

本文引文格式:任至立,滕俏,赵金红,等.牡丹皮精油纳米颗粒在日化品中的除螨功效及安全性检测[J].右江民族医学院学报,2025,47(1):37-43.

【论著与临床报道】

牡丹皮精油纳米颗粒在日化品中的除螨功效及安全性检测

任至立¹,滕俏²,赵金红^{2,3},李媛媛^{2,3}

1. 皖南医学院公共卫生学院,安徽 芜湖 241002;
2. 皖南医学院医学寄生虫学教研室,安徽 芜湖 241002;
3. 安徽省生物大分子重点实验室,安徽 芜湖 241002

摘要:目的 制备牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒并研究其对粉尘螨的抑杀作用,同时进行皮肤刺激性实验,以期获得一种新型杀螨洗护用品。方法 将制备的牡丹皮精油纳米颗粒添加于不同日化产品中,采用接触法和趋避法测定其对粉尘螨的抑杀活性,并进行家兔皮肤刺激实验。结果 添加了牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液和洗衣粉对粉尘螨的接触死亡率分别为 95.17% 和 96.17%,趋避率分别为 82.11% 和 81.19%;在皮肤刺激试验中,皮肤反应积分均值为 0,皮肤刺激强度为无刺激性。结论 牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒在洗涤产品中对粉尘螨具有良好的触杀活性和趋避活性,无皮肤刺激性。

关键词:牡丹皮精油;纳米颗粒;日化品;杀螨活性;家兔皮肤刺激

中图分类号:R284.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-5817(2025)01-0037-07

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2025.01.006

Detection of the acaricidal efficacy and safety of Moutan Cortex essential oil nanoparticles in daily chemical products

REN Zhili¹, TENG Qiao², ZHAO Jinhong^{2,3}, LI Yuanyuan^{2,3}

1. School of Public Health, Wannan Medical College, Wuhu 241002, Anhui, China;
2. Department of Medical Parasitology, Wannan Medical College, Wuhu 241002, Anhui, China;
3. Anhui Key Laboratory of Biological Macromolecules, Wuhu 241002, Anhui, China)

Abstract: **Objective** To prepare Moutan Cortex essential oil-loaded mesoporous silica nanoparticles and investigate their acaricidal activity against *Dermatophagoides farinae*, as well as to conduct skin irritation tests, aiming to develop a novel acaricidal personal care product. **Methods** The Moutan Cortex essential oil-loaded mesoporous silica nanoparticles were added to different daily chemical products, and their acaricidal activity against *Dermatophagoides farinae* was measured by contact and repellency assays, and skin irritation tests were performed on rabbits. **Results** The contact mortality rates of *Dermatophagoides farinae* for laundry detergent and washing powder containing Moutan Cortex essential oil-loaded mesoporous silica nanoparticles were 95.17% and 96.17%, respectively, while the repellency rates were 82.11% and 81.19%, respectively. In the skin irritation test, the mean skin reaction score was 0, indicating no skin irritation. **Conclusion** Moutan Cortex essential oil-loaded mesoporous silica nanoparticles exhibit good contact and repellent activity against *Dermatophagoides farinae* in washing products and cause no skin irritation.

Key words: Moutan Cortex essential oil; nanoparticles; daily chemical products; acaricidal activity; rabbit skin irritation

基金项目:安徽省高校学科(专业)拔尖人才学术资助项目(gxbjZD2020071);芜湖市科技计划重点研发项目(2021yf38);皖南医学院 2022 年度校中青年基金项目(WK202216)

