

柴达木黑果枸杞花青素减轻中波紫外线辐射后人皮肤成纤维细胞氧化及炎性损伤的研究*

李喃欣¹ 燕华玲¹ 余亚利¹ 王丽雯¹ 张钦宁² 万光梅¹ 张美红¹ 哈筱梅¹

(1. 青海大学附属医院皮肤科, 青海 西宁 810000; 2. 首都医科大学石景山教学医院, 北京 100043)

【摘要】 目的 探讨柴达木黑果枸杞花青素减轻中波紫外线(UVB) 辐射后人皮肤成纤维细胞(HSFs)氧化及炎性损伤。方法 将体外培养的 HSFs 细胞采用随机数字表法分为空白对照组(不进行任何处理)、UVB 辐射组(30 mJ/cm² 照射 30 min)、UVB+花青素低剂量组(0.1 mg/mL+30 mJ/cm² 照射 30 min)、UVB+花青素中剂量组(0.5 mg/mL+30 mJ/cm² 照射 30 min)、UVB+花青素高剂量组(1 mg/mL+30 mJ/cm² 照射 30 min)。柴达木黑果枸杞花青素于 UVB 照射前 24 h 加入细胞培养基中,24 h 后收集细胞。采用倒置显微镜观察细胞形态;台盼蓝染色观察细胞死亡情况;MTT 法测细胞增殖活力;酶标法检测细胞超氧化物歧化酶(SOD)活力、过氧化氢酶(CAT)活力、谷胱甘肽(GSH-PX)含量、丙二醛(MDA)的含量。采用酶联免疫吸附实验(ELISA)法检测并比较白介素 1(IL-1)、白介素 6(IL-6)表达水平。结果 倒置显微镜下各组细胞形态;花青素中、高剂量组细胞形态接近于空白对照组,花青素低剂量组细胞形态接近于 UVB 辐射组。台盼蓝染色显示,与空白对照组比较,UVB 辐射组 HSFs 细胞蓝染数量增加,并出现漂浮细胞碎片;与 UVB 辐射组比较,UVB+低、中、高剂量柴达木黑果枸杞花青素组 HSFs 细胞蓝染数量下降,漂浮的细胞碎片减少。与空白对照组比较,UVB 辐射组 MDA、IL-1、IL-6 表达水平明显增高($P < 0.05$);细胞增殖率、SOD 活性、CAT 活力、GSH-P 含量下降,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。与 UVB 辐射组比较,UVB+低、中、高剂量柴达木黑果枸杞花青素组细胞上清液中 IL-1、IL-6、MDA 表达水平明显降低($P < 0.05$);细胞增殖率、SOD 活性、CAT 活力、GSH-P 含量均升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。结论 柴达木黑果枸杞花青素通过提高抗氧化应激能力、减轻细胞的炎性损伤来改变 UVB 辐射后 HSFs 细胞的形态学变化,从而减轻紫外线辐射后引起的皮肤损伤。

【关键词】 柴达木黑果枸杞花青素;人皮肤成纤维细胞;中波紫外线辐射;氧化损伤;白介素 1;白介素 6

【中图分类号】 R329.2+5 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2023.04.007

Study on alleviating the oxidative and inflammatory damage of HSFs cells from UVB radiation induced by the anthocyanins in Lycium ruthenicum from Chaidamu

LI Nanxin¹, YAN Hualing¹, YU Yali¹, WANG Liwen¹, ZHANG Qinning², WAN Guangmei¹, ZHANG Meihong¹, HA Xiaomei¹

(1. Department of Dermatology, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining 810000, China;

