

# 红枣主要活性成分及其功能活性研究进展

吴喆<sup>1</sup>, 朱佳敏<sup>1</sup>, 刘军<sup>1\*</sup>, 符小玉<sup>1</sup>, 娄磊<sup>1</sup>, 涂亦娴<sup>1</sup>, 秦新政<sup>2</sup>, 艾合买提江·艾海提<sup>1</sup>

(1. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆乌鲁木齐 830017)

(2. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 红枣富含营养和活性成分, 是一种药食两用的优质资源。随着红枣消费需求由追求产量逐渐向追求品质的转变, 人们对红枣营养价值及生物活性关注度越来越高。红枣活性成分种类繁多, 作用机制复杂, 且不同产地和不同红枣品种活性成分含量不同, 其功能活性也有所差异。因此明确红枣主要的活性成分及其功能活性之间的联系, 解析其作用机制, 对红枣的进一步开发利用具有重要的指导意义。该文通过梳理红枣的主要活性成分, 针对其抗氧化、抗炎、抗癌、免疫调节、护肝等方面的生物活性进行文献综述, 探讨其作用机理及研究现状, 旨在为红枣资源深加工和高效利用提供参考和思路。

**关键词:** 红枣; 活性成分; 功能活性; 研究进展

文章编号: 1673-9078(2024)09-359-369

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.0921

## Research Progress on the Main Active Components of Jujube and Their Functional Activities

WU Zhe<sup>1</sup>, ZHU Jiamin<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>1\*</sup>, FU Xiaoyu<sup>1</sup>, LOU Lei<sup>1</sup>, TU Yixian<sup>1</sup>, QIN Xinzheng<sup>2</sup>, AHMATJAN·Ahat<sup>1</sup>

(1.College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

(2.Institute of Microbiology Application, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** Jujube, which is rich in nutrients and active components, is a high-quality resource for both medicinal and edible applications. As consumer demand for jujube shifts from pursuing yield to quality, people pay increasing attention to the nutritional value and biological activity of jujube. There are many kinds of active components in jujube, their mechanism of action is complex, and the contents of active components vary in jujube from different places of origin and varieties, and their functional activities also differ. Therefore, clarifying the relationship between the main active components and their functional activities, and analyzing their mechanisms of action is of great significance for guiding the further development and use of jujube. This study examined the main active components of jujube and reviewed literature on its biological activities, such as antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, immunomodulatory and liver protection. The study further discussed the mechanism of action of these components and their current research status, aiming to offer references and insights for the deep processing and efficient utilization of jujube resources.

**Key words:** jujube; active component; functional activity; research advances

引文格式:

吴喆,朱佳敏,刘军,等. 红枣主要活性成分及其功能活性研究进展[J]. 现代食品科技, 2024, 40(9): 359-369.

WU Zhe, ZHU Jiamin, LIU Jun, et al. Research progress on the main active components of jujube and their functional activities [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 359-369.

收稿日期: 2023-07-31

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1100603)

作者简介: 吴喆 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 1034254423@qq.com

通讯作者: 刘军 (1972-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品功效与产业化, E-mail: liujunxju@sina.com

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Ziziphus*) 多年生植物枣树的果实<sup>[1]</sup>, 枣树起源于中国, 栽培历史悠久, 是国家卫生部批准的药食两用食品。截止 2022 年, 在我国已形成以新疆、河北、山东、陕西、山西、河南六大红枣主产区, 占全球产量的 91% 以上, 种植面积约 1 900 万亩, 产量达到 800 余万 t, 产值 1 000 多亿元, 其中著名的有灰枣、骏枣、金丝小枣、木枣等<sup>[2,3]</sup>。除此之外, 红枣还分布在韩国、印度、日本、欧洲和美国等国家, 在世界范围内广泛种植, 已成为世界上栽培最广、分布最多的干果<sup>[4]</sup>。红枣果实口感甘甜醇厚, 含有多糖、酚类、环核苷酸等多种生物活性物质, 这些物质与人类健康息息相关, 具有抗氧化活性、抗炎活性、免疫调节活性等生物活性<sup>[5,6]</sup>。在最早记载的史书《神农本草经》(公元前 300 年~公元 200 年) 药材汇编中, 红枣被认为是一种顶级中药材, 可以通过滋养血液、改善睡眠质量和调节消化系统来延长人的预期寿命<sup>[7]</sup>。红枣生

物活性与其活性物质含量、自身品种等有着密切联系。受气候、地理位置、光照、纬度和水质肥料等多种因素影响, 使得同品种不同产地红枣的活性成分间存在较大差异。目前各地红枣的活性成分及功能活性研究备受关注, 为了使红枣丰富的活性成分得到充分利用, 本文对红枣中活性成分及功能活性进行深入探讨和系统分析, 以期对红枣相关资源领域的研究提供一定的理论基础。

### 1 红枣的主要活性成分

植物活性成分是指构成植物体内除水分、糖类、蛋白质类、脂肪类等生长发育必要的一次代谢产物以外的二次代谢产物、对人体和其他生物具有重要生理作用的物质 (如多糖、多酚类物质、环核苷酸等)。多年来, 诸多研究者不断探究红枣中活性物质的变化规律及功能功效, 已经成为了当今时代的研究热点。

表 1 红枣多糖的理化特性  
Table 1 Physicochemical properties of jujube polysaccharides

| 多糖名称             | 红枣品种 | 纯化方式                                 | 分子量/u              | 单糖组成   | 参考文献 |
|------------------|------|--------------------------------------|--------------------|--|------|
| LZJP3<br>(酸性多糖)  | 临泽小枣 | DEAE-52 cellulose、<br>Sephadex G-100 | $9.77 \times 10^4$ | 半乳糖、糖醛酸比例为<br>2.05:6.84  | [11] |
| LZJP4<br>(酸性多糖)  |      |                                      | $6.45 \times 10^3$ | 糖醛酸、半乳糖、葡萄糖比例为<br>16.12:3.08:8.16  |      |
| HZPC-2<br>(中性多糖) | 骏枣   | DEAE-52 anionic、<br>Sephadex G-100   | $3.25 \times 10^4$ | 鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、<br>葡萄糖、木糖、甘露糖、<br>半乳糖醛酸比例为<br>0.05:0.34:0.29:0.15:0.08:0.02:0.06 | [12] |
| HP1<br>(中性多糖)    | 灰枣   | DEAE-52 cellulose、<br>Sephadex G-200 | $6.87 \times 10^4$ | 鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、<br>葡萄糖、半乳糖比例为<br>1.00:2.43:3.01:7.28:7.11                        | [13] |
| HP2<br>(中性多糖)    |      |                                      | $1.11 \times 10^5$ | 鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、<br>葡萄糖、半乳糖比例为<br>1.00:3.28:1.89:0.48:2.28                        |      |
| PZMP3-2          |      |                                      | $5.82 \times 10^4$ | 鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、<br>半乳糖醛酸比例为<br>1.74:2.00:1.00:18.69                              | [14] |
| SAZMP3<br>(酸性多糖) | 木枣   | DEAE-Sephacryl S-300                 | $9.37 \times 10^3$ | 主要含有鼠李糖, 半乳糖和半乳糖醛酸, 半乳糖是主要的糖基, 相对比例为 82.28%                                    | [15] |
| SAZMP4           |      |                                      | $2.89 \times 10^4$ | 鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、<br>甘露糖、半乳糖醛酸比例为<br>1.00:0.90:0.05:0.07:28.90                      | [16] |

