



张洁宏, 主任技师, 从事毒理学功能学检验和实验室管理等工作, 作为项目负责人主持并完成6项省级科技开发项目课题, 获得国家专利3项。兼任国家食品安全标准委员会专家, 中国毒理学会食品毒理学专业委员会委员, 中国营养学会毒理学分会委员, 广西食品安全地方标准审评委员会委员, 广西食品安全风险评估专家委员会委员, 广西实验动物学会副理事长, 广西实验动物管理委员会技术专家等。

覃辉艳, 硕士, 副主任技师。兼任中国毒理学会认证中国毒理学家, 广西食品安全风险评估专家委员会委员, 广西食品安全地方标准审评委员会委员, 广西实验动物学会理事。主要从事卫生毒理学和功能学检验评价和实验动物质量检测工作。主持广西医疗卫生适宜技术开发

与推广应用项目1项, 参与完成国家级、省部级科研课题6项; 发表学术论文15篇, 其中SCI论文2篇; 获得国家专利3项。



缂丝水对老龄大鼠氧化应激水平的改善作用

覃辉艳, 陈华凤, 杨 慧, 罗海兰, 傅伟忠, 李庆波, 张洁宏

(广西壮族自治区疾病预防控制中心, 南宁 530028)

[摘要] **目的** 探讨缂丝水对老龄大鼠氧化应激水平的改善作用。**方法** 模拟传统缂丝水产生过程进行干蚕茧样品处理, 并对缂丝水进行成分检测。采用16月龄老龄大鼠, 根据血清丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量将大鼠分层随机分为3个受试样品剂量组和1个阴性对照组, 每组10只。剂量组分别给予500、250、125 mg/kg剂量的缂丝水, 阴性对照组给予纯水, 每天灌胃1次, 连续灌胃30 d。实验结束后检测各组大鼠脂质氧化产物MDA、蛋白质氧化产物蛋白质羰基、抗氧化物质还原型谷胱甘肽(reduced glutathione, GSH)的含量和3种抗氧化酶即超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)的活性。**结果** 缂丝水中粗蛋白含量为1640 mg/100 g, 游离氨基酸含量为18 mg/100 g, 水解氨基酸含量为1700 mg/100 g。丝氨酸(30.59%)、门冬氨酸(18.82%)、甘氨酸(10.00%)和苏氨酸(8.24%)是缂丝水中主要的水解氨基酸。与阴性对照组比较, 缂丝水能降低老龄大鼠血清和组织中的MDA和蛋白质羰基含量($P < 0.05$), 提高血清和组织中的GSH含量($P < 0.05$), 提高组织中的SOD活性($P < 0.05$), 提高血清和组织中的CAT和GSH-Px活性($P < 0.05$)。**结论** 缂丝水具有改善老龄大鼠氧化应激的作用。

[关键词] 缂丝水; 丝胶; 老龄大鼠; 氧化应激

[中图分类号] R-332; Q95-33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2022)05-0393-08

The Capacity of Silkworm Cocoon Water to Mitigate the Level of Oxidative Stress in Aged Rats

QIN Huiyan, CHEN Huafeng, YANG Hui, LUO Hailan, FU Weizhong, LI Qingbo, ZHANG Jiehong

(Guangxi Autonomous Regional Center for Disease Control and Prevention, Nanning 530028, China)

Correspondence to: ZHANG Jiehong (ORCID: 0000-0003-0937-4386), E-mail: zhjh510@126.com

[ABSTRACT] **Objective** To investigate the capacity of silkworm cocoon water (SCW) to mitigate the level of oxidative stress in aged rats. **Methods** The samples were processed by simulating the traditional SCW production process, and the SCW components were examined. The 16-month-old rats were randomly divided into 3 experimental groups that were treated with different doses of SCW, and 1 negative control

[基金项目] 广西医疗卫生适宜技术开发与推广应用项目“缂丝水调控Nrf2-ARE信号通路抗氧化功能研究”(S2019068)

[第一作者] 覃辉艳(1981—), 女, 副主任技师, 研究方向: 食品及保健食品毒理和功能研究。E-mail: qinhuiyan123@sina.com。ORCID: 0000-0002-4536-7127

[通信作者] 张洁宏(1969—), 男, 主任技师, 研究方向: 食品及保健食品毒理和功能研究。E-mail: zhjh510@126.com。ORCID: 0000-0003-0937-4386

group according to serum malonaldehyde (MDA) content, with 10 rats in each group. Experimental groups were fed SCW at doses of 500, 250, 125 mg/kg body weight, respectively, and the negative control group was given pure water, once a day, for 30 days. At the end of the experiment, the contents of lipid oxidation products (MDA), protein oxidation products (carbonyl), antioxidant enzyme activities (SOD, CAT, GSH-Px), and antioxidant substances (GSH) were measured. **Results** The crude protein content of SCW was 1 640 mg/100 g, the free amino acid content was 18 mg/100 g, and the hydrolyzed amino acid content was 1 700 mg/100 g. Serine (30.59%), aspartate (18.82%), glycine (10.00%), and threonine (8.24%) were the main hydrolyzed amino acids in SCW. Compared with the negative control group, SCW reduced the contents of MDA and protein carbonyl in the serum and tissue ($P < 0.05$), but increased the contents of GSH in the serum and tissue, the activity of SOD in tissue, and the activity of CAT and GSH-Px in the serum and tissue of aged rats ($P < 0.05$). **Conclusion** SCW has the effect of improving oxidative stress in aged rats.

