

软骨素硫酸钠在皮肤护理方面的应用和展望

韩雨晴^{1,2}, 李妍^{1,2}, 代汉慧², 张晴^{1,2*}
(1. 中检科(北京)生物技术有限公司, 北京, 100020;
2. 中国质量检验检测科学研究院, 北京, 100020)
DOI:10.61369/CDCST.2025030010

摘 要: 软骨素硫酸钠是一种酸性黏多糖, 广泛存在于人和动物软骨组织中。其主要在改善关节功能、减轻疼痛, 并且还在抗凝血、降血脂以及促进角膜修复等方面发挥作用。文章基于中国知网、Web of Science 和 Pubmed 等数据库相关文章, 综述了软骨素硫酸钠的理化性质、制备纯化、毒理学数据、在改善皮肤方面的功效及其在化妆品领域的应用前景, 以期软骨素硫酸钠在化妆品领域的应用提供理论参考。

关 键 词: 软骨素硫酸钠; 硫酸软骨素; 化妆品; 安全性; 功效性

第一作者简介: 韩雨晴, 硕士, 中国质量检验检测科学研究院化妆品技术中心配方研发工程师, 主要从事基础研究及化妆品配方开发工作。E-mail: hanyuqing23@163.com。

通讯作者简介: 张晴, 硕士, 中国质量检验检测科学研究院化妆品技术中心配方研发负责人。
Email: zhangqing@caiq.org.cn。



韩雨晴



张晴

软骨素硫酸钠(Chondroitin Sulfate, CS)是一种广泛存在于动物组织中的糖胺聚糖, 包括软骨、骨骼、角膜、皮肤及动脉壁等。它是细胞外基质的重要组成部分, 在维持组织结构和功能方面发挥着关键作用^[1]。软骨素硫酸钠通常附着在核心蛋白上, 以蛋白多糖的形式存在。这些物质不仅是重要的结构成分, 还能与多种细胞因子、生长因子、细胞表面受体、黏附分子、酶和纤维状糖蛋白结合, 从而执行一系列重要的生物功能^[2]。软骨素硫酸钠主要由葡萄糖醛酸和N-乙酰半乳糖胺组成的二糖单位通过 β (1 \rightarrow 4)糖苷键重复连接而成并伴有不同位置的硫酸化, 根据硫酸基团的位置不同可分为A、B、C、D、E、F等。不同的硫酸化软骨素具有不同的生物活性。如富含CS-D和CS-E的蛋白聚糖有利于神经的修复, 而富含CS-A和CS-C蛋白聚糖则不利于神经的修复。不同来源的CS二糖组成各不相同, 而且同一来源的软骨素硫酸钠不同部位也各不一致。一般认为陆地来源的软骨素硫酸钠富含CS-A, 而海洋来源的软骨素硫酸钠含有较多的CS-C和CS-D^[3]。

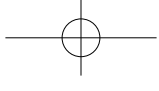
目前, 商品化的软骨素硫酸钠从动物软骨中提取纯化, 得到的软骨素硫酸钠双糖有不同的硫酸化量及模式, 牛、猪、鸡来源的软骨素硫酸钠二糖主要是CS-A和CS-C, 二糖4S/6S比值>1, 而鲨鱼来源的软骨素硫酸钠的二糖4S/6S比值<1, 且含有一定量的CS-D和CS-E。其常见生产方法可以分为传统提取法和微生物发酵法。目前软骨素硫酸钠工业生产多从动物软骨提取, 传统工艺存

在得率低、能耗高、污染重等问题。合成生物学技术虽提供新思路, 能实现更高的转化效率、产品浓度和生产强度, 但目前与传统工艺相比成本较高, 尚需优化生产流程和扩大生产的稳定性^[4]。

近年来研究表明, 软骨素硫酸钠及其衍生物(硫酸锶软骨素、硫酸软骨素纳米硒、岩藻糖基硫酸软骨素等)具有多种潜在的生物活性, 如抗炎、抗肿瘤、抗凝、抗血栓等, 在多种生理和病理过程中发挥至关重要的作用^[5]。在临床应用方面, 软骨素硫酸钠作为一种口服补充剂, 被广泛用于治疗骨关节炎。研究表明, 软骨素硫酸钠能够减轻疼痛、改善关节功能, 并减缓疾病进展^[6]。此外, 不同来源的软骨素硫酸钠产品(如动物源性和微生物源性)可能具有不同的疗效和安全性, 因此对其来源和纯度的研究也十分重要^[7,8]。

