

# 雪韵静颜保湿凝乳的制备及性能表征：基于 Franz 扩散池法的透皮吸收及长效保湿机制的研究

王玺润, 李修浩, 那伟丹\*, 刘帅, 吴琼  
(徐州工程学院材料与化学工程学院, 江苏徐州, 221018)

**摘要:** 研究基于 W/O/W 多重乳液体系开发了一款高效保湿修护凝乳, 通过两步乳化技术构建粒径均匀 ( $458.0 \pm 68.06$ ) 的稳定乳液。配方复配尿囊素、N-乙酰-D-氨基葡萄糖、乳酸杆菌发酵产物等多效活性成分, Franz 扩散池实验显示其透皮吸收率较传统 O/W 体系提升 113% ( $p < 0.05$ )。人体功效评价表明产品使用 6h 后角质层含水量提高 21.3%, 连续使用 60 天使胶原密度提升 70%。产品通过  $-5^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$  三循环冻融及离心稳定性测试 (4000rpm/45min), 感官评价显示其兼具轻盈质地与高滋润特性。研究为多重乳液体系在经皮递送领域的应用提供了技术参考。

**关键词:** W/O/W 体系; 双乳化法; 皮肤屏障; Franz 扩散池法

**作者简介:** 王玺润, 徐州工程学院化妆品技术与工程专业本科在读。主要研究方向为天然产物绿色提取技术及低温双重乳液的制备研究。

**通讯作者简介:** 那伟丹, 徐州工程学院化妆品技术与工程教研室主任, 吉林大学分析化学博士, 中国药科大学药学博士后。研究领域包括生物纳米传感、纳米载体开发和化妆品配方的开发应用。  
E-mail: naweidan@126.com。



王玺润



那伟丹

冬季寒冷干燥的气候条件, 加之紫外线持续辐射, 极易导致皮肤水分流失, 屏障功能受损, 引发干燥、粗糙、敏感等一系列肌肤问题。因此, 开发一款能够高效保湿、修护皮肤屏障, 并减少胶原蛋白的流失的护肤产品具有重要意义。近年来, W/O/W 型多重乳液因其独特的结构和性能, 在化妆品领域受到广泛关注。其兼具水包油 (O/W) 和油包水 (W/O) 乳液的优点, 能够同时包载亲水性和亲油性活性成分, 提高成分的稳定性和生物利用度, 并实现缓释作用, 为开发高效保湿产品提供了新的思路。本研究旨在开发一种基于 W/O/W 体系的高效保湿乳液, 通过添加尿囊素、乙酰壳糖胺、乳酸杆菌发酵产物和羟基积雪草苷等活性成分, 协同发挥保湿、维稳、修护和促进胶原蛋白增生的功效, 并利用 Franz 扩散池法评估其透皮吸收性能, 为开发高效保湿和修护皮肤屏障功能的产品提供理论依据和实践指导。

## 1. 实验部分

### 1.1 材料、试剂和仪器

产品采用以佛手柑 (*Citrus bergamia*) 为主调、兼具天然安全特性的植物精油复合体系。配方由基础油山茶花油 (*Camellia japonica*) 协同香茅 (*Cymbopogon citratus*)、绿

薄荷 (*Mentha spicata*)、快乐鼠尾草 (*Salvia sclarea*)、甜橙 (*Citrus sinensis*) 及雪松 (*Cedrus deodara*) 精油复配而成), 见表 1、2。

表 1 主要材料

产品体系	原料名称	INCI 名	供应商	添加量
内水相	低氘水/g	水	康泽泉	14
	积雪草醇粹/g	乳酸杆菌发酵产物; 积雪草叶提取物; 羟基积雪草甙; 丁二醇	江苏瑞霆生物	2
	瑞康态/g	乳酸杆菌发酵产物; 1,2-己二醇; 乙基己基甘油	江苏瑞霆生物	2
	甘油/g	甘油	麦克林	2
	氯化钠/g	氯化钠	麦克林	0.5
	N-乙酰-D-氨基葡萄糖/g	N-乙酰-D-氨基葡萄糖	麦克林	0.5
	尿囊素/g	尿囊素	麦克林	0.2
	谷胱甘肽/g	谷胱甘肽	麦克林	0.2
	海藻糖/g	海藻糖	佰宇生物	0.1
	低分子透明质酸钠/g	透明质酸钠	麦克林	0.01
油相	鳄梨油/mL	鳄梨油	唯你公司	15
	橄榄油/mL	橄榄油	唯你公司	10
	马油/mL	马脂	唯你公司	5
	乳木果油/mL	牛油果树果脂	唯你公司	5

