Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

• **مقاله مروری**

استفاده از میکروارگانیسم‌ها با هدف پاکسازی زباله‌های رادیواکتیو

*محمد باقر تجویدی[1]، دکتر شهاب خزانه‌داری[2]، علیرضا قراتپه[3]، اسماعیل دراجی[4]

چکیده

در فرآیند استفاده از مواد رادیواکتیو مقدار زیادی زباله‌ی رادیواکتیو بوجود می‌آید. بین سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۸۶ میلادی در جریان تولید سلاح‌های هسته‌ای، بیشترین مقدار زباله‌های رادیواکتیو بر روی سطح زمین به جا ماند و همین امر باعث آلودگی کنونی هزاران منطقه در جهان می‌باشد. مشکل بزرگ مکان‌های آلوده با مواد رادیواکتیو در آن است که این مواد به راحتی در محیط انتشار پیدا می‌کنند، که علت آن حل شدن این مواد در آب است. این حلالیت در آب به فلزات رادیواکتیو اجازه می‌دهد که به راحتی در سطح یا درون زمین پراکنده شوند.

اخیرا از روش‌های بیولوژیک جهت زدودن و حذف زباله‌های رادیواکتیو از محیط زیست بهره جسته‌اند، لذا به منظور کاهش هزینه‌ها به منظور حذف این نوع زباله‌ها برآن شده‌اند تا از میکروارگانیسم‌هایی چون دینوکوکوس رادیودورانس استفاده نمایند.

در میان فناوری‌های توسعه یافته‌ی حاضر، برای پردازش زباله‌های رادیواکتیو، بهترین استراتژی اصلاح زیستی (**Bioremediation**) است، که با استفاده از ارگانیسم‌هایی همچون دینوکوکوس رادیودورانس که شدیداً به تشعشعات رادیواکتیو (۱/۵ میلیون راد اشعه)، مقاوم هستند، انجام می‌شود.

دینوکوکوس رادیودورانس باکتری گرم مثبت و بدون اسپور بوده و معمولاً بیماریزا نمی‌باشد، همچنین محتوی رنگدانه‌های قرمز رنگی بوده و کلنی‌های صورتی رنگی ایجاد می‌نماید. این باکتری برای اولین بار در قوطی کنسروهایی که توسط اشعه استریلیزه شده بودند، یافت شد.

کلمات کلیدی: اصلاح زیستی، زباله رادیواکتیو، دینوکوکوس رادیودورانس

مجله علمی ابن سینا / اداره بهداشت و درمان نهاجا (سال یازدهم، شماره دوم، زمستان ۱۳۸۷، مسلسل ۳۰)

۱. کارشناس زیست شناسی سلولی – مولکولی، مرکز تحقیقات ابهدا نهاجا. تلفن: ۳۹۹۵۴۹۵۵ (*مؤلف مسؤول)
۲. پزشک عمومی، مرکز تحقیقات ابهدا نهاجا
۳. دانشجوی کارشناسی زیست شناسی سلولی – مولکولی، دانشگاه امام حسین (ع)
۴. کارشناس زیست شناسی سلولی – مولکولی گروه نانومدیسین مرکز رشد استعدادهای درخشان دانشگاه تهران

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

مقدمه

مدیریت زباله‌های تولید شده و مواد زائد که جزء جدایی‌ناپذیر زندگی انسان هستند، همیشه یک مشکل جدی بشمار می‌آیند. امروزه این زباله‌ها بین محدوده فاضلاب‌های اولیه و خام تا زباله‌های رادیواکتیو قرار می‌گیرند. زباله‌های رادیواکتیو تولید شده در جریان جنگ سرد باعث آلودگی ۷×۱۰^{۷} متر مربع خاک و ۳×۱۰^{۹} لیتر آب در ایالات متحده شده است [۱-۴].

