

تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر گندم (رقم مروارید) تحت آلودگی به نیترات مس

الهه تشکری فرد*^۱، فاطمه تقوی قاسمخیلی^۲، همت‌اله پیردشتی^۳

^۱ دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

^۳ دانشیار، گروه زراعت پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۰۵

چکیده

تجمع فلزات سنگین با ایجاد سمیت در خاک‌های کشاورزی تهدیدی برای تولید گیاهان زراعی است. مطالعات زیادی نشان داده‌اند کاربرد میکروارگانیسم‌هایی نظیر باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند به‌طور معنی‌داری این سمیت را کاهش دهد. بنابراین به منظور بررسی اثر این باکتری‌ها بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی گندم رقم مروارید تحت آلودگی به نیترات مس، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سطوح مختلف نیترات مس (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کاربرد و عدم کاربرد باکتری‌های *Azotobacter spp.* و *Azospirillum spp.* با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که تلقیح باکتری بر صفات طول ریشه‌چه، ضریب آلومتری و طول گیاهچه و آلودگی به نیترات مس، بر سرعت و درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل تیمار باکتری و آلودگی تنها در صفات طول ریشه‌چه و ضریب آلومتری در سطح یک درصد معنی‌داری بود. با افزایش غلظت نیترات مس، سرعت و درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقچه و گیاهچه به‌ترتیب نسبت به شاهد ۴۱، ۱۷، ۷۰، ۳۳ و ۶۳ درصد کاهش نشان داد. بیشترین میزان طول ریشه‌چه و ضریب آلومتری مربوط به تیمار کاربرد باکتری و سطح صفر نیترات مس بود و با افزایش آلودگی صفات مذکور کاهش یافتند. در مجموع به‌نظر می‌رسد باکتری‌های افزاینده رشد مورد مطالعه نسبت به سطح ۵۰ و بالاتر نیترات مس حساس می‌باشند و محلول مس به‌طور معنی‌داری باعث بازدارندگی جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شده و سمیت آن با افزایش غلظت زیاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های افزاینده رشد، جوانه‌زنی، گندم، مس

