• گیاه‌پالایی (Phytoremediation) و سلامت محیط

مهتاب بلادی | دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزادی اسلامی، واحد کرج

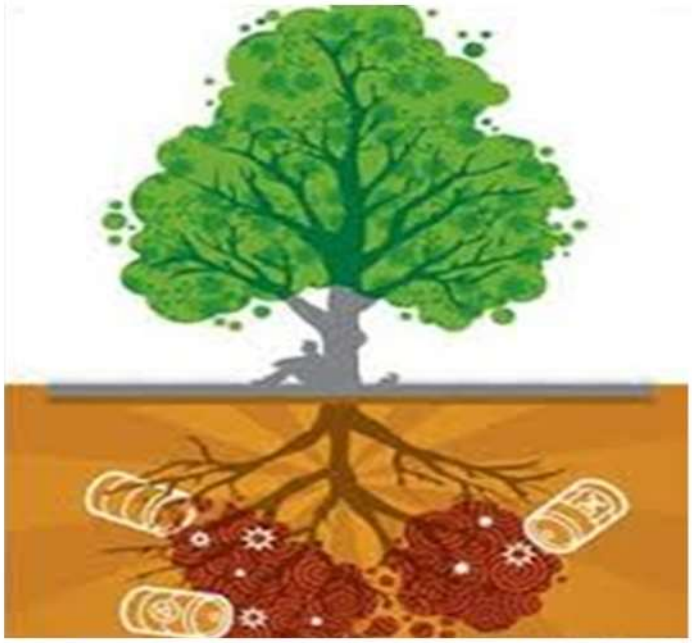
چکیده

در چند دهه اخیر، خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع زیستی و طبیعی، در اثر بی‌توجهی و انتشار آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های صنعتی مانند فلزات سنگین، دچار آلودگی شده‌است. گیاه‌پالایی یا زیست‌پالایی روشی جدید، ساده، ارزان و مقرون به‌صرفه است که از برخی گیاهان برای جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها استفاده می‌شود. در گیاه‌پالایی شناسایی گونه‌های مقاوم گیاهی که قادر به زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا، در مقاله حاضر تعاریف، مفاهیم و روش‌های گیاه‌پالایی بررسی شد.

کلمات کلیدی: استخراج، آلاینده، تثبیت گیاهی، زیست‌پالایی، فلزات سنگین.

مقدمه

فلزات سنگین عناصری تجزیه‌ناپذیر، با وزن اتمی بیش از ۵۰ و حجم بیش از شش گرم بر سانتی‌متر مکعب، از جمله آلاینده های منابع آبی و خاکی هستند که سلامت بشر را تهدید می‌کنند. استفاده از روش‌هایی جدید، ساده، ارزان و مقرون به‌صرفه، همچون گیاه‌پالایی جهت کنترل و حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی، خاکی و هوا امری ضروری است. برخی از گونه‌های زراعی یا گیاهان خشکی‌زی قادر هستند که با کلاته کردن این عناصر در برخی از اندام‌های غیرهدف، مثل: واکوئل، غلظت این فلزات را در خاک کاهش دهند. گیاهان می‌توانند از طریق ترشح آنزیم‌های مختلف، پروتئین‌های تنشی و سنتز فیتوکلاتین‌ها، در مقابل مقادیر سمی فلزات، مقاومت نمایند. همچنین تجمع مقادیر سمی فلزات، روی فرآیندهای مهمی مانند: انتقال آب، فتوسنتز و مقدار کلروفیل گیاهان اثر منفی گذاشته و سبب تأخیر رشد، کاهش زیست توده گیاهی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، از دست رفتن یکنواختی غشاء و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های حاوی گروه سولفیدریل می‌شوند. گیاهان جهت مقابله با آسیب‌های اکسیدی که ناشی از عملکرد فلزات سنگین، است، سیستم‌های حفاظتی دارند که از آنزیم ها و مواد آنتی اکسیدانی تشکیل شده‌اند. درگیاه‌پالایی انتخاب نوع گونه گیاهی از اهمیت خاصی برخوردار است، بنابراین شناسایی و طبقه‌بندی گیاهان، بر اساس توانایی‌های آن‌ها در جذب، کاهش و یا حذف آلاینده‌ها به‌صورت انتخابی و مکانیسم عمل آن‌ها امری ضروری است.



