

黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对D-半乳糖致衰老小鼠改善作用

辛炫英, 谢庭岩, 付兴培, 王妍*
(延边大学 农学院, 吉林 延吉 133000)

摘要: 为探究黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对 D-半乳糖致衰老小鼠改善作用,通过建造 D-半乳糖致衰老小鼠模型,以制备的黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽为研究对象,选用低剂量(200 mg/kg)、中剂量(400 mg/kg)和高剂量(800 mg/kg)胶原蛋白肽灌胃 D-半乳糖致衰老小鼠模型,对皮肤抗衰老作用进行研究。通过测定小鼠皮肤中的水分、胶原蛋白、羟脯氨酸(hydroxyproline, HYP)、透明质酸(hyaluronic acid, HA)含量、小鼠血清和皮肤中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)活性、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性以及对小鼠皮肤组织形态学的观察,评价黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽抗衰老作用效果。结果表明,黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽可以显著提高 D-半乳糖致衰老小鼠皮肤的水分、胶原蛋白、HYP 和 HA 的含量,其中高剂量胶原蛋白肽组的效果最显著。此外,黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能显著增加衰老小鼠血清和皮肤中 SOD、CAT 活性、提升 GSH-Px 活性,并有效抑制 MDA 的产生。通过病理切片观察小鼠皮肤组织形态,发现黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽能有效减轻因衰老引起的皮肤粗糙、松弛、胶原纤维减少、排列障碍等现象。综上,黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对 D-半乳糖致衰老小鼠有明显改善作用,有效延缓皮肤的老化进程。

关键词: 黄线狭鳕;胶原蛋白肽;衰老;D-半乳糖;皮肤组织

Effect of *Theragra chalcogramma* Skin Collagen Peptide on D-Galactose-Induced Aging Mice

XIN Xuanying, XIE Tingyan, FU Xingpei, WANG Yan*

(College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133000, Jilin, China)

Abstract: To explore the effect of *Theragra chalcogramma* skin collagen peptide on D-galactose-induced aging mice, this experiment used the prepared *Theragra chalcogramma* skin collagen peptide as the research object and selected low-dose (200 mg/kg), medium-dose (400 mg/kg), and high-dose (800 mg/kg) collagen peptide to build D-galactose-induced aging mouse models by gavage, so as to study the anti-aging effect of the skin. By measuring the content of moisture, collagen, hydroxyproline (HYP), and hyaluronic acid (HA) in mouse skin, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px), and malondialdehyde (MDA) in mouse serum and skin and observing mouse skin tissue, the anti-aging effect of collagen peptide in *Theragra chalcogramma* skin was evaluated. The results showed that *Theragra chalcogramma* skin collagen peptide could significantly increase the content of moisture, collagen, HYP, and HA in the skin of D-galactose-induced aging mice, and the effect of high-dose collagen peptide group was the most significant. In addition, *Theragra chalcogramma* skin collagen peptides also had good free radical scavenging ability, which could significantly increase the content of SOD, CAT, and GSH-Px in the serum and skin of aging mice and effectively inhibit the production of MDA. Through the observation of the morphology of mouse skin tissue by pathological section, it was found that *Theragra chalcogramma* skin collagen peptide could effectively repair the skin roughness, laxity, collagen fiber reduction, and arrangement disorder caused by aging. In summary, the *Theragra chalcogramma* skin collagen peptide can significantly improve the skin state of D-galactose-induced aging mice and effectively delay the skin aging process.

Key words: *Theragra chalcogramma*; collagen peptides; aging; D-galactose; skin tissue

基金项目: 延边大学校企合作项目(482019012)

作者简介: 辛炫英(2000—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

* 通信作者: 王妍(1978—), 女, 副教授, 博士研究生, 研究方向: 食品科学。

引文格式:

辛炫英,谢庭岩,付兴培,等.黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对D-半乳糖致衰老小鼠改善作用[J].食品研究与开发,2023,44(21):39-45,166.

XIN Xuanying, XIE Tingyan, FU Xingpei, et al. Effect of *Theragra chalcogramma* Skin Collagen Peptide on D-Galactose-Induced Aging Mice[J]. Food Research and Development, 2023, 44(21):39-45, 166.

黄线狭鳕(*Theragra chalcogramma*)是鳕科、鳕属鱼类,是海洋中主要的经济鱼类,年产数量巨大,其总捕获量位居世界第二,并且黄线狭鳕加工在世界各国都是重要的产业,能够带来十分可观的经济效益^[1]。我国是世界上最大的黄线狭鳕生产和出口国,年加工量多达30多万t,吉林省延边朝鲜族自治州是我国较大的黄线狭鳕制品加工厂所在地之一。鳕鱼加工是吉林省延边地区特色产业,在加工过程中副产物资源利用率不高,经济效益低下,其中鱼皮占比最多,总计每年约5万t的鱼皮被浪费,占鱼总量的8%~10%。

