



兰玉婷,张逸飞,郭佳慧,等. 面向皮肤光电治疗术后热损伤护理的凝胶贴膜材料研究[J]. 轻工学报, 2025,40(1):120-126.

LAN Y T, ZHANG Y F, GUO J H, et al. Study on gel film materials for thermal injury nursing following skin photoelectric therapy[J]. Journal of Light Industry, 2025, 40(1): 120-126. DOI:10.12187/2025.01.014

# 面向皮肤光电治疗术后热损伤护理的凝胶贴膜材料研究

兰玉婷<sup>1,2</sup>, 张逸飞<sup>1,2</sup>, 郭佳慧<sup>1,2</sup>, 尚欣欣<sup>1,2</sup>, 刘影<sup>1,2</sup>, 梁文魁<sup>1,2</sup>, 王璐<sup>1,2</sup>, 关国平<sup>1,2</sup>

1. 上海市现代纺织前沿科学研究基地, 上海 201620;

2. 东华大学 纺织学院, 上海 201620

**摘要:** 针对光电治疗术后皮肤热损伤问题, 以  $\kappa$ -卡拉胶 ( $\kappa$ -carrageenan, KC) 和魔芋葡甘露聚糖 (Konjac Glucomannan, KGM) 为主要原料, 开发一种用于术后皮肤热损伤护理的凝胶贴膜材料, 并对其形态结构、力学性能、降温性能、理化性能等进行表征。结果表明: 当 KC 与 KGM 的质量比为 5.5:4.5、总干物质质量浓度为 10 g/L 时, 所制备的 KC/KGM 凝胶贴膜能在 25 min 内将人工皮肤表面温度从  $(61.28 \pm 0.52)^\circ\text{C}$  降至  $(37.88 \pm 0.55)^\circ\text{C}$ , 且其拉伸断裂强度和断裂伸长率分别达  $(0.11 \pm 0.03)$  MPa 和  $(160.63 \pm 5.92)\%$ , 压缩强度为  $(0.19 \pm 0.01)$  MPa。25  $^\circ\text{C}$  时所制备凝胶贴膜的保湿率在 25 min 内保持在  $(86.04 \pm 1.72)\%$ 。此外, 该凝胶贴膜外观透明且平整, 具有良好的耐寒性和耐热性, 且满足面膜行业标准《面膜》(QB/T 2872—2017) 中所规定的相关感官及理化性能要求。

**关键词:** 光电治疗; 皮肤降温; 凝胶贴膜; 热损伤

**中图分类号:** TS201.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2025)01-0120-07

## 0 引言

皮肤光电处理(如脉冲光、射频、激光、超声等处理)是一种局部非侵入式治疗方法, 具有无创性、恢复期短、见效快等优点, 在治疗皮肤病变和面部年轻化方面得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。然而, 光电治疗术后常伴随皮肤温度升高(最高可达 60  $^\circ\text{C}$ ), 引发面部灼烧等不适及组织热损伤, 表现为皮肤干燥、红斑、水疱等症状<sup>[3-4]</sup>。因此, 光电治疗术后及时进行适当的降温护理至关重要<sup>[5]</sup>。目前, 临床上常用的

物理降温方法包括冰袋冷敷和纤维贴膜冷敷, 但前者易引发红斑、色素沉着等并发症, 后者降温效果不理想<sup>[6-7]</sup>。高分子凝胶贴膜因比热容高、持续降温时间长、黏附性良好等优点成为研究热点, 其能够通过吸收热量来实现降温镇痛和补水保湿的效果<sup>[8-10]</sup>。

$\kappa$ -卡拉胶 ( $\kappa$ -carrageenan, KC) 又名角叉菜胶, 具有良好的吸水性、稳定性和胶凝性而闻名<sup>[11-13]</sup>。研究<sup>[14-16]</sup>表明, 含有 KC 的化妆品不仅具有抗过敏功效, 还易被皮肤吸收, 使肌肤变得柔润光滑。魔芋葡

收稿日期: 2024-03-27; 修回日期: 2024-07-01; 出版日期: 2025-02-15

基金项目: 高等学校学科创新引智计划项目 (BP0719035)

作者简介: 兰玉婷 (1999—), 女, 湖南省湘潭市人, 东华大学硕士研究生, 主要研究方向为医用水凝胶材料。E-mail: lanyuting1224@163.com