2. Shijingshan Teaching Hospital, Capital Medical University, Beijing 100043, China)

【Abstract】 **Objective** To investigate the effect of anthocyanins in Lycium ruthenicum from Chaidamu on the antioxidative and inflammatory injury of human skin fibroblasts (HSFs cells) after UVB radiation. **Methods** HSFs cells cultured in vitro were randomly divided into 5 groups by random number table method: blank control group (no treatment), UVB irradiation group (30mJ/cm² irradiation for 30 minutes), UVB+low-dose anthocyanin group (0.1 mg/mL +30 mJ/cm² irradiation for 30 minutes), UVB+medium-dose anthocyanin group (0.5 mg/mL+30 mJ/cm² irradiation for 30 minutes), UVB+high-dose anthocyanin group (1 mg/mL+30 mJ/cm² irradiation for 30 minutes). 24 hours before UVB radiation, the anthocyanins in Lycium ruthenicum from Chaidamu were added into the culture medium, and cells were collected after 20 hours radiation. The morphology of cells was observed by inverted microscope, cell death was

基金项目:青海省科技厅项目(2019-ZJ-7058)

通讯作者:燕华玲,主任医师, E-mail:yhckw@163.com

引用本文:李喃欣,燕华玲,余亚利,等.柴达木黑果枸杞花青素减轻中波紫外线辐射后人皮肤成纤维细胞氧化及炎性损伤的研究[J].西部医学,2023,35(4):501-505. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2023.04.007

observed by Trypan Blue. Cell proliferation activity was detected by MTT. SOD activity, CAT activity, GSH-Px content and MDA content was tested by enzyme linked immunosorbent assay. The expression levels of interleukin-1 (IL-1), interleukin-6 (IL-6) were detected and compared by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). **Results** Trypan Blue showed that the number of blue staining of HSFs cells increased and floating cell fragments appeared in UVB radiation group compared with blank control group. Compared with UVB radiation group, the number of blue staining of HSFs cells and floating cell fragments decreased in UVB + low, medium and high dose anthocyanin group. The expression levels of MDA, IL-1 and IL-6 in UVB radiation group were significantly higher than those in blank control group ($P < 0.05$). The cell proliferation rate, SOD activity, CAT activity, GSH-P content decreased, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). Compared with UVB radiation group, the expression levels of IL-1, IL-6 and MDA in cell supernatant decreased significantly ($P < 0.05$). The cell proliferation rate, SOD activity, CAT activity, GSH-P content increased, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** The anthocyanins in Lycium ruthenicum from Chaidamu can change the morphological changes of HSFs after UVB radiation by improving the ability of antioxidant stress and reducing the inflammatory damage of cells, so as to reduce the skin damage caused by ultraviolet radiation.

【Key words】 Anthocyanins in Lycium ruthenicum from Chaidamu; HSFs; UV radiation; Oxidative damage; IL-1; IL-6

柴达木黑枸杞属茄科枸杞属植物。黑枸杞具有独特的药用价值,含有 17 种氨基酸,13 种微量元素以及多糖、黄酮、酚类等营养成分,其中花青素是其特有的成分^[1-3]。花青素具有调节免疫、抗氧化、抗炎、抗衰老、抗癌等作用^[4-8]。黑果枸杞花青素可减轻中波紫外线辐射后小鼠以及 HaCaT 细胞的氧化及炎性损伤^[9-11],但是对于人皮肤成纤维细胞(Human skin fibroblasts, HSFs)未有研究。目前关于柴达木黑果枸杞花青素能否提高抗氧化应激能力、减轻细胞炎性损伤的研究鲜有报道。本实验通过观察柴达木黑果枸杞花青素对中波紫外线(ultraviolet B, UVB)辐射后 HSFs 细胞台盼蓝染色的形态学变化、炎性因子(IL-1、IL-6)、氧化应激指标(MDA、SOD、CAT、GSH-Px)、细胞增殖率的水平,来探讨柴达木黑果枸杞花青素能否提高 UVB 辐射后 HSFs 细胞抗氧化应激能力、减轻细胞的炎性损伤,为柴达木黑果枸杞花青素对 UVB 损伤的光保护作用机制研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 主要材料 HSFs 细胞株(上海中乔新舟生物科技公司),柴达木黑果枸杞花青素(西安通泽生物科技公司),胎牛血清、DMEM 培养基、胰酶、PBS 液(南京建成公司),SOD、GSH-PX、CAT、MDA 试剂盒(南京建成公司),台盼蓝染色液(北京索莱宝科技公司),人 IL-1、IL-6 酶联免疫吸附测定试剂盒(武汉伊莱瑞特生物科技公司)。

