薰衣草精油微乳凝胶的制备及其治疗烫伤研究

朱李博，罗　静#，林　慧，洪文域，熊　姿，胡大莉，唐澜心，应　雪*

成都医学院药学院，结构特异性小分子药物研究四川省高等学校重点实验室，四川 成都　610500

摘　要：目的　制备一种新型薰衣草精油微乳凝胶，改善薰衣草精油溶解性、高度挥发性、化学不稳定和不易储存等缺点，用于烫伤治疗。**方法**　建立芳樟醇含量测定方法，采用伪三元相图法对薰衣草精油微乳凝胶进行处方筛选；建立小鼠深 II 度烫伤模型，比较薰衣草精油微乳凝胶、薰衣草精油、京万红软膏对小鼠烫伤创面的愈合效果。**结果**　建立了芳樟醇含量测定方法，确定蓖麻油聚氧乙烯醚作为乳化剂，无水乙醇为助乳化剂，乳化剂与助乳化剂的质量比（K_m）值为 3∶1，制得薰衣草精油微乳并以一定比例缓慢加入到空白凝胶基质中，离心制得薰衣草精油微乳凝胶，呈现澄清透明，涂展性好，较稳定，测得其平均粒径为（37.95±0.81）nm，多分散指数（polydispersity index，PDI）为 0.218±0.011，ζ 电位为（−16.01±0.84）mV。药效学结果显示，与模型组相比，薰衣草精油微乳凝胶组创面愈合程度显著增加（P＜0.01），愈合率接近 100%；HE 染色结果显示，薰衣草精油微乳凝胶组小鼠皮肤胶原纤维分布整齐，已生成完整的角质层，未生成瘢痕组织，药效优于薰衣草精油组和阳性药京万红软膏组。**结论**　成功将薰衣草精油制成微乳凝胶，建立了一种高效、稳定、安全的药物透皮传递系统，克服了薰衣草精油水溶解度低、易挥发、不易储存且生物利用度较低的问题，并对烫伤具有良好的治疗效果。

关键词：薰衣草精油；微乳；微乳凝胶；深 II 度烫伤；创口愈合；芳樟醇；伪三元相图法

中图分类号：R283.6　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0253 - 2670(2026)22 - 8874 - 10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.22.006

Preparation of lavender essential oil microemulsion gel and research of the treatment of burns

ZHU Libo, LUO Jing, LIN Hui, HONG Wenyu, XIONG Zi, HU Dali, TANG Lanxin, YING Xue

Key Laboratory of Sichuan Provincial High Education Institutions for Structure-Specific Small-Molecule Drug Research, School of Pharmacy, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, China

Abstract: Objective　A novel microemulsion-based hydrogel of lavender essential oil was prepared to improve its solubility, high volatility, chemical instability, difficulty in storage, and it was used for scald treatment. **Methods**　The content determination method of linalool was established. And the prescription of lavender essential oil microemulsion gel was screened by pseudo-ternary phase diagram. Furthermore, a mouse model of deep second-degree scald was established to compare the healing effects of lavender essential oil microemulsion gel, lavender essential oil and Jingwanhong ointment (京万红软膏) on scald wounds in mice. **Results**　A stable and reliable method for the determination of linalool content was established. Lavender essential oil microemulsion was prepared by castor oil polyoxyethylene ether as the emulsifier, and mass ratio of emulsifier to co-emulsifier (K_m) value was 3:1, then slowly added into the blank gel matrix was a certain proportion, centrifugated, to obtain lavender essential oil microemulsion gel. The prepared lavender essential oil microemulsion gel was clear and transparent, with good spread ability and stability. The average particle size was (37.95 ± 0.81) nm, the polydispersity index was 0.218 ± 0.011, and the ζ potential was (−16.01 ± 0.84) mV. In comparison with the model group, the results of pharmacodynamics showed that the wound healing degree of the microemulsion gel group (P < 0.01) was significantly increased, and the healing rate was close to 100 %. The results of HE staining showed that the collagen fibers in the skin of mice in the microemulsion gel group were distributed neatly, and a complete stratum corneum was formed, and no scar tissue was

收稿日期：2026-07-19

基金项目：国家自然科学基金资助项目（81760421）；成医有组织科研项目（CYYZZ25-02）；成医临床联合基金（23LHPDZZD01）；成医临床联合基金（23LHNBZZD04）；四川省自然科学基金资助项目（2025NSFSC2153）

作者简介：朱李博，硕士研究生，研究方向为新型药物递送系统研究与应用。E-mail: zhulb2023@163.com

#共同第一作者：罗　静，硕士研究生，研究方向为新型药物递送系统研究与应用。E-mail: 2621941807@qq.com

***通信作者：**应　雪，教授，研究方向为药物新制剂与新剂型。E-mail: yingxueshzu@163.com

generated. The efficacy was more effective than that of the essential oil group and the positive group. **Conclusion** Lavender essential oil was successfully made into microemulsion gel. And an efficient, stable and safe drug transdermal delivery system was established to solve problems of low water solubility, volatile, difficult storage and low bioavailability of lavender essential oil. The microemulsion gel of lavender essential oil exhibits significantly therapeutic effect against scald.

Key words: lavender essential oil; microemulsion; microemulsion-based hydrogel; deep II burns; wound healing; linalool; pseudoternary phase diagram method

烧烫伤是临床常见的急性意外损害类疾病，因人体皮肤直接或间接与热源（如高压电、热液、蒸汽、火焰、高温金属、化学物质等）发生接触导致[1]。创面的特点有易感染、伤口闭合缓慢、伤口面积大、组织渗液多等[2]。烫伤可以根据其程度分为 4 个级别，分别为轻度烫伤、浅表烫伤、深 II 度烫伤和 III 度烫伤，其中轻度烫伤是程度最轻的，创面可自行愈合；浅表烫伤的程度略重于轻度烫伤，创面红肿、出现水泡，易感染；深 II 度烫伤的烫伤程度较严重，创面易感染并且愈合后易留下瘢痕；III 度烫伤的烫伤程度最严重，皮肤组织、脂肪、肌肉、骨骼都受到损伤。

烧烫伤不仅影响机体的组织结构完整性，愈合后会形成瘢痕，瘢痕外观及粘连还影响患者的心理健康和生活质量[3]。目前，对于烧烫伤创面的治疗包括中药治疗、化学药治疗和手术治疗，其中化学药治疗、手术治疗存在不良反应较大，患者疼痛感较强、疗效不一等问题。因此，安全无毒副作用的天然植物药提取物逐渐成为研究烧烫伤治疗的热点。研究发现，薰衣草味辛、性凉，具有清热解毒、散风止痒、燥湿止痛等功效，能够有效促进烫伤创面的愈合[4]，薰衣草精油的主要成分包括芳樟醇、乙酸芳樟酯以及乙酸薰衣草酯和薰衣草醇等，其中的芳香醇具有抑制细菌和真菌作用[5]。但薰衣草精油具有疏水性、高度挥发性、化学不稳定且易于氧化降解、不易储存且生物利用度较低[6]，致使其应用受到了限制，需要选用合适的制剂技术提高薰衣草精油的生物利用度。

