تأثیر کاربرد باکتری *سودوموناس* بر رشد گندم و برخی ویژگی‌های بیولوژیک یک خاک متأثر از شوری و غلظت‌های کادمیوم

عذرا شاولی کوه شوری، رویا زلقی[1]، کریم سرخه و نعیمه عنایتی ضمیر

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **o.shahvali94@gmail.com**

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **r.zalaghi@scu.ac.ir**

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **karimsorkheh@gmail.com**

دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **n.enayatzamir@scu.ac.ir**

دریافت: **98/8/13** و پذیرش: **99/2/15**

چکیده

با توجه به مشکلات روزافزون شوری و فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی، این پژوهش به منظور بررسی مایه‌زنی با باکتری محرک رشد بر کاهش تنش شوری و کادمیوم در رشد گیاه گندم رقم چمران طرح‌ریزی گردید. پژوهش به صورت فاکتوریل با سه عامل شوری (3 و 10 دسی‌زیمنس بر متر)، کادمیوم (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و باکتری *سودوموناس* (مایه‌زنی با باکتری و بدون باکتری) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. پس از برداشت گیاه، اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های بیولوژیک خاک (تنفس و زیتوده میکروبی خاک) و برخی ویژگی‌های گیاه (وزن خشک گیاه و غلظت کادمیوم، کلسیم و منیزیم در اندام‌هوایی و ریشه) صورت گرفت. نتایج نشان داد تنفس پایه ($14/6$ mg CO_2 $100g^{-1}day^{-1}$)، تنفس برانگیخته ($93/2$ mg CO_2 $100g^{-1}day^{-1}$)، کربن زیتوده میکروبی ($13/4$ mg C $100g^{-1}$)، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه (به ترتیب $7/65$ و $2/30$ گرم بر گلدان)، غلظت کلسیم اندام‌هوایی و ریشه (به ترتیب $3/12$ و $5/92$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و غلظت منیزیم اندام‌هوایی و ریشه (به ترتیب $3/16$ و $6/75$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با افزایش تنش شوری و کادمیوم کاهش یافته اما مایه‌زنی باکتری سبب افزایش این ویژگی‌ها نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی شد. غلظت کادمیوم اندام‌هوایی و ریشه (به ترتیب $1/63$ و $7/13$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با افزایش تنش شوری و کادمیوم افزایش یافته اما مایه‌زنی باکتری سبب کاهش آن نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی شد. لذا استفاده از باکتری‌های محرک رشد در خاک‌های با تنش‌های محیطی برای کاهش اثرات تنش‌ها و رشد بهتر و به ویژه سلامت بیشتر گیاه (غلظت کمتر فلز سنگین) و همچنین در بهبود وضعیت اکوسیستم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد، تنفس میکروبی خاک، کربن زیتوده میکروبی، فلز سنگین

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین غلات در تأمین غذا و امنیت غذایی در سطح جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه است. این محصول به عنوان راهبردی‌ترین محصول برای تغذیه انسان در بسیاری از کشورها می‌باشد و غذای اصلی 35 درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (بهل و همکاران، 2003).

تنش‌های غیرزنده عامل کاهش 71 درصدی عملکرد محصولات زراعی در سطح جهان است. یکی از معضلات جدی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک مسئله شوری و تجمع املاح در لایه سطحی خاک می‌باشد. خاک شور خاکی است که هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) آن در منطقه ریشه بیش از چهار دسی‌زیمنس بر متر در 25 درجه سلسیوس و pH آن کمتر از 8/5 باشد. این خاک‌ها محیط نامناسبی برای رشد و تولید بوده و کمیت و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد (کافی و خان، 2008؛ جمیل و همکاران، 2011). همچنین شوری خاک شرایط تنش‌زایی برای ریزجانداران خاک به وجود می‌آورد و منجر به ایجاد جمعیت میکروبی کوچک‌تر و با کارایی زیستی کمتر می‌شود (جعفری و همکاران، 1391). بر اساس آمار فائو (2005) 2/5 میلیون هکتار از اراضی ایران شور و 8/5 میلیون هکتار بسیار شور هستند. شوری آب و خاک از مشکلات عمده تولید پایدار محصولات کشاورزی در جهان و ایران است که بر جذب و تعادل پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان و در نتیجه رشد گیاهان اثر دارد (ملکوتی و همکاران، 2003؛ نجفی، 2015). بررسی‌های گذشته نشان داده‌اند که میان شوری خاک و ویژگی‌های بیولوژیک مانند تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته با سوبسترا و زیتوده میکروبی خاک رابطه منفی وجود دارد (قولاراتا و رایس، 2007؛ الغرابلی و مارشنر، 2011).

فلزات سنگین گروهی از فلزات با چگالی بالاتر $5 gr cm^{-3}$ هستند. افزایش غلظت برخی از فلزات سنگین از جمله کادمیوم در خاک تعادل اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی نظیر استخراج معادن، فاضلاب‌های صنعتی و استفاده از کودهای فسفاته (دارای ناخالصی کادمیوم) منجر به افزایش روزافزون این عناصر در خاک می‌شود. تأثیر فلزات سنگین بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان قابل توجه است که نتیجه آن کاهش رشد و زیتوده گیاه است (علومی، 1382).

کادمیوم (Cd) در تغذیه گیاه، انسان و دام یک آلاینده سمی محسوب می‌شود و غلظت زیاد آن در بخش‌های خوراکی گیاهان مانند گندم و برنج برای سلامتی افراد جامعه بسیار خطرناک است. حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در دانه گندم 0/1-0/12 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در اراضی کشاورزی کادمیوم موجود در کودهای فسفری یکی از منابع عمده آلودگی خاک با این عنصر سمی است (ثواقبی و همکاران، 1381). همچنین کادمیوم کیفیت و ساختار کمی جوامع میکروبی را تحت تأثیر قرار داده، در نتیجه فعالیت‌های متابولیکی و تنوع را کاهش می‌دهد (گیلر و همکاران، 1998).