در فرآیند استفاده از مواد رادیواکتیو مقدار زیادی زباله‌ی رادیواکتیو بوجود می‌آید. بین سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۸۶ در جریان تولید سلاح‌های هسته‌ای، بیشترین مقدار زباله‌های رادیواکتیو بر روی سطح زمین به جای ماند و همین امر باعث آلودگی کنونی هزاران منطقه در جهان می‌باشد. موضوع تولید زباله‌های رادیواکتیو از زمان کشف این مواد مورد توجه بوده است. میزان تابش بسیاری از ایزوتوپ‌ها برای حیات جانداران خطرناک است. قرار گرفتن در معرض تشعشعات می‌تواند عوارض جبران‌ناپذیری داشته باشد. مانند سرطان، سوختگی پرتویی و یا مانند استرنیوم که با کلسیم استخوان جابجا شده، می‌تواند خود به عنوان منبع تشعشع در بدن عمل کند. متأسفانه بسیاری از هسته‌های رادیواکتیو (رادیو اتم‌ها) دارای نیمه عمر طولانی هستند. (Sr-90 ۲۸ سال، Cs - 137 ۳۰ سال، U-238 ۴/۵ میلیارد سال). بنابراین مسئله‌ی جدا سازی، انبار نمودن و از بین بردن ایمن آن‌ها با زیاد شدن کاربرد این مواد در همه سطوح، و سطح انرژی آنها، سال به سال مباحث گسترده‌ای را در بر می‌گیرد [۴-۷].

در گذشته برای انهدام این زباله‌ها آن‌ها را میان یک حفره درون زمین قرار داده و روی آنها را پر می‌کردند. اما در سال‌های اخیر به علت اینکه این مواد از درون این گودال‌ها به منابع آب و مناطقی که انسان زندگی می‌کرد، نفوذ می‌کردند، این روش‌ها ناکارآمد شده است [۴].

زباله‌های رادیواکتیو برحسب نوع محتویات، پتانسیل تولید حرارتی و شدت پرتوزایی تقسیم‌بندی می‌شوند.

کاربرد میکروارگانیسم‌ها در عرصه بیوتکنولوژی با توجه به اهمیت ژن‌ها و اطلاعات ژنتیکی خاص آنها به‌طور چشمگیری رو به افزایش است. اخیراً از روش‌های بیولوژیک جهت زدودن و حذف زباله‌های رادیواکتیو از محیط زیست بهره جسته‌اند، لذا به منظور کاهش هزینه‌های بالا برای حذف این نوع زباله‌ها برآن شده‌اند تا از میکروارگانیسم‌هایی چون دینوکوکوس رادیودورانس (Deinococcus radiodurans) استفاده نمایند.

در میان فناوری‌های توسعه یافته‌ی حاضر، برای پردازش زباله‌های رادیواکتیو، بهترین استراتژی اصلاح زیستی (Bioremidiation) است، که با استفاده از ارگانیسم‌هایی همچون دینوکوکوس رادیودورانس R_1 که شدیداً به تشعشعات رادیواکتیو (۱/۵ میلیون راد اشعه)، مقاوم هستند، انجام می‌شود [۵، ۸-۱۰].

اصلاح زیستی

اصلاح زیستی تغییر یا تجزیه آلاینده‌ها به عوامل شیمیایی بی‌خطر یا کم خطر می باشد. عموماً از باکتری‌ها برای این روش استفاده می‌شود، با این حال از جلبک‌ها، قارچ‌ها و گیاهان هم استفاده شده است. اصلاح زیستی یک فناوری تازه و جدید نیست؛ این فناوری ابتدا در سال ۱۸۹۱ با پاکسازی گیاهی فاضلاب‌های بیولوژیک در انگلستان انجام شد. با این حال تا قبل از سال ۱۹۸۷ این واژه در میان کارشناسان آن زمان استفاده نشد [۴، ۱۱-۱۲].

انواع طبقه‌بندی اصلاح زیستی

اصلاح زیستی به انواع تغییر زیستی (Biotransformation)، تجزیه زیستی (Biodegradation) و تبدیل به حالت معدنی (Mineralization) تقسیم می‌شود. تغییر زیستی، تبدیل مولکول‌های آلاینده به مولکول‌های بی‌خطر یا کم خطر، تجزیه زیستی تجزیه مواد آلی به مولکول‌های غیرآلی یا آلی کوچکتر و

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

تبدیل به حالت معدنی تبدیل کامل مواد آلی به اجزاء اصلی غیرآلی، مانند CO2 یا H2O.

این سه روش را می‌توان در محل آلودگی (in situ) و یا خارج از محل آلودگی (ex situ) انجام داد. مزایا و معایبی برای برای هر دو روش اصلاح زیستی در محل و خارج از محل وجود دارد [۱۱،۴].

