不同配伍比例丹参－当归提取物的抗氧化活性研究及其在乳液中的应用

姬帅帅[1]，苏钰涵[2]，王雅琦[2]，崔子怡[2]，闫洁静[2]，郭靖[2*]
(1.北京工商大学，北京，102488；
2.衡水学院，河北衡水，053000)

DOI:10.61369/CDCST.2026030020



姬帅帅



郭靖

摘　　要：探究丹参－当归不同配伍比例提取物（SMAE）的抗氧化活性差异，优化提取工艺，并评估其在护肤乳液中的应用潜力。采用超声辅助提取法制备12种不同配比的SMAE，测定总黄酮、总酚及丹酚酸B含量；以DPPH自由基清除率为指标，通过单因素实验和正交试验优化提取工艺；筛选最佳配比提取物，制备含不同浓度SMAE的乳液，并考察其稳定性、安全性和体外抗氧化活性。结果表明，丹参－当归最佳配伍比为3∶2，最优提取条件为乙醇浓度65%、超声时间25 min、功率480 W、温度45℃，此条件下总黄酮、总酚和丹酚酸B含量分别为9.32 mgRE/g、31.69 mgGAE/g和32.70 mg/g，DPPH清除率达78.01%。制备的SMAE乳液耐热、耐寒及离心稳定性良好，斑贴试验无不良反应；当SMAE添加量为0.2%时，乳液的DPPH清除率较空白组显著提高约4倍。本研究为丹参－当归提取物作为天然抗氧化剂在护肤品中的安全应用提供了实验依据，也为中药复方在化妆品领域的开发提供了新思路。

关　键　词：丹参－当归提取物；抗氧化；配伍比例；乳液

第一作者简介：姬帅帅，硕士，就读于北京工商大学应用化学专业。E-mail:15231085264@163.com。

通讯作者简介：郭靖，讲师，博士，主要从事天然产物提取开发，绿色化妆品研究。E-mail:guojing0804@163.com。

丹参（*Salvia miltiorrhiza*）与当归（*Angelica sinensis*）作为中药领域中广泛应用的两味药材，其化学成分及药理作用已被广泛研究。丹参主要含有丹参酮ⅡA、丹酚酸B等活性成分。丹参酮类化合物能有效抑制5α-还原酶活性，从而减少皮脂分泌，此外丹参酮可扩张毛细血管、增加血流量、抑制血小板聚集，促进皮肤局部血液循环[1]，从根源改善气血不畅引发的暗沉黄气；丹酚酸通过清除自由基、抑制脂质过氧化，减少氧化应激导致的肤色暗沉[2]。当归则富含挥发油、黄酮类化合物、多糖及有机酸等成分。研究表明，当归多糖及阿魏酸均能通过抑制酪氨酸酶的活性，有效减少黑色素的生成，从而发挥美白和淡化色斑（如黄褐斑）的作用[3]。此外，当归多糖还具有保湿和抗氧化功效。当归挥发油能促进人真皮成纤维细胞分泌Ⅰ型胶原蛋白，增加皮肤弹性[4]。阿魏酸作为一种天然的紫外线吸收剂，能显著抑制UVB诱导的角质形成细胞凋亡和氧化损伤，并保护成纤维细胞免受长波紫外线（UVA）的损伤[5]。丹参和当归均具有丰富的化学成分及多样的药理作用，为二者配伍使用提供了理论基础。近年来，随着中药现代化研究的深入，抗氧化活性成为评价中药药理作用的重要指标之一，尽管已有研究对丹参和当归的单味药抗氧化活性进行了初步探索，但针对两者不同配伍比例抗氧化活性的系统研究仍显不足。现有文献多集中于单一成分或固定比例的配伍组合，缺乏对多种配伍比例下抗氧化活性的全面分析。此外超声辅助提取技术在此类配伍研究中的应用报道相对较少，其最佳配比及潜在协同机制仍有待深入探讨。

本研究以丹参和当归饮片为对象，采用超声辅助提取法制备不同配比的提取物（SMAE），并通过体外抗氧化试验筛选出抗氧化性能最优的配伍比例。在此基础上，通过正交试验优化提取工艺，进一步将优选提取物应用于抗衰乳液的制备，并对其稳定性、安全性及功效性进行全面考察。本研究旨在明确丹参与当归的最佳抗氧化配伍比例，验证其在化妆品配方中的应用潜力，为拓展中药在相关日化领域的应用提供科学依据与理论支持。

1 实验部分

1.1 主要试剂与仪器

紫外可见分光光度计（TU1900，北京普析通用仪器）、恒温水浴锅（北京市长风仪器仪表公司）、旋转蒸发器（Re-2000A，上海亚荣生化仪器公司），芦丁（中国食品药品检定研究院，100080-201408,92.8%）、硝酸铝（天

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 126　2026/9/29 15:32:44

津市大茂化学试剂厂，分析纯）、亚硝酸钠（天津市大茂化学试剂厂，分析纯）、氢氧化钠（天津市大茂化学试剂厂，分析纯）、抗坏血酸（麦克林）、福林酚试剂（国药集团化学试剂）、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH,麦克林）、2,2'-联氮双（3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸）二铵盐（ABTS，罗恩试剂）、过硫酸钾（天津市大茂化学试剂厂，分析纯）、七水合硫酸亚铁（天津市大茂化学试剂厂，分析纯）、水杨酸（上海阿拉丁生物科技有限公司，分析纯）过氧化氢（30%）（天津市大茂化学试剂厂，分析纯）、其他试剂均为分析纯，丹参中药材（山东平邑,安国市远光药业有限公司）、当归中药材（甘肃定西，安国润德药业有限公司）。

