

结冷胶制备固体凝胶喷雾及其性能评价

陈思洋, 颜雪娇, 蒲云月, 谢丹, 张云
(苏州绿叶日用品有限公司, 江苏苏州, 215000)
DOI:10.61369/CDCST.2026020016

摘 要: 针对传统液态喷雾保湿驻留时间短、易流淌及常规凝胶厚重不便携带等痛点, 本研究选用具有“剪切变稀-瞬间雾化”特性的低酰基结冷胶(LA-GG), 发展了固体凝胶喷雾概念。采用 $L_{16}(4^4)$ 正交试验, 以结冷胶(A)、氯化钠(B)、1,3-丁二醇(C)、海藻糖(D)、甘草酸二钾(E)为因素, 凝胶状态、外观、高低温稳定性及喷雾效果为评价指标。极差分析显示因素显著性排序为 $A>B>C>D>E$, 确定最优配方A4B2C3D1E4: 结冷胶0.4%、氯化钠0.8%、1,3-丁二醇6%、海藻糖1%、甘草酸二钾0.4%。性能测试表明: pH 5.35符合皮肤生理范围; 耐热(37~50℃)、耐寒(-4~4℃)稳定性良好; 受试者($n=15$)使用120 min后角质层含水量提升47.26% ($P<0.001$), TEWL降低25.71% ($P=0.01$)。该配方兼具凝胶锁水与喷雾便携优势, 为新一代保湿喷雾提供配方依据。



陈思洋

关键词: 低酰基结冷胶; 固体凝胶喷雾; 正交试验; 保湿性能

作者简介: 陈思洋, 苏州绿叶日用品有限公司, 轻工工程助理工程师, 从事化妆品研发。E-mail:1363461787@qq.com。

在“颜值经济”与“快护肤”场景并驱的当下, 喷雾剂型以“秒吸收、零接触、可带妆”成为增长最快的细分品类之一。然而传统液态喷雾因“80%水+少量活性物”的载体局限, 普遍存在①保湿驻留时间短($<2\text{h}$)、②易流淌、③活性物悬浮稳定性差三大痛点; 常规凝胶虽可延长滞留时间, 却因涂抹厚重、便携性差而难以满足地铁、办公、户外等场景需求。因此, 开发“凝胶-喷雾”二象共存、兼顾雾化成雾与皮肤驻留的新型载体, 成为配方工程师进一步提升产品性能的重要方向。

结冷胶是由伊乐藻少动鞘脂单胞菌产生的一种阴离子型线性大分子多糖^[1-2], 其主链结构是由(1-3)- β -D-葡萄糖、(1-4)- β -D-葡萄糖醛酸、(1-4)- β -D-葡萄糖、(1-4)- α -L-鼠李糖组成的四糖重复单元^[3]。结冷胶根据其分子链上酰基含量的不同可以分为高酰基结冷胶和低酰基结冷胶。高酰基结冷胶所形成的凝胶柔软、富有弹性和黏着力, 而低酰基结冷胶形成的凝胶强度大、易脆裂^[4]。低酰基结冷胶(Low-acyl gellan gum, LA-GG)凭借“离子触发-透明凝胶”“剪切变稀-瞬间雾化”两大独有流变学特征, 理论上可一次性解决“流淌-厚重”两难, 低酰基结冷胶在冷热水中均能溶解, 加入阳离子可形成强度大、坚硬但易脆裂并具有更高热稳定性的凝胶^[5,6]。二价阳离子(Ca^{2+} 和 Mg^{2+})比一价阳离子(Na^+ 和 K^+)更有效地促进凝胶, 结冷胶在 Ca^{2+} 存在下形成最稳定的凝胶^[7]。但化妆品领域尚无系统研究验证: ①LA-GG在NaCl体系(兼容化妆品无刺激需求)下的雾化临界剪切速率; ②其与皮肤屏障亲和性、舒敏活性协同增效及加速稳定性之间的配方窗口。文献多

