

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.01.013

文章编号:2095-6002(2020)01-0097-07

引用格式:米佳,杨雪莲,禄璐,等.枸杞蜂花粉多糖超声波提取工艺优化及抗氧化活性分析[J].食品科学技术学报,2020,38(1):97-103.



MI Jia, YANG Xuelian, LU Lu, et al. Ultrasound-assisted extraction optimization and analysis of antioxidant activities of polysaccharides from bee pollen of wolfberry[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020,38(1):97-103.

枸杞蜂花粉多糖超声波提取工艺优化及抗氧化活性分析

米佳¹, 杨雪莲², 禄璐¹, 罗青¹, 张志娟¹, 李晓莺¹,
闫亚美^{1,*}, 曹有龙¹

(1. 宁夏农林科学院 枸杞工程技术研究所, 宁夏 银川 750002;

2. 北方民族大学 生命学院, 宁夏 银川 750004)

摘要:为确定枸杞蜂花粉多糖的最佳提取工艺,采用 Box-Behnken 试验设计,以提取得率为考察指标,优化超声辅助提取枸杞蜂花粉多糖的工艺,并研究了优化提取工艺条件下多糖的体外抗氧化活性。实验结果表明,超声辅助提取枸杞蜂花粉多糖的优化工艺为:料液比(g/mL)1:25、提取温度 90℃、超声功率 240 W、超声时间 20 min,多糖的得率为 0.89%~0.91%,与预测值结果相符,表明模型拟合良好、优化工艺可行。体外抗氧化活性实验表明,枸杞蜂花粉多糖有较好的 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基清除能力,但 FRAP 值较低。研究结果可为枸杞蜂花粉多糖的开发利用提供一定依据。

关键词:枸杞蜂花粉;多糖;超声波辅助提取;响应面设计;抗氧化

中图分类号:TS201;TS245

文献标志码:A

蜂花粉是由蜜蜂采集植物花粉,加入一些花蜜和唾液发酵而成的花粉团^[1]。蜂花粉是最完美的全营养食品之一,富含蛋白质,包含了人体所需的全部必需氨基酸,此外还有碳水化合物、脂质、糖类、纤维素、维生素和矿物质^[2]。现代研究表明,蜂花粉具有抗氧化^[3]、抗菌^[4]、增强免疫^[5]、抗过敏^[6]等多种功效。枸杞蜂花粉中可溶性糖质量分数为 44.8%,蛋白质质量分数为 25.0%,每克枸杞蜂花粉中含有总多酚 22.95 mg 没食子酸当量,总黄酮 21.17 mg 芦丁当量^[7],氨基酸总质量分数为 21.62%~22.08%^[8]。已报道枸杞蜂花粉醇提物有一定抑制前列腺增生的作用^[9],枸杞蜂花粉多糖能够显著促进短链脂肪酸的产生并调节肠道菌群^[10],能够很好地抑制前列腺癌 DU145 细胞的增殖^[11],

但关于枸杞蜂花粉多糖的提取工艺报道极少。

枸杞蜂花粉的多糖具有潜在的生物活性,为了进一步研究枸杞蜂花粉多糖,选择高效的提取方法尤为重要,但相关研究报道鲜见。花粉多糖一般采用热水提取、乙醇沉淀的方法获得^[12-14],本文采用传统的水提醇沉法优化枸杞蜂花粉多糖的超声波辅助提取工艺,并考察其抗氧化活性,为枸杞蜂花粉多糖的功效研究和产品开发提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枸杞蜂花粉,收集于宁夏银川市园林场枸杞基地;葡萄糖(GC>99.5%)、ABTS(HPLC≥98%)、

收稿日期:2019-03-27

基金项目:宁夏农林科学院先导资金资助项目(NKYJ-18-22;NKYG-19-06);宁夏回族自治区全产业链项目(QCYL-2018-05)。

第一作者:米佳,女,助理研究员,主要从事枸杞加工与贮藏方面的研究。

*通信作者:闫亚美,女,副研究员,博士,主要从事枸杞加工与贮藏方面的研究。

TPTZ (HPLC ≥98%), 美国 Sigma-Aldrich 公司; DP-PH (HPLC ≥98%), 东京化成工业株式会社; 维生素 C (纯度 >99%), 北京索莱宝科技有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

