استفاده از باکتری‌های مفید خاک در تکنیک گیاه‌پالایی چند فرایندی فلزات سنگین

پیمان عباس‌زاده دهجی
استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

چکیده

افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و همچنین سایر فعالیت‌های بشر باعث افزایش و اضافه کردن مقادیر زیادی از فلزات سنگین به خاک و آب شده که نتیجه این عمل تخریب محیط بوده است. فلزات سنگین مانند نیکل، مس، آرسنیک، سرب، کادمیوم، کبالت و روی از نگران کننده‌ترین فلزات سنگین در محیط زیست می‌باشند. به دلیل عدم تخریب‌پذیری زیستی و همچنین سمیت فلزات سنگین، این فلزات در محیط زیست تجمع پیدا کرده و با ورود به زنجیره غذایی باعث سمیت زنجیره غذایی می‌گردند. تکنیک‌های مختلف زیستی، شیمیایی و فیزیکی برای پاکسازی این فلزات از محیط زیست وجود دارد. زیست‌پالایی[1] (استفاده از اصلاح‌کننده‌های زیستی برای پاک‌سازی) فلزات سنگین به‌دلیل اقتصادی بودن، عدم اثرات سو بر محیط زیست و خصوصیات خاک از تکنیک‌های مورد توجه بشریت می‌باشد. استفاده از گیاه مناسب به‌منظور جذب، حذف و یا کاهش آلاینده از محیط زیست (گیاه‌پالایی[2]) یک از روش‌های زیستی قابل استفاده جهت اصلاح خاک و آب‌های آلوده به فلزات سنگین می‌باشد. کارایی گیاه‌پالایی به فاکتورهای مختلفی مانند زیست‌توده گیاهان، مقاومت گیاهان به فلزات سنگین و حلالیت و زیست فراهمی فلز در خاک و آب و بستگی دارد. به منظور افزایش کارایی گیاه‌پالایی می‌توان از فرایندهای مختلف جهت افزایش زیست‌توده گیاهان، مقاومت گیاهان به فلزات سنگین و حلالیت و زیست فراهمی فلز در خاک و آب استفاده کرده که به این تکنیک گیاه‌پالایی چند فرایندی گفته می‌شود. در این بررسی به نقش باکتری‌های مفید خاک‌زی در افزایش کارایی گیاه‌پالایی چند فرایندی[3] پرداخته خواهد شد.

واژه های کلیدی: آنزیم ACC-دآمیناز، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، زیست‌فراهمی

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌تواند ناشی از فعالیت‌های صنعتی، معدن‌کاری، استفاده بیش از حد از استفده از کودهای شیمیایی، کاربرد آفت‌کش‌ها و غیره باشد (Ma *et al.*, 2013). غلظت‌های بالای فلزات سنگین نه تنها فعالیت ریزموجودات خاک و گیاهان را کاهش می‌دهد، بلکه با ورود به زنجیره غذایی می‌تواند حیات انسان‌ها را به‌خطر بیندازد (Boyd, 2010). روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و شیمیایی برای اصلاح مناطق آلوده به فلزات سنگین وجود دارد. روش‌های فیزیکوشیمیایی شامل حفاری، دفن در زمین، تیمارهای حرارتی، آب‌شویی و احیا الکتریکی معمولا سریع هستند اما پرهزینه، دارای اثرات منفی بر خصوصیات خاک و عمدتا باعث آلودگی ثانویه می‌شوند (Ali *et al.*, 2013 Wuana and Okieimen 2011;). پیشنهاد شده که روش‌های فیزیکوشیمیایی فقط آلودگی را از فرمی به فرم دیگر تبدیل می‌کند و نمی‌تواند در نهایت آلودگی را اصلاح کند (Lambert *et al.*, 2000). در سال‌های اخیر به تکنیک زیستی پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین توجه خاصی شده است. در میان روش‌های زیستی تکنیک گیاه‌پالایی دارای زیادی در مقایسه با روش‌های مرسوم برای جذف یا اصلاح فلزات سنگین می‌باشد (Marques *et al.*, 2009).

