

超临界CO₂萃取枣核多酚工艺优化及其生物活性

刘杰超, 张春岭, 刘 慧, 郑晓伟, 王思新, 焦中高*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 河南 郑州 450009)

摘 要: 采用超临界CO₂萃取枣核中的多酚物质, 并对得到的枣核提取物的DPPH自由基清除能力和对 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶及透明质酸酶的抑制活性等进行分析测定。结果表明: 以提取率为考察指标, 超临界CO₂萃取枣核多酚类物质的最佳提取工艺条件为萃取时间2.5h、萃取压力35MPa、萃取温度50℃、萃取次数2次; 枣核多酚提取物对DPPH自由基具有较强的清除作用, 并可有效抑制 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶及透明质酸酶的活性, 在实验质量浓度范围内其最大清除率和抑制率分别可达到93.52%、86.67%、98.73%和96.86%, IC₅₀值分别为6.16、9.81、7.29mg/mL和5.59mg/mL(折合成枣核质量浓度)。相关性分析表明, 枣核提取物的自由基清除活性和对 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶及透明质酸酶的抑制活性均与其中的总多酚含量呈极显著正相关关系, 但不同萃取条件得到的枣核提取物的生物活性并不一定与其中的总多酚含量一一对应, 获得高提取率所需工艺条件与获得高活性提取物所需工艺条件可能不同。

关键词: 枣核; 多酚; 超临界CO₂提取; DPPH自由基; α -淀粉酶; α -葡萄糖苷酶; 透明质酸酶

Supercritical CO₂ Extraction and Bioactivity of Polyphenols from Chinese Jujube Seeds

LIU Jie-chao, ZHANG Chun-ling, LIU Hui, ZHENG Xiao-wei, WANG Si-xin, JIAO Zhong-gao*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: Polyphenols from Chinese jujube seeds were extracted by supercritical carbon dioxide extraction and their DPPH radical scavenging activity and inhibitory activities against α -amylase, α -glucosidase and hyaluronidase were evaluated. The optimal extraction conditions that provided maximum extraction efficiency were determined as 2.5 h, 35 MPa, 50 °C and 2 for time, pressure, temperature and extraction number, respectively. The extracted polyphenols possessed strong DPPH radical scavenging activity and could effectively inhibit α -amylase, α -glucosidase and hyaluronidase and the corresponding inhibition rates were 93.52%, 86.67%, 98.73% and 96.86% over the concentration range tested with IC₅₀ values of 6.16, 9.81, 7.29 mg/mL and 5.59 mg/mL (expressed as the weight of jujube seeds), respectively. Correlation analysis suggested an extremely significant positive correlation between the content of polyphenols and the activities to scavenge DPPH free radical and inhibit three enzymes in jujube seed extracts. Interestingly, it was also found that the optimal conditions for high yield of polyphenols were not in accordance with those obtained for high activity, suggesting that the extraction conditions pressure, temperature, duration and number of repeats could not only affect the yield of polyphenols, but the biological activity as well.

Key words: jujube seed; polyphenol; supercritical CO₂ extraction; DPPH radical; α -amylase; α -glucosidase; hyaluronidase

中图分类号: TS255

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)22-0064-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201322013

多酚类物质是植物的次级代谢产物, 在高等植物组织中广泛存在。大量研究表明, 这些天然的多酚类物质具有清除活性氧自由基、预防心脑血管疾病、老年痴呆、防癌

抗癌、抗病毒、抗炎、抗过敏、降血糖、降血脂等多种功效^[1-2], 因此在人类营养保健与疾病防治方面具有十分重要的作用, 成为天然药物与保健品研究开发的热点。

收稿日期: 2013-06-14

基金项目: 河南省科技攻关计划重点项目(82102140026)

作者简介: 刘杰超(1975—), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为果品营养与保鲜加工。E-mail: jchzz@sina.com

*通信作者: 焦中高(1972—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为果品营养与保鲜加工。E-mail: jiaozhonggao@caas.cn

