

鼠李糖脂：面向45+人群的绿色功能性表活

及其在个人护理中应用

曹翌佳, 熊青云

(悦龄科技(广州)有限公司, 广东广州, 510620)

DOI:10.61369/CDCST.2025040026

摘要: 针对45岁以上(45+)人群, 特别是围绝经期女性因皮肤屏障功能下降而面临的洗护难题, 探讨了生物表面活性剂鼠李糖脂作为一种绿色、温和且高效的解决方案。通过综述鼠李糖脂的分子结构、理化特性及其在个人清洁护理产品中的作用机制, 并与传统表面活性剂进行对比分析, 发现鼠李糖脂独特的“伞状”分子结构使其具备优异的表面活性和极致温和性, 能够通过智能清洁机制选择性清除氧化脂质, 同时保护皮肤屏障结构, 并能有效减少“老人味”的产生。临床反馈显示, 含有鼠李糖脂的沐浴产品能显著改善45+受试者的皮肤干燥与瘙痒问题。鼠李糖脂是契合45+人群精准洗护需求的理想绿色表活, 其分子结构决定的功能特性, 为开发针对该人群的个性化洗护产品提供了坚实的科学基础。

关键词: 鼠李糖脂; 生物表面活性剂; 45+人群; 精准洗护; 个人护理应用

第一作者简介: 曹翌佳, 浙江大学化学工程博士, 现就职于悦龄科技(广州)有限公司, 研发总监, 从事化妆品原料、配方、工艺等研发工作。E-mail: jasoncao@ylkjgjz.cn。

通讯作者简介: 熊青云, 华南理工大学化学工程硕士, 现就职于悦龄科技(广州)有限公司, 首席执行官, 从事化妆品研发、品牌运营等工作。E-mail: lauraxiong@ylkjgjz.cn。



曹翌佳



熊青云

对于45岁以上的中年女性而言, 日常的洁面、沐浴已不仅仅是简单的清洁, 更关乎到因年龄与生理变化而日益脆弱的皮肤健康。这一群体, 特别是正处于围绝经期的女性, 由于雌激素水平断崖式下跌, 皮肤胶原蛋白生成减少, 皮脂膜完整性受损, 导致水分流失加剧, 普遍面临干燥、脱屑、敏感与瘙痒等问题^[1-3]。频繁的潮热、盗汗不仅带来不适, 其汗液中的盐分及代谢产物更会刺激皮肤, 引发红肿或刺痛感。这些因素迫使她们增加洗浴频率, 但若选用清洁产品不当, 其含有的传统表面活性剂则会破坏本就脆弱的皮肤屏障, 导致“越洗越干、越洗越敏”的恶性循环^[4]。

另一方面, 出于对产品刺激性的恐惧, 部分消费者误认为仅用清水清洁即可, 这无疑步入了另一个误区。人体新陈代谢不断产生的皮脂, 是混合了各类饱和/不饱和脂肪酸、醛类、胆固醇及酯等的复杂亲油性物质, 清水难以有效清除^[5]。这些残留脂质长期氧化、酸败, 易导致微生物富集、毛孔堵塞发炎, 加速皮肤损伤, 并成为“老人味”的来源之一^[6]。

因此, 为45+人群寻找并设计一类既能高效清洁, 又能维护甚至修复皮肤屏障的洗护成分, 已成为个人护理领域的重要课题。表面活性剂作为所有清洁配方的核心, 其

选择至关重要。它们如同“化学钥匙”, 负责解开油脂与水的天然排斥。然而, 传统的石油基表面活性剂这把“钥匙”往往过于粗暴, 无法区分需清除的污垢与构成皮肤屏障的必需脂质。鼠李糖脂(Rhamnolipids), 一种由微生物发酵产生的糖脂类生物表面活性剂, 因其独特的分子结构、卓越的温和性及多效合一的功能特性, 成为解决这一困境的理想“化学钥匙”。本文将聚焦于鼠李糖脂, 深入阐述其分子结构如何决定其功能特性, 并系统介绍其在45+个人护理用品中的应用潜力与作用机理。

1. 鼠李糖脂的分子结构与核心特性

1.1 分子结构解析

鼠李糖脂的分子结构完美诠释了其作为高效、温和表面活性剂的本质。它由一个或多个鼠李糖分子构成亲水头部, 与一条或两条羟基脂肪酸链构成的亲油尾部, 通过糖苷键相连^[7]。

