

تأثیر آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر میزان پرولین، آنتوسیانین، فنل و صفات زراعی در دو رقم برنج (*Oryza sativa* L.)

فرزانه نجفی^{۱*}، رمضانعلی خاوری نژاد^{۱و۲}، منصور افشار محمدیان^۳ و سیده فاطمه فلاح^۱

^۱دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، ^۲گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد

تهران، ^۳گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۱/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷)

چکیده:

آرسنیک منجر به آلودگی آب‌های زیر زمینی می‌شود و بر روی گیاه، انسان و حیوان تأثیر می‌گذارد. هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در هماهنگی رشد و عملکرد گیاه از نظر کمی و کیفی دارند. به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های برنج به آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. گیاهان ۲۹ روزه ۲ ژنوتیپ طارم به عنوان یک رقم محلی و شیرودی به عنوان رقم پر محصول برنج در ۳ غلظت مختلف آرسنات سدیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) و ۲ غلظت جیبرلیک اسید (۰ و ۱۰ میکرومولار) مورد بررسی قرار گرفتند. صفات بررسی شده در این آزمایش شامل: میزان پرولین برگ و ریشه، میزان آنتوسیانین و فنل برگ، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر در خوشه، تعداد دانه‌های پوک در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد که آرسنات سدیم بر تمامی این صفات تأثیر معنی‌داری داشت و سبب کاهش ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت شد و همچنین بر شاخص برداشت و وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت شد و همچنین بر شاخص برداشت و وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت شد. افزایش پوک پیدا کرد که این تأثیر در اکثر صفات در رقم طارم بیشتر از رقم شیرودی بود. افزودن جیبرلین سبب افزایش معنی‌دار میزان پرولین برگ و ریشه، میزان آنتوسیانین و فنل، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنات سدیم در هر دو رقم طارم و شیرودی شد، گرچه این تأثیر در رقم شیرودی بیشتر بود.

واژه کلیدی: آرسنات سدیم، آنتوسیانین، برنج، پرولین، جیبرلیک اسید، صفات مورفولوژیک، فنل.

مقدمه:

نمی‌شود و تنها می‌تواند به اشکال مختلفی تبدیل شده و یا تبدیل به ترکیبات نامحلول در ترکیب با عناصر دیگر شود. آرسنیک شبه فلزی است که در اشکال آلی و غیر آلی وجود دارد که اشکال غیر آلی آن اثرات سمی بیشتری در مقایسه با اشکال آلی دارد و فرم آرسنیک سه ظرفیتی سمی‌تر از فرم پنج ظرفیتی آن می‌باشد. آرسنیک معدنی به طور کلی در دو حالت وجود دارد. حالت اکسیداسیون آرسنیت (NaAsO_2) و آرسنات

برنج (*Oryza sativa* L.) محصول غالب در آسیا است و بیش از ۳۰ درصد کالری مصرفی این منطقه را تشکیل می‌دهد و برخلاف دیگر غلات، در خاک غرقاب کشت داده می‌شود. آرسنات سدیم سمی‌ترین شکل از آرسنیک است که در آب و خاک محلول تحرک بالایی دارد و به طور مؤثر توسط ریشه برنج جذب می‌شود (Zheng et al., 2011). آرسنیک به راحتی نابود

فرآیندهای فتوسنتز و رشد را تحت شرایط تنش افزایش می‌دهد و نقش مهمی را در سم‌زدایی فلزات سنگین از طریق بهبود رشد گیاه و سنتز کلروفیل ایفا می‌کند، ارتباط منبع و مخزن را تحت شرایط تنش تنظیم می‌کند و بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه تأثیر دارد (Iqbal et al., 2011).

هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر متقابل آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر میزان پرولین، آنتوسیانین، صفات مهم زراعی و مورفولوژیکی و بررسی حساسیت یا تحمل ژنوتیپ-های برنج تحت تنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید در شرایط مزرعه است.

مواد و روش‌ها:

بذرهای دو رقم برنج شامل طارم به عنوان رقم محلی کم محصول و شیرودی به عنوان رقم پرمحصول از مرکز تحقیقات برنج کشور واقع در شهرستان آمل تهیه شد. آزمایش در یکی از مزارع شالی کاری واقع در شهرستان ساری با عرض جغرافیایی ۳۶/۳۳ و طول جغرافیایی ۵۳ و با ارتفاع ۲۵/۷۰ متر از سطح دریای آزاد در سال زراعی ۱۳۹۲ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملاً تصادفی در ۴ تکرار، تحت تیمار دو غلظت مختلف جیبرلیک اسید (۰ و ۱۰ میکرومولار) و سه غلظت آرسنات سدیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) انجام شد. میزان بارندگی متوسط ۲۵/۲۶ میلی‌متر گزارش گردیده که کم‌ترین بارندگی در تیر ماه و بیشترین بارندگی در اردیبهشت ماه می‌باشد، متوسط درجه حرارت ۲۹/۷۲ درجه سانتی‌گراد و حداقل رطوبت ۳۲ درصد و حداکثر آن ۱۰۰ درصد گزارش شده است. بذرها با هیپوکلریت سدیم ده درصد به مدت ده دقیقه استریل شد، سپس برای جوانه‌زنی در حوله کاغذی مرطوب به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مکانی تاریک نگهداری شدند. بذرهاي مورد مطالعه در اردیبهشت ماه سال ۹۲ ابتدا در شرایط آب و خاک مزرعه خزانه‌گیری شدند و در مرحله ۲-۳ برگی و سن ۲۵-۳۰ روزه به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در گلدان‌های پر شده از خاک مزرعه نشاء شدند. قبل از شروع تیمار آنالیز خاک انجام شد،

سدیم (Na_2HAsO_4) که هر دو برای انسان و گیاهان سمی هستند. وجود آرسنیک در آب مربوط به فرآیند سنگ‌شویی منبع سنگ و رسوبات حاوی آرسنیک و همچنین مرتبط با محیط‌های بیوژئوشیمیایی، رسوبات آتشفشانی، ضایعات معدن و محل‌های دفن زباله است. تحت شرایط تنش آرسنیک، گیاه دچار تغییرات متفاوتی شامل جذب و انتقال، متابولیسم و بیان ژن می‌شود. قرار گرفتن در محیط‌های تنش‌زا مانند خشکی، گرما و عناصر سنگین تولید ROS (Reactive oxygen species) را در گیاهان افزایش می‌دهد و تنش اکسیداتیو به وجود می‌آورد. آنتی‌اکسیدان‌های تولید شده در سلول‌ها از فعالیت‌های بیوشیمیایی دفاع می‌کنند و سبب می‌شوند که گیاه شرایط تنش را تحمل کند (Thomas et al., 2007). متأسفانه، در برنج جذب و انتقال آرسنیک به دانه نسبت به دیگر محصولات زراعی زیاد است. معمولاً در برنج غلظت بالای از آرسنیک، بین ۰/۰۵ تا ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وجود دارد (Sommella et al., 2013).

