DOI:10.12441/spyswjs.20241216004 [文章编号] 1673-1689(2025)04-0088-10

阿胶糕抗氧化与抗衰老活性机制研究

陆晓东[1,2,3] 郭晓飞[4,5] 韩 香[1,2,3] 王 腾[1,2,3] 闫继爱[6] 张 烽[6] 王周平[1,2,3*]

(1. 江南大学食品学院,江苏 无锡 214122; 2. 江南大学国家功能食品工程技术研究中心,江苏 无锡 214122; 3. 食品科学与资源挖掘全国重点实验室,江苏 无锡 214122; 4. 国家胶类中药工程技术研究中心,山东 聊城 252299; 5. 聊城市功能性食品研究开发重点实验室,山东 聊城 252299; 6. 江南大学附属医院功能食品临床研究中心,江苏 无锡 214122)

摘要:【目的】研究以阿胶、核桃仁、黑芝麻、黄酒为原料制备而成的阿胶糕增强机体抗氧化、抗衰老的活性机制。**【方法】**在动物试验中,将50只SPF级雄性ICR小鼠随机分为5组(每组10只),分别为空白对照组、模型组与低剂量(1.67 g/kg BW)、中剂量(3.33 g/kg BW)、高剂量(6.67 g/kg BW)的试验组。连续饲料喂养30 d后,分别测定各组动物的血清超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、脂质过氧化产物丙二醛(MDA)和蛋白质羰基(PCO)等指标。人体试验中,分别将110例受试者随机分为试验组和对照组。试验组给予阿胶糕;对照组无任何干预,周期为3个月。分别测定SOD、GSH-Px、MDA以及皮肤水分、油分和VISIA测试。**【结果】**在动物试验中,试验组血清MDA和PCO显著降低,SOD和GSH显著升高;而在临床模型中,试验组人群血液SOD和GSH-Px与对照组人群相比均有显著增加,表明阿胶糕具有抗氧化作用。同时,人体面部指标测试结果显示,食用阿胶糕可有效增加皮肤水分和面部皮肤油脂分泌,可一定程度改善面部年龄、斑点和紫外线色斑等,有助于皮肤抗衰老。**【结论】**该研究为探究阿胶糕的抗氧化与抗衰老活性机制提供了依据。

关键词:阿胶糕;抗氧化;抗衰老;临床试验;活性机制

Mechanisms of Antioxidant and Anti-aging Activities of Asini Corii Colla Cake

LU Xiaodong[1,2,3] *GUO Xiaofei*[4,5] *HAN Xiang*[1,2,3] *WANG Teng*[1,2,3] *YAN Ji'ai*[6] *ZHANG Feng*[6] *WANG Zhouping*[1,2,3*]

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. National Engineering Research Center for Functional Food, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Wuxi 214122, China; 4. National Engineering Technology Research Center for Gelatin-Based Traditional Chinese Medicine, Liaocheng 252299, China; 5. Liaocheng Key Laboratory of Functional Food Research and Development, Liaocheng 252299, China; 6. Functional Food Clinical Research Center, Affiliated Hospital of Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to decipher the mechanisms underpinning the antioxidant and anti-aging activities of Asini Corii Colla cake prepared with Asini corii colla, walnut kernel, black sesame, and rice wine. [**Method**] In the animal experiments, 50 SPF-grade male ICR mice were randomly assigned into 5 groups (n=10): blank negative control, model positive control, and low-dose (1.67 g/kg BW), medium-dose (3.33 g/kg BW), and high-dose (6.67 g/kg BW) Asini Corii Colla cake. After 30 of continuous feeding, the serum levels of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), lipid peroxidation product malondialdehyde (MDA), and protein carbonyl (PCO) were determined for each group of animals. In the human trial, 110 subjects were

基金项目:国家自然科学基金项目(32372423)。

通信作者:王周平(1974—),男,教授,博士研究生导师,主要从事食品营养与安全分析研究。E-mail: wangzp@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2024-12-16 **修回日期:**2025-03-27

randomly allocated into experimental and control groups. The experimental group was given Asini Corii Colla cake, and the control group had no intervention. The intervention period was 3 months. The serum levels of SOD, GSH-Px, and MDA as well as skin moisture and oil content were measured, and the VISIA test was carried out. [**Result**] In the animal experiments, Asini Corii Colla cake groups showed significantly declined serum levels of MDA and PCO and significantly elevated serum levels of SOD and GSH. In the human trial, the experimental group showed significantly increased serum levels of SOD and GSH-Px compared with the control group, indicating that Asini Corii Colla cake contributed to antioxidant effects. Meanwhile, the results of human facial index test showed that the consumption of Asini Corii Colla cake increased the skin moisture content and the facial skin oil secretion, which could ameliorate facial aging, spots, and UV-induced pigmentation to a certain extent, suggesting that the consumption of Asini Corii Colla cake could help the skin to resist aging.[**Conclusion**] This study provides a basis for investigating the mechanisms of the antioxidant and anti-aging activities produced by Asini Corii Colla cake.

Keywords: Asini Corii Colla cake; antioxidant; anti-aging; clinical trial; mechanism of activity

衰老是人类在生长发育过程中的必然阶段，一方面机体随着各类相关疾病的产生而导致身体机能的退化，从而出现免疫力下降、皮肤松弛、行动迟缓等生物学特征[1-2]。另一方面，机体内细胞活性减弱，细胞数量减少，所产生的过氧化物自由基增多，而负责清除自由基的过氧化物酶活性降低，这类酶在机体的还原解毒过程中发挥着重要作用[3-4]，最终抗氧化剂水平的下降可能会导致氧化应激，各系统功能衰退[5-6]。虽然衰老是不可逆的过程，但许多研究表明天然食品成分对缓解衰老安全有效[7]。例如，研究人员从驼乳中提取出了驼乳免疫球蛋白G，通过秀丽隐杆线虫的衰老模型评价其抗衰老功效[8]；也有人探讨了红景天苷在自然衰老C57小鼠中抗肝衰老的作用机制[9]。因此，可通过营养干预或功能性食品摄入实现抗氧化并缓解皮肤衰老[10-12]。基于此，市场催生了一类专门针对皮肤衰老需求的功能性食品。