1.1.1 经典构型

最常见的鼠李糖脂包括单鼠李糖脂(含一个鼠李糖环)和双鼠李糖脂(含两个鼠李糖环)。其亲水头部的鼠李糖环上存在多个羟基, 赋予了分子极强的氢键形成能

力，这是其良好水溶性和保湿性的基础。

1.1.2 关键构效关系

尤为重要的是，鼠李糖脂在溶液中会形成一种动态的“伞状结构”（见图1）。其庞大的亲水头基（鼠李糖环）在空间上遮蔽了疏水的脂肪链，这种结构导致其临界胶束浓度（CMC）较低，意味着极低的用量即可发挥优异的表面活性。同时，该空间位阻效应也极大地削弱了其穿透和破坏皮肤角质层脂质双分子层的能力，这是其极致温和性的物理化学根源。

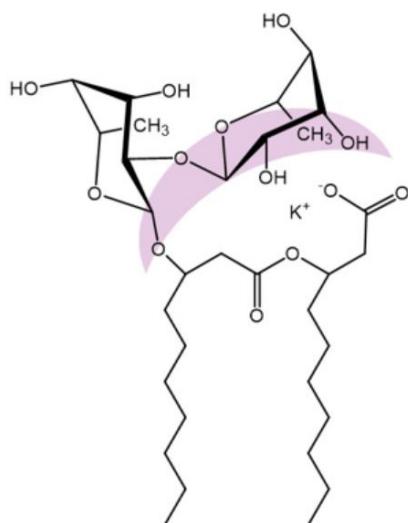


图1 鼠李糖脂的结构

1.2 基于分子结构的核心特性

鼠李糖脂的卓越性能，直接源于其精密的分子结构：

1.2.1 优异的表面活性与清洁力

其“伞状结构”使其能够高效地吸附在油-水界面，显著降低表面张力，从而具备强大的乳化油脂和去污能力。

1.2.2 极致的温和性与低刺激性

庞大的亲水头基产生的空间位阻，使其难以插入并破坏构成皮肤屏障的细胞间脂质（如神经酰胺、胆固醇、脂肪酸），从而避免了对皮肤屏障的损伤。红细胞溶血实验证实，高纯度鼠李糖脂在50mg/L浓度下红细胞存活率可达100%，充分证明了其对生物膜的低侵袭性和极高的生物相容性。

1.2.3 智能选择性清洁潜力

分子结构的特异性使其对不同类型的脂质可能存在不同的结合亲和力。理论上，它更易于清除已氧化、酸败的游离脂质，而对构成皮肤屏障的有序排列的结构化脂质影响较小，从而实现“扬善除恶”的智能清洁。

表1 糖脂与传统表面活性剂的性能对比

特性指标	传统表面活性剂	糖脂类生物表面活性剂
皮肤刺激性	中高	极低
生物降解性	慢，不完全	快速，完全
环境毒性	有	无或极低
原料来源	石油基	可再生资源 ^[8]
功能多样性	单一清洁功能	清洁+护肤+抑菌多重功能
pH适应性	有限	广泛

2. 鼠李糖脂在45+个人护理中的作用机制

基于其独特的分子结构，鼠李糖脂在解决45+人群洗护难题时，展现出多重精准的作用机制。

2.1 破解“清洁与温和”的矛盾

对于45+人群脆弱的皮肤屏障，鼠李糖脂通过其温和胶束化与空间位阻效应，实现了“智能清洁”。其形成的胶束能够有效包裹并清除皮肤表面的污垢和氧化酸败的脂质，同时，凭借其分子脂质结构难以穿透健康皮肤屏障的特性，最大限度地保护了神经酰胺、胆固醇等必需屏障脂质不被洗脱。这从机理上避免了传统表活导致的“过度清洁”和屏障损伤^[9]。

2.2 对抗“老人味”的生化策略

“老人味”（主要成分为2-壬烯醛）的来源之一是不饱和脂肪酸的氧化降解^[6]。鼠李糖脂的作用体现在两个层面：

2.2.1 高效清除

其强大的去污力能彻底清除含有不饱和脂肪酸的皮脂残留，从源头上减少底物。

2.2.2 微生态调节

鼠李糖脂对与体味相关的特定微生物（如球菌）已被证明具有抑制作用，通过调节皮肤表面微生态，间接抑制异味物质的产生。

2.3 缓解干燥与瘙痒的屏障修护逻辑

清洁后的皮肤，其屏障功能的恢复速度至关重要。鼠李糖脂通过生物发酵的工艺获得^[10,11]，因此及其温和，在清洁过程中对屏障的破坏极小。同时，其亲水头基中的多个羟基能够通过氢键结合水分子，在皮肤表面形成一层“隐形水膜”，起到即时保湿作用，即刻缓解洗后的干燥紧绷感。一项针对更年期女性的临床观察显示，使用含鼠李糖脂沐浴露的受试者，皮肤干燥度和瘙痒感评分较使用传统产品组下降约45%。