一般来说，精油主要由非极性成分组成，这些成分具有相对较低的水溶性，这意味着它们必须通过乳化结合到水系统中[7]，研究发现，微乳作为一种给药系统，可实现对疏水性药物的增溶，提高药物渗透浓度梯度进而提高生物利用度；并且能提高药物的储存稳定性[8]。但微乳的流动性较强，难以在皮肤上涂布并长时间滞留[9]。而微乳凝胶结合了微乳液的优势，可改善难溶药物的溶解性，增强其稳定性，加速其吸收，同时也具有高载药量和良好的生物相容性[10]。

本研究针对薰衣草精油水溶解度低、易挥发、不易储存且生物利用度较低的问题，结合微乳凝胶的优势，将薰衣草精油制成微乳凝胶，建立了一种高效、稳定、安全的药物透皮传递系统。并且构建小鼠深 II 度烫伤模型，验证薰衣草精油微乳凝胶治疗烫伤的作用效果。

1 仪器与材料

1.1 仪器

MS7-H550-Pro 型磁力搅拌器，青岛聚创环保集团有限公司；ZEN3690 型马尔文粒径仪，英国马尔文仪器有限公司；FV-OSR 型正置荧光显微镜，日本 Olympus 公司；RM2235 型转轮式石蜡切片机，徕卡显微系统（上海）有限公司；Agilent 7890B 型气相色谱仪，安捷伦科技有限公司；KD-BL 型冷冻台，浙江省金华市科迪仪器设备有限公司；KD-BM 型生物组织包埋机，浙江省金华市科迪仪器设备有限公司；KH3200E 型超声波清洗器，昆山禾创超声仪器有限公司；2012000959 型数字式粘度计，上海舜宇恒平科学仪器有限公司；50121253 型高速离心机，安徽嘉文仪器设备有限公司，UPL-IV-30EZ 型优普系列超纯水机，四川优普超纯科技有限公司。

1.2 试剂

薰衣草精油，批号 29-XK-2495，广州仙施生物科技有限公司；聚山梨酯-80（批号 9005-65-6）、蓖麻油聚氧乙烯醚（批号 61791-12-6）、氢化蓖麻油（批号 61788-85-0）、卡波姆 940（批号 9007-20-9）、橄榄油（批号 8001-25-0），上海麦克林生化科技有限公司；无水乙醇，批号 64-17-5，成都海兴化工试剂厂；聚乙二醇（polyethylene glycol，PEG）400，批号 20220613，天津奥普升化工有限公司；4%多聚甲醛通用型组织固定液（批号 30525-89-4），Biosharp Life Sciences 公司；丙三醇（批号 56-81-5）、三乙醇胺（批号 202000510），成都金山化学试剂有限公司；苏木素染色液（批号 C0105S-1）、伊红染色液（批号 C0105S-1），中国碧云天生物技术有限公司；二甲苯（批号 1330-20-7）、正己烷（批号 2023050141），

成都市科隆化学品有限公司；氯化钠注射液，批号 H51021158，四川科伦药业股份有限公司；中性树胶，批号 96949-21-2，安徽白鲨生物科技有限公司；京万红软膏，批号 Z12020440，天津达仁堂京万红药业有限公司；环己酮，批号 108-94-1，天津市致远化学试剂有限公司；芳樟醇，批号 78-70-6，上海源叶生物科技有限公司。

1.3　动物

本研究以正常昆明小鼠为实验动物，鼠龄在 6～8 周，共 40 只，其中雌、雄鼠各 20 只，体质量在 25～30 g，设置每个实验组雌性 5 只，雄性 5 只。使用的所有小鼠均购自成都达硕实验动物有限公司，合格证号 SCXK（川）2020-030。所有的动物实验都是在动物适应新环境 1 周后开始。所有程序经成都医学院实验动物伦理委员会批准，批准文号：成医动伦［2026］第 019 号。

2　方法与结果

2.1　薰衣草精油中芳樟醇含量测定方法的建立

2.1.1　色谱条件　通过气相内标法测定薰衣草精油中芳樟醇含量。色谱条件：柱温初始为 80 ℃，运行 5 min，以 4 ℃/min 升温至 160 ℃；氢火焰离子化检测器（flame ionization detector，FID）保持为 250 ℃；进样入口温度为 250 ℃，分流比 10∶1；载气为 N_2，体积流量 1 mL/min；尾吹体积流量 25 mL/min；进样量 1 μL。

2.1.2　溶液的配制

（**1**）内标溶液：取一定量的环己酮置于 10 mL 量瓶中，用正己烷将其溶解并定容，配制成质量浓度为 10 mg/mL 的溶液，混匀后用作内标溶液。

（**2**）对照品溶液：精密称取芳樟醇对照品 20 mg，置于 10 mL 量瓶中，向量瓶中精密加入 2.00 mL 内标溶液，以正己烷溶解并稀释到刻度线，混匀，作为对照品溶液。

（**3**）供试品溶液：精密称取薰衣草精油 60 mg，置于 10 mL 量瓶中，用正己烷溶解并定容至刻度线，混匀，作为供试品溶液。

2.1.3　专属性实验　精密吸取“2.1.2”项下加了内标的对照品溶液、供试品溶液、加了内标的供试品溶液及内标溶液，按照“2.1.1”项下色谱条件进样测定，记录色谱图，结果见图 1。在该色谱条件下，芳樟醇和内标物环己酮均有良好的分离度。环己酮的保留时间为 6.148 min，芳樟醇保留时间为 13.269 min。

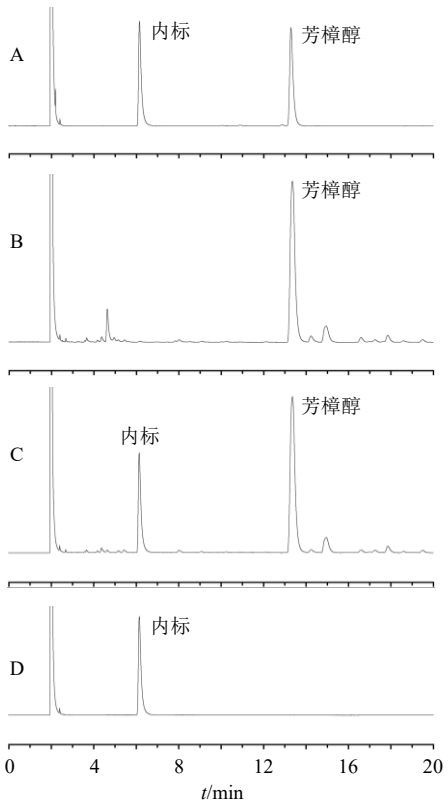


图 1　芳樟醇对照品＋内标溶液 (A)、供试品溶液 (B)、供试品溶液＋内标溶液 (C) 和内标溶液 (D)

