



天然蜂粮对高脂血症大鼠血脂、抗氧化及免疫功能的影响

李震¹, 刘志勇², 江武军³, 何旭江¹, 颜伟玉¹, 张丽珍¹, 曾志将¹

¹江西农业大学蜜蜂研究所, 南昌 330045; ²江西中医药大学实验动物科技中心, 南昌 330006; ³江西省养蜂研究所, 南昌 330052)

摘要: 【目的】蜂粮是工蜂将采集的花粉团贮存在巢房中, 然后将花粉团咬碎、吐蜜湿润, 经过 2—3 周发酵酿制而成。蜂粮是蜂群中大幼虫和幼龄蜜蜂发育必需的全价营养。虽然传统观点认为天然蜂粮营养价值高于蜂花粉, 但是没有科学依据。为了科学评价蜂粮营养功效, 以蜂花粉为对照, 系统研究天然蜂粮对大鼠血脂、抗氧化和免疫功能的影响。【方法】采用江西农业大学蜜蜂研究所设计生产的天然蜂粮生产器, 利用西方蜜蜂 (*Apis mellifera*) 在白莲花期生产天然蜂粮和蜂花粉。以大鼠为实验动物, 参照人每日推荐食用蜂花粉剂量, 天然蜂粮和蜂花粉均分别设置低剂量组 (80 mg·kg⁻¹)、中剂量组 (400 mg·kg⁻¹) 和高剂量组 (800 mg·kg⁻¹), 同时设置空白对照组和高脂模型对照组。按标准方法造大鼠高脂血症模型, 再连续灌胃 60 d 天然蜂粮或蜂花粉后, 测定血脂水平甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、低密度脂蛋白 (LDL) 和高密度脂蛋白 (HDL-C), 取血检测抗氧化指标超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽过氧化酶 (GSH-Px)、丙二醛 (MDA) 和总抗氧化能力 (T-AOC) 以及免疫因子白细胞介素-6 (IL-6) 和肿瘤坏死因子- α (TNF- α)。【结果】与高脂模型组相比, 蜂粮低剂量组能显著降低高脂血症大鼠血液中 TG、TC、LDL 含量, 蜂粮中剂量组能显著提高 HDL-C 含量, 蜂花粉低剂量组能显著降低高脂血症大鼠血液中 TG 与 TC 含量, 说明蜂粮和蜂花粉均有良好的降低高脂血症的功效; 与高脂模型组相比, 低剂量组蜂粮、中剂量组蜂粮、高剂量组蜂粮以及低剂量组蜂花粉、中剂量组蜂花粉均能显著升高 TNF- α 含量, 说明蜂粮和蜂花粉均具有增强免疫的效果; 与高脂模型组相比, 蜂花粉高剂量组大鼠血液中 SOD 含量显著增加, 3 个蜂粮剂量组以及蜂花粉低剂量组和中剂量组 SOD 含量均差异不显著, 说明蜂花粉高剂量组具有增强抗氧化能力的功效; 与高脂模型组相比, 6 个试验组的 GSH-Px、T-AOC 以及 MDA 含量均差异不显著。与蜂花粉低剂量组和蜂花粉中剂量组相比, 蜂粮中剂量组能显著提升 HDL-C 含量; 与 3 个蜂花粉剂量组相比, 蜂粮中剂量组能显著提高 TNF- α 含量。【结论】综合 TG、TC、LDL、HDL-C 以及 TNF- α 等指标, 天然蜂粮的降血脂和增强免疫的功效要优于蜂花粉, 天然蜂粮值得进一步开发利用。

关键词: 蜂粮; 大鼠; 血脂; 抗氧化; 免疫

Effects of Natural Bee Bread on Blood Lipid, Antioxidation and Immune Function in Rats with Hyperlipidemia

LI Zhen¹, LIU ZhiYong², JIANG WuJun³, HE XuJiang¹, YAN WeiYu¹, ZHANG LiZhen¹, ZENG ZhiJiang¹

¹Honeybee Research Institute, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045; ²Laboratory Animal Science and Technology Center, Jiangxi Chinese Medicine University, Nanchang 330006; ³Apicultural Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330052)

收稿日期: 2019-04-08; 接受日期: 2019-04-19

基金项目: 国家蜂产业技术体系资助项目 (CARS-44-kxj15)

联系方式: 李震, E-mail: zhenli1995@sina.com. 刘志勇, E-mail: 13307091857@163.com. 李震和刘志勇为同等贡献作者。通信作者曾志将, E-mail: bees1965@sina.com