第一作者:任至立,大学生,E-mail:16224531782@qq.com

共同通讯作者:李媛媛,硕士,实验师,研究方向:植物源杀螨剂,E-mail:hnlyy198717@163.com

共同通讯作者:赵金红,博士,教授,硕士研究生导师,研究方向:医学螨类,人兽共患寄生虫病的基础和临床研究,E-mail:zha-
ojh@wnmc.edu.cn

牡丹皮(moutan cortex)为毛茛科植物牡丹(*Paeonia × suffruticosa Andr.*)的干燥根皮,性微寒,具有凉血解毒、活血化瘀等功效,还有抗肿瘤、抗心律失常、增强免疫力和保护脑组织缺血的作用^[1-4]。最新的研究表明^[5],牡丹皮精油含有多种可作为杀螨剂的生物活性化合物,其主要化合物是丹皮酚,是一种潜在的植物性杀螨剂。植物挥发油是一种相较于传统化学药剂更为绿色环保、安全高效的杀螨剂,长期使用对人类更健康^[6],亦被认为是螨类防治的理想替代品。但由于挥发油的疏水性和易降解、易挥发性,在实际杀螨应用中遇到了困难。纳米载药系统利用纳米技术将药物包封吸附于由高分子材料组成的纳米载体上,既能保护药物免受环境降解,还能减轻药物对人体的刺激性和毒性^[7-8]。纳米技术应用于精油的包封是控制精油稳定性的有效途径,也是目前制剂开发及未来改善植物精油性能的热点^[9]。且另一项研究表明,牡丹皮精油在介孔二氧化硅纳米颗粒中具有显著的稳定性^[10]。因此基于牡丹皮精油的纳米材料具有作为纳米杀螨剂产品的潜力,并可应用于防螨领域。粉尘螨(*Dermatophagoides farinae*)普遍存在于人类居住和工作的室内环境中,是房舍螨类的主要成员^[11],常见的孳生物有谷物残屑、动物皮屑、衣物和地毯灰尘等。粉尘螨是螨类变应原的主要来源之一,其分泌物、排泄物以及虫体死亡后的降解产物都能成为过敏原,可以诱发 IgE 介导的变态反应^[12-13],引起过敏性哮喘、过敏性鼻炎及荨麻疹等^[14-15]。据报道^[16],约 60%~80% 的过敏性疾病患者对粉尘螨过敏,严重危害人类健康。

近年来,将天然植物提取物应用于日用品中符合大部分消费者绿色环保的消费理念^[17]。目前市面上有些洗衣液中添加了各类除螨剂,其主要成分具有良好的稳定性和配伍性,并且能很好地与洗衣液中的其他活性成分有机配伍^[18-19]。但除螨剂成分大多为植物提取物(如挥发油),其降解速度快、挥发性强等问题尚待解决。鉴于牡丹皮的抗寄生虫等特性及二氧化硅作为载药系统的应用潜力,本研究用二氧化硅纳米颗粒包裹牡丹皮精油后,应用于日化品中,拟探究其对粉尘螨的抑杀作用,并对产品的安全性进行评测,旨在开发出绿色、安全、高效的新型除螨洗护产品。

1 材料

1.1 主要实验试剂及器材 市售 3 种常见洗衣液、洗衣粉品牌均购于超市(其主要成分包括表面活性剂、粘合剂、防腐剂、香精等且品牌间成分无明显差异,下文分别用 A、B、C 表示,其中洗衣液均符合 QB/T 1224 行业标准,洗衣粉均符合 GB/T 13171.1 国家标准);牡丹根皮购于安徽省亳州市安徽大西北中药饮片有限公司;乙醚和无水硫酸钠均购于江苏省无锡市展望化

工试剂有限公司;体式显微镜 SZX7 购于日本 OLYMPUS 公司;Fwl35/177 型中草药粉碎机购于天津市泰斯特仪器有限公司;RE-52A 旋转蒸发器购于上海亚荣生化仪器厂;4500MP 扫描电子显微镜购于日本株式会社日立制作所;MiniFlex600 台式 X 射线衍射仪购于日本理学株式会社。

1.2 实验动物 家兔 8 只,体重 1.5~2 kg,雌雄各半,由皖南医学院实验动物房提供。许可证号:SYXK(皖)2023-005。所有动物适应性饲养 7 d 后开始试验。实验条件:温度 20~25 ℃。伦理审批号 WNMC-AWE-2023494。

1.3 粉尘螨的采集和饲养 试验所用粉尘螨采自学生宿舍地面、床上及空调里的灰尘,分离鉴定后饲养在 50 mm×30 mm 称量瓶中,通过自行配制的饲料进行喂养。饲料中含有玉米粉、小麦胚芽和面包酵母,混合比例为 10:10:1。在(25±1) ℃、(75±5)% 相对湿度的黑暗条件下,将装有粉尘螨的称量瓶置于恒温培养箱中。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 27.0 版软件对所有实验数据进行统计学分析。计量资料数据用($\bar{x} \pm s$)表示,两组间采用 *t* 检验,多组间采用单因素方差分析等统计学方法对实验结果数据进行分析。*P* < 0.05 为差异具有统计学意义。

2 方法

2.1 牡丹皮精油纳米颗粒的制备及分析 通过水蒸气蒸馏法提取牡丹皮精油,采用溶胶-凝胶法制备介孔二氧化硅纳米颗粒,然后将牡丹皮精油和纳米颗粒混合离心并超声振荡制备牡丹皮精油介孔二氧化硅纳米颗粒成品。对牡丹皮精油进行包裹后,通过 X 射线衍射、扫描电子显微镜及热重分析 3 种方法检测了牡丹皮精油介孔二氧化硅纳米颗粒的物理特性。