阿胶含有丰富的微量元素以及多种氨基酸[13]是名贵的传统中药材，也是保健食品原料。阿胶是由驴皮煎煮浓缩制成的固体胶，最早见于《神农本草经》，被誉为“补血圣药”，与人参、鹿茸并称为中药三宝，是我国第一批药食同源的中药材，深受人们喜爱[10]。同时阿胶在抗衰老、抗菌抗炎和调节免疫等方面具有重要作用[14-16]。其抗氧化机制主要是消除自由基，包括提高SOD、GSH-Px等各种抗氧化酶的活性，减少体内自由基，增强体内抗氧化系统[17-18]。同时也可以通过抑制机体氧自由基（ROS）过多引起的脂质过氧化反应，降低产物脂质过氧化水平，以此达到抗氧化、抗衰老的效果[19-20]。评价皮肤衰老的方式有很多，如采用受试者主观评价结合非创伤性仪器客观测量皮肤油分和水分状态[21]。近年来，研究人员发现从阿胶中提取的驴血清白蛋白具有抗氧化、抗衰老、抑制高血压等作用[22]。梁荣等[23]通过酶解的方法制备了阿胶蛋白肽，并验证了其抗氧化活性成分。因此，挖掘和研究阿胶作为天然活性物质在抗氧化、抗衰老方面的活性机制有重要意义。

阿胶糕是以阿胶为主要原料，与核桃仁、黑芝麻、黄酒一同熬制加工而成[24]。作为一种复合型的功能性食品，阿胶糕通过粉碎、熬煮、冷却以及压片切割等多种工艺步骤制备而成。随着物理性状及复配成分的改变，以阿胶为主要原料的阿胶糕的抗氧化、抗衰老的活性是否发生变化也是阿胶糕类产品在开发过程中迫切需要解决的问题。作者以阿胶糕为研究对象，分别构建了小鼠抗氧化评价模型、人体抗氧化评价模型以及人体皮肤水分、油分评价模型。通过对小鼠的MDA、SOD、GSH-Px和PCO，人体的抗氧化指标MDA、SOD和GSH-Px以及皮肤水分、油分和VISIA指标的分析，探究阿胶糕抗氧化与抗衰老活性机制，以期为阿胶的综合利用及新型抗氧化、抗衰老产品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 动物试验

1.1.1 受试物及分组

阿胶糕：桃花姬阿胶糕，由东阿阿胶保健品有

限公司提供。所有试验模块均设空白对照组、模型对照组、受试物组（低剂量 1.67 g/kg BW，中剂量 3.33 g/kg BW，高剂量 6.67 g/kg BW）。各组受试物选择蒸馏水配制成相对应的溶液，灌胃量为 20 mL/kg BW，空白对照组和模型对照组灌胃等量蒸馏水。

1.1.2 试验动物

SPF 级雄性 ICR 小鼠，由斯贝福（苏州）生物技术有限公司提供（许可证号为 SCXK（京）2022-0006），动物质量合格证编号：202375027。

1.1.3 饲养条件

小鼠在温度为 20~26 ℃、相对湿度为 40%~70% 的江南大学动物试验中心屏障设施中饲养。动物使用许可证号：SYXK（苏）2021-0056。小鼠饲料由江苏协同医药生物工程有限责任公司提供，苏饲证（2019）01008。

1.1.4 主要试剂

MDA 测试试剂盒、SOD 测试试剂盒、GSH 测试试剂盒、BCA 法蛋白质测试试剂盒、PCO 测试试剂盒、无水乙醇（分析纯）：乙酸乙酯（分析纯）：冰醋酸（分析纯）、国药集团化学试剂有限公司。

1.1.5 主要仪器

生化分析仪：EXC400 型，中元汇吉生物技术股份有限公司；电子天平：ME3002E 型，美国梅特勒托利多公司；酶标仪：Thermo1510 型，美国赛默飞世尔科技公司；微生物培养箱：IMH100 型，美国赛默飞世尔科技公司；多功能皮肤测试仪：MPA580 型，德国 Courage &Khazaka 公司；VISIA 皮肤测试仪：VISIACR7，美国 Canfield Scientific 公司。

1.1.6 试验方法及指标判定

按照国家市场监管总局《保健食品功能检验与评价方法（2023 年版）》有助于抗氧化检验方法-动物试验进行。将 SPF 级健康雄性 ICR 小鼠（18~22 g）在屏障设施检疫室预饲养 5 d 后，按体质量随机分为 5 组：空白对照组、模型对照组和低、中、高剂量样品组，每组 10 只，连续灌胃 30 d。末次灌胃后，除空白对照组外，其他 4 组禁食 16 h 后灌胃体积分数为 50% 的乙醇 12 mL/（kg BW）。6 h 后摘眼球取血，离心分离血清，并保存在 −80 ℃ 待测。随后测定血清中 MDA 浓度及 PCO、GSH、SOD 活力。

1.1.7 MDA、SOD、GSH 和 PCO 的测定

血清置于 4 ℃ 冰箱过夜解冻后，均匀取样，根据试剂盒的操作要求，分别测定血清中 MDA 浓度及 PCO、GSH、SOD 活力。

1.2 人体试食试验

1.2.1 受试物

人体推荐剂量为每人每天 10~20 g。服用方法：早晚各 2 块，共 20 g。

1.2.2 伦理审查批件

江南大学附属医院医学伦理委员会批准，批准号：LS2023083。

1.2.3 受试者纳入标准

年龄在 30~50 岁，女性人群；能够遵守临床试验要求；已签署知情同意书；患者填写书面调查表，整个试验期间配合研究；治疗前肝、肾功能检查基本在正常范围。

1.2.4 试食设计与分组

江南大学功能食品临床研究中心（江南大学附属医院）进行人体试食试验，试食对象实施知情同意。采用自身和组间 2 种对照设计。将 110 例受试者随机分为试验组和对照组，进行均衡性检验，以保证组间的可比性。试验组给予阿胶糕；对照组无任何干预。试验组每天食用阿胶糕 20 g，干预周期为 3 个月。完成试食过程并纳入统计分析共 104 人，对照组 50 例，试验组 54 例。

