

含胶原蛋白肽饮品对衰老小鼠皮肤改善作用和 抗氧化作用研究

何瑞琪¹, 赵明月², 钟兴伟², 徐晓飞^{1,2*}

(1. 几何细胞生物研究中心, 东莞 523808; 2. 华南协同创新研究院, 东莞 523808)

摘 要: 目的 研究 3 款含胶原蛋白肽饮品对衰老小鼠的皮肤改善作用及抗氧化作用。**方法** 采取 *D*-半乳糖诱导的衰老小鼠模型, 正常对照组每天腹腔注射生理盐水, 模型组和产品组每天对小鼠腹腔注射 *D*-半乳糖 120 mg/kg。各组小鼠每天按 0.1 mL/10 g 体积灌胃, 模型组及对照组灌胃生理盐水, 产品组灌胃相应体积样品, 连续 8 周, 各实验组剂量 16.7 mL/(kg·d)。分别检测皮肤羟脯氨酸和透明质酸含量, 血清、肝脏、心脏中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量, 小肠和结肠的 pH、短链脂肪酸含量。**结果** 相对于模型组, 3 款胶原蛋白肽饮品均能提高衰老模型小鼠皮肤透明质酸和羟脯氨酸的含量、提升衰老小鼠的抗氧化能力($P<0.05$), 表现为提高血清、肝脏、心脏的 SOD 和 GSH-Px 活性, 以及降低 MDA 浓度, 且 3 款饮品中以 UKDNA 胶原蛋白肽饮品的效果最好。对小肠、结肠内容物 pH 和短链脂肪酸(short chain fatty acids, SCFAs)含量检测显示, 3 款饮品能提高结肠环境 pH 并对异丁酸、正戊酸以及总短链脂肪酸有显著影响($P<0.05$)。**结论** 含胶原蛋白肽饮品可能通过提高机体抗氧化能力来改善衰老皮肤中透明质酸和羟脯氨酸含量。

关键词: 胶原蛋白肽; 衰老小鼠; 抗氧化; 短链脂肪酸

Study of skin improvement and antioxidant activity in aged mice with collagen peptide drinks

HE Rui-Qi¹, ZHAO Ming-Yue², ZHONG Xing-Wei², XU Xiao-Fei^{1,2*}

(1. Geometric Cell Biology Research Center, Dongguan 523808, China; 2. South China Institute of Collaborative Innovation, Dongguan 523808, China)

ABSTRACT: Objective To study the skin improvement effects and antioxidant activity by 3 kinds of collagen peptide-contained drinks on aged mice. **Methods** The aged mouse model induced by *D*-galactose was adopted, the normal control group was intraperitoneally injected with normal saline every day, and the model group and product group were intraperitoneally injected with *D*-galactose 120 mg/kg every day. The mice in each group were gavaged at the volume of 0.1 mL/10 g every day, the model group and control group were gavaged with salt water, the product group was gavaged with the corresponding volume of samples for 8 consecutive weeks, and the dose of each experimental group was 16.7 mL/(kg·d). The content of hydroxyproline and hyaluronic acid in skin,

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1602106)

Fund: Supported by the National Key Research & Development Program of China (2018YFC1602106)

*通信作者: 徐晓飞, 主要研究方向为功能性食品。E-mail: xfxu@scici.com

*Corresponding author: XU Xiao-Fei, South China Institute of Collaborative Innovation, Building A2, City of University Innovation, Xincheng Road, Songshan Lake High-Tech Zone, Dongguan 523808, China. E-mail: xfxu@scici.com

superoxide dismutase (SOD) activity, glutathione peroxidase (GSH-Px) activity, malondialdehyde (MDA) content in serum, liver and heart, pH and short chain fatty acid content in small intestine and colon were measured.

Results Compared with model group, the 3 kinds of collagen peptide-contained drinks could increase the content of hyaluronic acid and hydroxyproline in the skin of aging model mice, and enhance the antioxidant capacity of aged mice ($P<0.05$), which were shown as the increasing activities of SOD and GSH-Px in serum, liver and heart and the reduction of MDA, and UKDNA collagen peptide-contained drink had the best effects among the 3 kinds of samples. Additionally, the results showed that the 3 kinds of samples could improve the pH and significant affected the concentrations of isobutyric acid and valerate acid and total SCFAs in colon ($P<0.05$). **Conclusion** Collagen peptide-contained drinks may improve the content of hyaluronic acid and hydroxyproline in skin in aged mice through increasing antioxidant capacity in body.

KEY WORDS: collagen peptide; aged mouse; antioxidant; short chain fatty acid

0 引 言

胶原蛋白肽是一种从动物的皮、骨、鳞等中提取的一种功能性原料^[1]。胶原蛋白是人体内含量最多的蛋白质, 约占总蛋白质含量的 25%~30%^[2]。胶原蛋白肽经过消化吸收后会积聚在软骨或皮肤中, 有助于胶原蛋白结构维持稳定或再生^[3]。补充胶原蛋白肽或胶原蛋白水解物还可增进细胞活力、增加皮肤亮泽, 起到抗衰老、紧肤、抗皱、增加皮肤弹性等的作用^[4]。多个临床研究也证明了胶原蛋白肽对皮肤弹性有改善作用, 例如减少皱纹或增加真皮中胶原蛋白含量^[5-7]。此外, 刘晨晨等^[8]研究发现鳕鱼皮胶原蛋白肽可通过抗氧化活性的发挥对慢性肝损伤小鼠起到保护作用; 王传幸等^[9]研究发现黑鱼鱼鳞胶原蛋白肽能清除超氧自由基和羟自由基; 盛周煌等^[10]研究罗非鱼皮的胶原蛋白肽, 发现对羟基自由基和 ABTS 自由基有较强的抗氧化活性。上述胶原蛋白肽抗氧化作用证据表明, 胶原蛋白肽对皮肤抗衰作用可能是通过其抗氧化机制达成。

