示膜的制备及其在猪肉保鲜监测中的应用[J]. 包装工程, 2026, 47(7): 83-91.
- [43] 王善灿. 花青素与茶多酚影响多糖复合膜物理性能及抑菌抗氧化的协同机制[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2024.
- [44] 郭志明, 赵藤, 张浙鹏, 等. 果蔬新鲜度指示智能包装技术研究进展[J/OL]. 中国食品学报: 1-12. <https://link.cnki.net/urlid/11.4528.TS.20260509.1331.002>, 2026-07-11.