ویژه‌نامه مجله علمی-پژوهشی

علوم کشاورزی

سال یازدهم شماره (۱) ۱۳۸۴

پاکسازی مواد آلاینده خاک، آب‌های زیرزمینی و هوا به وسیله گیاهان (Phytoremediation)

محمد رضوانی

دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر

قربان نورمحمدی

استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

فائزه زعفریان

دانشجوی دکتری زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

پاکسازی مواد آلاینده از خاک، آب و هوا به وسیلهٔ گیاهان، انباشت گیاهی(Phytoremediation) گفته می‌شود. از این تکنولوژی و علم جدید امروزه جهت پاکسازی اکوسیستم‌ها از مواد آلاینده از جمله فلزات سنگین، شبه فلزات، مواد رادیواکتیو، علف‌کش‌ها و ئیدروکربن‌های نفتی حلال‌های کلره استفاده می‌شود. گیاهان مختلفی که دارای توانایی جذب به این آلاینده‌ها هستند، اغلب از خانواده‌های Poaceae، Fabaceae، Brassicaceae، Asteraceae و Amaranthaceae هستند. انباشت گیاهی دارای انواع مختلفی از جمله استخراج گیاهی، تثبیت گیاهی، تصفیهٔ ریشه و تجزیه ریشه‌ای و غیره می‌باشد. گیاهان مورد استفاده باید دارای سازگاری با شرایط اقلیم و خاک بوده ضمن اینکه توانایی جذب یا تجزیه مواد آلوده را داشته باشند. همچنین این گیاهان دارای توانایی تولید بیوماس و رشد ریشهٔ زیاد می‌باشد. برای پاکسازی مادهٔ آلاینده می‌توان به‌طور همزمان و یا متوالی از فرآیندهای مختلف انباشت گیاهی استفاده نمود. همچنین این فرآیند می‌تواند جهت پاکسازی آب‌های زیرزمین، خاک آب‌های سطحی، پسماندهای آبی و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. انباشت گیاهی نسبت به تکنولوژی‌های رایج ۱۰۰۰ برابر ارزان‌تر می‌باشد. ضمن‌اینکه این تکنولوژی دوستار محیط زیست بوده و پوشش گیاهی ایجاد شده موجب حفظ و بهبود خصوصیات خاک نیز شود. به منظور طراحی پروژهٔ انباشت گیاهی فاکتورهایی مانند کاربرد گیاهان بومی، مناسب بودن شرایط رشد برای گیاهان، امکان استفاده از گیاهان غیربومی و ... دارای اهمیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انباشت گیاهی، فرآیندهای انباشت گیاهی، پاکسازی، مواد آلاینده

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست به‌وسیله مواد آلاینده حاصل از فعالیت‌های گوناگون بشری از جمله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، هسته‌ای و فاضلاب شهری سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی، اقتصادی و بهداشتی شده است. امروزه با درک مشکلات زیست محیطی به وجود آمده، تلاش‌های فراوانی به منظور پاکسازی محیط زیست صورت گرفته است و بدین منظور روش‌های مختلفی ابداع و به کار گرفته شده‌است. طی ۲۵ سال گذشته از روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیاری جهت پاکسازی اکوسیستم‌های استفاده شده‌است، که اغلب با هزینه هنگفتی همراه می‌باشد.

فلزات سنگین در محیط تجزیه نمی‌شود، بنابراین نیاز به خارج کردن آنها از محیط می‌باشد. از طرفی هزینه‌های بسیار گزاف روش‌های فیزیکی و شیمیایی سبب تلاش در جهت دست‌یابی به روش‌های ارزان‌تری شده است. بدین ترتیب از منابع بیولوژیک محیط‌زیست جهت پاک‌سازی نقاط آلوده به انواع آلاینده‌ها کمک گرفته شد، به طوری‌که در این راه روش‌های مناسبی ابداع شده که طی یک دهه موفقیت‌های قابل توجهی کسب نموده و ارزش تجاری پیدا کرده‌اند.

از جملهٔ این روش‌ها، استفادهٔ از برخی گیاهان و میکروارگانیزم‌هایی که سبب کاهش آلودگی محیط زیست می‌شوند، که به زیست پالایی[1] معروف می‌باشد. در این روش از قابلیت گیاهان، باکتری‌ها، قارچ‌ها، گلسنگ‌ها، جلبک‌ها آب‌های شیرین و غیره جهت پاکسازی و رفع آلودگی و پاکسازی خاک، آب و هوا از آلاینده‌ها استفاده می‌شود. بعضی از گیاهان می‌توانند به‌طور کامل و یا جزیی مواد آلاینده موجود در خاک، لجن، رسوبات، آب‌های زیرزمینی و سطحی و هوا را در خود جمع کنند، که به این فرآیند انباشت گیاهی[2] گفته می‌شود. این گیاهان از فرایندهای بیولوژیک متنوع گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی خود در جهت کمک به کاهش و رفع آلودگی استفاده می‌کنند، که همچنین به آن Agroremediation، Green remediation Botano-remediation و Vegetative remediation نیز گویند. از اصطلاحات مختلفی برای اشاره به این فرآیندها استفاده می‌شود. در این مقاله از تعدادی از اصطلاحات مناسب جهت شناخت و درک فرآیند انباشت گیاهی استفاده می‌شود.

فرآیندهای مختلف توصیف شده توسط این اصطلاحات همپوشانی قابل توجهی با یکدیگر دارند، به‌طوری‌که بخش‌های مختلفی از این فرآیندها در طول انباشت گیاهی اتفاق می‌افتد. انباشت گیاهی در بر گیرندهٔ روش‌ها و فرآیندهای متنوعی می‌باشد که می‌تواند به تجزیه[3] و یا عدم تحرک[4] آلودگی منجر شود.

<u>این فرآیندها عبارتند از:</u>

الف- تجزیهٔ ریشه‌ای[5]:

این فرآیند با افزایش تجزیهٔ زیستی مواد آلاینده در ناحیه ریشه و به وسیله میکرو ارگانیزم‌ها صورت می‌گیرد.

ب- تجزیهٔ گیاهی[6]:

تجزیهٔ گیاهی با جذب ماده آلاینده و متابولیسم آن در ریشه، ساقه و یا برگ‌های گیاه انجام می‌شود.

ج- استخراج گیاهی[7]:

استخراج گیاهی شامل جذب مواد آلاینده توسط ریشه و تجمع آن در اندام‌های هوایی می‌باشد.

1. Bioremediation
2. Phytoremediation
3. Degredation
4. Immobilization
5. Rhizodegredation
6. Phytodegredation
7. Phytoextraction

Archive of SID

www.SID.ir

د- تصفیه ریشه‌ای[1]:
تصفیه ریشه‌ای با جذب مادهٔ آلاینده توسط ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی صورت می‌گیرد.
هـ- تبخیر گیاهی[2]:
تبخیر گیاهی عبارت است از جذب ماده آلاینده به وسیله گیاه و سپس تبخیر آن از شاخ وبرگ آن.
و- کنترل هیدرولیکی[3]:
شامل کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله گیاهان جذب کنندهٔ مواد آلاینده از آب می‌باشد.

ز- تثبیت گیاهی[4]:
فرآیند تثبیت گیاهی سبب عدم تحرک ماده آلاینده در خاک می‌شود.

پوشش علفی، نوارهای بافری[5] و ردیف‌های درختان ساحلی[6] نیز روش‌هایی هستند که از ترکیب‌شان جهت مهار، انتقال و یا تجزیه مادهٔ آلاینده استفاده می‌شود. در هر روش انباشت گیاهی، اطمینان از انتقال نا خواسته ماده آلوده به محیط دیگر ضروری می‌باشد. انباشت گیاهی برای انواع مواد آلوده کننده، از قبیل هیدروکربن‌های نفتی، حلال‌های کلره، فلزات، مواد رادیواکتیو، مواد غذایی، پنتاکلروفنل[7] (PCP) و هیدروکربن‌های آروماتیک پلی‌سیکلیک[8] (PAH) قابل استفاده می‌باشد.
انباشت گیاهی نیاز به درک فرآیندهایی دارد که در گیاهان مورد نظر اتفاق می‌افتد و نیز به انجام عملیاتی جهت اطمینان از رشد مطلوب گیاه متکی می‌باشد. تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی دارای توانایی انباشت گیاهی هستند و تنها تعداد نسبتا محدودی از آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات دقیق به منظور تعیین و انتخاب گیاهان مناسب دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. همچنین انباشت گیاهی نیاز به اختصاص منابع و زمان دارد، اما کاربرد آن هزینه اندکی دارد و از لحاظ زیست محیطی قابل پذیرش بوده و می‌تواند جایگزین تکنولوژی‌های رایج کاهش آلودگی در نقاط مختلف شود.

۱- فرآیندهای گیاهی[9]

انباشت گیاهی بهره‌گیری از فرآیندهای طبیعی موجود در گیاهان می‌باشد. این فرآیندها شامل جذب آب و مواد شیمیایی و متابولیسم مواد در داخل گیاه می‌باشد.

