

枸杞子在我国保健食品中的应用

段昊, 刘改改, 松伟, 闫文杰

Application of Fruits of *Lycium barbarum* L. in Health Food in China

DUAN Hao, LIU Gaigai, SONG Wei, and YAN Wenjie

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060225>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

枸杞子残渣中多糖的提取工艺研究

Extraction of polysaccharide in *Lycium barbarum* residue

食品工业科技. 2017(09): 248-251 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.038>

国产减肥保健食品现状分析

Analysis of the Status in Domestic Registered Weight-reduction Health Foods

食品工业科技. 2019, 40(1): 209-213 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.01.037>

保健食品功效成分、功能声称及其检测标准现状研究

Study on Functional Ingredients, Functional Claims and Detection Standards of Health Food

食品工业科技. 2021, 42(1): 387-396 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030164>

熟制过程对枸杞子挥发性成分的影响

Effects of the Cooked Process on Volatile Components of Cooked *Lycium barbarum* L.

食品工业科技. 2020, 41(8): 256-262 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.08.040>

基于国际经验探究中国保健食品原料管理研究

Research on Raw Material Management for Health Food in China Based on International Experience

食品工业科技. 2021, 42(13): 21-25 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030064>

枸杞子中玉米黄素双棕榈酸酯及枸杞酸的测定

Determination of Zeaxanthin Dipalmitate and 2-O-(β -D-glucopyranosyl) Ascorbic Acid in Fruit of *Lycium barbarum* L.

食品工业科技. 2021, 42(12): 294-299 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090069>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

段昊, 刘改改, 松伟, 等. 枸杞子在我国保健食品中的应用 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(6): 12–23. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060225

DUAN Hao, LIU Gaigai, SONG Wei, et al. Application of Fruits of *Lycium barharum* L. in Health Food in China[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(6): 12–23. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060225

·特邀主编专栏—枸杞、红枣、沙棘等食药同源健康食品研究与开发（客座主编：方海田、田金虎、龚桂萍）·

枸杞子在我国保健食品中的应用

段昊, 刘改改, 松伟, 闫文杰*

(北京联合大学生物化学工程学院, 生物活性物质与功能食品北京市重点实验室, 北京 100023)

摘要: 枸杞子属于食药同源物质, 富含多糖、甜菜碱、花色苷、类胡萝卜素等活性成分, 在免疫力提升、缓解视疲劳、抗氧化等保健功能中具有良好的应用价值, 也因此受到了国内外研究者和消费者的喜爱。目前, 枸杞子在我国保健食品中的应用频率较高, 但缺乏系统的整理和分析。基于此, 本文分析了枸杞子在我国保健食品中的应用现状、合规性使用依据、主要功效成分的影响因素, 并详细论述了枸杞子主要的保健功能和作用机制, 以期为我国枸杞子在我国保健食品中的研究开发和应用提供一定的参考及依据。

关键词: 枸杞子, 保健食品, 保健功能, 应用现状, 影响因素

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)06-0012-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060225



本文网刊:

Application of Fruits of *Lycium barharum* L. in Health Food in China

DUAN Hao, LIU Gaigai, SONG Wei, YAN Wenjie*

(Beijing Key Laboratory of Bioactive Substances and Functional Food, College of Biochemical Engineering, Beijing Union University, Beijing 100023, China)

Abstract: *Lycium barharum* L. is a food and drug homologous substance, rich in polysaccharides, betaine, anthocyanins, carotenoids and other active ingredients, and has good application value in health care functions such as improving immunity, relieving visual fatigue, and antioxidant, so it has been favored by researchers and consumers at home and abroad. At present, the application frequency of *Lycium barharum* L. in health food in China is relatively high, but there is a lack of systematic sorting and analysis. Based on this, this paper analyzes the application status, compliance and use basis, and influencing factors of the main functional components of *Lycium barharum* L. in China's health food, and discusses the main health functions and mechanisms of *Lycium barharum* L. in detail, in order to provide a certain reference and basis for the research, development and application of *Lycium barharum* L. in China's health food.

Key words: *Lycium barharum* L.; health food; health functions; application status; influencing factors

枸杞子特指宁夏枸杞, 为枸杞的干燥成熟果实, 始载于《神农本草经》, 列为上品, 广泛分布于中国、日本、韩国、北美、欧洲等国家^[1]。据统计, 2016 年意大利的枸杞产量达到 50 吨, 是欧洲枸杞产量最大的国家^[2]。目前中国是全世界最大的枸杞子供应国, 总种植面积超 1500 平方公里, 主要分布于宁夏、河北、蒙古、西藏和青海省^[3]。其中, 宁夏枸杞是唯一纳入《中华人民共和国药典》的物种, 品质也较

好^[4-5]。研究表明, 宁夏、青海、新疆、甘肃、内蒙古五省区的商品枸杞子产量占全国总产量的 90% 以上^[6]。枸杞子的主要五大产区集中在中国北部区域, 原因可能是枸杞子喜生于较干旱的盐渍化砂质土壤, 干山坡、沙漠荒地, 又耐盐、耐寒、耐旱等环境十分适合枸杞子的生长。

现代药理研究表明, 枸杞子具有较好的增强免疫力、抗炎、缓解视疲劳、降血糖、降血压等作用^[7]。

收稿日期: 2023-06-25

作者简介: 段昊 (1996-) (ORCID: 0000-0003-1302-8873), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能食品研究、开发及法规研究, E-mail: 2318060473@qq.com。

* 通信作者: 闫文杰 (1979-) (ORCID: 0000-0003-3060-9995), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品科学, E-mail: meyanwenjie@126.com。

图 1 梳理了枸杞子主要的生理功能和活性成分。其中,枸杞多糖是枸杞子主要的活性成分,具有增强免疫力、抗肿瘤、调节肠道菌群、神经保护等广泛的生理作用^[1];枸杞子中的色素类成分主要为玉米黄质二棕榈酸酯,其具有较好的缓解视疲劳作用^[8-9];枸杞子中多酚类成分则提供了较好的抗氧化活性^[10];此外,枸杞子中丰富的微量元素和氨基酸类成分,给予了枸杞子广泛的生理作用和营养价值。

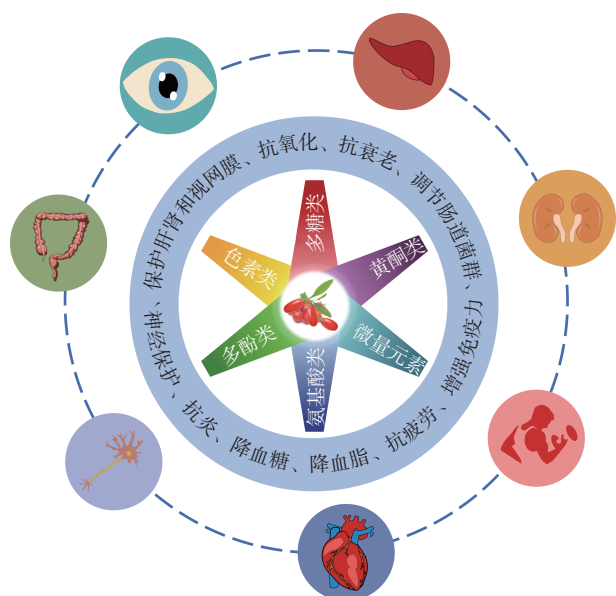


图 1 枸杞子主要的生理功能

Fig.1 Main physiological function of *Lycium barharum* L.

图 2 统计分析了 2015~2022 年我国枸杞子进出口数量的对比情况(数据来源:中国海关统计数据在线查询平台: <http://stats.customs.gov.cn/>)。2015~2022 年我国枸杞子的出口数量远高于进口数量。出

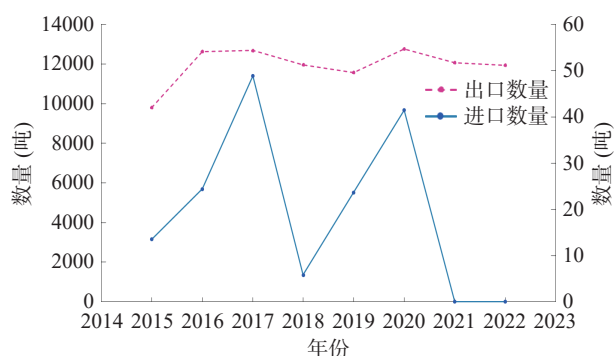


图 2 2015~2022 年枸杞子进出口数量对比图

Fig.2 Comparison of import and export quantities of *Lycium barharum* L. from 2015 to 2022

口统计结果显示,虽然在 2017~2019 年和 2020~2022 年期间有一定的下降。但整体而言,我国的枸杞子出口数量仍处于一个动态增长的趋势,这反应出国内外消费者对枸杞子营养价值和健康作用的认可。

随着人们健康意识的提高,消费者对保健食品的需求也不断提升,如何为消费者提供一款功效明确且安全性高的保健食品是研发者关心的重点。富含高营养价值和风味良好的枸杞子是目前保健食品研究开发的重点。但目前鲜有团队对枸杞子在我国保健食品中的合规性使用依据、应用现状、保健功能研究进展等方面进行过系统综述,导致枸杞子在保健食品中的应用价值未能被充分挖掘。因此,本文分析了枸杞子在我国保健食品中的应用现状、合规性使用依据、主要功效成分的影响因素,并详细论述了枸杞子主要的保健功能和作用机制,以期对枸杞子在我国保健食品中的研究开发和应用提供一定的参考及依据。