[Key words] Silkworm cocoon water; Sericin; Aged rats; Oxidative stress

缫丝水是蚕茧加工成生丝过程中缫丝工序（蚕茧通过煮茧将茧丝脱去大部分丝胶）产生的废水，每生产1 000 kg生丝将产生550~950 m³缫丝水^[1]。缫丝水主要成分为丝胶和蚕蛹蛋白，含大量氮、磷等物质，若直接排放，会使周围水体在短时间内迅速富营养化，导致水体腐败变质、发黑变臭，引起严重环境污染^[2]。缫丝厂废水处理主要有物理化学法和生物化学法，但两者均成本较高且存在产生二次废物的问题，达不到资源节约与可持续发展的要求^[3]。若能对其进行回收利用，不仅大大降低生产企业的废水治理成本，且对环境保护和资源的循环利用具有重要意义。

目前对缫丝水回收利用的研究主要侧重于从缫丝水中回收丝胶蛋白的工艺和方法，减少废水的主要污染物质蛋白质的含量，并对其进行有效利用以增加蚕茧的产品附加值，其间的废水处理费用转化为新产品的生产成本。以往的研究表明，蚕丝可能是导致人类致敏的过敏原，缫丝工人在加工蚕丝的工程中，皮肤常暴露于蚕丝，其对丝质过敏原的敏感率较高^[4]。但是前期研究发现缫丝水经口无毒副作用^[5]，且具有增强人体免疫力^[6]和降血脂^[7]的作用，具有开发成为功能性新食品原料的可能。目前研究显示，丝胶多肽具有2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基清除活性^[8]，丝胶还可以抑制酪氨酸酶活性，并对过氧化氢和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼有明显的清除作用^[9]。

本研究模拟传统缫丝工艺制备缫丝水，研究其对老龄大鼠氧化应激的改善作用，为缫丝水的开发利用和人口老龄化相关重大疾病的预防控制提供重要的科学依据和研究数据支撑。

1 材料与方法

1.1 缫丝水样品制备

本实验使用的商业干蚕茧由广西产品质量检验研究院提供。实验前模拟传统缫丝水产生过程进行样品处理：将蚕茧去除蚕蛹，称量100 g除蛹蚕茧加水至3 L，浸泡0.5 h后小火煮沸1 h，其间不添加任何化学添加剂，用纱布过滤分离，以同样方法重复提取一次，最后将两次的滤液合并，旋转蒸发仪减压浓缩至1 000 mL，得到0.1 g/mL浓缩液，置于4℃冰箱保存，并按照食品安全国家标准对其进行成分检测，临用前再用纯水配制。根据实验需要，使用同批次蚕茧，严格按相同的制备方法、设备和工艺多次进行样品制备，以保证样品质量的一致性和新鲜度。

1.2 实验动物及环境

SPF级16月龄雄性SD大鼠40只，体质量(856.0±103.7) g，由广西医科大学医学实验动物中心提供[SCXK(桂)2014-0002]，实验动物质量合格证号为45000300000915。动物饲料由北京科澳协力饲料有限公司[SCXK(京)2014-0010]提供。动物实验室为屏障系统[SYXK(桂)2016-0002]，温度22~25℃，相对湿度55%~70%。动物实验方案经过广西壮族自治区疾病预防控制中心实验动物管理与伦理委员会审查批准，审查批号为20190004。

1.3 剂量选择与样品溶液配制

设500、250、125 mg/kg体质量3个剂量组^[6-7]，同时设一个阴性对照组，每组10只动物。分别量取样品浓缩液50.0、25.0、12.5 mL，加纯水至100 mL，混匀，配成50.0%、25.0%、12.5%浓度的高、中、低剂量组样品溶液。

1.4 仪器与试剂

TECAN M200 PRO 全自动酶标仪（奥地利TECAN公司）；IKA RV10 旋转蒸发仪（德国 IKA 公司）；Sigma 4-16K 高速冷冻离心机（德国 SIGMA 公司）；日立 L-8500A 氨基酸分析仪（日本日立公司）；海能 D100 杜马斯定氮仪（济南海能仪器股份有限公司）。

丙二醛（malonaldehyde, MDA）、蛋白质羰基、超氧化物歧化酶（superoxide dismutase, SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase, GSH-Px）、过氧化物酶（catalase, CAT）和还原型谷胱甘肽（reduced glutathione, GSH）检测试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5 缣丝水成分分析

缣丝水成分检测按照食品安全国家标准^[10-11]进行。将受试样品 5 g 溶于 15 mL 的 6 mol/L HCl（质量体积比为 1：3），再加入 0.2 mL 苯酚，抽真空，在 110 ℃ 恒温干燥箱中水解 22 h，使用日立 L-8500A 氨基酸分析仪进行游离氨基酸和水解氨基酸分析。使用海能 D100 杜马斯定氮仪进行蛋白质检测。

1.6 动物实验

参照国家食品药品监督管理局发布的国食药监保化[2012] 107 号《关于印发抗氧化功能评价方法等 9 个保健功能评价方法的通知》^[12] 的附件 1——抗氧化功能评价方法。受试老龄大鼠在屏障设施内喂养观察 7 d，未见异常后取血测 MDA 含量。根据血清 MDA 含量将大鼠分层随机分为 3 个受试样品剂量组和 1 个阴性对照组，每组 10 只，并适当调整，使各组的氧化水平和平均体质量尽可能均衡。3 个剂量组按照大鼠体质量每 100 g 灌胃 1.0 mL 缣丝水的用量，分别经口给予相应浓度的样品溶液；阴性对照组给予等体积的纯水。每天灌胃一次，连续灌胃 30 d，并每周称体质量 1 次，根据体质量调整灌胃量。

