

人参皂苷 Rb₃ 对糖尿病模型小鼠的 降血糖和抗氧化作用

孟凡丽^{1,2}, 苏晓田², 郑毅男¹

(1 吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130021; 2 辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009)

摘要:为探讨人参皂苷 Rb₃ 对糖尿病治疗的作用及机理,以链脲佐菌素(STZ)诱导的糖尿病小鼠模型为材料,系统分析了人参皂苷 Rb₃ 对糖尿病小鼠在降血糖、降血脂、胰岛素调节及抗氧化机能方面的作用. 对小鼠禁食血糖浓度的测定显示,人参皂苷 Rb₃ 灌胃给药 14 d 后对糖尿病小鼠具有极显著的降血糖作用($P < 0.01$),其中剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 具有更好的降糖效果. 人参皂苷 Rb₃ 的降糖效果与糖尿病治疗药物盐酸二甲双胍相近. 对小鼠血清中总胆固醇(TC)、三酰甘油(TG)及胰岛素(INS)的含量测定发现,人参皂苷 Rb₃ 在降低糖尿病小鼠的血脂浓度和提高胰岛素含量方面均具有显著的调节作用,其中剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 具有更好的疗效,各项治疗指标均优于盐酸二甲双胍. 对小鼠抗氧化机能的分析表明,人参皂苷 Rb₃ 在提高糖尿病小鼠血液中超氧化物歧化酶(SOD)活力方面具有显著作用,同时可以有效降低糖尿病小鼠血清中丙二醛(MDA)的含量,这对于改善糖尿病小鼠的抗氧化能力和缓解并发症的发生具有重要意义.

关键词:人参皂苷 Rb₃; 降血糖; 降血脂; 抗氧化; 小鼠
中图分类号:R963 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)04-0553-05

Effects of Ginsenoside Rb₃ on Antihyperglycemia and Antioxidation in Diabetic Mice

MENG Fanli^{1,2}, SU Xiaotian², ZHENG Yinan¹

(1 College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130021, China;
2 Liaoning Agricultural College, Yingkou 115009, China)

Abstract:In order to investigate the role of ginsenoside Rb₃ in the therapy of diabetes and its mechanisms, the streptozocin-induced diabetic mice model was constructed and the effects of ginsenoside Rb₃ on serum glucose, serum lipid, insulin and antioxidative indices were systematically studied. The detection of fasting blood glucose levels indicated that 14 d treatment with ginsenoside Rb₃ via intragastric administration had a significant ($P < 0.01$) hypoglycemic activity on diabetic mice and the concentration of 30 mg · kg⁻¹ had more effective therapy results, which was equivalent to that of diabetic medicine metformin hydrochloride. The effects of ginsenoside Rb₃ on serum total cholesterol (TC), glycerin trimyr-istate (TG) and insulin(INS) were analyzed and the results showed that the Rb₃ had a significant regulatory function to decrease the concentration of serum lipid, which increased that of insulin in diabetic mice. The dose of 30 mg · kg⁻¹ Rb₃ was more effective than that of metformin hydrochloride. The antioxidative effects of Rb₃ were evaluated and the results illustrated that the activity of superoxide dismutase (SOD) had greatly increased, while the content of malonaldehyde (MDA) had obviously decreased in

diabetic mice after the treatment of Rb_3 , which was significant in improving the antioxidative ability and relieving diabetic complication.

Key words: ginsenoside Rb_3 ; antihyperglycemia; reduction of serum lipid; antioxidation; mice

糖尿病是威胁人类健康的重大代谢性疾病之一。糖尿病患者的典型特征为胰岛素绝对或相对不足,进而引发高血糖和尿糖,多数患者还存在脂代谢紊乱,表现为血清中胆固醇(Total cholesterol, TC)、三酰甘油(Glycerin Trimyristate, TG)增高的血脂病症^[1]。糖尿病并发症是造成糖尿病患者病情进一步恶化的主要原因,研究表明长期的高血糖导致机体抗氧化机能降低是造成糖尿病并发症的重要原因,而设法提高体内超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)的活力以及降低丙二醛(Malonaldehyde, MDA)的含量是改善机体抗氧化能力的有效途径^[2]。目前,在糖尿病的治疗方面各类降血糖药物的服用以及胰岛素(Insulin, INS)直接注射均具有一定的疗效。不过,由于这些药物的长期服用增加了脏器的负担,药物副作用导致的脏器损害不容忽视^[3]。因此,研发各类副作用小且能兼顾并发症治疗的各类药物,特别是药用植物在糖尿病治疗方面的研究日益受到重视^[4]。