1. 软骨素硫酸钠理化性质

软骨素硫酸钠是一种高分子量的多糖, 其分子量范围可以从几千到几十万道尔顿不等^[9-11]。其分子结构由重复的二糖单位组成, 这些单位通常含有一个葡萄糖醛酸和一个N-乙酰半乳糖胺或N-乙酰葡萄糖胺残基, 并且其中一个或两个糖残基上可能带有硫酸基团。根据硫酸基团的位置不同, 软骨素硫酸钠可以分为4-软骨素硫酸钠和6-软骨素硫酸钠两种主要类型。这些单元可以通过不同的位置进行硫酸化, 形成不同类型的软骨素硫酸盐, 如CS-A、



CS-C和CS-D^[10, 12]。由于硫酸基团的存在，软骨素硫酸钠在生理条件下带有负电荷，这使得它能够与其他带正电荷的分子（如蛋白质）通过静电作用形成复合物^[13]。

软骨素硫酸钠具有良好的水溶性，这使其在水溶液中能够形成稳定的胶体溶液。但在不同溶剂中的溶解度会受到溶剂组成和pH值的影响。在酸性环境中，羧基和硫酸基的电离受到抑制。因为H⁺浓度较高，会与这些酸性基团结合，使其以分子形式存在较多。此时分子的极性相对减弱，在水中的溶解度降低。而在碱性环境中，H⁺浓度较低，羧基和硫酸基更容易电离成离子基团的形式。这些带负电荷的离子基团使软骨素硫酸钠分子的极性增强，分子之间的静电斥力增大，有利于分子在水中的分散，从而使其水溶性增加。姜玮等人^[14]总结了软骨素硫酸钠生产工艺现状，发现其在各种生产方法均是在碱性条件下进行。软骨素硫酸钠具有良好的生物相容性，不会引起明显的免疫反应或毒性。并且软骨素硫酸钠可以在体内被酶降解，这使其在生物医学应用中具有优势^[11, 15, 16]。软骨素硫酸钠可以与其他生物材料结合，形成具有特定机械性能的复合材料^[16]。软骨素硫酸钠水凝胶具有良好的流变学特性，可以在注射后迅速形成稳定的三维网络结构^[17]。

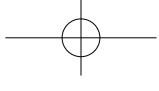
2. 软骨素硫酸钠的安全性研究进展

根据《中华人民共和国药典（2020版）》规定，软骨素硫酸钠的来源为从猪的喉骨、鼻中骨、气管等软骨组织中提取^[18]。目前国内外软骨素硫酸钠多来自猪软骨、猪喉骨、鸡胸软骨，牛或羊鼻骨、喉骨、软肋、气管、月牙骨及各部位的杂软骨，以及鱼软骨等，经软骨降解、核心蛋白水解、去蛋白、回收、纯化等过程制得^[5]。不同来源和纯度的软骨素硫酸钠在理化特性上存在明显差异^[19]。例如不同湿度下，鸡来源的软骨素硫酸钠的吸水性和保水性综合表现最优；鲟鱼来源的软骨素硫酸钠吸油性、起泡性及持泡性最佳。原料、工艺等多因素影响软骨素硫酸钠质量安全。赵琳等人^[8]在《软骨素硫酸钠质量安全标准及关键控制点研究进展》中对比了各国药典标准，分析软骨素硫酸钠质量安全标准化现状并探讨其影响。发现各国标准在来源、鉴别方法、含量测定、杂质和污染物限定等方面均存在差异。中国药典规定来源单一，在广泛性和安全指标需完善。来源不同会导致软骨素硫酸钠的生物学特性不同^[8, 20]。生产方式不同也可能引入潜在的外源污染物（如透明质酸、硫酸皮肤素、硫酸角质素、朊病毒等）^[8]。

