

•综述•

## 细菌纤维素创面敷料的基础研究及临床应用进展

赵涵<sup>1,2</sup> 陈芳<sup>2</sup> 综述, 李惠斌<sup>1,2</sup> 审校

(1.潍坊医学院 山东 潍坊 261053; 2.临沂市人民医院 烧伤整形与创面修复二病区 山东 临沂 276000)

**[摘要]** 细菌纤维素 (Bacterial cellulose, BC) 是一种天然生物高聚物, 为一种纳米材料, 它具有很多优良生物特性, 如天然纯度高、孔隙率高、吸水性较强以及质地坚韧等。BC在食品、造纸以及生物医学等很多方面均有广泛应用, 而在创面敷料的应用上也有很大的前景, 它能够控制伤口渗出, 为伤口提供促进愈合的潮湿环境。本文主要针对BC的性质, 制备原理及作为医学敷料等方面的应用和相关的敷料研究进展进行综述, 并展望其应用前景。

**[关键词]** 细菌纤维素; 伤口愈合; 烧伤; 生物材料; 细菌纤维素复合材料

**[中图分类号]** R641 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2025) 04-0176-04

## Progress in Basic Research and Clinical Application of Bacterial Cellulose Wound Dressing

ZHAO Han<sup>1,2</sup>, CHEN Fang<sup>2</sup>, LI Huibin<sup>1,2</sup>

(1. Weifang Medical University, Weifang 261053, Shandong, China; 2. Department of Burn Plastic Surgery and Wound Repair Ward II, Linyi City People Hospital, Linyi 276000, Shandong, China)

**Abstract:** Bacterial cellulose (BC) is a kind of natural biopolymer, which is a kind of nano-material. It has many excellent biological properties, such as high natural purity, high porosity, strong water absorption and tough texture. BC has been widely used in food, papermaking and biomedicine, and it has a great prospect in the application of wound dressing. It can control wound exudation and provide a moist environment for wound healing. In this paper, the properties, preparation principle and application of BC as medical dressings are introduced, and the research progress of BC dressings is reviewed, and its application prospect is prospected.

**Key words:** bacterial cellulose; wound healing; burns; biological materials; bacterial cellulose composites

人体最大的器官是皮肤, 皮肤可以通过保持水分的方减少水分蒸发, 同时防止外界细菌的入侵来保持人体的正常生理功能, 因此皮肤是构成人体三大防线中最基础的一道<sup>[1]</sup>。一个人如果遭受极为严重的皮肤损伤, 那么皮肤的屏障功能就会受到干扰, 从而导致大量的外界细菌等微生物入侵, 可能导致患者出现严重的感染。皮肤损伤后的伤口愈合涉及凝血、炎症、细胞分裂、细胞外基质形成、组织形成以及上皮的成熟等多个过程<sup>[2]</sup>。创面愈合代表着患者皮肤屏障功能在逐渐恢复, 但是皮肤的恢复有可能会因为外界细菌等微生物的影响进展缓慢, 这也是为何严重烧伤的患者需要敷料覆盖伤口隔绝外界环境的一个原因。伤口敷料有很多类型, 理想的创面敷料最重要的是保护创面<sup>[3-4]</sup>。

BC是由部分细菌产生的一类高分子化合物, 即细菌纤维素<sup>[5]</sup>。能合成细菌纤维素的主要有醋酸杆菌属 (Acetobacter)<sup>[6]</sup>、

土壤杆菌属 (Agrobacterium)<sup>[7]</sup>、根瘤菌属 (Rhizobium)<sup>[8]</sup>, 其中最常提到的便是醋酸杆菌 (Acetobacter xylinum)。BC最早是由英国的Brown偶然间发现的, 最终他确定发现的是一种纤维素<sup>[9]</sup>。由于当时的技术限制, 细菌纤维素的相关研究并没有引起很大反响。1947年, Hestrin S等<sup>[10]</sup>第一次说明无氧条件下木醋杆菌可以合成BC。1954年, Schramm M等<sup>[11]</sup>研究表明, 纤维素在形成过程中会受到诸如基因及环境等因素的影响。从19世纪80年代开始, 人们逐渐意识到BC是一种有很大潜力的生物材料, 关于BC的研究发展开始井喷式增长<sup>[12]</sup>。在这个过程中, 有两个课题组做出了开拓式的工作: 一是索尼公司、日本防治研究所及味之素公司合力研究的高强度生物材料<sup>[13]</sup>; 二是Wyerhaeuer及Cetus Corp等研究的由A. xylinum作为生产菌株生产的BC<sup>[14]</sup>。1992年, Okiyama A等<sup>[15-16]</sup>报道了实验室大规模生产BC的方法。

