

根皮素在化妆品中的应用

崔树梅, 曹孟岑, 杨雪晨, 李梦杰, 何聪芬, 宋丽雅
(北京工商大学北京市植物资源研究开发重点实验室, 北京 100048)

摘要:综述了根皮素的植物来源、制备方法、在化妆品中的作用以及应用现状。根皮素具有抗氧化、抗炎、防晒、促透皮吸收、美白、保湿、抑菌及防脱发作用,可用于开发功效型化妆品。

关键词:根皮素;化妆品;功效原料;应用

中图分类号:TQ658 文献标识码:A 文章编号:1001-1803(2018)02-0113-06

DOI:10.13218/j.cnki.csdc.2018.02.011

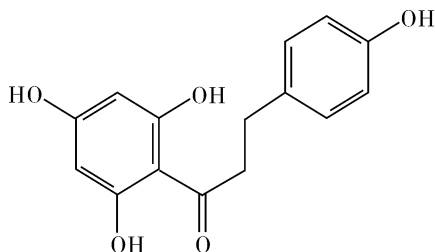
Applications of phloretin in cosmetics

CUI Shu - mei, CAO Meng - cen, YANG Xue - chen, LI Meng - jie, HE Cong - fen, SONG Li - ya
(Beijing Key Laboratory of Plant Research and Development,
Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: The phloretin's plants origin, preparation process, functions and application status in cosmetics were reviewed. Phloretin has lots of functions such as antioxidation, anti - inflammation, sunscreen, transdermal absorption promotion, skin whitening, moisturizing, antibacterial activity and anti alopecia. The phloretin has a promising prospect to be used in developing functional cosmetics.

Key words: phloretin; cosmetics; functional raw materials; application

根皮素(Phloretin)是一种具有二氢查尔酮结构的植物多酚,因其多集中于苹果树的根皮中而得名。其化学名为2,4,6-三羟基-3-(4-羟基苯基)苯丙酮,结构式见下,分子式为 $C_{15}H_{14}O_5$,分子量为274.27,纯品为浅红色,溶于碱溶液,易溶于甲醇、乙醇及丙酮,几乎不溶于水。



根皮素因其特殊的结构具有多种生物活性作用,成为近年来研究的热点。研究发现,根皮素具有抗氧化、抗肿瘤、抗炎、免疫抑制、促进骨形成等^[1]多种药理学作用,此外还具有延缓衰老、美白肌肤、抗炎、祛除

粉刺等^[2]多种美容功效。随着功效型化妆品市场占比的增大,作为一种化妆品功效原料,根皮素已得到美容界研究者的广泛关注。本文将从根皮素的植物来源、制备方法、在化妆品中的作用以及应用现状等方面进行综述,为其在化妆品中的进一步研发应用提供理论依据。

1 根皮素的植物来源

根皮素主要分布在苹果枝叶、苹果果实/皮、苹果树的根茎/皮、荔枝果皮、藏药“俄色叶”等多种植物中。藏药“俄色叶”来源于蔷薇科苹果属植物变叶海棠(*M. toringoides* (Rehd.) Hughes.)和花叶海棠(*M. tiansitoria* (Batal.) Schneid.)的叶,是甘孜藏族自治州民间的一味习用药材,多作保健食品用,具有保肝利胆、除腻涤滞、攻坚化积等功效^[3]。研究表明“俄色叶”总黄酮具有降血脂、降血糖的功效^[4],其中根皮素

