

利安隆是一家全球领先的生物化学平台型公司，公司秉承以创新驱动发展的经营理念，通过全球化布局实现生产与运营的高效协同，聚焦化学和生物领域前瞻、高效、成熟的新技术，为客户提供高品质的产品和服务，做细分行业的领导者。

为实现百年利安隆品牌的愿景，公司规划布局了第一生命曲线——高分子材料抗老化业务、第二生命曲线——润滑油添加剂业务、第三生命曲线——生命科学业务，基于三条业务曲线扎实的基本盘，公司持续扩展新业务的管理能力、实体经济运营能力和全球营销能力，我们又拓展布局了新兴业务——聚酰亚胺 (PI) 等新材料领域，持续推动公司高质量发展。

利安隆坚持以“客户至上、奋斗为本，创新驱动、追求卓越，简单高效、开放包容”的核心价值观，践行“用化学和生物创造多彩生活”的企业使命，力争成为客户信赖、员工自豪、社会尊重、可持续发展的世界一流企业。



天津汉沽基地 TIANJIN HANGU



宁夏中卫基地 NINGXIA ZHONGWEI



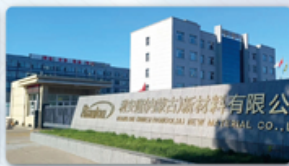
浙江常山基地 ZHEJIANG CHANGSHAN



河北衡水基地 HEBEI HENGSHUI



广东珠海基地 GUANGDONG ZHUHAI



内蒙古赤峰基地 NEIMENGGU CHIFENG



辽宁锦州基地 LIAONING JINZHOU

全球认证



全球客户

通过近三十年的积累和发展，公司客户遍及全球，几乎涵盖所有高分子材料及各个应用领域全球著名的高分子材料公司。



全球化工50强



TFS 57家



全球涂料10强

天津利安隆新材料股份有限公司

地址:天津华苑产业区开华道20号智慧山西塔20层 邮编:300384

电话:022-83718769

邮箱:market@rianlon.com

公司网址:www.rianlon.com



医药与日化原料

3 种植物精油对 UVA 诱导的人皮肤成纤维细胞损伤的修复作用

刘一丹¹, 王文翠^{1,2}, 李玉红^{1,2}, 魏国栋³, 刘焕燕³, 马莉^{1,2*}

[1. 上海交通大学 设计学院 风景园林系, 上海 200240; 2. 上海交通大学 设计学院 芳香植物研发中心, 上海 200240; 3. 多特瑞(上海)生物科技有限公司, 上海 200240]

摘要: 采用气质联用仪检测了永久花精油、古巴香脂精油和依兰依兰精油的主要成分, 通过 CCK-8 法测定其作用于人皮肤成纤维细胞(HSF)的安全质量浓度, 基于 UVA 诱导的 HSF 损伤模型, 从细胞氧化应激反应、蛋白损伤和炎症反应三方面考察了 3 种精油对损伤细胞的修复作用。结果表明, 永久花精油、古巴香脂精油、依兰依兰精油分别检测出 54、32、46 种成分, 主要为烯烃类化合物, 其作用于 HSF 的最高安全质量浓度分别为 400、175 和 300 mg/L。3 种精油均可以降低 HSF 中丙二醛的浓度, 在照射前加入低质量浓度(0.1 mg/L)的依兰依兰精油的作用效果最佳, 抑制率可达 20.15%; 3 种精油均可以提高 HSF 中超氧化物歧化酶(SOD)的质量浓度, 在照射后加入低质量浓度(0.1 mg/L)古巴香脂精油的促进率高达 118.09%; 3 种精油均可以提高 HSF 中 I 型胶原蛋白(COL-I)的质量浓度, 在照射前加入低质量(1 mg/L)永久花精油的促进率高达 137.10%; 3 种精油均可以降低 HSF 中基质金属蛋白酶-1(MMP-1)、前列腺素(PGE2)、白细胞介素-1(IL-1)的质量浓度, 在照射后加入低质量浓度精油效果最佳, 其中, 质量浓度 0.1 mg/L 的依兰依兰精油和古巴香脂精油对 MMP-1 和 PGE2 的抑制率分别高达 50.67% 和 57.60%, 质量浓度 1 mg/L 的永久花精油对 IL-1 抑制率高达 39.97%。

关键词: 永久花精油; 古巴香脂精油; 依兰依兰精油; 紫外线 A; 人皮肤成纤维细胞; 氧化应激; 日化原料
中图分类号: TQ658; O657.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5214(2025)08-1787-10

Repair effects of three plant essential oils on UVA-induced human skin fibroblasts damage

LIU Yidan¹, WANG Wencui^{1,2}, LI Yuhong^{1,2}, WEI Guodong³, LIU Huanyan³, MA Li^{1,2*}

[1. Department of Landscape Architecture, School of Design, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Aroma Plant Research Center, School of Design, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3. Duoterui (Shanghai) Biotechnology Co., Ltd., Shanghai 200240, China]

Abstract: *Helichrysum bracteatum* essential oil, *Copaifera officinalis* essential oil and *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil were tested via gas chromatograph-mass spectrometer for their chemical composition, evaluated CCK-8 method for their safe mass concentration on human skin fibroblasts (HSF), and analyzed from the aspects of cellular oxidative stress response, protein damage as well as inflammatory response for their effects on UVA-induced cell damage based on UVA-induced HSF damage model. The results showed that 54, 32 and 46 chemical components were detected in *Helichrysum bracteatum* essential oil, *Copaifera officinalis* essential oil and *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil, respectively, mainly olefin compounds, and the corresponding maximum safe mass concentrations were 400, 175 and 300 mg/L. All the three essential oils reduced the concentration of malonaldehyde in HSF, and the addition of *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil in low mass concentration (0.1 mg/L) before irradiation exhibited the best effect, with an inhibitory rate of 20.15%. All the three essential oils increased the content of superoxide dismutase in HSF, and the addition of low mass concentration essential oils after

收稿日期: 2024-08-02; 定用日期: 2024-09-05; DOI: 10.13550/j.jxhg.20240616

作者简介: 刘一丹(2000—), 女, 硕士生, E-mail: 2252663266@qq.com。联系人: 马莉(1984—), 女, 副教授, E-mail: malimali2006@sjtu.edu.cn。

irradiation displayed the best effect, in which the promotion rate of *Copaifera officinalis* essential oil with 0.1 mg/L mass concentration on SOD reached upto 118.09%. All the three essential oils could increase the mass concentration of type I collagen (COL- I) in HSF, and the promotion rate of adding low mass concentration (1 mg/L) *Helichrysum bracteatum* essential oil before irradiation was as high as 137.10%. All the three essential oils could reduce the mass concentration of matrix metalloproteinase-1 (MMP-1), prostaglandin (PGE2) and interleukin-1 (IL-1) in HSF, while the addition of low mass concentration essential oils after irradiation showed the best effect. The inhibition rates of MMP-1 and PGE2 of *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil and *Copaifera officinalis* essential oil at 0.1 mg/L mass concentration were as high as 50.67% and 57.60%, respectively, and the inhibition rate of IL-1 of *Helichrysum bracteatum* essential oil at 1 mg/L mass concentration was as high as 39.97%.