通信作者: 关国平 (1980—), 男, 上海市人, 东华大学教授, 主要研究方向为生物医用纺织材料。E-mail: ggp@dhu.edu.cn

甘露聚糖(Konjac Glucomannan, KGM)分子中含有大量的羟基和羰基,表现出良好的成膜性、亲水性和持水能力<sup>[17]</sup>。此外,KGM的水解产物能够有效对抗皮肤炎症因子,维持皮肤健康,并减轻灼热感<sup>[18]</sup>。研究<sup>[19-20]</sup>还发现,KC与KGM通过氢键相互作用,能够产生协同效应,增强凝胶贴膜的力学性能等。这两种天然高分子亲水性多糖安全、成本低廉<sup>[12]</sup>,在食品工业中已有广泛应用<sup>[21-22]</sup>,但在皮肤医学美容领域应用较少。

鉴于此,本文拟以KC和KGM为主要原料,开发一种面向皮肤光电治疗术后热损伤护理的凝胶贴膜,并对其形态结构、力学性能、降温性能、理化性能等进行表征与分析,以期光电治疗术后患者提供一种性价比较高的凝胶贴膜产品,并为皮肤护理产品的研发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与试剂

人工皮肤,冀小宝医疗器械专营店;KC、KGM(纯度 $\geq 95\%$ ),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钾,国药集团化学试剂有限公司;苯氧乙醇(纯度99.99%)、乙基己基甘油(纯度97%),上海毕得医药科技股份有限公司;医用修复面膜,可孚医疗器械旗舰店。以上试剂均为分析纯。

### 1.2 主要仪器与设备

X85-2 S型恒温磁力搅拌器,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;SU8010型场发射扫描电子显微镜,日本日立高新技术公司;YG(B)026 G-500型多功能强力仪,温州市大荣纺织仪器有限公司;Nicolet™ iS50型傅里叶变换红外光谱仪,赛默飞世尔科技公司;FD-1A-5D型真空冷冻干燥机,上海比朗仪器有限公司;MCR302e型旋转流变仪,奥地利安东帕公司;AT380型红外测温枪,东莞万创电子制品有限公司。

### 1.3 实验方法

**1.3.1 KC/KGM凝胶贴膜制备** KC/KGM凝胶贴膜的制备参考文献<sup>[19]</sup>的方法,稍作改进。分别称量0.55 g KC及0.45 g KGM粉末,一起溶解并定容

在100 mL的PBS缓冲液(pH=6.2,0.01 mol/L)中。在70℃水浴中搅拌30 min,使其充分溶解并混合均匀。加入400  $\mu$ L苯氧乙醇和50  $\mu$ L乙基己基甘油,在高速搅拌下混合均匀,将得到的溶胶置于50℃的超声机中消泡5 min。最后,将消泡后的溶胶倒在定制的聚四氟乙烯模具中,室温下冷却30 min,得到质地均匀的KC/KGM凝胶贴膜。

分别称取1g KC和1g KGM粉末,各自溶解在100 mL的PBS缓冲液(pH=6.2,0.01 mol/L)中。其他步骤同KC/KGM凝胶贴膜的制备。将消泡后的溶胶倒在定制的聚四氟乙烯模具中,室温下冷却6 h,可得到KC凝胶贴膜和KGM溶胶。

**1.3.2 KC/KGM凝胶贴膜形态结构表征** 将KC、KC/KGM凝胶贴膜和KGM溶胶样品浸入液氮中进行速冻,随后迅速转移至真空冷冻干燥机中干燥至恒重;将冻干后的样品用液氮淬冷切出断面后,粘在附有导电胶的样品台上喷金,采用场发射扫描电子显微镜观察其断面形貌,电压为5.0 kV。

取少量冷冻干燥的KC、KC/KGM凝胶贴膜和KGM溶胶样品破碎成粉末,采用KBr压片法,利用傅里叶变换红外光谱仪表征其结构,测试范围为4000~400  $\text{cm}^{-1}$ 。

采用小瓶倾斜和倒置法确定KC/KGM溶胶的凝胶时间(小瓶中的溶胶从流动态至非流动态之间的时间)。

**1.3.3 KC/KGM凝胶贴膜保湿性测试** 以失水率( $L/\%$ )为评价指标、商用纤维贴膜为对照,将KC/KGM凝胶贴膜与商用纤维贴膜同时放入25℃的烘箱中,每隔5 min称其质量,记录其失水前后的质量, $L$ 的计算公式为:

$$L = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100\%$$

其中, $M_0$ 为凝胶贴膜失水前的质量/g, $M_t$ 为凝胶贴膜失水后的质量/g。每组样品重复测试3次。

**1.3.4 KC/KGM凝胶贴膜力学性能测试** 将KC/KGM凝胶贴膜制成哑铃型样品(见图1),控制总长度为75 cm,宽度为4 mm,厚度为2 mm;使用多功能强力仪,以50 mm/min的速率将样品拉伸至断裂。将KC/KGM凝胶贴膜制成圆柱形样品,直径为

