

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.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.042

# 不同提取方法对枸杞多糖提取率及抗氧化活性的影响

张倩,李书启

(天津狮学院生物与食品工程学院,天津武清 307100)

**摘要:**采用热水浸提法和微波-超声协同萃取法分别提取枸杞多糖,并对其提取率和抗氧化能力进行比较。结果表明,热水浸提法提取的最佳工艺:料液比为 1 g : 40 mL,提取时间为 40 min,温度为 80 ℃,在此条件下,枸杞多糖的提取率为 6.71%。微波-超声协同萃取法的最佳工艺参数:提取时间为 20 min,提取温度为 70 ℃,料液比为 1 g : 40 mL,微波功率为 300 W,超声波功率为 50 W,枸杞多糖的提取率为 9.62%。2 种提取方法所得多糖体外抗氧化活性的研究表明,二苯代苦味酰基自由基(DPPH·)的清除率随多糖浓度的增加而增加,最高清除率分别为 58.9% 和 89.2%;羟基自由基的清除率随多糖浓度的增加而增加,最高清除率为 60.1% 和 77.3%;超氧阴离子自由基的清除率随多糖浓度的增加而增加,最高清除率分别为 55.7% 和 75.7%,说明枸杞多糖具有良好的抗氧化活性。

**关键词:**枸杞多糖;微波-超声协同萃取;条件优化;体外抗氧化活性

**中图分类号:**S132;R284.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)03-0169-05

枸杞子为宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)的成熟果实,主要产于河北与宁夏。枸杞子中含有丰富的营养物质,属于药食同源类食物<sup>[1]</sup>,其中最主要的功效成分即枸杞多糖,研究表明,枸杞多糖具有抗癌、抗脂肪肝和降血糖等作用<sup>[2-3]</sup>。枸杞多糖是从枸杞子中提取得到的一种水溶性多糖蛋白复合物,传统提取方法多为水浸提法<sup>[4]</sup>。有研究表明,将样品颗粒度降到 40~60 目,采用微波辅助提取法,枸杞多糖提取率相对于热水浸提法有明显提高<sup>[5-6]</sup>。陈亮等利用超声辅助法提取黑枸杞中多糖,提取率达到 12.91%<sup>[7]</sup>。超声微波提取的最大优点在于提取速度快、能耗小、时间短,有利于极性和热不稳定性组分的萃取<sup>[8]</sup>且已被广泛地应用在天然产物的有效成分提取中<sup>[9-10]</sup>。本研究通过对枸杞多糖在各种条件下的提取,筛选出最优的条件以使枸杞多糖提取率达到最高,同时研究其清除自由基的能力以充分了解枸杞多糖的抗氧化活性,为今后枸杞多糖作为一种新型抗氧化剂在保健食品中

的应用与开发提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和试剂

宁夏枸杞,市售;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼,Sigma 化学公司产品;苯酚、硫酸、乙醇等,北京化学试剂公司产品。

### 1.2 主要仪器

CW-2000 超声-微波协同萃取仪,上海新拓分析仪器科技有限公司;UV1000 紫外可见分光光度计,上海天美科学仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 枸杞原料预处理 将枸杞子放置于烘箱中干燥 24 h,随后将枸杞子经粉碎机粉碎成粗颗粒状置于干燥器中备用。

1.3.2 枸杞多糖提取工艺 采用不同方法(热水浸提法、微波-超声协同萃取法)提取,流程如下:提取→提取液浓缩→乙醇沉淀→4 ℃静置过夜→离心→再次乙醇沉淀→离心→冷冻干燥→枸杞粗多糖。

1.3.3 枸杞多糖热水浸提法优化 准确称取 5.0 g 干燥枸杞子于 250 mL 锥形瓶中,分别考察料液比(1 g : 10 mL、1 g : 20 mL、1 g : 30 mL、1 g : 40 mL、1 g : 50 mL)、提取温度

收稿日期:2018-06-07

基金项目:天津狮学院校级教科研项目(编号:K15004)。

作者简介:张倩(1986—),女,山西榆次人,博士,讲师,主要从事天然活性物质的研究。E-mail:380787704@qq.com。

pathogenic bacteria[J]. Research journal of microbiology, 2011, 6 (4):376-384.