表 2 红枣中多酚的种类及其含量

Table 2 Types of polyphenols and their contents in jujube

| 多酚                | 含量                | 红枣品种 / 基因型 | 栽培地区 | 参考文献 |
|-------------------|-------------------|------------|------|------|
| 原儿茶素              | 1.70*             | 骏枣         |      |      |
|                   | 2.80*             | 灵宝枣        |      |      |
|                   | 5.70*             | 晋枣         |      | [18] |
|                   | 6.30*             | 赞皇         |      |      |
|                   | 4.00*             | 梨枣         |      |      |
| 儿茶素               | 2.42*             | 骏枣         |      | [19] |
|                   | 6.50*             | 灵宝枣        |      |      |
|                   | 12.60*            | 晋枣         |      | [18] |
|                   | 11.50*            | 赞皇         |      |      |
|                   | 3.80*             | 梨枣         |      |      |
|                   | 16.82*            | 金昌一号       |      | [19] |
|                   | 3.88*             | 佳县木枣       |      |      |
| 表儿茶素              | 2.90*             | 骏枣         |      | [18] |
|                   | 2.58*             | 骏枣         |      | [19] |
|                   | 5.70*             | 灵宝枣        |      | [18] |
|                   | 13.50*            | 灵宝枣        |      | [19] |
|                   | 36.10*            | 晋枣         | 陕西榆林 |      |
|                   | 21.60*            | 赞皇         |      | [18] |
|                   | 7.60*             | 梨枣         |      |      |
|                   | 30.41*            | 金昌一号       |      | [19] |
|                   | 7.42*             | 佳县木枣       |      |      |
|                   | 5.10*             | 骏枣         |      | [18] |
| 芦丁                | 0.96*             | 骏枣         |      | [19] |
|                   | 6.10*             | 灵宝枣        |      | [18] |
|                   | 0.66*             | 灵宝枣        |      | [19] |
|                   | 4.80*             | 晋枣         |      |      |
|                   | 5.10*             | 赞皇         |      | [18] |
|                   | 6.10*             | 梨枣         |      |      |
|                   | 1.76*             | 金昌一号       |      |      |
|                   | 2.02*             | 佳县木枣       |      |      |
|                   | 54.10*            | 灵宝枣        |      | [19] |
|                   | 338.40*           | 骏枣         |      |      |
| 槲皮素               | 22.00*            | 金昌一号       |      |      |
|                   | 19.60*            | 佳县木枣       |      |      |
|                   | 0.97 <sup>#</sup> | 灰枣         | 山东老岭 | [20] |
|                   | 2.01 <sup>#</sup> | 晋枣         |      |      |
|                   | 0.70 <sup>#</sup> | 20-Ç-10    | 土耳其  | [21] |
|                   | 6.89 <sup>#</sup> | 20-Ç-51    |      |      |
|                   | 5.70 <sup>#</sup> | 灰枣         | 山东老岭 | [20] |
|                   | 2.74 <sup>#</sup> | 晋枣         |      |      |
| 5.30 <sup>#</sup> | 20-Ç-10           | 土耳其        | [21] |      |
| 3.88 <sup>#</sup> | 20-Ç-51           |            |      |      |

续表 2

| 多酚         | 含量                 | 红枣品种 / 基因型       | 栽培地区    | 参考文献 |
|------------|--------------------|------------------|---------|------|
| 阿魏酸        | 0.82 <sup>#</sup>  | 20-Ç-10          | 土耳其     | [21] |
|            | 0.73 <sup>#</sup>  | 20-Ç-51          |         |      |
|            | 0.42 <sup>#</sup>  | 灰枣               | 山东老岭    | [20] |
|            | 1.26 <sup>#</sup>  | 晋枣               |         |      |
|            | 0.12 <sup>#</sup>  | 灰枣               |         |      |
|            | 0.10 <sup>#</sup>  | 晋枣               |         |      |
| (+) - 儿茶素  | 13.68 <sup>#</sup> | 灰枣               | [20]    |      |
|            | 21.92 <sup>#</sup> | 晋枣               |         |      |
|            | 26.90 <sup>#</sup> | Grande Albaterra |         |      |
| (-) - 儿茶素  | 24.90 <sup>#</sup> | Dátil            | 西班牙阿利坎特 | [22] |
|            | 89.40 <sup>#</sup> | Grande Albaterra |         |      |
|            | 83.00 <sup>#</sup> | Dátil            |         |      |
| 丁香酸        | 0.29 <sup>#</sup>  | 20-Ç-10          | 土耳其     | [21] |
|            | 0.31 <sup>#</sup>  | 20-Ç-51          |         |      |
| 圣草酚        | 5.63 <sup>#</sup>  | 20-Ç-10          | 土耳其     | [21] |
|            | 6.27 <sup>#</sup>  | 20-Ç-51          |         |      |
| 芹菜素-7-葡萄糖苷 | 22.90 <sup>#</sup> | 20-Ç-10          | [21]    |      |
|            | 27.00 <sup>#</sup> | 20-Ç-51          |         |      |

注: \* 表示鲜量 (FW), mg/100 g, # 表示干量 (DW), mg/100 g.

### 1.1 多糖

多糖是红枣中不可或缺的物质, 具有很强的抗补体活性作用。通过不同提取纯化分离方法得到的红枣多糖是结构多样的生物大分子, 其主要分为水溶性中性多糖和水溶性酸性多糖<sup>[8]</sup>。红枣中多糖平均分子量大致范围在  $10^3 \sim 10^5$  u, 单糖组成和比例虽各有所差别, 但根据文献报道的结果其主要由不同摩尔比的鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、半乳糖醛酸构成。不同产地、不同红枣品种的多糖含量、单糖种类都存在一定的差异 (表 1), 这可能与红枣品种、提取工艺、纯化方法、检测手段等诸多因素密切相关。同一地区, 不同品种之间的红枣多糖含量存在显著差异, 罗宇鑫等<sup>[9]</sup>研究得出, 产自阿拉尔地区的 8 个品种红枣的多糖含量在 29.69~46.68 g/100 g DW 之间, 平均含量为 36.41 g/100 g DW, 其含量由高到低为灰枣>赞皇大枣>金丝小枣>晋矮 3 号>骏枣>大白铃>冀抗 2 号>骨头小枣。同时, 不同产地的红枣多糖含量也存在显著差异, 李霄等<sup>[10]</sup>研究得出, 产自陕北横山的红枣多糖含量要明显高于其他地区, 高达 6.99%, 3 个不同产地的红枣多糖含量由高到低依次为: 横山>绥德>米脂。