Abstract: 【Objective】 Bee bread is that the worker bee stores the collected pollen mass in the nest room, then bites the pollen mass, spits honey moist, and ferments it for 2 to 3 weeks. Bee bread provides essential nutritional supply for the development of old larvae and young bees. Although the traditional view is that the nutritional value of natural bee bread is higher than that of bee pollen, but there is no scientific basis. In order to evaluate the nutritional effect of bee bread scientifically, the effects of natural bee bread on blood lipid, antioxidation and immune function in rats were systematically studied with bee pollen as control. **【Method】** The natural bee bread producer designed by the Honeybee Research Institute of Jiangxi Agricultural University was used to produce natural bee bread and pollen by honey bee workers (*Apis mellifera*) at the flowering stage of white lotus. The hyperlipidemia rats used in this study were established by standard method. A blank control group and a high-fat model control group were prepared. Three doses of bee bread and pollen (low-dose group of $80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, middle-dose group of $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and high-dose group of $800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) were fed to hyperlipidemia rats, respectively. After intragastric administration natural bee bread and bee pollen for 60 days, the levels of blood lipids including triglyceride (TG), total cholesterol (TC), low density lipoprotein (LDL) and high density lipoprotein (HDL-C) were measured. Additionally, antioxidant indexes superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), malondialdehyde (MDA), total antioxidant capacity (T-AOC), immune factors interleukin 6 (IL-6) and tumor necrosis factor α (TNF- α) were detected in blood. **【Result】** Compared with the high-fat model group, low-dose bee bread treatment group significantly reduced the levels of TG, TC and LDL in the blood of hyperlipidemia rats. Middle-dose bee bread treatment group significantly increased the level of HDL-C. Low-dose bee pollen treatment group significantly reduced the levels of TG and TC, which indicated that both bee bread and bee pollen had a good effect on reducing hyperlipidemia. Additionally, low-, middle-, high-dose bee bread, as well as low- and middle-dose bee pollen significantly increased the content of TNF- α , which indicated that both bee bread and bee pollen enhanced immune responses compared with the high-fat model group. The SOD content in the blood of rats with high-dose bee pollen group increased significantly, but the differences among the three doses of bee bread groups, the low- and the middle-dose groups of bee pollen were not statistically significant compared with the high-fat model group. It suggested that the high-dose bee pollen enhanced antioxidant capacity. Compared with the high-fat model group, the contents of GSH-Px, T-AOC and MDA among the six experimental groups were not significantly different. Compared with the low- and middle-dose bee pollen groups, the middle-dose bee bread group significantly increased the content of HDL-C. Compared with the three groups of bee pollen, middle-dose bee bread group significantly increased the TNF- α content. **【Conclusion】** Combined with TG, TC, LDL, HDL-C and TNF- α , the effects of natural bee bread on reducing blood lipid and enhancing immunity were stronger than those of bee pollen. Natural bee bread is worthy of further development and utilization.

Key words: honeybee bread; rat; blood lipid; antioxidation; immunity

0 引言

【研究意义】蜂粮 (honeybee bread) 可直译为蜜蜂面包, 又称为蜂巢花粉。蜂粮是工蜂采集植物花粉, 经过咬碎, 并加入少量蜂蜜和舌腺分泌物, 然后在微生物作用下, 经过 2—3 周发酵酿制而成。蜂粮是蜂群中大幼虫和幼蜂发育过程中的主要食物, 也是蜜蜂繁殖期的重要饲料^[1]。天然蜂粮作为新型蜂产品显示出良好的开发应用前景^[1-2]。测定天然蜂粮对动物血脂、免疫及抗氧化功能的影响, 科学评价天然蜂粮的营养功效, 对于产品开发具有重要意义。**【前人研究进展】**国内外许多学者为了如何生产天然蜂粮做了大量研究, 比如张少斌等研制了 KF-1 和 KF-2 塑料巢脾^[3-5]; 苏松坤等设计了一种空圆锥体器具, 通过压挤方式生产天然蜂粮^[6-7]; AKHMETOVA 等研发了一套天然蜂粮生产机械设备, 但操作繁琐, 且会损坏巢脾^[8]; 江武军等依据工蜂贮粉生物学特性, 研制了一种天然蜂

粮生产器, 主要包括贮粮器和脱粮器^[9-10]。与天然蜂粮相近的是人工仿生发酵蜂粮。人工仿生发酵蜂粮是人工模拟蜜蜂酿制蜂粮机理, 利用蜂花粉进行发酵生产。人工仿生发酵蜂粮营养成分, 如蛋白质、氨基酸、总糖、不饱和脂肪酸、维生素及黄酮类化合物等含量, 与天然蜂粮相比均有一定差异^[11-18]。目前, 天然蜂粮与蜂花粉营养价值高低还存在一定争议: 石憬林认为蜂粮营养成分并不高于蛋白质, 理由是两者主要成分均为蛋白质^[19]。但国内外许多学者认为蜂粮营养成分高于蜂花粉, 主要原因是天然蜂粮在工蜂酿制过程中, 产生了许多发酵营养产物以及大量益生菌群, 且蜂粮酿制成熟后, 蜂花粉中的蛋白质转化为易于机体吸收的小分子多肽。这些营养产物和益生菌群对促进人类健康有着重要作用, 是一种纯天然发酵食品和保健食品, 因此天然蜂粮具有良好的开发应用前景^[20-22]。**【本研究切入点】**虽然目前生产天然蜂粮技术已基本成熟^[10], 天然蜂粮成分也有比较系统的研究^[10,12-14,16-17,20], 但还未见天然

蜂粮对动物血脂、抗氧化及免疫功能影响的系统报道。

【拟解决的关键问题】利用自主研发的天然蜂粮生产器生产天然蜂粮,以蜂花粉为对照,明确天然蜂粮对动物血脂、抗氧化及免疫功能的影响,验证其对动物的功效,为天然蜂粮的进一步开发利用打下理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验样品 采用江西农业大学蜜蜂研究所研制天然蜂粮生产器,2018年7—8月利用西方蜜蜂(*Apis mellifera*)在江西省石城县白莲花期生产天然蜂粮^[10],同时利用常规脱粉器放在蜂群巢门口生产蜂花粉,并及时晒干^[23]。生产的天然蜂粮和蜂花粉分别密封瓶装放入-18℃冰柜中保存备用。

1.1.2 主要仪器与试剂 天然蜂粮生产器、全自动生化仪(贝克曼 AU480)、酶标仪(Thermo)、显微镜(IX37生物显微镜提供)、电子天平(AUY120岛津分析天平)。检测血脂含量试剂盒由上海科华生物技术有限公司提供;检测抗氧化和免疫指标试剂盒由上海赫湃生物科技有限公司提供。