人参属于五加科植物,含有多种生物活性物质^[5],科学服用人参具有抗疲劳、抗应激、改善记忆力、降低血糖和控制血压的疗效^[6]。人参皂苷是人参药效的主要成分之一。研究发现人参总皂苷、人参皂苷 Re、 Rh_2 、Rc、 Rg_1 、 Rg_2 、 Rg_3 、 Rb_2 以及 CK 在糖尿病治疗方面均具有一定的疗效^[7-9]。卜其涛等^[10]的研究表明,人参皂苷 Rb_3 对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠具有降血糖和提高糖耐量作用。本研究拟系统分析人参皂苷 Rb_3 在降血糖、血脂以及提高机体抗氧化机能方面的作用,为人参皂苷 Rb_3 用于糖尿病及其并发症的治疗积累重要资料。

1 材料与方法

1.1 化学药品

人参皂苷 Rb_3 从吉林大学白求恩医学院天然药物化学研究室购买,质量分数为 95%;链脲佐菌素(STZ)从美国 Sigma 公司购买,临用时以 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pH4.4 柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液新鲜配成质量分数为 1% 的 STZ 溶液;盐酸二甲双胍(Metformin)为白云山汤明东泰药业有限责任公司产品。

1.2 试验动物

从辽宁中医药大学购买 8 周龄雄性昆明小鼠,

在标准的环境条件下喂养 1 周,保持足够量水和食物,温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 湿度 60% ~ 70% 和 12 h 光照/12 h 黑暗。试验前动物在活动、爬行、平衡性方面均表现正常。

1.3 试验方法

雄性昆明小鼠随机分组,分为正常组(10 只)和准备造模组(90 只)。正常组小鼠一直喂养普通鼠粮,只注射缓冲液。准备造模组,参照 Maiti 等^[11]的方法,喂养高脂鼠粮 4 周后,小鼠禁食 12 h,再用 STZ 诱发糖尿病[分别按小鼠体质量 $75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 连续 2 d 腹腔注射 STZ;注射 STZ 1 周后禁食 1 夜(12 h),从尾部采集小鼠血样,禁食血糖浓度达 $7.8 \sim 18.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 即为糖尿病小鼠,用于试验]。糖尿病小鼠分成 4 组(每组 10 只),设模型组、 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 盐酸二甲双胍处理组、 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Rb_3 处理组和 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Rb_3 处理组。处理期间小鼠延续使用原有饲料,处理组每日上午 8:00 左右灌胃给药 1 次,给药剂量按小鼠体质量计,连续灌胃 28 d;模型组和正常组用等体积的蒸馏水取代。

1.4 禁食血糖含量测定

在试验第 0、14、28 天,每组小鼠禁食不禁水 12 h 后从小鼠尾部静脉采血^[7],用手持式血糖测试仪测定血糖的含量。

1.5 血脂、INS、SOD 和 MDA 含量测定

第 28 天禁食血糖测完后,眼眶静脉采取小鼠所有血,断颈法处死小鼠,血样放入预冷的离心机中 3000 r/min 离心 15 min 后,采集上清液血清,在 -70°C 条件下保存,用于测定 INS、TC、TG、SOD 和 MDA 含量。

血清中 TC 和 TG 含量测定,按照北京北化康泰临床试剂有限公司 TC 和 TG 试剂盒说明书进行操作。

血清 INS 含量测定,按照上海劲马实验设备有限公司 INS 试剂盒说明书进行操作。

血清中 SOD 和 MDA 含量测定,按照北京北化康泰临床试剂有限公司 SOD 和 MDA 试剂盒说明书进行操作。

1.6 统计分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件包处理,试验数据

用 $\bar{x} \pm SE$ 表示,多组间平均数比较采用单因素方差分析,Turkey's 法进行组间差异显著性测验, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著.

