

# 银杏果多糖的物化性质及抗氧化活性研究

杨强, 李新华, 王琳, 路飞, 张春红, 郑煜焱, 谢宏

(沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

**摘要:** 以银杏果为原料, 采用水提醇沉法提取, Sevag 法除蛋白, 大孔树脂法脱色制备多糖, 利用紫外光谱 (UV)、高效液相色谱 (HPLC)、红外光谱 (IR) 并对多糖的结构进行了分析; 通过对 DPPH 自由基、超氧自由基和羟基自由基的清除作用, 研究银杏果多糖体外抗氧化活性; 用银杏果多糖对高脂小鼠进行干预后, 测定血清和肝脏中 SOD、GSH-PX、MDA 和 CAT 含量, 以此评定体内抗氧化活性。结果表明, 银杏果多糖中不含蛋白质和花色苷等物质, 主要是由葡萄糖、半乳糖和木糖三种单糖组成, 其摩尔比为 2.26:19.60:4.29, 是一种含有  $\alpha$ -糖苷键的吡喃糖; 银杏果多糖对 DPPH 自由基、超氧自由基和羟基自由基的清除效果显著, 其  $IC_{50}$  分别为 0.15 mg/L、0.30 mg/L、0.47 mg/mL; 体内实验显示, 银杏果多糖能显著提高血清和肝脏中 SOD、GSH-Px 和 CAT 的含量、降低血清和肝脏中 MDA 的含量。因此可知, 银杏果多糖有显著的抗氧化功能。

**关键词:** 银杏果; 多糖; 抗氧化活性; 高脂血症

**文章编号:** 1673-9078(2013)10-2395-2400

## Physicochemical properties and Antioxidant Activity of *Ginkgo biloba* L. Nut

YANG Qiang, LI Xin-hua, WANG Lin, LU Fei, ZHANG Chun-hong, ZHENG Yu-yan, XIE Hong

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** The polysaccharides extracted by water-extract and ethanol-precipitation from Ginkgo nuts were purified by Sevag method for protein removing and macroporous adsorption resin for the de-colorization. The composition of the polysaccharide was analyzed by Ultraviolet spectrum (UV), high-performance liquid chromatography (HPLC), and infrared spectra (IR). The *in vitro* antioxidant activities of the polysaccharide were determined by DPPH, superoxide radicals and hydroxyl radicals scavenging assays. The effect of the polysaccharide on the content of SOD, GSH-PX, MDA and CAT in the serum and liver of the hyperlipemia mice were measured to determine the antioxidant activity *in vivo*. It was found that the ginkgo polysaccharide consisted of 3 kinds of monosaccharide, including glucose, galactose and xylose, with the molar ratio of 2.26:19.60:4.29, in the form of pyranose containing  $\alpha$ -glycosidic bond. The Ginkgo polysaccharide showed the significant DPPH, superoxide radicals and hydroxyl radicals scavenging activities, with  $IC_{50}$  values being of 0.15 mg/L, 0.30 mg/L and 0.47 mg/mL, respectively. The antioxidant *in vivo* showed that the ginkgo polysaccharide could evidently increase the concentrations of SOD, GSH-Px and CAT, and decrease the concentration of MDA in serum and liver.

**Key words:** Ginkgo nut; polysaccharide; antioxidant activity; hyperlipemia

银杏 (*Ginkgo biloba* L) 又称白果树、公孙树, 属银杏科银杏属裸子植物, 主产中国<sup>[1-2]</sup>。其叶、果和外种皮等皆具有药用价值, 被称为“全身都是宝的活化石”<sup>[3]</sup>。银杏果是银杏树的种子, 因其中种皮为白色的硬壳, 故俗称白果。经常食用银杏果, 可以滋阴养颜抗衰老, 扩张微血管, 促进血液循环, 使人肌肤、面部红润, 精神焕发, 延年益寿<sup>[4]</sup>。