1.2.5 食用剂量及时间

试食组食用受试物，对照组不干预。服用方法：早晚各两块，共 20 g。试食观察时间 3 个月，试食开始日期 2023 年 12 月 1 日。

1.2.6 测试指标及测定方法

测试指标包括：MDA 浓度、SOD 活力、GSH-Px 活力、水分、油分、VISIA 检测。

使用多功能皮肤测试仪检测皮肤的 MDA 浓度、SOD、GSH-Px 活性、水分以及油分指标。使用 VISIA 皮肤检测仪检测皮肤年龄、斑点、皱纹以及紫外线斑点这 4 个指标。

1.2.7 脱失率

试食开始选择受试人群 110 例，完成试食过程并纳入统计者共 104 例，总失访率为 5.45%。其中试验组和对照组各 2 例志愿者因食用阿胶后便秘严重退出试验；对照组 2 例患者因未定期体检中途退出试验。

1.3　有助于抗氧化功能的结果判定方法

各功效观察指标试验前后自身比较和试食后组间比较均有统计学意义时可判定该指标阳性。MDA、SOD、GSH-Px这3项试验中任何两项试验结果阳性，可判定该受试样品具有抗氧化功能作用。

1.4　数据分析

试验数据使用SPSS进行方差齐性检验。满足方差齐性的数据采用*t*检验；非正态或方差不齐的数据首先进行变量转换，若仍不满足条件则使用秩和检验。

2　结果与讨论

2.1　动物抗氧化试验

2.1.1　受试物对血清中MDA水平的影响

MDA是脂质过氧化反应的产物，其浓度大小可反映细胞膜损伤程度。作为氧化应激和脂质过氧化的重要生物标志物，MDA通过与核苷酸、蛋白质等大分子发生亲核加成反应，具有显著的毒性作用。MDA的过量积累可导致神经损伤及线粒体功能障碍，从而促进细胞凋亡[25]。由表1可知，模型组的MDA显著高于空白组（$P<0.05$），表明抗氧化模型造模成功；低、中、高3个剂量组的MDA显著低于模型组，分别降低了18.9%、24.8%和28.4%，表明该受试物能有效降低脂质过氧化，该项指标结果为阳性。

表1　受试物对小鼠血清中MDA水平的影响

Table 1　Effect of the test substance on MDA level in mouse serum

组别	动物数/只	MDA/（nmol/L）	*P*值
空白组	10	3.17±0.45*	0.000
模型组	10	4.93±0.80	
低剂量组	10	4.00±0.73*	0.001
中剂量组	10	3.71±0.51*	0.000
高剂量组	10	3.53±0.42*	0.000

注：*表示与模型组相比差异显著（$P<0.05$）。

2.1.2　受试物对血清中SOD活力的影响

SOD是一种关键的抗氧化酶，通过催化超氧化物阴离子的歧化反应，转化为过氧化氢和分子氧，从而有效清除氧自由基。其酶活力水平可作为衡量机体抗氧化防御能力的指标，并且常被用作氧化应激状态的直接生物标志物[26-27]。由表2可知，模型组的SOD活力显著低于空白组（$P<0.05$），表明抗氧化模型造模成功；相比模型组，受试物低、中、高剂量组的SOD活力分别升高了47.3%、38.7%和70.7%，表明该受试物有升高体内SOD活力的作用，该项指标结果为阳性。

表2　受试物对小鼠血清中SOD活力的影响

Table 2　Effect of the test substance on SOD activity in mouse serum

组别	动物数/只	SOD活力/（pg/mL）	*P*值
空白组	10	157.36±22.42*	0.000
模型组	10	78.59±20.27	
低剂量组	10	115.76±31.20*	0.015
中剂量组	10	109.04±31.10*	0.043
高剂量组	10	134.17±49.99*	0.000

注：*表示与模型组相比差异显著（$P<0.05$）。

2.1.3　受试物对血清中GSH活力的影响

GSH是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸通过肽键结合形成的含巯基的三肽，作为细胞内主要的抗氧化剂之一，它参与清除活性氧，发挥重要的抗氧化功能[28]。由表3可知，模型组中的GSH活力显著低于空白组（$P<0.05$），表明抗氧化模型造模成功；中、高剂量组中的GSH显著高于模型组，分别增长了18.0%和24.5%，表明受试物有升高抗氧化物质GSH活力的作用，该项指标结果阳性。

表3　受试物对小鼠血清中GSH活力的影响

Table 3　Effect of the test substance on GSH activity in mouse serum

组别	动物数/只	GSH活力/（ng/L）	*P*值
空白组	10	617.47±36.01*	0.000
模型组	10	435.87±99.72	
低剂量组	10	479.78±69.00	0.125
中剂量组	10	514.50±45.33*	0.008
高剂量组	10	542.68±40.92*	0.000

注：*表示与模型组相比差异显著（$P<0.05$）。

2.1.4　受试物对血清中PCO水平的影响

碳水化合物和脂质的氧化可产生反应性羰基化物，进一步生成ROS。这些反应性物质与蛋白质发生共价结合，导致血浆及组织中的蛋白质发生羰基化修饰，从而引发功能障碍，PCO的增加常作为氧化应激引发的细胞损伤的标志[29]。由表4可知，模型组的PCO水平显著高于空白组（$P<0.05$），

表明抗氧化模型造模成功；中、高剂量组的PCO水平显著低于模型组，分别降低了13.4%和22.5%，表明该受试物有降低蛋白质过氧化的作用，该项指标结果为阳性。

表4 受试物对小鼠血清中PCO水平的影响

Table 4 Effect of the test substance on PCO level in mouse serum

组别	动物数/只	PCO/（pg/mL）	*P*值
空白组	10	37.46±4.34*	0.000
模型组	10	61.91±7.25	
低剂量组	10	57.32±6.64	0.055
中剂量组	10	53.63±2.19*	0.001
高剂量组	10	48.00±3.86*	0.000

