

مطالعه تاثیر تیمارهای مختلف باکتری های محرک رشد در کاهش اثرات آلودگی

آرسنیک بر خصوصیات بیوشیمیایی و مقدار جذب عناصر غذایی کلزا

سیده پریسا خسروی^{۱*}، علی اشرف سلطانی طولارود^۲، اسماعیل گلی کلانپا^۳، محمد بابا اکبری^۴

*۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه محقق اردبیلی، parisaaa.khosravi@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه محقق اردبیلی، Ali_soltani_t@yahoo.com

۳- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه محقق اردبیلی، goli@uma.ac.ir

۴- استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه زنجان، Babaakbari@znu.ac.ir

نویسنده مسئول مقاله: سیده پریسا خسروی، parisaaa.khosravi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶ تاریخ پذیرش: ۹۶

چکیده

آرسنیک یکی از سمی ترین آلاینده های موجود در خاک و آب های زیرزمینی است که سلامتی انسان و سایر موجودات زنده را به خطر می اندازد. در این تحقیق میزان تاثیر استفاده از باکتری های محرک رشد گیاه بر کاهش سمیت ناشی از آرسنیک روی ویژگی های بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی گیاه کلزا بررسی شد. بدین منظور، نمونه خاک با بافت متوسط از خاک های اطراف اردبیل انتخاب و پس از تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. سطوح مختلف آرسنیک به خاک تزریق شده و بعد از طی ۲ ماه، مایه زنی باکتری های محرک رشد گیاه و کشت کلزا انجام گرفت. نتایج با استفاده از نرم افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش سطح آلودگی آرسنیک، مقادیر کلروفیل کل روند کاهشی به خود می گیرند. به طوریکه در بالاترین غلظت آرسنیک، کمترین مقدار آن در گیاه به میزان ۸/۹ میلی گرم بر گرم برگ مشاهده شد. همچنین براساس نتایج، بیشترین مقادیر منیزیم در تیمار با باکتری *Sodomonas potida* و سطح آرسنیک شاهد (بدون آلودگی) و کمترین مقادیر منیزیم در تیمار با باکتری *Azospirillum* و سطح پنجم آرسنیک (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. در مجموع استفاده از باکتری های محرک رشد گیاه باعث بهبود خصوصیات بیوشیمیایی گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی گردید.

کلمات کلیدی

گیاه پالایی، باکتری، جذب، عناصر غذایی، کلروفیل

۱- مقدمه

از مکانیسم های افزایش رشد گیاه در شرایط تنش است که دلیل آن کاهش سطح اتیلن ناشی از تنش هایی مثل فلزات سنگین بر اثر فعالیت این آنزیم می باشد (گلیک، ۲۰۰۳). ریشه گیاهان با تعداد زیادی از موجودات زنده مختلف در ارتباط است. واکنش این دو با یکدیگر و با شرایط خاک تعیین کننده رشد و تکثیر گیاهان است (لینچ، ۱۹۹۰؛ واروارا و همکاران، ۲۰۰۰). در این حالت واکنش بین فلزها، میکروبه ها و گیاهان به دلیل پتانسیل بیولوژیکی موجودات زنده برای جابه جایی فلز به طور مستقیم از خاک های آلوده شده، یا انتقال احتمالی فلزات تجمع یافته در اندام هوایی، همچنین اثر سمیت فلزات سنگین بر

باکتری های ریزوسفری محرک رشد گیاه، گروهی از باکتری های خاک هستند که می توانند از طریق مکانیسم های مختلف باعث تحریک و بهبود رشد و تغذیه گیاهان شوند. باکتری های PGPR می توانند از طریق تولید و آزادسازی متابولیت های ثانویه از قبیل تنظیم کننده های رشد گیاهی یا فیتوهورمون ها و ترکیبات فعال بیولوژیک باعث جلوگیری یا کاهش اثرات منفی پاتوژن ها بر گیاه شوند و همچنین با تسهیل قابلیت فراهمی و افزایش جذب برخی عناصر می توانند بر رشد گیاه موثر باشند (بلیمو و همکاران، ۲۰۰۵). توانایی تولید آنزیم ۱- آمینو سیکلو پروپان-۱- کربوکسیلاز (ACC دآمیناز) توسط باکتری ها، یکی

رشد گروه مهندسی علوم خاک، با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل پنج سطح باکتری های PGPR (شامل سویه های سودوموناس فلورسنس B1:R1، B2:R150، B3:R159، سودوموناس پوتیدا B4:P10 و آزوسپریلوم B5:Azo) و پنج سطح آرسنیک (به ترتیب در غلظت های 0:As1، 5/7As2، 15As3، 5/22As4، و 30As5: میلی گرم در کیلوگرم خاک) بود. برای اجرای این آزمایش از بذور گیاه کلزا رقم هایولای ۴۰۱، استفاده شد.