1.1.3 实验动物 SPF级SD大鼠70只,体重(93.44±1.19)g,单一雄性,由江西中医药大学实验动物科技中心提供,合格证号:SCXK(赣)2018-0003。实验大鼠用饲料和垫料统一由湖北万千佳兴有限公司提供。实验大鼠饲养在江西中医药大学实验动物科技中心SPF级屏障系统内,环境温度为20—23℃、相对湿度45%—55%,使用许可号为SYXK(赣)2018-0004。

1.1.4 高脂饲料配方 88.9%基础饲料、10%黄油、1%胆固醇、0.1%猪胆盐。

1.2 方法

1.2.1 剂量设置 参照人推荐用量 20 g·d⁻¹·50 kg⁻¹(即人用量 400 mg·d⁻¹·kg⁻¹),设立 400 mg·d⁻¹·kg⁻¹为试验中剂量组,上下再各设 1 个高剂量组为 800 mg·d⁻¹·kg⁻¹和低剂量组为 80 mg·d⁻¹·kg⁻¹。

1.2.2 大鼠血脂试验 实验大鼠造高血脂模型:大鼠适应性饲养 4 d 后开始试验,其中空白对照组饲喂普通基础饲料,其余各组饲喂高脂饲料。造模 20 d 后,隔夜禁食不禁水,次日进行眼眶取血,测定血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL-C)含量。试验组和高脂模型TG含量远高于对照视为造模成功。

试验分为 8 个组,即 7 个血脂试验组,1 个空白对照组,每组大鼠 8 只。大鼠高血脂模型成功后,分

为 7 个血脂试验组,每组大鼠 8 只。3 个天然蜂粮试验组:天然蜂粮低剂量组(HB-L),80 mg·d⁻¹·kg⁻¹;天然蜂粮中剂量组(HB-M),400 mg·d⁻¹·kg⁻¹;天然蜂粮高剂量(HB-H),800 mg·d⁻¹·kg⁻¹。3 个蜂花粉试验组:蜂花粉低剂量组(HP-L),80 mg·d⁻¹·kg⁻¹;蜂花粉中剂量组(HP-M),400 mg·d⁻¹·kg⁻¹;蜂花粉高剂量组(HP-M),800 mg·d⁻¹·kg⁻¹。1 个高脂模型对照组(HM)。同时设 1 个空白对照组(C)。3 个蜂粮组、3 个蜂花粉组以及高脂模型对照组持续饲喂高脂饲料,但 3 个蜂粮组和 3 个蜂花粉组同时分别按剂量设计灌胃蜂粮或蜂花粉;空白对照组一直喂正常基础饲料。灌胃持续 60 d,第 60 天晚禁食不禁水后,腹主动脉采血,测其血脂、抗氧化、免疫因子指标。

检测指标及方法:使用贝克曼 AU480 全自动生化仪和血脂试剂盒测定大鼠血液中 TG、TC、LDL 和 HDL-C 含量;测定大鼠血液中超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA)、总抗氧化能力(T-AOC)、白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)水平,测定方法参照试剂盒说明书;选取部分大鼠肝脏组织,用石蜡包埋,轮转式切片机制备切片,用 HE 染色剂染色,每张切片随机选取 10 个高倍镜视野进行病理观察。

1.3 数据统计与分析

数据使用平均数±SE表示,用 Statview 统计软件进行数据分析,采用 ANOVA 中的“ANOVA or ANCOVA”进行比较,组间比较采用 LSD 多重比较,差异显著性设定为 P<0.05。

2 结果

2.1 天然蜂粮对大鼠血脂指标的影响

由表 1 可知,采用高脂饲料喂养大鼠 20 d,模型组血液中的甘油三酯含量显著高于空白对照组,说明高脂模型造模成功。

由表 2 可知,与高脂模型组相比,蜂粮低剂量组、蜂粮中剂量组和蜂花粉低剂量组大鼠血液中甘油三酯含量显著降低;蜂粮低剂量组、高剂量组和 3 个蜂花粉剂量组大鼠血液中总胆固醇含量显著降低;蜂粮低剂量组大鼠血液中低密度脂蛋白含量显著降低;蜂粮中剂量组大鼠血液中高密度脂蛋白含量显著升高。与蜂花粉低剂量组和蜂花粉中剂量组相比,蜂粮中剂量组能显著提升高密度脂蛋白含量。这说明蜂粮和蜂花粉均有良好的降低高脂血症的功效,但综合各测定指标可见,天然蜂粮的降血脂功效要优于蜂花粉。

表 1 造模后血液中甘油三酯含量

Table 1 Blood triglyceride content after model establishment

试验分组 Experimental grouping	甘油三酯 Triglyceride (mmol·L ⁻¹)
C	0.839±0.086b
HM	2.899±0.199a
HB-L	2.991±0.150a
HB-M	2.987±0.165a
HB-H	2.964±0.134a
HP-L	2.981±0.197a
HP-M	2.942±0.140a
HP-H	2.951±0.106a

同列数据后含有相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同 The same lowercase letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

表 2 蜂粮与蜂花粉对大鼠的降血脂效果

Table 2 Effects of bee bread and pollen on reducing blood lipid in rats

试验分组 Experimental grouping	甘油三酯 Triglyceride (mmol·L ⁻¹)	总胆固醇 Total cholesterol (mmol·L ⁻¹)	低密度脂蛋白 Low density lipoprotein (mmol·L ⁻¹)	高密度脂蛋白 High density lipoprotein (mmol·L ⁻¹)
C	0.98±0.11b	2.16±0.28b	0.43±0.04b	0.32±0.04a
HM	1.65±0.24a	3.24±0.44a	0.77±0.09a	0.21±0.03c
HB-L	1.01±0.16b	2.09±0.22b	0.49±0.07b	0.23±0.03bc
HB-M	1.11±0.19b	2.51±1.20ab	0.61±0.09ab	0.30±0.04ab
HB-H	1.28±0.18ab	2.38±0.32b	0.61±0.08ab	0.26±0.03abc
HP-L	0.97±0.10b	2.34±0.12b	0.64±0.05ab	0.21±0.02c
HP-M	1.28±0.17ab	2.20±0.20b	0.60±0.09ab	0.21±0.02c
HP-H	1.23±0.12ab	2.12±0.20b	0.58±0.16ab	0.28±0.03abc

