علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره سوم/ ۱۴۰۳ (۹۳ - ۷۹)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8794

تاثیر محلول‌پاشی جلبک دریایی و تلقیح باکتری بر صفات مورفوفیزیولوژیک بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش شوری

فریبا وفاعهد[۱]، شیوا خالص رو[۲]*، فاطمه سفیدکن[۳]، بتول مهدوی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۱۲

چکیده

تنش شوری از عوامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. این پژوهش، به منظور مطالعه اثر تنش شوری و کودهای زیست- آلی بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبویه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیست-آلی (بایو-ارگانیک) در چهار سطح (شاهد، باکتری *Pseudomonas fluorescens*، جلبک دریایی *Sargassum boveanum*، جلبک *Sargassum boveanum* + باکتری *Pseudomonas fluorescens*) و شوری در چهار سطح (صفر، ۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰میلی‌مولار) بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۲ به اجرا در آمد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد کاربرد تلفیقی جلبک *Sargassum boveanum* و باکتری *Pseudomonas fluorescens*، موجب حصول بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیک از جمله ارتفاع بوته، طول و حجم ریشه، وزن خشک اندام هوایی و پروتئین کل گردید. با افزایش سطوح تنش شوری، کاهش معنی‌داری در صفات مذکور مشاهده گردید. کاربرد کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر میزان پرولین، کلروفیل و آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش شوری داشت. بر اساس نتایج این پژوهش، تیمار تلفیقی محلول‌پاشی جلبک دریایی *Sargassum boveanum* و تلقیح باکتری *Pseudomonas fluorescens* ضمن بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبویه و تعدیل اثر تنش شوری، می‌تواند گامی موثر در راستای دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم پراکسیداز، پرولین، *Pseudomonas*، کود زیستی، نعنائیان

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. f.vafaahd1395@gmail.com
۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. s.khalesro@yahoo.com
۳- استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. sefidkon@rifr-ac.ir
۴- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر، رفسنجان، ایران. b.mahdavi@vru.ac.ir
*نویسنده مسئول: s.khalesro@yahoo.com

مقدمه

کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها به طور بی‌رویه در سیستم‌های کشاورزی استفاده شده و منجر به از دست رفتن سلامت خاک و گیاه می‌شوند. از سوی دیگر، کودهای شیمیایی علاوه بر صرف هزینه بالای تولید، باعث آسیب رساندن به خاک، کاهش ظرفیت نگهداری آب و حاصلخیزی خاک، به هم خوردن تعادل تغذیه‌ای و آلوده شدن منابع آبی می‌گردند (Rahmani *et al*., 2023). از این رو، کاربرد راه‌کارهایی که امکان تولید محصولات را با مصرف حداقل مواد شیمیایی یا بدون استفاده از آن‌ها فراهم کند، ضروری می‌باشد. در این راستا گیاهان دارویی با نیاز پایین غذایی، گزینه مناسبی برای سیستم‌های تولید کم نهاده و ارگانیک هستند. گیاهان دارویی منابع طبیعی ارزشمندی هستند و به عنوان مواد اولیه جهت تبدیل به داروهای بی‌خطر برای انسان تلقی می‌شوند. ایران یکی از غنی‌ترین منابع گیاهان دارویی جهان به شمار می‌رود. کشور ایران خاستگاه گیاهان متنوعی است که بسیاری از این گیاهان به لحاظ خواص درمانی منحصر به‌فرد هستند (Ebadi *et al*., 2016). استفاده روز افزون از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد. در حال حاضر تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است (Rasool *et al*, 2020).

بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) گیاهی معطر و دارویی از خانواده Lamiaceae، بومی آسیای مرکزی است و در شمال آفریقا، شرق و مرکز اروپا، شمال شرق ایالات متحده و چین کشت می‌شود (Acimoyic *et al*., 2019). این گیاه در طب سنتی ایران استفاده می‌شود که دارای اثرات مقوی، آرام بخش و معرق، بهبود دهنده سیستم گوارشی و معده است. اسانس و عصاره آن به طور گسترده در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود

ترکیبات شیمیایی متعددی در اسانس بادرشبویه شناسایی شده است. عمده‌ترین ترکیبات اسانس آن عبارتند از: ژرانیال، ژرانیل استات و ژرانیول که مونوترپن هستند و در مرحله گلدهی بیش‌ترین مقادیر خود را دارا هستند. علاوه بر اسانس ارزشمند، این گیاه منبعی غنی از آنتی اکسیدان‌ها، فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، تانن‌ها و دی-ترپن است (Said Al-Ahl *et al*., 2015).

هر عاملی که مراحل متابولیکی طبیعی یک گیاه را متوقف یا محدود کند، تنش محسوب می‌شود. تنش‌های محیطی از عوامل اصلی کاهنده رشد و نمو و عملکرد گیاهان و بروز اختلالات متابولیسمی درسلول‌های گیاهی به شمار می‌آیند. تنش‌های محیطی شامل تنش‌های زیستی و غیر زیستی، تهدیدهای جدی برای محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند. در میان تنش‌های غیرزیستی، شوری یکی از عوامل بسیار تاثیرگذار است که می‌تواند بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه تأثیر بگذارد (Motamedi and Naserirad, 2011). شوری می‌تواند رشد گیاه را از طریق سمیت یونی (Na^+ و Cl^-)، استرس اسمزی و اکسیداتیو، تخریب رنگدانه و مهار فتوسنتز، تغییر مسیرهای متابولیک، تغییر شکل سلولی و سمیت ژنتیکی مهار کند (Hasanuzzaman *et al*., 2020). در ایران نیز شوری خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در بخش‌های جنوبی است (Miri Kondori *et al*., 2014). نتایج مطالعه‌ای درباره اثرات تنش شوری بر رشد و فعالیت فتوسنتزی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نشان داد شوری، باعث کاهش رشد گیاه ریحان شد به طوری که ارتفاع بوته‌ها ۲۲ درصد و طول ریشه ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (Jadczak *et al*., 2021). پژوهش دیگری با هدف بررسی برخی صفات فیزیولوژیکی در اکوتیپ‌های گیاه بادرشبویه تحت تنش شوری انجام شده است. نتایج مطالعه نشان داد تنش شوری، غلظت کلروفیل کل، کلروفیل a و b را کاهش داد (Golestani, 2021). بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان پرولین هشت توده بومی شنبلیله (*Trigonella foenum - graecum* L.) نشان داد که تنش شوری تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیک از جمله ارتفاع بوته، تعداد گره و فاصله میانگره، وزن خشک و تازه میوه، وزن خشک ریشه در شرایط تنش شوری داشت. به طوری که در سطح شوری بالاتر صفات مذکور کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشتند (Farhadi *et al*., 2014).