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目 (编号: ZR2021MH290); 山东省医药卫生科技发展计划项目 (编号: 202104030578)

通信作者: 李惠斌, 主任医师、硕士研究生导师; 研究方向为烧伤整形外科。E-mail: 154886533@qq.com

第一作者: 赵涵, 硕士研究生; 研究方向为烧伤整形外科。E-mail: 1597789807@qq.com

## 1 细菌纤维素的性质

BC在物理性质、化学组成及分子结构上与植物纤维素很相近,两者存在很多相似的性质,其一是在其分子链中,每个葡萄糖分子都含有3个羟基,分别位于葡萄糖分子的六元环两侧;其二是在其形成过程中,多条纤维素大分子链相互缠绕,在大分子间及分子内形成较多氢键,生物大分子结晶度高,因此,BC不溶于大多数的溶剂,如水、常见的一些有机及无机溶剂;BC的强度和热塑性差,但耐化学腐蚀,这些特性在BC的溶解、改性及应用上均有很大的影响<sup>[11,17-18]</sup>。BC相比于植物纤维素具有很多的优点,例如纯度高、渗透性好、孔隙率高、吸水性强以及机械强度高。而这与它自身所具备的性质是分不开的。

BC的性质包括:①纳米级纤维,BC是目前为止所发现的最细的天然纤维。②纯度高、结晶度高,BC的化学结构十分类似于植物纤维素,但相对植物纤维素而言,细菌产生的纤维素更加纯净。③吸水性强、高透气性,BC分子中含有大量的亲水基团(例如羟基等)以及孔道,故具有很强的透气性,吸水性和持水性;④高机械强度,BC分子中存在大量的氢键而具备较高的杨氏模量,足以满足医学敷料、医学组织器官代用品以及其他产品的要求。⑤组织相容性,具有很好的生物相容性及生物可降解性,为其成为医学敷料及其他的医学生物器材的材料奠定了基础,由于BC由细菌产生,可以在自然界发现,对环境没有危害,不会污染环境;⑥生物合成可调控性,细菌合成细菌纤维素是可以通过人工干预的方法调节的,可以通过改变细菌的外界条件来获取所需的不同大小、厚度、性质的BC,也可以通过不同的物理环境条件生产出不同形态的BC<sup>[19]</sup>。BC的这些特性使其在医学相关行业中获得了极大的优势。在创面敷料中BC应当会大放异彩,它可以作为创面敷料保护损伤组织的理想支架,特别是在烧伤创面、组织再生中可以作为临时皮肤代替品<sup>[20]</sup>。对BC进行功能化开发也可以拓展它在其他方面的应用,例如食品工业、防护材料、气凝胶材料、燃料电池、整形美容等方面的应用。

## 2 细菌纤维素的制备

在细菌体内,它以环境中的己糖、己酸等物质作为原材料<sup>[21]</sup>,合成产生尿苷二磷酸葡萄糖(UDP-G),作为合成BC的前体。而在体外,UDP-G被排出菌体后,将会合成装配为 $\beta$ -1,4-葡萄糖链<sup>[22]</sup>,并在纤维素合酶的作用下通过氢键的作用在菌体表面重新聚合成 $\beta$ -1,4-糖苷键。在BC的体外组装过程中,糖苷键在菌体附近的培养基通过氢键自组装为微纤维,微纤维在强氢键的作用下相互聚集。40~60个微纤维相互缠绕形成松散的带状结构后进一步组装为纤维<sup>[23]</sup>,后上浮至气液表面,最终形成细菌纤维素膜<sup>[24]</sup>。