目前, 银杏果中已被确认的活性成分主要有银杏

果蛋白质、白果油、银杏酸等。邓乾春等人通过动物试验发现银杏果清蛋白 (GAP) 能显著增强小鼠的免疫调节作用, 并且能够抑制体内  $S_{180}$  实体瘤和体外  $S_{180}$  肿瘤细胞的生长, 还能通过增强辐射损伤小鼠的抗氧化能力、造血功能及体内免疫功能来起到对辐射损伤小鼠的保护作用<sup>[5]</sup>。国内外对白果油功能性的报道很少, 直到2008年马萨诸塞州大学研究表明, 在某种程度上可以认为银杏果脂溶性成分可能对心血管疾病具有预防作用<sup>[6]</sup>。江苏大学杨小明等人研究发现发现银杏酸对金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、枯草杆菌均有抑制作用, 对耐青霉素金葡萄菌也有一定的抑制作用, 银杏酸与青霉素联用, 具有加强作用<sup>[7,8]</sup>。多糖作为无

收稿日期: 2013-06-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31171782/C200303)

作者简介: 杨强 (1985-), 男, 博士, 研究方向为粮油加工与转化

通讯作者: 李新华 (1955-), 男, 教授, 研究方向为粮油加工与转化

毒副作用具有生物活性的大分子化合物,已成为成为食品科学、天然药物、生物化学与生命科学研究领域的热点<sup>[9-10]</sup>。人们对银杏多糖的研究主要集中在银杏叶和银杏外种皮上,对于银杏果多糖的研究却比较匮乏。目前,能确认银杏果多糖具有的生物活性,有免疫调节和抗肿瘤活性<sup>[11]</sup>,关于银杏果多糖抗氧化活性的研究还未见报道。

大量的研究表明,一大部分从天然产物中分离得到的多糖类化合物具有清除自由基,抑制脂质过氧化,抑制亚油酸氧化,清除多种活性氧(Reactive oxygen species, ROS)等抗氧化作用<sup>[12]</sup>。银杏果多糖属天然植物提取物,提取过程中环保无污染,具有无细胞毒性及其它副作用的优点,因此对其进行研究和将其开发成天然抗氧化剂或自由基清除剂对保障机体健康、预防疾病有重要意义。

本文用热水浸提法从银杏果获得粗多糖,经Sevag法除蛋白,大孔树脂法脱色精制多糖,对多糖的UV、IR、单糖组成进行了分析,对多糖体外对DPPH自由基、超氧自由基和羟基自由基的清除能力进行测定,同时,也研究了多糖对高血脂症小鼠血清和肝脏中SOD、GSH-PX、MAD和CAT含量的影响,为银杏果的功能成分研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、仪器和试剂

银杏果2009年9月到10月采摘于辽宁大连,使用前放在阴凉通风处。

木瓜蛋白酶,国药集团化学试剂有限公司;大孔树脂脱色1号,沧州宝恩吸附材料科技有限公司,脂必妥,成都地奥九泓制药厂;SOD试剂盒、GSH-Px试剂盒、MDA试剂盒、GAT试剂盒及蛋白测定试剂盒,南京建成生物工程研究所。

### 1.2 银杏果多糖的提取和纯化

银杏果干燥粉碎后,蒸馏水溶解,80℃恒温水浴中浸提4 h,过滤后,取上清液。上清液浓缩至总体积的1/8后,加入4倍的无水乙醇,静置过夜。离心,收集沉淀后,依次用无水乙醇、丙酮、乙醚洗涤,冷冻干燥制得银杏果粗多糖。粗多糖加蒸馏水复溶后,加入木瓜蛋白酶进行酶解,酶解1 h,经Sevag试剂(氯仿:正丁醇=5:1,)除蛋白,反复进行3次,冷冻干燥得到脱蛋白后的多糖。脱蛋白的多糖采用大孔树脂法(树脂为脱色1号,pH值为4.5,温度为25℃,上柱速度为1.5