2 结果与分析

2.1 人参皂苷 Rb₃ 对血糖的影响

从表 1 可以看出,连续用人参皂苷 Rb₃ 灌胃 14 d 后,人参皂苷 Rb₃ 组和盐酸二甲双胍组小鼠的血糖浓度显著下降,其中以 30 mg · kg⁻¹ 人参皂苷 Rb₃ 灌

胃处理的血糖浓度从 15.14 mmol · L⁻¹ 降低到了 10.74 mmol · L⁻¹,其降糖效果与盐酸二甲双胍处理相近,而模型组小鼠的血糖仍然维持在较高的水平;用人参皂苷 Rb₃ 连续灌胃 28 d 天处理组小鼠的血糖浓度显著下降,而且剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 在降血糖方面具有更好的效果,其降糖效应与化学药物盐酸二甲双胍基本相当.综合来看,在 STZ 诱导的糖尿病小鼠试验中,剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 具有良好的降血糖作用.

表 1 人参皂苷 Rb₃ 对糖尿病小鼠禁食血糖的影响¹⁾
Tab.1 Effects of ginsenoside Rb₃ on concentration of fasting blood glucose in diabetic mice

组别	药物剂量/ (mg · kg ⁻¹)	c(血糖) _{禁食} /(mmol · L ⁻¹)		
		第 0 天	第 14 天	第 28 天
正常组	0	5.43 ± 0.55	5.28 ± 0.52	5.72 ± 0.48
模型组	0	15.94 ± 0.76 ^{△△}	17.72 ± 0.92 ^{△△}	18.92 ± 0.71 ^{△△}
人参皂苷 Rb ₃ 组	15	14.36 ± 0.84 ^{△△}	12.04 ± 2.03 ^{△△**}	8.20 ± 1.80 ^{△△**}
	30	15.14 ± 0.99 ^{△△}	10.74 ± 1.15 ^{△△**}	6.53 ± 2.49 ^{**}
盐酸二甲双胍组	25	14.61 ± 1.58 ^{△△}	10.48 ± 1.09 ^{△△**}	6.06 ± 0.96 ^{**}

1) $n = 10$,表中数据为 $\bar{x} \pm SE$,[△]示和正常组相比差异显著($P < 0.05$),^{△△}示和正常组相比差异及显著($P < 0.01$);^{**}示和模型组相比差异极显著($P < 0.01$);[#]示和盐酸二甲双胍组相比差异显著($P < 0.05$);Turkey's 法.

2.2 人参皂苷 Rb₃ 对血脂的影响

研究发现,高脂饮食可以导致糖尿病小鼠血清中的 TC 和 TG 的浓度显著升高,分别达到 4.42 和 3.27 mmol · L⁻¹(表 2).对病鼠给予 28 d 的人参皂苷 Rb₃ 治疗后,血清中的 TC 和 TG 水平显著降低($P < 0.01$).从治疗效果来看,剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的

人参皂苷 Rb₃ 具有更好的降血脂作用,其治疗效果甚至优于盐酸二甲双胍,特别是在降低血液 TC 方面显著优于盐酸二甲双胍的治疗效果($P < 0.01$).总之,人参皂苷 Rb₃ 在治疗 STZ 诱导的糖尿病小鼠高脂血症方面具有良好的效果,其中剂量为 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 降脂效果较好.

表 2 人参皂苷 Rb₃ 对糖尿病小鼠的血脂和胰岛素水平的影响¹⁾
Tab.2 Effects of ginsenoside Rb₃ on serum lipid and insulin concentration in diabetic mice

组别	药物剂量/(mg · kg ⁻¹)	c(TC)/(mmol · L ⁻¹)	c(TG)/(mmol · L ⁻¹)	INS 水平/(mU · L ⁻¹)
正常组	0	1.96 ± 0.55	0.80 ± 0.07	24.77 ± 1.35
模型组	0	4.42 ± 0.37 ^{△△}	3.27 ± 0.84 ^{△△}	9.12 ± 0.28 ^{△△}
人参皂苷 Rb ₃ 组	15	2.03 ± 0.54 ^{**}	1.27 ± 0.16 ^{△△**}	19.18 ± 1.03 ^{△△**}
	30	1.52 ± 0.27 ^{**##}	0.69 ± 0.08 ^{**}	22.17 ± 0.97 ^{**#}
盐酸二甲双胍组	25	2.42 ± 0.63 ^{△△**}	0.92 ± 0.12 ^{△△**}	18.45 ± 2.52 ^{△△**}

1) $n = 10$,表中数据为 $\bar{x} \pm SE$,[△]示和正常组相比差异显著($P < 0.05$),^{△△}示和正常组相比差异极显著($P < 0.01$);^{**}示和模型组相比差异极显著($P < 0.01$);[#]示和盐酸二甲双胍组相比差异显著($P < 0.05$),^{##}示和盐酸二甲双胍组相比差异极显著($P < 0.01$);Turkey's 法.