衰老是自然界最基本的自然规律,也是最复杂的生物学现象。随着我国老龄化问题加重,抗衰老问题已经成为研究热点。在衰老过程中,位于机体表面的皮肤是最明显的器官,延缓皮肤衰老问题已然成为抗衰老研究的重中之重^[2]。在衰老过程中,胶原蛋白的流失会直接导致皮肤失去水分和弹性,使皮肤快速老化。此外胶原蛋白被黑色素物质吞噬后,被激活的黑色素不能及时排出,还会引起色斑、肤色不匀或暗沉等问题。胶原蛋白流失还容易造成关节疼痛、骨质疏松、视力下降、肠胃机能严重下降等一系列严重问题^[3]。胶原蛋白肽是利用生物法或化学法,以各种生物中的胶原蛋白为原料,使胶原蛋白的水溶性和生物活性进一步提高而得到的小分子产物。国内外研究表明,胶原蛋白肽具有较好的抗氧化、抗衰老、免疫调节、促进组织创面修复、抑制血管紧张素-I转化酶、抗肿瘤、抗凝血、抗菌等活性,与胶原蛋白相比,胶原蛋白肽具有较好的抗氧化作用^[4-5]。本文通过对D-半乳糖致衰老模型小鼠灌胃胶原蛋白肽,从小鼠皮肤的水分、胶原蛋白、羟脯氨酸和透明质酸的含量,小鼠血清和皮肤中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性以及皮肤组织形态学观察等方面评价黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白延缓皮肤衰老的作用,以为黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽在改善皮肤老化中的广泛应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄线狭鳕鱼干皮:市售;胃蛋白酶(1 500 U/g)、氯

化钠、氢氧化钠、正丁醇、氯化钙、活性炭(均为分析纯)、D-半乳糖:北京索莱宝科技有限公司;KM 雄性小鼠:延边大学动物实验中心;黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽冻干粉:延边大学生物技术实验室制备;超氧化物歧化酶试剂盒、丙二醛试剂盒、过氧化氢酶试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶试剂盒、羟脯氨酸试剂盒:南京建成生物工程研究所;小鼠透明质酸试剂盒:上海联硕生物科技有限公司;蛋白浓度(bicinchoninic acid assay, BAC)测定试剂盒:上海碧云天生物技术有限公司。

MultiskanFC 酶标仪:赛默飞世尔科技公司;CT-15RT 台式高速冷冻离心机:天美(中国)科学仪器有限公司;ZTJZ-200S 均质机:上海众托实业有限公司;HS-S7120-B 石蜡切片机:沈阳恒松科技有限公司;PZ-XJL04 光学显微镜:北京品智创思精密仪器有限公司;BMA550 磁力搅拌器:美国 SPXFLOW 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 胶原蛋白肽制备

参照王艳^[6]的方法并加以改进,取一定量的鳕鱼皮,去离子水除去皮上杂质。将鱼皮浸泡在含有0.02 mol/L NaOH 的7.5% NaCl 溶液中,同时使用磁力搅拌器连续搅拌18 h,再使用10%正丁醇溶液对除去杂质蛋白后的黄线狭鳕鱼皮漂洗5次,每次1 h。水冲至中性,烘干备用。随后采用胃蛋白酶法提取胶原蛋白,将预处理好的鱼皮剪碎,按照料液比为1:20(g/mL)加入纯水,加入1 500 U/g 胃蛋白酶,在45℃恒温水浴锅中水浴4 h 提取黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽。杂质去除干净后添加5%干皮质量的活性炭和氯化钙,以此达到脱色除味的目的。在60℃恒温水浴锅中将混合液静置沉淀20 min,去除上清液后,再用800目滤布进行过滤,将活性炭及杂质去除。6 000 r/min 离心20 min,取上清液。将纯化的胶原蛋白溶液放在大培养皿中,-80℃冷冻4 h,待样品完全结冰后进行真空冷冻干燥处理,24 h 后得到黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽。

1.2.2 动物饲养与分组

50只雄性KM小鼠适应性饲养1周后,随机分为5组(每组10只):对照组、衰老模型组、低剂量胶原蛋白肽组、中剂量胶原蛋白肽组、高剂量胶原蛋白肽组。

1.2.3 衰老小鼠模型建立及给药

建立衰老动物模型:每个实验组的小鼠皮下注射5%D-半乳糖(1 000 mg/kg)。对照组皮下注射生理盐

水,每日 0.2 mL。低剂量胶原蛋白肽组小鼠每日灌胃黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽 200 mg/kg,中剂量胶原蛋白肽组每日灌胃黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽 400 mg/kg,高剂量胶原蛋白肽组每日灌胃黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽 800 mg/kg,同时,衰老模型组和对照组的小鼠每天同样剂量灌胃蒸馏水,连续进行 60 d。饲养期间,所有受试小鼠自由摄取饲料和饮用水。试验期最后一晚小鼠禁食不禁水。

1.2.4 小鼠皮肤水分含量的测定

水分含量测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[7]。精确称量所取小鼠的皮肤质量并记录,然后将其放在 100 ℃恒温干燥箱中,每次干燥时间不宜过长,间隔 30 min 称量记录 1 次皮肤质量,直至连续两次质量差小于 2 mg。选取最后 1 次作为干燥后质量,计算得到最终水分含量,计算公式如下。

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

式中: X 为水分含量,%; m_2 为样品质量,g; m_1 为干燥后样品质量,g。

1.2.5 小鼠皮肤蛋白质含量测定

称取一定质量皮肤组织,加入生理盐水混合后,4 000 r/min 离心 1 min,取上清液,制得皮肤组织匀浆。然后按蛋白浓度测定试剂盒说明书操作,以蛋白质浓度为横坐标,以吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,计算待测样品的蛋白质含量。

