

燕麦 β -葡聚糖在修护化妆品中的应用与展望

武思敏¹, 蒋晓龙², 刘宇红²

(1.太和康美(北京)中医研究院有限公司, 北京, 102401;

2.北京东方森森生物科技有限公司, 北京, 101200)

摘 要: 燕麦 β -葡聚糖为燕麦糊粉层和亚糊粉层细胞壁中的非淀粉多糖, 于化妆品行业应用广泛。文章对其来源、合成代谢途径、结构特性及其对皮肤的修护功效进行综述。燕麦 β -葡聚糖作为细胞壁的关键成分, 主要发挥支撑及抗营养作用; 其分子结构与溶液构象均影响产品功效, 如低分子量者抗炎和抗氧化能力更佳, 高柔性构象与受体结合能力更强; 并且燕麦 β -葡聚糖可从表皮、免疫和深层屏障分别进行修护。但是仍需进一步研究其在修护方面的构效关系。

关键词: 燕麦 β -葡聚糖; 皮肤修护; 构效关系

作者简介: 武思敏, 硕士, 太和康美(北京)中医研究院有限公司创研部经理, 主要从事化妆品植物原料研发工作。E-mail: wusimin@beaut-n-health.com。



武思敏

燕麦 (*Avena sativa* L.) 属于禾本科燕麦属, 是一年生草本植物, 在全球分布广泛。我国燕麦资源颇为丰富, 拥有27个燕麦物种, 占全世界燕麦属物种的90%, 并且有2个栽培种^[1]。其中, 大粒裸燕麦是我国特有的栽培品种, 主要涵盖莜麦 (*Avena chinensis* (Fisch. ex Roem. et Schult.) Metz.) 和裸燕麦 (*Avena nuda* L.)。燕麦中的 β -(1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4) 葡聚糖, 即燕麦 β -葡聚糖, 是存在于燕麦糊粉层和亚糊粉层细胞壁的一种非淀粉多糖。燕麦作为世界十大超级食物之一, 被联合国粮农组织(1998年)、EFSA(2011年)、美国FDA(2011年)等机构批准为可做健康声称的食品^[2], 其要求的主要活性成分便是燕麦 β -葡聚糖。近年来, 由于它在保湿、修护、舒缓、抗衰等方面表现出色, 在化妆品行业也得到了广泛应用。

受护肤习惯以及熬夜等不良生活习惯的影响, 当下敏感肌人群的比例呈逐年上升趋势, 消费者对具有修护功能的化妆品的需求也逐年递增^[3]。随着化妆品行业的发展以及人们护肤理念的升级, 敏感肌消费者对修护化妆品原料有了更高要求, 即在达成卓越修护功效的同时, 还需满足抗衰、抗皱、美白、舒缓等进阶需求。那么, 作为一款经典的多功效健康原料, 燕麦 β -葡聚糖能否满足当前消费者对修护原料的期望? 文章将对燕麦 β -葡聚糖的来源、合成代谢路径、结构、功能以及作用机理等方面展开总结, 旨在为后续燕麦 β -葡聚糖升级成为下一代修护原料提供参考依据。

1. 燕麦 β -葡聚糖在燕麦籽粒中的分布位置及合成代谢路径

燕麦 β -葡聚糖因其冷冻凝胶的特性在水剂化妆品中

的应用受限, 行业中主要依靠降低分子量的方式(比如酶解、酸解等)来增加其稳定性^[4], 但收效颇微。下文将从燕麦 β -葡聚糖在燕麦粒生理状态下的分布以及合成代谢等方面总结其不稳定的生理原因, 为后续解决燕麦 β -葡聚糖的应用性问题提供一个新的角度。

1.1. 燕麦 β -葡聚糖在燕麦籽粒中的分布位置及其生理学功能

目前学界对燕麦 β -葡聚糖在燕麦籽粒中的分布已基本达成共识, 也通过钙荧光白 (Calcofluor white; CFW) 染料对燕麦籽粒横切面进行染色^[5-6], 证明燕麦 β -葡聚糖主要分布于燕麦籽粒的糊粉层和亚糊粉层中^[7]。陈中伟^[8]的研究表明, 裸燕麦的麸皮中的燕麦 β -葡聚糖平均质量分数为8.57%, 是胚乳中含量的4.5倍。此外陈中伟^[8]的研究证明在燕麦研磨制粉工艺中第3-5道麸皮的燕麦 β -葡聚糖含量更高(约为7%), 进一步证明燕麦 β -葡聚糖主要分布于燕麦籽粒的糊粉层和亚糊粉层。研究表明, 虽然燕麦 β -葡聚糖占细胞壁多糖组分的85%^[9], 但是它并不能像纤维素一样独立存在于细胞壁中起支撑作用, 而是与糖蛋白等物质以类似凝胶的形式嵌入纤维素微纤维组成的细胞壁骨架中^[10]。综上在细胞壁中的燕麦 β -葡聚糖是一种高度交联的结构充当细胞壁的结构性多糖^[11], 因此即使将其提取为可溶的亲水分子后还是有自聚凝胶的特性。

