

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.07.015

金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物的 抗氧化活性和免疫活性

师仁丽,刘欣宜,张彩玉,徐志悦,桑亚新,于文龙*,王向红*

(河北农业大学 食品科技学院,河北 保定 071000)

摘要:以金丝小枣为研究对象,分别测定金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 DPPH·、ABTS⁺·、·OH 清除能力和总还原力,并利用刀豆蛋白 A (concanavalin A, ConA) 和脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 分别诱导小鼠脾脏 T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞增殖反应,探究金丝小枣的全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物的免疫活性。试验结果表明:金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮抗氧化活性和免疫活性存在差异,枣皮黄酮的抗氧化活性和免疫活性最强,枣肉黄酮提取物的抗氧化活性和免疫活性最弱,但全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 DPPH· 和 ·OH 的清除活性高于 V_C,且全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对小鼠脾脏 T 淋巴细胞、B 淋巴细胞的增殖均具有促进作用。

关键词: 金丝小枣;黄酮;提取;抗氧化活性;免疫活性

Antioxidant and Immune Activity of Total Flavonoids Extracts from the Whole, Skin and Flesh of *Ziziphus jujuba*

SHI Renli, LIU Xinyi, ZHANG Caiyu, XU Zhiyue, SANG Yaxin, YU Wenlong*, WANG Xianghong*

(College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: In this study, the scavenging capacity and total reducing capacity of the total flavonoid extracts of the whole, skin and flesh of *Ziziphus jujuba* on DPPH·, ABTS⁺·, ·OH were measured. Additionally, mouse splenic T lymphocytes and B lymphocytes were induced separately using concanavalin A (ConA) and lipopolysaccharide (LPS) to investigate the immunomodulatory activities of the flavonoid extracts. The results indicated variations in the antioxidant and immune activities among the total flavonoids from the whole date, the skin and the flesh of *Ziziphus jujuba*. The total flavonoids from the skin of the jujube had the strongest antioxidant and immune activities, while the total flavonoids from the flesh of the jujube had the weakest antioxidant and immune activities. However, all three jujube parts showed higher scavenging activities against DPPH· and ·OH radicals compared to vitamin C. The total flavone extracts from whole jujube, jujube skin and jujube flesh could promote the proliferation of mouse splenic T lymphocytes and B lymphocytes.

Key words: *Ziziphus jujuba*; flavone; extraction; antioxidant activity; immune activity

引文格式:

师仁丽,刘欣宜,张彩玉,等. 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物的抗氧化活性和免疫活性[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 103-108.

SHI Renli, LIU Xinyi, ZHANG Caiyu, et al. Antioxidant and Immune Activity of Total Flavonoids Extracts from the Whole, Skin and Flesh of *Ziziphus jujuba*[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 103-108.

枣是鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Ziziphus Jujuba* Mill.) 植物的成熟果实, 已有 4 000 年的栽培历史^[1]。红枣营养价值高, 且有很高的食用价值, 是营养和医疗

保健的优质滋补果品, 是很重要的食用材料和经济产品, 享有“营养保健丸、木本粮食”的美誉^[2-3]。由于其具有抗氧化、抗炎、抗癌、保护心肌等功能而被用作营

基金项目: 河北农业大学引进人才科研专项 (YJ2020024); “十四五”国家重点研发计划项目 (2022YFD1600400)

作者简介: 师仁丽 (1990—), 女 (汉), 助教, 硕士, 研究方向: 食品功能性成分分析。

*通信作者: 于文龙 (1992—), 男 (汉), 副教授, 博士, 研究方向: 食品安全与品质分析; 王向红 (1973—), 女 (汉), 教授, 博士, 研究方向: 食品安全。

养食品 and 传统药品^[4-6]。金丝小枣广泛分布在河北沧州一带,具有果核细小、可食率达97%、含可溶性固形物40%~45%、制干率55%左右、质脆细嫩、品质优良等特点^[7-10]。

黄酮类化合物是植物产生的一类次生代谢产物,是一类重要的天然化合物,对人体健康起着重要的作用^[11-13]。大量研究表明黄酮类物质具有降血压、降血脂、增大心脏血流量、增强心脏收缩、减少心脏搏动数、止咳祛痰、抗菌消炎的功效^[14-16]。黄酮类化合物在植物中分布广泛,目前发现的黄酮类化合物已达5000种。黄酮类化合物的生物活性日益受到广泛关注,大量研究表明其具有抗氧化、降血糖血脂、调节内分泌、增强机体免疫力等生理活性^[17-20]。其中对枣中黄酮类化合物的抗氧化活性和免疫活性研究较多,但以上研究仅限于枣中黄酮类化合物的粗提物,并且对金丝小枣中的黄酮类化合物的生物活性研究甚少。