1 枸杞子在保健食品中应用的主要功效成分及各成分的提取方式

表 1 总结了枸杞子在我国保健食品中应用的主要功效成分:多糖类、多酚类、黄酮类、色素类^[11]。其中枸杞多糖应用频率最高,其他几种功效成分的应用则明显偏少。研究显示,不同品种的枸杞子中功效成分的种类及含量差异较大。对于枸杞多糖而言,红枸杞中的含量为 6.77%~15.7%^[12],黑枸杞为 4.18%~12.29%^[12-13]。并有研究显示,黄枸杞中总黄酮含量可达 19.44~19.59 mg/g,而红枸杞中总黄酮含量为 11.76~26.33 mg/g,不同样品之间的检测值具有显著差异^[14]。此外,枸杞子中色素类成分和酚酸类物质的相关研究发现,黑枸杞中的酚类物质含量高于红枸杞,而红枸杞中的类胡萝卜素含量高于黑枸杞^[9]。

目前,已获批含有枸杞子的保健食品中常以枸杞多糖作为产品的活性成分,它属于水溶性成分,提取方法多为水浸提法^[19-21]、超声辅助提取法^[22-23]、微波辅助提取法^[24-25]。其中,热水(60~110 ℃)浸提法操作简单且成本较低,提取率在 4.28%~14.12%,但提取时间较长(约 1.5~4 h)^[19-21]。因此,多配合使用超声和微波辅助提高枸杞多糖的提取效率,由于超声辅助提取法具有更为显著的提取率^[22-25]且操作安全,因此在目前的工艺研究中十分常见。此外,还有使用酶提取法和超高压辅助复合酶法进行枸杞多糖的提取,但提取成本较高,在实际工业应用中较

表 1 枸杞子在保健食品中应用的主要功效成分

Table 1 Main efficacy components of *Lycium barharum* L. in health food application

类别	主要功效成分	总含量	参考文献
多糖类	分子量约为10~2300 kDa的多糖复合物	总多糖: 4.18%~15.7%(干品)	[12-13]
酚酸类	没食子酸、儿茶素、绿原酸等	总酚酸: 17~39.13 mg/g(干品)	[15-16]
色素类	玉米黄质、叶黄素、 β -胡萝卜素等	类胡萝卜素: 212.24~233.08 μ g/g(干品)	[9]
黄酮类	芦丁、槲皮素、山奈酚等	总黄酮: 11.76~26.33 mg/g(干品)	[15,17-18]

低^[26]。枸杞子中的色素类成分丰富,特别是玉米黄质和叶黄素,但加工成本较高,工艺成熟度和收率较差,因此在工业应用中也较低^[26]。除此之外,枸杞子中的其他成分如酚酸和黄酮类物质提取方式多采用有机溶剂进行^[27-28],它们在保健食品中的应用最少。

2 影响枸杞子中功效成分差异的主要因素

从国家特殊食品信息查询平台检索的数据显示,目前有关保健食品的功能研究主要集中在枸杞多糖,而非多糖类的功效成分应用存在严重不足。并且这些产品中,多以粗多糖成分作为产品的功效成分,同类产品之间的差异化低。同时,目前市场上的商品枸杞子质量差距较大,这导致终产品中的功效成分含量高低不一,保健功效也难以满足市场消费者的要求。目前影响枸杞子中活性成分的主要原因包括:产地、品种和加工方式。

2.1 生长环境

枸杞子功效成分及品质受产地、气候环境等因素影响较大。通过对 11 个不同产地枸杞子中的 5 种微量元素和黄酮含量进行主成分分析发现,宁夏同心的枸杞子质量较高,其次是宁夏贺兰山东麓、青海、宁夏银川等产地的枸杞子^[28]。对中国青海海西州、甘肃玉门、宁夏中宁、新疆精河四大产区的枸杞子进行综合性的质量评价研究发现,宁夏中宁的枸杞子化学成分最丰富,特别是多糖和甜菜碱含量显著高于其他三个产地的枸杞子,该研究指出虽然不同产区的枸杞子均从宁夏引种,但生长环境的差异对其外观和化学成分的影响较为明显^[29]。此外,还有研究者发现宁夏、河北、内蒙、山东产地的枸杞子中黄酮含量差异性也较为明显,各产地枸杞子含量依次为 4853.0、4993.3、3613.0、2680.0 mg/kg^[30],这再次反映出枸杞子中的活性成分受生长环境的不同而具有明显的差异。但相较于维生素 C 的含量来看,内蒙产枸杞子中的含量相较于宁夏枸杞子更高^[31]。以上研究充分说明,枸杞子不同产地所含的化学成分及品质具有较大差异。

2.2 加工方式

商品枸杞子通常以干果、果汁或加工成干燥粉末的形式出现在市场上。新鲜枸杞子在 6~9 月的高温、高湿条件下采收,其含水量高,采摘后的长时间暴露易造成其腐烂^[32]。研究表明,鲜枸杞子的保鲜温度为 5℃,保存时间为 9 d,在此期间能够较大程度的保留枸杞子整体感官和营养品质属性,包括维生素 C 水平、可溶性固形物含量和抗氧化活性^[33]。在此期间应当及时对枸杞子进行干燥处理,从而最大程度的保留枸杞子中活性成分和营养成分。不同的干燥方式对枸杞子外观特性、水分含量、生物活性成分、氨基酸组成和抗氧化活性具有较大的影响^[3]。实验表明,冷冻干燥法所得枸杞子水分含量低,总酚、天冬酰胺、原花青素、总花青素含量高;而日光干燥则与冷冻干燥的结果相反;热风干燥总酚含量高,总

花青素含量低,表明冷冻干燥能够较好的保留枸杞子中的功效成分及抗氧化功能^[34]。干燥有助于提高枸杞子的葡萄糖、果糖、总糖和可溶性固形物含量^[35],这更有利于枸杞子形成良好的风味。因此,在最佳的保存时间内,应当尽快将鲜枸杞进行干燥处理,这对枸杞子功效成分的保护及最大化发挥其保健功能具有非常重要的意义。

除产地、加工方式对枸杞子中功效成分具有较大影响外,枸杞子不同的采收季节对其品质和化学成分也具有较大的影响^[36]。因此,需要通过有效的检测手段,为枸杞子进一步深加工工艺筛选出更为优质的原材料,从而充分发挥产品的保健功效。

3 枸杞子在我国保健食品中的应用现状及其作用机制分析

枸杞子应用于保健食品的依据来源于原卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知(卫法监发[2002]51号)附件 1:既是食品又是药品的物品名单。同时,枸杞子提取物(水提或醇提)也可以用于保健食品中。截止到 2023 年 9 月,从国家特殊食品信息查询平台检索的数据显示,含有枸杞子及其提取物的保健食品共有 1671 件,以枸杞子作为配伍原料的产品数量为 239 个,枸杞子提取物的数量则为 1432 个。可以看出,使用提取物作为产品原料的数量远高于枸杞子。其原因可能是枸杞子经提取后,能够定向获取或富集其中某一种或多种活性成分,有效减少了制剂用量,为产品提供了更多的剂型选择。

目前,应用于保健食品中的枸杞子提取物主要以枸杞多糖作为产品的功效成分。此外,还有一部分应用于酒剂的枸杞子提取物,这类醇溶性枸杞子提取物的提取工艺一般采用 60% 的乙醇直接提取浓缩干燥制得^[37]。

我国是枸杞子种植和出口的大国,因此有关枸杞子相关的功能食品和保健食品研究与开发较多,当前市场上主要的消费品牌为北京同仁堂和汤臣倍健等知名企业,而国外则较为少见。枸杞子多以水提物的形式与其他原料进行配伍,并且枸杞子水提物的水溶性较好,可压性也较强,使得制剂的可选择性较多。国内市场上较为常见且经典的枸杞子功能食品有枸杞原浆、枸杞袋泡茶、枸杞子复配型软糖、糕点等,而与枸杞子相关的保健食品剂型则主要为片剂、口服液剂、酒剂为主。一般固体制剂会使用润滑剂、矫味剂、着色剂等给予制剂赋形,制剂工艺较为简单且稳定性好,具有能够掩盖配方混合物中的不良气味,携带方便,剂量明确等优点;而液体制剂则主要使用防腐剂、矫味剂、着色剂、助悬剂等给予制剂赋形,制剂工艺难度较高,需要研究的参数相较于固体制剂更多,并且枸杞子与多种原料复配后成分过于复杂,液体制剂的稳定性较差,容易形成沉淀,分层等现象。因此,枸杞子在保健食品中的应用以固体制剂为主^[38-39]。

图 3 整理了含有枸杞子及其提取物的保健食品功能分布情况。可以看出,枸杞子主要应用于增强免疫力、缓解体力疲劳、抗氧化等保健功能较多,而应用于肠道菌群的产品还未有。以下就枸杞子目前申报获批较多的前 7 种保健功能进行详细的功能研究进展论述。同时,对目前应用为“0”,但近期研究较多的调节肠道菌群的功能进行详细论述。

3.1 增强免疫力功能

人体免疫系统是一个重要的防御系统,包括先天免疫和适应性免疫,对于维持机体的完整性和防止微生物入侵具有重要意义^[40]。数据显示,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中,声称具有增强免疫力功能的产品数量最高,共 809 件,占总获批产品数量的 48.41%。

