

تأثیر محلول پاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید بر عملکرد کمی و کیفی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش شوری

علی برقی^{۱*} و عبدالقیوم قلی‌پوری^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
پست الکترونیک: a_barghi@uma.ac.ir

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۹

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۹

چکیده

شوری از شایع‌ترین تنش‌های غیر زنده می‌باشد که منجر به کاهش زیادی در تولید محصولات کشاورزی می‌شود. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه نقش مهمی در رشد و توسعه گیاه در شرایط عادی و تنش ایفاء می‌کنند. به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید بر عملکرد و اجزای عملکرد، درصد روغن و اسانس و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح شوری (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و سه سطح تنظیم‌کننده‌های رشد (شاهد بدون تنظیم‌کننده رشد، ۰/۱ میکرومول ۲۴-اپی براسینولید و ۰/۵ میلی‌مول جاسمونیک اسید) بودند. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که شوری موجب کاهش محصول بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و درصد روغن دانه گردید. در حالی‌که وزن هزاردانه و مقدار پرولین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. تنظیم‌کننده‌های رشد نیز وزن هزاردانه و درصد روغن دانه را افزایش و مقدار پرولین را کاهش دادند. مقدار کلروفیل‌های a و b برگ با افزایش سطوح شوری کاهش یافت و در تمام سطوح شوری کاربرد جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید مقادیر کلروفیل‌های a و b را افزایش دادند. مقدار مالون دی‌آلدئید با افزایش سطح شوری افزایش یافت و در تمام سطوح تنش، محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار مالون دی‌آلدئید را کاهش دادند. به‌علاوه درصد اسانس دانه با افزایش سطح شوری و همچنین در تمام سطوح شوری با تیمار تنظیم‌کننده‌های رشدی افزایش یافت. بنابراین توصیه می‌شود در شرایط شوری برای اجتناب از خسارت‌های ناشی از تنش به‌منظور افزایش اسانس سیاه‌دانه که یک ترکیب بسیار مهم در صنایع دارویی می‌باشد و همچنین افزایش درصد روغن، وزن هزاردانه و رنگدانه‌های فتوسنتزی، تنظیم‌کننده‌های رشدی براسینواستروئید و جاسمونیک اسید با هزینه اندک و به‌صورت محلول پاشی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پرولین، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، شوری.

مقدمه

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک‌ساله از خانواده آلاله (Ranunculaceae) می‌باشد که اهمیت دارویی زیادی دارد. سیاه‌دانه دارای ۲۶-۳۴٪ روغن، ۲/۵-۴/۰٪ اسانس، قندهای مختلف، پروتئین‌ها و مواد صمغی می‌باشد (Mamun & Absar, 2018). برای این گیاه ویژگی‌های مختلف دارویی از جمله ضدسرطانی (Gurung et al., 2010)، ضد میکروبی (Salem, 2005) و ضد دیابت بودن (Bassim Atta, 2003) گزارش شده است. اخیراً روغن سیاه‌دانه به عنوان منبع جدید و بسیار باارزش خوراکی نیز معرفی شده است (Piras et al., 2013). سیاه‌دانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور توان رشد دارد. با توجه به اهمیت ویژه سیاه‌دانه در صنایع غذایی و دارویی، راهکارهای مؤثر در افزایش عملکرد کمی و به‌ویژه بهبود کیفیت بذر سیاه‌دانه می‌تواند منجر به افزایش تولید این گیاه در مناطق تحت تنش گردد (Seyyedi et al., 2015).

تنش شوری یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیر زنده می‌باشد که منجر به کاهش زیادی در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌شود. براساس گزارش فائو، حدود ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی در سراسر جهان تحت تنش شوری هستند (Acosta-Motos et al., 2017). شوری همچنین به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان در بسیاری از مناطق ایران شناخته شده است (Khalvandi et al., 2019). هدایت الکتریکی عصاره اشباع در چنین خاک‌هایی بیشتر از ۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر بوده و مقدار سدیم قابل تبادل آنها کمتر از ۱۵٪ می‌باشد. اسیدیته خاک‌های شور کمتر از ۸/۵ است. املاح موجود در خاک‌های شور بیشتر شامل کلورورها، سولفات‌ها و نترات‌ها می‌باشد (Mahmoudi & Hakimian, 2007). شوری گیاه نه تنها رشد گیاه، وزن خشک، عملکرد، فتوسنتز و کارآیی مصرف آب را کاهش می‌دهد، بلکه منجر به خشکی فیزیولوژیکی و سمیت یونی در گیاه

می‌گردد که در نهایت به کاهش تولید و عملکرد گیاهان می‌انجامد (Shahid et al., 2018). براساس پژوهش Ezz El-Din و همکاران (۲۰۰۹) درصد اسانس گیاه آویشن با افزایش شدت تنش شوری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. همچنین اعمال تنش شوری سبب افزایش میزان اسانس در گیاه دارویی مرزه (Bernstein et al., 2010) و همیشه‌بهار (Khalid & Teixeira-Desilva, 2010) گردید. Nazari (۲۰۰۷) نیز گزارش نمودند که درصد اسانس گیاه دارویی به‌لیمو با افزایش میزان شوری به‌تدریج افزایش می‌یابد. Noori و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که با افزایش شوری محتوای ترکیب‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول در باپونه افزایش می‌یابد. Ghorbanli و همکاران (۲۰۱۲) نیز پی بردند که با افزایش غلظت کلرید سدیم تا ۱۲۵ میلی‌مولار محتوای پرولین در گیاهچه‌های زیره سبز افزایش می‌یابد. Ghassemi-Gholezani و همکاران (۲۰۲۰) افزایش تجمع پرولین در شرایط شوری را به فعالیت بیشتر مسیر سنتز پرولین به‌جای ساخت کلروفیل از پیش‌ماده مشترک گلو تامات نسبت دادند. Emami Bistgani و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که مقادیر کلروفیل‌های a, b و کلروفیل کل با افزایش شدت تنش شوری کاهش یافت و در نهایت منجر به کاهش رشد و ماده خشک گیاه گردید. براساس گزارش Santos (۲۰۰۴) این کاهش مقدار کلروفیل تحت تنش شوری به کاهش مقدار آنزیم آمینولولنیک اسید سنتاز نسبت داده می‌شود که ساخت آمینولولنیک اسید را به‌عنوان اولین پیش‌ماده ساخت کلروفیل‌ها کاتالیز می‌کند. همچنین مشاهده شده است که ارتباط آنزیم کلروفیل‌ها با تخریب کلروفیل در مراحل اولیه تنش و در تنش‌های ملایم در بالاترین حد خود می‌باشد و در شوری‌های شدید مسیرهای تکمیلی تخریب کلروفیل باید فعالیت کنند (Yamane et al., 2012). Tawfik و Noga (۲۰۰۱) نتیجه‌گیری کردند که شوری ۸ ds/m و بالاتر، محصول دانه زیره سبز را به‌طور معنی‌داری کاهش