续表1 主要材料

产品体系	原料名称	INCI名	供应商	添加量
油相	聚甘油-3 脂肪酸酯/g	聚甘油-3 脂肪酸酯	大河食品	5
	十六醇/g	鲸蜡醇	麦克林	2
	VF-220/g	VP/二十碳烯共聚物	Ashland	0.5
	红没药醇/g	红没药醇	巴斯夫	0.5
低氘水/g	水	康泽泉	67	
十聚甘油单月桂酸酯/g	聚甘油-10月桂酸酯	临沂绿森	4	
清茶露/g	茶叶提取物、乳酸杆菌发酵产物、甘油、丁二醇、1,2-己二醇、对羟基苯乙酮	江苏瑞霆生物	2	
外水相	1,2-己二醇/g	1,2-己二醇	佰宇生物	2
	甘油/g	甘油	麦克林	1
	覆盆子酮/g	覆盆子酮	巴斯夫	0.5
	黄原胶/g	黄原胶	麦克林	0.15
	海藻酸钠/g	海藻酸钠	麦克林	0.15
	羟乙基纤维素/g	羟乙基纤维素	麦克林	0.1
	低分子透明质酸钠/g	透明质酸钠	麦克林	0.1
D相	乳酸杆菌/大豆发酵产物提取物; 1,2-戊二醇; 辛甘醇	江苏瑞霆生物	2	

表2 主要仪器与设备

仪器与设备	型号	厂家
悬臂搅拌机	RW20	德国 IKA 工业设备集团公司
分散机	T25	德国 IKA 工业设备集团公司
台式离心机	H1650	湘潭湘仪仪器有限公司
pH计	PB-10	赛多利斯科学仪器(北京)有限公司
紫外可见分光光度计	L8	上海仪电分析仪器有限公司
皮肤分析仪	Soft*FX	Callegari
皮肤检测仪	AI智能检测仪-MAX	Bitmoji

### 1.2 制备方法

(1) 初乳液的制备：将内水相水浴加热至40℃，油相加热熔融后降温至40℃，后将内水相加入至油相，10000rpm均质5分钟，形成初乳液（图1）。

(2) W/O/W乳液的制备：将外水相水浴40℃加热，600rpm搅拌，缓慢加入初乳液，搅拌3分钟后，加入D相，低速搅拌至常温后，静置24小时，装瓶。

其工艺关键参数为：内水相与油相体积比1:2形成初乳液（W/O），初乳液与外水相体积比9:10完成二次乳化（W/O/W）。

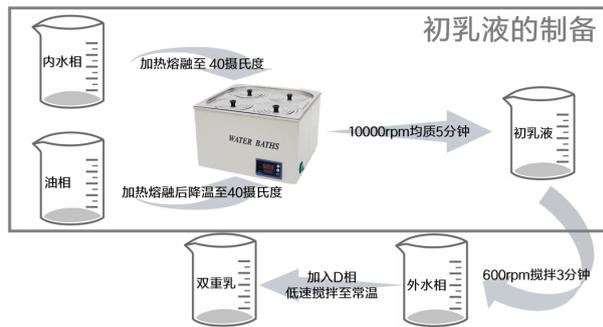


图1 产品制备工艺

### 1.3 测试方法

#### 1.3.1 理化性质及安全性检测

产品微观形貌观察：样品稀释100倍后在显微镜下放大200倍观察微观结构及其粒径分布。产品动态光散射粒径检测：通过动态光散射分析乳液水合粒径分布。pH检测：参考GB/T 13531.1-2008《化妆品通用检验方法 pH值的测定》进行。黏度检测：参考TFDCA 004-2020《化妆品黏度的测定》进行。稳定性检测：参考《化妆品稳定性测试评估技术指南》进行。安全性检测：参考《人体安全性和功效评价检验方法》进行。