در سال‌های اخیر استفاده از میکروارگانیسم‌های خاکزی و مخصوصاً باکتری‌های محرک رشد در کشت گیاه به طور روزافزونی افزایش یافته است. میکروارگانیسم‌های ریزوسفر، بخصوص باکتری‌ها و قارچ‌های مفید می‌توانند در محیط‌های دارای تنش، عملکرد گیاه را بهبود بخشیده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد گیاه به طور مستقیم و غیرمستقیم شوند (دیمکپا و همکاران، 2006). اصطلاح باکتری محرک رشد در ابتدا برای باکتری‌های *سودوموناس* (*Pseudomonas* spp) بکار برده شد. اما امروزه برای بسیاری از باکتری‌های فعال در ناحیه ریزوسفر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. درجه تأثیرگذاری باکتری‌های محرک بر رشد و عملکرد گیاه تابع عوامل مختلفی چون نوع گیاه، سویه باکتری و نوع خاک و شرایط محیطی است (هانی و همکاران، 1998).

نقش میکروارگانیسم‌ها در ارتقاء رشد گیاهان، مدیریت مواد مغذی و کنترل بیماری‌ها به خوبی شناخته شده است. این میکروارگانیسم‌های مفید در منطقه ریزوسفر/اندوریزوسفر گیاهان ساکن شده و با مکانیسم‌هایی مانند افزایش تحرک و کارایی جذب عناصر غذایی، تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات‌های نامحلول، تولید هورمون‌های گیاهی مانند IAA (ایندول استیک اسید) و ویتامین‌ها، تولید آنزیم ACC- دآمیناز (1-amino cyclopropane-1-carboxylate) (حیات و همکاران، 2010)، علاوه بر بهبود رشد گیاه، تحمل گیاهان را نسبت به تنش‌های غیرزنده مانند خشکسالی، سرما، شوری، سمیت فلزات و درجه حرارت بالا می‌برند (یانگ و همکاران، 2009؛ داد و پرز آلفوسا، 2012).

استفاده از زیست فن‌آوری‌های نوین مانند کاربرد میکروارگانیسم‌ها در تولید گیاهان زراعی تحت شرایط شور از راهکارهای نوین جهت مقابله با تنش شوری است (زارع و کریمی، 2014). باکتری‌های محرک رشد گیاه، به عنوان کودهای زیستی نقش مهمی در افزایش حاصلخیزی و بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش دارند. در شرایط تنش از جمله تنش شوری، باکتری می‌تواند رشد گیاه را افزایش داده و سبب سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شود (گلیک و همکاران، 1997). همچنین تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌پالایی فلزات سنگین از خاک در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است (خان و همکاران، 2008). باکتری‌های محرک رشد با تحریک گیاه برای تولید هورمون‌های اکسین و ACC-دآمیناز و نیز کاهش تولید اتیلن در گیاه، سبب بهبود رشد و مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌شوند (مایاک و همکاران، 2004؛ ساراواناکومار و همکاران، 2010).

این پژوهش با هدف بررسی وضعیت بیولوژیک خاک (تنفس خاک و کربن زیتوده میکروبی) و رشد گیاه گندم در شرایط تنش‌های کادمیوم و شوری خاک و تأثیر استفاده از باکتری محرک رشد بر ویژگی‌های فوق انجام شد.

مواد و روش‌ها

در مطالعات قبلی (لامی‌زاده و همکاران، 2016) از میان 100 باکتری جداسازی شده از ریزوسفر نیشکر، 18 سویه محرک رشد تشخیص داده شدند و سپس از نظر تحمل به تنش شوری و کادمیوم غربالگری شدند (شاولی و همکاران، 2017). یک باکتری *سودوموناس (Psuedomonas sp.)* (با کد دسترسی KX262854) که محرک رشد و مقاوم به شوری و کادمیوم بود از میان آنها انتخاب و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

این باکتری برای آزمایش گلخانه‌ای در محیط کشت مایع مغذی (nutrient broth) تکثیر شد، تا جمعیت آن طی بررسی با لوله های مک فارلند (کاپیسینو و شرمن، 1992) به 3×10^9 cfu در میلی‌لیتر برسد.

تهیه نمونه خاک و آماده‌سازی

نمونه خاکی با بافت clay loam و با شوری سه دسی‌زیمنس بر متر از مزرعه شماره یک دانشگاه شهید چمران انتخاب شد و با بیل نمونه برداری تا عمق 30 سانتی متری انجام شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های خاک به شرح زیر در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز اندازه‌گیری و در جدول 1 ارائه شد.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک مورد مطالعه

ویژگی	مقدار
pH	7/6
قابلیت هدایت الکتریکی(dSm^{-1})	3/00
ماده آلی(%)	0/79
کربنات کلسیم(%)	49/6
فسفرقابل دسترس($mg\ kg^{-1}$)	11/1
پتاسیم قابل دسترس($mg\ kg^{-1}$)	273
درصد نیتروژن (%)	0/05
کادمیوم کل ($mg\ kg^{-1}$)	2/01
سیلت(%)	38/0
رس(%)	32/0
شن (%)	30/0

pH عصاره اشباع خاک (رودز، 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) (گوپتا، 2000)، ماده آلی (والکی و بلک، 1934)، کربنات کلسیم خاک (لوپرت و همکاران، 1996)، فسفر قابل دسترس خاک (اولسن و سامرز، 1982)، پتاسیم قابل دسترس (چپمن و پرات، 1961)، درصد نیتروژن کل خاک (برمنر و همکاران، 1982)، میزان کادمیوم کل خاک با هضم توسط اسید نیتریک و قرائت توسط دستگاه جذب اتمی (کوتنیک و

همکاران، 1982) و بافت خاک به روش هیدرومتر (بویکوس ،1962) اندازه‌گیری شد.

خاک سپس با سطوح صفر، 25 و 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم از منبع نیترات کادمیوم (با اسپری کردن و سپس مخلوط کردن) آلوده شد. در این تحقیق برای تفکیک بهتر اثرات شوری و کادمیوم ترجیحاً از نمک نیترات کادمیوم استفاده شد. برای ایجاد تعادل، مقدار نیتروژن دریافتی از منبع نیترات کادمیوم در تیمار 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم محاسبه شد و معادل آن به تیمار صفر و (معادل نصف آن به تیمار) 25 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، اوره اضافه شد. خاک‌های تیمار شده در گلدان‌های سه کیلوگرمی به مدت سه هفته نگهداری شدند. شوری با استفاده از نمک NaCl تا رسیدن به سطوح شوری 3 و 10 دسی زیمنس بر متر به خاک اعمال گردید (جعفری و همکاران، 1391).

