

اثر کاربرد سالیسیلیک اسید و عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.) در شرایط تنش خشکی

سارا بیگزاده^۱، عباس ملکی^{۲*}، محمد میرزایی حیدری^۲، علیرضا رنگین^۳ و علی خورگامی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۰

چکیده

خشکی از جمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی رشد و عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا است. به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فتوسنتزی و فتوشیمیایی گیاه لوبیا سفید، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو منطقه‌ی اسلام‌آباد غرب و خرم‌آباد اجرا گردید. کرت اصلی شامل اعمال سه سطح تنش خشکی به میزان ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A بود و فاکتور فرعی اول شامل دو سطح محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و فاکتور فرعی دوم چهار سطح محلول‌پاشی کود جلبک دریایی با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم در هکتار بودند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش محتوای کلروفیل شد، محلول‌پاشی جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید موجب افزایش سرعت فتوسنتز و محتوای کلروفیل گردید. تنش خشکی محتوای پرولین و نشت یونی را افزایش داد و سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. کاربرد سالیسیلیک اسید میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد. تنش خشکی عملکرد دانه را کاهش داد و کمترین عملکرد دانه (۱۷۲۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تنش خشکی و عدم مصرف کود جلبک دریایی و بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ میلی‌متر (عدم تنش) و ۱۵۰ گرم جلبک دریایی به‌دست آمد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید توانست عملکرد دانه را تا ۴/۵ درصد افزایش دهد. با توجه به نتایج، مصرف سالیسیلیک اسید و جلبک دریایی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید، سرعت فتوسنتز.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت، گروه زراعت، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۳- استادیار گروه زیست‌شناسی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۴- دانشیار گروه فیزیولوژی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران.

مقدمه

حبوبات با داشتن حدود ۲۵ درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان دارند. حبوبات در ایران پس از گندم و برنج، از نظر تغذیه انسان مهم‌ترین محصولات هستند. از آنجا که حدود دوسوم زمین‌های زیر کشت ایران در مناطق نیمه‌خشک و دیم‌خیز قرار دارند، لذا شناسایی گیاهان و ارقام با مقاومت بالا به تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی است. اگرچه لوبیا گونه‌ای مقاوم در برابر خشکی نیست، اما قادر است در طیف وسیعی از زیستگاه‌ها که در معرض خشکی‌های فصلی و نوسانات گسترده‌ی رطوبت خاک در سال‌های مختلف قرار دارند، رشد کند (Pessarakli and Kopec, 2009). تنش خشکی یکی از محدود کننده‌ترین تنش‌های غیرزنده در جهان است که مانع جدی برای تولید محصولات کشاورزی است (Aslam *et al.*, 2013). آمارها نشان داده که مساحت اراضی جهان که تحت تنش خشکی قرار گرفته است از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ دو برابر شده است (Isendahl and Schmidt, 2006) و میانگین کاهش عملکرد محصول ناشی از تنش خشکی در نقاط مختلف دنیا بیش از ۵۰ درصد گزارش شده است (Zlatev and Jordanov, 2004). گیاهان دارای مکانیسم‌های متعدد مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی هستند که آنها را نسبت به تنش خشکی سازگار می‌کند (Karkanis *et al.*, 2011). تنش خشکی به‌طور مستقیم شاخص کلروفیل را تحت تاثیر قرار داده و متعاقب آن روی عملکرد گیاه تاثیر منفی می‌گذارد (Schlummer *et al.*, 2005; Ashkavand *et al.*, 2013). تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان در معرض تنش خشکی می‌تواند به تولید مولکول‌های

اکسیدکننده‌ای اشاره کرد که عامل اصلی خسارت در درون سلول می‌باشند به این ترکیبات گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)^۱ می‌گویند که باعث خسارت به ماکرومولکول‌ها و اندامک‌های سلولی می‌شوند. گونه‌های فعال اکسیژن فعالیت‌های تنفسی در میتوکندری و توانایی تثبیت دی‌اکسیدکربن در کلروپلاست را کاهش و نشت الکترولیت‌ها از سلول را افزایش می‌دهند. ROSها همچنین با اکسیداسیون آمینواسیدها در پروتئین‌ها و اکسیداسیون کوفاکتور متصل به آنها موجب غیرفعال شدن بعضی از آنزیم‌های خاص می‌شوند؛ به قندها و بازهای سازنده مولکول DNA خسارت وارد کرده و باعث حذف بازها، ایجاد موتاسیون و اثرات مختلف ژنتیکی می‌شوند و نهایتاً با تخریب رنگدانه‌ها و دیگر ماکرومولکول‌های حیاتی گیاه و همچنین صدمه به سیستم فتوسنتزی و تنفس گیاه باعث کاهش عملکرد می‌شوند (Gill and Tuteja, 2010; Huang *et al.*, 2012). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداسیونی ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی کارآمدی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کند. این سیستم دفاعی شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون ریداکتاز (GR) است و سیستم غیرآنزیمی شامل آسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات متفرقه (از جمله فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنل‌ها) می‌باشد (Jain *et al.*, 2015; Blokhina *et al.*, 2003). تحقیقات مختلف نشان داده است که ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداسیونی که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در

۱ - Reactive Oxygen Species

اسید به صورت خارجی در شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز را بهبود می‌بخشد.

وجود برخی از ترکیبات محرک رشد در برخی از گیاهان مانند جلبک‌ها باعث شده است تا از عصاره این گیاهان برای تولید کودهایی که باعث افزایش میزان رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گردند، استفاده شود. یکی از انواع این جلبک‌ها (*Ascophyllum nodosum*) می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از عصاره این جلبک، باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه شده و سطح آنزیم آمیلاز را در اندام‌های گیاهی بالا می‌برد و از این طریق، باعث شکسته شدن قندهای غیرقابل استفاده در گیاه می‌گردد (Pickering, 2006). کاربرد عصاره جلبک باعث افزایش رشد گیاه، تعداد برگ، تحریک رشد ریشه، تسریع زمان گلدهی، افزایش تشکیل میوه، تاخیر در پیری برگ و بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و درجه حرارت و افزایش کمیت و کیفیت میوه می‌شود (Shokouhi, Far, 2016; Sunarpi et al., 2010). همچنین گزارش شده است کودهای حاوی این جلبک غنی از عنصر پتاسیم هستند (Rayorath et al., 2008).

با توجه به این‌که تنش خشکی در ایران همواره از مهم‌ترین مسایل و مشکلات کشاورزی بوده، به نظر می‌رسد که استفاده از عصاره جلبک دریایی و کاربرد سالیسیلیک اسید بتواند تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را در لوبیا کاهش داده و سبب بهبود عملکرد آن شود. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید بر

غلظت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Sairam and Saxena, 2000). محققین نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شرایط تنش دو برابر شده و باعث افزایش مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Lascano et al., 2001). یکی از ترکیباتی که در ایجاد تحمل و مقاومت در برابر تنش خشکی در گیاه مؤثر است، ترکیب شبه هورمونی مانند سالیسیلیک اسید است. سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی گیاهی است که به‌عنوان یک شبه‌هورمون گیاهی و تنظیم کننده‌ی رشد شناخته شده و نقش آن در ارتباط با مکانیسم‌های دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی به خوبی مشخص شده است (Hayat et al., 2007; Khan et al., 2015). سالیسیلیک اسید طویل شدن و تقسیم سلولی را همراه با مواد دیگری از جمله اکسین تنظیم می‌نماید (Eskandari Zanjani et al., 2013). در پژوهشی، رشد ریشه، اندام هوایی و ارتفاع گیاه سورگوم تحت تاثیر سالیسیلیک اسید افزایش قابل ملاحظه‌ای انجام داد (Kheirkhah et al., 2016). نتایج حاصل از تحقیقات متعدد نقش مهم سالیسیلیک اسید را در تنظیم پاسخ گیاه به تنش خشکی نشان داده است (Borsani et al., 2001; Miura and Tada, 2014). سالیسیلیک اسید فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی تنش را کاهش داده و می‌تواند اثر نامطلوب تنش را بهبود بخشد (Yavas and Unay, 2016). سنارانتا و همکاران (Senaranta et al., 2002) با تأکید بر نقش سیستم آنتی‌اکسیدان در فرایند خنثی‌سازی اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی، سرما و گرما در دو گیاه لوبیا و گوجه فرنگی، نشان دادند که به کار بردن سالیسیلیک

عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو مکان مختلف ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان اسلام‌آباد غرب و خرم‌آباد اجرا شد. خصوصیات هواشناسی و موقعیت جغرافیایی دو منطقه مورد نظر در (جدول ۱) ارائه شده است.

