

无患子复方洗发水的制备及其安全性与功效评价

黄裕 曾蔚滨 梁琦棋 邓荣安 刘翠红*

(广州华商学院, 广东 广州 511300)

摘要: 为满足市场对天然洗护产品的需求, 研究开发了一款以无患子为主的植物复方洗发水。通过正交实验优化提取工艺参数(复方药材以水为溶剂, 在超声提取器中, 加入 5 倍量溶剂, 提取 3 次, 20 分钟/次, 提取温度为 60℃), 并采用去污力测试、色差分析及刺激性实验方法, 对产品清洁力、护发效果及安全性进行评估。结果表明, 该洗发水去污力与市售阴离子产品相当, 模拟油污去污率 91.27%, 发质护理效果显著优于后者, 且重金属和有机氯残留符合标准, 鸡胚绒毛尿囊膜实验及人体斑贴实验均显示无刺激性。研究表明该产品兼具清洁、护发和安全优势, 符合绿色个人护理品发展趋势。

关键词: 无患子; 植物洗发水; 复方制剂; 安全性评价; 功效评价。

中图分类号: TQ658 **文献标识码:** A **文章编号:** 2025.0054

Preparation Process and Evaluation of Safety and Efficacy of Sapindus Mukurossi Compound Shampoo

HUANG Yu, ZENG Weibin, LIANG Qiqi, DENG Rongan, LIU Cuihong*

(Guangzhou Huashang College, Guangzhou, 511300)

Abstract: Objective: This study aimed to develop a plant-based compound shampoo primarily formulated with Sapindus mukorossi (Soapberry). A systematic evaluation of its preparation process, stability, efficacy, and safety was conducted to provide a reference for the development of natural plant-derived shampoo products. Methods: The extraction process for the plant compound was optimized through orthogonal experiments, with variables including solvent volume, extraction duration, number of extraction cycles, and temperature. The efficacy of the shampoo was assessed via detergency tests (using carbon black, protein, and sebum-stained cloths), hair care performance (evaluated through color difference analysis), and scalp condition evaluation

收稿日期: 2025-05-12; 定用日期: 2025-06-03。

基金项目: 2024 年度广东省高等学校科研平台和项目(编号 2024KCXTD030); 2024 年度广州华商学院特色科研项目(编号 2024HSTS05)。

作者简介: 黄裕(1981—), 男, 本科, 副主任药师, 联系电话: 15622766676, E-mail: 53414544@qq.com。

联系人: 刘翠红(1978—), 女, 研究生, 副教授。联系电话: 13450443365 E-mail: 641659468@qq.com。

(utilizing white light, polarized light, and UV imaging). Safety assessments encompassed pesticide residue and heavy metal detection, as well as chorioallantoic membrane (CAM) tests on chicken embryos and human patch tests. Results: The optimal extraction conditions for the plant compound shampoo, with *Sapindus mukorossi* as the main ingredient, were determined to be: three extraction cycles at 60°C, each lasting 20 minutes, using a solvent volume five times that of the plant material under ultrasonic assistance. The shampoo exhibited detergency comparable to commercially available anionic shampoos, achieving a simulated oil-removal rate of 91.27%. In terms of hair care, the color difference value ($\Delta E = 3.1$ on the 7th day) was significantly lower than that of the commercial anionic shampoo ($\Delta E = 5.0$ on the 7th day). Heavy metal and pesticide residue levels complied with national standards. Irritation tests indicated that the shampoo was mild and non-irritating. Conclusion: The *Sapindus mukorossi*-based compound shampoo demonstrated notable advantages in cleansing, hair care, and safety, aligning with the demands of the green personal care market.