因此本试验通过分别测定金丝小枣全枣、枣皮、枣肉的黄酮提取物清除DPPH·、ABTS·、·OH的能力和总还原力,以及对小鼠淋巴细胞增殖的影响,研究比较金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮抗氧化活性和免疫活性。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

金丝小枣:产地为山东省乐陵市;石油醚、无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、邻二氮菲、磷酸二氢钠、硫酸亚铁、三氯乙酸、氯化铁、二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)(均为分析纯):天津科密欧化学试剂有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]、芦丁标准品(纯度为99.9%):上海源叶生物科技有限公司;无菌小白鼠20日龄:河北大学医学部;RPMI-1640培养基:美国赛默飞世尔科技公司;刀豆蛋白A(concanavalin A, ConA)、台盼蓝、Hank's液:美国Sigma公司;原代新生牛血清、四甲基偶氮唑盐[3-(4,5-dimethyl-2-thiazolyl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide, MTT]:浙江天杭生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱(101-OAB):天津市泰斯特仪器有限公司;紫外可见风光光度计(UV-2008H):上海UNIC公司;恒温水浴锅(DZWK-C):北京市光明医疗仪器厂;旋转蒸发器(RE-52A):上海亚荣生化仪器厂;酶标仪(I500-823):美国赛默飞世尔科技公司;超净工作台(SW-CJ-1FD):苏州安泰空气技术有限公司;CO₂培养箱(HF90):广州力康仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的制备

将金丝小枣分为全枣、枣皮、枣肉三部分,分别洗净烘干,取1g加10mL石油醚(60~90℃),超声(180W,45℃)30min,置于60℃恒温水浴锅中挥干,加入20mL70%乙醇,超声50min,取上层清液,重复3次,最后合并上清液,3500r/min,离心10min,弃去沉淀,得到黄酮粗提液,参照优化后最佳的纯化工艺(上样液pH3,吸附流速为3mL/min,上样浓度为0.35mg/mL,洗脱剂为70%乙醇)将3种粗提液进行纯化^[21],冻干,置于干燥器中备用。

1.3.2 抗氧化能力的测定

1.3.2.1 DPPH·清除能力的测定

配制DPPH溶液:准确称量DPPH20mg,置于100mL容量瓶中,用60%乙醇溶解并定容至刻度,得到的DPPH溶液浓度为0.5mmol/L,于4℃下备用。

将1.3.1得到的提取物用95%乙醇分别稀释为10、20、40、60、80、100μg/mL,分别精密量取2mL与等体积的DPPH溶液混合,振荡混匀,静置30min,测定在517nm处的吸光度,记为A_i。将DPPH溶液替换为60%乙醇溶液,测得吸光度记为A_j,取DPPH溶液2mL与等体积的60%乙醇溶液混合,测得吸光度记为A₀。60%乙醇溶液为空白对照,以V_c为阳性对照,以上每个处理做3个平行。DPPH·清除率(D,%)计算公式如下。

$$D = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100$$

1.3.2.2 ABTS·清除能力的测定

配制7.4mmol/L的ABTS溶液和2.6mmol/L的过硫酸钾溶液,将两种溶液混合,在黑暗室温下放置12h,为ABTS储备液。使用前用95%乙醇溶液稀释40~50倍,在734nm处测得的吸光度约为0.70±0.02,得到ABTS工作液。

将1.3.1得到的提取物用95%乙醇分别稀释为10、20、40、60、80、100μg/mL,取1mL样品溶液,加入ABTS工作液4mL,漩涡振荡,静置6min。以95%乙醇溶液作为空白对照,在734nm波长下测得吸光度,记为A。将1mL95%乙醇溶液代替样品溶液,测得吸光度记为A₀,以V_c为阳性对照。以上每个处理做3个平行。ABTS·清除率(B,%)计算公式如下。

$$B = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

1.3.2.3 ·OH清除能力的测定

取2mL磷酸缓冲盐溶液(phosphate buffered saline, PBS)(pH7.4、150mmol/L)与4mL蒸馏水混匀,作为空白管,在536nm处测定吸光度A₀;2mLPBS溶液与1mL邻二氮菲(1.5mmol/L)、1mL硫酸亚铁