این آزمایش به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل سه سطح تنش خشکی شامل ۱۲۰، ۹۰ و ۶۰ (به‌عنوان شاهد) میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A بود و فاکتور فرعی اول در دو سطح محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (با غلظت یک میلی‌مولار ساخت مرک آلمان با خلوص ۹۲ درصد) و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و فاکتور فرعی دوم در چهار سطح شامل محلول‌پاشی کود جلبک دریایی با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم در هکتار بود. در این پژوهش عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) ساخت جمهوری چک، با ترکیبات ۳ درصد ماده آلی، ۶۵ درصد جلبک، ۲ درصد پروتئین، عناصر ریزمغذی کمتر از ۱ ppm، سیتوکینین و اکسین ۰/۱ میلی مولار مورد استفاده قرار گرفت. عملیات کاشت در تاریخ هشتم خرداد در شهرستان اسلام‌آباد غرب و ۱۶ خرداد در شهرستان خرم‌آباد انجام شد. لازم به ذکر است که قبل از کاشت، زمین توسط گاواهن برگردان‌دار شخم و بعد در دو نوبت به صورت عمود بر هم دیسک زده شد و عملیات تسطیح توسط ماله انجام گرفت. رقم لوبیای مورد استفاده از نوع سفید به نام الماس بود. عملیات تنک کردن برای رسیدن به تراکم ۳۰ بوته در متر

مربع در مرحله ی ۵-۴ برگی انجام شد. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمایش خاک تعیین گردید و به صورت تقسیط طی چند مرحله در طول رشد اعمال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق اجرای آزمایش در (جدول ۲) ارائه شده است. در طول دوران رشد و نمو برای کنترل علف‌های هرز، ترمیم جوی‌های آبیاری و سله‌شکنی برای افزایش تهویه مناسب خاک، عملیات کولتیواتور انجام گرفت. بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری انجام گردید، با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و شرایط خاک مزرعه آبیاری دوم به فاصله حدوداً ده روز از آبیاری اول انجام گرفت و تا مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه به خوبی انجام شد. آبیاری سوم نیز با فاصله متداول از آبیاری دوم صورت گرفت و پس از آن تا پایان فصل رشد آبیاری تیمارهای مختلف تنش خشکی، بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A و با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک که در فاصله یک کیلومتری از ایستگاه تحقیقات در اسلام‌آباد غرب و فاصله چهار کیلومتری از ایستگاه تحقیقات خرم‌آباد قرار دارد، صورت گرفت. سرعت فتوسنتز، در مزرعه توسط دستگاه فتوسنتز متر (مدل Photosynthesis meter Rc- p60 code:1123) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a و b و کل از روش پورا (Porra, 2002) استفاده گردید. به این منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم از هر برگ انتخابی در ۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد هموزن گردید و پس از انجام سانتریفیوژ با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه، مایع رویی را برداشته و حجم آن با استن ۸۰ درصد به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت محلول در

فعالیت آنزیم کاتالاز (EC 1.11.1.6) با استفاده از محاسبه کاهش جذب پراکسید هیدروژن در ۲۴۰ نانومتر و با روش (Beers and Sizer, 1952) انجام شد. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی بر حسب مقدار پروتئین کل موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره به دست آمده از روش (Bradford, 1976) در یک دقیقه محاسبه گردید. از این نظر یک واحد آنزیمی کاتالاز معادل مقدار آنزیمی است که ۱ میلی مول پراکسید هیدروژن را در یک دقیقه تجزیه می کند. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (EC 1.15.1.1) بر اساس میزان احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم (NBT) و توانایی آنزیم SOD در ممانعت از این واکنش به روش (Giannopolitis and Ries, 1977) به دست آمد. میزان فعالیت آنزیم بر اساس یک واحد آنزیم در دقیقه در میلی گرم جرم خشک محاسبه شد. یک واحد آنزیم معادل مقدار آنزیم مورد نیاز برای ممانعت ۵۰ درصدی از واکنش احیای نوری NBT بود. جهت اندازه گیری نشت یونی از روش فلاینت و همکاران (Flinet et al., 1966) استفاده گردید. از هر بوته یک برگ در موقعیت یکسان جدا و سپس توسط پنجر از هر برگ دیسک‌هایی تهیه و روی کاغذ صافی واتمن جهت حذف الکترولیت‌هایی که به سطوح آنها چسبیده قرار داده شد و سپس با آب مقطر شستشو گردید. سپس نمونه‌ها داخل لوله‌های درب‌دار حاوی پنج میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) محلول در تماس با نمونه‌ها توسط EC متر مدل Jenway 4010 اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار داده شدند. در نهایت، هدایت

طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b قرائت و رنگدانه‌های فتوسنتزی محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس (Bates, 1973) استفاده شد. ابتدا ۵۰۰ میلی‌گرم بافت زنده گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد سولفوسالیسیلیک اسید در هاون ساییده، سپس مخلوط را با کاغذ صافی تصفیه و دو میلی‌لیتر از عصاره حاصله را در لوله آزمایش ریخته و دو میلی‌لیتر معرف اسید نین هیدرین (شامل ۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین، ۳۰ میلی‌لیتر استیک اسید و ۲۰ میلی‌لیتر ارتوفسفریک اسید ۶ مولار) و دو میلی‌لیتر استیک گلاسیال اسید به آن اضافه گردید. در مرحله بعد لوله‌ها به مدت یک ساعت در دستگاه بن‌ماری یا حمام بخار با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت، پس از خروج، نمونه‌ها در حمام یخ به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند، سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به محتوای هر لوله اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به وسیله ورتکس مخلوط گردید. لوله‌ها مدتی در دمای اتاق ثابت قرار گرفتند. در این مرحله دو لایه مجزا ایجاد و سرانجام جذب نوری لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (EC 1.11.1.1) با استفاده از روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) انجام شد. میزان آسکوربات با استفاده از تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر و پس از ۲ دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه شد. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی بر حسب مقدار پروتئین کل موجود در ۵۰ میکرولیتر عصاره به دست آمده از روش (Bradford, 1976) گزارش گردید. سنجش