如表1所示，软骨素硫酸钠已经被广泛应用于药品和保健食品当中。根据欧洲抗风湿联盟（EULAR）的标准，软骨素硫酸钠的毒性水平仅为6（范围为0~100），是关节炎最安全的药物之一，在长期口服的情况下，安全性可达六年^[21]。Kosman等人^[22]对软骨素硫酸钠制剂进行了一系列毒理学实验，结果显示药物无毒性、局部刺激或免疫毒性作用，确定未观察到不良效应水平（NOAEL）为168mg/kg。谢艾伶等人^[23]研究了软骨素硫酸钠对雏鸡的急性毒性，最终发现试验组无中毒症状，死亡率为0%，软骨素硫酸钠急性经口最大耐受量>30g/kg，属无毒物质。进一步研究发现，以30g/kg剂量对雏公鸡进行灌胃处理后，其心脏、脾脏、肺脏、肾脏的脏器指数及组织形态均未发生显著异常。灌胃14天后检测血清指标，丙氨酸氨基转氨酶、天冬氨酸氨基转移酶的活性，以及肌酐浓度和总胆固醇浓度等均与对照组无统计学差异。该研究表明，软骨素硫酸钠在高剂量下对雏鸡的脏器功能和血清生化指标无明显不良影响。徐冰等人^[24]对软骨素硫酸钠和氨基葡萄糖联合制剂进行了一系列毒理学实验。在遗传毒性试验中，Ames试验、小鼠精子畸变及骨髓细胞微核试验结果为阴性，说明联合制剂中未见明显毒性。黄佳宁等人^[25]对氨糖软骨素硫酸钠的亚急性毒性进行了研究，结果显示试验期内各实验组大鼠生长发育良好，各指标均在正常值范围内。病理组织学检查，未见特异性病变，最后得出氨糖软骨素硫酸钠无亚急性毒性的研究结论。综上所述，根据现有信息，软骨素硫酸钠在毒理学方面表现出较低的毒性水平，作为化妆品原料是安全可靠的。

表1 软骨素硫酸钠的安全性研究

文献来源	研究目的	研究方法	研究结果
JORDAN K M, ARDEN N K, DOHERTY M, et al, 2003 ^[21]	依据 EULAR 标准评估软骨素硫酸钠在关节炎治疗中的安全性	基于循证医学方法制定关节炎管理建议，纳入软骨素硫酸钠的毒性分级评估	软骨素硫酸钠毒性水平为6，被认定为关节炎最安全药物之一，长期口服安全性可达6年。
MAZUKINA E, SHEKUNOVA E, KOSMAN V, et al, 2021 ^[22]	探究软骨素硫酸钠制剂的毒理学特性	亚慢性毒性实验、局部刺激性实验、免疫毒性实验	药物无毒性、局部刺激或免疫毒性作用，NOAEL值为168mg/kg。
谢艾伶等 ^[23]	探究软骨素硫酸钠对雏鸡的急性毒性及高剂量下对脏器功能和血清生化指标的影响	急性毒性实验	试验组雏鸡无中毒症状，死亡率为0%，急性经口最大耐受量>30g/kg，属无毒物质。



徐冰,王燕,高慧艳,等,2017 ^[24]	探究软骨素硫酸钠和氨基葡萄糖联合制剂的遗传毒性	遗传毒性试验 (Ames 试验、小鼠精子畸变试验、骨髓细胞微核试验)	联合制剂在各项试验中结果均为阴性,未见明显毒性。
			试验期内各实验组大鼠生长发育良好,各项指标在正常值范围内,病理组织学检查未见特异性病变,无亚急性毒性。
黄佳宁,钟礼云,陈秀锦,等,2019 ^[25]	探究氨糖软骨素硫酸钠的亚急性毒性	亚急性毒性实验	