此外燕麦 β -葡聚糖是燕麦在漫长演化历史上进化出的“防御性”物质。随着反刍动物的进化, 植物的纤维素成分逐渐可以被消化和利用, 所以燕麦等谷物进化出了 β -葡聚糖这一类抗营养物质^[12], 因为动物不能合成 β -葡聚糖酶, 所以无法代谢 β -葡聚糖, 进而 β -葡聚糖含量高的燕麦自然保留了下来。而裸燕麦的 β -葡聚糖普遍高于皮燕麦的葡聚糖含量, 因此国内的饲用燕麦主要以皮燕麦为

主^[13]。综上所述,燕麦 β -葡聚糖主要存在于燕麦籽粒的糊粉层和亚糊粉层中,其生物学功能主要包括作为结构性多糖填充细胞壁纤维素骨架起到对细胞壁的支撑作用以及作为抗营养物质防止食草动物将燕麦籽粒进行食用和消化。

1.2. 燕麦 β -葡聚糖在燕麦籽粒中的合成代谢路径

燕麦 β -葡聚糖作为优异的化妆品和食品原料在功效功能等方面有大量的研究基础,但是其在燕麦体内的合成代谢路径研究较少。有研究表明在植物细胞的有丝分裂过程中纺锤丝的赤道面处会逐渐产生含 β -葡聚糖的细胞板^[14]。在细胞生长过程中, β -葡聚糖大量合成积累,并与纤维素微纤丝紧密结合,形成致密的细胞壁结构^[15]。此外内蒙古农业大学的樊明寿教授团队从作物生理学的角度对燕麦中 β -葡聚糖的合成及积累进行了研究^[16],结果表明可溶性 β -葡聚糖在花后10d天内积累速度较快,而后缓慢积累。不同燕麦品种的 β -葡聚糖含量存在显著差异,而且可溶性 β -葡聚糖所占比例表现为皮燕麦高于裸燕麦^[16-17]。综上燕麦 β -葡聚糖提取的问题在于细胞壁骨架中纤维素、果胶的去除,此外需减少酶制剂的使用仅提取水溶性燕麦 β -葡聚糖,从而避免产品的不稳定现象。另外理解燕麦 β -葡聚糖的合成代谢路径有助于利用合成生物学的手段生产性能更优的产品。

2. 燕麦 β -葡聚糖的结构对功效的影响

2.1 燕麦 β -葡聚糖的分子结构对功效的影响

物质结构在功效发挥过程中起着决定性作用。燕麦 β -葡聚糖作为一种天然多糖,其结构具有相当的复杂性,截至目前,学术界对于它在皮肤领域的构效关系尚未能进行全面且深入的阐释。现有的研究成果显示,低分子量的燕麦 β -葡聚糖在抗炎以及抵抗氧化应激方面展现出更为出色的能力,而高分子量的燕麦 β -葡聚糖则在降低胆固醇以及免疫激活方面表现更为突出^[18]。与此同时,相关研究发现,借助发酵法制备而成的低分子量燕麦 β -葡聚糖具备更强的透皮吸收能力。例如,Akkerman^[19]运用 β -糖苷键内切酶对燕麦 β -葡聚糖实施发酵处理,实验结果表明,发酵后低 β -1,4糖苷键的燕麦 β -葡聚糖对受体Dectin-1的激活能力显著增强,同时抗氧化能力也得到了进一步提升。

2.2 燕麦 β -葡聚糖的溶液构象结构对功效的影响

多糖的溶液构象对其生物活性同样有显著影响,多糖

根据其结构及取代基的不同在溶液中会以球状、棒状、无规卷曲等形态存在。溶液中不同构象的生物学功能也不同,比如三螺旋结构的真菌和酵母 β -葡聚糖具备更强的免疫激活能力,柔性构象(无规卷曲)的透明质酸具备更强的细胞膜受体结合能力^[20],Chen Xiaoyu的研究表明磷酸化改性得到的溶液构象更舒展的柔性构象的茯苓 β -葡聚糖有更强的抗肿瘤活性^[21],同时柔性构象的大麦 β -葡聚糖具备更好的加工特性和更强的降低胆固醇的能力^[22]。对于燕麦 β -葡聚糖同样有类似研究结果,硫酸化改性得到的高柔性燕麦 β -葡聚糖的胆汁酸结合能力降低,但是表现了新的抗凝血活性^[23],Zhang Qiyu的研究同样证明了硫酸化改性得到的高柔性燕麦 β -葡聚糖因其与细胞膜受体结合能力的提升,带来了更强的抗氧化功能,与氧化降解得到的低分子量样品达到了同样的效果。