枸杞多糖是枸杞子中主要的活性成分之一,能够促使巨噬细胞通过多种受体与多糖或糖蛋白结合的方式,分泌 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 等细胞因子杀死肿瘤细胞^[41],发挥较好的免疫调节作用^[42]。成熟 T 细胞主要包括 CD4⁺和 CD8⁺ T 细胞,两者分别是辅助性 T 细胞(Helper T cells, Th)和细胞毒性 T 细胞(Cytotoxic T cells, Tc),CD4⁺和 CD8⁺ T 细胞及 CD4⁺/CD8⁺的高比值被认为有利于增强免疫力^[43]。实验表明,枸杞多糖能够有效改善环磷酰胺诱导的免疫低下小鼠 CD4⁺ T 淋巴细胞和 CD4⁺/CD8⁺比值的下降,并显著增加免疫球蛋白含量,提高小鼠细胞免疫和体液免疫能力^[44]。此外,CD4⁺ T 淋巴细胞还含有促进抗体产生、调节免疫功能的分泌相关因子^[45]。因此,球蛋白的升高与 CD4⁺ T 淋巴细胞的增强具有较强的关联性。胸腺和脾脏是机体重要的免疫器官,其中胸腺调节外周免疫器官和免疫细胞,为 T 细胞分化和成熟提供了场所。脾脏则是 T 细胞和 B 细胞定植和

免疫应答的场所,用于合成生物活性物质,两者是评价免疫功能的重要指标。枸杞多糖可有效提高胸腺和脾脏指数,改善受损的免疫器官,从而增强宿主的免疫;同时,枸杞子多糖还促进了宿主 IL-2、IL-6、IL-1 β 、TNF- α 和 IFN- γ 的产生,显著减缓了小鼠因环磷酰胺而诱发的肝毒性^[46]。其中,IL-2 和 IL-6 的分泌可引起 Th1 和 Th2 的细胞应答,促进 T 细胞增殖并增强效应 T 细胞功能^[47-49]。IFN- γ 主要由自然杀伤细胞(Natural Killer Cell, NK)和 T 细胞产生,是先天免疫和适应性免疫的一部分^[50]。这些免疫相关因子的表达,进一步调节了宿主的免疫能力。此外,枸杞多糖在肿瘤免疫方面也具有较好的应用。已有研究证实,枸杞多糖能通过促进淋巴细胞增殖、增加巨噬细胞吞噬和细胞毒性 T 淋巴细胞(Cytotoxic T Lymphocyte, CTL)活性的作用,促进荷瘤小鼠的免疫力^[51-52]。

由此可见,枸杞子中的多糖成分通常被认为是发挥免疫调节功能的主要物质,其机制包括促进 T 淋巴细胞亚群活性、增加巨噬细胞活力,提升免疫器官指数。近期报道中发现,从枸杞子中提取的总酚酰胺对免疫低下模型动物的免疫器官指数,免疫细胞因子(IFN- γ 、IL-2、IL-10)的免疫激活作用比枸杞多糖更为显著^[53]。这提示,枸杞子发挥免疫功效的成分可能不仅是多糖,一些小极性总酚酰胺可能提供了重要的辅助作用。

3.2 缓解体力疲劳功能

体力疲劳是体力劳动和(或)运动引起工作能力和身体功能下降的感觉^[54-55]。研究表明,50% 以上的人群常伴有疲劳的问题,超过 30% 的人提出体力疲劳影响了他们的生活质量及工作效率^[56]。数据显示,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中,声

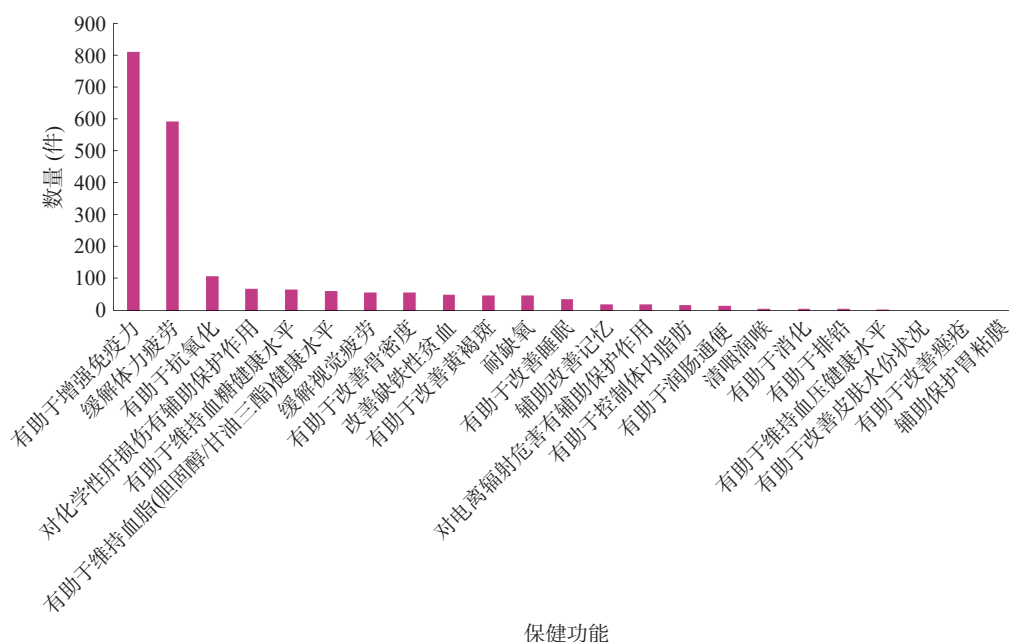


图 3 枸杞子在保健食品中的功能应用情况

Fig.3 Functional applications of *Lycium barharum* L. in health foods

称具有缓解体力疲劳功能的产品数量共 592 件, 占总获批产品数量的 35.43%。

机体在运动的过程中, 肝脏和肌肉中的糖原被代谢为葡萄糖以满足机体对能量的需求, 并导致乳酸(lactic acid, LA)和尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)等代谢产物生成, 当这些代谢产物在肌肉中积累过多时, 疲劳感也随之而来^[57-58]。因此, 常使用血乳酸(blood lactic acid, BLA)和尿素氮等代谢产物作为指示疲劳的重要指标。并且, 在体力疲劳动物模型中, 动物疲劳游泳时间可用于反映动物的耐力和疲劳程度^[59]。枸杞多糖能显著延长体力疲劳大鼠的力竭游泳时间, 降低 BLA、肌酸激酶等生化指标, 增强大鼠肌肉的抗氧化能力, 推测枸杞多糖主要是通过提高 Nrf2/HO-1 信号相关的抗氧化防御, 调节 AMPK/PGC-1 α 信号相关的能量代谢调节, 缓解了大鼠体力疲劳的状态^[60]。线粒体作为机体供能的场所, 为细胞活动提供了必要的支持, 也是细胞有氧呼吸的场所, 因此容易产生大量的活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS)^[61], ROS 积累过量会造成能量物质减少和氧化应激, 引起骨骼肌 Ca²⁺失衡, 导致线粒体钙含量不足, 加剧了体力疲劳感^[62-64]。枸杞多糖则能够增加糖原的储备量, 加快体内 LA、BUN 和自由基等代谢废物的清除, 防止脂质过氧化, 从而缓解体力的疲劳^[65]。此外, 枸杞多糖还能有效降低 MDA 水平和骨骼肌组织脂质过氧化水平, 改善细胞内钙稳态失衡, 并增加线粒体膜电位, 发挥出较好的缓解体力疲劳功能^[66]。

综上, 枸杞子中多糖能够通过提高机体抗氧化活性, 下调 MDA 和加快清除 ROS 或自由基途径缓解体力疲劳程度; 减少机体疲劳产生的 BUN、BLA 代谢产物过量堆积, 增加肝糖原的储备量, 缓解体力疲劳症状。

3.3 抗氧化及抗衰老功能

生物系统代谢的副产物 ROS 主要包括: 超氧自由基、过氧化氢、羟基自由基和单线态氧^[67-68]。机体中的各种正常生理活动, 如: 蛋白质磷酸化、免疫和分化等过程都依赖于细胞内适量或低水平的 ROS 浓度^[69]。但当 ROS 累积过度又无法得到快速清除时, 会引起细胞氧化应激损伤, 并介导炎症细胞生成, 破坏机体内环境稳定, 诱发各种生理不适甚至产生病理症状^[70]。数据显示, 已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中, 声称具有抗氧化及抗衰老功能的产品数量共 107 件, 占总获批产品数量的 6.40%。

细胞中主要的抗氧化酶包括: 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-Px), 它们保护细胞免受 ROS 诱导的细胞损伤^[71]。尽管机体内在的抗氧化防御系统具有 ROS 清除能力, 但异常的氧化应激状态下, 内在的抗氧化防御系统往往难以满足细胞抗氧化的需求。因

