

一种天然绿色洗衣液的配方设计和性能评价

纵萧琳, 屠吉利, 刘英*, 张蕾
(纳爱斯浙江科技有限公司, 浙江杭州, 3100511)
DOI:10.61369/CDCST.2025040008

摘 要: 依据团体标准 T/CHCIA 038《洗涤用品天然来源指数的评估导则》, 开发了一种天然来源含量高达 99.6% 的洗衣液配方。介绍了配方的开发思路和天然来源指数计算细则, 配方运用高比例的绿色来源原料, 将非天然来源成分比例压缩在 1% 之内, 主要活性物由烷基糖苷、椰子油脂脂肪酸盐、脂肪醇聚氧乙烯醚 (天然 EO)、月桂酰基谷氨酸钠构成, 辅以柠檬酸钠、酶制剂等绿色助剂, 并通过优化表活比例得到性能较优的配方。结果表明, 优选的洗衣液配方去污力良好, 有着低泡易漂的特性。

关 键 词: 天然来源指数; 绿色洗衣液; 天然来源表活; 去污力

第一作者简介: 纵萧琳, 硕士, 工程师, 研究方向为日用洗涤剂配方技术开发与设计。

E-mail: zongxl@cnnice.com。

通信作者简介: 刘英, 硕士, 高级工程师, 研究方向为日化用品配方技术和表面活性剂的开发与设计。

E-mail: liuying@cnnice.com。



纵萧琳

随着全球生态环境压力加剧和可持续发展理念的深入, 洗涤用品的绿色化转型已成为行业发展的必然方向。在环保法规日益严格、消费者的健康安全观念不断提升的环境下, 市场对绿色洗涤产品的需求日益旺盛, 特别是那些成分天然、低刺激、安全温和, 同时具备良好清洁效果的洗衣液, 愈发受到消费者的关注与青睐^[1]。同时, 上游原料商端的生物技术进步推动了绿色原料的发展, 也为企业加快研发绿色、天然的洗衣液配方提供了良好的条件。

为顺应绿色消费趋势并推动品牌向高端化升级, 众多洗涤品牌纷纷推出主打天然与环保理念的洗衣液产品, 通过添加天然皂基、生物酵素或植物提取物等成分, 强化其“天然”定位。然而, 此类宣传多停留在概念化表述, 缺乏成分来源透明度与绿色含量的量化标准, 导致消费者难以准确评估产品真实的环保属性与绿色化程度, 也让消费对于洗衣液产品的天然概念认知有误、信心不足^[2]。

近期, 中国日用化工协会发布了团体标准 T/CHCIA 038《洗涤用品天然来源指数的评估导则》(以下简称团标), 它参考了 ISO16128 - 1/2《天然和有机化妆品成分和产品的技术定义和标准》制定, 对洗涤用品原料和配方的天然来源指数定义和计算方法进行了明确规定, 包含手洗餐具用洗涤剂、洗衣粉、衣料用液体洗涤剂、织物柔顺剂等十几个类别的洗涤用品中原料及配方的天然来源指数计算方法^[3], 为洗涤剂的天然程度提供理论依据, 帮助消费者正确有效地筛选天然洗涤剂。

本文使用天然来源的表面活性剂为主要原料, 以该团体标准为计算依据, 开发了一种天然来源指数高于 99% 的

洗衣液配方, 阐述了配方设计的思路, 天然来源指数计算的细则, 经过不同表活比例测试, 优选出配方的稳定性、去污力、泡沫较优的配方方案, 为绿色洗衣液配方的开发提供参考。

1. 实验部分

1.1 仪器、试剂和材料

仪器: CM-700d 型分光测色计 [柯盛行 (杭州) 仪器有限公司]、RHLQ II 型立式去污机 (中国日用化学工业研究院)、ME 4002E 电子天平 [梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司]、T25 高速剪切机 (IKA 公司)、SYG-512Y 型罗氏泡沫测定仪 (上海隆拓仪器设备有限公司)。