Key words: *Helichrysum bracteatum* essential oil; *Copaifera officinalis* essential oil; *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil; ultraviolet A; human skin fibroblasts; oxidative stress; cosmetic materials

太阳紫外线对人体皮肤屏障可造成多种损伤^[1-3]。虽然大气中的臭氧层可吸收大部分紫外线, 但仍有约 0.1% 的 UVB 和 5% 的 UVA 会到达地表^[4]。UVB 虽然能对人皮肤表皮层造成一定危害, 但其可以被玻璃阻挡; 而占每日总紫外线照射量 80% 以上的 UVA 可穿透大部分玻璃和塑料进入室内, 并穿透人皮肤表层, 导致真皮层受损^[5], 所以, UVA 是紫外线造成人皮肤屏障受损的元凶。人们应对紫外线的手段多为涂抹防晒霜, 此举既对皮肤有一定刺激性, 又无法从细胞机制根源上消解紫外线造成的皮肤损伤^[6]。因此, 抵御紫外线不应只简单防晒, 更应考虑晒前预防和晒后修复损伤的问题。

人们一般使用含光损伤修复成分的护肤品进行紫外线损伤预防和修复^[7-9]。近年来, 人们对护肤产品天然元素的崇尚与日俱增。在天然植物成分中, 大分子物质难被皮肤吸收, 而作为植物抵御逆境的次生代谢产物, 植物精油中的挥发性小分子物质具有脂溶性, 易被皮肤吸收。研究表明, 艾纳香、木兰、山姜和松红梅的精油均可以抑制皮肤光老化^[10-12], 且这些植物都分布在热带, 说明在紫外线逆境下的高山或热带植物精油可能具有修复皮肤紫外线损伤的潜力。永久花 (*Helichrysum bracteatum*)、古巴香脂 (*Copaifera officinalis* L.) 以及依兰依兰 (*Cananga odorata* Hook. F. & Thomson) 都为热带典型的香料植物。研究表明, 永久花精油和依兰依兰精油具有自由基清除活性^[13-14], 古巴香脂精油具有抗氧化和抗炎作用^[15]。由于皮肤细胞 UVA 损伤的主要机制是氧化应激反应, 因此, 上述 3 种精油的特性暗示其可能具有修复皮肤 UVA 损伤的潜力。但目前这些精油对 UVA 损伤修复的作用尚无相关研究, 其作用机制更不明确。

本文拟通过气质联用仪检测、CCK-8 法、UVA 诱导细胞损伤以及酶联免疫吸附实验等方法, 从细

胞氧化应激反应、蛋白损伤和炎症反应几方面考察精油对抗 UVA 损伤的作用。以期为现有晒后修复领域提供技术支持, 也为缓解全球气候变化下紫外线导致的皮肤安全问题提供一定思路。

1 实验部分

1.1 材料、试剂与仪器

人皮肤成纤维细胞 (HSF), 上海宾德生物科技有限公司; 古巴香脂精油、永久花精油、依兰依兰精油, 美国多特瑞公司; 超氧化物歧化酶 (SOD) Elisa 试剂盒、丙二醛 (MDA) Elisa 试剂盒、I 型胶原蛋白 (COL- I) Elisa 试剂盒、基质金属蛋白酶-1 (MMP-1) Elisa 试剂盒、白细胞介素-1 (IL-1) Elisa 试剂盒、前列腺素 (PGE2) Elisa 试剂盒, 江苏艾迪生生物科技有限公司。

CCK-8 试剂 (C8022)、无水乙醇、正己烷, 分析纯, 上海泰坦科技股份有限公司; 胎牛血清 (FBS)、DMEM/F12, 美国 Gibco 公司; 双抗-青霉素+链霉素混合液、磷酸盐缓冲液 (PBS), 上海源叶生物科技有限公司; 胰蛋白酶-EDTA 酶消化液 (质量分数 0.25%), 北京索莱宝科技有限公司; 氦气 (体积分数 99.999%), 上海浩气气体有限公司。

7890GC-5977MS 型气质联用仪 (GC-MS), 美国 Agilent 公司; UVA-340 型紫外辐照灯, 美国 Q-Lab 公司; BM-37XB 型光学显微镜, 上海光学仪器一厂; WCI-180 型 CO₂ 培养箱, 维根技术 (北京) 有限公司; Multiskan FC 型酶标仪, 赛默飞世尔 (上海) 仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 细胞培养

HSF 细胞使用完全培养基 (DMEM/F12 含体积分数 15% 的 FBS 和体积分数 5% 的双抗-青霉素+链霉素混合液), 在 37 °C、体积分数 5% 的 CO₂ 培养

箱中培养。细胞含量达 80%~90%时,用胰蛋白酶-EDTA 酶消化液消化传代,取 3~8 代进行实验。

1.2.2 UVA 诱导的细胞损伤模型建立

取对数生长期 HSF 细胞,以 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL、100 μL /孔接种于 96 孔培养板,细胞正常培养 24 h 后,用 PBS 替换培养基。将样品分为模型组和 CK 组,模型组用 UVA 灯照射,照射剂量为 $10 \text{ J}/\text{cm}^2$,CK 组不予以照射,每组 5 个复孔。照射完成后,用培养基替换 PBS,细胞正常培养 24 h 后,用 CCK-8 法,在 450 nm 处测定样品吸光度 (OD)。

1.3 表征和测试

1.3.1 精油成分测试

将 10 μL 精油加入到 495 μL 正己烷和 495 μL 无水乙醇中进行稀释,制成待测试剂。GC 测试条件:色谱柱为 DB-WAX (30 m \times 250 μm \times 0.25 μm),载气为氦气(体积分数 99.999%);柱程序升温,从 65 $^\circ\text{C}$ 以 2 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 120 $^\circ\text{C}$,以 1 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 136.5 $^\circ\text{C}$,再以 0.5 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 145 $^\circ\text{C}$,最后以 2 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^\circ\text{C}$,保持 2 min;进样口 230 $^\circ\text{C}$,载气流速 1.1 mL/min,进样量 1 μL ;分流比 100:1。MS 测试条件:EI 离子源,230 $^\circ\text{C}$,监测模式为全扫描,扫描范围 50~800 amu,通过将化合物质谱图与 NIST 谱库对比定性,利用不加校正因子的峰面积归一法计算各组分相对含量。

1.3.2 安全含量测定

取对数生长期 HSF 细胞以 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL、50 μL /孔接种于 96 孔培养板,每孔加入 50 μL 含有不同质量浓度精油的培养基。在预实验基础上,设置精油质量浓度梯度,其中永久花精油为 0.05、0.10、1、10、50、100、200、300、400、500 mg/L;古巴香脂精油为 0.05、0.10、1、10、50、100、125、150、175、200、500 mg/L;依兰依兰精油为 0.05、0.10、1、10、50、100、200、300、400、500 mg/L;并设置 CK 组(不添加精油),每组 5 个复孔。细胞正常培养 24 h 后,用 CCK-8 法,在 450 nm 处测定样品的 OD。按照式(1)计算细胞存活率:

$$\text{细胞存活率}/\% = \text{OD}_1 / \text{OD}_0 \times 100 \quad (1)$$

式中:OD₁和 OD₀分别为实验组和 CK 组的 OD。

精油细胞毒性依据细胞毒性分级表判定,如表 1 所示^[16]。

表 1 细胞毒性分级
Table 1 Cytotoxicity scale

级别	细胞存活率/%
0	≥ 100
1	80~99
2	50~79
3	30~49
4	0~29

1.3.3 精油作用测试

将实验组分为照射前加入精油组、照射后加入精油组、CK 组和模型组(CK 组和模型组的给药和处理参照 1.2.2 节)。在安全质量浓度下,每种精油设置低、中、高质量浓度梯度,每组 5 个复孔。