Keywords: *Sapindus mukorossi*; Botanical shampoo; Compound formulation; Safety evaluation; Efficacy evaluation

引言

随着消费者对天然健康个人护理产品需求的快速增长,植物基洗发产品已成为日化洗护行业的重要研发方向^[1]。无患子(*Sapindus saponaria*)果肉中三萜皂苷含量高达10%-15%^[2],其表面活性特征性可有效清除皮脂污垢,且生物降解性能优于传统阴离子表面活性剂(如月桂基硫酸钠)^[3]。研究证实,无患子皂苷临界胶束浓度(CMC)为0.2-0.5 mg/mL,去污能力与十二烷基苯磺酸钠(SDBS)相当,同时皮肤刺激性显著低(Draize评分 ≤ 1.5)^[4]。但单一无患子皂苷提取物存在泡沫稳定性差(5分钟后泡沫体积减少35%)^[5]、护发功能单一等技术瓶颈^[6]。曾有报道多种植物的复配预计能有效解决上述问题^[7]。

目前,植物复方体系开发面临多重技术瓶颈。一方面,天然表面活性剂难以同时兼顾发泡性能与清洁效能。研究表明,纯植物来源的皂苷类成分虽具备良好去污力(皮脂清除率 $> 90\%$)^[2],但其泡沫稳定性显著低于化学表面活性剂,且CMC较传统配方高出3-5倍^[8],直接影响清洁效率。另一方面,复方体系的物理稳定性问题突出。由于植物活性成分的极性差异,提取过程活性成分的损失率高达40%^[9],而乳化体系在储存过程中易出现分层(离心后分层率 $>$

15%)^[5],严重影响产品货架期。此外,原料质量控制缺失导致有机磷农药残留超标(市售产品检出率12.7%),而现有检测标准尚未建立针对植物复方复杂基质的农残筛查方法^[10],为产品安全性埋下隐患。

基于此,本研究探索以无患子、皂角、油茶皂素为表活复配成分,苦参、黄连为抑菌、祛屑功效成分,采用正交实验优化超声辅助醇提取工艺,建立包含去污效能、护发效果和安全性等多维度评价体系,为天然植物基洗发产品开发提供科学依据与技术支持。

1 实验部分

1.1 主要材料、试剂和仪器

无患子:亳州旭堂药业销售有限公司;皂角:亳州京皖中药制片厂;黄连:四川天植中药股份有限公司;苦参:山西振东道地药材开发有限公司;油茶皂素:山东优索化工有限公司;蛋白胨、牛肉膏、琼脂、卵磷脂、吐温80:广州环凯微生物科技有限公司;JB-01标准污布炭黑污布、JB-02标准污布蛋白污布、JB-03标准污布皮脂污布:中国日化研究院。

UV1900型双光束紫外可见分光光度计:上

海佑科仪器仪表有限公司；spectramax mini03144型多功能酶标仪：美谷分子仪器上海有限公司；LC-WSB-1 便携式白度仪：力辰仪器科技有限公司；LS170 色差检测仪：林上科技有限公司；头皮检测仪：广州君之恋美容仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 洗发水制备工艺

植物复方由无患子、皂角、苦参和黄连组成（无患子：皂角：苦参：黄连=6：2：1：1），该复方比例来源于本项目组前期基础研究。无患子与皂角富含皂苷，协同提供天然清洁力，温和去除头皮油脂及污垢。苦参和黄连发挥抗菌抗炎作用，抑制有害微生物并构建头皮防护屏障。本研究基于复方水溶性成分特性，采用超声水提取：药材经 90℃ 干燥粉碎后，按正交实验设计进行超声提取，提取液经过滤、离心除杂后，水浴减压浓缩至药材：浓缩液=1:0.5。通过罗氏泡沫仪检测发泡性能，紫外分光光度计分析生物碱含量，用加权评分法综合评价浓缩液质量。

表 .1 正交实验因素水平表
Table 1 Orthogonal experimental factor level table

水平	因素			
	A 溶剂用量 (倍)	B 提取时间 (min)	C 提取次数 (次)	D 提取温度 (°C)
1	5	20	1	30
2	7	40	2	60
3	10	60	3	90

评价方法包括：

发泡性：按洗发液国标^[11]6.2.6 泡沫项下操作。

总生物碱：参考张中华方法^[8]略有改进，用紫外分光光度计检测总生物碱含量，以盐酸小檗碱为标准品，在 264 nm 下测定其吸光值。

1.2.2 稳定性测试方法

根据洗发液国标^[11]对产品进行泡沫高度的测试及耐热耐寒测试，包括有效物含量。

1.2.3 功效评价方法

1.2.3.1 去污力测试

参考吴旭^[12]等人的实验以及去污力国标^[13]