此, 需要通过额外补充抗氧化剂, 如: 多酚和萜类化合物等天然抗氧化剂, 提高机体的抗氧化能力^[72]。研究显示, 枸杞子可迅速提高肝损伤小鼠体内谷胱甘肽(Glutathione, GSH)及 GSH-Px 含量并降低 MDA 含量, 而且枸杞子能够减轻氧化应激引起的年龄性相关疾病, 具有较好的抗氧化作用^[73-74]。其中, 枸杞子中的多酚、黄酮、类胡萝卜素和多糖是决定枸杞子抗氧化能力的重要因素, 这些抗氧化成分随着枸杞子的浸泡温度(80~100 ℃)和浸泡时间(1~3 h)的延长而增加^[75]。同时, 枸杞子品种、颜色的差异表现出抗氧化的作用也不同。目前研究多支持黑枸杞比红枸杞具有更高含量的酚类、缩合单宁和单体花青素, 以及更为突出抗氧化和抗炎作用, 而红枸杞所含的类胡萝卜素含量显著高于黑枸杞^[76-77]。总之, 枸杞中多酚及类胡萝卜素类成分是发挥抗氧化作用的关键。

3.4 保肝护肝功能

数据显示, 已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中, 声称具有保肝功能的产品数量共 68 件, 占总获批产品数量的 4.07%。酒精可作为肝毒素影响肝细胞中的线粒体功能, 导致脂质积累和细胞凋亡, 从而造成肝脏损伤^[78-79]。肝脏损伤后, 肝细胞膜的通透性增加, 会促使肝细胞中的 AST 和 ALT 从细胞质释放到血液中, 导致血清中天冬氨酸转氨酶(Aspartate Aminotransferase, AST)和丙氨酸转氨酶(Alanine Aminotransferase, ALT)水平急速升高。因此, 血清 AST 和 ALT 水平常被作为肝脏健康的生物标志物^[80]。研究发现, 食用为期 14 d 的枸杞, 可显著降低酒精性肝损伤小鼠血清中 AST、ALT、促炎因子及肝组织脂多糖水平, 升高肝组织中抗氧化 GSH 水平, 并显著改变了小鼠肠道菌群的群落结构, 改善了小鼠肝损伤程度^[81]。枸杞子中的黄酮类物质可以清除肝脏中过量的 ROS, 减少炎症、脂肪酸合成和 MDA 水平, 提高 GSH-Px 活性, 从而改善高西式饮食诱导的非酒精性肝损伤^[82]。核因子 E2 相关因子 2(Nuclear Factor Erythroid-2-related Factor 2, Nrf2)被报道是氧化应激的关键调节因子, 参与了肝脏保护的信号通路^[83-84]。枸杞多糖可通过激活人正常肝细胞(L-O2)中的 Nrf2, 调节凋亡抑制因子 Bcl-2 家族蛋白水平, 抑制凋亡通路中 caspase-3 表达等多种信号, 发挥抗氧化和抗凋亡作用, 抑制肝脏损伤^[85]。此外, 还有研究报道了枸杞子色素能提高 GSH-Px 和 SOD, 降低 MDA 和炎症细胞因子, 如: TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 水平, 保护肝脏免受氧化损伤; 并增加脂肪酸代谢的关键调节因子 AMPK α_2 mRNA 的表达, 降低 SREBP-1c、CYP2E1、TLR4 和 Myd88 mRNA 的表达来调节肝损伤相关代谢^[86]。枸杞子中提取的玉米黄质双棕榈酸酯分别减轻乙醇处理细胞和慢性暴食诱导的酒精性脂肪肝大鼠模型的肝细胞和全肝损伤^[87]。由此可见, 枸杞子中发挥保肝功能的成分十分丰富, 主要有多糖、黄酮、色素和玉米黄质

双棕榈酸酯,能够通过抗氧化、抗凋亡、抗炎等多种途径改善肝损伤。

3.5 调节血糖、血脂功能

数据显示,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中,声称具有辅助调节血糖和血脂功能的产品数量分别为 67 和 61 件,分别占总获批产品数量的 4.01%、3.65%。据统计,高血脂、高血糖人群数量逐年持续上升,两者均是诱发心脑血管疾病的危险因素^[88]。糖尿病属于代谢紊乱性疾病,其主要特征是由于糖代谢和胰腺功能的下降,导致胰岛素分泌不足而引起的慢性高血糖^[89]。枸杞多糖能增加糖代谢和胰岛素分泌,具有显著的降糖作用和胰岛素增敏活性^[90]。同时,枸杞多糖与葡萄糖吸收存在竞争抑制作用,能延缓葡萄糖吸收,抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性,降低餐后血糖^[91-92]。此外,高血糖模型动物也伴随血脂相关指标的异常升高,并表现出一定的高血脂症状^[93-94],而枸杞总黄酮提取物可延缓血糖升高速率,调节血脂代谢紊乱,有效延迟糖尿病大鼠病程进一步发展,并有效保护糖尿病大鼠的胰岛素抵抗能力,从而改善糖尿病大鼠血脂和血糖水平^[95]。枸杞多糖可通过调节肠道菌群,有效减轻糖尿病小鼠的高血糖和高脂血症^[96]。枸杞子水提物、枸杞子粗多糖及枸杞子多糖均具有较好的降血糖和降血脂功效,能够显著降低高脂血症兔血糖、总胆固醇(Total Cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)水平;同时显著升高高密度脂蛋白胆固醇(High Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C)水平,表现出较好的降血脂和降血糖的作用,三者虽然均具有较好的抗氧化能力,但水提物和粗多糖组分比纯化的多糖组分表现出更强的抗氧化活性,推测其原因是粗多糖组分被鉴定为富含抗氧化剂,如:类胡萝卜素、核黄素、抗坏血酸、硫胺素、烟酸;枸杞多糖被鉴定出含有多种单糖和 17 种氨基酸,是枸杞子降血糖的主要生物活性成分,枸杞多糖和维生素抗氧化剂均可能是枸杞子降血脂的有效成分^[97]。

综上所述,枸杞子对糖脂代谢有显著的改善作用,其作用机制可能与枸杞子具有增加胰岛素敏感性、改善胰岛素抵抗、调节糖脂代谢酶活性、提高抗氧化能力、改善抗炎作用、调节血清 TC、TG、LDL-C 水平等作用有关。

3.6 缓解视觉疲劳功能

数据显示,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中,声称具有缓解视觉疲劳功能的产品数量共 57 件,占总获批产品数量的 3.41%。长时间用眼或不正确的用眼习惯会诱发视觉疲劳,主要表现为:眼睛干涩、酸胀、视物模糊等各种眼部不适感,其产生的主要原因是眼底视网膜因氧化应激、炎症、凋亡以及细胞衰老而导致其结构及功能受损而产生的,特别是视网膜中的神经节细胞(Retinal Ganglion Cell, RGC)、上皮细胞(retinal pigment epithelium, RPE)、

感光细胞受损,对视疲劳的产生关联性最强^[98-99]。因此,修护或减少视网膜损伤是发挥缓解视疲劳功效的关键。枸杞子中能够缓解视疲劳的成分主要有多糖类^[100]、牛磺酸^[101]、类胡萝卜素^[8]等。研究发现,枸杞多糖可以通过调节小胶质细胞/巨噬细胞活性,促进 M2 极化,延缓 RGC 损伤^[102]。并能通过抑制 miR-181 和影响 Bcl-2/Bcl-1 自噬信号通路,对氧化应激下的 RPE 具有保护作用^[103]。此外,枸杞多糖还能通过上调抗氧化基因 Nrf2 和硫氧还蛋白还原酶 1(Recombinant Thioredoxin Reductase 1, TrxR1)消除过量氧自由基,从而提高线粒体的抗氧化能力,有效保护光感受器细胞^[104]。衰老造成的眼部功能下降和频繁的视疲劳感觉不可避免,而且衰老引发的年龄性黄斑变性(Age-related macular degeneration, AMD)更进一步加剧了视觉疲劳发生的频率和严重程度。研究表明,通过合理的膳食干预能够有效缓解视疲劳,提高眼部抵御外界不良损伤的能力^[105]。枸杞子乙醇提取物能够改善 AMD 大鼠眼底损伤状况;枸杞子中的叶黄素/玉米黄质能促进 H_2O_2 处理后的 ARPE-19 细胞增殖,降低 MMP-2 和 TIMP-1 表达量,减少视网膜氧化应激损伤,表明枸杞子乙醇提取物及其有效成分叶黄素/玉米黄质对视网膜具有较好的保护作用^[106]。由此可见,枸杞子主要通过其富含的多糖、类胡萝卜素等成分减少了视网膜中的氧化应激、细胞自噬,并提高了衰老导致的视网膜功能下降,从而有效发挥缓解视疲劳的功能。

3.7 调节肠道菌群

数据显示,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品中,暂无调节肠道菌群功能的产品,推测可能是因为目前调节肠道菌群功能产品较认可益生菌和益生元配伍;其次,保健食品实施注册制申报的周期较长,在此期间有关枸杞子对益生菌生长和存活的影响是否有益的相关研究报道还很少。从 2018 年废止《保健食品检验与评价技术规范》(2003 年版)后,在 2023 年 8 月才出台新的法规,在此期间企业只能依据 2012 年国食药监保化[2012]107 号文件发布的文件,申请仅存的 9 个保健食品功能,导致调节肠道菌群功能等产品无法提出注册申报,也进一步造成了枸杞子应用于调节肠道菌群功能产品的数量较少。但最近研究显示,枸杞子中的活性成分具有较好的调节肠道菌群作用^[107-108]。

