

无患子籽油护肤乳液的制备及性能分析

雷锦舸¹, 郑竟成^{1,2,3}, 周力³, 罗质^{1,2}, 何东平^{1,2,3}, 雷芬芬^{1,2,3}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 武汉轻工大学 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023; 3. 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430023)

摘要:为促进无患子籽油在化妆品中的应用研究,首先以无患子籽油为原料制备纳米乳液,以粒径和 Zeta 电位为指标,采用单因素实验对乳液制备工艺条件进行了优化,然后在单因素实验的基础上制备无患子籽油护肤乳液,并以橄榄油护肤乳液和商品护肤乳液为对照,对其稳定性、安全性、抗氧化活性、保湿性、酪氨酸酶抑制活性及紫外吸收效果进行了评价。结果表明:无患子籽油纳米乳液的最佳制备工艺条件为复合乳化剂(吐温-60 与 Span A83 体积比 3:1)添加量 8%、助乳化剂添加量 6%、无患子籽油添加量 2% 或 4%、乳化温度 70 °C、剪切速度 12 000 r/min;3 种护肤乳液 RY-1(无患子籽油添加量 2%)、RY-2(无患子籽油添加量 4%)、RY-3(橄榄油添加量 2%) 的稳定性、安全性均较好;RY-1、RY-2、RY-3 清除 DPPH· 的 EC₅₀ 分别为 61.5、55.7、58.1 μg/mL,清除 ABTS⁺· 的 EC₅₀ 分别为 58.3、50.1、53.5 μg/mL,清除·OH 的 EC₅₀ 分别为 59.7、30.2、59.9 μg/mL,清除 O₂⁻· 的 EC₅₀ 分别为 59.6、41.8、57.3 μg/mL,对酪氨酸酶活性抑制的 EC₅₀ 分别为 147.5、118.6、140.2 μg/mL;在相对湿度 43%、81% 环境下,4 种护肤乳液保湿率大小顺序均为 RY-2 > 商品乳液 > RY-3 > RY-1;无患子籽油护肤乳液具有一定的紫外吸收能力。综上,RY-2 配方优于 RY-1 和 RY-3,无患子籽油护肤乳液安全无刺激性,且具有一定抗氧化活性,有良好的应用前景。

关键词:无患子籽油;护肤乳液;稳定性;安全性;保湿性;抗氧化活性;酪氨酸酶活性抑制率;紫外吸收效果

中图分类号:TQ658.2;TQ645 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)04-0110-08

Preparation and performance of *Sapindus mulorossi* oil skin care emulsion

LEI Jingge¹, ZHENG Jingcheng^{1,2,3}, ZHOU Li³, LUO Zhi^{1,2},
HE Dongping^{1,2,3}, LEI Fenfen^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil of Ministry of Education, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 3. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety for State Market Regulation, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to promote the application research of *Sapindus mulorossi* oil in cosmetics, nanoemulsion was prepared with *Sapindus mulorossi* oil as raw material, and with particle size and Zeta potential as indicators, the preparation process conditions of nanoemulsion were optimized by single factor experiment. Then, the *Sapindus mulorossi* oil skin care emulsion was prepared based on the single factor experiment. The stability, safety, antioxidant activity, moisturizing properties, tyrosinase inhibitory

收稿日期:2022-11-20;修回日期:2023-12-09

基金项目:中国科协青年人才托举工程项目(YESS20200380)

作者简介:雷锦舸(1996),女,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail)forlge15@163.com。

通信作者:雷芬芬,讲师(E-mail)fiona_lei@126.com。

activity and UV absorption effect of the skin care emulsion were evaluated with olive oil skin care emulsion and commercial skin care emulsion as control. The results showed that the optimal conditions for preparing nanoemulsion of *Sapindus*

mulorossi oil were obtained as follows: dosage of compound emulsifier (volume ratio of Tween - 60 to Span A83 3:1) 8%, dosage of co-emulsifier 6%, dosage of *Sapindus mulorossi* oil 2% or 4%, emulsification temperature 70 °C and shear rate 12 000 r/min. The stability and safety of three skin care emulsions RY - 1 (dosage of *Sapindus mulorossi* oil 2%), RY - 2 (dosage of *Sapindus mulorossi* oil 4%) and RY - 3 (dosage of olive oil 2%) were good. The EC₅₀ of the three emulsions for scavenging DPPH · was 61.5, 55.7 μg/mL and 58.1 μg/mL, the EC₅₀ for scavenging ABTS⁺ · was 58.3, 50.1 μg/mL and 53.5 μg/mL, the EC₅₀ for scavenging ·OH was 59.7, 30.2 μg/mL and 59.9 μg/mL, the EC₅₀ for scavenging O₂⁻ · was 59.6, 41.8 μg/mL and 57.3 μg/mL, the EC₅₀ for inhibiting the activity of tyrosinase was 147.5, 118.6 μg/mL and 140.2 μg/mL, respectively. At RH 43% and 81%, the order of moisturization rate of the 4 skin care emulsions both were RY - 2 > commercial skin care emulsion > RY - 3 > RY - 1. The *Sapindus mulorossi* oil skin care emulsion had certain UV absorption capacity. In conclusion, the formula of RY - 2 is better than RY - 1 and RY - 3. The *Sapindus mulorossi* oil skin care emulsion is safe, non-irritating, and has certain antioxidant activity, which has good application prospects.