نمونه خاک پس از انتقال به گلخانه و هوا خشک شدن از الک ۴/۷۵ میلی متری عبور داده شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد اندازه گیری قرار گرفت (جدول ۱). قبل از توزیع خاک در گلدان ها، آلوده سازی خاک انجام گرفت بدین صورت که غلظت آرسنیک برای هر تیمار، به مقدار ۳ کیلوگرم خاک توزین و توزیع شده در کیسه های پلاستیکی افزوده و کاملاً میکس شد تا یکنواختی توزیع فلز مورد نظر در خاک یکسان باشد. پس از تلقیح بذور با تیمارهای باکتریایی که به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸/۵ درجه سانتیگراد در انکوباتور در محیط کشت رشد کرده بودند کشت گیاه کلزا انجام شد. بدین ترتیب که پس از رساندن رطوبت گلدان ها به حد ظرفیت مزرعه (FC)، در داخل هر گلدان ۶ بذر کاشته شد. پس از تلقیح بذور با تیمارهای باکتریایی که به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸/۵ درجه سانتیگراد در انکوباتور در محیط کشت رشد کرده بودند کشت گیاه کلزا انجام شد. بدین ترتیب که پس از رساندن رطوبت گلدان ها به حد ظرفیت مزرعه (FC)، در داخل هر گلدان ۶ بذر کاشته شد.

پس از گذشت ۷۵ روز از تاریخ کشت، قبل از برداشت مقدار شاخص کلروفیل (با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD)، غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل اندازه گیری شد. برگها پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا با آب مقطر شستشو و در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. پس از آماده سازی نمونه ها، اندازه گیری غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و اندازه گیری غلظت کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی انجام و محاسبات بر اساس وزن خشک صورت گرفت (امامی ۱۳۷۵). تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از نرم افزار آماری C-MSTAT، مقایسات میانگین در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و رسم نمودارها با Excel انجام گرفت.

سوخت و ساز میکروبی و رشد گیاهان مورد توجه قرار می گیرد (جی آفری و گد، ۲۰۰۴؛ مایز و همکاران، ۱۹۹۷).

در سال های اخیر پژوهش های مختلفی در سطح دنیا در زمینه استفاده از برخی محصولات کشاورزی از قبیل ذرت، گندم، کلزا، سورگوم و برنج در اصلاح خاک های آلوده به انواع فلزات سنگین انجام شده است (وامرالی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که این گیاهان دارای پتانسیل های مناسبی برای جذب این فلزات و کاهش آلودگی آن ها می باشند. نتایج حاصل از مطالعه گزارشات مختلف علمی حاکی از آن است که علی رغم اهمیت روش گیاه پالایی در حضور ریز موجودات مفید محرک رشد گیاهی در پالایش خاک های آلوده به فلزات سنگین و تحقیقات گسترده انجام شده در زمینه اصلاح خاک های آلوده به آرسنیک با استفاده از این روش در کشورهای مختلف دنیا و همچنین اثرات سوء آلودگی ناشی از آرسنیک بر سلامتی انسان و دیگر موجودات زنده، در ایران تحقیقات بسیار نادری در خصوص کاربرد این روش در پایش خاک های آلوده به آرسنیک انجام گرفته است.

با توجه به عدم وجود برنامه های مدیریتی موفق و کارآمد و همچنین رعایت نکردن اصول و مبانی مسائل زیست محیطی معطوف به خاک و آب در بسیاری از خاک های زیر کشت ایران و لزوم توسعه سطح زیر کشت محصولات مختلف مانند کلزا در این خاک ها، برای تولید هر چه بیشتر این محصولات در ایران، ضرورت استفاده از راهکارهای بیولوژیک برای دستیابی به تولید بهینه اینگونه محصولات در اراضی آلوده مهم به نظر می رسد. با توجه به پتانسیل باکتری ها در تولید انواع آنزیم ها مثل ACC دامیناز، هورمون ها و سیدروفورهای میکروبی برای کاهش اثرات سوء ناشی از تنش فلزات سنگین، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر باکتری ها بر کاهش اثرات منفی ناشی از فلز سنگین آرسنیک بر ویژگی های بیوشیمیایی گیاه کلزا و جذب عناصر غذایی، به انجام رسید.