بیشترین سرعت فتوسنتز (۴/۴۴ میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) در تیمار عدم تنش خشکی همراه با مصرف ۵۰ گرم جلبک دریایی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به دست آمد. به‌طور کلی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سبب کاهش اثرات منفی ناشی تنش خشکی بر سرعت فتوسنتز شد. با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سرعت فتوسنتز در تمام سطوح تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۴). همچنین، نتیجه مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه، روند مشخصی از نظر پاسخ به مصرف کود جلبک دریایی در تیمارهای مختلف نشان نداد. اما مصرف ۱۰۰ گرم جلبک دریایی نسبت به سایر مقادیر به کار رفته مثبت و بهبود بخش بوده است (جدول ۴). کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل اتلاف انرژی به‌صورت گرما باشد (Bilger and Bjorkman, 2014). علاوه بر این، کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای باشد. در ابتدا بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی‌اکسیدکربن محدود می‌کند، در ادامه، پایین بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد. پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی است (Cornic, 2000). در زمان بروز تنش خشکی روزنه‌های گیاه بسته شده و انتشار دی‌اکسید کربن از اتمسفر به محل انجام کربوکسیلاسیون کاهش می‌یابد که منجر به کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای و فتوسنتز می‌شود (Peeva and Cornic, 2009). گزارش شده که در گیاهان گندم تیمار شده با سالیسیلیک اسید، آبسزیک اسید افزایش یافته و بسته شدن روزنه‌ها

الکتریکی نهایی (EC_2) قرائت شد. میزان نشت یونی با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید.

$$\text{معادله (۱)} \quad \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

قبل از تحلیل‌های آماری و تجزیه واریانس، آزمون توزیع نرمال داده‌ها و خطاها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون بارتلت) انجام شد. زمانی که واریانس خطاهای آزمایشی از مقادیر جدول F کمتر بود، فرض H_0 پذیرفته شد که به معنی همگن بودن واریانس‌ها است. سپس در صورت همگن بودن واریانس‌ها، داده‌های دو سال توسط نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند. جهت مقایسات میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌های برهمکنش‌ها از روش برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد.

نتایج و بحث

سرعت فتوسنتز: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه آنها بر سرعت فتوسنتز معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × جلبک دریایی × سالیسیلیک اسید در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، تنش خشکی سرعت فتوسنتز را کاهش داد به‌طوری‌که کمترین سرعت فتوسنتز (۱/۴۸ میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) در تیمار خشکی ۱۲۰ میلی‌متر، کاربرد ۱۵۰ گرم جلبک دریایی و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و

همراه با مصرف ۱۵۰ گرم جلبک دریایی به دست آمد. هرچند مصرف سطوح مختلف جلبک دریایی در تیمارهای مختلف تنش خشکی اثر متقابل معنی داری داشت اما تیمار ۱۵۰ گرم جلبک دریایی در هر سه سطح تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل شد که نشان می‌دهد کاربرد آن در غلظت‌های بالا تأثیر مثبتی نداشته است (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل نشان داد که محلول‌پاشی با این تنظیم کننده رشد سبب افزایش میزان کلروفیل شده است (شکل ۲). یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل (a+b) برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardner, 2010). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین، بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. در واقع، کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود، زیرا این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Sheteawi and Tawfik, 2007). در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد (Adebayo *et al.*, 2014). محرم‌زاد و همکاران (Moharramnejad *et al.*, 2015) با بررسی اثر تنش اسمزی در لاین‌های ذرت اظهار کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار

بیشتر شده و در نتیجه فتوسنتز کاهش می‌یابد، که نتیجه‌ی آن توسعه‌ی واکنش‌های ضد تنشی (شامل سنتز اسمولیت‌های سازگار، پیام‌رسانی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی) و تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه بود (Senaranta *et al.*, 2002). بنابراین، سالیسیلیک اسید با تأثیر بر هورمون آبسزیک اسید در شرایط تنش باز و بسته شدن روزنه و غلظت دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای را تنظیم می‌کند و از این طریق هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز را در شرایط تنش خشکی کنترل می‌کند. التائب (El-Tayeb, 2005) نشان داد که کاربرد برگ‌ی سالیسیلیک اسید سبب افزایش سرعت فتوسنتزی و همچنین پایداری غشاها شده، از این رو سبب بهبود رشد گیاهان جو پرورش یافته تحت تنش شوری شد. خان و همکاران (Khan and Ashraf, 2008) نشان دادند که سرعت فتوسنتز در ذرت با کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش می‌یابد.

محتوای کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس

مرکب نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل تنش خشکی × جلبک دریایی بر محتوای کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × جلبک دریایی بر محتوای کلروفیل در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌طور کلی تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل شد (شکل ۱). اثر متقابل ۱۰۰ گرم جلبک در شرایط تنش خشکی با ۶۰ میلی‌متر معنی‌دار گردید و بیشترین میزان کلروفیل حاصل شد هرچند که با مصرف ۵۰ گرم جلبک تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان کلروفیل از تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد ۱۰۰ گرم جلبک دریایی و کمترین آن از شرایط تنش خشکی ۹۰ میلی‌متر

دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل تنش خشکی \times جلبک دریایی، بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۳). در شکل ۳ مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی \times جلبک دریایی آورده شده است. تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین برگ شد. به طوری که تیمار تنش خشکی ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عدم مصرف جلبک دریایی یا مصرف ۵۰ گرم جلبک دریایی کمترین میزان پرولین را داشت (شکل ۳). بیشترین میزان پرولین نیز در تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و مصرف ۱۰۰ گرم جلبک دریایی به مقدار ۱۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (شکل ۳) که با نتایج هو و همکاران (Hua et al., 2010) مطابقت دارد. در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف ۱۰۰ یا ۱۵۰ گرم جلبک دریایی منجر به افزایش مقدار پرولین نسبت به عدم مصرف آن شد. مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین نقش مثبت این ترکیب را بر میزان پرولین گیاه نشان داد (شکل ۴). محتوای پرولین در گیاه کلزای تیمار شده با سالیسیلیک اسید افزایش اندکی نشان داد که با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید این افزایش محسوس‌تر بود (Kiarostami et al., 2012). افزایش مقدار پرولین تحت تاثیر یک تیمار خاص مانند جلبک دریایی منجر به افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی و به دنبال آن افزایش عملکرد خواهد شد. (Koyro, 2006)

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تنها اثر اصلی تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی \times سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل تنش خشکی \times جلبک دریایی بر میزان

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل (a+b) می‌شود. به طوری که این میزان کاهش نسبت به شاهد حدود ۴۰ درصد گزارش کردند. علاوه بر این، تحت تاثیر تنش خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (Tambussi et al., 2000). علاوه بر این، تنش در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که وجود این عناصر برای سنتز کلروفیل ضروری می‌باشد (Neocleous and Vasilakakis, 2007). لیپواکسیژناز نیز یکی از آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم کلروفیل گزارش شده است. این آنزیم در هنگام تنش یکی از آنزیم‌های دخیل در پراکسیداسیون لیپیدها است (Farooq et al., 2009). ساکی‌نژاد (Saki-nejad, 2003) گزارش کردند که تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه، موجب اختلال در فرآیند ساخت کلروفیل می‌گردد. اسپری برگی آمینواسید و عصاره جلبک دریایی روی نوعی کرفس، ارتفاع گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پتاسیم، فسفر و عملکرد را به طور قابل توجهی افزایش داد. عصاره‌های جلبک دریایی حاوی مقادیر زیادی سیتوکینین، اکسین و بتائین هستند که غلظت کلروفیل در برگ‌ها را افزایش می‌دهند (Shehata and El-Khawas, 2003).