می‌دهد. Abd El-Wahab (۲۰۰۶) بیان نمود که با افزایش شوری تعداد چتر در هر بوته، وزن هزاردانه و محصول رازیانه به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. کاهش محصول دانه و اجزای آن تحت تنش شوری در خارمریم (Ghavami & Ramin, 2008) و زنیان (Ashraf & Orooj, 2006) نیز گزارش شده است. Shrivastava و Kumar (۲۰۱۵) بیان کردند که میزان مالون دی‌آلدئید در خردل هندی بر اثر تنش شوری به طور معنی‌داری افزایش و ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و درصد روغن کاهش می‌یابد.

فیتوهورمون‌ها نقش مهمی در رشد و توسعه گیاه در شرایط عادی و تنش ایفا می‌کنند. این ترکیب‌ها در منابع اغلب با عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه شناخته می‌شوند (ترکیب‌هایی که از مسیره‌های بیوسنتزی گیاه منشأ می‌گیرند) (Peleg & Bulmwald, 2011). براساس گزارش‌های Fahad و همکاران (۲۰۱۵)، چندین هورمون مثل براسینواستروئیدها (BR) و جاسمونیک اسید (JA)، رشد و توسعه گیاه را به صورت هماهنگ در همان محل تولید خود یا با انتقال به محل دیگری در گیاه تنظیم می‌کنند. شرایط نامناسب، تولید و توزیع هورمون‌ها را در گیاه مختل می‌کنند که ممکن است سازوکارهای محافظتی خاصی را در گیاه تحریک کنند. بنابراین هورمون‌های مربوط به تنش در گیاهان نقش مهمی در تنظیم پاسخ‌های گیاه به تنش غیرزنده ایفا می‌کنند. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه اثر تنش‌های زنده و غیرزنده را با فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی، متابولیکی و ساختاری کاهش می‌دهند (Biesaga *et al.*, 2014). جاسمونیک اسیدها گروهی از تنظیم‌کننده‌های مهم سلولی هستند که در فرایندهای مختلف توسعه گیاه مثل جوانه‌زنی بذر، باروری، رسیدگی میوه و پیری دخالت دارند (Tarakhovskaya *et al.*, 2007). مشاهده شده است که فعالیت جاسمونیک اسید نیز در شرایط شوری در گیاه افزایش می‌یابد (Farhanghi-Abri & Ghasemi-Golezani, 2018). محلول‌پاشی برگ‌های جاسمونیک اسیدها پاسخ‌های

فیزیولوژیکی متعددی را ایجاد می‌کند که منجر به بهبود مقاومت آن در برابر تنش‌های غیرزنده مثل شوری می‌گردد (Ghassemi-Golezani & Hosseinzadeh, 2015). اثرهای نامطلوب شوری ممکن است به وسیله براسینواستروئیدها نیز کاهش یابند (El-Mashad & Mohamed, 2012). براسینواستروئیدها تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده به عنوان عوامل اصلی پاسخ عمل می‌کنند (Bajguz & Tretyn, 2003). Zhang و Hu (۲۰۱۶) بیان کردند که کاربرد براسینواستروئیدها با افزایش شوری میزان پرولین را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. براسینواستروئیدها تحمل شوری را از طریق کاهش اثرهای منفی شوری بر فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان القاء می‌کنند (Ashraf *et al.*, 2010).

هدف از این آزمایش بررسی اثرهای محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید در تعدیل اثرهای تنش شوری و امکان افزایش کمی و کیفی سیاه‌دانه در این شرایط می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح شوری (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و سه سطح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (شاهد بدون تنظیم‌کننده رشد، ۰/۱ میکرومول ۲۴-اپی براسینولید و ۰/۵ میلی مول جاسمونیک اسید) بودند. آزمایش در سه تکرار انجام شد. هر گلدان با یک کیلوگرم پرلیت با اندازه متوسط پر شد و در مجموع ۴۰ گلدان استفاده گردید که چهار عدد از آنها به عنوان گلدان شاهد برای تعیین ظرفیت زراعی گلدان‌ها در هر سطح شوری، بدون کشت باقی ماند. گلدان‌های مورد استفاده به قطر ۲۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر انتخاب شدند. گلدان‌ها در گلخانه و در دمای ۲۰-۳۲

استخراج گردید. محلول n-هگزان به عنوان حلال استفاده شد و درصد روغن برای هر نمونه محاسبه گردید. میزان کلروفیل برگ‌ها طبق روش پیشنهادی Arnon (۱۹۶۷)، مقدار مالون دی‌آلدئید برگ به روش Valentovic و همکاران (۲۰۰۶) و میزان پرولین برگ‌ها با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) تعیین شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1، مقایسات میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2007 انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سطوح شوری بر محصول تک بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، مقادیر کلروفیل‌های a و b، پرولین، مالون دی‌آلدئید، درصد روغن و درصد اسانس دانه در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن هزاردانه سیاه‌دانه در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. همچنین اثر اصلی تنظیم‌کننده‌های رشدی بر وزن هزاردانه در سطح احتمال ۵٪ و بر مقادیر کلروفیل‌های a و b، پرولین، مالون دی‌آلدئید، درصد روغن و درصد اسانس دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار گردید. اثر متقابل شوری و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه نیز بر مقادیر کلروفیل‌های a و b و مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال ۵٪ و بر درصد اسانس دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بدست آمد. همچنین هیچ‌یک از اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر مقدار کاروتنوئید برگ معنی دار نبود (جدول ۱).

