An overview of Nanoparticle Approaches for Addressing Biofilms Formed by Escherichia coli: Mechanisms, Effectiveness, and Future Directions

Ali Pabousi Sadatmahale[1] – Arman Moradi[2]

1-Department of Microbiology, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2- Department of Microbiology,La.C.,Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Introduction

Biofilms produced by Escherichia coli pose a significant obstacle due to their resilience against standard antibiotics, resulting in ongoing infections and contamination in both medical and industrial settings. These biofilms consist of bacterial populations surrounded by protective extracellular matrices that hinder the penetration of antibiotics. Given their minute size and reactive characteristics, nanoparticles (NPs) provide innovative methods to disrupt these biofilms. This review highlights existing NP-based methods targeting E. coli biofilms, focusing on their mechanisms, effectiveness, and future potential.

Methods

A survey of the literature was performed utilizing databases such as PubMed and ScienceDirect, employing keywords including “nanoparticles,” “Escherichia coli,” and “biofilms.” The emphasis was on studies conducted in the last five years that analyzed metallic and metal oxide nanoparticles like silver, zinc oxide, and titanium dioxide, evaluating their abilities to combat biofilms and their modes of action.

Discussion

The primary mechanisms by which nanoparticles address E. coli biofilms include the disruption of the biofilm matrix, the generation of reactive oxygen species (ROS), and the disruption of bacterial communication systems like quorum sensing. Silver nanoparticles demonstrate potent antibacterial properties by releasing silver ions and inducing oxidative stress. Zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles also possess biofilm elimination capabilities, particularly when exposed to light. The combination of nanoparticles with antibiotics can enhance effectiveness by aiding in deeper penetration into biofilms. However, issues such as nanoparticle toxicity, the development of bacterial resistance, and environmental concerns require consideration. Future strategies could include advanced nanoparticle systems featuring targeted and controlled release functionalities to optimize antibiofilm action and safety.

Conclusion

Interventions utilizing nanoparticles offer a promising new approach to effectively tackle E. coli biofilms by attacking various biofilm elements and bacterial functions. Ongoing research is crucial to refine their design, reduce risks, and apply laboratory successes to practical medical and industrial contexts.

Keywords: Escherichia coli , nanoparticles , Biofilm , Mechanisms , ROS

مروری بر رویکردهای نانوذرات برای مقابله با بیوفیلم‌های تشکیل‌شده توسط اشریشیا کلی: مکانیسم‌ها، اثربخشی و مسیرهای آینده

علی پابوسی سادات محله[۱] – آرمان مرادی[۲]

۱- گروه میکروبیولوژی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲- گروه میکروبیولوژی،واحد لاهیجان،دانشگاه آزاد اسلامی،لاهیجان،ایران.

مقدمه

بیوفیلم‌های تولیدشده توسط اشریشیا کلی به دلیل مقاومتشان در برابر آنتی‌بیوتیک‌های استاندارد، مانع مهمی محسوب می‌شوند و منجر به عفونت‌ها و آلودگی‌های مداوم در محیط‌های پزشکی و صنعتی می‌شوند. این بیوفیلم‌ها شامل جمعیت‌های باکتریایی هستند که توسط ماتریکس‌های خارج سلولی محافظ احاطه شده‌اند و مانع نفوذ آنتی‌بیوتیک‌ها می‌شوند. با توجه به اندازه کوچک و ویژگی‌های واکنش‌پذیری آنها، نانوذرات (NPs) روش‌های نوآورانه‌ای را برای مختل کردن این بیوفیلم‌ها ارائه می‌دهند. این بررسی، روش‌های مبتنی بر نانوذرات موجود را که بیوفیلم‌های اشریشیا کلی را هدف قرار می‌دهند، برجسته می‌کند و بر مکانیسم‌ها، اثربخشی و پتانسیل آینده آنها تمرکز دارد.

روش‌ها

بررسی متون با استفاده از پایگاه‌های داده‌ای مانند PubMed و ScienceDirect و با استفاده از کلمات کلیدی شامل "نانوذرات"، "اشریشیا کلی" و "بیوفیلم‌ها" انجام شد. تأکید بر مطالعات انجام شده در پنج سال گذشته بود که نانوذرات فلزی و اکسید فلزی مانند نقره، اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم را تجزیه و تحلیل کرده و توانایی‌های آنها را در مبارزه با بیوفیلم‌ها و نحوه عملکرد آنها ارزیابی کردند.

بحث

مکانیسم‌های اصلی که نانوذرات از طریق آنها با بیوفیلم‌های E. coli مقابله می‌کنند شامل اختلال در ماتریس بیوفیلم، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و اختلال در سیستم‌های ارتباطی باکتریایی مانند سنجش حد نصاب است. نانوذرات نقره با آزاد کردن یون‌های نقره و القای استرس اکسیداتیو، خواص ضد باکتریایی قوی نشان می‌دهند. نانوذرات اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم نیز دارای قابلیت حذف بیوفیلم، به ویژه هنگامی که در معرض نور قرار می‌گیرند، هستند. ترکیب نانوذرات با آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند با کمک به نفوذ عمیق‌تر به بیوفیلم‌ها، اثربخشی را افزایش دهد. با این حال، مسائلی مانند سمیت نانوذرات، ایجاد مقاومت باکتریایی و نگرانی‌های زیست‌محیطی نیاز به بررسی دارند. استراتژی‌های آینده می‌تواند شامل سیستم‌های نانوذرات پیشرفته با قابلیت‌های رهایش هدفمند و کنترل‌شده برای بهینه‌سازی عملکرد و ایمنی آنتی‌بیوفیلم باشد.

نتیجه‌گیری

مداخلات با استفاده از نانوذرات، رویکرد جدید امیدوارکننده‌ای را برای مقابله مؤثر با بیوفیلم‌های E. coli با حمله به عناصر مختلف بیوفیلم و عملکردهای باکتریایی ارائه می‌دهد. تحقیقات مداوم برای اصلاح طراحی آنها، کاهش خطرات و به‌کارگیری موفقیت‌های آزمایشگاهی در زمینه‌های پزشکی و صنعتی عملی بسیار مهم است.

کلمات کلیدی: اشریشیا کلی، نانوذرات، بیوفیلم، مکانیسم‌ها، گونه‌های فعال اکسیژن(ROS)

Reference

Afrasiabi, S., & Partoazar, A. (2024). Targeting bacterial biofilm-related genes with nanoparticle-based strategies. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1387114.

Thakur, D., & Kumar, L. (2025). Biofilm-associated Escherichia coli infections: pathogenesis, clinical implications, and treatment strategies. *Critical Reviews in Microbiology*, 1-45.

Javanmard, Z., Pourhajibagher, M., & Bahador, A. (2024). Advancing anti-biofilm strategies: Innovations to combat biofilm-related challenges and enhance efficacy. *Journal of Basic Microbiology*, *64*(12), e2400271.

Sharma, G., Sharma, S., Sharma, P., Chandola, D., Dang, S., Gupta, S., & Gabrani, R. (2016). Escherichia coli biofilm: development and therapeutic strategies. *Journal of applied microbiology*, *121*(2), 309-319.

Mohanta, Y. K., Chakrabartty, I., Mishra, A. K., Chopra, H., Mahanta, S., Avula, S. K., ... & Sharma, N. (2023). Nanotechnology in combating biofilm: A smart and promising therapeutic strategy. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1028086.