بذر گندم رقم چمران از گروه زراعت دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. بذرها در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد ضدعفونی و با آب مقطر شستشو داده شدند (تال‌احمد و حداد، 2011). سپس تعداد 10 بذر درون هر گلدان در عمق 2-1 سانتیمتری قرار داده شد و مایه‌زنی باکتری (معادل $10^6\times$ 3 cfu در هر گرم خاک گلدان) روی بذر انجام و با خاک پوشانده شدند. گلدان‌ها به مدت سه ماه در شرایط گلخانه نگهداری و آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر در حد 70 درصد ظرفیت مزرعه (اندازه گیری با کمک گلدان های تخریبی و به روش وزنی) انجام شد. پس از سه ماه برداشت گیاه انجام و اندام‌هوایی و ریشه پس از شستشو با آب مقطر به مدت 48 ساعت در آون با دمای 65 درجه سلسیوس خشک شدند. نمونه‌ها پس از توزین پودر شده و پس از سوزاندن در کوره با افزودن اسید کلریدریک عصاره‌گیری شدند. غلظت عناصری مانند کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با ورسین (گوپتا، 2000) و کادمیوم با دستگاه جذب اتمی (مونسون و نلسون، 1990) در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تعیین شدند.

خاک گلدان‌ها به منظور اندازه‌گیری کربن زیتوده میکروبی خاک به روش تدخین با گاز کلروفرم و استخراج با سولفات پتاسیم (جنکینسون و پاولسون،1976)، تنفس پایه با روش انکوباسیون خاک در ظروف دربسته در مجاورت سود و تیتراسیون با اسید کلریدریک و تنفس برانگیخته با اضافه کردن سوبسترای گلوکز به خاک و سپس انکوباسیون در مجاورت سود و تیتراسیون با اسید کلریدریک (اندرسون و همکاران،1982) به آزمایشگاه منتقل شدند و ضریب متابولیکی از نسبت تنفس پایه به کربن زیتوده میکروبی محاسبه شد.

پژوهش به شکل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تجزیه واریانس با نرم افزار SAS نسخه 9/2 آنالیز و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح 5 درصد انجام شد.

نتایج

نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای به کار برده شده بر ویژگی‌های خاک و جذب عناصر توسط گیاه در جداول 2 و 3 آمده است. شوری خاک بر همه پارامترهای خاک و گیاه (به جز بهره متابولیک) تأثیر معنی‌دار داشت و آلودگی کادمیوم نیز به جز بهره متابولیک و غلظت کلسیم ریشه بر دیگر پارامترها تاثیر معنی‌داری داشت درحالیکه تأثیر باکتری و اثرات متقابل تیمارها بر پارامترهای خاک و گیاه، پاسخ‌های متفاوتی داشت.

آزمون مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد (شکل 1) نشان داد که تنفس پایه و برانگیخته خاک با افزایش سطح شوری و نیز با افزایش سطح کادمیوم کاهش داشته‌اند. همچنین در شکل 2 کاهش کربن زیتوده میکروبی با افزایش سطوح کادمیوم و شوری دیده می‌شود. عناصر سمی با ایجاد کمپلکس با سوبسترای مورد نیاز آنزیم‌ها وخارج نمودن سوبسترا از دسترس ریزجانداران و یا با کشتن و از بین بردن ریزجانداران تجزیه کننده مواد آلی باعث کاهش تنفس خاک و فعالیت‌های میکروبی می‌گردند (لندی و همکاران، 2000). همچنین در خاک‌های شور سمیت یون‌های کلر و سدیم موجب کاهش رشد و فعالیت‌های ریزجانداران می‌شود (زهران، 1997) و فعالیت آنزیم‌های برون سلولی و در نتیجه تجزیه مواد آلی و معدنی شدن کربن کاهش می‌یابد. این مسئله منجر به کاهش میزان تنفس خاک و نیز زیتوده میکروبی خاک می‌گردد (رایتزو هاینس، 2003).

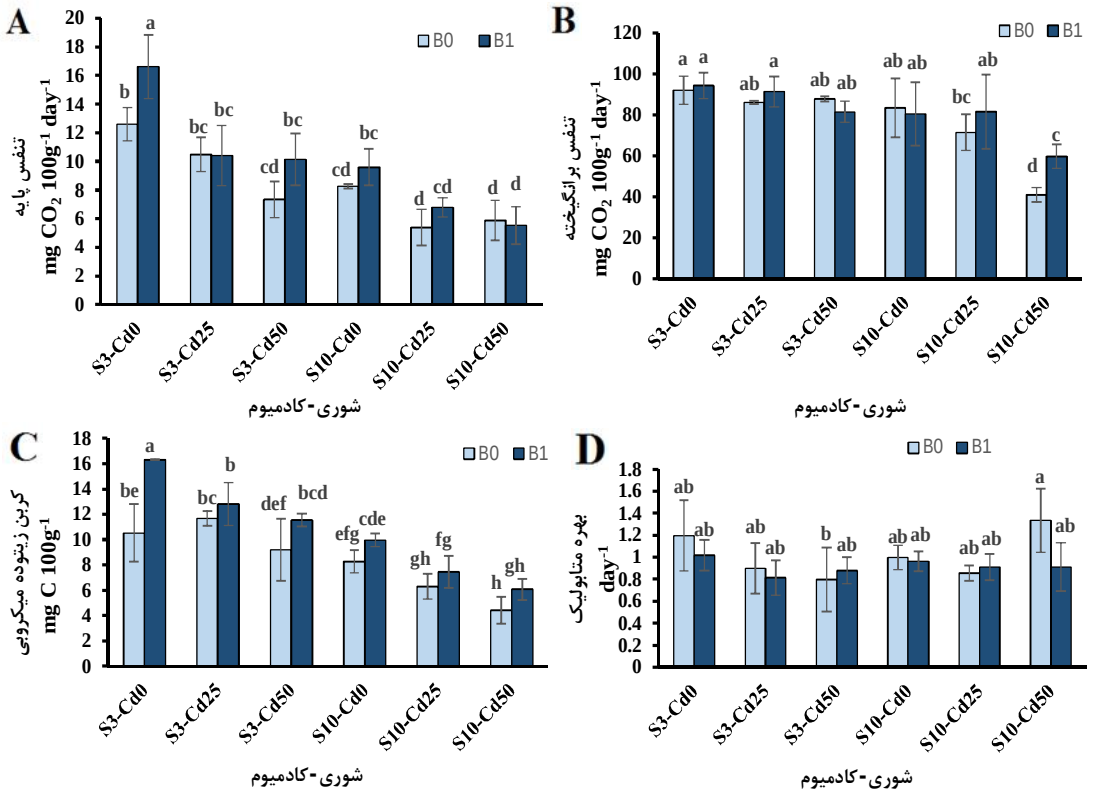
شوری تأثیرات مضری بر اندازه و فعالیت جمعیت میکروبی خاک، زیتوده میکروبی و فرآیندهای بیولوژیکی خاک دارد. این مساله منجر به کاهش سرعت معدنی شدن مواد آلی در خاک و کاهش تولید CO_2 و نیز کاهش میزان کربن زیتوده میکروبی در خاک می‌شود (شاه و شاه، 2011). زلقی و همکاران (2019) کاهش تنفس پایه، تنفس

برانگیخته، کربن زیتوده خاک و افزایش ضریب متابولیک خاک را به دنبال آلودگی خاک با کادمیوم گزارش دادند.