mL/min,上样浓度为选择4 mg/mL,柱容量为2 BV)进行脱色后,冷冻干燥制得银杏果精多糖(命名为GNP)。

### 1.3 GNP的紫外光谱(UV)分析

将银杏果多糖配成0.1 mg/mL的水溶液在紫外分光光度计上200~500 nm扫描。

### 1.4 GNP的单糖组成

精确称取GNP 40 mg于具塞试管中,加入2 mol/L的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 mL,于100℃水浴锅中水解6 h,冷却至室温,反应混合物3000 r/min离心10 min,取上清液1 mL用6 mol/L的NaOH中和到pH约为7。精密吸取GNP水解液250 μL,依次加入0.5 mol/L PMP甲醇溶液250 μL和0.3 mol/L氢氧化钠250 μL,混匀,置于70℃水浴反应30 min,冷却至室温,加入0.3 mol/L盐酸250 μL进行中和,加入5 mL氯仿萃取,充分震荡、离心,吸弃下层有机相,重复3次,上层为水相,经0.45 μm微孔滤膜滤过,20 μL进样分析。采用Waters色谱系统;检测波长为250 nm;柱温为室温;流速:1.0 mL/min;流动相:溶剂A:0.05 mol/L磷酸缓冲液(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-NaOH,pH 6.9),溶剂B:乙腈;梯度模式:时间梯度为:0→15 min,相应浓度梯度为20%→30%溶剂B。D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖、D-木糖、D-半乳糖、果糖、L-阿拉伯糖作为参照。

### 1.5 GNP的红外光谱

采用傅里叶变换红外(IR)光谱仪(Bruker公司,德国卡尔斯鲁厄)配备OPUS3.1软件。称取银杏果多糖1 mg,与100 mg干燥的KBr混匀,压片,在红外光谱仪上测定4000 cm<sup>-1</sup>~500 cm<sup>-1</sup>的红外光谱。

### 1.6 GNP体外抗氧化活性

#### 1.6.1 GNP对羟基自由基清除能力测定

参照Li Q等人的试验方法<sup>[12]</sup>。

#### 1.6.2 GNP对超氧自由基清除能力测定

参照Samak G等人的试验方法<sup>[13]</sup>。

#### 1.6.3 GNP对DPPH自由基清除作用的测定

准确称取0.2600 mg DPPH,加无水乙醇定容至100 mL容量瓶中。移取2.0 mL不同浓度的银杏果多糖溶液,加入2.0 mL无水乙醇。再分别取不同浓度的银杏果多糖溶液2.0 mL,加入2.0 mL DPPH溶液。取无水乙醇2.0 mL,加入2.0 mL DPPH溶液,摇匀。在517 nm处测定60 min内的不同浓度的银杏果多糖溶液的吸光度,计算

其清除率。

$$DPPH\text{自由基清除率} = 1 - \frac{A_i - A_j}{A_c} \times 100\%$$

注： $A_i$ 为多糖溶液加DPPH溶液的吸光度， $A_j$ 为多糖溶液加无水乙醇的吸光度， $A_c$ 为DPPH溶液加无水乙醇的吸光度。

## 1.7 GNP体内抗氧化活性

### 1.7.1 动物分组、给药及取样

昆明雄性小鼠60只，体重18~22 g，辽宁长生生物技术有限公司提供，动物许可证号：SCXK2010-0001。雄性昆明小鼠60只，随机分为6组，即：正常对照组、高脂对照组、阳性对照组（脂必妥）和银杏果多糖低、中、高剂量组，每组10只。适应环境一周后，除正常对照组（基础饲料）外，其它各组均采用高脂饲料（基础饲料83.9%、猪油%、胆固醇1%、蛋黄5%、牛胆酸钠0.1%）喂饲。以每天灌胃量为小鼠体重的2%将银杏果多糖和脂必妥配制成相应浓度的溶液，各剂量组给予银杏果多糖的量是：低剂量组50 mL/(kg·d)体质量；中剂量组100 mL/(kg·d)体质量；高剂量组200 mL/(kg·d)体质量。正常对照组和高脂饲料对照组给予相应体积的蒸馏水，阳性对照组给予100 mL/(kg·d)体质量脂必妥，实验期为4周。

### 1.7.2 测试指标及方法

喂养结束后，小鼠禁食不禁水12 h，摘取眼球取血，解剖内脏。将血浆于4 °C、3000 r/min离心10 min，制备血清，-20 °C保存待测。取血后的小鼠颈椎脱臼处死，取肝脏，以预冷的0.86%的生理盐水做匀浆介质在冰浴下将肝脏机械匀浆（1.0 g肝脏加9.0 mL生理盐水），于4 °C，3000 r/min离心10 min，分离上清，-20 °C保存待测<sup>[3-4]</sup>。血清和肝脏中SOD、GSH-Px、MDA、GAT测定按照试剂盒说明书方法测定。

