

五味子、黄芪混合多糖 对大鼠高脂血症的降脂作用

杨波,许智莹,林程程,李贺,孙靖辉,陈建光,王春梅*

(北华大学药学院药理教研室,吉林吉林 132013)

摘要:为了观察五味子、黄芪混合多糖(Polysaccharide from mixed *Schisandra chinensis* and *Astragalus membranaceus*, SAP)对脂代谢紊乱的调节作用及其作用机制,采用高脂饮食喂养建立大鼠(Wistar)高脂血症模型,记录SAP干预期间大鼠每周体重变化。8周后检测其血清中甘油三酯(Triglyceride, TG)、总胆固醇(Total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)及低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)水平,肝组织中TG、TC水平,苏木素-伊红(HE)染色观察大鼠肝脏病理学变化,Western blot法检测肝脏中胆固醇代谢相关蛋白ATP结合盒转运蛋白A1(ATP-binding cassette transporter A1, ABCA1)、肝X受体 α (Liver X receptors α , LXR α)和三磷酸结合盒转运体G1(ATP-binding cassette G1, ABCG1)的表达情况。结果表明,SAP(100 mg/kg)灌胃给药可显著降低高脂血症大鼠的体重、血清中TC、TG、LDL-C水平以及肝组织中TC、TG水平($P < 0.05$),显著增加血清中HDL-C水平($P < 0.05$),减轻肝脏组织中的脂质沉积,改善大鼠高脂血症。同时SAP显著提高了高脂血症大鼠肝脏中LXR α 、ABCA1和ABCG1蛋白的表达($P < 0.05$)。综上所述,SAP对高脂血症大鼠有明显的调节血脂作用,且其作用机制可能与促进肝脏胆固醇代谢有关。

关键词:五味子,黄芪,多糖,高脂血症,胆固醇逆转运

Lipid-lowering Effect of Polysaccharides from Mixed of *Schisandra chinensis* and *Astragalus membranaceus* on Hyperlipidemia in Wistar Rats

YANG Bo, XU Zhi-ying, LIN Cheng-cheng, LI He, Sun Jing-hui, CHEN Jian-guang, WANG Chun-mei*

(Department of Pharmacology, College of Pharmacy, Beihua University, Jilin 132013, China)

Abstract: To observe the regulating effect of polysaccharides from mixed of *Schisandra chinensis* and *Astragalus membranaceus* (SAP) on dyslipidemia and its mechanism, a rat model of hyperlipidemia induced by feeding with high fat diet was established. Then the SAP was administered orally to the hyperlipidemic rats for 8 weeks. During this period, the body weight of rats was recorded weekly. Subsequently, the levels of triglyceride (TG), total cholesterol (TC), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in serum of rats, the TG and TC contents in the liver tissues were measured. HE staining was performed for observing histopathological changes in liver. The expressions of cholesterol metabolism-related proteins ATP-binding cassette transporter A1 (ABCA1), liver X receptors α (LXR α), and ATP-binding cassette G1 (ABCG1) in liver tissues were detected by western blotting analysis. The results showed that SAP (100 mg/kg) intragastric administration could significantly decrease the body weight, the levels of serum TC, TG, LDL-C, and TC and TG contents in the liver tissues ($P < 0.05$), increase the level of serum HDL-C ($P < 0.05$). Furthermore, SAP reduced the liver lipid deposition and improved hyperlipidemia in rats. At the same time, SAP significantly increased the expression of LXR α , ABCA1 and ABCG1 proteins in the liver of hyperlipidemic rats ($P < 0.05$). In a conclusion, SAP could regulate the blood lipid of rats with hyperlipidemia, which may be related to the promotion of liver cholesterol metabolism.

Key words: *Schisandra chinensis*; *Astragalus membranaceus*; polysaccharides; hyperlipidemia; reverse cholesterol transport

中图分类号:TS201.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2020)16-0314-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.050

引文格式:杨波,许智莹,林程程,等.五味子、黄芪混合多糖对大鼠高脂血症的降脂作用[J].食品工业科技,2020,41(16):314-317,325.

