

# 中草药活性成分在化妆品中的应用

张婉萍<sup>1,2</sup>, 林梅<sup>1,2</sup>, 王恒<sup>1,2</sup>, 岳恒<sup>1,2</sup>, 郑时莲<sup>1,2\*</sup>

(1. 上海应用技术大学 香料香精技术与工程学院, 上海 201418; 2. 上海东方美谷产业研究院, 上海 201403)

**摘要:** 中草药是中国传统的纯天然药物, 具有来源极广、药物残留少、毒副作用微小和无抗药性等优点。中药材中的一些活性成分具有抗炎、抗氧化、抗菌等功效, 被广泛应用于日常保健和临床医疗中。近几年来, 越来越多的高安全性、温和、低刺激性的中草药活性成分作为天然添加剂应用在化妆品中。同时, 含中草药的化妆品在全球市场上的需求量正在不断增加, 这为中草药及其活性成分在化妆品中的应用研究提供了思路和动力。首先, 总结了中草药中 6 种常见活性成分, 如酚类化合物、类黄酮、皂苷、萜类化合物、类胡萝卜素和天然多糖的结构和功能; 接着, 综述了中草药活性成分的 5 大功效: 保湿、祛斑美白、防晒、抗皱与祛痘及作用机制; 最后, 提出了中草药功效性成分在化妆品应用中存在的问题, 并指出了未来发展方向。

**关键词:** 中草药; 活性成分; 化妆品; 功效; 应用

中图分类号: TQ658 文献标识码: A 文章编号: 1003-5214 (2023) 07-1428-10

## Application of Chinese herbal medicine active ingredients in cosmetics

ZHANG Wanping<sup>1,2</sup>, LIN Mei<sup>1,2</sup>, WANG Heng<sup>1,2</sup>, YUE Heng<sup>1,2</sup>, ZHENG Shilian<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China; 2. The Oriental Beauty Valley Research Institute, Shanghai 201403, China)

**Abstract:** Chinese herbal medicine is a traditional natural medicine with wide sources, less drug residues, small toxic and side effects, no drug resistance and other excellent characteristics. Some active ingredients in Chinese herbal medicine display effects of anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial and so on, which is widely used in daily health care and clinical medical treatment. In recent years, more and more Chinese herbal active ingredients with high-safety, mild and low irritation are used in cosmetics as natural additives. At the same time, the demand for cosmetics containing Chinese herbal ingredients in the global market is increasing, which provides ideas and impetus for the research on the application of Chinese herbal medicines and their active ingredients in cosmetics. Herein, the structure and function of six common active ingredients, phenolics, flavonoids, saponins, terpenoids, carotenoids, and natural polysaccharides, in Chinese herbal medicine were summarized. The five major functions, moisturizing, skin whitening, sun protection, anti-wrinkle and anti-acne as well as their action of the active ingredients were also reviewed. Finally, the existing problems and future development directions of functional ingredients of Chinese herbal medicine in the application of cosmetics were discussed.

**Key words:** Chinese herbal medicine; active ingredients; cosmetic; functions; application

中草药活性成分是指中药中具有医疗效用或生理活性的化学物质, 已被广泛应用于化妆品以及食品加工领域<sup>[1]</sup>。中草药活性成分具有抗氧化、抗炎、抗凋亡、抗肿瘤、抗疲劳以及调节免疫等多种功效<sup>[2]</sup>,

同时其作为药物的补充或替代品被持续使用<sup>[3]</sup>, 用于预防和治疗一系列生理疾病。随着社会的进步, 化妆品行业中纯天然护肤品也越来越受到消费者的青睐<sup>[4]</sup>。含有天然中草药活性成分的化妆品使用安

收稿日期: 2022-09-09; 定用日期: 2022-12-26; DOI: 10.13550/j.jxhg.20220842

基金项目: 上海应用技术大学引进人才科研启动基金项目 (10120K226113-A06) YJ2022-19

作者简介: 张婉萍 (1970—), 女, 教授, E-mail: zhangwanp@126.com。联系人: 郑时莲 (1990—), 女, 讲师, E-mail: zhengshilian07@163.com。

全、适用广泛, 具有化学化妆品不可替代的特性。根据国家药监局发布的《已使用化妆品原料目录》公告, 已使用化妆品原料共 8783 种, 其中, 中草药提取物占 3000 多种。另外, 中草药倡导的环保、绿色、自然、安全以及追求功效的理念也符合现代世界化妆品的发展趋势<sup>[5]</sup>。中国《化妆品监督管理条例》第九条明确指出, 鼓励和支持运用现代科学技术, 结合中国传统优势项目和特色植物资源研究开发化妆品, 丰富的资源和政策利好将极大地助力传统中草药化妆品的发展<sup>[6]</sup>。因此, 中草药中的天然活性成分及其发挥功效作用的机制值得深入研究与开发利用。

本文综述了中草药主要活性成分、活性成分功效及其作用机制, 旨在为中草药活性成分在化妆品

中的应用提供一定参考。

## 1 中草药主要活性成分

### 1.1 酚类化合物

酚类化合物是一类天然次生代谢产物, 广泛存在于植物体中, 具有抗真菌、抗氧化以及抗炎等生物特性<sup>[7-9]</sup>。酚类化合物的共同特征是具有苯环和至少一个羟基结构, 其中植物酚类化合物的糖类部分通过羟基 (O—糖苷) 或碳 (C—糖苷) 与苯环相连。酚类化合物包括酚酸类、二苯乙烯和木酚素等<sup>[10-11]</sup>, 分类和结构见图 1。其中, 酚酸类是芳香族羧酸的羟基衍生物, 含单个酚环, 根据 C1-C6 和 C3-C6 骨架, 可分为羟基苯甲酸和羟基肉桂酸<sup>[12-13]</sup>。

