



# 恒山黄芪和宁夏枸杞的多糖体外抗氧化活性比较研究

胡建燃,李平\*,秦路鹏,万田田,刘志芳,方玉洁

(长治学院 生物科学与技术系,山西长治 046011)

**摘要:**以恒山黄芪和宁夏枸杞为材料,采用超声波法提取其多糖成分,比较分析恒山黄芪多糖、宁夏枸杞多糖以及二者复合多糖的抗氧化活性,为开发新的天然抗氧化剂提供依据。结果显示:(1)恒山黄芪多糖的总抗氧化能力[T-AOC=(0.67±0.12) U/mg]和超氧阴离子自由基清除能力(EC<sub>50</sub>=2.34 mg/mL)均高于宁夏枸杞多糖[T-AOC=(0.52±0.07) U/mg,EC<sub>50</sub>=4.28 mg/mL],而恒山黄芪多糖的羟自由基清除能力(EC<sub>50</sub>=1.36 mg/mL)则低于宁夏枸杞多糖(EC<sub>50</sub>=0.98 mg/mL)。(2)在相同浓度下,二者按照1:1比例配成的复合多糖总抗氧化能力[T-AOC=(0.79±0.02) U/mg]、羟自由基清除能力(EC<sub>50</sub>=0.84 mg/mL)、超氧阴离子自由基清除能力(EC<sub>50</sub>=1.37 mg/mL)均高于单种多糖。(3)恒山黄芪多糖、宁夏枸杞多糖以及二者复合多糖的抗氧化能力均与其浓度呈正相关关系。研究表明,恒山黄芪多糖具有较好的抗氧化活性,是具有开发潜力的天然抗氧化物质,且恒山黄芪多糖与宁夏枸杞多糖复合配伍后具有协同效应,抗氧化活性增强。为开发新的天然抗氧化剂提供参考。

**关键词:**恒山黄芪;宁夏枸杞;复合多糖;抗氧化;羟自由基;超氧阴离子自由基

中图分类号:Q946.8

文献标志码:A

## Polysaccharides Extraction and Comparative Analysis on Antioxidative Activities *in vitro* of Hengshan *Astragalus* and *Lycium barbarum*

HU Jianran, LI Ping\*, QIN Lupeng, WAN Tiantian, LIU Zhifang, FANG Yujie

(Department of Biological Sciences and Technology, Changzhi University, Changzhi, Shanxi 046011, China)

**Abstract:** Polysaccharides were extracted from Hengshan *Astragalus* and *Lycium barbarum* by ultrasonic method, and then antioxidative activities of Hengshan *Astragalus* polysaccharides, *L. barbarum* polysaccharides and the compound polysaccharides of them were accessed in this study. The results showed that: (1) The total antioxidant capacity [T-AOC = (0.67±0.12) U/mg] and superoxide anion radical scavenging capacity (EC<sub>50</sub> = 2.34 mg/mL) of Hengshan *Astragalus* polysaccharides were both higher than those of *L. barbarum* polysaccharides [T-AOC = (0.52±0.07) U/mg, EC<sub>50</sub> = 4.28 mg/mL], while hydroxyl radical scavenging capacity (EC<sub>50</sub> = 1.36 mg/mL) was lower than that of *L. barbarum* polysaccharides (EC<sub>50</sub> = 0.98 mg/mL). (2) T-AOC, hydroxyl radical scavenging capacity and superoxide anion radical scavenging capacity of the compound polysaccharides were significantly higher than those of any single polysaccharide. (3) Both any single polysaccharide and compound polysaccharides exhibited a dose-dependent

收稿日期:2016-04-28;修改稿收到日期:2016-07-27

基金项目:山西省高等学校大学生创新创业训练项目(2015430);长治学院博士启动基金(200115)

作者简介:胡建燃(1984—),男,博士,讲师,主要从事细胞生物学与天然产物药理分析研究。E-mail:hjr\_possible@163.com

\*通信作者:李平,博士,讲师,主要从事环境微生物学及天然产物药理活性分析研究。E-mail:hitliping@163.com

effect. In conclusion, Hengshan *Astragalus* polysaccharides show remarkably high antioxidative activities, and are natural antioxidants with development potential. Besides, the compound polysaccharides of polysaccharides from Hengshan *Astragalus* and *L. barbarum* (1:1) enhance the antioxidative effects. Thus, this study may offer reference for further exploration of Hengshan *Astragalus* polysaccharides and natural antioxidants.