表 3 蜂粮与蜂花粉对大鼠血液抗氧化的效果

Table 3 Effects of bee bread and pollen on blood antioxidation in rats

试验分组 Experimental grouping	超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase (U·mL ⁻¹)	谷胱甘肽过氧化物酶 Glutathione peroxidase (U·mL ⁻¹)	总抗氧化活力 Total antioxidation capacity (U·mL ⁻¹)	丙二醛 Malondialdehyde (nmol·L ⁻¹)
C	301.26±31.10a	177.78±30.52a	143.43±4.32a	7.60±0.35a
HM	279.94±23.74a	155.20±18.97a	117.58±6.01bcd	8.05±0.38ab
HB-L	250.19±29.09a	157.41±16.23a	122.43±2.23b	9.15±0.28b
HB-M	257.71±13.85a	161.73±27.77a	108.76±3.20d	8.93±0.58b
HB-H	274.34±17.28a	156.79±25.79a	121.99±2.85bd	8.75±0.42b
HP-L	316.89±31.89ab	128.40±16.61a	113.92±2.49cd	8.47±0.22ab
HP-M	255.57±25.38a	151.23±26.13a	125.02±2.53b	8.37±0.55ab
HP-H	390.74±16.40b	183.75±10.05a	122.92±3.24bc	8.71±0.22ab

2.2 天然蜂粮对大鼠抗氧化功能的影响

由表 3 可知, 与高脂模型组相比, 蜂花粉高剂量组大鼠血液中超氧化物歧化酶含量显著增加, 3 个蜂粮剂量组以及蜂花粉低剂量组和中剂量组超氧化物歧化酶含量均差异不显著; 与高脂模型组相比, 6 个试验组的谷胱甘肽过氧化物酶、总抗氧化活力以及丙二醛含量均差异不显著。这说明蜂花粉高剂量组具有增强抗氧化能力的功效。

2.3 天然蜂粮对大鼠免疫因子的影响

由表 4 可知, 与高脂模型组相比, 蜂花粉中剂量组大鼠血液中白细胞介素-6 含量显著降低, 3 个蜂粮剂量组大鼠血液中白细胞介素-6 含量有升高的趋势, 但差异不显著; 与高脂模型组相比, 蜂粮低剂量组、中剂量组、高剂量组和花粉低剂量组、中剂量组大鼠血液中肿瘤坏死因子- α 含量均显著增加。与 3 个

表 4 蜂粮与蜂花粉对大鼠血液免疫因子的影响

Table 4 Effects of bee bread and pollen on blood immune factor in rats

试验分组 Experimental grouping	白细胞介素-6 Interleukin 6 (pg·mL ⁻¹)	肿瘤坏死因子- α Tumor necrosis factor α (pg·mL ⁻¹)
C	301.24±12.13a	252.07±9.128a
HM	285.71±9.49ab	129.34±5.87d
HB-L	287.07±11.53ab	207.05±11.28b
HB-M	312.75±8.58a	248.03±17.07a
HB-H	258.51±13.25b	188.43±21.00bc
HP-L	279.81±5.12bc	193.34±13.92bc
HP-M	255.16±16.20c	187.26±15.16bc
HP-H	257.69±8.62bc	150.66±16.56cd

蜂花粉剂量组相比,蜂粮中剂量组大鼠血液中白细胞介素-6和肿瘤坏死因子- α 含量显著升高。这说明蜂粮免疫的效果优于蜂花粉。

2.4 大鼠肝脏组织切片病理学观察

空白对照组大鼠肝脏组织细胞呈正常索状规律排列,组织结构正常,无炎性浸润,无空泡变性。高脂模型组肝脏组织细胞呈混乱排列,有脂滴空泡变性,有炎性浸润。与高脂模型组相比,蜂粮低剂量组肝脏组织细胞呈混乱排列,脂滴减少,炎性浸润程度、空泡变性程度降低。蜂粮中剂量组肝脏组织细胞细胞呈混乱排列,空泡变性程度进一步降低,无炎性浸润。蜂粮高剂量组肝脏组织脂滴进一步减少,空泡变性程度较之前两组降到最低,且无炎性浸润。蜂花粉低剂

