

江苏地产浒苔多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的降糖作用研究

刘乾阳¹, 爻叶婷¹, 刘睿^{1,2}, 王欣之^{1,2*}, 陈逸萍¹, 马晓敏¹, 袁敏¹, 崔小兵¹, 程建明¹

(1.南京中医药大学药学院,江苏 南京 210023;2.江苏省海洋药用生物资源研究与开发重点实验室,江苏 南京 210023)

摘要:目的 观察江苏地产浒苔多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的影响。方法 腹腔注射四氧嘧啶建立糖尿病小鼠模型,将小鼠随机分为空白组、模型组、参芪降糖颗粒(500 mg/kg)、浒苔多糖低(100 mg/kg)、中(200 mg/kg)、高(400 mg/kg)剂量组,连续灌胃给药 28 d,观察给药期间动物体质量、进食和饮水量的变化。于给药 28 d 后测定各组小鼠空腹血糖值、口服糖耐量、糖化血清白蛋白以及血清胰岛素的含量。小鼠处死后,剖取胰腺组织进行病理学观察,测定胰岛数和胰岛面积。结果 与空白模型组相比,中、高剂量组浒苔多糖能显著降低糖尿病小鼠空腹血糖水平($P < 0.01$),血糖曲线下面积($P < 0.01$),显著增多胰岛数目($P < 0.01$),增大胰岛面积($P < 0.01$),升高血清胰岛素含量($P < 0.05 \sim 0.01$),且浒苔多糖高剂量组能显著降低模型小鼠糖化白蛋白的浓度($P < 0.05$)。结论 江苏地产浒苔多糖在 200~400 mg/kg 剂量范围内能降低四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的血糖,改善模型小鼠的耐糖力,缓解胰岛病变程度。该结果将为以江苏地产浒苔多糖为原料的功能性保健食品的开发提供理论依据。

关键词:江苏地产浒苔;多糖;四氧嘧啶糖尿病小鼠;降糖

中图分类号:R285.5 文献标志码:A 文章编号:1672-0482(2017)04-0403-05

DOI:10.14148/j.issn.1672-0482.2017.0403

Effect of *Enteromorpha* Polysaccharides of Jiangsu Province on Alloxan-Induced Diabetic Mice

LIU Qian-yang¹, SHU Ye-ting¹, LIU Rui^{1,2}, WANG Xin-zhi^{1,2*}, CHEN Yi-ping¹, MA Xiao-ming¹, YUAN Min¹, CUI Xiao-bin¹, CHENG Jian-min¹

(1. School of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing, 210023, China; 2. Jiangsu Marine Drugs Research and Development Center, Nanjing, 210023, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE Study the effects of *Enteromorpha* polysaccharides of Jiangsu province on alloxan-induced diabetic mice was studied. **METHODS** The diabetic mice were induced by alloxan ip, and treated with distilled water (model group), Shenqi Jiangtang granule (500 mg/kg), three different doses of (100, 200, and 400 mg/kg) for 28 days respectively. The changes of body weight, food and water intake were observed during administration. The content of fasting blood glucose, oral glucose tolerance, glycosylated serum albumin and serum insulin levels were measured after 28 days of treatment. The pancreatic tissues were taken for pathological observation, the islets numbers and islet area were also determined. **RESULTS** Medium and high dose group of can significantly reduce the fasting blood glucose level ($P < 0.01$), decrease the area under the curve of blood glucose ($P < 0.01$), increase the number of islets and islet area ($P < 0.01$), elevate serum insulin level ($P < 0.05 \sim 0.01$) and high dose of can significantly reduce the content of glycosylated serum albumin ($P < 0.05$) as compared with the diabetic model mice. **CONCLUSION** Within the 200~400 mg/kg dose range of can decrease blood glucose, improve glucose tolerance and relieve the pancreatic lesion levels of diabetic model mice. The results will provide a theoretical basis for the development of drugs or functional health care products of *Enteromorpha* polysaccharides of Jiangsu province

KEY WORDS: *Enteromorpha prolifera* of Jiangsu province; polysaccharides; alloxan-induced diabetic mice; antidiabetic activity

浒苔属于绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科,是一种大型海洋绿藻^[1]。我国浒苔资源丰富,在我国黄

收稿日期:2017-01-11;修稿日期:2017-04-20

基金项目:国家海洋局海洋生物资源综合利用工程技术研究中心开放课题;国家海洋公益性行业专项(201305007,201405017)