BS 224 S 型分析天平, 德国赛多利斯公司; TU1810 型紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; Centrifuge 5810R 型冷冻型台式大容量高速离心机, 德国艾本德公司; 全数字超声波发生器, 武汉嘉鹏电子有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 枸杞蜂花粉多糖的提取

称取一定量的枸杞蜂花粉粉碎, 用 80% 乙醇除去色素, 抽滤至干后加入一定体积的蒸馏水超声提取, 离心取上清液, 加入 4 倍体积无水乙醇醇沉过夜, 离心 (4 000 r/min, 10 min) 后取沉淀即为粗多糖^[15]。

1.3.2 多糖含量的测定

以不同浓度的葡萄糖做标准曲线进行分析测定^[16]。标准曲线方程为: $y = 1.174\ 6x - 0.000\ 3$ ($R^2 = 0.999\ 3$, 线性范围 0 ~ 0.7 mg/mL)。同法测定枸杞蜂花粉粗多糖的含量, 按标准曲线计算浓度, 见式(1)。

多糖得率 = $(c \times f \times V) / m \times 100\%$, (1)
式(1)中, c 为测定样液的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; f 为稀释倍数; V 为提取体积, mL; m 为枸杞蜂花粉质量, mg。

1.3.3 单因素实验

取一定量的花粉, 除去色素后按下列条件进行单因素实验: 在温度 70 ℃、超声功率 300 W 条件下, 分别以料液比 (g/mL) 1: 15、1: 20、1: 25、1: 30、1: 35 提取 30 min; 以料液比 (g/mL) 1: 25, 固定超声功率 300 W, 分别在 50、60、70、80、90 ℃ 温度条件下提取 30 min; 以料液比 (g/mL) 1: 25, 固定提取温度 70 ℃, 分别在 180、240、300、360、420 W 的超声功率条件下提取 30 min; 以料液比 (g/mL) 1: 25, 在超声功率 300 W、提取温度 70 ℃ 条件下, 分别提取 10、20、30、40、50 min。每组实验均平行 3 次, 考察单因素对枸杞蜂花粉多糖提取得率的影响。

1.3.4 响应面试验设计

在单因素实验的基础上, 选择料液比、提取时间、提取温度、超声功率为自变量, 以得率为响应值, 根据 Box-Behnken 设计原理, 采用四因素三水平响

应面分析法进行试验设计, 优化超声提取枸杞蜂花粉多糖的提取工艺, 因素与水平设计见表 1。

表 1 响应面试验设计因素与水平
Tab. 1 Factors and levels used in response surface methodology

水平	因素			
	A 料液比/(g·mL ⁻¹)	B 温度/℃	C 超声功率/W	D 时间/min
-1	20	85	180	15
0	25	90	240	20
1	30	95	300	25

1.3.5 体外抗氧化活性测定

1.3.5.1 ABTS⁺ 自由基清除能力测定

参考文献[17]方法, 以不同浓度的维生素 C 对 ABTS⁺ 自由基清除率做标准曲线, 结果表示为每克干物质的维生素 C 当量 ($\mu\text{mol}/\text{mg}$), 见式(2)。

ABTS^+ 自由基清除率 = $1 - A_1/A_0 \times 100\%$, (2)
式(2)中, A_0 是对照的吸光度值 (即以水代替样品), A_1 是样品的吸光度值。

1.3.5.2 DPPH 自由基清除能力测定

参考文献[18]方法, 以维生素 C 溶液清除 DPPH 自由基清除率作标准曲线, 结果表示为每克干物质的自由基当量 ($\mu\text{mol}/\text{mg}$), 见式(3)。

DPPH 自由基清除率 =
 $(A_{\text{加样前}} - A_{\text{加样后}}) / A_{\text{加样前}} \times 100\%$ 。 (3)