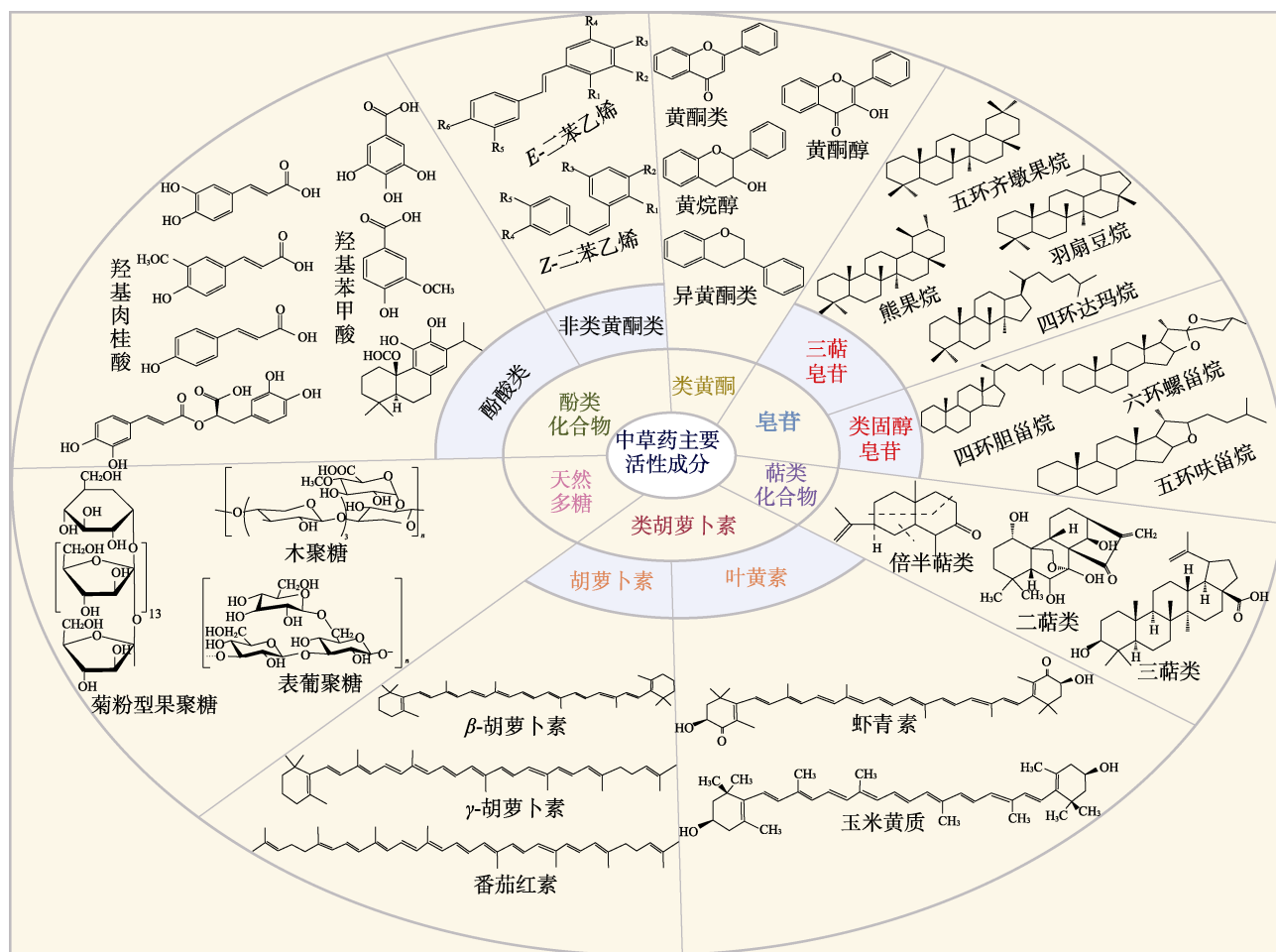


图 1 中草药中主要活性成分的分类和结构

Fig. 1 Classification and structure of main active ingredients in Chinese herbal medicine

酚类化合物对皮肤有抗衰、延缓光老化和抑制黑色素生成等功效。例如: 姜黄的根茎中含有一种多酚类化合物, 称为姜黄素, 姜黄素具有抗衰老、抗皱、抗氧化、抗炎、防晒和促进皮肤再生等活性, 同时可用作指甲和唇部护理产品的着色剂<sup>[14]</sup>。KWON 等<sup>[15]</sup>研究了鸡血藤提取物中多酚对人类皮肤细胞的保护作用, 发现用质量浓度为 30 mg/L 的鸡血藤茎

乙醇提取物处理后, 人永生化角质形成细胞 (HaCaT 细胞) 中活性氧 (ROS) 产量降低了 18%; 基质金属蛋白酶 (MMPs) 的表达和激活蛋白 1 (AP-1) 的活性得到显著抑制; 同时通过调节丝裂原活化蛋白激酶 (MAPK) 信号通路以减弱紫外线 B (UVB) 诱导的光老化。ROH 等<sup>[16]</sup>综述了绿茶多酚中儿茶素延缓紫外辐射所导致的皮肤光老化的分子机制, 阐

明了表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 可显著缓解 UVB 诱导的人正常皮肤成纤维细胞 (HSF 细胞) 中胶原蛋白的降解, 且用 5 mmol/L EGCG 处理  $\alpha$  黑素细胞刺激素/促黑激素 ( $\alpha$ -MSH) 诱导的黑素细胞, 可显著抑制细胞内黑色素的生成。早期研究已明确, 多酚类化合物通过将氢原子转移到氧化自由基上以使其稳定, 从而达到抗氧化的效果; 另外, 多酚还具有清除 ROS、活性氮、羟基自由基、超氧化物及螯合铜铁金属离子的能力<sup>[17]</sup>。在化妆品应用领域, 中草药丹皮、银杏提取物等诸多酚类化合物已被作为功效成分复配至化妆品中。此外, 酚类化合物中的酚酸如没食子酸、原儿茶酸等呈酸性, 高浓度下具有一定的刺激性, 因此, 酚酸在化妆品中的应用需要考虑其刺激性对皮肤的影响。

### 1.2 类黄酮

类黄酮是植物中常见的二级代谢产物, 作为中草药活性成分之一, 目前已被证实能够起到抗氧化、抗炎等作用<sup>[18-19]</sup>。所有类黄酮都具有 C6-C3-C6 骨架的化合物, 即含有 15 个碳的苯丙烷链, 形成由一个杂环吡喃环连接两个芳香环的结构。根据其化学结构、氧化程度和连接链的不饱和度, 类黄酮可进一步分为黄烷醇、黄酮醇、黄酮类化合物和异黄酮类化合物等亚类<sup>[20-21]</sup>, 如图 1 所示。

一系列的研究发现, 中草药中的类黄酮具有抑制皮肤黑色素产生、抵御紫外线对皮肤细胞的损伤等生物活性。GECHEV 等<sup>[22]</sup>利用从含生草中分离的木犀草素和槲皮素来抑制黑色素细胞 (B16 细胞) 中黑色素的生成[半抑制浓度 (IC<sub>50</sub>) 为 10~17  $\mu$ mol/L], 其效果远高于众所周知的酪氨酸酶抑制剂熊果苷。LIN 等<sup>[23]</sup>对肉鸡肝细胞的氧化应激和细胞凋亡进行了相关研究, 结果表明, 中草药骨碎补干燥根中提取的总黄酮将肉鸡肝细胞中的丙二醛活性降低了 18.86%, 同时降低天冬氨酸和丙氨酸氨基转移酶的表达, 并提高氧化型谷胱甘肽 (GSSG) 活性和抗氧化基因的表达水平。HAN 等<sup>[24]</sup>研究发现, 黑米提取物中的主要活性物 (黄酮类化合物) 通过调节 MAPK 和 AP-1 信号通路, 减弱 UVB 诱导真皮中细胞外基质的损伤, 达到预防皮肤光老化作用。此外, MEMETE 等<sup>[25]</sup>研究发现, 黑桑果中富含花青素, 其主要成分矢车菊素-3-O-葡萄糖苷可以降低 UVB 诱导的 HaCaT 细胞中 ROS 的产生, 减轻 UVB 诱导产生的细胞损伤<sup>[26]</sup>。类黄酮已广泛应用于食品、饮料和营养保健品中, 在抗炎、抗肿瘤、抗氧化、预防和慢性病等方面存在一定的作用<sup>[27-29]</sup>。但黄酮类化合物, 如花青素因光热不稳定, 在化妆品中的应用有一定的局限性。

### 1.3 皂苷

目前, 从中草药中鉴定出的有生物学及药理学意义的分子里有相当一部分属于皂苷类化合物, 其结构极为多样, 且广泛分布在各种中草药植物中, 具有抗脂质氧化、抗菌和抗炎等功效<sup>[30-32]</sup>。皂苷由糖苷键与一个或多个糖连接的苷元或皂苷元构成 (图 1), 组成皂苷的糖通常为单糖, 如 D-葡萄糖、D-木糖、D-半乳糖、L-阿拉伯糖等。基于其皂苷元骨架, 皂苷可大致分为三萜皂苷和类固醇皂苷两大类<sup>[33-34]</sup>。

中草药中的皂苷作为活性物质极具发展前景, 具有抗炎、抗氧化等作用。WANG 等<sup>[35]</sup>通过脂多糖 (LPS) 诱导小鼠单核巨噬细胞 (RAW 264.7) 炎症模型探究了黄芪皂苷抗炎作用的分子机制, 发现, 黄芪皂苷通过减少一氧化氮 (NO) 的产生以及减弱诱导型一氧化氮合酶 (iNOS)、肿瘤坏死因子- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) 的表达来发挥抗炎作用。从人参中提取的人参花皂苷 A 抑制斑马鱼体内黑色素细胞中细胞外调节蛋白激酶 (ERK) 的磷酸化, 并调节 (转录因子) MITF 的基因表达, 从而抑制黑色素的生成<sup>[36]</sup>。此外, 麦角苷是一种大量存在于红景天提取物中的糖苷, GECHEV 等<sup>[22]</sup>通过过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 诱导的 HSF 细胞模型证明, 麦角苷能够以非常低的剂量 (质量浓度 2 mg/L) 使细胞内弹性蛋白 mRNA 的表达增加 101%, 其效果比 1  $\mu$ mol/L 的视黄醇更佳。麦角苷能增加细胞外基质蛋白的合成, 预防由紫外线辐射造成的真皮氧化, 同时增加皮肤弹性。皂苷类提取物已被应用于众多化妆品中, 其中七叶树皂苷作为抗氧化剂、抗炎剂被人们添加至化妆品配方中, 国内外知名品牌, 如自然堂、薇诺娜、赫莲娜、香奈儿等均有含有七叶树皂苷成分的化妆品。

### 1.4 萜类化合物

萜类化合物是一类在自然界中广泛分布的天然产物, 具有抗肿瘤、抑制炎症、神经保护功效, 被广泛应用于特殊化学品、制药及香料等诸多方面<sup>[37-38]</sup>。萜类化合物由 5 个碳的异戊二烯单元组成, 根据其结构分为几个亚类, 包括类萜类化合物、倍半萜类化合物、单萜类化合物、二萜类化合物、三萜类化合物、四萜类化合物等, 图 1 列举了一些萜类化合物的代表结构<sup>[39]</sup>。