1.1.2 仪器 二氧化碳(CO₂)培养箱(美国 Thermo Scientific),倒置显微镜(日本 Nikon 公司),cytation5 细胞成像多功能检测系统(美国 Bio-Tek 公司),UVB

紫外灯(上海希格玛公司),CKX41 倒置显微镜(日本 OLYMPUS 公司),酶标仪(美国 Bio-Rad)。

1.2 方法

1.2.1 细胞培养 将保存于液氮罐中的 HSFs 细胞取出进行复苏,加入含有 10%胎牛血清和 1%双抗(链霉素和青霉素)的 DMEM 培养基中 37 °C、5%CO₂ 的饱和湿度条件下培养。当细胞达 80%融合时进行传代,PBS 液冲洗培养皿底 3 遍,加入胰酶消化,当细胞变圆、间隙变大时,加入 DMEM 培养基终止细胞消化,离心,按 1:3 比例传代,取处于对数生长期 3~5 代的细胞用于实验。

1.2.2 药物干预和 UVB 照射 当细胞达 80%融合时,将 HSFs 细胞随机分为空白对照组、UVB 辐射组、UVB+花青素低剂量组、UVB+花青素中剂量组、UVB+花青素高剂量组。照光前 24 h 将柴达木黑果枸杞花青素加入 UVB+花青素低剂量组(0.1 mg/mL)、UVB+花青素中剂量组(0.5 mg/mL)、UVB+花青素高剂量组(1 mg/mL),空白对照组和 UVB 辐射组只加入相同量的培养基。待细胞贴壁后,弃培养基,PBS 冲洗 2 次,空白对照组用锡箔纸遮盖,将各组细胞暴露于 15 周的 UVB 灯管下,距离 20 cm,照射时间 30 min,强度 30 mJ/cm²。辐照结束后弃去 PBS 液,再分别加入原 DMEM 培养基继续孵育 24 h 后,取对数生长期 3~5 代的 HSFs 细胞,将细胞浓度调整为 1×10⁵ 个/mL 进行检测。

1.2.3 台盼蓝染色 观察细胞死亡情况 6 孔板内 HSFs 细胞在经过上述处理后,吸去培养基,用 PBS 洗 3 遍,加入 0.4%台盼蓝染液 50 mL,吸去染料,PBS 洗 3 遍后,用 CKX41 型 Olympus 倒置显微照相系统

观察并摄片。

1.2.4 MTT 法检测细胞增殖 照光 24 h 后将每孔 PBS 液吸净,加入培养基,于显微镜下观察。用 MTT 细胞增殖检测试剂盒测定细胞增殖活力,每孔加入 10 μ L MTT 染色液,继续培养 4 h 后,每孔加入 100 μ L 的 Formazan 溶解液,继续放置细胞培养箱中孵育,直至显微镜下 Formazan 完全溶解,在酶标仪上测定吸光度值(波长为 570 nm),保存数据并进行统计。

1.2.5 细胞上清液 SOD、GSH-PX、CAT、MDA 含量的测定 照光 24 h 后 4 $^{\circ}$ C 下收集细胞培养上清液,严格按照酶生化试剂盒说明书测定 5 组细胞上清液中 SOD、GSH-PX、CAT、MDA 的含量。

1.2.6 ELISA 法检测 IL-1、IL-6 的表达 用胰酶消化上述处理过的细胞,PBS 清洗 2 遍,离心收集细胞,手持匀浆仪裂解细胞,1500 g 离心机离心 10 min,吸取上清液,按照人 IL-1、IL-6 酶联免疫吸附测定试剂