市面上含胶原蛋白肽的液体制品种类繁多, 组方成分复杂多样, 除胶原蛋白肽外还会添加许多其他的成分, 如果汁、中药提取物、维生素等。胶原蛋白肽对温度较敏感, 容易变性而降低活性^[11]。另外, 胶原蛋白肽含有氨基和羰基基团, 容易与配方中其他物质发生化学反应, 例如与葡萄糖等还原糖发生美拉德反应^[12-13], 这样也可能会降低胶原蛋白肽的活性。通常液体制品在生产加工时均需经过加热配制和高温杀菌工序。因此, 市场上胶原蛋白肽类饮品实际加工处理条件与实验室条件下的胶原蛋白肽活性研究环境相差甚远。由原料的抗氧化抗衰活性外推到产品的功效可能会产生误导作用。同时, 目前市面上胶原蛋白肽类产品琳琅满目, 均宣称具有抗氧化抗衰老作用, 但实际效果存疑, 消费者无法甄别。然而, 目前关于胶原蛋

白肽类饮品实际效果的研究甚少, 生产厂家、消费者和科普工作者都缺乏实验性证据。鉴于此, 本研究选择 3 款市场上的胶原蛋白肽饮品, 利用 *D*-半乳糖诱导的衰老小鼠模型, 研究其对皮肤中透明质酸和羟脯氨酸含量以及对机体超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量的影响, 以期对胶原蛋白肽类液体制品的皮肤美容功效和作用机制提供实验证据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

MDA 试剂盒、SOD 试剂盒、GSH-Px 试剂盒(南京建成生物科技有限公司); 小鼠白细胞介素 1 β (interleukin-1, IL-1 β)酶联免疫吸附测定(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)试剂盒、小鼠肿瘤坏死因子 α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) ELISA 试剂盒、小鼠透明质酸(hyaluronic acid, HA) ELISA 试剂盒、小鼠羟脯氨酸(hydroxyproline, Hyp) ELISA 试剂盒(江苏酶免实业有限公司); 磷酸缓冲液(phosphate buffered saline, PBS)(美国 Gibco 公司); 聚羧基丙烯酸正丁酯(bicinchoninic acid, BCA)蛋白定量试剂盒、放射免疫沉淀法(radio immunoprecipitation assay, RIPA)裂解液、蛋白酶抑制剂、磷酸酶抑制剂(北京康为世纪生物科技有限公司); *D*-半乳糖(99%)、冰乙酸标准品(99.8%)、丙酸标准品(99.5%)、正丁酸标准品(99.8%)、异戊酸标准品(99.0%)、正戊酸标准品(99.5%)、丙酮、乙醚、氯化钠、硫酸(分析纯)(广州化学试剂厂); 水为超纯水。

UKDNA 银耳胶原蛋白复合益生元果蔬汁饮品(东莞市长勋电子商务有限公司); 颜如玉胶原蛋白蓝莓果饮(颜如玉医药科技有限公司); Fancil 胶原蛋白口服液(日本 Fancil 株式会社)。3 款产品主要配料见表 1。

表 1 3 种胶原蛋白肽饮品的主要配料
Table 1 Main ingredients in 3 kinds of collagen peptide drinks

饮品名称	主要配料/(50 mL/瓶)
UKDNA 银耳胶原蛋白复合益生元 果蔬汁饮品	胶原蛋白肽 5000 mg、银耳水提取物、刺梨原榨果汁、浓缩橙汁、菊粉、低聚果糖、低聚木糖、壳寡糖
颜如玉胶原蛋白蓝莓果饮	胶原蛋白肽 2500 mg、蓝莓浓缩汁、沙棘果粉、蜂蜜、菊粉
Fancl 胶原蛋白口服液	胶原蛋白肽 3000 mg、玫瑰果提取物、神经酰胺糖苷、越橘提取物、维生素 C、透明质酸钠

1.2 动物实验及环境

无特殊病原体(specific pathogen free, SPF)级昆明(KM)雄性小鼠, 体质量(18±2) g, 购自广东省医学实验动物中心, 实验动物合格证号 SCXK (粤)2018-0002。实验场所为广州中医药大学实验动物中心, 实验单位动物使用许可证编号为 SYXK(粤)2018-0085, 动物饲养于 SPF 动物房。实验伦理理由广州中医药大学实验动物伦理委员会审查批准。动物房环境温度为 20~26 ℃, 日温差不超过 4 ℃, 相对湿度 40%~70%, 最小换气次数 15 次/h, 12 h 照明/12 h 黑暗明暗交替, 工作照度不小于 200 Lx, 动物照度 15~20 Lx, 相邻实验区域压差大于或等于 10 Pa, 所有技术指标均符合 GB 14925—2010《实验动物环境及设施》屏障环境技术要求。自由摄食饮水, 饲料符合 GB 14924.3—2010《实验动物配合饲料营养成分》。

1.3 仪器与设备

ZSXH-625 恒温水浴箱(富华仪器有限公司); BSA-224S 电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; 3K15 高速冷冻离心机(德国 SIGMA 公司); Spectra Max i3x 酶标仪(美国 BioTek 公司); TissueLyser LT 中低通量组织研磨器(德国 QIAGEN 公司); GC 2010 plus 气相色谱仪(日本岛津仪器公司); DB-FATWAX 毛细管色谱柱(美国安捷伦仪器公司); MX-S 涡旋振荡器[大龙兴创实验仪器(北京)股份公司]; FE28 pH 计(瑞士梅特勒-托利多公司)。

1.4 实验分组与给样剂量

40 只小鼠适应两周后按体重随机分为 5 组(每组 8 只), 分别为正常对照组(Normal)、模型对照组(Model)、灌胃 Fancl 饮品组(Fancl)、灌胃 UKDNA 饮品组(UKDNA)、灌胃颜如玉饮品组(YRY)。