۲- مواد و روش ها

این پژوهش در اتاقک رشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در مهر ماه سال ۱۳۹۲ آغاز و در تیر ماه ۱۳۹۳ به پایان رسید. این پژوهش به صورت آزمایش گلخانه ای در اتاقک

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

لومی	بافت خاک
۲۴/۷	رطوبت مزرعه
۲۴	کربنات کلسیم معادل
۰/۹۷	ماده آلی
۰/۱۹	نیتروژن کل
۲۲	فسفر قابل جذب
۴۶	پتاسیم تبدیلی
۲/۲۹	EC
۷/۶۵	pH

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات باکتری های PGPR و آرسنیک بر بر روی انواع کلروفیل . جذب عناصر غذایی کلزا در خاک آلوده

منبع تغییرات	باکتری	آرسنیک	باکتری*آرسنیک	خطا
درجه آزادی	۴	۴	۱۶	۵۰
کلروفیل کل	۱۴/۵*	۱۸۰۸/۳**	۲/۵**	۰/۳۸
شاخص کلروفیل	۷۴/۰۴**	۳۰۵۲/۳**	۴/۹۳**	۱/۶۷
کلروفیل b	۲/۱**	۶۰/۵**	۰/۸۸**	۰/۲
کلروفیل a	۳/۰۲**	۱۵۲۵/۳**	۱/۲۵**	۰/۲۸
کلسیم	۶/۸۱**	۰/۳۹**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۴
منیزیم	۳/۳۵**	۰/۱۲**	۰/۰۴ns	۰/۰۲
پتاسیم	۰/۹۴**	۱۷/۰۵**	۰/۱۱**	۰/۰۰۴

ns, **, *** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

کلروفیل b

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه با سطوح مختلف آرسنیک بر میزان کلروفیل b اندام‌های هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار B₄.AS₁ و کمترین آن در تیمار B₂.AS₃ می‌باشد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح آلودگی آرسنیک، مقادیر کلروفیل b روند کاهشی به خود می‌گیرند. به طوری که در بالاترین غلظت آرسنیک، کمترین مقدار کلروفیل b در گیاه مشاهده می‌شود. خطیب و همکاران (۱۳۸۷)، فاضلیان و همکاران (۱۳۹۰)، قربانی و همکاران (۱۳۹۰) و سایرین به نتایج مشابهی دست یافتند.

شاخص سبزی‌نگی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه با سطوح مختلف آرسنیک بر میزان شاخص سبزی‌نگی کلروفیل اندام‌های هوایی کلزا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص سبزی‌نگی کلروفیل در تیمار B₄.AS₁ و کمترین آن در تیمار B₅.AS₅ می‌باشد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح آلودگی آرسنیک، مقادیر شاخص سبزی‌نگی کلروفیل روند کاهشی به خود می‌گیرند. به طوری که در بالاترین غلظت آرسنیک، کمترین مقدار آن در گیاه مشاهده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

کلروفیل a

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه با سطوح مختلف آرسنیک بر میزان کلروفیل a اندام‌های هوایی کلزا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار B₄.AS₁ (۳۴/۶۹ میلی‌گرم در گرم برگ) و کمترین آن در تیمار B₅.AS₅ (۶/۸۴ میلی‌گرم در گرم برگ) می‌باشد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح آلودگی آرسنیک، مقادیر کلروفیل a روند کاهشی به خود می‌گیرند، به طوری که در بالاترین غلظت آرسنیک، کمترین مقدار کلروفیل a در گیاه مشاهده می‌شود. قربانی و همکاران در بررسی تنش فلز مس کلراید بر روی غلظت کلروفیل کلزا رقم هایولا با کاهش کلروفیل‌های a و b در اثر افزایش سطح آلاینده مواجه شدند. ایجاد اختلال در مراحل مختلف سنتز کلروفیل به وسیله فلزات سنگین، از دلایل اصلی کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تیمار عناصر سنگین است (مانیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ پراساد و همکاران، ۲۰۰۳).

