علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره اول/ ۱۳۹۸ (۱۱۹ - ۱۰۷)

DOI: 10.22124/jms.2019.3591

تأثیر سولفات‌مس بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک چهار رقم گندم (*Triticum aestivum* L.)

علیرضا یدوی[۱*]، عیسی مقصودی[۲]، جمیله جانزاده ده شیخ[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۱۳

چکیده

وجود سولفات‌مس در آب و خاک می‌تواند منجر به کاهش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه و همچنین کاهش رشد و تولید گیاهان شود. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف سولفات‌مس (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و ارقام مختلف گندم (ارگ، بهار، بک‌کراس روشن و روشن) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین بنیه طولی (۲۳/۸۸ میلی‌متر)، بنیه وزنی (۱۸/۵۴ میلی‌گرم) و وزن خشک گیاهچه (۱۸/۵۴ میلی‌گرم) از رقم روشن در غلظت صفر سولفات‌مس حاصل شد. همچنین بیشترین میزان قندهای محلول کل (۱/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از رقم بک‌کراس روشن در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس و بیشترین میزان پرولین (۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از رقم بهار در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس به‌دست آمد. در بین اثرات اصلی سولفات‌مس بیشترین ذخیره مصرفی بذر (۱۸/۴۵ میلی‌گرم)، کارایی استفاده از ذخایر بذر (۰/۷۷ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر)، درصد تخلیه ذخایر بذر (۴۳/۰۱ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۱۱/۱۹) از غلظت صفر و در بین ارقام مختلف گندم بیشترین ذخیره مصرفی بذر (۱۸/۱۰ میلی‌گرم) و درصد تخلیه ذخایر بذر (۳۹/۸۹ درصد) از رقم روشن، بیشترین کارایی استفاده از ذخایر بذر (۰/۷۶ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر) از رقم ارگ و بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱۰/۹۴) از رقم بک‌کراس روشن حاصل شد. در بین ارقام مختلف گندم، رقم روشن و بک‌کراس روشن از لحاظ تحمل به سولفات‌مس نسبت به ارقام بهار و ارگ برتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، درصد تخلیه، ذخیره مصرفی، سرعت جوانه‌زنی، گندم

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
* نویسنده مسئول: Yadavi53@yahoo.com

مقدمه

فرایند جوانه‌زنی بذر، یکی از مراحل مهم و حیاتی در رشد گیاه بوده که تولید و بهره‌وری هر چه بیشتر گیاه در این مرحله مشخص می‌گردد (Almansourit *et al*., 2001). جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل آسیب‌پذیر چرخه زندگی گیاهان 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). اثر تحریک‌کنندگی مس بر بیوسنتز اسیدآمینه آزاد پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به عنوان اجزای مهم مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در برابر سمیت مس عمل کند. تجمع اسیدآمینه آزاد پرولین به‌طور قابل‌توجهی در غلظت‌های بالای مس افزایش می‌یابد (Azooz *et al*., 2012). به نظر می‌رسد افزایش میزان پرولین در کاهش اثرات تنش نقش دارد (Kiyosue *et al*., 1996). پرولین تحمل گیاهان به تنش را از طریق سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت آنزیم‌ها در برابر دناتوره شدن و تثبیت سنتز پروتئین، افزایش می‌دهد (Verbruggen and Hermans, 2008). کاهش میزان کلروفیل، تغییر و تبدیل ساختار کلروپلاست، ترکیب غشای تیلاکوئید در برگ‌ها، تجزیه توده گرانا و تیغه استروما، افزایش در تعداد و اندازه پلاستوگلوبولی گیاهان در غلظت‌های بالای مس مشاهده شده است (Quartacci *et al*., 2000; Schaller, 2003).

فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلولی، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول، منجر به کاهش رشد می‌شوند (Molassiotis *et al*., 2005). همچنین فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلول موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول‌ها را فراهم می‌آورند (Baccouch *et al*., 2001). این عناصر با القای تولید گونه‌های فعال اکسیژن، آسیب‌های جدی به سلول وارد می‌کنند (Madhava and Sresty, 2000). اولین مکانیسم‌های سمیت فلزات سنگین از طریق اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، آسیب به غشای سلولی و محدود کردن رشد ریشه بروز می‌یابد. این کاهش در رشد ریشه در اثر کاهش تقسیم سلولی اتفاق می‌افتد (Singh *et al*., 2007; Verma *et al*., 2011). تحقیقات انجام شده در این زمینه حاکی از کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذور گیاهان در اثر سمیت عنصر مس می‌باشد (Bashmakov *et al*., 2005; Saberi *et al*., 2011). محمود و همکاران (Mahmood *et al*., 2005) گزارش دادند که مس و روی تأثیری بر جوانه‌زنی گیاهچه ذرت نداشتند، درحالی‌که رشد اولیه با افزایش غلظت سولفات مس به‌شدت محدود شد. پوراکبر و ابراهیم‌زاده (Poorakbar and Ebrahimzade, 2005) با بررسی سطوح مختلف سولفات‌مس (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) و سولفات نیکل (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) روی ذرت اظهار داشتند که افزایش غلظت مس و نیکل منجر به کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، طول اندام هوایی و ریشه و میزان کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد درحالی‌که درصد نشت یون پتاسیم، قند محلول، مالون‌دی‌آلدهید و میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. شریعت و آساره (Shariat and Asareh, 2006) با بررسی تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سه گونه اکالیپتوس گزارش دادند که سمیت عنصر مس، کادمیوم، روی و سرب بر شاخص بنیه بذر تأثیر منفی داشته و موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گردید. با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی و با در نظر گرفتن این امر که جوانه‌زنی اولین مرحله نموی در گیاهان و فرایندی کلیدی در سبز شدن و رشد گیاهچه می‌باشد؛ بررسی بازدارندگی این مراحل در گیاهانی که در معرض تنش فلزات سنگین قرار می‌گیرند می‌تواند راه‌حل مناسبی برای درک اثرات سمی این فلزات بر گیاهان باشد. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سولفات‌مس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام گندم (روشن، بک‌کراس روشن، بهار و ارگ) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سولفات‌مس بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی ارقام مختلف گندم، آزمایشی در آزمایشگاه ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول غلظت‌های