肠道菌群是一个复杂的微生物生态系统,在人类健康和疾病中起着重要作用^[109]。枸杞子花青素可以被大肠内的肠道菌群降解,并通过肠道菌群促进双歧杆菌等肠道有益菌的生长和短链脂肪酸的产生,从而发挥维持肠道健康和减少脂肪的目的^[107]。枸杞多糖能促进免疫,使促炎症微环境向抗炎微环境转变,降低小鼠体内的潜在致病菌,并有助于富集木聚糖/纤维降解菌和短链脂肪酸产生,表明枸杞多糖较

好的调节肠道菌群作用^[110]。口服枸杞子也能显著改变 C57BL/6 小鼠粪便微生物群、短链脂肪酸浓度、pH、游离氨、肠道发育、肠道组织形态和通透性以及肠道免疫屏障^[111]。这些研究支持了枸杞子在调节肠道菌群中的应用。表 2 总结了枸杞子主要保健功能及其作用机制。

表 2 枸杞子主要保健功能及其作用机制
Table 2 Main health functions of *Lycium barharum* L. and their mechanisms of action

功能	受试物	受试对象	起效剂量	干预周期	调节机制	参考文献
增强免疫力	枸杞子多糖	昆明小鼠	50 mg/kg	11 d	促进T淋巴细胞亚群CD4 ⁺ T淋巴细胞和CD4 ⁺ /CD8 ⁺ 比值升高,增加免疫球蛋白含量。增强免疫低下小鼠体液和细胞免疫能力。	[43]
	枸杞多糖	BALB/c小鼠	50 mg/kg	19 d	提高免疫器官指数,减轻免疫器官损伤,促进免疫相关细胞因子: IL-2、IL-6、IL-1 β 、TNF- α 和IFN- γ 的产生,防止环磷酰胺诱导小鼠肝毒性。	[45]
	枸杞子总酚酰胺和枸杞多糖	ICR小鼠	均为200 mg/kg	1 w	两者均能够提高免疫低下小鼠的免疫器官指数和细胞因子水平,但枸杞子总酚酰胺免疫调节作用更优于枸杞子多糖。	[52]
缓解体力疲劳	枸杞多糖	SD大鼠	120 mg/kg	28 d	显著延长大鼠的力竭游泳时间;改善了大鼠血清乳酸、肌酸激酶等生化指标;增强大鼠肌肉的抗氧化能力,逆转了运动引起的血清葡萄糖、ATP和糖原含量的下降;增加大鼠肝脏线粒体密度。	[59]
	枸杞多糖	昆明小鼠	75 mg/kg	28 d	降低血清BUN、CREA、LD含量和肝组织中MDA浓度;升高LDH、SOD活性。	[64]
	枸杞多糖	昆明小鼠	10 mg/kg	4 w	提高骨骼肌组织中抗氧化酶SOD和GSH-Px活性,降低MDA水平和骨骼肌组织脂质过氧化水平;改善细胞内钙稳态失衡、增加线粒体膜电位,增加了肌肉的抗疲劳能力。	[65]
抗氧化	枸杞子原浆	ICR小鼠	8.33 mL/kg	45 d	显著提高急性酒精肝损伤小鼠血清中GSH-Px及肝组织中GSH含量;显著降低小鼠肝组织中蛋白质羰基含量及MDA含量。	[72]
	枸杞子	中老年人	15 g/d	16 w	枸杞子摄食组人群血浆8-异前列腺素F2 α 、血浆玉米黄质和皮肤类胡萝卜素水平显著升高,表明枸杞子饮食干预能减轻氧化应激引起的年龄相关疾病及脂质过氧化,推测其抗氧化特性可能与其丰富的玉米黄质含量有关。	[73]
	枸杞子	C57BL/6小鼠	饲料添加1%	14 d	降低血清天冬氨酸转氨酶、丙氨酸转氨酶、促炎细胞因子及肝组织脂多糖含量减轻急性肝损伤。	[80]
保肝	枸杞子黄酮	C57BL/6小鼠	140 mg/kg	8 w	显著减轻肝脏中甘油三酯的积累,减少炎症,提高GSH-Px活性,降低MDA水平,从而改善高西式饮食诱导的NAFLD的发展。	[81]
	枸杞子色素、枸杞多糖	C57BL/6小鼠	1.25 g/kg	15 d	枸杞子色素、枸杞子多糖可以降低血清和肝脏中的TG水平;降低血清ASL和ALT水平;提高GSH-Px和SOD,降低MDA和炎症细胞因子(TNF- α 、IL-1 β 、IL-6),保护肝脏免受氧化损伤。	[85]
	枸杞源性玉米黄质双棕榈酸酯	SD大鼠	10 mg/kg	4 w	枸杞源性玉米黄质双棕榈酸酯分别减轻乙醇处理细胞和慢性暴食诱导的酒精性脂肪肝大鼠模型的肝细胞和全肝损伤。	[86]
降血糖、降血脂	枸杞子总黄酮提取物	SD大鼠	90 mg/kg	4 w	延缓血糖升高速度,调节血脂代谢的紊乱,从而推迟糖尿病的进一步恶化,显著保护糖尿病大鼠的胰岛功能和胰岛素抵抗。	[94]
	枸杞多糖	C57BL/6J小鼠	50 mg/kg	6 w	缓解糖尿病小鼠的高血糖、高脂血症和胰岛素抵抗症状;显著提高CAT、SOD和GSH-Px的活性,减轻炎症;显著改善了肠道有益菌群的数量,提示枸杞多糖可通过调节肠道菌群,有效减轻糖尿病小鼠的高血糖和高脂血症。	[95]
	枸杞子水提取、枸杞子粗多糖、枸杞多糖	成年家兔	水提取: 0.25 g/kg; 粗多糖和多糖均为: 10 mg/kg	10 d	枸杞子水提取、枸杞子粗多糖、枸杞多糖均能显著降低家兔的血糖水平、TC和TG浓度,同时显著升高HDL-c水平,具有明显的降糖、降血脂作用。其中,枸杞子多糖的降糖作用比枸杞子粗多糖和枸杞子水提取物更显著,但降血脂作用似乎弱一些。三者均具有较好的抗氧化能力,但水提取物和粗多糖组分比纯化的多糖组分表现出更强的抗氧化活性,推测其原因是粗多糖组分被鉴定为富含抗氧化剂,如:类胡萝卜素、核黄素、抗坏血酸、硫胺素、烟酸。枸杞子多糖被鉴定出含有多种单糖和17种氨基酸,是枸杞子降血糖的主要生物活性成分。推测枸杞子多糖和维生素抗氧化剂均可能是枸杞子降血脂的有效成分。	[96]
调节肠道菌群	枸杞子花青素	/	/	/	在体外发酵条件下,枸杞子花青素与肠道微生物群相互作用,促进了短链脂肪酸的产生,还表现出对肠道微生物群的动态和多重作用	[106]
	枸杞多糖	C57BL/6小鼠	750 mg/kg	15 d	枸杞多糖可正向调节肠道炎症介质,有效下调潜在致病菌的相对丰度,上调有益菌的相对丰度,并提高短链脂肪酸的浓度。	[109]
	枸杞	C57BL/6小鼠	1.5%~3%掺入饲料	10 w	长期的枸杞子饮食,能够降低厚壁菌门的相对比例,增加疣菌门和拟杆菌门的相对比例,促进短链脂肪酸产生。LR可部分缓解抗生素引起的转基因疾病。转基因改变引起肠道SCFAs升高,有利于降低肠道pH,促进肠道黏膜细菌增殖,增强肠道屏障功能,促进肠道健康。	[110]

4 结论与展望

枸杞子作为一种药食同源物质,不仅具有高营养价值和广泛的保健功能,还具有风味良好且价格实惠的优点,是目前保健食品中使用和研究的“热点”原料之一,可以预见枸杞子广泛的营养价值和保健功能,支持了其具有较好的应用前景。但从目前的统计

数据显示,枸杞子在我国保健食品中的应用还未被充分挖掘,多数功能主要集中在增强免疫力、缓解体力疲劳和抗氧化等方面。此外,已获批含有枸杞子及其提取物的保健食品多以粗多糖作为产品的功效成分,市场产品之间的同质化严重,创新性较低。这是因为枸杞子中多糖的含量较高,并且目前有关枸杞子相关

保健功能的研究也主要集中在枸杞子多糖,特别是其增强免疫力和抗疲劳功能。近期研究表明,枸杞子中的叶黄素、玉米黄质双棕榈酸酯、花青素、酚酰胺等非多糖类物质以及其他微量元素均表现出较好的保健功效,发挥保健功效的作用甚至优于枸杞多糖。建议在今后的研究过程中应多挖掘枸杞子中的非多糖类物质在保健功能中的应用和作用机制,为市场提供更多创新且有效的产品。

枸杞子品种丰富且广泛分布于全国各地,不同产地、品种及处理方式影响了枸杞子及其提取物的保健功效和口感。所以,在研究过程中应注意枸杞子原材料质量的筛选,具体可以借助仪器分析技术,如:高效液相色谱仪、气质联机分析及其衍生技术、气相色谱-离子迁移谱、电子鼻等定性、定量分析枸杞子中的功效成分和挥发性成分。同时,对于枸杞子的提取工艺研究应当结合特定的保健功能,进行特定活性成分的提取,从而精准且最大化发挥产品的保健功能。