محتوای پرولین برگ: نتایج این بررسی

نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی، جلبک

را به طور کامل حذف کند (Sarvajeet and Narendra, 2010).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج تجزیه

واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثرات متقابل دو گانه و سه گانه آنها بر فعالیت این آنزیم معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک A و کاربرد صفر گرم در هکتار جلبک دریایی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به دست آمد (جدول ۴). از میان سطوح مختلف مصرف جلبک دریایی نیز پاسخ یکسانی در سطوح مختلف تنش خشکی مشاهده نشد، اما در سطح ۱۰۰ گرم تأثیر بیشتری مشاهده شد (جدول ۴). افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش بر اثر افزایش گونه های فعال اکسیژن است که با فعال کردن مسیرهای ترانسانی پیام باعث افزایش بیان ژن های آنزیم های آنتی اکسیدان و افزایش فعالیت این آنزیم ها می شود (Mittler et al., 2004).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه

واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثرات متقابل دو گانه تنش خشکی × جلبک دریایی، تنش خشکی × سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سه گانه فاکتورها بر فعالیت این آنزیم معنی دار بود (جدول ۳). بررسی اثر متقابل سه گانه نشان داد که میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تنش خشکی افزایش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید میزان فعالیت این آنزیم آنتی اکسیدان را افزایش داد اما میزان پاسخ به سالیسیلیک اسید در مقادیر مختلف جلبک دریایی

فعالیت آنزیم کاتالاز معنی دار بوده است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان فعالیت این آنزیم افزایش می یابد، اما میزان فعالیت این آنزیم در تیمارهای مختلف به طور متفاوتی تحت تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید قرار گرفت (شکل ۵). فعالیت کاتالاز با مصرف سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی ۶۰ میلی متر (عدم تنش) افزایش یافت اما این افزایش نسبت به شاهد معنی دار نبود از طرفی فعالیت آنزیم کاتالاز با مصرف سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر) به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و جلبک دریایی نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف این کود در تیمارهای مختلف تنش خشکی پاسخ های متفاوتی از نظر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز داشته است. در تیمار تنش خشکی ۹۰ میلی متری کاربرد ۱۰۰ گرم جلبک دریایی بیشترین افزایش را در میزان فعالیت این آنزیم داشت در حالی که در تیمار خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر) کاربرد ۱۵۰ گرم جلبک دریایی تأثیر مثبت بر فعالیت این آنزیم داشت (شکل ۶). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلی متر و کاربرد ۱۵۰ گرم جلبک دریایی مشاهده شد. کاتالاز از مهم ترین مکانیسم های آنتی اکسیدانی است که در اثر تنش خشکی، میزان تولید آن افزایش می یابد (Shao et al., 2007). کاتالاز از گروه آنزیم های اکسیدوردوکتاز و از دسته پروتئین های آهن دار محسوب می شود که می تواند به طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل و سمیت این رادیکال آزاد اکسیژن

هیدروکسیل، آلکوکسیل و رادیکال‌های پروکسی می‌باشد (Wang *et al.*, 2009 a).

نشت یونی: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی مکان، تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آنها بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × جلبک دریایی × سالیسیلیک اسید بر میزان نشت یونی نشان داد افزایش سطح تنش خشکی سبب افزایش نشت یونی از غشاها گردید. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک هورمون دفاعی توانست در تیمارهایی که جلبک دریایی به‌کار رفته بود نشت یونی را کاهش دهد اما در تیمار صفر گرم جلبک دریایی چنین تأثیری مشاهده نشد. از آنجا که کمترین نشت یونی در تیمار تنش خشکی ۶۰ میلی‌متر در مصرف ۱۵۰ گرم جلبک دریایی با مصرف سالیسیلیک اسید حاصل شد و با مصرف ۱۰۰ گرم جلبک تفاوت معنی‌داری نداشت بنابراین مصرف ۱۰۰ گرم جلبک قابل توصیه است (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد دو تیمار به کار رفته (جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید) برهمکنش مثبت بر روی این صفت داشته‌اند. در تنش‌هایی نظیر شوری، خشکی، دمای بالا و پایین گیاهان گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند که به دلیل اثرات مخرب این ترکیبات روی اجزای سلولی و متابولیسم گیاهی منجر به تنش اکسیداتیو در سلول می‌شوند. گونه‌های فعال اکسیژن موجب آسیب به لیپیدهای غشایی شده و باعث افزایش نشت مواد از عرض غشاهای زیستی می‌گردند، بنابراین حفظ همبستگی غشا در افزایش مقاومت به تنش نقش مهمی دارد (Shim *et al.*, 2003).

مشابه نبود. بیشترین میزان فعالیت از تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک A و کاربرد ۵۰ گرم جلبک دریایی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2009 b) نیز در بررسی تأثیر تنش خشکی روی گیاه یونجه افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را گزارش کردند. تحت شرایط تنش خشکی، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز رادیکال‌های سوپراکسید را به H_2O_2 تبدیل می‌کند. در نتیجه افزایش فعالیت این آنزیم باعث تولید H_2O_2 بیشتری می‌شود که برای سلول سمی بوده و منجر به خسارت به غشاهای سلولی می‌شود. سناراتنا و همکاران (Senaranta *et al.*, 2002) با تأکید بر نقش سیستم آنتی‌اکسیدان در فرایند خنثی‌سازی اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی، سرما و گرما در دو گیاه گوجه‌فرنگی و لوبیا، نشان دادند که به کار بردن سالیسیلیک اسید به‌صورت خارجی در شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را بهبود می‌بخشد. گزارش‌ها مؤید آن است که سالیسیلیک اسید از طریق تجمع موقتی، آپسیزیک اسید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کنترل می‌کند (Hayat and Ahmad, 2007). جلبک دریایی به‌ویژه جلبک‌های دریایی قهوه‌ایی غنی از ترکیبات تیمولیکی هستند (Mercier *et al.*, 2001). تیمولیک‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ایی هستند که در شرایط تنش سنتز شده‌اند که از اجزای سلولی و سلول حفاظت می‌کنند. نقش مهم ترکیبات تیمولیکی شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مهار رادیکال‌های آزاد مانند اکسیژن تکی، سوپراکسید،

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی مکان، تنش خشکی، جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل تنش خشکی × جلبک دریایی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی مکان بر عملکرد دانه برتری عملکرد در منطقه اسلام‌آباد را نسبت به منطقه خرم‌آباد نشان داد (شکل ۷). تفاوت‌های اقلیمی دو منطقه مورد مطالعه سبب بروز پتانسیل‌های متفاوت عملکرد لوبیا سفید گردیده است. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × جلبک دریایی بر عملکرد دانه لوبیا سفید نشان داد، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه شده است (شکل ۸). کمترین عملکرد دانه از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تنش خشکی و عدم مصرف کود جلبک دریایی و بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ میلی‌متر (عدم تنش) و ۱۵۰ گرم جلبک دریایی به‌دست آمد. بنابراین، استفاده از جلبک دریایی عملکرد دانه را بهبود بخشید (شکل ۸). مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید توانست عملکرد دانه را تا ۴/۵ درصد افزایش دهد (شکل ۹). افزایش شدت تنش، موجب اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک، توقف رشد و سرانجام مرگ گیاه بر اثر از دست دادن آب می‌شود. اثر تنش خشکی بر عملکرد چند جانبه است. در مراحل نمو رویشی حتی تنش بسیار جزئی می‌تواند سرعت رشد برگ و در مراحل بعدی شاخص سطح برگ را کاهش دهد. اولین اثر ظاهری کم آبی بر روی گیاهان، اندازه کوچک‌تر و تعداد کمتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاه می‌باشد، که ناشی از کاهش توسعه سلولی و رشد بوده و حساس‌ترین فرآیند متأثر از تنش خشکی می‌باشد. آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور مؤثری آسیب‌های