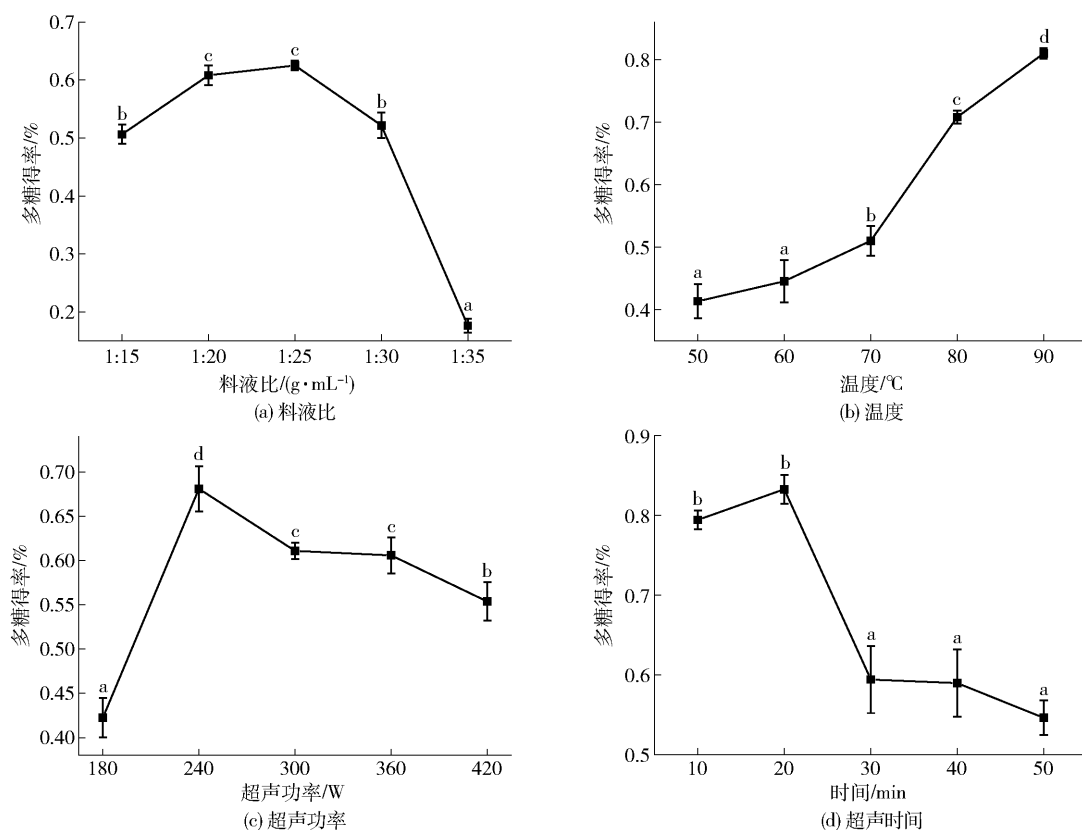
1.3.5.3 FRAP 值的确定

参考文献[19]方法, 以维生素 C 溶液作标准曲线, 结果表示为每克干物质的维生素 C 当量 ($\mu\text{mol}/\text{mg}$)。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

单因素对枸杞花粉多糖得率的影响如图 1。单因素实验结果表明, 随着料液比的增加, 枸杞蜂花粉多糖得率呈明显的上升趋势, 当料液比达到 1: 25 时, 多糖得率最高, 但继续提高料液比使多糖的得率下降 (图 1(a))。当温度在 50 ~ 60 ℃ 时, 枸杞蜂花粉多糖的得率增长不显著, 继续升高提取温度至 90 ℃ 时, 多糖得率不断提高, 且差异显著 (图 1(b))。超声功率为 180 W 时的多糖得率最低, 240 W 时多糖得率最高, 且与其他功率条件下的多糖得率差异显著, 但继续增大超声波的功率使得多糖得率降低 (图 1(c))。在 10 ~ 20 min 的提取时



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 单因素实验结果

Fig. 1 Results of single factor experiments

间范围内,多糖得率呈上升趋势,在 20 min 时达到最大,但差异不显著,再延长超声提取时间则使多糖得率迅速下降(图 1(d))。这是因为增大溶剂用量能使植物细胞和外部溶剂之间产生更大的浓度差,有利于多糖的迅速扩散和溶出,但较高的溶剂用量会导致原料的物质分子间相互作用减弱^[20]。高温能够提高传质速度且增加多糖的溶解度,同时对花粉细胞壁起到一定的破坏作用,利于多糖的浸出^[21]。超声波功率的增加能够加快提取液的振动,对细胞壁的破坏力加大,有利于有效成分的浸出,提高了多糖得率;但超声功率过大或者超声时间过长会造成多糖的结构或性质的改变,如降解为单糖等物质,降低了多糖得率^[12]。因此选择料液比 (g/mL) 1:20 至 1:30,提取温度 85~95℃,超声功率 180~300 W,提取时间 10~30 min,进行响应面试验。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 Box-Behnken 试验设计及结果