رشد گیاهان به فتوسنتز وابسته می‌باشد. جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر و هم زمان با آن آزاد سازی اکسیژن صورت می‌گیرد. تعرق و همچنین کربوهیدرات‌های تولید شده در فتوسنتز برای انتقال فعال مواد غذایی توسط ریشه ضروری می‌باشد. انتشار و جابجایی اکسیژن در خاک برای تداوم بقاء گیاه نیز ضروری به نظر می‌رسد. گیاهان جهت رشد و نمو به عناصر غذایی ماکرو (S, Mg, Ca, K, P, N) و میکرو (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) و احتمالاً عناصر Co, Ni Se, Si و V نیاز دارند. مسیرهای جذب مواد غذایی می‌تواند آلاینده‌های مشابه از لحاظ رفتار و یا ترکیب شیمیایی را نیز جذب کند. به‌عنوان مثال، کادمیم می‌تواند

1. Rhizofiltration
2. Phytovolatilization
3. Hydrolic control
4. Phytostabilization
5. Buffer strips
6. Riparian corridors
7. Penta Chloro Phenol
8. Aromatic Hydrocarbon Polycyclic
9. Plant processes

Archive of SID

www.SID.ir

به‌علت شباهت به Ca و Zn توسط گیاه جذب شود. همچنین آرسنیک نیز به‌علت شباهت‌هایی که با فسفات دارد می‌تواند از این مسیرها جذب شود (Meagher, 2000)

برای این که مادهٔ غذایی جذب گیاه شود، باید در محلول خاک حل و سپس توسط ریشه جذب شود. مواد آلاینده می‌تواند از طریق اپیدرم، نوار کاسپارین و سپس آندودرم ریشه حرکت کرده و پس از جذب، تشکیل پیوند داده و یا متابولیز شود. مواد شیمیایی یا متابولیت‌های حاصل از آن از اپیدرم عبور و پس از رسیدن به آوند چوبی از طریق جریان تعرق انتقال می‌یابد.

جذب و انتقال ترکیبات آلی به آبدوستی[1]، حلالیت، قطبی بودن و وزن مولکولی این ترکیبات بستگی دارد. ترکیباتی که دارای آبدوستی بیشتری هستند، پیوند قوی‌تری با سطوح ریشه یا اجزاء جامد تشکیل می‌دهند، در نتیجه در داخل گیاه کمتر منتقل می‌شود(Pivetz, 2001). ترکیبات آلی که دارای حلالیت زیادی هستند، نمی‌تواند به اندازهٔ ترکیباتی که دارای حلالیت کمی می‌باشد جذب ریشه‌های گیاه شود و در داخل گیاه انتقال یابد. بر عکس، ترکیبات معدنی قابل حل می‌تواند به آسانی توسط گیاهان جذب شود. جذب ترکیبات معدنی به داخل گیاه به وسیلهٔ مکانیزم‌های جذب فعال و یا توده‌ای صورت می‌گیرد، در حالیکه جذب ترکیبات آلی عموماً به‌وسیلهٔ آبدوستی و قطبی بودن آنها کنترل می‌شود. جذب گیاهی ترکیبات آلی همچنین به نوع گیاه، سن مادهٔ آلاینده و بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز وابسته می‌باشد.

در یک مطالعه مشخص شد که بیش از ۷۰ مادهٔ شیمیایی آلی می‌تواند توسط ۸۸ گونهٔ گیاهی و درختان جذب و ذخیره شود. اما این نتایج نمی‌تواند همواره برای یک مادهٔ شیمیایی خاص وجود داشته باشد. به‌عنوان مثال؛ PCP موجود در خاک بعد از ۱۵۵ روز به میزان ۲۱ درصد در ریشه‌ها و ۱۵ درصد در جوانه‌های یک نوع گراس وجود داشت(Meagher et al., 2000) .

شکسته شدن خاکدانه‌ها ناشی از فشار فیزیکی کلاهک ریشه در حال رشد گیاه می‌باشد. همچنین ریشه‌های در حال تجزیه گیاه نیز می‌توانند آب و گاز را در خاک توزیع نموده و سبب تغییر وضعیت آب و هوای خاک شوند. همچنین ریشهٔ گیاهان و مواد آزاد شده از آن می‌توانند سبب ایجاد تغییرات شیمیایی و بیولوژیک در خاک شوند. به‌طوری‌که ترکیباتی از قبیل مواد فنلی ساده و دیگر اسیدهای آلی می‌تواند از سلول‌های زنده گیاهی یا ریشه‌های در حال گیاه آزاد شود. این مواد می‌تواند موجب تغییر شکل فلزات شده و جذب یون‌های فلزی و آزاد شدن پروتون‌ها را به‌طور هم زمان انجام می‌دهد. همچنین با تغییر اسیدیته خاک و تحریک انتقال فلزات موجب تغییر قابلیت دسترسی زیستی عناصر می‌شود (U.S.E.P.A., 2000; Siciliano et al., 2000).

در بعضی موارد، تغییر شکل فلزات می‌تواند منجر به افزایش رسوب فلزات نیز شود. همچنین ترکیبات آلی آزاد شده از ریشه می‌تواند رشد میکرو ارگانیزم‌های ریزوسفر را تحریک کند. (Hannigan, 2002).

۲- فرآیندهای انباشت گیاهی[2]

انباشت گیاهی دارای انواع مختلفی می‌باشد. تشریح فرایندهای مختلف انباشت گیاهی برای درک هر یک از آنها ضروری می‌باشد. اشکال مختلف انباشت گیاهی ممکن است برای انواع خاصی از آلاینده‌ها یا نقاط آلوده استفاده شوند. همچنین ممکن است این فرایندها در برگیرنده انواع مختلفی از گیاهان نیز باشند (Pivets, 2001).

۲-۱- استخراج گیاهی

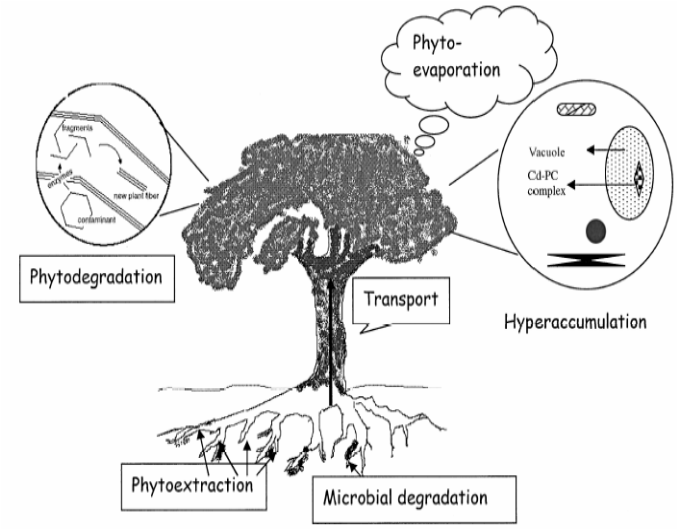
استخراج گیاهی جذب مواد آلاینده به وسیلهٔ ریشه‌ها و سپس با تجمع این مواد در اندام هوایی گیاه همراه می‌باشد، که عموماً به‌صورت بیومس گیاهی برداشت و از بین برده می‌شود (شکل ۱). استخراج گیاهی برای فلزات (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn,

1. Hydrophobicity
2. Phytoremediation Processes

Archive of SID

www.SID.ir

(Mo, NI, Pb, Zn، متالوئیدها(Se, As) مواد رادیواکتیو(^{238}U, ^{234}U, ^{137}Cs, ^{90}Sr) و غیر فلزات(B) بکار می‌رود. این مواد داخل گیاه تجزیه نشده و یا تغییر شکل نمی‌یابد(Pivetz, 2001). استخراج گیاهی برای جذب مواد آلی یا آلاینده‌های غذایی به وسیلهٔ گیاه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، چون این مواد می‌توانند متابولیز شده، تغییر شکل یافته و یا توسط گیاه تبخیر شوند، به طوری‌که از تجمع مواد آلاینده در گیاه جلوگیری می‌شود. اما در بعضی مطالعات تجمع مقدار ثابتی از مواد آلایندهٔ آلی در اندام هوایی گیاه نیز مشاهده شد.



شکل ۱. فرآیندهای مختلف انباشت گیاهی (Suresh and Ravishankar, 2004)

محیط هدف در فرایند استخراج گیاهی، خاک می‌باشد، ولی این فرایند می‌تواند مواد آلایندهٔ موجود در رسوبات و لجن‌ها را نیز پاک‌سازی نماید. همچنین استخراج گیاهی، به‌نام‌های تجمع گیاهی[1]، جذب گیاهی[2] نیز شناخته می‌شود. علاقه به گیاهان جمع کنندهٔ فلزات در ابتدا روی گیاهان بیش از حد جمع کننده[3] متمرکز شده بود. این گیاهان بیش از دیگر گیاهان می‌توانند فلزات را از خاک جذب کنند. به طوری‌که غلظت فلز در بعضی از بخش‌های این گیاهان به طور مشخصی بالا می‌رود. این گیاهان نسبتاً کمیاب بوده و در اطراف جهان پراکنده‌اند.