方法，使用炭黑，蛋白，皮质三种污布，对洗发水在去除头发附着的油污、灰尘等方面的清洁能力进行综合评估。具体操作如下：首先配置 0.2% 的洗发水溶液和两组对照洗发水溶液，将炭黑，蛋白，皮脂污布各裁成 6cm × 6cm 的方块备用。接着测定这些污布的白度值并记录数据，随后放入 400 mL 上述配置的洗发水溶液中，用电子式搅拌机以 120r/min 的速度搅拌 20 分钟。洗涤完成后，将污布放入 300 mL 去离子水中，以 360r/min 的速度漂洗两次，每次 5 分钟，漂洗完成后，通过烘箱 60℃ 干燥，最后测定三块污布的白度值。利用公式 1 对三组洗发水样品中炭黑、皮脂及蛋白污布的去污力进行计算。

去污力 = 洗后白度值 - 洗前白度值 (式 1)

1.2.3.2 去污率测试

参考王瑜^[14]的方法并略有改进，实验步骤如下。

模拟油污配制：取 50g 乳木果油加 1g 的硅石粉搅匀而成。

去污率效果测试：用油污涂抹在进行过预处理的发束，室温放置 24 小时，待油污完全附着在发束上。然后置于已知重量干燥消毒过的 500ml 烧杯中称重。再往烧杯中加入 100ml 硬度为 250mg/kg 的水，同时按油污质量与洗发水质量比为 1：10 的比例加入洗发水，在超声仪中恒温清洗 30 分钟后取出，再用清水清洗干净，用吹风机冷风挡将头发吹干，静置 10 分钟再进行称重。去污率按式 2 计算：

$$x = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w} \times 100\% \text{ (式 2)}$$

式中：

x 表示去污率 (%)；

w 表示头发束的质量 (g)；

w1 为头发束涂上油污后的质量 (g)；

w2 为头发束清洗吹干后的质量 (g)。

1.2.3.3 头皮综合检测

实验步骤：选取 10 名健康志愿者，在实验前 24 小时头皮禁洗，让头发上积累一定的油污。检测环境温度 25℃ ± 2℃。对头皮进行测量，尽量选取同一头皮部位以减少实验误差，方便观察洗发水洗涤前后对比，记录在白光，偏光，UV

光下未洗发前的头皮与头发状态。

1.2.3.4 发质护理效果测试

参照梁菁^[15]等人方法并略有改进，具体如下。

发束准备：选择多束重度受损发束（即漂白过的离体真人头发）。

染色处理：按照染色剂上说明书的要求，对头发进行染色，并在染色完成后一小时，冲洗一分钟，悬挂晾干48小时，确保染料完全染色。

色差测定：对染发后的头发记录其发端，发尾，发中位置的L，a，b值。接着对染过的发束进行洗涤，模拟人清洗头发操作，每天1次，清洗结束后风筒吹干，在第3天及第7天分别记录清洗后的L*，a*，b*值。按式3计算色差值ΔE：

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}$$

式中：

ΔE 为色差值；

L，a，b 为染发后发端、发中、发尾每个位置测量3次后的总平均值；

L*，a*，b* 为模拟人清洗程序操作后在发端、发中、发尾每个位置测量3次后的总平均值。

1.2.4 安全性评价方法

1.2.4.1 农残与重金属检测

农残检测参照中国药典^[16]第四部农药残留量测定法第一法操作。

重金属检测参照化妆品安全技术规范^[17]进行。

1.2.4.2 鸡胚绒毛尿囊膜刺激性实验

参照化妆品眼刺激性/腐蚀性的鸡胚绒毛尿囊膜试验^[18]进行。

1.2.4.3 人体皮肤斑贴实验

参照化妆品安全技术规范^[17]进行检测。

2 结果与讨论

2.1 制备工艺优化结果

采用 IBM SPSS Statistics V21.0 软件对实验数据进行分析。正交实验结果中的总生物碱含量和泡沫高度采用各 50% 的加权评分法进行综合分析，结果如表 2 所示。