خاک به‌عنوان منبع اصلی تغذیه معدنی گیاهان توسط آلاینده‌های بسیاری با غلظت‌ها و ترکیبات مختلف مورد آلودگی قرار گرفته است (Alipoor Darvari et al., 2008; Mukhtar, 2008). یک دسته از این آلاینده‌ها فلزات سنگین هستند که از طریق فعالیت‌های بشر و فرسایش طبیعی سنگ‌ها می‌توانند به بیوسفر وارد شوند (Parsadoost et al., 2007). در این میان، مس عنصری کم مصرف و ضروری برای همه گیاهان آلی است اما زمانی که در اثر فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی غلظت آن از سطح بسیار اندک در خاک تجاوز کند، می‌تواند به‌دلیل اثرات بالقوه بازدارنده روی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و شیمیایی سمیت زیادی بر سلول‌های گیاه ایجاد کند، به‌طوری‌که با تشکیل رادیکال‌های آزاد سبب آسیب به سطح سلولی شود که این آسیب در مورد عنصر مس به خوبی فلزات دیگر مستند شده است (Ahsan et al., 2007; Raissi et al., 2010; Houshmandfar and Moraghebi, 2011). مطالعات نشان داده‌اند که مقادیر زیاد مس در خاک ممکن است. به‌دلیل کلروز برگ‌ها از فتوسنتز گیاهان جلوگیری کند (Liu et al., 2009; Gordon, 2004). علاوه بر این غلظت بالای عناصر سنگین مانند مس، سرب و کادمیوم باعث اختلال و بازدارندگی در جوانه‌زنی، رشد بذور و رشد و نمو ریشه و گیاه می‌گردد (Shariat and Asareh, 2006; Weiqiang et al., 2005). در همین زمینه، Shariat and Asareh (2006) به بررسی تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سه گونه اکالیپتوس پرداختند و گزارش کردند که سمیت عنصر مس، کادمیوم، سرب و روی بر شاخص بنبه بذر تأثیر منفی داشته و موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گردید. Weiqiang et al. (2005) نیز بیان داشتند که با افزایش غلظت مس، طول ریشه‌چه در گیاه *Arabidopsis* کاهش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر گزارش شد که سمیت کادمیوم رشد و توسعه گیاهچه یونجه را محدود می‌کند و جوانه‌زنی بذر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت‌های پایین کروم، کادمیوم، مس و نیکل قرار گرفت. در غلظت‌های بیشتر نیز کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی مشاهده شد (Saber et al., 2010). بنابراین نیاز به گسترش رویه‌هایی برای پاکسازی آلاینده‌ها از محیط زیست احساس می‌شود. در سال‌های اخیر فناوری‌های بهره‌برداری از میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان جاذب زیستی با هدف کاهش یا برداشت فلزات سنگین موجود در محیط آلوده، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا انتخاب زیست‌توده از جهت فراوانی در محیط و کم‌هزینه بودن از اهمیت بالایی برخوردار است و ایجاد تنوع زیستی با استفاده توأم گیاهان، جلبک‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها حائز اهمیت است (Parsadoost et al., 2007; Zafar et al., 2007; Vankar and Bajpai, 2008; Keshkar et al., 2010; Sarkar et al., 2010; Shams Khoramabadi et al., 2010). طی این فرایند میکروارگانیسم‌ها از طریق ایجاد پیوند فلزات با دیواره سلولی‌شان آن‌ها را غیرمتحرک می‌کنند (Akhtar et al., 2007). تعداد قابل توجهی از گونه‌های باکتریایی و قارچی خاک دارای روابط کارکردی با گیاهان بوده و اثرات مفیدی بر رشد آن‌ها دارند. امروزه عقیده بر این است که روابط متقابل بین ریشه گیاه و ریزموجودات خاک توسط مداخلات انسان از طریق فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی تحت تأثیر قرار گرفته است (Koocheki et al., 2008)، به‌طوری‌که رواج آلودگی خاک‌های مزارع کشاورزی با فلزات سنگینی مثل کادمیوم، مس، نیکل و روی تهدید جدیدی را برای کشاورزی به‌وجود آورده است (Houshmandfar and Moraghebi, 2011). بنابراین با توجه به آلودگی‌های گسترده خاک‌های کشاورزی لزوم توجه به مرحله جوانه‌زنی گیاهان زراعی وجود دارد (Radovicu et al., 2009). با توجه به اینکه جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل آسیب‌پذیر در چرخه زندگی گیاه هستند سمیت فلز می‌تواند یکی از فاکتورهای مهم کنترل‌کننده جوانه‌زنی و رشد گیاهان باشد به‌طوری‌که اثرات کنترل‌کننده آن بر گیاهان بستگی به