با توجه به نتایج مقایسات میانگین، با افزایش سطوح شوری مقدار محصول تک بوته کاهش یافت، به طوری که بیشترین مقدار محصول تک بوته به میزان ۲/۵۹ گرم در تیمار شاهد بدون شوری و کمترین مقدار آن نیز با ۰/۹۵ گرم در تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد. افزایش سطح شوری همچنین منجر به کاهش تعداد کپسول

درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰٪ نگهداری شدند. بذرها سیاه‌دانه با قارچ‌کش ضدعفونی شده و در هر گلدان تعداد ۲۰ عدد بذر کشت شد. گلدان‌ها با محلول‌های معین NaCl تا حد ظرفیت زراعی آبیاری گردیدند و به منظور اعمال شوری صفر نیز به جای محلول NaCl از آب مقطر استفاده شد. در طول دوره رشد، آب از دست رفته هر سه روز یک‌بار با استفاده از محلول غذایی هوگلند جبران شد. گیاهچه‌های ظاهر شده تنک شده و به تعداد ۱۰ بوته در هر گلدان کاهش یافتند. به منظور جلوگیری از افزایش هدایت الکتریکی، هر ۳۰ روز یک‌بار پرلیت گلدان‌ها با استفاده از آب فراوان شستشو داده شد تا حدی که هدایت الکتریکی آب خروجی از انتهای گلدان‌ها با آب شهری یکسان شود، سپس تیمارهای شوری دوباره اعمال گردیدند. تنظیم‌کننده‌های رشدی در دو مرحله رشدی (قبل از گلدهی و در دوره پر شدن دانه) روی گلدان‌ها محلول پاشی شدند.

به منظور استخراج اسانس از دستگاه کلونجر و روش تقطیر با آب استفاده شد. بذرها خشک شده در دمای اتاق همراه با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل بالن ریخته شد و عمل اسانس‌گیری با حرارت دادن بالن شروع گردید. از لحظه به جوش آمدن، عمل اسانس‌گیری به مدت سه ساعت و نیم ادامه یافت. به منظور مقابله با کف ایجاد شده، هر نمونه به دو قسمت تقسیم و طی دو مرحله اسانس‌گیری گردید. اسانس استخراج شده به صورت لایه‌ای زرد رنگ روی سطح آب جمع شد و نیم ساعت بعد، از پترولیوم اتر برای جمع‌آوری اسانس استفاده گردید.

به منظور اندازه‌گیری درصد روغن، بذرها در آن ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت خشک شدند و رطوبت آنها به حدود ۵٪ رسید. سپس بذرها با استفاده از آسیاب پودر شدند. ۵ گرم از پودر بذر سیاه‌دانه جدا شده و روغن آن با استفاده از دستگاه سوکسله طی مدت ۴ ساعت

در بوته و تعداد دانه در کپسول سیاه‌دانه نیز گردید، به طوری که بیشترین تعداد مربوط به هر دو این صفات در تیمار شاهد بدون شوری و کمترین تعداد در شوری بالا یعنی ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۲). برخلاف سایر اجزای محصول دانه، وزن هزاردانه با افزایش سطح شوری افزایش یافت، به گونه‌ای که کمترین وزن هزاردانه با ۱/۸ گرم در تیمار شاهد بدون شوری حاصل شد و تیمار شوری اندک با ۱/۹۵ گرم تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت ولی شوری متوسط و شدید وزن هزاردانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۲). وزن هزاردانه همچنین در اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که این افزایش با محلول‌پاشی جاسمونیک اسید با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان‌نداد ولی محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید وزن هزاردانه را افزایش داد (جدول ۳). مقادیر کلروفیل‌های a و b در تمام سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت، همچنین در تمام سطوح شوری محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش معنی‌دار مقادیر کلروفیل‌های a و b گردید و در بیشتر موارد بین دو نوع تنظیم‌کننده رشد از نظر مقادیر هر دو نوع کلروفیل تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱). مقدار پرولین اندازه‌گیری شده در برگ سیاه‌دانه با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین میزان پرولین (۱۴۷/۰۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) در بالاترین سطح شوری بدست آمد، در حالی که کمترین مقدار پرولین (۱۱۹/۳۱ میکروگرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار شاهد بدون شوری بود (جدول ۲). محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نیز مقدار پرولین برگ سیاه‌دانه را در مقایسه با شاهد بدون محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد به طور معنی‌داری کاهش داد و بین جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی‌براسینولید از نظر مقدار پرولین تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). مقدار مالون دی‌آلدئید برگ سیاه‌دانه در تمام

سطوح تنظیم‌کننده‌های رشدی با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین مقادیر آن مربوط به بالاترین سطح شوری و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بدون شوری بود. همچنین در تمام سطوح شوری محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی مقدار مالون دی‌آلدئید برگ را به طور معنی‌داری کاهش داد، بجز تیمار شاهد بدون شوری که کاهش مالون دی‌آلدئید در اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی معنی‌دار نبود (شکل ۲). درصد روغن دانه سیاه‌دانه در اثر افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری داشت و بالاترین درصد روغن دانه (۳۵/۵٪) در تیمار شاهد بدون شوری و کمترین آن (۲۷/۵۴٪) در شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی منجر به افزایش درصد روغن دانه گردید و بیشترین درصد روغن دانه (۳۲/۳۱٪) در اثر محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید بدست آمد که با تیمار محلول‌پاشی جاسمونیک اسید تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳). درصد اسانس دانه سیاه‌دانه در هر سه سطح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری افزایش یافت و کمترین درصد اسانس در هر سه سطح محلول‌پاشی مربوط به تیمار شاهد بدون شوری و بیشترین میزان آن مربوط به شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین در شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد منجر به افزایش معنی‌دار درصد اسانس دانه گردید که بیشترین درصد اسانس در این دو سطح شوری با اختلاف معنی‌دار نسبت به محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید، مربوط به محلول‌پاشی با جاسمونیک اسید بود. ولی در شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نتوانست منجر به تغییر معنی‌داری در درصد اسانس دانه شود. در تیمار شاهد بدون شوری نیز فقط محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش معنی‌دار درصد اسانس دانه گردید (شکل ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه بر محصول و اجزای محصول، درصد روغن و اسانس و برخی صفات فیزیولوژیکی سیاه‌دانه