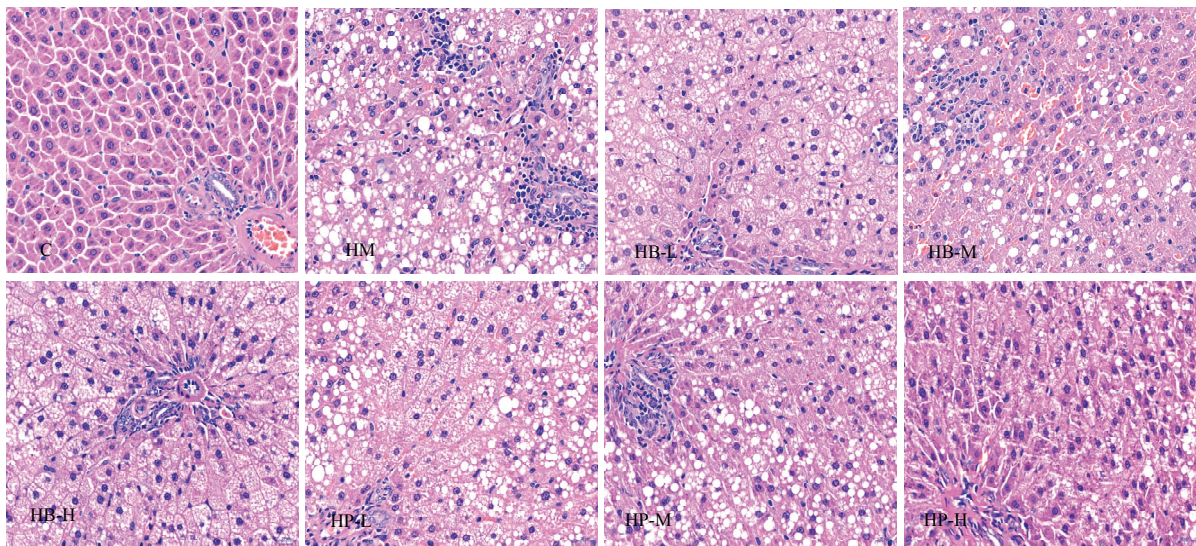


图 1 大鼠肝脏组织病理切片 (HE 染色×400)

Fig. 1 The liver histopathological sections of rats (HE staining ×400)

量组、中剂量组和高剂量组肝脏组织细胞呈混乱排列,随着剂量升高脂滴逐渐减少,空泡变性程度逐步降低,除花粉中剂量组偶见炎性浸润外其余两组均未见炎性浸润(图1)。

3 讨论

高脂血症是一种血液中甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白(LDL)含量过高,高密度脂蛋白(HDL-C)含量过低的脂类代谢紊乱疾病,是造成动脉粥样硬化的主要“元凶”之一^[24]。动脉粥样硬化会进一步导致冠心病、高血压、脑梗、外周血管

病等心脑血管疾病的发生。全面筛查和防治高脂血症,对保护心脑血管健康具有积极意义。包国良等报道了灌胃卵磷脂花粉能显著降低高脂血症大鼠血液中TG、TC含量,提高HDL-C含量^[25];王开发等报道了玉米花粉中所具有的黄酮类物质能够显著治疗实验性高脂血症^[26];破壁松花粉、松花粉超临界萃取物以及蜂花粉多糖均具有辅助降血脂的作用^[27-29]。蜂花粉降血脂的主要机理是其含有的黄酮类化合物(主要以游离的黄酮苷元形式存在)、黄酮醇衍生物(槲皮素、山奈酚、杨梅素、异鼠李素和黄柏素苷等衍生物)^[30]和不饱和脂肪酸能够与肠道内部的胆固醇结合成易于机体

转化、转运、代谢和排泄的酯;其与胆酸结合能够抑制肠道对 TC 的吸收,加速 TC 的代谢和排泄,从而减少血清中 TC 含量^[31]。黄酮类化合物还具有通过抑制 LDL 氧化来起到预防动脉粥样硬化的作用。脂蛋白酯酶(LPL)是降解 TG 的限速酶,黄酮类化合物可增强 LPL 的活性,减少 TG 的沉积^[32]。HDL 可从血浆中转运胆固醇,预防高脂血症,一旦 HDL 在体内发生氧化修饰,不仅会丧失原有转运功能,还会刺激原癌基因表达。研究表明黄酮单体是一种性能良好的抗氧化剂,会显著抑制 Fe²⁺介导的 HDL 氧化修饰作用,保护天然 HDL 的蛋白结构^[33]。本试验发现,天然蜂粮的降血脂功效要优于蜂花粉,可能与蜂粮中总黄酮含量显著高于蜂花粉^[30,34-35],以及蜂粮含有丰富不饱和脂肪酸相关^[36],其详细机理还有待进一步研究。蜂粮高剂量组和蜂花粉高剂量组 TG、LDL 含量这两个指标没有达到预期的剂量效应,具体原因还待进一步分析。

超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)是两种主要清除机体内氧自由基的酶,可减少机体因氧自由基过多带来的氧化损伤,延缓机体衰老^[37]。GSH-Px 能将有毒的过氧化物催化还原成无毒的羟基化合物,保护细胞膜的正常结构,使其不受过氧化物损伤。有研究表明,花粉中主要的抗氧化因子是黄酮类化合物、多糖、多酚类物质、维生素 C、维生素 E 和酶类等物质^[38-39],对羟基自由基具有较好的清除效果^[40]。本研究发现,花粉高剂量组能显著升高高脂血症大鼠血液中 SOD 含量,这与前人的研究结果相一致^[41]。中剂量蜂粮和高剂量花粉都具有升高 GSH-Px 活力趋势,增幅分别为 4.21%和 18.40%,但差异无统计学意义($P>0.05$)。这可能与花粉和蜂粮中含有的天然活性抗氧化成分通过清除羟基自由基、超氧阴离子自由基、DPPH 自由基来增强 SOD、GSH-Px 的活性来发挥抗氧化作用有关^[39-40]。

白细胞介素-6(IL-6)对免疫系统的细胞和非免疫系统的细胞有广泛的作用,属于免疫调节细胞因子^[42]。参与促进淋巴 T 细胞、B 细胞、NK 细胞等免疫细胞的分化,促进破骨细胞和血管生成的分化、角化细胞和肾小球膜细胞的增殖^[43]。肿瘤坏死因子- α (TNF- α)是一种由巨噬细胞、NK 细胞和 T 淋巴细胞产生的小分子蛋白,对肿瘤细胞有着直接杀伤作用,对正常细胞无毒性^[44]。本研究发现,与高脂模型组相比,中剂量蜂粮能升高高脂血症大鼠血液中 IL-6 含量,增幅为 9.46%,但差异无统计学意义($P>0.05$),显