آرسنیک اثرات سمی زیادی بر روی غشای سلول‌های ریشه دارد، زیرا آرسنیک پس از جذب با گروه سولفیدریل پروتئین واکنش نشان می‌دهد و باعث اختلال عملکرد ریشه و مرگ سلولی می‌شود. همچنین از جذب سایر مواد شیمیایی و جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند و بر تعدادی از فعالیت‌های بیوشیمیایی تأثیر می‌گذارد (Carbonell et al., 1998).

متابولیت‌های گیاهی در تنش آرسنیک و دیگر عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرند، از جمله متابولیت‌ها می‌توان اسیدهای آمینه خاص مانند پرولین، هیستیدین، پپتیدهایی مانند گلوتاتینون را نام برد که اهمیت کاربردی در زمینه تحمل به تنش فلزات سنگین دارند. جذب آرسنیک در خاک در ارقام مختلف برنج متفاوت می‌باشد که تحمل و حساسیت ارقام مختلف برنج تحت شرایط تنش می‌تواند بر عملکرد محصول تأثیر گذار باشد (Davea et al., 2013). جیبرلین یک فیتوهورمون شناخته شده‌ای است که از یک گروه تتراسیکلیک دی‌ترین تشکیل می‌شود و در جوانه‌زنی بذر، گسترش برگ، ساقه، گل، کرک اولیه، توسعه گل و میوه نقش موثری دارد و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

۳۰	درصد مواد خشتی شونده (%)	۳۰-۰	عمق خاک (Cm)
۲	کربن آلی (%)	رسی	بافت خاک
۳/۴۴	درصد ماده آلی (%)	۳۶	رس (%)
۰/۱۵	نیترژن کل (%)	۳۶	شن (%)
۲۶/۷	فسفر (p.p.m)	۲۸	سیلت (%)
۲۹۴	پتاسیم (p.p.m)	۱/۴۳	هدایت الکتریک (Ec)
<۱۰	آرسنیک (p.p.m)	۷/۲۶	اسیدیته گل اشباع
		۸۵	درصد اشباع (%)

سانتریفوژ شدند. محلول رویی به دکانتور انتقال داده شد و ۲ میلی‌لیتر اتر جهت حذف کلروفیل به آن اضافه شد. پس از تشکیل دو فاز، فاز زیری دکانتور برای تعیین مقدار فنل و آنتوسیانین استفاده شد. برای تعیین میزان آنتوسیانین جذب محلول فوق توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۰ نانومتر تعیین و جذب ناویژه در ۶۰۰ نانومتر از آن کسر شد. برای تعیین مقدار فنل (Dia et al., 2008)، جذب محلول در طول موج ۲۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. با استفاده از نمودارهای استاندارد غلظت آنتوسیانین و فنل محاسبه شد.

اندازه گیری صفات زراعی: جهت اندازه گیری عملکرد و اجزای عملکرد، پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه و پایین آمدن رطوبت دانه‌ها، بوته‌ها در مرداد ماه سال ۹۲ رقم طارم محلی و شهریور ماه سال ۹۲ رقم شیرودی برداشت شدند. ویژگی‌های زراعی بررسی شده در این تحقیق شامل: ارتفاع گیاه (قبل از برداشت تا انتهای خوشه و بدون در نظر گرفتن ریشک و یا زمان آخرین ارزیابی برای ژنوتیپ‌هایی که به گل نرفته‌اند بر حسب سانتی متر)، طول خوشه (در مرحله رسیدگی به طور تصادفی از گره گردن خوشه تا نوک بلندترین انشعاب بر حسب سانتی متر)، تعداد دانه‌های پر و تعداد دانه‌های پوک در خوشه (خوشه‌ها از ناحیه گردن جدا و کل دانه‌ها و سپس دانه‌های پر و پوک در هر خوشه به تفکیک شمارش شدند)، وزن هزار دانه (نمونه های ۵۰ عددی به عنوان معیاری برای اندازه گیری وزن هزار دانه استفاده شد)، عملکرد دانه (که به صورت وزن دانه‌های تمام خوشه‌های هر بوته پس از برداشت

خاک کمتر از ۱۰ ppm آرسنیک داشت. پس انتقال گیاهک های برنج به گلدان، در مرحله اول به طور همزمان توسط غلظت های مختلف آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید تیماردهی شدند. اسید جیبرلیک طی چهار مرحله در فاصله زمانی ۳ روز افشانه سازی شد. برای اندازه گیری میزان پرولین و آنتوسیانین و فنل گیاهان ۱۴ روز بعد از تیماردهی برداشت شدند. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آمده است.

اندازه گیری میزان پرولین برگ و ریشه گیاه: برای اندازه گیری پرولین از روش (Bates et al., 1973) استفاده شد. ابتدا ۰/۲۵ گرم از بافت تر برگ و ریشه با اسید سولفوسالیسیلیک برای تهیه عصاره به خوبی سائیده شد، سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده را با ۱ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۱ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لوله آزمایش ریخته و لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از سرد شدن نمونه‌ها جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه گیری شدند.

اندازه گیری میزان آنتوسیانین و فنل: برای سنجش میزان آنتوسیانین از روش (Dia et al., 2006) استفاده شد. به این منظور، ۰/۳ گرم از بافت تر اندام هوایی به دقت توزین و در حاوی ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول ۹۹/۵٪ و اسید کلریدریک ۱٪ به نسبت ۹۹ به ۱) ساییده شد، عصاره تهیه شده در فالتون ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از تاریکی خارج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰g

با میزان رطوبت ۱۴ درصد بر حسب گرم)، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت بود.

