

茯砖茶水提物对高脂血症小鼠脂质代谢的影响 及其抗氧化作用的研究

林 勇^{1,2*}, 刘仲华^{1,2*}, 林海燕², 严煜钧¹

(1. 国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 长沙 410128)

摘要: **目的** 考察茯砖茶的降血脂及肝保护作用。**方法** 用高脂饲料饲喂小鼠建立高脂血症动物模型, 以不同剂量(50 mg/kg·BW、150 mg/kg·BW、300 mg/kg·BW)茯砖茶水提物给小鼠每天灌胃, 连续4周后检测血清中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平。同时观察其对肝组织谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、体重、肝体比及肝组织病理变化的影响。**结果** 结果显示, 与模型组相比, 茯砖茶水提物可呈剂量依赖性地降低血清中TC、TG、LDL-C的水平, 提高HDL-C的含量。茯砖茶水提物还可以显著降低小鼠体重、肝体比及肝组织中MDA含量, 极显著提高肝组织中GSH-Px和SOD活性, 并减轻了肝脏的脂肪变性程度。**结论** 茯砖茶水提物有较明显地改善脂质代谢和抗氧化的作用。**关键词:** 茯砖茶; 高脂血症; 脂质代谢; 抗氧化

Study on influence of Fuzhuan brick tea aqueous extract on lipid metabolism in hyperlipidemia mice and its antioxidation

LIN Yong^{1,2*}, LIU Zhong-Hua^{1,2*}, LIN Hai-Yan², YAN Yu-Jun¹

(1. National Research Center of Engineering & Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China; 2. Key Lab of Tea Science of Education Ministry, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Objective To study the function of Fuzhuan brick tea aqueous extract on regulating blood lipid and alleviating liver impairment in hyperlipidemia mice. **Methods** The mice model with hyperlipidemia was established by feeding a high-fat diet. Fuzhuan brick tea aqueous extracts (50 mg/kg·BW, 150 mg/kg·BW and 300 mg/kg·BW) were administered to rats daily for 4 wk, respectively. The effects of Fuzhuan brick tea on serum levels of total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were detected. Meanwhile, the glutathione peroxidase (GSH-Px), superoxide dismutase (SOD), and malondialdehyde (MDA) of liver tissue, body weight and liver-to-body weight ratio were examined. Sections of mice liver tissue were stained with hematoxylin-eosin (HE) and histologically analyzed. **Results** Compared with model group, Fuzhuan brick tea decreased the serum TC, TG

基金项目: 湖南省教育厅优秀青年项目(12B064)、教育部高校博士点专项基金项目(20114320120004)

Fund: Supported by Grants from Scientific Research Fund of Hunan Provincial Education Department (12B064) and Specialized Research Foundation for the Doctorial Program of Higher Education of China (20114320120004)

*通讯作者: 林勇, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为植物功能成分化学和生物活性研究。E-mail: ly2005306@163.com

刘仲华, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶功能成分化学和高效利用研究。E-mail: larkin_liu@163.com

*Corresponding author: LIN Yong, Doctor, Assistant Researcher, National Research Center of Engineering Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China. E-mail: ly2005306@163.com

LIU Zhong-Hua, Doctor, Professor, National Research Center of Engineering Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China. E-mail: larkin_liu@163.com

and LDL-C levels, and increased the level of HDL-C in a dose-dependent manner. In addition, Fuzhuan brick tea significantly reduced the body weight, liver-to-body weight ratio and the level of MDA, and increased the GSH-Px and SOD activity. HE staining showed that the fat particles in liver cytoplasm were remarkably reduced by Fuzhuan brick tea. **Conclusion** Fuzhuan brick tea has an obvious hypolipidemic effect and antioxidative activity in mice.