红枣(jujube), 又称大枣, 为鼠李科(Rhamnaceae)植物枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)的成熟果实, 原产于我国, 由于其含有丰富的营养物质和多种微量元素及生理活性物质而受到人们的喜爱, 是我国传统的药食两用食物之一, 在中医治疗中常被用作“药引”。现代医学研究表明, 红枣除果肉中含有多酚类物质、活性多糖、五环三萜类化合物、环磷酸腺苷(cAMP)和环磷酸鸟苷(cGMP)等多种生物活性物质^[3]外, 在枣核中也含有大量的多酚和黄酮物质, 具有较大的开发应用价值^[4-6]。郝会芳等^[5]以金丝小枣枣核为原料, 研究了乙醇法提取枣核多酚的条件; 张吉祥等^[6-7]采用微波和超声辅助的方法提取枣核中的黄酮类化合物, 使提取效率得到进一步提高; 郝婕等^[4]发现金丝小枣枣核多酚提取物对小鼠具有抗炎、抗凝血、耐缺氧和提高体内抗氧化水平等作用; 张志国等^[8]证实红枣核类黄酮对DPPH自由基具有很强的清除活性。这些研究为枣核多酚类物质的开发应用奠定了一定的基础。但由于枣核多酚的研究起步较晚, 其研究深度和广度远落后于茶多酚、银杏黄酮等植物多酚。为实现对枣核多酚的高效利用, 必须进一步拓宽枣核多酚的研究领域, 在高新提取技术应用和生物活性发掘等方面取得突破。超临界CO₂萃取技术作为一种新型分离技术, 具有工艺简单、选择性好、无溶剂残留等优点, 特别适合于热敏性和易氧化物质等的提取, 在植物多酚类物质的提取分离中得到了广泛的应用^[9-12]。本实验以新郑灰枣枣核为试材, 采用超临界CO₂萃取技术, 利用正交试验研究不同萃取条件对枣核多酚提取的影响, 并进一步对各提取物的清除DPPH自由基和抑制 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶、透明质酸酶等活性进行分析测定, 以发掘枣核多酚提取物新活性并初步了解萃取条件对其活性的影响, 为进一步优化高活性枣核多酚提取物的生产工艺提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枣核取自成熟的干燥的河南新郑灰枣, 去除枣肉后以水洗净、自然晾干。

酵母 α -葡萄糖苷酶、猪胰 α -淀粉酶、4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)美国Sigma公司; 透明质酸酶、透明质酸钠 上海楷洋生物技术有限公司。其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

SFE-2超临界萃取仪 美国Applied Separations公司; Specord 50紫外-可见分光光度计 德国Analytic Jena公司; Milli-Q Academic超纯水机 美国Millipore公司; BS214D电子分析天平 德国赛多利斯公司。

1.3 方法

1.3.1 枣核多酚的超临界CO₂提取

枣核粉碎后称取10g投入50mL萃取釜中, 将萃取釜连入萃取器, 对萃取系统进行加热, 泵入20mL夹带剂(乙醇), 待萃取釜温度和萃取器的炉温平衡并达到预设的温度时, 开始加压, 待压力加至所需萃取压力时开始计时, 进行静态提取, 到达萃取预定时间后萃取结束, 减压分离, 回收枣核多酚提取物, 定容至100mL后稀释5倍进行总酚含量测定, 以稀释定容至同一体积后提取物中的总酚含量高低来比较提取率。每个实验重复3次, 实验数据用SPSS软件进行统计分析。

1.3.2 枣核多酚提取物中总酚含量的测定

枣核多酚提取物稀释至合适质量浓度后采用FD法^[13]测定, 以没食子酸为标准品。

1.3.3 枣核多酚提取物对DPPH自由基清除活性的测定

参照Shimada等^[14]的方法略作改动。3.0mL DPPH-50%甲醇溶液中加入0.5mL样品溶液或者空白对照(50%甲醇溶液), 振荡均匀后于25℃反应30min, 在517nm波长处测定吸光度并按下式计算清除率:

$$\text{清除率}/\% = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为不加样品时的吸光度; A_1 为加入样品后测得的吸光度; A_2 为样品不加DPPH的吸光度。