[22] Renata M, Sylwia K N, Emilia B, et al. Chemical composition and antioxidant activity of beebread, and its influence on the glioblastoma cell line(U87MG)[J]. Journal of Apicultural Science, 2013, 57 (2):147-157.

[23] Borawska M H, Markiewicz - Żukowska R, Naliwajko S K, et al. The interaction of bee products with temozolomide in human diffuse astrocytoma, glioblastoma multiforme and astroglia cell lines[J]. Nutrition and Cancer, 2014, 66(7):1247-1256.

[24] Piskorski R, Kroder S, Dorn S. Can pollen headspace volatiles and pollenkitt lipids serve as reliable chemical cues for bee pollinators?

[J]. Chemistry and Biodiversity, 2011, 8(4):577-586.

[25] Bertoli A, Fambrini M, Doveri S, et al. Pollen aroma fingerprint of two sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes characterized by different pollen colors[J]. Chemistry and Biodiversity, 2011, 8(9):1766-1775.

[26] 杨开,邢辰,胡荣荣,等.同时蒸馏萃取/气质联用分析 12 种常见蜂花粉的挥发性成分[J].中国食品学报,2012,12(6):183-190.

[27] 徐响,董捷,孙丽萍,等.油菜花粉油脂贮藏过程中挥发性成分变化研究[J].食品工业科技,2011,32(2):88-91.

[28] 王丽,贾安,黄涛,等.油菜花粉中挥发性成分的 GC-MS 分析[J].安徽农业科学,2016,44(34):119-120,122.

(50、60、70、80、90 ℃)、提取时间(20、30、40、50、60 min)3 个单因素对枸杞多糖提取率的影响;在单因素试验的基础上,对影响枸杞多糖提取率的主要因素进行 3 因素 3 水平正交试验设计,确定超声微波提取枸杞多糖的最佳提取工艺参数。

1.3.4 枸杞多糖微波-超声提取法优化 准确称取 5.0 g 干燥枸杞子,放入微波超声仪提取专用锥形瓶(250 mL)中,在超声波功率为 50 W 的条件下,分别研究料液比(1 g : 10 mL、1 g : 20 mL、1 g : 30 mL、1 g : 40 mL、1 g : 50 mL)、提取温度(40、50、60、70、80 ℃)、提取时间(10、15、20、25、30 min)和微波功率(100、200、300、400、500 W)4 个单因素对枸杞多糖提取率的影响;在单因素试验的基础上,进行 4 因素 3 水平正交试验设计,确定超声微波提取枸杞多糖的最佳提取工艺参数。

1.3.5 枸杞多糖含量测定 采用苯酚-硫酸法<sup>[11]</sup>测定其多糖含量,再进一步计算出枸杞多糖提取率,计算式如下:多糖提取率=粗多糖质量/原料质量×100%。

1.3.6 抗氧化活性

1.3.6.1 枸杞多糖对二苯代苦味酰基自由基(DPPH·)的清除作用 配制浓度为 0.08 mmol/L 的 DPPH 溶液。取不同浓度枸杞多糖溶液于 DPPH 溶液中,室温下静置 30 min 后于 517 nm 处测定吸光度。以无水乙醇作为试剂空白,吸光度记作  $D_1$ ;以 DPPH 溶液为对照,吸光度记作  $D_2$ 。清除率 =  $(D_2 - D_1) \div D_2 \times 100\%$ 。

1.3.6.2 枸杞多糖清除羟自由基(·OH)能力的测定 分别在试管中加入 9 mmol/L FeSO<sub>4</sub> 溶液,9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液以及不同枸杞多糖浓度的样品溶液,最后加入 8.8 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,振荡充分混合均匀,充分进行反应,在 510 nm 下测定反应的吸光度  $D_r$ 。式中: $D_c$ (以样品溶剂代替样品)为空白样测定值;清除率 =  $(D_c - D_r) \div D_c \times 100\%$ 。

