

تقنية النانو في إزالة تلوث (تطهير)

العامل البيولوجي

Nanotechnology in Biological Agent Decontamination

بيتر ك. ستويمينوف، وكينيث ج. كلابند

Peter K. Stoimenov and Kenneth J. Klabunde

١٤,١ المقدمة Introduction

إن إزالة التلوث من الكائنات البيولوجية الخطرة يعد موضوعاً مهماً كثيراً، ليس فقط من أجل إزالة خطر عوامل الحرب البيولوجية المحتملة على ساحة المعركة، ولكن أيضاً في حالات الحوادث الصناعية، والهجمات الإرهابية... إلخ، ويمكن أن تكون العوامل البيولوجية من عدة أنواع مختلفة، مثل البكتيريا، والفطريات، والفيروسات، والسموم. إن إمكانية تطوير إزالة تلوث عالمي بعيدة الاحتمال جداً؛ نظراً لأن العوامل الخطرة بيولوجياً متنوعة جداً في تركيبها؛ مما يؤدي إلى قدرة بقاء مختلفة عند المعالجة بعامل معين. وعلى سبيل المثال، فإن قتل خلايا بوغ أصعب بكثير من قتل الجراثيم موجبة وسالبة الجرام المنتظمة؛ بسبب جدار خليتها الأقوى والأكثر سمكاً. وبعض أنواع البكتيريا تولد الأغشية الحيوية التي تكون مطمورة فيها، وتمنعها من الاتصال مع عامل التطهير. وفي بعض الحالات، يكون التطهير من التهديد البيولوجي غير كافٍ؛

لأن بعض خلايا الكائنات الدقيقة تحتوي على كمية كبيرة من السموم التي تبقى نشطة، حتى لو كانت الخلايا المولدة ليست حية.

إن الأسلوب التقليدي للتطهير، هو استخدام سوائل مطهرة، ومحاليل، أو غازات. وتطبيق المواد الصلبة كميزلات تلوث (كمطهرات) للعوامل البيولوجية محدود جداً غالباً؛ بسبب التفاعل الناقص للمواد الصلبة مع العوامل البيولوجية. وعموماً، لا يمكن أن تستعمل المواد الصلبة التقليدية لإزالة التلوث البيولوجي الشامل، حتى لو كانت فعالة جداً؛ لأن هذه المواد الصلبة تتكون في الغالب من جسيمات كبيرة جداً. وهناك احتمالية عالية بأن الجسيم الكبير أو المتجمع (المتكدس)، لن يتصل مع الجسيمات الفيروسية أو البكتيرية الأصغر بكثير. ووجود عدم انتظامية في الأسطح، والشقوق، والفتحات... إلخ، تخفض من احتمالية الاتصال؛ مما يجعل إمكانية تطبيق المواد الصلبة للتطهير مشكوك فيها بدرجة أكبر.

وعلى أية حال، فيمكن أن تُخفف كل هذه العيوب بشكل ملحوظ، مع تطوير حجم المواد الصلبة في الحجم النانومتري. وتكون الجسيمات النانوية أصغر بكثير من الخلايا البكتيرية، وبالتالي أصغر من جسيمات الفيروس. ويمكنها اختراق الأسطح غير المنتظمة، والشقوق... إلخ. وتستطيع الجسيمات النانوية أن تنتشر بسهولة في تيار غاز أو سائل، وتستغل قدرات الاختراق لهذه الأوساط، كما تتوفر مزايا المواد الصلبة في الوقت نفسه، مثل تنظيف أسهل وتلف أقل للسطوح المتصلة.

٢, ١٤ الطرق القياسية لإزالة التلوث الكيميائي للعوامل البيولوجية

Standard Methods for Chemical Decontamination of Biological Agents

هناك العديد من الأساليب التي تُستخدم عموماً لإزالة التلوث الكيميائي للعوامل البيولوجية. والأكثر استخداماً، هو عندما يتم تطبيق العامل المطهر كسائل أو محلول. والأمثلة على مثل هذه المطهرات، هي محاليل التبييض، ومحاليل الكلور،