15 mm, 高为 10 mm; 使用多功能强力仪, 以 3 mm/min 的速率压缩样品, 压缩应变为 70%。

**1.3.5 KC/KGM 凝胶贴膜流变性能测试** 采用旋转流变仪对 KC、KC/KGM 凝胶贴膜样品的流变性能进行测试。在 25 °C 下, 采用振荡频率扫描模式, 以 1% 的恒定剪切应变, 在频率 0.1~100 Hz 范围内进行测试, 记录样品的储能模量 ( $G'$ ) 和损耗模量 ( $G''$ )。

**1.3.6 KC/KGM 凝胶贴膜降温性能测试** 本文利用自主搭建的专用测试装置 (见图 2) 分析 KC/KGM 凝胶贴膜的降温性能。首先, 在室温条件下, 加热垫以恒定功率加热人工皮肤, 使其表面温度至 60 °C, 模拟光电治疗术后皮肤可能达到的最高温度; 然后, 关闭加热垫电源, 以商用纤维贴膜为对照, 将 3 种不同厚度 (分别为 1 mm、2 mm 和 3 mm) 的凝胶贴膜 (分别命名为 KC/KGM-1、KC/KGM-2 和 KC/KGM-3) 与商用纤维贴膜快速放置在人工皮肤表面, 每 5 min 掀开贴膜, 使用红外测温枪测量人工皮肤表面的温度并记录。凝胶贴膜和商用纤维贴膜的直径均为 80 mm, 测试时间为 25 min。

**1.3.7 KC/KGM 凝胶贴膜感官及其他理化性能测试** 参照《面膜》(QB/T 2872—2017)<sup>[23]</sup> 的方法, 称取 2 g 凝胶贴膜样品 (剪成约 5 mm×5 mm), 加入 20 mL 去离子水, 于 25 °C 条件下搅拌 10 min, 取上清液测定 pH 值。将厚度为 2 mm、直径为 2 cm 的圆饼状凝胶贴膜样品置于 (-8±2) °C 的冷藏室中 24 h, 取出恢复至室温后, 观察与实验前是否有明显

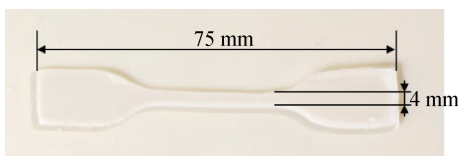


图 1 KC/KGM 凝胶贴膜拉伸实验样品照片

Fig. 1 Photo of KC/KGM gel film tensile test samples

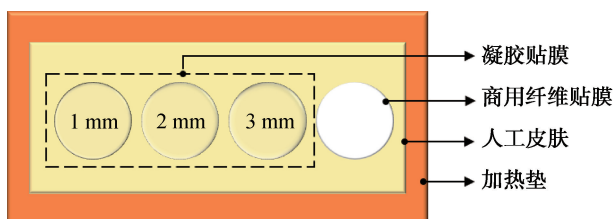


图 2 降温性能测试装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the cooling performance testing device

差异, 以评价其耐寒性。将厚度为 2 mm、直径为 2 cm 的圆饼状凝胶贴膜样品密封于自封袋中, 置于 (40±1) °C 的恒温加热垫上 24 h, 取出恢复至室温后, 观察与实验前是否有明显差异, 以评价其耐热性。将 5 g 凝胶贴膜样品 (约 2 cm×2 cm×2 mm) 置于 4500 r/min 条件下离心 20 min, 取出观察是否有水分析出和分层现象, 以评价其离心稳定性。

## 1.4 数据处理

所有数据均以 (平均值±标准差) 的形式表示; 采用非配对 t 检验分析组间数据之间的差异显著性; 采用 Origin 2021 软件进行统计分析及显著性检验。\* ( $P<0.05$ ) 表示差异显著; \*\* ( $P<0.01$ ) 或 \*\*\* ( $P<0.001$ ) 表示差异极显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 KC/KGM 凝胶贴膜的形态结构分析

图 3 为 KC/KGM 凝胶贴膜的形态结构分析图。由图 3a) 可知, KC/KGM 凝胶贴膜呈均匀透明状, 质地柔软且富有弹性。由图 3b) —d) 可知, KC 凝胶贴膜和 KGM 溶胶的内部均呈紧密的片层状结构, 孔洞尺寸分布较宽泛, 而 KC/KGM 凝胶贴膜的内部孔洞结构较均匀致密。由图 3e) 可知, KC/KGM 溶胶能在 5 min 内迅速凝固, 表明其具有较高的生产效率。