شکل ۱- جذب فلزات سنگین در اندام‌های غیر هدف مانند واکوئل

گیاه‌پالایی(Phytoremediation) چیست؟

ریشه کلمه گیاه‌پالایی از واژه یونانی Phyto (toγ) به‌معنی گیاه و واژه لاتین remedum معادل تعادل ترمیم، بازسازی یا مداوا می‌باشد. گیاه‌پالایی یا زیست‌پالایی روشی جدید، ساده، ارزان و مقرون به‌صرفه است که از برخی گیاهان برای تجزیه و یا کاهش غلظت آلاینده‌های خاک استفاده می‌شود. در گیاه‌پالایی شناسایی گونه‌های مقاوم گیاهی که قادر به جذب، حذف و یا کاهش غلظت فلزات سنگین خاک هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است.

تاریخچه پالایش گیاهی

در سال ۱۸۸۵ میلادی، پژوهشگری گیاه‌شناس که در نزدیکی مرز آلمان و بلژیک کار می‌کرد، پی برد که برگ برخی گونه‌های گیاهی به‌طور طبیعی در خاک‌های سرشار از روی (Zn)، رشد می‌کنند. بنفشه و خردل که به‌ترتیب حدود یک و ۱/۷ درصد روی در ماده خشک برگ خود دارند، از این گونه هستند. این مقدار حدود دو برابر بیشتر از غلظت روی در ماده خشک برگ گیاهانی است که در خاک‌های غیر سرشار از روی می‌رویند. به نظر می‌رسد استخراج گیاهی توسط کانی (۱۹۸۳)، به‌عنوان تکنولوژی جدید، برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات معرفی گردید و مورد توجه محققین زیادی قرار گرفت.

مزایای گیاه‌پالایی

- بهبود کیفیت و استحکام خاک از طریق افزودن مواد آلی، عناصر غذایی و اکسیژن توسط گیاهان و از طریق فرآیندهای متابولیک میکروبی و رشد ریشه
- روشی ساده و مقرون به صرفه
- امکان بازیافت و استفاده مجدد از فلزات ارزشمند توسط شرکت‌های متخصص در استخراج گیاهی
- عدم وجود مخاطرات زیست‌محیطی
- مقبولیت و پذیرش آسان توسط عموم کشاورزان
- قابلیت اجرا در هر منطقه جغرافیایی و مساحتی

معایب گیاه‌پالایی

- گیاه‌پالایی به ناحیه سطحی و عمق اشغال شده توسط ریشه‌ها محدود می‌شود (سرعت کم استخراج، متابولیسم ناکافی و افزایش بالقوه قابلیت دسترسی زیستی به آلاینده‌های سمی).
- در بعضی گیاهان، رشد و تولید زیست توده گیاهان کاهش می یابد و با تجمع متابولیت‌های سمی در داخل بافت‌های گیاهی، به خاک یا اتمسفر برگشت داده می‌شود.
- در سیستم‌های پالایش بر پایه گیاه، امکان ممانعت از آبشویی آلاینده‌ها به داخل آب‌های زیرزمینی، بدون از بین رفتن کامل آلاینده از زمین آلوده امکان پذیر نمی‌باشد، لذا ممکن است باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی شود.
- قابلیت تحمل برخی از گیاهان در مقادیر بالا وسمی فلزات سنگین کم است.
- احیاء و یا اصلاح زیستی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و مواد آلی مشکل می‌باشد، زیرا فلزات سنگین در فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده مواد آلی، به‌عنوان یک مانع عمل می‌کنند.

ویژگی گیاهان در گیاه‌پالایی

- تحمل سطوح بالای فلزات سنگین در محیط رشد
- انباشته کردن سطوح بالای فلز به‌صورتی که قابل برداشت باشد
- قابلیت رشد سریع و زیست توده بالا

گیاهان با ویژگی های خاص خود در امر پالایش رفتارهای متفاوتی دارند که بر این اساس به سه دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند که ساز و کار هر کدام نیز متفاوت است.

