مجله ایمنی زیستی
دوره ۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۴

گیاهان تراریخته با عملکرد بهبود یافته در پاک‌سازی محیط زیست و بررسی واکنش‌های درگیر در گیاه‌پالایی آلاینده‌های آلی و معدنی

پریسا خوش نیت
کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

pkhoshniat@yahoo.com

چکیده

میزان آلودگی با افزایش فعالیت‌های انسان و پیشرفت صنعت، روز به روز در سراسر جهان در حال افزایش است. این آلودگی در اثر آلاینده‌های مختلف از جمله ترکیبات آلی و ترکیبات معدنی شامل فلزات سنگین ایجاد می‌شود. روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای پاک‌سازی این آلاینده‌ها وجود دارد. ولی دانشمندان به علت هزینه بالا، عدم حذف کامل آلاینده‌ها، تخریب محیط‌زیست و فرسایش زمین توسط این روش‌ها، به مطالعه و توسعه روش‌های زیستی روی آورده‌اند. یکی از انواع روش‌های زیست‌پالایی، استفاده از گیاهان جهت پاک‌سازی آلاینده‌های آلی و معدنی در آب، خاک و هوا است. این پاک‌سازی از طریق مکانیسم‌های پیچیده مختلف در گیاهان صورت می‌گیرد. امروزه پژوهشگران علم مهندسی ژنتیک با استفاده از ژن‌های موجود در گیاهانی با توانایی بالقوه در پاک‌سازی، گیاهان تراریخته با مقاومت بالا یا انباشته‌سازی غلظت‌های بالاتر آلاینده‌ها تولید می‌کنند. در این مطالعه با توجه به بررسی‌های پیشین، مکانیسم‌های مختلف گیاهان در پاک‌سازی آلاینده‌های مختلف و پیشرفت‌های مهندسی‌ژنتیک در زمینه تولید گیاهان تراریخته با قابلیت گیاه‌پالایی، مورد بازبینی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: بیش‌انباشت‌کننده‌ها (Hyper- Accumulator)، آلاینده‌های آلی، ترکیبات معدنی، تراریخته، ژن

مقدمه

طی دو دهه گذشته، تولید محصولات صنعتی، پیشرفت صنعت معدن‌کاری و فعالیت‌های مختلف شهری، موجب آلودگی شدید محیط‌زیست شده است. روش‌های کشاورزی به ویژه در قرن بیستم موجب آلودگی گسترده خاک، رسوبات و آب شده است (۱۶). از اواخر سال ۱۹۸۰، بعد از روش‌های شیمیایی و مکانیکی پاکسازی خاک و آب و روش‌های حرارتی (سوزاندن) مواد زاید خطرناک، عدم ثبات اقتصادی و زیستی این روش‌ها ثابت شده و توجه‌ها به سمت روش‌های زیستی مقرون به صرفه، از نظر زیست

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

محیطی پایدار و مورد قبول جامعه متمرکز شد. زیست‌پالایی یک روش مهندسی‌زیستی ایمن جهت پاک‌سازی اراضی یا مکان‌های آلوده با استفاده از موجودات زنده است (۲۵). یکی از این روش‌ها گیاه‌پالایی به معنی استفاده از گیاهان جهت تغییرفرم، انباشته‌سازی و حذف آلاینده از محیط زیست یا حداقل ممانعت از انتشار آن‌ها است. از این روش می‌توان جهت حذف آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در خاک، آب و هوا استفاده کرد (۲۳).

امروزه با کمک علوم بیوشیمی و ژنتیک مولکولی پیشرفت‌های زیادی در بررسی جزئیات مکانیسم‌های مقاومت به آلاینده‌ها در گیاهان و اساس مولکولی و ژنتیکی آن‌ها انجام شده است. مهندسان ژنتیک با تولید گیاهان تراریخته از طریق انتقال ژن‌های عامل مقاومت به گیاهان و یا بیش‌بیانی آن‌ها، موجب توسعه گیاه‌پالایی اقتصادی‌تر و کارآمدتر می‌شوند (۲۰).

