

枣多糖和黄酮抗氧化互作效应研究

艾志录¹, 王栋梁¹, 范会平¹, 石聚领², 徐超¹, 李玺¹, 宋一诺¹, 王娜¹

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002) (2. 好想你枣业股份有限公司, 河南郑州 451161)

摘要: 本文以 Vc 为对照, 以对 OH、DPPH、ABTS⁺ 的清除率和总抗氧化能力 (FRAP 值) 为指标, 研究了枣多糖 (Jujube Polysaccharides, JP)、枣黄酮 (Jujube Flavonoids, JF) 两者的抗氧化互作效应。结果显示: JP 和 JF 在四个体系中均呈现抗氧化正协同效应, 两者的正协同效应与抗氧化物质浓度的高低、自身的抗氧化能力呈正相关 ($R^2 > 0.82$; $P < 0.01$), 同时与反应体系也密切相关; 选取 OH 的反应体系作为代表, 两者抗氧化互作效应的最佳配比为 1:1, 浓度为 1.5 mg/mL, 此时清除率高达 97.88%, 比 JP 的清除率高 63.33%, 比 JF 的清除率高 16.36%。该研究以期为大枣多糖、黄酮为原料在抗氧化、抗衰老方面的应用研究提供参考与相关的理论依据。

关键词: 枣多糖; 枣黄酮; 抗氧化; 互作效应

文章编号: 1673-9078(2015)11-86-91

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.015

Interactive Effect of Antioxidant Activities of Jujube Polysaccharides and Flavonoids

AI Zhi-lu¹, WANG Dong-liang¹, FAN Hui-ping¹, SHI Ju-ling², XU Chao¹, LI Xi¹, SONG Yi-nuo¹, WANG Na¹

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2. Haoxiangni Jujube Co., Ltd, Zhengzhou 451161, China)

Abstract: Using Vc as control and hydroxyl radical (OH), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH·), [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] (ABTS)·+ free radical scavenging activities and ferric-reducing/antioxidant power (FRAP) values as indicators, the interactive effect of the antioxidant activities of jujube polysaccharides (JPs) and jujube flavonoids (JFs) were studied. The results showed positive interactions between the antioxidant activities of JPs and JFs in four reaction systems, which were positively related to the effective concentration and activity of the antioxidants ($R^2 > 0.82$; $P < 0.01$), as well as to the reaction systems. With OH reaction system as a representative example, the ratio of JPs and JFs for the optimum antioxidant activity was 1:1; when the concentration was 1.5 mg/mL, the scavenging rate increased to 97.88%, which was 63.33% higher than that of JPs and 16.36% higher than that of JFs. These results provide a theoretical basis for the study of antioxidant and anti-aging activities by using JPs and JFs as raw materials.

Key words: jujube polysaccharides; jujube flavonoids; antioxidant; interactive effect

大枣 (jujube) 为我国传统的中药材, 是一种药食同源食物, 营养丰富, 具有多种营养保健功能, 俗语有“一日三枣, 延缓衰老”的说法, 大枣延缓衰老的作用可能与含有多种功能成分有关, 而大量研究表明^[1-2], 枣中多糖的含量和黄酮的含量较高, 并且具有多种功能活性, 对于清除自由基的抗氧化活性方面有着良好的效应。现代医学研究证明, 人体内自由基过量会导致多种疾病, 而合理补充抗氧化剂可以有效减

收稿日期: 2014-11-27

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目子课 (2012BAD36B07-12)