مختلف سولفات‌مس در پنج سطح (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و فاکتور دوم ارقام مختلف گندم (روشن، بک‌کراس روشن، بهار، ارگ) بودند. بذور ارقام گندم از طبقه پرورش ۳ بوده که در سال ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان تولید شده بودند. مشخصات ارقام مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد: روشن (بهاره، حساس به زنگ زرد و ورس، نیمه‌حساس به زنگ قهوه‌ای، متحمل به سرما، شوری و خشکی، مقاوم به ریزش دانه، دانه درشت کهربایی)، بک‌کراس روشن (بهاره، نیمه‌حساس به زنگ زرد و متحمل به زنگ قهوه‌ای، متحمل به شوری و خشکی آخر فصل و متحمل به سرما و ریزش دانه)، ارگ (بهاره، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، رنگ دانه زرد، عملکرد بالا و سازگاری خوب در مناطق معتدل دارای آب و خاک شور)، بهار (بهاره، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، رنگ دانه زرد کهربایی، مقاوم به بیماری زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای). ابتدا بذرها به‌مدت ۳۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت‌سدیم یک درصد ضدعفونی گردیدند و سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شدند (کلیه وسایل از جمله کاغذ صافی و پتری‌ها در اتوکلاو استریل گردیدند). تعداد پتری مورد استفاده ۶۰ عدد و در داخل هر پتری ۲۵ عدد بذر روی کاغذ صافی قرار داده شد. سپس غلظت‌های مختلف سولفات‌مس به میزان ۱۰ میلی‌لیتر به پتری‌ها اضافه گردید. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. بعد از اضافه کردن محلول‌ها، پتری‌ها در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از کشت بذور، به‌صورت روزانه تعداد بذور جوانه‌زده در هر واحد آزمایشی به‌منظور برآورد سرعت جوانه‌زنی شمارش گردید. طی دوره رشد در صورت نیاز با تیمارهای مربوطه، آبیاری واحدهای آزمایشی صورت می‌گرفت. پس از مدت زمان لازم از کشت بذور (۷ روز) و رشد مطلوب گیاهچه‌ها، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، درصد و سرعت جوانه‌زنی (Mukhtar, 2008; Alizadeh and Isvand, 2004)، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه (Alizadeh and Isvand, 2004) بر اساس روابط زیر محاسبه گردید:

رابطه (۱) ۱۰۰ × (۲۵/ تعداد بذر جوانه‌زده شده) =درصد جوانه‌زنی

رابطه (۲) (روز شمارش/ تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش) = سرعت جوانه‌زنی

رابطه (۳) ۱۰۰/ (درصد جوانه‌زنی× مجموع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) = شاخص طولی بنیه گیاهچه

رابطه (۴) ۱۰۰/ (درصد جوانه‌زنی × مجموع وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه) = شاخص وزنی بنیه گیاهچه

برای تعیین وزن خشک و محتوی رطوبت بذور، ابتدا تعداد ۱۵ بذر از هر تیمار در سه تکرار وزن شد (W_1)، بعد از ۲۴ ساعت خشک کردن در دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد بذور مجدداً وزن شدند (W_2). از معادله [W_1-W_2]/W_2 برای محاسبه مقدار رطوبت بذر (WC) استفاده شد. سپس وزن خشک اولیه بذر Initial Seed Dry Weight (ISDW) در هر تکرار نیز با استفاده از معادله [W_1/(1+WC)] تعیین شد. برای تعیین اجزای رشد هتروتروفیک گیاهچه مطابق روش سلطانی و همکاران (۲۰۰۲) عمل شد. بدین ترتیب که در پایان دوره جوانه‌زنی (۱۰روز) ابتدا گیاهچه‌های نرمال، غیرنرمال و بذرهای جوانه‌نزده تفکیک شدند. سپس گیاهچه‌های عادی شمارش و از باقی‌مانده بذر (لپه‌ها) جدا شدند. وزن خشک گیاهچه‌ها Seedling dry weight (SLDW) و باقی‌مانده بذر Remnant seed dry weight (RSDW) بعد از خشک کردن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. در نهایت، وزن ذخایر پویا شده بذر Seed consumptive reserve (SCR)، کارایی استفاده از ذخایر بذر یا کارایی تبدیل ذخایر بذری پویا شده به بافت گیاهچه Seed reserve utilization efficiency (SRUE) و درصد ذخایر تخلیه Seed reserve depletion percentage (SRDP) بر اساس روابط زیر محاسبه شد:

رابطه(۵) SCR = ISDW-RSDW

رابطه (۶) SRUE = SLDW/SCR

رابطه (۷) SRDP = SCR/ISDW

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تأثیر سطوح مختلف سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) و همچنین برهمکنش آن‌ها ($p\leq$۰/۰۵) بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تیمارها

برش‌دهی ارقام مختلف گندم در هر سطح سولفات‌مس انجام شد و نتایج حاصل از آن نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس در ارقام مختلف گندم وجود نداشت؛ درحالی‌که در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف بین ارقام مختلف گندم معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین (۱۰۰ درصد) و کمترین (۷۷/۳۳ درصد) درصد جوانه‌زنی در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس به‌ترتیب مربوط به رقم بک‌گراس روشن و ارگ بود (جدول ۴). فلزات سنگین با مهار هیدرولیز نشاسته آندوسپرم و همچنین آسیب رساندن به رویان از جوانه‌زنی بذر جلوگیری کرده و درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهند (Mishra and Choudhuri, 1999). افزایش غلظت فلزات سنگین موجب افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و تشکیل مالون‌دی‌آلدهید می‌شود. در واقع فلزات سنگین موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شوند (Schutzendubel and Polle, 2002).

تولید رادیکال‌های فعال و پراکسیداسیون لیپیدها در اثر تنش‌های اکسیداتیو موجب اختلال در کارکرد غشا سلولی و از بین رفتن خاصیت نفوذپذیری انتخابی آن می‌شود، که این امر افزایش نشت مواد ذخیره بذر و کاهش جوانه‌زنی و قدرت بذر را در پی دارد (Hussain *et al*., 2011).