میزان غلظت آن در محیط دارد (Houshmandfar and Moraghebi, 2011). به‌طور کلی جوانه‌زنی از دو طریق سمیت کلی بذرها و جذب آب، تحت تأثیر فلزات قرار می‌گیرد و فلزات بسته به غلظت‌شان قادر به کاهش جوانه‌زنی هستند (Kramer and Colville, 2011). در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی روی توانایی بذر برای بهبود سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی رشد و کاهش زمان جوانه‌زنی بسیاری از سبزیجات و بعضی از گیاهان زراعی صورت گرفته است (Moeinzadeh et al., 2010). یکی از رهیافت‌های بهبود جوانه‌زنی گیاهان در زمین‌های آلوده استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ (PGPR) است (Radovicu et al., 2009). این ریزموجودات آزادی در حقیقت ریزوباکترهایی بوده که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از فرم قابل دسترس طی فرایندهای بیولوژیکی داشته و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جوانه‌زنی بذر می‌گردد و اثرات مثبتی در تحریک رشد گیاه دارند (Koocheki et al., 2008). بنابراین با توجه به اهمیت حذف آلاینده‌ها با استفاده از روش‌های مقرون به‌صرفه و هماهنگ با طبیعت از یک سو و بررسی میزان خسارت فلزات سنگین به جوانه‌زنی به‌عنوان مرحله‌ای مهم در چرخه زندگی گیاه گندم از سوی دیگر، پژوهش حاضر طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۸۹ در آزمایشگاه تنش‌های محیطی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار و با دو عامل انجام شد. عامل اول تلفیق دو باکتری تثبیت کننده نیتروژن شامل *Azotobacter spp.* و *Azospirillum spp.* (تلقیح یا عدم تلقیح با بذر) و عامل دوم شامل چهار سطح عنصر مس (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از منبع نیترات مس) بود. بذرهای گندم (رقم مروارید) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران تهیه گردید. ابتدا بذرهای سالم از بذرهای چروکیده و نابارور جدا گردید و با هیپوکلرید سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شد (Ghaderi et al., 2010). سپس محلول 10^7 cfu/g از باکتری‌های مورد نظر که به‌صورت کود بیولوژیک با نام تجاری نیتروکسین بود تهیه و بذرها به مدت دو ساعت در آن خیسانده شدند. تعداد ۲۰ عدد بذر در هر پتری‌دیش (به قطر ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۱/۵ سانتیمتر) حاوی یک عدد کاغذ واتمن ۴۲ قرار داده و هر پتری به‌عنوان یک تکرار از تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شد. سپس به مقدار ۱۰ میلی لیتر از محلول نیترات مس با غلظت‌های مشخص برای هر تیمار در داخل هر پتری‌دیش ریخته و برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. پتری‌ها به مدت ۱۰ روز در ژرمیناتور (مدل IKH.RH شرکت ایران خودساز، ایران) با دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و تعداد بذرهای جوانه‌زده روزانه در ساعتی معین شمارش گردید (Eivazi and Tajaddin Kokiae, 2010). بذرهایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (Zeinali et al., 2002). طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه (رابطه ۱)، ضریب آلومتری یا نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (Eftekhari et al., 2009) و وزن تر و خشک گیاهچه اندازه‌گیری شد و بر اساس داده‌های بدست آمده از این شمارش‌ها، شاخص جوانه‌زنی (رابطه ۲)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۳)، درصد جوانه‌زنی (رابطه ۴) و شاخص بنیه بذر (رابطه ۵)، محاسبه شد.

رابطه [۱] طول گیاهچه = طول ریشه‌چه + طول ساقه‌چه (Saberi et al., 2010)

رابطه [۲] $(GI) = (\sum N_i T_i) / S$ = شاخص جوانه‌زنی

T_i تعداد روزهای پس از کشت، N_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i و S تعداد کل بذرها است. اندازه کم این شاخص معمولاً بیانگر مدت زمان کوتاه‌تر جوانه‌زنی است (Shariat and Asareh, 2006).

$$\text{رابطه [۳]} \quad \text{سرعت جوانه‌زنی (GS)} = \sum n_i / D_i$$

D_i تعداد روز پس از شروع آزمایش و n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در روزهای شمارش است (Alizadeh and Isvand, 2004).

$$\text{رابطه [۴]} \quad \text{درصد جوانه‌زنی (GP)} = G/N \times 100$$

G تعداد نهایی بذرهای جوانه زده و N تعداد کل بذرها است (Mukhtar, 2008).

رابطه [۵] شاخص بنیه بذر = $100 / \text{طول گیاهچه (میلی متر)} \times \text{درصد جوانه‌زنی}$ (Alizadeh and Isvand, 2004)

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت که نتایج حاکی از نرمال بودن داده‌ها بود (داده‌ها نشان داده نشده است). تجزیه واریانس استاندارد داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۸) (Soltani, 2009) و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که کاربرد مس جز بر شاخص جوانه‌زنی و وزن تر و خشک گیاهچه بر سایر صفات مورد مطالعه تأثیر بسیار معنی‌داری ($P \leq 0.01$) داشته در حالی که کاربرد باکتری تنها بر طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و ضریب آلومتری اثر معنی‌داری داشت. همچنین بین کاربرد باکتری و سطوح نیترات مس در صفات طول ریشه‌چه و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه برهمکنش معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱).