研究证明, 萜类化合物参与皮肤修复、抗氧化和抑制炎症的调节过程。源自中药积雪草中的积雪草酸, 是一种三萜类化合物, 可促进 HSF 细胞相关生长因子的基因表达<sup>[40]</sup>。目前, 积雪草提取物被广泛应用于化妆品配方中, 如市售含有积雪草提取物的乳液、面膜及水凝胶等。LI 等<sup>[41]</sup>通过实验证明, 冬凌草中的二萜类化合物——冬凌草甲素可激活核

因子 E2 相关因子 2 (Nrf-2) 信号通路来抑制小鼠短暂性脑缺血导致的内皮损伤, 修复小鼠血脑屏障。LU 等<sup>[42]</sup>研究发现, 中草药紫苏中含有的 9-羟基异己酮属单萜类化合物, 可以抑制 LPS 诱导的 RAW 264.7 细胞内 NO 的产生, 降低促炎细胞因子的表达。此外, 姜黄中存在一种单萜类化合物  $\beta$ -榄香烯,  $\beta$ -榄香烯通过调节 MMPs、钙黏蛋白、波形蛋白和血管内皮生长因子 (VEGF) 等关键分子的表达发挥其抗肿瘤的作用<sup>[43]</sup>。

### 1.5 类胡萝卜素

类胡萝卜素是存在于微生物和植物中的一种天然色素, 也是人体维生素 A 的前体<sup>[44]</sup>, 对动物健康有着积极的影响, 已广泛应用于香料香精、化妆品、食品和制药等领域<sup>[45-47]</sup>。大多数类胡萝卜素由 40 个碳骨架的 8 个异戊二烯单元组成, 具有 9 个共轭双键的多烯链和多烯链两端的末端基团。类胡萝卜素有两类: 胡萝卜素和叶黄素。胡萝卜素包括  $\alpha$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素、 $\gamma$ -胡萝卜素和番茄红素等约 50 种; 叶黄素含有羟基、羰基、醛、羧酸、环氧化物或呋喃氧基, 图 1 列举了部分类胡萝卜素类活性成分的结构<sup>[48-49]</sup>。

类胡萝卜素能够抗肿瘤、抗紫外辐射。如中国传统中药材藏红花, 尤其是其柱头的提取物中富含番茄红素、 $\alpha$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素等, 具有抗肿瘤、保护心血管、保护神经系统等功效<sup>[50]</sup>。 $\beta$ -胡萝卜素在化妆品中还作为抗氧化剂、皮肤调理剂和柔润剂使用。例如: SHI 等<sup>[51]</sup>研究表明, 成熟番茄内含丰富的番茄红素, 是天然类胡萝卜素中最有效的单线态氧猝灭剂之一, 能作为抗氧化剂。番茄红素还可以诱导细胞间隙连接蛋白 43 (Cx43) 的合成, 以恢复细胞之间的连接通讯, 从而逆转肿瘤的恶性进程。LOURENÇO-LOPES 等<sup>[52]</sup>从海洋生物微藻和褐藻纲中分离岩藻黄质, 其以剂量依赖性的方式降低了 UVB 刺激的 HSF 细胞内 ROS 的含量和 DNA 损伤水平, 减少了紫外线辐射对细胞造成的负面影响, 达到有效保护皮肤的作用。另外, 虾青素也是海洋生物体内的类胡萝卜素, 目前已被开发应用于化妆品中, 如一些虾青素面膜有改善皮肤弹性、修复皮肤屏障和抑制炎症等作用<sup>[53]</sup>。

### 1.6 天然多糖

多糖包括了植物多糖、动物多糖和微生物多糖, 是动植物体内抗炎、抗辐射、抗疲劳与免疫调节的重要生物活性物质, 近年来在健康产品领域天然多糖受到了越来越多关注<sup>[54]</sup>。如图 1 所示, 多糖是结构极其复杂的一类大分子, 往往是单糖 (例如葡萄糖、半乳糖、甘露糖等) 或两种甚至几种单糖通过糖苷键相互连接的聚合物<sup>[55-57]</sup>。

相关研究指明, 天然多糖具有抑制皮肤光老化、

防止紫外辐射引起的细胞氧化损伤的功效。桑黄、黄芪、灵芝、七宝莲、马尾藻、白花蛇舌草等天然中草药中均含有丰富的多糖, 这些非淀粉多糖可以减少炎症介质和细胞内 ROS 的产生, 抑制光老化皮肤中 MMPs 的活性, 从而有助于 HaCaT 细胞抵御紫外照射引起的氧化损伤<sup>[58]</sup>。LI 等<sup>[59]</sup>采用 LPS 诱导的小鼠肝损伤模型探讨车前子中多糖的抗炎活性, 结果发现, 车前子能够抑制小鼠血清和肝脏中 TNF- $\alpha$ 、白细胞介素、iNOS 和环氧合酶 2 (COX-2) 的表达, 同时可以提高小鼠肝脏总抗氧化能力, 表明车前子多糖对炎症性肝损伤具有一定的保护作用。中草药多糖大多具有吸湿和保持水分的特性, 通常作为保湿剂加入化妆品中, 如海蓝之谜经典面霜中使用的海藻提取物中的主要成分为海藻多糖; 灵芝、芦荟、仙人掌多糖提取物也用于保湿类化妆品和护肤品中。由于多糖的相对分子质量大 (几百~几千万 Da), 在皮肤中的渗透性较差, 目前对多糖的功效性应用相对较少。

## 2 中草药活性成分功效和作用机制

### 2.1 保湿

人体要维持皮肤正常生理机能, 保湿和修复皮肤屏障两者缺一不可。当皮肤屏障受损时, 皮肤可能会出现干燥瘙痒、起皮或产生鳞屑甚至形成慢性皮炎等一系列问题<sup>[60-61]</sup>, 因而皮肤屏障的重建与皮肤保湿紧密相连。中草药中的功效成分具有保湿作用, 能够调节及修复皮肤屏障功能。如从中草药人参中分离的寡糖通过降低 HaCaT 细胞中丝聚蛋白 (FLG)、外皮蛋白 (IVL) 和水通道蛋白-3 (AQP3) 的表达来缓解皮肤干燥和脱屑症状、修复 UVB 照射引起的皮肤屏障损伤<sup>[62]</sup>, 突出其作为天然化妆品保湿剂的潜力。药用植物穿心莲中富含的穿心莲内酯能够通过阻止核转录因子 (NF- $\kappa$ B)、激活 c-Fos 基因 (一种原癌基因) 蛋白和调节 FLG、IVL 和兜甲蛋白 (Loricrin) 的表达, 显著恢复 LPS 或干扰素 TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$  刺激的 HaCaT 细胞的皮肤屏障功能并减少炎症<sup>[63]</sup>。KORDULEWSKA 等<sup>[64]</sup>采用组胺和 LPS 来诱导 HaCaT 和 HSF 细胞产生炎症, 测定了蛇床子素的抗炎功效, 利用伤口愈合实验分析了细胞迁移, 并通过测量跨上皮电阻评估了单层细胞的完整性变化, 发现蛇床子素对细胞活力、迁移和屏障修复能力有着正面影响。BÄSLER 等<sup>[65]</sup>的研究显示, 紧密连接蛋白 (TJ) 与 HaCaT 细胞的增殖、分化、细胞黏附和细胞凋亡有关, 对皮肤屏障功能的修复至关重要<sup>[66]</sup>。中药柘木叶中富含绿原酸、山柘酚和槲皮素, KIM 等<sup>[67]</sup>研究表明, 采用质量浓度为 0.5 和 1.0 g/L 的柘木叶提取物处理后的 HaCaT 细胞, Claudin 1 (参与紧密连接的蛋白) 表达量增加 2.5

倍和 2.8 倍, 细胞间紧密连接能力增强, 为研究皮肤保湿和皮肤屏障修复提供一定参考依据。从红藻中分离的 3-溴-4,5-二羟基苯甲醛浓度在 72、144 及 288  $\mu\text{mol/L}$  时均可通过保持皮肤紧密连接稳定性, 显著增加 TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$  刺激的 HaCaT 细胞中皮肤水合蛋白和紧密连接蛋白的产生, 表现出皮肤保湿和屏障修复的能力<sup>[68]</sup>。