## 3 细菌纤维素的临床应用

伤口敷料有很多种类型,例如:传统敷料(即干净纱

布)、磺胺嘧啶银乳膏、银离子敷料、重组人粒细胞巨噬细胞集落刺激因子、富血小板血浆、异种猪皮敷料等<sup>[4]</sup>,每种敷料都有着不同的优点及劣势。伤口敷料大大减少了身体伤口持续恶化的可能,这不仅仅指的是细菌纤维素敷料,目前应用的各种伤口敷料均有不同程度的预防伤口恶化的能力,从而促进伤口的恢复。理想的创面敷料最重要的是保护创面,防止创面受到外界的影响,同时可以吸收创面渗出的组织液等物质,保持创面相对清洁,同时需具备一定的透气性,不能有毒性和刺激性影响相对脆弱的创面组织,可以稳定地保持在患者创面上,不对创面造成伤害。重要的是无毒副作用和刺激性,换药清除时不会黏附伤口造成二次创伤<sup>[3,25]</sup>。Shefa AA等<sup>[26]</sup>采用冷冻干燥的方法制备了一种新的TEMPO氧化纤维素纳米纤维(TOCN)-丝素蛋白支架。通过实验发现,该支架可以促进细胞的生长,与单纯的TOCN支架相比,TOCN-丝素蛋白支架成功促进了伤口的愈合。徐玲华等<sup>[27]</sup>通过大鼠手术伤口愈合实验对比研究了细菌纤维素敷料与传统的干性敷料和密闭性水胶体敷料,初步得出的结论是BC的确能够更有效地促进大鼠手术伤口愈合,在伤口保湿、防粘连以及预防瘢痕等方面均具有明显的优势。

在医学治疗应用中,天然衍生聚合物与合成聚合物相比存在很多的优点,如生物相容性、可自然降解以及生物活性。相比于其他的烧伤敷料,细菌纤维素膜的主要优点在于生物相容性好,无刺激性和毒副作用,保水能力和吸水能力好,具备一定的抗菌能力,可以促进伤口的愈合。其还可以作为载体承载其他的药物,方便治疗伤口的感染等情况,也可以更快地促进伤口的愈合。目前Biofill及Geniflex是应用较为广泛的两种细菌纤维素材料:Biofill作为人类皮肤临时代用品已成功地应用于治疗二级及以上的烧烫伤、皮肤移植以及慢性皮肤溃疡等疾病,根据报道,Biofill已经被用于治疗300多例患者,它具有很多BC的特性,还具有易于查看伤口、快速促进愈合、可以随着皮肤的恢复而自然脱落的优点,唯一的缺点是在大范围移动过程中弹性较低;Geniflex则多用于修复牙龈组织<sup>[12]</sup>。

在世界范围内,烧伤创面和植皮供区的治疗方法存在着很大的差异,有很多的创面敷料用于治疗。BC因其具有的高孔隙率、保水能力、吸水能力、生物相容性、可自然降解等优点,使它成为一种较为优秀的创面敷料,特别是在生物医学和药理领域。治疗应当个体化,根据患者的不同情况选择适合的敷料,以适应病变的需要。因此这些条件均要求细菌纤维素敷料具备创造性、综合性和多样性的优势条件。

在美容方面,BC也具备许多优势。现如今很多消费者都乐于用化妆品来美化自己的外观,但很少关心化妆品对皮肤的副作用。如使用对羟基苯甲酸酯常会引起皮肤过敏<sup>[28]</sup>。要避免这些伤害需要使用由天然植物或衍生成分(如精油、草药、花和根等)制成的天然护肤产品<sup>[29]</sup>。BC在化妆品中有很多应用,包括面膜、隐形眼镜、个人清洁配方及面部磨砂膏<sup>[30]</sup>。BC相较于其他材料的优点是具有更好的亲水性

和持水性,而且更加纯净,不含有木质素及半木质素<sup>[31]</sup>。BC保持水分的能力是无纺布口罩的10倍<sup>[32]</sup>,较高的吸收能力和持水性使BC得以在面膜方面占据一定优势。而BC直径只有20纳米纤维及相对其他面膜材料更薄的厚度,保证BC面膜即使对不规则的皮肤表面仍可以保持较好的附着能力,从而触及面部的每一个轮廓,使其能够接触到其他面膜无法接触到的细纹和皱纹<sup>[33]</sup>。除此以外,基于BC膜在皮肤上应用的特定区域的精确剂量可以防止活性成分的损失<sup>[34]</sup>。因此,BC膜可以给皮肤提供真正的美容支持,因为它具备良好的触感,可以舒缓皮肤并为其保湿<sup>[35]</sup>。但是BC膜本身不具备任何的抗衰老、美白和清洁功能,这限制了BC在美容方面的应用。

为了提高BC作为伤口敷料的效率或者可为其提供量身定制的特性、功能,需要花费很大力气进行其自然特性的开发和改进,例如抗拉强度、生物相容性以及吸水能力等。但是BC本身并不具备良好的敷料,需具备一些理想的特性,如抗菌、抗炎和抗衰老能力。因此,除了自然特性的改善外,还需要引入一些特殊的特性,以提高生物纤维素的应用优势。而这主要指的是开发BC的复合材料。