### 1.2 多酚类化合物

多酚类化合物在自然界中储量丰富、种类繁多、结构多样, 是一类复杂的具有多个酚羟基的次级代谢产物。红枣的多酚类化合物主要包括阿魏酸、(+)-儿茶素、(-)-儿茶素、丁香酸、圣草酚、芹菜素-7-葡萄糖苷、儿茶素、表儿茶素、芦丁、槲皮素等。同一地区, 不同红枣品种的多酚类化合物有着一定的差别, 表 2 总结了红枣中多酚的种类及其含量。另外, 王蓉蓉等<sup>[17]</sup>测定了不同产地红枣的多酚类化合物含量后发现, 山西木枣中儿茶素 (7.52 mg/100 g)、表儿茶素 (4.00 mg/100 g) 和芦丁 (5.23 mg/100 g) 的含量均分别显著高于北京金丝小枣、新疆哈密大枣相应酚类物质的含量。

### 1.3 环核苷酸

红枣中含有 10 余种环核苷酸及其衍生物, 其中环磷酸腺苷 (cAMP) 和环磷酸鸟苷 (cGMP) 是其主要的生物活性成分, 一般含量较低, 可作为第二信使广泛参与生理生化调节。同一产地不同品种或同一品种不同产地红枣的环核苷酸有着极大的差别, 已报道的红枣 cAMP 从 37.65  $\mu\text{g/g}$  FW (七月

鲜)到 523.51  $\mu\text{g/g}$  FW (哈密大枣), 而部分红枣的 cAMP 含量介于 15.51~480.92  $\mu\text{g/g}$  DW, 此外, 新疆骏枣的 cGMP 含量表现出最高水平 (表 3)。

表 3 红枣中环核苷酸含量

Table 3 Cyclic nucleotide content in jujube

| 环核苷酸    | 含量      | 红枣品种  | 栽培地区  | 参考文献 |
|---------|---------|-------|-------|------|
| cAMP    | 77.27*  | 灵宝大枣  | 河南灵宝  | [23] |
|         | 111.09* | 滩枣    | 陕西    |      |
|         | 523.51* | 七月鲜   | 新疆    |      |
|         | 45.15*  | 灰枣    | 河南新郑  | [24] |
|         | 41.92*  | 金丝小枣  | 河北沧州  |      |
|         | 93.01*  | 壶瓶枣   | 山西太谷  |      |
|         | 57.06*  | 相枣    | 陕西阎良  | [25] |
|         | 41.96*  | 滩枣    |       |      |
|         | 213.29* | 骏枣    | 新疆和田  |      |
|         | 90.86*  | 灰枣    |       | [26] |
|         | 480.92# | 骏枣    | 新疆阿拉尔 |      |
|         | 15.51#  | 酸枣    |       |      |
|         | 37.65*  | 哈密大枣  | 新疆哈密  | [23] |
|         | 87.5*   | 骏枣    | 新疆阿克苏 |      |
|         | 42.74*  | 灰枣    |       |      |
| 94.65*  | 圆枣      | 宁夏    | [25]  |      |
| 109.83* | 灰枣      |       |       |      |
| 292.36* | 七月鲜     | 新疆    |       |      |
| 266.04* | 骏枣      |       | [25]  |      |
| 236.39# |         | 新疆阿拉尔 |       |      |
| 5.31#   | 酸枣      |       |       |      |

注: \*: 鲜量 (FW)  $\mu\text{g/g}$ ; #: 干量 (DW)  $\mu\text{g/g}$ 。

#### 1.4 三萜烯酸类化合物

三萜烯酸通常以游离、酯化或糖基化形式广泛存在于植物原料中, 是植物的次生代谢产物<sup>[27]</sup>。Lee 等<sup>[28]</sup>采用高效液相色谱法, 从红枣甲醇提取物中测定了 11 种三萜酸。Wu 等<sup>[29]</sup>从红枣中分离出 10 种三萜类化合物, 分别为: ceanothenic 酸、熊果酸、白桦醇、白桦脂酸、麦珠子酸、麦珠子酸甲酯、齐墩果酸、表美洲茶酸、美洲茶酸和 3 $\beta$ -羟基-30-降羽扇豆烷-20-酮-28-酸。Guo 等<sup>[30]</sup>建立了一种测定三萜烯酸的超高效液相色谱-飞行时间质谱联用方法, 结果表明 zizyberenic 酸和坡模酸可能是鉴别红枣品种的潜在标志物, 且红枣中三萜酸的含量因品种、地理来源、生长和环境条件以及成熟阶段不

同而存在显著差异。在 6 个生长阶段的红枣中, 大多数生长阶段红枣的三萜酸含量随着成熟度的增加而增加, 在红熟期达到最高水平<sup>[31]</sup>。此外, 畅晓洁<sup>[27]</sup>研究表明狗头枣三萜酸含量随成熟度升高而降低, 其中熊果酸在八成熟 (半红果) 阶段含量达到最高 (148.8 mg/100 g DW), 这可能与枣果的生物合成和代谢物积累有关。高娅等<sup>[32]</sup>研究发现同一产地不同红枣品种间三萜酸含量存在显著性差异, 阿克苏骏枣 (470.37  $\mu\text{g/g}$ ) 中三萜酸含量均高于灰枣 (391.50  $\mu\text{g/g}$ ) 和金昌一号 (440.93  $\mu\text{g/g}$ ); 即使是同一品种, 由于受不同地域的影响, 三萜酸含量也有明显差异, 喀什灰枣三萜酸含量 (677.83  $\mu\text{g/g}$ ) 均高于阿克苏地区 (391.50  $\mu\text{g/g}$ ) 和若羌地区 (325.67  $\mu\text{g/g}$ ), 分别为阿克苏、若羌灰枣含量的 1.73 与 2.08 倍。

#### 1.5 其他活性成分

研究发现, 红枣中还含有其它多种活性成分, 如膳食纤维、生物碱等物质。其中有研究表明栽培在伊斯特拉的红枣膳食纤维含量<sup>[33]</sup>显著高于栽培在韩国的红枣<sup>[34]</sup>, 这表明红枣品种与地域性是影响膳食纤维的重要因素<sup>[26,35]</sup>(图 1)。张向前等<sup>[36]</sup>报道了狗头枣提取生物碱的最佳条件: 料液比为 1:12 (g/mL), 提取时间为 2.5 h, 乙醇体积分数为 70%; 且具有较强的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除能力。

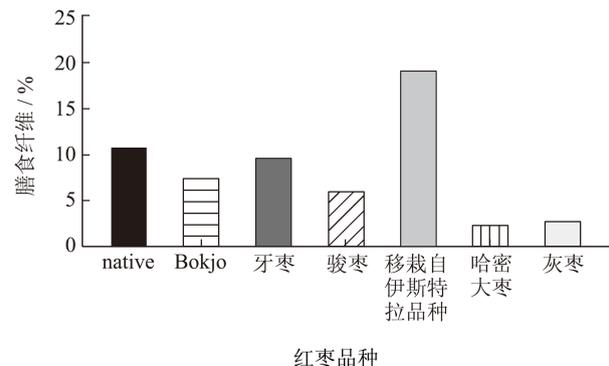


图 1 红枣中膳食纤维含量

Fig.1 Dietary fiber content in jujube

## 2 红枣的生物活性研究

红枣作为药食两用植物, 营养价值高, 同时具有抗氧化、抗炎、护肝、抗癌及提高免疫力等多种生物活性, 被大众广为接受和关注, 吸引了越来越多的科研工作者进行研究, 同时更多红枣功效成分也值得我们关注。