(1.5 mmol/L)、2 mL 蒸馏水混匀,作为未损伤管,测定吸光度 A_1 ; 2 mL PBS 溶液与 1 mL 邻二氮菲、1 mL 硫酸亚铁溶液、1 mL 蒸馏水、1 mL 0.02% 过氧化氢溶液混匀,作为损伤管,测定吸光度 A_2 ; 2 mL PBS 溶液与 1 mL 样品溶液、3 mL 蒸馏水混匀,作为样品参比管,测定吸光度 A_3 ; 2 mL PBS 溶液与 1 mL 邻二氮菲、1 mL 硫酸亚铁溶液、1 mL 样品溶液、1 mL 过氧化氢溶液混匀,作为样品管,测定吸光度 A_4 ,以 V_c 为阳性对照。在 37 °C 恒温水浴锅中放置 60 min,测定吸光度 A 。以上每个处理做 3 个平行,计算平均值。 $\cdot\text{OH}$ 清除率(O ,%)计算公式如下。

$$O = \frac{(A_4 - A_3) - (A_2 - A_0)}{(A_1 - A_2)} \times 100$$

1.3.2.4 总还原力的测定

采用铁氰化钾法测定总还原力。取 1.3.1 所得提取物,用 95% 乙醇分别稀释到含量为 25、50、100、200、300、400 $\mu\text{g}/\text{mL}$,分别精密量取 2 mL,加入 2 mL PBS 溶液(pH6.6、0.2mol/L),再加入 2 mL 1% 铁氰化钾溶液,50 °C 孵育 20 min,快速冷却,加入 2 mL 10% 三氯乙酸溶液,3 500 r/min 离心 10 min,取上清液 5 mL,加 5 mL 蒸馏水,再加入 1 mL 0.1% 三氯化铁溶液,充分混匀,室温静置 10 min,测定 700 nm 处的吸光度。

1.3.3 免疫活性的测定

1.3.3.1 对小鼠 T 淋巴细胞增殖的影响

小鼠脾细胞的制备:将试验小鼠眼球放血、脱颈、致死后,放置于 75% 酒精内,5 min 后转移至超净工作台内,解剖出小鼠脾脏,用 Hank's 液清洗,将钢网放置到培养皿中,研磨小鼠脾脏,把悬液转移到离心管中,用 Hank's 液清洗后离心(2 000 r/min, 20 min),重复 3 次,加入 1 mL RPMI-1640 培养液重悬。调整细胞悬液最终浓度为 5×10^6 个/mL。

细胞增殖实验:将 100 μL 细胞悬液加入到 96 孔培养板中,分别加 8 个孔,实验组加入 50 μL 不同含量的样品溶液(5、10、25、50、100 $\mu\text{g}/\text{mL}$),10 μL 刀豆蛋白(ConA),40 μL RPMI-1640 培养液。对照组加入 10 μL 刀豆蛋白(ConA)、90 μL RPMI-1640 培养液。空白组加入 100 μL RPMI-1640 培养液,测定 570 nm 处吸光度,记为 A_0 。将 96 孔培养板置于 CO_2 培养箱中培养,44 h 时加入 MTT 10 μL ,48 h 时终止培养,每孔弃去 100 μL 上清液,加入 100 μL 二甲基亚砜,在漩涡混匀器上振荡摇匀,室温放置 30 min,测定吸光度 A_1 。计算细胞的增殖率(Z ,%)。

$$Z = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \times 100$$

1.3.3.2 对小鼠 B 淋巴细胞增殖的影响

操作同 1.3.3.1,用脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)替换刀豆蛋白(ConA)。计算细胞的增殖率。

1.4 数据处理

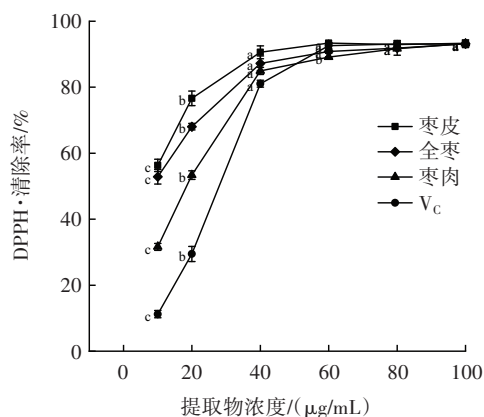
测试数据和图形处理分别采用 Excel 2016 和 Graphpad prism 9 软件,差异显著性分析采用 SPSS 16.0 软件中 Duncan 法评价, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 抗氧化能力的测定