取对数生长期 HSF 细胞以 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL、50 μL /孔接种于 96 孔培养板,每孔加入 50 μL 培养基(其中,照射前加精油组加入含精油的培养基),细胞正常培养 24 h 后,用 PBS 替换培养基(其中,照射前加精油组加入含精油的 PBS),用 UVA 灯照射,照射剂量为 $10 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。照射完成后,用培养基替换 PBS(其中,照射后加精油组加入含精油的培养基),细胞正常培养 24 h 后,用 Elisa 试剂盒检测细胞上清液中丙二醛(MDA)的浓度,以及超氧化物歧化酶(SOD)、I 型胶原蛋白(COL-I)、基质金属蛋白酶-1(MMP-1)、前列腺素(PGE2)和白细胞介素-1(IL-1)的质量浓度,用 CCK-8 法,在 450 nm 处测定样品的 OD。

1.4 数据处理

所有实验均平行进行数次($n=3$ 或 4),结果取“算数平均值 \pm 标准差(SD)”。采用 Excel 整理实验数据,使用 IBM SPSS Statistics 26 进行数据分析,使用 Origin 2021 作图。

2 结果与讨论

2.1 精油成分分析

图 1 为永久花精油总离子流图,其主要成分见表 2。

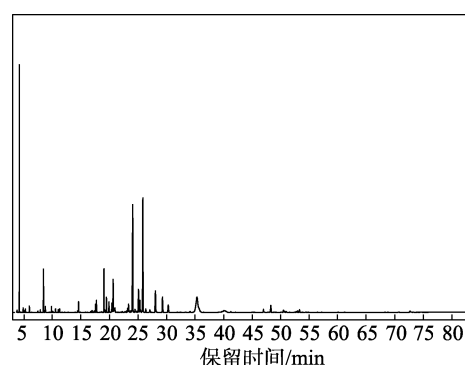


图 1 永久花精油总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatography of *Helichrysum bracteatum* essential oil

从图 1 可以看出,永久花精油共鉴定出 54 种化合物,总质量分数为 93.67%。表 2 仅统计质量分数 $>0.1\%$ 的成分,下同。由表 2 可知,其成分主要有烯烃类化合物(质量分数为 53.76%)、酯类化合物(质量分数为 18.39%)、酮类化合物(质量分数为 12.55%)和醇类化合物(质量分数为 6.27%)等。其

中, 乙酸橙花酯、 α -蒎烯、 γ -姜黄烯和 4,6,9-三甲基-8-癸烯-3,5-二酮是最主要的化合物 (总质量分数为 57.03%)。 α -蒎烯和柠檬烯已被证明对胶原酶和弹性蛋白酶有抑制活性^[17]。

表 2 永久花精油主要成分
Table 2 Main components of *Helichrysum bracteatum* essential oil

序号	保留时间/s	化合物名称	CAS 号	质量分数/%
1	25.853	乙酸橙花酯	000141-12-8	17.33
2	4.201	α -蒎烯	000080-56-8	15.96
3	24.085	γ -姜黄烯	000451-55-8	14.36
4	35.355	4,6,9-三甲基-8-癸烯-3,5-二酮	013851-06-4	9.38
5	19.055	(1 <i>R</i> ,3 <i>aS</i> ,4 <i>aS</i> ,8 <i>aS</i>)-1,4,4,6-四甲基-1,2,3,3 <i>a</i> ,4,4 <i>a</i> ,7,8-八氢环戊[1,4]环丁[1,2]苯	094535-52-1	3.65
6	28.051	α -姜黄烯	000644-30-4	3.44
7	25.066	β -蒎烯	017066-67-0	3.04
8	8.415	柠檬烯	000138-86-3	3.02
9	20.641	反式-石竹烯	000087-44-5	2.96
10	25.303	α -蒎烯	000473-13-2	1.63
11	40.052	3,5,7,10-四甲基-9-十一碳烯-4,6-二酮	013851-08-6	1.50
12	35.514	2,4,6,9-四甲基-8-癸烯-3,5-二酮	013851-07-5	1.34
13	30.286	橙花醇	000106-25-2	1.27
14	19.434	芳樟醇	000078-70-6	1.15
15	48.273	2-萜烯醇,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,7,8-八氢- $\alpha,\alpha,4a,8$ -四甲基-[2 <i>R</i> -(2 <i>a</i> ,4 <i>a</i> β ,8 <i>\beta</i>)]	063891-61-2	1.12
16	23.352	4 <i>a</i> ,8-二甲基-2-(丙-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,7-八氢萘	103827-22-1	1.08
17	17.723	(1 <i>R</i> ,3 <i>aR</i> ,4 <i>aR</i> ,8 <i>aR</i>)-1,4,4,6-四甲基-1,2,3,3 <i>a</i> ,4,4 <i>a</i> ,7,8-八氢环戊[1,4]环丁[1,2]苯	094482-89-0	1.04
18	19.904	α -佛手甘油烯	017699-05-7	0.85
19	14.581	当归酸-2-甲基丁酯	061692-77-1	0.80
20	20.396	反式- α -佛手甘油烯	013474-59-4	0.77
21	17.541	α -可巴烯	1000360-33-0	0.69
22	20.955	4-松油烯醇	000562-74-3	0.51
23	27.092	(+)- δ -葑澄茄烯	000483-76-1	0.47
24	8.743	桉叶油醇	000470-82-6	0.44
25	26.358	β -姜黄烯	028976-67-2	0.43
26	5.942	β -蒎烯	000127-91-3	0.43
27	53.312	β -桉叶醇	000473-15-4	0.43
28	9.839	γ -松油烯	000099-85-4	0.42
29	46.977	愈创木醇	000489-86-1	0.42
30	24.479	α -松油醇	000098-55-5	0.33
31	4.852	葑烯	000471-84-1	0.29
32	10.567	对伞花烃	000099-87-6	0.26
33	11.242	当归酸异丁酯	007779-81-9	0.26
34	10.995	萜品油烯	000586-62-9	0.25
35	52.983	α -桉叶醇	000473-16-5	0.24
36	23.877	γ -衣兰油烯	030021-74-0	0.22
37	5.242	4-甲基-3-己酮	017042-16-9	0.20
38	7.860	α -松油烯	000099-86-5	0.19
39	5.017	茨烯	000079-92-5	0.16
40	50.690	γ -桉叶醇	001209-71-8	0.15
41	23.024	α -律草烯	006753-98-6	0.14
42	14.404	2-壬酮	000821-55-6	0.13
43	25.428	α -衣兰油烯	031983-22-9	0.13
44	50.109	β -没药醇	015352-77-9	0.11
45	52.750	布藜醇	022451-73-6	0.10

