

# 枸杞蜂花粉主要化学成分与抗氧化作用

周望庭<sup>1</sup>, 米佳<sup>2</sup>, 禄璐<sup>2</sup>, 罗青<sup>2</sup>, 闫亚美<sup>1,2,\*</sup>, 曹有龙<sup>2,\*</sup>, 曾晓雄<sup>1</sup>

(1.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2.国家枸杞工程技术研究中心, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**以枸杞蜂花粉为原料, 对其可溶性总糖、游离单糖与双糖、蛋白质、游离氨基酸、总多酚、总黄酮、矿物元素含量进行了分析, 并以1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除率、超氧阴离子自由基清除率、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基清除率、金属离子螯合率为指标对枸杞蜂花粉的抗氧化作用进行了评价。结果表明, 枸杞蜂花粉中可溶性糖质量分数为44.8%, 果糖、葡萄糖和蔗糖质量分数分别为18.4%、15.2%和3.7%, 蛋白质质量分数为25.0%, 总多酚和总黄酮含量分别为22.95 mg/g (以没食子酸当量计)和21.17 mg/g (以芦丁当量计); 枸杞蜂花粉具有显著的抗氧化作用, 抗氧化效果顺序为水提醇沉上清物>水提物>粗多糖。

**关键词:**枸杞蜂花粉; 化学成分; 抗氧化

## Chemical Composition and Antioxidant Activity of Chinese Wolfberry Bee Pollen

ZHOU Wangting<sup>1</sup>, MI Jia<sup>2</sup>, LU Lu<sup>2</sup>, LUO Qing<sup>2</sup>, YAN Yamei<sup>1,2,\*</sup>, CAO Youlong<sup>2,\*</sup>, ZENG Xiaoxiong<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. National Wolfberry Engineering Research Center, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** In the present study, the main chemical components of Chinese wolfberry bee pollen including total soluble sugar, free mono- and disaccharides, proteins, free amino acids, total polyphenols, total flavonoids and minerals were analyzed. In addition, the antioxidant activity was evaluated by using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging, superoxide anion radical scavenging, 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate) cation (ABTS<sup>+</sup>) radical scavenging and metal iron chelating assays. The results showed that the content of total soluble sugars was 44.8%, the contents of fructose, glucose and sucrose were 18.4%, 15.2% and 3.7%, respectively, protein content was 25.0%, and the contents of total polyphenols and total flavonoids were 22.95 mg gallic acid equivalent/g and 21.17 mg rutin equivalent/g, respectively. Chinese wolfberry bee pollen exhibited significant antioxidant activity. Moreover, the antioxidant activity of different extracts from Chinese wolfberry bee pollen was in the decreasing order of supernatant from ethanol precipitation of water extract > water extract > crude polysaccharides.

**Keywords:** Chinese wolfberry bee pollen; chemical composition; antioxidant activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804033

中图分类号: S896.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 04-0219-06

引文格式:

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, 39(4): 219-224. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804033. <http://www.spkx.net.cn>

ZHOU Wangting, MI Jia, LU Lu, et al. Chemical composition and antioxidant activity of Chinese wolfberry bee pollen[J]. Food Science, 2018, 39(4): 219-224. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804033. <http://www.spkx.net.cn>

蜂花粉是蜜蜂从植物中采集的花粉粒并注入花蜜和唾液而形成的颗粒团状物<sup>[1]</sup>, 含有丰富的营养物质, 被称为天然的“微型营养库”<sup>[2]</sup>。早在《神农本草经》、《本草纲目》就有有关蜂花粉的食用记载, 服用“蒲黄”、

“松黄”(即蜂花粉), 具有延年益寿、增强体质等功效<sup>[3]</sup>。研究表明, 蜂花粉具有抗菌、抗氧化、抗肿瘤、提高免疫力等生物活性<sup>[4-7]</sup>。

枸杞是一种药食同源的植物, 其根、茎、叶、果

收稿日期: 2017-03-24

基金项目: 宁夏农林科学院对外合作项目(JLC201601); 宁夏农林科学院先导项目(NKYG-13-08; NKYJ-14-26; NKYZ-16-0505);