收稿日期:2019-12-17

作者简介:杨波(1995-),女,硕士研究生,研究方向:五味子活性成分与功效筛选,E-mail:yangbo01111@126.com。

*通讯作者:王春梅(1974-),女,博士,教授,研究方向:五味子活性成分与功效筛选,E-mail:wangcm74@126.com。

基金项目:吉林市科技创新发展计划项目(20190502179);北华大学研究生创新计划项目(2019024)。

天然植物多糖分子结构复杂,分子量大,与蛋白质和核酸一样,是生命物质的重要组成成分。近年来多糖以其资源来源广泛、药理活性丰富、毒副作用小等优势越来越受到人们的关注。大量研究表明,植物多糖具有调节免疫、抗肿瘤、抗氧化、降血糖、调节血脂等多种功效^[1-4]。因此,以植物多糖为主要原料,采用现代工艺技术研发出高效低毒的大健康食品已成为广大学者的目标。

五味子是长白山道地药材,是《神农本草经》中最早被列为上品的著名滋补药。五味子的酸、苦、甘、辛、咸五种药性,可以很好的调节机体五脏功能,是开发保健食品的理想资源,已被列为国家保健食品可用原料目录。多糖是五味子的主要活性成分之一,不仅具有护肝降脂、抗氧化、保护心血管、调节免疫等多种药理活性,且具有含量高、毒性低等优点,极具开发价值^[5-7]。课题组前期工作已证明,五味子多糖具有降脂减肥、抗氧化等作用,对高脂饮食诱导的非酒精性脂肪性肝病及2型糖尿病动物模型的脂代谢紊乱均具有显著的改善作用^[8-10]。黄芪是中医临床常与五味子配伍使用的大宗药材之一。多糖作为黄芪的主要有效成分,具有突出的免疫调节、抗氧化、抗衰老、保护心血管等保健功效^[11-13]。近年研究也表明黄芪多糖可降低高脂血症大鼠血TC、LDL-C、TG水平,增加大鼠粪便胆固醇及胆汁酸排泄,减轻肝脏内脂质沉积,降低脂质过氧化水平等^[14-15],显示出良好的降血脂作用。然而,五味子与黄芪混合多糖是否具有调节血脂作用,还未见报道。因此,课题组将五味子和黄芪按比例混合,提取多糖成分,建立高脂饮食诱导高脂血症大鼠模型,研究五味子黄芪混合多糖(Polysaccharide from mixed *Schisandra chinensis* and *Astragalus membranaceus*, SAP)的降脂作用,并探讨其作用机制,为开发新型降脂保健食品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

五味子 吉林省集安市五味子种植基地;中药饮片黄芪 河北祁新中药颗粒饮片有限公司;低密度脂蛋白(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、胆固醇(Total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、甘油三酯(Triglyceride, TG)试剂盒 北京普利莱基因技术有限公司;RIPA裂解液、蛋白酶抑制剂 北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司;GAPDH、肝X受体 α (Liver X receptors α , LXR α)、ATP结合盒转运蛋白A1(ATP-binding cassette transporter A1, ABCA1)、三磷酸结合盒转运体G1(ATP-binding cassette G1, ABCG1)抗体 武汉ABclonal公司;雄性Wistar大鼠 合格证号:SCXK(吉)2018-0001,体质量(200 $\pm$ 10)g;基础饲料和高脂饲料成分配比见参考文献[9] 长春亿斯实验动物技术有限责任公司。

5418R型冷冻离心机 德国Eppendorf公司;Infinite M200酶标仪 瑞士Tecan集团;PowerPac型Western blot电泳仪和转膜仪 美国Bio-Red公司;

PS普诺森FluorChem M成像系统 美国Protein Simple公司;旋转蒸发仪 上海申生科技有限公司;KDM型调温电热套 山东鄞城华鲁电热仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 五味子、黄芪混合多糖的提取及含量测定 SAP提取的具体方法参照课题组之前的报道^[16]。具体为五味子和黄芪(1:3, w/w)粉碎置于圆底烧瓶中,加入45倍体积蒸馏水,放入KDM型调温电热套中,100℃条件下加热3h,使多糖被充分浸提。过滤并收集滤液,用旋转蒸发仪浓缩滤液(70℃)至浓黏液,冷却后加入95%乙醇,使乙醇终浓度为75%(用酒精计测定),4℃冰箱中静置过夜。将离心(4500 r/min, 10 min)后得到的沉淀用无水乙醇清洗,水浴蒸干,得到粉末状SAP。采用苯酚-硫酸比色法检测SAP中的粗多糖含量^[17],经计算,SAP的得率为14.62%,SAP中糖含量为46.34%。