1.2 实验方法

1.2.1 不同配比 SMAE的制备

按照1 ∶ 0、5 ∶ 2、4 ∶ 3、3 ∶ 2、3 ∶ 1、2 ∶ 1、1 ∶ 1、1 ∶ 2、1 ∶ 3、1 ∶ 5、2 ∶ 5、0 ∶ 1等比例分别称取丹参和当归粉末共1 g，至于锥形瓶中。加入65%的乙醇20 mL，超声提取20 min（超声温度为50 ℃，功率为450 W），超声提取完成后，离心。取上清液置于25 mL比色管，用65%乙醇定容至25 mL，备用。

1.2.2 总黄酮、总酚、丹酚酸B含量测定

（1）总黄酮含量测定

参考林鹤霏[6]等的方法并加以修改。精密吸取0.1mg/mL芦丁标准溶液00.00、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL，分别置于10 mL容量瓶中；滴加0.30 mL 5%$NaNO_2$溶液，静置3 min；再滴加0.30 mL10%$Al(NO_3)_3$溶液，静置6 min后充分反应；最后滴加2.00mL 4%氢氧化钠溶液，摇匀，用95%乙醇定容至10 mL，静置10 min；用光度计在507 nm波长下测定，通过3次平行测定获取平均吸光度值。绘制总黄酮标准曲线，得出回归方程，同样条件下测定样品的吸光度，计算各提取物样品的总黄酮含量。

（2）总酚含量测定

参照黄杰[7]等的方法并稍作修改。配置0.1 mg/mL没食子酸标准溶液，依次移取0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mL上述标准溶液分别置于试管中，加蒸馏水定容至1 mL，试管中依次加入50%的福林酚试剂1mL，静置三分钟后加入1 mol/L的碳酸钠5 mL，混匀，避光0.5 h后，用光度计在760 nm处测吸光度，平行3次，绘制总酚标准曲线，得出回归方程。相同条件下测定样品的吸光度，计算提取物各样品的总酚含量。

（3）丹酚酸B含量的测定

参考徐令侠[8]的方法加以修改。精密称取丹酚酸B标准品5mg，精确到0.1mg，以蒸馏水溶解后转移至50 mL容量瓶中定容，避光保存。配制浓度为0.1mg/mL的丹酚酸B标准储备液避光保存。分别移取0.00、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL样品溶液用蒸馏水分别定容至25 mL容量瓶，避光。利用紫外可见分光光度计，以蒸馏水为空白对照，在286 nm波长下测定各梯度溶液吸光度值。

1.2.3 不同配比 SMAE的 DPPH自由基清除率活性

参考 Li[9]等的方法并稍作修改。称取 DPPH纯品5 mg，用无水乙醇溶解并定容至120 mL，避光静置30 min，充分溶解完全，作为 DPPH反应液备用。按照1到6 mg/mL的浓度梯度来配制标准溶液，取2 mL样品液放入比色管，加入2 mL DPPH反应液，在避光条件下反应30 min，然后在519 nm处测量吸光度 A_1，用无水乙醇和蒸馏水分别代替 DPPH反应液与样品溶液来测得 A_2、A_3，以抗坏血酸作为阳性对照，平行测定三次，取平均值。利用 GraphPad Prism软件建立自由基清除率与浓度的非线性回归模型，通过曲线拟合得出 IC_{50}值（样品对自由基清除率为50%时的质量浓度）。

$$DPPH自由基清除率 = 1-[(A_1-A_2)/A_3] \times 100\%$$

1.2.4 单因素实验

参照表1中的因素水平，固定丹参-当归配伍比例为3 ∶ 2，准确称取药材粉末1.0 g，以乙醇体积分数60%、超声温度50 ℃、超声时间20 min、超声功率450 W作为基准条件，采用控制变量法逐一考察各单因素对提取物 DPPH自由基清除率的影响。各因素水平设置如下表。分别绘制各因素水平与 DPPH自由基清除率的关系曲线，以确定各因素的较优水平范围，为后续正交试验的因素水平选取提供依据。

表1 单因素及变量设计

考察因素	变量
乙醇体积分数 /%	50、55、60、65、70
超声温度 /℃	40、45、50、55、60
超声时间 /min	15、20、25、30、35
超声功率 /W	390、420、450、480、510

1.2.5 正交试验

以单因素试验结果为依据，对因素水平的选取进行分析。选取 *A*（乙醇浓度）、*B*（超声时间）、*C*（超声功率）、*D*（超声温度）作为自变量，设计正交试验见表2，以丹参和当归提取物对 DPPH自由基的清除率作为评价指标，选

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 127 2026/9/29 15:32:44

取对丹参和当归提取物清除 DPPH 自由基有明显影响的因素，利用 Design-Expert 13.0 进行四因素三水平正交试验的设计，并且对实验结果进行优化，从而得到使抗氧化活性达到最高的最佳提取工艺条件。

表2 正交因素水平设计

水平	因素			
	A(%)	*B*(min)	*C*(W)	*D*(℃)
1	55	20	450	45
2	60	25	480	50
3	65	30	510	55