## 2.2 祛斑美白

人体皮肤的颜色受黑色素含量及分布的影响。黑色素细胞的黑色素小体中, L-酪氨酸在酪氨酸酶的作用下转化为多巴酸, 再转化为多巴醌, 进一步形成多巴色素或二羟基吲哚酸中间体, 经由黑色素低聚体, 逐渐变为真黑色素<sup>[69]</sup>。基于对黑色素形成的认识, 皮肤美白的相关研究愈加深入, 其中包括将中草药提取物作为纯天然祛斑美白剂。FENG 等<sup>[70]</sup>研究表明, 中草药在美白祛斑类化妆品中的作用主要有 3 种: (1) 抑制酪氨酸酶活性, 进而减少皮肤黑色素生成; (2) 通过调节小眼相关 MITF 基因的表达, 抑制黑色素的生成; (3) 吸收或屏蔽紫外线。如从中草药生姜中提取的挥发油浓缩液对酪氨酸酶活性和黑色素生成相关蛋白具有抑制作用, 其通过下调 B16 细胞中的 MAPK 和蛋白激酶 A (PKA) 信号通路来抑制 MITF 和 p38 蛋白 [构成 NF- $\kappa$ B (活化 B 细胞的核因子 Kappa 轻链增强子) 转录因子家族的 5 种成分之一] 的表达, 减少黑色素的合成, 质量浓度为 80 和 100 mg/L 的生姜挥发油对黑色素生成的抑制作用强于曲酸<sup>[71]</sup>, 因此, 生姜挥发油可用作皮肤增白剂。KIM 等<sup>[72]</sup>研究表明, 从葛根地上部分提取的新巴伐异黄酮通过调节  $\alpha$ -MSH 刺激的 B16 细胞中的细胞外调节蛋白激酶 (MEK/ERK) 和蛋白激酶 B (Akt) /糖原合成酶激酶-3 (GSK-3 $\beta$ ) 信号通路来抑制黑色素的产生, 同时, 新巴伐异黄酮在 50  $\mu\text{mol/L}$  时细胞酪氨酸酶抑制率达到 45.50%, 显示出比熊果苷更有效的抗黑色素活性 (熊果苷酪氨酸酶抑制率 12.00%), 表明其具有作为防止皮肤色素沉着的美白剂的潜力。此外, 灵芝多糖通过拮抗环磷酸腺苷 (cAMP) /PKA 和 ROS/MAPK 信号通路抑制 UVB 诱导的 B16 细胞内黑色素生成<sup>[73]</sup>。中草药活性成分在祛斑美白上具有较大的潜在价值, 许多中药成分可以通过降低或抑制细胞内酪氨酸酶的活性、减少黑色素的形成来美白肌肤。

## 2.3 防晒

当人体皮肤暴露于紫外线辐射后, 会更容易造成黑色素累积或皮肤色素沉着。因此, 为了追求皮肤白皙, 防晒是必不可少的环节。目前, 防晒化妆品中使用的无机防晒剂主要有  $\text{TiO}_2$  和  $\text{ZnO}$ <sup>[74]</sup>, 其通

过反射或折射广谱紫外线辐射来防止紫外线到达皮肤<sup>[75]</sup>; 甲氧基肉桂酸乙基己酯、二苯酮类和丁基甲氧基二苯甲酰基甲烷等是常见的化学防晒剂, 其通过吸收有害的紫外线而实现防晒, 对皮肤有一定的刺激性; 天然防晒剂则使用天然提取物<sup>[76]</sup>, 而中草药活性成分便是防晒物质的来源之一, 如中草药藏红花中的藏红花醛有防晒特性, 被用于紫外线阻断化妆品配方中<sup>[50]</sup>。白千层花多酚提取物能够抑制 COX-2 表达, 并减轻 DNA 损伤, 可以恢复 UVB 照射后 HaCaT 细胞的活力, 由于其出色的光防护性能, 因此可作为防晒剂中的佐剂, 降低晒伤风险<sup>[77]</sup>。绿茶多酚能够抑制  $\alpha$ -MSH 诱导的 B16 细胞内黑色素的产生和酪氨酸酶的表达, 从而抵御紫外照射形成的黑色素<sup>[16]</sup>。丁香中丁香酚通过抑制 MAPK 通路和上调转化生长因子 b1 (TGF-b1) /转录激活因子 (Smad) 信号通路, 降低 ROS 和 MMPs 含量以减轻 HSF 细胞经 UVB 辐射后的氧化应激, 表明了中草药丁香的光保护功能<sup>[27]</sup>。KUNCHANA 等<sup>[78]</sup>在余甘子果实提取物 (PE) 对 UVB 诱导的氧化应激和细胞凋亡实验中证实, 余甘子果实提取物通过减弱 NF- $\kappa$ B 信号通道, 消除细胞内过量 ROS、激活抗氧化酶、减少细胞色素 C (Cyt C) 和前列腺素 E2 (PGE2) 的释放来减轻 HaCaT 细胞的 UVB 损伤, 该研究还发现, 质量浓度为 50 和 100 mg/L 的 PE 将 UVB 诱导的 HaCaT 细胞中 COX-2/ $\beta$ -肌动蛋白条带强度的相对比率分别降低(2.20 $\pm$ 0.33)倍和(2.27 $\pm$ 0.27)倍, 建议将余甘子果实提取物作为保护皮肤免受紫外照射的活性成分。因此, 中草药活性成分在防晒方面也具有贡献, 突出表现为减轻 UVB 诱导的细胞氧化损伤及黑色素生成, 从而对细胞和人体皮肤产生光保护作用。

## 2.4 抗皱

皮肤皱纹的形成与衰老密切相关。衰老可分为内源性衰老和外源性衰老, 内源性因素主要包括遗传、炎性和端粒衰老, 外源性因素包括紫外辐射和其他外界理化刺激等, 其中最关键的机制是与炎症相关的氧化应激和 DNA 损伤<sup>[79]</sup>。YAO 等<sup>[58]</sup>已明确, 中草药提取物在化妆品中的抗衰、抗皱、抗炎和抗氧化等作用主要体现在以下 4 个方面: (1) 增强细胞的增殖和代谢能力, 促进胶原和弹性蛋白的合成; (2) 清除自由基和抗氧化; (3) 保湿和修复皮肤屏障; (4) 吸收紫外线或屏蔽紫外线<sup>[80]</sup>。中草药红松中的丙二酸 (MA) 能下调 HaCaT 细胞中炎症相关细胞因子 [白细胞介素 6 (IL-6)、COX-2 和 TNF- $\alpha$ ] 的表达, 抑制了 MAPK/AP-1 信号通路, 并降低基质金属蛋白酶-1 (MMP-1)、基质金属蛋白酶-3 (MMP-3) 和基质金属蛋白酶-9 (MMP-9) 的表达, 同时发现, 2  $\mu\text{mol/L}$  的 MA 比 4  $\mu\text{mol/L}$  的 EGCG 具



有更强的 ROS 清除能力, 可以防止 UVB 诱导产生的皮肤炎症<sup>[81]</sup>。MAGNAVACCA 等<sup>[82]</sup>在探究黑醋栗叶提取物 (RNLE) 减轻 HaCaT 细胞炎症损伤的机制中发现, RNLE 主要含槲皮素和山奈酚, 其通过降低炎症因子 IL-6 和提高抗炎因子 IL-10 的表达来抑制细胞内炎症。另外, HUANG 等<sup>[83]</sup>采用 TNF- $\alpha$  诱导 HaCaT 细胞炎症模型研究了千日菊素的抗炎活性和分子机制, 发现浓度  $\geq 10 \mu\text{mol/L}$  的千日菊素显著抑制了 IL-6、单核细胞趋化蛋白 1 (MCP-1)、细胞间黏附分子 1 (ICAM-1) 的表达水平; 浓度  $\geq 30 \mu\text{mol/L}$  时显著抑制白细胞介素 8 (IL-8) 与 COX-2 的产生; 当浓度上升至  $100 \mu\text{mol/L}$  时能显著提高 HaCaT 细胞中血红素加氧酶 1 (HO-1) 的表达, 从而发挥其抗炎功效。JAYASINGHE 等<sup>[84]</sup>在对 TNF- $\alpha$  和 IFN- $\gamma$  以物质的量比为 1 : 1 联合刺激的 HaCaT 细胞产生的炎症反应和氧化应激的研究中发现, 从马尾藻中提取的岩藻多糖质量浓度在  $31.30 \text{ mg/L}$  时能减少细胞内 22.49% 的 ROS 产量, 降低炎症因子白细胞介素 IL-1 $\beta$ 、IL-6、IL-8、IL-13、IL-25 和 IL-33 的表达, 同时通过激活 Nrf-2/HO-1 途径来调节 NF- $\kappa\text{B}$  和 MAPK 信号通路, 以减少炎症介质的出现。皮肤衰老与炎症密切关联, 而一些中草药活性成分能减少皮肤细胞内炎症因子的产生, 进而起到延缓皮肤衰老、抗皱的作用。