تاکنون کمتر از ۴ گونه از این گیاهان برای ۸ فلز سنگین مشخص شده است. گیاه بنفشه زرد (Viola calaminaria) از مهمترین گیاهانی است که در خاک‌های غنی از فلزات رشد می‌کند. این گیاه به‌عنوان گیاه فلز دوست مطلق به شمار می‌رود و معمولا در نقاط غنی از سرب و روی تشکیل کلنی می‌دهد (Tonin et al, 2001). فلزات سنگین معمولاً برای گیاهان ایجاد مسمویت می‌کنند، اما گیاهان بیش از حد جمع کننده توانایی رشد در خاک‌های غنی از این فلزات را دارند. دلیل فیزیولوژیک برای تجمع بیش از حد فلزات در این گیاهان می‌تواند استراتژهای تحمل این گیاهان به غلظت‌های بالای این فلزات در خاک باشد. همچنین دلایل دیگری از جمله امکان رقابت سودمند، مقاومت به خشکی، جذب بدون دلیل فلز، یا دفاع علیه علف‌خواران یا پاتوژن‌ها از قبیل باکتری و قارچ نیز وجود دارد. تحقیقات بیشتر برای تعیین دلایل تجمع بیش از حد این فلزات در این گیاهان مورد نیاز می‌باشد (McGrath et al, 2001).

1. Phytoaccumulation
2. Phytoabsorption
3. Hyperaccumulators

Archive of SID

www.SID.ir

بروکس (1998b) توانست فرآیندهای پیچیده در تجمع بیش از حد فلزات را تشریح کند. اما تاکنون مشخص نشده است که آیا در گیاهانی که متحمل به یک فلز هستند تحمل به فلزات دیگر نیز القاء می‌شود یا خیر. بعضی از گیاهان بیش از حد جمع کننده، در صورت وجود فلزات دیگر، آنها را نیز در خود جمع می‌کنند.

فلزات عموماً به طور غیر یکنواخت در اندام‌های گیاهی توزیع می‌شود، ولی در گیاهان بیش از حد جمع کننده، میزان فلز در برگ اغلب بیش از دیگر اندام‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال در آزمایشی بیشترین میزان نیکل در برگ‌های گیاه Alyssum heldreichii وجود داشت. کادمیم و روی در ریشه‌ها و جوانه‌های این گیاه وجود داشت، اگر چه جوانه‌ها غلظت بیشتری از روی را دارا بودند (Brooks, 1998b).

فرآیند استخراج گیاهی معمولاً در ناحیهٔ ریشهٔ گیاهان انجام می‌شود. ریشهٔ گیاه ممکن‌است، در نقاط کم عمقی گسترش داشته باشد. این وضعیت می‌تواند برای استخراج گیاهی محدودکننده باشد. به طوری که انباشت سرب از خاک آلوده با استفاده از گیاه Brassica juncea به عمق بالای ۱۵ سانتی‌متر خاک محدود شده بود و استخراج آن از اعماق ۱۵ – ۴۵ معنی‌دار نبود (INEEL, 2000).

۲-۲- *تثبیت گیاهی*

تثبیت گیاهی استفاده از رویش گیاهی برای پاکسازی مواد آلایندهٔ موجود در خاک در محل[1] از طریق اصلاح شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌باشد. تحرک مادهٔ آلاینده در خاک، رسوبات یا لجن‌ها می‌تواند توسط جذب و انباشت به وسیلهٔ ریشه‌ها، جذب به‌سوی ریشه‌ها، رسوب، ترکیبات پیچیده یا کاهش والانس فلزات در خاک منطقهٔ ریشه و یا ترکیب شدن با مواد آلی و از طریق فرآیند هموسی شدن، کاهش یابد. علاوه بر آن رویش گیاهی می‌توانند سبب کاهش فرسایش آبی و بادی خاک شوند، بدین ترتیب از پراکنش مواد آلاینده در اثر رواناب و یا پخش آن به صورت گرد و غبار جلوگیری می‌کنند و ممکن است موجب کاهش و یا جلوگیری از آبشویی نیز شوند. تحقیق روی تثبیت گیاهی عموماً روی فلزات آلوده کننده مانند سرب، کروم و جیوه در گیاهان با پتانسیل تثبیت بالا تمرکز یافته است(E.P.A., 2000).

فلز در ناحیهٔ ریشه می‌تواند به‌وسیلهٔ تغییر حالت از شکل قابل حل به اکسید غیر قابل حل تثبیت شود. به‌عنوان مثال، ریشه‌ها می‌توانند رسوب سرب را به‌صورت فسفات سرب نامحلول تغییر دهند (Doty et al., 2000). تثبیت فلزات شامل فرآیند غیر بیولوژیک جذب سطحی به دلیل کی‌لیت شدن، تبادل یونی و جذب ویژه می‌باشد (Salt et al. 1995). سرب که عموماً برای گیاهان سمی است، در شرایط طبیعی در گیاهان احتمالاً به‌دلیل تشکیل رسوب سولفات سرب در ریشهٔ گیاه تجمع نمی‌یابد. pH خاک می‌تواند با تولید Co_2 به وسیلهٔ میکروب‌های تجزیه کنندهٔ ترشحات ریشهٔ گیاه و احتمالاً با تغییر قابلیت حل فلز و قابلیت تحرک یا تفکیک اثرات ترکیبات آلی تغییر کند. تثبیت گیاهی موثر نیاز به درک ویژگی‌های شیمیایی محیط ریشه، ترشحات ریشه‌ای، مواد آلاینده و کودها دارد، تا از عواملی که موجب افزایش آبشویی و قابلیت حل مادهٔ آلاینده می‌شود، جلوگیری کند (Pivetz, 2001). کانینگهام و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که تثبیت گیاهی برای خاک‌های با بافت سنگین و خاک‌های با مواد آلی زیاد مناسب‌تر می‌باشد.

نوعی از تثبیت گیاهی ممکن است توسط ترشحات آزاد شدهٔ گیاهی از قبیل فسفات انجام شود. همچنین ممکن است اشکال رسوبی غیر قابل حل مواد آلاینده از قبیل فسفات سرب تولید شود. تشکیل رسوب فسفات سرب در محلول هیدروپونیک توسط داشنکوف و همکاران (۱۹۹۵) تشخیص داده شد.

گیاهان تثبیت کننده باید قادر به رشد در خاک‌های آلوده باشند. ریشه‌های رشد یافته در ناحیهٔ آلوده، باید قادر به تغییر شرایط بیولوژیک، شیمیایی یا فیزیکی خاک باشند. در یک مطالعهٔ مزرعه‌ای؛ بقایای معدنی دارای مس، سرب و روی به وسیله گراس‌ها

1. In situ

Archive of SID

www.SID.ir

تثبیت شده بود (Agrostis tenuis cv. Goginan) برای بقایای معدنی روی و سرب، Agrostis tenuis cv. Parys برای بقایای معدنی مس و Festuca rubra cv. Merlin برای بقایای معدنی روی و سرب در خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گرفتند.

احیاء مجدد رویش گیاهی مناطق دارای بقایای معدنی خطرناک و خاک‌های شور می‌تواند موجب کاهش فرسایش بادی و آبی و پراکنش خاک‌های آلوده شود. تثبیت گیاهی یک استراتژی اولیه برای استفاده در این نواحی می‌باشد، اما از استخراج گیاهی نیز در صورت مناسب بودن مادهٔ آلاینده می‌توان استفاده نمود. ولی استفاده از استخراج گیاهی موجب افزایش انتقال مواد آلوده کننده به اکوسیستم بزرگتری می‌شود. بنابراین، این روش در صورتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیومس حاوی فلزات، پس از برداشت انهدام شود. استقرار مجدد گیاهان در این مناطق ممکن است به‌دلیل ایجاد سمیت گیاهی ناشی از مواد آلاینده، شرایط فیزیکی خاک، pH نامساعد، اقلیم خشک یا فقدان مواد آلی مشکل باشد.

پوشش‌های گیاهی تثبیت شده گراس‌های بومی متحمل به فلزات به طور موفقیت آمیزی در بقایای معدنی فلزی در انگلستان استقرار یافته و دارای رشد مناسبی در مدت ۹ سال بودند (Hinchman et al., 2002). درختان تبریزی هیبرید در پلات‌های آزمایشی در ناحیهٔ وایت‌وودکریک، داکوتای جنوبی، تا انتهای فصل اول رشد۱۲ متر رشد کردند و ریشهٔ متراکم‌تری را ایجاد نمودند. تجزیهٔ شیمیایی برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها برای آرسنیک و کادمیم نشان داد که در مطالعات آزمایشگاهی مقدار زیادی از این عناصر جذب شد (Meagher, 2000). ایجاد رویش گیاهی در ناحیهٔ گلنا در جنوب شرقی کانزاس به‌عنوان یک استراتژی تثبیت گیاهی می‌تواند موجب کاهش فرسایش بادی خاک آلوده شود. مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از گراس‌های بومی و گیاه Andropogon gerardivit و فستوک پا بلند (Festuca arundinacea Schreb) اهمیت میکوریزا و مواد آلی افزوده شده به خاک را در استقرار گیاهان در بقایای معدنی آلوده به فلز در ناحیه گلنا را آشکار نمود (Siciliano and Greer 2002; Ryan et al., 2000).

۳-۲- تصفیهٔ ریشه‌ای

تصفیهٔ ریشه‌ای (یا تصفیهٔ گیاهی[1]) استخراج مواد آلوده کننده به وسیلهٔ ریشه‌ها از آب‌های سطحی، پس‌مانده‌های آبی یا آب‌های زیرزمینی از طریق جذب یا رسوب روی ریشه‌ها و یا جذب به داخل ریشه‌ها می‌باشد. این روش، برای فلزات Mn, Zn, (Cr (VI) (Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, و مواد رادیواکتیو (^{236}U, ^{238}U, ^{137}Cs, ^{90}Sr) بکار برده می‌شود. (Dushenkov et. al, 1997)

محیط ریشه و ترشحات آن ممکن است موجب تغییر شرایط بیوشیمیایی و در نتیجه رسوب مواد آلاینده در روی ریشه‌ها و یا داخل آن شود. مادهٔ آلاینده ممکن است داخل و روی ریشه باقی مانده و یا پس از جذب به دیگر بخش‌های گیاه بسته به نوع مادهٔ آلاینده، غلظت و گونه گیاهی منتقل شود.