1.2.6 含 SMAE 的乳液制备

为评估丹参和当归在化妆品应用效果，设计一款含有 SMAE 的乳液，配方见表3。

制备方法：

（1）将 A 相组分中的乳化剂和油脂原料依次加入到烧杯中，在75~80℃条件下水浴条件下，充分混合、搅拌均匀。保温30min。

（2）将 B 相中的吡咯烷酮羧酸钠、1,3丁二醇、黄原胶、1%透明质酸钠、β-葡聚糖、EDTA-2Na 及适量水混合置于烧杯中，70℃加热溶解，后加入预先配置好的2%卡波姆 U21 溶液，混合均匀，80℃水浴保温30min。

（3）搅拌 B 相，将 A 相缓慢加入，3000 r/min均质2 min，使其充分乳化。

（4）降温至50℃后加入预混的 C、D 相各成分，搅拌均匀。

（5）将预先混合好的 E 相加入，3500 r/min均质3 min，搅拌均匀，出料，制得乳液。

表3 添加 SMAE 的精华乳液配方表

相	商品名称	INCI 名称	含量（%）
A	A165	甘油硬脂酸酯 /PEG-100 鲸蜡硬脂醇	0.5
	Montanov-L	C14-22 烷基醇和 C12-20 烷基葡糖苷	2.5
	十六十八醇	十六十八醇	1
	GTCC	辛酸癸酸甘油酯	2
	DC-200	聚二甲基硅氧烷	3
	2EHP	棕榈酸异辛酯	2
	角鲨烷	氢化聚异丁烯	2
	VE	维生素 E 醋酸酯	0.2
	甜杏仁油	甜杏仁油	2
B	PCA-Na	吡咯烷酮羧酸钠	4
	1,3-BG	1，3丁二醇	4
	黄原胶	黄原胶	0.02
	1%透明质酸钠	1%羟丙基三甲基氯化铵透明质酸钠	3

续表3 添加 SMAE 的精华乳液配方表

相	商品名称	INCI 名称	含量（%）
B	卡波姆 U21	丙烯酸（酯）类 /C10-30 烷基丙烯酸酯交联共聚物	0.10
	EDTA-2Na	乙二胺四乙酸二钠	0.05
	水	水	至100
	β-葡聚糖	β-葡聚糖	1
C	己二醇	1，2-己二醇	0.5
	馨鲜酮	对羟基苯乙酮	0.4
	乙基己基甘油	乙基己基甘油	0.1
D	精氨酸	精氨酸	0.1
	水	水	5
E	光果甘草提取物	光果甘草提取物	0.2
	SMAE	丹参 - 当归提取物	0.2
	积雪草提取物	积雪草提取物	2

1.2.7 SMAE 乳液的性能测试

（1）稳定性评价

耐热稳定性测试：将试样分别置于2支试管内。把一支待检验的试管置于预先调节至40 ℃的恒温培养箱内，经24 h后取出，恢复至室温后与另一支试管的试样进行目测比较。

耐寒稳定性测试：将试样分别置于2支试管内。把一支待检验的试管置于预先调节至 -8 ℃的冰箱内，经24 h后取出，恢复至室温后与另一支试管的试样进行目测比较。

离心稳定性测试：于离心管中注入试样，置于38 ℃的电热恒温培养箱内。恒温1 h后，立即移入离心机中，将离心机转速调整到2000 r/min，离心30 min后取出观察。

（2）安全性评价

受试人群为年龄在18~35岁的健康成人，男女各半，一共20人。采用封闭式斑贴实验法，受试者将前臂内侧暴露平放于测试桌，移液枪定量吸取待测试面霜加于斑贴纸上，将斑贴纸贴于前臂内侧，并做好标记，多次按压保证斑贴纸不会脱落。24 h后，去除斑贴纸，于30 min后观察皮肤反应，并记录斑贴区有无红肿、痒、痛等感觉。每个样品至少做3个平行。通过斑贴试验来观察精华乳对人体皮肤的安全性。依据《化妆品安全技术规范》（2015年版）人体皮肤不良反应分级标准进行评测，20例受试者均未出现红斑、水肿、丘疹等皮肤不良反应。

（3）肤感测试

将样品与市售葳兰氏氨基酸牛奶精华乳进行对照并设计感官指标七项，选取20名健康志愿者（年龄20~35岁，男女各半），涵盖干性、油性、混合性肤质，测试前12小时未使用任何护肤品，无皮肤疾病或过敏史。受试者清洁前臂内侧皮肤，在恒温恒湿环境（25℃，湿度50%）中适应30min。分别取0.5g样品组与对照组产品，间隔2cm涂

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 128 2026/9/29 15:32:44

抹于左右前臂内侧，用指腹以相同力度打圈涂抹至完全吸收。涂抹后立即评价“铺展性”“吸收性”“香味愉悦度”；涂抹后5min评价“清爽度”“黏腻感”；30分钟后评价“滋润度”“后续肤感”。根据肤感对产品的吸收性，滋润度等角度进行打分。

（4）乳液的抗氧化性评价

SMAE乳液的体外抗氧化活性通过DPPH自由基清除实验进行评估。将乳液成品与蒸馏水按质量比1 ： 10稀释，将稀释液离心取上清液作为待测液[10]，参照1.2.3节的方法测定其对DPPH自由基的清除率，每组测定3次取平均值。