والكلور أمين تي T، ومحاليل الجلوتارالدهيد، والمحاليل الفينولية، ومخاليط الماء/ الإيثانول. ولهذا الأسلوب ميزة؛ حيث إنه سريع نسبياً، وفعال جداً للعديد من البكتيريا والفيروسات. والبعض من تراكيب التطهير، مثل مادة التبييض، تكون قادرة على إزالة سموم بعض عوامل الحرب الكيميائية أيضاً، مثل (غاز الخردل). والعيب الرئيس لهذا الأسلوب، أن تلك المحاليل تسبب تلفاً لمعظم الأسطح في الواقع بسرعة. وعلى الرغم من أن مادة التبييض مناسبة تماماً للحالات التي تتطلب تطهيراً متكرراً، مثل المستشفيات والأماكن العامة، وغيرها، إلا أنها غير مفيدة جداً لحالات معينة، مثل حالات الانسكاب الصناعية، أو الهجمات الإرهابية، حيث يتعرض بشكل آني العديد من أنواع الأسطح، بالإضافة إلى الماء والهواء للعامل البيولوجي. واستخدام المحاليل أو السوائل غير مرغوب في حالة الأسطح الحساسة، مثل جهاز نقل الحركة الإلكتروني، والوثائق الورقية... إلخ. والبقايا من المحاليل تكون أكالة عادة للعديد من الأسطح، ويصعب إزالتها بمجرد انتهاء عملية التطهير. والمشكلة المهمة الأخرى لهذا الأسلوب، هي الحاجة لاستخدام محاليل مركزة نسبياً؛ لتطهير خلايا البوغ. والقضية الخطيرة التي غالباً ما يتم تجاهلها، هي تقادم (تعتيق) هذه المحاليل، حيث تقل فعالية معظم محاليل التطهير بشدة مع مرور الزمن [1, 2]. ويمكن أن يؤدي هذا في النهاية إلى المبالغة في تقدير كفاءة التطهير.

إن تطوير ما يسمى بالمستحلبات النانوية، هي الميزة في تقنية أساسها السائل، والتي تم تطويرها من قبل باكر Baker Jr. وآخرين [3-5]. وتستند المستحلبات النانوية على قطيرات الزيت الصغيرة المستقرة في الماء بواسطة خافض التوتر السطحي (برتبة قطر من مئات النانومترات). ولديها ميزة على المعالجات السائلة القياسية في قدرتها على حث انتشار البوغ (الجراثيم)، والموت اللاحق من الخلايا النباتية المولدة؛ مما يجعل هذه المستحلبات النانوية أكثر فعالية ضد البوغ الذي يشكل الكائنات الحية

الدقيقة [4]. وبالرغم من أن هذا الأسلوب يُحسِّن كفاءة المبيد الحيوي، ويستند على مواد كيميائية غير ضارة، إلا أن إمكانية تطبيقه ما زالت محدودة إلى نوع الأسطح. ولا يمكن استخدام المستحلبات النانوية لتنظيف الهواء، وسيكون من الصعب إزالتها مرة واحدة بمجرد انتهاء التطهير.

كذلك يمكن تحقيق التطهير بالغازات، مثل الكلور أو ثاني أكسيد الكلور. والغازات ملائمة للبيئات المغلقة فقط، كما أنها أكلة جدا لجميع الأسطح عمليا، وعادة ما تُتلف الغازات مواد حساسة وأسطح مثل تلك الإلكترونيات، والتحف الفنية، والوثائق الورقية، وغيرها الكثير. كما يتطلب تطبيقها أفرادا مدربين بشكل خاص، وبيئة متحكم فيها بشكل جيد (درجة الحرارة، والرطوبة... إلخ)؛ لكي يكون التطهير ناجحا.

وعموماً فالطرائق "التقليدية" للتطهير ليست مناسبة لإزالة تلوث كل من العوامل البيولوجية والكيميائية. وفي هذه الحالات يجب أن تستخدم معالجة منفصلة لكل تهديد محتمل يعرض قضايا عدم التوافق الكيميائي.

٣,١٤ المواد النانوية لإزالة التلوث

Nanomaterials for Decontamination

إن العيب الأخطر للمواد الصلبة الشائعة كمزيلات تلوث بيولوجية، هو عدم وجود الاتصال الجيد مع العامل البيولوجي، سواء كانت جسيمات فيروسية أو خلايا بكتيرية. وتستطيع المواد النانوية أن تعدّل هذا العيب؛ نظراً لأنه يمكن تصنيعها وتشتيتها كجسيمات أو تجمعات صغيرة جداً. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تُشتت المواد النانوية الصلبة، إما في سائل، وإما على شكل رذاذ (أيروسول) مستقر نسبياً؛ مما يزيد من اتصالها مع المخاطر البيولوجية المحتملة. وعلاوة على تخفيف مشكلة الاتصال، تُقدم المواد النانوية فعالية بيولوجية وكيميائية أعلى بكثير.

