

# 银基纳米复合物在口腔抗菌领域的研究进展

邵榆涵

四川大学, 四川 成都 610021

**摘要:** 目的 综述口腔抗菌领域中的银基纳米复合物及其研究进展。方法 根据近年来国内外口腔抗菌领域相关研究文献, 对银基纳米复合物的制备方法及其应用优势进行整理、归纳和研究。结果 在口腔抗菌领域中, 银基金属氧化物纳米复合物、银基碳材料纳米复合物以及银基无机盐纳米复合物均可克服纳米银的应用缺陷, 使材料具有更高抗菌活性。结论 在口腔抗菌领域中, 银基纳米复合物作用效果显著, 有望成为该领域中的重点研究方向。

**关键词:** 口腔抗菌; 纳米银; 银基纳米复合物

## Research Progress of Silver-Based Nanocomposites in the Field of Oral Antibacterial Applications

Shao Yuhuan

Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610021

**Abstract:** Objective To summarize the silver-based nanocomposites and their research progress in the field of oral antibacterial applications. Methods Based on relevant research literature in the field of oral antibacterial applications at home and abroad in recent years, the preparation methods and application advantages of silver-based nanocomposites were sorted out, summarized, and studied. Results In the field of oral antibacterial applications, silver-based metal oxide nanocomposites, silver-based carbon material nanocomposites, and silver-based inorganic salt nanocomposites can overcome the application defects of nano-silver and endow the materials with higher antibacterial activity. Conclusion Silver-based nanocomposites have significant effects in the field of oral antibacterial applications and are expected to become a key research direction in this field.

**Keywords:** oral antibacterial; nano-silver; silver-based nanocomposite

### 前言

在当前的口腔抗菌研究中发现, 有机质和致病菌黏附在牙齿表面上产生的牙菌斑生物膜将会代谢产生内毒素以及有机酸等物质, 从而导致慢性口腔疾病, 其中最常见的是龋齿。而在龋齿防治中, 口腔致病菌杀灭或抑制是最重要的方法。随着近年来口腔抗菌领域的不断发展, 纳米银已凭借其作用强、稳定性好、不易出现耐药性等诸多优势而得到广泛关注。但由于纳米银本身在实际应用中也存在一定缺陷, 所以研究者开始将纳米银和其他材料复合到一起, 制备成银基纳米复合物, 以克服纳米银实际应用中的缺陷。

### 一、口腔抗菌领域中的纳米银及其应用特点

#### (一) 纳米银基本介绍

纳米银 (AgNPs) 是在现代先进纳米技术支持下制备的新型抗菌物质。相较于传统金属银而言, 它具有更广的抗菌谱和更持久的抗菌作用效力。在多种对抗生素产生耐药性的菌株消除或抑制中, 纳米银的抗菌活性都非常高<sup>[1]</sup>。基于此, 该物质也在现代口腔抗菌领域中得到了广泛应用。

#### (二) 纳米银应用特点

就目前的口腔抗菌研究可知, 纳米银在其中发挥的应用优势十分显著。比如对于导致龋齿类最常见口腔疾病的半放线聚生杆菌、聚合梭杆菌、牙龈卟啉单胞菌以及变异链球菌等致病菌, 纳米银所表现出的抗菌活性都很高。同时, 经既有的相关研究发现, 对于口腔致病菌在牙齿上产生的牙菌斑生物膜, 纳米银也可达到良好的抑制效果, 且其实际应用中的活性主要受自身粒径影响, 当粒径在 8.4nm 的情况下, 其抗菌效果可达到最佳<sup>[2]</sup>。但是经实践应用研究

发现, 纳米银在口腔抗菌中也表现出了较多的缺陷, 如在粒径较小情况下, 此类物质很容易出现聚集情况, 从而降低其抗菌效果; 且此类物质在实践应用中也表现出了较高的细胞毒性<sup>[3]</sup>。

### 二、口腔抗菌领域中的银基纳米复合物研究进展

为充分发挥纳米银在口腔抗菌中的应用优势, 克服其应用缺陷, 近年来, 国内外很多研究者开始对纳米银和其他非金属材料结合制备而成的银基纳米复合物进行研究。就目前的口腔抗菌领域来看, 作用效果已得到报道证实的银基纳米复合物主要有银基金属氧化物纳米复合物、银基碳材料纳米复合物以及银基无机盐纳米复合物等。以下是对其研究进展所进行的分析。