## 2.1 抗氧化活性

红枣是一种营养价值极高的干果，具有独特的化学成分，可以作为增强人体免疫系统功能的膳食补充品。刘杰超等<sup>[37]</sup>测定了同一产地6种不同品种的红枣，证实了红枣具有抗氧化能力，但存在一定差异。红枣中丰富的酚类物质通过电子转移机制清除自由基，并与产生自由基的过渡金属螯合，起到抗氧化剂的作用，从而改善自由基对细胞的损伤<sup>[38]</sup>。Lin等<sup>[16]</sup>研究发现，木枣果胶多糖可以显著提高体内超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione Peroxidase, GSH-Px)的活力，对过氧化氢(Hydrogen Peroxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)诱导的Caco-2细胞氧化损伤具有保护作用。影响红枣抗氧化活性主要有以下几种因素。

红枣的抗氧化活性与总酚含量高度相关。Choi等<sup>[39]</sup>研究发现，总酚是红枣中最重要的活性物质，其含量与抗氧化活性呈正相关，且果核中的总酚含量高于果肉。

红枣的抗氧化活性与气候区域高度相关。王小媛等<sup>[40]</sup>发现不同地区栽培的5种红枣均具有良好的体外抗氧化活性，且存在一定差异，这一结果与Wang等<sup>[41]</sup>研究结果相似。沈静等<sup>[42]</sup>也发现，生长环境、气候条件和采收时期不同，红枣果实的抗氧化能力也不同。

红枣的抗氧化活性与生物活性物质含量高度相关。Kou等<sup>[43]</sup>报道了红枣果实中抗坏血酸、多酚和原花青素含量与其2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除与铁离子还原能力之间呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。谢惠等<sup>[44]</sup>也证实了红枣可溶性膳食纤维的抗氧化能力，其2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基、超氧阴离子自由基、铁离子还原和羟自由基与1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除能力随着质量浓度的增加而增强，且呈一定的剂量效应。

## 2.2 抗炎活性

研究发现，脂多糖处理可以促进炎症反应速度<sup>[45]</sup>，而多糖的加入则可以显著降低肿瘤坏死因子(Tumor Necrosis Factor, TNF)- $\alpha$ 、免疫因子白细胞介素(Interleukin, IL)-17的表现。Zhan等<sup>[46]</sup>发现骏枣肽多糖可以下调脂多糖(Lipopolysaccharide, LPS)诱导的RAW 264.7巨噬细胞内TNF- $\alpha$ 、干扰

素- $\gamma$ 和IL-17的表达，抑制RAW 264.7巨噬细胞中丝裂原活化蛋白激酶(Mitogen-activated Protein Kinase, MAPK)和核因子- $\kappa$ B(Nuclear Factor  $\kappa$ B, NF- $\kappa$ B)依赖的信号通路，抑制环氧合酶-2(Cyclooxygenase-2, COX-2)的表达，从而减轻炎症，说明多糖可能是通过此通路达到改善炎症的作用。NF- $\kappa$ B是一个关键的调控因子，而MAPK作为一种重要的能量调节酶，它们能够控制多种基因表现，并参与炎症反应，从而有效地缓解炎症，展锐等<sup>[47]</sup>通过研究证实红枣多糖能够在高剂量(50~100  $\mu$ g/mL)质量浓度显著降低LPS诱导的RAW264.7巨噬细胞中COX-2、TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 和IL-6的含量，抑制MAPK或NF- $\kappa$ B等炎症信号通路，从而缓解细胞炎症和氧化应激。另有研究表明<sup>[48]</sup>红枣和发酵红枣提取物可以显著抑制炎症相关mRNA、COX-2和诱导型NO合成酶的表达，减轻了硝普钠(Sodium Nitroprusside, SNP)和LPS-干扰素 $\alpha$ 诱导的巨噬细胞氧化应激，从而实现NO诱导的巨噬细胞炎症反应的治疗。以上研究表明，多糖及提取物在RAW264.7巨噬细胞中起到了积极作用，并能保持机体炎性因子的稳态(图2)。

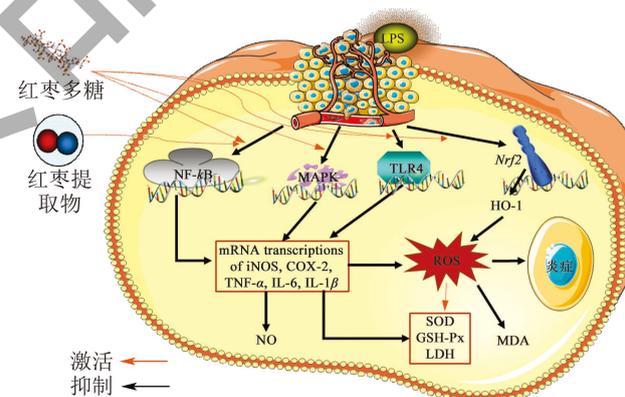


图2 红枣多糖及红枣提取物抗炎机制

Fig.2 Anti-inflammatory mechanism of jujube polysaccharide and jujube extract

## 2.3 保肝作用

红枣在护肝方面也表现出巨大的优势。滩枣多糖能够显著抑制小鼠血清中的ALT、天冬氨酸氨基转移酶(Aspartate Aminotransferase, AST)和乳酸脱氢酶(Lactate Dehydrogenase, LDH)的活性，对CCl<sub>4</sub>诱导的肝损伤具有显著的恢复作用，有效改善小鼠生存状态<sup>[49]</sup>。另有研究也表明红枣多糖通过上调Nrf2介导的途径来降低CCl<sub>4</sub>中毒小鼠血清中的ALT和AST水平，增加肝损伤小鼠中的血红素氧

合酶 1 (Heme Oxygenase-1, HO-1)、谷胱甘肽转移酶  $\alpha$  (Glutathione Transferase  $\alpha$ , GST $\alpha$ ) 和醌氧化还原酶 1 (Quinone Oxidoreductase 1, NQO1) 蛋白表达<sup>[50]</sup>, 这些结果表明多糖可以明显改善 CCl<sub>4</sub> 诱导小鼠的氧化应激, 从而有效地调节因子水平, 达到护肝的目的。El 等<sup>[51]</sup>研究发现红枣提取物对二氯乙酸 (Dichloroacetic Acid, DCA) 诱导的大鼠肝损伤模型也具有保护作用, 通过降低肝脏硫代巴比妥酸反应物 (Thiobarbituric Acid Reactants, TBARS) 的形成程度, 提高 SOD、过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 和 GSH-Px 的活性, 维持大鼠肝脏的正常组织结构, 从而减轻氧化应激对肝脏 DNA 断裂的损伤, 这表明红枣提取物能够保护大鼠肝脏并提高其机体免疫力。此外, 蔡天娇等<sup>[52]</sup>给 SPF 小鼠喂食含有三萜酸的食物 6 周, 发现经三萜酸处理的小鼠表现出血清中 ALT、AST 活力显著降低、SOD 及 GSH-Px 的活力显著增强, 表明三萜酸可抑制 SPF 小鼠内脂质过氧化以达到护肝的目的, 另一方面, 酸枣提取物对高血糖诱导的肝细胞 (PC12) 毒性具有保护作用, 这可能是通过提高细胞内的抗氧化系统来防止高血糖的毒性或与 ROS 的降低有关<sup>[53]</sup>。