تأثیر سطوح مختلف سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود اما برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱). از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس مشاهده نشد ولی با افزایش غلظت مس از ۳۰ به ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین (۱۱/۱۹) و کمترین (۸/۱۰) سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب از تیمار صفر و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. همچنین در بین ارقام مختلف گندم، رقم بک‌کراس روشن با ۱۰/۹۴ و رقم ارگ با ۹/۱۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی را دارا بودند؛

اگرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین رقم بک‌کراس روشن با ارقام روشن و بهار وجود نداشت (جدول ۲). بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی رقم بک‌کراس روشن می‌تواند به‌دلیل مقاومت ژنتیکی بالای این رقم به غلظت‌های بالای سولفات‌مس نسبت به ارقام دیگر باشد. کاهش سرعت جوانه‌زنی در سطوح پایین مس جزئی بود ولی با افزایش غلظت مس تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر تغییرات شدیدتر شد. احتمالاً افزایش غلظت سولفات‌مس جذب آب توسط بذر را مختل نموده و یا منجر به کاهش جذب آب شده است که این امر کاهش فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در بذر را به دنبال داشته است و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه بذر را افزایش و سرعت جوانه‌زنی بذر را کاهش داده است. لاری‌یزدی و همکاران (Lari yazdi *et al*., 2011) گزارش دادند که افزایش غلظت سولفات‌مس تا غلظت ۴ میلی‌مول بر لیتر به‌دلیل کاهش فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی بذر منجر به کاهش سرعت جوانه‌زنی دو رقم گندم (مرودشت و بهار) نسبت به تیمار شاهد گردید. تأثیر غلظت سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) بر ذخیره مصرفی بذر معنی‌دار بود ولی برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱). بر اساس جدول مقایسه میانگین در بین سطوح مختلف سولفات‌مس بیشترین (۱۸/۴۵ میلی‌گرم) و کمترین (۹/۰۳ میلی‌گرم) ذخیره مصرفی به‌ترتیب از غلظت صفر و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۲).

افزایش غلظت سولفات‌مس منجر به کاهش بنیه مصرفی بذر ارقام مورد مطالعه گردید؛ به‌طوری‌که غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس منجر به کاهش ۵۱ درصدی ذخیره مصرفی بذر نسبت به غلظت صفر گردید. همچنین در بین ارقام مختلف بیشترین ذخیره مصرفی بذر معادل ۱۸/۱۰ میلی‌گرم و کمترین ذخیره مصرفی بذر معادل ۱۱/۱۰ میلی‌گرم به‌ترتیب مربوط به رقم روشن و بهار بود.

بر اساس جدول تجزیه واریانس تأثیر غلظت سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) بر کارایی استفاده از ذخایر بذر معنی‌دار بود ولی برهمکنش آن‌ها بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). در بین غلظت‌های مختلف سولفات‌مس بیشترین (۰/۷۷ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر) و کمترین (۰/۶۳ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر) کارایی استفاده از ذخایر بذر به‌ترتیب از غلظت صفر و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد؛ گرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر

مشاهده نشد (جدول ۲). رقم ارگ با ۰/۷۶ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر و رقم بک‌کراس روشن با ۰/۶۶ میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر به‌ترتیب بیشترین و کمترین کارایی استفاده از ذخایر بذر را داشتند. کارایی استفاده از ذخایر بذر به صورت تقسیم وزن خشک کل گیاهچه بر درصد تخلیه ذخایر بذر محاسبه می‌گردد و از آنجایی‌که در غلظت‌های بالای فلزات سنگین هر دو فاکتور مذکور در بذور تحت تأثیر قرار می‌گیرند، این صفت نیز در بذور در غلظت‌های بالای سولفات‌مس کاهش بیشتری داشته است. همچنین کاهش مقدار کارایی استفاده از ذخایر بذر می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت هورمون جیبرلین و کاهش سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک در فرایند جوانه‌زنی باشد (Soltani *et al*., 2008). نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار غلظت سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) بر درصد تخلیه ذخایر بذر می‌باشد؛ درحالی‌که برهمکنش آن‌ها تأثیری بر این صفت نداشت (جدول ۱).

بیشترین درصد تخلیه ذخایر بذر (۴۳/۰۱ درصد) از غلظت صفر سولفات‌مس حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر داشت. به‌طوری‌که با افزایش غلظت سولفات‌مس درصد تخلیه ذخایر بذر کاهش یافت و کمترین درصد انتقال (۲۱/۱۰ درصد) از غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. همچنین در بین ارقام مختلف گندم رقم روشن با ۳۹/۸۹ درصد بیشترین و رقم بهار با ۲۴/۴۷ درصد کمترین درصد تخلیه ذخایر بذر را دارا بودند (جدول ۲).

فلزات سنگین منجر به کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز می‌شود. آنزیم آمیلاز در زمان جوانه‌زنی موجب شکسته شدن نشاسته می‌شود و با هر گونه کاهش در فعالیت این آنزیم، طبیعتاً سرعت شکستن ذخایر بذر کند می‌شود. در نتیجه این امر در غلظت‌های بالای سولفات‌مس درصد تخلیه ذخایر بذر کاهش یافته است.

تأثیر غلظت سولفات‌مس، رقم و برهمکنش آن‌ها بر طول گیاهچه ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تیمارها، برش‌دهی ارقام مختلف گندم در هر سطح سولفات‌مس انجام شد (جدول ۳) که نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی نشان داد که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر رقم روشن و در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر رقم بهار بیشترین و کمترین طول گیاهچه را داشتند (جدول ۴).

افزایش غلظت سولفات‌مس منجر به کاهش طول گیاهچه تمامی ارقام مورد مطالعه شد. واکنش ارقام مختلف گندم به غلظت‌های مختلف سولفات‌مس متفاوت بود؛ به‌طوری‌که طول گیاهچه رقم روشن در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت صفر به میزان ۲۲/۴ درصد کاهش یافت درحالی‌که در ارقام ارگ، بهار و بک‌کراس روشن به میزان ۳۵/۲، ۳۴/۲ و ۳۳/۷ درصد کاهش نشان داد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیرپذیری کمتر طول گیاهچه رقم روشن نسبت به ارقام دیگر به غلظت‌های بالای سولفات‌مس می‌باشد. به‌نظر می‌رسد در حضور فلزات سنگین سلول‌های مریستمی و آنزیم‌های لپه و آندوسپرم کاهش یافته و سلول شروع به هضم ذخیره مواد غذایی می‌کند که به‌صورت محلول به ریشه اولیه و اندام هوایی منتقل می‌شود که این امر می‌تواند دلیل کاهش طول گیاهچه ارقام گندم باشد.