برای کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری، می‌توان از راهکارهای با منشا طبیعی و سازگار با محیط زیست استفاده نمود. ریزوباکترهای محرک رشد گیاهی (PGPR)، می‌تواند در این زمینه مفید واقع گردند (Olanrewaju *et al*., 2017). میکروارگانیسم‌های مذکور

سبب بهبود عملکرد محصول، افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش تنوع زیستی، ارتباط با سایر میکروارگانیسم‌های مفید، و مقاومت در برابر تنش‌ها و عوامل بیماریزا می‌شوند (Vázquez *et al*., 2020). علاوه بر این با تولید انواع هورمون‌های گیاهی به گیاه برای توسعه سطح برگ، گسترش ریشه و افزایش جذب مواد مغذی کمک می‌کنند (Senthilraja *et al*., 2010). به عبارت دیگر، این باکتری ها از راه‌های گوناگون مانند تولید هورمون‌ها، افزایش رهاسازی عناصر غذایی، تولید آنزیم ACCD[1]، تثبیت بیولوژیک نیتروژن و انحلال ترکیب‌های نامحلول فسفر و روی، سبب افزایش جذب عناصر غذایی شده و تحمل گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی (شوری، خشکی و سرما) افزایش می‌دهند (Bumandalai and Tserennadmid., 2019). جنس *Pseudomonas* با بیش از صد گونه مختلف، یکی از متنوع‌ترین باکتری‌های جهان محسوب می‌شود (Hesse *et al*., 2018). باکتری *Pseudomonas* به زیر کلاس گاما پروتئوباکتری‌ها تعلق دارد و توانایی رشد در محیط‌های مختلف، از جمله اکوسیستم‌های آب شیرین، زمینی و دریایی را دارد (Selvakumar *et al*., 2015). این باکتری با حضور فعال در ریزوسفر نقش مهمی در کلونیزاسیون بهتر ریشه، تولید آنزیم و متابولیت، حل شدن مواد مغذی، تولید اسید ایندول استیک (IAA) و سیدروفور، ایفا می‌کند (Battacharyya *et al*., 2015). نتایج پژوهشی نشان داد که وزن خشک قسمت‌های سطحی و زیرزمینی گیاهان در پاسخ به تلقیح ریزوباکتریوم افزایش یافت (Gurbanpour *et al*., 2013).

امروزه یکی از منابع جدید برای بهبود پایداری تولید، جلبک‌های دریایی می باشند. جلبک‌های دریایی دارای تنوع و فراوانی بسیار زیادی هستند. جلبک‌های دریایی علاوه بر عناصر ریزمغذی مانند آهن، کبالت، منیزیم، مولیبدن، روی و نیکل دارای ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه نیز می‌باشد (Kiruthika *et al*., 2022). این ترکیبات اثرات مفید متعددی را در گیاهان ایجاد می‌کنند که می‌توان به افزایش جوانه زنی و استقرار بذر، رشد و بهره‌وری کلی گیاه، مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی و افزایش ماندگاری پس از برداشت اشاره نمود. عصاره جلبک دریایی به عنوان یک فعال کننده تقسیم سلولی نقش دارد و سبب افزایش سطح آنتی اکسیدان‌ها برای محافظت در برابر تنش می‌شود (Battacharyya *et al*., 2015). مطالعات متعددی در مورد اثرات مفید عصاره جلبک دریایی بر گیاهان انجام شده که نشان دهنده افزایش رشد، عملکرد و بهره‌وری محصولات است. پژوهشگران گزارش کردند که محلول‌پاشی جلبک دریایی، موجب افزایش رشد رویشی در گیاه شوید گردید (Nasiroleslami and Safaridolatabad, 2014). تأثیر عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در شرایط تنش کم آبی نشان داد کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد (Esmaielpour *et al*., 2019). بررسی تاثیر سطوح مختلف کود آلی جلبک دریایی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی مرزه (*Sature hortensis* L.) حاکی از آن بود که بیش‌ترین ارتفاع بوته، درصد و عملکرد اسانس مربوط به تیمار پنج میلی‌لیتر کود جلبک دریایی بود (Rezaei *et al*., 2018).

با توجه به این که بادرشبویه یکی از گیاهان دارویی و معطر مهم با کاربردهای مختلف است، و تولید آن تحت تاثیر شوری کاهش می‌یابد؛ هدف این پژوهش ارزیابی واکنش گیاه بادرشبویه در شرایط تنش شوری به محلول-پاشی عصاره جلبک دریایی *Sargassum boveanum* و تلقیح باکتری *Pseudomonas fluorescens* با بذر آن بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی گیاه دارویی بادرشبویه در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیست-آلی در چهار سطح (شاهد، باکتری *pseudomonas fluorescens*، جلبک دریایی *Sargassum boveanum* و تلفیقی جلبک دریایی *argassum boveanum*+ باکتری *Pseudomonas fluorescens*) و تنش شوری در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) بود. قبل از کاشت، بذرهای گیاه با

[2]Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase

باکتری تلقیح شدند. باکتری از شرکت دایان (خوشه پروران زیست فناور) تهیه و جلبک دریایی از نواحی جزر و مدی سواحل خلیج فارس در استان بوشهر جمع‌آوری گردید. جلبک‌ها با استفاده از کلید استاندارد طبقه‌بندی شناسایی شدند.

تهیه عصاره جلبک: ابتدا ۱/۲۵ گرم از پودر جلبک جهت تهیه عصاره جلبک دریایی در ۲۵ سی سی آب حل شد. سپس، ۲۵ سی سی محلول در دمای ۴ درجه سلسیوس، به هم زده شد و پس از صاف شدن با کاغذ صافی، مورد استفاده قرار گرفت.

کاشت گیاهان و اعمال تنش شوری: در این پژوهش، برای کاشت گیاهان ابتدا گلدان‌ها با پرلیت و کوکوپیت (۲:۱) پر و ۱۵ عدد از بذور بادرشبویه در گلدان‌های با قطر ۲۰ سانتی متر کشت شدند. پس از ظهور برگ‌های اولیه، تعداد گیاهان به پنج عدد تقلیل یافت. سپس تنش شوری اعمال گردید. در طول مدت زمان تنش، هر پنج روز یک بار آبشویی کامل محیط ریشه گیاهان با آب معمولی بدون تنش شوری انجام گرفت تا تغییرات EC و pH در اثر آبشویی به حداقل برسد. غلظت‌های شوری مورد نظر با استفاده از کلرید سدیم در محلول غذایی هوگلند تهیه و به گلدان‌ها اضافه شد. برای غلظت صفر میلی مولار (شاهد بدون تنش) از محلول هوگلند استفاده شد. غلظت ۱/۵ درصد جلبک نیز بر اساس میزان آب مصرفی تهیه و سپس با سمپاش دستی، تمام سطح برگ تیمارهای مورد نظر محلول‌پاشی شدند و برای تیمار شاهد نیز محلول‌پاشی با آب مقطر صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی با جلبک، چهار روز بعد از تنش و محلول‌پاشی‌های بعدی با فاصله ۱۴ روز بعد از اولین محلول‌پاشی انجام گرفت. گیاهان در مرحله آغاز گلدهی برداشت شدند.

اندازه‌گیری صفات: پس از برداشت، صفات مورفولوژیک از جمله طول ریشه، ارتفاع بوته، حجم ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ۲۴ ساعت بعد از آخرین محلول‌پاشی، نمونه برگی از گیاه تهیه شد و در دمای ۸۰- درجه سلسیوس تا زمان اندازه گیری صفات نگهداری شدند. سپس صفات فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پرولین: برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۵ گرم بافت تازه برگ درون هاون چینی خرد شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به آن اضافه گردید و نمونه درون یخ قرار داده شد. سپس به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده درون میکروتیوب ریخته شد و ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده گردید. سپس در حمام آب گرم به مدت ۱ ساعت حرارت داده شدند و بعد درون حمام یخ قرار گرفتند. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه گردید و سپس به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. مقدار جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد. نتایج بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر گزارش گردید (Bates *et al*., 1973).

مالون دی آلدئید: پس از خرد شدن ۰/۵ گرم نمونه برگ تازه در هاون چینی، ۵ میلی لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار به آن اضافه گردید. نمونه به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱ میلی‌لیتر از محلول حاصل پس از سانتریفیوژ، ۱ میلی‌لیتر محلول نیم درصد اسید تیوباربیتیوریک که حاوی اسید تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد بود، اضافه گردید. مخلوط در حمام آب داغ با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. مخلوط سرد شده با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب مخلوط به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد و نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Davey *et al*., 2005).