جدول 2- آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر میانگین مربعات تنفس خاک، کربن زیتوده میکروبی و بهره متابولیکی

تیمار	df	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن زیتوده میکروبی	بهره متابولیکی
شوری	1	171^{**}	3328^{**}	219^{**}	$0/02^{ns}$
کادمیوم	2	$65/4^{**}$	1310^{**}	$35/8^{**}$	$0/35^{ns}$
باکتری	1	$5/48^{*}$	183^{ns}	$47/2^{**}$	$0/19^{ns}$
شوری-کادمیوم	2	$6/46^{ns}$	5089^{**}	$0/92^{ns}$	$0/09^{ns}$
شوری-باکتری	1	$4/82^{ns}$	152^{ns}	$5/68^{ns}$	$0/84\times10^{-5ns}$
باکتری-کادمیوم	2	$7/97^{ns}$	$54/6^{ns}$	$5/20^{ns}$	$0/21^{ns}$
شوری-کادمیوم-باکتری	2	$1/35^{ns}$	179^{ns}	$3/64^{ns}$	$0/02^{ns}$
خطا	24	3/80	89/0	1/68	0/11

ns غیر معنی دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد



شکل 1- نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای ویژگی های بیولوژیک خاک، در سطوح مختلف شوری و کادمیوم در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری. A، تنفس پایه؛ B، تنفس برانگیخته با سوبسترا؛ C، کربن بیومس میکروبی؛ D، بهره متابولیک. اختصارها شامل S3، شوری سه و S10، شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر؛ Cd0، شاهد بدون کادمیوم؛ Cd25، سطح 25 و Cd50، سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم؛ B0، بدون تلقیح و B1، تلقیح با باکتری

جدول3- آنالیز واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر میانگین مربعات غلظت عناصر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در اندام هوایی و ریشه

تیمار	df	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلسیم هوایی	اندام کلسیم ریشه	منیزیم هوایی	اندام منیزیم ریشه	کادمیوم هوایی	اندام کادمیوم ریشه
شوری	1	54/61**	22/9***	18/9**	7/56*	10/0**	3/61*	34/9**	1063/0**
کادمیوم	2	10/49**	0/09*	1/57**	1/65ns	3/29**	6/62**	24/5**	21995/1**
باکتری	1	9/25**	0/11*	0/73**	4/34ns	0/29 ns	12/3**	14/1**	3872/6**
شوری-کادمیوم	2	0/19 ns	0/03ns	0/54**	0/90ns	0/10 ns	6/11**	2/13**	461/4**
شوری-باکتری	1	0/23ns	0/04ns	0/01 ns	0/56ns	0/001 ns	1/21ns	2/42**	452/4**
کادمیوم-باکتری	2	5/00**	0/10*	0/14*	0/92ns	0/02 ns	0/62ns	0/09ns	951/8*
شوری-کادمیوم-باکتری	2	2/29*	0/01ns	0/10*	3/40ns	0/01 ns	0/57ns	2/91**	130/6**
خطا	24	0/50	0/02	0/03	1/23	0/19	0/57	0/28	16/9

ns غیر معنی دار، ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد و * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد

مایه زنی با باکتری *سودوموناس* که محرک رشد گیاه و مقاوم به تنش شوری و کادمیوم می‌باشد، منجر به افزایش معنی‌دار (با آزمون دانکن در سطح 0/05 درصد) تنفس پایه در خاک شاهد (بدون تنش‌های شوری و کادمیوم) و نیز منجر به افزایش معنی‌دار تنفس برانگیخته در خاک با شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر و سطح کادمیوم 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم شد (شکل 1) اما افزایش معنی‌داری در سایر تیمارها مشاهده نشد. مایه‌زنی باکتری موجب افزایش کربن زیتوده میکروبی در بیشتر تیمارها شد (شکل 1). در دیگر مطالعات نیز دیده شده است که مایه‌زنی باکتری‌های مقاوم به شوری (*باسیلوس سابتلیس* و *کورینه باکتریوم گلوتامیکوم*) باعث بهبود شاخص‌های میکروبی مذکور می‌گردد (جعفری و همکاران،1391).

ضریب متابولیک نیز در این پژوهش اندازه‌گیری شد (شکل 1). در سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم (تیمار مایه زنی نشده با باکتری)، افزایش شوری از 3 به 10 دسی‌زیمنس بر متر، سبب افزایش معنی‌دار (با آزمون دانکن در سطح 0/05 درصد) ضریب متابولیک گردید که نشان‌دهنده تنش بسیار زیاد (سطح بالای کادمیوم و سطح بالای شوری) برای میکروارگانیسم‌ها در این تیمار می‌باشد. افزایش این پارامتر نشان‌دهنده افزایش تنفس نسبت به زیتوده میکروبی است و در سطح بالای تنش میکروارگانیسم‌ها به جای تولید زیتوده انرژی خود را بیشتر صرف تنفس و زنده ماندن می‌کنند (بروکس ، 1995 و رنلا و همکاران، 2005). نکته جالب توجه این است که مایه‌زنی باکتری به خاک در سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم مانع از افزایش ضریب متابولیک با افزایش شوری از 3 به 10 دسی‌زیمنس بر متر شد، که نشان‌دهنده تاثیر مثبت مایه‌زنی با این باکتری بر ویژگی‌های خاک و افزایش توان مقاومت خاک در برابر تنش‌ها است.