收稿日期:2017-12-19;修回日期:2018-01-19

基金项目:2017年研究生科研能力提升计划资助项目

作者简介:崔树梅(1992-),女,河北人,硕士研究生,电话:15110037969, E-mail:15110037969@163.com。

通讯联系人:宋丽雅(1974-),女,博士,副教授,电话:(010)68984937, E-mail:songly@th.btbu.edu.cn。

与根皮苷是其主要的黄酮类成分^[5]。夏冬梅等^[5]以乙醇为溶剂提取并用 HPLC 法测定了 19 批“俄色叶”中根皮素的含量,为“俄色叶”的开发利用提供了理论依据。苹果是我国产量最大的水果之一,苹果的营养成分丰富,具有很好的抗氧化、抗肿瘤、预防心脑血管疾病、保肝和增强记忆等作用^[6]。乜兰春^[7]比较了富士、新红星、乔纳金、王林和金冠 5 种苹果幼果及成熟果实中根皮素的含量,发现成熟果实比幼果中的根皮素含量高,其中成熟的富士苹果果实中的根皮素含量又相对较高(8.73 μg/g)。此外,苹果枝叶^[8]、苹果渣^[9-11]、苹果籽^[12]等废弃物中也含有根皮素。赵艳敏等^[8]研究了一年生长旺盛期间苹果树枝、叶中根皮苷和根皮素含量的动态变化规律,为苹果枝叶的修剪时间及根皮素的提取提供了理论依据。据统计,2016 年我国苹果产量达 3 405 万 t,果树的种植面积达 246.7 万 hm²^[13],但每年由于苹果树修剪及果实加工等原因产生的大量苹果枝叶、苹果渣等废弃物不能得到综合利用,造成了巨大的资源浪费和环境污染。因此,从苹果枝叶及废渣中提取根皮素更有利于废弃物

的综合利用。

根皮素及其相似物在植物体内的具体生物合成途径见图 1。由莽草酸途径合成的 4-香豆酸在 4-香豆酸连接酶(4CL)作用下生成对香豆素辅酶酰 A。生成的对香豆素辅酶酰 A,一方面能与 3 分子的丙二酸单酰辅酶 A(由乙酰辅酶 A 合成)在查尔酮合酶(CHS)作用下生成柚皮素查尔酮,进一步在查尔酮异构酶(CHI)作用下生成柚皮素;另一方面,对香豆素辅酶酰 A 能被烯酰还原酶-3/5(ENR1-3/5)还原成二氢-对香豆素辅酶酰 A。二氢-对香豆素辅酶酰 A 与 3 分子的丙二酸单酰辅酶 A 在 CHS 作用下生成根皮素。最后,根皮素在尿苷二磷酸葡萄糖(UDP-Glc)存在下被尿苷二磷酸糖基转移酶(UGT)修饰形成根皮苷^[14,15]。根皮素可直接被人体吸收,但在植物体内,天然存在的根皮素很少,根皮素大多以其糖苷衍生物——根皮苷的形式存在^[16],人体吸收的根皮苷在胃黏膜上脱掉糖苷基生成根皮素后才能进入循环系统,从而发挥功效。因此,研究根皮素及其相似物的生物合成途径,对促进根皮素的生物合成具有重大意义。