#### 4 细菌纤维素复合敷料的研究

近年来,关于细菌纤维素复合敷料的研究一直在发展,其中一个方案是在其中加入间充质细胞(MSC)的基质,这样做的目的是增强敷料促进皮肤愈合的能力。有许多研究表明,MSC具有多向分化潜能,包括人体内的多种细胞均可由它分化形成,将它添加在敷料上,目的便是增强敷料促进伤口细胞生长的能力<sup>[20]</sup>。

另外一个方案是增强敷料的抗菌能力,目前部分实验室尝试将ZnO引入到敷料中以增强敷料的抗菌能力,也取得了比较满意的效果<sup>[36]</sup>。然而在研究过程中,由于ZnO颗粒较为微小,细胞常常会通过内吞作用将其摄入到体内,ZnO自然状态下也具备一定的杀伤能力,一旦细胞过多摄入将会损伤细胞<sup>[37]</sup>。王成枫等<sup>[38]</sup>研究发现聚赖氨酸/细菌纤维素抗菌敷料可对烫伤大鼠产生一定的治疗效果,它会显著抑制伤口的细菌生长及繁殖,调节细胞活性。南方等实验人员将BC与纳米银颗粒结合形成新的抗菌敷料,动物试验中证明了它可以降低伤口感染的概率,缩短伤口的愈合时间<sup>[39]</sup>。有学者将异位修饰的姜黄素加入敷料中,表明姜黄素可以与敷料产生一定的化学作用,即它可以提高BC的结晶度,也能够促进烧伤小鼠的创面愈合速度<sup>[1]</sup>。目前,有实验室将精油、草药、植物萃取物、花卉、藻类萃取物、泛醇等活性物质添加到BC膜中,活性成分以氢键结合在BC膜上<sup>[40]</sup>,通过这种方式BC膜可以使活性成分相对其他产品而言获得更长的作用时间,明显有助于活性成分渗透皮肤,从而让BC面膜获得了更好的皮肤保湿能力,BC面膜的低毒性和高保水能力让它成为了极好的治疗干燥皮肤的材料<sup>[41]</sup>。同时,部分实验室在研究BC膜添加甘油后的优势和劣势,结果显示,添加甘油后没有增加BC膜对皮肤的刺激性,且增加甘油可

以增强BC膜的保水能力<sup>[42]</sup>。Lin YC等<sup>[43]</sup>开发了含有BC膜碎片的重量范围为0.05%~1.0%的美容产品,在其中添加BC碎片的方法显著提升了添加成分的皮肤渗透能力,提高了产品的去角质,皮脂吸收和保湿能力。

#### 5 小结和展望

BC有很多优点,像是前面提到的纯度高、孔隙率高、吸水能力强、机械强度高、生物相容性好以及可被自然降解等特性,这些优点使它可以在医学领域大放异彩,BC的相关产品正在医学领域得到不断发展,不止烧伤敷料,还有人工皮肤、人造血管、组织工程支架等方面均有应用。同时,因为细菌纤维素敷料可以轻易地与其他材料结合,故可以通过添加各种材料改善BC的性能以改变它的特性满足不同场合的需求。然而,现在所研究出的合成材料大多具有局限性。且基于BC材料的生物医学应用研究仍处于前期阶段,大部分研究集中在动物模型上,临床研究较少<sup>[44]</sup>。BC材料的制备上也存在不少缺陷,例如转化率不足,工厂化不足,生产的成本很大<sup>[45]</sup>。因此,产品较少,应用于医学领域的产品很少,在其他领域的开发也处在初期阶段。今后的研究将在于选育产量更加稳定高效的菌株,从而可以实现BC的大工厂化生产,提高BC的产量,提高转化率,降低其生产成本。之后也需要继续研究BC在不同场合的应用,从而丰富BC的品类,满足医学及其他行业对于BC产品的需求。BC在美容方面的应用有很大潜力,然而在美容方面的相关研究极其有限,仍有很大的空间支持更加深入的研究。在敷料方面,继续研究细菌纤维素复合敷料,通过添加不同的辅助材料改善敷料的抗菌性能和抗炎能力,以拓宽细菌纤维素敷料在烧伤敷料领域的应用。