### 1.7.3 数据处理

采用单向方差分析试验数据，使用软件为SPSS 10.0（美国SPSS公司），所有实验结果用平均值±标准差（ $\bar{X} \pm S$ ）表示，显著水平设为0.05，极显著水平设为0.01。

## 2 结果与分析

### 2.1 GNP紫外扫描检测

由图1可知，银杏果多糖样品在260、280 nm波长处无吸收，表明其不含核酸、蛋白质；在520 nm波长处无吸收，表明其不含花色苷等色素类物质。

### 2.2 GNP单糖组成分析

高效液相色谱法对银杏果多糖GNP的单糖组成分析结果（图2、图3），根据银杏果多糖样品GNP和标准品的保留时间确定单糖总类，各峰面积比较计算其摩尔比。

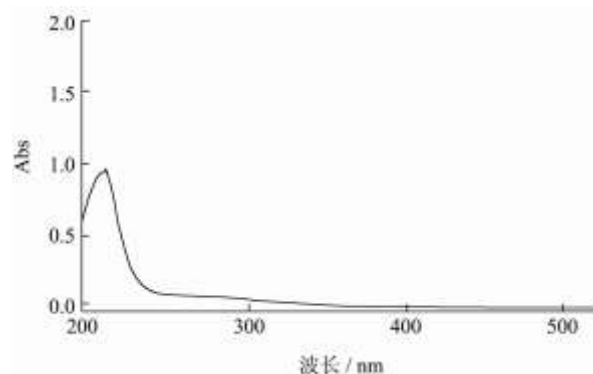


图1 银杏果多糖全波长扫描

Fig.1 GNP full wavelength scan

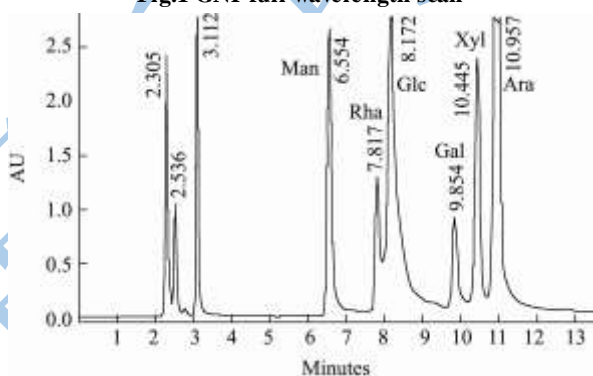


图2 标准单糖PMP衍生物色谱图

Fig.2 Standard monosaccharide derivatives of PMP chromatogram

根据图3可以看出，峰1的 $t_R=8.337$  min，峰2的 $t_R=9.863$  min，峰3的 $t_R=10.456$  min。比对图2标准单糖的高效液相色谱图可知，GNP中主要以葡萄糖、半乳糖和木糖三种单糖组成，组成摩尔比为：葡萄糖:半乳糖:木糖=2.26:19.60:4.29。