表 2 正交实验及结果
Table 2 Orthogonal experiment and results

编号	A 溶 剂用 量 (倍)	B 提 取 时 间 (m in)	C 提 取 次 数 (次)	D 提 取温 度 (°C)	总生 物碱 含量 (mg/ mL)	泡沫 高度 (mm)	加权 评分 (%)
1	1	1	1	1	2.83 7	119.8	99.4
2	1	2	2	2	2.52 6	120.5	94.2
3	1	3	3	3	2.83 2	121.2	99.9
4	2	1	2	3	2.36 7	114.9	89.1
5	2	2	3	1	2.29 5	120.5	90.2
6	2	3	1	2	2.45 8	119.1	92.5
7	3	1	3	2	2.64 8	119.1	95.8
8	3	2	1	3	2.14 5	117.7	86.4
9	3	3	2	1	2.08 3	115.6	84.4
k1	97.8	94.8	92.8	91.3			
k2	90.6	90.3	89.2	94.2			
k3	88.9	92.3	94.6	91.1			
极 差	8.9	4.5	5.4	2.8			

极差分析结果表明，影响因素大小为A>C>B>D，最优工艺为A1B1C3D2。即复方药材以水为溶剂，在超声提取器中，加入5倍量溶剂，提取3次，20分钟/次，提取温度为60℃。

最佳工艺验证：按上述最佳提取工艺条件进行3次平行验证，测得总生物碱含量为2.92 mg/mL 泡沫高度123.4 mm，RSD值为2.1%，表明正交结果优化的提取工艺良好，具有一定的可行性。所得提取液经过滤、离心除杂后，水浴减压浓缩至药材：浓缩液=1:0.5。按照浓缩液：油茶皂素=9:1的比例配置，得到最终的实验所用无

患于洗发水。

表 .3 方差分析结果
Table 3 Analysis of Variance (ANOVA) Results

方差来源	离差平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	临界值 ($\alpha=0.05$)	显著性
A	122.74	2	61.37	9.52	4.46	显著
B	28.91	2	14.45	2.24	4.46	不显著
C	48.25	2	24.13	3.74	4.46	不显著
D	12.67	2	6.33	0.98	4.46	不显著
误差	72.94	8	6.45			

根据表 3 的方差分析结果，因素 A 的 F 值 (9.52) 超过临界值 (4.46)，说明因素 A 对实验有显著影响 ($P < 0.05$)，因素 B、C、D 无显著性影响。

2.2 配方稳定性分析

制备的洗发水外观为非透明液体，有一定粘度，深棕色，木质香气，pH 5.31，耐热耐寒实验时未观察到明显外观变化，其有效物含量见表 4，符合标准要求。

表 .4 无患子洗发水有效物含量测试结果
Table 4 Test Results of Active Ingredient Content in Soapberry Shampoo

总物质含量	无机盐含量	氯化物含量	有效物含量
45.00%	5.60%	1.50%	37.90%

作为对比组没有添加抑菌成分（苦参和黄连）的洗发水，其外观亦为非透明型液体，颜色较之前制得的洗发水较浅，二者气味较接近。对比组放置 1 周时，有颗粒物析出悬浮于其中，但摇晃过后，颗粒物又融入其中。放至 1 个月时，对比组香气消失，开始产生变质气味，开始出现明显的分层现象。综上所述，添加了抑菌成分的洗发水，相较于未添加的，保存时间更久，久置后显示出较好的稳定性。

2.3 洗发水功效评价

2.3.1 去污力与去污率效果

炭黑、皮脂及蛋白三种污布可模拟头皮上的污垢。炭黑污布模拟油烟及灰尘在头发和头皮上的附着，皮脂和蛋白污布则代表通过汗水在头皮上的蛋白残留及头发自然分泌的油脂。通过三种污布的清洗程度反映洗发水对头发及头皮的清洁效果。实验结果如表 5 所示；对照 1 为市售某品牌氨基酸洗发水，对照 2 为市售某品牌阴离子洗发水，结果显示无患子洗发水对于炭黑和蛋白的去污力与市售某品牌阴离子洗发水相当，而对皮脂污垢的去污力则优于氨基酸型洗发水，劣于市售阴离子洗发水，表明其具备良好的清洁能力。

表 .5 去污力实验结果
Table 5 Detergency Rate Experiment Results

污垢种类	去污力值		
	无患子洗发水	对照 1	对照 2
炭黑	16.9	14.6	18.4
蛋白	3.1	1.4	4
皮脂	7	5.1	16.3

对发束用无患子洗发水进行洗涤前后的质量对比，结果如表 6 所示，可以发现其对于污垢的平均去除率 91.27%。在实验中，三组发束质量相近，对于不同的重量的污垢仍保持着较好的清除率，说明此款洗发水对于污垢有着较好的清洁能力。