بنابراین وقتی فعالیت آنزیم‌های 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). 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 (Weiqiang *et al*., 2005; Shariat and Asareh, 2006). محققان علت کاهش طول گیاهچه آفتابگردان در حضور عناصری مثل نیکل، مس، کادمیوم و روی را به کاهش توسعه سلولی نسبت دادند. مطالعات نشان داده است که فلزات سنگین با مهار تقسیم میتوزی و جلوگیری از طویل شدن سلولی منجر به مهار رشد ریشه به عنوان اندام اصلی جذب مواد می‌شوند (Shulan, 2010). بررسی‌های راون و همکاران (Raven *et al*., 1999) نشان داد که سیتوکنین برای تقسیم سلولی و اکسین برای طویل تحت تأثیر فلز سنگین مس، فعالیت آنزیم اکسین‌اکسیداز در جو افزایش یافت که این امر منجر به کاهش فعالیت اکسین شد (Coombes *et al*., 1976). به علاوه در غلظت‌های بالا، فلزات سنگین با مهار ساخت RNAهای ریبوزومی در سلول‌های مریستمی سبب کاهش رشد می‌گردند (Serida *et al*., 2008).

بر اساس جدول تجزیه واریانس تأثیر غلظت سولفات‌مس و رقم ($p\leq$۰/۰۱) و همچنین برهمکنش آن‌ها ($p\leq$۰/۰۵) بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود (جدول

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ارقام مختلف گندم تحت تأثیر سطوح مختلف سولفات‌مس

Table 1. Analysis of variance measured traits wheat cultivars under the effect of different levels of copper sulfate

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه Seedling lenght	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	قندهای محلول کل Total soluble sugars	درصد تخلیه ذخایر بذر Seed reserve depletion percentage	کارایی استفاده از ذخایر بذر Seed reserve utilization efficiency	ذخیره مصرفی بذر Seed consumptive reserve
سولفات مس Copper sulfate	4	24.53**	19.03**	392.71**	125.23**	402.02**	136.18**	48.99**	0.216**	0.157*	895.36**	0.032**	164.15**
رقم Cultivar	3	164.40**	10.06**	49.97**	105.78**	51.90**	101.51**	84.60**	0.194**	0.402**	787.89**	0.029**	205.72**
سولفات مس × رقم Copper sulfate×cultivar	12	131.20*	1.15^{ns}	10.49**	2.34*	10.24**	2.96**	5.60**	0.083**	0.116*	15.72^{ns}	0.002 ^{ns}	3.23^{ns}
خطا Error	40	54.533	1.44	2.51	1.005	2.45	1.08	1.411	0.0003	0.046	56.60	0.006	2.43
ضریب تغییرات CV(%)	-	5.08	11.66	14.71	9.81	14.74	10.39	16.74	11.38	26.44	23.07	10.66	11.20

** ، *و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری است.

**, * and ns are significant at 1 and 5 percent probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی سولفات‌مس بر صفات اندازه‌گیری شده ارقام مختلف گندم

Table 2. Mean comparison main effects of copper sulfate on measured traits of wheat cultivars

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	ذخیره مصرفی بذر (میلی‌گرم) Seed consumptive reserve (mg)	درصد تخلیه ذخایر بذر Seed reserve depletion percentage	کارایی استفاده از ذخایر بذر (میلی‌گرم بر میلی‌گرم بذر) Seed reserve utilization efficiency (mg.mg^{-1} seed)
سولفات مس Copper sulfate	0	11.19^{a}	18.45^{a}	43.01^{a}	0.77^{a}
	10	10.83^{a}	16.40^{b}	38.55^{ab}	0.74^{a}
	20	10.92^{a}	13.86^{c}	32.50^{bc}	0.75^{a}
	30	10.52^{a}	11.87^{d}	27.87^{cd}	0.73^{a}
	40	8.10^{b}	9.03^{e}	21.10^{d}	0.63^{b}
رقم Cultivar	ارگ Arg	9.13^{b}	11.60^{c}	28.67^{b}	0.76^{a}
	بهار Bahar	10.75^{a}	11.10^{c}	24.47^{b}	0.72^{ab}
	بک‌کراس روشن Back cross roshan	10.94^{a}	15.88^{b}	37.39^{a}	0.66^{b}
	روشن Roshan	10.43^{a}	18.10^{a}	39.89^{a}	0.75^{a}

در هر ستون و هر تیمار حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

Each column and treatment similar letter or letters is indicative no significant difference based on the LSD test.

جدول ۳- میانگین مربعات برش‌دهی ارقام گندم در هر سطح مختلف سولفات‌مس برای صفات اندازه‌گیری شده
Table 3. Mean squares cutting of wheat cultivars in each level of copper sulfate for measured triats

سولفات‌مس Copper sulfate	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول گیاهچه seedling Length	وزن خشک گیاهچه Dry weight of seedling	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	قندهای محلول کل Total soluble sugars
0	3	1.33^{ns}	27.44**	37.006**	29.17**	37.51**	25.74**	0.002**	0.034^{ns}
10	3	7.11^{ns}	36.75**	24.62**	33.41**	21.89**	19.19**	0.007**	0.134*
20	3	1.49^{ns}	16.39**	26.30*	16.39**	26.30**	23.05**	0.030**	0.234*
30	3	30.22^{ns}	2.22^{ns}	9.84**	2.23^{ns}	10.62**	32.80**	0.084**	0.104**
40	3	310.66**	9.11*	17.71**	11.66**	17.03**	6.25**	0.403**	0.358**

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ و عدم معنی‌داری است.
**, * and ns are significant at 1 and 5 percent probability levels and non-significant, respectively.