زیست‌توده کم گیاهان، فراهمی کم فلزات سنگین در خاک و عدم رشد گیاهان بدلیل سمیت فلزات سنگین از عوامل کاهش دهنده کارایی گیاه‌پالایی می‌باشد (Ma *et al.*, 2011). گیاه‌پالایی چند فرایندی به منظور افزایش کارایی گیاه‌پالایی

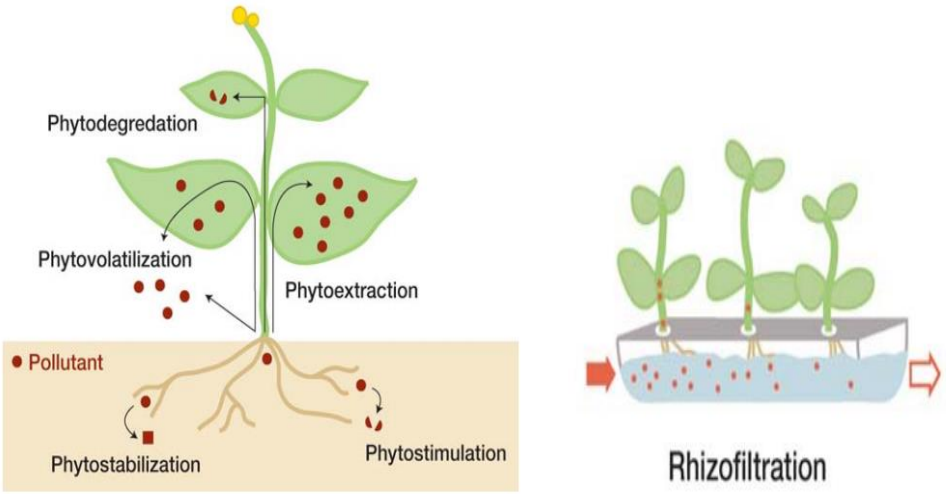
[1] Bioremediation
[2] Phytoremediation
[3] Multiprocess phytoremediation system (MPPS)

توصیه می‌شود. این تکنیک شامل روش‌های بیولوژیک، شیمیایی و مکانیکی در جهت افزایش رشد گیاه و استخراج فلز سنگین از خاک می‌باشد. یکی از روش‌هایی که در این تکنیک گیاه‌پالایی چند فرایندی استفاده می‌شود استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] می‌باشد (Huang *et al.*, 2005). این باکتری‌ها می‌توانند کارایی گیاه‌پالایی را با افزایش رشد گیاهان، افزایش فراهمی فلزات سنگین در خاک و به‌تبع آن جذب توسط گیاه و همچنین افزایش مقاومت گیاهان به فلزات سنگین افزایش دهند (DeBashan *et al.*, 2012).

گیاه‌پالایی چند فرایندی

گیاه‌پالایی روشی اقتصادی، مطمئن و فاقد اثرات مخرب است که با استفاده از بوته‌ها، درختان و گیاهان خاص به پاکسازی، غیرمتحرک کردن و در بعضی موارد تجزیه آلاینده منتهی می‌شود. در تکنیک گیاه‌پالایی از دو دسته گیاه استفاده می‌شود. الف: گیاهان سوپرجاذب[2] با توانایی جذب و تجمع بالا آلاینده و مقدار زیست‌توده پایین و ب: گیاهان جاذب با قدرت جذب و تجمع پایین ولی زیست‌توده و رشد زیاد (Arora *et al.*, 2016). به هر حال نوع گیاه بر اساس اقلیم منطقه، سیستم ریشه‌ای گیاه، میزان زیست‌توده، میزان جذب آلاینده و همچنین خصوصیات آلاینده انتخاب می‌شود (Chirakkara and Reddy, 2015). به‌طور کلی گیاه‌پالایی شامل شش فرایند می‌باشد که در شکل ۱ توضیح داده شده است. چهار فرایند گیاه‌تثبیتی (Phytostabilization)، گیاه‌استخراجی (Phytoextraction)، تصعیدگیاهی (Phytovolatilization) و فیلتر کردن ریشه‌ای (Rhizofiltration) از مهمترین فرایندها برای پالایش فلزات سنگین است (Laghlimi *et al.*, 2015).