盒上的说明进行检测。每组单独重复 3 次。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 13.0 软件进行数据分析,GraphPad Prism9 软件绘制统计图,计量资料均以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,多组间比较采用单因素方差分析。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 倒置显微镜下 5 组 HSFs 细胞形态变化及台盼蓝染色情况 花青素中、高剂量组细胞形态接近于空白对照组,花青素低剂量组细胞形态接近于 UVB 辐射组。与空白对照组比较,UVB 辐射组 HSFs 细胞蓝染数量增加并出现大量漂浮的细胞碎片;与 UVB 辐射组比较,UVB+花青素低、中、高剂量组 HSFs 细胞蓝染数量下降且漂浮的细胞碎片减少,其中 UVB+花青素高剂量组蓝染数量 $<$ UVB+花青素中剂量组 $<$ UVB+花青素低剂量组。见图 1、2。



图 1 倒置显微镜下 5 组 HSFs 细胞变化(10 \times)

Figure 1 Changes of HSFs cells in each group under the inverted microscope

注:A.空白对照组;B. UVB 辐射组;C. UVB+花青素低剂量组;D. UVB+花青素中剂量组;E. UVB+花青素高剂量组。

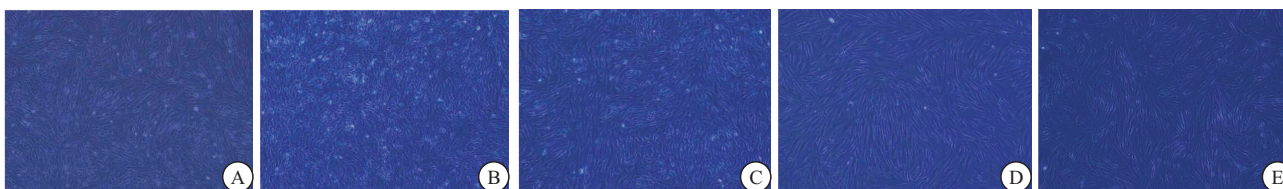


图 2 5 组 HSFs 细胞台盼蓝染色结果(10 \times)

Figure 2 Results of Trypan blue staining on HSFs cells of the five groups

注:A.空白对照组;B. UVB 辐射组;C. UVB+花青素低剂量组;D. UVB+花青素中剂量组;E. UVB+花青素高剂量组。

2.2 5 组 HSFs 细胞增殖活性比较 UVB 辐射组 HSFs 细胞的增殖活性较空白对照组低,差异有统计学意义($P < 0.05$);与 UVB 辐射组比较,花青素干预的 UVB+低、中、高剂量组细胞增殖活性高于 UVB 辐射组,差异有统计学意义($P < 0.05$);UVB+花青素高剂量组增殖活性明显高于 UVB+花青素中剂量组差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

2.3 5 组 MDA、SOD、GSH、CAT 水平比较 与空白对照组比较,UVB 辐射组 SOD 活性、GSH 含量、CAT 活性明显下降,MDA 含量明显上升,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。与 UVB 辐射组比较,UVB+花青素低、中、高剂量组上清液中 SOD、CAT 活力和 GSH-PX 含量显著升高,MDA 含量降低,差异具有统

表 1 MTT 法检测细胞增殖活性($\bar{x} \pm s$)

Table 1 MTT method to detect cell proliferation activity

组别	OD 值
空白对照组	0.67 \pm 0.02
UVB 辐射组	0.26 \pm 0.06 ^①
UVB+花青素低剂量组	0.38 \pm 0.04 ^②
UVB+花青素中剂量组	0.49 \pm 0.04 ^②
UVB+花青素高剂量组	0.60 \pm 0.06 ^③

注:UVB 组与空白对照组比较,① $P < 0.05$;与 UVB 辐射组比较,② $P < 0.05$;与花青素中剂量组比较,③ $P < 0.05$ 。

计学意义($P < 0.05$)。与 UVB+花青素中剂量组比较,UVB+高剂量组 SOD、CAT 活力和 GSH 含量较高,MDA 含量降低,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 各组 SOD 活力、GSH-PX 含量、CAT 活力、MDA 含量的比较($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 2 Comparison of SOD activity, GSH-PX content, CAT activity, MDA content in each group