2.1.1 DPPH·清除能力

金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 DPPH·的清除作用如图 1 所示。



不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

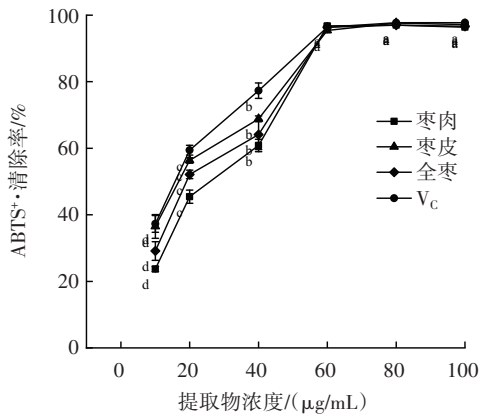
图 1 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 DPPH·的清除作用
Fig.1 Effect of flavonoids extracted from the whole fruit, skin and flesh of *Ziziphus Jujuba* on DPPH· scavenging

由图 1 可知,金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 DPPH·均有清除作用,且含量在 10~40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,随着黄酮含量的增加,DPPH·清除率逐渐增大,并呈现一定的剂量效应关系,全枣、枣皮、枣肉的清除率均高于 V_c ,当含量大于 60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,增加趋势不明显,含量达到 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,DPPH·清除率高于 90%。经过统计学分析,10~40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内金丝小枣全枣、枣皮、枣肉 DPPH·清除率存在显著差异($P < 0.05$)。80~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,差异不显著,在同一含量下,3 个部位提取液的 DPPH·清除能力差异不明显,枣皮、全枣、枣肉提取液的 DPPH·清除能力均高于 V_c 。

2.1.2 ABTS⁺清除能力

金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 ABTS⁺的清除作用如图 2 所示。

由图 2 可知,金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 ABTS⁺均有清除作用,且 10~60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,随着黄酮含量增加,ABTS⁺清除率也不断增大,呈现一定的剂量效应关系,并且差异显著($P < 0.05$),60~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,无增长趋势,无显著差异。ABTS⁺清除活性顺序为枣皮>全枣>枣肉,最高 ABTS⁺清除率分别可达到 97.17%、96.65%、96.38%,全枣、枣皮、枣肉 ABTS⁺



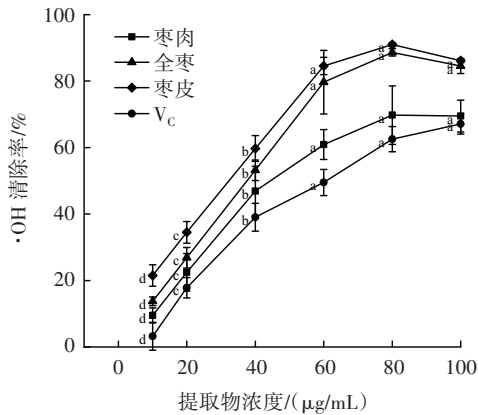
不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

图2 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 $ABTS^{+·}$ 的清除作用
Fig.2 Effect of flavonoids extracted from the whole, skin and flesh of *Ziziphus Jujuba* on $ABTS^{+·}$ scavenging

清除率均低于 V_c 。

2.1.3 $\cdot OH$ 清除能力

金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 $\cdot OH$ 的清除作用如图3所示。



不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

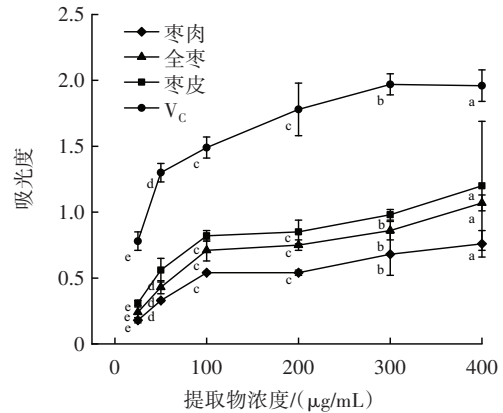
图3 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 $\cdot OH$ 的清除作用
Fig.3 Effect of flavonoids extracted from the whole, peel and flesh of *Ziziphus Jujuba* on $\cdot OH$ scavenging