## 2.5 祛痘

人体皮肤相当于一个复杂的生态系统, 附着有大量微生物, 在某些情况下易形成痤疮。FISK 等<sup>[85]</sup>指出, 痤疮的产生有 4 种促成机制: (1) 表皮角质形成细胞过度增殖; (2) 皮脂细胞异常和过量产生脂质; (3) 痤疮丙酸杆菌的增殖; (4) 炎症。关于改善痤疮、抗菌祛痘方面, DOBLER 等<sup>[86]</sup>研究表

明, 从植物表皮中提取的白藜芦醇可干预角化过度, 减少炎症和粉刺源性脂质过氧化产物的产生, 并抑制痤疮丙酸杆菌的增殖, 从而降低痤疮的严重程度, 因此在化妆品中添加一些天然中草药抗菌成分不仅可以有效延长化妆品保质期, 而且能促进皮肤的生长或改善皮肤微环境<sup>[87]</sup>。此前, PAUL 等<sup>[88]</sup>已指明, 石榴果皮提取物、果汁、种子、籽油乃至整颗石榴中含有的鞣花酸、单宁等对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌等有抗菌特性, 能有效延缓微生物的生长。RAFIEE 等<sup>[14]</sup>研究发现, 载有姜黄素的脂质囊泡对新生猪皮肤的痤疮丙酸杆菌有抑制作用; 姜黄素-肉桂精油纳米乳或果胶可降低产品总细菌量, 减少率最高达 80.30%。另外, HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ 等<sup>[89]</sup>阐明了红、黄毛丹皮均有抑制化脓性链球菌和金黄色葡萄球菌的作用, 且黄毛丹皮的抗菌效果比红毛丹皮更强。AMORIM 等<sup>[90]</sup>概述了番茄红素在化妆品、食品和药品中的多功能特性和潜在工业应用价值, 从植物中分离出的番茄红素提取物能导致白色念珠菌和大肠杆菌的死亡, 最小杀菌浓度 (MBC 值) 为  $20 \text{ g/L}$ 。中草药花椒长期以来一直被用于治疗各种皮肤牛皮癣等疾病, LI 等<sup>[91]</sup>研究发现, 花椒精油以剂量和时间依赖性的方式显著抑制 HaCaT 细胞的增殖, 体积分数为 0.05% 的花椒精油则导致 40.80% 的 HaCaT 细胞停滞在 S 期并凋亡, 表明花椒精油可以考虑用于开发抗牛皮癣药物。由此可见, 部分中草药中的活性成分会对念珠菌、痤疮杆菌和葡萄球菌等微生物的生长产生影响, 甚至达到抑制的效果, 这在祛痘化妆品中具有良好应用前景。

综上, 根据中草药的作用功效、调节的生物标志物的不同以及具体分子机制的差异, 对中草药中含有的部分活性化合物进行了总结, 详见图 2 和表 1。

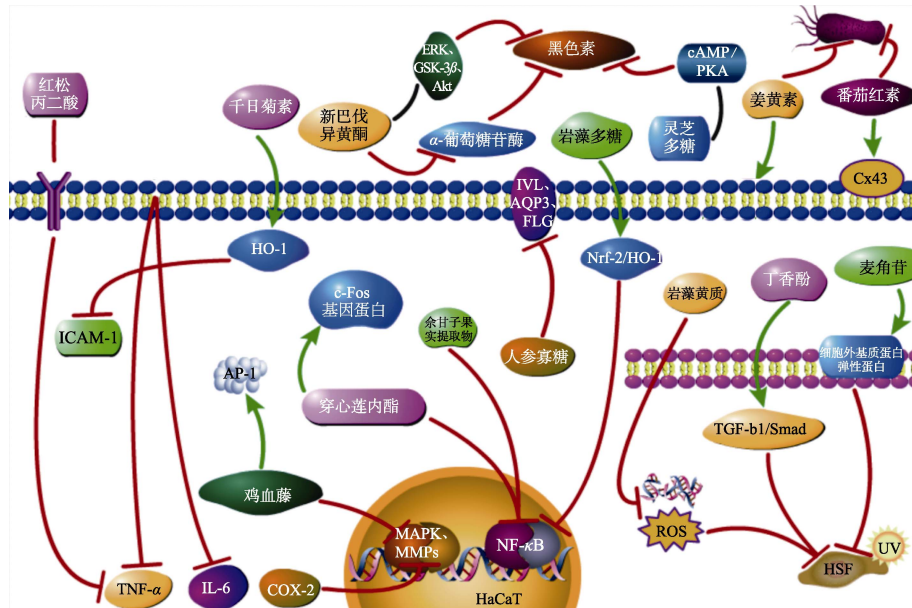


图 2 中草药活性成分作用机制图

Fig. 2 Mechanism of active components of Chinese herbal medicine

表 1 中草药主要活性成分及相关作用机制

Table 1 Main active components and related action of mechanism in Chinese herbal medicine

活性成分(中草药)	所属种类	功效或作用	生物标志物	分子机制	细胞/动物模型
鸡血藤 <sup>[15]</sup>	酚类	减弱紫外线 B 诱导的光老化	MMPs 和 AP-1 表达水平降低	调节 MAPK 信号通路	HaCaT 细胞
EGCG (绿茶) <sup>[16]</sup>	酚类	抑制 $\alpha$ -MSH 诱导的黑色素产生; 防止皮肤光老化	黑色素和酪氨酸酶的产生减少; 减缓胶原蛋白降解	—	B16 细胞、HSF 细胞
丁香酚(丁香精油) <sup>[27]</sup>	酚类	减少氧化应激、修复皮肤屏障以及 UVB 辐射后的光保护	ROS 和 MMPs 的含量下降	抑制 MAPK 信号通路; 上调 TGF- $\beta$ 1/Smad 信号通路	HSF 细胞
白千层花提取物 <sup>[77]</sup>	酚类	作为防晒剂中的佐剂, 具有光防护性能, 降低晒伤风险	COX-2 减少; 减轻 DNA 损伤	—	HaCaT 细胞
余甘子果实提取物 <sup>[78]</sup>	酚酸类	保护细胞免受 UVB 诱导的氧化应激和细胞凋亡	ROS、Cyt C 和 PGE2 减少; 抗氧化酶升高	减弱 NF- $\kappa$ B 信号通路	HaCaT 细胞
绿原酸、山柰酚和槲皮素(柘木叶提取物) <sup>[67]</sup>	酚类、黄酮醇	修复皮肤屏障	参与紧密连接的蛋白表达量增加	调节 Claudin 1 的表达	HaCaT 细胞
丙二酸(红松) <sup>[81]</sup>	有机酸	防止 UVB 导致的皮肤炎症	IL-6、COX-2、TNF- $\alpha$ 、MMP-1、MMP-3 和 MMP-9 表达量减少	抑制 MAPK/AP-1 信号通路	HaCaT 细胞
花青素(黑桑果) <sup>[25-26]</sup>	类黄酮	免受 UVB 诱导的细胞损伤	ROS 含量减少	—	HaCaT 细胞
新巴伐异黄酮(葛根) <sup>[72]</sup>	异黄酮类	抑制黑色素的产生	酪氨酸酶活性降低	调节 MEK/ERK 和 Akt/GSK-3 $\beta$ 信号通路	B16 细胞
麦角苷(红景天) <sup>[22]</sup>	皂苷类	预防由紫外线辐射造成的真皮氧化; 增加皮肤弹性	弹性蛋白和细胞外基质蛋白表达水平升高	—	HSF 细胞
黑醋栗叶提取物 <sup>[82]</sup>	类黄酮	减轻细胞炎症损伤	IL-6 表达量降低 IL-10 表达量升高	—	HaCaT 细胞
人参花皂苷 A(人参) <sup>[36]</sup>	皂苷类	对抗黑色素生成	调节 MITF 表达	调节 ERK	黑色素细胞/斑马鱼
千日菊素 <sup>[83]</sup>	萜类	抗炎活性	HO-1 升高; IL-6、IL-8、ICAM-1、MCP-1 和 COX-2 下降	—	HaCaT 细胞
生姜(挥发油) <sup>[71]</sup>	萜类	抑制黑色素的合成	MITF 和 p38 水平下降	下调 MAPK 和 PKA 信号通路	B16 细胞
花椒(精油) <sup>[91]</sup>	萜类	抗牛皮癣	抑制细胞增殖, 并诱导细胞停滞在 S 期并凋亡	—	HaCaT 细胞
穿心莲内酯(穿心莲) <sup>[63]</sup>	二萜类内酯	恢复 HaCaT 细胞的皮肤屏障功能并减少炎症	调节丝聚蛋白、外皮蛋白和兜甲蛋白的表达	阻止 NF- $\kappa$ B; 激活 c-Fos 基因	HaCaT 细胞
岩藻多糖(马尾藻) <sup>[84]</sup>	多糖类	抑制 TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ 刺激的炎症反应和氧化应激	ROS、MDC、白细胞介素 IL-1 $\beta$ 、IL-6、IL-8、IL-13、IL-25 和 IL-33 的表达减少	调节 Nrf-2/HO-1 途径; 调节 NF- $\kappa$ B 和 MAPK 信号通路	HaCaT 细胞
多糖(灵芝) <sup>[73]</sup>	多糖类	皮肤美白	抑制黑色素生成	cAMP/PKA 和 ROS/MAPK 信号通路	B16 细胞
蛇床子素(蛇床子) <sup>[64]</sup>	香豆素类	抑制组胺或 LPS 诱导的细胞增殖; 改善 HaCaT 细胞和 HSF 细胞的迁移	IL-1 $\beta$ 、IL-6、TNF- $\alpha$ 、CKs 和 ChKs 的含量降低	调节 TLR2 和 NF- $\kappa$ B 的表达	HaCaT 细胞、HSF 细胞