تجزیه و تحلیل آماری: در تمامی موارد مقایسه میانگین تیمارها با روش دانکن صورت گرفت و برای انجام تجزیه های آماری از نرم افزار SPSS v.16 استفاده شد.

نتایج و بحث:

میزان پرولین برگ و ریشه: با افزایش تنش آرسنات سدیم، محتوای پرولین در برگها و ریشهها در هر دو رقم به طور معنی داری افزایش می یابد. برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید سبب افزایش معنی دار در محتوای پرولین برگ هر دو رقم در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار شده است در حالی که این افزایش در تیمار ۱۰۰ میکرومولار آرسنات سدیم در هر دو رقم معنی دار بوده است (جدول ۲). پرولین یک اسید آمینه ضروری است که در بسیاری از گونه های گیاهی در پاسخ به تنش تجمع می یابد و از ساختارهای درون سلولی و ماکرومولکولها تحت شرایط تنش محافظت می کند. عملکرد پرولین همانند یک پشتیبان مولکولی که قادر به محافظت از پروتئینها و افزایش فعالیت آنزیمهای مختلف مطرح می شود، مثالهایی از این نقش عبارتند از: پیشگیری از تجمع پروتئین، ثبات لاکتات دهیدروژناز در طی افزایش حرارت، محافظت از نیترات ردوکتاز در تنش اسمتیک و عنصر سنگین و پایداری ربیونوکلئازها و پروتئازها تحت تنش آرسنات می باشد.

پرولین می تواند سطح (ROS) را کاهش دهد و در نتیجه از مرگ سلولی برنامه ریزی شده جلوگیری کند و می تواند پراکسیداسیون لیپید را در سلول جلبک که تحت تنش آرسنیک قرار گرفته اند را کاهش دهد (Szabados and Savoure, 2009). در این مطالعه آرسنات سدیم سبب تجمع پرولین در برگ و ریشه هر دو رقم می گردد که نتایج مشابه در تأثیر آرسنیک در نهالچه برنج (Mishra and Dubey, 2006)، تأثیر ترکیبی از خشکی و حرارت در میزان پرولین در گیاه تنباکو (Cvikrov et al., 2013) و تأثیر شوری و کادمیوم در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Howladar 2014) مشاهده

شدند. از جمله عوامل تجمع پرولین در بافت های گیاهی، (۱) کاهش تخریب پرولین (۲) افزایش در بیوستز پرولین (۳) کاهش سنتز پروتئین یا استفاده پرولین (۴) هیدرولیز پروتئینها پیشنهاد شده است. افزودن جیبرلین تحت تنش آرسنات موجب افزایش میزان پرولین در برگ و ریشه گردید و سبب افزایش سازگاری گیاه در تنش می شود. مشابه این نتایج را

Lee و Stewart (۱۹۷۴) نشان دادند که کاربرد جیبرلین در شرایط تنش شوری از طریق افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در اثر فعالیت آنزیم سنتز کننده پرولین موجب افزایش پرولین برگ و ریشه می شود. در نتیجه پرولین می تواند به عنوان یک مولکول علامت ده، یک مسیر دفاعی، تنظیم کننده متابولیسم و فرآیندها رشد و نمو عمل کند و فرصت های زیادی را برای بهبود عملکرد گیاه فراهم کند (Levent Tuna et al., 2008). نتایج مشابه از تأثیر جیبرلین در شرایط تنش نیکل در گندم (Siddiqui et al., 2010)، تأثیر سالیسیلیک اسید و تنش آب در گیاه موز (*Musa acuminata*) و 'Berangan', AAA (Shirani Bidabadi et al., 2012)، cv. تأثیر جیبرلین در گیاه گندم تحت تنش کادمیوم، روی و سرب (Ergün and Öncel, 2012) مشاهده شدند.

میزان آنتوسیانین و فنل: در جدول های ۲ و ۳ مشاهده می شود با افزایش میزان آرسنیک میزان آنتوسیانین و فنل در هر دو رقم برنج به طور معنی دار نسبت به شاهد افزایش می یابد که این افزایش فوق در رقم شیروودی بیشتر از طارم می باشد. تیمار همزمان جیبرلیک اسید و آرسنیک ۱۰۰ میکرومولار در رقم شیروودی نسبت به شاهد افزایش معنی داری را در میزان آنتوسیانین ایجاد کرده است در حالی که در رقم طارم تفاوت معنی داری مشاهده نشد و این تغییر در میزان ترکیبات فنلی سبب افزایش معنی داری در رقم طارم شده است. تیمار همزمان جیبرلیک اسید با آرسنیک نسبت به گیاهان تیمار نیافته با جیبرلیک اسید کاهش معنی داری را در میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنلی رقم شیروودی نشان می دهد.

آنتوسیانین در پاسخ به تعدادی تنشها از جمله تنش عنصر سنگین افزایش می یابد، این احتمال وجود دارد که این ترکیب

جدول ۲- تأثیر آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر میزان پرولین برگ و ریشه، آنتوسیانین و فنل برگ در دو رقم برنج