**Key words:** Hengshan *Astragalus*; *Lycium barbarum*; compound polysaccharides; antioxidative activities; hydroxyl radical; superoxide anion radical

黄芪,原名黄耆,是豆科植物蒙古黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge var. *mongholicus* (Bunge) Hsiao] 和膜荚黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge] 的干燥根<sup>[1]</sup>,具有扶正固表、补气升阳等功效,是传统的名贵中药之一。而产于北岳恒山山脉的恒山黄芪,因其历史悠久、品质上乘、药性强享誉国内外。自宋代以后,恒山黄芪始终被医家视为正宗和上品,故有“正北芪”之称<sup>[2]</sup>。黄芪的主要成分主要含有多糖、皂苷、氨基酸、黄酮及各种微量元素等<sup>[3]</sup>。黄芪多糖作为黄芪的主要有效成分,具有抗衰老,抗肿瘤,调节血糖,抗病毒抗菌等作用<sup>[4-6]</sup>。

枸杞,是茄科枸杞属 (*Lycium L.*) 的灌木或蔓生灌木,其果实为卵圆形红色或暗红色浆果,营养丰富,食药两用<sup>[7]</sup>,有养肝明目、祛风和滋肾补髓的功效,是传统的补益中药。《神农本草经》记载“枸杞久服,坚筋骨,轻身不老”,将枸杞列入上品。枸杞在中国有 7 个种,3 个变种,大多分布于华北、西北地区<sup>[8]</sup>。其中,宁夏枸杞最负盛名,枸杞多糖是枸杞的主要活性成分之一,具有增强免疫力,抗氧化、抗肿瘤、延缓衰老、降血压、降血脂等多方面的药理作用<sup>[9-12]</sup>。

氧自由基是人体内存在的最主要的自由基,能引起生物大分子如核酸,蛋白质,多糖等的损伤,引发多种疾病,如癌症、心脏病、老年痴呆症、肝肾损伤等。此外,氧自由基还与衰老有关<sup>[13]</sup>。适量的补充抗氧化食品或药品是清除人体自由基、预防疾病、延缓衰老的最佳方法<sup>[14]</sup>。近年来,天然抗氧化物质的研究开发成为热点,目前,从中药材提取活性多糖、黄酮、多酚类、维生素类等成分来清除氧自由基,抑制氧化应激受到广泛关注<sup>[15-16]</sup>。

目前,对恒山黄芪的研究主要集中在有效成分的提取及人工栽培技术方面<sup>[17-20]</sup>,对其抗氧化活性的检测少见报道,本文利用超声波法对恒山黄芪和宁夏枸杞进行多糖提取,以恒山黄芪多糖和宁夏枸杞多糖及二者复合多糖为实验对象,对不同浓度梯度的多糖进行体外抗氧化能力研究,包括羟自由基的清除能力、超氧阴离子自由基清除能力以及总抗

氧化能力。以期为恒山黄芪资源的进一步发掘以及抗氧化食品或药品的开发提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与试剂

本实验用恒山黄芪来源于蒙古黄芪,取自山西省浑源县黄芪基地。宁夏枸杞,购自长治万民大药房,羟自由基测试盒、超氧阴离子自由基测试盒、总抗氧化能力测试盒均购自南京建成生物工程研究所。

无水乙醇、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸、硫酸、氯仿、正丁醇等试剂均为国产分析纯。实验用水为双蒸水。

### 1.2 仪器

ND 2000 微量分光光度计(上海市精密科学仪器有限公司),DFY-300 高速万能粉碎机(上海新诺仪器设备有限公司),BSA 124S-CW 电子天平(赛多利斯科学仪器(北京)有限公司),KQ-250 医用超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司),5805 台式高速离心机(北京博瑞祥腾科技有限公司),RE-5ZAA 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)。