作者简介:刘乾阳(1995—),男,江苏南京人,南京中医药大学 2014 级本科生。*通信作者:wxzatnj@sina.com

海沿岸每年滋生大量的浒苔,俗称“绿潮”,给当地渔业、旅游业以及生态造成较大的损失^[2]。经研究发现,“绿潮”爆发的源头位于江苏沿海^[2],若能让江苏沿海渔民充分认识到浒苔的经济价值,将这一资源“变废为宝”,是从源头上制理“绿潮”的关键。浒苔自古以来具有较高的药用价值,《随息居饮食谱》记载浒苔能:“清胆、消瘵疔癭瘤,泄胀、化痰、治水土不服”^[4]。现代研究发现,浒苔中主要功效性成分为酸性杂多糖。作为绿藻酸性杂多糖的一种,浒苔多糖的降糖功效近年来在一些研究文献中亦被提及^[3]。然而,目前浒苔多糖降糖的研究对象主要集中在福建沿海所产浒苔(种属不明),黄海沿岸浒苔爆发区特别是江苏沿海所产浒苔 *Enteromorpha prolifera* 多糖降糖功能尚无人报道。由于不同品种、产地、采收季节的浒苔中多糖的组成和结构存在着较大的差异,因此在对应的功能以及使用剂量方面存在着差异。本文以爆发期江苏沿海采收的浒苔作为对象,参考 CFDA 规定的辅助降血糖保健食品的功能评价方法,研究其多糖对四氧嘧啶性糖尿病小鼠糖代谢的影响。该结果将为江苏地产浒苔这一低值资源的高值化利用开发,变灾为宝、变废为宝提供依据,并为广大的糖尿病患者创造福音。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

浒苔样品于 2015 年 5 月委托江苏康缘药业有限公司采自江苏连云港,经江苏省海洋水产研究所万夕和研究员鉴定来源为绿藻纲石莼科浒苔属浒苔 *Enteromorpha prolifera*。采收后,洗净泥沙、晒干,备用。

1.2 药品及试剂

拜安康™ 血糖试纸(德国拜耳公司),参芪降糖颗粒(鲁南厚普制药有限公司,批号:00115150),均购自先声再康大药房;四氧嘧啶(批号:A8050),购自北京 Solarbio 公司;复合蛋白酶(批号:14120812767),鼠李糖(纯度≥99%,批号:G8300)购自美国 Sigma 公司;95% 乙醇(批号:13042723117),苯酚(批号:13012110098),硫酸钾(分析纯,批号:12090120461)和氯化钡(分析纯,批号:1501122)均购自南京化学试剂有限公司;浓硫酸(分析纯,批号:20141010),购自上海凌峰化学试剂有限公司;BCA 试剂盒(批号:20140128),购自南京建成生物工程研究所;葡萄糖醛酸(批号:63006784),唑啉(化学纯,批号:80030224)和明胶

(化学纯,批号:F20080506)均购自国药集团化学试剂有限公司;硼砂(十水合四硼酸钠,批号:0901031),购自汕头市西陇化工厂有限公司;盐酸(分析纯,批号:140604),购自上海中试化学试剂有限公司;三氯乙酸(分析纯,批号:20130530),购自江苏永华精细化学品有限公司。

1.3 仪器与设备

UV-7504 紫外-可见分光光度仪,上海安亭科学仪器厂;Freeze Zone 冷冻干燥机,美国 LABCONCO 公司;1510 型全波长酶标仪,美国 Thermo 公司;Buchi R210 旋转蒸发仪,瑞士步琦有限公司;UNIQUE-s15 超纯水机,厦门锐思捷科学仪器有限公司;KQ-200KDE 高功率数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;恒温水浴振荡器,常州润华电器有限公司;TGL-16G 型高速离心机,上海安亭科学仪器厂;拜安康血糖测试仪,德国 Bayer 公司;DX45 显微镜,日本奥林巴斯公司。

1.4 动物

SPF 级 ICR 雄性小鼠 60 只,体质量 18~22 g,上海 SLAC 公司提供,许可证号:SCXK(沪)2012-0002。

1.5 实验方法

1.5.1 多糖的制备与纯化^[4] 参考实验室前期方法,采用水煮醇沉的方法制备粗多糖,并采用蛋白酶联合 Sevage 法脱除浒苔粗多糖中的蛋白,脱除蛋白的样品经冻干后,即为实验用多糖样品。