实验结束时大鼠经戊巴比妥钠麻醉后，取血和肝、脑组织，按照试剂盒方法测定脂质氧化产物 MDA 含量、蛋白质羰基含量、GSH 含量和抗氧化酶（CAT、SOD、GSH-Px）活性。

1.7 实验数据统计

采用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析。计量资料以平均数±标准差表示，多组间比较采用方差分析，组内两两比较采用 Dunnett 法， $\alpha = 0.05$ 作为检验水准。

2 结果

2.1 缣丝水成分分析

缣丝水（0.1 g/mL 浓缩液）中粗蛋白含量为 1 640 mg/100 g，游离氨基酸含量为 18 mg/100 g，水解氨基酸含量为 1 700 mg/100 g。丝氨酸（30.59%）、门冬氨酸（18.82%）、甘氨酸（10.00%）和苏氨酸（8.24%）是缣丝水中主要的水解氨基酸。色氨酸和牛磺酸含量均低于检测限值（< 1.3 mg/ 100 g）（表 1）。

表1 缣丝水氨基酸成分
Table 1 Amino acid compositions of silkworm cocoon water

氨基酸种类 Amino acid varieties	百分含量 Contents /%
门冬氨酸 Asp	18.82
苏氨酸 Thr	8.24
丝氨酸 Ser	30.59
谷氨酸 Glu	6.47
脯氨酸 Pro	0.82
甘氨酸 Gly	10.00
丙氨酸 Ala	4.18
缣氨酸 Val	3.47
异亮氨酸 Ile	0.71
亮氨酸 Leu	1.29
酪氨酸 Tyr	4.47
苯丙氨酸 Phe	0.41
赖氨酸 Lys	4.00
组氨酸 His	1.88
精氨酸 Arg	4.65
合计 Total	100.00

2.2 缣丝水对大鼠体质量的影响

实验前和实验结束时缣丝水样品各剂量组的大鼠体质量与阴性对照组均无明显差异（ $P>0.05$ ），表明该样品对老龄大鼠的体质量无明显影响（表 2）。

2.3 缣丝水对大鼠血清及组织脂质氧化产物 MDA 和蛋白质羰基含量的影响

实验前各组大鼠血清 MDA 含量无明显差异（ $P>0.05$ ，图 1A）。实验终末，缣丝水样品高剂量组大鼠的血清、脑和肝组织 MDA 含量，以及中剂量组大鼠的血清 MDA 含量均低于阴性对照组（ $P<0.05$ ），表明该样品具有降低老龄大鼠血清和组织中过氧化脂质含量的作用（图 1A~D）。

实验终末，缣丝水样品高剂量组的血清和脑组织、中剂量组的脑组织蛋白质羰基含量均低于阴性对照组（ $P<0.05$ ），表明该样品具有降低老龄大鼠血清和组织中蛋白质羰基含量的作用（图 1E~G）。

表2 实验期间各组老龄大鼠的体质量

Table 2 Body weight of rats in each group during the experiment

剂量组 Dose group/ (mg·kg ⁻¹)	动物数 Animal numbers	大鼠体质量 Body weight m/g					增质量 Weight gain m/g
		Day 1	Day 7	Day 14	Day 21	Day 30	
500	10	854.3±99.1	862.8±100.1	871.4±101.1	878.7±101.6	884.9±102.6	30.6±4.0
250	10	850.3±66.0	859.5±66.7	867.9±57.6	875.8±58.4	883.5±59.0	33.2±4.0
125	10	857.5±122.5	865.9±123.6	873.4±124.5	880.3±125.8	886.3±126.8	28.8±5.0
0	10	861.8±131.8	870.0±132.6	878.3±134.1	885.0±134.5	891.4±135.9	29.6±5.1

注：表中各时期各组大鼠的体质量及增质量比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

Note: There were no significant differences in body weight at different time points, and weight gain in each group ($P>0.05$).

2.4 缬丝水对大鼠血清及组织中 GSH 含量和 GSH-Px 活性的影响

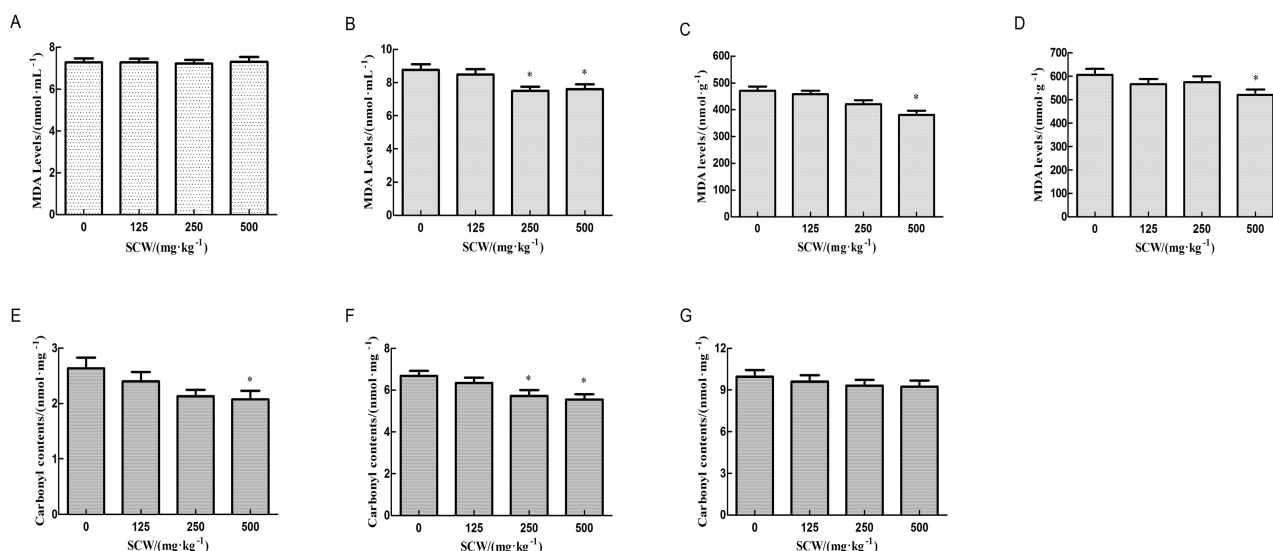
实验终末，样品各剂量组的血清 GSH 含量和高、中剂量组的脑组织 GSH 含量均高于阴性对照组 ($P<0.05$)，表明该样品可以提高老龄大鼠血清和脑组织中谷胱甘肽的含量 (图2A~C)。