إن سطح المواد الصلبة عامل مهم جداً يتعلق بفعاليتها الكيميائية العامة، وعندما يتم تكسير المادة إلى جسيمات أصغر وأصغر، فإنه يتم كشف المزيد والمزيد من عناصر البناء على السطح. ولهذه الجزيئات المكشوفة طاقة أعلى بكثير من تلك الموجودة داخل البلورة، وهو ما يترجم إلى التفاعلية الكيميائية الأعلى. إن نشاط مورفولوجيات البلورة النوعية، مثل الحواف، والأركان (الزوايا)، والعيوب، ومستويات الانكسار العالية، تكون أعلى من ذلك بكثير. وهذا واضح في حالة المواد النانوية، حيث تركز هذه المواقع النشطة جداً أعلى بكثير، مقارنة إلى المادة الضخمة المناظرة. وتترجم التفاعلية السطحية الأعلى إلى مقدرة المواد النانوية على امتزاز المزيد من الجزيئات لكل وحدة مساحة سطح، وتستطيع ربطها بقوة أكبر من المادة الصلبة الاعتيادية. وعلاوة على التفاعلية الكيميائية الأعلى بكثير، يمكن أن تُشتت المواد النانوية في شكل أدق كثيراً لكجسيمات محمولة في الهواء (رذاذ)، أو منتشرة في سائل (صول أو محلول مائي غروي) [من المواد الصلبة الأخرى؛ مما يحسّن تطبيقاتها وكفاءتها بشكل ملحوظ.

إن المساحة السطحية العالية والتفاعلية الكيميائية الأعلى المتأصلتين في الجسيمات النانوية، تجعلها مناسبة كثائية الغرض. وبالإضافة إلى أدائها الدور كعامل إزالة للتلوث البيولوجي، فإنها تستطيع العمل كميزات ممتازة للمواد الكيميائية السامة، وعوامل الحرب الكيماوية، وتحويلها إلى مركبات حميدة عن طريق كسر الرابطة المتغيرة (غير المستقرة) المسؤولة عن سميتها [6-12]. ويتم احتجاز السموم الأخرى عن طريق الامتزاز الفيزيائي فقط [13].

الشرط المهم للمادة الصلبة، هو أنها يجب أن تكون غير سامة عملياً، وبسبب صغر حجم جسيمها، فإن الجسيمات النانوية وتجمعاتها، تستطيع تجاوز أنظمة جمع الرذاذ في الكائن الحي واختراق الرئتين، إذا تم استخدامها على هيئة رذاذ. ومن الأمثلة

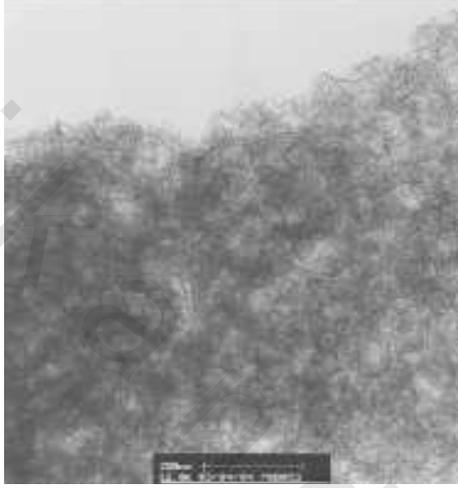
على المواد غير الضارة الأسبستوس والسُّخام (السناج)، والتي تصبح خطرة فقط، عندما تكون على شكل جسيمات رذاذ صغيرة جداً. ويُقيد هذا اختيار المواد النانوية كمطهرات إلى عدد قليل جداً من المركبات. ويركز هذا الاستعراض على اثنين لهما الإمكانية العظمى، حيث كانت تُبحث معظم جسيماتها النانوية في شكل أكسيد المغنيسيوم، وثاني أكسيد التيتانيوم.