图 2 为古巴香脂精油总离子流图, 其主要成分见表 3。

从图 2 和表 3 可以看出, 古巴香脂精油鉴定出 32 种化合物, 总质量分数为 94.77%, 其成分主要有烯烴类化合物 (质量分数为 92.94%) 和醇类化合物 (质量分数为 0.69%) 等。古巴香脂精油的主要成分为倍半萜烯, 其中, β -石竹烯是最主要的化合物 (质量分数为 55.33%), 其次是 α -律草烯 (质量分数为 8.98%) 以及反式- α -佛手甘油烯 (质量分数为 8.56%)。其中, β -石竹烯已被证明有抗真菌及抗氧化特性^[18]。

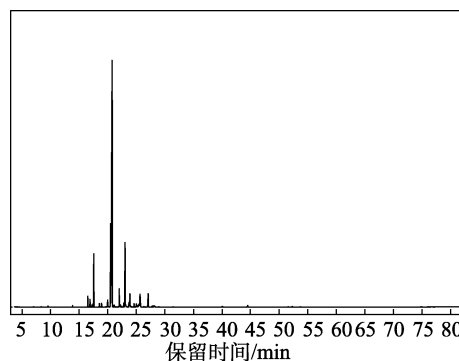


图 2 古巴香脂精油总离子流图
Fig. 2 Total ion chromatography of *Copaifera officinalis* L. essential oil

表 3 古巴香脂精油主要成分

Table 3 Main components of *Copaifera officinalis* L. essential oil

序号	保留时间/s	化合物名称	CAS 号	质量分数/%
1	20.776	β -石竹烯	000087-44-5	55.33
2	23.063	α -律草烯	006753-98-6	8.98
3	20.487	反式- α -佛手甘油烯	013474-59-4	8.56
4	17.558	α -可巴烯	1000360-33-0	5.78
5	25.670	β -没药烯	000495-61-4	3.03
6	27.077	(+)- δ -葑澄茄烯	000483-76-1	2.65
7	22.049	γ -榄香烯	029873-99-2	2.23
8	23.875	γ -衣兰油烯	030021-74-0	1.92
9	16.528	(-)- α -葑澄茄油烯	017699-14-8	1.18
10	16.907	δ -榄香烯	020307-84-0	0.78
11	24.628	右旋大根香叶烯	023986-74-5	0.57
12	25.449	α -衣兰油烯	031983-22-9	0.51
13	44.484	石竹醇	913176-41-7	0.37
14	27.802	β -倍半水芹烯	020307-83-9	0.28
15	22.209	香树烯	025246-27-9	0.27
16	25.280	α -瑟林烯	000473-13-2	0.25
17	28.178	反式- α -没药烯	025532-79-0	0.22
18	28.022	α -姜黄烯	000644-30-4	0.21
19	17.269	依兰烯	014912-44-8	0.19
20	40.049	石竹素	001139-30-6	0.18
21	23.172	反式- β -金合欢烯	018794-84-8	0.18
22	20.987	(+)-香橙烯	000489-39-4	0.18
23	52.279	δ -葑澄茄醇	019435-97-3	0.14
24	13.863	新别罗勒烯	007216-56-0	0.13
25	24.122	(+)-喇叭烯	021747-46-6	0.10
26	26.328	β -姜黄烯	028976-67-2	0.10
27	28.302	1,4-葑澄茄二烯	016728-99-7	0.10

图 3 为依兰依兰精油总离子流图, 其主要成分见表 4。

从图 3 和表 4 可以看出, 依兰依兰精油鉴定出 46 种化合物, 总质量分数为 92.15%。其成分主要有烯烴类化合物 (质量分数为 55.36%)、酯类化合物 (质量分数为 20.18%)、醇类化合物 (质量分数为 12.71%) 和醚类化合物 (质量分数为 2.22%) 等。其中, 右旋大根香叶烯、 β -石竹烯、 α -金合欢烯和苯甲酸苄酯是最主要的化合物 (总质量分数为 49.85%)。其中, β -石竹烯已被证明有抗自由基和抗氧化特性^[19]。

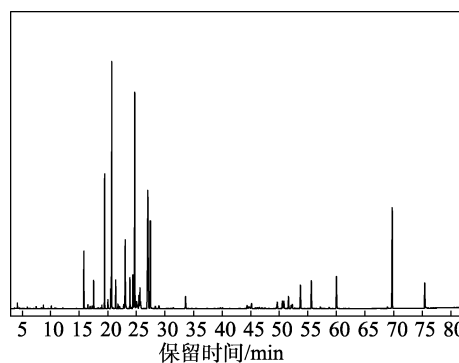


图 3 依兰依兰精油总离子流图
Fig. 3 Total ion chromatography of *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil

表 4 依兰依兰精油主要成分
Table 4 Main components of *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil

序号	保留时间/s	化合物名称	CAS 号	质量分数/%
1	24.726	右旋大根香叶烯	023986-74-5	18.43
2	20.690	β -石竹烯	000087-44-5	13.37
3	26.998	α -金合欢烯	000502-61-4	10.00
4	69.746	苯甲酸苄酯	000120-51-4	8.05
5	27.444	乙酸香叶酯	000105-87-3	6.71
6	19.444	芳樟醇	000078-70-6	5.17
7	23.044	α -律草烯	006753-98-6	4.19
8	27.100	(+)- δ -葑澄茄烯	000483-76-1	3.30
9	60.006	金合欢醇	004602-84-0	2.29
10	15.819	对甲苯甲醚	000104-93-8	2.22
11	23.886	γ -衣兰油烯	030021-74-0	2.02
12	75.470	水杨酸苄酯	000118-58-1	2.00
13	53.690	α -葑澄茄醇	000481-34-5	1.79
14	25.629	乙酸苄酯	000140-11-4	1.50
15	21.364	苯甲酸甲酯	000093-58-3	1.32
16	17.543	α -可巴烯	1000360-33-0	1.23
17	33.602	香叶醇	000106-24-1	1.06
18	25.458	α -衣兰油烯	031983-22-9	0.91
19	51.595	τ -衣兰油醇	019912-62-0	0.91
20	50.792	τ -葑澄茄醇	005937-11-1	0.56
21	50.530	丁香酚	000097-53-0	0.55
22	45.149	(1S,4S,4aS,8aR)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,3,4,5,6,8a-六氢萘-4a(2H)-醇	073365-77-2	0.51
23	49.662	乙酸肉桂酯	000103-54-8	0.50
24	25.754	双环大根香叶烯	024703-35-3	0.47
25	52.273	δ -葑澄茄醇	019435-97-3	0.34
26	22.772	1(6),4-葑澄茄二烯	016729-00-3	0.33
27	44.366	桉醇	000472-07-1	0.27
28	28.957	α -葑澄茄烯	024406-05-1	0.22
29	21.757	3,5-葑澄茄二烯	267665-20-3	0.22
30	28.327	1,4-葑澄茄二烯	016728-99-7	0.19
31	16.525	(-)- α -葑澄茄油烯	017699-14-8	0.19
32	44.691	表葑澄茄油烯醇	019912-67-5	0.18
33	4.185	α -蒎烯	000080-56-8	0.15
34	17.270	依兰烯	014912-44-8	0.14
35	8.741	桉叶油醇	000470-82-6	0.14
36	68.939	苯甲酸香叶酯	000094-48-4	0.10