حاصل از اکسیداسیون ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد در تنش خشکی را کاهش و یا متوقف می‌کنند و از این طریق به سلامت سلول‌ها کمک می‌کنند. گزارش‌هایی از اثر سالیسیلیک اسید بر افزایش عملکرد برخی گیاهان مانند گندم حاصل شده است (Shakirova *et al.*, 2003). کاربرد این هورمون‌های گیاهی با افزایش سرعت فتوسنتز و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه باعث افزایش وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه شده است (Gunes *et al.*, 2007). استفاده از عصاره مایع جلبک دریایی (۲۰ درصد) روی گندم منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد و عملکرد (تعداد دانه و وزن خشک بذر) در گندم گردید (Kumar and Sahoo, 2011). کودهای جلبک دریایی نه‌تنها به‌دلیل نیتروژن، فسفر و پتاس خود، بلکه به‌دلیل داشتن عناصر کمیاب و متابولیت‌های ثانویه مشابه تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه هستند (Karthick *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای روی خیار، اثر چند عصاره جلبک دریایی (دو نوع جلبک قرمز و یک جلبک سبز) بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی سبز و قرمز و عصاره‌های تجاری جلبک دریایی با کمپوست، رشد رویشی و عملکرد خیار را بهبود بخشید (Ahmed and Shalaby, 2012).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که دو مکان انتخاب شده برای آزمایش تفاوت معنی‌داری از نظر ویژگی‌های اقلیمی (میانگین دما و بارندگی و ...) داشته‌اند و تفاوت‌های اقلیمی سبب شد نتایج مختلفی در صفات مورد مطالعه به دست آید. تنش خشکی سبب تغییراتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش محتوای کلروفیل شد. همچنین، با افزایش سطح

خصوصیات فیزیولوژیکی را تخفیف دادند. از این رو، به نظر می‌رسد که کاربرد این ترکیبات در شرایط تنش خشکی می‌تواند در ثبات عملکرد و کاهش اثرات سوء ناشی از تنش کمبود آب در لوبیا مؤثر باشد.

تنش خشکی، افزایش میزان نشت یونی، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشاهده شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و عصاره جلبک دریایی بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اثر مثبت داشتند و به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی بر

جدول ۱- خصوصیات هواشناسی و موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح در اسلام آباد غرب

Table 1- Geographical location properties of the experimental region at Islamabad

منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude above sea level (m)	متوسط بارندگی سالانه Average annual rainfall (mm)	متوسط درجه حرارت Average temperature (°C)	حداکثر درجه حرارت Max temperature (°C)	حداقل درجه حرارت Min temperature (°C)
اسلام‌آباد Islamabad	47° & 26" E	34° & 8" N	1346	538	10.5	41	-28.8
خرم‌آباد Khorramabad	48° & 18" E	33° & 30" N	1170	499	+17.2	+47	-14.6

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the soil experimental regions

منطقه Region	عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	درصد اشباع S.P	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	واکنش گل اشباع Reaction of saturation med	درصد مواد خنثی Percentage of neutral materials	ظرفیت تبادل کاتیونی C.E.C (Meq.mg ⁻¹)	کربن آلی O.C (%)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)
اسلام‌آباد Islamabad	0-20	54	0.73	7.6	15.2	30.8	1.26	13	9.2	640
اسلام‌آباد Islamabad	60-20	55	0.49	7.7	17.5	30.2	0.63	6	2.8	380
خرم‌آباد Khorramabad	0-20	52	0.44	7.8	24.5	28.0	0.29	3	2.4	240
خرم‌آباد Khorramabad	20-60	51	0.48	7.8	26.0	28.0	0.38	4	2.8	220

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات فیزیولوژیکی لوبیا سفید تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی با عصاره جلبک و سالیسیلیک اسید در دو مکان آزمایش

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the physiological traits of white bean under drought stress and application of seaweed extract and salicylic acid in two places

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	سرعت فتوسنتز Rate of photosynthesis	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز APX	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD	نشت یونی Ion leakage
Location (L) مکان	1	0.384	35.881	0.0002	41.353**
Rep in (L) تکرار درون مکان	4	0.121	50.943	0.0068	2.657
Drought (D) تنش خشکی	2	13.865**	3476.38**	0.4083**	1979.597**
L × D مکان × تنش خشکی	2	0.000	0.009	0.0008	0.005
Error خطا	8	0.054	55.693	0.0042	3.502
Seaweed (S) جلبک دریایی	3	4.919**	390.089**	0.0170	200.469**
L × S مکان × جلبک دریایی	3	0.0004	0.001	0.0001	0.022
D × S تنش خشکی × جلبک دریایی	6	1.060**	2248.1**	0.0092	25.874**
L × D × S مکان × تنش خشکی × جلبک دریایی	6	0.0003	0.007	0.0001	0.023
Salicylic acid (SA) سالیسیلیک اسید	1	7.805**	1036.219**	0.1110**	104.135**
L × SA مکان × سالیسیلیک اسید	1	0.0002	0.00001	0.0001	0.064
D × SA تنش خشکی × سالیسیلیک اسید	2	0.972**	485.882**	0.0187	51.789**
L × D × SA مکان × تنش خشکی × سالیسیلیک اسید	2	0.0002	0.001	0.0001	0.061
S × SA جلبک دریایی × سالیسیلیک اسید	3	0.812**	708.587**	0.0001	15.951**
L × S × SA مکان × جلبک دریایی × سالیسیلیک اسید	3	0.0004	0.002	0.0002	0.088
D × S × SA تنش خشکی × جلبک دریایی × سالیسیلیک اسید	6	1.487**	1177.043**	0.0979	23.972**
Error خطا	90	0.099	40.751	0.007**	1.662
C.V. (%) ضریب تغییرات		10.29	10.66	14.65	5.42

** و * به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

** and *: significant in 1% and 5% level, respectively.

ادامه جدول ۳

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کلروفیل کل (a+b) Total chlorophyll (a+b)	میزان پرولین Proline content	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT	عملکرد دانه Seed yield
Location (L) مکان	1	0.41	40.92	0.00435	48537.92**
Rep in (L) تکرار درون مکان	4	3.36	57.22	0.00195	14566.10
Drought (D) تنش خشکی	2	59.23**	17086.9**	0.09718**	138429.78**
L × D مکان × تنش خشکی	2	0.0006	4.26	0.00003	2355.75
Error خطا	8	5.10	31.21	0.00330	5831.61
Seaweed (S) جلبک دریایی	3	52.93**	951.22**	0.00202	38654.04**
L × S مکان × جلبک دریایی	3	0.0001	2.31	0.00001	7493.26
D × S تنش خشکی × جلبک دریایی	6	36.37**	363.60**	0.00494*	22075.52**
L × D × S مکان × تنش خشکی × جلبک دریایی	1	12.54*	72.51*	0.00601	45195.63**
Salicylic acid (SA) سالیسیلیک اسید	1	0.00001	0.20	0.00001	7629.25
L × SA مکان × سالیسیلیک اسید	2	3.39	2.60	0.00842*	3254.99
D × SA تنش خشکی × سالیسیلیک اسید	3	7.13	0.39	0.00037	4598.74
L × D × SA مکان × تنش خشکی × سالیسیلیک اسید	107	2.65	14.37	0.002	6367.33
C.V. (%) ضریب تغییرات		10.15	3.83	11.83	4.45

** و * به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

** and *: significant in 1% and 5% level, respectively.

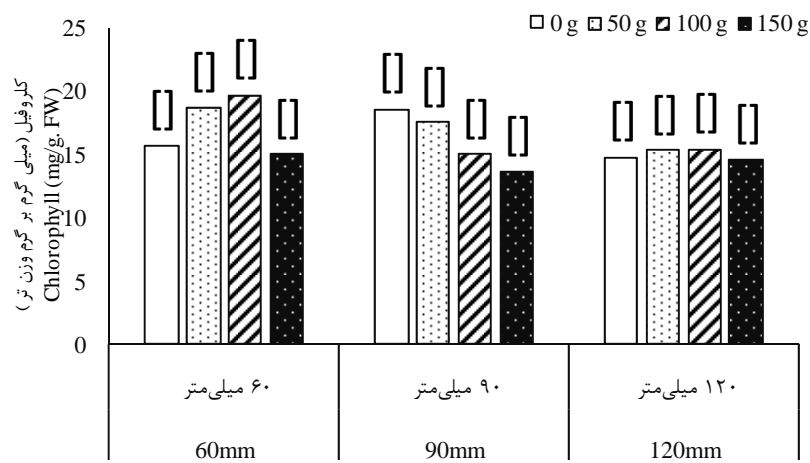
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تنش خشکی و محلول پاشی با جلبک دریایی و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات

Table 4- Mean comparisons of triple interactions of drought stress seaweed extract and salicylic acid on some traits

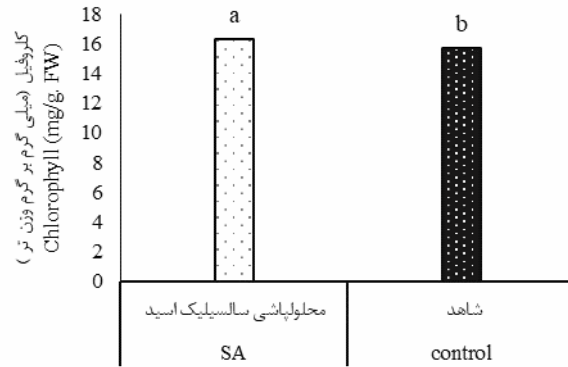
سطوح تنش خشکی Drought stress levels	جلبک دریایی seaweed extract	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate (mmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (μmol H ₂ O ₂ /g.DM)	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Super oxid desmutase (unit mg/DM)	نشت یونی Ion leakage (%)
60 mm	0 g	control	3.19 ef	49.09 h	0.459 hi	19.75 k-m
		SA	4.24 ab	25.16 j	0.441 i	25.78 g
	50 g	control	3.33 d-f	58.82 fg	0.435 i	19.60 lm
		SA	4.44 a	69.75 b-d	0.523 g-i	20.89 j-l
	100 g	control	3.70 cd	32.18 j	0.301 j	17.14 n
		SA	3.44 de	67.96 c-e	0.611 d-g	14.68 op
150 g	control	2.78 g-i	58.51 fg	0.523 g-i	16.10 no	
	SA	4.04 bc	40.85 i	0.547 f-h	13.77 p	
90 mm	0 g	control	2.76 g-i	59.53 fg	0.569 e-g	26.99 fg
		SA	3.36 de	48.03 hi	0.656 b-e	22.65 hi
	50 g	control	3.18 ef	61.30 e-g	0.684 a-d	22.79 hi
		SA	2.41 i-k	67.79 c-e	0.570 e-g	21.25 i-k
	100 g	control	2.96 f-h	75.79 b	0.641 c-f	22.25 h-j
		SA	4.06 bc	74.47 bc	0.617 d-g	20.37 kl
150 g	control	2.41 i-k	66.02 d-f	0.546 f-h	20.46 kl	
	SA	2.48 ij	48.44 hi	0.746 ab	18.71 m	
120 mm	0 g	control	2.38 jk	85.24 a	0.558 fg	35.50 a
		SA	3.10 e-g	89.11 a	0.655 b-e	31.19 bc
	50 g	control	2.60 h-j	63.54 d-f	0.717 ab	30.01 cd
		SA	2.71 h-j	50.07 h	0.752 a	29.48 de
	100 g	control	3.17 ef	75.92 b	0.745 ab	32.26 bc
		SA	3.17 ef	50.22 h	0.637 c-f	28.30 ef
150 g	control	1.48 l	64.48 d-f	0.673 a-d	32.56 bc	
	SA	2.07 k	54.18 gh	0.612 d-g	27.96 ef	

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند (برش‌دهی اثرات متقابل در سطح احتمال ۵ درصد).

Means that have a common letter have not significantly different together (slicing, p<0.05).



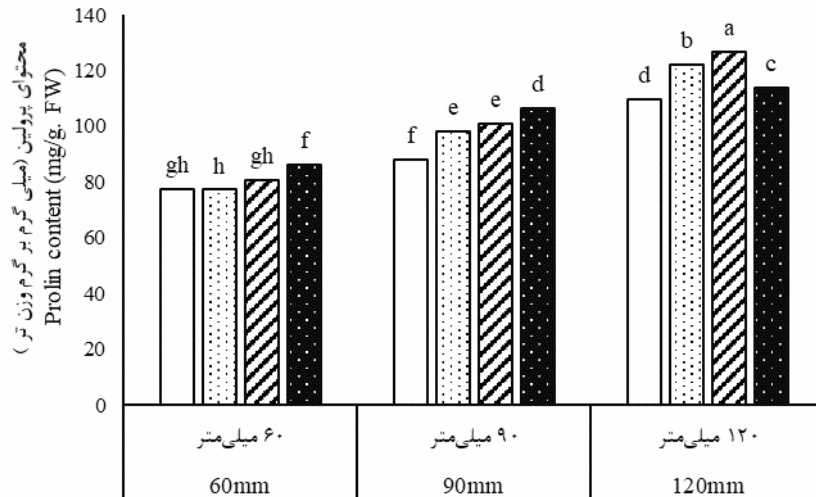
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با عصاره جلبک بر محتوای کلروفیل کل
Figure 1- Mean comparisons of interactions of drought stress and seaweed extract application on chlorophyll content



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل کل

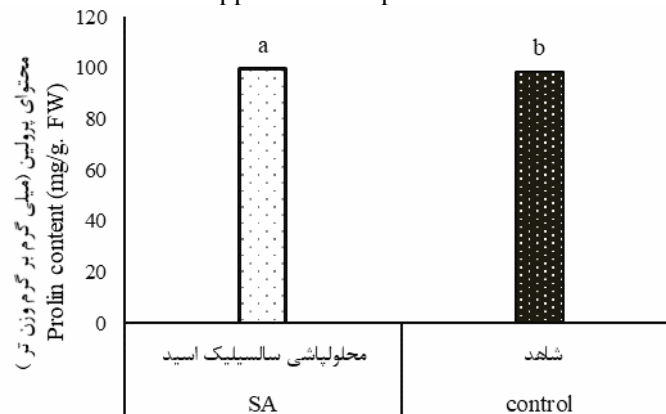
Figure 2- Mean comparisons of salicylic acid effect on chlorophyll content

□ 0 g □ 50 g ▨ 100 g ■ 150 g



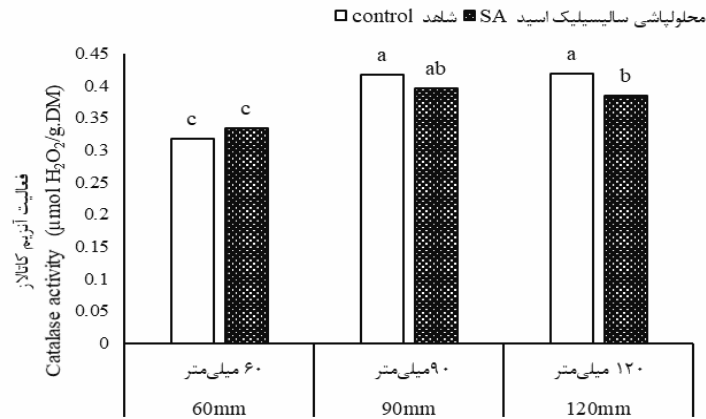
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با عصاره جلبک بر محتوای پرولین

Figure 3- Mean comparisons of interactions of drought stress and seaweed extract application on prolin content