1.5 处理方法与指标检测

1.5.1 动物处理

正常对照组腹腔注射生理盐水, 其余各组每天腹腔注射 D-半乳糖 120 mg/kg^[14]。同时, 小鼠按照 0.1 mL/10 g 体积灌胃, 模型组及对照组灌胃生理盐水, 实验组灌胃相应体积样品, 连续 8 周, 各实验组剂量 16.7 mL/(kg·d)。末

次给药后, 小鼠禁食不禁水。第 2 d, 异氟烷麻醉后眼眶静脉丛取血, 然后脱颈椎处死小鼠。无菌操作采集各组小鼠心、肝和背部皮肤组织, 收集小肠和结肠的内容物, 标记后迅速放入液氮中保存。

1.5.2 羟脯氨酸、透明质酸含量检测

取背部皮肤约 1 cm², 去毛及脂肪, 用质量比 1:1 丙酮-乙醚脱脂, 切碎晾干。精密称取 20 mg, 按试剂盒操作说明进行羟脯氨酸、透明质酸含量的测定。

1.5.3 SOD 活性、GSH-Px 活性、MDA 含量检测

4 ℃、3500 r/min 离心 3 min 后分离眼眶静脉丛血清, 按试剂盒的操作说明测定血清中 SOD、GSH-Px 活性和 MDA 浓度。取小鼠心、肝组织在预冷的 PBS 中漂洗, 除去血液, 并用 PBS 将组织制备成体积分数 10%匀浆液, 离心后取上清。先用 BCA 试剂盒进行蛋白定量, 再按试剂盒说明书分别测定各组的 SOD、GSH-Px 活性和 MDA 含量。

1.5.4 短链脂肪酸含量检测

称取 0.1 g 小肠或结肠内容物样品置于 2 mL 离心管中, 加入 1.4 mL 超纯水, 混匀, 4 ℃、3000 r/min 离心 2 min, 取上清液待用。取质量比 H₂SO₄:H₂O=1:1 溶液 0.5 mL 加入到 5 mL 离心管中, 再加入 1 mL 处理好的样品, 加入 NaCl 0.4 g 和 2 mL 乙醚, 涡旋振荡 1 min, 4 ℃、3000 r/min 离心 5 min, 取 1 mL 上清液, 用 0.45 μm 滤膜过滤, 注入进样瓶中, 置于-20 ℃冰箱待用, 进行气相色谱分析^[15]。

气相色谱分析条件: DB-FATWAX 毛细管柱(30 m), 初始温度 120 ℃保持 2 min, 5 ℃/min 升至 140 ℃, 保持 3 min, 10 ℃/min 升至 170 ℃, 保持 5 min, 进样口温度和检测器温度 250 ℃, 分流比为 25:1, 载气为氦气, 恒流, 柱流量为 1.8 mL/min。

1.5.5 pH 检测

分别取小肠、结肠内容物用中性纯水以 1:1 稀释后, 用 pH 计测定稀释液 pH^[16]。

1.6 数据分析

所有数据均以平均值±标准偏差的形式表示。SPSS 20.0 软件进行统计分析。各实验组进行组间比较之前先进行正态分布和方差齐性检验, 组间比较采用单因素方差分析法进行统计, P<0.05 代表有显著性差异, P<0.01 代表有极显著性差异。

2 结果与分析

2.1 胶原蛋白肽饮品对小鼠体重的影响

体重变化能反映小鼠的生理状况。由图 1 可知, 在实验进行期间, 各组小鼠的体重变化组间无显著性差异 ($P>0.05$), 说明 3 款胶原蛋白肽饮品均不会对小鼠造成生长发育的负面影响。

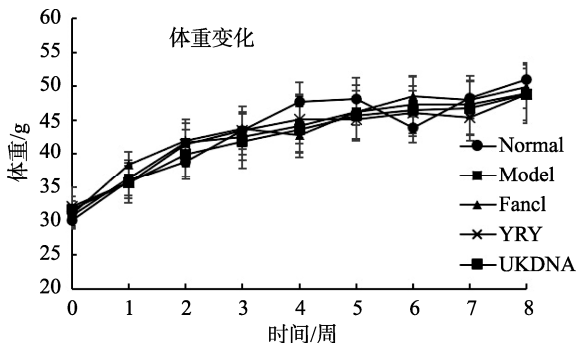
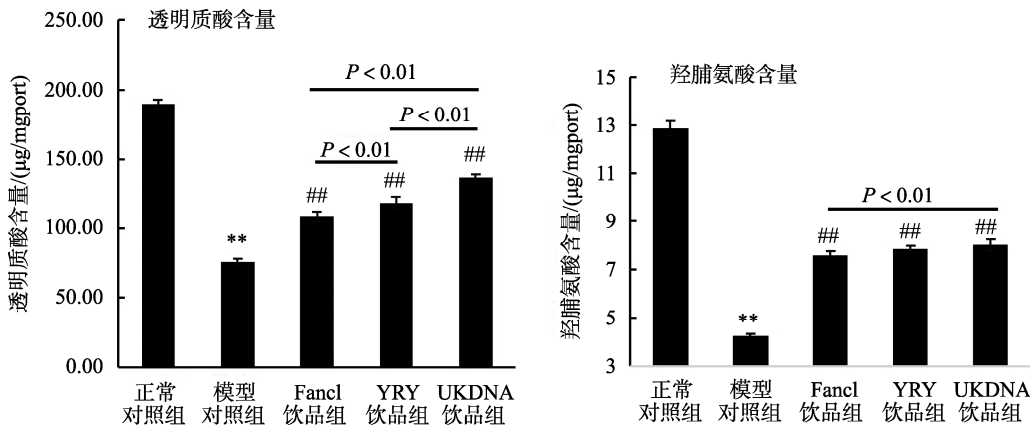


图 1 实验期间胶原蛋白肽饮品对小鼠体重的影响($n=3$)
Fig.1 Effects of collagen peptide drinks on body weight of mice during the experimental period ($n=3$)