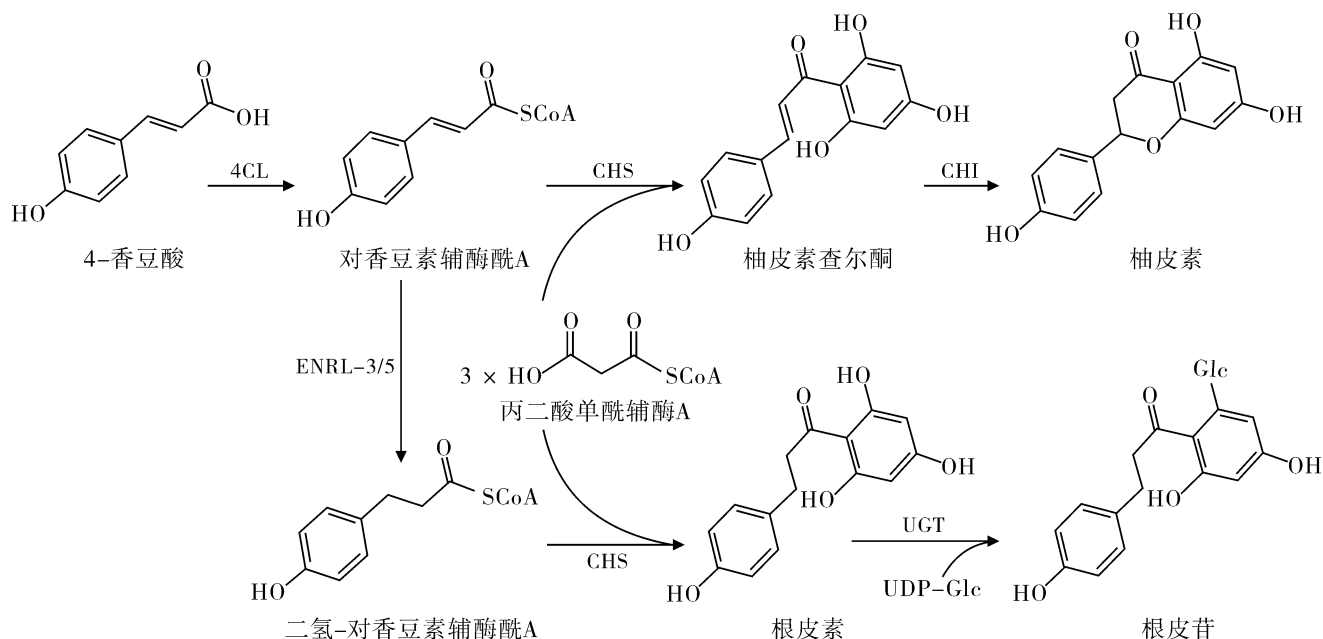


图 1 根皮素及其相似物在植物体内的合成途径

Fig. 1 Synthetic routes of phloretin and its similarities in plants

2 根皮素的制备

近年来,许多研究者对根皮素的制备提取进行了研究,表 1 列出了近 6 年根皮素与根皮苷的提取现状。根皮素制备方法主要包括超声提取法、浸渍法、热回流法、酶法及生物酶转化法。超声提取法方法简便,提取速度快,但提取效率低,利用超声提取法不能从苹果肉和苹果皮^[17]中提取出根皮素,而从花叶海棠叶中提取

的根皮素含量最多仅占总有效成分的 0.55%^[5]。浸渍法操作简便,但提取效率受溶剂影响较大。单一溶剂(乙醇^[16]、NaOH 溶液^[16]或甲醇^[11])提取时根皮素得率较低,酸性甲醇提取时得率为 36.60 μg/g^[16],而甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯和氯仿混合溶剂可将根皮素得率提高至 780 μg/g^[11],可以看出混合溶剂有助于浸渍法提取效率的提高。热回流法提取根皮素具有提取效率高,减少溶剂挥发等优点。吕海涛等^[18]以酸

性乙醇为溶剂,利用热回流法从苹果树皮中提取根皮素的得率高达 11.8 mg/g,表明溶剂提取法中热回流法对根皮素的提取效率最高。除溶剂提取法外,张金宏^[16]测定酶法提取物中根皮素及根皮苷的含量,发现与乙醇提取物相比,酶法提取物中根皮苷含量降低,而根皮素含量增加,表明酶法可将植物中的根皮苷转化

为根皮素,提高根皮素的提取效率。梅建凤等^[19]发现紫变青霉 QL-9204 发酵制得的粗酶液在一定条件下可将 90.3% 的根皮苷转化为根皮素,降低了根皮素的制备成本,提高了根皮素的制备效率。综上可知,利用生物技术手段制备根皮素不仅成本低、操作简便,而且可避免溶剂等资源的浪费。

表1 近6年根皮素与根皮苷提取现状

Tab. 1 Extraction of phloretin and phlorizin in the recent six years

制备方法	原料	试剂	$w(\text{根皮素})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	$w(\text{根皮苷})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	特点
超声提取法	苹果肉 ^[17]	甲醇	ND	0~0.003 2	提取速度快、方法简便、提取效果不理想
	苹果皮 ^[17]	甲醇	ND	0.024~0.160	
	变叶海棠叶 ^[5]	甲醇	0.47% ¹⁾	21.05% ¹⁾	
	花叶海棠叶 ^[5]	甲醇	0.55% ¹⁾	23.26% ¹⁾	
浸渍法	苹果渣	70%乙醇 ^[16]	ND	71.72	方法简便、提取效率与溶剂有关
		NaOH溶液 ^[16]	3.12	1.58	
		40%甲醇 ^[11]	3.43	2.38	
		甲醇和浓硫酸 ^[16]	36.60	ND	
		甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯和氯仿 ^[11]	780	860	
热回流法	苹果树皮	90%乙醇和 1.08% HCl ^[18]	1.18×10^4		提取效率高、可减少溶剂挥发
酶法	苹果渣	单宁酶(1 000 U) ^[16]	69.93	2.51	方法简便、根皮素得率高
生物酶转化法	根皮苷	紫变青霉 QL-9204 发酵制得的粗酶液 ^[19]	90.3% ²⁾		方法简便、转化率高、废弃物少