根据单因素实验结果,选取料液比、提取温度、超声功率和提取时间进行四因素三水平的 Box-

Behnken 试验设计,结果如表 2。

2.2.2 回归模型有效性及显著性分析

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 响应面方案及结果进行回归拟合分析,对回归模型进行方差分析,并检验回归方程系数的显著性,结果如表 3。

分析建立的四因子数学回归模型见式(4)。

$$Y = 0.89 - 0.0025A + 0.023B + 0.023C - 0.0075D - 0.0075AB - 0.005AC - 0.01AD - 0.005BC + 0.01BD + 0.0075CD - 0.062A^2 - 0.057B^2 - 0.097C^2 - 0.072D^2. \quad (4)$$

由表 3 可看出,整体模型极显著 ($P < 0.0001$),失拟项不显著 ($P > 0.1$),模型的决定系数 R^2 为 0.9929,校正后决定系数 R_{Adj}^2 值为 0.9857,说明选用的模型与实际情况拟合较好,能较好反映出各因素与枸杞蜂花粉多糖得率之间关系。 A 、 AB 、 AC 、 BC 、 CD 都不显著 ($P > 0.05$),将这 5 项从回归模型中删除,最终回归模型见式(15)。

$$Y = 0.89 + 0.023B + 0.023C - 0.0075D - 0.01AD - 0.01BD - 0.062A^2 - 0.057B^2 - 0.097C^2 - 0.072D^2. \quad (5)$$

表 2 Box-Behnken 试验设计及结果

Tab. 2 Box-Behnken design and experimental results

试验编号	A 料液比	B 提取温度	C 超声功率	D 提取时间	Y 多糖得率
1	-1	0	0	1	0.76
2	0	0	-1	-1	0.71
3	0	-1	1	0	0.74
4	0	0	1	-1	0.74
5	1	0	0	1	0.73
6	1	0	0	-1	0.77
7	0	0	-1	1	0.69
8	-1	0	0	-1	0.76
9	0	0	0	0	0.90
10	0	0	0	0	0.89
11	-1	1	0	0	0.80
12	0	1	-1	0	0.74
13	1	0	1	0	0.75
14	-1	0	1	0	0.77
15	0	-1	0	1	0.72
16	-1	0	-1	0	0.71
17	0	0	0	0	0.90
18	0	1	0	-1	0.79
19	0	1	0	1	0.79
20	0	-1	0	-1	0.76
21	0	-1	-1	0	0.69
22	0	0	0	0	0.89
23	1	0	-1	0	0.71
24	0	1	1	0	0.77
25	0	0	1	1	0.75
26	1	-1	0	0	0.76
27	1	1	0	0	0.79
28	0	-1	0	0	0.74
29	-1	0	0	0	0.88

表 3 Box-Behnken 试验结果方差分析

Tab. 3 Analysis of variance for Box-Behnken experiment

差异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.11	14	7.74×10^{-3}	138.91	<0.000 1	**
A(料液比)	7.50×10^{-5}	1	7.50×10^{-5}	1.35	0.265 4	
B(温度)	6.08×10^{-3}	1	6.08×10^{-3}	109.04	<0.000 1	**
C(功率)	6.08×10^{-3}	1	6.08×10^{-3}	109.04	<0.000 1	**
D(时间)	6.75×10^{-4}	1	6.75×10^{-4}	12.12	0.003 7	*
AB	2.25×10^{-4}	1	2.25×10^{-4}	4.04	0.064 2	
AC	1.00×10^{-4}	1	1.00×10^{-4}	1.79	0.201 7	
AD	4.00×10^{-4}	1	4.00×10^{-4}	7.18	0.018	*
BC	1.00×10^{-4}	1	1.00×10^{-4}	1.79	0.201 7	
BD	4.00×10^{-4}	1	4.00×10^{-4}	7.18	0.018	*
CD	2.25×10^{-4}	1	2.25×10^{-4}	4.04	0.064 2	
A ²	0.025	1	0.025	451.15	<0.000 1	**
B ²	0.021	1	0.021	381.59	<0.000 1	**
C ²	0.061	1	0.061	1 101.09	<0.000 1	**
D ²	0.034	1	0.034	607.74	<0.000 1	**
残差	7.80×10^{-4}	14	5.57×10^{-5}			
失拟项	5.00×10^{-4}	10	5.00×10^{-5}	0.71	0.697 5	不显著
误差	2.80×10^{-4}	4	7.00×10^{-5}			
总和	0.11	28				
R ² = 0.992 9	R _{adj} = 0.985 7					