هرچند گیاه‌پالایی دارای فوائد بسیاری می‌باشد، اما دارای محدودیت‌های متعددی نیز می‌باشد. این تکنیک به دلیل زیست‌توده کم گیاهان، فراهمی کم فلزات سنگین در خاک، جذب کم این فلزات توسط گیاهان، انتقال محدود این فلزات از ریشه به اندام هوایی و همچنین کاهش یا عدم رشد گیاهان به دلیل سمیت فلزات سنگین معمولا زمان‌بر است و چندین سال طول می‌کشد که پاک‌سازی انجام شود (Laghlimi *et al.*, 2015). به‌منظور کاهش زمان پالایش و همچنین افزایش کارایی گیاه‌پالایی می‌توان از تکنیک گیاه‌پالایی چند فرایندی استفاده کرد. در این تکنیک می‌توان از فرایندهای مختلف جهت افزایش زیست‌توده گیاهان، مقاومت گیاهان به فلزات سنگین و حلالیت و زیست‌فراهمی فلز در خاک و آب استفاده کرد. یکی از روش‌هایی که باعث افزایش کارایی گیاه‌پالایی می‌شود استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌باشد (Huang *et al.*, 2005).



شکل ۱: فرایندهای موجود در تکنیک گیاه‌پالایی

[1] Plant growth promoting rhizobacteria
[2] Hyperaccumulator

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مقاوم به فلزات سنگین

ریزوسفر به منطقه محدودی از خاک اطراف ریشه گفته می‌شود و باکتری‌های ریزوسفری به گروه باکتری‌هایی که در خاک ریزوسفر تحت تأثیر محیط اطراف ریشه قرار دارند اطلاق می‌شوند. برخی از باکتری‌های موجود در ناحیه ریزوسفر گیاه که از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم تأثیرات مثبتی بر روی رشد و توسعه گیاه می‌گذارند باکتری‌های محرک رشد گیاه نامیده می‌شوند. این باکتری‌های مفید را باکتری‌های افزایش دهنده محصول نیز می‌نامند. آن‌ها رشد گیاه را از طریق متحرک ساختن عناصر غذایی در خاک، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد متعدد، حفاظت از گیاهان در برابر پاتوژن‌های گیاهی با کنترل یا مهار آنها و بهبود ساختمان خاک بهبود می‌بخشند (Ahemad and Malik, 2011).

سطح بالای فلزات سنگین، منجر به اختلال در فعالیت متابولیک و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود. تعامل بین گیاهان و میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر می‌تواند باعث افزایش تولید زیست توده، افزایش تحمل گیاهان نسبت به فلزات سنگین شود و به‌تبع آن افزایش کارایی گیاه‌پالایی شود (Glick, 2003). محققین مختلفی نقش باکتری‌های محرک رشد گیاه را در افزایش زیست توده[1] و تحمل گیاهان به فلزات سنگین در محیط‌های تحت تنش فلزات سنگین گزارش کرده‌اند (Dell'Amico *et al.*, 2008).

در اکثر موارد کاربرد باکتری‌های محرک رشد در افزایش کارایی گیاه‌پالایی نقش موثری نداشته است. یکی از دلایل عمده این اتفاق عدم مقاومت این باکتری‌ها به غلظت‌های بالای فلزات سنگین و درنتیجه عدم کارایی و یا حذف این باکتری‌ها از محیط می‌باشد. جستجوی باکتری‌های محرک رشد مقاوم به فلزات سنگین جهت استفاده در تکنیک گیاه‌پالایی جهت افزایش کارایی این تکنیک یک امر ضروری است. پیشنهاد شده است که تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد مقاوم به فلزات سنگین می‌تواند نقش موثری در افزایش کارایی گیاه‌پالایی داشته باشد (Rajkumar *et al.*, 2012). این باکتری‌ها می‌توانند با سه مکانیسم اصلی باعث افزایش کارایی گیاه‌پالایی شوند.

الف: افزایش فراهمی فلزات سنگین به منظور جذب توسط گیاهان

ب: معمولا خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از نظر عناصر غذایی فقیر بوده و باکتری‌های محرک رشد می‌توانند با افزایش فراهمی عناصر غذایی باعث بهبود و تغذیه و رشد گیاهان و در نهایت افزایش کارایی گیاه‌پالایی شوند.

ج: این باکتری‌ها می‌توانند تنش ناشی از فلزات سنگین را در گیاهان کاهش دهند و باعث افزایش رشد گیاهان و کارایی گیاه‌پالایی شوند.