١٤،٤ أكسيد المغنيسيوم Magnesium Oxide

إن أكسيد المغنيسيوم مركب أيوني بدرجة عالية جداً، وذا طاقة شبكية عالية. ويعني هذا أن لدى أكسيد المغنيسيوم قوة دافعة قوية للتبلور، وأن الحالة غير المتبلورة المحتملة ستكون غير مستقرة. وعلى أية حال، فإن أكسيد المغنيسيوم "ثابت" في الشكل البلوري النانوي، حيث إن جسيمات أكسيد المغنيسيوم MgO النانوية مستقرة، ويمكنها تحمل التسخين حتى درجات حرارة تصل إلى ٥٥٠°م بدون تلبد (تكلس) كبير. ويتميز أكسيد المغنيسيوم بأنه حميد للكائنات الحية، بالإضافة إلى أنه غير ضار عملياً لمعظم الأسطح. وإحدى مزاياه الرئيسية، هي أنه عندما يُترك في اتصال بالجو، فإنه يتحول إلى كربونات المغنيسيوم غير الضارة.

يمكن تحضير بلورات أكسيد المغنيسيوم النانوية في حجوم من الرتبة ٤ نانومتر، ومساحة سطحية عالية جداً (تزيد عن ٥٠٠ م^٢ جرام^{-١}) [14]. وترتب الجسيمات نفسها في شكل شبكة ضخمة مصنوعة من جسيمات نانوية منفصلة (الشكل رقم ١٤،١). للمقارنة، فالمساحة السطحية لأكسيد المغنيسيوم المتوفر تجارياً (يتضمن بذوراً بلورية كبيرة بحجم الميكرومتر)، تكون في المدى من ٥-١٨٠ م^٢ جم^{-١}. إن صغر حجم الجسيمات والتجمعات المسامية مهم لتحقيق استقرار الرذاذ. ومثل هذا الرذاذ من جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية، يكون مستقرًا لوقت طويل حوالي ١ ساعة [11, 15].

ويسمح هذا باستخدام مواد الجسيمات النانوية على هيئة رذاذات ؛ لإزالة تلوث الهواء ، جنباً إلى جنب مع إزالة تلوث السطح.



الشكل رقم (١، ١٤). صورة المجهر الإلكتروني النفاذ TEM لجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية. تترايط الجسيمات النانوية في شبكة مسامية تماماً.

إن أكسيد المغنيسيوم على شكل جسيمات نانوية ، يمثل عامل قتل بكتيري جيداً [15, 16] ، قادر على قتل أكثر من ٩٠٪ من البكتيريا موجبة الجرام (*B. cereus*) ، والبكتيريا سالبة الجرام (*E. coli*) ، والأبواغ (الجراثيم) (*B. globigii*) في دقائق. ويتناقض هذا مع حقيقة أن أكسيد المغنيسيوم "الطبيعي" المشتمل على جسيمات بحجم الميكرومتر ، لا يُظهر نشاطاً مبيداً للجراثيم يمكن تقديره. وسوف توصف آلية نشاط مبيد الجراثيم لاحقاً.

لقد تم استخدام زيادة المساحة السطحية لامتزاز مطهرات قوية ، مثل الكلور والبروم ، أو المركبات بين الهالوجينية. والمواد الصلبة الناتجة (MgO/X_2) ، حيث (I و Br ، Cl = X) لها خواص مبيدة للأبواغ والجراثيم ممتازة [17] ، إلا أنها في الوقت

نفسه ليست قاسية (شديدة) على الأسطح، مثل معظم المطهرات. وتحتوي تراكيب الجسيمات النانوية المحملة بالهالوجين هذه على كميات كبيرة من الهالوجين الفعال جداً، (تصل إلى ٤٣٪ بالوزن في حالة IBr)، بينما في الوقت نفسه يتم "تنشيط" الهالوجين مقارنة إلى حالته الحرة؛ مما يُحسِّن فعالية ميده الحيوي [17].