相较于其他浆果,枸杞子具有更为广泛的生理作用和营养成分,我国作为世界枸杞子大国,为研究者提供了丰富的研究资料和便利,并给予了消费者高营养价值且价格亲民的健康食品。2023 年 8 月 31 日,市场监管总局会同国家卫生健康委、国家中医药局制定了《允许保健食品声称的保健功能目录 非营养素补充剂(2023 年版)》及《保健食品功能检验与评价技术指导原则(2023 年版)》《保健食品功能检验与评价方法(2023 年版)》《保健食品人群试食试验伦理审查工作指导原则(2023 年版)》《允许保健食品声称的保健功能目录 非营养素补充剂(2023 年版)》及配套文件解读》等文件,该系列文件的发布极大地促进了保健食品的发展。可以预见,通过对枸杞子安全性、提取工艺、保健功效与量效的充分研究,能有效推动枸杞子在我国,甚至是全世界保健食品中的应用与发展。

参考文献

- [1] TIAN X J, LIANG T, LIU Y L, et al. Extraction, structural characterization, and biological functions of *Lycium barbarum* polysaccharides: A review[J]. *Biomolecules*, 2019, 9(9): 1-17.
- [2] MELINA A P C, CHARLES W I H, ALESSANDRA C P, et al. Biological effects of goji berry and the association with new industrial applications: A review[J]. *Food Reviews International*, 2021: 1-18.
- [3] DONNO D, MELLANO G, RAIMONDO E, et al. Influence of applied drying methods on phytochemical composition in fresh and dried goji fruits by HPLC fingerprint[J]. *European Food Research and Technology*, 2016, 242(11): 1961-1974.
- [4] 张秀云,崔利锐,周凤琴.枸杞子本草考证[J].山东中医药大学学报,2014,38(2): 124-126. [ZHANG X Y, CUI L R, ZHOU F Q. Examination of the materia medica of *Lycium barbarum* L.[J]. *Journal of Shandong University of Traditional Chinese Medicine*, 2014, 38(2): 124-126.]
- [5] 董静洲,杨俊军,王瑛.我国枸杞属物种资源及国内外研究进展[J].中国中药杂志,2008(18): 2020-2027. [DONG J J, YANG J J, WANG Y. Species resources of *Lycium barbarum* L. in China and research progress at home and abroad[J]. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2008(18): 2020-2027.]
- [6] 周杨,苗雨露,孙志蓉.枸杞产地及品种变迁的研究[C]//中国商品学会.第四届中国中药商品学术大会暨中药鉴定学科教学改革与教材建设研讨会论文集[A].甘肃,2015: 259-263. [ZHOU Y, MIAO Y L, SUN Z R. Study on the variation of origin and variety of wolfberry[C]//Chinese Commodity Society. Proceedings of the Fourth Chinese Academic Conference on Traditional Chinese Medicine Commodity and Symposium on Teaching Reform and Teaching Material Construction in the Discipline of Traditional Chinese Medicine Appraisal[A]. Gansu, 2015: 259-263.]
- [7] QI Y C, DUAN G Z, FAN G H, et al. Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on cell signal transduction pathways[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2022, 147: 112620.
- [8] LIU F, LIU X B, ZHOU Y M, et al. Wolfberry-derived zeaxanthin dipalmitate delays retinal degeneration in a mouse model of retinitis pigmentosa through modulating STAT3, CCL2 and MAPK pathways[J]. *Journal of Neurochemistry*, 2021, 158(5): 1131-1150.
- [9] ISLAM T, YU X M, BADWAL T S, et al. Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*) [J]. *Chemistry Central Journal*, 2017, 11(1): 1-8.
- [10] OLECH, M, KASPRZAK K, WÓJTOWICZ A, et al. Polyphenol composition and antioxidant potential of instant gruels enriched with *Lycium barbarum* L. fruit[J]. *Molecules*, 2020, 25(19): 4538.
- [11] LU Y Y, GUO S, ZHANG F, et al. Comparison of functional components and antioxidant activity of *Lycium barbarum* L. fruits from different regions in China[J]. *Molecules*, 2019, 24(12): 2228.
- [12] 张强钰,吉涛,张璐瑶,等.不同品种枸杞多糖的分离纯化及抗氧化、抗增殖能力探究[J].美食研究,2021,38(4): 72-78. [ZHANG Q Y, JI T, ZHANG L Y, et al. Separation and purification of polysaccharides from different varieties of *Lycium barbarum* L. and investigation of antioxidant and antiproliferative capacity[J]. *Gourmet Research*, 2021, 38(4): 72-78.]
- [13] AMAGASE H, FARNSWORTH R N. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji)[J]. *Food Research International*, 2011, 44(7): 1702-1717.
- [14] TIJANA I, MARGARITA D, MIRJANA M, et al. Chemical characterization, antioxidant and antimicrobial properties of goji berries cultivated in serbia[J]. *Foods*, 2020, 9(11): 1614.
- [15] MOCAN A, CAIRONE F, LOCATELLI M, et al. Polyphenols from *Lycium barbarum* (Goji) fruit european cultivars at different maturation steps: Extraction, HPLC-DAD analyses, and biological evaluation[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(11): 8110562.
- [16] 毕冉冉,赵圆,孙玉敬.枸杞植物化学成分调节肠道菌群及相关生理功能的研究进展[J/OL].浙江大学学报(农业与生命科学版): 1-10[2023-10-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1247.S.20230731.1640.004.html>. [BI R R, ZHAO Y, SUN Y J. Research progress on the regulation of intestinal flora and related physiological functions by phytochemical components of *Lycium barbarum* L.[J/OL]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences Edition)*: 1-10[2023-10-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1247.S.20230731.1640.004.html>.]

- [17] 李越鲲, 米佳, 闫亚美, 等. 不同产地宁夏枸杞主要化学成分分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 286–288, 329. [LI Y K, MI J, YAN Y M, et al. Analysis of main chemical components of Ningxia wolfberry from different origins[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(21): 286–288, 329.]
- [18] 孙红亮. 11种枸杞子总黄酮和总硒含量分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(18): 6177–6186. [SUN H L. Analysis of total flavonoids and total selenium content in 11 species of *Lycium barbarum* L.[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(18): 6177–6186.]
- [19] 吴佳欣. 枸杞多糖的提取纯化及其对 N2a/APP695 细胞中 A β (1-42) 产生的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2020. [WU J X. Extraction and purification of *Lycium barbarum* L. polysaccharide and its effect on A β (1-42) production in N2a/APP695 cells[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.]
- [20] 张倩, 李书启. 不同提取方法对枸杞多糖提取率及抗氧化活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 169–173. [ZHANG Q, LI S Q. Effects of different extraction methods on the extraction rate and antioxidant activity of polysaccharides from *Lycium barbarum* L.[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2019, 47(3): 169–173.]
- [21] 王玉霞, 尹旭敏, 张超. 枸杞多糖热浸提工艺研究[J]. 酿酒科技, 2017(4): 36–41. [WANG Y X, YIN X M, ZHANG C. Research on the hot extraction process of polysaccharides of *Lycium barbarum* L.[J]. Brewing Science and Technology, 2017(4): 36–41.]
- [22] 冯永侠. 枸杞多糖超声浸提浓缩与抗氧化活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020. [FENG Y X. Research on the concentration and antioxidant activity of polysaccharides of *Lycium barbarum* L. by ultrasonic extraction[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2020.]
- [23] 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. [CAO Y X, WANG Z H, HE J F, et al. Extraction and antioxidant analysis of polysaccharides from Jingle black wolfberry[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(14): 196–202.]
- [24] 庞亚茹, 朱风涛, 吴茂玉, 等. 微波辅助提取枸杞多糖工艺条件优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 50–53. [PANG Y R, ZHU F T, WU M Y, et al. Optimization of process conditions for microwave-assisted extraction of *Lycium barbarum* L. polysaccharides[J]. Food Research and Development, 2016, 37(11): 50–53.]
- [25] 李宏燕, 郝凤霞, 余学梅. 微波辅助萃取枸杞多糖的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(17): 29–32. [LI H Y, HAO F X, YU X M. Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Lycium barbarum* L.[J]. Food Research and Development, 2014, 35(17): 29–32.]
- [26] 汪明金, 龙玲. 枸杞多糖的提取、纯化、结构鉴定及药理作用研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(1): 131–135, 146. [WANG M J, LONG L. Progress on the extraction, purification, structural identification and pharmacological effects of polysaccharides from *Lycium barbarum*[J]. Food and Fermentation Science and Technology, 2022, 58(1): 131–135, 146.]
- [27] 程佳, 王发啟, 李小双, 等. 酚酸类化感物质种类、提取、分离和检测研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(6): 8–15. [CHENG J, WANG F Q, LI X S, et al. Progress of research on the types, extraction, isolation and detection of phenolic acid sensory substances[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2022, 50(6): 8–15.]
- [28] 王鹏波, 谢晓蓉, 代云云, 等. 枸杞黄酮提取方法的优化以及不同生态因子与枸杞黄酮相关性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 236–242. [WANG P B, XIE X R, DAI Y Y, et al. Optimization of extraction methods and correlation between different ecological factors and flavonoids of *Lycium barbarum* L.[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(6): 236–242.]
- [29] 刘晓慧, 赵英, 廖志明, 等. 11个不同产地枸杞子中微量元素和黄酮的主成分分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 79–83. [LIU X H, ZHAO Y, LIAO Z G, et al. Principal component analysis of trace elements and flavonoids in *Lycium barbarum* from 11 different origins[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2015, 43(4): 79–83.]
- [30] 殷涛, 徐宁, 卢恒, 等. 不同产地枸杞子质量评价研究[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(7): 1707–1709. [YIN T, XU NI, LU H, et al. Quality evaluation of wolfberry from different origins[J]. Shizhen Guomian Guomian, 2020, 31(7): 1707–1709.]
- [31] 张颖, 张立睦, 周红英, 等. 不同产地枸杞子中黄酮含量的测定[J]. 中国中医药科技, 2004(2): 102–103. [ZHANG Y, ZHANG L M, ZHOU H Y, et al. Determination of flavonoid content in *Lycium barbarum* L. from different origins[J]. China Traditional Chinese Medicine Science and Technology, 2004(2): 102–103.]
- [32] 张颖, 张立木, 王立秋, 等. 不同产地枸杞子中维生素C含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2004(8): 54–55. [ZHANG Y, ZHANG L M, WANG L Q, et al. Determination of vitamin C content in *Lycium barbarum* L. from different origins[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2004(8): 54–55.]
- [33] FAN X J, ZHANG B, YAN H, et al. Effect of lotus leaf extract incorporated composite coating on the postharvest quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 148: 132–140.
- [34] DANIAL F, LUISA M A, GIANCARLO C. Quality of goji berry fruit (*Lycium barbarum* L.) stored at different temperatures[J]. *Foods*, 2022, 11(22).
- [35] LU Y Y, KONG X F, ZHANG J H, et al. Composition changes in *Lycium ruthenicum* fruit dried by different methods[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2021: 737521.
- [36] MA R H, ZHANG X X, THAKUR K, et al. Research progress of *Lycium barbarum* L. as functional food: phytochemical composition and health benefits[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2022, 47: 531–535.
- [37] MEHMET P, KEREM M, ILKNUR E, et al. Effects of the fruiting period and growing seasons on market quality in goji berry (*Lycium barbarum* L.)[J]. *Folia Horticulturae*, 2020, 32(2): 229–239.
- [38] 张继斌, 陈志元, 江丹, 等. 醇溶性枸杞子提取物的提取工艺研究[J]. 酿酒科技, 2017(1): 48–51, 54. [ZHANG J B, CHEN Z Y, JIANG D, et al. Research on the extraction process of alcohol-soluble *Lycium barbarum* extract[J]. Brewing Science and Technology, 2017(1): 48–51, 54.]
- [39] 闫文杰, 段昊, 吕燕妮, 等. 食用菌在我国保健食品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 296–302. [YAN W J, DUAN H, LÜ Y N, et al. Research progress on the application of edible mushrooms in health food in China[J]. Food Science, 2020, 41(21): 296–302.]
- [40] 段昊, 吕燕妮, 闫文杰. 益生菌在我国保健食品中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 384–394. [DUAN H, LÜ Y N, YAN W J. Progress in the application of probiotics in health food