注:1)表示根皮素、根皮苷在总有效成分中的质量分数;2)表示由根皮苷转化为根皮素的转化率;“ND”表示未检测出。

3 根皮素在化妆品中的作用

3.1 延缓衰老及抗氧化活性

随着人们生活品质的提高和全球老龄化,越来越多的人深受皮肤衰老问题的困扰,具有抗衰老功效的化妆品和护理品已成为当今个人护理品行业的重头戏。衰老的自由基理论被广泛认可,目前延缓皮肤衰老的主要手段是使用外在抗氧化剂抵消和减轻自由基变化。孟庆华等^[20]研究表明,天然黄酮类化合物结构中的酚羟基可与自由基反应生成稳定的半醌式自由基,从而抑制起始阶段的脂类过氧化作用,终止自由基链式反应。根皮素是二氢查尔酮类结构的黄酮类化合物,具有4个酚羟基,其独特的结构决定了其极强的抗氧化活性。体外实验表明,根皮素具有抑制线粒体脂质过氧化、清除 DPPH 自由基及 ABTS 自由基的能力^[21,22]。Limasser 等^[23]研究表明,根皮素有极强的抗氧化活性,对油脂的抗氧化质量浓度为 10.30 mg/L,可清除皮肤内的自由基。根皮素不仅自身具有抗氧化作用,还可以与现有抗氧化剂联用,提高抗氧化效果。孙玥等^[24]研究发现 34.9% 阿魏酸、35.1% 根皮素和 30% 水溶性 V_E 的混合物联合使用具有协同抗氧化效

果。同时,学者利用 O/W 型微乳技术及包埋技术解决了根皮素水溶性和稳定性差的问题^[25-27],为根皮素在化妆品中的应用提供了指导。由此可见,根皮素及其包合物具有良好的清除自由基的作用,在延缓衰老功效化妆品中具有很大的应用前景。

3.2 抗炎活性

近几年来,敏感性皮肤发生率有不断增多的趋势,化妆品行业对敏感皮肤的关注度逐渐上升。脂溢性皮炎、痤疮、口周皮炎、特应性皮炎等皮肤疾病常与敏感性皮肤有关^[28]。据不完全统计,国内外约有 1/3 以上的人在一生中罹患过过敏性疾患,各个地区女性敏感肌肤者占正常人群 50% 以上^[29]。Barel 等^[30]研究表明,敏感性皮肤主要是由皮肤屏障功能受损、神经传导功能增加和免疫反应性增加所引起的。皮肤屏障受损时,刺激物的渗透性增加,刺激物会诱发不同细胞释放促炎因子和趋化因子,调节免疫及炎症的进展,进而促进敏感皮肤的产生。因此,抑制炎症因子和趋化因子的产生可以抑制或减少皮肤组织在炎症反应过程中造成的损伤。体外研究^[22,31]表明,根皮素能够抑制炎症因子、趋化因子和分化因子的产生,具有一定的抗炎作用。同时,Huang 等^[32]研究发现,根皮素能够抑制单

核细胞粘附角质形成细胞的能力,阻碍信号蛋白激酶 Akt 和 MAPK 的磷酸化,从而达到抗炎效果。在体研究也证明根皮素具有抗氧化和抗炎效果^[33,34]。根皮素在体内外的抗炎作用表明其具有潜在的舒敏作用,可用于舒敏型护肤品中。除此之外,现代医学表明^[34],痤疮发病过程相关的重要因素与引发炎症的因素往往不是孤立的。根皮素外用能阻止糖类成分进入表皮细胞,抑制皮脂腺过度分泌,治疗分泌旺盛型粉刺,同时进入细胞内部能够明显降低 COX-2 启动子活性,抑制前列腺 E2 的生成,缓解痤疮型皮肤的炎症反应。综上所述,根皮素不仅具有抗氧化作用,还具有抗炎活性,其在祛痘类化妆品及舒敏型化妆品中具有广泛的应用前景。