۱). نتایج بر همکنش غلظت سولفات‌مس و رقم نشان داد که رقم روشن و رقم بهار در تمام سطوح سولفات‌مس به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن خشک گیاهچه بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده افزایش غلظت سولفات‌مس در همه ارقام گندم منجر به کاهش وزن خشک گیاهچه گردید که پاسخ ارقام مختلف به این کاهش متفاوت بود (جدول ۴). به‌طوری‌که رقم بهار با ۸۳ درصد و رقم بک‌کراس روشن با ۶۲ درصد کاهش وزن خشک گیاهچه در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت صفر بیشترین و کمترین کاهش را نشان دادند. همچنین با افزایش غلظت سولفات‌مس وزن خشک گیاهچه در تمامی ارقام کاهش یافت (جدول ۴). تحقیقات متعدد نشان داده است که وقتی گیاهان در معرض غلظت‌های بالای فلزات سنگین قرار می‌گیرند وزن خشک گیاهچه به دلیل کاهش طول گیاهچه کاهش می‌یابد (Nagajyoti and Sreekanth, 2010). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی و در نتیجه مهار رشد و کاهش وزن خشک گیاهچه می‌گردد (Cheng and Huang, 2006). همچنین کاهش پارامترهای میزان پویایی ذخایر بذر، درصد تخلیه ذخایر بذر و کارایی تبدیل ذخایر پویا شده به بافت گیاهچه به‌عنوان عوامل کاهش وزن خشک گیاهچه ذکر شده‌اند (Soltani *et al.*, 2006). شاخص طولی بنیه گیاهچه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف سولفات‌مس، رقم و برهمکنش آن‌ها ($p\leq$۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۱). نتایج برش‌دهی برهمکنش غلظت سولفات‌مس و رقم (جدول ۳) نشان داد که رقم روشن در غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و رقم بهار در غلظت‌های ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه بودند همچنین در غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر رقم ارگ و در غلظت‌های ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر رقم بک‌کراس روشن کمترین شاخص طولی بنیه گیاهچه را دارا بودند (جدول ۴).

بیشترین (۹۱/۱ درصد) و کمترین (۶۶/۲ درصد) میزان کاهش شاخص طولی بنیه گیاهچه در ارقام مختلف گندم در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت صفر میلی‌گرم در لیتر سولفات‌مس به‌ترتیب از رقم ارگ و بک‌کراس روشن به‌دست آمد (جدول ۴). از آنجایی‌که شاخص طولی بنیه گیاهچه متأثر از طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی می‌باشد بنابراین تغییرات این شاخص در غلظت‌های مختلف سولفات‌مس و ارقام مختلف گندم با افزایش و کاهش طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی بذر منطقی به‌نظر می‌رسد. شریعت و آساره (Shariat and Asareh, 2006) با بررسی تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سه گونه اکالیپتوس پرداختند و گزارش دادند که سمیت عنصر مس، کادمیوم، سرب و روی بر شاخص بنیه بذر تأثیر منفی داشته و موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گردید.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار غلظت سولفات‌مس، رقم و برهمکنش آن‌ها ($p\leq$۰/۰۱) بر شاخص وزنی بنیه گیاهچه می‌باشد (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصل از برش‌دهی ارقام مختلف گندم در هر سطح سولفات‌مس (جدول ۳)، رقم روشن در غلظت‌های مختلف سولفات‌مس بیشترین و رقم بهار در غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کمترین شاخص وزنی بنیه

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ارقام گندم در هر سطح سولفات‌مس

Table 4. Mean comparison measured traits of wheat cultivars in each level of copper sulfate

تیمار Treatment		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Dry weight of seedling (mg)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index	کلروفیل کل (میکرومول برگرم وزن تر برگ) Total chlorophyll (µm/g fresh weight)	پرولین (میکرومول برگرم وزن تر برگ) Proline (µm/g fresh weight)	قندهای محلول کل (میکرومول برگرم وزن تر برگ) Total soluble sugars (µm/g fresh weight)
سولفات‌مس Copper sulfate	رقم Cultivar								
0	ارگ Arg	98.66^{a}	12.86^{bc}	16.66^{b}	16.41^{b}	12.68^{bc}	5.59^{c}	0.07^{a}	0.72^{a}
	بهار Bahar	100^{a}	10.24^{c}	20.43^{ab}	20.43^{ab}	10.24^{c}	12.56^{a}	0.05^{ab}	0.62^{a}
	بک‌کراس روشن Back kars roshan	100^{a}	15.02^{ab}	18.97^{ab}	18.97^{ab}	15.02^{ab}	7.67^{bc}	0.02^{b}	0.58^{a}
	روشن Roshan	100^{a}	18.54^{a}	23.88^{a}	23.88^{a}	18.54^{a}	9.08^{b}	0.07^{a}	0.82^{a}
10	ارگ Arg	97.33^{a}	10.60^{bc}	10.04^{b}	9.74^{b}	10.34^{c}	5.47^{b}	0.07^{b}	0.73^{a}
	بهار Bahar	100^{a}	9.28^{c}	11.85^{b}	11.85^{b}	9.28^{c}	11.06^{a}	0.06^{b}	0.63^{a}
	بک‌کراس روشن Back cross roshan	100^{a}	12.80^{b}	8.97^{b}	8.97^{b}	12.80^{b}	10.57^{a}	0.02^{c}	0.61^{a}
	روشن Roshan	97.33^{a}	15.79^{a}	16.87^{a}	16.40^{a}	15.33^{a}	9.03^{ab}	0.14^{a}	1.07^{a}
20	ارگ Arg	100^{a}	9.61^{b}	6.80^{b}	6.80^{b}	9.61^{b}	3.55^{b}	0.02^{c}	0.53^{d}
	بهار Bahar	100^{a}	7.34^{c}	9.55^{ab}	9.55^{ab}	7.34^{c}	9.74^{a}	0.23^{a}	0.59^{c}
	بک‌کراس روشن Back cross roshan	100^{a}	10.18^{b}	9.28^{ab}	9.28a^{b}	10.18^{b}	8.20^{a}	0.08^{b}	1.13^{a}
	روشن Roshan	100^{a}	14.43^{a}	12.51^{a}	12.51^{a}	14.43^{a}	8.90^{a}	0.02^{c}	0.91^{b}
30	ارگ Arg	93.33^{a}	8.15^{b}	7.17^{a}	6.72^{a}	7.63^{b}	1.28^{b}	0.17^{c}	0.60^{a}
	بهار Bahar	100^{a}	7.05^{b}	8.03^{a}	8.03^{a}	7.05^{b}	6.64^{a}	0.53^{a}	0.73^{a}
	بک‌کراس روشن Back cross roshan	98.66^{a}	8.03^{b}	6.22^{a}	6.15^{a}	7.93^{b}	6.40^{a}	0.19^{c}	1.04^{a}
	روشن Roshan	100^{a}	11.23^{a}	6.26^{a}	6.26^{a}	11.23^{a}	9.17^{a}	0.33^{b}	0.97^{a}
40	ارگ Arg	77.33^{b}	4.05^{b}	3.04^{b}	1.45^{b}	3.20^{b}	2.20^{b}	0.04^{c}	0.80^{b}
	بهار Bahar	97.33^{a}	3.36^{b}	6.99^{a}	6.79^{a}	3.27^{b}	4.75^{a}	0.79^{a}	0.72^{b}
	بک‌کراس روشن Back cross roshan	100^{a}	7.20^{a}	6.41^{a}	6.41^{a}	7.20^{a}	5.58^{a}	0.43^{b}	1.49^{a}
	روشنRoshan	89.33^{a}	8.40^{a}	5.37^{a}	4.78^{ab}	7.51^{a}	4.40^{ab}	0.01^{d}	0.95^{b}