聚焦食品/医药高钙环境, 对“一价离子-低盐”弱凝胶网络能否实现喷雾并保持2h皮肤驻留, 仍缺关键数据。基于此, 本文提出“LA-GG固体凝胶喷雾”概念, 并以“保湿-舒敏”双功效为模型, 系统解析: ① Na^+ 浓度-凝胶强度-雾化三者权衡关系; ②海藻糖与甘草酸二钾协同对凝胶网络与保湿舒缓的增效机制; ③高低温4周后的稳定性。旨在填补低酰基结冷胶在化妆品喷雾剂型中的应用空白, 为“高驻留-零流淌-可便携”的新一代喷雾提供配方依据。

1 试验部分

1.1 主要材料、试剂与仪器

低酰基结冷胶(化妆品级), 阿泽雷斯国际贸易(上海)有限公司; 氯化钠, 江苏省苏盐连锁有限公司苏州城区分公司; 1,3-丁二醇, 上海言臻贸易有限公司; 海藻糖, 通辽梅花生物科技有限公司; 甘草酸二钾, 上海奥利实业有限公司; 去离子水, 自制; 柠檬酸钠, 江苏国信协联能源有限公司; 对羟基苯乙酮, 德之馨香精香料(南通)有限公司; 1,2-己二醇, 德之馨香精香料(南通)有限公司。

HWS-12型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; RW 20数显电动搅拌器, IKA; BSA3202S型电子天平, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; VapoMeter皮肤水分流失测量仪, 芬兰Delfin; MoistureMeter SC皮肤角质层水合测量仪, 芬兰Delfin。

1.2凝胶喷雾的制备

凝胶喷雾的制备工艺见表1，凝胶喷雾的成分见表2。

表1 凝胶喷雾制备工艺表

操作内容	参数			
	时间 / min	温度 /℃	压力 / mPa	刮刀转速 / r·min ⁻¹
预处理：用去离子水溶解甘草酸二钾和氯化钠。				
1、将去离子水和柠檬酸钠加入烧杯，搅拌均匀	3~5	常温	常压	100~200
2、将结冷胶、1,3-丁二醇、海藻糖加入烧杯，搅拌均匀	5~10	常温	常压	200~500
3、升温至80~85℃，加入对羟基苯乙酮、预先用水溶解的甘草酸二钾和氯化钠溶液，搅拌均匀，保温5~10min，促进凝胶。	10~30	80~85	常压	100~200
4、降温至55~65℃，加入1,2-己二醇，搅拌均匀	5~10	60~70	常压	100~200

表2 凝胶喷雾成分表

成分	质量分数 /%	使用目的
低酰基结冷胶	0.1~0.4	增稠剂
氯化钠	0.1~1.6	黏度调节剂
1,3-丁二醇	1~9	保湿剂
海藻糖	1~6	保湿剂
甘草酸二钾	0.05~0.4	皮肤调理剂
去离子水	To 100	溶剂
柠檬酸钠	0.05	pH调节剂
对羟基苯乙酮	0.3	抗氧化剂、防腐剂
1,2-己二醇	0.5	保湿剂、防腐剂

1.3性能测试

1.3.1 保湿性能

准确称取样品各5g，放置于相同直径的称量瓶中，称量瓶干燥至恒重、样品自然流平使铺展厚度一致，每3个为一组，平行测试3组，常温环境 [20~25℃，相对湿度（45±5）%RH] 12、24、36、48h后称重，按式（1）计算固体凝胶喷雾的失水率。失水率的数值越小，说明样品的保湿效果越好。

$$\text{失水率} = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100\%$$

(1)

其中 m_0 为样品原始质量，g； m_n 为样品放置 n 小时后的质量，g。

皮肤水分流失测量仪 VapoMeter SWL5 测定经皮水分流失值（TEWL值），皮肤角质层水合测量仪 MoistureMeter SC测定角质层含水量。试验共招募15人，年龄15~40岁。试验方案：①受试者双手前臂内侧应做好测量区域标记，试验区域面积至少3cm×3cm，每个测试区域之间间隔至少1cm。受试者在20~22℃，相对湿度（50±10）%RH的实验

室中静坐30min，测试初始值。②测试产品涂抹区和空白对照区随机分布于左右手臂标定区域。样品按（2.0±0.1）mg/cm²的用量进行单次涂抹，使用乳胶指套将样品均匀涂抹于规定区域内，并记录实际涂样量。阴性对照区域不涂抹任何产品；然后在第30min、2h后测定受试区域和对照区域的皮肤水分含量。