تعریف گیاه‌پالایی

گیاه‌پالایی یا Phytoremediation (شامل پیشوند یونانی *phyto* به معنی گیاه و ریشه لاتین remedium به معنی اصلاح یا حذف یک عامل مزاحم و خارجی)، یک نوع پاک‌سازی با استفاده از گیاه جهت حذف یا غیرسمی‌سازی آلودگی‌های زیست‌محیطی است. گیاهان درگیر در گیاه‌پالایی، سازگار به رشد در شرایط سخت زیست‌محیطی در آب یا خاک بوده و قادر به جذب، تحمل، انتقال، احیا و تثبیت مواد بسیار سمی (فلزات سنگین، مواد پرتوزا، آلی مانند حلال‌ها، نفت خام، آفت‌کش‌ها، مواد منفجره و هیدرکربن‌های آروماتیک) از خاک و آب‌های آلوده هستند (۲۵). گیاه‌پالایی در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های پاک‌سازی، مخرب محیط‌زیست نبوده و در نهایت خاک را دست نخورده و فعال از نظر زیست‌شناسی تحویل می‌دهد (۳۱). از مزیت‌های اصلی این روش، هزینه به طور نسبی کم (حدود ۱۰-۲۰ درصد هزینه روش‌های مکانیکی)، قابلیت اجرا و نگهداری آسان، دارای چندین مکانیسم جهت حذف، حفظ منابع طبیعی، دوست‌دار محیط‌زیست، در نهایت حذف راحت مواد گیاهی آلوده، ظاهر زیبای روش و محبوبیت عمومی بالا است. این روش یک‌سری عیب‌هایی چون طولانی بودن زمان پاک‌سازی (کندتر از روش‌های مکانیکی)، تحت تاثیر شرایط خاک و آب‌وهوای محل، تاثیرات ناشناخته بر روی شبکه غذایی، امکان انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی، تنها موثر بر ترکیبات به طور نسبی آب‌گریز، نتایج متغیر، سرنوشت ناشناخته آلاینده نهایی، سمیت و قابلیت زیست‌فراهمی محصول نهایی تجزیه زیست‌شناسی ناشناخته است (۲۸). گونه‌های گیاهی رایج مورد استفاده در گیاه‌پالایی ترکیبات آلی وغیرآلی شامل درختان هیبرید صنوبر، بید، سرخس، آفتابگردان، شبدر، خردل هندی و تاج خروس است (۲۵).

آلاینده‌های قابل کنترل به وسیله گیاه‌پالایی

انواع آلاینده‌ها وجود دارد که منشا اکثر آن‌ها فعالیت‌های انسانی است. با توجه به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مختلف آلاینده‌ها، آن‌ها را به دو دسته اصلی آلی و معدنی تقسیم می‌کنند. این دو گروه خود به زیر شاخه‌های دیگری تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های آلی شامل ترکیبات مختلفی مثل پلی‌کلرنیت بی‌فنیل (PCB)، پلی‌سیکلیک آروماتیک هیدروکربن (PAH)، نیتروآروماتیک (مواد منفجره)،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

هیدروکربن‌های هالوژنه وحلال‌های کلر می‌شود. در مقایسه با ترکیبات معدنی، آلاینده‌های آلی سمیت نسبتا کمتری برای گیاهان دارند و این به علت واکنش‌پذیری کمتر و عدم انباشته شدن آن‌ها در گیاه است.

آلاینده‌های معدنی شامل فلزات سنگینی مثل جیوه، سرب و کادمیوم، ترکیبات غیرفلزی مثل آرسنیک و ترکیبات پرتوزا مثل اورانیوم، سزیم، کروم، استرانسیوم، تریتیوم و غیره است (۲۱).

گیاهان بیش‌انباشت کننده

برخی از گونه‌های گیاهی را که قادر به انباشته‌سازی غلظت‌های بسیار بالایی از فلزات در ساقه و برگ‌های خود هستند، گیاهان بیش‌انباشت کننده می‌نامند. تاکنون بیش از ٤٠٠ گونه گیاهی از گیاهان علوفه‌ای گرفته تا درختانی از خانواده‌های افوربیاسه، استراسه، براسیکاسه و روبیاسه به عنوان بیش‌انباشت‌کننده‌های فلزات سنگین شناسایی شده‌اند (۷). گیاهانی که قادرند در زیستگاه طبیعی خود بیش از ۰/۱ درصد Pb، Co، Cr یا بیش از ۱ درصد Mn، Ni یا Zn در شاخه‌های خود جمع‌آوری کنند، به عنوان گیاهان بیش‌انباشت کننده شناسایی می‌شوند. میزان جمع‌آوری فلزاتی چون Ni، Zn و Cu در گونه‌های بیش‌انباشت کننده به ۵-۱ درصد وزن خشک می‌رسد (۲۲).

راه حل بالقوه برای افزایش قابلیت گیاه‌پالایی به عنوان یک فن‌آوری تجاری پایدار، انتقال ژن‌های مسئول فنوتیپ بیش‌انباشتی به گیاهانی با شاخساره بزرگ پیشنهاد می‌شود (۱۹).