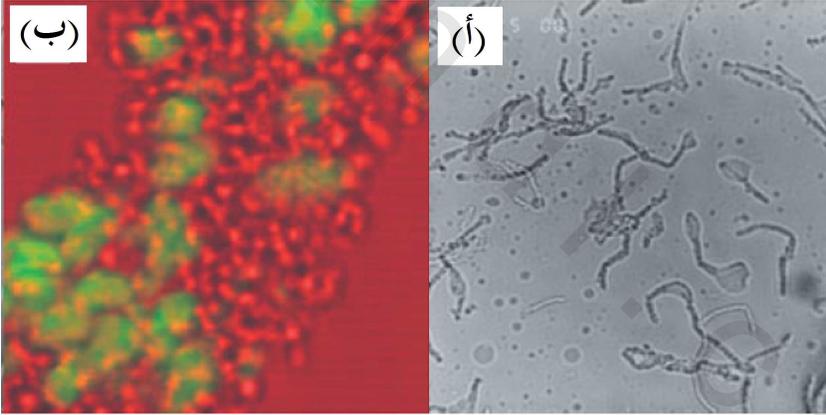
لقد نُجحت جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية في إزالة آثار السموم من المحلول، مثل الأفلاتوكسين aflatoxins عند مستويات أجزاء في المليون [15]. وتم رصد هذه القدرة في وقت سابق لكل من الجسيمات الميكروية والنانوية، ويتوقع أن يكون ذلك بسبب الامتزاز الفيزيائي. ومع ذلك، فمن المتوقع أن تكون سعة الاحتفاظ بالجزئيات السمية أعلى للجسيمات النانوية؛ بسبب مساحتها السطحية الأعلى وسطح نشاطها الأعلى.

١٤,٥ آلية العمل Mechanism of Action

تعد آلية العمل، فضلاً عن الاهتمام العملي، بمثابة الأساس لفهم آلية نشاط مبيد الجراثيم من الجسيمات النانوية.

ولعل أهم العيوب - كما تأكد سابقاً - لاستخدام المواد الصلبة كمطهرات، هو قضية الاتصال، فبعض الخلايا لا تلامس الجسيمات، وتنجو من المعالجة. والتفاعل الكهروستاتيكي هو البارامتر المهم لكيفية تفاعل الجسيمات الغروية، مثل جسيمات نانوية مع جسيمات غروية أخرى (خلايا البكتيريا أو الفيروسات). ويتم وصفه في المحلول المائي من قبل الجهد- ζ potential. وتتحول جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية في الماء ببطء إلى هيدروكسيد المغنيسيوم، وعند تفكك أنيونات الهيدروكسيد، تصبح الجسيمات النانوية مشحونة إيجابياً. وكما هو محدد بقياس الجهد- ζ ، تكون كل جسيمات المغنيسيوم النانوية المركبة (MgO/X_2) مشحونة إيجابياً. وهذا

هو المناسب للتفاعل مع الخلايا البكتيرية، كما أنها تكون مشحونة سلبياً في قيم الرقم الهيدروجيني pH البيولوجي [18]. وقد بينت دراسات المجهر البصري و متحد البؤر، أن خلط جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية في المستحلب والخلايا البكتيرية، تسبب تخثراً تلقائياً لتجمعات كبيرة مكونة من تجمعات الجسيمات النانوية والخلايا البكتيرية. وتم رصد هذه الظاهرة مع كل أنواع الكائنات الحية الدقيقة المختبرة [16] (الشكل رقم ١٤،٢). لقد تم مشاهدة تأثير الالتصاق بمجهر القوة الذرية، وتبين أنه عند الاتصال عانت الخلايا البكتيرية من تلف كبير في جدار الخلية [13]. ويمكن أن تتفكك تجمعات الجسيمات النانوية عند الاتصال مع الخلايا البكتيرية إلى تجمعات أصغر [16].



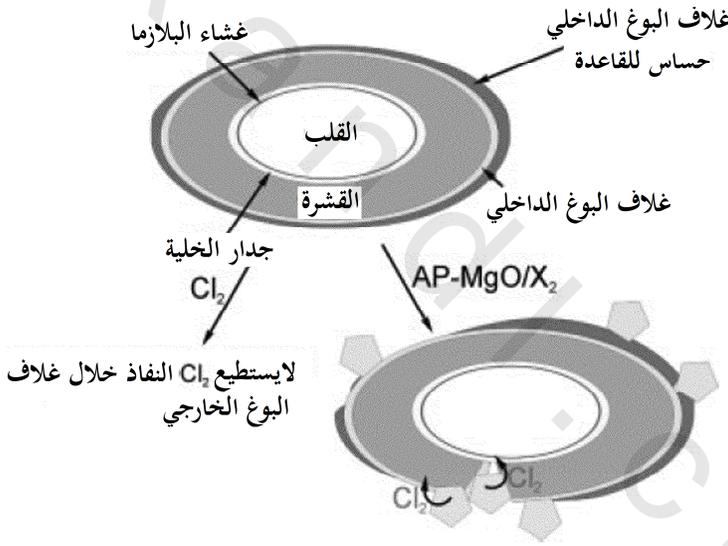
الشكل رقم (١٤،٢). (أ) صورة المجهر البصري (تكبير ١٠٠٠ مرة) لمزرعة بكتيريا *B. megaterium* مختلطة مع جسيمات أكسيد المغنيسيوم MgO النانوية في مستحلب (زمن الاتصال ٥ دقائق). لتلتصق تجمعات الجسيمات إلى البكتيريا والبعض منها ينفجر إلى قطع؛ بسبب تلف جدار الخلية. (ب) صورة مجهر تألق متحد البؤر (تكبير ٦٣٠ مرة) لمزرعة بكتيريا *E. coli* مختلطة مع مستحلب جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية MgO/فلوريسين (زمن الاتصال ٥ دقائق). وتختثر تجمعات جسيمات نانوية متألقة (الخضراء) مع الخلايا البكتيرية (الحمراء).