**表示差异极显著($P < 0.01$); *表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2.3 响应面分析

各因素交互作用对枸杞蜂花粉多糖得率的影响响应曲面分析结果见图2。其中等高线的形状可直

观地反映出交互效应的强弱,圆形表示2个因素间交互作用不显著,椭圆形表示2个因素间交互作用显著^[22]。

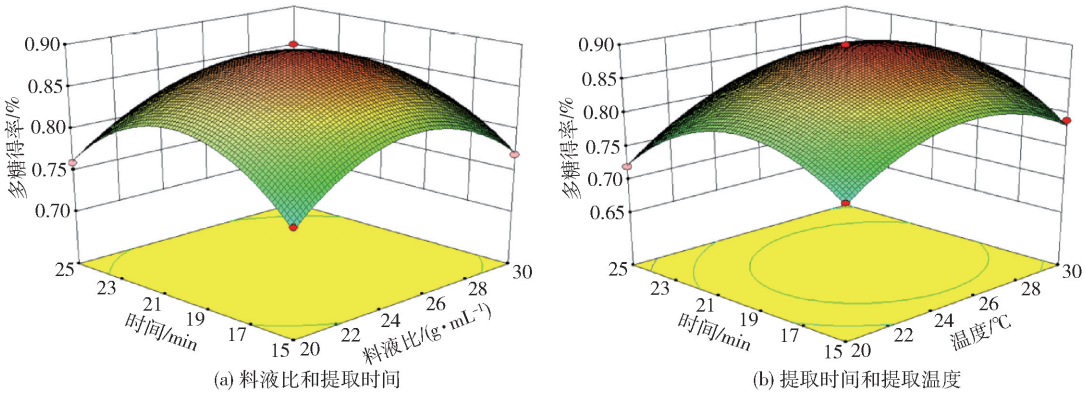


图2 各因素交互作用对枸杞蜂花粉多糖得率影响的响应面图

Fig.2 Response surface diagrams of interactive factors on yield of polysaccharides extracted from wolfberry bee pollen

由表3可知,料液比和超声时间、超声温度和超声时间的交互作用能显著影响枸杞蜂花粉多糖的得率($P<0.05$)。由图2(a)响应面分析结果可知,当提取温度为90℃,提取功率为240W时,随着料液比和提取时间水平的上升,多糖得率成缓慢上升趋势,在料液比(g/mL)1:24至1:26、提取时间19~21min内,多糖的提取得率最高。如图2(b),当料液比为(g/mL)1:25,提取功率为240W时,随着提取温度和提取时间的上升,多糖提取得率迅速提高,当提取温度为89~91℃,提取时间为19~21min,多糖的得率最高。随后,随着提取温度和提取时间的降低,多糖得率呈现下降趋势。

2.2.4 验证实验结果

通过回归模型的分析,枸杞蜂花粉多糖的优化提取工艺条件为料液比为(g/mL)1:24.83、提取温度为90.96℃、超声功率为246.65W、提取时间为19.85min时,枸杞蜂花粉多糖得率最高,达0.90%。考虑到实际操作方便,将工艺条件修正为料液比(g/mL)1:25、超声功率240W、提取温度90℃、提取时间20min。在此条件下,枸杞蜂花粉多糖得率为0.89%~0.91%,实际值与理论值基本相符,说明该工艺条件稳定可靠,具有可行性。