افزایش کارایی گیاه‌پالایی با افزایش زیست‌فراهمی فلزات سنگین

فاکتورهای مختلفی مانند عناصر غذایی در خاک، نوع گیاه، پ‌هاش خاک و تعامل فلور خاک با گیاه بر جذب فلز سنگین از خاک توسط گیاه تاثیر می‌گذارد اما زیست‌فراهمی فلز سنگین در خاک موثرترین پارامتر بر کارایی گیاه‌پالایی به‌خصوص گیاه‌استخراجی می‌باشد (Sessitsch *et al.*, 2013). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌توانند با تولید سیدروفور، کاهش پ‌هاش ریزوسفر با تولید اسیدهای آلی و تولید سایر عوامل کلات کننده نقش موثری در افزایش فراهمی فلزات سنگین در ریزوسفر داشته باشند (Ma *et al.*, 2011). کاربرد باکتری *P. aeruginosa* تولید کننده سیدروفور باعث آزادسازی Cr و Pb به درون محلول خاک و افزایش حلالیت و زیست فراهمی این دو عنصر گردید (Braud *et al.*, 2009). افزایش جذب کادمیوم توسط گیاه در اثر کاربرد محلول فیلتر شده از کشت باکتری‌های تولید کننده سیدروفور گزارش شده است. این محققین علت افزایش جذب را افزایش زیست‌فراهمی کادمیوم ناشی از تولید سیدروفور گزارش کرده‌اند (Dimkpa *et al.*, 2009).

بعضی باکتری‌های مفید خاکزی توانایی تولید ترکیباتی مانند اگزالیک اسید، سیتریک اسید و گلوکنیک اسید دارند که این ترکیبات نقش موثری در افزایش فراهمی فلزات سنگین دارند و زیست فراهمی آنها را برای گیاهان افزایش می‌دهند (Ullah *et al.*, 2015). پژوهشگران نقش گلوکنیک اسید تولید شده توسط باکتری *Gluconacetobacter diazotrophicus* در افزایش

[1] Biomass

حلالیت ترکیبات روی گزارش کردند (Saravanan *et al.*, 2007). سورفکتانت‌های زیستی ترشح شده توسط باکتری‌های محرک رشد نقش موثری در افزایش حلالیت فلزات سنگین در خاک دارند. این سورفکتانت‌های می‌توانند با فلزات سنگین در ماتریکس خاک کمپلکس تشکیل دهند و باعث افزایش فراهمی و حلالیت این فلزات و به‌تبع آن افزایش استخراج فلز از خاک و کارایی گیاه‌پالایی شوند (Rajkumar *et al.*, 2012).

افزایش کارایی گیاه‌پالایی با افزایش رشد، تغذیه و سلامت گیاه

استقرار سریع ریشه در خاک و به‌تبع آن جذب آب و مواد غذایی نقش موثری در رشد و توسعه گیاهان دارد. اکسین از جمله هورمون‌های موثر بر رشد ریشه می‌باشد که توسط برخی از باکتری‌های محرک رشد گیاه تولید می‌شود. این هورمون با افزایش رشد و سطح تماس ریشه با خاک می‌تواند نقش موثری در افزایش جذب فلزات سنگین از خاک داشته باشد (Yu *et al.*, 2014). همچنین تولید اکسین توسط باکتری‌های محرک رشد با توسعه ریشه نقش موثری در رشد و تغذیه گیاه دارد (Patten and Glick, 2002) و با افزایش رشد و زیست‌توده گیاه جذب فلز سنگین از خاک افزایش می‌یابد.