1.3.2 pH值

正常皮肤表面pH值为5.0~7.0，最低可到4.0，最高可到9.6，固体凝胶喷雾pH值在4.0~8.5为最佳。参照2015版《化妆品安全技术规范》中的检测方法进行pH值的测定，pH=5.35（直测，25℃）。

1.3.3 耐热性能

将相同质量的凝胶喷雾样品放置于（37±2）℃、（45±2）℃和（50±2）℃的恒温干燥箱，考察4周，主要测试指标：感官指标（外观、颜色、气味）、理化指标（pH值），第1~4周恢复至室温，评价感官指标，第4周时加测理化指标。

1.3.4 耐寒性能

将相同质量的凝胶喷雾样品放置于（4±2）℃和（-4±2）℃的冰箱，考察4周，主要测试指标：感官指标（外观、颜色、气味）、理化指标（pH值），第1~4周恢复至室温，评价感官指标，第4周时加测理化指标。

1.3.5 喷雾效果测试

测试方法：将测试样品分别装入同样材质、规格的喷雾瓶中，各装3瓶。置于（23±2）℃、相对湿度（45±5）%RH环境平衡2小时后开始测试。以同样压力、同样频率按压5次，取第3次喷出的雾云作为评价样本，样本以同样距离对其进行拍照。对拍摄所得的照片进行角度测量。参数解释：喷射角度越大，表示喷雾效果越好；反之，喷射角度越小，表示喷雾效果越差。

2 结果与讨论

2.1正交试验优化固体凝胶喷雾的配方

正交试验设计是指研究多因素多水平的一种试验设计方法，基于统计理论和方法，能够保证试验结果的可靠性和准确性。

低酰基结冷胶的用量和配方中离子的浓度直接影响凝胶喷雾的性能。为了选出稳定性好、喷雾效果佳的配方，在单因素考察及预实验的基础上，经分析决定考察低酰基结冷胶添加量（A）、氯化钠添加量（B）、1,3-丁二醇添加量（C）、海藻糖添加量（D）、甘草酸二钾添加量（E）五种

因素。每种因素各选出四个水平。以正交试验表设计实验，对配方进行筛选。试验中保持相同原料及工艺，采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验优化配方，相关因素水平见表3。选择凝胶状态、外观、高温稳定性、低温稳定性和喷雾效果作为考察指标，凝胶喷雾的综合性能评分见表4。正交试验结果分析见表5，其中 K_i 为第 i 水平的指标和， k_i 为 K_i 的平均值， R 为 k_i 中最大值与最小值之差，称为极差值。各个因素的极差 R 不同，说明每个因素对指标的影响不同，且 R 值越大，表示该因素对响应变量的影响越大。其中凝胶喷雾正交试验评分细则见表6，凝胶喷雾正交试验评分细则图见图1。图2为正交试验评价分值较高的凝胶喷雾配方9-16展示。

表3 凝胶喷雾配方正交试验因素水平表

因素	结冷胶 (A) /%	氯化钠 (B) /%	1,3-丁二醇 (C) /%	海藻糖 (D) /%	甘草酸二 钾 (E) /%
水平1	0.1	A的1倍	1	1	0.05
水平2	0.2	A的2倍	3	2	0.1
水平3	0.3	A的3倍	6	4	0.2
水平4	0.4	A的4倍	9	6	0.4

表4 凝胶喷雾的综合性能评分表

项目	凝胶状态 (20分)	外观 (20分)	高温稳定性 (20分)	低温稳定性 (20分)	喷雾效果 (20分)
综合性能	是否凝胶 及强度	透明度	恢复室温无 明显差异	恢复室温无 明显差异	喷雾角

注：采用倒置—指压法判断凝胶状态：将凝胶装满30 mL透明瓶，25℃静置10 min；倒置10 s，观流动；再正立，用食指垂直压5 mm，1 s后松手。按“倒置+指压”定0-5级：0立即流，1慢流，2挂壁，3不流压坑2 s回，4不形变立即回弹，5整体抖动，敲击有声。30s完成，误差±1级。