KEY WORDS: Fuzhuan brick tea; hyperlipidemia; lipid metabolism; antioxidation

1 引言

随着人们生活水平的提高和饮食习惯的改变,高脂血症(hyperlipidemia)的发病率逐渐升高,且有年轻化趋势。血脂含量高,往往使得脂质在血管壁上聚集沉积,使血管壁变厚变硬,失去弹性,引起冠状动脉收缩、动脉粥样硬化和血栓^[1,2]。同时脂质通过血液运输到肝脏,在肝细胞内过度聚集,造成脂质代谢紊乱,进一步会导致脂质过度氧化,从而会产生氧自由基破坏细胞器、激发信号转导通路,导致肝细胞结构损伤及纤维化^[3]。动物试验和临床研究表明高脂血症与脂质代谢紊乱、脂质过氧化之间存在密切关系^[4],肝脏作为机体最重要的代谢器官,对高脂血症的发生发展起到至关重要的作用。大量实验研究已表明,茶叶具有预防高脂血症,改善脂质代谢紊乱、抵抗脂质过氧化等作用^[5,6]。黑茶是六大茶类之一,少数民族长期饮用实践表明,黑茶具有其他茶类不可替代的降脂减肥功效^[7]。然而,经验型的保健表象缺乏严谨的科学依据,给黑茶消费群体的扩张和产业快速发展蒙上深度的阴影。茯砖茶是湖南最有代表性的黑茶,也是湖南茶产业中最具有资源优势的板块。茯砖茶独特的“发金花”工序,造就了其独特的化学物质构成和品质特征^[8,9]。已有文献主要关注了茯砖茶调脂减肥功效^[10,11],但其对肝组织的影响以及抗氧化活性研究很少,从而很难全面评估茯砖茶调脂保肝减肥相关功效。基于此,本研究通过高脂饮食诱发小鼠高脂血症,全面探讨茯砖茶的降脂减肥以及改善肝组织氧化损伤的作用,为茯砖茶高质化利用提供科学依据。

2 材料和方法

2.1 动物

KM小鼠,8周龄,雄性,SPF级,40±3 g,购自湖南斯莱克景达实验动物有限公司,许可证号:

SCXK(湘)2011-0003。饲养条件:动物饲养房维持温度20~25℃,相对湿度45%~65%,光照12 h/d,每隔2 d对饲养笼具进行打扫。

2.2 茯砖茶提取物的制备

茯砖茶由湖南益阳茶厂提供。将试验茶样粉碎,按茶水比1:10,保持微沸腾,提取30 min,稍微冷却,用两层工业用滤布离心过滤,减压浓缩,-20℃预冻12 h后真空冷冻干燥。

2.3 仪器与试剂

RM2235石蜡切片机、DM2000生物显微镜和DFC420C病理成像系统(德国Leica公司);LABOSPECT003全自动生化分析仪(日本HITACHI公司);Varioskan Flash多功能酶标仪(美国Thermo公司);AEU-210电子天平(长沙湘仪天平仪器公司)。

胆固醇、胆盐、蛋黄粉和猪油(湖南斯莱克景达实验动物有限公司);谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)测定试剂盒(南京建成生物工程研究所,批号分别为20140109、20140115、20140117);血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)测定试剂盒(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司,批号分别为20130521、20130614、20131009、20131102);血脂康(北京北大维信生物科技有限公司,批号为20130502)。

2.4 小鼠高脂血症模型建立

根据已报道的相关研究^[12]构建本实验动物模型。高脂饲料由78.8%基础饲料、1%胆固醇、10%蛋黄粉、10%猪油、0.2%胆盐组成^[13]。48只小鼠随机分为6组,每组8只。即正常组、高脂模型组、阳性药组及茯砖茶低、中、高剂量处理组。小鼠经适应性喂养1周后,正常组喂食基础饲料,其他组喂食高脂饲料,喂食高脂饲料同时开始给药。正常组和模型组均给予灌胃等量蒸馏水,阳性药组给予灌胃90

mg/kg 血脂康; 茯砖茶低、中、高剂量处理组分别给予灌胃 50、150、300 mg/kg·BW 茶叶水提取物^[13,14]。每天灌胃 1 次, 连续 4 周, 每 10 d 称重一次。

2.5 样品的采集

2.5.1 血清的制备

血清的制备参见已报道的方法^[3], 具体如下: 末次给药后禁食不禁水 24 h, 摘眼球取血, 采血后立即放入装血样的离心管中, 放入 37 °C 恒温箱中静置 3 h, 之后在 4 °C 下 1500 r/min 离心 10 min, 离心后取血清分装贮存于 -80 °C 冰箱备用。

2.5.2 肝组织匀浆制备

小鼠处死后, 解剖取出肝组织, 用冷的生理盐水漂洗, 除去血液, 滤纸拭干, 称重, 取约重 0.2 g 肝组织加生理盐水, 在冰浴上研磨制备 10%(g/mL)肝匀浆液。4 °C 下 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液。分装贮存于 -80 °C 冰箱备用。