مکانیسم‌های درگیر در گیاه‌پالایی

گیاهان به عنوان انباشت‌کننده و حذف‌کننده (excluders) آلاینده‌ها عمل می‌کنند. علت اینکه گیاهان با وجود تجمع آلاینده‌ها در بافت‌های هوایی خود زنده می‌مانند، این است که ابتدا آلاینده‌ها را تجزیه یا به شکل بی‌خطر در آورده و سپس به بافت‌هایشان انتقال می‌دهند. گیاه‌پالایی آلاینده‌های آلی و معدنی هم از طریق حذف فیزیکی ترکیبات (استخراج گیاهی phyto-extraction) و هم تبدیل زیستی (تجزیه گیاهی phyto-degredation یا تغییر فرم گیاهی phyto-transformation) به فرم بیولوژیکی غیرفعال‌شان biologically inert forms انجام می‌شود (۲۳).

استخراج گیاهی

استخراج گیاهی (گاهی انباشته‌سازی گیاهی هم نامیده می‌شود)، بر اساس توانایی گیاه در جمع‌آوری برخی ترکیبات سمی از خاک و انباشته‌سازی آن در بخش‌های هوایی گیاه صورت می‌گیرد. در این مکانیسم گیاهان زیست‌پالاینده، ریشه‌ی گیاهان قادر به جذب موادآلی و هم مواد معدنی است که مقدار قابل توجهی از آلاینده‌ها از طریق آوند چوبی به اندام‌های فوقانی انتقال یافته و در برگ‌ها و شاخساره‌ها انباشته می‌شود (۷).

تثبیت گیاهی stabilization– Phyto

این یک فرآیند تثبیت آلاینده خاک و رسوبات آلوده در محل خود با استفاده از گیاهان است که در نهایت از مهاجرت جانبی یا عمودی فلزات سمی در اثر شست و شو جلوگیری می‌شود. گونه‌های گیاهی شناسایی شده در تثبیت‌سازی آلاینده‌ها، آلاینده‌های موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی را از طریق جذب سطحی روی ریشه یا رسوب در منطقه ریشه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

(ریزوسفر) غیرمتحرک می‌سازند. عموما گیاهان مناسب برای حفاظت خاک، جهت غیرمتحرک‌سازی آلاینده‌های خاک هم مناسب هستند (۲۵).

در محل‌های آلوده به فلزات سنگینی چون Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se و U بهترین گزینه برای جلوگیری از انتشار آلودگی، روش غیرمتحرک‌سازی آن‌ها در مکان است. این تکنولوژی بسیار مناسب برای کنترل پسمانده مناطق معدن‌کاری آرسنیک، روی، کادمیوم و اورانیوم است (۲۵).

تبخیرگیاهی (Volatilization Phyto)

در مکانیسم تبخیرگیاهی، از توانایی یک گیاه جهت تبخیر و تعرق مقدار زیادی آب از روزنه‌های برگ استفاده می‌شود. گیاهان از طریق اندام هوایی خود (برگ)، بخار ناخالصی را از میان خاک جذب و تعریق می‌کنند. در این مکانیسم، گیاهان یک آلاینده را به فرم فرار تبدیل کرده و بخار سم‌زدایی شده از طریق اندام هوایی گیاه تعریق می‌شود (۲۵). میزان تعرق، یک فاکتور کلیدی در این سیستم است. بعضی آلاینده‌ها مثل سلنیوم، جیوه و ترکیبات آلی فرار (VOC) می‌توانند از طریق برگ‌ها به جو آزاد شوند (٤).

تجزیه گیاهی

برخی از گونه‌های گیاهی، آلاینده‌ها را بعد از جذب‌شان می‌شکنند. این گیاهان تجزیه فلزات را از طریق فرآیند متابولیکی آنزیماتیک داخل سلول‌های ریشه یا شاخه‌هایشان انجام می‌دهند. برخی دیگر، آلاینده‌ها را در بستر خودشان به‌وسیله ترشح آنزیم‌ها یا ترکیبات شیمیایی می‌شکنند. آنزیم‌های ترشحی به طور معمول دهیدروژناز، دهالوژناز، پراکسیداز، اکسیژناز، فسفاتاز، لاکاز و ریداکتاز هستند (۲۵).

تغییر فرم گیاهی

آلاینده‌های آلی و غیرآلی مختلف به طور موقت داخل ریشه‌ها جذب شده و از نظر بیولوژیکی در شکل‌های غیرفعال و یا فعالیت کمتر ممکن است با بافت‌های سلولی پیوند شیمیایی دهند (۳۰). در بسیاری از موارد گیاهان از طریق تغییر فرم‌گیاهی، واکنش‌های ترکیبی و به دنبال آن کده‌بندی محصولات در بافت‌هایشان، قادر به متابولیزه کردن آلاینده‌های آلی هستند (۲۵).

