

化学世界的奇妙织者 ——蚕

作者：李唐；Email: 1471337307@qq.com

细丝绵绵吐不尽，春蚕勤勤夜未眠。绿叶成茧藏深意，金丝织梦绕心田。

——《春蚕织梦》

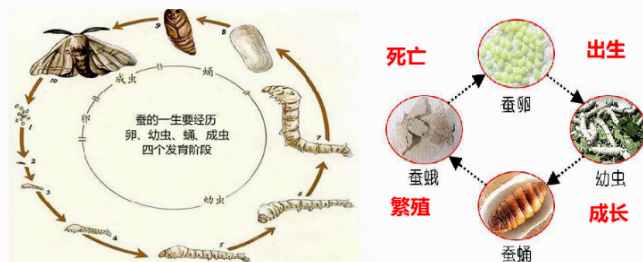
1. 引言

从小就会诵读的“春蚕到死丝方尽，蜡炬成灰泪始干”出自唐代诗人李商隐的《无题·相见时难别亦难》。这句诗运用了生动的比喻，借用春蚕到死才停止吐丝，蜡烛烧尽时才停止流泪，来比喻男女之间的爱情至死不渝。蚕作为一种独特的生物资源，不仅为人类提供了宝贵的物质财富，还承载着丰富的文化内涵和历史记忆。

蚕属于鳞翅目昆虫，以桑蚕（家蚕）最为常见。桑蚕原产于中国，驯化历史已有数千年之久。在中国古老的神话传说中，嫘祖被尊称为中华人文女祖，相传是黄帝的正妃。某日，嫘祖在山中漫步，发现一些白色的小虫在桑树上吐丝作茧。她好奇地取下茧子，发现茧丝柔软而坚韧。于是，嫘祖开始尝试将这些茧丝抽丝剥茧，最终织成了轻柔细腻的丝绸。嫘祖养蚕织丝的故事成为了中华民族勤劳智慧、勇于创新的象征，而蚕丝，也成为了中国古代文明的重要标志之一。

蚕的一生经历了卵、幼虫（蚕宝宝）、蛹和成虫（蚕蛾）这4个阶段^[1]，每个阶段都有其独特的生理特征和化学变化，这一过程被称为完全变态，如图1所示。

在卵期，蚕卵呈椭圆形，初产时颜色为淡黄色或绿色，随后逐渐变为灰绿色或紫褐色。在适宜的温度和湿度条件下，卵经过约10天左右的时间就会



① 【图1】蚕的发育阶段（图片来源于21世纪教育）

孵化出蚁蚕。蚁蚕出壳后，会立即寻找桑叶为食，开始其幼虫阶段的生活。

幼虫阶段是蚕生长和发育的关键时期。蚕宝宝通过不断摄取桑叶，在体内进行消化、吸收和代谢，将桑叶中的营养物质转化为自身所需的蛋白质、脂肪和碳水化合物等。在幼虫阶段，蚕会经历多次蜕皮，每次蜕皮后体型都会增大，直到成为五龄幼虫。五龄幼虫是蚕生长的最大阶段，也是其吐丝结茧前的准备阶段。

当五龄幼虫体内积累了足够的营养物质和能量后，就会开始寻找合适的地点进行吐丝结茧，这就是蛹期。蚕在茧中分泌出大量的丝质物质，将自己包裹起来，形成一层坚固的茧壳^[2]。在茧壳内，蚕会进行最后一次蜕皮，并化蛹。蛹是蚕生命周期中的一个重要阶段，也是其从幼虫

向成虫转变的过渡阶段。在蛹期内，蚕体内的组织和器官会进行一系列的生理变化和化学变化，为成虫阶段的到来做好准备。

经过一段时间的蛹期后，蚕蛹会破茧而出，变成蚕蛾，也就是成虫期。蚕蛾的体型较小，翅膀呈扇形，具有飞翔能力。蚕蛾的交配和产卵是其生命周期中的最后阶段。交配后的雌蛾会寻找合适的地点产卵，然后慢慢死去。而雄蛾则会在交配后不久死去。蚕蛾的死亡标志着蚕生命周期的结束，也预示着新一代蚕生命的开始。

蚕，这种看似不起眼的昆虫，通过摄取桑叶，在体内进行复杂的生物化学转化，最终生产出质地柔软、光泽度高的蚕丝。本文将深入探讨蚕的生理机制、蚕丝的化学组成及其在化学工业中的应用，带领读者走进