فنل (mg g ⁻¹ F.W.)	آنتوسیانین (mg g ⁻¹ F.W.)	پرولین برگ (mg g ⁻¹ F.W.)	پرولین ریشه (mg g ⁻¹ F.W.)	جیبرلیک اسید (μM)	آرسنات سدیم (μM)	
۱۴۳۵/۶۰±۱۷۱ ^d	۵/۷۴±۱/۰۷ ^f	۳۴/۸۵±۳/۴۵ ^f	۲۰/۴۳±۱/۸۹ ^d	۰	۰	
۱۶۲۵/۰۲±۶۲ ^{abcd}	۹/۰۸۱±۱/۰۷ ^{ef}	۸۱/۲۶±۸/۸۳ ^{abc}	۶۲/۰۳±۱/۹۱ ^b	۱۰		
۱۷۶۱/۴۹±۶۶/۹ ^{abc}	۹/۴۹۶±۱/۰۴ ^{ef}	۷۰/۵۴±۴/۰۳ ^{cd}	۳۰/۸۴±۱/۲۰ ^c	۰	۵۰	طارم
۱۵۷۹/۵۴±۴۰/۶ ^{bcd}	۷/۲۰۵±۰/۳۹ ^{ef}	۵۷/۱۰±۴/۱۷ ^{de}	۱۳/۱۷±۰/۴۴ ^{de}	۱۰		
۱۷۷۲/۲۰±۱۲۵ ^{abc}	۱۲/۶۶±۰/۸۹ ^e	۶۸/۸۰±۳/۳۱ ^{cd}	۳۸/۲۲±۲/۲۱ ^c	۰	۱۰۰	
۱۷۶۶/۸۴±۵۴/۲۲ ^{abc}	۷/۴۱۵±۰/۸۳ ^{ef}	۸۸/۵۰±۸/۴۸ ^{ab}	۷۸/۵۱±۸/۲۷ ^a	۱۰		
۱۴۴۷/۰۱±۸۸/۶ ^d	۲۳/۶۸±۱/۰۴ ^d	۴۵/۴۲±۲/۲۳ ^{ef}	۱/۳۵۳±۰/۱۶ ^f	۰	۰	
۱۵۸۵/۱۳±۶۹/۹ ^{cd}	۲۷/۱۵±۲/۳۶ ^{cd}	۵۴/۴۹±۳/۴۵ ^{de}	۱۱/۷۶±۰/۹۰ ^e	۱۰		
۱۸۲۰/۳۶±۳۲/۴ ^{ab}	۳۱/۱۵±۱/۷۱ ^c	۷۸/۱۹±۷/۱۶ ^{bc}	۲۱/۱۲±۰/۸۷ ^d	۰	۵۰	
۱۴۷۲/۵۱±۲۲/۰ ^d	۲۴/۹۰±۰/۹۶ ^d	۸۰/۱۰±۷/۰۱ ^{abc}	۱۷/۵۳±۱/۵۶ ^{de}	۱۰		شیرودی
۱۸۵۵/۱۴±۴۸/۳ ^a	۴۸/۶۴±۵/۴۹ ^a	۹۱/۲۴±۴/۷۳ ^{ab}	۳۰/۰۴±۱/۷۲ ^c	۰	۱۰۰	
۱۴۷۹/۰۷±۴۴/۲ ^d	۳۹/۸۱±۱/۶۲ ^b	۹۷/۴۴±۵/۴۹ ^a	۳۲/۵۲±۲/۰۵ ^c	۱۰		

حروف مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می باشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس در برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر پرولین برگ و ریشه، آنتوسیانین و فنل برگ در دو رقم گیاه برنج

منبع تغییرات	درجه آزادی	پرولین برگ	پرولین ریشه	آنتوسیانین برگ	فنل برگ
رقم	۱	۵/۵۷۸۹ ^{****}	۱۷۸/۰۶۸ ^{****}	۴۲۵/۹۲۶ ^{****}	۱/۲۳۸ ^{***}
Na ₂ HAsO ₄	۲	۳۳/۷۱۶۶ ^{****}	۸۸/۵۲۰ ^{****}	۳۲/۶۵۷ ^{****}	۶/۷۱۵ ^{****}
GA ₃	۱	۱۲/۹۵۹۷	۵۷/۹۴۵	۵/۱۵۰ ^{****}	۴/۸۵۳
رقم * Na ₂ HAsO ₄	۲	۵/۹۲۲۶ ^{****}	۳۵/۹۶ ^{****}	۱۹/۶۰۶ ^{****}	۰/۳۰۵
Na ₂ HAsO ₄ * GA ₃	۲	۸/۹۸۴۶ ^{***}	۵۱/۲۰۲ ^{***}	۷/۲۳۷	۷/۶۵۵
رقم * GA ₃	۱	۳/۳۴۷۴	۳۲/۳۳۲	۱/۱۲۶ ^{****}	۴/۹۲۰
رقم * Na ₂ HAsO ₄	۲	۵/۵۴۷۳ ^{****}	۲۵/۶۵۶ ^{****}	۰/۳۱۷	۰/۸۷۹

**** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار است. *** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار است.

اکسیژن می شود. که نتایج مشابه در گیاه آراییدوپسیس تحت تنش خشکی (Sperdoui and Moustakas, 2012) و در گیاه انگور (*Vitis vinifera* L.) تحت شرایط دمای پایین (Romero et al., 2008) مشاهده شدند. در این مطالعه جیبرلین مقدار آنتوسیانین را در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنات سدیم در برگ هر دو رقم افزایش می دهد. در نتیجه افزایش میزان آنتوسیانین در بافت گیاه، پیری را می تواند به تأخیر اندازد (Mansouri, 2012). نتایج مشابه از تأثیر

به عنوان یک ناقل فلز سنگین به واکنش عمل کند. مارس و والبت (سال ۱۹۹۷) گزارش کردند که کادمیوم می تواند سنتز آنزیم گلوکوتایون-S-ترانسفراز (GST) (Gluthathion-S-transferase) که آنزیم کلیدی در آخرین مرحله بیوسنتز آنتوسیانین است را تحریک کند و از این طریق موجب افزایش سنتز آنتوسیانین شود. افزایش در مقدار آنتوسیانین برگ در غلظت های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنات سدیم به گیاه در شرایط تنش کمک می کند و سبب از بین بردن رادیکال آزاد

آزمایشی در هر دو رقم برنج طارم محلی و شیرودی اختلاف معنی داری در سطح احتمال کمتر از ۵٪ وجود دارد. مقایسه میانگین تیمارها در جدول ۴ نشان می‌دهد که در غلظت‌های ۵۰ میکرومولار آرسنیک، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر در خوشه و وزن هزار دانه در هر دو رقم برنج به طور معنی داری کاهش یافت. غلظت ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک باعث کاهش معنی دار در تعداد دانه‌های پر، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت در رقم طارم شد، در حالی که در رقم شیرودی غلظت ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک سبب کاهش معنی دار در میزان طول خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک شد و تفاوت معنی داری را در میزان ارتفاع گیاه، تعداد دانه پر، تعداد دانه پوک و شاخص برداشت نشان نداد. بیشترین تأثیر تنش ناشی از غلظت زیاد آرسنیک بر روی رقم طارم محلی و کمترین تأثیر تنش بر روی رقم شیرودی مشاهده شد. افزودن جیبرلین در غلظت ۵۰ میکرومولار آرسنیک سبب افزایش معنی داری در ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به شاهد و تیمار ۵۰ میکرومولار آرسنیک گردید و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر، تعداد دانه پوک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک به طور معنی داری نسبت به تیمار ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک در رقم طارم محلی افزایش نشان داد در حالی که در رقم شیرودی جیبرلین سبب افزایش معنی دار در طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک نسبت به شاهد شد و همچنین ارتفاع گیاه، تعداد دانه‌های پوک و عملکرد دانه نسبت به تیمار آرسنیک افزایش معنی داری را نشان داده است (جدول ۵).