作者简介: 艾志录 (1965-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 功能食品研究与开发

通讯作者: 王娜 (1979-), 女, 副教授, 研究方向: 活性成分的化学与营养学

少自由基, 从而延缓衰老^[3], 有学者建议使用食品的天然抗氧化剂会更安全、更健康^[4], 因此对于枣多糖和黄酮的开发和利用得到了越来越多的关注。

目前多数文献报道研究的是天然植物的单一因子的活性作用, 如彭川丛等^[5]、莫凌凌等^[6]分别对香菇多糖、罗汉果花中黄酮甙类化合物的抗氧化活性进行了研究, 得出香菇多糖和罗汉果花中黄酮甙类化合物都具有一定的抗氧化能力。由于天然食物成分的复杂性, 天然食物提取物中起抗氧化作用的往往不是单一的一种成分, 而是许多成分的混合, 天然抗氧化剂间会存在协同或者拮抗作用等因素, 所以对天然物质的抗氧化协同作用的研究逐渐成为热点, 如 Marinova E 等^[7]人研究了 VE 和杨梅酮的抗氧化协同作用, 结果显示二者之间具有协同作用; 白海娜等^[8]对白藜芦醇和黑

木耳多糖对 ABTS⁺ 自由基清除的协同作用进行了研究, 结果显示白藜芦醇与黑木耳多糖之间存在着显著协同抗氧化效应。

但是目前对于同一来源不同因子间的相互作用的研究还未见报道, 因此, 本实验以枣多糖 (Jujube Polysaccharides, JP)、枣黄酮 (Jujube Flavonoids, JF) 为对象, 以 Vc 作为对照, 研究 JP、JF 以及 JP+JF 组合对体外清除 OH、DPPH、ABTS⁺ 和总抗氧化能力 (FRAP 值), 从而评价出枣多糖和黄酮的抗氧化互作效应, 以期对以后以大枣多糖、黄酮为原料在抗氧化、抗衰老方面提供参考与相关的理论依据, 并为下一步做体内实验奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大枣, 郑州好想你枣业股份有限公司; 枣黄酮, 南京泽朗医药科技有限公司; DPPH, 日本东京化成工业株式会社; ABTS, 美国 Amresco 公司; 总抗氧化能力检测试剂盒 (FRAP 法), 碧云天生物技术研究所; 其他试剂均为国产分析纯, 试验用水均为蒸馏水。

1.2 仪器与设备

KQ-300VDB 型双频数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; FA2004A 电子天平, 上海精天电器有限公司; T8 新世纪紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; DZF-6050 型真空干燥箱, 上海一恒科技有限公司; ST-360 酶标仪, 上海科华实验系统有限公司; N-1100 旋转蒸发仪, 上海爱朗仪器有限公司; DHG-9143BS-III 电热恒温鼓风干燥箱, 上海新苗医疗器械制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 枣多糖的提取

参考冯艳凤^[9]的方法:

大枣预处理 (去核、干燥、粉碎) → 溶解、均浆 → 超声波提取 (2 次) → 离心 → 减压浓缩 → 醇沉 → 离心 → 真空干燥 → 粗多糖 → sevag 法脱蛋白 → 多糖样品

将大枣人工去核后干燥、粉碎。取过筛 (60 目) 后的枣粉 60 g 在水 (600 mL) 中充分溶解, 加 NaOH 将溶液 PH 调至 7.15 后进行两次超声波提取, 超声提取工艺参数为温度 69 °C, 功率 80 W, 时间 30 min。离心 (4200 r/min, 20 min) 后取上清液于旋转蒸发仪中减压浓缩至原体积的 1/5, 加 4 倍体积的无水乙醇沉淀 10 h, 弃上清液后离心 (4200 r/min, 20 min),

残渣用乙醇和丙酮反复洗涤 4~5 次, 经真空干燥后得到粗多糖样品, 进行 sevag 法脱蛋白后得到实验枣多糖原料。

1.3.2 JP、JF、JP+JF 对 OH 清除效果的测定

在待测液浓度为 0.1、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0 mg/mL 范围内, 研究其对 OH 的清除效果。分别取待测液 JP、JF、JP+JF (同浓度, 体积比 1:1) 各 2 mL, 加入 20 mmol/L 水杨酸钠 0.6 mL, 1.5 mmol/L FeSO₄ 2 mL, 最后加入 6 mmol/L 的 H₂O₂ 1.4 mL 启动反应, 迅速混匀后在 37 °C 水浴锅中恒温 1 h。使用 1 cm 比色皿, 以蒸馏水作空白对照, 在 510 nm 处测定吸光度值, 并排除自身吸光度值干扰。清除率计算公式如下:

$$\cdot\text{OH清除率}(\%) = (1 - \frac{A_{\text{样}} - A_{\text{底}}}{A_{\text{空}}}) \times 100$$