Fig. 1　Linalool reference standard plus internal standard solution (A), test sample solution (B), test sample solution plus internal standard solution (C), internal standard solution (D)

2.1.4　线性关系考察　精密称取 40.02 mg 芳樟醇对照品置于 10 mL 量瓶中，加入正己烷溶液定容，混匀后作为储备液。分别精密量取不同体积（0.80、1.00、2.00、3.00、4.00 mL）的储备液，分别置于 10 mL 量瓶中，加入 2.00 mL 质量浓度为 10.00 mg/mL 的内标溶液，然后用正己烷溶液稀释到刻度，混匀，按色谱条件进样检测。结果得到峰面积与芳樟醇浓度的线性回归方程为 Y＝0.170 2 X－0.029 7，R^2＝0.999 8，线性范围为 0.32～1.60 mg/mL。

2.1.5　精密度试验　精密吸取“2.1.2”项下对照品溶液，根据“2.1.1”项下色谱条件重复进样测定 6 次。通过对内标物的峰面积以及芳樟醇的峰面积的比值进行计算，其 RSD 为 0.72%，结果表明精密度良好。

2.1.6　重复性试验　精密称取 6 份薰衣草精油，每份 60.00 mg，置于 10 mL 量瓶中，加入 2.00 mL 内标溶液，用正己烷定容至刻度，作为供试品溶液。按照“2.1.1”项下色谱条件进样测定，通过对内标

物的峰面积以及芳樟醇的峰面积的比值计算，其 RSD 为 1.26%，结果表明重复性良好。

2.1.7 稳定性试验 取“2.1.6”项下制备的供试品溶液，分别于制备后 0、2、4、8、12、24 h 进样测定，按照“2.1.1”项下色谱条件进样测定，以内标物峰面积与芳樟醇峰面积的比值计算，其 RSD 为 3.71%，结果表明在 24 h 内供试品溶液保持了化学稳定性，未出现明显的浓度变化或降解现象。

2.1.8 加样回收率试验 精密吸取“2.1.2”项下制备的供试品溶液 3 份，每份 500 μL，分别置于 5 mL 量瓶中，再分别加入 500 μL 内标液，最后分别加入低、中、高质量浓度的芳樟醇对照品溶液，用正己烷定容至刻度线。按照“2.1.1”项下色谱条件进行测定，计算加样回收率。芳樟醇的平均加样回收率为 100.32%，RSD 为 1.55%，表明回收率良好。

2.1.9 薰衣草精油样品中芳樟醇含量测定 精密吸取“2.1.2（3）”项下供试品溶液 3 份，按照“2.1.1”项下色谱条件进样测定，计算薰衣草精油中芳樟醇的含量。结果供试品溶液中芳樟醇的平均质量分数为 70.43%，国家标准 GB12653-90 规定中的“中国薰衣草油”芳樟醇的质量分数均不得少于 25%，符合要求。

2.2 薰衣草精油微乳制备方法

2.2.1 伪三元相图的绘制 微乳的形成涉及 4 个主要组分：油相、水相、乳化剂、助乳化剂，只有这些组分按照特定的比例混合，才能实现微乳的自发形成[11]。本实验采用单因素考察法，固定体系质量为 0.5 g，将油相与混合乳化剂（乳化剂＋助乳化剂，S_m）以 9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6、3∶7、2∶8、1∶9 的质量比进行混合，搅拌 5 min，然后逐滴加入去离子水，记录体系由浑浊变澄清，再由澄清变浑浊时的加水量。

以去离子水、油相、S_m 为 3 个顶点，运用 Origin 2021 软件绘制伪三元相图，以形成自微乳区域面积为评价指标，面积越大乳化效果越好[12]。薰衣草精油的有效成分为芳樟醇和乙酸芳樟酯等芳香族化合物，符合微乳油相的要求，因此选择薰衣草精油作为油相。

2.2.2 乳化剂的选择 乳化剂的存在降低了表面张力和接触角[13]，促进了微乳液的形成。其亲水亲油平衡值（hydrophilic-lipophilic balance，HLB）范围决定了微乳液的性质[14]。本研究确定了制备 O/W 型微乳液，因此选择的乳化剂有聚山梨酯-80、蓖麻油聚氧乙烯醚、氢化蓖麻油，按照质量比为 1∶1 将上述 3 种乳化剂分别与无水乙醇混合。将上述 S_m 与薰衣草精油混合。设定 S_m 与薰衣草精油按质量比为 9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6 进行混合。缓慢滴加去离子水，记录体系由浑浊变为澄清，再由澄清变为浑浊所需的加入去离子水的量，用 Origin 2021 软件绘制薰衣草精油自乳化释药系统的伪三元相图，比较微乳区域面积的大小，确定最佳的乳化剂。绘制了薰衣草精油微乳的伪三元相图，根据伪三元相图（图 2）结果显示选择蓖麻油聚氧乙烯醚作为乳化剂。

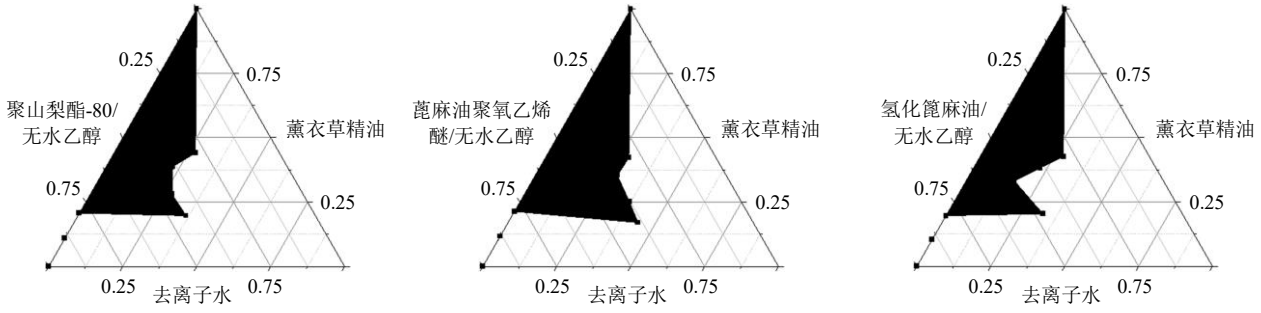


图 2 不同乳化剂形成的伪三元相图

Fig. 2 Pseudo-ternary phase diagram formed by different emulgators

2.2.3 助乳化剂的选择 使用单一的乳化剂往往难以实现最佳的乳化效果，因此，常加入助乳化剂提高乳化效果。在非离子微乳液中，一般以中短链的醇类为助乳化剂[15]。本实验选用无水乙醇和聚乙二醇 400 作为助乳化剂，分别与“2.2.2”项下筛选出的最佳乳化剂（蓖麻油聚氧乙烯醚）混合，制备 S_m，固定乳化剂与助乳化剂的质量比（K_m）值为 1∶1，然后将 S_m 与薰衣草精油按照 9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6 的质量比进行混合。缓慢滴加去离子水，记录混合体系由浑浊到澄清，再由澄清到浑浊的整个过程中加去离子水量的变化情况。采用 Origin 2021 软件对混合体系进行图像处理。绘制出