تصفیه ریشه‌ای و استخراج گیاهی در تجمع مادهٔ آلاینده در داخل و یا روی ریشهٔ گیاه مشابه هستند. اما در تصفیهٔ ریشه‌ای، تجمع مادهٔ آلاینده در ریشه‌ها و یا داخل بخش روی آب گیاه انجام می‌شود. در حالی‌که در استخراج گیاهی، تجمع مادهٔ آلاینده در اندام‌های هوایی گیاه صورت می‌گیرد. علاوه بر آن اختلاف دیگر استخراج گیاهی با تصفیهٔ ریشه‌ای این است که تصفیهٔ ریشه‌ای مواد آلاینده را از آب خارج می‌کند در حالی‌که استخراج گیاهی مواد آلاینده موجود در خاک را جمع‌آوری می‌کند. تصفیهٔ ریشه‌ای مواد آلاینده را به کمک ریشه از منطقه آلوده خارج و در صورت لزوم به بخش بالای آب گیاه منتقل می‌شود.

بدین ترتیب تصفیه ریشه‌ای با تثبیت گیاهی که در خاک اتفاق می‌افتد و در آن مواد آلوده کننده در ناحیه ریشه باقی می‌ماند، اختلاف دارد تصفیه ریشه‌ای عموماً برای تیمار حجم زیادی از آب با غلظت پایین مواد آلوده کننده بکار برده می‌شود.

تصفیهٔ ریشه‌ای می‌تواند در محل برای پاکسازی مخازن آب‌های سطحی آلوده استفاده شود. هر کدام از این سیستم‌ها نیاز به درک ویژگی مواد آلاینده و اثرات متقابل آلاینده‌ها با یکدیگر و عناصر غذایی دارد. پایش و امکان تغییر و اصلاح pH آب یا میزان

1. Phytofiltration

Archive of SID

www.SID.ir

جریان و غلظت مادهٔ آلاینده نفوذ یافته به آب، ممکن است ضروری باشد. پیش‌بینی عدم تحرک فلز و جذب در مطالعات آزمایشگاهی و گلخانه‌ای نمی‌تواند در شرایط مزرعه‌ای قابل حصول باشد. اما در سیستم طراحی شدهٔ خارج از خاک، توانایی کنترل شرایط ممکن است منجر به نتایج نزدیک به پیش‌بینی آزمایشگاهی شود (Hannigan,2002).

استفادهٔ از تصفیهٔ ریشه‌ای در مرحلهٔ آزمایش می‌باشد. آزمایشات مزرعه‌ای و در سطح کوچک جهت تصفیهٔ ریشه‌ای رادیواکتیوها از یک برکه کوچک در نزدیکی راکتور چرنوبیل اکراین انجام شد. در این آزمایش گیاه آفتابگردان برای چهار تا هشت هفته در ظرف شناور روی یک برکه رشد داده شد، نتایج نشان داد که آفتابگردان می‌تواند ^{137}Cs, ^{90}Sr را از برکه استخراج نماید. (Hinchman et al., 2002)

۲-۴- تجزیهٔ ریشه‌ای

تجزیهٔ ریشه‌ای افزایش تجزیه زیستی طبیعی در خاک از طریق تاثیر ریشه‌های گیاه می‌باشد و منجر به تخریب یا سمیت‌زدایی[1] مواد آلاینده آلی می‌شود. مواد آلاینده آلی در خاک اغلب می‌توانند به مواد کاملاً معدنی تبدیل شده و یا به تولیدات غیرمعدنی از قبیل دی‌اکسید کربن و آب به‌وسیلهٔ باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها تجزیه شود.

وجود ریشهٔ گیاه اغلب حجم و تنوع جمعیت میکروبی خاک اطراف ریشه و همچنین میکوریزا را افزایش خواهد داد. افزایش جمعیت میکروبی به علت تحریک توسط ترشحات و ترکیبات تولیدی به وسیلهٔ گیاهان می‌باشد. ترشحات گیاهی آزاد شده شامل قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی، اسیدهای چرب، استرول‌ها، عوامل رشد، نوکلئوتیدها، فلاون‌ها، آنزیم‌ها و دیگر ترکیبات می‌باشد. افزایش فعالیت و جمعیت میکروبی در محیط ریشه می‌تواند موجب افزایش تجزیهٔ زیستی مواد آلایندهٔ خاک شود. تحریک میکروب‌های خاک به وسیلهٔ ترشحات ریشه‌ای گیاه می‌تواند در نتیجهٔ تغییر شرایط ژئوشیمیایی از قبیل pH باشد. (Hinchman, 2002). گیاهان و ریشه‌های آنها همچنین می‌توانند بر محتوی آب، انتقال آب و مواد غذایی، هوادهی و ساختمان، درجه حرارت، pH و دیگر پارامترهای خاک موثر باشد. تاثیر اغلب این عوامل در بیشتر تحقیقات انباشت گیاهی در نظر گرفته نمی‌شود. لین و مندلسون (۱۹۹۸) نشان دادند که گیاه گراس مرداب (S. pratens و Spartina alterniflora) می‌تواند به‌طور بالقوه تجزیهٔ زیستی هوازی توسط اکسیژن انتقالی به ریشه‌ها را افزایش می‌دهد (Pivetz, 2001).

۲-۵- تجزیهٔ گیاهی

تجزیهٔ گیاهی شامل جذب، متابولیز و تجزیهٔ آلاینده‌های موجود در خاک، رسوبات، لجن‌ها، آب‌های زیرزمینی و یا سطحی به وسیلهٔ آنزیم‌های تولیدی و رها شده از گیاه می‌باشد. تجزیهٔ گیاهی به میکروارگانیزم‌های همیار در ریزوسفر وابسته نمی‌باشد. مواد آلاینده مرتبط با تجزیهٔ گیاهی شامل ترکیبات آلی از قبیل مهمات، حلال‌های کلره، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و مواد غذایی غیر آلی می‌باشد. همچنین تجزیهٔ گیاهی، تغییر شکل گیاهی[2] نیز نامیده می‌شود و یک فرآیند تخریب مواد آلاینده می‌باشد. برای اینکه تجزیهٔ گیاهی در گیاه انجام شود، گیاه باید قادر به جذب این ترکیبات باشد. آزمایشات انجام شده در دانشگاه واشنگتن نشان داد که زنجیرهای کوتاه‌تر ترکیبات هالوژن‌های آلیفاتیک می‌تواند به وسیلهٔ گیاهان جذب شوند. گیاهان همچنین می‌توانند ترکیبات آلی متنوعی از قبیل تری کلرواتیلن، تری‌نیتروتولوئن و علف‌کش آترازین را متابولیسم نمایند. در استفادهٔ از تجزیهٔ گیاهی، تغییر شکل یک مادهٔ آلاینده در داخل گیاه به یک مادهٔ سمی‌تر و سپس رها سازی آن به اتمسفر از طریق تعرق، نامطلوب می‌باشد. آنزیم‌های گیاهی تولیدی که مواد آلاینده را متابولیز می‌کنند نیز ممکن است در منطقهٔ ریزوسفر آزاد شوند. این آنزیم‌ها شامل دی‌هیدروژناز، نیترات ردوکتاز، پراکسیداز، لیکاز و نیتریلاز می‌باشد. (Ryan et al., 2000). بعضی از گیاهان با بهره‌گیری از فرآیند تجزیه گیاهی

1. Detoxification
2. Phytotransformation

Archive of SID

www.SID.ir

قادر به تجزیهٔ علف‌کش‌ها می‌باشند. به‌طوری‌که تجزیه آترازین در درختان هیبرید تبریزی و تجزیهٔ بنتازون به‌وسیله درخت بید سیاه(Salix nigra) مشاهده شده است (Meagher et al, 2000).

۶-۲- تبخیر گیاهی

این فرآیند شامل جذب آلودگی توسط گیاه و سپس رها کردن مواد آلاینده به صورت بخار می‌باشد. برای انباشت گیاهی موثر، تولیدات حاصل از تجزیه یا ترکیبات تغییر یافته بصورت بخار باید مواد آلوده کنندهٔ اولیه از سمیت کمتری برخوردار باشند. تبخیر گیاهی یک فرایند رفع آلودگی، از طریق انتقال ماده آلوده کننده از محیط اصلی (آب‌های زیرزمینی، آب خاک) به اتمسفر به شمار می‌آید (شکل ۱). اما فرآیندهای متابولیکی گیاه باید ماهیت ماده آلاینده را تغییر دهد و در بعضی موارد آن را به موادی با سمیت کمتر تبدیل کند. کاهش سمیت زیاد جیوه یا تغییر شکل سلنیوم سمی به گاز دی متیل سلناید که دارای سمیت کمتری است، مثال‌هایی از این موارد می‌باشد (Alder, 1996). در بعضی موارد، انتقال مادهٔ آلاینده به اتمسفر منجر به تسریع و یا انجام موثرتر فرآیندهای تجزیهٔ طبیعی مانند تجزیهٔ نوری می‌شود. از آنجایی که تبخیر گیاهی سبب انتقال مواد آلاینده به اتمسفر می‌شود، بنابراین مواد منتقل شده می‌تواند بر سلامت اکوسیستم و انسان موثر می‌باشد (Pivetz, 2001).