۱- گونه‌هایی که از ورود فلزات به بخش‌های هوایی خود جلوگیری کرده و یا غلظت فلزات را در خاک پایین نگه می دارند.

۲- گونه‌هایی که فلزات را در اندام های هوایی خود تجمع داده و دوباره به خاک بر می‌گردانند.

۳- گیاهانی که می‌توانند فلزات را در اندام های هوایی خود تغلیظ کرده، به‌طوری‌که چندین برابر غلظت فلز در خاک شود و گیاهانی که غلظت بالایی از آلاینده‌ها را جذب کرده و در ریشه، ساقه و یا برگ‌ها تغلیظ می‌کنند.

ساز و کار جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاه‌پالایی

در روش گیاه‌پالایی گیاهان بر اساس مکانیسم جذب طبقه‌بندی و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می‌شوند.

روش بیولوژیکی: ایجاد برهمکنش بین گیاهان با موجودات مختلف، سبب تشدید تجزیه یا تبدیل آلاینده‌های خاص در منطقه ریشه گیاه می‌شود. بدین ترتیب، محصولاتی تولید می‌شود که برای محیط خطرناک نیست.

تبخیر گیاهی: گیاهان آلاینده‌ها را از خاک جذب و سپس به بخار تبدیل کرده و با عمل تعرق به اتمسفر انتقال می‌دهند. این روش در درختان در حال رشد برای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی کاربرد دارد.

کاهش گیاهی: گیاه با متابولیسم خود از طریق انتقال، تجزیه، تثبیت و تصعید ترکیبات آلاینده، باعث کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیر زمینی می شود. در این روش ترکیبات آلی به مولکول‌های ساده‌تر شکسته شده که می تواند به درون بافت گیاه وارد شوند.

انواع فرآیندهای گیاه‌پالایی بر اساس مکانیسم عمل

استخراج گیاهی (Phytoextraction): جذب و تمرکز مواد از محیط و انتقال و تجمع آن‌ها در زیست توده هوایی گیاهان.

تثبیت گیاهی(Phytostabilization): استفاده از گیاهان جهت کاهش تحرک فلز در خاک‌های آلوده، از طریق تجمع آن‌ها در ریشه‌ها یا رسوب آن ها در منطقه توسعه ریشه.

تبخیر گیاهی(Phytovolatilization): استفاده از گیاهان جهت تبدیل فلزات خاک به نوع شیمیایی فرار و یا خارج نمودن مواد از خاک یا آب، با آزادسازی آن‌ها به داخل هوا و تبدیل به مواد فرارتر و یا موادی با آلودگی کمتر.

تغییر شکل گیاهی(Phytotransformation): تغییر شیمیایی مواد محیطی، به‌عنوان نتیجه مستقیم متابولیسم گیاهی که اغلب منجر به غیرفعال شدن، کاهش (تنزل گیاهی)، یا غیرمتحرک شدن (تثبیت گیاهی) آن‌ها می‌شود.

تحریک گیاهی (Phytostimulation) یا تخریب محدوده ریشه‌ای: افزایش فعالیت میکروبی خاک، جهت تخریب آلاینده‌ها که معمولاً توسط موجوداتی انجام می‌شود که با ریشه‌ها در ارتباط هستند.

نفوذ ریشه ای(Rizofiltration): نفوذ آب از طریق ریشه‌ها، جهت خارج نمودن مواد سمی و غذایی اضافی که به‌صورت جذب شده در داخل و یا روی ریشه‌ها باقی می‌مانند.