1.3.4 枣核多酚提取物对 α -淀粉酶抑制活性的测定

以可溶性淀粉为底物测定枣核多酚提取物对 α -淀粉酶的抑制活性, 测定过程与抑制率的计算参考文献[15]。

1.3.5 枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制活性的测定

以4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷为底物测定枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性, 测定过程与抑制率的计算参考文献[15]。

1.3.6 枣核多酚提取物对透明质酸酶抑制活性的测定

以透明质酸钠为底物测定枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制活性, 测定过程与抑制率的计算参考文献[15]。

2 结果与分析

2.1 枣核多酚的超临界CO₂提取

2.1.1 萃取时间对枣核多酚提取量的影响

恒定萃取压力35MPa、萃取温度50℃、萃取次数2次, 分别萃取1、1.5、2、2.5、3h, 考察萃取时间对枣核多酚提取量的影响, 结果见图1。

由图1可以看出, 1~2h内枣核中多酚的提取量逐渐升高, 2h时达到最高, 再延长提萃取时间则略有下降。一般来说, 超临界CO₂提取由于可采用较低的萃取温度达到较好的提取效果, 而且在密闭环境中与氧隔绝, 因此可大大避免热敏性和易氧化物质的破坏。但由于本实

验是在50℃条件下进行,温度和压力的协同作用仍可对其中的多酚物质造成破坏,因此萃取时间过长提取量反而略有下降。于基成等^[16]在绿茶多酚的超临界CO₂萃取中也发现了类似的结果,萃取时间超过2h时提取量略有下降。这说明不同原料中多酚组成的差异性较大,对温度和压力的敏感性不同,造成的实验结果差异性也比较大。关于枣核中多酚物质在温度和压力作用下的变化及其机制有待于进一步研究。

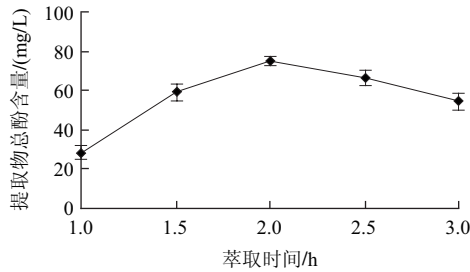


图1 萃取时间对枣核多酚提取量的影响

Fig.1 Effect of extraction duration on the yield of polyphenols from Chinese jujube seeds

2.1.2 萃取压力对枣核多酚提取量的影响

设定萃取时间2h、萃取温度50℃、萃取次数2次,分别在25、30、35、40、45MPa条件下考察萃取压力对枣核多酚提取量的影响,结果见图2。

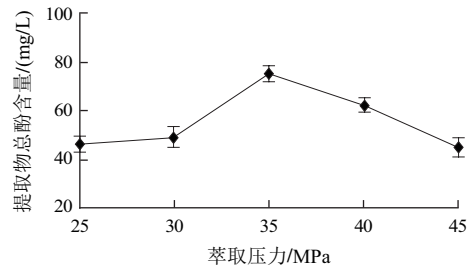


图2 萃取压力对枣核多酚提取量的影响

Fig.2 Effect of extraction pressure on the yield of polyphenols from Chinese jujube seeds

从图2可见,萃取压力低于30MPa时,枣核多酚的提取量较低,但随着压力的升高提取量增加,压力为35MPa时提取量达到最高,但进一步提高萃取压力提取量却急剧下降。压力对超临界CO₂萃取效果的影响是双重的。一方面,压力提高可增大CO₂的密度,使其对溶质的溶解能力增强,有利于萃取。但萃取压力过高,会导致CO₂分子、乙醇分子及其他成分与多酚分子之间的相互作用加强,甚至使加入的夹带剂部分凝聚而导致溶解性能降低,从而使提取率降低^[17]。