#### 1.3.2 保湿性测评

参考QB/T4256-2011，采用电容法测定人体皮肤角质层的水分含量是基于水和其他物质的介电常数差异显著，按照皮肤角质层水分含量的不同，测得的皮肤的电容值不同，其参数可代表皮肤水分含量。

#### 1.3.3 Franz扩散池法测评

参考GB/T 27818-2011《化学品皮肤吸收体外试验方法》，受试皮肤固定于供给室和接收池之间，皮肤一层面向供给室，另一层朝向接收池，接收池内液面与皮肤内层接触，并确保液面与皮肤之间无气泡；保持(32±1)℃恒温，打开磁力搅拌，转速为700 rpm，平衡2h。实验设置3个平行测试组。

#### 1.3.4 功效测评

(1) 屏障修护评价：在恒温恒湿(25±1)℃，RH(60±5)%中开展测试。受试者提前24h清洁测试区域（鼻翼两侧5×5 cm<sup>2</sup>范围），期间禁止使用任何护肤品。使用Callegari Soft\*FX皮肤分析仪获取基线数据。每日早晚洁面后，取0.2 g凝胶均匀涂抹于测试区域，轻拍至吸收。连续使用7天后，于相同环境条件下进行复测。

(2) 微循环改善即时效应评价：在恒温恒湿(25±1)℃，RH(60±5)%进行测试，受试者提前2h禁

食刺激性食物并完成皮肤清洁 (pH5.5 洁面乳)。采用 Cal-legari Soft•FX 皮肤分析仪固定拍摄区域 (鼻翼顶点下 2mm 处)。对固定皮肤的血管颜色、大小进行追踪。

(3) 胶原蛋白增生评价: 在恒温恒湿 ( $25 \pm 0.5$ ) °C, RH ( $60 \pm 3$ ) % 进行检测, 志愿者提前 48h 停用所有功能性护肤品。检测前清洁面部并静坐 30min, 保证皮肤处于非充血状态。使用摩玑 AI 智能仪多光谱成像系统 (波长: 850/940 nm, 穿透深度 1.2mm), 基于 780nm 荧光信号强度, 通过专有算法换算胶原密度值 (Collagen Index, CI)。

## 1.4 产品感官性能评定

通过培训专业评估小组, 明确本产品十三项感官属性 (整体感受、分散性、吸收度、滋润度、爽滑感、黏度、紧绷感、敏感度、厚重感、铺展度、柔软度、香味、湿润度), 并建立统一的描述词库和评分标尺。评估过程中, 20 名受训人员基于实际使用体验对各项指标进行独立量化评分, 结合重复测试和统计分析, 将主观感知转化为可量化的数据结果, 最终通过雷达图形式直观呈现产品感官特征。

## 2. 结果与讨论

### 2.1 雪韵静颜保湿凝乳 W/O/W 双重乳液粒径的分析

#### 2.1.1 产品微观形貌与水合粒径分析

样品稀释 100 倍后在显微镜下放大 200 倍观察微观结构及其粒径分布, 由“Nano measurer”分析知粒子平均粒径在  $0.8 \mu\text{m}$  (图 2), 且粒子分布均匀, 细腻程度较高。

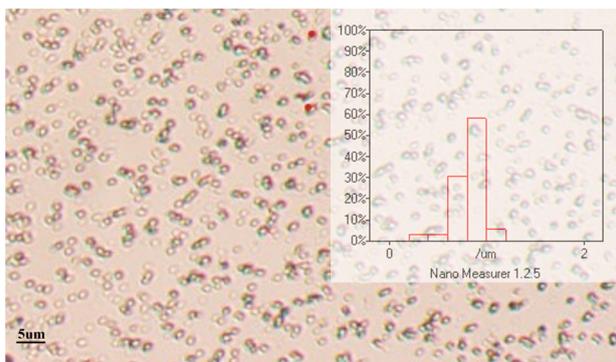


图 2 产品稀释后显微镜观察图

通过动态光散射测得乳液水合粒径平均大小为 ( $458.0 \pm 68.06$ ) nm。(图 3)