2.2 3 种精油成分比较

图 4 为 3 种精油化学成分比较。

从图 4 可以看出，3 种精油主要成分都是烯烃类化合物。如前所述，一些烯烃类化合物具有抗氧化作用，所以可以推测这 3 种精油具有一定预防和修复 UVA 损伤的潜力。但 3 种精油成分差异较大，永久花精油含有部分酮类化合物，而依兰依兰精油含有部分醚类化合物，表明 3 种精油的作用效果和机制可能不同。

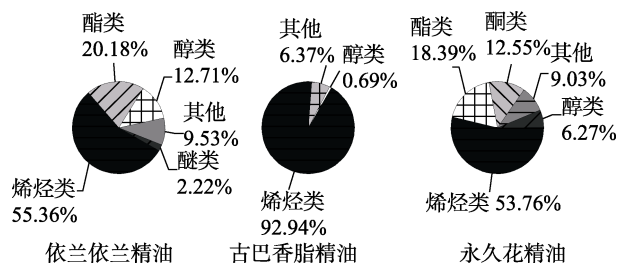
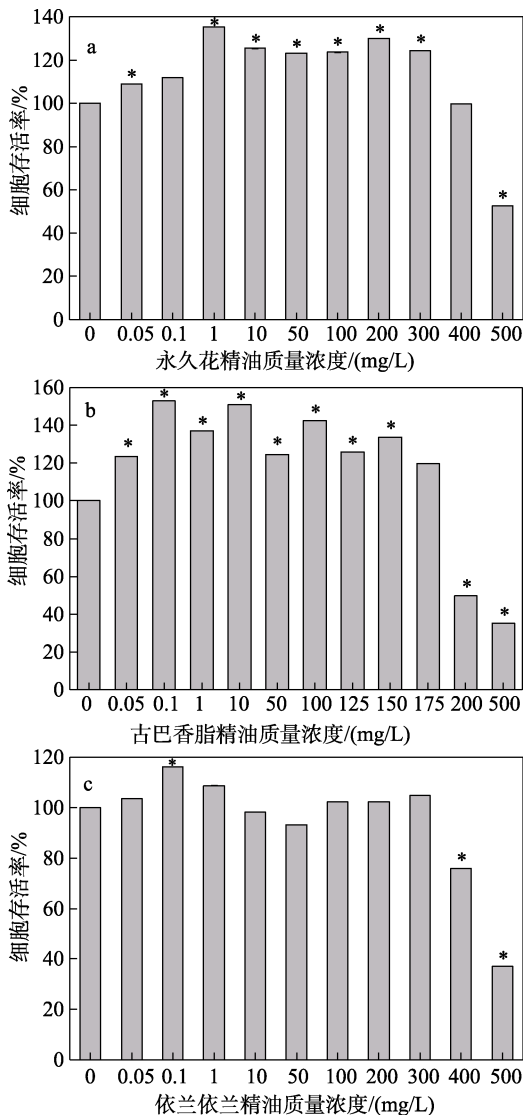


图 4 3 种精油化学成分比较
Fig. 4 Comparison of chemical composition of three essential oils

2.3 精油安全含量测定结果

图 5 为 3 种精油含量对细胞活性的影响。



“*”代表与 CK 组有显著性差异 ($P < 0.05$), 重复性 $n=3$, 下同
图 5 永久花精油 (a)、古巴香脂精油 (b) 和依兰依兰精油 (c) 质量浓度对细胞活性的影响

Fig. 5 Effects of *Helichrysum bracteatum* essential oil (a), *Copaifera officinalis* L. essential oil (b) and *Cananga odorata* Hook. F. & Thomson essential oil (c) mass concentration on cell activity

从图 5 可以看出, 对于永久花精油, 当其质量浓度 < 400 mg/L 时, 均可促进细胞活性, 细胞毒性评级为 0; 质量浓度为 500 mg/L 时, 细胞存活率为 52.63%, 细胞毒性评级为 2, 毒性较强, 所以永久花精油的安全质量浓度可以设置为 < 400 mg/L。对于古巴香脂精油, 当其质量浓度 < 175 mg/L 时, 可显著增强细胞活性, 细胞毒性评级为 0; 质量浓度为 200 mg/L 时, 细胞存活率为 49.73%, 细胞毒性评级达到 3, 细胞毒性较强, 所以古巴香脂精油的安全质量浓度可设置为 < 175 mg/L。对于依兰依兰精油,

当其质量浓度 < 300 mg/L 时, 细胞毒性评级在 0~1 之间; 质量浓度为 400 mg/L 时, 细胞存活率为 75.78%, 细胞毒性评级为 2, 毒性较高, 所以依兰依兰精油的安全质量浓度可设置为 < 300 mg/L。

后续实验中, 永久花精油低、中、高质量浓度分别设置为 1、100、400 mg/L; 古巴香脂精油低、中、高质量浓度分别设置为 0.1、100、175 mg/L; 依兰依兰精油低、中、高质量浓度分别设置为 0.1、100、300 mg/L。

2.4 UVA 对细胞活性的影响

表 5 为 UVA 照射对细胞活性的影响。

表 5 UVA 照射对细胞活性的影响
Table 5 Effect of UVA on cell activity

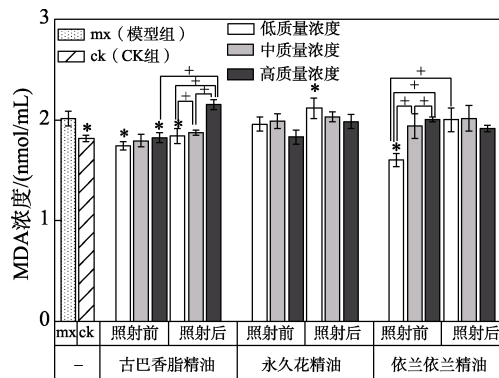
组别	OD	细胞存活率/%
CK 组	0.501±0.046	100.0
模型组	0.375±0.031*	74.9

从表 5 可以看出, 经 UVA 照射后, 模型组细胞存活率显著降至 74.9% ($P < 0.05$), 细胞毒性评级达到 2, 细胞损伤程度较大, 后续实验都在此损伤强度下进行, 采用 10 J/cm² 的照射剂量, 这也与 HAN 等^[20]以及 ZHAO 等^[21]采取的照射剂量一致。