### 2.2 KC/KGM 凝胶贴膜的结构分析

图 4 为凝胶贴膜样品的 FTIR 图。O—H 伸缩振动峰分别位于 3 437.0  $\text{cm}^{-1}$ 、3 413.7  $\text{cm}^{-1}$  和 3 423.5  $\text{cm}^{-1}$ 。由图 4 可知, KC/KGM 凝胶贴膜的 O—H 伸缩振动峰处于 KC 和 KGM 的 O—H 伸缩振动峰之间, 说明 KC 与 KGM 分子间发生了相互作用<sup>[24]</sup>。这种相互作用可能与 KC 残基中的 O—SO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有关, 该基团能够形成阴离子型分子电解质<sup>[25]</sup>, 从而增强凝胶的水合能力。此外, 分子中的 O—SO<sub>3</sub><sup>-</sup> 能与 KGM 的 O—H 形成分子间氢键, 对凝胶体系的增容作用至关重要<sup>[24]</sup>, 进而提升 KC/KGM 凝胶贴膜的力学性能和结构稳定性。在 2 900.0  $\text{cm}^{-1}$  附近的吸收峰归属于 CH<sub>2</sub> 的不对称和对称伸缩振动。KC/KGM 凝胶贴膜在 1 250.0  $\text{cm}^{-1}$  附近的特征峰表明有 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的存在。KC 与 KGM 的峰型相似, 但在