2.2 胶原蛋白肽饮品对小鼠皮肤透明质酸和羟脯氨酸含量影响

羟脯氨酸是胶原蛋白的特征性氨基酸, 胶原蛋白和透明质酸是皮肤主要结构性成分, 其含量是衡量皮肤老化程度的重要指标。衰老小鼠皮肤的透明质酸和羟脯氨酸含量显著下降(图 2)。Fanci 组、YRY 组、UKDNA 组透明质酸和羟脯氨酸含量均极显著高于模型组 ($P<0.01$), 其中透明质酸含量增加程度排序为: UKDNA 组>YRY 组>Fanci 组 ($P<0.01$)。对羟脯氨酸含量提升方面, UKDNA 组明显优于 Fanci 组 ($P<0.01$), 但与 YRY 组相比无显著性差异



注: ** $P<0.01$, 与 Normal 组比较; ## $P<0.01$, 与 Model 组比较, 下同。

图 2 胶原蛋白肽饮品对小鼠皮肤透明质酸和羟脯氨酸含量的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of collagen peptide drink on hyaluronic acid content and hydroxyproline content in skin in different groups of aged mice ($n=3$)

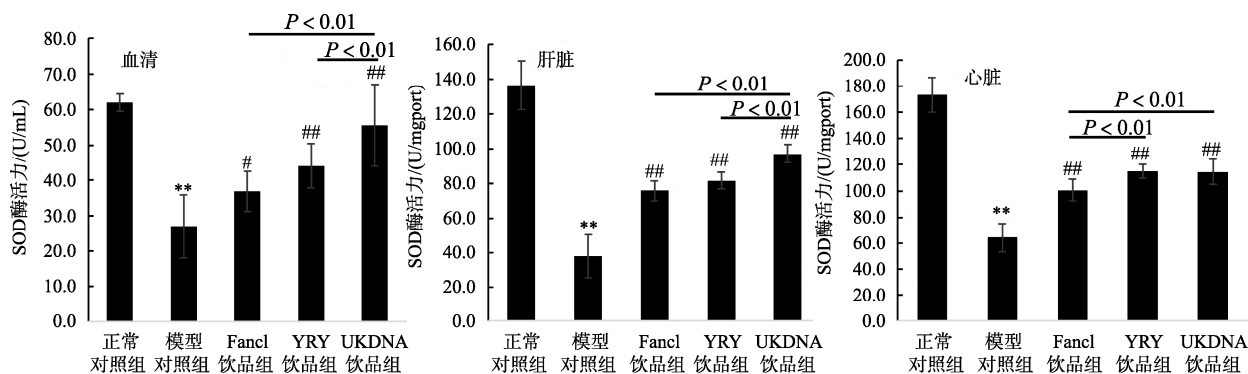
($P>0.05$)(图 2)。

2.3 胶原蛋白肽饮品对小鼠 SOD 活性的影响

SOD 是体内抗自由基防御体系中最重要酶类抗氧化剂, 可以催化超氧化物分解为过氧化氢和氧分子, 降低活性氧水平, 保护组织免受活性氧的损伤^[17]。与正常对照组(Normal)相比, 模型对照组(Model)的血清、肝脏、心脏 SOD 活性均极显著降低 ($P<0.01$), 说明小鼠衰老模型建模成功(图 3)。Fanci 组、YRY 组和 UKDNA 组的血清、肝脏及心脏的 SOD 活性均显著高于 Model 组 ($P<0.05$, $P<0.01$), 说明 3 款胶原蛋白肽饮品能有效提高小鼠的 SOD 活性(图 3)。值得关注的是, UKDNA 组的血清、肝脏、心脏 SOD 活性显著性高于 Fanci 组 ($P<0.01$); 与 YRY 组相比, UKDNA 组的血清和肝脏 SOD 活性均明显提高 ($P<0.01$), 提示在提升衰老小鼠 SOD 活性方面, UKDNA 饮品优于 Fanci 饮品和 YRY 饮品。

2.4 胶原蛋白肽饮品对小鼠 GSH-Px 活性的影响

GSH-Px 是体内重要的抗氧化防御酶系, 具有清除过氧化氢和过氧化代谢产物, 阻断脂质过氧化、保护细胞结构和功能完整的作用^[18], 是小鼠抗氧化能力的另一主要指标。图 4 显示与正常对照组(Normal)相比, 模型对照组(Model)的血清、肝脏、心脏 GSH-Px 活性均极显著降低 ($P<0.01$), 说明小鼠衰老模型建模成功。与 Model 组相比, Fanci 组、YRY 组、UKDNA 组的血清和肝脏 GSH-Px 活性均极显著增加 ($P<0.01$), YRY 组和 UKDNA 组的心脏 GSH-Px 活性均极显著增加 ($P<0.01$), 说明喂食含胶原蛋白肽的饮品能显著提高小鼠的 GSH-Px 活性。YRY 组和 UKDNA 组的肝脏和心脏 GSH-Px 活性均极显著高于 Fanci 组 ($P<0.01$), 表明在提高衰老小鼠 GSH-Px 活性方面, UKDNA 饮品和 YRY 组饮品优于 Fanci 饮品。



注: * $P < 0.05$, 与 Model 组比较。

图 3 胶原蛋白肽饮品对小鼠血清、肝脏、心脏 SOD 活性的影响($n=3$)

Fig.3 Effects of collagen peptide drink on SOD activities in serum, liver, heart in different groups of aged mice ($n=3$)