1.3.6.3 枸杞多糖清除超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>·)活性的测定 取 0.05 mmol/L pH 值为 8.2 的三羟甲基氨基甲烷

(Tris)-HCl 缓冲液于 25 mL 具塞比色管中,分别加入不同浓度的枸杞多糖样液,放入 25 ℃ 水浴中预热 20 min,加 3 mmol/L 邻苯三酚 0.4 mL,振荡混匀,在波长 325 nm 处,每隔 30 s 测 1 次吸光度,并计算线性范围内 1 min 内吸光度的增加值  $\Delta D_0$ 。清除率 =  $(\Delta D_0 - \Delta D_i) \div \Delta D_0 \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 枸杞中多糖含量的测定

以葡萄糖为标准,用苯酚-硫酸法测定枸杞多糖含量的线性回归方程为  $y = 0.934x + 0.0097$ ,相关系数  $r = 0.9997$ 。

2.2 热水浸提法单因素试验结果

2.2.1 料液比对枸杞多糖提取率的影响 由图 1-A 可知,枸杞多糖的提取率随着料液比的逐渐增大而提高。当料液比达到 1 g : 40 mL 时,枸杞多糖的提取率达到了最大值。随后随着料液比的继续增大,提取率逐渐下降。因此选择适宜的料液比 1 g : 30 mL、1 g : 40 mL、1 g : 50 mL 做后续正交试验。

2.2.2 提取温度对多糖提取率的影响 由图 1-B 可知,当提取温度到达 80 ℃ 时,枸杞多糖的提取率达到了最大值;之后随着提取温度的继续增加,枸杞多糖的提取率逐渐下降。原因可能是由于多糖是活性物质,温度过高会破坏其生物结构;其次,由于枸杞细胞中其他杂质的溶出也相应增加,使多糖质量分数下降,即多糖提取率下降。因此,提取温度选择 70、80、90 ℃ 做后续正交试验。

2.2.3 提取时间对枸杞多糖提取率的影响 由图 1-C 可知,枸杞多糖提取率随提取时间的增加而提高,当延长至 40 min 时,提取率达到最大值,随后提取率下降。可能由于提取时间过长导致多糖发生部分破坏和降解,同时其他水溶性物质的溶出也会降低多糖提取率。因此,时间为 40 min 时,枸杞多糖的提取率较适宜,选择 30、40、50 min 做后续正交试验。

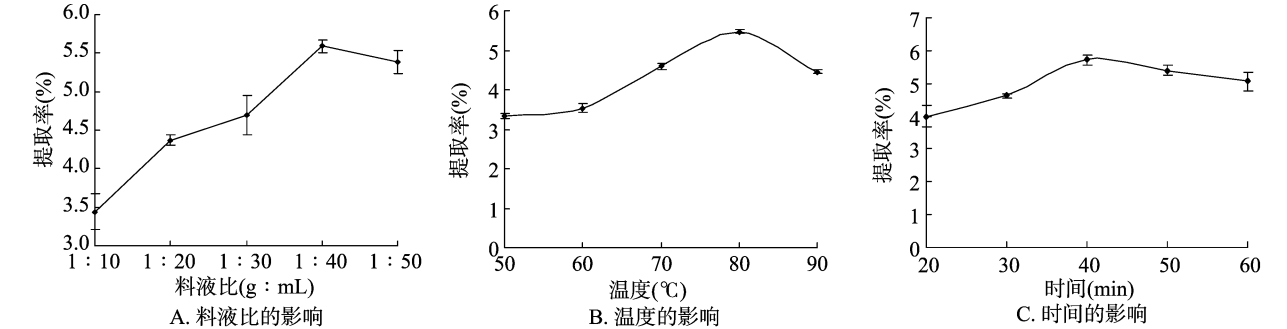


图1 料液比、温度和时间对枸杞多糖提取率的影响

2.3 热水浸提法的正交优化结果

选择提取温度(A)、料液比(B)、提取时间(C)为试验因素,各因素均取 3 个水平,详见表 1。

表 1 热水浸提法的因素水平

水平	因素		
	A:提取温度(℃)	B:料液比(g : mL)	C:提取时间(min)
1	70	1 : 30	30
2	80	1 : 40	40
3	90	1 : 50	50