3. 软骨素硫酸钠的护肤功效研究进展

如表2所示,软骨素硫酸钠在现有研究中已证实具有显著的抗炎、吸湿、抗氧化及诱导胶原蛋白表达特性,据此推测其在皮肤舒缓、保湿及抗皱等功效方面具有良好的应用潜力。

3.1 舒缓

当炎症出现时,软骨素硫酸钠可以调节皮肤的炎症反应。它能够抑制一些炎症因子的释放,如白细胞介素-1、肿瘤坏死因子- α 和前列腺素E等。这些炎症因子在皮肤炎症、过敏等过程中起着关键的作用,降低这些炎症因子释放可以有效减轻皮肤的红肿、瘙痒等炎症症状^[26]。同时软骨素硫酸钠还可以下调基质金属蛋白酶-1的蛋白表达,并上调金属蛋白酶-1组织抑制剂的蛋白表达^[27]。黄世玉等人^[28]通过动物实验,证明鲟鱼来源的软骨素硫酸钠能显著降低因二甲苯致敏引发的鼠耳肿胀度,并且对蛋清致足垫炎肿胀度有抑制作用,表明软骨素硫酸钠具有一定的抗炎抗过敏活性。对于敏感性皮肤或处于敏感状态的皮肤,含有软骨素硫酸钠的化妆品有助于改善皮肤刺激等状态,帮助皮肤恢复健康状态,从而实现舒缓和修护功效。

3.2 保湿

软骨素硫酸钠具有较强的亲水性。它的分子结构中含有多个羟基和硫酸基等极性基团,这些基团能够与水分子形成氢键,因此软骨素硫酸钠具一定的保湿性。郑丽等人^[29]研究了乌贼软骨素硫酸钠的保水性,研究发现其在相同条件下,软骨素硫酸钠的保水性仅次于甘油,且随着软骨素硫酸钠的分子量增大,其保水性能力随之增强。Jeon等人^[30]使用软骨素硫酸钠与氨基酸合成了一种多离子络合物,其保湿能力与甘油相比表现出更加卓越的保湿效果。

在Liu等人^[31]的研究中,通过软骨素硫酸钠的表面接枝增强,改善了一种新型的胶原蛋白基薄膜的保水性能。因此,在软骨素硫酸钠的实际使用中,可以考虑与其他成分复配,使其展现出更好的保湿效果。

3.3 抗皱

软骨素硫酸钠有助于清除体内的自由基,也可以增强抗氧化酶活性,以此减缓氧化应激对细胞造成的损伤。并且低分子量的软骨素硫酸钠可能具有更强的抗氧化能力^[32, 33]。软骨素硫酸钠能够在体外螯合金属离子,这表明其可能通过几种途径(例如Haber-Weiss反应)来中和氧化自由基^[34]。还有一项研究指出,软骨素硫酸钠可能通过激活抗氧化酶如血红素氧合酶-1来减少氧化应激^[35]。在Campo等人^[36]的研究中,研究了透明质酸和软骨素硫酸钠-4对急性胰腺炎的保护作用。研究人员通过在大鼠身上注射蓖麻毒素来诱发急性胰腺炎,研究发现预先注射软骨素硫酸钠有助于改善胰腺细胞的状况,恢复内源性抗氧化剂的水平,减少细胞膜的过氧化,并降低中性粒细胞的活化。在一项随机、双盲、安慰剂对照试验中发现,补充非动物软骨素硫酸钠改善了肥胖中度膝骨性关节炎患者炎症、膝关节功能、代谢谱和身体成分^[37]。此外,软骨素硫酸钠与其他抗氧化剂的联合使用可能产生协同效应,进一步增强其抗氧化效果^[38]。

在真皮层中,软骨素硫酸钠和其衍生物如硫酸皮肤素不仅具有重要的结构功能,还参与多种生物学过程,包括细胞信号传导、细胞增殖、组织形态发生等^[2]。软骨素硫酸钠通过刺激细胞增殖和细胞外基质产生对皮肤再生有促进作用,增加角质形成细胞和成纤维细胞增殖,促进成纤维细胞迁移和细胞外基质成分的合成,激活ERK途径诱导I型前胶原表达^[39]。当其与透明质酸等成分复配时,能出现显著的抗衰老功效^[40]。

4. 软骨素硫酸钠的应用前景

软骨素硫酸钠在化妆品领域展现出广阔的应用前景。从市场需求角度来看,随着消费者对化妆品成分安全性和天然性的关注度持续提高,从动物软骨组织中提取的软骨素硫酸钠具有天然优势。消费者认为天然成分更安全温和,可以满足消费者对“绿色”“天然”化妆品的需求。