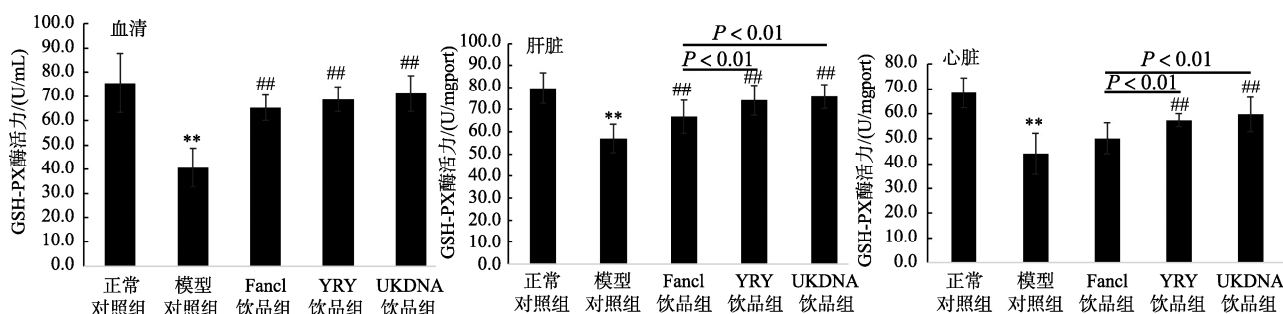


图 4 胶原蛋白肽饮品对小鼠血清、肝脏、心脏 GSH-Px 活性的影响($n=3$)

Fig.4 Effects of collagen peptide drink on GSH-Px activities in serum, liver, heart in different groups of aged mice ($n=3$)

2.5 胶原蛋白肽饮品对小鼠 MDA 含量的影响

MDA 是脂质过氧化的重要中间产物之一,常用于表征机体氧化压力^[19],与体内的抗氧化活性负相关。如图 5 所示,3 个胶原蛋白肽饮品组的血清、肝脏和心脏中 MDA 的含量均显著低于模型组($P < 0.01$),而 3 组之间没有显著性差异。说明 3 款含胶原蛋白肽的饮品均能有效降低小鼠体内脂质过氧化产物 MDA 的含量。

2.6 胶原蛋白肽饮品对小鼠肠道 pH 和短链脂肪酸含量的影响

如图 6 所示,各组小鼠小肠的 pH 无明显差别($P > 0.05$),但在结肠部位,3 个样品组的 pH 均比模型组高($P < 0.01$)。进一步测定短链脂肪酸的含量,在各组小鼠的小肠内容物中均未检出短链脂肪酸;在结肠部位,主要的短链脂肪酸是乙酸、丙酸,其余 4 种短链脂肪酸浓度均很低(图 7)。YRY 组的异丁酸几乎没有。Fanc1 组正戊酸含量低,相比 YRY 组和 Fanc1 组均有显著性差异($P < 0.01$),5 组小鼠的乙酸、丙酸、正丁酸、异戊酸含量组间差异均不显著($P > 0.05$)(图 7)。YRY 组和 Fanc1 组总短链脂肪酸浓度与 Model 组相比均有显著性差异(图 8)。

3 讨论与结论

本研究中,3 款饮品相比模型组均能提高衰老小鼠皮肤的透明质酸和羟脯氨酸含量,其中 UKDNA 饮品在 3 款产品中效果最佳。当机体发生衰老时,体内自由基积累过量,会发生脂质过氧化、细胞结构和功能受损,进一步加速衰老^[20],因此皮肤衰老程度与体内抗氧化活性密切相关。本研究中,3 款饮品均能使衰老小鼠体内抗氧化酶 SOD、GSH-Px 显著增加,而脂质氧化产物 MDA 显著下降,并且以 UKDNA 组的效果最好。

皮肤衰老过程中,皮肤中的结构物质如透明质酸和胶原蛋白含量会逐渐下降^[21],羟脯氨酸是胶原蛋白的特征氨基酸^[22],因此皮肤中透明质酸和羟脯氨酸含量反映了皮肤的老化程度。胶原蛋白肽是天然的抗氧化剂,在动物实验中已被证实有抑制氧化应激的作用^[23],也是 3 款饮品组方的主要成分。ASSERIN 等^[24]研究报道,胶原蛋白肽能诱导体内胶原蛋白的产生,这可能是本实验中 3 款胶原蛋白肽饮品组小鼠皮肤中羟脯氨酸含量相比模型组均显著升高的原因。透明质酸是由葡萄糖醛酸和 N-乙酰氨基葡萄糖组成的一种粘多糖物质^[25],胶原蛋白肽能诱导体内粘多糖的产生^[24]。本实验中的 UKDNA 饮品相比 YRY 饮品和 Fanc1

饮品含有更高含量的胶原蛋白肽, 这可能是 UKDNA 组小鼠皮肤的透明质酸含量相比其他 2 个饮品组更高的原因之一。此外, 3 款饮品中还添加了其他抗氧化活性的组分, UKDNA 饮品添加可以提高体内抗氧化酶活性的银耳多糖^[26]以及含有天然维生素 C 和多酚的刺梨原榨果汁^[27]和

浓缩橙汁^[28], Fanci 饮品添加维生素 C 和含天然多酚的玫瑰果提取物^[29]、YRY 饮品添加含有天然维生素 C 和多酚的沙棘果粉^[30]和蓝莓浓缩汁^[31]。由此推测, 胶原蛋白肽含量差异和其他抗氧化配料种类和用量的差异共同决定了胶原蛋白肽饮品对衰老小鼠模型的抗氧化效果差异。