ریزوفیلتراسیون (Rhizofiltration)

این مکانیسم استفاده از ریشه‌ی گیاهان جهت جذب، تجمع یا رسوب‌گذاری آلاینده‌ها از محیط‌های آبی است. این تکنولوژی بیشتر مناسب ضدعفونی آب‌های آلوده یا حذف ناخالصی‌های آلی و معدنی از فاضلاب‌ها با کمک گیاهان آبزی، گونه‌های خاکی قادر به رشد هیدروپونیکی هستند. یک گیاه ایده‌آل برای ریزوفیلتراسیون باید در حین رشد هیدروپونیکی، به سرعت مقدار قابل توجهی زیست توده ریشه با سطح بزرگ تولید کند (۲۵).

گیاه‌پالایی تحریک شده (stimulation–Phyto)

میکروب‌هایی در خاک یافت شده‌اند که با تکمیل فرآیند گیاه‌پالایی در بیشتر واکنش‌ها و با افزایش زیست‌فراهمی فلزات سنگین برای گیاه، پتانسیل گیاه پالایی گیاهان را افزایش می‌دهند. میکروب‌های موجود در خاک قادرند آلاینده‌های آلی خاک را به ترکیبات آلی ساده‌تر تجزیه کرده و به عنوان ماده غذایی در اختیار گیاهان قرار دهند (۲۹).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

مکانیسم‌های سلولی جذب و سم‌زدایی فلزات سنگین توسط گیاهان

نقش کلاتورهای فلزات و پروتئین‌های ناقل: کلاته کردن فلزات سنگین در سیتوپلاسم توسط لیگاندهایی با میل ترکیبی بالا و به دنبال آن کده‌بندی (Compartmentalization) ترکیبات فلز-لیگاند، احتمال دارد مکانیسم بسیار مهم بالقوه‌ای در سم‌زدایی و تحمل فلزات سنگین در گیاهان باشد. با اتصال کاتیون فلزات به یک ترکیب‌شیمیایی، ترکیب فلزی خنثی حاصل به راحتی قابل دسترسی‌زیستی جهت جذب و انتقال در گیاهان است (۲۶). کلاتورهای طبیعی و مصنوعی مختلفی شناسایی شده‌اند. کلاتورهای طبیعی شامل اسیدهای‌آلی، آمینواسیدها، فیتوکلاتین‌ها (Phytochelatin) و متالوتیونین (Metallothionein) بوده و از بین انواع مصنوعی کلاتورها به EDTA (diamine tetra acetic acid) (Ethylen و EGTA (ethylene glycol tetra acid) acetic) می‌توان اشاره کرد. افزودن کلاتورهای مصنوعی مانند EDTA، در تسهیل جذب گیاهی Cu، Cd، Zn و Ni بسیار موثر است (۲۲).

نقش فیتوکلاتین‌ها (PCs): فیتوکلاتین‌ها در گیاهان به عنوان پپتیدهای پیونددهنده با فلزات، متشکل از سه آمینواسید (Glu، Cys و Gly) هستند که به وسیله کلاته‌کردن فلزات سنگین در سیتوپلاسم و انتقال آن‌ها از طریق تونوپلاست، جهت جداسازی کمپلکس‌های فلز-PC در واکوئل سلول‌های گیاهی، نقش اصلی را در سم‌زدایی فلزات بر عهده دارند. تولید PCها به وسیله فلزات سنگین تحریک یا فعال (activated/stimulated) می‌شود. بهترین فعال‌کننده کادمیوم بوده و بعد از آن Ag، Bi (Bismuth)، Pb، Zn، Cu، Hg و کاتیون Au است (۲۵).

نقش متالوتیونین‌ها (MTs): MTها به عنوان پروتئین‌های کلات‌کننده فلزات، غنی از سیستئین هستند که در گیاهان به منظور جداسازی فلزات سنگینی چون کادمیوم وجود دارند. MT ها به سرعت با فلزات Zn، Hg، Ca و Ag پیوند می‌دهند (۲۶).

ذخیره‌سازی فلزات در سلول‌های گیاهی کده‌بندی واکوئلی جهت ایجاد مقاومت: واکوئل در سلول‌های گیاهی، محل اصلی ذخیره‌سازی فلزات است. به نظر می‌رسد کده‌بندی فلزات در واکوئل، بخشی از مکانیسم مقاومت برخی از گیاهان بیش‌انباشت کننده است. گیاه *T. goesingens* با ظرفیت بالای جمع‌آوری نیکل، از طریق کده‌بندی میزان بیشتر نیکل، درون واکوئل سلول‌های برگی، مقاومتش را افزایش می‌دهد (۲۶).