رشد ریشه و ساقه و طول و وزن خشک ریشه و ساقه در غلظت‌های بالایی از تیمار آرسنیک کاهش می‌یابد و از جذب مواد غذایی در ریشه جلوگیری می‌شود. رشد کل گیاه متوقف می‌شود در نتیجه زی‌توده (بیومس) گیاهان کاهش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهد که وجود عناصر سنگین در دانه

سالیسیلیک تحت تنش آب در گیاه سیب زمینی (*Lycopersicon esculentum*) (Hayat et al., 2008) مشاهده شدند.

در گیاه *Phaseolus vulgaris* با افزایش میزان سرب به طور قابل توجهی محتوای فنل افزایش یافته، افزایش میزان ترکیبات فنلی را می‌توان تحت عوامل مختلف زیست محیطی و شرایط تنش مشاهده کرد. افزایش فنل در ارتباط با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم ترکیبات فنلی گزارش شده که سنتز فنل را تحت تنش فلز سنگین نشان می‌دهد. فنل به طور کلی از تنش اکسیداتیو به وسیله مهار تولید اکسیژن فعال با شکستن واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال در طی پراکسیداسیون لیپید جلوگیری می‌کند. فنل‌ها به عنوان عوامل احیا کننده کلاتورهای فلزی عمل می‌کنند (Hamid et al., 2010). تجمع آنتوسیانین و فنل همبستگی مثبتی با سطح تولید ROS دارد و عملکردی همانند مولکول علامت‌ده برای تجمع آنتوسیانین دارد. افزایش فنل می‌تواند به عنوان یک مکانیسم حفاظتی برای به حداقل رساندن تنش اکسیداتیو عمل کنند (MD-Aktar et al., 2009). نتیجه مشابه در مرکبات تحت تنش مس (Merlin et al., 2012)، چهار رقم زیتون (*Olea europaea* L.) تحت تنش آب گزارش شد (Petridis et al., 2012). فیتوهورمون‌ها، به طور گسترده برای تحریک تجمع برخی متابولیت‌های ثانویه مهم در گیاهان استفاده می‌شوند. تجمع فنولیک اسید در گیاهان توسط GA₃، ABA و اتیلن می‌تواند فعالیت‌های PAL را تحریک کند که سبب تجمع اسیدهای فنلی و تولید فنل می‌شود (Liang et al., 2013). نتایج مشابه در نهال تربچه که اپی برایشینولیدها باعث بهبود و افزایش سطح فنل تحت تنش کروم (VI) می‌شود (Choudhary et al., 2011)، برهمکنش فلزات سنگین (سرب، روی و کادمیوم) و سالیسیلیک اسید و تنش خشکی در جو (Fayez and Bazaid, 2014) و برهمکنش جیبرلین و خشکی در گندم (*Triticum aestivum* L) (Ergün and Öncel, 2012) مشاهده شدند.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بین تیمارهای

جدول ۴- میانگین برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر برخی صفات زراعی در دو رقم برنج

شخص برداشت (g)	بیوماس کل (g)	صمغورده دانه (g)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه بر یک (g)	تعداد دانه بر (g)	طول خنجره (cm)	ارتفاع گیاه (cm)	جهت چینبرین (μM)	آرسنات سدیم (μM)
۷۰/۳۰±۱/۳۲ de	۲/۵۲±۰/۲۰ b	۱/۸۳±۰/۰۵ de	۲۰/۹۵±۰/۳۱ cd	۴/۵±۱/۳۲ def	۸۴/۲۵±۱/۲۳ c	۲۴±۰/۳۵ bc	۱۱۱/۷±۳/۰۱ bc	۰	۰
۵۲/۲۳±۱/۱۰ e	۴/۲۳±۰/۴۲ a	۲/۰۵±۰/۱/۳۵ bd	۲۵/۱۰±۰/۱۹ b	۳/۲۵±۰/۴۷ ef	۱۱۶/۵±۳/۳۲ a	۲۷/۵±۰/۹۵ a	۱۱۳±۱/۹۴ a	۱۰	۰
۶۹/۴۱±۱/۳۰ de	۲/۲۰±۰/۳۱ bc	۱/۵۲±۰/۰۲ ef	۱۹/۰۲±۰/۴۲ e	۹/۵±۱/۴۴ bc	۷۴±۰/۵۲ c	۲۰±۰/۵۱ d	۱۰۰/۳±۱/۷۸ cd	۰	۵۰
۱/۸۸۱±۳/۱۵ abcd	۲/۸۳±۰/۱۲ b	۲/۲۱±۰/۰۶ abc	۲۵/۵±۰/۵۸ b	۵/۲۵±۰/۸۵ def	۱۱۴/۷±۳/۰۶ ab	۲۶/۷۵±۰/۷۵ a	۱۳۲/۳±۱/۷۴ a	۱۰	۵۰
۷/۱۰۵±۱/۷۵ cde	۱/۹۰±۰/۰۶ cd	۱/۳۱±۰/۰۳ f	۱۶/۱۱±۰/۸۹ f	۱۵/۲۵±۱/۲۵ a	۴۷/۷۵±۱/۶۳ d	۱۷/۶۲±۰/۷۸ e	۹۰/۷±۰/۸۳۵ def	۰	۱۰۰
۹۹/۸۸±۱/۰۹ abcd	۲/۶۴±۰/۳۳ b	۲/۲۸±۰/۱۰ ab	۲۲/۳۳±۰/۸۰ c	۶/۵±۱/۰۴ cde	۱۱۳/۷±۵/۸ ab	۲۲/۶۲±۰/۴۷ c	۱۱۷/۲±۱/۵۲ b	۱۰	۱۰۰
۷/۸۰±۱/۲۱ q bod	۲/۴۰±۰/۰۴ bc	۱/۸۹±۰/۰۵ cd	۲۵/۷۳±۰/۴۵ b	۷±۱/۰/۸ bod	۸۳/۷۵±۱/۹۵ c	۲۰±۰/۴۰ d	۷۷/۲±۱/۹۶ a	۰	۰
۱۰/۱/۸±۲/۶۱ a	۲/۴۶±۰/۱۴ bc	۲/۵۰±۰/۰۸ a	۲۷/۴۵±۰/۲۳ a	۳±۰/۴۰ f	۱۰۷/۷۵±۱/۶۹ ab	۲۴/۸۸±۰/۷۵ b	۹۳/۵±۱/۴۶ de	۱۰	۰
۸/۲/۳۰±۱/۷۵ abcd	۱/۸۹±۰/۰۲ cd	۱/۵۵±۰/۰۱ ef	۲۴/۴۸±۰/۳۸ b	۹/۷۵±۱/۳۱ b	۵۹/۷۵±۱/۰۹ d	۱۹±۰/۶۱ de	۷۸/۳±۱/۲۸ a	۰	۵۰
۹۲/۰۰±۱/۱/۷ abc	۲/۷۴±۰/۱/۳ b	۲/۴۴±۰/۰۳ a	۲۷/۵۷±۰/۳۹ a	۴/۲۵±۱/۴۷ def	۱۰۰/۲±۱/۸۸ b	۲۴/۱۲±۰/۴۲ b	۸۹/۷۵±۱/۹۳ def	۱۰	۱۰۰
۹۳/۴۷±۱/۹۷ ab	۱/۵۵±۰/۰۳ d	۱/۴۷±۰/۰۱ ef	۲۰/۴۶±۰/۴۵ d	۱۰±۱/۰/۸ b	۵۸/۲۵±۱/۶۶ d	۱۷/۳۷±۰/۹۴ e	۷۱±۱/۲۱ a	۰	۱۰۰
۱۰۰/۰/۷±۱/۱ a	۱/۹۳±۰/۰۳ cd	۱/۹۵±۰/۱/۳ cd	۲۷/۴۳±۰/۲۷ a	۴/۵±۰/۶۴ def	۱۰۳±۵/۹۵ ab	۲۶/۷۵±۰/۵۹ c	۸۲/۵±۱/۵۰ efg	۱۰	۱۰۰