آن در گیاه مشاهده می‌شود. باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش مقاومت گیاه به فلزات سنگین و از جمله آرسنیک میشوند اما در سطوح بالاتر غلظت فلز، رشد و توسعه گیاه کاهش چشم‌گیری می‌یابد و بالطبع مقادیر شاخص‌های رشد و از جمله کلروفیل گیاه روند کاهشی به خود می‌گیرد. با افزایش سطوح آرسنیک، مقادیر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و شاخص سبزیگی افت می‌کند. آرسنیک باعث کاهش میزان فتوسنتز، تعرق گیاه، مهار جوانه زنی، کاهش رشد، تخریب غشای کلروپلاستی و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (عابدین و همکاران، ۲۰۰۲). عناصر سنگین از جمله آرسنیک از طریق بازدارندگی در آنزیم گاما آمینو لولولینک دهیدروژناز و پروتوکلروفیلی ردوکتاز باعث کاهش بیوسنتز کلروفیل و تجزیه زیستی آن می‌شوند (مانیو و همکاران، ۲۰۰۳). از علل دیگر کاهش کلروفیل در شرایط تنش فلزات سنگین، تغییر مسیر متابولیسمی به سمت تولید پرولین است، زیرا گلوتامات که پیش-ساز سنتز کلروفیل و پرولین است به سمت تولید پرولین می‌رود (پراساد و فریتاس، ۲۰۰۳).

کلسیم

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات باکتری‌های محرک رشد بکار رفته، اثر سطوح مختلف آرسنیک و اثر متقابل آنها در جذب عنصر غذایی کلسیم همگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و براساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) بالاترین غلظت کلسیم ۳/۰۸۶ درصد در تیمار AS_1BP_{10} و کمترین آن ۰/۸۳ درصد در تیمار AS_5BAZO مشاهده شد. چنانچه از نمودار برمی‌آید با افزایش غلظت آرسنیک، مقدار کلسیم گیاه افت می‌کند. کارهای ماویلا (۲۰۱۲) این نتیجه را تأیید می‌کند. کلسیم در ساخت تیغه میانی دیواره سلولی، در فعال کردن آنزیم‌ها، و بخصوص در طول شدن سلول و تقسیم سلولی نقش دارد بطوریکه بدون کلسیم بافت‌های مریستمی ریشه و نمو کافی نمی‌کنند و رشد و انشعابات ریشه محدود می‌شود (سالاردینی، ۱۳۸۷).

منیزیم

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر آرسنیک، اثر باکتری‌های محرک رشد بکار رفته و اثر متقابل آنها بر غلظت

شریعت و همکاران (۱۳۸۹) با کاهش کلروفیل در اثر افزایش کادمیوم، پیروز و همکاران (۱۳۹۱) با کاهش کلروفیل a، b و کلروفیل کل در اثر افزایش غلظت کروم در گیاه آفتابگردان مواجه شدند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری‌های PGPR و سطوح مختلف آرسنیک بر روی انواع کلروفیل کلزا در خاک آلوده

شخص کلروفیل	کلروفیل b	کلروفیل a	تیمار
میلی گرم بر گرم برگ			
ab _{52/6}	c _{5/55}	c _{31/73}	B ₁ .AS ₁
d _{44/3}	f _{2/30}	f _{29/71}	B ₁ .AS ₂
g _{34/0}	jk _{1/28}	27/84	B ₁ .AS ₃
ij _{28/3}	ghi _{2/14}	k _{26/51}	B ₁ .AS ₄
m _{16/3}	gh _{2/19}	l _{6/89}	B ₁ .AS ₅
ab _{52/5}	bc _{5/83}	31/39	B ₂ .AS ₁
c _{48/1}	de _{4/10}	ef _{30/07}	B ₂ .AS ₂
f _{36/7}	k _{0/8}	27/67	B ₂ .AS ₃
j _{27/2}	1/58	jk _{26/79}	B ₂ .AS ₄
m _{16/4}	gh _{2/34}	l _{7/05}	B ₂ .AS ₅
ab _{51/6}	b _{6/50}	b _{32/93}	B ₃ .AS ₁
c _{48/3}	de _{4/12}	ef _{30/15}	B ₃ .AS ₂
f _{36/6}	ijk _{1/33}	28/06	B ₃ .AS ₃
hi _{30/4}	k _{1/01}	26/93	B ₃ .AS ₄
m _{17/1}	fg _{2/71}	l _{7/46}	B ₃ .AS ₅
a _{53/8}	a _{7/61}	a _{34/69}	B ₄ .AS ₁
c _{49/1}	d _{4/37}	f _{29/78}	B ₄ .AS ₂
f _{36/7}	ghij _{2/08}	g _{28/19}	B ₄ .AS ₃
hi _{29/7}	k _{0/89}	27/13	B ₄ .AS ₄
l _{20/4}	ef _{3/34}	l _{6/62}	B ₄ .AS ₅