میانگین مربعات (M.S)											درجه	منابع تغییر
میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	میانگین مربعات (M.S)	df	
۰/۰۷۸	۰/۰۶۲	۷/۱۰۹	۲۹۹/۸۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۶	۱۶/۰۲	۵۵/۰۲	۰/۷۴۹	۲	تکرار
۰/۵۱**	۱۰۸/۴**	۱۰۹/۹**	۱۱۸۰/۴**	۰/۰۰۰۵ns	۰/۰۲**	۰/۰۶**	۰/۱۱*	۴۲۵/۶**	۳۹۷/۳**	۴/۴۰۵**	۳	شوری
۰/۰۹**	۱۴/۷۴**	۲۶/۴۹**	۲۸۰/۱۵**	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۳**	۰/۰۶**	۰/۰۸*	۰/۱۱ns	۰/۵۲ns	۰/۰۹۲ns	۲	تنظیم‌کننده‌های رشد
۰/۰۳۷**	۱/۱۲ns	۲/۲۷*	۱۰/۶۹ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۹*	۰/۰۰۳*	۰/۰۲۴ns	۰/۷۴ns	۰/۲۳ns	۰/۰۲۲ns	۶	شوری × تنظیم‌کننده‌های رشد
۰/۰۰۰۸	۰/۹۱	۰/۷۰۳	۶/۷۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۵	۳/۷۲	۳/۵۴	۰/۰۷۶	۲۲	خطا
۲/۳۲	۳/۰۴	۸/۷۱	۱/۹۷	۸/۰۶	۵/۳۵	۴/۸۷	۸/۰۶	۵/۱۸	۷/۷۱	۱۵/۱۷	-	ضریب تغییرات

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر اصلی شوری بر محصول و اجزای محصول، پرولین و درصد روغن دانه سیاه‌دانه

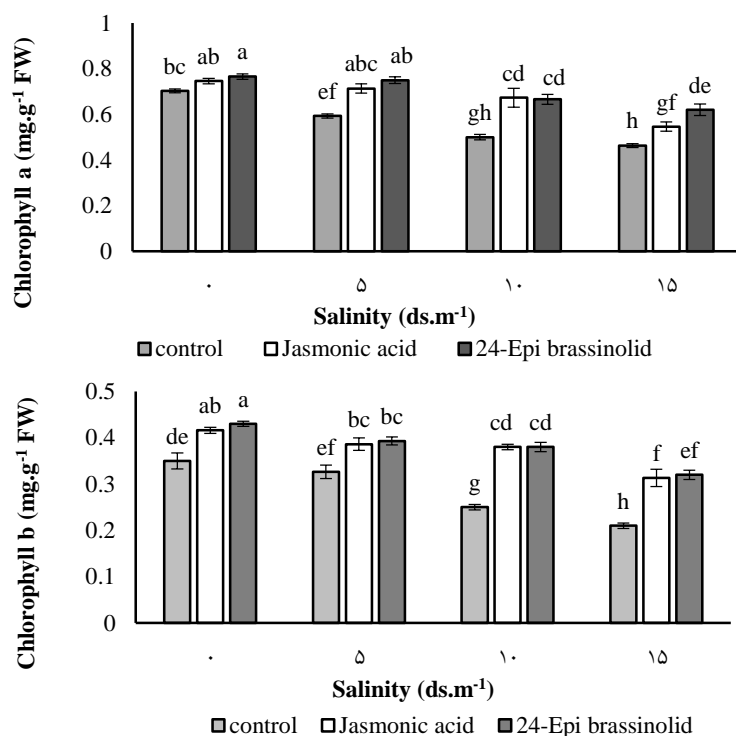
تیمار	محصول بوته (گرم)	تعداد کپسول در بوته	وزن هزاردانه (گرم)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر)	درصد روغن دانه
شاهد	۲/۵۹ ± ۰/۱۳ a	۳۱/۴ ± ۰/۶ a	۱/۸ ± ۰/۰۵ b	۱۱۹/۳۱ ± ۲/۳۳ c	۲۵/۵ ± ۰/۵۹ a
شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر	۲/۱۱ ± ۰/۱۲ b	۲۷/۴ ± ۰/۹۷ b	۱/۹۵ ± ۰/۰۴ ab	۱۳۰/۴۶ ± ۲/۵۵ b	۳۲/۶۷ ± ۰/۴۶ b
شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر	۱/۶۲ ± ۰/۰۹ c	۲۲/۶ ± ۰/۸۸ c	۲/۰۶ ± ۰/۰۳ a	۱۳۰/۱۶ ± ۱/۸۱ b	۲۹/۷۲ ± ۰/۳۲ c
شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۹۵ ± ۰/۰۷ d	۱۶ ± ۰/۷۴ d	۲/۰۱ ± ۰/۰۷ a	۱۴۷/۰۶ ± ۱/۹۵ a	۲۷/۵۴ ± ۰/۳۲ d

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

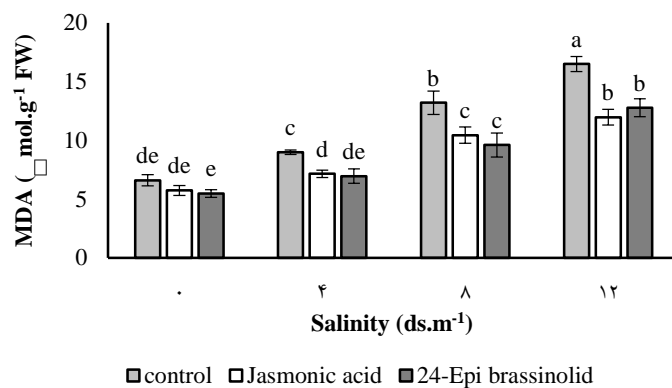
جدول ۳- مقایسات میانگین اثر اصلی تنظیم کننده‌های رشد گیاه بر وزن هزاردانه، پرولین و درصد روغن دانه سیاه‌دانه

تیمار	وزن هزاردانه (گرم)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر)	درصد روغن دانه
شاهد	۱/۸۸ ± ۰/۰۵ b	۱۳۷/۲۶ ± ۳/۱۳ a	۳۰/۱۴ ± ۰/۸۳ b
محلول پاشی جاسمونیک اسید	۱/۹۵ ± ۰/۰۴ ab	۱۲۹/۷۳ ± ۳/۳۶ b	۳۱/۶۲ ± ۰/۹۴ a
محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید	۲/۰۴ ± ۰/۰۵ a	۱۲۸/۲۵ ± ۳/۴۴ b	۳۲/۳۱ ± ۱/۰۴ a

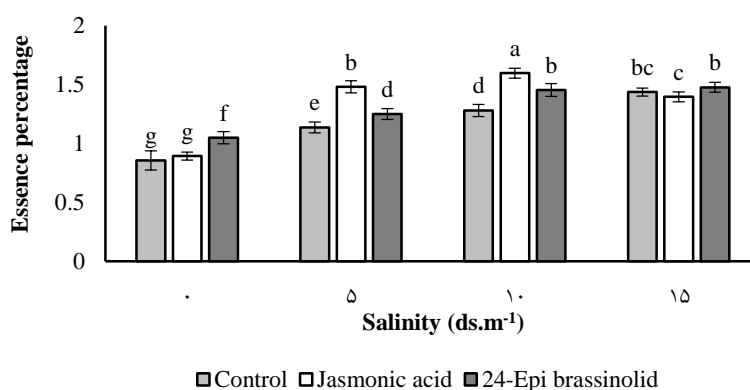
حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.