注：*表示与模型组相比差异显著（*P*<0.05）。

对蜂王浆的抗氧化研究结果显示，服用了蜂王浆的小鼠体内SOD和GSH-Px活力均显著增加，而MDA和PCO水平的显著降低[30]，与本试验中服用阿胶糕的小鼠模型结果一致。结果表明，食用阿胶糕可提升小鼠体内抗氧化能力。

2.2 人体试食抗氧化试验结果

2.2.1 受试物对人体血清中SOD活力的影响

SOD通过降低细胞内自由基的质量浓度和减轻氧化应激来保护细胞免受氧化损伤，参与维持细胞的氧化还原平衡[31-32]。试验组试食后SOD活力增加了（3.381±0.626）U/mL，增加了约66.4%；对照组试食后增加了（1.480±0.605）U/mL，增加了约18.5%；两组相对量有极显著差异（*P*<0.01）。试验组和对照组在试食前无显著性差异（*P*>0.05）；试食3个月后，具有显著性差异（*P*<0.05）。试验组试食前后的数据具有显著性差异（*P*<0.01）；对照组试食前后的数据无显著性差异（*P*>0.05）。

2.2.2 受试物对人体血清中GSH-Px活力的影响

GSH-Px在人体内的主要作用是通过减少氧化应激来保护细胞免受自由基和过氧化物的损害。它催化谷胱甘肽还原过氧化氢和脂质过氧化物，将这些有害物质转化为水或醇，从而保护细胞膜和组织免受氧化损伤[33]。试验组试食后增加了（356.48±107.30）U/mL，增加了约10.75%；对照组试食后减少了（670.57±207.41）U/mL，减少了约10.93%；两组变化值有极显著差异（*P*<0.01）。试验组和对照组在试食前无显著性差异（*P*>0.05）；试食3个月后，也无显著性差异（*P*>0.05）。但是试验组试食前后的数据具有极显著性差异（*P*<0.01）；对照组试食前后的数据无显著性差异（*P*>0.05）。

2.2.3 受试物对人体血清中MDA水平的影响

MDA在人体中的水平与氧化应激状态密切相关，能够反映出体内自由基所造成的脂质损伤程度。通过提高抗氧化水平，可以有效减少MDA的生成，保护细胞免受氧化损伤[34]。试验组试食后减少了（0.579±0.176）nmol/mL，减少了约9.14%；对照组试食后减少了（0.794±0.242）nmol/mL，减少了约11.91%；两组变化值无显著差异（*P*>0.05）。试验组和对照组试食前并无显著性差异（*P*>0.05），试食3个月后，无显著性差异（*P*>0.05）。试验组试食前后的数据无显著性差异（*P*>0.05）；对照组试食前后的数据有极显著性差异（*P*<0.01）。

有关白�acute花的抗氧化研究表明，SOD和GSH-Px的显著增加可以有效增强机体的抗氧化能力[35]，而本试验中服用了阿胶糕的人体模型对应的指标同样也得到了显著增加，表明食用阿胶糕具有提升人体抗氧化指标的能力，虽然没有显著减少MDA的生成，但在减弱氧化应激影响方面有显著效果。

2.3 人体试食试验中面部水分和油分测试结果

2.3.1 受试样品对面部水分的影响

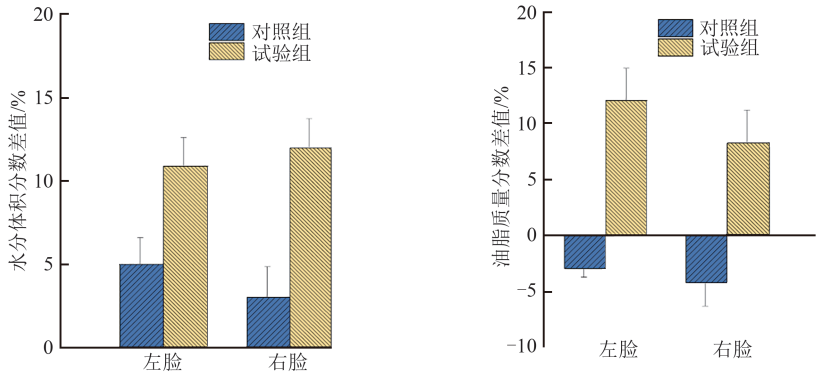
角质层含水量是反映皮肤健康状况的重要指标，能够有效反映皮肤的屏障功能和整体状态。角质层含水量的适当调节对于维持皮肤的水合作用至关重要，有助于加强皮肤的防御功能，增强其抵御外界有害物质的能力[36-37]。如图1（a）所示，试验组试食后左脸水分增加了（10.90±1.72）%，对照组则增加了（4.98±1.61）%（*P*=0.014）；而试验组右脸水平增加了（11.99±1.77%），对照组增加了（3.01±1.84）%（*P*=0.001）。试验组左右脸都与对照组有显著性差异，说明受试物可以有效增加皮肤角质层的含水体积分数，并减少了水分的流失。

2.3.2 受试样品对面部油分的影响

皮脂的分泌有助于增强皮肤的屏障功能，可保持皮肤的水油平衡，减少干燥和紧绷感。皮脂为皮肤提供天然滋润，使皮肤更加柔软、光滑，并增加弹性，进而减缓细纹和皱纹的形成[38]。如图1（b）所示，试验组试食后左脸油分增加了（12.09±2.89）%，相比对照组左脸减少了（2.99±0.78）%（*P*=0.023）。而试验组右脸增加了（8.25±2.96）%，对

照组右脸减少了(4.28±2.09)%(P=0.037)。

在吴黎明等[39]对胶原蛋白肽改善皮肤衰老的研究中发现，胶原蛋白肽保持了皮肤的表面水分并增加了油脂的分泌，而食用阿胶糕后试验组人群皮肤表皮水分和油脂分泌都有一定程度增加。结合受试人群调查反馈结果表明，食用阿胶糕可适度增加皮肤表皮水分和油脂分泌，可使皮肤滋润、柔软、有弹性，减少皱纹和细纹的产生。