试剂和材料: 脂肪醇聚氧乙烯醚 [AEO-9, 99%, 科莱恩化工科技 (上海) 有限公司]、月桂酰基谷氨酸钠 (20%, 上海中狮科技发展有限公司)、椰子油脂脂肪酸 (99%, 丰益油脂科技有限公司)、烷基糖苷 (APG, 45%, 上海发凯化工有限公司); 氢氧化钠 (32%, 工业级); 去离子水 (自制); 碳黑污布 (JB-01)、蛋白污布 (JB-02)、皮脂污布 (JB-03) (国家标准污布, 中国日用化学工业研究院)。

1.2 原料筛选

1.2.1 表活筛选

配方中较为常用的表活, 如烷基苯磺酸钠 (LAS), 由于成分为石化来源导致天然来源指数为 0; 脂肪醇聚氧乙烯醚 (AEO-9), 若分子中的 EO 来源为非天然来源,

就会因计算结果 < 0.5 导致天然来源指数以 0 计，若分子中的 EO 为天然来源，则天然来源指数为 1；脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠（AES），天然指数为 0.553。由于表面活性剂是配方中的主要成分，如果选用天然来源指数低于 1 的表活，即使用量很少，也会明显降低整个配方的天然来源比例。为了确保最终配方能达到 99% 以上的天然来源，还要为防腐剂等其他化学合成成分留出比例空间，因此我们只选用天然来源指数为 1 的表活原料，这样才能更稳妥地满足高天然含量的要求。团标中常见天然来源指数为 1 的原料示例见表 1^[3]。表中生物表活如鼠李糖脂、槐糖脂在洗涤剂中的应用研究已有一定时间，尽管前景可观，但其在洗涤剂中的产业化进程仍面临诸多瓶颈，尚未达到大规模推广阶段，因此本文中不使用此类表面活性剂。烷基糖苷（APG）、脂肪醇聚氧乙烯醚（天然 AEO）、月桂酰丙氨酸钠和脂肪酸盐都是洗涤剂产品中较为常用的表面活性剂，因此使用这几种表活进行配方设计。

表 1 常见天然来源指数为 1 的原料示例

名称	备注
产品用水（配方水）	
烷基糖苷（APG）	
脂肪醇聚氧乙烯醚（天然 AEO）	天然 EO
月桂酰丙氨酸钠、月桂酰谷氨酸钠	
脂肪酸 / 钠 / 钾	
油脂（大豆油、蓖麻油、椰子油、棕榈油等）	
常见矿物来源无机盐（氯化钠、硫酸钠、碳酸钙、碳酸钠、碳酸氢钠、硅酸钠、偏硅酸钠、二氧化硅、二氧化钛、银、氯化银、氧化银、膨润土、4A 沸石等）	包括其钾盐、氨盐等形式
柠檬酸 / 钠	
生物表活（鼠李糖脂、槐糖脂、卵磷脂等）	
植物提取物（皂角、无患子、茶皂素、精油、色素、香精、柠檬烯等）	不能含有非天然溶剂
1,3- 丙二醇	
氢氧化钠 / 钾	仅限中和反应、调节 pH 用途
乙醇	仅限发酵来源
乳酸 / 钠	
酶	
甘油	仅限天然油脂、生物发酵来源
微晶纤维素	
注：均以常见来源计算，具体以实际原料和生产工艺为准	

1.2.2 螯合剂筛选

除了表面活性剂外，为了帮助提升配方的稳定性和去污效率，还需要添加防腐剂、螯合剂和其他提升配方性能的助剂^[4]。相较于传统螯合剂 EDTA，氨基聚羧酸盐如 EDDS(乙二胺 -N，N' - 二琥珀酸或其盐)、GLDA(谷氨酸二乙酸)、IDS(亚氨基二琥珀酸)和 MGDA(甲基甘氨酸二乙酸)，具有更优异的生物降解率，在绿色环保属性上更迈进了一步^[5]，但为了使配方达到的更高的天然来源指数，选用柠檬酸钠作为配方螯合剂，其天然来源指数为 1。