2.2 牡丹皮精油纳米颗粒日化产品对粉尘螨的抑杀活性

2.2.1 不同品牌洗涤日化品对粉尘螨的触杀试验 参照 NY/T 1151.2-2006《农药登记卫生用杀虫剂室内药效试验方法及评价 第 2 部分:灭螨和驱螨剂》^[20] 国家标准描述的灭螨方法开展触杀实验。选用市面上 A、B、C 3 种不同品牌的洗衣液、洗衣粉,用纯净水将两种日化品稀释成 10% 浓度,用双面胶带将直径 7.0 cm 圆形滤纸粘贴 90 mm×15 mm 培养皿底部,取 200 μL 不同种类日化品溶液均匀湿润滤纸后,将 200 只大小均匀的粉尘螨放置于滤纸中央,滤纸周围用凡士林包围,防止螨逃逸。30 min 时在培养皿中心放入螨虫饲料 0.05 g,将培养皿放置在温度为(25±1) ℃和相对湿度(75±5)% 的培养箱内保存。24 h 后在体式显微镜下观察螨体,计数死亡螨数。如粉尘螨的螨

体对毛发针的刺激没有反应,被认为已经死亡。所有实验重复 3 次。触杀死亡率计算公式为: $P = R/N \times 100\%$, 其中 R 为平均死亡螨数, N 为试验所有螨数。

2.2.2 牡丹皮精油纳米颗粒日化产品对粉尘螨的触杀试验 选取上述杀螨效果略好的品牌洗衣液和洗衣粉溶液,向其中分别添加等量牡丹皮精油纳米颗粒及空白介孔二氧化硅并配置成浓度为 0.167 mg/mL 相应溶液。具体操作同 2.2.1。

2.2.3 牡丹皮精油纳米颗粒日化产品对粉尘螨的趋避试验 根据《农药登记卫生用杀虫剂室内药效试验方法及评价 第 2 部分:灭螨和驱螨剂》国家标准描述的驱螨试验方法开展实验。取配置好的两种添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品溶液以及添加等量介孔二氧化硅的日化品溶液,将直径为 2.5 cm 的圆形滤纸沿中线剪成两个半圆,其中一个半圆分别滴加 50 μL 牡丹皮精油纳米颗粒日化品溶液,另一个半圆滴加 50 μL 等量空白介孔二氧化硅日化品溶液作为对照。用透明胶带将两个半圆重新粘合,使用双面胶带将其粘贴在培养皿底部。将 30 只大小均匀的螨放置于两个半圆的中线处,圆形滤纸周围用凡士林包围。处理 3 h、6 h、12 h、24 h 后在体式显微镜下观察每个半圆的螨虫数。所有实验重复 3 次。用两个半圆(处理区和对照区)上粉尘螨的选择来描述趋避活性。趋避率计算公式为: $P_c = (1 - N_t / N_o) \times 100\%$, 其中 N_t 为处理区平均螨数, N_o 为对照区平均螨数。

2.3 牡丹皮精油纳米颗粒日化产品的皮肤刺激检测

2.3.1 家兔单次给药皮肤刺激实验 选 4 只家兔,雌雄对半,采用自体自身对比法。试验前 24 h 在每只家兔脊背两侧相同部位备皮,通过医用胶布绷带划分为六个小格,其中每一小格面积为 2.0 cm \times 2.0 cm,总共分为左区 1、2、3 及右区 1、2、3。进行破损皮肤的刺激性研究时,在右 1、2、3 三处用药部位用刀片划“十”字并以渗血为度。取之前配好的混有牡丹皮精油纳米颗粒日化产品溶液和无添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化产品溶液 0.2 mL 直接涂布于已去毛的皮肤上,其中左 1、2 区域为牡丹皮 1 组,即正常皮肤涂抹添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,右 1、2 区域为牡丹皮 2 组,即破损皮肤涂抹添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,左 3 区域为对照 1 组,即正常皮肤涂抹无添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,右 3 区域为对照 2 组,即破损皮肤涂抹无添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组。用二层纱布和一层玻璃纸贴敷,时间为 4 h。贴敷结束后除去受试物,并在去除药物后 1 h、24 h、48 h、72 h 在自然光线下肉眼观察并记录涂敷部位有无红斑和水肿等情况。

2.3.2 家兔多次给药皮肤刺激实验 实验动物处理

及给药途径具体操作同 2.3.1。给药途径为连续给药 7 d,每天给药 1 次且均在同一部位。牡丹皮 3 组即多次给药正常皮肤涂抹添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,牡丹皮 4 组即多次给药破损皮肤涂抹添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,对照 3 组即多次给药正常皮肤涂抹无添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组,对照 4 组即多次给药破损皮肤涂抹无添加牡丹皮精油纳米颗粒的日化品组。其中牡丹皮 3 组对应单次给药皮肤刺激实验中牡丹皮 1 组部位,牡丹皮 4 组对应牡丹皮 2 组部位。同时在每天清洗药物后 1 h 观察并记录涂药部位有无红斑及水肿情况,并于第 7 天清洗药物后 1 h、24 h、48 h 和 72 h 观察并记录涂药部位皮肤情况。