江苏高校优势学科建设工程资助项目

第一作者简介: 周望庭(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品生物技术。E-mail: 2015108071@njau.edu.cn

\*通信作者简介: 闫亚美(1982—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为枸杞加工与贮藏。E-mail: yanyamei@163.com

曹有龙(1963—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为枸杞植物学。E-mail: youlongck@163.com

实均可入药,具有较高的药用价值和营养价值<sup>[8]</sup>。我国西北部地区盛产枸杞,其中以宁夏地区出产的枸杞最为著名。我国也是世界上的养蜂大国,每年采集的蜂花粉产量大,闫亚美等<sup>[9]</sup>报道我国每年潜在的枸杞蜂花粉量可超过12万 t,其中宁夏每年可生产约5万 t的枸杞蜂花粉。由于蜂花粉具有优良的营养特性且资源丰富,具有潜在的开发与利用价值。目前关于枸杞蜂花粉的研究主要集中在多酚和黄酮方面,冉林武等<sup>[10]</sup>用超声波法提取并测定了枸杞蜂花粉中黄酮的含量,结果表明枸杞蜂花粉中总黄酮质量分数为3.03%;李红兵等<sup>[11]</sup>对枸杞蜂花粉等6种蜂花粉总酚含量进行了比较研究,发现油菜花粉中总酚含量最高,枸杞蜂花粉中含量次之;唐琳等<sup>[12]</sup>对21种蜂花粉水提物的抗氧化效果进行了评价,发现枸杞蜂花粉水提物对羟自由基具有较强的清除作用;楚元奎等<sup>[13]</sup>研究了枸杞蜂花粉水提物、醇提物对丙酸睾酮复制的大鼠前列腺增生的抑制作用,结果表明枸杞蜂花粉水提物具有一定的抑制前列腺增生作用。而目前关于枸杞蜂花粉中其他成分的种类及含量少见报道,因此本研究采用分光光度法、高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法、电感耦合等离子体发射光谱(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)法对枸杞蜂花粉中的主要化学成分进行了分析,同时利用体外抗氧化方法对枸杞蜂花粉的抗氧化效果进行了评价,旨在为枸杞蜂花粉的深加工与应用研究提供理论依据。

## 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、果糖、蔗糖标准品 美国Sigma公司;牛血清蛋白 北京Solarbio公司;16种氨基酸标准品、没食子酸、芦丁 国药集团化学试剂有限公司;12种矿物元素标准品溶液 国家有色金属及电子材料分析测试中心;甲醇、乙腈(色谱纯) 江苏汉邦科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

AY120万分之一天平、LC-20A HPLC仪(蒸发光散射检测器) 日本岛津公司;X0-650E超声波细胞破碎仪 南京先欧仪器制造有限公司;EYELA旋转蒸发仪 东京理化器械有限公司;LyoQuest冷冻干燥机 西班牙Telstar公司;V-1200型可见分光光度计 上海美普达仪器有限公司;1100 HPLC仪(二极管阵列检测器) 美国安捷伦公司;Kjeltec 2300全自动凯氏定氮仪 丹麦Foss公司;ETHOS ONE微波消解仪 意大利Milestone公司;Optima 2100DV ICP-AES 美国Perkin Elmer公司;酶标仪 美国BioTek公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 枸杞蜂花粉中可溶性总糖、游离单糖和双糖含量的测定

可溶性总糖含量的测定参照陈钧辉等<sup>[14]</sup>报道的蒽酮比色法。游离单糖和双糖含量的测定参照葛菁等<sup>[15]</sup>报道的HPLC法并作一定的改进。取0.1 g枸杞蜂花粉,加入10 mL 80%乙醇溶液,80℃提取1 h,离心取上清液并定容至25 mL;取1 mL样液过0.45 μm的滤膜,待用。HPLC检测条件:流动相:75%乙腈;流速:1 mL/min;色谱柱:Asahipak NH<sub>2</sub>P-50 4E氨基柱;蒸发光散射检测器;检测时间:15 min。