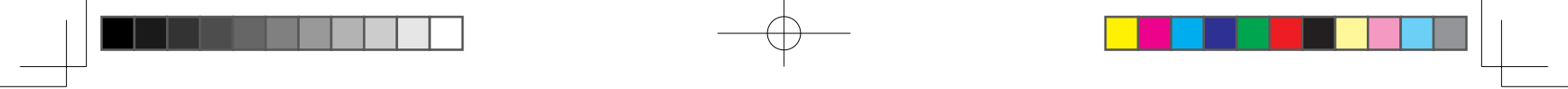


表2 软骨素硫酸钠潜在的护肤功效

研究功效	研究内容	研究类型	使用剂量	参考文献
舒缓	抑制滑炎症细胞浸润及肉芽组织形成，降低 TNF- α 、IL-1 β 浓度。	动物模型研究	1000mg/kg/天	[26]
	软骨素硫酸钠通过抑制炎症酶，减少炎症介质释放。	动物模型研究	500mg/kg/天	[27]
	鲑鱼来源的软骨素硫酸钠可降低二甲苯致敏引发的鼠耳肿胀度及蛋清致足垫炎肿胀度。	动物模型研究	600mg/kg/天	[28]
保湿	乌贼来源的软骨素硫酸钠的保水性仅次于甘油，且分子量越大保水性越强。	体外实验	10mg/mL	[29]
	高纯度的软骨素硫酸钠的保湿效果优于甘油，其与氨基酸合成多离子络合物后保湿效果更优。	体 外 实 验、人体实验	0.1%、1%	[30]
	通过软骨素硫酸钠表面接枝，可增强复合材料的保水性能。	体外实验	200mg/mL	[31]
	鲨鱼来源的软骨素硫酸钠的抗氧化能力较强，可以有效清除 DPPH 自由基、羟自由基及还原 Fe ³⁺ 。低分子量及高硫酸化程度的软骨素硫酸钠抗氧化活性更优。	体外实验	10、50、100、300、500 μ g/mL	[32]
	抗氧化活性随软骨素硫酸钠的分子量发生变化，分子量越低抗氧化活性越好。	体外实验	200mg/mL	[33]
	软骨素硫酸钠可通过清除羟基自由基、超氧阴离子自由基以及螯合亚铁离子等多种途径发挥抗氧化作用，且在浓度高达 200mg/mL 无细胞毒性。	体外实验	20、40、100、200mg/mL	[34]
抗皱	软骨素硫酸钠通过激活 PKC/PI3K/Akt 信号通路，诱导 HO-1 表达，增强细胞抗氧化能力，清除自由基。	体外实验	0.001	[35]
	预先注射软骨素硫酸钠可改善大鼠急性胰腺炎模型的胰腺细胞状况，恢复内源性抗氧化剂水平。	动物模型研究	200mg/mL	[36]
	非动物源软骨素硫酸钠可能通过降低系统性炎症标志物和改善代谢状态，发挥间接抗氧化作用。	动物模型研究	600mg/天	[37]
	研究表明，软骨素硫酸钠的分子量与其抗氧化活性之间存在关联。低分子量软骨素硫酸钠通常比大分子具有更好的生物活性。	综述文章	未提及	[38]
	软骨素硫酸钠可显著促进角质形成细胞与成纤维细胞的增殖，并能刺激成纤维细胞的迁移及细胞外基质的合成。并且可以通过激活 ERK 通路，诱导 I 型前胶原的表达。	体外实验	150mg/mL	[39]

HA 基质（含 67%透明质酸、12%软骨素硫酸钠、10.4%胶原蛋白）通过刺激细胞增殖、迁移及细胞外基质合成（如胶原蛋白、弹性蛋白、GAGs），同时抑制 ROS 生成，发挥抗衰与抗氧化作用。	体外实验	0.05、0.2、1mg/mL	[40]
--	------	-----------------	------

从产品功效性角度来看，软骨素硫酸钠具有良好的保湿效果，能在皮肤表面形成保湿膜，锁住水分，在乳液、面霜等保湿型化妆品中有很好的应用前景。其还具有抗炎舒缓的作用，能为敏感肌护理系列化妆品提供新的有效成分选择。最重要的是软骨素硫酸钠和其衍生物具有很好的抗氧化效果，同时其还能促进角质形成细胞和成纤维细胞的增殖，具有显著的抗衰老功效。