بر اساس نتایج حاصله، بیشترین تأثیر در کاهش روند سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کاربرد نیترات مس (۴۱ درصد کاهش نسبت به شاهد) بود (جدول ۲). همچنین بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آلودگی به نیترات مس نداشت (جدول ۲)، که می‌تواند نشان‌دهنده این امر باشد که سرعت جوانه‌زنی بذر گندم به سمیت مس چندان حساس نمی‌باشد. با این وجود، در مطالعه‌ای که در گیاه برنج انجام شد، سرعت جوانه‌زنی در اثر آلودگی مس کاهش پیدا کرد (Ahsan et al., 2007). در آزمایشی روی بذر کلم چینی مشاهده شد که در غلظت‌های پایین مس، سرعت جوانه‌زنی کلم چینی را افزایش داد، در حالی که غلظت‌های بالا اثر بازدارنده‌ای داشته و جوانه‌زنی بذر و همچنین سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد (Liu et al., 2009). بیشتر اطلاعاتی که در دسترس هستند، اثرات سمی فلزات بر جوانه‌زنی را نشان می‌دهند. در تحقیقی اثر فلزاتی از قبیل مس، روی، جیوه، سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه *Arabidopsis* بررسی شد و جوانه‌زنی در یک همبستگی منفی با افزایش غلظت عناصر سنگین کاهش یافت (Kranner and Colville, 2011). بیشترین کاهش درصد جوانه‌زنی نیز همانند سرعت جوانه‌زنی در تیمار مربوط به ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس (۱۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). همچنین بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با سطح ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس نداشت (جدول ۲). اخیراً در مطالعه‌ای گزارش شد که تیمار بذر گندم با عنصر مس با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و بالاتر باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Houshmandfar and Moraghebi, 2011).

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳)، شاخص بنیه بذر با افزایش غلظت مس از یک روند کاهشی برخوردار بود به طوری که کمترین شاخص بنیه بذر در تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر با ۷۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. این نتیجه می تواند بیانگر این امر باشد که با وجود نیاز به مس به میزان کم در ابتدای رشد گیاه، غلظت های زیاد آن به دلیل حساس بودن رشد گیاهچه به عناصر سنگین باعث سمیت گیاه می شود. (Weiqiang et al., 2005) در پژوهشی نشان دادند که رشد گیاهچه *Arabidopsis* در مقایسه با جوانه زنی بذر نسبت به عناصر سنگین حساس تر است. نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش غلظت نیترات مس در محیط رشد گیاه، طول ریشه چه کاهش می یابد به طوری که با توجه به اثر متقابل کاربرد باکتری و آلودگی نیترات مس (شکل ۱)، کمترین طول ریشه چه مربوط به تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر بود که نسبت به تیمار شاهد در زمان تلقیح با باکتری به ترتیب به میزان ۹۱ و ۹۲ درصد کاهش داشت و از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با تیمار عدم کاربرد باکتری در این سطوح آلودگی نداشت. در پژوهش مشابهی، حضور ۱۲ میلی گرم بر لیتر مس از رشد ریشه ذرت جلوگیری نمود (Mahmood et al., 2005). بر اساس مطالعه ای، جلوگیری از تولید شدن ریشه در حضور فلزات سنگین به تداخل فلز با تقسیم سلولی، شامل تحریک انحرافات کروموزومی و میتوز غیرطبیعی نسبت داده شد (Houshmandfar and Moraghebi, 2011). از سوی دیگر، باکتری با ترشح اسیدهای آمینه و انواع آنتی بیوتیک، سیانید هیدروژن و سیدروفور موجب رشد و توسعه ریشه و قسمت هوایی گیاهان می شود و با محافظت از ریشه ها در برابر عوامل بیماری زای خاکزی موجب افزایش محصول می گردد (Roshdi et al., 2009). همچنین در پژوهشی روی گیاه کلزا بیان شد که افزایش طول ریشه و قسمت هوایی در تلقیح باکتری با بذر به دلیل محلول سازی و جذب مواد غذایی و یا تولید تنظیم کننده های رشد گیاهی توسط باکتری می باشد (Houshmandfar and Moraghebi, 2011). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۲)، طول ساقه چه تحت تأثیر آلودگی به نیترات مس قرار گرفت به طوری که بیشترین طول ساقه چه در تیمار شاهد مشاهده شد و با تیمار ۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات مس از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشت در حالی که کمترین میزان این صفت (۳۱ درصد کاهش نسبت به شاهد) مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر بود و از لحاظ آماری با سطح ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات مس تفاوت معنی داری نداشت. با توجه به شکل ۲ با افزایش غلظت مس نسبت طولی ریشه چه به ساقه چه کاهش یافت که می تواند به دلیل اثر بازدارندگی این عنصر در طول ریشه چه (شکل ۱) باشد. بر اساس آزمایش هایی که در گیاه برنج انجام شد، طول اندام هوایی، زیست توده گیاهی و محتوای آب در اثر آلودگی مس کاهش پیدا کرد. به طوری که در غلظت بالاتر از ۰/۵ تشکیل ریشه و در غلظت بالاتر از ۱/۵ میلی مولار تشکیل اندام هوایی متوقف گردید (Ahsan et al., 2007). با توجه به اثر نیترات مس در طول ریشه چه و ساقه چه، با افزایش غلظت مس طول گیاهچه از روند کاهشی برخوردار بود به طوری که بیشترین طول گیاهچه در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات مس (۶۳ درصد کاهش نسبت به شاهد) مشاهده شد. در این زمینه گزارش شده که طول گیاهچه به سمیت فلزات سنگین بسیار حساس است (Kranmer and Colville, 2011). همچنین در مطالعه ای در گیاه آفتابگردان، علت کاهش طول گیاهچه را در حضور عناصری مثل نیکل، مس، کادمیوم و روی به کاهش توسعه سلولی نسبت دادند. به نظر می رسد در حضور فلزات سنگین، سلول های مرستمی و آنزیم های لپه و آندوسپرم کاهش می یابد و سلول شروع به هضم ذخیره مواد غذایی می کند که به صورت محلول به ریشه اولیه و اندام هوایی منتقل می شود. بنابراین وقتی فعالیت آنزیم های