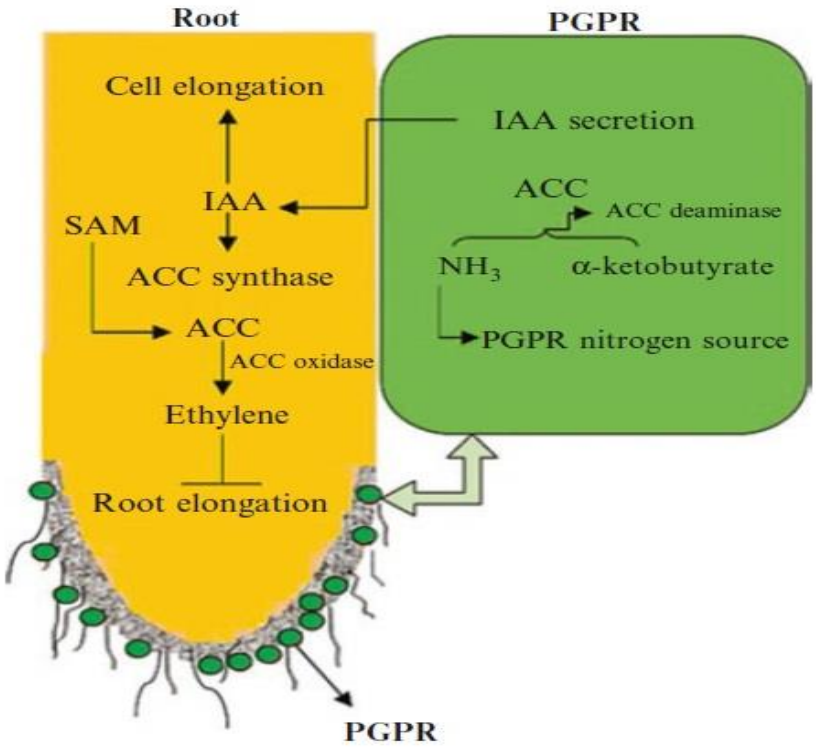
فراهمی آهن در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین معمولا کم بوده و این مقدار کم آهن باعث کاهش تولید کلروفیل، توسعه کلروپلاست و رشد گیاه می‌شود. با توجه به این شرایط، باکتری‌های تولید کننده مقادیر زیاد سیدروفور می‌توانند با کمپلکس کردن آهن نقش موثری در افزایش حلالیت و فراهمی آن برای گیاهان داشته باشند (Suthersan, 1999). تیمار گیاهان با باکتری‌های محرک رشد تولید کننده آهن جذب آهن و تولید کلروفیل در گیاهان را افزایش و باعث بهبود رشد گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین شدند (Kamran *et al.*, 2015). باکتری‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول می‌توانند با افزایش حلالیت ترکیبات فسفره رسوب یافته با فلزات سنگین نقش موثری در افزایش رشد گیاهان در شرایط تنش فلزات سنگین داشته باشند (Chen *et al.*, 2006).

بعضی از ریزموجودات خاک مانند باکتری‌های محرک رشد گیاه توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین سمی مانند کبالت، نقره، جیوه، سرب و غیره را درون خود دارند. این باکتری‌ها مانند سودوموناس و آزوسپریلوم می‌توانند با تجمع این فلزات درون خود نقش سمیت‌زدا داشته و باعث افزایش رشد گیاهان در این شرایط شوند (Rajkumar *et al.*, 2012). همچنین این باکتری‌ها می‌توانند با تولید متابولیت‌های ضد قارچی و باکتری باعث مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماریزا و افزایش رشد گیاه در شرایط تنش فلزات سنگین شوند (Pereira *et al.*, 2015).

افزایش کارایی گیاه‌پالایی با کاهش تنش ناشی از فلزات سنگین

تنش ناشی از فلزات سنگین باعث افزایش تجمع پرولین در گیاهان می‌شود. پرولین آزاد از طریق پایدار کردن تولید پروتئین، جلوگیری از تجزیه آنزیم‌ها، تنظیم پتانسیل اسمزی گیاهان و غیره باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش فلزات سنگین می‌شود (Kamran *et al.*, 2015). در شرایط تنش فلزات سنگین، تلقیح گیاهان با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد باعث افزایش تولید پرولین در گیاه و مقاومت گیاه در مقابل تنش شد (Janmohammadi *et al.*, 2013).