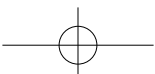
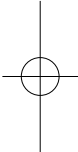
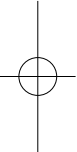
从产品稳定性角度来看，一定浓度的软骨素硫酸钠还对大肠杆菌和枯草芽孢杆菌有抑菌作用，并且抑菌效果随软骨素硫酸钠浓度变化。当浓度达到 200mg/mL 时抑菌效果最明显，几乎无菌落产生，初步推测最低抑菌质量浓度为 200mg/mL，浓度达临界值后抑菌作用可能减弱^[41]。这说明软骨素硫酸钠存在提高配方体系稳定性的潜力。

从技术创新角度，随着化妆品技术发展，可将软骨素硫酸钠制成微囊化或纳米化形式，提高其在化妆品中的利用率，增强功效性，为开发高端、高效化妆品提供更多可能。还可基于消费者不同肤质和需求进行个性化定制化妆品，更好地满足不同消费者需求，在个性化化妆品市场有很大发展空间。

需要注意的是，来源、部位、生产方式等因素都会对可能软骨素硫酸钠的功效存在一定影响。不同来源的软骨素硫酸钠比例不同，会导致二糖比例不同；使用不同加工方式，可能会引入不同的杂质，导致对皮肤产生刺激性；选择同一物种的不同部位所制得的软骨素硫酸钠，其含量也会存在一定差异^[42]。这些因素都会影响软骨素硫酸钠作为功效原料在化妆品中的应用难度。因此，软骨素硫酸钠结构类型与功效的关联分析非常重要。

5. 结语

软骨素硫酸钠在化妆品领域的应用潜力巨大，但同时也面临着诸多挑战。一方面，其天然来源和多样的功效为化妆品行业带来了新的发展机遇，满足了消费者对于安全、有效化妆品的需求；另一方面，来源和生产方式的差异对其质量和功效的影响不容忽视。未来，随着研究的深

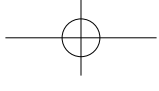


入,我们期待能够进一步明确软骨素硫酸钠结构类型与功效的关联,优化生产工艺,提高产品质量的稳定性和功效性,推动化妆品行业朝着更加天然、高效、个性化的方向发展。

参考文献

- [1]HSU HC, KE YL, LAI YH, et al. Chondroitin sulfate enhances proliferation and migration via inducing beta-catenin and intracellular ROS as well as suppressing metalloproteinases through Akt/NF-kappaB pathway inhibition in human chondrocytes[J]. J Nutr Health Aging, 2022,26(3):307-313.
- [2]ZHANG B, CHI L. Chondroitin sulfate/dermatan sulfate-protein interactions and their biological functions in human diseases: implications and analytical tools[J]. Front Cell Dev Biol, 2021,9:693563.
- [3]焦广飞. 鲨鱼硫酸软骨素二糖组成分析及其4S/6S比值的讨论[J]. 海峡药学, 2024,36(05):49-53.
- [4]赵琳, 云振宇, 吴希, 等. 硫酸软骨素钠的制备及抗骨关节炎活性研究进展[J]. 医药导报, 2024,43(06):916-925.
- [5]付常芳, 周伟, 高奇, 等. 硫酸软骨素及其衍生物研究进展[J]. 医药导报, 2023,42(05):688-691.
- [6]LOMONTE A, MENDONCA JA, DE CASTRO B G, et al. Multicenter, randomized, double-blind clinical trial to evaluate efficacy and safety of combined glucosamine sulfate and chondroitin sulfate capsules for treating knee osteoarthritis[J]. Adv Rheumatol, 2018,58(1):41.
- [7]MIRAGLIA N, BIANCHI D, TRENTIN A, et al. Safety assessment of non-animal chondroitin sulfate sodium: subchronic study in rats, genotoxicity tests and human bioavailability[J]. Food Chem Toxicol, 2016,93:89-101.
- [8]赵琳, 姜雨, 兰韬, 等. 硫酸软骨素钠质量安全标准及关键点研究进展[J]. 食品工业科技, 2022,43(19):7-13.
- [9]王伙根, 罗程, 张森林. 低分子量硫酸软骨素研究现状[J]. 科技风, 2020(23):174-178.
- [10]VOLPI N. Chondroitin sulfate safety and quality[J]. Molecules, 2019,24(8).
- [11]LI MN, JIA XZ, YAO QB, et al. Recent advance for animal-derived polysaccharides in nanomaterials[J]. Food Chem, 2024,459:140208.
- [12]CORTES-MEDINA M, BUSHMAN AR, BESHAY PE, et al. Chondroitin sulfate, dermatan sulfate, and hyaluronic acid differentially modify the biophysical properties of collagen-based hydrogels[J]. Acta Biomater, 2024,174:116-126.
- [13]PAPAGIANNOPOULOS A, SKLAPANI A, SPILIOPOULOS N. Thermally stabilized chondroitin sulfate-hemoglobin nanoparticles and their interaction with bioactive compounds[J]. Biophys Chem, 2024,304:107127.