3. 鼠李糖脂在个人护理品中的应用与案例

3.1 在沐浴产品中的应用

糖脂因其卓越的温和性和清洁效率，已成为高端沐浴产品的理想选择。“董”推出的香氛糖脂沐浴露融合了新一代生物糖脂表活与天然香氛，以“温柔革命”为核心理念，实现了清洁、养护和屏障巩固的综合效果。这种创新配方摒弃了传统依赖物理摩擦或化学表活剥离的方式，转而通过激活肌肤自身的代谢系统，实现智能减少多余皮脂分泌、有害微生物及老化角质，在温和清洁与屏障维护之间取得良好平衡。

对于45+消费者，含有糖脂的沐浴产品尤其适用。这类产品能够有效清洁皮肤表面的氧化脂质和代谢废物，减少所谓的“老人味”产生，同时避免过度清洁导致的干燥和瘙痒。一项针对更年期女性的临床研究显示，使用含糖脂沐浴露的受试者，皮肤干燥度和瘙痒感评分较使用传统产品组下降约45%，皮肤屏障功能指标改善达32%。

3.2 在洗发产品中的应用

在洗发产品中，糖脂的应用解决了去屑成分与温和性难以兼顾的难题。联合利华在其专利中描述了一种含糖脂的个人护理组合物，其中生物表面活性剂占总表面活性剂的至少50%，配合脂肪酰基羟乙基磺酸盐，既能保证清洁效果，又能够精确控制流变特性，获得理想的肤感和使用体验。

3.3 在市场中的创新产品表现

随着糖脂优势的日益凸显，各大化妆品原料商和品牌纷纷推出基于糖脂的创新解决方案。在2025年美妆产业趋势前瞻与技术创新论坛上，行业专家指出：“糖脂生物表活、乳化体系、成膜技术等新配方结构正崛起，‘非传统成分’不再是幕后主角，而是影响功效、体验、情绪的关键变量”^[12]。

万华化学在2025年欧洲化妆品原料展上展示的糖脂解决方案，强调其“原料-过程-终点”全链可持续理念，通过天然来源、低碳工艺及生物降解技术的突破，为个人护理领域注入绿色活力。这种全方位的可持续发展战略，正好契合了当前市场对绿色、安全、有效产品的多重需求。

4. 挑战与未来展望

4.1 当前面临的挑战

尽管糖脂具有诸多优势，但其在大规模推广应用方面

仍面临一些挑战。首先，生产成本相对较高是制约糖脂广泛应用的主要因素之一。与传统石油基表面活性剂相比，糖脂的发酵生产和提取纯化过程更为复杂，成本也更高。其次，技术标准的不统一也影响了产品的规范化发展。不同来源的糖脂在结构、纯度和性能上存在差异，需要建立更为完善的质量评价体系。此外，消费者和市场对糖脂的认知度仍有待提高，需要更多的科学传播和教育投入。

4.2 未来发展趋势

未来糖脂在个人护理领域的发展将呈现以下趋势：

4.2.1 合成生物学助力性能优化

利用合成生物学技术对产糖脂微生物进行定向改造，将是提升糖脂产量和性能的关键路径。辉文生物已经通过定向基因编辑技术，成功开发出具有95%超高纯度和8个主峰精简结构的SophorClean生物糖脂。这类高技术含量的糖脂产品，将推动整个行业向更高效、更安全、更可持续的方向迈进。

4.2.2 精准护肤应用

随着对皮肤微生态和屏障功能研究的深入，糖脂因其独特的生物活性，将在精准护肤领域发挥更大作用。针对不同肤质、不同年龄阶段（特别是45+人群）和不同皮肤问题的个性化清洁解决方案，将成为糖脂应用的新方向。

4.2.3 绿色可持续发展

环保和可持续发展将是推动糖脂市场增长的重要驱动力。张楚佩在2025年美妆产业趋势论坛上指出^[13]，橄榄衍生物等绿色成分正在成为成分体系的“隐形刚需”。同样，糖脂作为100%生物基、可生物降解的表面活性剂，符合循环经济理念，有望在未来取代大部分传统表面活性剂。