1.2.3 防腐剂筛选

由于法规的限制和市场的驱动，传统的高效防腐剂，如甲醛释放体、尼泊金酯类防腐剂正在面临挑战，苯氧乙醇等较温和的产品使用频率上升^[6]。苯氧乙醇并不是皮肤致敏物质，中国《化妆品卫生技术规范》中规定苯氧乙醇可以用于驻留型和洗去型的化妆品中^[7]，但由于所需加量一般为 0.5%~1%，会使得配方的天然来源指数数值下降较多；防腐剂在日化产品中多为化学合成，在化妆品领域已有植物精油、中草药提取物来源的天然防腐剂应用^[8]，但对于洗衣液配方来说成本过高，因此应用程度较低。综合考虑本文采用常规防腐剂卡松。

1.2.4 去污助剂筛选

考虑到天然来源指数的数值，一些具有抗再沉积、增强去污力的聚合物类成分以及荧光增白剂配方中均不在配方中添加。由于表面活性剂的选择种类比较有限，配方的去污性能有较大的提升空间，而酶制剂来源天然，可以有效分解特定污渍，提高配方去污力，且作用温和、安全、专一、高效，因此作为配方中重要的助剂添加^[9]。洗衣液中常用的酶制剂种类有蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶，其中蛋白酶和淀粉酶对于血渍、奶渍、米糊等污渍有高效的洗除作用，而纤维素酶通过对纤维的作用，有抗灰增白、去除毛球的效果，可以补充配方的衣物护理功效^[10]。

1.3 性能测试

1.3.1 稳定性测试

采用 QB/T 1224 - 2012《衣料用液体洗涤剂》中稳定性方法进行样品的耐寒、耐热测试。

1.3.2 去污力测试

依据 GB/T 13174 - 2021《衣料用洗涤剂去污力及循环洗涤性能的测定》方法，采用碳黑（JB-01）、蛋白（JB-02）、皮脂（JB-03）三种国标污布，使用立式去污机，

洗涤浓度 2 g/L，水硬度 250 mg/ kg，洗涤温度 30 ℃，转速 120 r/min，洗涤时间 20 min，洗涤后漂洗 2 次，自然晾干。使用分光测色计测量布片洗前、洗后的反射值 Z ，经过计算得到样品与国家标准洗衣液的去污比值 P 值， P 值越高，去污力越好。

1.3.3 泡沫性能测试

参考 GB/T 13173 - 2021《表面活性剂洗涤剂试验方法》，水硬度 150 mg/kg，40 ℃，溶液浓度 2.5 g/L，读取初始和 5 min 时的泡沫高度。每组试验重复 3 次取平均值。

2. 结果与讨论

2.1 配方设计与天然来源含量计算

2.1.1 配方表活设计

将筛选出的 4 种表面活性剂不同比例设计配方，保持配方总表面活性剂含量 20% 左右，实验配方设计表如表 2 所示，表格中各表活比例均为原料折纯后计算。配方添加的螯合剂、防腐剂和酶制剂不体现在配方设计表中，配方使用氢氧化钠中和并调节 pH 值至 8 左右进行测试。

表 2 配方表活比例设计表

配方编号	AEO-9/%	APG/%	月桂酰基谷氨酸钠 /%	椰子油脂脂肪酸钠 /%
F1	14	4	1	1
F2	12	6	1	1
F3	12	4	2	2
F4	10	6	2	2
F5	10	4	4	2
F6	8	8	2	2
F7	8	6	4	2
F8	6	6	6	2
F9	6	8	2	2
F10	4	8	4	4

2.1.2 天然来源指数计算细则

配方中使用的脂肪醇聚氧乙烯醚（AEO-9）中的 EO 部分为天然来源，因此整体的天然来源指数为 1；烷基糖苷（APG）、月桂酰基谷氨酸钠根据标准天然来源指数也均为 1；椰子油脂脂肪酸钠根据团标中 4.3.2 说明，阴离子表面活性剂因中和反应引入的反离子（如钠离子）按天然成分计算，因此总体按照 1 来计算；柠檬酸钠和酶制剂根据表 1 为天然来源，天然来源指数计为 1；对于防腐剂、香精，根据团标中计算细则的说明，由于配方含量较低，其天然来源数据较难获取，因此按 0 来计算。