组别	SOD(U/mgprot)	GSH-PX(mg/gprot)	CAT(U/mgprot)	MDA(mg/gprot)
空白对照组	29.48±1.49 ^②	32.78±1.02 ^②	24.88±0.77 ^②	15.88±1.70 ^②
UVB 辐射组	14.43±0.88 ^①	24.05±1.08 ^①	12.98±0.66 ^①	20.07±0.96 ^①
UVB+花青素低剂量组	18.90±1.50 ^②	26.87±0.76 ^②	16.04±0.25 ^②	18.06±0.61 ^②
UVB+花青素中剂量组	23.50±1.83 ^②	29.36±0.92 ^②	20.17±0.57 ^②	15.74±0.86 ^②
UVB+花青素高剂量组	27.39±0.79 ^{②③}	31.58±1.02 ^{②③}	22.62±1.08 ^{②③}	13.40±0.91 ^{②③}

注:与空白对照组比较,① $P<0.05$;与 UVB 辐射组比较,② $P<0.05$;与花青素中剂量组比较,③ $P<0.05$ 。

2.4 5 组 HSFs 细胞 IL-1、IL-6 表达水平比较 与空白对照组比较,UVB 辐射组 IL-1、IL-6 表达显著上升,差异具有统计学意义($P<0.05$);与 UVB 辐射组比较,UVB+花青素低、中、高剂量组细胞上清液中 IL-1、IL-6 的表达显著降低,差异具有统计学意义($P<0.05$);UVB+花青素低剂量组 IL-1、IL-6 的表达>UVB+花青素中剂量组>UVB+花青素高剂量组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 3。

表 3 5 组 HSFs 细胞 IL-1、IL-6 表达水平比较($\bar{x} \pm s, \text{pg/mL}$)

Table 3 Comparison of IL-1 and IL-6 expression levels in HSFs cells of the three groups

组别	IL-1	IL-6
空白对照组	3.94±1.35 ^②	116.32±6.81 ^②
UVB 辐射组	32.35±2.55 ^①	176.49±9.61 ^①
UVB+花青素低剂量组	14.69±0.63 ^{②③}	102.54±2.69 ^{②③}
UVB+花青素中剂量组	10.91±0.99 ^②	85.14±0.4 ^②
UVB+花青素高剂量组	6.51±1.43 ^{②③}	55.26±3.80 ^{②③}

注:与空白对照组比较,① $P<0.05$;与 UVB 辐射组比较,② $P<0.05$;与花青素中剂量组比较,③ $P<0.05$ 。

3 讨论

青海地处青藏高原,长期居住于高原地区的人群皮肤接受超过耐受量的紫外线照射,在光暴露部位皮肤变得粗糙、皮肤弹性变差、色素出现异常、皱纹变多,更严重者还可出现皮肤癌前病变以及皮肤癌[12]。皮肤老化的原因分为内源性与外源性,内源性的皮肤衰老受到基因的调控,是一个自然的过程,而外源性老化是由多种因素决定的,包括紫外线照射、重力、吸烟等,由紫外线引起的外源性皮肤老化称为光老化[13]。紫外线(ultraviolet, UV)辐射主要包括长波紫外线(ultraviolet A, UVA)、UVB 和短波紫外线(ultraviolet C, UVC)。UVB 是引起紫外线辐射导致皮肤光损伤的主要原因,能够造成 HSFs 细胞损伤[14-16]。成纤维细胞是皮肤真皮中的主要细胞成分,真皮衰老反应在细胞水平即主要表现为成纤维细胞的衰老[17]。HSFs 细胞与正常人表皮中成纤维细胞的形态及生物学特征相似。本研究通过 UVB 辐射 HSFs 细胞建立氧化损伤模型,模拟细胞的衰老状态。