3.3 防晒作用

随着全球变暖及臭氧层破坏日益严重,到达地面的紫外线辐射强度增强,造成日光性皮炎及皮肤癌患者数量明显增加,皮肤防晒已引起人们广泛关注,防晒化妆品市场需求也逐渐增加。目前,防晒化妆品中常用的物理防晒剂存在容易堵塞毛孔问题,化学防晒剂存在光稳定性差、易氧化变质和引起皮肤过敏等问题,因此从天然植物来源化合物中筛选防晒成分成为化妆品防晒剂研发的新方向。郑洪艳等^[35]研究发现,根皮素具有一定的紫外吸收能力,将根皮素添加到化妆品基础配方中可提高化妆品的 SPF 及 SPA 值。另外,根皮素、V_C 和阿魏酸混合物可保护人体皮肤免受紫外线的伤害,为人体皮肤提供光保护作用^[36]。根皮素不仅能直接吸收紫外线,同时能够增强核苷酸切除修复基因的表达,减缓由 UVB 诱导的嘧啶二聚体形成、谷胱甘肽降解和细胞死亡,减少紫外线对角质形成细胞的伤害^[37]。紫外线照射可使细胞产生活性氧和自由基,二者极不稳定,容易发生一系列氧化连锁反应,最终伤害细胞。根皮素具有抗氧化活性及吸收紫外线的作用,在防晒化妆品中具有潜在的应用价值。

3.4 促透皮吸收性

化妆品是涂抹在人体表面的一种精细产品,且化妆品中大部分功效成分需要穿透角质层作用于靶细胞发挥作用,如美白祛斑产品中的酪氨酸酶抑制剂必须要渗透到基底层,延缓衰老的活性成分必须要渗透到真皮层才能起到美容功效。但角质细胞与细胞间脂质形成的砖墙结构成为化妆品中活性成分渗透的重要防线,因此,添加促透皮吸收剂对提高化妆品的功效性具有重要意义。根皮素是一种亲脂性化合物,可经由细胞间脂质渗入皮肤。Przybylo 等^[38]研究表明,根皮素

会改变磷脂双分子层的膜偶极电位,影响磷脂双分子层的界面组织及水的渗透驱动水流动力学。张旻等^[39]研究发现根皮素乳膏中根皮素具有良好的透皮性能。同时,以根皮素为媒介时,利多卡因盐酸盐透皮吸收量增加到原来的 5.4 倍^[40],表明根皮素可以影响载体介导的转运过程,具有一定的促透皮吸收性功能。根皮素是一种天然、安全、有效的亲脂性化合物,具有一定的促渗透作用,可作为有效活性成分的载体添加到化妆品中,促进有效成分的透皮吸收,使其发挥出更好的功效。

3.5 抑菌活性

防腐剂是化妆品中的重要组成成分之一,是化妆品安全的重要保证。目前,化妆品准用防腐剂种类减少,化妆品常见防腐剂使用集中,研发新型、安全的抑菌剂成为化妆品发展的重要挑战。根皮素是一种具有抑菌活性的黄酮化合物。Barreca 等^[41]研究发现根皮素对革兰氏阳性菌具有较强的抑制作用,尤其是对金黄色葡萄球菌(ATCC6538, MIC = 7.81 mg/L)、李斯特菌(ATCC 13932, MIC = 62.5 mg/L)和鼠伤寒沙门氏菌(ATCC 13111, MIC = 125 mg/L)。除了对致病菌有抑菌活性外,根皮素对皮肤常见细菌也有作用。痤疮丙酸杆菌等皮肤菌的过度繁殖会引发粉刺等皮肤问题,Kum 等^[34]研究发现根皮素对痤疮丙酸杆菌和颗粒痤疮丙酸杆菌的 MIC 均为 0.5 mg/L,同时临床试验结果表明受试者使用根皮素 4 周后白头粉刺、黑头粉刺、丘疹及皮脂分泌等均有显著的降低,表明根皮素具有潜在的缓解痤疮的作用。根皮素对细菌的抑杀作用,一方面是作用于细菌内部的酶蛋白系统,影响细菌能量代谢及细菌滋生的氧化损伤修复^[41];另一方面是干扰细胞内部蛋白质的合成,使细胞内的新陈代谢紊乱^[42],最终导致细菌死亡。综上可知,根皮素具有一定的抑菌作用,随着对根皮素抑菌作用的深入研究,根皮素可能被开发成为一种新型天然抑菌剂添加到化妆品中以替代部分化学防腐剂,同时也可作为功效原料添加到祛痘化妆品中。