3. 燕麦 β -葡聚糖在皮肤修护方面的作用

燕麦 β -葡聚糖在皮肤护理方面所展现出的作用与优势确凿无疑。在化妆品行业长达二十余年的应用历史中,人们发现燕麦 β -葡聚糖具有保湿、修护、舒缓、抗衰等诸多功效,并且在配方应用方面表现良好。除了与乙醇体系的配伍性欠佳之外,它几乎能够适配于任何产品剂型。值得一提的是,燕麦 β -葡聚糖所特有的舒缓及抗刺激作用^[24],能够为化妆品配方工程师在使用某些具有刺激性的高活性原料时提供有力协助,使其能更妥善地进行配方设计与原料搭配。下面将就燕麦 β -葡聚糖在皮肤修护方面的应用进行详细阐述,主要分为表皮屏障修护、免疫屏障修护以及深层屏障修护(真皮层修护)三个方面:

3.1 表皮屏障修护

表皮屏障是皮肤物理屏障的重要组成部分,针对角质层的“砖墙-泥浆”结构,燕麦 β -葡聚糖可分别进行修护。对于“泥浆”成分,燕麦 β -葡聚糖可以促进caspase3的表达进而促进丝聚蛋白降解为NMF实现泥浆的补充^[25];对于更重要的“砖墙”(角质形成细胞)的修护,燕麦 β -葡聚糖能够促进角质形成细胞的迁移与分化,促使其形成更为紧密有序的角质层结构^[25-26],从而实现“砖墙”的修护。同时有研究表明分子量大的燕麦 β -葡聚糖更易在裸鼠表皮形成薄膜,以保持皮肤内水分含量^[27],证明其分子结构中的羟基等亲水基团赋予了燕麦 β -葡聚糖良好的保湿性能,能有效锁住皮肤角质层中的水分,防

止水分散失,维持皮肤的水合状态,进而增强皮肤屏障功能,降低皮肤对外界刺激的敏感性。

3.2 免疫屏障修护

在免疫屏障修护方面,燕麦 β -葡聚糖一方面能够激活免疫细胞的活性,另一方面其可以对炎症信号有调节作用。Jing的研究表明燕麦 β -葡聚糖能够与免疫细胞表面的Dectin-1受体结合,激活巨噬细胞、淋巴细胞等免疫细胞的活性,同时还可以降低树突状细胞的炎症反应^[19,28]。这一过程可增强皮肤的免疫防御功能,提高皮肤对病原体的抵抗力,在预防和治疗皮肤感染性疾病方面具有积极意义。同时,它还能调节皮肤免疫系统的平衡,避免免疫反应过度或不足,维持皮肤内环境的稳定,对于自身免疫性皮肤病的干预也有一定的作用;此外燕麦 β -葡聚糖具有明显的抗炎特性,研究显示,它可通过与皮肤细胞表面特定受体结合,激活细胞内的信号转导通路,下调炎症相关基因的表达,从而减少IL-6和TNF- α 等炎症因子的释放^[25]。在动物模型实验中,Yoon-Hwan的研究表明^[29],燕麦 β -葡聚糖与益生菌联用制备的Synbio-Glucan对特异性皮炎和湿疹等炎症性皮肤病表现出良好的缓解效果,能有效减轻皮肤的红肿、瘙痒等炎症症状,促进皮肤炎症的消退。以上证明燕麦 β -葡聚糖对皮肤的免疫屏障有优异的调节作用,可以实现免疫屏障的修护。

3.3 深层屏障修护

燕麦 β -葡聚糖因其独特的直链分子结构决定了其具备良好的透皮性能,李小鹏的研究表明水提、酶提和发酵法3种方法提取的燕麦 β -葡聚糖都可以透过皮肤^[30],同时燕麦 β -葡聚糖可刺激皮肤成纤维细胞合成胶原蛋白,证明燕麦 β -葡聚糖可以有效实现深层屏障功能的修护。在动物实验方面,燕麦 β -葡聚糖可以显著修复由电磁辐射导致的大鼠的深层皮肤损伤^[31]。在临床试验方面,采用含 β -葡聚糖的埃及燕麦多糖制备的高效创面愈合复合水凝胶,用于修复医美点阵激光损伤的面部皮肤^[32-33]。