تولید گیاهان تراریخته جهت گیاه‌پالایی

عامل اصلی محدود کننده استفاده گیاهان در سطح وسیع، نیاز به زمان زیاد جهت پاک‌سازی خاک است. به این دلیل اخیرا بررسی‌های زیادی در زمینه امکان افزایش بیان ژن‌های موجود، معرفی ژن‌های انسانی یا باکتریای به گیاهان به منظور افزایش توانایی ذاتی گیاه در مقابله با زنوبیوتیک‌ها منتشر شده‌است (۱۸).

در میان انواع مکانیسم‌های طبیعی که به گیاهان توانایی رشد در مناطق آلوده به فلزات سنگین می‌دهد، مطالعات بسیاری بر روی فیتوکلاتین‌ها انجام شده است. با هدف بهبود جذب فلزات، گیاهان تراریختی طراحی شدند که میزان تولید گلوتاتیون سنتتاز یا فیتوکلاتین سنتتاز آن‌ها افزایش یافته بود که از طریق

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

این دو مورد، انباشته‌سازی کادمیوم افزایش یافت (۱٤). در برخی از آزمایشگاه‌ها ژن‌های رمزکننده انواع متالوتیونین‌ها (مخمر، حشرات، پستانداران و انسان‌ها) را به گیاه منتقل کردند، که این پیشنهادات باعث افزایش مقاومت به برخی از فلزات سنگین شد (۱۷-۱٤). به منظور افزایش ظرفیت اتصال با فلزات، ژن *CUP1* از منشا *ساکارومیسس سروزیه* با متالوتیونین مخمر ترکیب شده و برای داشتن برچسب هیستیدین، این ژن در پلاسمید تجاری pTrcHis درج شده و بوسیله *A. tumefaciens* به توتون منتقل شد (۱۷). مقایسه لاین‌های تراریخته توتون با گیاهان شاهد، بیانگر افزایش مقاومت و رشد خوب آن در خاک آلوده به کادمیوم به همراه افزایش انباشته‌سازی کادمیوم در طول کشت هیدروپونیک و کشت در ماسه حاوی کادمیوم بود (۱۸). در سال‌های بعد گیاهانی مثل *Populus angustifolia*، گیاه توتون یا قلیانک جهت بیش‌بیانی گلوتامین سیستئین‌سنتتاز، تراریخته شدند. در نتیجه میزان انباشته‌سازی فلزات سنگین در این گونه‌های تراریخته در مقایسه با گونه‌های وحشی آن افزایش یافت (۱۰). چند نمونه از گیاهان تراریخته جهت تحمل یا گیاه‌پالایی فلزات وجود دارد. به عنوان مثال گیاه توتون تراریخته با ژن *CAX-2* (ناقل واکوئلی) از گیاه آرابیدوپسیس، قادر به انباشته‌سازی فلزات کلسیم، کادمیوم و منگنز (۱۳)؛ آرابیدوپسیس تراریخته با ژن‌های گلوتاتیون S-ترانسفراز از گیاه توتون، مقاوم به آلومینیوم، مس و سدیم (۹)؛ توتون تراریخته با ژن *Nt CBP4* از گیاه توتون، مقاوم به نیکل و انباشته‌سازی سرب (۲)؛ توتون و برنج تراریخته با ژن *Ferretin* از سویا (۱۲)، قادر به بیش انباشته‌سازی آهن؛ آرابیدوپسیس و توتون تراریخته با ژن *merA* از باکتری، مقاوم به جیوه (٦)؛ خردل هندی تراریخته با گلوتاتیون ریداکتاز باکتریایی در سیتوپلاسم و همچنین کلروپلاست، مقاوم به سلنیوم (۵)؛ گیاهان آرابیدپسیس تراریخته بیان‌کننده ژن‌های *SRSIp/ArsC* و *ACT 2p/γ-ECS* با همدیگر، مقاومت بالایی را به آرسنیک نشان دادند (۲۰).