- [14]姜玮, 王金凤, 张惠, 等. 硫酸软骨素生产工艺现状与解析[J]. 药物生物技术, 2015,22(02):185-188.
- [15]YU J, XU J, JIANG R, et al. Versatile chondroitin sulfate-based nanoplatfrom for chemo-photodynamic therapy against triple-negative breast cancer[J]. Int J Biol Macromol, 2024,265(Pt 1):130709.
- [16]SADEGHI A, ZANDI M, PEZESHKI-MODARESS M, et al. Tough, hybrid chondroitin sulfate nanofibers as a promising scaffold for skin tissue engineering[J]. Int J Biol Macromol, 2019,132:63-75.
- [17]JABEEN N, SOHAIL M, SHAH SA, et al. Silymarin nanocrystals-laden chondroitin sulphate-based thermoreversible hydrogels; A promising approach for bioavailability enhancement[J]. Int J Biol Macromol, 2022,218:456-472.
- [18]国家药典委员会. 中华人民共和国药典(二部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [19]王俊, 王紫薇, 张金木, 等. 不同来源和纯度的硫酸软骨素理化特性的研究[J]. 湖北农业科学, 2016,55(23):6224-6227.
- [20]VOLPI N. Quality of different chondroitin sulfate preparations in relation to their therapeutic activity[J]. J Pharm Pharmacol, 2009,61(10):1271-1280.
- [21]JORDAN KM, ARDEN NK, DOHERTY M, et al. Eular recommendations 2003: an evidence based approach to the management of knee osteoarthritis: report of a task force of the standing committee for international clinical studies including therapeutic trials (escisit)[J]. Ann Rheum Dis, 2003,62(12):1145-1155.
- [22]MAZUKINA E, SHEKUNOVA E, KOSMAN V, et al. Preclinical study of the efficacy and safety of chondroitin sulfate[J]. Bezop. Risk Farmakoter, 2021,9(1):43-57.
- [23]谢艾伶, 刘全瑞, 魏勇跃, 等. 硫酸软骨素对雏鸡的急性毒性试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2023(21):102-106+133-134.
- [24]徐冰, 王燕, 高慧艳, 等. 硫酸软骨素和氨基葡萄糖联合制剂的毒理学试验[J]. 河南预防医学杂志, 2017,28(6):405-409+ 431.
- [25]黄佳宁, 钟礼云, 陈秀锦, 等. 氨糖硫酸软骨素的亚急性毒性研究[J]. 海峡药学, 2019,31(8):44-47.
- [26]IOVU M, DUMAIS G, DU SOUICH P. Anti-inflammatory activity of chondroitin sulfate[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2008,16(3):14-18.
- [27]REN Z, JI Y, WANG Y, et al. Chondroitin sulfate from scophthalmus maximus for treating osteoarthritis[J]. Int J Biol Macromol, 2018,108:1158-1164.
- [28]黄世玉, 李江森, 关瑞章, 等. 鲟鱼硫酸软骨素的免疫调节及抗炎抗过敏活性[J]. 中国生化药物杂志, 2012,33(05):540-543.
- [29]郑丽, 王亚儿, 李和生. 乌贼硫酸软骨素的保水性、抗氧化性及抑制黑色素瘤生长的研究[J]. 现代食品科技, 2016,32(04):18-22.
- [30]JEON H, SHIN YW, WON JG, et al. Novel cosmetic ingredient cs-aa polyion complex and skin moisturizing effect[J]. Skin Res Technol, 2024,30(9):e70073.
- [31]LIU Y, LV H, REN L, et al. Improving the moisturizing properties of collagen film by surface grafting of chondroitin sulfate for corneal tissue engineering[J]. J Biomater Sci Polym Ed, 2016,27(8):758-772.
- [32]LAN R, LI Y, SHEN R, et al. Preparation of low-molecular-weight chondroitin sulfates by complex enzyme hydrolysis and their