伪三元相图，比较微乳区域的面积，确定最适合的助乳化剂。绘制薰衣草精油自乳化释药系统的伪三元相图（图 3），结果显示蓖麻油聚氧乙烯醚/无水乙醇组的面积为 0.157 cm^2，面积最大，故确定以无水乙醇为助乳化剂。

2.2.4　K_m 值的筛选　助乳化剂与乳化剂之间的适当比例，对于植物油微乳液的形成是必要的，因为它们在系统中亲水和疏水部分之间提供平衡，防止乳化剂沉淀和刚性结构的形成[16]。由“2.2.2”和“2.2.3”项下确定的微乳组分，在配制时，根据既定的质量比（K_m 1∶1、2∶1、3∶1、4∶1 和 1∶2），精确称取乳化剂和助乳化剂，接着按照 9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6 的质量比称取各种 K_m 的 S_m 以及薰衣草精油。缓慢加去离子水，记录混合体系由浑浊到澄清，再由澄清到浑浊的整个过程中加入的去离子水量变化情况。采用 Origin 2021 软件对混合体系进行图像处理，绘制出伪三元相图，比较微乳区域的面积大小，确定最佳 K_m 值。绘制薰衣草精油微乳的伪三元相图（图 4），结果显示 K_m 为 3∶1 时微乳区面积最大，故确定 K_m 值为 3∶1。

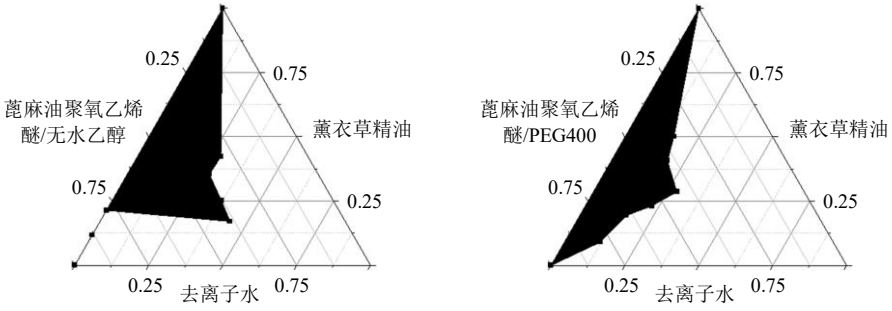


图 3　不同助乳化剂形成的伪三元相图

Fig. 3　Pseudo-ternary phase diagram formed by different co-emulgators

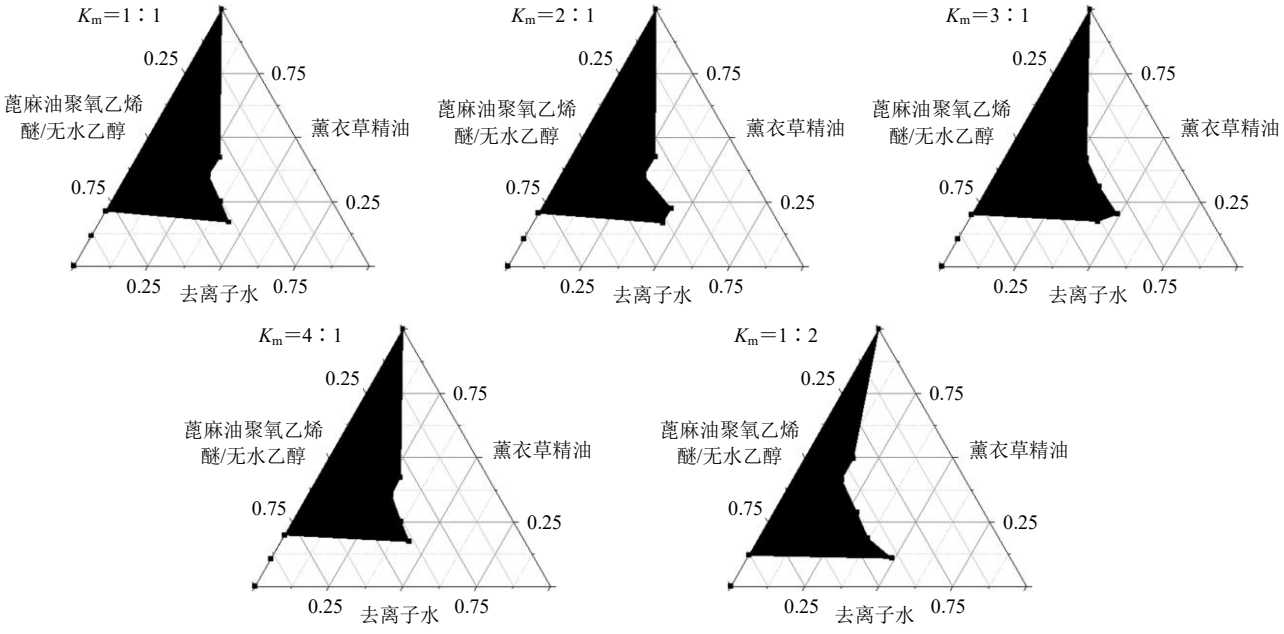


图 4　不同 K_m 值的伪三元相图

Fig. 4　Pseudo-ternary phase diagram for different values of K_m

2.2.5　最优微乳处方的筛选　根据筛选的微乳条件，设置体系总质量为 0.5 g，分别按照 S_m 质量与薰衣草精油质量比为 9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6 称取混合，搅拌 5 min，37 ℃下往混合相中逐滴加去离子水，记录成乳现象。本实验选用的油相为薰衣草精油，乳化剂为蓖麻油聚氧乙烯醚，助乳化剂为无水乙醇，确定 K_m=3∶1。如表 1 所示，比例为 7∶3 时，形成了澄清透明，略泛蓝色乳光的微乳，且此时微乳载药量较高，故综合考虑选择最佳的 S_m 与薰衣草精油质量比为 7∶3。