3.6 美白活性

随着人们生活水平和审美标准的提高,白皙与滋润的肌肤越来越被大多数女性推崇,美白类化妆品备受欢迎。目前,美白剂的研发主要以抑制酪氨酸酶活性为主导。Zuo 等^[21]研究发现根皮素具有抑制酪氨酸酶活性的作用,其 IC₅₀ 为 37.5 μmol/L。王建新等^[43]研究发现 0.3% 的根皮素对酪氨酸酶的抑制率高达 98.2%,其 IC₅₀ 为 0.05%,其对酪氨酸酶的抑制

作用优于常见的美白剂(曲酸和熊果苷),进一步研究发现根皮素与常见的酪氨酸酶抑制剂复配能够大大提高其抑制率,很好地达到100%的抑制效果。此外,羟丙基- β -环糊精与根皮素的包合物具有良好的抑制酪氨酸酶活性的作用^[28,32]。根皮素表现出的抑制酪氨酸酶活性及美白增效活性的特点,为其在美白化妆品中的应用提供了方向。

3.7 保湿作用

健康的皮肤应保持角质层含水量处于10%~30%之间,而低于10%皮肤就会显得干燥、失去弹性、起皱,皮肤老化进程加快。因此,水分对皮肤健康至关重要,保水、保湿成为消费者对化妆品功效最基本的诉求。传统的化妆品保湿剂为多元醇类,近年来研究者^[44]发现植物多糖、多酚等含羟基、羧基等极性基团的植物来源的化合物也具有保湿作用。根皮素分子中含有的4个羟基基团可与水分子形成氢键,吸收水分,具有潜在的保湿功效。因此,根皮素也可作为天然保湿剂应用于保湿化妆品中。

3.8 防脱发作用

随着生活节奏的加快,人们生活压力加大,经常会引发脱发问题,因此防脱发产品深受消费者喜爱。大豆脂肪氧合酶是脂质氧化过程中的重要酶之一,同时其参与皮肤的炎症反应过程,是影响脱发的重要酶之一。Duranton^[45]的研究表明根皮素可以抑制大豆脂肪氧合酶活性,从而减少毛发因过早进入衰老而脱落,表明根皮素具有潜在的防脱发作用,可以作为防脱发功效原料添加至洗发露、护发素中。

4 根皮素在化妆品中的应用现状

随着科学技术的进步、化妆品行业的快速发展及人们生活水平的提高,消费者更加倾向于选择添加了天然活性成分的化妆品。根皮素具有抗氧化、抗炎、美白、防晒、抑菌、防脱发等多种作用,已广泛应用于面霜、乳液、精华、凝胶、护发素等多种类型的化妆品和护理品中。其中,“修丽可”旗下众多产品中添加了天然活性成分根皮素,如SkinCeuticals Phloretin CF, SkinCeuticals AOX + Eye Gel 和 SkinCeuticals Phloretin CF Gel 等。除此之外,雅芳及SkinActive系列护肤品中也有根皮素的身影。除护肤品外,根皮素也被用于洗发水、护发素中以保护毛发生长,如Skinactives Gray Hair Serum with Methionine Sulfoxide Reductase (MSR)。由根皮素在化妆品中的应用现状可以看出,根皮素适用性较强,且多在国外品牌化妆品中使用,而在国产品

牌中的应用较少。

5 结束语

根皮素是一种具有二氢查尔酮结构的黄酮化合物,具有抗氧化、抗炎、美白、防晒、抑菌、保湿等多种功效,已被应用于化妆品中。虽然根皮素在化妆品中有一定的应用,但仍有诸多问题值得我们深入研究。1)根皮素制备方法的优化:天然根皮素含量少、提取难、价格贵,限制了其在化妆品中的广泛应用;2)根皮素的进一步修饰:水溶性小、体内吸收低、性质不稳定等问题限制了根皮素在化妆品等领域的应用;3)合理应用根皮素的增效作用:根皮素与抗氧化剂、防晒剂等功效成分复配使用能起到协同增效的作用,在抗菌、美白等方面是否有相似作用还需进一步研究;4)功效化妆品研发:根皮素具有多种功效,但在本土品牌化妆品中应用较少,还需进一步研发。总之,应加快其基础研究,提高苹果加工产生的废渣及树木修剪过程中产生的废弃物的利用率,为开发新天然化妆品提供坚实的理论基础。根皮素具有多种功效,必将在化妆品中具有广阔的应用前景,值得国内学者进一步研究。

参考文献:

- [1] Antika L D, Lee E J, Kim Y H, et al. Dietary phlorizin enhances osteoblastogenic bone formation through enhancing β -catenin activity via GSK-3 β inhibition in a model of senile osteoporosis [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2017, 49: 42-52.
- [2] Lin C C, Chu C L, Ng C S, et al. Immunomodulation of phloretin by impairing dendritic cell activation and function [J]. Food & Function, 2014, 5(5): 997-1006.
- [3] 曾俊,杨瑞山,蔡晓洋,等. 俄色叶提取物对小鼠急性酒精性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 311-314.
- [4] 李燕,谢晓芳,李丹,等. 俄色总黄酮对糖尿病的药理作用研究[J]. 中外医疗, 2013, 32(14): 25-27.
- [5] 夏冬梅,李敏,王道清,等. 藏药俄色叶中根皮苷、根皮素含量分析[J]. 中国现代中药, 2014, 16(8): 618-622.
- [6] 杨素. 苹果中多糖和黄酮类化合物肝损伤保护作用的药理活性研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2013.
- [7] 卮兰春. 苹果果实酚类和挥发性物质含量特征及其与果实品质关系的研究[D]. 保定:河北农业大学, 2004.
- [8] 赵艳敏,王皎,宋光明,等. 苹果树枝和叶中根皮苷及根皮素含量变化研究[J]. 食品研究与开发, 2013(7): 95-98.
- [9] Reis S F, Rai D K, Abughannam N. Water at room temperature as a solvent for the extraction of apple pomace phenolic compounds [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1991-1998.
- [10] Rana S, Rana A, Gulati A, et al. RP-HPLC-DAD determination of phenolics in industrial apple pomace [J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(7): 1424-1432.
- [11] Zhang T, Wei X, Miao Z, et al. Screening for antioxidant and antibac-