شکل ۱- مقادیر کلروفیل های a و b برگ سیاه‌دانه در اثر متقابل شوری و تنظیم کننده‌های رشد گیاه



شکل ۲- مقدار مالون دی‌آلدئید برگ سیاه‌دانه در اثر متقابل شوری و تنظیم کننده‌های رشد گیاه



شکل ۳- درصد اسانس دانه سیاه دانه در اثر متقابل شوری و تنظیم کننده های رشد گیاه

بحث

از جمله تغییرات بیوشیمیایی که در شرایط تنش های محیطی مثل شوری رخ می دهد، تولید انواع اکسیژن فعال است که تخریب عمده غشاء، چربی ها، پروتئین ها، انتقال یون، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه ای و مقدار کلروفیل را تحت تأثیر قرار می دهد (Belkhadi *et al.*, 2010). غشای سلولی یکی از هدف های اولیه در بسیاری از تنش های محیطی از جمله شوری به شمار می رود و ثبات غشاء در شرایط تنش یکی از نشانه های تحمل است. اندازه گیری مقدار مالون دی آلدئید تولید شده در پراکسیداسیون لیپیدها شاخص خوبی برای اندازه گیری میزان آسیب اکسیداتیو وارد شده به غشاء می باشد (Fazeli *et al.*, 2018). افزایش مقدار مالون دی آلدئید با افزایش سطح شوری (شکل ۲) نشانگر ارتباط بین تولید رادیکال های آزاد در اثر تنش و در نتیجه تخریب غشایی می باشد. حذف رادیکال های آزاد اکسیژن با استفاده از آنزیم های آنتی اکسیدان برای بقای گیاه ضروری می باشد (Bharti & Malik, 2013). کاربرد براسینواستروئیدها فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان را افزایش می دهد که منجر به کاهش تولید رادیکال های آزاد و به دنبال آن کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاها و در نتیجه تولید کمتر مالون دی آلدئید در شرایط تنش شوری می گردد (Heidari, 2010). گلو تامات پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین است. با توجه به گزارش های متعدد، تنش شوری

منجر به فعالیت بیشتر مسیر ساخت پرولین به جای کلروفیل می گردد (Nazarbeygi *et al.*, 2011). پرولین قابلیت حذف رادیکال های آزاد اکسیژن را دارد (Soshinkova *et al.*, 2013). تجمع پرولین تحت تنش شوری همچنین از طریق القای بیان ژن های ساخت پرولین و یا سرکوب ژن های مسیر تخریب آن ایجاد می شود (Marco *et al.*, 2015). Zrig و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تجمع اسید آمینه هایی مثل پرولین در گیاه آویشن در شرایط تنش شوری افزایش یافت. کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در اثر تنش شوری طبق نظر Akhyani و همکاران (۲۰۰۹) می تواند به تغییرات جذب عناصر از طریق ریشه در اثر تنش شوری مربوط شود که در تغذیه مناسب گیاه اختلال ایجاد کرده و منجر به افت محصول و اجزای محصول می شود. Mohammadzadeh و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که شوری از طریق کاهش قابلیت زنده ماندن گرده ها تعداد دانه را کاهش می دهد. Norouzpoor و Rezvani Moghadam (۲۰۰۵) در تحقیق خود دریافتند که در شرایط تنش، تعداد کپسول در سیاه دانه به دلیل کاهش تعداد شاخه های گل دهنده به طور معنی دار کاهش می یابد. بنابراین به نظر می رسد که افزایش وزن هزار دانه سیاه دانه تحت تأثیر شوری نیز با کاهش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ارتباط دارد. Bahadorkhah و Kazemeini (۲۰۱۴) بیان کردند که احتمالاً مصرف انرژی زیاد برای ایجاد سازوکارهای مقابله با

آلفا آمینولولینیک اسید دهیدراتاز باشد که در ساخت کلروفیل مشارکت می‌کنند (Wu *et al.*, 2018). افزایش مقدار کلروفیل با محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید ممکن است در ارتباط با تأثیر این تنظیم‌کننده رشدی بر رونویسی یا ترجمه ژن‌های ساخت رنگدانه‌ها باشد (Hassan *et al.*, 2008). Seyed Alikhani و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تأثیر کاربرد جاسمونیک اسید بر روی گیاه دارویی آرتیشو در شرایط تنش شوری، دریافتند که محلول پاشی جاسمونیک اسید موجب کاهش تجمع پرولین در شرایط تنش گردید. کاهش سنتز پرولین با محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید نیز می‌تواند به افزایش سنتز کلروفیل مربوط شود. از آنجا که پیش‌ماده ساخت پرولین و کلروفیل گلوتامات می‌باشد، با محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید مقدار سنتز کلروفیل افزایش و پرولین کاهش می‌یابد (Farhanghi-Abriz & Ghasemi-Golezani, 2018). افزایش مقدار تولید مالون دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص اصلی تنش اکسیداتیو و نقش بسیار مهم جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید در کاهش این تنش از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پایین آوردن میزان مالون دی‌آلدئید در گیاهانی مانند کلزا و نعناع فلفلی به اثبات رسیده است (Alam *et al.*, 2014; Kheiry *et al.*, 2017). Siddiqui *et al.*, 2011). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه می‌توانند تولید اسانس را در گیاه از طریق تأثیر بر رشد گیاه، ساخت اسانس و تعداد اجزای ذخیره‌کننده اسانس تحت تأثیر قرار دهند (Miranshahi & Sayyari, 2016). تنش شوری موجب اختلال در بیشتر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه می‌شود که تولید روغن نیز یکی از این مجموعه فرایندها است و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه از جمله جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید یک عامل مقابله‌کننده با عوامل نامطلوب محیطی مؤثر در رشد گیاه می‌باشد (Khademian *et al.*, 2019). Haghshenas و Eskandari (۲۰۱۱) دریافتند که کاربرد ۲۸-هوموبراسینولید درصد اسانس گیاه شوید را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