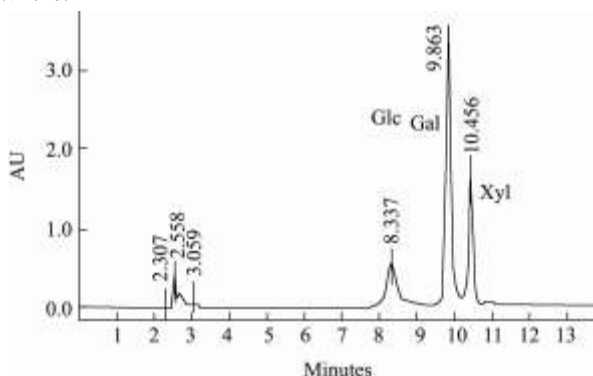


图3 银杏果多糖PMP衍生物色谱图

Fig.3 GNP derivatives of PMP chromatogram

### 2.3 GNP的红外光谱



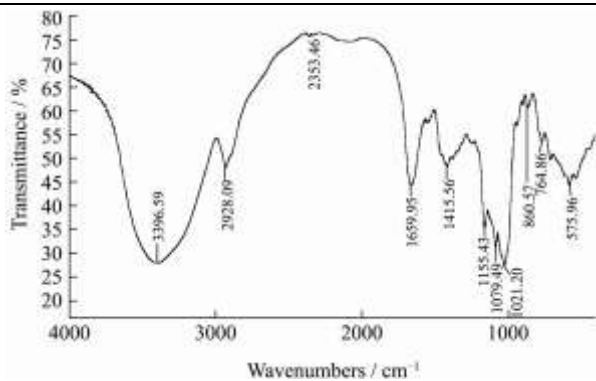


图4 GNP的红外吸收光谱图

Fig.4 IR spectrum of GNP

由图4可知, GNP在3396.57 cm<sup>-1</sup>处有强吸收, 属于O-H伸缩振动的特征吸收; 在2928.09 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰代表CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、CH等的C-H伸缩振动; 2353.46 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰为C-H的变角振动, 以上特征峰可以判断出该物质为多糖。1635.94 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰为C=O非对称伸缩振动, 1155.43、1079.49、1021.20处为吡喃环的醚键C-O-C; 860.57 cm<sup>-1</sup>处吸收峰为α-糖苷键; 764.86 cm<sup>-1</sup>是吡喃糖型C-H变角振动的特征峰。

## 2.4 GNP体外抗氧化测定

### 2.4.1 GNP对羟基自由基清除能力测定

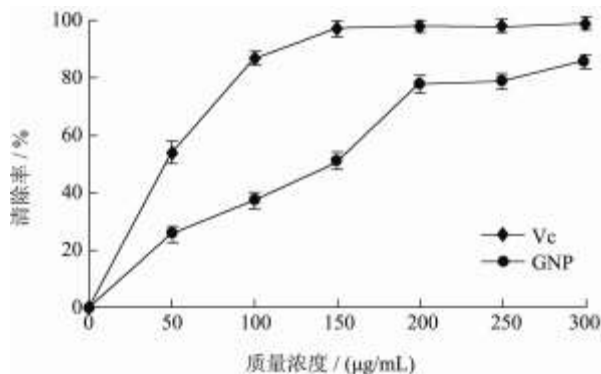


图5 银杏果多糖和Vc对·OH清除作用的比较

Fig.5 Comparison of GNP and Vc on ·OH scavenging effect

羟基自由基被认为是活性最强的自由基, 也是毒性最大的自由基, 辐射损伤等物理、化学因子都会促进其形成, 是造成生物有机体过氧化损伤的主要因素。由图5可知, 在所选浓度范围内, 随着浓度的增大, 银杏果多糖和Vc对·OH的清除率也均增大, 但银杏果多糖对·OH的清除效果弱于Vc, 当Vc浓度增大到200 μg/mL后, 清除率趋于稳定, 接近100%, 而多糖的IC<sub>50</sub>为0.15 mg/L。以上说明, GNP有很好的羟基自由清除能力。

### 2.4.2 GNP对超氧自由基清除能力测定

超氧自由基是生物体内第一个氧自由基, 是其他活性氧的前体, 对生物体内细胞、酶、DNA及不饱和

脂肪酸等物质均能产生影响。由图6可知, GNP和Vc对超氧自由基清除能力都随浓度的增大而增强, 但银杏果多糖的清除能力明显低于Vc, 其IC<sub>50</sub>为0.30 mg/L, 而Vc的IC<sub>50</sub>为0.08 mg/L。