2.3　薰衣草精油微乳的考察

2.3.1　外观性状考察　薰衣草精油微乳置于磁力搅

表 1 不同比例薰衣草精油微乳的外观性状

Table 1 Appearance properties of different proportions of lavender essential oil microemulsion

S_m与薰衣草精油质量比	稀释后外观性状
9∶1	澄清、透明、略泛蓝色乳光
8∶2	澄清、透明、泛蓝色乳光
7∶3	澄清、半透明、泛蓝色乳光
6∶4	亮白色、不透明、略泛蓝色乳光
5∶5	乳白色不透明液体、精油漂浮在表面
4∶6	乳白色不透明液体、精油漂浮在表面

拌器上搅拌，加入去离子水将体系稀释 10 倍，观察体系乳化情况。如图 5 所示，S_m 与薰衣草精油的质量比为 7∶3 的薰衣草精油微乳为 A 等级。



图 5 S_m 与薰衣草精油的质量比为 7∶3 的薰衣草精油微乳外观性状

Fig. 5 Appearance properties of lavender essential oil microemulsion with mass ratio of S_m to lavender essential oil of 7:3

2.3.2 粒径分布和 ζ 电位测定 制备出最佳处方比例的薰衣草精油微乳 3 批，用去离子水稀释 10 倍，然后用马尔文粒径仪检测薰衣草精油微乳的粒径和 PDI。结果显示最佳处方比例制备所得薰衣草精油微乳的粒径为（25.19±0.06）nm，PDI 为 0.063±0.020，ζ 电位为（−4.95±0.70）mV。

2.4 薰衣草精油微乳凝胶制备方法

2.4.1 卡波姆 940 的用量考察 取 0.2、0.5、0.8、1.0、1.5 g 卡波姆 940 粉末分别溶于 100 g 去离子水中，静置 24 h 以确保完全溶解，滴加三乙醇胺溶液调整凝胶基质的 pH 值为 6.0 左右，并观察其外观、黏稠度和涂展性能。考察凝胶基质的外观性状、黏稠度、涂展性，结果如表 2 所示，经过反复试验与比较后，确定卡波姆 940 作为凝胶剂在凝胶基质中的最佳用量为 0.5%。

2.4.2 保湿剂甘油的用量考察 称取合适用量的卡波姆 940，分别加入 5、8、10、12、15 g 甘油进行湿润，加去离子水至 100 g，充分搅拌混合，静置 24 h，观察其外观、油腻感、涂展性及黏度。考察加入甘油的凝胶的外观性状、油腻感、涂展性、黏度，结果如表 3 所示，确定甘油的最佳用量为 8～10 g。

2.4.3 凝胶的制备 称取适量卡波姆 940，加入适量甘油湿润，加入去离子水至 100 g，搅拌均匀，静置 24 h。用三乙醇胺溶液调 pH 值至 6.5，以 10 000 r/min 离心 10 min，得到凝胶基质。

表 2 不同含量卡波姆 940 的考察结果

Table 2 Determination results of different contents of Carbomer 940

卡波姆940/%	外观性状	黏稠度	涂展性
0.2	澄清透明	较稀	快速涂展
0.5	澄清透明	适中	快速涂展
0.8	澄清透明	适中	慢速涂展
1.0	澄清透明	黏稠	慢速涂展

表 3 不同含量甘油的考察结果

Table 3 Examination results of different contents of glycerol

甘油/g	外观性状	油腻感	涂展性	黏度/(mPa·s)
5	澄清，均匀细腻	无油腻感	快速涂展，易掉	106.5
8	澄清，均匀细腻	无油腻感	快速涂展，不掉	52.5
10	澄清，均匀细腻	无油腻感	快速涂展，不掉	55.5
12	澄清，不均匀	有油腻感	慢速涂展，不掉	51.5

2.4.4 薰衣草精油微乳凝胶的制备 将薰衣草精油微乳以一定比例缓慢加入到制备好的空白凝胶基质中，10 000 r/min 离心 10 min 除去气泡，最终获得薰衣草精油微乳凝胶。

2.5 薰衣草精油微乳凝胶考察

2.5.1 外观性状 观察微乳凝胶的外观性状，并取少量微乳凝胶于载玻片上，静置 1 min，观察其流动性。结果显示薰衣草精油微乳凝胶为半固态，呈乳白色，半透明，均匀细腻，无油腻感，涂展性好，有一定的流动性。

2.5.2 稳定性考察 分别取 3 批薰衣草精油微乳凝胶各 1.5 mL，在 10 000 r/min 下离心（离心半径 3 cm）10 min。并将上述微乳凝胶在 4 ℃放置 30 d，观察其是否分层。离心后的微乳凝胶仍均匀细腻，涂展性良好的乳白色半透明半固体凝胶。在 4 ℃放置 30 d 后，没有相分离或药物沉淀，表明该微乳凝胶稳定性良好。

2.5.3 粒径分布及 ζ 电位的测定 将适量微乳凝胶放入离心管中，加入 10 mL 去离子水，混匀后用马尔文粒径仪测定粒径及 PDI 值。结果薰衣草精油微乳凝胶的平均粒径为（37.95±0.81）nm（n=3），PDI 值为 0.218±0.011（n=3），ζ 电位为（−16.01±0.84）mV（n=3），其符合《中国药典》2025 年版

要求。

2.5.4　薰衣草精油微乳凝胶含量的测定　精密称取 3 份薰衣草精油微乳凝胶，每份取 60 mg 于 10 mL 容量瓶，精密加入内标溶液 2.00 mL，用正己烷溶解，定容至刻度线，混匀，然后按照“2.1.1”项下色谱条件进样，检测微乳凝胶中芳樟醇的含量。结果可见 3 份薰衣草精油微乳凝胶中芳樟醇的质量浓度分别为 0.44、0.42、0.40 mg/mL，平均质量浓度为（0.42±0.02）mg/mL，最终计算得 1 mg 薰衣草精油微乳凝胶中含有 0.07 mg 芳樟醇。

2.6　薰衣草精油微乳凝胶的药效学评价

2.6.1　深 II 度烫伤小鼠的造模　昆明小鼠（8～10 周龄，体质量 24～28 g），雌雄各半，以 3%异氟烷进行吸入麻醉。观察小鼠进入昏迷状态后，用剪刀将长毛剪去，然后使用脱毛膏，脱毛后，小鼠裸露的皮肤用 75%乙醇擦拭消毒。将水浴锅水温调节为 95 ℃，砝码放入水中 1 min 后，取出砝码在小鼠脱毛区域放置 15 s，建立深 II 度烫伤模型。如图 6、7 所示，小鼠造模后当日烫伤部位皮肤呈灰白色，皮肤变硬，可见烫伤皮肤边缘的白色凝固性坏死组织。次日在模型组小鼠伤口处有一块深红色的形状不规则的痂。在显微镜下可清晰地观察到皮肤表层以及真皮的深处产生凝固性坏死现象，并伴随着血管的扩张和组织的水肿，在真皮层与皮下组织之间，还发现炎细胞浸润，为典型深 II 度烫伤现象，表明成功构建深 II 度烫伤模型。