پروتئین کل: برای استخراج عصاره پروتئینی به ۰/۰۵ گرم نمونه خشک گیاهی ۴ میلی‌لیتر از بافر تریس اسید کلریدریک اضافه شد و بعد به مدت ۲۰ دقیقه ورتکس گردید. سپس با سرعت ۵۰۰ دور دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ انجام شد و فاز بالایی حاوی پروتئین کل جدا گردید. سپس به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی از هر نمونه، ۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه شد و پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه ورتکس گردید. میزان جذب مخلوط به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه گیری شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد. نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Bradford, 1976).

کلروفیل: برای اندازه‌گیری کلروفیل، ۱۰ گرم بافت تازه برگ با استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها با

سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقادیر کلروفیل در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و نتایج بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد (Arnon, 1949).

آنزیم پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج به حمام یخ افزوده شد. بافر استخراج شامل بافر تریس ۱۰۰ میلی مولار، پراکسید هیدرون ۵ میلی مولار و پیروگالل ۱۰ میلی مولار بود. منحنی تغییرات جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت گردید. فعالیت آنزیم بر حسب واحد در میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی گزارش گردید (Kar and Mishra, 1975).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS (Ver.9.4) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ترکیبات زیست-آلی و شوری بر صفت ارتفاع بوته بادرشبویه معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین ارتفاع بوته بادرشبویه تحت تاثیر کودهای زیست-آلی مربوط به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک بود که میزان این صفت را نسبت به تیمار شاهد ۲۴/۷ درصدافزایش داد (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته بادرشبویه تحت تاثیر شوری به ترتیب به تیمار شاهد و تیمار تنش شوری در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار اختصاص داشت (جدول ۲). باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات از راه افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم مصرف، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان میزبان می‌شوند (Naseri *et al*., 2022). علاوه بر این از طریق ساز و کارهای مختلفی از جمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌گردند (Farman *et al*., 2020). سایرمحققین گزارش کرده‌اند که کود جلبک دریایی می تواند سبب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک شده و همین مسئله سبب افزایش رشد رویشی و عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌شود (Saa *et al*., 2015). بنابراین به نظر می‌رسد کودهای زیست-آلی باکتری و جلبک دریایی با تقویت اثرات مثبت یکدیگر، نقش مهمی در افزایش ارتفاع بادرشبویه ایفا کرده‌اند. نتایج پژوهش دیگری نشان داد افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی توسط کودهای زیستی و در نتیجه تحریک رشد رویشی، سبب افزایش ارتفاع بوته مرزه گردید (Zare *at al*., 2013) که مؤید نتایج تحقیق حاضر است.

شوری، فاکتوری محیطی است که تمام مراحل رشد و نمو گیاه را کم و بیش تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان در مقابله با شوری، تغییرات مورفولوژیکی بسیاری مانند کاهش ارتفاع و وزن خشک از خود نشان می‌دهند (Shultana *et al*., 2020). کاهش رشد و عملکرد بستگی به غلظت نمک دارد. هرچه غلظت نمک افزایش یابد کاهش رشد چشمگیرتر است که در نتایج حاصل از این آزمایش نیز مشاهده گردید. به نظر می‌رسد کاهش رشد به دلیل افت انرژی ذخیره‌ای گیاه است که به علت اختلال در فعالیت های زیستی و متابولیسمی گیاه به وجود می‌آید. هم چنین شوری، سبب بسته شدن روزنه‌ها و درنتیجه کاهش جذب CO_2 می‌شود و این کاهش، موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌گردد. علاوه بر این شوری با کاهش سنتز تحریک کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (Shultana *et al*., 2020). در واقع کاهش ارتفاع گیاه براثر شوری می‌تواند یک راهکار مناسب برای مقابله با شوری باشد. شوری از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک منجر به جذب آب و در نتیجه کاهش تقسیم سلولی، طویل شدن و تمایز سلولی و درنتیجه کاهش طول ساقه می‌گردد. علاوه بر این کاهش ارتفاع بوته احتمالا به علت عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و اختصاص بیش‌تر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه و نیز مکانیسم‌های فرار از تنش می‌باشد که منجر به اختلال در توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Emaratpardaz *et al*., 2016).

طول ریشه

کود و شوری تاثیر معنی‌داری بر صفت طول ریشه داشتند (جدول ۱). در ارتباط با کودهای زیست-آلی،

بیش‌ترین مقدار این صفت به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک و کم‌ترین آن به تیمار شاهد اختصاص داشت. اما کاربرد شوری سبب کاهش معنی‌دار طول ریشه گردید به طوری‌که غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار، طول ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱۲/۳، ۱۶/۱ و ۴۲/۴ درصد کاهش دادند (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک بادرشبویه تحت تاثیر تنش شوری و کودهای زیست-آلی

Table 1. ANOVA of morphological traits of dragonhead affected by salinity stress and bio-organic fertilizers

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean squares ارتفاع بوته Plant height	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of aerial parts
بلوک Block	3	12.73^{ns}	3.47^{ns}	1.23 ^{ns}	1.59^{ns}
کودهای زیست-آلی Bio-organic fertilizers (B)	3	234.22**	12.36**	15.67**	6.31**
تنش شوری (S) Salinity stress	3	256.31**	22.14**	26.49**	32.25**
کود زیست آلی× تنش شوری S×B	9	13.24^{ns}	1.92^{ns}	1.78^{ns}	2.11^{ns}
خطا Error	45	15.07	2.72	1.30	1.34
ضریب تغییرات CV (%)		14.11	4.12	7.31	7.64

ns، *و **به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

در مطالعات دیگری بیان شده است کاربرد کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد تولید ریشه‌های بلندتر، تارهای کشنده طویل‌تر و انشعابات ریشه فرعی بیش‌تری را در گیاه بادام داشته است (Saa *et al*., 2015). کودهای زیستی سبب افزایش سطح جذب ریشه و طول آن می‌شوند و با آزادسازی اسیدها در محیط ریزوسفر، قابلیت دسترسی به عناصر را برای گیاه افزایش می‌دهند (Hamidi *et al*., 2002). در محیط‌های شور علاوه بر اینکه سلول‌های ریشه آب مورد نیاز را از محیط به دست نمی آورند بلکه جذب برخی از مواد معدنی نامحلول در آب توسط گیاه نیز کاهش یافته و رشد و نمو گیاه به دلیل ایجاد نقص در متابولیسم مهار می‌شود. همچنین با تغییر در نفوذپذیری غشاء و تجمع یون‌ها، متابولیسم را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بنابراین به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک در اثر تنش شوری، جذب آب کاهش و در نتیجه روزنه‌ها بسته شده و میزان تنفس و فتوسنتزکاهش می‌یابد که کاهش رشد گیاه را به دنبال دارد (Saeidinia, 2020). افزایش تنش شوری باعث افزایش تنفس گیاه شده زیرا مقدار زیادی از محلول خارجی که وارد سلول‌های ریشه می‌شود، احتمالا دوباره از طریق ناقل‌های غشای پلاسمایی به بیرون بازگردانده می شود این فرآیند احتمالا انرژی زیادی مصرف می‌کند و کاهش رشد ریشه را در پی خواهد داشت (Parihar *et al*., 2015).

حجم ریشه

اثرات اصلی کود و شوری بر حجم ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۱). کاربرد کودهای زیست-آلی سبب افزایش معنی-دار حجم ریشه شد و بیش‌ترین مقدار آن به تیمار تلفیقی باکتری+جلبک اختصاص داشت. تیمارهای جداگانه باکتری و جلبک نیز، حجم ریشه را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴۷/۷ و ۳۶/۴ درصد افزایش دادند. در ارتباط با شوری نیز با افزایش غلظت این تیمار، حجم ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲).