ويمكن توضيح عدة تأثيرات أخرى ذات أهمية لنشاط مبيد الجراثيم من الجسيمات النانوية في الحالة الجافة أو كمستحلب، كالتالي: تجاذب شحنتها مع البكتيريا، وفعلها الكاشط (الحاك) المحسن، وقدرتها على الأكسدة (في الحالات التي يوجد فيها هالوجين أو هالوجينات بينية)، وقاعديتها.

لم يقتصر نشاط مبيد الجراثيم من الجسيمات النانوية على المستحلب، بل هناك أيضاً مبيد للجراثيم في الحالة الجافة. ويتم تفسير العوامل المهمة للنشاط في الحالات الجافة من قبل الخواص الكاشطة للجسيمات، التي يمكن أن تُتلف الخلايا ميكانيكياً. ونظراً لأن الجسيمات النانوية تتمز كميات كبيرة نسبياً من الماء، فإنها تعد مجففات (في محيط الجسيمات)، وتولد رقما هيدروجينياً pH عالياً. ويعد كل من العاملين مسؤولين عن نشاط مبيد الجراثيم من الجسيمات النانوية ضد الخلايا البكتيرية الخضرية.

يدعم هذا بحقيقة عدم تأثر الأبواغ spores، التي تمتلك جدران خلايا أقوى من الناحية الميكانيكية، كما أنها غير حساسة لكمية الماء، أو الرقم الهيدروجيني pH العالي بشكل ملحوظ مع جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية. ومع ذلك، فقد تم لوحظ أن الجسيمات النانوية المحملة بالهالوجين (تم تحضير تراكيب الجسيمات النانوية بامتزاز الهالوجينات الحرة على جسيمات أكسيد المغنيسيوم MgO النانوية، MgO/X_2 ، $X = I, Br, Cl$) لها نشاط مبيد للأبواغ ممتاز. ويكمن تفسير هذه الحقيقة في الدمج التعاوني لعاملين، هما: قاعدية الجسيمات النانوية، ووجود الهالوجين. وتعد الهالوجينات عموماً مبيدات أبواغ ضعيفة؛ لأن غلاف البوغ الخارجي مقاوم للهالوجينات [19]. ومن ناحية أخرى، فغلاف البوغ الخارجي يكون حساساً للقاعدة، وهو ما يعني أن الجسيمات النانوية التي تولد محيط رقم هيدروجيني pH موضعي عال، تستطيع إذابة هذا الغلاف جزئياً أو كلياً [20, 21]. وهذا ما تؤكد الملاحظة في

البحوث بأن الأبواغ المعالجة مسبقاً بهيدروكسيد الصوديوم، تكون أكثر حساسية لمادة الكلور من أن يكون متحكماً فيه [20, 21]. وفي حالة الجسيمات النانوية المحملة بالهالوجين، يتواجد العاملان معاً: البيئة القاعدية جداً، والتركيز الموضعي العالي للهالوجين النشط. ووجد عامل آخر ذو أهمية، ألا وهو النشاط الأعلى للهالوجين، مقارنة للهالوجين الطور الغازي الحر [17]، جنباً إلى جنب مع تركيز الهالوجين الموضعي العالي. ونشاط مبيد الأبواغ من الجسيمات النانوية المحملة بالهالوجين موضح تخطيطياً في الشكل رقم (١٤،٣).



الشكل رقم (١٤،٣). الآلية لنشاط مبيد الأبواغ من جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية المحملة بالكلور MgO/Cl_2 . وتحفز جسيمات أكسيد المغنيسيوم MgO النانوية خلية البوغ، وتسمح للكلور بمزيد من إتلاف الخلية.