注: A_样: 样液的吸光度值; A_底: 样液本底的吸光度值; A_空: 试剂空白的吸光度值。

1.3.3 JP、JF、JP+JF 对 DPPH 清除效果的测定

根据文献^[10]并做了适当的修改。在待测液浓度为 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9、1.0 mg/mL 范围内, 研究其对 DPPH 的清除效果。分别取待测液 JP、JF、JP+JF (同浓度, 体积比 1:1) 各 2 mL, 加入 pH 6.86 标准混合磷酸盐缓冲液 4 mL, 0.2 mmol/L DPPH 溶液 4 mL, 混匀, 常温避光放置 20 min。使用 1 cm 比色皿, 以 95% 乙醇作空白对照, 在 517 nm 处测定吸光度值, 并排除自身吸光度值干扰。清除率同 1.3.2。

1.3.4 JP、JF、JP+JF 对 ABTS⁺ 清除效果的测定

ABTS⁺ 母液的配置: 7 mmol/L 的 ABTS⁺ 溶液与 2.45 mmol/L 的 K₂S₂O₈ 溶液以 1:1 比例配比后, 室温避光放置 12~16 h, 将生成的 ABTS⁺ 母液用无水乙醇稀释, 使其在 734 nm 处的吸光度值为 0.700±0.020。

在待测液浓度为 0.03、0.07、0.10、0.15、0.20、0.30 mg/mL 范围内, 研究其对 ABTS⁺ 的清除效果。分别取待测液 JP、JF、JP+JF (同浓度, 体积比 1:1) 各 1.2 mL, 加入 ABTS⁺ 工作液 2 mL, 室温避光放置 6 min。使用 1 cm 比色皿, 以无水乙醇作空白对照, 在 734 nm 处测其吸光度值, 并排除自身吸光度值干扰。清除率同 1.3.2。

1.3.5 JP、JF、JP+JF 总抗氧化能力的测定

在待测液浓度为 0.1、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0 mg/mL 范围内, 对其总抗氧化能力 (FRAP 值) 进行测定。分别取待测液 JP、JF、JP+JF (同浓度, 体积比 1:1) 各 40 μL, 加入 1.8 mL FRAP 工作液 (由 0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液, 10 mmol/L TPTZ 液, TPTZ 液是用 40 mmol/L

的盐酸溶解, 20 mmol/L的 FeCl_3 , 溶液以10:1:1的比例组成, pH 3.6, 现配现用), 0.2 mL蒸馏水, 混匀, 37 °C条件下反应10 min, 于593 nm处测定吸光值。

同样, 按照上述方法, 以“0.15~1.5 mmol/L”的 FeSO_4 标准溶液代替样品绘制标准曲线, 对于样品的总抗氧化能力, 可以用 FeSO_4 标准溶液的浓度来计算。如果有需要, 允许个别测定点的FRAP值不在线性范围内^[11]。

1.3.6 IC_{50} 值的计算

根据样品对自由基的清除率和样品浓度作剂量效应关系曲线。将横坐标样品浓度值取对数, 纵坐标不变, 作新曲线, 根据此曲线计算清除率达50%时所对应的数值, 再求其反函数, 记为 IC_{50} 。

1.3.7 羟基自由基(OH)反应体系中JP和JF的最佳配比

选择羟基自由基(OH)反应体系中JP和JF抗氧化协同作用最佳的浓度值, 将JP和JF在此浓度下按照体积比以3:1、2:1、1:1、1:2、1:3五种比例进行配比, 以清除羟基自由基(OH)作为抗氧化能力指标。