2.3.3 评价标准 单次、多次给药皮肤性试验均按表 1、表 2 进行皮肤刺激反应评分及刺激强度评价。每次去除药物后 1 h 肉眼观察涂抹部位有无红斑、水肿、色素沉着等情况及其发生和消退时间,并对红斑及水肿进行评分。根据评分结果计算观察期限内每天每只家兔每块实验区域刺激积分均值。在单次皮肤刺激性实验中,牡丹皮 1、2 组实验区域分别为左 1、左 2 及右 1、右 2 之和,且一共用了雌雄两只家兔,其区域总数均为 4;对照 1、2 组分别为左 3、右 3,其区域总数均为 2。多次皮肤刺激性实验中牡丹皮及对照 3、4 组原理同单次中 1、2 组。其中皮肤刺激强度评价分值=(红斑总分+水肿总分)/实验区域总数。

表 1 皮肤刺激反应评分标准

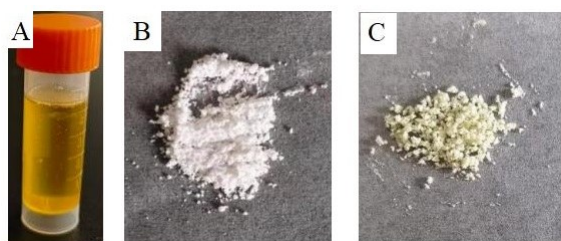
刺激反应	分值
红斑	
无红斑	0
轻度红斑(勉强可见)	1
中度红斑(明显可见)	2
重度红斑	3
紫红色红斑到轻度焦痂形成	4
水肿	
无水肿	0
轻度水肿(勉强可见)	1
中度水肿(明显隆起)	2
重度水肿(皮肤隆起 1 mm,轮廓清楚)	3
严重水肿(皮肤隆起 1 mm 以上并有扩大)	4
最高总分值	8

表 2 皮肤刺激强度评价标准

分值	评价
0~0.49	无刺激性
0.5~2.99	轻度刺激性
3.0~5.99	中度刺激性
6.0~8.00	重度刺激性

3 结果

3.1 牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒的表征 水蒸气蒸馏法最终提取的牡丹皮精油为一种黄色挥发油(见图 1A)。溶胶-凝胶法最终获得一种干燥的白色沉淀物,即介孔二氧化硅纳米颗粒(见图 1B)。将牡丹皮精油和介孔二氧化硅纳米颗粒混合离心并超声振荡,制得的牡丹皮精油介孔二氧化硅纳米颗粒,为一种淡黄色颗粒状固体(见图 1C)。



注:A. 牡丹皮精油;B. 介孔二氧化硅纳米颗粒;
C. 牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒。

图 1 牡丹皮精油纳米颗粒成品

3.2 牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒的特性

3.2.1 X 射线衍射(XRD) 纳米材料的 XRD 谱图。结果显示,在 $15 \sim 35^\circ (2\theta)$ 之间存在一个宽且弥散的波峰,这与 BALAURE P C 等^[21]的研究结果相似。宽峰为非晶体介孔硅纳米颗粒的特征峰,从一方面证实了牡丹皮精油介孔二氧化硅纳米颗粒的形成。

3.2.2 扫描电子显微镜(SEM) 结果表明,制备得到的纳米颗粒的形状大致为球形,粒径约为 150 nm,颗粒大小分布较为均匀,且纳米颗粒间有一定的聚集趋势。

3.2.3 热重分析(TGA) 通过热重分析测定了牡丹皮精油在介孔硅纳米颗粒中的包裹量,并与比表面积分析结果相关联。可以观察到,随着温度的升高,牡丹皮精油在纳米材料中逐渐挥发,纳米材料的质量逐渐降低。第一阶段的质量降低基本可以认为是介孔材料中的水分蒸发,而 500°C 后介孔硅纳米材料的质量趋