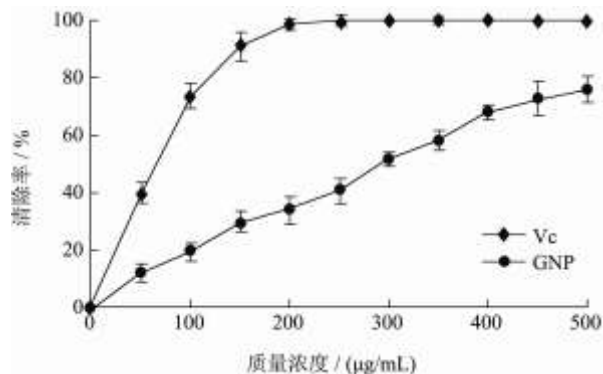


图6 银杏果多糖和Vc对超氧自由基清除作用的比较

Fig.6 Comparison of GNP and Vc on superoxide radical scavenging effect

### 2.4.3 GNP对DPPH自由基清除作用的测定

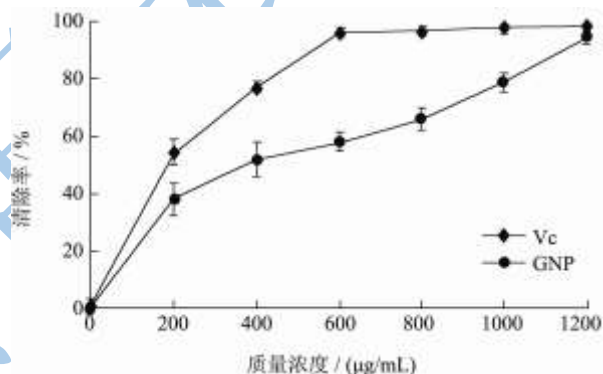


图7 银杏果多糖和Vc对DPPH自由基清除作用的比较

Fig.7 Comparison of GNP and Vc on DPPH scavenging effect

抗氧化剂通过转移传递电子或氢原子给DPPH 来中和其自由基, 因此, 对DPPH 自由基的清除效果可以反映抗氧化剂的供氢能力。由图7可知, GNP对DPPH 自由基的清除效果与其质量浓度紧密相关。GNP表现出了很强的DPPH自由基清除能力, 其IC<sub>50</sub>为0.47 mg/mL, 但仍不如对照样品Vc强。以上可知GNP可能有较强的供氢能力。

## 2.5 体内抗氧化测定

### 2.5.1 高脂血症小鼠模型考察

本实验中, 动物实验高脂模型的建立采用的是喂养法, 该方法具有饲养方便, 抵抗力强, 食性与人相近的优点。随着实验时间的延长, 各组小鼠生长正常, 体重均有所增加。实验结束后, 各组小鼠体重的增加百分率分别为: 正常对照组39.1%、高脂模型组53.5%、阳性对照组44.2%、高剂量组42.3%、中剂量组46.5%、低剂量组51.5%。高脂模型组的小鼠体重较正常对照组

有极显著性差异 ( $P<0.01$ ), 表明实验造模成功。另外, 在实验结束解剖时发现, 高脂模型组小鼠肝脏较正常对照组小鼠明显肿大, 颜色较浅, 有脂肪沉积, 油腻感强 (见图8), 这也说明采用高脂饲料配方喂食小鼠来诱导其高脂血症的模型构建成功。



图8 高脂模型组与正常对照组小鼠肝脏对比

Fig.8 The liver contrast between high-fatty model group and the normal group

### 2.5.2 血清和肝脏中SOD和GSH-PX的活性

测定各组小鼠血清和肝脏中SOD、GSH-PX含量, 结果见表1。

由表1可知, 与正常对照组相比, 阳性对照组和多糖高、中剂量组的血清、肝脏中SOD含量虽有所降低, 但无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 而高脂模型组、多糖低剂量组的血清和肝脏SOD含量明显降低, 且显著性差异 ( $P<0.05$ ); 与高脂模型组相比, 阳性对照组、多糖高剂量组和多糖中剂量组小鼠的血清和肝脏中SOD含量显著降低 ( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ ), 这说明血脂升高时, 脂质过氧化作用增强, SOD活性降低, 活性氧自由基浓度升高, 对生物膜的不饱和脂质酸诱发产生氧化反应, 使细胞结构与功能发生改变<sup>[6]</sup>。而银杏果多糖可以提高血清和肝脏中SOD的活性, 清除体内氧自由基。

表1 各组小鼠血清和肝脏中SOD、GSH-PX的活性

Table 1 SOD and GSH-PX activities in blood serum and liver of each group

组别	SOD		GSH-PX	
	血清	肝脏	血清	肝脏
正常对照组	181.63±11.37	130.98±21.35	1127.56±162.43	451.06±76.30
高脂模型组	126.62±28.95 <sup>b</sup>	66.84±23.87 <sup>b</sup>	778.88±123.06 <sup>b</sup>	367.15±52.71 <sup>a</sup>
阳性对照组	168.17±3.86	129.77±25.94	1045.68±97.46	503.27±58.30
高剂量组	166.19±32.45	127.55±26.92	1021.76±112.32	486.81±58.07
中剂量组	142.06±30.30	102.70±25.94	982.13±142.34	439.21±56.81
低剂量组	130.48±22.89 <sup>b</sup>	78.35±10.48 <sup>b</sup>	937.34±115.88 <sup>a</sup>	371.30±31.82 <sup>a</sup>