2.1.3 萃取温度对枣核多酚提取量的影响

恒定萃取压力35MPa、萃取时间2h、萃取次数2次,分别在40、50、60℃条件下考察萃取温度对枣核多酚提取量的影响,结果见图3。

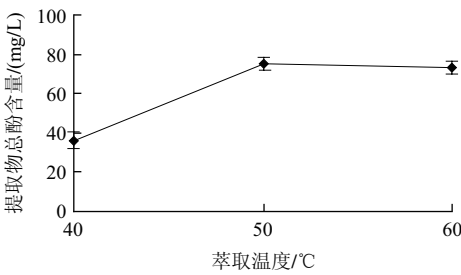


图3 萃取温度对枣核多酚提取量的影响

Fig.3 Effect of extraction temperature on the yield of polyphenols from Chinese jujube seeds

由图3可见,随着温度升高,枣核多酚提取量呈现先升高后降低趋势。恒压条件下,温度从40℃升高到50℃,有利于枣核多酚的提取,但温度进一步升高则造成提取率的下降。与压力的影响相似,温度对超临界CO₂萃取效果也具有双重影响。一方面,温度的升高有利于提高溶质的溶解度,从而有利于多酚的提取,但同时也降低了CO₂及夹带剂的浓度,导致其溶解能力降低,于萃取不利。温度过高还可能对多酚造成破坏,所以枣核多酚萃取以50℃左右为宜。

2.1.4 萃取次数对枣核多酚提取量的影响

在萃取压力35MPa、萃取温度50℃、萃取时间2h条件下,分别萃取1、2、3次,考察萃取次数对枣核多酚提取量的影响,结果见图4。

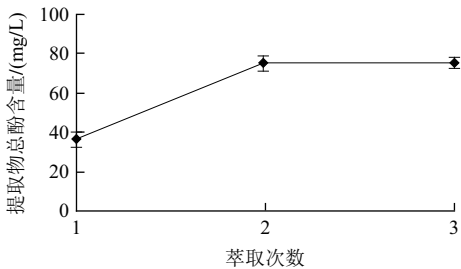


图4 萃取次数对枣核多酚提取量的影响

Fig.4 Effect of number of repeats of the extraction on the yield of polyphenols from Chinese jujube seeds

由图4可以看出,在实验条件下提取2~3次,即可基本完全提取出枣核中的多酚物质,提取次数过多对提取量的增加没有明显效果,而且还会造成生产成本的增加,对生产设备的损耗较高。

2.1.5 枣核多酚超临界萃取正交试验

表1 超临界CO₂萃取枣核多酚正交试验因素及水平表
Table 1 Factors and levels used in orthogonal array design for the optimization of supercritical CO₂ extraction of polyphenols from Chinese jujube seeds

| 水平 | 因素 | | | |
|----|---------|-----------|---------|-------|
| | A萃取时间/h | B萃取压力/MPa | C萃取温度/℃ | D萃取次数 |
| 1 | 2 | 30 | 40 | 1 |
| 2 | 2.5 | 35 | 50 | 2 |
| 3 | 3 | 40 | 60 | 3 |

根据单因素试验结果,选取萃取时间、萃取压力、萃取温度、萃取次数的合适范围,每个因素选择3个水平进行正交试验。正交试验因素及水平设置和测定结果如表1、2所示。

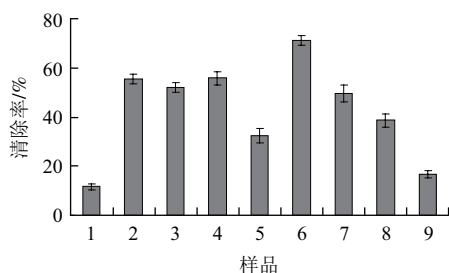
表2 超临界CO₂萃取枣核多酚正交试验结果分析

Table 2 Analysis of the experimental results of orthogonal array design for the optimization of supercritical CO₂ extraction of polyphenols from Chinese jujube seeds

| 试验号 | A | B | C | D | 提取物总酚含量/(mg/L) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 13.25 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 59.12 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 44.56 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 52.11 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 33.92 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 61.56 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 52.97 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 38.64 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 25.28 |
| k ₁ | 38.98 | 39.44 | 37.82 | 24.15 | |
| k ₂ | 49.20 | 43.89 | 45.50 | 57.88 | |
| k ₃ | 38.96 | 43.80 | 43.82 | 45.10 | |
| R | 10.22 | 4.45 | 7.69 | 33.73 | |