#### (一) 银基金属氧化物纳米复合物研究进展

就目前口腔抗菌方面的金属氧化物来看, 二氧化钛 (TiO<sub>2</sub>)、氧化锌 (ZnO)、氧化铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、二氧化锆 (ZrO<sub>2</sub>) 以及氧化镁 (MgO) 等都具备较高的稳定性和良好的生物相容性, 对于很多致病

菌的抗菌效果都十分显著,且原料易得,合成简便。而在光诱导作用下,半导体类金属氧化物可形成活性氧(ROS);同时,光照作用下的纳米银表面会产生较强的等离子体共振效应。所以在纳米银和金属氧化物复合生成复合物的情况下,借助纳米银与金属氧化物之间的相互作用,可使活性氧生成量显著提升,从而使复合物具备更高的抗菌活性,并使纳米银实际应用中的聚集缺陷得到有效克服<sup>[4]</sup>。

经实践研究发现,对于游离状变形链球菌,银基氧化锌纳米复合物(Ag/ZnO)的抑菌浓度最低值仅为氧化锌的一半,其主要抗菌机理是破坏游离状变形链球菌的细胞膜结构,使活性氧进入到细胞内部,从而进一步氧化破坏其中的生物大分子结构;在此基础上,银基氧化锌纳米复合物也可对游离状变形链球菌生物膜的生成产生有效抑制,从而达到良好的口腔抗菌效果<sup>[5-9]</sup>。而通过进一步研究可知,在口腔临床医学中,借助LED光固化灯,可使银基氧化锌纳米复合物高效地将生物膜状以及浮游状变形链球菌杀灭,当银基氧化锌纳米复合物浓度为1mg/L时,其光照条件下的生物膜状变形链球菌抑制率可达99.6%,浮游状变形链球菌抑制率可达99.8%;通过其作用机理研究可知,当处于光照条件下时,银基氧化锌纳米复合物中的OH以及O<sub>2</sub><sup>-</sup>产量将更多,从而可将生物膜内的致病菌有效杀灭,并对其外部多糖形成产生更强的抑制作用,最终使其生物膜基因表达下调<sup>[7]</sup>。

同时,在研究中发现,氧化钛(TiO<sub>2</sub>)具有较低的毒性,良好的稳定性和光化学活性。而在可见光环境中,银基氧化钛纳米复合物(Ag/TiO<sub>2</sub>)对于变形链球菌也表现出显著的抑制作用,经实验研究发现,银基氧化钛纳米复合物可使变形链球菌生物膜形成及其产酸得到有效抑制;而在LED光固化灯作用下,其杀灭变形链球菌的能力将进一步提升;经进一步研究发现,其基本作用机理是其中形成的OH会将变形链球菌细胞结构破坏,增加其内部的活性氧含量,从而进一步破坏其内部的生物大分子结构<sup>[8-9]</sup>。

### (二) 银基碳材料纳米复合物研究进展

碳材料具备较高稳定性,较大比表面积和良好生物相容性,加之其表面容易修饰,在很多致病菌中都表现出显著的抗菌活性。因此在口腔抗菌领域中,研究者通常将其作为牙周骨组织再生的引导性支架填充物来使用。在此过程中,若将纳米银负载到该填充物表面上,便可使碳材料具备更高的抗菌性能<sup>[10]</sup>。

针对细菌聚集在牙根管内所导致的根尖周炎,氧化石墨烯(GO)可发挥出良好的抗菌作用,而在含水基质表面上,通过纳米银和氧化石墨烯的有效复合,便可产生银基氧化石墨烯纳米复合物(Ag/GO),借助于超声激活作用,银基氧化石墨烯纳米复合物可有效杀灭牙根管里的微生物,且细胞毒性极低,生物向同性非常高<sup>[11]</sup>。

另外,经既有研究发现,纳米金刚石(NDS)属于碳纳米材料领域中的一种新型材料,该材料对于很多微生物都具备很高的杀菌活性,可用作纳米抗菌填料中的优良基体材料,从而在牙科各类材料制备中得到了广泛应用<sup>[11]</sup>。通过进一步研究可知,将纳米银和纳米金刚石有机复合之后形成的银基金刚石纳米复合物可将口腔中的细菌活性大幅度降低,其抗菌性能较纳米金刚石更加显著,且不会发生聚集,细胞毒性也非常低<sup>[12]</sup>。