2.5.3 小鼠肝脏的组织病理切片制备

另取小鼠同一部位肝脏 0.5 g 左右, 用 10% 福尔马林液固定, 石蜡包埋切片, HE 染色, 拍照。

2.6 血清与肝匀浆液中指标检测

血清中的 TC、TG、HDL-C 及 LDL-C 水平根据试剂盒说明书采用全自动生化分析仪检测, 肝匀浆中 GSH-Px、SOD、MDA 含量根据试剂盒说明书采用酶标法进行检测。

2.7 统计学处理

采用 SPSS17.0 统计学软件进行统计分析, 实验

数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 ANOVA 进行单因素方差分析。

3 结果与分析

3.1 茯砖茶对高脂血症小鼠的体重和肝体比的影响

如表 1 所示, 长期喂饲高脂饲料构建小鼠高脂血症模型, 该高脂血症模型组小鼠的体重、肝重以及肝体重比明显高于正常组小鼠。然而, 经过 4 周饲喂低、中、高剂量茯砖茶水提取物的小鼠, 其体重、肝重及肝体重比值与模型组相比, 全面下降, 均具有统计学意义 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$) 且呈剂量依赖关系, 说明茯砖茶水提取物有控制实验小鼠体质量的作用。

3.2 茯砖茶对高脂血症小鼠血清生化指标的影响

高脂血症小鼠随着症状的加重, 血清中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)以及低密度脂蛋白(LDL)含量呈上升趋势, 高密度脂蛋白(HDL)呈下降趋势。结果如表 2 所示, 与正常组相比, 高脂血症模型小鼠的 TC、TG、LDL 的含量明显增加, 其中 TC 和 LDL 的含量升高达到极显著水平 ($P < 0.01$)。然而, 饲喂茯砖茶水提取物 4 周的小鼠 TC、TG、LDL 的含量水平普遍比高脂血症模型组小鼠低, 降低效果均达显著水平 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 且高剂量与阳性药的治疗水平相当。阳性药组和茯砖茶各剂量组的 HDL 的含量也均高于模型组, 达到显著水平 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

表 1 茯砖茶对高脂血症小鼠体重、肝体比的影响 ($n=8$)
Table 1 Effects of Fuzhuan brick tea on body weight and liver-to-body weight ratio of mice ($n=8$)

处理组	初重(g)	终重(g)	肝重(g)	肝体重比
正常组	40.6±0.863	43.8±0.813	2.27±0.084	5.09±0.233
模型组	40.2±0.498	48.6±0.892 ^{##}	2.73±0.067 ^{##}	5.62±0.107 ^{##}
阳性药组	39.8±0.581	46.1±0.850 ^{**}	2.43±0.049 ^{**}	5.27±0.059 ^{**}
茯砖茶低剂量组	41.1±0.454	46.8±1.422 [*]	2.58±0.103 ^{**}	5.38±0.118 ^{**}
茯砖茶中剂量组	39.5±0.656	43.7±0.981 ^{**}	2.35±0.062 ^{**}	5.16±0.084 ^{**}
茯砖茶高剂量组	40.3±0.505	41.9±0.734 ^{**}	2.16±0.063 ^{**}	4.93±0.221 ^{**}

注: [#]表示同一列模型组与正常组比较在 $P < 0.05$ 水平差异显著, ^{##}表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著, *表示各处理组与模型组比较在 $P < 0.05$ 水平差异显著, **表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。以下各表同此。

表2 茯砖茶对高脂血症小鼠血清生化指标的影响($n=8$)
Table 2 Effects of Fuzhuan brick tea on serum lipid levels of mice ($n=8$)

处理组	TG (mmol/L)	TC (mmol/L)	LDL (mmol/L)	HDL (mmol/L)
正常组	1.468±0.034	1.504±0.045	508.8±27.25	0.988±0.066
模型组	1.480±0.053	3.354±0.266 ^{##}	1239.4±84.77 ^{##}	1.360±0.093 ^{##}
阳性药组	0.902±0.114 ^{**}	2.118±0.182 ^{**}	736.4±63.15 ^{**}	1.428±0.154 [*]
茯砖茶低剂量组	1.311±0.156 [*]	2.765±0.223 [*]	967.3±88.58 [*]	1.553±0.367 [*]
茯砖茶中剂量组	1.208±0.285 [*]	2.465±0.036 ^{**}	913.5±56.85 [*]	1.596±0.014 ^{**}
茯砖茶高剂量组	1.056±0.154 ^{**}	2.305±0.186 ^{**}	865.6±53.36 ^{**}	1.746±0.175 ^{**}