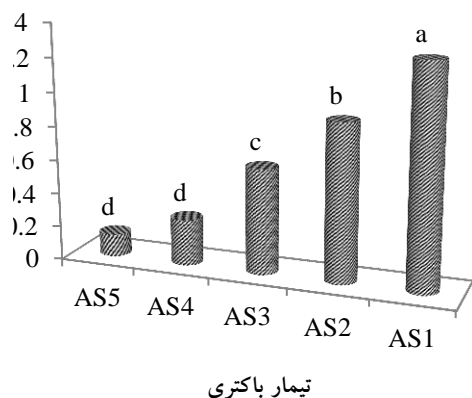
میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

کلروفیل کل

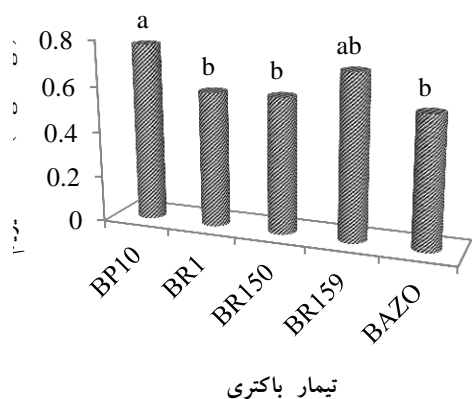
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه با سطوح مختلف آرسنیک بر میزان شاخص سبزیگی کلروفیل اندام‌های هوایی کلزا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص سبزیگی کلروفیل در تیمار B₄.AS₁ و کمترین آن در تیمار B₅.AS₅ می‌باشد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح آلودگی آرسنیک، مقادیر کلروفیل کل روند کاهشی به خود می‌گیرند. به طوریکه در بالاترین غلظت آرسنیک، کمترین مقدار

۳/۶۲۵gh	۲/۲۰gh	B ₄ .As ₂
۳/۷۶۳g	۲/۳۰۳fg	B ₄ .As ₃
۳/۹۱۳f	۲/۴۳۳ef	B ₄ .As ₄
۴/۰۹e	۲/۵۱۶de	B ₄ .As ₅

میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف آرسنیک بر مقدار منیزیم اندام هوایی کلزا



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف تیمارهای باکتریایی بر مقدار منیزیم اندام هوایی کلزا

منیزیم کلزا، به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار می باشد. براساس نمودار مقایسه میانگین (شکل ۱) بیشترین مقادیر منیزیم در تیمار با باکتری سودوموناس پوتیدا و سطح آرسنیک شاهد (بدون آلودگی) و کمترین مقادیر منیزیم در تیمار با باکتری آزوسپیریوم و سطح پنجم آرسنیک (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۲). منیزیم تنها عنصر فلزی موجود در کلروفیل می باشد و به عنوان هسته مرکزی سازنده کلروفیل معرفی می شود. بنابراین منیزیم بطور غیر مستقیم در متابولیسم و فتوسنتز، در فعالیت آنزیمها در گیاهان نقش داشته و با شرکت در چرخه اسید سیتریک به عنوان یک چرخه متابولیسمی در گیاه، در تنفس گیاهان دخالت دارد (سالاردینی، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه نتایج بیانگر کاهش مقادیر منیزیم گیاه در اثر افزایش سمیت آرسنیک است، کاهش فتوسنتز و مقادیر کلروفیل گیاه، کاهش رشد رویشی و عملکرد گیاه و ظهور زردی بین رگبریگی در تعدادی از بوته های کلزا تأکیدی بر این نتیجه است. کارهای وامیلا (۲۰۱۲)، کاربونل و همکاران (۱۹۹۸) نیز کاهش منیزیم گیاه را با افزایش آرسنیک تأیید می کند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری های PGPR و سطوح مختلف آرسنیک بر مقدار جذب عناصر غذایی کلزا در خاک آلوده