#### 1.3.2 枸杞蜂花粉中蛋白质、游离氨基酸含量的测定

蛋白质含量采用自动凯氏定氮仪进行测定,游离氨基酸含量的测定参照Wang Lin等<sup>[16]</sup>报道的OPA柱前衍生法进行。

#### 1.3.3 枸杞蜂花粉中总多酚、总黄酮含量的测定

总多酚、总黄酮含量的测定参照董捷等<sup>[17]</sup>报道的福林-酚法、亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠比色法进行。

#### 1.3.4 枸杞蜂花粉中矿物元素含量的测定

枸杞蜂花粉中矿物元素含量的测定参照赵立艳等<sup>[18]</sup>报道的方法并作适当的修改。ICP-AES仪器工作条件:入射功率:1.3 kW;雾化器流量:0.8 L/min;辅助气流量:0.2 L/min;冷却气流量:15 L/min;样品提升量:1.5 mL/min;观测方向:轴向;检测器:CCD检测器。

#### 1.3.5 枸杞蜂花粉的水提物、水提醇沉上清物及粗多糖的制备

枸杞蜂花粉水提物的制备:称取25 g枸杞蜂花粉,加入500 mL去离子水,85℃提取3 h,离心取上清液,提取2次;合并上清液,浓缩、冻干即得蜂花粉水提物(F1)。

枸杞蜂花粉水提醇沉上清物、粗多糖的制备:依上述方法得到上清液,浓缩,加入4倍体积无水乙醇,4℃放置过夜,离心并分离得到上清液和沉淀;上清液浓缩并冻干即得到水提醇沉上清物(F2),沉淀用去离子水复溶,透析、冻干即可得粗多糖(F3)。

#### 1.3.6 枸杞蜂花粉的抗氧化效果评价

参照Yuan Qingxia<sup>[19]</sup>、Xie Minhao<sup>[20]</sup>等报道的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除法、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基(2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt cation radical, ABTS<sup>+</sup>·)清除法、超氧阴离子自由基清除法、金属离子螯合能力法评价枸杞蜂花粉的抗氧化效果,其中将F1、F2、F3配制成质量浓度为0.125~4 mg/mL的溶液。

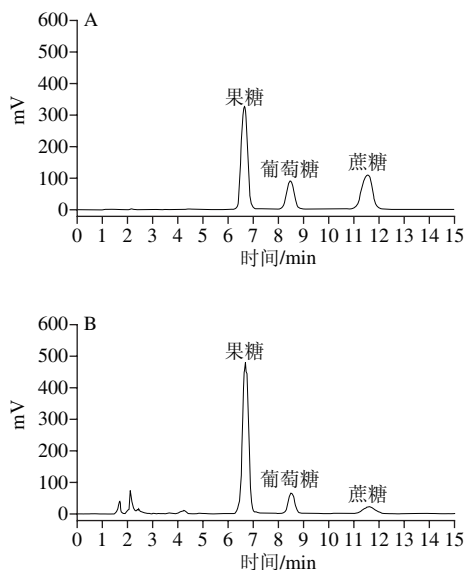
#### 1.4 数据统计

实验结果采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。利用SPSS 20.0对实验数据进行方差分析,  $P < 0.05$ 为差异显著。

## 2 结果与分析

#### 2.1 枸杞蜂花粉中可溶性总糖、游离单糖和双糖的含量

蜂花粉中可溶性总糖质量分数为44.8%, 这与荷花蜂花粉总糖质量分数(41.45%)<sup>[21]</sup>相近, 比糯米蜂花粉总糖质量分数(24.53%)<sup>[22]</sup>、黑松蜂花粉总糖质量分数(8.52%)<sup>[23]</sup>高, 表明枸杞蜂花粉含有很高的碳水化合物含量。