### 1.3 方法

**1.3.1 超声波法提取黄芪、枸杞多糖** 将黄芪和枸杞放入烧杯中,于 55 ℃ 烘箱中干燥后,用粉碎机进行粉碎,过 30 目筛。分别取 20 g 恒山黄芪和宁夏枸杞粉末,各加入 300 mL 80% 乙醇回流提取 2 次,每次 3 h,滤去乙醇,收集滤渣,晾干。药渣加入 200 mL 水,置于超声波清洗仪中,40 ℃ 恒温超声波提取 2 h,过滤;重复提取 2 次,合并滤液,用旋转蒸发器浓缩至 100 mL,加入 3 倍体积的 95% 乙醇,静置过夜,4 000 r/min 离心 20 min,沉淀用 50 mL 蒸馏水溶解,得到多糖水溶液。采用 Sevag 法脱蛋白,在多糖水溶液中加入 Sevag 试剂(氯仿:正丁醇=4:1),振荡 30 min,离心,取上清液,重复 8 次。随后将上清液装入透析袋内透析 24 h,然后加入 3 倍体积 95% 乙醇,4 000 r/min 离心 20 min,得沉淀,固态物用 95% 乙醇,无水乙醇,依次洗涤,于 50 ℃ 恒温干燥 24 h,即得黄芪多糖和枸杞多糖。

**1.3.2 制备多糖样品溶液** 精确称取 0.5 g 多糖用蒸馏水定容到 50 mL 容量瓶中作为母液, 得到的母液浓度 10 mg/mL, 并将母液进行稀释, 配成浓度分别为 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.5、2.0、4.0 mg/mL, 保存备用。复合多糖采用 2 种多糖以 1:1 的比例配成与单组分多糖相同的浓度, 以供抗氧化能力的测定。

**1.3.3 多糖抗氧化能力测定<sup>[21]</sup>** 多糖样品的超氧阴离子自由基清除能力、羟自由基清除能力以及总抗氧化能力检测采用化学比色法, 每个样品设置 3 个重复, 按照试剂盒说明书进行操作。

(1) 总抗氧化能力 (Total antioxidant capacity, T-AOC) 测定

配制多糖样品浓度为 5 mg/mL, 取 0.1 mL 样品液, 按照试剂盒说明书进行总抗氧化能力测定。以在食品药品中常用的化学抗氧化剂水溶性维生素 E(Trolox) 和 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT) 作为阳性对照, 测定 520 nm 处的吸光值。定义: 在 37 °C 时, 每分钟每毫克多糖, 使反应体系的吸光度值每增加 0.01 时, 为一个总抗氧化能力单位。计算公式为:

$$T\text{-AOC}(\text{U/mg}) = \frac{(OD_{\text{测定组}} - OD_{\text{对照组}}) \times Vs}{Vt \times \Delta OD \times T \times Mt}$$

Vs 为反应体积 4 mL; Vt 为参与反应的多糖样品或阳性对照体积 0.1 mL; ΔOD 为吸光值单位增加值 0.01; T 为反应时间 30 min; Mt 为多糖浓度或阳性对照浓度 (5 mg/mL)。

将计算得到的总抗氧化能力 (即 T-AOC 值) 进行两两比较, 经统计学分析, 计算 P 值。统计分析结果体现在图 1 的柱状图里的小写字母 a、b 和 c, 字母不同表示两者之间差异显著。

(2) 羟自由基清除能力测定

将多糖样品分别用去离子水稀释成 4、2、1、0.8、0.6、0.4、0.2 和 0.1 mg/mL 系列浓度, 按试剂盒说明书的步骤进行测定<sup>[22]</sup>。以化学抗氧化剂 Trolox、BHT 作为阳性对照。羟自由基清除率计算公式:

$$\text{清除率} = \frac{OD_{\text{对照组}} - OD_{\text{测定组}}}{OD_{\text{对照组}}} \times 100\%$$

根据各样品不同浓度下羟自由基的清除率, 通过拟合计算清除率为 50% 时的样品浓度, 即为样品对羟自由基清除能力的 EC<sub>50</sub> 值, 样品的 EC<sub>50</sub> 值越小, 其羟自由基清除能力越强。