1.5.2 多糖的理化性质分析^[4] 采用苯酚-硫酸法测定多糖中总糖含量(以鼠李糖为对照品);BCA 法测定多糖中蛋白质的含量;硫酸-唑啉法测定多糖中糖醛酸的含量;氯化钡-明胶比浊法测定多糖中硫酸基团的含量。

1.5.3 动物造模、分组给药及取材 取 1.4 项下雄性 SPF 级 ICR 小鼠,适应性喂养 3 d 后,随机取 20 只禁食 5 h,测空腹血糖,作为该批动物的基础血糖值。随后动物禁食 24 h,腹腔注射新鲜配制的四氧嘧啶溶液造模(剂量 125 mg/kg)。5 d 后,动物禁食 5 h,测空腹血糖,血糖值高于 11.1 mmol/L,且出现多饮、多食、多尿者,定为高血糖模型成功动物。

将造模成功小鼠,随机分为 5 组,每组 12 只,组间血糖值差不大于 1.1 mmol/L。空白组、模型组小鼠每日灌胃生理盐水 0.4 mL/只;阳性对照组每天灌胃参芪降糖颗粒 500 mg/kg;低、中、高剂量多糖组分别给予多糖 100、200、400 mg/kg,连续给药 28

d,每周测量1次小鼠体质量,第28天时记录小鼠饮食量和饮水量的变化。末次给药后,禁食5h,尾静脉取血,测定空腹血糖值,比较各组小鼠空腹血糖值,按公式计算血糖下降百分率。之后,各组小鼠灌胃给予葡萄糖2.0g/kg,分别取糖负荷后0.5、2h时的尾静脉血测定血糖水平,按公式计算血糖曲线下面积。实验结束时,摘取眼球取血,离心取上清测定血清胰岛素、糖化白蛋白的浓度,并剖取小鼠胰腺进行病理组织学观察。

$$\text{血糖下降率} = \frac{(\text{实验前血糖值} - \text{实验后血糖值})}{\text{实验前血糖值}} \times 100\%$$

$$\text{血糖曲线下面积} = \frac{(0\text{h血糖} + 0.5\text{h血糖}) \times 0.5}{2} + \frac{(2\text{h血糖} + 0.5\text{h血糖}) \times 1.5}{2}$$

1.5.4 病理组织学观察及评分 剖取的胰腺组织经10%福尔马林溶液固定,常规取材,脱水,石蜡包埋,制片(4 μm 厚),HE染色,光学显微镜观察:①内分泌腺大小、形态,并计数每只小鼠胰腺内胰岛数目,胰岛细胞有无变性、坏死,胰岛内有无炎细胞浸润等病变;②外分泌部腺泡细胞和导管有无变性、坏死及分泌状况;③在100倍低倍镜下计数每视野胰岛数,并采用DX45显微镜及其自带的计算机图像分析系统(DP2-BSW)测量每个胰岛的面积。

表1 多糖的理化性质分析结果($\bar{x} \pm s, n=3$)

样品	总糖含量/%	蛋白含量/%	糖醛酸含量/%	硫酸基含量/%
EP粗多糖	38.42 \pm 0.41	19.08 \pm 0.11	17.89 \pm 0.75	18.39 \pm 1.12
EP多糖	56.71 \pm 0.22	3.95 \pm 0.07	18.31 \pm 0.49	22.12 \pm 0.89

2.2 江苏地产多糖降血糖作用

2.2.1 一般观察 糖尿病模型小鼠与空白组小鼠比较,进食量与饮水量有显著的增高($P < 0.01$),体质量显著降低($P < 0.01$)。灌胃给予糖尿病小鼠中、高剂量(200、400mg/kg)EP多糖样品和参芪降糖颗粒28d后,小鼠的饮水量明显减少,体质量增加,与模型组比较,差异有显著性意义($P < 0.01$),结果见表2、图1。

2.2.2 多糖对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠血糖、糖化白蛋白以及糖耐量的影响 由表3所示,模型组小鼠血糖28d后持续维持在高血糖水平,血糖值 $> 11.1\text{mmol/L}$,说明造模成功。灌胃给予糖尿病小鼠各组受试样品4周后,EP多糖中、高剂量组(200、400mg/kg)和参芪降糖颗粒组均能降低糖尿病小

1.5.5 生化指标检测 各组小鼠血糖按照血糖检测仪说明测定。小鼠糖化白蛋白,总白蛋白以及胰岛素的含量均采用UniCel DxC 800 Synchron全自动生化仪(美国Beckman Coulter公司)进行检测。