表3 茯砖茶对高脂血症小鼠抗氧化指标的影响($n=8$)
Table 3 Effects of Fuzhuan brick tea on hepatic antioxidant parameters of mice ($n=8$)

处理组	MDA (nmol/mg prot)	SOD (U/mg prot)	GSH-Px (U/mg prot)
正常组	1.338±0.157	375.6±17.24	2201±131.2
模型组	2.405±0.097 ^{##}	264.8±11.93 ^{##}	1453±60.9 ^{##}
阳性药组	1.477±0.084 ^{**}	565.5±17.30 ^{**}	2358±262.0 ^{**}
茯砖茶低剂量组	2.193±0.143 [*]	585.0±48.36 ^{**}	2713±86.5 ^{**}
茯砖茶中剂量组	1.602±0.159 ^{**}	743.2±58.65 ^{**}	4467±78.3 ^{**}
茯砖茶高剂量组	1.283±0.036 ^{**}	736.5±46.37 ^{**}	4872±27.8 ^{**}

3.3 茯砖茶对小鼠肝匀浆抗氧化指标的影响

在高脂饮食状态下, 可以造成小鼠体内严重的氧化与抗氧化的失衡, 产生大量的自由基, 高反应活性自由基就会攻击细胞, 引起脂质过氧化, 干扰机体正常的代谢活动, 从而引起肝细胞结构损伤及纤维化^[15,16]。MDA 是脂质过氧化反应的主要代谢产物, 在体内新陈代谢中起着重要作用; 而 SOD、GSH-Px 等构成了机体重要的抗氧化酶系统, 可以减少氧自由基的产生, 防止脂质过氧化及其中间代谢产物对机体的损害。

表3的抗氧化指标测定表明, 模型组与正常组比较, 其脂质过氧化产物 MDA 含量极显著升高 ($P<0.01$), 而 SOD 和 GSH-Px 的含量极显著降低 ($P<0.01$), 说明其机体肝组织正常的抗氧化能力明显受到损伤。而与模型组相比, 饲喂不同剂量茯砖茶水提物的处理组其 SOD 和 GSH-Px 活力均极显著升高 ($P<0.01$), 而 MDA 含量呈现下降趋势, 且中、高剂量茯砖茶组达到极显著水平 ($P<0.01$)。

3.4 茯砖茶对高脂血症小鼠肝组织的影响

光镜下观察, 正常组肝脏组织结构完整, 肝小叶轮廓清晰, 肝细胞条数围绕中央静脉成放射状排列。而饲喂 4 周高脂饲料的模型组, 肝小叶结构紊

乱, 肝小叶周围肝细胞胞浆出现大量的圆形空泡, 造成严重脂肪变性。饲喂茯砖茶水提物低、中、高剂量组的肝组织切片观察显示, 低剂量组肝组织有严重水样变, 中剂量组轻微水样变, 但均未形成脂肪空泡, 高剂量组肝组织基本恢复正常, 与阳性药效果相当。说明茯砖茶水提物对高脂血症小鼠脂肪肝变性具有较强的修复作用, 有效减轻了小鼠的肝损伤(图 1)。

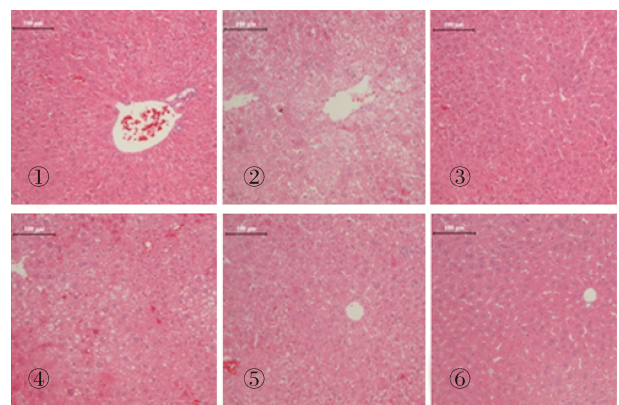


图1 小鼠肝脏组织病理学变化(200×)