同时燕麦 β -葡聚糖具有独特的1,3与1,4直链分子结构,可以作为活性成分的释放载体,可以有效与胶原蛋白结合,促进胶原蛋白合成,修复受损肌肤,促进伤口愈合,具有良好的皮肤修复功能,从而实现皮肤深层屏障的修护^[34]。

4. 展望

燕麦 β -葡聚糖在皮肤修护方面具有多方面的显著作

用,包括修护皮肤表皮屏障、免疫屏障,同时还能实现深层屏障的修护。这些作用机制相互关联、协同增效,为其在皮肤护理产品中的应用提供了坚实的理论依据。然而,目前仍需要进一步深入研究其在不同皮肤类型中的具体作用效果及最佳使用浓度与方式等,同时对于燕麦 β -葡聚糖的结构与功效的研究仍需深入,需要更好的解释何种构型的燕麦 β -葡聚糖具备更强的修护功能,以更好地开发和利用燕麦 β -葡聚糖在皮肤修护领域的潜力,为皮肤健康提供更有效的保护与修护策略。

参考文献

- [1]郑殿升. 中国燕麦的多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(03): 249-252.
- [2]Rgia A Othman, Mohammed H Moghadasian, Peter JH Jones. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan[J]. Nutrition Reviews, 2011, 69: 299-309.
- [3]Miranda A. Farage. The Prevalence of Sensitive Skin[J]. Frontiers in Medicine, 2019, 6: 1-13.
- [4]申瑞玲, 董吉林, 李宏全. 提取条件对裸燕麦 β -葡聚糖分子量分布的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, (01): 143-145.
- [5]Fulcher R G .Fluorescence Microscopy of Cereals[J].Food Microstructure, 1982, 1:167-175.
- [6]Philip J. Harris, Geoffrey B. Fincher. Chemistry, Biochemistry, and Biology of 1-3 Beta Glucans and Related Polysaccharides[M]: Elsevier, 2009: 621-654.
- [7]Per Sikora, Susan M. Tosh, Yolanda Brummer, et al. Identification of high β -glucan oat lines and localization and chemical characterization of their seed kernel β -glucans[J]. Food Chemistry, 2013, 137: 83-91.
- [8]陈中伟, 汪玲, 牛瑞, 等. 裸燕麦米和燕麦粉加工所得麸皮中 β -葡聚糖和酚酸的分布[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 1-6.
- [9]Fulcher R G Sen Aetc. Miller S S. Oat endosperm cell walls. I. Isolation, composition, and comparison with other tissues[J]. Cereal Chem, 1995, (72): 421-427.
- [10]申瑞玲. 燕麦 β -葡聚糖的提取纯化及功能特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [11]李雄彪, 吴奇. 植物细胞壁[M]: 植物细胞壁, 1993.
- [12]郭小权, 胡国良, 刘妹. β -葡聚糖的抗营养作用及 β -葡聚糖酶在饲料中的应用[J]. 兽药与饲料添加剂, 2000(2):2.
- [13]李笑蕊, 王世霞, 么杨, 等. 裸燕麦和皮燕麦的营养及功能活性成分对比分析[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(05): 50-54.
- [14]Carpita NC, McCann MC. The maize mixed-linkage (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)-beta-D-glucan polysaccharide is synthesized at the golgi membrane[J]. Plant Physiol, 2010;153(3):1362-1371.
- [15]Buckeridge M S , Rayon C , Urbanowicz B ,et al.Mixed Linkage (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-Glucans of Grasses[J].Cereal Chemistry, 2004, 81(1):115-127.
- [16]李贞, 王凤梅, 樊明寿, 等. 燕麦 β -葡聚糖的合成与积累[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5):4.