تبخیر گیاهی می‌تواند به منظور پاکسازی مواد آلوده کنندهٔ غیر آلی محلول در آب‌های زیرزمینی، خاک، رسوبات یا لجن‌ها انجام شود. در آزمایشاتی مشخص شد که گیاهچه‌های اصلاح شده درخت تبریزی زرد(Liriodendrontulipifera) دارای مقاومت به جیوهٔ یونی بوده و در غلظت سمی جیوهٔ یونی به خوبی رشد می‌کنند. این گیاهچه جیوهٔ عنصری بیشتری را (حدود ۱۰ برابر بیش از گیاهچه‌های اصلاح نشده) از خود به‌صورت بخار آزاد کردند(Ryan et al., 2000).

۷-۲- کنترل هیدرولیکی

کنترل هیدرولیکی استفادهٔ از رویش گیاهی به منظور تحت تاثیر قرار دادن حرکت آب‌های زیرزمینی و آب خاک از طریق جذب و مصرف حجم زیادی از آب می‌باشد. هر چند فرآیندهای دیگر انباشت گیاهی از قبیل تجزیهٔ ریشه‌ای، تجزیهٔ گیاهی و تبخیر گیاهی، ممکن است برای آب‌های آلوده استفاده شوند. اما در بعضی شرایط خاص می‌توان از کنترل هیدرولیکی نیز استفاده نمود.

جذب آب توسط پوشش گیاهی و میزان تعرق برای کنترل هیدرولیکی و رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی مهم می‌باشد. جذب آب و میزان تعرق به گونهٔ گیاهی، سن، بیومس، سطح برگ و مرحله رشد پوشش گیاهی بستگی دارد. همچنین این عوامل تحت تاثیر عوامل اقلیمی مانند درجه حرارت، بارش، رطوبت، میزان قرار گرفتن در معرض نور خورشید و سرعت باد نیز قرار می‌گیرند. از آنجایی‌که درختان خزان پذیر در قسمتی از سال به خواب می‌روند، در نتیجه میزان جذب آب و تعرق آنها پایین می‌آید. بدین ترتیب تعیین مقادیر مشخص و تعریف شده برای یک نوع رویش گیاهی مشکل می‌باشد. به همین دلیل طراحی کنترل هیدرولیکی انباشت گیاهی نیاز به مکان‌های ویژه جهت مشاهده سطوح آب، الگوهای جریان و مقادیر جذب آب دارد. بعضی تخمین‌ها میزان جذب آب و اهمیت احتمالی آن را نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال درختان تبریزی با سن بیش از ۵ سال ۲۰۰ –۱۰۰ لیتر / روز و درخت بید ۵۰۰۰ گالون / روز آب را تعرق می‌کند، که با میزان تعرق حاصل از ۶/. ایکر یونجه قابل مقایسه می‌باشد Hinchman et al., 2002).

۸-۲- ایجاد نوارهای بافری و ردیف‌های درختان سواحل رودخانه

نوارهای بافری، نواحی از رویش‌های گیاهی قرار گرفته با گرادیان اندک از یک منبع مادهٔ آلاینده، یا یک راه آبی (یعنی ردیف‌های درختان سواحل رودخانه) را شامل می‌شود. پوشش‌های گیاهی موجود، مواد آلوده کننده در خاک، آب‌های سطحی و عبور آب‌های زیرزمینی از مسیر زیرین نوارهای بافری از طریق کنترل هیدرولیکی، تبخیر گیاهی و احتمالاً استخراج گیاهی، خارج و

Archive of SID

www.SID.ir

یا از بین می‌برد. مواد آلاینده نسبتاً قابل حل مانند مواد غذایی، بعضی مواد آلی (خصوصاً آفت کش‌ها) با استفادهٔ از نوارهای بافری و ردیف‌های درختان سواحل رودخانه کنترل می‌شوند. رواناب کشاورزی نیز می‌تواند هدف نوارهای بافری و ردیف‌های درختان سواحل رودخانه باشد. از مزایای دیگر استفاده از ردیف‌های درختان در سواحل رودخانه، تثبیت جریان مخازن و جلوگیری از فرسایش خاک و بهبود زیستگاه‌های آبی و خاکی می‌باشد. برای رفع آلودگی، ریشهٔ گیاهان باید در ناحیه آب‌های زیر زمینی نفوذ نمایند. همچنین باید زمین کافی جهت ایجاد پوشش گیاهی در دسترس باشد. در آزمایشاتی درختان تبریزی به‌طور موفقیت آمیزی در نوارهای بافری و ردیف‌های درختان سواحل رودخانه برای رفع آلودگی نیتراته استفاده شده بود(Pivetz, 2001).

محیط‌های قابل استفاده[1]

آب‌های زیر زمینی

برحسب شرایط نواحی مورد انتخاب، مواد آلوده کننده در آب‌های زیرزمینی ممکن است با استفاده از تجزیهٔ گیاهی، تبخیر گیاهی، کنترل هیدرولیکی، ردیف‌های درختان سواحل رودخانه و نوارهای بافری کنترل شوند. آب‌های زیرزمینی استخراج شده ممکن است با استفاده از تصفیهٔ ریشه‌ای بهبود یافته و مجدداً مورد استفاده قرار گیرد(Pivetz 2001).

آب‌های سطحی و پساب‌ها

آلودگی آب‌های سطحی می‌تواند با استفاده از تصفیه ریشه‌ای یا تجزیه گیاهی، در برکه‌ها، مخازن طراحی شده و یا اراضی مرطوب طبیعی کاهش یابد. در بعضی موارد، می‌توان از این آب برای آبیاری نیز استفاده نمود (Rau et al 2001).

خاک، رسوبات و لجن

خاک آلوده، رسوبات یا لجن می‌تواند با استفاده از فرآیندهای تجزیه گیاهی، استخراج گیاهی، تثبیت گیاهی، تجزیه ریشه‌ای پاکسازی شود. برای نواحی وسیع که دارای لایهٔ نسبتاً نازکی از خاک آلوده است، انباشت گیاهی مناسب‌ترین روش می‌باشد.

هوا

تحقیق در مورد انباشت گیاهی بیشتر روی محیط‌های آلوده مایع و جامد متمرکز شده‌است و مطالب اندکی در مورد انباشت گیاهی گاز خاک و یا هوای آلوده وجود دارد. مواد آلوده کننده موجود در هوا نیز می‌توانند به‌طور مستقیم از اتمسفر از طریق جذب آلوده کننده‌های گازی به وسیله برگ گیاهان یا به‌وسیله ذخیره مواد آلوده شده خاص به برگ‌ها وارد شود. بعضی گیاهان ترکیبات آلایندهٔ گازی را از هوا جذب می‌نمایند. در یک مطالعهٔ گلدانی گیاه Mums، ۶۱ درصد فرمآلدیید، ۵۳ درصد بنزن و ۴۱ درصد تریکلرواتیلن را جذب نمود. پاکسازی هوای آلوده و گاز خاک به‌وسیله گیاهان می تواند موضوعی برای تحقیقات آینده باشد.

انواع مواد آلوده کننده

مواد آلوده کننده غیر آلی قابل انباشت گیاهی شامل فلزات (جدول ۱) و متالوئیدها، غیر فلزات، مواد رادیو اکتیو(جدول ۲) می‌باشد. مواد آلوده کننده آلی قابل انباشت گیاهی شامل هیدروکربن‌های نفتی، حلال‌های کلره،آفت‌کش‌ها، مهمات، بقایای چوب نگهداری شده سورفکتانت‌ها[2]، و مواد دیگر می‌باشد (جدول ۳). این جداول لیست مواد آلوده کننده، فرآیندهای انباشت گیاهی و نقاط آلوده‌کننده، مثال‌هایی از غلظت‌های مواد آلوده کننده و گیاهان مورد بررسی در انباشت گیاهی را شامل می‌شوند (Terry and Banuelos, 2000 , INEEL, 2000)

1. Applicable Media
2. Surfectant

Archive of SID

www.SID.ir

ویژگی رویش‌های گیاهی

عمق و مورفولوژی ریشه از ویژگی‌های مهم گیاهان برای انباشت گیاهی می‌باشد. سیستم ریشه‌ای افشان مانند آنچه که در گراس‌ها (مانند فستوک) وجود دارد، به اندازه کافی در سرتاسر خاک پخش می‌شود و حداکثر تماس با خاک را به علت سطح زیاد ریشه ایجاد می‌کند. (Pivetz, 2001).

سیستم ریشه‌ای افشان بعضی از گراس‌ها می‌تواند تا حدود ۱۰-۶ فوت پراکنده شود. ریشه‌های یونجه توانایی رشد به نقاط کاملاً عمیق به عمق در حدود ۳۰ فوت دارند. عمق موثر برای استفاده از انباشت گیاهی برای بیشتر گونه‌های غیر چوبی فقط یک یا دو فوت می‌باشد. در بیشتر گیاهان بیش از حد جمع کننده، ناحیه ریشه به بالای خاک محدود می‌شود، که استفادهٔ از استخراج گیاهی را به خاک‌های کم عمق محدود می‌کند. حجم و بیوماس فراوان ریشه ممکن است برای بعضی از اشکال متنوع انباشت گیاهی سودمند باشد. مطالعات در جهت انتخاب چنین گیاهانی می‌تواند باتوجه به چنین ویژگی‌هایی انجام شود(Pivetz, 2001).