2.3 枸杞蜂花粉多糖的体外抗氧化活性分析

ABTS⁺自由基能够被抗氧化剂提供的电子或氢原子灭活,使溶液发生颜色变化,再通过该变化

检测抗氧化物质的抗氧化活性^[23]。维生素C浓度为50~300μmol/L时与ABTS⁺自由基清除能力呈线性相关,线性方程为 $y=0.0447x+0.438$ ($R^2=0.9937$)。计算得到枸杞蜂花粉多糖的ABTS⁺自由基清除力为 (0.190 ± 0.020) μmol/mg。DPPH自由基是一种较为稳定的自由基,广泛应用于抗氧化成分的抗氧化活性评价^[24]。浓度为25~250μmol/L的维生素C与DPPH自由基清除力呈线性相关,线性方程为: $y=0.1289x-0.9605$ ($R^2=0.9950$)。计算得到枸杞蜂花粉多糖的DPPH自由基清除力为 (0.44 ± 0.09) μmol/mg。FRAP值反映了抗氧化剂还原能力的大小^[25]。浓度为25~300μmol/L的维生素C与FRAP值呈线性相关,线性方程为 $y=0.0004x+0.0366$ ($R^2=0.9989$)。计算得到枸杞蜂花粉多糖的FRAP值为 (0.07 ± 0.00) μmol/mg。枸杞蜂花粉多糖具有较好的清除ABTS⁺自由基和DPPH自由基的能力,但FRAP值较低。

3 结论

研究优化了超声辅助提取枸杞花粉多糖的工艺,当提取条件为料液比(g/mL)1:25、提取温度90℃、超声功率240W、超声时间20min时,枸杞花粉多糖的得率达到0.89%~0.91%;并研究了枸杞花粉多糖体外抗氧化活性,其对于ABTS⁺自由基清除力、DPPH自由基清除力和FRAP值分别为0.19、0.44、0.07μmol/mg,表明其具有较好的DPPH自由

基和 ABTS⁺ 自由基清除能力,但 FRAP 值较低。

参考文献:

- [1] 刘建涛, 赵利, 苏伟, 等. 蜂花粉生物活性物质的研究进展[J]. 食品科学, 2006(12): 909–912.
LIU J T, ZHAO L, SU W, et al. Research advance of bioactive constituents in honeybee pollen[J]. Food Science, 2006(12): 909–912.
- [2] DENISOW B, DENISOWPIETRZYK M. Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 96(13): 4303–4309.
- [3] ALMEIDA J D F, REIS A S D, HELDT L F S, et al. Lyophilized bee pollen extract: a natural antioxidant source to prevent lipid oxidation in refrigerated sausages[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016(299): 299–305.
- [4] BORYCKA K, GRABEKLEJKO D, KASPRZYK I. Antioxidant and antibacterial properties of commercial bee pollen products[J]. Journal of Apicultural Research, 2016(5): 491–502.
- [5] YUE G, LI X, SUN M M, et al. Immunomodulatory effects of sulfated polysaccharides of pine pollen on mouse macrophages[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 846–855.
- [6] MEDEIROS K C, FIGUEIREDO C A, FIGUEREDO T B, et al. Anti-allergic effect of bee pollen phenolic extract and myricetin in ovalbumin-sensitized mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 119(1): 41–46.
- [7] 周望庭, 米佳, 禄璐, 等. 枸杞蜂花粉主要化学成分与抗氧化作用[J]. 食品科学, 2018(4): 219–224.
ZHOU W T, MI J, LU L, et al. Chemical composition and antioxidant activity of bee collected pollen from Chinese wolfberry[J]. Food Science, 2018(4): 219–224.
- [8] 杨春霞. 柱后衍生高效阳离子交换色谱法测定宁夏枸杞及枸杞花粉中氨基酸含量[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 239–242.
YANG C X. Simultaneous determination of amino acids in Chinese wolfberry fruit and pollen by high performance cation exchange chromatography with post-column derivatization[J]. Food Science, 2011, 32(18): 239–242.
- [9] 楚元奎, 杨丽, 冉林武, 等. 枸杞蜂花粉提取物对 SD 大鼠前列腺增生的影响[J]. 宁夏医科大学学报, 2014, 36(6): 597–599.
CHU Y K, YANG L, RAN L W, et al. Effects of extraction from bee pollen of wolfberry on hyperplasia of prostate in SD rats[J]. Journal of Ningxia Medical College, 2014, 36(6): 597–599.
- [10] ZHOU W T, YAN Y M, MI J, et al. Simulated digestion and fermentation *in vitro* by human gut microbiota of polysaccharides from bee collected pollen of Chinese wolfberry[J]. J Agric Food Chem, 2018, 66(4): 898–907.
- [11] CHEN F, RAN L W, MI J, et al. Isolation, characterization and antitumor effect on DU145 cells of a main polysaccharide in pollen of Chinese wolfberry[J]. Molecules, 2018, 23:243.
- [12] 杜晓平, 郑明珠, 刘景圣. 超声波破壁提取松花粉多糖的工艺研究[J]. 食品科学, 2007(9): 308–311.
DU X P, ZHENG M Z, LIU J S. Research on extraction of pine pollen polysaccharides by ultrasonic dilapidating walls[J]. Food Science, 2007(9): 308–311.
- [13] 刘洁, 缪晓青. 响应面分析法优化莲花蜂花粉多糖提取工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 101–105.
LIU J, MIAO X Q. Optimization of polysaccharides extraction from lotus bee pollen by response surface methodology[J]. Food Science, 2010, 31(14): 101–105.
- [14] LI S S, YANG G, YAN J M, et al. Polysaccharide structure and immunological relationships of RG-I pectin from the bee pollen of *Nelumbo nucifera*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111: 660–666.
- [15] 袁桂香, 罗小菊, 刘映良. 马尾松松花粉多糖提取工艺[J]. 林业工程学报, 2016(4): 80–84.
YUAN G X, LUO X J, LIU Y L. Extraction process of masson pine pollen polysaccharides[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016(4): 80–84.
- [16] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Anal Chem, 1956, 28: 350–356.
- [17] ROBERTA R, NICOLETTA P, ANNA P, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay[J]. Free Radic Biol Med, 1999, 26(9/10): 1231–1237.
- [18] BRAND W W, CUVELIER M E, BERSSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. Lwt Food Sci Technol, 1995, 28(1): 25–30.
- [19] BENZIE I F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of ‘antioxidant power’: the FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70–76.
- [20] TAO Y, SUN D W. Enhancement of food processes by