## 2.4 抗癌活性

相比较抗癌药物而言, 天然抗癌药物中的天然产物能通过阻止细胞周期进程、抑制癌细胞存活信号通路等多种生物途径来阻止肿瘤生长及其进程, 且其对人体的毒副作用小。与化疗方式不同, 红枣中丰富的多糖等物质可通过激活免疫反应发挥抗肿瘤作用。Wu 等<sup>[54]</sup>在对若羌红枣多糖的体外细胞研究中发现, 若羌红枣多糖通过细胞诱导凋亡介导的机制可以剂量和时间依赖性地抑制宫颈癌细胞 (HeLa) 的增殖, 在 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的剂量时, 宫颈癌细胞 (HeLa) 48 h 的最大抑制率达到 67.64%。与此同时, 李晋等<sup>[55]</sup>也研究发现红枣多糖可将体外培养的肝癌细胞 (HepG2) 停滞于 G1 期, 上调 caspase-3mRNA 的表达, 下调关键基因 Bcl-2 的表达, 抑制 HepG2 细胞的增殖, 并且其抑制率在 0.625~40  $\text{mg}/\text{mL}$  范围内呈剂量依赖效应, 表明多糖是红枣发挥抗癌作用的关键, 其摄入量是抗癌作用的重要影响因素。狗头枣多糖通过巨噬细胞分泌的 TNF- $\alpha$  的细胞毒性作用诱导细胞凋亡, 提高细胞内 ROS 水平, 抑制结直肠癌细胞 (LoVo) 的增殖<sup>[56]</sup>。Bax 与 Bcl-2 的表达和分布平衡是决定细胞命运的关键因素, Bcl-2 作为一种促进生存分子,

通过阻断 Bax 向线粒体的转位, 从而抑制细胞凋亡。Mohammad 等<sup>[57]</sup>研究发现红枣提取物可以剂量和时间依赖的方式显著抑制癌细胞生长, 改变凋亡基因表达, 提高 Bax/Bcl-2 mRNA 的水平及其比率, 抑制线粒体凋亡诱导因子的释放, 通过这些效应预防癌症的发生 (图 3)。

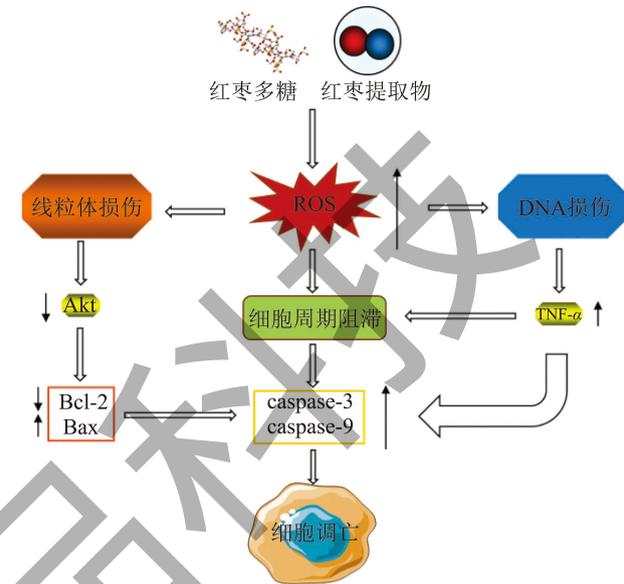


图 3 红枣多糖及红枣提取物抗癌机制

Fig.3 Anti-cancer mechanism of jujube polysaccharide and jujube extract

## 2.5 降糖活性

研究表明, 大多实验研究是以啮齿类动物为动物模型, 研究红枣中活性成分在降血糖方面的作用, 因为它们有着与人体遗传性和生理学特点相似的特征, 而且更容易控制血糖水平。谢雨彤等<sup>[58]</sup>采用 ICR 雄性小鼠为动物模型, 连续灌胃 4 周, 发现红枣多糖显著降低糖尿病小鼠的血糖值, 促进小鼠血清胰岛素的释放, 减轻小鼠肾脏组织中的氧化应激。冯鑫欢等<sup>[53]</sup>研究了一种链脲佐菌素 (Streptozotocin, STZ) 诱导的糖尿病小鼠模型, 在持续 4 周的灌胃期间, 发现红枣提取物 (800  $\text{mg}/\text{kg}$ ) 能够抑制 STZ 诱导的糖尿病小鼠体质量增加, 降低血糖水平, 改善肝功能损伤, 提高糖尿病小鼠抗氧化能力, 促进血清胰岛素分泌, 其结果表明红枣提取物主要是通过清除自由基及抑制脂质过氧化水平发挥降糖活性。另有研究以胰岛素抵抗 HepG2 细胞为模型, 连续孵育 48 h, 发现红枣多糖可以上调胰岛素抵抗 HepG2 细胞内 p-PI3K、p-AKT 蛋白的表达水平, 激活 PI3K/Akt 信号通路, 进而缓解胰岛素抵抗, 减少对细胞的损伤, 可在糖尿病治疗中取得较好的降糖效果<sup>[59]</sup>。

## 2.6 降脂活性

高脂血症表现为人体内脂质代谢发生异常, 血浆里某一种或多种脂质成份浓度超过正常范围的病症, 其血浆中总胆固醇 (Total Cholesterol, TC) 和甘油三酯 (Triglyceride, TG) 过高, 高密度脂蛋白胆固醇过低从而出现的一种疾病, 是冠心病和动脉粥样硬化的主要发病因素之一<sup>[60]</sup>。目前, 降血脂的途径较多, 其中以生活方式的干预和药物介入为主。盛文军等<sup>[61]</sup>从油枣中分离纯化得到黄酮粗提物对小鼠中的甘油三酯、总胆固醇及动脉硬化指数 (Atherosclerosis, AS) 等血脂指标具有不同程度的抑制作用。Zhao 等<sup>[62]</sup>研究了红枣多糖对高果糖诱导的胰岛素抵抗和血脂异常小鼠的影响, 发现 400 mg/kg 剂量的红枣多糖能显著降低果糖引起的胰岛素和血脂异常。除此之外, Yazdanpanah 等<sup>[63]</sup>通过对 2 型糖尿病患者临床研究得出, 红枣液也具有一定的降脂作用, 但对糖脂代谢的机制还有待进一步研究。

## 2.7 免疫调节活性

机体的免疫功能是通过淋巴细胞、巨噬细胞等众多细胞及其产物的相互作用而实现的。免疫系统对病原体具有抵抗作用, 它可以保护机体免受感染, 以此来保持整体健康<sup>[64]</sup>。邹曼等<sup>[65]</sup>研究发现灰枣多糖、多酚和三萜类化合物都可以显著地提高小鼠体内免疫器官指数、半数溶血值、吞噬指数  $\alpha$  以及小鼠足跖厚度, 结果表明, 虽然其作用方式不同, 但能相互增强免疫作用, 使其整体免疫活性得到提升。Zou 等<sup>[13]</sup>也发现灰枣多糖能显著提高脾脏和胸腺指数、促进血清中溶血素的形成, 加强巨噬细胞的吞噬活性, 并增强小鼠的延迟型超敏反应, 表明多糖通过免疫细胞的产生及免疫刺激机制, 能对免疫系统进行调整, 起到免疫调节的作用。此外, Zhang 等<sup>[66]</sup>研究了红枣多糖对鸡淋巴细胞增殖的影响, 发现硫酸化多糖能够显著促进鸡淋巴细胞增殖, 提高血清抗体滴度, 激活补体系统增强免疫活性。另外, 多糖类物质以剂量依赖性地促进小鼠脾淋巴细胞的增殖和转化作用, 进一步证实了多糖具有调节淋巴细胞的能力<sup>[67]</sup>。因此, 红枣多糖可能被用作一种新型免疫促进剂的药物成分进而提高免疫力。