2.3 人参皂苷 Rb₃ 对血清中胰岛素含量的影响

由表 2 可见,在糖尿病鼠血清中的 INS 分泌明显不足(9.12 mU · L⁻¹),显著低于正常小鼠血清中的 INS 含量($P < 0.01$).与模型组相比,对病鼠给予 15 和 30 mg · kg⁻¹ 的人参皂苷 Rb₃ 治疗后,病鼠血清中的空腹 INS 水平显著提高($P < 0.05$),分别达到 19.18 和 22.17 mU · L⁻¹ 的水平,且 30 mg · kg⁻¹ 的

人参皂苷 Rb₃ 的治疗效果优于盐酸二甲双胍.

2.4 人参皂苷 Rb₃ 对血清中 SOD 活性和 MDA 含量的影响

对血清中 SOD 活力测定显示(表 3):糖尿病小鼠血清中的 SOD 活性显著低于正常组($P < 0.01$);与模型组相比,利用 15 和 30 mg · kg⁻¹ 剂量的人参皂苷 Rb₃ 给予治疗后,小鼠血清中的 SOD 活性显著

提高($P < 0.01$),特别是 $30\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 剂量的人参皂苷 Rb_3 具有更好的治疗效果,在改善 SOD 活性方面显著优于盐酸二甲双胍($P < 0.05$). 对血清中 MDA 的含量检测显示(表 3):与模型组相比,盐酸二甲双胍对降低糖尿病小鼠血清中的 MDA 含量无明显作用;而人参皂苷 Rb_3 在降低 MDA 方面具有明显的作用($P < 0.01$). 其中人参皂苷 Rb_3 $30\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组比盐酸二甲双胍组表现出极显著的降低趋势($P < 0.01$). 以上结果表明,人参皂苷 $30\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组对 STZ 所诱导的糖尿病小鼠抗氧化能力增强,从而可能对糖尿病的进一步发展起到防治的作用.

表 3 人参皂苷 Rb_3 对血清中 SOD 活性和 MDA 含量的影响¹⁾
Tab. 3 Effects of ginsenoside Rb_3 on SOD activity and MDA concentration in serum

组别	药物剂量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SOD 活性/ ($\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	c(MDA)/ ($\text{nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$)
正常组	0	310.39 ± 32.13	6.04 ± 1.38
模型组	0	$266.20 \pm 21.45^{\Delta\Delta}$	$11.00 \pm 1.49^{\Delta\Delta}$
人参皂苷 Rb_3 组	15	$290.56 \pm 32.04^{\Delta**}$	$7.73 \pm 0.71^{**\#}$
	30	$317.51 \pm 21.62^{**\#}$	$6.11 \pm 1.52^{**\#\#}$
盐酸二甲双胍组	25	$301.03 \pm 20.94^{**}$	9.61 ± 1.36

1) $n = 10$, 表中数据为 $\bar{x} \pm \text{SE}$, Δ 示和正常组相比差异显著($P < 0.05$), $\Delta\Delta$ 示和正常组相比差异极显著($P < 0.01$); $**$ 示和模型组相比差异极显著($P < 0.01$); $\#$ 示和盐酸二甲双胍组相比差异显著($P < 0.05$); $\#\#$ 示和盐酸二甲双胍组相比差异极显著; Turkey's 法.