由表 2 可以看出,正交试验以提取时间、提取温度和料液比为因素,影响最大的 1 个因素是提取时间,最佳参数为 40 min,其他影响较大的因素是料液比,温度对提取率的影响最小。由此可得,最优工艺参数为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,即料液比为 1 g : 40 mL,提取温度为 80 ℃,提取时间为 40 min。

由表 3 的分析结果可知,提取温度(A)、料液比(B)、提取时间(C)对枸杞多糖提取率的影响均是显著的。最优工艺下枸杞多糖的平均提取率为 6.71%,优于正交试验各条件所得提取率。通过验证试验,进一步确定了正交试验所得最优

表 2 热水浸提法的正交试验结果

试验号	提取温度(A)	料液比(B)	提取时间(C)	提取率(%)
1	1	1	1	1.888
2	1	2	2	6.567
3	1	3	3	2.359
4	2	1	2	5.731
5	2	2	3	5.153
6	2	3	1	1.230
7	3	1	3	2.423
8	3	2	1	1.117
9	3	3	2	1.760
$k_1$	3.605	3.347	1.412	
$k_2$	4.038	4.279	4.686	
$k_3$	1.767	1.783	3.312	
$R$	2.271	2.496	3.274	
因素主次	C > B > A			
最优条件	$A_2$	$B_2$	$C_2$	

表 3 热水浸提法的正交试验方差分析

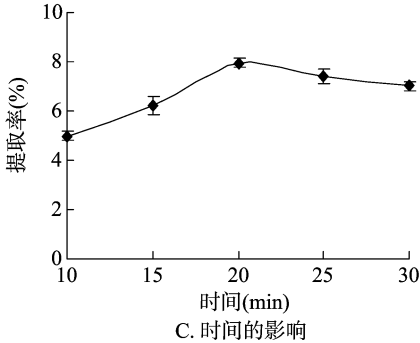
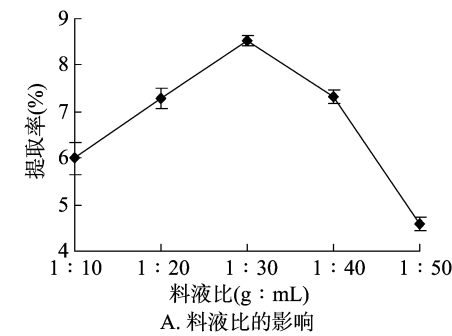
因素	偏差平方和	自由度	$F$ 比	$F$ 临界值	显著性
料液比	0.077	2	25.667	19.000	*
温度	0.082	2	27.333	19.000	*
时间	0.139	2	46.333	19.000	*
误差	0.000	2			

注：“\*”表示在 0.05 水平上影响显著，“\*\*”表示在 0.01 水平上影响极显著。表 6 同。

条件组合的准确性。

2.4 微波-超声协同萃取法的单因素试验结果

2.4.1 料液比对多糖提取率的影响



液比为 1 g : 30 mL 时,提取率达到最高值,并随料液比增加,提取率下降。这可能是由于溶剂用量影响多糖浸出溶液的浓度差,从而改变原料内部与外部之间多糖的传质过程。当液料比较小时,多糖的溶出在短时间内就达到平衡,不利于多糖的进一步溶出,但液料比太大时受溶解度的约束作用变小,且溶剂用量过多导致后续蒸发困难,而底物浓度过低使得提取得率呈现下降趋势<sup>[12]</sup>。因此料液比为 1 g : 30 mL 时,提取效果最好,故选择料液比 1 g : 20 mL、1 g : 30 mL、1 g : 40 mL 做后续正交试验。