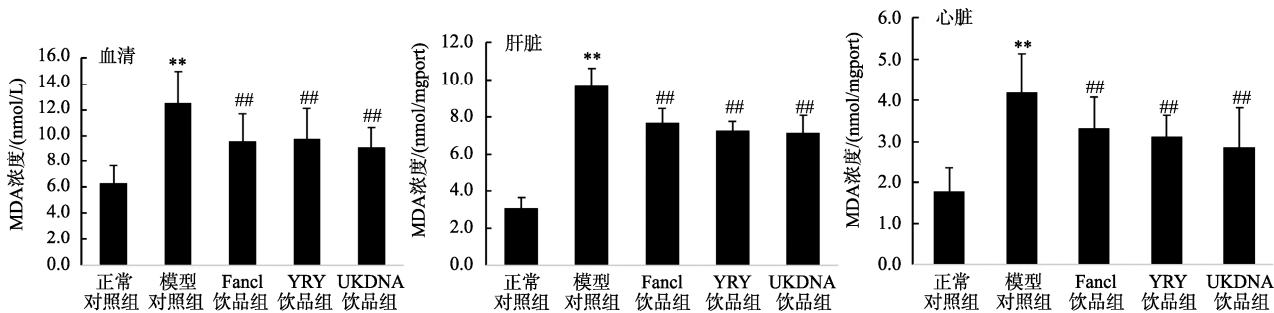


图 5 胶原蛋白肽饮品对小鼠血清、肝脏、心脏 MDA 含量的影响(n=3)
Fig.5 Effects of collagen peptide drink on MDA content in serum, liver, heart in different groups of aged mice (n=3)

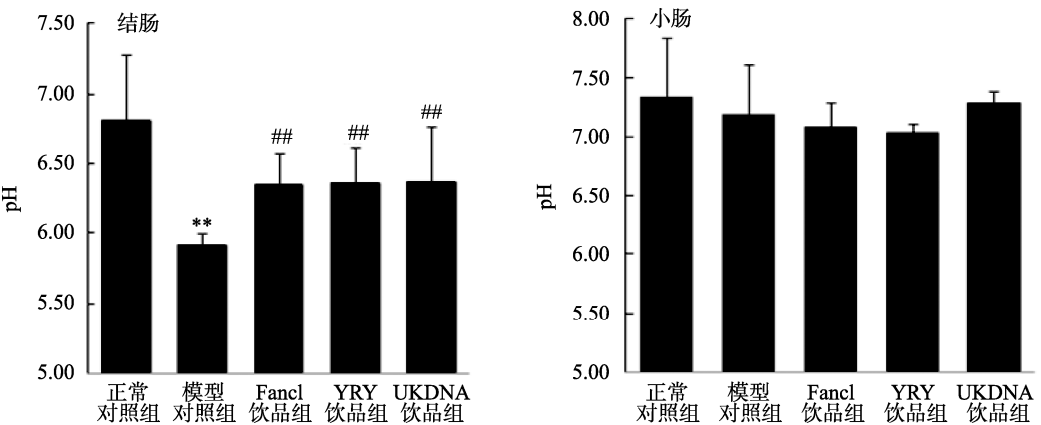


图 6 胶原蛋白肽饮品对小鼠小肠和结肠内容物 pH 的影响(n=3)
Fig.6 Effects of collagen peptide drink on pH value in small intestine content and colon content in different groups of aged mice (n=3)

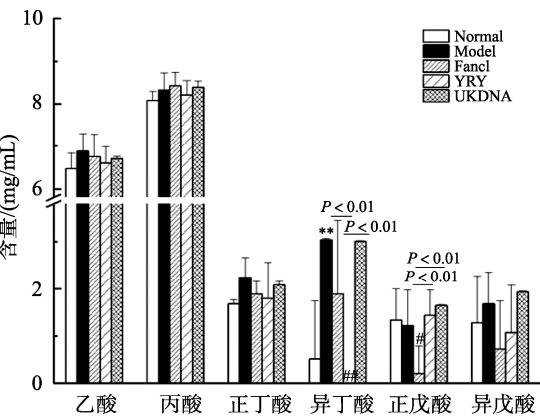
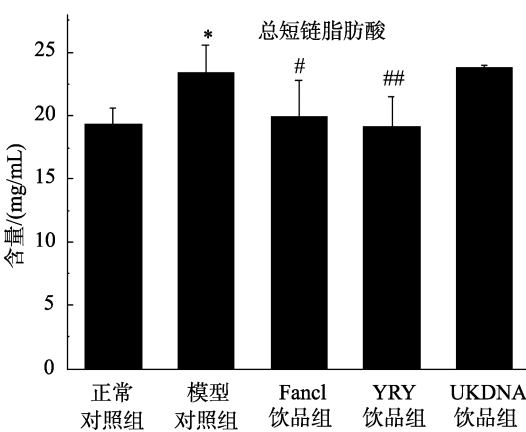


图 7 各组小鼠结肠内容物中短链脂肪酸的含量(n=3)
Fig.7 Content of short chain fatty acids in colon content in different groups of aged mice (n=3)



注: *P<0.05, 与 Normal 组比较。
图 8 各组小鼠结肠内容物中总短链脂肪酸含量(n=3)
Fig.8 Content of total short chain fatty acids in colon content in different groups of aged mice (n=3)

进一步地,本研究尝试从肠道菌群代谢物角度探索3款饮品作用分子机理。菊粉^[32]、银耳多糖^[33]、低聚糖(低聚木糖/低聚果糖)^[34]具有调节肠道菌群作用。肠道pH和短链脂肪酸浓度则是反映肠道菌群变化的总体指标^[35-36]。从结肠pH变化来看,3款饮品相比模型组能增加结肠pH,说明3款产品均能调节肠道内环境。3款饮品对结肠短链脂肪酸含量的影响有一定的差异,主要为异丁酸、正戊酸以及总短链脂肪酸,推测3款胶原蛋白肽饮品对衰老小鼠作用的差异可能与饮品其中成分调节肠道菌群结构及代谢物有关。如果汁中的多酚类物质经肠道菌群代谢后会产生一些有益物质如尿石素C、儿茶素衍生物等小分子酚类物质,并通过代谢通路发挥抗氧化作用^[37]。

本研究揭示胶原蛋白肽类饮品对衰老皮肤的改善作用可能是通过产品中多种成分提升机体的抗氧化酶活性而实现,研究结果为胶原蛋白肽类美容功效饮品的实际应用效果提供了实验证据。