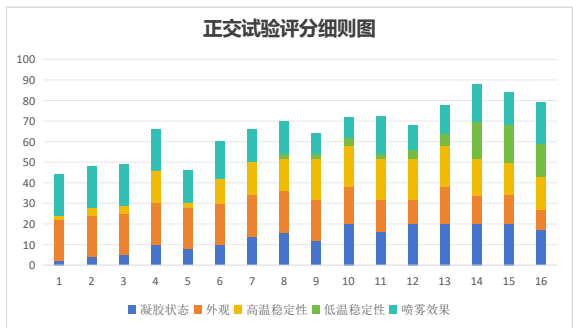


图1 凝胶喷雾正交试验评分细则图

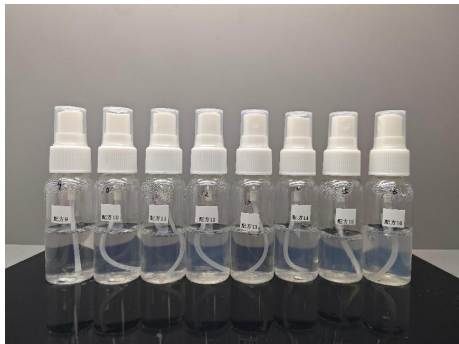


图2 固体凝胶喷雾配方9-16展示

表5 $L_{16}(4^5)$ 正交试验表

序号	因素					评价指标
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	44
2	1	2	2	2	2	48
3	1	3	3	3	3	49
4	1	4	4	4	4	66
5	2	1	2	3	4	46
6	2	2	1	4	3	60
7	2	3	4	1	2	66
8	2	4	3	2	1	70
9	3	1	3	4	2	64
10	3	2	4	3	1	72
11	3	3	1	2	4	72
12	3	4	2	1	3	68
13	4	1	4	2	3	78
14	4	2	3	1	4	88
15	4	3	2	4	1	84
16	4	4	1	3	2	79
K_1	207	232	255	266	270	/
K_2	242	268	246	268	257	/
K_3	276	271	271	246	255	/
K_4	329	283	282	274	272	/
k_1	51.75	58	63.75	66.5	67.5	/
k_2	60.5	67	61.5	67	64.25	/
k_3	69	67.75	67.75	61.5	63.75	/
k_4	82.25	70.75	70.5	68.5	68	/
R	30.5	12.75	9	7	4.25	/
最优方案	A4	B2	C3	D1	E4	/

表6 凝胶喷雾正交试验评分细则

序号	凝胶状态 (20分)	外观 (20分)	高温稳定性 (20分)	低温稳定性 (20分)	喷雾效果 (20分)	各指标得分之和
1	2	20	2	0	20	44
2	4	20	4	0	20	48
3	5	20	4	0	20	49
4	10	20	16	0	20	66
5	8	20	2	0	16	46
6	10	20	12	0	18	60
7	14	20	16	0	16	66
8	16	20	16	2	16	70
9	12	20	20	2	10	64
10	20	18	20	4	10	72
11	16	16	20	2	18	72
12	20	12	20	4	12	68
13	20	18	20	6	14	78
14	20	14	18	18	18	88
15	20	14	16	18	16	84
16	17	10	16	16	20	79

由表5可以得知，固体凝胶喷雾的最佳配方组合为A4B2C3D1E4（配方14），即结冷胶（质量分数，下同）0.4%，氯化钠0.8%，1,3-丁二醇6%，海藻糖1%，甘草酸

二钾0.4%，此处配方还加入了柠檬酸钠0.05%，对羟基苯乙酮0.3%，1,2-己二醇0.5%，去离子水90.55%。

以下对各因素配比选择的科学性进行分析。

2.1.1 结冷胶用量（A）——凝胶网络的核心骨架

结冷胶极差 $R=30.5$ 为五因素之首，表明其用量是决定产品性能的首要因素。当用量从0.1%增至0.4%时，综合评分均值由51.75升至82.25。0.4%的用量可形成致密的三维凝胶网络，确保产品倒置不流、指压回弹（凝胶状态20分），同时赋予体系适宜的屈服应力以实现剪切变稀雾化。用量过低则凝胶强度不足，过高则黏度过大影响喷雾效果。