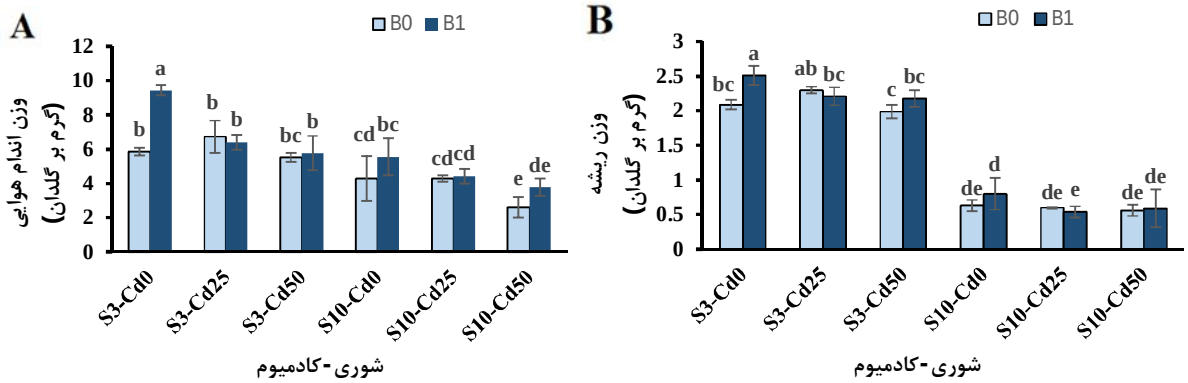
در این پژوهش مقدار ماده آلی خاک در همه تیمارها یکسان بود و به نظر می‌رسد کربن زیتوده میکروبی شاخص حساس و مناسبی (نسبت به تنفس و ضریب متابولیک) برای تعیین اثر مایه‌زنی با باکتری و نیز اثر تنش‌های غیر زیستی مانند شوری و کادمیوم بر فعالیت‌های میکروبی خاک می‌باشد. بدیهی است در هنگام مقایسه خاک‌هایی با ماده آلی متفاوت و یا کاربری‌های متفاوت، ضریب متابولیک نسبت به کربن زیتوده میکروبی، ویژگی مناسب‌تری برای بررسی پیامد آلودگی خاک بر فعالیت ریزجانداران می‌باشد.

تنش شوری و کادمیوم هر دو سبب کاهش وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاه گندم شد (شکل 2). مایه‌زنی با باکتری سبب افزایش معنی‌دار (در سطح 5 درصد) وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی در تیمار شاهد (بدون تنش) شد و در دیگر تیمارها تغییرات معنی‌دار نبود. بابادی و همکاران (2019) با کشت سورگوم در یک خاک آلوده به کادمیوم، کاهش جذب فسفر توسط گیاه، کاهش مقدار کلروفیل برگ و در پی آن کاهش وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاه و نیز افزایش این پارامترها را با مایه‌زنی گیاه با قارچ مایکوریز گزارش دادند. شفیع و همکاران (2010) به این نتیجه دست یافتند که تنش همزمان کادمیوم و شوری سبب کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گندم شد و به طور کلی تعداد ریشه‌های جانبی، طول کلی ریشه ها، میانگین قطر ریشه و حجم کلی ریشه‌ها را کاهش داده و سبب چوب پنبه‌ای شدن ریشه‌ها گردید. از دلایل کاهش وزن خشک در گیاهان تحت تنش شوری، کاهش جذب آب و عناصر غذایی و در پی آن بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی است (ذبیحی و همکاران ،2009؛ هادی و همکاران، 2008). همچنین غلظت بالای کادمیوم با ایجاد اختلال در فعالیت‌های حیاتی گیاه مانند تنفس، فتوسنتز و انتقال عناصر غذایی، موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (ماریا و همکاران، 2013).

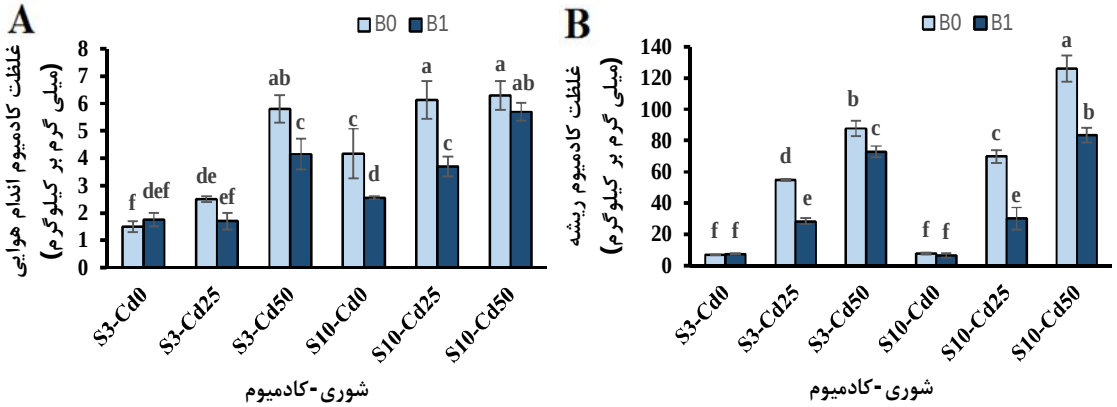
در شکل 3 مشاهده می‌شود که با افزایش سطح کادمیوم غلظت کادمیوم در اندام‌هوایی و ریشه گندم افزایش داشته است. نکته قابل توجه این است که در سطح شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر، گیاه گندم کادمیوم بیشتری را در اندام‌هوایی و ریشه خود جذب نموده است که نشاندهنده اثرات سینرژیستی شوری بر جذب کادمیوم توسط گیاه می‌باشد. در دیگر پژوهش‌ها نیز در خاک‌های شور افزایش حلالیت کادمیوم گزارش شده است که علت را می‌توان تشکیل کمپلکس $CdCl_2$ و نیز رقابت سدیم با کادمیوم برای اشغال سایت‌های تبادلی دانسته که سبب بالا رفتن حلالیت کادمیوم و جذب بیشتر به گیاه می‌شود (خوش‌گفتارمنش و همکاران، 2004). تلقیح با باکتری سودوموناس سبب کاهش غلظت کادمیوم در اندام‌هوایی و ریشه گیاه شده است. تنش های محیطی مانند شوری و فلزات سنگین سبب افزایش سطح اتیلن در اندام‌های گیاه می‌شوند که خود عاملی بازدارنده برای رشد گیاه می‌باشد. باکتری‌های محرک رشد با تولید ACC-دآمیناز سبب کاهش تولید اتیلن و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، جذب بهتر عناصر غذایی و جذب کمتر سدیم و فلزات سنگین به گیاه می‌گردند

(مایاک و همکاران، 2004؛ ساراواناکومار و همکاران، 2010).