由图3可知, 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对 $\cdot OH$ 的清除能力存在一定差异, 黄酮含量为 $10\sim 80 \mu\text{g/mL}$ 时, $\cdot OH$ 清除率随着黄酮含量的增加而增大, 呈现一定的剂量效应关系; 黄酮含量为 $80\sim 100 \mu\text{g/mL}$ 时, $\cdot OH$ 清除率小幅度下降。 $\cdot OH$ 清除能力顺序为枣皮 $>$ 全枣 $>$ 枣肉。表明枣皮中具有 $\cdot OH$ 清除能力的成分含量较大, 而枣肉中含量相对较低。 $\cdot OH$ 最高清除率分别可达到 86.15% 、 84.55% 、 69.47% , 全枣、枣皮、枣肉的 $\cdot OH$ 清除率均高于 V_c 。

2.1.4 总还原力的测定结果

金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物总还原力测定结果如图4所示。

由图4可知, 随着黄酮含量的增加, 各部位黄酮的



不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

图4 金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物总还原力测定结果
Fig.4 Results of total reducing power of flavonoids extracted from the whole, skin and flesh of *Ziziphus Jujuba*

吸光度也逐渐增大, 且具有良好的剂量效应关系, 但存在一定差异。除全枣与枣皮差异不明显, 其它样品间差异明显, V_c 的吸光度明显高于3种样品。当黄酮含量为 $400 \mu\text{g/mL}$ 时, 枣皮的吸光度可达 1.20 , 而枣肉仅为 0.76 。金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取液均为良好的电子供应者, 所提供的电子可使 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} , 说明全枣、枣皮、枣肉均具有抗氧化潜力。

2.1.5 相关性分析

为了更进一步确定金丝小枣不同部位黄酮提取液与其抗氧化活性之间的关系, 将各提取液对 $DPPH\cdot$ 、 $ABTS^{+·}$ 、 $\cdot OH$ 的清除率作相关性分析, 其相关系数和 P 值见表1。

表1 黄酮含量与其抗氧化活性的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between total flavonoid content and antioxidant activity

项目	DPPH·清除率	$ABTS^{+·}$ 清除率	$\cdot OH$ 清除率	总还原力
黄酮含量	0.803**	0.917**	0.904**	0.834**
DPPH·清除率		0.911**	0.903**	0.858**
$ABTS^{+·}$ 清除率			0.959**	0.847**
$\cdot OH$ 清除率				0.927**

注: **表示存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

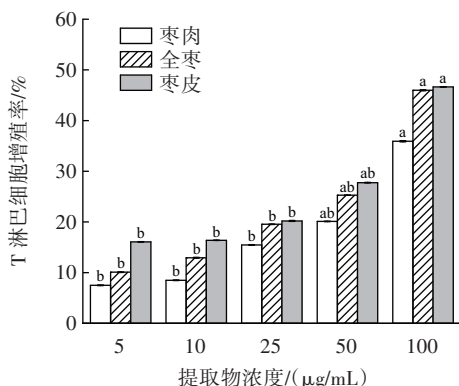
由表1可知, 各部位提取液黄酮含量与其对 $DPPH\cdot$ 、 $ABTS^{+·}$ 、 $\cdot OH$ 的清除率以及总还原力均呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 表明黄酮在抗氧化活性功能上发挥着重要作用且有很大的贡献。综上, 黄酮含量可作为评价金丝小枣抗氧化活性的重要指标。此外, 4种抗氧化活性指标之间也存在极显著相关性 ($P < 0.01$), 可能是因为它们具有相似的反应机理。

2.2 免疫活性的测定

2.2.1 对小鼠 T 淋巴细胞增殖的影响结果

金丝小枣黄酮提取物对小鼠 T 淋巴细胞增殖影

响,如图5所示。



不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

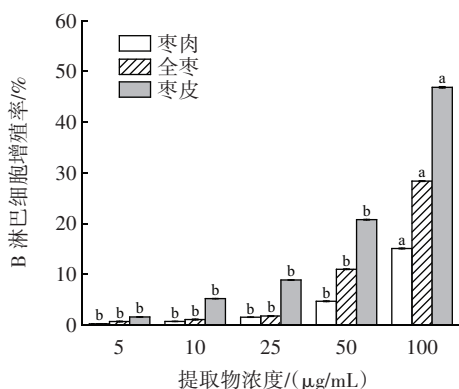
图5 金丝小枣黄酮提取物对小鼠T淋巴细胞增殖影响

Fig.5 Effect of total flavonoids of *Ziziphus Jujuba* on mouse T lymphocyte proliferation