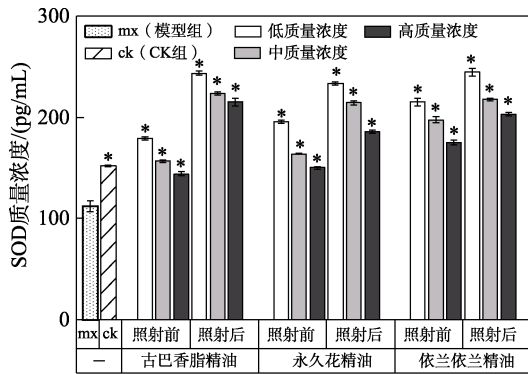
2.5 精油对细胞损伤的修复作用分析

2.5.1 精油对细胞氧化应激的影响

UVA 照射可使皮肤细胞发生氧化应激反应, 产生过量 ROS, 引起细胞 DNA、蛋白质和其他生物大分子的损伤, 导致细胞功能改变^[22]。一方面, ROS 中自由基的氧化能力使脂类过氧化分解形成 MDA, 导致 MDA 水平升高^[23]; 另一方面, 细胞内抗氧化剂和自由基清除剂不足以维持抗氧化水平, 因此, SOD 水平降低^[24]。图 6、7 分别为 3 种精油对细胞 MDA 浓度、SOD 质量浓度的影响。



“*”代表与 CK 组有显著性差异 ($P < 0.05$); “+”代表同精油组间有显著性差异 ($P < 0.05$); “-”代表不加入精油; 重复性 $n=4$
图 6 3 种精油对细胞 MDA 浓度的影响
Fig. 6 Effect of three essential oils on MDA concentration in cells



“*”代表与CK组有显著性差异 ($P < 0.05$), 同精油同质量浓度照射前后组间均有显著性差异, ($P < 0.05$); “-”代表不加入精油; 重复性 $n=4$, 下同

图 7 3 种精油对细胞 SOD 质量浓度的影响

Fig. 7 Effect of three essential oils on SOD mass concentration in cells

从图 6 可以看出, UVA 照射使细胞中 MDA 的浓度显著增加。在照射前加入 3 种精油均降低了 MDA 浓度, 低质量浓度 (0.1 mg/L)、高质量浓度 (175 mg/L) 古巴香脂精油, 低质量浓度 (0.1 mg/L) 依兰依兰精油具有显著抑制效果 ($P < 0.05$)。其中, 低质量浓度 (0.1 mg/L) 依兰依兰精油对 MDA 的抑制率高达 20.15%。在照射后加入 3 种精油的作用效果整体上不如照射前加入的效果, 只有低质量浓度 (0.1 mg/L) 古巴香脂精油具有显著的抑制效果 ($P < 0.05$), 高质量浓度 (175 mg/L) 古巴香脂精油, 低质量浓度 (1 mg/L)、中质量浓度 (100 mg/L) 永久花精油, 中质量浓度 (100 mg/L) 依兰依兰精油甚至使 MDA 浓度升高。

从图 7 可以看出, UVA 照射使细胞中 SOD 的质量浓度显著减少 ($P < 0.05$)。在照射前后加入 3 种质量浓度的 3 种精油均显著增加了 SOD 质量浓度 ($P < 0.05$), 在照射后加入精油的作用效果最佳, 质量浓度由低变高时作用效果依次减弱, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的古巴香脂精油对 SOD 的促进率高达 118.09%。表明 3 种精油可能通过抑制 ROS 生成, 从而抑制细胞氧化应激反应, 最终达到预防和修复皮肤晒后损伤的效果。

2.5.2 精油对细胞蛋白损伤的影响

氧化应激反应会造成蛋白损伤, ROS 通过激活细胞内的信号通路, 引起基质金属蛋白酶 (如 MMP-1) 表达上调^[25-26], 从而降解胶原蛋白等胞外基质成分^[27], 胶原蛋白的流失会促进皱纹的形成, 使皮肤松弛甚至下垂^[28-29]。图 8、9 分别为 3 种精油对细胞 COL- I、MMP-1 质量浓度的影响。

从图 8 可以看出, UVA 照射使细胞中 COL- I 质量浓度显著降低 ($P < 0.05$)。在照射前后加入 3 种精油均显著增加了 COL- I 质量浓度 ($P < 0.05$), 在

照射前加入精油的作用效果最佳, 质量浓度由低变高时促进作用依次增强。其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的永久花精油促进率高达 137.10%。

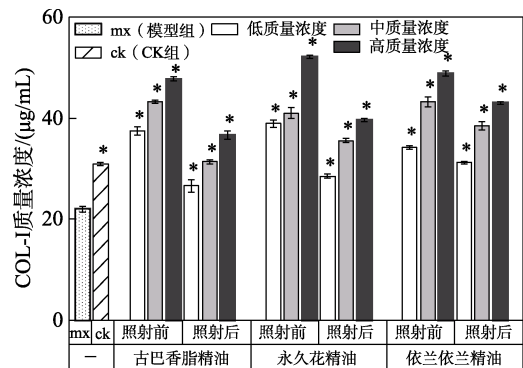


图 8 3 种精油对细胞 COL- I 质量浓度的影响

Fig. 8 Effect of three essential oil on COL- I mass concentration in cells

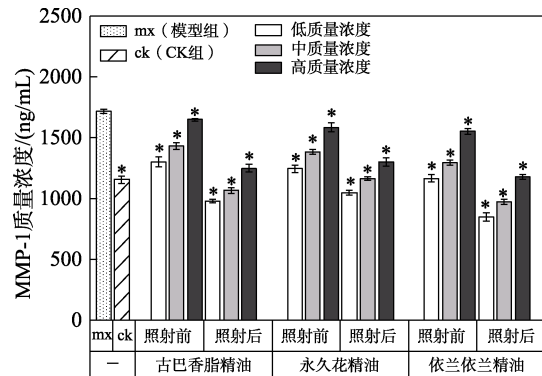


图 9 3 种精油对细胞 MMP-1 质量浓度的影响

Fig. 9 Effect of three essential oil on MMP-1 mass concentration in cells

从图 9 可以看出, UVA 照射使细胞中 MMP-1 的质量浓度显著增加 ($P < 0.05$)。在照射前后加入 3 种精油均显著降低了 MMP-1 质量浓度 ($P < 0.05$), 在照射后加入精油的作用效果最佳, 质量浓度由低变高时作用效果依次减弱, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的依兰依兰精油对 MMP-1 的抑制率高达 50.67%。

以上结果表明, 3 种精油通过抑制 MMP-1 上调和减少 COL- I 流失, 从而预防和修复 UVA 损伤。值得一提的是, 3 种精油在晒后高质量浓度时表现出最强的抑制 MMP-1 效果, 但在影响 COL- I 水平时晒前表现最好, 这说明 3 种精油调控 COL- I 的方式并不完全是由 MMP-1 决定的, 可能是由于在晒前细胞活性良好时加入精油, 精油还会促进细胞自身 COL- I 的分泌; 而晒后细胞受损, 精油促进细胞分泌 COL- I 的效果减弱, 这也与细胞安全质量浓度检测时, 精油促进细胞活性的结果相符。