Key words: *Sapindus mulorossi* oil; skin care emulsion; stability; safety; moisturizing property; antioxidant activity; inhibitory rate of tyrosinase activity; UV absorption effect

现今,随着消费者健康和安全意识的提高,人们对含有天然植物油的化妆品越来越感兴趣^[1-2]。一些植物油中含有的生物活性化合物对皮肤有抗炎和抗氧化作用,可以促进皮肤伤口愈合和修复^[3]。化妆品配方中最常见的形式是乳液^[4],乳液是两种不相溶的液体体系,其中一种液体以分散的形式存在于另一种液体中,并使用乳化剂来提高稳定性^[5-6]。化妆品乳液中含有植物油可以在皮肤表面形成一层保护膜,防止水分蒸发,保持皮肤的天然水分和弹性^[7]。

无患子(*Sapindus mukorossi*),别名木患子或者油患子,分布于我国南部和西部。无患子籽油富含不饱和脂肪酸(油酸和亚油酸含量在50%以上^[8])、黄酮类化合物、酚类化合物、维生素E及其他生物活性物质^[9],具有抗炎、抗氧化等功效,可用于制作高级润肤剂^[10-11]。将无患子籽油制备成无患子油护肤乳液,能够一定程度上补充皮肤表层油性成分缺失,起到调理皮肤的效果^[12]。目前,对无患子籽油的研究主要集中在提取工艺与成分分析等方面,对其应用的研究有待加强。本文对无患子籽油护肤乳液的制备工艺进行了研究,并考察了其安全性、稳定性、保湿性、抗氧化活性和紫外吸收效果,以期在无患子籽油在化妆品中的开发应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

无患子籽油(一级精炼油),产地福建;橄榄油,

益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司;商品护肤乳液(植物油添加量10%),市售;吐温-60、司盘(Span)A83、卡波姆,德国巴斯夫公司;聚二甲基硅氧烷、聚乙二醇(PEG-400)、丁二醇,韩国乐天公司;辛酸/癸酸甘油三酯(CTCC),马来西亚KLC公司;鳕鱼胶原蛋白肽,陕西丹尼斯生物科技有限公司;薰衣草提取物、香叶天竺葵提取物、茶叶提取物,高岛化妆品有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)、PBS缓冲液(pH 7.4)、维生素E油,上海源叶生物科技有限公司;左旋多巴(L-DOPA)、酪氨酸酶,阿拉丁控股集团有限公司;医用透气胶带,可孚医疗科技有限公司;无水乙醇,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

L5S紫外可见分光光度计,上海仪分科学仪器有限公司;Zetasizer Nano-ZS马尔文激光粒度仪,英国马尔文仪器有限公司;XHF-D高速分散器,宁波新芝生物科技股份有限公司;多功能酶标仪,美国伯腾仪器有限公司;紫外分光光度计,美国赛默飞世尔科技公司。

1.2 实验方法

1.2.1 无患子籽油纳米乳液的制备工艺优化

依次向烧杯中加入2 mL无患子籽油、8 mL复合乳化剂(6 mL吐温-60和2 mL Span A83)、6 mL助乳化剂(PEG-400),然后添加超纯水至100 mL,在60 °C水浴条件下,以400 r/min搅拌20 min,形成

粗乳液。将得到的粗乳液使用高速分散器以 12 000 r/min 的速度剪切 4 min, 得到粒径较为均一的无患子籽油纳米乳液。优化乳液制备单因素条件时, 其他因素按以上参数保持不变。

1.2.2 无患子籽油护肤乳液的制备

分别将无患子籽油或橄榄油、吐温-60、Span A83、PEG-400、聚二甲基硅氧烷、丁二醇、CTCC 依次加入烧杯中并搅拌, 然后依次加入鳕鱼胶原蛋白、维生素 E 油、卡波姆、薰衣草提取物、香叶天竺葵提取物、茶叶提取物, 最后加入超纯水(植物油、乳化剂、助乳化剂的添加量基于单因素实验结果, 其他见表 1)。在一定的乳化温度下, 采用磁力搅拌器 400 r/min 搅拌 25 min 至原料充分溶解, 形成均一液体。随后用高速分散器以一定的剪切速度剪切 4 min 后, 制得植物油护肤乳液。

表 1 护肤乳液的配方

原料	添加量/%
聚二甲基硅氧烷	3
丁二醇	3
鳕鱼胶原蛋白	0.1
维生素 E 油	0.1
CTCC	3
卡波姆	0.15
薰衣草提取物	0.2
香叶天竺葵提取物	0.2
茶叶提取物	0.1