4.2.4 配方技术创新

糖脂与其他成分的复配技术也将是未来的研究重点。如何将糖脂与其他功能性成分（如4D生物酶、仿生皮脂等）有效组合，实现协同增效，是推动糖脂应用的重要方向。

5. 结论

糖脂作为绿色功能性表面活性剂的代表，正引领洗护产品进入一个全新的时代。其卓越的温和性、多重功效性和环境友好性，使其成为应对45+人群及敏感肌肤洗护需求的理想选择。通过智能清洁机制，糖脂能够在有效清除

皮肤废弃物的同时保护甚至修复皮肤屏障，破解了清洁与温和不可兼得的行业难题。

随着生物技术的进步和消费者对绿色、健康、可持续产品需求的增长，糖脂在个人护理领域的应用前景广阔。未来的研究应聚焦于降低生产成本、优化发酵工艺、深化作用机制研究以及开发个性化配方，进一步挖掘糖脂在绿色洗护中的潜力，为消费者提供更安全、更有效的洗护解决方案。

参考文献

- [1] Navarro, S.L., Nagana Gowda, G.A., Bettcher, L.F., et al. Demographic, Health and Lifestyle Factors Associated with the Metabolome in Older Women[J]. *Metabolites*. 2023, 13, 514.
- [2] Pavey, E.L. The Change: Yoga, Theology and the Menopause[J]. *Religions*. 2022, 13, 306.
- [3] Askin, M., Koc, E., Soyoz, M., et al. Relationship between Postmenopausal Vitamin D Level, Menopausal Symptoms and Sexual Functions[J]. *Journal of College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2019, 29(09), 823–827.
- [4] Lee, S.W., Tettey, K.E., Yarovoy, Y., et al. Effects of anionic surfactants on the water permeability of a model stratum corneum lipid membrane[J]. *Langmuir*. 2014, 30, 220–226.
- [5] Hameed, A., Akhtar, N., Khan, H. M. S., et al. Skin sebum and skin elasticity: Major influencing factors for facial pores[J]. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2019, 18(6), 1968–1974.
- [6] Satoh, S., Morita, N., Matsuzaki, I., et al. Relationship between odor perception and depression in the Japanese elderly[J]. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*. 1996, 50(5), 271–275.
- [7] Owoseni, O. (Ed.). *Surfactants – Fundamental Concepts and Emerging Perspectives*[J]. IntechOpen. 2024, 3–8.
- [8] K. Brandt, V. Dahl, A. Muss, et al. Glycolipids – a New Era in Natural Cleansing[J]. *SOFW*. 2018, (144): 10–18.
- [9] van Smeden, J., Janssens, M., Gooris, G.S., et al. The important role of stratum corneum lipids for the cutaneous barrier function[J]. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*. 2014, 1841: 295–313.
- [10] HAMIDREZA H., SAEID M., MAHMOUD H., et al. Rhamnolipid biosurfactant adsorption on a plasmatreated polypropylene surface to induce antimicrobial and antiadhesive properties[J]. *RSC Adv*, 2015, 42: 33089–33097.
- [11] 李金志, 冯云, 林军章, 等. 沾3区块内源微生物好氧和厌氧激活特征[J]. *南京工业大学学报(自然科学版)*. 2021, 43(5): 670–676.
- [12] 美业颜究院. 2025CBE 美妆产业趋势前瞻与技术创新论坛 [EB/OL]. (2025-06-05)[2025-10-09], <https://www.cebaiwen.com/news/1219.html>.

Rhamnolipids: A Green Functional Surfactant for the 45+ Population and Its Application in Personal Care

Cao Yi-jia, Xiong Qing-yun

(Yueling Technology (Guangzhou) Company Ltd, Guangzhou, Guangdong, 510620)

Abstract : To address the cleansing and skin challenges faced by the population over 45 years old (45+), especially perimenopausal women, due to decreased skin barrier function, the biosurfactant rhamnolipid as a green, mild, and efficient solution has been explored. This paper reviewed the molecular structure, physicochemical properties, and mechanism of action of rhamnolipids in personal cleansing and care products, comparing them with traditional surfactants. The unique "umbrella-like" molecular structure of rhamnolipids confers excellent surface activity and extreme mildness. It enables an intelligent cleansing mechanism that selectively removes oxidized lipids while protecting the skin barrier structure and effectively reducing the production of "aging odor". Clinical feedback indicates that body wash products containing rhamnolipids significantly improved skin dryness and itching in 45+ subjects. In conclusion, Rhamnolipids are ideal green surfactants that meet the precise cleansing and care needs of the 45+ population. The functional properties determined by their molecular structure provide a solid scientific basis for developing personalized cleansing and care products for this demographic.

Keywords : rhamnolipids; biosurfactant; 45+ population; precision cleansing and care; personal care applications