1.2.2 动物实验分组与处理 32只SPF级雄性Wistar大鼠,随机分为空白组(CON)、空白给药组(CON+SAP)、模型组(HFD)、五味子黄芪混合多糖治疗组(HFD+SAP),共4组,每组8只。HFD组和HFD+SAP组均采用高脂饲料喂养诱导高脂血症大鼠模型。同时,CON+SAP组和HFD+SAP组以灌胃方式给予SAP(100 mg/kg),CON组和HFD组给予同体积的蒸馏水,每日给药一次,持续8周,每周记录大鼠体重。

1.2.3 大鼠血清中TC、TG、LDL-C和HDL-C含量的测定 最后一次给药12h后对大鼠进行乙醚麻醉,经腹主动脉取血,离心10 min(3500 r/min, 4℃),收集血清。采用试剂盒测定大鼠血清中TC、TG、LDL-C和HDL-C含量^[18]。

1.2.4 大鼠肝脏中TC、TG含量的测定 上述大鼠经采血后,分离出肝脏,用4℃预冷的生理盐水洗涤,滤纸吸干后部分保存在-80℃冰箱中,另一部分用于组织病理学检查。取100 mg大鼠肝组织,加入9倍体积生理盐水,制成10%肝组织匀浆,采用试剂盒测定大鼠肝组织中TC、TG含量。

1.2.5 组织形态学观察 将用于组织病理学检查的大鼠肝组织置入10%中性福尔马林溶液中固定,常规石蜡包埋,切成厚度约为5 μ m切片,进行苏木精-伊红染色^[19],于显微镜下观察肝细胞病理形态。

1.2.6 Western blot分析 将蛋白酶抑制剂加入到RIPA蛋白裂解液中(1:100, V/V),混匀后用于组织蛋白裂解。取50 mg大鼠肝脏组织,加入450 μ L配好的组织蛋白裂解液,剪碎,并置于冰上裂解1h。离心10 min(12000 r/min, 4℃),取上清。通过BCA法测定上清液中蛋白浓度。将蛋白质样品煮沸5~10 min使其变性,用10% SDS-聚丙烯酰胺凝胶分离,然后转移到PVDF膜。将膜在5%脱脂牛奶中封闭2h,然后分别与抗ABCA1、LXR α 和ABCG1抗体孵育12 h(4℃)。将膜用TBST洗涤三次,每次10 min,然后在室温下与相应的二抗(1:5000, V/V)温育1h。加入ECL发光液,在化学发光成像仪器上观察条带

并拍照,使用灰度分析软件计算各目的蛋白的相对表达量,结果用目的蛋白/内参 GAPDH 表示。

1.3 数据处理

应用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析,实验结果以平均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示,两组间比较采用最小显著差异法 t 检验, $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 SAP 对高脂血症大鼠体重的影响

图 1 所示为各组实验大鼠的体重变化情况。实验开始时 4 组大鼠之间体重趋于平衡。大鼠喂养 3 周内,与 CON 组比较,HFD 组大鼠体重增加但无显著性差异。实验第 4~8 周,HFD 组大鼠体重显著高于 CON 组 ($P < 0.05$),并且体重持续上升。这与郭彩霞等^[20]的研究结果一致,表明高脂饮食可导致大鼠体重增加。

与 HFD 组比较,当 SAP 治疗 6 周时,HFD + SAP 组大鼠体重降低且具有显著性差异 ($P < 0.05$),随着治疗时间的增加,SAP 对高脂血症大鼠体重的降低作用越来越明显。表明 SAP 能有效抑制高脂饮食诱导大鼠体重的升高,而对正常组大鼠体重没有明显影响。