مواد آلوده از محیط جدا شده و سپس این مواد در یک محیط بسته از بین برده می‌شوند. این محیط‌های بسته به ما اجازه می‌دهند که نظارت و نگهداری بهتری از شرایط و پیشرفت را داشته و بدین صورت پروسه اصلاح زیستی سریعتر و راحت‌تر انجام می‌شود. با این حال تفکیک و جدا کردن آلاینده‌ها از مکان آلوده نیاز به صرف زمان، هزینه و خطرهای بالقوه دارد. توجه داشته باشید که با آوردن آلاینده‌ها و مواد آلوده به سطح زمین، مردم بیشتر در معرض این مواد قرار می‌گیرند. روش استخراج آلاینده‌ها، بسته به ماهیت مواد آلوده (گاز، مایع و جامد) متفاوت است [۱۳،۴].

بر خلاف روش قبلی احتیاجی به تفکیک مواد آلوده از مکان آلوده نیست. در این روش از تحریک زیستی(Biostimulation) و یا تقویت زیستی (Bioaugmentation) استفاده می‌شود. در تحریک زیستی، مواد مغذی مانند اکسیژن و یا دیگر گیرنده و دهنده‌ی الکترون‌ها، برای افزایش تعداد و فعالیت طبیعی میکروارگانیسم‌های موجود در اصلاح زیستی، اضافه می‌گردد. این مواد اضافه شده سرانجام در آب پراکنده می‌شوند. در تقویت زیستی، میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تغییر و یا تجزیه مواد آلوده هستند، به مکان آلوده اضافه می‌گردند. میکروارگانیسم‌های اضافه شده، می‌توانند از یک گونه کامل و یا از اعضای چند گونه متفاوت باشد. مزیت اصلاح زیستی در محل، این است که احتیاج به استخراج مواد آلوده و آلاینده‌ها از مکان آلوده نیست. بنابراین افراد کمتر در معرض مواد آلوده قرار می‌گیرند. با این حال روش در محل، مضراتی هم دارد. از جمله اینکه مکان اصلاح زیستی در محل یک مکان بسته نیست، بنابراین کنترل شرایط و بررسی مراحل واکنش سخت‌تر انجام می‌شود [۱۴،۱۲،۴].

فلزات رادیواکتیو و چالش‌های پیش‌رو

مشکل بزرگ و مهم مکان‌های آلوده با مواد رادیواکتیو در آن است که این مواد به راحتی در محیط انتشار پیدا می‌کنند، که علت آن حل شدن این مواد در آب است. این حلالیت در آب به فلزات رادیواکتیو اجازه می‌دهد که به راحتی در سطح یا درون زمین پراکنده شوند. یک راه حل برای این مسأله، غیر محلول کردن مواد رادیواکتیو است. با این کار این مواد ثابت می‌مانند و از نفوذ آنها به اطراف جلوگیری به عمل می‌آید. یک روش برای غیر محلول کردن این مواد استفاده از باکتری‌های کاهش دهنده‌ی فلزات است و با این کار باعث رسوب فلزات رادیواکتیو می‌شویم [۱۲،۴].

باکتری‌ها می‌توانند مستقیماً با احیاء فلزات رادیواکتیو، آنها را از حالت اکسیده (محلول) به حالت احیاء (غیرمحلول) تبدیل کنند. باکتری این عمل را بوسیله‌ی گرفتن الکترون‌ها از ترکیبات آلی و دادن آنها به فلزات رادیواکتیو انجام داده و باعث احیاء شدن این فلزات در پروسه‌ی چرخه انرژی می‌شوند. به‌طور مثال یک باکتری خاص می‌تواند باعث تبدیل U(VI)، CR(VI)، TC(VII) به U(IV)، CR(III)، TC(IV) شود [۱۲،۴].

همچنین باکتری‌ها می‌توانند به شکل غیرمستقیم با استفاده از یک واسطه‌ی دهنده‌ی الکترون باعث احیاء فلزات رادیواکتیو و تبدیل آنها به فرم غیرمحلول شوند. به عنوان مثال باکتری می‌تواند از Fe^{3+} و یا SO_4^{2-} به عنوان گیرنده‌های نهایی الکترون استفاده کند. Fe^{3+} به Fe^{2+} و SO_4^{2-} به H_2S^- تبدیل می‌شود، Fe^{2+} و H_2S باعث کاهش فلزات رادیواکتیو می‌شوند و در نتیجه این مواد به حالت غیرمحلول تبدیل می‌شوند [۴].

روش اکسیداسیون و احیاء تنها برای تصفیه فلزات رادیواکتیو استفاده نمی‌شود. از این روش برای تصفیه فلزات سمی مانند کروم و سرب، و تبدیل آنها به فلزات غیر سمی استفاده می‌شود.