اتیلن از هورمون‌های ضروری برای رشد گیاهان است ولی مقادیر بیش از حد این هورمون مانع رشد گیاهان می‌شود. در شرایط تنش فلزات سنگین مقدار این هورمون در گیاه افزایش می‌یابد و افزایش این هورمون باعث کاهش رشد ریشه گیاهان و به‌تبع آن کاهش رشد گیاه می‌شود (Saleem *et al.*, 2007). برخی از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه قادرند با تولید آنزیم ACC-دآمیناز که قادر ماده ACC پیش‌ساز تولید اتیلن را به عنوان منبع نیتروژن مصرف کنند و از تولید مقادیر زیاد اتیلن در شرایط تنش جلوگیری کنند. این باکتری‌ها ACC را به آمونیوم و آلفاکتوبوتیریک اسید تبدیل کرده و از آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن استفاده می‌کنند (Glick *et al.*, 2007) (شکل ۲). گیاهان تنباکو تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا دارای آنزیم ACC-دآمیناز در خاک آلوده به فلز نیکل دارای رشد بهتر و تجمع فلز سنگین بیشتری بودند (Arshad *et al.*, 2007). پژوهشگران نشان دادند که تلقیح باکتری‌های محرک رشد تولید کننده آنزیم ACC-دآمیناز به بذرهای کلزا باعث افزایش جوانه‌زنی بذرها در خاک آلوده به کادمیوم شد (Amico *et al.*, 2005)



شکل ۲- نحوه عمل آنزیم ACC-دآمیناز و کاهش اتیلن تنشی

منابع

Ahemad M., Malik A. 2011. Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater. Bacteriology Journal, 2: 12–21.

Ali H., Khan E., Sajad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. Chemosphere 91:869–881.

Amico D., Cavalca L., and Andreoni V. 2005. Analysis of rhizobacterial communities in perennial Graminaceae from polluted water meadow soil, and screening of metal-resistant, potentially plant growth-promoting bacteria FEMS Microbiol. Ecol. 52:153-162.

Arora K., Sharma S., Monti A. 2016. Bio-remediation of Pb and Cd polluted soils by switch grass: A case study in India. Int J Phytoremediation 18(7):704–709.

Arshad M., Saleem M., Hussain S. 2007. Perspectives of bacterial ACC deaminase in phytoremediation. Tren Biotech 25(8):356–361.

Boyd R.S. 2010. Heavy metal pollutants and chemical ecology: exploring new frontiers. J Chem Ecol 36(1):46–58.

Braud A., Jezequel K., Bazot S., Lebeau T. 2009. Enhanced phytoextraction of an agricultural Cr-, Hg and Pb-contaminated soil by bioaugmentation with siderophore producing bacteria. Chemosphere 74:280–286.

Chen Y.P., Rekha P.D., Arunshen A.B., Lai W.A., Young C.C. 2006 Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Appl Soil Ecol 34:33–41.

Chirakkara R.A., Reddy K.R. 2015. Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. J Hazard Toxic Radioact Waste 19(4):1–10.

DeBashan L.E., Hernandez J.P., Bashan Y. 2012. The potential contribution of plant growth promoting bacteria to reduce environmental degradation. A comprehensive evaluation. Appl Soil Ecol 61:171–189.

Dell'Amico E., Cavalca L., Andreoni V. 2005 Analysis of rhizobacterial communities in perennial Graminaceae from polluted water meadow soil, and screening of metal-resistant, potentially plant growth-promoting bacteria. FEMS Microbiology Ecology, 52: 153–162.

Dimkpa C.O., Merten D., Svatos A., Büchel G., Kothe E. 2009. Siderophores mediate reduced and increased uptake of cadmium by *Streptomyces tendae* F4 and sunflower (*Helianthus annuus*), respectively. J Appl Microbiol 107:1687–1696.

