

# 由大豆衍生品启发的“无边界产品创新”

姜春鹏<sup>1\*</sup>, 高传榕<sup>2</sup>

(1. 上海阿基米德创新中心, 上海, 201103;  
2. 上海琪捷联创生物科技有限公司, 上海, 201100)

DOI:10.61369/CDCST.2025040028

**摘要:** 文章从大豆多场景、多形式的衍生品应用场景出发, 提出“无边界产品创新”概念及创新途径。文章立足技术底层逻辑本质, 强调物理 - 化学 - 生物机理的核心作用, 以应对不同层次的使用场景需求, 进而实现精准、高效的迭代创新。“无边界产品创新”属于多维发散式创新, 突破了传统意义上的边界限制, 可优化并简化供应链, 最终形成企业及产品的核心技术资产。

**关键词:** 大豆; 融合剂; 生物酶

**作者简介:** 高传榕, 硕士, 现就职于上海琪捷联创生物科技有限公司。现从事第三方产品研发, 咨询服务。

E-mail: gaorong618@163.com。

**通讯作者简介:** 姜春鹏, 博士, 现就职于阿基米德创新中心, 现从事第三方产品研发, 咨询服务。

E-mail: allenjiang2021@sina.com.com。



姜春鹏

○

在亚洲国家, 尤其是中国, 大豆是重要的营养来源。除作为油料作物外, 大豆因富含优质蛋白质, 可被加工为多种食品。从产品设计视角来看, 以大豆为核心成分, 在多样应用场景中可延展迭代出丰富的产品线与产品类型。其用途包括直接煮制后制成五香豆, 或与其他食材一同炖煮; 也可研磨为豆浆、豆花、各类豆腐、腐乳及豆干; 大豆发芽后, 可制作豆芽, 或直接食用豆苗与毛豆; 豆浆经喷雾干燥处理后可形成豆粉, 成为耐储存、易运输的产品形态。大豆的多元用途催生了广泛的商品形式, 深刻融入人们的日常生活。

若将大豆类比为护肤品中水、乳、膏、霜等核心成分, 其底层逻辑源于对蛋白质溶解与相行为的深入洞察。蛋白质在水相中溶解分散, 形成“浆”; 经钙镁离子轻度变形与螯合作用, 形成“乳”(即豆花); 随着钙镁离子用量逐渐增加, 沉淀螯合作用加剧, 进而形成嫩滑的“膏”(即嫩豆腐)与富有弹性的“霜”(即老豆腐)。实际上这是一种无边界、平台化的创新开发思路。



注: 大豆作为核心原料, 衍生不同产品, 构筑无边界产品开发生态。

图 1 大豆衍生品无边界生态模型

在日用化学产品领域, 原料技术同样可遵循相似路径, 基于核心的物理 - 化学 - 生物作用机制, 演变出截然不同的应用场景与商品形态。作者通过实际案例引发思考, 旨在抛砖引玉, 倡导无边界的产品开发理念, 激发更开放的创新思维。

## 1. 融合剂无边界应用

融合剂 (Chelant) 是一类具有特定结构的配合物, 可提供一个或多个多齿配体, 与中心体形成配位键, 类似螃蟹的两只大钳子紧密钳住中心体, “螯”字即源于螃蟹钳子的形态特征。稳定常数  $K$  用于描述金属离子 ( $M^{n+}$ ) 与融合剂 ( $L$ ) 在平衡状态下形成螯合物 ( $ML$ ) 的倾向, 其定义式为  $M + L \rightleftharpoons ML$ ,  $K = [ML]/([M] \times [L])$ 。

稳定常数  $K$  值越大, 表明在特定条件下, 钙离子与融合剂形成螯合物的倾向越强, 融合物稳定性越高。离子强度与 pH 值均会在不同程度上影响融合剂的稳定常数; 此外, 不同金属离子与同一融合剂形成的稳定常数也存在差异。通常情况下, 金属离子的水合半径越小、电荷密度越高, 其与融合剂形成的稳定常数越大, 例如  $Li^+ > Na^+ > K^+ > Cs^{[1]}$ , 且  $Fe^{3+}$  的稳定常数通常高于  $Fe^{2+}$ 。利用金属离子与融合剂稳定常数的差异性, 可实现对不同金属离子的选择性螯合或遮蔽。

### 1.1 家用洗涤剂中的应用

中国南北方水质差异显著, 水中通常含有不同浓度的钙镁离子。在衣物洗涤过程中, 钙镁离子易与带负电荷的

阴离子表面活性剂结合形成沉淀，从而降低洗涤效率。受环保政策限制，磷类螯合剂无法应用于家庭清洁护理产品，因此需选用柠檬酸盐等中等强度螯合剂作为替代，以屏蔽硬水中钙镁离子对表面活性剂的影响。柠檬酸盐对钙的螯合常数通常在 3~5 之间<sup>[2]</sup>。