Fig. 1 The pathology changes of mice livers (200×)
注: 正常对照组; 模型组; 阳性药物组(90 mg/kg·BW); 茯砖茶低剂量组(50 mg/kg·BW); 茯砖茶中剂量组(150 mg/kg·BW); 茯砖茶高剂量组(300 mg/kg·BW)。

4 结论与讨论

最新研究表明心脑血管疾病(cardiovascular disease, CVD)已经成为威胁人类健康的严重疾病之一。高脂血症是心脑血管疾病如动脉粥样硬化、脑中风等发病的重要原因,防止高脂血症的发生和发展对减少心脑血管疾病的发病率具有重要意义。从植物资源中寻找高效、安全的天然产物来保护现代人抵御心脑血管疾病的危害已成为目前研究的热点^[17]。

高脂血症是指机体脂类代谢异常引起血中 TC、LDL-C、TG 超过正常和(或)HDL-C 低下的一种疾病。本实验通过对小鼠的血脂和抗氧化能力的观察建立了小鼠高脂血症模型,而与模型组相比,饲喂茯砖茶能够抵抗高脂喂食所引起的小鼠血清中 TC、TG、LDL-C 含量的增加和 HDL-C 含量的下降,有效降低高脂血症小鼠的血脂水平,改善血脂代谢,并呈现出比较明显的量效关系。这可能与茯砖茶水提取物中所含的没食子酸(GA)、没食子儿茶素(GC)、3-甲氧基-4,5-二羟基苯甲酸(MDBA)、3,4-二羟基苯甲酸(DBA)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)等化学物质有关^[18]。同时茯砖茶水提取物还可以剂量依赖性地提高肝组织中 GSH-Px、SOD 活性以及降低 MDA 含量,有效提高小鼠体内的抗氧化水平,效果优于血脂康。这些表明血脂康在调节血脂代谢方面效果显著,但是清除机体自由基和抗氧化方面作用有限;而茯砖茶中所含的多酚类、黄酮类化合物以及一些新生成的未知活性化合物能很好地提高机体抗氧化能力,阻止和清除过量自由基的产生。此外,茯砖茶各剂量组均能明显降低小鼠的体重和肝体比,促使脂变肝细胞明显减少或消失,有效改善肝组织脂肪变性情况。