由图5可知,在ConA诱导小鼠脾脏T淋巴细胞增殖反应中,金丝小枣的全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对T淋巴细胞均具有促进作用,在5~100 $\mu\text{g/mL}$ 范围内伴随黄酮含量的增加促进作用也逐渐增大。其中促进作用顺序为枣皮>全枣>枣肉。当含量为100 $\mu\text{g/mL}$ 时,增殖率分别达到46.64%、45.98%、34.36%。枣肉与枣皮、全枣黄酮对T淋巴细胞的增殖率差异明显。

2.2.2 对小鼠B淋巴细胞增殖的影响结果

金丝小枣黄酮提取物对小鼠B淋巴细胞增殖影响如图6所示。



不同字母表示组内差异显著, $P < 0.05$ 。

图6 金丝小枣黄酮提取物对小鼠B淋巴细胞增殖影响

Fig.6 Effect of total flavonoids of *Ziziphus Jujuba* on mouse B lymphocyte proliferation

由图6可知,在LPS诱导小鼠脾脏B淋巴细胞增殖反应中,金丝小枣的全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对B淋巴细胞均具有促进作用,在5~100 $\mu\text{g/mL}$ 范围内伴随含量的增加促进作用也逐渐增大。其中促进作用顺序为枣皮>全枣>枣肉。当含量为100 $\mu\text{g/mL}$ 时,增殖率分别能达到46.86%、28.37%、15.11%。枣肉与枣皮黄酮对B淋巴细胞的增殖率差异明显。枣肉、枣皮黄酮含量5、10、25、50 $\mu\text{g/mL}$ 间差异不显著,100 $\mu\text{g/mL}$

与其他含量间差异显著($P < 0.05$)。

3 结论

对金丝小枣全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物的抗氧化活性和免疫活性进行研究。通过对DPPH·、ABTS⁺·、·OH自由基清除能力和总还原力的测定,发现枣皮、枣肉、全枣均具有较强的抗氧化活性,其中枣皮的抗氧化活性最强,枣肉最弱。在DPPH·和·OH的清除试验中,各样品清除率均高于V_C,而ABTS⁺·清除活性和总还原力低于V_C。各提取液黄酮含量与其DPPH·、ABTS⁺·、·OH的清除率以及总还原力均呈显著正相关($P < 0.01$)。细胞增殖实验结果表明,全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物对小鼠T淋巴细胞、B淋巴细胞的增殖均具有较强的直接促进作用,强弱顺序为枣皮>全枣>枣肉。综上所述,金丝小枣是一种具有开发前景的天然抗氧化剂,全枣、枣皮、枣肉黄酮提取物均可以达到提高机体免疫力的作用。

参考文献:

- LI D Q, YUE D D, LIU D, et al. Phytochemical and chemotaxonomic study on *Ziziphus jujuba* Mill. (Rhamnaceae)[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2020, 91: 104058.
- FARHADNEJAD H, ASGHARI G, HEDAYATI M, et al. Effect of *Ziziphus jujube* on cardiometabolic factors and systemic inflammation in type 2 diabetic patients: A randomized controlled trial[J]. *Clinical Nutrition ESPEN*, 2022, 49:53-60.
- HUANG X L, HOU Z H. Label-free quantitative proteomics analysis of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) during different growth stages[J]. *RSC Advances*, 2021, 11(36): 22106-22119.
- HONG S, KIM Y, SUNG J, et al. Jujube (*Ziziphus jujuba* mill.) protects hepatocytes against alcohol-induced damage through Nrf2 activation[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 2020: 6684331.
- LU Y, BAO T, MO J L, 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.
- 梁荣, 吴继红, 周祥山, 等. 枣果的抗氧化活性成分研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(24): 211-218. LIANG Rong, WU Jihong, ZHOU Xiangshan, et al. A review of the antioxidant components of jujube fruit[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(24): 211-218.
- WANG Y R, DING S H, CHEN F, et al. Changes in pectin characteristics of jujube fruits cv 'Dongzao' and 'Jinsixiaozao' during cold storage[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(7): 3001-3013.
- ZHOU H Y, HE Y, ZHU Y S, et al. Comparative transcriptome profiling reveals cold stress responsiveness in two contrasting Chinese jujube cultivars[J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 240.
- 张兆英, 王君, 宋立立, 等. 金丝小枣多酚的提取及抗氧化性和抑菌活性研究[J]. *中国调味品*, 2020, 45(3): 42-47. ZHANG Zhaoying, WANG Jun, SONG Lili, et al. Study on the extraction of polyphenols from *Ziziphus jujuba* and its antioxidation and antibacterial activity[J]. *China Condiment*, 2020, 45(3): 42-47.
- 李志欣, 岳雷, 张立树, 等. 抗裂果优质枣新品种“沧金红”的选育[J]. *北方园艺*, 2019(21): 176-180, 2.