هیدرولیتیک تحت تأثیر قرار گیرد مواد غذایی نمی‌تواند به ریشه اولیه و اندام هوایی برسد و در نتیجه بر طول گیاهچه مؤثر است (Houshmandfar and Moraghebi, 2011).

با توجه به نتایج آزمایش مشاهده شد که سطوح آلودگی به فلز مس به‌طور وسیعی منجر به کاهش صفات مرتبط با جوانه‌زنی گندم گردید. نتایج نشان داد که بین تیمار کاربرد باکتری و نیترات مس فقط در صفات طول ریشه‌چه و ضریب آلودگی برهمکنش معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱) به‌طوری‌که در سطح شاهد، کاربرد باکتری موجب بهبود معنی‌دار طول ریشه‌چه و ضریب آلودگی گردید. در حالی‌که در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مس، کاربرد باکتری باعث کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه (۳۶ درصد) و ضریب آلودگی (۴۳ درصد) نسبت به عدم کاربرد باکتری شد. اما در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مس، کاهش غیر معنی‌داری در اثر کاربرد باکتری نسبت به عدم کاربرد باکتری در این صفات مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد مورد مطالعه نسبت به سطح ۵۰ و بالاتر نیترات مس حساس می‌باشد و محلول مس به‌طور معنی‌داری باعث بازدارندگی جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شده و سمیت مس با افزایش غلظت زیاد می‌شود.