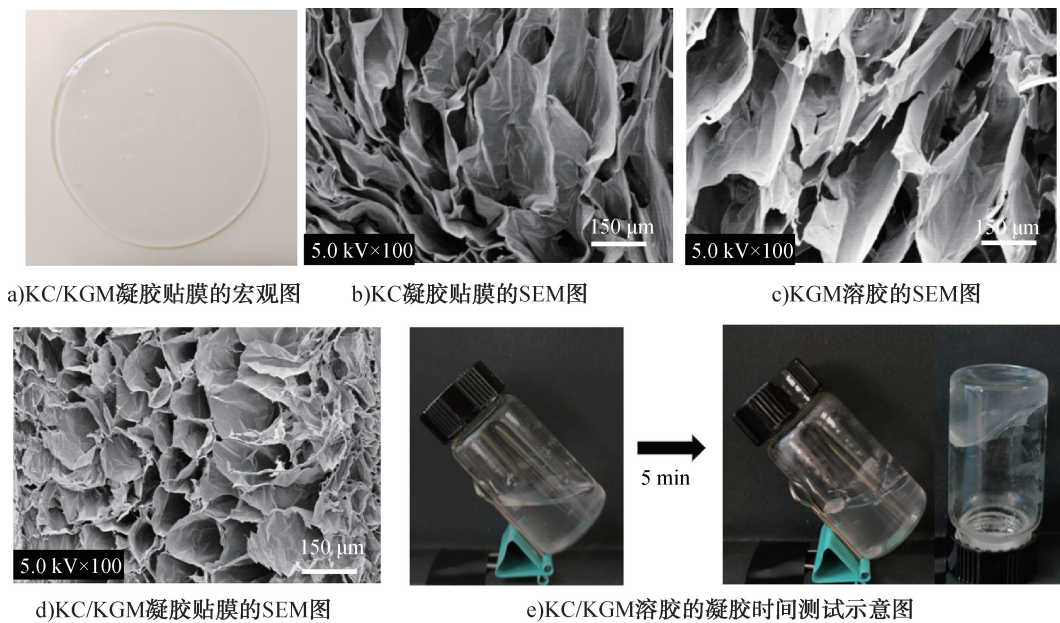


图 3 KC/KGM 凝胶贴膜的形态结构分析图

Fig. 3 Morphological and structural analysis diagram of KC/KGM gel film

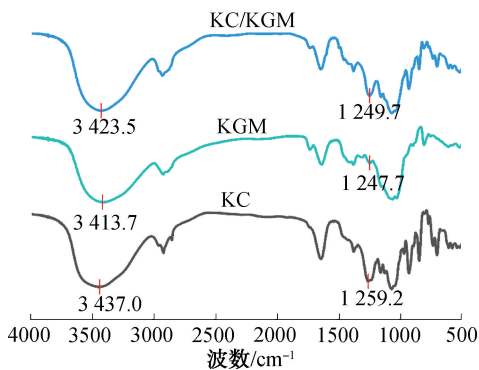


图 4 凝胶贴膜样品的 FTIR 图

Fig. 4 FTIR diagram of gel film samples

指纹区存在明显差异,表明 KC/KGM 凝胶贴膜中可能形成了以 KC 网络结构为主、KGM 穿插其中的复合结构,这与文献[24]中的研究结果较一致。

### 2.3 KC/KGM 凝胶贴膜的力学性能和流变学性能分析

图 5 为 KC/KGM 凝胶贴膜的力学性能和流变学性能测试结果。其中,S1 为 4 °C 下调节 24 h 的样品,S2 为 4 °C 下调节 30 d 的样品。由图 5a) — c) 可知,S1 的拉伸断裂强度为  $(0.11 \pm 0.03)$  MPa,断裂伸长率为  $(160.63 \pm 5.92)\%$ ,压缩强度为  $(0.19 \pm 0.01)$  MPa,说明 KC/KGM 凝胶贴膜柔软、坚韧,具有良好的力学性能;S2 的拉伸断裂强度与 S1 无显著性差异  $(P > 0.05)$ ,压缩强度显著增加  $(P < 0.01)$ ,拉伸断裂伸长率有所降低  $(P < 0.05)$ 。这可能是由

于凝胶内部的水分随着贮存时间延长而减少,导致 KC 与 KGM 分子链中极性基团间距缩小,增强了它们之间的相互作用,进而使模量提高、分子链间的可滑动性降低<sup>[26]</sup>。

由图 5 d) 可知,凝胶贴膜的  $G'$  始终大于  $G''$ ,表明在测试过程中样品始终保持凝胶状态,其物理结构较稳定。在初始角频率下,KC/KGM 凝胶贴膜的  $G'$  ( $2\ 894.40$  Pa) 远大于 KC 凝胶贴膜的  $G'$  ( $366.34$  Pa),这可能是因为加入 KGM 后,其通过氢键与 KC 相互作用,穿插在 KC 的网状结构中,形成更致密的凝胶网状结构,从而提高模量<sup>[27]</sup>。该结果与力学性能测试结果和 FTIR 测试结果一致。

### 2.4 KC/KGM 凝胶贴膜的保湿性能和降温性能分析

图 6 为 KC/KGM 凝胶贴膜的保湿性能和降温性能测试结果。由图 6a) 可知,KC/KGM 凝胶贴膜在 25 min 内的保湿率为  $(86.04 \pm 1.72)\%$ ,高于商用纤维贴膜的保湿率  $(74.72 \pm 2.05)\%$ ,表明 KC/KGM 凝胶贴膜保湿性能更好  $(P < 0.05)$ 。由图 6b) — c) 可知,在 25 min 内,KC/KGM 凝胶贴膜下的人工皮肤表面温度  $(61.28 \pm 0.52)$  °C 被降至  $(37.88 \pm 0.55)$  °C,而商用纤维贴膜下的人工皮肤表面温度在实验开始 10 min 后开始上升,在 20 min 时上升至  $(44.3 \pm 0.14)$  °C,在 25 min 时又降至