2结果与分析

2.1 总黄酮、总酚、丹酚酸B含量分析

绘制总酚、总黄酮及丹酚酸B的含量标准曲线，以吸光度作为纵向坐标， 以没食子酸浓度、芦丁浓度、丹酚酸B浓度作为横向坐标。没食子酸的标准曲线为y=12.05x+0.2481，R^2=0.9962，展现出了很好的线性关系。芦丁的标准曲线为y=7.6944x+0.0471，R^2=0.9950，线性拟合良好。丹酚酸B标准曲线为y=27.507x+0.0524，R^2=0.9955，线性拟合良好。

植物中主要抗氧化成分是黄酮类，总酚类化合物，可以有效清除自由基，起到抗氧化，抗衰老的作用。不同配比丹参提取物的总黄酮，总酚，丹酚酸B含量见图1。

总黄酮含量的总体趋势随丹参占比降低、当归占比升高而呈递减趋势。峰值出现在纯丹参组（1 ： 0），为10.03 mgRE/g；当归比例超过50%后，总黄酮含量降幅趋于平缓，稳定在4.3~5.5 mgRE/g区间。该趋势符合预期，因丹参中黄酮类化合物（如丹参酮等）含量本底值较高，而当归中黄酮相对含量较低，故总黄酮含量主要受丹参投料比例的支配。

总酚含量在各配比间差异跨度较大。纯丹参组（1 ： 0）总酚含量最高（34.76 mgGAE/g），纯当归组（0 ： 1）最低（16.94 mgGAE/g），降幅约为50.8%。值得注意的是，配比5 ： 2的总酚含量达34.0 mgGAE/g，与纯丹参组相当，甚至略高于丹参占比更高的3 ： 1组（27.0 mgGAE/g）。这一现象表明，少量当归（约30%）的加入可能通过改变提取介质的极性环境或产生助溶效应，促进了丹参中酚酸类成分的协同溶出，形成局部最优区间。

丹酚酸B含量随配比变化与总黄酮、总酚显著不同。丹酚酸B的含量并非在纯丹参组达到最大，而是在丹参-当归为3:2时出现峰值（27.71mg/g），明显高于纯丹参组（24.08mg/g）及其他配比。当当归比例继续升高（如1 ： 1、1 ： 2、1 ： 3、1 ： 5及0 ： 1）时，丹酚酸B含量急剧下滑。这一性分布强烈表明：丹参中丹酚酸B的最佳溶出需要当归以特定比例协同配合，过少的当归不足以产生促溶效应，而过多的当归则因其大量水溶性多糖、果胶等成分对提取体系产生“竞争性吸附”或“黏度干扰”，反而不利于丹酚酸B的高效释放。

综合三种成分的分布特性，配比3 ： 2在所有测试组合中虽未取得总黄酮和总酚的绝对最高值，但其丹酚酸B含量达到全组峰值，且总酚含量（30.5 mgGAE/g）仍维持在较高水平，体现出关键高活性成分富集、总活性成分保有量均衡的独特优势，为其在后续抗氧化评价中表现最优提供了数据基础。

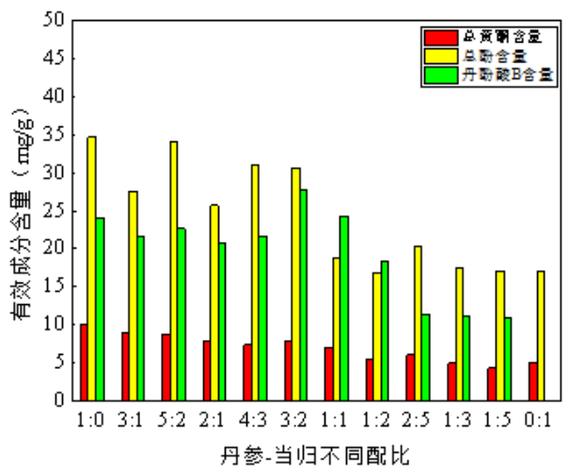


图1 不同配比SMAE中总黄酮、总酚、丹酚酸B含量

2.2不同配比SMAE对DPPH自由基的清除率

从图2可以看出不同配比的SMAE对DPPH自由基的清除率随当归配比的增加呈现出的趋势为先增加后减少。配比为3 ： 2时清除率达峰值，原因可能是随着当归比例不断增加，当归中的阿魏酸、藁本内酯等成分可能增强了丹参中丹酚酸类成分的溶出稳定性；同时当归的阿魏酸与丹酚酸B在酚羟基结构上具有叠加或协同抗氧化效应。但当归配比超过3 ： 2后，清除率开始下降，这是由于当归中的大量多糖、大分子蛋白等非活性或弱活性物质含量急剧增加，可能会与丹参的活性成分发生结合，导致活性成分无法有效接触DPPH自由基，从而降低清除率。当配比为0 ： 1时清除率降到16.83%，当归的主要酚类物质阿

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 129 2026/9/29 15:32:44

魏酸结构单一，供氢能力弱，当归多糖与挥发油又难以在DPPH体系发挥清除作用，纯当归体系缺少高活性多酚类抗氧化物质。故选取丹参-当归配伍比例3 ∶ 2作为最佳提取配比。