表 .6 去污率效果
Table 6 Soil Cleaning Efficacy

实验组	污垢去除率	
	单次去除率	平均值去除率
1	92.06%	91.27%
2	87.50%	
3	95.24%	

2.3.2 头皮环境改善效果

实验结果如图 1 所示。在白光照射下，可以清晰观察到头皮的纹理以及油脂在头发和头皮上的分布情况，见图 A1；经过洗涤后，再次以白光照射时，头发表面的光泽减弱，头皮的纹理变得更加清晰，这表明头皮和头发上的油脂减少，见图 A2。使用偏振光时，头皮上可以看到微弱的毛细血管突出现象，这是由于头皮劳损引起

的, 见图 B1; 在洗涤后再用偏光照射时, 发现原本的毛细血管突出现象较之前有所减弱, 见图 B2, 但仍然存在。主要原因是此次实验仅为初次洗涤, 对头皮的劳损情况影响不显著。通过 UV 光照射, 可以激发头皮上毛囊堵塞物等物质的荧光反应, 发出砖红色荧光, 见图 C1; 洗涤后头皮上的砖红色荧光点明显减少, 见图 C2, 表明洗发水具备一定的深层清洁能力, 对毛囊堵塞有一定的缓解作用。

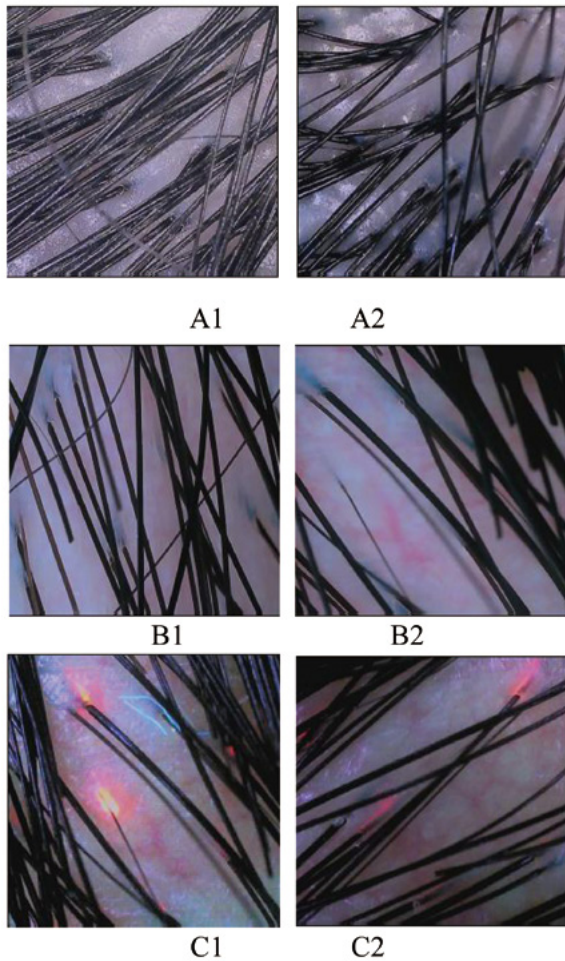


图 1 使用洗发水前后对比图
在白光下洗涤前 (A1)、洗涤后 (A2)
在偏振光下洗涤前 (B1)、洗涤后 (B2)
在 UV 光下洗涤前 (C1)、洗涤后 (C2)
Figure 1 Comparison before and after using shampoo
Before washing under white light (A1), after washing (A2)
Before washing under polarized light (B1) and after washing (B2)
Before washing under UV light (C1), after washing (C2)

2.3.3 发质护理效果

根据表 7 可以发现随着洗发次数的增加, 头发色差变化差距较大。第 3 天及第 7 天无患子洗发水 ΔE 低于清水及市售某品牌阴离子洗发水, 且色差变化平缓, 肉眼难以察觉颜色流失, 护色效果最优。市售阴离子洗发水色差值最高, 保护效果较差。