对于内衣血渍、红酒污渍等特殊污渍，由于其通常含有铁等有色金属离子，柠檬酸盐类螯合剂的螯合强度不足以实现有效去除，此时需加入少量 EDTA 类螯合剂。因 EDTA 对铁离子的螯合常数高达 25.1<sup>[3]</sup>，能够有效去除污渍中的色素性金属离子。

## 1.2 口腔护理产品中的应用

在口腔护理产品中，螯合剂的作用同样不可或缺。日常饮食后，若未及时清除食物残渣或含糖饮料残留，口腔内细菌分解上述物质后，会逐渐形成浅黄色、质地较软的牙垢。牙垢进一步发展，可能导致牙菌斑与牙结石的形成。其中，牙垢可通过刷牙去除，但牙菌斑与牙结石易残留于口腔，进而引发龋齿、牙龈炎等问题；同时，牙菌斑与牙结石均能吸附色素，导致牙齿色素分布不均、牙齿发暗发黄。

在口腔护理产品中适量添加螯合剂，可螯合牙结石中的钙离子，抑制牙菌斑向牙结石转化，防止色素沉淀，从而维持牙齿洁白，改善牙龈健康。在螯合剂选择过程中，其稳定常数对口腔健康具有关键影响。

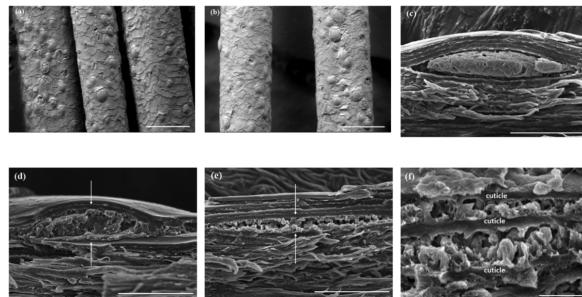
牙釉质的主要成分为结晶结构的羟基磷灰石，分子结构为  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ，富含钙质。口腔护理领域所选用的美白螯合剂，需在去除牙菌斑与牙结石中钙质和保护牙釉质中钙质之间实现平衡。三聚磷酸钠（STPP）与焦磷酸钠（TSPP）的螯合稳定常数分别约为 5.4 和 5.0，适中的稳定常数既能有效螯合牙菌斑中的钙离子、抑制牙菌斑生长，又不会对牙釉质造成实质性损害。尽管如此，这两种物质在实际应用中可能刺激口腔黏膜，导致黏膜脱落，因此在配方设计中需严格控制用量。

## 1.3 沐浴及洗护发中的应用

钙镁离子的管理同样对洗护发与沐浴产品的使用效果产生影响。皂基沐浴露的主要表面活性剂为碳链长度  $\text{C}_{12}$  和  $\text{C}_{14}$  的脂肪酸钾，这类表面活性剂在硬水中易与钙镁离子反应形成钙皂。钙皂颗粒尺寸较大，且水硬度越高，生成的钙皂颗粒尺寸越大，尺寸范围可从几十微米至几百微米，部分甚至肉眼可见；钙皂颗粒形态不规则且尺寸较大，在沐浴冲洗过程中会带来涩感、无滑腻的肤感体验，从而给

人易冲洗的清爽感受。但钙皂的沉积易引发皮肤刺激，如导致皮肤透皮失水率增加、皮肤屏障功能受损。

在洗发过程中，同样存在钙皂形成的现象。Jennifer Marsh 等人首次通过 X 射线荧光、扫描电子显微镜及透射电镜等技术，证实头发细胞间存在“气泡状”脂肪酸钙沉积物。这些沉积物楔入发丝内部，类似嵌入路面的巨石，对头发的光泽度与力学性能产生负面影响<sup>[4]</sup>。选用适当的螯合剂，如甲基甘氨酸二乙酸（MGDA）与二乙烯三氨基五乙酸（DTPA），可有效清除并阻止钙皂在头发上的进一步沉积，进而提升头发的光泽度与韧性<sup>[5]</sup>。