注: MDC: 巨噬细胞衍生趋化因子; CKs: 以 6-氨基嘌呤环为基本结构的植物激素; ChKs: 趋化因子; TLR2: Toll 样受体 2。

### 3 结术语与展望

中草药是天然生物活性成分的重要来源, 如文中

提到的酚类化合物、皂苷和天然多糖等, 已用作化妆品中的成分, 发挥保湿、祛斑美白、抗皱和修复等作用。此外, 一些化妆品中含有的人造色素、对羟基苯

甲酸酯及维甲酸等化学成分可能会造成皮肤干燥、灼热、刺痛等, 因此, 与合成化合物相比, 中草药成分对皮肤更温和。同时, 在天然产品需求和技术进步的推动下, 各类中草药活性成分被人们不断挖掘并作为开发可持续和环保天然护肤产品的潜在来源。但是, 目前关于中草药研究的发展现状仍存在以下问题: (1) 中草药元素需要其内核原料的支撑, 如何做好中草药提取以及协调好其各组分间的关系是化妆品行业一项重大挑战; (2) 诸多中草药功效性成分的作用机制以及在人体内的代谢机制尚不明确; (3) 中草药提取物的应用受到味道、颜色、资源、成本和稳定性等方面的限制。因此, 必须通过创新的科学技术(包括先进提取工艺、配方提升优化、生物转化方法和科学评估方法等)更加高效且深入地研究中草药活性成分及相关理论基础, 进而解决实际生产和应用中的问题, 才能实现真正意义上的中草药化妆品技术的开发和应用。

#### 参考文献:

- [1] LI J J (李金金), LUO C H (罗长浩), YUAN X P (袁秀平). Research status and development prospect of Chinese herbal medicine in cosmetics industry[J]. Journal of Yangling Vocational & Technical College (杨凌职业技术学院学报), 2018, 17(3): 8-10.
- [2] WANG J Y, CHEN P W, CAO Q Y, et al. Traditional Chinese medicine Ginseng Dingzhi decoction ameliorates myocardial fibrosis and high glucose-induced cardiomyocyte injury by regulating intestinal flora and mitochondrial dysfunction[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2022. DOI: 10.1155/2022/9205908.
- [3] BOUDREAU A, RICHARD A J, HARVEY I, et al. *Artemisia scoparia* and metabolic health: Untapped potential of an ancient remedy for modern use[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 12: 727061.
- [4] ASHOKKUMAR V, JAYASHREE S, KUMAR G, et al. Recent technologies in biorefining of macroalgae metabolites and their industrial applications-A circular economy approach[J]. Bioresource Technology, 2022, 359: 127235.
- [5] MITRA S, LAMI M S, UDDIN T M, et al. Prospective multifunctional roles and pharmacological potential of dietary flavonoid narirutin[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2022, 150: 112932.
- [6] FENG N P (冯年平). Chinese traditional cosmetics win the favor of consumers[J]. China Cosmetics Review (中国化妆品), 2021, 8: 34-37.
- [7] SIMONETTI G, BRASILI E, PASQUA G. Antifungal activity of phenolic and polyphenolic compounds from different matrices of *Vitis vinifera* L. against human pathogens[J]. Molecules, 2020, 25(16): 3748.
- [8] RAINHA J, GOMES D, RODRIGUES L R, et al. Synthetic biology approaches to engineer *Saccharomyces cerevisiae* towards the industrial production of valuable polyphenolic compounds[J]. Life, 2020, 10(5): 56.
- [9] LYU X M, LEE J, CHEN W N. Potential natural food preservatives and their sustainable production in yeast: Terpenoids and polyphenols[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(16): 4397-4417.
- [10] DURAZZO A, LUCARINI M, SOUTO E B, et al. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health[J]. Phytotherapy Research, 2019, 33(9): 2221-2243.
- [11] CARTEA M E, FRANCISCO M, SOENGAS P, et al. Phenolic compounds in *Brassica* vegetables[J]. Molecules, 2010, 16(1): 251-280.
- [12] ZHANG H, TSAO R. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects[J]. Current Opinion in Food Science, 2016, 8: 33-42.
- [13] KIOKIAS S, OREOPOULOU V. A review of the health protective effects of phenolic acids against a range of severe pathologic conditions (including coronavirus-based infections)[J]. Molecules, 2021, 26(17): 5405.
- [14] RAFIEE Z, NEJATIAN M, DAEIHAMED M, et al. Application of curcumin-loaded nanocarriers for food, drug and cosmetic purposes[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 88: 445-458.
- [15] KWON K R, ALAM M B, PARK J H, et al. Attenuation of UVB-induced photo-aging by polyphenolic-rich *Spatholobus suberectus* stem extract via modulation of MAPK/AP-1/MMPs signaling in human keratinocytes[J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1341.
- [16] ROH E, KIM J E, KWON J Y, et al. Molecular mechanisms of green tea polyphenols with protective effects against skin photoaging[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(8): 1631-1637.
- [17] DIAS R, OLIVEIRA H, FERNANDES I, et al. Recent advances in extracting phenolic compounds from food and their use in disease prevention and as cosmetics[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(7): 1130-1151.
- [18] CAO Y, XIE L, LIU K, et al. The antihypertensive potential of flavonoids from Chinese herbal medicine: A review[J]. Pharmacological Research, 2021, 174: 105919.
- [19] PÉREZ-CANO F J, CASTELL M. Flavonoids, inflammation and immune system[J]. Nutrients, 2016, 8(10): 659.
- [20] KOPUSTINSKIENE D M, JAKSTAS V, SAVICKAS A, et al. Flavonoids as anticancer agents[J]. Nutrients, 2020, 12(2): 457.
- [21] SANTOS-BUELGA C, FELICIANO A S. Flavonoids: From structure to health issues[J]. Molecules, 2017, 22(3): 477.
- [22] GECHEV T S, HILLE J, WOERDENBAG H J, et al. Natural products from resurrection plants: Potential for medical applications[J]. Biotechnology Advances, 2014, 32(6): 1091-1101.
- [23] LIN L X, FU P F, CHEN N M, et al. Total flavonoids of *Rhizoma Drynariae* protect hepatocytes against aflatoxin B1-induced oxidative stress and apoptosis in broiler chickens[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2022, 230: 113148.
- [24] HAN M, BAE J S, BAN J J, et al. Black rice (*Oryza sativa* L.) extract modulates ultraviolet-induced expression of matrix metalloproteinases and procollagen in a skin cell model[J]. International Journal of Molecular Medicine, 2018, 41(5): 3073-3080.
- [25] MEMETE A R, TIMAR A V, VUSCAN A N, et al. Phytochemical composition of different botanical parts of *Morus* species, health benefits and application in food industry[J]. Plants, 2022, 11(2): 152.
- [26] HU Y F, MA Y T, WU S, et al. Protective effect of cyanidin-3-O-glucoside against ultraviolet B radiation-induced cell damage in human HaCaT keratinocytes[J]. Frontiers in Pharmacology, 2016, 7: 301.
- [27] HERNANDEZ D F, CERVANTES E L, LUNA-VITAL D A, et al. Food-derived bioactive compounds with anti-aging potential for nutraceutical and cosmeceutical products[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(22): 3740-3755.
- [28] BELWAL T, SINGH G, JEANDET P, et al. Anthocyanins, multifunctional natural products of industrial relevance: Recent biotechnological advances[J]. Biotechnol Advances, 2020, 43: 107600.
- [29] XUE H K (薛宏坤). Study on mechanism, characteristics and process of anthocyanins extracted from blueberry by microwave-induced pressure[D]. Harbin: Northeast Agricultural University (东北农业大学), 2019.
- [30] ZHU D P, YU B. Synthesis of the diverse glycosides in traditional