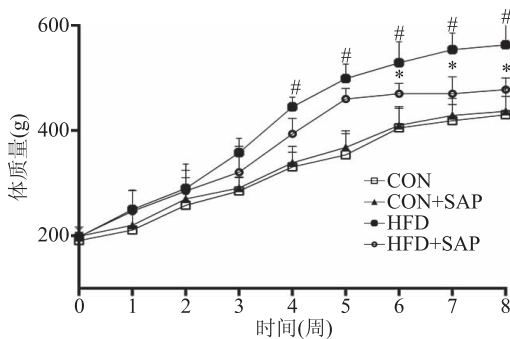


图 1 SAP 对大鼠体重的影响

Fig.1 Effects of SAP on body weight of rats

注:与 CON 组比较,#代表差异显著, $P < 0.05$;与 HFD 组比较,*代表差异显著, $P < 0.05$;表 1~2、图 2~3 同。

2.2 SAP 对高脂血症大鼠血脂水平的影响

长期高脂膳食会诱导机体发生脂代谢紊乱,使血液中 TC、TG 和 LDL-C 含量增加,HDL-C 含量降低^[21]。因此,血清中 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 水平被认为是诊断高脂血症的重要指标^[22]。由表 1 可知,与 CON 组比较,HFD 组大鼠血清中 TC、TG 及 LDL-C 水平显著增加 ($P < 0.05$),HDL-C 水平显著降低 ($P < 0.05$),提示本研究中高脂饮食成功诱导了高脂血症大鼠模型。与 HFD 组比较,HFD + SAP 组大鼠

血清中 TC、TG 及 LDL-C 水平显著降低 ($P < 0.05$),HDL-C 水平显著增加 ($P < 0.05$),表明 SAP 可以改善高脂血症大鼠的血脂异常。同时研究发现 CON + SAP 组大鼠血清中 TC、TG、LDL-C 及 HDL-C 水平与 CON 组比较,没有明显变化,表明 SAP 对正常大鼠血脂水平无明显影响。

2.3 SAP 对高脂血症大鼠肝脏 TC、TG 水平的影响

肝脏是机体脂质代谢的主要场所,长期高脂饮食会导致脂质在肝脏沉积。由表 2 可知,HFD 组大鼠肝组织中 TC 和 TG 水平显著高于 CON 组 ($P < 0.05$);与 HFD 组比较,HFD + SAP 组大鼠肝组织中 TC 和 TG 水平显著降低 ($P < 0.05$),表明 SAP 处理可以降低肝组织中 TC 和 TG 水平,减轻脂质在肝脏的沉积,缓解肝脏脂代谢紊乱。

表 2 SAP 对大鼠肝脏 TC、TG 水平的影响 ($n = 8$, mmol/gprot)

Table 2 Effects of SAP on TC and

TG levels of liver in rats ($n = 8$, mmol/gprot)

分组	TC	TG
CON	0.40 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.02
CON + SAP	0.39 $\pm$ 0.05	0.16 $\pm$ 0.01
HFD	0.74 $\pm$ 0.15 [#]	0.24 $\pm$ 0.04 [#]
HFD + SAP	0.52 $\pm$ 0.07 [*]	0.19 $\pm$ 0.02 [*]

2.4 SAP 对高脂血症大鼠肝脏组织病理学的影响

不同处理组大鼠的肝脏组织 HE 染色结果如图 2 所示,CON 组大鼠肝小叶结构及肝细胞形态均正常;与 CON 组比较,HFD 组大鼠肝血窦界限不清,肝细胞胞浆内可见空泡,有的空泡互相融合为大的脂肪空泡,表明高脂饮食可使大鼠肝脏产生病理性变化。与 HFD 组比较,HFD + SAP 组胞浆内空泡明显减轻,肝血窦清晰可见,表明 SAP 可以减轻高脂大鼠肝脏脂质沉积,而对正常组大鼠肝组织形态没有明显影响。

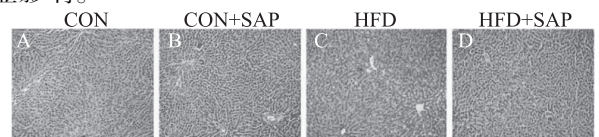


图 2 SAP 对大鼠肝脏病理形态的影响 (HE, $\times 200$)

Fig.2 Effect of SAP on liver

pathomorphology of rats (HE, $\times 200$)

2.5 SAP 对高脂血症大鼠肝组织中胆固醇代谢相关蛋白表达的影响

肝 X 受体 (Liver X receptors, LXRs) 在维持机体脂代谢平衡尤其是胆固醇稳态中具有重要的作用^[23]。其亚型 LXR α 被称为胆固醇感受器,可以通

表 1 SAP 对大鼠血脂的影响 ($n = 8$, mmol/L)

Table 1 Effects of SAP on blood lipids in rats ($n = 8$, mmol/L)