2.1.2 氯化钠用量（B）——离子触发的关键调控

NaCl极差 $R=12.75$ 位列第二，最优水平 B2（0.8%，即结冷胶的2倍）。该配比体现了 Na^+ 浓度与凝胶强度的非线性关系：0.8%的氯化钠足以触发 LA-GG 羧基交联，形成坚硬透明的凝胶网络；用量过低（0.4%）离子强度不足，高温稳定性差；过高（1.6%）则可能削弱雾化性能。

2.1.3 1,3-丁二醇用量（C）——保湿与流变的平衡

最优水平 C3（6%），极差 $R=9$ 。6%的用量在保湿功效与流变性能间取得平衡：既通过氢键结合水分提升保湿性，又作为共溶剂降低体系黏度，改善分散性与雾化效果。

2.1.4 海藻糖（D）与甘草酸二钾（E）——功效协同

海藻糖最优 D1（1%），甘草酸二钾最优 E4（0.4%），二者极差较小（ $R=7$ 和4.25）。1%海藻糖即可协同保湿；0.4%甘草酸二钾发挥舒敏功效，与 LA-GG 相容性良好。

2.1.5 最优配方性能验证

配方14综合评分88分（最高），各单项评分：凝胶状态20分、外观14分、高温稳定性18分、低温稳定性18分、喷雾效果18分。该配方实现了“高凝胶强度-良好雾化-优异稳定性”的三重平衡，且首次证实了一价离子弱凝胶网络（NaCl 0.8%）在化妆品喷雾中的可行性，区别于传统高钙体系，为 LA-GG 的低盐应用提供了新思路。

2.2 凝胶喷雾性能测试结果

按最佳配方14进行打样，所得产品进行皮肤角质层含水量测试和经皮水分流失值（TEWL值）测试。

在化妆品功效评价领域，皮肤角质层含水量是用来衡量保湿产品优劣的“黄金指标”之一。借助 MoistureMeter SC 仪器来测量皮肤角质层的水分含量，本次试验所有受试者在使用样品后的数据均汇总于表7。统计方法：采用重复

测量方差分析评估时间因素对皮肤角质层含水量的影响，配对样本 t 检验进行事后比较，样品组与空白对照组的组间比较采用独立样本 t 检验。显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

由表7可以看出，空白对照组基线皮肤角质层含水量为19.6，使用样品30 min后为19.7，与初始差值为0.1，变化率为0.51%（ $P=0.70$ ，ns）；使用120 min后为20.5，与初始差值为0.9，变化率为4.59%（ $P=0.08$ ，边缘显著）。样品组基线皮肤角质层含水量为20.1，使用样品30 min后为28.7，与初始差值为8.6，显著提升了42.78%（ $P<0.001$ ***）；使用样品120 min后为29.6，与初始差值为9.5，显著提升了47.26%（ $P<0.001$ ***）。

空白对照组各时间点与基线相比均无统计学意义。经独立样本 t 检验分析，样品组与空白对照组在30 min（ $P<0.001$ ***）和120 min（ $P<0.001$ ***）时差异均具有统计学意义，表明该配方可快速且持久地增加皮肤水分含量，具有较好的保湿效果。

表7 皮肤角质层含水量测试

	时间 /min	皮肤角质层含水量 /a.u.	与初始的差值 /a.u.	差值 /%
空白对照	0	19.6	-	-
	30	19.7	0.1	0.51
	120	20.5	0.9	4.59
样品	0	20.1	-	-
	30	28.7	8.6	42.78
	120	29.6	9.5	47.26

经皮水分流失值（TEWL值）是衡量皮肤屏障功能的核心指标之一。使用经皮水分流水测量仪 VapoMeter 来测量 TEWL 值，本次试验所有受试者在使用样品后的数据均汇总于表8。统计方法：采用重复测量方差分析分析分组因素、时间因素及其交互效应，事后两两比较采用 Bonferroni 校正。显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