正常细胞的氧化/抗氧化系统处于一个较为稳定

的平衡状态[9],抗氧化体系包括 SOD、CAT、GSH-PX 等,氧化体系包括 MDA、ROS 等。当这种平衡被打破时,机体即表现出氧化损伤[17-19]。本实验中,经过 UVB 照射后,UVB 辐射组细胞上清液中 SOD、CAT 活力值及 GSH 含量值明显下降,说明 UVB 照射破坏机体的酶防御系统,造成机体的损伤。给予柴达木黑果枸杞花青素处理后细胞上清液中 SOD、CAT 活力和 GSH 含量值与 UVB 辐射组相比有不同程度的升高,且高剂量柴达木黑果枸杞花青素组较中剂量组效果更明显。说明黑果枸杞花青素可不同程度地提高细胞抗氧化损伤的能力,增加体内抗氧化物质的活性和含量,延缓皮肤衰老。

既往研究证实,UVB 辐射皮肤成纤维细胞后,可通过促进炎症因子 IL-1、IL-6 的释放,参与局部炎症反应过程及免疫调节,从而造成细胞的炎性损伤[9-10,20-21]。MMP-1 可以降解 I 型和 III 型胶原纤维,而 I 型和 III 型胶原纤维是保持皮肤强度和弹性的主要构成部分。UVB 辐射引发细胞因子 IL-1 和 IL-6 的网络组成,通过相互关联的分泌循环诱导胶原酶/MMP-1。IL-6 通过自分泌机制诱导 MMPs。IL-1 可以激活成纤维细胞表皮生长因子受体,通过诱导 ERK 途径发生磷酸化,使成纤维细胞增加对 MMP-1 的表达,从而加速胶原纤维的降解,促进光老化的发生[22-23]。本实验中经 UVB 辐射的 HSFs 细胞上清液中 IL-1、IL-6 的表达较空白对照组升高。提示 UVB 辐射可造成 HSFs 细胞的炎性损伤。UVB+花青素低、中、高剂量组较 UVB 辐射组 IL-1、IL-6 的表达降低,且 UVB+花青素低剂量组 IL-1、IL-6 的表达>UVB+花青素中剂量组>UVB+花青素高剂量组,提示低、中、高剂量柴达木黑果枸杞花青素均能够减轻 HSFs 细胞的炎性损伤,并在一定的浓度范围内呈剂量依赖关系。综上说明柴达木黑果枸杞花青素可有效抑制光照后的皮肤炎症及免疫反应,从而减轻细胞的炎性损伤。

由于本实验仅进行了细胞层面的研究,未行动物及人体实验,故柴达木黑果枸杞花青素在人体内的具体吸收量有待进一步研究。

4 结论

柴达木黑果枸杞花青素可以提高 UVB 辐射后 HSFs 细胞的抗氧化应激能力、减轻细胞的炎性损伤, 这为柴达木黑果枸杞花青素对 UVB 损伤的光保护作用机制研究提供了理论基础。