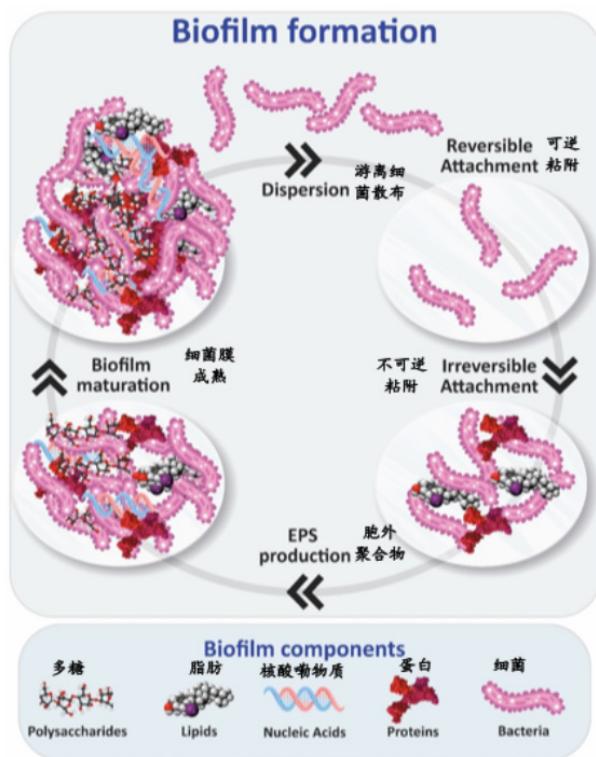
注<sup>[4]</sup>: 头发表面下沉积物的扫描电镜图像。(a, b) 不同纤维的表面视图 (比例尺 = 50  $\mu\text{m}$ )；(c–f) 横截面视图 (比例尺: c–e 图为 5  $\mu\text{m}$ , f 图为 1  $\mu\text{m}$ )。d 和 e 图中的箭头指示沉积物物质。所有样本均取自白人女性的头发。

图 2 钙皂在头发表面及内部的穿透沉积

## 2. 生物酶的无边界应用

生物酶具有高度专一性，能够针对特定污渍或物质实现靶向清除。因其清洁效率高，且与表面活性剂具有良好的协同作用，在日用洗涤剂中常被称为“洗涤催化剂”。复配酶制剂（如蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶等多元酶）可提升对蛋白质、脂肪及淀粉类污渍的综合清洁能力。近年来，随着生物技术的持续进步，生物酶的应用范围逐渐拓展至非家庭清洁产品领域。

生物膜的抑制与破坏是生物酶应用的重要领域之一。细菌生长过程中，会从自由态（浮游细菌，Platonic Bacteria）逐步形成生物膜。生物膜中每克干物质含有的微生物细胞数量可达 1 亿至 100 亿个；在生物膜内部，细菌细胞被自身产生的基质包裹，该基质不仅有助于维持微生物群体的聚集状态，还能抵御外界环境的侵扰，且基质中的部分成分可使生物膜牢固附着于寄生组织表面。生物膜基质的主要成分包括糖类、蛋白质及 DNA 类物质。研究表明，超过 75% 的人体感染与细胞组织或医疗器械表面的生物膜相关。



注：生物膜形成阶段：可逆附着、不可逆附着、胞外聚合物 (EPS) 产生、成熟和分散/脱落阶段。

图3：生物膜生成及组份示意图<sup>[6]</sup>

## 2.1 家用洗涤剂中的应用

衣物在穿着过程中，尤其在潮湿、温暖的环境下，易产生生物膜污渍。这类污渍是由颗粒物、人体皮脂、生物膜基质及被其包裹的大量气味分子构成的复杂混合物，会导致衣物发黄、变旧，并产生持久异味。人体自然分泌物与皮脂为生物膜中的细菌群落提供了营养，细菌在分解利用这些营养物质时，常处于无氧环境，经发酵酶解后会产生挥发性短链脂肪酸及含氮、含硫有机物，导致衣物带有异味。生物膜中的外源 DNA (eDNA) 物质具有较强的粘附性，常规表面活性剂难以将其去除。磷酸二酯酶 (PDE) 作为核酸酶，可有效分解 eDNA，清除衣物上附着的生物膜污渍，并减少异味产生。Ana Morales-Garcia、Neil Lant 等人的研究显示：志愿者穿着新的混纺 T 恤衫，每天穿着 8~12 小时，连续穿着 3 天后，使用含有 0.2 mg/kg PDE 酶的产品在 30°C 条件下洗涤，生物膜污渍的去除率提升了 31% 至 33%<sup>[7]</sup>。

## 2.2 口腔护理产品中的应用

口腔内约存在 70 亿个细菌，其中相当一部分以生物膜形式存在。这些生物膜是牙菌斑形成并逐步发展为牙结石的主要原因，进而引发牙龈炎、牙周炎、口腔异味及龋齿脱矿等多种口腔疾病。口腔生物膜的形成机制与衣物生物