1.5.6 统计学处理 数据表示方法均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,用SPSS 22.0软件(美国IBM公司)进行数据处理。两组均数比较采用独立样本t检验,不同样品浓度与对照组比较采用单因素方差分析。

2 结果

2.1 江苏地产多糖理化性质分析结果

由表1可知,水提醇沉所得粗多糖糖含量为38.42%,蛋白含量为19.08%。为提高纯度,本实验采用酶法结合Savage法对粗多糖中的蛋白进行脱除,纯化得到的糖含量增至56.71%,而蛋白含量降低至3.95%,蛋白脱除率达79.3%。

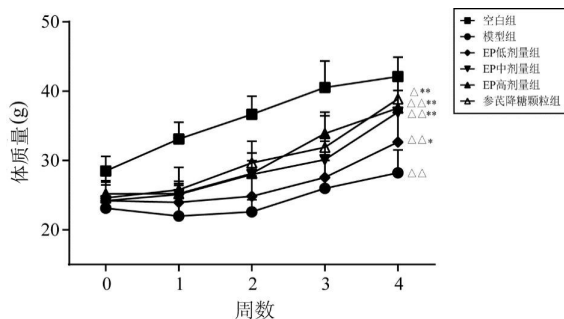
除此而外,EP多糖为绿藻酸性多糖,其中含有大量的糖醛酸和硫酸根离子。因此,本实验对纯化所得EP多糖中的糖醛酸以及硫酸基的含量进行测定,结果见表1。由表1可知,由2015年5月江苏连云港海域采集的浒苔中纯化所得的EP多糖与2014年4月相同海域所采集的浒苔中分离纯化的多糖样品相比,在总糖、蛋白、糖醛酸以及硫酸根含量等多项理化性质方面基本一致^[4]。

鼠的空腹血糖,与模型组比较,差异有统计学意义($P < 0.05 \sim 0.01$)。说明EP多糖具有降低糖尿病小鼠空腹血糖的功效。

表2 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠进食饮水量的影响($\bar{x} \pm s, n=12$)

组别	剂量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	进食量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	饮水量/ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
空白组	—	211.2 \pm 63.2	708.1 \pm 45.2
模型组	—	279.8 \pm 58.6 $\Delta\Delta$	912.4 \pm 77.5 $\Delta\Delta$
EP低剂量	100	253.8 \pm 80.2 Δ	855.7 \pm 63.4 $\Delta\Delta$
EP中剂量	200	213.6 \pm 64.8*	737.0 \pm 73.4**
EP高剂量	400	246.7 \pm 58.2 Δ	751.1 \pm 122.1**
参芪降糖颗粒	500	238.6 \pm 63.0 Δ	697.2 \pm 131.1**

注:与空白组比较, $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$;与模型组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$ 。



注:与空白组比较, $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$; 与模型组比较, $* P < 0.05$, $** P < 0.01$ 。

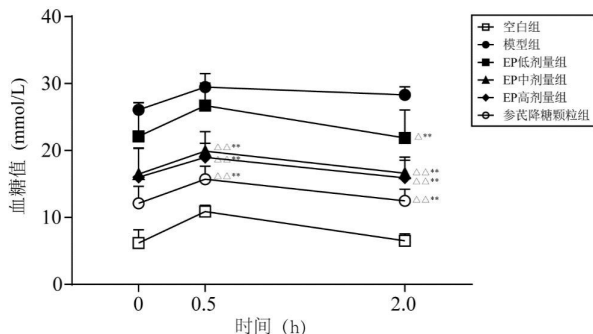
图 1 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠体质量的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 12$)

表 3 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠空腹血糖的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 12$)

组别	剂量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	空腹血糖值/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)		血糖降低率/%	糖化白蛋白浓度/%
		0 周	4 周		
空白组	—	6.51 \pm 1.09	6.18 \pm 1.98	—	10.92 \pm 3.02
模型组	—	24.71 \pm 2.88 $\Delta\Delta$	26.08 \pm 1.02 $\Delta\Delta$	—	68.0 \pm 11.03 $\Delta\Delta$
EP 低剂量	100	25.58 \pm 1.94 $\Delta\Delta$	22.1 \pm 5.04 $\Delta\Delta$	13.60	68.2 \pm 8.33 $\Delta\Delta$
EP 中剂量	200	24.59 \pm 2.14 $\Delta\Delta$	16.48 \pm 3.89 $\Delta\Delta^*^*$	32.98	58.6 \pm 5.05 $\Delta\Delta$
EP 高剂量	400	26.07 \pm 1.82 $\Delta\Delta$	16.01 \pm 4.31 $\Delta\Delta^*^*$	38.59	51.94 \pm 8.00 $\Delta\Delta^*^*$
参芪降糖颗粒	500	24.95 \pm 2.05 $\Delta\Delta$	12.12 \pm 2.54 $\Delta\Delta^*^*$	51.42	52.02 \pm 10.34 $\Delta\Delta^*^*$