اشکال مختلف انباشت گیاهی نیاز به خصوصیات عمومی متفاوتی برای تاثیر مطلوب دارد. در تصفیهٔ ریشه‌ای و تثبیت گیاهی، توانایی جذب فلزات، عدم انتقال فلزات از ریشه‌ها به اندام هوایی و رشد سریع ریشه‌ها نیز وجود دارد. برای استخراج گیاهی، گیاه باید غلظت بالای فلزات سمی در اندام هوایی و برگ‌ها را تحمل و پس از انتقال، در خود جمع نماید. همچنین گیاه باید دارای رشد زیاد و توانایی تولید بیوماس فراوان باشد. برای تجزیهٔ ریشه‌ای، گیاه باید آنزیم‌های مناسب و مواد دیگری را که موجب افزایش تجزیه زیستی می‌شوند را از خود آزاد کند. همچنین باید دارای عمق مناسب، مقدار و حجم زیاد ریشه باشد. تجزیه گیاهی نیاز به گیاهانی دارد که مواد آلاینده را جذب و بدون تولید ترکیبات سمی آن را متابولیز نماید. در فرآیند تبخیر گیاهی گیاه باید مواد آلاینده را جذب و آن را به بخار با سمیت کمتر تبدیل نماید.

از گیاهان بیشماری در تحقیقات مربوط به انباشت گیاهی استفاده شده است، اما توجه بیشتر به گروه کوچکتری از این گیاهان وجود دارد که به دلیل پراکنش وسیع، قابلیت دسترسی آسان، رشد راحت و وجود دانش پایه‌ای زیاد در مورد این گیاهان می‌باشد.

گیاهان خشکی به علت دارا بودن سیستم ریشه‌ای وسیع‌تر، موثرتر از گیاهان آبزی می‌باشند. درختان تبریزی دارای رشد سریع(بعضی از گونه‌ها تا ۳ متر در سال رشد می‌کنند) و توزیع جغرافیایی وسیعی هستند که توانایی زیادی در جذب و تجزیه مواد آلوده کننده دارند. خردل هندی دارای بیوماس نسبتاً زیاد می‌باشد. این گیاه دارای رشد سریع بوده و توانایی جذب و انباشت فلزات و رادیو نوکلئیدها را دارد. گیاه آفتابگردان (Helianthus annus L.) نیز می‌تواند فلزات را در خود جمع کند و دارای بیوماس یکسانی با خردل هندی می‌باشد(Davies, et al. 2002).

فواید

۱. استفاده از انباشت گیاهی نسبت به تکنولوژی‌های رایج دارای هزینه کمتری(هزار برابر کمتر از تکنولوژی‌های رایج) می‌باشد.
۲. انباشت گیاهی تکنولوژی دوستار محیط زیست می‌باشد.(Khan , *et al*. 2000).
۳. انباشت گیاهی می‌تواند در خاک برای بهبود آب‌های زیر زمینی و خاک‌های کم عمق به‌کار رفته و می‌تواند برای آب‌های سطحی نیز مورد استفاده قرار گیرد.
۴. پوشش گیاهی ایجاد شده می‌تواند موجب کاهش یا جلوگیری از فرسایش خاک شود.

معایب

۱. ضعف مهم انباشت گیاهی، محدودیت عمق است که عموماً به علت عمق کم توزیع ریشه‌های گیاهی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. تکنولوژی انباشت گیاهی به یک دورهٔ زمانی طولانی نیاز دارد، چرا که این تکنولوژی به رشد گیاه برای استقرار سیستم ریشه‌ای وسیع یا تولید بیوماس اندام هوایی نیاز دارد.
۳. مواد گیاهی آلوده نیاز به استفادهٔ روش مناسب جهت انهدام و یا تجزیه دارد.
۴. یک سیستم انباشت گیاهی می‌تواند تاثیرش را در طول زمستان(موقعی‌که رشد گیاه کند یا متوقف می‌شود) و یا زمان ایجاد بیماری و خسارت حاصل از شرایط آب و هوایی از دست بدهد.
۵. غلظت بالای مواد آلاینده در ابتدا می‌تواند برای گیاه سمی باشد و از رشد آن جلوگیری کند. بنابراین، مطالعات مقدماتی سمیت گیاهی برای جداسازی گیاهان مقاوم در برابر غلظت زیاد آلاینده ضروری می‌باشد.
۶. ایجاد پوشش گیاهی اغلب نیاز به مراقبت زیاد در برابر استرس‌های محیطی و آفات دارد، تحت شرایط مغایر خاک و آب‌های زیر زمینی آلوده، ایجاد موفق پوشش گیاهی می‌تواند مشکل‌تر باشد.

اهمیت طراحی

انباشت گیاهی تکنولوژی است که برای اصلاح نواحی آلوده به بقایای خطرناک به‌کار برده می‌شود. رشد موفق پوشش گیاهی به میزان زیادی به شرایط اقلیمی مناسب وابسته می‌باشد. مقدار و زمان‌بندی صحیح زمان بارش، نور خورشید، سایه، باد، درجه حرارت مناسب و طول فصل رشد برای اطمینان از رشد مطلوب ضروری می‌باشد. شرایط محلی و انتخاب گیاه برای هر منطقه براساس شرایط ناحیه دارای اهمیت بسیاری می‌باشد.

همچنین نقش مواد اصلاح کنندهٔ خاک مانند کمپوست، کود سبز و یا کودهایی که برای رشد پوشش گیاهی مهم می‌باشد و باید بعد و یا قبل از اضافه کردن این مواد به خاک در نظر گرفته شود. این اثرات، شامل حرکت مواد آلاینده از طریق ایجاد تغییرات شیمیایی در خاک، عدم تحرک مواد آلاینده از طریق جذب آن به مواد آلی یا هموسی شدن، تغییرات در جمعیت میکروبی خاک و همچنین کاهش کارآیی انباشت گیاهی از طریق رقابت برای مواد غذایی نسبت مواد آلاینده می‌شود.

رشد پوشش گیاهی باید از طریق مراقبت و حفظ خصوصیات خاک، میزان مواد غذایی و محتوای آب خاک در حد مطلوب حفظ شود. علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی به‌وسیله عملیات زراعی از قبیل شخم یا کاربرد آفت‌کش‌ها و با انتقال مواد گیاهی آلوده به بیماری می‌تواند کنترل شود. همچنین آفات (حشرات، پرندگان یا علف خواران) می‌توانند با استفاده از آفت کش‌ها کنترل شوند، که این امر به جلوگیری از انتقال آلاینده به زنجیره غذایی کمک می‌کند.

همچنین پاسخ به موارد ذیل در طراحی پروژهٔ انباشت گیاهی دارای اهمیت می‌باشد:

الف- آیا از گیاهان بومی برای انباشت گیاهی استفاده می‌شود.

ب- آیا شرایط محیطی رشد محل مورد نظر برای گیاهان مناسب می‌باشند.

ج- آیا می‌توان از گیاهان غیر بومی استفاده نمود.

د- میزان تبخیر و تعرق در گیاهان مورد استفاده چقدر می‌باشد. اگر میزان تبخیر و تعرق بالاست، آلاینده سریعاً از خاک و آب حرکت می‌کنند، اما برای رشد مطلوب گیاهان ممکن است نیاز به آبیاری وجود داشته باشد.

هـ- بیومس حاوی مواد آلاینده پس از برداشت به چه سرنوشتی دچار خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- انباشت گیاهی فلزات (Pivetz, 2001).

گیاه	غلظت	فرآیند	محیط	موادآلاینده
	نتایج			
بید (Salix viminalis)	۷/۹ mg/Kg	استخراج گیاهی	خاک	
درخت تبریزی	۹/۴ mg/Kg کل کادمیم	تثبیت گیاهی		
خردل هندی	۲ mg/L			
خردل هندی	۰/۱۸ تا ۱۸ میکرو متر (۲۰ تا ۲۰۰۰ میکرو متر) در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای		
Myriophyllum spicatum	۱ـ ۱۶ mg/L		آب	
عدسک آبی	۰/۱ـ ۱۰ mg/L			
خردل هندی(Brassica juncea)	نامشخص			کادمیم
بعضی آزمایشات نشان داد که Cr(II) می‌تواند توسط ریشهٔ B. juncea به Cr(III) تبدیل شود.		تثبیت گیاهی		
ماکروفیت‌های آبزی: Bacopa monnier, Scripus lacustrips, Phragmites karka	۲۱۴mg/Kg	استخراج گیاهی	لجن	
حداکثر تجمع کروم در Phragmities karka (۶/۸ mg/Kg وزن خشک) در طی ۱۲ هفته بود.				
خردل هندی	۴ mg/L Cr(VI)	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	کروم
عدسک آبی	۰/۱ـ ۱۰ mg/L Cr (VI)			
اگر چه گیاهان بیش از حد تجمع کننده Co و Cu وجود دارد، ولی تاکنون استخراج گیاهی کبالت و مس مشخص نشده است.				
اگر چه گیاهان بیش از حد تجمع کننده Co و Cu وجود دارند، اما تاکنون استخراج گیاهی Co و Cu مشخص نشده است.				
گراس‌های چند ساله از قبیل Agrostis tenuis، Festuca rubra و Agrostis tenuis cv. Parys از لحاظ تجاری در دسترس می‌باشد.	ppm ۲۵ تا ۱۵۴۰۰	تثبیت گیاهی		
گیاهان متحمل به فلزات در جمعیت گراس‌ها با رشد مطلوب، بطوری که مواد غذایی تامین شده باشد.				
خردل هندی	۶ mg/L Cr(II)	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	
Myriophyllum spicatum	۱ـ ۱۶ mg/L			
عدسک آبی	۰/۱ـ ۱۰ mg/L			
خردل هندی	در عمق ۰cm – ۱۵، ۴۰ درصد از مناطق بیش از ۴۰۰mg/Kg؛ ۷ درصد مناطق بیش از ۱۰۰mg/Kg	استخراج ریشه‌ای	خاک	سرب
واریته‌های Brassica juncea	۶۲۵ میکروگرم بر گرم (وزن خشک) در خاک شنی			
گیاهچه‌های Brassica juncea	۶۲۵ mg/Kg	تثبیت گیاهی		
خردل هندی	۲ ـ ۵۰۰ mg/L در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	سرب
خردل هندی	۹/۶ تا ۰/۰۹۶ میکرو متر (۲۰ تا ۲۰۰۰ میکروگرم در لیتر) در محلول هیدروپونیک			
Myriophyllum spicatum	۱ـ ۱۶ mg/L			
گیاهان اراضی پست	۱ mg/L در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	منگنز
گیاه Polygonum hydropiperoides L. موثرترین گیاه آزمایش شده می‌باشد و می‌تواند g/ h ۳۰۶ منگنز را در هر روز از آب خارج کند.				
گیاهان اراضی پست	۱ mg/L در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	جیوه