著升高血液中 TNF- α 含量。与 3 个花粉剂量组相比,蜂粮增强免疫功效强于蜂花粉,具体机理还不清楚。

观察高脂血症大鼠的肝脏病理切片可知,随着蜂粮和蜂花粉剂量的升高,肝脏组织的脂滴逐渐减少,空泡变性程度逐渐减轻。其护肝机制还有待进一步探索。

我国是世界第一养蜂大国,蜂群饲养量和蜂产品都居世界首位,特别蜂王浆生产技术和相关基础研究都取得了可喜进展^[45-47]。随着天然蜂粮生产技术推广,以及天然蜂粮营养成分和功能的深入研究,天然蜂粮这种新型蜂产品具有良好市场前景。

4 结论

综合甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白以及肿瘤坏死因子- α 等指标,天然蜂粮的降血脂和增强免疫的功效要优于蜂花粉,天然蜂粮值得进一步开发利用。

致谢:在实验过程中,得到了江西省石城县农业和粮食局刘光楠以及江西中医药大学李龙雪、舒坤等老师支持和帮助,在此表示衷心感谢!

References

- [1] 江武军,曾志将.蜂粮研究进展.黑龙江畜牧兽医,2015(1):118-119.
JIANG W J, ZENG Z J. Advances on the bee bread research. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2015(1): 118-119. (in Chinese)
- [2] ANDELKOVIĆ B, JEVTIĆ G, MLADENOVIĆ M, MARKOVIĆ J, PETROVIĆ M, NEDIĆ N. Quality of pollen and honey bee bread collected in spring. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 2012, 1: 275-277.
- [3] 张少斌.分合式巢房巢脾:CN99222971.5[P].(1999-03-02)[2019-04-08].
ZHANG S B. Split type of comb: CN99222971.5[P].(1999-03-02)[2019-04-08]. (in Chinese)
- [4] 张少斌,张明海.开合式巢脾:CN200520020078.6[P].(2005-01-17)[2019-04-08].
ZHANG S B, ZHANG M H. Retractable comb: CN200520020078.6[P].(2005-01-17)[2019-04-08]. (in Chinese)
- [5] 张少斌,张石胜.KF-1、2型塑料巢脾在养蜂生产上的应用.中国养蜂,1999,50(4):17.
ZHANG S B, ZHANG S S. The application in the production of

- plastic comb bee of KF-1 or KF-2. *Apiculture of China*, 1999, 50(4): 17. (in Chinese)
- [6] 苏松坤, 陈盛禄. 天然蜂粮的生产方法及器具: CN200410073451.4[P]. (2004-12-16) [2019-04-08].
- SU S K, CHEN S L. Method and apparatus for producing natural bee bread: CN200410073451.4[P]. (2004-12-16) [2019-04-08]. (in Chinese)
- [7] 苏松坤, 陈盛禄, 刘华, 林雪珍. 天然蜂粮生产方法. 养蜂科技, 2006(6): 32-33.
- SU S K, CHEN S L, LIU H, LIN X Z. Method for producing natural bee bread. *Apicultural Science and Technology*, 2006(6): 32-33. (in Chinese)
- [8] AKHMETOVA R, SIBGATULLIN J, GARMONOV S, AKHMETOVA L. Technology for extraction of bee-bread from the honeycomb. *Procedia Engineering*, 2012, 42: 1822-1825.
- [9] 江武军, 何旭江, 吴小波, 席芳贵, 曾志将. 天然蜂粮生产技术及贮存规律研究. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1293-1298.
- JIANG W J, HE X J, WU X B, XI F G, ZENG Z J. Study on production technology and storage regular analysis of natural honeybee bread. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, 40(6): 1293-1298. (in Chinese)
- [10] 江武军, 吴小波, 刘光楠, 何旭江, 颜伟玉, 曾志将. 天然蜂粮生产技术研究与应用. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3828-3836.
- JIANG W J, WU X B, LIU G N, HE X J, YAN W Y, ZENG Z J. Research and application of production technology of natural honeybee bread. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(19): 3828-3836. (in Chinese)
- [11] 费起充. 蜂粮的制作. 蜜蜂杂志, 1998(7): 15.
- FEI Q C. Bee bread production. *Journal of Bee*, 1998(7): 15. (in Chinese)
- [12] 苏松坤. 蜂粮(bee bread)的酿制机理和营养价值的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.
- SU S K. Studies on brew mechanism and nutritive value of bee bread[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2000. (in Chinese)
- [13] 苏松坤, 陈盛禄, 林雪珍, 胡福良, 余旭平, 汪礼国, 王正二. 茶(*Camellia sinensis*)蜂花粉与蜂粮中花粉形态和营养成分的比较. 中国养蜂, 2000, 51(6): 3-6.
- SU S K, CHEN S L, LIN X Z, HU F L, YU X P, WANG L G, WANG Z E. The comparison of pollen morpha and nutrient components between corbicular tea (*Camellia sinensis*) pollen and bee bread. *Apiculture of China*, 2000, 51(6): 3-6. (in Chinese)
- [14] 苏松坤, 陈盛禄. 茶(*Camellia sinensis*)蜂花粉及其蜂粮的营养成分研究. 上海交通大学学报(农业科学版), 2002, 20(2): 95-99.
- SU S K, CHEN S L. The research of nutrient compositions of tea (*Camellia sinensis*) corbicular pollen and tea bee bread. *Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2002, 20(2): 95-99. (in Chinese)
- [15] 苏松坤, 陈盛禄, 李言清. 人工蜂粮的制备方法: CN03150405.1[P]. (2003-08-15) [2019-04-08].
- SU S K, CHEN S L, LI Y Q. The preparation method of artificial bee bread: CN03150405.1[P]. (2003-08-15) [2019-04-08]. (in Chinese)
- [16] VÁSQUEZ A, OLOFSSON T C. The lactic acid bacteria involved in the production of bee pollen and bee bread. *Journal of Apicultural Research*, 2009, 48(3): 189-195.
- [17] DUAN C R, FENG Y F, ZHOU H, XIA X H, SHANG Y N, CUI Y M. Optimization of fermentation condition of man-made bee-bread by response surface methodology//ZHANG T C, NAKAJIMA M. *Advances in Applied Biotechnology*. Springer Berlin Heidelberg, 2015: 353-363.
- [18] 崔学沛. 意大利蜜蜂天然成熟蜂粮菌种鉴定及人工蜂粮发酵影响因素的探究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- CUI X P. The identification of strains in natural mature bee bread of honey bee (*A. mellifera* L.) and study on the fermentation conditions of artificial bee bread[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [19] 石憬林. 蜂粮营养并不高于蜂花粉. 养蜂科技, 1994(3): 20-21.
- SHI J L. Bee bread nutrition is not higher than bee pollen. *Apicultural Science and Technology*, 1994(3): 20-21. (in Chinese)
- [20] 袁耀东. 蜂粮的成分和作用. 中国养蜂, 1991(6): 36-37.
- YUAN Y D. Composition and function of bee food. *Apiculture of China*, 1991(6): 36-37. (in Chinese)
- [21] BALTRUŠAITIYTE V, VENSUKUTONIS P R, CEKSTERYTE V. Antibacterial activity of honey and beebread of different origin against *S. aureus* and *S. epidermidis*. *Food Technology and Biotechnology*, 2007, 45(2): 201-208.
- [22] DEGRANDI-HOFFMAN G, ECKHOLM B J, HUANG M H. Concentrations of nutrients in pollen can change after conversion to bee bread. *American Bee Journal*, 2013, 153(11): 1195-1198.
- [23] 曾志将. 养蜂学. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- ZENG Z J. *Apiculture*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2017. (in Chinese)
- [24] 李楠, 赵静, 吴茹, 王文君. 青钱柳多糖对高脂血症小鼠脂代谢及PPAR γ 、ATGL 基因 mRNA 表达的影响. 中国食品学报, 2015, 15(9): 9-14.
- LI N, ZHAO J, WU R, WANG W J. Research on the influence of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) *Ilijinskaja* polysaccharide on PPAR γ and