1.2.6 小鼠皮肤羟脯氨酸、透明质酸含量测定

冲洗小鼠背部皮肤,用镊子将小鼠背部皮肤毛发处理干净,取小鼠皮肤,根据羟脯氨酸试剂盒、透明质酸试剂盒说明书操作,分别测定小鼠皮肤羟脯氨酸、透明质酸含量。

1.2.7 小鼠血清及皮肤抗氧化指标的测定

1.2.7.1 小鼠血清抗氧化指标测定

眼球取血后静置 30 min,3 000 r/min 离心 15 min,取上清液,按试剂盒说明书分别操作,测定各组小鼠血清中 MDA 含量及 SOD、CAT、GSH-Px 活性。

1.2.7.2 小鼠皮肤抗氧化指标测定

准确称量小鼠皮肤质量,以生理盐水为溶剂,4 000 r/min 离心 1 min,取上清液,配制皮肤组织匀浆。根据相关试剂盒说明书,分别对各组小鼠皮肤组织匀浆中 MDA 含量和 SOD、CAT、GSH-Px 活性进行测定。

1.2.8 皮肤组织形态学观察

将皮肤固定、脱水、包埋、切片、脱腊后进行苏木精-伊红(hematoxylin-eosin,HE)染色,观察各组小鼠皮肤组织结构变化。

1.3 数据处理

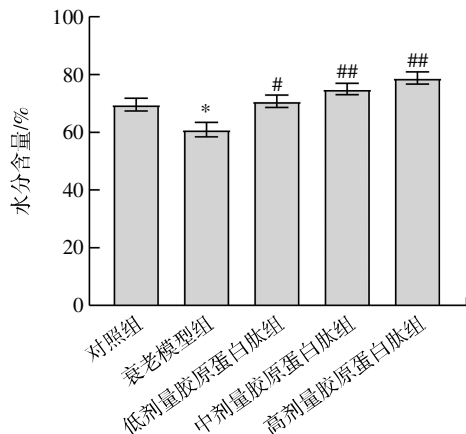
分别采用 Excel2019 和 SPSS Statistics22.0 进行统

计分析,结果以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著,同时采用 GraphPadprism 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤水分含量的影响

黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤水分含量的影响见图 1。



与对照组相比,*表示差异显著, $P<0.05$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;##表示差异极显著, $P<0.01$ 。

图 1 胶原蛋白肽对小鼠皮肤水分含量的影响

Fig.1 Effect of collagen peptide on moisture content in mouse skin

由图 1 可知,衰老模型组相比于对照组,皮肤水分含量明显降低,表明衰老可以显著降低皮肤含水量,同时也进一步验证采用 D-半乳糖致衰老小鼠模型建模成功。灌胃胶原蛋白肽可显著提高小鼠皮肤水分含量,其中高剂量胶原蛋白肽组与对照组相比差异极显著($P<0.01$)。以上结果表明,本实验制备的黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能够提高皮肤水分含量。

2.2 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤蛋白质含量的影响

蛋白质浓度标准曲线见图 2,黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤蛋白质含量的影响见图 3。

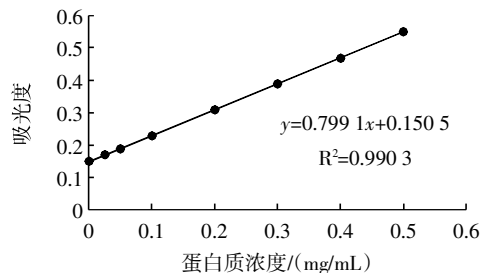
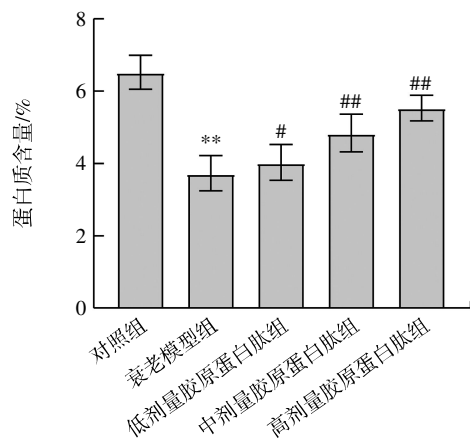


图 2 蛋白质浓度标准曲线

Fig.2 Protein concentration standard curve



与对照组相比,**表示差异极显著, $P<0.01$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;###表示差异极显著, $P<0.01$ 。

图3 胶原蛋白肽对小鼠皮肤蛋白质含量的影响

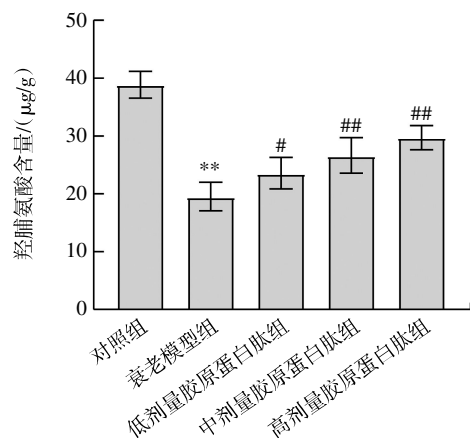
Fig.3 Effect of collagen peptide on protein content in mouse skin