实验终末，样品高剂量组的血清、脑及肝组织和中剂量组的脑组织中 GSH-Px 活性均高于阴性对照组 ($P<0.05$)，表明该样品可以提高老龄大鼠血清和脑、肝组织中谷胱甘肽过氧化物酶的活性 (图2D~F)。

2.5 缬丝水对大鼠血清及组织中 SOD 和 CAT 活性的影响

实验终末，样品高、中剂量组大鼠肝组织中 SOD 活性均高于阴性对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)，表明该样品可以提高老龄大鼠肝组织中超氧化物歧化酶的活性 (图3A~C)。

实验终末，样品各剂量组大鼠肝组织中 CAT 活性和高、中剂量组的血清 CAT 活性均高于阴性对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)，表明该样品可以提高老龄大鼠血清和肝组织中过氧化氢酶的活性 (图3D~F)。

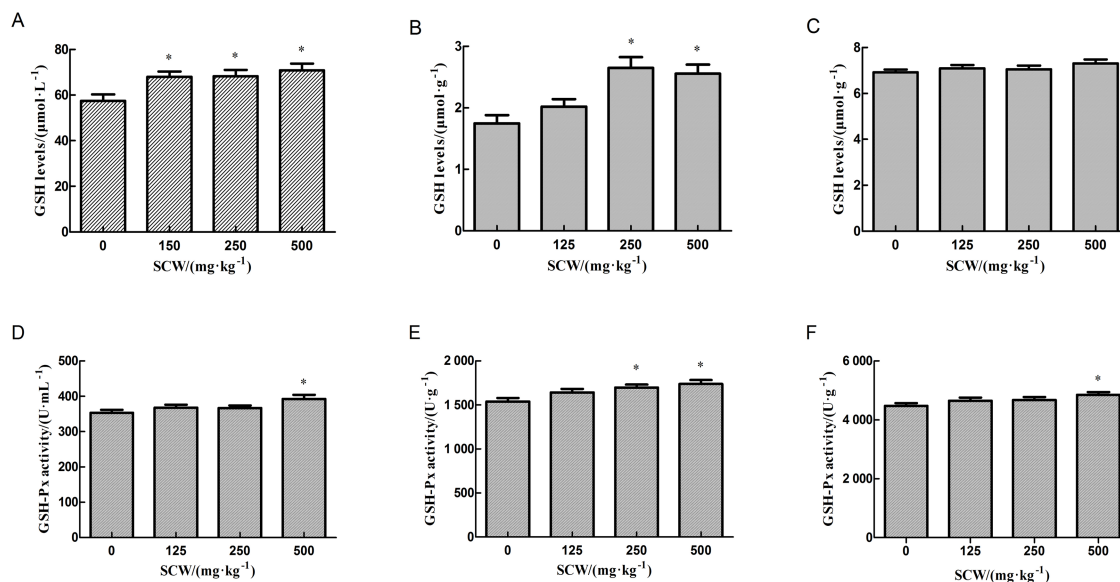


注：SCW为缬丝水。A为实验前血清丙二醛 (MDA) 含量；B为实验终血清MDA含量；C为实验终脑组织MDA含量；D为实验终肝组织MDA含量；E为实验终血清蛋白质羰基含量；F为实验终脑组织蛋白质羰基含量；G为实验终肝组织蛋白质羰基含量。每组10只大鼠，数据表示为平均值±标准差。与阴性对照组比较，* $P<0.05$ 。

Note: SCW, silkworm cocoon water. A, serum malonaldehyde (MDA) levels before the experiment; B, serum MDA levels at the end of the experiment; C, brain tissue MDA levels at the end of the experiment; D, hepatic tissue MDA levels at the end of the experiment; E, serum carbonyl contents at the end of the experiment; F, brain tissue carbonyl contents at the end of the experiment; G, hepatic tissue carbonyl contents at the end of the experiment. Data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 rats per group. * $P<0.05$, compared with the negative control group.