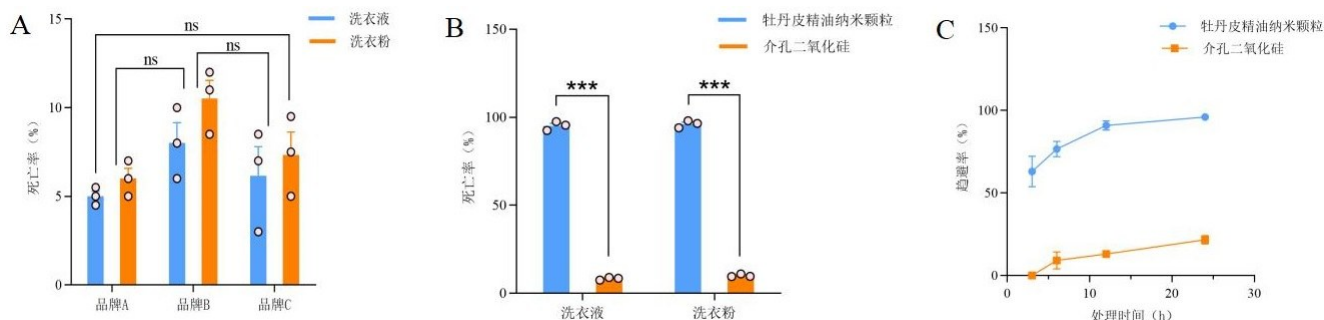
于稳定,此时牡丹皮精油已基本挥发完。

3.3 3 种不同品牌洗涤日化品对粉尘螨的触杀效果

通过接触死亡率生物测定法评价了 A、B、C 3 种不同品牌洗衣液、洗衣粉溶液对粉尘螨 24 h 的触杀毒性,结果表明,3 种品牌的日化品溶液对螨抑杀作用均较弱,且 3 种品牌两两之间比较,其除螨效果差异均无统计学意义($P > 0.05$)。其中经过品牌 B 洗衣液处理后的粉尘螨校正死亡率($8.00 \pm 1.15\%$)比品牌 A、C($5.00 \pm 0.29\%$)和($6.17 \pm 1.64\%$)略高,经过品牌 B 洗衣粉处理后的粉尘螨校正死亡率($10.50 \pm 1.04\%$)也略高于两种品牌($6.00 \pm 0.58\%$)和($7.33 \pm 1.30\%$),结果见图 2A。故选择品牌 B 进行下一步触杀试验。

3.4 牡丹皮精油纳米颗粒日化品对粉尘螨的触杀效果 通过接触死亡率生物测定法评估添加了牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液 B 和洗衣粉 B 对粉尘螨 24 h 的触杀毒性,结果表明,添加牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液 B 和洗衣粉 B 对粉尘螨的触杀校正杀螨率分别为($95.17 \pm 1.45\%$)和($96.17 \pm 1.17\%$),而仅添加空白硅对照组的校正杀螨率分别为($8.33 \pm 0.44\%$)和($10.07 \pm 0.47\%$),见图 2B。实验结果表明,添加了牡丹皮精油纳米颗粒的日化产品对粉尘螨的触杀效果极强,且介孔二氧化硅对粉尘螨无明显抑杀作用,两者之间差异有统计学意义($P < 0.001$)。

3.5 牡丹皮精油纳米颗粒日化产品对粉尘螨的趋避效果 通过趋避生物测定法检测添加牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液 B 和洗衣粉 B 的趋避作用,分别处理粉尘螨 3 h、6 h、12 h、24 h 后,计算平均趋避率。实验结果表明,添加牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液 B 和洗衣粉 B 对粉尘螨趋避率分别为($82.11 \pm 6.37\%$)和($81.19 \pm 8.92\%$),空白硅对照组的趋避率分别为($12.50 \pm 4.82\%$)和($9.52 \pm 4.32\%$),见图 2C。证明牡丹皮精油纳米颗粒对粉尘螨的趋避效果远高于介孔二氧化硅($P < 0.001$)。



注:A. 3 种日化品作用粉尘螨的接触死亡率;B. 牡丹皮精油纳米颗粒日化品作用粉尘螨 24 h 后接触死亡率;C. 牡丹皮精油纳米颗粒日化品作用粉尘螨 3 h、6 h、12 h、24 h 后平均趋避率。*** $P < 0.001$, $n = 3$ 。

图 2 测定日化品溶液及牡丹皮精油纳米颗粒对粉尘螨的抑杀活性

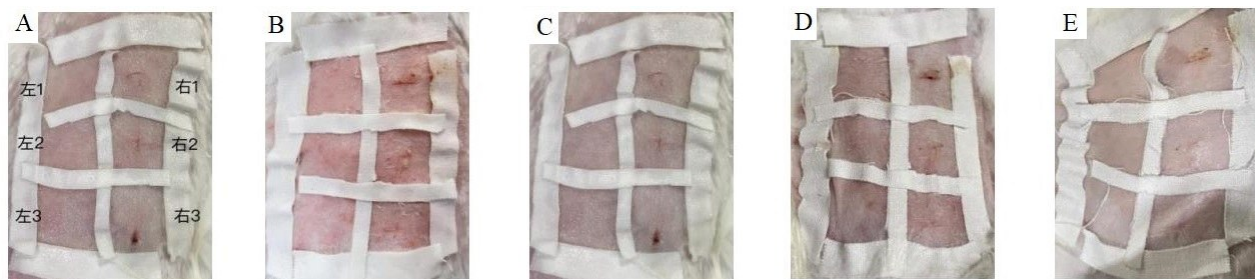
3.6 单次给药皮肤刺激试验 单次给药后,牡丹皮 1 组、对照 1 组及对照 2 组在观察期内均未出现给药部位皮肤红斑和水肿情况,平均反应值均为 0。用药后第 3 天观察发现牡丹皮 2 组划伤部位出现轻度红斑但无水肿,至第 4 天皮肤完全恢复正常,如图 3 所示。按相应评分标准对皮肤红斑和水肿进行评分,两组的平