由图3可知,与对照组相比,衰老模型组皮肤的蛋白质含量极显著降低,表明衰老可降低皮肤中蛋白质含量。与衰老模型组相比,各实验组小鼠皮肤蛋白质含量均有所提高,其中,高剂量胶原蛋白肽组皮肤蛋白质含量增加最多,与衰老模型组相比差异极显著($P<0.01$)。以上结果表明,本实验制备的黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽有助于提高皮肤蛋白质的含量。

2.3 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤羟脯氨酸及透明质酸含量的影响

黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤羟脯氨酸及透明质酸含量的影响见图4、图5。

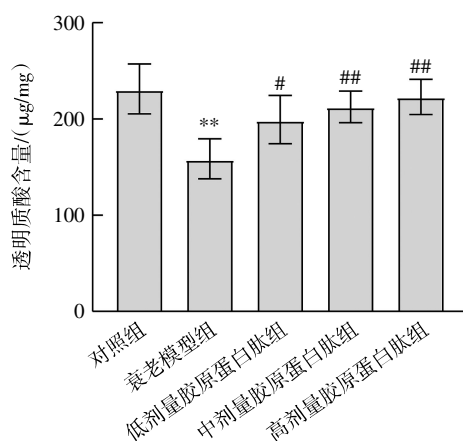
羟脯氨酸主要存在于胶原蛋白中,极少存在于弹性蛋白中,也不存在于其他蛋白质中,所以羟脯氨酸



与对照组相比,**表示差异极显著, $P<0.01$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;###表示差异极显著, $P<0.01$ 。

图4 胶原蛋白肽对小鼠皮肤羟脯氨酸含量的影响

Fig.4 Effect of collagen peptide on hydroxyproline content in mouse skin



与对照组相比,**表示差异极显著, $P<0.01$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;###表示差异极显著, $P<0.01$ 。

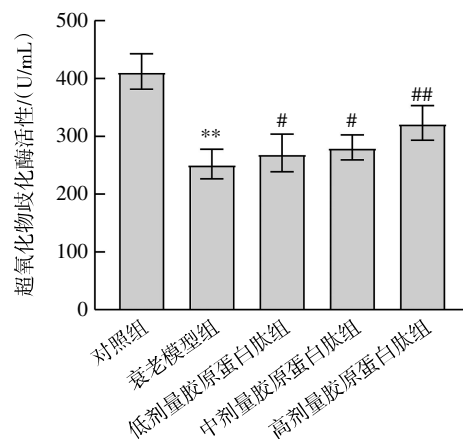
图5 胶原蛋白肽对小鼠皮肤透明质酸含量的影响

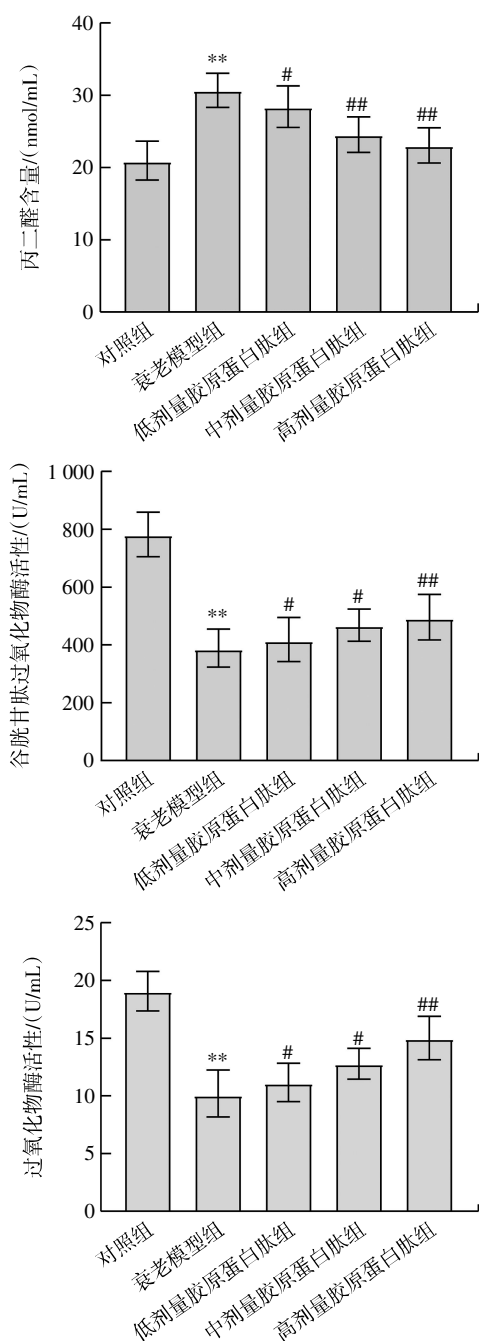
Fig.5 Effect of collagen peptide on hyaluronic acid content in mouse skin