膜污渍类似，但口腔内营养物质更丰富、环境更湿润，更有利生物膜快速生长。考虑到牙釉质表面光滑，口腔生物膜的黏附力通常低于衣物生物膜，因此在生物酶或 PDE 的种类选择与应用方式上存在差异。青木优子、郑苏江等人的研究表明，含有 17.5 μg/g 葡聚糖酶的牙膏，在实验模型中可使牙菌斑去除效果提升约 50%<sup>[8]</sup>。

## 2.3 护发护理产品中的应用

人类头皮覆盖着浓密的头发，且持续分泌大量皮脂与汗液，为生物膜生长提供了良好的营养条件。马拉色菌是一种常见真菌，其过度繁殖会导致头皮屑增多，易引发头皮炎症及脂溢性皮炎。马拉色菌不仅存在于头皮表面，还可沿毛干进入毛囊，在头皮表面与毛囊内形成生物膜，引发头皮瘙痒与炎症。

传统上，抑制马拉色菌的手段包括使用水杨酸、吡啶硫酮锌、吡罗克酮乙醇胺等抑制剂。相比之下，蛋白酶与脂肪酶可有效分解头皮及头发上的污垢（如汗渍、死皮）与油脂，并调节头皮 pH 值，维持头皮微生态平衡。这种方式相较于传统清洁成分更为温和，且对头皮屏障的破坏较小，生物酶的应用为降低头皮刺激提供了新方向。

## 3. 总结

无边界产品设计的核心在于贯通产品底层技术逻辑，以用户具体使用场景为出发点，突破传统思维界限。这种跨部门合作模式在中小企业中往往难以实现，而中大型企业及跨国公司因各部门（业务单元）的固有分工、产品线的独立运营，在横向联动与构建多样化产品矩阵方面常存在壁垒。因此，打通这些壁垒不仅能有效提升研发与创新效率，还可实现垂直整合，优化供应链管理，从而有效控制成本并简化物料使用。

## 参考文献

- [1] SRIVASTVA N, ABHAY. Stability Constants of Metal Complexes in Solution[M]//Stability and Applications of Coordination Compounds. InTech, 2020: 45–68.
- [2] WELLING S, HUBÁLEK F, et al. The role of citric acid in oral peptide and protein formulations: Relationship between calcium chelation and proteolysis inhibition[J]. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 2014, 86(3): 544–551.
- [3] SCHILLING K, UJUETA F, et al. Pharmacokinetics of metal

excretion following different doses of sodium EDTA infusion[J]. Metallomics, 2025, 17(2): mafaf010.

[4] MARSH J, MAMAK M, et al. Multimodal evidence of mesostructured calcium fatty acid deposits in human hair and their role on hair properties[J]. ACS Bio & Interface, 2018, 10(36): 8543–8552.

[5] MARSH J, KELLY C. Hair care composition for calcium chelation[P]. EP3478250, 2019-05-15.

[6] BALDUCCI E, PAPI F, et al. Polysaccharides' Structures and

functions in biofilm architecture of antimicrobial-resistant (AMR) pathogens Int[J]. Mol. Sci. 2023, 24, 4030.

[7] MORALES-GARCIA A, HAYWARD A, et al. The Application of a Nuclease Enzyme to Clean Stubborn Soils and Odors in Laundry[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2020, 23(4): 789–798.

[8] 青木优子, 郑苏江, 等. 含葡聚糖酶牙膏对牙菌斑模型的分解和去除研究 [J]. 口腔护理用品工业, 2018, 28 (3): 12–15.

## Boundaryless Product Innovation Inspired by Soybean Derivatives

Jiang Chun-peng<sup>1\*</sup>, Gao Chuan-rong<sup>2</sup>

(1. Shanghai Archimedes Innovation Center, Shanghai, 201103;

2. Shanghai Qijie Lianchuang Biotechnology Co., Ltd., Shanghai, 201100)

**Abstract :** Inspired by the diverse application scenarios and forms of soybean products, this paper proposes the concept of "borderless product innovation" and its innovation approaches. Based on the essence of the underlying technical logic, the paper emphasizes the core role of physical-chemical-biological mechanisms to meet the needs of different levels of application scenarios, thereby achieving precise and efficient iterative innovation. "Borderless product innovation" is a multi-dimensional and divergent innovation that breaks through the traditional boundary limitations, optimizes and simplifies the supply chain, and ultimately forms the core technical assets of enterprises and products.

**Keywords :** soybean; chelating agent; biological enzyme