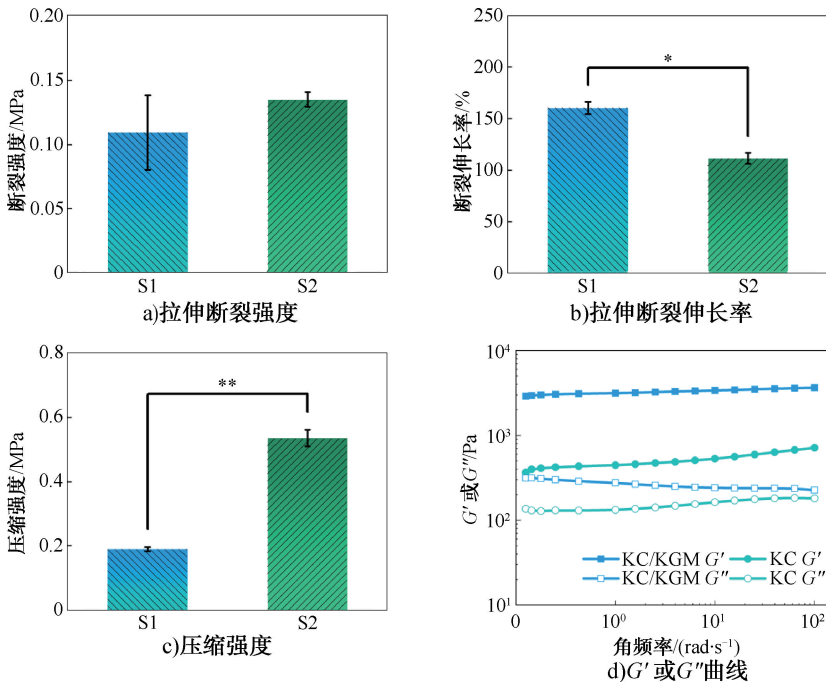


图5 KC/KGM 凝胶贴膜的力学性能和流变性能测试结果

Fig. 5 Test results of mechanical and rheological properties of KC/KGM gel film

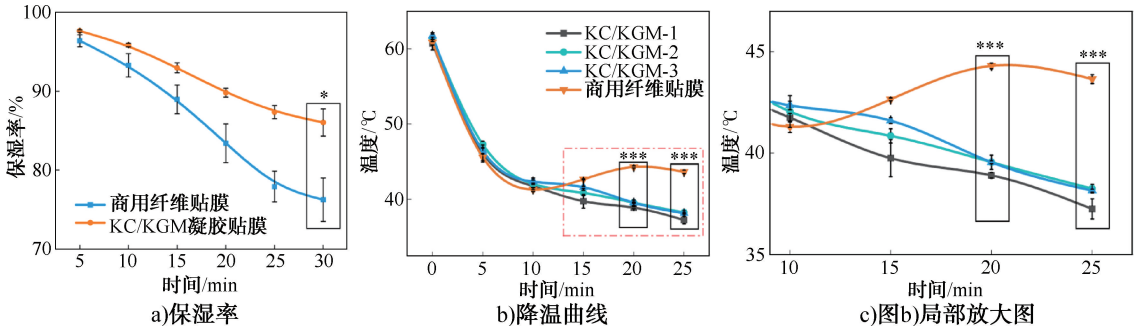


图6 KC/KGM 凝胶贴膜的保湿性能和降温性能测试结果

Fig. 6 Test results of moisture retention and cooling properties of KC/KGM gel film

(43.65 ± 0.21) °C, 表明 KC/KGM 凝胶贴膜在 25 min 内是通过吸收人工皮肤表面热量来降低其温度的。而商用纤维贴膜在 10 min 时,热量吸收达到饱和,故人工皮肤的表面温度在 10 min 后开始上升。由此可知,不同厚度的 KC/KGM 凝胶贴膜均表现出良好的降温性能,且均优于商用纤维贴膜( $P < 0.001$ )。在实际应用中,考虑到成本控制,可优选厚度为 1 mm 的 KC/KGM 凝胶贴膜来开发产品。

### 2.5 KC/KGM 凝胶贴膜的感官及其他理化性能分析

图 7 和表 1 为 KC/KGM 凝胶贴膜的样品照片和感官及其他理化性能测试结果。由图 7 和表 1 可知,KC/KGM 凝胶贴膜外观呈透明状,无刺激性气

味,符合面膜行业标准<sup>[23]</sup>中对面膜感官相关指标评价的规定。痤疮患者面部平均 pH 值为 (6.35 ± 1.30), 通常高于正常面部皮肤 pH 值 (5.09 ± 0.39)<sup>[28]</sup>。KC/KGM 凝胶贴膜在 25 °C 时的 pH 值为 6.53,与痤疮患者面部平均 pH 值接近,故无酸碱刺激性。KC/KGM 凝胶贴膜经耐寒、耐热实验后,恢复至室温,与实验前样品的颜色、形状、尺寸相比,均未发生明显变化,且无分层、溶解等现象发生,性状较为稳定,说明该凝胶贴膜具有良好的耐寒性和耐热性,符合面膜行业标准<sup>[23]</sup>中对面膜相关理化性能的规定。经离心测试后,KC/KGM 凝胶贴膜未出现分层现象,且无水分析出,说明该凝胶贴膜具有良好的结构稳定性和保水性。

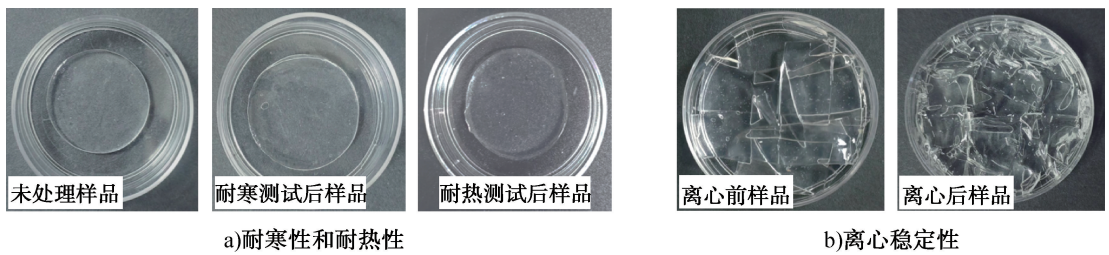


图 7 不同测试后 KC/KGM 凝胶贴膜样品照片

Fig. 7 Photos of KC/KGM gel film samples after different tests

表 1 KC/KGM 凝胶贴膜感官及其他理化性能测试结果

Table 1 Evaluation results of sensory and other physical and chemical properties of KC/KGM gel film