由表2可以看出,各因素对枣核多酚提取率的影响程度从大到小依次为D>A>C>B,即萃取次数>萃取时间>萃取温度>萃取压力,其最佳提取工艺条件为A₂B₂C₂D₂,即萃取时间2.5h、萃取压力35MPa、萃取温度50℃、萃取次数2次。在此条件下,枣核中多酚的提取率可达到441.57mg/100g。

2.2 枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除作用



样品1~9为表2试验1~9所得提取物。下同。

图5 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除效果

Fig.5 DPPH radical scavenging activity of jujube seed extracts under different extraction conditions

由图5可见,不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对DPPH自由基都具有一定的清除作用,说明超临界CO₂萃取得到的枣核多酚提取物是一种较好的抗氧化剂。相关性分析表明,不同提取条件萃取得到的枣核提取物对DPPH自由基的清除效果与其中的总酚含量呈显著正相关关系($R=0.9659$),说明多酚成分可能在枣核提取物的DPPH自由基清除活性中发挥重要作用。

对比表2和图5还可以看出不同工艺条件得到的枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除效果与其中的总酚含量并不能完全一一对应,各样品对DPPH自由基的清除率由高到低依次为6>4>2>3>7>8>5>9>1,而总酚含量由高到低依次为6>2>7>4>3>5>8>9>1,说明萃取条件除影响多酚提取率外,也可对其DPPH自由基清除活性产生重要影响,获得高提取率所需工艺条件与获得高DPPH自由基清除活性提取物所需工艺条件可能不同。

为了进一步考察枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除效果,以试验号6所得到的枣核多酚提取物为材料,考察不同质量浓度枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除效果,结果见图6。

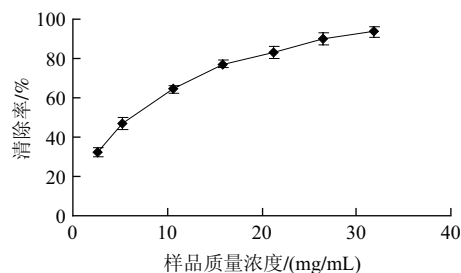


图6 枣核多酚提取物对DPPH自由基清除效果的量效关系

Fig.6 Dose dependence of the DPPH radical scavenging effect of jujube seed extract obtained with run 6 in orthogonal array design

由图6可以看出,随着枣核多酚质量浓度的提高,枣核多酚提取物对DPPH自由基的清除效果也得到显著提高,呈明显的量效关系。在实验质量浓度范围内(折合成枣核质量浓度为2.65~31.80mg/mL),其对DPPH自由基的清除率最高可达到93.52%,实验条件下其IC₅₀值为6.16mg/mL(折合成枣核质量浓度)。

2.3 枣核多酚提取物对α-淀粉酶的抑制作用

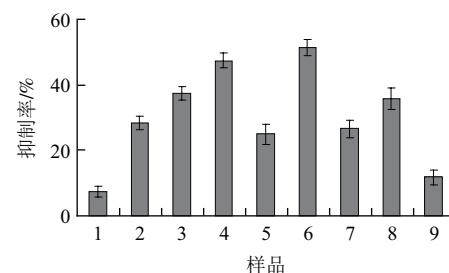


图7 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对α-淀粉酶的抑制效果

Fig.7 Inhibitory effect of jujube seed extracts under different extraction conditions on α-amylase

由图7、8可以看出,不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对α-淀粉酶都具有一定的抑制作用,而且枣核多酚提取物对α-淀粉酶的抑制效果与使用剂量密切相关,呈明显的量效关系。以试验号6所得的枣核多酚提取物为材料,在其质量浓度范围内(折合成枣核质