1.2.3 乳液粒径和 Zeta 电位的测定

将无患子籽油纳米乳液用超纯水稀释 100 倍, 然后用玻璃棒搅拌 2 min, 涡旋 1 min, 采用马尔文激光粒度仪测定乳液粒径和 Zeta 电位。

1.2.4 无患子籽油护肤乳液质量指标评价

1.2.4.1 稳定性实验

按照 GB/T 29665—2013《护肤乳液》测定乳液的耐热性、耐寒性, 并进行离心实验。

1.2.4.2 安全性实验

参照陈庆生等^[13]的方法并略有修改, 进行红细胞溶血实验, 考察护肤乳液的安全性。使用 PBS 缓冲液分别将护肤乳液和红细胞配制成质量浓度分别为 0.1、0.3、0.5、1、3、10、20、40 g/100 mL 的溶液和质量分数为 2% 的红细胞溶液, 取红细胞溶液与不同质量浓度的样品溶液各 500 μ L 混合均匀, 阴性对照用同体积的 PBS 缓冲液代替, 阳性对照用 100 g/mL 的十二烷基硫酸钠(SDS)溶液代替, 在 37 $^{\circ}$ C 培养箱中培养 2 h, 然后各取 10 μ L 培养好的样品与 90 μ L PBS 缓冲液混合, 使用 96 孔板在 410、540、575 nm 波长处测定

吸光度。分别按式(1)和(2)计算溶血率(Y)和蛋白质变性指数(D)。以溶血率(Y)对样品质量浓度(x)作图得到回归方程, 计算溶血率为 50% 时样品的质量浓度(HC_{50}), 同时测试样品质量浓度为 1 g/100 mL 时的蛋白质变性指数(D), 以 HC_{50} 与 D 的比值大小评价护肤乳液安全性。

$$Y = (A_{410} - A'_{410}) / (A''_{410} - A'_{410}) \times 100\% \quad (1)$$

$$D = (A_{575} - A_{540}) / (A''_{575} - A''_{540}) \times 100 \quad (2)$$

式中: A_{410} 、 A_{575} 、 A_{540} 分别为样品溶液在 410、575、540 nm 处的吸光度; A'_{410} 为阴性对照在 410 nm 处的吸光度; A''_{410} 、 A''_{575} 、 A''_{540} 分别为阳性对照在 410、575、540 nm 处的吸光度。

1.2.5 无患子籽油护肤乳液的功能性评价

1.2.5.1 保湿性

将 2 cm 医用透气胶带粘附在 7.5 cm \times 2.5 cm 载玻片上, 用以模拟人体皮肤表面。取 1 g 护肤乳液均匀平铺在胶带上, 放置盛有饱和碳酸钾溶液[相对湿度(RH)为 43%]和饱和硫酸铵溶液(RH 为 81%)的容器(含硅胶等吸附剂)中, 待 2、4、6、8、10、12 h 后取出称其质量, 按式(3)计算试样的保湿率(Y_2)。

$$Y_2 = m_b / m_a \times 100\% \quad (3)$$

式中: m_a 为样品放置前质量; m_b 为样品放置后质量。

1.2.5.2 无患子籽油护肤乳液的抗氧化活性

(1) 对 DPPH \cdot 的清除能力

参照周昊等^[14]的方法, 将护肤乳液用无水乙醇配制成质量浓度分别为 20、40、60、80 μ g/mL 和 100 μ g/mL 的溶液。取 2 mL 上述溶液于试管中, 加入 2 mL 0.2 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液, 混匀后避光静置 30 min, 在 517 nm 波长处测定吸光度, 记为 A_F 。空白组以等体积无水乙醇代替样品溶液, 其他操作不变, 测定吸光度, 记为 A_{N1} 。按照公式(4)计算样品对 DPPH \cdot 的清除率(Y_3)。

$$Y_3 = (A_{N1} - A_F) / A_{N1} \times 100\% \quad (4)$$

(2) 对 ABTS $^+$ 的清除能力

将 7.4 mmol/L 的 ABTS 溶液与 2.6 mmol/L 过硫酸钾溶液以体积比 5:3 的比例混合, 避光保存 14 h, 用 PBS 缓冲液稀释至 734 nm 处吸光度为 0.70 ± 0.02 , 得到 ABTS 工作液。将护肤乳液用无水乙醇配制成质量浓度分别为 20、40、60、80、100 μ g/mL 的溶液, 分别取 0.2 mL 样品溶液与 2 mL 的 ABTS 工作液混合均匀, 避光反应 8 min 后, 在 734 nm 处测定吸光度, 记为 A_C 。空白组以等体积无水乙醇溶液代替样品溶液, 其他操作不变, 测定吸光度, 记为 A_{N2} 。按照公式(5)计算样品对 ABTS $^+$ 的清除率(Y_4)。

$$Y_4 = (1 - A_G/A_{N2}) \times 100\% \quad (5)$$

(3) 对·OH的清除能力

将护肤乳液用无水乙醇配制成质量浓度分别为20、40、60、80、100 μg/mL的溶液,取2 mL上述溶液于试管中,依次加入1 mL浓度为9 mmol/L水杨酸乙醇溶液、1 mL浓度为9 mmol/L的FeSO₄溶液和1 mL浓度为8 mmol/L的H₂O₂溶液,反应30 min后,在510 nm波长处测定吸光度,记为A₁。空白组以等体积的无水乙醇代替样品溶液,其他条件不变,测定吸光度,记为A_{N3}。对照组以等体积的超纯水代替H₂O₂溶液,其他条件不变,测定吸光度,记为A_{M1}。按照公式(6)计算样品对·OH的清除率(Y₅)。