در هر ستون و هر تیمار حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

Each column and treatment similar letter or letters is indicative no significant difference based on the LSD test.

گیاهچه را دارا بودند. همچنین در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، رقم ارگ دارای کمترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه بود (جدول ۴). افزایش غلظت سولفات‌مس در همه ارقام گندم منجر به کاهش شاخص وزنی بنیه گیاهچه گردید؛ گرچه ارقام مختلف پاسخ متفاوتی به این کاهش نشان دادند. به‌طوری‌که رقم بهار با کاهش ۸۳/۹ درصدی و رقم بک‌کراس روشن با کاهش ۶۲ درصدی در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت صفر سولفات‌مس به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان کاهش شاخص وزنی بنیه گیاهچه را نشان دادند. این نتیجه می‌تواند بیانگر این امر باشد که با وجود نیاز گیاه به مس به میزان کم در ابتدای رشد گیاه، غلظت‌های زیاد آن به دلیل حساس بودن رشد گیاهچه به عناصر سنگین باعث سمیت گیاه می‌شود.

بر اساس جدول تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف سولفات‌مس، رقم و برهمکنش آن‌ها ($p\leq۰/۰۱$) بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج برش‌دهی ارقام مختلف گندم در هر سطح سولفات‌مس (جدول ۳) نشان داد که در غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر رقم بهار، در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر رقم روشن و در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر رقم بک‌کراس روشن بیشترین میزان کلروفیل کل را دارا بودند. در همه ارقام گندم با افزایش غلظت مس میزان کلروفیل کل کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین (۶۲/۱ درصد) و کمترین (۲۷/۲ درصد) میزان کاهش کلروفیل کل در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت صفر به‌ترتیب در رقم بهار و بک‌کراس روشن مشاهده شد (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده مقاومت بیشتر رقم بک‌کراس روشن نسبت به سایر ارقام به کاهش میزان کلروفیل کل تحت شرایط تنش فلزات سنگین می‌باشد. کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و رنگدانه‌های فرعی مانند کاروتنوئیدها در اثر اعمال فلزات سنگین (مس، روی و سرب) در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Assche and Clijsters, 1990). جایگزین شدن یون منیزیم مرکزی کلروفیل به‌وسیله فلزات سنگین باعث جلوگیری از به دام انداختن نور فتوسنتزی و در نتیجه از بین رفتن کلروفیل و کاهش فعالیت فتوسنتزی می‌شود (Prasad and Strazalka, 1999). آسیب به فتوسنتز اساساً در اثر کاهش کلروفیل و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها رخ می‌دهد (Chaoui, 2005). کاهش در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌تواند به دلیل اثرات مخرب فلزات سنگین بر سنتز رنگیزه‌ها باشد (Stobart *et al*., 1985). گزارش شده است که فلزات سنگین با اتصال به گروه‌های تیولی پروتئین‌های مسیر سنتز کلروفیل توانایی تخریب و غیر فعال کردن آن‌ها را دارند (Helmy, 2010). همچنین تحت تأثیر مس و نیکل اضافی، کمبود دو عنصر آهن و منیزیم و همچنین افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز در گیاهان مشاهده شده است (Drazkiewic and Baszynsk, 2010).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار غلظت سولفات‌مس، رقم و برهمکنش آن‌ها ($p\leq۰/۰۱$) بر میزان پرولین است (جدول ۱). بر اساس نتایج برش‌دهی (جدول ۳) بیشترین میزان پرولین در غلظت‌های صفر و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از رقم روشن و در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر از رقم بهار به‌دست آمد. افزایش غلظت مس منجر به افزایش میزان پرولین ارقام مختلف گردید؛ گرچه واکنش ارقام مختلف گندم متفاوت بود. به‌طوری‌که در ارقام ارگ، بهار، بک‌کراس روشن و روشن بیشترین میزان پرولین به‌ترتیب در غلظت‌های ۳۰، ۴۰، ۴۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۴). القاء فلزات سنگین باعث انباشتگی میزان پرولین می‌گردد. گزارش شده است که تحت تنش‌های غیرزنده مانند فلزات سنگین، شوری، خشکی، سرما، کمبود مواد غذایی، عفونت‌های عامل بیماری و اسیدتیه بالا اسیدآمینه پرولین در گیاهان تجمع می‌یابد (Yadav, 2010). پرولین تحمل گیاهان به تنش را از طریق سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت آنزیم‌ها در برابر دناتوره شدن و تثبیت سنتز پروتئین، افزایش می‌دهد (Verbruggen and Hermans, 2008). از جمله دلایل افزایش تجمع پرولین در شرایط تنش فلزات سنگین می‌توان به تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طی تنش و تخریب و اختلال در فرایند فتوسنتز پروتئین اشاره کرد (Llamas *et al*., 2000).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم ($p\leq۰/۰۱$)، غلظت سولفات‌مس و برهمکنش آن‌ها ($p\leq۰/۰۵$) بر میزان قندهای محلول کل معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین برش‌دهی ارقام مختلف گندم در هر سطح مس