的含量能间接反映胶原蛋白的数量^[9]。透明质酸主要在肌肤中起到保湿的作用,是目前为止发现的自然界中最好的肌肤保湿物质,被称为最理想的保湿因子。同时胶原蛋白含量和透明质酸含量有密切的关系,透明质酸的减少会直接导致皮肤胶原蛋白含量下降,从而导致皮肤老化^[9]。由图4、图5可知,衰老模型组羟脯氨酸、透明质酸含量极显著低于对照组($P<0.01$),说明衰老会降低皮肤中羟脯氨酸、透明质酸的含量。与衰老模型组相比,高剂量胶原蛋白肽组小鼠皮肤羟脯氨酸、透明质酸含量极显著增高($P<0.01$)。以上结果表明,本实验制备的黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能够有效增加皮肤中羟脯氨酸、透明质酸含量,可以有效提高衰老皮肤胶原蛋白结合能力。

2.4 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠血清中抗氧化指标影响

小鼠血清中抗氧化指标MDA含量及SOD、CAT、GSH-Px活性的变化见图6。





与对照组相比,**表示差异极显著, $P<0.01$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;##表示差异极显著, $P<0.01$ 。

图6 胶原蛋白肽对小鼠血清中MDA含量及SOD、CAT、GSH-Px活性的影响

Fig.6 Effect of collagen peptide on MDA contents and SOD, CAT and GSH-Px activity in mouse serum

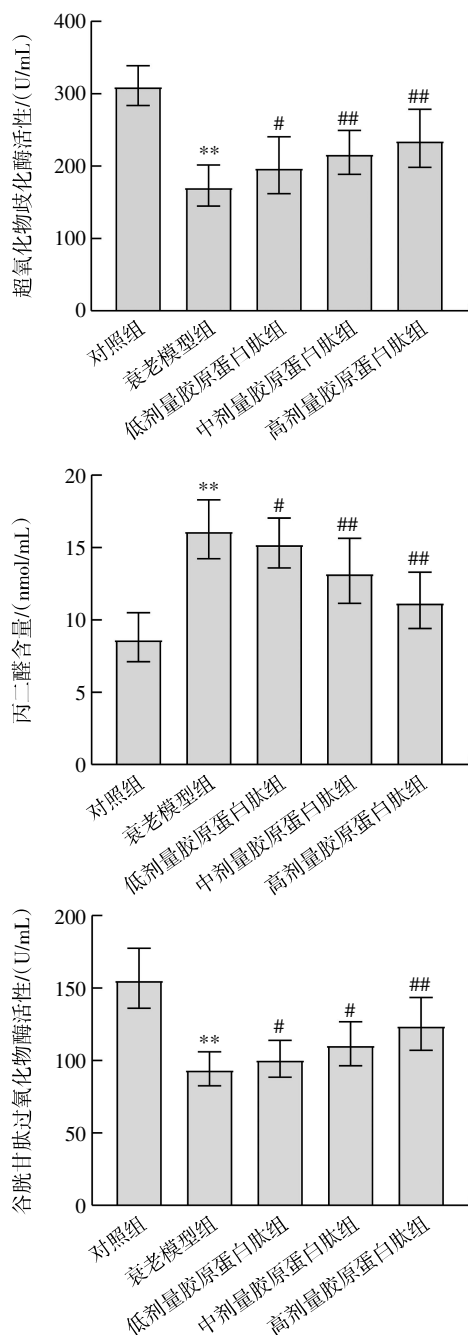
由图6可知,衰老模型组小鼠血清中SOD、CAT、GSH-Px活性极显著低于对照组($P<0.01$),而MDA含量极显著高于对照组($P<0.01$)。各实验组小鼠血清中SOD、CAT、GSH-Px活性均显著提高且MDA含量显著降低,其中高剂量胶原蛋白肽组效果最优,与衰老模型组相比差异极显著($P<0.01$)。以上结果表明,本实验

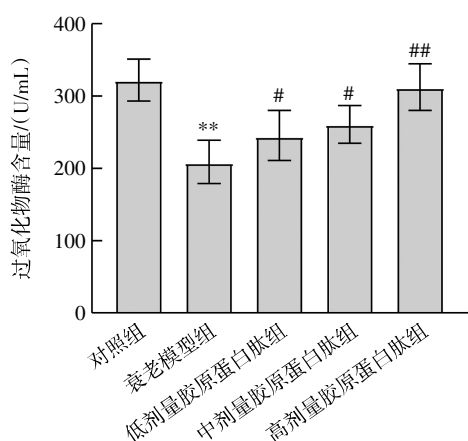
制备的黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能够有效修复衰老导致的氧化损伤。

2.5 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤中抗氧化指标影响

小鼠皮肤中抗氧化指标MDA含量及SOD、CAT、GSH-Px活性的变化见图7。

研究抗衰老作用,检测血清抗氧化指标的同时,皮肤组织匀浆抗氧化指标也是判断改善衰老效果的关键。如图7所示,衰老模型组小鼠皮肤组织匀浆中SOD、CAT、GSH-Px活性极显著低于对照组($P<0.01$),而MDA含量极显著高于对照组($P<0.01$),与衰老模型组相比,各实验组小鼠皮肤中SOD、CAT、GSH-Px活





与对照组相比,**表示差异极显著, $P<0.01$;与衰老模型组相比,#表示差异显著, $P<0.05$;##表示差异极显著, $P<0.01$ 。

图7 胶原蛋白肽对小鼠皮肤中MDA含量及SOD、CAT、GSH-Px活性的影响

Fig.7 Effect of collagen peptide on MDA contents and SOD, CAT and GSH-Px activity in mouse skin