حروف مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می باشد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس در برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر برخی صفات زراعی در دو رقم برنج

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه (cm)	طول خنجره (cm)	تعداد دانه بر (g)	تعداد دانه بر یک (g)	وزن هزار دانه (g)	صمغورده دانه (g)	بیوماس کل (g)	شخص برداشت (%)
رقم	۱	۱۹۱/۶۸***	۲۲/۱۸۹***	۵/۷۲۴*	۲/۶۸۵	۱۹۹/۰۹۵***	۳/۶۹۹*	۲۵/۶۳۳***	۲۶/۴۲۵***
Na ₂ HAsO ₄	۲	۱۱/۵۷۷***	۳۹/۱۷۳***	۱۴/۱۰۳***	۲۱/۰۹۶***	۴۷/۱۲۹***	۷/۰۲۹*	۲۲/۱۲۹***	۳/۹۶۱*
GA ₃	۱	۷۱/۷۰۲***	۱۸۷/۲۲۰***	۲۲۷/۱۳۵***	۶۹/۴۸۷***	۳۹۰/۰۸۸۳***	۱۸۸/۹۴۱***	۴۳/۵۹۴***	۵/۱۵۸*
رقم * Na ₂ HAsO ₄	۲	۱/۲۱۵	۶/۴۰۹*	۲/۲۳۰	۵/۷۴۶	۱/۶۱۴	۴/۱۲۵*	۴/۵۰۴*	۱/۸۶۶
Na ₂ HAsO ₄ * GA ₃	۲	۰/۲۰۵	۲/۸۸۰	۷/۹۸۷***	۴/۹۳۴*	۱۳/۸۴۳***	۲/۴۶۲	۰/۷۷۳۳	۰/۶۷۱
رقم * GA ₃	۱	۷/۸۰۹	۰/۱۱۳	۳/۵۱۳	۰/۰۴۶	۹/۱۵۰*	۰/۰۶۹*	۷/۳۰۹*	۱/۶۵۰
رقم * Na ₂ HAsO ₄ * GA ₃	۲	۱/۲۶۸	۱/۳۸۲	۱/۳۸۲	۲/۳۷۶	۴/۹۲۹*	۳/۸۶۲*	۶/۹۲۸*	۴/۴۸۲*

*** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ دار است. ** در سطح احتمال ۰/۰۱ دار است. * در سطح احتمال ۰/۰۵ ضمنی دار است.

(Hasamuzzaman *et al.*, 2009). نتایج مشابه از تأثیر مس در برنج (Jia-kuan *et al.*, 2005) و تأثیر تنش خشکی در برنج (Sabetfar *et al.*, 2013) مشاهده شد.

جیبرلین محتوای پروتئین را از طریق فعالیت نیترات ردوکتاز افزایش می دهد و تحریک آنزیم های سنتز پروتئین به وسیله جیبرلین سبب سنتز پروتئین کل می شود (Shah, 2007). در این مطالعه افزودن جیبرلین سبب افزایش پارامترهای فیزیولوژیکی در دو رقم برنج شده است، هنگامی که جیبرلین به عنوان ماده اولیه در برنج استفاده می شود، سبز شدن و تولید ماده خشک را به طور قابل توجهی افزایش می دهد و در شکستن نشاسته ذخیره شده در بذر جهت رشد جنین در طی رویش استفاده می شود. همچنین باعث افزایش مقاومت دانه به تنش اسمزی می شود و در درجه حرارت بالا یا پایین به وسیله گلوکوتایون ردوکتاز و پراکسیداز فعال سازی شده و سبب افزایش رشد گیاه می گردد. جیبرلین بر رشد بوته و عملکرد تحت شرایط تنش با ایجاد فعالیت منبع و مخزن تأثیر مثبت می گذارد و قدرت منبع را از طریق بهبود فتوسنتز از طریق نفوذ برخی از آنزیم های مربوط به فتوسنتز مانند (روبیسکو، فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات و ساکارز فسفات سنتاز)، سطح برگ، نور و بارگیری آبکش موجب می شود. جیبرلین به تقسیم سلولی در مریستم ریشه و ساقه کمک می کند و در نتیجه سبب ایجاد تعداد پنجه های بیشتری می شود و هرچه تعداد پنجه های تولید شده توسط گیاه بیشتر باشد، درصد بهره وری و عملکرد دانه بیشتر می شود و در وزن دانه که منعکس کننده عملکرد در خوشه است، تأثیر می گذارد. افزایش عملکرد ممکن است به دلیل سیستم ریشه ایی باشد که به خوبی توسعه یافته و جذب عناصر توسط گیاه را افزایش دهد و سبب بهبود رشد خوشه، پر شدن دانه و عملکرد دانه می شود (Sabetfar *et al.*, 2013). آنزیم جیبرلین اپی اکسیداز در برنج منجر به افزایش طول گره انتهایی در مرحله سنبله می شود و بیوسنتز جیبرلین در مریستم رخ می دهد و در داخلی ترین قسمت بافت پوست تجمع می یابد که مکان هایی برای عمل جیبرلین در رشد ریشه می باشند. جیبرلین سبب بهبود بهره وری