由表8可以看出，空白对照组使用样品30 min后 TEWL 值为3.5，与初始差值为-0.5，变化率为-12.5%（ $P=0.25$ ，ns）；使用120 min后为3.7，与初始差值为-0.3，变化率为-7.5%（ $P=0.42$ ，ns），各时间点与基线相比均无显著变化。样品组使用样品30 min后，TEWL 值为2.8，与初始差值为-0.7，显著降低了20.00%（ $P=0.03$ *）；使用样品120 min后，TEWL 值为2.6，与初始差值为-0.9，显著降低了25.71%（ $P=0.01$ *）。

经重复测量方差分析，分组因素主效应显著（ $F=5.2$ ， $P=0.03$ *），时间因素主效应不显著（ $F=2.1$ ， $P=0.14$ ，ns），分组因素与时间因素交互效应显著（ $F=4.5$ ， $P=0.02$ *）。

事后两两比较显示样品组各时间点与基线差异显著 ($P < 0.05$), 且 120 min 与 30 min 相比差异具有统计学意义 ($P = 0.04^*$), 表明该产品可以改善皮肤屏障功能, 且随时间延长锁水效果更优。

表8 经皮水分流失值 (TEWL 值) 测试				
	时间 /min	TEWL 值 /[g/(h·m²)]	与初始的差值	差值 /%
空白对照	0	4	-	-
	30	3.5	-0.5	12.5
	120	3.7	-0.3	7.5
样品	0	3.5	-	-
	30	2.8	-0.7	20
	120	2.6	-0.9	25.71

产品的感官指标和理化指标见表9。

表9 凝胶喷雾产品指标		
	指标名称	检验结果
感官指标	气味	无香
	外观	透明固体状
理化指标	pH 值	5.35 (直测法)
	耐热	通过
	耐寒	通过

样品的失水率见表10。由表10可知, 样品放置12 h 后失水率为0.4%, 24 h 后升至0.6%, 36 h 及 48 h 均维持 0.6%。24 h 后失水率增幅由0.2%降至0, 变化率由50.0% 降至0, 表明样品失水率在24 h 后趋于稳定。

表10 样品失水率		
时间 /h	样品重量 /g	失水率 /%
0	5.00	0
12	4.98	0.4
24	4.97	0.6
36	4.97	0.6
48	4.97	0.6

2.3 剂型优势分析

最优配方的“倒置不流、指压回弹”特性 (凝胶状态20 分) 直接解决了传统液态喷雾的易流淌痛点。与市售水性喷雾的对比显示: 喷涂于垂直玻璃板 (90°) 后, 水性喷雾30 s 内即流淌, 而固体凝胶喷雾5 min 内保持原位, 证明 LA-GG 凝胶网络可有效悬浮活性物, 避免倾斜场景下的衣物污染。喷雾效果测试 (18分) 验证了该体系在剪切时实现“静凝胶-动流体”转变, 兼顾凝胶驻留与喷雾便携优势。

3 结论

通过 $L_{16}(4^5)$ 正交试验, 确定固体凝胶喷雾最优配方为结冷胶0.4%、氯化钠0.8%、1,3-丁二醇6%、海藻糖1%、甘草酸二钾0.4% (辅以柠檬酸钠0.05%、对羟基苯乙酮0.3%、1,2-己二醇0.5%)。极差分析表明结冷胶用

量 ($R=30.5$) 为影响产品性能的首要因素, 氯化钠次之 ($R=12.75$), 二者通过离子触发机制协同调控凝胶强度与雾化性能的平衡。

本研究成功解决了引言所述“传统液态喷雾保湿短效、普通凝胶涂抹不便”的核心痛点: 利用 LA-GG 的剪切变稀特性, 实现“凝胶锁水+喷雾便携”的剂型, 产品 pH 5.35 温和无刺激, 雾化均匀, 高低温稳定性优异。

从机理层面, LA-GG 的凝胶化过程本质上是羧基与阳离子的离子桥联行为。低酰基结冷胶分子链上富含葡萄糖醛酸残基的羧基 ($-COO^-$), 在溶液中呈负电性并相互排斥, 使聚合物以无规线团形式分散。当引入 Na^+ 时, 一价阳离子通过静电屏蔽效应中和羧基负电荷, 降低分子链间静电斥力; 同时, Na^+ 作为“离子桥”与相邻分子链的羧基形成配位作用, 促进双螺旋结构的聚集与交联, 最终构建三维凝胶网络^[8]。0.8% NaCl 恰好提供最优离子强度: 既能形成足够强度的三维网络确保倒置不流, 又未过度交联, 在喷雾剪切应力下可逆断裂实现雾化。过高离子强度 ($\geq 1.2\%$) 会增强网络刚性, 反而需要更大剪切力才能变稀; 过低则凝胶强度不足。这一“适度交联”机理为 LA-GG 在低盐化妆品体系中的应用提供了理论依据。