均反应均值分别为 0 分和 0.0625 分, P 均 < 0.49 分,表明无刺激性,见表 3。其中图 A 为家兔皮肤刺激性实验划分区域示意图,见图 4B~图 4E 分别为同一部位给药并去除药物后 1 h、24 h、48 h、72 h 观察记录的家兔皮肤情况。给药后家兔精神状态、活动、呼吸等生命体征均未见明显异常。

表 3 牡丹皮精油日化品溶液单次给药皮肤刺激反应积分及平均反应值

单位:分

组别	实验区域(块)	积分总和				平均反应值				每区域每天平均分
		1 h	24 h	48 h	72 h	1 h	24 h	48 h	72 h	
牡丹皮 1 组	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
对照 1 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
牡丹皮 2 组	4	0	0	1	0	0	0	0.25	0	0.0625
对照 2 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0



注:A. 皮肤刺激性实验划分区域示意图;B. 给药后 1 h 皮肤; C. 给药后 24 h 皮肤;D. 给药后 48 h 皮肤;E. 给药后 72 h 皮肤。

图 3 单次给药皮肤刺激性试验各时段的皮肤情况

3.7 多次给药皮肤刺激试验 连续多次给药后,对照 3 组、对照 4 组给药部位均未出现皮肤红斑、水肿等情况,两者平均反应均值均为 0 分。牡丹皮 3 组在连续给药的第 3 天出现轻度红斑但无水肿,至第 6 天皮肤恢复正常,其平均反应均值为 0.125 分。牡丹皮 4 组

在连续给药的第 2 天出现轻度红斑,且第 3 天出现轻度水肿,至第 6 天给药 1 h 后皮肤恢复正常,其平均反应均值为 0.2 分。两组的平均反应均值均 < 0.49 分,表明无刺激性。给药后家兔无其他异常反应,试验结果见表 4、表 5。

表 4 牡丹皮精油日化品溶液多次给药皮肤刺激反应积分

单位:分

组别	实验区域(块)	给药时间/d						结束给药后/h			
		1	2	3	4	5	6	1	24	48	72
牡丹皮 3 组	4	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0
对照 3 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
牡丹皮 4 组	4	0	1	2	3	1	1	0	0	0	0
对照 4 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5 牡丹皮精油日化品溶液多次给药皮肤刺激平均反应值

单位:分

组别	实验区域(块)	给药时间/d						结束给药后/h				每区域每天平均分
		1	2	3	4	5	6	1	24	48	72	
牡丹皮 3 组	4	0	0	0.25	0.5	0.25	0.25	0	0	0	0	0.125
对照 3 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
牡丹皮 4 组	4	0	0.25	0.5	0.75	0.25	0.25	0	0	0	0	0.2
对照 4 组	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4 讨论

洗涤用品与日常生活密不可分。近年来一剂多用的功能性液体洗涤用品得到了迅速发展,在保证原有清洁功能的基础上附加其他的辅助功能,从而增强产品的实用性,日益受到人们的青睐。

本研究通过水蒸气蒸馏法从牡丹皮中提取牡丹皮精油,通过溶胶-凝胶法制备介孔二氧化硅纳米颗粒,包裹牡丹皮精油而获得牡丹皮精油二氧化硅纳米颗粒。选用市面上 3 种不同品牌的洗衣液、洗衣粉,通过触杀法得出 3 种品牌的日化品溶液对粉尘螨均无明显抑杀活性,从中选出杀螨效果相对较好的品牌 B 进行下一步实验。通过接触死亡率生物测定和趋避死亡率测定两种方法评估添加了牡丹皮精油纳米颗粒的洗衣液 B 和洗衣粉 B 对粉尘螨的抑杀作用,实验表明其具有良好的杀螨活性,具有作为新型生物杀螨剂产品的潜力,值得在未来的螨类防治领域中进一步推广应用。