注: a: 与正常对照组比较, 有显著性差异 ( $P<0.05$ ); b: 与正常对照组比较, 有极显著性差异 ( $P<0.01$ )。

由表1可知, 与正常对照组相比, 高脂模型组、多糖低剂量小鼠血清和肝脏的GSH-PX活性明显降低 ( $P<0.01$ 或 $P<0.05$ ), 阳性对照组和多糖高、中剂量组小鼠血清和肝脏的GSH-PX活性无显著性差异 ( $P>0.05$ ); 与高脂模型组相比, 正常对照组、阳性对照组和多糖高、中剂量组小鼠血清和肝脏的GSH-PX活性明显升高 ( $P<0.01$ 或 $P<0.05$ ), 多糖低剂量组小鼠血清和肝脏的GSH-PX活性无明显变化 ( $P>0.05$ )。以上说明, 患高脂血症小鼠血清和肝脏中GSH-PX活性显著降低, 而多糖对高脂血症小鼠血清和肝脏中GSH-PX活性的增加有一定促进作用, 且具有剂量效应。

### 2.5.3 血清和肝脏中MDA和GAT的含量

测定各组小鼠血清和肝脏中MDA、CAT含量, 结果见表2。

由表2可知, 与正常对照组相比, 高脂模型组、阳性对照组、多糖各剂量组小鼠的血清和肝脏中MDA含量都有所升高, 其中只有阳性对照小鼠血清、肝脏和多糖高剂量组小鼠肝脏的MDA含量变化不显著 ( $P>0.05$ ), 其它各组都极显著升高 ( $P<0.01$ )。丙二醛 (MDA)是脂质过氧化反应链终止阶段产生的小分子产

物, 它在血清及组织中的含量高低, 间接反映了机体细胞受自由基攻击时组织的过氧化损伤程度<sup>[7]</sup>, 所以, 血脂升高会使小鼠血清和肝脏中MDA的含量增加, 而一定量的银杏果多糖和药物脂必妥一样, 都能降低体内MAD的浓度, 使机体免受自由基的伤害。

表2 各组小鼠血清和肝脏中MDA、CAT的含量

Table 2 MDA and CAT contents in blood serum and liver of each group

组别	MDA		CAT	
	血清	肝脏	血清	肝脏
正常对照组	9.43±2.31	3.59±0.84	4.55±1.10	13.19±3.56
高脂模型组	22.39±2.63 <sup>b</sup>	7.66±0.73 <sup>b</sup>	1.96±0.92 <sup>b</sup>	11.61±5.85
阳性对照组	13.32±2.71	3.00±0.52	6.17±1.57	13.37±4.44
高剂量组	14.22±3.23 <sup>b</sup>	3.87±0.19	7.60±1.11 <sup>b</sup>	21.54±4.15 <sup>b</sup>
中剂量组	17.03±2.31 <sup>b</sup>	4.83±0.60 <sup>b</sup>	5.85±0.77	20.43±3.36 <sup>a</sup>
低剂量组	19.12±3.12 <sup>b</sup>	6.37±0.97 <sup>b</sup>	4.02±1.27	12.17±2.92

注: a: 与正常对照组比较, 有显著性差异 ( $P<0.05$ ); b: 与正常对照组比较, 有极显著性差异 ( $P<0.01$ )。

由表2可知, 与正常对照组比较, 高脂模型组、多糖低剂量组小鼠血清和肝脏的MAD含量下降, 其中高

脂模型组小鼠血清中MAD含量显著下降 ( $P>0.05$ ), 阳性对照组和多糖高、中剂量组小鼠血清、肝脏中MAD含量均有所增加, 其中多糖高剂量组小鼠血清和肝脏中MAD含量增加极显著 ( $P<0.01$ )、多糖中剂量组多糖小鼠肝脏中MAD含量变化显著 ( $P<0.05$ ); 与高脂模型组比较, 其它各组小鼠血清中MAD含量显著增加 ( $P<0.01$ 或 $P<0.05$ ), 肝脏中MAD含量显著增加的只有多糖高、中剂量组 ( $P<0.01$ )。由此可见, 银杏果多糖对高脂血症小鼠血清CAT活性的提高有一定的促进作用, 且存在剂量效应。