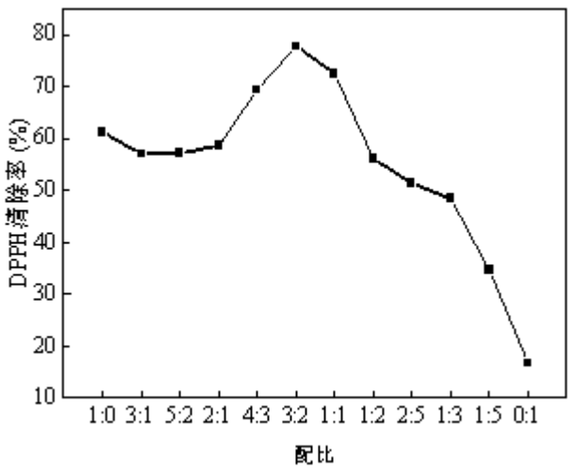


图2 不同配比SMAE对DPPH自由基的清除率

综合图1与图2可知，总黄酮和总酚含量虽在纯丹参组最高，但DPPH清除率却在丹参-当归配比3 ∶ 2时达到峰值，表明宏观总量并非决定抗氧化活性的唯一因素。进一步关联分析发现，丹酚酸B的含量变化与DPPH清除率呈高度吻合，二者均在3 ∶ 2配比时达到最高，当配比偏离该比例时同步下降，表明丹酚酸B是SMAE发挥抗氧化作用的关键物质基础。故3 ∶ 2配比通过最大化富集高活性丹酚酸B，并协同当归中阿魏酸等小分子酚酸的辅助抗氧化作用，同时避免当归比例过高导致的大分子多糖干扰，实现了“关键活性成分最优、协同效应最佳、干扰最小”的三重平衡，因此被确认为最佳配伍比例。

2.3 单因素实验结果

（1）乙醇浓度的影响

如图3所示，DPPH自由基清除率随乙醇浓度升高呈先升后降趋势，在60%时达到76.92%的峰值。乙醇作为中等极性溶剂，其浓度直接影响提取效率：50%时极性较强，利于水溶性酚酸（如丹酚酸B、阿魏酸）溶出，但对脂溶性成分（如丹参酮、藁本内酯）提取不足；浓度升高后，极性降低使脂溶性成分提取率显著提升，与水溶性成分协同增强总活性；但浓度过高时，水溶性酚酸溶解度下降，导致整体提取率降低。60%乙醇浓度恰好实现极性与非极性平衡，使抗氧化活性达到最优。

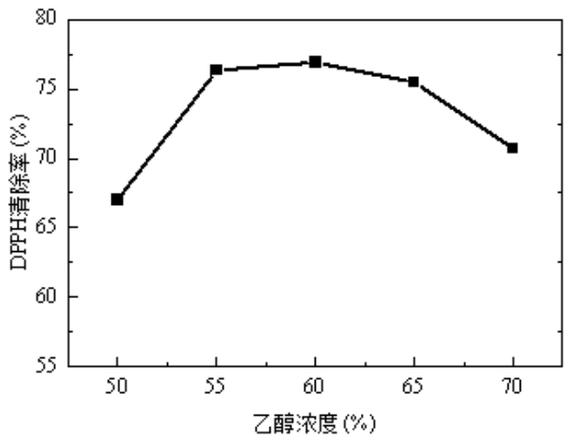


图3 乙醇浓度对DPPH自由基清除率的影响

（2）超声功率的影响

丹参-当归提取物的DPPH自由基清除率随超声温度升高呈先升后降趋势，见图4。在50 ℃时达到峰值。适度升温可加剧溶剂分子热运动与扩散，增加细胞膜流动性，从而促进溶剂渗透及活性成分的溶出，显著提升清除率；但温度过高会导致酚酸、挥发油等热敏性成分发生热分解或氧化，导致结构破坏、活性丧失。因此，50 ℃为兼顾提取效率与活性保护的最佳温度。

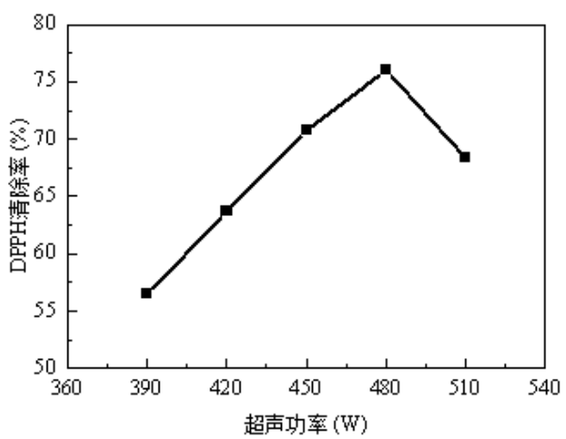


图4 超声功率对DPPH自由基清除率的影响

（3）超声温度的影响

如图5，超声温度影响丹参-当归提取物对DPPH自由基清除率呈现先升后降的趋势，峰值出现在50℃。随着温度升高，溶剂分子的热运动加剧，有利于溶剂更快地渗透到药材细胞内部，同时也加速了细胞内活性成分向溶剂中的扩散和溶解。同时适当升高温度可以增加细胞膜的流动性，使其更容易被超声波破坏，从而促进胞内物质的释放。此外许多活性成分在溶剂中的溶解度随温度升高而增大，这使得在50℃时，更多的抗氧化成分能够溶解在

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 130 2026/9/29 15:32:44

溶剂中，从而提高了提取液的浓度和DPPH清除率。但丹参和当归中含有多种热敏性抗氧化成分（如某些酚酸、挥发油、苷类等）。当温度过高时，这些成分容易发生热分解、氧化或异构化，导致其结构破坏，抗氧化活性丧失。