- terial activities of phenolics from Golden Delicious apple pomace [J]. *Chemistry Central Journal*, 2016, 10(1): 47–55.
- [12] Fromm M, Bayha S, Carle R, et al. Characterization and quantitation of low and high molecular weight phenolic compounds in apple seeds [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2012, 60(5): 1232–1242.
- [13] 国家苹果产业技术体系首席科学家办公室. 2017年苹果产业发展趋势与建议[J]. *果农之友*, 2017(5): 1–3.
- [14] Dare A P, Tomes S, Cooney J M, et al. The role of enoyl reductase genes in phloridzin biosynthesis in apple [J]. *Plant Physiology & Biochemistry*, 2013, 72: 54–61.
- [15] Jugdé H, Nguy D, Moller I, et al. Isolation and characterization of a novel glycosyltransferase that converts phloretin to phlorizin, a potent antioxidant in apple [J]. *Febs Journal*, 2010, 275(15): 3804–3814.
- [16] 张金宏. 苹果渣中游离酚和结合酚的提取及其功能特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [17] Karaman S, Tütem E, Baskan K S, et al. Comparison of antioxidant capacity and phenolic composition of peel and flesh of some apple varieties [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2013, 93(4): 867–875.
- [18] 吕海涛, 徐凯, 姜华, 等. 正交试验法优选苹果树皮中根皮素的提取研究[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(3): 60–63.
- [19] 梅建凤, 李靓, 易喻, 等. 紫变青霉生物转化根皮苷制备根皮素的研究[J]. *浙江工业大学学报*, 2016, 44(6): 660–664.
- [20] 孟庆华, 于晓霞, 张海凤, 等. 天然黄酮类化合物清除自由基机理及其应用进展[J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2012, 21(2): 79–83.
- [21] Zuo A R, Yu Y Y, Shu Q L, et al. Hepatoprotective effects and antioxidant, antityrosinase activities of phloretin and phloretin isonicotinyl hydrazone [J]. *Journal of the Chinese Medical Association Jcma*, 2014, 77(6): 290–301.
- [22] Chung M J, Sohng J K, Choi D J, et al. Inhibitory effect of phloretin and biochanin A on Ig E-mediated allergic responses in rat basophilic leukemia RBL-2H3 cells [J]. *Life Sciences*, 2013, 93(9): 401–408.
- [23] Limasser B, Doucen C, Dore J C. Effect of flavonoids on the release of reactive oxygen species by stimulated human neutrophils [J]. *Biochemical Pharmacology*, 1993, 46(7): 1257–1271.
- [24] 孙玥, 余燕影, 曹树稳. 阿魏酸、根皮素和水溶性 V_E 的抗氧化协同效应及其配方优化[J]. *食品科学*, 2012, 33(3): 33–38.
- [25] 刘彩云, 王卓娅, 罗欣茹, 等. 根皮素抗氧化剂对微乳及微乳凝胶剂的研究[J]. *香料香精化妆品*, 2017(3): 49–53.
- [26] Wei Y, Zhang J, Memon A H, et al. Molecular model and in vitro antioxidant activity of a water-soluble and stable phloretin/hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, 236: 68–75.
- [27] 李姝静, 周自若, 周威, 等. 根皮素与两种 β -环糊精衍生物的包合作用及性质[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 11–16.
- [28] 李芸, 孙秋宁, 杨蓉娅, 等. 舒缓特护面霜辅助治疗 862 例面部敏感性皮肤患者疗效观察[J]. *实用皮肤病学杂志*, 2015, 8(1): 85–88.
- [29] Perez Carla, 马立群. 敏感性肌肤: 解释和起源[C]//2006年中国化妆品学术研讨会论文集. 上海: 中国香精香料化妆品工业协会, 2006: 246–247.
- [30] Barel A O, Paye M, Maibach H I. *Handbook of cosmetic science and technology* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2014: 1262–1263.
- [31] Chang W T, Huang W C, Liou C J. Evaluation of the anti-inflammatory effects of phloretin and phlorizin in lipopolysaccharide-stimulated mouse macrophages [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(2): 972–979.
- [32] Huang W C, Dai Y W, Peng H L, et al. Phloretin ameliorates chemokines and ICAM-1 expression via blocking of the NF- κ B pathway in the TNF- α -induced HaCaT human keratinocytes [J]. *International Immunopharmacology*, 2015, 27(1): 32–37.
- [33] Aliomrani M, Sepand M R, Mirzaei H R, et al. Effects of phloretin on oxidative and inflammatory reaction in rat model of cecal ligation and puncture induced sepsis [J]. *Daru Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2016, 24(1): 1–8.
- [34] Kum H, Roh K B, Shin S, et al. Evaluation of anti-acne properties of phloretin in vitro and in vivo [J]. *International Journal of Cosmetic Science*, 2016, 38(1): 85–92.
- [35] 郑洪艳, 庞建平, 苏宁, 等. 天然植物紫外线防护效果研究[J]. *香料香精化妆品*, 2013(5): 33–35.
- [36] Oresajo C, Stephens T, Hino P D, et al. Protective effects of a topical antioxidant mixture containing vitamin C, ferulic acid, and phloretin against ultraviolet-induced photodamage in human skin [J]. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 2010, 7(4): 290–297.
- [37] Shin S, Kum H, Ryu D, et al. Protective effects of a new phloretin derivative against UVB-induced damage in skin cell model and human volunteers [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014, 15(10): 18919–18940.
- [38] Przybylo M, Procek J, Hof M, et al. The alteration of lipid bilayer dynamics by phloretin and 6-ketocholestanol [J]. *Chemistry & Physics of Lipids*, 2014, 178(2): 38–44.
- [39] 张旻, 王伟伟, 赵欢欢, 等. 复方根皮素乳膏中根皮素、藜本内酯体外透皮吸收研究[J]. *中国药师*, 2017, 20(6): 1038–1041.
- [40] Valenta C, Cladera J, O'Shea P, et al. Effect of phloretin on the percutaneous absorption of lignocaine across human skin [J]. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2001, 90(4): 485–492.
- [41] Barrea D, Bellocco E, Laganà G, et al. Biochemical and antimicrobial activity of phloretin and its glycosylated derivatives present in apple and kumquat [J]. *Food Chemistry*, 2014, 160: 292–297.
- [42] 张英. 根皮素抑菌活性及抑菌机理的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [43] 王建新, 周忠, 王建国. 根皮素抑酪氨酸酶活性研究[J]. *香料香精化妆品*, 2002(2): 4–5.
- [44] 洪晓云. 几种植物天然产物在化妆品上的应用[J]. *亚热带植物科学*, 2017, 46(3): 297–300.
- [45] Duranton A. Modulating body/cranial hair growth with lipoygenase/cyclooxygenase inhibitors; US5928654 [P]. 1999-07-27.

(编辑: 杨旭)