(جدول ۳) نشان داد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف در غلظت‌های صفر و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس وجود نداشت گرچه بیشترین میزان قندهای محلول کل در این غلظت‌ها از رقم روشن حاصل شد. همچنین در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان قندهای محلول کل از رقم بک‌کراس روشن حاصل شد (جدول ۴). افزایش قندهای محلول می‌تواند در اثر انباشتگی آن‌ها باشد که این انباشتگی در برگ‌ها می‌تواند به دلیل کاهش بارگیری فلوئمی و کاهش ظرفیت انتقال آسیمیلات‌ها و یا کاهش سرعت استفاده از آن‌ها در اندام‌های مخزن باشد (Alaoui-Sosse *et al*., 2004). علت افزایش قندهای محلول برای بالا بردن مقاومت گیاه به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها می‌باشد (Subbarao *et al*., 2000). همچنین افزایش قندهای احیاکننده در برگ‌های تحت تأثیر فلزات سنگین می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آمیلولیتیک و افزایش قندهای محلول حاصل از پلی‌ساکاریدها باشد (Nohamed, 1986).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که غلظت‌های مختلف سولفات‌مس بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم تأثیر منفی داشتند؛ به‌طوری‌که افزایش غلظت سولفات‌مس تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به کاهش چشمگیر صفات ارزیابی شده نسبت به غلظت صفر گردید. همچنین پاسخ ارقام مختلف گندم به غلظت‌های سولفات‌مس متفاوت بود؛ به‌طوری‌که رقم روشن و بک‌کراس روشن در غلظت‌های مختلف سولفات‌مس طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، بنیه طولی و وزنی، ذخیره مصرفی بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر و درصد تخلیه ذخایر بذر بیشتری نسبت به ارقام ارگ و بهار داشتند. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که ارقام روشن و بک‌کراس روشن ارقام مناسب‌تری برای کشت در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله مس می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان، مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج جهت همکاری ابراز می‌دارند.

منابع

Alaoui-Sosse, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, A.L. and Epron, D. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. Plant Science, 166: 1213-1218. **(Journal)**

Alizadeh, M.A. and Esvand, 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. (In Persian)**(Journal)**

Almansouri, M., Kinet, J.M. and Slutts, N. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat. Plant and Soil, 231: 234-245. **(Journal)**

Assche, F.V. and Clijsters, H. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant, Cell and Environment, 13(3): 195-206. **(Journal)**

Azooz, M.M., Abou-Elhamd, M.F. and Al-Fredan, M.A. 2012. Biphasic effect of copper on growth, proline, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* cv. Hasaawi) at early growing stage. Australian Journal of Crop Science, 6(4): 688-694. **(Journal)**

Baccouch, S., Chaoui, A. and Ferjani, E.E. 2001. Nickel toxicity induces oxidative damage in *Zea mays* roots. Journal of Plant Nutrition, 24(7): 1085-1097. **(Journal)**

Bashmakov, D.I., Lukatkin, A.S., Revin, V.V., Duchovskis, P., Brazaityte, A. and Baranauskis, K. 2005. Growth of maize seedlings affected by different concentration of heavy metals. Journal Ekologija, 3: 22-27. **(Journal)**

Chaoui, A. and Ferjani, E.El. 2005. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. Comptes Rendus Biologies, 328(1): 23-31. **(Journal)**

Cheng, S.F. and Huang, C.Y. 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal of Applied Science and Engineering, 3: 243-252. **(Journal)**

Coombes, A.J., Lepp, Nu.W. and Phipps, D.A. 1976. The effect of copper on IAA-oxidase activity in root tissue of barley (*Hordeum vulgare* cv.Zephyr). Zeitschrift fur Pflanzenphysiologie, 80: 236-242. **(Journal)**

Drazkiewicz, M. and Baszynsk, T. 2010. Interference of nickel with the photosynthetic apparatus of *Zea mays*. Ecotoxicology and Enviromental Safety, 73: 982-986. **(Journal)**

Elisabetta, M. and Gioacchino, S. 2004. Copper-induced changes of non-protein thiols and antioxidant enzymes in the marine microalga *Phaeodactylum tricornutum*. Plant Science, 167: 289-296. **(Journal)**

Emam, Y. 2012. Cereal production. Shiraz University Press. (In Persian)**(Book)**

Helmy L.H. 2010. The influence of nickel sulphate on some physiological aspects of two cultivars of *Raphanus Sativus* L. Archives of Biological Science, 62: 683-691. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Hussain, S.S., Ali, M., Ahmad, M. and Siddique, K.H.M. 2011. Polyamines: natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. Biotechnology Advances, 29(3): 300-311. **(Journal)**

Kabata, P.A. and Pendias, H. 1992. Trace elements in soil and plants.CRC Press, Boca Raton. **(Book)**

Kiyosue, T., Yoshiba, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 1996. A nuclear gene encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved in proline metabolism, is upregulated by proline but downregulated by dehydration in Arabidopsis. Plant Cell, 8(8): 1323-1335. **(Journal)**

Lari Yazdi, H., Chehregani, A. and Kordi, F. 2011. Effect of copper and salicylic acid on germination of wheat *Triticum aestivum* L. (Marvdasht and Bahar). The 5st International Conferecne on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University Khorasgan (Isfahan) Branch. (In Persian)**(Conference)**

Llamas, A., Ullrich, C.I. and Sanz, A. 2000. Cd^{2+} effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa* L.) roots. Plant and Soil, 219: 21-28. **(Journal)**

Madhava Rao, K.V. and Sresty, T.V.S. 2000. Antioxidative parameters in the seedling of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Science, 157: 113-128. **(Journal)**

Mahmood, S., Hussain, A., Zaeed, 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 and Technology, 2(3): 269-274. **(Journal)**

Marschner, H. and Rimmington, G. 1988. Mineral nutrition of higher plants. Plant, Cell and Environment, 11: 147-148. **(Journal)**

Mishra, A. and Choudhuri, M.A. 1999. Effects of salicylic cid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biologial Plantarum, 42(3): 409-415. **(Journal)**

Molas, J. 1997. Changes in morphological and anatomical structure of cabbage (*Brassica oleracea* L.) outer leaves and in ultrastructure of their chloroplasts caused by an *in vitro* excess of nickel. Photosynthetica, 34: 513–522. **(Journal)**