### 3 结论

银杏果粗多糖经脱蛋白、脱色后 (GNP), 经紫外扫描, 结果显示其不含蛋白质、花色苷等物质; 柱前衍生化HPLC法分析银杏果多糖的单糖组成, 结果表明其含有3种单糖, 即葡萄糖、半乳糖和木糖; 红外光谱结果表明, GNP是含有 $\alpha$ -糖苷键的吡喃糖。体外抗氧化实验结果表明, 银杏果多糖对DPPH自由基、超氧自由基和羟基自由基的清除效果显著; 体内抗氧化实验结果表明, 银杏果多糖能显著提高血清和肝脏中SOD、GSH-Px和CAT的含量、降低血清和肝脏中MDA的含量。以上说明, GNP具有很好的抗氧化作用。

### 参考文献

- [1] 黄文, 谢笔钧, 王益. 白果的研究和开发利用 [J]. 湖北林业科技, 2002, 3: 41-42  
HUANG W, XIE B J, WANG Y. The research and development and utilization of ginkgo [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2002, 3: 41-42
- [2] M Freixes, A Rodríguez, E Dalfó, et al. Oxidation, glycoxidation, lipoxidation, nitration, and responses to oxidative stress in the cerebral cortex in Creutzfeldt-Jakob disease [J]. Neurobiology of Aging, 2006, 27: 1807-1815
- [3] Xiangyang Wu, Guanghua Mao, Ting Zhao, et al. Isolation, purification and in vitro anti-tumor activity of polysaccharide from Ginkgo biloba sarcotesta [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86: 1073-1076
- [4] 方佳茂. 银杏细胞提取物的药理作用研究 [J]. 现代食品科技, 2009, 25(12): 1396-1403  
FANG Jia-mao. Pharmacological Effects of Ginkgo biloba Cell Extracts [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(12): 1396-1403
- [5] 罗丽萍, 高荫榆, 洪雪娥, 等. 薯蓣黄酮和多糖体内抗氧化作用研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(8): 408-410  
LUO Li-ping, GAO Yin-yu, HONG Xue-e, et al. Studies on Antioxidant Effect in vivo of FSPV and PSPV [J]. Food Science, 2005, 26(8): 408-410
- [6] Igor A Schepetkin, Mark T Quinn. Botanical polysaccharides: Macrophage immunomodulation and therapeutic potential [J]. International Immunopharmacology, 2006, 6: 317-333
- [7] RCHARSON A, MARIA C B S. Review of Biological Research in Aging [J]. Biological Research in Aging, 1983, 1: 255-257
- [8] 黄森. 氧自由基与糖尿病发病机制 [J]. 实用临床医学, 2006, 7(4): 146-147  
HUANG Sen. Oxygen free radicals and the pathogenesis of diabetes [J]. Practical Clinical Medicine, 2006, 7(4): 146-147
- [9] Shuai Zhou, Yanfang Liu, Yan Yang, et al. Separation and structural elucidation of a polysaccharide CC30w-1 from the fruiting body of Coprinus comatus [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2013, 1: 99-104
- [10] Song Zhang, Ben He, Junbo Ge, et al. Characterization of chemical composition of Agaricus brasiliensis polysaccharides and its effect on myocardial SOD activity, MDA and caspase-3 level in ischemia-reperfusion rats [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 46: 363-366
- [11] Bao Yang, Mouming Zhao, John Shi, et al. Effect of ultrasonic treatment on the recovery and DPPH radical scavenging activity of polysaccharides from longan fruit pericarp Original [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 685-690
- [12] Kishk Y F M, Al-Sayed H M A. Free-radical scavenging and antioxidative activities of some polysaccharides in emulsions. LWT-Food [J]. Sci. Technol., 2007, 40: 270-277
- [13] Li Q, Yu N W, Wang Y P, et al. Extraction optimization of Bruguiera gymnorrhiza polysaccharides with radical scavenging activities [J]. Carbohydr. Polym. 2013, 96: 148-155
- [14] Samak G, Shenoy R P, Manjunatha S M, et al. Superoxide and hydroxyl radical scavenging actions of botanical extracts of Wagatea spicata [J]. Food. Chem., 2009, 115: 631-634