蚕这一神奇生物的世界。

2. 蚕丝的化学组成与性质

蚕丝，作为蚕的杰出产物，具有极高的经济价值。它质地轻盈、柔软、光滑，且具有良好的透气性和保暖性，因此被广泛应用于纺织、服装、医疗和美容等多个领域。此外，蚕丝还因其独特的生物相容性和可降解性，在生物医学领域也展现出广阔的应用前景。除了经济价值外，蚕还承载着丰富的文化内涵。在中国，蚕桑文化源远流长，与人们的生活习俗、宗教信仰、艺术创作等方面紧密相连。蚕丝的生产过程，不仅体现了人类对自然的敬畏和感恩，也展示了人类智慧和创造力的结晶。

蚕丝是一种天然高分子纤维，主要是由两条丝素蛋白(Fibroin)和周转覆盖的丝胶(Sericin)两部分组成，如图2所示。桑蚕丝纤



①【图2】蚕丝的组成与蚕丝被的制作（图片来源于（左）搜狐，（中）美篇，（右）买购网）

维为蛋白质纤维，丝素蛋白是蚕丝中主要的组成部分，约占质量的70%，一种由多种氨基酸组成的蛋白质；丝胶约占25%，主要起到保护和润滑丝素的作用；还有5%左右的杂质。丝素为纤蛋白，丝胶为球蛋白。丝素约含97%的纯蛋白质，由18种氨基酸组成，其中8种是人体所必需的氨基酸^[3]。

2.1 丝素的化学组成

丝素是一种复杂的蛋白质，主要由甘氨酸、丙氨酸和丝氨酸等氨基酸组成。这些氨基酸通过肽键连接成多肽链，进而形成丝素的分子结构（图3）^[4]。丝素的分子结构具有高度的有序性和稳定性，这使得蚕丝具有优良的物理和化学性能。

2.2 蚕丝的化学性质

蚕丝具有两性性质，既含有酸性基因又含有碱性基因。这使得蚕丝在不同pH值的环境中表现出不同的化学性质。在酸性环境中，蚕丝表现出较强的稳定性；而在碱性环境中，蚕丝则容易发生水解和降解^[5]。此外，蚕丝还对氧化剂较为敏感，容易在氧化剂的作用下发生氧化反应，导致其强度和性能下降。然而，蚕丝对还原剂的抵抗力较强，不易发生还原反应。

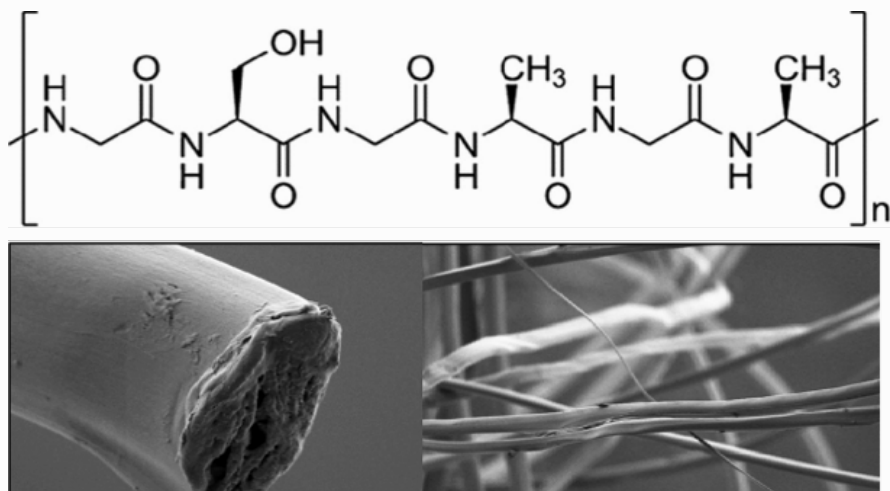


图3 丝素蛋白重复单元的化学结构与蚕丝纤维截面扫描电镜图^[4]

2.3 蚕丝的物理性质

蚕丝具有优良的物理性质，如高强度、高弹性、高韧性和良好的吸湿性、透气性等。这些性质使得蚕丝在纺织领域具有广泛的应用价值。此外，蚕丝还具有独特的光泽度和手感，使其成为高档纺织品的首选材料。

3. 蚕丝应用

蚕丝作为一种天然高分子纤维，在化学工业中具有广泛的应用价值。主要包括4个领域。

3.1 纺织领域

蚕丝是纺织领域中的重要原料之一。由于其优良的物理和化学性质，蚕丝被广泛应用于高档纺织品的生产中。如丝绸面料、丝绸服饰等。这些产品以其柔软光滑、光泽度高的特点，深受消费者的喜爱。近几年，清华