3 讨论

糖尿病患者往往伴有高血脂症,这也是导致糖尿病并发症的主要因素之一^[12]. 由于长期的高血糖、高血脂极易导致患者动脉硬化和血液高黏,进而引发各种血管病变,这是多数(70% ~ 80%)糖尿病患者病情加重的重要原因. 在血浆中,脂蛋白包括乳糜微粒(CM)、极低密度脂蛋白(VLDL)、低密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL)4 类,而脂蛋白体积变化、载脂蛋白糖化和 LDL 的氧化敏感性增加等是常见的脂蛋白异常表现. 脂蛋白的异常变化直接导致脂蛋白的代谢紊乱和动脉硬化,因此,血脂水平的异常往往极大地影响了糖尿病的治疗效果^[13]. 一般来说,糖尿病导致的脂代谢异常表现为 TC 和 TG 升高、HDL 水平降低、LDL 升高,血清中 TG、LDL 均是动脉粥样硬化形成的促进因子,特别是 LDL 的升高是心肌梗塞的危险因子,而 HDL 则将外周血液中冗余的胆固醇运输至肝脏,并转变为胆汁酸. 已有研究发

现,人参皂苷 Rb_1 对脂肪细胞的分化有一定的促进作用^[14];进一步分析显示,人参皂苷 Rb_1 可以有效激活过氧化物酶增殖物激活受体 $\gamma 2$ (PPAR $_{\gamma 2}$)、CCAAT 增强子结合蛋白 α (C/EBP $_{\alpha}$) 和葡萄糖转运蛋白-4 (GLUT-4) 的表达,从而促进了脂肪酸和葡萄糖转运增加^[15]. 人参皂苷 Rb_3 是 Rb_1 的同分异构体^[16],本研究也发现人参皂苷 Rb_3 对糖尿病小鼠给药 28 d 后,血清中 TC 和 TG 的含量明显降低. 由此推测,人参皂苷 Rb_3 可能在降血糖和血脂过程中具有与人参皂苷 Rb_1 类似的调控机制.

胰岛素由胰岛的 β 细胞合成重要激素,在调节血糖浓度方面发挥不可替代的作用,正常情况下通过胰岛素的调节使得血液中的葡萄糖水平能够维持在一个稳定的水平. STZ 能选择性地破坏胰岛 β 细胞,使机体胰岛素分泌减少^[17-18]. 本研究发现,人参皂苷 Rb_3 显著提高糖尿病模型小鼠血清中的胰岛素水平,本课题组在前期的研究中也发现 Rb_3 能有效缓解 STZ 对 β 胰岛细胞的损伤^[10]. 由此推断,人参皂苷 Rb_3 可能有助于 β 胰岛细胞的恢复和促进胰岛素分泌的功能. 目前常用的降糖药物盐酸二甲双胍的作用机制主要是促进组织无氧糖酵解,加强肌肉等组织对葡萄糖的利用,同时抑制肝糖原的异生减少葡萄糖的产生. 和二甲双胍相比,人参皂苷在糖尿病治疗方面具有不同的药理机制,并且对体内胰岛素水平具有较好的调节作用,因此在糖尿病治疗方面也具有更好的疗效.

生物体内的氧自由基对细胞具有很强的毒害作用,而糖尿病患者的抗氧化机能下降是导致糖尿病并发症的重要原因之一. 研究发现, SOD 是清除体内氧自由基的重要功能蛋白,在机体抗衰老、抑制肿瘤和增强自身免疫能力方面发挥非常重要的生物学功能,因此 SOD 的活性往往反映着机体清除氧自由基的潜力和抗氧化能力^[2]. MDA 是多不饱和脂肪酸过氧化物的降解产物,与脂蛋白交联后对机体具有较强的毒副作用. 因此,MDA 的含量常作为衡量体内脂质过氧化程度的主要指标,在一定程度上反应了细胞受损伤的程度. 本研究发现,人参皂苷 Rb_3 对于提高糖尿病小鼠血清中 SOD 活性具有显著作用,而且可以有效降低体内 MDA 的水平. 由于糖尿病患者体内通常存在超氧自由基增加的问题^[19],因此 SOD 活性的提高有助于患者体内氧自由基的清除,这可能与人参皂苷 Rb_3 具有降低 MDA 含量的疗效有关. 总之,人参皂苷 Rb_3 在提高机体 SOD 活性和降低 MDA 方面具有良好的作用,这对于缓解糖尿病患者

机体氧化应激以及微器官并发症(如肾病和视网膜病)可能具有积极的作用。

综上所述,人参皂苷 Rb₃ 具有降血糖、降血脂、调节胰岛素水平和改善机体抗氧化能力的功效,其作为一种纯天然的植物源活性药物,糖尿病治疗方面将具有良好的应用前景。不过,由于人参皂苷 Rb₃ 在治疗糖尿病方面的作用机制还不很清楚,相关研究仍有待进一步深入。