اگر چه استفاده از روش اصلاح زیستی یکی از بهترین

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

روش‌ها برای زدودن زباله‌های رادیواکتیو است، ولی اغلب آلاینده‌ها و یا محتویات مکان‌های آلوده برای میکروارگانیسم‌هایی که در این روند استفاده می‌شوند، سمی هستند. این مشکل ممکن است باعث کاهش سرعت روند اصلاح زیستی شود. یک راه حل برای حل این مشکل، استفاده از میکروب‌های مهندسی ژنتیک شده است. این میکروب‌ها به شرایط مکان‌های آلوده حداکثر مقاومت را نشان می‌دهند و همچنین دارای ویژگی‌های اصلاح زیستی هستند. برای مثال اشعه باعث صدمه دیدن ژنوم اکثر باکتری‌ها می‌شود، با این حال یک گونه باکتری به نام دینوکوکوس رادیودورانس وجود دارد که در مقابل اشعه، فوق‌العاده مقاومت نشان می‌دهد (تا ۱/۵ میلیون راد اشعه مقاومت می‌کند) [۴].

اخیراً از نمونه‌های جمع‌آوری شده از اعماق آبهای زیرزمینی در آفریقای جنوبی، گونه‌ای از ترموس‌ها جدا شده، که قادر به استفاده از Fe^{3+} به عنوان گیرنده‌ی الکترون در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء می‌باشد. با توجه به نزدیکی ژنتیکی (Phylogenetic) اعضای دو جنس ترموس‌ها (احیاکننده‌ی فلزات) و دینوکوکوس‌ها (مقاوم به اشعه)، محققان بر آن شده‌اند تا با ترکیب این دوگونه باعث کارآمدتر شدن پاک‌سازی زباله‌های رادیواکتیو و فلزات سمی در مکان‌های آلوده شوند [۱۵-۱۷].

دینوکوکوس رادیودورانس

از آنجایی که ظاهراً هیچ محیط زیستی آغشته به مواد رادیواکتیو در دوران‌های زمین‌شناسی بر روی زمین وجود نداشته، تکامل ارگانیسم‌هایی که می‌توانند به طور مستمر در مقابل پرتوهای رادیواکتیو زنده بمانند قابل توجه است [۱۸،۱-۲۰].

ارگانیسم‌های DNAدار به سادگی توسط عوامل شایع فیزیکی-شیمیایی (مانند پرتو ماوراءبنفش یا عوامل اکسید کننده) یا محیط‌های غیر استاتیک (مانند چرخه‌های کاهش و افزایش دما) آسیب می‌بینند.

باکتری‌های متعلق به خانواده‌ی دینوکوکوسهآ از مقاوم‌ترین ارگانیسم‌های کشف شده در برابر تشعشعات هستند، که به سادگی قابل کشف و غیر پاتوژن هستند. علیرغم توزیع وسیع این خانواده و قدمت تاریخی آنها، تنها ۷ گونه از دینوکوکاسه شناسایی شده است.

دینوکوکوس رادیودورانس باکتری گرم مثبت و بدون اسپور بوده و معمولاً بیماریزا نمی‌باشد، همچنین محتوی رنگدانه‌های قرمز رنگی بوده و کلنی‌های صورتی رنگی ایجاد می‌نماید. این باکتری برای اولین بار در قوطی کنسروهایی که توسط اشعه استریلیزه شده بودند، یافت شد. دینوکوکوس رادیودورانس نسبت به تشعشعات یونیزه کننده از خود مقاومت بسیار زیادی نشان می‌دهد. محققین تصور می‌کردند مقاومت این باکتری نیز مانند سایر باکتری‌هایی که نسبت به خشکی، گرما و سایر عوامل مقاومند، مربوط به اسپور آن می‌باشد، در حالیکه طی آزمایشات صورت گرفته مشخص گردید، علت اصلی این مقاومت مکانیسم پرتوان ترمیم DNA در آنها بود [۲۶-۲۱].

سوش دینوکوکوس رادیودورانس R_1 اولین دینوباکتری بود که از گوشت کنسرو شده‌ای که به دنبال مواجه با پرتوی فاسد شده بود کشف شد. از کشت این باکتری، کوکسی‌هایی با پیگمان‌های قرمز، بدون اسپور، گرم مثبت بوجود آمد که شدیداً به تشعشعات یونیزه کننده پرتوهای ماوراءبنفش، پراکسید هیدروژن و بسیاری از عواملی که به DNA آسیب می‌رسانند، مقاوم بود. به‌نظر می‌رسد که جنس‌های دایناکوکوس بیشترین نزدیکی ژنتیکی را با جنس ترموس داشته باشند [۲۹-۱،۲۲،۲۷].