پتاسیم	کلسیم	تیمار
میلی گرم بر گرم برگ		
۱/۹۲۶q	۰/۸۳q	B ₁ .As ₁
۱/۹۳q	۰/۹۱۶p	B ₁ .As ₂
۲pq	۱/۱۵۶p	B ₁ .As ₃
۲/۰۶۶opq	۱/۱۶۶p	B ₁ .As ₄
۲/۰۹۳op	۱/۲۶۳op	B ₁ .As ₅
۲/۱۳۶nop	۱/۳۴۰no	B ₂ .As ₁
۲/۱۵۶no	۱/۳۶۶no	B ₂ .As ₂
۲/۲۱۶mno	۱/۴۰۶no	B ₂ .As ₃
۲/۲۶۶mn	۱/۴۷۶mn	B ₂ .As ₄
۲/۳۱m	۱/۵۹۱m	B ₂ .As ₅
۲/۳۵m	۱/۶۴۳l	B ₃ .As ₁
۲/۶۳l	۱/۷۰۶kl	B ₃ .As ₂
۳/۱۲۶k	۱/۸۱۶jk	B ₃ .As ₃
۳/۳۴۶j	۱/۹۴۱ij	B ₃ .As ₄
۳/۴۷۶ij	۲/۰۶۳hi	B ₃ .As ₅
۳/۵۲۳hi	۲/۰۷۶hi	B ₄ .As ₁

پتاسیم

را که خصوصیات شیمیایی خاک را در ریزوسفر و در نتیجه اندوزش فلزات سنگین را در گیاهان افزایش می‌دهد، اصلاح کند و باعث بهبود خصوصیات بیوشیمیایی گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی گردد.

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر سطوح مختلف آرسنیک، باکتری‌های محرک رشد گیاه و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم گیاه کلزا همگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. براساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) تیمار As_5BAZO با $1/926$ درصد پتاسیم در کلزا دارای کمترین مقدار پتاسیم و تیمار As_1BP10 با $5/09$ درصد پتاسیم در کلزا دارای بیشترین مقدار از این عنصر غذایی است. پتاسیم نقش کلیدی در فتوسنتز دارد. یون پتاسیم انتقال مواد حاصل از فتوسنتز را تسریع می‌کند. این امر احتمالاً مربوط به فرآیندهای فتوفسفوریلاسیون است. به طوری که هرگاه مقدار پتاسیم در گیاه زیاد شود احتمالاً تولید ATP زیاد می‌شود که خود در بارگیری آوندهای آبکش با مواد ساخته شده فتوسنتزی لازم است (سالاردینی، ۱۳۸۷). آنچه از نمودارها برمی‌آید گواه واضحی از کاهش مقادیر پتاسیم گیاه در اثر افزایش سمیت آرسنیک است. کاربونل باراچینا (۱۹۸۷) به نتایج مشابه دست یافتند. باتوجه به نقش پتاسیم در فتوسنتز، رشد گیاه و تقسیم سلولی، کاهش مقادیر انواع کلروفیل و کاهش شاخص‌های رشد گیاه تأکیدی بر این نتیجه است.

۴- نتیجه‌گیری

در صورت وجود غلظت زیاد عناصر غذایی در محیط رشد، جذب زیاد این عناصر توسط گیاه با برهم‌زدن ساختار و فیزیولوژی گیاه باعث کاهش غلظت سایر عناصر غذایی توسط گیاه و در نتیجه کاهش جذب آنها در گیاه می‌شود، و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و ایجاد خطرات زیست محیطی برای گیاهان و جانداران می‌شود (مارشور، ۱۹۹۵). نتایج نشان دهنده کاهش غلظت عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر در گیاه و کاهش قابلیت دسترسی آنها برای گیاه با افزایش یون‌های آلاینده آرسنیک در گیاه می‌باشد که با نتایج کاربونل باراچینا (۱۹۹۴) مبنی بر اثر آرسنیک بر غلظت عناصر ماکرو و میکرو در گوجه-فرنگی تطابق دارد. در نتیجه‌ی کاهش غلظت عناصر غذایی بخصوص منیزیم در گیاه مقادیر کلروفیل نیز افت می‌کند. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که شرایط شیمیایی ریزوباکترها در خاک‌های توده‌ای متفاوت است که آن در نتیجه فرآیندهای متغیری است که توسط ریشه گیاهان و یا ریزوباکترها ایجاد می‌شود. فعل و انفعالات بین گیاه و باکتری می‌تواند تولید ترکیباتی