图1 缬丝水对老龄大鼠血清和脑、肝组织中MDA和蛋白质羰基含量的影响

Figure 1 Effects of silkworm cocoon water on MDA levels and carbonyl contents in the serum, brain and liver of rats

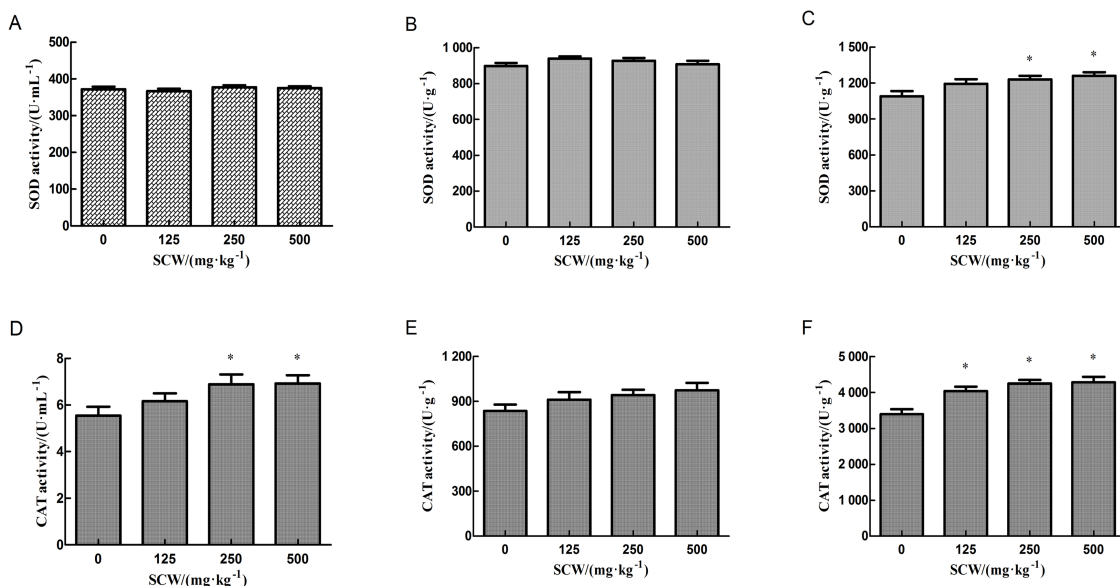


注: SCW为缂丝水。A为实验终血清还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量; B为实验终脑组织GSH含量; C为实验终肝组织GSH含量; D为实验终血清谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性; E为实验终脑组织GSH-Px活性; F为实验终肝组织GSH-Px活性。每组10只大鼠, 数据表示为平均值 $\pm$ 标准差。与阴性对照组比较, * $P < 0.05$ 。

Note: SCW, silkworm cocoon water. A, serum reduced glutathione (GSH) levels at the end of the experiment; B, brain tissue GSH levels at the end of the experiment; C, hepatic tissue GSH levels at the end of the experiment; D, serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity at the end of the experiment; E, brain tissue GSH-Px activity at the end of the experiment; F, hepatic tissue GSH-Px activity at the end of the experiment. Data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 rats per group. * $P < 0.05$, compared with the negative control group.

图2 缂丝水对老龄大鼠血清和脑、肝组织中GSH含量和GSH-Px活性的影响

Figure 2 Effects of silkworm cocoon water on GSH levels and GSH-Px activity in the serum, brain, and liver of rats



注: SCW为缂丝水。A为实验终血清超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; B为实验终脑组织SOD活性; C为实验终肝组织SOD活性; D为实验终血清过氧化物酶 (CAT) 活性; E为实验终脑组织CAT活性; F为实验终肝组织CAT活性。每组10只大鼠, 数据表示为平均值 $\pm$ 标准差。与阴性对照组比较, * $P < 0.05$ 。

Note: SCW, silkworm cocoon water. A, serum superoxide dismutase (SOD) activity at the end of the experiment; B, brain tissue SOD activity at the end of the experiment; C, hepatic tissue SOD activity at the end of the experiment; D, serum catalase (CAT) activity at the end of the experiment; E, brain tissue CAT activity at the end of the experiment; F, hepatic tissue CAT activity at the end of the experiment. Data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 rats per group. * $P < 0.05$, compared with the negative control group.

图3 缂丝水对老龄大鼠血清及肝、脑组织SOD和CAT活性的影响

Figure 3 Effects of silkworm cocoon water on SOD activity and CAT activity in the serum, brain, and liver of rats

3 讨论

氧化应激是指机体的氧化系统和抗氧化系统失衡, 倾向于氧化, 从而导致组织损伤。随着年龄增长, 活性氧等自由基清除变慢, 链式的自由基反应使得核酸、蛋白质和脂肪酸等大分子物质发生变性和交联, 损伤细胞结构, 导致生物体的氧化应激伤害, 最终出现衰老^[13]。氧化应激不仅与衰老密切相关, 且对糖尿病、心血管疾病的发生发展起重要作用^[14-15]。此外, 高脂血症^[16]、神经退行性病^[17]、阿尔茨海默病^[18]、肿瘤等^[19]疾病的发生发展都与体内氧化应激过度有关。