- ATGL gene expression in hyperlipidemia mice. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(9): 9-14. (in Chinese)
- [25] 包国良, 傅颖. 卵磷脂花粉对实验性高血脂大鼠的降血脂效应及其机制研究. *医学研究杂志*, 2008, 37(8): 99-102.
- BAO G L, FU Y. Study of the effect and function mechanism of pine pollen on reducing the blood-level of the experimental mice. *Journal of Medical Research*, 2008, 37(8): 99-102. (in Chinese)
- [26] 王开发, 王隆华, 支崇远, 陈素英, 邹军. 玉米花粉黄酮类物质对SD大鼠降血脂作用的研究. *放射免疫学杂志*, 2002, 15(6): 368-370.
- WANG K F, WANG L H, ZHI C Y, CHEN S Y, ZOU J. Effect of flavone material in maize pollen on reducing blood fat of SD rats. *Journal of Radioimmunology*, 2002, 15(6): 368-370. (in Chinese)
- [27] 樊柏林, 刘烈刚. 破壁松花粉对大鼠降血脂效应及作用机制研究. *职业与健康*, 2005, 21(6): 809-811.
- FAN B L, LIU L G. Study on the effect and functional mechanism of pine pollen on reducing the blood-fat level of the experimental mice. *Occupation and Health*, 2005, 21(6): 809-811. (in Chinese)
- [28] 杜孟浩, 王敬文, 张金萍, 汪永义, 高华. 松花粉超临界二氧化碳萃取物降血脂功能实验研究. *中国现代医学杂志*, 2008, 18(21): 3171-3173, 3176.
- DU M H, WANG J W, ZHANG J P, WANG Y Y, GAO H. Effects of oil extracted with supercritical CO₂ fluid from pine pollen (*Pinus massoniana*) on the regulation of blood lipid. *China Journal of Modern Medicine*, 2008, 18(21): 3171-3173, 3176. (in Chinese)
- [29] 曾志将, 汪礼国, 饶波, 樊兆斌, 谢国秀. 蜂花粉多糖对大鼠降血脂效果研究. *江西农业大学学报*, 2004, 26(3): 406-408.
- ZENG Z J, WANG L G, RAO B, FAN Z B, XIE G X. A study on the effect of honeybee pollen polysaccharide on decreasing lipoidemia in rat. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(3): 406-408. (in Chinese)
- [30] SOBRAL F, CALHELHA R C, BARROS L, DUENAS M, TOMAS A, SANTOS-BUELGA C, VILAS-BOAS M, FERREIRA I C. Flavonoid composition and antitumor activity of bee bread collected in Northeast Portugal. *Molecules*, 2017, 22: 248.
- [31] 韩敏. 黄酮类化合物降血脂作用研究进展. *西安文理学院学报* (自然科学版), 2013, 16(4): 11-15.
- HAN M. Recent studies on flavonoids in lowering blood lipid. *Journal of Xi'an University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2013, 16(4): 11-15. (in Chinese)
- [32] 梁伟伟, 严瑾, 吴利花, 范春雷. 山楂叶总黄酮对高脂血症大鼠脂代谢的影响. *健康研究*, 2010, 30(1): 8-11.
- LIANG W W, YAN J, WU L H, FAN C L. Effect of hawthorn leaf flavonoids on lipid metabolism in hyperlipidemia rats. *Health Research*, 2010, 30(1): 8-11. (in Chinese)
- [33] 李家富, 何涛, 李刚, 罗兴林, 魏宗德. 醋柳黄酮单体对高密度脂蛋白氧化修饰的影响. *现代中西医结合杂志*, 2004, 13(24): 3234-3235.
- LI J F, HE T, LI G, LUO X L, WEI Z D. Effect of *Hippophae rhamnoides* flavonoid monomers on oxidative modification of high density lipoprotein. *Modern Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2004, 13(24): 3234-3235. (in Chinese)
- [34] 夏广英. 蜂花粉中总黄酮的提取研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- XIA G Y. Study on the extraction of the total flavonoids in bee-pollen[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008. (in Chinese)
- [35] IVANIŠOVÁ E, KAČÁNIOVÁ M, FRANČÁKOVÁ H, PETROVÁ J, HUTKOVÁ J, BROVARSKYI V, VELYCHKO S, ADAMCHUK L, SCHUBERTO VÁ Z, MUSILOVÁ J. Bee bread-perspective source of bioactive compounds for future. *Potravinárstvo*, 2015, 9(1): 592-298.
- [36] KAPLAN M, KARAOGLU Ö, EROGLU N, SILICI S. Fatty acid and proximate composition of bee bread. *Food Technology and Biotechnology*, 2016, 54(4): 497-504.
- [37] 孙远东, 唐新科, 刘丽莉. 线粒体氧自由基和衰老的研究进展. *湘潭师范学院学报* (自然科学版), 2008, 30(3): 36-38.
- SUN Y D, TANG X K, LIU L L. Advances in mitochondrial oxygen free radicals and aging. *Journal of Xiangtan Normal University (Natural Science Edition)*, 2008, 30(3): 36-38. (in Chinese)
- [38] 赵凤奎, 胥保华. 蜂花粉的抗氧化作用. *中国蜂业*, 2013, 64(Z2): 38-43.
- ZHAO F K, XU B H. The antioxidant effect in bee pollen. *Apiculture of China*, 2013, 64(Z2): 38-43. (in Chinese)
- [39] 孙丽萍, 杜夏, 徐响, 董捷, 安仲姚, 杨佳林. 薄层层析-生物自显影法筛选油菜蜂花粉中活性成分. *食品科学*, 2010, 31(21): 69-71.
- SUN L P, DU X, XU X, DONG J, AN Z Y, YANG J L. Using TLC-bioautography to screen active compounds in rape bee pollen. *Food Science*, 2010, 31(21): 69-71. (in Chinese)
- [40] 石玉平, 卢挺, 王永宁. 油菜蜂花粉中黄酮类物质清除羟基自由基的研究. *食品科学*, 2004, 25(11): 300-302.
- SHI Y P, LU T, WANG Y N. Studies on the hydroxy-group free radical eliminated of flavonoids of *Elaeagnus angustifolia* L. *Food Science*, 2004, 25(11): 300-302. (in Chinese)
- [41] 彭国霞, 赵浩安, 刘清清, 张颖, 程妮, 曹炜. 茶花粉的抗氧化活性及其对急性酒精肝损伤的保护作用. *食品科学*, 2018, 39(17): 127-133.