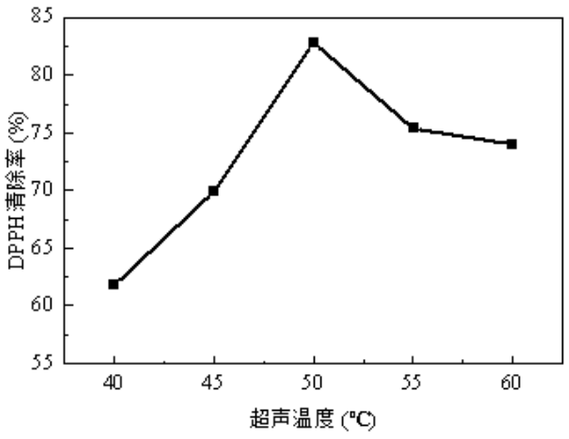


图5超声温度对 DPPH 自由基清除率的影响

（4）超声时间的影响

丹参 - 当归提取物的 DPPH 自由基清除率随超声时间延长呈先升后降趋势，如图6所示。在25 min时达到峰值。提取初期，细胞内外巨大的浓度差与超声波的持续破壁作用，加速了抗氧化成分向溶剂中的扩散溶解；25 min时提取量达最大值，溶剂中抗氧化剂浓度最高，清除能力最强。但超声时间过长会导致自由基累积，氧化破坏已溶出的活性成分，致使结构受损、活性降低。因此，25 min为兼顾提取效率与活性保留的最佳时长。

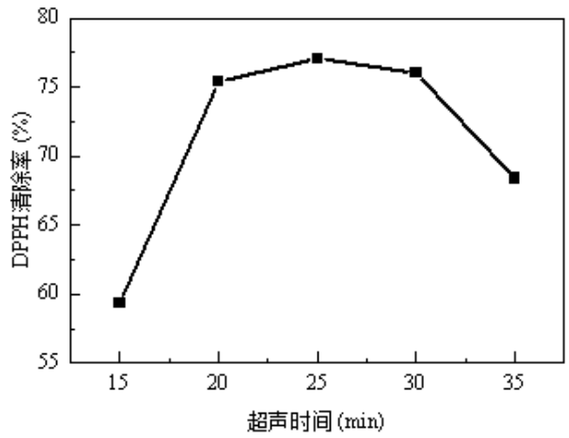


图6 超声时间对 DPPH 自由基清除率的影响

2.4 正交试验结果及最佳工艺验证

（1）正交试验结果

正交试验结果见表4。基于正交试验的 K 值分析，影响丹参 - 当归提取物对 DPPH 自由基清除率的各因素影响程度排序为 A>C>B>D，其中乙醇浓度为最关键影响因子，其次为超声功率、超声时间，超声温度影响最小。优化所得最佳提取工艺方案为 $A_3B_2C_2D_1$，具体工艺参数为：65%乙醇浓度，温度45℃，480W功率超声提取25 min。此条件下对 DPPH 自由基清除率达到78.01%，结果表明所选工艺合理、稳定，可用于提取工艺

表4 正交试验结果

试验号	因素				DPPH清除率 (%)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	70.64%
2	1	2	3	2	74.44%
3	1	3	2	3	73.39%
4	2	1	3	3	74.76%
5	2	2	2	1	77.35%
6	2	3	1	2	72.88%
7	3	1	2	2	77.40%
8	3	2	1	3	77.09%
9	3	3	3	1	77.88%
k1	72.82	74.27	73.54	75.29	
k2	75.00	76.29	76.05	74.90	
k3	77.46	74.72	75.69	75.08	
R	4.64	2.03	2.5	0.39	

（2）最佳工艺验证

通过正交试验优化，在最优工艺条件 (乙醇浓度65%，超声时间25 min，超声功率480 W，超声温度45 ℃)下进行3次平行验证实验，总黄酮含量平均值为9.32 mgRE/g，总酚含量平均值为31.69 mgGAE/g，丹酚酸B含量平均值为32.70 mg/g，DPPH自由基清除率平均值为78.01%，(*RSD*=0.33%，*n*=3)，验证结果表明提取工艺合理，稳定，条件可靠。

2.5 SMAE乳液的性能测试结果

按照表3配方基础上，考虑SMAE的抗氧化性，当SMAE浓度2mg/mL时，对 DPPH 自由基清除率达到85%以上，将其添加到乳液中，抗氧化性会有下降，因此选择在面霜中添加量分别为0%、0.05%、0.1%、0.2%，依次得到4组面霜记为 D_0、D_1、D_2、D_3。

2.5.1 稳定性测试结果

考察添加不同 SMAE 浓度的乳液的耐热耐寒稳定性，4种产品 D_0、D_1、D_2、D_3，经过高温低温试验，恢复至室温后观察均无油水分离或明显絮凝现象。说明配置的 SMAE 乳液稳定性高。

2.5.2 斑贴实验结果

通过斑贴试验来观察 SMAE乳液对人体皮肤的安全性。依据《化妆品安全技术规范》（2015年版）人体皮肤

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 131 2026/9/29 15:32:44

不良反应分级标准进行评测，20例受试者均未出现红斑、水肿、丘疹等皮肤不良反应，结果见表5。

表5 斑贴试验人体不良反应

皮肤反应	分级	D_0	D_1	D_2	D_3
无反应（-）	0	0	0	0	0
微弱红斑、无浸润（±）	1	0	0	0	0
红肿、痒、无痛（++）	2	0	0	0	0
红肿、极痒、痛（+++）	3	0	0	0	0