(a) 水分体积分数差值　　(b) 油分质量分数差值

图 1　试食受试物后面部的变化差值情况

Fig. 1　Changes in facial indicator differences after consumption of the test substance

2.4　人体试食试验的面部 VISIA 测试结果

2.4.1　皮肤年龄

VISIA 系统通过分析面部肌肤质地，评估肌肤年龄与实际年龄的差异，并基于当前皮肤表面及皮下状态，模拟未来 3~5 年的肌肤变化，能够增强患者对皮肤护理和防护的意识[40-41]。试食 90 d 后，试验组右脸平均年龄从 36.36±5.46 岁减小到了 33.76±5.58 岁(P=0.003)，对照组右脸评价年龄从 34.88±5.86 岁增加到了 35.52±6.58 岁(P=0.057)；试验组左脸平均年龄从 35.48±5.38 岁减小到了 33.57±5.94 岁(P=0.025)，对照组左脸评价年龄从 35.69±6.60 岁减少到了 35.19±6.30 岁(P=0.109)(见图 2)。试验组左右脸都有显著改善，而对照组均无显著性，表明受试物在改善皮肤年龄上有显著作用。

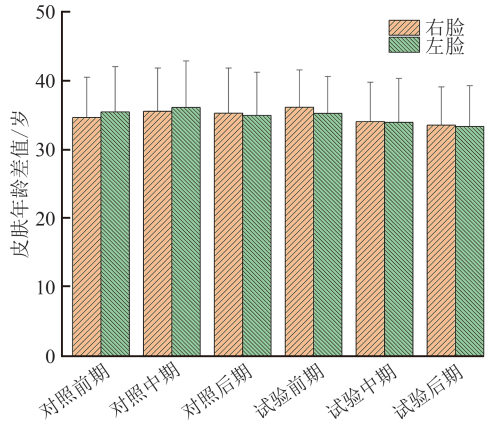


图 2　干预后皮肤年龄变化差值情况

Fig. 2　Changes in skin age after intervention

2.4.2　斑点

斑点是指皮肤表面出现的局部色素或血管异常变化，通常表现为棕色、红色或紫红色的病变区域。这些斑点可由多种因素引起，包括色素沉着(如雀斑、老年斑、黄褐斑等)和血管病变(如毛细血管扩张、红血丝等)。其颜色通常与周围正常皮肤的基底色存在显著差异，大小和形态各异，能够通过肉眼直接观察到[42]。试食 90 d 后，试验组右脸斑点从(87.88±9.95)%减少到了(81.98±16.65)%(P=0.026)，而左脸斑点从(83.21±15.67)%减少到了(75.37±23.61)%(P=0.024)。试验组试食前后有显著差异，而对照组并无显著差异(P=0.230，P=0.255)，表明受试物可以有效抑制面部斑点的生成，见图 3。

2.4.3　皱纹

皱纹是皮肤表面因结构性改变而形成的褶皱或折叠现象，通常与皮肤老化过程密切相关。随着年龄的增长，皮肤中的胶原蛋白和弹性纤维逐渐减少，皮肤的支撑力和弹性下降，导致皮肤松弛和褶皱的出现[43]。试食 90 d 后，试验组右脸皱纹从(78.18±20.11)%减少到了(65.82±26.27)%(P=0.048)，而左脸皱纹从(79.20±16.58)%减少到(64.70±23.50)%(P=0.009)。试验组试食前后有显著差异，而对照

组并无显著差异（P=0.454，P=0.066），见图 4。说明受试物能够有效缓解人体皮肤皱纹的产生，对抗衰老有显著作用。

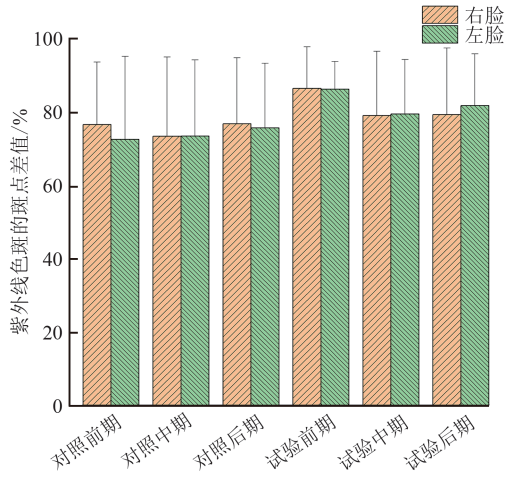


图 3　干预后皮肤斑点差值变化

Fig. 3　Changes in skin spot difference after intervention

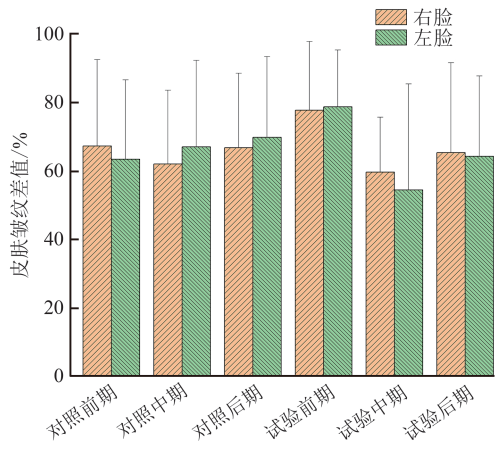


图 4　干预后皮肤皱纹差值变化

Fig. 4　Changes in skin wrinkle difference after intervention

2.4.4　紫外线色斑

紫外线色斑是由黑色素在表皮基底层或角质层的异常积聚所致，通常是皮肤长期或短期暴露于紫外线辐射后产生的反应。紫外线通过激活黑色素细胞产生过量的黑色素，并对皮肤深层组织造成损伤。这些色斑通常表现为局部的色素沉着，呈现棕色或暗褐色斑点[44]。试食 90 d 后，试验组右脸紫外线色斑从（86.55±11.38）%减少到（79.41±18.19）%（P=0.003）；而左脸紫外线色斑从（86.33±7.60）%减少到了（81.88±14.11）%（P=0.037）。试验组试食前后有显著差异，而对照组并无显著差异（P=0.448，P=0.124），见图 5。可知受试物能够有效减少紫外线色斑的产生，对抗衰老有积极作用。