A.果糖、葡萄糖、蔗糖混标; B.枸杞蜂花粉样品。

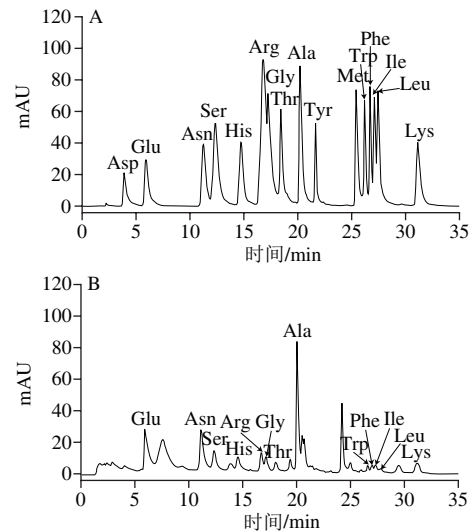
图1 枸杞蜂花粉中可溶性糖HPLC图

Fig. 1 HPLC chromatogram of soluble sugars in Chinese wolfberry bee pollen

从图1可以看出, 枸杞蜂花粉中含有果糖、葡萄糖、蔗糖3种游离糖, 其质量分数分别为18.4%、15.2%、3.7%, 其总和可达37.3%, 说明枸杞蜂花粉中的碳水化合物主要以可溶性的游离单糖与双糖的形式存在, 也从侧面反映出枸杞蜂花粉中还含有适量的多糖, 枸杞蜂花粉多糖可能是枸杞蜂花粉具有某些生物功能的基础。

#### 2.2 枸杞蜂花粉中蛋白质、游离氨基酸的含量

从表1可以看出, 枸杞蜂花粉蛋白质质量分数为25.0%。张金振等<sup>[24]</sup>测定了13种植物源蜂花粉蛋白质的含量, 结果显示茶花蜂花粉中蛋白质质量分数最高(29.0%), 荞麦蜂花粉中的蛋白质质量分数最低(14.3%), 而枸杞蜂花粉中蛋白质质量分数(25.0%)与茶树蜂花粉相近, 表明枸杞蜂花粉可作为一种丰富的蛋白质来源。



图中氨基酸缩写同表1。A. 16种氨基酸混标; B. 枸杞蜂花粉样品。

图2 枸杞蜂花粉中游离氨基酸HPLC图

Fig. 2 HPLC chromatograms of free amino acids in Chinese wolfberry bee pollen

表1 枸杞蜂花粉中蛋白质、游离氨基酸含量  
Table 1 Contents of proteins and free amino acids in Chinese wolfberry bee pollen

氨基酸种类	含量/(mg/g)	氨基酸种类	含量/(mg/g)
谷氨酸 (Glu)	0.609 ± 0.022	丙氨酸 (Ala)	0.532 ± 0.005
天冬酰胺 (Asn)	0.521 ± 0.012	色氨酸* (Trp)	0.047 ± 0.002
丝氨酸 (Ser)	0.137 ± 0.003	苯丙氨酸* (Phe)	0.042 ± 0.002
组氨酸 (His)	0.143 ± 0.008	异亮氨酸* (Ile)	0.043 ± 0.004
精氨酸 (Arg)	0.109 ± 0.005	亮氨酸* (Leu)	0.019 ± 0.001
甘氨酸 (Gly)	0.087 ± 0.006	赖氨酸* (Lys)	0.168 ± 0.007
苏氨酸* (Thr)	0.084 ± 0.002		
TFAA质量分数/%	0.25 ± 0.003		
TEAA/TFAA/%	14.01		
蛋白质质量分数/%	25.0 ± 0.1		

注: \*.必需氨基酸; TFAA.总游离氨基酸; TEAA.总必需氨基酸。

由图2和表1可知, HPLC法检测到枸杞蜂花粉中含有13种游离氨基酸, 其中谷氨酸 (Glu) 的含量最高, 丙氨酸 (Ala)、天冬酰胺 (Asn) 含量次之, 亮氨酸 (Leu) 含量最低。总游离氨基酸含量约占枸杞蜂花粉干质量的0.25%, 与Paramas等<sup>[25]</sup>报道的32种西班牙蜂花粉平均游离氨基酸含量(3.09%)相比, 枸杞蜂花粉游离氨基酸总含量较低。此外在测定出的13种游离氨基酸中, 含有6种必需氨基酸, 分别为色氨酸 (Trp)、苏氨酸 (Thr)、苯丙氨酸 (Phe)、亮氨酸 (Leu)、异亮氨酸 (Ile)、赖氨酸 (Lys), 仅占总游离氨基酸含量的15.9%。因此, 枸杞蜂花粉中虽含有较多的游离氨基酸种类, 但缺少了2种人体必需氨基酸, 且必需氨基酸含量不高, 所以在开发利用枸杞蜂花粉中游离氨基酸时, 需作出必要的调整与补充。