این باکتری مقاومت قابل توجهی در برابر آسیب ناشی از تشعشعات یونیزه کننده، خشک شدگی، تشعشعات ماوراءبنفش، عوامل اکسید کننده و موتاژن‌های الکترون دوست از خود نشان می‌دهد [۳۰].

علاوه بر این باکتری به تشعشعات تا ۱/۵ میلیون راد مقاومت نشان می‌دهد. این ویژگی باعث شد تا با تعیین توالی ژن‌های این باکتری، از این میکروارگانیسم در پاکسازی زباله‌های رادیواکتیو و فلزات سمی استفاده شود. با این‌که فرآیند

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

مقاومت در این باکتری تا حدودی شناخته شده است، با این حال ناشناخته‌هایی در مورد این باکتری وجود دارد [۳۰].

جداسازی این باکتری در سراسر جهان انجام شده، اما توزیع آن متغیر و پراکنده است. علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، مناطق دیگری که این باکتری از آنها جدا شده‌اند شامل خاک‌های مرطوب نزدیک دریاچه‌ای در انگلستان، گرانیت‌هایی که در دره‌های خشک قطب جنوب وجود دارد و وسایل پزشکی تحت اشعه [۳۵-۳۱،۲۴].

در فاز رشد نمایی، دینوکوکس رادیودورانس در مقابل اشعه یونیزه کننده تا ۰/۵ مگا راد مقاومت نشان می‌دهد. و در ۰/۸ مگا راد ۱۰٪ بقا دارد. در حالی که Ecoli در فاز رشد نمایی میزان اندکی مقاومت را نشان می‌دهد (در مقابل ۱۵ کیلو ۱۰٪ بقا دارد). که این به معنای ۵۰۰ برابر بودن مقاومت این باکتری نسبت به Ecoli است.

مقاومت در برابر آسیب DNA

بیشترین مطالعات درباره‌ی دینوکوک‌ها روی دینوکوکوس رادیودورانس انجام شده است. بر خلاف سایر سوش‌های دینوکوکی، دست‌کاری‌های ژنتیکی بر روی این گونه امکانپذیر است. زیرا این باکتری دارای قابلیت تغییر طبیعی DNA کروموزومی وپلاسمیدی می‌باشد [۵۱،۲۵]. قابلیت تغییرپذیری در DNA این باکتری باعث شده تا روش‌های گوناگونی برای دستکاری ژنتیکی این میکروارگانیسم فراهم و این باکتری را تبدیل به هدف مناسبی برای تحقیقات مولکولی کند[۵۱-۱،۳۶].

دینوکوکوس رادیودورانس و دینوکوکوس ژئو ترمالیس تنها گونه‌هایی هستند که سیستم تغییر و دستکاری ژنتیکی آنها موجود است. ژنوم دینوکوکوس رادیودورانس R_1 از ۲ کروموزوم، یک مگاپلاسیما و یک پلاسمید تشکیل شده، که ۳۱۹۵ ژن قابل پیش‌بینی را حمل می‌کند [۵۲].

دینوکوکوس رادیودورانس دارای ۸ تا ۱۰ کپی هاپلوئید ژنوم در مرحله رشد نمایی و ۴ کپی ژنوم در فاز ثابت می‌باشد. تنوع ژنوم برای فرآیند ترمیم ضروری بنظر می‌رسد. اما این خاصیت برای مقاومت در برابر اشعه کافی نیست. زیرا میکرواورگانیسم‌های دیگری وجود دارند که علیرغم تعداد بیشتر کروموزوم در سلول نسبت به دینوکوکوس رادیودورانس در برابر اشعه حساس هستند [۵۱، ۳۹].یک مدل پیشنهادی برای ترمیم DNA دینوکوکوس رادیودورانس این است که شکل کروموزوم‌ها همیشه متراکم و در یک ردیف هستند. بدین ترتیب جستجو برای ترمیم قطعات آسیب دیده‌ی DNA به طور خارق‌العاده‌ای آسانتر می‌شود [۵۳-۵۱]. باید توجه داشت که ترمیم DNA در دینوکوکوس رادیودورانس به صورت وقایعی متوالی انجام می‌شود. همه این عوامل موجب شد تا دینوکوکوس رادیودورانس را به عنوان باکتری مناسب برای مطالعه‌ی مکانیسم‌های آسیب و ترمیم DNA و همچنین استفاده از آن برای پاک کردن مناطق آلوده به زباله‌های رادیواکتیو مطرح کنند [۵۲].