1.3.8 数据处理

试验重复操作三次, 平均值作为实验最终结果。采用 spss 软件进行统计分析, 设置显著水平为* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。数据表示方法为: 平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 JP、JF和JP+JF对OH的清除效果

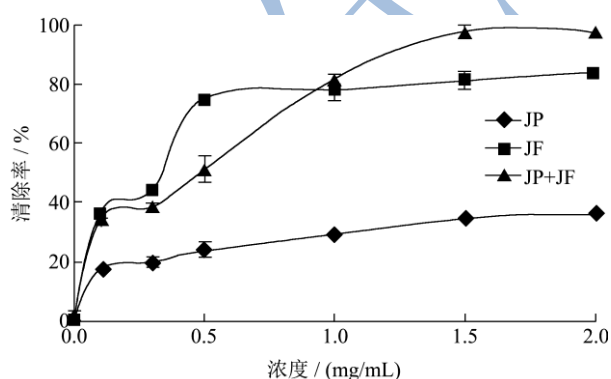


图1 对OH的清除效果

Fig.1 Scavenging effects of JP and JF on hydroxyl radicals

如图1所示, 在实验浓度范围内, 随着溶液浓度的增加, JP、JF和JP+JF对OH的清除率均表现出增大的趋势。在相同浓度下, JF对OH的清除率均高于JP, 说明JF的抗氧化活性高于JP, 从而在JP+JF的组合中, JF作为主抗氧化剂发挥作用, JP作为次抗氧

化剂发挥作用^[12]。

当溶液浓度小于1 mg/mL时, JP、JF和JP+JF对OH的清除率大小为: $\text{JF}>\text{JP+JF}>\text{JP}$, 且差异性显著($P<0.05$), 这可能是因为在较低的浓度范围内, 一方面JP抗氧化能力较弱, JP的加入稀释了JF溶液的浓度, 降低了JF的抗氧化能力, 成为限制JF抗氧化能力的一种因子, 另一方面自由基的反应须在一定的距离内才能够发生^[13], 而JP是个比较大的基团, JP的空间位阻效应使得JF可能无法与自由基接近, 所以此时的协同作用较弱。

当浓度大于1 mg/mL时, JP、JF和JP+JF对OH的清除率大小为: $\text{JP+JF}>\text{JF}>\text{JP}$, 且差异性显著($P<0.05$), 这可能是随着JP有效浓度的增高, JP的抗氧化能力得到显著提高, 此时次抗氧化剂JP可以再生JF, 使得JP+JF溶液中主抗氧化剂JF的有效浓度得到增加, 所以此时JP+JF呈现明显的正协同作用($P<0.05$)。此研究与葛飞等^[12]的研究结果一致, 即在复合抗氧化剂中, 次抗氧化剂可以再生具有强抗氧化性能的氧化剂, 从而表现出抗氧化协同作用。