$$Y_5 = [1 - (A_1 - A_{M1})/A_{N3}] \times 100\% \quad (6)$$

(4) 对O₂⁻的清除能力

参照蔡程晨等^[15]的方法,将护肤乳液用无水乙醇配制成质量浓度分别为20、40、60、80、100 μg/mL的溶液,取1 mL上述溶液,加入4 mL浓度为0.05 mol/L的Tris-HCl缓冲液和0.1 mL浓度为3 mmol/L的邻苯三酚溶液混合均匀,在25℃下反应10 min后,加入1 mL浓度为8 mmol/L的HCl溶液终止反应,于320 nm波长处测定吸光度,记为A_H。空白组以等体积的超纯水代替样品溶液,其他条件不变,测定吸光度,记为A_{N4}。对照组以等体积无水乙醇代替盐酸溶液,其他条件不变,测定吸光度,记为A_{M2}。按照公式(7)计算样品对O₂⁻的清除率(Y₆)。

$$Y_6 = [1 - (A_H - A_{M2})/A_{N4}] \times 100\% \quad (7)$$

1.2.5.3 酪氨酸酶活性抑制实验

将护肤乳液用PBS缓冲液稀释成质量浓度分别为1、10、25、50、100、150、200 μg/mL的溶液,按照

表2所示依次加入酪氨酸酶溶液(100 U/mL)、L-DOPA溶液(0.04%)、乳液样品,混匀,配制A、B、C、D 4种测试液,避光反应10 min后于475 nm波长处测定吸光度,分别记为A_A、A_B、A_C、A_D,按式(8)计算样品对酪氨酸酶活性的抑制率(Y₇)。

$$Y_7 = \frac{(A_C - A_D) - (A_A - A_B)}{A_C - A_D} \times 100\% \quad (8)$$

表2 酪氨酸酶活性抑制实验测试液组成 μL

测试液	乳液样品	L-DOPA	PBS缓冲液	酪氨酸酶溶液
A	50	50	50	50
B	50	50	100	0
C	0	50	100	50
D	0	50	150	0

1.2.5.4 紫外吸收效果测定

取0.1 g的护肤乳液,加入10 mL超纯水,制成0.01 g/mL的样品,采用紫外分光光度计测定样品在280~320 nm范围(UVB区)的紫外吸收波长,分析护肤乳液的紫外吸收效果。

1.2.6 数据处理

实验数据均为3次重复实验的平均值,采用Microsoft Excel 2016对数据进行处理与统计分析,使用Origin 9.0绘图。

2 结果与分析

2.1 无患子籽油纳米乳液的制备工艺优化

按照1.2.1进行单因素实验,考察复合乳化剂(吐温-60与Span A83体积比3:1)添加量(以乳液体积计)、助乳化剂添加量(以乳液体积计)、无患子籽油添加量(以乳液体积计)、乳化温度、剪切速度对无患子籽油纳米乳液粒径和Zeta电位的影响,结果见图1。

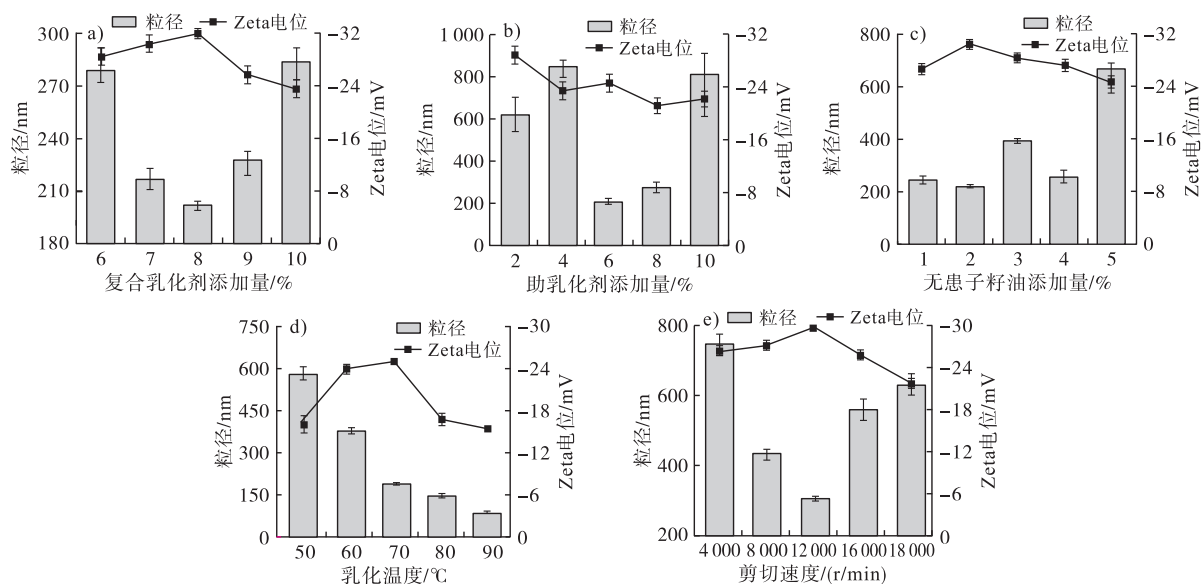


图1 无患子籽油纳米乳液制备的单因素实验结果

从图 1a 可以看出,无患子籽油纳米乳液粒径随复合乳化剂添加量的增加呈现先减小后增大的趋势,Zeta 电位绝对值则先升高后降低。当复合乳化剂添加量为 8% 时,乳液粒径最小。这是因为乳化剂添加量较少时,不能有效乳化体系中的油脂,使乳液平均粒径较大;但乳化剂添加量过多时,乳化剂形成紧密的界面膜,过多的乳化剂还可能吸附在界面上,导致乳液粒径增大^[15-16]。因此,选择复合乳化剂添加量为 8%。