(3) 超氧阴离子自由基清除能力测定

将多糖样品分别用去离子水稀释成 4、2、1、

0.8、0.6、0.4、0.2 和 0.1 mg/mL 系列浓度, 按试剂盒说明书的步骤进行测定, 测定 550 nm 波长处吸光度值。以化学抗氧化剂 Trolox 和 BHT 作为阳性对照。超氧阴离子自由基清除率计算公式:

$$\text{清除率} = \frac{OD_{\text{对照组}} - OD_{\text{测定组}}}{OD_{\text{对照组}}} \times 100\%$$

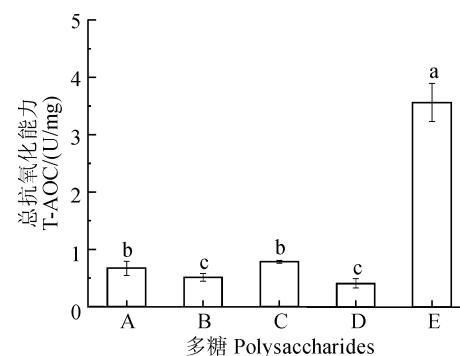
根据各样品不同浓度下超氧阴离子自由基的清除率, 通过拟合计算清除率为 50% 时的样品浓度, 就是样品对超氧阴离子自由基清除能力的 EC<sub>50</sub> 值。

**1.3.4 数据分析** 采用软件 SPSS 13.0 对所有试验数据进行处理及统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 多糖的总抗氧化能力

将多糖样品浓度配制成 5 mg/mL, 检测黄芪多糖、枸杞多糖以及复合多糖的总抗氧化能力, 实验结果如图 1 所示。恒山黄芪的总抗氧化能力为 (0.67 ± 0.12) U/mg, 宁夏枸杞的总抗氧化活性为 (0.52 ± 0.07) U/mg, 恒山黄芪多糖总抗氧化能力显著 ( $P < 0.05$ ) 高于枸杞多糖和化学抗氧化剂 BHT。复合多糖的总抗氧化能力为 (0.79 ± 0.02) U/mg, 高于单一组分的多糖, 同时高于化学抗氧化剂 BHT [(0.41 ± 0.08) U/mg], 低于 Trolox [(3.56 ± 0.33) U/mg], 说明两种多糖都具有较强的总抗氧化能力, 而且复配后的多糖其总抗氧化能力提高。



A. 黄芪多糖; B. 枸杞多糖; C. 复合多糖(枸杞多糖: 黄芪多糖=1:1); D. 2,6-二叔丁基对甲酚; E. 水溶性维生素 E;

不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同

图 1 不同来源多糖的总抗氧化能力

A. *Astragalus* polysaccharides; B. *Lycium barbarum* polysaccharides; C. Compound polysaccharides(*Lycium barbarum* polysaccharides : *Astragalus* polysaccharides=1:1); D. BHT; E. Trolox; Different letters mean significant difference among different samples

( $P < 0.05$ ). The same as below

Fig. 1 The total antioxidant capacity (T-AOC) of polysaccharides

## 2.2 多糖的羟自由基清除能力

由图2可知,黄芪多糖和枸杞多糖以及两者的复合多糖对羟自由基的清除能力都表现出明显的剂量效应,即随着样品浓度增加,羟自由基清除能力随之增加。计算各样品的EC<sub>50</sub>值,结果见表1。EC<sub>50</sub>值越高,则样品的羟自由基清除能力越弱。由表1可知,各样品对羟自由基的EC<sub>50</sub>值低于化学抗氧化剂Trolox,说明多糖具有羟自由基清除能力。其中,枸杞和黄芪的EC<sub>50</sub>值分别为0.98 mg/mL和1.36 mg/mL,表明枸杞的羟自由基清除能力强于黄芪。复合多糖的EC<sub>50</sub>值是0.84 mg/mL,低于黄芪多糖和枸杞多糖。这说明,黄芪和枸杞按照1:1的剂量配伍后,清除羟自由基的能力表现出正协同效应。