2.5.3 肤感测试

由图7可以看出，实验室产品在铺展性、吸收性、香味愉悦度、清爽度、后续肤感上表现出显著优势，因采用“辛酸/癸酸甘油三酯+角鲨烷”的轻质油脂复配，且乳化剂A165与Montanov- L协同优化肤感，质地更轻盈，适合油性肌肤夏季使用。

竞品滋润度略高，或因含较多封闭性油脂（如矿脂），吸收较慢且黏腻感明显，更适合干性肌肤冬季使用。

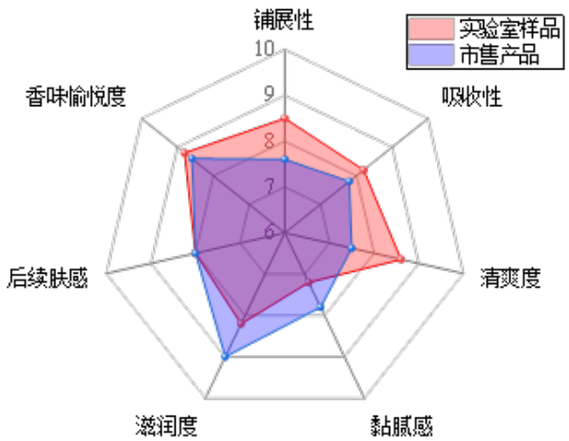


图7 肤感测试雷达图

产品通过精简油相成分与优化乳化体系，在“清爽易吸收”“滋润度”等核心肤感指标上优于竞品，兼顾基础滋润度，更符合夏季及油性/混合性肌肤对“轻盈肤感+高效功效”的需求。其雷达图显示各项指标均衡且优势突出，验证了配方设计中“肤感与功效平衡”的合理性。

2.5.4 乳液抗氧化性评价

由图8可知，随着SMAE添加量的增加，DPPH自由基清除率依次升高，呈现良好的量效关系。D_3样品(SMAE添加量0.2%)的DPPH自由基清除率达（21.57±2.18）%，较空白对照D_0（4.23±1.52）%提高了约4倍。

采用SPSS 22.0软件进行数据分析。通过单因素方差分析，以D_0空白对照组为参照，采用Dunnett's检验进行多重比较。结果表明，四种乳液样品的DPPH自由基清除率差异具有统计学意义（F=15.38，P <0.01）。与空白对照组相比，D_1组和D_2组的清除率均无显著差异，而D_3组（P <0.01）的清除率极显著升高，表明SMAE添加量达到0.20%时，可显著提升乳液的抗氧化能力。

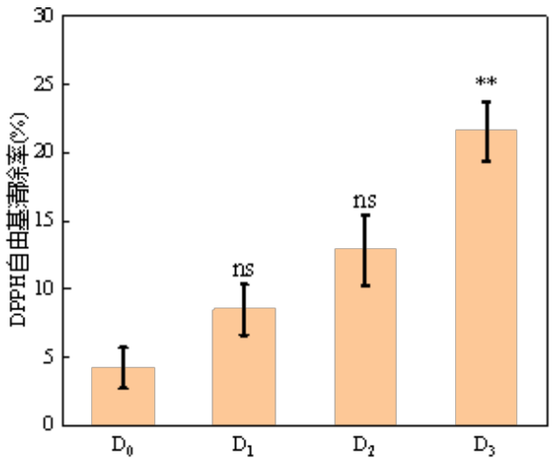


图8 不同SMAE添加量的乳液对DPPH自由基的清除率

3 结论

本研究采用超声辅助提取法制备不同配伍比例的丹参-当归提取物（SMAE），通过体外抗氧化活性筛选、提取工艺优化及乳液应用验证，得出以下主要结论。

（1）最佳配伍比例与提取工艺确定。以DPPH自由基清除率为评价指标，结合单因素实验与正交试验，确定丹参-当归最佳配伍比例为3 ∶ 2，最优提取条件为乙醇体积分数65%、超声时间25 min、超声功率480 W、提取温度45 ℃。在此条件下，总黄酮、总酚和丹酚酸B含量分别为9.32 mgRE/g、31.69 mgGAE/g和32.70 mg/g，DPPH清除率为78.01%。

（2）成分与活性相关性明确。总黄酮与总酚含量虽在纯丹参组中最高，但抗氧化活性却在3 ∶ 2配比时达到峰值，表明宏观化学总量并非抗氧化功效的唯一决定因素。进一步关联分析显示，丹酚酸B含量与DPPH清除率呈高度同步的变化趋势，二者均在3 ∶ 2配比时达到最优，证实丹酚酸B是SMAE发挥抗氧化作用的关键物质基础。

（3）乳液应用效果良好。添加SMAE的护肤乳液在耐热、耐寒及离心稳定性测试中均表现良好，斑贴试验无不良反应，安全性符合化妆品使用要求。当SMAE添加量为0.2%时，乳液的DPPH清除率（21.57%）较空白组（4.23%）提升约4倍，展现出显著的量效关系。

综上所述，丹参-当归3 ∶ 2提取物兼具优良的体外抗

中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 132 2026/9/29 15:32:44

氧化活性及乳液配方适配性，为其作为天然抗氧化原料在功能性护肤品中的开发应用提供了实验依据与理论支持。

参考文献

[1]张婧懿,李晓,黄晓莹,等.丹参化学成分及药理作用研究进展[J].中医药信息,2026,43(2):92-97.