检测指标	项目	测试标准	测试结果	结果判定
感官	外观	透明或半透明凝胶状	透明状	符合要求
	香气	/	无刺激性气味	符合要求
	pH 值	4.00~8.50	6.53	符合要求
理化性能	耐寒性	(-8±2) °C 保持 24 h 后恢复至室温, 与实验前无明显差异	按照标准条件操作后, 样品与实验前无明显差异	符合要求
	耐热性	(40±1) °C 保持 24 h 后恢复至室温, 与实验前无明显差异	按照标准条件操作后, 样品与实验前无明显差异	符合要求

### 3 结论

本研究以 KC 和 KGM 为主要原材料,制备了面向皮肤光电治疗术后热损伤护理的凝胶贴膜材料,并对其形态结构、力学性能、流变性能、保湿性能、降温性能、感官和其他理化性能进行了测试与评价。结果表明,所制备 KC/KGM 凝胶贴膜透明、柔软、坚韧,具有良好的结构稳定性和力学性能,其拉伸断裂强度和拉伸断裂伸长率分别可达  $(0.11 \pm 0.03)$  MPa 和  $(160.63 \pm 5.92)\%$ ,压缩强度可达  $(0.19 \pm 0.01)$  MPa。此外,KC/KGM 凝胶贴膜具有优异的保湿性能和降温性能,在 25 min 内,其保湿率可保持在  $(86.04 \pm 1.72)\%$ ,可将人工皮肤表面温度从  $(61.28 \pm 0.52)$  °C 降至  $(37.88 \pm 0.55)$  °C,且均优于商用纤维贴膜,其感官和其他理化性能评价结果也符合面膜行业标准中的相关要求。因此,KC/KGM 凝胶贴膜有望作为一种皮肤光电治疗术后降温材料用于皮肤热损伤护理产品的开发。未来将进一步改善 KC/KGM 凝胶贴膜的贴合度和舒适度,并通过整合活性成分,赋予其抗炎、促愈等多重功能;通过优化配方和制备工艺,开发满足不同降温需求的凝胶贴膜产品,特别是针对冶炼工人、消防员等特定职业群体的需求。

#### 参考文献:

[1] 王奕欣,周成霞,李利. 光电术后皮肤屏障功能修复的现状与挑战[J]. 皮肤科学通报,2023,40(6): 656-661.

[2] 申高,邱宏. 光电设备用于皮肤光老化及皱纹治疗的概况及审评关注点[J]. 中国医疗器械信息,2023,29(17): 14-16.

[3] 王晗. 激光热痛刺激引起的皮肤组织温度分布的研究[D]. 北京:北京协和医学院,2017.

[4] 董晓曦. 双波长激光痛觉刺激的方法和技术研究[D]. 北京:北京协和医学院,2014.

[5] WACHAL K, STACHOWSKA E, KORPU ŚCI ŃSKA K, et al. Physical properties of hydrogel wound dressing and its use in low-level laser therapy (LLLT) [J]. Lasers in Medical Science,2018,33(6): 1317-1325.

[6] 莫小莹,陈晓吟,陈海涛,等. 医用面膜对激光患者术后皮肤情况影响的观察[J]. 中国医疗美容,2023,13(4): 53-56.

[7] 陆文婷,陈萍,卞薇薇. 冷敷面膜在激光治疗后疼痛护理中的作用[J]. 组织工程与重建外科,2022(4): 342-344.

[8] OKAN G, RENDON M I. The effects of a high glycerin content hydrogel premolded mask dressing on post-laser resurfacing wounds [J]. Journal of Cosmetic and Laser Therapy,2011,13(4): 162-165.

[9] 宋蕾. 抗菌肤水凝胶对糖尿病慢性创面作用的研究[D]. 青岛:青岛大学,2023.

[10] YEO Y H, CHATHURANGA K, LEE J S, et al. Multifunctional and thermoresponsive methylcellulose composite hydrogels with photothermal effect [J]. Carbohydrate Polymers,2022,277: 118834.

[11] HU B, YANG Y S, HAN L Y, et al. Characterization of hydrophilic and hydrophobic core-shell microcapsules prepared using a range of antisolvent approaches [J]. Food Hydrocolloids,2022,131: 107750.