جهت بیش‌انباشتی و تبخیرگیاهی، مسیرهای متابولیکی جدیدی را می‌توان در گیاهان توسعه داد. برای مثال ژن‌های *MerA* و *MerB* به گیاهان منتقل شده که در نتیجه گیاهان تراریخته چندین برابر مقاوم به جیوه شده و آن را به فرم عنصری و فرار وارد جو کرده‌اند (٦). گیاهان آرابیدوپسیس تراریخته با ژن‌های *ars C* و *γ-ECS* باکتری *ایکولای*، قادر به انتقال آرسنات به اندام‌های هوایی خود، احیای آن به آرسنیت و جداسازی آن به صورت کمپلکس‌های پپتید_تیول شدند (٦). تغییر در تنش اکسیداتیو مربوط به آنزیم‌ها، احتمال دارد موجب تغییر در مقاومت به فلزات شود. برای مثال مقاومت به آلومینیوم از طریق بیش‌بیانی آنزیم گلوتاتیون S-ترانسفراز و پراکسیداز افزایش‌یافته است (۹-٦). بر اساس پژوهش‌ها گزارش شده گیاهانی با سیستم ریشه بسیار منشعب، جهت افزایش سطح تماس برای جذب کارآمد فلزات سمی ضروری است. ریشه‌های مویی القا شده در برخی بیش‌انباشت کننده‌ها موجب عملکرد بالای گیاه در ریزوفیلتراسیون رادیواکتیوها و فلزات سنگین شده‌است (۸) .

مطالعات گذشته ثابت کرده سیتوکروم p450 در شرایط طبیعی قادر به تجزیه ترکیباتی مثل آترازین، تیوکاربامات، علف‌کش‌ها و هالوآلکان‌ها است (۱۵). به این منظور ژن *cyp 2E1* به همراه اکسیدوریداکتاز و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

سیتوکروم B5 به توتون و صنوبر منتقل شد سپس مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان داد که این گونه‌ها می‌توانند TCE و دیگر ترکیبات را متابولیزه کنند (۱۱).

بحث

مطالعات مختلف نشان داده است که بیشتر بیش انباشت‌کننده‌ها در pH پایین به علت افزایش حلالیت فلزات، جذب بیشتری دارند (۳). بنابراین کاهش pH یکی از فاکتورهای حیاتی در گیاه‌پالایی است. ولی با کاهش pH به پایین‌تر از ٦، موجب مسمومیت در سایر گیاهان، باکتری‌های خاک و دیگر موجودات حساس به غلظت‌های بالای فلزات می‌شود. همچنین امکان شسته شدن فلزات به لایه‌های زیرین و آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد (۱). علاوه براین، نگرانی‌هایی بابت مصرف بیش‌انباشت کننده‌ها توسط حیات‌وحش از جمله گیاه‌خواران و حشرات وجود دارد که می‌توان با استفاده از موانعی چون قرار دادن نرده، تولید دوره‌ای صدا، کاشت گیاهان دفع‌کننده، تماس بین این دو را به حداقل رساند (۱).

گزارشات نشان داده که امکان انتقال ژن‌های جذب کننده فلزات از گیاهان تراریخته به گونه‌های خویشاوند از طریق گرده‌افشانی وجود دارد (۱). نگرانی جدی در این رابطه وجود دارد که با انتقال این ژن‌ها به گیاهان زراعی مصرفی، وارد زنجیره‌ی غذایی شده که باعث افزایش غلظت فلزات سنگین از استاندارد جهانی و کاهش کیفیت مواد غذایی می‌شود. یکی از راهکارهای ممانعت از انتقال ژن، برداشت گیاهان بیش‌انباشت‌کننده قبل از گل‌دهی است. همچنین با انتقال ژن‌های نرعقیمی به گیاهان بیش انباشت‌کننده می‌توان مانع از تولید گرده توسط گیاه شد (۲۷). آخرین نگرانی مطرح شده در این زمینه جذب و تبخیر فلزات فرار (مثل سلنیوم و جیوه) و ایجاد آلودگی هوا است. در حالی که این تبخیر در نتیجه حذف فلزات سمی از خاک صورت می‌گیرد و سهم کمی در مقابل میزان تبخیر فلزات، توسط باکتری‌های بومی (طی فرایند طبیعی) در سراسر جهان دارد. از طرفی برخی مناطق کمبود سلنیوم دارند که انتشار آن به هوا می‌تواند تاثیر مثبتی در رفع کمبود آن داشته باشد (۱).

در نهایت برای حذف زیست‌توده حاصل از گیاه پالایی، روش‌های سوزاندن (incineration)، دفع مستقیم (directdisposal)، خاکستر کردن (ashing) و استخراج مایع (liquid extraction) چهار روش دفع نهایی مشخص شدند. در میان این‌ها، سوزاندن (ذوب کردن) به عنوان عملی‌ترین روش، از نظر اقتصادی قابل قبول و سازگار با محیط زیست پیشنهاد شده‌است (۲٤).