- PENG G X, ZHAO H A, LIU Q Q, ZHANG Y, CHENG N, CAO W. Antioxidant and hepatoprotective effects of *Camellia japonica* bee pollen on acute alcohol-induced liver damage in mice. *Food Science*, 2018, 39(17): 127-133. (in Chinese)
- [42] ROSE-JOHN S, SCHELLER J, SCHAPER F. "Family reunion"-A structured view on the composition of the receptor complexes of interleukin-6-type and interleukin-12-type cytokines. *Cytokine and Growth Factor Reviews*, 2015, 26(5): 471-474.
- [43] HUNTER C A, JONES S A. IL-6 as a keystone cytokine in health and disease. *Nature Immunology*, 2015, 16(5): 448-457.
- [44] 冯馨锐, 崔雨舒, 何志涛, 崔小鹏, 王路, 潘巧燕, 齐玲. 肿瘤坏死因子- α 的生物学功能研究进展. 吉林医药学院学报, 2019, 40(1): 66-68.
- FENG X R, CUI Y S, HE Z T, CUI X P, WANG L, PAN Q Y, QI L. Advances in biological functions of tumor necrosis factor- α . *Journal of Jilin Medical University*, 2019, 40(1): 66-68. (in Chinese)
- [45] LIU H, WANG Z L, TIAN L Q, QIN Q H, WU X B, YAN W Y, ZENG Z J. Transcriptome difference in hypopharyngeal gland between western honeybees (*Apis mellifera*) and eastern honeybees (*Apis cerana*). *BMC Genomics*, 2014, 15: 744.
- [46] 李爽, 李建科. 蜂王浆高产蜜蜂与意大利蜜蜂工蜂上颚腺磷酸化蛋白质组分析. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4656-4670.
- LI S, LI J K. Comparative analysis of phosphoproteome between mandibular glands of high royal jelly producing bees and Italian bees. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4656-4670. (in Chinese)
- [47] 张波, 吴小波, 廖春华, 何旭江, 颜伟玉, 曾志将. 蜜蜂免移虫技术研究与应用. 中国农业科学, 2018, 51(22): 4387-4394.
- ZHANG B, WU X B, LIAO C H, HE X J, YAN W Y, ZENG Z J. Research and application of honeybee non-grafting larvae technology. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(22): 4387-4394. (in Chinese)

(责任编辑 岳梅)