#### 2.3 枸杞蜂花粉中总多酚、总黄酮的含量

枸杞蜂花粉中含有丰富的酚类物质, 总多酚含量为22.95 mg/g (以没食子酸当量计, 下同), 总黄酮



含量为21.17 mg/g (以芦丁当量计,下同),与李红兵等<sup>[11]</sup>报道的枸杞蜂花粉总多酚和总黄酮含量接近。枸杞蜂花粉中总酚含量与Blaise等<sup>[26]</sup>测定的丝兰蜂花粉(19.48 mg/g)相近,比含羞草蜂花粉总酚含量(34.85 mg/g)低,比Sladana等<sup>[27]</sup>测定的7种玉米蜂花粉总酚含量(平均值为8.90 mg/g)高。比董捷等<sup>[17]</sup>测定的黄玫瑰等10种蜂花粉总黄酮含量都高。由于枸杞蜂花粉含有较高的多酚含量,可为枸杞蜂花粉在美容养颜、延缓衰老等保健功能上提供一定的应用基础与指导作用。

#### 2.4 枸杞蜂花粉中矿物元素的含量

蜂花粉中含有种类众多的矿物元素,如表2所示,枸杞蜂花粉12种矿物元素总含量为16.183 mg/g;在常量元素K、Ca、Na、Mg、P中,P元素含量最高,为6.962 mg/g,Na元素含量最低,为0.294 mg/g;在微量元素中,Zn元素含量最高,可达0.043 2 mg/g,Pb元素含量最低,为0.002 8 mg/g。

表2 枸杞蜂花粉中矿物元素的含量

mg/g		
矿物元素	元素种类	含量
常量元素	Na	0.294±0.028
	Mg	1.458±0.074
	K	6.131±0.339
	Ca	1.190±0.117
	P	6.962±0.313
微量元素	Al	0.019 6±0.001 2
	Fe	0.041 1±0.000 6
	Se	0.003 6±0.000 2
	Zn	0.043 2±0.001 0
	Cu	0.016 2±0.000 4
	Mn	0.020 1±0.000 8
	Pb	0.002 8±0.000 4
矿物元素总量		16.183±0.561

不同地区、品种的花粉之间矿物元素含量有着一定的差别。就Zn元素的含量而言,Sattler等<sup>[28]</sup>报道巴西蜂花粉矿物元素中Zn元素含量为0.035 μg/mg;杨开等<sup>[29]</sup>测定的12种国内蜂花粉中,Zn元素含量也各不相同,最低为野菊花蜂花粉(0.028 μg/mg),最高为茶花蜂花粉(0.065 μg/mg)。由于枸杞蜂花粉中含有众多的矿物元素,特别是其中含有较高的Zn元素含量,赋予了枸杞蜂花粉很好的保健功效。

#### 2.5 枸杞蜂花粉的抗氧化作用

##### 2.5.1 枸杞蜂花粉的DPPH自由基及超氧阴离子自由基清除活性

如图3所示,F1、F2、F3对DPPH自由基、超氧阴离子自由基清除效果与它们的质量浓度均呈量效关

系,随着质量浓度的增加,清除自由基活性增强。三者对DPPH自由基清除率的IC<sub>50</sub>值分别为0.634、0.569、2.297 mg/mL,F1、F2对超氧阴离子自由基清除率的IC<sub>50</sub>值分别为0.131、0.061 mg/mL。