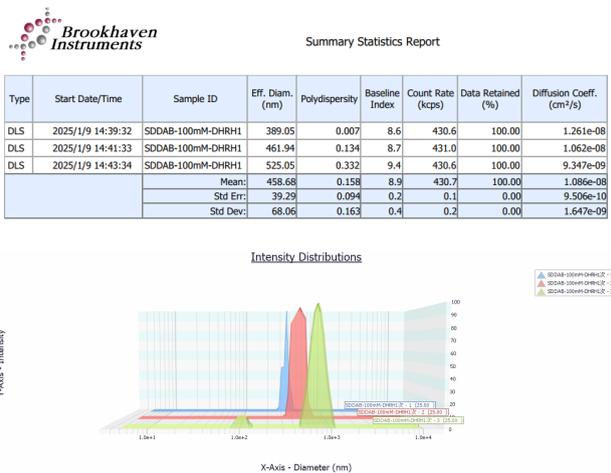


图 3 产品动态光散射数据表及粒径分布图

## 2.2 产品理化性质

### 2.2.1 pH 检测

采用 pH 计测试凝乳的 pH, 产品常温放置 24h 后再测一次 pH。人体皮肤的 pH 平均约为 5.8, 过酸或过碱都会对皮肤造成影响。经测量, 25°C, 内水相的 pH 值为 5.76, 凝乳 pH 值为 6.13, 符合国家标准 (pH 值 4.0 ~ 8.5)。

### 2.2.2 黏度测定

在粘度测试中, 使用单筒旋转黏度剂、R5 转头、10 rpm, 其黏度为 5492 cp, 黏度随剪切速率的增加而下降, 呈剪切变稀的特性。这表明产品在静置时具有较高的粘度, 而在使用时黏度下降、易于涂抹, 提供良好的覆盖和保湿效果。

### 2.2.3 产品稳定性测试

(1) 显微镜观察: 产品常温放置 (图 4A) 及放置 30 天 (图 4B), 乳化粒子稳定, 无性状改变。

(2) 耐热稳定性: 将包装完整封口的试样 45°C 恒温烘干放置 6h, 后取出样品用显微镜观察其状态 (图 4C), 产品稳定性优秀。

(3) 耐寒稳定性: 将装入封闭容器的试样在 ( $-5 \pm 2$ ) °C 冷冻放置 48h 后取出, 恢复至室温后用显微镜观察样品情况 (图 4D), 产品稳定性优秀。

(4) 离心稳定性: 4000 转离心 45 分钟。无油水分离现象。显微镜下观察 (图 4E), 产品稳定性优秀。

(5) 三周期冻融: ( $-5 \pm 2$ ) °C 冷冻 12h 后室温融解, 重复三次。显微镜下观察 (图 4F), 乳化粒子状态稳定。

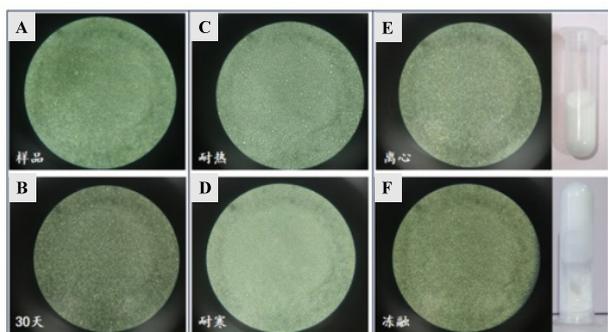


图4 产品稳定性测试图

### 2.2.4 安全性测试

对40名志愿者（分别来自不同年龄）进行斑贴实验（图5其中12名志愿者斑贴），使用本产品48小时后无一人出现刺激性现象，说明本产品具有优秀的安全性。



图5 十二名志愿者斑贴评测展示图

### 2.3 产品保湿性评价

在恒温25℃、恒湿60%，分别选取一名男性和一名女性志愿者在使用产品前、使用产品后对皮肤含水量（产品数据来自于 Callegari Soft•FX 皮肤分析仪）进行观察，并以市售样品（图6）为参照可见本产品保湿效果十分明显。