2.4.2 提取温度对多糖提取率的影响 由图 2-B 可知,随着温度不断升高,枸杞多糖溶出率不断提高,当温度达到 70 ℃ 时,枸杞多糖提取率达到峰值,随后枸杞多糖提取率随温度的增大而降低,可能由于微波温度过高破坏了枸杞多糖的生物活性,从而使得枸杞多糖提取率下降<sup>[13]</sup>,故选择 60、70、80 ℃ 做后续正交试验。

2.4.3 提取时间对多糖提取率的影响 由图 2-C 可知,随着提取时间增加,枸杞多糖提取率呈上升趋势,当提取时间为 20 min 时提取率达到最大值 7.41%,随后枸杞多糖提取率趋于平缓。原因可能是初期多糖在溶剂中的浓度低,主要成分在枸杞组织中,多糖浓度梯度大,导致多糖溶出的速率较快;随着时间增加,多糖浓度梯度持续减小,从而使得溶出率减缓至不再增加,故选择提取时间 15、20、25 min 做后续正交试验。

2.4.4 微波功率对多糖提取率的影响 由图 2-D 可知,随着微波功率不断升高,枸杞多糖提取率不断提高,当微波功率达到 300 W 时,提取率最高;随后枸杞多糖提取率随之下降,可能是由于微波功率过大导致枸杞多糖结构发生变化或部分发生降解,故选择微波功率 200、300、400 W 进行后续正交试验。

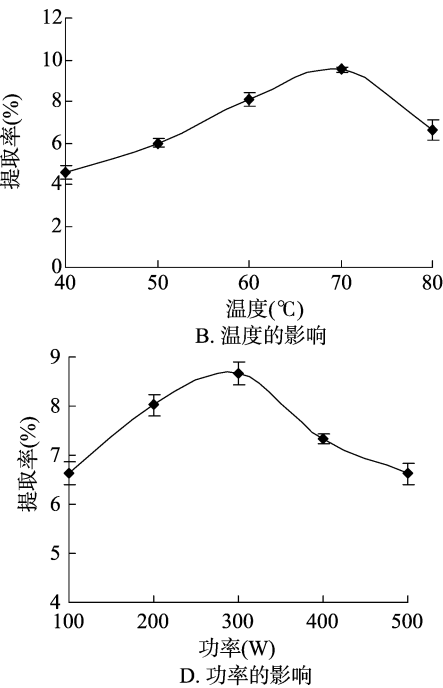


图2 料液比、温度、时间和微波功率对枸杞多糖提取率的影响

2.5 微波-超声协同萃取法正交优化试验结果

根据以上单因素试验结果做 4 因素 3 水平正交试验,因

素水平见表 4。

由表 5 可以看出,正交试验以提取时间、提取温度、微波

表 4 微波-超声协同萃取法的因素水平设计

水平	因素			
	A:提取时间 (min)	B:提取温度 (℃)	C:料液比 (g:mL)	D:微波功率 (W)
1	15	60	1:20	200
2	20	70	1:30	300
3	25	80	1:40	400

表 5 微波-超声协同萃取法的正交试验结果

试验号	提取时间 (A)	提取温度 (B)	料液比 (C)	微波功率 (D)	提取率 (%)
1	1	1	1	1	4.48
2	1	2	2	2	8.58
3	1	3	3	3	4.51
4	2	1	2	3	4.57
5	2	2	3	1	7.28
6	2	3	1	2	3.41
7	3	1	3	2	6.62
8	3	2	1	3	8.01
9	3	3	2	1	6.82
$k_1$	5.857	5.223	5.300	6.193	
$k_2$	5.087	7.957	6.657	6.203	
$k_3$	7.150	4.913	6.137	5.697	
$R$	2.063	3.044	1.357	0.506	
因素主次 B>A>C>D					
最优方案	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	

功率、料液比为因素,影响最大的 1 个因素是微波功率,微波功率的最佳参数为 300 W,其他影响较大的因素是料液比,温度对提取率的影响不是很大,影响最小的是时间,由此可得,最优工艺参数为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub>,即微波功率为 300 W,料液比为 1 g:40 mL,提取温度为 70 ℃,提取时间为 20 min。