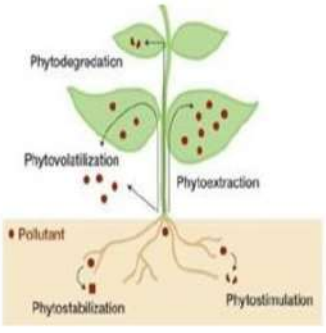
فوق‌انباشت‌گر: گونه‌هایی که قادر به تجمع غلظت‌های بیش از هزار میلی‌گرم در کیلوگرم از فلزات سنگین، در بافت‌های گیاهی هستند. واژه فوق‌انباشت‌گر نخستین بار توسط جفری و همکاران (۱۹۷۶)، و سپس توسط بروکس و همکاران (۱۹۷۷)، بررسی شد. مطالعات این محققان پیرامون غلظت نیکل در گونه های *Hybanthus* و *Homalium*در نقاط مختلف دنیا بود. بعدها بیکر و همکاران اعلام کردند که باید از معیار درصد فلز موجود در بافت خشک برگ، برای طبقه‌بندی گیاهان فوق‌انباشت‌گر استفاده نمود. به‌عنوان مثال: گیاهانی که حاوی بیش از ۰/۰۱ درصد کادمیوم یا بیشتر از ۰/۰۵ درصد کروم در بافت خشک برگ هستند، باید به‌عنوان فوق‌انباشت‌گر برای این عناصر در نظر گرفته شود. همچنین بیان کردند که غلظت فلزات سنگین در برگ‌های فوق‌انباشت‌گر، باید بیشتر از غلظت عناصر سنگین در برگ‌های گیاهان غیرانباشت‌گر در خاک‌های فلزی باشد.

گیاهان مورد مطالعه جهت گیاه‌پالایی

- **سرخس (*Pteris vitata*):** ذخیره‌سازی ۹۵درصد (تا ۲۳۰۰۰ میکروگرم در گرم)، آرسنیک جذب شده از خاک در جوانه‌ها.
- **گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum*):** ذخیره‌سازی ۴۲۰۰ میکروگرم در گرم سرب در جوانه‌ها.
- **کلزا و تربچه:** گیاهان فوق‌انباشت‌گر کادمیوم، نیکل و سرب.
- **گونه‌هایی از گیاهان بیابانی مثل:** *Prosopis spp , salsola kali*: گیاهان فوق‌انباشت‌گر کادمیوم و کروم.
- **گونه *Phacelia sericea*:** انباشت بیش از ۳۸۵۷ میلی گرم طلا در ریشه.
- **گیاهانی از خانواده‌های مختلف همچون :** آفتابگردان، بید اسفناج و میخک، علف‌های هرز و گیاهان زینتی مثل: اویار سلام، تاج خروس، شاهدانه، گل اختر، لوئی و سنبل آبی: استخراج و کاهش غلظت آلاینده‌ها و پالایش آن‌ها از محیط. به طور مثال: گیاه آفتابگردان (*Helianthus annus*)، قابلیت بالایی در جذب آلاینده‌هایی مانند: آرسنیک، سرب، روی، سدیم، فسفر، پتاسیم، کادمیوم، مس، منگنز و اورانیوم را دارد.
- **جو (*Hordeum vulgar*):** مقاوم به شوری (نسبتاً هالوفیت).
- **چغندرقند (*Beta vulgar*):** استخراج کلرید سدیم (نمک رایج).
- تنباکو، چاودار و ذرت: جذب سرب از فاضلاب.

تثبیت گیاهی (Phytostabilization)

مکانیسم تبخیر گیاهی در درختان

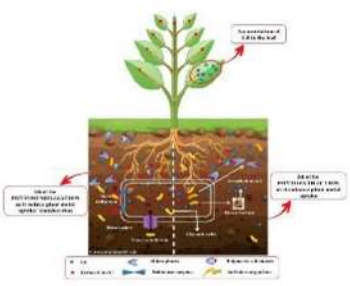


فرآیندهای مختلف گیاه‌پالایی

- **تنباکو، چاودار و ذرت:** جذب سرب از فاضلاب.
- **خردل هندی،** قدرت جذب کادمیوم بسیار بالا، سرب (۲۸درصد) و سلنیوم (۴۸ درصد).
- **گونه‌ی بید *Salix*:** پالایش مناطق آلوده به کادمیوم، نیکل، سرب و سوخت‌های دیزلی.
- **درخت سپیدار:** جذب کلر و پالایش مناطق آلوده به هیدروکربن‌های نفتی مثل: بنزن، تولوئن و اوزایلن.
- **چمن هندی:** پاکسازی بقایای گیاهی از مواد شیمیایی کشاورزی، مثل: آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های آترازین و متالوکلر.
- **صنوبر تبریزی یا صنوبر شرقی (*Populus deltoids*):** پالایش محیط از مشتقات نفتی مثل: بنزن و تولوئن.
- **علف هندی:** کاهش هیدروکربن‌ها.
- **سرخس چینی (*Pteris SPP*):** فوق‌انباشت‌گر آرسنیک از طریق ذخیره سازی در برگ‌ها.
- **گونه آلپی *Thlaspi caerulescenus*:** فوق‌انباشت‌گر فلزاتی مثل: روی و کادمیوم و در سطوحی است که برای بسیاری از گیاهان سمی می‌باشند.