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه ابداع و بکارگیری فناوری‌های پیشرفته، بشریت را در یک فرآیند جدید در عرصه‌های مختلف صنعت، کشاورزی، دارویی و زیست محیطی قرار داده است. همزمان با پیشرفت تکنولوژی، آلودگی‌های زیست محیطی نیز افزایش یافته و از جمله تدابیر امنیتی در جهت پاکسازی و حفظ محیط زیست، اجرای سیاست‌های لازم در طرح مدیریت زیستی می باشد زباله‌های رادیواکتیو از جمله ترکیباتی هستند که امروزه نظر بسیاری از محققین را به خود جلب کرده‌اند. لذا با توجه به بالا بودن هزینه روش‌های فیزیکی-شیمیایی برای حذف این مواد، می‌توان از روش‌هایی ارزان‌تر مانند بکارگیری میکرواورگانیسم‌هایی چون دینوکوکوس رادیودورانس برای این منظور استفاده کرد.

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

References

1. Lange CC, Wackett LP, Minton KW, Daly MJ. Engineering a recombinant Deinococcus radiodurans for organopollutant degradation in radioactive mixed waste environments. Nat Biotechnol. 1998; 16:929-933.
2. Daly MJ. Engineering radiation-resistant bacteria for environmental biotechnology. Curr Opin Biotechnol. 2000; 11:280-285.
3. Brim H, McFarlan SC, Fredrickson JK, Minton KW, Zhai M, Wackett LP, Daly MJ. Engineering Deinococcus radiodurans for metal remediation in radioactive mixed waste environments. Nat Biotechnol. 2000; 18:85-90.
4. Molly L, Bioremediation: Techniques for Cleaning up a mess. BioTeach Journal. 2004;(2)18-22.
5. United States Environmental Protection Agency. A Citizen's Guide to Soil Washing. (2001).Retrieved July 12, 2004 from *http://clu-in.org/download/citizens/* soilwashing.pdf
6. Amudhan V, Mcfarlans SC, Ghosal D, Minton KW, Vasilenko A, Makarova K, Wackett LP, Daly M. Physiologic Determinants of Radiation Resistance in Deinococcus radiodurans, Applied and Environment Microbiology. 2000; 2620–2626.
7. Riley RG, Zachara JM, Wobber FJ. Chemical contaminants on DOE lands and selection of contaminant mixtures for subsurface science research. U.S. Department of Energy Office of Energy Research Subsurface Science Program. Washington, D.C. 1992.
8. Macilwain C. Science seeks weapons clean-up role. Nature. 1996; 383:375–379.
9. Lin J, Qi R, Aston C, Jing J, Anantharaman TS, Mishra B, White O, Daly MJ, Minton KW, Venter JC, Schwartz DC. Whole genome shotgun optical mapping of Deinococcus radiodurans using genomic DNA molecules. Science. 1999; 285:1558–1561.
10. Brooks BW, Murray RGE, Johnson JL, Stackebrandt E, Woese CR, Fox GE. Red-pigmented micro cocci: a basis for taxonomy. Int J Sys Bacteriol. 1980; 30:627–646.
11. McCullough J, Hazen TC, Benson SM, Blaine FM, Palmisano AC. Bioremediation of metals and radionuclides. U.S. Department of Energy Office of Biological and Environmental Research, Germantown,Md. 1999.
12. Hornung, U. Soil Venting.(1997). Retrieved July 12, 2004 from *http://cage.rug.ac.be/~ms/LHKW/* lhkw.html
13. NABIR. Bioremediation of metals and radionuclides…what it is and how it works. (2003). Retrieved July 12,2004 from *http://www.lbl.gov/NABIR/generalinfo/* 03_NABIR_primer.pdf
14. OLQ Geological Services. A General Outline of Bioremediation. (2004). Retrieved July 12, 2004 from *http://www.in.gov/idem/land/geology/pdf/* bioremediation.pdf
15. U.S. Geological Survey. Bioremediation: Nature's Way to To a Cleaner Environment. (1997). Retrieved July 7, 2004 from http://water.usgs.gov/wid/html/bioremed.html
16. Fredrickson JK, Kostandarithes HM, Li SW, Plymale AE, Daly MJ. Reduction of Fe(III), Cr(VI), U(VI), and Tc(VII) by Deinococcus radiodurans R1. Applied and Environment Microbiology. 2000; 66:2006–2011.
17. Hensel R, Demharter W, Kandler O, Kroppenstedt RM, Stackebrandt E. Chemotaxonomic and molecular-genetic studies of the genus Thermus: evidence for a phylogenetic relationship of Thermus aquaticus and Thermus ruber to the genus Deinococcus. Int J Syst Bacteriol. 1986; 36:444–453.