参考文献

- 梁飞,左红梅.胶原蛋白肽的性质、应用及发展前景的研究综述[J].明胶科学与技术,2014,34(3):109-115.
- LIANG F, ZUO HM. A review on the properties, applications and prospect of collagen peptide [J]. Sci Technol Gelatin, 2014, 34(3): 109-115.
- 刘霞,张中勋,伍铭慧,等.常见哺乳动物源胶原蛋白的提取及其性能表征[J].功能材料,2019,50(1):1131-1142.
- LIU X, ZHANG ZX, WU MH, et al. Extraction and characterization of common mammalian collagen [J]. J Funct Mater, 2019, 50(1): 1131-1142.
- ELISANGELA P, BERNARDES FG. Collagen supplementation as a complementary therapy for the prevention and treatment of osteoporosis and osteoarthritis: A systematic review [J]. Rev Bras Geriatr Gerontol, 2016, 19(1): 153-164.
- 郑拯.胶原蛋白肽[J].明胶科学与技术,2009,29(4):195-201.
- ZHENG Z. Collagen peptide [J]. Sci Technol Gelatin, 2009, 29(4): 195-201.
- CHIARA DL, MIKHAL'CHIKOV, SUPRUN MV, et al. Skin antiaging and systemic redox effects of supplementation with marine collagen peptides and plant-derived antioxidants: A single-blind case-control clinical study [J]. Oxid Med Cell Longev, 2016, 2016: 4389410.
- DORIS H, ZAGUE V, SCHUNCK M, et al. Oral supplementation with specific bioactive collagen peptides improves nail growth and reduces symptoms of brittle nails [J]. J Cosmet Dermatol, 2017, 16(4): 520-526.
- JE HJ, HAN YK, LEE HG, et al. Anti-aging potential of fish collagen hydrolysates subjected to simulated gastrointestinal digestion and Caco-2 cell permeation [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2019, 62(1): 101-107.
- 刘晨晨,丁国芳,贾盈露,等.鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠慢性肝损伤的保护机制[J].中国食品学报,2017,17(6):24-32.
- LIU CC, DING GF, JIA YL, et al. Protection mechanism of cod skin collagen peptide on chronic liver injury in mice [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(6): 24-32.
- 王传幸,李国英.小分子鱼鳞胶原蛋白肽的制备及其抗氧化性测定[J].食品科技,2019,44(4):141-145.
- WANG CX, LI GY. Preparation and antioxidant activities measurement of scales collagen peptide with low molecular weight [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(4): 141-145.
- 盛周煌,贾盟盟,朱良.罗非鱼皮胶原蛋白多肽的体外抗氧化活性[J].食品科技,2018,43(11):274-278.
- SHENG ZH, JIA MM, ZHU L. In vitro antioxidant activity of collagen peptides from tilapia skin [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(11): 274-278.
- 李天成,周鹏.淡水鱼胶原蛋白性质的初步研究[C].中国食品科学技术学会第七周年论文集,2010.
- LI TC, ZHOU P. Primary study collagen biochemistry in freshwater fish [C]. 7th Annual Meeting of CIFST Proceedings, 2010.
- 伍彬,林菱.奥尼罗非鱼胶原蛋白及其酸解液美拉德反应产物的研究[J].氨基酸和生物资源,2010,32(2):11-13,16.
- WU B, LIN X. Study on collagen in tilapia skin and its Maillard reaction products in the acidolysis solutions [J]. Amino Acids Biotic Resour, 2010, 32(2): 11-13, 16.
- 王浩,纪丽丽,李瑞伟,等.吉富罗非鱼胶原蛋白酸解液美拉德反应产物风味成分的分析[J].中国调味品,2008,33(11):73-75.
- WANG H, JI LL, LI RW, et al. Analysis of flavor components of Maillard reaction products using the acidolysis of collagen from the skin of GIFT strain of Nile tilapia [J]. China Cond, 2008, 33(11): 73-75.
- 秦红兵,杨朝晖,范忆江,等.D-半乳糖诱导衰老小鼠模型的建立与评价[J].中国组织工程研究,2009,13(7):1275-1278.
- QIN HB, YANG ZY, FAN YJ, et al. Establishment and evaluation of aging models induced by D-galactose in mice [J]. J Clin Rehabil Tissue Eng Res, 2009, 13(7): 1275-1278.
- HU JL, NIE SP, MIN FF, et al. Polysaccharide from seeds of *Planta goasiatica* L. increases short-chain fatty acid production and fecal moisture along with lowering pH in mouse colon [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(46): 11525-11532.
- 左伟勇,陈伟华,邹思湘.伴大豆球蛋白胃蛋白酶水解肽对小鼠免疫功能及肠道内环境的影响[J].南京农业大学学报,2005,28(3):71-74.
- ZUO WY, CHEN WH, ZOU SX. Effects of conglycinin peptides on immunity and intestinal ecosystem in mice [J]. J Nanjing Agric Univ, 2005, 28(3): 71-74.
- NGUYEN NH, TRAN GB, NGUYEN CT. Anti-oxidative effects of superoxide dismutase 3 on inflammatory diseases [J]. J Mol Med, 2020, 98(1): 59-69.
- 梁小亮,尹向飞,张晶.谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化活性在健康人中参考区间的确立[J].海南医学,2018,29(5):662-664.
- LIANG XL, YIN XF, ZHANG J. Establishment of glutathione peroxidase activity and total antioxidant status reference intervals in healthy people [J]. Hainan Med J, 2018, 29(5): 662-664.
- 张澍,朱泽瑞.丙二醛(MDA)对小鼠游泳能力的影响[J].生命科学研究,2006,(S2):33-38.
- ZHANG S, ZHU ZR. The effects of malondialdehyde (MDA) on burden-swimming ability of KM mice [J]. Life Sci Res, 2006, (S2): 33-38.
- 吴美媛,余甜女,王喜周.猴头菇多糖对D-半乳糖小鼠体内抗氧化作用的研究[J].食品研究与开发,2016,37(10):55-57.
- WU MY, YU TN, WANG XZ. Investigation on the antioxidant effects in vivo of hericium polysaccharides on aging mice induced by D-galactose [J]. Food Res Dev, 2016, 37(10): 55-57.
- 周荷益,岑晓娟,王颖,等.皮肤老化相关的关键成分与结构特征概述