性均显著提高且MDA含量显著下降,其中高剂量胶原蛋白肽组效果最优,与衰老模型组相比差异极显著($P<0.01$),以上结果表明,本实验制备的黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽能够有效恢复皮肤受到的氧化损伤。

2.6 黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤组织形态的影响

黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽对小鼠皮肤组织形态的影响见图8。

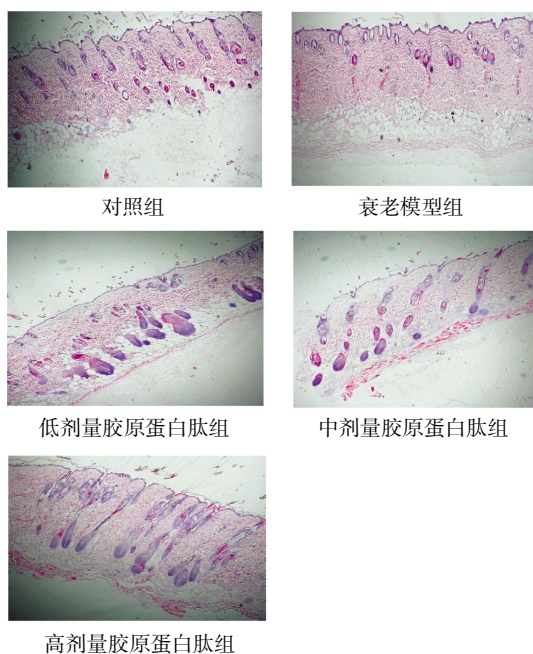


图8 胶原蛋白肽对小鼠皮肤组织形态的影响

Fig.8 Effect of collagen peptide on tissue morphology in mouse skin

由图8可知,对照组小鼠与衰老模型组小鼠相比皮肤染色均匀,真皮层与表皮层连接完整、紧密,皮下细胞层数较多较整齐,皮层纤维组织较多、排列有序,毛囊、皮脂腺较完整,数量较多,皮下脂肪细胞较少。衰老模型组小鼠皮肤真皮层与表皮层结合不紧密,交界处变得平坦,细胞层数减少,皮肤纤维组织排列不清晰不规则,皮下脂肪细胞数量增加,毛囊、皮脂腺数量少、欠完整。胶原蛋白组小鼠相比于衰老模型组皮肤变厚,真皮层与表皮层连接变得完整紧密,皮层纤维组织排列较规则,皮下脂肪减少,毛囊、皮脂腺相比于衰老组也较完整、数量也有所增加,并且高剂量胶原蛋白肽组优于其他对照组。以上结果说明黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能够有效改善衰老皮肤粗糙松弛,增加皮肤胶原。

3 讨论与结论

通过注射D-半乳糖建立实验动物衰老模型的原理是采用皮下注射一定剂量的D-半乳糖,使实验动物体内D-半乳糖的浓度升高,在醛糖还原酶的作用下被还原成半乳糖醇,大量的半乳糖醇导致细胞渗透压升高,细胞失去部分功能,并且在氧化酶的作用下D-半乳糖分解生成很多自由基,加速机体衰老。D-半乳糖建立实验动物衰老模型相比于其他方法,具有简单易行、花费低、良好的衰老效果等优点,在延缓衰老研究的领域应用较多^[10-19]。氧化损伤指标是检测衰老情况极其重要的指标,衰老会使各项指标变化很大。超氧化物歧化酶、谷胱甘肽还原酶、过氧化氢酶、细胞内活性氧、丙二醛等都是抗氧化试验中主要研究的氧化代谢指标^[20]。其中SOD、GSH-Px、CAT在氧化代谢过程中扮演者很重要的角色,细胞内ROS是直接导致细胞发生氧化损伤及衰老的原因;细胞氧化则会生成MDA,因此MDA的多少也能反映抗氧化活性的强弱^[21]。衰老导致的各项指标的改变会引起自身抗氧化能力发生改变,对细胞的活性及功能产生影响^[22]。在皮肤的结构和功能中,胶原蛋白起着至关重要密不可分的作用。皮肤的衰老会导致胶原蛋白含量降低。因此测定胶原蛋白含量是判断皮肤是否衰老的关键之一。羟脯氨酸是胶原蛋白区别于其他种类蛋白的一种特有氨基酸,它的含量也可以间接影响皮肤所含胶原蛋白。酶类的检测也是判断是否衰老常用的检测指标。I型前胶原羧基末端肽是新生胶原分子由相关特异性酶水解产生的,可以反映I型胶原蛋白含量,也可以作为检测胶原代谢指标^[23-25]。经实验,模型组动物出现了血清抗氧化酶活性降低、脂质过氧化产物含量增加、皮肤老化等衰老症状,说明皮肤衰老模型建立成功。本实验研究了黄线狭鳕鱼皮胶原蛋白肽能有效改善衰老引起的