- in China[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(3): 384–394.]
- [41] LIU X F, SHAO J H, LIAO Y T, et al. Regulation of short-chain fatty acids in the immune system[J]. Frontiers in Immunology, 2023, 14: 1186892.
- [42] LI X, JIAO L L, ZHANG X, et al. Anti-tumor and immunomodulating activities of proteoglycans from mycelium of *Phellinus nigricans* and culture medium[J]. International Immunopharmacology, 2008, 8(6): 909–915.
- [43] FENG L, XIAO X, LIU J, et al. Immunomodulatory effects of *Lycium barbarum* polysaccharide extract and its uptake behaviors at the cellular level[J]. Molecules, 2020, 25(6): 1351.
- [44] EKREM D, REHA E, CENGİZ D, et al. Effect of hormone replacement therapy on CD4⁺ and CD8⁺ numbers, CD4⁺/CD8⁺ ratio, and immunoglobulin levels in hemodialysis patients[J]. Renal Failure, 2005, 27(4): 421–424.
- [45] WANG Y, SUN M Y, JIN H Y, et al. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharides on immunity and the gut microbiota in cyclophosphamide-induced immunosuppressed mice[J]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12.
- [46] CHEN J, ZHU X Q, YANG L, et al. Effect of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch polysaccharide on growth performance and immunologic function in mice in Ural City, Xinjiang[J]. Asian Pac J Trop Med, 2016, 9(11): 1078–1083.
- [47] DING Y, YAN Y M, CHEN D, et al. Modulating effects of polysaccharides from the fruits of *Lycium barbarum* on the immune response and gut microbiota in cyclophosphamide-treated mice[J]. Food & Function, 2019, 10(6): 3671–3683.
- [48] YE C, BRAND D, ZHENG G S. Targeting IL-2: An unexpected effect in treating immunological diseases[J]. Signal Transduction and Targeted Therapy, 2018, 3(1): 1–10.
- [49] LIU C, XI T, LIN Q, et al. Immunomodulatory activity of polysaccharides isolated from *Strongylocentrotus nudus* eggs[J]. International Immunopharmacology, 2008, 8(13): 1835–1841.
- [50] TOSHIO T, MASASHI N, TADAMITSU K. Interleukin (IL-6) Immunotherapy[J]. Cold Spring Harbor perspectives in Biology, 2018, 10(8): a028456.
- [51] MEZOUAR S, MEGE J J. Changing the paradigm of IFN- γ at the interface between innate and adaptive immunity: Macrophage-derived IFN- γ [J]. Journal of Leukocyte Biology, 2020, 108(1): 419–426.
- [52] DENG X L, LUO S, LUO X, et al. Polysaccharides from chinese herbal *Lycium barbarum* induced systemic and local immune responses in H22 tumor-bearing mice[J]. Journal of Immunology Research, 2018, 2018: 3431782.
- [53] GAN L, ZHANG S H, YANG X L, et al. Immunomodulation and antitumor activity by a polysaccharide-protein complex from *Lycium barbarum*[J]. International Immunopharmacology, 2004, 4(4): 563–569.
- [54] ZHU P F, ZHAO Y L, DAI ZHI, et al. Correction to phenolic amides with immunomodulatory activity from the nonpolysaccharide fraction of *Lycium barbarum* fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(13): 4072.
- [55] LUO C H, XU X R, WEI X C, et al. Natural medicines for the treatment of fatigue: Bioactive components, pharmacology, and mechanisms[J]. Pharmacological Research, 2019, 148(2019): 104409.
- [56] ZHAO H P, ZHANG Y, LIU Z, et al. Acute toxicity and anti-fatigue activity of polysaccharide-rich extract from corn silk[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 90: 686–693.
- [57] ISHII A, TANAKA M, YAMANO E, et al. The neural substrates of physical fatigue sensation to evaluate ourselves: A magnetoencephalography study[J]. Neuroscience, 2014, 261: 60–67.
- [58] LU G Y, LIU Z T, WANG X, et al. Recent advances in panax ginseng C.A. meyer as a herb for anti-fatigue: An effects and mechanisms review[J]. Foods, 2021, 10(5).
- [59] SIMEON P C. Lactic acid and exercise performance: Culprit or friend?[J]. Sports Medicine, 2006, 36(4): 279–291.
- [60] KUWAHARA H, HORIE T, ISHIKAWA S, et al. Oxidative stress in skeletal muscle causes severe disturbance of exercise activity without muscle atrophy[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2010, 48(9): 1252–1262.
- [61] PENG Y F, ZHAO L L, HU K, et al. Anti-fatigue effects of *Lycium barbarum* polysaccharide and effervescent tablets by regulating oxidative stress and energy metabolism in rats[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(18).
- [62] BALLARD J W O, TOWARNICKI S G. Mitochondria, the gut microbiome and ROS[J]. Cellular Signalling, 2020, 75.
- [63] ZHU H K, WANG R Y, HUA H Y, et al. The macamide relieves fatigue by acting as inhibitor of inflammatory response in exercising mice: From central to peripheral[J]. European Journal of Pharmacology, 2022, 917: 174758.
- [64] VALENTINA D, ADAM H, RAGHAVENDRA S, et al. Dysregulation of mitochondrial Ca²⁺ uptake and sarcolemma repair underlie muscle weakness and wasting in patients and mice lacking MICU1[J]. Cell Reports, 2019, 29(5): 1274–1286.
- [65] HÅKAN W, TAKASHI Y, JOSEPH D. Skeletal muscle fibers of cold-acclimated mice display increases in basal calcium, mitochondrial content and fatigue resistance[J]. Biophysical Journal, 2010, 98(3): 712a.
- [66] 魏芬芬, 王文娟, 张波. 枸杞多糖缓解小鼠体力疲劳研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 48–52. [WEI F F, WANG W J, ZHANG B. Study on the alleviation of physical fatigue in mice by polysaccharides of *Lycium barbarum* L.[J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 48–52.]
- [67] ZHAO R, CAI Y P, SHAO X Y, et al. Improving the activity of *Lycium barbarum* polysaccharide on sub-health mice[J]. Food & Function, 2015, 6(6): 2033–2040.
- [68] JULIANA N, LAURA Z, ANNADURAI A, et al. Antioxidant gene therapy against neuronal cell death[J]. Pharmacology & Therapeutics, 2014, 142(2): 206–230.
- [69] PABLO H, ANTONIO J E. Generation of reactive oxygen species by mitochondria[J]. Antioxidants, 2021, 10(3): 415.
- [70] RAJENDRAN P, NANDAKUMAR N, RENGARAJAN T, et al. Antioxidants and human diseases[J]. Clinica Chimica Acta, 2014, 436: 332–347.
- [71] GABRIELE P, NATASHA I, MARIAPAOLA C, et al. Oxidative stress: Harms and benefits for human health[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 2017: 8416763.
- [72] DEPONTE M. Glutathione catalysis and the reaction mechanisms of glutathione-dependent enzymes[J]. BBA-General Subjects, 2013, 1830(5): 3217–3266.
- [73] IGNACIO G, SARA L, PATRICIA M, et al. Terpenoids and polyphenols as natural antioxidant agents in food preservation[J].