分组	TC	TG	LDL-C	HDL-C
CON	1.92 $\pm$ 0.24	0.98 $\pm$ 0.13	0.59 $\pm$ 0.09	1.28 $\pm$ 0.25
CON + SAP	1.89 $\pm$ 0.55	0.97 $\pm$ 0.12	0.56 $\pm$ 0.08	1.30 $\pm$ 0.32
HFD	3.72 $\pm$ 0.51 [#]	1.36 $\pm$ 0.26 [#]	1.90 $\pm$ 0.51 [#]	0.97 $\pm$ 0.11 [#]
HFD + SAP	2.45 $\pm$ 0.49 [*]	1.01 $\pm$ 0.29 [*]	1.02 $\pm$ 0.28 [*]	1.19 $\pm$ 0.24 [*]

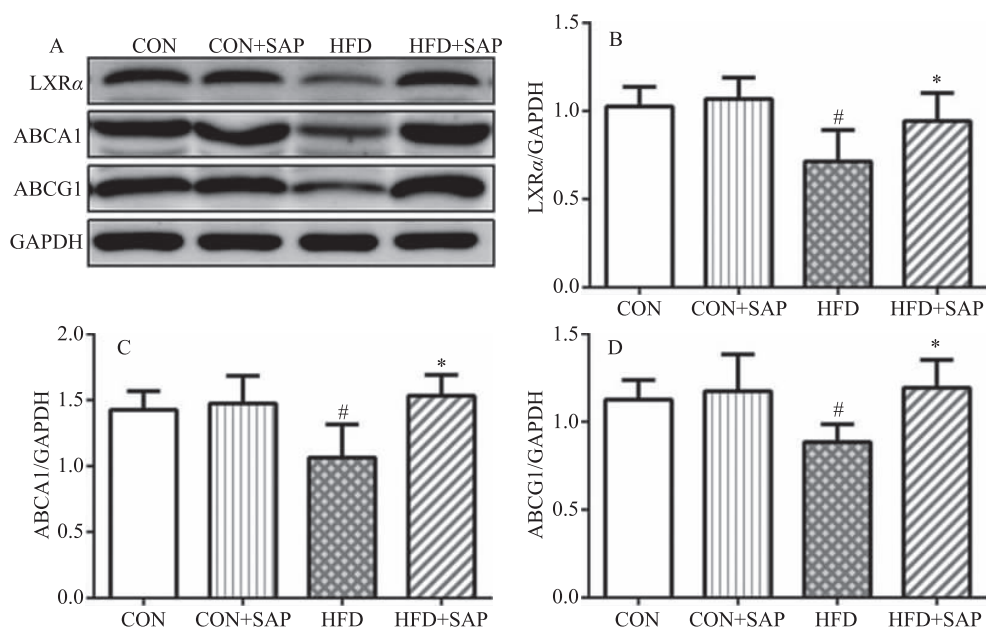


图3 SAP对高脂血症大鼠LXRα、ABCA1和ABCG1蛋白表达的影响

Fig.3 Effects of SAP on the expression of LXRα, ABCA1, and ABCG1 proteins in rats with hyperlipidemia

过调控胆固醇代谢过程进而维持体内胆固醇含量稳定。当LXRα被激活后,可增加其下游靶基因ATP结合盒转移子家族相关蛋白如ABCA1和ABCG1的表达,促进胆固醇逆转运。因此,需要对肝组织中LXRα的表达进行检测。结果如图3A和图3B所示,与CON组比较,HFD组大鼠肝组织中LXRα蛋白水平显著降低($P < 0.05$);表明长期高脂饮食可显著抑制LXRα的表达,导致组织内胆固醇蓄积。而与HFD组比较,HFD+SAP组大鼠肝组织中LXRα蛋白表达显著增加($P < 0.05$),提示SAP可能通过上调LXRα的表达增加胆固醇外流。

研究表明,ATP结合盒转运蛋白A1(ABCA1)是胆固醇逆转运(RCT)过程中的关键调节因子,在细胞内全部胆固醇流出中,有2/3是由ABCA1介导的^[24]。ABCA1主要促进磷脂和胆固醇向载脂蛋白A-I(Apolipoprotein A-I, apoA-I)转运,形成新生的HDL-C,进而启动RCT,加速胆固醇的流出^[25-26]。同时,有研究显示ABCG1是参与RCT过程的另一主要因子,负责介导细胞内胆固醇流向成熟HDL,随着血液系统聚集到肝脏,排出体外^[27]。如图3C、图3D所示,与CON组比较,HFD组大鼠肝组织中ABCA1和ABCG1蛋白水平显著降低($P < 0.05$);与HFD组比较,HFD+SAP组大鼠肝组织中ABCA1和ABCG1表达水平显著增加($P < 0.05$),提示SAP可能通过激活LXRα,增加ABCA1和ABCG1的表达,进而促进胆固醇的逆向转运。