- ultrasound; a review[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2015, 55(4):570–594.
- [21] CUI F J, QIAN L S, SUN W J, et al. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from volvariella volva-
cea: process optimization and structural characterization [J]. Molecules, 2018, 23(7):1706.
- [22] GUNST R. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments [J]. Technometrics, 1996, 38(3):3.
- [23] JEDDOU K B, CHAARI F, MAKTOUF S, et al. Structural, functional, and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from potatoes peels [J]. Food Chemistry, 2016, 205: 97–105.
- [24] THAIPONG K, BOONPRAKOB U, CROSBY K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(6/7):669–675.
- [25] CHEN R Z, JIN C G, TONG Z G, et al. Optimization extraction, characterization and antioxidant activities of pectic polysaccharide from tangerine peels[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 136: 187–197.

Ultrasound-Assisted Extraction Optimization and Analysis of Antioxidant Activities of Polysaccharides from Bee Pollen of Wolfberry

MI Jia¹, YANG Xuelian², LU Lu¹, LUO Qing¹, ZHANG Zhijuan¹,
LI Xiaoying¹, YAN Yamei^{1,*}, CAO Youlong¹

(1. Institute of Wolfberry Engineering Technology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;

2. College of Bionomy, Northern Nationality University, Yinchuan 750004, China)

Abstract: The ultrasound-assisted extraction process of polysaccharides from the bee pollen of wolfberry was optimized by response surface methodology based on Box-Behnken design with the extraction rate as the observation indexes. The antioxidant activity of polysaccharides extracted by the optimal process was studied *in vitro*. The optimal extraction conditions were obtained as follows: solid-liquid ratio 1:25 (g/mL), temperature 90 °C, ultrasonic power 240 W, and ultrasonic time 20 min. Under these conditions, the yield of polysaccharides was 0.89%–0.91%, which was insistent with the predicted value, and it indicated that the model was good and the optimization process was feasible. The results of antioxidant activity *in vitro* were showed that the polysaccharide extracted from bee pollen of wolfberry had good DPPH radicals and ABTS⁺· scavenging activities, however, the FRAP value was low. The results provided a basis for the research, development, and utilization of polysaccharide extracted from bee pollen of wolfberry.

Keywords: bee pollen of wolfberry; polysaccharide; ultrasound-assisted extraction; response surface methodology; antioxidant activities

(责任编辑:檀彩莲)