Glick B.R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology, 21: 383–393.
Glick B.R., Cheng Z., Czarny J., Duan J. 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase producing soil bacteria. Eur J Plant Pathol 119(3):329–339.
Huang X.D., El-Alawi Y., Gurska J., Glick B.R., Greenberg B.M. 2005. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. Microchem J 81:139–147.
Janmohammadi M., Bihamta M., Ghasemzadeh F. 2013. Influence of rhizobacteria inoculation and lead stress on the physiological and biochemical attributes of wheat genotypes. Cercet Agron Moldova 46: 49–67.
Kamran M.A., Syed J.H., Eqani S.A.M.A.S,. Munis M.F.H., Chaudhary H.J. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria inoculation on cadmium (Cd) uptake by Eruca sativa. Environ Sci Pollut Res 22: 9275–9283.
Laghlimi M., Baghdad B., El Hadi H., Bouabdli A. 2015. Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: a review. Open J Ecol 5:375–388.
Lambert M., Leven B., Green R. 2000. New methods of cleaning up heavy metal in soils and water. Environmental science and technology briefs for citizens. Kansas State University, Manhattan
Ma Y., Prasad M.N.V., Rajkumar M., Freitas H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. Biotechnol Adv 29:248–258.
Ma Y., Rajkumar M., Luo Y., Freitas H. 2013. Phytoextraction of heavy metal polluted soils using Sedum plumbizincicola inoculated with metal mobilizing *Phyllobacterium myrsinacearumn* RC6b. Chemosphere 93:1383–1392.
Marques A.P.G.C., Rangel A.O.S.S., Castro P.M.L. 2009. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology. Crit Rev Environ Sci Technol 39:622–654.
Patten C.L., Glick B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole-acetic acid in development of the host plant root system. Appl Environ Microbiol l8:3795–3801.
Pereira S.I.A., Barbosa L., Castro P.M.L. 2015. Rhizobacteria isolated from a metal-polluted area enhance plant growth in zinc and cadmium-contaminated soil. Int J Environ Sci Technol 12: 2127–2142.
Rajkumar M., Sandhya S., Prasad M.N.V., Freitas H. 2012. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. Biotechnol Adv 30:1562–1574.
Saleem M., Arshad M., Hussain S., and Bhatti A. S.2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 34:635–648
Saravanan V.S., Madhaiyan M., Thangaraju M. 2007. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium Gluconacetobacter diazotrophicus. Chemosphere 66:1794–1798.
Sessitsch A., Kuffner M., Kidd P., Vangronsveld J., Wenzel W.W., Fallmann K., Puschenreiter M. 2013. The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils. Soil Biol Biochem 60:182–194.
Shahabinejad H. 2013. Assessing the residual effects of fire on water infiltration, soil erodibility and shear strength in Fereydan rangelands. MSC thesis for Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
Suthersan S.S. 1999. Phytoremediation: remediation engineering-design concepts. CRC Press LLC, Boca Raton
Ullah A., Mushtaq H., Ali H., Munis M.F.H., Javed M.T., Chaudhary H.J. 2015. Diazotrophs assisted phytoremediation of heavy metals: a novel approach. Environ Sci Pollut Res 22: 2505–2710.
Wuana R.A., Okieimen F.E. 2011. Heavy metals in contaminated soil: a sources review of, chemistry, risks and best available strategies for bioremediation. ISRN Ecology 2011:20.
Yu X., Li Y., Zhang C., Liu H., Liu J., Zheng W., Kang X., Leng X., Zhao K., Gu Y., Zhang X., Xiang Q., Chen Q. 2014. Culturable heavy metal-resistant and plant growth promoting bacteria in v-ti magnetite mine tailing soil from Panzhihua, China. Plos One 9(9): 1–8.

The application of beneficial soil bacteria for multiprocess phytoremediation system of heavy metals

Payman abbaszadeh dahaji[1]
Assistant professor in soil science department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Abstract:
The enhancement of industrial and agricultural activities as well as other human activities has led to increase and addition of large amounts of heavy metals to the soil and water resulting the degradation of the environment. Heavy metals such as nickel, copper, arsenic, lead, cadmium, cobalt and zinc are the most disturbing metals in the environment. These metals accumulate in the environment and lead to the toxicity of the food chain by entering the food chain due to Non-degradability and also the toxicity of heavy metals. There are various biological, chemical and physical techniques for removing these metals from environment. Bioremediation (the application of bioremediators for remediation) of heavy metals are among the spectacular techniques being economical and having no environmental impacts on soil. The application of a suitable plant to uptake, eliminate or reduce the pollutants from the environment (phytoremediation) is one of the most practical biological methods for remediation the soil and water contaminated with heavy metals. The efficiency of phytoremediation depends on various factors such as plant biomass, the resistance of plants to heavy metals, solubility and also the bioavailability of metal in soil and water. In order to increase the efficiency of phytoremediation, different processes can be exerted to increase the biomass of plant, the resistance of plants to heavy metals, the solubility and bioavailability of metal in soil and water, which is referred to as a Multiprocess phytoremediation system. In this study, the role of useful soil bacteria in increasing the efficiency of Multiprocess phytoremediation system will be discussed.

Key words: ACC-deaminase, plant Growth Stimulating bacteria, bioavailability

[1] Corresponding author (P.abbaszadeh@vru.ac.ir)