#### 【参考文献】

- [1]杨贤平,张子圣,刘振雄,等.中药对皮肤屏障功能修复作用的研究进展[J].吉林中医药,2019,39(6):827-830.
- [2]Sajjad W, He F, Ullah M W, et al. Fabrication of bacterial cellulose-curcumin nanocomposite as a novel dressing for partial thickness skin burn[J]. Front Bioeng Biotech, 2020,8:553037.
- [3]王林,陈剑利,高小春,等.两种不同敷料联合自体微粒种植术治疗深II度烧伤效果对比[J].中国美容医学,2023,32(8):52-55.
- [4]李文婕,游艾佳,周俊丽,等.不同种类敷料治疗烧伤疗效的网状Meta分析[J].中国组织工程研究,2023,27(7):1141-1148.
- [5]施庆珊.细菌纤维素的研究进展[J].生物学杂志,2004,21(5):12-15.
- [6]Brown R M, Willison J H, Richardson C L. Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process[J]. P Natl Acad Sci UsA, 1976,73(12):4565-4569.
- [7]Brown R M. Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 21st century?[J]. J Polym Sci Pol Chem, 2004,42(3):487-495.
- [8]Jahan F, Kumar V, Rawat G, et al. Production of microbial cellulose by a bacterium isolated from fruit[J]. Appl Biochem Biotech, 2012,167:1157-1171.
- [9]杨礼富.细菌纤维素研究新进展[J].微生物学通报, 2003,30(4):95-98.