شوری می‌تواند باعث کاهش درصد روغن دانه شود. Shannon (۱۹۹۸) بیان کرد که هزینه‌های اضافی گیاه در زمان مواجه شدن با تنش شوری، مانند هزینه تعدیل اسمزی و افزایش تخصیص مواد به ریشه از یک سو و تأثیرپذیری منفی فتوسنتز از سوی دیگر موجب کاهش ساخت مواد، به‌ویژه موادی مانند روغن که تولید آنها انرژی بیشتری می‌طلبد، می‌شود. Kamali و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش سطح شوری از ۳/۳۵ به ۱۱/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر، درصد روغن دانه گلرنگ به میزان ۵۶/۷٪ کاهش یافت. تحریک تولید اسانس در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از افزایش تراکم غده‌های تولید اسانس و افزایش تعداد غده‌های تولید شده در این شرایط باشد (Harrathi *et al.*, 2011). افزایش میزان اسانس در اثر شوری در مطالعات دیگری روی سیاه‌دانه (Bourgou *et al.*, 2010)، مریم‌گلی (Ben Taarit *et al.*, 2010) و گشنیز (Harrathi *et al.*, 2011) نیز گزارش شده است. کلروفیل یک نقش مرکزی در فتوسنتز داشته و هرگونه تغییر در مقدار آن می‌تواند رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. کاهش مقدار کلروفیل تحت تأثیر تنش شوری که در این مطالعه نیز مشاهده گردید، می‌تواند به‌دنبال ناپایداری ترکیب‌های پروتئینی و افزایش فعالیت کلروفیلاز باشد (Chaparzadeh & Hosseinzad-Behboud, 2015). جاسمونیک اسید مقدار کلروفیل a و b را افزایش داد که نشانگر اثر مثبت آن در حفاظت از ساختمان کلروفیل در شرایط تنش می‌باشد. حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر جاسمونیک اسید می‌تواند به تولید گروهی از متابولیت‌های ثانویه از جمله آلکالوئیدها، فنل‌ها و آنتوسیانین‌ها در گونه‌های مختلف گیاهی نسبت داده شود (Memelink *et al.*, 2001). این متابولیت‌ها با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و سرکوب گونه‌های فعال اکسیژن و به‌دنبال آن کاهش اثرهای تنش شوری مانع از کاهش مقدار کلروفیل‌ها در گیاه می‌گردد (Ghassemi-Gholezani *et al.*, 2020). مقادیر بالای رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌دنبال کاربرد جاسمونیک اسید ممکن است در اثر بهبود فعالیت آنزیم‌هایی مانند پروتوکلروفیلاید ردوکتاز و

- Semnan province. Environmental Stresses in Crop Sciences, 2: 131-138.
- Alam, M.M., Nahar, K., Hasanuzzaman, M. and Fujita, M., 2014. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different *Brassica* species. Plant Biotechnology Reports, 8: 279-293.
 - Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
 - Ashraf, M. and Orooj, A., 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* L. Sprague). Journal of Arid Environments, 64: 209-220.
 - Ashraf, M., Akram, N.A., Arteca, R.N. and Foolad, M.R., 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Critical Reviews in Plant Science, 29: 162-190.
 - Bahadorkhah, F. and Kazemeini, S., 2014. Effect of salinity and planting method on yield, yield components and seed oil percentage of two spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 2: 264-272.
 - Bajguz, A. and Tretyn, A., 2003. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants. Phytochemistry, 62: 1027-1046.
 - Bassim Atta, M., 2003. Some characteristic of *Nigella* (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chemistry, 83: 63-68.
 - Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
 - Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W. and Djebali, W., 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 1004-1011.
 - Ben Taarit, M, Msaada, K., Hosni, K. and Marzouk., B., 2010. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. Food Chemistry, 119(3): 951-956.
 - Bernstein, N., Kravchik, M. and Dudai, N., 2010. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. Annals of Applied Biology, 156: 167-177.
 - Bharti, J. and Malik, C.P., 2013. Evaluation of biochemical parameters in nitrate-hardened seeds of Indian mustard subjected to salt stress. Journal of Oilseed Brassica, 4: 11-18.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت با توجه به اینکه بخش وسیعی از زمین‌های زراعی کشور درگیر تنش شوری است و سیاه‌دانه یک گیاه بسیار بااهمیت از نظر دارویی می‌باشد، هر عاملی که منجر به افزایش کمیت و کیفیت این گیاه در شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش شوری شود می‌تواند امکان کشت هرچه بیشتر آن را در شرایط مذکور فراهم کند. در همین راستا نقش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه شامل جاسمونیک اسید و ۲۴-ایپی براسینولید در افزایش محصول، کیفیت و تحمل شوری در سیاه‌دانه بررسی گردید. نتایج بدست‌آمده نشان داد که با افزایش سطح شوری، محصول، اجزای محصول، مقادیر کلروفیل و درصد روغن دانه کاهش و مقادیر پرولین و مالون دی‌آلدئید برگ و همچنین درصد اسانس دانه سیاه‌دانه افزایش یافت. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی نیز با تعدیل اثرهای تنش شوری منجر به افزایش وزن هزاردانه، مقادیر کلروفیل، شاخص‌های کیفی مانند درصد روغن و مقدار اسانس دانه و کاهش مقدار پرولین و مالون دی‌آلدئید برگ شد. طبق نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود برای فراهم کردن امکان کشت، تعدیل اثرهای تنش و حفظ کمیت و کیفیت سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه شامل جاسمونیک اسید و ۲۴-ایپی براسینولید به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل قبل از گلدهی و دوره پر شدن دانه استفاده شود.