2.2 JP、JF和JP+JF对DPPH的清除效果

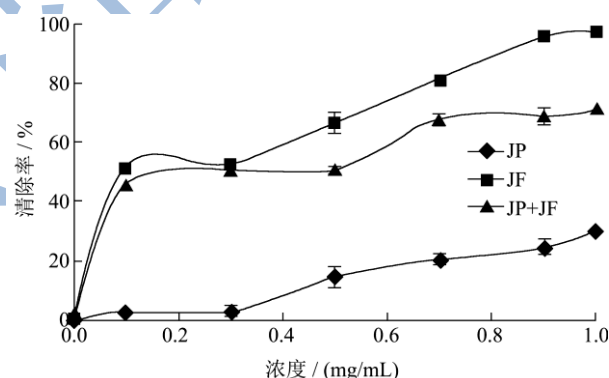


图2 对DPPH的清除效果

Fig.2 Scavenging effects of JP and JF on DPPH

由图2可以看出, 在试验浓度范围内, 随着溶液浓度的增加, JP、JF和JP+JF对DPPH的清除率也表现出增大的趋势。

在试验浓度范围内, JP、JF和JP+JF对DPPH的清除率大小为: $\text{JF}>\text{JP+JF}>\text{JP}$, 且差异性显著($P<0.05$), 这同JP、JF和JP+JF在小于1 mg/mL时对OH的清除率情况相似, 原因可能同样是因为在较低的浓度范围内, 一方面JP抗氧化能力较弱, JP的加入稀释了JF溶液的浓度, 降低了JF的抗氧化能力, 成为限制JF抗氧化能力的一种因子, 另一方面在低浓度下可能JP的空间位阻效应使得JF无法与活泼自由基接近, 且JP结构复杂, 糖取代了黄酮羟基上氢的位置, 使可参与脱氢反应的羟基的减少^[13], 从而导致JP+JF弱于

JF 的抗氧化能力,即 JP+JF 呈现出的正协同效应较弱。

2.3 JP、JF 和 JP+JF 对 ABTS⁺ 的清除效果

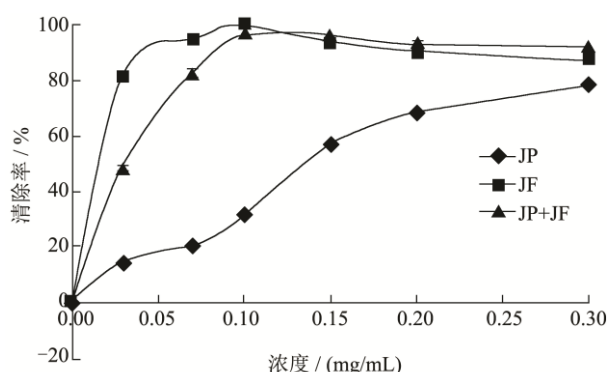


图3 对 ABTS⁺ 的清除效果

Fig.3 Scavenging effects of JP and JF on ABTS⁺

由图3可以看出,在试验浓度范围内,随着溶液浓度的增加,JP对ABTS⁺的清除率呈现增大的趋势,JF和JP+JF对ABTS⁺的清除率均呈现先增大后减小的趋势。

当溶液浓度小于0.1 mg/mL时,JP、JF和JP+JF对ABTS⁺的清除率大小为:JF>JP+JF>JP,但JF>JP+JF的差异性并不显著(P>0.05),说明JP、JF在ABTS⁺反应体系中也呈现出正协同效应,但正协同效应较弱。

当溶液浓度大于0.1 mg/mL时,JP、JF和JP+JF对ABTS⁺的清除率:JP+JF>JF>JP,但JP+JF>JF的差异性仍不显著(P>0.05)。结合JP、JF和JP+JF在不同浓度下对OH、DPPH的清除率,可以说明抗氧化物质的不同浓度对协同作用有明显的影响,JP和JF的协同作用受浓度影响较大,且JP和JF的协同作用可能存在一个平衡浓度^[14],在一定浓度下具有明显的抗氧化协同增效作用,在一定浓度下却削弱了另一种抗氧化剂的抗氧化活性。

2.4 JP、JF 和 JP+JF 总抗氧化能力的测定

如图5所示,在试验浓度范围内,随着溶液浓度的增加,JP、JF和JP+JF的FRAP值均呈现出增大的趋势。

JP、JF和JP+JF的FRAP值大小为:JP+JF>JF>JP,但在溶液浓度小于1.5 mg/mL时,差异性不显著(P>0.05);当溶液浓度大于1.5 mg/mL时,差异性显著(P<0.05)。一方面可能是因为当溶液浓度较低时,JP的抗氧化能力比较低,JF的抗氧化能力比较高,JP的加入会产生稀释作用,反之,当溶液浓度较高时,JP、JF单独的抗氧化能力均较高,JP+JF会产生明显的抗氧化协同作用。另一方面可能是因为JP和JF在抗氧化之后,能够相互修复再生,形成循环的氧化还