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه‌زنی گندم

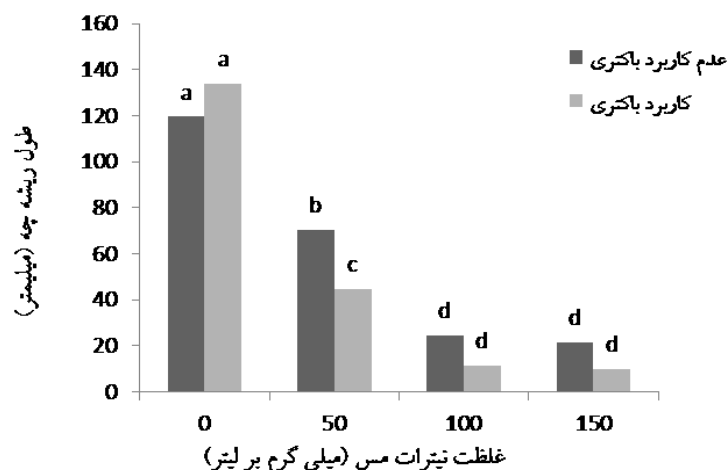
منبع تغییرات	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	شاخص جوانه‌زنی	شاخص بینه بذر	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	ضریب آلودگی	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
آزوسپریلیوم و ازتوباکتر (A)	۱	۰/۳۹۸ ^{ns}	۰/۷۸۱ ^{ns}	۰/۰۸۵ ^{ns}	۲۱۴۴/۷ ^{ns}	۶۵۰/۲۵ [*]	۵۷۱/۲ ^{ns}	۱۴/۵۱ ^{**}	۵۵۰/۲۰ ^{**}	۲۲۲۳/۸ ^{ns}	۱/۲۵۳ ^{ns}
نیترات مس (B)	۳	۲۲/۲۱ ^{**}	۴۸۴/۱ ^{**}	۰/۷۷۲ ^{ns}	۳۹۱۸۳/۴ ^{**}	۲۱۴۹۴/۹ ^{**}	۳۶۸۹/۴ ^{**}	۱۲۴/۸ ^{**}	۳۶۵۴۷/۷ ^{**}	۲۰۲/۳۸ ^{ns}	۵/۸۱۳ ^{ns}
A×B	۳	۰/۶۰۹ ^{ns}	۲۷/۸۶ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۹۶۵/۶۴ ^{ns}	۵۶۴/۲ ^{**}	۸۶/۲۷ ^{ns}	۸/۲۲۳ ^{**}	۲۰۰/۷۴ ^{ns}	۱۲۷۰/۴ ^{ns}	۱۹/۳۹۴ ^{ns}
خطای آزمایش	۲۴	۲/۵۹	۱۰۰/۲۶	۰/۶۱۴	۱۱۰۳/۸	۱۰۲/۴	۴۶۳/۸۲	۱/۴۶۷	۲۹۳/۹۱	۱۲۰۳/۷۵	۲۲/۹۴۷
ضریب تغییرات (درصد)	۲۲/۱۶	۲/۱۶	۱۱/۵۰	۲۷/۸۹	۲۵/۹۲	۱۸/۵۵	۲۴/۰۴	۲۲/۹۴	۱۱/۹۶	۲۸/۸۶	۲۳/۴۱

ns * و ** به ترتیب: عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی باکتری و مس در برخی از صفات مرتبط با جوانه‌زنی گندم