于一帆等[45]通过 VISIA 系统研究了人体面部的评分系统，在该研究中，VISIA 系统的评分取决于不同的指标。其中就包含了皮肤年龄、斑点、皱纹和紫外线色斑，通过这些结果组合对比发现，试验组的平均评分都得到了显著的下降，这与服用了阿胶糕后的评分一致，表明服用阿胶糕可以有效改善人体的面部指标，提升人体面部的抗衰老能力。

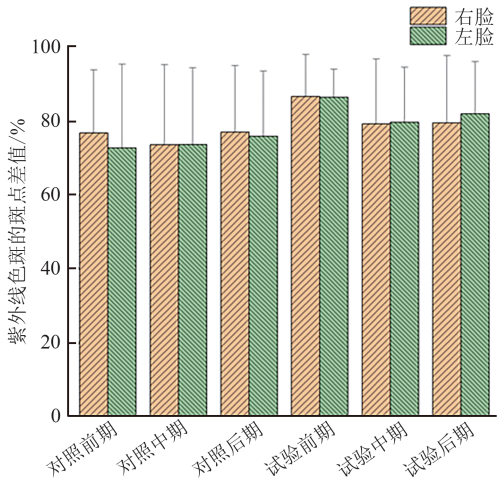


图 5　干预后皮肤紫外线色斑的斑点差值变化

Fig. 5　Changes in UV-induced pigmentation difference after intervention

3　结论

本研究验证了阿胶糕具有抗氧化及抗衰老功效。在动物试验中，相比于空白对照组，模型组的 MDA 和 PCO 显著升高，SOD 和 GSH 活力显著降低，模型成立。与模型组相比，该受试样品的 MDA 和 PCO 显著降低，SOD 和 GSH 显著升高，4 项指标均为阳性，这表明阿胶糕可以对动物的抗氧化指标产生影响，但是与其抗氧化功效相关的基因还需要进一步探究。

人体试食试验中，SOD 和 GSH-Px 在食用阿胶糕样品 3 个月后均有显著性差异，说明阿胶糕具有抗氧化作用。食用阿胶糕 30 d 后可改善面部皮肤水分并适度增加面部皮肤油脂分泌；食用阿胶糕 90 d 后，面部年龄、斑点、皱纹和紫外线色斑均有改善，这表明阿胶糕有抗衰老作用，然而面部指

标在抗衰老的研究中并不能全面反映其抗衰老功效，还需要从微观层面入手，进行更加深入细致的研究。

综上所述，作者系统分析了阿胶糕抗氧化、抗衰老的作用机制。在自由基清除方面，长期食用阿胶糕可以提升机体生物抗应激能力、促进各类抗氧化物质的生成、保持皮肤水分和油分等，达到抗氧化、抗衰老的效果。该研究对阿胶产品的开发利用和阿胶糕相关产品标准的建立具有指导意义。

参考文献

[1] AUNAN J R，WATSON M M，HAGLAND H R，et al. Molecular and biological hallmarks of ageing[J]. British Journal of Surgery，2016，103(2)：e29-e46.

[2] NORGE A S，MICHAEL B E，MORTEN S K. A defined human aging phenome[J]. Aging-US，2019，11(15)：5786-5806.

[3] 封弦，翁佩芳，吴祖芳，等. 乳酸菌发酵接骨木果汁降血糖与抗氧化活性机理[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(8)：95-103.
FENG X，WENG P F，WU Z F，et al. Preliminary study on hypoglycemic antioxidant activity and mechanism of elderberry juice fermented by lactic acid bacteria[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41(8)：95-103.(in Chinese)

[4] JIN K L，SIMPKINS J W，JI X M，et al. The critical need to promote research of aging and aging-related diseases to improve health and longevity of the elderly population[J]. Aging and Disease，2015，6(1)：1-5.

[5] 李坊莹. 人体细胞分子水平的衰老机理[J]. 江西中医学院学报，1997，9(2)：41-42.
LI F Y. Aging mechanism of human cells at molecular level[J]. Journal of Jiangxi University of Chinese Medicine，1997，9(2)：41-42.

[6] SEN P，SHAH P P，NATIVIO R，et al. Epigenetic mechanisms of longevity and aging[J]. Cell，2016，166(4)：822-839.

[7] 余贤娴，汪玲，兰天，等. 蜂王浆中活性因子对衰老小鼠的保护作用[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(7)：130-139.
YU X X，WANG L，LAN T，et al. Protective effects of the active fractions of royal jelly on the aging mice[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41(7)：130-139.(in Chinese)

[8] 赵小萌，龚春淼，陈树兴，等. 驼乳免疫球蛋白G对秀丽隐杆线虫的抗衰老作用[J]. 食品科学，2024，45(22)：112-117.
ZHAO X M，GONG C M，CHEN S X，et al. Anti-aging effect of camel milk immunoglobulin G on *Caenorhabditis elegans*[J]. Food Science，2024，45(22)：112-117.(in Chinese)

[9] 倪钦帅，刘姿杉，朱琳，等. 红景天苷延缓C57小鼠肝衰老的作用及可能机制[J]. 中国老年学杂志，2024，44(21)：5266-5271.
NI Q S，LIU Z S，ZHU L，et al. Effects of salidroside on liver aging in C57 mice and its possible mechanism[J]. Chinese Journal of Gerontology，2024，44(21)：5266-5271.(in Chinese)

[10] 孔浩，田汝芳，曹桂云，等. 阿胶质量安全分析研究进展[J]. 畜牧与饲料科学，2023，44(4)：109-115.
KONG H，TIAN R F，CAO G Y，et al. Research progress in quality and safety evaluation of asini corii Colla[J]. Animal Husbandry and Feed Science，2023，44(4)：109-115.(in Chinese)