- [12] 刘盼盼,张书俐,高莉,等.卡拉胶水凝胶在生物医学领域中的应用进展[J]. 功能材料,2022,53(3): 3066-3073.
- [13] WANG X Y, GOFF H D, CUI S W. Synergism between yellow mustard gum and  $\kappa$ -carrageenan studied by structural and rheological methods [J]. Food Hydrocolloids, 2024, 148: 109401.
- [14] PANGESTUTI R, SHIN K H, KIM S K. Anti-photoaging and potential skin health benefits of seaweeds[J]. Marine Drugs, 2021, 19(3): 172.
- [15] VALENTA C, SCHULTZ K. Influence of carrageenan on the rheology and skin permeation of microemulsion formulations[J]. Journal of Controlled Release, 2004, 95(2): 257-265.
- [16] WANG N, TIAN J, WANG L L, et al. Fucoidan hydrogels induced by  $\kappa$ -carrageenan: Rheological, thermal and structural characterization [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 191: 514-520.
- [17] 刘瑞雪,李义梦,樊晓敏,等.魔芋葡甘聚糖基水凝胶的研究进展[J]. 轻工学报, 2018, 33(3): 16-29.
- [18] PRIYA S, CHOUDHARI M, TOMAR Y, et al. Exploring polysaccharide-based bio-adhesive topical film as a potential platform for wound dressing application: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2024, 327: 121655.
- [19] WEI Y, WANG Y L, HE X J. Gel properties of  $\kappa$ -carrageenan-konjac gum mixed gel and their influence factors [J]. Advanced Materials Research, 2011 (396/397/398): 1389-1393.
- [20] 望运滔,陈曦,梁晴,等.魔芋胶与卡拉胶复配对热诱导大豆分离蛋白乳液凝胶特性的影响[J]. 轻工学报, 2023, 38(5): 17-25.
- [21] 王美娟,曹传爱,孔保华,等.黄芪胶对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. 肉类研究, 2023, 37(9): 1-7.
- [22] 解万翠,谢静雯,辛荣玉,等.水产品保水剂的开发与应用研究进展[J]. 轻工学报, 2019, 34(6): 15-23.
- [23] 中华人民共和国工业和信息化部. 面膜:QB/T 2872—2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [24] 魏玉.  $\kappa$ -卡拉胶的凝胶化作用及其与魔芋胶协同作用特性研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2010.
- [25] 李招玉,李向平,杨少玲,等.氧化 $\kappa$ -卡拉胶/聚丙烯酰胺水凝胶的制备与表征[J]. 食品与发酵工业 2024, 50(20): 153-160.
- [26] 李子健. 光致变色凝胶材料及其器件的研究[D]. 北京:北京石油化工学院, 2023.
- [27] 刘圣楠. 火麻仁油复乳凝胶模拟动物脂肪研究及应用[D]. 无锡:江南大学, 2022.
- [28] PRAKASH C, BHARGAVA P, TIWARI S, et al. Skin surface pH in acne vulgaris: Insights from an observational study and review of the literature [J]. The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology, 2017, 10(7): 33-39.

## Study on gel film materials for thermal injury nursing following skin photoelectric therapy

LAN Yuting<sup>1,2</sup>, ZHANG Yifei<sup>1,2</sup>, GUO Jiahui<sup>1,2</sup>, SHANG Xinxin<sup>1,2</sup>, LIU Ying<sup>1,2</sup>,  
LIANG Wenkui<sup>1,2</sup>, WANG Lu<sup>1,2</sup>, GUAN Guoping<sup>1,2</sup>

1. Shanghai Frontiers Science Center of Advanced Textiles, Shanghai 201620, China;

2. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China

**Abstract:** To address the problems of skin thermal damage after photoelectric therapy,  $\kappa$ -carrageenan and konjac glucomannan were used as the main raw materials to prepare a gel film material for skin cooling after photoelectric therapy, and its morphological structure, mechanical properties, cooling performance and physical and chemical properties were comprehensively characterized. The results showed that when the mass ratio of KC to KGM was 5.5:4.5 and the mass concentration of the total dry matter was 10 g/L, the prepared KC/KGM gel film could reduce the surface temperature of artificial skin from (61.28±0.52) °C to (37.88±0.55) °C within 25 min. The tensile strength and elongation at break were (0.11±0.03) MPa and (160.63±5.92) %, respectively. The compressive strength can reach (0.19±0.01) MPa. The moisture retention rate of the gel film prepared at 25 °C was (86.04±1.72) % within 25 min. The appearance of the gel film was transparent and flat, the cold and hot resistance was satisfying, which met the relevant sensory and physical and chemical performance requirements specified in the mask standard (QB / T 2872—2017).

**Key words:** photoelectric therapy; skin cooling; gel film; thermal injury