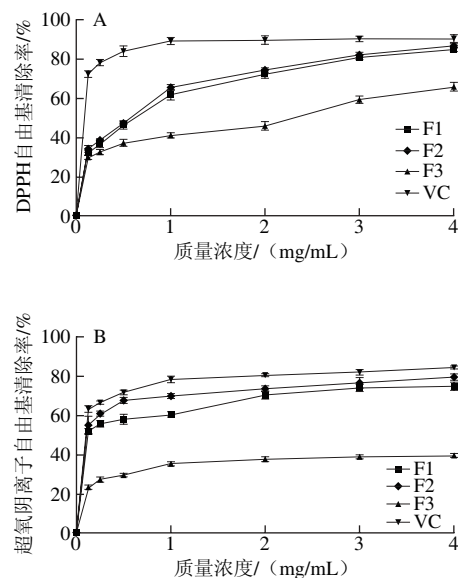


图3 枸杞蜂花粉的DPPH自由基(A)和超氧阴离子自由基(B)清除活性

Fig. 3 Scavenging activities of Chinese wolfberry bee pollen on DPPH (A) and superoxide anion (B) radicals

当样品质量浓度为4 mg/mL时,F1、F2、F3和VC对DPPH自由基的清除率可分别达到84.72%、86.63%、65.82%和90.34%,对超氧阴离子自由基的清除率可分别达到74.78%、79.45%、39.43%和84.35%。其中F1、F2对DPPH自由基最高清除率无显著差异,与F3、VC对DPPH自由基最高清除率具有显著性差异;四者对超氧阴离子自由基最高清除率均具有显著性差异。同时,当F1、F2的质量浓度达到0.5 mg/mL以上时,对这2种自由基的清除率均达到50%以上,并随着质量浓度的升高与VC的清除效果越接近,呈现出很高的抗氧化作用;而F3对DPPH自由基的IC<sub>50</sub>为2.297 mg/mL,对超氧阴离子自由基清除率不超过50%(最高为40.17%),表明F3具有一定的抗氧化效果。另外,从图3可以看出,随着质量浓度的升高,自由基清除活性呈现出F2>F1>F3的趋势。

通过福林-酚法测定F1、F2、F3中多酚的含量,结果表明多酚含量F2(77.12 mg/g)>F1(66.28 mg/g)>F3(6.01 mg/g)。由于F2、F1中含有较高的多酚含量,所以其抗氧化活性均高于F3;而F3中多酚含量较少,但由于F3主要成分是多糖,是一种多羟基化合物,具有一定的供氢能力,可起到抗氧化作用,所以F3也具有一定的抗氧化活性。

### 2.5.2 枸杞蜂花粉的 $\text{ABTS}^+$ ·清除活性及金属离子螯合能力

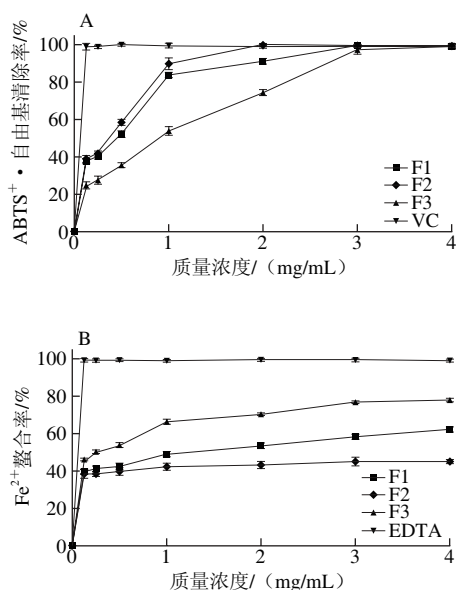


图4 枸杞蜂花粉的 $\text{ABTS}^+$ ·清除活性(A)和金属离子螯合活性(B)  
Fig. 4  $\text{ABTS}^+$ · radical scavenging activity (A) and metal iron chelating ability (B) of Chinese wolfberry bee pollen

如图4A所示,随着样品质量浓度的升高,F1、F2、F3对 $\text{ABTS}^+$ ·的清除活性也随之增强,三者的 $\text{IC}_{50}$ 值分别为约为0.434、0.374、0.895 mg/mL。当样品质量浓度为4 mg/mL时,F1、F2、F3对 $\text{ABTS}^+$ ·清除率分别可达99.02%、99.17%、98.67%,与VC对 $\text{ABTS}^+$ ·最高清除率(99.41%)无显著性差异,表明三者均具有显著的 $\text{ABTS}^+$ ·清除作用。