سویه‌های PGPR قادرند از طریق دخالت در غلظت فیتوهورمون‌های شناخته شده، رشد و نمو گیاهان را افزایش دهند (Hamidi *et al*., 2007). این فیتوهورمون‌ها روی الگوی رشد ریشه گیاه تأثیر گذاشته و باعث تولید ریشه‌هایبا حجم و وزن بیش‌تر می‌گردد بنابراین تیمار گیاهان با کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد که مولد تنظیم کننده‌های رشدی هستند می‌تواند روشی ممکن جهت بهبود خصوصیات مورفولوژیک گیاه باشد (Saghafi *et al*., 2013). در مطالعه‌ای در رابطه با دو گونه نعنا فلفلی گزارش شد که با افزایش سطح شوری، حجم و وزن ریشه و ساقه در هر دو گونه کاهش یافت (Vatankhah *et al*., 2017). عامل اصلی کاهش حجم

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات کودهای زیست-آلی و تنش شوری بر صفات بادرشبویه

Table 2. Mean Comparison of bio-organic fertilizers and salinity stress effects on dragonhead traits

تیمارها Treatments	سطوح Levels	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	وزن خشک اندام هوایی dry weight of aerial parts (g)	پروتئین کل Total Protein (mg g^{-1} FW)
کودهای زیست-آلی Bio-organic fertilizer	شاهد Control	31.48^{c}	11.14^{c}	2.58^{c}	14.82^{c}	1.85^{c}
	باکتری bacteria	34.18^{b}	13.21^{b}	3.81^{b}	16.21^{b}	1.98^{b}
	جلبک Algae	35.67^{b}	13.84^{a}	3.52^{b}	15.98^{b}	1.98^{b}
	جلبک+ باکتری Algae + bacteria	39.24^{a}	14.81^{a}	4.93^{a}	17.71^{a}	2.19^{a}
تنش شوری Salinity stress	شاهد Control	32.12^{a}	11.62^{a}	2.30^{a}	14.24^{a}	1.81^{a}
	۵۰ میلی‌مولار 50 mM	28.01^{b}	10.35^{b}	2.25^{b}	12.38^{b}	1.52^{b}
	۱۰۰ میلی‌مولار 100 mM	24.56^{c}	10.02^{b}	2.16^{c}	11.52^{b}	1.36^{c}
	۱۵۰ میلی‌مولار 150 mM	22.28^{c}	8.16^{c}	1.08^{d}	9.63^{d}	1.11^{d}

میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level

ریشه در طول تنش، تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا ROS بوده و در طول تنش شوری، افزایش مقادیر ROS موجب اختلال در سیستم انتقال الکترون شده و فعالیت‌های آنتی اکسیدانی در کلروپلاست و میتوکندری را کاهش می‌دهد (Ma *et al*., 2017).

وزن خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کود و شوری بر وزن خشک اندام هوایی بادرشبویه معنی‌دار بود و اثر متقابل آن-ها بر صفت مذکور، معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک اندم هوایی به ترتیب مربوط به تیمارتلفیقی باکتری + جلبک و تیمار شاهد بود. در ارتباط با تیمار شوری، کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی به به تیمار تنش در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار اختصاص داشت (جدول ۲). در آزمایشی بر روی گیاه بامیه عصاره طبیعی جلبک دریایی توانست قدرت رویشی جوانه‌ها را افزایش دهد و همین عامل توانست سبب افزایش وزن تر گیاه شود، این احتمال وجود دارد که اثرات مفید و متعدد کاربرد عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود اثرات سینرژیک فیتوهورمون‌هایی مانند سیتوکنین‌ها، اکسین‌ها و پلی‌آمین‌ها باشد (Papenfus *et al*., 2013). نتایج مطالعه دیگری نشان داد بیش‌ترین عملکرد رازیانه با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی حاصل شد که نسبت به شاهد ۳۹/۹ افزایش یافته بود (Nasiri *et al*., 2021). شوری با کاهش تقسیم سلولی منجر به کاهش طول ساقه‌چه و به دنبال آن کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک در گیاهان می‌گردد (Parihar *et al*., 2015). نتیجه تحقیقی نشان داد که تنش شوری باعث کاهش اتفاع گیاه، قطر ساقه و همچنین وزن خشک برگ و سرشاخه گلدار، ریشه و ساقه در گیاه مرزه می‌شود (Saeidinia *et al*., 2023). با افزایش غلظت املاح به دلیل افزایش فشار اسمزی محلول خاک، جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه کاهش می‌یابد و منجر به کاهش سرعت رشد گیاه می‌شود و نهایتا وزن خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد (Parihar *et al*., 2015). همچنین به نظر می‌رسد تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، سبب کاهش رشد سلول می شود. علاوه بر این، موارد مذکور سبب کاهش کربوهیدرات تولیدی و درنتیجه کاهش رشد اجزای مختلف گیاه شده که درنهایت سبب کاهش وزن خشک می‌شود (Iraji and Mareshk , 2020).

پروتئین کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد اثرات اصلی کود و شوری بر صفت پروتئین کل معنی‌دار بود (جدول ۳). از نظر کودهای زیست- آلی، تیمار تلفیقی باکتری+جلبک بالاترین مقدار این صفت را به خود اختصاص داد و از نظر شوری در تیمار شاهد، بیش‌ترین پروتئین کل مشاهده گردید (جدول ۲). محتوای سیتوکینین عصاره جلبک دریایی باعث افزایش تقسیم سلولی و افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود که به معنی افزایش محتوای پروتئین است در واقع تیمار عصاره جلبک دریایی، فعالیت فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد، که بر متابولیسم پروتئین تأثیر می‌گذارد (Gupta *et al*., 2021). در گیاهی که در شرایط تنش قرار دارد، سنتز پروتئین متوقف شده و تجزیه آن تسریع می

شود. به دنبال تنش شوری، تنش‌های ثانویه مانند استرس اکسیداتیو نیز رخ می‌دهد که از طریق آن تولید و تجمع رادیکال‌های واکنشی منجر به اکسیداسیون پروتئین‌ها، لیپیدها و در نهایت مرگ سلولی می‌شود (Mozni and Amiri, 2013).