[2]宋基正.基于美白作用机理和透皮吸收的丹参凝胶制备工艺研究[D].济南：山东中医药大学,2016.

[3]沈放,王德斌.当归多糖对酪氨酸酶活性的影响[J].昆明师范高等专科学校学报,2005(4):61-62.

[4]王玥,于海园,施雁勤,等.当归净油抗衰老及抗炎祛痘功效的体外实验研究[J].日用化学工业,2017,47(2):87-89.

[5]刘淑颖,骆丹.阿魏酸对UVB导致人角质形成细胞氧化损伤的保护作用研究[J].中国美容医学,2009,18(8):1102-1104.

[6]林鹤霏,徐丽丽,方琦,等.银杏叶茶总黄酮含量测定及抗氧化活性研究[J].广州化工,2025,53(2):16-19.

[7]黄杰,刘国英,李安军.植物提取物中总多酚测定方法的优化研究[J].酿酒,2021,48(2):104-107.

[8]许令侠.丹参的提取、转化工艺研究及效果评价[D].济南:齐鲁工业大学,2019.

[9]Li X P .Comparative Study of 1,1 - Diphenyl - 2 - picryl - hydrazyl Radical (DPPH•) Scavenging Capacity of the Antioxidant Xanthones Family[J].ChemistrySelect,2018,3(46):13081-13086.

[10]张立秋,黎西雅,韩美子,等.西洋参-枸杞子抗氧化护肤乳液的制备[J].延边大学学报（自然科学版）,2022,48(2):164-168.

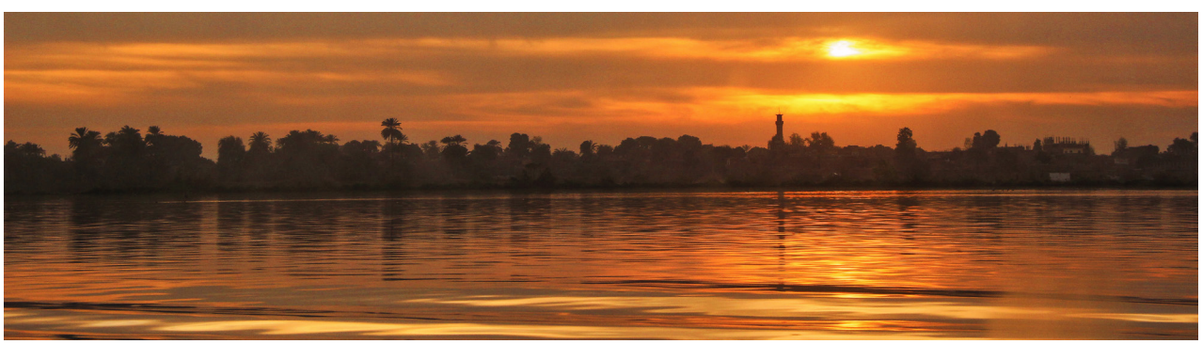
Study on the Antioxidant Activity of Salvia *Miltiorrhiza-Angelica Sinensis* Extracts with Different Compatibility Ratios and its Application in Cosmetics

Ji Shuai-shuai[1], Su Yu-han[2], Wang Ya-qi[2], Cui Zi-yi[2], Yan Jie-jing[2], Guo Jing[2*]

(1.Beijing Technology and Business University, Beijing, 100048, China;
2.Hengshui University, Hengshui, Hebei, 053000)

Abstract： To investigate the antioxidant activity of Salvia miltiorrhiza - Angelica sinensis extracts (SMAE) with different compatibility ratios, optimize the extraction process, and evaluate their application in cosmetic emulsions. Twelve SMAE samples with varying ratios were prepared by ultrasonic-assisted extraction. Total flavonoids, total phenolics, and salvianolic acid B contents were determined. Using DPPH radical scavenging rate as the index, single-factor experiments and orthogonal design were conducted to optimize extraction parameters. The optimal SMAE was incorporated into emulsions at different concentrations, and the stability, safety, and antioxidant capacity of the emulsions were assessed. The results showed that the optimal compatibility ratio of Salvia miltiorrhiza to Angelica sinensis was 3 ： 2, and the optimum extraction conditions were ethanol concentration of 65%, ultrasonic time of 25 min, ultrasonic power of 480 W, and extraction temperature of 45℃. Under these conditions, the contents of total flavonoids, total phenolics, and salvianolic acid B reached 9.32 mg RE/g, 31.69 mg GAE/g, and 32.70 mg/g, respectively, and the DPPH radical scavenging rate was 78.01%. The prepared emulsion exhibited good thermal stability, cold stability, and centrifugal stability, and no adverse reactions were observed in patch tests. When the addition amount of SMAE was 0.2%, the DPPH radical scavenging rate of the emulsion (21.57%) was significantly increased by approximately 4-fold compared with the blank control group. This study provides experimental evidence for the safe application of Salvia miltiorrhiza - Angelica sinensis extract as a natural antioxidant in skincare products, and also offers new insights into the development of traditional Chinese medicine compound formulations in the cosmetic field.

Keywords： ***Salvia miltiorrhiza*** **and** ***Angelica sinensis*** **extract; antioxidation; compatibility ratio; emulsion**



中国日化科技26年2期第3卷第3期.indd 133 2026/9/29 15:32:44