3 结论

本研究将五味子和黄芪配伍,提取其混合多糖,通过建立高脂饮食诱导的高脂血症大鼠模型来研究SAP对脂代谢紊乱的调节作用及其机制。结果显示SAP可显著降低高脂血症大鼠体重、血清及肝脏中TC和TG水平,减轻肝脏脂质沉积,改善脂代谢紊乱,对高脂血症具有显著的治疗作用。同时,SAP通

过上调肝脏胆固醇代谢相关蛋白LXRα、ABCA1和ABCG1的表达,促进胆固醇的逆转运。这为五味子和黄芪配伍使用开发辅助降血脂类保健食品提供了理论依据。

参考文献

- [1] Ma J, Liu H, Wang X. Effect of *Ginseng* polysaccharides and dendritic cells on the balance of Th1/Th2 T helper cells in patients with non-small cell lung cancer [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2014, 34(6): 641-645.
- [2] 蒋正财, 陈统. 枸杞多糖对小鼠结直肠癌肿瘤生长的抑制作用及对血管形成机制的影响 [J]. *新中医*, 2018, 50(8): 9-12.
- [3] Cui J J, Yuan J F, Zhang Z Q. Anti-oxidation activity of the crude polysaccharides isolated from *Polygonum cillinerve* (Nakai) Ohwi in immunosuppressed mice [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2010, 132(2): 512-517.
- [4] 唐洁. 植物多糖生物活性功能的研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(5): 130-132.
- [5] Li Z J, He X, Liu F, et al. A review of polysaccharides from *Schisandra chinensis* and *Schisandra sphenanthera*: Properties, functions and applications [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 184(1): 178-190.
- [6] Zhong S, Nie Y C, Gan Z Y, et al. Effects of *Schisandra chinensis* extracts on cough and pulmonary inflammation in a cough hypersensitivity guinea pig model induced by cigarette smoke exposure [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015, 13(165): 173-182.
- [7] Yuan R S, Tao X, Liang S, et al. Protective effect of acidic polysaccharide from *Schisandra chinensis* on acute ethanol-induced liver injury through reducing CYP2E1-dependent oxidative stress [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018, 99

(下转第325页)

制备智能指示膜及应用研究[J].食品科学,2019,40(13):267-273.

[68] Xiong Y, Chen M, Warner R D, et al. Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatin edible coating and its effect on cold storage of fresh pork [J]. Food Control, 2020, 110:107018.

[69] Shin S H, Chang Y, Lacroix M, et al. Control of microbial growth and lipid oxidation on beef product using an apple peel-based edible coating treatment [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 84:183-188.

[70] Ruan C, Zhang Y, Sun Y, et al. Effect of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible coating with epigallocatechin gallate on quality and shelf life of fresh pork [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 141:178-184.

[71] Zhang H, He P, Kang H, et al. Antioxidant and antimicrobial effects of edible coating based on chitosan and bamboo vinegar in ready to cook pork chops [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 93:470-476.

[72] Huang M, Wang H, Xu X, et al. Effects of nanoemulsion-based edible coatings with composite mixture of rosemary extract and ϵ -poly-L-lysine on the shelf life of ready-to-eat carbonado

chicken [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102:105576.

[73] Pabast M, Shariatifar N, Beikzadeh S, et al. Effects of chitosan coatings incorporating with free or nano-encapsulated *Satureja* plant essential oil on quality characteristics of lamb meat [J]. Food Control, 2018, 91:185-192.

[74] Fernández-Pan I, Carrión-Granda X, Maté J I. Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets [J]. Food Control, 2014, 36(1):69-75.

[75] Rezaei F, Shahbazi Y. Shelf-life extension and quality attributes of sauced silver carp fillet: A comparison among direct addition, edible coating and biodegradable film [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 87:122-133.

[76] Mehdizadeh T, Mojaddar Langroodi A. Chitosan coatings incorporated with propolis extract and *Zataria multiflora* Boiss oil for active packaging of chicken breast meat [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 141:401-409.