إن ميزة المطهر الصلب واضحة في هذا المثال، حيث يجلب الجسيم النانوي إلى خلية البوغ تركيزاً عالياً من الهالوجين النشط الممتز، ويتم تعزيز نشاطها المؤكسد بنقل الجسيم النانوي، الذي يزيل معظم الطبقة المقاومة لحماية البوغ. وفي الوقت نفسه،

يكون التركيز الكلي للهالوجين في البيئة منخفضاً، ويتم إطلاق الهالوجين أولاً عند الاتصال بالخلية، وبشكل ثانوي نتيجة للمج.

١٤,٦ ثاني أكسيد التيتانيوم Titanium Dioxide

إن ثاني أكسيد التيتانيوم (تيتانيا)، هو الأكسيد المعدني غير السام الآخر المهم. إنه يصبح حفاز أكسدة ضوئياً قوياً جداً، عندما يتم إضاءته بضوء الأشعة فوق البنفسجية. وتم إيجاد جسيمات التيتانيا النانوية، لتكون مبيداً نشطاً للجراثيم في مستحلبات الماء. ومقارنة إلى أكسيد المغنيسيوم، فإن نشاط مبيدها الحيوي، هو الأمثل فقط في وجود ضوء الأشعة فوق البنفسجية [22, 23]. وتم إيجاد أغشية لثاني أكسيد التيتانيوم لديها قدرات على إزالة السموم، عن طريق أكسدة السموم البيولوجية، مثل سم داخلي إي.كولاي *E. coli*، تحت ضوء الأشعة فوق البنفسجية في المحاليل المائية [24]. ويوضح الاستنتاج من تقارير البحوث أن جسيمات التيتانيا النانوية، تكون بمثابة حفاز ضوئي قوي جداً، يُحفز الأكسدة بالحفز، ويدمر جدار الخلية عن طريق توليد تراكيز عالية من شقوق غير عضوية نشطة جداً [22]. ولوحظ أن أداء الجسيمات الأصغر ومحتوى الانتاز (خام أكسيد التيتانيوم المعدني) anatase الأعلى، أفضل من مركبات جسيمات التيتانيا النانوية الأخرى [23]. وميزة الجسيمات النانوية مقابل التيتانيا الضخمة، هي سهولة تشتتها مرة أخرى، ونشاط مبيدها الحيوي الأعلى.

١٤,٧ الملخص Summary

إن المواد النانوية تمتلك خواص تختلف عن تلك للمواد الضخمة المقابلة المصنوعة منها، كما أن لديها خواص كيميائية وفيزيائية مختلفة، وخواص تظهر أحياناً لا تشاهد في المادة الضخمة. وأحد الاتجاهات الذي مازال يخفي العديد من المجاهيل،

هو كيف يمكن للتغيير في حجم المواد النانوية وخواصها أن يؤثر على نشاطها البيولوجي. وقد تم إيجاد بعض المواد النانوية، كتلك التي تم مناقشتها في هذا الفصل، للتفاعل مع المواد البيولوجية بطريقة مختلفة عن المواد الضخمة. ويمكن أن يوضع هذا السلوك والخواص الجديدة، في الأنظمة البيولوجية؛ لاستخدامها الجيد كخط جديد للدفاع ضد التهديدات البيولوجية.