## 2.3 多糖的超氧阴离子自由基清除能力

将黄芪多糖、枸杞多糖以及复合多糖配成一定浓度梯度后,检测其超氧阴离子自由基清除能力,结果如图3所示。

图3中曲线显示,各多糖样品对超氧阴离子自由基均具有一定的清除效果,且其清除能力与作用

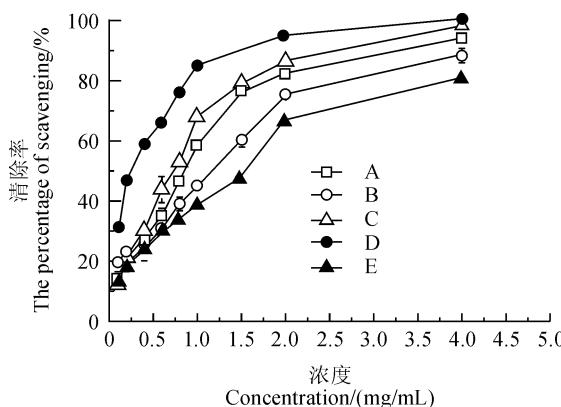


图2 不同浓度多糖对羟自由基清除能力的影响

Fig. 2 Scavenging activities of the polysaccharides on hydroxyl radicals

表1 不同来源多糖的羟自由基清除EC<sub>50</sub>值

Table 1 EC<sub>50</sub> values for hydroxyl radical scavenging

多糖 Polysaccharide	EC <sub>50</sub> /(mg/mL)
枸杞多糖 <i>L. barbarum</i> polysaccharides	0.98
黄芪多糖 <i>Astragalus</i> polysaccharides	1.36
枸杞多糖 : 黄芪多糖(1:1) <i>L. barbarum</i> / Hengshan <i>Astragalus</i> (1:1)	0.84
2,6-二叔丁基对甲酚 BHT	0.48
水溶性维生素E Trolox	1.70

浓度呈量效关系。依照不同浓度下各个样品的清除率,计算各样品对超氧阴离子自由基清除的EC<sub>50</sub>值,结果如表2所示。

由表中数据可知,恒山黄芪超氧阴离子自由基清除EC<sub>50</sub>值低于宁夏枸杞,并且复合多糖的EC<sub>50</sub>值显著低于2种单组分多糖,这说明恒山黄芪的超氧阴离子自由基清除能力比宁夏枸杞强,并且当两者以1:1的配比制成复合多糖后,其超氧阴离子自由基能力清除能力增强,多糖复合后具有协同作用。

## 3 讨论

黄芪和枸杞都是传统的大宗中药,恒山黄芪生长于北岳恒山山脉海拔1500~2000 m向阳的山坡地带<sup>[17]</sup>,常年最高气温不超过28℃,最低气温不低于-35℃,日照时间2800~3000 h,这种特殊的生长环境造就了恒山黄芪条直、粉大、皮白、芯黄的特点以及独特的药理作用。与其他产地的黄芪相比,恒山黄芪以粉性为主,植物纤维含量相对较低,总皂苷含量高于0.16%,远高于2015版药典规定的0.04%<sup>[1]</sup>。何盼等<sup>[19]</sup>分析了恒山黄芪和川黄芪