综上所述,茯砖茶可以降低小鼠的血脂异常升高,改善由高脂饮食造成的肝组织损伤,具有较好的降血脂、抗氧化和护肝作用。

参考文献

- [1] Knopp RH. Drug treatment of lipid disorders [J]. *New Eng J Med*, 1999, 341(7): 498-511.
- [2] Tietge UJF. Hyperlipidemia and cardiovascular disease: inflammation, dyslipidemia, and atherosclerosis [J]. *Curr Opin Lipidol*, 2014, 25(1): 94-95.
- [3] 钟鸣, 高丹, 胡昆, 等. 富硒蛹虫草对小鼠降血脂和抗氧化作用的影响[J]. *时珍国医国药*, 2009, 20(12): 3142-3144.
- [4] Zhong M, Gao D, Hu K, *et al.* The effect of selenium-enriched cordyceps militaris on hypolipidemic and anti-oxidant on Mice [J]. *Lishizhen Med Materia Medica Res*, 2009, 20(12): 3142-3144.
- [4] 龙峰, 段纯, 何卫恒, 等. 普罗布考对高脂血症大鼠肝脂质过氧化的影响及机制[J]. *中国现代医学杂志*, 2008, 18(21): 3130-3133.
- [5] Long F, Duang C, He WH, *et al.* Effects of Probuco on lipid peroxidation of liver in hyperlipidemic rats [J]. *China J Mod Med*, 2008, 18(21): 3130-3133.
- [5] Huang HC, Lin JK. Pu-erh tea, green tea, and black tea suppress hyperlipidemia, hyperleptinemia and fatty acid synthase through activating AMPK in rats fed a high-fructose diet [J]. *Food Funct*, 2012, 3(2): 170-177.
- [6] 陈玉琼, 张伟, 倪德江, 等. 湖北青砖茶辅助降血脂作用及其抗氧化效果[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(2): 124-128.
- [6] Chen YQ, Zhang W, Ni DJ, *et al.* Study on the hypolipidemic effect and antioxidative activity of Hubei Qingzhuana tea [J]. *J Tea Sci*, 2010, 30(2): 124-128.
- [7] 吴尚平, 胡卫平. 边销茶在我国历史上的作用[J]. *丝绸之路*, 1998, 6: 63-64.
- [7] Wu SP, Hu WP. Effect of border sale tea on our history [J]. *Silk Road*, 1998, 6: 63-64.
- [8] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安, 等. 茯砖茶加工过程中主要化学成分的变化[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 64-67.
- [8] Fu D, Liu ZH, Huang JA, *et al.* Variations of components of Fuzhuan tea during processing [J]. *Food Sci*, 2008, 29(2): 64-67.
- [9] Wu YY, Ding L, Xia HL, *et al.* Analysis of the major chemical compositions in Fuzhuan brick-tea and its effect on activities of pancreatic enzymes in vitro [J]. *Afr J Biotechnol*, 2013, 9(40): 6748-6754.
- [10] Fu D, Ryan EP, Huang J, *et al.* Fermented *Camellia sinensis*, Fuzhuan Tea, regulates hyperlipidemia and transcription factors involved in lipid catabolism [J]. *Food Res Int*, 2011, 44(9): 2999-3005.
- [11] 王蝶, 黄建安, 叶小燕, 等. 茯砖茶减肥作用研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(1): 81-86.
- [11] Wang D, Huang JA, Ye XY, *et al.* The anti-obesity effects of Fuzhuan brick tea on high-fat-diet induced obesity in rats [J]. *J Tea Sci*, 2012, 32(1): 81-86.
- [12] 曹宁, 郭文洁, 唐佳瑜, 等. 乌药叶总黄酮对高脂血症脂肪肝小鼠模型的降脂作用[J]. *中药新药与临床药理*, 2011, 22(2): 149-153.
- [12] Cao N, Guo WJ, Tang JY, *et al.* Effects of the total flavonoids

- from folium linderiae on lipid metabolism in mice with hyperlipidemia fatty liver [J]. *Tradit Chin Drug Res Clin Pharm*, 2011, 22(2): 149–153.
- [13] 卫生部. 保健食品检验与评价技术规范[M]. 北京: 卫生法规与监督司编印, 2003.
Health Ministry. Technical standards for the test and assessment of health food [M]. Beijing: Health Regulation and Supervision Division Press, 2003
- [14] 黄继汉, 黄晓晖, 陈志扬, 等. 药理试验中动物间和动物与人体间的等效剂量换算[J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2004, 9(9): 1069–1072.
Huang JH, Huang XH, Chen ZY, *et al.* Dose conversion among different animals and healthy volunteers in pharmacological study [J]. *Chin J Clin Pharm Ther*, 2004, 9(9): 1069–1072.
- [15] 程臻, 王枫, 曹子鹏, 等. 高脂饮食对老年大鼠氧化应激及脂质代谢的影响[J]. *科学技术与工程*, 2009, 9(12): 3435–3438.
Cheng Z, Wang F, Cao ZP, *et al.* Effect of the high fat diet-induced on oxidative stress and lipid metabolism of old rats [J]. *Sci Technol Eng*, 2009, 9(12): 3435–3438.
- [16] Yuzefovych LV, Musiyenko SI, Wilson GL, *et al.* Mitochondrial DNA damage and dysfunction, and oxidative stress are associated with endoplasmic reticulum stress, protein degradation and apoptosis in high fat diet-induced insulin resistance mice [J]. *PLoS One*, 2013, 8(1): e54059.
- [17] Bahmani M, Mirhoseini M, Shirzad H, *et al.* A Review on promising natural agents effective on hyperlipidemia [J]. *J Evid Based Comp Alternat Med*, 2015, 2156587214568457.
- [18] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安, 等. 茯砖茶降脂功能成分研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(3): 217–223.
Fu DH, Liu ZH, Huang JA, *et al.* Studies on hyperlipidemia therapy compounds in Fuzhuan Tea [J]. *J Tea Sci*, 2012, 32(3): 217–223.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



林 勇, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为植物功能成分化学和生物活性研究。
E-mail: ly2005306@163.com



刘仲华, 博士, 教授, 国家植物功能成分利用工程技术研究中心和茶学教育部重点实验室主任, 主要研究方向为茶叶功能成分化学和高效利用研究。
E-mail: larkin_liu@163.com