- Chinese medicine[J]. Chinese Journal of Chemistry, 2018, 36(8): 681-691.
- [31] HE Y, HU Z Y, LI A, *et al.* Recent advances in biotransformation of saponins[J]. *Molecules*, 2019, 24(13): 2365.
- [32] VERSTRAETEN S L, ALBERT M, PAQUOT A, *et al.* Membrane cholesterol delays cellular apoptosis induced by ginsenoside Rh2, a steroid saponin[J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2018, 352: 59-67.
- [33] RAMOS-MORALES E, LYONS L, DE LA FUENTE G, *et al.* Not all saponins have a greater antiprotozoal activity than their related sapogenins[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2019, 366(13): fz144.
- [34] JUANG Y P, LIANG P H. Biological and pharmacological effects of synthetic saponins[J]. *Molecules*, 2020, 25(21): 4974.
- [35] WANG Y, REN T J, ZHENG L C, *et al.* *Astragalus* saponins inhibits lipopolysaccharide-induced inflammation in mouse macrophages[J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2016, 44(3): 579-593.
- [36] HU Y B, ZENG H L, HUANG J H, *et al.* Traditional Asian herbs in skin whitening: The current development and limitations[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11: 982.
- [37] GONZÁLEZ-COFRADE L, DE LAS HERAS B, TICONA L A, *et al.* Molecular targets involved in the neuroprotection mediated by terpenoids[J]. *Planta Medica*, 2019, 85(17): 1304-1315.
- [38] VERMAAS J V, BENTLEY G J, BECKHAM G T, *et al.* Membrane permeability of terpenoids explored with molecular simulation[J]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2018, 122(45): 10349-10361.
- [39] EL-BABA C, BAASSIRI A, KIRIAKO G, *et al.* Terpenoids' anti-cancer effects: Focus on autophagy[J]. *Apoptosis*, 2021, 26(9): 491-511.
- [40] CHI J J, SUN L Y, CAI L J, *et al.* Chinese herb microneedle patch for wound healing[J]. *Bioactive Materials*, 2021, 6(10): 3507-3514.
- [41] LI L, CHENG S Q, GUO W, *et al.* Oridonin prevents oxidative stress-induced endothelial injury *via* promoting Nrf-2 pathway in ischaemic stroke[J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2021, 25(20): 9753-9766.
- [42] LU Q X, LI R, YANG Y X, *et al.* Ingredients with anti-inflammatory effect from medicine food homology plants[J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130610.
- [43] ZHAI B T, ZHANG N N, HAN X M, *et al.* Molecular targets of  $\beta$ -elemene, a herbal extract used in traditional Chinese medicine, and its potential role in cancer therapy: A review[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 114: 108812.
- [44] FLOWERIK A, THAKUR N, TIWARI S. Correlation of carotenoid accumulation and expression pattern of carotenoid biosynthetic pathway genes in Indian wheat varieties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102: 103303.
- [45] DIAS M G, BORGES I A, KLJAK K, *et al.* European database of carotenoid levels in foods. Factors affecting carotenoid content[J]. *Foods*, 2021, 10(5): 912.
- [46] LIANG M H, HE Y J, LIU D M, *et al.* Regulation of carotenoid degradation and production of apocarotenoids in natural and engineered organisms[J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2021, 41(4): 513-534.
- [47] ZHAO Y C, GUO L Y, XIA Y, *et al.* Isolation, identification of carotenoid-producing *Rhodotorula* sp. from marine environment and optimization for carotenoid production[J]. *Marine Drugs*, 2019, 17(3): 161.
- [48] MAOKA T. Carotenoids as natural functional pigments[J]. *Journal of Natural Medicines*, 2020, 74(1): 1-16.
- [49] CEZARE-GOMES E A, MEJIA-DA-SILVA L C, PÉREZ-MORA L S, *et al.* Potential of microalgae carotenoids for industrial application[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2019, 188(3): 602-634.
- [50] GARAVAND F, RAHAEE S, VAHEDIKIA N, *et al.* Different techniques for extraction and micro/nanoencapsulation of *Saffron* bioactive ingredients[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 89: 26-44.
- [51] SHI J, LE MAGUER M L. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2000, 40(1): 1-42.
- [52] LOURENÇO-LOPES C, FRAGA-CORRAL M, JIMENEZ-LOPEZ C, *et al.* Biological action mechanisms of fucoxanthin extracted from algae for application in food and cosmetic industries[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 117: 163-181.
- [53] LIU X (刘翔), MAI Y (麦跃), YIN S (殷珊), *et al.* Clinical efficacy of glycyrrhizin fixed fullerene extract combined with glycyrrhizin fullerene astaxanthin facial mask on thermal damage repair after ultra picosecond laser surgery[J]. *China Medical Cosmetology (中国医疗美容)*, 2021, 11(6): 57-60.
- [54] TANG W, LIU D, YIN J Y, *et al.* Consecutive and progressive purification of food-derived natural polysaccharide: Based on material, extraction process and crude polysaccharide[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 99: 76-87.
- [55] SHI L. Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharides from natural products: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 92: 37-48.
- [56] YIN M, ZHANG Y, LI H. Advances in research on immunoregulation of macrophages by plant polysaccharides[J]. *Frontiers in Immunology*, 2019, 10: 145.
- [57] MERRITT H I, SAWYER N, ARORA P S. Bent into shape: Folded peptides to mimic protein structure and modulate protein function[J]. *Peptide Science*, 2020, 112(1): e24145.
- [58] YAO W Z, CHEN X Y, LI X, *et al.* Current trends in the anti-photoaging activities and mechanisms of dietary non-starch polysaccharides from natural resources[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(32): 9021-9035.
- [59] LI F F, HUANG D F, NIE S P, *et al.* Polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L. protect against lipopolysaccharide-induced liver injury[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2019, 22(10): 1058-1066.
- [60] YOSIPOVITCH G, MISERY L, PROKSCH E, *et al.* Skin barrier damage and itch: Review of mechanisms, topical management and future directions[J]. *Acta Dermato-Venereologica*, 2019, 99(13): 1201-1209.
- [61] CUI L, JIA Y, CHENG Z W, *et al.* Advancements in the maintenance of skin barrier/skin lipid composition and the involvement of metabolic enzymes[J]. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 2016, 15(4): 549-558.
- [62] LI Z Z, JIANG R, JING C X, *et al.* Protective effect of oligosaccharides isolated from *Panax ginseng* C. A. Meyer against UVB-induced skin barrier damage in BALB/c hairless mice and human keratinocytes[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 283: 114677.
- [63] BAYAZID A B, JANG Y A. The role of *Andrographolide* on skin inflammations and modulation of skin barrier functions in human keratinocyte[J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2021, 26(5): 804-813.
- [64] KORDULEWSKA N, TOPA J, CIEŚLIŃSKA A, *et al.* Osthole regulates secretion of pro-inflammatory cytokines and expression of TLR2 and NF- $\kappa$ B in normal human keratinocytes and fibroblasts[J]. *Journal of Inflammation Research*, 2022, 15: 1501-1519.
- [65] BÄSLER K, BRANDNER J M. Tight junctions in skin inflammation[J]. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 2017, 469(1): 3-14.
- [66] BRANDNER J M. Tight junctions and tight junction proteins in mammalian epidermis[J]. *European Journal of Pharmacology*, 2009, 72(2): 289-294.
- [67] KIM J, CHO N, KIM E M, *et al.* *Cudrania tricuspidata* leaf extracts and its components, chlorogenic acid, kaempferol, and quercetin, increase claudin 1 expression in human keratinocytes, enhancing intercellular tight junction capacity[J]. *Applied Biological Chemistry*, 2020, 63(1): 1-9.
- [68] JAYASINGHE A M K, HAN E J, KIRINDAGE K G I S, *et al.*