原系统^[14],从而使JP+JF的抗氧化能力显著高于JF的抗氧化能力。

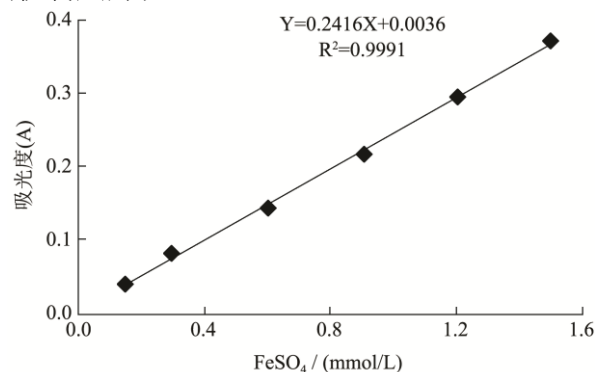


图4 硫酸亚铁标准曲线

Fig.4 Standard curve of FeSO₄

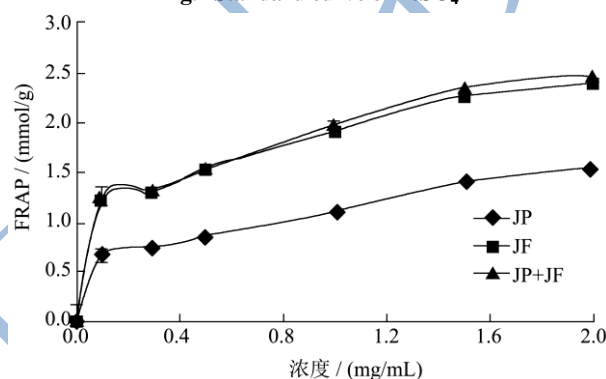


图5 JP、JF和JP+JF的FRAP值

Fig.5 FRAP values of JP, JF, and JP+JF

2.5 JP、JF 和 JP+JF 清除自由基能力的比较

表1 JP、JF和JP+JF抗氧化活性不同方法的IC₅₀值/(mg/mL)

Table 1 Antioxidant IC₅₀ values of JP, JF, and JP + JF determined using different methods

	OH 清除能力	DPPH 清除能力	ABTS ⁺ 清除能力
JP	2.99±0.06 ^a	1.87±0.23 ^a	0.16±0.00 ^a
JF	0.34±0.05 ^c	0.10±0.00 ^b	0.01±0.00 ^c
JP+JF	0.44±0.05 ^b	0.21±0.02 ^b	0.03±0.00 ^b
Vc	0.05±0.01 ^d	0.20±0.02 ^b	0.01±0.00 ^c

由于样品溶液浓度与清除率之间并没有呈现良好的线性关系,为了更好的比较不同样品抗氧化活性的强弱,选用IC₅₀值作为清除自由基能力的指标,IC₅₀越大代表其清除自由基的能力越小。由表1可知JP、JF、JP+JF和Vc清除OH的能力大小为:Vc>JF>JP+JF>JP,且呈现显著性关系(P<0.05);JP、JF、JP+JF和Vc清除DPPH·的能力大小为:JF>Vc>JP+JF>JP,且JF、Vc和JP+JF未呈现显著性差异(P>0.05);JP、JF、JP+JF和Vc清除ABTS⁺的能力大小为:JF=Vc>JP+JF>JP,且JF和Vc未呈现显著性差异(P>0.05)。由此可以得知JP、JF和JP+JF

的抗氧化能力大小为: JF>JP+JF>JP, 即枣多糖和黄酮组合后的抗氧化活性呈现出一定的正协同作用, 但正协同作用较弱。

2.6 JP 和 JF 的浓度与抗氧化活性的相关性分析

为了进一步研究枣多糖、黄酮的抗氧化活性与浓度之间的关系, 现对 JP、JF 和 JP+JF 的浓度与 OH、DPPH、ABTS⁺ 的清除率和 FRAP 值做相关性分析, 其相关系数和 P 值见表 2。