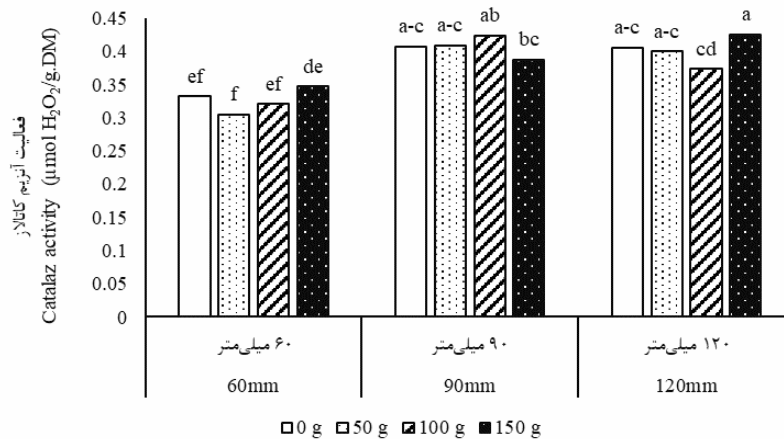
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولین

Figure 4- Mean comparisons of salicylic acid effect on proline content



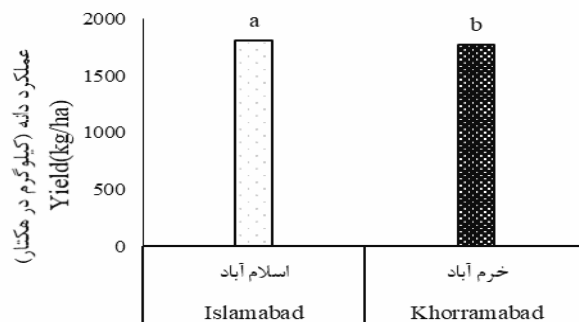
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

Figure 5- Mean comparisons of interactions of drought stress and salicylic acid on catalase activity



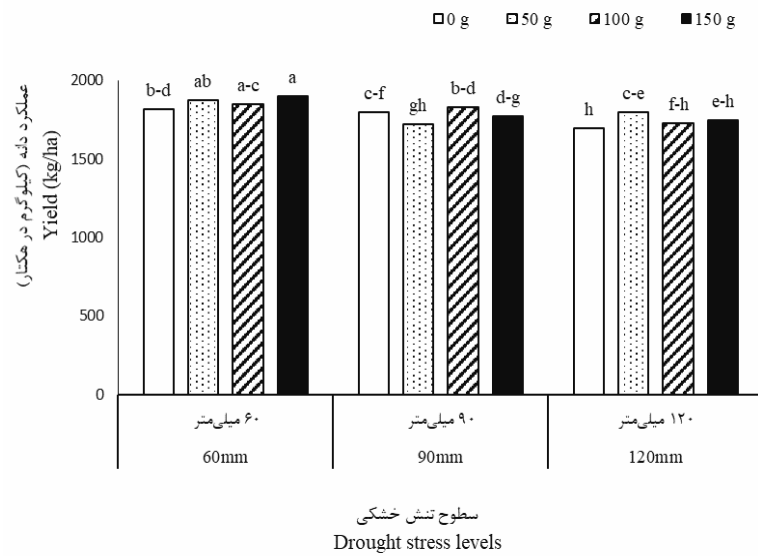
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با عصاره جلبک بر فعالیت آنزیم کاتالاز

Figure 6- Mean comparisons of interactions of drought stress and seaweed extract application on catalase activity

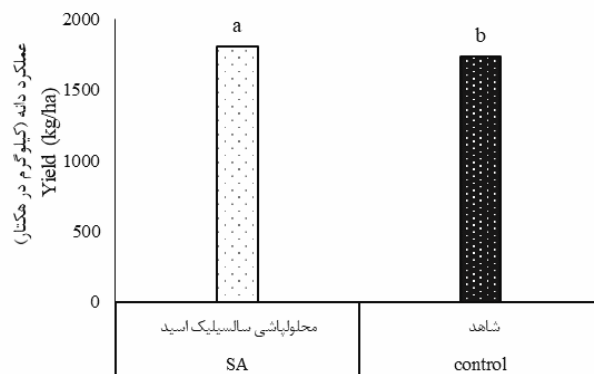


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر مکان بر عملکرد دانه

Figure 7- Mean comparisons of location effect on grain yield



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با عصاره جلبک بر عملکرد دانه
Figure 8- Mean comparisons of interactions of drought stress and seaweed extract application on grain yield



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه
Figure 9- Mean comparisons of salicylic acid effect on grain yield

References

منابع مورد استفاده

- Adebayo, M.A., A. Menkir, E. Blay, V. Gracen, E. Danquah, and S. Hearne. 2014. Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. *Euphytica*. 196: 261-270.
- Ahmed, Y.M., and E.A. Shalaby. 2012. Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*. 4(3): 235-240.
- Ashkavand, M., M. Roshdi, J. Khalili Mohaleh, F. Jalili, and A. HosseinPour .2013. Effect of drought stress during phenological stage and biofertilizer and nitrogen application on yield and yield components of corn (KSC 704). *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(4): 365-376.
- Aslam, M., M.S.I. Zamir, I. Afzal, M. Yaseen, M. Mubeen, and A. Shoaib. 2013. Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. *Cercetări Agronomice în Moldova*. 46(2): 99-114.
- Bates, L. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Beers, R.F., and I.W. Sizer. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*. 195(1): 133-140.
- Bilger, W., and O. Bjorkman. 2014. Relationships among violaxanthin deepoxidation, thylakoid membrane conformation, and nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching in leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Planta*. 193: 238-246.
- Blokhina, O., E. Virolainen, and K.V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*. 91(2): 179-194.
- Borsani, O., V. Valpuestan, and M. Botella. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. *Plant Physiology*. 126: 1024-1030.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1-2): 248-254.
- Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture -not by affecting ATP synthesis. *Trends Plant Science*. 5: 187-188.
- El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the active effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*. 45: 215-224.
- Eskandari Zanjani, K., A.H. Shirani Rad, A. Moradi Agdam, and T. Taherkhani. 2013. Effect of salicylic acid application under salinity conditions on physiologic and morphologic characteristics of artemisia (*Artemisia annua* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(4): 415-428. (In Persian).
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185-212.

- Flinet, H.I., B.R. Boyce, and D.J. Beattie. 1966. Index of injury drought a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Canadian Journal of Plant Science*. 47: 229-230.
- Gardner, F.P. 2010. Physiology of crop plants. Scientific Publishers (India), Crops. 327 pp.
- Giannopolitis, C.N., and S.K. Ries. 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 59(2): 309-314.
- Gill, S.S., and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*. 48(12): 909-930.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E.G. Bagci, and N. Cicek. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*. 164(6): 728-736.
- Hayat, S., B. Ali, and A. Ahmad. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. In salicylic acid: A plant hormone. (pp. 1-14). Springer, Dordrecht.
- Hua, Y., Y. Lina, and W. Jinfeng. 2010. Antioxidation responses of maize roots and leaves to partial root-zone irrigation. *Agricultural Water Management*. 97: 972-980.
- Huang, J., S. Sun, D. Xu, H. Lan, H. Sun, Z. Wang, Y. Bao, J. Wang, H. Tang, and H. Zhang. 2012. A TFIIIA-type zinc finger protein confers multiple abiotic stress tolerances in transgenic rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Molecular Biology*. 80(3): 337-350.
- Isendahl, N., and Q. Schmidt. 2006. Drought in the Mediterranean: WWF policy proposals-A WWF report. WWF-World Wide Fund for Nature, Germany, 45.
- Jain, V., S. Vart, E. Verma, and S.P. Malhotra. 2015. Spermine reduces salinity-induced oxidative damage by enhancing antioxidative system and decreasing lipid peroxidation in rice seedlings. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 24(3): 316-323.
- Karkanis, A., D. Bilalis, and A. Efthimiadou. 2011. Architectural plasticity, photosynthesis and growth response velvetleaf (*Abutilon theophrasti Medicus*) plants to water stress in a semi-arid environment. *Australian Journal of Crop Science*. 5(4): 369-374
- Karthick, N., S. Selvakumars, and S. Umamaheswari. 2013. Effect of three different seaweed liquid fertilizers and a chemical liquid fertilizer on the growth and histopathological parameters of *Eudrilus eugeniae* (Haplotaxida: Eudrilidae Global). *Journal of Bio-Science and Biotechnology*. 2(2): 253-259.
- Khan, A., and M. Ashraf. 2008. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*. 63(1): 224-231.
- Khan, M.I., M. Fatma, T.S. Per, N.A. Anjum, and N.A. Khan. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Plant Science Journal*. 6: Article 462.