- 3-Bromo-4,5-dihydroxybenzaldehyde isolated from *Polysiphonia morrowii* suppresses TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ -stimulated inflammation and deterioration of skin barrier in HaCaT keratinocytes[J]. *Marine Drugs*, 2022, 20(9): 563.
- [69] ZHANG B B (张蓓蓓), XU K (徐琨), WANG C (王昌), *et al.* Mechanism of action of traditional Chinese medicine and plant whitening ingredients and their application in cosmetics[J]. *Yunnan Journal of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica (云南中医中药杂志)*, 2015, 36(10): 73-75.
- [70] FENG D N, FANG Z X, ZHANG P Z, *et al.* The melanin inhibitory effect of plants and phytochemicals: A systematic review[J]. *Phytomedicine*, 2022. DOI: 10.1016/j.phymed.2022.154449.
- [71] WANG L X, QIAN J, ZHAO L N, *et al.* Effects of volatile oil from ginger on the murine B16 melanoma cells and its mechanism[J]. *Food & Function*, 2018, 9(2): 1058-1069.
- [72] KIM D E, CHANG B Y, HAM S O, *et al.* Neobavaisoflavone inhibits melanogenesis through the regulation of Akt/GSK-3 $\beta$  and MEK/ERK pathways in B16F10 cells and a reconstructed human 3D skin model[J]. *Molecules*, 2020, 25(11): 2683.
- [73] HU S H, HUANG J H, PEI S Y, *et al.* *Ganoderma lucidum* polysaccharide inhibits UVB-induced melanogenesis by antagonizing cAMP/PKA and ROS/MAPK signaling pathways[J]. *Journal of Cellular Physiology*, 2019, 234(5): 7330-7340.
- [74] ZHANG Y Y (张玉银), CONG L (丛琳), LI X Z (李雪竹). Analysis of inorganic sunscreen and its sunscreen mechanism and safety[J]. *Modern Chemical Research (当代化工研究)*, 2020(8): 35-36.
- [75] ADAMSON A S, SHINKAI K. Systemic absorption of sunscreen balancing benefits with unknown harms[J]. *American Medical Association*, 2020, 323(3): 223-224.
- [76] XU Y Y (胥洋洋), SONG Z Y (宋志洋), JIA C Y (贾长英), *et al.* Sunscreen agents and its latest research progress[J]. *Guangzhou Chemical Industry (广州化工)*, 2019, 47(11): 17-19, 35.
- [77] SILVA L S B, PERASOL F B, CARVALHO K V, *et al.* *Melaleuca leucadendron* (L.) L. flower extract exhibits antioxidant and photoprotective activities in human keratinocytes exposed to ultraviolet B radiation[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2020, 159(1): 54-65.
- [78] KUNCHANA K, JARISARAPURIN W, CHULAROJMONTRI L, *et al.* Potential use of amla (*Phyllanthus emblica* L.) fruit extract to protect skin keratinocytes from inflammation and apoptosis after UVB irradiation[J]. *Antioxidants*, 2021, 10(5): 703.
- [79] GAN J H (甘嘉荷), LIAO Y (廖勇). Skin inflammaging and treatment strategies[J]. *Journal of Practical Dermatology (实用皮肤病学杂志)*, 2022, 15(1): 35-40.
- [80] ROH E, KIM J E, KWON J Y, *et al.* Molecular mechanisms of green tea polyphenols with protective effects against skin photoaging[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(8): 1631-1637.
- [81] PARK C, PARK J, KIM W J, *et al.* Malonic acid isolated from *Pinus densiflora* inhibits UVB-induced oxidative stress and inflammation in HaCaT keratinocytes[J]. *Polymers*, 2021, 13(5): 816.
- [82] MAGNAVACCA A, PIAZZA S, CAMMISA A, *et al.* *Ribes nigrum* leaf extract preferentially inhibits IFN- $\gamma$ -mediated inflammation in HaCaT keratinocytes[J]. *Molecules*, 2021, 26(10): 3044.
- [83] HUANG C H, CHANG L C, HU S, *et al.* Spilanthal inhibits TNF- $\alpha$ -induced ICAM-1 expression and pro-inflammatory responses by inducing heme oxygenase-1 expression and suppressing pJNK in HaCaT keratinocytes[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2018, 18(3): 2987-2994.
- [84] JAYASINGHE A M K, KIRINDAGE K G I S, FERNANDO I P S, *et al.* Fucoidan isolated from *Sargassum confusum* suppresses inflammatory responses and oxidative stress in TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ -stimulated HaCaT keratinocytes by activating Nrf-2/HO-1 signaling pathway[J]. *Marine Drugs*, 2022, 20(2): 117.
- [85] FISK W A, LEV-TOV H A, SIVAMANI R K. Botanical and phytochemical therapy of acne: A systematic review[J]. *Phytotherapy Research*, 2014, 28(8): 1137-1152.
- [86] DOBLER D, SCHMIDTS T, WILDENHAIN S, *et al.* Impact of selected cosmetic ingredients on common microorganisms of healthy human skin[J]. *Cosmetics*, 2019, 6(3): 45.
- [87] VARVARESOU A, PAPAGEORGIOU S, TSIRIVAS E, *et al.* Self-preserving cosmetics[J]. *International Journal of Cosmetic Science*, 2009, 31(3): 163-175.
- [88] PAUL A, RADHAKRISHNAN M. Pomegranate seed oil in food industry: Extraction, characterization, and applications[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 105: 273-283.
- [89] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ C, AGUILAR C N, RODRÍGUEZ-HERRERA R, *et al.* Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): Nutritional and functional properties[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 85: 201-210.
- [90] AMORIM A G N, VASCONCELOS A G, SOUZA J, *et al.* Bio-availability, anticancer potential, and chemical data of lycopene: An overview and technological prospecting[J]. *Antioxidants*, 2022, 11(2): 360.
- [91] LI K Y, ZHOU R, JIA W W, *et al.* *Zanthoxylum bungeanum* essential oil induces apoptosis of HaCaT human keratinocytes[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 186: 351-361.
- (上接第 1427 页)
- [95] EID K, SLIEM M H, JLASSI K, *et al.* Precise fabrication of porous one-dimensional g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanotubes doped with Pd and Cu atoms for efficient CO oxidation and CO<sub>2</sub> reduction[J]. *Inorganic Chemistry Communications*, 2019, 107: 107460.
- [96] EID K, SLIEM M H, ALKANDARI H, *et al.* Rational synthesis of porous graphitic-like carbon nitride nanotubes codoped with Au and Pd as an efficient catalyst for carbon monoxide oxidation[J]. *Langmuir*, 2019, 35(9): 3421-3431.
- [97] LUBITZ W, TUMAS W. Hydrogen: An overview[J]. *Chemical Reviews*, 2007, 107(10): 3900-3903.
- [98] SPATH P L, MANN M K. Life cycle assessment of hydrogen production via natural gas steam reforming[R]. National Renewable Energy Lab, Golden, CO (US), 2000.
- [99] RAN J R, ZHANG J, YU J G, *et al.* Earth-abundant cocatalysts for semiconductor-based photocatalytic water splitting[J]. *Chemical Society Reviews*, 2014, 43(22): 7787-7812.
- [100] SUN Z X, WANG H Q, WU Z B, *et al.* g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> based composite photocatalysts for photocatalytic CO<sub>2</sub> reduction[J]. *Catalysis Today*, 2018, 300: 160-172.
- [101] LI X, PAN K, QU Y, *et al.* One-dimension carbon self-doping g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanotubes: Synthesis and application in dye-sensitized solar cells[J]. *Nano Research*, 2018, 11(3): 1322-1330.
- [102] IRANNEJAD N, REZAEI B, ENSAFI A A, *et al.* Enhanced efficiency of dye-sensitized solar cell by using a novel modified photoanode with platinum C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanotubes incorporated Ag/TiO<sub>2</sub> nanoparticles[J]. *Electrochimica Acta*, 2017, 247: 764-770.