## 2.8 神经保护作用

近年来, 氧化应激在神经疾病中的作用受到广泛关注, 研究发现, 通过抑制细胞氧化应激水平等

途径可保护神经细胞不被损伤<sup>[68]</sup>。Chen 等<sup>[69]</sup>研究表明红枣提取物对过氧化氢叔丁醇诱导的 PC12 细胞毒性具有保护作用; 未成熟红枣中黄酮类化合物含量明显高于成熟的果实, 并在保护细胞氧化损伤方面表现出更好的效果。此外, 进一步研究证实, 红枣提取物可诱导 PC12 细胞突起生长, 神经丝 NF68 和 NF160 在红枣提取物培养基中的表达呈浓度依赖性增加; 其还能诱导 PC12 细胞 cAMP 反应结合蛋白磷酸化, 且 H89 阻断了该蛋白的磷酸化, 这表明红枣 cAMP 可能参与了 PC12 细胞的神经元分化<sup>[70]</sup>。另外, 在培养的星形胶质细胞中连续 24 h 给予红枣水提取物干预, 可上调神经生长因子和脑源性神经营养因子的表达, 且胶质细胞源性神经营养因子呈浓度依赖性, 且经红枣水提取物干预后, 细胞中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等抗氧化酶的表达也呈现显著上调趋势<sup>[71]</sup>。Yoo 等<sup>[72]</sup>研究了红枣提取物对缺血损伤沙土鼠的神经保护作用。结果表明, 在红枣提取物处理的缺血组 4 d 后, 海马神经元细胞核免疫反应神经元显著多于缺血组, 治疗组的 SOD 和脑源性神经营养因子均高于对照组。Rabiei 等<sup>[73]</sup>研究发现红枣醇提物能够显著缓解大鼠癫痫实验性发作, 并改善大鼠学习和记忆功能, 其可通过激活胆碱乙酰转移酶对大鼠 NBM 损伤产生的记忆和行为障碍具有修复作用, 并可能对 AD 患者的治疗产生有益影响<sup>[73]</sup>。

## 2.9 其他活性

除上述生物活性外, 红枣多糖可以显著减轻疲劳, 有效缓解运动性疲劳的功能<sup>[74]</sup>。在卵清蛋白 (Ovalbumin, OVA) 诱导过敏性鼻炎的小鼠中, 红枣 cAMP 可减少免疫球蛋白 E (Immunoglobulin E, IgE) 诱导的 RBL-2H3 细胞的  $\beta$ -己糖胺酶 ( $\beta$ -hexosaminidase,  $\beta$ -hex) 产生, 抑制 C48/80 诱导的细胞内钙浓度的增加, 调节血浆中 Th1 和 Th2 细胞因子的水平, 起到预防或减轻过敏的作用<sup>[75]</sup>。此外, 红枣膳食纤维具有调节肠道菌群作用, 白冰瑶等<sup>[76]</sup>研究发现红枣膳食纤维能够改善小鼠功能性便秘能力, 极大地改善了小鼠小肠的推进率。同时, 牛佳卉等<sup>[77]</sup>研究表明, 婆枣多糖对环磷酰胺所致的肠道黏膜损伤小鼠间免疫屏障具有保护作用, 能够导致肠道髓样分化因子 88 (Myeloid Differentiation Factor 88, MyD88)、NF- $\kappa$ Bp65、IL-1 $\beta$  蛋白表达下调, 增强肠道免疫球蛋白 A (Secretory Immunoglobulin A, SIgA)、IgA 的分泌水平, 抑制 NF- $\kappa$ B 通路的激活,

减轻环磷酸胺诱导的肠道损伤；表明多糖及膳食纤维对肠道菌群的生长和肠道屏障功能有一定的调控作用。

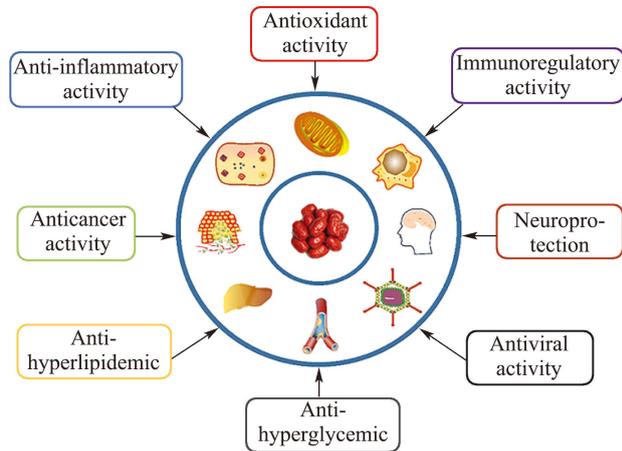


图4 红枣主要功能活性<sup>[4]</sup>

Fig.4 Main functional activities of jujube<sup>[4]</sup>

### 3 总结与展望

红枣是我国特有的果品，其资源开发利用潜力与价值巨大，具有抗氧化、抗炎、抗癌、降血糖、免疫调节等多种生物活性（图4），使其在药品研发、化妆品和新资源食品研发等领域具有广阔的应用前景。现有研究对红枣多糖，多酚化合物以及环核苷酸物质的研究较多，而对红枣三萜烯酸、膳食纤维以及生物碱的研究较少。尽管红枣在多糖上的生物活性开发取得了不错的进展，但红枣多糖提取率低等问题仍有待进一步深入研究。在现有研究中，大量文献报道了红枣的生物活性及其机制，但主要是围绕着红枣多糖及红枣提取物的活性机制研究。而对于红枣的其他活性成分的活性机制报道较为罕见，有待进一步的研究发现。为了更加有效的开发红枣活性成分，今后可在传统分离纯化技术的基础上创新、完善分析，提取出纯度更高，种类更多的红枣活性物质。加强对红枣中活性物质组成成分的分析，对红枣中的生物活性物质进行深入的分析，进一步优化膳食纤维、三萜烯酸和生物碱等活性成分的提取工艺，开展临床实验，深入探究不同产地、不同红枣品种与活性成分和功能活性之间的关系，充分明确红枣活性成分在不同机制下的作用效果，为今后红枣及其产业的扩展提供更多的数据支撑。

### 参考文献

[1] 付建鑫,邵家威,王瑞华,等.我国枣的资源分布及保健功能[J].中国果菜,2019,39(7):22-28.