مالون دی آلدئید، پرولین و کلروفیل کل

نتایج نشان داد اثر شوری بر صفت مالون دی آلدئید و پرولین معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر اصلی کود و اثر متقابل کود و شوری بر میزان پرولین بادرشبویه معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش شدت تنش شوری، مقدار مالون دی آلدئید افزایش یافت؛ به طوری‌که بیش‌ترین مقدار مالون دی آلدئید بادرشبویه متعلق به بالاترین سطح تنش شوری بود (شکل ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پرولین بادرشبویه به ترتیب مربوط به تیمار بالاترین غلظت شوری بدون کاربرد کود زیستی و تیمار شاهد بود (شکل ۲). افزایش پرولین توسط باکتری‌های محرک رشد ممکن است به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن باشد، زیرا پرولین دارای ساختار نیتروژنی می‌باشد (Gusain *et al*., 2015). پژوهشگران گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد، سبب افزایش میزان پرولین در گیاهان تحت تنش می‌گردد (Zafari *et al*., 2016)، که با نتایج به دست آمده در این تحقیق همخوانی دارد. پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده تنظیم اسمزی می باشد. تجمع پرولین با افزایش شوری و افزایش فشار اسمزی درون سلولی، خود یکی از سازوکارهای مقاومت به شوری می‌باشد. چون در گیاهان، در واکنش به نمک و تنش خشکی، پرولین تجمع می‌یابد. احتمالا ساخت پرولین در گیاه باید در نتیجه واکنش غیراختصاصی به پتانسیل آب کم باشد. همچنین اختصاص کربن بیش‌تر در ساختار مواد آلی و مواد مؤثر در تنظیم اسمزی، از جمله پرولین، نیز می‌تواند باعث کاهش رشد شود (Molazem *et al*., 2015). بنابراین سنتز بیش‌تر پرولین توسط گیاه بادرشبویه در اثر افزایش شوری، ممکن است یکی از عوامل کاهش دهنده رشد این گیاه تحت چنین شرایطی باشد که با نتایج پژوهش دیگری مبنی بر افزایش محتوی پرولین گیاه مرزه خوزستانی در اثر تنش شوری مطابقت دارد (Mozni and Amiri, 2013).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل کود و شوری بر کلروفیل کل بادرشبویه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کلروفیل (۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک در شرایط بدون تنش و کم‌ترین میزان آن (۰/۵۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر) به تیمار تلفیقی در غلظت ۱۵۰ میلی مولار شوری تعلق داشت (شکل ۳). سست شدن اتصالات کلروفیل با پروتئین‌های مرتبط، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و افزایش تنظیم کننده‌های استرس مانند اسید آبسیزیک و اتیلن باعث کاهش کلروفیل در شرایط شوری می‌شود (Orabi *et al*., 2010). پژوهشگران گزارش کردند که تنش شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل در شنبلیله می‌گردد (Naseri *et al*., 2015). محققین دیگر ذکر کرده‌اند کاهش پروتئین های سلولی تحت تنش، افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، کاهش فعالیت آنزیم‌های کربوکسیلاز و بسته شدن روزنه‌ها به عنوان فاکتورهای موثر کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش هستند (Delshadi *et al*., 2017). از صدمات اکسیداتیو مهمی که در شرایط تنش‌های خشکی و شوری ایجاد می‌شود، تخریب مولکول کلروفیل است. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، تحت تاثیرتنش ممکن است ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی کلروفیل‌های b و a که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست، رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Sanjary *et al*., 2015). از دلایل افزایش محتوای کلروفیل گیاهان تحت تأثیر کود زیستی جلبک دریایی، وجود هورمون‌های رشد اکسیین، جیبرلین و سایتوکنین، بتائین، اسیدهای آمینه و همچنین مقادیری از عناصر غذایی می‌تواند باشد که در افزایش میزان کلروفیل گیاه تاثیر بسیاری دارند (Sarabi *et al*., 2017) همچنین گزارش شده است که وجود بتائین در عصاره جلبک نیز از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کند. یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری می‌تواند رقابت آنزیم گلوتامین کیناز با آنزیم گلوتامات لیگاز در طول تنش شوری باشد که باعث مصرف بیش‌تر گلوتامات (یعنی پیش‌ساز کلروفیل و پرولین) در مسیرهای تولید پرولین می‌شود. این

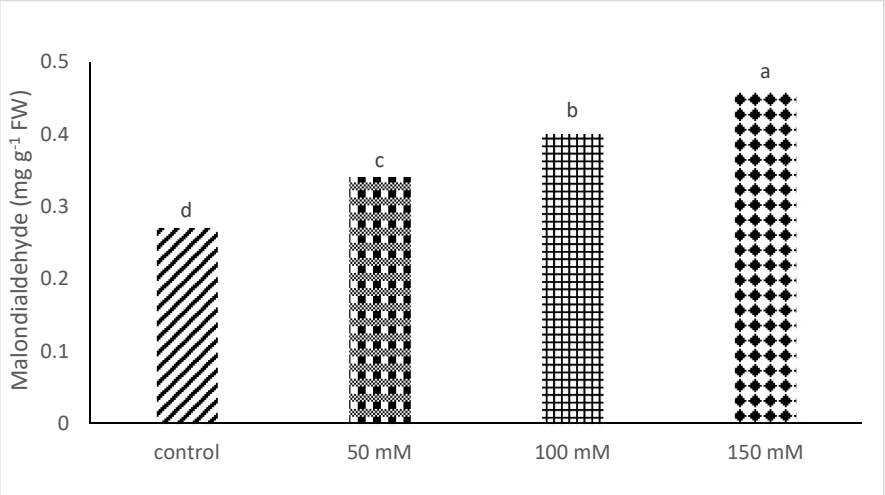
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی بادرشبویه تحت تأثیر تنش شوری و کودهای زیست-آلی

Table 3. ANOVA of physiological traits of dragonhead affected by salinity stress and bio-organic fertilizers

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean squares: پروتئین کل Total protein	مالون دی آلدئید Malondialdehyde	آنزیم پراکسیداز Peroxidase enzyme	پرولین Proline	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Block	3	8.59**	0.016 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.662 ^{ns}	0.053 ^{ns}
کود زیست-آلی Bio-organic fertilizers (B)	3	27.14**	0.024 ^{ns}	4.216**	31.020**	0.533**
تنش شوری Salinity stress (S)	3	109.55**	0.102**	16.619**	94.610**	0.570**
کود زیست-آلی×تنش شوری B×S	9	1.84^{ns}	0.030^{ns}	0.333**	1.459**	0.170**
خطا Error	45	1.31	0.011	0.015	0.147	0.022
ضریب تغییرات CV (%)		2.45	10.73	5.83	3.84	4.49

میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level

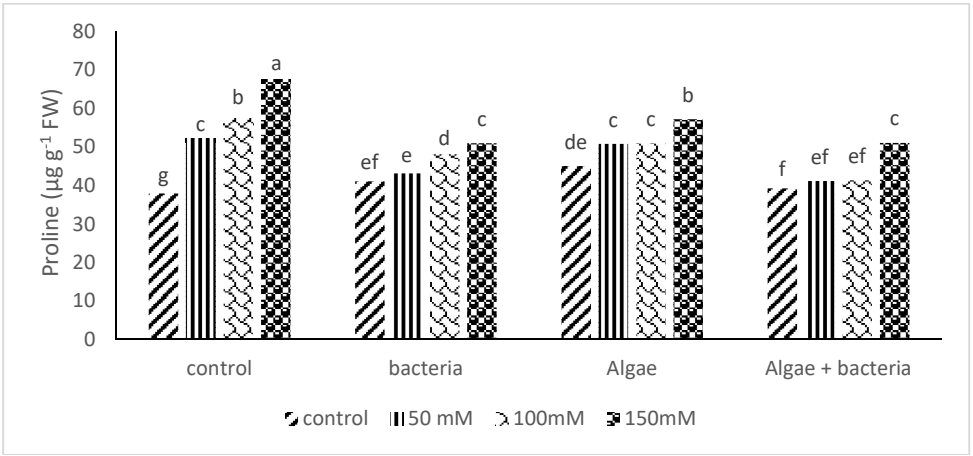


شکل ۱- اثر تنش شوری بر مالون دی آلدئید بادرشبویه

Figure 1. The effect of salinity stress on the malondialdehyde in dragonhead

میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level.