从图 1b 可以看出,当助乳化剂添加量为 2% 时,Zeta 电位绝对值最大,粒径偏大,这是由于助乳化剂与复合乳化剂不能很好地协调,乳液黏度较大^[17],形成的纳米乳液粒径较大。当助乳化剂添加量为 6% 时,乳液粒径最小,可能是因为助乳化剂进入乳液油/水界面,与复合乳化剂分子共同组成界面层,从而降低了界面张力,增强了乳化能力。因此,选取助乳化剂添加量为 6%。

从图 1c 可以看出,当无患子籽油添加量为 2% 时,乳液的粒径最小,Zeta 电位绝对值最大,乳液最稳定,但以此配方制备护肤乳液时,植物油含量较低。另外,无患子籽油添加量为 4% 时,乳液粒径也较小。综合考虑,确定无患子籽油添加量为 2% 或 4%。

由图 1d 可以看出,随着乳化温度的升高,无患子籽油纳米乳液的粒径呈现逐渐下降趋势,Zeta 电

位绝对值呈现先增加后减小的趋势。在乳化温度为 70 °C 时,无患子籽油纳米乳液 Zeta 电位绝对值最大。乳化温度对乳液粒径的影响是由于温度变化导致乳化剂乳化效率改变而造成的,乳化温度升高,乳化剂分解产生的自由基增多,从而使单位时间内被引发成核的聚合物粒子增多,导致聚合体系平均粒径减小^[18]。因此,确定乳化温度为 70 °C。

由图 1e 可以看出,随剪切速度的增加,乳液粒径呈现先下降后上升的趋势,Zeta 电位绝对值呈先上升后下降的趋势。当剪切速度为 12 000 r/min 时,乳液的稳定性最好。剪切速度过低,会使油相和水相融合不均,造成液滴凝合,从而导致乳液分层;剪切速度过高,破坏了分子间稳定性,影响乳化剂分子的定向吸附,降低乳化性能^[19]。因此,确定剪切速度为 12 000 r/min。

2.2 无患子籽油护肤乳液的性能

在 2.1 确定的最优条件下,分别以无患子籽油添加量 2%、4% 和橄榄油添加量 2%,按照 1.2.2 制备得到护肤乳液 PY-1、PY-2、PY-3,考察 3 种护肤乳液的性能。

2.2.1 质量指标

2.2.1.1 稳定性

3 种护肤乳液的稳定性测试结果见图 2。



图 2 3 种护肤乳液的稳定性测试结果

由图 2 可知,3 种护肤乳液经过热寒测试恢复至室温后,均未出现分层等现象,离心实验也未出现分层现象,说明无患子籽油护肤乳液具有良好的稳定性。

2.2.1.2 安全性

RY-1、RY-2、RY-3 的红细胞溶血率如图 3 所示。

由图 3 可以看出,在 0.1 ~ 1 g/100 mL 范围内,3 种护肤乳液的红细胞溶血率均小于 2%,几乎没有溶血,即对细胞膜没有损伤。随乳液质量浓度升高 3 种护肤乳液的红细胞溶血率上升,经计算,RY-1、RY-2、RY-3 的 HC_{50} 分别为 143 723、152 116、146 219 mg/L。RY-1、RY-2、RY-3 在样品质量浓度为 1 g/100 mL

时的蛋白质变性指数分别为 96.5、97.6、96.1, HC_{50} 与蛋白质变性指数的比值分别为 1 489.4、1 558.6、1 521.5,根据红细胞溶血实验刺激性分级标准,该值大于 100 为无刺激性^[13],故无患子籽油护肤乳液安全性较高。

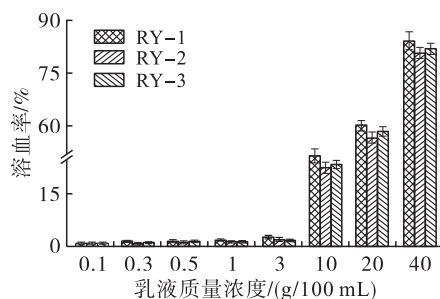


图 3 3 种护肤乳液的安全性

2.3 无患子籽油护肤乳液功能性

2.3.1 保湿性

在相对湿度43%和81%的环境下,4种护肤乳液的保湿性如图4所示。由图4可知,环境湿度越大,护肤乳液的保湿率越高。在相对湿度43%条件下放置12 h,4种护肤乳液保湿率大小顺序为RY-2(92.5%)>商品护肤乳液(91.6%)>RY-3(89.5%)>RY-1(89.3%),在相对湿度81%条件