量浓度为2.65~31.80mg/mL), 其对 α -淀粉酶的抑制率最高可达到86.67%, 实验条件下其 IC_{50} 值为9.81mg/mL(折合成枣核质量浓度)。相关性分析表明, 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对 α -淀粉酶的抑制效果与其中的总酚含量呈极显著正相关($R=0.8025$)。各样品对 α -淀粉酶的抑制率由高到低依次为6>4>3>8>2>7>5>9>1, 不仅与总酚含量不能完全对应, 而且与其对DPPH自由基的清除效果排序也存在微小差异, 说明萃取条件也可对其 α -淀粉酶抑制活性产生重要影响, 获得高提取率所需工艺条件与获得高 α -淀粉酶抑制活性以及高DPPH自由基清除活性提取物所需工艺条件均可能不同。

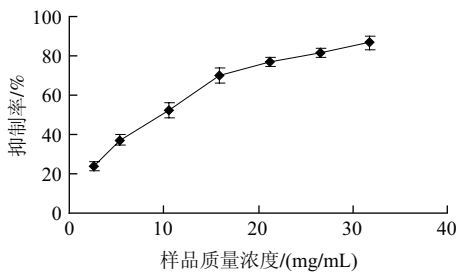


图8 枣核多酚提取物对 α -淀粉酶抑制效果的量效关系

Fig.8 Dose dependence of the α -amylase inhibitory effect of jujube seed extract obtained with run 6 in orthogonal array design

2.4 枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

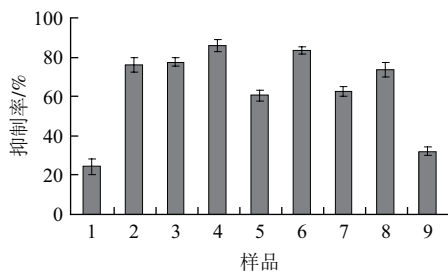


图9 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果

Fig.9 Inhibitory effect of jujube seed extracts under different extraction conditions on α -glucosidase

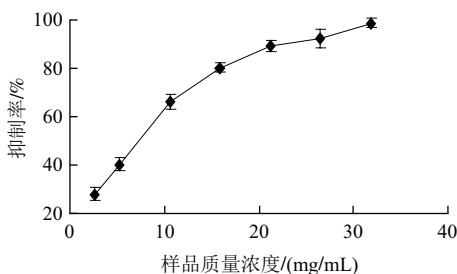


图10 枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制效果的量效关系

Fig.10 Dose dependence of the α -glucosidase inhibitory effect of jujube seed extract obtained with run 4 in orthogonal array design

由图9、10可以看出, 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶都具有一定的清除作用, 各样品对 α -葡萄糖苷酶的抑制率由高到低依次为4>6>3>2>8>7>5>9>1, 随着枣核质量浓度的提高, 枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果也逐渐提高, 呈明显的量效关系。以试验号6所得的枣核多酚提取物为材料, 在其质量范围内(折合成枣核质量浓度为2.65~31.80mg/mL), 其对 α -葡萄糖苷酶的抑制率最高可达到98.73%, 实验条件下其 IC_{50} 值为7.29mg/mL(折合成枣核质量浓度)。相关性分析表明, 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果与其中的总酚含量呈极显著正相关关系($R=0.8758$)。

2.5 枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制作用

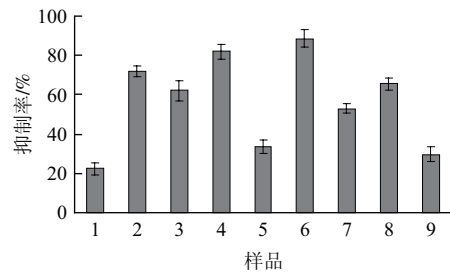


图11 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制效果

Fig.11 Inhibitory effect of jujube seed extracts under different extraction conditions on hyaluronidase