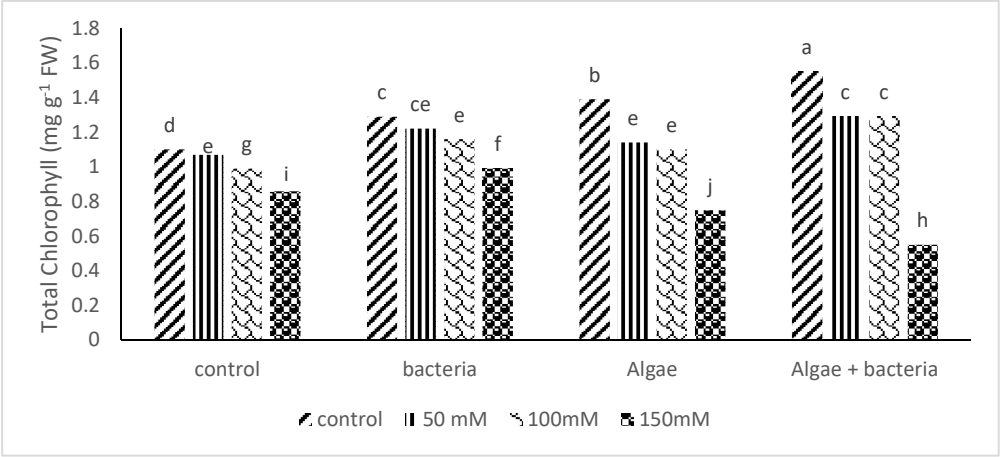


شکل ۲- اثرمتقابل تنش شوری و کودهای زیست-آلی بر پرولین بادرشبویه

Figure 2. The interaction effect of salinity stress and bio-organic fertilizers on the proline in dragonhead

میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level.



شکل۳- اثر متقابل تنش شوری و کودهای زیست-آلی بر کلروفیل کل بادرشبویه

Figure 3. The interaction effect of salinity stress and bio-organic fertilizers on the chlorophyll in dragonhead

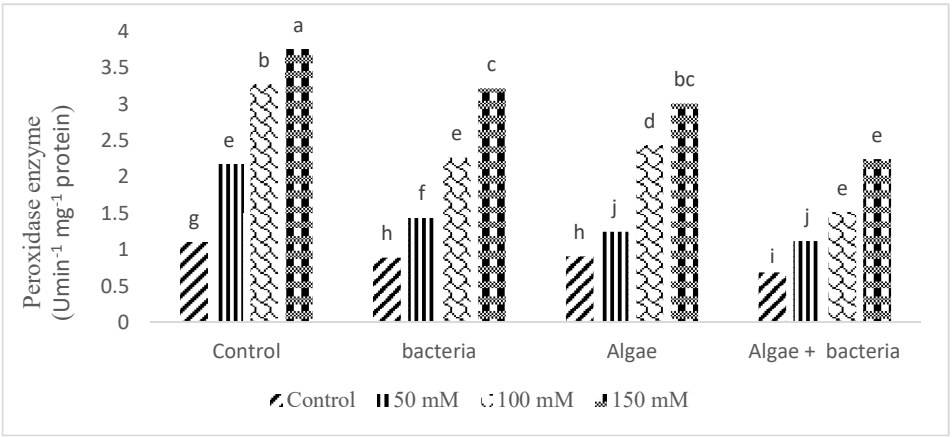
میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level.

امر در واقع منجر به بیوسنتز محدود کلروفیل می‌شود (Bybordi *et al*., 2010).

آنزیم پراکسیداز

اثر متقابل کود و شوری بر آنزیم پراکسیداز بادرشبویه معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطوح تنش شوری، میزان این صفت به طور معنی‌داری افزایش داشت؛ به طوری که بیش‌ترین مقدار آنزیم پراکسیداز از تیمار بدون کود زیستی تحت بالاترین سطح تنش شوری به دست آمد و کم‌ترین مقدار آن نیز به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک و بدون تنش شوری تعلق داشت (شکل ۴). در شرایط تنش های محیطی نظیر خشکی و شوری فعالیت پراکسیدازها نسبت به شاهد افزایش می‌یابد و میزان این افزایش در گونه های مقاوم بیش‌تر بوده و شاخص پایداری کلروفیل بیش‌تری داشته و خسارت وارده بر غشای سلولی آن‌ها نیز کم‌تر می‌باشد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که هنگام وقوع تنش شوری، فعالیت بیش‌تر پراکسیدازها تا حد امکان از اثرات زیانبار انواع رادیکال‌های آزاد بر غشای سلولی جلوگیری می‌کند (Pandey *et al*., 2017). محققان زیادی افزایش فعالیت پراکسیدازها را تحت تنش‌های محیطی گزارش داده‌اند (Choudhury *et al*., 2017). کودهای زیستی اثر تنش‌های محیطی را از طریق افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز به عنوان بخشی از مکانیسم دفاعی گیاه کاهش می‌دهند؛ زیرا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی



شکل۴- اثر متقابل تنش شوری وکودهای زیست-آلی بر آنزیم پراکسیداز در بادرشبویه

Figure 4. The interaction effect of salinity stress and bio-organic fertilizers on the peroxidase enzyme in dragonhead

میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on the LSD test at the $p \leq 0.05$ level.

می‌تواند به عنوان مکانیسم دفاعی گیاه جهت کاهش آسیب‌های اکسیداتیو باشد. بنابراین تغییر فعالیت آنزیم پراکسیداز به عنوان یک مکانیسم حمایتی برای حذف سوپراکسیدها و هیدروژن پراکسیدها می‌تواند محسوب شود و در نتیجه گیاه میزان پراکسیداز بیش‌تری تولید کند (Kumari *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که کودهای زیست-آلی تاثیر مثبتی بر صفات مورفوفیزیولوژیک بادرشبویه داشتند. باکتری *Pseudomonas fluorescens* و جلبک دریایی *Sargassum boveanum*، اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک اندام هوایی و پروتئین کل در این پژوهش داشتند. به طوری که کاربرد تلفیقی کودهای زیست-آلی جلبک + باکتری، موجب حصول بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیک در گیاه دارویی بادرشبویه گردید؛ اما با افزایش سطوح تنش شوری، صفات نامبرده کاهش یافتند. کودهای زیست- آلی توانستند صفات پرولین، کلروفیل و آنزیم پراکسیداز را در شرایط تنش شوری تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین می‌توان گفت برای کاهش اثرات تنش شوری، استفاده از کودهای زیست-آلی از جمله جلبک‌دریایی و باکتری‌های محرک رشد که از نظر زیست محیطی نیز بی‌خطر می‌باشند، راهکار موثری است که سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی نیز می‌تواند باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه کردستان جهت تامین امکانات لازم برای اجرای این پژوهش، قدردانی می‌گردد.

منابع

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1): 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1 (**Journal**)

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D .1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060 **(Journal)**

Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P. and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196: 39-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012 (**Journal**)

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): 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3 (**Journal**)

Bumandalai, O. and Tserennadmid, R. 2019. Effect of Chlorella vulgaris as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. International Journal of Aquatic Biology, *7*(2): 95-99. https://doi.org/10.22034/ijab.v7i2.582 (**Journal**)

Bybordi, A., Tabatabaei, S.J. and Ahmadev. A. 2010. Effect of salinity on the growth and peroxidase and IAA oxidase activities in canola. Journal of Food, Agriculture and Environment, 8: 109–112. https://www.researchgate.net/publication/267407882 (**Journal**)

Choudhury, F.K., Rivero, R.M., Blumwald, E. and Mittler, R. 2017. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. The Plant Journal, 90(5): 856-867. https://doi.org/10.1111/tpj.13299 (**Journal**)

Davey, M.W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J. and Swennen, R.L. 2005. High throughput of malondialdehyde in plant tissues. Analytical Biochemistry, 347: 201-207. https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041 (**Journal**)

Delshadi S., Ebrahimi M. and Shirmohammadi E. 2017. Plant growth promoting bacteria effects on growth, photosynthetic pigments and root nutrients uptake of *Avena sativa* L. under drought stress. Desert, 22(1): 107-116. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2017.62260 (**Journal**)