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۱

گیاه	غلظت	فرآیند	محیط	موادآلاینده
	نتایج			
گیاه .Polygonum hydropiperoides L موثرترین گیاه آزمایش شده می‌باشد و می‌تواند g/ h ۷۱ جیوه را در هر روز از آب خارج کند.				
۵۳ میکرو متر Hg (II) در محلول هیدروپونیک	تبخیر گیاهی	خاک و آبهای زیر زمینی		
در طول هفت روز گیاه توتون Hg (II) موجود در محلول را از ۵ به ۱/۲۵ میکرومتر به وسیلهٔ احیاء آن به جیوهٔ فلزی کاهش داد.				
۱۴ـ ۳۳۳۳mg/Kg	استخراج گیاهی	خاک	نیکل	
تخمین زده می‌شود که گیاهان می‌توانند g/ h ۱۱۰ Kg نیکل را از خاک استخراج نمایند. گیاهان در خاک‌هایی که دارای ۱۰۰۰۰mg/Kg نیکل هستند، نمی‌توانند رشد کنند.				
غلظت‌های نامشخص در رگه‌های معدنی	تثبیت گیاهی			
۱ mg/L در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب		
گیاه .Polygonum hydropiperoides L موثرترین گیاه آزمایش شده می‌باشد و می‌تواند g/ h ۱۰۸ نیکل را در هر روز جمع‌آوری کند.				
کلزا زمستانه (.Brassica napus L)، گندم زمستانه، ذرت، کلم و تره فرنگی	۰/۳۲۱ mg/Kg تا ۱۸	استخراج گیاهی	خاک	تالیوم
هفت گونه از گیاهان جمع کنندهٔ بیش از حد فلزات	۴۴۴ mg/Kg ـ ۱۲۴ روی	استخراج گیاهی	خاک	روی
گیاهان Thlaspi caerulescens و Cardaminopsis halleri به میزان زیادی روی (بطور متوسط ۱۷/۶ mg/Kg ـ ۴/۶) را در خود جمع می‌نمایند.				
علف‌های بومی، گراس‌های اهلی، علف‌های هرز لگوم	۴۳۷۵۰ mg/Kg در بقایای مواد معدنی	تثبیت گیاهی		
میکوریزا و مواد اصلاح کنندهٔ آلی خاک رشد گیاه را افزایش می‌دهد.				
Brassica juncea	۱۰۰ mg/L در محلول هیدروپونیک	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	
بیش از ۱۳۰۰۰ میکرو گرم بر گرم روی مقداری روی نیز به قسمت هوایی گیاه منتقل شد .	بعد از ۲۴ ساعت در ریشه‌ها جمع شد.			

جدول ۲ – انباشت گیاهی متالوئیدها، غیر فلزات و مواد رادیواکتیو (Pivetz, 2001).

گیاه	غلظت	فرآیند	محیط	موادآلاینده
	نتایج			
گیاهان آبزی Ceratophllum demersum, Egeria densa, و Lagarosiphon major	بیش از ۰/۰۵ میکروگرم بر میلی گرم	استخراج گیاهی تصفیهٔ ریشه‌ای	آب‌های سطحی	آرسنیک
غلظت آرسنیک در این گیاهان تا ۱۲۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. در Ceratophllum demersum، غلظت آرسنیک حدود ۱۰۰۰ برابر غلظت آن در آب بود. استفادهٔ از این گیاهان برای کاهش غلظت آرسنیک در آب پیشنهاد می‌شود.				
Cynodon dactylon، Pinicium sativum و Amaranthus hybridus	نامشخص	استخراج گیاهی تثبیت گیاهی	خاک	
برگ‌های گیاه Lambsquarters به‌طور نسبی غلظت آرسنیک بیشتری (mg/Kg ۱۴) نسبت به دیگر گیاهان یا برگ‌های درخت تبریزی (mg/Kg ۸) دارا می‌باشد.				

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۲

گیاه	غلظت / نتایج	فرآیند	محیط	موادآلاینده
هیبریدهای درخت تبریزی	۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر حداکثر میزان سلنیم mg/Kg ۹/۱ مادهٔ خشک در تیمار ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر بود. اما میزان سلنیم از mg/Kg ۱ مادهٔ خشک در تیمارهای۱۰۰ میکروگرم بر لیتر تجاوز نکرد. درخت تبریزی سلنیم را بیشتر از گونه‌های دیگر درختان در خود جمع کرد، اما تجمع خالص سلنیم حداقل بود.	استخراج گیاهی	آب‌های زیرزمینی (آبهای زهکشی آبیاری	سلنیوم
Duck weed, Water hyacinth	۰/۱ـ ۱۰ mg/L	تصفیهٔ ریشه‌ای	آب	
کل‌زا (Brassica napus cv. Westar.)، کنف (Hibiscus cacannabinus L. cv. Indian), tall fescue (Festuca arundinacea Schreb cv. Alta)	۴۰ mg/Kg کل‌زا میزان سلنیم خاک را حدود ۴۷ درصد، کنف ۲۳ درصد، فستوک پابلند حدود ۲۱ درصد کاهش داد.	استخراج گیاهی تثبیت گیاهی	خاک	
خردل هندی (Brassica juncea Czern L.) فستوک پابلند (Fectuca arundinacea Schreb L.)، لوتوس (Lotus corniculatus L.)، کنف (Hibiscus cannabinus L.)	mg ۱۰ بر قابل استخراج از آب/ لیتر غلظت متوسط بر در اندام های هوایی لوتوس mg B/Kg ۱۲۲ مادهٔ خشک تا mg B/Kg ۸۷۹ مادهٔ خشک در برگ‌ها بود. در طی دو سال؛ هر گونهٔ گیاهی غلظت بر قابل استخراج در خاک را حداقل ۲۵ درصد کاهش داد.	استخراج گیاهی	آب (محلول بر خاک)	

جدول ۳- انباشت گیاهی هیدروکربن‌های نفتی، حلال‌های کلره، آفت‌کش‌ها، مهمات و مواد دیگر(جدول ۳). (Pivetz, 2001).

گیاه	غلظت / نتایج	فرآیند	محیط	موادآلاینده
Stenotaphrum secundom L. چاودار، تناوب چاودار ـ سویا، سورگم ـ سودان گراس	۸۲۰۰ mg/Kg تا ۱۶۰۰۰	تجزیهٔ ریشه‌ای	خاک	نفت خام
فستوک پابلند، برمودا گراس، علف چچم، شبدر سفید	۳۰۰۰mg/Kg	تجزیهٔ ریشه‌ای	خاک	گازوئیل
هشت نوع از علف‌های هرز مراتع	۱۰mg/Kg Chrysene ، benz (a) anthracene, benzo (a) pyrene, و dibenz (a, h) anthracene	تجزیهٔ ریشه‌ای	خاک	PAHS
چچم	۲۹۸ ±۱۶۹ mg/Kg			
فستوک پابلند، سودان گراس، switchgrass (Panicum virgatum L.) و یونجه (Medicago sativa L.)	۱۰۰ mg/Kg			
حلال‌های کلره				
درختان هیبرید تبریزی (Populus trichocarpa * P. deltoides)	بطور متوسط ۰/۳۸ mM (۵۰ mg/L) در فصل اول و ۰/۱۱ mM (۱۴/۵ mg/L) در فصل دوم	تجزیهٔ گیاهی تبخیر گیاهی	آب‌های زیرزمینی	TCE