نتیجه‌گیری

آلودگی‌های زیست‌محیطی توسط آلاینده‌ها، آلی یا غیرآلی، به علت اثرهای آن بر سلامتی انسان‌ها و حیوانات اهمیت زیادی دارد. بنابراین معرفی کارآمدترین و ارزان‌ترین فن‌آوری جهت ترویج سم‌زدایی و بهبود زیست‌بوم لازم و ضروری است. مطالعات زیادی در زمینه شناسایی گونه‌های‌گیاهی و مکانیسم‌های سم‌زدایی آن‌ها انجام شده است. مکانیسم‌های جذب آلاینده‌ها و انباشته‌سازی آن‌ها در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. اخیرا با استفاده از روش‌های ژنتیکی و مولکولی قوی،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

پیشرفت قابل توجهی در زمینه شناسایی ژن‌های گیاهی مسئول فنوتیپ مقاومت و همولوگ‌های آن‌ها در گیاهان بیش انباشت‌کننده، انجام شده است. با تولید گیاهان تراریخته با قابلیت پاکسازی محیط‌زیست می‌توان از توسعه بیشتر آلاینده‌ها، ورود آن‌ها به زنجیره‌غذایی و یا آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرد. بنابراین، امید است که مهندسی‌ژنتیک ابزار جدید قدرتمندی را جهت بهبود ظرفیت گیاهان در پاکسازی آلاینده‌های زیست‌محیطی ارائه دهد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

منابع مورد استفاده References

1- **Angle JS, Linacre NA. (2005).** Ecological Risks of Novel Environmental Crop Technologies Using Phytoremediation as an Example. EPT Discussion paper 133. International food policy research institute.

2- **Arazi T; Sunkar R; Kaplan B, Fromm HA. (1999).** Tobacco plasma membrane calmodulin binding transporter confers Ni^{+} tolerance and Pb^{2+} hypersensitivity in transgenic plants. Plant Journal 20: 171-182.

3- **Chaney RL. (1983).** Zinc phytotoxicity. In: Robson AD (ed.) Zinc in soils and plants. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers, 131–150.

4- **Cunningham SD, OW DW. (1996).** Promises and Prospects of Phytoremediation. Plant Physiology 110 (3): 715-716.

5- **D´Souza MP, Pilon-Smits EAH, Terry N. (2000).** The physiology and biochemistry of selenium volatilization by plants. In: Raskin I, Ensley BD (eds.) Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. General Environmental Chemistry, 171- 188.

6- **Eapen S, D'Souza SF. (2005).** Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. Biotechnology Advances 23: 97– 114.

7- **Eapen S, Singh S, D'Souza SF. (2006).** Phytoremediation of Metals & Radionuclides. In: Singh SN, Tripathi RD (eds.) Environmental Bioremediation Technologies. Springer Publication, 189-209.

8- **Eapen S, Suseelan K, Tivarekar S, Kotwal S, Mitra R. (2003).** Potential for rhizofiltration of uranium using hairy root cultures of Brassica juncea and Chenopodium amaranticolor. Environmental Research 91: 127–33.

9- **Ezaki B, Gardner RC, Ezaki Y, Matsumoto H. (2000).** Expression of aluminium induced genes in transgenic Arabidopsis plants can ameliorate aluminium stress and/or oxidative stress. Plant Physiology 122: 657-665.

10- **Fulekar MH, Singh A, Bhaduri AM. (2008).** Genetic engineering strategies for enhancing phytoremediation of heavy metals. African Journal of Biotechnology 8(4): 529-535.

11- **Gordon M, Choe N, Duffy J, Ekuan G, Heilman P, Muiznieks I, Ruszaj M, Shurtleff BB, Strand S, Wilmroth J, Newman L. (1998).** Phytoremediation of trichloroethylene with hybrid poplars. Environmental Health Perspectives 106 (4): 1001-1004.

12- **Goto F, Yoshihara T, Saiki H. (1998).** Iron accumulation in tobacco plants expressing soybean ferritin gene. Transgenic Research. 7: 173-80.

13- **Hirschi KD, Korenkov VD, Wilganowski NL, Wagner GJ. (2000).** Expression of Arabidopsis CAX2 in tobacco altered metal accumulation and increased manganese tolerance. Plant Physiology 124: 125-33.

14- **Karenlampi S, Schat H, Vangronsveld J, Verkleij JAC, van der Lelie D, Mergeay M, Tervahauta AI. (2000).** Genetic engineering in the improvement of plants for phytoremediation of metal polluted soils. Environ Pollut 107: 225-231.

15- **Kellner DG, Maves SA, Sligar SG. (1997).** Engineering cytochrome P450s for bioremediation. Current Opinion Biotechnol. 8: 274-282.