Antioxidants, 2021, 10(8): 1264.

[74] 杨露, 赵冉, 吴镇槐, 等. 枸杞原浆抗氧化及增强免疫活性研究[J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 18–21, 28. [YANG L, ZHAO R, WU Z H, et al. Study on antioxidant and immunity-enhancing activities of *Lycium barbarum* L. stock[J]. Food and Machinery, 2022, 38(9): 18–21, 28.]

[75] DAREL W, WAN Y, HANZHANG Z, et al. Wolfberry (*Lycium barbarum*) consumption with a healthy dietary pattern lowers oxidative stress in middle-aged and older adults: A randomized controlled trial[J]. Antioxidants 2021, 10(4): 567.

[76] SUN Y J, RUKEYA J, TAO W Y, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of wolfberry infusion[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 40605.

[77] VANESSA M, RITA A S, BRUNA S, et al. Comparative studies on the anti-neuroinflammatory and antioxidant activities of black and red goji berries[J]. Journal of Functional Foods, 2022, 92.

[78] XIN G, ZHU F, DU B, et al. Antioxidants distribution in pulp and seeds of black and red goji berries as affected by boiling processing[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017: 1–9.

[79] JESSICA I, SANJOY R, PATRICIA M, et al. Exogenous thioredoxin prevents ethanol-induced oxidative damage and apoptosis in mouse liver[J]. Hepatology, 2009, 49(5): 1709–1717.

[80] MANDREKAR P, SZABO G. Signalling pathways in alcohol-induced liver inflammation[J]. Journal of Hepatology, 2009, 50(6): 1258–1266.

[81] JENNY H, MARLEEN H, et al. The genetic architecture of liver enzyme levels: GGT, ALT and AST. [J]. Behavior Genetics, 2013, 43(4): 329–339.

[82] GUO L, GUAN Q J, DUAN W H, et al. Dietary goji shapes the gut microbiota to prevent the liver injury induced by acute alcohol intake[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 929776.

[83] LU K K, WANG J, YU Y Y, et al. *Lycium ruthenicum* Murr. alleviates nonalcoholic fatty liver in mice[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(6): 2588–2597.

[84] TAGUCHI K, KENSLER T W. Nrf2 in liver toxicology[J]. Archives of pharmacol research, 2019, 43(Suppl 1).

[85] XU S F, JI L L, WU Q, et al. Ontogeny and aging of Nrf2 pathway genes in livers of rats[J]. Life Sciences, 2018, 203: 99–104.

[86] WANG H, LI Y S, LIU J F, et al. Hepatoprotective effect of crude polysaccharide isolated from *Lycium barbarum* L. against alcohol-induced oxidative damage involves Nrf2 signaling[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(12): 6528–6538.

[87] LI D, SUN L J, YANG Y L, et al. Preventive and therapeutic effects of pigment and polysaccharides in *Lycium barbarum* on alcohol-induced fatty liver disease in mice[J]. CyTA-Journal of Food, 2018, 16(1): 938–949.

[88] GAO H, LÜ Y, LIU Y X, et al. Wolfberry-derived zeaxanthin dipalmitate attenuates ethanol-induced hepatic damage[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2019, 63(11): e1801339.

[89] 丁贤彬, 唐文革, 陈莉玲, 等. 重庆市 30~79 岁居民高血压、高血脂、高血糖共患情况及相关影响因素[J]. 中国慢性病预防与控制, 2023, 31(1): 31–34. [DING X B, TANG W G, CHEN L L, et al. Co-occurrence of hypertension, hyperlipidemia and hyperglycemia in Chongqing residents aged 30–79 years and related influencing factors[J]. China Chronic Disease Prevention and Control, 2023, 31(1): 31–34.]

[90] KUZUYA T, NAKAGAWA S, SATOH J, et al. Report of the

Committee on the classification and diagnostic criteria of diabetes mellitus[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2002, 55(1): 65–85.

[91] ZHU J, LIU W, YU J P, et al. Characterization and hypoglycemic effect of a polysaccharide extracted from the fruit of *Lycium barbarum* L. [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 8–16.

[92] TANG H L, CHEN C, WANG S K, et al. Biochemical analysis and hypoglycemic activity of a polysaccharide isolated from the fruit of *Lycium barbarum* L. [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77: 235–242.

[93] WOJDYŁO A, NOWICKA P, BĄBELEWSKI P. Phenolic and carotenoid profile of new goji cultivars and their anti-hyperglycemic, anti-aging and antioxidant properties[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 48: 632–642.

[94] JAISHREE V, NARSIMHA S. Swertiamarin and quercetin combination ameliorates hyperglycemia, hyperlipidemia and oxidative stress in streptozotocin-induced type 2 diabetes mellitus in wistar rats[J]. Biomed Pharmacother, 2020, 130: 110561.

[95] OKOKON J E, ETUK I C, THOMAS P S, et al. *In vivo* anti-hyperglycaemic and antihyperlipidemic activities and chemical constituents of *Solanum anomalum* [J]. Biomed Pharmacother, 2022, 151: 113153.

[96] 王伟, 尚佳, 廖国玲等. 枸杞总黄酮提取物对 2 型糖尿病大鼠血糖、血脂的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2017, 37(1): 17–20.

[WANG W, SHANG J, LIAO G L, et al. Effects of total flavonoid extract of *Lycium barbarum* L. on blood glucose and blood lipids in type 2 diabetic rats[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2017, 37(1): 17–20.]

[97] MA Q Y, ZHAI R H, XIE X Q, et al. Hypoglycemic effects of *lycium barbarum* polysaccharide in type 2 diabetes mellitus mice via modulating gut microbiota[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 916271.

[98] LUO Q, CAI Y, YAN J Z, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects and antioxidant activity of fruit extracts from *Lycium barbarum* [J]. Life Sciences, 2004, 76(2): 137–149.

[99] DUAN H, SONG W, GUO J H, et al. Taurine: A source and application for the relief of visual fatigue[J]. Nutrients, 2023, 15(8): 1583.

[100] DUAN H, SONG W, ZHAO J, et al. Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs): Sources, digestion, absorption, application and their potential adjunctive effects on visual fatigue[J]. Nutrients, 2023, 15(11).

[101] MI X S, FENG Q, et al. *Lycium barbarum* polysaccharides related RAGE and A β levels in the retina of mice with acute ocular hypertension and promote maintenance of blood retinal barrier[J]. Neural Regeneration Research, 2020, 15(12): 2344–2352.

[102] SONG M, SALAM N, ROUFOGALIS D B, et al. *Lycium barbarum* (Goji Berry) extracts and its taurine component inhibit PPAR- γ -dependent gene transcription in human retinal pigment epithelial cells: Possible implications for diabetic retinopathy treatment[J]. Biochemical Pharmacology, 2011, 82(9): 1209–1218.

[103] LI H Y, HUANG M, LUO Q Y, et al. *Lycium barbarum* (Wolfberry) increases retinal ganglion cell survival and affects both microglia/macrophage polarization and autophagy after rat partial optic nerve transection[J]. Cell Transplantation, 2019, 28(5): 607–618.

[104] JING Y Y, YING W, YING D, et al. *Lycium barbarum*

polysaccharides regulating mir-181/bcl-2 decreased autophagy of retinal pigment epithelium with oxidative stress[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2023, 2023: 1–18.

[105] TANG L J, BAO S, DU Y Y, et al. Antioxidant effects of *Lycium barbarum* polysaccharides on photoreceptor degeneration in the light-exposed mouse retina[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018, 103: 829–837.

[106] LI X, HOLT R R, KEEN C L, et al. Goji berry intake increases macular pigment optical density in healthy adults: A randomized pilot trial[J]. *Nutrients*, 2021, 13(12): 4099.

[107] XU X R, HANG L, HUANG B L, et al. Efficacy of ethanol extract of fructus lycii and its constituents lutein/zeaxanthin in protecting retinal pigment epithelium cells against oxidative stress: *In vivo* and *in vitro* models of age-related macular degeneration[J]. *Journal of Ophthalmology*, 2013, 2013: 862806.

[108] YAN Y M, PENG Y J, TANG J L, et al. Effects of anthocyanins from the fruit of *Lycium ruthenicum* Murray on intestinal microbiota[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 48: 533–541.

[109] PENG Y J, YAN Y M, WAN P, et al. Gut microbiota modulation and anti-inflammatory properties of anthocyanins from the fruits of *Lycium ruthenicum* Murray in dextran sodium sulfate-induced colitis in mice[J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 2019, 136: 96–108.

[110] LI D T, WANG P, WANG P P, et al. The gut microbiota: A treasure for human health[J]. *Biotechnology Advances*, 2016, 34(7): 1210–1224.

[111] XIA W R, LI X A, KHAN I, et al. *Lycium berry* polysaccharides strengthen gut microenvironment and modulate gut microbiota of the mice[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 2020: 1–10.