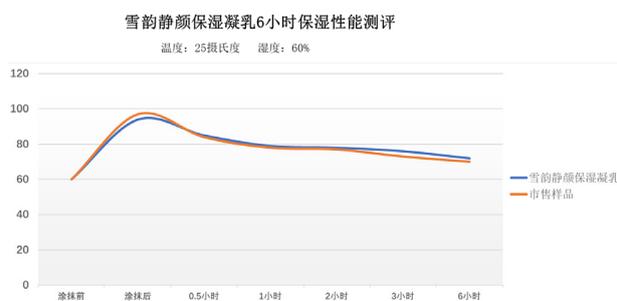


图6 保湿性能评测图

### 2.4 Franz扩散池法评价

以5mm猪皮背部皮肤为载体，将其固定在扩散池的供给室（donor chamber）和接受室（receptor chamber）（图7）之间，在开启磁搅拌子和（32±1）℃恒温水浴的情况下，采用PDMA（不超过24 h，从试验时间的最终时间点开始设定4个取样点，包括最终时间点在内共计5个以上的取样点）进行试验。以芦丁标准品为内水相参照物，依据设计时间点移取接收液样品，于紫外分光光度计在520nm进行分析检测。

Franz扩散池实验显示活性成分经皮渗透率较传统 O/W 体系提高113%（ $p<0.05$ ）。

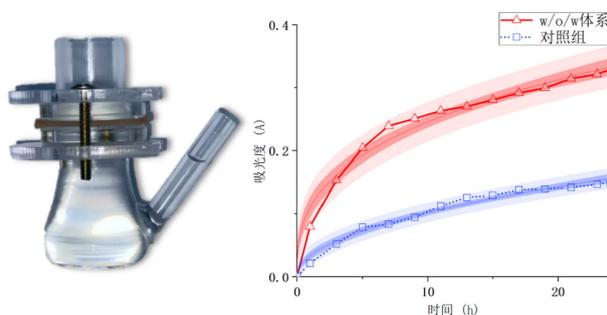


图7 Franz扩散池结果展示

### 2.5 微循环改善即时效应评价

对鼻翼两侧严重泛红区域，涂抹本产品1h后，血管颜色、大小明显降低，皮肤泛红区域明显减弱（图8）（A左鼻翼使用前，B左鼻翼使用后，C右鼻翼使用前，D右鼻翼使用后），表面本产品促进皮肤微循环能力显著。

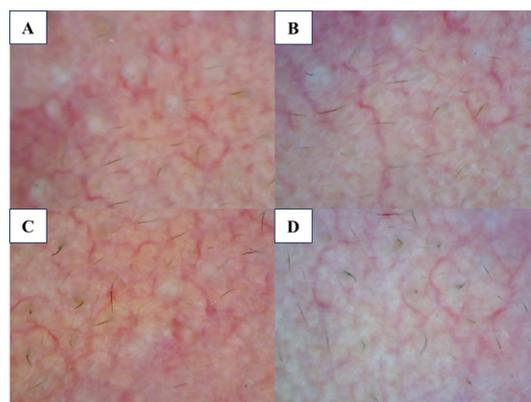


图8 鼻翼两侧区域测评

### 2.6 产品屏障修护测评

在恒温25℃、恒湿60%，分别选取十名男性和十名女性志愿者在使用产品前、使用产品7天后对鼻翼两侧皮肤严重泛红区域（图9选取其中一组数据）（产品数据来自于 Callegari Soft•FX 皮肤分析仪）进行观察，可见皮肤泛红明显减弱（A、B使用前，C、D使用后）。