[11] 邢晓平，杨笑笑，卢婕，等. 石榴皮中鞣花酸的抗衰老性能及机理研究[J]. 食品与生物技术学报，2015，34(4)：436-442.
XING X P，YANG X X，LU J，et al. Studies on the anti-aging effect of ellagic acid from pomegranate and its mechanism of action[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2015，34(4)：436-442.(in Chinese)

[12] 佟平，臧凤，陈红兵，等. 禽蛋蛋白质功能成分的抗氧化研究进展[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(4)：16-23.
TONG P，ZANG F，CHEN H B，et al. A comprehensive review on antioxidant activity of functional ingredients derived from egg proteins[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42(4)：16-23.(in Chinese)

[13] 李敏，梁大连，邵珠德，等. 阿胶肽-铁螯合物对缺铁性贫血小鼠的初步药效学研究[J]. 时珍国医国药，2019，30(4)：852-854.
LI M，LIANG D L，SHAO Z D，et al. The effect of ferrous-chelating Colla corii asini hydrolysate on Iron-Deficiency *Anemia* in mice[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research，2019，30(4)：852-854.(in Chinese)

[14] 刘发生. 利用斑马鱼模型研究新阿胶对化疗引起免疫与造血损伤的保护作用[D]. 太原：山西医科大学，2018.
LIU F S. Study on the protective effect of pig-hide gelatin on chemotherapy-induced immunity and hematopoietic injury using zebrafish model[D]. Taiyuan：Shanxi Medical University，2018.(in Chinese)

[15] 杜博玮，徐晓冰，郭尚伟，等. 高抗氧化性小分子阿胶的研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版)，2019，46(6)：15-20.

DU B W, XU X B, GUO S W, et al. Preparation of a high-antioxidant hydrolysate from Colla corii asini[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science Edition), 2019, 46(6): 15-20. (in Chinese)

[16] 姜一朴,邸志权,王延涛,等. 小分子阿胶抗疲劳、抗氧化及止血作用研究[J]. 中国药理学通报,2019,35(2):203-208.
JIANG Y P, DI Z Q, WANG Y T, et al. Study on anti-fatigue, anti-oxidative and hemostatic effects of small molecule Asini Corii Colla[J]. Chinese Pharmacological Bulletin,2019,35(2):203-208.(in Chinese)

[17] 熊倩薇,唐雪,蒙雨丹,等. 基于分子机制探讨中药抗衰老[J]. 中药药理与临床,2020,36(3):272-276.
XIONG Q W, TANG X, MENG Y D, et al. Discussion on anti-aging of traditional Chinese medicine based on molecular mechanism[J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2020, 36(3): 272-276. (in Chinese)

[18] 刘浩,李鸣皋,韩磊. 猴头菌提取物对小鼠*D*-半乳糖衰老模型脑组织的抗氧化作用[J]. 临床误诊误治,2011,24(7):11-12.
LIU H, LI M G, HAN L. Effects of *Hericium* extract on antioxidative system in *Apolexis* brain tissues in mice induced by *D*-galactose[J]. Clinical Misdiagnosis & Mistherapy,2011,24(7):11-12.(in Chinese)

[19] 叶刚,杨锐,杨怀铭. 云南红景天对衰老模型大鼠的抗衰老作用[J]. 中国老年学杂志,2014,34(14):3960-3962.
YE G, YANG R, YANG H M. Anti-aging effect of *Rhodiola yunnanensis* on aging model rats[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2014, 34(14): 3960-3962. (in Chinese)

[20] 韩小苗,吴苏喜,吴美芳,等. 红花籽油对*D*-半乳糖致衰老小鼠模型的抗衰老作用[J]. 食品与机械,2016,32(10):127-131,167.
HAN X M, WU S X, WU M F, et al. Study on anti-aging effect of safflower oil on the mouse model aged by *D*-galactose[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 127-131,167.(in Chinese)

[21] 李雪,周静,张乾年,等. 一款党参低聚糖润肤霜皮肤改善功能评价[J]. 香料香精化妆品,2022(5):11-16.
LI X, ZHOU J, ZHANG Q N, et al. Evaluation of a *Codonopsis pilosula* oligosaccharides moisturizer for skin improvement[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2022(5):11-16.(in Chinese)

[22] 宋露露,李云飞,刘鑫源,等. 阿胶中驴血清白蛋白的提取纯化、功能特性及抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技,2024,45(23):179-188.
SONG L L, LI Y F, LIU X Y, et al. Extraction, purification, functional properties and antioxidant activity analysis of donkey serum albumin from asini corii Colla[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(23):179-188.(in Chinese)

[23] 梁荣,徐乐,樊琛,等. 酶解法制备阿胶蛋白肽工艺条件优化及抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技,2024,45(10):217-224.
LIANG R, XU L, FAN C, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis process for preparing peptides from asini corii Colla and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(10): 217-224.(in Chinese)

[24] 曹菲薇. 阿胶糕及其主要原料阿胶的抗氧化作用及机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2019.
CAO F W. Antioxidant effects and its mechanism of E'Jiao cake and its main material Colla corii asini[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.(in Chinese)

[25] 姚明材,李飞凤,罗广,等. 白酒糟中ACE抑制肽提取工艺优化及抗氧化活性[J]. 食品与机械,2024,40(10):167-173.
YAO M C, LI F F, LUO G, et al. Optimization of the extraction process of ACE inhibitory peptides from distillery waste and their antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2024, 40(10): 167-173.(in Chinese)

[26] JAVED A, MEHBOOB K, RASHID A, et al. Oxidative stress and lipid peroxidation in NAFLD with and without type 2 diabetes mellitus[J]. Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan, 2023, 33(11): 1254-1258.

[27] LU Z Q, SHEN S Q, LIN S Y. The neuroprotective effects of SFGDI on sirtuin 3-related oxidative stress by regulating the Sirt3/SOD/ROS pathway and energy metabolism in BV2 cells[J]. Food & Function, 2024, 15(12):6692-6704.

[28] KLATT P, LAMAS S. Regulation of protein function by S-glutathiolation in response to oxidative and nitrosative stress[J]. European Journal of Biochemistry, 2000, 267(16):4928-4944.