Mukhtar, I. 2008. Influence of *Trichoderma* species on seed germination in okra. Mycopath, 6(1&2): 47-50. **(Journal)**

Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. and Sreekanth, T.V.M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters, 8(3): 199-216. **(Journal)**

Nohamed, S.I. 1986. Growth and yield of tomato and squash in soil treated with Mn. Horticulture Science, 29: 723-730. **(Journal)**

Poorakbar, L. and Ebrahimzade, N. 2015. Growth and physiological responses of *Zea mays* L. to Cu and Ni stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 103: 147-159. (In Persian)**(Journal)**

Prasad, M.N.V. 2004. Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. 2nd Narosa Publishing House, 22 Dyryaganj, New Delhi. **(Book)**

Prasad, M.N.V. and Strzałka, K. 1999. Impact of heavy metals on photosynthesis. In Heavy metal stress in plants (pp. 117-138). Springer Berlin Heidelberg. **(Book)**

Quartacci, M.F., Pinzino, C., Sgherri, C.L., Dalla Vecchia, F. and Navari-Izzo, F. 2000. Growth in excess copper induces changes in the lipid composition and fluidity of PSII-enriched membranes in wheat. Physiologia Plantarum, 108(1): 87-93. **(Journal)**

Raven, P.H., Evert, R.F. and Eichhorn, S.E. 1999. Biology of plants, Freeman, Worth Busl, 673-701. **(Book)**

Saberi, M., Shahriari, A. and Tarnian, F. 2011. Investigation the effects of cadmium chloride and copper sulfate on germination and seedling growth of *Agropyron elongatum*. Modern Applied Science, 5(5): 232-243. **(Journal)**

Schaller, H. 2003. The role of sterols in plant growth and development. Progress in Lipid Research, 42(3): 163-175. **(Journal)**

Schutzendubel, A. and Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stress: heavy metal induced oxidative stress and protection by mycorhization. Journal of Experimental Botany, 53(372): 1351-1365. **(Journal)**

Serida, K., Mohammad, B.A., Eun, J.H. and Kee, Y.P. 2008. Copper toxicity in *Withania somnifera*: Growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. Environmental and Experimental Botany, 64: 279-285. **(Journal)**

Shariat, A. and Asareh, M.H. 2006. Effects of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of three *Eucalyptus* species. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 14(1): 38-46. (In Persian)**(Journal)**

Shulan, Z., Qing, L., Yanting, Q. and Lian, D. 2010. Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turf grass. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 52: 7-11. **(Journal)**

Singh, D., Nath, K. and Kumar Sharma, Y. 2007. Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress. Journal of Environmental Biology, 28: 409-414. **(Journal)**

Singh R.P. and Agrawal, M .2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(4): 632-641. **(Journal)**

Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and N. Latifi, 2002. Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30: 51- 60. **(Journal)**

Soltani, A., Gholipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany, 55: 195-200. **(Journal)**

Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S. and Akram Ghaderi, F. 2008. The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(1): 193-196. (In Persian)**(Journal)**

Stobart, A.K., Griffiths, W.T., Ameen-Bukhari, I. and Sherwood, R.P. 1985. The effect of Cd^{2+} on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. Physiolgical Plantarum, 63: 293-298. **(Journal)**

Subbarao, G.V., Chauhan, Y.S. and Johansen, C. 2000. Patterns of osmotic adjustment in pigeonpea its importance as a mechanism of drought resistance. European Journal of Agronomy, 12: 239-249. **(Journal)**

Verbruggen, N. and Hermans, C. 2008. Proline accumulation in plants: a review. Amino acids, 35(4): 753-759. **(Journal)**

Verma, J.P., Singh, V. and Yadav, J. 2011. Effect of copper sulphate on seed germination, plant growth and peroxidase activity of Mung Bean (*Vigna radiate*). International Journal of Botany, 7(2): 200-204. **(Journal)**

Weiqiang, 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. **(Journal)**

Yadav, S.K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76(2): 167-179. **(Journal)**

The effect of copper sulphate on germination indices and morphophysiological characteristics of four wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.)

Alireza Yadavi[1*], Eisa Maghsoudi[2], Jamileh Janzadeh DehSheikh[3]

Received: April 12, 2016 Accepted: July 3, 2016

Abstract

Existence of copper sulfate in water and soil could leads to decreasing of germination and seedling establishment and also reduction in growth and crop productivity. A factorial experiment was conducted as a completely randomized design with three replications in agriculture faculty of Yasouj University. Experimental factors were included different concentrations of copper sulfate (0, 10, 20, 30 and 40 mg per liter) and different cultivars of wheat (Arg, Bahar, Back cross roshan and Roshan), respectively. The results indicated that the most length vigor (23.88), weight vigor (18.54) and dry weight of seedlling (18.54) were obtained from Roshan cultivar in 0 concentration of copper sulfate. Also the highest slouble sugars content (1.49 µmol/g) was achieved from Back cross roshan cultivar in 40 concentration of copper sulfate and the most amount of proline (0.79 µm/g) from Bahar cultivar in 40 concentration of copper sulfate. Among the main effects of copper sulfate the highest seed consumptive reserve (18.45 mg), seed reserve utilization efficiency (0.77 mg/mg seed) and seed reserve depletion percentage (53.1 percent) was obtained form 0 concenteration of copper sulfate and among the different wheat cultivars the most seed consumptive reserve (18.10 mg) and seed reserve depletion percentage (39.89%) form Roshan cultivar, the highest seed reserve utilization efficiency (0.76 $mg.mg^{-1}$ seed) from Arg cultivar and the most germination rate (10.94) were obtained from Back cross roshan cultivar. Among the different wheat cultivars, Roshan and Back crass roshan cultivars in terms of tolerance to copper sulphate were superior to Arg and Bahar cultivars.

Keywords: Consumptive reserve; Depletion percentage; Germination rate; Seed vigor; Wheat

How to cite this article

Yadavi, A.R., Maghsoudi, E. and Janzadeh DehSheikh, J. 2019. The effect of copper sulphate on germination indices and morphophysiological characteristics of four wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1): 107-119. (In Persian)(**Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2019.3591

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University, Yasouj, Iran
2. Ph.D. Student of Crop Physiology, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University, Yasouj, Iran
3. Graduated B.Sc. Student of Agronomy, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University, Yasouj, Iran
*Corresponding author: Yadavi53@yahoo.com