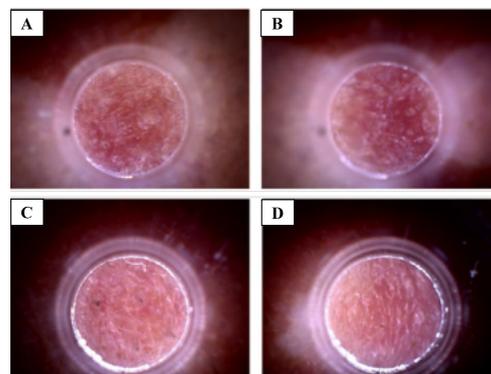


图9 7天前后泛红对照

## 2.7 产品胶原增生功效评测

在恒温25℃、恒湿60%，选取十名男性志愿者与十名女性志愿者在使用产品前、使用产品60天后对面部胶原纤维（图10选取其中一组数据）（产品数据来自于摩玳AI智能仪）进行监测（A为使用前，B为使用60天后）。

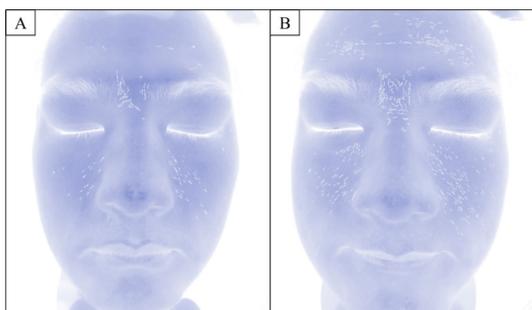


图10 60天后面部胶原对照图

使用60天后，面部胶原纤维明显增多，新生纤维呈网状致密结构，断裂点减少70%，主要纹路区纤维走向与皮肤张力线平行。

## 2.8 产品感官性能评价

通过以上数据可以得出，产品的稳定性、安全性优秀，且粒径分布均匀，具有良好的保湿、修护、紧致性能。十分为满分，选二十位志愿者参与涂试产品，并对十三个项目（整体感受、分散性、吸收度、滋润度、爽滑感、黏度、紧绷感、厚重感、铺展度、柔软度、香味、湿润度）分别打分。图11为测试结果。



图11 样品感官评价雷达图

## 3. 结论与展望

### 3.1 结论

本研究成功开发了一种基于W/O/W多重乳液体系的高效保湿紧致凝乳，通过两步低温乳化技术（40℃）构建了粒径均匀（ $458.0 \pm 68.06$ ）nm、稳定性优异的乳液结构。

配方创新性复配尿囊素、N-乙酰-D-氨基葡萄糖、乳酸杆菌发酵产物及羟基积雪草苷等活性成分，协同发挥保湿、修护、抗炎和促胶原生成功效。Franz扩散池实验证实其透皮吸收率较传统O/W体系提升113%，连续使用7天显著改善皮肤泛红和微循环，60天胶原密度提升70%。产品通过三循环冻融（-5℃/45℃）及离心稳定性测试（4000 rpm/45 min），感官评价显示其具有轻盈吸收、高滋润度及低黏腻感的综合优势，安全性验证（40人斑贴试验）无刺激性反应。本研究为多重乳液在经皮递送领域的应用提供了技术参考。

### 3.2 创新点

#### 3.2.1 技术工艺创新

采用两步低温（40℃）乳化法构建W/O/W体系，避免高温对热敏活性成分的破坏，同时通过内水相/油相体积比（1:2）和初乳液/外水相体积比（9:10）优化，实现乳液粒径均匀性与稳定性。