在方差分析中,因各试验条件无重复,故以最小平方和作为误差列,在  $\alpha=0.05$  的情况下,进行  $F$  检验。

由表 6 可知,微波功率对枸杞多糖提取率的影响具有显著性,表明枸杞多糖的提取率主要取决于微波功率的大小。最优工艺下枸杞多糖的平均提取率为 9.62%,优于正交试验各条件所得提取率。通过验证试验,进一步确定了正交试验所得最优条件组合的准确性。

表 6 微波-超声协同萃取法的正交试验方差分析

因素	偏差平方和	自由度	$F$ 比	$F$ 临界值	显著性
时间	0.008	2	1.000	19.000	
温度	0.013	2	1.625	19.000	
料液比	0.012	2	1.500	19.000	
微波功率	0.235	2	29.375	19.000	*
误差	0.010	2			

2.6 枸杞多糖抗氧化活性的测定

2.6.1 枸杞多糖对 DPPH·清除能力的测定 DPPH·是一种合成的含氮有机自由基,其结构中存在单电子,在乙醇溶液中呈深紫色,在波长 517 nm 处有特征吸收峰;当加入抗氧化剂后使 DPPH·的特征紫色变成黄色,通过测定吸收减弱的程度来评价清除其自由基能力的强弱<sup>[14]</sup>。由图 3 可知,2 种提取方法得到的枸杞多糖对 DPPH·均有一定的清除能力。随着枸杞多糖浓度的增大,其 DPPH·清除率也随之提高,当

枸杞多糖浓度为 1.0 mg/mL 时,热水浸提法得到的枸杞多糖清除率为 58.9%,而微波-超声协同萃取法得到的枸杞多糖清除率达 89.2%,由此可见,协同萃取所得枸杞多糖清除 DPPH·的效果优于传统水提法所得枸杞多糖的清除效果。

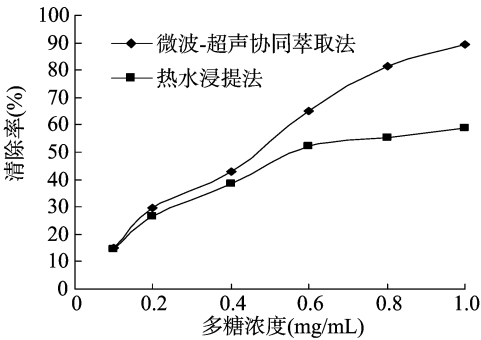


图3 枸杞多糖对 DPPH·的清除率

2.6.2 枸杞多糖对羟基自由基清除能力的测定 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 与 FeSO<sub>4</sub> 反应(Fenton 反应)会产生·OH,·OH 具有很强的氧化能力,通过攻击水杨酸分子中的苯环使其发生氧化反应,生成的有色物质在波长 510 nm 处的吸光度与·OH 的生成量成正比<sup>[15]</sup>。由图 4 可以得出,2 种提取方法提取的枸杞多糖对羟基自由基均有一定的清除能力。随着枸杞多糖浓度的增大,其羟基自由基清除率逐渐提高,当枸杞多糖浓度为 1.0 mg/mL 时,热水浸提法得到的枸杞多糖清除率为 60.1%,而微波-超声协同萃取法得到的枸杞多糖清除率为 77.3%。