[77] Bermúdez-Oria A, Rodríguez-Gutiérrez G, Rubio-Senent F, et al. Effect of edible pectin-fish gelatin films containing the olive antioxidants hydroxytyrosol and 3,4-dihydroxyphenylglycol on beef meat during refrigerated storage [J]. Meat Science, 2019, 148:213-218.

(上接第317页)

(1):537-542.

[8] Wang C M, Yuan R S, Zhuang W Y, et al. *Schisandra polysaccharide* inhibits hepatic lipid accumulation by downregulating expression of SREBPs in NAFLD mice [J]. Lipids in Health & Disease, 2016, 15(1):195-204.

[9] Du X X, Tao X, Liang S, et al. Hypoglycemic effect of acidic polysaccharide from *Schisandra chinensis* on T2D rats Induced by high-fat diet combined with STZ [J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2019, 42(8):1275-1281.

[10] 高晓旭, 孟宪军, 李继海. 北五味子活性多糖降脂减肥作用的研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 11(1):248-251.

[11] Gong A, Duan R, Wang H Y, et al. Evaluation of the pharmaceutical properties and value of *Astragali radix* [J]. Medicines, 2018, 5(2):46-51.

[12] 张竞之, 陈利国, 胡小勤, 等. 黄芪多糖对高血压病患者血清致伤血管内皮细胞 TLR4/NF- κ B 表达的影响 [J]. 山东大学学报: 医学版, 2010, 48(12):120-123.

[13] 钟灵, 王振富, 文德鉴. 黄芪多糖抗衰老作用的实验研究 [J]. 中国应用生理学杂志, 2013, 29(4):350-352.

[14] Cheng Y J, Tang K, Wu S H, et al. *Astragalus polysaccharides* lowers plasma cholesterol through mechanisms distinct from statins [J]. PLoS One, 2011, 6(11):1-9.

[15] Wang Y F, Yang Y F, Cheng B, et al. Protective effect of *Astragalus polysaccharides* on ATP binding cassette transporter A1 in THP-1 derived foam cells exposed to tumor necrosis factor- α [J]. Phytotherapy Research, 2010, 24(3):393-398.

[16] 孙卉, 苑荣爽, 李贺, 等. 五味子、黄芪混合多糖的提取及对小鼠急性酒精性肝损伤的保护作用 [J]. 食品科学, 2017, 38(2):278-282.

[17] 高馨, 郭义美, 周君, 等. 苯酚硫酸法测定红参多糖含量研究 [J]. 实验室科学, 2018, 21(1):28-33.

[18] 王龙. γ -谷维素降脂作用评估及机理的研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.

[19] 乞振兰, 王梓, 李伟, 等. 人参果花青素对对乙酰氨基酚致小鼠肝损伤的保护作用 [J]. 中草药, 2017, 48(13):2704-2710.

[20] 郭彩霞, 韩丽, 乔进平, 等. 翅果油对高脂饮食小鼠的降脂减肥作用 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(5):293-298.

[21] 胡慧明, 朱彦陈, 朱巧巧, 等. 实验性高脂血症动物模型比较分析 [J]. 中国中药杂志, 2016, 20(41):3709-3714.

[22] 诸骏仁, 高润霖, 赵水平, 等. 中国成人血脂异常防治指南(2016年修订版) [J]. 中国循环杂志, 2016, 16(10):15-35.

[23] Ding Y, Li Y, Chen Q, et al. Advances in antidiabetic drugs targeting insulin secretion [J]. Current Pharmaceutical Design, 2018, 24(34):3990-3997.

[24] Wang S H, Smith J D. ABCA1 and nascent HDL biogenesis [J]. Biofactors, 2014, 40(6):547-554.

[25] Tsujita M, Hossain M A, Lu R, et al. Exposure to high glucose concentration decreases cell surface ABCA1 and HDL biogenesis in hepatocytes [J]. Journal of Atherosclerosis & Thrombosis, 2017, 24(11):1132-1149.

[26] 应宁宁, 许小明. 三磷酸腺苷结合盒转运体 A1 介导胆固醇流出主要信号转导通路 [J]. 南昌大学学报, 2014, 54(1):97-99.

[27] Kennedy M A, Barrera G C, Nakamura K, et al. ABCG1 has a critical role in mediating cholesterol efflux to HDL and preventing cellular lipid accumulation [J]. Cell Metabolism, 2005, 1(2):121-131.