如图4B所示,F1、F2、F3对 $\text{Fe}^{2+}$ 的螯合率随着样品质量浓度的增加而上升,其中F1、F3对金属离子螯合能力的 $\text{IC}_{50}$ 值分别为0.908、0.229 mg/mL。当样品质量浓度为4 mg/mL时,F1、F2、F3和EDTA对 $\text{Fe}^{2+}$ 的最高螯合率分别可达到62.43%、45.30%、78.43%和99.37%,四者均具有显著性差异。另外,与上述三者对DPPH自由基、超氧阴离子自由基、 $\text{ABTS}^+$ ·清除活性趋势不同的是,F3的金属螯合作用比F1、F2的金属螯合作用强。由于抗氧化剂的金属螯合能力与其拥有的功能基团如—SH、—COOH、—OH、—NR<sub>2</sub>、C=O、—O—、—PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>—等<sup>[30]</sup>有关,而F3中以多糖为主(其糖质量分数为68.14%),且通过考马斯亮蓝法测定F1、F2、F3中蛋白质质量分数分别为3.60%、2.15%、15.78%,故推测F3对 $\text{Fe}^{2+}$ 螯合活性较高的原因与其中含有的多糖和蛋白质含量、种类及其基团有关。

### 3 结论

本实验以枸杞蜂花粉为原料,通过分光光度法、HPLC法、ICP-AES法测定了其中可溶性总糖、游离单糖与双糖、蛋白质、游离氨基酸、总多酚、总黄酮、矿物元素的含量。结果显示,枸杞蜂花粉中可溶性总糖质量分数为44.8%,果糖、葡萄糖、蔗糖质量分数分别为18.4%、15.2%、3.7%,蛋白质质量分数为25.0%,总游离氨基酸质量分数为0.25%(共13种氨基酸,6种必需氨基酸);总多酚、总黄酮含量分别为22.95、21.17 mg/g,矿物元素总含量为16.183 mg/g。

通过体外抗氧化实验,从枸杞蜂花粉水提物(F1)、水提醇沉上清物(F2)、粗多糖(F3)3个层面评价枸杞蜂花粉的抗氧化效果。结果表明,枸杞蜂花粉具有显著的抗氧化作用,其中抗氧化效果为F2>F1>F3。

### 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,2006,27(12): 909-912. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2006.12.234.
- [2] 杨佳林,徐响,孙丽萍,等.蜂花粉酚类化合物研究进展[J].食品科学,2008,29(8): 693-696. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.08.170.
- [3] 李飞.山楂蜂花粉多糖提取、分离纯化、结构鉴定和生物活性的研究[D].北京:北京化工大学,2009: 1-6.
- [4] MOHDALY A, MAHMOUDA A, ROBY M H H, et al. Phenolic extract from propolis and bee pollen: composition, antioxidant and antibacterial activities[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 39(5): 538-547. DOI:10.1111/jfbc.12160.
- [5] WANG B, DIAO Q, ZHANG Z, et al. Antitumor activity of bee pollen polysaccharides from *Rosa rugosa*[J]. Molecular Medicine Reports, 2013, 7(5): 1555-1558. DOI:10.3892/mmr.2013.1382.
- [6] GENG Y, XING L, SUN M, et al. Immunomodulatory effects of sulfated polysaccharides of pine pollen on mouse macrophages[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 846-855. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2016.06.021.
- [7] WU Y D, LOU Y J. A steroid fraction of chloroform extract from bee pollen of *Brassica campestris* induces apoptosis in human prostate cancer PC-3 cells[J]. Phytotherapy Research, 2007, 21(11): 1087-1091. DOI:10.1002/ptr.2235.
- [8] 张惠玲.枸杞的综合开发与利用[J].食品研究与开发,2012,33(2): 223-227. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2012.02.065.
- [9] 闫亚美,冉林武,曹有龙,等.枸杞蜂花粉功效研究及开发应用前景[J].宁夏农林科技,2014,55(2): 83-84. DOI:10.3969/j.issn.1002-204X.2014.02.030.
- [10] 冉林武,闫亚美,曹有龙,等.响应面法优化超声波法提取枸杞蜂花粉黄酮类化合物工艺[J].食品科学,2012,33(12): 37-40.
- [11] 李红兵,米佳,张林锁,等.不同花粉多酚类物质组成比较[J].食品研究与开发,2015,36(20): 111-114. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2015.20.030.
- [12] 唐琳,李倩,翟金亮,等.21种蜂花粉水提取物抗氧化活性的比较研究[J].中国食品学报,2008,8(1): 17-21. DOI:10.16429/j.1009-7848.2008.01.029.
- [13] 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(6): 597-599. DOI:10.16050/j.cnki.issn1674-6309.2014.06.021.