2.5.3 精油对细胞炎症反应的影响

氧化应激反应通过激活炎症因子 (如 IL-1) 能

够使血管内皮因子和 PGE2 的分泌增加, 从而激活炎症通路^[30-31], 使皮肤产生炎症反应。

图 10、11 分别为 3 种精油对细胞 PGE2、IL-1 质量浓度的影响。

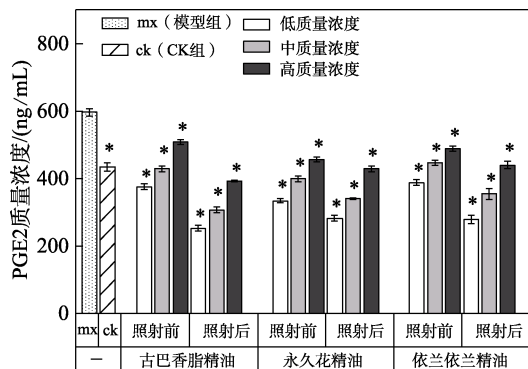


图 10 3 种精油对细胞 PGE2 质量浓度的影响

Fig. 10 Effect of three essential oil on PGE2 mass concentration in cells

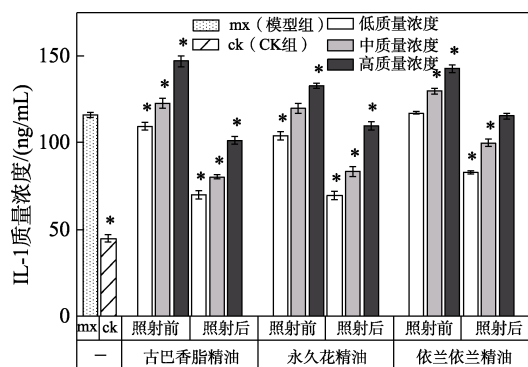


图 11 3 种精油对细胞 IL-1 质量浓度的影响

Fig. 11 Effect of three essential oil on IL-1 mass concentration in cells

从图 10 可以看出, UVA 照射使细胞中 PGE2 质量浓度显著增加 ($P < 0.05$)。在照射前后加入 3 种精油均显著降低了 PGE2 质量浓度, 在照射后加入精油的作用效果最佳, 质量浓度由低变高时作用效果依次减弱。其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的古巴香脂精油对 PGE2 抑制率高达 57.60%。

从图 11 可以看出, UVA 照射使细胞中 IL-1 的质量浓度显著增加。3 种精油对 IL-1 有一定抑制作用, 随质量浓度升高抑制作用减弱。其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的永久花精油对 IL-1 抑制率高达 39.97%。但部分质量浓度精油使 IL-1 质量浓度升高。在 IL-1 和 PGE2 的调控上, 3 种精油均在晒后加入低质量浓度效果最佳, 两组结果具有一致性。表明 3 种精油可能是通过降低 IL-1 质量浓度, 进而抑制 PGE2 分泌, 从而预防和修复 UVA 引起的皮肤炎症。

因复杂成分的协同作用, 植物精油在抗衰老^[32-33]、抑菌^[34]、创伤愈合^[35]、抗氧化^[36-38]等皮肤损伤修复领域以及抗氧化领域已有报道。本文从 UVA 损伤修

复角度进一步证明了精油对于皮肤修复的潜力, 并且通过选择热带植物精油作为研究对象, 证实其晒后修复的作用, 可以为植物抗逆性与其精油功效的联系增加实验依据

3 结论

本文从细胞氧化应激反应、蛋白损伤和炎症反应 3 个方面, 考察永久花精油、古巴香脂精油、依兰依兰精油对 UVA 诱导的 HSF 细胞损伤的修复作用效果。

(1) UVA 照射使细胞活性显著降低, 并使细胞发生氧化应激反应。3 种精油在一定质量浓度下均可显著降低细胞中 MDA 的浓度, 其中晒前使用低质量浓度 (0.1 mg/L) 依兰依兰精油的抑制率达 20.15%; 晒后使用低质量浓度的 3 种精油对细胞中 SOD 质量浓度的提升效果最佳, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的古巴香脂精油的促进率高达 118.09%。

(2) UVA 照射使细胞中 MMP-1 的质量浓度显著增加, 导致胶原蛋白流失。照射后使用低质量浓度的 3 种精油对细胞中 MMP-1 质量浓度的抑制效果最佳, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的依兰依兰精油的抑制率高达 50.67%; 晒后使用高质量浓度的 3 种精油对细胞中 COL- I 质量浓度的提升效果最佳, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的永久花精油的促进率高达 137.10%。

(3) UVA 照射使细胞中 IL-1 的质量浓度显著升高, 并进一步显著增加了 PGE2 的质量浓度。晒后使用低质量浓度的 3 种精油对两者的抑制效果最佳, 其中, 质量浓度为 0.1 mg/L 的永久花精油对 IL-1 抑制率高达 39.97%, 质量浓度为 0.1 mg/L 的古巴香脂精油对 PGE2 抑制率高达 57.60%。

(4) 3 种精油均有预防和修复 UVA 诱导的 HSF 细胞损伤的效果, 这表明 3 种精油都有应用在晒后修复产品中的潜力, 且修复机制的侧重点各不相同, 可以考虑协同作用发挥其最大价值。

参考文献:

- [1] ZHONG X J, DENG Y, YANG H Q, *et al.* Role of autophagy in skin photoaging: A narrative review[J]. *Medicine*, 2024, 103(8): e37178.
- [2] TENG Y, HUANG Y M, DAN F X, *et al.* The role of probiotics in skin photoaging and related mechanisms: A review[J]. *Clinical Cosmetic and Investigational Dermatology*, 2022, 15: 2455-2464.
- [3] WANG Y H, SHEN X, SONG S H, *et al.* Mesenchymal stem cell-derived exosomes and skin photoaging: From basic research to practical application[J]. *Photodermatology Photoimmunology & Photomedicine*, 2023, 39(6): 556-566.
- [4] HOLICK M F. Biological effects of sunlight, ultraviolet radiation, visible light, infrared radiation and vitamin D for health[J]. *Anticancer Research*, 2016, 36(3): 1345-1356.
- [5] JIA Y Y, MAO Q Y, YANG J Y, *et al.* (-)-Epigallocatechin-3-gallate