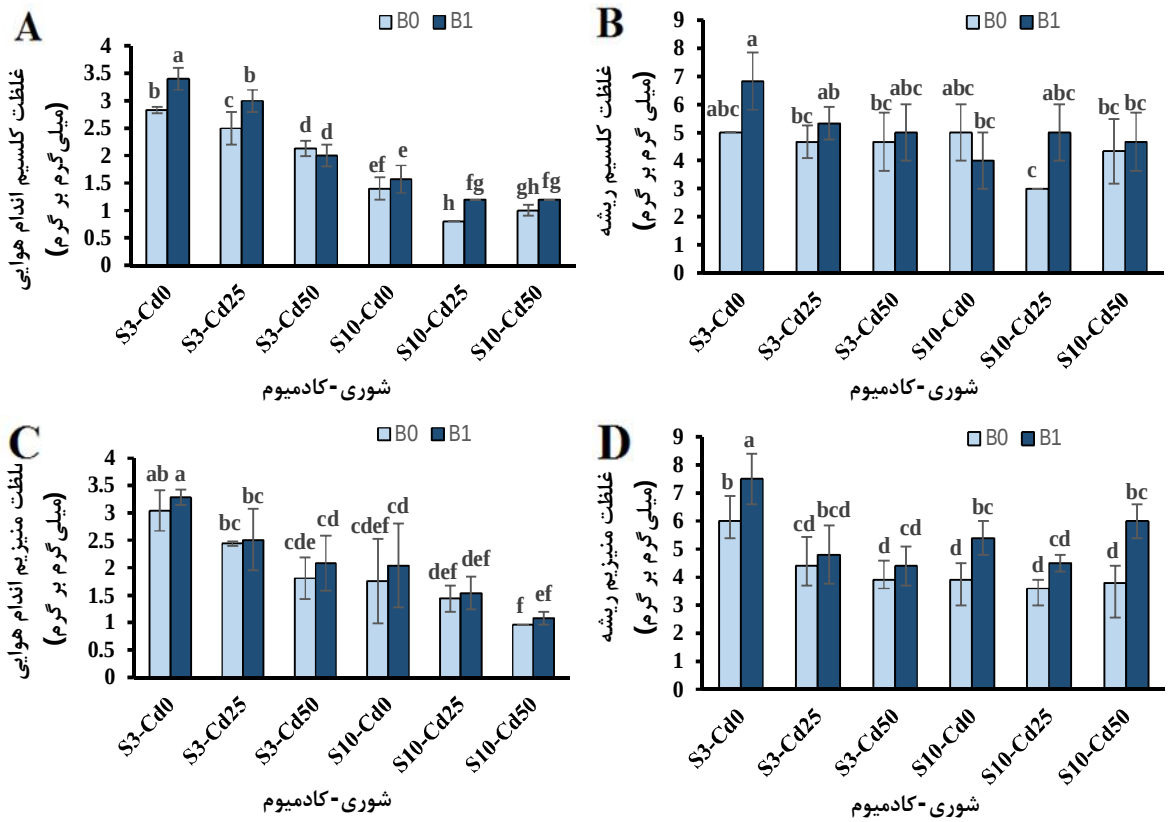
نتایج نشان داد غلظت کلسیم و منیزیم در اندام‌هوایی و ریشه گیاه گندم با افزایش تنش شوری و کادمیوم نسبت به شاهد کاهش یافته است و مایه‌زنی باکتری سبب افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در اندام‌های گیاه نسبت به تیمارهای بدون مایه‌زنی باکتری شده است (شکل 4). کادمیوم با ایجاد تغییر در نفوذپذیری غشا، در جذب سایر عناصر غذایی نیز مشکل ایجاد کرده و منجر به تغییر غلظت عناصر در گیاهان می‌شود (ساروار و همکاران، 2010). از دلایل بروز سمیت ناشی از کادمیوم در گیاهان، برهمکنش آن با عناصر غذایی ضروری گیاه است که باعث برهم خوردن تعادل عناصر غذایی می‌گردد (ساروار و همکاران، 2010). کادمیوم کمبود عناصر غذایی ضروری را در گیاه گندم افزایش می‌دهد (واسیلو و همکاران، 2003).



شکل 2- نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای A وزن خشک اندام هوایی و B ریشه در سطوح مختلف شوری و کادمیوم در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری. اختصارها شامل S3، شوری سه و S10، شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر؛ Cd0، شاهد بدون کادمیوم؛ Cd25، سطح 25 و Cd50، سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم؛ B0 ، بدون تلقیح و B1، تلقیح با باکتری.



شکل 3- نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای غلظت کادمیوم در A اندام هوایی و B ریشه در سطوح مختلف شوری و کادمیوم در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری. اختصارها شامل S3، شوری سه و S10، شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر؛ Cd0، شاهد بدون کادمیوم؛ Cd25، سطح 25 و Cd50، سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم؛ B0 ، بدون تلقیح و B1، تلقیح با باکتری.



شکل 4- نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح 5 درصد در سطوح مختلف شوری و کادمیوم در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری برای A، غلظت کلسیم اندام‌هوایی؛ B، غلظت کلسیم ریشه؛ C، غلظت منیزیم اندام‌هوایی و D، غلظت منیزیم ریشه. اختصارها شامل S3، شوری سه و S10، شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر؛ Cd0، شاهد بدون کادمیوم؛ Cd25، سطح 25 و Cd50، سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم؛ B0 ، بدون تلقیح و B1، تلقیح با باکتری.

کوردوویلاو همکاران (1999) گزارش کردند یکی از اثرات شوری خاک، بروز اختلال در تغذیه گیاهان است و معمولاً مقادیر زیاد کلرید سدیم در محیط ریشه، سبب کاهش جذب، انتقال و تجمع یون‌هایی مانند کلسیم در گیاه می‌شود. هادی و همکاران (2008) در بررسی اثر شوری بر گیاه گندم بیان کردند با افزایش شوری خاک غلظت یون کلسیم در اندام‌هوایی کاهش معنی‌دار در سطوح شوری نسبت به شاهد داشت. همایون و همکاران (1389) گزارش دادند مایه‌زنی باکتری محرک رشد *ریزوبیوم لگومینوزاروم* سبب افزایش غلظت کلسیم در اندام‌هوایی گیاه گندم در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد شد.