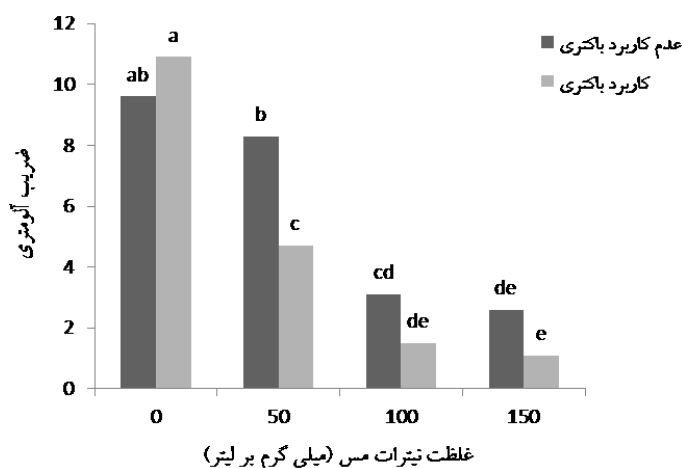
تیمار	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر جوانه‌زده در روز)	درصد جوانه‌زنی	شاخص بینه بذر	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول گیاهچه
آزوسپریلیوم و ازتوباکتر					
کاربرد	۷/۳۷ ^a	۸۶/۸۷ ^a	۱۱۹/۹۷ ^a	۸۵/۳۲ ^a	۱۳۰/۱۶ ^b
عدم کاربرد	۷/۱۵ ^a	۸۷/۱۸ ^a	۱۳۶/۳۴ ^a	۹۳/۷۷ ^a	۱۵۶/۳۸ ^a
LSD (%۵)	۱/۲۳	۷/۵۱	۲۴/۱۲	۱۵/۳۰	۲۲/۱۴
سطوح کاربرد مس (میلی‌گرم در لیتر)					
صفر	۸/۵۷ ^a	۹۳/۱۲ ^a	۲۱۶/۶۷ ^a	۱۰۶/۹۹ ^a	۲۳۰/۴۲ ^a
۵۰	۸/۴۶ ^a	۹۳/۱۲ ^a	۱۵۱/۱۶ ^b	۱۰۳/۶۰ ^a	۱۶۲/۴۸ ^b
۱۰۰	۶/۹۹ ^a	۸۵/۰۰ ^{ab}	۷۹/۸۰ ^c	۷۶/۱۹ ^b	۹۶/۶۰ ^c
۱۵۰	۵/۰۱ ^b	۷۶/۸۷ ^b	۶۴/۹۹ ^c	۷۱/۴۳ ^b	۸۳/۵۸ ^c
LSD (%۵)	۱/۷۴	۱۰/۶۲	۳۴/۱۸	۲۱/۶۴	۱۸/۱۶

در هر ستون و هر تیمار حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد باکتری و نیترات مس بر طول ریشه چه.

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است



شکل ۲- اثر متقابل کاربرد باکتری و نیترات مس بر ضریب آلومتری.

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، آلودگی به نیترات مس در مراحل اولیه رشد بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی گیاه گندم اثر منفی داشت. با این وجود، تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد ریشه را در پی داشت. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از میکروارگانیسم‌هایی همچون باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد جهت بهبود رشد و ارتقای مؤلفه‌های جوانه‌زنی گیاه در جهت استقرار بهتر در مزرعه و در نهایت سطح سبز بیشتر می‌تواند مورد بررسی و توجه بیشتری قرار گیرد.

Reference

- Ahsan, N., Lee, D.G., Lee, S.H., Kang, K.Y., Lee, J.J., Kim, P.J., Yoon, H.S., and Lee, H.B. 2007. Excess copper induced physiological and proteomic changes in germinating rice seeds. *Chemosphere*. 67(6): 1182-1193.
- Akhtar, K., Akhtar, M.W., and Khalid, A.M. 2007. Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by *Trichoderma harzianum*. *Water Research*. 41: 1366-1378.