Ebadi, M.T., Sefidkon, F., Azizi, M. and Ahmadi, N. 2016. The effect of air speed and intensity of infrared radiation on drying factors of black lemon plant (*Lippia citriodora* Kunth.). Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research Journal, 32(1): 161-173. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106145 (In Persian)(**Journal**)

Emaratpardaz, J., Hami, A. and Gohari, G.H. 2016. Evaluation of growth characteristics and essential oil yield of *Satureja hortensis* L. under salinity and Zn foliar spraying. Agricultural Science and Sustainable Production. 26(3): 131-141. (In Persian) (**Journal**)

Esmaielpour, B., Fatemi, H. and Moradi, M. 2019. The effect of seaweed extract on physiological and biochemical indicators of basil (*Ocimum basilicum* L) under water stress conditions. Journal Science and Technology Greenhouse Culture, 11(11): 59-69. 10.47176/jspi.11.1.10288 (In Persian) (**Journal**)

Farhadi, H., Azizi, M. and Nemati, S.H. 2014. Investigating the effect of salinity stress on the morphological characteristics and proline content of eight native stands of fenugreek (*Trigonella foenum* - graecum L.). Iranian Journal of Field Crop Research, 13(2): 419-411. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i2.36600 (In Persian)(**Journal**)

Farman, S.H., Mushtaq, A. and Waqar Azeem, M. 2020. Plant growth regulators (PGRs) and their applications: A review. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 15: 94-103. (**Journal**)

Jadczak, D., Bojko, K., Berova, M. and Kaymakanova, M. 2021. Effects of salinity stress on growth and photosynthetic activity of common basil plants (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Central European Agriculture, 22(3): 546-556. https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.3.3214 (**Journal**)

Golestani, M. 2021. Investigating some physiological traits in the ecotypes of watercress plant (*Dracocephalum moldavica* L.) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 14: 155-163. https://doi.org/10.52547/jcb.14.43.155 (In Persian)(**Journal**)

Gupta, S., Stirk, W.A., Plačková, L., Kulkarni, M.G., Doležal, K., and Van Staden, J. 2021. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion). Journal of Plant Physiology, 262: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153437 (**Journal**)

Gurbanpour, M., Hosseini, N., Khodai Mutlaq, M. and Selgi, M. 2013. The effect of *pseudomonads rhizospheric* bacteria inoculation on growth, quantity and quality of medicinal plant essential oil (*Salvia officinalis* L.) Salvia galli. Journal of Medicinal Plants, 13(14): 89-100. 20.1001.1.2717204.2014.13.52.9.1 (In Persian)(**Journal**)

Gusain, Y.S., Singh U.S., and Sharma A.K. 2015. Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology, 14: 764-773. https://doi.org/10.5897/AJB2015.14405 (**Journal**)

Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Chokan, R., Dehghan Shoar, M., Ghalavand, A. and Malakoty, M.J. 2002. Study on plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) biofertilizers application in mays (*Zea mays* L.) cultivation by adequate input. Environmental Sciences, 4: 1-20. (In Persian)**(Journal)**

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A. and Fotopoulos, V, 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, 9(8): 1-52. https://doi.org/10.3390/antiox9080681 (**Journal**)

Hesse, C., Schulz, F., Bull, C.T., Shaffer, B.T., Yan, Q., Shapiro, N., ... and Loper, J.E. 2018. Genome-based evolutionary history of *Pseudomonas* spp. Environmental microbiology, 20(6): 2142-2159. https://doi.org/10.1111/1462-2920.14130 (**Journal**)

Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology, 57(2): 315-319. https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315 (**Journal**)

Kiruthika, R., Selvam, K. and Ahmed, Y. 2022. Multi-objective fish swarm optimization with fuzzy association rule for botnet detection system. In 2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC). 20-22 October, Trichy, India, pp. 1590-1595. (**Conference**)

Kumari, R., Bhatnagar, S., Mehla, N., and Vashistha, A. 2022. Potential of organic amendments (AM fungi, PGPR, vermicompost and seaweeds) in combating salt stress–A review. Plant Stress, 6: 1-13. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100111 (**Journal**)

Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P. and Liu, Y. 2017. A review of supervised objectbased land-cover image classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 130: 277- 293. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001 (**Journal**)

Iraji Mareshk, M. and Moghaddam, M. 2020. Effect of mycorrhizal fungi on growth and absorption of nutrients of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) under salinity stress. Environmental stresses in Crop Sciences, https://doi.org/10.22077/escs.2020.2243.1570 (In Persian)(**Journal**)

Miri Kondari, M., Mohammadi, S.A., Servant, A.S., 2014. Effect of salinity on root characteristics of Sahara 3771 (salt tolerant) and Clipper (salt sensitive) barley varieties. Cereal Research. 4: 184-175. 20.1001.1.22520163.1393.4.2.7.3 (In Persian)(**Journal**)

Mozni, L. and Amiri, H. 2013. Investigating the effect of salinity on the content of soluble sugar and protein in the medicinal plant of Khuzestan (*Satureja khuzistanica* Jamzad). The First National Conference of New Ideas in Sustainable Agriculture. 5 March, Borujerd, Lorestan. (In Persian) (**Conference**)

Motamedi, M. and Naserirad, H. 2011. Study of physiologic tolerance of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes on salinity stress in germination stage and seedling growth. Journal of Crop Breeding, 3(8): 81-92. 20.1001.1.22286128.1390.3.8.7.5 (In Persian)(**Journal**)

Molazem, D. and Bashirzadeh, A. 2015. Impact of salinity stress on proline reaction, peroxide activity, and antioxidant enzymes in maize (*Zea mays* L.). Polish Journal of Environmental Studies, 24(2): 597-603. 10.15244/pjoes/29691 (**Journal**)

Naseri, M., Aroi, H., Kafi, M. and Nemati, H. 2015. The effect of saline water on the physiological characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) in hydroponic cultivation. Journal of Water Research in Agriculture, 30(1): 65-71. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106202 (In Persian)(**Journal**)

Naseri, R., Barari, M., Zare M.J., Khawazi K. and Tahmasabi Z. 2022. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on agronomic important traits in two wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) cultivars under dryland conditions. Journal of Agroecology, 14(1):19-33. https://doi.org/10.22067/JAG.V1I1.51317 (In Persian)(**Journal**)

Nasiroleslami, E. and Safaridolatabad, S. 2014. The comparison of organic and biologic fertilizers effects on growth and essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.). International Journal of Biosciences, 5(7): 65-74. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/5.7.65-74 (In Persian)(**Journal**)

Nasiri, Y., Mohammadi, M., Aghaei, A. and Vasdi, M. 2021. The effect of using seaweed extract at different times on the morphological characteristics and yield of fennel seeds. 17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. 7-9 September, Kerman, Kerman. (In Persian)(**Conference**)

Orabi, S., Salman, S. and Shalaby, M.A. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal of Agricultural Science, 6: 252–259. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1487895 (**Journal**)

Olanrewaju, O.S., Glick, B.R. and Babalola, O.O. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. World Journal Microbiol Biotechnol 33(11):1–16. https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9 (**Journal**)

Pandey, S., Fartyal, D., Agarwal, A., Shukla, T., James, D., Kaul, T. and Reddy, M. K. 2017. Abiotic stress tolerance in plants: myriad roles of ascorbate peroxidase. Frontiers in Plant Science, 8, 581. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00581 (**Journal**)

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. and Prasad, S.M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research, 22: 4056-4075. https://doi.org/ 10.1007/s11356-014-3739-1 (**Journal**)

Papenfus, H.B., Kulkarni, M.G., Stirk, W.A., Finnie, J. F. and Van Staden, J. 2013. Effect of a commercial seaweed extract (Kelpak) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. Scientia Horticulturae, 151: 142-146. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.022 (**Journal**)