- [14] 陈钧辉, 陶力, 李俊, 等. 生物化学实验[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2003: 15-16.
- [15] 葛菁, 庞磊, 李叶云, 等. 茶树可溶性糖含量的HPLC-ELSD检测及其与茶树抗寒性的相关分析[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(3): 470-473. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.2013.03.013.
- [16] WANG L, XU R J, HU B, et al. Analysis of free amino acids in Chinese teas and flower of tea plant by high performance liquid chromatography combined with solid-phase extraction[J]. Food Chemistry, 2011, 123(4): 1259-1266. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.05.063.
- [17] 董捷, 张红城, 秦健, 等. 十种蜂花粉醇提物中总多酚和总黄酮含量测定[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 246-249. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.12.053.
- [18] 赵立艳, 曹婵月, 陈贵堂, 等. ICP-AES法测定两个等级的三种绿茶中九种矿物质元素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(4): 1119-1121. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2011)04-1119-03.
- [19] YUAN Q X, XIE Y F, WANG W, et al. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from mulberry (*Morus alba* L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128: 52-62. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.04.028.
- [20] XIE M H, HU B, WANG Y, et al. Grafting of gallic acid onto chitosan enhances antioxidant activities and alters rheological properties of the copolymer[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(37): 9128-9136. DOI:10.1021/jf503207s.
- [21] 周彦钢, 贾建萍, 孙丽华. 荷花蜂花粉的营养成分分析[J]. 蜜蜂杂志, 2007, 28(5): 6-7. DOI:10.3969/j.issn.1003-9139.2007.05.002.
- [22] 何余堂, 孟良玉, 赵大军, 等. 特用玉米花粉营养成分的分析[J]. 食品科技, 2005(5): 88-90. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2005.05.029.
- [23] 孙蕾, 顾春丽, 房用, 等. 赤松和黑松花粉的营养成分测定及功能分析[J]. 山东大学学报(理学版), 2006, 41(1): 130-132. DOI:10.3969/j.issn.1671-9352.2006.01.025.
- [24] 张金振, 吴黎明, 赵静, 等. 13种植物源蜂花粉蛋白质的营养学评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 254-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201401050.
- [25] PARAMAS A M G, BAREZ J A G, MARCOS C C, et al. HPLC-fluorimetric method for analysis of amino acids in products of the hive (honey and bee-pollen)[J]. Food Chemistry, 2006, 95(1): 148-156. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.02.008.
- [26] BLAISEW L B, OWENK D, STEPHEN B, et al. Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1299-1305. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.055.
- [27] SLADAN Z, JELENA V, MARIJANA J, et al. Chemical composition, bioactive compounds, antioxidant capacity and stability of floral maize (*Zea mays* L.) pollen[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 10(3): 65-74. DOI:10.1016/j.jff.2014.05.007.
- [28] SATTTLER J A G, DE-MELO A A M, NASCIMNTO K S, et al. Essential minerals and inorganic contaminants (barium, cadmium, lithium, lead and vanadium) in dried bee pollen produced in Rio Grande do Sul State, Brazil[J]. Food Science & Technology, 2016, 36(3): 505-509. DOI:10.1590/1678-457X.0029.
- [29] 杨开, 何晋浙, 胡君荣, 等. 12种花粉中20种常量和微量元素的ICP-AES法测定[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 227-232. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.03.034.
- [30] JIANG C X, XIONG Q P, GAN D, et al. Antioxidant activity and potential hepatoprotective effect of polysaccharides from *Cyclina sinensis*[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 91(1): 262-268. DOI:10.1016/j.carbpol.2012.08.029.