表 2 JP 和 JF 的浓度与抗氧化活性的相关性

Table 2 Correlation of JP and JF concentrations with antioxidant activity

	浓度	JF	JP+JF
OH	JP	0.98**	0.99**
	JF	0.90*	0.96**
DPPH	JP	0.98**	0.94**
	JF	0.98**	0.96**
ABTS ⁺	JP	0.99**	0.66
	JF	0.27	0.82*
FRAP	JP	0.96**	0.99**
	JF	0.98**	0.99**

由表 2 可以看出, JP、JF 和 JP+JF 的浓度变化与 OH、DPPH 的清除率及 FRAP 值显著正相关 ($R^2>0.82$; $P<0.01$), 与 ABTS⁺ 的清除率相关性并不显著, 说明测定 JP、JF 和 JP+JF 的抗氧化活性时, 选择 OH、DPPH 的清除率和 FRAP 值作为指标效果最为明显; JP 的抗氧化活性与 JF、JP+JF 的抗氧化活性除在 ABTS⁺ 这种反应体系中相关性不显著, 其他的三个指标均呈现显著性相关 ($R^2>0.90$, $P<0.05$; $R^2>0.94$, $P<0.01$; $R^2>0.96$, $P<0.01$), JF 的抗氧化活性指标与 JP+JF 的抗氧化活性指标均呈现显著性相关 ($R^2>0.82$; $P<0.01$), 说明在适宜的浓度范围内的 JP+JF 组合中, JP、JF 的抗氧化活性对 JP+JF 的抗氧化协同增效作用均有很大的贡献。

2.7 枣多糖和黄酮的最佳配比

在人体内的自由基中, 以羟自由基 (OH) 是最强、毒性最大的氧化剂, 对机体的破坏作用较大。由前面的实验得出枣多糖和黄酮对清除 OH 具有正协同

效应, 并且在浓度为 1.5 mg/mL 时, 协同效果达到最好, 因此, 把 OH 清除率作为指标, 对于枣多糖和黄酮在浓度为 1.5 mg/mL 时, 以 3:1、2:1、1:1、1:2、1:3 的配比进行实验, 以得出其最佳配比。

表 3 1.5 mg/mL JP 和 JF 的不同配比对 ·OH 清除率的影响

Table 3 Effect of different ratios of 1.5 mg/mL JP and JF on the OH scavenging rate

JP:JF	OH 清除率/%
3:1	65.96±1.40 ^d
2:1	73.22±1.32 ^c
1:1	97.78±0.56 ^a
1:2	88.83±1.59 ^b
1:3	87.60±0.90 ^b

由表 3 可以看出, 在浓度为 1.5 mg/mL 时, JP 和 JF 的协同效应随着枣黄酮量的增加呈现先增加后减小的趋势, 在体积比为 3:1~1:1 之间, 差异性显著 ($P<0.05$), 在体积比为 1:1 时, 两者的协同效应达到了最大值。这可能是因为在在此条件下, JP 和 JF 二者达到了平衡浓度, JP 能够再生抗氧化剂, 且此时 JP 的空间位阻效应最小等原因使得正协同效应达到最佳状态。目前有关抗氧化协同效应的机理主要是指抗氧化剂之间的相互修复再生, 能够形成氧化还原循环系统, 对于其具体的相互作用机制还需做进一步的研究。

3 结论

本研究的结果表明, 枣多糖和黄酮具有抗氧化正协同效应, 两者的正协同效应与抗氧化物质浓度的高低、自身的抗氧化能力呈正相关 ($R^2>0.82$; $P<0.01$), 同时与反应体系也密切相关; 选取 OH 的反应体系作为代表, 两者抗氧化互作效应的最佳配比为 1:1, 浓度为 1.5 mg/mL, 此时清除率高达 97.88%, 比 JP 的清除率高 63.33%, 比 JF 的清除率高 16.36%。由于天然食物成分的复杂性, 其具体反应机理需做进一步研究和分析。