大学张莹莹团队^[6]在蚕丝基功能材料的开发与其柔性电子器件应用方面，做了一系列开创性和探索性的工作。例如，建立并发展了利用蚕丝织物制作大应变柔性器件的策略，制备了高灵敏宽响应的应变传感器，继而开发了一系列其他织物基柔性可穿戴器件，如柔性能源器件、柔性织物人体电极、温度-压力双功能电子皮肤和石墨烯-蚕丝电子纹身等^[7]。

3.2 生物医学领域

蚕丝在生物医学领域也具有广泛的应用前景。由于蚕丝具有良好的生物相容性和可降解性，被用作生物医学材料，如手术缝合线、人工皮肤和组织工程支架等。此外，蚕丝中的某些成分还具有抗菌、抗炎等生物活

性, 2025 年, Li 等人^[8]综述了关于丝素蛋白在伤口愈合管理中的应用, 也可用于制备生物医学药物和医疗器械。

3.3 化妆品领域

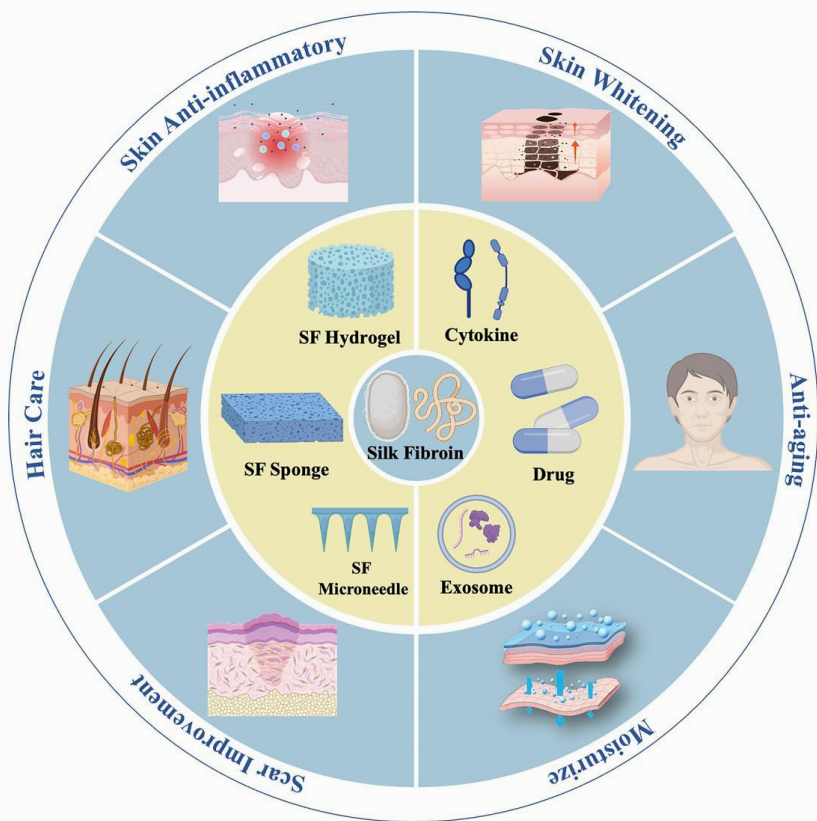
蚕丝在化妆品领域也有广泛的应用(图 4), 2025 年 Li 等人^[9]综述了蚕丝蛋白制品可以美白, 改善疤痕、皱纹, 还具备滋养和保湿皮肤等作用。Li 等在文章中解释了其机理: 桑蚕丝在太阳的照射下会发黄, 是因为它能够吸收太阳中的紫外线(如图 5), 同时蚕丝中的酪氨酸能阻止黑色素的生成, 所以当蚕丝接触皮肤使用时, 可以美白淡黑; 由于蚕丝具有良好的保湿性和透气性, 可以被用作化妆品中的保湿成分和增稠剂。此外, 蚕丝中的某些成分还具有抗氧化、美白等功效, 可用于制备高档化妆品和护肤品。