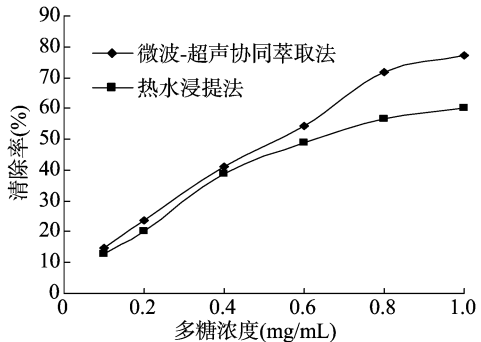


图4 枸杞多糖对羟基自由基的清除率

2.6.3 枸杞多糖对超氧阴离子自由基清除能力的测定 O<sub>2</sub><sup>-</sup>·在体内很容易产生,而抗氧化剂能清除 O<sub>2</sub><sup>-</sup>·,使邻苯三酚自氧化产物在波长 325 nm 处的吸收峰受到抑制,通过检测中间产物的生成量,可测定抗氧化剂对 O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的清除能力<sup>[16]</sup>。由图 5 可得,枸杞多糖对超氧阴离子自由基有较强的清除能力,随着枸杞多糖浓度的增加,对超氧阴离子自由基的清除作用增强,当枸杞多糖浓度为 1.0 mg/mL 时,热水浸提法得到的枸杞多糖清除率为 55.7%,而微波-超声协同萃取法得到的枸杞多糖清除率为 75.7%。

3 讨论与结论

经过热水浸提法提取枸杞多糖得到的最优提取工艺为料液比 1 g:40 mL,提取温度 80 ℃,提取时间 40 min,提取率为 6.71%;利用微波-超声协同萃取法提取枸杞多糖的最佳提取工艺为在超声波功率为 50 W 的条件下,料液比为 1 g:40 mL,提取温度为 70 ℃,提取时间为 20 min,微波功率

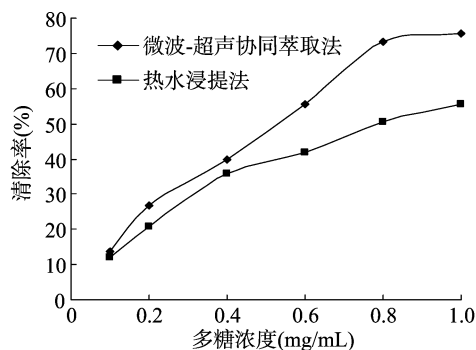


图5 枸杞多糖对超氧阴离子自由基的清除率

为 300 W,得到枸杞多糖的提取率为 9.62%。枸杞多糖的体外抗氧化活性研究表明,2 种方法得到的枸杞多糖对 DPPH·、·OH 和超氧阴离子自由基均具有一定的清除能力,且微波-超声协同萃取法的枸杞多糖清除能力强于热水浸提法,说明枸杞多糖有良好的抗氧化活性。由试验结果可知,微波-超声协同萃取法所得枸杞多糖提取率较热水浸提法明显提高。这是由于在一定微波功率的作用下,枸杞细胞破碎得更加充分,将更多的多糖从枸杞原料中溶出,且萃取产生的电磁波加速了分子的运动,也可以在较短时间内溶出较多枸杞多糖<sup>[17]</sup>;其次,利用超声波的空化效应、热效应和机械作用使枸杞子细胞壁及整个生物体的破裂在较短时间内即可完成,从而也能明显提高枸杞多糖的提取效率。因此,与热水浸提法相比,微波-超声协同萃取法能有效节省提取时间、降低能耗并最终起到有效提高枸杞多糖提取率的作用。但在试验过程中,微波功率不能过高,否则也会造成多糖的部分降解<sup>[18]</sup>。

目前,大量研究表明,人体内的衰老、慢性疾病及癌症均与自由基有密切关系,由于自由基参与的氧化反应损伤核酸、碳水化合物、脂类及蛋白质,从而对人体器官和免疫系统产生影响<sup>[19]</sup>。本试验中,通过 2 种方法得到的枸杞多糖对 3 种自由基均有一定清除作用,其中微波-超声萃取法的枸杞多糖清除能力明显强于热水浸提法所得多糖。由于多糖的生物活性与其一级结构及高级结构有密切关系<sup>[20]</sup>,且有研究显示,高分子质量的壳聚糖结构致密,从而能引起羟基和氨基活性的分子内氢键的作用变弱;而低分子质量的壳聚糖结构松散,对分子内氢键的影响就相对温和<sup>[21]</sup>。因此推测本试验中,微波-超声处理使枸杞多糖分子量发生改变,将高分子质量的多糖变为分子质量低一些的大小适宜的碎片,使其对氢键的影响减小,从而表现出更显著的抗氧化活性;或在处理过程中枸杞多糖的结构发生部分改变,从而使得与活性作用有关的位点暴露出来,同样也提高了其抗氧化活性,这为枸杞多糖的深加工和进一步的开发提供了参考;同时微波-超声协同萃取可以有效提高枸杞多糖的生物活性作用,更有助于多糖生物活性的研究,因此具有开发和利用价值,并且其体内抗氧化活性机制以及多糖的构效关系仍是今后研究的重点。

#### 参考文献:

[1] 李国梁,索有瑞,史俊友,等. 柴达木枸杞多糖单糖组成的柱前衍

生方法及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业,2009,35(12): 39-42.