2.6.2　实验分组及给药　选取深II度烫伤小鼠40只，雌雄各半，随机分为模型组、阳性对照组、精油组、微乳凝胶组，每组雄鼠 5 只，雌鼠 5 只。实验中小鼠分笼饲养，期间标准饮食和自由饮水。各组药物均涂抹于小鼠背部创面处。模型组涂抹生理盐水，阳性对照组涂抹给京万红软膏 0.5 g，精油组涂抹薰衣草精油 0.175 g，微乳凝胶组涂抹微乳凝胶 0.5 g（其中含有精油 0.175 g）。每日 1 次，持续 21 d。

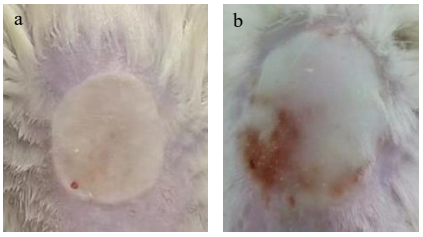


图 6　小鼠烫伤皮肤当日 (a) 和第 2 日 (b) 外观

Fig. 6　Appearance of scalded mouse skin on day of burn (a) and on second day (b)

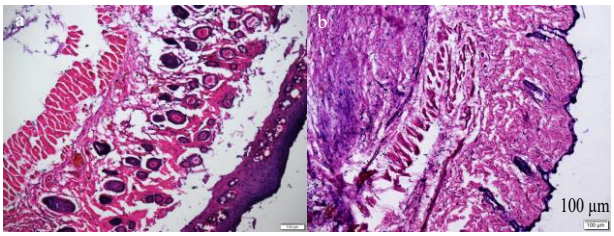


图 7　小鼠烫伤皮肤 (a) 及正常皮肤 (b) 的 HE 染色切片 (×10)

Fig. 7　HE stained section of mouse scalded skin (a) and nomal skin (b) (× 10)

2.6.3　不同给药组的小鼠烫伤创面观察　肉眼观察作为评估烫伤创面愈合状况的指标之一，记录小鼠烫伤部位面积变化、炎症状况、结痂和痂片脱落、瘢痕生成的情况。如图 8 所示，在 3 d 时，所有组的小鼠烫伤创面均已结痂，痂面干瘪，其中模型组痂面肿胀较明显；在 7 d 时，所有实验组创伤面积均减小，与微乳凝胶组相比，模型组、阳性对照组、精油组的痂面均增厚；在 14 d 时，精油组和微乳凝胶组的创伤面积明显变小，已长出新的皮肤和毛发；在 21 d 时，模型组和阳性对照组创口仍然结痂，微乳凝胶组全部愈合，新生皮肤无瘢痕，新生毛发生长旺盛。

2.6.4　HE 染色观察皮肤组织中的病理学改变　小鼠的组织学伤口愈合通常分为 4 个阶段：凝固、炎症、增殖和再生。为了观察不同阶段的组织学变化，实验第 3、7、14、21 天处死小鼠，并从其背部剥离因烫伤而受损的皮肤组织，将皮肤组织固定、脱水、石蜡包埋，接下来切片、摊片、脱蜡、染色、封片，最后在显微镜下观察。如图 9 所示，愈合后的小鼠皮肤光滑柔软，无瘢痕增生。阳性对照组、精油组和微乳凝胶组都有促进小鼠烫伤伤口愈合的作用，但以微乳凝胶组的效果最好。

从 HE 染色结果（图 10）可以看出，在 3 d 时，所有的实验组表皮消失，真皮坏死，皮肤附属器官（如毛囊、汗腺等）减少或消失，其中模型组和阳性对照组情况最严重，有大量炎症因子和强烈的渗出物，精油组次之，与其他 3 组相比微乳凝胶组的渗出物不明显；在 7 d 时，除模型组外，所有实验组的炎症因子和渗出物开始减少，其中精油组和微乳凝胶组减少更为明显；在 14 d 时，模型组和阳性对照组胶原纤维分布紊乱，精油组和微乳凝胶组出现颗粒组织，微乳凝胶组开始上皮再形成；在 21 d 时，模型组和阳性对照组胶原纤维增殖，胶原有组织沉

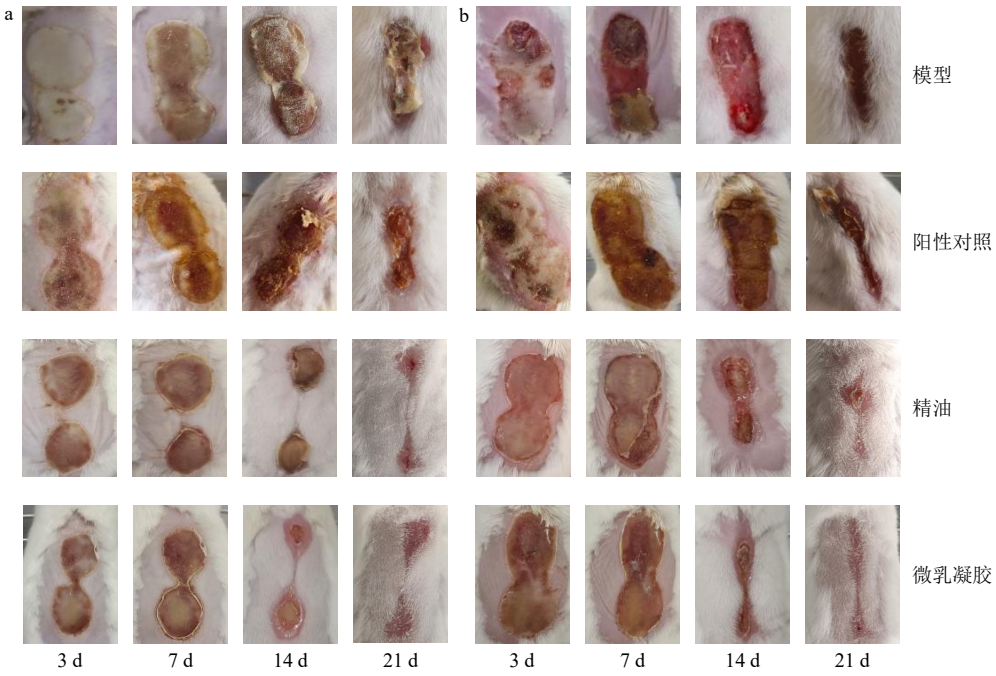


图 8　不同给药组雄性（a）和雌性（b）小鼠背部烫伤创面面积变化

Fig. 8　Changes in area of scalded wounds on back of male (a) and female (b) mice in different administration groups