- LI Zhixin, YUE Lei, ZHANG Lishu, et al. Breeding of a new Chinese jujube cultivar 'Cangjinhong' with resistance to fruit cracking and high quality[J]. Northern Horticulture, 2019(21): 176-180, 2.
- [11] PEI R S, LIU X C, BOLLING B. Flavonoids and gut health[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2020, 61: 153-159.
- [12] 付依依, 王永霞, 李月, 等. 大果沙棘中黄酮的体外抗炎及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(10): 67-74.
- FU Yiyi, WANG Yongxia, LI Yue, et al. Study on *in vitro* anti-inflammatory and antioxidant activities of flavonoids from sea buckthorn[J]. China Food Additives, 2021, 32(10): 67-74.
- [13] OMAR A, WALI A, ARKEN A, et al. Covalent binding of flavonoids with silk sericin hydrolysate: Anti-inflammatory, antioxidant, and physicochemical properties of flavonoid-sericin hydrolysate conjugates[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(7): e14125.
- [14] DEL RÍO L, SALINAS J, BUENDÍA A J, et al. The inhibitory effect of flavonoids and their gut-derived metabolites on the replication of *Chlamydia abortus* in the AH-1 ovine trophoblast cell line[J]. Research in Veterinary Science, 2019, 126: 199-206.
- [15] TIAN C L, WANG H, GUO Y R, et al. *Abutilon theophrasti* medic. Episperms as a total flavonoids fraction for pharmaceutical applications: *In vitro* antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory activities, extraction technology and HPLC-MS profiles[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 134: 100-106.
- [16] ZHOU F Z, ZHANG X Y, ZHAN Y J, et al. Dihydromyricetin inhibits cell invasion and down-regulates MMP-2/-9 protein expression levels in human breast cancer cells[J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 2012, 39(4): 352-358.
- [17] 汪晓, 岳乐乐, 李驰坤, 等. 卷柏属植物黄酮类成分及其对机体免疫的影响[J]. 长春中医药大学学报, 2018, 34(1): 46-48.
- WANG Xiao, YUE Lele, LI Chikun, et al. *Selaginella* plant flavonoids and its effect on immunity[J]. Journal of Changchun University of Chinese Medicine, 2018, 34(1): 46-48.
- [18] KAMBOH A A, HANG S Q, KHAN M A, et al. *In vivo* immunomodulatory effects of plant flavonoids in lipopolysaccharide-challenged broilers[J]. Animal, 2016, 10(10): 1619-1625.
- [19] 姚玲珑, 宫宇, 陈清华, 等. 紫苏籽活性成分的抗炎作用及其在畜牧生产中的应用研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(1): 123-129.
- YAO Linglong, GONG Yu, CHEN Qinghua, et al. Research progress on anti-inflammatory effects of active components of *Perilla* seeds and their application in livestock production[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 46(1): 123-129.
- [20] 刘晓辉, 陈玲, 崔艳艳, 等. 东风菜功效成分对糖尿病小鼠血糖血脂及抗氧化作用的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 60-65.
- LIU Xiaohui, CHEN Ling, CUI Yanyan, et al. The effects of functional ingredients of *Doellingeria scaber* on glycemia lipid and anti-oxidation in diabetic mice[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(7): 60-65.
- [21] 师仁丽, 于文龙, 梁娜, 等. 大孔吸附树脂分离纯化金丝小枣总黄酮工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8): 172-175.
- SHI Renli, YU Wenlong, LIANG Na, et al. Study on separation and purification of total flavonoids from *Ziziphus jujuba* mill by macroporous resin[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(8): 172-175.

加工编辑: 孟琬星
收稿日期: 2023-02-12