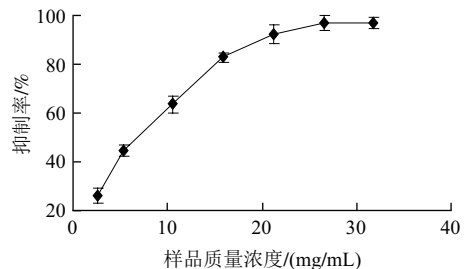


图12 枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制效果

Fig.12 Dose dependence of the hyaluronidase inhibitory effect of jujube seed extract obtained with run 6 in orthogonal array design

由图11、12可以看出, 不同提取条件萃取得到的枣核多酚提取物对透明质酸酶都具有一定的清除作用, 各样品对 α -葡萄糖苷酶的抑制率由高到低依次为6>4>2>8>3>7>5>9>1, 随着枣核质量浓度的提高, 枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制效果也明显增强, 与使用剂量密切相关, 呈明显的量效关系。以试验号6所得的枣核多酚提取物为材料, 在其质量浓度范围内(折合成枣核质量浓度为2.65~31.80mg/mL), 其对透明质酸酶的抑制率最高可达到96.86%, 实验条件下其 IC_{50} 值为5.59mg/mL(折合成枣核质量浓度)。相关性分析表明, 不同提取条件

萃取得到的枣核多酚提取物对透明质酸酶的抑制效果与其中的总酚含量呈极显著正相关关系($R=0.8887$)。

3 讨论

在天然产物提取中常以目标成分的提取率为考察指标对其工艺进行优化,但对于一些复杂成分的提取,由于检测方法的局限,常常一些微量重要活性成分被忽视,造成最优化提取工艺得到的提取物的活性并不一定是最高。许多研究表明,提取工艺条件可对提取物的生物活性产生重要影响^[18-21],而且在很多情况下获得高提取率所需条件与获得高活性提取物所需条件不尽一致^[20-21]。多酚作为一类生物活性物质,提取条件对其活性的影响不容忽视。本实验通过对正交试验各工艺条件得到的枣核提取物的总酚含量和生物活性进行对比分析发现,不同萃取条件得到的枣核提取物的生物活性并不一定与其中的总酚含量一一对应,说明萃取条件也可对其生物活性产生重要影响,获得高提取率所需工艺条件与获得高活性提取物所需工艺条件可能不同,最高多酚提取率的工艺条件并不一定能够满足最高活性的需要,活性种类不同,其最优化工艺条件也可能不相同。因此,要想得到高活性枣核多酚提取物,必须针对目标活性,综合考虑多酚得率和活性,才能得到最优化的提取工艺。

α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶是影响饮食中淀粉、糖类等主要碳水化合物消化、吸收的关键酶,抑制其活性可以延缓人体对淀粉等物质的降解和葡萄糖的吸收,从而抑制餐后血糖的快速升高。因此, α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制剂常被用于治疗Ⅱ型糖尿病,可有效降低餐后血糖水平和减少糖尿病并发症的发生^[22]。本实验通过体外实验证实枣核多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性均具有一定的抑制作用,并且抑制效果随着其质量浓度的增加而增大,具有明显的量效关系。在实验条件下,枣核多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性的最高抑制率分别为86.67%和98.73%, IC_{50} 值分别为9.81mg/mL和7.29mg/mL(折合成枣核质量浓度)。说明枣核多酚提取物可能对淀粉酶促水解直至生成葡萄糖并被吸收的整个过程的不同阶段产生影响,从而可有效延缓单糖的释放和吸收,抑制餐后高血糖,从而减少糖尿病并发症的发生。

透明质酸的合成和由透明质酸酶催化的降解之间的平衡是正常组织的重要特征^[23]。枣核多酚提取物可显著抑制透明质酸酶的活性,提示其对于调节透明质酸代谢的慢性失衡,帮助组织动态平衡的重建有重要意义。

枣核多酚提取物的自由基清除活性和对 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶及透明质酸酶的抑制活性均与其中的总多酚含量呈极显著正相关关系,说明其中的多酚成分在这些