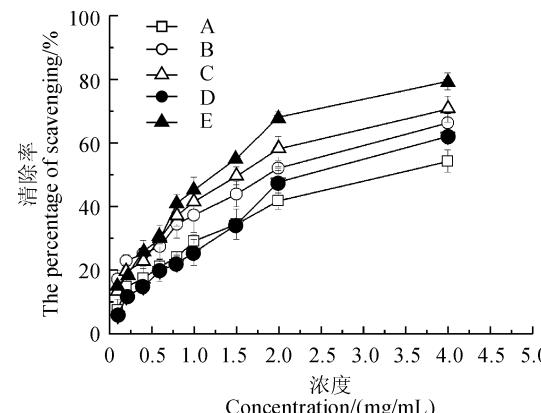


图3 不同浓度多糖对超氧阴离子自由基清除能力的影响

Fig. 3 Scavenging activities of the polysaccharides on superoxide anion radical

表2 不同来源多糖的超氧阴离子自由基清除EC<sub>50</sub>值

Table 2 EC<sub>50</sub> values for superoxide anion radical scavenging

多糖 Polysaccharide	EC <sub>50</sub> /(mg/mL)
枸杞多糖 <i>L. barbarum</i> polysaccharides	4.28
黄芪多糖 <i>Astragalus</i> polysaccharides	2.34
枸杞多糖 : 黄芪多糖(1:1) <i>L. barbarum</i> / Hengshan <i>Astragalus</i> (1:1)	1.37
2,6-二叔丁基对甲酚 BHT	2.21
水溶性维生素E Trolox	1.25

的化学成分差异性,发现二者差异明显,其中,恒山黄芪中的天冬氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、柠檬酸、黄芪甲苷以及毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量较高,川黄芪中黄芪甲苷含量极低。宁夏枸杞又名甘枸杞,主要生长于中国川北、甘肃、宁夏、青海、新疆等地,具有明显的旱生植物和盐生植物的形态特征,其根、叶、果、皮皆可入药,其中宁夏枸杞果实的主要成分包括枸杞多糖、甜菜碱、类胡萝卜素及类胡萝卜素酯、维生素C、莨菪亭,以及多种氨基酸及微量元素等。李兆君等<sup>[23]</sup>的研究发现,就总黄酮含量而言,宁夏枸杞(1.665%)低于黑果枸杞(2.710%),但二者清除DPPH自由基的能力相当。张波等<sup>[24]</sup>对宁夏、青海和新疆等3个产区的宁夏枸杞品质进行比较分析,发现胡萝卜素含量以宁夏产区最高,而多糖、甜菜碱以及浸出物的含量根据不同的宁夏枸杞品种有所不同,其中多糖含量以新疆和青海产区的宁夏枸杞较高。在本研究中,恒山黄芪的总抗氧化能力(T-AOC为0.67 U/mg)与超氧阴离子自由基清除能力(EC<sub>50</sub>为2.34 mg/mL)优于宁夏枸杞多糖(T-AOC为0.52 U/mg,EC<sub>50</sub>为4.28 mg/mL),而羟自由基清除能力(EC<sub>50</sub>为1.34 mg/mL)稍弱于宁夏枸杞多糖(EC<sub>50</sub>为0.98 mg/mL),而且2种多糖的抗氧化能力均随其浓度的增大而增强,显示出了明显的量效关系。

多糖的结构在一定程度上决定了其生物活性,

例如赵雪等<sup>[25]</sup>的研究表明海带多糖的抗氧化活性与其分子量、硫酸根含量、糖醛酸含量、岩藻糖含量以及中性多糖的组成密切相关,而糖链上的糖醛酸部分则最先被氧自由基氧化降解。目前对多糖抗氧化作用的研究多集中于单组分多糖,而对2种或2种以上多糖配伍而成的复合多糖抗氧化作用的研究不多。将不同种类多糖在一定浓度和比例下进行复合,多糖的高分子糖链在混合过程中发生构象变化,在此过程中可能促进碳氢链上氢原子与氧自由基结合,从而增强多糖混合制剂抗氧化活性。例如王宏勋等<sup>[26]</sup>发现当枸杞和灵芝多糖按照4:1的比例混合,浓度为0.2 mg/mL时,对羟自由基的清除率较单一多糖提高13%,说明二者的复合多糖在清除羟自由基过程中产生了协同作用。在本研究中,将恒山黄芪多糖和宁夏枸杞多糖按照1:1比例复合配伍后,总抗氧化能力为T-AOC=0.79 U/mg,清除羟自由基EC<sub>50</sub>值为0.84 mg/mL,清除超氧阴离子自由基EC<sub>50</sub>值为1.37 mg/mL,均优于单一组份多糖,表明2种多糖经过复合配伍后,产生了一定的协同效应,并且表现出正协同量效关系。