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

18. Kieft TL, Fredrickson JK, Onstott TC, Gorby YA, Kostandarithes HM, Bailey TJ, Kennedy DW, Li SW, Plymale AE, Spadoni CM, Gray MS. Dissimilatory reduction of Fe(III) and other electron acceptors by a Thermus isolate. Appl Environ Microbiol. 1999; 65:1214–1221.
19. Daly M J, Minton KW. An alternative pathway of recombination of chromosomal fragments precedes recA-dependent recombination in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1996;178:4461-4471.
20. Daly M J, Minton KW. Interchromosomal recombination in the extremely radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J. Bacteriol. 1995; 177: 5495-5505.
21. Daly M J, Minton KW. Recombination between a resident plasmid and the chromosome following irradiation of the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. Gene. 1997; 187:225-229.
22. Battista JR., Earl AM, Park. MJ. Why is Deinococcus radiodurans so resistant to ionizing radiation Trends Microbiol. 1999; 7:362-365.
23. Minton KW. DNA repair in the extremely radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. Mol Microbiol. 1994; 13:9-15.
24. Minton KW. Repair of ionizing-radiation damage in the radiation resistant bacterium Deinococcus radiodurans. Mutant Res. 1996; 363:1-7.
25. Murray RGE. The family Deinococcaceae. In: Balows A, Trüper HG, Dworkin M, et al(ed.). The prokaryotes. 4th ed. Springer-Verlag: New York N.Y. 1992; 3732-3744.
26. Moseley BE, Setlow JK. Transformation in Micrococcus radiodurans and the ultraviolet sensitivity of its transforming DNA. Proc Natl Acad Sci USA. 1968; 61:176-183.
27. Ferreira AC, Nobre MF, Rainey FA, Silva MT, Wait R, Burghardt J, Chung AP, Costa MS. Deinococcus geothermalis sp. nov. and Deinococcus murrayi sp. nov., two extremely radiation-resistant and slightly thermophilic species from hot springs. Int J Syst Bacteriol. 1997; 47:939-947.
28. Mattimore V, Battista JR. Radioresistance of Deinococcus radiodurans: functions necessary to survive ionizing radiation are also necessary to survive prolonged desiccation. J Bacteriol. 1996; 178:633-637.
29. Wang P, Schellhorn HE. Induction of resistance to hydrogen peroxide and radiation in Deinococcus radiodurans. Can J Microbiol. 1995; 41:170-176.
30. Moseley BE, Evans DM. Isolation and properties of strains of Micrococcus (Deinococcus) radiodurans unable to excise ultraviolet light-induced pyrimidine dimers from DNA: evidence for two excision pathways. J Gen Microbiol. 1983; 129:2437-2445.
31. Kira SM, Aravind L, Wolf YI, Roman LT, Kenneth WM, Eugene VK, Michael JD. Genome of the Extremely Radiation-Resistant Bacterium Deinococcus radiodurans Viewed from the Perspective of Comparative Genomics. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2001; 65: 44-79.
32. Kristensen H, Christensen EA. Radiation-resistant micro-organisms isolated from textiles. Acta Pathol Microbiol Scand Sect B. 1981; 89:303-309.
33. Christensen EA, Kristensen H. Radiation-resistance of micro-organisms from air in clean premises. Acta Pathol Microbiol Scand Sect B. 1981; 89:293-301.
34. Andersson AM, Weiss N, Rainey F, Salkinoja-Salonen MS. Dust-borne bacteria in animal sheds, schools and children's day care centres. J Appl Microbiol. 1999; 86:622-634.
35. Counsell TJ, Murray RGE. Polar lipid profiles of the genus Deinococcus. Int J Syst Bacteriol. 1986; 36:202-206
36. Masters CI, Smith MD, Gutman PD, Minton KW. Heterozygosity and instability of amplified chromosomal insertions in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1991; 173:6110-6117.