人体功效评价显示, 使用2 h 后皮肤角质层含水量显著提升47.26% ($P<0.001$), TEWL 显著降低25.71% ($P=0.01$), 24 h 失水率仅0.6%且趋于稳定, 证实其良好的保湿锁水功效。相较于现有技术, 本配方兼具高驻留、零流淌、可便携的优势, 适用于地铁、办公、户外等即时护肤场景, 为保湿喷雾提供了新方案。

本研究未考察不同离子类型 (Ca^{2+}/Mg^{2+}) 及长期加速稳定性 (>4 周) 的影响, 未来可进一步优化防腐体系并开展消费者使用偏好研究。

参考文献

[1]Sanderson G. Gellan gum[J]. Food gels: Springer, 1990: 201–232.
[2]Jansson P, Lindberg B, Sandford P A, et al. Structural studies of gellan gum, an extracellularpolysaccharide elaborated by Pseudomonas elodea[J]. Carbohydrate Research, 1983, 124(1): 135–139.
[3]GIAVASIS I, HARVEY L M, MCNEIL B. Gellan gum[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2000, 20(3):177–211.
[4]袁妍,李懋鸣,李成倍,等.高酰基/低酰基结冷胶复合凝胶凝胶特性的研究 [J]. 食品工业,2013,34(03):103–106.
[5]WANG X J, FENG T T, XIA S Q. Saltiness perception related to salt

release of surimi emulsified sausages: Modulation in texture and micro-structure by polysaccharides[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56 (8) :3893 – 3902.

[6] FANG S, WANG J, XU X J, et al. Influence of low acyl and high acyl gellan gums on pasting and rheological properties of rice starch gel[J]. Food Biophysics, 2018, 13 (2) :116 – 123.

[7] SCHMID J, SPERL N, SIEBER V. A comparison of genes involved

in sphingan biosynthesis brought up to date[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(18): 7719–7733.

[8] Robinson, G., Manning, C. E., Morris, E. R., et al. Side-chain and main-chain interactions in hybrid polysaccharide double helices[J]. Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions, 1991, 87(18): 2849–2854.

Preparation and Evaluation of a Solidifying Gel Spray Based on Gellan Gum

Chen Si-yang, Yan Xue-jiao, Pu Yun-yue, Xie Dan, Zhang Yun

(Suzhou Greenleaf Daily Commodity Co., Ltd, Suzhou, Jiangsu 215000, China)

Abstract : Addressing the pain points of traditional liquid sprays (short moisturizing retention, easy dripping) and conventional gels (heavy texture, poor portability), this study selected low-acyl gellan gum (LA-GG) with "shear-thinning and instant atomization" properties to develop the solid gel spray concept. An $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment was conducted with gellan gum (A), sodium chloride (B), 1,3-butanediol (C), trehalose (D), and dipotassium glycyrrhizinate (E) as factors, and gel state, appearance, high-low temperature stability, and spray effect as evaluation indicators. Range analysis revealed the significance ranking of factors as $A > B > C > D > E$, and the optimal formulation was determined as A4B2C3D1E4: 0.4% gellan gum, 0.8% sodium chloride, 6% 1,3-butanediol, 1% trehalose, and 0.4% dipotassium glycyrrhizinate. Performance tests showed: pH 5.35 within the skin physiological range; good heat resistance (37–50°C) and cold resistance (–4–4°C) stability; stratum corneum water content increased by 47.26% ($P < 0.001$) and TEWL decreased by 25.71% ($P = 0.01$) after 120 min in subjects ($n = 15$). This formulation combines the water-locking advantage of gels with the portability of sprays, providing a formulation basis for next-generation moisturizing sprays.

Keywords : low-acyl gellan gum; solidifying gel spray; orthogonal experiment; moisturizing performance