注:与空白组比较, $\Delta\Delta P < 0.01$; 与模型组比较, $* P < 0.05$, $** P < 0.01$ 。

给予葡萄糖负荷后,EP 多糖中、高剂量组(200、400 mg/kg)和参芪降糖颗粒组各时间点血糖值与模型组相比,血糖降低,差异有统计学意义($P < 0.05 \sim 0.01$)。EP 多糖低、中、高剂量组(100、200、400 mg/kg)和参芪降糖颗粒组的血糖曲线下面积较空白模型组有明显下降($P < 0.05 \sim 0.01$),提示 EP 多糖糖耐量指标结果阳性,能较好地改善糖尿病小鼠的耐糖力,详细实验结果见图 2,表 4。



注:与空白组比较, $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$; 与模型组比较, $** P < 0.01$ 。

图 2 多糖对四氧嘧啶糖尿病小鼠糖耐量的影响

2.2.3 多糖对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠胰腺病程度以及血清胰岛素分泌的影响 四氧嘧啶对小鼠胰岛的 β -细胞具有特殊的破坏作用,终止胰岛素的分泌,从而造成糖尿病小鼠模型。本实验通过对模

糖化白蛋白是葡萄糖与血浆白蛋白发生非酶糖化反应的产物,其值能反映糖尿病小鼠近期(2~3 周)的平均血糖水平,是反应短期内血糖控制水平的重要指标。由表 3 所示,与空白组小鼠相比,模型组小鼠血清糖化白蛋白浓度显著升高($P < 0.01$),说明造模成功。灌胃给予各组受试样品 28 d 后,EP 多糖高剂量组(400 mg/kg)和参芪降糖颗粒组均能显著降低糖尿病小鼠血清糖化白蛋白的浓度,与模型组相比,差异有统计学意义($P < 0.01$)。说明高剂量多糖在 2~3 周时间段内能显著降低糖尿病小鼠体内血糖,在短期内起到较好的血糖控制作用。

型组、给药组小鼠胰腺病理切片的研究,观察 EP 多糖对四氧嘧啶诱导的胰腺病变程度是否具有改善作用,从而初步评价 EP 多糖降糖的作用机制。

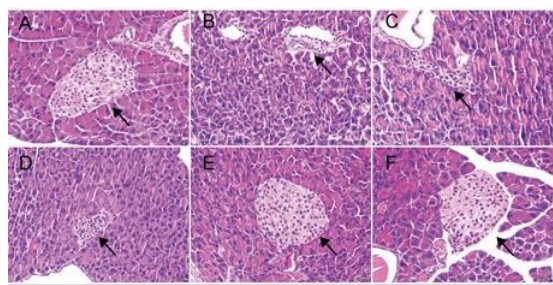
表 4 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠口服糖耐量的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 12$)

组别	剂量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血糖曲线下面积/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}$)
空白组	—	17.33 \pm 2.22
模型组	—	57.22 \pm 4.27 $\Delta\Delta$
EP 低剂量	100	48.66 \pm 7.73 $\Delta\Delta^*^*$
EP 中剂量	200	36.52 \pm 5.31 $\Delta\Delta^*^*$
EP 高剂量	400	34.91 \pm 5.53 $\Delta\Delta^*^*$
参芪降糖颗粒	500	28.09 \pm 3.98 $\Delta\Delta^*^*$

注:与空白组比较, $\Delta\Delta P < 0.01$; 与模型组比较, $* P < 0.05$, $** P < 0.01$ 。

由胰腺组织病理切片结果可知,模型组小鼠胰岛数量少、面积减小,胰岛形状不规则,细胞有变性,符合糖尿病的胰岛改变的特征;上述病变程度与正常组比较有显著性差异,说明糖尿病胰腺病变模型复制成功。EP 多糖和应用后糖尿病胰岛数目增多,面积增大。其中 EP 中、高剂量(200、400 mg/kg)组和参芪降糖颗粒组治疗效果较好,与模型组相比,其胰岛数目、面积的增加有极显著统计学意义($P < 0.01$),说明 EP 多糖有保护、修复胰岛细胞,减轻四氧