#### 3.2.2 活性成分协同配比

针对冬季损伤与皮肤屏障脆弱性，创新整合尿囊素（促角质修复）、乙酰壳糖胺（保湿舒缓）、乳酸杆菌发酵产物（微生态调节）及羟基积雪草苷（胶原促生）的多效协同体系。

#### 3.2.3 透皮吸收评价方法

结合Franz扩散池法与紫外分光光度分析，量化活性成分透皮效率（较传统体系提升113%），为功效成分递送提供数据支持。

通过13项感官属性（如吸收度、铺展性、黏度）的标准化评分与雷达图分析，将主观体验转化为可量化的产品优化指标。

### 3.3 未来展望

#### 3.3.1 长效机理研究

结合皮肤微生态组学与胶原代谢标志物检测，深入解析乳酸杆菌发酵产物对屏障修复的分子机制及羟基积雪草苷的胶原促生信号通路。

#### 3.3.2 剂型多样化开发

基于W/O/W体系的载药特性，探索其在精华、面膜等剂型中的应用，适配油溶性美白成分或抗衰多肽的协同递送。

## 参考文献

- [1] 杨佳慧, 梁蓉, 杨成. 包载褪黑素 P/O/W 多重 Pickering 乳液的制备及表征 [J]. 精细化工, 2022, 39 (07): 1448-1456.
- [2] 李芳芳, 贾红娇, 田永红, 等. 多重结构乳状液的研究进展 [J]. 日用化学工业, 2014, 44 (04): 222-225.
- [3] 黄娟, 蒋萍福, 解文静, 等. 多重乳液-海藻酸钙水凝胶球的制备及对不同极性营养元素的传递 [J]. 日用化学工业, 2021, 51 (09): 865-873.
- [4] 皮永波. 聚甘油脂肪酸酯 W/O/W 多重乳液的稳定性分析 [J]. 现代盐化工, 2021, 48 (03): 27-28.
- [5] 呼酩杰, 许虎君. 聚甘油脂肪酸酯 W/O/W 多重乳液的稳定性研究 [J]. 日用化学工业, 2020, 50 (05): 319-324.
- [6] 符叶, 周庄, 王大莺. 温敏性 W/O/W 型多重乳液的制备及其对维生素 C 的控释性 [J]. 大连工业大学学报, 2022, 41 (04): 269-274.
- [7] 赵娜, 鲁梁玉, 尚亚卓. 新型乳化体系及其在化妆品中的应用 (IV)——多重乳液 [J]. 日用化学工业 (中英文), 2023, 53 (12): 1369-1376.
- [8] 张立发. 化妆品高稠度油包水膏霜配方和工艺解决方案 [J]. 广州化工, 2024, 52 (07): 196-199.
- [9] 张倩. 红景天苷水包油包水双重乳液的构筑、表征及其递送效果研究 [D]. 吉林大学, 2024.

## Preparation and Characterization of Snow Melody Emulsion: Transdermal and Hydration Mechanisms via Franz Cell Method

Wang Xi-run, Li Xiu-hao, Na Wei-dan\*, Liu Shuai, Wu Qiong

(Xuzhou University of Technology, Cosmetic Technology and Engineering, Xuzhou, Jiangsu, 221000)

**Abstract :** This study developed a high-efficiency moisturizing and repairing emulsion based on a water-in-oil-in-water (W/O/W) multiple emulsion system. A stable emulsion with uniform particle size ( $458.0 \pm 68.06$  nm) was successfully constructed using a two-step emulsification technique under controlled temperature conditions. The formulation incorporated multifunctional active ingredients, including allantoin, N-acetyl-D-glucosamine, and lactobacillus ferment lysate. Franz diffusion cell experiments demonstrated a significant 113% enhancement in transdermal absorption efficiency compared to conventional O/W systems ( $p < 0.05$ ). Clinical evaluations revealed a 32.4% improvement in stratum corneum hydration after 6 hours of application and a 70% increase in collagen density following 60 days of continuous use. The product exhibited exceptional stability under rigorous testing, including triple freeze-thaw cycling ( $-5^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ ) and centrifugation at 4000 rpm for 45 minutes. Sensory assessments confirmed its lightweight texture and superior moisturizing properties. This research provides valuable technical insights into the advancement of multiple emulsion systems for transdermal delivery applications.

**Keywords :** W/O/W system; double emulsification method; skin barrier; Franz diffusion cell method