- Alipoor Darvari, H., Zare Mayvan, H., and Sharifi, M. 2009. Evaluation of rate of radish proxidase activity and its relationship with heavy metals in soil. *Journal of Science University of Tehran*. 35(1): 37-43.
- Alizadeh, M.A., and Isvand, H.R. 2004. Evolution and the study of germination potential, speed of germination and vigor index of the seeds of two species of medicinal plants (*Eruca sativa* Lam., *Anthemis altissima* L.) under cold room and dry storage condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 20(3): 301-307.
- Eftekhari, S.Gh., FalahNosrat Abad, A.R., Akbari, Gh.A., Mohadesi, A., and Dadi, I. 2009. Effect of phosphate fertilizers and phosphate sollubilizing bacteria on growth of rice. *Iranian Journal of Soil Research*. 23(2): 230-238.
- Eivazi, A.R., and Tajaddin Kokiae, R. 2010. The effect of seed priming on germination and grain yield characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Crops Improvement*. 12(2): 51-62.
- Ghaderi, R., Kargarbide, A., and Banihashemi, Z. 2010. Aspects of the biology of common root lesion nematodes (*Pratylenchus thornei* and *P. neglectus*) in the irrigated wheat and corn fields of marvdasht, fars province. *Iranian Journal of Plant Pathology*. 45(2): 161-171.
- Gordon, J. 2004. The effect of copper on the growth, development and chemical composition of some dryland Wheat cultivars. M.Sc. Thesis, Department of Biodiversity and Conservation Biology, University of the Western Cape. 1-95.
- Houshmandfar, A., and Moraghebi, F. 2011. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc on seed germination and seedling growth of safflower. *African Journal of Agricultural Research*. 6(5): 1182-1187.
- Keshtkar, A., MontazerRahmati, M.M., and Khodapanah, N. 2010. Application of two-parameter and three-parameter isotherm modelsat uranium biosorption by Baker's Yeast. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 50: 1-8.
- Koocheki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Effect of biofertilizers on agonic and quality criteria of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 6(1): 127-137.
- Kranner, I., and Colville, L. 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. 72: 93-105.
- Liu, T.F., Wang, T., Sun, C., and Wang, Y.M. 2009. Single and joint toxicity of cypermethrin and copper on Chinese cabbage (Pakchoi) seeds. *Journal of Hazardous Materials*. 163(1): 344-348.
- Mahmood, S., Hussain, A., Saeed, Z., and Athar, M. 2005. Germination and seedling growth of corn (*Zea mays* L.) under varying levels of copper and zinc. *International Journal of Environmental Science Technology*. 2(3): 269-274.
- Moeinzadeh, A., Sharif-Zadeh, F., Ahmadzadeh, M., and Heidari Tajabadi, F. 2010. Bioprimering of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth. *Australian Journal of Crop Science*. 4(7): 564-570.
- Mukhtar, I. 2008. Influence of Trichoderma species on seed germination in Okra. *Mycopath*. 6(1&2): 47-50.
- Parsadoost, F., Bahreini Nejad, B., SafariSanjani, A.K., and Kaboli, M.M. 2007. Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils. *Pajouhesh and Sazandegi*. 75: 54-63.
- Radovicu, E.M., Tomulescu, I.M., and Merca, V.V. 2009. Effects induced following the treatments with copper, manganese and zinc on corn seeds germination (Carrera, Turda 200 and HD-160). *Annals of Oradea University, Biology Fascicle*. 16(1): 105-107.
- Raissi, M.A., Asrar, Z., and Pourseyedi, Sh.2010. Interaction of sodium nitroprusside and copper on som growth and physiologic parameter of Garden Cress (*Lepidium sativum* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*. 1(1-2): 56-77.
- Roshdi, M., Rezadost, S., Khalili Mahale, J., and Haji Hasani Asl, N. 2009. The effect of biofertilizer on yield and yield components of three cultivars of oil sunflower. *Journal of Agricultural of Islamic Azad University, Tabriz Branch*. 3(10): 11-24.
- Saberi, M., Tavili, A., Jafari, M., and Heydari, M. 2010. Effect of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Atriplex lentiformis*. *Journal of Range*. 1: 112-120.

- Sarkar, S., Satheshkumar, A., Jayanthi, R., and Premkumar, R. 2010. Biosorption of nickel by live biomass of *Trichoderma harzianum*. Research Journal of Agricultural Sciences. 1(2): 69-74.
- Shams Khorramabadi, Gh., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., and Jorfi, S. 2010. Cd (II) adsorption using waste sludg from a municipal waste water treatment system. Journal of Water and Wastewater. 1: 57-62.
- Shariat, A., and Asareh, M.H. 2006. Effects of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of three Eucalyptus species. Journal of Genetics and Pasture and Forest Plants Breeding in Iran. 14(1):38-46.
- Soltani, A. 2009. Application of SAS in Statistical Analysis. Jihad Daneshgai Mashhad Press. Second Edition. p. 182.
- Vankar, P.S., and Bajpai, D. 2008. Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by *Trichoderma* species. Desalination. 222: 255-262.
- Weiqliang, L.I., Khan, M.A., Yamaguchi, S.H., and Kamiya, Y. 2005. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. Plant Growth Regulation. 46: 45-50.
- Zafar, S., Aqil, F., and Ahmad, E. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. Bioresource Technology. 98: 2557-2561.
- Zeinali, E., Soltani, A., and Galeshi, S. 2002. Response of germination components to salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Agricultural Science. 33(1): 137-145.