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

38. Smith MD, Lennon E, McNeil LB, Minton KW. Duplication insertion of drug resistance determinants in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1988; 170:2126-2135.
39. Smith MD, Masters CI, Lennon E, McNeil LB, Minton KW. Gene expression in Deinococcus radiodurans. Gene. 1991; 98:45-52.
40. Lennon E, Gutman PD, Yao HL, Minton KW. A highly conserved repeated chromosomal sequence in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans SARK. J Bacteriol. 1991; 173:2137-2140.
41. Gutman PD, Carroll JD, Masters CI, Minton KW. Sequencing, targeted mutagenesis and expression of a recA gene required for the extreme radioresistance of Deinococcus radiodurans. Gene. 1994; 141:31-37.
42. Gutman PD, Fuchs P, Ouyang L, Minton KW. Identification, sequencing, and targeted mutagenesis of a DNA polymerase gene required for the extreme radioresistance of Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1993; 175:3581-3590.
43. Gutman PD, Yao HL, Minton KW. Partial complementation of the UV sensitivity of Deinococcus radiodurans excision repair mutants by the cloned denV gene of bacteriophage T4. Mutat Res. 1991; 254:207-215.
44. Curnow AW, Tumbula DL, Pelaschier JT, Min B, Soll D. Glutamyl-tRNA(Gln) amidotransferase in Deinococcus radiodurans may be confined to asparagine biosynthesis. Proc. Natl Acad Sci USA. 1998; 95:12838-12843.
45. Curry J, Walker-Simmons MK. Unusual sequence of group 3 LEA (II) mRNA inducible by dehydration stress in wheat. Plant Mol Biol. 1993; 21:907-912.
46. Dalgaard JZ, Klar AJ, Moser MJ, Holley WR, Chatterjee A, Mian IS. Statistical modeling and analysis of the LAGLIDADG family of site-specific endonucleases and identification of an intein that encodes a site-specific endonuclease of the HNH family. Nucleic Acids Res. 1997; 25:4626-4638.
47. Daly MJ. Engineering radiation-resistant bacteria for environmental biotechnology. Curr Opin Biotechnol. 2000; 11:280-285.
48. Daly MJ, Ling O, Minton KW. Interplasmidic recombination following irradiation of the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1994; 176:7506-7515.
49. Daly MJ, Minton KW. An alternative pathway of recombination of chromosomal fragments precedes recA-dependent recombination in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1996; 178:4461-4471.
50. Daly M J, Minton KW. Interchromosomal recombination in the extremely radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. J Bacteriol. 1995; 177:5495-5505.
51. Daly MJ, Minton KW. Recombination between a resident plasmid and the chromosome following irradiation of the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. Gene. 1997; 187:225-229.
52. Masters CI, Minton KW. Promoter probe and shuttle plasmids for Deinococcus radiodurans. Plasmid. 1992; 28:258-261.
53. Marcotte EM, Pellegrini M, Ng HL, Rice DW, Yeates TO, Eisenberg D. Detecting protein function and protein-protein interactions from genome sequences. Science. 1999; 285:751-753.
54. Minton KW, Daly MJ. A model for repair of radiation-induced DNA double-*strand breaks in the* extreme radiophile Deinococcus radiodurans. Bioessays. 1995; 17:457-464.

Downloaded from ebnesina.ajaums.ac.ir at 4:44 +0430 on Sunday May 16th 2021

Application of microorganisms in decontaminating radioactive wastes

*Tajvidi M.B[1], Dr khazanehdari Sh[2], Gharatappeh A.R[3], Doraji E[4]

Abstract

Radioactive wastes are inevitably produced in the course of radioactive activities. In the years 1945 to 1986 and while nuclear weapons were mass produced, high levels of radioactive waste were left over on the surface of the Earth. Unfortunately these wastes spread easily which is due to their solubility in underground waters.

Recently biologic techniques are used to eliminate or deactivate radioactive wastes. Microorganisms such as Deinococcus radiodurans, are very well suited for reducing costs and have high effectiveness in eliminating or deactivating this waste, a method named bioremediation.

Deinococcus radiodurans, are gram positive non-spore and usually non-pathogen bacteria. they also contain red colored pigments resulting in pink colored colonies. These bacteria were first observed in cans which had been sterilized using radiation.

Keywords: bioremediation, radioactive wastes, Deinococcus radiodurans

* 1.BSc in Cellular and molecular biology IRIAF Health administration research center (Corresponding Author)

2. MD. IRIAF Health administration research center

3. Department of biology, Imam Hossein University

4. Nanomedicine Group of Gifted and Talented Development Center, Tehran Medical University