کاهش جذب منیزیم در گندم (ایلاهی و همکاران، 1994) و اسفناج (مظلومی و رونقی، 2012) در شرایط تنش شوری گزارش شده است. همچنین اکوستا و همکاران (2011) گزارش کردند یک مکانیسم مهم که فراهمی کادمیوم را در خاک تنظیم می‌کند رقابت بین کمپلکس کلرید کادمیوم با کلسیم یا منیزیم برای محل‌های جذب در خاک می‌باشد.

هاسنین و سبری (1997) بیان نمودند که تلقیح گندم با باکتری *سودوموناس* باعث افزایش تحریک رشد گیاه و کاهش جذب یون‌های سمی توسط گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

تنش‌های شوری و کادمیوم هر دو سبب کاهش تنفس خاک، کربن زیتوده میکروبی، وزن خشک اندام‌هوایی، ریشه و غلظت کلسیم و منیزیم در اندام های هوایی و ریشه گندم و افزایش غلظت کادمیوم اندام‌هوایی و ریشه شد. در بسیاری از تیمارها مایه‌زنی باکتری سبب بهبود ویژگی‌های خاک و گیاه به شکل غیرمعنی‌دار شد. مایه‌زنی باکتری به خاک سبب بهبود تنفس و کربن زیتوده میکروبی خاک در برخی تیمارها، افزایش وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاه در تیمار شاهد، کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه

و افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در اندام‌های گیاه در برخی تیمارها شد. به‌طورکلی استفاده از باکتری‌های محرک رشد در خاک‌های با تنش‌های محیطی می‌تواند در کاهش اثرات تنش‌ها و کمک به بهبود وضعیت اکوسیستم و نیز بهبود رشد گیاه کمک کننده باشد و کاربرد آن توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه شهید چمران اهواز (Grant number 96/3/02/16670) و نیز حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF:96004515) انجام شده که بدینوسیله نویسندگان کمال تشکر را دارند.

فهرست منابع:

1. ثواقبی، غ.ر. اردلان، م. و ملکوتی، م. ج. 1381. اثر مصرف توأم کادمیوم و روی در خاک آهکی بر پاسخ‌های گیاه گندم. مجله علوم کشاورزی ایران. 33 (2): 341-333.
2. جعفری، ص. چرم، م. عنایتی ضمیر، ن. و معتمدی، ح. 1391. بررسی تأثیر *باسیلوس سابتلیس* و *کورینه باکترینه باکتریوم گلوتامیکوم* بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک در سطح شوری مختلف. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). 35 (2): 1-16.
3. همایون، س. لکزیان، ا، حقنیا ،غ. ح. و خراسانی، ر. 1394. تأثیر باکتری‌های *ریزوبیوم* بر غلظت K، Ca و Na (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های شور. 7 (20): 147-155 .
4. علومی، ح. 1382. اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای رشد و القاء تنش اکسیداتیو در گیاه کلزا. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، بخش زیست شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
5. Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., and Martinez, S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemospher, 85: 1318-1324.
6. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In Page, A.L. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp: 831-871.
7. Babadi, M., Zalaghi, R., and Taghavi, M. 2019. A non-toxic polymer enhances sorghum-mycorrhiza symbiosis for bioremediation of Cd. Mycorrhiza, 29: 375-386.
8. Behl, R., Osaki, M., Wasaki, J., Watanabe, T., and Shinano, T. 2003. Breeding Wheat for zinc efficiency improvement in semi-arid climate - A review. Tropics, 12: 295-312.
9. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.
10. Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, pp: 595-624.
11. Brookes, P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biology and Fertility of Soils, 19:269–279.
12. Cappicino, J., Sherman, N. 1992. Microbiology: A laboratory manual. The Benjamin Cummings publishinig company, INC.39. Bridge parkway Redwood city, California, 94065.
13. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. In: Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters. Riverside, CA.
14. Cordovilla, M.P., Ligero, F., and Lluch, C. 1999. Effects of NaCl on growth and nitrogen fixation and assimilation of inoculated and KNO3 fertilized Vicia faba L. and Pisum sativum L. plants. Plant Science, 140: 127–13.

15. Cottenic, A., Veroo, M., Kickens, L., Velgh, G., and Camery, R. 1982. Chemical Analysis for plant and soils Laboratory of Analytical and Agrochemistory. State University of Ghent, Belgium.
16. Dimkpa, C.O., Merten, D., Svatoš, A., Büchel, G., and Kothe, E. 2009. Metal-induced oxidative stress impacting plant growth in contaminated soil is alleviated by microbial siderophores. Soil Biology and Biochemistry, 41: 154–162.
17. Dodd, I.C., and Perez-Alfocea, F. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. Journal of Exprimental Botany, 63(9). 3415-28.
18. Elgharably, A., and Marschner, P. 2011. Microbial activity and biomass and N and P availability in a saline sandy loam amended with inorganic N and lupin residues. European Journal of Soil Biology, 47 :310-315.
19. FAO. 2005. Available on URL:http://www.fao.org.
20. Giller, k., witter, E., and Grath, S.P. Mc. 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils, Soil Biology and Biochemistry, 30 :1389–1414.
21. Ghollarata, M., and Raiesi, F. 2007. The adverse effect of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biological properties in a soil from Iran. Soil Biology and Biochemistry, 39: 1699-1702.
22. Glick, B.R., Liu, C., Ghosh, S., and Dumbrof, E.B. 1997. Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium Pseudomonas putida GR12-2. Soil Biology and Biochemistry, 29: 1233–1239.
23. Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water, and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India.
24. Hadi, M.R., Khosh Kholgh, N.A., Khavarinejad, R., Kiyam Nekoie, S.M. 2008. The effect of elements accumulation on salinity tolerance in seven genotype durum wheat (*Triticum turgidum* L.) collected from the Middle East. Iranian Journal of biology, 21: 326-340.
25. Hani, A., Beauchamp, C.J., Goussard, N., Chabot, R., and Lalande, R. 1998 Potential of Rhizobium and Bradyrhizobium species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). Plant and Soil, 204: 57–67.
26. Hasnain, S., Sabri, A.N. 1997. Growth stimulation of *Triticum aestivum* seedlings under Cr-stress by nonrhizospheric *Pseudomonas* strains. Environmental pollution, 3: 265-273.
27. Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., and Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. Annals of Microbiology, 60: 579-598.
28. Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2011. Gene Expression Profiling of Plants under Salt Stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 30(5): 435-458.
29. Jenkinson, D.S., Powelson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, 8: 209-213.
30. Kafi, M., Khan, M.A. 2008. Relative salt tolerance of south Khorasan millets. Desert 14: 63-71.
31. Khan, M.S., Zaidi, A., Wani, P.A., Oves, M. 2008. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. Environment Chemistry Letters, 7(1) 1-19.
32. Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N. 2004. Effect of saline irrigation water Fand Zn application on soil cadmium solubility and its concentration in wheat. Journal of water and soil science, 7(4):53-60.
33. Lamizadeh, E., Enayatizamir, N., Motamedi, H. 2016. Isolation and Identification of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) from the Rhizosphere of Sugarcane in Saline and