المراجع References

- 1 Sagripanti, J., Bonifacino, A. Bacterial spores survive treatment with commercial sterilants and disinfectants, *Appl. Environ. Microbiol.* 1999, 65, 4255–4260.
- 2 Sagripanti, J., Bonifacino, A. Comparative sporicidal effects of liquid chemical agents, *Appl. Env. Microbiol.* 1996, 62, 545–551.
- 3 Hamouda, T., Myc, A., Donovan, B., Shih, A., Reuter, J., Baker Jr, J. A novel surfactant nanoemulsion with a unique non-irritant topical antimicrobial activity against bacteria, enveloped viruses and fungi, *Microbiol. Res.* 2001, 156, 1–7.
- 4 Hamouda, T., Hayes, M., Cao, Z., Tonda, R., Johnson, K., Craig, W., Brisker, J. A novel surfactant nanoemulsion with broad band sporicidal activity against *Bacillus* species, *J. Infect. Dis.* 1999, 180, 1939–1949.
- 5 Hamouda, T., Baker Jr., J. Antimicrobial mechanism of action of surfactant lipid preparations in enteric Gram-negative bacilli, *J. Appl. Microbiol.* 2000, 89, 397–403.
- 6 Rajagopalan, S., Koper, O., Decker, S., Klabunde, K. J. Nanocrystalline metal oxides as destructive adsorbents for organophosphorous compounds at ambient temperatures, *Eur. J. Chem.* 2002, 8, 2602–2607.
- 7 Wagner, G. W., Koper, O., Lucas, E., Decker, S., Klabunde, K. J. Reactions of VX, GD, and HD with nanosize CaO: autocatalytic dehydrohalogenation of HD, *J. Phys. Chem. B* 2000, 104, 5118–5123.
- 8 Wagner, G., Procel, L. R., O'Connor, R. J., Munavalli, S., Carnes, C. L., Kapoor, P. N., Klabunde, K. J. Reactions of VX, GB, GD, and HD with nanosize Al₂O₃. Formation of aluminophosphonates, *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 1636–1644.
- 9 Wagner G., Bartam, P. W., Koper, O., Klabunde, K. J. Reactions of VX, GD, and HD with nanosize MgO, *J. Phys. Chem. B* 1999, 103, 3225–3228.
- 10 Koper, O., Klabunde, K. J. Nano-particles for the destructive sorption of biological and chemical contaminants, US patent 6,057,488.
- 11 Koper, O., Klabunde, K. J. Reactive nano-particles as destructive adsorbents for biological and chemical contamination, US patent 6,417,421 B1.

- 12 Narske, R. M., Klabunde, K. J., Fultz, S. Solvent effects of the heterogenous adsorption and reactions of (2-chloroethyl)ethyl sulfide on nanocrystalline magnesium oxide, *Langmuir* 2002, 18, 4819–4825.
- 13 Ecker, E. E., Weed, L. A. Studies of the adsorption of diphtheria toxin to nad elution from magnesium hydroxide, *J. Immunol.* 1932, 22, 61–66.
- 14 Utampanya, S., Klabunde, K., Schlup, J. Nanoscale metal oxide particles/clusters as chemical reagents. Synthesis and properties of ultrahigh surface area magnesium hydroxide and magnesium oxide, *Chem. Mater.* 1991, 3, 175–181.
- 15 Koper, O., Klabunde, K. J., Marchin, G. L., Klabunde, K. J., Stoimenov, P., Bohra, L. Nanoscale powder and formulations with biocidal activity toward spores and vegetative cells of Bacillus species, viruses, and toxins, *Curr. Microbiol.* 2002, 44, 49–55.
- 16 Stoimenov, P. K., Klinger, R. L., Marchin, G. L., Klabunde, K. J. Metal oxide nano-particles as bactericidal agents, *Langmuir* 2002, 18, 6679–6686.
- 17 Stoimenov, P. K., Zaikovski, V., Klabunde, K. J. Novel halogen and interhalogen adducts of nanoscale magnesium oxide, *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 12907–12913.
- 18 Busscher, H. J. B. R., van der Mei, H. C., Handley, P. S., eds., *Physical Chemistry of Biological Interfaces*, MarcelDekker, NewYork, 2000.
- 19 Block, S. S., ed. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*, Lea & Febiger, Philadelphia, London, 1991.
- 20 Bloomfield, S. F., Arthur, M. Interaction of Bacillus subtilis spores with sodium hypochlorite, sodium dichloroisocyanurate and chloramines T, *J. Appl. Bacteriol.* 1992, 72, 166–172.
- 21 Bloomfield, S. F., Arthur, M. Effect of chlorine-releasing agents on Bacillus subtilis vegetative cells and spores, *Lett. Appl. Microbiol.* 1989, 8, 101–104.
- 22 Lu, Z.X. et al., Cell damage induced by photocatalysis of TiO₂ thin films, *Langmuir* 2003, 19, 8765–8768.
- 23 Jang, H. D., Kim, S. K., Kim, S. J. Effect of particle size and phase composition of titanium dioxide nano-particles on the photocatalytic properties, *J. Nanopart. Res.* 2001, 3, 141–147.
- 24 Sunada, K., Kikuchi, Y., Hashimoto, K., Fujishima, A. Bactericidal and detoxification effects of TiO₂ thin film photocatalysts, *Env. Sci. Technol.* 1998, 32, 726–728.