为保证添加了牡丹皮精油纳米颗粒的日化品具备良好的安全性且对人体无害,本次研究进行了家兔皮肤刺激性试验。分为单次皮肤刺激实验和多次皮肤刺激实验,单次皮肤刺激试验考察被检物对皮肤的直接刺激性,多次皮肤刺激试验则检测被检物对皮肤中长期的慢性累积性刺激。在单性皮肤刺激实验中,经过 24 h 连续完整皮肤和破损皮肤给药,家兔正常皮肤和破损皮肤的实验结果评价为无刺激性。为进一步确保其安全性,进行了多次给药皮肤刺激实验,经过连续 7 d 的给药,实验组中仅个别家兔的破损皮肤部位出现轻度红斑及轻度水肿等现象,随后恢复正常,评价为无刺激性。综上所述,可认为牡丹皮精油纳米颗粒外用时对皮肤刺激性反应较小,作为日化产品添加较为安全。

牡丹皮精油作为一种天然植物提取物,具有美白、消炎、清热凉血等功效,还可以提高生物的血清抗氧化能力和肠道免疫功能^[22]。KIM H K 等^[23]通过接触和熏蒸生物测定法,表明牡丹皮提取物对粉尘螨和屋尘螨成虫具有较强的杀螨活性,并证实牡丹皮提取物中的有效成分为丹皮酚和苯甲酸。CHE Z P 等^[24]通过对牡丹皮精油中主要成分丹皮酚进行结构修饰,制备了多种丹皮酚酯衍生物,并评估了这些化合物对玉米黏虫、大豆孢囊线虫和辣椒疫霉的抑杀活性,进一步证实了牡丹皮精油主要成分的有效性。为了进一步验证纯牡丹皮精油和纳米材料对粉尘螨的杀螨效果,本课题组前期进行了接触性和熏蒸性杀螨率生物测定^[25]。研究表明,牡丹皮精油中的主要成分丹皮酚对粉尘螨具有较强的杀螨效果,相同浓度下牡丹皮精油纳米颗粒的杀螨率随时间增加上升较为显著,而纯精油的杀螨率随时间升高不明显。证明了牡丹皮精油纳米制剂

在短时间内的接触杀螨活性比纯精油低,但在长期实验中表现更为优秀。纳米载药系统利用纳米技术将药物包封吸附于由高分子材料组成的纳米载体上,形成粒径范围在 10~1000 nm 之间的药物递送系统,其能保护药物免受环境降解,连续控制释放药物,还能减轻药物对人体的刺激性和毒性,提高药物有效利用率,实现药物减量^[26-27]。将纳米技术应用于挥发油的包封是控制挥发油稳定性的有效途径,也是目前制剂开发及未来改善植物挥发油性能的热点。

随着人们生活质量的不断提高,消费者对身体健康的关注程度也越来越高,使得除螨成为当今有害生物防治的新关注点。本研究在牡丹皮精油纳米颗粒的除螨作用研究基础上,鉴于其高效除螨、稳定性强等优点,将制备好的成品添加于市售洗涤用品中,旨在开发一种新型高效、安全无害的除螨洗护产品,为前期牡丹皮精油纳米颗粒在日化产品中的进一步开发提供了理论参考,也对后期其他产品的应用和开发提供了新的思路,展现了牡丹皮精油纳米颗粒在日化行业的一定应用价值。

参考文献:

- [1] 张淑雅,李勇慧,李佳,等. 五种方法提取的牡丹皮挥发油成分比较[J]. 现代食品科技,2020,36(12):103-110.
- [2] 李星元,王正,赵奎,等. 响应面法优化水蒸气蒸馏提取牡丹根皮挥发油工艺[J]. 科技与创新,2020,4:16-17,20.
- [3] CHE T F, HSU J T, WU K C, et al. A systematic identification of anti-inflammatory active components derived from Mu Dan Pi and their applications in inflammatory bowel disease[J]. Sci Rep, 2020, 10(1):17238.
- [4] LV Q H, LI S F, WEI H L, et al. Identification of the natural product paeonol derived from peony bark as an inhibitor of the Salmonella enterica serovar Typhimurium type III secretion system[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2020, 104(4):1673-1682.
- [5] EKIERT H, KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ M, SZOPA A. Paeonia × suffruticosa (moutan peony)-a review of the chemical composition, traditional and professional use in medicine, position in cosmetics industries, and biotechnological studies[J]. Plants, 2022, 11(23):3379.
- [6] CAI J, YAN R, SHI J C, et al. Antifungal and mycotoxin detoxification ability of essential oils: a review[J]. Phytother Res, 2022, 36(1):62-72.
- [7] HO T M, RAZZAGHI A, RAMACHANDRAN A, et al. Emulsion characterization via microfluidic devices: a review on interfacial tension and stability to coalescence[J]. Adv Colloid Interface Sci, 2022, 299:102541.
- [8] ZHAO S Q, WANG Z Y, WANG X F, et al. Characterization of nanoemulsions stabilized with different emulsifiers