موجب تجمع رادیکال آزاد اکسیژن فعال می شود. در سلول های برگ گیاه گندم با افزایش آرسنیک رادیکال آزاد اکسیژن فعال افزایش می یابد و خسارت به سلول گیاهی در شرایط تنش وارد می کند، بنابراین تعادل بین تولید و حذف رادیکال های آزاد اکسیژن فعال سبب خسارت به سلول در شرایط تنش می شود (Chun-xi *et al.*, 2007).

وزن خشک اندام هوایی و ریشه تحت شرایط تنش کاهش می یابد که این کاهش ممکن است ناشی از کاهش سطح برگ و مقدار فتوسنتز باشد. گیاه ممکن است با حفظ برگ های سبز مکانیسم از دست دادن آب را تحمل کنند و اجازه می دهد که گیاه فعالیت متابولیکی را با وجود پتانسیل پایین آب برگ حفظ کند. وزن هزار دانه همانند تعداد دانه با افزایش تنش کاهش می یابد و بازده محصولات کشاورزی را کاهش می دهد (Faizan *et al.*, 2012).

تنش در طول مراحل مختلف رشد ممکن است انتقال محصولات فتوسنتزی را به دانه کاهش دهد و در نتیجه وزن دانه کاهش و تعداد دانه های خالی افزایش یابد، گرچه میزان کاهش به نوع رقم بستگی دارد که در این تحقیق تأثیر این در رقم طارم بیشتر از شیرودی بوده است. همچنین در شرایط تنش، تعداد سلول های آندوسپرم کاهش می یابد و تشکیل آمیلوپلاست محدود می شود که میزان کاهش در وزن دانه از لحاظ سرعت و طول دوره رشد با کاهش ظرفیت آندوسپرم و با میزان تجمع نشاسته در ارتباط است. معمولاً شرایط تنش باعث پیری زودرس می شود و طول دوره ی پر شدن دانه را افزایش می دهد و سبب انتقال مجدد محصولات فتوسنتزی از کاه به دانه می شود. کاهش در وزن هزار دانه ممکن است به دلیل تجمع کمتر کربوهیدرات ها و سایر مواد غذایی با توجه به تنش آرسنیک باشد که در رقم طارم بیشتر از رقم شیرودی بوده است. کاهش عملکرد خوشه در سطوح بالاتر تنش آرسنیک می تواند به دلیل تجمع کمتر فتوسنتز در بخش تولیدمثل باشد و این که عملکرد دانه برنج به شدت وابسته به تعداد پنجه خوشه دار تولید شده در هر بوته است. کاهش در تعداد پنجه منجر به کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می شود

تحت تنش آرسنات سدیم، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک در هر دو رقم طارم و شیرودی برنج کاهش یافت که رقم شیرودی مقاومت بیشتری نشان داد. میزان پرولین برگ و ریشه و میزان آنتوسیانین و فنل برگ افزایش یافته است که میزان سازگاری گیاه را تحت شرایط تنش افزایش می دهد. افزودن جیبرلیک اسید سبب افزایش صفات فوق الذکر و همچنین افزایش تولید محصول و کاهش سمیت تنش آرسنات سدیم در شرایط مزرعه‌ای شد.

بوته و عملکرد گیاه می شود و سبب سازگاری رشد گیاه در برابر تغییرات محیطی می شود (Claeys *et al.*, 2013). نتایج مشابه از تأثیر جیبرلین در گیاه برنج تحت تنش اسمزی (Kareem and Ismail 2013)، در گیاه ذرت تحت تنش خشکی و جیبرلین (Soroushi *et al.*, 2011; Shaddad *et al.*, 2011)، تأثیر تنش شوری و جیبرلین در گیاه شب بو (Shah, 2007) مشاهده شد.

نتیجه گیری کلی:

منابع:

- Azolla imbricate. *Journal of Environ Toxicology* 21: 505-512.
- Ergün, N. and Öncel, I. (2012) Effects of some heavy metals and heavy metal hormone interactions on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Gun 91) seedlings. *African Journal of Agricultural Research* 7:1518-1523.
- Faizan, S., Kausar, S. and Perveen, R. (2012) Variation in growth, physiology and yield of four chickpea cultivars exposed to cadmium chloride. *Journal Environmental Biology* 33: 1137-1142.
- Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014) Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13: 45-55.
- Hamid, N., Bukhari, N. and Jawaid, F. (2010) Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. *Pakistan Journal Botany* 42: 239-246.
- Hasamuzzaman, M., Fujita, M., Islam, M. N., Ahamed, K. U. and Nahar, K. (2009) Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *International Journal of Integrative Biology* 6:2-85.
- Hayat, S. h., Hasan, S. A., Fariduddin, O. and Ahmad, A. (2008) Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions* 3:4.
- Howladar, S. M. (2014) A novel Moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 100: 69-75.
- Iqbal, N., Nazar, R., Iqbal, M., Khan R., Masood, A. and Khan, N. A. (2011) Role of gibberellins in regulation of source-sink relations under optimal and limiting environmental conditions. *Journal of current science* 100: 7-10.
- Jia-kuan, X., Lian-xin, Y., Zi-qiang, W., Gui-chun, D., Jian-ye, H. and Yu-long, W. (2005) Effects of soil
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid detemation of free proline for water stress studies. *Journal of Plant Soil* 39: 205-207.
- Carbonell, A. A., Aarabi, M. A., DeLaune, R. D., Gambrell, R. P. and Patrick, J. W. H. (1998) Arsenic in wetland vegetation: Availability, phytotoxicity, uptake and effects on plant growth and nutrition. *Science of the Total Environment* 217:189-199.
- Choudhary, P. S., Kanwar, M., Bhardwaj, R., Gupta, B. D. and Gupta, R. K. (2011) Epibrassinolide ameliorates Cr (VI) stress via influencing the levels of indole-3-acetic acid, abscisic acid, polyamines and antioxidant system of radish seedlings. *Journal of Chemosphere* 84: 592-600.
- Chun-xi, L., Shu-li, F., Yun, S. h., Li-na, J., Xu-yang, L. and Xiao-li, H. (2007) Effects of arsenic on seed germination and physiological activities of wheat seedlings. *Journal of Environmental Sciences* 19: 725-732.
- Claeys, H., De Bodt, S. and Inze, D. (2013) Gibberellins and DELLAs: central nodes in growth regulatory networks. *Journal of Trends in Plant Science* 1: 9.
- Cvikrov, M., Gemperlová, L., Martincová, O. and Vanková, R. (2013) Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 73: 7-15.
- Davea, R., Tripathia, R. D., Dwivedia S., Tripathia, P., Dixita, G., Sharmab, Y. K., Trivedia, P. K., Corpasp, F. J., Barrosoe, J. B. and Chakrabartya, D. (2013) Arsenate and arsenite exposure modulate antioxidants and amino acids incontrasting arsenic accumulating rice (*Oryza sativa* L.) genotypes Richa. *Journal of Hazardous Materials* 262:1123-1131.
- Dia, L. P., Xiong, Z. T. and Huang, Y. (2006) Cadmium induced changes in pigments total phenolics, and phenyl alanine ammonia-lyase activity in fronds of