Rasool, A., Mushtaq Bhat, K., Ahmed Sheikh, A., Jan, A and Hassan, S.H. 2020. Medicinal plants: Role, distribution and future. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry; 9(2): 2111-2114. (**Journal**)

Rahmani, R., Khalesro, S.H., Heidari, G.H. and Mokhatssi-Bidgoli, A. 2023. Vermicompost and zeolite improve yield, nutrient uptake, essential and fixed oil production, and composition of *Nigella sativa* L. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1214691. https://doi.org/ 10.3389/fsufs.2023.1214691 (**Journal**)

Rezaei, Ebadi, M.T. and Pirani, H. 2018. Investigating the effect of different levels of seaweed organic fertilizer on growth indicators, yield and essential oil content of savory medicinal plant (*Sature hortensis* L.). Journal of Horticultural Sciences, 33(44): 696-685. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.78699 (In Persian)(**Journal**)

Saa, S., Rio, O.D., Castro, S. and Brown, P.H. 2015. Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis*). Frontiers in Plant Science, 6: 1-9. https://doi.org/ 10.3389/fpls.2015.00087 (**Journal**)

Saeidinia, M., Beiranvand, F., Mumivand, H. and Mousavi, S.H. 2023. The effect of the salinity stress on the yield, morphological characteristics, essential oil and RWC of *Satureja Hortensis* (Case Study: Khoramabad, Iran). Journal of Drought and Climate Change Research, 1: 97-108. 10.22077/jdcr.2023.6152.1017 (In Persian)(**Journal**)

Saghafi, K., Ahmadi, J., Asgharzadeh, A. and Esmailizad, A. 2013. An evaluation of the influence of PGPR on wheat growth indices under saline stress. Journal of Soil Biology, 1: 47-59. https://doi.org/10.22092/SBJ.2013.120920 (In Persian)(**Journal**)

Said-Al Ahl, H.A.H., Sabra, A.S., El Gendy, A.N.G., Aziz, E.E. and Tkachenko, K.G. 2015. Changes in content and chemical composition of *Dracocephalum moldavica* L. essential oil at different harvest dates. Journal of Medicinal Plants Studies; 3(2): 61-64. (**Journal**)

Sanjary, M., Siroosmehr, A. and Fakheri, B., 2015. Effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of hibiscus (*Hibiscus sabdarifa*). Journal of Crops Improvement, 2: 403-414. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189 (In Persian)(**Journal**)

Sarabi B., Bolandnazar S., Ghaderi N., and Ghashghaie J. 2017. Genotype difference in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: prospects for selection of salt tolerant landraces. Plant Physiology and Biochemistry, 119: 294-311. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.006 (**Journal**)

Selvakumar, G., Panneerselvam, P., Bindu, G. H. and Ganeshamurthy, A.N. 2015. *Pseudomonads*: plant growth promotion and beyond. Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets, 193-208. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2068-8_10 (**Journal**)

Senthilraja, G., Anand, T., Durairaj, C., Kennedy, J. S., Suresh, S., Raguchander, T. and Samiyappan, R. 2010. A new microbial consortium containing entomopathogenic fungus, Beauveria bassiana and plant growth promoting rhizobacteria, Pseudomonas fluorescens for simultaneous management of leafminers and collar rot disease in groundnut. Biocontrol Science and Technology, 20(5): 449-464. https://doi.org/10.1080/09583150903576949 (**Journal**)

Shultana, R., Kee Zuan, A.T., Yusop, M. R. and Saud, H.M. 2020. Characterization of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria and the effect on growth and yield of saline-affected rice. PLoS One, 15(9), e0238537. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238537 (**Journal**)

Sobhani, Z., Nami, S.R., Emami, S.A., Sahebkar, A. and Javadi, B. 2017. Medicinal plants targeting cardiovascular diseases in view of Avicenna. Current Pharmaceutical Design, 23(17): 2428-2443. https://doi.org/10.2174/1381612823666170215104101 (**Journal**)

Vatankhah, E., Kalantari, B. and Andalibi, B. 2017. Effects of methyl jasmonate and salt stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33(3): 449-465. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107594.1848 (In Persian)(**Journal**)

Vázquez, K.R., García-Cárdenas, E., Barrera-Ortiz, S., Ortiz-Castro, R., Ruiz-Herrera, L.F., Ramos-Acosta, B.P. and López-Bucio, J. 2020. The plant beneficial rhizobacterium *Achromobacter* sp. 5B1 influences root development through auxin signaling and redistribution. The Plant Journal, 103(5), 1639-1654. https://doi.org/10.1111/tpj.14853 (**Journal**)

Zafari, M., Ebadie, A., Parmoon G. and Jahanbakhsh, S. 2016. Effect of bacteria growth on metabolite production and compatible characteristics Hamedani cultivar of alfalfa during drought. Journal of Plant Process and Function, 14(4): 61-75. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1394.4.14.13.7 (In Persian)(**Journal**)

Zare, S.H., Sirosmehr, A., Ghanbari, A. and Tabatabai, S.J. 2013. Change of essential oil and some quantitative characteristics of *Satureja hortensis* L. under different amounts of nitrogen and compost, Iranian Journal of Field Crop Research, 11(1): 191-199. https://doi.org/ 10.22067/gsc.v11i1.24129 (In Persian)(**Journal**)

Effect of seaweed foliar application and bacterial inoculation on the morpho-physiological traits of *Dracocephalum moldavica* L. in salt stress conditions

Fariba Vafaahd[1], Shiva Khalesro[*2], Fatemeh Sefidkon[3], Batool Mahdavi[4]

Received: August 19, 2024 Accepted: November 2, 2024

Abstract

Salinity stress is one of the environmental factors limiting the growth and development of plants. This research was conducted to evaluate the effect of salinity stress and biofertilizers on the morpho-physiological traits of the dragonhead. The experimental treatments included biofertilizers at four levels (control, bacteria *pseudomonas fluorescens*, algae *Sargassum boveanum*, algae *Sargassum boveanum* + bacteria *pseudomonas fluorescens*) and salinity stress at four levels (0, 50, 100, 150 *mM*). The research was set up as a factorial experiment using a randomized complete block design with four replications at the greenhouse of the Faculty of Agriculture of the Kurdistan University in 2023. The results showed that the integrated application of algae and bacteria resulted in the highest values of morpho-physiological traits included plant height, root length, root volume, dry weight of aerial part, and protein of dragonhead. But with the increase of salinity stress levels, the mentioned characteristics decreased. Additionally, biofertilizers had a significant impact on the proline, chlorophyll, and peroxidase enzyme in the salinity stress conditions. Therefore, the integrated treatment of *Sargassum boveanum* foliar application and *pseudomonas fluorescens* inoculation not only had a positive effect on the morpho-physiological traits of dragonhead under salinity stress conditions, but also, they are the key approach to achieve sustainable agricultural goals.

Keywords: Biofertilizer; Lamiaceae; Peroxidase enzyme; *Pseudomonas*; Proline

How to cite this article

Vafaahd, F., Khalesro, M., Sefidkon, F. and Mahdavi, B. 2024. Effect of seaweed foliar application and bacterial inoculation on the morpho-physiological traits of *Dracocephalum moldavica* L. in salt stress conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(3): 79-93. (In Persian) **(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2024.8794

COPYRIGHTS

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

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

1. Ph.D. student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. f.vafaahd1395@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. s.khalesro@yahoo.com
3. Professor, Medicinal and Aromrtic Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Organization of Agricultural Research, Education and Extension, Tehran, Iran. sefidkon@rifr-ac.ir
4. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Vali-e-Asr, Rafsanjan, Iran.b.mahdavi@vru.ac.ir

*Corresponding author: s.khalesro@yahoo.com