16- **Macek T, Macková M, Burkhard J, Demnerová K. (1998).** Introduction of green plants for the control of metals and organics in environmental remediation. In: Holm FW (ed.) Effluents from Alternative Demilitarization Technologies, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 71-85.

17- **Macek T, Mackova M, Kotrba P, Truksa M, Singh-Cundy A, Scouten WH, Yancey N. (1997).**

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

Attempts to prepare transgenic tobacco with higher capacity to accumulate heavy metals containing yeast metallothionein combined with a polyhistidine. In Verachtert H and Verstraete W (eds.) Environmental Biotechnology, Technological Institute Gent, 263-266.

18- Macek T, Macková M, Pavlíková D, Száková J, Truksa M., Cundy AS, Kotrba P, Yancey N, Scouten WH. (2002). Accumulation of cadmium by transgenic tobacco. Acta Biotechnol 22 (2): 101-106.

19- Martínez M, Bernal P, Almela C,Vélez D, García-Agustín P, Serrano R, Navarro-Aviñó J. (2006). An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than Thlaspi caerulescens, with yields of 100 times more biomass in mine soils. Chemosphere 64: 478–485.

20- Mello-Farias PC, Chaves ALS. (2008). Biochemical and molecular aspects of toxic metals phytoremediation using transgenic plants. In: Tiznado-Hernandez ME, Troncoso-Rojas R, Rivera-Domínguez MA (eds.) Transgenic Approach in Plant Biochemistry and Physiology. Research Signpost, Kerala, India, 253-266.

21- Pulford ID, Watson C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees - a review. Environment International 29: 529-540.

22- Raskin I, Smith RD, Salt DE. (1997). Phytoremediation of Metals: Using Plants to Remove Pollutants from the Environment. Current opinion in biotechnology 8: 221-226.

23- Salt DE, Blaylock M, Kumar NPBA, Dushenkov V, Ensley D, Chet I, Raskin I. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnology 13: 468-474.

24- Sas-Nowosielska A, Kucharski R, Makowski E, Pogrzeba M, Kuperberg JM, Kryn´ski K. (2004). Phytoextraction crop disposal—an unsolved problem. Environmental Pollution 128: 379-373.

25- Sinha RK, Valani D, Sinha S, Singh S, Herat S. (2009). Bioremediation of contaminated sites: A low-cost nature's biotechnology for environmental cleanup by versatile microbes, plants and earthworms. In: Faerber T, Herzog J (eds.) Solid Waste Management and Environmental Remediation. New York, Nova Science Publishers, 1-72.

26- Sriprang R, Murooka Y. (2006). Accumulation and detoxification of metals by plants and microbes. In: Singh SN, Tripathi RD (eds.) Environmental Bioremediation Technologies. Springer Publication, 77-100.

27- Strauss SH, Rottmann WH, Brunner AM. Sheppard LA. (1995). Genetic engineering of reproductive sterility in forest trees. Molecular Breeding 1: 5-26.

28- Susarla S, Medina VF, McCutcheon SC. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecological Engineering 18:647–658.

29- Suthersan SS. (1997). Remediation engineering: Design concepts; Geraghty & Miller, CRC Inc. Florida, USA.

30- Watanabe ME. (1997). Phytoremediation on the Brink of Commercialization. Environmental Science & Technology 31: 182-186.

31- Wenzel WW. (2009). Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. Plant Soil 321: 385 – 408.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]

Genetically modified plants with improved performance in environmental cleanup and Study the mechanisms involved in phytoremediation of organic pollutants and mineral

Parisa Khoshniat
Master of Agricultural Biotechnology, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz, Iran

pkhoshniat@yahoo.com

Abstract

The pollution with increased human activity and industrial development is increasing every day around the world. The pollution is generated by contaminants such as organic compounds and inorganic compounds containing heavy metals. There are various chemical and physical methods to remove these contaminants. But scientists due to high cost, incomplete removal of contaminants, environmental destruction and erosion by these methods, to study and development of biological techniques have made. A type of bioremediation methods is use of plants to clean up organic contaminants and minerals in water, soil and air. The remediting is done through complex mechanisms in plants. Today, the science of genetic engineering by using the genes in plants with the potential to clean-up or accumulation, they can produce transgenic plants with resistance to higher concentrations of pollutants. In this paper, according to previous studies, mechanisms of plants in removing of various contaminants and genetic engineering advances in the production of transgenic plants with phytoremediation potential is revised.

Keywords: Hyper- Accumulators, Organic compounds, Mineral matter, Transgenic, Gene.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.2.8.5]