- [J]. 香料香精化妆品, 2020, (3): 82–86.
- ZHOU HY, CEN XJ, WANG Y, *et al.* Overview on key components and structural characteristics related to skin aging [J]. *Flavour Frag Cosmet*, 2020, (3): 82–86.
- [22] SKOV K, OXFELDT M, THOGERSEN R, *et al.* Enzymatic hydrolysis of a collagen hydrolysate enhances postprandial absorption rate-A randomized controlled trial [J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1064.
- [23] 曾丽, 李丽, 王加斌, 等. 水产胶原蛋白肽功能活性及其制备工艺研究进展[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2013, 32(2): 163–168.
- ZENG L, LI L, WANG JB, *et al.* Research progress in function characteristics and preparation technology of aquatic collagen protein peptides literature review [J]. *J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci Ed)*, 2013, 32(2): 163–168.
- [24] ASSERIN J, LATI E, SHIOYA T, *et al.* The effect of oral collagen peptide supplementation on skin moisture and the dermal collagen network: Evidence from an *ex vivo* model and randomized, placebo-controlled clinical trials [J]. *J Cosmet Dermatol*, 2015, 14(4): 1–11.
- [25] SUDHA PN, ROSE MH. Beneficial effects of hyaluronic acid [M]. Pittsburgh: Academic Press, 2014.
- [26] FU H, YOU SQ, ZHAO D, *et al.* *Tremella fuciformis* polysaccharides inhibit UVA-induced photodamage of human dermal fibroblast cells by activating up-regulating Nrf2/Keap1 pathways [J]. *J Cosmet Dermatol*, 2021, 3: 14051.
- [27] 周广志, 鲁敏, 安华明. 刺梨果实发育过程中主要活性物质含量及其抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(22): 27–32.
- ZHOU GZ, LU M, AN HM. Analysis of the active contents and the antioxidant activities in *Rosa roxburghii* fruits during development [J]. *Food Sci*, 2018, 39(22): 27–32.
- [28] JOSEPH SV, EDIRISINGHE I, BURTON-FREEMAN BM. Fruit polyphenols: A review of anti-inflammatory effects in humans [J]. *Crit Rev Food Sci*. 2016, 56(3): 419–444.
- [29] AYATI Z, AMIRI MS, RAMEZANI M, *et al.* Phytochemistry, traditional uses and pharmacological profile of rose hip: A review [J]. *Curr Pharm Design*, 2018, 24(35): 4101–4124.
- [30] 杜鹃, 郗艳丽, 宋春梅. 沙棘粉对大鼠肝脏脂质代谢及氧化应激的影响[J]. 现代食品科技, 2017, (9): 8–12.
- DU J, XI YL, SONG CM. Effect of sea buckthorn powder on hepatic lipid metabolism and oxidative stress in rats [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2017, (9): 8–12.
- [31] SILVA S, COSTA EM, VEIGA M, *et al.* Health promoting properties of blueberries: A review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2020, 60(2): 181–200.
- [32] 赵孟良, 任延靖. 菊粉及其调节宿主肠道菌群机制的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46: 271–276.
- ZHAO ML, REN YJ. Research progress of inulin and its mechanism in regulating host intestinal flora [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46: 271–276.
- [33] 宋思媛, 王欣, 王泽旭, 等. 银耳多糖对免疫抑制小鼠肠道菌群的保护作用[J]. 中国微生态学杂志, 2020, (7): 772–776.
- SONG SY, WANG X, WANG ZX, *et al.* Protective effect of tremella polysaccharides on gut microbiota of immunosuppressed mice [J]. *Chin J Microecol*, 2020, (7): 772–776.
- [34] 马丽娜, 罗白玲, 史俊杰, 等. 常见几种功能性低聚糖对肠道菌群调节机制的研究进展[J]. 微生物学免疫学进展, 2017, 45(6): 89–92.
- MA LN, LUO BL, SHI JJ, *et al.* Progress on regulation mechanism of intestinal flora by several common functional oligosaccharides [J]. *Progress Microbiol Immunol*, 2017, 45(6): 89–92.
- [35] 陈燕, 曹郁生, 刘晓华. 短链脂肪酸与肠道菌群[J]. 江西科学, 2006, 24(1): 38–40, 69.
- CHEN Y, CAO YS, LIU XH. Short chain fatty acids and intestinal microflora [J]. *Jiangxi Sci*, 2006, 24(1): 38–40, 69.
- [36] 赵佳, 邢青斌, 王国栋, 等. 膳食、肠道菌群与肥胖[C]. 第十四届全国营养科学大会论文集, 2019.
- ZHAO J, XING QB, WANG GD, *et al.* Diet, intestinal microflora and obesity [C]. 14th China Nutrition Science Congress Proceedings, 2019.
- [37] 黄小丹, 陈梦雨, 黄文洁, 等. 基于代谢组学的植物多酚及其肠道健康效应研究进展[J]. 生物技术通报, 2021, 37(1): 123–136.
- HUANG XD, CHEN MY, HUANG WJ, *et al.* Progress based on metabolomics: Plant polyphenols and their gut health benefit [J]. *Biotechnol Bull*, 2021, 37(1): 123–136.

(责任编辑: 李磅礴 郑丽)

作者简介



何瑞琪, 硕士, 工程师, 主要研究方向为功能性食品。
E-mail: rqlhenry@163.com

徐晓飞, 主要研究方向为功能性食品。
E-mail: xfxu@scici.com