گیاه فوق‌انباشت‌گر فلز سنگین کادمیوم و روی
(Thlaspi caerulescenus)

گیاهانی که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند و به‌عنوان گیاهان بیش انباشت و مقاوم مورد استفاده قرار می‌گیرند، دو نوع مکانیسم اجتناب یا تحمل را دارند. فرآیندهای مکانسیم‌های مقاومت و اجتناب شامل: اجتناب فیزیکی از مناطق آلوده، ترشح کمپلکس‌ها به ریشه که به تغییر اسیدیته و ترشح اسیدهای آلی منجر می‌شود، اتصال به دیواره سلولی، بیرون رانده شدن یون‌های فلزی از فضای درون سلولی، جلوگیری از انتقال صعودی یون‌های فلزات به اندام‌های هوایی گیاه، تشکیل ترکیباتی با ایجاد پیوندهای مختلف در درون سلول، انتقال ترکیب‌های پیوند یافته با فلز به درون واکوئل‌ها، ذخیره یون‌های فلزی در واکوئل و همراه با تشکیل ترکیبات ناشی از پیوندهای واکوئل و تشکیل آنزیم‌های ایجاد کننده مقاومت.



نتیجه‌گیری

ورود فلزهای سنگین به زنجیره غذایی انسان، تهدیدی برای سلامت بشر است. برخی گیاهان قادر به جذب و ذخیره‌سازی آلاینده‌ها در اندام‌های خود و یا در قسمت فوقانی خاک هستند که این آلاینده‌ها می توانند به‌منظور جداسازی، برداشت، حذف و یا سوزانده شده و یا به منظور استفاده های صنعتی بازیافت شوند. به طور کلی گیاه پالایی یک تکنولوژی سبز و دوست دار محیط زیست است بنابراین انتخاب دقیق ژنوتیپ، گونه و خانواده گیاهی مناسب، جهت سازگاری مطلوب با محیط و آلاینده خاص، فاکتوری حیاتی جهت موفقیت روش گیاه‌پالایی محسوب می شود و امری ضروری است.

منابع

Aken, B.V. 2008. Transgenic plants for phytoremediation: helping nature to clean up environmental pollution. Article in press. 609.

Brunet, J., Repellin, A.G., Varrault, N., Terrync, Y. 2008. Lead accumulation in the roots of grass pea (Lathyrus sativus): anovel plant for phytoremediation systems? Comptes Rendus Biologies. 331, 859-864

Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Aboudrar, W., ouhammou, A., Morel, J.L. 2006. Heavy metal contamination from mining sites in south Morocco: Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere. 63, 811- 817.

Gardea–Torresdey, J.L., Peraha–Videa, J.R., G.D.L, Rosa, Parsons., J.G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by x-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews. 24, 1979- 1810.

Gerhardt, K.E., Xiao–Dong, H., Gilck, B.R., Greenberg, B.M. 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. Plant Science.176: 20-30.

Kadukova, J., Kalogerakis, N. 2007. Lead accumulation from non-saline and saline environment by Tamarix smyrnesis Bunge. European Journal of soil biology. 43, 216-223.

Lin, C.J., Liu, L., Zhu, T., Sheng, L., Wang, D. 2009. Soil amendment application frequency contributes to Phytoextraction of Lead by Sunflower at different nutrient levels. Environmental and Experimental Botany. 65, 410-416.

Lopez, M.L., Peralta-Videa, J.R., Benitez, T., Gardea–Torresdey, J.L. 2005. Enhancement of lead uptake by alfafa (Medicago sativa) using EDTA and a plant growth promoter. Chemosphere. 61, 595-598.

Nascimento, C.W., Xing, B. 2006. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. Scientia Agricola. 63, 299-311.