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۳

گیاه	غلظت	فرآیند	محیط	موادآلاینده
	نتایج			
لس پذیرا (Lespedeza cuneata)، Solidago sp. , Pinus taeda L و سویا	نامشخص	تجزیهٔ ریشه‌ای تجزیهٔ گیاهی	خاک	
Phalaris arundinacea, Scirpus cyperinus Myriophyllu aquaticum	۴۴۴۰ ppb ـ TNT۱۲۵۰ و ۳۲۵۰ ـ ۹۲۰۰ ppb کل ترکیبات نیتراته	تجزیهٔ گیاهی	آب	TNT
Bromus erectus Huds. Anthoxanthum odoratum , Lolium prenne L.	۴۱ mg/Kg	تجزیهٔ ریشه‌ای	خاک	
Phalaris arundinacea, Scirpus cyperinus Myriophyllu aquaticum	۴۴۴۰ ppb ـ TNT۱۲۵۰ و ۳۲۵۰ ـ ۹۲۰۰ ppb کل ترکیبات نیتراته (TNT, RDX, HMX,TNB, 2A _ DNT, 4A _ DNT)	تجزیهٔ گیاهی	آب	ROX
(Phaseolus vulgaris, var. tendergreen)	۱۰ ppm	استخراج گیاهی تجزیهٔ گیاهی	محلول هیدروپونیک	
ذرت، گوجه فرنگی	۱ میکروگرم بر میلی لیتر	استخراج گیاهی تجزیهٔ گیاهی	خاک آبیاری شده با آب آلوده	
کشت سلولی چغندر قند	۱/۸ mM (۴۱۰ mg/L)	تجزیهٔ گیاهی	آب	نیترو گلیسرین
هیبرید تبریزی (Populus trichocarpa * nigra DN34, Imperial Carolina)	۶۰/۴ میکروگرم بر کیلوگرم	تجزیهٔ گیاهی	خاک	آترازین
Kochia sp.	۰/۵ میکروگرم بر گرم آترازین در خاک‌های آلوده	تجزیهٔ ریشه‌ای		
هیبرید تبریزی (Populus trichocarpa * nigra DN34, Imperial Carolina)	نا مشخص،۴۸/۳ میکروگرم آترازین در کمتر از ۲۷۰ mL محلول در راکتور هیدروپونیک استفاده شده بود.	تجزیهٔ گیاهی	آب زیرزمینی و آب خاک (محلول هیدروپونیک	
Ceratophyllum demersum ,Elodea Canadensis , و عدسک آبی	۲۰۰ mg/L	تجزیهٔ گیاهی	آب سطحی	
نیشکر	در خاک غیر آلوده استفاده شده بود.	تجزیهٔ ریشه‌ای	خاک	تو فور دی MTBE
کشت سلولی درختان تبریزی هیبرید و اکالیپتوس	نامشخص	تجزیهٔ گیاهی تبخیر گیاهی	آب‌های زیرزمینی	

Archive of SID

منابع و مآخذ:

1. Adler, T. 1996. Botanical cleanup crews. Sci. News. 150:42-43.
2. Brooks, R.R. 1998b. Phytochemistry of hyperaccumulators. In R.R. Brooks (ed.), Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals. CAB International, New York, NY, pp. 15-53.
3. Cunningham, S.D., J.R. Shann, D.E. Crowley, and T.A. Anderson. 1997. Phytoremediation of contaminated water and soil. In E.L. Kruger, T.A. Anderson, and J.R. Coats (eds.), Phytoremediation of Soil and Water Contaminants, ACS Symposium Series No. 664. American Chemical Society, Washington, DC.

www.SID.ir

4. Davies, F. T., Puryear. J. D. ,Newton R. J. Egilla, J. N. and Saraiva Grossi1 J. A. 2002. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: Influence on tissue mineral concentratinon, grogth and gas exchange. Journal of Plant Nutrition. Vol. 25, No. 11, pp. 2389–2407.
5. Doty, S. L., T. Q. Shang, A. M. Wilson, J. Tangen, A. D. Westergreen, L. A. Newman, S. E. Strand, and M. P. Gordon. 2000. Enhanced metabolism of halogenated hydrocarbons in transgenic plants containing mammalian cytochrome P450 2E1. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 97(12):6287-6291.
6. Dushenkov, V., P.B.A. Nanda Kumar, H. Motto, and I. Raskin. 1995. Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. Environ. Sci. Technol. 29:1239-1245.
7. E.P.A. 2000. Phytoremediation. EPA/600/R-99/107. Office of Research and Development, Washington, DC. February 2000.
8. Hannigan,M.2002.EnvironmentalToxicology.http://www.cluin.org/download/remed/ introphyto.pdf.
9. Hinchman, R., N. Cristiana Negri and Edward G. Gatliff. 2002. Using green plants to clean up contaminated soil, ground water and waste water. Agronne National Laboratory and Applied Natural Scinces, Inc.
10. Khan A. G. ,Kuek C. ,Chaudhry T. M. , et al. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metals contaminated land remediation. Chemosphere. 41: 197-207.
11. Lin, Q., and I.A. Mendelssohn. 1998. The combined effects of phytoremediation and iostimulation in enhancing habitat restoration and oil degradation of petroleum contaminated wetlands. Ecol. Eng. 10(3):263-274.
12. INEEL. 2000. Proceedings from the Workshop on Phytoremediation of Inorganic Contaminants. November 30 - December 2, 1999, Argonne National Laboratory, Chicago, IL. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, U.S. Department of Energy. INEEL/EXT-2000-00207. Available at http://www.envnet.org/scfa/conferences/phyto2-00.pdf
13. McGrath, S. P., S. J. Dunham and R.L. Correll. 2000. Potential for Phytoextraction of Zinc and Cadmium from Soils Using Hyperaccumulator Plants. In N. Terry and G. Baŭelos
14. Meagher, R.B. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. Curr. Opin. Plant Biol. 3(2):153-162.
15. Meagher, R.B., C. L. Rugh, M. K. Kandasamy, G. Gragson, and N.J. Wang. 2000. Engineered Phytoremediation of Mercury Pollution in Soil and Water Using Bacterial Genes. In N. Terry and G. Baŭelos (eds.). Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. pp. 201-219.
16. Olson, P.E., and J.S. Fletcher. 2000. Ecological recovery of vegetation at a former industrial sludge basin and its implications to phytoremediation. Environ. Sci. Pollut. Res. 7:1-10
17. Pivetz B. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. Ground Water Issue. United States Environmental Protection Agency.
18. Rau, David M., P.E. Dee and P.E. Scott Rutherford, 2001. In situ Bioremediation of soil and ground water. Paragon consulting group,Inc. fort collin, colorado, USA.
19. Ryan, J.A., R.M. Bell, J. M. Davidson, and G.A. O'Connor. 1988. Terry, N., and G. Baŭelos (eds.). 2000. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 389 pp.
20. Salt, D.E., M. Blaylock, P.B.A. Nanda Kumar, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. Chet, and I. Raskin. 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnol. 13:468-474.
21. Siciliano, S. D., and C.W. Greer. 2000. Plant-bacterial combinations to phytoremediate soil contaminated with high concentrations of 2,4,6-trinitrotoluene. J. Environ. Qual. 29(1):311-316. phytoremediation. Nat. Biotechnol. 16(10):925-928
22. Suresh, B. and G. A. Ravishankar. 2004 . Phytoremediation—A Novel and promising Approach for Environmental Clean-up. Critical Reviews in Biotechnology, 24(2–3):97–124.

Archive of SID

www.SID.ir

23. Terry, N., and G. Bañuelos (eds.). 2000. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 389 pp.
24. Tonin, C., Vandenkoornhuyse, P., Joner, E. J., Straczek, J. and Leyval, C. 2001. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of Viola calaminaria and effect of these fungi on heavy metal uptake by clover. Mycorrhiza, 10, 161–168.
25. U.S.E.P.A. 2000. Introduction to Phytoremediation. EPA/600/R-99/107. Office of Research and Development, Washington, DC. February 2000.

Archive of SID

www.SID.ir

JOURNAL OF
AGRICULTURAL
SCIENCES
Islamic Azad University

Cleaning up of Contaminated Soil, Ground Water and Air by Plants

M.Rezvani
Scientific member, Islamic Azad. Univ., Ghaem-Shahr Branch,Iran.
Gh.Noor-Mohammadi
Prof. , Islamic Azad. Univ., Scientific & Research Branch, Tehran,Iran.
F.Zafarian
Ph.D. Student in Agronomy,Tarbiat Modarred Univ. Tehran,Iran.

Abstract:
Cleaning up of contaminations from soil, water and air by plants named phytoremediation. This new technology and science can apply for remediation of polluted ecosystems by heavey metals, metalloids, radionuclides, herbicides, petroleum hydrocarbons and chlorinated solvents. Different plants that able to uptake cotaminants are often in the family of Poaceae, Fabaceae, Brassicaceae, Asteraceae and amaranthaceae. Phytoremediation have different various such as: phytoextraction, phytostabilization, phytofilteration, rhizodegridation and so on. Plants that are use to phytoremediation should be adapted to climate and soil condition, and have high ability of biomass production and root growth. In Addition to, they should be able to high uptake of contaminations. To clean up and remediation contaminants, we can use simultaneously or sequentially of some process of phytoremediation. Thus, phytoremediation can apply for development and remediation ground water, surface water, waste water, soil and air. Phytoremediation is 1000-fold cheaper than other technologies. This technology is ecofriendly and environmentally friendly. Also, established vegetation cause conservation and development of soil properties. In designing of phytoremediation project, should consider factors such as: application native plants, to be suitable growth condition for plants, possibility of use from non-native plants and so on.

Keywords; Phytoremediation, Process of phytoremediation, Clean up, Contaminants.

Archive of SID

www.SID.ir