- [17]李贞. 燕麦籽粒 β -葡聚糖积累规律的研究[D].呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [18]Jacek Wilczak, Katarzyna Błaszczyk, Dariusz Kamola, et al. The effect of low or high molecular weight oat beta-glucans on the inflammatory and oxidative stress status in the colon of rats with LPS-induced enteritis[J]. Food & Function, 2015, 6: 590-603.
- [19]Renate Akkerman, Madelon J. Logtenberg, Ran An, et al. Endo-1,3(4)- β -Glucanase-Treatment of Oat β -Glucan Enhances Fermentability by Infant Fecal Microbiota, Stimulates Dectin-1 Activation and Attenuates Inflammatory Responses in Immature Dendritic Cells[J]. Nutrients, 2020, 12: 1660.
- [20]Day A J, Sheehan J K. Hyaluronan: polysaccharide chaos to protein organisation[J]. 2001, 11(5):617-622.
- [21]Xiaoyu Chen, Xiaojuan Xu, Lina Zhang, et al. Chain conformation and anti-tumor activities of phosphorylated (1 \rightarrow 3)- β -d-glucan from *Poria cocos*[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78: 581-587.
- [22]Abdollah Hematian Sourki, Mohammad Ali Hesarinejad. Molecular conformation and dilute solution properties of barley β -glucan: unveiling β -glucan as a highly flexible biopolymer under different processing conditions[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2023, 10:1-14.
- [23] Chang YJ, Lee S, Yoo MA, Lee HG. Structural and biological characterization of sulfated-derivatized oat beta-glucan[J]. J Agric Food Chem. 2006;54(11):3815-3818.
- [24]Rose, Devin J.,Decker, et al. Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits[J]. The British Journal of Nutrition. 2014;112 Suppl 2:S58-S64.
- [25]Shuang Gao, Yu Chen, Jungang Zhao, et al. Oat β -glucan ameliorates epidermal barrier disruption by upregulating the expression of CaSR through dectin-1-mediated ERK and p38 signaling pathways[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 185: 876-889.
- [26]Choromanska, Anna, Kulbacka, et al. High- and low-Molecular Weight oat Beta-Glucan Reveals Antitumor Activity in Human Epithelial Lung Cancer[J]. Pathology Oncology Research Por, 2018;24(3):583-592.
- [27]杨维宇, 张艳, 李芬芬, 等. 硬脂酸修饰的燕麦多糖自聚集胶束的制备及其特性初探 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(04): 46-54.
- [28]Jing, Rongrong, Fu, et al. Oat β -glucan repairs the epidermal barrier by upregulating the levels of epidermal differentiation, cell-cell junctions and lipids via Dectin-1[J]. British Journal of Pharmacology, 2024, 181(11).
- [29] Kim YH, Kang MS, Kim TH, et al. Anti-Inflammatory and Immune Modulatory Effects of Synbio-Glucan in an Atopic Dermatitis Mouse Model[J]. Nutrients. 2021;13(4):1090.
- [30]李小鹏, 苏宁, 王昌涛, 等. 不同方法提取的燕麦 β -葡聚糖分子量及其透皮吸收研究 [J]. 食品科技, 2011, 36(12): 252-256.
- [31]Ceyhan, Ali Murat, Akkaya, et al. Protective effects of β -glucan against oxidative injury induced by 2.45-GHz electromagnetic radiation in the skin tissue of rats[J]. Archives of Dermatological Research, 2012, 304(7): 521-527.
- [32]A, Rania El Hosary, B, et al. Efficient wound healing composite hydrogel using Egyptian *Avena sativa* L. polysaccharide containing β -glucan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 149: 1331-1338.
- [33]Cao, Yajing.,Wang, et al. Administration of skin care regimens containing β -glucan for skin recovery after fractional laser therapy: A split-face, double-blinded, vehicle-controlled study[J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2021, 20(6): 1756-1762.
- [34]Du, Bin, Bian, et al. Skin health promotion effects of natural beta-glucan derived from cereals and microorganisms: a review.[J]. Phytotherapy Research, 2014, 28(2): 159-166.

Application and Prospect of Oat β -Glucan in Repair Cosmetics

Wu Si-min¹, Jiang Xiao-long², Liu Yu-hong²

(1. Beijing Academy of TCM Beauty Supplements, Beijing, 102401;

2. Nutri-Woods Bio-tech (Beijing) Co.,Ltd., Beijing, 101200)

Abstract : Oat β -glucan, a non-starch polysaccharide present within the cell walls of the oat aleurone and sub-aleurone layers, has been widely employed in the cosmetics industry. The article reviews its origin, anabolic pathways, structural characteristics and its repairing efficacy on the skin. As a pivotal component of the cell wall, oat β -glucan predominantly undertakes the functions of conferring structural support and serving as an anti-nutritional factor. Both its molecular configuration and solution conformation exert a profound influence on its effectiveness. For example, oat β -glucan of lower molecular weight manifests enhanced anti-inflammatory and antioxidant capabilities, while a conformation possessing higher flexibility exhibits a stronger receptor-binding propensity. Moreover, oat β -glucan is proficient in effecting repairs on the skin at the epidermal, immune, and deep barrier strata respectively. Notwithstanding, further in-depth research is requisite to precisely elucidate the structure-activity relationship underpinning its reparative attributes.

Keywords : oat β -glucan; skin repair; structure-efficacy relationship