- Kheirkhah, M., M. Farazi, A. Dadkhah, and A. Khoshnood. 2016. Application of glycine, tufool and salicylic acid in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(1): 167-182. (In Persian).
- Kiarostami, K., N. Abdolmaleki, and M. Heidari. 2012. The effect of salicylic acid on salt stress reduction in Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Biology*. 4(12): 69-82.
- Koyro, H.W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte (*Plantago coronopus* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 56: 136-149.
- Kumar, G., and D. Sahoo. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. pusa gold. *Journal of Applied Phycology*. 23(2): 251-255.
- Lascano, H.R., G.E. Antonicelli, C.M. Luna, M.N. Melchiorre, L.D. Gómez, R.W. Racca, V.S. Trippi, and L.M. Casano. 2001. Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and in vitro studies. *Functional Plant Biology*. 28(11): 1095-1102.
- Mercier, L., C. Laffite, G. Borderies, X. Briand, M.T. Esquerré-Tugayé, and J. Fournier. 2001. The algal polysaccharide carrageenans can act as an elicitor of plant defence. *New Phytology*. 149: 43-51.
- Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery, and F.V. Breusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*. 9: 490-498.
- Miura, K., and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Plant Science Journal*. 5: Article 4.
- Moharramnejad, S., O. Sofalian, M. Valizadeh, A. Asgari, and M.R. Shiri. 2015. Proline, glycine betaine, total phenolics and pigment contents in response to osmotic stress in maize seedlings. *Journal of Bioscience and Biotechnology*. 4: 313-319.
- Nakano, Y., and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*. 22(5): 867-880.
- Neocleous, D., and M. Vasilakakis. 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'Autumn Bliss'). *Scientia Horticulturae*. 112(3): 282-289.
- Peeva, V., and G. Cornic. 2009. Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. *Environmental and Experimental Botany*. 65: 310-318.
- Pessarakli, M., and D.M. Kopec. 2009. Screening various ryegrass cultivars for salt stress tolerance. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7(3&4): 739-743.
- Pickering, T. 2006. Advances in seaweed aquaculture among Pacific Island countries. *Journal of Applied Phycology*. 18(3-5): 227-234.
- Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*. 73: 149-156.
- Rayorath, P., W. Khan, R. Palanisamy, S.L. Mackinon, R. Stefanova, S.D. Hankins, A.T. Critchley, and B. Prithiviraj. 2008. Extracts of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) in duce gibberellic acid (GA₃) in dependent amylase activity in barley. *Journal of Plant Growth Regulator*. 27: 370-379.

- Sairam, R.K., and D.C. Saxena. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184(1): 55-61.
- Saki-nejad, T. 2003. Effects of water stress on the uptake of nitrogen phosphorus potassium sodium in different stages of growth, according to the morphological characteristics of maize in Ahvaz climatic conditions. Ph.D. dissertation, Faculty of Agriculture, University of Ahvaz, Iran. (In Persian).
- Sarvajeet, S.G., and T. Narendra. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 3: 1-22.
- Schlmmmer, M.R., D.D. Francis, J.F. Shanahan, and J.S. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*. 97: 106 -112.
- Senaranta, T., D. Touchell, E. Bumm, and K. Dixon. 2002. Acetyl salicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*. 30: 157-161.
- Shakirova, F.M., A.R. Sakhabutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova, and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 164: 317-322.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, G. Wu, J.H. Zhang, Z.H. Lu, and Y.CH. Hu. 2007. Changes of some physiological and biochemical indices for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 54: 143–149.
- Shehata, M.M., and S.A. El-Khawas. 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower (*Helianthus annus L. cv. Vedock*) yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6(14): 1257-1268.
- Sheteawi, S.A., and K.M. Tawfik. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbean (*Vigna radiata*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(3): 251-262.
- Shim, I.S., Y. Momose, A. Yamamoto, D.W. Kim, and K. Usui. 2003. Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*. 39(3): 285-292.
- Shokouhi Far, Y. 2016. Application of algae in agriculture. Second International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Iran (Tabriz), 2325 Feb: 3-4.
- Sunarpi, A., R. Kurnianingsih, N.I. Julisaniah, and A. Nikmatullah. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Nusantara Bioscience*. 2(2): 73-77.
- Tambussi, E.A., C.G. Bartoli, J. Beltrano, J.J. Guiamet, and J.L. Araus. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Physiologia Plantarum*. 108: 398-404.

- Wang, T., R. Jonsdottir, and G. Ólafsdóttir. 2009 a. Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. *Food Chemistry*. 116: 240–248.
- Wang, W.B., Y.H. Kim, H.S. Lee, K.Y. Kim, X.P. Deng, and S.S. Kawak. 2009 b. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47(7): 570-577.
- Yavas, I., and A. Unay. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 26(4): 1012-101.
- Zlatev, Z.S., and I.T. Yordanov. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 30(3-4): 3-18.

Effects of Salicylic Acid and Seaweed (*Ascophyllum nodosum*) Extracts Application on some Physiological Traits of White Bean (*Phaseolus lanatus* L.) under Drought Stress Conditions

Sara Beigzadeh¹, Abbas Maleki^{2*}, Mohammad Mirzaee Heydari², Alireza Rangin³, and Ali Khorrami⁴

Received: August 2019, Revised: 30 January 2020, Accepted: 4 February 2020

Abstract

Drought is one of the most important growth and yield limiting factors of crop plants in many parts of the world. To investigate the effects of drought stress and seaweed extract and salicylic acid on some photosynthetic and photochemical traits of white bean plant, a split-factorial experiment, based on randomized complete block design with three replications was conducted in 2016-2017 growing season. The experiment was performed at two different locations: Islamabad and Khorramabad. Main factor consisted of three levels of irrigation (irrigation after 60 mm, 90 mm and 120 mm of accumulated evapotranspiration of class A pan evaporation and sub-plots of 8 different levels of salicylic acid application (0.5 molar), no application of salicylic acid, 4 levels of seaweed extracts applications 0, 50, 100 and 150 grams. Results of this study showed that drought stress decreased the rate of photosynthesis and chlorophyll content, but the salicylic acid increased both the rate of photosynthesis and chlorophyll content. Drought stress also increased proline content, ion leakage from the membrane and antioxidant enzyme activities such as catalase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase and reduced the grain yield. Application of salicylic acid increased the activity of antioxidant enzymes, but the response to salicylic acid was not similar in various levels of seaweed. The lowest grain yield was obtained from irrigation after 120 mm evaporation and without application of seaweed. Highest grain yield was obtained from irrigation after 60 mm evaporation and 150 g. seaweed treatment. Application of seaweed enhanced the grain yield production. Application of salicylic acid also, increased grain yield by 4.5%. According to the results of this study, it seems that application of salicylic acid and seaweed may reduce some negative effects of drought stress.

Key words: Antioxidant enzymes, Photosynthesis rate, Salicylic acid, Seaweed.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Biology, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

4- Associate Professor, Department of Physiology, KhorramAbad Branch, Islamic Azad University, KhorramAbad, Iran.

*Corresponding Author: malekiabbas97@gmail.com