表 .7 洗涤后头发色差值变化趋势
Table 7 Trend of Hair Color Difference Change After Washing

实验组	ΔE	
	第 3 天	第 7 天
无患子洗发水	2.8	3.1
市售阴离子洗发水	4.7	5.0
清水	3.8	4.0

2.4 安全性评价结果

2.4.1 农残与重金属残留量

表 .8 无患子洗发水重金属检测结果
Table 8 Heavy Metal Testing Results of Soapberry Shampoo

项目	检测结果	标准要求
铅 (Pb)	<1.5ug/g	$\leq 10\text{mg/kg}$
砷 (As)	<0.17mg/kg	$\leq 2\text{mg/kg}$
汞 (Hg)	0.5mg/kg	$\leq 1\text{mg/kg}$
镉 (Cd)	<0.18mg/kg	$\leq 5\text{mg/kg}$

检测结果如表 8 所示, 无患子洗发水中的铅、砷、汞和镉等重金属的含量均未超出标准要求。其中铅 (Pb) 含量为 < 1.5ug/g、砷 (As) 含量为 < 0.17mg/kg、镉 (Cd) 含量为 < 0.18mg/kg 表示按标准方法未检出, 而汞 (Hg) 则检测到 0.5mg/kg。结果表明该洗发水存在重金属汞, 但含量符合标准要求。

表 .9 无患子洗发水农药残留检测结果
Table 9 Pesticide Residue Testing Results of Soapberry Shampoo

项目	检测结果
α-六六六	未检出
β-六六六	未检出
γ-六六六	未检出
δ-六六六	未检出
p.p'-滴滴伊	未检出
o.p'-滴滴滴	未检出
p.p'-滴滴滴	未检出
p.p'-滴滴涕	未检出

表9结果显示,无患子洗发水农药残留中 α-六六六、β-六六六、γ-六六六、δ-六六六、p.p'-滴滴伊、o.p'-滴滴滴、p.p'-滴滴滴及 p.p'-滴滴涕均未检出,表明该产品不含有机氯农药。

2.4.2 刺激性实验结果

表 .10 鸡胚尿囊膜实验结果
Table 10 Hen's Egg Chorioallantoic Membrane (HET-CAM) Experiment Results

试验组	IS 值	刺激分类	试验鸡胚数量
			N
无患子洗发水	0.25	无刺激性	N=6
阴性对照(纯水)	0	无刺激性	N=1
阳性对照 (1%NaOH)	10.5	强刺激性	N=1

表 .11 人体皮肤斑贴实验结果
Table11 Human Skin Patch Test Results

测试物质	30分钟 24小时 48小时			试验人群数
				量 N
无患子洗发水	无反应	无反应	无反应	N=30
阴性对照(生理盐水)	无反应	无反应	无反应	N=1

表 10、11 刺激性实验的结果显示,在鸡胚尿囊膜实验中,无患子洗发水的刺激性指数 (IS) 为 0.25,表示无刺激性。阴性对照组(纯水)刺激性指数为 0,无刺激性,而阳性对照(1% NaOH)显示强刺激性。人体皮肤斑贴实验结果

显示,无患子洗发水在 30 分钟、24 小时和 48 小时内均未表现出任何反应,试验人群为 30 人,阴性对照(生理盐水)也未见反应。说明该无患子洗发水较为温和。

3 结论

本研究开发了一款基于无患子皂苷的新型植物复方洗发水,并通过正交实验优化了复方药材的提取工艺(在 60℃ 条件下,使用 5 倍溶剂进行超声提取,提取 3 次,每次 20 分钟。)。经炭黑、皮脂及蛋白三种污布法验证显示,其去污性能优于市售某氨基酸洗发水,与阴离子洗发水相当,对模拟油脂在头发的去污率 91.27%。此外,头皮微环境分析表明,该洗发水具备一定的深层清洁能力,对毛囊堵塞有一定的缓解作用。能够对染色处理后的头发有一定的护色效果,色差值变化 ΔE 低于清水及市售阴离子洗发水,且色差变化平缓,与植物源表面活性剂在清洁效能与生态相容性方面的优势高度契合^[19],进一步验证了天然成分替代化学合成表面活性剂的可行性

然而,在消费者体验测试中,有部分试用者反馈该洗发水存在发泡性较差、产品质地较稀薄、洗后头发较干涩等问题。这些问题正是当前纯天然洗发水在发泡性和质地方面与化学合成洗发水的主要差别,为解决这些技术问题,建议从以下三个方面进行研究:

流变特性改良:如引入黄原胶-阿拉伯胶复合多糖交联体系,调控触变指数至 1.2-1.5 区间^[20];

泡沫体系重构:如添加酶解大豆肽(分子量 800-1200 Da)作为两亲性发泡助剂,通过降低表面张力至 28.5 mN/m 提升发泡性^[21];

温和性平衡:如复配烷基糖苷与甜菜碱衍生物,将 Draize 评分控制在 0.8 以下^[22]。

本研究证实了以无患子为主的植物皂苷复配体系在洁净力与生态友好性方面的独特优势,但质地与使用感仍需持续优化。后续研究将聚焦于建立植物活性物分子修饰技术方面,力求在环保理念与消费体验之间实现突破性平衡,为天然个护产品创新提供新的参考。

参考文献:

- [1] 中国日用化学工业研究院. 中国植物基个人护理品市场发展报告[R]. 北京: 中国轻工业出版社, 2023: 45-48.
- [2] SHARMA A, KUMAR V. Phytochemical analysis and saponin quantification in *Sapindus mukorossi* pericarps[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 154: 112689.
- [3] CHEN X, LI H. Comparative biodegradability assessment of plant-derived surfactants versus synthetic anionic surfactants[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(12): 8023-8032.
- [4] WANG L, ZHANG Y. Interfacial activity and safety evaluation of saponin-based natural surfactants: Critical micelle concentration and Draize test analysis[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2019, 178: 412-418.
- [5] GUPTA S, PATEL R. Foam stability and rheological properties of *Sapindus saponaria* extracts in cosmetic formulations[J]. *Journal of Cosmetic Science*, 2022, 73(3): 201-210.
- [6] LIU Y, ZHOU M. Functional limitations of single-plant formulations in hair care products: A case study of *Sapindus*-based shampoos[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 274: 114035.
- [7] 陈晓彦, 陈金波. 一种能有效促进头发生长的植物洗发水配方及其制备方法:CN202010328430.1[P]. 广州市白云区莱媚美容美发日用化妆品厂, 2020.
- [8] CHEN X, LI H. Interfacial activity and micellization behavior of natural surfactants: Critical analysis of saponin-based systems[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2021, 618: 126443.
- [9] ZHANG R, LIU T. Process optimization for saponin extraction from herbal mixtures: Impact of static maceration parameters on yield loss[J]. *Separation and Purification Technology*, 2020, 248: 117082.
- [10] LIU Y, ZHOU M. Challenges in pesticide residue analysis for complex botanical matrices: A review of current methodologies[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2021, 413(15): 3987-3998.
- [11] GB/T 29679-2013, 洗发液、洗发膏[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [12] 吴旭, 黄娟, 黄满莲, 等. 天然非离子表面活性剂茶皂素性能的研究[J]. *中国洗涤用品工业*, 2017,(02):38-42.
- [13] GB/T 13174-2021 衣料用洗涤剂去污力及循环洗涤性能的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [14] 王瑜, 刘恩周, 樊君, 等. 含有天然皂角提取物的绿色洗发液配方研究[J]. *应用化工*, 2020,49(10):2409-2411+2431.
- [15] 梁菁, 张伟雄, 马铃, 等. 植物皂苷对染色头发外观的影响[J]. *中国洗涤用品工业*, 2024,(09):73-79.
- [16] 国家药典委员会. 中国药典[2020年版](四部). 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 239-241.
- [17] 国家食品药品监督管理总局. 化妆品安全技术规范(2015年版)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [18] SN/T 2329-2009. 化妆品眼刺激性/腐蚀性的鸡胚绒毛尿囊膜试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] KUMAR V, BHALLA T C. Biosurfactant production from *Sapindus mukorossi* seed oil using *Bacillus subtilis* MTCC 2423[J]. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2010, 13(3): 283-287.
- [20] XUG, ZHAOT. Modification of plant polysaccharides for viscosity enhancement in cosmetic formulations[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 255: 117387.
- [21] LIU R, YANG F. Enzymatic hydrolysis of soybean protein isolate for foam-stabilizing peptides production[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 63: 309-317.
- [22] PATEL S, JOSHI A. Natural-derived surfactants for balancing mildness and foaming capacity in shampoos[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2022, 214: 112464.