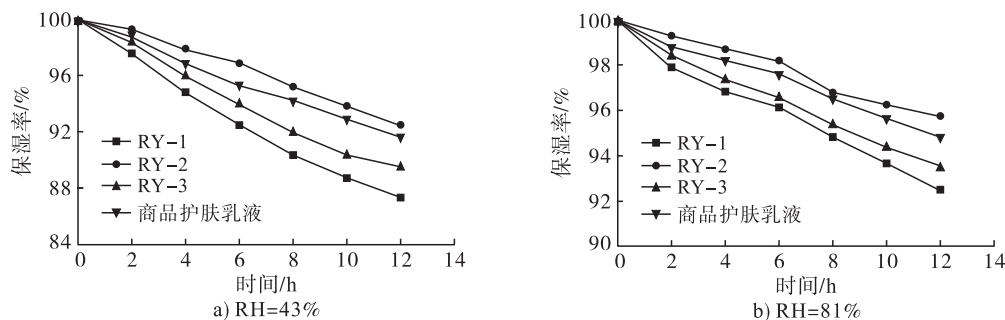


图4 4种护肤乳液的保湿性

2.3.2 抗氧化活性

按1.2.5.2方法对RY-1、RY-2、RY-3的抗

下放置12 h,样品保湿率大小顺序为RY-2(95.7%)>商品护肤乳液(94.8%)>RY-3(93.5%)>RY-1(92.8%)。RY-2和商品护肤乳液的保湿性优于RY-1和RY-3,推测是因为植物油添加量高时,在皮肤表层构成的油膜可以锁住水分所致。综上,无患子籽油护肤乳液具有良好的保湿性。

氧化活性进行测定,结果如图5所示。

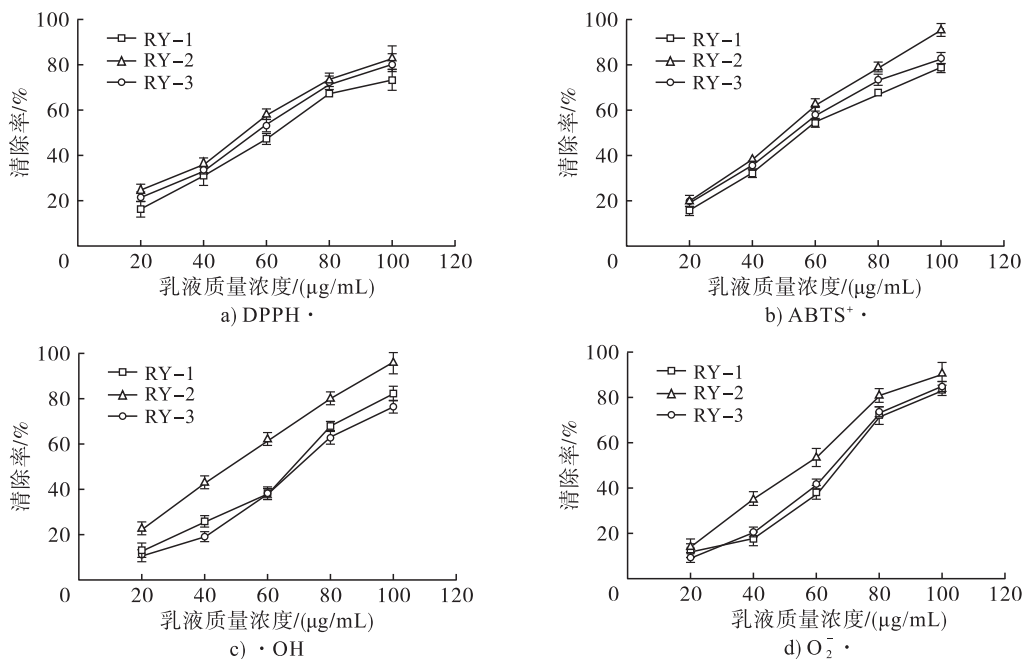


图5 3种护肤乳液抗氧化活性

由图5a可知,3种护肤乳液的质量浓度与DPPH·清除率呈正比。RY-1、RY-2、RY-3清除DPPH·的半抑制率浓度(EC_{50})分别为61.5、55.7、58.1 $\mu\text{g/mL}$,在80 $\mu\text{g/mL}$ 时对DPPH·的清除率分别为67.6%、73.38%、71.4%。Singh等^[20]研究表明,胡萝卜籽油添加量为2%时制备的护肤乳液,在质量浓度为80 $\mu\text{g/mL}$ 时DPPH·清除率为66.2%,由此推断,无患子籽油护肤乳液具有良好的DPPH·

清除能力。

由图5b可知,在20~100 $\mu\text{g/mL}$ 质量浓度范围内,3种护肤乳液的ABTS⁺·清除率呈良好的线性增长趋势,RY-1、RY-2、RY-3清除ABTS⁺·的 EC_{50} 分别为58.3、50.1、53.5 $\mu\text{g/mL}$ 。RY-3的ABTS⁺·清除率略高于RY-1,推测可能是以橄榄油为基油的RY-3酚类化合物的含量略高于以无患子籽油为基油的RY-1,而酚类成分含量高的油