- [2] Zhu C P, Zhang S H, Xiao J X. Morphological study on hela cells apoptosis induced by lyciumbarbarum polysaccharides[J]. Food Science,2010,31(19):329-334.
- [3] 朱彩平,张声华. 枸杞多糖对 H<sub>22</sub>肝癌小鼠的抑癌作用[J]. 中国公共卫生,2006,22(6):717-718.
- [4] 田晓静,景冰玉,王彩霞,等. 枸杞多糖提取方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2017,8(2):439-445.
- [5] 邱志敏,芮汉明. 微波辅助提取枸杞多糖的工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技,2012,33(7):220-223.
- [6] 史高峰,李娜,陈学福,等. 微波辅助提取枸杞中总多糖的工艺研究[J]. 中成药,2011,33(3):521-524.
- [7] 陈亮,张炜,陈元涛,等. 响应曲面法优化黑果枸杞多糖的超声提取工艺[J]. 食品科技,2015,40(1):220-227.
- [8] 汪焕林,曹长年,汪世昊,等. 超声波辅助提取枸杞多糖工艺优化[J]. 湖北农业科学,2013,52(16):3933-3935.
- [9] Cheng X L, Wan J Y, Li P, et al. Ultrasonic/microwave assisted extraction and diagnostic ion filtering strategy byliquid chromatography-quadrupole time of flight massspectrometry for rapid characterization of flavonoids in *Spatholobus suberectus*[J]. Journal of Chromatography A,2011,1218(34):5774-5786.
- [10] Chen Y, Gu X, Huang S Q, et al. Optimization of ultrasonic/microwave assisted extraction (UMAE) of polysaccharides from *Inonotus obliquus* and evaluation of its anti-tumor activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010,46(4): 429-435.
- [11] 黄建华,范文秀. 白灵菇多糖的提取及含量的测定[J]. 光谱实验室,2005,22(5):1014-1016.
- [12] 杨申明,王振吉,陈文,等. 藤三七多糖超声波辅助提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发,2017,38(11):32-38.
- [13] 李超柱,黄盛佳,陈艳辉,等. 微波强化超声热水法提取南瓜多糖的工艺研究[J]. 食品工业,2013,34(11):1-5.
- [14] 周萍,安东,王朝川,等. 食用菌复合多糖的抗氧化活性研究[J]. 中国食用菌,2011,30(6):42-44.
- [15] 陈莉华,廖微,肖斌,等. 玄参多糖体外清除自由基和抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(7):86-89.
- [16] Xiong S L, Li A, Huang N, et al. Antioxidant and immunoregulatory activity of different polysaccharide fractions from tuber of *Ophiopogon japonicus*[J]. Carbohydrate Polymers,2011,86(3):1273-1280.
- [17] 庞亚茹,朱凤涛,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.
- [18] 梁梓,张维敏,王容,等. 微波辅助法对金针菇水溶性多糖提取工艺的研究[J]. 北方园艺,2010(5):178-180.
- [19] 邱志敏,芮汉明. 微波辅助提取枸杞多糖的工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技,2012,33(7):220-223.
- [20] 张倩,张民,王超,等. 枸杞多糖的分离纯化及结构研究[J]. 食品与发酵工业,2014,40(12):41-47.
- [21] Xing R, Liu S, Guo Z, et al. Relevance of molecular weight of chitosan and its derivatives and their antioxidant activities *in vitro* [J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry, 2005,13(5):1573-1577.