综上所述,恒山黄芪作为传统中药材黄芪中的珍品,其多糖成分具有良好的抗氧化活性,尤其是与宁夏枸杞多糖复合配伍后,抗氧化活性更强,表明恒山黄芪具有开发为新型抗氧化剂和抗衰老食品药品的潜在价值。

## 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [2] 贺义恒, 张红夏, 李亮, 等. 恒山黄芪粉碎度与黄芪多糖得率关联度研究[J]. 中草药, 2013, 44(9): 1 141-1 143.
- HE Y H, ZHANG H X, LI L, et al. Correlation of comminution degree and Astragalus polysaccharides yield in Mt. Hengshan *Astragalus membranaceus* [J], *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2013, 44(9): 1 141-1 143.
- [3] 雷载权. 中药学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995: 280-281.
- [4] 段琦梅, 梁宗锁, 聂小妮, 等. 黄芪和党参提取物的抗氧化活性研究[J]. 西北植物学报, 2010, 30(10): 2 123-2 127.
- DUAN Q M, LIANG Z S, NIE X N, et al. Antioxidant activity detection of *Astragalus membranaceus* and *Codonopsis pilosula* ethanol extracts by DPPH method[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 30(10): 2 123-2 127.
- [5] 蔡莉, 朱江. 黄芪多糖研究现状与进展[J]. 中国肿瘤临床, 2007, 34(15): 896-900.
- CAI L, ZHU J. Research status and development of *Astragalus polysaccharide*[J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2007, 34(15): 896-900.
- [6] YAN F, ZHANG Q Y, JIAO L, et al. Synergistic hepatoprotective effect of *Schisandrae lignans* with *Astragalus polysaccharides* on chronic liver injury in rats[J]. *Phytomedicine*, 2009, 16(9): 805-813.
- [7] 庞亚茹, 吴茂玉, 马超, 等. 枸杞多糖的研究进展[J]. 中国果菜, 2014, 34(10): 43-47.
- PANG Y R, WU M Y, MA C, et al. Progress on research of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *China Fruit a Vegetable*, 2014, 34(10): 43-47.
- [8] 矫晓丽, 冀恬, 迟晓峰, 等. 微波消解-ICP-AES测定柴达木不同品种枸杞中的17种元素[J]. 光谱实验室, 2011, 28(6): 3 129-3 132.
- JIAO X L, JI T, CHI X F, et al. Determination of 17 kinds elements in *Lycium barbarum* L by ICP-AES with microwave digestion[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2011, 28(6): 3 129-3 132.