参考文献:

- [1] HUANG T H W, PENG Gang, KOTA B P, et al. Antidiabetic action of *Punica granatum* flower extract: Activation of PPAR- γ and identification of an active component[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2005, 207(2): 160-169.
- [2] 朱明星,张婵,杨文博,等. 枸杞籽油对2型糖尿病 C57 BL/6J 小鼠血清 SOD、MDA 及 GSH 的影响[J]. 宁夏医科大学学报, 2011, 33(3): 201-203.
- [3] 赵维纲. 胰岛素副作用的临床识别及其处理原则[J]. 中国全科医学, 2009, 12(2): 238-239.
- [4] XIE Jingtian, MEHENDALE S, YUAN Chunsu. Ginseng and diabetes[J]. *Am J Chin Med*, 2005, 33(3): 397-404.
- [5] CHEVALLIER A. Encyclopedia of herbal medicine[M]. New York: DK Publishing, 2000:40-43.
- [6] 王筠默. 人参药理研究的进展[J]. 人参研究, 2001, 13(3): 2-8.
- [7] VUKSAN V, SIEVENPIPER J L, KOO V Y, et al. American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) reduces postprandial glycemia in nondiabetic subjects and subjects with type 2 diabetes mellitus[J]. *Arch Intern Med*, 2000, 160(7): 1009-1013.
- [8] CHUNG S H, CHOI C G, PARK S H. Comparisons between white ginseng radix and rootlet for antidiabetic activity and mechanism in KKAY mice[J]. *Arch Pharm Res*, 2001, 24(3): 214-218.
- [9] KIM D Y, YUAN Haidan, CHUNG I K, et al. Compound K, intestinal metabolite of ginsenoside, attenuates hepatic lipid accumulation via AMPK activation in human hepatoma cells[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(4): 1532-1537.
- [10] BU Qitao, ZHANG Weiyun, CHEN Quancheng, et al. Antidiabetic effect of ginsenoside Rb(3) in alloxan-induced diabetic mice[J]. *Med Chem*, 2012, 8(5): 934-941.
- [11] MAITI R, DAS U K, GHOSH D. Attenuation of hyperglycemia and hyperlipidemia in streptozotocin induced diabetic rats by aqueous extract of seed *Tamarindus indica* Biol[J]. *Pharm Bull*, 2005, 28(7): 1172-1176.
- [12] KRISHNA MURTHY B, NAMMI S, KOTA M K, et al. Evaluation of hypoglycemic and antihyperglycemic effects of *Datura metel* (Linn.) seeds in normal and alloxan-induced diabetic rats[J]. *J Ethnopharmacol*, 2004, 91(1): 95-98.
- [13] ALARCON-AGUILAR F J, JIMENEZ-ESTRAD M, REYES-CHILPA R, et al. Hypoglycemic effect of extracts and fractions from *Psacalium decompositum* in healthy and alloxan-diabetic mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2007, 72(1/2): 21-27.
- [14] SHANG Wenbin, YANG Ying, JIANG Boren, et al. Ginsenoside Rb1 promotes adipogenesis in 3T3-L1 cells by enhancing PPAR γ 2 and c/EBP α gene expression[J]. *Life Sci*, 2007, 80(7): 618-625.
- [15] HAN K L, JUNG M H, SOHN J H, et al. Ginsenoside 20(S)-protopanaxatriol(PPT) activates peroxisome proliferator-activated receptor gamma (PPAR gamma) in 3T3-L1 adipocytes[J]. *Biol Pharm Bull*, 2006, 29(1): 110-113.
- [16] 卜其涛,刘文丛,郑毅男,等. 人参皂苷 Rb₃ 的研究进展[J]. 人参研究, 2011, 23(3): 26-31.
- [17] 陈媛. 自由基医学基础与病理生理[M]. 北京:人民卫生出版社, 2002.
- [18] 张全江,郭照江,高峰. 胰岛素研究的新突破[J]. 医学与哲学, 2005, 26(1): 32-33.
- [19] VUKSAN V, STAVRO M P, SIEVENPIPER J L, et al. Similar postprandial glycemic reductions with escalation of dose and administration time of American ginseng in type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2000, 23(9): 1221-1226.

【责任编辑 柴 焰】