生物体内的抗氧化防御体系由酶促抗氧化体系(如SOD和CAT等)和非酶促抗氧化体系(如GSH等)组成, 二者可以消除活性氧, 减轻氧化应激损伤^[20-21]。SOD可催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢, CAT可催化过氧化氢分解成氧和水, 而GSH-Px则能催化GSH变为氧化型谷胱甘肽(oxidized glutathione, GSSG), 使有毒的过氧化物还原成无毒的羟基化合物, 同时促进过氧化氢的分解, 从而保护细胞膜的结构及功能不受过氧化物的干扰及损害^[20]。MDA和蛋白质羰基则是脂质、蛋白质氧化产物, MDA是自由基作用于脂质发生过氧化反应的终产物, 可引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合, 并具有细胞毒性^[22]。蛋白质羰基是自由基攻击蛋白质而产生的一种不可逆的氧化修饰产物, 可导致蛋白质的失活、水解、折叠和交联, 进而影响蛋白质的功能和机体代谢^[23]。二者均可反映机体的氧化应激损伤程度, 是目前最常用的氧化产物标志物。研究表明, 人体血液中的蛋白质羰基含量呈年龄相关性增加, 蛋白质氧化与血浆抗氧化能力呈显著负相关^[24]。MDA含量随年龄的增长而增多, 而SOD和GSH-Px含量则随着年龄的增长而降低, 且无性别差异, 清除体内过多的氧化自由基有助于延缓机体衰老^[25-26]。

本研究从脂质氧化产物(MDA)、蛋白质氧化产物(蛋白质羰基)、抗氧化酶(SOD、CAT和GSH-Px)和抗氧化物质(GSH)四个方面初步研究缬丝水改善老龄大鼠氧化应激的作用。结果显示: 缬丝水可以降低老龄大鼠血清和组织中的脂质氧化产物MDA和蛋白质氧化产物蛋白质羰基含量, 提高老龄大鼠血清和组织中抗氧化物质GSH的含量、血清和组织中抗氧化酶CAT和GSH-Px、组织中抗氧化酶SOD的活性, 表明缬丝水可改善老龄大鼠的氧化应激。此外, 实验结果显

示: 经口给予缬丝水后, 大鼠脑组织中脂质、蛋白质氧化产物均降低, GSH-Px活性和GSH含量均明显增高, 而SOD和CAT活性无明显升高, 提示缬丝水对脑组织的氧化应激保护可能通过提高其非酶促抗氧化体系来实现。大鼠肝组织的脂质氧化产物含量降低, 而SOD、CAT和GSH-Px活性均明显升高($P < 0.05$), 但GSH含量无明显增加($P > 0.05$), 提示缬丝水对肝组织的氧化应激保护可能通过提高其酶促抗氧化体系来实现。另外从本实验结果可以看出, 无论在实验动物的血清还是组织中, 脂质氧化产物和蛋白质氧化产物含量均随着缬丝水剂量的增加而下降, 抗氧化酶和抗氧化物质含量均随着缬丝水剂量的增加而提高, 提示缬丝水剂量越高, 改善氧化应激的作用越好, 且在一定剂量水平时才具有明显改善氧化应激的作用。然而考虑到缬丝水的安全性, 其所用剂量不应超过其安全剂量; 本课题组前期对其安全性研究发现, 口服缬丝水90 d后雄性和雌性SD大鼠的未观察到有害作用剂量(no observed adverse effect level, NOAEL)为 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[5]。本研究所用缬丝水高剂量为NOAEL的1/2, 提示在其安全剂量范围内, 亦可表现出改善氧化应激的作用。

缬丝水主要成分为丝胶和蚕蛹蛋白^[2], 本研究对其氨基酸成分分析显示, 丝氨酸、门冬氨酸、甘氨酸和苏氨酸是缬丝水中主要的水解氨基酸。这一结果与其他研究者对蚕丝中丝胶蛋白氨基酸组成分析的结果相似^[27]。近年的研究显示, 丝氨酸、甘氨酸均具有抗氧化应激的作用^[28-30]。丝氨酸可通过激活腺苷酸活化蛋白激酶AMPK和调控GSH合成相关基因的表达拮抗大鼠高脂肪饮食引起的氧化应激^[28]。丝氨酸能提高大鼠大脑中动脉栓塞后的脑内SOD活性, 降低MDA^[29]。而甘氨酸是体内GSH的组成氨基酸, 可通过抑制糖尿病大鼠体内烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶(Nox4)的表达, 增强GSH的合成, 减轻肾脏氧化应激^[30]。缬丝水中氨基酸种类丰富, 其中的丝氨酸、甘氨酸可能在抗氧化过程中发挥了重要的作用, 其作用机制有待进一步研究。

[医学伦理声明 Medical Ethics Statement]

本研究涉及的所有动物实验均已通过广西壮族自治区疾病预防控制中心实验动物管理与伦理委员会审查批准(No. 20190004)。所有实验过程均遵照中国实验动物相关法律法规条例要求进行。

All experimental animal protocols in this study were reviewed and approved by Experimental Animal Welfare

and Ethics Committee of Guangxi Center for Disease Control and Prevention (Approval Letter No. 201900004). All experimental procedures were performed in accordance with the requirements of laws and regulations in China related to experimental animals, including *Animal Management Regulations* (01/03/2017), *Laboratory Animal: Guideline for Ethical Review of Animal Welfare* (GB/T 35892-2018), and so on.