各项指标异常,但具体保护机制还有待进一步研究。

本试验研究黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽对D-半乳糖致衰老小鼠的改善作用,结果表明黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽可以提高衰老皮肤的水分、胶原蛋白、羟脯氨酸和透明质酸的含量,同时抗氧化试验结果表明,本实验制备的黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽能显著提高血清和皮肤中SOD、CAT和GSH-Px的活性,抑制MDA的生成。黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽还能有效改善衰老皮肤粗糙松弛,增加皮肤胶原纤维,使其排列规则有序等,且高剂量胶原蛋白肽组的效果最好。因此本实验制备的黄线狭鳕鱼胶原蛋白肽能明显改善D-半乳糖致衰老小鼠氧化损伤。

参考文献:

- [1] 冉全,徐玉成,邢洁,等.白令海黄线狭鳕的生活史特征及资源利用状态[J].动物学杂志,2021,56(2):229-239.
RAN Quan, XU Yucheng, XING Jie, et al. The life-history traits and utilization status of *Gadus chalcogrammus* in the Bering Sea[J]. Chinese Journal of Zoology, 2021, 56(2): 229-239.
- [2] LIU J X, CUI D L, YANG D L, et al. Organophosphorus flame retardant TCPF induces cellular senescence in normal human skin keratinocytes: Implication for skin aging[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(22): 14306.
- [3] AHMED M I, ANDRIKOPOULOU E, ZHENG J Y, et al. Interstitial collagen loss, myocardial remodeling, and function in primary mitral regurgitation[J]. JACC: Basic to Translational Science, 2022, 7(10): 973-981.
- [4] 尹翠元,刘璐,何琳琳.胶原蛋白肽修复光老化皮肤作用研究进展[J].生物学杂志,2023,40(1):14-20.
YIN Cuiyuan, LIU Lu, HE Linlin. Recent progress in repairing photoaged skin with collagen peptide[J]. Journal of Biology, 2023, 40(1): 14-20.
- [5] HAN M Y, ZHANG Z S, LI X Y, et al. Effects of collagen peptides from *Micropterus salmoides* skin on oxidative damage induced by cyclophosphamide in mice[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 1037212.
- [6] 王艳.草鱼皮胶原蛋白的提取、性质研究及膜性能表征[D].天津:天津科技大学,2014.
WANG Yan. Extraction and properties of collagen from grass carp skins and characterization of films[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014.
- [7] 林单,金振涛,宋国勇,等.胶原蛋白肽产品中羟脯氨酸检测方法研究[J].食品科技,2019,44(11):334-338.
LIN Dan, JIN Zhentao, SONG Guoyong, et al. Research of the determination methods of hydroxyproline in collagen peptide[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(11): 334-338.
- [8] 荣华,王正阳,郝亭亭,等.甘氨酸、脯氨酸及羟脯氨酸介导胶原蛋白代谢研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(11):53-61.
RONG Hua, WANG Zhengyang, HAO Tingting, et al. Research progress of glycine, proline and hydroxyproline mediated collagen metabolism[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(11): 53-61.
- [9] ZHANG M F, CHEN X, YANG K D, et al. Dual-crosslinked hyaluronic acid hydrogel with self-healing capacity and enhanced mechanical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 301: 120372.
- [10] 卢延华,管博文,孟爱民.衰老动物模型及其研究进展[J].中国比较医学杂志,2019,29(9):109-113.
LU Yanhua, GUAN Bowen, MENG Aimin. Research progress in aging animal models[J]. Chinese Journal of Comparative Medicine, 2019, 29(9): 109-113.
- [11] 张凌云,刘缨.细胞衰老检测指标及衰老模型研究进展[J].生命科学研究,2022,26(3):264-270.
ZHANG Lingyun, LIU Ying. Progress in hallmarks and cell models of senescence[J]. Life Science Research, 2022, 26(3): 264-270.
- [12] 孙凯,蒋伟文.鼠衰老模型的建模方法概述[J].中华老年口腔医学杂志,2017,15(3):181-184.
SUN Kai, JIANG Weiwen. A review of methods for ageing mouse models[J]. Chinese Journal of Geriatric Dentistry, 2017, 15(3): 181-184.
- [13] 白玉,王会肖,于佩华,等.自然衰老小鼠与D-半乳糖衰老模型小鼠的比较[C]//2009年全国抗衰老与老年痴呆学术会议论文汇编.福州:中国药理学会,2009.
BAI Yu, WANG Huixiao, YU Peihua, et al. Comparison between natural aging mice and D-galactose aging model mice[C]//Proceedings of the 2009 National Conference on Anti-aging and Alzheimer's Disease. Fuzhou: Chinese Pharmacological Society, 2009.
- [14] 吴媛妮,尹晓晨,李梓民,等.D-半乳糖衰老模型致衰特征及衰老标志物的研究[J].中国热带医学,2018,18(7):682-686.
WU Yuanni, YIN Xiaochen, LI Zimin, et al. Decay characteristics and aging markers of D-galactose induced aging model[J]. China Tropical Medicine, 2018, 18(7): 682-686.
- [15] 刘建亚,冯文静,王仁萍,等.D-半乳糖致衰老动物模型及其机制研究进展[J].中华老年多器官疾病杂志,2018,17(3):224-227.
LIU Jianya, FENG Wenjing, WANG Renping, et al. Research progress in D-galactose-induced aging animal model and its mechanisms[J]. Chinese Journal of Multiple Organ Diseases in the Elderly, 2018, 17(3): 224-227.
- [16] SHEN L H, FAN L, ZHANG Y, et al. Antioxidant capacity and protective effect of cow placenta extract on D-galactose-induced skin aging in mice[J]. Nutrients, 2022, 14(21): 4659.
- [17] SUN J H, JING S, JIANG R, et al. Metabolomics study of the therapeutic mechanism of *Schisandra chinensis* lignans on aging rats induced by D-galactose[J]. Clinical Interventions in Aging, 2018, 13: 829-841.
- [18] 徐晓飞,赵明月,钟兴伟,等.胶原蛋白肽复合银耳多糖对D-半乳糖致衰老小鼠的改善作用[J].中国食品学报,2022,22(10):134-142.
XU Xiaofei, ZHAO Mingyue, ZHONG Xingwei, et al. The improving effect of the complex of collagen peptides combined with *Tremella fuciformis* polysaccharides on D-galactose-induced ageing mice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10): 134-142.
- [19] 杨书彬,裴晨晨,周寅,等.左归饮中总多糖对D-半乳糖致衰老模型小鼠体内自由基代谢的影响[J].黑龙江医药,2020,33(2):246-250.
YANG Shubin, PEI Chenchen, ZHOU Yin, et al. Effects of total polysaccharides in Zuoguiyin on free radical metabolism in D-galactose induced model mice[J]. Heilongjiang Medicine Journal, 2020, 33(2): 246-250.
- [20] 郭子晨,刘倩,王韵婷,等.益生菌复合制剂对头孢曲松钠作用小鼠的抗氧化指标、细胞因子及肠道菌群的影响[J].食品工业科技,2022,43(15):383-391.