活性发挥中可能具有重要作用。但不同活性与总酚含量的相关性存在较大差异,说明其中的一些微量成分可能对这些活性产生重要影响,其机制有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] QUIDEAU S, DEFFIEUX D, DOUAT-CASASSUS C, et al. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2011, 50(3): 586-621.
- [2] VISIOLI F, De La LASTRA C A, ANTRES-LACUEVA C, et al. Polyphenols and human health: a prospectus[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2011, 51(6): 524-546.
- [3] 鲁周民, 刘坤, 闫忠心, 等. 枣果实营养成分及保健作用研究进展[J]. *园艺学报*, 2010, 37(12): 2017-2024.
- [4] 郝婕, 王艳辉, 董金皋. 金丝小枣多酚提取物的生理功效研究[J]. *中国食品学报*, 2008, 8(5): 22-27.
- [5] 郝会芳, 王艳辉, 苗笑阳, 等. 枣核中多酚物质提取条件的初步研究[J]. *华北农学报*, 2007, 22(增刊1): 48-52.
- [6] 张吉祥, 欧来良. 正交试验法优化超声提取枣核总黄酮[J]. *食品科学*, 2012, 33(4): 18-21.
- [7] 张吉祥, 欧来良. 枣核总黄酮的微波辅助提取工艺优化[J]. *食品科学*, 2012, 33(16): 45-49.
- [8] 张志国, 陈锦屏, 邵秀芝, 等. 红枣核类黄酮清除DPPH自由基活性研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(2): 67-70.
- [9] GHAFOR K, AL-JUHAIMI F Y, CHOI Y H. Supercritical fluid extraction of phenolic compounds and antioxidants from grape (*Vitis labrusca* B.) seeds[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2012, 67(4): 407-414.
- [10] SANTOS S A O, VILLAVARDE J J, SILVA C M, et al. Supercritical fluid extraction of phenolic compounds from *Eucalyptus globulus* Labillardiere bark[J]. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2012, 71(1): 71-79.
- [11] 王华. 利用超临界技术萃取石榴籽总酚工艺研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(18): 152-154.
- [12] 李军, 冯耀声. 超临界二氧化碳萃取茶多酚的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 1996, 8(3): 42-47.
- [13] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 19-20.
- [14] SHIMADA K, FUJIKAWA K, YAHARA K, et al. Antioxidative properties of xanthin on autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40: 945-948.
- [15] 焦中高, 刘杰超, 王思新, 等. 羧甲基化红枣多糖制备及其活性[J]. *食品科学*, 2011, 32(17): 176-180.
- [16] 于基成, 金莉, 薄尔琳, 等. 超临界CO₂萃取技术在茶多酚提取中的应用[J]. *食品科技*, 2007, 32(1): 85-87.
- [17] 张劲, 李振山, 黄文, 等. 超临界萃取番茄红素影响因素的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(5): 159-162.
- [18] 包怡红, 李文星, 齐君君, 等. 提取条件对蓝靛果花色苷抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 20-24.
- [19] 翟梅枝, 贾彩霞, 景炳年, 等. 不同提取条件对核桃叶中抗病毒物质活性的影响[J]. *林业科学*, 2007, 43(7): 149-151.
- [20] 刘育玲, 姚开, 贾冬英, 等. 茶多糖酶法提取的优化条件及其对葡萄糖激酶活性的影响[J]. *食品科技*, 2010, 35(2): 134-137.
- [21] 罗娅, 王小蓉, 张勇, 等. 不同提取条件对草莓果实抗氧化物质和抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(14): 108-112.
- [22] TUNDIS R, LOIZZO M R, MENICHINI F. Natural products as α -amylase and α -glucosidase inhibitors and their hypoglycaemic potential in the treatment of diabetes: an update[J]. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2010, 10: 315-331.
- [23] SUQIMOTO K, IIZAWA T, HARADA H, et al. Cartilage degradation independent of MMP/aggreganases[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2004, 12(12): 1006-1014.