[作者贡献 Author Contribution]

覃辉艳收集资料, 设计研究方案, 分析数据, 撰写论文; 陈华凤开展样品制备及参与抗氧化指标检测; 杨慧负责成分分析检测; 傅伟忠和罗海兰负责抗氧化指标检测; 李庆波负责实验动物灌胃及观察; 张洁宏指导整个实验研究及论文审核。

[利益声明 Declaration of Interest]

所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献 References]

- [1] 莫钟川, 唐文浩. 缫丝生产废水的特征及处理方法的研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(14):3432-3433.
MO Z C, TANG W H. Treatment of reeling wastewater with biochemistry technology[J]. J Anhui Agric Sci, 2006, 34(14): 3432-3433.
- [2] 谢微. 煮茧和汰头废水丝胶回收及后续废水生化处理研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2011.
XIE W. Study on recovering sericin from cocoon-cooking wastewater and boi-chemical treatment[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2011.
- [3] 程红霞, 解庆林, 游少鸿. 缫丝工业废水处理技术研究进展[J]. 广西轻工业, 2009, 25(7): 87-88. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2673.2009.07.044.
CHENG H X, XIE Q L, YOU S H. Research progress of silk reeling industrial wastewater treatment technology[J]. Guangxi J Light Ind, 2009, 25(7):87-88. DOI:10.3969/j.issn.1003-2673.2009.07.044.
- [4] GOWDA G, SHIVALINGAIAH A H, VIJAYEENDRA A M, et al. Sensitization to silk allergen among workers of silk filatures in India: a comparative study[J]. Asia Pac Allergy, 2016, 6(2): 90-93. DOI:10.5415/apallergy.2016.6.2.90.
- [5] QIN H Y, ZHANG J H, YANG H, et al. Safety assessment of water-extract sericin from silkworm (*Bombyx mori*) cocoons using different model approaches[J]. Biomed Res Int, 2020, 2020:9689386. DOI:10.1155/2020/9689386.
- [6] 傅伟忠, 覃辉艳, 覃光球, 等. 缫丝水浓缩液对小鼠免疫功能影响的实验研究[J]. 实用预防医学, 2019, 26(6):672-674. DOI:10.3969/j.issn.1006-3110.2019.06.009.
FU W Z, QIN H Y, QIN G Q, et al. Experimental study on the effect of silkworm cocoon water extracts on immunomodulatory activity in mice[J]. Pract Prev Med, 2019, 26(6): 672-674. DOI:10.3969/j.issn.1006-3110.2019.06.009.
- [7] 张陆娟, 覃辉艳, 覃光球, 等. 缫丝水对高脂模型大鼠降脂作用的研究[J]. 广西医科大学学报, 2019, 36(7):1056-1058. DOI:10.16190/j.cnki.45-1211/r.2019.07.004.
- [8] ZHANG L J, QIN H Y, QIN G Q, et al. Hypolipidemic effect of concentrated water from silk reeling in hyperlipidemic rats[J]. J Guangxi Med Univ, 2019, 36(7): 1056-1058. DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2019.07.004.
- [9] 范金波, 周素珍, 任发政, 等. 丝胶多肽的分离及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 46-51. DOI:10.16429/j.1009-7848.2013.12.006.
FAN J B, ZHOU S Z, REN F Z, et al. Preparation, separation and antioxidant activity of peptides derived from silk sericin [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(12): 46-51. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2013.12.006.
- [10] JENA K, PANDEY J P, KUMARI R, et al. Tasar silk fiber waste sericin: new source for anti-elastase, anti-tyrosinase and anti-oxidant compounds[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 114: 1102-1108. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.03.058.
- [11] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
State Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National Food Safety Standard, Determination of Amino Acids in Food: GB 5009.124-2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
State Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National Food Safety Standard, Determination of Protein in Food: GB 5009.5-2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [13] 国家食品药品监督管理局. 关于印发抗氧化功能评价方法等9个保健功能评价方法的通知[A]. 2012.
National Food and Medical Products Administration. Notice on distributing 9 health function evaluation methods including antioxidant function evaluation method[A]. 2012.
- [14] 夏世金, 孙涛, 吴俊珍. 自由基、炎症与衰老[J]. 实用老年医学, 2014, 28(2):100-103. DOI:10.3969/j.issn.1003-9198.2014.02.004.
XIA S J, SUN T, WU J Z. Free radical, inflammation and aging [J]. Pract Geriatr, 2014, 28(2):100-103. DOI:10.3969/j.issn.1003-9198.2014.02.004.
- [15] IGHODARO O M. Molecular pathways associated with oxidative stress in diabetes mellitus[J]. Biomed Pharmacother, 2018, 108:656-662. DOI:10.1016/j.biopha.2018.09.058.
- [16] 练淑平, 张耀, 王振花. 氧化应激在糖尿病性心血管疾病中的研究进展[J]. 医学综述, 2019, 25(10):2029-2033. DOI:10.3969/j.issn.1006-2084.2019.10.030.
LIAN S P, ZHANG Y, WANG Z H. Research progress of oxidative stress in diabetic cardiovascular disease[J]. Med Recapitul, 2019, 25(10): 2029-2033. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2084.2019.10.030.
- [17] 张丽翠, 刘新, 梁炜炜, 等. 高脂血症患者体内氧化应激水平的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2016, 33(1):9-10.
ZHANG L C, LIU X, LIANG W W, et al. Study on the level of oxidative stress in patients with hyperlipidemia[J]. Stud Trace