2.1.3 天然来源指数计算举例

以配方 F1 为例，进行天然来源指数的计算。采用加权求和法，对各成分及对应的天然来源指数的乘积，进行求和，计算公式如下^[3]：

$$C = \sum_{\alpha=1}^n W_{\alpha} \times I_{\alpha}$$

式中：

C —— 配方的天然来源指数；

W_{α} —— 配方中第 α 个组分的配方含量（质量百分比）；

I_{α} —— 配方中第 α 个组分的天然来源指数。

由于 F1~10 表活的天然来源指数均为 1，使用的螯合剂、防腐剂、酶制剂、香精加量相同，因此其计算出的最终配方天然来源指数是相同的。经计算配方的天然来源指数为 99.6%，见表 3。

表 3 配方天然来源指数计算示例

序号	标准中文名称	组分的配方含量 W /%	天然来源指数 I	组分的天然来源指数 $W \times I$ /%
1	水	77.2	1	77.2
2	柠檬酸钠	2.0	1	2.0
3	椰子油脂脂肪酸钠	1.0	1	1.0
4	AEO-9	14.0	1	14.0
5	月桂酰基谷氨酸钠	1.0	1	1.0
6	APG	4.0	1	4.0
7	防腐剂	0.1	0	0
8	纤维素酶	0.1	1	0.1
9	蛋白酶	0.2	1	0.2
10	淀粉酶	0.1	1	0.1
11	香精	0.3	0	0
总计				99.6

2.2 稳定性测试

配方 F1~10 打样均澄清透明，无沉淀和悬浮物。对照 QB/T 1224 - 2012，对配方的耐寒和耐热稳定性进行测试，判定标准见表 4，稳定性测试结果如表 5 所示，所有配方耐热耐寒稳定性均达标。

表 4 稳定性判定标准

稳定性	耐热	在（40±2）℃下保持 24h，恢复至室温后与实验前无明显变化。
	耐寒	在（-5±2）℃下保持 24h，恢复至室温后与实验前无明显变化。

表 5 稳定性测试结果

稳定性	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
耐热	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
耐寒	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2.3 去污力性能测试

对配方 F1~10 进行标准去污力测试，结果如表 6 所

示。可以看到，测试配方的去污力均优于国家标准洗衣液去污力。AEO-9在配方中的含量与JB-03皮脂的去污力有正相关，当F1~10 AEO-9含量逐渐降低，JB-03的去污力也呈现下降趋势。

表6 配方去污力测试结果

配方 编号	AEO- 9/%	APG/%	月桂酰基谷 氨酸钠 /%	椰子油脂 肪酸钠 /%	JB-01	JB-02	JB-03
F1	14	4	1	1	1.37	1.83	1.69
F2	12	6	1	1	1.49	1.94	1.63
F3	12	4	2	2	1.45	1.88	1.59
F4	10	6	2	2	1.25	1.97	1.60
F5	10	4	4	2	1.29	1.92	1.55
F6	8	8	2	2	1.42	1.95	1.49
F7	8	6	4	2	1.44	1.93	1.52
F8	6	6	6	2	1.28	2.28	1.34
F9	6	8	2	2	1.45	1.89	1.33
F10	4	8	4	4	1.39	2.15	1.29

2.4 泡沫性能测试

对配方 F1~10 进行罗氏泡沫性能测试，并加入国家标准洗衣液一同测试进行对比，结果如图1，所有配方的即时泡沫高度和5min后泡沫高度都低于标准洗衣液。APG具有增泡、稳泡的性质^[11]，椰子油脂肪酸钠具有消泡的性质。从数据结果来分析，AEO-9和APG占比较多的配方，泡沫较高，月桂酰基谷氨酸钠和椰子油脂肪酸占比较多的配方，起泡高度较低，消泡速度更快^[12]。