嘧啶诱导的胰腺病程程度的作用。实验结果详见表5、图3。



注:A.空白组;B.模型组;C.100 mg/kg EP 低剂量组;D.200 mg/kg EP 中剂量组;E.400 mg/kg EP 高剂量组;F.参芪降糖颗粒组

图3 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠胰腺病程影响的病理变化(HE, ×100)

表5 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠平均胰岛数和平均胰岛面积的影响($\bar{x} \pm s, n=12$)

组别	剂量/ (mg · kg ⁻¹)	平均胰岛数	胰岛平均面积/ μm ²
空白组	—	1.77 ± 0.08	11 189.1 ± 1 808.8
模型组	—	0.43 ± 0.14 ^{△△}	3 263.7 ± 442.5 ^{△△}
EP 低剂量	100	0.72 ± 0.14 ^{△*}	3 463.7 ± 721.3 ^{△△}
EP 中剂量	200	1.26 ± 0.46 ^{**}	4 640.7 ± 472.3 ^{△△*}
EP 高剂量	400	1.54 ± 0.30 ^{**}	6 696.3 ± 1 220.9 ^{△△*}
参芪降糖颗粒	500	1.55 ± 0.11 ^{**}	6 567.2 ± 1 173.5 ^{△△*}

注:与空白组比较,△P<0.05,△△P<0.01;与模型组比较,*P<0.05,**P<0.01。

表6所示,与模型组相比,多糖中、高剂量组(200、400 mg/kg)能显著增高血清中胰岛素的含量(P<0.05~0.01),进一步提示多糖降糖功效的机制可能与其改善模型动物胰岛病变程度,促进胰岛素的合成和分泌相关。

表6 多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠血清胰岛素含量的影响($\bar{x} \pm s, n=12$)

组别	剂量/ (mg · kg ⁻¹)	血清胰岛素/ (pg · mL ⁻¹)
空白组	—	139.6 ± 5.9
模型组	—	116.7 ± 5.6 ^{△△}
EP 低剂量	100	123.6 ± 7.4 ^{△△}
EP 中剂量	200	128.7 ± 5.4 ^{△△*}
EP 高剂量	400	129.5 ± 4.0 ^{△△*}
参芪降糖颗粒	500	129.1 ± 7.4 ^{△*}

注:与空白组比较,△P<0.05,△△P<0.01;与模型组比较,*P<0.05,**P<0.01。

3 讨论

浒苔因产地和品种的不同,其多糖含量及组成存在着差异,导致功效也有相应的不同。经本实验证实,在200~400 mg/kg的剂量范围内,江苏地产浒苔多糖可以不同程度的改善四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠的饮水增多,体质量降低情况;降低模型小鼠空腹血糖,血清糖化白蛋白的浓度;改善模型小鼠耐糖力的功效。这些作用与其保护、修复受损胰岛细胞,减轻四氧嘧啶诱导的胰腺病程程度,以及促进胰岛素的合成与分泌的作用相关。我国沿海特别是黄海海域浒苔资源丰富,本实验结果将为以江苏地产浒苔多糖为原料的降糖药品及辅助降血糖保健品的开发提供科学依据,这不仅赋予这一丰富的海洋资源以高值化利用的潜力,并在不久的将来通过进一步的药效验证及降糖机制研究,为广大的糖尿病患者创造福音。

参考文献:

- [1] 管华诗,王曙光. 中华海洋本草[M]. 上海:上海科学技术出版社,2009.
GUAN HS, WANG SG. Chinese Marine Materia Medica[M]. Shanghai: Shanghai science and technology press, 2009.
- [2] 刘峰,逢少军. 黄海浒苔绿潮及其溯源研究进展[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 441-446.
LIU F, PANG SJ. Research advances on green tides in the Yellow sea[J]. Adv Mar Sci, 2012, 30(3): 441-446.
- [3] 原丽. 浒苔多糖降血糖作用及其机制研究[D]. 福州:福建医科大学, 2011.
YUAN L. Study on Hypoglycemic Effect and Mechanism of Enteromorpha's Polysaccharide[D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2012.
- [4] 王欣之,程颖,施海涛,等. 江苏地产浒苔多糖对大鼠急性酒精性胃黏膜损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 329-333.
WANG XZ, CHENG Y, SHI HT, et al. Protective effects of Enteromorpha polysaccharides of Jiangsu province on the ethanol-induced gastric mucosal lesion in rats[J]. Sci Tech Food Ind, 2015, 36(24):329-333.

(编辑:董宇)