参考文献:

[1] Pawlowska A M, Camangi F, Bader A, et al. Flavonoids of *Zizyphus jujuba* L. and *Zizyphus spina-christi*(L.)willd (Rhamnaceae) fruits [J]. Food Chemistry, 2009, 112: 858-862

[2] WANG Dong-ying, ZHAO Yan, JIAO Ya-dong, et al. Antioxidative and hepatoprotective effects of the polysaccharides from zi Jujube cv. shaanbeitanzao [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88: 1453-1459

[3] Kumar K S, Ganesan K, Rao P V S. Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii*(Doty)doty-an

- edible seaweed [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 289
- [4] Elmastas M, Isildak O, Turkekul I, et al. Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2007, 20(3-4): 337-345
- [5] 彭川丛,孔静,游丽君,等.超声波辅助热水浸提香菇多糖响应面优化工艺及其抗氧化活性的研究[J].现代食品科技,2011,27(4):452-456
- PENG Chuan-cong, KONG Jing, YOU Li-jun, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of lentinan polysaccharides by response surface methodology and its antioxidant activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(4): 452-456
- [6] 莫凌凌,李典鹏,罗汉果花中黄酮甙类化合物的抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2009,25(5):484-486
- MO Ling-ling, LI Dian-peng. Antioxidant activity of flavonol glycosides of *siraitia grosvenorii* flower [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(5): 484-486
- [7] Marinova F, Toneva A, Yanishlieva N. Synergistic antioxidant effect of α -tocopherol and myricetin on the autoxidation of triacylglycerols of sunflower oil [J]. Food Chemistry, 2009, 115: 163-168
- [8] 白海娜,王振宇,刘瑞海,等.白藜芦醇与黑木耳多糖协同清除ABTS自由基活性的研究[J].现代食品科技, 2014, 30(3): 64-68
- BAI Hai-na, WANG Zhen-yu, LIU Rui-hai, et al. Synergistic abts radical scavenging activity of resveratrol with *auricularia auricular* polysaccharides [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 64-68
- [9] 王娜,冯艳风,潘治利,等.超声辅助提取对大枣粗多糖体外抗凝血活性及得率的影响[J].中国食品学报,2014,4:87-94
- WANG Na, FENG Yan-Feng, PAN Zhi-Li, et al. Effects of ultrasound supplementary extraction technologies on the extraction rate and anticoagulant activity in vitro of jujube crude polysaccharide [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 4: 87-94
- [10] 李孟婕,范秀萍,吴红棉,等.翡翠贻贝糖胺聚糖的体外抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2011,27(7):759-76
- LI Meng-jie, FAN Xiu-ping, WU Hong-mian, et al. In vitro antioxidant activity of glycosaminoglycan from *perna viridis* [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(7): 759-762
- [11] GUO Chang-jiang, YANG Ji-jun, WEI Jing-yu, et al. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by frap assay [J]. Nutrition Research, 2003, 23(12): 1719-1726
- [12] 葛飞,桂琳,陶玉贵,等.大豆豆渣粗提物清除 DPPH 自由基活性及其协同效应的研究[J].大豆科学,2010,29(1):113-117
- GE Fei, GUI Lin, TAO Yu-gui, et al. DPPH radical scavenging activity of extract from soybean residue and coordination effect [J]. Soybean Science, 2010, 29(1): 113-117
- [13] 李越.天然药物抗氧化成分构效关系研究进展[J].天津药学,2006,18(2):57-60
- LI Yue. Study on the structure-activity relationship of natural medicine antioxidant [J]. Tianjin Pharmacy, 2006, 18(2):57-60
- [14] 盛雪飞,彭燕,陈健初.天然抗氧化剂之间的协同作用研究进展[J].食品工业科技,2010,31(7):414-417
- Sheng X F, Peng Y, Chen J C. Research progress in synergistic effect between natural antioxidants [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(7): 414-417