Non-Saline Soil. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 5(10):1072-1083.
34. Loeppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, PP: 437-474.
35. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., Saadat, S., and Kholdbarin, B. 2003. Plant nutrition under saline conditions. Sana Press, Tehran, Iran, (In Persian), P: 233.
36. Maria, S.D., Puschenreiter, M., and Rivelli**,** A.R. 2013. Cadmium accumulation and physiological response of sunflower plants to Cd during the vegetative growing cycle. Plant Soil Environment, 59: 254-261.
37. Mayak, S., Tirosh, S., Glick, B.R. 2004. Plant growth promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. Plant Physiology, 66:525-530.
38. Mazloomi, F., and Ronaghi, A. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3 (9): 85-96.
39. Munso, R.D., Nelson, W.L. 1990. Principle and practice in plant analysis. PP 359-387 In: R.L. Westerman (ed). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. SSSA. Madison, WI.
40. Najafi, N. 2015. Effects of Soil Salinization and Waterlogging on the Concentrations of Some Macronutrients and Sodium in Corn Root. Journal of Crop Ecophysiology, 1:21-40.
41. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus.pp: 403–429. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Madison, WI, ASA, SSSA.
42. Renella, G., Mench, M., Gelsomino, A., Landi, L., Nannipieri, P. 2005. Functional activity and microbial community structure in soils amended with bimetallic sludges. Soil Biology and Biochemistry, 37:1498–1506.
43. Rietz, D.N., and Haynes, R.J. 2003. Effects of irrigation- induced salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry, 35: 845–854.
44. Rhodes, J.D. 1982. Cation Exchange Capacity', in A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (2nd eds), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A, pp: 149–157.
45. Saravanakumar, D., Kavin, M., Raguchander, T., Subbian, P., Samiyappan, R. 2010. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Plant Physiology, 33: 203-209.
46. Sarwar, N., Saifullah Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibia, S., and Farida, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. Journal of the Science of Food and agriculture, 90: 925–937.
47. Shah, A.S., and Shah, Z. 2011. Changes in soil microbial characteristics with elevated salinity. Sarhad Journal of Agriculture, 27(2): 233-244.
48. Shahvali, O., Zalaghi, R., Karim, S., Enayatizamir, N. 2017. Assessing growth inhibitory salt stress and cadmium in some rhizosphere bacterial culture medium. The 2nd International Conference and the 10th National Biotechnology Conference of the Islamic Republic of Iran, pp 1-5.
49. Veselov, D., Kuudoyarova, G., Syymonyan, M., and Veselov, S.T. 2003. Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seadlings. Plant Physiology, 117: 353-359.
50. Walkey, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29–38.

51. Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A., and Lane, D.J. 1991. 16S Ribosomal DNA Amplification for Phylogenetic Study. Journal of Bacteriology, 173, 697-703.
52. Yang, J.W., Kloepper, J.W., Ryu, C.M. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science, 14: 1. 1-4.
53. Zabihi, H.R., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., and Ganjali, A. 2009. Effect of application of *Pseudomonas fluorescents* on yield and yield components of wheat under different soil salinity levels. Journal of Water and Soil, 23(1): 199-208.
54. Zahran, H.H. 1997. Diversity, adaption and activity of the bacterial flora in saline environments. Biology and Fertility of Soils, 25: 223-211.
55. Zalaghi, R., Norouzi Masir, M., and Moezzi, A. 2019. Effects of Cd on soil microbial biomass depend upon its soil fraction distribution. Toxicological and Environmental Chemistry, 9-10: 486-496.
56. Zarea, M.J. and Karimi, N. 2014. Plant physiological mechanisms of salt tolerance induced by mycorrhizal Fungi and *Piriformospora Indica*. Springer Science Business Media New York, pp: 133-152.

Inoculation of wheat with *pseudomonas*: impact on wheat growth and some biological properties of a soil under Cd and salinity stresses

O. Shavalikohshori, R. Zalaghi[1], K. Sorkheh, and N. Enayatizamir

Former student of MS of Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: o.shahvali94@gmail.com
Assistant professor, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: r.zalaghi@scu.ac.ir
Assistant professor, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: karimsorkheh@gmail.com
Associate professor, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: n.enayatzamir@scu.ac.ir

Received: November, 2019 & Accepted: May, 2020

Abstract

Due to the problems of salinity and heavy metals in agricultural soils, this study was designed to reduce the adverse effect of salinity and cadmium stresses when wheat inoculated with pseudomonas. The experiment was designed as a factorial arrangement with three factors including salinity levels (3 and 10 dS m^{-1}), cadmium concentration (0, 25, and 50 mg kg^{-1}), and *Pseudomonas* inoculation (inoculated and non-inoculated) in a completely randomized design with three replications. After harvesting, some soil biological properties (soil respiration and soil microbial biomass) and some plant growth were measured. The results showed that basal respiration (14.6 mg CO_2 $100g^{-1}$ day^{-1}), substrate-induced respiration (93.2 mg CO_2 $100g^{-1}$ day^{-1}), soil microbial biomass (13.4 mg $100g^{-1}$), dry weights of shoot and root (7.65 and 2.30 mg pot^{-1} respectively), Ca concentration of shoot and root (3.12 and 5.92 mg kg^{-1} respectively), and Mg concentration of shoot and root (3.16 and 6.75 mg kg^{-1} respectively) decreased with increasing the salinity and cadmium concentrations. Inoculation of *Pseudomonas* encouraged those parameters compared to non-inoculated treatments. Cd concentration of shoot and root (1.63 and 7.13 mg kg^{-1}, respectively) increased with increasing the salinity and cadmium stress but inoculation of *Pseudomonas* lessened the Cd concentration of shoot and root. Therefore, the negatives effect of saline and Cd stress might be condensed if wheat is inoculated by *Pseudomonas*.

Keywords: Heavy metal, Microbial biomass carbon, Plant growth-promoting bacteria, Soil microbial respiration.

[1.] Corresponding author: Soil science department, Faculty of agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz.