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

فرزانه نجفی[1*]، رمضانعلی خاوری نژاد[1و2] ، منصور افشار محمدیان [3] و سیده فاطمه فلاح[1]

[1]دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، [2]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد تهران، [3]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ٩٣/٠١/٢٦، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٣/١٠/٠٧)

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 جیبریک اسید، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملاً تصادفی در ٤ تکرار در شرایط مزرعه‌ایی اجرا شد. گیاهان ٢٩ روزه ٢ ژنوتیپ طارم به عنوان یک رقم محلی و شیرودی به عنوان رقم پر محصول برنج در ٣ غلظت مختلف آرسنات سدیم (٠، ٥٠ و ١٠٠ میکرومولار) و ٢ غلظت جیبرلیک اسید (٠ و١٠ 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 دانه های 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 میزان پرولین برگ و ریشه، میزان آنتوسیانین و فنل برگ و تعداد دانه-های پوک افزایش 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 دانه های پر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت در هر دو غلظت ٥٠ و١٠٠ میکرو مولار 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:

برنج (*Oryza sativa* L.) محصول غالب در آسیا است و بیش از ٣٠ درصد کالری مصرفی این منطقه را تشکیل می‌دهد و برخلاف دیگر غلات، در خاک غرقاب کشت داده می‌شود. آرسنات 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 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

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: f_najafi@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

سدیم (Na_2HAsO_4) که هر دو برای انسان و گیاهان سمی هستند. وجود آرسنیک در آب مربوط به فرایند 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 تنش زا مانند خشکی، گرما و عناصر سنگین تولید ROS (Reactive oxygen species) را در گیاهان افزایش می‌دهد و تنش اکسیداتیو به وجود می‌آورد. آنتی اکسیدان‌های 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 بالایی از آرسنیک، بین ۰/۰۵ تا ۰/٤ 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 گلوتاتیون 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 فیتو هورمون شناخته شده‌ای است که از یک گروه تتراسیکلیک دی‌ترپن تشکیل می‌شود و در جوانه‌زنی بذر، گسترش برگ، ساقه، گل، کرک اولیه، توسعه گل و میوه نقش موثری دارد و 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 ژنوتیپ‌های 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 ۳٦/۳۳ و طول جغرافیایی۵۳ و با ارتفاع ۲۵/۷۰ متر از سطح دریای آزاد در سال زراعی۱۳۹۲ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملاً تصادفی در ٤ 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 ۲۵/۲٦ 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 ٤۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مکانی تاریک نگهداری شدند. بذرهای 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،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (Cm)	۳۰-۰	درصد مواد خنثی شونده (%)	۳۰
بافت خاک	رسی	کربن آلی (%)	۲
رس (%)	۳۶	درصد ماده آلی (%)	۳/٤٤
شن (%)	۳۶	نیتروژن کل (%)	۰/۱۵
سیلت (%)	۲۸	فسفر (p.p.m)	۲۶/۷
هدایت الکتریک (Ec)	۱/٤۳	پتاسیم (p.p.m)	۲۹٤
اسیدیته گل اشباع	۷/۲۶	آرسنیک (p.p.m)	<۱۰
درصد اشباع (%)	۸۵		

خاک کمتر از ppm ۱۰ 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 ۱٤ 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 بافت‌تر برگ و ریشه با اسید سولفوسالیسیلیک برای تهیه‌ی 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، ۰/۳گرم از بافت تر اندام هوایی به دقت توزین و در هاونی حاوی ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول ۹۹/۵٪ و اسید کلریدریک ۱٪ به نسبت ۹۹ به ۱) ساییده شد، عصاره تهیه شده در فالکون ریخته شد و به مدت ۲٤ ساعت در تاریکی و در دمای ٤ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از ۲٤ ساعت نمونه ها از تاریکی خارج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰g 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 ٦۰۰ 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 سانتی‌متر)، 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

با میزان رطوبت ١٤ 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 هردو رقم به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید سبب افزایش معنی‌دار در محتوای پرولین برگ هر دو رقم در دو غلظت ٥٠ و ١٠٠ میکرومولار شده است در حالی که این افزایش در تیمار ١٠٠ میکرومولار آرسنات سدیم در هر دو رقم معنی‌دار بوده است (جدول ٢). پرولین یک اسید آمینه ضروری است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی در پاسخ به تنش تجمع می‌یابد و از ساختارهای درون سلولی و ماکرومولکول‌ها تحت شرایط تنش محافظت می‌کند. عملکرد پرولین همانند یک پشتیبان مولکولی که قادر به محافظت از پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های مختلف مطرح می‌شود، 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 ریبونوکلئازها و پروتئازها تحت تنش آرسنات می‌باشد.

پرولین می‌تواند سطح (ROS) را کاهش دهد و در نتیجه از مرگ سلولی برنامه ریزی شده جلوگیری کند و می‌تواند پراکسیداسیون لیپید را در سلول جلبک که تحت تنش آرسنیک قرار گرفته‌اند را کاهش دهد (Szabados and Savoure, 2009). در این مطالعه آرسنات سدیم سبب تجمع پرولین در برگ و ریشه هر دو رقم می‌گردد 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 بافت‌های گیاهی، (١) کاهش تخریب پرولین (٢) افزایش در بیوسنتز پرولین (٣) کاهش سنتز پروتئین یا استفاده پرولین (٤) هیدرولیز پروتئین ها پیشنهاد شده است. افزودن جیبرلین تحت تنش آرسنات موجب افزایش میزان پرولین در برگ و ریشه گردید و سبب افزایش سازگاری گیاه در تنش می‌شود. مشابه این نتایج را Lee و Stewart (١٩٧٤) 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 می‌شود. در نتیجه پرولین می‌تواند به عنوان یک مولکول علامت‌ده، یک مسیر دفاعی، تنظیم کننده متابولیسم و فرآیندها رشد و نمو عمل کند و فرصت‌های 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* cv. 'Berangan', AAA) (Shirani Bidabadi *et al.*, 2012) و تأثیر جیبرلین در گیاه گندم تحت تنش کادمیوم، روی و سرب (Ergün and Öncel, 2012) مشاهده شدند.

میزان آنتوسیانین و فنل: در جدول های ٢ و ٣ مشاهده می شود با افزایش میزان آرسنیک میزان آنتوسیانین و فنل در هر دو رقم برنج به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش می‌یابد که این افزایش فوق در رقم شیرودی بیشتر از طارم می‌باشد. تیمار همزمان جیبرلیک اسید و آرسنیک ١٠٠ میکرومولار در رقم شیرودی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را در میزان آنتوسیانین ایجاد کرده است در حالی که در رقم طارم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و این تغییر در میزان ترکیبات فنلی سبب افزایش معنی‌داری در رقم طارم شده است. تیمار همزمان جیبرلیک اسید با آرسنیک نسبت به گیاهان تیمار نیافته با جیبرلیک اسید کاهش معنی‌داری را در میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنلی رقم شیرودی نشان می‌دهد.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

جدول۲- تأثیر آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر میزان پرولین برگ و ریشه، آنتوسیانین و فنل برگ در دو رقم برنج

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

حروف مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

جدول۳- 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_2HAsO_4	۲	۳۳/۷۱۶۶****	۸۸/۵۲۰****	۳۲/۶۵۷****	۶/۷۱۵****
GA_3	۱	۱۲/۹۵۹۷	۵۷/۹۴۵	۵/۱۵۰****	۴/۸۵۳
رقم * Na_2HasO_4	۲	۵/۹۲۲۶****	۳۵/۹۶****	۱۹/۶۰۶****	۰/۳۰۵
Na_2HAsO_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* GA_3* Na_2HAsO_4	۲	۵/۵۴۷۳***	۲۵/۶۵۶***	۰/۳۱۷	۰/۸۷۹

****** در سطح احتمال ۰/۰۰۰۱ معنی‌دار است. *** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است.**

به عنوان یک ناقل فلز سنگین به واکوئل عمل کند. مارس و والبت (سال۱۹۹۷) گزارش کردند که کادمیوم می‌تواند سنتز آنزیم گلوتاتیون- S-ترنسفراز (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 غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنات سدیم به گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند و سبب ازبین بردن رادیکال آزاد اکسیژن می‌شود. که نتایج مشابه در گیاه آرابیدوپسیس تحت تنش خشکی (Sperdouli 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 می‌دهد. در نتیجه افزایش میزان آنتوسیانین در بافت گیاه، پیری را می تواند به تأخیر اندازد (Mansouri, 2012). نتایج مشابه از تأثیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

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 a*l., 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 ABA، GA_3 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 برایسینولیدها 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 بر همکنش جیبرلین و خشکی در گندم (*Triticum aestivum* L) (Ergün and Öncel, 2012) مشاهده شدند.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در هر دو رقم برنج طارم محلی و شیرودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال کمتر از ٥٪ وجود دارد. مقایسه میانگین تیمارها در جدول ٤ نشان می‌دهد که در غلظت‌های ٥٠ میکرومولار آرسنیک، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه های پر در خوشه و وزن هزار دانه در هر دو رقم برنج به طور معنی‌داری کاهش یافت. غلظت ١٠٠ میکرومولار آرسنیک باعث کاهش معنی‌دار در تعداد دانه‌های پر، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت در رقم طارم شد، در حالی که در رقم شیرودی غلظت ١٠٠ میکرومولار آرسنیک سبب کاهش معنی‌دار در میزان طول خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک شد و تفاوت معنی‌داری 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 ٥٠ میکرومولار آرسنیک سبب افزایش معنی‌داری در ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به شاهد و تیمار ٥٠ میکرومولار آرسنیک گردید و در غلظت ١٠٠ میکرومولار آرسنیک ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه های پر، تعداد دانه پوک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک به طور معنی‌داری نسبت به تیمار ١٠٠ میکرومولار آرسنیک در رقم طارم محلی افزایش نشان داد در حالی که در رقم شیرودی جیبرلین سبب افزایش معنی‌دار در طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در هر دو غلظت ٥٠ و ١٠٠ میکرومولار آرسنیک نسبت به شاهد شد و همچنین ارتفاع گیاه، تعداد دانه-های پوک و عملکرد دانه نسبت به تیمار آرسنیک افزایش معنی‌داری را نشان داده است (جدول ٥).

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 می دهد که وجود عناصر سنگین در دانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

جدول ٤-میانگین برهمکنش آرسنات سدیم و جیبرلیک اسید بر برخی صفات زراعی در دو رقم برنج

آرسنات سدیم (µM)		جیبرلین (µM)	ارتفاع گیاه (cm)	طول خوشه (cm)	تعداد دانه پر	تعداد دانه پوک	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g)	بیوماس کل (g)	شاخص برداشت (%)
طارم	۰	۰	۱۱۱/۷± ۳/ ۰۱ bc	۲٤±۰/۳۵ bc	۸٤/۲۵±۷/۲٦ c	٤/۰۵±۱/۳۲ def	۲۰/۹۵±۰/۳۱ cd	۱/۷۳±۰/۰۵ de	۲/۵۲±۰/۲۰ b	۷۰/۳۰±۷/۳۲ de
		۱۰	۱۱۳±۲/۹٤ a	۲۷/۵۰±۰/۹۵ a	۱۱٦/۰۵±۳/۳۲ a	۳/۲۵±۰/٤۷ ef	۲۵/۱۰±۰/۱۹ b	۲/۰۵±۰/۱۳ bcd	٤/۲۳±۰/٤۲ a	۵۲/۲۳±۸/۱۰ e
	۵۰	۰	۱۰۰/۳±۳/٦۸ cd	۲۰±۰/۵۱ d	۷٤±٤/۵۲ c	۹/۰۵±۱/٤٤ bc	۱۹/۰۲±۰/٤۲ e	۱/۵۲±۰/۰۲ ef	۲/۲۰±۰/۳٦ bc	٦۹/٤۱±۲/۳۰ de
		۱۰	۱۳۲/۲±۸/۷٤ a	۲٦/۷۵±۰/۷۵ a	۱۱٤/۷±۳/۰٦ ab	۵/۲۵±۰/۸۵ def	۲۵/۵٦±۰/۵۸ b	۲/۲۱±۰/۰٦ abc	۲/۷۳±۰/۱۲ b	۱۸/۸۱±۳/٦۵ abcd
	۱۰۰	۰	۹۰/۷± ۸/۳۵ def	۱۷/٦۲±۰/٦۸ e	٤۷/۷۵±٦/٦۳ d	۱۵/۲۵±۱/۲۵ a	۱٦/۱۱±۰/۸۹ f	۱/۳٦±۰/۰۳ f	۱/۹۰±۰/۰٦ cd	۷۱/۵۹±۱/٦۵ cde
		۱۰	۱۱۷/۲±٦/۵۲ b	۲۲/٦۲±۰/٤۷ c	۱۱۳/۷±۵/۸ ab	٦/۵±۱/۰٤ cde	۲۲/۳۳±۰/۸۰ c	۲/۲۸±۰/۱۰ ab	۲/٦۹±۰/۳٦ b	۹۹/۸۸±۱۰/۹ abcd
شبرودی	۰	۰	۷۷/۲±۳/۹٦ g	۲۰±۰/٤۰ d	۸۳/۷۵±۲/۹۵ c	۷±۱/۰۸ bcd	۲۵/۷۳±۰/٤ b	۱/۸۹±۰/۰۵ cd	۲/٤۰±۰/۰٤ bc	۷۸/۹۰±۲/۱۹ bcd
		۱۰	۹۳/۵±۲/٤٦ de	۲٤/۸۷±۰/٦۵ b	۱۰۷/۷۵±٤/٦۹ ab	۳±۰/٤۰ f	۲۷/٤۵±۰/۲۲ a	۲/۵۰±۰/۰۸ a	۲/٤٦±۰/۱٤ bc	۱۰۱/۸±۲/٦۱ a
	۵۰	۰	۷۸/۳۷±۳/۲۸ g	۱۹±۰/٦۱ de	۵۹/۷۵±۲/۰۹ d	۹/۷۵±۱/۳۱ b	۲٤/٤۸±۰/۳۸ b	۱/۵۵±۰/۱۰ ef	۱/۸۹±۰/۰۲ cd	۸۲/۳۰±٤/۷۵ abcd
		۱۰	۸۹/۷۵±۱/۹۳ def	۲٤/۱۲±۰/٤۲ b	۱۰۰/۲±۱/۸۸ b	٤/۲۵±۰/٤۷ def	۲۷/۵۷±۰/۳۹ a	۲/٤۸±۰/۲۳ a	۲/۷٤±۰/۱۳ b	۹۲/۰۸±۱۱/۸۷ abc
	۱۰۰	۰	۷۱±۲/۱۲ g	۱۷/۳۷±۰/۹٤ e	۵۸/۲۵±٤/۷٦ d	۱۰±۱/۰۸ b	۲۰/٤٦±۰/٤۵ cd	۱/٤۷±۰/۰۱ ef	۱/۵۸±۰/۰۳ d	۹۳/٤۷±۱/۹۷ ab
		۱۰	۸۲/۵±۱/۵۰ efg	۲۲/۷۵±۰/۵۹ c	۱۰۲±۵/۹۵ ab	٤/۵±۰/٦٤ def	۲۷/٤۳±۰/۲۷ a	۱/۹۵±۰/۱۳ cd	۱/۹۳±۰/۰۳ cd	۱۰۰/۷±۸/۱۱ a

حروف مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

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

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه (cm)	طول خوشه (cm)	تعداد دانه پر	تعداد دانه پوک	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g)	بیوماس کل (g)	شاخص برداشت (%)
رقم	۱	۱۹۱/٦۸***	۲۲/۱۸۹***	۵/۷۲٤*	۲/٦۸۵	۱۹۹/۱۰۹***	۳/٦۹۹*	۲۵/٦۳۳***	۲٦/٤۲۵***
Na_2HAsO_4	۲	۱۱/۵۷۷***	۳۹/۱۷۳***	۱٤/۱۰۳***	۲۱/۰۹٦***	٤۸/۱۲۹***	۷/۰۲۹*	۲۲/۱۲۹***	۳/۹٦۱*
GA_3	۱	۷۱/۷۰۲***	۱۸۷/۲۲۰***	۲۲۷/۱۳۵***	٦۹/٤۸۷***	۳۹۰/۲۸۳***	۱۱۸/۹٤٦***	٤۳/۵۹٤***	۵/۱۵۸*
رقم * Na_2HAsO_4	۲	۱/۲۱۵	٦/٤۰۹*	۲/۲۳۰	۵/۷٤٦	۱/٦۱٤	٤/۱۲۵*	٤/۵۰٤*	۱/۸٦٦
Na_2HAsO_4* GA_3	۲	۰/۲۰۵	۲/۸۸۰	۷/۹۸۷**	٤/۹۳٤*	۱۳/۸٤۳***	۲/۸٤۲	۰/۷۳۳	۰/٦۷۱
رقم* GA_3	۱	۷/۸۰۹	۰/۱۳	۳/۵۱۳	۰/۰٤٦	۹/۱۵۰*	۰/۰٦۹*	۷/۳۰۹*	۱/٦۵۰
رقم* GA_3* Na_2HAsO_4	۲	۱/۲٦۸	۱/۲۸٦	۱/۳۸۲	۲/۳۷٦	٤/۹۲۹*	۳/۸۲٦*	٦/۹۲۸*	٤/٤۸۲*

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

موجب تجمع رادیکال آزاد اکسیژن فعال می‌شود. در سلول‌های برگ گیاه گندم با افزایش آرسنیک رادیکال آزاد اکسیژن فعال افزایش می‌یابد و خسارت به سلول گیاهی در شرایط تنش وارد می‌کند، بنابراین تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های 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 می‌یابد که این کاهش ممکن است ناشی از کاهش سطح برگ و مقدار فتوسنتز باشد. گیاه ممکن است با حفظ برگ‌های سبز مکانیسم از دست دادن آب را تحمل کنند و اجازه می‌دهد که گیاه فعالیت متابولیکی را با وجود پتانسیل پایین آب برگ حفظ کند. وزن هزار دانه همانند تعداد دانه با افزایش تنش کاهش می‌یابد و بازده محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (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 دانه‌های 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 می‌یابد و تشکیل آمیلوپلاست محدود می‌شود 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 می‌دهد و سبب انتقال مجدد محصولات فتوسنتزی از کاه به دانه می‌شود. 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 می‌شود (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 وسیله‌ی جیبرلین سبب سنتز پروتئین کل می‌شود (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 گلوتاتیون ردوکتاز و پراکسیداز فعال سازی شده و سبب افزایش رشد گیاه می‌گردد. جیبرلین بر رشد بوته و عملکرد تحت شرایط تنش با ایجاد فعالیت منبع و مخزن تأثیر مثبت می‌گذارد و قدرت منبع را از طریق بهبود فتوسنتز از طریق نفوذ برخی از آنزیم‌های مربوط به فتوسنتز مانند (روبیسکو، فروکتوز ١ و ٦ بیس فسفات و ساکارز فسفات سنتاز)، سطح برگ، نور و بارگیری آبکش موجب می‌شود. جیبرلین به تقسیم سلولی در مریستم ریشه و ساقه کمک می‌کند و در نتیجه سبب ایجاد تعداد پنجه‌های بیشتری می‌شود و هرچه تعداد پنجه‌های تولید شده توسط گیاه بیشتر باشد، درصد بهره‌وری و عملکرد دانه بیشتر می‌شود و در وزن دانه که منعکس کننده عملکرد در خوشه است، تأثیر می‌گذارد. افزایش عملکرد ممکن است به دلیل سیستم ریشه‌ایی 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 می‌شود (Sabetfar *et al.*, 2013). آنزیم جیبرلین اپی‌اکسیداز در برنج منجر به افزایش طول گره انتهایی در مرحله سنبله می‌شود و بیوسنتز جیبرلین در مریستم رخ می‌دهد و در داخلی‌ترین قسمت بافت پوست تجمع می‌یابند که مکان‌هایی برای عمل جیبرلین در رشد ریشه می‌باشند. جیبرلین سبب بهبود بهره‌وری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

بوته و عملکرد گیاه می‌شود و سبب سازگاری رشد گیاه در برابر تغییرات محیطی می‌شود (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:

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 مزرعه‌ایی شد.

منابع:

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., Corpasd, 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 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 vulgarus* 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]

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 maize* 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.

Sperdouli, 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.9.3]