- LIU Jiali, FANG Fang, SHI Xuhan, et al. Screening of two oat rhizosphere growth-promoting bacteria in saline-alkali land and study on their growth-promoting effects[J]. Journal of Grass Industry, 2013, 22(2): 132-139.
- [28] 陶康, 吴凌伟, 金晓芳, 等. 基于高通量基因测序分析腐乳微生物多样性[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 143-149.
- TAO Kang, WU Lingwei, JIN Xiaofang, et al. Analysis of microbial diversity in sufu using high-throughput sequencing[J]. Food Science, 2021, 42(8): 143-149.
- [29] WEBB M D, BARKER G C, GOODBURN K E, et al. Risk presented to minimally processed chilled foods by psychrotrophic *Bacillus cereus*[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 93: 94-105.
- [30] 宋继宏, 王记成, 其木格苏都, 等. 乳酸菌及其代谢产物在乳制

品保鲜中的应用[J]. 中国乳品工业, 2014, 42(8): 37-41.

- SONG Jihong, WANG Jicheng, QI Mugesudu, et al. Application of lactic acid bacteria and their metabolites in dairy products preservation[J]. China Dairy Industry, 2014, 42(8): 37-41.
- [31] 黄敏, 吴毅歆, 何鹏飞. 人和动物条件致病菌环境菌株侵染植物的研究进展[J]. 微生物学报, 2016, 56(2): 188-197.
- HUANG Min, WU Yixin, HE Pengfei. Advances in humans and animals opportunistic pathogens from environment infecting plants by crossing Kingdoms[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2016, 56(2): 188-197.

加工编辑: 王雪

收稿日期: 2022-08-08

(上接第45页)

- GUO Zichen, LIU Qian, WANG Yunting, et al. Effects of probiotic compound preparations on antioxidant indexes, cytokines and intestinal flora in mice treated with ceftriaxone sodium[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 383-391.
- [21] 张红玉, 李会珍, 张天伟, 等. 抗氧化肽作用机制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3981-3988.
- ZHANG Hongyu, LI Huizhen, ZHANG Tianwei, et al. Research progress on the mechanism of antioxidant peptides[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(12): 3981-3988.
- [22] 王彩霞. 艾灸对 D-半乳糖致亚急性衰老模型大鼠皮肤氧化应激及血清 IL-6 的影响[J]. 中国民族民间医药, 2022, 31(19): 9-11, 28.
- WANG Caixia. Effects of moxibustion on skin oxidative stress and serum IL-6 in subacute aging model rats induced by D-galactose[J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2022, 31(19): 9-11, 28.

- [23] HERAWATI E, AKHSANITAQWIM Y, AGNESIA P, et al. *In vitro* antioxidant and antiaging activities of collagen and its hydrolysate from mackerel scad skin (*Decapterus macarellus*)[J]. Marine Drugs, 2022, 20(8): 516.
- [24] KALIC T, KAMATHS D, RUETHERS T, et al. Collagen—An important fish allergen for improved diagnosis[J]. The Journal of Allergy and Clinical Immunology: in Practice, 2020, 8(9): 3084-3092.e10.
- [25] 黄可承, 宫萱, 唐嘉诚, 等. 水产品副产物胶原蛋白制备方法及应用[J]. 精细化工, 2022, 39(9): 1757-1766.
- HUANG Kecheng, GONG Xuan, TANG Jiacheng, et al. Preparation and application of collagen from aquatic by-products[J]. Fine Chemicals, 2022, 39(9): 1757-1766.

加工编辑: 冯娜

收稿日期: 2023-01-30