- [2] 徐怀德,雷宏杰,李梅,等.我国红枣产业发展现状[J].中国农村科技,2022,4:49-52.
- [3] 戴俊生,包艳丽,张永恩,等.我国红枣市场与产业调查分析报告[J].农产品市场,2021,4:49-51.
- [4] LU Y, BAO T, MO J, et al. Research advances in bioactive components and health benefits of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit [J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE B, 2021, 22(6): 431-449.
- [5] JI X, HOU C, GAO Y, et al. Metagenomic analysis of gut microbiota modulatory effects of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) polysaccharides in a colorectal cancer mouse model [J]. Food & Function, 2020, 11(1): 163-173.
- [6] SHI Q, HAN G, LIU Y, et al. Nutrient composition and quality traits of dried jujube fruits in seven producing areas based on metabolomics analysis [J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132627.
- [7] CHEN J, LIU X, LI Z, et al. A review of dietary *Ziziphus jujuba* fruit (Jujube): Developing health food supplements for brain protection [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2017, 2017: 3019568.
- [8] 罗莉,玉崧成,王金水,等.大枣多糖结构及药理活性的研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(30):16860-16861.
- [9] 罗宇鑫,金灵,马慧敏,等.阿拉尔地区不同品种红枣品质分析[J].食品工业,2022,43(11):331-335.
- [10] 李霄,温俊峰,马向荣,等.陕北不同产地红枣多糖提取工艺研究及含量比较[J].当代化工,2018,47(7):1350-1353.
- [11] WANG Y, XU Y, MA X, et al. Extraction, purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Linzexiaoza [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 118: 2138-2148.
- [12] 赵建成,刘慧燕,方海田.骏枣多糖的分离纯化、结构表征及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2022,43(23):71-78.
- [13] ZOU M, CHEN Y, SUN-WATERHOUSE D, et al. Immunomodulatory acidic polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Huizao: Insights into their chemical characteristics and modes of action [J]. Food Chemistry, 2018, 258: 35-42.
- [14] JI X, YAN Y, HOU C, et al. Structural characterization of a galacturonic acid-rich polysaccharide from *Ziziphus Jujuba* cv. Muzao [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 147: 844-852.
- [15] LIN X, JI X, WANG M, et al. An alkali-extracted polysaccharide from *Zizyphus jujuba* cv. Muzao: Structural characterizations and antioxidant activities [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 136: 607-615.
- [16] LIN X, LIU K, YIN S, et al. A novel pectic polysaccharide of jujube pomace: structural analysis and intracellular antioxidant activities [J]. Antioxidants, 2020, 9(2): 127.
- [17] 王蓉蓉,丁胜华,胡小松,等.不同品种枣果活性成分及抗氧化特性比较[J].中国食品学报,2017,17(9):271-277.
- [18] GAO Q H, WU P T, LIU J R, et al. Physico-chemical

- properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China [J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(1): 67-72.
- [19] GAO Q H, WU C S, YU J G, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(11): C1218-C1225.
- [20] ZHANG Y, SUN X, VIDYARTHI S K, et al. Active components and antioxidant activity of thirty-seven varieties of Chinese jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. *International Journal of Food Properties*, 2021, 24(1): 1479-1494.
- [21] SAN B, YILDIRIM A N. Phenolic, alpha-tocopherol, beta-carotene and fatty acid composition of four promising jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) selections [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(7): 706-710.
- [22] WOJDYŁO A, CARBONELL-BARRACHINA Á A, LEGUA P, et al. Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) fruits [J]. *Food Chemistry*, 2016, 201: 307-314.
- [23] WANG C, WANG R, FU C, et al. Combining bioactive compounds and antioxidant activity profiling provide insights into assessment of geographical features of Chinese jujube [J]. *Food Bioscience*, 2022, 46: 101573.
- [24] WU L, LI L, ZHANG G, et al. Geographical and varietal traceability of Chinese jujubes based on physical and nutritional characteristics [J]. *Foods*, 2021, 10(10): 2270.
- [25] YAN M, WANG Y, WATHARKAR R B, et al. Physicochemical and antioxidant activity of fruit harvested from eight jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars at different development stages [J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 2272.
- [26] CHEN K, FAN D, FU B, et al. Comparison of physical and chemical composition of three chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars cultivated in four districts of Xinjiang region in China [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 39: 912-921.
- [27] 畅晓洁.不同成熟度红枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、Vc含量及其抗氧化活性研究[J].*保鲜与加工*,2021, 21(2):28-32.
- [28] LEE S M, PARK J G, LEE Y H, et al. Anti-complementary activity of triterpenoides from fruits of *Zizyphus jujuba* [J]. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 2004, 27(11): 1883-1886.
- [29] WU Y, CHEN M, DU M B, et al. Chemical constituents from the fruit of *Zizyphus jujuba* Mill. var. *spinosa* [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 57: 6-10.
- [30] GUO S, DUAN J A, TANG Y, et al. UHPLC-TOFMS coupled with chemometric method as a powerful technique for rapid exploring of differentiating components between two *Ziziphus* species [J]. *Journal of Separation Science*, 2011, 34(6): 659-666.
- [31] GUO S, DUAN J A, QIAN D, et al. Content variations of triterpenic acid, nucleoside, nucleobase, and sugar in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during ripening [J]. *Food Chemistry*, 2015, 167: 468-474.
- [32] 高娅,杨洁,杨迎春,等.不同品种红枣中三萜酸及环核苷酸的测定[J].*中成药*,2012,34(10):1961-1965.
- [33] VIDRIH R, ULRIH N, ZLATIC E, et al. The nutritional and physico-chemical properties of ripe (*Ziziphus jujube*) fruits grown in Istria; proceedings of the I International Jujube Symposium 840, F, 2008 [C].
- [34] CHOI S Y, YOON B R, KIM S S. Characteristics and nutritional compositions of two jujube varieties cultivated in Korea [J]. *Korean Journal of Food Preservation*, 2016, 23(1): 127-130.
- [35] ALGHADBAN S, DAGHESTANI M, KARABET F. Phytochemical screening and quantitative determination of primary nutrients and minerals for two cultivars of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) Fruits [J]. *Jordan Journal of Chemistry (JJC)*, 2021, 16(1): 41-47.
- [36] 张向前,屈晓逸,刘冲,等.红枣中生物碱的提取工艺优化及抗氧化性分析[J].*分子植物育种*,2019,17(3):972-977.
- [37] 刘杰超,张春岭,陈大磊,等.不同品种枣果实发育过程中多酚类物质、Vc含量的变化及其抗氧化活性[J].*食品科学*,2015,36(17):94-98.
- [38] CHOI S H, AHN J B, KIM H J, et al. Changes in free amino acid, protein, and flavonoid content in jujube (*Ziziphus jujube*) fruit during eight stages of growth and antioxidative and cancer cell inhibitory effects by extracts [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(41): 10245-10255.
- [39] CHOI S H, AHN J B, KOZUKUE N, et al. Distribution of free amino acids, flavonoids, total phenolics, and antioxidative activities of jujube (*Ziziphus jujuba*) fruits and seeds harvested from plants grown in Korea [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(12): 6594-6604.
- [40] 王小媛,王爽爽,王文静,等.不同产地红枣的组成成分与抗氧化能力的分析[J].*食品研究与开发*,2019,40(14):182-187.
- [41] WANG B, LIU L, HUANG Q, et al. Quantitative assessment of phenolic acids, flavonoids and antioxidant activities of sixteen jujube cultivars from China [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2020, 75(2): 154-160.
- [42] 沈静,王敏,苟茜,等.不同成熟期灵武长枣酚类组分及抗氧化活性差异分析[J].*食品科学*,2015,36(8):191-195.
- [43] KOU X, CHEN Q, LI X, et al. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 1037-1044.
- [44] 谢惠,韩娅婷,邵佩兰,等.红枣可溶性膳食纤维的抗氧化活性研究[J].*食品工业科技*,2017,38(22):37-41.
- [45] 马富利,任国艳,潘若瑶.白藜芦醇降糖作用机制的最新研究进展[J].*食品与发酵工业*,2023,49(23):355-361.
- [46] ZHAN R, XIA L, SHAO J, et al. Polysaccharide isolated from Chinese jujube fruit (*Zizyphus jujuba* cv. Junzao) exerts anti-inflammatory effects through MAPK signaling [J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 40: 461-470.
- [47] 展锐,邵金辉.大枣多糖抗氧化及抗炎活性的研究[J].*现代食品科技*,2017,33(12):38-43.