[29] 罗祁,李霞. 高通量与低通量血液透析对血清β-2微球蛋白、晚期氧化蛋白产物和蛋白质羰基的影响[J]. 实用临床护理学电子杂志,2017,2(9):194-196,198.
LUO Q, LI X. Effects of Qualcomm volume and low flux hemodialysis on serum β-2 microglobulin, advanced oxidation protein products and protein carbonyl[J]. Journal of Clinic Nursing's Practicality, 2017, 2(9): 194-196,198.(in Chinese)

[30] 张翠平，牛德芳，胡福良．蜂王浆的化学组成及抗氧化作用研究[J]．中国蜂业，2024，75(6)：30-37．
ZHANG C P，NIU D F，HU F L．Study on chemical composition and antioxidant effect of royal jelly[J]．Apiculture of China，2024，75(6)：30-37．(in Chinese)

[31] 闫巧．复方阿胶浆低聚糖组分对胃癌前病变的改善作用及机制研究[D]．兰州：兰州大学，2022．
YAN Q．Study on the ameliorative effect and mechanism of oligosaccharides from Fufang E'jiao Jiang on precancerous lesion of gastric cancer[D]．Lanzhou：Lanzhou University，2022．(in Chinese)

[32] 樊雨梅，汝文文，史传超，等．阿胶低聚肽的成分分析及其抗氧化活性[J]．食品工业科技，2020，41(18)：314-318，323．
FAN Y M，RU W W，SHI C C，et al．Composition and its antioxidant activity of Colla corii asini oligopeptides[J]．Science and Technology of Food Industry，2020，41(18)：314-318，323．(in Chinese)

[33] BIRBEN E，SAHINER U M，SACKESEN C，et al．Oxidative stress and antioxidant defense[J]．World Allergy Organization Journal，2012，5(1)：9-19．

[34] 王振，刘仲华，蔡淑贤，等．绿茶水粗提物抗中波紫外线致人表皮细胞衰老作用[J]．食品与机械，2017，33(12)：129-134．
WANG Z，LIU Z H，CAI S X，et al．Effect of anti-aging on human epidermal keratinocyte by UVB induced for green tea crude water extract[J]．Food & Machinery，2017，33(12)：129-134．(in Chinese)

[35] 鹿发展，刘平平，刘娟．白芨花提取物的美白、抗氧化和抗衰老功效研究[J]．云南化工，2024，51(10)：100-104．
LU F Z，LIU P P，LIU J．Research on the whitening，antioxidant，and anti-aging effects of bletila flower extract[J]．Yunnan Chemical Technology，2024，51(10)：100-104．(in Chinese)

[36] 蔺茂强，刘俐，吕成志．角质层的含水量及其对皮肤生物功能的影响[J]．临床皮肤科杂志，2008，37(12)：816-818．
MAN M Q，LIU L，LV C Z．Stratum corneum hydration and its impact On cutaneous biology[J]．Journal of Clinical Dermatology，2008，37(12)：816-818．(in Chinese)

[37] 李珍，方凯雷，李娜，等．冰川低氘水对皮肤长效保湿与舒缓修护的功效[J]．香料香精化妆品，2023(3)：66-72．
LI Z，FANG K L，LI N，et al．Long-lasting moisturizing and soothing repair effects of natural glacial low deuterium water on skin[J]．Flavour Fragrance Cosmetics，2023(3)：66-72．(in Chinese)

[38] FAN L，JIA Y，CUI L，et al．Analysis of sensitive skin barrier function：basic indicators and sebum composition[J]．International Journal of Cosmetic Science，2018，40(2)：117-126．

[39] 吴黎明，吴田田，王长明，等．一款含泰束胶原蛋白肽功效护肤品在面部抗老化方面的研究进展[J]．中国医疗器械信息，2024，30(1)：60-64．
WU L M，WU T T，WANG C M，et al．Study on a skin care product containing Taishu collagen peptides in facial anti-aging[J]．China Medical Device Information，2024，30(1)：60-64．(in Chinese)

[40] XU D T，YAN J N，CUI Y，et al．Quantifying facial skin erythema more precisely by analyzing color channels of The VISIA Red images[J]．Journal of Cosmetic and Laser Therapy，2016，18(5)：296-300．

[41] LIN Y J，WU B Q，CHANG C C，et al．Laser-induced optical breakdown is a prior strategy for acquired melanin-increased disorder in dermal layer[J]．Lasers in Medical Science，2024，39(1)：216．

[42] 徐杰．烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的影响及机制研究[J]．实验室检测，2024(6)：124-128．
XU J．Effect of nicotinamide concentration on skin melanin transfer and its mechanism[J]．Laboratory Testing，2024(6)：124-128．(in Chinese)

[43] 孙丽杰，董超，王昌帅，等．眼部轮廓的衰老特征、形成机制、分级评估及抗衰老成分综述[J]．日用化学品科学，2024，47(11)：63-70，80．
SUN L J，DONG C，WANG C S，et al．A review of the aging characteristics，formation mechanisms，grading evaluations，and anti-aging ingredients of the eye contour[J]．Detergent & Cosmetics，2024，47(11)：63-70，80．(in Chinese)

[44] 李金洲，唐和斌，李玉桑．平卧菊三七复方制剂美白祛斑的效应机制研究[J]．中国药师，2023，26(10)：1-11．
LI J Z，TANG H B，LI Y S．Study of whitening and anti-freckle mechanism of compound preparation of *Gynura procumbens*[J]．China Pharmacist，2023，26(10)：1-11．(in Chinese)

[45] 于一帆，马彦云，蔡希阳，等．ColorMeter和VISIA-CR图像提取肤色的方法对比[J]．临床皮肤科杂志，2023，52(1)：15-19．
YU Y F，MA Y Y，CAI X Y，et al．Comparing methods of measuring skin color using ColorMeter and VISIA-CR images[J]．Journal of Clinical Dermatology，2023，52(1)：15-19．(in Chinese)

（责任编辑：李春丽）