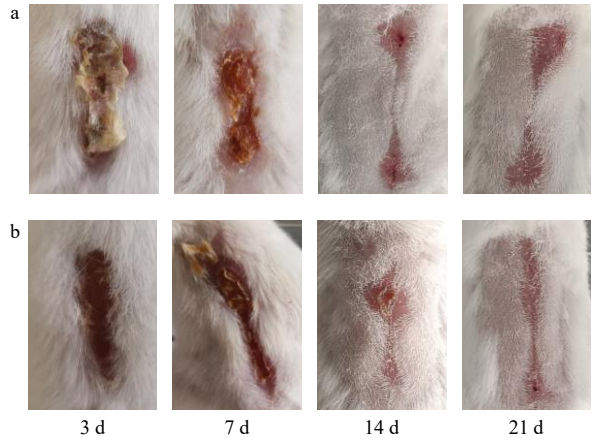


图 9　不同给药组雄性（a）和雌性（b）小鼠 21 d 内烫伤创面愈合情况

Fig. 9　Healing of scalded wounds in male (a) and female (b) mice of different dosing groups within 21d

积，形成瘢痕，精油组和微乳凝胶组胶原纤维分布整齐，上皮细胞分化相对完全，层次清晰，微乳凝胶组可观察到完整的角质。

2.6.5　统计学方法　所有数据处理分析均通过 SPSS 16.0 统计软件进行，计量数据均采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，2 组实验数据比较使用独立样本 t 检验，多组实验数据比较使用单因素方差分析，检验水平 $P < 0.05$ 则表明有统计学差异。

3　讨论

皮肤是人体最大的组织，由外向内可分为表皮层与真皮层，其中真皮下有毛囊、汗腺、皮脂腺等皮肤附属结构。上述皮肤附属器是增殖上皮细胞即角质形成细胞的来源，在皮肤受到损伤时会向创面迁移，对创面修复起到重要作用[17]。目前，临床上最理想的伤口修复方法是通过再生修复，但并非每一处伤口创面都能达到这种理想状态，部分甚至会形成瘢痕[18]。

烧烫伤是一种常见的急性严重皮肤损伤，可能导致身体损伤甚至残疾，以及情绪和精神疾病[19]。烧烫伤伤口愈合是一个序贯动态的过程，其中在炎症阶段时，中性粒细胞和单核细胞通过局部血管扩张渗出到损伤部位，从而诱发炎症，巨噬细胞激活后会分泌炎症细胞因子和生长因子如白细胞介素-1β（interleukin-1β，IL-1β）、胎盘生长因子（placental growth factor，PLGF）、肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-α，TNF-α）和转化生长因子-β（transforming growth factor-β，TGF-β）。TGF-β 可以调控成纤维细胞的增殖、合成胶原，促进创面肉芽组织的生成，并诱导成纤维细胞向肌成纤维细胞转化。炎症反应后，各种细胞因子激活角质形成细胞和成纤维细胞，进入增殖期，以恢复血管灌注并进一步促进伤口愈合。烧烫伤愈合后期涉及伤口重塑，新生组织胶原蛋白沉积水分减少，肌成纤维细胞收缩和再上皮化，决定了修复伤口的质量和柔韧性，并决定了瘢痕形成的程度[20-21]。

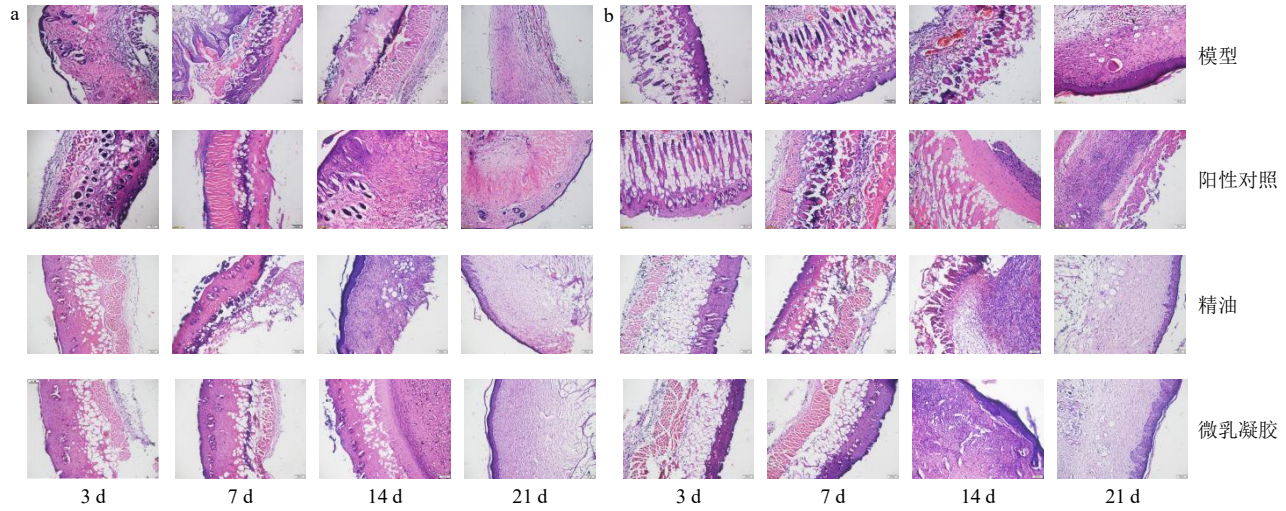


图 10　不同给药组雄性 (a) 和雌性 (b) 小鼠烫伤皮肤的 HE 染色切片 (×10)

Fig. 10　HE-stained sections of scalded skin of male (a) and female (b) mice in different administration groups (× 10)

Mori 等[22]证明薰衣草精油可通过加速肉芽组织形成、组织重塑和伤口收缩来改善愈合过程。但低溶解度、低稳定性和易挥发性等因素限制了其作为治疗候选药物的应用。近年来，许多新型递送系统（脂质体、纳米粒、乳液、纳米纤维和纳米管等）已被成功开发出来，以保护精油实现更高的溶解度和稳定性，从而提高精油成分的细吸收和生物利用度[23-24]。Miastkowska 等[25]制备了一种装载薰衣草精油的纳米乳液敷料用于烧伤伤口愈合，结果表明该纳米乳液可以减轻上皮炎症和促进皮肤再生，但是纳米乳液仍然存在给药后易流失和滞留差等缺点。本研究首先建立了芳樟醇含量测定方法，然后通过伪三元相图法筛选出微乳的最佳处方，对制得的微乳进行表征，接着筛选出合适比例的凝胶基质，将微乳加入其中，制得薰衣草精油微乳凝胶，并对其进行表征，最后建立深 II 度烫伤小鼠模型进行药效学评价。