منابع مورد استفاده

- Abd El-Wahab, M.A., 2006. The efficiency of using saline and fresh water irrigation as alternating methods of irrigation on the productivity of *Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* var. *vulgare* under north Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2: 571-579.
- Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. and Hernandez, J., 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. Agronomy, 7(18): 1-38.
- Akhyani, A., Rezaei, H. and Froumadi, M., 2009. Studying the effects of salt stress on yield and physiological characteristics of winter rapeseed in

- Ghorbanli, M., Ahmadi, F., Monfared, A. and Bakhshi Khaniki, Gh., 2012. Effect of salt stress and its interaction with ascorbate on catalase, ascorbate peroxidase activity, proline and malondialdehyde in *Cuminum cyminum* L. four weeks after germination. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28: 14-27.
- Gurung, R.L., Baskar, R. and Hande, M.P., 2010. Thymoquinone induces telomere shortening, DNA damage and apoptosis in human glioblastoma cells. Plos One, 5: e12124.
- Haghshenas, J. and Eskandari, M., 2011. Growth parameters and essential oil percentage changes of dill (*Anethum graveolens*) as affected by drought stress and use of 28-homobrassinolide. Journal of Plant Eco-Physiology, 3: 29-41.
- Harrathi, J., Hosni, K.N., Bouraoui, K., Attia, H. and Lachaal, M., 2011. Effect of salt stress on growth, fatty acids and essential oils in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Acta Physiologia Plantarum, 34: 129-37.
- Hassan, W.M., Almaghraby, O.A. and Sakr, M.M., 2008. Effect of sowing dates and vernalization on *beta vulgaris* cv univers growth, anatomy and some chemical components of the root. Agricultural Research Journal Suez Canal University, 8: 41-47.
- Heidari, M., 2010. Nucleic acid metabolism, prolin concentration and antioxidant enzymes activity in canola (*Brassica napus* L.) under salinity stress. Agricultural Science in China, 9: 504-511.
- Hu, T. and Zhang, Y., 2016. The tomato HDZip I transcription factor SIHZ24 modulates ascorbate accumulation through positive regulation of the D-mannose/L-galactose pathway. Plant Journal, 85: 16-29.
- Kamali, E., Shah Mohamadi Heydari, Z., Heydari, M. and Feyzi, M., 2011. Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on soil chemical characteristic, grain yield, yield components and cation accumulation in safflower in Esfehan. Iranian Journal of Field Crop Science, 42: 63-70.
- Khademian, R., Ghorbani Nohooji, M. and Asghari, B., 2019. Effect of jasmonic acid on physiological and phytochemical attributes and antioxidant enzymes activity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Water Deficient. Journal of Medicinal plants, 72: 122-135.
- Khalid, K.A. and Teixeira-Desilva, J.A., 2010. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. Scientia Horticulturae, 126: 297-305.
- Khalvandi, M., Ameriana, M., Pirdashti, H., Keramati, S. and Hosseini, J., 2019. Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. Industrial Crop Production, 127: 195-202.
- Biesaga, K.J., Dziurka, M. and Janeczko, A., 2014. BR improves content of antioxidants in seed of selected leguminous plants. Australian Journal of Crop Science, 8: 378-388.
- Bourgou, S., Bettaieb, I., Saidani, M. and Marzouk, B., 2010. Fatty acids, essential oil and phenolics modifications of black cumin fruit under NaCl stress conditions. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 58: 12399-12406.
- Chaparzadeh, N. and Hosseinzad-Behboud, E., 2015. Evidence for enhancement of salinity induced oxidative damages by salicylic acid in radish (*Raphanus sativus* L.). Journal of Plant Physiology and Breeding, 5: 23-33.
- El-Mashad, A.A. and Mohamed, H.I., 2012. Brassinolide alleviates salt stress and increases antioxidant activity of cowpea plants (*Vigna sinensis*). Protoplasma, 249: 625-635.
- Emami Bistgani, Z., Hashemi, M., Dacosta, M., Craker, L., Maggi, F. and Morshedloo, M.R., 2019. Effect of salinity stress on physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. Industrial Crops and Products, 135: 311-320.
- Ezz El-Din, A.A., Aziz, E.E., Hendawy, S.F. and Omer, E.A., 2009. Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress and alar (B₉) in newly reclaimed soil. Journal of Applied science research, 5: 2165-2170.
- Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., Khan, F.A. and Saud, S., 2015. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. Plant Growth Regulation, 75: 391-404.
- Farhanghi-Abriz, S. and Ghasemi-Golezani, K., 2018. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147: 1010-1016.
- Fazeli, A., Zarei, B. and Tahmasebi, Z., 2018. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Iranian Journal of Plant Biology, 9: 69-83.
- Ghassemi-Golezani, K. and Hosseinzadeh-Mahootchi, A., 2015. Improving physiological performance of safflower under salt stress by application of salicylic acid and jasmonic acid. Walia Journal, 31: 104-109.
- Ghassemi-Golezani, K., Hassanzadeh, N., Shakiba, M.R. and Esmailpour, B., 2020. Exogenous salicylic acid and 24-epi-brassinolide improve antioxidant capacity and secondary metabolites of *Brassica nigra*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 26: 101636.
- Ghavami, A. and Ramin, A., 2008. Grain yield and active substances of milk thistle as affected by soil salinity. Communications Soil Science and Plant Analysis, 39: 2608-2618.

