

چسبندگی باکتریایی به پلیمرهای طبیعی و مصنوعی تشکیل‌دهنده الیاف: تأثیر خواص مواد

چکیده

منسوجات مبتنی بر پلیمر تأثیر زیادی بر رفاه انسان دارند، زیرا هنگام پوشیدن، حفاظت عملکردی و راحتی زیبایی مورد نظر را فراهم می‌نمایند. با این حال، منسوجات مبتنی بر پلیمر طبیعی و مصنوعی می‌توانند خطرات جدی برای سلامت ایجاد نمایند، زیرا این منسوجات سطوحی هستند که اجازه چسبیدن باکتری‌های مختلف، از جمله باکتری‌های پاتوژن را می‌دهند. برای کاهش این مشکلات، درمان‌های شیمیایی ضدباکتری معمولاً در مورد منسوجات مبتنی بر پلیمر قابل استفاده است. با این حال، برای جلوگیری از استفاده از مواد شیمیایی بالقوه سمی، رویکردهای پایدار نیاز به طراحی سفارشی منسوجات مبتنی بر پلیمر غیرچسبنده دارند که خواص شیمیایی، فیزیکوشیمیایی، ساختاری و بافتی آن‌ها را در نظر بگیرند. قبل از طراحی، مقالات متعددی برای کسب دانش کافی در مورد شیء توصیف شده لازم است. با وجود نیاز فوری به مبارزه با باکتری‌ها (در منسوجات مبتنی بر پلیمر) که خطر جدی برای سلامت جهانی به شمار می‌روند، تنها چند مقاله مروری منتشر شده است که به چسبندگی باکتری‌ها در زمینه مواد منسوجی فوق‌آبگریز و ضدباکتریایی پرداخته‌اند، در حالی که تنها یک مقاله مروری بطور جامع به عوامل منسوجی و تأثیر آن‌ها بر این پدیده می‌پردازد. هدف این مطالعه مروری گسترش دانش ناکافی درباره چسبندگی باکتری‌ها به منسوجات مبتنی بر پلیمر بر اساس یافته‌های نظری و نمونه‌های واقعی از طریق ساختاردهی بالا، ساده‌سازی، بررسی جامع و تجسم است. بنابراین، در این مطالعه مروری بینشی درباره مکانیزم‌های دخیل در چسبندگی باکتری‌ها و نمای کلی جامع از تأثیر عوامل مختلف منسوجی، مانند ترکیب شیمیایی، آبدوستی/آبگریزی، بار سطحی، انرژی آزاد سطحی، زبری و تخلخل بر چسبندگی باکتری‌ها ارائه می‌شود. برای تأکید بر اهمیت اثر هم‌افزایی عوامل ترکیبی بافت، مثال‌هایی از تأثیر آبدوستی/آبگریزی در ترکیب با بار سطحی، زبری سطح و تخلخل مورد بحث قرار می‌گیرد. از این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که ترکیب آبدوستی/آبگریزی و بار سطحی الیاف بافت و باکتری‌ها برای چسبندگی باکتری‌ها حیاتی است، بطوری که زبری و تخلخل مهم‌ترین عوامل در میان ویژگی‌های سازنده و بافتی بافت‌های مبتنی بر پلیمر هستند.

کلیدواژه‌ها: چسبندگی باکتریایی؛ عوامل بافتی؛ منسوجات مبتنی بر پلیمر ضد چسبندگی؛ سطح ضد چسبندگی.

Keywords: bacterial adhesion; textile factors; anti-adhesive polymer-based textiles; anti-adhesion surface.

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

این بررسی به بحث در مورد عوامل اصلی شیمیایی، فیزیکوشیمیایی، ساختاری و بافتی منسوجات مبتنی بر پلیمر در ارتباط با چسبندگی باکتری‌ها می‌پردازد. داده‌های مطالعات پیشین نشان می‌دهند که این رابطه بسیار پیچیده است، زیرا نه تنها تحت تأثیر خواص مواد نساجی قرار دارد، بلکه شامل تعامل خواص نساجی، باکتریایی و محیطی نیز می‌شود. بنابراین، توضیحات متناقض مختلفی توسط محققان ارائه شده است که نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر است.

از نظر عوامل بافتی، تأثیر آبدوستی/آبگریزی الیاف بافتی بر چسبندگی باکتری‌ها هنوز بطور کامل روشن نشده است. هنوز هم این موضوع مورد بحث است که آیا چسبندگی باکتری‌ها توسط آبگریزی یا آبدوستی الیاف تقویت می‌شود. حمایت از چسبندگی قوی باکتری‌ها به الیاف آبگریز به دلیل وجود مانع انرژی پایین‌تر برای چسبندگی است که با نظریه گسترش‌یافته DLVO سازگار است. در مقابل، یافته‌ای که نشان می‌دهد چسبندگی باکتری‌ها توسط آبدوستی الیاف تقویت می‌شود، با تعاملات جاذبه قوی بین گروه‌های هیدروکسیل آبدوست الیاف سلولزی و باکتری‌های *E. coli* توضیح داده می‌شود. مطالعه‌ای دیگر نیز نشان می‌دهد که هر دو سطح الیاف فوق‌العاده آبدوست و فوق‌العاده آبگریز باعث کاهش چسبندگی باکتری‌ها می‌شوند و الیافی با آبگریزی متوسط بیشترین چسبندگی باکتری‌ها را ایجاد می‌نمایند. در حالی که چسبندگی محدود باکتری‌ها بر روی سطح فوق‌العاده آبدوست به نیروهای دافعه بین لایه متراکم آب بر روی سطح جامد و سلول باکتری آبگریز نسبت داده شده است، اثر چسبندگی کمتر بر روی سطح جامد فوق‌العاده آبگریز به مانع تراشی تعاملات جاذب آبگریز توسط هوای محبوس در سطح مرزی نسبت داده می‌شود که تماس مستقیم بین باکتری‌ها و سطح زبر الیاف را کاهش می‌دهد.

همچنین نشان داده شده است که آبدوست/آبگریز بودن سطح منسوج عامل غالبی در تأثیرگذاری بر خواص چسبندگی نیست و ترکیب آبدوست/آبگریز بودن و بار سطحی الیاف منسوج و باکتری‌ها برای چسبندگی باکتری‌ها حیاتی است. به عبارت دیگر، باکتری‌ها به الیاف پلی‌امید کمتر آبگریز با پتانسیل زتا مثبت بسیار سریع‌تر از الیاف پلی‌استر بیشتر آبگریز با پتانسیل زتا منفی چسبیده می‌شوند. دلیل این امر به تعاملات الکترواستاتیک جذاب بین الیاف با بار مثبت و سلول‌های باکتریایی با بار منفی نسبت داده شده است، در حالی که الیاف با پتانسیل زتا منفی، باکتری‌های هم‌بار را دفع می‌نمایند. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استراتژی امیدوارکننده برای جلوگیری از چسبیدن باکتری‌ها به زیرلایه‌های منسوج می‌تواند توسعه سطوح منسوجی با خواص فوق‌آبگریز و پتانسیل زتا منفی باشد.

در چندین مطالعه درباره تأثیر انرژی آزاد سطحی الیاف نساجی بر چسبندگی باکتری‌ها، گزارش شده است که کاهش انرژی آزاد سطحی الیاف نساجی و ایجاد سطح منسوج غیر قطبی بطور قابل توجهی چسبندگی باکتری‌ها را مهار می‌نماید. همچنین مشاهده شده است که باکتری‌ها به سرعت به الیاف سلولزی آبدوست با

ویژگی اهداکننده الکترون قوی چسبیده و این امر به تأثیر نیروهای جذبی لیفشیتز-واندر وال و نیروهای اسید-باز لوئیس نسبت داده می‌شود که بر تعاملات دافعه الکترواستاتیکی بین باکتری‌ها و الیاف با بار مشابه غلبه می‌نماید.

در میان خواص ساختاری و بافتی منسوجات مبتنی بر پلیمر، زبری و تخلخل مهم‌ترین عواملی هستند که بر چسبندگی باکتری‌ها تأثیر می‌گذارند. الیاف آبدوست با سطح زبر به دلیل وجود شکاف‌ها و شیارهایی که سطح بیشتری را فراهم و تماس بین باکتری‌ها و سطح را افزایش می‌دهند، چسبندگی باکتری‌ها را تسهیل می‌نمایند. با این حال، نتایج همچنین نشان می‌دهند که تأثیر زبری منسوجات بر چسبندگی باکتری‌ها بسیار پیچیده است و نمی‌توان آن را بطور جداگانه از سایر پارامترها، مانند تخلخل و آبدوست/آبگریز بودن، تحلیل نمود، زیرا این عوامل بطور مستقیم به یکدیگر وابسته هستند. گزارش شده است که سطح زبر و متخلخل منسوج نبافته شده از پلی‌استایرن، چسبندگی باکتری‌ها را در مقایسه با سطح صاف فیلم پلی‌استایرن بدون تخلخل، افزایش می‌دهد. حجم کاهش یافته حفره و اندازه کاهش یافته حفره مانع از بارگذاری عمیق با سلول‌های باکتریایی می‌شود و در نتیجه چسبندگی باکتری‌ها را کاهش می‌دهد. در مقابل الیاف نساجی آبدوست، جایی که زبری به چسبندگی باکتری‌ها کمک می‌نماید، نانو زبری الیاف فوق‌آبدوست را می‌تواند به کاهش چسبندگی باکتری‌ها کمک نماید. این به دلیل ترکیب شیمیایی و توپولوژی است که سطح تعامل بین زیرلایه جامد و باکتری‌ها را به حداقل می‌رساند.

با توجه به نتایج ارائه شده در این مطالعه مروری، مطالعات آینده به شدت مورد نیاز است تا بینش بیشتری در مورد اساس، یعنی تأثیر عوامل بافتی فردی در ارتباط با چسبندگی باکتری‌ها بدست آید، زیرا توضیحات متناقض مختلفی وجود دارد. هرگاه این یافته‌ها به اندازه کافی روشن شوند، مرحله بعدی پُر نمودن شکاف‌های موجود در تحقیق عوامل فیزیکوشیمیایی، ساختاری و بافتی ترکیبی است. علاوه بر عوامل بافتی، خواص باکتری‌ها و ویژگی‌های محیطی در ارتباط با چسبندگی باکتری‌ها به بافت‌های مبتنی بر پلیمر نیز باید مورد بررسی قرار گیرد که نیاز به کار بین‌رشته‌ای دارد. تنها تحقیق جامعی از تمام عوامل تأثیرگذار می‌تواند در نهایت اطلاعات ارزشمندی برای توسعه استراتژی‌ها و دستورالعمل‌های جدید برای طراحی سطوح بافتی ضد چسبندگی فراهم نماید. ایده‌ای که تولیدکنندگان چنین منسوجات مبتنی بر پلیمر باید به آن توجه نمایند، این است که تمرکز خود را از انتهای فرآیند تولید، که شامل اعمال انواع پوشش‌ها است و امروزه رایج است، به ابتدای فرآیند برنامه‌ریزی منسوج منتقل نمایند. با در نظر گرفتن اصول اساسی که بطور سیستماتیک در این مطالعه مروری بیان، ساده‌سازی و تجسم می‌شوند، می‌توان تعاملات سطحی را کنترل نمود تا سطوح منسوجاتی طراحی شوند که در برابر چسبندگی باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم مقاومت نمایند، که این امر برای کاربردها در منسوجات پزشکی و سایر محیط‌های مستعد آلودگی میکروبی بسیار حیاتی است.

Reference

Čuk, N., Simončič, B., Fink, R., & Tomšič, B. (2024). Bacterial Adhesion to Natural and Synthetic Fibre-Forming Polymers: Influence of Material Properties. *Polymers*, 16(17), 2409.

DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16172409>

ترجمه و ویرایش: جواد برزویی