实验结果表明，芳樟醇含量测定方法符合要求；薰衣草精油微乳凝胶具有良好的稳定性；在给药 21 d 时，与模型组相比，微乳凝胶组小鼠创面愈合程度显著增加创面几乎全部愈合，愈合后的皮肤光滑柔软、无瘢痕增生，病理切片实验结果显示微乳凝胶组小鼠皮肤胶原纤维分布整齐，已生成完整的角质层。上述实验结果证实了该制剂在促进创面愈合、改善组织修复等方面具有明显优势，提示其对烫伤皮肤具有良好的治疗前景，为进一步阐明其作用机制及开展后续研究提供了依据，也为中医药在烧烫伤治疗中的临床应用与转化提供了初步的理论基础与科学支持。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 黎祖鸣, 肖瑶, 陈雪如, 等. 基于数据挖掘的外治烧烫伤中药复方专利用药规律研究 [J]. 中国中医药图书情报杂志, 2024(2): 41-45.

[2] Liu J M, Zhang C, Zhao H, *et al*. Horseradish peroxidase/hydrogen peroxide-cross-linked quaternized chitosan/protocatechualdehyde hydrogels with strong antioxidant and photothermal antibacterial properties for infected burn wounds [J]. *Biomacromolecules*, 2025, 26(9): 6219-6232.

[3] Liu H Y, Wang M, Wang Q J, *et al*. Promoting scarless wound closure utilizing an injectable thermosensitive hydrogel with anti-inflammatory, antioxidant, and scar formation inhibiting properties [J]. *Biomater Adv*, 2025, 173: 214295.

[4] 吴峥. 薰衣草精油涂膜剂治疗手部 II 度烫伤疗效分析 [J]. 中国烧伤创疡杂志, 2021, 33(2): 115-117.

[5] Stamova S, Ermenlieva N, Tsankova G, *et al*. Antimicrobial activity of lavender essential oil from *Lavandula angustifolia* Mill.: *In vitro* and in silico evaluation [J]. *Antibiotics*, 2025, 14(7): 656.

[6] Hedayati S, Tarahi M, Iraji A, *et al*. Recent developments in the encapsulation of lavender essential oil [J]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2024, 331: 103229.

[7] Rahmi I D, Firmanda A, Fahma F, *et al*. Pickering emulsion system of cellulose nanocrystals (CNCs)-stabilized essential oils (EOs) and their effect on food packaging characteristics: A review [J]. *Int J Biol Macromol*, 2025, 330(Pt 2): 148020.

[8] Kim Y H, Kim S B, Choi S H, *et al*. Development and evaluation of self-microemulsifying drug delivery system for improving oral absorption of poorly water-soluble olaparib [J]. *Pharmaceutics*, 2023, 15(6): 1669.

[9] 陈莉, 吴浪琴, 邹欢, 等. 阿魏酸微乳-温敏凝胶经皮给药制剂的制备与评价 [J]. 中国现代应用药学, 2025, 42(4): 604-610.

[10] 刘玉娟, 刘欣妍, 李婷婷, 等. 淫羊藿富集部位微乳凝胶的制备及药效学评价[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(10): 2634-2642.

[11] 汪雪凤, 江芊, 范佐旺, 等. 诺丽精油微乳体系的构建及其稳定性和抑菌活性研究 [J]. 日用化学工业 (中英文), 2025, 55(9): 1120-1128.

[12] 贺智勇, 邹弢, 罗田, 等. 基于薄荷油为油相的红花提取物自微乳凝胶递送系统制备研究 [J]. 中草药, 2020, 51(11): 2922-2928.

[13] Nagaraj K, Anbazhagan G K, Govindasamy R S, *et al*. Biomimetic surfactants for tunable interfacial properties in drug delivery, biomedical coatings and tissue engineering [J]. *Int J Pharm*, 2025, 677: 125658.

[14] Magrode N, Poomanee W, Kiattisin K, *et al*. Microemulsions and nanoemulsions for topical delivery of tripeptide-3: From design of experiment to anti-sebum efficacy on facial skin [J]. *Pharmaceutics*, 2024, 16(4): 554.

[15] Wang Y F, Zhou K F, Ye C J, *et al*. Preparation and characterization of microemulsions formulated with PEG fatty acid glycerides [J]. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2025, 254: 114826.

[16] 陈婧, 刘彩霞, 朱晓薇. 影响微乳形成因素的研究 [J]. 天津中医药大学学报, 2007, 26(1): 31-33.

[17] Shpichka A, Butnaru D, Bezrukov E A, *et al*. Skin tissue regeneration for burn injury [J]. *Stem Cell Res Ther*, 2019, 10(1): 94.

[18] Jin Y X, Meng Z L, Qin Z Y, *et al*. Mechanisms of extracorporeal shock wave therapy in burn scar repair: Advances in immunoactivation-based scar remodeling research [J]. *Regen Ther*, 2025, 30: 182-194.

[19] Dmitry B, Kornhaber R, Cleary M. Psychosocial concerns in burn survivors and their families: A narrative review [J]. *Injury*, 2025, 56(10): 112626.

[20] Mulder P P G, Vlig M, Fasse E, *et al*. Burn-injured skin is marked by a prolonged local acute inflammatory response of innate immune cells and pro-inflammatory cytokines [J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 1034420.

[21] Xie S J, Huang R Z, Qian W J, *et al*. Globotriaosylceramide Gb_3 influences wound healing and scar formation by orchestrating fibroblast heterogeneity [J]. *Adv Sci*, 2025, 12(41): e09733.

[22] Mori H M, Kawanami H, Kawahata H, *et al*. Wound healing potential of lavender oil by acceleration of granulation and wound contraction through induction of TGF-β in a rat model [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2016, 16(1): 144.

[23] Bora L, Avram S, Pavel I Z, *et al*. An up-to-date review regarding cutaneous benefits of *Origanum vulgare* L. essential oil [J]. *Antibiotics*, 2022, 11(5): 549.

[24] Kyriakoudi A, Spanidi E, Mourtzinos I, *et al*. Innovative delivery systems loaded with plant bioactive ingredients: Formulation approaches and applications [J]. *Plants*, 2021, 10(6): 1238.

[25] Miastkowska M, Sikora E, Kulawik-Pióro A, *et al*. Bioactive *Lavandula angustifolia* essential oil-loaded nanoemulsion dressing for burn wound healing. *In vitro* and *in vivo* studies [J]. *Biomater Adv*, 2023, 148: 213362.

[责任编辑 郑礼胜]