### (三) 银基无机盐纳米复合物研究进展

无机盐属于一种传统抗菌剂,其环境友好性很强,细胞毒性很低,且成本低廉,同时其在脱矿牙本质与牙釉质再矿化中也表

现出显著的应用优势。在无机盐抗菌剂的不断研究和应用中,其单独使用时的抗菌效果比较有限,但是在与纳米银复合之后,形成的银基无机盐纳米复合物却具备更高的抗菌效果。

经研究可知,在加入纳米银之后,无机盐中的磷酸钙将会释放出更多钙离子,从而对脱矿牙体起到良好的再矿化作用,如将纳米银加入到无定形磷酸钙颗粒内,使纳米银在其中的含量控制在7.5%,再将其加入树脂粘固剂里,便可使牙本质以及牙釉质实现再矿化深度的显著提升,且不会对树脂粘固剂自身的粘附强度造成不利影响<sup>[13]</sup>。

作为典型的无机盐抗菌剂,钒酸盐与纳米银复合后形成的复合物在树脂基托内具有非常优异的抗菌效果,在纳米银含量为1%~7%的情况下,其抗菌活性将远超钒酸盐抗菌剂<sup>[14-15]</sup>。

## 三、结束语

综上,在口腔抗菌领域中,相较于传统的纳米银而言,将纳米银和其他非银物质复合到一起,形成的银基纳米复合物所发挥的作用更加显著。同时,此类复合物还可有效克服纳米银实际应用中的诸多缺陷,具有更好的应用和研究前景。

## 参考文献

- [1] 吴宗山,胡海洋,任艺,等.纳米银的抗菌机理研究进展[J].化工进展,2015(5):1349-1356,1370.
- [2] CHEN R, NUHFER NT, MOUSSA L, et al. Silver sulfide nanoparticle assembly obtained by reacting an assembled silver nanoparticle template with hydrogen sulfide gas [J]. Nanotechnology, 2008, 19(45): 455604-1-455604-11-0.
- [3] 任灵燕. 含纳米银牙科树脂基质的抗菌性及细胞毒性研究[D]. 江苏: 南京大学, 2018.
- [4] XIE W, LIY Z, SUN W, et al. Surface modification of ZnO with Ag improves its photocatalytic efficiency and photostability [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2010, 216(2/3): 149-155.
- [5] WANG SL, WU J, YANG H, et al. Antibacterial activity and mechanism of Ag/ZnO nanocomposite against anaerobic oral pathogen Streptococcus mutans [J]. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2017, 28(1): 23-31.
- [6] HUANG Q M, WANG SL, SUN Y J, et al. Effects of Ag/ZnO nanocomposite at sub-minimum inhibitory concentrations on virulence factors of Streptococcus mutans [J]. Archives of Oral Biology, 2020, 111(10): 4640-4646.
- [7] WANG SL, HUANG Q M, LIU X Y, et al. Rapid antibiofilm effect of Ag/ZnO nanocomposites assisted by dental LED curing light against facultative anaerobic oral pathogen Streptococcus mutans [J]. ACS Biomaterials Science & Engineering, 2019, 5(4): 2030-2040.
- [8] 黄乔木, 吕中. Ag<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 微球对变异链球菌生物膜形成的影响[J]. 武汉工程大学学报, 2019, 41(5): 424-428.
- [9] 尹莉慧, 黄乔木, 吕中. LED光照增强Ag<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>复合材料抗变异链球菌的作用机理[J]. 武汉大学学报(理学版), 2022, 68(2):
- [10] SERRANO-ARCA A, DEBS. Synthesis of irregular graphene oxide tubes using green chemistry and their potential use as reinforcement materials for biomedical applications [J]. PLoS ONE 2017, 12(9): e0185235-e0185248.
- [11] IOANNIDISKI, NIAZIS, MYLONAS, et al. The synthesis of nano silver-graphene oxide system and its efficacy against endodontic biofilms using a novel tooth model [J]. Dental Materials, 2019, 35(11): 1614-1629.
- [12] QUAN C T, LIN H Y, XIAO H, et al. Inhibitory effect of carboxylated nanodiamond on oral pathogenic bacteria Streptococcus mutans [J]. Journal of Clinical Laboratory Analysis, 2021, 35(8): e23872-e23880.
- [13] SEARSLM, WULF, MORROWBR, et al. Effects of nano AgACP microparticles as bioactive fillers on the mechanical and remineralization properties of dental resin cement [J]. Journal of Prosthodontics, 2022, 31(8): 705-713.
- [14] VIDAL L C, FERREIRA I, FERREIRA R A P, et al. Incorporation of hybrid nanomaterial in dental porcelain: antimicrobial, chemical, and mechanical properties [J]. Antibiotics, 2021, 10(2): 98-110.
- [15] 王平, 陈林. 纳米载银磷酸钙抗菌剂在口腔材料中的研究进展与应用[J]. 贵州医药, 2021, 45(3): 359-361.