- [9] HO Y S, YU M S, LAI C S, et al. Characterizing the neuroprotective effects of alkaline extract of *Lycium barbarum* on beta-amyloid peptide neurotoxicity [J]. *Brain Res*, 2007, **1158**: 123-134.
- [10] KOSAR M, ALTINTAS A, KINMER N, et al. Determination of the free radical scavenging activity of *Lycium* extracts [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2003, **39**: 531-535.
- [11] 马虎飞, 王思敏, 杨章民. 陕北野生枸杞多糖的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2011, **32**(3): 60-64.  
MA H F, WANG S M, YANG Z M. *in vitro* Antioxidant activities of polysaccharides from wild *Lycium barbarum* in North Shaanxi [J]. *Food Science*, 2011, **32**(3): 60-64.
- [12] Harunobu Amagase, Norman R, Farnsworth. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji) [J]. *Food Research International*, 2011, **44**(7): 1 702-1 717.
- [13] 方允中, 杨胜, 伍国耀. 自由基、抗氧化剂、营养素与健康的关系[J]. 营养学报, 2003, **25**(4): 337-342.  
FANG Y Z, YANG S, WU G Y. Free radicals, antioxidants, and in relation to health [J], *Acta Nutrimenta Sinica*, 2003, **25**(4): 337-342.
- [14] 唐楠楠, 陶佳青, 陈常理, 等. 台湾金线莲与浙江金线莲多糖含量及抗氧化活性比较研究[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(3): 521-526.  
TANG N N, TAO J Q, CHEN C L, et al. Comparison study of polysaccharide content and antioxidant activity of *Anoectochilus formosanus* and *Anoectochilus zhejiangensis* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(3): 521-526..
- [15] 张艳军, 杨途熙, 魏安智, 等. 花椒果皮中总黄酮与多酚的积累及其抗氧化活性研究[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(3): 620-625.  
ZHANG Y J, YANG T X, WEI A Z, et al. Accumulation patterns of total flavonoids, total polyphenol during Growth of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. and its antioxidant activities [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, **33**(3): 620-625.
- [16] 申利红, 建森, 李雅, 等. 植物多糖的研究及应用进展[J], 中国农学通报, 2011, **27**(2): 349-352.  
SHEN L H, WANG J S, LI Y, et al. Research and application of plant polysaccharide [J], *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, **27**(2): 349-352.
- [17] 刘靖, 陈虎彪, 白焱晶, 等. 不同种植方式下恒山黄芪的质量比较研究[J]. 中国中药杂志, 2008, **33**(5): 570-573.
- [18] 杨翠玲, 郭爱华. 不同等级浑源黄芪中黄芪甲苷及硒元素含量测定[J]. 中国中药杂志, 2011, **36**(13): 1 720-1 721.
- [19] 何盼, 李震宇, 范圣此, 等. 基于代谢组学技术和ITS2序列的恒山黄芪与川黄芪差异性研究[J]. 药学学报, 2013, **48**(10): 1 595-1 601.
- [20] HE P, LI Z Y, FAN S C, et al. Differences between Hengshanhuangqi and Chuanhuangqi based on metabolomics and ITS2 sequences [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2013, **48**(10): 1 595-1 601.
- [21] 陈秀红, 任晋宏, 魏砚明, 等. 正北芪中一种免疫活性蛋白质提取工艺的优选[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, **22**(5): 13-17.  
CHEN X H, REN J H, WEI Y M, et al. Optimization of extraction technology of an immune active protein from astragalus Radix [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2016, **22**(5): 13-17.
- [22] 叶文姣, 冯武, 黄文, 等. 蜈蚣草胞外多糖的体外抗氧化活性分析[J]. 华中农业大学学报, 2014, **33**(5): 105-110.  
YE W J, FENG W, HUANG W, et al. Antioxidant activity of extracellular polysaccharides of *Cordyceps militaris* [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, **33**(5): 105-110.
- [23] 杨新生, 姜忠丽. 枸杞多糖的超声波辅助提取法及其抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2016, **37**(10): 73-77.  
YANG X S, JIANG Z L. LBP Ultrasonic-assisted extraction method and its antioxidant activity [J]. *Food Research and Development*, 2016, **37**(10): 73-77.
- [24] 李兆君, 丁润梅. 宁夏枸杞与黑果枸杞总黄酮含量及抗自由基活性的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2014, **35**(24): 39-41.  
LI Z J, DING R M. Comparative studies the content of total flavonoids and anti-free radical between ningxia wolfberry and Black Wolfberry [J]. *Food Research and Development*, 2014, **35**(24): 39-41.
- [25] 张波, 罗青, 王学琴, 等. 不同产区宁夏枸杞品质分析比较[J]. 北方园艺, 2014, (15): 165-168.  
ZHANG B, LUO Q, WANG X Q, et al. Fruit quality comparison of *Lycium barbarum* L. from different producing area [J]. *Northern Horticulture*, 2014, (15): 165-168.
- [26] 赵雪, 董诗竹, 孙丽萍, 等. 海带多糖清除氧自由基的活性及机理[J]. 水产学报, 2011, **35**(4): 531-537.  
ZHAO X, DONG S Z, SUN L P, et al. The scavenging activities and mechanism on oxygen free radicals of polysaccharides from *Laminaria japonica* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, **35**(4): 531-537.
- [27] 王宏勋, 张雯, 颜克亮, 等. 复合枸杞灵芝菌丝体多糖体外抗氧化作用初步研究[J]. 中国食用菌, 2007, **26**(3): 38-40.  
WANG H X, ZHANG W, YAN K L, et al. Study on anti-oxidation activity of *Ganoderma lucidum* mycelium and *Lyceum chinensis* polysaccharides compounds [J], *Edible Fungi of China*, 2007, **26**(3): 38-40.

(编辑:潘新社)