- and their encapsulation efficiency for oregano essential oil: tween 80, soybean protein isolate, tea saponin, and soy lecithin[J]. *Foods*, 2023, 12(17): 3183.
- [9] 王慧贤, 梁郭栋, 郭瑞峰, 等. 纳米材料在缓控释农药中的应用[J]. *山西农业科学*, 2020, 48(11): 1861-1865.
- [10] TENG Q, LI Y Y, CAI Y Y, et al. A potential acaricide of Moutan Cortex essential oil encapsulated in nanoemulsion and mesoporous silica nanoparticles against the house dust mite *Dermatophagoides farinae* [J]. *J Pest Sci*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01820-y>
- [11] 汪梅青, 陈辉, 姚润, 等. 江苏省徐州地区地脚粉中粉螨孳生现况调查[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2021, 32(5): 629-632.
- [12] OKAMOTO Y, KATO M, ISHII K. Safety and effectiveness of a 300 IR house dust mite sublingual tablet: descriptive 4-year final analysis of a post-marketing surveillance in Japan [J]. *Immunotherapy*, 2023, 15(16): 1401-1414.
- [13] 黄娜娜, 陈德盛, 常可欣, 等. 粉尘螨 Der p7 基因的克隆表达、纯化及过敏原性鉴定[J]. *南昌大学学报(医学版)*, 2018, 58(6): 5-10.
- [14] 牛栋玲, 赵亚娥, 张宛钰, 等. 粉尘螨 HSP16-1 原核表达体系构建与温度应激响应功能鉴定[J]. *热带病与寄生虫学*, 2021, 19(2): 64-69, 81.
- [15] 邵凤勤, 陈春英, 张庆华, 等. 儿童过敏性鼻炎过敏原调查和相关危险因素分析[J]. *中国妇幼保健*, 2021, 36(18): 4299-4302.
- [16] CALDERÓN M A, LINNEBERG A, KLEINE-TEBBE J, et al. Respiratory allergy caused by house dust mites: What do we really know? [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2015, 136(1): 38-48.
- [17] 郭香香, 胥鑫萌, 张恺欣, 等. 几种植物提取物在抗衰老化妆品中的应用[J]. *中国洗涤用品工业*, 2021(4): 94-97.
- [18] 徐健, 陶宏兵, 林家洪, 等. 植物除螨剂在洗护产品中的性能研究与应用[J]. *日用化学品科学*, 2021, 44(12): 44-49.
- [19] 林家洪, 杨丽华, 刘永龙, 等. 一种复合型天然除螨抑菌微乳性能研究及在洗护产品中的应用[J]. *日用化学品科学*, 2021, 44(4): 33-35.
- [20] NY/T 1151. 2-2006, 农药登记卫生用杀虫剂室内药效试验方法及评价. 第 2 部分: 灭螨和驱螨剂[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006. <http://std.samr.gov.cn>
- [21] BALAURE P C, BOARCA B, POPESCU R C, et al. Bioactive mesoporous silica nanostructures with anti-microbial and anti-biofilm properties [J]. *Int J Pharm*, 2017, 531(1): 35-46.
- [22] BAI M M, LIU H N, WANG S S, et al. Dietary *Moutan cortex radices* improves serum antioxidant capacity and intestinal immunity and alters colonic microbiota in weaned piglets [J]. *Front Nutr*, 2021, 8: 679129.
- [23] KIM H K, TAK J H, AHN Y J. Acaricidal activity of *Paeonia suffruticosa* root bark-derived compounds against *Dermatophagoides farinae* and *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae) [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(26): 7857-7861.
- [24] CHE Z P, GUO X L, LI Y H, et al. Synthesis of paeonol ester derivatives and their insecticidal, nematocidal, and anti-oomycete activities [J]. *Pest Manag Sci*, 2022, 78(8): 3442-3455.
- [25] ZOU M H, XUE Q Q, Teng Q, et al. Acaricidal activities of paeonol from Moutan Cortex, dried bark of *Paeonia × suffruticosa*, against the grain pest mite *Aleuroglyphus ovatus* (Acari: Acaridae) [J]. *Exp Appl Acarol*, 2023, 91(4): 615-628.
- [26] NECHIKKATTU R, KONG J, LEE Y S, et al. Tunable multi-responsive nano-gated mesoporous silica nanoparticles as drug carriers [J]. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2021, 208: 112119.
- [27] 王慧贤, 梁郭栋, 郭瑞峰, 等. 纳米材料在缓控释农药中的应用[J]. *山西农业科学*, 2020, 48(11): 1861-1865.

收稿日期: 2024-07-29; 修回日期: 2024-10-17

(本文编辑 覃黎黎)