- protects human skin fibroblasts from ultraviolet A induced photoaging[J]. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 2023, 16: 149-159.
- [6] BERRY E G, BEZECNY J, ACTON M, *et al.* Slip versus slop: A head-to-head comparison of UV-protective clothing to sunscreen[J]. *Cancers*, 2022, 14(3): 542.
- [7] KRUTMANN J, BERKING C, BERNEBURG M, *et al.* New strategies in the prevention of actinic keratosis: A critical review[J]. *Skin Pharmacology and Physiology*, 2015, 28(6): 281-289.
- [8] KANG S, LEYDEN J J, LOWE N J, *et al.* Tazarotene cream for the treatment of facial photodamage: A multicenter, investigator-masked, randomized, vehicle-controlled, parallel comparison of 0.01%, 0.025%, 0.05%, and 0.1% tazarotene creams with 0.05% tretinoin emollient cream applied once daily for 24 weeks[J]. *Archives of Dermatology*, 2001, 137(12): 1597-1604.
- [9] POON F, KANG S, CHIEN A L. Mechanisms and treatments of photoaging[J]. *Photodermatology Photoimmunology & Photomedicine*, 2015, 31(2): 65-74.
- [10] ZHANG B, TANG M H, ZHANG W H, *et al.* Chemical composition of *Blumea balsamifera* and *Magnolia sieboldii* essential oils and prevention of UV-B radiation-induced skin photoaging[J]. *Natural Product Research*, 2021, 35(24): 5977-5980.
- [11] NAVABHATRA A, MANIRATANACHOTE R, YINGNGAM B. Antiphotaging properties of *Zingiber montanum* essential oil isolated by solvent-free microwave extraction against ultraviolet B-irradiated human dermal fibroblasts[J]. *Tox Research*, 2022, 38(2): 235-248.
- [12] KWON O S, JUNG S H, YANG B S. Topical administration of manuka oil prevents UV-B irradiation-induced cutaneous photoaging in mice[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 2013(1): 930857.
- [13] COMBES C, LEGRIX M, ROUQUET V, *et al.* *Helichrysum italicum* essential oil prevents skin lipids peroxidation caused by pollution and UV[J]. *Journal of Investigative Dermatology*, 2017, 137(10): S221.
- [14] WANG H F, WANG Y K, YIH K H. DPPH free-radical scavenging ability, total phenolic content, and chemical composition analysis of forty-five kinds of essential oils[J]. *Journal of Cosmetic Science*, 2008, 59(6): 509-522.
- [15] TOBOUTI P L, MUSSI M C M, ROSSI D C P, *et al.* Influence of melaleuca and copaiba oils on *Candida albicans* adhesion[J]. *Gerodontology*, 2016, 33(3): 380-385.
- [16] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Biological evaluation of medical devices—Part 5: Tests for *in vitro* cytotoxicity: GB/T 16886.5—2017[S]. Beijing: China Standards Press (中国标准出版社), 2017: 7-8.
- [17] FRATERNALE D, FLAMINI G, ASCRIZZI R. *In vitro* anticollagenase and antielastase activities of essential oil of *Helichrysum italicum* subsp. *italicum* (Roth) G. Don[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2019, 22(10): 1041-1046.
- [18] DAHHAM S S, TABANA Y M, IQBAL M A, *et al.* The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*[J]. *Molecules*, 2015, 20(7): 11808-11829.
- [19] VIMALADEVI K, SELLADURAI M, POONKODI K, *et al.* Chemical composition of essential oil of *Cananga odorata* (Lam.) Hook. f. & Thomson leaves and its biological activities[J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2021, 24(3): 596-602.
- [20] HAN S Y, LI H X, LUO F, *et al.* Inhibitory effect of seawater pearl hydrolysate on UVA-induced photoaging of human skin fibroblasts[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 2022(1): 1558288.
- [21] ZHAO J S, YOU S Q, WANG D D, *et al.* Attenuating UVA-induced oxidative stress of human skin fibroblasts by enhancing bioactive components of *Armillaria luteo-virens* by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* fermentation[J]. *Food Bioscience*, 2023, 54: 102899.
- [22] FATIMA N, YAQOUB S, RANA S, *et al.* *In vitro* photoprotective potential of aryl-sandwiched (thio)semicarbazones against UVA mediated cellular and DNA damage[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 2024, 251: 112841.
- [23] ISLAYEM D, FAKIH F B, LEE S. Comparison of colorimetric methods to detect malondialdehyde, a biomarker of reactive oxygen species[J]. *ChemistrySelect*, 2022, 7(11): e202103627.
- [24] TYRRELL R M. Modulation of gene expression by the oxidative stress generated in human skin cells by UVA radiation and the restoration of redox homeostasis[J]. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2012, 11(1): 135-147.
- [25] QUAN T H, QIN Z P, XIA W, *et al.* Matrix-degrading metalloproteinases in photoaging[J]. *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*, 2009, 14(1): 20-24.
- [26] KIM M K, SHIN H S, SHIN M H, *et al.* Dual role of enhancer of zeste homolog 2 in the regulation of ultraviolet radiation-induced matrix metalloproteinase-1 and type I procollagen expression in human dermal fibroblasts[J]. *Matrix Biology*, 2023, 119: 112-124.
- [27] PARK J E, PYUN H B, WOO S W, *et al.* The protective effect of *Kaempferia parviflora* extract on UVB-induced skin photoaging in hairless mice[J]. *Photodermatology Photoimmunology & Photomedicine*, 2014, 30(5): 237-245.
- [28] PIENTAWERATCH S, PANAPISAL V, TANSIRIKONGKOL A. Antioxidant, anti-collagenase and anti-elastase activities of *Phyllanthus emblica*, *Manilkara zapota* and silymarin: An *in vitro* comparative study for anti-aging applications[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2016, 54(9): 1865-1872.
- [29] LIM H S, LEE S H, SEO H, *et al.* Early stage ultraviolet irradiation damage to skin collagen can be suppressed by HPA axis control via controlled CYP11B[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2022, 155: 113716.
- [30] HE M Y, LIU J, SUN Y Q, *et al.* FSGT capsule inhibits IL-1 β -induced inflammation in chondrocytes and ameliorates osteoarthritis by upregulating lncRNA PACER and downregulating COX2/PGE2[J]. *Immunity Inflammation and Disease*, 2024, 12(6): e1334.
- [31] SCOTT K M, COHEN D J, BOYAN B D, *et al.* miR-122 and the WNT/ β -catenin pathway inhibit effects of both interleukin-1 β and tumor necrosis factor- α in articular chondrocytes *in vitro*[J]. *Journal of Cellular Biochemistry*, 2022, 123(6): 1053-1063.
- [32] DONG K (董坤), ZHAI W L (翟文丽), WANG L Q (王兰青), *et al.* Protective effect of strawberry (*Fragaria* \times *Ananassa*) leaves water extract on skin damage by UVB[J]. *Fine Chemicals (精细化工)*, 2021, 38(4): 806-814.
- [33] SUN S N (孙赛男). Effects of rose essential oil on biological function of skin fibroblasts[J]. *Industrial Microbiology (工业微生物)*, 2024, 54(1): 131-133.
- [34] ZHANG C (张宸), WANG W C (王文翠), BAI L (白璐), *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Artemisia sieversiana* in Ningxia[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin (中国农学通报)*, 2020, 36(29): 62-68.
- [35] SHEN J L (沈珺莲), ZHANG N (张楠), LI Y H (李玉红), *et al.* The effect of *Matricaria chamomilla* essential oil on skin wound healing[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin (中国农学通报)*, 2020, 36(4): 67-75.
- [36] HUANG N N (黄娜娜). Antioxidant property of citrus essential oil and research on the protective effect on skin fibroblast oxidative damage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University (华中农业大学), 2017.
- [37] JIANG J (姜娇). Effects of lemongrass essential oil against benzo[a]pyrene induced oxidative stress and DNA damage in human embryonic lung fibroblast cells[D]. Dalian: Dalian Medical University (大连医科大学), 2015.
- [38] YUAN M Y (袁萌芽). Study on the effects of the components from nonessential oils in *Pelargonium graveolens* leaves on scavenging free radical, antioxidation and protection of HELF cells against oxidative damage[D]. Shanghai: East China Normal University (华东师范大学), 2008.