具有更高的自由基清除能力和还原能力^[21]。

由图 5c 可知,RY-2 的 $\cdot\text{OH}$ 清除率明显高于 RY-1 和 RY-3。RY-1、RY-2、RY-3 清除 $\cdot\text{OH}$ 的 EC_{50} 分别为 59.7、30.2、59.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 这可能是因为 RY-2 基油添加量略高, 植物油活性化合物之间的协同作用可以提高抗氧化性, 对 $\cdot\text{OH}$ 清除能力具有增效作用^[4]。

由图 5d 可知,RY-1、RY-2、RY-3 对 $\text{O}_2^- \cdot$ 的清除能力随着其质量浓度的增加而提高, 当质量浓度超过 80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 对 $\text{O}_2^- \cdot$ 的清除作用趋于平缓, RY-1、RY-2、RY-3 清除 $\text{O}_2^- \cdot$ 的 EC_{50} 分别为 59.6、41.8、57.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

综上, 无患子籽油护肤乳液具有良好的抗氧化活性。

2.3.3 酪氨酸酶活性抑制作用

4 种护肤乳液对酪氨酸酶活性的抑制作用见图 6。

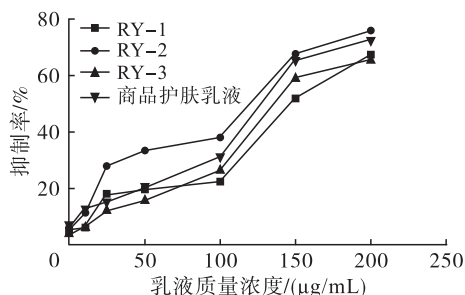


图 6 4 种护肤乳液对酪氨酸酶活性的抑制作用

由图 6 可知,RY-1、RY-2、RY-3、商品护肤乳液对酪氨酸酶活性均具有明显的抑制作用, 且随着样品质量浓度的增加, 对酪氨酸酶活性的抑制率也相应增强, 其抑制酪氨酸酶活性的 EC_{50} 依次为 147.5、118.6、140.2、125.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。Lin 等^[22] 对无患子油的抗黑色素效果进行考察发现, 无患子籽油中含有的二十碳烯酸具有显著的抗黑色素生成作用。

2.3.4 紫外吸收效果

天然植物油因其抗氧化活性而具有防护 UVB 的作用, 具有紫外线过滤功能^[23-24]。4 种护肤乳液的紫外吸收效果见图 7。

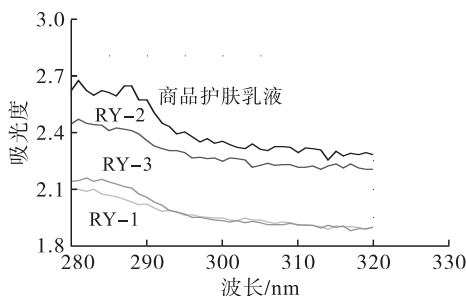


图 7 4 种护肤乳液的紫外吸收效果

由图 7 可知, 在 280 ~ 320 nm 范围内, 4 种护肤乳液均有紫外吸收, 覆盖了 UVB 波段, 其中商品护肤乳液的抗紫外性能稍高于其他 3 种护肤乳液, 可能是因为商品护肤乳液的植物油添加量 (10%) 较高所致, 但过多添加基油会使护肤乳液黏稠度过高, 造成肤感不适。RY-2 的吸光度高于 RY-1 和 RY-3, 这可能与体系浑浊度有关。RY-1 和 RY-3 的紫外吸收性能相当。在 280 ~ 320 nm 范围内, 4 种护肤乳液的吸光度均大于 1.8, 因此无患子籽油护肤乳液具有一定的抗紫外性能。

3 结论

本文以无患子籽油为基油制备了护肤乳液, 并对其性能进行了评价。以无患子籽油纳米乳液粒径和 Zeta 电位为指标筛选出最佳工艺参数为复合乳化剂添加量 8%、助乳化剂添加量 6%、无患子籽油添加量 2% 或 4%、乳化温度 70 $^{\circ}\text{C}$ 、剪切速度 12 000 r/min; 3 种护肤乳液 RY-1 (无患子籽油添加量 2%)、RY-2 (无患子籽油添加量 4%)、RY-3 (橄榄油添加量 2%) 的稳定性、安全性均较好; 3 种护肤乳液均具有良好的保湿性和自由基清除能力; 无患子籽油护肤乳液具有一定的抗氧化活性、酪氨酸酶活性抑制作用和紫外吸收能力。无患子籽油护肤乳液安全无刺激性, 且具有一定抗氧化活性, 有良好的应用前景, 可作为一种良好的护肤类产品进行开发利用。

参考文献:

- [1] ONG T S, CHU C C, TAN C P, et al. Preparation and evaluation pumpkin seed oil - based vitamin E cream formulations for topical application[J]. J Oleo Sci, 2020, 69(4): 297 - 306.
- [2] DĂNILĂ E, MOLDOVAN Z, ALBU KAYA M G, et al. Formulation and characterization of some oil in water cosmetic emulsions based on collagen hydrolysate and vegetable oils mixtures[J]. Pure Appl Chem, 2019, 91(9): 1493 - 1507.
- [3] CHEN C C, NIEN C J, CHEN L G, et al. Effects of *Sapindus mukorossi* seed oil on skin wound healing: *In vivo* and *in vitro* testing[J/OL]. Int J Mol Sci, 2019, 20(10): 2579 [2022 - 11 - 20]. <https://doi.org/10.3390/ijms20102579>.
- [4] RAISER A L, DE SOUSA A M, ANDRIGHETTI C R, et al. Evaluation of stability and potential antioxidant activity of munguba (*Pachira aquatica* Aublet) oil in cosmetic emulsions[J]. Lat Am J Pharm, 2018, 37(8): 1491 - 1498.
- [5] 陈雅琪, 陈玲, 雷芬芬, 等. 南瓜籽油 Pickering 乳液的

- 制备及其稳定性研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(11): 52-56.
- [6] VENKATARAMANI D, TSULAIA A, AMIN S. Fundamentals and applications of particle stabilized emulsions in cosmetic formulations [J/OL]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2020, 283: 102234 [2022-11-20]. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102234>.
- [7] RITONGA N B, RINI R, ANGGRAINI T. Formulation and evaluation of sun block lotion made from virgin coconut oil (VCO) with the addition of the extract of telang flower (*Clitoria ternatea* L.) and pandan leaves (*Pandanumusa paradisiaca* L.) [J]. *Ajarcde*, 2020, 4(1): 54-59.
- [8] 陈茜文, 梅文静, 高旭晖, 等. 无患子籽仁油的提取工艺及其成分分析[J]. *经济林研究*, 2018, 36(1): 120-124.
- [9] 冯娇. 无患子在洗护用品中的应用研究[J]. *中国洗涤用品工业*, 2020(12): 80-84.
- [10] 秦榆, 庞丽蓉, 符少团, 等. 无患子种仁油的提取工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(1): 13-15.
- [11] SHIU S T, LEW W Z, LEE S Y, et al. Effects of *Sapindus mukorossi* seed oil on proliferation, osteogenic/odontogenic differentiation and matrix vesicle secretion of human dental pulp mesenchymal stem cells [J/OL]. *Materials*, 2020, 13(18): 4063 [2022-11-20]. <https://doi.org/10.3390/ma13184063>.
- [12] DA SILVA M J F, RODRIGUES A M, VIEIRA I R S, et al. Development and characterization of a babassu nut oil-based moisturizing cosmetic emulsion with a high sun protection factor[J]. *RSC Adv*, 2020, 10(44): 26268-26276.
- [13] 陈庆生, 孟潇, 刘婷, 等. 一种抗敏修护组合物对敏感性皮肤的舒缓修护功效的研究[J]. *日用化学工业*, 2021, 51(12): 1221-1227.
- [14] 周昊, 薛兴颖, 陈虹霞, 等. 漆籽油纳米乳液的制备及其抗氧化、防紫外辐射活性研究[J]. *林产化学与工业*, 2021, 41(1): 45-52.
- [15] 蔡程晨, 朱式业, 熊武国, 等. 猕猴桃籽油微乳液氧化稳定性及体外抗氧化活性研究[J]. *农产品加工*, 2019(2): 13-17.
- [16] 王枫雅, 林琳, 陆剑锋, 等. 蟹油纳米乳液制备工艺及特性研究[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(4): 174-181.
- [17] 田永红, 郭奕光, 翟晓梅, 等. 非离子表面活性剂形成微乳体系的规律性研究[J]. *日用化学工业*, 2015, 45(3): 137-142.
- [18] 刘艺芳, 赵昕楠. 微乳液制备工艺中加热温度的研究[J]. *洁净煤技术*, 2015, 21(4): 125-129.
- [19] 高耘, 汪树军, 刘红研, 等. 高速剪切乳化法制备硅油乳液[J]. *精细化工*, 2014, 31(7): 834-839.
- [20] SINGH S, LOHANI A, MISHRA A K, et al. Formulation and evaluation of carrot seed oil-based cosmetic emulsions[J]. *J Cosmet Laser Ther*, 2019, 21(2): 99-107.
- [21] BORGES T H, SERNA A, LÓPEZ L C, et al. Composition and antioxidant properties of Spanish extra virgin olive oil regarding cultivar, harvest year and crop stage [J/OL]. *Antioxidants*, 2019, 8(7): 217 [2022-11-20]. <https://doi.org/10.3390/antiox8070217>.
- [22] LIN Y H, NIEN C J, CHEN L G, et al. *Sapindus mukorossi* seed oil changes tyrosinase activity of α -MSH-induced B16F10 cells via the antimelanogenesis effect of eicosenoic acid [J/OL]. *Nat Prod Commun*, 2020, 15(11): 1934578x2097229 [2022-11-20]. <https://doi.org/10.1177/1934578x20972295>.
- [23] KAUR C D, SARAF S. *In vitro* sun protection factor determination of herbal oils used in cosmetics [J]. *Pharmacognosy Res*, 2010, 2(1): 22-25.
- [24] BADEA G, LĂCĂTUȘU I, BADEA N, et al. Use of various vegetable oils in designing photoprotective nanostructured formulations for UV protection and antioxidant activity[J]. *Ind Crops Prod*, 2015, 67: 18-24.