- Elem Health, 2016, 33(1):9-10.
- [17] TARAFDAR A, PULA G. The role of NADPH oxidases and oxidative stress in neurodegenerative disorders[J]. Int J Mol Sci, 2018, 19(12):3824. DOI:10.3390/ijms19123824.
- [18] JAIRANI P S, ASWATHY P M, KRISHNAN D, et al. Apolipoprotein E polymorphism and oxidative stress in peripheral blood-derived macrophage-mediated amyloid-beta phagocytosis in Alzheimer's disease patients[J]. Cell Mol Neurobiol, 2019, 39(3): 355-369. DOI: 10.1007/s10571-019-00651-1.
- [19] BHATTACHARYA S, SAHA J. Tumour, oxidative stress and host T cell response: cementing the dominance[J]. Scand J Immunol, 2015, 82(6):477-488. DOI:10.1111/sji.12350.
- [20] HARRIS E D. Regulation of antioxidant enzymes[J]. J Nutr, 1992, 122(3 Suppl):625-626. DOI:10.1093/jn/122.suppl_3.625.
- [21] PACKER L, WITT E H, TRITSCHLER H J. Alpha-lipoic acid as a biological antioxidant[J]. Free Radic Biol Med, 1995, 19(2):227-250. DOI:10.1016/0891-5849(95)00017-R.
- [22] 孙红艳. 丙二醛及晚期糖基化终产物在健康成人血清与唾液中的增龄性变化及相关性研究[D]. 北京: 中国人民解放军军医进修学院, 2010.
- SUN H Y. Age-related changes and the correlation of MDA and AGEs content of serum and saliva in healthy adults[D]. Beijing: Chinese People's Liberation Army Military Medical College, 2010.
- [23] 王志辉, 王燕一. 蛋白质羰基与衰老疾病关系的研究进展[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2015, 13(1):47-50. DOI:10.3969/j.issn.1672-2973.2015.01.018.
- WANG Z H, WANG Y Y. Research progress on the relationship between carbonyl group in protein and aging diseases[J]. Chin J Geriatr Dent, 2015, 13(1):47-50. DOI:10.3969/j.issn.1672-2973.2015.01.018.
- [24] JHA R, RIZVI S I. Carbonyl formation in erythrocyte membrane proteins during aging in humans[J]. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub, 2011, 155(1):39-42. DOI:10.5507/bp.2011.013.
- [25] 吕宝经, 赵美华, 黄国芳, 等. 年龄变化与脂质过氧化损伤的分析[J]. 上海第二医科大学学报, 1996, 16(1): 40-42.
- LU B J, ZHAO M H, HUANG G F, et al. An analysis of the lipid peroxidation damage in the different age[J]. Acta Univ Med Second Shanghai, 1996, 16(1): 40-42.
- [26] 李玉芳, 黎国模. 过氧化脂质与年龄关系的探讨[J]. 预防医学情报杂志, 1994, 10(3): 132.
- LI Y F, LI G M. Discussion on the relationship between lipid peroxide and age[J]. J Prev Med Inf, 1994, 10(3): 132.
- [27] 张瑾莉, 杨希, 徐敏, 等. 蚕丝蛋白的营养价值及其在食品中的应用进展[J]. 饮食科学, 2017(8):49, 51.
- ZHANG J L, YANG X, XU M, et al. Nutritional value of silk protein and its application progress in food[J]. Diet Sci, 2017 (8):49, 51.
- [28] ZHOU X H, HE L Q, ZUO S N, et al. Serine prevented high-fat diet-induced oxidative stress by activating AMPK and epigenetically modulating the expression of glutathione synthesis-related genes[J]. Biochim Biophys Acta BBA Mol Basis Dis, 2018, 1864(2): 488-498. DOI: 10.1016/j. bbadis. 2017. 11.009.
- [29] 王国华, 姜正林, 张祥根, 等. L-丝氨酸对大鼠脑缺血/再灌注损伤保护作用时间窗的实验研究[J]. 中国应用生理学杂志, 2010, 26 (1):72-76, 130. DOI:10.13459/j.cnki.cjap.2010.01.028.
- WANG G H, JIANG Z L, ZHANG X G, et al. Experimental study of therapeutic time window of L-serine against focal cerebral ischemia/reperfusion injury in rats[J]. Chin J Appl Physiol, 2010, 26(1):72-76, 130. DOI:10.13459/j.cnki.cjap.2010.01.028.
- [30] WANG Z W, ZHANG J Q, WANG L M, et al. Glycine mitigates renal oxidative stress by suppressing Nox4 expression in rats with streptozotocin-induced diabetes[J]. J Pharmacol Sci, 2018, 137(4):387-394. DOI:10.1016/j.jphs.2018.08.005.
- (收稿日期:2022-03-04 修回日期:2022-07-28)
(本文编辑:丁宇菁, 富群华, 任益凡)

《实验动物与比较医学》有关参考文献的说明

参考文献是学术论文的重要组成部分, 其不仅体现作者团队的学术诚信(非原创成果及观点须标引出处), 而且在一定程度上反映着该研究论文的学术基础。因此, 作者在研究设计及论文撰写时, 务必重视参考文献的选取和引用。

一般论文的参考文献数量应在20~80条, 且力求所引文献具有及时性和代表性。及时性, 是指参考文献要能反映该研究领域近年来的发展情况, 一般综述文章的参考文献中最近3年的应占50%以上, 论著类文章的参考文献中近3年的应占30%以上。代表性, 是指参考文献需要中英文均有, 且其质量(文献水平)和来源(刊物声誉)均应尽量高水准, 至少其学术质量是作者团队均认可的。

本刊参考文献的标引遵循GB/T 7714—2015《信息与文献 参考文献著录规则》, 采用顺序编码制著录。参考文献的类型及其标识代码包含: 普通图书[M], 期刊[J], 学位论文[D], 专利[P], 标准[S], 报告[R], 会议录[C], 论文汇编[G], 报纸[N], 档案[A], 数据库[DB], 电子公告[EB], 计算机程序[CP], 其他[Z]。文后参考文献的书写格式参见本刊稿约(<https://www.slarc.org.cn/dwyx/CN/column/column9.shtml>), 以及2022年新发表论文。

《实验动物与比较医学》编辑部