- [48] JUNG J E, CHO E J. Enhancement of anti-inflammatory effect of *Zizyphus jujuba* var. *inermis* fruits by fermentation [J]. Journal of Cancer Prevention, 2011, 16(3): 263-268.
- [49] WANG D, ZHAO Y, JIAO Y, et al. Antioxidative and hepatoprotective effects of the polysaccharides from *Zizyphus jujube* cv. Shaanbeitanzao [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(4): 1453-1459.
- [50] YUE Y, WU S, ZHANG H, et al. Characterization and hepatoprotective effect of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex HF Chou sarcocarp [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 74: 76-84.
- [51] EL AREM A, GHRAIRI F, LAHOUAR L, et al. Hepatoprotective activity of date fruit extracts against dichloroacetic acid-induced liver damage in rats [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 9: 119-130.
- [52] 蔡天娇,王瑞珍,魏君慧,等.白桦脂酸与红枣总三萜酸对小鼠酒精肝损伤的保护作用[J].食品科学,2018,39(11): 191-195.
- [53] 冯鑫欢,蓝晓雪,侯志梅,等.红枣水提取物对糖尿病小鼠血糖的改善作用[J].食品科技,2019,44(2):221-226.
- [54] WU Z, LI H, WANG Y, et al. Optimization extraction, structural features and antitumor activity of polysaccharides from *Z. jujuba* cv. Ruoqiangzao seeds [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135: 1151-1161.
- [55] 李晋,徐尚福,殷国海,等.红枣多糖对人肝癌HepG<sub>2</sub>细胞的抑制作用[J].贵州医药,2014,38(6):506-508.
- [56] LIANG Q, WANG X, YANG S, et al. Characterization of the antioxidative polysaccharides from *Zizyphus jujube* cv. Goutouzao and its tumor-inhibitory effects on human colorectal carcinoma LoVo cells via immunocyte activation [J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44(11): e13462.
- [57] ABEDINI M R, ERFANIAN N, NAZEM H, et al. Anti-proliferative and apoptotic effects of *Zizyphus Jujube* on cervical and breast cancer cells [J]. Avicenna Journal of Phytomedicine, 2016, 6(2): 142.
- [58] 谢雨彤,罗依扎·瓦哈甫,杨洁.红枣多糖对链脲佐菌素诱导的糖尿病小鼠的降血糖作用[J].食品科技,2018,43(9): 244-250.
- [59] 龚频,王佩佩,同美霖,等.红枣多糖的提取工艺及药理活性研究[J].食品工业科技,2022,43(13):198-207.
- [60] 赵金龙.阿拉尔骏枣提取物降血脂活性研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2016.
- [61] 盛文军,张盛贵,韩舜愈,等.红枣黄酮粗品对小鼠血脂指标的影响[J].农产品加工,2008,10:73-74,76.
- [62] ZHAO Y, YANG X, REN D, et al. Preventive effects of jujube polysaccharides on fructose-induced insulin resistance and dyslipidemia in mice [J]. Food & Function, 2014, 5(8): 1771-1778.
- [63] YAZDANPANA H Z, GHADIRI-ANARI A, MEHRJARDI A V, et al. Effect of *Zizyphus jujube* fruit infusion on lipid profiles, glycaemic index and antioxidant status in type 2 diabetic patients: a randomized controlled clinical trial [J]. Phytotherapy Research, 2017, 31(5): 755-762.
- [64] HUANG L, SHEN M, MORRIS G A, et al. Sulfated polysaccharides: Immunomodulation and signaling mechanisms [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 92: 1-11.
- [65] 邹曼,张玉环,陈义伦,等.阿克苏灰枣生物活性成分的免疫交互作用[J].食品科学,2018,39(7):201-206.
- [66] ZHANG J, CHEN J, WANG D, et al. Immune-enhancing activity comparison of sulfated ophiopogonpolysaccharide and sulfated jujube polysaccharide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 52: 212-217.
- [67] LI J, SHAN L, LIU Y, et al. Screening of a functional polysaccharide from *Zizyphus Jujuba* cv. Jinsixiaozao and its property [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(3): 255-259.
- [68] 王硕,梁婷,罗磊,等.奎宁酸的抗氧化活性和神经保护作用研究[J].食品与发酵工业,2024,50(5):42-47.
- [69] CHEN J, LI Z, MAIWULANJIANG M, et al. Chemical and biological assessment of *Zizyphus jujuba* fruits from China: different geographical sources and developmental stages [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(30): 7315-7324.
- [70] CHEN J, MAIWULANJIANG M, LAM K Y, et al. A standardized extract of the fruit of *Zizyphus jujuba* (Jujube) induces neuronal differentiation of cultured PC12 cells: a signaling mediated by protein kinase A [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(8): 1890-1897.
- [71] CHEN J, YAN A L, LAM K Y, et al. A chemically standardized extract of *Zizyphus jujuba* fruit (jujube) stimulates expressions of neurotrophic factors and anti-oxidant enzymes in cultured astrocytes [J]. Phytotherapy Research, 2014, 28(11): 1727-1770.
- [72] YOO K Y, LI H, HWANG I K, et al. *Zizyphus* attenuates ischemic damage in the gerbil hippocampus via its antioxidant effect [J]. Journal of Medicinal Food, 2010, 13(3): 557-563.
- [73] RABIEI Z, RAFIEIAN-KOPAEI M, HEIDARIAN E, et al. Effects of *Zizyphus jujube* extract on memory and learning impairment induced by bilateral electric lesions of the nucleus basalis of meynert in rat [J]. Neurochemical Research, 2014, 39: 353-360.
- [74] 赵其达拉吐,孙美艳.富含大枣多糖食品对运动员缓解运动性疲劳的效果研究[J].食品研究与开发,2016,37(18): 182-185.
- [75] JIANG T, HE F, HAN S, et al. Characterization of cAMP as an anti-allergic functional factor in Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 60: 103414.
- [76] 白冰瑶,刘新愚,周茜,等.红枣膳食纤维改善小鼠功能性便秘及调节肠道菌群功能[J].食品科学,2016,37(23):254-259.
- [77] 牛佳卉,袁静,魏然,等.红枣多糖对小鼠肠道免疫屏障的保护作用及机制研究[J].食品工业科技,2021,42(4):295-300.