- plant. Journal of Persian Gulf Crop Protection 2: 14-18.
- Shaddad, M. A. K., Hamdia Abd El-Samad, M. and Mohammed, H. T. (2013) Interactive effects of drought stress and phytohormones or polyamines on growth and yield of two Maize (*Zea mays* L.) genotypes. American Journal of Plant Sciences 2: 790-807.
- Shah, S. H. (2007) Effects of salt stress on mustard as affected by gibberellic acid application. Journal of Plant physiology 33: 97-106.
- Shirani Bidabadi, S., Mahmood, M., Baninasab, B. and Ghobadi, C. (2012) Influence of salicylic acid on morphological and physiological responses of banana (*Musa acuminata* cv. 'Berangan', AAA) shoot tips to *in vitro* water stress induced by polyethylene glycol. Journal of plant Omics 5: 33-39.
- Siddiqui, H. M., Al-Whaibi, H. M. and Basalah, O. M. (2010) Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in *Triticum aestivum* L. Protoplasma 248: 503-511.
- Sommella, A., Deacon, C., Norton, G., Pigna, M., Violante, A. and Meharg, A. A. (2013) Total arsenic, inorganic arsenic, and other elements concentrations in Italian rice grain varies with origin and type. Journal of Environmental Pollution 181:38-43.
- Soroushi, H., Saki Nejad, T., Shoukofar A. and Soltani, H. (2011) The interaction of drought stress and gibberellic acid on Corn (*Zea Mays* L.). World Academy of Science, Engineering and Technology 60: 142-143.
- Sperdoui, I. and Moustakas, M. (2012) Interaction of proline, sugars, and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. Journal of Plant Physiology 169: 577-585.
- Stewart, G. R. and Lee, J. A. (1974) The role of proline accumulation in halophytes. Planta 120: 279-289.
- Szabados, L. and Savoure, A. (2009) Proline: a multifunctional amino acid. Journal of Trends in Plant Science 15: 89-97.
- Thomas, S. Y., Choong, Chuah, T. G., Robiah, Y., GregoryKoay, F. L. and Azni, I. (2007) Arsenic toxicity, health hazard and removal techniques from waterian overview. Journal of Desalination 217: 139-166.
- Zheng, M. Z., Cai, C., Hu, Y., Sun, G. X., Williams, P. N., Cui, H. G., Li, G., Zhao, F. J. and Zhu, Y.G. (2011) Spatial distribution of arsenic and temporal variation of its concentration in rice. Journal of New Phytologist 189: 200-209.
- copper concentration on growth, development and yield formation of Rice (*Oryza sativa* L.). Rice Science 12: 125-132.
- Kareem, I. and Ismail, M. R. (2013) Osmotic and hormonal priming for rice growth and yield increase. Journal of Chemical and Environmental Sciences 1: 31-39.
- Levent Tuna, A., Kayab, C., Dikilitas, M. and Higgs, D. (2008) The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. Journal of Environmental and Experimental Botany 62:1-9.
- Liang, Z., Ma, Y., Xu, T., Cui, B., Liu, Y., Guo, Z. and Yang, D. (2013) Effects of abscisic acid, gibberellin, ethylene and their interactions on production of phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* Bunge Hairy Roots. Plosone 8: 72-80.
- Mansouri, H. (2012) Salicylic acid and sodium nitroprusside improve postharvest life of chrysanthemums scientia. Journal of Horticulturae 145: 29-33.
- Merlin, T. P. A., Lima, G. P. P., Leonel, S. and Vianello, F. (2012) Peroxidase activity and total phenol content in citrus cuttings treated with different copper sources. South African Journal of Botany 83: 159-164.
- MD-Aktar, H., Kim, S., Heonkim, K., Lee, S. J. and Lee, H. (2009) Flavonoid compounds are enriched in Lemno Balm (*Melissa officinalis*) leaves by a high level of sucrose and confer increased antioxidant activity. Journal of Hortscience 44: 1907-1913.
- Mishra, S. and Shanker Dubey, R. (2006) Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic exposed rice seedlings: Role of proline as enzyme protectant. Journal of Plant Physiology 163: 927-936.
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., Koundouras, S. and Giannakoula, A. (2012) Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars Plant. Journal of Physiology and Biochemistry 60:1-11.
- Romero, I., Sanchez-Ballesta, M. T., Maldonado, R., Escribano, M. I. and Merodio, C. (2008) Anthocyanin, antioxidant activity and stress-induced gene expression in high CO₂-treated table grapes stored at low temperature. Journal of Plant Physiology 165: 522-530.
- Sabetfar, S., Ashouri, M., Amiri, E. and Babazadeh, S. h. (2013) Effect of drought stress at different growth stages on yield and yield component of rice