antioxidant activities[J]. Carbohydr Polym, 2020,241:116302.

[33]ZOU Z, WEI M, FANG J, et al. Preparation of chondroitin sulfates with different molecular weights from bovine nasal cartilage and their antioxidant activities[J]. Int J Biol Macromol, 2020,152:1047–1055.

[34]MEDEIROS L, VASCONCELOS B, SILVA MB, et al. Chondroitin sulfate from fish waste exhibits strong intracellular antioxidant potential[J]. Braz J Med Biol Res, 2021,54(10):e10730.

[35]EGEA J, GARCIA AG, VERGES J, et al. Antioxidant, antiinflammatory and neuroprotective actions of chondroitin sulfate and proteoglycans[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2010,18(1):24–27.

[36]CAMPO GM, AVENOSO A, CAMPO S, et al. Administration of hyaluronic acid and chondroitin-4-sulfate limits endogenous antioxidant depletion and reduces cell damage in experimental acute pancreatitis[J]. Pancreas, 2004,28(2):45–53.

[37]RONDANELLI M, MIRAGLIA N, PUTIGNANO P, et al. Short- and long-term effectiveness of supplementation with non-animal chondroitin sulphate on inflammation, oxidative stress and functional

status in obese subjects with moderate knee osteoarthritis before and after physical stress: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial[J]. Antioxidants (Basel), 2020,9(12):1241.

[38]CAMPO GM, AVENOSO A, CAMPO S, et al. Antioxidant activity of chondroitin sulfate[J]. Adv Pharmacol, 2006,53:417–431.

[39]MIN D, PARK S, KIM H, et al. Potential anti-ageing effect of chondroitin sulphate through skin regeneration[J]. Int J Cosmet Sci, 2020,42(5):520–527.

[40]GALVEZ-MARTIN P, SOTO-FERNANDEZ C, ROMERO-RUEDA J, et al. A novel hyaluronic acid matrix ingredient with regenerative, anti-aging and antioxidant capacity[J]. Int J Mol Sci, 2023,24(5).

[41]徐丽萍, 姜喆, 姚鹏程, 等. 硫酸软骨素提取工艺优化及抑菌活性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2019,35(05):573–580.

[42]官瑞泽, 王燕华, 孙印石. 不同加工方式及不同部位鹿茸中硫酸软骨素的含量分析[J]. 中国中药杂志, 2018,43(03):557–562.

Application and Prospect of Chondroitin Sulfate in Skin Care

Han Yu-qing^{1,2}, Li Yan^{1,2}, Dai Han-hui², Zhang Qing^{1,2*}

(1.C C TECH (BEIJING) Biotechnology Co., Ltd., Beijing, 100020;

2.Chinese Academy of Quality and Inspection&Testing, Beijing, 100020)

Abstract : Chondroitin sulfate (CS), an acidic mucopolysaccharide, is widely distributed in cartilage tissues of humans and animals. It primarily functions in improving joint function, alleviating pain, and also plays roles in anticoagulation, lipid-lowering, and promoting corneal repair. Based on relevant articles from databases such as CNKI, Web of Science, and PubMed, this review summarizes the physicochemical properties, preparation and purification methods, toxicological data, skin-improving effects, and application prospects of CS in the cosmetics field, aiming to provide theoretical references for the application of CS in cosmetics.

Keywords : chondroitin sulfate; cosmetics; safety; efficacy