3.4 其他领域

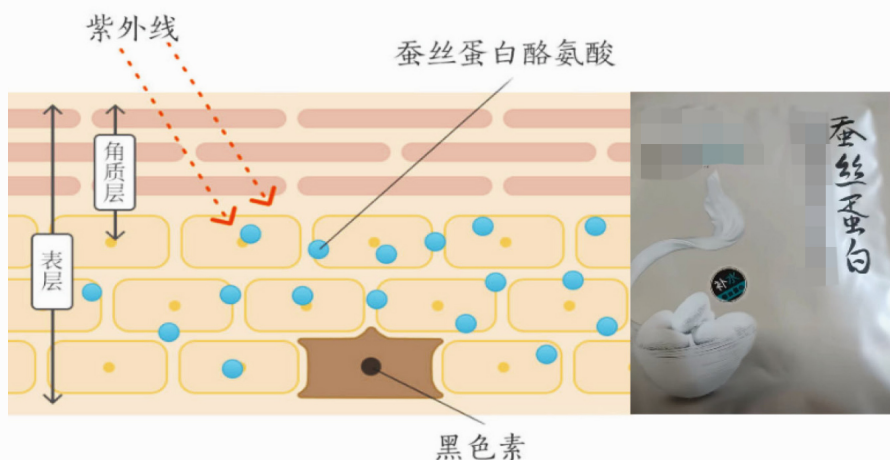
蚕丝还可以应用于其他领域, 如: 蚕丝可以作为高级纸张的原料之一, 提高纸张的强度和光泽度; 蚕丝还可以作为食品包装材料, 提高食品的保鲜性能和口感; 此外, 蚕丝还可以用于制备高性能纤维和复合材料等。

4. 蚕丝化学成分的分析与检测

为了确保蚕丝的质量和性能



❶ 【图 4】蚕丝蛋白美白机制(逆时针释义外圈: 皮肤抗炎、头发护理、疤痕改善、保湿和滋养、美白肌肤、抗衰老; 内圈: 水凝胶、海绵、微球和微针、外来因子、药物、细胞激素)^[9]



❶ 【图 5】蚕丝蛋白美白机制(图片来源于搜狐)

符合标准要求, 研究者们开发了一系列蚕丝化学分析与检测方

法。表 1 是几种常见的蚕丝化学分析与检测方法:

表 1 蚕丝分析的 4 个主要方面

序号	分析 / 测试项目	描述	常用方法
1	氨基酸分析	通过测定蚕丝中各种氨基酸的含量来评价其质量和性能	高效液相色谱法和气相色谱法等
2	相对分子质量测定	通过测定蚕丝的相对分子质量来评价其质量和性能	凝胶渗透色谱法和电泳法等
3	化学组成分析	通过测定蚕丝中各种化学成分的含量来评价其质量和性能	红外光谱法和核磁共振法等
4	物理性能测试	通过测定蚕丝的强度、弹性和韧性等物理性能来评价其质量和性能	拉伸试验和撕裂试验等

5. 结语

蚕作为一种神奇的生物，在化学和纺织领域发挥了举足轻重的作用。它们通过摄取桑叶，在体内进行复杂的

生物化学转化，最终生产出质地柔软、光泽度高的蚕丝。蚕丝不仅具有优良的物理和化学性质，还具有广泛的应用价值。随着科学技术

的不断发展，研究者们对蚕丝的研究和应用也将不断深入和拓展。相信在未来，蚕丝将在更多领域展现出其独特的魅力和价值。

参考文献

[1] 续文婕, 胡慧萍, 戴贤君, 等. 蚕品种对不同发育阶段蚕体、蚕沙及蚕茧稳定同位素特征的影响[J]. 核农学报, 2023, 37(4): 740-748.

[2] Ye X, Tang X, Zhao S, et al. Mechanism of the growth and development of the posterior silk gland and silk secretion revealed by mutation of the fibroin light chain in silkworm[J]. Int J Biological Macromol, 2021, 188: 375-384.

[3] Callone E, Dirè S, Hu X, et al. Processing influence on molecular assembling and structural conformations in silk fibroin: elucidation by solid-state NMR[J]. ACS Biomater Sci Eng, 2016, 2(5): 758-767.

[4] Atay I, Asad E, Yagci M B, et al. Simple and green process for silk fibroin production by water degumming[J]. ACS Omega, 2025, 10(1): 272-280.

[5] Wang Z, Yang H, Li W, et al. Effect of silk degumming on the structure and properties of silk fibroin[J]. Je Textile Inst, 2019, 110(1): 134-140.

[6] Zhang M C, Zhao M Y, Zhang Y Y, et al. Printable smart pattern for multifunctional energy-management E-textile[J]. Matter 2019, 1, 168-179.

[7] Wang Q, Ling S, Liang X, et al. Self-healable multifunctional electronic tattoos based on silk and graphene[J]. Adv Funct Mater, 2019, 29(16): 1808695.

[8] You C, Wang C K, Ma Z H, et al. Review on application of silk fibroin hydrogels in the management of wound healing[J]. Int J Biologic Macromol, 2025, 298(12), 140082-140110.

[9] Li S J, Chen H, Dan X, et al. Silk fibroin for cosmetic dermatology[J]. Chem Eng J, 2025, 506(8): 159986-160012.