【参考文献】

- [1] 李钦俊, 谭亮, 杲秀珍, 等. 柴达木野生黑果枸杞营养成分分析与比较[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 273-281, 288.
- [2] 艾则孜江·艾尔肯, 藤亮, 刘梦, 等. 黑果枸杞的花青素成分和药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志, 2021, 36(1): 170-173.
- [3] 王琪, 唐惠儒. 黑果枸杞和宁夏枸杞果实中多酚类物质组成的差异研究[J]. 上海交通大学学报: 医学版, 2019, 39(1): 39-46.
- [4] ALAM MA, ISLAM P, SUBHANN, *et al.* Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders[J]. *Phytochem Rev*, 2021(20): 705-749.
- [5] CONCEPCION P, MARTA M, YOLANDA G, *et al.* Fernblock (poly-podiumleucotomos extract): molecular mechanisms and pleiotropic effects in light-related skin conditions, photoaging and skin cancers, a review[J]. *Int J Mol Sc*, 2016, (7): 1026.
- [6] 侯锐, 陈琦. 花青素及其生物活性的研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(28): 5590-5593.
- [7] 王梦杰, 李玉林, 刘嘉华, 等. 青藏高原黑果枸杞花青素对人肝癌细胞增殖和自噬的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(1): 79-88.
- [8] 扬州大学. 黑果枸杞花青素在制备用于诱导两种癌细胞凋亡的药物中的应用[P]. CN201910721464. 4. 2019-10-25.
- [9] 任立余. 柴达木黑果枸杞多糖对 UVB 诱导 HaCaT 细胞的光损伤的保护作用[D]. 西宁: 青海大学, 2017.
- [10] 张琛, 杨亚, 加杨娥, 等. 枸杞多糖对 UVB 辐射后角质形成细胞炎症因子表达的影响[J]. 中国医药导报, 2017, 14, (19): 20-23.
- [11] 李婧, 杨芳, 栾广祥, 等. 黑果枸杞的花青素类成分及其药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2022, 37(3): 331-336.
- [12] 邓映, 钟建桥. 皮肤光损伤与氧化应激研究进展[J]. 临床皮肤科杂志, 2017, 46(9): 671-673.
- [13] 朱姗, 赵志月, 王子静, 等. 皮肤老化分子机制及中药防治皮肤老化研究进展[J]. 天津中医药大学学报, 2021, 40(4): 431-439.
- [14] KIM S H, YUM H-W, KIM S H, *et al.* Topically Applied Taurine Chloramine Protects against UVB-Induced Oxidative Stress and Inflammation in Mouse Skin [J]. *Antioxidants*, 2021, 10(6): 867.
- [15] 吴斯敏, 杨慧龄. 紫外线引起皮肤光老化机制及防治的研究进展[J]. 医学综述, 2018, 14(2): 341-346.
- [16] 陈高敏, 王璐, 杜沛, 等. 麦冬多糖对 UVB 损伤 HSFs 的保护作用[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(32): 5183-5188.
- [17] GROMKOWSKA-K PKA K J, PUŚCION-JAKUBIK A, MARKIEWICZ-ŻUKOWSKA R, *et al.* The impact of ultraviolet radiation on skin photoaging-review of in vitro studies [J]. *J Cosmet Dermatol*, 2021, 20(11): 3427-3431.
- [18] BANG E, KIM D H, CHUNG H Y. Protease-activated receptor 2 induces ROS-mediated inflammation through Akt-mediated NF-kappaB and FoxO6 modulation during skin photoaging [J]. *Redox Biol*, 2021, 44: 102022.
- [19] HAN X, PIAO M J, KIM K C, *et al.* Isorhamnetin Protects Human Keratinocytes against Ultraviolet B-Induced Cell Damage [J]. *Biomol Ther (Seoul)*, 2015, 23(4): 357-366.
- [20] 罗文倩, 黄国猛, 张谦华, 等. 极地雪藻提取物对皮肤 UVB 损伤的修复作用研究[J]. 日用化学工业, 2019, 49(7): 441-445, 463.
- [21] GAO X, LUO F, ZHAO H. Cloves Regulate Na⁺-K⁺-ATPase to Exert Antioxidant Effect and Inhibit UVB Light-Induced Skin Damage in Mice [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2021, 2021: 5197919.
- [22] 吴斯敏, 杨慧龄. 紫外线引起皮肤光老化机制及防治的研究进展[J]. 医学综述, 2018, 24(2): 341-346.
- [23] 惠海英, 吴娜, 孙晶莹, 等. 双氢青蒿素对 UVB 照射小鼠皮肤损伤的光保护作用[J]. 中国皮肤性病学杂志, 2017, 31(10): 1061-1061, 1084.

(收稿日期: 2022-05-18; 修回日期: 2023-01-29; 编辑: 黎仕娟)