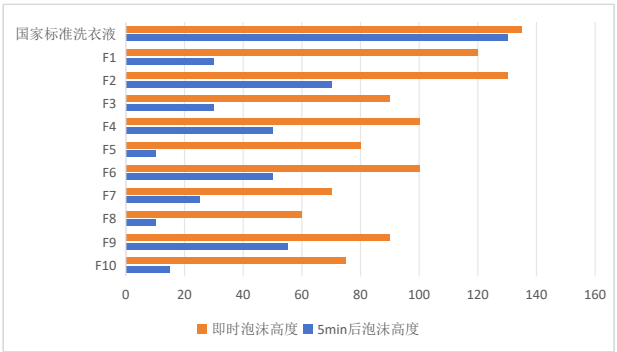


图1 罗氏泡沫高度结果对比

2.5 优选配方

综合配方的性能测试结果对测试配方进行筛选，优选去污力高、泡沫低的配方，去污力高可以节省洗涤剂的用量，低泡易漂可以省水省电，与本文天然绿色洗涤剂的开

发宗旨是相符合的。综合以上因素考虑，认为F8为较优配方。

3. 总结

依据 T/CHCIA 038《洗涤用品天然来源指数的评估导则》，开发了一款天然来源指数高达99.6%的洗衣液配方。测试结果显示，配方稳定性良好，去污力优于国标产品，泡沫低、易漂洗。综合性能表现，F8配方（AEO-9 6%、APG 6%、月桂酰基谷氨酸钠 6%、椰子油脂肪酸钠 2%、椰子油脂肪酸钠 2%）为最优方案。

本研究验证了天然来源指数标准的可操作性，为绿色洗衣液的量化设计提供了可行路径。

参考文献

[1]梁润成,肖爽.绿色设计在家用洗涤剂产品中的应用[J].中国洗涤用品工业,2024(8):85-90.

[2]卢宇毅,胡熠南,梁水娇,等.浅谈洗涤剂的天然绿色评价[J].中国洗涤用品工业,2025(2):32-38.

[3]T/CHCIA 038-2024,洗涤用品天然来源指数的评估导则[S].北京:中国日用化工协会,2024:1-6.

[4]金一剑,王同禹.螯合剂在日化洗涤产品中的应用研究进展[J].中国洗涤用品工业,2025(8):47-54.

[5]张天翼.洗涤用品绿色发展展望[J].中国洗涤用品工业,2020(5):17-24.

[6]张星.日化用品中防腐剂的应用及发展趋势[J].中国洗涤用品工业,2019(4):44-49.

[7]国家药品监督管理局.化妆品安全技术规范:2015年版[S].北京:国家药品监督管理局,2015:113-119.

[8]魏星,赵乐荣,胡素文.天然植物来源防腐剂在化妆品中应用前景[J].口腔护理用品工业,2020,30(4):31-32.

[9]李伏益,史立文,钟凯,等.酶在液体洗涤剂中的应用研究[J].中国洗涤用品工业,2023(11):67-80.

[10]于跃,杨媛,张剑.纤维素酶及其与蛋白酶和脂肪酶的复配在洗涤剂中的应用研究[J].中国洗涤用品工业,2017(2):43-50.

[11]王雪峰,张建娟.烷基糖苷系列表面活性剂泡沫性能研究[J].现代纺织技术,2017,25(1):51-55.

[12]李梦雪.脂肪酸在洗涤剂中的应用及发展[J].中国洗涤用品工业,2018(8):71-74.

Formula Design and Performance Evaluation of a Natural Green Laundry Detergent

Zong Xiao-lin, Tu Ji-li, Liu Ying*, Zhang Lei
(NICE Zhejiang Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310023)

Abstract : Based on the group standard T/CHCIA 038 "Guidelines for Assessment of Natural Origin Index of Detergents", a laundry detergent formulation with a natural origin content as high as 99.6% was developed. The formulation design strategy and the calculation details of the natural origin index are introduced. By employing a high proportion of bio-based raw materials, the non-natural components in the formula are reduced to less than 1%. The main surfactants consist of alkyl polyglucoside, coconut fatty acid salt, fatty alcohol polyoxyethylene ether (natural EO), and sodium lauroyl glutamate, supplemented with green auxiliary agents such as sodium citrate and enzymes. An optimized surfactant ratio was determined to achieve favorable overall performance. Results show that the selected laundry detergent formulation exhibits good soil removal efficacy and desirable low-foaming, easy-rinsing characteristics.

Keywords : natural origin index; green laundry detergent; natural-origin surfactants; detergency