۵- منابع

۱. شریعت، آناهیتا؛ عصاره، محمد حسن؛ قمری زارع، عباس، ۱۳۸۹، اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای فیزیولوژی *Eucalyptus occidentalis*، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳
۲. سالاردینی، علی اکبر، ۱۳۸۷، حاصلخیزی خاک، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ هشتم، ص ۲۰۰-۳۰۰
۳. فاضلیان، نسرین؛ اسراء، زهرا، ۱۳۹۰، تأثیر برهمکنش آرسنیک و سالیسیلیک اسید بر رشد و برخی از شاخص های فیزیولوژیک گیاه بابونه، مجله زیست شناسی گیاهی، سال سوم، شماره هشتم، صص ۱-۱۲
۴. قربانی، مه لقا؛ میقانی، فریبا؛ اسداللهی، بهاره، ۱۳۸۶، اثر تنش مس کلراید بر غلظت کلروفیل، انباشتگی کربوهیدرات و برخی از شاخص های رشد در دو رقم کلزا، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۴، صص ۸-۱
۵. خطیب، میترا؛ راشد، محمد حسن؛ گنجعلی، علی؛ مهرداد، لاهوتی، ۱۳۸۷، تأثیر غلظت های مختلف نیکل بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه جعفری، مجله پژوهش های زراعی ایران، شماره ۲، جلد ۶.
۶. پیروز، پریسا سادات؛ منوچهری کلاتنری، خسرو، ۱۳۹۱، تأثیر فلز سنگین کروم بر میزان تجمع، عوامل رشد و القای تنش اکسیداتیو در اندام هوایی آفتابگردان، مجله زیست شناسی گیاهی، سال چهارم، شماره سیزدهم، صص ۹۷-۱۱۴
7. Abedin, M.J., Cotter-Howells, J., and Meharg, A.A. 2002. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. *Plant Soil*. 240: 311-319
8. Belimov, A.A., Hontzeas, N., Safronova, V.I., Demchinskaya, S.V., Piluzza, G., Bullitta, S., Glick, B.R., 2005. Cadmium-tolerant plant growth-promoting bacteria associated with the roots of Indian mustard (*Brassica juncea* L.Czern.). *Soil Biol. Biochem.* 37(2): 241-250.
9. Carbonell-Barrachina, A.A., Aarabi, M.A., Delaune, R.D., Gambrell, R.P. and Patrick, W.H.J. 1998. Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity uptake and effects on plant growth and nutrition. *Sci. Total Environ.* 217: 189-199.
10. Geoffrey, D. Smith, Ronald M. Lynch, Gerry Jacobson, Christopher J. Barnes. 1990. Cyanobacterial nitrogen fixation in arid soils of Central Australia. *FEMS Microbiology Letters.* 74 (1): 79-89.
11. Glick, R.B., 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology Advance.* 21: 383-393.
12. Lynch, J.M. 1990. Beneficial interactions between micro-organisms and roots. *Biotechnology Advances.* 8(2): 335-346.
13. Maiz, I., Esnaola, M.V. and Millán, E., 1997. Evaluation of heavy metal availability in contaminated soils by a short sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment.* 206: 107-115.
14. Manio, T., E.I. Stentiford and P.A. Millner. 2003. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. *Ecological Engineering.* 20:65-74.
15. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd). Academic Press, London.889p.
16. Mwamila, L.B.; 2012. Arsenic (V) and phosphate sorption to Swedish clay soils –Freundlich sorption modeling. TRITA LWR Degree Project. 12: 02, 21p.
17. Prasad, M.N.V. and H. Freitas. 2003. Metal hyper accumulation in plants-Biodiversity respecting for phytoremediation technology. *Electronic J.Biototechnol* 6:275-321. Online:<http://www.ejbiotechnology.info/content/vol6/issue3/index.html>.
18. Varvara P. Grichko, Brendan Filby, Bernard R. Glick. 2000. Increased ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb, and Zn. *Journal of Biotechnology.* 81(1): 45-53.