- Salem, M.L., 2005. Immunomodulatory and therapeutic properties of the *Nigella sativa* L. seeds. *International Immuno Pharmacology*, 5: 1749-1770.
- Santos, C.V., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulture*, 103: 93-99.
- Seyyed Alikhani, N., Pazoki, A.R. and Sadeghipoor, O., 2016. Salicylic acid and jasmonic effects study on antioxidant sugar solution and proline, enzymes activities rates under salinity tension in Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) a pharmaceutical plant. *International Conference on research in science and technology*, Berlin, Germany, 15 November: 389-396.
- Seyyedi, S.M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M. and Shahandeh, H., 2015. The improving seed physiological aspects of black seed (*Nigella sativa* L.) in calcareous soil. The role of some indices related to qualitative yield and fatty acids composition. *Journal of Seed Science and Technology*, 5: 93-105.
- Shahid, S.A., Zaman, M. and Heng, L., 2018. Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem: 43-53. In: Zaman, M., Shahid, S.A. and Heng, L., (Eds.). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, 164p.
- Shannon, M.C., 1998. Adaptation of plants to salinity. *Advance in Agronomy*, 60: 75-119.
- Shrivastava, P. and Kumar, R., 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Science*, 22: 123-131.
- Siddiqui, M.H., Mohammad, F. and Al-Whaibi, M.H., 2011. Cumulative effect of nitrogen and sulphur on *Brassica juncea* L. genotypes under NaCl stress. *Protoplasma*, 249: 139-153.
- Soshinkova, T.N., Radyukina, N.L., Korolkova, D.V. and Nosov, A.V., 2013. Proline and functioning of the antioxidant system in *Thellungiella salsuginea* plants and cultured cells subjected to oxidative stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60: 41-54.
- Tabatabaei, S.J. and Nazari, J., 2007. Influence of nutrient concentrations and NaCl salinity on the growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31: 245-253.
- Tarakhovskaya, E.R., Maslov, Y.I. and Shishova, M.F., 2007. Phytohormones in algae. *Russian Journal of Plant Physiology*, 54: 163-170.
- Tawfik, A. and Noga, A., 2001. Priming of Cumin (*Cuminum cyminum*) seeds and its effects of
- Kheiry, A., Tori, H. and Mortazavi, N., 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(2): 268-280.
- Mahmoudi, Sh. and Hakimian, M., 2007. *Soil Science Principles*. Tehran University, 720p.
- Mamun, M.A. and Absar, N., 2018. Major nutritional composition of black cumin seeds cultivated in Bangladesh and physicochemical characteristics of its oil. *International Food Research Journal*, 25: 2634-2639.
- Marco, F., Bitrian, M., Carrasco, P. and Antonio, F.T., 2015. Genetic engineering strategies for abiotic stress tolerance in plants. *Plant Biology and Biotechnology*, 2: 579-610.
- Memelink, J., Verpoorte, R. and Kijne, J.W., 2001. Organization of jasmonate-responsive gene expression in alkaloid metabolism. *Trends in Plant Science*, 6: 212-219.
- Miranshahi, B. and Sayyari, M., 2016. methyl jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18: 1635-1645.
- Mohammadzadeh, M., Peyghamberi, S.A., Nabipoor, A. and Norouzi, M., 2010. Evaluating yield and morphological traits in salinity tolerant and sensitive genotypes in rice. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 6: 61-71.
- Nazarbeygi, E., Yazdi, H., Naseri, R. and Soleimani, R., 2011. The effects of different levels of salinity on proline and a, b chlorophylls in canola. *American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 1: 70-74.
- Noori, K., Amiri, H., Naghdi Badi, H., Torabi, H. and Ftoookian, M., 2012. Effects of soil and water salinity on flower yield, soluble components, minerals amount and essence quality of *Matricaria recutita* L. *Journal of Water Research in Agriculture*, 4: 367-378.
- Norouzpoor, Gh. and Rezvani Moghadam, P., 2005. Effect of different irrigation distances and plant density on oil yield and seed essence of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.). *Research Reconstruction in Agronomy Horticulture*, 73: 133-138.
- Peleg, Z. and Blumwald, E., 2011. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinions in Plant Biolog*, 14: 290-295.
- Piras, A., Rosa, A., Marongiu, B., Porcedda, S., Falconieri, D. and Koca, U., 2013. Chemical composition and in vitro bioactivity of the volatile and fixed oils of *Nigella sativa* L. extracted by supercritical carbon dioxide. *Industrial Crops and Products*, 46: 317-323.

- Yamane, K., Mitsuya, S., Taniguchi, M. and Miyake, H., 2012. Salt induced chloroplast protrusion is the process of exclusion of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase from chloroplasts into cytoplasm in leaves of rice. *Plant Cell Environment*, 35: 1663-1671.
- Zrig, A., Tounectia, T., Abdelgawad, H., Hegab, M.M., Oueled Alia, S. and Khemir, H., 2016. Essential oils, amino acid and polyphenols changes in salt stressed *Thymus vulgaris* exposed to open-field and shade enclosure. *Industrial Crop Production*, 91: 223-230.
- germination. *Journal of Applied Botany*, 75: 216-220.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. and Gasparikora, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize. *Plant Soil Environment*, 52: 186-191.
- Wu, Y., Jin, W., Liao, W., Hu, L., Dawuda, M.M., Zhao, X., Tang, Z., Gong, T. and Yu, J., 2018. 5-aminolevulinic acid (ala) alleviated salinity stress in cucumber seedlings by enhancing chlorophyll synthesis pathway. *Frontiers in Plant Science*, 9: 635- 648.

Effects of jasmonic acid and 24-epi brassinolid on quantitative and qualitative yield of *Nigella sativa* L. under salinity stress condition

A. Barghi^{1*} and A. Gholipouri²

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, E-mail: a_barghi@uma.ac.ir

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: April 2020

Revised: August 2020

Accepted: August 2020

Abstract

Salinity is one of the most common abiotic stresses, which causes a high decrease in crop production. Growth regulators play an important role in plant growth and development under normal and stress conditions. To study the effects of foliar application of jasmonic acid and 24-epibrassinolide on yield and yield components, oil and essential oil percentage and some physiological characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress conditions, a factorial experiment based on the randomized complete block design was conducted in the research greenhouse of Mohaghegh Ardabili University with three replications. The treatments included salinity at four levels (0, 5, 10 and, 15 ds.m⁻¹ NaCl) and plant growth regulators at three levels (control, 0.1 μmol 24-epibrassinolide, and 0.5 mmol jasmonic acid). Results of mean comparisons indicated that salinity stress decreased plant yield, number of seeds per capsule, number of capsules per plant, and seed oil percentage, while significantly increased 1000-seed weight and proline content. Growth regulators also increased 1000-seed weight and seed oil percentage and decreased proline content. Chlorophylls *a* and *b* contents of the leaves decreased with increasing salinity levels, and the use of jasmonic acid and 24-epibrassinolide increased their amounts at all salinity levels. Malondialdehyde content increased with increasing salinity levels, and plant growth regulators foliar spray decreased its content at all stress levels. Besides, the percentage of seed essential oil increased with increasing salinity levels and also with plant growth regulators application at all salinity levels. It is recommended to foliar spray the plant with 24-epibrassinolide and jasmonic acid growth regulators under salinity conditions to avoid stress damages and increase black cumin essential oil, which is a very important compound in the pharmaceutical industry, as well as to enhance seed oil percentage, 1000-seed weight, and photosynthetic pigments of black cumin.

Keywords: Essence, proline, plant growth regulators, Black Cumin (*Nigella sativa* L.), salinity.