- [10] Hestrin S. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. II. Preparation of freeze-dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose[J]. *Biochem J*, 1954,58(2):345.
- [11] Schramm M, Hestrin S. Factors affecting production of cellulose at the air/ liquid interface of a culture of *acetobacter xylinum*[J]. *J Gen Microbiol*, 1954,11(1):123-129.
- [12] 谭玉静, 洪枫, 邵志宇. 细菌纤维素在生物医学材料中的应用[J]. *中国生物工程杂志*, 2007,27(4):126-131.
- [13] Iguchi M, Mitsuhashi S, Ichimura K, et al. Bacterial cellulose-containing molding material having high dynamic strength: USA, US19860852838[P].1988-05-03.
- [14] Johnson D C, Neogi A N. Sheeted products formed from reticulated microbial cellulose: USA, US07/196127[P].1989-09-05.
- [15] Okiyama A, Shirae H, Kano H, et al. Bacterial cellulose I. Two-stage fermentation process for cellulose production by *Acetobacter acetii* [J]. *Food Hydrocolloids*, 1992,6(5):471-477.
- [16] Okiyama A, Motoki M, Yamanaka S. Bacterial cellulose III. Development of a new form of cellulose[J]. *Food Hydrocolloid*, 1993,6(6):493-501.
- [17] Gromet Z, Schramm M, Hestrin S. Synthesis of cellulose by *Acetobacter Xylinum*. 4. Enzyme systems present in a crude extract of glucose-grown cells[J]. *Biochem J*, 1958,67(4):679-689.
- [18] Brown A J. XLIII.—On an acetic ferment which forms cellulose[J]. *Sci Am*, 1886,49:432-439.
- [19] 朱宏阳, 李泳宁, 王金海, 等. 细菌纤维素医用敷料的研究进展[J]. *海峡药学*, 2018,30(12):10-12.
- [20] Portela R L C, Almeida P L, Sobral R G. Bacterial cellulose: a versatile biopolymer for wound dressing applications[J]. *Microb Biotechnol*, 2019,12(4):586-610.
- [21] Römling U, Galperin M Y. Bacterial cellulose biosynthesis: diversity of operons, subunits, products, and functions[J]. *Trends Microbiol*, 2015,23(9):545-557.
- [22] Ross P, Mayer R, Benziman M. Cellulose biosynthesis and function in bacteria [J]. 1991,55(1):35-58.
- [23] Raghavendran V, Asare E, Roy I. Bacterial cellulose: Biosynthesis, production, and applications[M]. *Advances in microbial physiology*. Elsevier, 2020:89-138.
- [24] Kim Y, Ullah M W, Ul-Islam M, et al. Self-assembly of bio-cellulose nanofibrils through intermediate phase in a cell-free enzyme system[J]. *Biochem Eng J*, 2019,142:135-144.
- [25] Cheng H, Lijie L, Wang B, et al. Multifaceted applications of cellulosic porous materials in environment, energy, and health[J]. *Prog Polym Sci*, 2020,106:101253.
- [26] Shefa A A, Amirian J, Kang H J, et al. In vitro and in vivo evaluation of effectiveness of a novel TEMPO-oxidized cellulose nanofiber-silk fibroin scaffold in wound healing[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017,177:284-296.
- [27] 许玲华, 江晓梅, 鲍素敏, 等. 细菌纤维素敷料制备及对手术伤口的促愈合作用[J]. *中国组织工程研究*, 2018,22(26):4150-4155.
- [28] Darbre P D, Harvey P W. Paraben esters: review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks[J]. *J Appl Toxicol*, 2008,28(5):561-578.
- [29] Hasan N, Biak D R A, Kamarudin S. Application of bacterial cellulose (BC) in natural facial scrub[J]. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, 2012,2(4):1-4.
- [30] Ullah H, Santos H A, Khan T. Applications of bacterial cellulose in food, cosmetics and drug delivery[J]. *Cellulose*, 2016,23:2291-314.
- [31] Klemm D, Schumann D, Udhardt U, et al. Bacterial synthesized cellulose—artificial blood vessels for microsurgery[J]. *Prog Polym Sci*, 2001,26(9):1561-603.
- [32] Trovati E, Freire C S, Pinto P C, et al. Bacterial cellulose membranes applied in topical and transdermal delivery of lidocaine hydrochloride and ibuprofen: in vitro diffusion studies[J]. *Int J Pharmaceut*, 2012,435(1):83-87.
- [33] Wei B, Yang G, Hong F. Preparation and evaluation of a kind of bacterial cellulose dry films with antibacterial properties[J]. *Carbohydr Polym*, 2011,84(1):533-538.
- [34] Almeida T, Silvestre A J, Vilela C, et al. Bacterial nanocellulose toward green cosmetics: Recent progresses and challenges[J]. *Int J Mol Sci*, 2021,22(6):2836.
- [35] Bianchet R, Vieira cubas A, Machado M, et al. Applicability of bacterial cellulose in cosmetics: bibliometric review[J]. *Biotechnol Rep*, 2020,27:e00502.
- [36] 罗争辉. 新型纳米ZnO/细菌纤维素复合膜的制备及促进感染创面愈合的实验研究[D].重庆:第三军医大学,2017.
- [37] Benke S N, Thulasiram H V, Gopi H N. Potent antimicrobial activity of lipidated short  $\alpha$ ,  $\gamma$ -hybrid peptides[J]. *Chem Med Chem*, 2017,12(19):1610-1615.
- [38] 王成枫, 王金海. 聚赖氨酸/细菌纤维素抗菌敷料对烫伤大鼠创面菌群、胶质细胞活性及TGF $\beta$ 蛋白的影响[J]. *中国医疗美容*, 2022,12(7):33-38.
- [39] 南方, 赖琛, 奚廷斐. 细菌纤维素与纳米银复合制备创伤敷料[J]. *中国组织工程研究*, 2015,19(43):7023-7028.
- [40] Rani B, Singh U, Maheshwari R K. Natural antioxidants and their intrinsic worth for wellbeing[J]. *Glob J Med Res*, 2013,1:e13.
- [41] Amnuaitkit T, Chusuit T, Raknam P, et al. Effects of a cellulose mask synthesized by a bacterium on facial skin characteristics and user satisfaction[J]. *Med Devices (Auckl)*, 2011,4(1):77-81.
- [42] Almeida I F, Pereira T, Silva N H C S, et al. Bacterial cellulose membranes as drug delivery systems: An in vivo skin compatibility study[J]. *Eur J Pharm Biopharm*, 2014,86(3):332-336.
- [43] Lin Y C, Wey Y C, Lee M L, et al. Cosmetic composition containing fragments of bacterial cellulose film and method for manufacturing thereof: USA,14/614855[P].2015-08-06.
- [44] Pang M, Huang Y, Meng F, et al. Application of bacterial cellulose in skin and bone tissue engineering[J]. *Eur Polym J*, 2020,122:109365.
- [45] Ullah M W, Manan S, Kiprono S J, et al. Synthesis, structure, and properties of bacterial cellulose[J]. *Nanocellulose: from fundamentals to advanced materials*, 2019:81-113.

[收稿日期] 2023-08-23

本文引用格式: 赵涵, 陈芳, 李惠斌. 细菌纤维素创面敷料的基础研究及临床应用进展[J]. *中国美容医学*, 2025,34(4):176-179.